

「革新的新構造材料等研究開発」

事業原簿【公開】

担当部	国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 電子・材料・ナノテクノロジー部
-----	--

## —目次—

### 1.概 要

### 2.プロジェクト用語集

#### I. 事業の位置付け・必要性について

1.事業の背景・目的・位置付け	I -1
1.1 事業の背景	I -1
1.2 事業の目的及び意義	I -3
1.3 事業の位置付け	I -4
2.NEDO の関与の必要性・制度への適合性	
2.1NEDO が関与することの意義	I -7
2.2 実施の効果（費用対効果）	I -7

#### II. 研究開発マネジメントについて

1.事業の目標	II -1
2.事業の計画内容	II -9
2.1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算	II -9
2.2 研究開発の実施体制	II -13
2.3 研究開発の運営管理	II -14
2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性	II -16
3.知的財産権等に関する戦略（知財戦略、知財委員会）	II -16
4.情勢変化への対応	II -17
5.評価に関する事項	II -17

#### III. 研究開発成果について

1.事業全体の成果	
1.1 成果の概要	III-1.1-1
2.テーマ毎の成果	
2.1 革新鋼板の開発	
2.1.1 「残留 $\gamma$ 高度制御革新鋼板の開発」	III-2.1.1-1
2.1.2 「軽元素の有効利用による革新鋼材の開発」	III-2.1.2-1
2.1.3 「炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発」	III-2.1.3-1
2.1.4 「中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発」	III-2.1.4-1
2.1.5 「複層鋼板の界面構造解析と特性調査」	III-2.1.5-1
2.2 革新的アルミニウム材の開発	
2.2.1 「高強度・高靱性アルミニウム合金の開発」	III-2.2.1-1
2.2.2 「アルミニウム材新製造プロセス技術開発」	III-2.2.2-1
2.2.3 「複層アルミ合金の開発」	III-2.2.3-1



2.3 革新的マグネシウム材の開発	
2.3.1 「マグネシウム合金設計と難燃性評価」	Ⅲ-2.3.1-1
2.3.2 「易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度 マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討」	Ⅲ-2.3.2-1
2.3.3 「高強度マグネシウム材（薄板）の開発」	Ⅲ-2.3.3-1
2.3.4 「高強度マグネシウム材（押出材）の開発」	Ⅲ-2.3.4-1
2.3.5 「難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発」	Ⅲ-2.3.5-1
2.3.6 「難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発」	Ⅲ-2.3.6-1
2.4 革新的チタン材の開発	
2.4.1 「チタン材一貫製造プロセス技術開発」	Ⅲ-2.4.1-1
2.4.2 「チタン薄板の革新的低コスト化技術開発」	Ⅲ-2.4.2-1
2.4.3 「高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発」	Ⅲ-2.4.3-1
2.5 革新炭素繊維基盤技術開発	
2.5.1 「革新炭素繊維基盤技術開発」	Ⅲ-2.5.1-1
2.6 熱可塑性 CFRP の開発	
2.6.1 「熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発」	Ⅲ-2.6.1-1
2.6.2 「熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工技術基盤技術の開発」	Ⅲ-2.6.2-1
2.7 接合技術開発	
2.7.1 「アルミニウム／CFRP 接合技術の開発」	Ⅲ-2.7.1-1
2.7.2 「残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発」	Ⅲ-2.7.2-1
2.7.3 「中高炭素鋼の革新的接合技術の開発」	Ⅲ-2.7.3-1
2.7.4 「中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発」	Ⅲ-2.7.4-1
2.7.5 「アルミニウム／異種材料の点接合技術」	Ⅲ-2.7.5-1
2.7.6 「中高炭素鋼／中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発」	Ⅲ-2.7.6-1
2.7.7 「鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発」	Ⅲ-2.7.7-1
2.7.8 「チタン／チタン連続接合技術の開発」	Ⅲ-2.7.8-1
2.7.9 「水和物架橋低温接合技術の開発」	Ⅲ-2.7.9-1
2.8 戦略・基盤研究	
2.8.1 「新構造材料の技術・研究戦略」	Ⅲ-2.8.1-1
2.8.2 「技術動向調査分析」	Ⅲ-2.8.2-1
2.8.3 「高分子複合材料技術開発動向調査」	Ⅲ-2.8.3-1
2.8.4 「共通基盤技術の研究調査」	Ⅲ-2.8.4-1
2.8.5 「非鉄金属先導研究」	Ⅲ-2.8.5-1
2.8.6 「材料・接合等技術動向調査研究」	Ⅲ-2.8.6-1
2.8.7 「計測解析評価研究」	Ⅲ-2.8.7-1
2.8.8 「中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study」	Ⅲ-2.8.8-1
2.8.9 「構造用接着技術に関する Feasibility Study」	Ⅲ-2.8.9-1

#### IV. 成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

##### 1. 事業全体の取り組み及び見通し

1.1 新構造材料技術研究組合成果の概要…………… IV-1.1-1

1.2 革新炭素繊維基盤技術開発成果の概要…………… IV-1.2-1

##### 2. テーマ毎の取り組み及び見通し

###### 2.1 革新鋼板の開発

2.1.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.1-1

2.1.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… IV-2.1-2

###### 2.2 革新的アルミニウム材の開発

2.2.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.2-1

2.2.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… IV-2.2-5

###### 2.3 革新的マグネシウム材の開発

2.3.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.3-1

2.3.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… III-2.3-5

###### 2.4 革新的チタン材の開発

2.4.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.4-1

2.4.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… IV-2.4-4

###### 2.5 革新炭素繊維基盤技術開発

2.5.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.5-1

2.5.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… IV-2.5-4

###### 2.6 熱可塑性 CFRP の開発

2.6.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.6-1

2.6.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… IV-2.6-2

###### 2.7 接合技術開発

2.7.1 「テーマ全体の取り組み及び見通し」…………… IV-2.7-1

2.7.2 「各社の取り組み及び見通し」…………… IV-2.7-3

#### V. 成果資料

##### 1. 革新鋼板の開発

1.1 特許…………… V-1-1

1.2 論文…………… V-1-1

1.3 その他外部発表…………… V-1-2

1.4 展示会への出展…………… V-1-5

1.5 受賞…………… V-1-5

1.6 フォラーム等…………… V-1-6

##### 2. 革新的アルミニウム材の開発

2.1 特許…………… V-2-1

2.2 論文…………… V-2-1

2.3 その他外部発表	V-2-2
2.4 展示会への出展	V-2-4
2.5 受賞	V-2-4
2.6 フォラーム等	V-2-5

### 3.革新的マグネシウム材の開発

3.1 特許	V-3-1
3.2 論文	V-3-1
3.3 その他外部発表	V-3-2
3.4 展示会への出展	V-3-8
3.5 受賞	V-3-9
3.6 フォラーム等	V-3-10

### 4.革新的チタン材の開発

4.1 特許	V-4-1
4.2 論文	V-4-1
4.3 その他外部発表	V-4-2
4.4 展示会への出展	V-4-3
4.5 受賞	V-4-4
4.6 フォラーム等	V-4-4

### 5.革新炭素繊維基盤技術開発

5.1 特許	V-5-1
5.2 論文	V-5-1
5.3 その他外部発表	V-5-2
5.4 展示会への出展	V-5-4
5.5 受賞	V-5-4
5.6 フォラーム等	V-5-4

### 6.熱可塑性 CFRP の開発

6.1 特許	V-6-1
6.2 論文	V-6-1
6.3 その他外部発表	V-6-3
6.4 展示会への出展	V-6-11
6.5 受賞	V-6-12
6.6 フォラーム等	V-6-12

### 7.接合技術開発

7.1 特許	V-7-1
--------	-------

7.2 論文	V-7-1
7.3 その他外部発表	V-7-3
7.4 展示会への出展	V-7-9
7.5 受賞	V-7-10
7.6 フォラーム等	V-7-11

## 8.戦略・基盤研究

8.1 特許	V-8-1
8.2 論文	V-8-1
8.3 その他外部発表	V-8-4
8.4 展示会への出展	V-8-13
8.5 受賞	V-8-13
8.6 フォラーム等	V-8-15

## VI. 参考文献

1.革新鋼板の開発	VI-1-1
2.革新的アルミニウム材の開発	VI-2-1
3.革新的マグネシウム材の開発	VI-3-1
4.革新的チタン材の開発	VI-4-1
5.革新炭素繊維基盤技術開発	VI-5-1
6.熱可塑性 CFRP の開発	VI-6-1
7.接合技術開発	VI-7-1
8.戦略・基盤研究	VI-8-1

### (添付資料)

- ・プロジェクト基本計画
- ・事前評価関連資料（事前評価書、パブリックコメント募集の結果）

概要

最終更新日 平成 27 年 10 月 7 日

プログラム（又は 施策）名	未来開拓研究プロジェクト		
プロジェクト名	革新的新構造材料等研究開発	プロジェクト番号	P14014
担当推進部/ PM、担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 PM 氏名 今西大介（平成 26 年 1 月～平成 27 年 10 月現在） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 佐藤隆行（平成 26 年 1 月～平成 26 年 5 月） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 松岡隆一（平成 26 年 1 月～平成 26 年 8 月） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 寺田幸平（平成 26 年 6 月～平成 27 年 10 月現在） 電子・材料・ナノテクノロジー部 担当者氏名 廣井政行（平成 26 年 8 月～平成 27 年 10 月現在）		
0. 事業の概要	自動車を中心とした輸送機器の抜本的な軽量化（半減）に向けて、革新的接合技術の開発や、鋼材、アルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、炭素繊維及び炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber Reinforced Plastics、以下「CFRP」という。）等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発を一体的に推進する。これにより、輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量と CO <sub>2</sub> 排出量の削減、我が国の部素材産業及びユーザー産業の国際競争力強化を目指す。		
I. 事業の位置付け・必要性について	<p><b>【事業の必要性】</b>                  エネルギー消費量削減や CO<sub>2</sub> 排出量削減は、国際的な重要課題である。産業・運輸・民生の各部門で様々な対応が図られており、例えば運輸部門では、世界的に自動車に対する厳しい燃費規制が設定されている。我が国においても、CO<sub>2</sub> 総排出量の 20%近くが自動車からの排出であり、今後の CO<sub>2</sub> 排出量削減に向けて、自動車の燃費向上に係る技術開発が重要となる。近年の車両軽量化技術開発では、軽量材料を適材適所に使うマルチマテリアル化が進められている。その際、異種材料接合が鍵となるが、材質が大きく異なる材料間の接合や、自動車としての安全性を保証する上で欠かせない接合部の性能評価技術など、今後克服すべき数多くの技術課題が残されている。また、構造材料そのものの軽量化も極めて重要な課題であり、高強度、高延性、不燃性、耐食性、耐衝撃性等の機能が確保された軽量構造材の開発が必要である。それと同時に、これらの機能を損なうことのない接合技術や成形加工技術等の開発が求められる。</p> <p><b>【位置付け】</b>                  本事業は経済産業省が推進する、「未来開拓プロジェクト」の一つであり、本研究開発は既存技術の延長線上にない、夢のある「未来技術開拓」を実施するものである。内閣府総合科学技術会議では「平成 25 年度科学技術重要施策アクションプラン」により、重点的取組として「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」を実現するものと登録されている。また、日本再生戦略「グリーン成長戦略」では重点施策の「グリーン部素材が支えるグリーン成長の実現」に基づきグリーン部素材自体の革新的イノベーションを生み出すための基礎から実用化まで一貫通貫の未来開拓型の研究開発を推進し、「グリーン部素材」をテコにした成長を実現する。</p>		
II. 研究開発マネジメントについて			
事業の目標	研究開発項目①「接合技術開発」 （1）チタン／チタン連続接合技術の開発 <b>【第 1 期目標（平成 27 年度末）】</b> ・接合深さ：5mm 以上 ・接合強度：母材強度の 90%以上 ・接合装置：設計技術の確立 <b>【第 2 期目標（平成 29 年度末）】</b> ・接合深さ：10 mm以上 ・接合強度：母材強度の 90%以上 ・接合装置：設計技術の確立		

(2) 中高炭素鋼／中高炭素鋼接合技術の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

(a) スポット接合技術開発

・接合強度：厚み1.5mm、強度1.2GPa以上の中高炭素鋼で、JIS-A級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値の70%

(b) 連続接合技術開発

・接合強度：厚み2mm、強度1.2GPa以上の中高炭素鋼で、母材強度の70%

【第2期目標（平成29年度末）】

(a) スポット接合技術開発

・接合強度：厚み1.5mm、強度1.2GPa以上の中高炭素鋼で、JIS-A級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値の70%以上

(b) 連続接合技術開発

・接合強度：厚み2mm、強度1.2GPa以上の中高炭素鋼で、母材強度の70%以上

(3) 鋼材／アルミニウムの接合技術の開発（スポット接合技術）

【第1期目標（平成27年度末）】

・接合強度：試験片の接合で、JIS-A級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値以上または母材破断

・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立

・鋼板／アルミニウム間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立

【第2期目標（平成29年度末）】

・高減衰接着剤の仕様決定

・電食に対する防錆技術の確立

(4) アルミニウム／CFRP 接合技術の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

・接合強度：試験片の接合で、JIS-A級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値以上または母材破断

・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立

・アルミニウム／CFRP間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立

【第2期目標（平成29年度末）】

・高減衰接着剤の仕様決定

・電食に対する防錆技術の確立

(5) 鋼材／CFRP等樹脂接合技術の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

・接合強度：母材破断

【第2期目標（平成29年度末）】

・接合強度：母材破断

・電食による接合部腐食の評価手法の確立

研究開発項目②「革新的チタン材の開発」

(1) 製錬・溶解・熱延工程を革新的に短縮した高機能チタン薄板製造技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

(a) 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス要素技術の開発

・鉄含有値：ばらつき範囲 50～500ppm 平均値 200ppm 以下

・酸素含有値：ばらつき範囲 100～200ppm 平均値 150ppm 以下

・塩素含有値：300ppm 以下

(b) 上記スポンジチタンを活用した高効率チタン薄板製造プロセス要素技術の開発

・薄板中の気孔率：1%以下

・引張強度・延性バランス：現行材より20%向上

【第2期目標（平成29年度末）】

(a) 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス要素技術の開発

・大型工業製品製造に不可欠な工程技術の要素技術を確立し、量産プロセスの見通しを得る。

(b) 上記スポンジチタンを活用した高効率チタン薄板製造プロセス要素技術の開発

・工業的に薄板を製造するプロセスの要素技術を確立し、量産プロセスの見通しを得る。

(2) チタン材連続一貫製造プロセス技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

(a) スクラップチタンやチタン鉱石などのチタン低廉材料の溶解・精錬要素技術の開発

・精錬後の酸素含有値：300ppm以下

(b) 上述の溶解・精錬技術と鑄造、圧延を組み合わせたチタン材連続一貫製造プロセス要素技術の開発

・引張強度：現行材より20%向上

【第2期目標（平成29年度末）】

(a) スクラップチタンやチタン鉱石などのチタン低廉材料の溶解・精錬要素技術の開発

・実機プロセスにおける精錬後の酸素含有値を300ppm以下とする要素技術確立の見通しを得る。

(b) 上述の溶解・精錬技術と鑄造、圧延を組み合わせたチタン材連続一貫製造プロセス要素技術の開発

・高速高圧下箔圧延技術：生産性向上の達成に向けた要素技術を確立し、量産プロセスへの見通しを得る。

(3) チタン新製錬技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

工業化への展開が可能な低コストでの新規な製錬技術の開発

(ラボスケールで検証)

・鉄含有値：2000ppm以下

・酸素含有値：1000ppm以下

【第2期目標（平成29年度末）】

工業化への展開が可能な低コストでの新規な製錬技術の開発

・精錬プロセス設計指針を構築し、量産プロセスへの見通しを得る。

研究開発項目③「革新的アルミニウム材の開発」

(1) 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

・引張強度：660MPa以上（現状：600MPa）

・耐力（降伏強度）：600MPa以上（現状：550MPa）

・伸び：12%以上

【第2期目標（平成29年度末）】

・引張強度：750MPa以上（現状：600MPa）

・耐力（降伏強度）：700MPa以上（現状：550MPa）

・伸び：12%以上

(2) アルミニウム材製造電析プロセス技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

・電解条件の確立

・電析メカニズムの解明

【第2期目標（平成29年度末）】

・AlCl<sub>3</sub>系イオン液体の大量合成手法の確立

・パイロットプラントによる実証実験

研究開発項目④「革新的マグネシウム材の開発」

(1) 易加工性マグネシウム材の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

・レアアース添加無し

・引張強度：250MPa以上

・伸び：15%以上

・AZX311マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

・AZ31（マグネシウム材）と同程度以上の押出速度

【第2期目標（平成29年度末）】

・レアアース添加無し

・引張強度：270MPa以上

・伸び：20%以上

・AZX311マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

・A6N01（アルミニウム材）と同程度以上の押出速度

(2) 高強度マグネシウム材の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：350MPa 以上
- ・伸び：13%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：360MPa 以上
- ・伸び：15%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

(3) マグネシウム材の評価手法の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・既存の難燃性マグネシウム合金を対象として、発火メカニズムおよび腐食メカニズムの解明と評価手法の導出

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・既存の難燃性マグネシウム合金を対象として、発火特性、腐食特性に関するデータベース構築

研究開発項目⑤「革新鋼板の開発」

(1) 高強度高延性中高炭素鋼の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアメタル添加量：10wt%未満
- ・引張強度：1.2GPa 以上
- ・伸び：15%以上

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアメタル添加量：10wt%未満
- ・引張強度：1.2GPa 以上
- ・伸び：20%以上

(2) 中高炭素鋼の解析・評価手法の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・低濃度炭素検出技術
- 炭素定量下限：30ppm
- ・微細粒成長動的観察技術

像分解能：15nm

- ・加熱加工模擬技術の確立
- ・鋼の歪み挙動解析技術の確立

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・鋼組織の高速定量解析技術の確立
- ・鋼中のヘテロ構造と軽元素の空間相関評価技術の確立



研究開発項目⑥「熱可塑性 CFRP の開発」

(1) 熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

・CFRP と異種材料（鉄鋼、アルミ合金）との接合の要素技術の見極めを行い、上記接合方式・接合形状における強度設計に必要なデータベースを構築する。

【第2期目標（平成29年度末）】

・平成27年度までに構築した異材接合データベースを基に、現行量産車において多用され一般的に用いられている接合方式（ボルト締結や接着接合）と同等以上の強度を達成するための要素技術及びその設計手法を確立する。また、最適な非破壊評価手法を確立する。

(2) 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工技術の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

(a) 熱可塑性 CFRP の中間基材の開発

・中間基材のバリエーションを拡大し、車体の6割軽量化を実現する中間基材の製造に係る要素技術を確立する。

(b) 熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発

・開発材の静的及び動的力学特性把握のための標準試験法・試験片製作方法を提案する。

(c) 熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発

・開発材の静的及び動的力学特性を CAE（Computer Aided Engineering）解析に適用した予測技術を確立し、予測精度を既存の鋼板製車体と同等以上とする。

(d) 熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発

・成形シミュレーション技術を構築する。

(e) LFT-D（Long Fiber Thermoplastics-Direct）成形の基礎技術の開発

・炭素繊維と熱可塑性樹脂の混練体の流動特性と材料特性の関係を解析し、混練プロセスの最適条件を解明し、基礎的力学的モデルを提案する。また、初歩的 CAE 解析技術を確立する。

(f) 大物高速成形技術の開発

・初歩的なボディ部材を対象に高速プレス成形技術を確立する。また、構造材の剛性確保のために LFT-D 成形品の部分補強を試行する。ハイブリッド構造を達成するためのマテハン技術の概念を決定する。

(g) 大物高速接合技術の開発

・熱可塑性 CFRP 使用部材同士の接合方法を見極め、最適手法を選択する。

(h) 高意匠性外板製造技術開発

・高意匠性を支配する技術要因を分析し、基礎技術を見極める。

(i) 実証評価

・実証評価の実施方法を策定する。

【第2期目標（平成29年度末）】

(a) 熱可塑性 CFRP の中間基材の開発

・組立パーツの部品点数の半減を実現する中間基材の製造に係る要素技術を確立する。

(b) 熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発

・材料特性発現メカニズムを解明することにより、標準試験法による評価値の妥当性を検証する。

(c) 熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発

・CAE 解析予測技術を用いた複数部材の一体化設計技術を開発し、組立パーツの部品点数半減と車体の6割軽量化のための要素技術を確立する。

(d) 熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発

・成形シミュレーション技術を基にして、繊維配向や形状安定性の予測手法を確立する。

(e) LFT-D（Long Fiber Thermoplastics-Direct）成形の基礎技術の開発

・量産化につながる混練・押出プロセスの要素技術を確立する。また、LFT-D の材料特性データベースの一部を構築するとともに、試験法標準化への道付けを実施する。さらに、力学モデルの高度化を行い、CAE 解析ソフトウェアに組込む。

(f) 大物高速成形技術の開発

・複雑なボディ部材の成形技術を確立し、量産化に繋がる要素技術を確立する。ハイブリッド成形技術を確立するとともに、高速マテハン技術の要素技術を確立する。

(g) 大物高速接合技術の開発

・熱可塑性 CFRP 使用部材同士の接合技術を確立する。

(h) 高意匠性外板製造技術開発

・選定した材料、プロセスを用いて、高意匠性付与技術を確立する。

(i) 実証評価

・自動車構造体を想定して、軽量化及び量産性の検証を行う。

**研究開発項目⑦「革新炭素繊維基盤技術開発」**  
 (1) 新規炭素繊維前駆体化合物の開発  
**【第1期目標（平成27年度末）】**  
 ・下記(2)の成果とあわせて、新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率235GPa、破断伸度1.5%とする。  
**【第2期目標（平成29年度末）】**  
 ・下記(2)の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。

(2) 炭化構造形成メカニズムの解明  
**【第1期目標（平成27年度末）】**  
 ・(1)の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率235GPa、破断伸度1.5%とする。  
**【第2期目標（平成29年度末）】**  
 ・(1)の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。

(3) 炭素繊維の評価手法開発、標準化  
**【第1期目標（平成27年度末）】**  
 ・圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告（TR）としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント（LCA）に活用するためのデータを収集する。  
**【第2期目標（平成29年度末）】**  
 ・熱可塑性樹脂と異形状炭素繊維の界面特性を検証し、その特性発現メカニズムを解明することにより、標準的な力学的試験法を確立する。

**研究開発項目⑧「戦略・基盤研究」**  
 (1) 新構造材料の動向調査・技術・研究戦略  
**【第1期目標（平成27年度末）】**  
 ・研究開発のビジョンの明確化  
 ・接合技術及び個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出  
 ・プロジェクトの技術・研究戦略の策定  
 ・新規材料の輸送機器への適用可能性の明確化  
 ・新規材料の研究開発方針の明確化  
**【第2期目標（平成29年度末）】**  
 ・必要に応じて、平成27年度末に設定する。

(2) 共通基盤技術の調査研究  
**【第1期目標（平成27年度末）】**  
 ・構造材料、接合プロセスに関する新たな研究シーズの顕在化  
 ・マルチマテリアル設計における、研究方向性の明確化  
 ・材料と破壊の基礎メカニズム解明  
 ・接合部の非破壊評価手法の確立  
 ・プロセスモニタリング/ヘルスマニタリング手法の確立  
**【第2期目標（平成29年度末）】**  
 ・必要に応じて、平成27年度末に設定する。

事業の計画内容	主な実施事項	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy
	接合技術					→
	革新的アルミ材料					→
	革新的マグネ材料					→
	革新的チタン材料					→

	革新鋼板						
	熱可塑性 CFRP						
	革新炭素繊維基盤技術						
	戦略：基盤研究						
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位：百万円)	会計・勘定	H25fy	H26fy	H27fy	H28fy	H29fy	総額
	一般会計						
	特別会計 (電源・需給の別)	4,090	4,760	4,300	4,350	5,140	22,640
	開発成果促進財源	0	0	1,570			1,570
	総予算額	4,090	4,760	5,870	4,350	5,140	24,210
	(委託)	4,090	4,760	5,870	4,350	5,140	24,210
契約種類： ○をつける (委託 ) 助成 ( ) 共同研究 (負担率 )	(助成) ：助成率△/□						
	(共同研究) ：負担率△/□						
開発体制	経産省担当原課	産業技術環境局 研究開発課					
	プロジェクトリーダー	【プロジェクトリーダー】 国立大学法人東京大学 名誉教授：岸 輝雄 【サブプロジェクトリーダー】 国立大学法人東京大学大学院工学系研究科 教授：影山和郎					
	委託先 (* 委託先が管理法人の場合は参加企業数及び参加企業名も記載)	委託先：新構造材料技術研究組合 (参加38社) 東レ、神戸製鋼所、新日鐵住金、JFE スチール、マツダ、UACJ、川崎重工業、住友電気工業、IHI、日立製作所、日立パワーソリューションズ、日立金属、日立メタルプレシジョン、田中貴金属、東邦チタニウム、三協立山、不二ライトメタル、大日本塗料、総合車両製作所、産業技術総合研究所、名古屋大学、東レ、三菱レイヨン、東洋紡、タカギセイコー、本田技術研究所、島津製作所、福井ファイバーテック、カドコーポレーション、住友重機械工業、スズキ、三菱自動車工業、日産自動車、トヨタ自動車、東邦テナックス、アイシン精機、小松製作所、共和工業、富士重工業、 再委託先：サンスター技研、権田金属工業、戸畑製作所、ミリオン化学、アート1、木ノ本伸線、東レエンジニアリング、名機製作所、童夢、大成プラス、物質・材料研究機構、宇宙航空研究開発機構、日本マグネシウム協会、茨城県工業技術センター、福井県、石川県、総合科学研究機構、ファインセラミックセンター、金属系材料研究開発センター、高分子学会、大阪大学、近畿大学、大阪府立大学、名古屋大学、秋田大学、広島大学、東京工業大学、京都工芸繊維大学、大阪工業大学、東北大学、東京大学、北海道大学、岐阜大学、京都大学、佐賀大学、関西大学、早稲田大学、九州大学、岩手大学、長岡技術科学大学、芝浦工業大学、神戸大学、山形大学、金沢工業大学、茨城大学、静岡大学、兵庫県立大学、 委託先：東京大学 再委託先：産業技術総合研究所、東レ、東邦テナックス、三菱レイヨン、日本プラスチック工業連盟、金沢工業大学					

情勢変化への対応	プロジェクトの進捗状況や技術推進委員会の結果を踏まえ、研究開発事業の見直し、新規テーマの導入を随時行う。また定期的なステージゲート審査により、テーマごとに事業化に向けた研究開発支援を行う。	
中間評価結果への対応	未実施（H27年度が初中間評価）	
評価に関する事項	事前評価	平成26年3月実施 担当部 電子・材料・ナノテクノロジー一部
	中間評価	
	事後評価	

### Ⅲ. 研究開発成果について

	研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度
【テーマ番号22】 残留フェライトの削減 新製法の開発	高強度高延性中高炭素鋼の開発	中高炭素鋼でMn量10%以下で強度1.2GPa以上、伸び15%以上	・残留フェライト中の炭素濃度分布制御により高強度・高延性化できる可能性を示し、強度1.2GPa、伸び26%を達成できることを示した。	◎
	中高炭素鋼の解析・評価手法の開発	炭素定下限30ppm以下を可能とする解析評価技術の開発	・小型中性子ラインの改良により、格子定数の解析精度を向上でき、目標精度を実現可能となる予定。 ・軽元素分析装置による解析で目標達成に目途。	△
【テーマ番号23】 軽元素の有効利用による 新製法の開発	革新鋼材の開発	稀少元素添加量10wt%未満で、引張強度1.2GPa1200MPa以上、伸び15%以上を有する中高炭素鋼の材料設計と組織制御。	高炭素単純組成鋼をベースに軽元素（B,P,S,Al,Si等）を添加した小ロットサンプルを試作。加工熱処理による組織制御、組織解析、引張特性評価、等、を実施し、引張強度1.5GPa、伸び15%以上を可能とする高炭素鋼の理想組織を提示。	◎
	その場観察装置の開発	中高温域の粒界移動および結晶方位変化の計測が可能なその場観察装置の開発。	500～1200℃の温度域における、走査イオン（SIM）像観察とESBD解析が可能な複合解析装置を開発し、中・高温域における変態・逆変態挙動および結晶粒形状変化のその場解析に成功。	◎
【テーマ番号24】 炭素活用による 超強度鋼板の開発	鋼板開発	引張強度（TS）≥1.2GPa、伸び（El）≥20%（TS×El≥24,000）	TS≥1.2GPa、El≥25%まで到達	◎
	解析・評価手法開発	炭素の分析下限が30ppm（点分析） 鋼組織の3D評価	理論計算で分配後の炭素濃度が16ppmであるフェライト相中の炭素濃度を17ppmと測定した。 3D-SEM解析により、開発鋼の組織解析を行い、熱処理による組織変化を三次元的に明らかにした。	○
	超強度高延性を両立する炭素鋼ベースの複層鋼板の開発	中高炭素TRIP鋼およびマルテンサイト鋼を用い、層数を3～5層として試作し、1.5GPa以上、伸び20%以上の複層鋼板の実現可能性を確認する。	超強度マルテンサイトおよびTRIP鋼の作製および特性評価 複層鋼板作製の設計指針導出	△
【テーマ番号25】 炭素活用による 超強度鋼板の開発	鋼/非鉄合金複層化の検討	中高炭素との複層化に適した非鉄合金を選定し、層の幾何設計とともに界面形成の技術・条件についても検討を進める	鋼とMg合金の接合を可能とする条件を導出	△
	複層鋼板の界面構造解析と特性調査	マルテンサイト鋼の3次元構造の解明、複層化による高機能化検討、接合メカニズム解明	3次元ミクロ組織解析装置を用いて三次元構造観察を実施、層構造を変化させた複層鋼を用いた評価によって複層化による特性向上を検討 FEMによる歪解析により接合界面の挙動を明確化	○
	複層鋼板の微細組織構造解析技術の確立	マルテンサイト鋼の変形挙動・き裂進展挙の解明	その場引張装置を用いた実験により、マルテンサイト鋼の変形挙動・き裂進展挙を解明	○
【テーマ番号26】 複層鋼板の非破壊 検査技術の開発	複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)の構築	FEMおよび第一原理計算によるモデルの構築	水素透過試験によって高強度鋼中の水素拡散現象を解明、モデル拡散対の評価およびFEMによる解析モデルを構築	○
	高強度・高靱性アルミニウム合金の開発	引張強さ≥660MPa 耐力 ≥600MPa 伸び ≥14% ラポスケール	押出材・板材ともに中間目標値を達成した。新プロセス導入により、最終目標値達成の指針を得た。	◎
	連続電析技術	小型パイロットプラントによる幅20mm以上×長さ1,000mm以上に相当するAl薄膜または糸の作製	装置パラメーター（電極形状等）を決定し、独自設計の連続電析実験機を製作、長さ1mの作製に成功した。	○
【テーマ番号41】 アルミニウム材料製造プロセス 技術開発	表面の平滑化	平滑性の支配要因を特定する。	カソード素材（Cu or Ti）によって粒成長の均一性が異なり、Tiが最適であることが判明。	○
	無水AlCl <sub>3</sub> 新製法	溶融塩あるいは触媒を用いた無水AlCl <sub>3</sub> 製法の可否を判定する。	特定の触媒を用いた場合に、AlCl <sub>3</sub> 生成の感度を向上させた。	△
	共析の制御① 共析の制御②	不純物除去法を開発する。 Al合金中の元素含有量の支配要因を解明する。	腐蝕による不純物除去効果を確認した。 Mn,NbおよびTa含有合金を試作。浴組成、電流密度により含有量を制御できることを確認した。	○
【テーマ番号27】 複層アルミ合金の開発	複層合金設計、組織解析・制御技術の開発	小型サンプルでの成形前の伸び(17%以上)、成形・熱処理後の耐力(550MPa以上)を両立する組織コンセプトの提示	伸びと強度のバランスを向上させるコンセプトを検証し、中間目標達成する見込を得た。	○
	複層合金製造技術の開発	板幅30～50mm程度の積層アルミ合金板の製造プロセス指針の提示	製造プロセスの実現性を検証した。	○

	研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度
マグネシウム合金設計と難燃性評価 【一七二番号】	(1) 易加工性Mg合金材の開発 (再委託機関1)	引張強度250MPa以上、伸び15%以上、AZ31合金と同程度以上の押出速度により押出成形可能なMg合金材を作成するための合金設計技術を構築する。	特定の組成の合金を押出速度24m/min の高速で押出すると、押出しまま材、T6処理材とも目標値を上回る特性を示すことを試験片レベルで証明。	○
	(2) 高強度Mg合金材の研究開発 (名古屋守山分室)	引張強度350MPa以上、伸び13%以上の特性を示す押し材を製作するための合金設計指針を導出。	特定の組成の合金を特定の条件で押出成形すると引張強度352MPa、伸び14%を示すことを試験片レベルで証明。	○
	(3) 高強度Mg合金薄板の研究開発 (再委託機関1)	引張強度350MPa以上、伸び13%以上の特性を示す薄板材開発するための合金組成に関する基礎情報を導出。	ダブルロール構造した特定の組成の合金を高温・高圧下で圧延すると、圧延まま材、溶体化処理材、T6処理材とも目標値を上回る特性を示すことを試験片レベルで証明。	○
	(4) 高強度Mg合金中板・厚板の開発 (名古屋守山分室)	高濃度のAlを添加したMg-Al-Ca-Mn系合金を対象として合金を設計、機械的特性を最大化するための合金基本組成を導出。	特定の組成の合金を特定の条件で圧延・焼鈍すると引張強度348MPa、伸び13%を示すことを試験片レベルで証明。	○
	(5) 難燃性Mg合金の微視的強化機構の解明 (再委託機関2)	平成27年度までに開発される難燃性Mg合金の微視的評価を行い、強化メカニズムを解明する。	難燃性Mg合金のベースとなるAZ91合金に特定の元素を微量添加することで析出による大きな強化が可能であることを見出した。	△
	(6) 難燃性Mg合金の高機能化技術に関する技術動向調査 (再委託機関3)	本事業で開発されるマグネシウム合金の汎用化、標準化への課題を明らかにする。	本事業で開発されるマグネシウム合金の汎用化、標準化への課題を明らかにする。	△
	(7) Mg材の評価手法(難燃性)の確立 (名古屋守山分室)	難燃性Mg合金の他の元素の濃度が発火温度に及ぼす影響を調査する。	難燃性Mg合金の他の元素の濃度が発火温度に及ぼす影響を調査する。	△
	(8) 難燃性Mg合金の腐食メカニズムの解明 (名古屋守山分室)	Al、Caの添加量を変えた難燃性マグネシウム合金の腐食特性、応力腐食特性を調査する。	Al、Caの添加量を変えた難燃性マグネシウム合金の腐食特性・応力腐食特性を調査する。	△
易加工性Mg材(押し材)の開発及び高強度Mg材(厚板)の基礎的検討 【一七二番号】 【一七三番号】 【一七四番号】	易加工性Mg材(押し材)の開発	引張強度250MPa以上、伸び15%以上、AZX311合金同等以上の難燃性、AZ31同等以上の押出速度を達成する押し材を開発。	ラボレベル及び実働機レベルにて機械的性質、押出速度の目標値を達成。 開発した合金組成による難燃性評価の検証は未実施。	△
	高強度Mg材(厚板)作製の基礎的検討	AZX311合金同等以上の難燃性、引張強度350MPa以上、伸び13%以上を達成する厚板3mm以上の難燃性合金圧延中板材の作製。	板厚3mm×幅95mmにおいて目標値を達成し、鋳造時の溶湯清浄化を実施することで強度と伸びのばらつきが低減した。	○
	高強度難燃性新合金の開発	・引張強度 $\geq$ 350MPa ・伸び $\geq$ 13% ・AZX311と同等以上の難燃性	急冷凝固鋳造したAMX901合金を高温・高圧下で圧延すると、圧延まま材、溶体化処理材、T6処理材とも目標値を上回る特性を示すことを試験片レベルで証明。	○
	高強度マグネシウム材の開発	引張強度350MPa伸び13%以上の機械的特性を発見する合金組成の導出	高い機械的特性が発見する合金組成の導出が完了した。	○
難燃性マグネシウム合金の評価手法(腐食性)の開発 【一七二番号】	1) 難燃性マグネシウム合金の塗装処理膜の特性評価及び腐食促進試験法の選定(小牧分室大日本塗料)	暴露1年後の結果を参考に相関性の有る促進試験方法の探索と評価。カレントインタラプター法のデータ蓄積。	暴露1年後の塗装膜によるデータ収集と付着強度確認。カレントインタラプター法の検証を実施。塗膜下腐食判定に使用可と判定データ収集継続。	△
	2) 難燃性マグネシウム合金の化成皮膜系塗装下地処理膜の特性評価及び母材の腐食特性評価 (再委託先機関1 ミリオン化学)	化成皮膜の化学的性質調査、構造解析、及び各種促進試験の探索による大気暴露試験との相関性を見いだす。	化成皮膜の元素成分量、範囲、形態特定、及び各種難燃性マグネシウム合金の腐食性調査比較実施。各種腐食促進試験実施比較し、適度な腐食量の試験方法を見いだした。	△
	3) 難燃性マグネシウム合金の陽極酸化皮膜系塗装下地処理膜の性能評価及び表面処理材の暴露試験評価 (再委託先機関2アート1)	開発合金を含めた陽極酸化膜の種々の腐食促進試験とその評価。および暴露試験の1年目の評価のまとめ。	AZX612合金の陽極酸化膜の種々の腐食促進試験において480時間までの腐食面積の評価を実施。また、平成26年度回収の暴露試験板に於ける腐食減量、浸食深さ等のデータ確認を実施。	△
	4) 難燃性マグネシウム合金表面処理材の耐食メカニズムの解明 (再委託先機関3 芝浦工業大学)	陽極酸化および化成処理皮膜の形成および耐食性メカニズムの解明	反応型および塗布型化成処理皮膜の特性比較および耐食性の評価(腐食電流密度: $6 \times 10^{-6}$ A/cm <sup>2</sup> 以下、電荷移動抵抗: $1540 \Omega$ cm <sup>2</sup> 以上)	○
難燃性マグネシウム合金の新調手法(疲労特性)の開発 【一七二番号】	① TIG溶接技術の確立	生産における最適な施工方法の把握と基礎接合技術の確立、継手効率70%以上	アルミニウム合金の施工法との比較により、大まかな接合条件範囲を明らかにした。平板突合せ継手では、継手効率70%以上を達成した。	○
	② MIG溶接技術の確立	生産における最適な施工方法の把握と基礎接合技術の確立、継手効率70%以上	板材突合せ溶接における接合条件範囲や課題を明らかにした。	○
	③ 摩擦攪拌接合(FSW)法の開発	生産における最適な施工方法の把握と接合技術の確立、継手効率70%以上、接合部組織及び表面酸化物の巻き込みが接合強度に与える影響の評価	アルミニウム合金の施工法との比較により、大まかな接合条件範囲や課題を明らかにした。 開発した拘束装置により拘束条件の変化が継手に及ぼす影響を確認した。	○
	④ 非破壊評価技術の開発	TIG溶接の接合品質モニタリング確立、長尺接合への対応	FSW法およびTIG溶接の接合品質モニタリングが可能となり、接合長が伸びた場合の計測法を開発した。	○
	⑤ 疲労特性評価法の確立	疲労強度特性に影響を及ぼす因子の評価および溶接プロセスの評価 マグネシウム合金構体の疲労最適設計法の指針	母材および溶接材の疲労破壊原因を明らかにし、疲労強度が破壊力学的に評価可能であることを示した。母材および溶接材の基礎的な疲労強度特性および破壊力学的評価に必要な特性を明らかにした。	○
	⑥ 破壊靱性特性の評価法の確立	難燃性マグネシウム合金の破壊メカニズムを理解し溶接・接合継ぎ手材の靱性評価に適用	結晶粒サイズと分散粒子サイズの異なる難燃性マグネシウム合金を独自創製した母材と接合継手の破壊靱性値取得に成功した。	○

	研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度
【テーマ番号10】 チタン材の工業製造 プロセス技術の開発	1.チタン低濃原料の溶解脱酸技術の開発	脱酸溶解手法の抽出(酸素濃度:300ppm以下)	スクラップやチタン鉱石等の低濃原料を模擬した初期酸素濃度の原料を300ppm以下(目標値以下)以下に脱酸できる世界初の溶解脱酸技術をラボ実験にて検証した。	○
	2.一貫製造プロセス技術の開発と強度・加工性に優れたチタン材の開発	現行材比で強度20%向上させるラボレベルでのコンセプトの抽出。	一貫製造プロセスのコンセプトを抽出すると共に、現行材比で強度20%向上させる材料コンセプトをラボ実験の結果から抽出した。	○
【テーマ番号11】 チタン薄板の革新的な 低コスト化技術の開発	高効率チタン薄板製造技術の開発	実験室規模で試作した冷間圧延板の無欠陥率99%以上(空陥率1%以下)	実験室規模で試作した冷間圧延板の無欠陥率99.8%以上(空陥率0.2%以下)	◎
	チタン新製錬技術の開発	アドバイザリーボードにて評価を行い、工業化のための技術課題の明確化、技術シーズの絞り込み、組合せ等を検討。 実験室規模で、鉄含有率2000ppm以下、酸素含有率1000ppm以下。	実験室規模で、2輪チタンイオンを含む溶融塩から電析して得られたチタンの酸素含有率70ppm、鉄含有率50ppm未満。 アドバイザリーボードにて技術課題を明確化。	○
【テーマ番号12】 高効率チタン材の 生産技術の開発	鉄濃度低減	ばらつき範囲50-500ppm、平均値200ppm以下を達成するための要素技術を開発	目標値を達成できるFe汚染低減技術をラボで確立した	○
	酸素濃度低減	ばらつき範囲100-200ppm、平均値150ppm以下を達成するための要素技術を開発	酸素の存在形態を定量的に解明した。 数十ppmの酸素汚染低減技術をラボで確立した。	△
	塩素濃度低減	平均値300ppm以下を達成するための要素技術を開発	これまで不明であったMgCl2分離の律則因子を解明した	△
革新炭素繊維基礎技術の開発	(1)新規炭素繊維前駆体化合物の開発	下記(2)の成果とあわせて、新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技術を開発し、新たな炭素繊維前駆体を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張強度率235GPa、破断伸度1.5%とする。	前駆体候補物質の絞り込みの結果、引張試験において、引張強度率が240GPa、破断伸度1.5%の炭素繊維が得られるなど、すでに目標値をクリアする結果を得ている。	◎
	(2)炭化構造形成メカニズムの解明	(1)の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張強度率235GPa、破断伸度1.5%とする。	PAN系前駆体を用いた耐炭化糸を使用したマイクロ波炭素化実験において、引張強度率247GPa、破断伸度1.7%を示す炭素繊維の製造に成功している。装置構造や運転条件の改良により、年度末までには目標を超える炭素繊維を連続的に炭素化できる見込みである。プラズマ表面処理技術については、計画を前倒しして、実用化に必要なスケールアップ技術の開発ステージに移行している。	◎
	(3)炭素繊維の評価手法開発、標準化	圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告(TR)としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント(LCA)に活用するためのデータを収集する。	縦方向圧縮試験、曲げ試験およびねじり試験方法については、年度内に標準仕様書(TS)の作成を完了する予定である。熱膨張率計測装置は、年度内に試験装置開発を完了し、評価手法を確立する予定である。熱可塑性樹脂との界面接着性については、4種類の手法について比較検討し、新規手法(引抜き法)を開発した。	◎
熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・応用加工技術の開発	(e)LFT-D成形の要素技術の開発	・炭素繊維と熱可塑性樹脂の混練体の流動特性と材料特性の関係を解析し、混練プロセスの最適条件を解明し、基礎的力学的モデルを提案する。 ・これらの解析に使用する初歩的CAE解析技術を開発する。	・物性に影響を与えるプロセスパラメータを特定、成形条件と材料物性の相関データを取得、分析実施。 ・混練及びプレス成形プロセスに関する最適基本条件を把握。 ・化学分析、繊維長・配向観察、力学特性、熱分析等の分析評価装置・手法を整備。 ・材料データテーブル初版作成。 ・CAE成形シミュレーションのパラメータ実験同定を行い、フロアパネル流動解析を実施。	○
	(f)大物高速成形技術の開発	・初歩的なボディ部材のプレス成形技術を開発。 ・部材剛性確保のためのLFT-D使用構造の部分補強を設計。 ・ハイブリッド成形構造を達成するためのマテハン技術構築の概念を決定。	・H25年度知見に基づき、設備改造を実施(フロン切断装置、保温搬送設備加熱方式等)、物性改善効果を確認。 ・マテハン、ロボット導入によりフロン投入の高速化達成。 ・LFT-D構造解析により軽量化目標達成の道筋を得た。フロアパネルの設計、金型製作・試作実施。サイドシル補強材設計に着手。 ・LFT-D/補強材ハイブリッド一体成形の成形基礎試験実施、最適条件に関するデータを取得。 ・成形板のバラスサーモグラフィNDIを実施、有用性、高速性を確認。	○
	(g)大物高速接合技術の開発	・熱可塑性CFRP使用部材同士を高速で接合できる方法を見極め、最適手法を選択する。	・超音波、レーザー、電磁誘導、金属/LFT-D融着、及びパンチマークとしての接着試験を実施、最適接合条件を把握。	○
	(h)意匠性外板製造技術の開発	・高意匠性を支配する技術要因を分析、基礎技術を見極めるとともに、候補素材を選定し、適用プロセスを絞り込む。	・表面形状(曲率、うねり、粗さ)、樹脂材質及び繊維含有率の反射率に関する基礎データを取得。	○
熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・加工基礎技術の開発	①熱可塑性CFRPと金属材料との接合技術の開発	熱可塑性CFRPと異種材料(鉄鋼、アルミ合金)との接合に必要な要素技術の見極め 各種接合方式、接合形状における強度設計に必要なデータベースの構築 実構造の接合部強度予測結果と、その実験結果の平均値との誤差を±10%以下とする接合技術の指針の策定と供試体による検証	熱可塑性CFRPと異種材料の接合に必要な接着剤と機械締結法を選定した 各種接合方式、接合形状における強度データベースの構築を行った 選定した手法による実験結果から、±10%以内の精度での強度予測は可能であると結論できた	△
	②(a)熱可塑性CFRPの中間基材の開発	当該年度の②(b)(c)(d)の目標を実現するための、中間基材の製造に係る要素技術の確立 曲げ剛性でスチール対比60%軽量化	②(b)(c)(d)からの要請に基づく中間基材を提供し、各々目標達成した 曲げ剛性でスチール対比60%軽量化を達成した	○
	②(b)熱可塑性CFRPの性能評価技術の開発	静的挙動に関わる開発材料固有の材料特性(面内せん断強度、面外せん断強度)の測定誤差(変動係数)が10%以下となる試験法の確立 特性評価値のCAE設計パラメータへの適用性の検証	静的面内せん断強度、静的面外せん断強度の測定誤差が10%以下となる試験法を考案し、検証中 得られた特性評価値を②(c)のCAEに用いることで、適用性が検証された	△
	②(c)熱可塑性CFRPを用いた構造設計技術の開発	開発部材における予測精度を剛性で±5%、強度で±10%とするCAE解析技術の確立	単純形状部材において、剛性で±5%、強度で±10%のCAE解析結果を得た	○
②(d)熱可塑性CFRPの成形加工技術の開発	開発した中間基材の加熱・加圧・二次加工方法などを検討し、現行数10MPaのサイクル成形圧力を10MPa以下とするための周辺要素技術基盤の構築	開発した中間基材で10MPa以下でのスタンピング成形が可能となったが、形状が複雑となると高圧が必要となり、引き続き対応を検討している	○	

	研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度
アルミニウム/CFRP接合技術の開発 【テーマ番号(01)】	プロセス開発	Al/熱可塑性CFRPのFLJでCFRP母材破壊レベル(樹脂はPP、PA、PPS)	①接合ポテンシャル把握 ・接合部短時間昇温可能 数秒で400℃以上 ・Al/CFRP射出成形品 CF/PA6、PP、PPSで母材破壊レベル到達 ・意匠面(外観)部品には適用が難しいことがわかった。 ②接合メカニズム解析 FLJ前後ではAl表面の組成変化を確認	△
	CFRP設計	Al/熱可塑性CFRPのFLJでCFRP母材破壊レベルとなるCFRP設計(樹脂はPP、PA、PPS)	③指針確立(熱可塑性) 既存CFRP射出成形品CF/PA6、PP、PPSで母材破壊レベル到達 ④接合基材設計 FLJでの適用可能性を確認済み	△
	接合データベース構築	Al/熱可塑性CFRP(樹脂はPP、PA、PPS)のDB構築	⑤適正接合条件設定 Al/CFRP射出成形品CF/PA6で条件マップ作成 ⑥接合法ベンチマーク FLJ条件確立に注力	△
炭素繊維/樹脂接合技術の開発 【テーマ番号(02)】	抵抗スポット溶接	1.2GPa中高炭素鋼板でJIS-A級の70%の継手強度	新スポット溶接でナゲット拡大により、せん断継手強度目標を達成した。	○
	継手接合	1.2GPa中高炭素鋼板で継手効率70%以上	・レザラについては実質接合範囲の拡大と溶接金属部の組織改善により継手の目標強度を達成した。 ・FSWについては低入熱溶接により接合強度改善が見込まれており、その知見の適用で目標特性達成を図る。	○ △
中高炭素鋼の革新接合技術の開発 【テーマ番号(03)】	1-1)アークスポット溶接部の静的継手特性改善(新日鐵住金)	中高炭素鋼溶接部の評価、小型部材モデルの評価	0.45C中高炭素鋼で、抵抗スポット溶接に対する強度向上効果を確認	△
	1-2)継手疲労特性の解明(名古屋大学)	0.45C中高炭素鋼のアークスポット溶接部の疲労強度特性評価	0.45C中高炭素鋼で、抵抗スポット溶接に対する強度向上効果を確認	○
	1-3)溶接残留応力の影響明解(大阪府立大学)	残留応力解析技術の構築	溶接部残留応力の数値解析技術の構築	△
	1-4)アークスポットプロセスの解析(新日鐵住金)	アーク挙動とワイヤ成分、溶接姿勢の影響調査	アーク点火時のスパッタ発生状況観察、改善条件を提示。	○
	1-5)溶接部形状の数値解析技術(大阪大学)	シミュレーション手法の構築	アークスポット溶接ビード形状の数値解析技術の構築	○
	2-1)摩擦接合による継手性能評価(新日鐵住金)	C量、強度レベルの異なる中高炭素鋼の適正接合条件の明確化	0.45C材の摺動条件と強度特性、組織のデータ蓄積	○
	2-2)摩擦接合プロセスの開発(大阪大学)	中高炭素鋼の摩擦接合界面組織の解析と継手特性への影響把握	FSWにおいて細粒化組織が得られる接合条件を把握 FSWL装置の立ち上げ	△
	2-3)溶接部特性への金属組織の影響明解(秋田大学)	FSLW接合プロセスの開発とその継手特性評価	成分・強度レベルの異なるFSW継手を作成し、各接合条件での接合部組織を把握	○
	2-4)摩擦攪拌接合の数値解析技術の化初(大阪大学)	シミュレーション手法の構築	FSJ接合のモデリングトライ。精度UP検討中	△
	FSW法の開発	予熱・後熱プロセスを有するFSW法(PHM-FSW法)の適合性の検証	FSW施工性を向上するために必要な予熱機能の仕様を確認済み。装置導入後、適合性の検証予定。	△
アルミニウム/鋼板の点接合技術 【テーマ番号(04)】	継手性能	既存FSW法において、厚さ2mm、強度1.2GPa以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ≧母材強度の70%を実現	既存FSW法において、厚さ2mm、強度1.2GPaの中高炭素鋼を用いて継手を作製。接合継手の引張せん断強さ母材強度の平均80%以上を前倒して達成	◎
	アルミニウム/鋼板の点接合技術	・試験片の接合強度でJIS Z3140-A級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断を実現	・低目付の亜鉛メッキ鋼板との組合せで引張せん断荷重は目標値のほぼ2倍の4.4kNを達成した。	◎
	アルミニウム/CFRPの点接合技術	・試験片の接合強度でJIS Z3140-A級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断を実現	・アルミニウム側に表面処理を施すことで引張せん断荷重は目標値の2倍の5.0kNを達成した。無処理でも4kNレベル。	○
	異材接合部の評価解析	・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立 ・アルミニウム/鋼板、アルミニウム/CFRPの熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立 ・高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の基本仕様決定	・アルミニウムとCFRPの電位差で生じる腐食電流を直接計測できる電気化学的評価システムを構築した。 ・実部材の熱歪みを定量的に再現できABAQUSをベースとした熱歪み解析手法を開発した。 ・高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の基本仕様を決定した。	△
中高炭素鋼/中高炭素鋼のフラスコ型点接合技術の開発 【テーマ番号(05)】	(1-1) ツール素材開発	1.2GPa級中高炭素鋼の接合に対して、破損せずに確実に接合できるツール素材を開発する。	素材組成の異なるツールを試作し、1.2GPa級中高炭素鋼接合に対し破損せずに確実に接合可能な素材を選定。更に組成の改良を進め耐摩耗性、耐酸化性を改善。	◎
	(1-2) コーティングの開発	種々のコーティング物質や層構造について検討し、摩擦係数などの基礎データを蓄積する。	各種コーティングの摩擦係数、耐摩耗性、硬度、密着性、耐酸化性に関する基礎データを取得。暫定最適層を選定。	○
	(1-3) ツール形状の開発	1.2GPa級中高炭素鋼(1.5mm)においてJIS-A級強度(14.4kN)の70%を超える継手強度を達成する。	ツール形状の最適化により、1.2GPa級中高炭素鋼(1.4mm)においてJIS-A級強度の100%の継手強度を達成。	△
	(2-1) ツール性能の評価	ツールの自動評価システムを構築する。	自動評価システムの構築は完了。運用中に細部を改善して完成度を高めつつ、ツールや継手の評価試験に供した。	○
	(2-2) 接合装置開発	接合条件開発用の接合ガンおよび高ツール加圧力に対応した小型軽量ガンを試作する。	接合条件開発用ガンの試作と条件選定試験を完了し、1.2GPa級中高炭素鋼の接合に適した小型軽量ガンの設計指針を取得した。さらに小型軽量ガンの試作・評価を実施中(H27年度)。	△
	(2-3) 接合プロセス開発	接合条件と形成組織の関係や、ツール形状と継手強度の関係などの基礎的知見を得るとともに、中高炭素鋼に適した入熱制御プロセスを開発する。	自動評価システムを用いた接合条件開発や継手評価を通じて中高炭素鋼の接合性を把握した。また、1.2GPa級中高炭素鋼の接合部の特性を改善するプロセスを開発した。	○
	(3-1) 接合性評価	1.2GPa級中高炭素鋼を試作し、鋼板継手強度、組織調査により、継手強度の支配因子を把握するとともに、小型ハットモデル部材特性を調査する。	0.14Cの1.2GPa級冷延鋼板および0.45Cの鋼板の強度レベル1.2GPa調整鋼を供試鋼として提供した。これらの鋼によるFSJ継手の接合組織、継手強度を調査し、0.45C鋼の特徴を把握した。	○
	(3-2) 鋼板開発(材料設計、プロセス設計)	強度レベルや組成が異なる鋼板を試作し、FSJ継手特性改善に有効な材料・接合プロセス指針を得る。	0.35~0.55Cの強度レベルの鋼板を試作し、その高温硬度特性を調査するとともに、FSJ継手を作成し継手特性を調査した。	○
	(4-1) 組織観察	1.2GPa級鋼板の接合部について金属組織の詳細観察や硬さ分布から温度と形成組織の関係を調査する。	1.2GPa級中高炭素鋼の摩擦攪拌接合継手における組織形成ならびに機械的特性を支配する材料組織学的因子を明らかにした。	○
	(4-2) 接合メカニズムの解明	接合界面トレース方法の検証と接合界面近傍の組織について詳細に観察する。	トレーサーにより接合プロセス中のフック(継手強度試験における破断経路)の形成機構を解明した。界面組織についても検証着手(H27年度)。	△
鋼材/CFRP等樹脂材料の接合技術開発 【テーマ番号(07)】	鋼材/CFRP等樹脂材料の接合技術開発	設計に必要な材料データベースの構築	対象とするCFRP素材を試作し必要となる各種材料データを取得、データベース化した。	○
	重継手せん断引張:母材破断		鋼材/CFRP接着継手にて母材破断を達成。鋼材/樹脂継手ではいずれの手法でも母材破断を達成。	○
FSW装置開発 【テーマ番号(08)】	FSW装置開発	設計技術の確立	油圧駆動方式により、従来の約1/2サイズの小型ヘッドの設計達成	○
	接合技術開発	接合材強度:母材強度の90%以上(接合深さ5mm以上)	接合深さ約6mmの接合材で母材と同等の引張強度を達成	○
	FSWツール開発	接合深さ:5mm以上の実証	接合深さ約6mmを達成	◎



	研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度	
水和物架橋低温接合技術の開発 【テーマ番号09】	1-1)接合用表面素材の作製	表面凹凸状態を変えた水和物架橋接合用素材の作製 (本接合に適した表面状態の把握)	アルミ試験体(4種)を作成し、表面処理技術検討に提供。接合性に有利な表面状態を把握	○	
	1-2)接合前表面処理技術の検討	表面汚染物分子層や酸化物を減少させる表面処理技術の開発	鋼、7Mに對する真空紫外光(VUV)による表面清浄化効果を確認し、最適条件を把握	○	
	1-3)大気圧下での水和物架橋低温接合技術の検討	水蒸気などを含む大気圧雰囲気において脱水縮合反応を可能とする条件を把握	鋼/アルミ接合において水蒸気を含むN2雰囲気中で、水和物架橋接合を確認。本プロセスの表現性能を評価	△	
	1-4)水和物架橋低温接合界面の解析	得られた接合界面層の解析及び接合界面の強度試験における破壊経路の解析	接合界面にはFe、Alが存在するが、Fe、Alの7M状の架橋層(酸化物)を介した接合がなされていることを確認	△	
	2-1)静的継手強度特性の評価	得られた継手の静的強度の評価及び従来技術による継手との比較	接合前処理条件を変えた鋼/7Mの接合強度を把握	△	
	2-2)継手破壊様式の界面メカニクス解析	接合界面の破壊様式に配慮した界面メカニクス解析手法の提案	界面接合強度(ひすみE開放率)の測定手法提案、鋼/Al接合体での評価	△	
	①技術分野分科会	構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。		・共通課題として鉄鋼分野における中性子利用等の先端計測技術、非鉄分野における分析技術・シミュレーション技術、接合分野における異材接合向接着技術等を提案した。 ・戦略基盤分科会専門委員各位の研究アクティビティの紹介をISMA講演会として毎月開催し、情報提供を行った。	○
		②技術動向調査		モーターショー(@ジュネーブ&パリ)、ダイヤモンド、BMW、ミュンヘン工科大学、シュツットガルト大学や米国DOEプロジェクト受託機関等欧米における自動車軽量化技術、特に新規材料開発に係わる研究機関やメーカーを訪問し、最新の情報を収集した。	○
		③FS課題抽出・ステアリング委員会開催		構造解析向中性子利用技術および構造材料用接着技術を新規FS課題としてテーマアップし、平成27よりFS研究としてスタートした。	○
	技術動向調査分析	金属材料同士の接合技術および周辺技術の調査と技術開発の方向性・戦略に関する提言	金属材料同士の接合技術、金属材料/CFRP、CFRP材料(熱可塑性)について重要課題を抽出すると共に技術開発のベンチマークを実施。 (平成25,26年度)	△	
	熱可塑性樹脂複合材料に関する調査	マトリックス材料としての最近の動向および課題抽出	CFRTPの自動車用途展開について可能性と課題を集約した。	○	
	炭素繊維および新規ファイバーに関する調査	CF表面処理剤の動向および課題抽出およびセルロースナノファイバーの動向調査	熱可塑性樹脂をマトリックスにした際のCF表面処理の必要性、および、セルロースナノファイバーの開発状況を集約	○	
	異種材料接合に関する調査	CFRPと金属などの接合技術に関する調査を実施し、マルチマテリアル化の技術動向を調査	接着剤を使用しない接合技術の初期調査を実施した	△	
	共通基盤技術の研究調査	構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針の提言、実用化に向けた課題の抽出等を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。	戦略・基盤分科会との連携により、研究調査内容のプロジェクト内への展開や新技術の提言を行った。また、関連他省プロジェクト(元素戦略、SIP)との連携を進めた。	○	
	チタン合金の製造技術開発	Ti-Mn-Mo合金の創製		○	
	発泡アルミニウムの加工技術の研究開発	バルク加工の優位性を考察		○	
	新たな研究分野の設定	FS課題の設定	2課題設定	△	
	FS課題の技術動向および適用技術の動向調査	FS課題進捗に関して組員への情報発信	国内外のユーザー、国外の研究機関とWS開催	△	
	材料および信頼性設計技術の開発	特性値への材料工学的要因の特定	鉄鋼、アルミニウム、CFRPにて材料工学的要因を特定できた。	△	
	15世代中性子源の開発	電子入射システムとモジュレータの新造	鉄鋼材料の元素分析専用機として保有装置の性能を3倍向上	△	
小型中性子線源を用いた計測精度の明確化	共通試料を用いた計測評価を実施し優位性を検証する。	Spring 8やJPARCの大型装置と計測性能を比較している。	△		
小型装置開発のための設計検討	小型加速器の設計を提案	遮蔽についてシミュレーションで検討中	△		
接着機構解明に向けた界面の分析手法・研究方法論の検討	量子ビームにより、接合機構や化機構などを明らかにする	界面化学反応、ウエークボンド、劣化機構を検討中	△		
検査手法の検討	その適用可能性を検証	ウエークボンドの検出、並びに接着前表面の汚染検出を検討中	△		
投稿論文	「査読付き」25件、「その他」2件				
特許	「出願済」55件、「公開」4件、「登録」3件、「実施」0件(うち国際出願8件) 特記事項:				
その他の外部発表(プレス発表等)	251件				
IV. 実用化・事業化の見通しについて	本中間評価の平成27年度の間目標も軒並みどのテーマでも達成見込みであり、平成26年度末で既に前倒し達成しているテーマもある。平成29年度の5年目の中間目標もほぼ達成可能の見込みであり、テーマによってはサンプル出荷の検討を開始している。				
V. 基本計画に関する事項	作成時期	平成26年3月 作成			
	変更履歴				



プロジェクト用語集

テーマ1 「革新鋼板の開発」

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
TRIP（変態誘起塑性）	Transformation Induced Plasticity	鉄鋼材料で室温において準安定なオーステナイトを含有する鋼を変形させた際に起こる延性向上に寄与することができる現象のことで、加工中にオーステナイトからマルテンサイトへの変態が誘発されることで加工硬化率が増大し、伸びが上昇する。
TWIP（双晶誘起）	Twining Induce Plasticity	鉄鋼材料で室温において安定なオーステナイトを含有する鋼を変形させた際に起こる延性向上に寄与することができる現象のことで、加工中にオーステナイト中に双晶変形が誘発されることで加工硬化率が増大し、伸びが上昇する。
残留 $\gamma$	Retained Austenite	一般に Fe において高温域で安定で、室温では不安定なオーステナイトが室温に準安定状態で残存した組織。
Q&P	Quench & Partitioning	高強度・高延性組織の製造プロセスの名称、または、鋼を後に着けてそのプロセスで製造した鋼のことを示す。 焼鈍時に高温域から 100~300℃程度の温度域に焼入れ(quench)したのち、炭素の分配(partitioning)を行うための再加熱を行うプロセス。
J-PARC(大強度陽子加速器施設)	Japan Proton Accelerator Research Complex	高エネルギー加速器研究機構と日本原子力研究開発機構が共同で建設を進めている大強度陽子加速器施設。金属材料の分析に有効な強力な中性子線を発生させられる。
Bragg Edge 解析	Bragg Edge Analysis	中性子や X 線を結晶性物質に照射した際に回折が起こる条件(Bragg の条件)付近で、透過する中性子や X 線の強度が変化する状態を用いた結晶構造の解析手法。バルク材の透過情報を解析可能なため、材料全体の組織情報を正確に解析できる。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
S35C	S35C	0.35%炭素鋼
S50C	S50C	0.50%炭素鋼
FE-SEM	FE-SEM (field-emission SEM)	電界放射型走査電子顕微鏡
FIB	FIB (focused ion beam)	集束イオンビーム。数 keV~30keV のガリウムイオンビームで、SEM,TEM 用の断面試料を作製する装置。
EBSD	EBSD (electron backscatter diffraction)	後方散乱電子回折を利用して、結晶性試料の方位解析をする方法。
SIM	SIM (scanning iron microscope)	走査イオン顕微鏡。集束イオンビームで試料を走査したとき放出される 2 次電子を信号として可視化した像。組成コントラスト、結晶方位コントラストが SEM 像に比べて強く現れる。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
複層鋼板	Multilayered Steel	異種鉄鋼材料の「複層化」によって高強度と高延性を狙う「積層型高強度鋼板」
FRP	FRP (Fiber reinforced plastics)	繊維強化プラスチック マトリックスのプラスチックに繊維を入れて強化した材料。
FRM	FRM (Fiber reinforced metals)	繊維強化金属 マトリックスの金属に繊維を入れて強化した材料。
TLP 接合	Transient Liquid Phase Diffusion Bonding	液相拡散接合

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
耐水素脆化	hydrogen embrittlement	鋼中に含まれる水素により鋼材の強度や延靱性が低下する現象
FEM	Finite Element Method	数値解析の方法の一種で、複雑な形状・性質を単純な小部分に分割することで近似し、全体の挙動を予測する手法
第一原理計算	first-principles calculation、Ab initio calculation	量子力学のシュレディンガー方程式に則って、物質中の電子運動を計算する方法
分子動力学法	molecular dynamics method	古典力学におけるニュートン方程式によって原子・分子の運動を計算することで、系の静的、動的安定構造や、動的過程を解析する手法。

テーマ2 「革新的アルミニウム材の開発」

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
高強度	high strength	引張強さが大きいこと
引張強さ	tensile strength	引張試験での最大荷重応力
耐力	yield strength	塑性変形が開始する応力。明瞭な降伏点を示さないアルミニウム合金などでは、引張試験において 0.2%の永久歪みを生じるときの応力で 0.2% offset proof stress ともいう。
伸び	elongation	引張試験において、引張試験後の破断した試験片の永久伸びを元の長さで除した値を百分率で示す。
靱性	toughness	材料の粘り強さを表す特性。
延性	ductility	材料が弾性限界を超えた張力を受けても破壊されずに引き延ばされる性質。
鋳造合金	casting alloy	鋳造に使われる合金
リージョナルジェット	regional jet	地域間輸送用旅客機。概ね 50～100 席クラスの小型のジェット機で大型、中型のジェット機よりも低騒音で必要な滑走路延長も短いという特徴をもつ。
亜結晶粒	subgrain	加工組織（転位組織）から回復過程において形成された安定な転位網（亜粒界）によって囲まれた領域。
マトリックス	matrix	母相と呼ばれ、金属間化合物を除いたアルミニウム合金の素地の部分を指す。
金属間化合物	intermetallic compound	2 種類以上の金属からなる化合物。凝固の際に結晶粒界に生成する比較的粗大なものを指すことが多い。
破壊靱性	fracture toughness	破壊に対する抵抗を表す特性。
疲労亀裂伝播特性	fatigue crack propagation property	亀裂が繰返し応力によって進展（伝播）する特性。亀裂の進展が小さいほど好ましい。

疲労特性	fatigue property	繰返し応力によって内部損傷が発生し、破断に至る特性。10 <sup>7</sup> 回のサイクルに耐える応力を疲労限と呼び、高い値を持つことが好ましい。
応力腐食割れ	stress corrosion cracking	腐食環境下で応力が負荷されると亀裂の進展が促進される現象。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
イオン液体	Ionic liquid	イオンのみで構成される液体。高導電性、難燃性、低常気圧といった特徴をもち。親水性のもの、疎水性のものなど多くの種類がある。室温（常温）熔融塩と呼ばれることもある。
EMIC	1-ethyl-3-methyl imidazolium chloride	AlCl <sub>3</sub> -EMIC イオン液体の原料の一つ。吸湿性があるため、不活性ガス雰囲気で使用される。
塩化アルミニウム	Aluminum chloride	AlCl <sub>3</sub> で表されるアルミニウムの金属塩。イオン液体の原料の一つ。
AlCl <sub>3</sub> -EMIC イオン液体	AlCl <sub>3</sub> -EMIC ionic liquid	AlCl <sub>3</sub> と AlCl <sub>3</sub> を所定のモル比で混合して得られるイオン液体のこと。アルミニウムの電析には AlCl <sub>3</sub> :EMIC=2:1 の酸性浴が主に使用される。
熔融塩	Molten salt	熔融状態にある塩のこと。水を含まないため、電気化学的に卑な金属を析出することが可能。アルカリ金属、アルカリ土類金属、アルミの製錬等に使用される。
めっき	plating	還元反応を利用し、所望の物質表面に金属の膜を形成させる手法。防食性、装飾性、機能性等を付与することが可能。
電析	Electrodeposition	電気分解により、カソードに還元生成物を析出させること。
電解アルミニウム箔	Electrolytic aluminum foil	電解銅箔の手法でアルミ箔を製造する方法。ただし、アルミニウムを析出させるには水溶液を使用できないため、非水溶液および非水溶液を使用できる環境の整備が必要となる。実用化されていない。

電解銅箔	Electrolytic copper foil	カソードドラムに析出させた銅を剥がし、連続的に巻き取ることで薄箔を製造する方法。リチウムイオン二次電池負極集電体に使われている。
アノード	anode	電極をつないで電気回路形成した際に、電子を放出する側の電極のこと。
カソードドラム	Cathode drum	工業的には電解銅箔製造工程で使用されているドラム上のカソード。電気分解により表面に金属を析出させるのに使用。
グローブボックス	Glove box	内部に手を入れられるゴム手袋（グローブ）がついている密閉容器のことで、不活性ガス雰囲気置換して作業ができるようになっている。
バイヤー法	Bayer process	ボーキサイト中のアルミナを抽出する方法。水酸化ナトリウムに溶かし、水酸化アルミニウムを製造し、それを脱水することでアルミナを抽出する。ホール・エルー法と併せて使用される。
ホール・エルー法	Hall-Heroult process	現在実用化されている唯一のアルミニウム製錬方法。氷晶石とフッ化ナトリウムからなる高温熔融塩中にアルミナを溶解させ、電気分解によりカソードにアルミニウムを析出させる。
ボーキサイト	bauxite	アルミニウムの原料となる鉱石。アルミナを含む。
アルミナ	alumina	酸化アルミニウム ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) の通称
水酸化アルミニウム	Aluminum hydroxide	$\text{Al}(\text{OH})_3$ で表されるアルミニウムの水酸化物。バイヤー法で製造される。
電解製錬	Electrolytic smelting	電気分解を利用し、鉱石から所望の金属を製造する方法。
電解精製	electrorefining	純度の低い金属をアノードにして電気分解することでカソードに純度の高い金属を析出させる手法のこと。高純度の銅やニッケルなどを得る方法として使用されている。
リチウムイオン二次電池	Lithium ion battery	電解質中のリチウムイオンが電気伝導することで充放電可能な二次電池。高容量で小型軽量の二次電池。

圧延アルミニウム箔	Rolling aluminum foil	圧延で製造されるアルミ箔のこと。実用化されている一般的なアルミ箔の製造方法。圧延回数が増える（薄箔化する）とコストが高くなる。
集電体	Current collector	活物質、導電剤等を塗布する電池電極材料。リチウムイオン二次電池では負極に銅、正極にアルミが使用されている。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特になし。

テーマ3 「革新的マグネシウム材の開発」

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
A6N01 合金	A6N01 alloy	Al-Si-Mg 系アルミニウム合金。構造材として中強度の押出用合金。溶接性に優れる。
A7N01 合金	A7N01 alloy	Al-Zn-Mg 系アルミニウム合金。6N01 合金と比較すると押出特性は劣るが、強度特性に優れた合金。
AZX311 合金	AZX311 alloy	Mg-3mass%Al-1mass%Zn-1mass%Ca合金。比較的高い延性を有するAZ31 合金に1mass%Caを添加した合金。
AZ31 合金	AZ31 alloy	展伸用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-3mass%Al-1mass%Zn 合金)。
引張強度	Tensile strength	材料に引張り変形を加えた際に、破断する前に材料に表れる最大の引張応力。
伸び・延性	Elongation	材料が破断する直前における最大の変形量（ひずみ）を伸びと呼び、もとの長さに対する比率として表す。
難燃性	Non combustible	材料が熱や炎に直接さらされた際に、発火に対して抵抗する性質。
時効処理	Aging treatment	金属材料を高温から室温などへ急冷した後、ある温度に材料を保持することで材料の硬さを増加させる処理。最も硬くなる条件をピーク時効と言う。
析出	Precipitation	温度による溶解度の変化で材料中に溶け込んでいた原子がもとの材料からはみだし、もとの材料とは異なる結晶をつくる現象。この時に作られた結晶を析出物という。
応力腐食	Stress corrosion	それだけでは腐食を生じなかったようなある腐食環境化で、応力下にある領域が受ける選択的な腐食。
疲労	Fatigue	静的破壊力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象。
靱性	Toughness	破断する前にエネルギーを吸収する性質。



表面処理	Surface treatment	金属材料が腐食するのを防護するためにめっき、塗装などを行うこと。
ヤング率	Young's modulus	固体を単純に引っ張ったり圧縮したりした場合、長さの弾性変形と外力を結び合わせる比例定数。
構体	Railway car body	鉄道車両の車体において、台枠・骨組・外板などで構成され車体の強度を担う部分。
側構体	Side body structure	構体の進行方向左右にある部分。
妻構体	Gable end body structure	鉄道車両の連結面側の壁部分。
台枠	Under frame	上部構造の重量を支え、形を安定させるための構造。
T6 処理	T6 treatment	溶体化処理を施した後に、人工時効硬化処理を行う処理。
溶体化処理	Solution treatment	材料を十分に加熱して合金成分を固体に溶解させ（固溶）、その後冷却する処理。
底面集合組織	Basal texture	六方晶の上面と下面を底面と呼び、底面が特定の方位に揃った組織。
AZ91 合金	AZ91 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-9mass%Al-1mass%Zn 合金)。
AM60 合金	AM60 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Mn 系マグネシウム合金(Mg-6mass%Al-0.2mass%Mn 合金)。
AMX601 合金	AMX601 alloy	AM60 合金に 1mass%の Ca を添加した合金。
AZX912、AMX602 合金	AZX912 and AMX602 alloys	AZ91 合金および AM60 合金に 2mass%の Ca を添加した合金。
DTA	Differential thermal analysis	試料と基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、その試料と基準物質との温度差を温度の関数として測定する方法。
EPMA	Electron probe microanalyser	電子線を対象物に照射する事により発生する特性 X 線の波長と強度から構成元素を分析する装置。

孔食	Pitting	特定の小部分で腐食が発生する腐食形態の一つ。
晶出	Crystallization	液相から固相が分かれて生成すること。

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
A6N01 合金	A6N01 alloy	Al-Si-Mg 系アルミニウム合金。構造材として中強度の押出用合金。溶接性に優れる。
A7N01 合金	A7N01 alloy	Al-Zn-Mg 系アルミニウム合金。6N01 合金と比較すると押出特性は劣るが、強度特性に優れた合金。
AZX311 合金	AZX311 alloy	Mg-3mass%Al-1mass%Zn-1mass%Ca合金。比較的高い延性を有するAZ31合金に1mass%Caを添加した合金。
AZ31 合金	AZ31 alloy	展伸用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-3mass%Al-1mass%Zn 合金)
引張強度	Tensile strength	材料に引張り変形を加えた際に、破断する前に材料に表れる最大の引張応力
伸び・延性	Elongation	材料が破断する直前における最大の変形量（ひずみ）を伸びと呼び、もとの長さに対する比率として表す。
難燃性	Flame resistance	材料が熱や炎に直接さらされた際に、発火に対して抵抗する性質
時効処理	Aging treatment	金属材料を高温から室温などへ急冷した後、ある温度に材料を保持することで材料の硬さを増加させる処理。最も硬くなる条件をピーク時効と言う。
析出	Precipitation	温度による溶解度の変化で材料中に溶け込んでいた原子がもとの材料からはみだし、もとの材料とは異なる結晶をつくる現象。この時に作られた結晶を析出物という。
応力腐食	Stress corrosion	それだけでは腐食を生じなかったようなある腐食環境化で、応力下にある領域が受ける選択的な腐食

疲労	Fatigue	静的破壊力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象
靱性	Toughness	破断する前にエネルギーを吸収する性質
表面処理	Surface treatment	金属材料が腐食するのを防護するためにめっき、塗装などを行うこと。
ヤング率	Young's modulus	固体を単純に引っ張ったり圧縮したりした場合、長さの弾性変形と外力を結び合わせる比例定数。
構体	Railway car body	鉄道車両の車体において、台枠・骨組・外板などで構成され車体の強度を担う部分である。
側構体	Side body structure	構体の進行方向左右にある部分
妻構体	Gable end body structure	鉄道車両の連結面側の壁部分
台枠	Under frame	上部構造の重量を支え、形を安定させるための構造
T6 処理	T6 treatment	溶体化処理を施した後に、人工時効硬化処理を行う処理
溶体化処理	Solution treatment	材料を十分に加熱して合金成分を固体に溶け込ませ（固溶）、その後冷却する処理
底面集合組織	Basal texture	六方晶の上面と下面を底面と呼び、底面が特定の方位に揃った組織
AZ91 合金	AZ91 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-9mass%Al-1mass%Zn 合金)
AM60 合金	AM60 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Mn 系マグネシウム合金(Mg-6mass%Al-0.2mass%Mn 合金)
AMX601 合金	AMX601 alloy	AM60 合金に 1mass%の Ca を添加した合金
AZX912、AMX602 合金	AZX912 and AMX602 alloys	AZ91 合金および AM60 合金に 2mass%の Ca を添加した合金
DTA	Differential thermal analysis	試料と基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、その試料と基準物質との温度差を温度の関数として測定する方法

EPMA	Electron probe microanalyser	電子線を対象物に照射する事により発生する特性 X 線の波長と強度から構成元素を分析する装置
孔食	Pitting	特定の小部分で腐食が発生する腐食形態の一つ
晶出	Crystallization	液相から固相が分かれて生成すること

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
A7N01 合金	A7N01 alloy	Al-Zn-Mg 系アルミニウム合金。6N01 合金と比較すると押出特性は劣るが、強度特性に優れた合金。
AZX311 合金	AZX311 alloy	Mg-3mass%Al-1mass%Zn-1mass%Ca 合金。比較的高い延性を有する AZ31 合金に 1mass%Ca を添加した合金。
引張強度	Tensile strength	材料に引張り変形を加えた際に、破断する前に材料に表れる最大の引張応力
伸び・延性	Elongation	材料が破断する直前における最大の変形量（ひずみ）を伸びと呼び、もとの長さに対する比率として表す。
難燃性	Flame resistance	材料が熱や炎に直接さらされた際に、発火に対して抵抗する性質
時効処理	Aging treatment	金属材料を高温から室温などへ急冷した後、ある温度に材料を保持することで材料の硬さを増加させる処理。最も硬くなる条件をピーク時効と言う。
析出	Precipitation	温度による溶解度の変化で材料中に溶け込んでいた原子がもとの材料からはみだし、もとの材料とは異なる結晶をつくる現象。この時に作られた結晶を析出物という。
疲労	Fatigue	静的破壊力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象
靱性	Toughness	破断する前にエネルギーを吸収する性質
表面処理	Surface treatment	金属材料が腐食するのを防護するためにめっき、塗装などを行うこと。

ヤング率	Young's modulus	固体を単純に引っ張ったり圧縮したりした場合、長さの弾性変形と外力を結び合わせる比例定数。
構体	Railway car body	鉄道車両の車体において、台枠・骨組・外板などで構成され車体の強度を担う部分である。
側構体	Side body structure	構体の進行方向左右にある部分
妻構体	Gable end body structure	鉄道車両の連結面側の壁部分
台枠	Under frame	上部構造の重量を支え、形を安定させるための構造
T6 処理	T6 treatment	溶体化処理を施した後に、人工時効硬化処理を行う処理
溶体化処理	Solution treatment	材料を十分に加熱して合金成分を固体に溶け込ませ（固溶）、その後冷却する処理
AZ91 合金	AZ91 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-9mass%Al-1mass%Zn 合金)
晶出	Crystallization	液相から固相が分かれて生成すること

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
A6N01 合金	A6N01 alloy	Al-Si-Mg 系アルミニウム合金。構造材として中強度の押出用合金。溶接性に優れる。
A7N01 合金	A7N01 alloy	Al-Zn-Mg 系アルミニウム合金。6N01 合金と比較すると押出特性は劣るが、強度特性に優れた合金。
AZX311 合金	AZX311 alloy	Mg-3mass%Al-1mass%Zn-1mass%Ca 合金。比較的高い延性を有する AZ31 合金に 1mass%Ca を添加した合金。
AZ31 合金	AZ31 alloy	展伸用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-3mass%Al-1mass%Zn 合金)。
引張強度	Tensile strength	材料に引張り変形を加えた際に、破断する前に材料に表れる最大の引張応力。

伸び・延性	Elongation	材料が破断する直前における最大の変形量（ひずみ）を伸びと呼び、もとの長さに対する比率として表す。
難燃性	Non combustible	材料が熱や炎に直接さらされた際に、発火に対して抵抗する性質。
時効処理	Aging treatment	金属材料を高温から室温などへ急冷した後に、ある温度に材料を保持することで材料の硬さを増加させる処理。最も硬くなる条件をピーク時効と言う。
析出	Precipitation	温度による溶解度の変化で材料中に溶け込んでいた原子がもとの材料からはみだし、もとの材料とは異なる結晶をつくる現象。この時に作られた結晶を析出物という。
応力腐食	Stress corrosion	それだけでは腐食を生じなかったようなある腐食環境化で、応力下にある領域が受ける選択的な腐食。
疲労	Fatigue	静的破壊力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象。
靱性	Toughness	破断する前にエネルギーを吸収する性質。
表面処理	Surface treatment	金属材料が腐食するのを防護するためにめっき、塗装などを行うこと。
ヤング率	Young's modulus	固体を単純に引っ張ったり圧縮したりした場合、長さの弾性変形と外力を結び合わせる比例定数。
構体	Railway car body	鉄道車両の車体において、台枠・骨組・外板などで構成され車体の強度を担う部分。
側構体	Side body structure	構体の進行方向左右にある部分。
妻構体	Gable end body structure	鉄道車両の連結面側の壁部分。
台枠	Under frame	上部構造の重量を支え、形を安定させるための構造。
T6 処理	T6 treatment	溶体化処理を施した後に、人工時効硬化処理を行う処理。

溶体化処理	Solution treatment	材料を十分に加熱して合金成分を固体に溶け込ませ（固溶）、その後冷却する処理。
底面集合組織	Basal texture	六方晶の上面と下面を底面と呼び、底面が特定の方位に揃った組織。
AZ91 合金	AZ91 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-9mass%Al-1mass%Zn 合金)。
AM60 合金	AM60 alloy	鋳造用として一般的な Mg-Al-Mn 系マグネシウム合金(Mg-6mass%Al-0.2mass%Mn 合金)。
AMX601 合金	AMX601 alloy	AM60 合金に 1mass%の Ca を添加した合金。
AZX912、AMX602 合金	AZX912 and AMX602 alloys	AZ91 合金および AM60 合金に 2mass%の Ca を添加した合金。
DTA	Differential thermal analysis	試料と基準物質の温度を一定のプログラムに従って変化させながら、その試料と基準物質との温度差を温度の関数として測定する方法。
EPMA	Electron probe microanalyser	電子線を対象物に照射する事により発生する特性 X 線の波長と強度から構成元素を分析する装置。
孔食	Pitting	特定の小部分で腐食が発生する腐食形態の一つ。
晶出	Crystallization	液相から固相が分かれて生成すること。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
難燃性	Non combustible	材料が熱や炎に直接さらされた際に、発火に対して抵抗する性質。
強度	Strength	材料に変形を加えた際に、破断する前に材料に表れる最大の応力。
延性	Elongation	材料が破断する直前における最大の変形量（ひずみ）を伸びと呼び、もとの長さに対する比率として表す。
疲労	Fatigue	静的破壊力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象。

表面処理	Surface treatment	金属材料が腐食するのを防護するためにめっき、塗装などを行うこと。
母材	Matrix	表面処理がなされている材料のこと。
暴露試験	Exposure test	材料の大気環境での耐食性、耐候性、耐久性を確認するとともに、促進試験の促進度を決定する尺度を得る試験。試験片を直接大気環境に曝す試験を直接暴露試験、試験片の上に屋根を設置し、試験片に雨雪が直接かからない条件の大気環境に曝す試験を遮蔽暴露試験と呼ぶ。
促進試験	Accelerating tests	製品を過酷な条件下に置き、意図的に劣化を進めて製品寿命を検証する試験。
塩水噴霧試験 (SST)	Salt spray test	所定濃度の塩化ナトリウム水溶液を噴霧（塩化ナトリウム水溶液を霧化）させ、試験材料に付着させ、腐食を促進させ耐食性を評価する方法。
塩水浸漬試験(SDT)	Salt dipping test	所定濃度の塩化ナトリウム水溶液の中に試験片を浸漬させ、腐食を促進させ耐食性を評価する方法。
(複合) サイクル試験	Cyclic corrosion test	塩水噴霧・乾燥・耐湿等の条件を所定のプログラムで繰り返し実施する腐食促進試験
電気化学的手法	Electrochemical method	化学物質の性質を電氣的に計測する手法。電極電位を制御するポテンシオスタット。電流を制御するガルバナスタット等がある。
表面分析	Surface analysis	固体の表面の非常に浅く薄い領域の化学構造を明らかにする手法。
化成処理	Chemical conversion treatment	素材（特に金属）の表面に処理剤を作用させて化学反応を起こさせることで、耐食性や塗料との親和性など、元の素材とは違った性質を与える処理。通常は、素材を処理材に浸漬、あるいは処理液をシャワー方式により噴霧して処理を行う。ここでは、素材表面に処理剤を塗布して処理を行う手法を塗布型化成処理と呼んでいる。



陽極酸化処理	Anodizing	対象となる材料の表面を陽極として、主に強酸中で電解により対象となる材料の表面を酸化させる処理。アルミのアルマイト処理が有名。
ヤング率	Young's modulus	固体を単純に引っ張ったり圧縮したりした場合、長さの弾性変形と外力を結び合わせる比例定数。
構体	Railway car body	鉄道車両の車体において、台枠・骨組・外板などで構成され車体の強度を担う部分。
側構体	Side body structure	構体の進行方向左右にある部分。
妻構体	Gable end body structure	鉄道車両の連結面側の壁部分。
台枠	Under frame	上部構造の重量を支え、形を安定させるための構造。
カレントインタラプター	Current interrupter	微小直流定電流を塗装膜に印加し、その応答信号から塗膜の抵抗、容量を解析して防食性を判断する手法。
下地処理	Surface preparation	目的とする表面処理を実施する前にその表面処理がしっかり密着するために行う予備的な表面処理。
塗装処理	Coating	材料表面に塗料を塗ることにより防食性を付与する処理。塗料の乾燥を常温で行う処理を常温乾燥処理、塗料の乾燥を熱を加えて行うのを焼き付け処理と言う。
AZX612 合金	AZX612 alloy	Mg-6mass%Al-1mass%Zn-2mass%Ca 合金。汎用展伸材(AZ61 合金)に 2mass%Ca を添加した合金。
分極抵抗	Polarization resistance	素材表面上の反応抵抗、すなわち腐食反応に対する反応抵抗を意味する。
分極容量	Polarization capacity	素材表面上に蓄えられる微小電流の程度。腐食生成物による影響で容量の変化が発生する。
クリアー塗膜	Clear Coating	不透明性を与える顔料を含まず、被塗物の状態を覆い隠さない透明な塗布膜。透明な顔料を使用し、着色する場合もある。

耐湿試験	Humidity test	湿度の高い雰囲気試験片を設置し、腐食を促進させ耐食性を評価する手法。
SPCC-SD	SPCC-SD	SPCC は冷間圧延鋼板を指す。SD の S は標準調質を意味し、D はダル（つや消し）仕上げを意味する。
CASS 試験	CASS test	酢酸性の塩化ナトリウム水溶液に塩化第二銅を添加した水溶液を噴霧する腐食試験。主にアルミやメッキ材の評価に用いられる
TEM	Transmission Electron Microscope	透過型電子顕微鏡
乾湿繰り返し試験	Wet and dry repetition test	乾燥試験と湿潤試験を連続的なサイクルで行う試験
AZ91 合金	AZ91 alloy	casting用として一般的な Mg-Al-Zn 系マグネシウム合金。(Mg-9mass%Al-1mass%Zn 合金)。
AZX912 合金	AZX912 alloy	Mg-9mass%Al-1mass%Zn-2mass%Ca 合金。汎用 casting材 (AZ91 合金)に 2mass%Ca を添加した合金。
AXM030305 合金	AXM030305 alloy	Mg-0.3mass%Al-0.3mass%Ca-0.5mass%Mn 合金
りん酸塩系化成処理	Phosphating	化成処理の代表的な方法の一つで金属表面にリン酸系の金属塩の薄い皮膜(ミクロンオーダー)を生成させるもの。
MX11	MX11	代表的なマグネシウム合金の陽極酸化処理の一つ。別名：HAE 法。
エポキシ系塗装膜	Epoxy resin film	エポキシ樹脂塗料を利用した塗装膜。一般に、耐薬品性、耐摩耗性、密着性に優れている。
ウレタン系塗装膜	Urethane resin film	ウレタン樹脂を利用した塗装膜。
SUS304	SUS304	別名 18Cr-8Ni、18 クロムステンレス。ステンレス鋼材のうち、耐熱鋼として最も広く普及している鋼種の一つ。耐食性、溶接性、機械的性質が良好。

ADC12 合金	ADC12 alloy	代表的なアルミダイキャスト合金。アルミダイキャストの生産量のうち、90%以上で本合金が利用されており、殆どが自動車用部品に使われている。機械的性質、被削性、鋳造性いずれも高い。
腐食生成物	Corroded product	周囲の環境（隣接している素材・気体など）と化学反応を起こし、素材表面に生成する物質。いわゆる「さび」。
A6N01 合金	A6N01 alloy	Al-Si-Mg 系アルミニウム合金。構造材として中強度の押出用合金。溶接性に優れる。
孔食	Pitting	特定の小部分で腐食が発生する腐食形態の一つ。
高温高湿試験	high temperature and high humidity test	試料を高温環境と高湿環境に連続したサイクルで行う腐食試験

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
A6N01 合金	A6N01 alloy	Al-Si-Mg 系アルミニウム合金。構造材として中強度の押出用合金。溶接性に優れる。
A7N01 合金	A7N01 alloy	Al-Zn-Mg 系アルミニウム合金。6N01 合金と比較すると押出特性は劣るが、強度特性に優れた合金。
FSW	Friction stir welding	摩擦攪拌接合
引張強度	Tensile strength	材料に引張り変形を加えた際に、破断する前に材料に表れる最大の引張応力。
伸び・延性	Elongation	材料が破断する直前における最大の変形量（ひずみ）を伸びと呼び、もとの長さに対する比率として表す。
難燃性	Non combustible	材料が熱や炎に直接さらされた際に、発火に対して抵抗する性質。
疲労	Fatigue	静的破壊力より低い繰り返し応力によって材料が破壊に至る現象。
靱性	Toughness	破断する前にエネルギーを吸収する性質。

表面処理	Surface treatment	金属材料が腐食するのを防護するためにめっき、塗装などを行うこと。
ヤング率	Young's modulus	固体を単純に引っ張ったり圧縮したりした場合、長さの弾性変形と外力を結び合わせる比例定数。
構体	Car body structure	鉄道車両の車体において、台枠・骨組・外板などで構成され車体の強度を担う部分。
側構体	Side body structure	構体の進行方向左右にある部分。
妻構体	end body structure	鉄道車両の連結面側の壁部分。
台枠	Underframe	上部構造の重量を支え、形を安定させるための構造。車体の土台となる骨組。

テーマ4 「革新的チタン材の開発」

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
スクラップ	Scrap	金属材料の切り屑や、金属製品の廃棄物。
チタン鉱石	Titanium ore	鉱石中に含まれる酸素や鉄とチタンの化合物でチタンの原料となる。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
スポンジチタン	Ti Sponge	チタン展伸材の原料となるスポンジ状の金属チタン。チタン鉱石を製錬して得られる。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

テーマ5 「革新炭素繊維基盤技術開発」

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
炭素繊維	Carbon Fiber	有機繊維の前駆体を加熱炭素化处理して得られる、質量比で90%以上が炭素で構成される繊維。
マイクロ波（炭素化）	Microwave carbonization	ヒーターなどによる放射や伝導による加熱ではなく、繊維をマイクロ波によって直接加熱して炭素化する方法。
異形状炭素繊維	Modified cross-section carbon fiber	中空など、通常の炭素繊維とは異なる断面形状を有する炭素繊維。
前駆体化合物	Precursor compound	炭素材料になる前の高分子物質。温度を上げても熔融しない特徴を持つ。
耐炎化	Thermal stabilization	PAN繊維が炭素化時に熔融しないように200-350℃の空气中で数時間加熱する処理のこと。
PAN	Polyacrylonitrile	有機高分子の一種で、アクリロニトリルを重合させて得られる。PAN と略称される。PAN（ポリアクリロニトリル）は、アクリル、モダクリル繊維、衣類および家の調度品のウールの一般的な材料として生産されている。
引張弾性率	Tensile modulus	材料を引張ったときの伸びにくさを表す物性値。
破断伸度	Fracture elongation	材料が破断したときのひずみ（変形量／試験片長）。
樹脂界面接着性	Interfacial adhesion	樹脂と繊維表面の接着性。
表面官能基	Surface functional group	材料の表面についている官能基。接着特性などに大きく影響する。

熱可塑性樹脂	Thermoplastic Resin	ガラス転移温度または融点まで加熱することによって軟らかくなり、目的の形に成形できる樹脂。一般的に、熱可塑性樹脂は切削・研削等の機械加工がしにくい事が多く、加温し軟化したところで金型に押し込み、冷し固化させて最終製品とする射出成形加工等が広く用いられている。ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS樹脂、塩化ビニル樹脂、メタクリル酸メチル樹脂、ナイロン、フッ素樹脂、ポリカーボネート、ポリエステル樹脂など。
ライフサイクルアセスメント (LCA)	Life Cycle Assessment	製品やサービスに対する、環境影響評価の手法。主に個別の商品の製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用までの各段階における環境負荷を明らかにすることを目的としている。
不連続繊維強化複合材料	Discontinues Fiber Reinforced Composite	カットされた短い繊維を強化繊維に用いた複合材料。短繊維強化複合材料。⇔連続繊維強化複合材料
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics	炭素繊維強化プラスチック。炭素繊維で強化したプラスチック成形品（樹脂成形品）の総称。
プラズマ表面処理	Plasma surface treatment	プラズマを利用して、繊維表面に官能基を導入する表面処理方法。
横方向圧壊試験	Compressive crush test	繊維試料に横方向から圧縮荷重を負荷したとき誘起され半径方向引張応力によって、試料が脆性的に破壊させる試験。試験の最大荷重を試料のサイズで規格化した値を圧壊強さという。
ストランド物性	Strand mechanical property	(樹脂含浸) 繊維束の引張弾性率や引張強度などの特性。
異方性	Anisotropy	物質の物理的性質、例えば弾性率や屈折率などが方向によって異なること。結晶、圧延した金属、プラスチックなどに現れる。⇔等方性

エッチング	Etching	繊維表面などを酸化処理などによって、削ること。一般に軽微なエッチングは繊維表面の欠陥を除去する効果があり、繊維強度を増加させるが、過度のエッチングは繊維強度を減少させる。
エポキシ（樹脂）	Epoxy (Resin)	高分子内に残存させたエポキシ基で架橋ネットワーク化させることで硬化させることが可能な熱硬化性樹脂の一種。硬くて熱や溶剤に強い。
界面層	Interfacial Layer	ある均一な液体や固体の相が他の均一な相と接している境界のことを界面と呼ぶ。炭素繊維のような強化繊維の場合、樹脂と接している境界の表面層を界面層という。
界面せん断強度	Interfacial shear strength	樹脂と繊維界面の接着が剥がれる際の繊維方向のせん断強度。
官能基	Functional Group	有機化合物に特別の化学性質を与える原子・原子団。例えばアルコールの $-OH$ 、アルデヒドの $-CHO$ 、カルボン酸の $-COOH$ 、などがある。
サイズ剤	Sizing Agent	炭素繊維束を収束させて、複合材料にする際に樹脂との濡れ性をよくするために、炭素繊維表面に塗布されるもの。使用する樹脂に応じて最適なサイズ剤がある。
酸化処理	Oxidative Treatment	炭素繊維などの表面層を改質する処理手法の一つ。エッチング処理。含酸素基を繊維表面に導入することにより樹脂との水素結合を促進し、接着性を高めることができる。
射出成形	Injection Molding	加熱溶解させた材料を金型内に射出注入し、冷却・固化させる事によって、成形品を得る方法。複雑な形状の製品を大量に生産するのに適している。工程は大きく分けて、型締め、射出、保圧、冷却、型開き、取り出し、と進み、このサイクルの繰り返しによって、製品を連続的に生産できる。



親和性	Affinity	繊維強化プラスチックにおいては、繊維と樹脂とのなじみやすさを言う。例えば、繊維表面にカルボキシル基 (-COOH) を持っていれば、エポキシ樹脂と親和性（濡れ性）に優れる繊維となる。
ねじり弾性率	Torsional modulus	材料をねじるときのねじりにくさを表す物性値。
熱硬化性樹脂	Thermosetting Resin	加熱すると重合を起こして高分子の網目構造を形成し、硬化して元に戻らなくなる樹脂のこと。熱硬化性樹脂は硬くて熱や溶剤に強い。フェノール樹脂、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリウレタンなどがある。
破断強度	Breaking Strength	外力の作用により、材料が破壊（破断）する時の応力。
表面改質	Surface Treatment	表面層の特性を変化させること。例えば、炭素繊維は、マトリックス樹脂との接着性を改善するため、その表面を酸化処理する。
ピンホール引抜き法	Pin-hole pull-out method	界面せん断強度を評価する手法の一つ。金属板に微小な穴を空けて、樹脂を埋め込み、繊維をそこに差し込んで、試験片を製作。繊維を引き抜く際の荷重と埋め込み長さからせん断強度を求める手法。
フラグメンテーション法	Fragmentation method	界面せん断強度を評価する手法の一つ。樹脂に繊維を一本埋め込んで引っ張った際の繊維の平均破断長さからせん断強度を求める手法。
ベンチプラント	Bench Plant	少量のサンプルを試験的に作成し、工業化にむけての運転データを取得するためのプラント（工業設備）。
ポリプロピレン (PP)	Polypropylene	エチレンの水素原子一つがメチル基に変わった構造のプロピレンの重合体。メチル基の立体的な位置の違いによって特性が大きく異なるが、その中でも結晶化度が高く剛性の優れたアイソタクチック PP が一般的に用いられている。

マイクロドロップ レット法	Micro drop-let method	界面せん断強度を評価する手法の一つ。 繊維一本に樹脂玉を付けて、繊維の埋め 込み長さとし繊維を引き抜く時の荷重から 界面せん断強度を求める手法。
マイクロコンポジット 法	Micro composite method	界面せん断強度を評価する手法の一つ。 複数繊維束に樹脂玉を付けて、樹脂玉か ら繊維を一本引き抜いて、荷重と繊維の 埋め込み長さからせん断強度を求める手 法。
ワイブル分布	Weibull Distribution	脆性材料の強度を統計的に記述するた めの確率分布。時間に対する劣化現象や 寿命を統計的に記述するためにも利用さ れる。ワイブル係数を導入した式で表わ される。
CFRTP	Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック。ポ リアミドやポリプロピレンといった熱可 塑性樹脂を母材とする炭素繊維強化複 合材料。
Vf	Fiber Volume Fraction	繊維体積含有率。

テーマ 6 「熱可塑性 CFRP の開発」

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
RTM	Resin Transfer Molding	金型に強化繊維織物をセットし、それに樹脂を高圧で注入することにより得られる複合材。
EV	Electric Vehicle	電気自動車。
一次構造部材	Primary Structure Member	自動車の車両構造に関して、地面や衝突物から受ける荷重を直接受けて構造体を維持するための高強度・高剛性・高耐久性部材。
一方向性	Unidirectional	層内において強化繊維がすべて互いに平行に並んでいる状態。一方向強化層はプライ（Ply）と呼ばれ、この層の積み重ねは積層板と言われる。
異方性	Anisotropy	物質の物理的性質、例えば弾性率や屈折率などが方向によって異なること。結晶、圧延した金属、プラスチックなどに現れる。⇔ 等方性
NDI	Non Destructive Inspection	非破壊検査のこと。超音波探傷、X 線等により部品内部の欠陥状態を検査する方法。
エポキシ（樹脂）	Epoxy (Resin)	高分子内に残存させたエポキシ基で架橋ネットワーク化させることで硬化させることが可能な熱硬化性樹脂の総称。架橋ネットワーク化前のプレポリマーと硬化剤を混合して熱硬化処理を行うと製品として完成するが、プレポリマーも製品化した樹脂も両者ともエポキシ樹脂と呼ばれる。
LFT-D	Long Fiber Thermoplastic-Direct	比較的繊維長の長い不連続繊維と熱可塑性樹脂を直接コンパウンドして得られる低コストな複合材成形法のこと。
押出素材	Extruded material	混練により生成される中間素材。

開繊性	Fiber Spreading	炭素繊維束やガラス繊維束などの強化繊維束を連続して幅広く、薄く拡げた状態にすること。繊維束の厚み方向の繊維本数を少なくすれば（開繊性を高めれば）、繊維束中へのマトリクスの含浸が短時間で均一にできるので、成形工程において生産性の向上や品質の向上に有利にはたらく。
強化材	Reinforcement	プラスチックなど、軽量であるが弾性率や強度の低い母材（マトリクス材）に対して、強度を向上させることを目的として混入させる材料。強化材とマトリクスを組み合わせたものを複合材料とよぶ。強化材にはガラス繊維、炭素繊維、ケブラーなどが用いられる。
コンポジット	Composites	2 つ以上の異なる素材を一体的に組み合わせた材料のこと。
混練	Mixing	強化繊維ロービングと樹脂ペレットをスクリー押出機に投入し、混ぜ合わせる。これによって、不連続繊維強化複合材が得られる。
サイクルタイム	Cycle Time	製品を作る場合のかかった時間。最初の工程をスタートし最後の工程までかかった時間のこと。稼働時間のみならず、待ち時間も含まれる。サイクルタイムの短縮によって、品質やコストだけでなく、時間の面で競合との差別化、競争力の強化、及びコスト削減、顧客満足を増大までを図ることができる。
サーモグラフ	Thermograph	サーモグラフィ装置。物質から発せられる赤外線を検出して、ものの温度を調べる装置。コンピュータ画面上で温度を色分けして表示することができる。

射出成形	Injection Molding	加熱溶融させた材料を金型内に射出注入し、冷却・固化させる事によって、成形品を得る方法。複雑な形状の製品を大量に生産するのに適している。工程は大きく分けて、型締め、射出、保圧、冷却、型開き、取り出し、と進み、このサイクルの繰り返しによって、製品を連続的に生産できる。
チョップドテープ	Chopped Tape	一定の長さに切りそろえたプリプレグテープ。短繊維でマット、スプレイアップ法、コンパウンドに使用される。一方不連続繊維基材。
等方性	Isotropy	物体の物理的性質が方向によって異なること。気体、ふつうの液体、非晶質（アモルファス）の固体（ガラスなど）は等方性を示す。⇔ 異方性
熱可塑性樹脂	Thermoplastic Resin	ガラス転移温度または融点まで加熱することによって軟らかくなり、目的の形に成形できる樹脂。一般的に、熱可塑性樹脂は切削・研削等の機械加工がしにくい事が多く、加温し軟化したところで金型に押し込み、冷し固化させて最終製品とする射出成形加工等が広く用いられている。ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS樹脂、塩化ビニル樹脂、メタクリル酸メチル樹脂、ナイロン、フッ素樹脂、ポリカーボネート、ポリエステル樹脂など。
熱硬化性樹脂	Thermosetting Resin	加熱すると重合を起こして高分子の網目構造を形成し、硬化して元に戻らなくなる樹脂のこと。使用に際しては、流動性を有するレベルの比較的 low molecular weight の樹脂を所定の形状に整形し、その後加熱等により反応させて硬化させる。接着剤やパテで A 液（基剤）と B 液（硬化剤）を混ぜて使うタイプがあるが、これは熱硬化性樹脂のエポキシ樹脂で、混合により重合反応が起こっている。熱硬化性樹脂は硬くて熱や溶剤に強い。フェノール樹脂、

		エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリウレタンなどがある。
熱伝導性	Thermal Conductivity	熱伝導において、熱流束密度（単位時間に単位面積を通過する熱エネルギー）を温度勾配で割った物理量。
破断ひずみ	Breaking Strain	外力の作用により、材料が破壊（破断）する時のひずみ。破断する時の応力を破断強度または破断応力ともいう。
パルスサーモグラフィ	Pulse Thermography	NDI の手法のひとつで、ハロゲンランプ等の光源から検査対象物の内部に動的な温度差を発生させ、その結果の表面に生じる温度変化を、画像として取得し得られた複数の温度画像から、内部の構造や欠陥を画像化する NDI 法。
比強度	Specific Strength	比重に対する材料の強度。このパラメータが大きいほど、同じ強度の時により軽い部品が作られる。
比剛性	Specific Stiffness	比重に対する材料の剛性。このパラメータが大きいほど、同じ剛性の時により軽い部品が作られる。
賦形性	Formability	プリフォーム配置工程において、成形に用いる型形状に対して、プリフォームを成形すること。熱成形直後における、得られた予備成形体の形状と熱成形に用いた型の形状との一致性の程度を表す。
フラグメンテーション（フラグメント）試験	Fragmentation Test	マトリックスに単繊維を埋め込み、繊維方向に平行にマトリックスに引張ひずみを加えることによりせん断強度を推定するテスト方法。繊維は破断し、多数の小片に分断される。
プリフォーム	Preform	RTM や C/C コンポジット等の成形用基材で、強化繊維を立体的な形状にしたもの。
プリプレグ	Prepreg	連続した強化繊維にマトリックス樹脂を含浸させた半硬化状態の単層材。
プレヒート	Pre-Heat	成形型に基材を設置する前にあらかじめプリフォームに余熱を与えておくこと。
不連続繊維	Discontinuous Fiber	繊維が短く切断されたもの（短繊維）で、マトリックス樹脂内でランダムに配向

		される。射出成形用繊維強化樹脂でよく用いられる。
ボイド（空隙）	Void	樹脂の繊維束への含浸が不十分であった場合に、樹脂内や樹脂-繊維間に空気が入り込んだまま成形されてしまい生じる空間。
ポリアミド （PA）	Polyamide	主鎖にアミド結合（-NH-CO-）をもつものをポリアミドと呼ぶが、主鎖が脂肪族であるものは、ナイロンとも呼ばれる。耐摩耗性、自己潤滑性に優れ耐衝撃性も大きいという長所があるが、アミド結合のために吸湿性も強いので寸法安定性が悪く、機械的、電氣的な物性が変化する。結晶化度による影響も大きいので成形時には注意が必要である。
ポリプロピレン （PP）	Polypropylene	エチレンの水素ひとつがメチル基に変わった構造のプロピレンの重合体。メチル基の立体的な位置の違いによって特性が大きく異なるが、その中でも結晶化度が高く剛性の優れたアイソタクチック PP が一般的に用いられている。
マイクロドロップ レット試験	Microdroplet Test	繊維強化複合材料において、強化繊維と各種樹脂の界面接着性を評価する試験方法。単繊維に樹脂粒（ドロップレット）を付着させ、ドロップレットを固定させて後に繊維の引き抜きを行い、引き抜かれる際の荷重と、繊維の樹脂粒への埋め込み長さの関係から、界面せん断応力を求めることができる。
マテリアルハンドリング（マテハン）	Material Handling	工場内において材料や部品の移動に関する取扱い。移動方法としては、台車、フォークリフト、コンベヤ、ロボット等がある。
マトリクス材	Matrix	複合材料において、強化される側の部材を母材（マトリックス）と呼ぶ。繊維強化プラスチックの場合はプラスチック、繊維強化金属の場合は金属、鉄筋コンクリートの場合はコンクリートがそれぞれマトリックスとなる。

モジュール構造 部材	Module Structure Member	部材をインテグレーションした複合化部材。一体成形できるので、製造コストを安くできる。自動車部品では、従来よりインストルメントパネルモジュールなどがあり、短繊維のガラス繊維強化プラスチックの成形部材として適用されている。
溶着接合	Welding	溶接あるいは高温で加熱して接着させること。二次加工技術（成形が一次加工）の一つ。熱可塑性の樹脂部材を、融点を超えるまで加熱し、圧力を加えると分子レベルで結合することを利用した接合方法。樹脂部材を加熱する方法として、超音波溶着、振動溶着、誘導溶着、高周波溶着、熱溶着など、様々な方法がある。

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

用語(日本語)・略号	English	用語・略号の説明
アイゾッド衝撃強さ	Izod Impact Strength	衝撃に対する強さを表す指標。単位は J/m 。ノッチと呼ばれる切り込みを付けた試験片を、片持ちはりで支持し、振り型のハンマーで衝撃曲げ打撃を加えて計測する。1 回の打撃によって破壊するのに要したエネルギーを、ノッチに沿って計測した試験片の幅で割って求められる。
一次構造部材	Primary Structural Member	自動車の車両構造に関して、地面や衝突物から受ける荷重を直接受けて構造体を維持するための高強度・高剛性・高耐久性部材。
一方向性	Unidirectional	層内において強化繊維がすべて互いに平行に並んでいる状態。一方向強化層はプライ (Ply) と呼ばれ、この層の積み重ねは積層板と言われる。
異方性	Anisotropy	物質の物理的性質、例えば弾性率や屈折率などが方向によって異なること。結晶、圧延した金属、プラスチックなどに現れる。(対義語は等方性)
エッチング	Etching	化学薬品などの腐食作用を応用した塑形



		ないし表面加工の技法。使用する素材の必要部分にのみ防食処理を施し、腐食剤によって不要部分を除去することで目的形状のものを得る。
エポキシ（樹脂）	Epoxy (Resin)	高分子内に残存させたエポキシ基で架橋ネットワーク化させることで硬化させることが可能な熱硬化性樹脂の総称。架橋ネットワーク化前のプレポリマーと硬化剤を混合して熱硬化処理を行うと製品として完成するが、プレポリマーも製品化した樹脂も両者ともエポキシ樹脂と呼ばれる。
遠赤外線ヒーター	Far-Infrared Radiation Heater	セラミックス、石英、金属酸化面などの比較的低温（500℃～1000℃）の発熱体から放射される光を利用する加熱装置。光のピーク波長は3～5 μmであり、1～15 μm程度の範囲に分布する。
応力集中	Stress Concentration	材料に切欠きや溝がある場合に、外力を与えた時に他の部分よりも応力が大きくなる現象。部材の断面が大きく変形している部分や、部材の断面に孔（あな）、亀裂、切欠きなどが起こり不連続部分が発生している時、その近くに著しく応力（抵抗力）が集中している。
開繊	Fiber Spreading	炭素繊維束やガラス繊維束などの強化繊維束を連続して幅広く、薄く広げた状態にすること。繊維束の厚み方向の繊維本数を少なくすれば（開繊性を高めれば）、繊維束中へのマトリックスの含浸が短時間で均一にできるので、成形工程において生産性の向上や品質の向上に有利にはたらく。
界面層	Interfacial Layer	ある均一な液体や固体の相が他の均一な相と接している境界のことを界面とよぶ。炭素繊維のような強化繊維の場合、樹脂と接している境界の表面層を界面層という。

カップリング剤	Coupling Agent	分子内に水になじみやすい部分（親水基）と油になじみやすい部分（親油基・疎水基）を持つ物質。有機材料と無機材料を結合させる機能を有し、複合材料の力学特性や耐水性、接着性の向上に使われる。
含浸度	Impregnation Rate	ゴム、合成樹脂を織物、紙などの組織や構造のすき間にしみ込ませた状態の程度を表す指標。
官能基	Functional Group	有機化合物に特別の化学性質を与える原子・原子団。例えばアルコールの $-OH$ （ヒドロキシル基）、アルデヒドの $-CHO$ 、カルボン酸の $-COOH$ 、などがある。
強化材	Reinforcement	プラスチックなど、軽量であるが弾性率や強度の低い母材（マトリックス材）に対して、強度を向上させることを目的として混入させる材料。強化材とマトリックスを組み合わせたものを複合材料とよぶ。強化材にはガラス繊維、炭素繊維、ケブラーなどが用いられる。
コミングルヤーン	Commingled Yarn	強化繊維と樹脂系マトリックス繊維を組み合わせた混織糸。
コンソリデーション	Consolidation	プリプレグやセミプレグを裁断後、積層あるいはプリフォームして、複数の部材を合同体として同時に成形すること。後工程での接合の必要が無いのでコスト削減が可能となる。
コンポジット	Composites	2 つ以上の異なる素材を一体的に組み合わせた材料のこと。
サイクルタイム	Cycle Time	製品を作る場合のかかった時間。最初の工程をスタートし最後の工程までかかった時間のこと。稼働時間のみならず、待ち時間も含まれる。サイクルタイムの短縮によって、品質やコストだけでなく、時間の面で競合との差別化、競争力の強化、及びコスト削減、顧客満足の増大までを図ることができる。

サイズ剤	Sizing Agent	ある組織や構造に対してインクなど液体の浸透性を抑え、滲みを防ぐ目的で加えられる化学物質。疎水性基と親水性基を持ち、疎水性基を外側に向けて組織に疎水性をもたせる。内添方式と表面方式とがあり、いずれにも天然物と合成物とがある。
酸化処理	Oxidative Treatment	炭素繊維などの表面層を改質する処理手法の一つ。エッチング処理。含酸素基を繊維表面に導入することにより樹脂との水素結合を促進し、接着性を高めることができる。
サーモグラフ	Thermograph	サーモグラフィ装置。物質から発せられる赤外線を検出して、ものの温度を調べる装置。コンピュータ画面上で温度を色分けして表示することができる。
射出成形	Injection Molding	加熱溶解させた材料を金型内に射出注入し、冷却・固化させる事によって、成形品を得る方法。複雑な形状の製品を大量に生産するのに適している。工程は大きく分けて、型締め、射出、保圧、冷却、型開き、取り出し、と進み、このサイクルの繰り返しによって、製品を連続的に生産できる。
収束剤	Convergence Agent	サイズ剤。炭素繊維の製造工程や、高次加工工程（織物工程、プリプレグ工程、その他の成形工程）での取扱い性を向上させる。
親和性	Affinity	繊維強化プラスチックにおいては、分子同士の結合しやすさをいう。例えば、分子構造中に水となじみやすい（親和性の高い）水酸基（OH）を持っていると、吸湿・吸水に優れる物質となる。
スタンピング成形	Stamping Molding	圧縮成形（Compression Molding）の一種で、FRTP（繊維強化熱可塑性プラスチック）のシート状中間基材を金型外で加熱し、連続的に型の中に投入してプレスする成形方法。金型内で中間基材を加熱冷却するヒートアンドクール成形に比べ

		てサイクルタイムを大幅に短縮できるが、品質保証のための高度なマテハン（材料搬送）技術が必要となる。
脱型	De-molding	型から製品を取りだす作業。
ダブルベルトプレス	Double Belt Press	押出機等による連続供給と、ベルトプレスによる連続した加熱・冷却によって、樹脂シート等の加工を行う装置。各ゾーンにおけるプレスロールの高さ調節や温度、圧力設定を行うことにより、製品の厚み制御を行うことができる。
中間基材	Intermediate Material	一方向材、織物、テープ分散シート、マット等、目的に応じた繊維形態と樹脂による、成形直前の材料形態。
チョップドテープ	Chopped Tape	一定の長さに切りそろえたプリプレグテープ。短繊維でマット、スプレИАップ法、コンパウンドに使用される。一方向不連続繊維基材。
テキスタイル	Textile	織物や布地を意味し、繊維製品全般のこと。
テーププレースメント	Tape Placement	樹脂を含浸させたトウプリプレグやプリプレグテープを、型に配向させて積層する技術。
等方性	Isotropy	物体の物理的性質が方向によって異なること。気体、ふつうの液体、非晶質（アモルファス）の固体（ガラスなど）は等方性を示す。（対義語は異方性）
内圧成形	Inner Pressure Molding	成形型のキャビティ内に中空状の成形素材を配置し、中空素材の内側から圧力を加えて中空素材を成形型に密着させた状態とし、その状態で加熱成形する方法。繊維強化樹脂を用いた中空（閉断面）の部品を製作することができる。
ナノアロイ	Nano-Alloy	ポリマーAのマトリックス中にポリマーBをナノオーダーで分散させた分散構造を作る良流動化技術。ポリマー微粒子を独自に開発してマトリックスポリマー中に均一に分散させることにより、加熱化の熔融状態（流動状態）でのマトリックスポリマー分子間の相互作用の低下が起

		こり、ポリマー分子の運動性向上による流動性の大幅な向上が実現できる。
熱可塑性樹脂	Thermoplastic Resin	ガラス転移温度または融点まで加熱することによって軟らかくなり、目的の形に成形できる樹脂。一般的に、熱可塑性樹脂は切削・研削等の機械加工がしにくい事が多く、加温し軟化したところで金型に押し込み、冷し固化させて最終製品とする射出成形加工等が広く用いられている。ポリエチレン、ポリプロピレン、ポリスチレン、ABS樹脂、塩化ビニル樹脂、メタクリル酸メチル樹脂、ナイロン、フッ素樹脂、ポリカーボネート、ポリエステル樹脂など。
熱硬化性樹脂	Thermosetting Resin	加熱すると重合を起こして高分子の網目構造を形成し、硬化して元に戻らなくなる樹脂のこと。使用に際しては、流動性を有するレベルの比較的低分子の樹脂を所定の形状に整形し、その後加熱等により反応させて硬化させる。接着剤やパテでA液（基剤）とB液（硬化剤）を混ぜて使うタイプがあるが、これは熱硬化性樹脂のエポキシ樹脂で、混合により重合反応が起こっている。熱硬化性樹脂は硬くて熱や溶剤に強い。フェノール樹脂、エポキシ樹脂、不飽和ポリエステル樹脂、ポリウレタンなどがある。
熱伝導性	Thermal Conductivity	熱伝導において、熱流束密度（単位時間に単位面積を通過する熱エネルギー）を温度勾配で割った物理量。
破断ひずみ	Failure Strain	外力の作用により、材料が破壊（破断）する時のひずみ。破断する時の応力を破断強度または破断応力ともいう。
パッチ	Patch	つぎあて。リペア技術において損傷部に追加して貼り合わせる薄板状のCFRTP。
比強度	Specific Strength	比重に対する材料の強度。このパラメータが大きいほど、同じ強度の時により軽い部品がつけられる。

比剛性	Specific Stiffness	比重に対する材料の剛性。このパラメータが大きいほど、同じ剛性の時により軽い部品がつけられる。
表面改質	Surface Treatment	表面層の特性を変化させること。炭素繊維は、マトリックス樹脂との接着性を改善するため、その表面を酸化処理する。
ファイバブリッジング	Fiber Bridging	繊維強化プラスチックにおいて、亀裂進展時に未破断繊維が亀裂を橋渡しすることにより、亀裂進展抵抗が増加する現象。
ファウンテンフロー	Fountain Flow	樹脂を型内に流し込む時に、金型面との滑りによって流れるのではなく、流れの中心から金型内壁面へ噴出するように流れていくこと。射出成形の流動末端で生じる。
賦形性	Formability	プリフォーム配置工程において、成形に用いる型形状に対して、プリフォームを形作ること。熱成形直後における、得られた予備成形体の形状と熱成形に用いた型の形状との一致性の程度を表す。
フラグメンテーション (フラグメント) 試験	Fragmentation Test	樹脂に単繊維を埋め込み、繊維方向に平行に樹脂に引張ひずみを加えることによりせん断強度を推定するテスト方法。繊維は破断し、多数の小片に分断される。
プリフォーム	Preform	中間基材とほぼ同義。
プリプレグ	Prepreg	連続した強化繊維にマトリックス樹脂を含浸させた半硬化状態の単層材。
プレヒート	Pre-Heat	成形型に基材を設置する前にあらかじめ中間基材に余熱を与えておくこと。
ブレード	Blade	一方向材を基本として、立体的にファイバーを織り込んだもの。三次元強化基材の一つ。
不連続繊維	Discontinuous Fiber	繊維が短く切断されたもの（短繊維）で、マトリックス樹脂内でランダムに配向される。射出成形用繊維強化樹脂でよく用いられる。

ボイド（空隙）	Void	樹脂の繊維束への含浸が不十分であった場合に、樹脂内や樹脂-繊維間に空気が入り込んだまま成形されてしまい生じる空間。
ホモポリプロピレン	Homo-polypropylene	ポリプロピレン単体のみからなる重合体であり、結晶性は高い。ホモ PP でも触媒の選択・プロセスの相違・更には各メーカーの市場性格の差異によりその物性は微妙に異なる。
ポリアミド（PA）	Polyamide	主鎖にアミド結合（-NH-CO-）をもつものをポリアミドと呼ぶが、主鎖が脂肪族であるものは、ナイロンとも呼ばれる。耐摩耗性、自己潤滑性に優れ耐衝撃性も大きいという長所があるが、アミド結合のために吸湿性も強いので寸法安定性が悪く、機械的、電気的な物性が変化する。結晶化度による影響も大きいので成形時には注意が必要である。
ポリプロピレン（PP）	Polypropylene	エチレンの水素ひとつがメチル基に変わった構造のプロピレンの重合体。メチル基の立体的な位置の違いによって特性が大きく異なるが、その中でも結晶化度が高く剛性の優れたアイソタクチック PP が一般的に用いられている。
マイクロドロップレット試験	Microdroplet Test	繊維強化複合材料において、強化繊維と各種樹脂の界面接着性を評価する試験方法。単繊維に樹脂粒（ドロップレット）を付着させ、樹脂粒を固定させて後に繊維の引き抜きを行い、引き抜かれる際の荷重と、繊維の樹脂粒への埋め込み長さの関係から、界面せん断応力を求めることができる。
マトリックス材	Matrix	複合材料において、強化される側の部材を母材（マトリックス）と呼ぶ。繊維強化プラスチックの場合はプラスチック、繊維強化金属の場合は金属、鉄筋コンクリートの場合はコンクリートがそれぞれマトリックスとなる。

モジュール構造部材	Module Structure Member	部材をインテグレーションした複合化部材。一体成形できるので製造コストを安くできる。自動車部品では従来よりインストルメントパネルモジュールなどがあり、短繊維のガラス繊維強化プラスチックの成形部材として適用されている。
溶着接合	Welding	溶接あるいは高温で加熱して接着させること。二次加工技術（成形が一次加工）の一つ。熱可塑性の樹脂部材を融点を超えるまで加熱し、圧力を加えると分子レベルで結合することを利用した接合方法。樹脂部材を加熱する方法として、超音波溶着、振動溶着、誘導溶着、高周波溶着、熱溶着など、様々な方法がある。
熔融粘度	Melt Viscosity	樹脂などが溶けた時に、流動する物体の内部に生じる抵抗。粘度＝粘性ともいう。熔融粘度が低いということは流動性が良いことを意味する。
ラマン顕微鏡	Raman Microscope	可視光が分子に当たって散乱する光散乱（＝ラマン散乱）を利用した物質の分析装置。この散乱した光の波長変調を分光器によって調べることによりその組成分析や結晶構造情報を得、顕微鏡と融合させることで局所的な成分や結晶状態を知ることができる。
ラマンスペクトル	Raman Spectrum	ラマン散乱光の波長（色の違い）に対する光強度をグラフ化したもの。スペクトルは複数のピークを持ち、分子に固有の形状を示す。物質の質の評価や不純物の同定を行うことができる。
ランダムチョップ基材	Random Chopped Material	チョップドテープ（一定の長さに切りそろえたプリプレグテープ）をランダムに配向した基材
臨界繊維長	Critical Fiber Length	繊維を埋め込んだ樹脂材料において、引張応力を適用した時に繊維が切断され、それ以上切断が起こらない時の繊維の長さ。ある繊維長以下になると界面でのせん断を支えることができなくなるため、繊維破断よりも繊維の樹脂内での滑りが



		先に起きてしまう。
連続繊維	Continuous Fiber	すべての繊維が互いに平行に並んでいる一方向層の形態で用いられる長繊維。編んだり、織ったりして用いることができる。また一方向層を様々な方向に積層することで擬似等方性や直交性、異方性のある板をつくることができる。
ワイブル分布	Weibull Distribution	物体の破壊強度を統計的に記述するための確率分布。時間に対する劣化現象や寿命を統計的に記述するためにも利用される。ワイブル係数を導入した式で表わされる。
CFRP	Carbon Fiber Reinforced Plastics	炭素繊維強化プラスチック。炭素繊維で補強したプラスチック成形品（樹脂成形品）の総称。
CFRTP	Carbon Fiber Reinforced Thermoplastics	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック。ポリアミドやポリプロピレンといった熱可塑性樹脂を母材とする炭素繊維強化複合材料。
CFRTS	Carbon Fiber Reinforced Thermosetting Plastics	炭素繊維強化熱硬化性プラスチック。エポキシや不飽和ポリエステルといった熱硬化性樹脂を母材とする炭素繊維強化複合材料。
CMT	Carbon Fiber Mat Reinforced Thermoplastics	炭素繊維マット強化熱可塑性樹脂。GMTと対比させる形で前プロジェクトで命名したもので、炭素繊維の単糸を面内等方に分散させた CFRTP。
CTT	Chopped Carbon Fiber Tape Reinforced Thermoplastics	炭素繊維テープ強化熱可塑性樹脂。CMTと対比させる形で前プロジェクトで命名したもので、
GFRP	Glass Fiber Reinforced Plastics	ガラス繊維強化プラスチック。ガラス繊維で補強したプラスチック成形品（樹脂成形品）の総称。
GMT	Glass-Mat Reinforced Thermoplastics	熱可塑性樹脂（主に PP）をガラス長繊維マットで強化したプラスチック材料であり、スタンパブルシートとも呼ばれる。通常ガラス短繊維入り熱可塑性樹脂と比べて、長繊維が 50%程度も占めて

		いるので強度的に優れ、自動車部品などに使われている。
LCA	Life Cycle Assessment	製品やサービスに対する環境影響評価の手法。主に個別の商品の製造、輸送、販売、使用、廃棄、再利用までの各段階における環境負荷を明らかにすることを目的としている。
RTM	Resin Transfer Molding	金型に封入されたドライプリフォームに樹脂（熱硬化性または熱可塑性）を注入する成形法。
SMC	Sheet Molding Compound	強化繊維と樹脂（熱硬化性または熱可塑性）からなるシート状材料を金型の中で積層し圧縮成形する手法。
Vf	Fiber Volume Fraction	繊維体積含有率。単位は%。

テーマ7 「接合技術開発」

[テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
CFRP	Carbon fiber reinforced plastics	炭素繊維強化複合材料
FLJ	Friction lap joining	摩擦重ね接合
PP	Polypropylene	ポリプロピレン
PA	Polyamide	ポリアミド
PPS	Polyphenylene sulfide	ポリフェニレンスルフィド

[テーマ番号 02] 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
摩擦攪拌接合・FSW	Friction Stir Welding	ツールを高速に回転させながら金属板に押し付け、その摩擦熱で金属を高温に温めつつ、金属を拡販流動させて鋼板を接合する技術。
ナゲット	nugget	スポット溶接で形成された溶接金属領域の名称。

[テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
摩擦攪拌リニア接・FSLW	Friction stir linear welding	被接合材同士の接合面を加圧し、直線方向に摺動することにより発生する摩擦熱を利用した接合方法で、さらに、急冷機構を付与した接合手法。
摩擦攪拌接合・FSW	Friction stir welding	ツールを接合面に差込み、回転しながら移動させ、発生する摩擦熱により接合する方法
ナゲット	nugget	スポット溶接における溶融金属部分

[テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
FSW	Friction Stir Welding	摩擦攪拌接合

[テーマ番号 05] アルミニウム／異種材料の点接合技術

用語（日本語）・略号	English	用語。略号の説明
抵抗スポット溶接	Resistance spot welding	被溶接物に電流を流しジュール熱を発生させ、その母材を熔融させると同時に加圧することによって点接合する溶接法
点接合	Spot welding	線や面ではなく点で接合すること、抵抗スポット溶接はその代表例
炭素繊維強化プラスチック(CFRP)	Carbon fiber reinforced plastics	炭素繊維を樹脂に複合化し、樹脂の機械的性質や物性を改良したプラスチック
熱歪み	Thermal distortion	材料間の熱膨張差によって接合部材に生じる歪み、自動車の塗装乾燥工程で発生しやすい
電食	Galvanic corrosion	材料間の腐食電位の差によって生じるマクロセル腐食、CFRP は腐食電位が高いため金属側の腐食を促進する
振動減衰	Vibration damping	自動車の操安性を押し量る上での一つの基準、軽量化により悪化する性能
振動騒音(NVH)	Noise, Vibration, Harshness	自動車の快適性を押し量る上での一つの基準、軽量化により悪化する性能
ウエルドボンド	Weld bond	溶接と接着を併用する接合法、抵抗スポット溶接と接着の組合せがその代表例
金属間化合物	Intermetallic compound	正原子価をもつ金属元素同士が作る化合物、多くは固体としてのみ安定で脆い
合金化溶融亜鉛めっき鋼板(GI)	Alloyed zinc coated steel sheet	高温で溶かした亜鉛に鋼材を浸し、表面に亜鉛めっきした後、再加熱してめっき層を鉄と合金化するもの
電気亜鉛めっき鋼板(EG)	Electrolytic zinc coated steel sheet	電気めっき法により亜鉛皮膜を形成した鋼板
樹脂官能基	Functional compound	有機化合物を特性づける原子団。機能原子団ともいう。たとえばカルボン酸のカルボキシル基 $-\text{COOH}$ , アルデヒドのアルデヒド基 $-\text{CHO}$ , アルコールの水酸基 $-\text{OH}$ など
ポリプロピレン(PP)	Polypropylene	プロピレンを重合させた熱可塑性樹脂、自動車部品として幅広く使用されている
ポリアミド(PA)	Polyamide	アミド結合によって結合してできたポリマー、一般にナイロンと総称される
ポリフェニレンサルファイド(PPS)	Polyphenylenesulfide	ベンゼン環と硫黄原子が交互に結合した結晶性の熱可塑性樹脂に属する合成樹脂

界面剥離	Interfacial peeling	接合体がその界面で破断すること
凝集破壊	Cohesive failure	接合体の樹脂や接着剤が接合界面ではなく、その内部で破壊すること
継手効率	Joint efficiency	母材強度に対する溶接継ぎ手の強度、 (溶接強度/母材強度)×100%で表す

[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
引張せん断強さ	Tensile Shear Strength	引張せん断試験時の破断荷重
JIS-A 級強度		JIS-Z3140 に規定される A 級（特に強さを要する溶接部）の引張せん断強さ
0.45C		鋼の炭素含有量が 0.45mass% であること
バインダー	Binder	超硬合金に用いられる結合剤

[テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
TEU（20 フィートコンテナ換算個数）	TEU（Twenty-foot Equivalent Unit）	コンテナ船の積載能力を示す単位。1TEU は 20 フィートコンテナ 1 個分を示す。
摩擦重ね圧接法・FLJ	Friction Lap Joining	2 枚の板を重ね、重ね部に片側より回転するツールを押し付け移動させることで、摩擦熱と加圧力を移動線上に与えながら 2 枚の板を接合する手法。
極性官能基	Polar functional group	官能基とは有機化合物の炭化水素の水素部分に置き換わって結合する原子団のことで有機化合物の特性を決定する。極性官能基はこのうち、電気陰性度の高い酸素や窒素原子を含む官能基のこと。水酸基、アミノ基、カルボニル基、カルボキシル基などがそれにあたる。
熱可塑性樹脂	Thermoplastic resin	適当な温度に加熱すると軟化して可塑性を持ち、冷却すると固化する樹脂の総称。
熱硬化性樹脂	Thermosetting resin	初期重合物を加熱すると架橋反応を起こし硬化する樹脂の総称。いったん架橋すると再度加熱しても軟化しなくなる。

STEM（走査透過型電子顕微鏡）	Scanning Transmission Electron Microscope	サブナノサイズに集光した電子線を走査しながら試料に照射し、散乱もしくは透過した電子から得られる像を観察する装置。高角度環状暗視野像（HAADF 像）を用いることで、原子レベルの観察が可能となる。
------------------	---	---

[テーマ番号 08] チタン／チタン連続接合技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
摩擦攪拌接合・FSW	Friction Stir Welding	円柱状のツールと呼ばれる部材で摩擦熱を発生させて材料を接合する方法。
ティグ・TIG (Tungsten Inert Gas)	GTAW (Gas Tungsten Arc Welding)	タングステン電極からアークを発生させる溶接法。
DR	Design Review	設計審査。開発における成果物を、複数の人にチェックしてもらう機会。

[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

用語（日本語）・略号	English	用語・略号の説明
ボイド	Void	空孔
SPR	Self Piercing Riveting System	母材にした穴を開けずにリベットを打ち込み、リベットと母材の塑性変形により接合強度を得る機械的接合法
Tox	Tox	リベットを使わずに、母材を塑性変形させるカシメ接合方法のひとつ
真空紫外線光・UVU	Vacuum Ultra Violet	電磁波の一種で、紫外線の中でもっとも波長の短い 10–200 nm 付近の領域
X 線光電子光 XPS	X-ray Photoelectron Spectroscopy	サンプル表面に X 線を照射し、生じる光電子のエネルギーを測定すること。サンプルの構成元素とその電子状態を分析することができる
FAB	Fast atom beam	高速電子線

## 8. テーマ 8 「戦略・基盤研究」

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略  
特に無し。

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査  
特に無し。

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

# I. 事業の位置付け・必要性について

## 1.事業の背景・目的・位置付け

### 1.1 事業の背景

我が国の CO<sub>2</sub> 排出総量（2010 年度）は約 12 億 t であり、このうち運輸部門の排出量はこの 20%を占め 2 億 3 千万 t となっている。自動車はこの運輸部門のうち 88%もの排出量を占め、日本全体の CO<sub>2</sub> 排出量の 17%以上を占めている事になる。

また国内のエネルギー使用量(2009 年度)は 1.4 万 PJ であり、この中の約 24%を運輸部門が占めており、そのうちガソリン、軽油、LP ガス等の石油由来エネルギーは 98%を占めている。

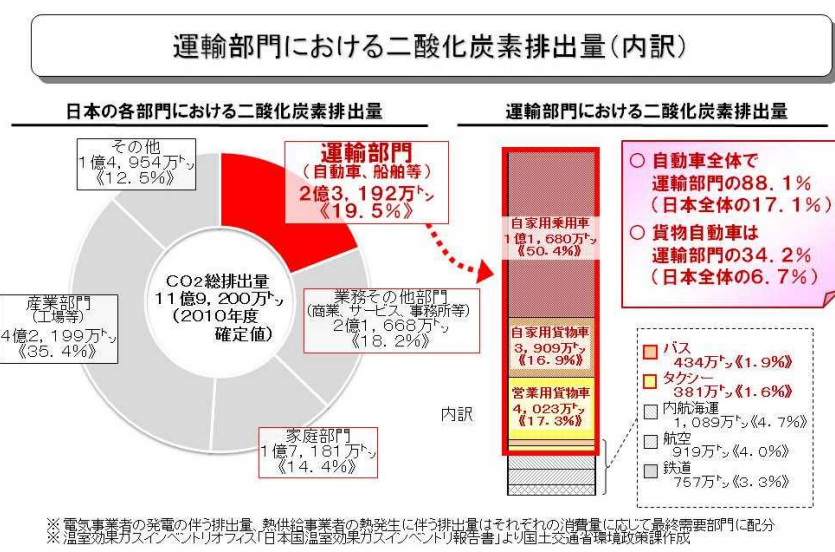


図 I-1 運輸部門における CO<sub>2</sub> 排出量

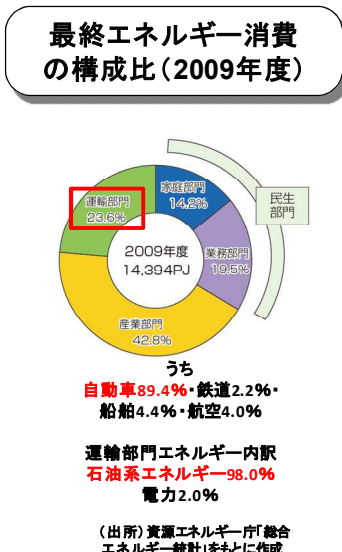


図 I-2 最終エネルギー消費の構成比の内訳

この中で特に自動車は 89%を占め、自動車の燃費改善は社会的に非常に大きな影響がある。自動車の燃費改善に関しては各国での取り組みが行われている中、特に欧米諸国での CO<sub>2</sub> 排出量規制の強化が進められており、自動車の CO<sub>2</sub> 排出量削減、燃費の向上が強く求められている。今後の CO<sub>2</sub> 排出量削減に向けて、自動車の燃費向上に係る技術開発が重要となる。このような中、自動車用内燃機関の効率向上やハイブリッド自動車の開発、電気自動車の開発により燃費改善が進められているが、これと共に自動車車体の軽量化が燃費の改善に非常に重要になる。

近年の車両軽量化技術開発では、軽量材料を適材適所に使うマルチマテリアル化が進められている。その際、異種材料接合が鍵となるが、材質が大きく異なる材料間の接合や、自動車としての安全性を保証する上で欠かせない接合部の性能評価技術など、今後克服すべき数多くの技術課題が残されている。また、構造材料そのものの軽量化も極めて重要な課題であり、高強度、高延性、不燃性、耐食性、耐衝撃性等の機能が確保された軽量構造材の開発が必要である。それと同時に、これらの機能を損なうことのない接合技術や成形加工技術等の開発が求められる。



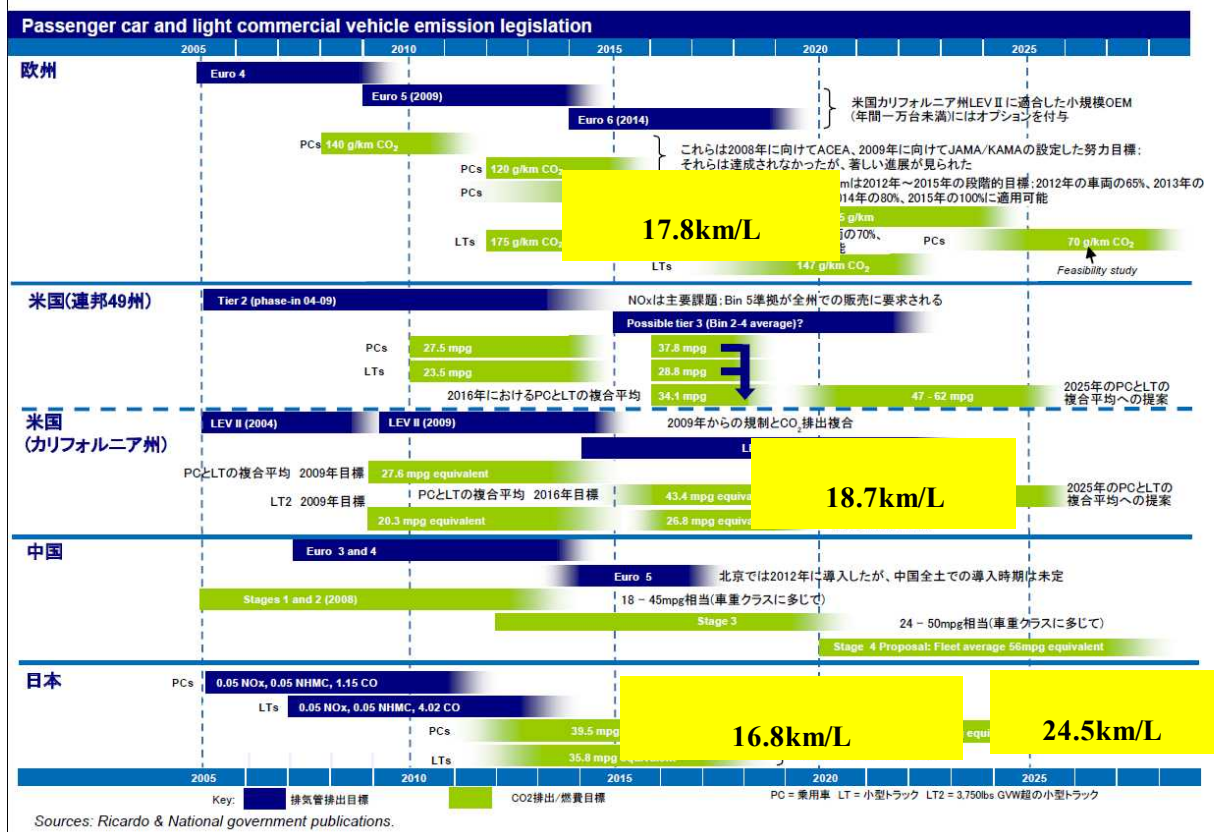


図 I -3 世界の燃費規制動向

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO」という。）では、「革新的新構造材料等研究開発」において平成 26 年から平成 34 年まで、輸送器機の構造材料の軽量化を目指すこととした。このプロジェクトにおいては、自動車を中心とした輸送機器の抜本的な軽量化に向けて、革新的接合技術の開発や、鋼材、アルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、炭素繊維及び炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber Reinforced Plastics、以下「CFRP」という。）等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発を一体的に推進する。これにより、輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の削減、我が国の部素材産業及びユーザー産業の国際競争力強化を目指す。

普通鋼材(引張強度270~330MPa)から  
ハイテン鋼(引張強度>440MPa)・  
超ハイテン鋼(引張強度>980MPa)  
の採用による軽量化

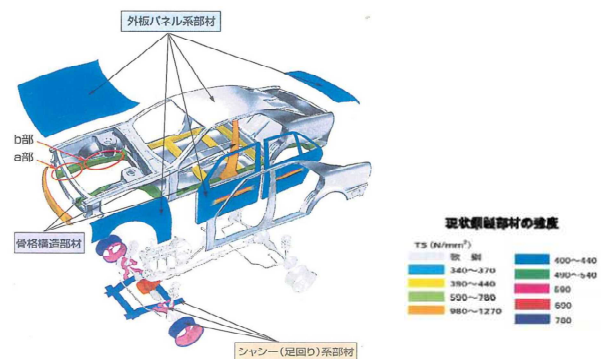


図 I -4 高強度材による構造部材の使用量の削減

## 1.2 事業の目的及び意義

我が国は高張力鋼では他国を圧倒する技術を有し、また炭素繊維においてもその市場シェアの70~90%以上を占める等、輸送機器の軽量化に関わる素材の研究開発、事業化において強みを持っている。このような状況下で輸送機器、特に自動車の軽量化に関しては強みとしている素材を応用することで、CO<sub>2</sub>排出量の削減に繋がる。

そこで、本プロジェクトでは車体等の構造材を形成する素材である、鋼材（鋼板）、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材、炭素繊維、炭素繊維強化樹脂とこれら構造材を接合する接合技術の研究開発を委託事業により輸送機器のCO<sub>2</sub>排出量の削減を進める。

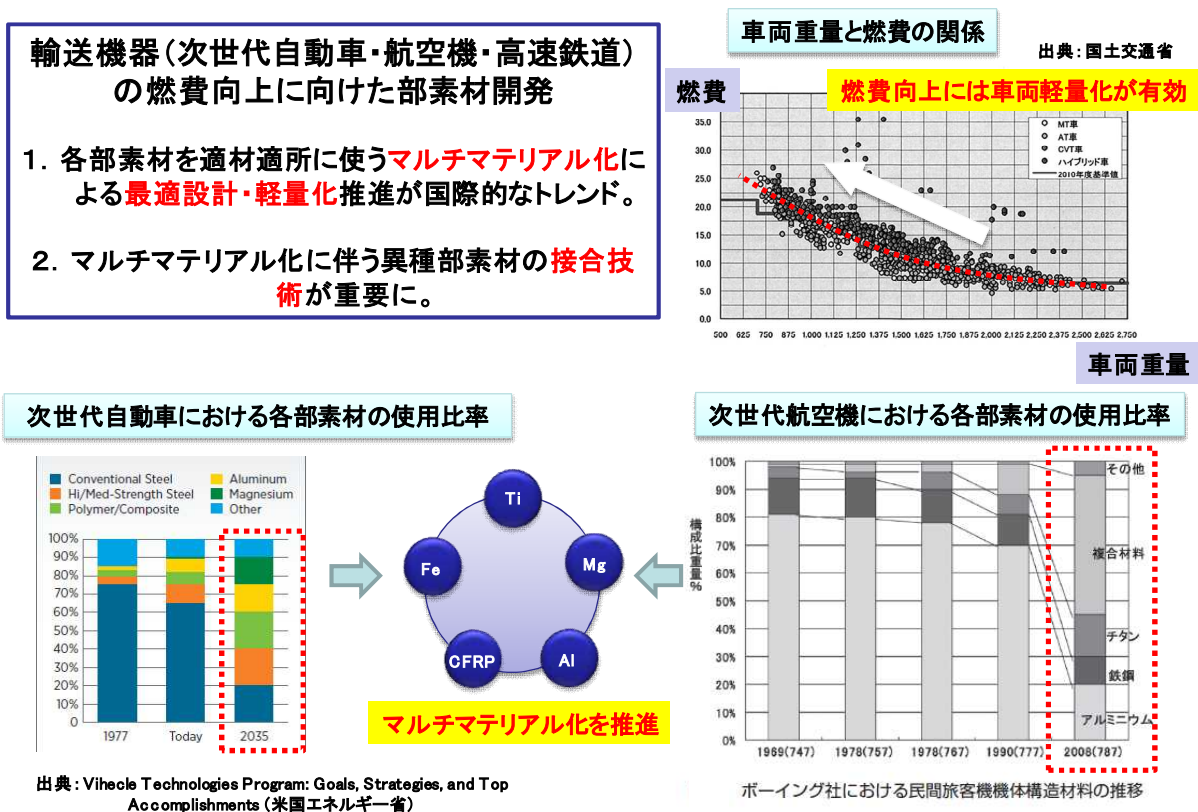


図 I -5 輸送器機軽量化とマルチマテリアル素材の活用

軽量化を実現するために各素材のマルチマテリアル化を進める上で、我が国の素材産業を本プロジェクトで束ね、オールジャパン体制で研究支援をすることにより、軽量化とマルチマテリアルを実現する接合技術をシームレスに進める事が出来る。

また本事業は平成25年度より経済産業省の直執行事業としてスタートした10年に渡る長期プロジェクトである。平成26年度にプロジェクトの円滑な推進のためにNEDOにプロジェクト移管され、その際に軽量構造材料の素材としての炭素繊維の研究開発も本事業の委託の一部として加入し、現在のプロジェクトを構成している。図 I -6 に本プロジェクトのスケジュール概要を示す。

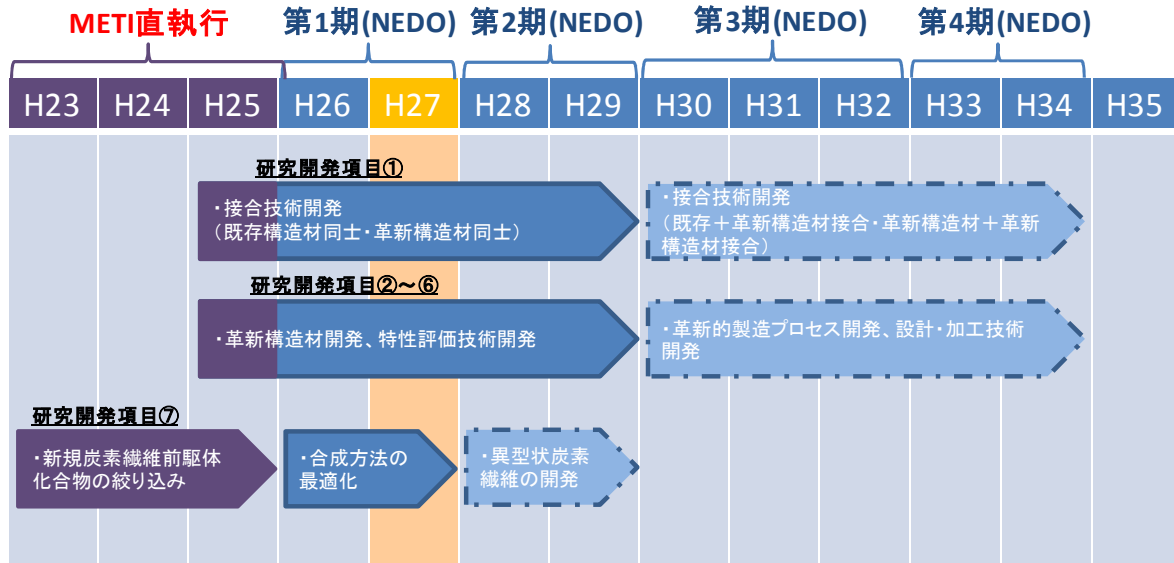


図 I -6 プロジェクトスケジュールの概要

### 1.3 事業の位置付け

#### 1.3.1 政策的位置づけ

本事業は経済産業省が推進する、「未来開拓プロジェクト」の一つであり、本研究開発は既存技術の延長線上にない、夢のある「未来技術開拓」を実施するものである。内閣府総合科学技術会議では「平成 25 年度科学技術重要施策アクションプラン」により、重点的取組として「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」を実現するものと登録されている。また、日本再生戦略「グリーン成長戦略」では重点施策の「グリーン部素材が支えるグリーン成長の実現」に基づきグリーン部素材自体の革新的イノベーションを生み出すための基礎から実用化まで一貫通貫の未来開拓型の研究開発を推進し、「グリーン部素材」をテコにした成長を実現する。



○我が国が抱えるエネルギー・環境制約等の構造的課題を克服し、将来の成長の姿を描くために、**既存技術の延長線上にない、夢のある「未来開拓技術」**によって日本再生を果たすべく、国が研究開発で新たな道を切り開くべき分野を絞り込み、研究開発投資を重点化し、事業化に至るまで中長期的に推進する体制を構築する。

(総合科学技術会議)

本プロジェクトは「平成25年度科学技術重要施策アクションプラン」の2-3. 政策課題「エネルギー利用の革新」重点的取組④「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」の対象施策として登録されている。

(参考)「平成25年度科学技術重要施策アクションプラン」(抜粋)

2-3. 政策課題「エネルギー利用の革新」

(1) 政策課題のポイント

我が国では、東日本大震災以降のエネルギー制約に対して、省エネによりエネルギー消費量の削減及び電力需要の平準化に取り組んでいる。これらに取組むことは、実質的に新たなエネルギー供給源を確保することと同等の効果があり、消費側での取組を更に強化することが重要である。その際には、生活の質を向上させながらもエネルギー消費量を削減するという、相反する課題も解決する必要がある。また、我が国は、産業・民生・運輸部門の各部門において、様々なエネルギー消費量削減に関する技術力を源泉に高い国際競争力を持っている。しかし、今後も国際競争に打ち勝ち成長するためには、エネルギー消費量削減に関する技術を更に進化させることが必要である。このような状況下、新たなエネルギー有効利用技術を通じて消費量の削減を目指し、「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」を重点的取組に設定する。

(2) 重点的取組④「技術革新によるエネルギー消費量の飛躍的削減」この取組では、例えば、未利用のまま排出されている熱エネルギー等を経済的に回収・変換・蓄積等を行う技術や情報量等の増大により増え続けるエネルギー消費量を根本的に低減する技術、産業・民生・運輸の各部門においてエネルギー消費量を飛躍的に削減する技術等、革新的なエネルギー消費量削減技術の研究開発を推進する。

図 I-7 本プロジェクトの政策的位置づけ

～(略)～

再生可能エネルギー発電設備、蓄電池の高性能化、自動車や航空機の軽量化・省エネ、高断熱住宅等に関する部素材などは、現時点では日本が高い競争力を有しているものの、部素材メーカー単独では製品開発までは行えず、必ずしも部素材の強みを最終製品に反映できていない。

優位性のあるグリーン部素材をいかに製品自体の競争力を高めるため、部素材メーカーと設備・装置メーカー、セットメーカーとが協力し、革新的素材を風力発電の羽根に利用し、風力発電機器自体の競争力強化を図るなど、製品化を見据えた川上川下の共同技術開発の支援を行う。

また、各部素材の安全性や性能評価等のための拠点を整備し、我が国のグリーン部素材開発の基礎力を引き上げる。

さらに、2020年までに現行の2倍の磁力を持つレアアースフリー高性能磁石の開発など、グリーン部素材自体の革新的イノベーションを生み出すための基礎から実用化まで一気通貫の未来開拓型の研究開発を推進し、「グリーン部素材」をテコにした成長を実現する。

(1) I 環境の変化に対応した新産業・新市場の創出 ～グリーン成長戦略～ (P.70～)



図 I-8 日本再生戦略(グリーン成長戦略)より

### 1.3.2 国内外の研究開発の動向と比較

本事業に関わる研究開発を取り巻く状況と、国内外の主要なプレーヤーを表 I-1 に示す。この表からもわかる様に、炭素繊維や鋼材に関しては技術的、生産的優位に立っている事がわかる。しかし、製錬に大きなエネルギーを必要とする非鉄金属はエネルギーコストの安価な北米や中国に対して競争力が弱く、構造材のマルチマテリアル化を進める上で競争力を増す必要がある。

表 I-1 研究開発を取り巻く状況とプレーヤー

	取りまく状況	主要な技術及びプレーヤー
①軽量化	DH 自動車等における国際的な環境基準が整う中、軽量材料を用いた環境負荷の小さい自動車開発が必須になりつつある。鋼材、非鉄材料で技術的優位になる国が違う。日本は鋼板に関して優勢。	—
②高強度化	DH 自動車における衝突安全基準は年々厳しくなり、それに適合する高強度材料の開発が求められる。高強度を実現する車体構造設計が重要。また将来の自動運転により安全基準がどのように変わっていくのかも要注意。	—
③-1 鋼材	DH 欧州とシェア40～50%で市場を分け合っているが、中国・韓国競争力も向上しつつあり、競争力低下が懸念。添加剤メタルの需要逼迫も懸念材料。	新日鉄住金、JFE、神戸製鋼所、東北大 ポスコ(韓国)、宝山鋼鉄(中国)、武漢鋼鉄(中国)、釜山大(韓国)、オーケリッジ国立研究所(米国)、デルフト大(ドイツ)
③-2 アルミニウム材	RA 日系企業のアルミ合金のシェアは14%。精錬・加工まで垂直統合している海外メジャーと比較して生産性が劣る。自動車メーカーと連携して海外進出。	神戸製鋼所、UACJ、産総研、東北大学 アルコア(米国)、アライドシグナル(米国)、コーラスアルミニウム(ドイツ)、ロシア科学アカデミー(ロシア)、中国科学院(中国)
③-3 マグネシウム材	RA マグネシウム合金の市場シェアは10%と低い状況。今後は、難燃性が鍵だが、日本や韓国にて性能改善の成果が出ている。	大阪富士工業、三協立山、熊本大、長岡技科大 アルコア(米国)、ACROSTAK(スイス)、上海交通集団(中国)、中国科学院(中国)、ベングリオン大学(イスラエル)、レイセオン大学(カナダ)
③-4 チタン材	DH スポンジチタンのシェアは中国に次ぐ25%、延伸加工材のシェアは10%。航空機等の重要部材では優位を保っているが、高いエネルギーコストと複雑な生産工程がネック。	東邦チタニウム、神戸製鋼所、新日鉄住金、産総研、東北大学 QUESTEK(米国)、ウエスティングハウス(米国)、ディボン(米国)、ロシア科学アカデミー(ロシア)、中国科学院(中国)、ハルビン工業大学(中国)
③-5 熱可塑性CFRP	RA ～ DH 航空機、産業機器、スポーツ用品業界等では熱硬化性CFRPの需要が多く、加工技術も欧州が進んでいるが、熱可塑性CFRPは、我が国でも基盤技術が出来た段階で、材料も成形加工技術は、世界中がまだこれからの状況。	東レ、東邦テナックス、三菱レイヨン、東洋紡、帝人、東京大学、名古屋大学 Tencate(オランダ)、Bond Laminates(ドイツ)、デルフト工科大学(ドイツ)、フ라운フォーファー研究所(ドイツ)
③-6 炭素繊維	LD 材料開発技術力は極めて高く、世界の主要生産企業7社中、我が国の企業3社で市場シェアの約70%をほぼ独占しており、外国企業の追随を許さない状況下にある。但し、消費エネルギー及びCO <sub>2</sub> 排出量が多く、高コストは共通の課題。	東レ、東邦テナックス、三菱レイヨン、東洋紡、帝人、東京大学 Hexcel(米国)、Cytec(米国)、SGL Carbon(ドイツ)
④-1 接合	RA ～ DH 自動車の軽量化(マルチマテリアル化)に向けて、日米欧で開発競争が激化している。欧米では異業種が連携したコンソーシアム型の国家プロジェクトが立ち上がっている(Light-eBody、ExtraLight等)。また、FSW(TWI)に関する基本特許は英国のものだが、2015年にExpireし、周辺特許は日本勢が多くを抑えている。	三菱重工、川崎重工、大阪大学、産総研、東京工業大学 TWI(英国)、EWI(米国)
④-2 接着	RA 欧州での自動車、航空機等への利用が盛ん。大学等での研究も活発であり、企業による製品展開が進んでいる。	日東電工、住友ベークライト、松下電工 3M(米国)、HENKEL(ドイツ)、LORD(米国)、SIKA TECHNOLOGY(ドイツ)、ルノー(フランス)、AIRCELLE(フランス)、CYTEC(米国)、ホルト大(ポルトガル)、プリストル大(英国)、中国科学院(中国)

表 I-2 ドイツにおける輸送器機軽量化国家プロジェクト

Project	Application	Overall cost [T€]	Funding [T€]
HYLIGHT	Automotive Body	3,125	1,909
CAMISMA	Automotive Body	4,132	2,222
Hybrides Fugen	Automotive Body	3,100	1,714
PP-MultimaterialSystem	Automotive Body	2,648	1,325
Light-eBody	Electric vehicles	7,955	4,190
LYHDIA	Automotive Body	4,911	3,088
MultiKab	Electric vehicles	3,926	2,053
ExtraLight	Automotive Body	4,793	2,664
LEDRA	Automotive Body	1,133	674
BiTaNi	Automotive Body	4,654	2,394
Tran-Hybrid	Automotive Body	9,000	4,500
HAMMER	Automotive Body	1,735	959
ULWAK	Trains Body	7,830	3,915
HYLEIF	Automotive Chassis	2,200	1,100

また欧州、特にドイツでの輸送器機軽量化の研究開発が盛んである。表 I -2 にドイツの輸送器機に関わる国家プロジェクトを示す。

## 2.NEDO の関与の必要性・制度への適合性

### 2.1 NEDO が関与することの意義

車両軽量化のための革新的新構造材料の開発は、先に述べたように未来開拓プロジェクトの一つで有り、そのプロジェクトの特徴は、

#### 1. リスクの高い中長期的テーマ

- ・短期の対策に加え、事業化まで 10 年を超えるような、リスクが高い研究開発を国が主導
- ・エネルギー・環境制約など、抜本的な対策が必要な分野に集中投資

#### 2. 省庁の枠を超えた連携

- ・経産省、文科省の局長級をヘッドとする合同検討会で連携テーマを設定
- ・両省のプロジェクトを一体的に運営するガバニング・ボードを設置、基礎から事業化まで一気通貫

#### 3. ドリームチーム

- ・技術と事業の両面で世界に勝てる産学官ドリームチーム
- ・事業化促進のための適切な知財管理

であり、これを進めるためにはプロジェクトマネジメントを的確に実施し、定期的なテーマ成果の確認、新規課題の取り込み、事業化の促進をする必要があり、NEDO がこれまでに得た知識と実績を生かして推進すべきプロジェクトである。

### 2.2 実施の効果（費用対効果）

実施の効果は以下の通りである。なお、売上、効果は全て平成 42 年度（2030 年度）の推定値である。

- |                         |  |
|-------------------------|--|
| (1)プロジェクト費用の総額          | 429 億円（10 年間推定）                                |
| (2)売上予測                 | 719 億円／年<br>（原油使用量削減による費用削減効果として）              |
| (3)CO <sub>2</sub> 削減効果 | 373. 8 万 t CO <sub>2</sub> ／年<br>（車両軽量化の効果として） |

## II. 研究開発マネジメントについて

### 1. 事業の目標

#### 【アウトプット目標】

自動車や高速車両メーカーのニーズに基づき、各材料（Ti 合金、Mg 合金、Al 合金、革新鋼板、炭素繊維、CFRP 等）の高性能化・低コスト製造プロセス開発・設計加工技術開発の目標を設定。

#### 【アウトカム目標】

現在使用されている輸送機器の原材料を革新的新構造材料に置き換えることで軽量化を図り、平成 42 年において、373.8 万 t の CO<sub>2</sub> 削減が期待される。

#### 【各テーマ開発目標】

#### 研究開発項目①「接合技術開発」

##### (1) チタン／チタン連続接合技術の開発

###### 【第 1 期目標（平成 27 年度末）】

- ・接合深さ：5mm 以上
- ・接合強度：母材強度の 90%以上
- ・接合装置：設計技術の確立

###### 【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

- ・接合深さ：10 mm以上
- ・接合強度：母材強度の 90%以上
- ・接合装置：設計技術の確立

##### (2) 中高炭素鋼／中高炭素鋼接合技術の開発

###### 【第 1 期目標（平成 27 年度年末）】

###### (a) スポット接合技術開発

- ・接合強度：厚み 1.5mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値の 70%

###### (b) 連続接合技術開発

- ・接合強度：厚み 2 mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、母材強度の 70%

###### 【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

###### (a) スポット接合技術開発

- ・接合強度：厚み 1.5mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値の 70%以上

###### (b) 連続接合技術開発

- ・接合強度：厚み 2 mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、母材強度の 70%以上

##### (3) 鋼材／アルミニウムの接合技術の開発（スポット接合技術）

###### 【第 1 期目標（平成 27 年度末）】

- ・接合強度：試験片の接合で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値以上または母材破断
- ・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立
- ・鋼板／アルミニウム間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立

【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

- ・高減衰接着剤の仕様決定
- ・電食に対する防錆技術の確立

(4) アルミニウム／CFRP 接合技術の開発

【第 1 期目標（平成 27 年度末）】

- ・接合強度：試験片の接合で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値以上または母材破断
- ・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立
- ・アルミニウム／CFRP 間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立

【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

- ・高減衰接着剤の仕様決定
- ・電食に対する防錆技術の確立

(5) 鋼材／CFRP 等樹脂接合技術の開発

【第 1 期目標（平成 27 年度末）】

- ・接合強度：母材破断

【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

- ・接合強度：母材破断
- ・電食による接合部腐食の評価手法の確立

研究開発項目②「革新的チタン材の開発」

(1) 製錬・溶解・熱延工程を革新的に短縮した高機能チタン薄板製造技術開発

【第 1 期目標（平成 27 年度末）】

(a) 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス要素技術の開発

- ・鉄含有値：ばらつき範囲 50～500ppm 平均値 200ppm 以下
- ・酸素含有値：ばらつき範囲 100～200ppm 平均値 150ppm 以下
- ・塩素含有値：300ppm 以下

(b) 上記スポンジチタンを活用した高効率チタン薄板製造プロセス要素技術の開発

- ・薄板中の気孔率：1%以下
- ・引張強度・延性バランス：現行材より 20%向上

【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

(a) 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス要素技術の開発

- ・大型工業製品製造に不可欠な工程技術の要素技術を確立し、量産プロセスの見通しを得る。



- (b) 上記スポンジチタンを活用した高効率チタン薄板製造プロセス要素技術の開発
- ・工業的に薄板を製造するプロセスの要素技術を確立し、量産プロセスの見通しを得る。

(2) チタン材連続一貫製造プロセス技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- (a) スクラップチタンやチタン鉱石などのチタン低廉材料の溶解・精錬要素技術の開発
- ・精錬後の酸素含有値：300ppm 以下
- (b) 上述の溶解・精錬技術と鋳造、圧延を組み合わせたチタン材連続一貫製造プロセス要素技術の開発
- ・引張強度：現行材より20%向上

【第2期目標（平成29年度末）】

- (a) スクラップチタンやチタン鉱石などのチタン低廉材料の溶解・精錬要素技術の開発
- ・実機プロセスにおける精錬後の酸素含有値を300ppm以下とする要素技術確立の見通しを得る。
- (b) 上述の溶解・精錬技術と鋳造、圧延を組み合わせたチタン材連続一貫製造プロセス要素技術の開発
- ・高速高圧下箔圧延技術：生産性向上の達成に向けた要素技術を確立し、量産プロセスへの見通しを得る。

(3) チタン新製錬技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

工業化への展開が可能な低コストでの新規な製錬技術の開発  
(ラボスケールで検証)

- ・鉄含有値：2000ppm 以下
- ・酸素含有値：1000ppm 以下

【第2期目標（平成29年度末）】

工業化への展開が可能な低コストでの新規な製錬技術の開発

- ・精錬プロセス設計指針を構築し、量産プロセスへの見通しを得る。

研究開発項目③「革新的アルミニウム材の開発」

(1) 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・引張強度：660MPa 以上（現状：600MPa）
- ・耐力（降伏強度）：600MPa 以上（現状：550MPa）
- ・伸び：12%以上

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・引張強度：750MPa 以上（現状：600MPa）
- ・耐力（降伏強度）：700MPa 以上（現状：550MPa）
- ・伸び：12%以上

(2) アルミニウム材製造電析プロセス技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・電解条件の確立
- ・電析メカニズムの解明

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・AlCl<sub>3</sub>系イオン液体の大量合成手法の確立
- ・パイロットプラントによる実証実験

研究開発項目④「革新的マグネシウム材の開発」

(1) 易加工性マグネシウム材の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：250MPa 以上
- ・伸び：15%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性
- ・AZ31（マグネシウム材）と同程度以上の押出速度

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：270MPa 以上
- ・伸び：20%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性
- ・A6N01（アルミニウム材）と同程度以上の押出速度

(2) 高強度マグネシウム材の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：350MPa 以上
- ・伸び：13%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：360MPa 以上
- ・伸び：15%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

(3) マグネシウム材の評価手法の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・既存の難燃性マグネシウム合金を対象として、発火メカニズムおよび腐食メカニズムの解明と評価手法の導出

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・既存の難燃性マグネシウム合金を対象として、発火特性、腐食特性に関するデータベース構築

研究開発項目⑤「革新鋼板の開発」

(1) 高強度高延性中高炭素鋼の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアメタル添加量：10wt%未満
- ・引張強度：1.2GPa以上
- ・伸び：15%以上

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアメタル添加量：10wt%未満
- ・引張強度：1.2GPa以上
- ・伸び：20%以上

(2) 中高炭素鋼の解析・評価手法の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・低濃度炭素検出技術  
炭素定量下限：30ppm
- ・微細粒成長動的観察技術  
像分解能：15nm
- ・加熱加工模擬技術の確立
- ・鋼の歪み挙動解析技術の確立

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・鋼組織の高速定量解析技術の確立
- ・鋼中のヘテロ構造と軽元素の空間相関評価技術の確立

研究開発項目⑥「熱可塑性 CFRP の開発」

(1) 熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・CFRP と異種材料（鉄鋼、アルミ合金）との接合の要素技術の見極めを行い、上記接合方式・接合形状における強度設計に必要なデータベースを構築する。

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・平成27年度までに構築した異材接合データベースを基に、現行量産車において多用され一般的に用いられている接合方式（ボルト締結や接着接合）と同等以上の強度を達成するための要素技術及びその設計手法を確立する。また、最適

な非破壊評価手法を確立する。

(2) 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工技術の開発

【第 1 期目標（平成 27 年度末）】

- (a) 熱可塑性 CFRP の中間基材の開発
  - ・ 中間基材のバリエーションを拡大し、車体の 6 割軽量化を実現する中間基材の製造に係る要素技術を確立する。
- (b) 熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発
  - ・ 開発材の静的及び動的力学特性把握のための標準試験法・試験片製作方法を提案する。
- (c) 熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発
  - ・ 開発材の静的及び動的材料特性を CAE（Computer Aided Engineering）解析に適用した予測技術を確立し、予測精度を既存の鋼板製車体と同等以上とする。
- (d) 熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発
  - ・ 成形シミュレーション技術を構築する。
- (e) LFT-D（Long Fiber Thermoplastics-Direct）成形の基礎技術の開発
  - ・ 炭素繊維と熱可塑性樹脂の混練体の流動特性と材料特性の関係を解析し、混練プロセスの最適条件を解明し、基礎的力学的モデルを提案する。また、初歩的 CAE 解析技術を確立する。
- (f) 大物高速成形技術の開発
  - ・ 初歩的なボディ部材を対象に高速プレス成形技術を確立する。また、構造材の剛性確保のために LFT-D 成形品の部分補強を試行する。ハイブリッド構造を達成するためのマテハン技術の概念を決定する。
- (g) 大物高速接合技術の開発
  - ・ 熱可塑性 CFRP 使用部材同士の接合方法を見極め、最適手法を選択する。
- (h) 高意匠性外板製造技術開発
  - ・ 高意匠性を支配する技術要因を分析し、基礎技術を見極める。
- (i) 実証評価
  - ・ 実証評価の実施方法を策定する。

【第 2 期目標（平成 29 年度末）】

- (a) 熱可塑性 CFRP の中間基材の開発
  - ・ 組立パーツの部品点数の半減を実現する中間基材の製造に係る要素技術を確立する。
- (b) 熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発
  - ・ 材料特性発現メカニズムを解明することにより、標準試験法による評価値の妥当性を検証する。
- (c) 熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発
  - ・ CAE 解析予測技術を用いた複数部材の一体化設計技術を開発し、組立パーツの部品点数半減と車体の 6 割軽量化のための要素技術を確立する。
- (d) 熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発

- ・成形シミュレーション技術を基にして、繊維配向や形状安定性の予測手法を確立する。
- (e) LFT-D (Long Fiber Thermoplastics-Direct) 成形の基礎技術の開発
  - ・量産化につながる混練・押出プロセスの要素技術を確立する。また、LFT-D の材料特性データベースの一部を構築するとともに、試験法標準化への道付けを実施する。さらに、力学モデルの高度化を行い、CAE 解析ソフトウェアに組込む。
- (f) 大物高速成形技術の開発
  - ・複雑なボディ部材の成形技術を確立し、量産化に繋がる要素技術を確立する。ハイブリッド成形技術を確立するとともに、高速マテハン技術の要素技術を確立する。
- (g) 大物高速接合技術の開発
  - ・熱可塑性 CFRP 使用部材同士の接合技術を確立する。
- (h) 高意匠性外板製造技術開発
  - ・選定した材料、プロセスを用いて、高意匠性付与技術を確立する。
- (i) 実証評価
  - ・自動車構造体を想定して、軽量化及び量産性の検証を行う。

#### 研究開発項目⑦「革新炭素繊維基盤技術開発」

##### (1) 新規炭素繊維前駆体化合物の開発

###### 【第 1 期目標 (平成 27 年度末)】

- ・下記 (2) の成果とあわせて、新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。

###### 【第 2 期目標 (平成 29 年度末)】

- ・下記 (2) の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。

##### (2) 炭化構造形成メカニズムの解明

###### 【第 1 期目標 (平成 27 年度末)】

- ・(1) の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。

###### 【第 2 期目標 (平成 29 年度末)】

- ・(1) の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。

##### (3) 炭素繊維の評価手法開発、標準化

###### 【第 1 期目標 (平成 27 年度末)】

- ・圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO 化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告

(TR) としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント (LCA) に活用するためのデータを収集する。

**【第2期目標 (平成29年度末)】**

- ・熱可塑性樹脂と異形状炭素繊維の界面特性を検証し、その特性発現メカニズムを解明することにより、標準的な力学的試験法を確立する。

研究開発項目⑧「戦略・基盤研究」

(1) 新構造材料の動向調査・技術・研究戦略

**【第1期目標 (平成27年度末)】**

- ・研究開発のビジョンの明確化
- ・接合技術及び個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出
- ・プロジェクトの技術・研究戦略の策定
- ・新規材料の輸送機器への適用可能性の明確化
- ・新規材料の研究開発方針の明確化

**【第2期目標 (平成29年度末)】**

- ・必要に応じて、平成27年度末に設定する。

(2) 共通基盤技術の調査研究

**【第1期目標 (平成27年度末)】**

- ・構造材料、接合プロセスに関する新たな研究シーズの顕在化
- ・マルチマテリアル設計における、研究方向性の明確化
- ・材料と破壊の基礎メカニズム解明
- ・接合部の非破壊評価手法の確立
- ・プロセスモニタリング／ヘルスマニタリング手法の確立

**【第2期目標 (平成29年度末)】**

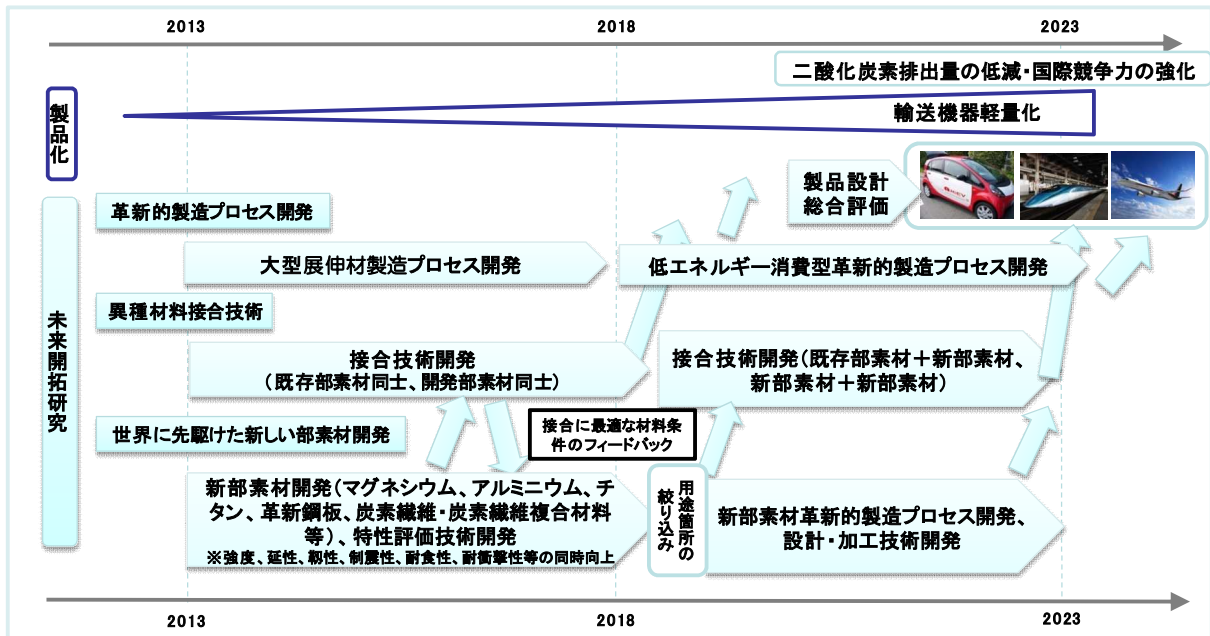
- ・必要に応じて、平成27年度末に設定する。

## 2.事業の計画内容

### 2.1 研究開発の内容及び全体スケジュールと予算

#### 2.1.1 研究開発の内容

構造材料の研究開発による輸送機器本事業の全体計画を図Ⅱ-1に示す。



図Ⅱ-1 本事業の全体スケジュール

革新的製造プロセス、異種材料接合技術、軽量化に関わる新しい部素材の開発をまずは平成25～平成29年度のプロジェクト前半の5年で実施し、それを基に後半5年間で低エネルギー消費型の新たなプロセス、新材料を使いこなす接合技術、設計・加工技術を構築し、最終的には輸送機器の製品設計に結びつけ軽量輸送機器を実現する。

#### (1)研究開発項目①「接合技術開発」

本プロジェクトで開発する革新的構造材料（鉄鋼、アルミニウム、マグネシウム、チタン、CFRP）による同種・異種材料接合技術を確立するため、被接合材料に適した新規接合方法の開発とその有効性の検証を進める。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34
ハイテン用接合技術 JFE	1.2GPa級ハイテンの接合技術開発			プロセス条件の確認		1.5GPa級ハイテン接合技術開発
AL/鉄鋼 AL/CFRP 接合技術 マツダ	技術構想の実証		第一期目標	性能と効果検証	第二期目標	実用化主要課題の解決 最終目標
ハイテン用接合 装置開発 川崎重工		1.5GPa級ハイテンのFS接合技術開発				実用化主要課題の解決 目標
鉄鋼/CFRP 接合技術 IHI		構造要素開発		構造部材開発		大型構造部材への 適用技術開発

図 II-2 「接合技術開発」のスケジュール

(2)研究開発項目②「革新的チタン材の開発」

本プロジェクトではチタン材の「革新的新製造プロセス」を実用化することで、高価なチタン材のコストダウンを図ることを最終目標にしている。そのため、まずプロジェクト前半では、それぞれの工程（チタン製錬工程－茅ヶ崎分室、溶解工程－西神分室、圧延工程－富津分室）でラボスケールでの基盤技術の確立をめざし、その後スケールアップ技術を確立し、パイロットプラントなどによる試作実証を経て、事業化に結びつける予定にしている。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34
スポンジチタン材 東邦チタニウム	パイロットプラントによる要素技術の確立		第一期目標	実機製造ラインへ組込	第二期目標	実機ラインでの実証 最終目標
低コストチタン材 神戸製鋼所	ラボレベル一貫製造プロセス		第一期目標	ラボプロセス検証	第二期目標	実証小型プラントによる検証 目標

図 II-3 「革新的チタン材の開発」のスケジュール

(3)研究開発項目③「革新的アルミニウム材の開発」

まずは国産ジェットに参入するべく合金開発・量産体制の確立を目指す。続いて海外小型ジェット機メーカーや大型旅客機への展開を計る。アルミ化が進んでいる自動車のパネル材に対して、骨格部材では、アルミニウムの適用が遅れている。本研究開発では、その得られた成果を、骨格部材を対象にしたアルミニウム素材開発によって実用化することを狙いとしている。



	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34
航空機用高強度材料 UACJ,神戸製鋼所	基本技術の確立		第一期 → 目標	大型設備化設計	第二期 → 目標	実機生産プロセスへの展開 → 最終 目標
自動車用複層材料 神戸製鋼所	要素技術の確立		第一期 → 目標	量産技術の確立	第二期 → 目標	→ 最終 目標

図 II-4 「革新的アルミニウム材の開発」のスケジュール

(4)研究開発項目④「革新的マグネシウム材の開発」

本テーマは難燃性新 Mg 合金の開発とその適用技術の確立を通して構造用 Mg 合金の実用化を図ることを目的としている。実用化に向けては「次世代高速車両構体」をターゲットとして明確化し、ユーザー側からの意見を常に取り入れる体制を構築して研究開発を遂行している。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34
車両構体用部材 三協立山	高強度厚板材(3mm)作製 技術の基礎的検討		第一期 → 目標	車両用板材開発	第一期 → 目標	板厚材(6mm)の 製造技術開発 → 最終 目標
難燃性Mg接合技術 総合車両製作所	接合施工法の開発 基礎技術確立		第一期 → 目標	信頼性評価技術確立 小型構造体試作	第一期 → 目標	大型構造体試作による検証 → 最終 目標

図 II-5 「革新的マグネシウム材の開発」のスケジュール

(5)研究開発項目⑤「革新鋼板の開発」

中間目標である 1.2GPa-15%ハイテン鋼板の開発は、1年間前倒しで開発が完了し、1.5GPa-20%ハイテン鋼板の開発は平成 29 年度末（前半 5 年）で早期に完了させることを目標とする。平成 30 年度からは水素脆性や腐食など高強度鋼板に不可欠な課題に協調して取り組むとともに、自動車部品に必要な加工性などの課題について各分担研が自動車メーカーや部品メーカーに試作品を提供し競争テーマとして開発を進め実用化・事業化を図る。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34	
高強度鋼板 JFE,新日鉄住金, 神戸製鋼所	1.2GPa級ハイテンの材料設計		第一期目標	成形性評価	第一期目標	1.5GPa級ハイテンの材料設計技術確立	最終目標
	技術確立			溶接性評価			

図 II -6 「革新鋼板の開発」のスケジュール

(6)研究開発項目⑥「熱可塑性 CFRP の開発」

車体軽量化への寄与度が最も高いと期待される CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維強化プラスチック) の特長であるテーラードデザインの可能性を生かし、強化材の形態や配向状態、樹脂組成、製造プロセスを含めたトータルな材料設計技術を構築する。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34	
熱可塑性CFRP材料 名大NCC	LFTD要素技術開発		第一期目標		実証評価	製品化事業化基盤確立	最終目標
自動車用熱可塑性 CFRP材料 東大コンソ	センターピラー最適構造設計技術			車体部分的最適化設計			
						製品化事業化基盤確立	目標

図 II -7 「熱可塑性 CFRP の開発」のスケジュール

(7)研究開発項目⑦「革新炭素繊維基盤技術開発」

本テーマは、我が国の炭素繊維の国際優位性を維持し、かつ、国内における炭素繊維の利用産業の競争力強化を図っていくため、環境負荷が少なく、かつ、生産性が大きく向上する新たな炭素繊維製造プロセスの基盤技術の研究開発を実施する。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30-34	
革新炭素繊維基盤 技術開発 東京大学	高生産性炭素繊維の基盤技術の確立		第一期目標		第二期目標		最終目標
革新炭素繊維多機能化 東京大学				異形状断面、高機能炭素繊維の開発			

図 II -8 「革新炭素繊維基盤技術開発」のスケジュール

## 2.1.2 研究開発予算

図Ⅱ-9に本事業の平成34年度までの予算を示す。平成25年度から本事業はスタートしているが、平成25年度のみ経済産業省の直執行事業として活動し、平成26年度からNEDOにて管理する事業となっている。なお、平成27年度には本プロジェクト内のいくつかの研究テーマに開発促進財源投入を行い、研究事業の加速を実施している。

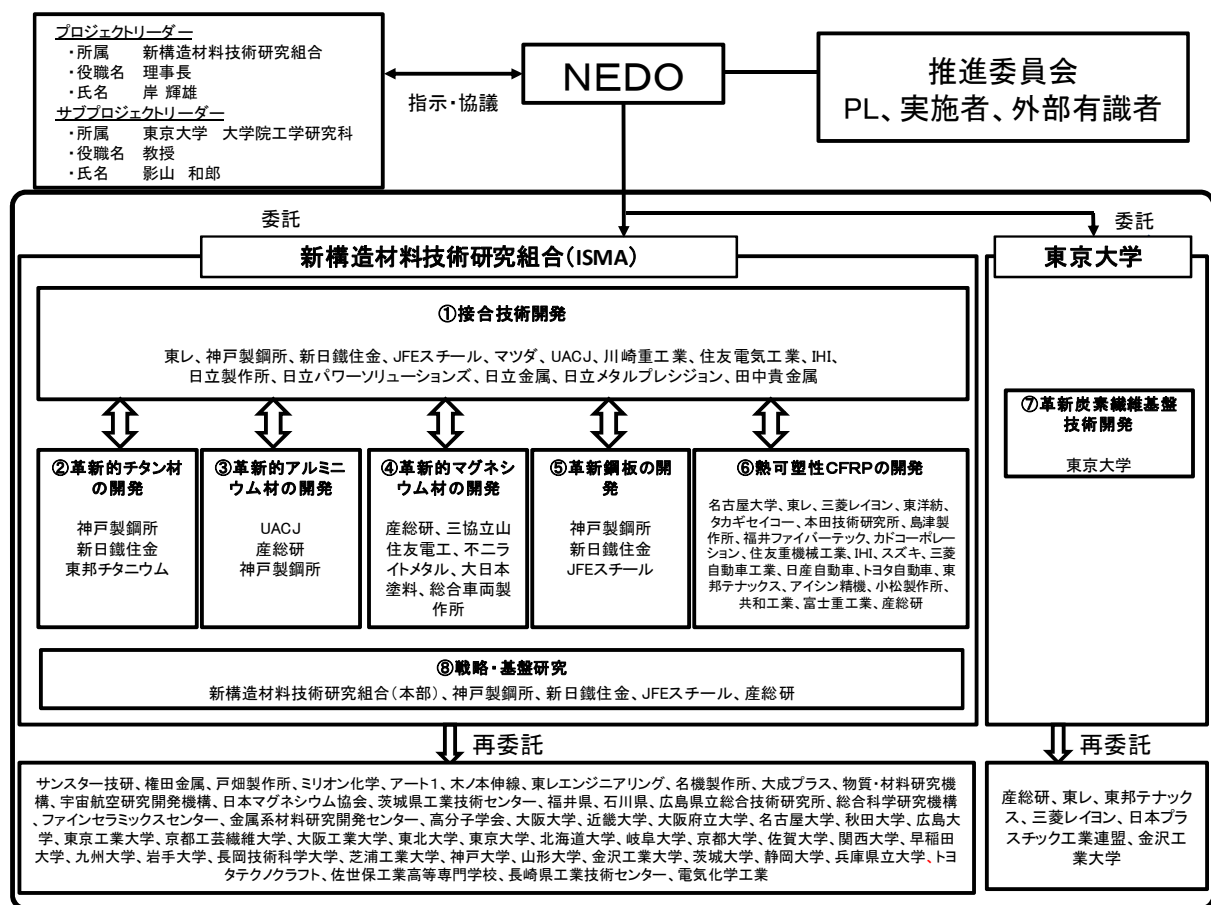
研究開発項目	平成25年度	平成26年度	平成27年度	平成28年度	平成29年度	平成30年度	平成31年度	平成32年度	平成33年度	平成34年度	合計
新構造材料技術	2,212	3,780	3,496	4,050	4,786	4,450	4,097	3,976	3,398	2,961	37,205
熱可塑性CFRP	830	-	-	-	-	-	-	-	-	-	830
革新炭素繊維	918	980	804	300	354	330	303	294	252	219	4,755
合計	3,959	4,760	4,300	4,350	5,140	4,780	4,400	4,270	3,650	3,180	42,790
加速			1,570								1,570

図Ⅱ-9 本事業の予算（単位：百万円）

## 2.2 研究開発の実施体制

本事業は、平成25年度に経済産業省の直執行事業としてスタートした。その後、平成26年度からプロジェクトの円滑なマネジメントを行うためにNEDOへ移管され、その際に軽量構造材料の素材となる炭素繊維の研究開発も委託事業の一部として加わり研究開発を推進している。

図Ⅱ-10に事業全体の実施体制を示す。



図Ⅱ-10 革新的新構造材料等研究開発プロジェクト実施体制



## 2.3 研究開発の運営管理

### ①研究開発の進捗把握・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO は、経済産業省及び研究開発実施者と密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、全体の最終目標の効率的かつ効果的な研究開発の早期達成のため、(新たな課題の対応も含む) 関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、実施方針に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

### ②技術分野における動向の把握・分析

NEDO は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

### ③ステージゲート方式の実施

研究開発を効率的に推進するため、ステージゲート方式を適用する。NEDO は、経済産業省と密接に連携し、外部有識者による審査を活用し、平成 28 年度以降の研究開発テーマの継続是非を平成 27 年度に決定する。

PL : 新構造材料技術研究組合 理事長 岸輝雄

SPL : 東京大学 大学院工学系研究科 教授 影山和郎

PM : NEDO 電子・材料・ナノテクノロジー部 主査 今西大介

表 II-1 会議体等による運営管理の実績

主な会議体	開催頻度	メンバー	内容	実績	
プロジェクト全体	技術推進委員会	年1回	実、P、委、I、東、N	外部委員による進捗議論	1回
	プロジェクト推進委員会	年1回	P、委、I、N、M	プロジェクト推進のための検討委員会	1回
	コーディネーター会議	不定期	P、委、I	コーディネーターとの会議	2回
接合技術開発	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	その他	随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	4回
		不定期	P、委、I	分科会	2回
革新的チタン材の開発	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	その他	随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	4回
		不定期	P、委、I	分科会	3回
革新的アルミニウム材の開発	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	その他	随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	4回
		不定期	P、委、I	分科会	3回
革新的マグネシウム材の開発	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	その他	随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	4回
		不定期	P、委、I	分科会	3回
革新鋼板の開発	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	その他	随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	4回
		不定期	P、委、I	分科会	3回
熱可塑性CFRTPの開発	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	合同会議	年2回	実、I、N	グループ間情報共有	2回
	拠点会議	随時	実、I	個別の進捗確認	2回
	その他	随時	実、委、I、N	研究方向性の確認	3回
		随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	4回
革新炭素繊維基盤技術開発	推進会議	年2回	実、SP、N	外部委員との技術検討会	2回
	合同会議	月1回	実、SP	テーマ共通課題検討	12
	個別テーマ研究会	月1回	実、SP	個別の進捗確認	36
	その他	年4回	実	知財関連の課題検討	4回
戦略・基盤研究	全体会議	年2回	実、P、I、N	テーマ共通課題検討	3回
	技術討論	不定期	実、P、委、I	講演会・勉強会	4回
	先導研究会議	随時	委、I	調査委員会	5回
	調査委員会	不定期	P、委、I、N	車体軽量化	4回
	その他	随時	実、P、委、I	実施者ヒアリング	2回
		不定期	P、委、I	分科会	3回

実：実施者、P：PL、SP：SPL、委：外部委員、I：ISMA、東：東大影山研、  
N：NEDO

## 2.4 研究開発成果の実用化・事業化に向けたマネジメントの妥当性

毎年度 NEDO が主催する技術推進委員会で外部有識者の意見をマネジメントに反映し、目標値の追加・見直しや追加予算（加速予算）の投入を行うことで、研究開発を促進し、実用化・事業化の早期実現に繋げている。表 II-2 に H26 年度に開催された技術推進委員会での指摘事項とマネジメントへの反映を示す。

表 II-2 技術推進委員会でのマネジメント反映実績

	指摘事項	対処
革新的接合技術の開発	・Tiの接合に関しては、接合対象材料の拡大も検討し明確な事業目標を作成し平成27年度実施計画に反映すること。	・Tiの接合だけでは接合技術の裾野が広がらないので、鋼板/鋼板の接合も検討に加えた。
	・接着に関する先導研究を開始すること。	・新規先導研究として接着の調査事業を開始した。
革新的チタン材の開発	・コスト目標を明確にして、明確な研究目標値として平成27年度実施計画に反映すること。	・現行コストに対しての削減額数値の明確化を実施。
革新的アルミニウム材の開発	・航空機等の出口戦略シナリオとスケジュールの明確化を行い、平成27年度実施計画書に反映すること。	平成27年度の実実施計画書に航空会社に供試すると明記。
革新的マグネシウム材の開発	・高速鉄道車両モデル構造体検討のための研究加速支援を平成27年度に行うこと。	平成27年度に研究加速を実施。
革新鋼板の開発	中性子散乱に関する先導研究を開始すること。	・中性子散乱に関する新規先導研究を開始した。
革新炭素繊維基盤技術開発	・今後も CFRP 事業との連携を続け、連携効果を高めていくこと。	・引き続き CFRP 事業との連携を緊密に行っていくとともに、NEDO「CFRP 連携協議会」にて連携内容の拡大に合意した。
熱可塑性 CFRP の開発	・研究開発2拠点の役割分担の明確化を行うこと。	・「CFRP 連携協議会」として NEDO の委員会として設置。研究開発分野担当範囲の整理を実施。
調査・共通基盤技術	・構造材料戦略の全体像を自動車車両の軽量化を題材に可視化すること。	・車体軽量化調査事業により軽量化目標といくつかのシナリオにより可視化。

また、シンポジウムや成果報告会の開催を通じて、事業と成果の PR を行い、本研究開発の重要性とその先進性をアピールしている。

## 3.知的財産権等に関する戦略（知財戦略、知財委員会）

本プロジェクトは経済産業省の推進している未来開拓型研究プロジェクトであり、参加者間のシナジー効果発揮等によるプロジェクトの目的（研究開発の成功と成果の事業化による国益の実現）達成を確実にするための知的財産についての適切な管理を行い、プロジェクトで発生する知的財産が、原則として組合員に帰属することを前提としている。

また NEDO プロジェクトにおける知財マネジメント基本方針に沿って、委託先からなる「知財委員会」を整備し、知財の取り扱いや方針等を決定するとともに、委託先間の知財の取り扱いに関する合意事項が含まれる文書を作成した。これより、事業実施後の実用化に向けた出口戦略を構築・実現するにあたり、戦略的な取り組みを関係者の合意の下で進めている。

#### 4.情勢変化への対応

事業の運営管理として、研究開発の進捗状況や技術推進委員会の結果を踏まえ、優れた技術的成果を上げ、更なる予算追加を行うことで、加速的に研究を進捗させることにより、当該技術分野における国際競争力の優位性確保が期待されるテーマに関して、開発促進財源（加速予算）の配分を行った。

表 II-3 開発促進財源を投入した研究テーマ

件名	年度
レーザー照射制御装置の購入	平成27年度
微粒子エロージョン試験機の購入	平成27年度
複合構造要素模型の製作	平成27年度
ロボットFSW装置	平成27年度
FSWツール温度制御技術の開発	平成27年度
新マグネシウム合金を用いた鉄道車両構体の製作	平成27年度
炭素分布解析高精度化装置	平成27年度
高分解能TEM試料作製装置導入	平成27年度
高精度熱処理装置	平成27年度
LFT-D/補強材ハイブリッド一体成形マテハンシステム	平成27年度
車体実寸法部材デモンストレーション用金型と車体実寸法部材成形加工検討機	平成27年度
小型1.5世代中性子源開発	平成27年度

#### 5.評価に関する事項

NEDO は、(1) 事業の位置付け・必要性、(2) 研究開発マネジメント、(3) 研究開発成果、(4) 実用化・事業化に向けての見通し及び取り組みの 4 つの評価項目について、外部有識者による中間評価及び事後評価を実施する。

中間評価は、プロジェクト期間の前半 5 年の中で平成 27 年度及び平成 29 年度に実施する。また後半 5 年も同様に途中で中間評価を行い、最終年度終了後に事後評価を実施する。なお、中間評価等の結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止、及び助成事業への移行等の見直しを迅速に行う。評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。



### Ⅲ. 研究開発成果について

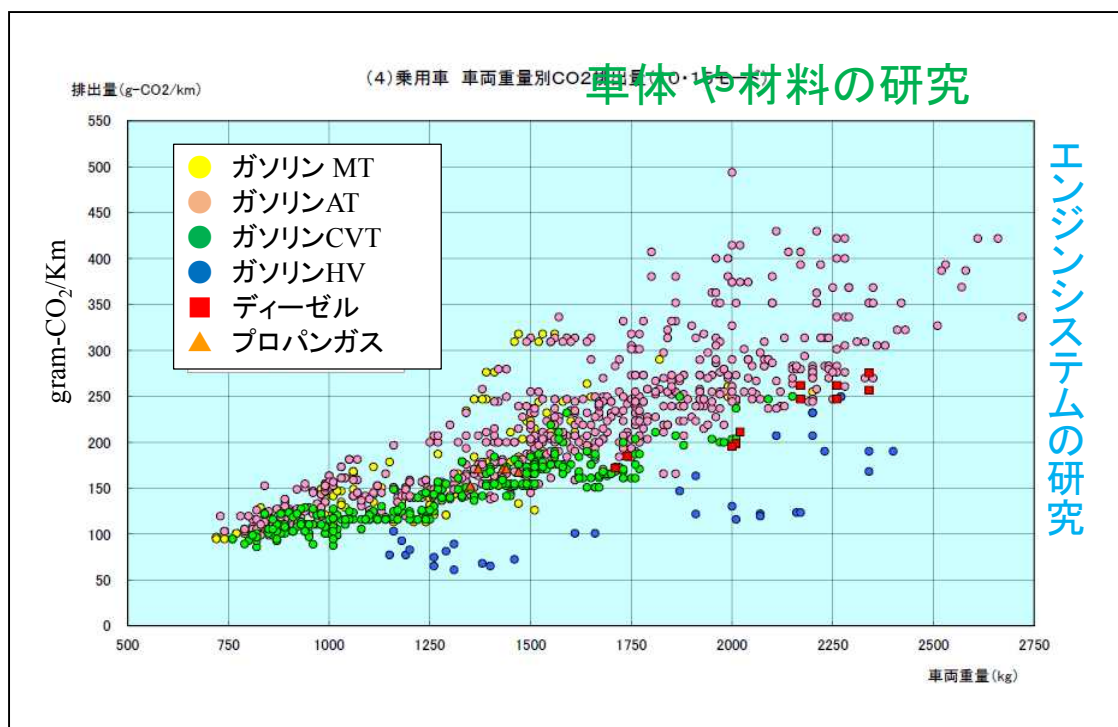
#### 1. 事業全体の成果

##### 1.1 成果の概要

###### (1) 背景と目的

エネルギー消費量削減やCO<sub>2</sub>排出量削減は、国際的な重要課題である。産業・運輸・民生の各部門で様々な対応が図られており、例えば運輸部門では、世界的に自動車に対する厳しい燃費規制が設定されている。我が国においても、CO<sub>2</sub>総排出量の20%近くが自動車からの排出であり、今後のCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて、自動車の燃費向上に係る技術開発が重要となる。

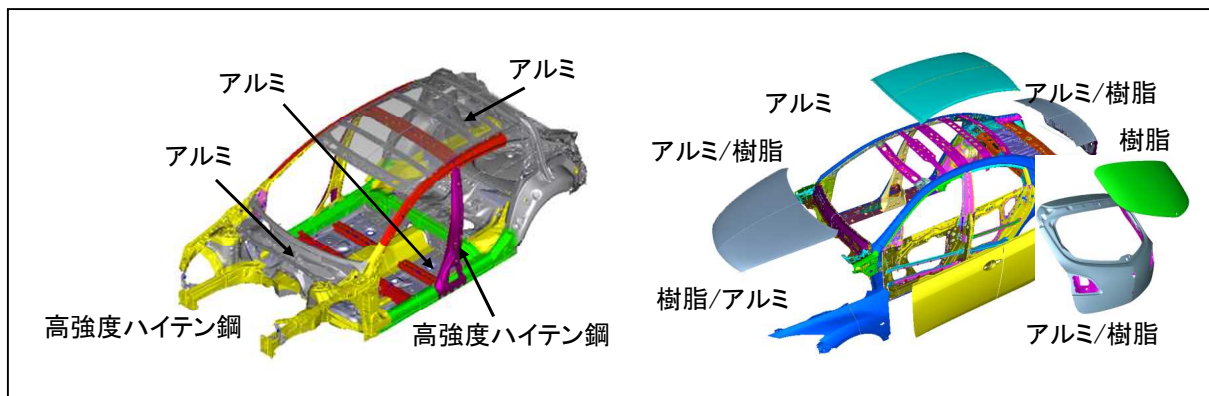
自動車の燃費改善に係る課題には、エンジンを始めとした動力機関の効率向上、車両の軽量化、空気抵抗軽減などがある。中でも動力機関の効率向上に向けた研究開発は精力的に取り組まれ、例えばハイブリッド車の普及に至っているが、エンジンシステムの開発も必要だが、これに加えて車両の軽量化もまた、燃費改善効果が高いとされ、重要な取り組み課題の一つになっている。



図Ⅲ-1.1-1 自動車の重量と CO<sub>2</sub> 排出量の関係

近年の車両軽量化技術開発では、鉄鋼材料を有効に活用するモノコック車体をベースにしてパネル類などに軽量材料を適材適所に使うマルチマテリアル化が進められている。その際、異種材料接合が鍵となるが、材質が大きく異なる材料間の接合や、自動車としての安全性を保証する上で欠かせない接合部の性能評価技術など、今後克服すべき数多くの技術課題が残されている。図Ⅲ-1.1-2に鉄鋼材の軽量材を活用した例

を挙げる。



(骨格:青、緑、茶;鉄鋼、鉄鋼材料 クロージャー:灰、緑;樹脂、黄;アルミニウム等)

図Ⅲ-1.1-2 本プロジェクトで扱うモノコック車体の材料構成

また、構造材料そのものの軽量化も極めて重要な課題であり、高強度、高延性、不燃性、耐食性、耐衝撃性等の機能が確保された軽量構造材の開発が必要である。それと同時に、これらの機能を損なうことのない接合技術や成形加工技術等の開発が求められる。

## (2)全体計画

本事業では自動車を中心とした輸送機器の抜本的な軽量化（半減）に向けて、革新的接合技術の開発や、鋼材、アルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、炭素繊維及びCFRP等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発を一体的に推進する。これにより、輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減、我が国の部素材産業及びユーザー産業の国際競争力強化を目指す。

### ①アウトプット目標

輸送機器の抜本的な軽量化（自動車の場合は半減）のために、必要な革新的構造材料技術や革新的接合技術を開発する。目標を達成するために以下の研究開発項目について、開発を行う。

#### 研究開発項目①「接合技術開発」

中高炭素鋼やチタン材といった難接合材の接合、金属/CFRP間等の異種接合に適用できる革新的な固相摩擦攪拌接合技術や熔融接合技術等を開発する。また、異種接合固有の電食や熱歪みに関する評価技術の開発を行う。

#### 研究開発項目②「革新的チタン材の開発」

生産性を向上した新規のチタン製錬技術やチタン材加工技術開発（製錬・溶解・熱延工程を革新的に短縮した高機能チタン薄板製造技術開発、連続一貫製造プロセス技

術など)を行うとともに、チタン材の構造制御や不純物濃度低減技術等による高機能チタン材の開発を行う。

#### 研究開発項目③「革新的アルミニウム材の開発」

アルミニウム材の構造制御技術等を確立することで、強度や延性を向上させた革新的なアルミニウム材を実現する。また、海外メジャー企業並みの低価格を実現できる新規アルミニウム材製造プロセス等の開発を進める。

#### 研究開発項目④「革新的マグネシウム材の開発」

可燃性や難加工性といった欠点を克服するため、マグネシウム材の組織制御により強度や延性、耐熱性などの材料特性を向上させたレアアースフリーマグネシウム材の開発を行う。また、大型展伸材を製造するための革新的製造プロセス技術等の開発に加え、マグネシウム材の特性評価技術開発を併せて行う。

#### 研究開発項目⑤「革新鋼板の開発」

レアメタル添加量が極限まで抑えられた次世代中高炭素鋼板の開発を目標とし、鋼板製造工程を精密制御し、レアメタルに代えて鋼材中の既存軽元素が強度や延性などの特性に及ぼす機能を最大限に発現させる技術や、鋼材中の結晶粒微細化・組織制御技術などの各種アプローチの高度化を図る。また同時に、中高炭素鋼開発の加速化に貢献する革新的な解析・評価技術を開発する

#### 研究開発項目⑥「熱可塑性CFRPの開発」

量産プロセスに適用できるレベルの熱可塑性CFRPと金属材料との接合技術を開発し、接合部の耐久性等の評価解析技術を確立する。また、熱可塑性CFRPの中間基材の開発と、その特性に基づいた構造設計、成形加工、性能評価等に係わる技術開発を包括的に実施する。

#### 研究開発項目⑦「革新炭素繊維基盤技術開発」

革新的高効率製造プロセス基盤技術を開発するため、新規炭素繊維前駆体化合物の開発、炭化構造形成メカニズムの解明、マイクロ波による焼成工程に必要な技術の確立、炭素繊維の評価手法開発、標準化を実施する。

#### 研究開発項目⑧「戦略・基盤研究」

材料、部品、自動車や航空機などのメーカーや、全材料を横断的に見渡せる有識者へのヒアリング、内外の技術動向や政策支援の調査、新しい技術の可能性調査（FS）、基盤研究など、本研究開発の方向性検討に必要な調査を全般的に行い、革新的新構造材料等研究開発の効果的な推進に繋げる。

## ②アウトカム目標

現在使用されている輸送機器の原材料を革新的新構造材料に置き換えることで軽量化を図り、平成 32 年において、373.8 万 t の CO<sub>2</sub> 削減が期待される。

### (3)実施体制

NEDO から新構造材料技術研究組合（以下、ISMA という）と東京大学が委託を受け、本プロジェクトを推進している。東京大学 岸輝雄名誉教授をプロジェクトリーダー、東京大学 影山和郎教授をサブプロジェクトリーダーとし、NEDO との指示・協議の下で本プロジェクトを推進する。

ISMA 及び東京大学は、事業概要に規定した研究開発テーマを、テーマ毎に再委託・共同実施先とともに遂行する。

### (4)運営管理

本事業においては、事業の立ち上げ段階から現在に至るまで適宜適切な運営管理に努めている。また、本事業の進捗状況や成果、将来像について情報共有することを目的とした成果報告会などを実施している。

## 2.テーマ毎の成果

### 2.1 テーマ1「革新鋼板の開発」

#### 2.1.1[テーマ番号 22] 残留 $\gamma$ 高度制御革新鋼板の開発

##### 2.1.1.1 テーマの概要

###### (1)背景と目的

鉄鋼材料では、車両軽量化に向けて薄肉軽量化と衝突エネルギー吸収性の両立を可能にする高強度・高延性化が求められている。超高強度化・高延性化のために、低合金鋼で TRIP(Transformation Induced Plasticity)効果を活用した TRIP 鋼が開発された。また、2000 年頃には Mn 量を 30%程度添加した TWIP 鋼が開発された。ただ、TWIP 鋼はレアメタルである Mn を多量添加しており、製造プロセスで有害なヒューム発生等の安全面に係る問題やレアメタル多用の面から採用は限定的となっている。

そのため、レアメタルの使用量を抑えながら高延性化する技術開発に取り組まれている。ここでは、高強度組織であるベイナイトやマルテンサイトを母相として、高延性組織である残留 $\gamma$ を多量に存在させることが基本思想となっており、具体的な研究事例としては、Mn 量を 5~10%にした中 Mn 鋼や、ベイナイト鋼や Q&P (Quench & Partitioning)鋼などが提案されている。こういった取組みで強度・延性の向上が実現されつつあるが、自動車部品への適用範囲を拡大し、軽量化効果を最大化させるためには、更なる強度・延性バランス向上が必要となる。

そこで、本研究項目では、中高炭素鋼を活用しつつ、TRIP 効果を最大化させることができる新しい材料設計指針として残留 $\gamma$ の安定度分布制御技術を構築するとともに、その組織制御技術構築を実現するための各種評価技術を開発し、最終目標として強度 1.5GPa、伸び 20%の革新鋼板を創出することを目的とする。

###### (2)位置付け、目標値

CO<sub>2</sub> 排出量低減を最終の狙いとした全体取り組みの中における本研究開発の位置付けは、燃費低減のための自動車の軽量化の実現につながる鋼材の高度評価技術の開発と、その評価技術を活用した画期的な超高強度・超高延性材料の創出である。

目標としては、強度 1.2GPa 伸び 15%を平成 27 年度の間目標とした後、強度 1.5GPa で伸び 15%達成を平成 29 年度中間目標、強度 1.5GPa で伸び 20%達成を最終目標とし、それをサポートする解析技術を順次開発していく。

表Ⅲ-2.1.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
革新鋼板の開発	中高炭素鋼で Mn 量 10%以下で 強度 1.2GPa 以上, 伸び 15%以上	中高炭素鋼で Mn 量 10%以下で 強度 1.5GPa 以上, 伸び 15%以上	中高炭素鋼で Mn 量 10%以下で 強度 1.5GPa 以上, 伸び 20%以上	自動車メーカーが将来要望する材料特性レベル
解析技術の開発	炭素定量下限 30ppm 以下を可能とする解析評価技術の開発	炭素濃度の定量化技術の J-PARC の高輝度中性子ラインへ展開するための基盤技術構築	炭素定量下限 10ppm 以下を可能とする解析評価技術の開発	残留 $\gamma$ の特性制御のために必要となる分解能レベル

### (3)全体計画

平成 25 年度に 1.2GPa 級鋼の単純な高炭素化に伴う組織、特性変化挙動を明らかにし、そこから特性改善の可能性の詳細検討をおこなった。

平成 26 年度は、その知見を元に各種方策を用いて、強度・延性バランスの向上の実現について検討を行い、早期の中間目標達成を実現できた。

平成 27 年度は 1.2GPa 級鋼での特性向上メカニズムに関する仮説の検証を行い、中高炭素鋼の特性向上について考え方を構築する。

今後は、平成 28 年度に現在特性が不足する原因の明確化を行い、その対策技術の創出を、平成 29 年度までに当初の予定だった強度 1.5GPa 伸び 20%の達成を目指す。

平成 30 年度からは 1.5GPa 20%の革新鋼板について、実用化する際の課題となる水素脆化に関する対策技術の検討を行うことで、革新鋼板の実用化を促進させるための技術開発を進め、平成 34 年度までに必要な要素技術を完成させる。

### (4)実施体制

実施体制としては、分担研である神戸製鋼所が、材料特性向上に必要な材料設計指針の導出に取り組む。ここで明確化した理想組織を実現するための要素技術として、熱力学データベースの見直し、ベイナイト変態に伴う残留  $\gamma$  制御形成挙動の明確化を再委託して技術開発を進める。

また、解析技術としては、中性子を活用したマクロな組織解析技術を大学への再委託で実施すると共に、微視組織の解析技術については分担研自身で実施するような形で取り組んでいる。

### (5)運営管理

再委託先とは年 3~5 回の会議を行うことで進捗管理ならびに開発技術の分担研への取り込みを図った。

## (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

強度 1.5GPa、伸び 20%の革新鋼板を実現できれば、約 20%の軽量化（約 40kg）が期待される。CO<sub>2</sub>削減という観点では、車体重量約 40 kg の削減で約 0.2kg/L の燃費改善が期待される。その CO<sub>2</sub>削減効果は約 2g/km となるため、鋼板開発全体で約 14 万トン/年、神戸製鋼として約 4 万 t/年の CO<sub>2</sub>削減効果が期待される。この時のコストとしては、鋼板の原料コストはほぼ変わらないため、製造時のコスト増加が若干起こるものの影響は小さい。また、中高炭素鋼を利用する際のプレス技術、接合技術において研究開発や設備投資の初期費用が掛かるものの従来技術の延長であるため、初期コスト、ランニングコストとも増加量は小さいと予想される。そのため、ランニングコスト面ではあまり変わらないまま、CO<sub>2</sub>削減効果が得られることが期待できる。

### 2.1.1.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

材料開発では中間目標を大幅に上回る特性を実現できた。特性面では強度 1.2GPa 伸び 26%を実現した。特に Mn 等のレアメタルの使用量の目標を 10%以下としていたが、2.0%と現行材同等の使用量で目標を達成し、元素戦略上も有効な革新鋼板とすることができている。

表Ⅲ-2.1.1-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
高強度高延性中高炭素鋼の開発	中高炭素鋼で Mn 量 10%以下で 強度 1.2GPa 以上、 伸び 15%以上	・残留 $\gamma$ 中の炭素濃度分布制御により高強度・高延性化できる可能性を示し、強度 1.2GPa、伸び 26%を達成できることを示した。	◎	
中高炭素鋼の解析・評価手法の開発	炭素定量下限 30ppm 以下を可能とする解析評価技術の開発	・小型中性子ラインの改良により、格子定数の解析精度を向上でき、目標精度を実現可能となる予定。 ・軽元素分析装置による解析で目標達成に目途。	△	モデル合金の測定を進めて、要素技術の高度化を測れば目標達成が可能と考えている。

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.1.1-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
高強度高延性中高炭素鋼の開発	強度 1.5GPa 級中高炭素鋼を中心に複数のプロセス制御を行うことで特性向上が実現できることを見出した。それにより平成 29 年度目標達成が見込まれる。	炭素量 0.4%以上、Mn 量 10%以下で強度 1.5GPa 以上、伸び 15%以上	平成 29 年度目標は前倒しで達成見込み
中高炭素鋼の解析・評価手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・中性子での炭素濃度について小型中性子ラインの冷中性子モデレータの改造により線源側での改良が完了する予定。</li> <li>・マイクロ領域での合金元素解析については、軽元素分析装置で実現に目途。</li> </ul>	炭素濃度の定量化技術の J-PARC の高輝度中性子ラインへ展開するための基盤技術構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・小型中性子ラインを活用することで解析技術の基盤構築が順調に進捗していることから、予定通り中間目標を達成できる見込み</li> </ul>

## (3)研究開発の成果と意義

本研究項目では残留 $\gamma$ 高度制御による革新鋼板に取り組んだ。

まず、残留 $\gamma$ の高度制御コンセプトの実現について検討した。この取り組みにより、炭素量の増加に加え、一層の強度・延性バランス向上を図ることができる残留 $\gamma$ 高度制御技術を構築できたといえる。

この技術については、今後、更なる特性向上のための取組みを進め、1.5GPa 級への展開を図る。また、これらの知識については、新規の材料コンセプトであり、特許出願を行っていく。また、残留 $\gamma$ 制御に関する一般的な制御コンセプトであるため、今後、中高炭素鋼だけでなく、通常の TRIP 鋼等の各種材料の特性向上への知見展開を図る。

また解析技術としては、北海道大学の小型中性子ラインでの Bragg Edge 解析を実施。モデル合金について $\gamma$ の格子定数を精度よく測定できることを確認しており、今後、さらに詳細な解析について検討していく。神戸製鋼所で取り組んでいる解析については、より高精度解析を実現することで、画期的な革新鋼板創出に活用することができる。

## (4)成果の普及（論文、外部発表等）

西神分室で取り組んだ革新鋼板実現に関わる基礎的な学術知見については、権利化後、外部発表を積極的に行っていくことで、成果の普及を図っていく。現段階では学会発表件数は無いが、平成 27 年度の秋学会にて、分担研で 2 件、再委託先で 1 件の



学会発表することが決定しており、平成 27 年度末の春学会での発表も追って実施していく。また、論文発表も 1～2 件実施することを検討している。

表Ⅲ-2.1.1-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.1.1-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	2	2	0
合計	2	2	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.1.2[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発

### 2.1.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

鉄鋼材料の諸特性を向上させるために、種々の合金元素が添加されてきた。これらの合金元素の中には、中長期的な安定供給の確保が課題となる稀少元素が少なからず含まれる。また、特性の向上に有効な添加元素であっても、それらを鋼材中に均一に固溶させるために複雑なプロセスを要するものが多く、製造工程でのトータルエネルギー消費量の増加が懸念される。

したがって、構造用鉄鋼材料に求められる究極の技術は、稀少元素の添加量を極力低減する一方で、鉄鋼材料の機能を最大限引き出すための材料設計ならびに組織制御技術である。そこで、本研究では、豊富な資源としての軽元素の有効利用を中心課題と捉え、諸特性に及ぼす軽元素と稀少元素の機能の基礎的理解と、鋼中での軽元素のダイナミクスに基づくマルチスケール設計手法を体系化することを主目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.1.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
革新鋼材の開発	稀少元素添加量 10wt%未満で、引張強度 1.5GPa 以上、伸び 15%以上を有する中高炭素鋼の材料設計と組織制御。	稀少元素添加量 10wt%未満で、引張強度 1.5GPa 以上、伸び 15%以上を有する中高炭素鋼の材料設計と組織制御。	稀少元素添加量 10wt%未満で、引張強度 1.5GPa 以上、伸び 20%以上を有する中高炭素鋼の材料設計と組織制御	高強度鋼でありながら、汎用鋼と同等以上の成形性(伸び)を付与。
その場観察装置の開発	中高温域の粒界移動および結晶方位変化の計測が可能なその場観察装置の開発。	その場解析装置の改良と中高炭素鋼の中高温域での挙動の観察。	中高温域の鋼中組織解析手法の確立および鋼組織データベース化システム開発。	革新鋼材の開発を支援。

#### (3)全体計画

本テーマでは、稀少元素添加量 10wt%未満で高強度を有する中高炭素鋼を実験室レベルでサンプルを試作し、引張強度、延性、熱間加工性に及ぼす微量元素の影響、等に関わるデータ採取を行う。また、微量元素単体およびその化合物は鋼の組織や特性に大きく影響することから、組織形成に及ぼす微量元素の影響を解明するためのその場観察装置(中・高温域の組織観察その場解析装置、等)の開発および、熱力学データの構築に必要な基礎データ

を取得する。

本検討では、上記の革新鋼材の開発と合わせ、中高温域のその場組織観察技術の開発を狙う。中高温域での材料工学的な定量データを局所領域(複合電子線)とマクロ平均(中性子)の両視点から計測し、中高温域での新たな材料組織挙動の解明に基づく定量計測データを取得できる体制を世界に先駆けて確立し、実用化の鍵となる中高温域での材料組織制御技術を構築することを目的とする。

具体的な計画を以下に記す。

#### 【第1期目標(平成27年度末)】

- ・稀少元素添加量 10wt%未満で、引張強度 1.2GPa 以上、伸び 15%以上を有する中高炭素鋼を実験室レベルで二次試作し、引張特性、加工性、成形性、等を評価。
- ・軽元素を利用して、耐環境性を向上させる材料設計手法を検討。
- ・高温での粒界移動、結晶方位変化の計測。
- ・小型サンプルを用いた成形限界ひずみおよび曲げ性に関する評価方法の検討。

#### 【第2期目標(平成29年度末)】

- ・稀少元素添加量 10wt%未満の中～高炭素鋼をベースにして、引張強度 1.5GPa 以上、伸び 15%以上を有する高強度鋼の材料設計と組織制御を行う。
- ・軽元素の有効利用による耐環境性を向上させる材料設計手法を確立する。
- ・軽元素・特定元素の高温挙動を解明できる新解析手法の確立。
- ・小型サンプルを用いた各種成形性評価方法の検討。

#### 【最終目標(平成34年度末)】

##### (1) 高強度高延性中高炭素鋼の開発

- ・レアメタル添加量：10wt%未満
- ・引張強度：1.5GPa 以上
- ・伸び：20%以上

##### (2) 中高炭素鋼組織の評価手法の開発

- ・微細粒成長動的観察技術 像分解能：10nm
- ・加熱加工模擬システムの開発
- ・鋼の歪み挙動解析システムの開発

#### (4) 実施体制

本テーマは、富津分室・尼崎分室(新日鐵住金株式会社)が6再委託先と実施する。

#### (5) 運営管理

新日鐵住金内および再委託先間で定期的な進捗会議を実施し、適切な運営管理に努めてきた。具体的には、1回/年の頻度で、当社幹部(鉄鋼研究所所長、先端技術研究所)へのキックオフおよび進捗報告会議を実施した。さらに、実務者間で、1回/月の進捗会議および、2~5回/年の頻度で再委託先との進捗会議を実施した。

**(6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）**

本プロジェクトで開発を目指す高強度高延性中高炭素鋼は、所謂、第4世代に該当する高性能な鋼材であり、多分野での適用が期待される。また、資源枯渇のリスクを有するレアメタルの使用量を削減することで、安定的な供給が可能となる。本プロジェクトにおいて、開発鋼材の特性と製造方法が確定した後、具体的な費用対効果を算出する。

**2.1.2.2 研究開発成果**

**(1)中間目標の達成度**

**表Ⅲ-2.1.2-2 第一中間目標と達成度**

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
革新鋼材の開発	稀少元素添加量 10wt%未満で、引張 強度 1.2GPa 以上、 伸び 15%以上を有 する中高炭素鋼の 材料設計と組織制 御。	高炭素単純組成鋼をベー スに軽元素 (B,P,S,Al,Si, 等) を添加した小ロット サンプルを試作。加工熱 処理による組織制御、組 織解析、引張特性評価、 等、を実施し、引張強度 1.5GPa、伸び 15%以上を 可能とする高炭素鋼の理 想組織を提示。	◎	
その場観察装置の 開発	中高温域の粒界移 動および結晶方位 変化の計測が可能 なその場観察装置 の開発。	500～1200℃の温度域に おける、走査イオン (SIM) 像観察と EBSD 解析が可能な複合解析装 置を開発し、中・高温域 における変態・逆変態挙 動および結晶粒形状変化 のその場解析に成功。	◎	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.1.2-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
革新鋼材の開発	高炭素単純組成鋼をベースに軽元素 (B,P,S,Al,Si,等) を添加した小ロットサンプルを試作。加工熱処理による組織制御、組織解析、引張特性評価、等、を実施し、引張強度 1.5GPa、伸び 15%以上を可能とする高炭素鋼の理想組織を提示。	稀少元素添加量 10wt%未満で、引張強度 1.5GPa 以上、伸び 20%以上を有する中高炭素鋼の材料設計と組織制御	各種の分析機器を活用し、組織の形成および特性に軽元素の影響に関するデータを獲得し、製造条件の最適化を行う。
その場観察装置の開発	500~1200℃の温度域における、走査イオン (SIM) 像観察と EBSD 解析が可能な複合解析装置を開発し、中・高温域における変態・逆変態挙動および結晶粒形状変化のその場解析に成功。	中高温域の鋼中組織解析解析手法の確立および鋼組織データベース化システム開発。	ナノ~ミクロスケールの冶金データベースを整備する。

## (3)研究開発の成果と意義

### 1)革新鋼材の開発

炭素の有効利用の観点から高炭素鋼をターゲットとした革新鋼材の設計と特性の評価を行った。具体的には稀少元素添加量 10wt%未満の範囲で、引張強度 1.2GPa 以上、伸び 15%以上の特性実現するための組織制御と加工熱処理条件の適正化を図った。

実験室レベルで、単純組成鋼に、さらに軽元素を適量添加したインゴットを真空溶解により作製し、所定の熱間圧延により板材サンプルを作成した。板材のサイズは、板厚:2mm~3mm、板幅:100mm~150mm である。板材サンプルは再度、熱処理を行い、オーステナイト処理後、マルテンサイトまたはベイナイト組織を得た。

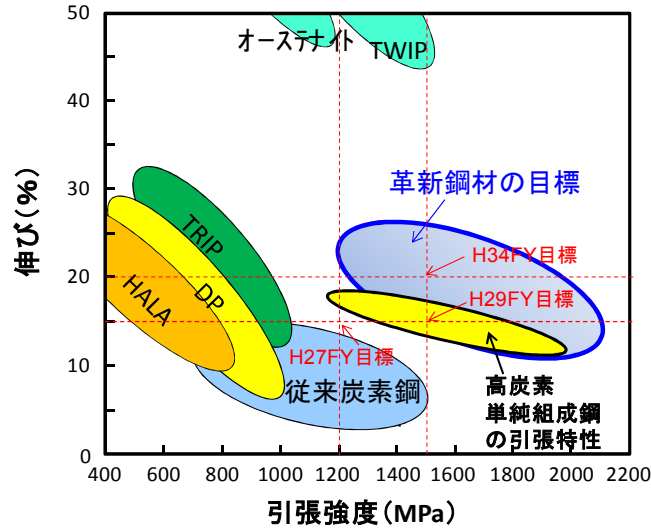
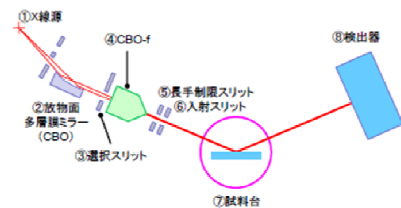


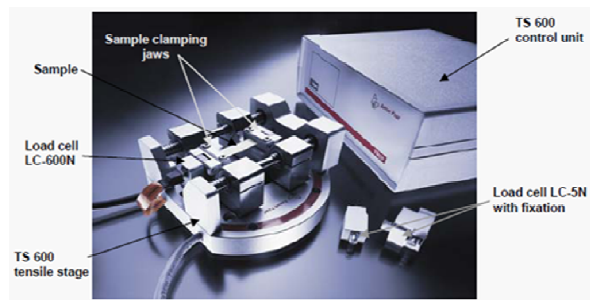
図 III-2.1.2-1 開発材の引張特性

図 III-2.1.2-1 に板材サンプルの特性を示す。引張強度は 1200MPa~2000MPa、伸びは 12~18%の範囲にあることが確認された。現時点で、平成 27 年度目標には十分到達している。開発鋼材の組織的特徴は、極微細なオーステナイトを母相とするマルテンサイトおよびベイナイト組織である。これは、平成 26 年度までの検討により、オーステナイト粒の微細化により、マルテンサイトおよびベイナイトの強度、伸びともに向上するとの知見に基づいている。

革新鋼材の開発と平行し、微細マルテンサイトおよびベイナイトの生成要因、特性支配要因、耐割れ性、耐環境性支配要因を明らかにする目的で、「加工熱処理下その場動的変態解析装置 (図 III-2.1.2-2)」「環境促進鋼材反応その場解析装置一式 (図 III-2.1.2-3)」を導入し、各機構解明に着手している。今後、これらの装置を用いて、中高炭素鋼の加工熱処理過程の回復、再結晶、変態速度に及ぼす軽元素の影響を明らかにし、革新鋼材の製造条件の最適化と特性向上のための検討を行っていく予定である。



(a) 回折システム

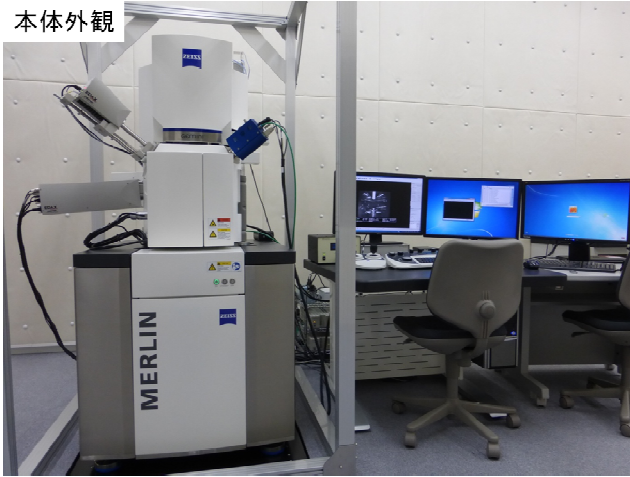


(b) 応力負荷装置

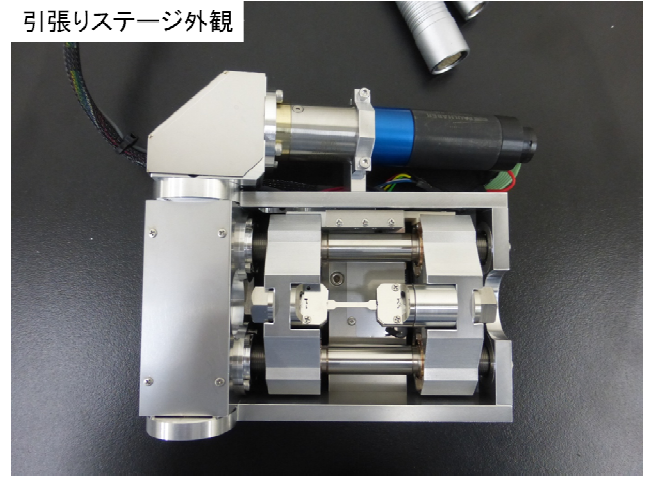
図 III-2.1.2-2 加工熱処理下その場動的変態解析装置



本体外観

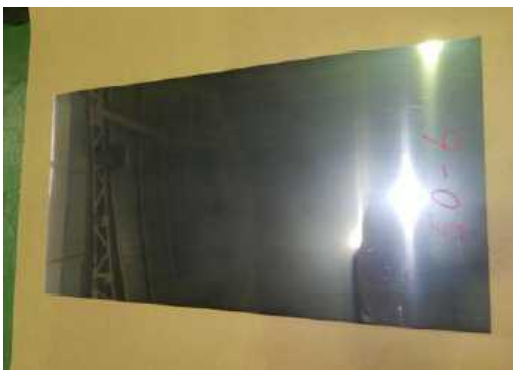


引張リステージ外観

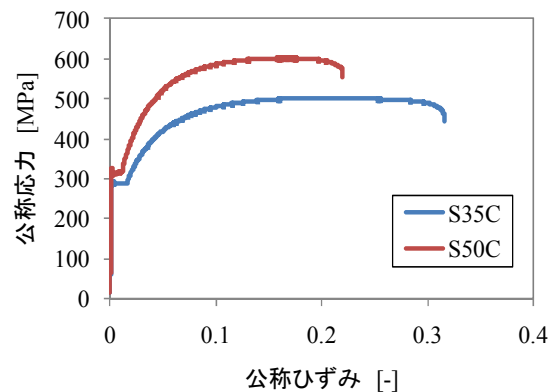


図Ⅲ-2.1.2-3 環境促進鋼材反応その場解析装置

また、開発材の成形性評価のため、小サイズ試験片を用いた解析評価技術開発の準備を行った。予備検討のサンプルとして、中炭素鋼（S35C、S50C）の冷間圧延および熱処理を行い試験用薄板を作製した。冷間圧延後の外観を図Ⅲ-2.1.2-4に示す。試作した S35C、S50C 材より JIS13 号 B 試験片を作製し、引張試験を行った結果を図Ⅲ-2.1.2-5 に示す。さらに、通常の成形性評価手法と小型サンプルを用いる成形評価手法の比較を張出し試験にて実施した。概ね両者の差は小さいが、等二軸引張において技術的課題があることを確認した。モデリングでは金属材料の延性破断を考慮する上で重要となる、内部損傷と静水応力を考慮できるモデルを導入した。また、材料パラメータ導出のための予備実験を実施した。



図Ⅲ-2.1.2-4 冷間圧延後試験片外観



図Ⅲ-2.1.2-5 試験材の引張試験 (JIS13 号 B)

## 2)中炭素鋼の中高温領域組織変化のその場観察装置の開発

500～1200℃の中高温領域における鉄鋼材料中の結晶粒のイオンビームによる走査イオン (SIM) 像観察と電子ビームによる結晶方位解析 (EBSD) が可能な複合解析装置を製作した。図Ⅲ-2.1.2-6 及び図Ⅲ-2.1.2-7 に富津分室に導入された「その場観察装置」の外観を示す。この装置は、市販の集束イオンビーム加工装置 (FE-

SEM/FIB) をベースに改造を行ったもので、試料移動を伴うことなく SIM 像観察と EBSD が可能なように、イオンビームと電子ビームの角度関係や検出器の配置を最適化した。装置は、図Ⅲ-2.1.2-8 に示すように、イオンビームを発生させるイオン銃、電子線を発生させる電子銃、イオン像の検出に用いる検出器、EBSD 測定に用いる EBSD 検出器の 4 つのパーツで構成されている。また、観察試料を 500~1200℃の中高温領域に加熱するための加熱装置 (図Ⅲ-2.1.2-9) も装備している。純 Fe 板を用いた試験で試料温度が 1200℃まで到達することを確認した。



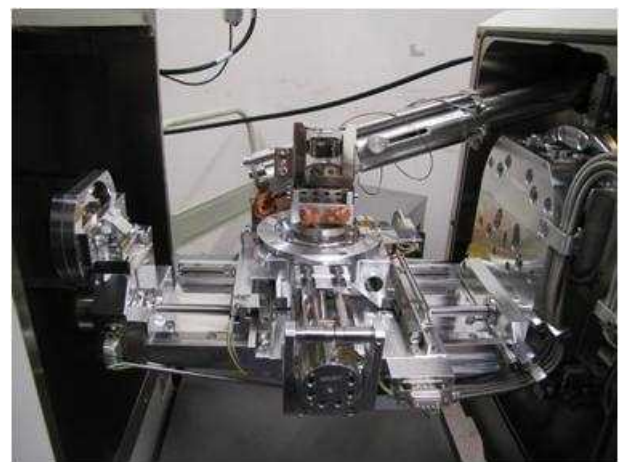
図Ⅲ-2.1.2-6 開発されたその場観察装置の外観 (本体部)



図Ⅲ-2.1.2-7 開発されたその場装置の外観 (制御部)



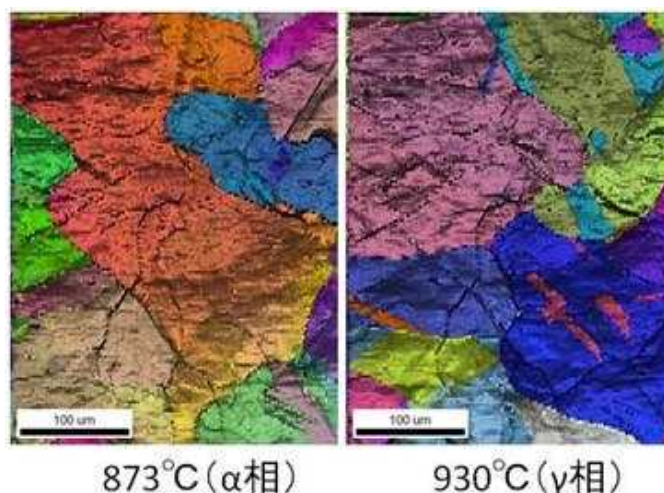
図Ⅲ-2.1.2-8 電子銃,イオン銃,各検出器の配置



図Ⅲ-2.1.2-9 試料加熱装置

図Ⅲ-2.1.2-10 には加熱に伴う純 Fe の相変態をその場観察した結果を示す。純 Fe の  $\alpha$  相 (bcc 構造) から  $\gamma$  相 (fcc 構造) への相変態温度は 912℃であり、その前後の温度で結晶粒形態や結晶方位の変化が観察された。また、SIM 像による結晶粒形状変化のその場観察も可能となった。今後、導入装置を駆使し、革新鋼材の特性向上と製造条件の最適化のための基礎データを取得していく予定である。





図Ⅲ-2.1.2-10 純 Fe の相変態挙動の観察 (EBSD 測定, IPF マップ)

(4)成果の普及 (論文、外部発表等)

表Ⅲ-2.1.2-4 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H26FY	0	0	1	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	1	0	0	0	0	0	2

※実施者が主体的に開催するイベント (フォーラム、シンポジウム等)

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み (戦略に沿った取り組み、取得状況)

高強度、高延性の中高炭素鋼の基本特許は既に出願済である。

中・高温域における金属組織のその場解析技術等を駆使し、新たな効果が明らかになった時点で、順次、出願準備を進める。

表Ⅲ-2.1.2-5 特許の件数 (内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	2	0	0
合計	2	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.1.3 [テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

### 2.1.3.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車や輸送機器の軽量化を目的としたハイテン材の適用拡大には、強度のみならず加工性（伸び特性）も抜本的に向上させる必要がある。本テーマでは、加工熱処理による基礎素材特性の極限追求をコンセプトに、複相組織鋼板におけるマイクロ組織微細化、炭素を活用した微細且つ安定な残留オーステナイトの確保、さらには焼鈍熱処理時の $\gamma$ 粒径微細化といった冶金的制御因子の機械的特性に及ぼす影響を明確化することを通し、従来の延長線上で見込まれる特性を大幅に上回る高強度・高延性鋼板の組織制御・製造プロセス指針を構築することを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.1.3-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
鋼板開発	引張強度 (TS) $\geq$ 1.2GPa、伸び (El) $\geq$ 20% (TS $\times$ El $\geq$ 24,000)	TS $\geq$ 1.2GPa、El $\geq$ 25% (TS $\times$ El $\geq$ 30,000)	TS $\geq$ 1.5GPa、El $\geq$ 20% (TS $\times$ El $\geq$ 30,000)	1.2GPa および 1.5GPa 鋼板の需要急拡大
解析・評価手法開発	炭素の分析下限が 30ppm (点分析)	炭素の分析下限が 20ppm (点分析)	炭素の分析下限が 10ppm (点分析)	複相鋼板 $\alpha$ 相中の固溶炭素濃度

#### (3)全体計画

##### ①高強度高延性中高炭素鋼の開発

自動車や輸送機器の軽量化を目的としたハイテン材の適用拡大には、強度だけでなく加工性（伸び）も抜本的に向上させていく必要がある。本テーマでは、加工熱処理による基礎素材特性の極限追求をコンセプトに、複相組織鋼板において従来の延長線上で見込まれる値を大きく超える伸びを実現する。具体的なアプローチは、強度を担うマルテンサイトやベイナイトといった硬質相の超微細化による鋼の生地そのもの高延性化と、加工により変態して延性を高める残留オーステナイトの微細分散による伸びの向上である。従来は、ベイナイトの微細化技術が不十分であり、かつ残留オーステナイトによる高い延性を安定的に実現することができなかった。ここでは、これまであまり注目されてこなかったベイナイトやマルテンサイトの微細化を積極的に行うことで、安定なオーステナイトを多量に残留させ、革新的な伸びの向上について研究する。平成 26～27 年度実施項目は、現実的な加工熱処理プロセスを前提に、第 1 期目標特性である引張強さ 1.2GPa で伸び 20%を達成する加工熱処理法を確立する。平成 28 年度以降は、第 1 期で開発した技術を発展させて、第 2 期目標特性であ

る引張強さ 1.2GPa で伸び 25%を有する鋼板を開発するとともに、最終目標特性である引張強さ 1.5GPa で伸び 20%を有する鋼板の実験室検討を実施する。

#### ②中高炭素鋼の解析・評価手法の開発

本プロジェクトでは、延性が従来の延長線上にない革新的なハイテンを開発するテーマとして、中高炭素鋼の開発を行う。この中高炭素鋼は従来の解析ツールでは解明できない微細組織を有することから、分析技術も同時に開発する必要がある。特に、その詳細を学術的に解明するため、微細構造と炭素の分配挙動の関係を解析する手法の開発が重要である。

この課題について、各種製造プロセスによる中高炭素鋼板開発を促進する革新的な解析技術として、電子線等を用いた中高炭素鋼中の炭素の分配状態を解析する炭素分配アナライザーを平成 25 年度に導入した。この技術は、現状、点分析でも 0.1%を若干下回る程度に留まっている炭素の定量下限を、二次元分布評価の場合でも 100ppm 未満に維持できる世界初の炭素分析を実現させるものである。平成 26～27 年度は、試料前処理方法の検討を含めた炭素濃度分布評価手法の高度化を図り、点分析での炭素定量下限 30ppm を目指すと共に、素材開発への応用展開を図る。さらに、複相組織の三次元解析や高速定量解析技術も開発して素材開発の設計基盤を強化した。

また、これらの電子ビーム利用技術と平行して、初年度から、北海道大学に委託して鋼材の微細組織評価のための中性子利用技術を探索し、小角散乱による微細析出物の定量評価および水素トラップ過程の観察技術の確立を目指した。この研究課題は協調領域として、各社および研究機関が協力して推進することとし、平成27年度よりテーマ44に移行して実施した。

#### (4)実施体制

本テーマは千葉分室（JFE スチール株式会社）が 1 再委託先と共に実施する。

#### (5)運営管理

実務者進捗会議を 1 ヶ月に 1 回、運営会議を 3 ヶ月毎に開催。また、再委託先との進捗会議を 3 ヶ月毎に開催。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

自動車の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に削減され、燃費改善目標（国立環境研究所 AIM PJ チーム試算）である 10～20%相当の CO<sub>2</sub> 削減で地球温暖化ガスの低減に寄与する。

## 2.1.3.2 研究開発成果

### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.1.3-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
鋼板開発	引張強度 (TS) $\geq$ 1.2GPa、伸び (El) $\geq$ 20% (TS $\times$ El $\geq$ 24,000)	TS $\geq$ 1.2GPa、El $\geq$ 25%まで到達	◎	
解析・評価手法開発	炭素の分析下限が 30ppm (点分析)	理論計算で分配後の炭素濃度が 16ppm であるフェライト相中の炭素濃度を 17ppm と測定した。	○	
	鋼組織の 3D 評価	3D-SEM 解析により、開発鋼の組織解析を行い、熱処理による組織変化を三次元的に明らかにした。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2) 第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.1.3-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
鋼板開発	第二中間目標 (平成 29 年度) を前倒しで達成。	TS $\geq$ 1.2GPa、El $\geq$ 25% (TS $\times$ El $\geq$ 30,000)	○達成
解析・評価手法開発	中間目標の定量下限 30ppm 以下をクリア	炭素の分析下限が 20ppm (点分析)	○達成

### (3)研究開発の成果と意義

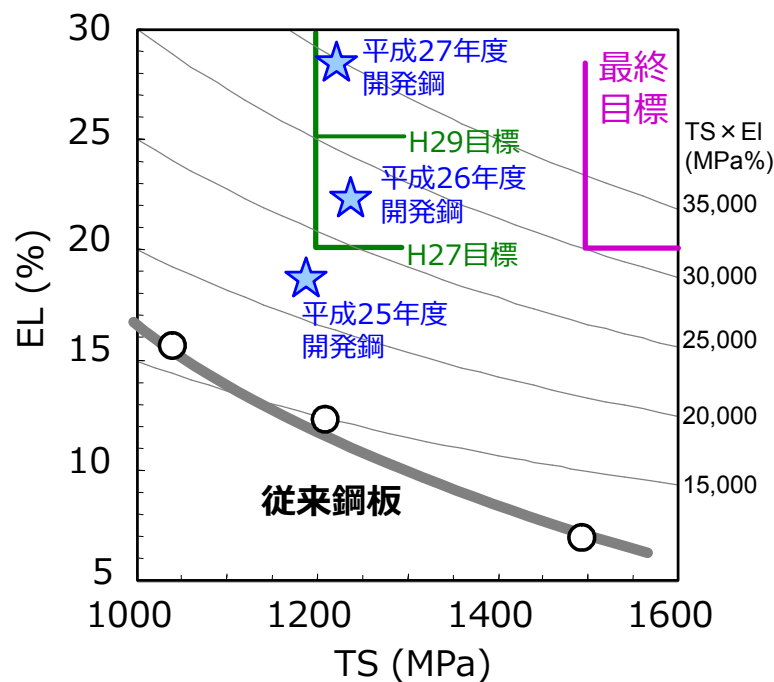
#### 1) 高強度高延性中高炭素鋼の開発

自動車や輸送機器の軽量化を目的としたハイテン材の適用拡大には、強度だけでなく加工性（伸び）も抜本的に向上させていく必要がある。本テーマでは、従来よりも炭素を積極的に添加した鋼の加工熱処理による基礎素材特性の極限追求をコンセプトに、複相組織鋼板において従来の延長線上で見込まれる値を大きく超える伸びを実現する。具体的なアプローチは、強度を担うマルテンサイトやベイナイトといった硬質相の超微細化による鋼の生地そのもの高延性化と、加工により変態して延性を高める残留オーステナイト相の微細分散による伸びの向上である。従来は、ベイナイトの微細化技術が不十分であり、かつ残留オーステナイトによる高い延性を安定的に実現することができなかった。ここでは、これまであまり注目されて来なかったベイナイトやマルテンサイトの微細化を積極的に行うことで、安定なオーステナイトを多量に残留させ、革新的な伸びの向上について研究する。

本研究では、組織単位としてベイナイトやマルテンサイトのブロック構造に着目することで、従来の結晶粒単位に比較して実質的に組織の微細化を実現することを基本方針とした。一般的に中高炭素鋼のベイナイトやマルテンサイトは、おおよそ数十 $\mu\text{m}$ 程度のサイズの結晶粒（旧オーステナイト粒）の内部に数 $\mu\text{m}$ のサイズでパケット構造を有し、さらにパケットの内部に1 $\mu\text{m}$ 程度のサイズでブロック構造を有するか、これに類似した組織形態を呈している。ブロックの内部はさらに微細なラス構造を有している。この中で旧オーステナイト粒のみでなく、パケットやブロック構造も境界間の方位差が大きく、大角粒界により区分されている。したがって、ブロック構造を結晶粒単位として制御することで微細化による機械的特性向上の効果を享受することが期待される。すなわち、ブロック境界に残留オーステナイトを形成せしめることにより、硬質相の微細化と残留オーステナイトの均一、微細分散を具現化し、このような形態およびサイズの残留オーステナイトが機械的性質、特に延性の向上に及ぼす効果を検証することを研究目的とした。

平成 25 年度には、1.2GPa 級の高延性高強度鋼板の開発を目的として、ベイナイトを主相とした新微細粒組織のための加工熱処理方法の立案を実施した。汎用鋼程度の低炭素低合金鋼に対して、複合化した加工熱処理を実施することにより、従来鋼板の機械的特性を凌駕し、1.2GPa 級の超高強度と 590MPa 級鋼に匹敵する延性を両立できる可能性が示唆された。そこで本基礎技術思想を更に発展することを基本方針として、中間目標特性を達成する加工熱処理法の探索を行った。アプローチとして、平成 26 年度は、中高炭素添加を前提に合金成分組成を適正に調整した上で複合化した加工熱処理を組合せた。さらに、平成 27 年度には、中高炭素添加鋼への加工熱処理条件の適正化を図り、1.2GPa 級の高延性高強度鋼板として理想的な複相組織形態に制御する手法を検討した。その結果、特殊な強加工プロセスを利用することなく、実機製造を想定した現実的な焼鈍プロセスによって、複相組織の主相であるベイナイトの組織サイズを数ミクロン程度に制御する手法を確立し、平成 25 年度の検討鋼に対して格段に微細化を達成した。さらに、加工熱処理過程のミクロ組織変化の核心である炭素の拡散挙動や分布の変化を、新たに開発した C 分配アナライザを利用して厳密に解析す

ることにより、ベイナイト主相中に安定度の高いサブミクロンサイズの残留オーステナイトを多量に分散する手法を確立した。上記の手法を用いた研究室実験の結果、図Ⅲ-2.1.3-1に示すとおり、平成26年度の開発鋼板では、平成27年度第一中間目標である引張強さ1.2GPa以上と伸び20%以上を、さらに平成27年度の開発鋼板では、平成29年度第二中間目標である引張強さ1.2GPa以上と伸び25%以上の両立を、当初計画より前倒しで達成した。本技術の利用により、現在、自動車用構造材料の主要部材に用いられている590MPa級鋼を、今回開発した1.2GPa級鋼に置き換えることにより、大幅な車体軽量化による燃費向上と衝突安全性の向上が期待できる。



図Ⅲ-2.1.3-1 開発鋼の機械的特性

## 2) 中高炭素鋼の解析・評価手法の開発

本プロジェクトの中高炭素鋼は従来の解析ツールでは解明できない微細組織を有することから、分析技術も同時に開発する必要がある。特に、その詳細を学術的に解明するため、微細構造と炭素の分配挙動の関係を解析する手法の開発が重要である。

この課題について、各種製造プロセスによる中高炭素鋼板開発を促進する革新的な解析技術として、電子線等を用いた中高炭素鋼中の炭素の分配状態を解析する技術や、中性子を用いた熱処理や加工プロセスにおける鋼微細組織の変態挙動の動的解析技術等を開発した。初年度には、中高炭素鋼板の開発を促進する炭素分配アナライザを開発・設備化し、中炭素鋼中の組織形成に大きな影響を与える炭素を定量評価する基礎技術を確立した。

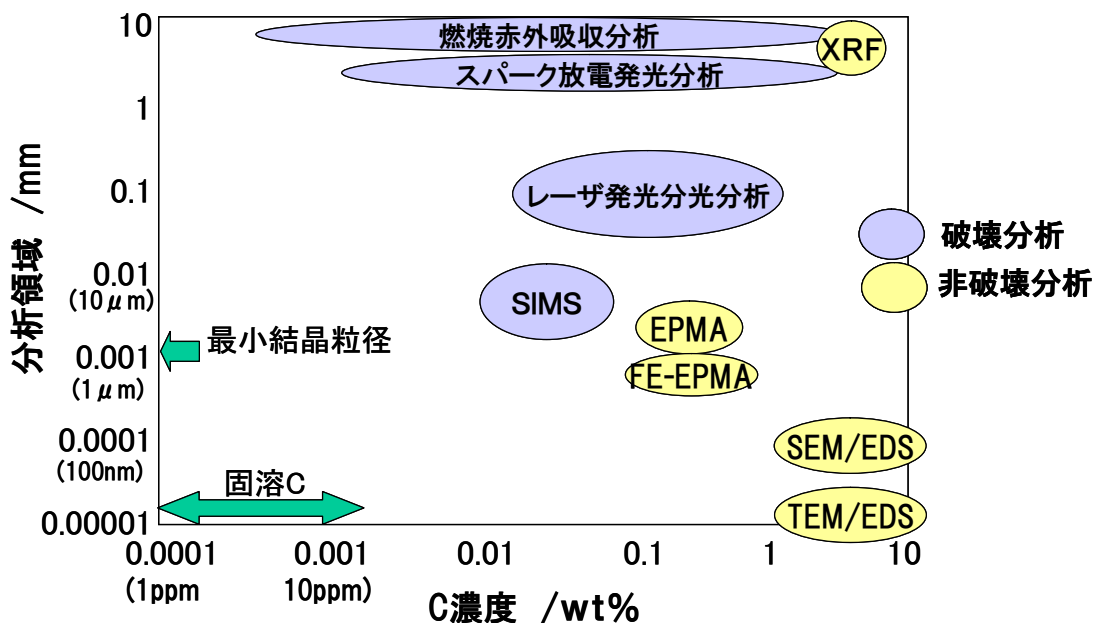
## 2).1 炭素分配アナライザの開発

### 2).1.1 組織対応型 C 分配分析手法の選択

まず、鉄鋼材料の組織に対応する C 分布を測定する手法について述べる。

鉄鋼中の C 分析手法は古くから確立されていて、化学分析に相当する分析手法としては C の場合は燃焼赤外線吸収分析を用いるが、この手法は試料を切粉状にして測定するバルク分析である。それに対して、以下に述べる物理解析手法の C 分析手法は固体のまま測定することを特徴とし、それぞれ励起源および測定する信号の種類によって分析面積や検出感度（検出下限）が決まる。

ここで、分析面積を縦軸に、感度を横軸にして、各手法の適用範囲をプロットしたものを図Ⅲ-2.1.3-2 に示す。C に対する測定感度が最もよい燃焼赤外法は幅広い C 濃度を網羅することができる手法であるが、前述のように試料を切粉にする必要があるため、分析面積は広く平均的な情報となる。一方、電子線マイクロアナライザー（EPMA）や走査型電子顕微鏡（SEM）あるいは透過型電子顕微鏡（TEM）など電子線を照射し、放出される特性 X 線を検出する手法では、分析面積を絞り局所的な情報を得ることができるが、検出下限が上昇し、特に TEM、SEM で用いられるエネルギー分散型 X 線分析装置(EDS)ではパーセントオーダー以上含有しないと検出できない。すなわち、図Ⅲ-2.1.3-2 は分析面積が小さくなるほど感度が劣化するような右下がりの傾向がある。



図Ⅲ-2.1.3-2 鉄鋼材料の C 分析手法とそれらの感度・分析面積

図Ⅲ-2.1.3-2 に示した各物理解析手法の特徴について簡単に述べる。

燃焼赤外線吸収分析(ガス分析)と同等の感度を有し、かつ固体のまま分析可能であるのがスパーク放電発光分析(カントバック)である。スパーク放電発光分析法の C 濃度の適用範囲は 0.001%以上 5.5%以下となっている。この手法は簡単な試料前処理



で分析できるため工程分析によく用いられる手法である。さらに、工程分析に用いられる手法としてレーザー発光分光分析があるが、これはレーザー光を照射し生成するレーザー励起プラズマ中の発光により定量分析を行うもので、カントバックよりも分析面積は小さい。一方、2次イオン質量分析法(SIMS)は表面分析手法として知られているが、イオン照射により励起される2次イオンを検出しているため、深さ方向のプロファイルが得られる。しかし、これらレーザー発光分析法とSIMSは、Cの検出下限が0.01%程度までであり、鉄鋼材料でも低炭素鋼板など生産量の多い製品のC分析に対しては感度が不足している。

本プロジェクトで目的とする、鋼板中のCを測定する場合は、特に分析面積を結晶粒径よりも小さくする必要がある。上記の手法は、Cの感度はよいがいずれも破壊分析手法であり、測定時に組織が破壊されるので本プロジェクトの目的には適さない。

それに対して、蛍光X線分析(XRF)、EPMA、SEMおよびTEMは非破壊分析であるため鉄鋼材料の組織などを維持したまま分析が行える。しかし、これらの非破壊分析手法はいずれも特性X線を検出する手法であるためCなど軽元素の感度が乏しいことが特徴である。中でも、分析走査電子顕微鏡(SEM/EDS)、分析透過電子顕微鏡(TEM/EDS)は、さらにビーム径の細い電子線を照射することができるため極微小領域の分析が可能だが、エネルギー分散型のX線検出器(EDS)を用いるために、分析精度が高くないのが難点である。特にCなど軽元素の感度が非常に低いために、これらも本プロジェクトの目的に適さない。

図Ⅲ-2.1.3-2においては、EPMAは電子線を照射するため分析面積が小さく、波長分散型のX線検出器(WDS)によりEDSよりも高感度でかつ精度よく分析できるので、非破壊分析で微小領域のC分析を行うのにもっとも適していると考えられる。とくに、最近では電子銃をフィールドエミッション型(FE)のタイプにした装置も市販されていて、結晶粒径が数ミクロンの複相組織に対応した元素分布の測定も可能になっている。以上より、本プロジェクトにおける組織対応型C分配測定はフィールドエミッション型の電子線マイクロアナライザー(FE-EPMA)を採用することにした。

## 2).1.2 開発したFE-EPMAにおける炭素分析

鋼板の微細組織に含まれる炭素量を、微細組織に応じて0.1%を大きく下回る精度で分析することを目標として、炭素のコンタミネーション(試料表面汚染)を大幅に低減させる特殊仕様を組み込んだ独自のマイクロアナライザを製作し導入した。

EPMAを用いた炭素分析においては、試料に本来含まれる炭素からの信号とコンタミネーションから発生する炭素信号を区別できないため、1%以下の微量炭素を高い信頼性で分析することが困難である。炭素分配アナライザを開発する上で次の2点に重点的に取り組んだ。

- ① コンタミネーション発生の抑制
- ② 炭素分析の高感度化

①については炭素分析の信頼性を下げる原因であるコンタミネーションの発生を抑制する対策として、一つは液体窒素トラップを活用、もう一つは近年SEM用に普及しているプラズマクリーナー装置を組み込んだ。これらの対策により、コンタミ



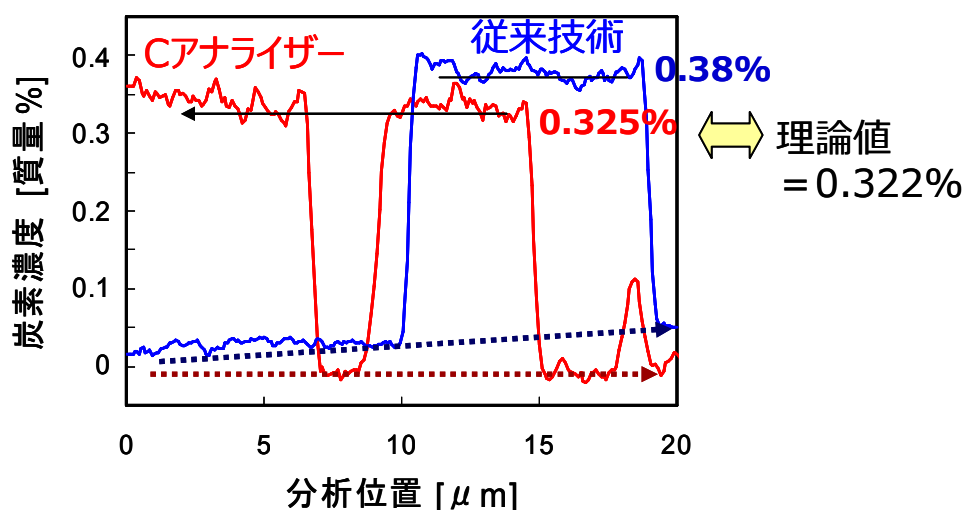
ネーション付着量を従来より大幅に抑制することに成功した。

②炭素分析の高感度化については、コンタミネーションが付着し分析値に影響を及ぼす前に炭素分析を終えるために重要な技術である。軟X線領域において検出感度の高い分光結晶を装置に3台組み込み、感度を3倍向上することに成功した。個々の分光結晶の信号は多結晶加算プログラムを新たに組み込んだ。このような検出器構成を持つEPMA装置は世界初である。図Ⅲ-2.1.3-3に装置概観を、複相鋼板を定量ライン分析した結果を従来装置のものと比較して図Ⅲ-2.1.3-4に示す。

ライン分析のベースラインの比較により、徹底したコンタミネーション対策と分光結晶3台による高感度化により、測定中のコンタミ蓄積によるバックグラウンド上昇のない、炭素分析精度のデータが得られるようになったことがわかる。



図Ⅲ-2.1.3-3 炭素分配分析用 FE-EPMA の概観



図Ⅲ-2.1.3-4 鉄鋼  $\alpha/\gamma$  相の C プロファイル

Fe-0.15%C-2%Si-1.5%Mn 鋼を冷延後、 $\alpha+\gamma$  2相域の 800°Cで 100s 保持し、ついで 600°Cまで冷却する前後の試料の  $\gamma\rightarrow\alpha$  変態における C 分配挙動を開発した FE-EPMA で測定した。分析条件は加速電圧 9 kV、照射電流  $5\times 10^{-8}$  A で、ビーム径 最小 (Focused) とした。これらの条件で、C マッピング分析を実施した。FE-EPMA による定量方法は、C は Fe-C 合金標準試料を用いた検量線法を用いた。

FE-EPMA 定量マッピング分析結果を図 III-2.1.3-5 に示すが、いずれも複組織に対応した元素分配が明瞭に得られているが、従来装置はフェライト中の炭素濃度が高く、コンタミの影響によるものと考えられる。一方、開発した FE-EPMA では、フェライト相中の炭素濃度が低く、 $\gamma$  中の炭素の分布が明確な炭素濃度マッピング測定ができていることが明らかになった。

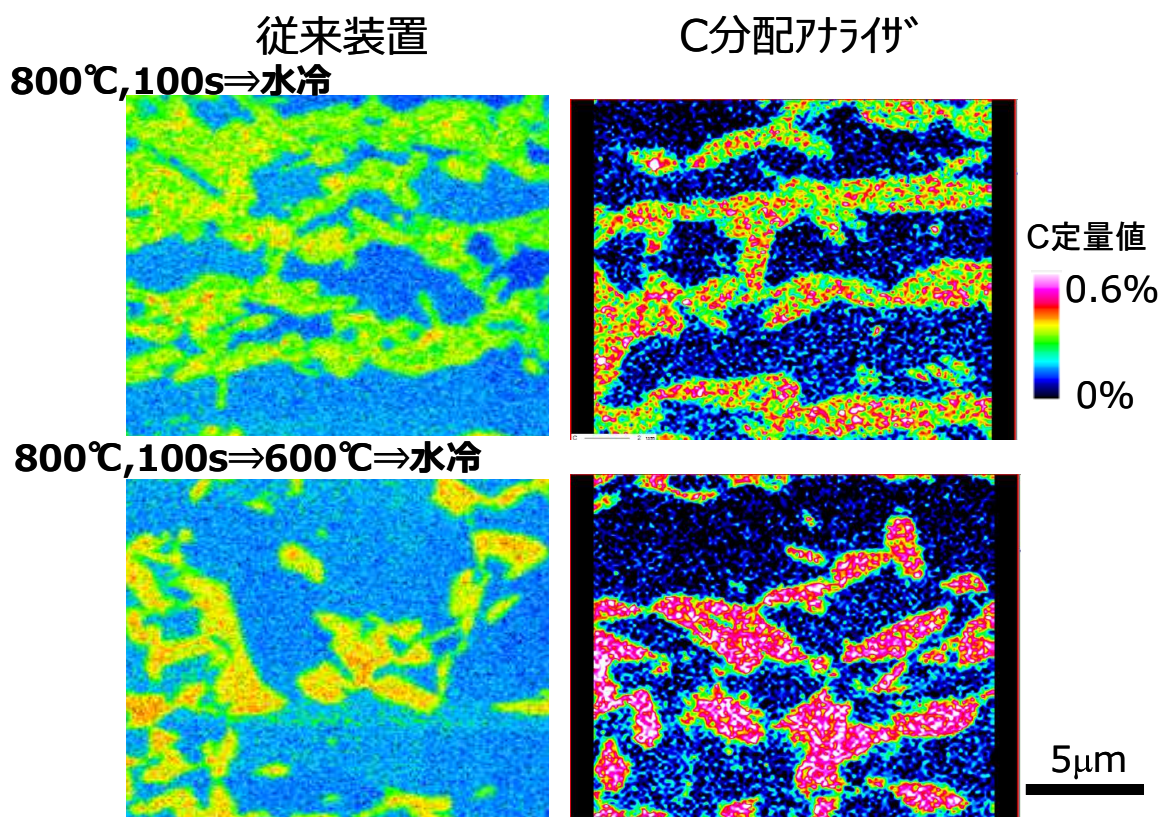


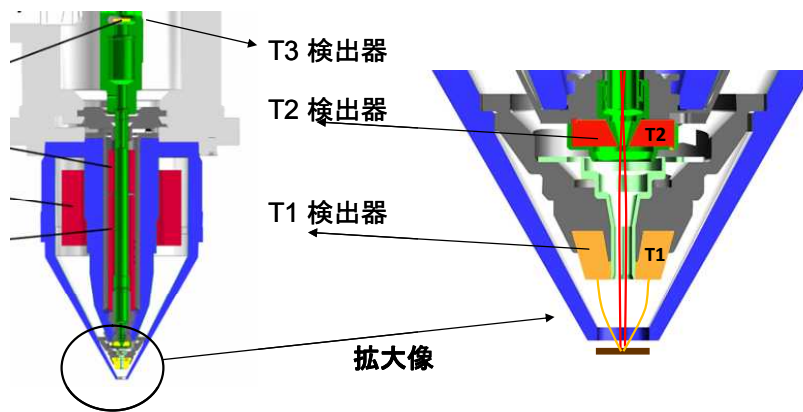
図 III-2.1.3-5 鋼板複相組織の FE-EPMA 分析例

## 2).2 鋼組織の 3D 評価技術開発

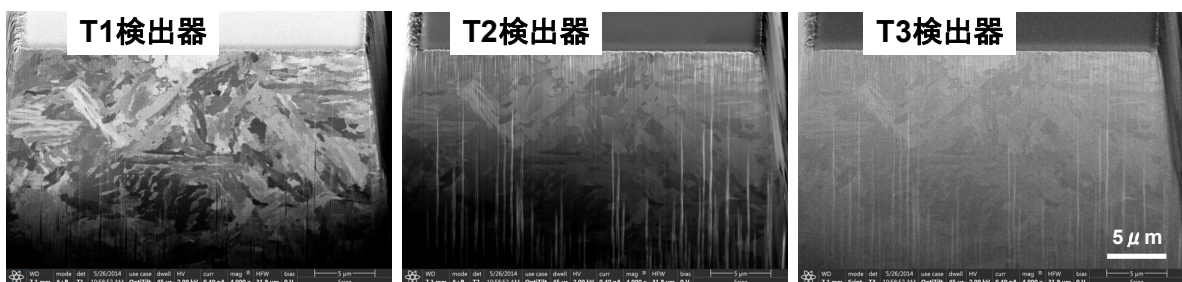
鋼板開発を行うためには材料組織のうち、 $\gamma$  相の形態が非常に重要になる。そのため、前述のように  $\gamma$  相、 $\alpha$  相の C 分布測定の高精度な測定に加え、 $\gamma$  相の形態についての情報も重要である。従来から  $\gamma$  相の形態については、走査電子顕微鏡 (SEM) や透過電子顕微鏡 (TEM) により評価してきた。しかし、今回の開発目標である高強度-高延性材の特性を達成するためには、 $\gamma$  相の形態や  $\alpha$  相の形態についても、二次元的な情報に加えて、三次元情報の取得が必要である。そのため、平成 25 年度から三次元ミクロ組織解析装置の仕様について検討を行い、平成 26 年度に導入を行った。装

置は、SEM と集束イオンビーム(FIB)より構成され、FIB 加工で試料の断面組織を作製し、一断面の SEM 観察を行い、引き続き FIB 加工により新たな断面組織を作製し、連続して解析を続けることで三次元像を構築する。また、SEM による組織解析に加え、後方電子散乱像(EBSD)による観察機能を加えて、結晶組織情報の解析を行えるものとした。

FIB により作製した断面組織は、平滑なために従来の SEM 装置ではコントラストが形成されずに連続像の観察が困難であった。このため、導入装置については、FIB 断面の SEM 像取得機能と EBSD 解析の安定性を重視して選定を行った。この結果、FEI 社製の Scios の導入を平成 27 年 1 月に実施した。今回導入した装置では、図Ⅲ-2.1.3-6 に示すように、カラム内に 3 つの検出器(T1、T2、T3)を持っている。この内、ポールピース内に新たに開発された反射電子検出器 (T1 検出器) により、これまでは困難であった FIB で作製した平滑面の組織観察が可能となった。図Ⅲ-2.1.3-7 に、SEM 加速電圧 2kV で FIB で作製した同一視野の SEM 像を示す。図から、T1 検出器では、結晶の形態について観察可能であるが、T2 および T3 検出器は、表面の凹凸等は観察できるが、結晶組織の情報を得ることが困難であることがわかる。このように T1 検出器を用いた SEM 連続像の観察から、三次元組織の構築が可能となることがわかった。導入後装置の運用の立上げを行い、観察条件、加工条件の検討から三次元観察を実施し、三次元像の確立を行った。現在は、EBSD を用いた評価方法については現在検討を行い、平成 27 年度内に観察条件を確立予定である。



図Ⅲ-2.1.3-6 今回導入した三次元マイクロ解析装置 (FEI 社製、Scios) の検出器模式図



図Ⅲ-2.1.3-7 FIB で作製した同一断面の検出器の違いによる SEM 像の変化  
SEM の加速電圧は 2kV で、T1 検出器により結晶組織が識別可能である

本開発鋼板の自動車車体構造への適用により、現在、主要部材に用いられている590MPa級鋼を、今回開発した1.2GPa級鋼に置き換えることにより、大幅な車体軽量化による燃費向上と衝突安全性の向上が期待できる。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.1.3-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	3	9	1	0	0	1	1
合計	0	0	3	9	1	0	0	1	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.1.3-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	6	0	0
合計	6	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.1.4[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発

### 2.1.4.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

複層鋼板は、従来の FRP や FRM の複合材料では設計に取り入れられていなかった「延性」の向上を材料の中心設計に取り入れ、異なる強度・延性を有する鋼板を複層化した金属-金属の複合材料である。これによって、これまで超高強度を達成できるも極めて延性が低いために構造材料への適用が困難であった焼入ままのマルテンサイト鋼を構成層として複層化によってその延性を向上させることができるとともに、従来の鉄鋼材料の設計で熱力学的に制約されていた複数の相の空間配置や分率、組成を自由に設計できることになり、モノリシックな鉄鋼材料では到達できない超高強度と高延性を両立する新規の鉄鋼材料を可能とするものである。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.1.4-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
超高強度—高延性を両立する炭素鋼ベースの複層鋼板の開発	研究開発の本格的な実施を目指して、次世代の移動体の大幅軽量化に資する強度 1.5GPa 以上、伸び 20%以上の複層鋼板の実現可能性を確認する。	平成 27 年度までの FS 研究		高強度鉄鋼材料で 1.5GPa 伸び 20%以上を達成するのは難しく、単層の革新鋼板では、上記の特性を実現するための成分およびプロセスウィンドウが極めて狭い。それに対し、複層鋼板では比較的簡便な方法で上記特性を実現する可能性がある。



鋼／非鉄合金複層化の検討	中高炭素との複層化に適した非鉄合金を選定し、層の幾何設計とともに界面形成の技術・条件についても検討を進め、その結果の複層材の特性評価にも取り組む。	平成 27 年度までの FS 研究		
--------------	---	-------------------	--	--

### (3)全体計画

研究開発の本格的な実施を目指して、次世代の移動体の大幅軽量化に資する強度 1.5GPa 以上、伸び 20%以上の複層鋼板の実現可能性を確認する。平成 27 年度まで FS 研究として可能性を見極める。

### (4)実施体制

本テーマは尼崎分室（新日鐵住金株式会社）が、再委託先 1 大学とともに実施する。

### (5)運営管理

新日鐵住金内部および再委託先との進捗会議を定期的を実施し、適切な運営管理に努めてきた。具体的には、1 回／年の頻度で、当社幹部（鉄鋼研究所所長、先端技術研究所）へのキックオフおよび進捗報告会議を実施した。さらに、実務者間で、1 回／月の進捗会議および、3 回／年の頻度で再委託先との進捗会議を実施した。

### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

強度 1.5GPa、伸び 20%の複層鋼板の開発が達成された場合、フロントメンバーに適用すれば約 30%の軽量化、B ピラーなどのサイドメンバーに適用すれば約 38%の軽量化が可能と試算している。他方、スクラップ鋼をはじめとする劣質原料から構成層を形成しても高性能な金属材料を達成可能であるため、資源の乏しい我が国の資源戦略、鉄鋼や金属の生産の環境負荷の低減、などの点から大きなインパクトにつながる。

## 2.1.4.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.1.4-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
超高強度—高延性を両立する炭素鋼ベースの複層鋼板の開発	中高炭素 TRIP 鋼およびマルテンサイト鋼を用い、層数を 3~5 層として試作し、1.5GPa 以上、伸び 20%以上の複層鋼板の実現可能性を確認する。	超高強度マルテンサイトおよび TRIP 鋼の作製および特性評価 複層鋼板作製の設計指針導出	△	
鋼／非鉄合金複層化の検討	中高炭素との複層化に適した非鉄合金を選定し、層の幾何設計とともに界面形成の技術・条件についても検討を進める。	鋼と Mg 合金の接合を可能とする条件を導出	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.1.4-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
超高強度—高延性を両立する炭素鋼ベースの複層鋼板の開発	第 1 目標である強度 1.5GPa、伸び 20%をクリア。複層材としての特性を最適化するための層構成の影響解明、各層マイクロ組織および、それを実現するための熱処理条件を最適化。	平成 27 年までの FS 研究	
鋼／非鉄合金複層化の検討	鋼と Mg 合金の接合を可能とする条件を導出	平成 27 年までの FS 研究	

### (3)研究開発の成果と意義

本研究では、中高炭素鋼ベースのマルテンサイト鋼の高強度を活かしつつ高延性を達成する手段として、高延性層との複層化によるマルテンサイトの低延性克服を狙う。平成 27 年度は、複層の界面強度の確保、構成層の幾何設計、各構成層の組織・力学特性とそのバランスの最適化により、モノリシックな鋼では未達の超高強度－高延性の両立と実用化の可能性を検討した。

#### 1) 構成層の特性制御・複層幾何設計

複層鋼板の特性は、構成層の特性と幾何設計指針から予測可能である。複層材料の一樣変形を阻害する変形形態は、高強度層が単独で脆性的に破断する形態（Tunneling crack）と、界面が剥離することにより高強度層が高延性層の力学的拘束を失い脆性的に破断する形態（H-shaped crack）の2種類が考えられている。Tunneling crackの発生を抑制する条件は、弾性体と仮定すると、

$$t_A \leq \frac{4K_{IC}^2}{\pi\sigma^2} \quad (1)$$

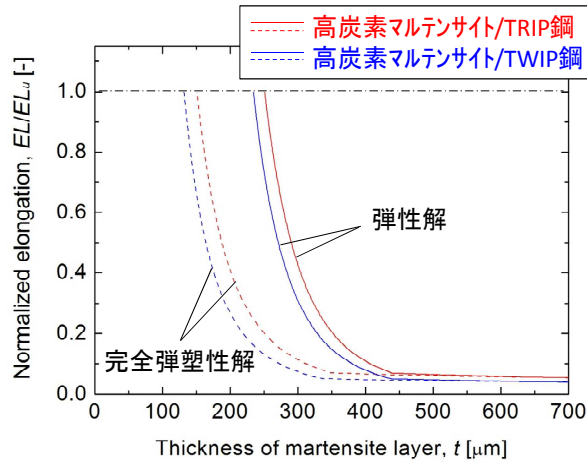
完全弾塑性体と仮定すると、

$$t_A \leq \frac{2\sqrt{3}K_{IC}^2\sigma_y}{\sigma^3} \quad (2)$$

で記述される。ここで、 $K_{IC}$ は破壊靱性値、 $\sigma$ は一軸引張応力、 $t_A$ は高強度層の厚さである。図Ⅲ-2.1.4-1に式(1)と(2)から求められる高強度層（マルテンサイト鋼）の破断伸びと高強度層の厚さの関係を示す。破壊靱性値 $K_{IC}$ は高炭素マルテンサイト鋼の実験値を用いた。高強度層の厚さが減少するに伴い、破断伸びが増加する。高炭素マルテンサイト鋼を高強度層とし、高炭素TRIP鋼またはTWIP鋼と組み合わせる場合には、マルテンサイト層の厚さが約150 $\mu\text{m}$ 以下の場合に脆性破壊が抑えられ、延性を持つと予測される。

つまり、高炭素マルテンサイト鋼/TRIP鋼、またはTWIP鋼との複層鋼板の設計には、マルテンサイト層厚を150 $\mu\text{m}$ 以下にすることが望ましい。複層鋼板の層数は、板厚が1mmの場合には7層、0.75mmの場合には5層に相当する。



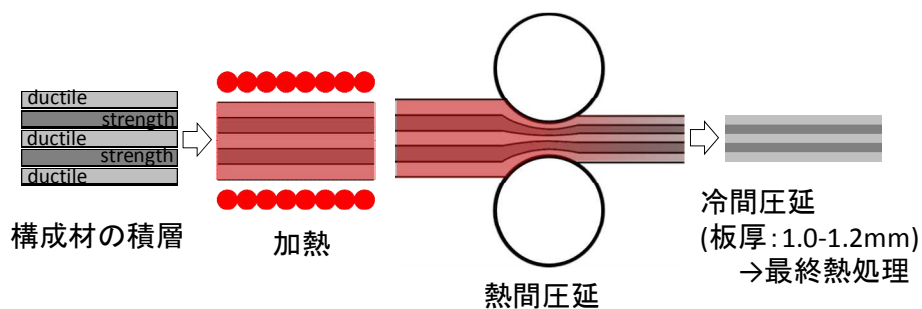


図Ⅲ-2.1.4-1 複層鋼板の破断伸びの予測

## 2) 複層鋼板の試作・評価

構成層を高炭素マルテンサイト鋼、高炭素 TRIP 鋼、高炭素 TWIP 鋼とし、幾何設計に従い、複層鋼板を試作した。

炭素を0.4～0.6%含む鋼において、複層鋼板生成後、各構成層がマルテンサイト、TRIP、TWIPになるよう成分設計を行った。まず、各鋼を真空溶製後、熱間圧延により2.5～6mmの板材を得た。これらの熱延材を5層積層し、四周溶接を行った後、1050℃で加熱後、図Ⅲ-2.1.4-2に示すような熱間圧延を行った。熱延後の板厚は3.0～3.5mmである。熱間圧延材は、焼き戻し後、冷間圧延を行い、1.0～1.2mmの板厚を得た。その後、適正な熱処理条件を選び、各層の組織制御を行った。

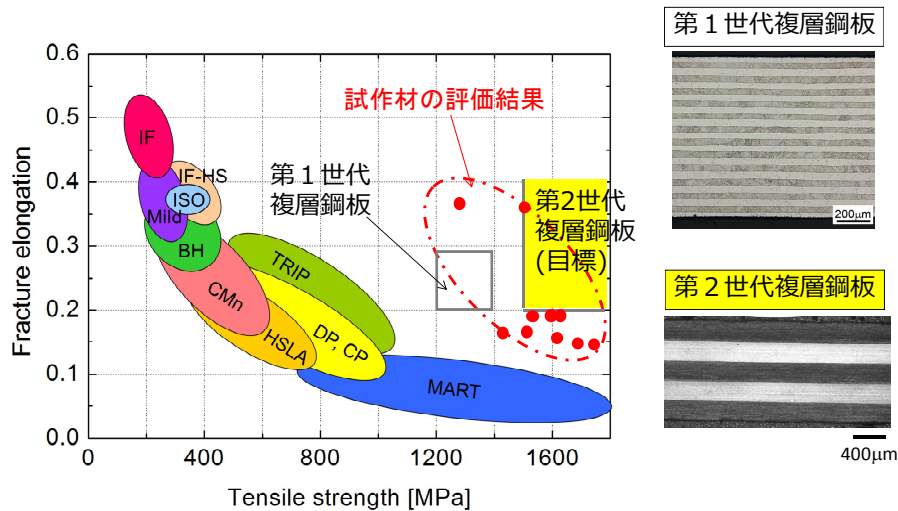


図Ⅲ-2.1.4-2 複層鋼板の試作方法

### 3) 第2世代複層鋼板の特性

図Ⅲ-2.1.4-3 に目標特性に対する複層鋼板試作材の引張特性を示す。一部、目標に到達しており、本研究で進めている材料設計指針は妥当であると判断される。

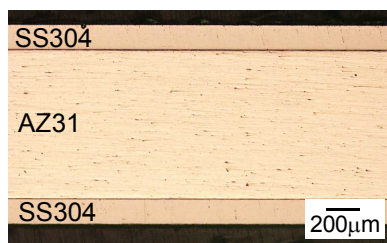
今後、第2世代複層鋼板の組織最適化を図り、材料評価および製造プロセスの確立を目指す。



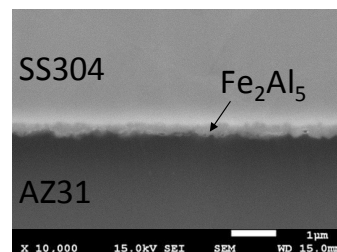
図Ⅲ-2.1.4-3 高炭素マルテンサイト／高炭素TRIP鋼またはTWIP鋼の積層鋼板の目標性能と結果

### 4) 鋼／非鉄金属の複層化

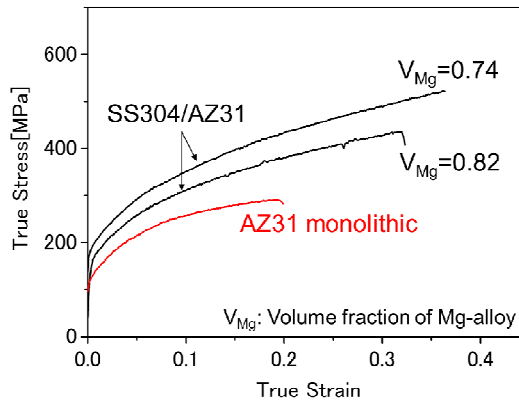
鋼と非鉄金属との複層化の検討を開始し、ステンレスと Mg 合金の複層化を試みた（図Ⅲ-2.1.4-4）。従来、鋼と Mg 合金の接合強度は弱く、複層材料としての延性確保が困難であった。しかしながら、反応型液相拡散接合（TLP 接合）により、界面に  $Fe_2Al_5$  反応相を生成させることにより（図Ⅲ-2.1.4-5）、界面強度が5倍程度向上することが明らかになった。そこで、TLP 接合により SUS304 と AZ31 合金の複層化を図り、引張特性を評価した。その結果、AZ31 単体の強度、伸びを大幅に超える特性を示すことが明らかとなった（図Ⅲ-2.1.4-6）。



図Ⅲ-2.1.4-4 鋼／Mg 合金の複層化



図Ⅲ-2.1.4-5 鋼／Mg 合金界面の化合物制御



図Ⅲ-2.1.4-6 鋼/Mg合金複層材料の引張特性

5)まとめと今後の予定

現時点で、第一中間目標である強度 1.5GPa、伸び 20%をクリア。平成 27 年度中に次の目標である 1.8GPa-20%を目指す。更に、複層材としての特性を最適化するための層構成の影響解明、各層マイクロ組織および層界面強度の最適化、それを実現するための熱処理条件の解明を進め、目標特性達成の材料及びプロセス条件を明らかにする。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.1.4-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	2

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

複層鋼板の基本特許はすでに日・米で成立、韓・中・欧で、連携先である東京大学にて申請中である。

表Ⅲ-2.1.4-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.1.5[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査

### 2.1.5.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車等の輸送機器の軽量化に向けて開発が進められている革新的鋼板開発に際し、その有効な一つ的手段である複層鋼板について、その界面構造解析と特性調査や微細組織構造解析技術の確立により複層化による高強度・高伸び特性の発現機構や耐水素脆化特性や靱性向上といった高性能化に対する検討を行い、さらに FEM および第一原理計算などの解析手法により、複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)を構築することで、複層鋼板の界面強度発現機構に対する検討を行うことを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

複層鋼板の界面構造解析と特性調査として、複層鋼板の微細組織構造解析技術とマルテンサイト鋼の 3 次元構造解明を通じたき裂伝播抑制に好適な組織指針の導出を通じた高機能化(高伸び、水素脆化特性等)を達成するための複層材料構成・層構成の追究、接合メカニズムの解明、FEM および第一原理計算などの解析手法による複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)の構築を通じた複層鋼板の界面強度発現機構に対する検討を完了させる。さらに、本研究から得られた知見を[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発に展開することで、より高付加価値の鋼板開発に繋げる。

表Ⅲ-2.1.5-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
複層鋼板の界面構造解析と特性調査	<ul style="list-style-type: none"> <li>- マルテンサイト鋼の 3 次元構造の解明</li> <li>- 複層化による高機能化検討</li> <li>- 接合メカニズム解明</li> </ul>	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	複層化による高性能化の複層材料構成・層構成の追究および製造プロセスの探索
複層鋼板の微細組織構造解析技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>- マルテンサイト鋼の変形挙動・き裂進展挙の解明</li> </ul>	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	変形破壊形態の明確化による、高強度・高延性化の指針の明確化
複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)の構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>- FEM および第一原理計算によるモデルの構築</li> </ul>	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	複層化による高性能化のクライテリア形成および高強度鋼における耐水素脆化特性向上の指針の明確化

### (3)全体計画

#### ① 複層鋼板の界面構造解析と特性調査

高強度マルテンサイト鋼板ならびに複層鋼板を実験室的に作製し、その基本的な材料特性を調査する。本結果と後述する再委託研究結果を複合的に解析・評価することで、高機能化(高伸び、水素脆化特性等)を効果的に発現させるための諸条件を明確化する。

##### 【平成 26 年度】

母材マルテンサイト鋼の変形・破壊機構解明に対して、高強度マルテンサイト鋼を対象として、その三次元構造解析を行う。これらの組織解析と平行してき裂伝播実験を行い、破壊機構に対する微視組織構造の影響を調査する。複層化による高機能化検討に対しては、複層鋼板に加えて、層厚比を変更した合わせ材を使用した複層鋼板を実験的に追加作製し、その変形挙動観察、および水素浸入実験を行う。複層界面の接合メカニズム解明に対しては、各種異種材料を使用したモデル拡散対を作製し、その剪断強度評価を行い、限界剪断エネルギーに及ぼす接合条件の影響を導出する。

##### 【平成 27 年度】

母材マルテンサイト鋼の変形・破壊機構解明に対しては、微細マルテンサイト鋼に対しても同様のき裂伝播実験および三次元構造解析を行い、微視組織構造の差異が変形・破壊機構に対してどのように影響を及ぼすかを明確化する。複層化による高機能化検討に対しては特に水素脆化特性に対する合わせ材の影響を系統的に取りまとめる。複層界面の接合メカニズム解明に対しては、高精度の電子顕微鏡等を用いた界面構造解析を行い、接合条件、接合強度と界面構造との関係を明確化する。

#### ② 複層鋼板の微細組織構造解析技術の確立

本テーマは、母材となる高強度マルテンサイト鋼および低強度(低炭素)鋼をはじめとした各種合わせ材の組み合わせによる積層鋼板に対して、その変形挙動、き裂進展挙動を解析すると共に、最新の解析機器(SEM, 高分解能 TEM, EBSP 等)を用いた組織観察・方位解析を行い、高機能化に対して好適な微視組織構造や複層構成に対する知見を取得することを目的とする。

##### 【平成 26 年度】

マルテンサイト鋼母材ならびに複層鋼板を用い、In-Situ 引張試験による変形挙動観察ならびに解析を継続して実施する。更に、各鋼板の結晶方位解析、すべり系解析を平行して行い、複層化により発現する高伸び特性に影響を及ぼす因子を明確化する。

##### 【平成 27 年度】

微細マルテンサイト鋼母材および同鋼を母材とした複層鋼板に対して平成 26 年度と同様の実験・解析を実施する。これらの実験・解析により、き裂伝播に対して好適なマルテンサイト組織構成、複層化による高機能化(特に高伸び特性)発現に影響する因子を明確化する。

### ③ 複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)の構築

本テーマは、FEM や第一原理計算法などの数値計算法を用いて、複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデルのプロトタイプ構築に関する検討を行うことを目的とする。

#### 【平成 26 年度】

第一の技術課題である複層鋼板の水素拡散モデルのプロトタイプ構築に対しては、炭素を含む鋼中の水素拡散現象のモデル化を進める。第一原理計算法と経路積分計算法の連成解析を行うソフトウェアを使用して拡散現象のモデル化を行い、モデルの適正化を図っていく。

複層鋼板の界面接合モデルのプロトタイプ構築に対しては、異相界面のモデルとして BCC 鉄 - FCC ニッケル界面を取り上げ、分子動力学法により界面接合メカニズムを原子レベルで解析する。

#### 【平成 27 年度】

平成 26 年度に予定している各種数値計算を継続して行うと共に、JFE スチールにて実施する各種実験(水素浸入試験、拡散対の剪断強度試験等)結果と照らし合わせることで、複層鋼板の水素拡散モデル(プロトタイプ)、界面接合モデル(プロトタイプ)の双方を構築する。

### (4)実施体制

本テーマは、千葉分室（JFE スチール株式会社）が再委託先 2 大学と共に実施する。

### (5)運営管理

テーマ(26)登録研究員による実務者進捗会議を 1 ヶ月に 1 回開催。また、再委託先との進捗会議を 3 ヶ月毎に開催。

### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

本研究から得られた知見を[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発に展開することで、より高付加価値の鋼板開発に繋げる。アジアなど新興国を中心に安価で、かつ自動車の軽量化・安全性向上効果の大きい超高強度鋼板のニーズは爆発的に拡大することが予想されており、1.5GPa 級冷間プレス用鋼板の需要は、2020 年で 200 万 t/年以上、2030 年で 300 万 t/年以上に達する可能性がある。また、自動車の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に削減され、燃費改善目標（国立環境研究所 AIM PJ チーム試算）の 10~20%相当の CO<sub>2</sub> 削減で地球温暖化ガスの低減に寄与する。

## 2.1.5.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.1.5-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
複層鋼板の界面構造解析と特性調査	マルテンサイト鋼の 3 次元構造の解明、複層化による高機能化検討、接合メカニズム解明	3次元マイクロ組織解析装置を用いて三次元構造観察を実施、層構造を変化させた複層鋼を用いた評価によって複層化による特性向上を検討 FEMによる歪解析により接合界面の挙動を明確化	○	
複層鋼板の微細組織構造解析技術の確立	マルテンサイト鋼の変形挙動・き裂進展挙動の解明	その場引張装置を用いた実験により、マルテンサイト鋼の変形挙動・き裂進展挙動を解明	○	
複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)の構築	FEM および第一原理計算によるモデルの構築	水素透過試験によって高強度鋼中の水素拡散現象を解明、モデル拡散対の評価および FEM による解析モデルを構築	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.1.5-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
複層鋼板の界面構造解析と特性調査	3次元マイクロ組織解析装置を用いて三次元構造観察を実施、層構造を変化させた複層鋼を用いた評価によって複層化による特性向上を検討 FEMによる歪解析により接合界面の挙動を明確化	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	達成



複層鋼板の微細組織構造解析技術の確立	その場引張装置を用いた実験により、マルテンサイト鋼の変形挙動・き裂進展挙動を解明	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	達成
複層鋼板の界面接合モデル・水素拡散モデル(プロトタイプ)の構築	水素透過試験によって高強度鋼中の水素拡散現象を解明、モデル拡散対の評価および FEM による解析モデルを構築	(平成 27 年度末にて FS 検討終了)	達成

### (3)研究開発の成果と意義

複層鋼の母材となる高強度マルテンサイト鋼、および高強度マルテンサイト鋼を母材として用いオーステナイト系ステンレス鋼を合わせ材として板厚比を変化させた複層鋼板を作製し、強度特性を調べた。

その結果、複層鋼板の引張強度は合わせ材として使用したオーステナイト系ステンレス鋼を合わせ材板厚比に応じて低下する一方で、伸び特性は積層化により大きく向上した。複層鋼板による高強度・高延性化に関しては十分な界面強度を得ることが重要と考えられているが<sup>1-7)</sup>、本研究で作製した複層鋼においては引張破断部の層界面近傍での剥離は生じておらず、複層鋼板による高強度・高延性化に関する界面強度の寄与を明確に示した。

また、高強度・高延性化のために必要な界面接合強度の指針を得ることを目的に、FEM による複層鋼板の変形解析および界面接合の原子レベル解析を行ったところ、相当塑性歪は母材と合わせ材とで連続的に変化しており、試験片中心部で歪みが大きくなる一方で、せん断応力は母材と合わせ材で不連続であり、接合界面の母材側で大きな値になることが明らかとなった。

さらに、複層鋼の母材である高強度マルテンサイト鋼の高ひずみ域での変形挙動について詳細に観察を行った結果、延性亀裂は主に旧  $\gamma$  粒界を伝播する傾向が確認され、より高強度・高延性鋼板の開発に対する粒界制御の重要性を示した。

鋼中への水素侵入挙動を解明するため、高炭素マルテンサイトと極低炭素フェライトを複層化した鋼板を使用し、電気化学的水素チャージによる水素透過試験を実施した。その結果、複層材の水素拡散は拡散速度の遅いマルテンサイト鋼に律速されるのではなく、合わせ材の影響を強く受けることが判明した。また、実際の部材として使用される場合は様々な加工や応力場を受けるため、水素の拡散挙動も影響を受けることが予想され、FEM により複層鋼板の弾塑性-水素拡散連成解析を行い応力場の影響を調査したところ、応力が付与されると接合界面近傍に水素が集積することが示され、接合界面での水素集積を考慮した材料設計の必要性を示した。さらに、実際の材料組織では転位や粒界などのトラップサイトとの相互作用も考慮に入れる必要があり、高強度材で見られる水素による粒界破壊等の現象を理解するには、分子動力学法 (MD) 等による原子レベルでの水素の挙動を解析することが有効であるが、本研究では第一原理計算によって求めた原子間ポテンシャルと MD シミュレーションにより解析を行った。

また、複層鋼の界面強度に対しては、接合部での合金元素の拡散によって整合性の高い界面を形成することの重要性を示し、炭素鋼と高 Ni 合金及びオーステナイトステンレス鋼からなるモデル拡散対を作製して剪断強度の評価を実施し、FEM モデルによって拡散接合モデルの構築を行った。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.1.5-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	4	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	4	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.1.5-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.2 テーマ2「革新的アルミニウム材の開発」

### 2.2.1[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

#### 2.2.1.1 テーマの概要

##### (1)背景と目的

軽量・高強度・高剛性・高加工性の革新的 7000 系アルミニウム合金を開発し、国内機体メーカーが製造する現行機種／将来機種の胴体／主翼構造材等への 継続的な適用を図る。

##### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.2.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
高強度・高靱性アルミニウム合金の開発	引張強さ $\geq 660\text{MPa}$ 耐力 $\geq 600\text{MPa}$ 伸び $\geq 14\%$ ラボスケール	引張強さ $\geq 750\text{MPa}$ 耐力 $\geq 700\text{MPa}$ 伸び $\geq 12\%$ ラボスケール	引張強さ $\geq 750\text{MPa}$ 耐力 $\geq 700\text{MPa}$ 伸び $\geq 12\%$ を有し、幅 500mm 以上の板材	目標特性値を達成することで大きな軽量化効果が得られる。

##### (3)全体計画

平成 29 年度までに基礎的な技術開発を行い、原理の探求あるいは理論の構築を図ります。平成 27 年度後半からは平行して機体メーカー殿へのサンプル提出を開始し、ユーザーからの意見をフィードバックし技術開発を進めます。

平成 30 年度からは実用化に向けた大型化の検討に移り、設備改造・設備導入や大型化に向けての問題点の洗出しを行いながら実証試験を開始します。

表Ⅲ-2.2.1-2 板材開発スケジュール

	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34
ラボ(基礎)技術開発	■							
顧客評価	■							
他用途での評価		■						
大型化技術開発 (実証試験、設備検討)				■				

#### (4)実施体制

本テーマは千年分室（株式会社 UACJ）が中心となり、名古屋守山分室（産業技術総合研究所）、西神分室（株式会社神戸製鋼所）でテーマを分担し、互いに協力しながら推進している。また再委託先の3大学は基礎的なメカニズムや評価・解析技術の開発を実施している。

#### (5)運営管理

個別課題に関する打合せは随時必要に応じて実施。

さらに、3ヶ月毎に全体で進捗報告・技術討議を行い全体進捗管理を実施している。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

航空機産業におけるアルミニウム素材産業は約1500億円（2012年）規模と予想される。国内機体メーカー主導で製造される民需・官需用の航空機用アルミニウム材料の合計を約10%と推定し、現状ベースで150億円/年の売上げが見込まれる。民間航空機は年率4%の成長が予想されており、その効果はさらに大きくなることが期待される。さらに例えば従来の中型旅客機に使用されるアルミニウム合金の50%を本開発合金に置き換えることで約10%程度の軽量化が達成されることから燃費の向上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギーの観点からも実施の効果は非常に大きい。

### 2.2.1.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.2.1-3 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
高強度・高靱性アルミニウム合金の開発	引張強さ $\geq 660\text{MPa}$ 耐力 $\geq 600\text{MPa}$ 伸び $\geq 14\%$ ラボスケール	押出材・板材ともに中間目標値を達成した。新プロセス導入により、最終目標値達成の指針を得た。	◎	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2) 第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.2.1-4 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
高強度・高靱性アルミニウム合金の開発	当初計画より早く中間目標値、引張強さ $\geq 660$ ／耐力 $\geq 600$ MPa／伸び $\geq 14\%$ を達成した。 鑄塊組織の微細化・鍛錬加工技術の新プロセス技術によるさらなる特性向上検討中。	引張強さ $\geq 750$ MPa 耐力 $\geq 700$ MPa 伸び $\geq 12\%$ を有する高強度・高靱性アルミニウム合金をラボスケールで達成する。	大型化の検討が重要となるが、特性向上に関する基礎的な指針は得た。達成の可能性は大きい。

## (3)研究開発の成果と意義

新しい航空機用構造材料および製造技術を開発する。また、本プロジェクトによって得られた新技術を自動車用材料や車両用材料等へ展開することにより、国内アルミ産業の発展および国際競争力の強化を図る。

## (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.2.1-5 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会への出展	受賞	フォーラム等※
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	プレス発表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	8	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	8	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.2.1-6 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.2.2[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発

### 2.2.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

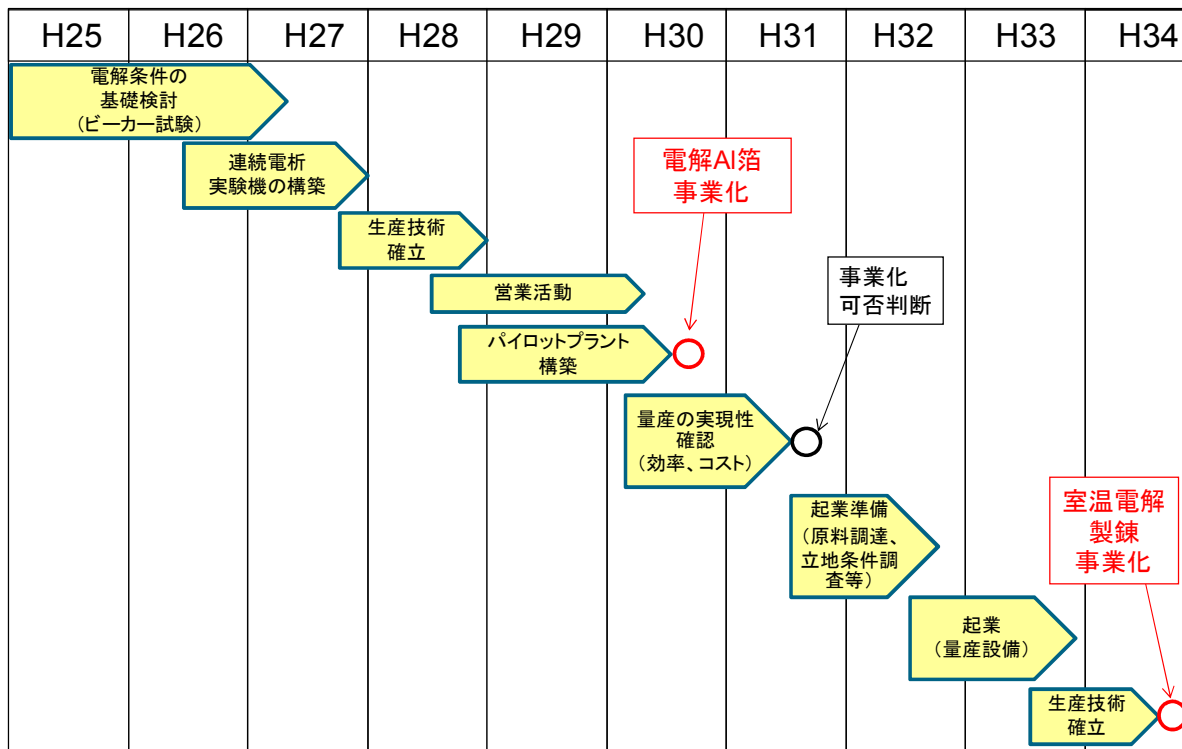
従来のアルミニウム（Al）素材の製造工程の効率改善は限界に近づきつつあり、製造コストを大幅に下げるためには、エネルギー効率に優れた革新的な製錬プロセスの開発が必要である。そこで、本研究テーマはイオン液体を利用した Al の室温電解製錬を実用化し、新地金の低価格化および Al 合金の室温製造プロセスの開発を目標に掲げた。従来、Al 新地金はボーキサイトから水酸化アルミニウム（Al(OH)<sub>3</sub>）を経てアルミナを製造するバイヤー法と、アルミナを電解製錬するホール・エルー法とにより製造される。Al の室温電解製錬では、原料として無水 AlCl<sub>3</sub>（塩化アルミニウム）を使用し、固体の Al 箔の状態での回収する。確立すべき要素技術は、① 無水 AlCl<sub>3</sub> 新製法、② 連続電析技術、③ 共析の制御、および④表面の平滑化の 4 つである。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.2.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
連続電析技術	小型パイロットプラントによる幅 20mm 以上×長さ 1,000mm 以上の Al 薄膜または条の作製	量産技術確立のため、パイロットプラントの構築し、実証試験を開始する。	Al の室温電解製錬プロセスの事業化・・・200 円/kg（対日プレミアム除き、従来より 50 円/kg 低減）	量産のため、連続電析技術の確立が必要
表面の平滑化	Al 箔表面の平滑性の支配要因を特定する。	平滑性向上の技術（添加剤、基板素材、電析条件等）の確立。		箔切れを防止製造効率を向上するため、材料表面の品質向上が必須
無水 AlCl <sub>3</sub> 新製法	触媒を用いた無水 AlCl <sub>3</sub> 製法の可否を判定する。	AlCl <sub>3</sub> 系イオン液体の大量合成法を開発、提案する。		ボーキサイトを出発原料とする製造プロセスを完成させるため必須
共析の制御①	不純物除去法を開発する。	再生 Al を利用可能とする。		低品質の Al を出発原料とする製造プロセスを確立するため必須
共析の制御②	Al 合金中の含有元素量の支配要因を解明する。 強度向上のため Mn を、高融点元素添加の技術確立のため、Nb, Ta 含有 Al 合金を作製する。	連続電析による Al 合金製造法を確立する。		安定した高純度化技術の確立・・・不純物濃度を 10 ppm 以下 高融点金属の高濃度添加技術の確立・・・Nb, Ta を 5mass%以上

### (3)全体計画



### (4)実施体制

深谷分室（株式会社 UACJ）が再委託先 4 大学と共に実施する。

### (5)運営管理

深谷分室（株式会社 UACJ）が中心となり、定期的な会合を開催し、技術開発の進捗および事業戦略について協議し、課題と解決方法および目標の共有をはかった。

### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

リチウムイオン電池の正極用の集電体の市場規模（2014 年度）は全世界で約 130 億円であり、今後も継続的な伸びが期待される。現在は全て AI 圧延箔が用いられており、その価格は約 600 円/kg である。電池の大容量化に伴い、集電体はより薄くなる傾向にあり、製造コストは圧延箔よりも電解 AI 箔の方が有利となる可能性がある。電解 AI 箔の量産化が実現すれば、EV 用リチウムイオン電池の低価格化に貢献でき、その経済効果は数十億円になると期待される。さらに新地金製錬の事業化が達成されれば自動車材への適用も可能となるため、集電体以上の経済効果（数百億円）が見込まれる。



## 2.2.2.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.2.2-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
連続電析技術	小型パイロットプラントによる幅 20mm 以上×長さ 1,000mm 以上に相当する Al 薄膜または条の作製	装置パラメーター（電極形状等）を決定し、独自設計の連続電析実験機を製作、長尺 Al 箔の作製に成功した。	○	
表面の平滑化	平滑性の支配要因を特定する。	カソード素材（Cu or Ti）によって粒成長の均一性が異なり、Ti が最適であることが判明。	○	
無水 AlCl <sub>3</sub> 新製法	熔融塩あるいは触媒を用いた無水 AlCl <sub>3</sub> 製法の可否を判定する。	特定の触媒を用いた場合に、AlCl <sub>3</sub> 生成の感觸を得た。	△	
共析の制御①	不純物除去法を開発する。	隔膜による不純物除去効果を確認した。	○	
共析の制御②	Al 合金中の元素含有量の支配要因を解明する。	Mn, Nb および Ta 含有合金を試作。浴組成、電流密度により含有量を制御できることを確認した。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.2.2-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
連続電析技術	連続電析実験機の製作まで完了 長尺 Al 箔の作製に成功した。	Al の室温電解製錬 パイロットプラン トの構築	電析速度アップ、 安価なイオン液体 調達等の課題をク リアできれば達成 の見込み
表面の平滑化	カソード素材 (Cu or Ti) によって 粒成長の均一性が異なり、Ti が最 適であることが判明。Ti の鏡面研 磨、添加剤も効果があることが判 明。		達成見込み
無水 AlCl <sub>3</sub> 新製法	特定の触媒を用いた場合に、生成 物発生の感触を得た。		検討中
共析の制御①	隔膜による不純物除去効果を確認 した。		達成見込み
共析の制御②	Mn, Nb および Ta 含有合金を試 作。浴組成、電流密度により含有 量を制御できることを確認した。	安定した高純度化 技術の確立・・・ 不純物濃度を 10 ppm 以下 高融点金属の高濃 度添加技術の確 立・・・Nb, Ta を 5mass%以上	達成見込み

### (3)研究開発の成果と意義

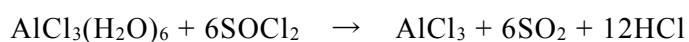
#### 1) 無水 AlCl<sub>3</sub> 新製法

##### 1).1 溶融塩の利用

Al(OH)<sub>3</sub> と HCl から AlCl<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> を合成することは比較的容易であるが、AlCl<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> から H<sub>2</sub>O を取り除き、無水 AlCl<sub>3</sub> を合成する方法は報告されていない。まず、AlCl<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O)<sub>6</sub> と NaCl とで二元系溶融塩を作製し、加熱・減圧の環境下にて不活性ガスを吹き込み、AlCl<sub>3</sub> を昇華させ、H<sub>2</sub>O と分離し、冷却して回収することを試みた。その結果、HCl と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> が生成し、所望の AlCl<sub>3</sub> は得られなかった。現条件では、Al-O (結合エネルギー 115 kcal/mol) が切れないと推測された。そこで、触媒の利用を試みた。

##### 1).2 触媒の利用

水との親和性の強いチタン、白金、パラジウムを触媒として反応の促進を試みた。想定する反応は、以下のとおりである。



#### 2) 連続電析技術-基盤技術

電解アルミニウム箔を連続的かつ安定的に製造するためには、カソード上に電析させたアルミニウム薄膜がカソードから容易に剥離しなければならない。チタン、タングステン、およびモリブデンからなるカソード上に電析したアルミニウム薄膜は容易に剥離することを確認した。これらの中から、実際に用いるカソード材料として、コスト面で優位性をもつチタンを選択した。また、表面粗さの異なるカソードを用いた場合、カソードの表面粗さが低いほど、電析アルミニウム膜の剥離が容易になることを確認した。本実験において、添加剤を含まないジメチルスルホン浴から電析されたアルミニウム膜は、脆く、カソードからの剥離の際に、箔が破断してしまうことが明らかとなった。しかし、ある種のアミンを浴に添加すると、電析アルミニウム膜の延性が増し、剥離の際、箔が破断しにくくなることを見出した。

連続製箔の基本原理は以下の通りである。回転軸が水平に向けられたドラム状のカソードの下面の一部を電解液に浸漬させ、この状態で、カソードを回転させるとともに、電圧の印加によってカソード上にアルミニウム膜を電析させる。電析したアルミニウム膜は、カソードの回転によって電解液から露出してくる。この膜をカソードから剥離し、別のドラムに巻き取って回収することで、連続的にアルミニウム箔を得ることができる。本研究では、カソードドラムの直径を 100 mm とした。これに応じて、現状でのアルミニウムの電析速度を考慮に入れ、厚さ 10 μm のアルミニウム箔を製造する際に必要なカソードの回転速度を算出し、回転機構の設計を行った。アルミニウム箔を巻き取るためのドラムについては、電解液との接触により腐食することを避けるため、PTFE 製のものを作製した。また、カソードドラムから電析アルミニウム箔を剥離させる位置を調節するための中間ロールを整備した。これらのカソードドラム、巻き取り用ドラム、中間ロール、回転制御機構、電解槽を組み合わせ、アルミニウム電解製箔実験装置のプロトタイプを作製した。本装置を用い、まずは取り扱い容

易な大気環境中において電解銅箔の作製を試み、長尺の箔を得ることに成功した。カソードドラムのマスキング方法等、製造条件詳細について有用な知見を得ることができた。

### 3) 連続電析技術-量産技術

高品質の電解アルミニウム箔を安定的に製造するためには、装置部材および電解条件の最適化が必要である。まず、Al を電析させるチタンカソードドラムの表面性状の最適化を試みた。電解液は、EMIC (1-エチル-3-メチルイミダゾリウムクロライド) : 塩化アルミ = 1 : 2 のモル比で混合し Fe などの不純物元素を置換精製した。アノードに Al 板 (99.9%) を使用し、アルゴン雰囲気下で電解を行った。カソードドラムを鏡面研磨した場合、電析物の剥離性が高く、容易に箔を得ることができた。

図 III-2.2.2-1 に鏡面研磨したチタンカソードから作製した電析物の外観写真、およびレーザー顕微鏡像を示す。電析物表面は白色、裏面はチタンカソードを転写した鏡面であった。下地が平滑なカソードを使用することで、電流密度の集中とデンドライト成長が抑制されたと考えられる。鏡面研磨なしの場合、表面の凹凸により電流密度の分布が不均一になり、粗な電析物が析出し、隙間が多い不連続の膜が形成されたり、厚さが不均一となり、切れやすい膜が形成されたと考えられる。

以上の知見を踏まえ、装置パラメーター (電極形状、素材、巻取り速度等) を決定し、独自設計の連続電析実験機を製作し、グローブボックス内に設置した。本装置を利用して、長さ 1m 以上の長尺 Al 箔の作製を試み、連続電析技術に関する有用な知見を得た。

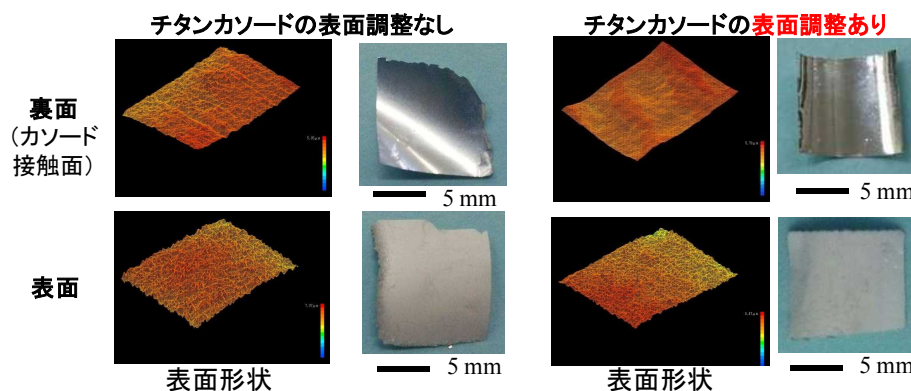


図 III-2.2.2-1 チタンカソードの表面粗さの影響

#### 4) 共析の制御

##### 4).1 アノードから溶出する不純物の共析抑制

電解 Al 箔を連続的に製造する際、アノードとして Al 合金を使用する。製造時、アノードから溶出する不純物の共析を制御できれば、低グレードの Al をアノードとして利用でき、製造コストを引き下げることができる。電解槽に不純物除去の機能を付与した (図 III-2.2.2-2)。2mass%の Fe あるいは Cu を含むアノードを使用して電解 Al 箔を試作した。EPMA 測定により、高純度の Al 箔の生成を確認した (図 III-2.2.2-3)。

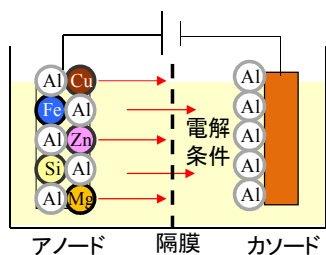


図 III-2.2.2-2 不純物の除去方法

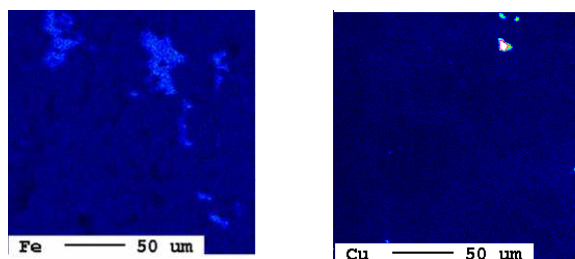


図 III-2.2.2-3 表面の WDS 面分析  
(左 : Al-Fe アノード使用、  
右 : Al-Cu アノード使用時)

##### 4).2 共析の制御-任意の元素を共析させる技術の開発

浴 (イオン液体) から任意の組成の Al を析出させるため、所定の元素を共析させ任意の組成の Al 合金を作製する技術を確認する必要がある。合金作製に関しては、低温環境において高融点の Nb あるいは Ta を共析させる手法の開発に取り組んだ。Nb については電解浴へ添加することに成功し、今後、合金を製作する予定である。Ta については、今年度は低温塩化物溶融塩を用いて Al-Ta の電析について検討した。Ta イオンを含有する 150°C の低温塩化物溶融塩中でボルタモグラム測定を行い、Ta イオンの還元過程および析出電位を明らかにした。またボルタモグラムの測定結果をもとに定電位電解を行った。各種電解電位で Al-Ta 合金を電解で形成でき、より卑な電解電位ほど Al を多く含有する Al-Ta 合金が得られる事がわかった。

高強度 Al 合金箔の製造を想定し、Al-Mn 合金箔の作製と Mn 含有量の制御を試みた (図 III-2.2.2-4)。

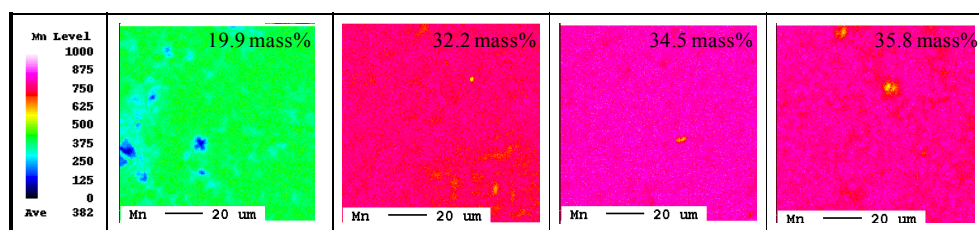


図 III-2.2.2-4 Al-Mn 合金中の Mn 含有量  
(表面の WDS 面分析)

5) 表面の平滑化-電解アルミ箔の表面形態制御・高機能化

電解 Al 箔の表面形態制御や高機能化のため、平坦度の支配要因の調査および添加剤の探索が必須である。定電流電解法を用い、種々の条件で電解 Al 箔を作製し評価した。電解液は、EMIC (1-エチル-3-メチルイミダゾリウムクロライド) : 塩化アルミ = 1 : 2 の混合液を用いた。カソードには Cu 基板あるいは Ti 基板を用いた。電気量の変化により配向度の変化がみられた。Cu 基板の場合、基板付近に細かい粒子が存在し、その粒子径は 0.25-1.5 μm であった。Ti 基板の場合、細かい粒子は存在せず、その粒子径は 1-2.5 μm であった (図 III-2.2.2-5)。

基板が粒子成長機構の支配要因と考えられたので。電解 Al 箔の表面粗さに及ぼす影響を SEM により調べた。Cu 基板と Ti 基板の表面粗さに大きな差異は見られなかった。Cu 基板の場合、Al 箔の表面粗さ Sa は 0.164 μm であった。Ti 基板の場合、表面粗さ Sa は 0.248 μm であった。以上、電解 Al 箔の表面性状の支配要因を把握できた。今後、成膜速度を増大させつつ、添加剤等を併用して表面性状の向上をはかる。



図 III-2.2.2-5 粒成長に及ぼす基板素材の影響 (SIM 像)

6) まとめ

これまで、室温電解製錬の要素技術開発に取り組んだ。連続電析装置の基本仕様を策定、曲面チタンへの Al 箔電析と、剥離・回収に成功した。また、Al 合金の含有成分制御を試み、Al-Mn 合金の作製および高融点金属 Ta あるいは Nb との合金の作製に成功した。

(4)成果の普及 (論文、外部発表等)

表III-2.2.2-4 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	1	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	1	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント (フォーラム、シンポジウム等)

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.2.2-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.2.3[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発

### 2.2.3.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

地球温暖化抑制のためには CO<sub>2</sub> 排出量削減が重要課題であり、様々な策が講じられてきている。運輸部門では自動車をはじめとする輸送機器の軽量化による燃費向上が最も効果的な対策の一つである。自動車におけるアルミニウム材料の採用は軽量化に直結しており、アルミニウム材料の使用拡大が期待されている。しかし、現状の自動車へのアルミニウムの使用率はまだ低く、エンジン、ホイール、トランスミッションケース等の鋳造品が大半であり、飛躍的な軽量化を図るためには、アルミ化が十分に進展していない車体骨格部品へのアルミ板材の適用を加速する必要がある。しかしながら、軽量化とともに衝突安全性を要求する車体骨格部品へのアルミ化が十分に進展していない理由の一つは、鋼板と比較して延性に劣り、強度も低いという材料課題があるためである。また、既にアルミ板材が適用されている部位においても、部品としての剛性・強度を上げるための幾何学剛性に必要な複雑形状成形技術や厚肉板材の適用などから、軽量化効果も十分に得られていない。今後、アルミニウム板材を自動車ボディに広く適用するためには、強度と延性という、相反する素材特性を両立するとともに、部品の段階ではその構造に適したプレス材料（ブランク材）における板厚分布、強度分布を有する材料の活用が求められている。

そこで、本研究開発では、輸送機器の抜本的軽量化を目的に、強度と延性という、相反する特性を両立するための複層アルミ合金の研究開発と、その製造技術の開発を行う。これらの技術開発を推進することで、輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の削減及び我が国の産業の国際競争力強化を目指す。



## (2)位置付け、目標値

本テーマの位置付けは、輸送機材の国際競争力強化のための、自動車軽量化、CO<sub>2</sub>排出量削減につながるアルミニウム合金の創出である。目標に関しては、以下の表の通りである。

表Ⅲ-2.2.3-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
複層合金設計、組織解析・制御技術の開発	小型サンプルでの成形前の伸び(17%以上)、成形・熱処理後の耐力(550MPa以上)を両立する組織コンセプトの提示	ラボサンプルでの成形前の伸び(20%以上)、成形・熱処理後の耐力(600MPa以上)の両立	広幅サンプルでの成形前の伸び、成形・熱処理後の耐力の両立	既存高張力鋼板の特性との比較
複層合金製造技術の開発	板幅 30～50mm 程度の積層アルミ合金板の製造プロセス指針の提示	ラボサンプルでの積層アルミ合金板の製造制御指針の提示	広幅サンプルでの製造プロセス設計指針の提示	実生産における製造プロセスの検証

## (3)全体計画

第 1 期(平成 25～27 年度)として、各項目毎に、そのコンセプトのラボ検証を行う。これらのコンセプトの検証、レビューを第 1 期で行う。第 2 期(平成 28～29 年度)では、各項目毎に、コンセプトの効果の更なる向上策、プロセスの制御策をラボレベルで行う。第 3 期(平成 30～34 年度)では、最終目標に向けて、更なる特性向上、プロセス制御策を検討する。

## (4)実施体制

本研究開発は、西神分室（(株)神戸製鋼所）が実施し、複層アルミ合金の材料設計指針構築に必要な微細組織評価技術の構築を大学への再委託で行う。

## (5)運営管理

西神分室内或いは再委託先との間において、担当者間で定期的な会議を行い、目標に向けた進捗の管理、情報の共有化を行い、効率的なテーマの推進を図っている。

## (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

本技術を適用できると考えられる部位は、自動車車体骨格部である。骨格部材に使用されている鋼材の重量は、部品によって異なるが、主な部品は数～20kg 程度であることから、アルミニウムに置き換えることによる軽量化効果を約 40%と見積もり、国内の乗用車の生産台数（約 450 万台/年）の 20%の車種に本技術が適用されると想定

した場合、約 1 万 t/年のアルミニウムの使用量の増大に繋がる。また、CO<sub>2</sub>排出量抑制効果は、燃費改善効果を 0.52L/kg、燃料 1kL 当たりの CO<sub>2</sub>削減量換算を 2.6t/kL と仮定すると、約 1.3 万 t/年の CO<sub>2</sub>削減効果が将来的に見込まれる。さらに、鋼材に対する本開発材の競争力向上により、アルミ化の適用部位がさらに拡大すれば、アルミニウムの使用量及び CO<sub>2</sub>削減効果はさらに増大すると予想される。

### 2.2.3.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.2.3-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
複層合金設計、組織解析・制御技術の開発	小型サンプルでの成形前の伸び(17%以上)、成形・熱処理後の耐力(550MPa以上)を両立する組織コンセプトの提示	伸びと強度のバランスを向上させるコンセプトを検証し、中間目標達成する目処を得た。	○	
複層合金製造技術の開発	板幅 30～50mm 程度の積層アルミ合金板の製造プロセス指針の提示	製造プロセスの実現性を検証した。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.2.3-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
複層合金設計、組織解析・制御技術の開発	伸びと強度のバランスを向上させるコンセプトは検証しており、更なる特性向上は継続して推進中。	ラボサンプルでの成形前の伸び(20%以上)、成形・熱処理後の耐力(600MPa以上)の両立	達成可能と考えている。
複層合金製造技術の開発	狭幅材での接合条件、製造制御条件は把握しており、自動制御に必要なデータを採取中。	ラボサンプルでの積層アルミ合金板の製造制御指針の提示	達成可能と考えている。

### (3)研究開発の成果と意義

本研究開発は、第1期(平成25～27年度)にてそのコンセプトの検証、レビューを行うこととしているが、そのコンセプトが検証できたことは成果である。このことは、継続して技術開発を進める意義があることを示している。これらのコンセプトを実用化に向けた要素技術として具体化していくことで、これまでにない独創的な技術となり、自動車軽量化のための差別化技術として活用することが期待される。

### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.2.3-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.2.3-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	4	0	0
合計	4	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.3 テーマ3「革新的マグネシウム材の開発」

### 2.3.1 [テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

#### 2.3.1.1 テーマの概要

##### (1)背景と目的

マグネシウムは、実用金属の中で最も軽量であり、また優れた比強度を有することから、輸送機器のための新たな構造材料として注目されている。しかし、汎用のマグネシウム合金は発火温度が低く、固相線温度よりも高い温度に昇温すると発火する材料として認識されており、特に、不燃・難燃特性の確保が必須である鉄道車両部品や航空機部品としての適用は困難とされてきた。

近年、マグネシウム合金の発火温度を高める合金開発が進められ、その結果、汎用マグネシウム合金（Mg-Al系合金等）にカルシウムを添加し、発火温度を飛躍的に高めた「難燃性マグネシウム合金」が開発された。本合金は優れた難燃特性を有し、日本鉄道車両機械技術協会の車両材料燃焼試験において「不燃材」の認定も受けていることから、鉄道車両用部材への適用も、小型鋳造部品に関しては進みつつある<sup>1)</sup>。

今後、難燃性マグネシウム合金を用いて輸送機器のさらなる軽量化を目指すためには、合金特性のさらなる高性能化（強度・延性の改善、生産性の改善）を目指すと同時に、型材や板材を組み合わせて「大型構造体」を作り込むための要素技術を開発していく必要がある。具体的には、大型展伸材（型材・板材）を製造するためのプロセス技術、大型展伸材を組み立てるための接合技術、及び耐食性を確保する技術が必要である。そこで、本研究開発では、難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目的とし、難燃性マグネシウム合金の材料特性（機械的特性、生産性）をさらに改善するための合金設計技術開発、開発した合金の信頼性（難燃性、疲労特性、接合特性、耐食性等）を確保するための特性改善技術、評価技術の構築を目指す。

##### (2)位置付け、目標値

現在、高速車両構体に利用されているアルミニウム合金には2種類あり、汎用型のA6N01合金と高強度型のA7N01合金がある。A6N01合金に関しては屋根板、幕板、側ハリ等に利用され、A7N01合金に関しては台枠や枕ハリ等に利用されている。そこで、本研究開発では、A6N01合金に匹敵する機械的特性と生産性（押し出し速度）を有する難燃性マグネシウム合金押し出し材（易加工性マグネシウム材）と、A7N01合金に匹敵する機械的特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材（押し出し材、板材（薄板・厚板））（高強度マグネシウム材）を開発することを目指す。

なお、開発した合金を用いて実際の構体を作製するためには、開発合金をつなぎ合わせるための接合技術や、耐食性を付与するための表面処理技術が必要である。さらには、母材・接合継手・表面処理被膜の信頼性を評価するための技術を構築する必要がある。そこで、開発した合金を接合するための技術、信頼性（疲労特性、発火特性、耐食性等）を評価するための技術についても並行して開発を実施する。

名古屋守山分室（産業技術総合研究所+3つの再委託研究機関）では、上記研究開発要素の内、A6N01合金およびA7N01合金に匹敵する特性を有する難燃性マグネシ

ウム合金を創製するための合金設計指針を導出する。また、信頼性評価技術の一部（発火メカニズムの調査および腐食メカニズムの調査）を担当する。以下、名古屋守山分室の研究開発項目および目標を表Ⅲ-2.3.1-1 に列記する。

表Ⅲ-2.3.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
① 易加工性マグネシウム材の開発	引張強度：250MPa 以上、伸び：15% 以上、難燃性：AZX311 以上、押出速度：AZ31 以上の特性を示す押出材を作製するための合金設計技術を構築。	引張強度：270MPa 以上、伸び：20% 以上、難燃性：AZX311 以上、押出速度：A6N01 以上の特性を示す押出材を作製するための合金設計技術を構築。	平成 29 年目標値を実機で実現するための合金設計技術の構築。	A6N01 合金に匹敵する機械的特性 →引張り強度：270MPa, 伸び：12% (アルミポケットブック：改編第 7 版、住友軽金属編)
② 高強度マグネシウム材の開発	引張強度：350MPa 以上、伸び：13% 以上、難燃性：AZX311 以上の押出材および圧延材を作製するための合金設計技術を構築。 (中板・厚板については、強度及び延性を極大化するための組成・組織に関する情報を抽出。)	引張強度：360MPa 以上、伸び：15% 以上、難燃性：AZX311 以上の押出材および圧延材を作製するための合金設計技術を構築。(押出材、薄板、中板・厚板共通)	平成 29 年目標値を実機で実現するための合金設計技術の構築。(押出材、薄板、中板・厚板共通)	A7N01 合金に匹敵する機械的特性 →引張り強度：370MPa, 伸び：13% (アルミポケットブック：改編第 7 版、住友軽金属編)
③ マグネシウム材の評価手法の確立	Mg-Al-Ca-Mn 系合金の発火特性、腐食特性の解明。	Mg-Al-Ca-Mn 系合金の発火特性、腐食特性のデータベース構築・標準化。	研究開発項目①、②で開発される合金の発火特性、腐食特性のデータベース構築、及び発火特性の標準化。	高速車両構体を設計する上において、腐食特性及び発火特性のデータベース化・標準化は不可欠

### (3)全体計画

本研究開発では、高速車両構体に利用されているアルミニウム合金（A6N01 合金および A7N01 合金）に匹敵する特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材を開発することを目指す。また、開発した合金の信頼性を改善するための技術（接合技術等）や信頼性を評価するための技術の開発を目指す。

研究開発項目①「易加工性マグネシウム材の開発」に関しては、汎用マグネシウム合金(Mg-Al 系合金)に難燃化元素（Ca）等を添加した合金（Mg-Al-Ca-Mn 系合金、Mg-Al-Zn-Ca-Mn 系合金）をベースとして、A6N01 合金に匹敵する機械的特性と押出し特性（易加工性マグネシウム材：引張強度：270MPa 以上、伸び：20%以上、難燃性：AZX311 以上、押出速度：A6N01 以上の特性）を有する展伸材を開発することを目指す。研究開発項目②「高強度マグネシウム材の開発」に関しては、A7N01 合金に匹敵する機械的特性（引張強度：360MPa 以上、伸び：15%以上、難燃性：AZX311 以上）を有する展伸材を開発することを目指す。易加工性マグネシウム材については押出材のための合金を開発する。高強度マグネシウム材については板材としての用途も想定されるため、押出材と板材（薄板および中板・厚板）のための合金も開発する。

上記合金の開発を遂行するに当たっては、開発した合金の材料強化メカニズムを微視的視点で解明するための研究開発や、難燃性マグネシウム合金に関する技術動向調査を並行して実施する。

研究開発項目③「マグネシウム材の評価手法の確立」に関しては、開発合金の発火特性や耐食性を評価することを目的として、評価手法を確立する上において不可欠な知見（発火現象に及ぼす環境因子や組織的因子の抽出、マグネシウム合金へのカルシウム添加が腐食現象に及ぼす影響）を明らかにする。

### (4)実施体制

本研究開発体制においては、マグネシウムに関連する 6 つの分室が共同で難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目指す。そこでは、素材の開発を担当する「材料 WG」、開発材料の信頼性を改善・評価するための技術を開発する「接合 WG」、「耐食性 WG」、「発火特性 WG」を形成し、各 WG が連携して課題の解決を目指す。

「材料 WG」では、易加工性マグネシウム材の開発（合金開発およびプロセス技術開発）を射水分室（三協立山）が担当する。高強度マグネシウム材の開発の内、押出材の開発を長洲分室（不二ライトメタル（+再委託 1 機関））が担当する。薄板の開発は伊丹分室（住友電工）が担当する。また、中板・厚板の開発は射水分室（射水分室+（再委託 1 機関））が担当する。上記合金の合金設計指針の導出に関しては、名古屋守山分室（産総研（+再委託 3 機関））が担当し、各素材メーカーと連携して合金開発を実施する。

「接合 WG」では、横浜金沢分室（総合車両製作所（+再委託 9 機関））が主体となり、各種接合技術（TIG, MIG, FSW, モニタリング技術）の開発、疲労特性評価

の確立、破壊靱性特性評価の確立を実施する。「耐食性 WG」では、小牧分室（大日本塗料（+再委託 3 機関））が主体となり、マグネシウム合金母材および表面処理材の耐食性を評価するための評価基準を作製することを目指すとともに、母材および表面処理材の腐食メカニズムを明らかにする。「発火特性 WG」では、名古屋守山分室が主体となり、難燃性マグネシウム合金の発火メカニズムを明らかにする。

なお、開発した合金を実用化するにあたっては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に開発合金を利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するため技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。そのため、本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進している。

次に、名古屋守山分室における、研究項目の分担を説明する。名古屋守山分室では、高強度マグネシウム材の開発の内、押出材および中板・厚板のための合金設計指針の構築を担当する。また、マグネシウム材の評価手法の確立（評価法（難燃性）の確立および耐食メカニズムの解明）を担当する。易加工性マグネシウム材の開発および高強度マグネシウム材（薄板）の合金設計指針の構築に関しては、再委託機関 1 が担当する。また、難燃性マグネシウム合金の微視的強化機構の解明は再委託機関 2 が、難燃性マグネシウム合金の高機能化技術に関する技術動向調査に関しては再委託機関 3 が研究を担当する。

#### **(5)運営管理**

マグネシウムの研究に従事する組合員（アドバイザーを含む）が全員参加できる分科会を毎月開催している。具体的には、材料 WG、接合 WG、表面処理 WG の分科会を 3 ヶ月に 1 回開催し（発火特性 WG は不定期開催）、各分室および再委託先の研究進捗を報告することにより、素材開発、信頼性評価技術の開発を共同で推進している。なお、平成 27 年 3 月末までに、材料 WG、接合 WG、耐食性 WG の分科会を各 5 回ずつ、計 15 回開催している。

分科会は、研究進捗を報告する場として機能するだけでなく、合金組成を選定する上で機械的特性以外に抑えておくべき特性の抽出、高速車両構体に難燃性マグネシウム合金を適用する上で予め評価しておくべき項目の洗い出し、接合試験や耐食性試験を行う際に必要となる試験片の手配等を行う場としても機能しており、プロジェクトの進捗を調整する場としても機能している。

また、軽金属学会秋期講演大会（平成 26 年 11 月開催、東京工業大学）において、テーマセッション「難燃性マグネシウム合金展伸部材創製のための最新技術開発」を設立し、プロジェクトで得られた成果を公の場で議論する機会を設定した。テーマセッションではプロジェクトに関する口頭発表が計 17 件報告された。今後、上記テーマセッションを定期的に立ち上げ（年 2 回を予定）、プロジェクトの成果を積極的に配信していく予定である。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替した場合の重量削減効果について、ヤング率を基準とした場合、20%程度の車両構体の軽量化を見込むことができるとの報告がある<sup>2)</sup>。構体の軽量化は、CO<sub>2</sub>排出量削減に寄与するばかりで無く、車両の高速化にも大きく寄与することが知られている。仮に、新幹線の車両質量を20%軽量化することができれば、それだけで10~20km/時の営業速度アップを見込むことができるとの試算がある<sup>3)</sup>。ゆえに、経済的観点からは車両構体の軽量化は大きな効果を見込むことができる。

なお、新幹線車両の年間生産台数は385台/年（平成25年）であり、四輪車の年間生産台数（約1,000万台：平成25年）の0.004%程度である<sup>4,5)</sup>。また、動力として電気を利用していることを考慮すると、新幹線の重量減に伴うCO<sub>2</sub>削減効果は、四輪車のそれと比較すると小さいものであると言える。

一方、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体（屋根・側構体、妻構体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は1両当たり約5tである<sup>6)</sup>。上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1両当たり約4tの需要が生まれることになる（マグネシウム置換により車両重量が20%減少する場合）。車両製造が1年当たり400両と仮定すると（385両：平成25年）<sup>4)</sup>、1600tの需要が生まれることになる。なお、国内におけるマグネシウム合金展伸材需要は約700t/年（平成26年）であり<sup>7)</sup>、プロジェクトの成果により、仮に、側構体だけでもマグネシウム合金に置き換えることができれば、それだけで、国内の展伸材需要を倍増させることが可能となる。この様に、本プロジェクトの成果により、輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を加速させることができれば、マグネシウム合金産業構造自体を変革させることが可能である。



## 2.3.2.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

以下、中間目標の達成度を表Ⅲ-2.3.1-2 にまとめて列記する。

表Ⅲ-2.3.1-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
(1) 易加工性 Mg 合金材の開発 (再委託機関 1)	引張強度 250MPa 以上、伸び 15%以上、AZ31 合金と同程度以上の押出速度により押出成形可能な Mg 合金材を作成するための合金設計技術を構築する。	特定の組成の合金を押し出速度 24m/min の高速で押し出すと、押し出のまま材、T6 処理材とも目標値を上回る特性を示すことを試験片レベルで解明。	○	
(2) 高強度 Mg 合金材の研究開発 (名古屋守山分室)	引張強度 350MPa 以上、伸び 13%以上の特性を示す押し出し材を作製するための合金設計指針を導出。	特定の組成の合金を特定の条件で押し出し成形すると引張強度 352MPa, 伸び 14%を示すことを試験片レベルで解明。	○	
(3) 高強度 Mg 合金薄板の研究開発 (再委託機関 1)	引張強度 350MPa 以上、伸び 13%以上の特性を示す薄板材開発するための合金組成に関する基礎情報を導出。	双ロール鋳造した特定の組成の合金を高温・高圧下率で圧延すると、圧延まま材、溶体化処理材、T6 処理材とも目標値を上回る特性を示すことを試験片レベルで解明。	○	
(4) 高強度 Mg 合金中板・厚板の開発 (名古屋守山分室)	高濃度の Al を添加した Mg-Al-Ca-Mn 系合金を対象として合金を設計、機械的特性を極大化するための合金基本組成を導出。	特定の組成の合金を特定の条件で圧延・焼鈍すると引張強度 348MPa, 伸び 13%を示すことを試験片レベルで解明。	○	
(5) 難燃性 Mg 合金の微視的強化機構の解明 (再委託機関 2)	平成 27 年度までに開発される難燃性 Mg 合金の微視的評価を行い、強化メカニズムを解明する。	難燃性 Mg 合金のベースとなる AZ91 合金に特定の元素を微量添加することで析出による大きな強化が可能であることを見出した。	△	鋳造材ベースで体系的な実験が推進しつつある。展伸材を用いた評価が必要である。現在、開発合金の展伸化及び特性評価を実施中。また、さらに大きな強化が可能な析出強化型難燃性 Mg 合金を探索中。

(6) 難燃性 Mg 合金の高機能化技術に関する技術動向調査(再委託機関3)	本事業で開発されるマグネシウム合金の汎用化、標準化への課題を明らかにする。	本事業で開発されるマグネシウム合金の汎用化、標準化への課題を明らかにする。	△	国内外の難燃性 Mg 合金の情報を順調に入手している。今後も同じ方向性で調査を継続すれば調査を完遂できる予定。
(7) Mg 材の評価手法(難燃性)の確立(名古屋守山分室)	難燃性 Mg 合金のその他元素の濃度が発火温度に及ぼす影響を調査する。	難燃性 Mg 合金のその他元素の濃度が発火温度に及ぼす影響を調査する。	△	系統的な実験は進んでいるものの、発火メカニズムに関する調査が希薄となっている。現在、各種合金を対象として、高温に晒した Mg 合金表面の状態を調査中。
(8) 難燃性 Mg 合金の腐食メカニズムの解明(名古屋守山分室)	Al、Ca の添加量を変えた難燃性マグネシウム合金の腐食特性・応力腐食特性を調査する。	Al、Ca の添加量を変えた難燃性マグネシウム合金の腐食特性・応力腐食特性を調査する。	△	難燃性マグネシウム合金展伸材の耐食メカニズムの調査は実施済み。現在、応力腐食特性の調査を実施中。

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

以下、最終目標の達成可能性を表Ⅲ-2.3.1-3 にまとめて列記する。

表Ⅲ-2.3.1-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
① 易加工性マグネシウム材の開発	平成 27 年度末の中間目標を試験片レベルでクリアするための合金設計指針を構築することに成功している。	引張強度：270MPa 以上、伸び：20%以上、難燃性：AZX311 以上、押出速度：A6N01 以上を試験片レベルでクリアする	平成 29 年度末までに左記の目標をクリアする目処は立っている。
② 高強度マグネシウム材の開発	押出材、薄板、中板・厚板、いずれも平成 27 年度末の中間目標を試験片レベルでクリアするための合金設計技術を構築することに成功している。	引張強度：360MPa 以上、伸び：15%以上、難燃性：AZX311 以上を試験片レベルでクリアする。	平成 29 年度末までに、左記の目標をクリアする目処は立っている。
③ マグネシウム材の評価手法の確立	発火特性に関しては、代表的な難燃性マグネシウム合金を対象として、添加元素・環境因子の影響を抽出し、現在、発火メカニズムを調査中である。耐食性に関しては、腐食特性に及ぼす組織の影響を抽出し、現在、応力腐食特性を調査中である。	研究開発項目①、②で開発される合金の発火特性、腐食特性のデータベース構築、及び発火特性の標準化。	発火特性の標準化は Mg 協会に設置された委員会と連携して JIS 化を推進することを予定。腐食データベースは小牧分室と連携して推進することを予定。発火特性のデータベース化はエンドユーザの希望を聞きつつ推進することを予定。いずれも達成可能と考えられる。

### (3)研究開発の成果と意義

以下各研究項目の代表的な成果と意義を列記する。

#### 1) 易加工性マグネシウム合金材の開発（再委託機関 1）

Mg-Al-Ca-Mn 系希薄合金の一層の押し出し性の向上を目的として、本系合金の押し出し性に及ぼす押し出し加工前の熱処理条件の影響を調べた。同時に、本系合金押し出し材のミクロ組織および機械的性質に及ぼす Al 添加量の影響を評価し、良好な機械的性質が得られる Al の最適添加量について検討した。はじめに、当該合金の押し出し性に及ぼす均質化処理方法の影響を調査した。その結果、適切な均質化処理を施すことにより最大荷重が小さくなり、表面割れの程度も軽減することを明らかにした。次に、Al 添加量の最適化を実施し、適度に Al を添加することで高い時効硬化と強い底面集合組織を得られることを明らかにした。上記の知見をベースとして最適な合金を抽出し、抽出した合金が優れた押し出し特性(押し出し速度：60m/min.)と A6N01 アルミニウム合金(T6)材に匹敵する機械的特性（0.2%耐力:280MPa）を兼備することを確認した。

#### 2) 高強度マグネシウム合金型材の研究開発（名古屋守山分室）

高い固溶強化や析出強化を見込める、高濃度の Al を添加した難燃性マグネシウム合金（Al 添加濃度約 9mass%）を対象として、主要添加元素（Al, Zn, Ca）と微量添加元素（Mn）の濃度が、押し出し材の機械的特性に及ぼす影響を調査した。Zn 添加濃度の影響を 0～3%（以下 mass%）の範囲内で調査した結果、Zn 濃度を 1%以上に設定すると延性が劣化することを明らかにした。Al 添加濃度の影響を 6～12%の範囲内で調査した結果、10%までは Al 濃度の増加とともに強度が向上するが、それ以上の添加は強度向上に有効に寄与しないことを明らかにした。Ca 添加濃度の影響を 0～3%の範囲内で調査した結果（他の元素は基準合金と同じ濃度）、Ca 濃度を 2.5%以上にすると、延性が劣化することを明らかにした。Mn 添加濃度の影響を 0～0.6%の範囲で調査した結果（他の元素は基準合金と同じ濃度）、過度な Mn の添加は耐力の低下をもたらすことを明らかにした。以上の結果より、高強度と高延性を同時に達成するための好適な合金組成を抽出した。

#### 3) 高強度マグネシウム合金薄板の研究開発（再委託機関 1）

Al 添加量の大きく異なる Mg-Al-Ca-Mn 系合金に圧延加工を施し、圧延加工後の時効硬化特性や機械的性質に及ぼす Al 添加量の影響を調べた。具体的には、Al を 0.7 もしくは 9.0 at%添加した合金（以下 0.7、9.0Al 合金）を対象とした。検討合金の圧延まま材の機械的特性を調査した結果、0.7Al 合金は、仕上げ圧延温度 300° C の場合、0.2 %耐力 268MPa の高い強度特性を示すが、仕上げ圧延温度を低く設定すると延性は大きく低下することを確認した。一方、9.0Al 合金の場合、仕上げ圧延温度を低く設定しても、10 %程度の延性を維持しつつ、350 MPa の引張強さと 295 MPa の高い 0.2 %耐力を得られることを明らかにした。さらに、検討合金の溶体化処理材およびピーク時効材の機械的特性を調査した結果、両合金とも溶体化処理を施すことで、20 %以上の延性が得られることを確認した。また、0.7Al 合金の場合、時効処理を施

しても、25%程度の高延性を維持したまま、0.2%耐力は80MPaも向上することを明らかにした。一方、9.0Al合金の時効処理に伴う0.2%耐力の強化量は60MPaと、0.7Al合金よりも低く、さらに、延性は溶体化処理材の1/2以下にまで低下することを確認した。

#### 4) 高強度マグネシウム合金中板・厚板の研究開発（名古屋守山分室）

高強度難燃性マグネシウム合金(高濃度のAlを添加した合金)を対象として、主要添加元素（Al、Zn、Ca）の濃度が、圧延材の機械的性質に及ぼす影響を調査した。一連の調査の結果、Al添加量に関しては、Ca添加量を1%に固定した場合、Al添加量を8%に設定すると高い強度と延性のバランスが得られることが分かった。Zn添加量に関しては、Al添加量を8%、Ca添加量を1%に固定した場合、Zn添加量を1%に設定すると破断伸びを劣化させずに強度を向上できることが分かった。Ca添加量に関しては、Al添加量を8%に固定した場合、Ca添加量を2%に設定すると強度および伸びの両方が劣化することを確認した。高強度難燃性マグネシウム合金の機械的特性に及ぼす圧延温度の影響を調査した結果、特定の条件で高い機械的特性のバランス（引張強度348MPa、伸び13%）が得られた。

#### 5) 難燃性マグネシウム合金の微視的強化機構の解明（再委託機関2）

高強度難燃性合金の元となるAZ91合金は時効硬化するので、高強度難燃性合金そのものも析出強化により強化できる可能性がある。しかし、Caを添加したAZ91合金においては、時効析出に関する研究が殆ど行われておらず、時効硬化挙動そのものに関する基礎的なデータが存在しなかった。このことから、平成25年度までに、Ca添加型AZ91合金の時効特性に関する調査を行い、1mass%のCaを添加したAZ91合金において最も優れた時効特性を示す事を見出した。平成26年度は、その結果を元に、展伸合金を作製し、析出強化による強化の可能性について検討し、さらに、AZ91合金に立ち返り、微量元素の添加による時効硬化能の向上を試みた。その結果、(1) 既存のAZ91合金、およびCa添加したAZ91合金は、押出加工後の溶体化処理と時効処理なるT6処理により、押出まま材を上回る強度を付与することは困難であること、(2) T6処理により押出まま材を上回る強度を付与するためには、時効析出物をさらに微細化する必要があること、(3) AZ91合金鑄造材に関しては、時効析出物を微細化するには特定の元素を微量に添加することが有効であることを明らかにした。

#### 6) 難燃性マグネシウム合金の高機能化技術に関する技術動向調査（再委託機関3）

国内外で開催されるセミナーや学会等への参加や、関連企業へのヒアリング調査により、国内外における難燃性マグネシウム合金の輸送機器分野への適用状況や適用可能性に関する情報収集を行った。国内においては、軽金属学会及び先端Mg合金研究会において、難燃性マグネシウム合金をはじめとするマグネシウム合金の研究開発の動向について調査を行った。また、鉄道車両部材への適用可能性を調査するために企業ヒアリング調査を行った。国外においては、ドイツのミュンヘンおよび中国の成都で開催された国際会議に出席し、マグネシウム材料の実用化や研究開発の動向について

て調査を行った。また、海外の企業視察を行った。一連の調査の結果、高い難燃性を有するマグネシウム合金に関する研究開発が日本、中国、韓国のアジア地域を中心に進んでいるが、まだ実用化されるケースが少ないことが分かった。また、難燃性マグネシウム合金を構造材料として普及させるためには、加工技術や評価方法等を早期に確立する必要があることが分かった。

#### 7) マグネシウム材の評価手法（難燃性）の確立（名古屋守山分室）

Ca 濃度を変化させた AM60 系合金と AZ91 系合金について、DTA を用いた発火試験（昇温速度：1～100°C/min）を実施した。Ca 添加量と発火温度の関係について纏めた結果、2%までは Ca 添加量の増大に伴って発火温度は効果的に上昇することを明らかにした。また、AZ91 系合金の方が AM60 系合金よりも総じて発火温度が高く、Al 添加量も発火温度に影響することを明らかにした。次に、AZ91、AM60、AZX912、AMX602 の 4 合金を対象として、高速昇温型 DTA 装置を用いた発火試験を実施し、100～1000°C/min の高速昇温が発火特性に及ぼす影響を調査した。その結果、AZ91、AM60 合金についてはいずれの昇温速度においても昇温速度の上昇と共に発火温度が上昇することを確認した。これに対し、Ca を添加した AZX912、AMX602 合金においては、昇温速度の上昇に伴う発火温度の上昇は 100°C/min 付近で飽和することを確認した。

#### 8) 難燃性マグネシウム合金の腐食メカニズムの解明（名古屋守山分室）

Mg-6Al-1Zn-2Ca 合金（質量%：以後 AZX612）、Mg-6Al-1Zn 合金（質量%：以後 AZ61 合金） 鋳造材・押出材の腐食特性及び応力腐食特性を溶体化処理前後で比較し、カルシウムの添加や組織の差異が上記特性に及ぼす影響を調査した。塩水（5mass%NaCl）浸漬試験により腐食特性を評価した結果、溶体化処理に伴い AZX612、AZ61 押出材・鋳造材の全ての試料においても耐食性が向上することを確認した。溶体化処理後の試料の腐食速度はいずれの試料も同じオーダーであった。溶体化処理前後の試料の組織を評価した結果、特に AZX612 鋳造材・押出材、AZ61 鋳造材において、晶出相（Al<sub>2</sub>Ca 相、Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub> 相）や Al 濃化相のサイズ・面積が縮小していることが確認された。また、試験後の試験片外観から、溶体化処理により孔食の頻度・深さが低減していることが分かった。このことから、溶体化処理により晶出物や Al 濃化相を母相に固溶させると、孔食サイトが減少し、耐食性が向上することが示唆された。次に、0.01 M NaCl 環境下で定歪み速度引張試験を行い、AZX612、AZ61 押出材の応力腐食特性を評価した。その結果、AZX612 押出材は AZ61 押出材よりも低い破断伸びを示した。なお、AZX612 押出材に関しては、溶体化処理に伴い延性が改善することが確認され、塩水浸漬試験と同様に、溶体化処理に伴う孔食サイトの減少が延性の劣化を抑制するのに有効であることが示唆された。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.3.1-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	10	0	0	0	0	2	1
合計	0	0	10	0	0	0	0	2	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.3.1-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

（参考文献）

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成26年度第一回講演会資料（2014年4月30日 名古屋）
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.
- 4) 鉄道車両工業会ホームページ資料
- 5) 日本自動車工業会ホームページ資料
- 6) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 7) 日本マグネシウム協会ホームページ資料

## 2.3.2 [テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

### 2.3.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

エネルギー消費量削減や CO<sub>2</sub> 排出量削減は国際的な重要課題であり、運輸部門においては自動車に対する燃費規制や高速車両に対する省エネ化・高速化が求められている。なかでも高速車両においてはリサイクル性向上・メンテナンスコスト削減の観点からも実用金属中最も軽量であるマグネシウム (Mg) 合金の車両構体への適用が強く期待されている。適用のためには安全性 (難燃・不燃)、易加工性 (接合・補修が容易)、高耐食性、リサイクル性、低コストであることが求められるが、軽量化が求められる次世代高速車両用部材開発において、マグネシウム合金にカルシウム (Ca) を添加し発火特性を飛躍的に改善した「難燃性マグネシウム合金」の材料特性 (機械的特性、生産性) を改善するための合金設計、構造体を作製するための大型展伸材 (形材・板材) の製造プロセス技術開発、開発した合金や展伸材の信頼性 (難燃性や耐食性) を確保するための評価技術およびデータベース(DB)の構築が重要となる。

高速車両構体には現在、アルミニウム (Al) 合金が使用されている。構体を構成する主要部材 (屋根や側面) にはアルミニウム合金の中でも比較的中強度で生産性 (易加工性) に優れた A6N01 合金が適用され、現行の新幹線等では「ダブルスキン形材」と呼ばれる、複雑な断面形状を有する長さ 25m 程度の大型・長尺の押出形材が使用されている。しかしながら、当該押出形材に匹敵する強度と易加工性を兼備したマグネシウム合金押出材は未だ存在せず、大型化や長尺化を実現する押出プロセス技術も未構築である。一方、先頭構体や床部材にはより高強度の A7N01 合金押出形材や板材も求められる。板材では板厚 3 mm 以上の厚板を切削加工することで内装品やシングルスキン・インテグラルスキン材の作製が可能となる。さらに、作製板材の信頼性及び標準化の観点からは特性 DB 構築が重要であり、規格試験片適用のためには 3 mm 以上の板厚が望ましい。しかしながら、マグネシウム合金の板材作製に関してはこれまで薄板材の報告はあるものの、厚板材は皆無であり、塑性加工上では板材作製には圧延加工が向いている。

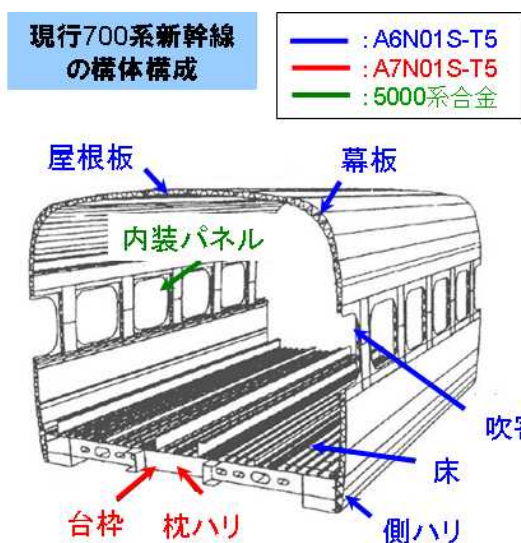
そこで本テーマでは、難燃性マグネシウム合金展伸材の次世代高速車両用構体への実用化を目指し、強度と易加工性を両立するマグネシウム大型・長尺押出材と、高強度化を実現するマグネシウム圧延厚板材の工業レベルでの製造プロセス技術を確認することを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

現在、高速車両構体 (700 系新幹線) に使用されているアルミニウム展伸合金には 2 種類あり、汎用型の A6N01 合金と高強度型の A7N01 合金がある。図 III-2.3.2-1 に示すように、A6N01 合金に関しては屋根板、幕板、側ハリ等に利用され、A7N01 合金に関しては台枠や枕ハリ等に利用されている。そこで、本研究開発では、開発材の次世代高速車両構体への実用化に主眼を置き、A6N01 合金に匹敵する機械的特性と生産



性（押出速度）を有する難燃性マグネシウム合金押出材（易加工性マグネシウム押出材）と、A7N01 合金に匹敵する機械的特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材（高強度マグネシウム材（押出材、板材（薄板・厚板））を開発することを目指す。また、開発した合金を用いて実際の構体を作製するためには、開発合金をつなぎ合わせるための接合技術や、耐食性を付与するための表面処理技術が必要である。さらには、母材・接合継手・表面処理被膜の信頼性を評価するための技術も構築する必要がある。そこで、開発した合金を接合するための技術、信頼性（疲労特性、発火特性、耐食性等）を評価するための技術についても開発を実施する。



図Ⅲ-2.3.2-1 現行の高速車両構体に使用される材料

表Ⅲ-2.3.2-1 に本開発テーマを担当する射水分室における開発目標と根拠を示す。当分室では A6N01 合金押出材に匹敵する押出加工性と機械的性質を有する易加工性マグネシウム押出材を開発することと、A7N01 合金に匹敵する機械的性質を有する高強度マグネシウム圧延厚板を得るための製造プロセス技術を開発することを目標として設定している。

これまでの先導研究において、易加工性マグネシウム押出材の開発ではマグネシウム合金（Mg-Al-Ca 系合金）の添加元素を希薄化させることにより、6000 系アルミニウム合金に匹敵する押出速度と機械的性質が得られることをラボレベルおよび工業レベルで実証できている<sup>1),2)</sup>。また、高強度マグネシウム厚板材作製の基礎的検討では、急速凝固に関する先導研究から急冷鋳造材は易加工性を有することを見出し、AMX1001 合金材において、熱間多パス圧延による高強度化、加熱及び熱処理による延性向上及び耐熱性を有することをラボレベルにおいて確認している<sup>3)</sup>。本テーマの開発においてはこれら技術シーズを積極的に展開し、ターゲットとした各種車両構体部材に資する押出型材や圧延厚板材の製造プロセス技術を検討する。

表Ⅲ-2.3.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
易加工性 Mg 材 (押出材) の開発	引張強さ 250MPa 以上、伸び 15%以上、AZX311 合金同等以上の難燃性、AZ31 同等以上の押出速度を達成する押出材を開発。	引張強さ 270MPa 以上、伸び 20%以上、AZX311 同等以上の難燃性、A6N01 同等以上の押出速度を達成する押出材を開発。	引張強さ 270MPa 以上、伸び 20%以上、AZX311 同等以上の難燃性、A6N01 同等以上の押出速度、押出材長さ 25m 以上の大型・長尺複雑断面形状を有する押出型材の製造を実現。	現行 A6N01 合金に匹敵する機械的性質を達成。 A6N01-T5(引張強さ 270MPa、伸び 12%)
高強度 Mg 材 (厚板) 作製の基礎的検討	板厚 3 mm 以上で引張強さ 350 MPa、伸び 13%以上、AZX311 合金と同等以上の難燃性を有する中板材を開発。各制御技術の基礎指針を確立し、連成モデルを構築する。	A6N01 Al 材と同等以上の熱的安定性を有する中板の作製と幅広厚板材の開発。板厚 6 mm 以上の厚板材を作製するための鋳造、圧延手法調査。	引張強さ 350 MPa、伸び 13%、AZX311 同等の難燃性、板厚 6 mm 以上の幅広厚板材の作製。	現行 A6N01 合金及び A7N01 合金に匹敵する機械的性質を達成。 A6N01-T5(引張強さ 270 MPa、伸び 12%) A7N01-T5(引張強さ 370 MPa、伸び 13%)

### (3)全体計画

本研究開発においては、開発技術の輸送機器構造部材、特に高速車両構体用構造部材への適用可能性を絶えず評価・検証することにより研究開発を遂行する。

「易加工性マグネシウム押出材の開発」に関しては、名古屋守山分室の再委託機関と連携し、Mg-Al-Ca (AX) 系合金を対象に、押出用素材となるビレットの量産製造プロセス技術と、A6N01 合金に匹敵する機械的性質と押出特性（引張強さ：270MPa 以上、伸び：20%以上、難燃性：AZX311 以上、押出速度：A6N01 以上の特性）を有する大型・長尺押出型材の製造プロセス技術を工業レベルで構築することを最終目標とする。「高強度マグネシウム厚板材の開発」に関しては、厚板の作製に必要な圧延用母材の製造プロセス技術と圧延・熱処理プロセス技術の開発において名古屋守山分室（産総研）と合金開発・圧延基礎データについて連携をとり、開発されるマグネシウム合金の特性と、高速車両構体に既に利用されているアルミニウム合金（A6N01、A7N01 など）との比較・検証を実施しながら最終目標を達成する研究開発を実施する。

#### (4)実施体制

本研究開発体制においては、6つの分室が共同で難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目指す。そこでは、素材の開発を担当する「材料 WG」、開発材料の信頼性を改善・評価するための技術を開発する「接合 WG」、「耐食性 WG」、「発火特性 WG」を構成し、各 WG が連携して課題の解決を目指す。なお、開発した合金の実用化に際しては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカ）が低コストかつ安全に開発材を利用するための技術や、開発材を用いて構造体を設計するための技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。そのため、本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進している。

本開発テーマを担当する射水分室は材料 WG に属し、「易加工性マグネシウム材（押出材）の開発」を三協立山㈱、「高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討」を当分室の再委託機関が担当する。易加工性マグネシウム材（押出材）の開発では、押出材としての難燃性や機械的特性を維持しつつ、製造コストの大幅な低減を達成する易加工性マグネシウム押出材の特性調査と各種製造プロセス技術を開発する。また、高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討では、高強度厚板材の作製を実現するための凝固、熱処理、圧延加工プロセスについて調査、開発する。

#### (5)運営管理

革新的マグネシウム材の開発に従事する全組合員（アドバイザーを含む）が参加できる分科会を毎月開催し、進捗の共有化と管理を図っている。具体的には、材料 WG、接合 WG、表面処理 WG の分科会を3ヶ月に1回開催し（発火特性 WG は不定期開催）、各分室および再委託先の研究進捗を報告することにより、素材開発、信頼性評価技術の開発を共同で推進している（平成 27 年 3 月末までに、材料 WG、接合 WG、耐食性 WG の分科会を各 5 回ずつ、計 15 回開催）。

分科会は、研究進捗を報告する場として機能するだけでなく、合金組成を選定する上で機械的特性以外におさえておくべき特性、高速車両構体に難燃性マグネシウム合金を適用する上で予め評価しておくべき項目の洗い出し、接合試験や耐食性試験を行う際に必要となる試験片の手配等を議論する場としても機能しており、テーマ全体の進捗を調整する場としても機能している。また、個別には名古屋守山分室（再委託機関 1）とは年 3 回、当分室再委託機関とは年 2 回、当分室再委託機関の連携先である名古屋守山分室（産総研）とは年 3 回ほど打合せを行い進捗を共有化している。

また、（一社）軽金属学会講演大会において、テーマセッション「難燃性マグネシウム合金展伸部材創製のための最新技術開発」を立ち上げ、開発テーマの遂行で得られた成果を集中して公開する場を設定している。去る平成 26 年 11 月 15～16 日に東京工業大学で開催された第 127 回秋期大会において、上記テーマセッションにてプロジェクトに関する計 17 件の口頭発表を行った。今後も上記テーマセッションを定期的に設け（年 2 回を予定）、プロジェクトの成果を対外に向けて積極的に配信してい

く予定である。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替した場合の重量削減効果について、ヤング率を基準とした場合、20%程度の車両構体の軽量化を見込むことができるとの報告がある<sup>4)</sup>。構体の軽量化は、CO<sub>2</sub>排出量削減に寄与するばかりで無く、車両の高速化にも大きく寄与することが知られている。仮に、新幹線の車両質量を20%軽量化することができれば、それだけで10～20km/時の営業速度アップを見込むことができるとの試算がある<sup>5)</sup>。ゆえに、経済的観点からは車両構体の軽量化は大きな効果を見込むことができる。

なお、新幹線車両の年間生産台数は385台/年(2013年)であり、四輪車の年間生産台数(約1,000万台:2013年)の0.004%程度である<sup>6),7)</sup>。また、動力として電気を利用していることを考慮すると、新幹線の重量減に伴うCO<sub>2</sub>削減効果は、四輪車のそれと比較すると小さいものであると言える。

一方、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体(屋根・側構体、妻構体、台枠)に利用されるアルミニウム合金は1両当たり約5tである<sup>8)</sup>。上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1両当たり約4tの需要が生まれることになる(マグネシウム置換により車両重量が20%減少する場合)。車両製造が1年当たり400両と仮定すると(385両:2013年)<sup>9)</sup>、1600tの需要が生まれることになる。なお、国内におけるマグネシウム合金展伸材需要は約700t/年(2014年)であり<sup>10)</sup>、本開発テーマの成果により、仮に側構体だけでもマグネシウム合金に置き換えることができれば、それだけで国内の展伸材需要を倍増させることが可能となる。それゆえ、本開発テーマの成果により輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を加速させることが実現できれば、マグネシウムの産業構造自体を変革させることも可能である。

また、マグネシウム合金はリサイクル時の再生エネルギーが比較的低い環境配慮型の材料であり、本テーマの遂行においては切屑状で固化成形利用するか廃棄物処理する切削屑を溶解可能とする鋳造法も検討することで、省資源対策と環境負荷低減を推進している。このように、リサイクルに関する技術開発も先導的位置づけとして検討も進めており、本開発テーマを通して無駄なく素材を開発し、エンドユーザー側にはエネルギー効率の向上を通じた環境負荷低減を提案できつつある。

### 2.3.2.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.3.2-2に本開発テーマにおける第一中間目標とその達成度を示す。

易加工性マグネシウム材(押出材)の開発では、添加元素を希薄化することで押出速度の高速化を図った希薄Mg-Al-Ca系(AX)合金を対象とし、主要元素であるAl、Caの添加量に加え、第三元素としてMn、Znの添加の効果を綿密に検証し、第一中

間目標で設定された目標強度を達成する合金組成の探索を行った結果、ラボ機及び実働機の双方で引張強さ 250MPa、伸び 15%を超える機械的性質と、AZ31 合金以上の押出速度を達成する押出材を得ることに成功した。一方、押出速度の高速化を阻害する Ca 添加量については、押出速度の高速化可否に閾値があることを把握できたが、当該押出材の難燃性評価については現時点で未実施である。年度内には名古屋守山分室（産総研）との連携により、マグネシウム合金の難燃性を評価する指標を設定の上、AZX311 合金と同等の難燃性を有するものかを評価・検証する予定である。

高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討では、Al 過剰添加型難燃性マグネシウム合金を対象とし、溶解・鋳造・熱処理プロセス技術開発及び圧延加工プロセス技術開発に取り組んだ結果、AMX1001 合金の板厚 3 mm×幅 95 mm において引張強さ 350 MPa、伸び 13%を超える機械的性質を得ることに成功し、第一中間目標を達成した。

表Ⅲ-2.3.2-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
易加工性 Mg 材 (押出材) の 開発	引張強さ 250MPa 以上、伸び 15%以上、AZX311 合金同等以上の難燃性、AZ31 同等以上の押出速度を達成する押出材を開発。	ラボレベル及び実働機レベルにて機械的性質、押出速度の目標値を達成。開発した合金組成による難燃性評価の検証は未実施。	△	難燃性評価指標を設定の上、年度内での評価検証を実施する。
高強度 Mg 材 (厚板) 作製の 基礎的検討	AZX311 合金同等以上の難燃性、引張強さ 350MPa 以上、伸び 13%以上を達成する板厚 3mm 以上の難燃性合金圧延中板材の作製。	板厚 3 mm×幅 95 mm において目標値を達成し、鋳造時の溶湯清浄化を実施することで強度と伸びのばらつきが低減した。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

一方、平成 27 年度よりスタートした「難燃性マグネシウム合金製部材によるモックアップ部分構体作製技術の開発」を強力かつ確実に遂行するため、予定を前倒しし、押出型材では部分構体用部材を想定したダブルスキン型材の試作開発、圧延厚板材では幅広圧延材の作製検討を推進している。押出試作では、所有する大型実働押出機を活用し、開発合金による幅 251mm×高さ 50mm のダブルスキン型材の押出成形に成功しており、押出速度も AZ31 合金の 5 倍以上を達成している。また、幅広圧延材の試作では、幅 300mm 材においても顕著な内部組織差や板幅方向の異方性は認められ

ず、第一目標を達成した。圧延プロセスを開発合金である AZX811 合金に適用すると、引張強さ 328MPa、伸び 16%を示した。幅 95 mm 材と比較し引張強さが低下したものの、幅広材においても圧延プロセスをチューニングすることで目標値を得られる見通しを得ている。

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.3.2-3 に本開発テーマにおける第二中間目標の達成見込みを示す。

表Ⅲ-2.3.2-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
易加工性 Mg 材（押出材）の開発	ラボ機及び 1500t-6 インチ実働押出機で試作した押出材にて、第一中間目標の機械的性質、押出速度を達成。開発合金にて大型実働押出機を使った幅 251mm×高さ 50mm のダブルスキン型材の試作を実現。	引張強さ 270MPa 以上、伸び 20%以上、AZX311 同等以上の難燃性、A6N01 同等以上の押出速度を達成する押出材を開発。	相反する難燃性と易加工性を実働機レベルで両立し、目標達成することは容易で無いが、合金組成の適正化、押出用ビレットの熱処理プロセスの最適化と押出ダイスの革新的設計で達成を狙う。
高強度 Mg 材（厚板）作製の基礎的検討	板厚 3 mm×幅 95 mm において第一中間目標を達成し、同プロセスにより板厚 3 mm×幅 300 mm において引張強さ 328 MPa、伸び 16%が得られた。	A6N01 材と同等以上の熱的安定性を有する中板の作製と幅広厚板材の開発。板厚 6 mm 以上の厚板材を作製するための鑄造、圧延手法調査。	板厚を 6 mm とすることで強度と延性の低下が予想されるものの、鑄造技術開発及び圧延加工及び熱処理プロセスの構築により達成可能と予想される。

易加工性マグネシウム材（押出材）の開発では、第二中間目標値は連携先の名古屋守山分室の再委託機関におけるラボレベルの成果では十分達成可能な見通しを得ている。達成に向けた大きな課題は、実用化を見据えた実働機による工業レベルでの目標達成に尽きるが、前述の通り、現段階でも幅 251mm×高さ 50mm の複雑断面形状を有するダブルスキン型材の試作にも前倒しで成功している。目標達成には、先ずは相反する難燃性と易加工性を両立させることが必須条件であるが、合金組成および押出プロセスの最適化は勿論のこと、名古屋守山分室の再委託機関との連携をさらに強化し、押出用ビレットの熱処理プロセス技術の高度化や、押出ダイスの革新的な設計開発にも注力することにより、目標達成を図る。

高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討では、平成 29 年度までに強度 350 MPa、伸び 13%を有する板厚 3 mm 以上を有する板材、および板厚 6 mm までの厚板



化を予定しており、実用化と車両構体を志向し、鑄造、熱処理、圧延加工プロセス技術を駆使し、高強度で高延性を有する幅 300 mm 材の開発を予定している。板厚 6 mm の厚板化は静水圧成分と塑性流動に乏しい圧延加工では高い目標であるが、板厚 3 mm の中板材開発で得られた成果である鑄造熱処理における技術指針、集合組織制御や組織配向および加工によるプロセス指針を援用しながら、機械的特性に及ぼすせん断変形、動的再結晶および累積ひずみの関係を調査することで、段階的に厚板を作製する。最終目標である板厚 6 mm 材の作製においては、鑄造板厚を 2 倍にし累積ひずみを大きくしても、目標値を達成出来ない可能性があるため、鑄造材への熱処理、圧延加工性、組織変化に関する共通項を探索する。本年度目標値には既に現時点で達成しており、板厚 6 mm 材作製のための鑄造技術と熱処理技術は前倒しの探索を行う予定である。現時点でも計画に比べ加速化しているが、目標達成をより現実的にすべく、特に組織解析においては名古屋守山分室（産総研）との連携を強化し、当社実施体制においても研究代表者のエフォート増加などを考慮する。平成 27 年度末までに構築を目指す、鑄造・熱処理・加工組織制御技術の連成モデルを用いることで、厚板化に向けた各制御技術の技術開発指針を確立する。同時に、特性データに裏付けられた安全性及び信頼性を兼備した圧延材の製造プロセス技術を工業レベルで開発すべく、各 WG からのフィードバックを反映させながら高強度マグネシウム材（厚板）の開発を行うことで最終目標の達成をより現実的なものとする。

### (3)研究開発の成果と意義

以下に当分室における各研究開発の成果と意義について示す。

#### ① 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発

##### ① -1 高速押出合金の溶解～超大径ビレット連続鑄造プロセス技術開発

各種難燃性マグネシウム合金（AZX 系合金、AX 系合金）ビレットの製造プロセスにおける基礎的知見を基に、高速押出を実現し得る AX 系希薄合金を対象とした超大径ビレットの連続鑄造技術の開発を実施した。具体的には、微量な添加元素成分の高精度制御技術の検討や成分変化に伴う溶湯特性（難燃性、湯流れ等）の変化をラボ実験で予め評価しながら量産レベルへ展開し、当該合金の溶解・溶製条件を把握するとともに、超大径ビレットの作製においても凝固時に生成する晶出物をより微細・均一化する連続鑄造条件を検討した。その結果、2 面同時による DC 鑄造法にて、直径φ 320mm（13 インチ）×長さ約 2300mm の AX 系希薄合金ビレットを作製する連続鑄造条件を把握し、対象合金による工業レベルでの超大径ビレットの量産製造条件の確立に目処を立てることができた。

##### ①-2 輸送機器向け構造用押出型材の高速押出加工プロセス技術開発

各種 AX 系合金における押出特性や押出材の基本的特性を把握すべく、AX 系希薄合金による難燃性と機械的性質を両立し得る高速押出合金の開発を実施した。合金組成を決定する主要元素の Al、Ca に加え、第三元素として Mn、Zn の添加による各種

押出特性に及ぼす影響を調査した。押出実験では主に 400t 直接押出試験機を使用したラボレベルによる熱間直接押出実験を試行することにより、第一中間目標である引張強さ 250MPa 以上、伸び 15%以上、AZ31 合金同等以上の押出速度を達成する高速押出合金の開発に目処を立て、計画通り開発合金の第一次組成を設定できた。

また、名古屋守山分室の再委託機関と連携し、AXM 系希薄合金の押出加工プロセスにおける熱処理技術や時効処理によるナノ析出物制御技術等の開発を協同で推進した。その結果、AXM 系希薄合金においては、ビレットに高温・短時間の均質化処理を施すことにより押出加工時の押出荷重が 10%以上低減でき、かつ押出速度のさらなる向上が得られることや、人工時効処理により当該合金の引張強さ、耐力をさらに向上可能な知見を得ることにより、押出材の大型化・長尺化を見据えた易加工性と機械的性質のさらなる向上を実現し得る合金設計や押出プロセス指針を得た。これら知見はマグネシウム合金の製造方法として国内特許出願を完了している。

## ② 高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

本研究では Al 過剰添加型難燃性マグネシウム合金のうち、先導研究によりラボレベルにおいて優れた特性を示した AMX1001 合金を基本組成として取り組みを開始した。さらには、名古屋守山分室（産総研）との連携により、Al 及び Zn 添加量が引張特性に及ぼす影響を調査した結果、AZX811 合金を一次組成合金としたが、いずれの合金においても第一中間目標を達成し、プロセス開発が順調であることが確認できた。幅広材の作製に対しても鑄造材の大型化に伴う鑄造技術開発と熱処理組織制御指針を確立することが出来ており、工業化に伴う問題点の抽出を前倒して行うなど、順調な成果を出し計画以上の進展となった。

## ③ -1 高速圧延合金作製のための溶解・鑄造・熱処理プロセス技術開発

難燃性マグネシウム合金の溶湯は表面に Ca 酸化物の皮膜を作り燃焼が抑制されるものの、材料の溶解時には発火の可能性があるため、坩堝内の密閉性を高め、酸素の流入を抑止することで、Mg 合金地金や Mg-Ca 母合金地金からの発火を抑止することができた。発火を防ぐことでスラグ量および鑄造材に含まれる介在物量は従来の 1/4 に減少し、さらには溶湯清浄化対策を実施することでその後の圧延材特性も向上することがわかった。鑄造時には冷却速度を向上させることで、Mg 相の微細化と金属間化合物の微細分散を達成できた。鑄造材の平均粒径を微細化し、金属間化合物のネットワーク状の発達を軽減させることで易加工性を有する鑄造材を作製した。作製した AMX1001 合金及び AZX811 合金鑄造材は AZX311 合金同等以上の難燃性を有していた。

一方、幅広材においては上述の冷却速度を得ることが難しいことも想定され、内部に形成される  $Mg_{17}Al_{12}$  ( $\beta$  相) 及び  $Al_2Ca$  を主とする Al-Ca 化合物を低減させるべく、鑄造材の熱処理に関する影響を調査した。熱処理を行うことで、鑄造時に形成される共晶化合物が Mg 相に分散した。熱処理により鑄造材の機械的性質が向上し、すえ込み加工率が向上したが、これは結晶粒界に微細分散した Al-Ca 化合物が核生成サイト



となり動的再結晶を引き起こしたためと考えられる。なお、冷却を付与した鑄造材と冷却を付与せず鑄造後に熱処理した鑄造材の圧延加工性に変化はなく、Mg相の微細化とAl-Ca化合物を微細分散させることが易加工に有効であることがわかった。Mg相に対する共晶化合物の割合と限界加工率を明らかにすることで、難燃性Mg合金圧延加工のための制御指針を小型試験片ではあるが構築できた。

## ②-2 車両構体向け圧延厚板開発のための加工プロセス技術開発

高強度高延性を有する板厚 3 mm 作製と高強度化に及ぼす圧延加工因子と組織の影響を調査した結果、圧延加工では試料保持温度が高く、ロール速度が高速になるほど到達強度は低下する傾向にあり、ロール速度 5-10 m/min で最高強度を得ることができた。総圧下率が 60%に到達すると Al-Ca 金属間化合物が圧延方向に配列し、Mg相とラメラ状組織を呈した。AMX1001 合金の圧延加工では Mg相の結晶粒微細化と Al-Ca化合物の圧延加工による粉砕、及び Mg相への微細分散が高強度化に対して効果的であることがわかった。総圧下率が 60%程度で強度と結晶粒の関係（ホールペッチの法則）が 2 段型になることを明らかにし、総圧下率が 60%以上では強度の向上が鈍化する傾向を得た。

この傾向を利用し、加工前半を粗圧延、後半を仕上げ圧延と位置付け、仕上圧延を行うことで AMX1001 合金においては圧延加工のみで引張強さ 350 MPa 以上で、伸び 14%以上を得た。また、引張強さが 360 MPa を有する高強度低延性圧延材に対しては熱処理を付与することで引張強さ 350 MPa 以上で、伸びも 13%を超える値を示し、どちらのプロセスにおいても第一目標値を達成できた。名古屋守山分室（産総研）との連携において導出した AZX811 合金においても同様の挙動が得られ、圧延加工のみまたは加工後に熱処理を付与しても引張強さは 350 MPa 以上、伸びも 13%以上を得ることができた。詳しい力学挙動と組織因子の関係調査は今後の課題となるが、金属組織を観察すると Mg相の微細化とせん断変形の残存が確認されたため、高強度と高延性を有する圧延板の作製にはせん断変形を適度に圧延材に残存させながら Mg相を微細化することが必要であることがわかった。目標とした高強度・高延性化は圧延加工のみでも可能であるが、熱処理を加えても可能であることを明らかにした。特に、AMX1001 合金は高強度化に優れた合金組成であり、圧延加工後の熱処理との組み合わせが効果的である。一方、AZX811 合金は加工中に高強度と高延性を同時達成可能であるが、高い温度で焼きなましを行うことで強度は低下し延性が向上する傾向を得た。

板厚 3 mm×幅 300 mm 材において第一中間目標値を達成した圧延加工ままのプロセスを適用すると、AZX811 合金において引張強さ 328 MPa、伸び 16%を示した。幅広化に伴う異方性を調査すると、圧延方向に対して垂直方向の伸びが 3%程度低下していたものの顕著な異方性は見られなかった。汎用合金及び PJ 合金で作製した幅 300 mm 圧延材は、モックアップ構体作製ための溶接性の確認などに使用されるため PJ 参画機関に提供した。得られたデータはプロセス開発にフィードバックさせ幅広化及び厚板化に取り組む。本研究を通して高強度材、高延性材及び両方を満足する加工プロセスの開発ができつつあり、将来的な工業化・実用化に適応可能と考えられる。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.3.2-4 に本テーマ開発において得られた平成 27 年 3 月末までの成果を示す。

表Ⅲ-2.3.2-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	1	1	1	0	0	3	0	0
H26FY	1	0	6	2	0	2	5	3	1
合計	1	1	7	3	0	2	8	3	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.3.2-5 に本テーマ開発において得られた知的財産成果を示す。

表Ⅲ-2.3.2-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.3.3 [テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発

### 2.3.3.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

マグネシウムは、実用金属の中で最も軽量であり、また優れた比強度を有することから、輸送機器のための新たな構造材料として注目されている。しかし、汎用のマグネシウム合金は発火温度が低く、固相線温度よりも高い温度に昇温すると発火する材料として認識されており、特に、不燃・難燃特性の確保が必須である鉄道車両部品や航空機部品としての適用は困難とされてきた。

近年、マグネシウム合金の発火温度を高める合金開発が進められ、その結果、汎用マグネシウム合金（Mg-Al 系合金等）にカルシウムを添加し、発火温度を飛躍的に高めた「難燃性マグネシウム合金」が開発された。本合金は優れた難燃特性を有し、日本鉄道車両機械技術協会の車両材料燃焼試験において「不燃材」の認定も受けていることから、鉄道車両用部材への適用も、小型鋳造部品に関しては進みつつある<sup>1)</sup>。

今後、型材や板材を組み合わせる「大型構造体」を作り込むための要素技術を開発していく必要がある。

#### (2)位置付け、目標値

現在、高速車両構体に利用されているアルミニウム合金には2種類あり、汎用型のA6N01合金と高強度型のA7N01合金がある。A6N01合金に関しては屋根板、幕板、側ハリ等に利用され、A7N01合金に関しては台枠や枕ハリ等に利用されている。そこで、本研究開発では、A6N01合金に匹敵する機械的特性と生産性（押し出し速度）を有する難燃性マグネシウム合金押し出し材（易加工性マグネシウム材）と、A7N01合金に匹敵する機械的特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材（押し出し材、板材（薄板・厚板））（高強度マグネシウム材）を開発することを目指す。

表Ⅲ-2.3.3-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
高強度難燃性 新合金の開発	・引張強さ $\geq 350\text{MPa}$ ・伸び $\geq 13\%$ ・AZX311 と同等以上の難燃性	・引張強さ $\geq 360\text{MPa}$ ・伸び $\geq 15\%$ ・AZX311 と同等以上の難燃性		7000 系 Al 合金以上の比強度と伸びを実現

#### (3)全体計画

全体プロジェクトの中では、材料開発と並行して接合技術、表面処理技術開発を進めることで、平成 32 年ごろの早期実用化を目指す。

#### (4)実施体制

高強度マグネシウム合金薄板の研究開発は大阪分室（住友電気工業株式会社）で実施している。

#### (5)運営管理

マグネシウムの研究に従事する組合員（アドバイザーを含む）が全員参加できる分科会（非公開）を毎月開催し、具体的には、材料 WG、接合 WG、表面処理 WG の分科会を 3 ヶ月に 1 回開催し（発火特性 WG は不定期開催）、各分室および再委託先の研究進捗を報告することにより、素材開発、信頼性評価技術の開発を共同で推進している。（平成 27 年 3 月末までに、材料 WG、接合 WG、耐食性 WG の分科会を各 5 回ずつ、計 15 回開催している。）

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替した場合の重量削減効果について、ヤング率を基準とした場合、20%程度の車両構体の軽量化を見込むことができるとの報告がある<sup>2)</sup>。構体の軽量化は、CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与するばかりで無く、車両の高速化にも大きく寄与することが知られている。仮に、新幹線の車両質量を 20%軽量化することができれば、それだけで 10~20km/時の営業速度アップを見込むことができるとの試算がある<sup>3)</sup>。ゆえに、経済的観点からは車両構体の軽量化は大きな効果を見込むことができる。

### 2.3.3.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.3.3-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
高強度難燃性 新合金の開発	・引張強さ $\geq 350\text{MPa}$ ・伸び $\geq 13\%$ ・AZX311 と同等以上の 難燃性	急冷凝固鑄造した AMX901 合金を高温・高 圧下率で圧延すると、圧 延まま材、溶体化処理 材、T6 処理材とも目標 値を上回る特性を示すこ とを試験片レベルで解 明。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.3.3-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
高強度難燃性 新合金の開発	平成 27 年度末の中間目標を試験片レベルでクリアするための合金設計技術を構築することに成功している。	平成 29 年目標値 (引張強度：360MPa 以上、伸び：15%以上、難燃性：AZX311 以上) を実機で実現するための合金設計技術の構築。	ラボスケールでは目標値を達成しており、実機でも達成は可能と考える

## (3)研究開発の成果と意義

Al 添加量の大きく異なる Mg-Al-Ca-Mn 系合金急冷鋳造材に圧延加工を施し、圧延加工後の時効硬化特性や機械的性質に及ぼす Al 添加量の影響を調べた。具体的には、Al を 0.7 もしくは 9.0 at%、Ca および Mn をそれぞれ 0.6 および 0.15 at%添加した合金 (以下 0.7、9.0Al 合金) を対象とした。検討合金の圧延まま材の機械的特性を調査した結果、0.7Al 合金は、仕上げ圧延温度 300℃ の場合、0.2 %耐力 268MPa の高い強度特性を示すが、仕上げ圧延温度を低く設定すると延性は大きく低下することを確認した。一方、9.0Al 合金の場合、仕上げ圧延温度を低く設定しても、10 %程度の延性を維持しつつ、350 MPa の引張強さと 295 MPa の高い 0.2 %耐力を得られることを明らかにした。

## (4)成果の普及 (論文、外部発表等)

表Ⅲ-2.3.3-4 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	1	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	1	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント (フォーラム、シンポジウム等)

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.3.3-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料（2014 年 4 月 30 日 名古屋）
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.

## 2.3.4 [テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発

### 2.3.4.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

マグネシウムは、実用金属の中で最も軽量であり、また優れた比強度を有することから、輸送機器のための新たな構造材料として注目されている。しかし、汎用のマグネシウム合金は発火温度が低く、固相線温度よりも高い温度に昇温すると発火する材料として認識されており、特に、不燃・難燃特性の確保が必須である鉄道車両部品や航空機部品としての適用は困難とされてきた。

近年、マグネシウム合金の発火温度を高める合金開発が進められ、その結果、汎用マグネシウム合金（Mg-Al 系合金等）にカルシウムを添加し、発火温度を飛躍的に高めた「難燃性マグネシウム合金」が開発された。本合金は優れた難燃特性を有し、日本鉄道車両機械技術協会の車両材料燃焼試験において「不燃材」の認定も受けていることから、鉄道車両用部材への適用も、小型鋳造部品に関しては進みつつある。

今後、難燃性マグネシウム合金を用いて輸送機器のさらなる軽量化を目指すためには、合金特性のさらなる高性能化（強度・延性の改善、生産性の改善）を目指すと同時に、型材や板材を組み合わせる「大型構造体」を作り込むための要素技術を開発していく必要がある。具体的には、大型展伸材（型材・板材）を製造するためのプロセス技術、大型展伸材を組み立てるための接合技術、及び耐食性を確保する技術が必要である。そこで、本研究開発では、難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目的とし、難燃性マグネシウム合金の材料特性（機械的特性、生産性）をさらに改善するための合金設計技術開発、開発した合金の信頼性（難燃性、疲労特性、接合特性、耐食性等）を確保するための特性改善技術、評価技術の構築を目指す。

## (2)位置付け、目標値

長洲分室では、高速車両構体のうち、梁材、柱材といった、より高い機械的特性を要求される部材への適用を想定した、高強度材の研究開発を行っている。

表Ⅲ-2.3.4-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
高強度マグネシウム材の開発	引張強度：350MPa 以上 伸び：13% 以上 難燃性： AZX311 以上を満足 する合金の開発	引張強度：360MPa 以上 伸び：15%以 上 難燃性： AZX311 以上 を満 足する合金の開発	平成 29 年度目標値 を実機を用いた押 出し材で実現す る。	アルミニウム合金高強度材 7N01 に匹敵する機械的特性 (引張強度：370 MPa 伸び：13%)

## (3)全体計画

本研究開発では、高速車両構体に利用されているアルミニウム合金(7N01)に匹敵する機械的特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材を開発することを目標としている。

## (4)実施体制

長洲分室では、高強度材の研究開発を担当し、押出し加工工程における研究開発を不二ライトメタル(株)が、溶解・鋳造工程における研究開発を再委託 1 機関が行う。また、ラボサイズの実験を名古屋守山分室 ((国研)産業技術総合研究所) が行い、科学的根拠に基づく合金の設計指針、プロセス最適化において連携する。

本研究開発体制においては、6 つの分室が共同で難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材 (高速車両構体) に適用するための基礎技術を構築することを目指す。そこでは、素材の開発を担当する「材料 WG」、開発材料の信頼性を改善・評価するための技術を開発する「接合 WG」、「耐食性 WG」、「発火特性 WG」を形成し、各 WG が連携して課題の解決を目指す。

「材料 WG」では、易加工性マグネシウム材の開発 (合金開発およびプロセス技術開発) を射水分室 (三協立山) が担当する。高強度マグネシウム材の開発の内、押出材の開発を長洲分室 (不二ライトメタル (+再委託 1 機関)) が担当する。薄板の開発は伊丹分室 (住友電工) が担当する。また、中板・厚板の開発は射水分室 (+再委託 1 機関)) が担当する。上記合金の合金設計指針の導出に関しては、名古屋守山分室 (産総研 (+再委託 3 機関)) が担当し、各素材メーカーと連携して合金開発を実施する。

「接合 WG」では、横浜金沢分室 (総合車両製作所 (+再委託 9 機関)) が主体と



なり、各種接合技術（TIG、MIG、FSW、モニタリング技術）の開発、疲労特性評価の確立、破壊靱性特性評価の確立を実施する。「耐食性 WG」では、小牧分室（大日本塗料（+再委託 3 機関））が主体となり、マグネシウム合金母材および表面処理材の耐食性を評価するための評価基準を作成することを目指すとともに、母材および表面処理材の腐食メカニズムを明らかにする。「発火特性 WG」では、名古屋守山分室が主体となり、難燃性マグネシウム合金の発火メカニズムを明らかにする。

なお、開発した合金を実用化するにあたっては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に開発合金を利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するため技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。そのため、本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進している。

### **(5)運営管理**

マグネシウムの研究に従事する組合員（アドバイザーを含む）が全員参加できる分科会を毎月開催している。具体的には、材料 WG、接合 WG、表面処理 WG の分科会を 3 ヶ月に 1 回開催し（発火特性 WG は不定期開催）、各分室および再委託先の研究進捗を報告することにより、素材開発、信頼性評価技術の開発を共同で推進している。なお、平成 27 年 3 月末までに、材料 WG、接合 WG、耐食性 WG の分科会を各 5 回ずつ、計 15 回開催している。

分科会は、研究進捗を報告する場として機能するだけでなく、合金組成を選定する上で機械的特性以外に抑えておくべき特性の抽出、高速車両構体に難燃性マグネシウム合金を適用する上で予め評価しておくべき項目の洗い出し、接合試験や耐食性試験を行う際に必要となる試験片の手配等を行う場としても機能しており、プロジェクトの進捗を調整する場としても機能している。

また、軽金属学会秋期講演大会（平成 26 年 11 月開催、東京工業大学）において、テーマセッション「難燃性マグネシウム合金展伸部材創製のための最新技術開発」を設立し、プロジェクトで得られた成果を公の場で議論する機会を設定した。テーマセッションではプロジェクトに関する口頭発表が計 17 件報告された。今後、上記テーマセッションを定期的に立ち上げ（年 2 回を予定）、プロジェクトの成果を積極的に配信していく予定である。

### **(6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）**

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替した場合の重量削減効果について、ヤング率を基準とした場合、20%程度の車両構体の軽量化を見込むことができるとの報告がある。構体の軽量化は、CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与するばかりで無く、車両の高速化にも大きく寄与することが知られている。仮に、新幹線の車両質量を 20%軽量化することができれば、それだけで 10~20km/時の営業速度アップを見込むことができるとの試算がある。ゆえに、経済的観点からは車両構体の軽量化は大きな効果を見込むことができる。

なお、新幹線車両の年間生産台数は 385 台／年（平成 25 年）であり、四輪車の年間生産台数（約 1,000 万台：平成 25 年）の 0.004%程度である。また、動力として電気を利用していることを考慮すると、新幹線の重量減に伴う CO<sub>2</sub> 削減効果は、四輪車のそれと比較すると小さいものであると言える。

一方、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体（屋根・側構体、妻構体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は 1 両当たり約 5t である。上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1 両当たり約 4t の需要が生まれることになる（Mg 置換により車両重量が 20%減少する場合）。車両製造が 1 年当たり 400 両と仮定すると（385 両：平成 25 年）、1600t の需要が生まれることになる。なお、国内におけるマグネシウム合金展伸材需要は約 700t/年（平成 26 年）であり、プロジェクトの成果により、仮に、側構体だけでもマグネシウム合金に置き換えることができれば、それだけで、国内の展伸材需要を倍増させることが可能となる。この様に、本プロジェクトの成果により、輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を加速させることができれば、マグネシウム合金産業構造自体を変革させることが可能である。

## 2.3.4.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.3.4-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
高強度マグネシウム材の開発	引張強度 350 MPa 伸び 13%以上の機械的特性を発現する合金組成の導出	高い機械的特性が発現する合金組成の導出が完了した。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.3.4-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
高強度マグネシウム材の開発	平成 27 年度末の目標値をラボサイズで達成済み。	平成 29 年目標値(引張強度：360 MPa 以上 伸び：15 % 以上 難燃性：AZX311 以上)を押し出し材(試験片レベル)で達成する。	生産実機を用いた押し出し技術の高度化開発により達成可能と考えられる。

### (3)研究開発の成果と意義

高濃度に Al を添加した高強度難燃性マグネシウム合金について、主要添加元素 Al, Ca の濃度を变化させた鑄造合金を作製し、その鑄造材を押し出し加工に供し、それぞれの押し出し加工性について評価した。また、押し出し材の組織及び機械的特性を評価し、実用スケールの材料における高強度マグネシウム合金組成の導出を推進した。押し出し加工は、安定的に良品形材が得られる押し出し加工条件を予め導出し、生産実機における想定生産条件と互換性のあるパイロットスケールの適正な押し出し条件で行った。

合金組成により、押し出し加工性は大きく異なり、押し出し加工時の最大荷重で 20%近い差が認められた。

金属組織においては、Ca 添加量の増加に伴い、Al<sub>2</sub>Ca 化合物の増加が認められた。また、Al を特に高濃度添加した合金組成では、Mg<sub>12</sub>Al<sub>17</sub>β 相の増加が顕著であった。

機械的特性は、強度、耐力、伸びそれぞれ異なる組成で最大を示したが、押し出し加工時の最大押し出し荷重との明確な相関関係は認められなかった。各種分析・評価結果を照らし合わせると、実用スケール材料において、特に粗大な Al<sub>2</sub>Ca 化合物の増加

が押出し加工性を低下させることが判明した。最大押出し荷重の上昇は、生産実機のマシンパワー不足に繋がる要素であるため、Al<sub>2</sub>Ca 化合物の固溶について、各種合金について、熱処理を施した材料を同様の押出・評価に供した。その結果、多くの合金組成において、最大押出し荷重の低下が認められた。その低下幅は合金組成によって異なるが、主要添加元素の濃度とある程度の相関関係が認められた。また、機械的特性についても変化が認められ、こちらも同様に主要添加元素の濃度と相関関係が認められた。特に一部の組成では、熱処理により最大押出し荷重が低下すると共に、強度、耐力、伸び全てが向上する結果が得られ、有力な合金組成の導出に成功した。

#### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.3.4-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	1	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	1	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	2	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

#### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.3.4-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.3.5 [テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発

### 2.3.5.1 テーマの概要

#### (1) 背景と目的

マグネシウムは、実用金属の中で最も軽量であり、また優れた比強度を有することから、輸送機器のための新たな構造材料として注目されている。しかし、汎用のマグネシウム合金は発火温度が低く、固相線温度よりも高い温度に昇温すると発火する材料として認識されており、特に、不燃・難燃特性の確保が必須である鉄道車両部品や航空機部品としての適用は困難とされてきた。

近年、マグネシウム合金の発火温度を高める合金開発が進められ、その結果、汎用マグネシウム合金（Mg-Al 系合金等）にカルシウムを添加し、発火温度を飛躍的に高めた「難燃性マグネシウム合金」が開発された。本合金は優れた難燃特性を有し、日本鉄道車両機械技術協会の車両材料燃焼試験において「不燃材」の認定も受けていることから、鉄道車両用部材への適用も、小型鋳造部品に関しては進みつつある。

今後、難燃性マグネシウム合金を用いて輸送機器のさらなる軽量化を目指すためには、合金特性のさらなる高性能化（強度・延性の改善、生産性の改善）を目指すと同時に、型材や板材を組み合わせて「大型構造体」を作り込むための要素技術を開発していく必要がある。具体的には、大型展伸材（型材・板材）を製造するためのプロセス技術、大型展伸材を組み立てるための接合技術、及び耐食性を確保する技術が必要である。

そこで、本研究開発では、難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目的とし、難燃性マグネシウム合金の材料特性（機械的特性、生産性）をさらに改善するための合金設計技術開発、開発した合金の信頼性（難燃性、疲労特性、接合特性、耐食性等）を確保するための特性改善技術、評価技術の構築を目指す。

#### (2) 位置付け、目標値

小牧分室では、難燃性マグネシウム合金の信頼性を確保するための評価技術の構築することを目的として、屋外環境で難燃性マグネシウム合金展伸材を使用する際に耐食性を保証するための評価技術（評価基準）を構築する。具体的には、母材および表面処理材を対象として、実環境を想定した暴露試験及び腐食促進試験を実施し、実環境における耐食性、表面処理手法の効果に関するデータを取得する。また、暴露試験と腐食促進試験の結果を照合することにより、実用に則した促進試験手法を提案する。さらに、その過程において、難燃性マグネシウム合金大型展伸部材に耐食性を付与するために最適な表面処理方法を構築し提案する。また、難燃性マグネシウム合金表面処理材の腐食・耐食メカニズムを明らかにする。以下に、担当する研究内容について記す。

表Ⅲ-2.3.5-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
① 暴露試験	大気暴露試験 2 年目と追加試験のデータを取得。データ整理の実施。	大気暴露試験 4 年目と追加試験のデータを取得。データ整理の実施。(母材として開発合金を利用する。)	大気暴露試験 9 年目と追加試験のデータを取得。データ整理の実施。データベースの完成。	難燃性マグネシウム合金を屋外利用する基準を構築するために不可欠なデータ。
② 促進試験	大気暴露試験、促進試験の照合を行い、屋外環境を忠実に再現するための、腐食促進試験法を提案。	策定した腐食促進法を用いて、表面処理膜(下地処理・塗装膜)の最適化を達成する。(母材として開発合金を利用する。)	最適化した表面処理法を対象として、大型部材に適用可能なスケールアップ技術を開発する。	既存の表面処理膜の性能を評価する上で促進試験法の策定は不可欠。また、表面処理法の最適化も、難燃性マグネシウム合金を屋外利用するためには不可欠。
③ 表面処理性メカニズム解明	化成処理皮膜の特性評価と防食効果の検証。	最適化した表面処理膜の特性評価と防食効果の検証。(母材として開発合金を利用する。)	スケールアップした手法により開発した表面処理膜の特性評価と防食効果の検証。	表面処理膜(特に下地処理)を最適化するためには被膜構造の解明は不可欠。

### (3)全体計画

本研究計画では、難燃性マグネシウム合金の信頼性を確保するための評価技術の構築をすることを目的として、屋外環境で難燃性マグネシウム合金展伸材を使用する際に耐食性を保証するための評価技術(評価基準)を構築する。以下、小牧分室の研究計画を記す。

研究開発項目①「暴露試験」に関しては、宮古島(沖縄)および銚子において大気環境暴露試験を実施し、腐食性促進試験の指標となる基本データ(宮古島→高温多湿環境、銚子→塩害環境)を収集する。

研究開発項目②「促進試験」に関しては、塩水噴霧試験、塩水浸漬試験、サイクル試験等、各種促進試験を難燃性マグネシウム合金母材および表面処理材に実施し、暴露試験と照合を行うことにより、屋外環境を想定した促進試験法を提案する。また、平成 28 年度以降は、確立した促進試験法を用いて、表面処理被膜の最適化を実施する

ことを予定している。

研究開発項目③「表面処理メカニズム解明」に関しては、電気化学的手法や表面処理被膜の表面分析を介して、難燃性マグネシウム合金表面処理材の皮膜特性を明らかにする。また、促進試験のデータと表面処理膜の構造を比較し、耐食性メカニズムを解明する。なお、平成 27 年度までは、対象とする母材は既存の難燃性マグネシウム合金（AZX611 合金や AZX612 合金）とする。平成 28 年度以降、材料 WG にて開発される合金を対象とする。

#### (4)実施体制

マグネシウムに関連する本研究開発体制においては、6 つの分室が共同で難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目指す。そこでは、素材の開発を担当する「材料 WG」、開発材料の信頼性を改善・評価するための技術を開発する「接合 WG」、「耐食性 WG」、「発火特性 WG」を形成し、各 WG が連携して課題の解決を目指す。

「材料 WG」では、易加工性マグネシウム材の開発（合金開発およびプロセス技術開発）を射水分室（三協立山）が担当する。高強度マグネシウム材の開発の内、押出材の開発を長洲分室（不二ライトメタル+再委託 1 機関）が担当する。薄板の開発は伊丹分室（住友電工）が担当する。また、中板・厚板の開発は射水分室（三協立山+再委託 1 機関）が担当する。上記合金の合金設計指針の導出に関しては、名古屋守山分室（産総研+再委託 3 機関）が担当し、各素材メーカーと連携して合金開発を実施する。

「接合 WG」では、横浜金沢分室（総合車両製作所+再委託 9 機関）が主体となり、各種接合技術（TIG, MIG, FSW, モニタリング技術）の開発、疲労特性評価の確立、破壊靱性特性評価の確立を実施する。「耐食性 WG」では、小牧分室（大日本塗料+再委託 3 機関）が主体となり、マグネシウム合金母材および表面処理材の耐食性を評価するための評価基準を作製することを目指すとともに、母材および表面処理材の腐食メカニズムを明らかにする。「発火特性 WG」では、名古屋守山分室（産総研）が主体となり、難燃性マグネシウム合金の発火メカニズムを明らかにする。

なお、開発した合金を実用化するにあたっては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に開発合金を利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するため技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。そのため、本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関（日本マグネシウム協会）のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進している。

次に、小牧分室における、研究項目の分担を説明する。

小牧分室では屋外暴露試験、及び屋外暴露試験と相関のある腐食促進試験方法の確立とデータ収集、及びカレントインタラプタ法による塗膜耐食性調査方法の確立を担当し、再委託先機関 1 では、母材の腐食特性調査としての屋外暴露試験の実施と屋外暴露試験と相関する各種腐食促進試験の実施、及びデータ収集を行う。また皮膜塗装

下地としての塗布型化成処理の皮膜特性調査を担当する。再委託先機関 2 では屋外暴露試験の実施と、陽極酸化皮膜の皮膜特性調査を担当する。再委託先機関 3 では皮膜の特性調査、及び耐食性メカニズムの調査を担当する。

#### (5) 運営管理

マグネシウムの研究に従事する組合員（アドバイザーを含む）が全員参加できる分科会を毎月開催している。具体的には、材料 WG、接合 WG、表面処理 WG の分科会を 3 ヶ月に 1 回開催し（発火特性 WG は不定期開催）、各分室および再委託先の研究進捗を報告することにより、素材開発、信頼性評価技術の開発を共同で推進している。なお、平成 27 年 3 月末までに、材料 WG、接合 WG、耐食性 WG の分科会を各 5 回ずつ、計 15 回開催している。

分科会は、研究進捗を報告する場として機能するだけでなく、合金組成を選定する上で機械的特性以外に抑えておくべき特性の抽出、高速車両構体に難燃性マグネシウム合金を適用する上で予め評価しておくべき項目の洗い出し、接合試験や耐食性試験を行う際に必要となる試験片の手配等を行う場としても機能しており、プロジェクトの進捗を調整する場としても機能している。

また、軽金属学会秋期講演大会（平成 26 年 11 月開催、東京工業大学）において、テーマセッション「難燃性マグネシウム合金展伸部材創製のための最新技術開発」を設立し、プロジェクトで得られた成果を公の場で議論する機会を設定した。テーマセッションではプロジェクトに関する口頭発表が計 17 件報告された。今後、上記テーマセッションを定期的に立ち上げ（年 2 回を予定）、プロジェクトの成果を積極的に発信していく予定である。

#### (6) 実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替した場合の重量削減効果について、ヤング率を基準とした場合、20%程度の車両構体の軽量化を見込むことができるとの報告がある<sup>2)</sup>。構体の軽量化は、CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与するばかりで無く、車両の高速化にも大きく寄与することが知られている。仮に、新幹線の車両質量を 20%軽量化することができれば、それだけで 10~20km/時の営業速度アップを見込むことができるとの試算がある<sup>3)</sup>。ゆえに、経済的観点からは車両構体の軽量化は大きな効果を見込むことができる。

なお、新幹線車両の年間生産台数は 385 台/年（平成 25 年）であり、四輪車の年間生産台数（約 1,000 万台：平成 25 年）の 0.004%程度である<sup>4,5)</sup>。また、動力として電気を利用していることを考慮すると、新幹線の重量減に伴う CO<sub>2</sub> 削減効果は、四輪車のそれと比較すると小さいものであると言える。

一方、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体（屋根・側構体、妻構体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は 1 両当たり約 5t である<sup>6)</sup>。上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1 両当たり約 4t の需要が生まれることになる（Mg 置換により車両重



量が 20%減少する場合)。車両製造が 1 年当たり 400 両と仮定すると（385 両：平成 25 年）<sup>4)</sup>、1600t の需要が生まれることになる。なお、国内におけるマグネシウム合金展伸材需要は約 700t/年(平成 26 年)であり<sup>7)</sup>、プロジェクトの成果により、仮に、側構体だけでもマグネシウム合金に置き換えることができれば、それだけで、国内の展伸材需要を倍増させることが可能となる。この様に、本プロジェクトの成果により、輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を加速させることができれば、マグネシウム合金産業構造自体を変革させることが可能である。

## 2.3.5.2 研究開発成果

### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.3.5-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
1) 難燃性マグネシウム合金の塗装処理膜の特性評価及び腐食促進試験法の選定 (小牧分室 大日本塗料)	暴露 1 年後の結果を参考に相関性の有る促進試験方法の探索と評価。カレントインタラプター法のデータ蓄積。	暴露 1 年後の塗装板によるデータ収集と付着強度確認。カレントインタラプター法の検証を実施。塗膜下腐食判定に使用可と判定データ収集継続。	△	カレントインタラプター法による判定を行うためのデータの蓄積が少ないため、継続してデータ収集を行う。
2) 難燃性マグネシウム合金の化成皮膜系塗装下地処理膜の特性評価及び母材の腐食特性評価 (再委託先機関 1)	化成皮膜の化学的性質調査、構造解析、及び各種促進試験の探索による大気暴露試験との相関性を見いだす。	化成皮膜の元素成分量、範囲、形態特定、及び各種難燃性マグネシウム合金の腐食性調査比較実施。各種腐食促進試験実施比較し、適度な腐食量の試験方法を見いだした。	△	大気暴露試験と母材の腐食特性を定性的に把握しつつある。今後、定量的な情報も加味しつつ、相関性をつかむ必要がある。化成皮膜の耐食性メカニズムも継続的に探求する必要がある。
3) 難燃性マグネシウム合金の陽極酸化皮膜系塗装下地処理膜の性能評価及び表面処理材の暴露試験評価 (再委託先機関 2)	開発合金を含めた陽極酸化膜の種々の腐食促進試験とその評価、および暴露試験の 1 年目の評価のまとめ。	AZX612 合金の陽極酸化膜の種々の腐食促進試験において 480 時間までの腐食面積の評価を実施。また、平成 26 年度回収の暴露試験板に於ける腐食減量、浸食深さ等のデータ確認を実施。	△	AZX612 合金の評価は完了。今後、開発合金も含め、AZX612 合金以外の暴露試験および各種促進試験について評価を実施する予定。
4) 難燃性マグネシウム合金表面処理材の耐食メカニズムの解明 (再委託先機関 3)	陽極酸化および化成処理皮膜の形成および耐食メカニズムの解明	反応型および塗布型化成処理皮膜の特性比較および耐食性の評価 (腐食電流密度: $6 \times 10^{-6} \text{ A/cm}^2$ 以下, 電荷移動抵抗: $1540 \Omega \text{ cm}^{-1}$ 以上)	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(2) 第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.3.5-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度)	達成見通し
1) 暴露試験	大気暴露試験 1 年後の試験板を回収し、腐食減量、浸食深さ、塗装板の外観、付着性確認等の各種データを収集。(母材として既存難燃性マグネシウム合金を利用。)	大気暴露試験 4 年目のデータを取得。追加データを取得し、データベースとして整理を実施。(母材として開発合金を利用。)	現状の調査を継続できれば達成できる予定。
2) 促進試験	母材および塗装板の大気暴露試験の結果(腐食減量や腐食外観等)を再現する為の腐食促進試験方法を検討中(母材として既存難燃性マグネシウム合金を利用。)	策定した試験方法を使用し、表面処理法の最適化を実施。対象として、大型部材に適用可能なスケールアップ技術を開発検討する。(母材として開発合金を利用。)	促進試験確定後、下地処理膜および塗装膜の最適化を開始する予定(H28~)。被膜開発において実用的なシステム構築を留意しつつ研究開発を遂行すれば、達成可能と考えられる。
3) 表面処理性 メカニズム解明	化成処理皮膜の特性評価と防食効果の検証。(母材として既存難燃性マグネシウム合金を利用。)	スケールアップした手法により開発した表面処理膜の特性評価と防食効果の検証。(母材として開発合金を利用。)	現状の調査を継続できれば達成できる予定。

### (3) 研究開発の成果と意義

(1) 難燃性マグネシウム合金の塗装処理膜の特性評価及び腐食促進試験法の選定（小牧分室：大日本塗料）

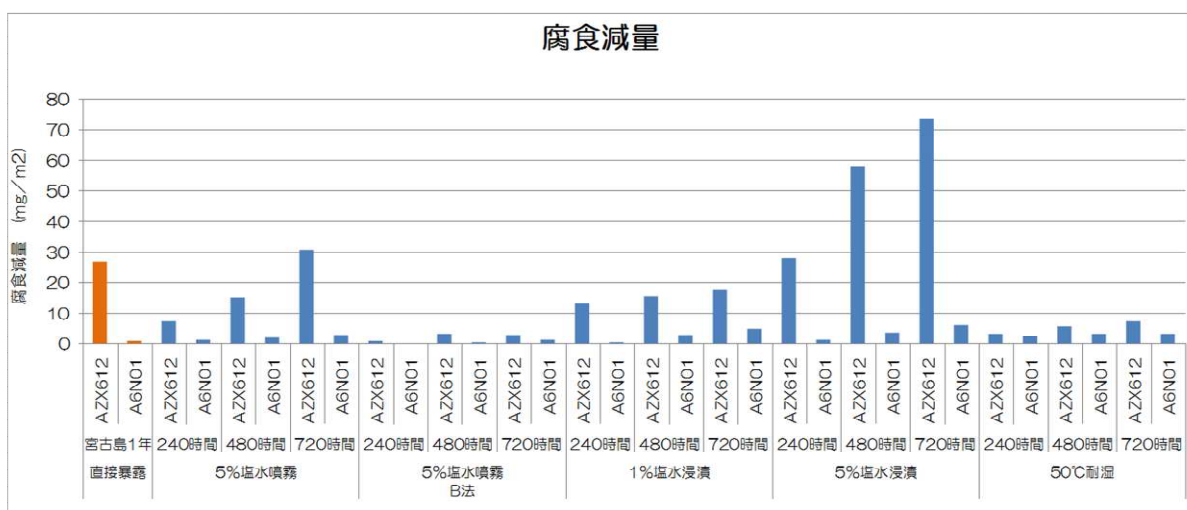
(1-1) 難燃マグネシウム合金母材の腐食状況の確認

各種の腐食試験の評価基準とするために大気暴露試験を実施した（暴露試験の詳細は項目(3)を参照。ここでは、AZX612が大気暴露試験の腐食状況と近い腐食試験条件で塗装板の腐食試験が実施出来ることを促進する為に、再委託機関1、再委託先機関2と協力し、母材の腐食促進試験を実施した。

AZX612については、試験板の色や腐食生成物の状態から、直接暴露については塩水噴霧試験、遮蔽暴露試験については塩水浸漬試験が類似している事が確認出来た。耐湿試験の腐食状況は類似性が無く、サイクル試験は遮蔽暴露試験と類似しているが、促進程度が少ないことが確認された。一連の結果から、宮古島直接暴露1年に相当する腐食減量は、5%塩水噴霧試験500~600時間、5%塩水浸漬試験240時間が近似していることが分かった。

サイクル試験（塩水噴霧：8時間、乾燥：16時間）のA6N01とAZX612の腐食減量を比較すると、A6N01とAZX612の腐食減量比率が宮古島直接暴露板に最も近く、塩水噴霧試験を含める事により、腐食外観も類似した。ただし、腐食速度が小さく、宮古島直接暴露1年相当となるまでには、約2000時間（約80サイクル）が必要であると推測される。A6N01とAZX612の腐食減量比率と腐食外観が類似し、腐食試験の促進倍率がより加速出来る方法について、引き続き腐食サイクル試験での探索を継続する予定である。

#### 各種難燃性マグネシウムの腐食促進試験 →腐食促進試験における腐食挙動データベースの構築(暴露試験との比較)



従来から使用されている促進試験において、腐食減量で比較すると、5%塩水浸漬240時間、5%塩水噴霧500~600時間が、宮古島直接暴露1年に相当する。

(1-2) 腐食試験方法（カレントインタラプター法）の検討

難燃性マグネシウム合金に於ける、カレントインタラプター法による塗膜下腐食試験については、塩水噴霧試験及び塩水浸漬試験での腐食による分極抵抗 ( $\log(\Omega \cdot \text{cm}^2)$ ) と分極容量 ( $\text{F} \cdot \text{cm}^2$ ) 変化を測定した。一連の測定より、以下の知見が得られた。

(i) 分極抵抗測定結果は、耐湿試験、塩水噴霧試験の結果で 49 日後まで大きな差はなく、63 日過ぎに大きく変化し、塩水噴霧試験の値は塩水浸漬試験の値と近くなった。

(ii) 溶液に浸かった状態の塩水浸漬試験では 7 日程度でクリアー塗膜下での腐食が認められ、分極抵抗が大きく低下した。

(iii) 素材の材質を変えた試験では、鉄素材 (SPCC-SD) が試験開始時から測定値の値が低く、分極抵抗の低下が最も早かった。

(iv) Mg-Al-Zn-Ca 系合金 (AZX 合金) は Ca 添加量が多くなると分極抵抗の測定値が低下し易くなる。Mg-Al-Mn-Ca 系合金 (AMX 合金) は Ca 添加量が多くなっても分極抵抗が低下し難い。

(v) 鉄では分極抵抗値が 5.0 以下となる場合を評価基準の目安としているが、AZX612 の場合は、分極抵抗値が 6.0 付近となることが目安と判定された。今後、更に精度の良い値を求める作業を継続する。

(2) 難燃性マグネシウム合金の化成皮膜系塗装下地処理膜の特性評価及び母材の腐食特性評価（再委託機関 1）

(2-1) 難燃性マグネシウム合金の化成皮膜系塗装下地処理膜の特性評価

難燃性マグネシウム合金向けに開発選択した塗布型化成処理皮膜特性調査として、昨年度は焼付塗膜による塗装性能を確認し、処理による有効性を塩水噴霧試験、CASS 試験等の促進試験により確認した。本年度は、実際の処理に於いて管理指標となる皮膜量のデータ取り、TEM による断面構造解析、単独での防食効果調査、及び車輛など大型構造物に塗装として実際に用いられる常温乾燥型塗膜による塗装性能調査を実施した。得られた代表的な知見は以下の通りである。

### カレントインタラプター法による塗装皮膜評価

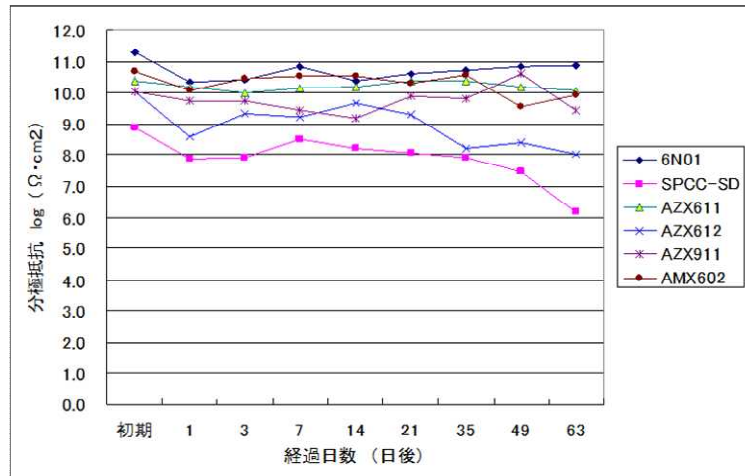


図 ウレタンクリアー塗膜での各種素材のカレントインタラプター測定結果

- ・鉄素材(SPCC)の分極抵抗は試験開始時から低く、低下も早い。
- ・AZX612合金は他のMg合金と比較して分極抵抗が低下しやすい。



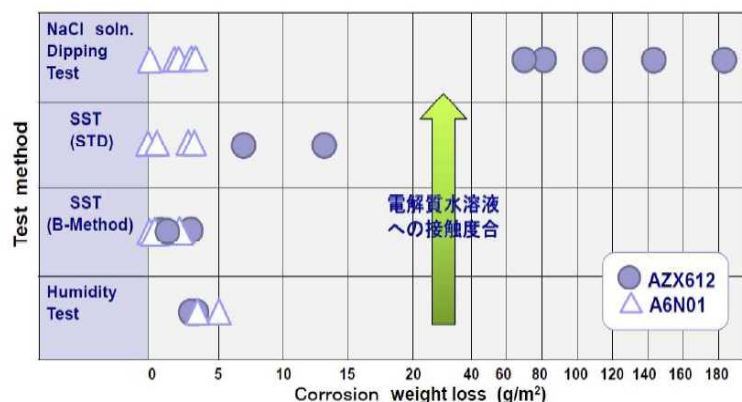
- (i) 塗布回数（コート回数）と皮膜量データを取り標準コート数の皮膜量を把握した。
- (ii) 塗布型化成皮膜の断面構造を明らかにした。具体的には、下層が緻密で素地との反応により形成されており、上層は塗り重ねで皮膜液成分が堆積している構造であることを確認した。以上のことより、被膜の改良は下層の充実を図ることを主眼におく予定である。
- (iii) 塗布型化成皮膜の塩水浸漬試験の腐食量が 1.4 に減少することを確認した。ゆえに、簡易防錆としての効果が推測された。
- (iv) 実際に大型構造物で使用される常温乾燥塗料の塗布型化成処理下地での塗装性能を確認した。結果、焼き付け塗料よりも低レベルであることが確認され、今後下地皮膜、常温乾燥塗料両面の改良が必要であることが確認された。
- (v) 常温乾燥塗料での大気暴露試験結果は無処理よりも良好であり、下地処理の有効性が確認された。（図Ⅲ-2.3.5-1 参照）



図Ⅲ-2.3.5-1 大気暴露試験後(1年)のA6N01合金塗装板およびAZX612合金塗装板の外観

### (2-2) 母材の腐食特性評価

本年度は代表的な難燃性マグネシウム合金 AZX612 押出材の腐食性を調査するために、各種促進試験方法の探索トライを実施した。項目(1-1)は暴露試験結果と促進結果を比較するための研究であり、本項目の研究は、各種腐食促進試験（塩水浸漬、塩水噴霧、乾湿繰り返し、サイクル等）の腐食挙動の差を調査するための研究である。得られた代表的な知見は以下の通りである。



図Ⅲ-2.3.5-2 AZX612合金およびA6N01合金の各種腐食試験と腐食減量の関係

- (i) 代表的な腐食促進試験での腐食量調査について：難燃性マグネシウム合金においても常時電解質水溶液に濡れ度合いが大きい環境であればあるほど腐食量が増大する傾向であることが確認された。（図Ⅲ-2.3.5-2 参照）
- (ii) 乾湿繰り返しの腐食試験での腐食量調査について：乾燥工程が入る促進試験は連続試験よりも腐食量が減少する傾向にあることが確認された。今後、乾湿繰り返しの腐食試験でのメカニズムを解明し、暴露試験との相関性を見極めていく予定である。

(3) 難燃性マグネシウム合金の陽極酸化皮膜系塗装下地処理膜の性能評価及び表面処理材の暴露試験評価（再委託機関 2）

### (3-1) マグネシウム合金の大気暴露試験片の設置

試験片は AZX612 押出材(150×70×3mm)、AZX912 合金押出材(110×70×3mm)、AXM030305 合金押出材(150×70×3mm)を使用した。表面処理には、りん酸系化成処理（刷毛塗り）、MX11 陽極酸化処理（厚膜型）、エポキシ系／ウレタン系常温乾燥塗装仕様による塗装膜 130 μm を行った。異種金属には SUS304 M4 ビスを使用した。大気暴露試験は JIS Z2381（大気暴露試験方法通則）に準拠した直接暴露試験および遮へい暴露試験により行った。暴露場所は一般財団法人日本ウエザリングテストセンター宮古島暴露試験場（沖縄県宮古島市）および銚子暴露試験場（千葉県銚子市）においてそれぞれ南向き 30 度、南向き 45 度の条件で平成 26 年 1 月、平成 26 年 2 月からそれぞれ試験を開始した。

### (3-2) マグネシウム合金の大気暴露試験片の回収

試験片は AZX612 押出材(150×70×3mm)ならびに比較用として設置した AZ91 ダイカスト材(150×70×3mm)、A6N01 押出材(150×70×3mm)、ADC12 ダイカスト材(150×7×3mm)を回収した。大気暴露試験は JIS Z2381（大気暴露試験方法通則）に準拠した直接暴露試験および遮へい暴露試験を一般財団法人日本ウエザリングテストセンター宮古島暴露試験場（沖縄県宮古島市）および銚子暴露試験場（千葉県銚子市）においてそれぞれ南向き 30 度、南向き 45 度の条件で平成 26 年 1 月から平成 26 年 11 月、平成 26 年 2 月から平成 26 年 12 月までそれぞれ実施した試験板を回収した。直接暴露試験において AZX612 は変色が確認され、遮へい暴露試験においてはいずれの素材も白い腐食が確認された。

### (3-3) マグネシウム合金の大気暴露試験片の評価

素材においては大気暴露試験終了後に腐食生成物を除去し、重量を測定し、腐食前後の重量差から腐食量を測定した。腐食生成物の除去に際しては、マグネシウム合金材は 10%CrO<sub>3</sub> 水溶液中、アルミニウム合金材は 2%CrO<sub>3</sub>+8%H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> 水溶液に浸漬して腐食生成物を除去した。また、腐食部の最大深さを金属顕微鏡により 10 点測定し、その値を平均化し、最大浸食深さ 10 点平均とした。測定された結果をもとにマグネシウムとアルミニウム

の比率を、AZX612 を分子、A6N01 を分母として

計算した結果、直接暴露試験に比べ遮へい暴露試験の方が比率は小さくなる傾向にあり、遮へい暴露試験の最大浸食深さに至っては A6N01 と同程度以下であることが明らかとなった。

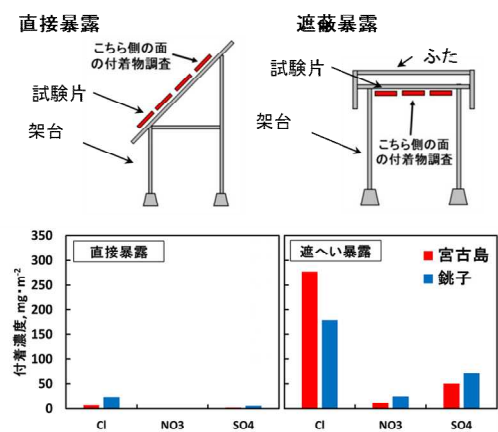


図 暴露後の試験片に付着した各種イオン濃度

暴露試験後に付着している濃度を測定するために、大気暴露試験終了後に塗装材表面に付着している成分を純水に溶解し、イオン濃度を測定した結果、直接暴露試験では宮古島・銚子ともに Cl<sup>-</sup>が若干検出され、遮へい暴露試験で Cl<sup>-</sup>が最も多く、次に SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>が多く、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>は若干検出された。

#### (3-4) 陽極酸化処理系塗装用下地処理膜の各種促進試験による耐食性の評価

試験条件は JIS Z2371 に記載されている中性塩水噴霧試験方法 (SST) に準拠した方法を標準法とし、遮へい暴露試験を模擬し噴霧された塩水からの直接的な影響を避けた方法を B 法とした。塩水浸漬試験 (SDT) は塩水噴霧試験と同様の設定温度 (35℃)、試験溶液 (5%NaCl 水溶液) を用いた。高温高湿試験は 50~70℃、98%RH にて実施した。試験時間は 240 時間までと 480 時間まで行った。供試材としては AZX612 を用い、陽極酸化処理は MX11 (厚膜型) にて行った。また、塩水噴霧試験の標準法と B 法の試験環境を調べるため温度と湿度を測定した結果、温度と湿度の安定領域において標準法は 32~34℃、96~97%RH に対し、B 法は 31~33℃、92~93%RH であった。試験後皮膜を除去し孔食の有無を確認した結果、SST 標準法と比べると少ないものの B 法においても数か所の孔食が認められた。また、高温高湿試験では孔食は認められなかった。

#### (4) 難燃性マグネシウム合金表面処理材の耐食メカニズムの解明 (再委託機関 3)

難燃性マグネシウム合金 AMX612 に施した化成処理皮膜の特性を評価するとともに、その耐食性を評価した。作製した皮膜は、Mg, O, Ca, Mn, P から構成されており、その膜厚は約 2.5~3.3 μm であった。皮膜の耐食性を塩水浸漬実験と電気化学的手法を用いて評価した。電気化学的評価と塩水浸漬評価から算出された腐食速度は大きく異なった。今後は、難燃性マグネシウム合金上に形成した陽極酸化皮膜と化成処理膜の耐食性メカニズムの解明を行う。また、暴露試験の結果と上記の耐食性評価結果との突き合わせを行うことにより、難燃性マグネシウム合金の耐食性の評価法に適切な手法を探索する。

#### (4) 成果の普及 (論文、外部発表等)

表Ⅲ-2.3.5-4 論文、外部発表等の件数(内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント (フォーラム、シンポジウム等)



(5) 知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

平成 26 年度までは腐食性の評価方法の検討を実施し、データの収集、検討であった為、特許性は無かった。

表Ⅲ-2.3.5-5 特許の件数(内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.3.6 [テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

### 2.3.6.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

マグネシウムは、実用金属の中で最も軽量であり、また優れた比強度を有することから、輸送機器のための新たな構造材料として注目されている。しかし、汎用のマグネシウム合金は発火温度が低く、固相線温度よりも高い温度に昇温すると発火する材料として認識されており、特に、不燃・難燃特性の確保が必須である鉄道車両部品や航空機部品としての適用は困難とされてきた。

近年、マグネシウム合金の発火温度を高める合金開発が進められ、その結果、汎用マグネシウム合金（Mg-Al 系合金等）にカルシウムを添加し、発火温度を飛躍的に高めた「難燃性マグネシウム合金」が開発された。本合金は優れた難燃特性を有し、日本鉄道車両機械技術協会の車両材料燃焼試験において「不燃材」の認定も受けていることから、鉄道車両用部材への適用も、小型鋳造部品に関しては進みつつある。

今後、難燃性マグネシウム合金を用いて輸送機器のさらなる軽量化を目指すためには、合金特性のさらなる高性能化（強度・延性の改善、生産性の改善）を目指すと同時に、型材や板材を組み合わせて「大型構造体」を作り込むための要素技術を開発していく必要がある。具体的には、大型展伸材（型材・板材）を製造するためのプロセス技術、大型展伸材を組み立てるための接合技術および耐食性を確保する技術が必要である。そこで、本研究開発では、難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目的とし、難燃性マグネシウム合金の材料特性（機械的特性、生産性）をさらに改善するための合金設計技術開発、開発した合金の信頼性（難燃性、疲労特性、接合特性、耐食性等）を確保するための特性改善技術、評価技術の構築を目指す。

#### (2)位置付け、目標値

現在、高速車両構体に利用されているアルミニウム合金には 2 種類あり、汎用型の A6N01 合金と高強度型の A7N01 合金がある。A6N01 合金に関しては天井外板、妻外板、側外板等に利用され、A7N01 合金に関しては台枠やまくらばり等に利用されている。そこで、本研究開発では、A6N01 合金に匹敵する機械的特性と生産性（押出し速度）を有する難燃性マグネシウム合金押出材（易加工性マグネシウム材）と、A7N01 合金に匹敵する機械的特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材（押出材、板材（薄板・厚板））（高強度マグネシウム材）を開発することを目指す。

なお、開発した合金を用いて実際の構体を作製するためには、開発合金をつなぎ合わせるための接合技術や、耐食性を付与するための表面処理技術が必要である。さらには、母材・接合継手・表面処理被膜の信頼性を評価するための技術を構築する必要がある。そこで、開発した合金を接合するための技術、信頼性（疲労特性、発火特性、耐食性等）を評価するための技術についても開発を実施する。

横浜金沢分室では、上記研究開発要素の内、難燃性マグネシウム合金の疲労特性および破壊靱性特性を評価するための手法を開発する。構造部材の疲労特性・破壊靱性

特性が最も低い部位は溶接継手部分であるため、本研究開発では、継手部分の疲労特性、破壊靱性特性に焦点を当て研究開発を推進する。また、溶接継手に高い信頼性を付与するための接合技術（TIG 溶接法、MIG 溶接法、FSW 法）、接合モニタリング技術を並行して開発する。

以下、横浜金沢分室の研究開発項目および目標を表Ⅲ-2.3.6-1 に列記する。平成 27 年度までは、既存の難燃性マグネシウム合金（AZX611 合金や AZX612 合金等）を対象として、上記の評価技術や溶接技術を開発する。また、平成 27 年度は既存の難燃性マグネシウム合金を用いて側パネルを作製するための基礎技術を構築することを目指す。さらに、平成 29 年度末までに開発合金を用いて、モックアップ構体を作製するための基礎技術を構築することを目指す。平成 29 年度までに開発した基礎技術を実用化技術に仕立て上げることを平成 34 年度までの目標とする。

表Ⅲ-2.3.6-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
① TIG 溶接技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最適な施工方法の把握と基礎接合技術の確立、継手効率 70%以上</li> <li>・既存難燃性マグネシウム合金を用いて部材を作製するための接合技術の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発合金を用いて継手効率 70%を以上を達成する接合技術の構築。</li> <li>・開発合金を用いて部材を作製するための接合技術の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種接合法の長所短所を把握して継手形状などの適材適所の接合法への適用を明確にする。</li> <li>・そのうえで、平成 29 年度までに開発した技術の実用化技術を開発する。</li> </ul>	<p>アルミニウム合金製鉄道車両構体では補修溶接を行う時の必須技術</p> <p>アルミニウム合金製車両構体での継手効率と同等の 70%以上とした</p>
②MIG 溶接技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最適な施工方法の把握と基礎接合技術の確立、継手効率 70%以上</li> <li>・既存難燃性マグネシウム合金を用いて部材を作製するための接合技術の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発合金を用いて継手効率 70%を以上を達成する接合技術の構築。</li> <li>・開発合金を用いて部材を作製するための接合技術の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種接合法の長所短所を把握して継手形状などの適材適所の接合法への適用を明確にする。</li> <li>・そのうえで、平成 29 年度までに開発した技術の実用化技術を開発する。</li> </ul>	<p>アルミニウム合金製鉄道車両構体では連続接合を行う時の必須技術</p>

③摩擦攪拌接合 (FSW) 法の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・最適な施工方法の把握と接合技術の確立、継手効率70%以上</li> <li>・既存難燃性マグネシウム合金を用いて部材を作製するための接合技術の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・開発合金を用いて継手効率70%以上を達成する接合技術の構築。</li> <li>・開発合金を用いて部材を作製するための接合技術の構築</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・各種接合法の長所短所を把握して継手形状などの適材適所の接合法への適用を明確にする。</li> <li>・そのうえで、平成29年度までに開発した技術の実用化技術を開発する。</li> </ul>	アルミニウム合金製鉄道車両構体では高品質な継手を得る連続接合を行う時の必須技術
④非破壊評価技術の開発	TIG溶接の接合品質モニタリング確立、長尺接合への対応	各種接合法 (MIG, FSW) の接合品質モニタリングの確立と生産への適用における可能性の明確化	・実構造物生産ラインへの適用可能性の明確化	高速車両構体を製造する上における生産工程内の品質管理手法
⑤疲労特性評価法の確立	疲労強度特性に影響を及ぼす因子の評価および溶接プロセスの評価 マグネシウム合金構体の疲労最適設計法の指針	高速車両構体設計のバックデータとなる疲労設計データの確立 (既存合金及び開発合金)	母材および各種接合法で作製される継手を実構造物へ適用するため、破壊力学に基づいた評価・設計手法を構築する	高速車両構体を設計する上における必要データ
⑥破壊靱性特性の評価法の確立	難燃性マグネシウム合金の破壊メカニズムを理解し、溶接・接合継ぎ手材の靱性評価に対応	鉄道車両構体設計のバックデータとなる破壊靱性設計データの確立 (既存合金及び開発合金)	母材および各種接合法で実構造物へ適用できる破壊靱性特性評価手法を構築する	高速車両構体を設計する上における必要データ

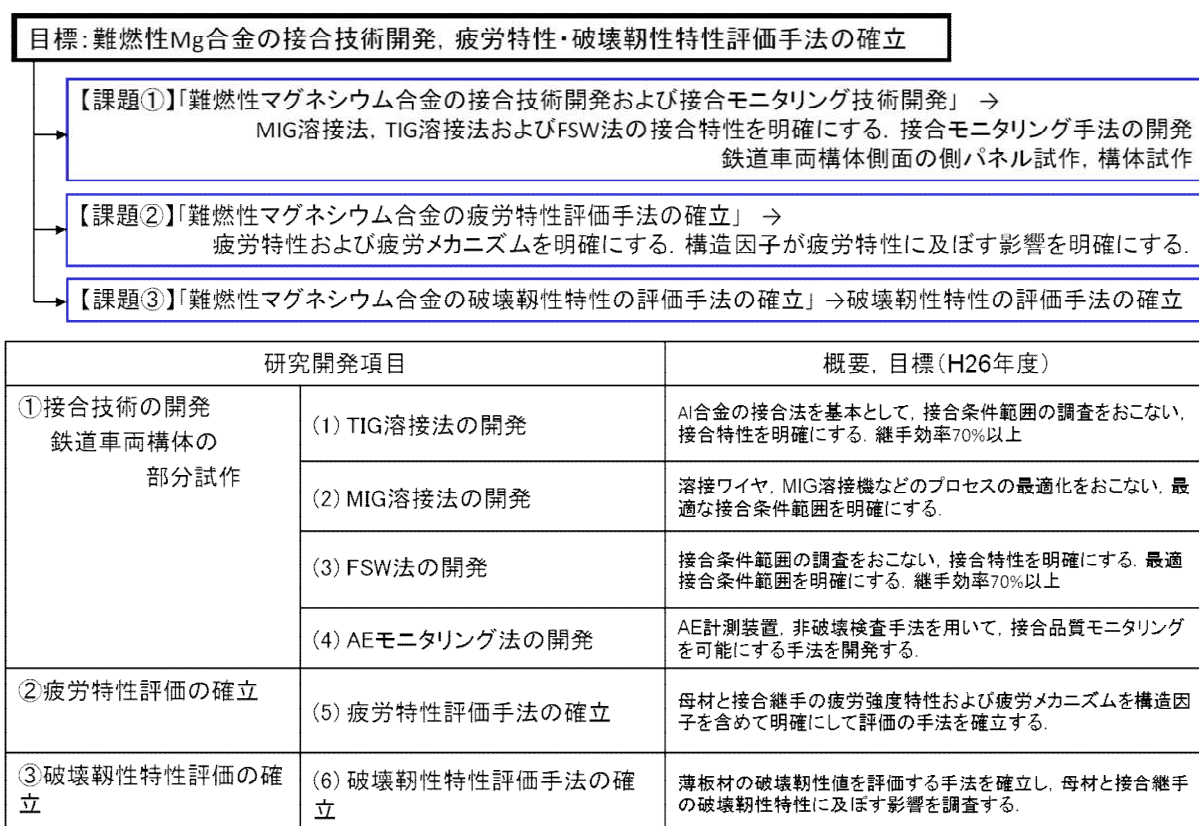
### (3)全体計画

本研究開発を行うに当たっては、開発技術の輸送機器構造部材への適用可能性を絶えず評価・検証することにより研究開発を遂行する。そこでは、開発技術の適用箇所の一例として高速車両構体を設定し、開発されるマグネシウム合金の特性と、高速車両構体に既に利用されている実用金属（アルミ合金等）との比較・検証を実施しながら研究開発を実施する。高速車両構体に利用されているアルミニウム合金（A6N01合金およびA7N01合金）に匹敵する特性を有する難燃性マグネシウム合金展伸材を開発することを目指す。

本研究テーマでは、それら開発合金の難燃性マグネシウム合金の疲労特性および破壊靱性特性を評価するための手法を開発する。構造部材の疲労特性・破壊靱性特性が最も低い部位は溶接継手部分であるため、継手部分の疲労特性、破壊靱性特性に焦点を当て研究開発を推進する。また、溶接継手に高い信頼性を付与するための接合技術（TIG 溶接法、MIG 溶接法、FSW 法）、接合モニタリング技術を並行して開発する。そこでは、接合技術そのものの開発とともに、開発した接合技術を用いて鉄道車両構体の部分（側パネル、モックアップ等）を試作するためのプロセス基礎技術を確立することを目指す。

以下に、具体的な研究概要を記す。

表Ⅲ-2.3.6-1 に掲げた研究開発項目を達成するために必要な計画を図Ⅲ-2.3.6-1 に示す。



図Ⅲ-2.3.6-1 横浜金沢分室における技術開発の全体計画

「接合技術の開発および接合モニタリング技術開発」に関しては、アルミニウム合金の接合法を基本として、接合条件範囲の調査をおこない接合特性を明確にする。使用する溶加材、溶接機などのプロセスの最適化をおこなうことにより最適な接合条件範囲の把握をおこなう。継手強度は継手効率が母材強度の70%以上が得られることを目標とする。また、接合法の品質保証技術として、AEモニタリング法の開発を同時におこない、AE計測装置、非破壊手法を用いて接合品質モニタリングを可能にする手法を開発する。

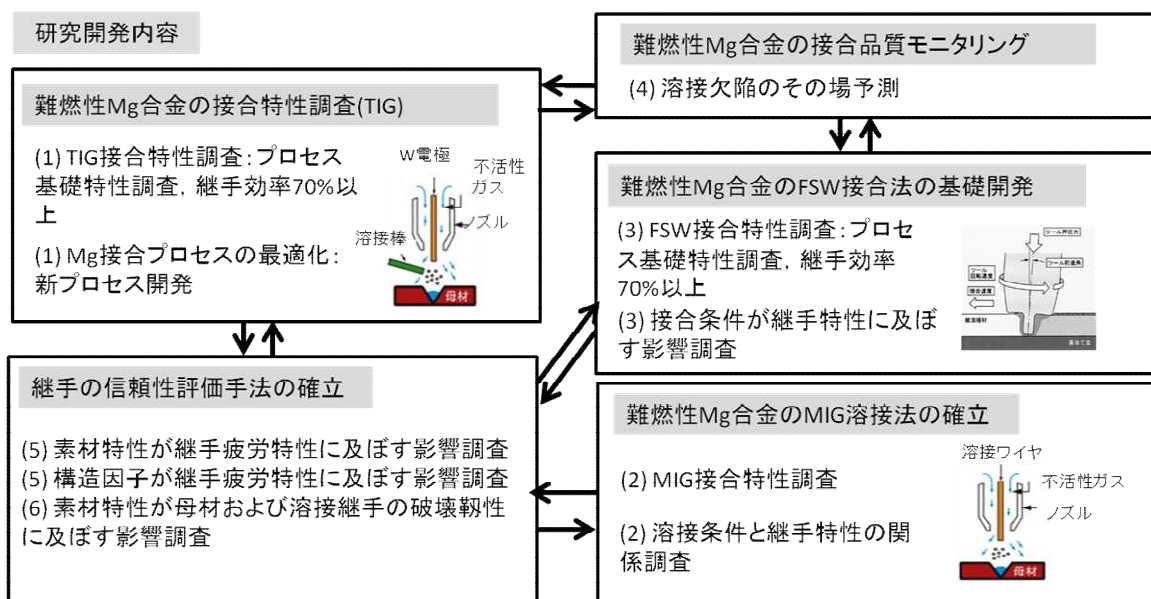
「疲労特性評価手法の確立」に関しては、母材と接合継手の疲労強度特性および疲労メカニズムを構造因子を含めて明確にして評価の手法を確立する。

「破壊靱性特性評価手法の確立」に関しては、薄板材の破壊靱性値を評価する手法を確立し、母材と接合継手の破壊靱性特性に及ぼす影響を調査する。

上記手法の開発を遂行するに当たり、平成 27 年度には鉄道車両構体の側パネルを平成 29 年度には実物に近いモックアップを試作することにより、開発した接合手法などを実証しながら進めていく。これらの試作品を作製する過程にある次のような要素技術の課題の抽出、その解決方法にも取り組んでいく。押出型材の製作精度、接合・加工などの作業性、表面処理性、シーリング性などの多くの実証項目を他の分室と連携して進めていく。平成 31 年度以降には難燃性マグネシウム合金製構体構造の実用化研究・実用化検討をおこなう。特に、合金特性を考慮した設計仕様等を含めて検討を進めることにより平成 35 年度までには実用化検討をおこない、平成 42 年度までには事業化検討を完了する。

#### (4)実施体制

横浜金沢分室における、全体計画に記載の各研究項目を図Ⅲ-2.3.6-2 に記す。



図Ⅲ-2.3.6-2 横浜金沢分室の研究開発実施項目

横浜金沢分室（株総合車両製作所）では、9つの再委託研究機関とともに、接合技術の開発、MIG溶接法、TIG溶接法およびFSW法の基礎技術開発から実生産に近い技術開発までおこなう。接合継手の品質管理のためにAEモニタリング法を利用した非破壊検査技術の開発もおこなう。さらに、母材および接合継手の疲労特性では、組織因子および構造因子が疲労特性に及ぼす影響の評価手法の確立をおこなう。破壊靱性特性では、組織因子が破壊靱性に及ぼす影響の調査をするとともに破壊靱性特性評

働法の確立をおこなう。

本研究開発体制においては、6つの分室が共同で難燃性マグネシウム合金展伸材を鉄道車両用部材（高速車両構体）に適用するための基礎技術を構築することを目指す。そこでは、素材の開発を担当する「材料 WG」、開発材料の信頼性を改善・評価するための技術を開発する「接合 WG」、「耐食性 WG」、「発火特性 WG」を形成し、各 WG が連携して課題の解決を目指す。

「材料 WG」では、易加工性マグネシウム材の開発（合金開発およびプロセス技術開発）、高強度マグネシウム材の開発として、押出材の開発および薄板・中板・厚板の開発をおこなう。上記合金の合金設計指針の導出に関しては、各分室が各素材メーカーと連携して合金開発を実施する。

「接合 WG」では、横浜金沢分室が、各種接合技術（TIG、MIG、FSW、モニタリング技術）の開発、疲労特性評価の確立、破壊靱性特性評価の確立を実施する。

「耐食性 WG」では、マグネシウム合金母材および表面処理材の耐食性を評価するための評価基準を作成することを目指すとともに、母材および表面処理材の腐食メカニズムを明らかにする。

「発火特性 WG」では、難燃性マグネシウム合金の発火メカニズムを明らかにする。

なお、開発した合金を実用化するにあたっては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に開発合金を利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するため技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。そのため、本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関（日本マグネシウム協会）のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進している。

## (5) 運営管理

マグネシウムの研究に従事する組合員（アドバイザーを含む）が全員参加できる分科会を毎月開催し、具体的には、材料 WG、接合 WG、表面処理 WG の分科会を3ヶ月に1回開催し（発火特性 WG は不定期開催）、各分室および再委託先の研究進捗を報告することにより、素材開発、信頼性評価技術の開発を共同で推進している。

（平成27年3月末までに、材料 WG、接合 WG、耐食性 WG の分科会を各5回ずつ、計15回開催している。）

分科会は、研究進捗を報告する場として機能するだけでなく、合金組成を選定する上で機械的特性以外に抑えておくべき特性、高速車両構体に難燃性マグネシウム合金を適用する上で予め評価しておくべき項目の洗い出し、接合試験や耐食性試験を行う際に必要となる試験片の手配等を議論する場としても機能しており、プロジェクトの進捗を調整する場としても機能している。

また、2014年11月15、16日に東京工業大学で開催された軽金属学会秋期講演大会において、テーマセッション「難燃性マグネシウム合金展伸部材創製のための最新技術開発」を立ち上げ、プロジェクトで得られた成果を、公の場で集中して公開する場



を設定した。テーマセッションではプロジェクトに関する口頭発表が計 17 件報告された。今後、上記テーマセッションを定期的に立ち上げ（年 2 回を予定）、プロジェクトの成果を積極的に配信していく予定である。

#### **(6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）**

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替した場合の重量削減効果について、ヤング率を基準とした場合、20%程度の車両構体の軽量化を見込むことができるとの報告がある<sup>2)</sup>。構体の軽量化は、CO<sub>2</sub> 排出量削減に寄与するばかりで無く、車両の高速化にも大きく寄与することが知られている。仮に、新幹線の車両質量を 20%軽量化することができれば、それだけで 10~20km/時の営業速度アップを見込むことができるとの試算がある<sup>3)</sup>。ゆえに、経済的観点からは車両構体の軽量化は大きな効果を見込むことができる。

なお、新幹線車両の年間生産台数は 385 台/年（2013 年）であり、四輪車の年間生産台数（約 1,000 万台）の 0.004%程度である<sup>4) 5)</sup>。また、動力として電気を利用していることを考慮すると、新幹線の重量減に伴う CO<sub>2</sub> 削減効果は、四輪車のそれと比較すると小さいものであると言える。

一方、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体（屋根・側構体、妻体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は 1 両当たり約 5t である<sup>6)</sup>。上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1 両当たり約 4t の需要が生まれることになる（マグネシウム置換により車両重量が 20%減少する場合）。車両製造が 1 年当たり 400 両と仮定すると（385 両：2013 年）<sup>4)</sup>、1600t の需要が生まれることになる。なお、国内におけるマグネシウム合金展伸材需要は約 700t/年（2014 年）であり<sup>7)</sup>、プロジェクトの成果により、仮に、側構体だけでもマグネシウム合金に置き換えることができれば、それだけで、国内の展伸材需要を倍増させることが可能となる。この様に、本プロジェクトの成果により、輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を加速させることができれば、マグネシウム合金産業構造自体を変革させることが可能である。



## 2.3.6.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

次に中間目標の達成度を表Ⅲ-2.3.6-2 にまとめて示す。

表Ⅲ-2.3.6-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
①TIG 溶接技術の確立	生産における最適な施工方法の把握と基礎接合技術の確立、継手効率 70%以上	アルミニウム合金の施工法との比較により、大まかな接合条件範囲を明らかにした。平板突合せ継手では、継手効率 70%以上を達成した。	○	
②MIG 溶接技術の確立	生産における最適な施工方法の把握と基礎接合技術の確立、継手効率 70%以上	板材突合せ溶接における接合条件範囲や課題を明らかにした。	○	
③摩擦攪拌接合 (FSW) 法の開発	生産における最適な施工方法の把握と接合技術の確立、継手効率 70%以上、接合部組織及び表面酸化物の巻き込みが接合強度に与える影響の評価	アルミニウム合金の施工法との比較により、大まかな接合条件範囲や課題を明らかにした。 開発した拘束装置により拘束条件の変化が継手に及ぼす影響を確認した。	○	
④非破壊評価技術の開発	TIG 溶接の接合品質モニタリング確立、長尺接合への対応	FSW 法および TIG 溶接の接合品質モニタリングが可能となり、接合長が伸びた場合の計測法を開発した。	○	
⑤疲労特性評価法の確立	疲労強度特性に影響を及ぼす因子の評価および溶接プロセスの評価 マグネシウム合金構体の疲労最適設計法の指針	母材および溶接材の疲労破壊原因を明らかにし、疲労強度が破壊力学的に評価可能であることを示した。母材および溶接材の基礎的な疲労強度特性および破壊力学的評価に必要な特性を明らかにした。	○	
⑥破壊靱性特性の評価法の確立	難燃性マグネシウム合金の破壊メカニズムを理解し溶接・接合継ぎ手材の靱性評価に適応	結晶粒サイズと分散粒子サイズの異なる難燃性マグネシウム合金を独自創製した母材と接合継手の破壊靱性値取得に成功した。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

次に第二中間目標の達成可能性を表Ⅲ-2.3.6-3 にまとめて示す。

表Ⅲ-2.3.6-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
①接合技術の確立	平成 27 年度末の中間目標を試験片レベルでクリアすることに成功している。	・各種接合法の長所短所を把握して継手形状などの適材適所の接合法への適用を明確にする。	各接合法で明らかとなった課題を解決する必要があるが、使い分けを行うことで実製品への適用は可能と考えられる。
②疲労特性評価法の確立	平成 27 年度末の中間目標を試験片レベルでクリアすることに成功している。	母材および各種接合法で作製される継手を実構造物へ適用するため、破壊力学に基づいた評価・設計手法を構築する	合金開発との連携により、各種データを取得・整理することにより手法構築は可能である。
③破壊靱性特性評価法の確立	平成 27 年度末の中間目標を試験片レベルでクリアすることに成功している。	母材および各種接合法で実構造物へ適用できる破壊靱性特性評価手法を構築する	合金開発との連携により、各種のデータ取得を整理することにより手法構築は可能である。

### (3)研究開発の成果と意義

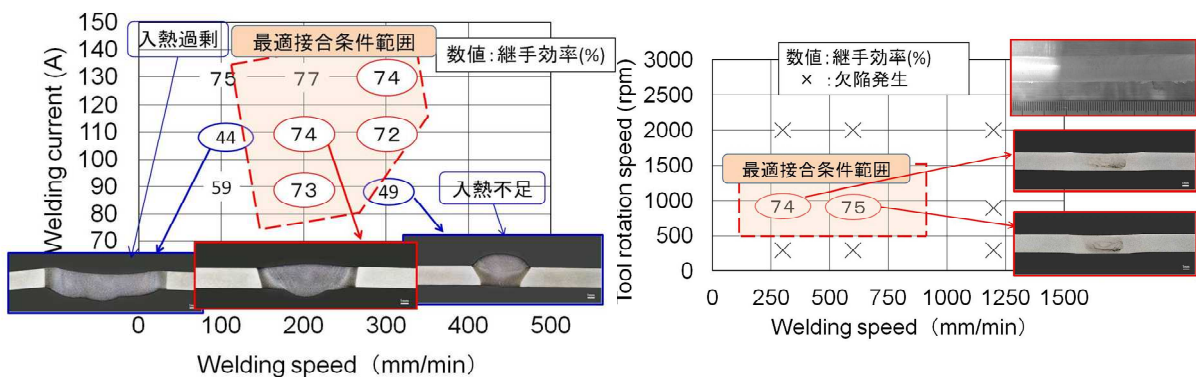
次に、各研究項目の代表的な成果と意義を列記する。

#### 1) マグネシウム合金部材の TIG 溶接技術および FSW 接合技術の確立（横浜金沢分室）

本研究開発では、接合技術そのものが確立されていない難燃性マグネシウム合金AZX612のTIG溶接法およびFSW法について、アルミニウム合金の接合法を基本として、継手の特性に及ぼす施工条件の影響を調査した。その結果、プロセスのパラメータが継手の組織や機械的特性に及ぼす影響を明確にできた。図Ⅲ-2.3.6-3にTIG溶接法およびFSW法による適正接合条件範囲の一例を示す。

左図にTIG溶接法のプロセスウィンドウを示す。電流90A、接合速度300mm/minは今回の実験で最小入熱となり、ビード幅も8mmと小さく、裏波が出ずに溶け込み不良が起きた。電流130A、接合速度100mm/minは今回の最大入熱となり、ビード幅は最大の15mmで余盛り高さが低く裏波が幅広く出る傾向であった。適正条件範囲での接合は良好な継手が得られた。

右図はFSW法において各種接合条件で作製した継手のプロセスウィンドウである。ツール回転数300 rpmおよび、600 rpm-1200 mm/minでは、入熱不足による溝状欠陥が発生した。900 rpmにおいて、300, 600 mm/minで良好なビード外観が得られており、ツール回転数を2000 rpmまで上昇させると入熱過剰のためにバリが多量に発生し、塑性流動異常により溝状の連続した欠陥が生じた。すなわち、適正接合条件範囲は図内の赤枠に示す範囲であることがわかった。



図Ⅲ-2.3.6-3 TIG 溶接法および FSW 法による適正接合条件範囲

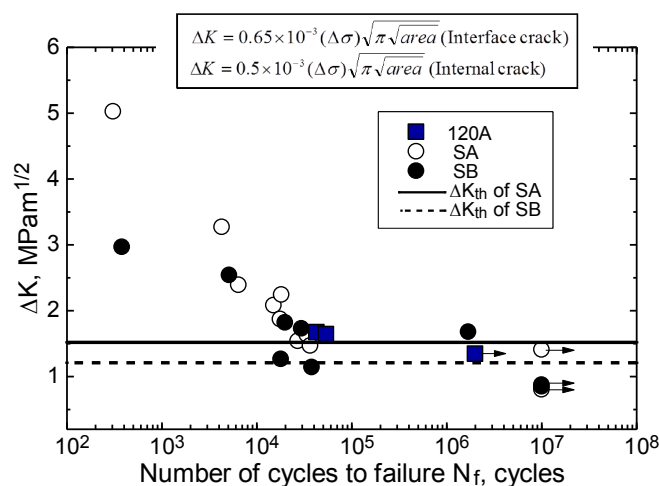
#### 2) マグネシウム合金溶接継手の組織因子が疲労特性に及ぼす影響の解明と継手疲労強度に対する溶接プロセスの評価（再委託研究機関 1）

AZX612 マグネシウム合金押出材の母材および TIG 溶接継手を供試材として疲労強度試験および疲労き裂伝ば試験を行った。

疲労試験の結果、溶接継手試験片は母材試験片と比較して低い疲労強度を示した。また、溶接継手の疲労寿命にはばらつきが認められた。疲労破壊起点を調査した結果、母材では Al-Mn 系および Ca 系の介在物が認められた。他方、溶接継手材では溶接欠

陥が認められた。溶接継手の疲労寿命のばらつきは、破壊起点となった溶接欠陥寸法のばらつきに起因していると考えられる。

疲労き裂伝ば試験の結果、溶接継手材の方が母材と比較してき裂伝ば抵抗が高かった。き裂伝ば抵抗の相違は、主に、母材と溶接継手材の有するき裂開閉口挙動の相違に起因すると考えられる。溶接継手材および母材のいずれも、溶接欠陥寸法および介在物寸法と応力拡大係数範囲により疲労寿命を整理することができた。溶接材についての例を図Ⅲ-2.3.6-4に示す。ここで、120A、SA および SB は、それぞれ TIG 溶接継手の施工団体の違いを示す。溶接継手材の溶接欠陥寸法は母材の介在物と比較して大きい、溶接継手材の下限界応力拡大係数は母材よりも高い値を示した。



図Ⅲ-2.3.6-4 溶接欠陥寸法から求められる応力拡大係数範囲による疲労寿命の整理

### 3) マグネシウム合金部材の MIG 溶接技術の確立（再委託研究機関 2）

平成 26 年度は、直径  $\phi 50$  mm の AZX612 合金ビレットを出発材料として、極細径、高精度そして長尺の AZX612 合金 MIG 溶接用ワイヤを創製した。この過程を通して、加工速度等のパラメータがワイヤ形状に及ぼす影響等を考慮して最適加工プロセスを決めた。また、MIG 溶接継ぎ手の疲労特性等の評価を大学と連携して実施し、MIG 溶接継手の信頼性を最適化するための技術開発も進めた。MIG 溶接の適正接合条件を図Ⅲ-2.3.6-5に示す。

次に、マグネシウム合金の溶融滴下が大きい特性を補完する機能を探索するため、レーザ MIG 溶接のプロセス因子がレーザ MIG 溶接性に及ぼす影響を系統的に明らかにした。表裏ビードの外観評価では、MIG 溶接単独では溶接速度  $700\text{mm}/\text{min}$  が限界であったが、レーザと組み合わせることにより母材を予熱できるので、溶接速度が  $2000\text{mm}/\text{min}$  で安定した施工を行えることを確認した。

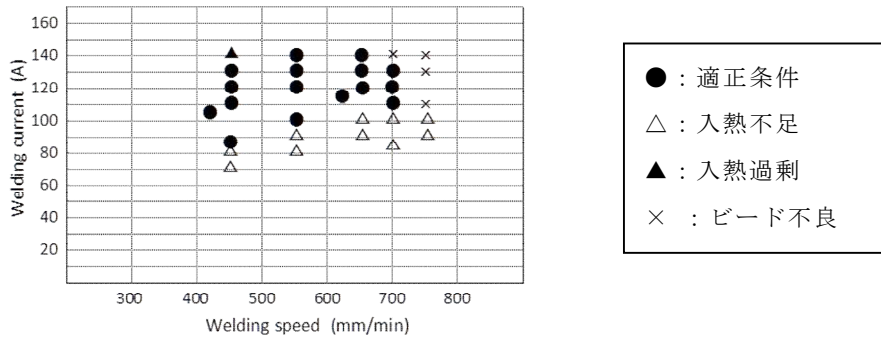


図 III-2.3.6-5 MIG 溶接法の適正接合条件範囲

4) マグネシウム合金の MIG 溶接のプロセス因子が継手の特性に及ぼす影響の解明 (再委託研究機関 3)

AZX612 マグネシウム合金における、MIG 溶接のプロセス因子が継手の微細組織と機械的性質に及ぼす影響について検討した結果、優れた溶接継手強度は低入熱量域にて得られることが明らかになった。これは、形成される欠陥の種類および大きさによるものである。疲労試験を行った結果、MIG 溶接においても 35MPa 以上の疲労強度が得られ、鉄道車両への応用可能であることが示された。溶加材に AZX912 を用いて MIG 溶接を行ったところ、平均継手強度が 10%程度上昇した。溶融部の固溶強化により高強度化したと考えられ、固溶強化元素を添加した溶加材を用いることが有効であることが明らかになった。車両メーカーにおける MIG 溶接を実施した結果、得られた溶接継手強度は 70%を超えるものであり、ミクロ組織についてもラボレベルで実施した MIG 溶接継手とほとんど変化がなかった。ラボレベルでの溶接条件の最適化が、概ね実用レベルに適用可能であることが分かった。継手効率と入熱量の関係を図 III-2.3.6-6 に示す。

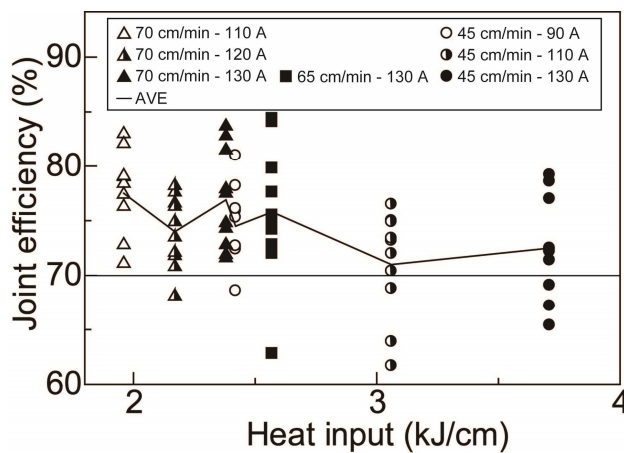


図 III-2.3.6-6 継手効率に及ぼす入熱量の影響

5) マグネシウム合金溶接継手の構造因子が疲労特性に及ぼす影響の解明（再委託研究機関 4）

マグネシウム合金構造体には必ず存在するきずが疲労特性に及ぼす影響を定量的に評価するため、強度の異なる 3 種類のマグネシウム合金と炭素鋼 S10C の焼鈍した材料に種々の寸法の微小き裂を導入した試験片を作製した。そしてそれらを用いて回転曲げ疲労試験を行い、それぞれの材料の下限界応力拡大係数幅  $\Delta K_{th}$  を測定した（図 III-2.3.6-7）。そしてマグネシウム合金の微小き裂材に関して、 $\Delta K_{eff, th}$  の特性を考慮した  $\Delta K_{th}$  および疲労限度の簡単な予測式を提案した。それらの予測式を用いた際の誤差は 20% 程度であることを確認した。

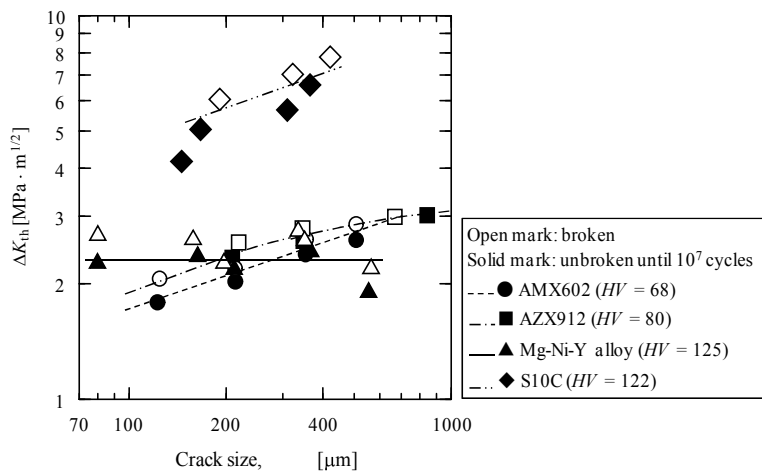


図 III-2.3.6-7 各種金属材料のき裂サイズと下限界応力拡大係数幅  $\Delta K_{th}$  の関係

6) マグネシウム合金溶接継手の組織因子が破壊靱性に及ぼす影響の解明（再委託研究機関 5、6）

押出温度や熱処理温度を制御して、結晶粒サイズや第二相粒子の分布の異なる難燃性マグネシウム合金（AZX612 合金）押出材を作製し、作製した試料の破壊特性を調査した結果を図 III-2.3.6-8 に示す。作製した試料の靱性試験後の破面を調査した結果、粗大な粒径を有する試料にのみ双晶変形に起因する破断面が観察された。一連の調査より、結晶粒径や第 2 相粒子の分布の変化が AZX612 合金押出材の破壊メカニズムに有意の影響を及ぼすことを明らかにした。

さらに、トンネル進入時に発生する衝撃荷重に対する、素材の粘り強さを検討するため、AZX612 合金押出材の高速変形応答を評価した。ここでは、ホプキンソン棒法を用いて、AZX612 合金押出材に衝撃圧縮荷重を印加した際の変形特性を調査した。その結果、衝撃荷重の作用に対して、「変形応力の増加、破断ひずみの増加が確認され、高速変形に対して粘り強くなる可能性が示差された（図 III-2.3.6-9）。



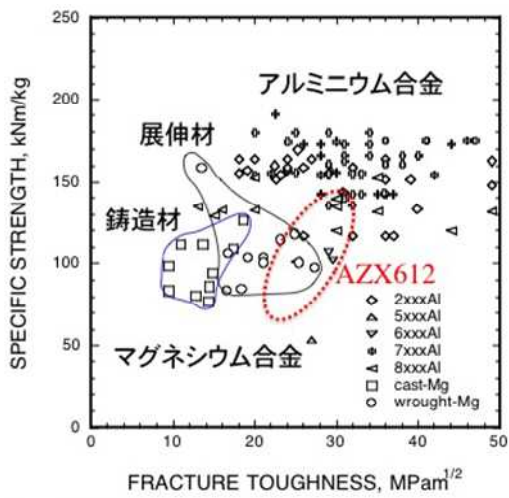


図 III-2.3.6-8 創製した難燃性マグネシウム合金の靱性値

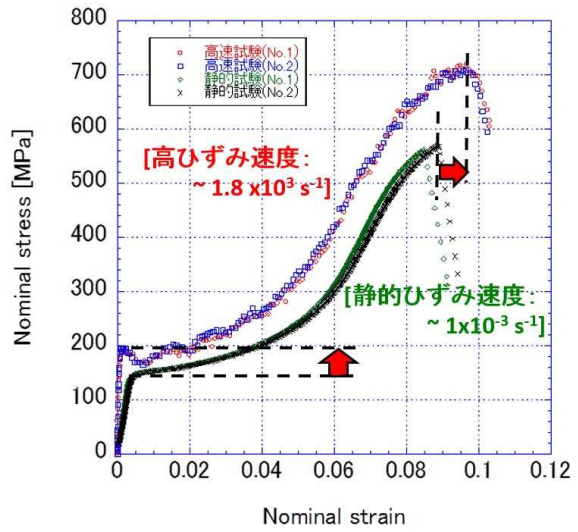


図 III-2.3.6-9 AZX612 合金の静的ひずみ速度と高ひずみ速度での圧縮変形挙動

7) マグネシウム合金のブローホール形成に及ぼす接合プロセスおよびプロセス条件の影響の解明 (再委託研究機関 7)

難燃性マグネシウム合金の交流 TIG アーク溶接の周波数が継手の機械的特性や組織に及ぼす影響を調査した結果、ブローホールの残存を抑制できることがわかった (図 III-2.3.6-10 参照)。結晶方位の解析などから、ここで観察された双晶は溶接変形による双晶の可能性があると明らかとなった。

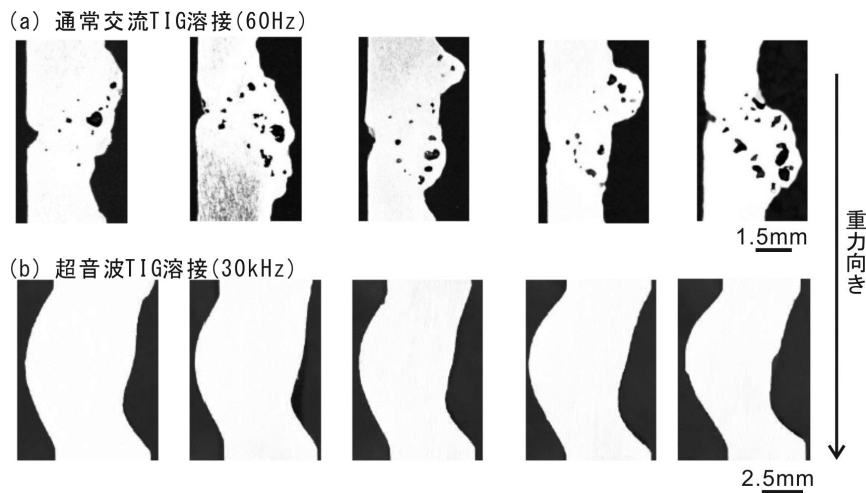


図 III-2.3.6-10 通常 TIG 溶接と超音波 TIG 溶接の横断面

8) 摩擦攪拌接合 (FSW) による難燃性マグネシウム合金の接合条件の最適化 (再委託研究機関 8)

難燃性マグネシウム合金に対し摩擦攪拌接合を接合速度 10mm/s~50mm/s、接合ツール回転数 1000rpm~3000rpm の範囲で部材固定クランプ方法による継手に及ぼす影響を検討し、難燃性マグネシウム合金に関する系統的な摩擦攪拌接合条件データを蓄積した。また、攪拌部での機械的特性および組織状態を引張試験、EBSD 等で評価した。

その結果、摩擦攪拌接合条件が接合時の拘束条件に影響することが確認された。接合速度 50mm/s での接合も可能であることが確認され、接合強度は母材と比べ約 80% を示した。

摩擦攪拌接合部では歪速度依存性、面内異方性が確認された。これらは、マグネシウムに発達しやすい底面集合組織が影響していることが考えられ、引張方向によっては底面集合組織が起因し耐力の大きな低下が確認された。

9) マグネシウム合金接合部の非破壊評価技術の開発 (再委託研究機関 9)

難燃性マグネシウム合金の接合プロセスを確立するためには、より多くのインプロセス情報を入手するための非破壊評価法によるモニタリングが有用であるが、具体的な報告例は少ない。そこで、アコースティック・エミッション (AE) 計測システム Continuous Wave Memory (CWM) を改良したものを利用し、リアルタイムに接合欠陥を検出できる技術の開発を目指す。摩擦攪拌接合 (FSW) と TIG 溶接について高精度に AE 事象を検出し、欠陥を識別することを目指して研究を行った。その結果、FSW、TIG 溶接とも良好な接合では AE 事象が検出されず、欠陥発生時のみ AE 事象が検出されることが分かった。図 III-2.3.6-11 に、TIG 溶接における接合不良が見られた場合の AE の位置標定結果・表面写真・X 線透過写真の一例を示す。このように欠陥の種類は、接合位置と AE 事象の検出時刻および位置との関係から推定することができた。

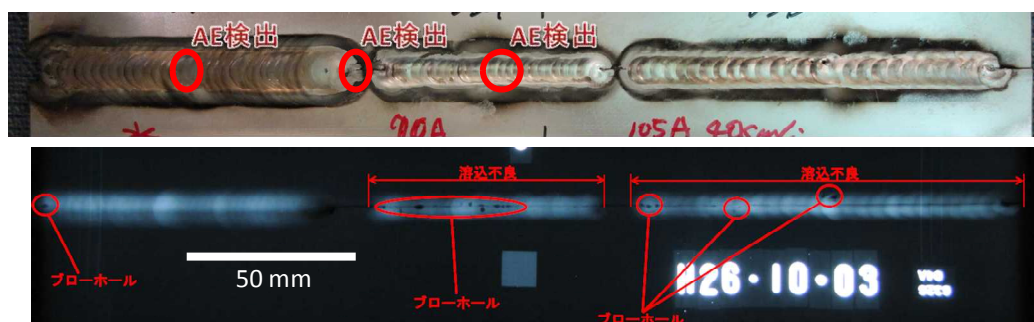


図 III-2.3.6-11 TIG 溶接における AE モニタリング結果と接合不良の位置



(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.3.6-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	8	8	0	0	0	0	1
合計	0	0	8	2	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.3.6-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

（参考文献）

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成26年度第一回講演会資料（2014年4月30日 名古屋）
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.
- 4) 鉄道車両工業会ホームページ資料
- 5) 日本自動車工業会ホームページ資料
- 6) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 7) 日本マグネシウム協会ホームページ資料

## 2.4 テーマ4「革新的チタン材の開発」

### 2.4.1 [テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発

#### 2.4.1.1 テーマの概要

##### (1)背景と目的

世界的に需要拡大が確実視される、航空機等輸送機器、並びにインフラ・エネルギー分野に向け、部材の軽量化と抜本的低コスト化によるチタン材の適用拡大を狙い、スクラップ等の低廉チタン原料を活用可能とする溶解脱酸技術と、チタン材一貫製造プロセス技術開発、および強度と加工性に優れたチタン材の開発を目的とする。

##### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.4.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
1. チタン低廉原料の溶解脱酸技術の開発	脱酸溶解手法の抽出 (酸素濃度：300ppm 以下)	左記を実現する実機プロセスの技術課題明確化。	脱酸後の酸素濃度 300ppm 以下、処理速度 500kg/時間以上を実現する量産設備仕様・制御条件の提示。	原料費コスト 25%削減効果に相当。
2. 一貫製造プロセス技術の開発と強度・加工性に優れたチタン材の開発	一貫製造プロセスと、現行材比で強度 20%向上させる材料コンセプトのラボレベルでの抽出。	一貫製造プロセスと、現行材比で強度 20%向上させる材料を量産実現するための課題抽出。	量産相当プロセスにて、以下性能を検証する。 ・引張強度：現行材より 20%向上 ・疲労強度：現行材より 15%向上 ・成形速度：現行より 10 倍向上	製造コスト低減と、ユーザーニーズに応える性能差別化。

##### (3)全体計画

###### 第 1 期 (平成 25 年度～27 年度)

一貫製造プロセス開発に必要な技術課題に対して、ラボレベルの検討にて解決コンセプトを抽出する

###### 第 2 期 (平成 28 年度～29 年度)

ラボ実験による実機化への課題抽出

###### 第 3～4 期 (平成 30 年度～34 年度)

実機想定プロセスでの検証

##### (4)実施体制

神戸製鋼所に 12 研究室の再委託先を加えた体制で研究を推進している。

## (5) 運営管理

数ヶ月に1度の頻度で再委託先と打ち合わせを行い、研究の方向性の共有化に努めることで、効果的な研究推進を図っている。

## (6) 実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

一貫製造プロセス開発により、国際競争力に優れる低コストで高性能なチタン材を製造でき、引き続き拡大が確実視されるチタン需要を取り込み、日本のプレゼンスを拡大できる。

### 2.4.1.2 研究開発成果

#### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.4.1-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
1. チタン低廉原料の溶解脱酸技術の開発	脱酸溶解手法の抽出（酸素濃度：300ppm以下）	スクラップやチタン鉱石等の低廉原料を模擬した初期酸素濃度の原料を300ppmw（目標値以下）以下に脱酸できる世界初の溶解脱酸技術をラボ実験にて検証した。	○	
2. 一貫製造プロセス技術の開発と強度・加工性に優れたチタン材の開発	現行材比で強度20%向上させるラボレベルでのコンセプトの抽出。	一貫製造プロセスのコンセプトを抽出すると共に、現行材比で強度20%向上させる材料コンセプトをラボ実験の結果から抽出した。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.4.1-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
1. チタン低廉原料の溶解脱酸技術の開発	低廉原料であるスクラップやチタン鉱石利用を模擬した原料の溶解脱酸技術をラボ実験にて検証済み。今後、量産化への技術課題整理し、最終目標の処理速度を含めた検証を推進する。	左記を実現する実機プロセスの技術課題明確化。	有り。
2. 一貫製造プロセス技術の開発と強度・加工性に優れたチタン材の開発	一貫製造プロセスの可能性検討に必須の解析技術の高度化とモデルの構築を行い、プロセス案を抽出した。更に、高強度高加工性チタン材の開発に関して、新たな材料コンセプトを抽出し、既存ラボ設備による試作評価により、強度20%向上を検証した。 今後、量産プロセス仕様を検討しパイロットプラントにて検証すると共に、量産相当プロセスにて特性の検証を行う。	一貫製造プロセスの量産実現するための課題抽出。	有り。

## (3)研究開発の成果と意義

第1期（平成25年度～27年度）にて、一貫製造プロセス開発に必要な技術課題に対して、ラボレベルの検討にて解決コンセプトを抽出する計画であったが、予定していた中間目標を達成できた（一部達成見込みである）ことが成果である。特に、概ね前倒しでの目標達成でき、第2期（平成28年度～29年度）の検討内容に着手している。本プロジェクトで目指している一貫製造プロセスの実現にて大きな国際競争力を獲得できると確信しており、今後、量産化に向けた検討を継続する意義が大きいと考えている。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.4.1-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	1	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	1	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.4.1-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	9	0	0
合計	9	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.4.2[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発

### 2.4.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車等の輸送機器の燃費改善には、エンジンを始めとした動力機関の効率向上とともに、輸送機器の軽量化が重要な取り組み課題の一つである。チタン材は、現在自動車に主に使用されている鋼材に比べ、密度が小さく比強度に優れているため、チタン材を有効に活用することにより輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減ができると期待されている。しかしながら、チタン材は、鋼材に比べて複雑で非常に多くの工程によって製造されているために高価であることから、航空機分野では多用されているものの、自動車等の陸上輸送機器への適用は限定的である。

チタン材の利用を促進するためには、チタン製錬やチタン展伸材製造プロセスの生産性向上が必要となる。これら課題に対処する技術として、チタン鉱石から得られる最初の金属チタンであるスポンジチタンから薄板を製造する工程を革新的に短縮を図る「高効率チタン薄板製造技術開発」および、チタン鉱石を現行クロール法とは異なる新しい製錬技術により金属チタン化する「チタン新製錬技術開発」を行う。これらの技術開発により、チタン薄板を低コストで製造できる製造工程の確立を目指す。

#### (2)位置付け、目標値

##### 【第1期目標（平成27年度末）】

「高効率チタン薄板製造技術開発」では、実験室規模の試験を行い、基本設計指針の確認および検証を行う。その際、第2期で実施する工業化に必要な要素技術の検討に向け、小型の試験材を用いて効率的に課題を抽出する。この検討の成果として、実験室規模で冷間圧延まで行い作製した冷間圧延板の無欠陥率99%以上（空隙率1%以下）を目標とする。

「チタン新製錬技術開発」では、本研究開発は、チタン製錬法ないし新製錬法の実用化を促進する可能性のある基盤シーズ探索として、4課題の研究を、共同研究先として各々4機関と実施する。その結果を、チタン製錬メーカーを含めたアドバイザーボードにて評価を行い、工業化のための技術課題明確化、技術シーズの絞り込み、組み合わせ等を検討し、平成28年度以降の進め方を決定する。

将来の工業化を検討するに足る目標値として、鉄含有値：2000ppm以下、酸素含有値：1000ppm以下を、ラボスケールで検証することを目標とする。

##### 【第2期目標（平成29年度末）】

「高効率チタン薄板製造技術開発」では、実験室規模の試験にて、試験材の成分を検討して、冷間圧延まで行い、高機能化チタン薄板を試作する。この検討の成果として、薄板の引張強度・延性のバランスを現行材より20%向上させることを目標とする。

さらに、平成27年度までに実験室規模での試験で得られた成果をもとに、工業化に必要な要素技術の検討を行う。この検討の成果として、工業的に薄板を製造するプロセスを提案することを目標とする。

「チタン新製錬技術開発」では、平成27年度までの結果を受けてチタン製錬メー

カーを含めたアドバイザリーボード等の議論を経て決定される方針に従い、工業化の可能性があると判断された技術シーズないし要素技術の組み合わせ技術の研究開発を、再度大学と共同研究するとともに、チタン製錬メーカーを含めたアドバイザリーボード等で議論し、有望シーズ技術の実用化に向けた課題検討を行い、製錬プロセス設計指針を提案することを目標とする。

**【最終目標（平成 34 年度末）】**

「高効率チタン薄板製造技術開発」では、最終的には実操業規模での大型薄板コイルを試作し、実用化に向けた検討を行う。実機試験による検証を行いながら、低コスト製造技術確立のために最適な設備設計を行う。これらの検討の成果として、薄板の無欠陥率 99.8%以上（空隙率 0.2%以下）、現行プロセスに比べて薄板製造のリードタイムを減少させることを目標とする。

また、本プロセスの特徴を活かした高機能チタン薄板を提案する。この検討の成果として、薄板の引張強度・延性のバランスを現行材より 30%向上させることを目標とする。

「チタン新製錬技術開発」では、必要な要素技術は大学との共同研究を行うとともに、製錬メーカーを中心に産業界側で、工業化にむけた基盤技術検討（課題抽出と解決策の検討）、実機化検討（含 エンジニアリング検討）、パイロットライン（PL）による検証（含 設備設計、コスト検討）を実施する。

これらの検討の結果として、工業化が可能と判断される下記の最終目標を設定する。

- ・鉄含有値：2000ppm 以下
- ・酸素含有値：1000ppm 以下
- ・コスト：現行クロール法より 20%削減

表Ⅲ-2.4.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
高効率チタン薄板製造技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実験室規模で試作した冷間圧延板の無欠陥率 99%以上（空隙率 1%以下）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 高機能化チタン薄板を試作し、引張強度・延性バランスを現行材より 20%向上</li> <li>・ 工業的に薄板を製造するプロセスの提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 実機規模の試作試験を行い、冷間圧延薄板の無欠陥率 99.8%以上（空隙率 0.2%以下）、現行プロセスに比べて薄板製造のリードタイムを減少</li> <li>・ 高機能チタン薄板として、引張強度・延性バランスを現行材より 30%向上。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 引張特性に悪影響しない無欠陥率（空隙率）</li> <li>・ 海外顧客への納品輸送期間に相当する工期が短縮でき、対海外メーカー競争力を確保できる</li> <li>・ JIS2 種(高強度)材で JIS1 種材なみの成形加工が可能で、高強度要求製品を従来の成形加工方法で成形できる</li> </ul>
チタン新製錬技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ アドバイザリーボードにて評価を行い、工業化のための技術課題の明確化、施術シーズの絞り込み、組合せ等を検討</li> <li>・ 実験室規模で、鉄含有率 2000ppm 以下、酸素含有率 1000ppm 以下</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 有望シーズ技術の実用化にむけた課題検討を行い、製錬プロセス設計指針を提案</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 工業化に向けた基盤技術検討、実機化検討、パイロットラインによる検証を行う</li> <li>・ 鉄含有率 2000ppm 以下、酸素含有率 1000ppm 以下で、コストが現行クロール法より 20%削減</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ チタン薄板を製造可能な鉄、酸素含有率</li> <li>・ 為替レートによらず、海外メーカーとのコスト競争に勝てるコスト安定性が確保できる</li> </ul>



### (3)全体計画

複雑で高コスト要因となっているチタン薄板製造工程を革新的に改良し、チタンの利用促進に寄与する、チタン精練～チタン材製造プロセスの生産性向上技術ならびに、さらなるチタン材の高機能化を達成する技術を開発する。

「高効率チタン薄板製造技術開発」では、初期の3年間（平成25～27年度）は現行チタンスポンジを用いて、基本設計指針の確認およびラボ検証を行う。その後、工業化に必要な要素技術の検討を実施する。さらに、後半の6年目（平成30年度）以降では、大型薄板コイルの製造から実用化に向けた検討を行う。実機試験による検証、最適設備設計による低コスト製品特性付与技術の確立、実機製品の試作とコスト実証を実施する。

また、平成28年度からは、本プロセスの特徴を活かした高機能材の開発も実験室規模で推進し、引張強度・延性バランスを向上させた高機能チタン板を提案する。

「チタン新製錬技術開発」では、国内最先端のチタン製錬研究者を中心に、新製錬法ないし新製錬法の実用化を促進する可能性のある基盤シーズ探索を、まず3年間（平成25～27年度）実施する。

これらの結果をチタン製錬メーカーを含めたアドバイザリーボードにて評価を行い、工業化のための技術課題の明確化、技術シーズの絞り込み、組み合わせ等を検討し、平成28年度以降の進め方を決定する。すなわち、平成28年度以降は、可能性がある判断された有望技術について基盤強化の研究開発を実施するとともに、平成30年度以降は、製錬メーカーを中心に産業界側で、工業化に向けた基盤技術・実用化に向けた課題検討を実施する。

### (4)実施体制

新構造材料技術研究組合（ISMA）の富津分室として、新日鐵住金株式会社が主導して実施する。

### (5)運営管理

主たる研究実施場所である新構造材料技術研究組合（ISMA）の富津分室に、業務管理者および経理責任者を配置して、研究開発業務を適切に運営する。

再委託先とは少なくとも半年に1回、研究進捗打合せを行う。

### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

革新的に工程短縮を図る「高効率チタン薄板製造技術開発」および、チタン鉱石を現行クロール法とは異なる新しい製錬技術により金属チタン化する「チタン新製錬技術開発」により、チタン薄板を低コストで製造できる。さらに、本プロセスの特徴を活かして引張強度・延性バランスを向上させた従来にない高機能チタン板が得られる。

これらにより、品質特性を向上しつつある海外製チタン薄板に対し、十分競争力のある、低コストで強度・延性バランスの優れたチタン薄板の製造が可能になる。

本研究開発の対象市場は、耐食性が主な要求特性である用途（板式熱交換器、電力、化学向け等）や高価ゆえに活用が進まなかった用途（自動車向け（足回り、マフラー

等)、民生品)である。また、現行のチタン市場の置き換えではなく、新たなメガ市場を創出することも期待される。

## 2.4.2.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

平成 27 年度末の第一中間目標に対する達成度を表Ⅲ-2.4.2-2 に示す。

表Ⅲ-2.4.2-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
高効率チタン薄板 製造技術開発	実験室規模で試作 した冷間圧延板の 無欠陥率 99%以上 (空隙率 1%以下)	実験室規模で試作した冷 間圧延板の無欠陥率 99.8%以上(空隙率 0.2%以下)	◎	
チタン新製錬技術 開発	アドバイザー ボードにて評価を 行い、工業化のた めの技術課題の明 確化、技術シーズ の絞り込み、組合 せ等を検討。 実験室規模で、鉄 含有率 2000ppm 以 下、酸素含有率 1000ppm 以下。	実験室規模で、2 価チタ ンイオンを含む熔融塩か ら電析して得られたチタ ンの酸素含有率 70ppm、 鉄含有率 50ppm 未満。 アドバイザーボードに て技術課題を明確化。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

「高効率チタン薄板製造技術開発」は、現行のスポンジチタンを出発原料として、実験室規模の大きさの試験材（開発試験材）を種々の条件の一連の薄板製造工程にて作製し、試作した薄板の評価を行った。試験材は、取り扱いやすさを考慮して、重量が 3～4kg の大きさとなるように試作した。試験材は、加熱後速やかに熱間圧延を施して厚さ 5.5mm の薄板を、さらに、冷間で圧延加工して厚さ 0.5mm の薄板を試作した。得られた薄板は、断面のマイクロ組織観察および引張試験を行った。比較として、現行製造工程と同様の工程で試作した試験材（現行試験材）も合わせて調査した。

薄板の断面マイクロ組織を観察した結果、現行試験材には認められない欠陥が、いずれの開発試験材にも見つかった。しかし、その量は 0.2%以下とわずかであり（表Ⅲ-2.4.2-3）、第一中間目標（無欠陥率 99%以上（空隙率 1%以下））を達成することができた。

薄板を引張試験した結果、開発試験材の 0.2%耐力、引張強度および伸びのいずれ

も、現行試験材と同等の値であった（表Ⅲ-2.4.2-3）。また、開発試験材の試作条件の影響も認められなかった。ただし、試作条件や上記の欠陥の量とは無関係に、一部で伸びがやや低い開発試験材があった。この原因はまだ明確ではないが、上記の欠陥の影響ではなく別の要因があると考えられる。

以上のように、今年度の実験室規模の試験から、第一中間目標を達成するマイクロ組織が得られ、引張特性も現行工程材と同等であることがわかり、本開発プロセスの妥当性を確認できた。一方で、本開発プロセスの課題も明らかにできた。

表Ⅲ-2.4.2-3 実機規模の試作試験で得られた薄板の特性

厚さ	5.5mm	0.5mm
無欠陥組織率	99.9%	99.8%
0.2%耐力	130MPa	150MPa
引張強度	270MPa	320MPa
伸び	57%	45%

「チタン新製錬技術開発」では、実験室規模のチタン製錬技術開発検討を行った。

2価チタンイオンを含む塩からのチタンの電析技術の研究開発では、塩との分離を容易にして高純度のチタンを得るため、表面が平滑な電析物が得られる条件を探索した。チタンイオン源として  $TiCl_2$  を添加した  $NaCl-KCl$  等モル塩浴を  $700^{\circ}C$  に保持し、パルス電流を用いてチタンの電解析出を行なった。参照極と対極にはチタン板を用い、作用極には6種の材料を各々用いて、電析チタンの形態を評価した。作用極に用いる材料を選択することで、表面が平滑な平均膜厚  $200\mu m$  超のチタン膜が得られた。また、電析チタンの酸素濃度は  $0.007mass\%$  ( $70ppm$ )、鉄濃度は  $0.005mass\%$  ( $50ppm$ ) と極めて高純度であった。

酸化物還元原料の  $CaTiO_3$  を鉍石から製造する技術の研究開発では、イルメナイト鉍石から中間原料  $CaTiO_3$  を製造する方法の検討と、 $CaTiO_3$  を還元して金属チタンを製造する条件の検討を行った。前者は  $Fe$  の選択除去により  $2000ppm$  以下まで低減可能なプロセスを見出した。後者は、 $CaCl_2-CaO$  電解浴を用いて、原料粉末粒度、カソード電極形状等の効果を検討し、より短時間で少ない通電量で還元が進行する条件を探索した。

高温溶融塩を用いた液体  $Ti$  電解製造技術の研究開発では、フッ化物系溶融塩を用いて最適なチタン電析条件を検討した。 $1100\sim 1500^{\circ}C$  の  $CaF_2-MgF_2-CaO-TiO_2$  電解浴を用いて  $TiO_2$  の還元反応を電気化学測定により解析し、 $Ti_2O_7^{6-}$  のような  $Ti$  の2核錯イオンの形成が  $Ti$  電析には必要であるものと考えられた。さらに、チタン融点

( $1668^{\circ}C$ ) 以上の  $1700^{\circ}C$  で、 $CaF_2-CaO-TiO_2$  電解浴を用いて定電位電解を行った。ま

た、実験室規模では窒化ホウ素（BN）が容器材料に使えることを確認した。

チタン製造技術へのマイクロ波活用技術の研究開発では、チタン酸化物からの酸素放出挙動をマイクロ波照射下で測定可能な装置を構築し、マイクロ波周波数が高いほど放出酸素量が増加することを確認した。

上記の各基盤技術シーズについて、チタン製錬メーカーおよび学識者を含めたアドバイザリーボードを開催し、技術課題を整理し研究開発の進め方を検討した。

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.4.2-4 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
高効率チタン薄板製造技術開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・実験室規模で試作した冷間圧延板の無欠陥率 99.8%以上（空隙率 1%以下）。</li> <li>・引張強度・延性バランスは現行材と同等。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高機能化チタン薄板を試作し、引張強度・延性バランスを現行材より 20%向上</li> <li>・工業的に薄板を製造するプロセスの提案</li> </ul>	<p>これまでの実験室規模の試験より、基本的なプロセスの妥当性を確認済み。今後、適正な材料組合せの選択により、引張強度-延性バランスの改善は達成できる見通し。</p> <p>欠陥の抑制については最終目標をほぼ達成。より大型のラボ試験により、工業化の際の課題を抽出しその対策を進めることで、第二中間目標は達成できる見通し。</p>
チタン新製錬技術開発	<p>実験室規模で、2 価チタンイオンを含む熔融塩から電析して得られたチタンの酸素含有率 70ppm、鉄含有率 50ppm 未満。</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・有望シーズ技術の実用化にむけた課題検討を行い、製錬プロセス設計指針を提案</li> </ul>	<p>熔融塩電解によるチタン製錬で鉄含有率 2000ppm 以下、酸素含有率 1000ppm 以下を達成できる基本プロセスをラボ試験で確認済み。今後、さらに他シーズとの組合せも検討することで、第二中間目標は達成できる見通し。</p>

### (3)研究開発の成果と意義

チタン鉱石から得られる最初の金属チタンであるスポンジチタンを溶解して鋳塊とした後、鍛造、圧延してチタン薄板を製造する複雑な現行プロセスに対して、新しい製錬方法で金属チタンを得ることや、革新的に工程短縮を図ることにより、チタン薄板を低コストで製造することができる。さらに、本プロセスの特徴である素材の組合せを適正化することにより、強度・延性バランスの向上等、高機能なチタン薄板も製造することができる。

本開発によって得られるこれらの成果により、これまで高コストがゆえに採用されていなかった自動車等の輸送機器等への適用が拡大し、チタン材の特徴である軽量や高耐食性を活かした燃費改善や長寿命化を図ることができる。

さらに、近年、品質特性を向上しつつある海外製チタン薄板に対し、十分競争力のある、低コストで強度・延性バランスの優れたチタン薄板の製造が可能になり、国際競争力の強化に資する。

### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.4.2-5 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	9	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	9	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.4.2-6 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.4.3 [テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発

### 2.4.3.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

チタン材は、一般的な金属材料と比較して、耐食性や強度が優れているが、高コストが原因で普及が妨げられている。当事業では、チタン製錬やチタン材製造プロセスのコストを低減することで、チタン材の利用を促進し、社会へ貢献することを目的とする。

当テーマでは、現行のスポンジチタン製錬を革新し、高効率化と、高品質化を実現する画期的なチタン製錬技術を開発する。これにより世界中どこでも達成し得ない高品質なスポンジチタンを安定かつ高生産性をもって製造できるようにし、同時に製造コストの低減を実現することを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

スポンジチタンの生産性および品質低下をまねく不純物元素の汚染を低減する技術を開発する。不純物元素の汚染は、現状クロール法の主要な課題であり、かつ製錬工程の高速化を妨げる主要因でもありコストアップにつながる。本研究開発は、この問題点を革新的な手法と大学との協力を得て最先端の技術を導入し、従来にない全く新しい革新的なチタン製錬（還元分離冷却工程）の確立をおこなう。この確立された技術を基に最終的には工業化を目指す。

表Ⅲ-2.4.3-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠	
鉄濃度低減	ばらつき範囲 50-500ppm、平均値 200ppm 以下を達成するための要素技術を開発	最終目標をクリアするための要素技術を集約したパイロットプラントを製作し運転する。	ばらつき範囲 50-500ppm、平均値 200ppm 以下をパイロットプラントにて達成	純チタン中の酸素、鉄濃度は機械的特性に大きく影響を与えるため、そのバラつきは極力小さくすることが市場より求められている。一方で、現状のスポンジチタンの濃度ばらつきより、インゴットにて±20～30%の濃度範囲が許容されているがこれを狭めることに寄与する。また、市場ニーズより、現状以上に酸素、鉄濃度が低い純チタンが求められており(冷間加工性の向上、電子機器向け高純度チタン市場)、スポンジチタンでの酸素、鉄濃度を低下させることによりこのニーズに寄与できる 塩素濃度は MgCl <sub>2</sub> の濃度を意味し、この濃度を低くできれば、スポンジチタン中の水分の吸着量が低下し、インゴット溶解時間の短縮や酸素濃度の低減およびばらつき低下に寄与する。	
酸素濃度低減	ばらつき範囲 100-200ppm、平均値 150ppm 以下を達成するための要素技術を開発		ばらつき範囲 100-200ppm、平均値 150ppm 以下をパイロットプラントにて達成		
塩素濃度低減	平均値 300ppm 以下を達成するための要素技術を開発		平均値 300ppm 以下をパイロットプラントにて達成		
リードタイム短縮	-		30%減をパイロットプラントにて達成		生産性が向上し、下記歩留まり向上と合わせ約 10%程度のコスト低減に繋がると想定する。
歩留まり向上	-		構造材用チタン歩留 92%をパイロットプラントにて達成		92%への歩留まり向上により前記リードタイムの短縮と合わせ約 10%程度のコスト低減に繋がると想定する。

### (3)全体計画

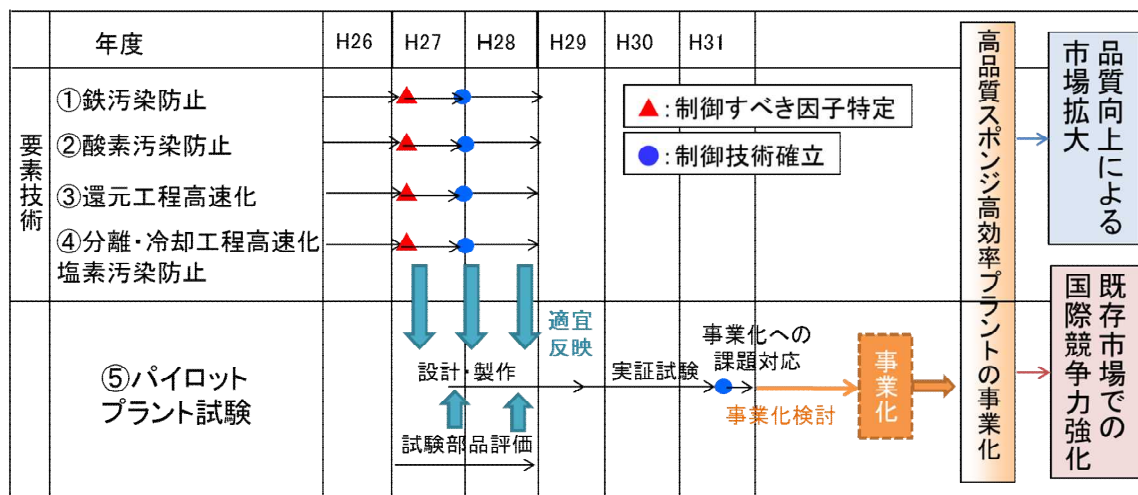
当事業では、現行のスポンジチタン製錬を革新し、高効率化と、高品質化を実現する画期的なチタン製錬技術を開発する。これにより世界中どこでも達成し得ない高品質なスポンジチタンを安定かつ高生産性をもって製造できるようにし、同時に製造コ



ストの低減を図る。具体的な開発は大略5つのサブテーマから成る。①～④の要素技術を個別に開発し、各技術を集約してパイロットプラントという形で具現化し、その効果を実証するものである。(図Ⅲ-2.4.3-1 参照)

①～④の要素技術に関しては、平成27年度末までに制御すべき因子を特定すると共に、その制御技術を確立する。ここで得られた成果は、パイロットプラントの設計に適宜反映する計画である。

⑤のパイロットプラント試験に関しては、平成29年度までに実証試験に着手し、平成31年度には開発を終え、事業化検討に着手する計画である。パイロットプラント製作に向け、平成27年度から試験部品の評価に着手する。



図Ⅲ-2.4.3-1 全体計画アロー図

#### (4)実施体制

開発主担当は茅ヶ崎分室(東邦チタニウム株)であり、要素技術開発の一部を三大学へ再委託する。これらの再委託研究は平成27年度までに完了する計画である。

#### (5)運営管理

技術面に関しては、NEDO、ISMA 技術企画部といった管理機関に対して所定の報告機会がある他、茅ヶ崎分室内では原則週に一度、業務管理者へ研究進捗を報告する場を設けている。

#### (6)実施の効果(費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度)

##### 【費用】

スポンジチタン製造コスト全体の約10%コストダウンを見込む。

これにより世界最高水準の高品質と低コストを同時達成できることとなり、スポンジチタン市場で高い国際競争力を得ることが出来る

##### 【省エネルギー】

約9%の電力削減効果を見込む。

これにより、その他の汎用金属に比べて製造時の消費電力が多いチタンの省エネルギー化に貢献する。



## 2.4.3.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.4.3-2 の通り。

研究開発対象となっている 3 種類の元素汚染防止技術の内、鉄に関しては、すでに十分な汚染低減技術をラボスケールで確立しており、中間目標を達成できた。残る、酸素と塩素については、開発における最大の課題である存在形態解明・汚染機構解明を完了したため、平成 27 年度末までには汚染低減技術をラボスケールで確立する予定であり、中間目標を達成見込みである。

表Ⅲ-2.4.3-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
鉄濃度低減	ばらつき範囲 50-500ppm、平均値 200ppm 以下を達成するための要素技術を開発	目標値を達成できる Fe 汚染低減技術をラボで確立した	○	
酸素濃度低減	ばらつき範囲 100-200ppm、平均値 150ppm 以下を達成するための要素技術を開発	酸素の存在形態を定量的に解明した。 数十 ppm の酸素汚染低減技術をラボで確立した。	△	
塩素濃度低減	平均値 300ppm 以下を達成するための要素技術を開発	これまで不明であった MgCl <sub>2</sub> 分離の律則因子を解明した	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.4.3-3 の通り。全体計画の通り進行中である。

表Ⅲ-2.4.3-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
鉄濃度低減	ラボスケールでの技術確立完了 実機スケールでの実証試験準備中	最終目標をクリアするための要素技術を集約したパイロットプラントを製作し運転する。	全体計画の通り進行中。
酸素濃度低減	存在形態を解明完了。 ラボスケールでの低減技術開発中		
塩素濃度低減	汚染機構を解明完了。 ラボスケールでの低減技術開発中		
リードタイム短縮	反応機構の律則因子を解明完了 反応シミュレーションを開発中。 パイロットプラントの検討開始		
歩留まり向上	(鉄、酸素、塩素濃度の低減技術を開発中)		

### (3)研究開発の成果と意義

要素技術開発サブテーマについて、それぞれ下記の成果が得られた。

#### ①鉄汚染防止

- ・ 溶融マグネシウム中に溶解した鉄がスポンジチタンに移行することが重要な鉄汚染経路であるため、マグネシウムに鉄が溶出する実態、溶解した鉄がチタンに移行する実態について調査を行ない、これを解明した。
- ・ 機構解明結果に基づき、マグネシウムへの鉄溶出防止技術、マグネシウム中の溶解鉄除去技術を開発し、ラボスケールにて、両技術を確立した。

#### ②酸素汚染防止

- ・ スポンジチタン中の酸素が異なる複数の形態で存在していることを確認し、チタン中の酸素の存在形態別の定量化に成功した。
- ・ その内一つの存在形態であるスポンジチタン中  $MgCl_2$  に付随する水分に注目し、この水分由来の酸素濃度を低減する技術を開発し、ラボスケールにて確立した。

#### ③還元工程高速化

- ・ これまでブラックボックスであった還元反応機構を解明するため、詳細な実機データの採取を行ない、反応前期・中期・後期における、それぞれの反応律則因子を解明した。

#### ④分離・冷却工程高速化、塩素汚染防止

- ・ 分離、冷却工程に関して詳細な実機データを採取し、その律則因子や分離対象物である  $MgCl_2$  の分離除去を阻害する因子を解明し、その因子を制御するための条件をラボ実験にて解明した。

### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

後述の通り平成 26 年度末時点で、特許出願を行なった成果は無い。従って、論文・発表等により詳細を公開した成果は無い。

尚、成果の概略については、平成 26 年度 1 月の ISMA 成果報告会にて発表した。

表Ⅲ-2.4.3-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

平成 26 年度末時点までに、特許出願を行なった成果は無いが、平成 27 年度には数件の特許出願を予定している。

表Ⅲ-2.4.3-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

Ⅲ. 研究開発成果について

2. テーマ毎の成果

2.5 テーマ5

「革新炭素繊維基盤技術開発」

2.5.1 テーマの概要

(1) 背景と目的

軽量・高強度の特徴を持つ炭素繊維は、自動車等の輸送機器の材料として利用することにより大幅な燃費向上が可能となる等、低炭素社会の実現に貢献できる画期的な素材であり、今後の大幅な需要拡大が期待されている。しかしながら、現在の炭素繊維の製造プロセスでは、消費エネルギー及びCO2排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。

本テーマは、我が国の炭素繊維の国際優位性を維持し、かつ、国内における炭素繊維の利用産業の競争力強化を図っていくため、環境負荷が少なく、かつ、生産性が大きく向上する新たな炭素繊維製造プロセスの基盤技術の研究開発を実施する。

(2) 位置付け、目標値

現在の炭素繊維製造方法(進藤方式)は、アクリル繊維を空气中高温で耐炎化(焼成)するもので、製造時における消費エネルギー及びCO2排出量はいずれも鉄の約10倍と高い。また、製造装置の除熱効率の限界から生産性もなかなか高められないのが現実であり、これらは大きな課題となっている。今後の自動車の軽量化に向けた普及拡大を考えると、近い将来見込まれる炭素繊維の大量需要に的確に対応していくことが必要である。

本研究開発では、高温長時間の加熱をマイクロ波に代替することなどにより、消費電力及びCO2排出量を半減するとともに、製造速度を向上し生産効率を引き上げる炭素繊維製造プロセスの革新を行う。また、炭素繊維の多機能化を目指した異形状炭素繊維の開発と、製造プロセス等に係わる技術開発を実施する。

表 2.5.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 29 年度末)	根拠
(1)新規炭素繊維前駆体化合物の開発	下記(2)の成果とあわせて、新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体を開発する。 なお、汎用炭素	(2)の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。	同左	耐炎化工程を必要としない新規前駆体を用いて、現行の汎用PAN系炭素繊維と同等以上の特性(引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%)を中間目標として設定した。

公開版

	<p>繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。</p>			
<p>(2)炭化構造形成メカニズムの解明</p>	<p>(1)の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。</p>	<p>(1)の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。</p>	<p>同左</p>	<p>(1)上記前駆体開発と同様に、現行の汎用 PAN 系炭素繊維と同等以上の特性(引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%)を中間目標として設定した。</p>
<p>(3)炭素繊維の評価手法開発、標準化</p>	<p>圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO 化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告(TR)としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前</p>	<p>熱可塑性樹脂と異形状炭素繊維の界面特性を検証し、その特性発現メカニズムを解明することにより、標準的な力学的試験法を確立する。</p>	<p>同左</p>	<p>現在、炭素繊維の材料力学的特性等の評価手法は、引張試験、密度測定試験、直径計測試験が ISO および JIS に標準化されている。一方、炭素繊維が熱可塑性樹脂をマトリックスとする不連続繊維強化複合材料などの補強材として幅広い用途に使用されていくためには、圧縮、ねじり、曲げといった力学特性、熱膨張率、樹脂界面接着性を一定基準の下、評価することが求められ、また評価技術やデータベース等を確立する必要がある。</p>

公開版

	<p>駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント(LCA)に活用するためのデータを収集する。</p>			
--	--	--	--	--

(3) 全体計画

以上の(1)~(3)の研究開発項目に対する全体スケジュール計画を、図 2.5.1-1 に示す。

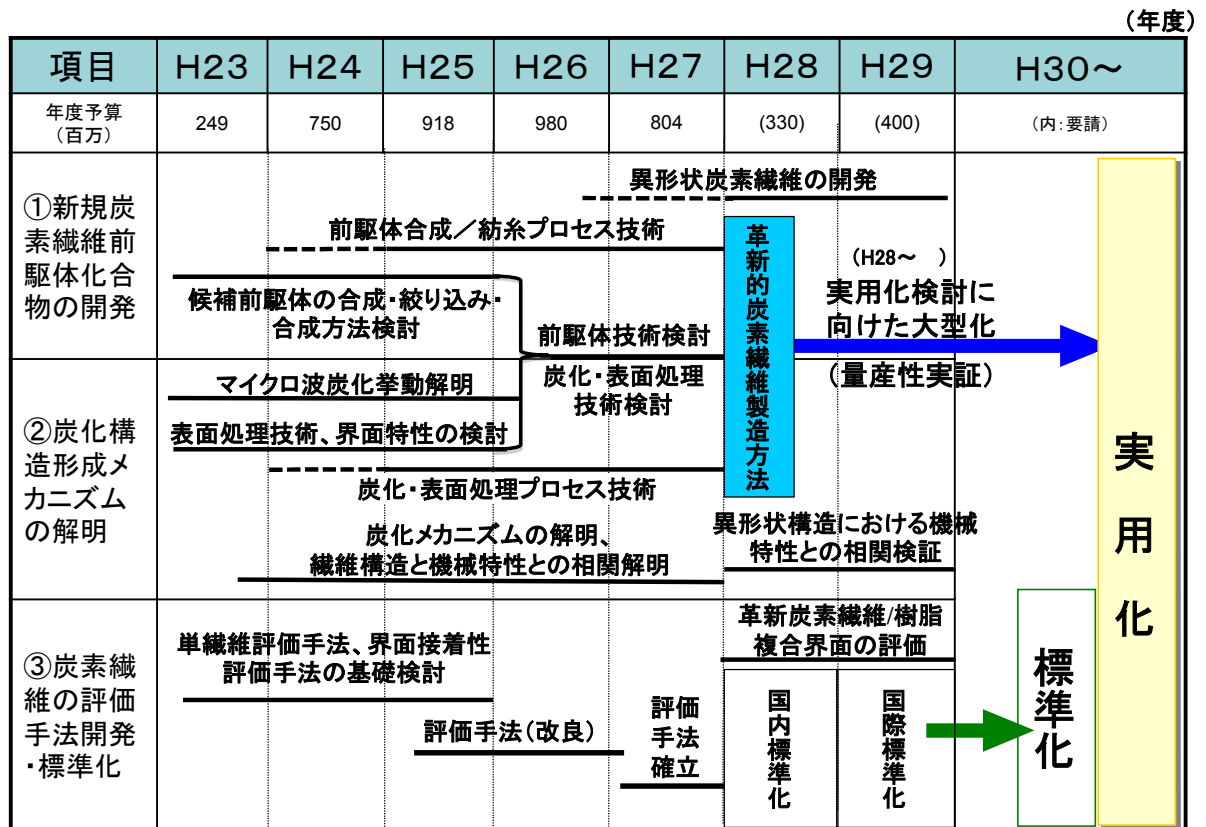


図 2.5.1-1 革新炭素基盤技術開発 全体計画

(4) 実施体制

本プロジェクトの具体的な実施体制を図 2.5.1-2 に示す。NEDO は国立大学法人東京大学と委託契約を締結し、東京大学は産業技術総合研究所、東レ株式会社、東邦テナックス(帝人)、三菱レイヨン株式会社、プラスチック工業連盟、金沢工業大学へ再委託契約を締結している。東京大学影山研究統括および産総研羽鳥 PL の指示・協議のもとプロジェクトを推進する体制を取っている。委託事業では、国立大学法人東京

## 公開版

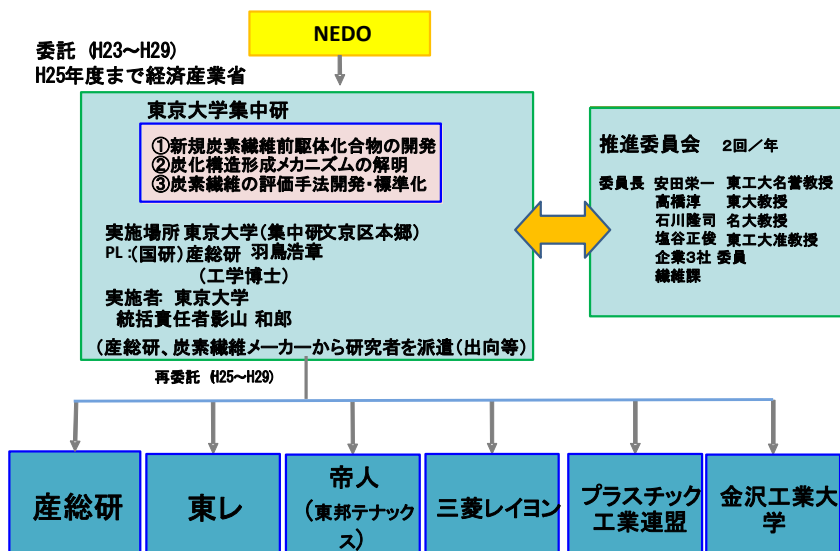
大学内に集中研を設置し、基盤技術である研究開発項目(1)～(3)を実施する。この中で、産総研および東レ株式会社は(1)新規前駆体化合物の開発を、東邦テナックスは(2)炭素構造メカニズムの解明を、産総研、三菱レイヨン、プラスチック工業連盟と金沢工業大学は(3)炭素繊維の評価手法開発・標準化をそれぞれ担当する。各研究テーマにおいては、参画企業がそれぞれ得意とする要素技術およびノウハウ、さらには研究開発インフラ等を勘案し、研究開発項目毎に個別の要素技術について特に優れた技術力を有する企業を選定し機動的かつ効率的に研究開発を推進している。

また、外部の有識者をアドバイザーとした推進委員会を設けており、専門家の意見を吸収して研究開発を推進する体制をとっている。

また、スムーズな連携実施のため、各テーマ毎の個別研究会において研究進捗状況、問題点等を検討し、そこで取り上げられた問題点、およびその対策を研究統括およびPLと協議のうえ、的確かつ迅速にプロジェクト全体の研究開発を効率的に推進している。

また、発明の創出があった場合は、速やかに企業の知財部を交えて発明の出願方針を確認し、迅速な特許出願を行っている。また、プロジェクト全体にかかわる知財の検討課題については、参加機関の知財担当者による知財WGにおいて定期的に検討している。

### ◆研究開発の実施体制



### 事業の進捗管理

会議の名称	頻度
推進委員会	6ヶ月に1回
全体会議	月1回
個別チーム研究会	月1回
発明審査委員会	都度実施
知財WG	2か月に一回
参加企業連絡会	3か月に1回

図 2.5.1-2 実施体制

### (5) 運営管理

#### ① 研究開発目標の達成

製造エネルギーと二酸化炭素排出を現行技術から半減させ、生産性を10倍以上に引き上げた、「ポスト進藤方式」による炭素繊維製造プロセスの開発のための

## 公開版

基盤技術の開発を推進する。

② 産官学の ALL JAPAN チームによる効率的な研究開発の実施

東京大学による集中研方式に産業技術総合研究所が参加する。

研究者が東京大学に集まり、同じ屋根の下で一丸となって研究を実施。

コンソーシアムを形成し、機密保持・成果取扱規約について基本合意済み。

東京大学・産総研の研究開発ポテンシャルの活用(若手研究者の育成)。

低炭素工学イノベーション拠点(平成 21 年度産業技術研究開発施設整備費補助金)による研究環境整備。

H23 年度—H27 年度 研究会・検討会実施状況

推進委員会 8 回実施

研究全体会議 49 回実施

個別研究会(3 件のテーマ毎) それぞれ 50 回実施

③ 国立大学法人東京大学に知的財産管理を一元化

特許のパッケージ化、海外企業に買収される心配のない国立大学法人を中心とする。

発明委員会 6 回実施

知財 WG 22 回実施

④ 出口を明確にした研究開発：NEDO「熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工技術の開発」の成果との相乗効果を狙う。

CFRP 連携委員会 3 回実施

**(6) 実施の効果(費用対効果、費用・売上・CO2 削減・省エネルギー等@2030 年度)**

本技術開発のアウトプットからアウトカムへの展開としては、現行の炭素繊維製造における原料(炭素繊維前駆体)、製糸、焼成の技術について、抜本的な見直しを行うことにより、製造エネルギー及び CO2 排出量を半減させるとともに生産性も飛躍的に向上させる技術を確立し、自動車等への炭素繊維の普及拡大はもとより新市場の創出・獲得の実現を目指す。アウトカムとしては、我が国の炭素繊維及び関連産業の国際競争力の強化、低炭素社会への実現及び安全性等を確保した自動車などの普及による生活の豊かさへの貢献が挙げられる。

なお、本技術開発のさらなる展開に当たっては、欧米に遅れをとっている製品評価技術等の応用技術や標準化も同時に進めるとともに、本技術開発による研究開発成果の取り扱いへの配慮も必要である。



# 公開版

2030年における自動車分野での炭素繊維需要量と供給量

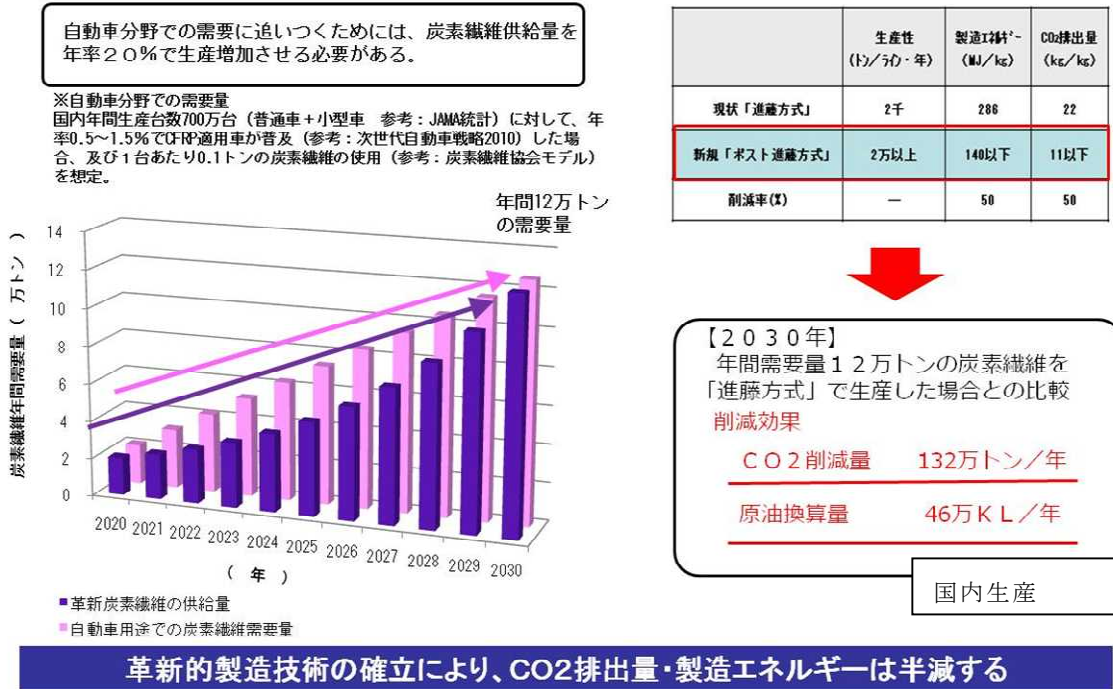


図 2.5.1-3 実施の効果

## 2.5.2 研究開発成果

### (1) 中間目標の達成度

ここでは中間目標に対する達成度について示す。中間目標達成度表記について、大きく上回って達成しているものは「◎」、計画通り進行しているものには「○」、目標に達しないものには「×」（2015年度末に未達成の見込み）で表わす。

表 2.5.2-1 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
(1)新規炭素繊維前駆体化合物の開発	下記(2)の成果とあわせて、新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体を開発す	前駆体候補物質の絞り込みの結果、引張試験において、引張弾性率が240GPa、破断伸度1.5%の	◎	

公開版

	る。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。	炭素繊維が得られるなど、すでに目標値をクリアする結果を得ている。		
(2)炭化構造形成メカニズムの解明	(1)の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。	PAN系前駆体を用いた耐炭化糸を使用したマイクロ波炭素化実験において、引張弾性率 247GPa、破断伸度 1.7%を示す炭素繊維の製造に成功している。装置構造や運転条件の改良により、年度末までには目標を超える炭素繊維を連続的に炭素化できる見込みである。プラズマ表面処理技術については、計画を前倒しして、実用化に必要なスケールアップ技術の開発ステージに移行している。	◎	
(3)炭素繊維の評価手法開発、標準化	圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を	横方向圧壊試験、曲げ試験およびねじり試験方法については、年度内に標準仕様書(TS)の作成を完成する予定である。熱膨	◎	

## 公開版

	<p>開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告(TR)としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント(LCA)に活用するためのデータを収集する。</p>	<p>張率計測装置は、年度内に試験装置開発を完了し、評価手法を確立する予定である。熱可塑性樹脂との界面接着性については、4種類の手法について比較検討し、新規手法(引抜き法)を開発した。</p>	
--	---	--	--

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2) 最終目標の達成可能性

下記の表 2.5.2-2 に示すように、各研究開発項目における今後の課題が明確になっていることから、今後は逐次解決に向けて計画的に研究開発を遂行していく。今まで同様に関係機関と協議しながら進行していくという前提のもとに、最終目標達成の見通しがあると判断している。今後はより実用化の促進に目を向け、各企業との連携を強化した体制も築いていく予定であり、将来のユーザーへのサンプル提供なども通して、実用化・事業化を目指して、基盤技術の骨太化と裾野拡大を図っていく。

**表 2.5.2-2 最終目標の達成可能性**

研究開発項目	現状	最終目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
(1)新規炭素繊維前駆体化合物の開発	前駆体候補物質の絞り込みの結果、引張試験において、引張弾性率が 240GPa、破断伸度 1.5%の炭素繊維が得られるなど、目標値をクリアする結果を得ている。 新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技	下記(2)の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。	達成可能と考える。

公開版

	術を確立しつつあり、太径単糸など、耐炭化不要であることによって初めて製造が可能になる異形状の高多機能炭素繊維ができつつある。		
(2)炭化構造形成メカニズムの解明	PAN系前駆体を用いた耐炭化糸を使用したマイクロ波炭素化実験において、引張弾性率 247GPa、破断伸度 1.7%を示す炭素繊維の製造に成功している。装置構造や運転条件の改良により、年度末までには目標を超える炭素繊維を連続的に炭素化できる見込みである。プラズマ表面処理技術については、計画を前倒しして、実用化に必要なスケールアップ技術の開発ステージに移行している。 炭素繊維のマイクロ波炭素化技術を確立しつつあり、新たな炭化メカニズムの評価法ができつつある。	(1)の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。	達成可能と考える。
(3)炭素繊維の評価手法開発、標準化	横方向圧壊試験、曲げ試験およびねじり試験方法については、年度内に標準仕様書(TS)の作成を完成する予定である。熱膨張率計測装置は、年度内に試験装置開発を完了し、評価手法を確立する予定である。熱可塑性樹脂との界面接着性については、4種類の手法につ	熱可塑性樹脂と異形状炭素繊維の界面特性を検証し、その特性発現メカニズムを解明することにより、標準的な力学的試験法を確立する。	達成可能と考える。

## 公開版

	いて比較検討し、新規手法(引き抜き法)を開発した。 新規炭素繊維の物性に関する評価手法を確立しつつある。熱可塑性樹脂との界面接着性について新規手法を確立しつつある。		
--	---	--	--

### (3) 研究開発の成果と意義

#### (3)-1 新規炭素繊維前駆体化合物の開発

耐炎化工程を不要とする新たな炭素繊維前駆体高分子化合物の探索、設計、合成を行った結果、塩基性の含窒素官能基により溶媒に可溶性芳香族系高分子である新規前駆体化合物 A、ならびに溶解剤が酸化ポリマー鎖に振り袖状に結合した柔軟構造をもつ新規前駆体化合物 B について、中間目標に匹敵、あるいはそれを超える特性を示す新規炭素繊維が得られた。新規前駆体 A、B とともに、今後の製造工程の改良により、更なる高性能化のポテンシャルを有するとともに、異形状繊維など、従来の進藤法プロセスでは実現できない特徴的な構造・力学特性をもつ繊維の創出が可能であることが明らかになった。

##### ① 新規前駆体化合物 A

前駆体化合物 A から得られた炭素繊維について、ストランド引張試験の結果を図 2.5.2-1 ならびに表 2.5.2-3 に示す。引張弾性率が目標値の 235 GPa を超え、焼成温度によって 250GPa を超えるものも得られており、市販 PAN 系炭素繊維と同等の弾性率制御が可能な前駆体繊維の製造に成功した。この前駆体は PAN とは全く違う構造を有し、耐炎化不要の高耐熱性を持ちながら良好な紡糸性を示し、得られる炭素繊維は、結晶構造、配向性、密度等、すべての構造解析パラメータにおいて、PAN 系炭素繊維と同等の物性値を与えることから、炭素化条件によって、市販の PAN 系炭素繊維と全く同等の引張弾性率制御が可能であると考えられる。強度に関しては、現状小スケールでの製造のため、平均強度で 2GPa を超える程度の実測値(伸度~1%)にとどまっているが、製造条件の適正化により、目標伸度(1.5%)の達成を目指しているところである。また、この炭素繊維前駆体からは、単糸直径が 17 $\mu\text{m}$  と、市販の汎用炭素繊維(6~7 $\mu\text{m}$ )の 2 倍以上の直径を有する炭素繊維(図 2.5.2-2)が得られており、その機械特性も細径のものとは大きく変わらないことが示されている。このような単糸直径が太い炭素繊維の製造は、耐炎化工程を必要とする PAN 系炭素繊維では非常に

## 公開版

困難であり、耐炎化工程を必要としない新規前駆体の優位性の一つであるとともに、異形状の高多機能炭素繊維の製造という最終目標の達成が期待される結果と言える。

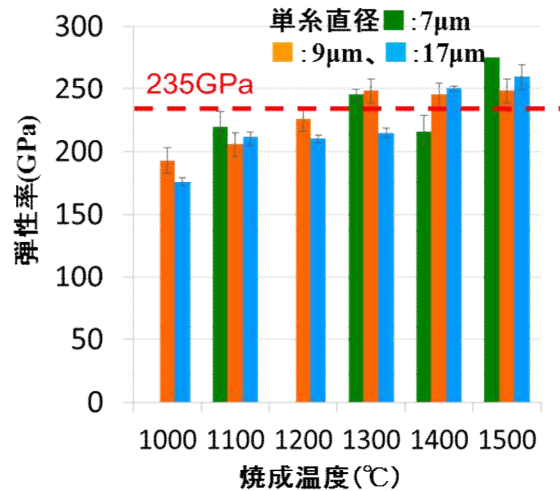


図 2.5.2-1 前駆体化合物 A から調製された炭素繊維(単糸直径 7、9、17 μm)の弾性率

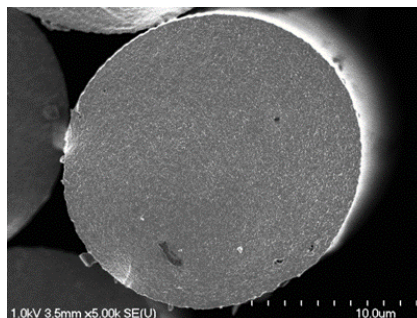


図2.5.2-2 前駆体化合物Aから調製された炭素繊維(φ17 μm)の走査電子顕微鏡写真

表 2.5.2-3 前駆体 A からの炭素繊維の物性値

	引張弾性率(GPa)	引張強度(GPa)	破断伸度(%)
前駆体 A	275	2.1	0.8
中間目標	235	(3.5)	1.5

( ) : 引張強度 目標値は引張弾性率と破断伸度から計算している。

### ②新規前駆体化合物 B

前駆体化合物 B から得られた炭素繊維の物性は下表の通り、すでに最終目標値を達成しており、量産化に向けた課題の検証など、実用化に向けた検討を開始している。

表 2.5.2-4 前駆体 B からの炭素繊維の物性値

	引張弾性率(GPa)	引張強度(GPa)	破断伸度(%)
前駆体 B	240	3.5	1.5
中間目標	235	(3.5)	1.5

( ) : 引張強度 目標値は引張弾性率と破断伸度から計算している。

### (3)-2 炭化構造形成メカニズムの解明

新規焼成技術の開発は、マイクロ波を用いる新規炭素化技術の開発とプラズマを用いる新規表面処理技術の開発から成る。

マイクロ波を用いる新規炭素化技術の開発においては、炭素化工程の最適化を効率的に進めるため、PAN 系前駆体を用いた耐炎繊維の炭素化過程における誘電率変化等から、マイクロ波に好適な炭化構造形成のメカニズムを解析した。その結果、一定条件下で耐炎繊維が誘電体から導電体に連続的に変化する中で、ある領域において閾値が存在し、耐炎繊維をマイクロ波に対する高吸収性繊維に転換することができることを明らかにした。本結果を基に、マイクロ波炭素化工程を最適な形へと改良し、この高吸収性繊維をマイクロ波で炭素化した結果、最終目標を超える特性を示す炭素繊維が得られた。

本技術は、(1)が開発の新規炭素繊維前駆体に対しても、その誘電特性等から有効であることは容易に連想でき、新規炭素繊維前駆体を用いた場合でも最終目標値を達成できるポテンシャルを有する。

プラズマを用いる新規表面処理技術の開発においては、プラズマ処理の形態の探索、処理条件等の検討を行った結果、極めて短時間で、目標とする表面特性を達成できるプラズマ処理技術の開発に成功した。表面処理効果の検証のため、複合材料の物性や界面接着性の評価、表面の精密な解析を行った結果、有意な効果が認められ、同効果発現のメカニズムを推定した。

#### ① マイクロ波炭素化技術の開発

マイクロ波炭素化によって得られた炭素繊維について、ストランド引張試験の結果を表 2.5.2-5 に示す。平均の引張強度が 3.7GPa、引張弾性率が 247GPa、破断伸度が 1.7%であり、中間目標性能を超えるストランド引張特性を示す炭素繊維の製造に成功した。マイクロ波炭素化によって得られた炭素繊維の単糸写真を図 2.5.2-3 に示す。真円に近い断面形状を保持していることや繊維表面に大きな傷などが見られないことから、マイクロ波による炭素化反応は安定的に進行したことがわかる。

中間目標性能、とくに弾性率の向上に注力し検討を進めた結果、繊維物性の安定化と条件適正化が重要であることが分かり、マイクロ波炭素化の技術的問題点を抽出し解消していくことで、耐炎繊維を安定した物性の高吸収性繊維へと転換することに成功した。マイクロ波炭素化のメカニズムを解析することで、目標性能の達成に必要な高吸収性繊維の性状を明確にするとともに、装置の改良や条件



調整を行った。

表 2.5.2-5 マイクロ波炭素化で得られた炭素繊維のストランド引張特性

	平均強度(GPa)	平均弾性率(GPa)	破断伸度(%)
マイクロ波炭素化	3.7	247	1.7
中間目標性能	(3.5)	235	1.5

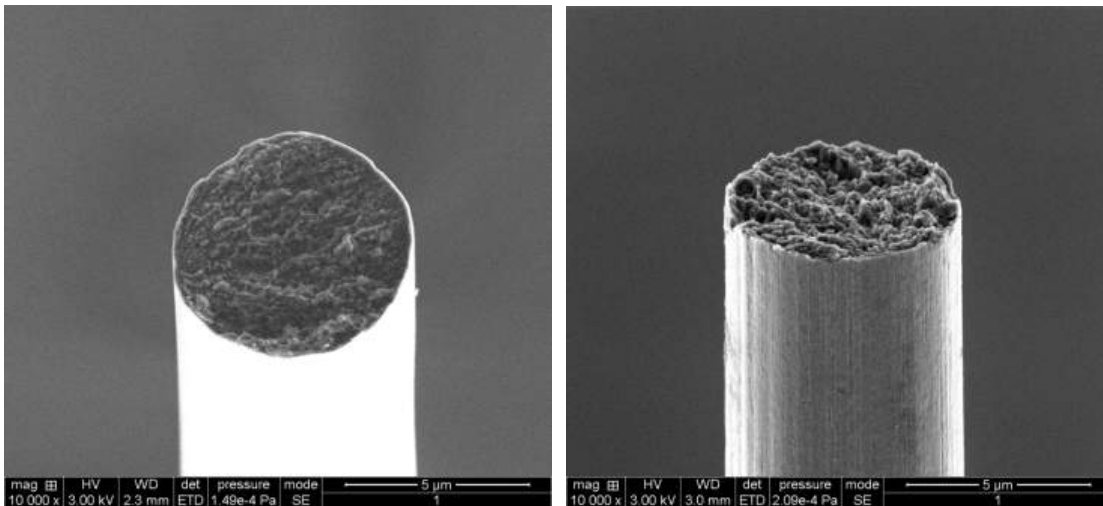


図 2.5.2-3 マイクロ波炭素化で得られた炭素繊維の走査型電子顕微鏡写真

② プラズマ表面処理技術の開発

プラズマを用いて表面処理した炭素繊維の、X線光電子分光法により測定された表面酸素濃度値(O/C)の結果を表 2.5.2-6 に示す。プラズマ表面処理によって、極めて短時間で、中間目標である表面酸素濃度範囲内の表面特性を有する炭素繊維が得られた。また、表面酸素濃度値は、処理時間の制御によって、低い値(0.07)から高い値(0.23)までコントロールができ、複合材料のマトリックス樹脂に応じた表面性状の適性化も容易に行えることを見出した。

表面処理を連続的にかつ均一に施すプロセス技術を確立に成功し、技術的な基礎検討は完了した。実用化を見据えた応用検討として、熱可塑性コンポジットの射出成形品において力学的特性が向上する同処理の効果を追究した。繊維表面の精密な解析を行った結果、表面の濡れ性が向上し、残存繊維長が長い状態でも高い繊維分散性を有することが可能となるといった、効果発現のメカニズムを推定した。

今後は、複合材料の物性評価やエネルギー消費削減効果の試算などを行う。

表 2.5.2-6 プラズマ表面処理された炭素繊維の表面特性

	表面酸素濃度値(O/C)
プラズマ表面処理	0.07 - 0.23



中間目標値	0.05 – 0.40
-------	-------------

(3)-3 炭素繊維の評価手法開発，標準化

自動車部品用途の複合材料としては成型性とコスト面から不連続繊維によって強化された熱可塑性プラスチックが用いられることが期待されている。NEDO プロジェクト「サステナブルハイパーコンポジット技術の開発」では、それら複合材料の調製、接合、修理、そしてリサイクル技術が検討されてきた。このような複合材料は、いったん中間基材を調製してからプレス成形等にて複雑な形状の部材を製作している。そのため、炭素繊維の引張特性だけでなく、様々な方向の材料力学的特性が重要となる。例えば、複合材料中の不連続繊維の破断のモデリングにおいては、繊維 1 本(モノフィラメント)による強度分布の解析結果が用いられ、特性のばらつきを統計的に評価する必要がある。

平成 25 年度までにモノフィラメントの横方向圧壊試験やねじり試験によって解析される圧壊強さ  $\sigma_c$ 、横方向の圧縮弾性率  $E_T$  およびねじり弾性率  $G$  の試験条件の影響について詳細に調査し、試験手法の標準化に向けて試験素案を作成するとともに計測データを蓄積した。【研究成果発表論文 1、2】

本研究では、標準弾性率タイプの市販の PAN 系炭素繊維を用いた。引張特性試験は、JIS R7606「炭素繊維-単繊維の引張特性の試験方法」に準拠した。試験繊維の直径は、JIS R7607「炭素繊維-単繊維の直径及び断面積の試験方法」の D 法：レーザ回折によって測定した。試験数  $n$  は、50 本とした。この PAN 系繊維のモノフィラメント特性試験の結果を表 2.5.2-7 に示す。直径の平均値は、7.6 $\mu\text{m}$  であり、変動係数が 5.3%であった。繊維断面は真円ではなく、少し扁平した楕円形状であった。

平成 26 年度以降は、このプロジェクトで得られた新規炭素繊維も含めて各種の炭素繊維のモノフィラメント特性試験の計測データを蓄積するとともに、試験方法の改善や新たな特性試験の開発を試みた。【研究成果発表論文 3、4】

表 2.5.2-7 PAN 系炭素繊維のモノフィラメント特性試験結果

引張試験	引張強度 GPa	Weibull 係数	引張弾性率 GPa	変動係数 %
	<b>4.10</b>	<b>5.6</b>	<b>208</b>	<b>9.67</b>
圧壊試験	圧壊強さ $\sigma_c$ GPa	Weibull 係数	圧縮弾性率 $E_T$ GPa	変動係数 %
	<b>1.74</b>	<b>7.6</b>	<b>16.6</b>	<b>15.6</b>
ねじり試験			ねじり弾性率 $G$ GPa	変動係数 %
			<b>15.7</b>	<b>3.8</b>

### ① 単繊維圧壊試験

炭素繊維の横方向の圧縮において、繊維が圧壊する前に荷重を除荷させると、荷重-変位曲線にはヒステリシスが観察される。このヒステリシスの大きさは、炭素繊維のグラファイト結晶性と相関性があることが分かった。グラファイト結晶内の炭素六角網面層のせん断変形が応力の負荷と除荷で生じ方が異なることがヒステリシスの要因と考えられた。

横方向圧縮において圧壊する試験力よりも小さい荷重で炭素繊維への負荷・除荷の繰り返し試験を行ったところ、ヒステリシスが比較的大きな試料ほど、少ない繰り返し回数で繊維が圧壊されることがわかった。その他、横方向圧壊試験の圧子サイズの影響について調べた。

圧盤に横たわる炭素繊維を横方向に圧縮するだけでなく、炭素繊維を垂直に固定し、上部をイオンビームで平滑した試験片を調製することにより、軸方向の圧縮試験を試みた。その結果、前述の PAN 系繊維の場合、繊維長が 20 $\mu\text{m}$  未満であれば座屈を起こすことなく圧縮強度を評価できた。圧縮強度の平均は、2.2GPa であり、引張強度のおよそ半分であった。軸方向の圧縮弾性率は、引張弾性率を決定するときのコンプライアンス補正と同様に試験片長さを変えた負荷-除荷試験を行い、一定荷重を負荷したときの圧縮変位の試験片長さ依存性から決定した。軸方向の圧縮弾性率は 102GPa と試算され、引張弾性率のおよそ半分であった。

### ② 単繊維ねじり試験

ねじり試験は、他のモノフィラメント特性試験と比べて長い試験片を用いる。さらに、ねじり弾性率の算出において繊維の直径は 4 乗で影響するので、炭素繊維の直径の評価が非常に重要となる。前述の PAN 系繊維の外径を JIS R7607 の D 法：レーザ回折によって測定したときの繊維軸方向の分布例を図 2.5.2-4 に示す。炭素繊維の回転や軸方向への移動が調節できる外径測定装置を試作した。試作した装置の外観写真を図 2.5.2-5 に示す。軸方向へ移動したときの外径の最長径と最短径および外径の平均値と繊維を回転させたときのそれらの値はそれぞれほぼ一致することから、この炭素繊維は楕円形状がらせん状に回転していると推察された。実際に、長径と短径を計測し、楕円形状としてねじり弾性率を算出すると試験結果の変動率が小さくなることが認められた。

ノッチを導入した炭素繊維を引張試験して到達可能強度を求める解析をする際、き裂近傍の応力集中状態を計算するときには横方向の圧縮弾性率  $E_T$  とねじり弾性率  $G$  および引張弾性率  $E$  の値を利用した。このプロジェクトで得られた新規炭素繊維も含めて種々の炭素繊維のこれら弾性率を計測し、到達可能強度を算出した。

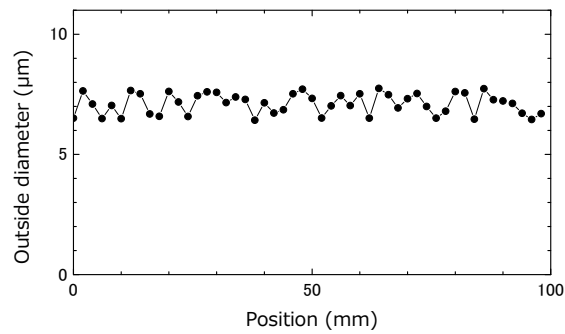


図 2.5.2-4 PAN 系繊維の外径の繊維軸方向の分布例

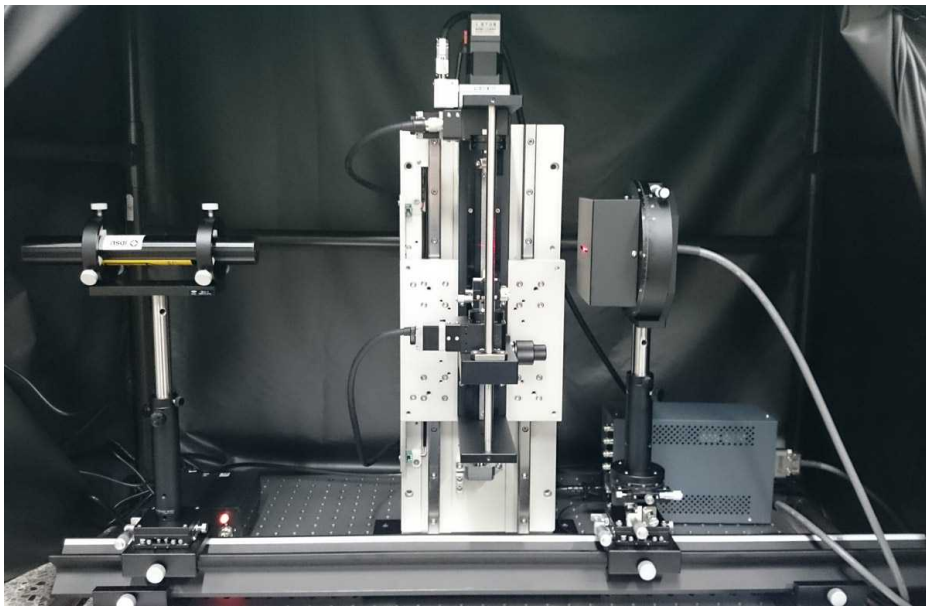


図 2.5.2-5 試作した外径測定装置の外観

### ③ 単繊維三点曲げ試験

単繊維の三点曲げ試験において、得られた曲げ強さと曲げ弾性率はスパン長さに影響する結果が得られた。PAN 系繊維の三点曲げ試験のスパン長さ依存性を図 2.5.2-6 に示す。この PAN 系繊維は、スパン長さが  $200\mu\text{m}$  以下のとき曲げ応力で破断したが、 $200\mu\text{m}$  より長くなると破断しなかった。炭素繊維 1 本が曲げ応力によって破断するか、否かを分けるスパン長さ(具体的には、繊維直径とスパン長さの比  $d/L$ )の閾値は、使用した炭素繊維の種類・特性によって異なった。曲げ弾性率は、スパン長さが  $200\mu\text{m}$  より短くなるとわずかに低下する傾向が見られた。異方性が極端な材料の曲げ挙動は、せん断変形の影響が反映されやすいことが知られている。そこで、式 2.5.2-1 によって見かけの曲げ弾性率を求めて、図 2.5.2-6(b)に赤色でプロットし比較した。

$$E_{app} = \frac{1}{\left(\frac{1}{E} + \frac{1}{G} \left(\frac{d}{L}\right)^2\right)} \quad \text{式 2.5.2-1}$$

ここに、 $E$ ：引張弾性率

$G$ ：せん断弾性率(ねじり弾性率を代入した)

$d$ ：繊維の直径

$L$ ：スパン長さ

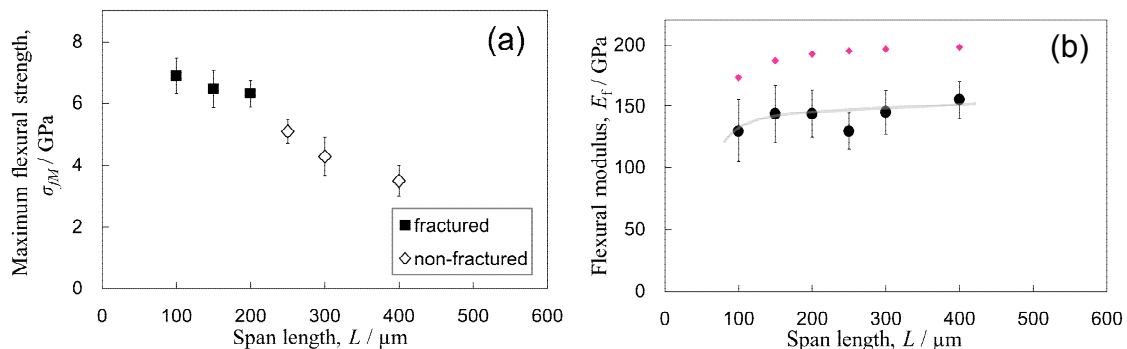


図 2.5.2-6 PAN系繊維の三点曲げ試験結果のスパン依存性  
(a) 曲げ強さ, (b) 曲げ弾性率

実測値は試算した値より約 70%低い、短いスパン長さで曲げ弾性率が低下する傾向は一致している。先に述べたように、この繊維は引張弾性率と圧縮弾性率の値が異なるために、曲げ変形における応力の中立面が繊維断面の中心からずれているために、実測値が試算値より低くなったと考えている。

試験手法の素案では、繊維直径とスパン長さの比を  $d/L = 30$  としたが、繊維の引張弾性率とねじり弾性率の比  $E/G$  から試験条件である  $d/L$  の値を決めるなどの方策を考慮する必要がある。

#### ④ 熱膨張率測定装置の開発

熱可塑性樹脂をマトリックスとするCFRPの調製には温度差が生じるために炭素繊維の熱膨張率の値はコンポジットの設計において重要な因子である。炭素繊維は、常温から400℃の温度領域において熱膨張が負から正に変化するなど、熱膨張率の温度依存性は複雑である。そこで、本事業では炭素繊維の熱膨張率の測定において、比較的短い炭素繊維試験片を対象に炭素繊維の軸方向だけでなく、径方向の熱膨張特性も精密に計測できる装置の試作を行った。

これまでに、炭素繊維の束に通電加熱できる平行バネ式試料ホルダーの試作などを行ったが、機構の簡便さとしてリニアガイドを備えた台車セル方式が妥当と考えた。平成25年までに、大気中で繊維束の軸方向の熱膨張率の測定が可能となった。

## 公開版

平成26年度からは、単繊維による径方向の熱膨張予備測定と試料ホルダーを真空チャンバーに入れることによる加熱効率の向上と焼損防止により、500℃以上の高温化を目指した。

図2.5.2-7に試作した炭素繊維熱膨張率測定装置の外観写真を、図2.5.2-8には装置の構成図を示す。台車セルに取り付けた炭素繊維の軸方向と平行にレーザ干渉法のための干渉計ユニットをセットし、繊維軸と垂直の方向には外径をJIS R7607のレーザ回折法によって計測するシステムを設置した。両光学系による非接触計測により真空チャンバー内に置かれたサンプルに対して高温での計測に成功した。

温度の計測には、非常に細かい熱電対をセラミックス接着剤で固定する方法を採用していたが、繊維1本の場合では、熱電対の接触によって温度が低下することが明らかとなったため、二色放射温度計による非接触温度測定する方式を導入した。

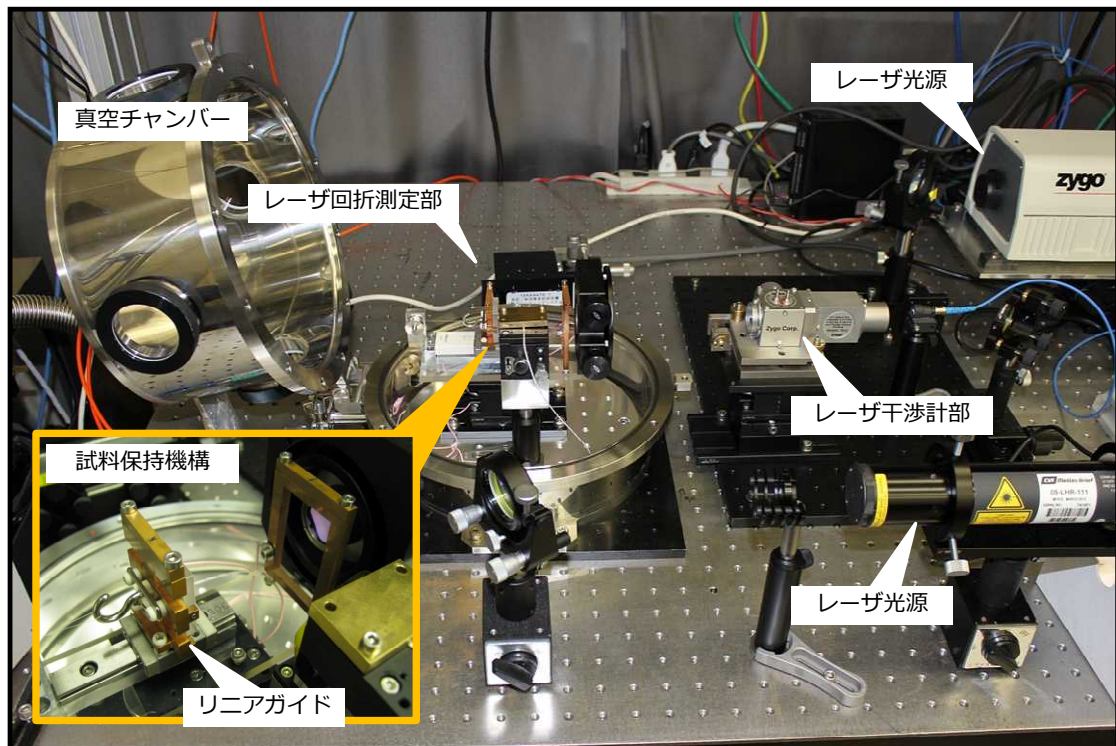


図 2.5.2-7 炭素繊維熱膨張率計測装置の外観写真

図2.5.2-9には、前述のPAN系繊維の熱膨張率計測試験の例を示す。炭素繊維束に電流を印加したときの試料温度変化を黒線で、その際の繊維長の変化を示している。試料温度が定常状態でのデータを取得するため、試料への印加電流をステップ状制御し試料温度が一定となった状態でのデータをピックアップした。繊維長の温度依存性は常温からおよそ150℃まで負の熱膨張が観察され、それ以上の温度では正の熱膨張を示す試料長変化挙動が得られた。冷却過程でもこの挙動は一致している。



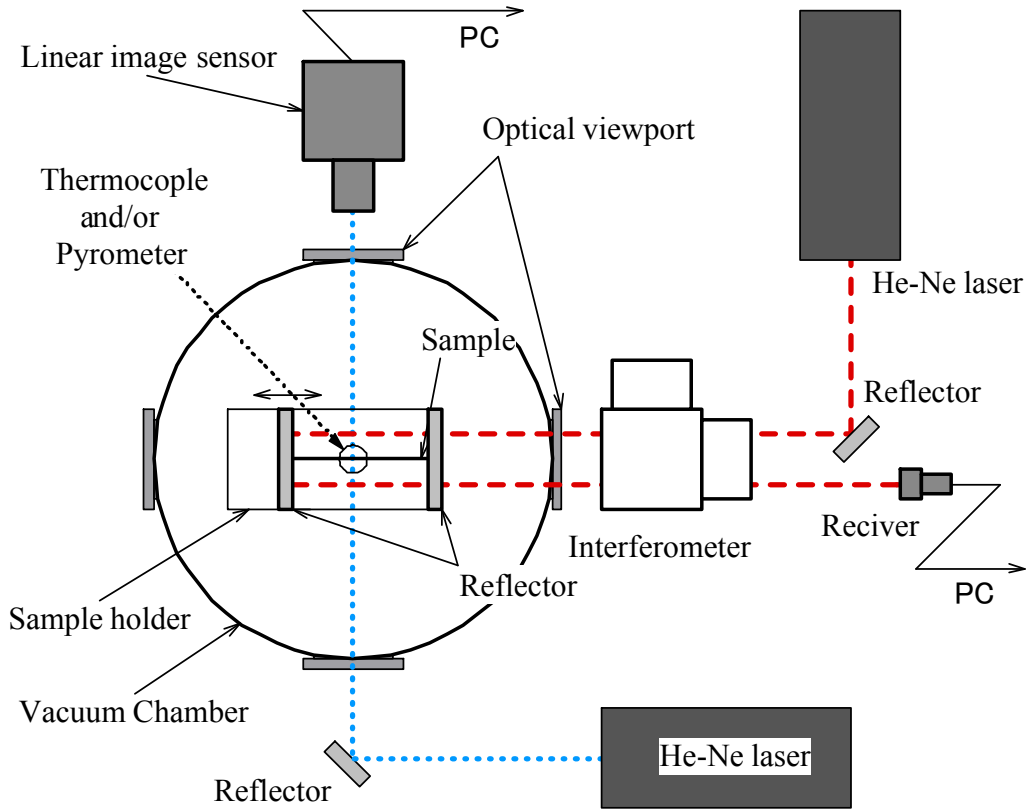


図 2.5.2-8 炭素繊維熱膨張率計測装置の構成

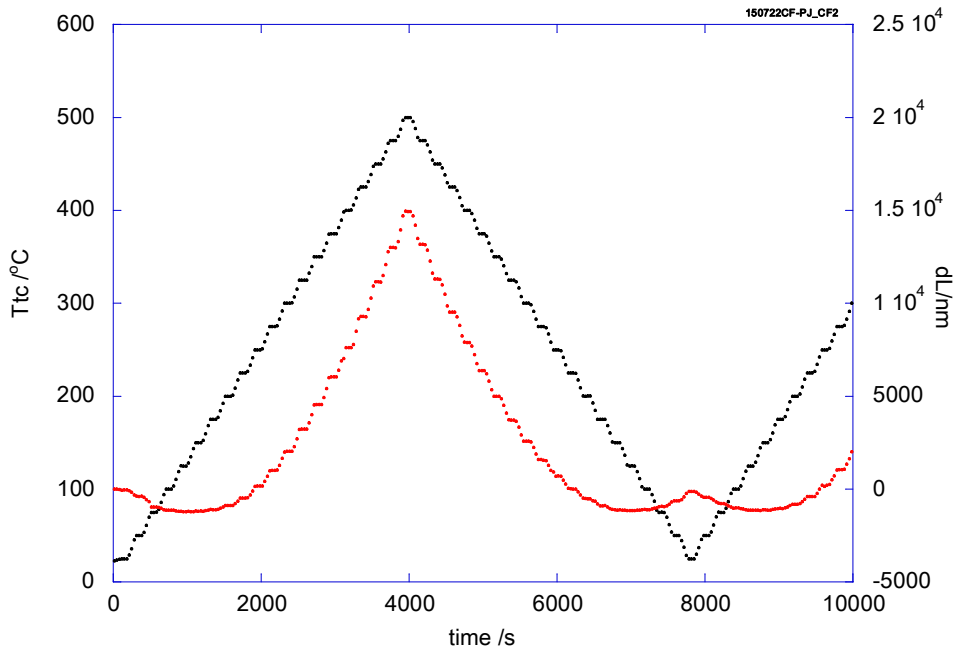


図 2.5.2-9 PAN 系炭素繊維束の熱膨張率計測試験の結果

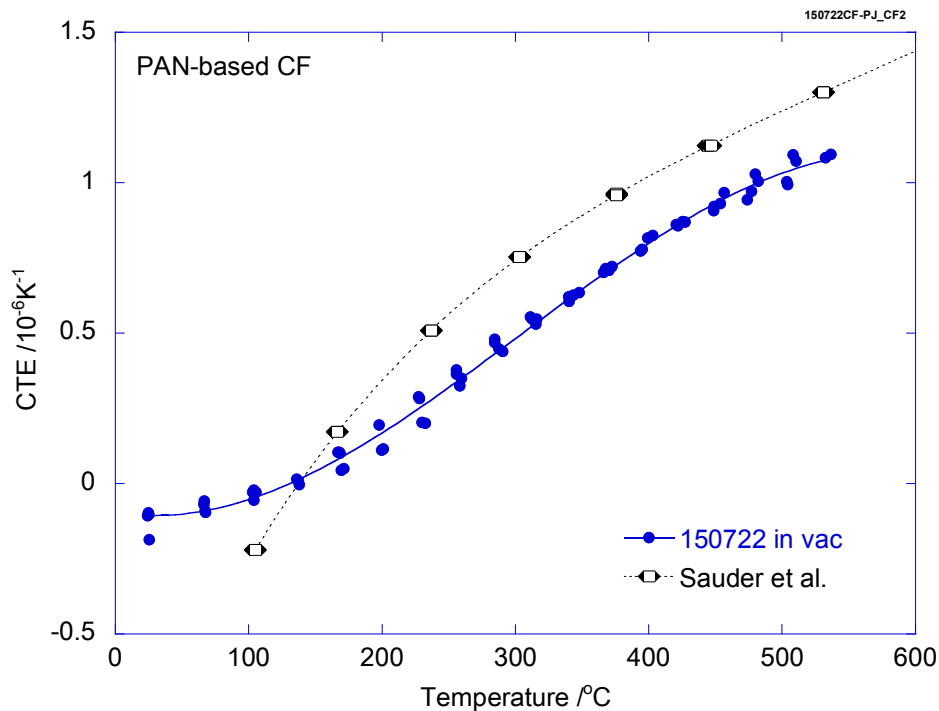


図 2.5.2-10 PAN 系炭素繊維の軸方向の熱膨張率の温度依存性試験結果

図2.5.2-10には、PAN系繊維の熱膨張率の温度依存性を示す。軸方向の熱膨張率は $10^{-7}$ オーダーの値であった。同じ種類の炭素繊維ではないが、材料試験機を用いて計測したSauderらのPAN系繊維の結果と同じ傾向が得られた。

単繊維による径方向の熱膨張率の計測にも成功しており、こちらは $10^{-6} \sim 10^{-5}$ オーダーで、軸方向より大きいことが確かめられた。また、径方向の熱膨張率は、温度依存性が認められなかった。今後は測定精度を高めつつ、種々の炭素繊維の熱膨張率を測定し、データを蓄積する。

#### 【研究成果発表論文】

- 1:岩下 哲雄、諸星 圭祐、藤田 和宏、*材料試験技術*、**57**[4]、(2012) 134
- 2:藤田 和宏、小島実希子、岩下 哲雄、*材料試験技術*、**58**[3]、(2013) 143
- 3:諸星 圭祐、藤田 和宏、岩下 哲雄、*材料試験技術*、**59**[3]、(2014) 142
- 4:杉本 慶喜、影山 和郎、岩下 哲雄、*材料試験技術*、**60**[1]、(2015) 52

#### ⑤ 界面接着性評価法の開発と比較

新規炭素繊維前駆体化合物や新規焼成技術により成果が得られた炭素繊維の実用化可能性を見極めるために、複合材料として活用する際の基本特性を把握しておく

## 公開版

必要がある。中でも、マトリックス樹脂と複合化した際の繊維-樹脂間の界面接着性は、複合材料としての品質・性能に大きく影響を与えるため、重要な材料設計指標の一つである。

そこで、本テーマにおいては、炭素繊維と樹脂、特に、生産性に優れるとされる熱可塑性樹脂との接着性に関する、様々な評価手法を検討し、測定精度や操作性の観点から比較検討を行い、一覧表として表 2.5.2-8 にまとめた。

表 2.5.2-8 界面接着性評価手法に関する比較表

	評価方法	特徴	実績	利点	その他
フラグメント法	モノフィラメントを樹脂フィルムに包埋、引張	臨界繊維長から算出	装置が市販されている	熱硬化系樹脂で適用実績多い	炭素繊維のワイブル関数が必要
マイクロドロップレット法	モノフィラメントに樹脂玉を付け、引抜く	樹脂玉径は50~100 $\mu$ m程度	装置が市販されている	操作が比較的容易	メニスカスの影響が大きい
マイクロコンポジット法	複数本の炭素繊維を束ねた後、樹脂玉を付け1本だけ引抜く	樹脂玉径は300~400 $\mu$ m程度	産総研で既開発、C/Cコンポジットで適用事例あり	近傍に他の炭素繊維がある状況での測定	操作に熟練を要する
ピンホール引抜き法	樹脂中にモノフィラメントの片端を埋込み引抜	埋込長が可変	引抜き法の応用、装置・操作法は独自開発	装置が比較的簡素、応用展開が容易	金属板厚さによって埋め込み長さが可変

表 2.5.2-8 のピンホール引抜き法は独自開発したものであり、操作法が簡易的、かつ、測定精度が高い試験法として設計した。概要を図 2.5.2-11 に示す。

右図が荷重変位線図であり、引抜き荷重が精度高く取得できることが分かる。

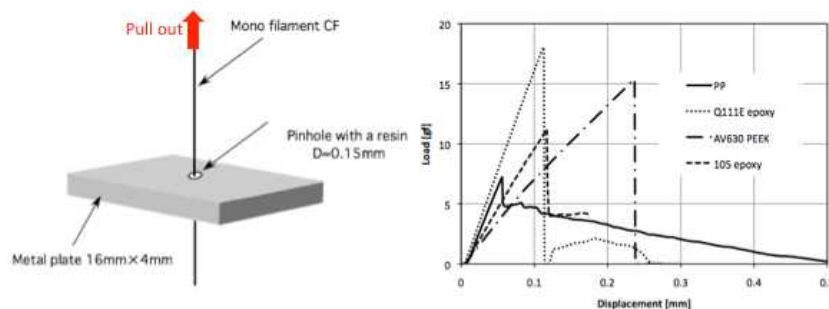


図 2.5.2-11 ピンホール引抜き法概要図と測定結果例



## 公開版

なお、開発中のピンホール引抜き法による試験結果と他の既存の方法による試験結果を比較検討した。図 2.5.2-12 には一例としてピンホール引抜き法とマイクロドロップレット法との比較を示す。同一サンプルを両手法で試験した結果であり、良好な相関性が得られている。

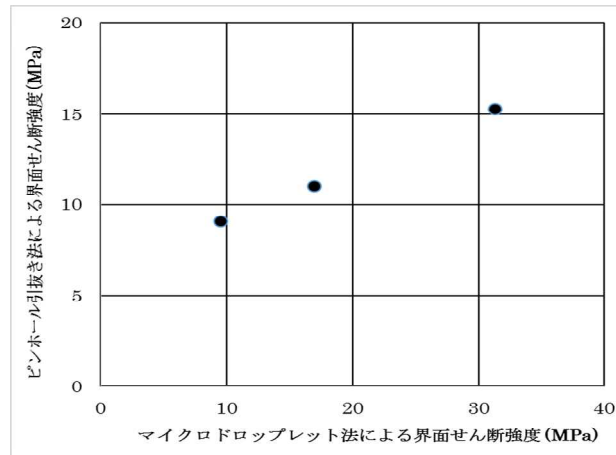


図 2.5.2-12 ピンホール引抜き法とマイクロドロップレット法との比較

## 公開版

### (4)成果の普及(論文、外部発表等)

表 2.5.2-9 論文、外部発表等の件数 (内訳) 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受 賞	フォー ラム等*
	査読 付き	そ の 他	学 会 発 表・講演	新聞・雑誌 等への掲載	プレス 発表	そ の 他			
H25FY	0	0	12	0	0	0	0	0	0
H26FY	5	0	15	3	0	0	0	1	2
合計	5	0	27	3	0	0	0	1	2

※実施者が主体的に開催するイベント(フォーラム、シンポジウム等)

### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み(戦略に沿った取り組み、取得状況)

最先端技術の開発に関わる本プロジェクトでは、知的財産管理が重要である。他国の追随を許さないよう外国出願も今後検討しなければならないので、国内出願を基本にして海外出願を進めてきた。また、出願による技術開示は海外への技術流出につながる虞もあり、参加企業の国際競争力を保つためにも、ノウハウ保全と併用して出願作業を行っていく。平成 27 年 3 月末までに出了願した特許は合計 6 件である。添付資料に出了願された特許の件数を示す。

表 2.5.2-10 特許の件数 (内訳) 【平成 27 年 8 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願*
H25FY	3	0	0
H26FY	5	0	3
合計	8	0	3

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

### (6)論文賞受賞について

本プロジェクトで開発した技術に関する論文が下記のとおり示すように受賞対象となった。学識的にも研究成果に対して高い評価を得ていることを示すとともに、対外的にも技術レベルの高さをアピールすることに寄与する。

東京大学 影山和 郎、松尾剛	「熱可塑性 CFRP の繊維方向 圧縮破壊メカニズムに関する 一考察」 第 40 卷 3 号 pp.98-105 (2014)	日本複合材料学会誌 論文賞	2015/6/9
-------------------	--	------------------	----------

## 2.6 テーマ6 「熱可塑性 CFRP の開発」

### 2.6.1 [テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

#### 2.6.1.1 テーマの概要

##### (1)背景と目的：

###### 【背景】

- ・世界的な環境規制の拡大を背景に、CO<sub>2</sub> 削減および燃費向上ニーズの増大に加え、エコカーEV 化および知能化に伴う重量増要因への対応のため、自動車構造への軽量化ニーズ、そのための CFRP 適用の動きが一挙に加速しつつある。
- ・すでに欧米では量産車への CFRP 適用が開始されているが、主構造には高コストの熱硬化樹脂使用の長繊維複合材、非構造用には GF/PP が主体であり、国内では一部の高級スポーツ車など、限定的な適用にとどまっている。
- ・低コスト複合材の有力技術である LFT-D (Long Fiber Thermoplastic - Direct)技術は、繊維長の比較的長い炭素繊維と熱可塑樹脂を混練して得られる押出素材を高速プレス成形することで軽量・低コストな部材を得ることができるが、現在は、非構造用 GF/PP が主流であり、CF/PA は研究段階にある。
- ・このような中、当プロジェクトでは、世界に先んじて CF/PA6 を用いた構造用の LFT-D 技術の実用化を目指し、NEDO の委託を受け、産官学連携で研究開発に取り組んでいる。

###### 【目的】

- ・LFT-D 工法は、繊維ロービングと樹脂ペレットの材料供給から最終製品までのダイレクトな一貫自動生産システムにより、短時間成形が可能となり、CFRP としてはこれまでにない低コストな方法である。
- ・一方、LFT-D 工法は、連続繊維に比べて強度・剛性が低く、繊維長・配向のばらつきが大きいことが挙げられ、素材の特性を見極めると共に、最適かつ安定的なプロセス確立が課題である。
- ・本プロジェクトでは、LFT-D 材の特性を見極め、最適なプロセス条件を確立するとともに、企業ニーズを踏まえた LFT-D 技術の見極めと実用化の技術基盤確立を目指している。

##### (2)位置付け、目標値

###### 【位置付け】

CFRP の成形法は多く存在するが、航空機等に主用される連続繊維を用いたオートクレーブや RTM 成形法に対し、不連続繊維による LFT-D 成形は量産自動車用としてコストと強度性能を両立する技術として位置付けられる (図Ⅲ-2.6.1-1)。




表Ⅲ-2.6.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
(e)LFT-D 成形の要素技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素繊維と熱可塑樹脂の混練体の流動特性と材料特性の関係を解析し、混練プロセスの最適条件を解明し、基礎的力学的モデルを提案する。</li> <li>これらの解析に使用する初歩的な CAE 解析技術を確立する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>混練プロセスを完成し、LFT-D 中間基材と成形部材の材料特性 DB の一部を構築。</li> <li>試験法標準化の道付けを実施。</li> <li>成形プロセスも扱う力学モデルの高度化を行い、CAE 解析ソフトに組込む。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実用化レベルの LFT-D データベース確立</li> <li>LFT-D 材料のクラス化、材料標準化の基準の確立</li> <li>CAE 解析技術の高度化、高精度化達成</li> <li>国際標準化への展開</li> </ul>	企業ニーズ反映
(f)大物高速成形技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>初歩的なボディ部材のプレス成形技術を確立。</li> <li>部材剛性確保のための LFT-D 使用構造の部分補強を試行。</li> <li>ハイブリッド成形構造を達成するためのマテハン技術構築の概念を決定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>複雑なボディ部材の成形技術を確立し、量産化に繋がる要素技術を確立する。</li> <li>ハイブリッド成形技術を詳細まで含めて確立する。</li> <li>高速マテハン技術の要素技術を確立する。</li> <li>非破壊検査技術の要素技術を開発する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実物サイズ部品の 1 分サイクル</li> <li>高歩留率成形プロセス確立。</li> <li>成形予測に特化した CAE 解析技術の完成</li> </ul>	企業ニーズ反映
(g)大物高速接合技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱可塑性 CFRP 使用部材同士を高速で接合できる方法を見極め、最適手法を選択する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱可塑性 CFRP 使用部材同士の高速接合技術を確立する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>実物サイズ組立構造の高信頼性・高速接合技術の確立。</li> <li>高速インライン NDI 技術の確立</li> </ul>	企業ニーズ反映
(h)意匠性外板製造技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>高意匠性を支配する技術要因を分析し、基礎技術を見極めるとともに、候補となる素材を選定し、適用するプロセスを絞り込む。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>選定した素材を用いて、高意匠性付与と強度・剛性をある程度両立する技術を確立する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>高意匠性外板パネルの量産基礎技術の確立</li> </ul>	企業ニーズ反映

### (3)全体計画

研究開発の全体計画について示す（図Ⅲ-2.6.1-2）。

CF/PA6 LFT-D適用技術の開発 (量産自動車の生産性に対応可能なハイサイクル成形技術開発)			
H25	H29	H30	H34
LFT-D基礎技術の開発・実証		LFT-D技術の実用化	
(e)LFT-D成形の要素技術の開発			
(f)大物高速成形技術の開発			
(g)大物高速接合技術の開発			
(h)意匠性外板製造技術の開発			
 (i)実証評価		・材料性能向上 ・データベース拡充	
		・量産車に対応する生産・組立プロセス確立	
		・標準化(材料、計測評価法)	
		・量産車技術実証評価	

図Ⅲ-2.6.1-2 研究開発の全体計画

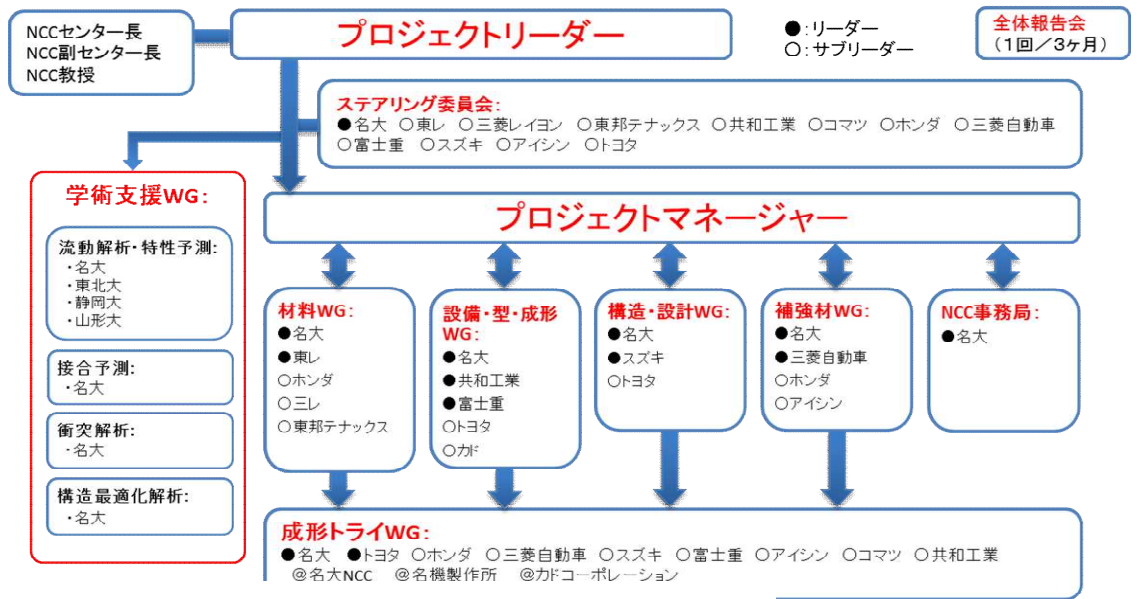
### (4)実施体制

集中研 11 社および分担研 2 機関、再委託先 7 機関が関係するプロジェクトを円滑に遂行するため、下記の会議体による推進体制を整えた（図Ⅲ-2.6.1-3）。

- ・ステアリング委員会（月次）：プロジェクト方針事項、重要事項の審議、決定。
- ・ワーキンググループ：材料、設備・型・成形、構造設計、補強材の 4 つの WG を組織、実務作業を推進。
- ・合同 WG：WG 間の問題議論、情報共有。
- ・成形トライグループ：NCC、再委託先での成形試験を実行指揮。
- ・測定・分析・評価チーム：物性測定、結果の分析、評価実施。WG へ報告。
- ・全体会議（四半期毎）：再委託先を含む関係者全員の情報共有、ベクトル合せ。

上記活動の学術的な支援を行うために、名古屋大学を中心とする学術支援 WG を設置し、LFT-D 物性事象の学術的な同定、理論的裏付けの研究を実施し、プロジェクトへフィードバックしていく。再委託先については、実施項目に応じて、各 WG に参画する体制とした（表Ⅲ-2.6.1-2）。





図Ⅲ-2.6.1-3 研究開発実施体制

名大

表Ⅲ-2.6.1-2 分担研及び再委託先の体制

分担研、再委託先	作業項目	所属WG
産総研	繊維長分布、繊維配向等の測定・評価	測定・分析・評価WT
(株)カドコーポレーション	マテハン設備、融着接合技術(電磁誘導)	補強材WG 設備・型・成形WG 成形トライT
福井県工業技術センター	部分補強用UDテープ	補強材WG 設備・型・成形WG
石川県工業試験場	融着接合技術(レーザー融着)	材料WG 補強材WG
(独)宇宙航空研究開発機構	NDI技術	構造設計WG
東レエンジニアリング(株)	成形CAE解析技術	材料WG 設備・型・成形WG
(株)名機製作所	LFT-D成形基礎試験、ハイブリッド補強材成形基礎試験	補強材WG 設備・型・成形WG 成形トライT
トヨタテクノクラフト(株)	構造設計・解析	構造設計WG
大成プラス(株)	金属接合技術	補強材WG

(5)運営管理：

- ・プロジェクト運営管理のツールとして、下記の計画を策定し、PDCA を回している。
  - ① 年度ごとの進捗目標
  - ② 年度の進捗管理表
  - ③ 全体日程
- ・再委託先については、実施内容および担当 WG を決め、基本的に各 WG で管理している（表Ⅲ-2.6.1-2）。
- ・図Ⅲ-2.6.1-3 実施体制における各委員会、WG は下記の頻度で開催し、切れ目のない推進を図っている。
  - ① ステアリング委員会：月次開催。主に集中研企業の代表研究員に対し、プロジェクト全体の進捗及び主要な事項について企業のレビューや承認を得なが

ら、プロジェクト全体の円滑な推進を図っている。

- ② ワーキンググループ（材料 WG、設備・型・成形 WG、構造設計 WG、補強材 WG）：それぞれ月 1～2 回程度の頻度で開催。NCC、集中研企業及び再委託先の研究員を中心に、個別テーマについて具体的な検討、議論、意思決定を行うなど、実務作業を推進。
- ③ 合同 WG：月次開催。各 WG 間にまたがる課題等について、各 WG からの報告と議論を通じて、問題解決と情報共有を行う。
- ④ 成形トライグループ：NCC での成形試験は隔週ペースで実施。再委託先での成形試験は月次ペースで実施。集中研企業持ち回りで、都度、指揮者になり、水準案設定、当日の実行指揮、及び成形結果のとりまとめを担っている。
- ⑤ 測定・分析・評価チーム：月 2 回程度実施。材料 WG の集中研企業および NCC を中心に測定、評価手法について検討し、活動へ反映。

- ・全体会議：四半期毎に実施。合同 WG で兼ねる場合もある。再委託先を含む関係者全員にプロジェクトの全体状況を認識の共有を図っている。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

- ・費用としては、現国プロ段階から LFT-D 実車開発段階における集中研カーメーカー 5 社における研究開発投資を対象とし（総額 615 億円と想定）、効果としては、集中研カーメーカー 5 社による国内販売、輸出及び海外生産合計台数の売上を対象とする。
- ・世界の自動車販売台数は新興国を中心に年率 2.8 %の伸びと予想（約 8 000 万台@2012→約 1 億 1500 万台@2030）。
- ・LFT-D 適用車の市場投入は 2026 年と想定、2026 年以降 5 社が販売する新型車は全て LFT-D 適用車とし、かつ各年の販売車の 12%が新型車とすると、LFT-D 適用車の総販売台数は約 1540 万台@2030。
- ・LFT-D 部品重量は車体構造重量の 25%とし、売上構成比率は重量比とした場合、2026-2030 年の LFT-D 部品の売上総額は 2 兆 3000 億円、付加価値総額は約 58 00 億円の効果が見込まれる。
- ・燃費削減：0.3km/L→ガソリン削減総量@2030：約 262,000kL
- ・CO<sub>2</sub> 排出削減総量@2030：**約 6 億 t**（2030 年において乗用自動車による CO<sub>2</sub> 総排出量約 73 億 t\*の約 8 %に相当）



## 2.6.1.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.6.1-3 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成度 ※	原因・課題と 解決方針 ※未達の場合 のみ
(e)LFT-D 成形の要素技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>炭素繊維と熱可塑樹脂の混練体の流動特性と材料特性の関係を解析し、混練プロセスの最適条件を解明し、基礎的力学的モデルを提案する。</li> <li>これらの解析に使用する初歩的な CAE 解析技術を確立する。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>物性に影響を与えるプロセスパラメータを特定、成形条件と材料物性の相関データを取得、分析実施。</li> <li>混練及びプレス成形プロセスに関する最適基本条件を把握。</li> <li>化学分析、繊維長・配向観察、力学特性、熱分析等の分析評価装置・手法を整備。</li> <li>材料データテーブル初版作成。</li> <li>CAE 成形シミュレーションのパラメータ実験同定を行い、フロアパネル流動解析を実施。</li> </ul>	○	
(f)大物高速成形技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>初歩的なボディ部材のプレス成形技術を確立。</li> <li>部材剛性確保のための LFT-D 使用構造の部分補強を試行。</li> <li>ハイブリッド成形構造を達成するためのマテハン技術構築の概念を決定。</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>H25 年度知見に基づき、設備改造を実施（フトン切断装置、保温搬送設備加熱方式等）、物性改善効果を確認。</li> <li>マテハン、ロボット導入によりフトン投入の高速化達成。</li> <li>LFT-D 構造解析により軽量化目標達成の道筋を得た。フロアパネルの設計、金型製作・試作実施。サイドシル補強材設計に着手。</li> <li>LFT-D/補強材ハイブリッド一体成形の成形基礎試験実施、最適条件に関するデータを取得。</li> <li>成形板のパルスサーモグラフィ NDI を実施、有用性、高速性を確認。</li> </ul>	○	

(g)大物高速 接合技術の開 発	・熱可塑性 CFRP 使用部 材同士を高速で接合でき る方法を見極め、最適手 法を選択する。	・超音波、レーザー、電磁誘 導、金属/LFT-D 融着、及びベ ンチマークとしての接着試験を 実施、最適接合条件を把握。	○	
(h)意匠性外 板製造技術の開 発	・高意匠性を支配する技 術要因を分析、基礎技術 を見極めるとともに、候 補素材を選定し、適用プ ロセスを絞り込む。	・表面形状（曲率、うねり、粗 さ）、樹脂材質及び繊維含有率の 反射率に関する基礎データを取 得。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.6.1-4 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
(e)LFT-D 成形の要 素技術の開発	・成形条件と材料物 性の相関データを取 得し、成形プロセス に関する最適基本条 件を把握した段階。 ・CAE 成形シミュ レーションは初歩的 段階。	・混練プロセスを完成し、LFT-D 中間基材と成形部材の材料特性 DB の一部を構築。 ・試験法標準化の道付けを実 施。 ・成形プロセスも扱う力学モデ ルの高度化を行い、CAE 解析ソ フトに組込む。	見通しあり（これま での成果及び平成 27 年度新設備による漏 れのない実験により 必要なデータ取得・ 評価が可能となる）
(f)大物高速成形技 術の開発	・成形・マテハン設 備は完成。	・複雑なボディ部材の成形技術 を確立し、量産化に繋がる要素 技術を確立する。 ・ハイブリッド成形技術を詳細 まで含めて確立する。 ・高速マテハン技術の要素技術 を確立する ・非破壊検査技術の要素技術を 開発する。	見通しあり（これま での成果で攻め処は 明確になった。また 27 年度新設備が加わ ることで量産型の一 環設備システムが完 成する。）
(g)大物高速接合技 術の開発	・3 種類の接合技術の 基礎データ取得段 階。平成 27 年度末で 最適条件の選定の計 画。	・熱可塑性 CFRP 使用部材同士 の高速接合技術を確立する。	見通しあり（平成 27 年度の接合要素試験 及び平成 28,29 年度 の実証試験により技 術確立）

(h)意匠性外板製造技術の開発	・基礎的理論構築および実験データ取得段階。	・選定した素材を用いて、高意匠性付与と強度・剛性のある程度両立する技術を確立する。	見通しあり（研究要素が強く基礎技術として確立）
-----------------	-----------------------	---	-------------------------

### (3)研究開発の成果と意義

1) これまでの研究開発を通じて下記の成果を得た。

- ・プロジェクト推進体制とマネジメントのPDCAを回す仕組みを構築。
- ・知財に関する関係先との契約書及びNDAを整備。
- ・表Ⅲ-2.6.1-3の技術成果を得、LFT-D要素技術確立の目処を得た。

2)上記成果の意義としては下記が挙げられる。

- ・中期目標であるLFT-D要素技術確立の目処を得ると共に、プロジェクト最終目標達成への取り組みの方向性が定まった。
- ・集中研企業との実効的な連携体制が構築できたと共に、研究成果に対する評価を得、求心力を保つことができた。

### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.6.1-5 論文、外部発表等の件数（内訳）

【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会への出展	受賞	フォーラム等※
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	プレス発表	その他			
H25fy	0	0	23	1	0	7	1	0	4
H26fy	2	0	16	12	0	2	2	0	5
合計	2	0	39	13	0	9	3	0	9

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.6.1-6 特許の件数（内訳）

【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.6.2 [テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

### 2.6.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

エネルギー消費量削減、CO<sub>2</sub> 排出量削減は国際的な重要課題であり、産業・運輸・民生の各部門でさまざまな対応が図られており、運輸部門では、世界的に自動車に対する厳しい燃費規制が設定されている。このような世界情勢の中、我が国においても、運輸部門のエネルギー消費量の 9 割を占める自動車をはじめ、鉄道車両等の大量生産される輸送機器の軽量化による省エネに取り組むことが必要である。

炭素繊維と樹脂の複合材料である炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber Reinforced Plastics、以下「CFRP」という。）は、航空機の構造材等に使用され、機体の軽量化によって省エネに貢献している素材であるが、現在、航空機の構造材等として使用されている CFRP は、主に熱硬化性 CFRP であり、樹脂の特性上加工に時間がかかり、生産コストも高いため、大量生産型製品への適用は困難な状況である。さらに、将来的に様々な素材を適材適所に使用していくためには CFRP と金属材料の接合が必要であるが、熱膨張率の差に起因する変形や電食等の課題がある。

これらの課題を解決するため、本事業では「熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発」及び「熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工技術の開発」により、大量生産される自動車の構造材等に熱可塑性 CFRP を使用することで軽量化による燃費向上を実現するとともに、我が国が競争力を有する素材である炭素繊維及び CFRP の新規需要の創出を目指す。また、材料、加工、装置、ユーザーの各メーカー、大学等が垂直連携体制を構築し、実用化までを視野に入れた一気通貫の開発を行う研究体制とすることにより、素材のみならず、最終製品、部品、加工装置等の関連産業を含めた国内産業の競争力の維持・強化を図る。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.6.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
① 熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発	熱可塑性 CFRP と異種材料（鉄鋼、アルミ合金）との接合に必要な要素技術の見極め  各種接合方式、接合形状における強度設計に必要なデータベースの構築  構造の接合部強度予測結果と、その実験結果の平均値との誤差を ±10% 以下とする接合技術の指針の策定と供試体による検証	現行のスチール製量産車と同等の接合部強度の実現  接合部強度予測結果と、その実験結果の平均値との誤差を供試体レベルで ±10% 以下とする接合技術の確立  現行のスチール製量産車と同等のライン速度 1 台/分を実現する指針の策定と供試体による検証	各工程間を連続的に行うことが可能な実用性を兼ね備えた、全体プロセス最適化のための生産・組立技術の開発  ライン速度 1 台/分を実現する接合工程の実証  誤差 ±10% で接合部の長期耐久性（長期曝露後の残存強度）を予測可能な確率論的評価法の確立	量産プロセスに適用することを目的として、熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術、及び接合部の耐久性等評価解析技術に関する開発項目と目標値を設定した

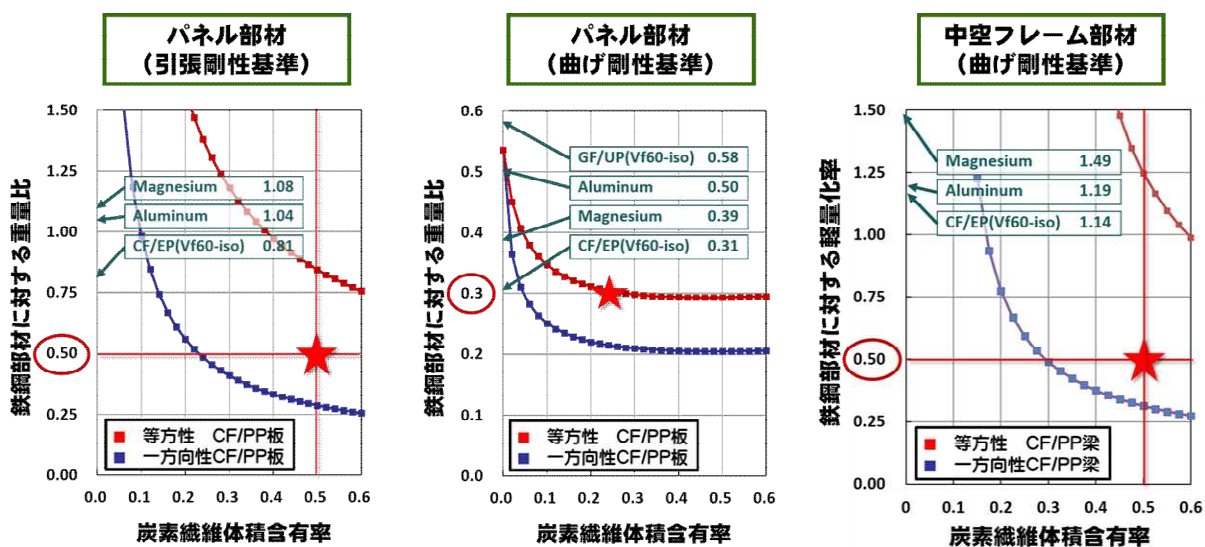
			実ライン速度で直径5mmの円形欠陥を検出可能な非破壊検技術の確立	
②(a)熱可塑性CFRPの中間基材の開発	当該年度の②(b)(c)(d)の目標を実現するための、中間基材の製造に係る要素技術の確立  曲げ剛性でスチール対比60%軽量化	当該年度の②(b)(c)(d)の目標を実現するための、中間基材の製造に係る要素技術の確立  重要特性の変動係数5%以内	制振性、静音性、意匠性等の付加価値を向上させた中間基材の製造に係る要素技術の確立  クラスA外観の実現	自動車部材の多様なニーズ（加工性、強度、剛性、耐衝撃性、耐熱性、意匠性、振動吸収性など）を満たすことを目的とし、構造設計・成形加工・性能評価からのフィードバックを重視した開発とした
②(b)熱可塑性CFRPの性能評価技術の開発	静的挙動に関わる開発材料固有の材料特性（面内せん断強度、面外せん断強度）の測定誤差（変動係数）が10%以下となる試験法の確立  特性評価値のCAE設計パラメータへの適用性の検証	開発材料の特性発現メカニズムの解明と適正な試験条件の探究  動的挙動に関わる開発材料固有の材料特性（ひずみ速度依存係数、温度依存係数）の測定誤差（変動係数）が10%以下となる試験法の確立	開発材料の特性評価法の国際標準化施策の立案	材料特性発現メカニズムの解明は開発技術の発展に不可欠であり、また高精度な性能評価試験方法とCAEのためのデータベース構築は実用化を加速させるために極めて重要と考えて開発項目と目標値を設定した
②(c)熱可塑性CFRPを用いた構造設計技術の開発	開発部材における予測精度を剛性で±5%、強度で±10%とするCAE解析技術の確立	スチール車と同等のボディ剛性と衝撃吸収能力を保持したまま、ボディを60%軽量化する構造の提案  開発材料の供給量や長期耐久性等のリスクも考慮したマルチマテリアルボディで30%以上の軽量化を実現する構造の提案	材料、成形、接合の各性能バラツキと、使用環境が車両性能に与える影響を解明し、車体構造にフィードバックさせることでスチールと同等以上となる量産品質保証技術の確立	熱可塑性CFRPにおけるCAE解析による予測技術をスチール並とし、部材一体化設計や最適トポロジー技術を適用することで、部品点数大幅削減と大幅軽量化を実現する最適構造設計技術を開発することが不可欠と考えて開発項目と目標値を設定した
②(d)熱可塑性CFRPの成形加工技術の開発	開発した中間基材の加熱・加圧・二次加工方法などを検討し、現行数10MPaのハイサイクル成形圧力を10MPa以下とするための周辺要素技術基盤の構築	②(c)で提案される構造を実現するための部材を対象とし、成形シミュレーション技術を基にした、精度±10%以内の繊維配向や形状安定性の予測手法の確立、並びに型占有時間1分以内での成形加工技術の開発	成形プロセスの最適化により不良率を1%以内とする手法、および非破壊検査等による品質検査手法の確立	②(c)で提案される部材・構造に対応可能な成形シミュレーション技術を開発し、成形加工プロセスの最適化技術を確立することが不可欠と考えて開発項目と目標値を設定した

### (3)全体計画

本事業では事業化を見据えて「熱可塑性CFRPと金属材料との接合技術開発」及び「熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・加工技術の開発」について以下の各研究開発内容を実施する。

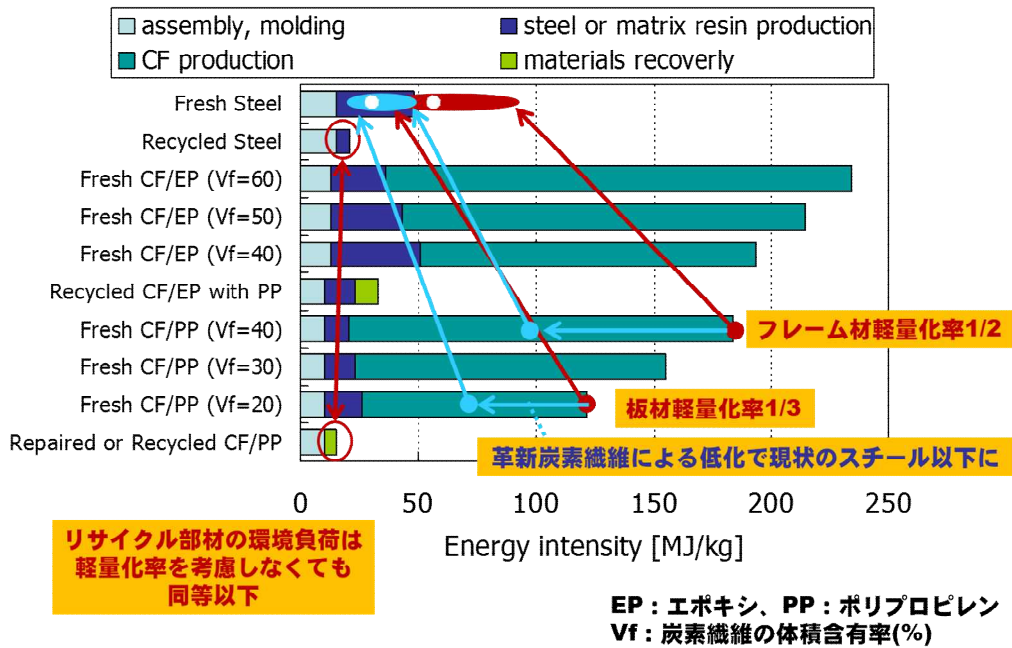
#### ① 熱可塑性CFRPと金属材料との接合技術開発

熱可塑性CFRPは図Ⅲ-2.6.2-1に示されるように構造材料の中で最も軽量化効果が高く、特にその異方性を活用することでさらなる軽量化が期待できる。また、図Ⅲ-2.6.2-2に示されるようにライフサイクルアセスメント的に見ても環境負荷を小さくできる可能性を持つ優れた材料であるが、耐熱性や長期耐久性の観点から、実際の車体構造を設計・製造する際には、車体構造材料として現在の主流である鉄鋼や軽量構造材料として一部実績のあるアルミ合金などの金属材料との接合が必要となる。しかし、熱可塑性CFRPと金属材料との接合においては、電食や熱膨張率の差に起因する問題などにより、実構造に適用できる可能性までは見極められていない。本研究開発項目では、異材接合技術として有力視されている機械的接合と接着接合を、熱可塑性CFRPの特性や自動車組立プロセスへの適合性を考慮して開発する。また、接合部の耐久性等の評価解析技術を確立する。



図Ⅲ-2.6.2-1 熱可塑性CFRPの軽量性

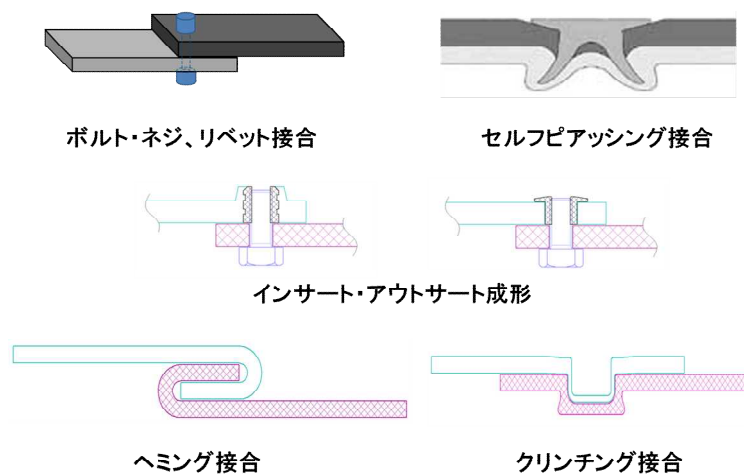




図Ⅲ-2.6.2-2 鉄鋼部材、熱硬化性 CFRP 部材、熱可塑性 CFRP 部材の製造エネルギー比較

(a)機械的接合技術

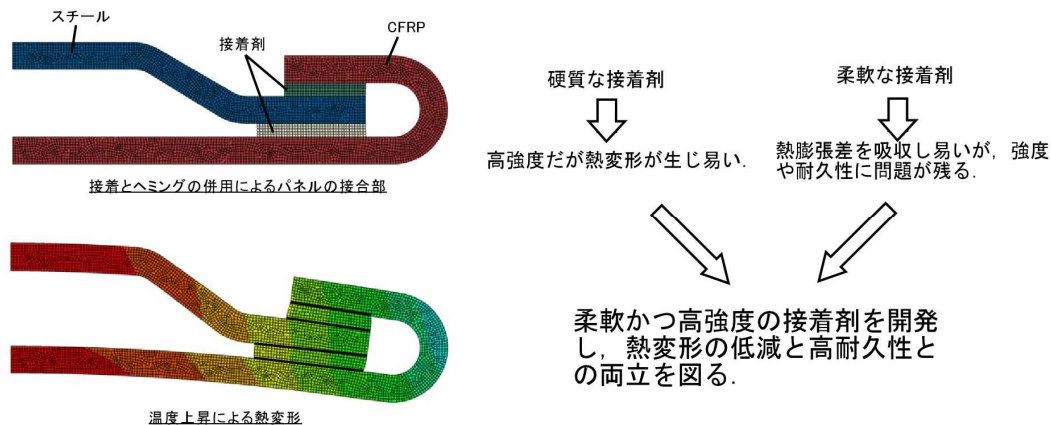
熱可塑性 CFRP の適用箇所拡大や適材適所への材料配置のため、金属材料と併用する部分において高い接合強度と長期耐久性を持つ接合方法の開発を行う。具体的には、熱可塑性 CFRP の延性的な性質を利用し、図Ⅲ-2.6.2-3 に示されるようなボルト・ネジ、リベット、セルフピアスリベットなどの機械的接合技術、機械的接合技術を補助するインサート・アウトサート成形技術及び熱による二次加工が容易である熱可塑性 CFRP の特性を生かしたヘミングやクリンチング等のかんごう技術を開発する。さらに、接合部の強度信頼性を確保するため、電食対策技術及び衝撃や疲労に対する耐久性等の評価解析技術を開発する。



図Ⅲ-2.6.2-3 検討する機械的接合技術

## (b)接着技術

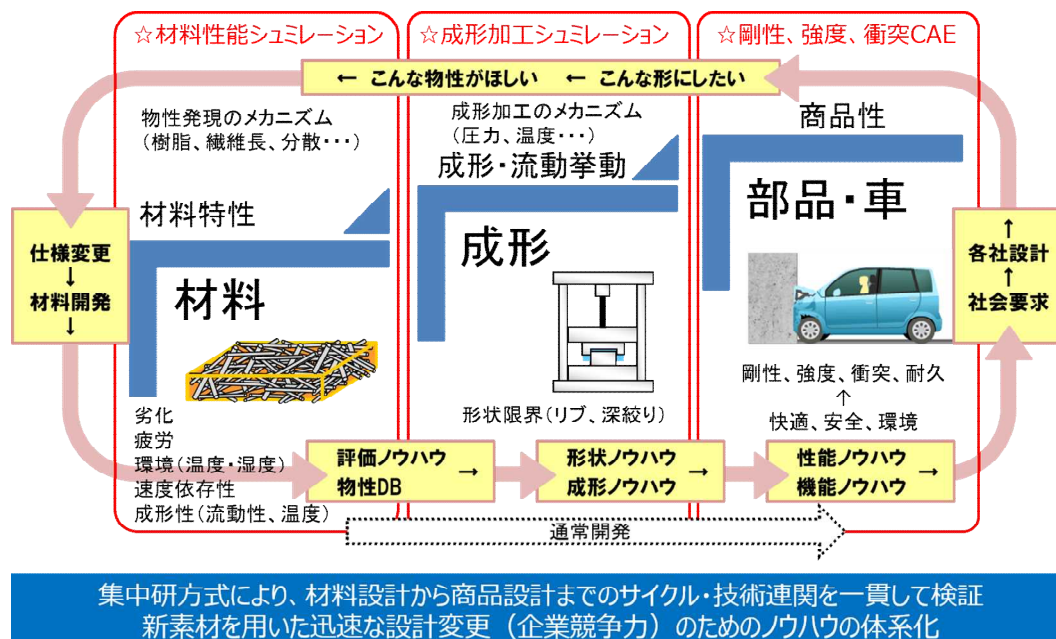
一般的に難接着性であり、接着剤の硬化に必要な高温での加熱硬化処理が難しい熱可塑性樹脂において、短時間で接合するため、熱膨張差を吸収し、高強度・高耐久性を実現する低温速硬化性の接着剤の開発及び熱可塑性 CFRP と金属材料の表面処理を含む接着技術を開発する。また、接合部に生じる接着剤の熱歪み・熱応力（図Ⅲ-2.6.2-4）や耐久性の評価法、並びに寿命予測法や非破壊検査法を含む評価解析技術を開発する。



図Ⅲ-2.6.2-4 接着接合部に生じる熱歪み・熱応力と接着剤の特性による緩和

## ② 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工技術の開発

鉄鋼製車体での構造・材料配置から熱可塑性 CFRP に適した構造・材料配置とし、かつ、高速・低コスト成形加工が可能となる作り易さも追求しながら、熱可塑性 CFRP の異方性も十分に活用するための関連技術を包括的に開発する。さらに実施に当たっては、専門設備と専門人材を集結した集中研方式により、図Ⅲ-2.6.2-5 に示すとおりテーマ間のフィードフォワード・フィードバック連携を図る。



図Ⅲ-2.6.2-5 集中研方式による技術連関の体系化

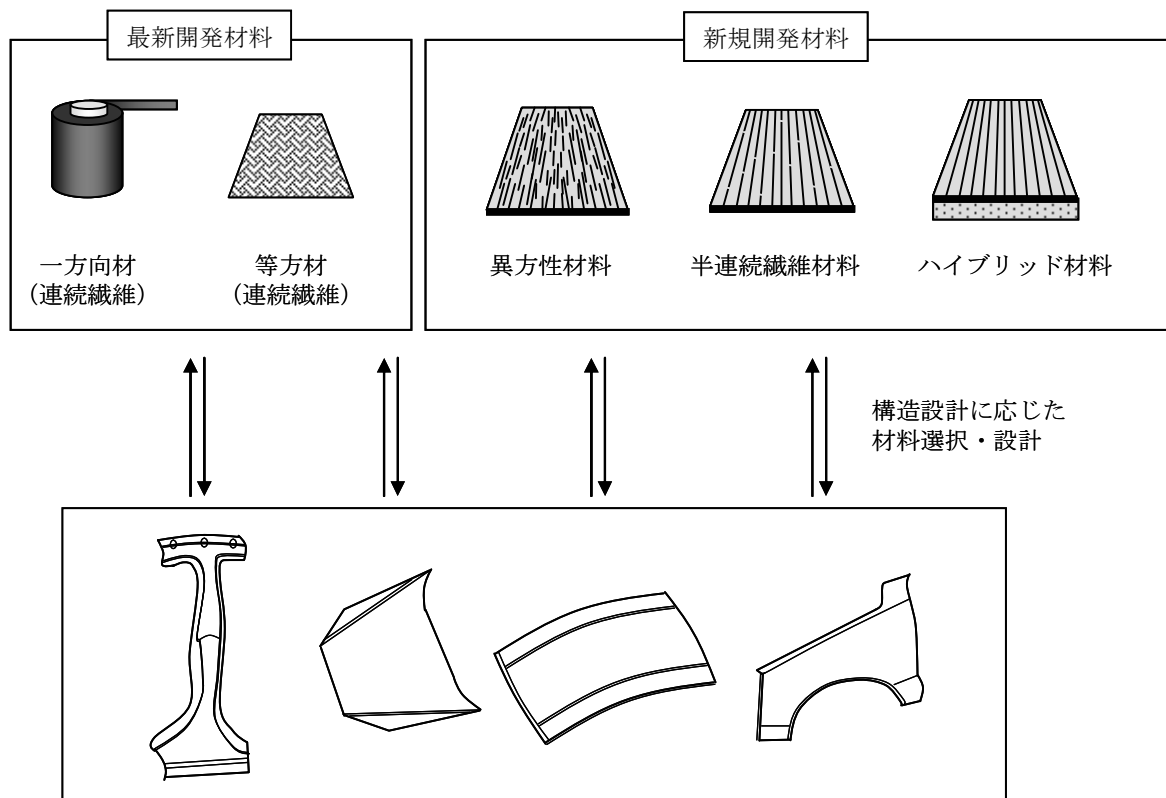


### (a)熱可塑性 CFRP の中間基材の開発

車体構造は様々な性能を持つ部品の集合体であり、材料への要求特性は部品により異なるため、ニーズに合わせて多種多様な材料を設計する技術が求められる。しかし、車体の軽量化は、材料設計と構造設計の綿密な連携によってはじめて最適化されるため、本研究開発項目では、構造設計と成形加工の両者からのニーズを迅速かつ最適に実現するための材料基盤技術を構築する。具体的には、図Ⅲ-2.6.2-6 に示すとおり既存の最新中間基材に加え、半連続繊維や異方性の活用、それらのハイブリッド化等を進め、加工性・強度・剛性・耐衝撃性・耐熱性・意匠性・振動吸収性などの設計上の要求を満たす新規の中間基材を構造設計からのフィードバックを反映させながら開発する。

また、集中研方式を活かし、材料特性・成形データベースを基に、素材物性・基材形態・成形加工条件・部材性能について理論的解釈を深め、材料・加工・構造設計の相互のフィードバックが迅速かつ適切に行える材料の共通基盤技術として体系化する。

さらに、中間基材のハイブリッド化やリサイクル繊維の活用、一般産業用途のニーズに幅広く応えられる中間基材設計法を構築する。



図Ⅲ-2.6.2-6 熱可塑性 CFRP 中間基材の開発概要

### (b)熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発

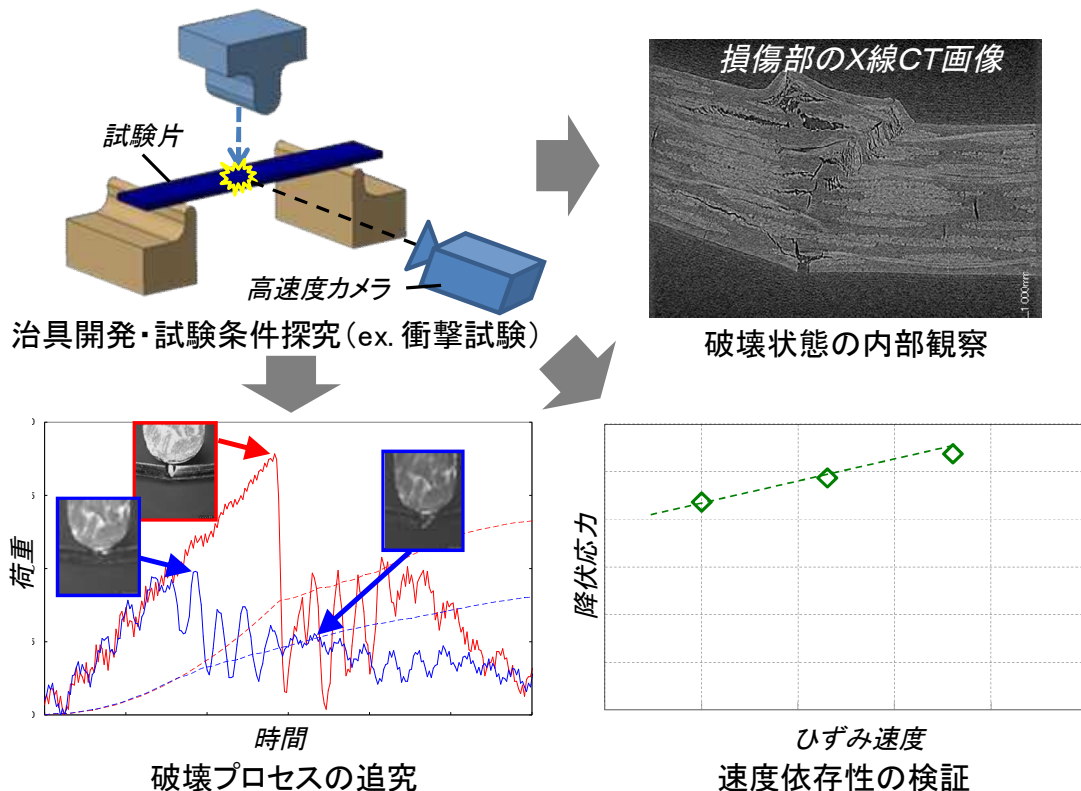
熱可塑性不連続 CFRP の材料性能評価技術は、圧縮特性、衝撃特性、長期耐久性などのメカニズムの解明にまでは至っていないため、本研究開発項目において、まず、図Ⅲ-2.6.2-7 に示すように、熱可塑性 CFRP (連続繊維、不連続繊維、等方性、異方

性)を対象として、変形・破壊・劣化挙動の可視化と材料特性発現メカニズムの解明のための高性能な治具の開発や最適試験条件の探究を行う。

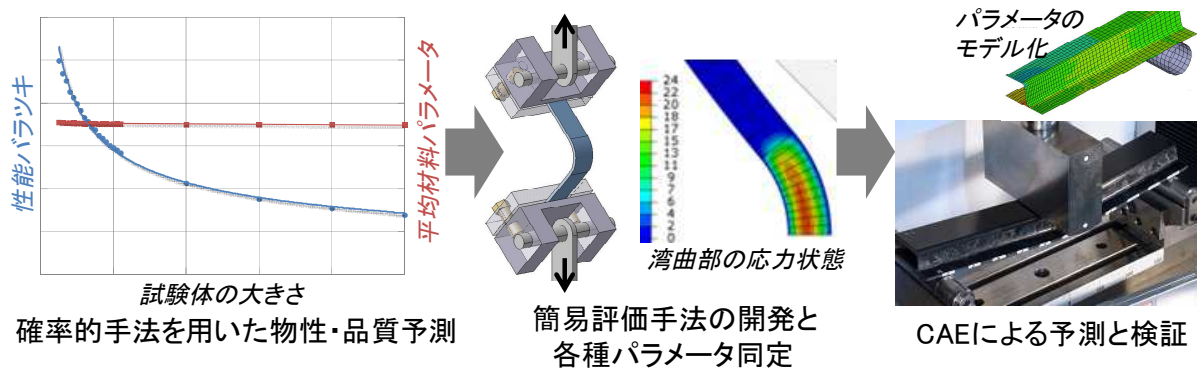
次に、開発する材料・構造設計手法・成形加工方法を実際に量産車開発に使用する際に不可欠となるコンピューター支援エンジニアリング (Computer Aided Engineering、以下「CAE」という。)への入力パラメータを効率的に整備する手段として、金属材料や樹脂材料並みの手間で材料特性を評価する簡易評価手法を開発する。具体的には、異方性を有する中間基材やそのハイブリッド材料群を活用していくため、CAEに入力すべきパラメータが増えることから、より効率的な評価手法のみならずデータの内挿・外挿理論などを開発する必要がある。そこで、確率論・統計学の手法を駆使して、基材形態と評価パラメータごとに合理的な試験条件・試験片寸法・試験本数を決定するロジックを構築し、実証試験によりその有効性を検証する (図III-2.6.2-8 参照)。

さらに、車体設計に必要となる材料特性 (弾性率、強度、靱性、衝撃、クリープ、疲労、接合性、シールド、遮音、耐雷等) の評価手法開発とラウンドロビンテストを通じた材料特性データベース構築を行う。その上で、海外の動向も見極めながら、必要に応じて標準材料や国際標準試験法策定のためのドラフト作成も行う。

また、当該分野は世界的に開発競争の激しい分野であるため、程度の悪い便乗基材が出回ることが想定されることから、そのような基材を用いることでユーザーが不利益を被ることの無いよう、基材段階でのスクリーニング技術も同時に開発する。



図III-2.6.2-7 材料特性発現メカニズムの解明

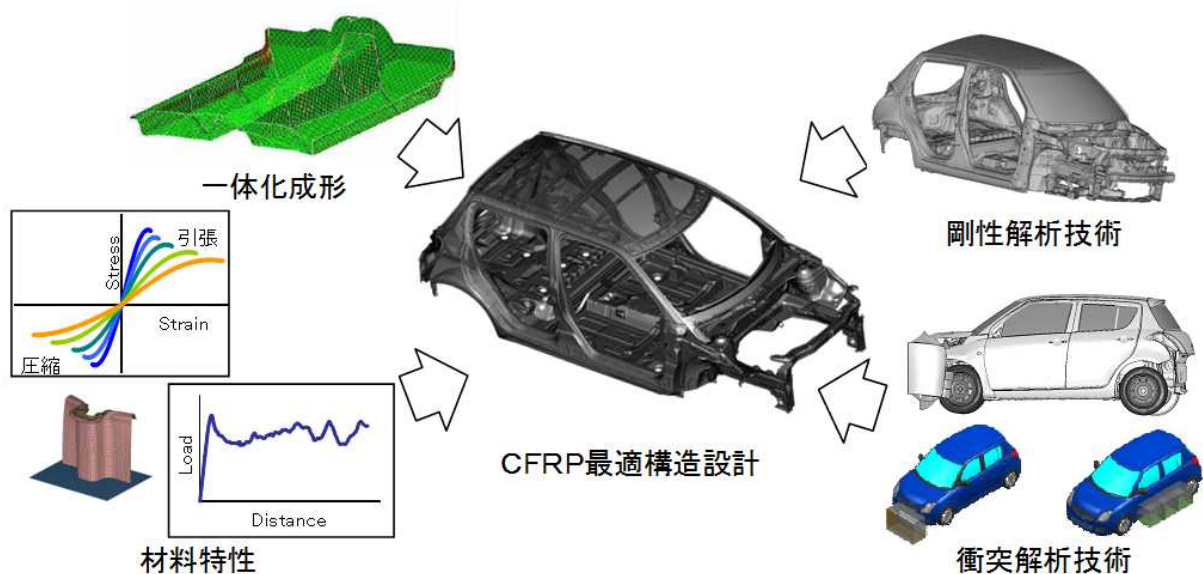


図Ⅲ-2.6.2-8 CAE パラメータの整備と予測及び設計技術への適用性検討

(c)熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発

現在の熱可塑性 CFRP の CAE 解析においては、様々な材料特性パラメータ（圧縮特性や速度・温度・時間依存性など）を適用するには至らず、構造解析による予測技術は限定的であり、多種多様な材料群に応じた解析用材料モデルは構築されていないため、本研究開発項目では、まず、速度依存及び環境依存を考慮した材料モデルを構築し、CAE 解析による予測技術の適用範囲を拡大する（図Ⅲ-2.6.2-9 参照）。

また、さらなる軽量化や部品点数削減、軽量化率向上とのトレードオフとなる成形加工速度の低下も解決する設計指針の構築を目的として、熱可塑性 CFRP を用いた車体構造全体の最適化を達成できるシミュレーション技術の確立と設計理論の構築を行う。具体的には、車両性能・コスト・乗り心地・乗員安全性・歩行者保護などの要求度に応じて最適な構造デザイン（材料配置、板厚、寸法、形状）を提供するため、最適トポロジー（形状付与）技術等を取り入れた理論的な共通基盤を構築する。



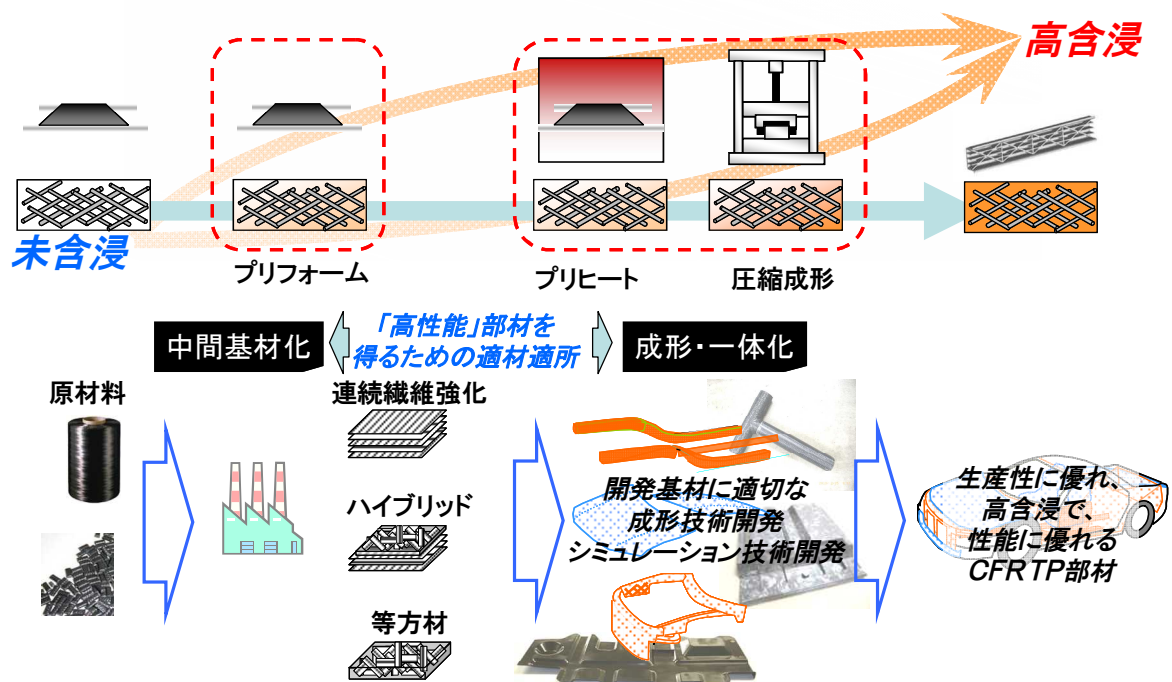
図Ⅲ-2.6.2-9 構造設計技術開発

#### (d)熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発

最適設計された車体が予定通りの性能を発現するためには再現性の良い成形加工技術の確立が必要であり、部材性能、部材形状、複合成形に適した多種多様な新規中間基材、さらに、これらを組み合わせてハイブリッド化した基材に対応した成形加工プロセスの開発・最適化が不可欠となる。しかしながら、本事業で開発する多種多様な中間基材は、それぞれが従来に無い強化メカニズムや熱可塑性樹脂特有の性質を持つため、成形加工方法を体系的に見直す必要がある。そこでシミュレーション技術の援用が不可欠となるが、従来のシミュレーション技術では、これらの成形加工後の繊維配向等を精度良く予測することができない。本研究開発項目では、図Ⅲ-2.6.2-10 に示すように、開発された基材を用いて、構造設計が要求する軽量形状を実現するための成形加工技術を開発するとともに、成形加工・物性予測シミュレーション技術を開発する。具体的には、開発された基材の加熱・加圧・二次加工方法などの成形基盤技術を整えると同時に、複数の材料のハイブリッド成形に関する基盤技術を確立する。

また、複雑な部材の高精度かつ再現性の良い成形のための流動解析シミュレーション手法を開発して、成形条件の見極めだけでなく金型設計に適用できる技術を確立する。

さらに、研究開発項目(a)(b)(c)での検討を踏まえて、素材から構造体までのトータルの成形加工サイクルを最短とするプロセスパターンを体系化すると同時に、今後の設計変更にも迅速に対応できる技術基盤を構築する。



図Ⅲ-2.6.2-10 高生産性・高性能部材を得るための熱可塑性 CFRP の成形加工技術開発

#### (4)実施体制

東京大学（PL：高橋淳教授）を集中研究拠点として、22機関が以下のようにWGを組織して実施している。

【分担研】		接合	基材	評価	設計	成形
東レ株式会社	(伊予分室)	○	幹事	○	○	
三菱レイヨン株式会社	(豊橋分室)	○	幹事	○		○
東洋紡株式会社	(大津分室)		幹事	○	○	
株式会社タカギセイコー	(高岡分室)		○			○
スズキ株式会社	(浜松分室)	○		○	○	○
株式会社本田技術研究所	(芳賀分室)			○		
三菱自動車工業株式会社	(岡崎分室)				○	
日産自動車株式会社	(追浜分室)	○			○	○
株式会社島津製作所	(京都分室)			○		
福井ファイバーク株式会社	(豊橋中原分室)		○			○
株式会社カドコーポレーション	(たつの分室)	○				○
住友重機械工業株式会社	(横須賀分室)					○
株式会社IHI	(瑞穂分室)					○

【再委託先】		接合	基材	評価	設計	成形
東京大学	(国立大学法人)	○	幹事	幹事	幹事	幹事
金沢工業大学	(学校法人)	○				
東京工業大学	(国立大学法人)	幹事				○
東北大学	(国立大学法人)		○			
山形大学	(国立大学法人)		○			
岐阜大学	(国立大学法人)		○			
福井県			幹事			
独立行政法人物質・材料研究機構		○				
一般財団法人ファインセラミックスセンター			○			

図Ⅲ-2.6.2-11 実施体制表

#### (5)運営管理

東京大学の共同研究契約における各種規定に基づき、22機関（87名）が共同研究を行っている。

研究開発は接合・評価・設計・成形と5つの基材（マット材、連続材、テープ材、薄層テープ材、リサイクル材）の計9個のWGで機動的に行い、以下の通り全体会合を年4回、WG別会合を年7回（+臨時会合）行っている。

- 4月：WG別会合
- 5月：WG別会合
- 6月：全体会合（東大集中研のみ）
- 7月：WG別会合
- 8月：WG別会合
- 9月：全体会合（名大集中研との合同会合）
- 10月：WG別会合
- 11月：WG別会合
- 12月：全体会合（東大集中研のみ）
- 1月：WG別会合
- 2月：全体会合（名大集中研との合同会合）

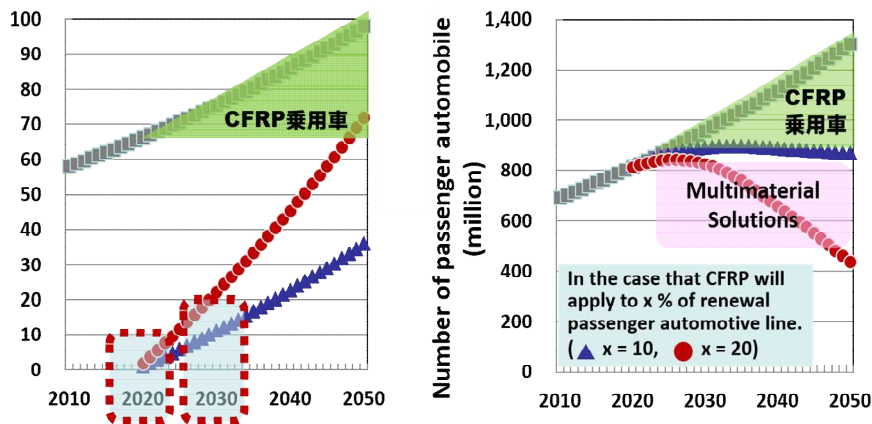


**(6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）**

本プロジェクトの目標は車体の50%軽量化であり、これにより現行車両の走行時の石油消費量（1000L/年）とCO<sub>2</sub>排出量（2.32t-CO<sub>2</sub>/年）がそれぞれ37.5%（一台あたり石油375L/年、0.87t-CO<sub>2</sub>/年）削減される。なお、図Ⅲ-2.6.2-2に示されるように、部材製造までの環境負荷は現行車両と同じになるので、LCAで考えても結果は同じである。

そして、図Ⅲ-2.6.2-12に示されるように、本プロジェクトの開発技術は2030年にCFRP量産乗用車1,000万台に適用されることを目標としているので、2030年に生産される技術適用車による石油削減量は375万kL/年、CO<sub>2</sub>削減量は870万t-CO<sub>2</sub>/年（2020年から生産されるすべての技術適用車による効果は石油削減量1,875万kL/年、CO<sub>2</sub>削減量は4,350万t-CO<sub>2</sub>/年）となる。

また、本プロジェクトで開発される技術による車両一台あたりの熱可塑性CFRP部材は240kg（24万円）であることから、これが1,000万台に適用される2030年の市場創出効果は2.4兆円（2020年からの累積では12兆円）となる。



**2020年から本格適用**  
**2030年に**  
**CFRP車1000万台生産**  
**CF需要量100万トン**



**開発目標とスケジュール**  
**CF** : コスト、生産量  
**CFRP** : 製造コスト、製造速度、3R  
**周辺** : CAE、試験法標準化・・・

図Ⅲ-2.6.2-12 革新炭素繊維プロジェクトと共有している開発目標

## 2.6.2.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.6.2-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成度 ※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
① 熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発	熱可塑性 CFRP と異種材料（鉄鋼、アルミ合金）との接合に必要な要素技術の見極め  各種接合方式、接合形状における強度設計に必要なデータベースの構築  実構造の接合部強度予測結果と、その実験結果の平均値との誤差を±10%以下とする接合技術の指針の策定と供試体による検証	熱可塑性 CFRP と異種材料の接合に必要な接着剤と機械締結法を選定した  各種接合方式、接合形状における強度データベースの構築を行った  選定した手法による実験結果から、±10%以内の精度での強度予測は可能であると結論できた	△	実験データを充実させて、成果の汎用化を図っていくことで、成果の価値が上がる
② (a) 熱可塑性 CFRP の中間基材の開発	当該年度の②(b)(c)(d)の目標を実現するための、中間基材の製造に係る要素技術の確立  曲げ剛性でスチール対比 60%軽量化	②(b)(c)(d)からの要請に基づく中間基材を提供し、各々目標達成した  曲げ剛性でスチール対比 60%軽量化を達成した	○	
② (b) 熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発	静的挙動に関わる開発材料固有の材料特性（面内せん断強度、面外せん断強度）の測定誤差（変動係数）が 10%以下となる試験法の確立  特性評価値の CAE 設計パラメータへの適用性の検証	静的面内せん断強度、静的面外せん断強度の測定誤差が 10%以下となる試験法を考案し、検証中  得られた特性評価値を②(c)の CAE に用いることで、適用性が検証された	△	試験治具を改良中であり、年度内に十分に達成可能である
② (c) 熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発	開発部材における予測精度を剛性で±5%、強度で±10%とする CAE 解析技術の確立	単純形状部材において、剛性で±5%、強度で±10%の CAE 解析結果を得た	○	
② (d) 熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発	開発した中間基材の加熱・加圧・二次加工方法などを検討し、現行数 10MPa のハイサイクル成形圧力を 10MPa 以下とするための周辺要素技術基盤の構築	開発した中間基材で 10MPa 以下でのスタンピング成形が可能となったが、形状が複雑となると高圧が必要となり、引き続き対応を検討している	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

(2)最終目標の達成可能性

表Ⅲ-2.6.2-3 最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (平成 34 年度末)	達成見通し
① 熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発	②(d)と連携して H27 年度からプロセス検討を開始する  同上  長期耐久性データの収集を開始している  ②(d)と連携して H27 年度から非破壊検技術の検討を開始する	各工程間を連続的に行うことが可能な実用性を兼ね備えた、全体プロセス最適化のための生産・組立技術の開発  ライン速度 1 台/分を実現する接合工程の実証  誤差±10%で接合部の長期耐久性（長期曝露後の残存強度）を予測可能な確率論的評価法の確立  実ライン速度で直径 5mm の円形欠陥を検出可能な非破壊検技術の確立	技術的には可能と考えているが、予算的に厳しい
②(a)熱可塑性 CFRP の中間基材の開発	制振性、静音性については、開発材料の NVH の測定を開始しており、意匠性については既に好外観の材料を得ている	制振性、静音性、意匠性等の付加価値を向上させた中間基材の製造に係る要素技術の確立  クラス A 外観の実現	機能性については十分に可能だが、クラス A は困難（そもそも必要だろうか？）
②(b)熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発	経済産業省の国際標準化委員会にコミットし、協調技術の標準化と競争技術の保護を行っている	開発材料の特性評価法の国際標準化施策の立案	十分に可能
②(c)熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発	開発材料の性能の統計的性質は既に明らかにし、成形時の基材流動シミュレーション手法を開発するなど、再現性と予測可能性の向上に注力している	材料、成形、接合の各性能バラツキと、使用環境が車両性能に与える影響を解明し、車体構造にフィードバックさせることでスチールと同等以上となる量産品質保証技術の確立	十分に可能
②(d)熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発	各開発項目の基盤技術が整ってきたので、平成 27 年度からプロセス連動ならびに非破壊検査の検討を開始する	成形プロセスの最適化により不良率を 1%以内とする手法、および非破壊検査等による品質検査手法の確立	技術的には可能と考えているが、予算的に厳しい

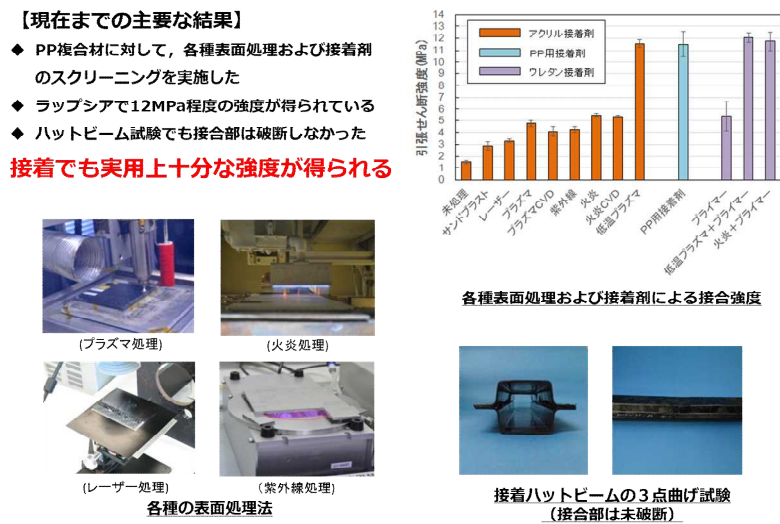


### (3)研究開発の成果と意義

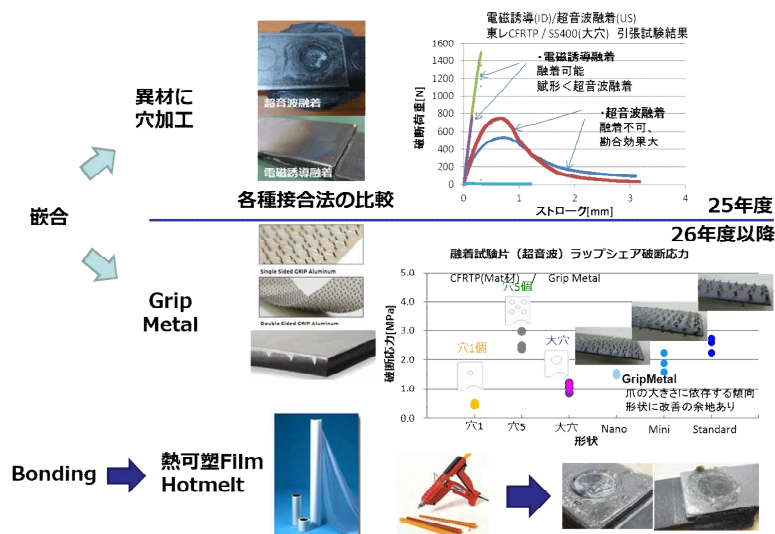
#### ①熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発

熱可塑性 CFRP 同士の融着技術の検討は前プロジェクトで完了しているため、本テーマでは、熱可塑性 CFRP 同士、さらには熱可塑性 CFRP と金属の接着剤での接合を検討している。図Ⅲ-2.6.2-13 に示されるように、これまでに、様々な表面処理方法の比較検討を完了し、接着剤の絞り込みと、モデル部材での有効性の検証ができています。

一方で、特に、接着に広い面積が使えないような所や、高い強度・耐久性が求められる箇所での強固な接合を想定した機械的接合の検討も行っている。図Ⅲ-2.6.2-14 に示されるように、こちらも様々な機械接合法の比較検討が完了し、有望とみられるグリップメタルや熱可塑性フィルム接着剤との併用についての検討を行っている。



図Ⅲ-2.6.2-13 接合技術（接着接合）



図Ⅲ-2.6.2-14 接合技術（機械的接合）

## ②(a)熱可塑性 CFRP の中間基材の開発

このテーマでは、各素材の最高性能や特性発現メカニズムの検討はほぼ完了し、他のテーマからの要望、例えば評価しやすい材料、成形しやすい材料、等への対応、さらには異材とのハイブリッド化による問題解決などを進めている。

図Ⅲ-2.6.2-15 は炭素繊維を等方・均質に分散させた中間基材で、カーメーカーが使いやすい等方性と複雑形状への追従性に優れた材料である。平成 26 年度の成果としては、さらに軽量化を追求したサンドイッチ構造のワンステップ賦形コンセプトの構築、金属材料や熱硬化性 CFRP とのハイブリッド化、長期耐久性の解析技術構築などがあげられる。これまでのサンドイッチ構造は分厚く、絞り加工などができなかったが、この材料は薄く、絞り加工が出来るなど従来に無い使い勝手の良さが特徴で、比重が約 0.7 で水に浮くという特徴もある。

次に、図Ⅲ-2.6.2-16 は航空機や F1 カーで使われている連続状態での炭素繊維シートに切り込みを入れて、乗用車の複雑形状に対応させようという基材である。この基材でも基本検討は完了し、CAE 成立性や流動シミュレーションによるさらなる成形性の向上を目指した検討を進めている。

図Ⅲ-2.6.2-17 はさらに複雑な形状への適用を可能とするためのテープ系材料の検討で、基礎検討は完了し、自動車のフレーム構造を模擬した中空ビームでのシミュレーション検討が行われている。この材料の特徴は、テープにしたことで航空機用 CFRP と同程度の炭素繊維含有率を持ちながら複雑な形状でも皺を作らずに成形できるというもので、実際、航空機用 CFRP と比べて重量あたりの性能が同等以上である。現在は、鉄並みの衝突シミュレーションができることを目標とした検討を行っており、写真にみられるような単純形状では目標を達成している。

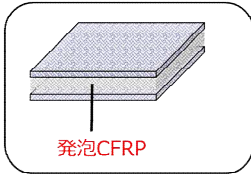

テープ系基材のもう一つの検討として、その低コスト化も進めている。図Ⅲ-2.6.2-18 は炭素繊維シートを薄くすることで樹脂含浸の必要圧力を下げて生産性を 10 倍にしたものである。層が薄くなることにより、部材の性能がさらに上がり、ばらつきも小さくなるなどのメリットが確認されている。また、さらに CAE の精度をあげたり、成形時のプレス圧を下げて設備投資コスト削減を実現するための検討も進められている。学術的にも、この不連続繊維の力学特性モデリング関連で複数の学会賞を受けている。

以上、マット、連続、テープとそのハイブリッド基材を紹介したが、リサイクル基材の検討も行っている。自動車の量産を考えた場合、鉄の場合もそうだが、ロール状の素材をカットしてプレス・接合する際に必ず端材が出る。炭素繊維は高価な材料なので、その端材を使ってバージン材と同等の自動車部材が製造できれば、コスト面の大きなメリットになるし、もちろんこの技術は市場ゴミのリサイクルにも活用できる。平成 26 年度は、図Ⅲ-2.6.2-19 に示されるように、樹脂を除去しながら同時に炭素繊維表面の官能基を回復する手法の検討を進める一方で、リサイクル繊維を用いてバージン材同等の自動車部材を作るための手法を絞り込んだ。既にマット系ではバージン材同等の性能の部品がリサイクル材から製造できることが明らかになっており、引き続きテープ系での実現を目指した検討を進めている。

軽量・高性能コア（発泡CFRP）を用いたサンドイッチ構造体を開発

**サンドイッチ構造体のワンステップ賦形技術**

不連続マット基材/発泡CFRPコアの組み合わせで、凹凸形状を持つサンドイッチ構造体をプレス成形のみで賦形可能。

凹凸形状に追随可能



**スキンバリエーション**

アルミニウム    熱硬化CFRP

スキンの選択が可能。  
スキン/コアの接着性も良好。

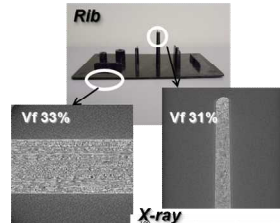

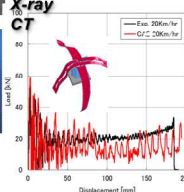

**デモンストレーター（シートバック形状）**

スキン：不連続マット基材  
コア：発泡CFRP

図Ⅲ-2.6.2-15 中間基材（マット系）

テーマ	H26-27前の進捗
中間基材	<ul style="list-style-type: none"> <li>連続基材：評価WG、成形WGと連携して物性発現メカニズムの理解と深化。</li> <li>半連続基材：基本設計の終了。繊維長と切込角度を最適化することにより、力学物性と成形加工性に優れた材料を開発。</li> </ul>
構造設計CAE	<ul style="list-style-type: none"> <li>ハイブリッドモデル：自由度の異なる要素を組み合わせ、CFとマトリックスを表現。計算速度と精度を両立。</li> <li>単純な衝撃破壊試験を精度よく再現。</li> </ul>
成形加工CFD	<ul style="list-style-type: none"> <li>繊維方向と繊維と垂直方向の流動異方性を考慮したCFD（粒子法）技術を開発。最大粘度比1,000まで計算可。</li> <li>粘度比の異なる層の積層体の計算に向けて、積層界面の安定性や計算時間の短縮を実施中。</li> </ul>

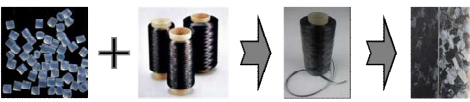





実験    CAE

UD材のプレス流動

図Ⅲ-2.6.2-16 中間基材（連続・半連続系）

**中間基材WG    テープ系CTT基材**



目的：中空梁構造部材による軽量化の検討

**H26年度**

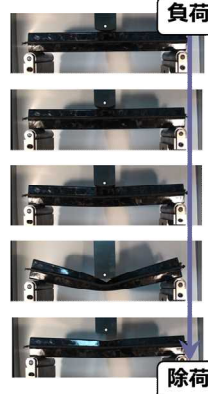
単純モデル部材の選定、評価技術の構築

各種力学条件下における挙動の把握

**H27年度**

実構造を模したモデル部材でのCAE実証検討

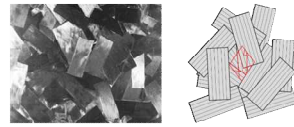
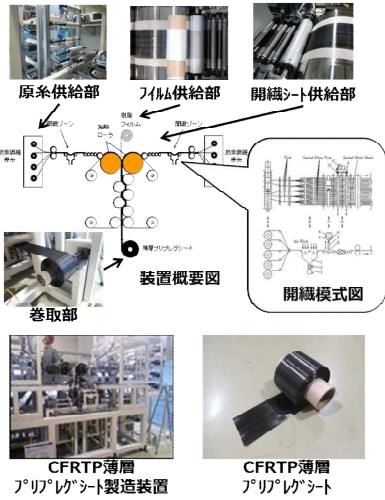
実構造への適用可能性の見極め



衝撃負荷    除荷

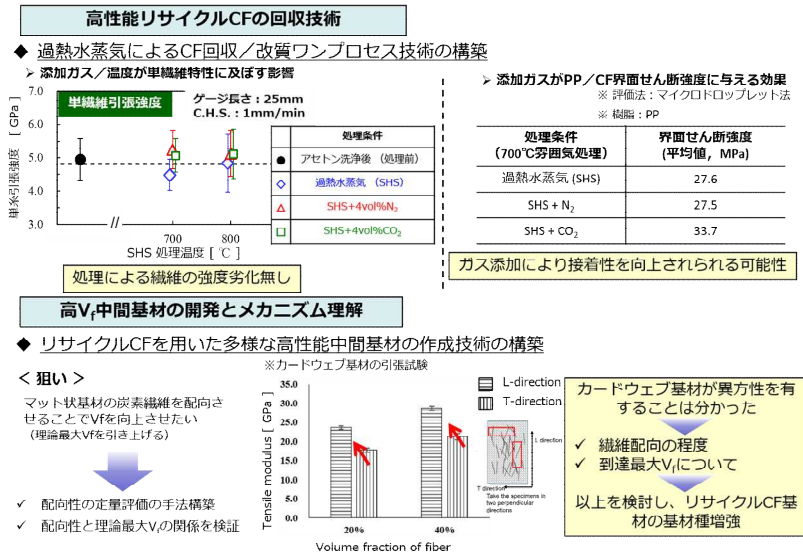
図Ⅲ-2.6.2-17 中間基材（テープ系）

CFRTP薄層リリラシート<sup>®</sup>の検討  
加工基材：CF15K→48mm開織、PA67フィルム20μm  
加工速度：10m/min (約6kg/h)



- ◆ 薄層CTT基材製造性検討[H28~]
- ◆ モデル化・統計的性質解明  
→ 製造・評価しやすい材料に
- ◆ 最低成形圧力の検討  
→ 究極の低コスト成形に向けて
- ◆ テープ流動シミュレーション[H28~]  
→ 高意匠性材料に
- ◆ CAE適合性の検討[H28~]  
→ 低CV&物性予測可能な材料に

図Ⅲ-2.6.2-18 中間基材 (薄層テープ系)



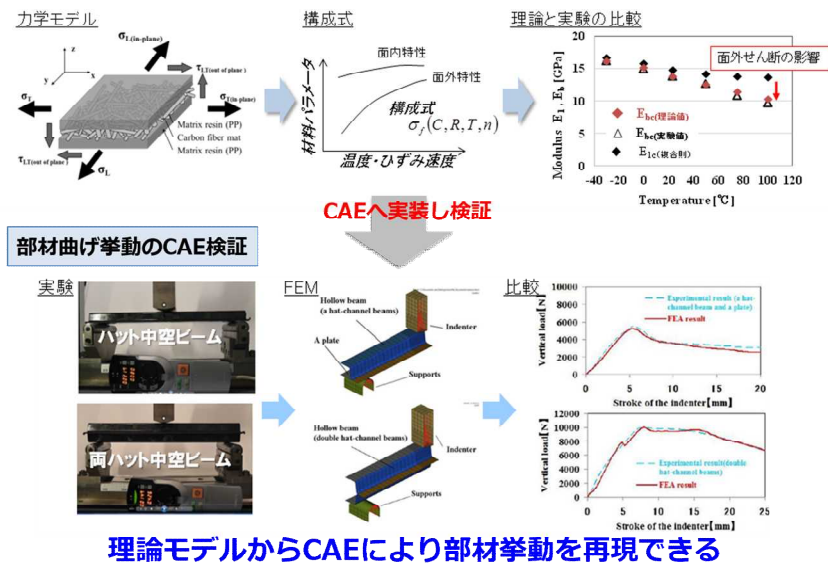
図Ⅲ-2.6.2-19 中間基材 (リサイクル材系)

## ②(b)熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発

性能評価のテーマでは、図Ⅲ-2.6.2-20 に示されるように、開発材料の力学特性の温度依存性・歪速度依存性を統一的に表現できる構成方程式を作成し、それを用いて中空ビームの実験結果が表現できるようになっている。

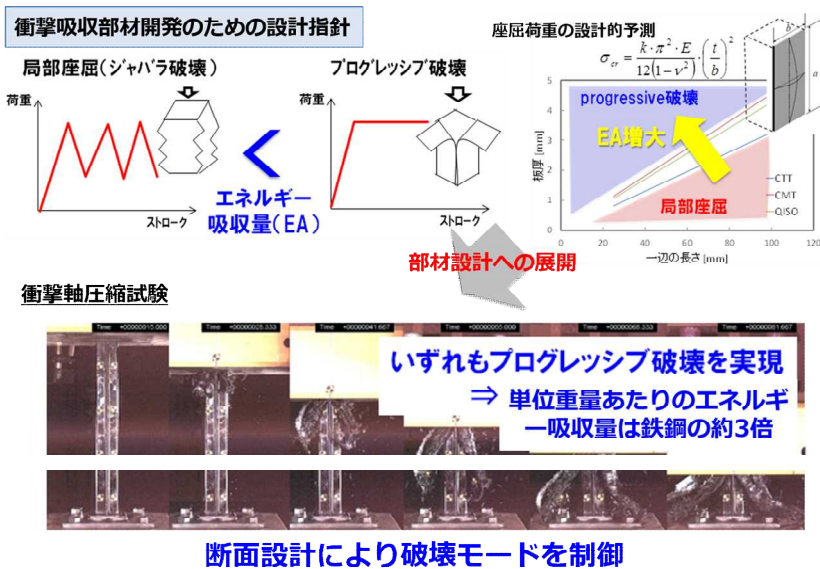
また、図Ⅲ-2.6.2-21 に示されるように、自動車の前面衝突時のエネルギー吸収部材、いわゆるショックアブソーバーの検討結果では、同じエネルギーを吸収する時の部材の重量が鉄鋼の約 1/3 となることが示された。さらに CAE によりそのメカニズムも明らかとなってきたので、より軽量で荷重方向にもロバストな部材設計を進めたい。





理論モデルからCAEにより部材挙動を再現できる

図 III-2.6.2-20 性能評価技術(1)



断面設計により破壊モードを制御

図 III-2.6.2-21 性能評価技術(2)

②(c)熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発

構造設計のテーマでは、熱可塑性 CFRP に適した構造形状のあり方を検討している。複合材料は面内方向と面外方向の特性差が 1 桁から 2 桁あることで、航空機や圧力容器など主に面内方向の特性だけを使う用途では圧倒的な軽量性を発揮する。しかし自動車のようにコーナー部や突起がたくさんあり、曲げやねじり荷重もふんだんに受ける複雑構造では、この極端な異方性を正しく考慮した設計を行う必要がある。

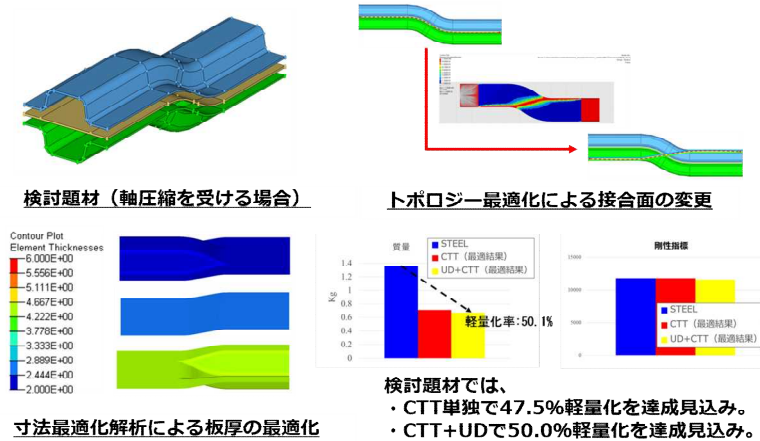
そこで、図 III-2.6.2-22 に示されるように、金属材料用に開発されている構造最適化ソフトを異方性が使えるように改造したが、上述のように複合材料には性能の大きく異なる基材があり、また実際にハイサイクル成形できる形が無ければならないので、

それらも含めた最適化を考える必要がある。現在の所、最も軽量化が困難とされている中空ビーム部材において、構造最適化により 50%以上の軽量化デザインができるようになっている。

また、強度設計においても、極端な強度の異方性を考慮する必要があり、板厚方向の破壊を想定していないシェル要素が使えないという問題がある。そこで、図 III-2.6.2-23 に示されるように、ソリッド要素とシェル要素のハイブリッド要素を開発し、層間剥離を伴う破壊プロセスも精度良く、かつ高速にシミュレーションできようになった。また、そもそもこのような層間剥離現象が起こらなければ、素材の持つ高い性能を使い切ることができ、かつ CAE の難易度も大幅に下げることが出来ることから、層間剥離が起こらない部材形状の提案も行っている。

複合材への構想最適化手法の活用方法を検討する。

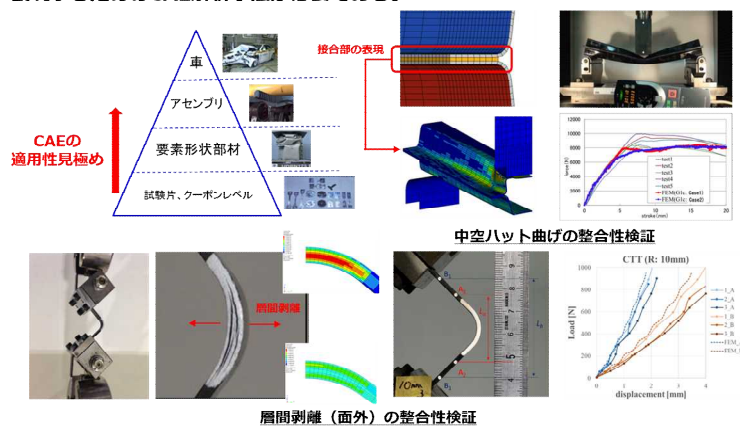
※複合材の特徴：「繊維の向きをコントロールすることで特性が変わる」、  
「接合部は一般部に比べ、性能が低い」



◆ 剛性設計する場合、複合材に適する構造最適化手法が見出せた。

### 図 III-2.6.2-22 構造設計技術(1)

実車のCAEを実施するには、材料特性を正しく表現することに加えて、実部品を表現するためのCAE解析手法が必要である。



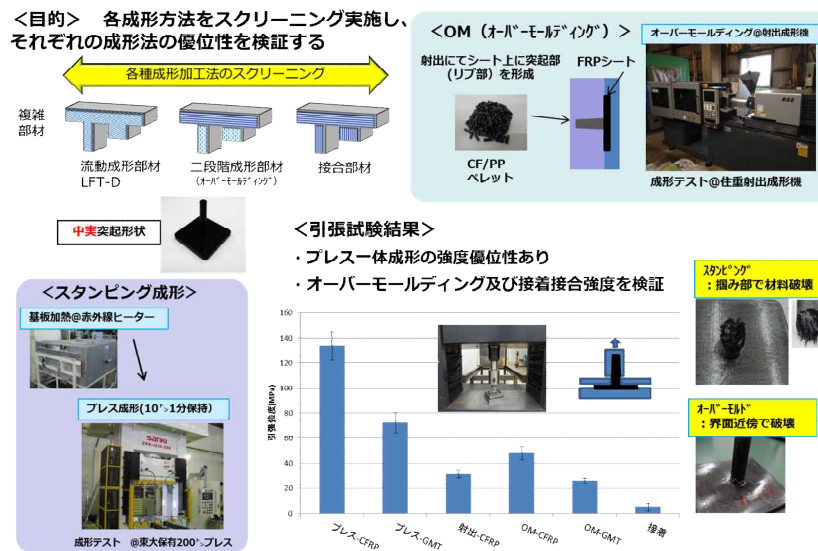
◆ 中空ハット部材の接着部の材料特性を表現することで、曲げを精度良く再現できた。  
◆ 層間剥離現象を精度良く再現できた。

### 図 III-2.6.2-23 構造設計技術(2)

## ②(d)熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発

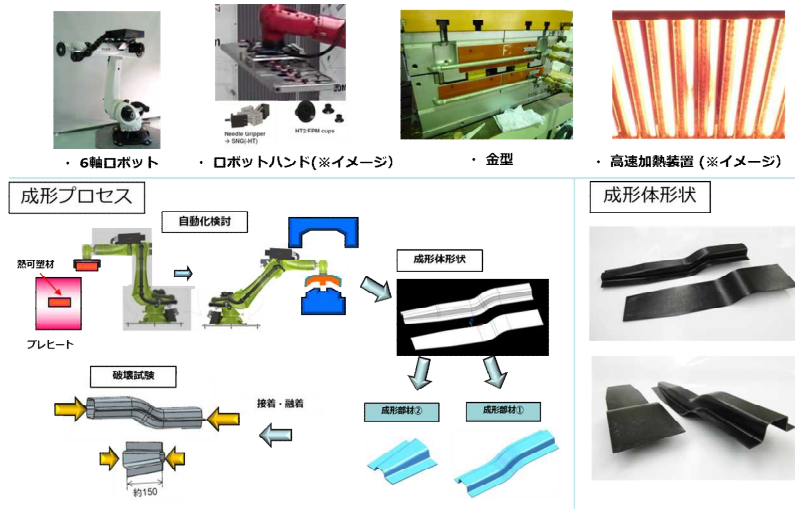
最後に、成形加工のテーマでは、図Ⅲ-2.6.2-24 に示されるように、これまでに世界中で提案されている各種成形手法を比較検討することからはじめて、量産車の低コスト成形に適した成形方法を絞り込んだ。特に、複雑な形状を1分以内のサイクルで成形する方法としては、本プロジェクトで開発しているような不連続繊維を用いた基材が不可欠である。現在は、さらに低い圧力での成形が可能となる方法を検討しており、これにより生産ラインでのプレス機の容量が1000t以下と小さくなって、設備投資コスト削減から、部材単価がさらに下がることにつながると期待できる。

また、基礎検討を行うテーマでは、個々の基材用の非常に管理された良い条件のもとで、素材の持つ性能を十分に発揮する検討を行っているが、実際の成形では様々な材料が同じ装置で成形加工されることから、マルチマテリアル化に向けてはそのような現実的な状況下での科学的な解決方法も研究対象となる。そこで、図Ⅲ-2.6.2-25 に示されるように、種々の基材、あるいはそれらのハイブリッド材を同じヒーターで加熱する場合や、さらに金属材料との同時成形や後加工としての接合を行う場合の温度制御、成形・接合時の圧力制御についての検討を行っている。この検討は平成26年度末に装置の一部の導入が完了し、また最適形状や接合検討のための装置も平成27年度のNEDO加速予算での導入が予定されている。



図Ⅲ-2.6.2-24 成形加工技術(1)

- ◆ 成形プロセス検討に必要な装置の一部が導入完了し、検討を開始。
- ◆ 構造設計WGの提案形状、接合WGの提案接合をNEDO加速予算で本年度導入予定。



図Ⅲ-2.6.2-25 成形加工技術(2)

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.6.2-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォ ーラ ム等※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	8	0	43	3	0	0	0	1	0
H26FY	3	0	24	0	0	0	1	1	0
合計	11	0	67	3	0	0	1	2	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.6.2-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	2	0	0
H26FY	1	0	0
合計	3	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約



## 2.7 「接合技術開発」

### 2.7.1 [テーマ番号 01] アルミニウム／CFRP 接合技術の開発

#### 2.7.1.1 テーマの概要

##### (1)背景と目的

軽量構造材料のアルミニウム（Al）と、軽量・強度・剛性に優れる CFRP との組み合わせは、今後の輸送機器用途では非常に重要な設計技術となるが、従来接合方法では接合サイクル、コスト面、設備大型化・精密化が必要となる場合や、熱源や高価な設備が必要なものもあり、更なる改善が期待されている。本事業では、より簡便に実施でき、接合特性に優れ、大型部材にも適用可能な革新的接合技術、具体的には、新規接合技術として、摩擦エネルギーを利用した簡便な摩擦（攪拌）重ね接合（Friction lap joining、以下 FLJ）技術の研究開発を進める。

##### (2)位置付け、目標値

###### 【第一中間目標（平成 27 年度末）】

接合強度：アルミニウム／CFRP（熱可塑性樹脂ベース）の試験片の接合で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値以上、またはそれに準ずる接合試験片（例えばシングルラップ接合試験（ISO4587））の引張せん断試験で母材破断となるレベルを達成する。ここで母材破断とは、CFRP 破壊の場合は①CFRP 全体が接合部周辺で破断した場合、②接合部においてアルミニウム側に CFRP 材料表面がとられて破断した場合であり、アルミニウム／CFRP の界面剥離となっていない状態のことを示す。また、実用化に向けては、接合部外観などの接合強度以外にも着目し、具体的な対象アイテム絞り込みに関する FLJ のポテンシャル見極めを最優先とする。

###### 【第二中間目標（平成 29 年度末）】

接合強度：アルミニウム／CFRP（熱硬化性樹脂ベース）の試験片の接合で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重平均値以上、またはそれに準ずる接合試験片（例えばシングルラップ接合試験（ISO4587））の引張せん断試験で母材破断となるレベルを達成する。ここで母材破断とは、CFRP 破壊の場合は①CFRP 全体が接合部周辺で破断した場合、②接合部においてアルミニウム側に CFRP 材料表面がとられて破断した場合であり、アルミニウム／CFRP の界面剥離となっていない状態のことを示す。

###### 【最終目標（平成 34 年度末）】

接合強度：各種実用部品の接合で、JIS-A 級（JIS Z3140）の引張せん断荷重最小値以上または母材破断となるレベルを達成する。ここで母材破断とは、CFRP 破壊の場合は①CFRP 全体が接合部周辺で破断した場合、②接合部においてアルミニウム側に CFRP 材料表面がとられて破断した場合であり、アルミニウム／CFRP の界面剥離となっていない状態のことを示す。

接合時間：スポット接合の場合、1 点あたり 5 秒以内の接合を達成する。

また、接合を実用的に活用するため、電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立、およびアルミニウム／CFRP 間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法確立も並行して推進する。

表Ⅲ-2.7.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
プロセス開発	AI/熱可塑 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベル (樹脂は PP、PA、PPS)	AI/熱硬化 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベル	・各実用部品の FLJ で CFRP 母材破壊レベル ・スポット接合の場合は 5 秒以内 ・設備実用化	接合部での剥離は実用性懸念あり (母材破壊必須)
CFRP 設計	AI/熱可塑 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベルとなる CFRP 設計 (樹脂は PP、PA、PPS)	AI/熱硬化 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベルとなる CFRP 設計	・各実用部品の FLJ で CFRP 母材破壊レベルとなる CFRP 設計	接合部での剥離は実用性懸念あり (母材破壊必須)
接合データベース構築	AI/熱可塑 CFRP (樹脂は PP、PA、PPS) の DB 構築	AI/熱硬化 CFRP の DB 構築	実用部品形状での DB 構築および接合状態予測への活用	実用化に向けた机上検討に DB 必要
接合部解析	—	—	電食評価法確立 熱歪み評価法確立	接合実用化には必要
実用部品検証	—	—	実用部品への適用確立	製品レベルの実績必要

### (3)全体計画

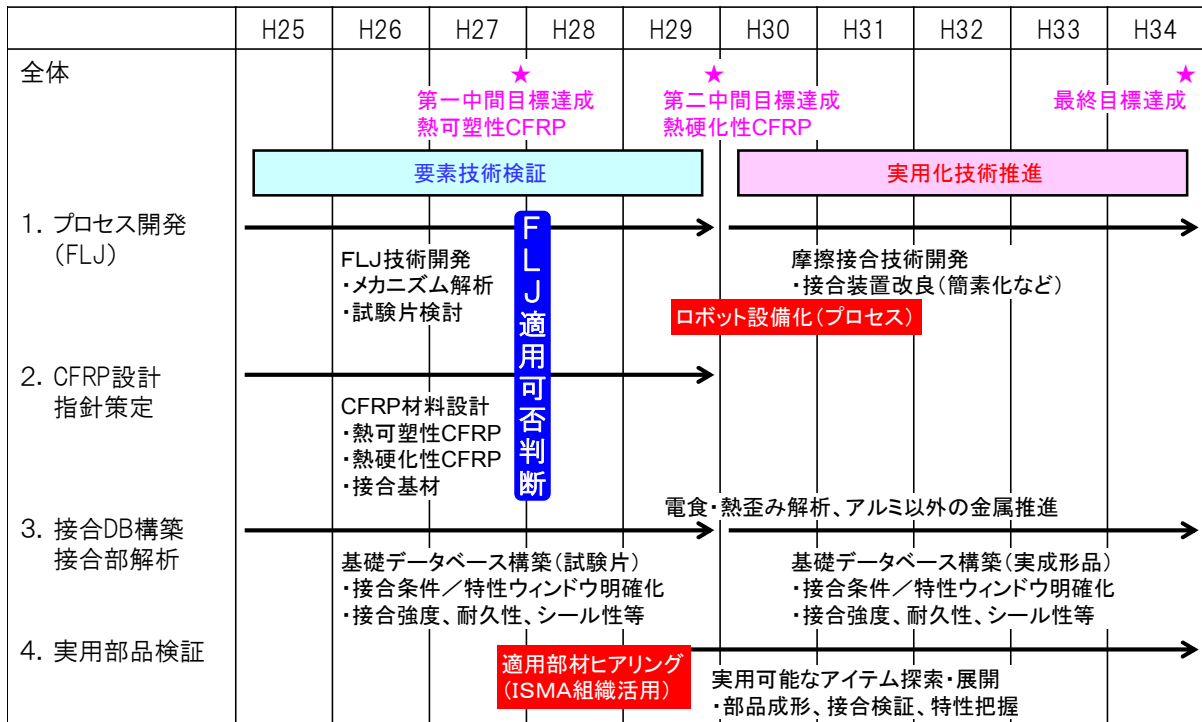
表Ⅲ-2.7.1-2 に全体計画を示す。

第一に FLJ のポテンシャル見極めが優先となり、まずは AI/熱可塑性 CFRP での検証を平成 27 年度末までに実施する (第一中間目標)。この時点で FLJ を接合技術としての適用可否判断をおこない、有効と判断できる場合には、AI/熱硬化 CFRP での検証に移り、平成 29 年度末までに熱硬化 CFRP での検証を完了させる (第二中間目標)。

実用化に向けては、ロボット設備化が必須と考えており、接合プロセス検証と並行して設備実用化についても検討を進める。

接合データベースは、平成 29 年度まではモデル試験片での構築を進め、それ以降は接合状態の比較検証なども含めて実用部品での検証も進める。対象とする実用部品および適用部材については、本プロジェクト組織も活用して、実際の輸送部品でのアイテム探索や要求特性の具体化を進めながら検証をおこなうことを想定している。

表Ⅲ-2.7.1-2 全体計画



(4)実施体制

プロセス開発は基礎検討設備を保有する再委託先の大学主体で要素技術開発と接合データベース構築の基礎部分を実施し、実用化の際には外部の設備メーカーとの協力が必要となる。CFRP設計は東レが実施する。表Ⅲ-2.7.1-3 に実施体制のまとめを示す。実施割合が大きい担当を◎印としている。

表Ⅲ-2.7.1-3 実施体制

研究開発項目	研究内容	担当		
		東レ(株)	再委託先	外部
プロセス開発	①FLJポテンシャル把握	○	◎	
	②接合メカニズム解析	○	◎	
	③設備実用化	○	○	◎
CFRP設計	④指針確立(熱可塑)	◎		
	⑤指針確立(熱硬化)	◎		
	⑥接合基材設計	◎		
接合DB構築	⑦適正接合条件設定	○	◎	
	⑧接合法ベンチマーク	○	◎	
接合部解析	⑨電食評価法確立	○	○	
	⑩熱歪み評価法確立	○	○	
実用部品検証	⑪モデル成形・試作	◎		○

## (5) 運営管理

東レ（株）と大阪大学の間で定期ミーティング（電話会議なども含めて少なくとも2ヶ月に1度）を開催し、進捗確認および今後の検討方針や開発軌道修正について協議し、スケジュールに沿った研究開発運営を実施する。

## (6) 実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

軽量構造材料のアルミニウム（比重 2.7）と、強度・剛性に優れてさらに比重が小さい CFRP（比重 1.0～1.6）との組み合わせは、輸送機器用途では効果的な軽量設計技術となる。FLJ の適用で接合サイクル、接合ポテンシャル、コストや設備面でのメリットが見出せれば AI/CFRP を接合した部材の輸送機器への適用拡大に繋がると期待できる。

現時点ではポテンシャル把握に注力しているため、具体的用途については未定となっているが、AI/CFRP の複合化により、エネルギー吸収がそれぞれ単体よりも2倍以上に大きくなる結果もあり、例えば自動車のバンパー部材などへの適用も期待できる。輸送機器用途への適用以外でも、開発期間の比較的短い家電製品などの産業用途アイテムでは特性がマッチすれば早期事業化の可能性もあると考える。

### 2.7.1.2 研究開発成果

#### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.7.1-4 に中間目標の達成度を示す。

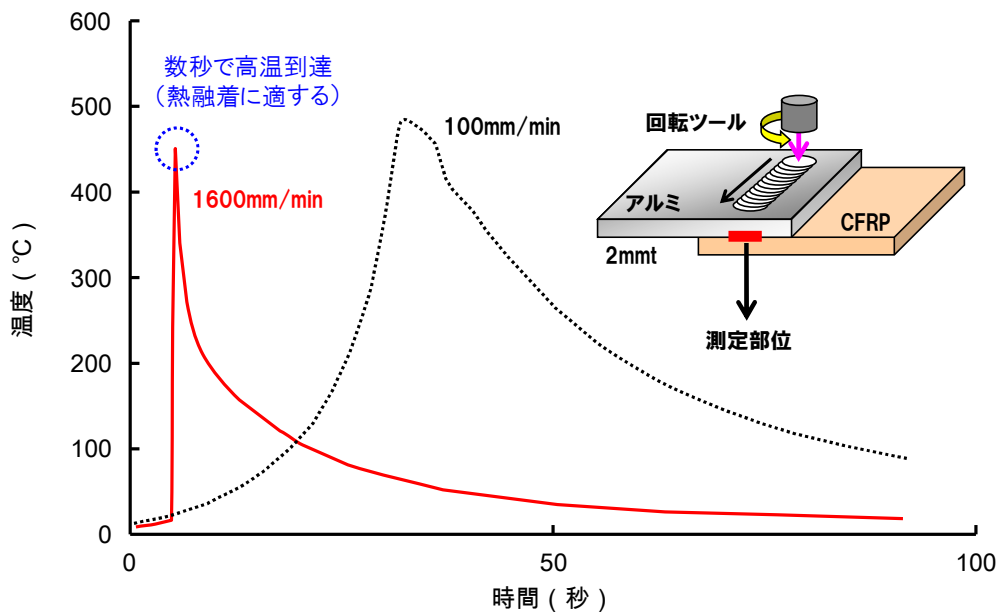
表Ⅲ-2.7.1-4 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
プロセス開発	AI/熱可塑 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベル (樹脂は PP、PA、PPS)	①接合ポテンシャル把握 ・接合部短時間昇温可能数秒で 400℃以上 ・AI/CFRP 射出成形品 CF/PA6、PP、PPS で母材破壊レベル到達 ・意匠面（外観）部品には適用が難しいことがわかった。 ②接合メカニズム解析 FLJ 前後では AI 表面の組成変化を確認	△	
CFRP 設計	AI/熱可塑 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベルとなる CFRP 設計（樹脂は PP、PA、PPS）	④指針確立（熱可塑） 既存 CFRP 射出成形品 CF/PA6、PP、PPS で母材破壊レベル到達 ⑥接合基材設計 FLJ での適用可能性を確認済み	△	

接合データベース構築	Al/熱可塑 CFRP (樹脂は PP、PA、PPS) の DB 構築	⑦適正接合条件設定 Al/CFRP 射出成形品 CF/PA6 で条件マップ作成 ⑧接合法ベンチマーク FLJ 条件確立に注力	△	
------------	--	--	---	--

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

プロセス開発では、FLJプロセスにおける接合部の温度プロファイルを評価し、数秒程度の短時間で400℃を超える温度まで接合部の温度が上昇可能であり、熱融着に適するポテンシャルを有することが確認できた(図Ⅲ-2.7.1-1)。

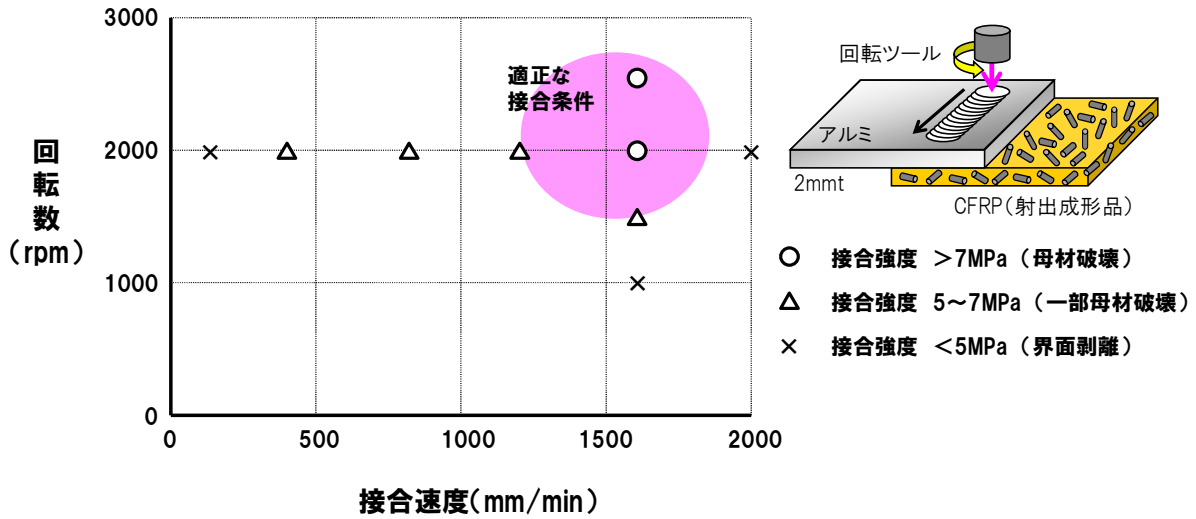


図Ⅲ-2.7.1-1 FLJプロセス接合部の温度履歴

また、Al/CFRP (CF/PA6 射出成形品) の FLJ 条件検討において、図Ⅲ-2.7.1-2 に示すように適切な接合条件範囲が存在することが確認できた。回転ツールの回転数が2000rpm付近で、接合速度が1600mm/min付近のときにCFRP母材破壊レベルとなる良好な接合が可能である。

### Al/CFRP(CF/PA6射出成形品)

アルミ板(A5052)処理 : #800 エメリー紙による湿式研磨



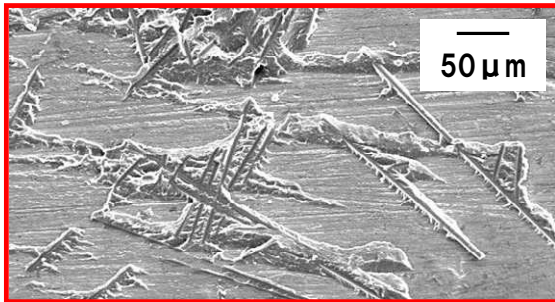
図Ⅲ-2.7.1-2 FLJ 接合条件マップ

接合強度評価後の接合部 Al 側表面の観察写真を図Ⅲ-2.7.1-3 に示す。適切な条件とすることで、左側写真のように Al 表面に CFRP 母材破壊による母材付着が確認されるが、接合条件が適切でなければ右側写真のように母材付着は確認できず、界面で薄剥離している。

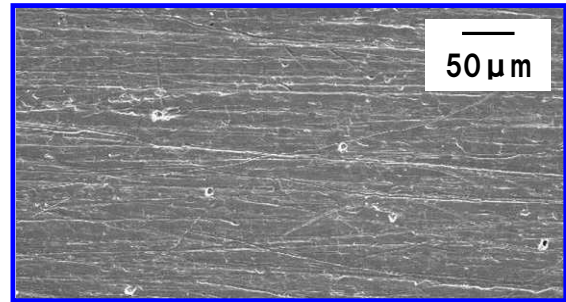
#### 接合条件

接合速度 : 1600mm/min  
 ツール回転数 : 2000rpm  
 ツール押込深さ : 0.9mm

接合速度 : 2000mm/min  
 ツール回転数 : 2000rpm  
 ツール押込深さ : 0.9mm



CFRTP母材内破断



接合界面破断

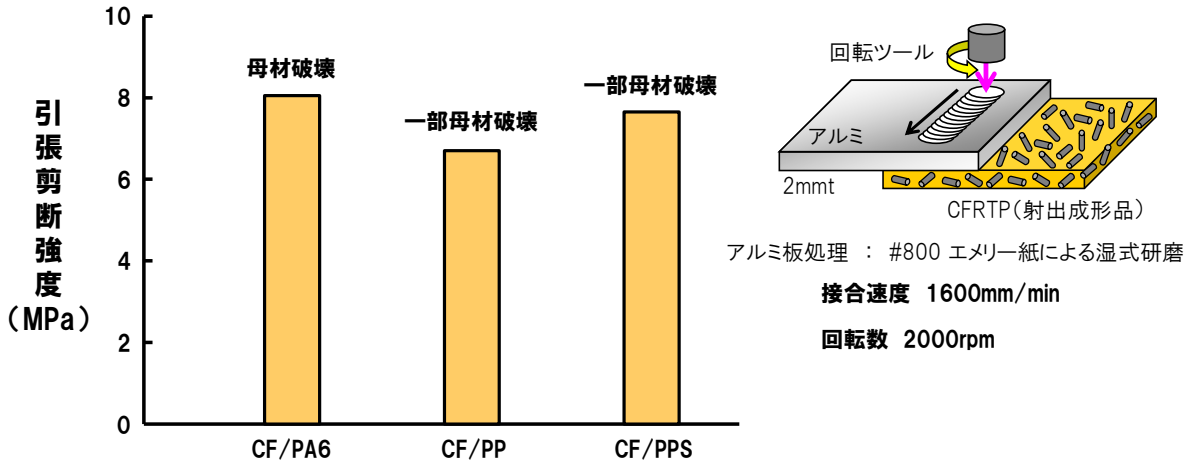
図Ⅲ-2.7.1-3 FLJ 条件と接合強度

PA6 の他の熱可塑性樹脂として、ポリプロピレン (PP) およびポリフェニレンスルフィド (PPS) を用いた CF 強化射出成形品を検討した。PP は安価で軽量であり、PPS は高い耐熱性を有するため、輸送機器向けにはいずれも重要な樹脂と考えている。

PA6 で良好な接合が得られた接合速度 1600mm/min、回転数 2000rpm の接合条件で FLJ を実施したところ、PP、PPS ともに一部母材破壊となる良好な接合が得られた (図Ⅲ-2.7.1-4)。FLJ ポテンシャル確認の一環として、さらなる接合強度のデータ

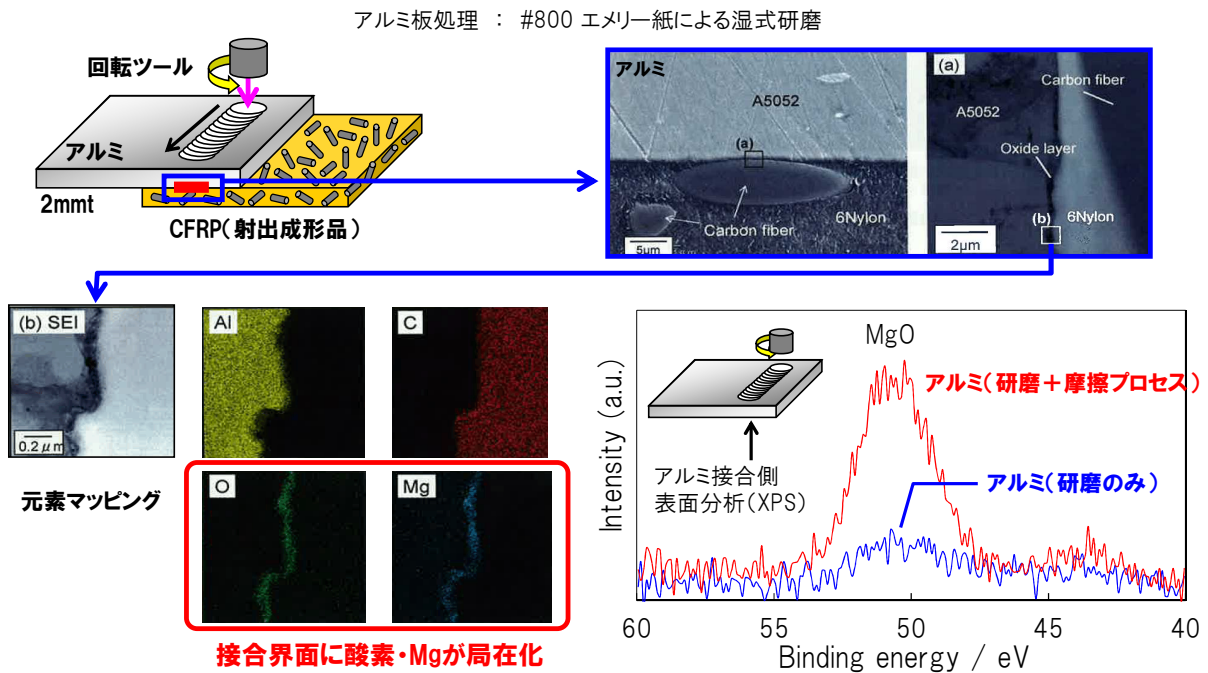
ベース構築を進める。

### Al/CFRP(CF強化射出成形品)



図Ⅲ-2.7.1-4 各種樹脂系での接合強度

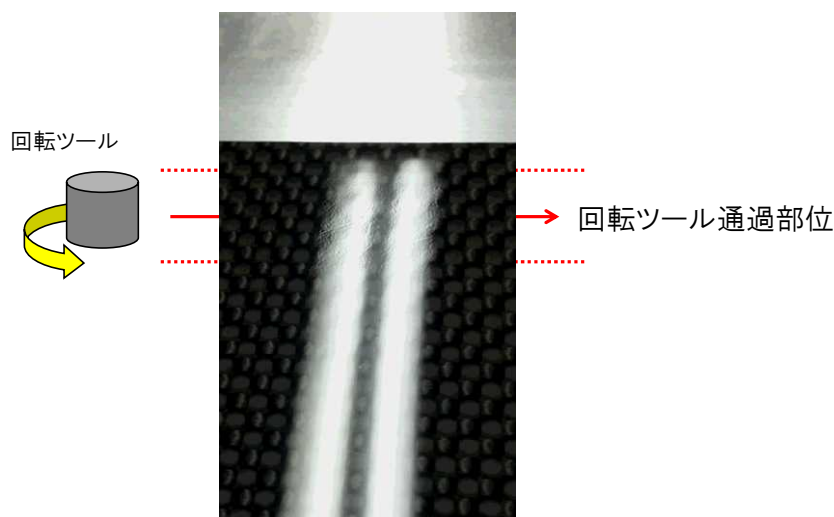
接合メカニズム解析について、Al/CFRP (CF/PA6 射出成形品) 接合部の元素マッピングを実施した結果、Al/CFRP 界面に酸素、Mg が局在化していることが判明した。また、AlのみをFLJプロセスを通し、Al接合側(回転ツールを当てた反対面)の表面分析を実施した結果、プロセス前後で酸素、Mgの局在が示唆されたことから、FLJによりAl側の表面極性が変化し、CFRPとの熱融着時に相互作用が有利に働いているものと推定する(図Ⅲ-2.7.1-5)。



図Ⅲ-2.7.1-5 接合部元素分析



FLJ 接合のポテンシャル確認の一環として、接合部外観について検証を進めている。表面にクリア塗装（意匠面）を施した CFRP（1mmt）の意匠面とは反対面を AI と重ねて FLJ（回転数 2000rpm、接合速度 1600mm/min）を実施した。意匠面への影響を目視で確認したところ、CFRP のクリア塗装面に歪みが生じていることが確認できた（図Ⅲ-2.7.1-6）。FLJ の熱履歴によりクリア塗装外観に歪みを生じたものと推定する。FLJ 条件の調整で緩和する可能性はあるが、高意匠外観の部材には FLJ 適用は難しいと考える。外観には影響のない内部部品などを対象とすることが好ましい。



図Ⅲ-2.7.1-6 FLJ の外観への影響（モデル評価）

## (2)第二中間目標の達成可能性

現行接合手法とのベンチマークも必要であるが、現状は AI/熱可塑性 CFRP の FLJ ポテンシャル確認に注力しており、結果として接合強度や接合状態は相対的にポジティブな結果を示していることから、熱硬化 CFRP においても、材料設計を進めることで基本的には第二中間目標達成のポテンシャルを有するものと推定する。

表Ⅲ-2.7.1-5 第 2 中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
プロセス開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>熱可塑 CFRP 試験片にて FLJ ポテンシャル確認中。</li> <li>CF 射出成形品は母材破壊</li> <li>昇温時間は短い（数秒）</li> <li>メカニズム解析推進中</li> <li>FLJ で AI 表面組成が変化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>AI/熱可塑 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベル</li> </ul>	ポテンシャルを有すると推定。 正式には FLJ 適用可否判断（平成 27 年度末）後。



CFRP 設計	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱可塑性 CFRP 試験片にて FLJ ポテンシャル確認中。</li> <li>・既存 CFRP 射出成形品で母材破壊</li> <li>・接合基材を介在させて接合可能（射出成形品）</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Al/熱可塑性 CFRP の FLJ で CFRP 母材破壊レベル</li> </ul>	<p>ポテンシャルを有すると推定。 熱硬化 CFRP を含めて正式には FLJ 適用可否判断（平成 27 年度末）後。</p>
接合データベース構築	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Al/CF 射出成形品（PA6）で適正条件範囲を確認済み</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・Al/熱硬化 CFRP での DB 構築</li> </ul>	<p>接合条件適正範囲は見極め可能</p>
接合部解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・未着手 FLJ ポテンシャル確認を優先</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電食評価法確立および熱歪み評価法確立に向けた初期検証開始。</li> </ul>	<p>電気化学的手法、熱収縮挙動などの応用で可能と推定</p>
実用部品検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・未着手 FLJ ポテンシャル確認を優先</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・熱硬化 CFRP での FLJ ポテンシャル評価ののち着手。</li> </ul>	<p>自動車メーカーとの目標共有化で実用化に近づく</p>

### (3)研究開発の成果と意義

軽量構造材料のアルミニウムと、軽量・強度・剛性に優れる CFRP との組み合わせは、今後の輸送機器用途では非常に重要な設計技術となる。金属は力学特性以外にも高い電導性や熱伝導性などの優れた性能を有し、CFRP は軽量性に優れた素材であり、その複合体は輸送機器以外にも様々な用途に展開可能と考える。

本研究開発において、より簡便に実施でき、接合特性に優れ、大型部材にも適用可能な革新的接合技術として FLJ の可能性を見極めることで、Al に限らず金属/CFRP 複合体の適用部材が大きく拡大する可能性を有する。現時点では熱可塑性 CFRP（射出成形品）を中心に母材破壊レベルの接合強度を有することが確認できており、接合ポテンシャルは高いものと期待する。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

FLJ 検討結果につき、査読付き論文 1 報、学会発表 3 件を実施しており、溶接学会においては、「摩擦重ね接合による炭素繊維強化熱可塑性樹脂とアルミニウム合金の直接異材接合」の発表に対して平成 26 年度溶接学会優秀研究発表賞を受賞した。

表Ⅲ-2.7.1-6 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	2	0	0	0	0	0	0
H26FY	1	0	1	0	0	0	0	1	1
合計	1	0	3	0	0	0	0	1	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

現時点では特許出願なし。開発の進捗に沿って必要な出願を進めていく。

表Ⅲ-2.7.1-7 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.2 [テーマ番号 02] 残留γ相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

### 2.7.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車の軽量化のために高強度鋼板の適用が拡大している。更なる軽量化のためにより複雑な部品に高強度鋼板を適用するために高強度・高延性鋼板に対するニーズが高まっており、本プロジェクトでも中高炭素鋼を用いた革新鋼板の開発を進めているが、この鋼材は接合が難しくなることが想定される。そこで本テーマでは中高炭素革新鋼板の接合継手強度を向上させられる接合技術を構築することを目的とした。

自動車用鋼板の接合としては、最も多用されているのは抵抗スポット溶接である。この手法は接合する2枚の鋼板を重ね、電極で挟みこんで通電することで、抵抗発熱を活用して鋼板同士の接触部を熔融接合させる接合方法である。抵抗スポット溶接の特長としては、装置コストが低く、生産性が良い等の種々のメリットがある。一方で短所がいくつかあり、その一つに熔融接合のため、接合部の品質が鋼材の組成に強く依存し、鋼板の強度延性バランス向上のために炭素量を増加すると溶接継手強度が低下する。他の代替技術の開発も重要ではあるが、メリットの多い抵抗スポット溶接に関して、中高炭素鋼板でも接合強度向上可能な技術が求められる。

また、自動車車体の剛性確保のために、抵抗スポット溶接のような点接合だけでなく連続接合のニーズも高まっている。連続接合の方法として、レーザ溶接がまずあげられる。レーザ溶接は抵抗スポット溶接同様に熔融接合のため、溶接部の材質確保が難しい。凝集させたビーム照射により熔融部を作り込むため、溶接面積が狭く継手強度を確保するのが困難となるため、その対策技術開発が必要となる。

一方、難接合材の接合において、FSWの有効性が報告されている。FSWは回転させたツールを鋼板に押し当てることで摩擦熱により加熱、接合することができる技術である。ツールの回転数の制御などで接合部の熱履歴が可能なため、このような技術を用いて冷却挙動の解明を進める。

#### (2)位置付け、目標値

本テーマで開発する接合技術は別テーマで開発する革新鋼板を接合するための技術である。

表Ⅲ-2.7.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	第二中間目標 (平成29年度末)	最終目標 (平成34年度末)	根拠
抵抗スポット溶接	1.2GPa 中高炭素鋼板で JIS-A 級の 70%の継手強度	電流・通電時間・加圧力以外の条件因子制御	1.5GPa 中高炭素鋼板で JIS-A 級 70%の継手強度	構造体として十分な継手強度として設定
線接合	1.2GPa 中高炭素鋼板で継手効率 70%以上	多数パズレーザ、レーザ・FSW ハイブリッド等の継手強度向上接合技術開発	1.5GPa 中高炭素鋼板で継手効率 70%以上	構造体として十分な継手特性として設定

### **(3)全体計画**

本テーマについては、テーマ 22 の残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板のテーマと連動しており、革新鋼板の開発に伴い、母材の開発が進んだら、その開発鋼の特性に合わせて各接合技術による継手特性向上を図っていく。

平成 27 年度までに、強度 1.2GPa 伸び 15%以上の鋼材を対象に各種技術での特性確保を狙う。また、平成 29 年度には接合継手の材質向上のために、各種影響因子の整理を行い、基礎知見の構築を図る。平成 30 年以降は強度 1.5GPa の革新鋼板を用いて継手強度が得られる接合技術を構築する。

### **(4)実施体制**

抵抗スポット溶接ならびに線接合のうちレーザ溶接については神戸製鋼所にて実施する。

FSW については神戸製鋼所にてテーマ 22 で開発した革新鋼板の継手特性向上について取り組むと共に、要素技術的な支援を受けるために 2 大学にそれぞれ FSW 技術開発について再委託を行った。

### **(5)運営管理**

年 3 回程度の再委託先との進捗会議を実施し、再委託先での研究進捗の確認とそこで得られた知見を分担研の研究内容にフィードバックさせる方法を取ることで、研究開発が促進できるような運営を行った。

### **(6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）**

接合技術については単体での経済効果・CO<sub>2</sub>削減効果は見込めず、革新鋼板開発の適用を本接合技術で実用化を促進させることで、各種効果を実現する。本接合技術を構築することで初めて革新鋼板の実用化が可能となり、最終目標である強度 1.5GPa、伸び 20%の革新鋼板も実現できれば、約 20%の軽量化（約 40kg）が期待される。

売上については、革新鋼板については、国内の全汎用車を対象とすると約 1000 億円/年のマーケット創出が期待できる。接合技術のうち、抵抗スポット溶接、レーザ溶接については、設備投資の初期費用が掛かるものの従来技術の延長であるため、初期コスト、ランニングコストとも増加量を最小化しながら、CO<sub>2</sub>削減効果が得られることが期待できる。FSW についてはツールのコストが重要となるため、本プロジェクトの他テーマで実施されているツール開発と連携が必要となる。

## 2.7.2.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.7.2-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
抵抗スポット溶接	1.2GPa 中高炭素鋼 板で JIS-A 級の 70%の継手強度	新スポット溶接でナゲッ ト拡大により、せん断継 手強度目標を達成した。	○	
線接合	1.2GPa 中高炭素鋼 板で継手効率 70% 以上	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザについては実質 接合範囲の拡大と溶接金 属部の組織改善により継 手の目標強度を達成し た。</li> <li>・FSW については低入 熱溶接により接合強度改 善が見込まれており、そ の知見の適用で目標特性 達成を図る。</li> </ul>	○  △	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.7.2-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
抵抗スポット溶接	革新鋼板開発で強度 1.5GPa 伸び 15%の材料が開発でき、これを接 合用に作製が完了したところ。技 術開発が順調に進んでおり、最終 目標達成が見込まれる	電流・通電時間・ 加圧力以外の条件 因子制御	○
連続接合	<ul style="list-style-type: none"> <li>・レーザ溶接については、強度 1.5GPa 伸び 15%の材料での接合実 験を開始したところであり、継手 組織制御により特性達成が可能に なる予定。</li> <li>・FSW については低温接合を行う ことで接合組織の微細化を図り、 接合部の組織改質により特性確保 が可能になる予定。</li> </ul>	多数パスレーザ、 レーザ・FSW ハイ ブリッド等の継手 強度向上接合技術 開発	○

### (3)研究開発の成果と意義

- ・抵抗スポット溶接については、既存の設備を最大限活用しながら、一部の装置の改造を行うことで現在の量産設備に適用できるものであり、現実的でありながら画期的な技術適用が期待される。
- ・レーザ溶接については、生産性の良いレーザ溶接を最大限活用し、生産性良く継手特性を確保できる技術として活用できることが期待される。
- ・FSWについては、実用化に向けた課題がいくつか残されているが接合部の品質向上を第一義に検討する必要があるときに有効な技術となる。

上記のように特徴が異なる接合技術構築が進んでおり、革新鋼板の種類、ユーザーの設備保有状況、適用部品の制約を考慮しながら接合技術提案できる体制が構築できつつある。

### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.7.2-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	1	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	1	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.7.2-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願**
H25FY	0	0	0
H26FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.3 [テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

### 2.7.3.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車分野では、CO<sub>2</sub>排出量規制を背景とした軽量化による燃費改善と衝突安全性確保を目的としたボディの高剛性化の両面が求められ、自動車ボディに用いられる高強度鋼板の強度レベルやその使用割合は、ますます増加する傾向がある。

これらの要求に答えるため、近年、高強度鋼板の開発動向では、多量のレアメタル添加による高合金化が図られているが、資源の高騰等の課題が指摘され、安価な高強度化元素として炭素（C）の活用が期待されている。例えば、C系低合金鋼（C>0.5%）では、ベイナイト、マルテンサイト、残留オーステナイトなどの組織制御により、引張強さ $\geq 1500\text{MPa}$ 、伸び $\geq 20\%$ 以上の優れた特性を得ることが可能であるが、薄鋼板として製造することが難しいことや溶接性に課題があり、自動車用鋼板・鋼材として用いられていない。特に、0.5%以上の炭素鋼の溶接継手では、溶接金属部や溶接熱影響部の局所的な軟化、靱性低下、水素脆化、疲労特性低下などにより、本来、鋼が持つ特性を溶接構造部材として十分に発現することができなかった。そこで、本テーマでは、自動車等の移動体の生産に用いることを前提に、高性能な中高炭素鋼の性能を損なわない革新的な接合技術の開発を目指す。

#### (2)位置付け、目標値

本テーマでは、中高炭素鋼と中高炭素鋼の革新的接合技術の確立を目的に、具体的な開発計画を提案する。

### 研究開発の内容

中高炭素鋼の革新的接合技術を確立するため、以下の点をブレークスルーポイントとして掲げ、重点的な研究開発を行う。

- ① 中高炭素鋼の溶接性明確化
- ② 継手特性の改善
- ③ 小型部材モデルによる継手・部材性能検討
- ④ 開発高炭素鋼の接合技術
- ⑤ 小型部材モデルでの検証

以下に、本開発の具体的な実施内容を示す。

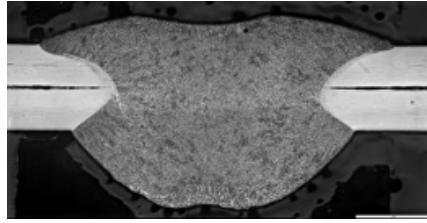
#### ①中高炭素鋼の溶接性明確化

試供材を選定、作製し、溶融接合法、非溶融接合法の接合性検討を行う。

##### ●溶融接合法（アークスポット）

溶融接合法では、アークスポットに注力。

最適溶材混合による溶接金属の靱性改善+余盛による負荷応力の最適化による継手強度確保を図る。

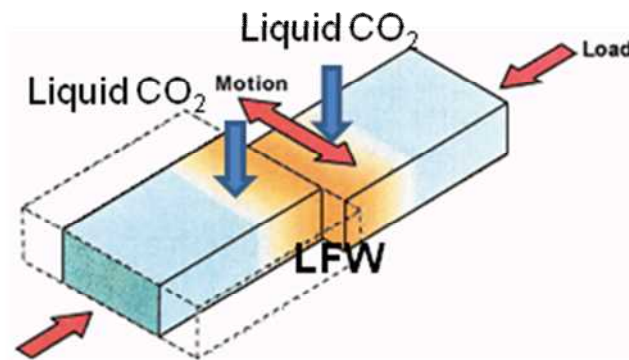


図Ⅲ-2.7.3-1 アークスポットによる貫通継手の例

●非溶融接合法（摩擦攪拌リニア接合、複動式フラットFSW）

・摩擦攪拌リニア接合（FSLW）

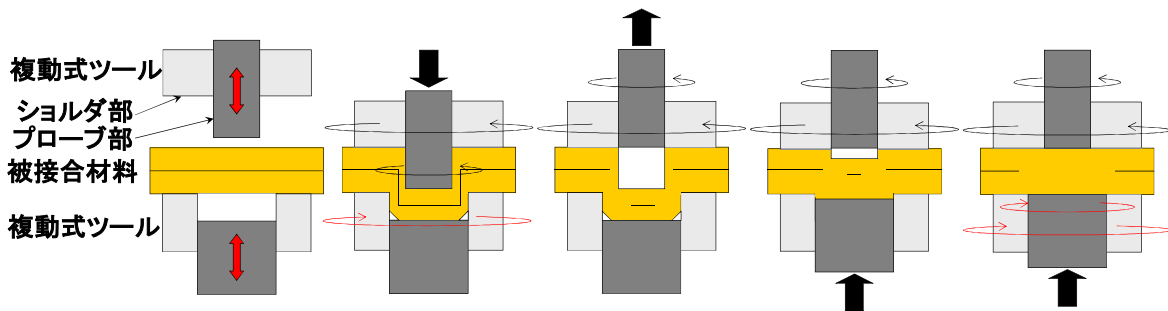
高効率冷却技術と摩擦攪拌技術を組み合わせることにより、微細な接合界面組織を実現し、継手強度の向上を狙う。



図Ⅲ-2.7.3-2 摩擦攪拌リニア接合

・複動式フラットFSW

低温接合（Ac1以下）と上下ツールによる大きな塑性流動を用いて、継手強度の向上を狙う。



図Ⅲ-2.7.3-3 複動式フラットFSW

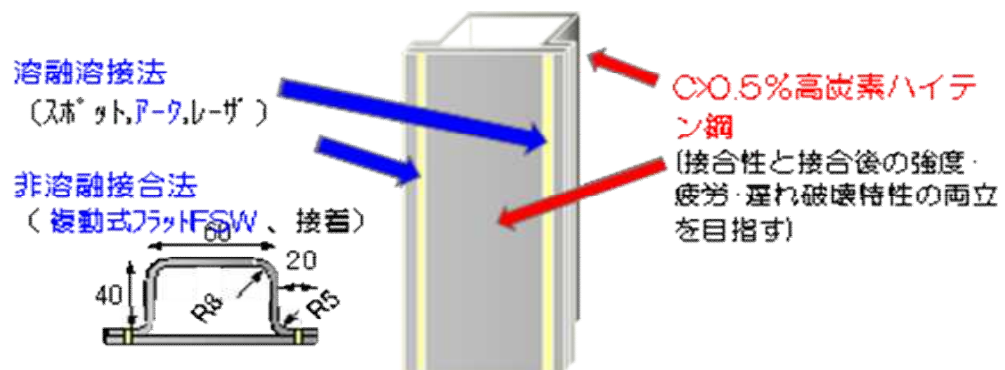


## ②継手特性の改善

- ・ 予熱後熱処理/溶接条件パラメータ等の最適化
- ・ 継手特性（強度、疲労、遅れ破壊）の向上及びそのメカニズム検討

## ③小型部材モデルによる継手・部材性能検討

- ・ 小型モデル部品の作製
- ・ 部材特性（圧潰、曲げ）評価
- ・ 形状/継手構造の最適化による部材特性向上検討



図Ⅲ-2.7.3-4 小型部材モデルの例

## ④開発高炭素鋼の接合技術

- ・ 開発材の溶接部組織と継ぎ手特性との関連性調査
- ・ 溶接性観点からの素材開発へのフィードバック

## ⑤小型部材モデルでの検証

- ・ 試作小型モデル部材の特性評価検証

以下に、本開発の開発目標を示す。

表Ⅲ-2.7.3-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
研究テーマ目標	中高炭素鋼の継手特性の明確化とその改善プロセスの方向性提示。 1.2GPa の中高炭素鋼 (板厚 1.4mm)	中高炭素鋼板の性能を活かし得る溶接プロセス指針明確化。	1.5GPa級中高炭素鋼の性能を活かし得る溶接プロセス指針の確立と小型部材モデルでの性能検証。	継手強度の評価基準として、JIS 規格を採用

	で、引張せん断試験における破断荷重の平均値が、JIS-Z3140-A 級（約 14.4kN）の 70% 以上		強度 1.5GPa 以上の中高炭素鋼（板厚 1.6mm）で、引張せん断試験における破断荷重の平均値が、JIS-Z3140-A 級（約 14.4kN）以上	
1-1)アークスポット溶接部の静的継ぎ手特性改善（新日鐵住金）	中高炭素鋼溶接部の評価、小型部材モデルの評価	成分・強度の異なる鋼での継手特性の評価・改善および、部材モデルでの性能確認	1.5GPa 中高炭素鋼の継手、部材特性明確化	中高炭素鋼の継手特性を確保するための技術開発
1-2)継手疲労特性の解明（名古屋大学 26Fy まで再委託）	中高炭素鋼のアークスポット溶接部の疲労強度特性評価	—	1.5GPa 級中高炭素鋼の疲労特性明確化	継手の信頼性確保
1-3)溶接残留応力の影響明解明（大阪府立大学）	残留応力解析技術の構築	溶接部の残留応力による継手、部材特性への影響明確化	1.5GPa 級中高炭素鋼の継手特性に及ぼす残留応力の影響把握	継手の信頼性確保
1-4)アークスポットプロセスの解析（新日鐵住金）	アーク挙動とワイヤ成分、溶接姿勢の影響調査	アークスポット安定溶接技術の開発	1.5GPa 級中高炭素鋼の実施工性確保	実施工性の向上
1-5)溶接部形状の数値解析技術（大阪大学）	シミュレーション手法の構築	溶接ビード形成メカニズムの明確化	1.5GPa 級中高炭素鋼での検証	プロセスメカニズムの解明
2-1)摩擦接合による継手性能評価（新日鐵住金）	C 量、強度レベルの異なる中高炭素鋼の適正接合条件の明確化	摩擦接合の継手特性、性能の明確化	—	開発プロセスとの差異検討
2-2)摩擦接合プロセスの開発（大阪大学）	FSLW 接合プロセスの開発とその継手特性評価	FSLW 接合プロセスの開発とその継手特性評価	新接合プロセスの開発とその継手特性評価	新摩擦接合プロセスの開発
2-3)溶接部特性への金属組織の影響解明（秋田大学）	中高炭素鋼の摩擦接合界面組織の解析と継手特性への影響把握	接合条件による継手特性、接合部組織への影響明確化	新接合プロセスによる接合部組織の特性明確化	摩擦接合の基礎特性把握
2-4)摩擦攪拌接合の数値解析技術の開発（大阪大学）	シミュレーション手法の構築	摩擦接合プロセスのメカニズム推定	新接合プロセスのシミュレーション手法構築	接合メカニズム解明

### (3)全体計画

上記のように、溶融溶接としてアークスポット溶接を取り上げ、中高炭素鋼の継手諸特性のデータ蓄積や継手強度支配因子の解明を図るとともに、実施方法を踏まえたプロセス最適化や溶接組み立て部材性能の検証を行う。一方、摩擦接合法として、ツールを用いない摩擦攪拌線接合を取り上げ、緻密な組織制御の工夫を施した新しいプロセス開発を進めるとともに、その継手特性の明確化を進める。

### (4)実施体制

富津分室にて、以下1)～6)の開発項目に取り組む

#### 1) 溶融溶接技術の開発

中炭素鋼を用いて、溶融（アークスポット等）、非溶融（FSW）等による各種溶接継手を作製し、継手特性を把握する。

各種溶接による継手を作製し、各種継手強度試験（せん断、十字）を実施して継手強度レベルを把握するとともに、断面マクロ試験片を作製し、溶接ビード形状、溶接部組織・硬度などを把握する。また、ハット型断面の小型モデル部材を作製し、落錐試験を用いて、部材の動的破壊特性を調査する。

#### 2) 継手疲労特性の解明

中高炭素鋼の各種溶接法による溶接継手の疲労強度特性評価とその強度特性発現機構の解明に取り組む。

#### 3) 溶接残留応力による継手強度特性への影響解明

中高炭素鋼の各種溶接法による継手の溶接部の残留応力に着目し、継手強度特性への影響を解明する。

#### 4) 溶接部靱性への金属組織の影響解明

中高炭素鋼の溶接継手の溶接部金属組織に着目し、継手強度特性への影響を解明する。

#### 5) アーク溶接、摩擦攪拌接合の数値解析技術開発

アーク溶接、摩擦攪拌接合における接合現象の解明のため、数値解析によるモデリング技術を開発する。

#### 6) 摩擦接合プロセスの開発

摩擦攪拌リニア接合プロセスの開発及び開発接合方法による継手特性の評価と接合メカニズム検討を行う。

### (5)運営管理

本テーマは、中高炭素鋼の溶融、非溶融の革新的接合技術開発に向けて、継手特性に及ぼす組織、疲労、残留応力、接合メカニズム解析のためのシミュレーション技術構築、革新的な摩擦接合プロセスの開発などを、前記、5 大学に、再委託し、個別に、

定期的な進捗確認、試験結果報告、情報共有等を行うとともに、年2回（6カ月に1回程度）の全体会議を催し、本研究を推進する。

### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

CO<sub>2</sub>排出量の削減と衝突安全性能向上の観点から、自動車車体の軽量化が求められ、高張力鋼の車体骨格部品への適用は増加傾向にある。特に、980MPaを超える超ハイテンは、車体骨格部品への適用が期待され、2020年頃には、ホワイトボディに使用される鋼板の20%以上となる予想もみられる。本プロジェクトで開発を目指す革新的な接合技術は、自動車ユーザが、1.5GPa以上の中高炭素鋼を信頼、安心して使うことのできる革新的な接合技術であり、国内外での中高炭素鋼の拡販やその実用化に大いに貢献するものである。

## 2.7.3.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.7.3-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
1-1)アークスポット溶接部の静的継ぎ手特性改善 (新日鐵住金)	中高炭素鋼溶接部の評価、小型部材モデルの評価	0.45C 中高炭素鋼で、抵抗スポット溶接に対する強度向上効果を確認	△	
1-2)継手疲労特性の解明(名古屋大学)	0.45C 中高炭素鋼のアークスポット溶接部の疲労強度特性評価	0.45C 中高炭素鋼で、抵抗スポット溶接に対する強度向上効果を確認	○	
1-3)溶接残留応力の影響明解明(大阪府立大学)	残留応力解析技術の構築	溶接部残留応力の数値解析技術の構築	△	
1-4)アークスポットプロセスの解析 (新日鐵住金)	アーク挙動とワイヤ成分、溶接姿勢の影響調査	アーク点火時のスパッタ発生状況観察、改善条件を提示。	○	
1-5)溶接部形状の数値解析技術(大阪大学)	シミュレーション手法の構築	アークスポット溶接ビード形状の数値解析技術の構築	○	
2-1)摩擦接合による継手性能評価 (新日鐵住金)	C量、強度レベルの異なる中高炭素鋼の適正接合条件の明確化	0.45C 材の摺動条件と強度特性、組織のデータ蓄積	○	

2-2)摩擦接合プロセスの開発（大阪大学）	中高炭素鋼の摩擦接合界面組織の解析と継手特性への影響把握	FSW において細粒化組織が得られる接合条件を把握 FSLW 装置の立ち上げ	△	
2-3)溶接部特性への金属組織の影響解明（秋田大学）	FSLW 接合プロセスの開発とその継手特性評価	成分・強度レベルの異なる FSW 継手を作成し、各接合条件での接合部組織を把握	○	
2-4)摩擦撈拌接合の数値解析技術の化初（大阪大学）	シミュレーション手法の構築	FSJ 接合のモデリングトライ。精度 UP 検討中	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標（平成 29 年度末）の達成可能性

表Ⅲ-2.7.3-3 第二中間目標（平成 29 年度末）の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 （平成 29 年度末）	達成見通し
1-1)アークスポット溶接部の静的継ぎ手特性改善	0.45C 中高炭素鋼のアーク継手は、抵抗スポット継手と比べ TSS,CTS とともに高く、余盛り形状による影響が大きいと考えられた。	中高炭素鋼の性能を活かし得る溶接プロセス指針の確立と小型部材モデル	達成見込み
1-2)継手疲労特性の解明	0.45C 中高炭素鋼で、せん断、剥離モード共に、抵抗スポット溶接に対する強度向上が確認された。	ルでの性能検証。 強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼（板厚	達成見込み
1-3)溶接残留応力の影響明解明	溶接部残留応力の数値解析技術の構築	1.6mm）で、引張せん断試験における	達成見込み
1-4)アークスポットプロセスの解析	アーク点火時のスパッタ発生状況観察、その改善条件を提示した。	破断荷重の平均値が、JIS-Z3140-A 級（約 14.4kN）以上	達成見込み
1-5)溶接部形状の数値解析技術	アークスポット溶接ビード形状の数値解析技術の構築		達成見込み
2-1)摩擦接合による継手性能評価	0.45C 材の撈動条件と強度特性、組織のデータ蓄積	—	達成見込み
2-2)摩擦接合プロセスの開発	FSW において細粒化組織が得られる接合条件を把握した。また、FSLW 装置の立ち上げ、新プロセス検討に着手した。	新接合プロセスの開発とその継手特性評価	達成見込み

2-3)溶接部特性への金属組織の影響解明	成分・強度レベルの異なるFSW継手を作成し、各接合条件での接合部組織を把握した。	新接合プロセスによる接合部組織の特性明確化	達成見込み
2-4)摩擦攪拌接合の数値解析技術の化初	FSJ接合のモデリングトライ。精度UP検討中	新接合プロセスのシミュレーション手法構築	達成見込み

### (3)研究開発の成果と意義

#### 研究開発の内容及び成果等

自動車等の輸送機器の軽量化推進するには部材の薄肉化が必要であり、その材料として強度・延性に優れる中高炭素鋼の開発・実用化が期待されている。しかし、鋼板強度が増加すると、自動車等の製造で多用される抵抗スポット溶接では継手強度が低下することが知られており、中高炭素鋼の接合技術として新たな接合法の開発が求められている。

本研究では革新的接合技術として、アークスポット溶接（熔融接合）及び摩擦攪拌リニア接合（非熔融接合）の開発を行っている。平成25年度は、S45C鋼を対象とした継手性能の評価を行い、アークスポット溶接における剥離強度（十字引張強さ）が向上を確認すると共に、摩擦攪拌接合におけるHv550の焼入れ焼戻し材での適正接合条件並びに、低速回転条件での微細な等軸結晶粒の発現を見出した。平成26年度は、継手強度特性の詳細な調査を継続すると共に、継手強度発現のメカニズム解明を進め、プロセス開発の基礎知見の蓄積を図ることを目標とした。以下に、アークスポット溶接、摩擦攪拌リニア接合に関するこれまでの開発内容及び成果を述べる。

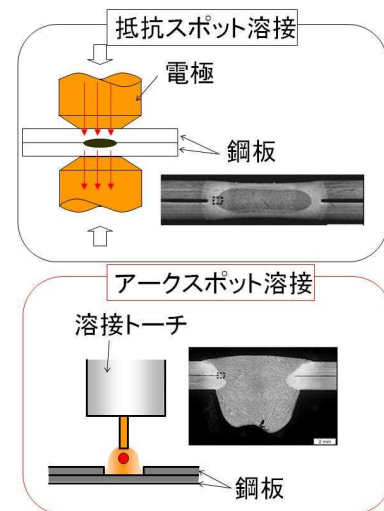
#### 1).1 アークスポット溶接の継手強度特性

試験には板厚が1.6mmのS45C材(受け入れまま)を供した。供試鋼は化学成分として、Cを0.43%、Siを0.22%、Mnを0.71%含む。溶接材料には直径が1.2mm、溶着金属強度が490MPa級のソリッドワイヤ(JIS規格YGW16)を供した。

試験片はW30mm×L150mmの鋼板2枚を30mm重ねて溶接した引張せん断継手、および十字引張継手(JIS Z 3137)の2種とした。直径5mmの穴のある上側鋼板と穴

の無い下側鋼板を重ね合わせ、下向き姿勢でアーク溶接した。溶接電源は CMT(Cold Metal Transfer)電源を使用した。なお、比較として、ナゲット径  $4\sqrt{t}$ ( $t$ : 鋼板板厚)の抵抗スポット溶接継手も評価した。

図Ⅲ-2.7.3-1 に各々の溶接方法の模式図を示す。アークスポット溶接では、表裏面に余盛のある溶接金属が形成され、抵抗スポット溶接では、電極で圧下され表裏面が凹んだ溶接部が形成された。



図Ⅲ-2.7.3-5 溶接方法の模式図

表Ⅲ-2.7.3-4 アークスポット条件溶接条件

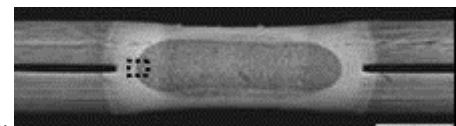
溶接装置	Fronius製CMT (CMTモード)
シールドガス	Ar-20%CO <sub>2</sub> 20l/min
エクステンション	15mm
ワイヤ送給速度	6.2m/min
溶接時間/1点	2.5s(+7°リフト-0.5s)
継手形状	引張せん断試験片(JIS Z3136準拠) 十字引張試験片(JIS Z3137準拠)
ワイヤ狙い位置	図1に示す

表Ⅲ-2.7.3-5 抵抗スポット溶接条件

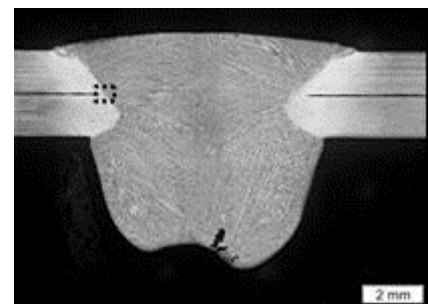
溶接機	サーボモータ加圧定置式 単相交流(周波数50Hz)
電極	トームラジウス、Cr-Cu 先端径φ6mm、先端R40mm
加圧力(kN)	400kgf
ナゲット径	$3\sqrt{t}$ (5.3kA) $4\sqrt{t}$ (6.2kA) $5\sqrt{t}$ (7.5kA) ( $t$ =板厚1.6mm)
アップスロープ $t_u$ (サイクル)	0
本通電時間(サイクル)	18
保持時間(サイクル)	5

メタルフロー腐食した溶接部のマクロ断面を図□-2.7.3.2-2 に示す。抵抗スポット溶接部は電極で圧下され表裏面が凹んだ形状(インデンテーション)となった。一方、アークスポット溶接の場合は、表裏面に余盛があり、裏面側に大きく垂れた溶接金属が形成された。また、鋼板界面の溶接金属の直径は  $5.4\sqrt{t}$ ( $t$  は板厚)であった。このように両溶接法で異なる溶接部形状となった。

鋼板重ね面近傍の溶接金属端部における SEM 写真を図□-2.7.3.2-3 に示す。抵抗スポット溶接では、HAZ やナゲットにマルテンサイトが生成したことが判る。一方、アークスポット溶接では HAZ にはマルテンサイトが生成したが、溶接金属はベイナイト主体の組織であり、一部にフェライトも析出した。溶接金属は溶接ワイヤと母材が混合し、その成分が母材や HAZ の成分から変化するため、このように部位によって組織が相違した。また、



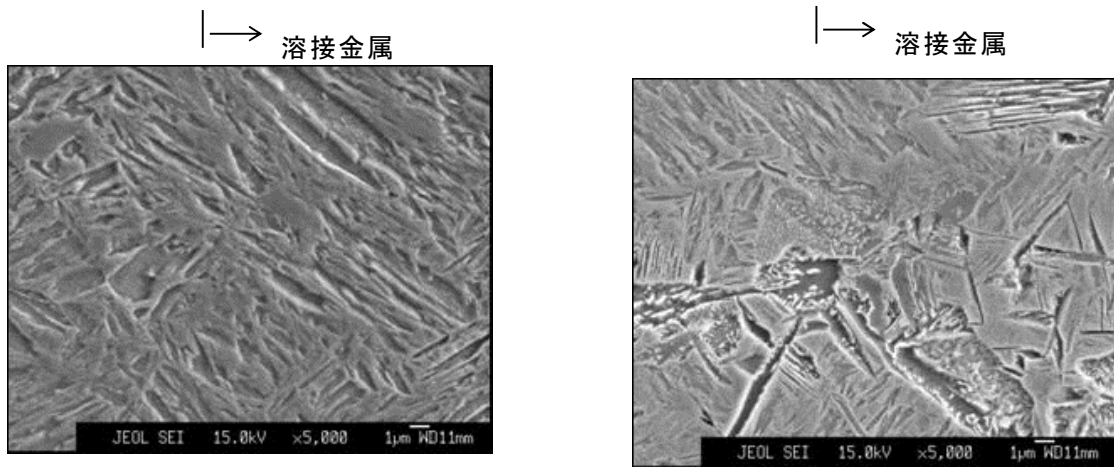
(a) スポット溶接(4



(b) アークスポット

図Ⅲ-2.7.3-6 溶接部のマクロ断面

HAZ には、マルテンサイトが生成したが、炭化物と推定される析出物を確認でき、溶接完了後にマルテンサイトのオートテンパーが進行したことを伺わせる。



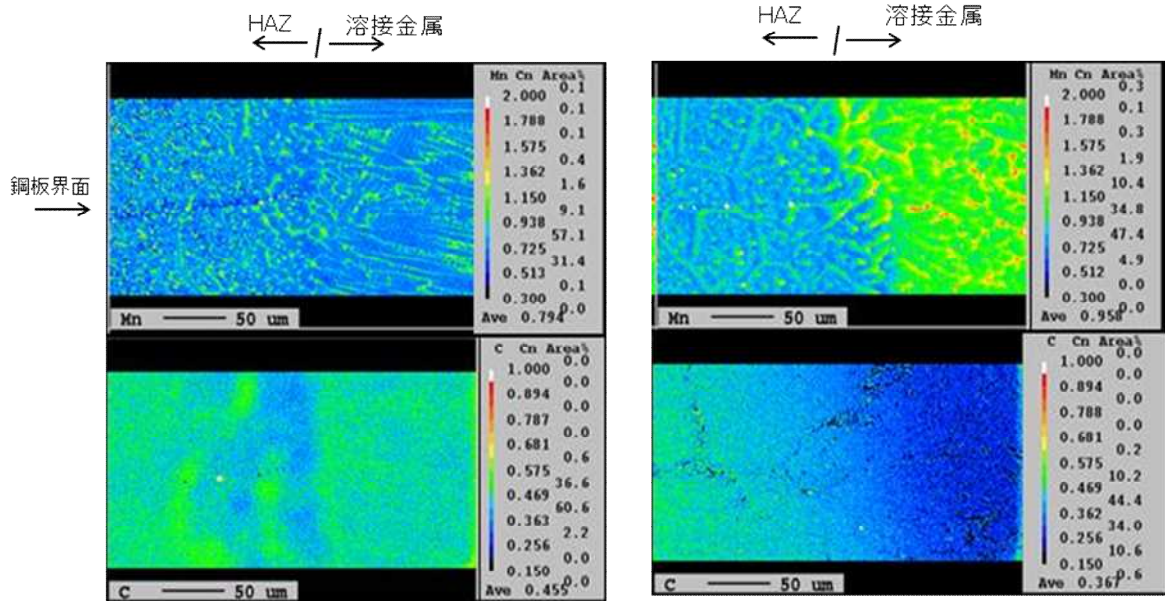
(a) 抵抗スポット溶接部組織(ナイター  
ール腐食)

(b) アークスポット溶接部組織(ナイター  
ール腐食)

図Ⅲ-2.7.3-7 溶接部の SEM 写真

図Ⅲ-2.7.3-8 に EPMA 観察結果を示す。抵抗スポット溶接では、溶接金属内に Mn が直線状に偏析した。この偏析は凝固組織( $\delta$  相)の 1 次アームがナゲット中心に向かって成長したことに起因する。溶接金属内の Mn の最高濃度は 1.8%程度あり、母材平均濃度 0.74%の 2.4 倍まで上昇していた。しかし C の濃度はほぼ均一である。これは C の拡散速度が速いため、凝固直後には偏析しても冷却過程において拡散(濃度が均一化)したためと考えられる。一方、アークスポット溶接では Mn 濃度は母材よりも溶接金属の方が高くなった。これは溶接ワイヤの方が Mn の添加量が多いためである。溶接金属形状から溶接ワイヤの希釈率を求めると、55%であり、溶接金属は母材と溶接材料がおおよそ半々で混合したことがわかる。一方、C の濃度は溶接金属が母材よりも低くなった。これは、C は溶接ワイヤの方が母材よりもその添加量が低いためである。Mn はスポット溶接金属ほど直線的な凝固偏析は無かった。この結果は、偏析した元素の冷却過程( $\gamma$  相)での拡散やフェライトやベイナイトの生成に伴う拡散に起因すると考えられる。なお溶接金属における Mn の最高濃度は 1.8%程度あり、溶接金属内の平均濃度 1.04%の 1.7 倍に上昇していた。旧  $\gamma$  粒界への Mn の偏析もアークスポット溶接では顕著であった。抵抗スポット溶接金属同様、アークスポット溶接の溶接金属にも C の偏析は無かった。凝固時の C の偏析はその後の冷却過程で拡散するためと考えられる。





(a) 各元素濃度マップ(抵抗スポット溶接部)

(b) 各元素濃度マップ(アークスポット溶接部)

### 図 III-2.7.3-8 EPMA 観察結果

図 III-2.7.3.2-5 に溶接部の硬さ分布を示す。測定荷重 200gf、ピッチ 0.25mm にて、重ね面より 0.2mm 離れた位置で測定した。溶接金属の硬さは抵抗スポット溶接部がアークスポット溶接部を上回った。これは、アークスポット溶接では溶接ワイヤと母材が混合し C 量が母材よりも低下したこと、抵抗スポット溶接部ではマルテンサイトが生成したのに対しアークスポット溶接部ではより軟質なベイナイトが生成したことが理由である。またナゲット端近傍の HAZ 硬さはアークスポット溶接部の方が低くなった。これはアークスポット溶接の場合オートテンパーが進んだためと考えられる。

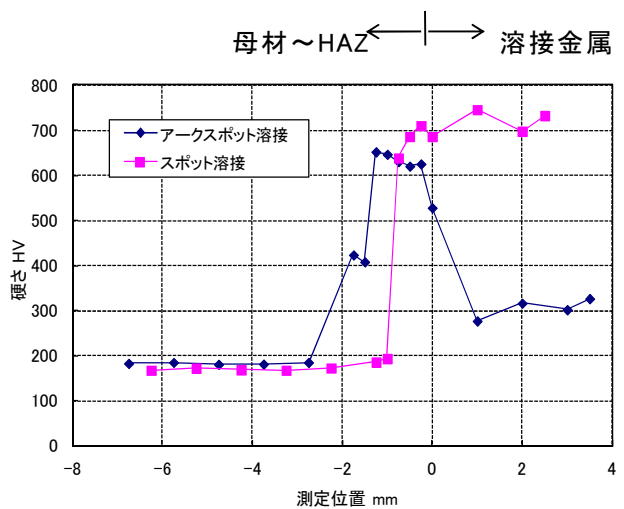


図 III-2.7.3-9 溶接部の硬さ分布

静的引張試験結果を図 III-2.7.3.2-6 に示す。引張せん断強さに対しては、アークス

ポット溶接において H27 年度目標である JIS-Z3140-A 級の 70%以上の強度が確保できることを確認した。また、十字引張強さに対しては抵抗スポット溶接に対してアークスポット溶接が約 3 倍の強度となることを確認した。

アークスポット溶接における十字引張強さ向上のメカニズムを検討するため、剥離荷重に伴う継手開口部の応力差を溶接表裏面に余盛りがある場合と、表裏面がフラットな場合で比較した。図 III-2.7.3-11 に示すように、余盛りによる拘束で開口部の応力が低下し、十字引張強さの向上効果を発現したと考えられた。

図 III-2.7.3-12 に疲労試験結果を示す。疲労強度は引張せん断継手が十字引張継手よりも高かった。また同じ継手形状で比較すると、アークスポット溶接の疲労強度は抵抗スポット溶接継手(ナゲット径 4vt)のそれを上回った。これら疲労強度の順序は静的強度の高低の順に対応した。引張せん断疲労試験におけるき裂破面を観察したところ、アークスポット溶接ではき裂進展破面の形態が観察されたが、抵抗スポット溶接では柱状晶もしくは等軸晶の粒界破壊及びへき開破壊が観察された。両溶接法の疲労強度差に対しては、疲労き裂の進展が影響を及ぼしており、溶接部の靱性の低い抵抗スポット溶接はき裂の発生から即時破壊に遷移したと考えられた。

### 1).2. アークスポットプロセスの改善

アークスポット溶接の適用により継手強度特性の向上が期待できるが、強度特性の支配要因となる余盛り形状を再現良く得るためには、ビード形成のメカニズムを明確にする必要がある。

そこで、アークスポットビード形状の数値シミュレーションを行った。本モデルは、非定常熱伝導方程式と、熔融池表面の表面張力と重力のエネルギーバランスによる表面形状方程式を連成解析し、非定常状態の溶接現象再現するものである。図 III-2.7.3-13 に示すように、ビード形状に及ぼす溶接入熱及び表面張力の影響を評価したが、条件変動によるビード形状の変化があまり見られない。現状のモデルでは、裏波計算部

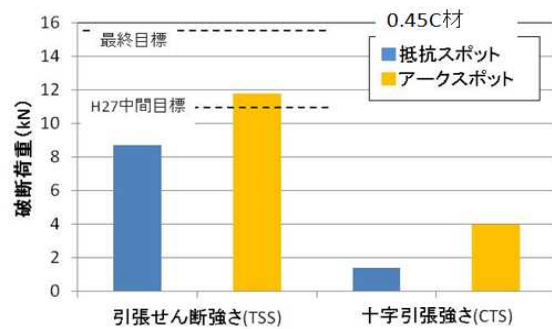


図 III-2.7.3-10 アークスポット継手の継手強度

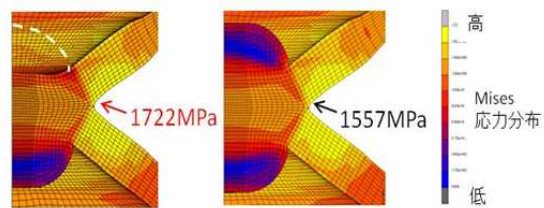


図 III-2.7.3-11 剥離荷重に伴う開口部の応力

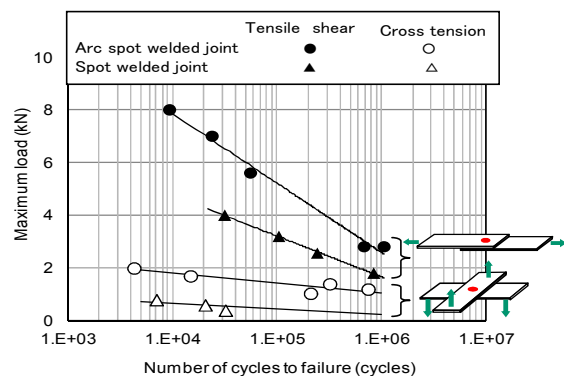


図 III-2.7.3-12 アークスポット継ぎ手の疲労特性

分に関する不具合であると考えられるため早急に不具合を解消しシミュレーションモデルの妥当性を検討する。

一方、ビード形状改善手法として溶接裏面への裏当て設置の効果を検討した。図 III-2.7.3-14 に裏当て金と鋼板裏面の隙間を変えた場合のビード形状を通常の直流アーク溶接、CMT 溶接で比較する。直流アーク溶接では鋼板裏面と余盛りビードの止端部で未溶融が確認されたが、CMT 溶接では良好な余盛り形状が得られた。本手法では、裏当て金による溶接金属からの抜熱を防ぐこと重要であった。

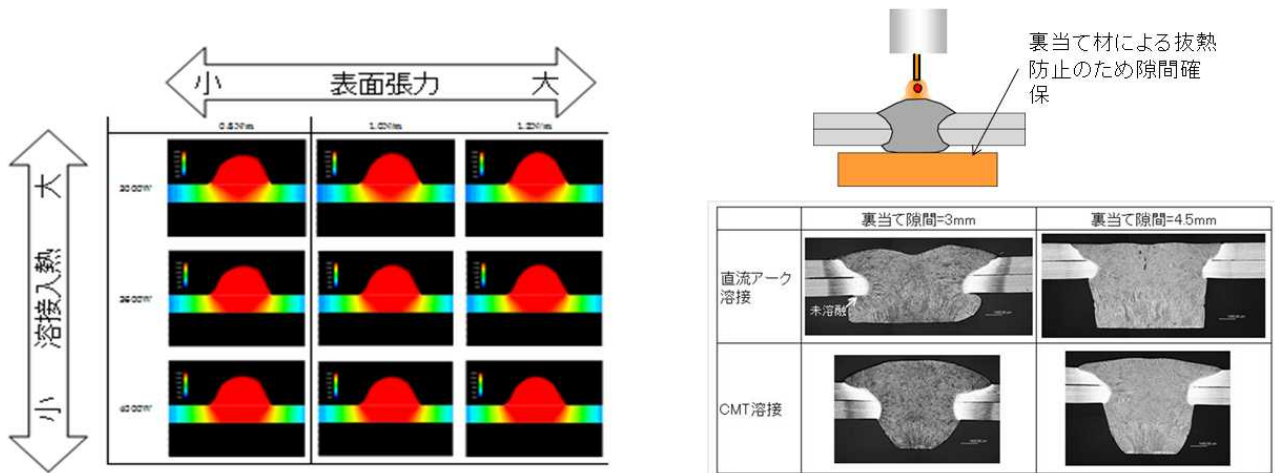


図 III-2.7.3-13 ビード形状シミュレーション 図 III-2.7.3-14 裏当て設置によるビード形状改善

### 1)3 アークスポット溶接部の残留応力

大規模・高速解析が可能な「理想化陽解法 FEM」を用いて、解析を実施した。解析対象である試験片の形状・寸法および解析に用いた要素分割を図 III-2.7.3-15 に示す。図 III-2.7.3-16 に、降伏応力を 350MPa 及び 1050MPa とした場合の残留応力を示す。x 方向成分  $\sigma_x$  の、y 方向成分  $\sigma_y$  共に降伏応力が高いほど残留応力が大きくなるのが分かる。また、降伏応力が高い場合、降伏応力を大きく超える残留応力が発生していることが確認できた。

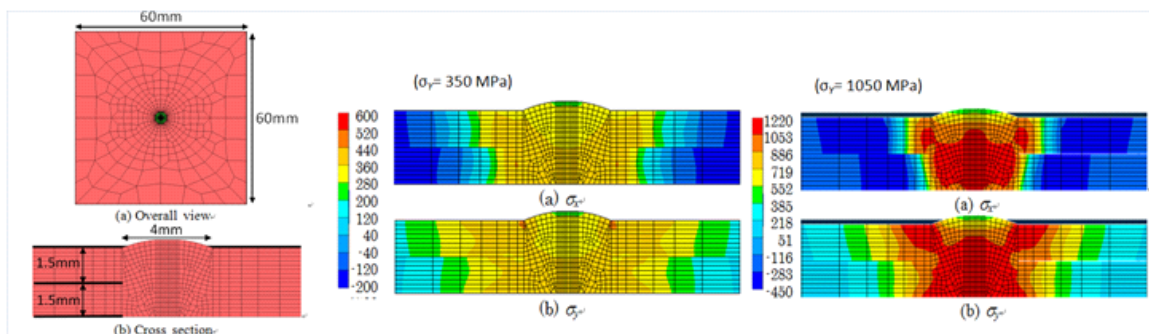


図 III-2.7.3-15 解析モデルのサイズ 図 III-2.7.3-16 残留応力解析結果

## 2).1 摩擦攪拌リニア接合プロセスの開発

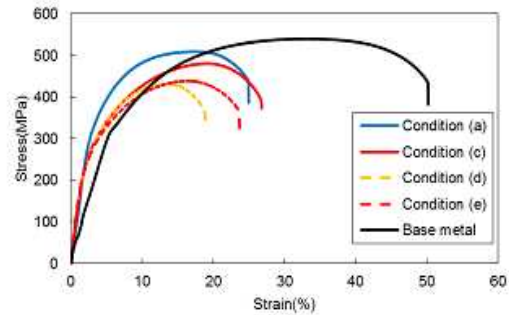
既存の摩擦攪拌接合（FSW）装置を用いて適正な摩擦攪拌条件を把握すると共に、急冷機構付与した FSW による基礎検討を実施した。更に、急冷機構を付与した摩擦攪拌リニア接合（FSLW）装置の仕様を決定し、導入を進めた。

まず、摩擦攪拌の適正条件の評価として、表Ⅲ-2.7.3-6 に示す条件の継手を作製した。各接合条件の継手から採取した試験片の引張試験結果を図Ⅲ-2.7.3-17 に示す。引張強度については、最も入熱量が小さいことが予想される(a)の条件のものでほぼ受入材と同程度の値を示し、それ以外の条件についても大きな強度の低下は見られず、全接合条件において摩擦攪拌部および接合界面は概ね健全な強度が実現できていることを確認した。

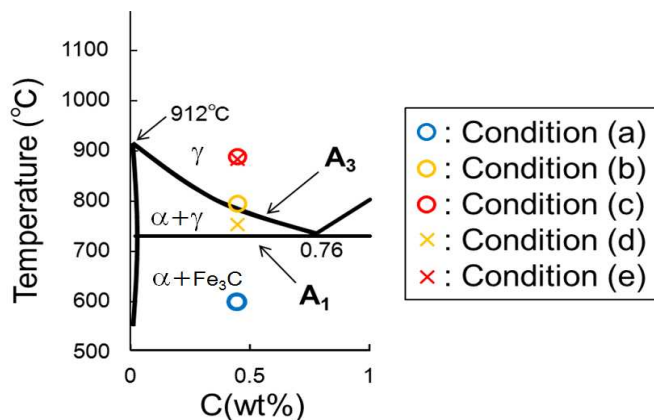
赤外線放射画像解析より導出された各接合条件の最高到達温度を、Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金系状態図モード中にプロットし図Ⅲ-2.7.3-18 として整理した。ツール回転速度が 100rpm の条件(a)では、接合温度は A<sub>1</sub> 変態点を超えない温度領域に留まることが予想される。この場合、α (BCC)と θ (Fe<sub>3</sub>C)の二相混合領域（フェライト-パーライト組織）で継手の作製、すなわち無変態での接合継手の作製が可能と推察される。

表Ⅲ-2.7.3-6 摩擦攪拌接合条件

Condition	Tool Rotation Speed (rpm)	Welding Speed (mm/min)
(a)	100	100
(b)	200	
(c)	400	
(d)	200	200
(e)	400	



図Ⅲ-2.7.3-17 引張試験から求めた  
応力ひずみ線



図Ⅲ-2.7.3-18 赤外線放射画像解析により求めた最高到達温度と Fe-Fe<sub>3</sub>C 合金系状態図との相関

次に急冷機構付与した FSW による基礎検討を実施した。図Ⅲ-2.7.3-19 に実験装置の模式図を示す。2 mm厚の S45C 鋼に対して、A<sub>1</sub> 点以下で接合し、急冷機構付与の効果进行调查した引張試験は、攪拌部の特性が得られるように微小な試験片を用いて、継



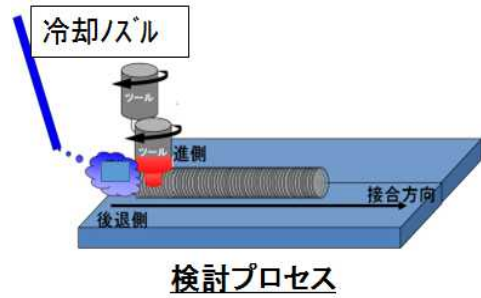
手の微細組織と機械的特性について調査した。

急冷機構有り無しでの攪拌部の平均の引張強さは、それぞれ 781、987 MPa であった。

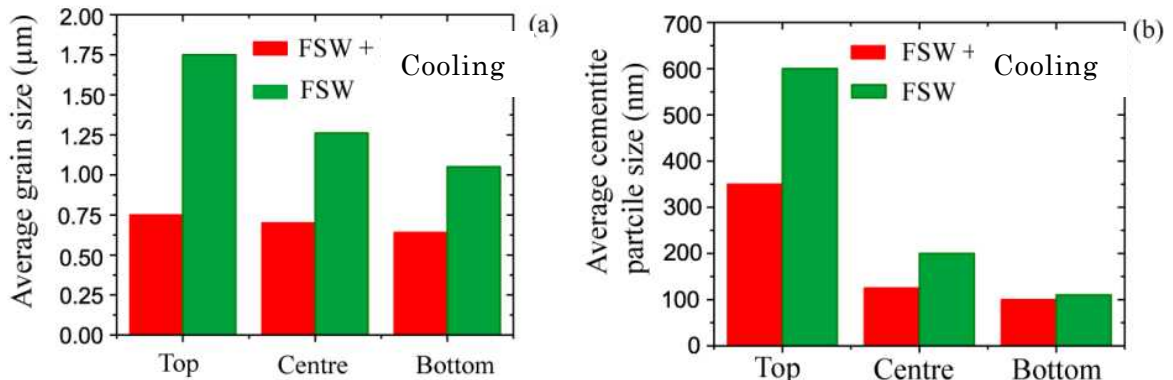
また、最大荷重時における伸びは、急冷機構有り無しでそれぞれ、28%、34%となり、急冷機構の付与による強度、伸びの上昇が確認できた。

図Ⅲ-2.7.3-20 に、継手断面の板厚方向における表面近傍、中央部、裏面近傍のフェライト( $\alpha$ )およびセメンタイト( $\theta$ )の大きさを示す。

いずれの接合条件においても、母材と比較して、微細な  $\alpha+\theta$  組織が得られていたが、急冷した場合には、冷却速度が増大し、より微細な  $\alpha+\theta$  組織が得られた。フェライトのみの微細化は、加工硬化能の観点からは必ずしも望ましいことではないが、冷却速度の増大に伴う、フェライトとともにセメンタイトの微細化することが、当該 FSW 継手の加工硬化能および均一変形を向上させたと言える。



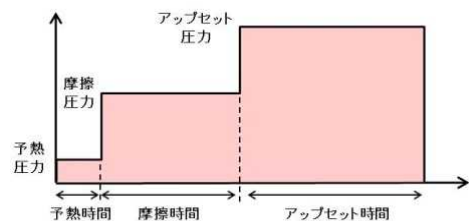
図Ⅲ-2.7.3-19 急冷機構を付与した FSW プロセス



図Ⅲ-2.7.3-20 継手断面の板厚方向における、表面近傍、中央部、裏面近傍のフェライト( $\alpha$ )およびセメンタイト( $\theta$ )の大きさ

## 2).2 摺動摩擦接合の検討

供試材には、S55C 鋼の  $\Phi 10\text{mm}$  中実丸棒焼入れ材を用いた。摩擦圧接の接合シーケンスを図Ⅲ-2.7.3-21 示す。本検討では、同種同径の供試材にて、時間制御により継手を作成した。接合条件は表Ⅲ-2.7.3.2-6 に示すように、摩擦時間、摩擦圧力、アップセット圧力を変化させた。その他の接合条件は、回転数 1800rpm、予熱圧力 31.9MPa、予熱時間 1s、アップセット時間 7s で一定とした。



図Ⅲ-2.7.3-21 摩擦圧接シーケンス

表Ⅲ-2.7.3-7 摩擦圧接条件

Mark	摩擦圧力 (MPa)	摩擦時間 (s)	アップセット圧 力 (MPa)
S	70.3	6.0	153.3
P25T	70.3	1.5	153.3
P50T	70.3	3.0	153.3
P150T	70.3	9.0	153.3
15P25T	105.5	1.5	153.3
15P50T	105.5	3.0	153.3
15P100T	105.5	6.0	153.3
20UP	70.3	6.0	306.6

摩擦圧接継手の曲げ試験を、圧子 R20、支持点 R10、支持点間隔 50mm で行った。試験後の継手全体、および破断面の外観写真を図Ⅲ-2.7.3-22 に示す。アップセット圧力が 153.3MPa の条件では、接合界面近傍で破断した。特に、摩擦時間が短い条件 (Mark.P25T、15P25T) では、基準条件 (Mark.S) に比べ、破断面が平坦であった。また、継手全体の変形が小さいことから短い押し込みストロークで破断したことが示唆される。摩擦時間を長くしていくと、破断面の凹凸、および継手全体の変形が大きくなった。さらに、摩擦圧力を変化させた Mark.P50T と Mark.15P50T を比較すると、摩擦時間が同じ場合では、摩擦圧力が高い条件のほうが曲げ特性が良好であった。次に、基準条件に対してアップセット圧力を高めた条件 (Mark.20UP) では、HAZ 部で破断した。以上の結果より、本検討範囲では、焼入れ材の摩擦圧接において曲げ特性を高めるためには、高摩擦圧力かつ、高アップセット条件にて、接合界面での破断を避けるように摩擦時間を選定することが望ましいと考えられた。



図Ⅲ-2.7.3-22 曲げ試験後の外観写真

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.7.3-8 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	1	0	6	0	0	0	0	0	1
合計	1	0	6	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.7.3-9 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.4 [テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

### 2.7.4.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車や輸送機器の軽量化を目的とした高張力鋼板の適用拡大には、強度だけではなく加工性（伸び）も抜本的に向上させてゆく必要がある。これを達成するための具体的なアプローチとして、中高炭素鋼を用いて、加工により変態して延性を高める残留オーステナイト相の最適活用による伸びの向上について研究が進められている。

しかしながら、中高炭素鋼は、従来の溶接技術では溶接部に割れが生じたり脆化したりする。そこで、本プロジェクトでは、工業化のために必要な難溶接鋼板の連続摩擦攪拌接合（FSW）技術の開発を目的に、中高炭素鋼板の PHM（Pre/Post Heating Method）による実用 FSW 技術の開発を目指す。予熱・後熱処理プロセスを利用することにより接合部の熱履歴制御を可能とし、接合部金属組織の最適化、継手の高強度化および接合施工性向上を達成することで、革新的 FSW 技術の実用化技術を構築する。

#### (2)位置付け、目標値

##### 【位置付け】

##### 1) 平成 27 年度

導入する鉄鋼用 FSW 装置、および既存接合ツールを用いた検討により、鉄鋼の FSW 基礎プロセスを確立する。接合ツールは種々の材質、形状に関して検討することで、接合施工性と継手健全性の観点から適正プロセス条件範囲を明確化し、得られた適正条件範囲において設定する接合強度目標値を達成する。上記の結果と共に、塑性流動基礎解析を行うことで、開発鋼の接合で想定される課題の明確化を図る。

さらに、導入する予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）の装置を用いて接合性の検証を行う。

##### 2) 平成 29 年度

予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）を開発する。従来の FSW 法では接合ツールと鋼材との間で発生する摩擦熱のみを熱源としているため必要な熱量を十分確保できないという課題に対し、鋼材を十分に軟化させるために予熱プロセスを付加することで接合施工性を向上する。また、後熱プロセスを付加することで、接合部の熱履歴制御を可能とし継手強度を向上する。得られた接合継手の強度に関して上記の目標値を実験室レベルで実現する。

さらに、予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）の装置に対して、上下面から加熱が可能な機能を追加し、設備の改良を行う。

##### 3) 平成 34 年度

PHM-FSW 法の実機化に向けての技術を構築する。開発鋼を想定した PHM-FSW 法の実用化検討として、高中炭素鋼で従来溶接法で問題となる水素脆化に対する PHM-FSW 法の許容度を確認し、水素起因割れを回避可能な施工条件を明確化する。



【研究開発の目標】

1) 平成 27 年度

既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼板に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現する。

2) 平成 29 年度

予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）を開発し、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中炭素鋼板への適用性を実験室レベルで確認する。接合強度は強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現し、かつ従来法による継手引張せん断強さを超える強度を実現する。

3) 平成 34 年度

予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）を開発し、厚さ 2mm、強度 1.5GPa 以上の中炭素鋼板への実用化技術を構築する。接合強度は厚さ 2mm、強度 1.5GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現する。

表 III-2.7.4-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
FSW 法の開発	予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）の接合性の検証	予熱・後熱プロセスを有する FSW 法（PHM-FSW 法）による接合プロセス適正条件の明確化	PHM-FSW 法の実用化技術の構築	FSW の実用化には接合部金属組織の最適化、継手の高強度化および接合施工性向上を達成する技術の開発が必須
継手性能	既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現	PHM-FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現し、かつ従来法による継手引張せん断強さを超える強度を達成	PHM-FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.5GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現	引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%は、JIS Z3140 A 級相当であり、自動車車体の接合部強度の基準を満たす。

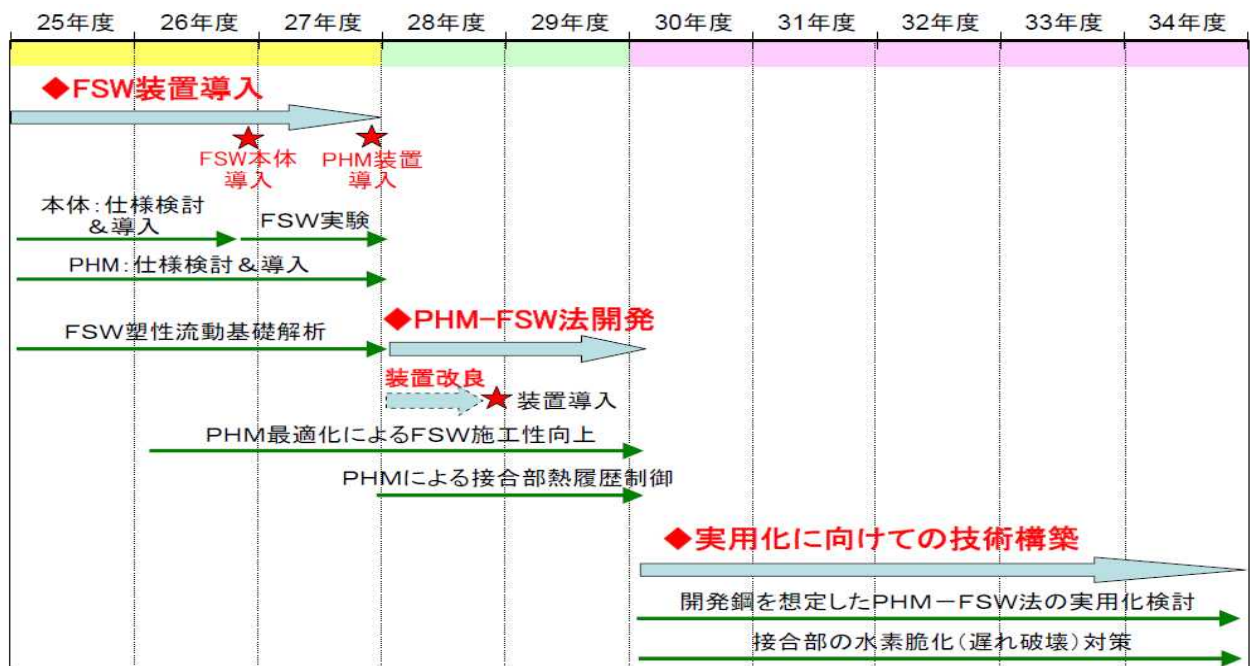
### (3)全体計画

平成 25、26、27 年度は、FSW 装置本体、PHM 装置から構成される PHM-FSW 装置を構築する。導入装置が設計・仕様に従った性能を有することを確認する。既存 FSW 法により、2mm 厚、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼を接合対象として、接合継手の引張せん断強さが母材強度の 70%以上を達成する接合技術を開発する。また、研究再委託先の大阪大学にて中炭素鋼板の FSW における塑性流動基礎現象を検討する。

平成 28、29 年度は、PHM 条件の最適化による FSW 施工性向上と接合部熱履歴制御による継手特性向上を確立し、PHM-FSW 法の開発を達成する。また、PHM-FSW 装置の改良を行い、両面摩擦加熱が可能な機構を追加する。開発 PHM-FSW 法により、接合対象：2mm 厚、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼を接合対象として、接合継手の引張せん断強さが母材強度の 70%以上かつ、従来を超える接合技術を開発する。

平成 30～34 年度は、実用化に向けての技術構築を行う。開発鋼を想定した PHM-FSW 法の実用化検討を行い、中高炭素鋼による高張力鋼板の接合において懸念される接合部の水素脆化（遅れ破壊）に関して評価を行い確認する。

表Ⅲ-2.7.4-2 全体計画



### (4)実施体制

中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発は、千葉分室（JFE スチール（株））が実施する。

### (5)運営管理

テーマ(4)登録研究員による実務者進捗会議を1ヶ月に1回開催。加えて、スチール研究副所長出席による運営会議を3ヶ月毎に開催。また、再委託先との進捗会議を原則3ヶ月毎に開催。

## (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

開発する新接合技術および中高炭素鋼が自動車製造に適用されることにより、自動車の燃費向上によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量が大幅に削減され、燃費改善目標（国立環境研究所 AIM PJ チーム試算）の10～20%相当のCO<sub>2</sub>削減で地球温暖化ガスの低減に寄与する。加えて、自動車の安全性(耐衝突性)・走行性能の向上により、社会の安心・安全向上にも寄与すると考えられる。

また、開発する新接合技術は中高炭素鋼のみならず、異材接合技術としても非常に有用であるものと想定している。

### 2.7.4.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

##### 1) FSW 法の開発

予熱・後熱プロセスを有する FSW 法の接合性の検証において、FSW 施工性を向上するために必要な予熱機能の仕様を確認済み。装置導入後、接合性の検証予定。

##### 2) 継手性能

既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現する中間目標に対し、既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa の中高炭素鋼を用いて継手を作製。接合継手の引張せん断強さ母材強度の平均 80%以上を実現した。

表Ⅲ-2.7.4-3 第一中間目標

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
FSW 法の開発	予熱・後熱プロセスを有する FSW 法 (PHM-FSW 法) の接合性の検証	FSW 施工性を向上するために必要な予熱機能の仕様を確認済み。装置導入後、接合性の検証予定。	△	
継手性能	既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現	既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa の中高炭素鋼を用いて継手を作製。接合継手の引張せん断強さ母材強度の平均 80%以上を前倒しで達成。	◎	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## 1) FSW 法の開発

### 1).1 高融点材用 FSW 装置の導入・接合性の検証

高融点材用 FSW 装置の仕様を決定し、作製、導入および立ち上げを行った。既存の自動車用鋼板を想定した強度、板厚の鋼板サンプルにて、接合施工性、継手健全性を評価し、導入装置が本研究開発の要件を十分に満たすことを確認した。

#### 【実験条件】

導入した高融点材用 FSW 装置に Co 合金製接合ツールを装着し、強度レベル 590MPa 級、板厚 1.4mm の自動車用高張力冷延鋼板による 100mm x 500mm のサンプル 2 枚を突合せ接合を行った。

#### 【実験結果】

欠陥の無い良好な表面状態が安定的に得られ、装置が設定条件どおりに安定的に動作することが確認できた。また、断面観察においては、上面から下面まで攪拌部が形成され、欠陥無く完全に接合された健全な接合継手を得ることができた。

### 1).2 予熱・後熱装置の仕様の決定

FSW 用予熱・後熱装置の仕様を決定するため、高周波誘導加熱試験を行った。開発目標である高 C 成分の素材に対して必要な加熱能力を明らかにし、装置仕様を策定した。

#### 【実験条件】

C: 0.57%、板厚 2.3mm の鋼板サンプルを SUS304 製架台にクランプし、全体をステージ上で長手方向に移動させ、周波数 100kHz の高周波加熱装置を用いて、サンプル上方に固定したコイルを通じて加熱を行った。サンプルの表裏面に 100mm 間隔で熱電対を取り付け温度を計測した。なお、表面とはコイルに近接する側を指す。

#### 【実験結果】

赤熱の様子から、加熱コイル直下の領域のみが加熱できていることが示された。熱電対による温度測定の結果、表面が約 800°C、裏面が約 700°C に達し、十分な加熱が得ることができた。

#### 【予熱・後熱装置の仕様】

上記検討の結果から、予熱・後熱装置仕様を決定した。予熱のために高周波加熱装置およびレーザー装置を、後熱のために高周波加熱装置を適用可能な構成とした。高周波加熱装置およびレーザー装置は想定される板厚、鋼種および移動速度にて、ピーク温度 700°C 以上に到達可能な能力を有するものを選定した。さらに、FSW ツールに隣接してレーザー加熱装置および高周波加熱装置を固定し、その位置を調整可能とした。

現在、予熱・後熱装置は発注済みであり、導入後、接合性の検証を行う予定である。

### 2).1 継手性能の確立

導入した高融点材用 FSW 装置を用いて、既存の自動車用鋼板を想定した強度、板厚の鋼板サンプルにて、接合施工性、継手健全性を評価し、導入装置が本研究開発の要

件を十分に満たすことを確認した。

#### 【実験条件】

高融点材用 FSW 装置に Co 合金製接合ツールを装着し、強度レベル 1180MPa 級、板厚 2.0mm の中炭素鋼高張力鋼板試作材による 100mm x 500mm のサンプル 2 枚を突合せ接合を行った。

作製した FSW 継手について、外観観察、断面観察を行い欠陥の有無を確認した。さらに、JIS Z 2201 5 号に準拠した継手引張試験片を作製し継手による引張試験を行った。

#### 【実験結果】

外観観察において、欠陥の無い良好な表面状態が安定的に得られ、装置が設定条件どおりに安定的に動作することが確認できた。断面観察において、内部欠陥は認められず、健全な継手が得られたことが確認できた。塑性流動を伴う攪拌部(SZ)その周囲の熱影響部(HAZ)では、母材とは異なる組織となったことが示された。これは、接合時にフェライト-オーステナイト変態点を超える温度に加熱され、さらに冷却を経ることにより、母材とは異なる組織に変質したためと考えられる。母材においては、ベイナイト、マルテンサイト、残留オーステナイトの混合組織となるのに対し、攪拌部(SZ)においては、マルテンサイト主体の組織となることが判った。

継手引張試験結果においては、3 回全ての試行において、継手効率 70%以上を達成し、平均では 80%以上を達成した。ここで継手効率は、継手の最大引張強度(TS)を母材(供試鋼板)の最大引張強度で除した値である。

以上より、第一中間目標である、既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して継手効率 70%の実現を確認することができた。

### (2)第二中間目標の達成可能性

#### 1) FSW 法の開発

現状は、FSW 施工性を向上するために必要な予熱機能の仕様を確認済み。装置導入後、接合性の検証予定。今後、予熱・後熱プロセスを有する FSW 法の実用化技術の構築。達成の見込み。

#### 2) 継手性能

現状は、既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa の中高炭素鋼を用いて継手を作製。接合継手の引張せん断強さ母材強度の平均 80%以上を実現。今後、PHM-FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.5GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現。達成の見込み。

表Ⅲ-2.7.4-4 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
FSW 法の開発	FSW 施工性を向上するために必要な予熱機能の仕様を確認済み。装置導入後、接合性の検証予定。	予熱・後熱プロセスを有する FSW 法 (PHM-FSW 法) による接合プロセス適正条件の明確化。	達成の見込み
継手性能	既存 FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa の中高炭素鋼を用いて継手を作製。接合継手の引張せん断強さ母材強度の平均 80%以上を実現。	PHM-FSW 法において、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現し、かつ従来法による継手引張せん断強さを超える強度を達成。	達成の見込み

### (3)研究開発の成果と意義

自動車車体の材料構成は、軽合金や樹脂などが増加しているとは言え、鉄系材料がその大半を占める状況である。したがって、ハイテン材を適用して薄肉化を図ることが車体軽量化には極めて有効であり、その使用量の大幅な増加が予想されている。自動車向け鋼板生産量におけるハイテン材の比率は 1990 年には 20%であったものが 2005 年には 50%まで上昇しており、その生産量は年間で約 1500 千 t から 3600 千 t まで増加している。一方で、使用される鋼板の強度は、従来では引張強度が 590MPa までで構成されていたものが、近年では 980MPa 級以上の超高強度鋼板の自動車車体部品への適用が検討されている。従来の引張強度が 980MPa 以上の高強度鋼板は補強部材などの軽加工で製造可能な部品への適用に限定されていた。これには、中炭素鋼の溶接が難しいという事情が大きく影響している。

一方、鋼板の摩擦攪拌接合技術については、これまでも軟鋼板から 980MPa 級鋼板までの実用鋼板を対象とした摩擦攪拌点接合および摩擦攪拌接合技術が検討されており、その基礎的現象は明らかになっている。また、予熱を活用した摩擦攪拌接合の施工性向上技術についての基礎的検討もなされてきた。そこで、本プロジェクトにおいては、これらの従来の知見を活用するとともに、さらに予熱・後熱をインプロセスで実施する技術を開発することにより実用的摩擦攪拌接合技術を確立し、自動車車体

の骨格部品に適用可能な極めて高強度の鋼板の接合が可能と見込んでいる。  
 上記の自動車車体を取り巻く情勢からこのような高強度鋼板の接合技術の適用は益々  
 推進されると期待される。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.7.4-5 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	2

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.7.4-6 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	3	0	3
H26FY	2	0	0
合計	5	0	3

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約



## 2.7.5 [テーマ番号 05] アルミニウム／異種材料の点接合技術

### 2.7.5.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

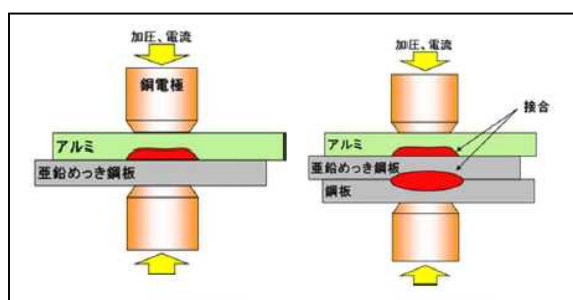
航空機や自動車等の輸送機器には地球温暖化対策として CO<sub>2</sub> 削減ならびに省エネルギー化の推進が求められており、軽量化はその有効な手段である。自動車においては特に車両重量の 40% を占める車体の抜本的な軽量化が検討されており、従来の鋼板製車体のような単一材料ではなく、各種構造材料の特長を生かした適材適所の材料適用（マルチマテリアル車体）の研究が主流となっている。

そのマルチマテリアル車体の実現には、部素材の高性能/低コスト化のための研究開発とともに、異種材料からなる複数の部素材を組み付けるための接合技術が不可欠であるが、現状ではリベットなどの機械的接合や接着に限られ、多関節ロボットによる抵抗スポット溶接を前提とした車体組立ラインには容易に展開できない。

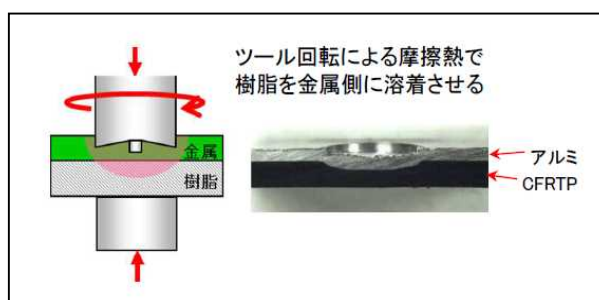
そこで本研究開発では、マルチマテリアル車体を既存の車体組立ラインで製造するため、その主要構成材料であるアルミニウムや鋼板、CFRP などの異種材料の接合が可能で、且つ、組立ラインへの適合性の高い異材点接合技術を開発する。また、それら異材接合部の信頼性を確保するため、素材間の熱膨張差による熱歪みの解析技術や腐食電位差による電食（ガルバニック腐食）の電気化学的評価手法を確立する。併せて、車体の軽量化に伴って悪化する振動騒音性能を補完するため、高遮音アルミニウムパネル材とウェルドボンド用高減衰接着剤の仕様を決定する。

#### (2)位置付け、目標値

車体組立ラインで多用されている抵抗スポット溶接に置き換え可能な異材点接合技術を開発対象としており、一部に使用されているリベット接合よりも低コストで多様な板組（板厚）に対応できる利点もあり、マルチマテリアル車体の接合技術として他の接合手法に比べ優位にある（図Ⅲ-2.7.5-1、Ⅲ-2.7.5-2 参照）。



図Ⅲ-2.7.5-1 アルミニウム/鋼板の点接合



図Ⅲ-2.7.5-2 アルミニウム/CFRP の点接合

研究開発の目標値を表Ⅲ-2.7.5-1 に示す。アルミニウム/鋼板及びアルミニウム/CFRP の点接合技術を車体の強度部材に適用するため、接合強度の目標値を JIS Z3140（スポット溶接部の検査方法）に記載の A 級（特に強さを要する溶接部）と設定した。また、アルミニウム/CFRP の点接合については生産性の観点から、1 点あたりの接合時間を抵抗スポット溶接と同水準の 5 秒以内を最終目標としている。



表Ⅲ-2.7.5-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
アルミニウム／鋼板の点接合技術	・試験片の接合強度で JIS Z3140-A 級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断を実現	・車体部材適用時の部材性能／品質／コスト／主要量産課題の明確化	・車体部材の接合強度で JIS -A 級の引張せん断荷重最小値以上または母材破断を実現	車体の強度部材に適用可能な接合強度の確保
アルミニウム／CFRP の点接合技術	・試験片の接合強度で JIS Z3140-A 級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断を実現	・車体部材適用時の部材性能／品質／コスト／主要量産課題の明確化	・車体部材の接合強度で JIS -A 級の引張せん断荷重最小値以上または母材破断を実現 ・1 点あたりの接合時間は 5 秒以内 ・多関節ロボットによる施工技術と非破壊検査手法の確立	車体の強度部材に適用可能な接合強度と抵抗スポット溶接と同等の生産性の確保
異材接合部の評価解析	・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立 ・アルミニウム／鋼板、アルミニウム／CFRP の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立	・電食に対する防錆技術の確立 ・熱歪み解析手法の運用		マルチマテリアル車体の品質確保
高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の仕様決定	・高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の基本仕様決定	・車体部材適用時の部材性能／品質／コストの明確化		車体軽量化により悪化する性能のリカバリ

### (3)全体計画

本研究開発は 10 年間の長期に及ぶことから、当初の目標を確実に達成するため、研究期間を技術構想の実証（平成 25～27 年度）、実部品での性能/効果の検証（平成 28～29 年度）、実用化の主要課題解決（平成 30～34 年度）の 3 つのステージに分け、各ステージでの研究内容やゴールを明確に設定した。

なお、第一ステージの技術構想の実証では、接合強度の向上と安定化を狙いに、大学と共同で接合メカニズムや劣化要因の解明に取り組んでいる。

#### (4)実施体制

本研究テーマは、異材点接合技術と NVH 性能（振動騒音）を改善するための材料開発で構成されている。アルミニウム/CFRP の点接合技術と高遮音アルミニウムパネルについては、広島分室（マツダ株式会社）が深谷分室（株式会社 UACJ）との共同開発とし、メカニズム解明や接合部の基礎評価を大学等 6 機関に再委託している。

#### (5)運営管理

業務管理責任者のもと部門横断の実施体制とし、サブテーマ毎にテーマリーダーを設定した。また、研究活動の PDCA サイクルを徹底するため、業務管理責任者と部門長をレビューボードとしたマンスリーの進捗会議を開催している。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

技術開発のトレンドによると車体のマルチマテリアル化は 2020 年頃から車の全面改良に合わせて随時拡大するものと予想され、最小（1 モデル）でも年間数万台レベル、主要車種に適用されれば年間数十万台レベル、同業他社が採用した場合にはさらに大きな事業規模に達する。開発技術を着実に社会へと還元するため、マツダの占有ではなく、海外メーカーを除く国内同業他社への技術ライセンスを検討する。

### 2.7.5.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.7.5-2 に中間目標と達成度を示す。各サブテーマとも中間目標（H27 年度末）を達成できる見通しであり、接合強度については既に目標値を達成している。また、第一ステージ（H25～H27 年度）では大学と共同で接合のメカニズムや劣化要因の解明に取り組んできたが、アルミニウム/鋼板の点接合における金属間化合物の生成メカニズムやアルミニウム/CFRP 点接合における金属酸化膜と樹脂官能基の役割を明確にすることができた。一部の成果については既に学会等で報告した。以下に研究成果の概要を示す。

表Ⅲ-2.7.5-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
アルミニウム／鋼板の点接合技術	・試験片の接合強度で JIS Z3140-A 級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断を実現	・低目付の亜鉛メッキ鋼板との組合せで引張せん断荷重は目標値のほぼ 2 倍の 4.4kN を達成した。	◎	
アルミニウム／CFRP の点接合技術	・試験片の接合強度で JIS Z3140-A 級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断を実現	・アルミニウム側に表面処理を施すことで引張せん断荷重は目標値の 2 倍の 5.0kN を達成した。無処理でも 4kN レベル。	○	

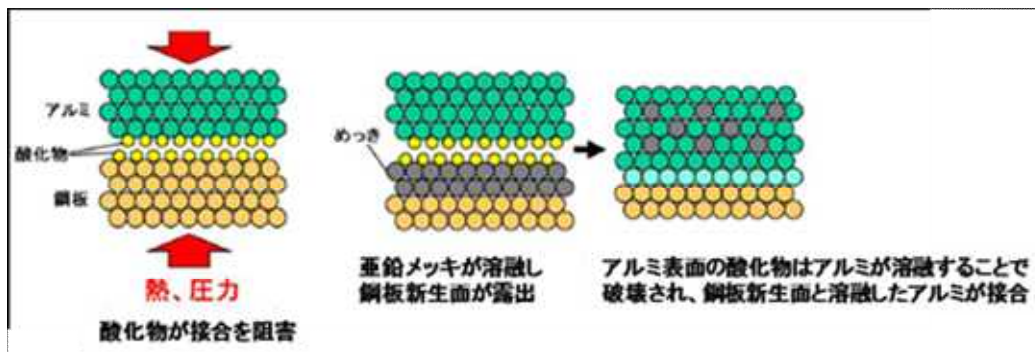
異材接合部の評価解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立</li> <li>・アルミニウム／鋼板、アルミニウム／CFRPの熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・アルミニウムとCFRPの電位差で生じる腐食電流を直接計測できる電気化学的評価システムを構築した。</li> <li>・実部材の熱歪みを定性的に再現できABAQUSをベースとした熱歪み解析手法を開発した。</li> </ul>	△	
高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の仕様決定	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の基本仕様決定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の基本仕様を決定した。</li> </ul>	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

アルミニウム/鋼板の点接合技術（抵抗スポット溶接）では、鋼板側に亜鉛メッキを施すことで接合強度が向上することが分かっている。そこで、接合過程における亜鉛メッキの挙動や界面の金属間化合物の形成状態を電子線マイクロアナライザーや透過電子顕微鏡を用いて詳細に調査し、接合におけるメッキの役割や強度向上のメカニズムを検討した。

その結果、これまでに報告したようにメッキには通電時の熱で自らが溶融し、鋼板の活性な新生面を露出させる働きがあることを再確認するとともに、メッキの融点が高い場合やメッキ層が厚い場合には、接合界面からのメッキの排出が不十分となり、逆に脆い化合物層を形成して接合強度を低下させる原因になることが分かった（図Ⅲ-2.7.5-3 参照）。

即ち、接合強度向上にはメッキの接合界面からの排出やアルミニウム内部への拡散を容易にすることが有効であり、実際に薄目付の純亜鉛メッキ（EG10）を施すことで接合強度は裸鋼板の2倍に改善され、第一中間目標（JIS Z3140-A級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断）を達成した（図Ⅲ-2.7.5-4 参照）。



図Ⅲ-2.7.5-3 異材接合における亜鉛メッキの作用

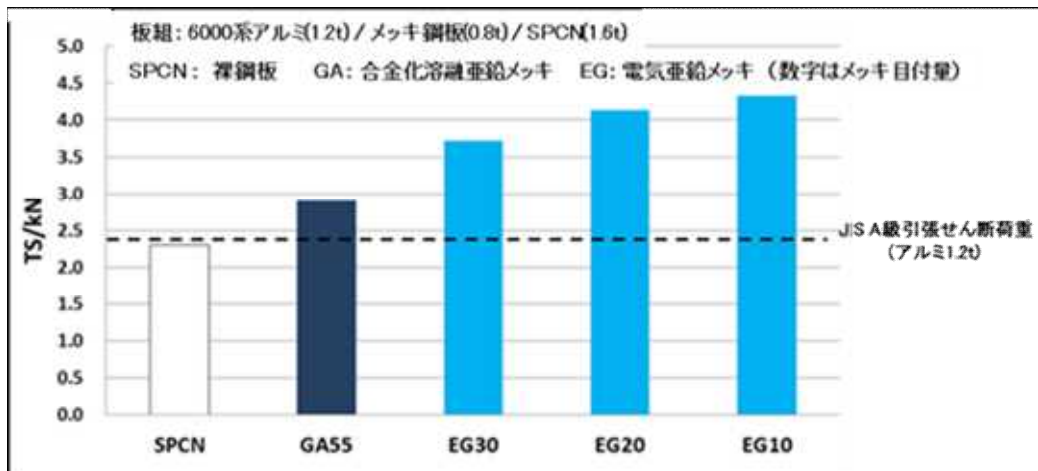


図 III-2.7.5-4 鋼板のメッキ種と接合強度

アルミニウム/CFRP の摩擦攪拌点接合では、マトリックス樹脂の官能基とアルミニウム表面の酸化膜とが化学結合により強固に接合されることを明らかにした。この接合メカニズムに基づき、接合強度の向上と安定化に取り組んだ。

具体的には官能基がなく接合性に劣るポリプロピレン樹脂と各種アルミニウム表面処理(有機被膜、酸化被膜、化学エッチング処理など)との接合性を UACJ と共同で評価した。その結果、アルミニウムに特定の有機皮膜や酸化被膜処理を施すことで接合強度が大幅に向上することを見出し、第一中間目標 (JIS Z3140-A 級の引張せん断荷重平均値以上または母材破断) を達成した。これらの表面処理により、接合部の破断形態は界面剥離から樹脂側の凝集破壊に移行し、接合強度のばらつきが抑制できるだけでなく、接合部の高温耐水/耐湿性や耐食性も改善できることが分かった。

また、点接合部の動的強度評価 (広島大学に再委託) の一環として、アルミニウム合金 (AA6016 相当/表面処理無し/1.2t) と炭素繊維 40wt%強化ポリプロピレン射出成形品 (3.0t) の異材接合試験片の疲労強度試験を行った。試験結果をもとに継手効率を算出したところ、この板組での継手効率は約 50%程度であることが分かった (図 III-2.7.5-5 参照)。今後、アルミニウム側に上記表面処理を施した異材接合試験片の疲労強度と継手効率を計測し、信頼性予測のための基礎データを整備する。

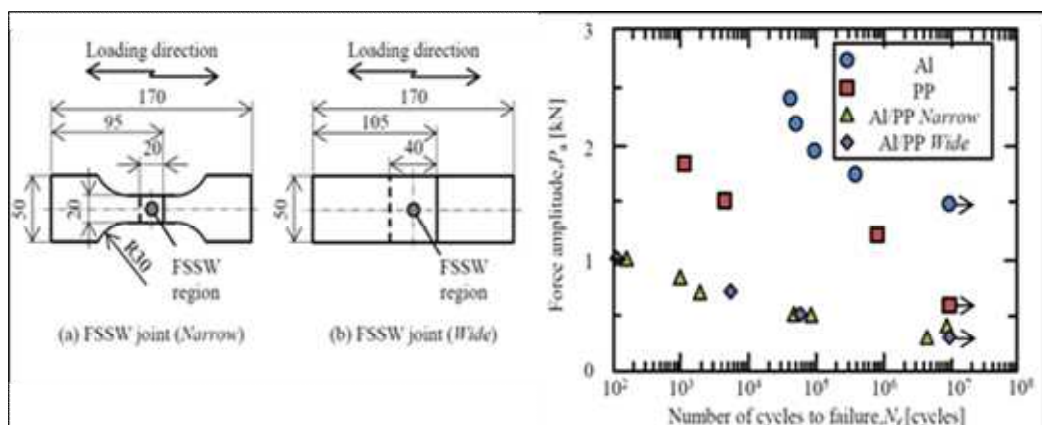


図 III-2.7.5-5 アルミニウム/CFRP 接合部の疲労特性

接合時間の短縮（広島県立総合技術研究所に再委託）については、品質工学の直交表を用いた実験を行い、接合強度に対する主要な制御因子の要因効果を明らかにした。引き続き、接合強度を犠牲にすることなく接合時間を最小化できる制御因子を抽出し、接合時間の最終目標（5秒以内/点）を達成するための課題と対応策を探る。

なお、接合時間は生産性を左右する重要な特性であることから、それを支援するための解析ツールとして摩擦攪拌点接合のCAE解析も検討した。現時点では温度の絶対値を予測するまでには至っていないが、摩擦熱で生じる接合部の温度分布や接合条件変更にもともなう温度上昇カーブの変化についてはほぼ予測可能なレベルにある。今後、接合実験とCAE解析とのコリレーション取りにより解析精度の向上を図り、摩擦熱を効率的に発生させるための接合条件やツール仕様の机上検討に活用する。

異種材料（アルミニウム/CFRP/鋼板など）の電気化学特性や熱的特性の違いに起因したガルバニック腐食や熱歪みへの対応はマルチマテリアル化を実現する上での大きな課題であり、その評価解析技術の研究開発にも併せて取り組んでいる。

これまでにアルミニウム/CFRP接合体の腐食に電気化学的評価手法の適用を試み、これらが腐食挙動の解析ツールになる可能性を見出した。また、アルミニウム/CFRP点接合の接合強度は促進腐食試験や塩水浸漬試験等により低下するが、その強度低下には単位面積当たりの密着力（初期せん断強度）が大きく影響することが分かった。前述したように、アルミニウム側に特定の表面処理を施して初期の接合強度を高めることが高温耐水性や耐食性の改善にも有効であることを見出した。

異材接合部の市場での耐久信頼性を保証するため、塩水浸漬中のせん断強度の変化率をもとにガルバニック腐食を考慮した初期強度の目標値を設定した。また、今後の車体のマルチマテリアル化を想定し、車体各部位の腐食環境レベルを把握するため、防錆要求の厳しい欧州での状況調査を開始した。

熱ひずみCAE解析については、鋼板/アルミニウム接合フレームをモデルとした解析と実験の比較検証を行い、塗装乾燥炉（Max.180℃程度）の熱ひずみを定性的に再現できるレベルの精度を有することを確認した。本CAE解析によりリブ等を最適配置することで熱歪みを大幅に改善できる見通しが得られた。

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.7.5-3に現状と第二中間目標の達成見通しを示す。アルミニウム/鋼板の点接合については、ロバスト性確保のための技術開発を進め、車体実部材を想定した試作検証のステージに移行する。また、アルミニウム/CFRPの点接合についても今年度中に基本技術を確立し、実部材を用いた技術検証に着手する。

表Ⅲ-2.7.5-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
アルミニウム／鋼板の点接合技術	・表面が清浄な試験片レベルでは目標を達成している。今後は実部材を想定し、プレス油の付着や板間隙などの外乱に対するロバスト性を確保する。	・車体部材適用時の部材性能／品質／コスト／主要量産課題の明確化	実部材を想定したロバスト性の先行評価を開始しており、中間目標達成の見通しあり。
アルミニウム／CFRP の点接合技術	・低融点のポリプロピレンやポリアミド樹脂については目標を達成している。今後はより融点の高い耐熱樹脂ポリフェニレンサルファイド樹脂（PPS）で目標強度を達成する。	・車体部材適用時の部材性能／品質／コスト／主要量産課題の明確化	主要課題を早期に抽出するための事前検証を平成 27 年度後半に予定している。目標達成の見通しあり。
異材接合部の評価解析	・基本的な解析システムは構築済み。今後、解析の精度向上を目指す。	・電食に対する防錆技術の確立 ・熱歪み解析手法の運用	解析技術を用いて防錆や熱歪み対策手法を確立する。目標達成の見通しあり。
高遮音アルミパネルと高減衰接着剤の仕様決定	・高遮音や高減衰のメカニズムを解明し、それら材料の基本仕様を決定した。	・車体部材適用時の部材性能／品質／コストの明確化	平成 27 年度に実部材での事前検証を予定しており、目標達成の見通しあり。

### (3)研究開発の成果と意義

本研究開発では、マルチマテリアル車体を既存の車体組立ラインで製造するため、その主要構成材料であるアルミニウムや鋼板、CFRP などの異種材料の接合が可能で、且つ、組立ラインへの適合性の高い異材点接合技術を開発している。このうち第一期（平成 25～27 年度）では、「技術構想の実証」に取り組んだ。本技術を実用化するための主要課題は、接合部の品質（接合強度、耐食性、組付け精度など）と生産性（接合時間、コスト、自動化など）の確保である。

これまでの研究開発の結果、接合強度については目標を達成し、車体強度部材への適用に見通しが付きつつある。次のステップとして、実用化を想定したロバスト性の付与と接合時間の短縮を目指す。

耐食性についてもガルバニック腐食の電気化学的評価システムを構築し、異材接合部の腐食速度の定量的評価を可能にした。今後は本評価システムを防錆仕様を検証するためのツールとして活用する。また、車体の組付け精度を阻害する塗装乾燥炉（Max.180℃程度）での熱ひずみについても、ひずみを定性的に再現できるレベルの



CAE 解析手法を開発した。引き続き、設計段階で熱ひずみ対策（リブ等の最適配置）を織り込めるよう、解析精度の向上を図る。

以上のように、異材接合部の基本品質を確保するための接合技術や評価解析手法が整いつつあり、本研究開発の技術構想の妥当性が実証できたものとする。当初の計画どおり、平成 28 年度からは「実部品での性能/効果の検証」に移行する。

#### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

平成 27 年度はアルミニウム/鋼板点接合技術に関する研究成果や異材接合部の基礎評価結果を学会等で発表した。今後は知的財産権を確保したうえでアルミニウム/CFRP 点接合技術についても随時、外部発表する予定である。

表Ⅲ-2.7.5-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	1	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	1	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

#### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.7.5-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	7	0	0
合計	7	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.6 [テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

### 2.7.6.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

近年、地球温暖化や安全意識の高まりから、自動車には優れた燃費性能と高い安全性能の両立が強く求められており、自動車ボディの骨格部には高強度鋼板が多用されている。高強度鋼板は一般的にレアメタルの添加によって強度向上が図られているが、経済性や供給性という観点から、それらを含まない中高炭素鋼が次世代鋼として開発されている。しかしながら、鉄鋼材料は炭素量が多くなるほど急冷時に硬化組織が出現し、溶接部における割れなどの欠陥が生じやすくなる。また、熔融金属が凝固する際、鋼中に含まれる不純物元素（リンや硫黄）が溶接金属内に偏析し、継手の剥離強度低下に影響するなど、抵抗スポット溶接などに代表される熔融溶接が難しい材料であることが指摘されている。

フリクションスポット接合法（**Friction Spot Joining**：以下、FSJと略す）は摩擦発熱を用いた固相接合法であり、回転工具の摩擦発熱で生じた材料軟化とその流動を利用したスポット接合方法である。FSJは固相接合であるため抵抗スポット溶接よりも投入熱量が小さく、また、そもそも偏析の原因となる熔融を伴わない。そのため、炭素量の高い中高炭素鋼においても従来の抵抗スポット溶接よりも優れた継手性能が得られると期待できる。

本テーマはFSJの中高炭素鋼への適用技術の確立とその実用化を目的に、その要素技術（接合ツール、以下単にツールという、接合プロセス、鋼板）について、重点的な研究開発を行う。

#### (2)位置付け、目標値

本テーマは、中高炭素鋼板の実用化およびその接合機器市場（溶接ロボット、ツール）で確固たるシェアを獲得することを目標に、FSJを次世代の中高炭素鋼板の接合におけるKey技術として世界に先駆けて実用化することを目指している。そのため中高炭素鋼の適用ターゲットである自動車分野において、生産性や品質要求の厳しい自動車の生産ラインでも適用できる実用ロボットシステムや、引張強度が1.2 GPaを超える高強度な中高炭素鋼板の接合に耐えうるツール素材やコーティング膜の開発、品質保証に必要な接合メカニズムの解明、自動車部材への適用を意識した継手性能の評価など実用化を見据えた研究開発を実施する。

中高炭素鋼のFSJ技術確立のブレークスルーポイントとして、本テーマでは以下の項目について重点的な研究開発を行う。



表Ⅲ-2.7.6-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
(1-1) ツール素材開発	1.2 GPa 級中高炭素鋼の接合に対して、破損せずに確実に接合できるツール素材を開発する。	耐熱衝撃性などを考慮したツール素材の最適化を図る。	1.5 GPa 級鋼板に適したツール素材の改良を実施する。	1.5 GPa 級の鋼板でも破損せずに接合できるツール開発が必要。
(1-2) コーティングの開発	種々のコーティング物質や層構造について検討し、摩擦係数などの基礎データを蓄積する。	耐酸化性や摩擦係数、膜厚の最適化を図る。	1.5 GPa 級鋼板に適したコーティングの改良を実施する。	ツールの耐磨耗性の向上に必要。
(1-3) ツール形状の開発	1.2 GPa 級中高炭素鋼 (1.5 mmt) において JIS-A 級強度 (14.4 kN) の 70% を越える継手強度を達成する。	1.2 GPa 級鋼板 (1.5 mmt) の接合継手の引張せん断試験で JIS-A 級強度 (14.4 kN) の 100% 以上。	1.5 GPa 級鋼板 (1.5 mmt) の接合継手の JIS-A 級強度 (14.4 kN) の 100% 以上。	継手強度評価基準として一般的な JIS 規格値を採用。
(2-1) ツール性能の評価	ツールの自動評価システムを構築する。	—	—	開発加速のためにツール性能の効率的評価が必要。
(2-2) 接合装置開発	接合条件開発用の接合ガンおよび高ツール加圧力に対応した小型軽量ガンを試作する。	1.2 GPa 級鋼板用に最適化された接合プロセスに適するようガンを改良する。	1.5 GPa 級鋼板用に最適化された接合プロセスに適した小型軽量ガンの試作および設計方針を決定する。また、プロセスモニタリング機能を開発する。	適用に向けた確実な接合性能と、実生産ラインとの親和性を両立する。
(2-3) 接合プロセス開発	接合条件と形成組織の関係や、ツール形状と継手強度の関係などの基礎的知見を得るとともに、高炭素鋼に適した基本プロセスを開発する。	1.2 GPa 級鋼板に最適な接合プロセスおよび制御プログラムを開発し、継手の特性を向上させる。	1.5 GPa 級鋼板の接合プロセスの最適化を図り、目標強度を達成する。	従来の枠を超えた高炭素鋼では専用の制御プロセス開発が必要

(3-1) 接合性評価	1.2 GPa 級中高炭素鋼を試作し、鋼板継手強度、組織調査により、継手強度の支配因子を把握するとともに、小型ハットモデル部材特性を調査しFSJ 継手の特徴を明確化する。	得られた知見をもとに、FSJ 継手特性の改善手法を提案する。	1.5 GPa 級中高炭素鋼を試作し、鋼板継手強度、組織調査により、継手強度の支配因子を把握するとともに、小型ハットモデル部材特性を調査しFSJ 継手の特徴を明確化する。	適用に向け、FSJ 継手の利害損失の見極めや、継手信頼性 UP に必要な知見を得る。
(3-2) 鋼板開発 (材料設計、プロセス設計)	強度レベルや組成が異なる鋼板を試作し、FSJ 継手特性改善に有効な材料・接合プロセス指針を得る。	検討を継続し、FSJ 継手特性とその改善手法に関するデータ蓄積を蓄積する。	1.5 GPa 級中高炭素鋼に関し、FSJ 継手特性の改善に有効な材料・接合プロセスの指針を提案する。	FSJ 継手性能向上に必要な知見を得る。
(4-1) 組織観察	1.2 GPa 級鋼板の接合部 (FSJ、抵抗スポット) について金属組織の詳細観察や硬さ分布から熱履歴と組織形成の関係を調査する。	1.2 GPa 級鋼板の接合部の金属組織の詳細観察。	1.5 GPa 級鋼板の接合部の金属組織の詳細観察。	高炭素鋼特有の接合プロセス制御に不可欠な知見を得る。
(4-2) 接合メカニズムの解明	接合界面トレース方法の検証と接合界面近傍の組織について詳細に観察する。	接合界面トレース法による 1.2 GPa 級鋼板の接合挙動の把握。	接合界面トレース法による 1.5 GPa 級鋼板の接合挙動の把握。	接合原理の把握と品質保証への応用。

### (3)全体計画

表Ⅲ-2.7.6-2 に、本テーマの開発全体スケジュールを示す。なお、状況に応じて平成 29 年度末を目安に 1.2 GPa および 1.5 GPa 級中高炭素鋼の基本技術を前倒しで確立し、早期に実用化ステージへ移行する考えである。

表Ⅲ-2.7.6-2 全体スケジュール

研究開発項目	25年度	26年度	27年度	28年度	29年度	30年度	31年度	32年度	33年度	34年度
マイルストーン				▽JIS-Aの70%達成 (1.2G級)		▽JIS-A達				▽JIS-A達
1.長寿命ツールの開発 (住友電気工業)										
1.1 ツール素材の開発	試作(1.2G級)	組成改良		組成最適化		試作(1.5G級)	組成改良		組成最適化	
1.2 コーティングの開発	試作(1.2G級)	膜質改良		膜質最適化		試作(1.5G級)	膜質改良		膜質最適化	
1.3 ツール形状の開発	試作(1.2G級)	形状改良		形状最適化		試作(1.5G級)	形状改良		形状最適化	
2.施工技術開発 (川崎重工業)										
2.1 ツール性能の評価	自動評価装置試作				ツール性能評価(1.1~1.3項のツール)					
2.2 接合装置の開発	接合ガン試作(#1)	接合ガン試作(#2)		改良		ガン小型・軽量化(実部材品への展)				
2.3 接合プロセスの開発	継手試作(1.2G級)	プロセス改良		プロセス最適		継手試作(1.5G)	プロセス改良		プロセス最適	
3.材料評価・開発 (新日鐵住金)										
3.1 接合部の評価	評価(1.2G級)		評価(2.3の試作継手)			1次評価(1.5G級)	評価(2.3の試作継手)			
3.2 材料成分開発	試作(1.2G級)	改良		最適化		1次試作(1.5G級)	改良			
4.接合メカニズム解明 (東北大学)										
4.1 組織解析			解析(1.2G級)				解析(1.5G級)			
4.2 接合メカニズム解明			解析(1.2G級)				解析(1.5G級)			

#### (4)実施体制

図Ⅲ-2.7.6-1 に本テーマの実施体制を示す。伊丹分室（住友電気工業株式会社）が長寿命接合ツールの開発を、神戸東川崎分室（川崎重工業株式会社）が施工技術の開発を、富津分室・尼崎分室（新日鐵住金株式会社）で材料評価・開発を実施している。

新構造材料技術研究組合	
分担研	伊丹分室 (住友電気工業株式会社)
	神戸東川崎分室 (川崎重工業株式会社)
	富津分室・尼崎分室 (新日鐵住金株式会社)

図Ⅲ-2.7.6-1 実施体制図

#### (5)運営管理

当テーマは各社が分室を設け、選任された業務管理者が研究開発の進捗を管理・遂行している。三分室で定期的な連絡会議を開き、進捗確認、試験結果報告、情報共有等を行って連携を深めている。さらに、必要に応じて各分室の担当者が試験立会を行うなど、協調した研究開発が進められるよう留意している。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

今後の世界の自動車生産台数は新興国での需要も加わり大きく増加すると予測され、それに伴って抵抗スポット溶接ロボットも増加する。また、引張強さが1.0 GPaを超える超高張力鋼板の自動車ボディへの適用量が増加しており、将来的なFSJの適用数の増加が見込まれる。

### 2.7.6.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

各研究項目とも順調に進捗しており、第一中間目標の達成および一部では第二中間目標を前倒して達成する見込みである。

表Ⅲ-2.7.6-3 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
(1-1) ツール素材開発	1.2 GPa級中高炭素鋼の接合に対して、破損せずに確実に接合できるツール素材を開発する。	素材組成の異なるツールを試作し、1.2 GPa級中高炭素鋼接合に対し破損せずに確実に接合可能な素材を選定。更に組成の改良を進め耐摩耗性、耐酸化性を改善。	◎	

(1-2) コーティングの開発	種々のコーティング物質や層構造について検討し、摩擦係数などの基礎データを蓄積する。	各種コーティングの摩擦係数、耐凝着性、硬度、密着力、耐酸化性に関する基礎データを取得。暫定最適膜を選定。	○	
(1-3) ツール形状の開発	1.2 GPa 級中高炭素鋼 (1.5 mm) において JIS-A 級強度 (14.4kN) の 70% を越える継手強度を達成する。	ツール形状の最適化により、1.2 GPa 級中高炭素鋼 (1.4 mm) において JIS-A 級強度の 100% の継手強度を達成。	△	
(2-1) ツール性能の評価	ツールの自動評価システムを構築する。	自動評価システムの構築は完了。運用中に細部を改善して完成度を高めつつ、ツールや継手の評価試験に供用した。	○	
(2-2) 接合装置開発	接合条件開発用の接合ガンおよび高ツール加圧力に対応した小型軽量ガンを試作する。	接合条件開発用ガンの試作と条件選定試験を完了し、1.2 GPa 級中高炭素鋼の接合に適した小型軽量ガンの設計指針を取得した。さらに小型軽量ガンの試作・評価を実施中 (H27 年度)。	△	
(2-3) 接合プロセス開発	接合条件と形成組織の関係や、ツール形状と継手強度の関係などの基礎的知見を得るとともに、高炭素鋼に適した入熱量制御プロセスを開発する。	自動評価システムを用いた接合条件開発や継手評価を通じて中高炭素鋼の接合性を把握した。また、1.2 GPa 級中高炭素鋼の接合部の特性を改善するプロセスを開発した。	○	
(3-1) 接合性評価	1.2 GPa 級中高炭素鋼を試作し、鋼板継手強度、組織調査により、継手強度の支配因子を把握するとともに、小型ハットモデル部材特性を調査する。	0.14 C の 1.2 GPa 級冷延鋼板および 0.45 C の鋼板の強度レベル 1.2 GPa 調整鋼を供試鋼として提供した。これらの鋼による FSJ 継手の接合組織、継手強度を調査し、0.45C 鋼の特徴を把握した。	○	

(3-2) 鋼板開発 (材料設計、プロセス設計)	強度レベルや組成が異なる鋼板を試作し、FSJ継手特性改善に有効な材料・接合プロセス指針を得る。	0.35～0.55 Cの強度レベルの鋼板を試作し、その高温硬度特性を調査するとともに、FSJ継手を作成し継手特性を調査した。	○	
(4-1) 組織観察	1.2 GPa級鋼板の接合部について金属組織の詳細観察や硬さ分布から温度と形成組織の関係を調査する。	1.2 GPa級高炭素鋼の摩擦攪拌接合継手における組織形成ならびに機械的特性を支配する材料組織学的因子を明らかにした。	○	
(4-2) 接合メカニズムの解明	接合界面トレース方法の検証と接合界面近傍の組織について詳細に観察する。	トレーサーにより接合プロセス中のフック（継手強度試験における破断経路）の形成機構を解明した。界面組織についても検証着手（H27年度）。	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.7.6-4に、第二中間目標の達成可能性を示す。

表Ⅲ-2.7.6-4 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成29年度末)	達成見通し
(1-1) ツール素材開発	素材組成の異なるツールを試作し、1.2 GPa級中高炭素鋼接合に対し破損せずに確実に接合可能な素材を選定。更に組成の改良を進め耐摩耗性、耐酸化性を改善。	耐熱衝撃性などを考慮したツール素材の最適化を図る。	平成29年度末には達成見込み。
(1-2) コーティングの開発	窒化物膜の基礎特性データを蓄積し、耐摩耗性、密着力に優れた窒化物膜を開発中。	耐酸化性や摩擦係数、膜厚の最適化を図る。	平成29年度末には達成見込み。
(1-3) ツール形状の開発	1.2 GPa級鋼板の接合継手においてJIS-A級強度の100%を達成。	1.2 GPa級鋼板（1.5 mmt）の接合継手の引張せん断試験でJIS-A級強度（14.4 kN）の100%以上。	平成29年度末には達成見込み。
(2-1) ツール性能の評価	FSJ自動評価システムが完成し、効率的なツール性能評価を遂行中。	—	—

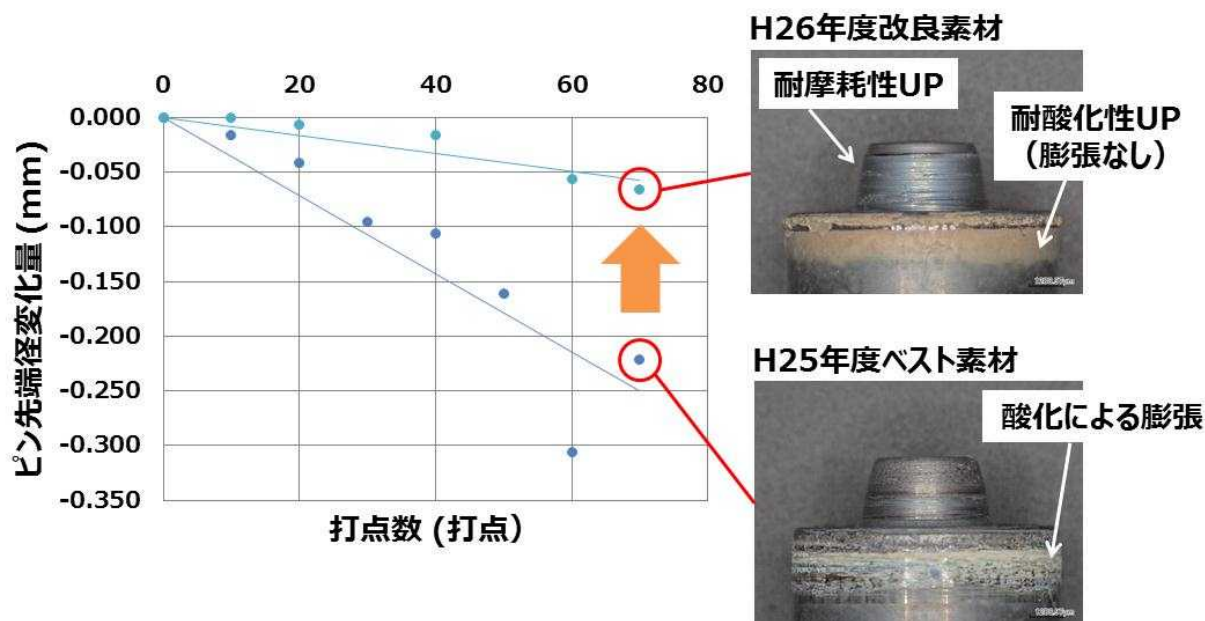
(2-2) 接合装置開発	中高炭素鋼の接合に適した制御方法について基礎検証を完了すると同時に中高炭素鋼の接合に必要なスペックと小型化のため新加圧機構を採用した高加圧対応小型軽量ガンを試作中。	1.2 GPa 級鋼板用に最適化された接合プロセスに適するようガンを改良する。	平成 29 年度末には達成の見込み。
(2-3) 接合プロセス開発	1.2 GPa 級の 0.45C 鋼板を対象に種々の接合条件で作製した接合部の基本特性を確認し、改善に必要なプロセス指針を示し、それを実現するための制御プログラムを検証し、特性改善に効果があることを確認した。	1.2 GPa 級鋼板に最適な接合プロセスおよび制御プログラムを開発し、継手の特性を向上させる。	平成 29 年度末には達成見込み。
(3-1) 接合性評価	0.45C の 1.2 GPa 調整鋼において、JIS-A 級強度の 70 %以上を達成。さらなる性能UPを目指した破壊形態の改善検討と小型ハット部材テストを推進中。	得られた知見をもとに、FSJ 継手特性の改善手法を提案する。	平成 29 年度末には達成見込み。
(3-2) 鋼板開発 (材料設計、プロセス設計)	0.35~0.55C の強度レベルの鋼板を試作。FSJ 継手を作成し、その接合特性を調査中。	検討を継続し、FSJ 継手特性とその改善手法に関するデータ蓄積を蓄積する。	平成 29 年度末には達成見込み。
(4-1) 組織観察	1.2 GPa 級高炭素鋼の摩擦攪拌接合継手における組織形成ならびに機械的特性を支配する材料組織学的因子を明らかにした。	1.2 GPa 級鋼板の接合部の金属組織の詳細観察。	平成 27 年度末に前倒しで完了の見込み。
(4-2) 接合メカニズムの解明	Ni トレーサーにより接合プロセス中のフック（継手強度試験における破断経路）の形成機構を解明し、界面組織についても検証着手（平成 27 年度）。	接合界面トレース法による 1.2 GPa 級鋼板の接合挙動の把握。	平成 27 年度末に前倒しで完了の見込み。

### (3)研究開発の成果と意義

#### 1).1 ツール素材開発

平成 25 年度に 1.2 GPa 級 0.14C 鋼板に対して実施した 5 種類のツール素材の損傷評価結果に基づき、少金属バインダー超合金に Ti 系炭窒化物を添加した組成のツール素材を作製した。1.2 GPa 級 0.45C 鋼板（調整材）の連続接合試験を行い、ツール損傷を評価した結果、平成 25 年度ベスト素材ツールよりもピン先端の摩耗量が改善し、ショルダーの耐酸化性も改善されることを確認した（図Ⅲ-2.7.6-2）。

FSJでは、摩耗によりピン先端径が減少すると継手強度が減少する。またショルダーの酸化が進むと酸化により脆くなった超硬素材が脱落し、接合部にバリを発生させる。そのため、ピンの耐摩耗性とショルダーの耐酸化性の改善は、ツールの寿命向上に対し重要な意義がある。



図Ⅲ-2.7.6-2 改良素材ツールの耐久性評価結果

### 1)2 コーティングの開発

5種類の組成の窒化物膜を作製し、基礎特性として膜硬度、密着力（スクラッチ試験剥離荷重）、耐酸化性（大気中加熱試験）、高温（600℃）での摩擦係数、耐凝着性を評価した。この5種類の中から、膜硬度、密着力、耐酸化性のバランスに優れる1種類を現時点での最適膜として選定し、ツール耐久性評価、継手強度評価のための接合試験を進めた。今後はこれらの評価結果を基に、耐摩耗層である窒化物膜の耐摩耗性、密着力を改善するとともに、PVD装置を酸化物も成膜できるように改造し、耐酸化層である酸化物膜の開発を進める。

### 1)3 ツール形状の開発

平成25年度に実施した1.2 GPa級0.14C鋼板接合において最も高い接合強度が得られたピン形状のツール（Cツール）を使用し、1.2 GPa級0.45C（調整材、板厚1.4 mm）の接合試験を行った結果、最大12.1 kN（JIS A級平均値の93%）の引張せん断荷重が得られた。更に接合強度を改善するため、ピン寸法を変えた3種類のツールを作製し、接合試験を行った結果、Iツールにおいて最大13.1 kN（JIS A級平均値の100.2%）の引張せん断荷重を得た（図Ⅲ-2.7.6-3）。1.5 mm厚の鋼板についても今年度中に試験を実施予定であり、平成29年度目標を前倒しで達成する見込みである。



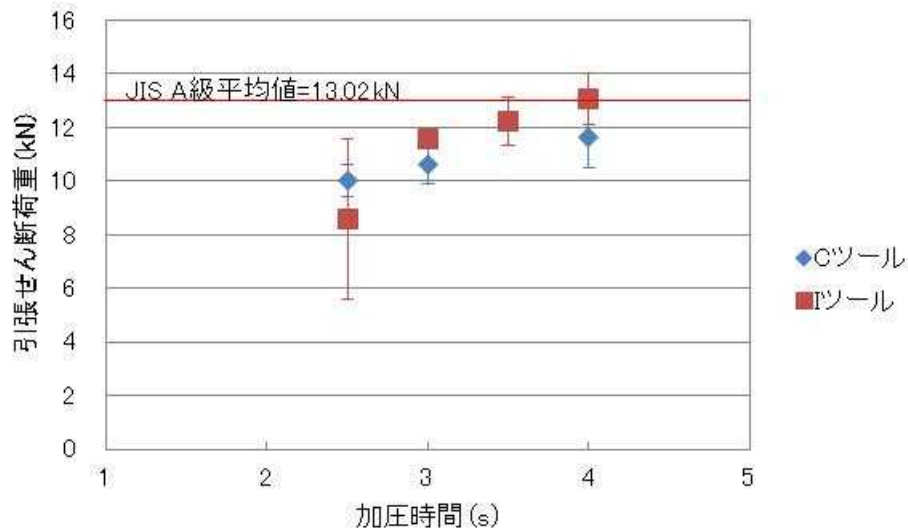


図 III-2.7.6-3 1.2 GPa 級 0.45C 鋼板の継手強度

## 2).1 FSJ 自動評価システムの構築

ツールの性能評価を効率的かつ客観的に行うため、2 台のロボットを用いた FSJ 自動評価システムを構築した (図 III-2.7.6-4)。本システムは各種継手 (引張せん断、十字引張) の試作、ツールの連続耐久試験 (最大 10,000 打点/24 時間) を全て自動で行うことが可能である。ツールについてはラインスキャンレーザによるツール摩耗の精密定量が可能である。

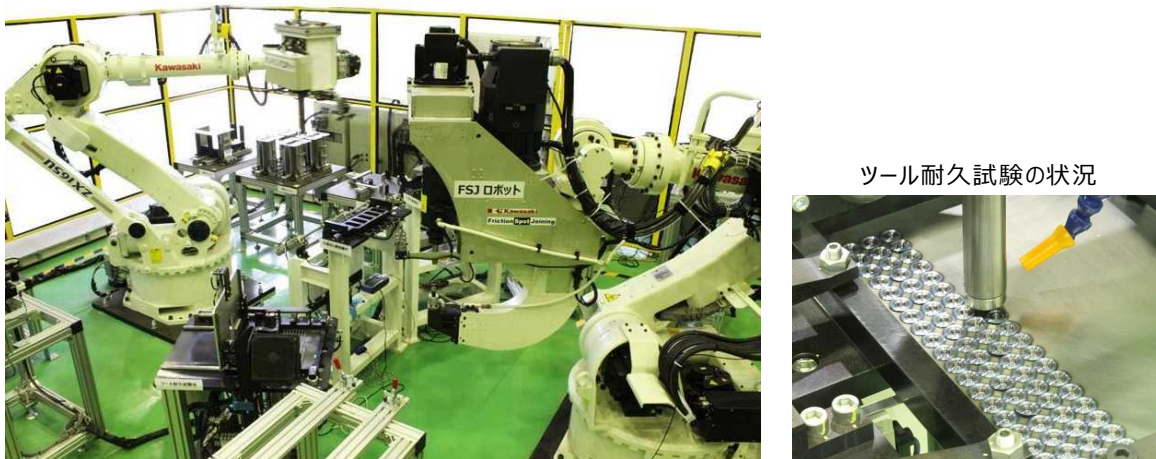


図 III-2.7.6-4 フリクションスポット接合の自動評価システム

## 2).2 接合条件の開発

試作ツールの様々な特性 (摩擦係数や熱伝導率の違い) に対応した接合条件開発を実現するため、最大加圧 2 tf、最大回転数 6000 rpm の接合ガンを試作した。本試作ガンと 1.2 GPa 級 0.45C 鋼板 (調整材) を用いてツールと接合継手の性能評価を実施した。接合条件とツール表面温度、ツール摩耗の関係を調査した結果、ツール回転数を低くし、加圧力を高く設定することが望ましいことが分かった。

### 2).3 接合メカニズムの解明

接合部の金属組織解析を行い、硬さ分布と形成組織、接合熱履歴の関係を調査した。その結果、接合部の一部にはフルマルテンサイト組織が形成されており、ビッカース硬さは最高で 700 Hv 程度まで上昇することが分かった。また、接合中の接合界面の挙動をトレーサーを用いて解析し、ツール押込み量との関係性に関する知見を得た。これらは継手特性を改善するプロセス開発や、継手強度を向上させるツール形状設計において有益な知見と言える。

### 2).4 接合後の継手特性改善

接合部の硬化組織に対し、FSJ によって摩擦発熱を再付与することで接合部の組織と強度の改善が可能であり、十字引張試験では破断荷重が 1.5 kN から 6.3 kN まで大きく向上した。破面観察の結果、延性破面になっており、中高炭素鋼の FSJ における本手法の有効性が確認できた。

### 2).6 高加圧力対応の小型・軽量ガンの試作

接合ガンの小型軽量化を実現するため、新たな駆動機構を採用しモータの小出力化によるガンの小型化を実現した。さらにロボット側の制御ソフトにより、フレームの薄肉化による剛性低下を補正し、ガンの軽量化を達成した。

## 3).1 接合性評価

### (a) 供試鋼

試験に用いる供試鋼について、平成 25 年度には、1.2 GPa 級の 0.14C 鋼板(1.4 mm)を、平成 26 年度からは、1.2 GPa 級に調整した 0.45C 鋼板(1.4 mm)を作成した。供試鋼の化学組成および 1.2 GPa 級 0.45C 調整材の組織を、表 III-2.7.6-5、図 III-2.7.6-5 に示す。なお、平成 26 年度より供している 1.2 GPa 級 0.45C 鋼板は、850°C - 2 時間加熱後、焼入れ、焼戻し処理を行い、硬度約 370Hv (1.2 GPa 相当) に調整した焼き戻しマルテンサイトからなる鋼板で、表面状態を研削により調整し実験に供した。

表 III-2.7.6-5 供試鋼の化学成分 (mass%)

	C	Si	Mn	P	S	備考
冷延鋼板	0.14	0.51	2.5	<0.01	<0.01	H25 年度
調整鋼板	0.43	0.22	0.74	<0.01	<0.01	H26 年度～

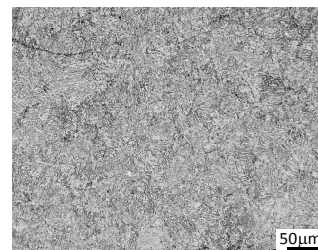
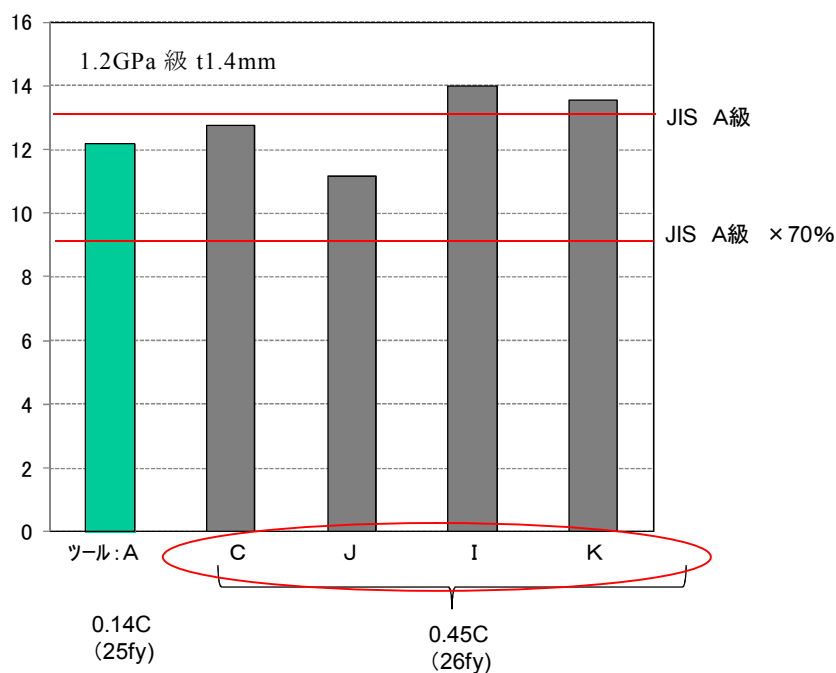


図 III -2.7.6-5 0.45C-1.2 GPa 級 0.45C 鋼板の組織

### (b) 1.2 GPa 級 0.45C 鋼板の FSJ 継手強度評価

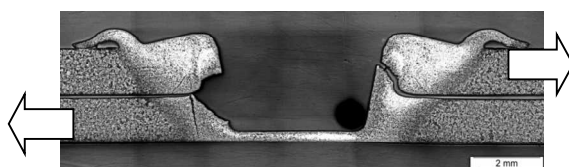
供試鋼を 40 mm×125 mm に切断し、40 mm を重ね合わせ接合試験片とし、加圧時間、回転数、接合時間、ツール種などを種々変えて、FSJ 継手のせん断引張強

度について調査した。検討した条件で得られた最大荷重の一例を図Ⅲ-2.7.6-6に示す。平成25年度に用いた1.2 GPa級0.14C鋼板、および26年度以降の1.2 GPa級0.45C調整材において、何れのツールを用いた条件でも、JIS-A級の平均値70%（約9.1 kN）以上の強度が得られており、1.2 GPa級0.45C調整材におけるスポット継手強度（ $4\sqrt{t}$ 、 $t$ ：板厚）の9.9 kNに対しても、同等以上の継手強度が得られることが判った。



図Ⅲ-2.7.6-6 FSJ継手の引張せん断荷重

一方、図Ⅲ-2.7.6-7には、1.2 GPa級0.45C調整鋼の破断した試験片の断面組織を示す。引張せん断試験では、上板は紙面右方向に、下板は紙面左方向に引張られることになる。平成25年度に実施した1.2 GPa級0.14C鋼では、筋状組織に沿って亀裂が伝播する様子のみが観察されていたが、図示したように、1.2 GPa級0.45C鋼調整鋼では、紙面左側で複雑な亀裂の伝播が見られており、現在、その要因について調査を進め、そのメカニズム解明とさらなる継手強度向上手法を進めている。



図Ⅲ-2.7.6-7 1.2 GPa級0.45C鋼の破断形態の一

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

平成 27 年度に社外講演（1 件）による成果報告を予定。

表Ⅲ-2.7.6-6 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

平成 27 年度はツール、接合方法、材料で計 7 件の特許出願を予定。

表Ⅲ-2.7.6-7 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.7 [テーマ番号 07] 鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

### 2.7.7.1 テーマの概要

#### (1) 背景と目的

商船上部構造の構成材料として、炭素繊維強化樹脂材料（CFRP）に代表される繊維強化樹脂材料をマルチマテリアル化して利用することで構造体が軽量化でき、燃費向上、環境負荷低減が実現できる。そのために必要な CFRP 等樹脂材料と各種鋼材との異種材料接合技術、およびこれらを用いるための構造設計技術、継手健全性評価技術等を開発する。

#### (2) 位置付け、目標値

本技術開発の位置付け、目標値を表Ⅲ-2.7.7-1 に示す。

表Ⅲ-2.7.7-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発	<ul style="list-style-type: none"><li>設計に必要な材料データベースの構築</li><li>重ね継手せん断引張：母材破断</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>継手要素の接合において、界面剥離強度<math>\geq</math>母材層間剥離強度</li><li>電食による接合部腐食の評価手法の確立</li><li>構造要素の接合において、所要性能を発現し得る最適部材配置設計手法の確立</li></ul>	<p>大型模擬構造体を試作し製造プロセスの成立性を検証すると共に、以下の目標値を達成する。</p> <ul style="list-style-type: none"><li>部材の終局限界耐力<math>&gt;</math>応力換算 500 MPa 強度相当</li><li>設計強度<math>\geq</math>現行の鋼構造パネル強度</li><li>疲労強度：200 万回疲労強度 20% 向上</li><li>部材重量 20% 低減（従来の鋼構造標準設計に対して）</li></ul>	<p>実構造物に本接合技術を適用するに当たり、構造要素（重ね継手）から構造部材、大型構造部材へと段階的に解析、設計、性能評価技術を確認して行く必要があるため。</p>

#### (3) 全体計画

異種材料継手の接合技術と特性評価技術の開発として、所要性能発現のための材料検討、接合手法および施工技術の開発、接合部の強度・加工特性・耐久性・耐候性把握、接合部検査手法の開発を実施する。また、異種材料継手における耐食性把握と最適配置を検討した上で、複合構造部材の設計と評価技術の確立を目指す。

#### (4) 実施体制

本テーマは横浜磯子分室（株式会社 IHI）が 4 再委託先と実施する。



## (5) 運営管理

横浜磯子分室としては研究開発項目 07 に関わる分室および再委託先との間で定期的に会合を開き、進捗管理を行っている。基本的には再委託先との個別打ち合わせが中心であるが、研究の進捗に伴い情報共有も必要と考え、全体進捗会議も実施することとした。その他は適宜、メールベースで進捗管理を行っている。

## (6) 実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030 年度）

コンテナ船の上部構造重量は現状、約 1000t。複合構造化により、20%程度の重量低減を見込むと、低重心化や振動の低減が可能となり、走行性能が向上する。合わせて燃費も 10%程度の低減が見込まれる。

例えば、8000TEU コンテナ船の場合、25 ノット走行で燃料消費量が 57,000t/年、10%の低減により、CO<sub>2</sub> 排出量の削減は

$$5,700t \times 41.9GJ/kL \times 0.0195tC/GJ \times 44/12 = \underline{17,076t} \text{ の削減}$$

燃料費は 500 ドル/t として

$$500 \text{ ドル/t} \times 5,700t = \underline{3.53 \text{ 億円/年の節約}}$$

となる。20 年使用すれば、約 70 億の節約となり、CFRP 利用による製造コストアップはある程度回収可能と考えられる。

### 2.7.7.2 研究開発成果

#### (1) 中間目標の達成度

使用環境、製作性、製作コスト等を考慮し一次スクリーニングとして選定した CFRP パネルを試作し、設計に必要な材料データを取得、データベースとした。

強度試験としては、引張および圧縮試験を図 III-2.7.7-1 に示すように実施し、表 III-2.7.7-2 のような形で各データをまとめ、S-S 曲線のデジタルデータと共にデータベース化した。

鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発については、摩擦重ね接合法、レーザ溶着、接着に関して検討を行い、摩擦重ね接合法（FLJ）、レーザ溶接に関しては、まだ明らかになっていない接合機構の解明と最適接合条件の選定を、接着に関しては各種継手データの取得と表面処理による接合強度向上に関して検討を行った。

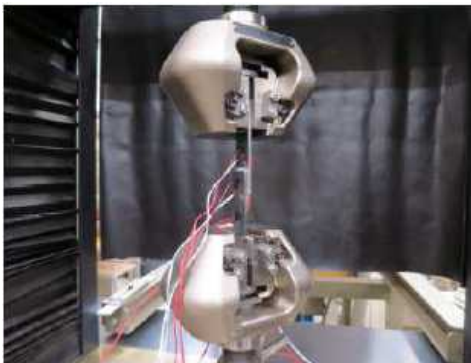
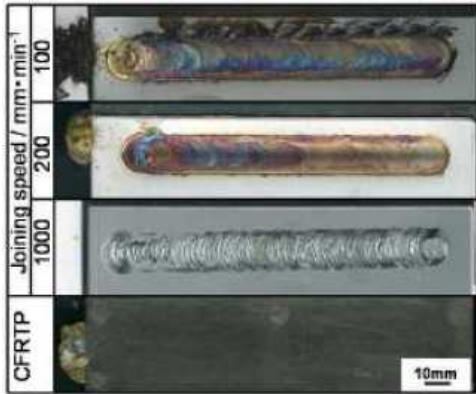


図 III-2.7.7-1 重ね継手引張試験状況

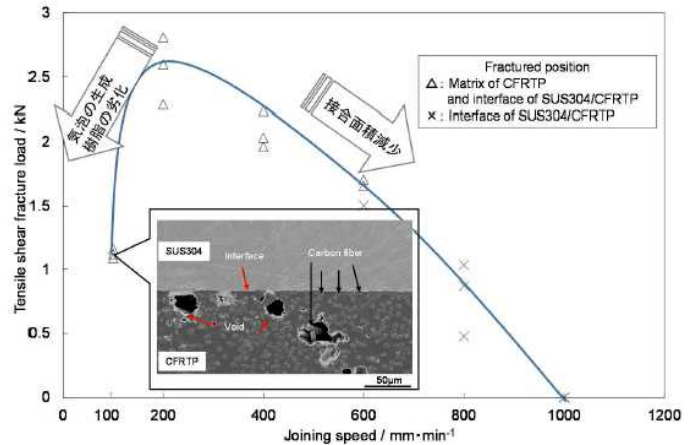
表 III-2.7.7-2 重ね継手引張試験データの一例

	最大応力(MPa)	弾性率(GPa)	最大ひずみ(%)	ポアソン比
平均値	539	36.4	1.5	0.289
標準偏差	46.7	1.0	0.12	0.023
変動係数(%)	8.7	2.8	8.6	8.1

FLJに関しては、SUS304/CFRP（ポリアミド6）継手が図Ⅲ-2.7.7-2に示すように達成できた。接合強度は図Ⅲ-2.7.7-3に示すように接合速度に依存し、接合部幅30mmの単純重ね継手引張にて平均2.6kN（単位幅あたり86.7N/mm）のせん断強度が得られ、CFRP母材あるいは界面での破断となった。また、接合機構としては金属表面の酸化物あるいは水酸化物とポリアミドの極性官能基との化学結合によるものと考えた。



図Ⅲ-2.7.7-2 FLJ 接合部外観



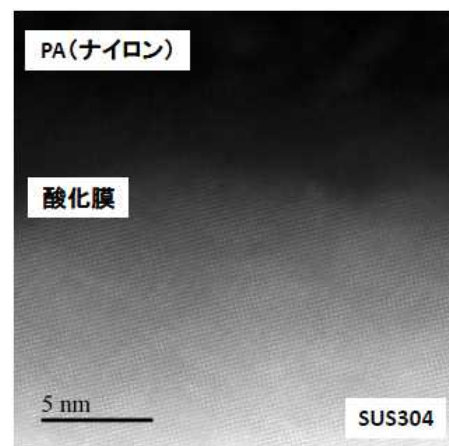
図Ⅲ-2.7.7-3 FLJ 継手強度と接合速度との関係

レーザ溶着に関しては、SUS304/熱可塑性樹脂（ポリアミド6）の重ね継手において複数回照射が可能であることが示され、これにより接合強度を向上させることが可能となった。接合強度は接合部幅30mmの単純重ね継手引張にて2.9kN（単位幅あたり96.7N/mm）のせん断強度が得られ、図Ⅲ-2.7.7-4に示すようにポリアミド6の母材破断となった。接合機構としてはこちらも酸化物層と極性官能基を有するポリアミドとのナノレベルの直接接合であることが図Ⅲ-2.7.7-5に示すように観察された。

接着に関しては、エポキシ系接着剤を用いて2種類の金属（SS400、SUS304）と上述した5種類のCFRPパネルおよび表面処理3通りすべての組合せについて単純重ね継手引張を実施し、せん断強度の比較を行った。

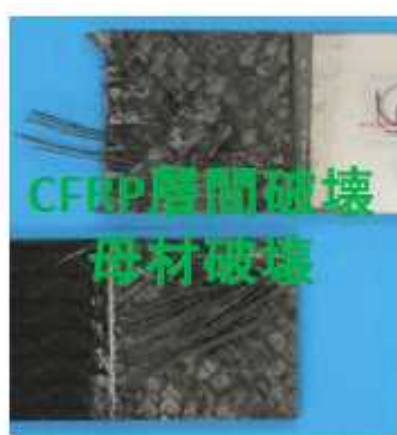


図Ⅲ-2.7.7-4 レーザ溶着引張試験片外観

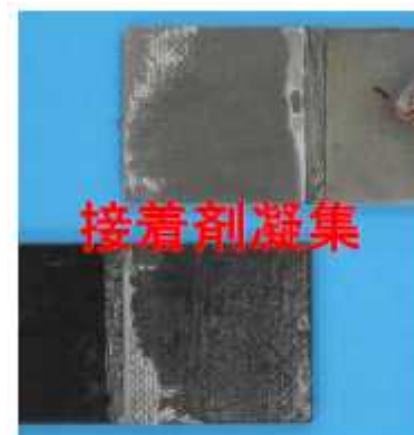


図Ⅲ-2.7.7-5 SUS304/PA6 界面  
STEM 観察

その結果、表面処理アセトン洗浄のみの重ね継手で公称せん断強度 20MPa 程度（単位幅あたり 500N/mm）と十分な強度が得られ、一方で、表面をサンドブラスト処理したものは、CFRP 表層の損傷により、20MPa を下回る公称せん断強度となった。いずれの組合せにおいても破断は図Ⅲ-2.7.7-6 (a)に示すように CFRP 母材であったが、表面処理がアセトン洗浄のみの場合は、図Ⅲ-2.7.7.2-6 (b)に示すように一部、接着剤凝集破断となった。



(a) SUS304／熱硬化 CFRP (VE) 継手  
アセトン洗浄＋サンドブラスト



(b) SS400／熱可塑 CFRP (PA6) 継手  
アセトン洗浄

図Ⅲ-2.7.7-6 接着継手引張試験後外観

以上、中間目標に関わる項目に関しては、いずれも当初予定を達成しており、達成度を表Ⅲ-2.7.7-3 にまとめると以下の様に記載できる。

表Ⅲ-2.7.7-3 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発	設計に必要な材料データベースの構築	対象とする CFRP 素材を試作し必要となる各種材料データを取得、データベース化した。	○	
	重ね継手せん断引張：母材破断	鋼材／CFRP 接着継手にて母材破断を達成。鋼材／樹脂継手ではいずれの手法でも母材破断を達成。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



## (2) 第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.7.7-4 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発	試作 CFRP の材料特性および鋼材／CFRP 重ね継手のせん断強度が把握でき、3 次元弾塑性解析も可能となったため、複合構造部材の設計を実施。必要剛性が得られる部材配置を設定することができるようになった。今年度、本設計を元に加速予算にて構造部材を製作、次年度、強度試験を実施することで、解析と設計の妥当性が検証できる。	<ul style="list-style-type: none"> <li>継手要素の接合において、界面剥離強度<math>\geq</math>母材層間剥離強度</li> <li>電食による接合部腐食の評価手法の確立</li> <li>構造要素の接合において、所要性能を発現し得る最適部材配置設計手法の確立</li> </ul>	今年度構造要素モデルを試作するため、次年度に界面剥離強度 $\geq$ 母材層間剥離強度を示すことができる。電食に関しては、防止手法の検討を現在進めており、差異が発現する手法を次年度施行することで、第 2 期末には確立できる。最適部材配置設計手法に関しては、構造要素モデルの機械試験を実施することで、構造解析との比較により、設計手法の妥当性が評価できる。

## (3) 研究開発の成果と意義

鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発としては、上記に示したように候補材料に関する強度データが蓄積でき、接合技術の開発も進み、重ね継手のせん断強度もある程度把握することができた。一方で、図Ⅲ-2.7.7-7 に示すように重ね継手に関する 3 次元弾塑性解析モデルも構築することができ、接着継手における応力分布を得ることが可能となった。以上より、複合構造部材の設計が可能となったことが大きな成果であるといえる。

現在、これらのツールを用いた複合構造部材の設計に取り組んでおり、実際に部材を製作し、強度試験を実施することで、解析と設計手法の検証が可能となり、最終目標達成に向けて大きく前進できると考える。

図Ⅲ-2.7.7-7 三次元弾塑性解析モデル

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.7.7-5 論文、外部発表等の件数（内訳）【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	1	0	7	0	0	0	0	0	1
合計	1	0	7	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

現在までに出願に至った特許は以下の 1 件であるが、平成 27 年度も 1 件が出願済み、1 件が明細書作成中である。今後も、複合構造の設計・製作に関する特許を開発の進捗に合わせて出願していく予定である。また、その中で重要と思われる特許に関しては、国内出願 1 年以内での PCT 出願を進めていく。

表Ⅲ-2.7.7-6 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	1	0	0
合計	1	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.8 [テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

### 2.7.8.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

チタン合金は比強度が高いことから、航空機の強度が要求される部材に多く使用されている。また、耐食性に優れていることから、化学工業プラント、海水淡水化プラントなどの部材に多く使用されている。航空機の需要予測によると、世界の航空旅客は2018年には2008年の約2.5倍の23,688機になると予測されている。旅客航空機に使用される主要材料はアルミニウム合金（重量比で70～80%）であるが、近年、アルミニウム合金の代わりにCFRP（炭素繊維強化プラスチック）を使用する機種も現れている。チタン合金の使用率は約15%であるが、使用量としては大きく変化しないことから、航空旅客の需要増加に伴い、チタン合金の使用量は増加すると考えられる。海水淡水化プラントは湾岸諸国、地中海沿岸、北アフリカなどの需要増などで、毎年10%以上（施設容量）増加している。これに伴い、航空機と同様、チタン合金の使用量は増加すると考えられる。

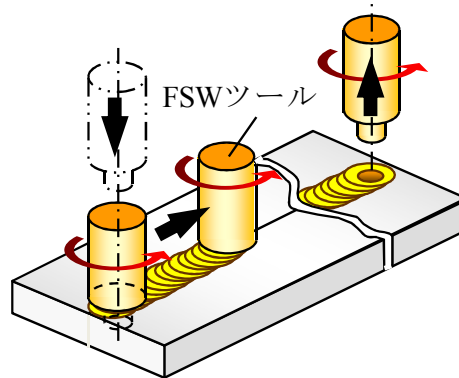
チタン合金製品を製造する立場から見ると、チタン合金は溶接が難しい材料に分類される。表Ⅲ-2.7.8-1 代表的な金属材料の物性値を示す。チタンは熱伝導率がアルミニウムの約1/10、鉄の約1/3と小さい。このため、溶接部近傍で大きな温度勾配が生じ、これに起因して大きな熱変形が生じる。大型構造物の溶接では、変形防止対策の作業負荷が大きいことが問題となる。また、チタンは活性な金属のため、酸素、窒素、水素との親和力が強く、水素化合物が生成すると脆くなる。このため、溶接部のシールドに対して、特段の対策が必要になる。

表Ⅲ-2.7.8-1 代表的な金属材料の物性値比較

	工業用純チタン	純アルミニウム	鉄
融点(°C)	1,668	660	1,530
熱伝導率 (cal/cm・s・°C)	0.041	0.040	0.145
密度(g/cm <sup>3</sup> )	4.51	2.70	7.86
比熱 (cal/g・°C)	0.12	0.21	0.11
線膨張係数 (1/°C)	8.4×10 <sup>-6</sup>	23.0×10 <sup>-6</sup>	12.0×10 <sup>-6</sup>

摩擦攪拌接合（Friction Stir Welding、以下、FSW）は材料を溶かさずに線接合できる特異な技術である（図Ⅲ-2.7.8-1）。表Ⅲ-2.7.8-2にFSWとTIG溶接の比較を示す。FSWは材料を溶かさずに接合するため、接合部の温度は900°C程度である。FSWは接合部の最高温度が低いため、熱変形が小さくなる。また、接合部の最高温度が低いため、接合部が酸化しない温度までの冷却時間が短くなる。TIG溶接では最高温度が高いため、溶接が終了した部分に対しても、シールドを施している（アフターシールド）。厚板を多パス溶接する場合、表面が酸化した材料を溶接すると内部欠陥の原因になるため、厚板では特に表面の酸化防止、表面清浄管理が求められる。FSWは材料の厚みに依らず1パス接合となるため、厚板接合で特に有効と考えられる。

本研究開発ではチタン等の熔融溶接が難しい材料に対して、FSW 技術を実用化水準に引き上げることを目的とする。



図Ⅲ-2.7.8-1 FSW 概念図

表Ⅲ-2.7.8-2 FSW と TIG 溶接の比較

	FSW	TIG
接合部温度	約 900℃	融点 (1668℃) 以上
接合パス数		
~5mm	1	1
5~10mm	2	1
10~13mm	3	1

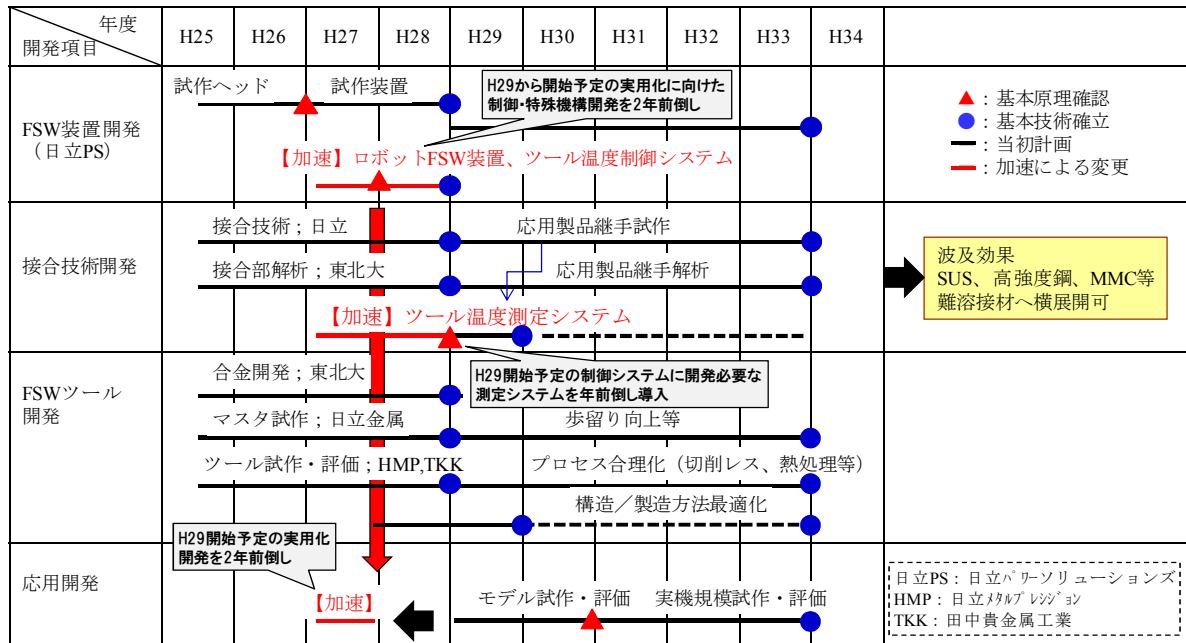
(2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.7.8-3 研究開発目標と根拠

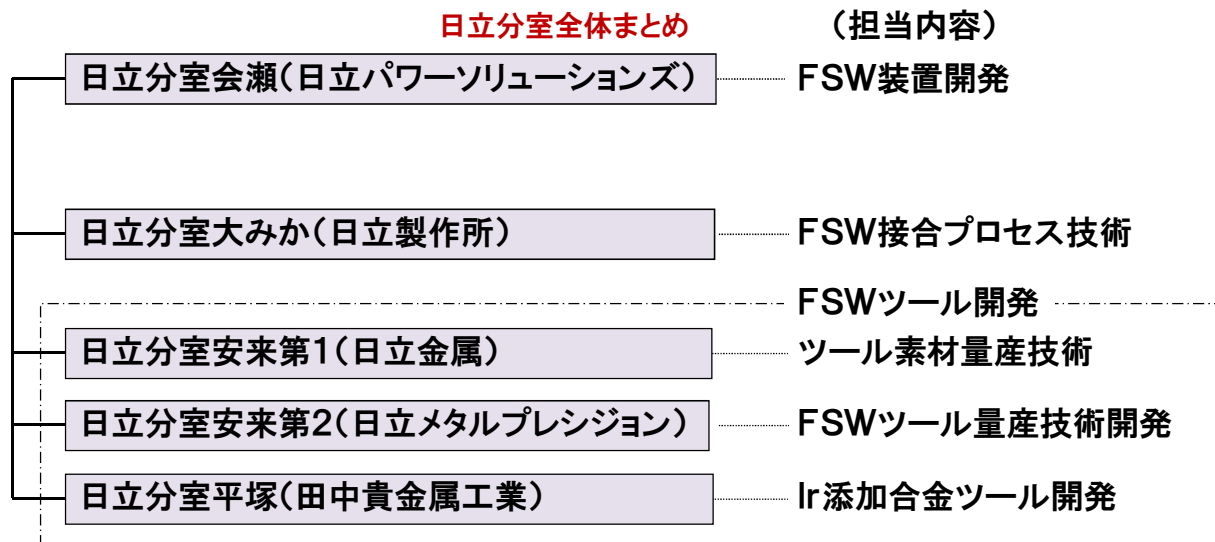
研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
FSW 装置開発	設計技術の確立	チタン合金接合深さ 10mm 以上可能な実 証機製作	ツール・接合材温度 制御および複雑形 状対応特殊機構開 発	事業化に必 要な機能
接合技術開発	接合強度：母材強 度の 90% 以上 (チタン合金接合 深さ 5mm 以上)	接合強度:母材強度 の 90% 以上 (チタン合金接合深 さ 10mm 以上)	超ハイテン鋼等の 高機能材料の接合 強度：母材強度の 90% 以上	熔融溶接同 等以上の接 合部強度。 接合深さは 接合で大半 を占める厚 さ
FSW ツール開発	チタン合金接合深 さ：5mm 以上の実 証	チタン合金接合深 さ：10mm 以上の実 証	接合長 4m 以上の耐 久性実証 (接合深 さ 5mm 以上)	大型構造部 材での適用 可否目安

### (3)全体計画

接合深さ 5mm 以上の接合技術を前倒しで達成した。このため、平成 29 年度から開始予定の実用化に向けた FSW 装置の制御システム・特殊機構開発、FSW 装置の制御システム開発に必要な測定システムを 2 年前倒しで実施する予定。更に、平成 29 年度以降に開始予定の製品への実用化開発を 2 年前倒しで実施する予定。



### (4)実施体制



### (5)運営管理

本研究開発テーマは 5 つの分担拠点と 1 つの再委託先、計 6 部署で推進している。開発項目は表 III-2.7.8-3 に示したように、FSW 装置開発、接合技術開発、FSW ツール開発の三つに大別される。FSW ツール開発で試作したツールを使用して接合技術開発を進めると同時にツールの性能評価をして、FSW ツール開発にフィードバックする。同時に接合技術開発で得られた装置負荷データを FSW 装置開発の設計データに利用

する。このように、それぞれの部署の成果を相互に享受することで、PDCA サイクルを形成している。着実な情報共有を図るため、おおよそ3ヶ月毎に全部署が集まる全体会議と称する会議を開催している。開催場所は各拠点持ち回り制とし、各拠点の研究設備や実験等を見学することで、他部署の開発内容の理解を深めている。

**(6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）**

厚み6mm程度の純チタンを接合する場合の消費電力の試算結果を表Ⅲ-2.7.8-4に示す。現在のFSWの技術レベルでも従来のTIGアーク溶接法と比較して、22%の消費エネルギー効果がある。今後の開発で、FSWの接合速度を2~4倍に上げることで、61~80%の消費エネルギー効果となる。

**表Ⅲ-2.7.8-4 FSWとTIGの消費電力試算結果**

接合法	接合長1m当たりの消費電力 [kWh/m] ( )内数値は相対比	備考
FSW	0.47 (0.78)	速度：30mm/min-1パス
TIG	0.60 (1.00)	速度：200mm/min-2パス, 12V-300A

**2.7.8.2 研究開発成果**

**(1)中間目標の達成度**

第一中間目標と達成度の概要を表Ⅲ-2.7.8-5に示す。

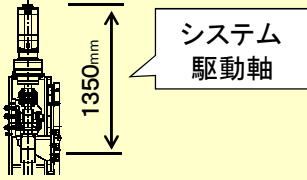
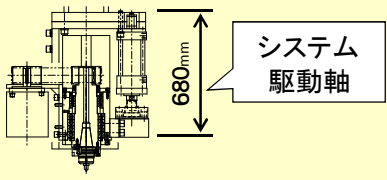
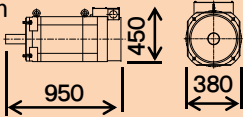
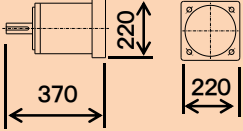
**表Ⅲ-2.7.8-5 第一中間目標と達成度**

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
FSW装置開発	設計技術の確立	油圧駆動方式により、従来の約1/2サイズの小型ヘッドの設計達成	○	
接合技術開発	接合材強度：母材強度の90%以上 (接合深さ5mm以上)	接合深さ約6mmの接合材で母材と同等の引張強度を達成	○	
FSWツール開発	接合深さ：5mm以上の実証	接合深さ約6mmを達成	◎	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

FSW装置開発に関しては、平成25年度、平成26年度にCo合金及びIr添加Ni基合金製の試作FSWツールを用いて実施したチタン合金(Ti-6Al-4V)のFSW接合における、接合中のモータ負荷、ツール軸方向荷重等(接合荷重)の計測データを基にFSW試作ヘッドを設計した。小型、高出力、高剛性を実現するため、ツールの回転を油圧駆動方式とした。

その結果、図Ⅲ-2.7.8-2 に示すように、従来のヘッドと比較して大きさ約 1/2、主軸駆動モータ重量約 1/10 の小型・軽量ヘッドの設計を完了した。

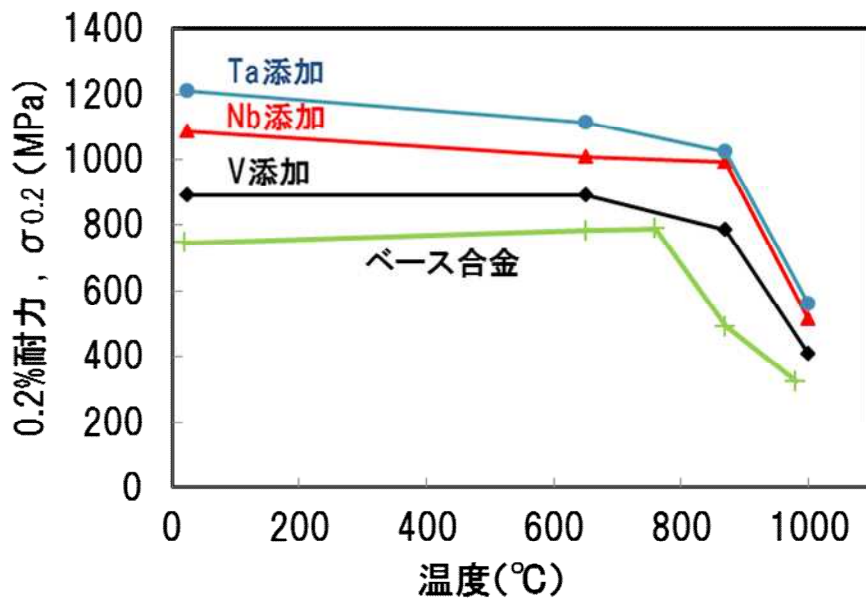
項目	現行装置	試作装置(ヘッド)
ヘッド部概略図		<p>長さ: 現行装置の約半分</p> 
主軸モータ	<p>ACサーボモータ(45kW) サイズ: 右図 重量 : 460kg トルク: 373.6N・m</p> 	<p>油圧サーボCYL サイズ: 右図(電動モータの約半分) 重量 : 42kg トルク: 910N・m</p> 
効果	—	小型化で寸法制約緩和、内面接合可

図Ⅲ-2.7.8-2 FSW ヘッドの主仕様比較

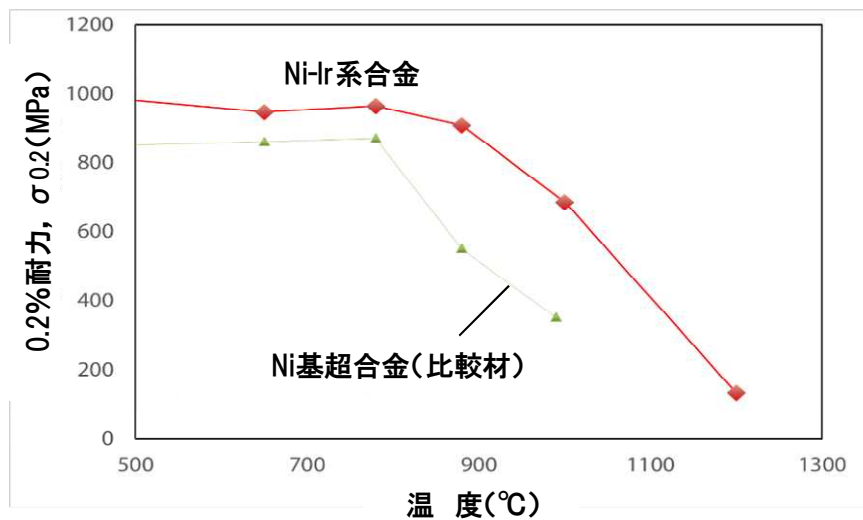
FSW ツール開発に関しては、ツール材料として Co 合金および Ir 添加 Ni 基合金の開発を進めた。図Ⅲ-2.7.8-3 に開発合金の 0.2% 耐力の温度依存性を示す。

Co 合金は最初に開発した合金をベースとし、添加元素である W の一部を V, Nb, Ta に置換した改良合金を併せて示す。各元素の添加により、耐力が向上しており、耐力の向上は Ta>Nb>V の順であった。これは、主に  $\gamma'$  相の安定化によるものと考えている。

Co 合金、Ir 添加 Ni 基合金ともに 800~900°C まで、室温に近い耐力を維持している。Co 合金は 800~900°C 以上で耐力の低下が顕著であるのに対し、Ir 添加 Ni 基合金は相対的に耐力の低下が緩やかである。



(a) Co 合金

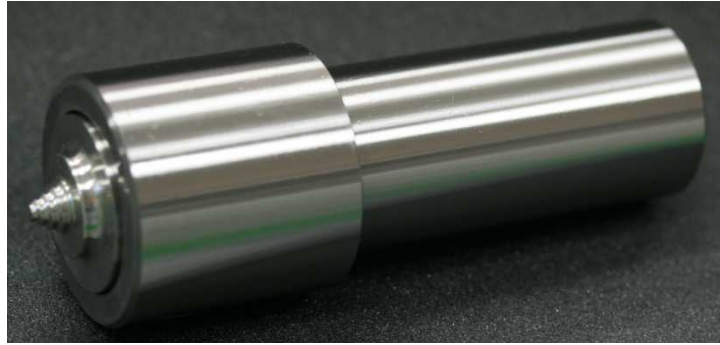


(b) Ir 添加 Ni 基合金

図Ⅲ-2.7.8-3 開発合金の 0.2%耐力の温度依存性

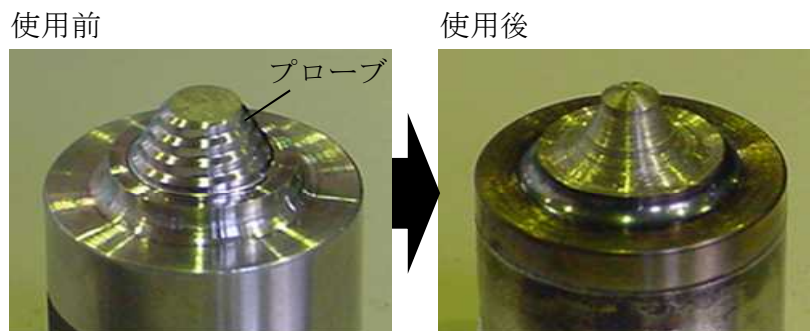
これらの開発合金に対し、インゴット製造技術、ツール製造技術を開発した。ツール製造では、素材の歩留まり向上のため、ニアネット鑄造によりツールチップを製作す技術を開発した。Co 合金はロストワックス法によるシェルモールド、Ir 添加 Ni 基合金は金型鑄造を採用した。このようにして試作した FSW ツールの外観写真を図Ⅲ-2.7.8-4 に示す。





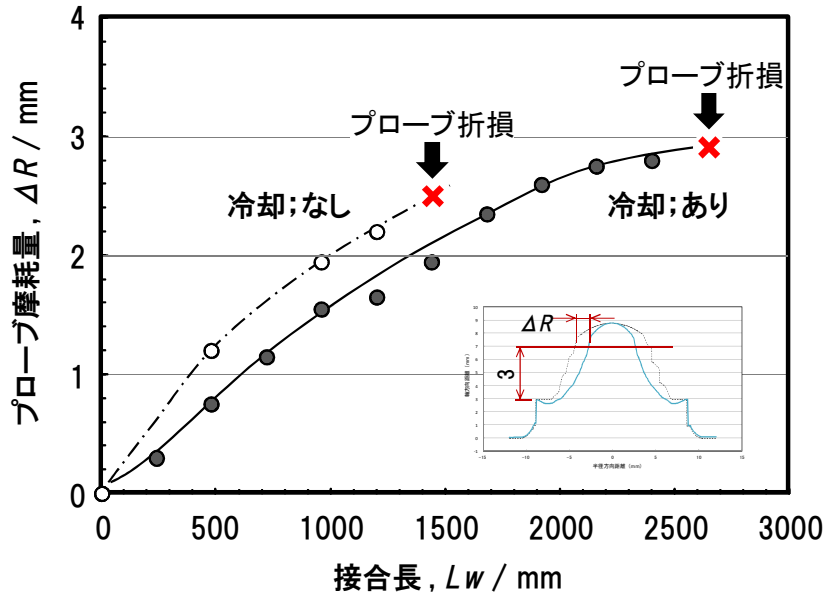
図Ⅲ-2.7.8-4 試作した FSW ツール外観写真

図Ⅲ-2.7.8-5 に使用前後の FSW ツール外観を示す。開発した FSW ツールの耐久性を評価した結果、プローブと呼ばれる突起部が摩耗で小径化し、最終的に折損する形態をとることが明らかになった。前述したように、開発合金は 800～900℃以上の温度で耐力が低下することから、接合中のツールの温度上昇が摩耗を助長する要因として考えられる。そこで、ツール内部を冷却する構造のツールを開発し、冷却有無によるツール摩耗量を調査した。



図Ⅲ-2.7.8-5 使用前後の FSW ツール先端の写真

図Ⅲ-2.7.8-6 にツール摩耗量と接合長の関係を示す。ツールを冷却した場合、プローブ折損までの接合長が冷却しない場合の約 1.8 倍になることを確認した。以上のように、チタン合金 (Ti-6Al-4V) に対して接合深さ約 6mm を安定して接合できるようになり、中間目標を上回る成果を達成した。



図Ⅲ-2.7.8-6 ツール摩耗量と接合長の関係

図Ⅲ-2.7.8-7 に接合材外観写真および接合部断面写真を示す。適正な接合条件で接合することで、図に示すような表面欠陥および内部欠陥のない接合が可能であることを確認した。接合材に対して接合材幅方向に引張試験した結果を表Ⅲ-2.7.8-6 に示す。数値は同一材料から3個の試験片を採取して試験した平均値である。FSW材は母材比で、引張強さが約100%であり、第一中間目標の90%以上を達成した。



(a) 接合材の外観写真



(b) 接合部断面写真

図Ⅲ-2.7.8-7 FSWしたチタン合金 (Ti6Al-4V) の写真

表Ⅲ-2.7.8-6 チタン合金接合材の引張特性

	0.2%耐力 [MPa]	引張強さ [MPa]	伸び [%]
<b>FSW材</b>	<b>926</b>	<b>981</b>	<b>9.2</b>
<b>母材</b>	<b>951</b>	<b>982</b>	<b>14.9</b>

(2) 第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.7.8-8 第二中間目標の達成可能性達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
FSW 装置開発	設計技術の確立	チタン合金接合深さ 10mm 以上可能な実証機製作	平成 27 年度の加速開発で実証機製作達成の見通し
接合技術開発	接合強度：母材強度の 90% 以上 (チタン合金接合深さ 5mm 以上)	接合強度:母材強度の 90% 以上 (チタン合金接合深さ 10mm 以上)	平成 27 年度に前倒し検討開始した結果、達成の見通し
FSW ツール開発	チタン合金接合深さ：5mm 以上の実証	チタン合金接合深さ：10mm 以上の実証	平成 27 年度に前倒し検討開始した結果、達成の見通し

(3)研究開発の成果と意義

チタン合金や超ハイテン鋼に代表される高機能材料は、一般的に用いられている熔融溶接法で接合すると、素材の特性が失われる場合が多い。このことが、高機能材料の普及を阻害する要因の一つである。FSW は接合材料を溶かさずに接合できるため、熱影響等による素材の特性低下を軽減できる。これまでも、高機能材料の FSW に関する研究が行われているが、研究の域を脱していないのが現状である。その要因の一つは高機能材料を FSW できる実用的なツールがないことである。チタンや鉄鋼材料の接合温度域で耐えられる材料として、pcBN（セラミックス）や W-Re 合金などが開発されている。これらの材料で製作した FSW ツールはいずれも高価で、実用化の障害となっている。

本研究開発で取り組んでいる Co 合金や Ir 添加 Ni 基合金は比較的安価に生産できる見通しであり、高機能材料への FSW 適用が現実的なものとなる。高機能材料向けの FSW 装置、接合技術を同時に開発することで、この技術を実用化水準に引き上げることができる。この結果、従来なかった接合技術が完成することになる。

接合技術の多様化は構造設計の多様化に繋がるため、製品性能向上、製造コスト低減

に有効となる。これにより、構造部材の製品競争力向上が期待できる。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.7.8-9 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	2	0	5	0	0	0	2	0	1
合計	2	0	5	0	0	0	2	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.7.8-10 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.7.9 [テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

### 2.7.9.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車分野では、軽量化による燃費改善と衝突安全性向上の両面から高強度軽量素材の適用が多く検討されてきており、「強さと粘さ」という相反する物性を両立したハイブリッド材料を提供することが強く求められている。具体的には、高強度素材の典型である高強度鋼板と軽量素材である非鉄材料（アルミ、チタン、CFRP）の組み合わせが不可欠である。しかし、製造方法の全く異なるこれらの材料を一括形成することは困難なため、ハイブリッド化にはアSEMBリ、すなわち異種材料接合技術が必要である。現行の異材接合法としては、リベット等の機械接合、接着、アーク、スポット、レーザなどの溶接、ブレイジング、摩擦圧接、摩擦攪拌接合、およびそれらを組み合わせた接合法など多種存在するが、コスト、信頼性などに課題があり、適切な接合方法が見当たらないのが現状である。

一方、異種材料を水和物架橋で接合する技術が提案され、半導体積層やセンサー実装等を念頭にした応用検討が行われている。同技術は、初期表面の汚染物質分子層などを除去した後の表面を水蒸気を有する雰囲気に出し、その結果、生成する水和物皮膜を介して接触させ、低温で加熱し脱水縮合反応を促進することにより安定な結合を得る技術である。鉄、アルミ、チタンなどの水和物を形成し得る金属材料や、CFRP などの一部のポリマーにおいても、架橋皮膜形成条件の明確化がなされれば、異材接合技術を達成可能と考えられる。同技術は高価な接合材料を用いることなく毒性のない水などの常在物質で架橋でき、150℃程度の比較的低温で接合できる可能性があることから、量産時の低コスト化(安価接合材料+低消費電力化)と併せ、熱膨張係数差起因の熱変形抑制の双方が期待され、日本発の世界初の新接合技術として展開する可能性がある。本テーマでは、水和物架橋接合技術による鉄とアルミ、チタン、CFRP の異材接合技術の確立を目的に、研究開発を進める。

#### (2)位置付け、目標値

鉄とアルミ、チタン、CFRP 等の異材接合技術を確立するため、以下の点をブレークスルーポイントとして掲げ、重点的な研究開発を短期間で行う。

- ①鉄/非鉄材料(アルミ、チタン、CFRP) 異材の水和物架橋低温接合技術開発
- ②界面メカニクス理論を活用した水和物架橋低温接合継手特性の評価

##### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・鉄とアルミ、鉄とチタン、鉄とCFRPの水和物架橋低温接合による接合界面組織、継手特性の明確化（FSJによる継手特性との比較）
- ・鉄/CFRP継手特性を改善するための指針明確化

##### 【第2期目標（平成29年度末）】

平成27年度までのFS研究の結果に基づき、目標を設定する。

##### 【最終目標（平成34年度末）】

平成27年度までのFS研究の結果に基づき、目標を設定する。

表Ⅲ-2.7.9-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
1-1) 接合用表面素材の作製	表面凹凸状態を変えた水和物架橋接合用素材の作製 (本接合に適した表面状態の把握)			高い継手強度が得られる表面状態の把握
1-2) 接合前表面処理技術の検討	表面汚染物分子層や酸化物を減少させる表面処理技術の開発			継手強度確保のための前処理条件最適化
1-3) 大気圧下での水和物架橋低温接合技術の検討	水蒸気などを含む大気圧雰囲気において脱水縮合反応を可能とする条件を把握			継手強度を発揮する接合条件の把握
1-4) 水和物架橋低温接合界面の解析	得られた接合界面層の解析及び接合界面の強度試験における破壊経路の解析			接合メカニズム、強度確保メカニズムの解析
2-1) 静的継手強度特性の評価	得られた継手の静的強度の評価及び従来技術による継手との比較			継手特性の把握
2-2) 継手破壊様式の界面メカニクス解析	接合界面の破壊様式に配慮した界面メカニクス解析手法の提案			異材接合界面の評価手法検討

### (3)全体計画

以下に、具体的な検討内容を示す。

#### ①鉄/非鉄材料(アルミ、チタン、CFRP) 異材の水和物架橋低温接合技術開発

鉄/非鉄材料(アルミ、チタン、CFRP) 異材の水和物架橋低温接合技術を開発する。水和物架橋低温接合を念頭に置いた素材表面の前処理方法を検討するとともに、脱水縮合反応を可能とする技術の開発、接合界面の解析を行う。

#### 【実施項目】

##### ①-1 鉄/非鉄材料供試材の作製

- ・鉄、アルミ、チタン、CFRP の水和物架橋低温接合用素材の作製
- ①-2 鉄/非鉄材料表面前処理技術の検討
  - ・鉄、アルミ、チタン、CFRP などの初期表面状態の化学結合状態解析
  - ・鉄、アルミ、チタン、CFRP などの初期表面の大気圧ビームプロセスなどによる改質技術（汚染物分子層除去や酸化物減少）の検討
- ①-3 鉄/非鉄金属の大気圧水和物架橋低温接合技術の検討
  - ・鉄、アルミ、チタン、CFRP などの表面への水分子架橋性発現物質探索
  - ・脱水縮合反応条件の検討
  - ・接触、加熱条件の検討
- ①-4 水和物架橋低温接合界面の解析
  - ・接合界面層の解析
  - ・破壊経路の解析

## ②界面メカニクス理論を活用した水和物架橋低温接合継手特性の評価

継手特性（継手強度、疲労、腐食）を発現するための界面力学特性、接合メカニズムの検討と改善指針を提示する。

### 【実施項目】

- ②-1 静的継手強度特性評価
  - ・静的せん断強度、静的剥離強度の評価と従来技術との比較
- ②-2 継手破壊様式の界面メカニクス解析
  - ・破壊経路と継手強度の関係検討
  - ・接合メカニズムの検討と改善指針提示
  - ・界面固有の外的要因によらない力学特性と負荷条件等の外的要因による影響を分離し、異種材料界面の力学特性の解析方法を提示

## (4)実施体制

富津分室（新日鐵住金株式会社）にて、

- ① 鉄/非鉄材料(アルミ、チタン、CFRP) 異材の水和物架橋低温接合技術開発
  - ② 界面メカニクス理論を活用した水和物架橋低温接合継手特性の評価
- に取り組む。

## (5)運営管理

各々の検討項目の担当毎に、打ち合わせを行い研究開発を進めるとともに、定期的な全体連絡会議（6ヶ月に1回）を開き、進捗確認、試験結果報告、情報共有等を行う。さらに、必要に応じて各分室の担当者が試験立会を行うなど、協調した研究開発が進められるように進める。

## (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

鋼と軽量材料（アルミ、チタン、CFRP）との新しい異材接合技術を提案により、マルチマテリアルを用いた車体重量の軽減を推進し、CO<sub>2</sub>排出量の軽減を図る。

## 2.7.9.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

【第1期目標（平成27年度末）】

- ・鉄とアルミ、鉄とチタン、鉄とCFRPの水和物架橋低温接合による接合界面組織、継手特性の明確化（FSJによる継手特性との比較）
- ・鉄/CFRP継手特性を改善するための指針明確化

表Ⅲ-2.7.9-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
1-1)接合用表面素材の作製	表面凹凸状態を変えた水和物架橋接合用素材の作製 (本接合に適した表面状態の把握)	アルミ試験体(4種)を作成し、表面処理技術検討に提供。接合性に有利な表面状態を把握	○	
1-2)接合前表面処理技術の検討	表面汚染物分子層や酸化物を減少させる表面処理技術の開発	鋼、アルミに対する真空紫外光(VUV)による表面清浄化効果を確認し、最適条件を把握	○	
1-3)大気圧下での水和物架橋低温接合技術の検討	水蒸気などを含む大気圧雰囲気において脱水縮合反応を可能とする条件を把握	鋼/アルミ接合において水蒸気を含むN <sub>2</sub> 雰囲気中で、水和物架橋接合を確認。本プロセスの実現可能性を示唆	△	
1-4)水和物架橋低温接合界面の解析	得られた接合界面層の解析及び接合界面の強度試験における破壊経路の解析	接合界面にはボイドが存在するが、Fe,Alのアモルファス状の架橋層(酸化物)を介した接合がなされていることを確認	△	
2-1)静的継手強度特性の評価	得られた継手の静的強度の評価及び従来技術による継手との比較	接合前処理条件を変えた鋼/アルミの接合強度を把握	△	
2-2)継手破壊様式の界面メカニクス解析	接合界面の破壊様式に配慮した界面メカニクス解析手法の提案	界面接合強度(ひすみE開放率)の測定手法提案、鋼/Al接合体での評価	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



## (2)最終目標の達成可能性

平成25年度から平成27年度の鉄／アルミニウム、鉄／チタン、鉄／CFRP異材の水和物架橋低温接合技術の検討結果を総括し、水和物架橋低温接合技術の鉄/異材接合への適用の見極めを行い、GO/STOPを判断し、最終目標を設定する。

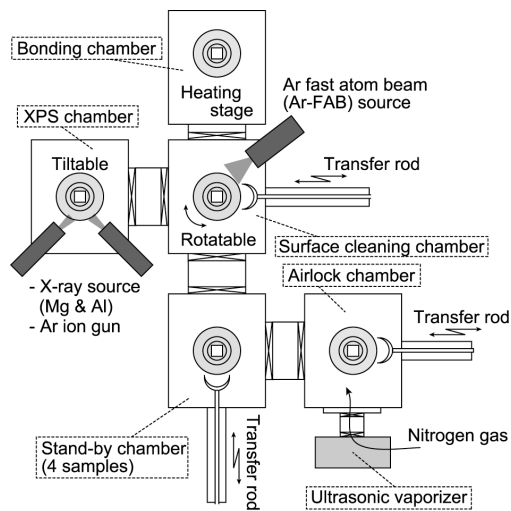
表Ⅲ-2.7.9-3 最終目標の達成可能性

研究開発項目	現状	最終目標 (平成 34 年度末)	達成見通し
1-1)接合用表面素材の作製	鋼、Ti、CFRP の接合素材を作製し、接合実験を実施中。		
1-2)接合前表面処理技術の検討	鋼、Ti,CFRP に対する真空紫外光 (VUV) による表面清浄化効果を確認し、最適条件を検討済み。		
1-3)大気圧下での水和物架橋低温接合技術の検討	鋼/CFRP 接合において水蒸気を含む N2 雰囲気中で、水和物架橋接合を確認中。		
1-4)水和物架橋低温接合界面の解析	接合界面にはボイドが存在するが、Fe,Al のアモルファス状の架橋層（酸化物）を介した接合がなされていることを確認。Ti,CFRP 界面の解析中。		
2-1)静的継手強度特性の評価	接合前処理条件を変えた鋼／Ti,CFRP の継手強度評価中。		
2-2)継手破壊様式の界面メカニクス解析	界面接合強度（ひすみ E 開放率）の測定手法提案、鋼／Al 接合体での評価		

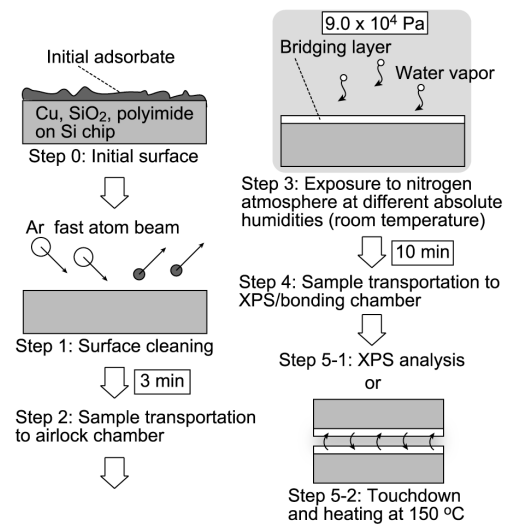
## (3)研究開発の成果と意義

### 1) 接合手法と各実験方法の概要

本接合実験に用いた装置の概略図を図Ⅲ-2.7.9-1 に示す。本接合装置は、試料導入、試料待機、Ar 高速原子ビーム (Ar-FAB) 照射、X 線光電子分光計 (以下 XPS)、接合・加熱のための各チャンバが連結され、試料が自由に行き来できる構造をとり、図Ⅲ-2.7.9-2 に示したように、①Ar-FAB (もしくは VUV) による初期表面上の吸着分子の除去、②霧化純水を含む大気圧室素雰囲気への露出、③試料間の接触後、直ちに 150℃で加圧保持の工程を介して異材接合がなされる。



図Ⅲ-2.7.9-1 接合に用いる装置の概略図。



図Ⅲ-2.7.9-2 接合実験フロー

## 2) 接合前処理条件の検討

以下に、接合前処理条件の検討結果を示す。ここでは、事前検討の結果から、Fe, Al, Ti の検討試料として、 $10 \times 10 \text{ mm}^2$  (厚さ 1 mm) の板を機械的鏡面研磨したものをを用いた。

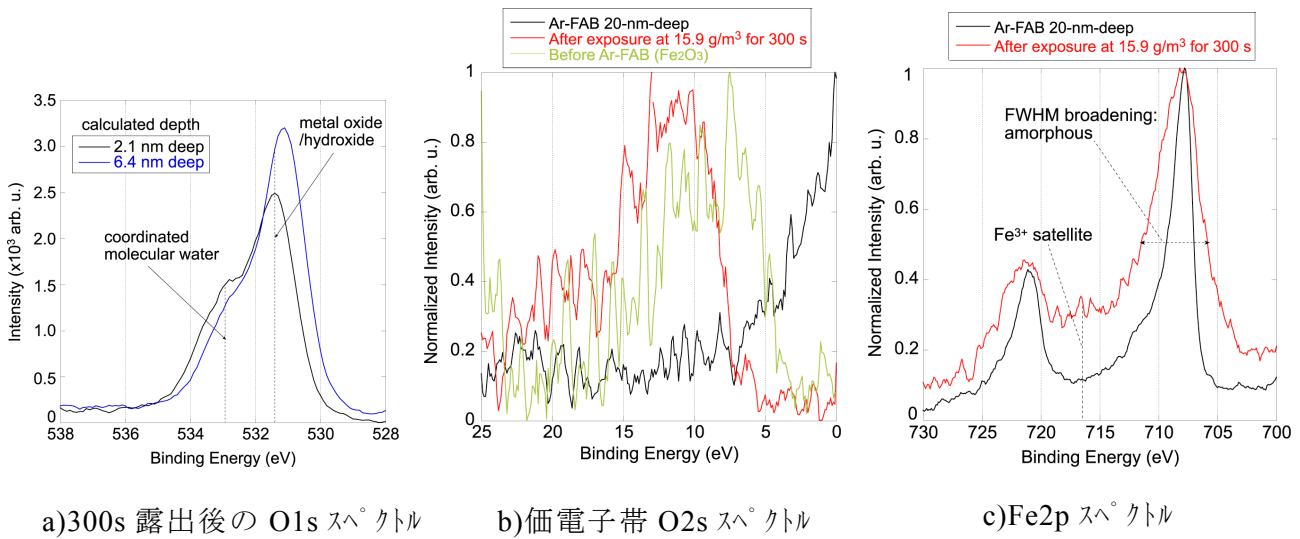
### 2.1 Ar-FAB による接合前処理条件の検討

#### STEP1 : Ar-FAB 照射条件の決定

Fe、Al 各試料初期表面上の吸着汚染分子を除去するため、Ar-FAB 照射時間を変えて、XPS による計測を実施した結果、Fe では、12nm 以上のエッチング、Al では、10nm 以上のエッチングにより、吸着汚染分子が除去され、金属水和物が形成可能な表面状態が得られることが判った。

#### STEP2 : 架橋分子層形成の確認

Fe、Al について、深さ 20 nm まで Ar-FAB 照射を行った直後の試料を、水蒸気を含む高純度窒素雰囲気 300 s 露出し、架橋分子層形成の有無を確認した。結果を図Ⅲ-2.7.9-3 に示す。



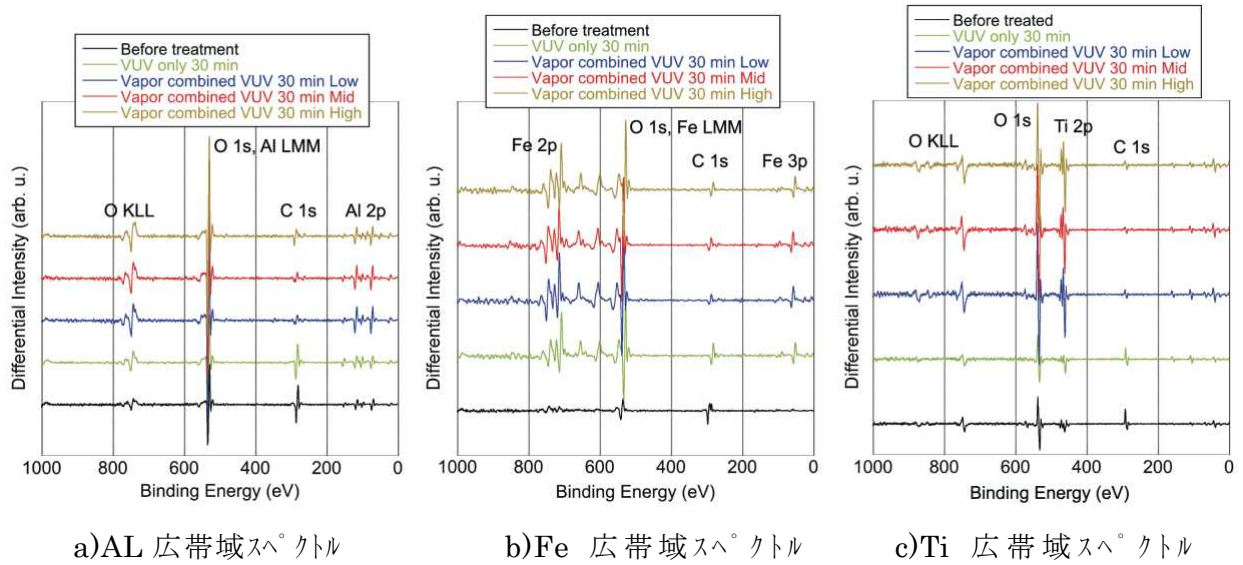
図Ⅲ-2.7.9-3 加湿室素雰囲気(15.9g/m<sup>3</sup>)に露出された Fe 表面の化学結合状態の変化

図Ⅲ-2.7.9-3 a)に示したように、300s の露出において、Fe 表面の結合状態の変化を示す O1s スペクトル(a)では、表層から約 6nm の位置で、金属酸化物あるいは水和物の存在を示唆するピーク(約 531eV)が見られた。また、O2s スペクトル (図Ⅲ-2.7.9-3 b))では、水蒸気露出に伴いピークが高エネルギー側にシフトし、初期表面上で観察された Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> よりも高いバンドギャップを有することが判る。さらに、Fe2p スペクトルの測定結果では、水蒸気露出に伴い半値幅の広がりが見られ、アモルファス構造を成していると考えられた。

以上のことから、Fe 表面の水蒸気への露出により、当初の想定通り水分子が配位された FeOOH 皮膜が形成されたと考えられる。同様に、Al (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 表面においても調査した結果、水蒸気露出により架橋能を有する AlOOH 皮膜が形成されたことが推察された。

## 2).2 VUV による接合前処理条件の検討

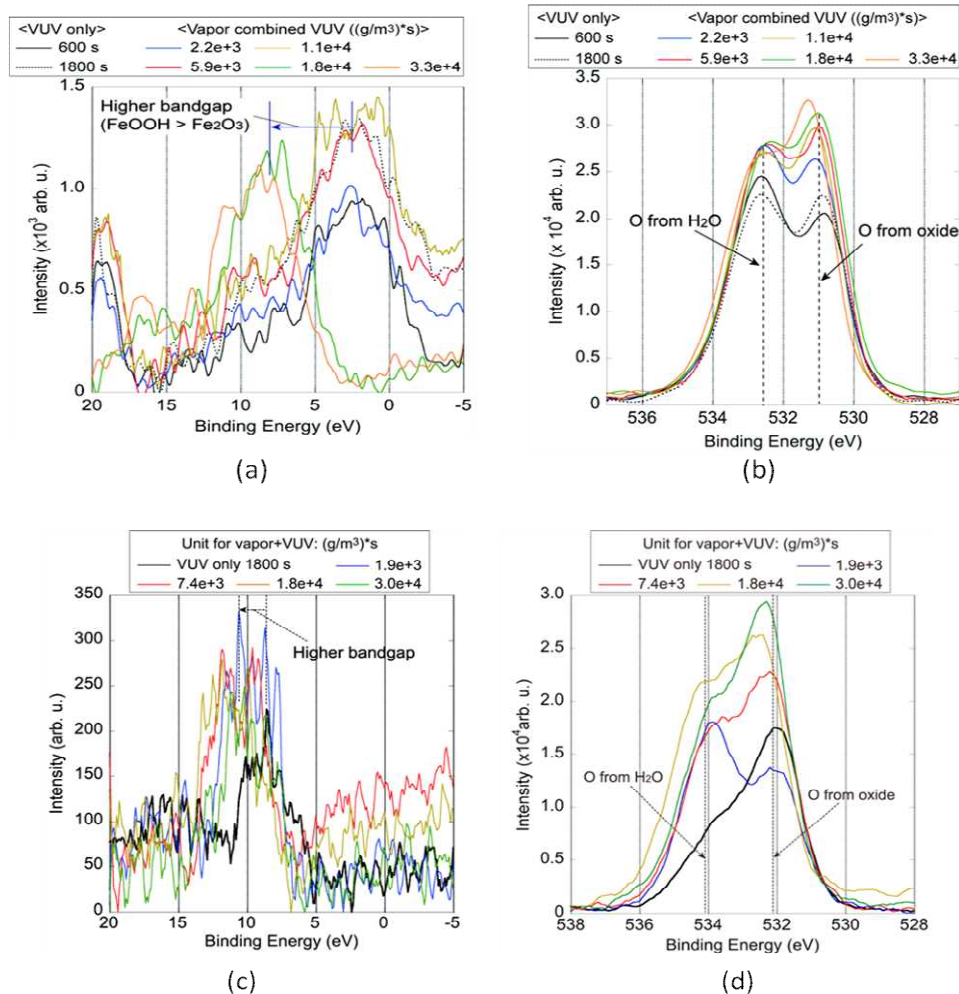
VUVによる表面改質手法が各材料の表面化学結合状態に及ぼす影響について、X線光電子分光計 (以下XPS) を用いて評価した。Al, Fe, Tiについて、VUV照射時間を30minに固定した場合の体積湿度の影響を示す広帯域スペクトルを図Ⅲ-2.7.9.2-4 a)-c)に示す。



図Ⅲ-2.7.9-4 Vapor combined VUV における表面結合状態の変化  
(X線光電子分光スペクトル)

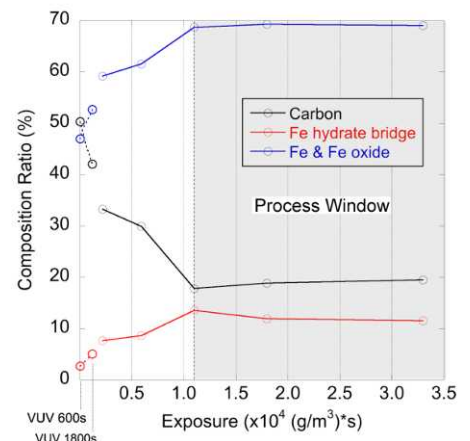
図Ⅲ-2.7.9-4から、各材料で、vapor combined VUV手法で処理された表面では、C1sで示される有機汚染物質分子層が除去されていることがわかる。さらに、O1sのスペクトルに内包される水和物の存在可能性も増加している様子が見られた。

この状態を詳細に分析するために、Fe, Tiそれぞれの valence band と O1s の狭帯域スペクトルを図Ⅲ-2.7.9-5 (a) - (d) に示す。狭帯域分析では、体積湿度 (g/m<sup>3</sup>) と照射時間 (s) の積を露出量と定義し、これをパラメーターに評価を行った。



図Ⅲ-2.7.9-5 Vapor combined VUV 照射量に対応した表面結合状態の変化  
(a) Fe valence band, (b) Fe O 1s, (c) Ti valence band, (d) Ti O 1s

図Ⅲ-2.7.9-5(a)の、vapor combined VUV手法を適用した表面においては、VUV照射のみの表面と比較してバンドギャップの高い状態へ遷移している様子が観察されおり、FeOOHが生成していると推測される。また、(b)において、酸化物由来のものより約1.5 eV 高い位置にピークが出現し、その強度は露出量が一定に達するまで増加する傾向が観られ、このピークはH<sub>2</sub>Oに起因することから、水分子が配位されていることが確認された。露出量の変化にともなうFe表面の組成の変化を示した図Ⅲ-2.7.9-6から、Fe最表面

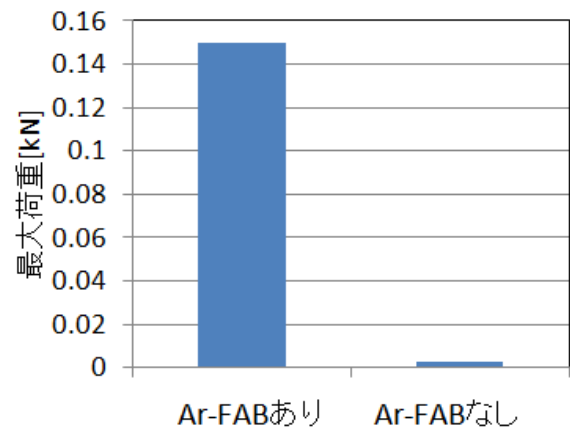


図Ⅲ-2.7.9-6 露出量と Fe 表面組成比の関係

の有機汚染物質分子層を除去し、金属組成比を増加させ、かつ一定量の水和物架橋皮膜を形成するために必要な露出量は、 $1.0 \times 10^4 \text{ (g/m}^3) \cdot \text{s}$  程度であることと考えられた。

### 3) 接合強度評価、破面観察

前項までに示した条件を用いて接合実験を行った。Ar-FABによる前処理をしたもの、そうでないサンプルに対して、強度評価を試みた。強度評価方法は、Alの角棒(10×10×150)に市販の構造用接着材によって、サンプルを固定し、接合界面に鉛直方向の荷重を負荷し、その破断荷重を測定した。その結果を図III-2.7.9-7に示すが、現状、Al側の母材で破断するような高い継手強度は得られていない。

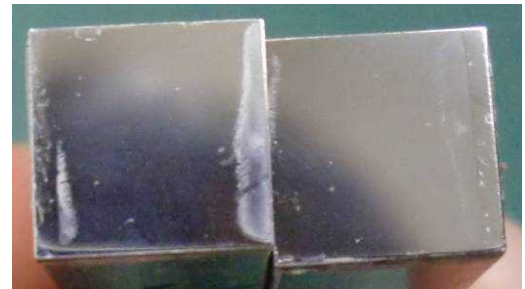


図III-2.7.9-7 接合強度評価結果

これは、図III-2.7.9-8に示すように、表面間の接触面積が小さいことに起因しており、接合強度の確保には、プロセス的な条件工夫が必要と考えられる。

このような接合強度の課題が残存するが、接合が達成された部位においては良好な密着が達成されていることが確認されている。

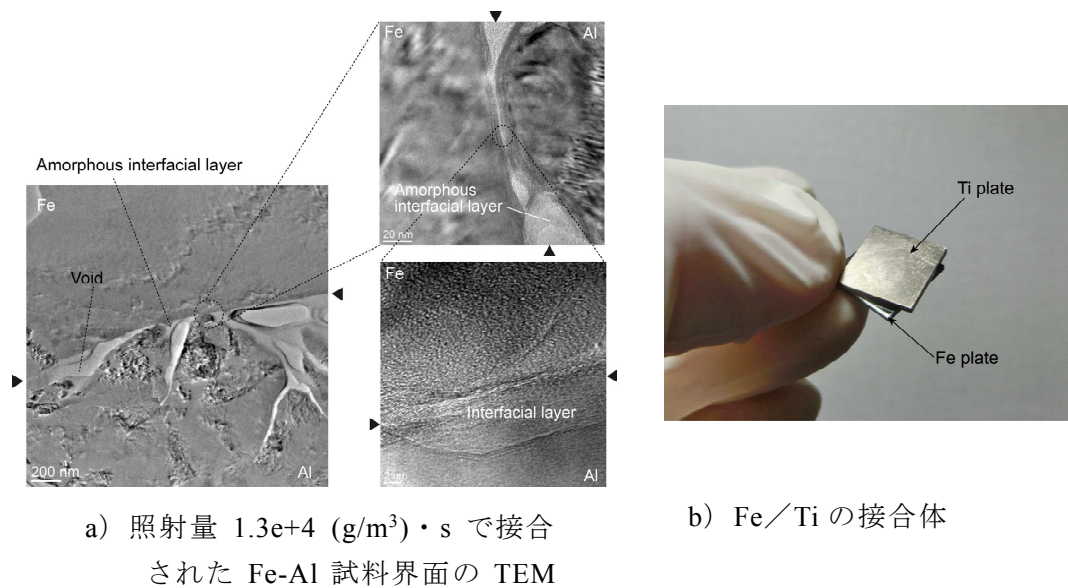
図III-2.7.9-9に照射量  $1.3 \times 10^4 \text{ (g/m}^3) \cdot \text{s}$  で接合した試料界面の透過電子顕微鏡像を示す。試験片作成を良好に行うことが可能な強度を維持するため、本試料については 200°Cで接合実験を行った。



図III-2.7.9-8 破面の一例

(a)から、界面にはボイドが散見されるものの、接合達成部はアモルファス状の架橋層を介して密着が進行している様子が確認された。また、(b)に全体像を示したように、Fe-Tiの組合せについても一定の接合強度が得られている。





図III-2.7.9-9 各試料の接合事例

#### 4) まとめ

異種金属接合プロセスの全工程を低温大気圧雰囲気で行うために、水分子含有雰囲気での真空紫外光照射を利用する手法を提案し、接合可能性を示した。解離した水分子の作用により、大気圧雰囲気での一定の表面活性化と水和物架橋形成が可能であることが明らかになり、材料表面の化学的結合状態の観察結果から、最適プロセス条件が照射量およそ  $1.0 \times 10^4 \text{ (g/m}^3) \cdot \text{s}$  であることが明らかになった。この条件を用いて Al, Fe, Ti の接合実験を試みたところ、接合ができることは確認され、Al-Fe 界面においては、水和物が脱水縮合して生成したアモルファス状の酸化物中間層を介して密着が進行していることが判明した。接合界面全域で接合が達成されておらずマクロ的には、十分な強度は得られていないものの、部分的には本接合での接合が達成されている。その部位の接合強度を考察する方法を考案し、Fe-Al 試料の実測値に対し適用したところ、破断エネルギーが Al 架橋もしくは Al の離断に要するエネルギーと同等であり、実際に接合できている部位では十分な強度が達成されていることがわかった。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.7.9-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.7.9-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約



## 2.8 戦略・基盤研究

### 2.8.1 [テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略

#### 2.8.1.1 テーマの概要

##### (1)背景と目的

自動車や航空機などに今後中長期的に求められる構造材料等の在り方を展望した上で、内外の技術動向や政策支援の調査、新しい技術の可能性調査（FS）、基盤研究など、本研究開発の方向性検討に必要な調査を全般的に行い、構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。

##### (2)位置付け、目標値

各分野分科会（鉄鋼、非鉄、複合材料、接合、戦略・基盤）活動を通じた分野内（間）での関連情報の共有や協調課題の抽出、技術講演会等による最新情報の収集・共有、ISMA 独自の調査や再委託（テーマ 30,31,32）による技術動向調査や調査研究による新技術の創出や情報収集活動等により、プロジェクト内での関連情報の収集・共有を図ると共に、FS 研究の立案・ステアリング等研究戦略や研究の方向性への提案を策定する。表Ⅲ-2.8.1-1 に開発目標と根拠を示す。

表Ⅲ-2.8.1-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
新構造材料の技術・研究戦略	構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。	同左	同左	プロジェクトにおいては、必要に応じて材料分野個別毎・分野横断的双方での研究課題・体制の見直しが不可欠であり、定常的な調査、およびそれに基づく研究戦略の策定が肝要である。

##### (3)全体計画

###### ① 技術分野分科会活動

接合、非鉄、鉄鋼、CFRP 各分科会を開催し、定期的な各研究分野内での共通課題の抽出、講演会や勉強会を通じた関連情報（技術動向、新技術）の共有および方向性の議論を行う会議等を ISMA 本部が主催し実施する。戦略・基盤分科会では、専門委員各位の研究アクティビティの紹介や技術ヒアリング等でのアドバイスやセッションを通して各委員の専門知識・保有技術を分担研での研究開発に繋げていく。

② 技術動向調査

接合技術、個別課題（材料）としての鉄鋼、非鉄（アルミ、チタン、マグネシウム）、複合材料について、自動車等輸送機器に適用されるための技術動向を調査する。調査は、ISMA 組合本部および外部専門機関等へ再委託して行う。特に、金属同士の接合およびその周辺技術に関しては、金属系材料研究開発センターに、欧米での高分子系複合材料、複合材料と金属の異材接合に関わる接着技術以外の要素技術、新規高分子材料等の技術動向については高分子学会に再委託（テーマ 30,31）して調査を行う。

③ FS 課題抽出・ステアリング委員会の開催

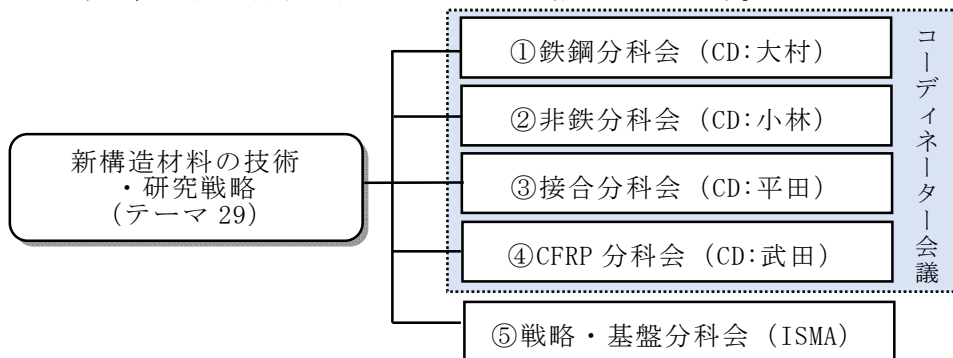
構造材料用接着技術および中性子線適用化技術について、各研究課題関係者や外部有識者からなる技術調査委員会を開催し、FS 研究の円滑な立上げに繋げる。

表Ⅲ-2.8.1-2 開発スケジュール

事業内容	平成 25 年度	平成 26 年度
① 技術分野分科会 1) 接合分科会 2) 鉄鋼分科会 3) 非鉄分科会 4) CFRP 分科会 5) 戦略・基盤分科会	協調課題の抽出、講演会開催等による関連情報共有	→
	協調課題の抽出、講演会開催等による関連情報共有	
	協調課題の抽出、講演会開催等による関連情報共有	
	協調課題の抽出、講演会開催等による関連情報共有	
	技術ヒアリング、講演会等開催	
② 技術動向調査 構造材料・接合技術 (研究拠点・大学)		国内外技術動向調査
		→
③ FS 課題抽出・ステアリング委員会開催	課題抽出	中性子等量子ビームを使った構造材料解析技術に関する調査委員会
	課題抽出	構造材料用接着技術調査委員会
		→

(4)実施体制

分野分科会は、接合・個別材料分野毎にコーディネーター（CD）を配置し、コーディネーター先導のもと活動を実施している（図Ⅲ-2.8.1-1）。



図Ⅲ-2.8.1-1 分野分科会の実施体制

戦略・基盤分科会では、専門委員会を設置し、各構造材料分野の専門家の提言により個別材料の技術戦略指針の策定、実用化に向けた課題の抽出等を行っている。

表Ⅲ-2.8.1-3 戦略・基盤専門委員会委員

名前		所属機関	部署	研究課題
榎 学	材料WG	東京大学	大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻 教授	「検査・診断技術－プロセスモニタリング／ヘルスマニタリング」
津崎 兼彰	材料WG	九州大学	大学院工学研究員 機械工学部門 教授	「革新的新構造材料－鉄鋼材料」
廣瀬 明夫	材料WG	大阪大学	大学院工学研究科 教授	「革新的新構造材料－接合プロセス」
伊藤吾朗	材料WG	茨城大学	工学部機械工学 教授	「革新的新構造材料－軽量金属材料」
新家光雄	材料WG	東北大学	金属材料研究所 教授	「革新的新構造材料－チタン材料」
北條正樹	材料WG	京都大学	大学院工学研究科 教授	「マルチマテリアル設計－複合構造」
渋谷陽二	構造WG	大阪大学	大学院工学研究科 機械工学専攻 教授	「マルチマテリアル設計－継手構造」
宇都宮 裕	構造WG	大阪大学	大学院工学研究科 教授	「マルチマテリアル設計－塑性加工」
香川 豊	構造WG	東京大学	大学院工学系研究科 教授	「材料と破壊の基礎科学－金属材料」
武田 展雄	構造WG	東京大学	大学院新領域創成科学研究科 先端エネルギー工学専攻 教授	「材料と破壊の基礎科学－複合材料」
横堀 壽光	構造WG	東北大学	大学院工学研究科ナノメカニクス専攻 教授	「材料と破壊の基礎科学－金属材料」
志波 光晴	構造WG	物質・材料研究機構	材料信頼性評価ユニット 非破壊評価グループ グループリーダー	「検査・診断技術－接合部の非破壊評価」
小関 敏彦	材料WG	東京大学	副学長 大学院工学科 マテリアル工学専攻 教授	H26.9より参画
鳥塚 史郎	材料WG	兵庫県立大学	大学院工学研究科物質系工学専攻 教授	H26.9より参画

技術動向調査については、再委託（テーマ 30,31）と併行して主に欧州自動車業界、欧米の関連材料研究開発拠点等について、ISMA 本部において調査を実施している。

FS 課題については、各分野分科会で抽出された協調課題や ISMA 本部での提案による戦略的課題をテーマアップし、適宜 FS 研究の立上げや遂行のためのステアリング委員会を設置し、実施内容の十分な精査を行い、円滑な本研究スタートに繋げていく。鉄鋼分野より構造解析向中性子線利用技術を、接合分野より構造材料用接着技術を FS 課題としてテーマアップし、平成 27 年度より両テーマを FS 研究としてスタートした。両テーマに関しては、25、26 年度において課題の抽出、FS 研究としての立上げを行い、ステアリング委員会を設置した。

表Ⅲ-2.8.1-4、表Ⅲ-2.8.1-5 に平成 27 年度各ステアリング委員会委員リストを示す。

表Ⅲ-2.8.1-4 中性子等量子ビームを使った構造材料解析技術に関する調査委員会委員

氏名	所属
大久保 雅隆	(国研)産業技術総合研究所 上席イノベーションコーディネーター
友田 陽	(国研)物質・材料研究機構
池田 進	高エネルギー加速器研究機構 大学・産業連携室
大竹 淑恵	(国研)理化学研究所 光量子工学研究領域 光量子技術基盤開発グループ 中性子ビーム技術開発チーム
大沼 正人	北海道大学 大学院工学研究院
大村 孝仁	(国研)物質・材料研究機構 元素戦略センター 構造材料ユニット
黒田 隆之助	(国研)産業技術総合研究所 軽量標準総合センター 分析計測標準研究部門
櫻井 健次	(国研)物質・材料研究機構 材料研究所 高輝度光解析グループ
篠原 武尚	(国研)日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン中性子セクション
鈴木 淳市	(一財)総合科学研究機構 東海事業センター 利用促進部
関戸 宣彰	(国研)物質・材料研究機構 元素戦略材料センター 構造材料ユニット 強度設計グループ
谷山 明	新日鐵住金(株) 技術開発本部 先端技術研究所
内藤 富士雄	高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 加速器第2研究系
仲道 治郎	JFE スチール(株) スチール研究所
野中 秀彦	(国研)産業技術総合研究所 計量標準総合センター 分析計測標準研究部門
林崎 規託	東京工業大学 原子炉工学研究所
村上 俊夫	(株)神戸製鋼所 技術開発本部 材料研究所 材質制御研究室
渡津 章	(国研)産業技術総合研究所 構造材料研究部門

表Ⅲ-2.8.1-5 構造材料用接着技術検討委員会委員

氏名	所属・役職
佐藤 千明	東京工業大学 精密工学研究所先端材料部門・准教授
西野 孝	神戸大学 大学院工学研究科・教授
岸 肇	兵庫県立大学 大学院工学研究科化学工学専攻・教授
原賀 康介	(株)原賀接着技術コンサルタント・専務取締役
岩田 奈緒子	トヨタ自動車(株) 材料技術開発部・部付
木村 隆嗣	三菱重工業(株) 技術統括本部総合研究所・主席プロジェクト総括
平野 啓之	東レ(株) 複合材料研究所・主任研究員
内藤 昌信	(国研)物質・材料研究機構 元素戦略材料センター構造材料ユニット強度設計グループ・主幹研究員
堀内 伸	(国研)産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門電子顕微鏡グループ・上級主任研究員
秋山 陽久	(国研)産業技術総合研究所 機能化学研究部門スマート材料グループ・主任研究員
野中 秀彦	(国研)産業技術総合研究所 計量標準総合センター分析計測標準研究部門・部門長
山本 研一	マツダ(株) 先進車両構造研究部門車体アーキテクチャー・研究アシスタントマネージャー
長谷川 清	(株)本田技術研究所 四輪 R&D センター第 9 技術開発室 4 ブロック
山岡 弘人	(株)IHI 技術開発本部生産技術センター溶接技術部・部長

#### (5)運営管理

技術分野分科会は、鉄鋼分野：物質・材料研究機構大村氏、非鉄分野：産業技術総合研究所小林氏（平成 27 年度からは吉澤氏）、接合分野：大阪大学平田教授、CFRP 分野：東京大学武田教授に各分野コーディネーターを委嘱し、戦略基盤分科会は、ISMA にて取りまとめを行っている。定期的にコーディネーター会議を開催し、プロジェクト全体及び各分野内（間）の課題や研究の方向性についての整理や情報共有を行っている。

戦略・基盤分科会では、専門委員にプロジェクト内での技術ヒアリングや進捗報告等各種報告会において技術的な提言や助言を頂くと共に、各専門委員の研究アクティ

ビティおよび最新の関連技術情報等を分担研での研究開発へ反映すべく、毎月 ISMA 講演会（戦略・基盤技術）を開催して情報提供を行っている。

FS 課題については、鉄鋼分野より構造解析向中性子線利用技術を、接合分野より構造材料用接着技術を提案し、平成 27 年度より両テーマを FS 研究としてスタートした。両テーマに関しては、28 年度以降実施予定の本研究の実施内容の見極め等円滑な課題設定を図るべく、課題の抽出・立上げから FS 研究の実施に至るまで外部の専門家や実施者からなるステアリング委員会を設置して遂行している。

## 2.8.1.2 研究開発成果

### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.1-6 に中間目標の達成度を示す。

表Ⅲ-2.8.1-6 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成度 ※	原因・課題と解決 方針 ※未達の場合のみ
① 技術分野分科会	構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。	・ 共通課題として鉄鋼分野における中性子利用等の先端計測技術、非鉄分野における分析技術・シミュレーション技術、接合分野における異材接合向接着技術等を提案した。 ・ 戦略基盤分科会専門委員各位の研究アクティビティの紹介を ISMA 講演会として毎月開催し、情報提供を行った。	○	
② 技術動向調査		モーターショー (@ジュネーブ&パリ)、ダイムラー、BMW、ミュンヘン工科大学、シュツットガルト大学や米国 DOE プロジェクト受託機関等欧米における自動車軽量化技術、特に新規材料開発に係わる研究機関やメーカーを訪問し、最新の情報を収集した。	○	
③ FS 課題抽出・ステアリング委員会開催		構造解析向中性子線利用技術および構造材料用接着技術を新規 FS 課題としてテーマアップし、平成 27 より FS 研究としてスタートした。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

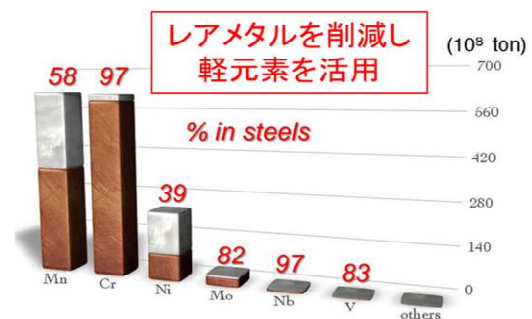
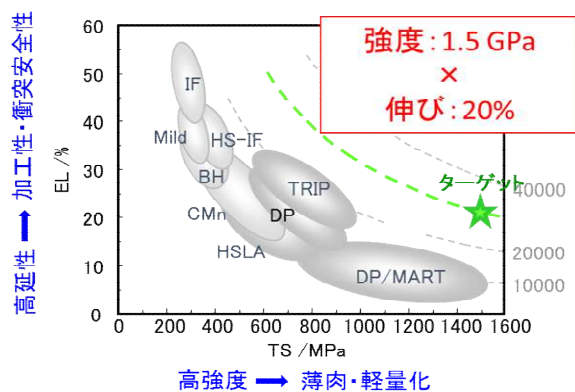
## (2)研究開発の成果と意義

### ①技術分野分科会活動

各分科会において、まずは各分野内で協調して検討が可能な研究課題につき審議を行った。その結果、鉄鋼分科会、接合分科会、非鉄分科会において下記に示す候補課題を抽出した（CFRP分科会は、平成27年度に協調課題の抽出を行う予定）。

まず、鉄鋼分科会では、競争領域と協調領域の洗い出しを行い、さらに協調課題の深堀を行いFSとして実施すべき技術課題の抽出を行った。中高温域での新たな材料組織挙動に関する定量データの取得がキーポイントであるとの結論を得、そのためのキーテクノロジーとして中性子線を利用した構造解析技術がFSとして適切であるとの結論が得られた。

### 自動車用薄鋼板等の強度・靱性バランス向上



鉄鋼材料におけるレアメタル年間消費量の割合  
(2008年 日本金属学会)

#### (1) 組織制御技術開発

- ・軽元素の有効利用による粒界強化
- ・ $\gamma$ - $\alpha'$ 複相形態制御による複相化
- ・残留 $\gamma$ 中炭素量の高度制御による強靱化

#### 競争課題

#### (2) 機構解明技術開発

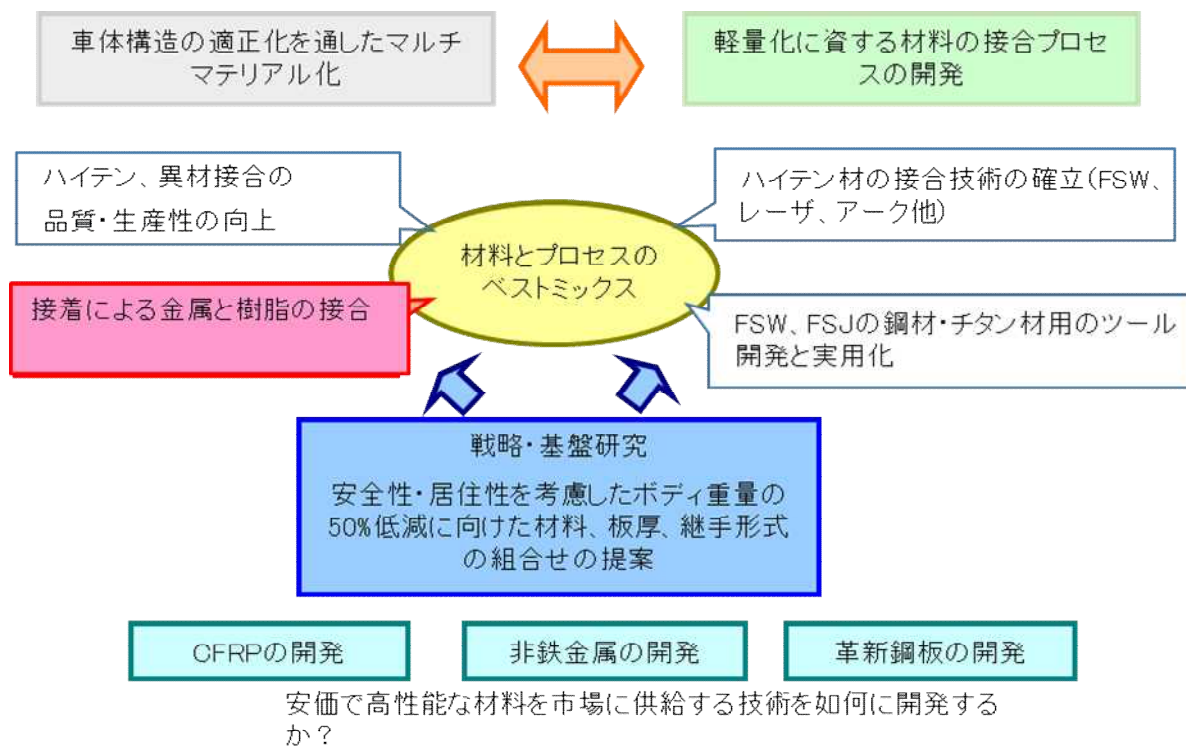
- ・高温プロセス中その場組織観察
- ・変形中その場組織観察
- ・軽元素の濃度分析精度向上

#### 協調課題

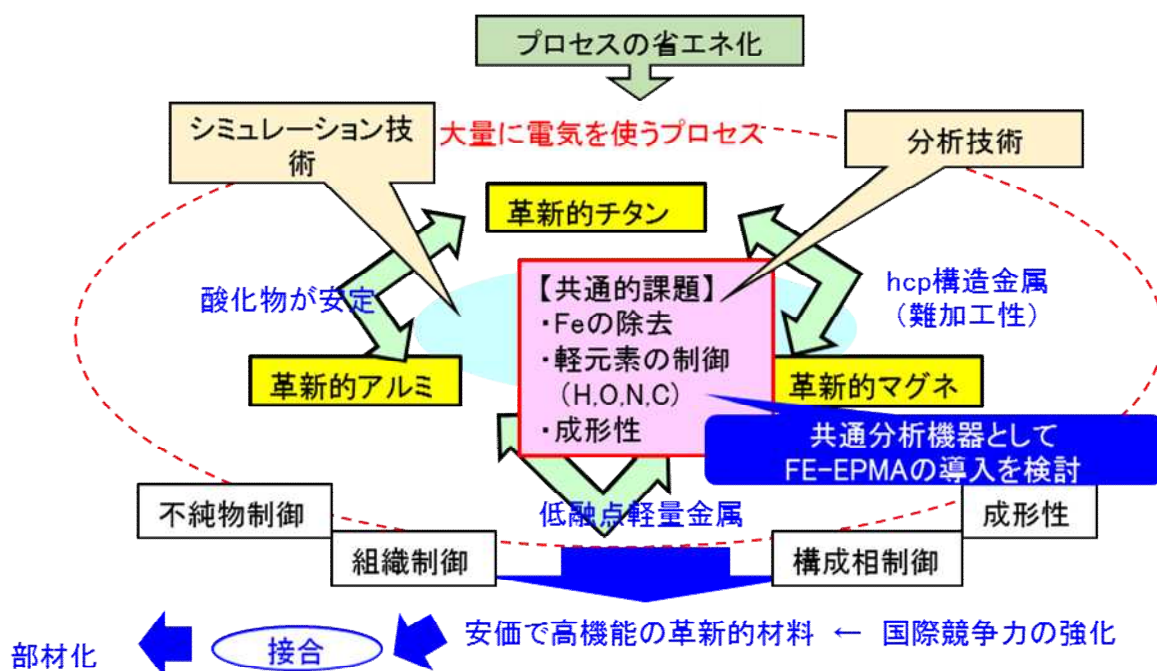
### 図 III-2.8.1-2 協調課題の抽出（鉄鋼分科会）

接合分科会では、マルチマテリアル化においてキーとなる異材接合への対応として、特に被接合材が CFRP の場合に有効と考えられる接着技術を協調課題としてテーマアップした。





図Ⅲ-2.8.1-3 協調課題の抽出（接合分科会）



図Ⅲ-2.8.1-4 協調課題の抽出（非鉄分科会）

非鉄分科会では、チタン、マグネシウム、アルミニウム各材料において低コスト成形プロセスを確立する上での共通的な課題として、1) 不純物 (Fe) の除去、2) 軽元素 (H,O,N,C) の制御、3) 成形性の改善が抽出された。これらの課題に協調して取り



組む手段として先ずは、FE-EPMA 等による分析技術を確立していくことが必要であるとの結論を得た。

以上各分科会での審議により、技術分野毎に協調課題の抽出が行われた。この検討結果を基に後述するように新たに FS 研究としての課題を抽出することとした。

戦略・基盤分科会では、各専門委員の研究アクティビティや最新の関連技術情報を紹介する ISMA 講演会（戦略・基盤研究）を開催している（平成 26 年度から毎月開催）。講演会では、技術情報の深堀と分担研での研究開発の課題解決の足がかりとすべく、講演者である専門委員と参加者（組合関係者）との議論の時間を十分に取らながら進めている。

表Ⅲ-2.8.1-7 ISMA 講演会（戦略・基盤研究）

	講演者	所属	演題
1	武田 展雄	東京大学大学院新領域創成科学研究科	革新複合材構造の知的生産科学の構築に向けて
2	志波 光晴	物質・材料研究機構非破壊評価グループ	非破壊材料信頼性評価
3	津崎 兼彰	九州大学大学院工学研究院機械工学部門	高 Mn オーステナイト鋼の機械的特性：引張強さ・疲労・水素脆化
4	廣瀬 明夫	大阪大学大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻生産科学コース	鋼と軽合金の異材接合
5	鳥塚 史郎	兵庫県立大学大学院工学研究科	1500MPa-20%の可能性を予感させる 5Mn 微細ヘテロ組織鋼
6	榎 学	東京大学大学院工学系研究科 マテリアル工学専攻	先進 AE 手法によるマテリアルプロセスモニタリング

## ②技術動向調査

外部機関への委託調査以外に ISMA 本部にて独自に技術動向調査を行っている。国内外の自動車メーカー、欧米の公的研究機関およびナショナルプロジェクト実施機関を主な調査対象（キーワード：自動車、軽量化、材料開発）とし、ベンチマーキングをする上で今後定常的な情報収集が必要となる地域、機関を特定していく予定である。図Ⅲ-2.8.1-5、図Ⅲ-2.8.1-6、図Ⅲ-2.8.1-7 にトピックスを示す。

「自動車用車体のマルチマテリアル化技術動向調査～欧州自動車業界調査～」

1. 調査の内容

- (1) 欧州自動車メーカーの製品開発の方向性
- (2) 将来の材料・製造技術に対するシーズ技術に関する調査

対象となる技術・材料分野は、

- i 「自動車メーカーによるマルチマテリアル化車体技術の現状」  
(鋼材/鋼材、鋼材/Al材、鋼材/Mg材、鋼材/CFRP等、AL材/CFRP等)
- ii マルチマテリアル車体構造の開発方向
- iii マルチマテリアル/モジュール化車体の製造技術

2. 今回の欧州訪問で対象とする団体や学会

自動車会社(Daimler AG, BMW Group)および関連技術博物館

- ① 材料技術(シュツガルト大学、ミュンヘン工科大学)
- ② バイエルン州のプロジェクト(MA.ICarbon)の調査

3. 調査のアウトプット

欧州での自動車マルチマテリアル化の技術開発の方向性を確認し、2020年燃費規制に実装されるべく、自動車車体の軽量化に最も有効と考えられる軽量構造材料の部品適用技術(素材技術、異種材料適用技術、構造設計技術、成形加工技術)のレベルを把握して行く。



図Ⅲ-2.8.1-5 技術動向調査 (欧州自動車業界)

『StadeフラウンホーファーIFAMの概要』

- ・Stade市のR&Dセンターの中には有名なDLR(ドイツ航空宇宙研究所)があり、近くには欧州最大の航空機メーカーのエアバスの工場と研究施設、化学大手のDAWケミカルの工場などがあり、また直ぐ隣には私立の工業大学もあり、これらの企業や大学とうまく協力しながら研究開発を進めているとのことであった。
- ・Dr.Niermannが現在行っている航空機用の構造材料の自動化と製造技術に関する研究は、正式には2014年からスタートしている。CFRP製機体の加工・組立て工程を完全に自動化することを目的としており、そのため飛行場の格納庫に近い巨大な建物とその中に実物大の機体がすっぽり入る規模の組み立てユニットが設置されていた(写真参照)。
- ・この完全自動化が実現すれば、飛躍的なコストダウン(工期短縮)が可能になるとのことであり、Dr.Niermannはかなりの自信を持って研究開発を進めていた。



軽量構造体の新型支持装置



CFRP大型部材用形状・位置制御装置、加工用ロボット



機械加工棟(14m×9m×7m)と高精度機械加工ロボット

図Ⅲ-2.8.1-6 技術動向調査 (欧州研究機関)

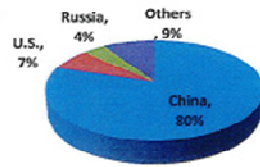
米国DOE自動車軽量化プロジェクト（各材料の目標達成時の軽量化率と残存課題）

**Magnesium Alloys**

When it "works" → 40-70% weight reduction

Otherwise → Cost (~\$3-10/lb-saved)

- Lack of domestic supply, unstable pricing
- Challenging corrosion behavior
- Inadequate strength, stiffness, and ductility
- Difficult to model deformation behavior



**Aluminum Alloys**

When it "works" → 25-55% weight reduction

Otherwise → Cost (~\$2-8/lb-saved)

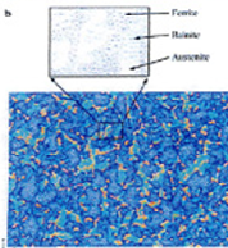
- Insufficient strength in conventional automotive alloys
- Limited room temperature formability in conventional automotive alloys
- Difficult to join/integrate to incumbent steel structures



**Advanced High Strength Steel**

15-25% weight reduction →

- Inadequate structure/properties understanding to propose steels with 3GAHSS properties
- Insufficient post-processing technology/understanding
- What other relevant properties should be considered? Hydrogen embrittlement, local fracture, etc.



Choi et al., Acta Mat. 57 (2009) 2592-2604

**Carbon Fiber Composites**

When it "works" → 30-65% weight reduction

Otherwise → Cost (~\$5-15/lb-saved)

- High cost of carbon fiber (processing, input material)
- Joining techniques not easily implemented for vehicles
- Difficult to efficiently model across many relevant length scales



図Ⅲ-2.8.1-7 技術動向調査（米国 DOE プロジェクト）

③FS 課題抽出・ステアリング委員会開催

上記（3）. ①技術分野分科会活動において協調課題の抽出を行い、その中から課題の喫緊性、分野間への展開可能性等を鑑みて、平成 27 年度より中性子線利用技術（鉄鋼）と接着技術（接合）を FS 研究としてスタートすることとした。課題の概要を図Ⅲ-2.8.1-8、図Ⅲ-2.8.1-9 に示す。

中高温域での材料組織制御技術の確立が重要なポイント

（間接的確認）→ 直接的確認



組織解析結果（常温） → 実製造プロセス（高温）

↑ 定性 → 定量

製造プロセスシミュレーション

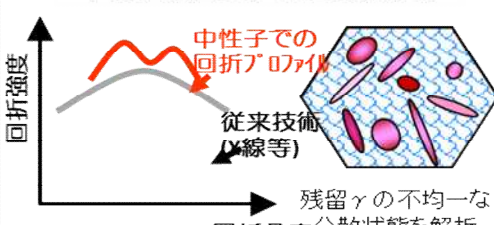
局所とマクロ組織の高温特性に関する定量データの取得が材料開発のキーポイント

中高温域での新たな材料組織挙動の解明に資する材料工学的な定量計測データを取得できる体制の構築

- 中炭素鋼の中高温域組織変化のその場観察装置の開発
- ミクロ局所とマクロ平均計測値の融合とマルチスケール科学

中性子線によるマクロ領域解析

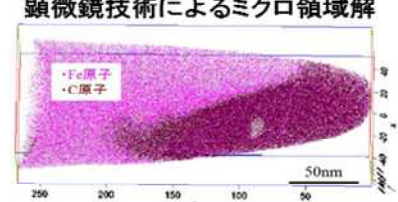


中性子での回折プロファイル

従来技術（X線等）

残留γの不均一な回折角度分散状態を解析

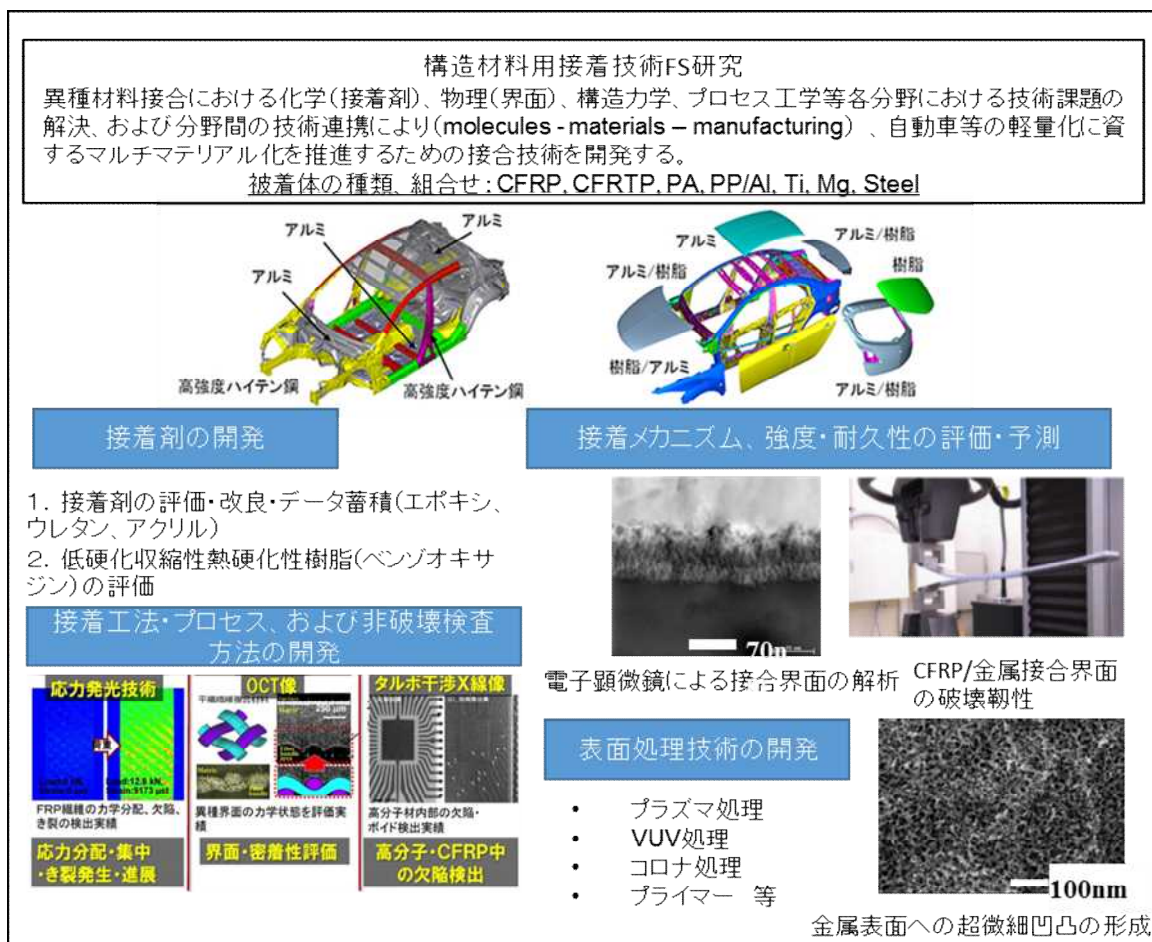
顕微鏡技術によるミクロ領域解



個々の組織における組織を解析

図Ⅲ-2.8.1-8 電子線・中性子線等の活用によるマクロ・ミクロ組織定量化





図Ⅲ-2.8.1-9 構造材料用接着技術

これら FS 研究は、平成 27 年度に研究課題を絞り込み、28 年度以降予定している本研究に向けた実施内容の提案を行う。また、前記ステアリング委員会を設置し、研究進捗の確認、市場ニーズとの整合性、海外技術動向調査によるベンチマーキング等を通して本研究に向けた課題の絞り込みの精査を行う。

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.1-8 論文、外部発表等の件数（内訳）

【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会への出展	受賞	フォーラム等※
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	プレス発表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.1-9 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.8.2[テーマ番号 30] 技術動向調査分析

### 2.8.2.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

【平成 25、26 年度】

革新的新構造材料等技術開発に関係する接合技術や構造材料の技術開発の現状および今後の動向について調査・分析を行い、関連技術開発の最新の現状を把握すると共に、今後の方向性を分析し、本プロジェクトの研究開発成果の適用先探索や今後取るべき方針や戦略の構築に有益な情報を提供することを目的とする。

【平成 27 年度】

革新的新構造材料等研究開発に関する技術分野の中で「金属材料の接合技術および周辺領域」を中心に重要技術課題に関する詳細な調査を実施し、関連技術の最新状況を把握すると共に、今後の方向性を分析し、本プロジェクトの研究開発成果の適用先探索や今後取るべき方針や戦略の構築に有益な提言を行うことを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.8.2-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
技術動向調査	金属同士の接合技術の第二中間目標達成に関する提言	(本事業後期 5 年計画の技術開発戦略策定への提言)	(次期プロジェクトとロードマップ策定への提言)	

#### (3)全体計画

平成 25 年度は、調査分野を下記 4 分野として実施した。

- A：接合技術(金属材料同士)
- B：接合技術(金属材料／CFRP)
- C：CFRP(特に自動車用、熱可塑性)
- D：金属材料(鉄鋼、チタン、アルミ、マグネシウム)

平成 26 年度は、上記 A、B、C の 3 分野について、平成 25 年度に実施した上記の広範囲な調査結果に基づいて抽出された重要技術に関して、その内容の詳細を調査すると共に、実用化の進行状況と課題について明らかにする。また、平成 25 年度において調査した内容について、調査対象期間に関して直近 1 年間を追加して最新情報の調査を実施した。また、一部特定課題についても調査を実施した。

平成 27 年度は革新的新構造材料等研究開発事業における「金属材料の接合技術および周辺領域」に関する技術課題の調査を実施する。金属材料同士の接合技術とその構成材料等の周辺技術を対象を絞り、平成 26 年度に実施した重要課題に関する詳細な調査結果をベースに、本プロジェクト内外の研究機関やメーカーの専門家から技術開発と実用化の状況に関する意見聴取を行い、当該分野の今後の技術開発の方向性に関するまとめと提言を行う。

#### (4)実施体制

本テーマは新構造材料技術研究組合（本部）が 1 機関に必要な研究開発を再委託して実施する。

#### (5)運営管理

3ヶ月程度毎に ISMA、NEDO、METI への進捗報告を行い、討議を実施している。

#### (6)実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

入手した技術情報を整理すると共に、進捗報告と提言により ISMA 技術企画部他への結果のフィードバックを行い、研究開発の方向性の確認や見直しに活用された。

### 2.8.2.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.2-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成度 ※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
技術動向調査分析	金属材料同士の接合技術および周辺技術の調査と技術開発の方向性・戦略に関する提言 (第二中間目標達成に関する提言)	金属材料同士の接合技術、金属材料/CFRP、CFRP 材料(熱可塑性)について重要課題を抽出すると共に技術開発のベンチマークを実施。 (平成 25,26 年度)	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### (2)研究開発の成果と意義

##### ①技術調査対象分野と調査方法

技術動向調査は平成 25 年度と 26 年度は、表Ⅲ-2.8.2-3 に示す分野およびテーマについて実施した。また、調査方法としては、表Ⅲ-2.8.2-4 に示すように特許・文献による調査に加え、学協会・講演会等への参加や国内関係先へのヒアリング等により調査を実施した。

表Ⅲ-2.8.2-3 技術調査分野とテーマ

分野・テーマ	H25年度	H26年度
1. 接合技術(金属材料同士)	◎	◎
2. 接合技術(金属材料/CFRP材料)	◎	◎
3. CFRP材料(特に自動車用、熱可塑性)	◎	◎
4. 構造用金属材料(鋼板、チタン、アルミニウム、マグネシウム)	◎	
「軽量化を目的とした自動車のマルチマテリアル化の現状」		◎

表Ⅲ-2.8.2-4 技術調査方法

1. 特許調査:用途、対象期間を特定して他の調査と重複を回避
2. 文献調査:重要課題抽出→技術レベルのベンチマークを実施
3. 学協会関係の調査(関連学協会のロードマップ調査含む)
4. 専門家へのヒアリング

以下、金属材料同士の接合技術、金属材料／CFRP 材料の接合技術および CFRP 材料(熱可塑性、自動車用途)、構造金属材料分野について、成果の概要を記述する。

#### ②金属材料同士の接合技術

金属-金属接合としては、従来から多くの種類の接合方法が存在するが、本プロジェクトがターゲットとしている自動車の軽量化の目的においては、特に高強度・高性能材料の接合および異材接合時の接合継手強度の確保が極めて重要となる。この2つの目的に合致する接合方法としては、接合時に溶融部が生成しない固相接合法が適している。固相接合法として近年特に注目されているのが摩擦攪拌接合（FSW：Friction Stir Welding）である。また、最近ではFSWの点接合技術に応用させたFSSWや表面改質プロセスに応用させたFSPについても注目されている。

FSWは英国のTWIにおいて発明された技術であり、Al合金やMg合金等に関して、既に電車車両や自動車用途において実用化が達成され、工業的にも確立された技術となっている。また、FSWは日本国内で権利化されていたTWIの基本特許2件が平成27年1月に有効期間満了となり、その点からも今後発展が加速する可能性がある。

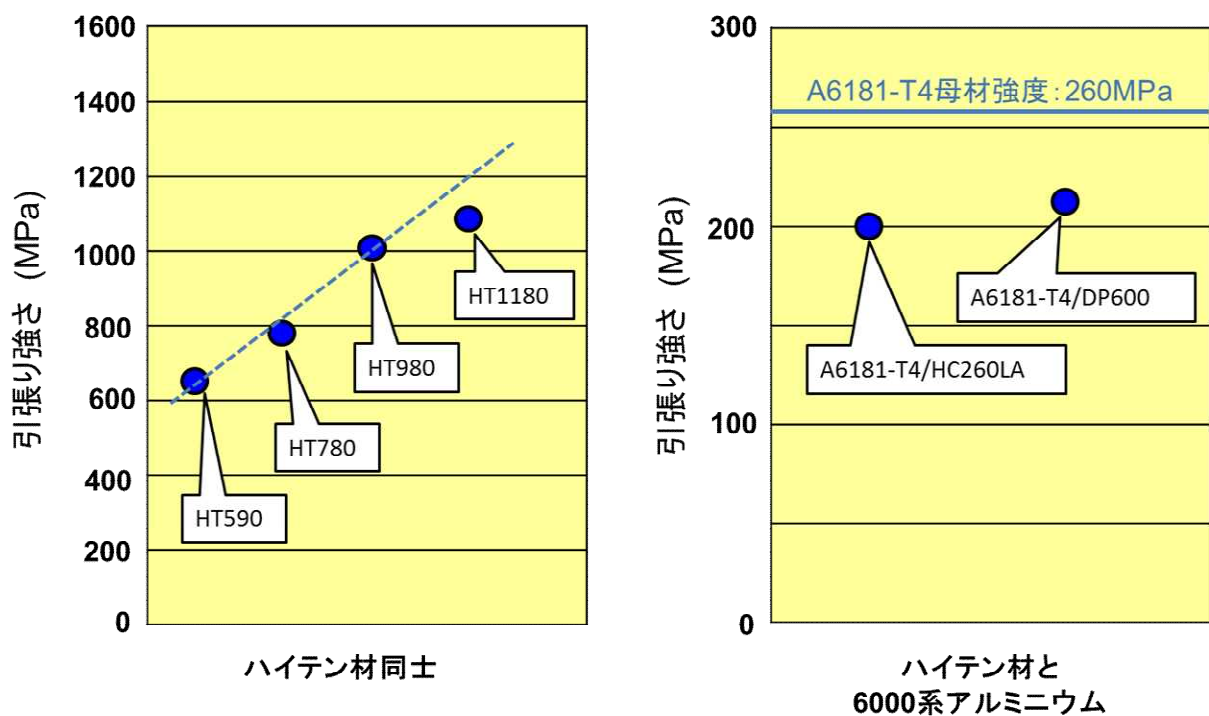
一方の鉄鋼材料やチタン合金のような高融点金属やそれとの異材接合に関しては、未だ工業的には技術が確立されていない。図Ⅲ-2.8.2-1に調査結果から得られたハイテン材同士およびハイテン/Al合金のFSW継手の引張強さを示す。ハイテン同士の接合技術に関しては、研究開発段階のデータではあるが、980MPa級までは母材と同等の継手強度が得られているが、それ以上の強度になると母材強度を下回っている。また、ハイテンとAl合金の接合においてもAl合金が高強度である6000系等のAl合金の場合には母材と同等の強度は得られていない。



また、高融点金属の FSW 技術の確立においては、低コストで耐久性に優れたツール用材料の開発が重要な鍵を握っている。FSW に関する今後の重要な課題として、次の 3 点が挙げられ、これらの課題は同時に本プロジェクトの中でも積極的に取り上げて開発すべき課題である。

- 高強度材接合や異材接合における強度不足、
- ツール材料の耐久性向上と低コスト化
- ツール寿命評価手法確立と寿命支配因子解明

平成 27 年度における技術調査は「金属材料同士の接合技術およびその周辺技術」を中心に実施しており、FSW については上記の課題に関係する研究および技術開発の現状と課題克服の可能性について検討する予定である。一方、FSW 以外にも MAG 溶接やレーザー溶接等の従来からある各種接合技術についても、本プロジェクトの用途に係わる分野への適用に関する開発状況についても併せて調査を進めている。



図Ⅲ-2.8.2-1 ハイテン材同士およびハイテン/Al合金の FSW 継手の引張強さ

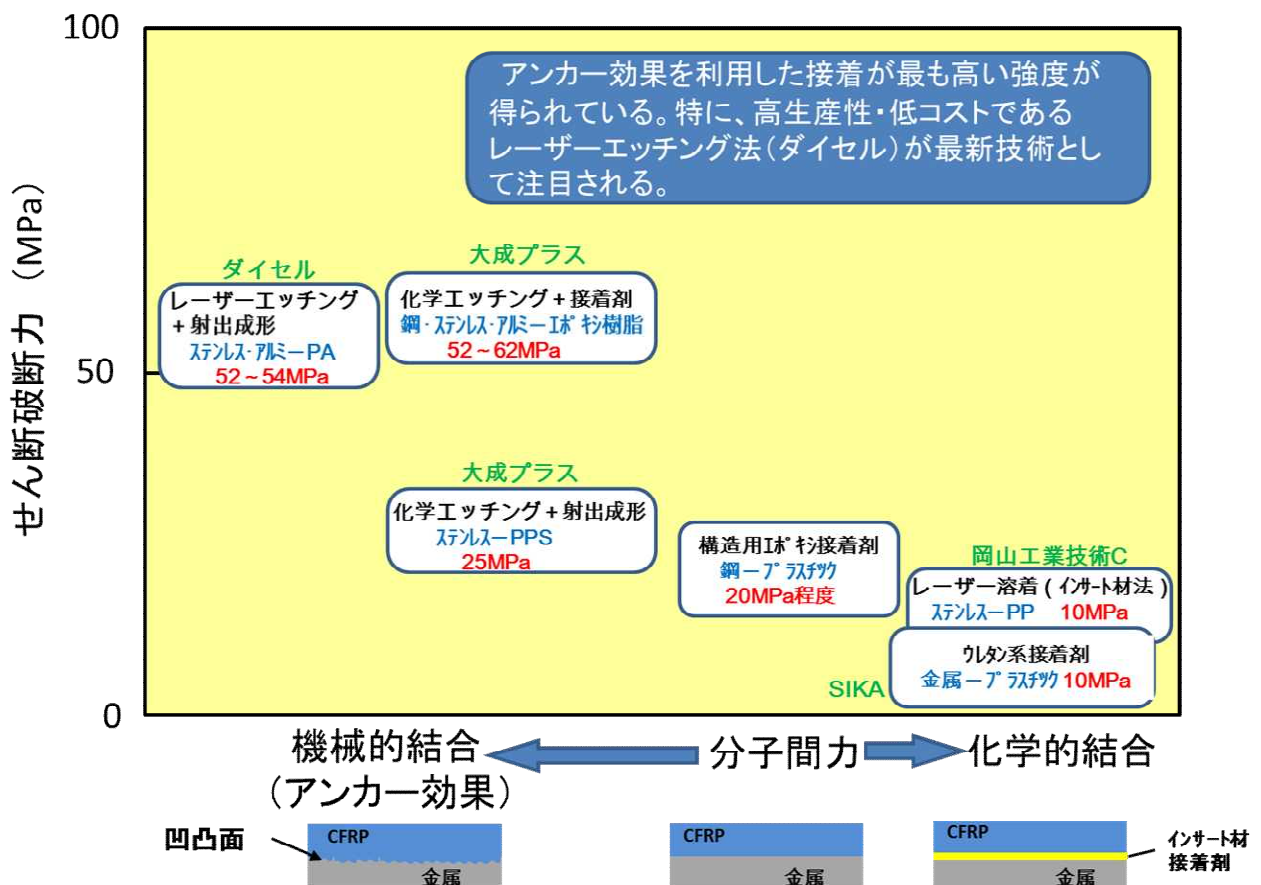
### ③金属/CFRP 材料の接合技術

金属/CFRP 材料の接合に関する将来技術としては、「高信頼性接着」および「熱影響の小さい溶着技術」が挙げられる。接着・溶着いずれも金属と樹脂（接着剤、インサート材含む）の界面の結合形態が重要となる。一般に通常の接着・溶着は分子間力結合であるが、結合力は小さい。これに対し、界面に凹凸を付与しアンカー効果によって結合力を向上させる方法と、極性基を付与して化学的に結合力を向上させる方法が挙げられる。それぞれの結合形態と得られる接合強度（せん断破断力）との関係を図Ⅲ-2.8.2-2 に示す。

アンカー効果を利用した接合が最も高い接合強度が得られている。これに対し、化

学的結合では極性基を付与することにより接着剤もしくはインサート材そのものの強度がネックとなり、接合強度は低くなっていると考えられる。

アンカー効果のための凹凸面付与方法として、高生産性・低コストであるレーザーによるエッチング法（ダイセル）が最新技術として注目される。レーザー等を用いた「熱影響の小さい溶着」とアンカー効果との組み合わせが一つの有力な手段になると考えられる。



図Ⅲ-2.8.2-2 金属/樹脂（接着剤・インサート材含む）界面の結合形態とせん断破断力

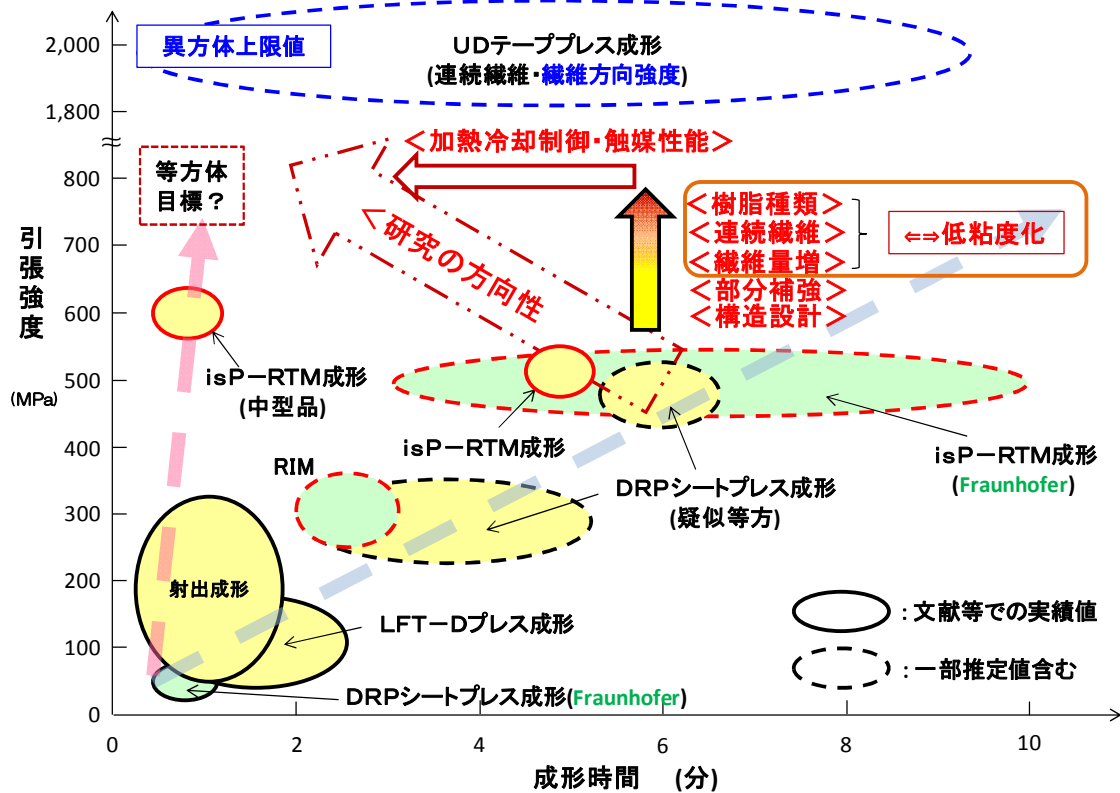
④CFRP 材料(熱可塑性、自動車用途)

熱可塑性 CFRP (CFRTP) に関する調査の主な内容は、「成形時間と CFRTP の強度 (引張強度主体)」であり、両者の関係を図Ⅲ-2.8.2-3 に示す。

一般に LFT-D 成形法や DRP 成形法は不連続繊維 (短繊維・長繊維) を使用し Vf が 30%程度であるため、CFRTP の引張強度は高くはない。一方、isP-RTM 成形法は、連続繊維を使用するため、引張強度は高い。成形時間では、LFT-D 成形法は短時間成形が可能である。また、isP-RTM 成形法は低粘度のモノマー (熱可塑性樹脂粘度の 1/1000 程度) を重合させて使用するため、1 分程度の成形が可能である。

短時間成形かつ高強度品を得るためには、連続繊維を使用し Vf を高め、かつ熱可

塑性樹脂の低粘度化が必要である。特に樹脂の低粘度化が重要であるが、国内では新規樹脂の研究開発を実施しているところはなく、この観点からすれば低粘度のモノマーを使用する isP-RTM 成形法は有望な技術の一つと考えられる。



図III-2.8.2-3 熱可塑性 CFRP の各種成形方法の成形時間と引張強度との関係

### ⑤ 構造用金属材料

本事業の対象構造用金属材料である鉄鋼、チタン合金、アルミ合金およびマグネシウム合金について調査を実施した。高張力鋼開発においては、日本はドイツや韓国とは異なり、中 Mn 鋼ベースの開発に移行している。チタン合金は、コスト低減のためのプロセス開発が最優先課題である。アルミ合金はコスト低減と接合技術開発が自動車分野では重要課題になっている。また、マグネシウム合金は、自動車分野においては車体よりもエンジン向けの開発が主流となっており、成形性の改善が大きな課題である。

(3)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.2-5 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	1	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	2	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	3	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(4)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.2-6 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.8.3 [テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査

### 2.8.3.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

軽量・高強度を実現する革新構造材料として、炭素繊維強化の高分子複合材料には大きな期待が寄せられ、精力的な研究開発が行われている。しかしながら、極めて高い性能が要求される自動車用途では、未だ金属材料等の代替は一部に限られている。そして、次世代を担う高分子複合材料の本格的活用には、高性能マトリックス樹脂、フィラー素材・分散化プロセス、異種材料接合制御、複合材料の評価技術などの研究開発が不可欠である。高分子学会では、実用化に向けた高分子複合材料技術開発を動向調査に関して、熱可塑性樹脂、異種材料接合技術、新規技術（樹脂ガラスやセルローズナノファイバーなど）、および、海外技術動向を主体に調査を実施し、現在の課題を明確にし、本格的な研究開発に向けた戦略方針を得ることを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

表Ⅲ-2.8.3-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
熱可塑性樹脂複合材料に関する調査	マトリックス材料としての最近の動向および課題抽出			
炭素繊維および新規フィラーに関する調査	CF 表面処理剤の動向および課題抽出 およびセルローズナノファイバーの動向調査			
異種材料接合に関する調査	CFRP と金属などの接合技術に関する調査を実施し、マルチマテリアル化の技術動向を調査			

#### (3)全体計画（委託期間 平成 25 年~27 年）

平成 25 年度 CFRP の構造評価技術およびバイオフィラーの調査

平成 26 年度 CFRTTP に着目した技術動向および特許調査、海外動向調査

平成 27 年度 CFRTTP の異種接合技術調査、低コスト化に関する技術調査

#### (4)実施体制

本テーマは新構造材料技術研究組合（本部）が 1 機関に必要な研究開発を再委託し

て実施する。

### (5) 運営管理

高分子複合材料技術開発動向調査委員会（委員長 西野孝）では、本調査領域の専門家（大学および企業）を委嘱し、調査内容の信頼性を主として検討する。また、本調査領域に関係するテーマを研究会において設定し、有識者の講演や個別面談において情報収集することで調査内容に反映させる体制で実施する。調査全般に関しては、業務管理者が調査活動を把握・指導し、また、技術情報を集約し報告書としてまとめる。

### (6) 実施の効果（費用対効果、費用・売上・CO<sub>2</sub>削減・省エネルギー等@2030年度）

本技術動向調査により自動車用途へのCFRPの展開の可能性について現状認識と共に課題抽出を行い、国内の関連プロジェクトへの情報提供は価値が高い。

## 2.8.3.2 研究開発成果

### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.3-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
熱可塑性樹脂複合材料に関する調査	マトリックス材料としての最近の動向および課題抽出	CFRTPの自動車用途展開について可能性と課題を集約した。	○	
炭素繊維および新規フィラーに関する調査	CF表面処理剤の動向および課題抽出およびセルロースナノファイバーの動向調査	熱可塑性樹脂をマトリックスにした際のCF表面処理の必要性、および、セルロースナノファイバーの開発状況を集約	○	
異種材料接合に関する調査	CFRPと金属などの接合技術に関する調査を実施し、マルチマテリアルの技術動向を調査	接着剤を使用しない接合技術の初期調査を実施した	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達



## (2)第二中間目標の達成可能性

表Ⅲ-2.8.3-3 第二中間目標の達成可能性

研究開発項目	現状	第二中間目標 (平成 29 年度末)	達成見通し
熱可塑性樹脂複合材料に関する調査	平成 26 年度に樹脂に関する中間報告書を作成		新たな開発情報を追記し、平成 27 年度において最終報告として完成する。
炭素繊維および新規フィラーに関する調査	平成 26 年度にフィラーに関する中間報告書を作成		炭素繊維の低コスト化技術動向を追記し、平成 27 年度において最終報告として完成する
異種材料接合に関する調査	平成 26 年度に接合技術の予備調査を実施		接合技術に関する詳細情報を調査し、平成 27 年度において最終報告として完成する

## (3)研究開発の成果と意義

CFRP の自動車用途展開の現状を認識することは、CFRP の開発のみならず競合する鋼板などの技術開発においても必須である。本調査では、研究段階から実用化の技術まで幅広く情報を収集すると共に、競争が激しいこの領域での公開された特許を解析することによりメーカーの技術開発状況を把握するものである。また、複合材料や自動車の展示会を通じて、国内外の情報を集約しあわせることにより、自動車の軽量化に関連する研究開発戦略および事業戦略に資することが可能となる。具体的には、平成 26 年度までの調査の成果概要を下記に示す。

熱可塑性樹脂を用いた CFRTP では、機械的性質、成形性等に加え、コストの観点から、ポリプロピレンおよびナイロン 6 が一般的に用いられている。ポリプロピレンの場合、分子内に極性基を有しないため、炭素繊維表面との共有結合や水素結合を作ることができないため界面接着が課題となる。そこで、炭素繊維に付与するサイジング剤の開発や変性ポリオレフィン樹脂の開発が行われている。一方、自動車用 CFRTP の成形プロセスでは、熱可塑性樹脂の特徴を活かしてプレス成型が適用でき、熱硬化性樹脂のようにオートクレーブなどが必要ない。プレス成型する炭素繊維の基材の形態は、積層板、プリプレグなどである。積層板は、炭素繊維と樹脂を重ね合わせ、高温でプレスして平板状にした材料である。プリプレグとしては、炭素繊維を一方向 (UniDerection) に揃えた繊維を揃えて樹脂を含浸させた UD テープや平織や綾織の織物に樹脂を完全に含浸したシートが用いられている。また、短繊維と樹脂を含浸させ、短繊維の方向をランダムにしたシートもある。他方、熱硬化型でも加工技術の開

発も行われ、三菱レイヨンでは、チャレンジ社が開発した量産成形技術である PCM 法を導入している。

一方、熱可塑性複合材料では、従来のボルトやカシメを用いたリベット締めなどの機械的接合の代替技術として、レーザー直接接合、超音波溶着、摩擦攪拌接合などの技術が注目されている。さらに、自動車の窓ガラスを代替する樹脂グレージングは、ガラスに比べて重量を軽減できるメリットがあると共に、耐衝撃特性が高く、自由度の高いデザインを射出成形によって実現できる特徴を有している。現在、ポリカーボネートが主として使用され、SABIC や帝人が市場展開を行っている。

#### (4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.3-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	1
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

#### (5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.3-5 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約



## 2.8.4 [テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査

### 2.8.4.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車や航空機などに今後中長期的に求められる構造材料等の在り方を展望した上で、接合技術及び個別材料技術の研究開発の方向性や目標、新たな研究開発分野などを設定する。接合、非鉄、鉄鋼、CFRP 各分野の専門家により共通基盤技術となる課題の先導研究を実施し、プロジェクト現行テーマへの適用および新規テーマの創出を図る。また、元素戦略・SIP 等関連プロジェクトとの連携を図り、研究開発の活性化・効率化を図る。

#### (2)位置付け、目標値

接合、非鉄、鉄鋼、CFRP 各分野の専門家により共通基盤技術となる課題の先導研究を実施し、プロジェクト現行テーマへの適用および新規テーマの創出を図る。また、元素戦略・SIP 等関連プロジェクトとの連携を図り、研究開発の活性化・効率化を図る。

表Ⅲ-2.8.4-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
共通基盤技術の研究調査	構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針の提言、実用化に向けた課題の抽出等を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。	同左	同左	プロジェクトにおいては、必要に応じて材料分野個別毎・分野横断的双方での研究課題・体制の見直しが不可欠であり、定常的な調査、およびそれに基づく研究戦略の策定が肝要である。

#### (3)全体計画

接合、非鉄、鉄鋼、CFRP 各分野の専門家により共通基盤技術となる課題の先導研究を実施し、プロジェクト現行テーマへの適用および新規テーマの創出を図る。具体的には、研究開発項目を、1) 革新的新構造材料、2) マルチマテリアル設計、3) 材料と破壊の基礎科学、4) 検査・診断技術 に細分化し、プロジェクト推進テーマ（分担研）との連携を明確にすると共に、分野横断的なテーマの創出を図る。

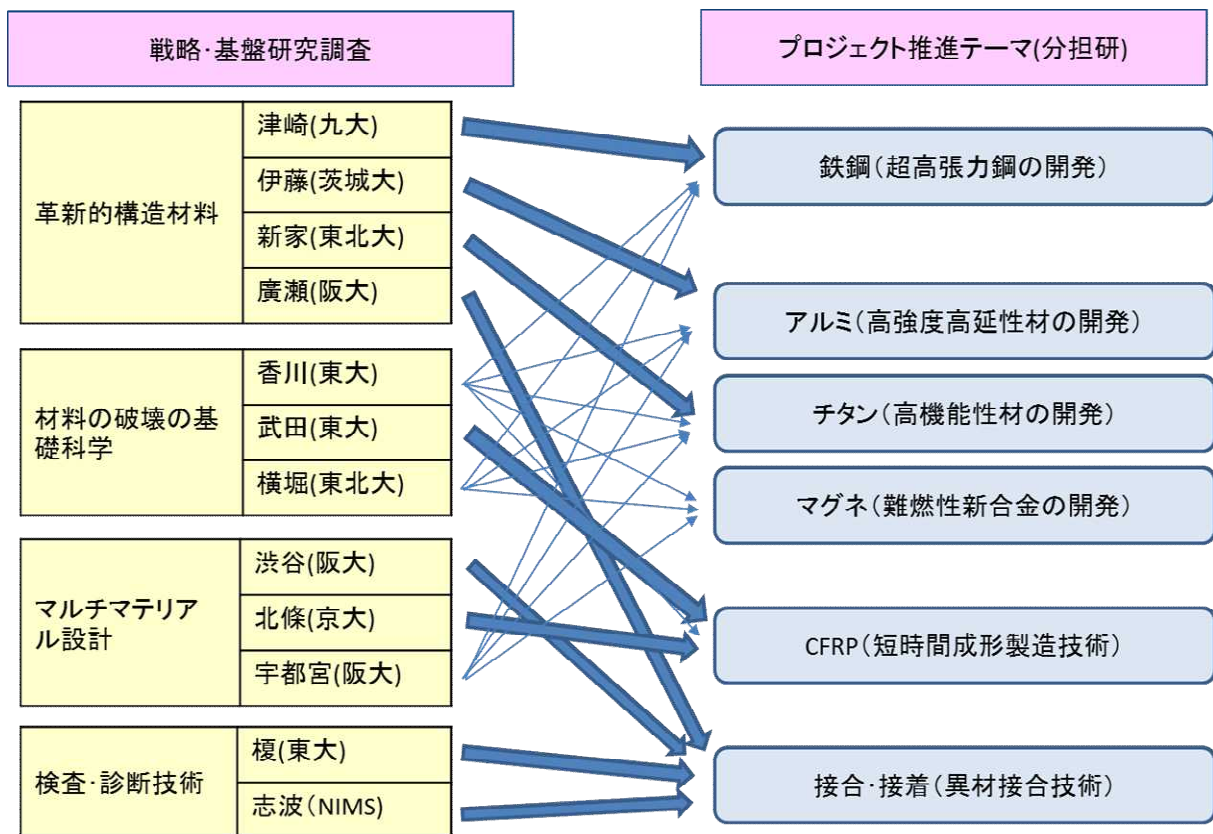
#### (4)実施体制

表Ⅲ-2.8.4-2 および図Ⅲ-2.8.4-1 に研究テーマ概要およびプロジェクト推進テーマとの関連性を示す。図Ⅲ-2.8.4-1 において関連付けを示す太い矢印は、単一分野に関連したもの、細い矢印は、幾つかの分野に跨って関連付けられることを示す。

表Ⅲ-2.8.4-2 研究テーマ概要

研究開発項目		テーマ概要	担当
材料WG	①検査・診断技術 -プロセスモニタリング/ヘルスマニタリング	信頼性確保のための新規プロセスモニタリング技術の開発	榎学 (東京大学)
	②革新的新構造材料 -鉄鋼材料	疲労強度と延性・韌性に優れた高強度TWIP鋼の開発	津崎兼彰 (九州大学)
	③革新的新構造材料 -アルミ合金材料	7000系、2000系Al合金の疲労特性に関する基礎的研究	伊藤吾朗 (茨城大学)
	④革新的新構造材料 -チタン材料	金属粉末射出成形法を用いたTi-Mn系高強度チタン合金の開発	新家光雄 (東北大学)
	⑤革新的新構造材料 -接合プロセス	異材接合継手の強度発現機構の基礎的研究	廣瀬明夫 (大阪大学)
	⑥マルチマテリアル設計 -複合構造	CFRP系複合材料の積層微視構造が構造要素の強度に及ぼす影響の研究	北條正樹 (京都大学)
研究開発項目		テーマ概要	担当
構造WG	①マルチマテリアル設計 -継手構造	マルチマテリアル化における軽量材料の最適配置及びその最適境界形状を求める設計手法の開発	渋谷陽二 (大阪大学)
	②材料と破壊の基礎科学 -複合材料	CFRP表皮サンドイッチ構造の衝撃損傷モデリングと損傷低減手法の開発	武田展雄 (東京大学)
	③材料と破壊の基礎科学 -材料界面	界面破壊機構における剥離先端部の局所塑性変形の影響検討	香川豊 (東京大学)
	④マルチマテリアル設計 -塑性加工	塑性加工プロセスによるポアラス金属表面への緻密層形成による特性改善の研究	宇都宮裕 (大阪大学)
	⑤材料と破壊の基礎科学 -金属材料	水素環境下での自動車部品材の構造強度保証技術の開発および自動車溶接部の非破壊損傷計測と余寿命評価法の確立	横堀壽光 (東北大学)
	⑥検査・診断技術 -接合部の非破壊評価	CFRP/金属接合部を対象とした非破壊評価法の開発	志波光晴 (物材機構)

\*平成 26.9 より材料 WG に小関敏彦（東京大学）、鳥塚史郎（兵庫県立大学）が参画



図Ⅲ-2.8.4-1 研究調査と推進テーマとの関連

### (5) 運営管理

研究調査委託先研究者は、テーマ 29「新構造材料の技術・研究戦略」における戦略・基盤専門委員会委員としても委嘱を行っている。これは、プロジェクト研究戦略の策定を行う上で、各分担研での技術ニーズと研究者シーズの擦り合わせや推進テーマとの関連付けがより円滑に行われることを意図している。

## 2.8.4.2 研究開発成果

### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.4-3 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成度 ※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
共通基盤技術の研究調査	構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針の提言、実用化に向けた課題の抽出等を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。	戦略・基盤分科会との連携により、研究調査内容のプロジェクト内への展開や新技術の提言を行った。また、関連他省プロジェクト（元素戦略、SIP）との連携を進めた。	○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

## (2)研究開発の成果と意義

以下に、研究調査成果の概要をまとめる。

### ① 榎学（東京大学）

#### i 研究者名/研究テーマ名

榎学/信頼性確保のための新規プロセスモニタリング技術の開発

#### ii 研究の目的

接合や表面処理後の材料の信頼性を確保するためには、従来には無いマテリアルプロセスモニタリングが重要である。本研究においては、プロセスモニタリング装置を開発することにより、難接合性の Mg 合金/Al 合金異種材料 FSW および鉄鋼材料 FSW のモニタリングへ適用を目指した。

#### iii 成果の概要

AE 波形のノイズフィルタ処理を多チャンネルでもリアルタイムに行えるようにするため、GPU（Graphics Processing Unit）を利用した多並列演算を導入し、さらに GPU の特性の理解に基づいた処理の最適化を行った。より高速な PCI Express バス規格に対応した GPU を利用することで、大規模な AE 計測でも十分リアルタイム処理が行えるようになった。また、AE 事象のリアルタイム位置標定では、波形の立ち上がりの検出を高精度かつ自動的に行う必要がある。本研究では 2 つのピークがあった場合には後の A0 波を選択的に検出するよう波形処理を改良し、ノイズレベルによらず全チャンネルで A0 波による立ち上がりを検出し、精度良く自動位置標定が行えるようになった。

S45C 板材の FSW を接合開始から 10 分程度 AE モニタリングした。試料は長さ 200 mm × 幅 50 mm × 厚さ 2.0 mm の平板 2 枚を長辺で付き合わせたものである。図 III-2.8.4-2 に結果の一例を示す。図の横軸は時刻、縦軸は接合線上の位置を示しており、接合位置は右上がりの線、各 AE 事象はバブルとして表示される。時刻 0 s は接合開始を示している。良好な接合が行えた場合は殆ど AE 事象が検出されな

かったが、本例では多数の AE 事象が検出された。この AE 計測と断面観察の結果から、数秒遅れの AE 事象は接合後に裏板への放熱で急冷された材料がマルテンサイト変態した際の高速な体積変化にともなう弾性波を検出したものであることが

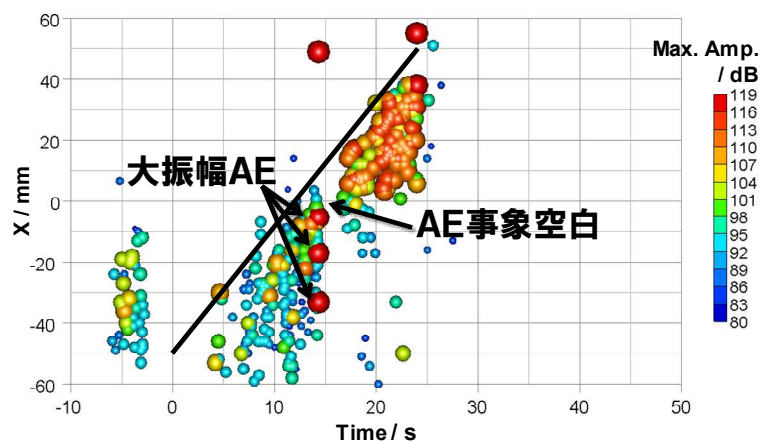


図 III-2.8.4-2 鋼材の FSW における AE 事象

推定された。AE 法を用いたことで時刻と位置の情報がリアルタイムに得られた。

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

FSW を含む異種材料接合技術は、構造物のマルチマテリアル化を進める上で非常に重要な技術である。しかし、接合の際にどうしても欠陥が生じ易いため、接合部の材料および構造物の信頼性を確保することが重要である。これらの接合技術を工業的に実用化し、イノベーションにつなげるためには、本研究の成果を含むプロセスモニタリング技術のさらなる高度化が不可欠であると考えられる。

#### ② 津崎 兼彰（九州大学）

##### i 研究者名/研究テーマ概要

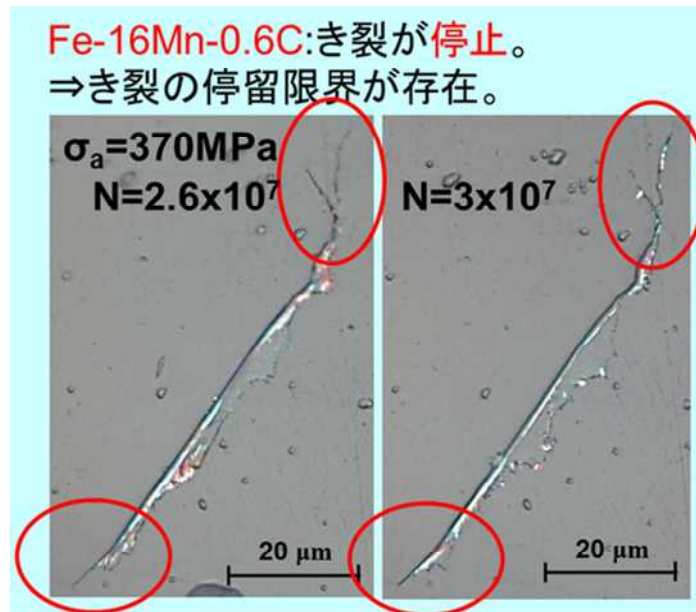
津崎兼彰/疲労強度と延性・靱性に優れた高強度 TWIP 鋼の開発

##### ii 研究の目的

文部科学省元素戦略プロジェクト「構造材料元素戦略研究拠点」(ESISM) との連携を取りながら、自動車および輸送機器の軽量化に貢献する新規の高強度鉄鋼材料に関する研究開発および調査を行う。

##### iii 成果の概要

開発研究においては、疲労強度と破壊靱性に優れた材料のものづくり技術を対象とし、自動車用の新しい高強度鉄鋼材料として注目されている変形双晶誘起塑性高強度鋼 (**T**winning -**I**nduced **P**lasticity ; TWIP 鋼) の疲労特性に注目した。Fe-30Mn-3Si-3Al 鋼に加えて、炭素を含む Fe-16Mn-0.6C 鋼を対象として、回転曲げの疲労試験を実施し疲労寿命を取得するとともにレプリカ法を用いてき裂の発生進展挙動を観察した。その結果、Fe-30Mn-3Si-3Al 鋼では疲労限が存在せず、停留き裂も認められなかった。これに対して、Fe-16Mn-0.6C 鋼では明瞭な疲労限が存在し停留き裂が観察された (図 III-2.8.4-3)。FCC オーステナイト鋼での疲労限の存在は注目される発見であり、き裂先端での拡張転位のすべり運動と炭素の相互作用が重要な働きをしていることが示唆された。また TWIP 鋼の変形双晶挙動について基礎的知見を得るために、変形双晶に及ぼす炭素の影響を検討した。



図Ⅲ-2.8.4-3 Fe-16Mn-0.6C で認められた停留き裂（レプリカ法）

iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

ESISM の元素戦略的研究の知見を活用しつつ、平均的な材料強度の向上を一步進めて金属材料の部材強度の向上につながる材料強化法の調査を行った。具体的には、「疲労き裂の進展を支配するき裂先端での交互すべり変形の様式（プラストン）の制御」について、すべり素過程が変形双晶やマルテンサイト変態の場合の先行研究について調査した。さらに自動車材料にとって疲労と並んで重要課題である水素脆化についての文献調査を行い、き裂の発生と伝播における整合  $\Sigma 3$  双晶界面の重要性が新たな研究課題として注目され始めていることを示した。これより ISMA プロジェクトでのマイクロ組織と特性関係の解明においても、時間依存型損傷を解明するためには「変形素子と界面」が今後の研究開発のキーワードとなることを提言した。

③ 伊藤 吾朗（茨城大学）

i 研究者名/研究テーマ名

伊藤吾朗/2000系、7000系 Al 合金の疲労特性に関する基礎的研究

ii 研究の目的

比強度・加工性に優れ、複合材料に比べて低コストなことから、アルミニウム合金は今後も輸送機器分野において主要な構造材料として用いられると考えられる。しかし、一般にアルミニウム合金は、鉄鋼材料に比べて疲労特性に劣る。特に 7000 系合金は、アルミニウム合金中で静的強度が最も高いにもかかわらず、疲労特性に劣るので、航空機において、圧縮疲労荷重を受ける主翼上面外板や胴体の桁材などの一部にしか用いることができない。そこで引張疲労負荷のかかる部材には、7000 系合金よりも低強度であるが疲労特性に優れた 2000 系合金<sup>1)</sup>が使用されている<sup>2)</sup>。



一般的には、静的強度と疲労特性は比例関係にあるといわれている<sup>3)</sup>ので、この両合金の疲労特性の差の原因は、解明すべき課題であるが、関係研究がほとんどなされていない。本研究では、7000系合金が水素脆化にきわめて敏感である一方で、2000系合金は鈍感である<sup>4)</sup>こと、および疲労も水素脆化も時間を要する現象であることから、7075 および 2024 と同等の強化元素を含む両系合金（調質はそれぞれ T6 および T4）の疲労き裂進展挙動に及ぼす試験環境および合金組成の影響を調査した。

### iii 成果の概要

疲労き裂進展試験の結果、比較的高い  $\Delta K (=14.5\text{MPa}\sqrt{\text{m}})$  で比較すると、7X（強化元素のみからなる 7000 系合金）の湿潤大気（MA）中でのき裂進展が最も速く、7X の乾燥窒素環境（DNG）中、2X（強化元素のみからなる 2000 系合金）の MA 中、7075 合金の MA 中、2X-0.6Mn（2X に 0.6%Mn を添加した合金）の MA 中、2024 合金の MA 中、2X-0.03Mn（2X に 0.03%Mn を添加した合金）の MA 中の順にき裂進展が遅くなった。すなわち 2000 系より 7000 系のほうが進展速度が速いことが確認され、また 7X では、湿潤大気中よりも乾燥窒素環境のほうが進展が遅くなるこ

と分かる。き裂経路観察結果から、き裂経路を粒界と粒内に分類できることが分かり、全体のき裂長さに対する割合で定量的に評価した結果を図 III-2.8.4-4 に示す。粒界の割合は、水素脆化に敏感な 7X において、2000 系合金より高く、また DNG よりも MA のほうが高くなっている。このような結果は破面観察でも確認された。以上の結果から、7000 系合金の疲労き裂進展が 2000 系よりも

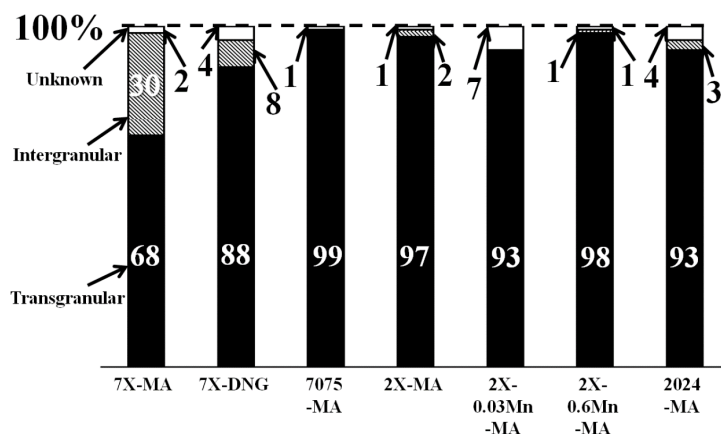


図 III-2.8.4-4 各試料、各環境でのき裂進展

速いことが確認され、それに水素脆化が関係していると推察された。

### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

今後、もっとも構造材料使用量の多い自動車分野においても、疲労特性が重要になると考えられ、本研究成果を自動車分野に応用する必要があると考えられる。接合（特に異材接合）においては、軽量金属（Al、Mg）では、電食が避けられず、これに伴う陽極溶解型、水素脆化型の応力腐食対策が必要になる。後者の場合、実際の部材では容易に判明しがたく、したがってこれに起因する疲労特性の低下も見逃ごされやすいと考えられる。今後、接合部での水素脆化・疲労の研究が重要となる。

#### ④ 新家 光雄（東北大学）

##### i 研究者名/研究テーマ概要

新家光雄/金属粉末射出成形法を用いた Ti-Mn 系高強度チタン合金の開発

##### ii 研究の目的

低コスト添加元素であるマンガン等の利用、金属粉末射出成型法等の溶解法に依らない製造プロセスの利用および加工熱処理等による微細組織制御の利用により、低コストかつ超高強度なチタン合金を実現する。

##### iii 成果の概要

金属粉末射出成型法を用いて  $\beta$  型 Ti-Mn 合金（マンガン含有量:8-17 mass%）を作製し、溶体化処理状態の微細組織および力学特性を評価した。

溶体化処理状態の各 Ti-Mn 合金の結晶粒直径および気孔率は、それぞれ約 100  $\mu\text{m}$  および約 6%であり、構成相は、 $\beta$  相、非熱的  $\omega$  相および炭化チタンであった。非熱的  $\omega$  相の体積率は、マンガン含有量の増加に伴う  $\beta$  安定度の増加に伴って減少することがわかった。

溶体化処理状態の各 Ti-Mn 合金の力学的特性として、引張特性および圧縮特性を評価した。引張特性では、Ti-9Mn 合金が最も良い強度－延性バランス（最大引張強さ：1050 MPa、0.2%耐力：980 MPa、伸び：5%）を示すことが明らかとなった。一方、Ti-13Mn 合金では、強度および伸びが低下した。引張試験後の破面解析から、マンガン含有量の増加にともない、破壊形態が延性破壊から脆性破壊へと変化することが明らかとなった。この脆化には、マンガン原子による固溶強化、気孔周囲における応力集中および炭化チタンの存在が影響を及ぼしていると考えられる。

各 Ti-Mn 合金の圧縮特性を評価した結果、各合金の圧縮ひずみは、Ti-6Al-4V 合金のそれより大きく、マンガン含有量の増加に伴い増加した。特に、Ti-12Mn、Ti-13Mn、Ti-15Mn および Ti-17Mn 合金は、40%以上の圧縮ひずみを示したことから、これらは極めて高い冷間加工性を有すると言える。マンガン含有量の増加に伴う圧縮ひずみの増加は、マンガン含有量の増加に伴う  $\omega$  相の減少に由来すると考えられる。

各 Ti-Mn 合金は、極めて高い冷間加工性を有することから、冷間圧延加工による微細組織制御により、引張強度の向上が期待できる。そこで、Ti-13Mn 合金に対して、圧下率 90%の冷間圧延を行った。

圧下率 90%の冷間圧延加工後の Ti-13Mn 合金の微細組織を調査した結果、冷間圧延加工後、気孔が消失することが明らかとなった。冷間圧延加工前後の転位密度を見積もった結果、 $0.12 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$ （加工前）から圧下率 90%の冷間圧延加工により  $2.8 \times 10^{15} \text{ m}^{-2}$  へと増加することがわかった。さらに、冷間圧延加工前後で顕著な  $\omega$  相の増加が認められたことから、冷間圧延加工により、変形誘起  $\omega$  相が形成されることがわかった。

圧下率 90%の冷間圧延加工後の Ti-13Mn 合金の引張特性を評価した結果、最大引張強さは 1.85GPa で、0.2%引張耐力は 1.82GPa であった。一方、冷間圧延加工前後で



伸びは大きく変化することなく、約 2%以下であった。冷間圧延加工による引張強度の大幅な増加は、転位密度の増加による加工硬化、気孔率の減少による応力集中の低減および炭化チタンと変形誘起  $\omega$  相による分散強化によると考えられる。冷間圧延加工後の Ti-13Mn 合金の引張強度は、既存チタン合金の中でもトップデータレベルの極めて高いものであり、本研究の目的である、低コストかつ超高強度なチタン合金の実現に大きく近づいた。

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

本研究で開発した Ti-Mn 合金は冷間加工性に優れており、かつ既存チタン合金の中でもトップデータレベルの極めて高い引張強度を有することから、次世代の構造用チタン合金として高い可能性を秘めている。本合金は、優れた冷間加工性つまり高い塑性加工性を有することから、塑性流動を利用した接合技術である摩擦攪拌接合との相性が良いと期待される。今後、摩擦攪拌接合による本合金同士あるいは本合金と他金属材料との接合技術の確立が重要だと考える。

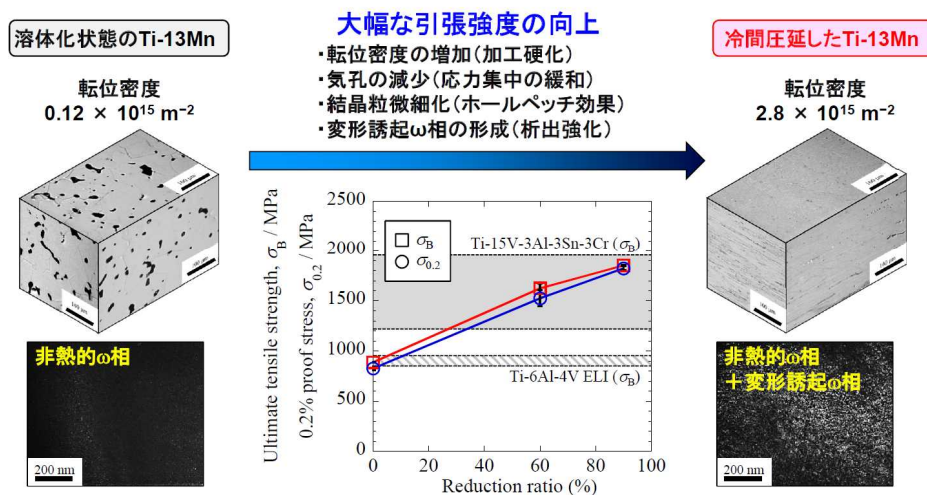


図 III-2.8.4-5 金属粉末射出成型法を用いて作製した Ti-13Mn 合金の冷間圧延前後の微細組織および引張特性

#### ⑤ 廣瀬 明夫（大阪大学）

##### i 研究者名/研究テーマ概要

廣瀬明夫/異材接合継手の強度発現機構の基礎的検討

##### ii 研究の目的

本研究は、自動車をはじめとする輸送用機器に適用される鉄鋼材料および非鉄材料の異材接合を対象に、車体構造や材料の組み合わせに応じた効果的な接合プロセスの提案を行う。具体的には、異材接合部の機械的特性、破壊形態を系統的に評価し、界面構造との対応から強度発現機構を明確化すると共に、シミュレーションにより異材接合部の変形・破壊特性を予測するための手法の構築を行うことを目的とした。

### iii 成果の概要

異材接合部の界面構造と強度発現機構の検討に関しては、摩擦プロセスを用いた接合とレーザブレイジングを対象に検討を行った。摩擦プロセスを用いた接合では、まず、A6061/SUS304 および HT780 の重ね FSW 継手において、Al 合金側からのツールの押し込み位置を適性に制御することで、良好な接合が達成された。接合界面では、脆弱な Al-Fe 系金属間化合物層をほとんど形成しておらず、このような接合部では Al 合金の母材強度以上の接合強度が得られた。反応層成長の影響を評価した結果、図 III-2.8.4-6 に示すように、A6061/SUS304 継手では、反応層厚さが 0.2 $\mu$ m から 0.6 $\mu$ m までは継手強度は上昇し、母材破断となった後、さらに反応層が成長すると継手強度は大きく低下したが、A6061/HT780 継手では、反応層厚さが厚くなるほど継手強度は低下しており、被接合材料による影響があることが分かった。次に、FSSW によって A6061/GI および SPCC 継手の接合が達成できたが、すべて

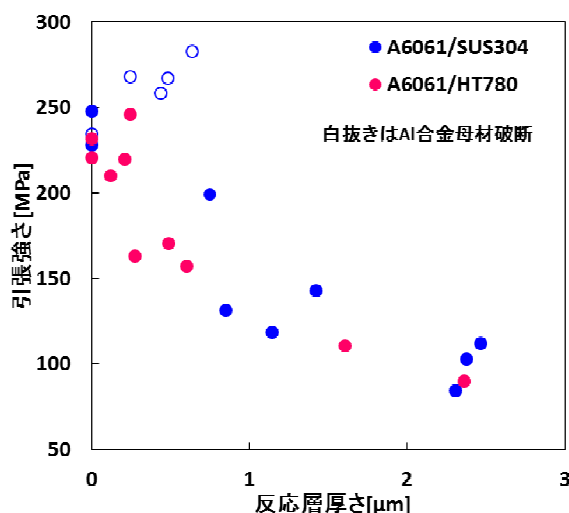


図 III-2.8.4-6 FSW 重ね異材継手における接合強度に及ぼす反応層厚さの影響

の接合条件で A6061/GI 継手の方が高強度であり、亜鉛めっきにより接合性が向上することが分かった。摩擦圧接を用いて、Ti 合金と Ni 合金の異材接合を行った結果、アップセット圧力を制御することで接合が達成でき、400MPa 以上の継手強度を得た。接合界面に形成した Ti-Ni 系金属間化合物からなる反応層を介して接合が達成されていることが分かった。次に Mg 合金ろう材を用いた Al 合金と Mg 合金の異材レーザブレイジングを行い、レーザ出力を適正に制御することで、濡れ性を確保しつつ界面反応を抑制して高強度の接合が達成できることが分かった。継手強度に及ぼす IMC 層厚さの影響を評価すると、IMC 層厚さ 200 $\mu$ m 程度で強度は最大値を示した。

次に、異材継手を構造物に実用的に用いるためには、シミュレーションを適用して異材継手の変形、破壊挙動を統合的に理解し整理することが必要である。そこで、異材接合部の破壊メカニズムに基づいた数理モデルを提案し、継手の破壊支配領域とマクロ破壊強度を予測する手法の提案を行った。本手法は、I. 合金内での延性破壊モデルと、II. IMC 層内での脆性破壊モデル、からなり、それぞれの破壊条件

を競合させることで、継手の破壊支配領域とマクロ破壊強度を数値シミュレーションにより予測しようとするものである。I. の延性破壊モデルは、接合界面近傍における合金側での破壊発生を予測するもので、異種金属間の強度差に起因した塑性拘束によって促進される損傷進展をシミュレートし、それによる延性き裂の発生・進展を予測するモデルとして提案したものである。II. の脆性破壊モデルは、脆性材料である IMC 層のへき開破壊限界を予測するもので、破壊の起点となる微視的き裂の寸法分布と最弱リンク概念を取り入れることで、数値シミュレーションによって破壊限界をばらつき特性も含めて予測するモデルとして提案した。提案したモデルに含まれる新たな破壊駆動力を用いることで、IMC 層からの破壊発生限界に及ぼす IMC 層厚さの影響を予測することが可能である。

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

異材接合部の強度発現機構の解明により、最適な界面構造とその制御指針を示すことができる。これと接合部の変形・破壊挙動のシミュレーションを組み合わせることによって、試験片レベルの評価から車体構造に適用した継手レベルの評価への展開が可能となり、構造体軽量化に対して効果的な継手構造ならびに接合プロセスの提示を行うことができる。

#### ⑥ 北條 正樹（京都大学）

##### i 研究者名/研究テーマ概要

北條正樹/CFRP 系複合材料の積層微視構造が構造要素の強度に与える影響の研究

##### ii 研究の目的

複合材料構造では、繊維で強化していない板厚方向に引張応力が生じはく離が発生することが、最弱破壊モードの一つである。今後開発の進む低コスト材（RTM, OoA 等）では、はく離の発生箇所は積層構造の層間および層内の双方が考えられるが、これまでの研究は前者が中心であった。本研究では、層間と層内を区別して評価する手法を開発し、積層微視構造が構造要素の強度に及ぼす影響を検討する。航空機構造材料として重要な位置付けにある層間高じん化材につき、実際の設計基準に直結する値である、層内はく離と層間はく離の破壊靱性の違いおよびその最低値を評価した。今後疲労特性も検討する予定である。

##### iii 成果の概要

用いた材料は、ポリアミド粒子を用いたモデル層間高じん化 CF/エポキシ材である。層内はく離の評価のため、新たに開発した層内フィルム挿入法を用いた。ここではプリプレグ製造プロセスを改良し、含浸初期の中央部に樹脂が含浸していない状態で PTFE フィルムを挿入後、樹脂を追加含浸することにより、層内に初期欠陥を配置した。破壊靱性試験には、双片持ち梁試験片を用いた。初期欠陥の挿入状況を断面および破面の高精度観察により検討し、ボイドや樹

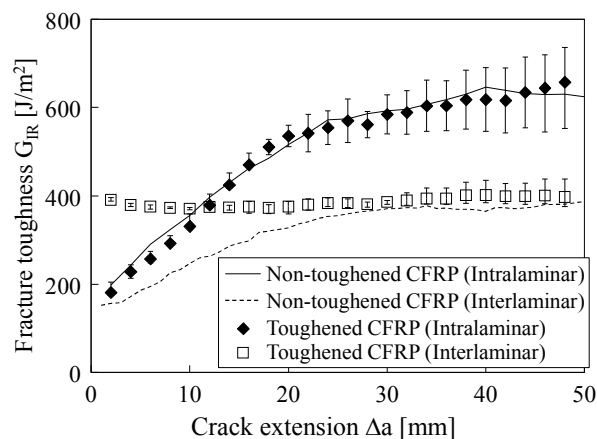
脂過多な領域が認められないこと、すなわち、新たに開発した「層内フィルム挿入法」により、正常に初期欠陥が配置され、安定に試験ができることを確認した。

図Ⅲ-2.8.4-7 に、層間高靱化材の破壊靱性値とき裂進展量  $\Delta a$  の関係（R 曲線）を示す。同図では、実線および破線で非高靱化材の結果を併せて示した。各実験点は  $\Delta a=2\text{mm}$  毎に靱性値を平均化したものである。まず、 $\Delta a=0$  での初期値について、層間高靱化材の層内破壊、非高靱化材の層内および層間の靱性値がほぼ一致した。一方、層間高靱化材の層間の破壊靱性の初期値は、層内と比べ倍以上の高い値を示した。

伝ば時の靱性値について、層間高靱化材については、ほぼ一定値を示した。この場合、き裂が常に層間領域内（粒子層）を進展しており、繊維架橋の影響を受けなかったため、破壊靱性値が一定になったものと考えられる。一方、それ以外については、き裂進展量  $\Delta a$  が増加するにつれて繊維架橋が発生し、破壊靱性値も上昇した。R 曲線に関しては、層内破壊については、層間高靱化材と非高靱化材の挙動が一致した。また、R 曲線の勾配は層内のほうが層間に比べて高く、飽和時の破壊靱性値も層内のほうが層間に比べて高くなった。微視観察から、R 曲線の挙動は繊維架橋の総本数等に支配されることが明らかになった。

き裂進展量  $\Delta a$  が 10 mm 以下の場合、層間高靱化材の層内の破壊靱性値は、同材料の層間の破壊靱性値よりも低いが、 $\Delta a$  が 10 mm 以上になると層内の破壊靱性値が層間に比べ高くなった。このことから、初期のき裂進展抵抗には層間樹脂層が大きく影響を及ぼすが、き裂進展後の挙動を考慮すると、層間に粒子を配置したことによる高靱化効果よりも繊維架橋による高靱化効果のほうが大きくなることがわかった。設計の観点からは、層間高じん化材の靱性値の最低値は、層内靱性の初期値であり、かつ非高靱化材のそれと一致することを明らかにした。

以上のとおり、きわめて重要な結果が得られるなど、研究は予定通り進行している。



図Ⅲ-2.8.4-7 層間高靱化材の層内および層間破壊靱性の非高靱化材との比較

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

本課題で開発した評価法は、熱硬化性樹脂を基として高性能を発揮する層間高靱化材料の設計のための最低値の指針を与える評価法である。この手法は、同種の材料の接合にあたっての評価に発展させることが可能と考える。また、CFRP そのものに対しては、積層構造のわずかな樹脂配置が力学特性に大きな影響を与えることを示し、物性値の評価における検討の重要性を示している。

#### ⑦ 小関 敏彦（東京大学）

##### i 研究者名/研究テーマ概要

小関敏彦/高強度鋼の溶接・接合

##### ii 研究の目的

1GPa を超える高強度鋼の溶接性の問題点を過去の検討から系統的に明らかにするとともに、それらに及ぼす鋼組成および組織の影響、溶接法・溶接条件の影響を調査して、問題解決に向けた材料組成、組織、溶接・接合法の指針を導出し、新たな鉄鋼材料の開発にフィードバックすることを目的とする。

##### iii 成果の概要

本検討は平成 26 年度からスタートしたものであるが、初年度は高強度鋼の溶接の冶金的な課題を過去の研究のレビューから抽出するとともに、現状、年々変化する自動車用材料および接合法のトレンドから、ISMA プロジェクトにおける高強度鋼の溶接・接合研究および技術開発の方向性について検討を行った。

1) 高炭素高強度鋼の溶融溶接ならびに摩擦攪拌接合 (FSW) に関する従来知見の調査  
高炭素高強度鋼の溶融溶接ならびに FSW に関する従来知見を、内外の学術誌、企業の技報や公表資料などから調査した。その結果、溶接部の課題は大別すると：

- (a) 溶接熱サイクルによる溶接金属および熱影響部 (HAZ) の硬化、ならびに HAZ の軟化
- (b) 硬化部における脆性破断・軟化部に起因する継手強度低下
- (c) 疲労強度の低下
- (d) 低温割れ（水素割れ）感受性の増加

このうち、(a) の硬化は焼入れのままのホットスタンプ材の 1.5GPa 級鋼では顕著でないが、今後 TRIP 鋼で同等の強度と延性の両立を目指す場合は更に高炭素化が必要であり、溶接による硬化は避けることができない。他方、軟化は鋼材が高強度になるほど A3 以下に加熱される HAZ で顕在化し、1GPa 以上の高強度鋼では問題となる。これらは (b)～(d) の支配要因であり、溶融溶接では根本的な解決策は無い。溶融しない FSW においても攪拌部は A3 温度以上になり、攪拌部の硬化と周辺の HAZ 軟化は起こる。

次に (b) の脆性破断は硬化に起因するもので、特にスポット溶接部の十字引張強度は母材強度が上昇しても脆性破断ゆえ向上せず逆に低下する。(c) の疲労強度の低下は溶接部の形状に大きく依存し、形状的な応力集中に加え、溶接による引張残留

応力と HAZ 軟化が疲労の発生・進展を加速しており、形状を改善しても母材レベルまでの回復は難しい。更に(d)の低温割れ感受性は、開発を目指す高強度鋼では検討が必須であるが、適用が薄板であり従来知見をそのまま適用することは難しく、評価法も含め検討が必要である。

## 2) 上記課題の改善に向けた接合研究の方向性の検討

以上のような調査結果から改善策ならびに今後の研究の方向について検討した。溶融溶接を高強度鋼に単独で用いることは多くの課題があり、他の接合法やあるいは溶融溶接とその他の接合法の併用も検討する必要がある。加熱温度の低いあるいは常温の接合法としては、①FSW、②ろう付け、③機械接合（リベット、クリンチ、ねじ）、④接着などがすでに自動車に適用されている。①FSW は高強度鋼に用いる場合は最高到達温度の制御やツールの寿命などの検討が不可欠である。②ろう付けはレーザーを用い高速で母材非溶融、最高加熱温度も低いなどのメリットがあるが、継手強度自身は低く、適用箇所が限定される。③④は常温であり、③は高強度鋼および他の材料との異材接合で適用できる。特に SPR (Self-piercing Rivet) は 1.7GPa の強度まで適用可能と言われている。また④はすでに自動車に補助的に用いられており、接合強度上昇に加え、剛性向上や異材接触のインシュレーターとしても効果がある。

超高強度鋼の接合検討では、これらの接合の適用あるいは併用も含めた検討を並行して行うことを提言する。

### 【自動車に適用される接合法の最近の変化と高強度鋼溶接への展開】

一方、近年の自動車製造では B ピラーなどホットスタンプ用超高強度鋼の適用とともにマルチマテリアル化も進む中で、適用される溶接・接合法も従来のアークやスポット溶接から、レーザー溶接や FSW などに拡大してきた。これらは単独あるいは併用によって高強度鋼溶接や異材溶接への適用が可能で、車体の剛性向上や溶接熱ひずみの減少などのメリットもある。さらに機械接合や接着ではスポット溶接と同レベルの接合効率を達成できるものもあり、ISMA プロジェクトにおける高強度鋼の溶接・接合研究および技術開発では、従来の接合法に拘らず、冶金的な課題解決と並行して、様々な接合法の可能性の検討が重要と思われる。

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

超高強度鋼の溶接にかかわる課題は、これまでの接合法を前提とすると解決が難しいものが多く、冶金的な課題を解決する溶接部の組成・組織・プロセス条件の解明と並行して、新たな接合法を前提とした検討も必要である。適用が拡大しつつある接合法としてはレーザー溶接や FSW、リベットやクリンチの機械接合、ろう付け、さらに接着などがあり、これらは単独あるいは併用によって高強度鋼溶接だけでなく異材溶接、マルチマテリアル化への適用が可能で、車体の剛性向上や溶接熱ひずみの減少などのメリットもある。さらに機械接合や接着ではスポット溶接と同レベルの接合効率を達成できるものもあり、ISMA プロジェクトにおける高強度鋼の溶接・接合研究および技術開発では、従来の接合法に拘らず、冶金的な課題解決と並行して、様々な接合法の可能性の検討が重要と思われる。

⑧ 鳥塚 史郎（兵庫県立大学）

i 研究者名/研究テーマ概要

鳥塚史郎/材料と破壊の基礎科学－高強度材料 真ひずみで 1 を超える大ひずみ域までの真応力 - 真ひずみを取得しデータベースとしての確立

ii 研究の目的

自動車等の輸送機器の燃費改善には、エンジンを始めとした動力機関の効率向上とともに、車両の軽量化が重要な取組課題の一つである。高強度金属材料を用いれば、材料自体の使用量を減らすことができ、燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の削減につながる。高強度金属材料を有効に活用するためには、真応力－真ひずみ挙動を知らねばならない。近年、最大荷重点を越える領域まで加工を行うようなことも必要とされ、破断までの真応力－真ひずみ挙動の把握のための正確な計測技術の確立が急務となっている。最大荷重点を越え破断までの真応力－真ひずみ曲線が取得できれば、高強度材料の成形限界や破断限界が推定できるようになる。高強度金属材料の真の延性・破壊ひずみ、破壊応力を明らかでき、大きな塑性変形をとまなうプレス成形のような技術に対応できるようになる。本研究では、金属材料の最も重要な性質である真応力 - 真ひずみ曲線に関して、画像計測引張試験技術により、真ひずみで 1 を超える大ひずみ域までの真応力 - 真ひずみを取得し、データベースとしての確立を行うことを目的とする。

iii 成果の概要

引張試験機に CCD カメラシステムを設置し、画像計測引張試験を行うための専用システムを構築した。CCD カメラによって試験平行部の観測点約 50 点の長さ（直径）を 0.2s 間隔で計測した。これらのデータから試験平行部の最小半径  $a$  と曲率半径  $R$  を連続的に算出した。荷重  $P$  はロードセルのデータから求めた。これらのデータから、

$$\text{平均応力 } \sigma_{av} = (P/a^2\pi) \quad (1)$$

$$\text{真ひずみ } \bar{\epsilon} = 2\ln(a_0/a) \quad (2)$$

を求めた。また、最大荷重点までは、平均応力は真応力となる。最大荷重点を越え、局所くびれ発生以降は Bridgman の式<sup>1)</sup>より、

$$\text{真応力 } \bar{\sigma} = \sigma_{av} / \{(1 + 2R/a) \ln(1 + a/2R)\} \quad (3)$$

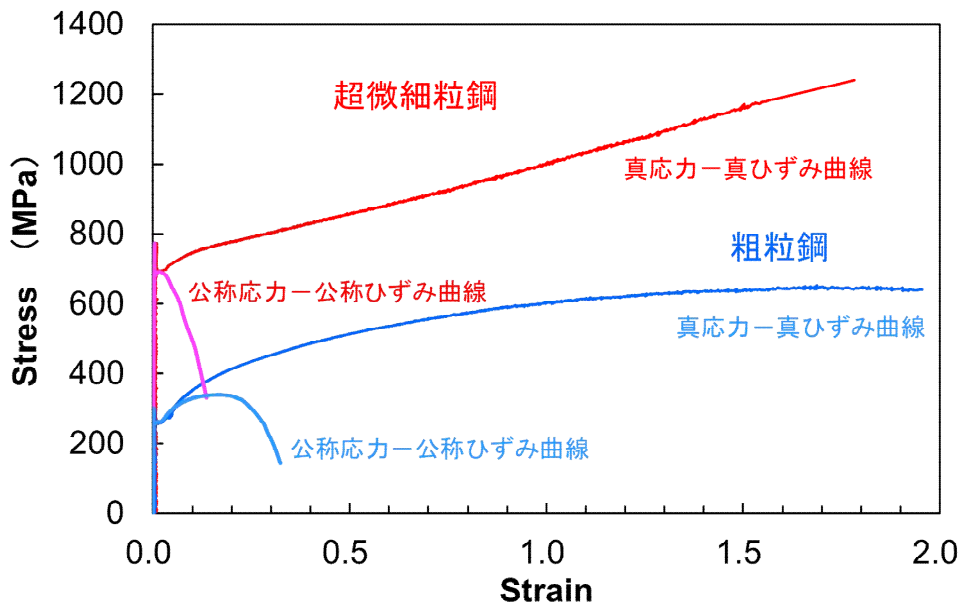
を用いて真応力を算出し、真応力 - 真ひずみ曲線を求めた。 $a_0$  は初期半径である。本画像計測引張試験システムによって、一様変形、くびれ発生、破断に至る試験片形状変化を連続的に正確に直接計測することができた。その結果、くびれ発生開始点やくびれの形状変化など断続引張試験では取得不可能な高精度データが得られ、



最小半径 a から、破断までの真ひずみ変化をとらえることができた。

成果の例として、化学組成 0.01C-0.30Mn-0.25Si mass%の低炭素鋼で、平均粒径 15  $\mu\text{m}$  の粗粒鋼と平均粒径 0.7  $\mu\text{m}$  の超微細粒鋼に対し、画像計測引張を行った結果を示す。引張試験片は、直径 3.5mm、平行部長さ 24.5mm、標点間距離 17.5mm の丸棒引張試験片を用いた。クロスヘッド速度は 0.5mm/min とした。

Bridgeman の真応力式から破断までの真応力-真ひずみ曲線を導出し、図Ⅲ-2.8.4-8 のような結果を得た。公称応力-公称ひずみ曲線も同時に示すが、著しく異なることがわかる。微細粒鋼は、公称ひずみにおいて、破断ひずみ（全伸び）が 0.15 と非常に小さかったが、真ひずみの観点からは、きわめて大きな破断ひずみ 1.75 を有する。一方、粗粒鋼は、公称ひずみにおいては、破断ひずみ（全のび）は 0.35 と大きいですが、真ひずみにおける破断ひずみは、1.95 と微細粒鋼と大きな差はなくなる。一方、応力に関しては、超微細粒鋼は粗粒鋼に比べ、真破断応力は 2 倍以上と、優れた真破断応力-真破断ひずみバランスをもつ材料であることが示されている。また、粗粒鋼は大ひずみ域では加工硬化が飽和するものの、超微細粒鋼は降伏から破断まで一貫して加工硬化し続けるという従来のセンスとは逆の結果も得た。



図Ⅲ-2.8.4-8 画像計測引張試験法で得られた 0.01C 組成の平均粒径 20  $\mu\text{m}$  粗粒鋼と 0.7  $\mu\text{m}$  超微細粒鋼の破断までの真応力-真ひずみ曲線（公称応力-公称ひずみ曲線も併記）

超微細粒鋼は粗粒鋼に遜色のない破断ひずみとはるかに大きな破断応力を有することを明らかにしたものであり、金属材料の本質を明らかにした結果となった。

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

輸送機や構造物の軽量化のため、最大荷重点伸び（一様延性）を大きく越える新しい成形加工技術等が積極的に採用され始めており、そのためには、くびれ発生以降の加工硬化挙動や真破断ひずみや真破断応力を知る必要がある。特に、ISMA で目



指している超高強度・高延性材料は、必ずしも一様延性が大きくないと思われ、これを使いこなすには、最大荷重点以降（局部延性）の変形の活用も必要とされると思われる。したがって、破断までの真応力-真ひずみ曲線データベースの確立によって、ISMA で開発される輸送機用高強度金属材料を使いこなすための基本データを与えるものができること期待される。

⑨ 渋谷 陽二(大阪大学)

i 研究者名/研究テーマ概要

渋谷陽二/マルチマテリアル化における軽量材料の最適配置及びその最適境界形状を求める設計手法の開発

ii 研究の目的

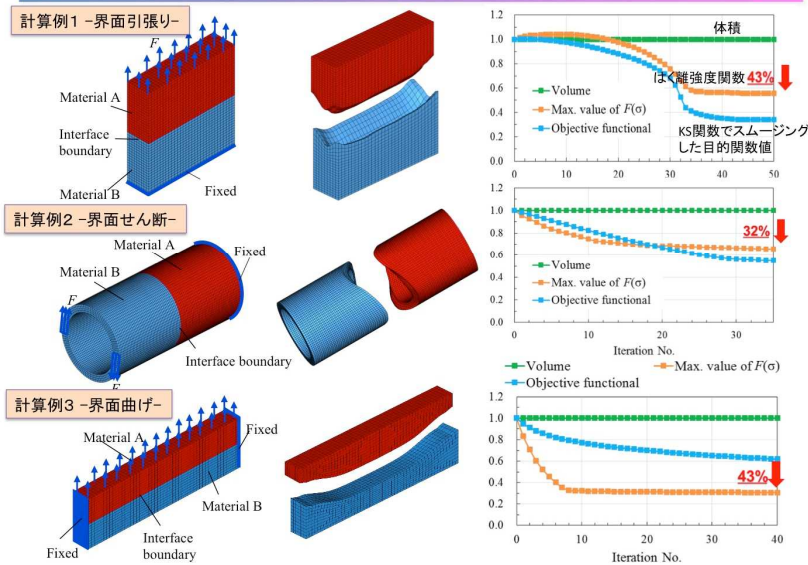
Body-In-White (BIW) のマルチマテリアル化される部材に対して、接着を含めた接合構造の最適化を探索するため、被接合材料の最適界面境界形状を求める設計手法の開発を行う。まずは、ハイテン鋼、アルミニウム合金やマグネシウム合金などの異種材料からなるソリッド体の界面強度問題を対象に、界面に沿って垂直方向のはく離応力と界面に沿ったせん断応力の複合応力状態を対象にした界面強度最適化手法を確立する。そして、その手法を応用して、応力が多軸に作用した状態での接合強度評価手法を提案し、解析と実験による検討を行う。

iii 成果の概要

本研究では、マルチマテリアル構造体の接合界面強度問題に着目し、最大はく離強度関数の最小化を目的に最適界面形状を求めるための数値解析手法を提案した。そして、界面強度に応じた最適構造例を求め検証した(図Ⅲ-2.8.4-9 参照)。その結果、界面強度(界面に沿った面に垂直なはく離応力と界面に沿ったせん断応力)を意図的に変化させるとそれに応じた界面形状の得られることがわかった。この手法を用いて、両者の応力が複合的に作用した界面での強度評価が可能になった。

## 界面最適化の構造解析例

$E_A:E_B=1:10$   
 $Z^A=Z^B=400\text{MPa}, Z=200\text{MPa}, Z=800\text{MPa}$



図III-2.8.4-9 負荷形態に応じた界面形状の最適化シミュレーション

### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

ISMA の接合分科会(平田コーディネータ)の中で、界面評価接合メカニズム及び異材継手性能の評価技術に関わる分野で連携を取る予定である。提案する手法での界面強度評価の妥当性を議論し、接合分科会で得られた新たな接合へ適用を試みる。

### ⑩ 武田 展雄（東京大学）

#### i 研究者名/研究テーマ概要

武田展雄/CFRP 表皮サンドイッチ構造の衝撃損傷モデリングと損傷低減手法の開発

#### ii 研究の目的

本研究では、金属材料とは大幅に異なる材料組織から生じる複合材料製造技術に関連する力学課題についての検討を行う。とくに、航空機用新規複合材料構造としての「CFRP 表皮フォームコアサンドイッチ構造の衝撃損傷モデリングと損傷検出」に関して検討した。

#### iii 成果の概要

温湿度を変化させたフォームコアの押し込み実験と CFRP 表皮フォームコアサンドイッチ構造の衝撃実験を行うとともに、FEM による衝撃損傷モデリング法を構築し、実験結果を説明した。とくに圧縮負荷後の引張負荷発生時の合理的なモデル化に成功した。

まず、PMI (polymethacrylimide) フォーム材の単軸圧縮負荷・引張負荷時の応答特性（応力-ひずみ線図）を様々な温度・湿度環境下で実験的に求め、応力-ひずみ線図の実験式を構築するとともに、マイクロ損傷の詳細観察による損傷挙動の物理的意味を明らかにした。

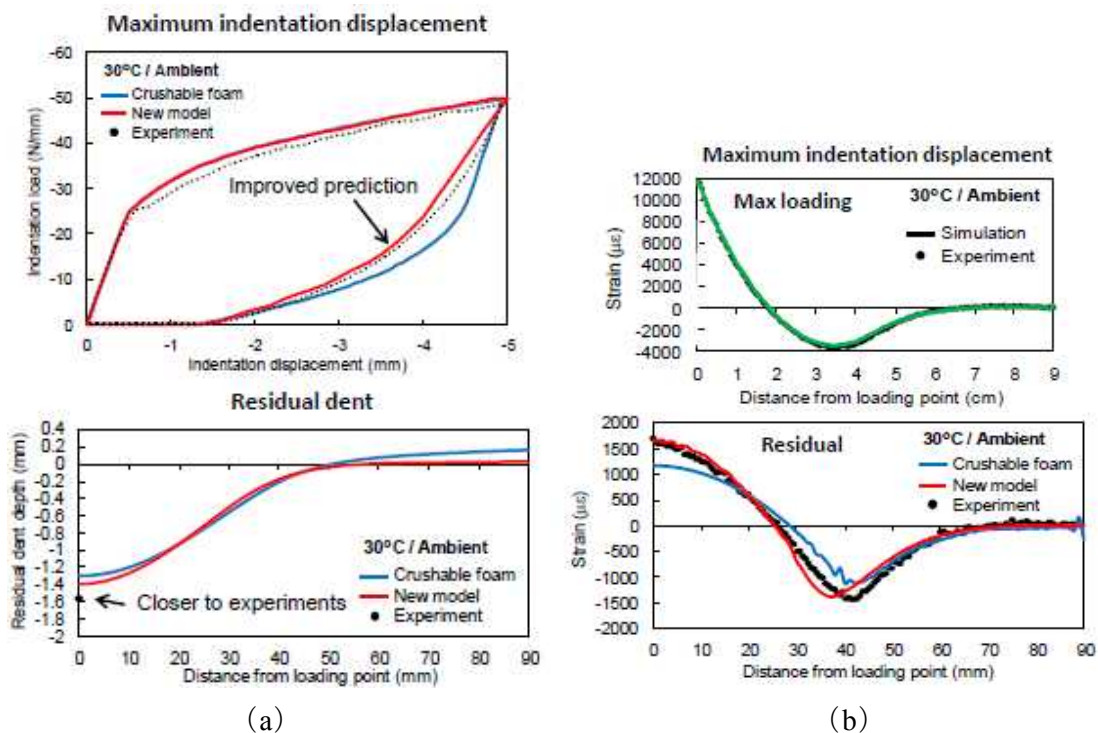
次に、CFRP 表皮フォームコアサンドイッチ梁の押し込み負荷・除荷応答（負荷-変位線図）を様々な温度・湿度環境下で実験的に求めた（図Ⅲ-2.8.4-10 (a)）。また、負荷中・除荷後の表皮の押し込み深さを計測した。

さらに、上記の実験的に求めた PMI フォームの負荷応答特性を組み込んだサンドイッチ梁押し込み挙動の弾塑性有限要素 (FEM) 解析を行い、負荷-変位線図、表皮の押し込み深さを求め、計測した実験結果との比較を行った。とくに、押し込み負荷後の除荷挙動を正確に解析できる新しい弾塑性モデルを提案し、それを組み込んだ FEM 解析を行い、除荷過程中的負荷-変位線図や除荷後の押し込み深さの実験値により一致する FEM 解析が可能であることを示した（図Ⅲ-2.8.4-10 (a)）。

また、負荷中・除荷後の CFRP 表皮フォームコア境界接着層の梁長手方向のひずみ分布（図Ⅲ-2.8.4-10 (b)）を計算し、コア自体やコア・表皮間剥離損傷の大きさと範囲を検出できる可能性を示唆した。

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

ISMA プロジェクトで実施している CFRP は主に自動車用途であるが、本研究のフォームコアサンドイッチ構造も将来的には自動車構造への展開の可能もある。



図Ⅲ-2.8.4-10 CFRP 表皮コアサンドイッチ梁の応答

(a) 押し込み負荷・除荷応答（実験値と解析値）

(b) 境界接着層の梁長手方向のひずみ分布（実験値と解析値）

## ⑩ 香川 豊（東京大学）

### i 研究者名/研究テーマ概要

香川豊/界面破壊機構における剥離先端部の局所塑性変形の影響検討

### ii 研究の目的

移動用構造体の軽量化を実現するために、Ti や Al をはじめとする軽量金属に加えて、繊維強化プラスチック(FRP)が主要な役割を果たすことが期待されている。同時に、これらの軽量材料を組み合わせて使用することの重要性が増しており、異種材料の接合・接着が重要な技術課題となるとともに、接着部には高い信頼性が要求されるようになってきている。従って、高分子系接着材料と変形しにくい金属・セラミックスの接合体を対象とし、剥離先端分での局所的な変形が剥離エネルギーに及ぼす影響を、部材が実際に使用されるときに想定される条件下で明らかにし、接着界面の信頼性確保に貢献すること定量的に調べることは大切であると考えられる。本研究では、金属と FRP の接着界面の耐剥離特性を定量的に評価する方法を検討した。なお、耐剥離特性の評価に際しては、得られるデータが実接着構造体の界面剥離の問題に容易に展開できるように、有限要素法等で解析を行う際に用いることができることを重視して検討した。

### iii 成果の概要

#### 1) 界面剥離エネルギーとフェーズアングルの重要性

界面の剥離に要するエネルギーは、界面亀裂先端のフェーズアングルに応じて変化する。フェーズアングルは亀裂先端のモード I 応力拡大係数とモード II 応力拡大係数の比によって決まるが、しかし、高強度・高剛性の材料の間に柔らかい接着剤が存在する場合や、降伏応力およびヤング率の差が大きな異種材料が接合され、設計応力を超えたときに材料の一方が大きな塑性変形を生じる場合に生じるフェーズアングルの変化とそれが剥離エネルギーに及ぼす影響は実験・理論の両面から十分に調べられていない。本研究では、モード II の負荷を受ける場合に着目し、特に接着剤の厚さが界面剥離エネルギーに及ぼす影響を知ることが重要である。特に、接着部分の面積に大きく依存する「応力」ではシミュレーションに特性を利用することは難しいために、エネルギー開放率を求めることは重要である。

#### 2) 金属/FRP 接合材料及び試験方法

実験には、Al 合金(7075)と平織連続ガラス繊維強化プラスチック(GFRPs)をエポキシ系接着剤で接着した Al/E<sub>p</sub>/GFRP 接合体を用いた。接合体のヤング率比 ( $\Omega=EG/EA$ )は  $\Omega=0.53$  である。Al 合金の寸法は  $150 \times 6 \times 30$  mm( $L_{Al} \times w_{Al} \times t_{Al}$ )とし、GFRP の寸法は  $25 \times 6 \times 1$  mm( $L_{GF} \times w_{GF} \times t_{GF}$ )とした。また、GFRP と Al 合金の厚さ比 ( $\eta=tG/tAl$ )は  $0.15$  となるよう試験片を作製した。エポキシ接着剤の引張降伏強度 ( $\sigma_y$ )及びせん断降伏応力( $\tau_y$ )は $\sim 20$  MPa 及び $\sim 25$  MPa と変形しやすいものを用い、接着剤の厚さは  $100$  から  $300$   $\mu\text{m}$  の間で変化させた。接合体の Al 合金と接着剤界面に

人工き裂を導入し、界面き裂先端のフェーズアングルが  $60^\circ$  以上の条件下となるよう負荷を加えた。ここで、フェーズアングルは剥離部先端でのモード II 成分とモード I 成分の比を表す指標である。試験にはバーブ法(例えば、Y.F. Liu, Y. Kagawa Y., A.G. Evans, “Analysis of a "barb test" for measuring the mixed-mode delamination toughness of coatings,” *Acta Materialia*, Vol. 56, No. 1 (2008) pp. 43-49. 53, N.-Y.Cao, Y.-F. Lin, Y. Kagawa, “Finite element analysis of a bard for thermal barrier coating delamination toughness measurement,” *Surface & Coatings Technology*, Vol. 202. 13 (2008) pp. 3109-3114, N.-Y. Cao, Y. Kagawa, Y.-F. Lin, “Stress analysis of a barb test for thermal barrier coatings,” *Surface & Coatings Technology*, Vol. 202, 14 (2008) pp. 3413-3418 など)を用いた。この手法は、熱遮蔽コーティングを対象として開発されたものであるが、金属/GFRP 接合体や金属/CFRP 接合体に容易に適用できるものである。

### 3) 界面剥離抵抗の定量評価

荷重を加えると、負荷とともに界面き裂が徐々に進展したのち、荷重はほとんど変化せずき裂が長くなり、 $a_0 + \Delta a \sim 10$  mm 程度で定常状態に達した。き裂は金属と接着剤の界面に沿って進展していた。これらの傾向は接着剤の厚さによらず同様であったが、接着剤の厚さが厚くなると、き裂の進展に要する荷重はさらに大きくなる傾向が見られた。

き裂長さが長くなるほどエネルギー開放率 $\Gamma$ は大きくなる R 曲線挙動が見られた(図 III-2.8.4-11 (A))。界面の初期導入き裂からき裂が進展し始めるときのエネルギー開放率 $\Gamma_0$ は、 $h_{ad}=100 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$  及び  $200 \mu\text{m}$  のとき、それぞれ  $24 \text{ J/m}^2$ 、 $30 \text{ J/m}^2$  及び  $36 \text{ J/m}^2$  であった(図 III.2.8.4.2-10 (B))。定常状態のひずみエネルギー開放率 $\Gamma_{ss}$ は、 $h_{ad}=100 \mu\text{m}$ 、 $150 \mu\text{m}$  及び  $200 \mu\text{m}$  のとき、それぞれ  $\Gamma_{ss} \sim 96 \text{ J/m}^2$ 、 $100 \text{ J/m}^2$  及び  $120 \text{ J/m}^2$  であった。これらの結果から、接着剤の厚さが厚くなると $\Gamma_0$ 、 $\Gamma_{ss}$  はともに大きくなることが明らかになった(図 III-2.8.4-11 (B))。この結果は、接着剤の層の変形による寄与が大きいことを示していると考えられる。

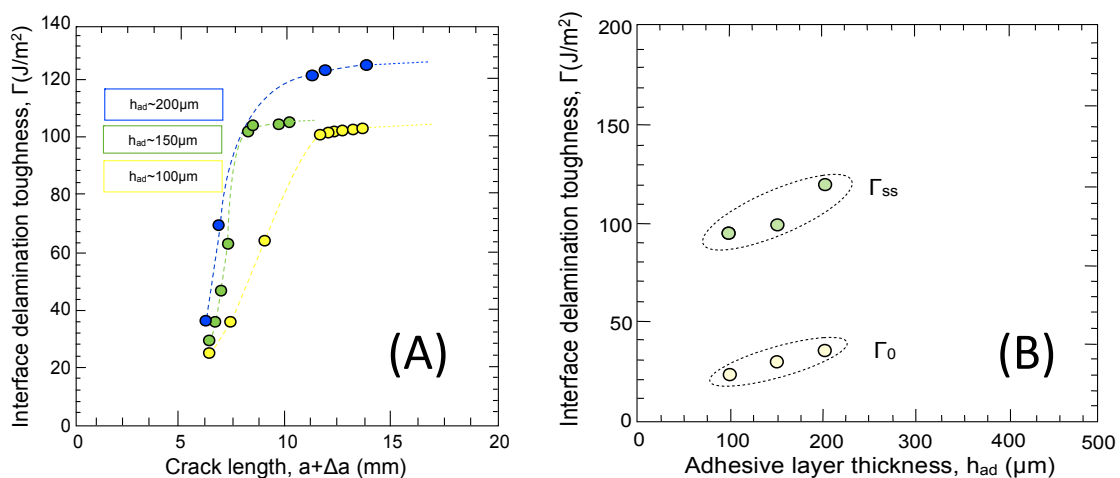


図 III-2.8.4-11 界面剥離抵抗 $\Gamma$ に及ぼす接着剤層の厚さの影響(A), 剥離開始抵抗 $\Gamma_0$ 及び定常状態剥離抵抗 $\Gamma_{ss}$ に及ぼす接着剤層厚さの影響(B)

#### iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

本研究で行った界面剥離抵抗を定量的に評価する手法は、小さな試験片を用いて行うことが可能である。しかも、モード II 成分を多く含む条件での接着剥離抵抗を評価することができる。定常状態の剥離抵抗を求めることが可能であることから、実験的に求めた値を構造体の大規模解析に直接利用することができる。すなわち、構造体の界面剥離部先端でのひずみエネルギー開放率とフェーズアングルの関係を求めておけば、金属材料と FRP などの異種材料接合技術開発に大きく役立つといえる。

#### ⑫ 宇都宮 裕（大阪大学）

##### i 研究者名/研究テーマ名

宇都宮裕/塑性加工プロセスによるポーラス金属表面への緻密層形成による特性改善の研究

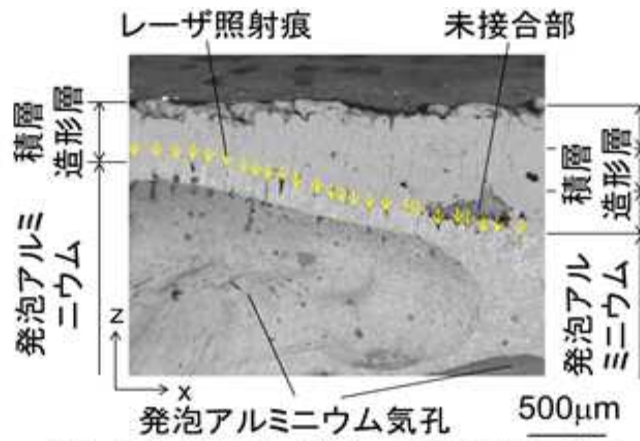
##### ii 研究の目的

本研究は「マルチマテリアル設計」に供するため、塑性加工を利用して輸送機器用の革新的な軽量構造部材を開発することを目的としている。特にポーラス金属は内部に多数の気孔を含むため非常に軽量であり、かつ振動・音波・エネルギーの吸収性にも優れるため輸送機器部材への応用に好適であると考えられる。しかしながら、(a)現状では比強度が不十分であること、(b)構成式が不明で変形の予測が難しいことなどのため、その工業的応用は十分に検討されていない。そこで、本研究では、ポーラス金属を素材として革新的軽量構造部材を実現するため、(1)気孔率の分布の意図的な導入、(2)マクロな形状の成形、(3)材料学的強化、の適用による特性の飛躍的向上を検討する。

##### iii 成果の概要

発泡金属の表面にノンポーラス層を構成すること、すなわち表面緻密化は、プラトー領域の拡大、せん断帯など局所変形の抑制、切欠き効果の低減、他構造物との接合・接着の容易化の点で利点がある。平成 25 年度は「摩擦攪拌インクリメンタル加工」により、平成 26 年度は「金属レーザー積層造形法 (SLM)」によりサンドイッチ構造ポーラス金属の創製に成功した。図はレーザー照射された発泡アルミニウムの断面を示したものである。アルミニウム粉末は融解し、発泡アルミニウムと一体化していることが確認されます。これにより発泡アルミニウムの表面の 4 面を緻密化して圧縮試験を行ったところ、プラトー応力（低ひずみの領域で、応力が低値一定となる領域の応力）が、**2.4MPa** となり、無処理材に比べておよそ 20%の向上が見られた。





図Ⅲ-2.8.4-12 アルミニウム粉末 - 発泡アルミニウム界面近傍の断面写真

iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性（提言）

ポーラス材料の使用は、構造材料の使用という点でパラダイムシフトを起こす可能性を秘めている。例えば、自動車材料としては、燃費改善を目的に鉄鋼材料からアルミニウムやマグネシウムなどへの転換が検討されている。しかし、鉄鋼材料を高い比強度を有したままでポーラス化し部材に成形できるならば、軽金属材料に対する有利性は保たれる。表面緻密化は、力学特性を改善し、接合等を容易にする点で、簡便ながら有望な手法である。また、ポーラス金属のエネルギー吸収性や低熱伝導性を利用すれば、衝撃吸収材料や振動吸収部材、シールド材などこれまでにない部材が出現する可能性を秘めている。したがって、将来を見据えて応用可能分野を調査しておくことが望まれる。

⑬ 横堀 壽光（東北大学）

i 研究者名/研究テーマ概要

横堀壽光/水素環境下での自動車部品材の構造強度保証技術の開発および自動車溶接部の非破壊損傷計測と余寿命評価法の確立

ii 研究の目的

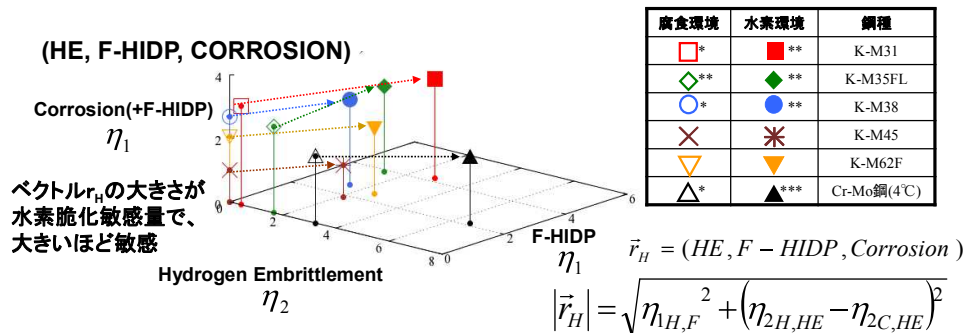
- 1)自動車用部品として使用される種々の電磁ステンレス鋼の水素脆化敏感性を定量的に評価するパラメータを実験により導出し、横堀の提案する水素拡散解析と組み合わせることにより、耐水素脆化材料開発指針の基礎基盤を構築する。
- 2)自動車溶接部の非破壊損傷計測による余寿命評価法の確立を想定したモデル研究として、マイクロスラリーエロージョン法(MSE)を用いた高温クリープ損傷評価と余寿命予測法の構築を行う。

iii 成果の概要

1)水素脆化

横堀が提案した小型試験片を用いた疲労条件下での水素脆化敏感性試験法が燃料電

池で走る自動車の電磁弁に使用される種々の電磁ステンレス鋼に対して適用可能であることを示した。本実験法を用いて系統的実験を行い、水素脆化敏感性を [de-cohesion model] と [HELP] 機構に定量的に分離評価および総合的に評価する方法を提案した。本方法により、Cr の含有量を 18-20%程度に含ませることが耐水素脆化性の一つの有効な方法であることを見出した。その評価例を下図に示す。



ベクトル  $r_H$  値により、実験による水素脆化敏感度の定量オーダリング化に成功し、K-M45 の電磁ステンレス鋼が最も  $r_H$  が小さく、耐水素脆化性があることを示した。

Steel Type	$\eta_{1C,C}$	$\eta_{2C,HE}$	$\eta_{1H,F}$	$\eta_{2H,HE}$	$ \vec{r}_H $	$N_{Corrosion}/N_{Air}$	$N_{Hydrogen}/N_{Air}$
K-M45	◎ 1.01	○ 0	◎ 1.88	2.11	◎ 2.83	◎ $91 \times 10^{-2}$	◎ $46 \times 10^{-2}$
K-M62F	○ 2.06	○ 0	2.58	3.07	4.01	○ $43 \times 10^{-2}$	○ $19 \times 10^{-2}$
K-M38	2.68	○ 0	2.66	○ 1.45	○ 3.03	○ $37 \times 10^{-2}$	○ $5.1 \times 10^{-2}$
K-M35FL	2.70	1.66	3.86	◎ 1.34	3.87	○ $13 \times 10^{-2}$	○ $0.68 \times 10^{-2}$
2.25Cr-1Mo	2.09	3.23	○ 2.15	6.57	3.97	○ $29 \times 10^{-2}$	○ $15 \times 10^{-2}$
K-M31	3.11	0.44	4.22	2.84	4.85	○ $4.0 \times 10^{-2}$	○ $0.91 \times 10^{-2}$

今後の計画：他の材料への適用と水素拡散解析との比較による材料開発への展開

図 III-2.8.4-13 各種電磁ステンレス鋼の実験による水素脆化敏感性の定量評価結果 (r 値が小さいほど耐水素脆化性に富む。18-20%の K-M45, K-M38 の r 値が小さい)

2) マイクロエロージョン法を用いた高温クリープ損傷評価と余寿命予測法  
主として、ガスタービンに用いられる Ni 基超合金 (IN100) について研究を行い、横堀の提案するクリープダクティリティと余寿命を評価する QL\*パラメータと MSE を組み合わせて、MSE による微視研削抵抗値からクリープ余寿命を予測する基礎基盤的方法を構築して特許出願している。

iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性 (提言)

「水素脆化敏感性評価法」は、アルミニウム合金、Ti 合金や他の鋼材に適用可能であることから、今後は、他の材料への適用を試み、材料開発への貢献を試みる。

「MSE 法による余寿命予測法」は高温時間依存型破壊機構に従う材料の余寿命予測に適用できる。また、本方法を自動車溶接部の非破壊損傷計測に適用するため、現在、SIP 溶接グループの広瀬先生との連携研究の準備を行っている。



⑭ 志波 光晴（物質・材料研究機構）

i 研究者名/研究テーマ名

志波光晴/CFRP・金属接合部を対象とした非破壊評価法の開発

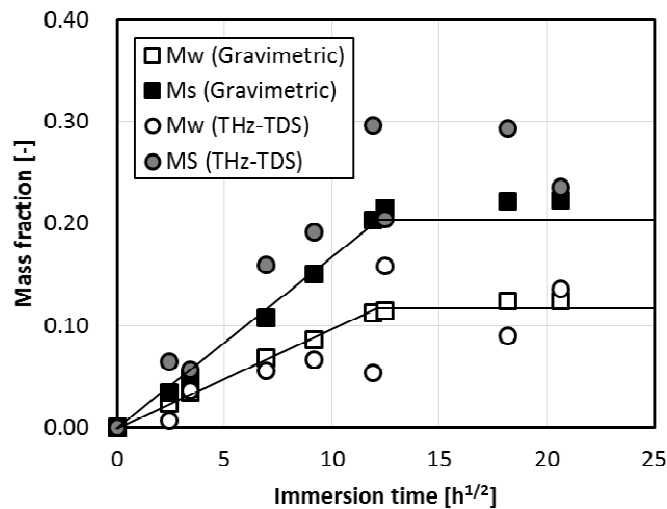
ii 研究の目的

構造物の軽量化を目的に高比強度材料である CFRP を対象に、CFRP 間や CFRP と金属等の接合、接着の信頼性を保障する非破壊評価手法の基礎検討を行った。高分子系接着剤を用いた接合部の非破壊評価においては、接合欠陥として接着不良や界面剥離があり、接合劣化として水浸漬による材質劣化が課題となる。そこで、代表的な力学測定手法である超音波及び新しい電磁気測定手法としてテラヘルツ波を用いて、各々接合欠陥及び接合劣化の検出についての基礎検討を行った。

iii 成果の概要

超音波においては、材料中に存在する閉じた界面への超音波入射による非線形超音波発生メカニズムを検討するため、3次元固体中の閉じた界面の改良型差分法における計算モデルを構築し、それを用いて2次元での現象を検討した。界面を閉じる力としての圧縮応力分布が存在する場合は、1次元でのシミュレーションで得られたのと同様に、界面の開閉口により、超音波透過波形の鋸歯状化が生じることが分かった。また2次元の有限長の閉じた界面においては、界面を閉じるための圧縮応力が存在しない場合でも、入射超音波ビームの音場分布や、界面端部からの超音波の回り込みにより、微小な開閉口現象が生じ、透過超音波波形に影響することが分かった。以上のことから、2次元における界面開閉口現象と観測される波形との関係は、界面の大きさや超音波の音場など、様々な要因が影響することが推測され、今後、様々な条件での計算機シミュレーションによる検討を元にした測定方法の開発が重要と考えられる。

テラヘルツ波においては、THz-TDS で測定した薬液浸漬試験片の複素屈折率は、侵入した薬液の量と線形関係にあった。特に酸が侵入した場合、吸収係数は周波数が高いほど増加が大きい。薬液浸漬試験片の吸収係数は、水（溶媒）と酸（溶質）の質量分率の線形モデルであらわすことができ、これを利用することで吸収係数の変化量から、水と酸の侵入量をそれぞれ求めることが可能である。今回は溶媒と溶質の2成分のみだったが、周波数ごとにモデル式が成り立つため、3成分以上の侵入量を求めることも可能性がある。つまり、多数の溶質が混在するプロセス流体や下水環境で使用される高分子材料の薬液侵入劣化を、THz-TDS によって非破壊で評価することができるようになる。また、塩基性水溶液に浸漬した樹脂試験片は樹脂が腐食し、通常の数倍の水を吸収する。この場合においても、THz-TDs による吸収係数を測定することで、水の侵入量や腐食厚さを評価することが可能であり、高分子系設置薬剤による界面劣化をテラヘルツ波により評価できる可能性が示された。



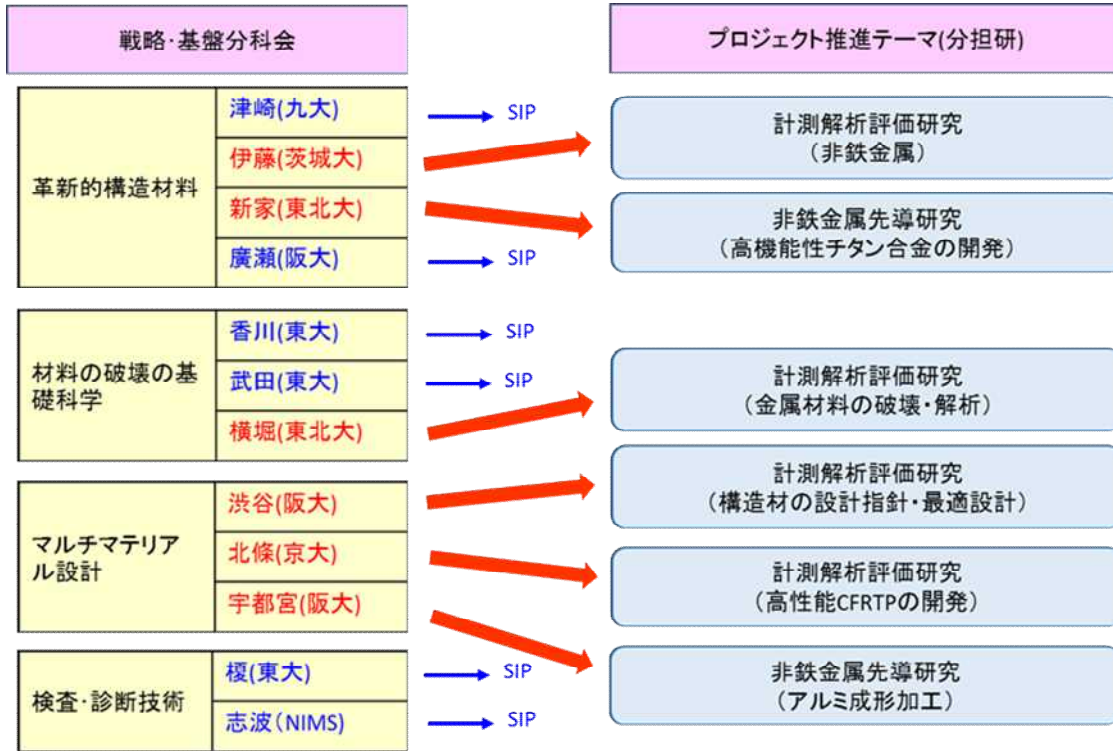
図Ⅲ-2.8.4-14 水と硫酸の質量分率  $M_{Water}$ 、 $M_{Sulfate}$  の質量測定 (“Gravimetric”) 及びテラヘルツ (“THz-TDS”) で求めた値の比較

iv ISMA プロジェクトへの成果の展開可能性 (提言)

接合部の検査においては、従来の超音波探傷では検出できない接触した未接合部の検出が重要である。非線形超音波を対象とした計算機シミュレーションにより、非線形超音波を用いることで、この未接着部を検出できる可能性が示され、製造時の非破壊検査の可能性が示された。

高分子系接着剤の信頼性評価に当たり、劣化の評価が重要である。テラヘルツでは、FTIR よりも浸透深さが深い内部の材料特性が評価できる。THz-TDS 法を用いて、複素屈折率吸収係数を測定することで、水の侵入量や腐食厚さを評価することが可能であり、高分子系接着剤による界面劣化をテラヘルツ波により評価できる可能性が示された。

平成 27 年度からは、研究調査委託先研究者の一部が SIP プロジェクト (内閣府) の課題担当研究者に移行すること、また、プロジェクト推進テーマとの関連性をより強くさせて、研究成果の展開をより加速させることを目的として、図Ⅲ-2.8.4-15 に示すように体制を変更した (戦略・基盤分科会専門委員会委員は、従来どおりの体制で実施している)。



\*小関（東大）、鳥塚（兵庫県立大）は、SIPへ移行

図Ⅲ-2.8.4-15 研究調査と推進テーマとの関連性（平成27年度より体制変更）

(4)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.4-4 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	1	0	12	0	0	0	0	0	0
H26FY	9	0	32	0	0	0	0	0	1
合計	10	0	44	0	0	0	0	0	1

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ2.8.4-5 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.8.5 [テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究

### 2.8.5.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

戦略・基盤の再編に伴い、平成 27 年度では自動車の軽量化を実現する非鉄金属分野の中で革新的低コスト化技術に注目し、平成 28 年度以降の新しい研究課題につながる加工成型技術について先導的研究を行い、平成 28 年度の新規課題提案を行うことを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

粉末冶金法によるチタン合金の製造では塑性変形機構の制御による Ti-Mn 合金の強度－延性バランスの改善を検討する。Mo 等を第三元素として添加することで、引張荷重時に双晶変形が生じ、双晶粒界の形成に伴う加工硬化および双晶誘起塑性による伸びの改善が期待できる、Ti-Mn-Mo 合金の創製を目指す。

発泡アルミニウムの加工技術の研究開発では得られた結果を総括し、「任意の形状・特性を有する軽量高強度の構造部材」の少量多品種製造法として、ポーラス金属の表面およびバルク加工の優位性を考察する。

表Ⅲ-2.8.5-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
チタン合金の製造 技術開発	Ti-Mn-Mo 合金の創 製			双晶機構を 利用した強 度延性バラ ンスを検 討。
発泡アルミニウム の加工技術の研究 開発	バルク加工の優位 性を考察			任意形状付 与技術から 固める。

#### (3)全体計画

本事業では、製造プロセスの視点から低コスト化が期待できる粉末冶金法によるチタン合金の製造技術と軽量化と強度の両立を目指した発泡アルミニウムの加工技術の研究開発を行う。

#### (4)実施体制

本テーマは新構造材料技術研究組合（本部）が 2 大学に必要な研究開発を再委託して実施する。

## 2.8.5.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.5-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
チタン合金の製造 技術開発	Ti-Mn-Mo 合金の創 製		○	
発泡アルミニウム の加工技術の研究 開発	バルク加工の優位 性を考察		○	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.5-3 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### (3)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-Ⅲ-2.8.5-4 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.8.6 [テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究

### 2.8.6.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車や航空機などに今後中長期的に求められる構造材料等の在り方を展望した上で、内外の技術動向や政策支援の調査、新しい技術の可能性調査（FS）、基盤研究など、本研究開発の方向性検討に必要な調査を全般的に行い、構造材料に関する研究開発のビジョンの明確化、接合技術および個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出を進め、本プロジェクトで開発する新構造材料の技術・研究戦略を策定する。

#### (2)位置付け、目標値

自動車や航空機などに今後中長期的に求められる構造材料等の在り方を展望した上で、接合技術および個別材料技術の研究開発の方向性や目標、新たな研究開発分野などを設定する。特に、FS 研究および新規 FS 研究に係わる技術動向調査や自動車等輸送機器用構造材料の適用技術の動向調査を行う。

表Ⅲ-2.8.6-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
新たな研究分野の設定	FS 課題の設定	FS 課題のテーマ化	新規 FS 課題のテーマ化と既存テーマの再編・融合	世界の技術動向に合わせた改革を常態化
FS 課題の技術動向および適用技術の動向調査	FS 課題進捗に関して組合員への情報発信	FS 課題進捗に関して組合員への情報発信の常態化	FS 課題進捗に関して組合員への情報発信の常態化	世界の技術動向を常時組合員に提供

#### (3)全体計画

マルチマテリアル化に必須の接合技術、個別課題（材料）としての鉄鋼、非鉄（アルミ、チタン、マグネシウム）、CFRP について、自動車等輸送機器に適用されるための技術動向を調査し、今後の方向性を議論し組合員に対して提言する。

#### (4)実施体制

本テーマは新構造材料技術研究組合（本部）が 2 機関に必要な研究開発を再委託して実施する。

## 2.8.6.2 研究開発成果

### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.6-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	研究開発成果	達成 度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
新たな研究分野の 設定	FS 課題の設定	2 課題設定	△	
FS 課題の技術動 向および適用技術 の動向調査	FS 課題進捗に関し て組合員への情報 発信	国内外のユーザー、国外 の研究機関と WS 開催	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

### (2)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.6-3 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会 への出 展	受賞	フォー ラム等 ※
	査読 付き	その 他	学会 発表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### (3)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.6-4 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約



## 2.8.7 [テーマ番号 43] 計測解析評価研究

### 2.8.7.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

戦略・基盤の再編に伴い、平成 27 年度では計測解析評価研究として、自動車の軽量化を目指す材料開発の実現に資する基礎基盤的な研究を行う。本課題では共通的な自動車車体の設計技術、破壊機構の改善技術（破壊抑制理論構築、応力腐食割れの改善、繊維の方向による強度のばらつきの要因解析）および、より精度の高い分析技術に注目し、平成 28 年度以降の研究を推進および新しい研究課題発掘となる計測解析評価研究を行うことを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

金属材料や複合材料における材料と破壊の問題に対する基礎科学的アプローチの検討や中性子線による材料評価による評価解析データ構築を進め、製品の実現において重要となる材料の高信頼性化あるいは効率的なスクリーニングのための非破壊評価方法やプロセスモニタリングに関する手法等の提言を行う。

表Ⅲ-2.8.7-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
材料および信頼性設計技術開発	特性値への材料工学的要因の特定			
1.5 世代中性子源の開発	電子入射システムとモジュレータの新造			

#### (3)全体計画

平成 26 年度の研究から絞られた下記の 4 つの課題と新規の分析技術に特化し事業を行う。

- ・中高炭素鋼や非鉄金属材料において非破壊的に余寿命を予測する方法の構築を完成させるとともに耐水素脆化に寄与する材料工学的要因を特定する。
- ・非鉄金属では 7000 系および 2000 系アルミニウム合金の疲労特性について、両者の差の原因を実験的に解明し、7000 系合金の疲労特性改善の可能性を検討する。
- ・CFRP 等の複合材料においては板厚方向に引張り応力が作用する場合を想定して、積層層内の破壊力学特性を層内と区別して評価する手法の開発に取り組む。
- ・自動車車体のマルチマテリアル化による構造健全性の評価方法を開発し、マルチマテリアル化の最適構造を得るために、接合界面強度を低減させた構造を探索する最適化手法を構築する。
- ・中性子線評価装置について加速器部のうち、劣化の激しい電子入射システムとモジュレータを新造し 1.5 世代器に更新する。

#### (4)実施体制

本テーマは新構造材料技術研究組合（本部）が5大学に必要な研究開発を再委託して実施する。

#### (5)運営管理

材料および信頼性設計技術開発については、年2回の成果報告会による報告とISMA講演会での発表および年2回の進捗報告会を実施。1.5世代中性子源の開発については、中性子線FSの委員会にて進捗を報告（年4回）。

### 2.8.7.2 研究開発成果

#### (1) 中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.7-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
材料および信頼性設計技術開発	特性値への材料工学的要因の特定	鉄鋼、アルミニウム、CFRPにて材料工学的要因を特定できた。	△	
1.5世代中性子源の開発	電子入射システムとモジュレータの新造	鉄鋼材料の元素分析専用機として保有装置の性能を3倍向上	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### (2)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.7-3 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会への出展	受賞	フォーラム等※
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	プレス発表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(3)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.7-4 特許の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT 出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.8.8 [テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study

### 2.8.8.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

透過力が高い中性子は、構造材料内部の様々な組織を直接観察できる強力なプローブであり、多様な構造材料開発のための共通基盤解析技術の核と成り得る。新構造材料技術研究組合（ISMA）で進行中の革新的構造材料開発の推進を加速することが期待されるため、本 FS 研究において、中性子構造材料解析装置の活用や次世代解析装置の在り方について課題を明確化する。

#### (2)位置付け、目標値

小型中性子線源、大型中性子線源の鉄鋼材料解析への適応性や計測精度の現状を定量的に明確化し、中性子装置の利活用方法や現在不足している機能や装置要件を明らかにする。日本における鉄鋼をはじめとする構造の中性子解析について、次年度以降に実行可能な戦略を立案する。

表Ⅲ-2.8.8-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
小型中性子線源を用いた計測精度の明確化	共通試料を用いた計測評価を実施し優位性を検証する。			
小型装置開発のための設計検討	設計を提案			

#### (3)全体計画

小型中性子線源装置（小型の加速器ベースの装置）、大型中性子線源装置（J-PARC 大強度陽子加速器装置）の鉄鋼材料解析への適応性や計測精度の現状を定量的に明確化し、中性子装置の利活用方法や現在不足している機能や装置要件を明らかにする。日本における鉄鋼をはじめとする構造材料の中性子解析について、次年度以降に実行可能な戦略を立案する。

鉄鋼材料などの共通試料を用いた計測評価によって、各構成相の体積率や集合組織、第 2 相の形態や組成、添加元素の定量などの測定精度を小型線源と大型線源で比較する。また、電子線、X 線などの従来プローブによる観察との比較検証も行い、計測精度の手法依存性を明らかにして中性子線利用の利点と弱点を明確にする。ハードウェア開発の指針については、多様な専門家の視点で現状技術を精査して必要なスペックを提示し、計算機シミュレーションによる検証で妥当性を判断する。他手法との併用化など、装置の継続的な維持について検討する。

鉄鋼材料開発への応用に加えて、非鉄金属材料開発、高分子材料開発、接着材料開

発、自動車業界に代表される輸送機器開発等への波及効果、中性子以外の量子ビーム発生による構造材料解析の可能性について調査し、小型装置の多角的利用方法を提案する。小型加速器ベースの装置を産業機械として見たときの市場調査を行い、日本国内や海外への導入装置数について予測する。

#### (4)実施体制

本テーマは、共同実施機関で4つの課題に取り組む。

#### (5)運営管理

年6回の委員会を開催し進捗を報告。委員会委員には共同実施機関、再委託先、加速器技術や中性子線技術に関する有識者から選任。

### 2.8.8.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.8-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
小型中性子線源を用いた計測精度の明確化	共通試料を用いた計測評価を実施し優位性を検証する。	Spring8やJPARCの大型装置と計測性能を比較している。	△	
小型装置開発のための設計検討	小型加速器の設計を提案	遮蔽についてシミュレーションで検討中	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### (2)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.8-3 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会への出展	受賞	フォーラム等※
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	プレス発表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

(5)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.8-4 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願 <sup>※</sup>
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

## 2.8.9 [テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study

### 2.8.9.1 テーマの概要

#### (1)背景と目的

自動車や航空機などの移動体の軽量化には、適材適所に異種材料を配置したマルチマテリアル構造が有望である。これを実現するには、異種材を接着接合することが適している。しかし、接着接合には生産性や耐久性の観点で解決すべき問題が多い。本事業は、異種材の接着接合技術に関する研究・開発プロジェクトの本格的な開始を目指し、有望なテーマに関して Feasibility Study を実施し、研究テーマとしての妥当性を検証することを目的とする。

#### (2)位置付け、目標値

移動体の軽量化に向けた異種材接着接合技術並びに分析、評価および設計技術等を開発するために重要な技術課題に対して、平成 28 年度より、本格的な研究開発をすみやかに開始できるように、当該研究では研究開発項目に対して FS 研究を実施し、その妥当性を海外の研究開発動向調査の結果との比較等から検証する。

表Ⅲ-2.8.9-1 研究開発目標と根拠

研究開発項目	第一中間目標 (平成 27 年度末)	第二中間目標 (平成 29 年度末)	最終目標 (平成 34 年度末)	根拠
接着機構解明に向けた界面の分析手法・研究方法論の検討	量子ビームにより、接合機構や化機構などを明らかにする			研究テーマとしての妥当性を検討する項目
検査手法の検討	その適用可能性を検証			研究テーマとしての妥当性を検討する項目

#### (3)全体計画

構造用接着技術に関する研究・開発プロジェクトの実施を踏まえ、重要度が高く、かつ実現可能性の高いテーマの抽出、並びにその優先順位付けを行う。平成 26 年度に ISMA で実施した構造用接着技術調査委員会の答申に基づき、5 つの課題、具体的には「新規接着剤開発のための方法論構築」、「機械的特性評価法・接合部の設計論の確立」、「表面処理法の確立」、「接合部検査手法の確立」および「接着機構解明に向けた界面の分析手法・研究方法論の確立」に対して各種の研究を実施すると共に、海外の研究開発動向調査を実施し、各研究開発項目の予想される成果とその必要性から、研究項目の優先順位を決定する。

#### (4)実施体制

本テーマは、つくば中央東分室（産業技術総合研究所）が7機関に必要な研究開発を再委託して実施する。

### 2.8.9.2 研究開発成果

#### (1)中間目標の達成度

表Ⅲ-2.8.9-2 第一中間目標と達成度

研究開発項目	第一中間目標 (平成27年度末)	研究開発成果	達成度※	原因・課題と解決方針 ※未達の場合のみ
接着機構解明に向けた界面の分析手法・研究方法論の検討	量子ビームにより、接合機構や化学機構などを明らかにする	界面化学反応、ウイークボンド、劣化機構を検討中	△	
検査手法の検討	その適用可能性を検証	ウイークボンドの検出、並びに接着前表面の汚染検出を検討中	△	

※◎大きく上回って達成、○達成、△達成見込み、×未達

#### (2)成果の普及（論文、外部発表等）

表Ⅲ-2.8.9-3 論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	論文		その他外部発表				展示会への出展	受賞	フォーラム等※
	査読付き	その他	学会発表・講演	新聞・雑誌等への掲載	プレス発表	その他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	0	0	0	0	0	0	0	0	0

※実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

#### (3)知的財産権等の確保に向けた取り組み（戦略に沿った取り組み、取得状況）

表Ⅲ-2.8.9.2-4 特許の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願		
	国内	外国	PCT出願※
H25FY	0	0	0
H26FY	0	0	0
合計	0	0	0

※Patent Cooperation Treaty :特許協力条約



## IV.成果の実用化・事業化に向けた取り組み及び見通しについて

### 1.事業全体の取り組み及び見通し

#### 1.1 新構造材料技術研究組合成果の概要

##### (1)実用化・事業化に向けた戦略

- ・鉄鋼材料の開発では、中間目標や最終目標をラボレベルで早期に完了させることを目標とする。第3期（平成30年度）からは水素脆性や腐食など高強度鋼板に不可欠な課題に協調して取り組むとともに、自動車部品に必要な加工性などの課題について自動車メーカーや部品メーカーに試作品を提供し競争で開発を進め、実用化・事業化を図る。
- ・難燃性新Mg合金の開発ではその適用技術の確立を通して構造用Mg合金の実用化を図ることを目的としている。実用化に向けては「次世代高速車両構体」をターゲットとして明確化し、製造技術も並行して構築することを重視する。
- ・アルミニウム材では自動車用途への活用ではパネル以外に骨格部材を対象にしたアルミニウム素材開発から自動車への適用技術開発を行う。
- ・チタン材ではプロジェクト前半では、それぞれの工程（チタン精錬工程－茅ヶ崎分室、溶解工程－西神分室、圧延工程－富津分室）でラボスケールでの基盤技術の確立をめざし、その後スケールアップ技術を確立し、事業化に結びつける。
- ・CFRP（Carbon Fiber Reinforced Plastics）の特長であるテーラードデザインの可能性を生かし、強化材の形態や配向状態、樹脂組成、製造プロセスを含めたトータルな材料設計技術を構築する。大学に各業種から選ばれた企業からなるコンソーシアムを形成し、基盤技術と実用化技術がより密接した体制の下で研究開発を進める。
- ・接合技術開発では革新的構造材料開発材による同種・異種材料接合技術を確立するため、被接合材料に適した新規接合方法の開発とその有効性の検証を進める。本技術開発成果の主な適用先である輸送機器メーカーとの連携の下、実用化の具体的な指標を明確にし、生産ラインへの適合性等も考慮しつつ実部材への適用検討を推進する。

##### (2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

- ・鉄鋼では安全対策や電動化などにより自動車重量は増加するにも関わらず、燃費規制は厳格化するため自動車材料のさらなる軽量化が求められ、軽量化に効果がある自動車用超ハイテン鋼板の需要が大幅に拡大することが予想される。
- ・難燃性新Mg合金では、高コストなMg展伸材の構造材料への適用は難しい現状にある。本開発の成果により、比強度や加工性に優れた低価格の押出材や板材の提供が実現でき、高速車両構体用部材に適用できれば、Mg展伸材の市場規模の飛躍的成長が見込まれる。
- ・アルミニウム材では航空機産業におけるアルミニウム合金の市場規模は全世界で約1500億円（2012年）。今後20年で小型機の需要は200%増加との試算もあり、市場規模は着実に成長することが予想される。自動車へのアルミ板材の適用は、海外では欧州、北米が先行しており、アジア地域でも中国市場の増大により、着

実に需要が増大する。

- ・チタン材の主要市場であるエネルギー・インフラ市場では新興国の経済発展により市場の拡大が予測されている。もう一つの主要市場である航空機市場は、CFRPの機体材適用に伴い、従来のアルミニウム合金からチタン材への置き換えが進んでおり、新興国需要の増加との相乗効果でチタン材の需要拡大が予測されている。
- ・CFRPの特長である高比剛性・高比強度は、省エネルギー対策として輸送機器への展開が見込まれ、自動車用部材として動的特性、耐環境性、コストへの対応が可能となれば、さらなる適用が見込まれる。
- ・接合技術開発は、新たな材料の適用に際して必須な技術であり、新規構造材料の開発と同様に市場規模の拡大・成長が見込まれる。また、本技術開発は、ロボット等装置開発やそれを構成する部品開発に展開され、市場拡大による経済効果は大きい。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

- ・鉄鋼材では中間目標である 1.2GPa ハイテン鋼板の高強度化と高延性を図り、実用性能の評価と材料改良を実施する。複層鋼板 FS テーマについて、高強度高延性鋼板としての性能だけでなく、生産性や製造コストも含め実用化や事業化の可能性を検討する。
- ・マグネシウム材では本プロジェクトにおける全体スケジュールは以下の通りで、現在、当初計画を 1~2 年前倒しにして実行しており、2017 年度にはモックアップモデルを作製し、マグネ製高速車両構体の実用化を加速する予定である。
- ・アルミニウム材では 2018 年度までに、まずは電解 Al 箔の事業化を、さらに効率化とコスト低減に取り組み、2022 年度に最終目標であるアルミニウムの室温電解製錬の事業化を目指している。
- ・チタン材では本プロジェクト終了後、一貫製造プロセスの実証小型プラントによる 5 年の実証を経て商用量産化を見込む。但し、一貫製造プロセスの確立を待たずとも実用化できる成果については、積極的な事業化を推進する。
- ・CFRP の適用化開発では、車体実部材を想定したモデル部材を試作・評価し性能検証を行い、課題の抽出を進める。実用化開発は、自動車・材料・装置・成形加工の各企業が主体となって進め、アカデミアは、連携して基盤的課題の解決を進める。
- ・接合技術では実用化に向けては、要素技術開発、適用化開発、実用化開発と 3 ステージで取り組む。要素技術開発では、技術のポテンシャル分析を進め、技術の可能性検証と絞込みを行う。適用化開発では、モデル部材を試作・評価し性能検証を行い、課題の抽出を進める。実用化開発では、実用化に向けた課題の解決を行う。これらは、自動車・装置・部品などの各企業との協調体制を構築し、検討課題の情報共有を密に行い効率的な研究開発を進める。

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

- ・鉄鋼材料では 1.5GPa-20%ハイテン鋼板を実用化するために、高強度化に伴う水素

脆性および腐食などの課題について協調して開発を進める。一方、実製造の課題に対しては各分担研が個別に対応し解決していく。複層鋼板では、生産性や製造コストの課題が大きいと予想され、単層鋼板の母材開発の進捗も併せて考慮し検討する。

- マグネシウム材では開発した合金を実際の車両構体に適用するための条件として、材料の標準化を実施することが挙げられる。本研究開発では、日本 Mg 協会と連携して、開発合金の標準化、難燃性の評価手法の標準化をプロジェクトと並行して推進している。
- アルミニウムの室温電解製錬においては、原料として無水  $\text{AlCl}_3$ （塩化アルミニウム）を使用し、固体の Al 箔の状態を回収する。電解箔の実用化・事業化を前倒しで進め、その後室温製錬技術の完成を図る。
- チタン材では実用化に向けた課題は、チタン薄板の欠陥抑制および無害化である。これまでの実験室規模の試験でその原因は明らかになりつつあり、このための対策試験を実施する。航空機分野向けについては、新製造工程に関して航空機用認定を取得する必要がある、機体用向けに認定を取得後、エンジン向けの認定を取得する予定である。
- CFRP の実用化に向けた現状での課題は、①素材・部材製造コストの低減、②構造体としての信頼性確保、③リサイクル、リユース、リペア技術の確立、④環境影響評価（LCA）の実施等が挙げられる。車体構造体において適用可能部材の選定およびその要求特性の明確化、材料設計、成形試作、性能・コスト検証等適用化検討を企業とアカデミア一体で行う。
- 接合技術の今後では、鉄鋼材料の高強度化および車体軽量化に向けたマルチマテリアル化はかなり加速されると予測される。素材開発だけでなくそれに対応した新規接合技術も装置化も含めて大きな市場ニーズが予想され、優れた継手特性が得られ信頼性の高い接合技術が求められる。

#### (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

- 鉄鋼材では鉄鋼材料は安価であり、自動車の軽量化に寄与するハイテン鋼板のニーズは高く、1.5GPa 級冷間プレス用鋼板の需要が多く見込まれる。
- マグネシウム材では開発合金を実用化するにあたっては、ユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に加工・利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するための適用技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。
- アルミニウム材では航空機用材料に関して軽量化は永続的な課題であり、市場のニーズは大きい。現在日本国内のアルミニウム材料の約 90%が海外からの輸入であることからリードタイムの短縮や技術的サポートなど国内の素材メーカーに対する期待は大きい。
- チタン材では本開発により、薄板の低コスト化が図られ、チタン材の利用が大幅に促進されると期待される。その市場は、耐食性が主な要求特性である用途（板式熱交換器、電力、化学向け等）や高価ゆえに活用が進まなかった用途（自動車

向け部品、民生品)等の新たなメガ市場を創出することも期待される。

- CFRP では自動車用途として、力学特性では、超高張力鋼板、軽量化では、アルミニウム、マグネシウム、比剛性・比強度では、熱硬化性 CFRP が競合材料となる。現状では、他材料に比べコスト高であるが、トータルの部材製造コストの低減、設計の自由度を生かした付加価値の創出（他機能の付与）等により優位性を構築する。
- 接合技術ではプロジェクトで開発している新規構造材料の、同種・異種材料の接合に関してその殆どが、継手強度やコスト面から従来技術をそのまま適用するのは困難である。各種被接合材料において、新規材料との適合性、継手強度の確保（信頼性を含む）、生産ラインへの適合性、コスト等に関するベンチマーキングを行い、性能面、コスト面で優位な技術を選択し適用化を進める。

#### (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

- 鉄鋼材では製造コストが安価でありリサイクル性に優れた鉄鋼材料の高強度かつ高延性の 1.5GPa-20%ハイテン鋼板が実用化されれば、非鉄金属や樹脂材料などより優位性を保つことが可能となる。
- マグネシウム材では本開発テーマで実用化のターゲットとした高速車両構体用構造部材には、現行 Al 合金展伸材が採用されている。Al 合金展伸材を使った車両構体のさらなる軽量化にはほぼ限界が来ており、大幅に軽量化が期待できる Mg 合金展伸材への置換は大いに優位性がある。
- アルミ材では、近年大型航空機においては軽量化・燃費効率の観点から CFRP の適用が進んでいるが、コストが高い問題がある。一方小型機においては航続距離も短く、損傷許容設計に基づいた信頼性やコストメリットや観点からアルミニウム合金が有利であると考えられる。海外アルミニウムメーカーは Al-Li 合金の開発を進めているが、特殊な鑄造設備が必要な点や量産性あるいはリサイクル性の点からコストが高いという問題点がある。
- チタン材は競合となる他の金属材料に対して、比強度や耐食性といった性能面では総じて圧倒的に優位にあり、適用拡大に向けてのネックはコスト面のみである。例えば、純チタン展伸材が多用される熱交換器等のプラントでは、ステンレス合金が競合材となるが、耐食性の観点でチタンに優位性がある。
- CFRP では自動車用構造材料として、力学特性では、超高張力鋼板、軽量化では、アルミニウム、マグネシウム、比剛性・比強度では、熱硬化性 CFRP が競合材料となる。現状では、他材料（熱硬化性 CFRP は除く）に比べコスト高であるが、トータルの部材製造コストの低減、設計の自由度を生かした付加価値の創出（他機能の付与）等によりコストパフォーマンスにおいて優位性を構築する。
- プロジェクトで開発している新規構造材料では、同種・異種材料の接合に関してその殆どが、継手強度確保およびコスト面から従来技術をそのまま適用するのは困難である。各種被接合材料において、新規材料との適合性、継手強度の確保（信頼性を含む）、生産ラインへの適合性、コスト等に関するベンチマーキングを行い、性能面、コスト面で優位な技術を選択し適用化を進める。

#### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

- ・鉄鋼材ではレアメタルを多量に含まないハイテン鋼板の製造技術をより低強度の鋼板の製造技術に転用することが可能である。本テーマでは、基礎研究について大学への再委託を行っているが、最先端の研究を通じて材料工学分野の人材育成に貢献している。
- ・マグネシウム材では鉄道車両構体の軽量化・低騒音・低振動が課題となり技術開発が進められているが、これらの課題は、鉄道車両分野のみならず、自動車分野、航空機分野、建材分野等にも当てはまることから、開発した難燃性 Mg 合金の構造物への適用による経済波及効果は大きい。また、本開発テーマでは従事している人材が若く、学会等での積極的な成果発表や論文投稿を推進することで、人材育成にも貢献できると考える。
- ・アルミニウム材では本プロジェクトにおける新製造プロセスは他の構造材料用アルミニウム合金にも容易に適用が可能であり、例えば自動車用ボディ材では金属間化合物の微細分断化による成形性の向上や不純物を多く含むリサイクル材の直接利用など地球規模での資源の有効利用が可能となる。
- ・チタン材ではチタンは製錬時に多くの電気を必要とする金属である。高い電力単価をカバーする新技術を開発しないと日本国内でチタン製錬事業を続けていくのは困難となる。当研究開発によるチタン製錬技術の革新により、日本国内でのチタン製錬事業の継続が十分可能となり、日本の経済および雇用に大きく貢献できる。
- ・CFRP では本技術開発は、70%の世界的シェアを有する炭素繊維のさらなる市場拡大はもとより、広範囲な産業分野での軽量化ニーズに伴う CFRP の市場拡大が予測され、その経済的効果は非常に大きい。産学一体となった開発体制の下、人材交流による技術レベルの向上、視野の拡大、ネットワーク形成等人材育成上有意義である。
- ・接合技術では本技術開発は、素材産業の活性化はもとより各種輸送機器（自動車、航空機、鉄道車両、船舶等）の軽量化による CO<sub>2</sub> 削減や省電力化に貢献できるだけでなく、家電・重電分野やインフラ分野等他産業へ展開可能であり、技術的・経済的波及効果は極めて大きい。また、本技術開発を通して異業種企業、アカデミア等との間で多様な人材交流が可能であり、特に若手技術者や学生等の技術開発力向上等人材育成上非常に有意義である。

## 1.2 革新炭素繊維基盤技術開発成果の概要

### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

炭素繊維の需要分野は自動車等の輸送機器に限らず、環境・エネルギー、土木・建築など極めて多岐にわたり、省エネ（低コスト）な炭素繊維製造技術を確立できれば、需要量は膨大であり、極めて大きな波及効果が期待できる。しかしながら、現在の炭素繊維の製造プロセスでは、消費エネルギー及び CO<sub>2</sub> 排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。日本企業が世界の主要な生産・供給プレーヤーになっている PAN 系炭素繊維を高機能化・低コスト化する次世代版炭素繊維の開発シーズを大学と主要企業が産学連携によって確立し、その生産を事業化することは、日本の炭素繊維の製造業をさらに活性化し、その炭素繊維を利用するユーザー企業の部材・製品の競争力を高めることになる。ただし、本開発の研究室レベルでのエンジニアリング技術については、将来の連続した生産工程などの検証が十分出きないので、技術移転候補の企業と協議しながら、セミプラントレベルの実証設備が必要かどうか検討し、その必要度に応じて国の資金援助を要請するかどうかの判断ができる意見を集約する必要がある。本技術開発事業の政策的意義、社会的・経済的意義は極めて重要であり、将来の自動車の進化に重要な超軽量化技術の核となり、炭素繊維に係る技術開発競争は海外においても一層加速していることなどから、産学官一体となった体制において、本技術開発の成果を実用化することを検討していきたい。

### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

炭素繊維は、軽くて強いという優れた特性から、自動車等の運輸車両の軽量化を図ることができるということで省エネルギーや二酸化炭素排出削減に大きく貢献できる素材として期待されている。これまで炭素繊維の世界市場は日本企業が約 7 割を占めるという寡占状態であったが、近年では航空機を中心とした需要の牽引を受け、欧米の既存の炭素繊維メーカー各社が炭素繊維製造プラントの増設を発表するとともに、中国では政府主導により炭素繊維製造技術の開発に注力しており、既に汎用炭素繊維レベルまでの生産能力はあると言われている。今後、中国における汎用炭素繊維の生産能力の飛躍的な拡大も否定できない状況である。2030 年には、約 700 万台の新車に炭素繊維が使われると推定すると自動車用途として約 12 万 t/年の大量な炭素繊維需要が見込まれているが、現行方法での生産能力では対応が困難な状況であり、近い将来見込まれる炭素繊維の大量需要に速やかに対応するためには生産性向上等が喫緊の課題となっている。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

実用化に向けては、素材製造・複合材料化から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保等の課題もあり、パイロットラインが新設できれば、製造技術の蓄積や他のプロジェクトとの連携が可能となる。パイロットラインにおける開発研究で本プロセスのポテンシャルを把握し、効率よく幅広い技術や製造ノウハウを蓄積することは、本技術の実用化を加速することのみならず炭素繊維産業の国際競争力を確保してゆくことにも繋がる。今後、パイロットラインによる取組は本技術開発の

関係者らによる検討が必要であるので、本技術開発の後期もしくは後継プログラムとして進めることを期待したい。

#### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

実用化への道筋の確立、事業終了後の成果の取扱い、重点的に解決すべき問題の絞り込み等を通じ、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが要求されている。製造設備の大型化や量産性の実証以上に繊維特性の向上に注力することが、事業化に果たす役割はより大きいという指摘もある。また、素材と反応を伴う製造工程が大幅に変わるので、有害物質排出の可能性について知見を得るようにしていく必要がある。実用化に向けては、素材製造・複合材料化から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保等の課題もありパイロットラインによる製造技術の蓄積や他のプロジェクトとの連携が必要不可欠である。パイロットライン開発研究で本プロセスのポテンシャルを把握し、効率よく幅広い技術や製造ノウハウを蓄積することは、本技術の実用化を加速することのみならず炭素繊維産業の国際競争力を確保してゆくことにも繋がる。パイロットラインによる取組は本技術開発の関係者らによる検討が必要である。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

軽量構造材料に対する社会的ニーズとともに、生産性の向上によるコスト削減効果も期待されることから、本技術開発の成果は事業化に直結するものである。また、本開発においては、炭素繊維メーカーが参加し、迅速な事業化への対応に向けてプロセス技術開発も並行して行う実施体制となっており、成果の実用化の見込みは極めて高いものと確信している。

炭素繊維は、道路や建築物の補強材料などとしても使用されはじめている。本技術開発により、自動車等の移動体用の構造材料として炭素繊維が大量導入されれば、必然的にその価格も低下し、それによって、これまでコスト面で導入が見送られていた補強材料としての市場への拡大が期待される。

電気自動車の軽量化のために CFRP が使用されはじめているが、本技術開発により、炭素繊維のコストが低下するとともに、製造時におけるエネルギー消費量を低下させることができれば、トータルでの省エネルギー効果が増し、燃料電池車や電気自動車等の他の低環境負荷自動車の普及にも貢献することが期待される。水素、天然ガス等の燃料タンクや風力発電ブレードなど、エネルギー分野での利用拡大によって、炭素繊維の市場拡大は様々な省エネルギー効果を生み出すものと期待される。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

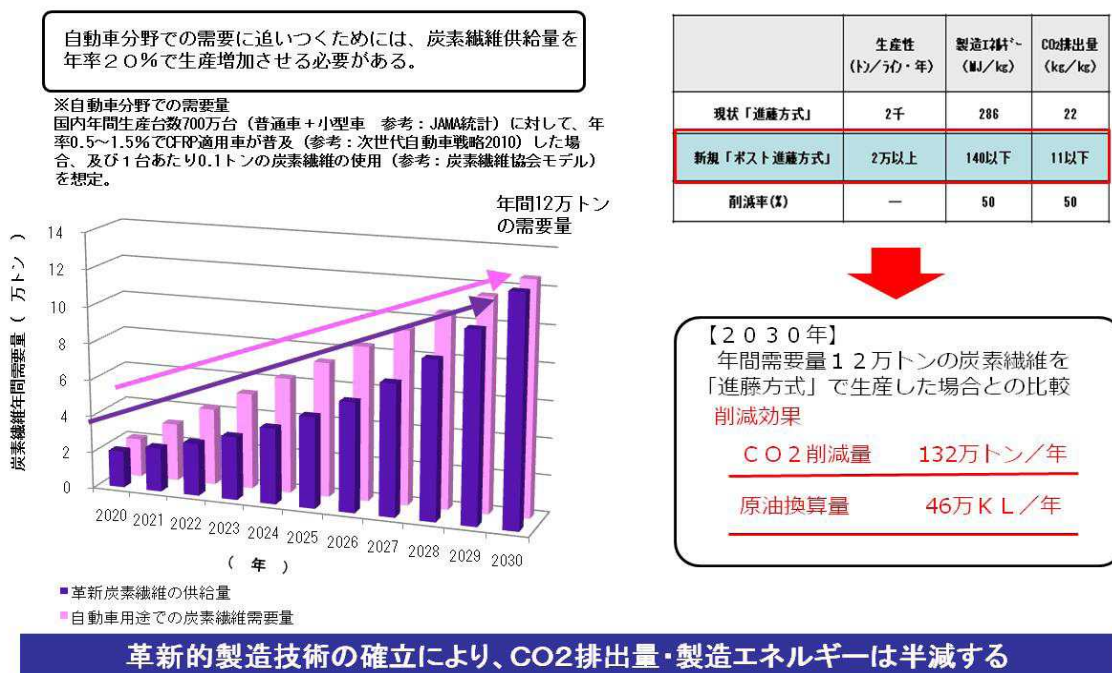
現在の炭素繊維の製造法（進藤方式）では、消費エネルギー及び CO<sub>2</sub> 排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。現在の炭素繊維製造法は、アクリル繊維を空気中高温で耐炎化（焼成）するため、製造エネルギー及び二酸化炭素排出量はいずれも鉄の約 10 倍と非常に高く、除熱効率の装置限界から生産性もなかなか高められないのが現状である。先端素材である炭素繊維が幅広い用途に普及し

ていくためには、従来の製造方法のままでは製造エネルギー、二酸化炭素排出量及び生産性の観点から限界であると言える。現行の炭素繊維製造における原料（炭素繊維前駆体）、製糸、焼成の技術について、抜本的な見直しを行うことにより、製造エネルギー及び CO<sub>2</sub> 排出量を半減させるとともに生産性も飛躍的に向上させる技術を確立できる。

### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

本技術開発が成功した場合の産業的なインパクトについて検討した結果を図IV-1.2-1に示した。その結果、自動車用途等の需要増年率20%と仮定すると、2030年までには安定して供給できる体制が整う。また、2030年時には炭素繊維生産時に132万tのCO<sub>2</sub>削減、原油換算量で46万KL/年削減という大きな効果が見込まれる。さらに、これらの活用により軽量化した自動車等によって低炭素社会への実現に貢献できることになる。

2030年における自動車分野での炭素繊維需要量と供給量



図IV-1.2-1 革新炭素繊維が与える産業的なインパクト



## 2. テーマ毎の取り組み及び見通し

### 2.1 テーマ1 「革新鋼板の開発」

[テーマ番号 22] 残留 $\gamma$ 高度制御革新鋼板の開発

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発（複層鋼板 FS）

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査（複層鋼板 FS）

#### 2.1.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

##### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

中間目標である 1.2GPa-15%ハイテン鋼板の開発は、1 年間前倒しで開発が完了し、1.5GPa-20%ハイテン鋼板の開発は平成 29 年度末（前半 5 年）で早期に完了させることを目標とする。平成 30 年度からは水素脆性や腐食など高強度鋼板に不可欠な課題に協調して取り組むとともに、自動車部品に必要な加工性などの課題について各分担研が自動車メーカーや部品メーカーに試作品を提供し競争テーマとして開発を進め実用化・事業化を図る。複層鋼板 FS 研究では、硬い鋼と軟らかい鋼の複層化による大幅な延性改善が確認され、今年度末に FS 研究の目処をつける。

##### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

安全対策や電動化などにより自動車重量は増加するにも関わらず、燃費規制は厳格化するため自動車材料のさらなる軽量化が求められ、軽量化に効果がある自動車用超ハイテン鋼板の需要が大幅に拡大することが予想される。

##### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

中間目標である 1.2GPa ハイテン鋼板の高強度化と高延性化を図り、実用性能の評価と材料改良を実施する。複層鋼板 FS テーマについて平成 27 年度末までに FS 研究としては完了させ、高強度高延性鋼板としての性能だけでなく、生産性や製造コストも含め実用化や事業化の可能性を慎重に検討する。

##### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

1.5GPa-20%ハイテン鋼板を実用化するために、高強度化に伴う水素脆性および腐食などの課題について協調して開発を進める。一方、実製造の課題に対しては各分担研が個別に対応し解決していく。複層鋼板では、生産性や製造コストの課題が大きいと予想され、単層鋼板の母材開発の進捗も併せて考慮し検討する。

##### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

鉄鋼材料は安価であり、自動車の軽量化に寄与するハイテン鋼板のニーズは高く、1.5GPa 級冷間プレス用鋼板の需要が多く見込まれる。

##### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

製造コストが安価でありリサイクル性に優れた鉄鋼材料の高強度かつ高延性の1.5GPa-20%ハイテン鋼板が実用化されれば、非鉄金属や樹脂材料などより優位性を保つことが可能となる。

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

レアメタルを多量に含まないハイテン鋼板の製造技術をより低強度の鋼板の製造技術に転用することが可能である。また 1.5GPa ハイテン鋼板が自動車用材料に適用され自動車の軽量化に寄与すれば自動車の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に削減される効果がある。本テーマでは、基礎研究について大学への再委託を行っているが、最先端の研究を通じて材料工学分野の人材育成に貢献している。

### **2.1.2 各社の取り組み及び見通し**

#### **2.1.2.1 神戸製鋼所（西神分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

ユーザに対して、ここで得られた革新鋼板に関する知見を提示して議論しながら課題の整理を行う。また解決する技術開発を行う。こういったキャッチボールを何度か進めながらユーザにとって本当に有用な材料の創出につなげることで実用化を図る。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

超高強度鋼板の需要は着実に増加するとされており、市場については着実に拡大する。国内でも同等と考えられており、国内市場だけでも大きな市場になると予想され、大きな経済効果が見込まれる。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

実用化のためにユーザ情報のフィードバックならびに対策技術の開発を平成 29 年度までに完了させる。その後、実機での製造を考慮した、中高炭素鋼にとって理想的な設備のあり方を考慮しながら必要設備の増強を図っていく。

##### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

革新鋼板の活用の最も大きな課題は接合である。こちらについては、テーマ番号 02 で本テーマで開発した革新鋼板の接合技術を開発しており、そこで得られた技術を活用することで解決できる。もう一つは遅れ破壊であり、こちらは協調領域として平成 30 年度以降の取組みが可能になるよう調整していく。

##### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

ユーザのニーズについては確実にあることが各種情報ソースから入手できており、開発を着実に進めることが重要となる。実用化・事業化については、ユーザで本材料を採用に当たってメリットと難しさの両方を評価しておくことで、本材料のメリットを生かすことができるユーザへの展開を先行して進めることで事業化実現の確度を高めていく。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

CFRP、アルミが競合技術となるが、車体骨格については、しばらく超高強度鋼が主体であり続けることが考えられる。特にここで進めている中高炭素革新鋼板は成分コストの増分がほとんどないため、コスト競争力に優れると考えられる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

1.2GPa、1.5GPa という強度クラスの開発を進めているが、同時に 1.0GPa 等の強度クラスにおいても良好な伸びが得られる条件が見えてきており、鋼板全体の特性向上に寄与する考え方が構築できつつある。また、人的には、社内での材料開発技術者の育成、また、再委託先で技術者の育成が実現できつつある。

### **2.1.2.2 新日鐵住金（尼崎分室、富津分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

これまでは、単純組成からなる革新鋼材の特性として引張強度 1.2GPa、伸び 15%の実現の可能性およびその特性を実現するための製造プロセスの基盤技術を探索してきた。しかしながら、現時点では、実験室レベルの試作と評価に留まっている。本技術を工業レベルで実現するためには、スケールアップとプロセスウィンドウの拡大が必要である。そこで今後は、富津分室および尼崎分室が有する高強度材の製造、実用化のノウハウを活かし、事業化の可能性を検討する。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

現時点では、具体的な適用製品や商品イメージが確立していないため、市場規模、成長性、経済効果の判断は困難である。今後、具体的な適用先を絞り込んだ上で、製造性、製造コストを踏まえた検討を重ねるとともに、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

平成 29 年までに革新鋼材の材料設計基盤技術確立を確立する。平成 30 年以降、移動体用部材への具現化を検討し、実用性能の評価およびスケールアップとプロセスウィンドウの拡大のための成分やプロセス改良を実施する。

	H25	H26	H27	H28	H29	H30	H31	H32	H33	H34
革新鋼材の開発	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>←</span> <span>→</span> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中高炭素鋼の組織制御</li> <li>・高強度、高延性化の材料設計(1.2GPa,15%)</li> <li>・材質改良</li> <li>(1.5GPa,15%)</li> <li>・移動体用部材検討</li> <li>・信頼性評価と材料改良</li> <li>(1.5GPa,20%)</li> </ul>									
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>←</span> <span>→</span> </div> <p>開発材の耐環境性評価</p> <p>改良材の評価と材料指針提案</p> <p style="text-align: right;">総括</p>									
その場観察技術開発	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>←</span> <span>→</span> </div> <p>中高温域のその場観察装置の開発</p> <p>その場解析装置の改良</p>									
	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <span>←</span> <span>→</span> </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>・中高温域の鋼中組織解析手法確立</li> <li>・鋼組織データベース化システム開発</li> </ul> <p style="text-align: right;">総括</p> <p>中性子線を利用した構造材料解析技術FS (協調領域)</p> <p>中性子線を利用した構造材料解析技術開発 (協調領域)</p>									

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

実用性能の評価と実用化・事業化に向けた課題はスケールアップとプロセスウィンドウの拡大である。現時点で実用化、事業化の判断は困難である。今後、革新鋼材の引張強度とともに耐環境性を評価し、適用部材を絞り込む。合わせて、プロセスウィンドウ拡大のための冶金データを蓄積する。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

競合する既存技術は合金元素を含む高強度材である。これらは、長年の技術の蓄積によりコスト合理化も進んでいる。本プロジェクトで提案する革新鋼材についても、製造性、製造コストの検討を進め、性能とコストの両面から優位性を追究する必要がある。

#### (6) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

中高温域における鋼の組織変化に関するデータを蓄積し、さらに実験データと組織シミュレーションデータとの融合により、高強度鋼の強度発現機構の理解に必要な組織因子の定量化が可能となる。

さらに、種々の周辺技術の融合と技術力向上とともに、再委託を通じた人材育成が期待される。

### 2.1.2.3 JFE スチール（千葉分室）

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

平成 34 年度までに 1.5GPa 級高延性超高強度鋼板を開発し、実用化に目処をつける。これは、自動車メーカーにおける将来の自動車軽量化戦略と合致している。

## **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

自動車需要は、今後もアジアなど新興国中心に伸び代が大きく、2015年 92 百万台から 2050年 283 百万台に大きく拡大することが予測されている（丸紅経済研究所データ）。自動車用超高強度鋼板は安価でかつ軽量化・安全性向上効果が大きいことから、爆発的に需要が拡大することが予想され経済効果は大きい。

## **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

現在、中間目標材の実機試作可否の検討をしている。また、平成 27 年度開発鋼の溶接性やプレス成形性など実用特性を評価し、得られた結果をフィードバックし、第 2 期以降の鋼板開発に展開する。

## **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

平成 27 年度中間目標材の開発を通して、連続鋳造性や熱間圧延性も含めた実製造性の課題を抽出する。確認された実製造性の課題はフィードバックし、第 2 期以降の鋼板開発に展開する。

## **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

アジアなど新興国を中心に安価で、かつ自動車の軽量化・安全性向上効果の大きい超高強度鋼板のニーズは爆発的に拡大することが予想されている。例えば、1.5GPa 級冷間プレス用鋼板の需要は、2020 年で 200 万 t/年以上、2030 年で 300 万 t/年以上に達する可能性がある。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

レアメタルを多量に含まない超高強度鋼板の開発により、非鉄・非金属材料に対する製造コスト、リサイクル性の圧倒的な優位性を維持したまま、弱点である比強度が大幅に改善され、非鉄・非金属材料並みの軽量化素材となる可能性がある。

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

自動車の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に削減され、燃費改善目標（国立環境研究所 AIM PJ チーム試算）である 10～20%相当の CO<sub>2</sub> 削減で地球温暖化ガスの低減に寄与する。また、自動車の安全性(耐衝突性)・走行性能の向上により、社会の安心・安全向上に寄与する。

### **2.1.2.4 新日鐵住金（尼崎分室、富津分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

FS 研究成果を評価の上、実用化、事業化の可能性を検討する。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

本件は FS 研究であり適用先、市場規模、成長性、経済効果の判断は困難である。今後、具体的な適用先を絞り込んだ上で、製造性、製造コストを踏まえた検討を重ね

るとともに、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析、検討する。

### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

FS 研究成果を評価の上、実用化、事業化の可能性を検討する。

### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

製造プロセスの実現性、および製造コストが課題。FS 研究成果を評価の上、利得の検討と実用化、事業化の可能性の検討が必要。

### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

本件は FS 研究であり現時点で実用化、事業化の判断は困難である。今後、具体的な適用先、適用部材を絞り込んだ上で、製造性、製造コストを踏まえた検討を重ねるとともに、ユーザーニーズについて調査し、本技術による利害損得について客観的に分析、検討する。

### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

競合する既存技術はクラッド鋼材に代表される、異種金属の接合技術である。これらの競合技術は既に実用化されており、コスト合理化も進んでいる。本プロジェクトで提案する新技術は未だ FS 研究の段階であり、今後、製造性、製造コストの検討が必要である。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

種々の周辺技術の融合と技術力向上とともに、再委託を通じた人材育成が期待される。

## **2.1.2.5 JFE スチール（千葉分室）**

### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

本テーマ(26)においては、複層化することによって微視的な変形破壊挙動が変化し、高い伸び性能が得られる事を解明し、また、接合界面の強度や水素脆性に関する基礎的な知見が得られている。革新鋼板の実用化においては実製造プロセスや部材の加工工程等を考慮し、鋼板性能と製造コストの両面を評価した上で、複層構造の適用性を精緻に検討することが必要である。また、本研究から得られた知見は[テーマ番号 24]炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発に展開することが可能であり、今後、より高付加価値の鋼板開発に繋げていく予定である。

### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

自動車需要は、今後もアジアなど新興国中心に伸び代が大きく、2015 年 92 百万台から 2050 年 283 百万台に大きく拡大することが予測されている（丸紅経済研究所データ）。自動車用超高強度鋼板は安価でかつ軽量化・安全性向上効果が大きいことから、爆発的に需要が拡大することが予想され経済効果は大きい。

### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

本 PJ で平行して実施している[テーマ番号 24: 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発]では、平成 27 年度中間目標材の実機化検討を開始している。平成 27 年度内に実ラインでの鋼板試作を実施した後、実験室にて実機試作鋼板の機械的特性評価および自動車用モデル部品の成形加工試験を実施する。得られた結果をフィードバックし、第 2 期以降の鋼板開発に展開する。これら取り組みにおいて、本テーマ 26 で得られた複層化による高延性化、水素侵入抑制等の知見をテーマ 24 に展開することで、実用化を加速する。

### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

上記テーマ 24 の平成 27 年度中間目標材の実機試作を通して、連続铸造性や熱間圧延性も含めた実製造性の課題を抽出する。実機試作で確認された課題はフィードバックし、第 2 期以降の鋼板開発に展開する。必要特性に応じて複層化および擬似複層化（表層改質等）の適用を検討する。

### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

アジアなど新興国を中心に安価で、かつ自動車の軽量化・安全性向上効果の大きい超高強度鋼板のニーズは爆発的に拡大することが予想されている。例えば、1.5GPa 級冷間プレス用鋼板の需要は、2020 年で 200 万 t/年以上、2030 年で 300 万 t/年以上に達する可能性がある。

### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

レアメタルを多量に含まない超高強度鋼板の開発により、非鉄・非金属材料に対する製造コスト、リサイクル性の圧倒的な優位性を維持したまま、弱点である比強度が大幅に改善され、非鉄・非金属材料並みの軽量化素材となる可能性がある。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

自動車の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量が大幅に削減され、燃費改善目標（国立環境研究所 AIM PJ チーム試算）の 10~20%相当の CO<sub>2</sub> 削減で地球温暖化ガスの低減に寄与する。また、自動車の安全性(耐衝突性)・走行性能の向上により、社会の安心・安全向上に寄与する。

## 2.2 テーマ2 「革新的アルミニウム材の開発」

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発

### 2.2.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

##### ① 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発（千年分室、他）

まずは国産ジェット機に参入するべく合金開発・量産体制の確立を目指す。続いて海外小型ジェット機メーカーや大型旅客機への展開を計る。

##### ② 新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発（深谷分室）

2015 年度は、小型の連続電析実験機を導入し、イオン液体浴から長尺の電解 Al 箔を作製する。続いて生産技術の改良を進め、2017 年度にパイロットプラントを構築する。2018 年度、まずは電解 Al 箔の事業化を、さらに効率化とコスト低減に取り組み、2022 年度に最終目標であるアルミニウムの室温電解製錬の事業化を目指す。

##### ③ 複層アルミ合金の開発(西神分室)

アルミ化が進んでいる自動車のパネル材に対して、骨格部材では、アルミニウムの適用が遅れている。本研究開発では、その得られた成果を、骨格部材を対象にしたアルミニウム素材開発によって実用化することを狙いとしている。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

##### ① 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発(千年分室、他)

航空機産業におけるアルミニウム合金の市場規模は全世界で約 1500 億円（2012 年）。今後 20 年でリージョナルジェットを含む小型機の需要は 200%増加との試算もあり、市場規模は着実に成長することが予想される。

##### ② 新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発(深谷分室)

目標ターゲットである「リチウムイオン電池の正極用の集電体」の市場規模（2014 年度）は全世界で約 130 億円であり、今後も継続的な伸びが期待される。現在は全て Al 圧延箔が用いられており、その価格は約 600 円/kg である。電池の大容量化に伴い、集電体はより薄くなる傾向にあり、製造コストは圧延箔よりも電解 Al 箔の方が有利となる可能性がある。電解 Al 箔の量産化が実現すれば、EV 用リチウムイオン電池の低価格化に貢献でき、その経済効果は数十億円になると期待される。さらに新地金製錬の事業化が達成されれば自動車材への適用も可能となるため、集電体以上の経済効果（数百億円）が見込まれる。



### ③複層アルミ合金の開発(西神分室)

自動車へのアルミ板材の適用は、海外では欧州、北米が先行しており、アジア地域でも中国市場の増大により、着実に需要が増大する。国内に関しても、海外よりは遅れているものの、今後着実に増大し、市場としては拡大すると予想される。

## (3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

### ①高強度・高靱性アルミニウム合金の開発(千年分室、他)

実用化に向けては国内航空機体メーカーと連携を取りながら進めていく。本プロジェクト内で大型化の検討を行った後、工業化レベルでの量産設備の導入検討を行う。航空機用材料の各種規格・認定取得は量産設備における実証が必要となるため、量産設備導入後は認定取得およびユーザー評価を加速して実施する。

### ②新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発(深谷分室)

アルミニウムの室温電解製錬においては、原料として無水  $\text{AlCl}_3$ （塩化アルミニウム）を使用し、固体の Al 箔の状態を回収するが、主要技術は、① 無水  $\text{AlCl}_3$  新製法、② 連続電析技術、③ 共析の制御、および④表面の平滑化の 4 つが考えられる。これらの課題を再委託先の 4 大学とで分担し、開発に取り組んでいる。

2018 年度までに、まずは電解 Al 箔の事業化を、さらに効率化とコスト低減に取り組む、2022 年度に最終目標であるアルミニウムの室温電解製錬の事業化を目指している。

### ③複層アルミ合金の開発(西神分室)

検証できたコンセプトを実用化に向けた要素技術として確立する技術開発を継続して行う。ラボレベルの評価から、量産に向けた技術確立を進め、事業化の判断を行った上で実用化する予定である。

## (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

### ①高強度・高靱性アルミニウム合金の開発(千年分室、他)

新合金の開発は予定通り順調に進んでおり、課題は実用化に向けたユーザーとの情報交換である。今後、国内航空機体メーカーへサンプル供給を実施し、実用化に向けての課題（例えば耐応力腐食割れ性、残留応力など）の抽出を行い早期に問題解決に取り組む。また、大型化に向けた技術開発を実施するため実証設備の導入を開始する。さらには航空機用材料としての各種認定取得に向けた準備を進める。

### ②新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発(深谷分室)

アルミニウムの室温電解製錬においては、原料として無水  $\text{AlCl}_3$ （塩化アルミニウム）を使用し、固体の Al 箔の状態を回収する。確立すべき要素技術は、① 無水  $\text{AlCl}_3$  新製法、② 連続電析技術、③ 共析の制御、および④表面の平滑化の 4 つが考えられる。

この中で、②の連続電解技術が順調に進んでおり、③と④の課題がある程度クリア

できれば、まず、電解箔の実用化・事業化を前倒しで進め、その後室温製錬技術の完成を図る予定である。

### ③複層アルミ合金の開発(西神分室)

ラボレベルでのコンセプトの検証ができた段階である。今後は、実用化に向けた進め方として、更なる特性バランス向上策、他特性の評価および向上策や、スケールアップのための製造技術の開発に取り組む

## (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

### ①高強度・高靱性アルミニウム合金の開発(千年分室、他)

航空機用材料に関して軽量化は永続的な課題であり、市場のニーズは非常に大きい。また、現在日本国内で使用されているアルミニウム材料の約 90%が海外からの輸入であることから材料調達や技術的サービスに問題が多く、リードタイムの短縮や技術的サポートなど日本国内のアルミニウムメーカーに対する期待は大きい。

### ②新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発(深谷分室)

イオン液体からの電析により得られる電解 Al 箔は、そのままリチウムイオン電池の正極集電体として用いることが可能である。現在、リチウムイオン電池の正極集電体は圧延法により製造されているが、前述したように最近薄膜化の要求が強くなっており、それに伴い製造コストが増大することが予想され、近い将来電解 Al 箔が圧延 Al 箔よりも製造コストの面で有利となる可能性がある。

また、最終的に室温電解製錬によるアルミニウム地金の製造プロセスが実現すれば、自動車用の素材として利用が拡大すると考えられる。

### ③複層アルミ合金の開発(西神分室)

海外では既にオールアルミ車に加えて、適材適所でアルミニウム合金を使用するハイブリッド化が先行している。国内も将来的にはその方向に進むものと考えられ、本研究での開発材のニーズはあるものと考えている。

## (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

### ①高強度・高靱性アルミニウム合金の開発(千年分室、他)

近年大型航空機においては軽量化・燃費効率の観点から CRFP の適用が進んでいるが、コストが高い問題がある。一方小型機においては航続距離も短く、損傷許容設計に基づいた信頼性やコストメリットや観点からアルミニウム合金が有利であると考えられる。海外アルミニウムメーカーは Al-Li 合金の開発を進めているが、特殊な鑄造設備が必要な点や量産性あるいはリサイクル性の点からコストが高いという問題点がある。本プロジェクトで進めている高強度・高靱性アルミニウム合金は汎用性やコストの面から優位であり、特性的にも Al-Li 合金の比強度も上回る。

### ②新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発(深谷分室)

従来のアルミニウム新地金の製錬プロセス（バイヤー法＋ホール・エルー法）においては約 1000℃の高温環境が必要であり、室温電解製錬によるプロセスの低温化は大幅なエネルギー削減を可能とする。その結果、アルミニウム製品の低価格化が期待される。

### ③複層アルミ合金の開発(西神分室)

従来の鋼材に加えて、マグネシウム、CFRP が競合材として想定される。これらの競合材に対しては、本開発材では、鋼材に対しては、部材特性を同等としつつ、軽量化効果で、マグネシウムに対してはコストと成形性、CFRP に対してはコストで優位性を出すことで、本開発材を差別化する。

## (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

### ①高強度・高靱性アルミニウム合金の開発(千年分室、他)

本プロジェクトにおける新製造プロセスは他の構造材料用アルミニウム合金にも容易に適用が可能であり、例えば自動車用ボディ材では金属間化合物の微細分断化による成形性の向上や不純物を多く含むリサイクル材の直接利用など地球規模での資源の有効利用が可能となる。また現行の鉄道車両用アルミニウム合金に比べ 2 倍以上の強度を有することから、最適な強度・耐食性バランスを有する微調整を行うことで大きな軽量化を達成することが可能となる。

また、本合金開発において重要な析出強化メカニズム、破壊靱性、疲労亀裂伝播特性、疲労特性、応力腐食割れ性や一般耐食性などは航空機用材料のみならず各種構造材料には非常に重要な特性であり、本プロジェクトで得られる知見は社会的な効果や人材育成の観点からも波及効果は非常に大きい。

### ②新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発(深谷分室)

従来のアルミニウム新地金製錬のエネルギー効率が飛躍的に向上すれば、アルミニウム製品の低価格化がはかれ、自動車やリチウムイオン電池への適用が拡大すると期待される。その結果、軽量化による燃費向上、環境負荷低減等、大きな経済的・社会的効果をもたらすと考えられる。

### ③複層アルミ合金の開発(西神分室)

本プロジェクトの開発材は、自動車以外の輸送機や部品類に幅広く活用することが可能であり、他分野におけるアルミニウム合金の適用とそれによる軽量化効果の拡大につながるものである。

## 2.2.2 各社の取り組み及び見通し

### 2.2.2.1 UACJ（千年分室）

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

まずは国産ジェット機に参入するべく合金開発・量産体制の確立を目指す。続いて海外小型ジェット機メーカーや大型旅客機への展開を計る。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

航空機産業におけるアルミニウム合金の市場規模は全世界で約 1500 億円（2012 年）。今後 20 年でリージョナルジェットを含む小型機の需要は 200%増加との試算もあり市場規模は着実に成長することが予想される。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

実用化に向けては国内機体メーカーと連携を取りながら進めていく。本プロジェクト内で大型化の検討を行った後、工業化レベルでの量産設備の導入検討を行う。航空機用材料の各種規格・認定取得は量産設備における実証が必要となるため、量産設備導入後は認定取得およびユーザー評価を加速して実施する。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

国内機体メーカーへサンプル供給を実施し、実用化に向けての課題（例えば耐応力腐食割れ性、残留応力など）の抽出を行い早期に問題解決に取り組む。また、大型化に向けた技術開発を実施するため実証設備の導入を開始する。さらには航空機用材料としての各種認定取得に向けた準備を進める。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

航空機用材料に関して軽量化は永続的な課題であり、市場のニーズは非常に大きい。また、現在日本国内で使用されている航空機用アルミニウム材料の約 90%が海外からの輸入であることから材料調達や技術的サービスに問題が多く、リードタイムの短縮や技術的サポートなど日本国内のアルミニウムメーカーに対する期待は大きい。

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

近年大型航空機においては軽量化・燃費効率の観点から CRFP の適用が進んでいるが、コストが高い問題がある。一方小型機においては航続距離も短く、損傷許容設計に基づいた信頼性やコストメリットの観点からアルミニウム合金が有利であると考えられる。海外アルミニウムメーカーは Al-Li 合金の開発を進めているが、特殊な鑄造設備が必要な点や量産性あるいはリサイクル性の点からコストが高いという問題点がある。本プロジェクトで進めている高強度・高靱性アルミニウム合金は汎用性やコストの面から優位であり、特性的にも Al-Li 合金の比強度も上回る。

#### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

本プロジェクトにおける新製造プロセスは他の構造材料用アルミニウム合金にも容易に適用が可能であり、例えば自動車用ボディ材では金属間化合物の微細分断化によ

る成形性の向上や不純物を多く含むリサイクル材の直接利用など地球規模での資源の有効利用が可能となる。また現行の鉄道車両用アルミニウム合金に比べ2倍以上の強度を有することから、最適な強度・耐食性バランスを有する微調整を行うことで大きな軽量化を達成することが可能となる。

また本合金開発において重要な析出強化メカニズム、破壊靱性、疲労亀裂伝播特性、疲労特性、応力腐食割れ性や一般耐食性などは航空機用材料のみならず各種構造材料には非常に重要な特性であり、本プロジェクトで得られる知見は社会的な効果や人材育成の観点からも波及効果は非常に大きい。

#### **2.2.2.2 産業技術総合研究所（名古屋守山分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

次世代航空機用アルミニウム合金にかかる国内調達の拡大に向け、高品質合金素材の提供に向けた溶解鑄造技術を担当する。すなわち、航空機の設計基準や部材加工技術、表面処理技術ならびに加工残材のリサイクル性を統合的に考慮しながら高強度高靱性化に資する高品質素材として7000系アルミニウム合金鑄塊の製造技術を開発するものである。

##### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

航空機用アルミニウム合金市場は航空機の増加とともに今後拡大基調となることが見込まれるが、材料認証の制約もあって国内調達のシェアはまだ小規模にとどまっている。しかるに、国産航空機の実用化により、アルミニウム合金の国内調達分については大きく伸びることが期待できる。

##### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

アルミニウム合金の高強度高靱性化に資する7000系合金鑄塊を実現するため、名古屋守山分室が発足し、鑄塊における脱ガス技術および組織微細化技術の開発を担当している。3年目までに基本的な技術を確立し、5年目までに実用化に向けた開発技術の大型設備化設計を完了させる。引き続き実機生産プロセスへの展開を図る。

##### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

まず、脱ガス技術として、合金鑄塊中の含有水素量低減技術が課題である。溶解プロセスにおける真空や不活性環境などの雰囲気制御に加え、吸着剤を用いた水素量低減技術を開発する。このとき、含有する水素量を高精度で再現性よく評価する手法についても並行して検討する。一方、鑄造組織の微細化については、結晶粒のみならず合金特有の晶出物を均質に微細分散化する技術として電磁攪拌鑄造法に着目し、鑄造条件の最適化を図りながら連続鑄造に向けた技術開発を行う。それぞれ開発した技術については、鑄造材の機械的特性に及ぼす効果について詳細に評価しながらその有用性を検証するとともに、将来的な産業展開に向けた実機生産設備への応用手法についても検討する。

### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

航空機産業においては、その出発素材となるアルミニウム合金に対し高強度かつ高靱性を備えた割れのない大型鋳塊が求められている。プロジェクト開始から 2 年が経過した現在、鋳塊の高強度高靱性化に向けて含有水素量や鋳造組織の制御に向けた基礎技術は着々と積み上げられているが、実用化に向けてはそのスケールアップおよび生産ラインへの適用が必要不可欠である。得られた成果を実機生産プロセスに対応させることが事業化の成否を占う大きな鍵であり、今後千年分室と協力しながら 5 年目を目途に溶解鋳造にかかる脱水素技術と組織微細化技術とを統合した設備設計を完了させる予定である。

### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

含有水素の低減については、まずその評価法の確立が重要である。再現性の高い評価法となるよう測定条件を精査し、ベースラインをそろえた上でコスト面も含めた技術の優位性を競うことが肝要と考えられる。一方、電磁攪拌鋳造法は磁石の配置が不要であるという特長を備えており、電磁振動法と比較した場合に装置の大型化が比較的容易であるため実生産レベルの装置設計に対してコスト面での優位性がある。

### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

航空機用材料への適用が主たる目的であるが、開発した技術は 7000 系合金に限定されるものではない。2000 系、5000 系および 6000 系など幅広い合金にも展開できることから、将来的には自動車や鉄道車両、船舶等に用いられるアルミニウム合金構造材料全般に普及可能な技術であり、大きな経済効果が期待できるものである。

#### **2.2.2.3 神戸製鋼所（西神分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

次世代航空機用アルミニウム合金の国内調達拡大を目指し、高品質合金材料の提供に向けた鍛造技術を担当する。すなわち、延性・靱性を阻害する材料中の水素と晶出物の制御技術を確立し、その技術で製造された鋳造合金(水素ガスを徹底的に除去した鋳造合金)を用い、鍛造技術と熱処理技術の最適化により組織制御を行い、高強度・高靱性を有するアルミニウム鍛造合金を開発するものである。

##### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

航空機産業におけるアルミニウム合金の市場規模は全世界で約 1500 億円（2012 年）。今後 20 年でリージョナルジェットを含む小型機の需要は 200%増加との試算もあり市場規模は着実に成長することが予想される。

##### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

アルミニウム合金の高強度高靱性化を 7000 系合金材料の鍛造材にても実現するため、株式会社神戸製鋼所の西神分室で、鍛造条件および熱処理条件の適正化による高性能化技術の開発を担当している。3 年目までに基本的な技術を確立し、5 年目まで

に実用化に向けた開発技術の大型設備化設計を完了させる。引き続き実機生産プロセスへの展開を図り、10年後の事業化をめざす。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

鍛造組織技術開発により、組織制御(水素ガスの徹底的な除去を含む)された鑄造製品を用い鍛造加工と熱処理の最適化により、最適組織形成機構を確立し、高強度・高靱性を有するアルミニウム合金を開発する。また、鍛造の大型化に向けた技術開発を実施するため実証設備の導入に向けた準備を進める。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

航空機用材料に関して軽量化は永続的な課題であり、市場のニーズは非常に大きい。また、現在日本国内で使用されている航空機用アルミニウム材料の約 90%が海外からの輸入であることから材料調達や技術的サービスに問題が多く、リードタイムの短縮や技術的サポートなど日本国内のアルミニウムメーカーに対する期待は大きい。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

一般に鍛造技術による機械特性向上に関しては、高強度化または高靱性化が図られる様々な鍛造プロセスが検討されている。各種鍛造法による組織制御の内容は、アルミニウム合金の強度向上の観点から「析出物の微細分散」「結晶粒内における亜結晶の生成」「マトリックス結晶組織の微細化」が主体になっている。この強度向上手法を延性・靱性を阻害する材料中の水素と晶出物の制御技術を確立した材料に適用することで、目標となる一層の高性能材料を得る可能性がある。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本プロジェクトにおける新製造プロセスは他の構造材料用アルミニウム合金にも容易に適用が可能であり、例えば自動車鍛造部品では金属間化合物の微細分断化による機械的特性の向上や不純物を多く含むリサイクル材の直接利用など地球規模での資源の有効利用が可能となる。また現行の鉄道車両用アルミニウム合金に比べ 2 倍以上の強度を有することから、最適な強度・耐食性バランスを有する微調整を行うことで大きな軽量化を達成することが可能となる。

また本合金開発において重要な析出強化メカニズム、破壊靱性、疲労亀裂伝播特性、疲労特性、応力腐食割れ性や一般耐食性などは航空機用材料のみならず各種構造材料には非常に重要な特性であり、本プロジェクトで得られる知見は社会的な効果や人材育成の観点からも波及効果は非常に大きい。

### **2.2.2.4 UACJ（深谷分室）**

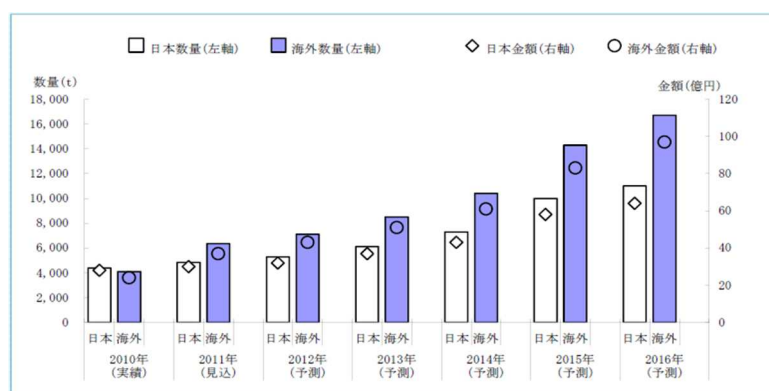
#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

平成 27 年度は、小型の連続電析実験機を導入し、イオン液体浴から長尺の電解 Al 箔を作製する。続いて生産技術の改良を進め、平成 29 年度にパイロットプラントを構築する。平成 30 年度、まずは電解 Al 箔の事業化を、さらに効率化とコスト低減に

取り組み、平成 34 年度に最終目標である AI の室温電解製錬の事業化を目指す。

## (2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

リチウムイオン電池の正極用の集電体の市場規模（平成 26 年度）は全世界で約 130 億円であり、今後も継続的な伸びが期待される。現在は全て AI 圧延箔が用いられており、その価格は約 600 円/kg である。電池の大容量化に伴い、集電体はより薄くなる傾向にあり、製造コストは圧延箔よりも電解 AI 箔の方が有利となる可能性がある。電解 AI 箔の量産化が実現すれば、EV 用リチウムイオン電池の低価格化に貢献でき、その経済効果は数十億円になると期待される。さらに新地金製錬の事業化が達成されれば自動車材への適用も可能となるため、集電体以上の経済効果（数百億円）が見込まれる。



図IV-2.2.2-1 リチウムイオン電池用アルミニウム集電体箔の市場規模\*

## (3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

AI の室温電解製錬においては、原料として無水  $AlCl_3$ （塩化アルミニウム）を使用し、固体の AI 箔の状態を回収する。① 無水  $AlCl_3$  新製法、② 連続電析技術、③ 共析の制御、および④表面の平滑化の 4 つが考えられる。これらの課題を再委託先の 4 大学とで分担し、開発に取り組んだ。平成 30 年度、まずは電解 AI 箔の事業化を、さらに効率化とコスト低減に取り組み、平成 34 年度に最終目標である AI の室温電解製錬の事業化を目指している。

## (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

AI の室温電解製錬においては、原料として無水  $AlCl_3$ （塩化アルミニウム）を使用し、固体の AI 箔の状態を回収する。確立すべき要素技術としては① 無水  $AlCl_3$  新製法、② 連続電析技術、③ 共析の制御、および④表面の平滑化の 4 つが考えられる。

## (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

軽量化が進む自動車用途やリチウムイオン電池の部材として、今後も AI 製品の市場は拡大すると期待される。イオン液体からの電析により得られる電解 AI 箔は、そのままリチウムイオン電池の正極集電体として用いることが可能である。現在、リチ



ウムイオン電池の正極集電体は圧延法により製造されているが、顧客の要請に応え薄くするためには圧延回数が増えるため製造コストが増大する。近い将来、電解 AI 箔が圧延 AI 箔よりも製造コストの面で有利となる可能性がある。最終的に、室温電解製錬による AI 地金の製造プロセスが実現すれば、自動車用の素材として利用が拡大すると考えられる。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

従来の AI 新地金の製錬プロセス（バイヤー法＋ホール・エルー法）においては約 1000℃の高温環境が必要であり、室温電解製錬によるプロセスの低温化は大幅なエネルギー削減を可能とする。その結果、AI 製品の低価格化が期待される。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

従来の AI 新地金製錬のエネルギー効率が飛躍的に向上すれば、AI 製品の低価格化がはかれ、自動車やリチウムイオン電池への適用が拡大すると期待される。その結果、軽量化による燃費向上、環境負荷低減等、大きな経済的・社会的効果をもたらすと考えられる。

### **2.2.2.5 神戸製鋼所（西神分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

アルミ化が進んでいる自動車のパネル材に対して、骨格部材では、アルミニウムの適用が遅れている。その一因として、鋼板に比べて強度と伸びのバランスに劣ることが、ボディ骨格の部材設計に大きな制約を生じさせ、設計、加工でのコストアップにつながるとともに軽量化効果も不十分なものとなるためである。従って、従来の鋼板に匹敵する、部材レベルの強度と延性をアルミニウムに具備できれば、骨格部材へのアルミニウムの適用が可能となる。本プロジェクトはこのような自動車軽量化促進に向けた道筋を想定しており、その成果を、骨格部材を対象にしたアルミニウム素材開発によって実用化することを狙いとしている。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

自動車へのアルミ板材の適用は、海外では欧州、北米が先行しており、アジア地域でも中国市場の増大により、着実に需要が増大する。国内に関しても、海外よりは遅れているものの、今後着実に増大し、市場としては拡大すると予想される。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

検証できたコンセプトを実用化に向けた要素技術として確立する技術開発を継続して行う。ラボレベルの評価から、量産に向けた技術確立を進め、事業化の判断を行った上で実用化する予定である。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

ラボレベルでのコンセプトの検証ができた段階である。今後は、実用化に向けた進め方として、更なる特性バランス向上策、他特性の評価および向上策や、スケールアップのための製造技術の開発に取り組む

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

海外では既にオールアルミ車に加えて、適材適所でアルミニウム合金を使用するハイブリッド化が先行している。国内も将来的にはその方向に進むものと考えられ、本研究での開発材のニーズはあるものと考えている。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

従来の鋼材に加えて、マグネシウム、CFRP が競合材として想定される。これらの競合材に対しては、本開発材では、鋼材に対しては、部材特性を同等としつつ、軽量化効果で、マグネシウムに対してはコストと成形性、CFRP に対してはコストで優位性を出すことで、本開発材を差別化する。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

##### **【経済的・社会的効果、人材育成等】**

本プロジェクトの開発材は、自動車以外の輸送機や部品類に幅広く活用することが可能であり、他分野におけるアルミニウム合金の適用とそれによる軽量化効果の拡大につながるものである。

## 2.3 テーマ3 「革新的マグネシウム材の開発」

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

### 2.3.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

本テーマは難燃性新マグネシウム合金の開発とその適用技術の確立を通して構造用マグネシウム合金の実用化を図ることを目的としている。実用化に向けては「次世代高速車両構体」をターゲットとして明確化し、ユーザー側からの意見を常に取り入れる体制を構築して研究開発を遂行している。

研究開発段階からターゲットを強く意識した「ものづくり技術」も並行して構築することを重要視した戦略をとっており、2015年度からはNEDO加速財源を活用し、車両構体を想定した部分（側パネル）構体の試作開発をスタートさせている。

そして、側パネル構体の作製を通じて実用化への課題を早期に抽出・明確化し、以後の材料開発にタイムリーに反映させることで、2017年度には加速財源を得てカットモデル構体の作製を実施する予定であり、実用化・事業化の実現に向けて、着実にステップアップを図る計画である。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

現在、市場で実用化されているマグネシウム製品の多くは鋳造品であり、高コストなマグネシウム展伸材の構造材料への適用は中々難しい現状にあるが、本開発テーマの遂行により得た成果により、比強度や加工性に優れた押出材や板材の提供が実現できれば、展伸材のコストダウンに繋がり、さらには本開発テーマのターゲットである高速車両構体用部材に全面的に適用できれば、マグネシウム展伸材の市場規模の飛躍的成長が見込まれる。

例えば、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、車両構体（屋根・側構体、妻体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は1両当たり約5tであり、上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1両当たり約4tの需要が生まれ、車両製造が1年当たり400両と仮定すると（385両：2013年）、国内Mg合金展伸材需要（約700t）の倍以上の1600tの需要が生まれることになる。

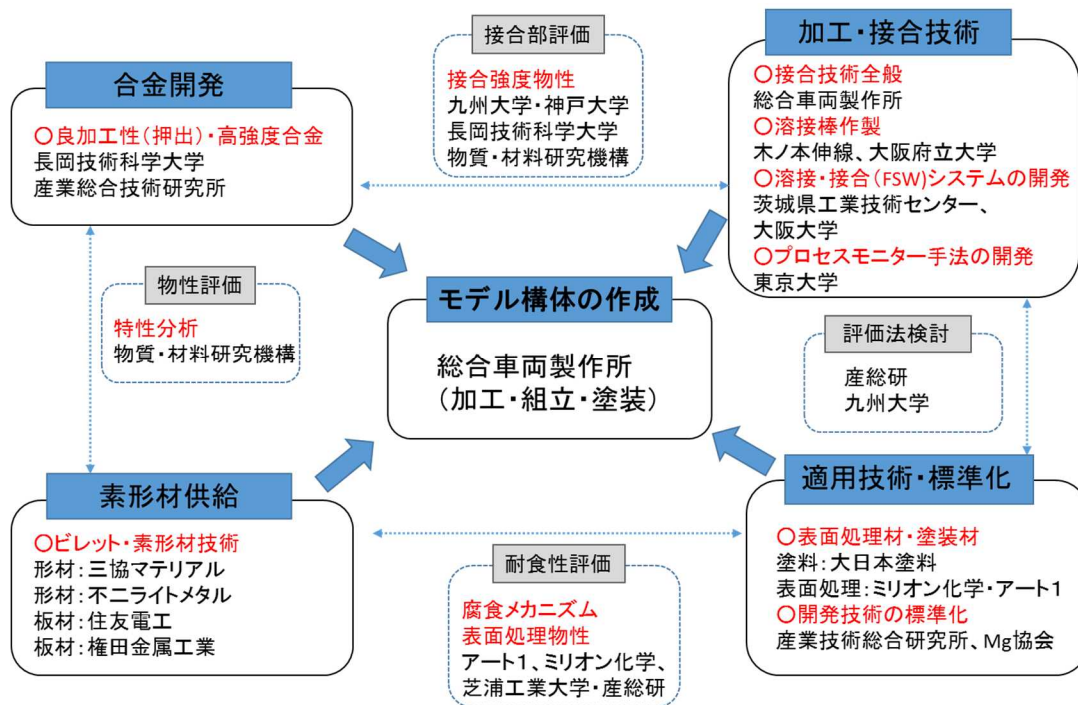
さらに自動車用外板にまで展開できれば、一部車種に限定されたとしても国内だけでも上記と同等の量の需要が見込める。

この様に、本プロジェクトの成果により、輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を実現させることができれば、マグネシウム材産業構造自体を変革させることが

可能である。

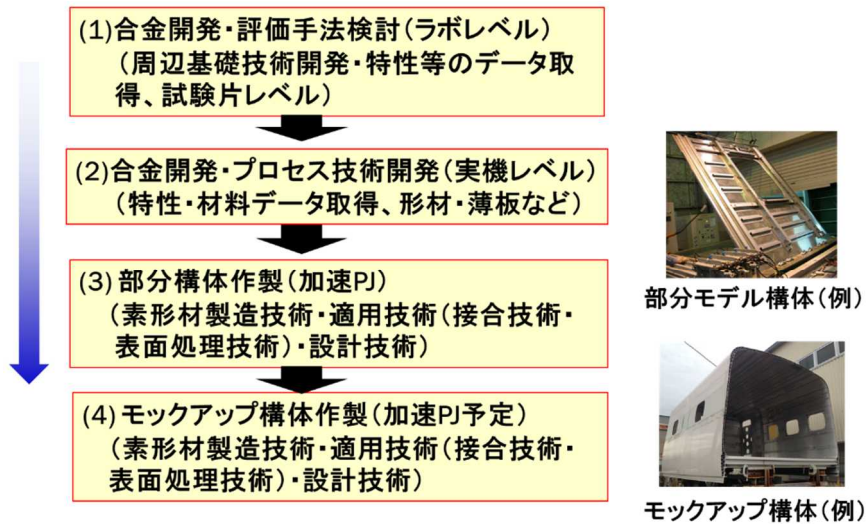
### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

本プロジェクトでは新開発合金を利用し、高速車両構体を作製するための適用技術を構築し、実用化することを最終の目標としている。開発合金の基本組成を早期に決定し、部材化するための実用化技術（接合技術、表面処理技術等）を確立するため、以下に示すように、役割分担を明確にし、相互の情報交換を極力多くして、総合力が十分に発揮出来るような開発体制を構築している。



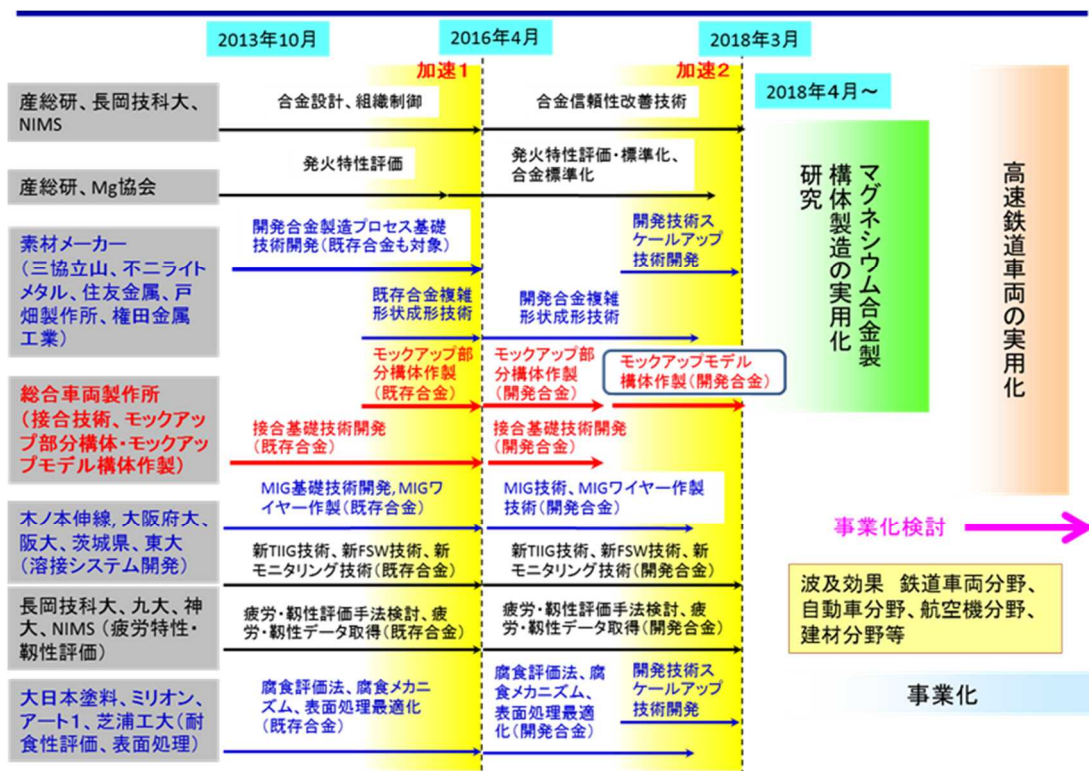
図IV-2.3.1-1

この体制の元で、以下に示す 4 つの開発ステップを設定し、最終的な目標達成(マグネシウム製高速車両構体の実用化)のための各ステップを実施していく予定である。また、前述の開発体制は、開発ステップの進捗に伴い、必要に応じて変更していくことを考えている。



図IV-2.3.1-2

上記ステップを達成するための本プロジェクトにおける全体スケジュールは以下の通りで、現在、当初計画を1~2年前倒しにして実行しており、2017年度にはさらにNEDO 開発成果創出促進制度を活用してしてモックアップモデルを作製し、マグネシウム製高速車両構体の実用化を加速する予定である。



図IV-2.3.1-3

#### (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

開発した合金を実際の車両構体に適用するための最低条件として、材料の標準化を

実施することが挙げられる。また、開発した合金の難燃性を評価するための手法を標準化する必要がある。本研究開発では、再委託先の一つである日本マグネシウム協会と連携して、開発合金の標準化、難燃性の評価手法の標準化をプロジェクトと並行して推進している。

易加工性マグネシウム材（押出材）の開発では、易加工性と押出材特性（機械的性質や難燃性）の両立が合金開発における大きな技術課題と言える。最終目標である押出材の大型化・長尺化においては、保有設備の増強も含めた設備投資も想定しつつ、押出金型の設計改良を主体に対処可否を見極める。

高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討では、板材の幅広化・厚板化に対する高強度化・高延性化の両立が課題である。事業化に向けては、市場が必要とする大きさの製品提供が不可欠である。順次試作実施結果を反映させて大型化に取り組んでいく。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

開発合金を実用化するにあたっては、ユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に加工・利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するための適用技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関（日本マグネシウム協会）のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進しており、市場ニーズ、ユーザーニーズを汲みつつ研究開発を推進している。

高速車両構体にマグネシウム合金を適用すると車体重量を約 3 割削減できると試算されていることから、本開発テーマの成果はユーザー側からの期待が大きい。それゆえ、実用化によって当該分野からの需要の大幅な増加が見込まれることより、市場・ユーザーが望む低コスト化も十分に実現可能と考える。

一方、マグネシウム合金に対するもう一つの大きなユーザーニーズに溶接性と耐食性の基礎技術の確立が挙げられる。当該技術課題については、本プロジェクト内の溶接 WG と表面処理 WG が主体となり難燃性マグネシウム合金材の溶接技術と表面処理技術の開発を実施しており、素材メーカーで試作した開発材を使って適用技術の構築を推進中である。したがって、当該 WG との連携をさらに強化し、材料メーカーと溶接施工メーカー・表面処理メーカーが一体となって技術開発を推進することで早期の課題解決と実用化が達成できると考える。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

本開発テーマで実用化のターゲットとした高速車両構体用構造部材には、現行アルミニウム合金展伸材が採用されている。アルミニウム合金展伸材を使った車両構体のさらなる軽量化にはほぼ限界が来ており、大幅に軽量化が期待できるマグネシウム合金展伸材への置換は大いに優位性がある。

さらに、アルミニウム材に対する性能面での優位性（軽量化以外）を明確にするための研究も今後進めていく予定であり、そのためにも部分モデル構体の作製・評価を早

急に実施する必要がある。

一方、マグネシウム合金展伸部材はアルミニウム合金のそれと比べると現状は高価であるが、本開発テーマで開発中の押出加工プロセスや圧延加工プロセスを量産化技術に落とし込むことができれば、部材レベルでも十分競争力が生まれる可能性がある。また、車両の走行・運用まで含めたトータルコストの観点からも、軽量化によるメリットが創出されると考える。また、本テーマで開発している難燃性マグネシウム合金は高価なレアアースを添加しない汎用マグネシウム合金として市場に受け入れ易いことから、レアアースを添加した他のマグネシウム合金に比べてコスト面やリサイクル面でも優位性があると言える。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

鉄道車両構体では軽量化・低騒音・低振動が課題となり日夜技術開発が進められているが、これらの課題は、鉄道車両分野のみならず、自動車分野、航空機分野、建材分野等にも当てはまることから、開発した難燃性マグネシウム合金の構造物への適用による経済波及効果は大きいと考えられる。

前述したように、本研究開発により、高い難燃性を有する高強度マグネシウム合金材が開発され、高速車両構体にマグネシウム合金構造部材が採用されることで、市場規模の飛躍的な拡大が期待できるが、さらに、難燃性マグネシウム合金の展伸加工プロセス・組織制御技術を工業的に深化・展開することで技術力の向上と低価格化を達成できれば、これまで特に安全性の観点から敬遠されていた、他の輸送機器（トラック、自家用車、航空機等）においても適用へのハードルが下がると考えられ、マグネシウム合金市場全体のさらなる拡大が期待できる。

また、輸送部門におけるマグネシウム合金展伸材の適用によるエネルギー効率の向上と輸送能力の向上及び環境への配慮は、経済、社会に対して大きな波及効果を生み出すことができると考える

比較的若い人材が本開発テーマに従事することで、恒常的に科学的に裏付けられたものづくりを強く意識し、学会等での積極的な成果発表や論文投稿を推進すれば、社内は勿論、国内における研究レベルの底上げと人材育成にも貢献できると考える。

## **2.3.2 各社の取り組み及び見通し**

### **2.3.2.1 産業技術総合研究所（名古屋守山分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

新たな合金を開発する際の留意点として、ターゲットとする特性（強度・延性・難燃性・押出特性）以外の特性が劣化しないことに留意することが挙げられる。本研究開発では、他の分室と共同で開発した合金の信頼性（接合特性、耐食性、疲労特性、靱性等）を評価し、合金開発にフィードバックすることを想定しており、開発された合金を迅速に市場に投入するためのフォーメーションを組んでいる。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた



場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体1両当たり約4tの需要を見込むことができる。車両製造が1年当たり400両と仮定すると1600tの需要が生まれ、国内マグネシウム合金展伸材需要（約700t）の倍以上の需要と生み出すことができる。この様に、本プロジェクトの成果により、輸送機器構造部材にマグネシウム合金の適用を加速させることができれば、マグネシウム合金産業構造自体を変革させることが可能である。

### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

本プロジェクトは開発合金を利用して車両構体を作製するための基礎技術を構築することを目的としている。開発合金を部材化するための技術（接合技術、表面処理技術等）を開発するためには、早期に基本組成を決定することが望まれる。そのため、平成27年度末までには、易加工性マグネシウム合金、高強度マグネシウム合金ともに、基本組成を決定する方向で開発を推進している。

### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

開発した合金を実際の車両構体に利用するための最低条件として、材料の標準化を実施することが挙げられる。また、開発した合金の発火特性を評価するための手法を標準化する必要がある。本研究開発では、再委託先の一つである日本マグネシウム協会と連携して、開発合金の標準化、発火特性の評価手法の標準化をプロジェクトと並行して推進することを予定している。

### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

開発した合金を実用化するにあたっては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が低コストかつ安全に開発合金を利用するための技術、および開発した材料を用いて構造体を設計するため技術等を見据えて、研究開発を推進する必要がある。本研究開発では、エンドユーザーを参画研究機関（日本マグネシウム協会）のアドバイザーとしてプロジェクト内に招聘し、難燃性マグネシウム合金を利用して構造体を作製するための仕様について、アドバイスを受けつつ研究開発を推進しており、市場ニーズ、ユーザーニーズを汲みつつ研究開発を推進している。

### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

開発合金および競合技術のスペックを下の表にまとめて記す。開発中の易加工性マグネシウム合金は、強度・延性・押出速度・難燃性において従来に無い高いバランスを有する合金を指向している。また、高強度マグネシウム合金は、強度・延性・難燃性において従来に無い高いバランスを有する合金を指向している。両合金ともにレアメタルを利用しない合金組成となっており、コスト面でも優れた合金であると言える。また、プロジェクトの研究開発により、押出特性等の生産性が飛躍的に向上すれば、アルミニウム合金ともコスト面で競合しうる合金となることが予測される。



表IV-2.3.2-1 競合技術との対比

易加工性マグネシウム材								
合金名	主要組成	不燃性	形状	調質	押出速度	引張強度	破断伸び	出典
Al合金 (A6N01)	Si (0.4~0.9%), Mg(0.4~0.8%)	不燃	押出材	T5	20m/min *	270MPa (225MPa以上)	12% (8%以上)	アルミポケットブック(改訂第7版) 住友軽金属編
AMX602	Al(6%),Ca(2%), Mn(0.5%以下)	難燃 (約800°C)	押出材	F	2m/min *	269MPa	13%	H. Watanabe et al.: Mater. Sci. Eng. A <b>454-455</b> (2007) 384-388.
Mg-8Sn-1Al-1Zn	Sn(8%), Al(1%), Zn(1%)	× (530°C)	押出材	F	10m/min	286	15%	W.L. Cheng et al., Mater. Lett. <b>65</b> (2011) 1525.
開発材	レアメタル不使用	難燃(700度以上)	押出材	-	A6N01以上	270MPa以上	20%以上	プロジェクト目標値

\* 押出速度:三協立山(株)における実績値

高強度マグネシウム材								
合金名	主要組成	不燃性	形状	調質	引張強度	破断伸び	出典	
Al合金(7N01)	Mn (0.2-0.7%), Mg (1-2%), Zn (4-5%)	不燃	押出材	H34	370MPa	13%	アルミポケットブック(改訂第7版) 住友軽金属編	
AZX612	Al(6%),Ca(2%), Mn(0.5%以下)	難燃 (約800°C)	圧延材	不明	300MPa	10%	権田金属工業ホームページ	
KUMADAI 不燃Mg合金	レアメタル不使用 (組成非公開)	不燃 (1,100°C)	押出材	F	400~450MPa	2~4%	伊東剛史ら 軽金属学会第125回 秋期講演概要(2013) 63, 64.	
開発材	レアメタル不使用	難(700°C以上)	押出材・圧延材	-	360MPa以上	15%以上	プロジェクト目標値	

### (7)波及効果 (技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)

本研究開発により、高い難燃性を有するマグネシウム合金展伸材（高速押出し合金および高強度合金）が開発された場合、高い難燃特性が要求される航空機、建材へのマグネシウム合金展伸材の用途展開が期待される。また、耐食性や発火特性のデータベースは上記用途への展開に直接利用することができる。

### 2.3.2.2 三協立山（射水分室）

#### (1)実用化・事業化に向けた戦略

本開発テーマの目標は、A6N01 合金に匹敵する強度と生産性を兼備した難燃性マグネシウム合金押出材と、7N01 合金に匹敵する高強度マグネシウム厚板材の作製をいづれも工業レベルで実現することにある。しかしながら、単なる材料開発だけでは実用化は不可能である。そのため、実用化に向けては次世代高速車両構体用部材をターゲットとして明確化し、ユーザー側からの意見を常に取り入れる体制を構築して研究開発を遂行している。開発材においてはプロジェクト目標の達成が求められることは勿論だが、実用化に向けて研究開発段階からターゲットを強く意識したものづくり技術も並行して構築することを重要視した戦略をとっている。

革新的マグネシウム材の開発では、平成 27 年度より車両構体を想定した部分（側パネル）構体の試作開発をスタートさせている。側パネル構体の作製を通じて実用化への課題を早期に抽出・明確化し、第二期以降の材料開発にタイムリーに反映させることで着実にステップアップを図ることとしている。以降においても、平成 29 年度にはカットモデル構体の試作開発を実施予定であり、実用化・事業化の実現に向けて有意で効率的な施策を講じる計画である。

上述の施策に加え、本開発テーマでは時間依存型諸特性や衝撃エネルギー特性等の開発材の信頼性を高める特性調査も並行して実施する。名古屋守山分室が推進する開発材の標準化やデータベース蓄積と連携し、信頼性に裏付けられる押出材・厚板材の

作製に取り組む。

## (2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

軽量であるマグネシウム合金は、各種輸送機器のエネルギー効率の向上や CO<sub>2</sub> 排出量の抑止に直結する金属材料として環境負荷の低減に寄与できるものの、いまだ需要がわずかである。市場で実用化されたマグネシウム製品の多くは鋳造品であり、高コストな展伸材の構造材料への適用は中々難しい現状にある。しかしながら、本開発テーマの遂行によって得た成果により加工性に優れた押出材や板材の提供が実現できれば、展伸材のコストを下げることに繋がり、さらには本開発テーマでターゲットとする高速車両構体用部材に適用できれば、マグネシウム展伸材の市場規模の飛躍的成長が見込まれる。言うまでも無いが、本成果はその他輸送機器の構造用部材をはじめとした軽量化が要望されるあらゆる分野への適用範囲の拡大に貢献できると予測する。マグネシウム合金は難加工材ではあるが、高度な加工技術の蓄積が相乗効果として我が国のものづくり基幹産業の更なる活性化にも繋がり、国内経済にも好影響を及ぼす効果も期待できると考える。

## (3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

前述の通り、易加工性マグネシウム材（押出材）の開発では、開発材による実際の車両構体用部材の試作開発を加速させる。開発材の特性を活かした車両設計と部材設計を先行開発し、平成 29 年度末のモデル構体（1/1 または 1/2 カットモデル構体）の具現化に必要な大型押出部材の開発に取り組む。

高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討では、これまでに実施した溶解・鋳造技術、熱処理技術、圧延加工プロセス技術開発を基に、加工性、異方性、溶接性に着目した板材開発を名古屋守山分室及び横浜金沢分室と共に遂行し、板厚 3 mm×幅 300 mm 材の開発に取り組む。第二期では、高強度・高延性で難燃性を有する板厚 6 mm 材の作製を開始する。加工組織制御技術のブラッシュアップを行いながら部分構体試作に供する開発合金の板材作製を目指す。得られた技術は汎用マグネシウム合金厚板材や薄板材作製などにも広く展開し、マグネシウム合金板材の実用化に向けた用途開発にも着手する。

事業化に向けては、新規開拓と用途開発に資する情報を得るべく、メディアやホームページ等の媒体や営業部門を通じて積極的な情報発信を行い、市場の創出と育成・拡大を推進する。

## (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

易加工性マグネシウム材（押出材）の開発では、易加工性と押出材特性（機械的性質や難燃性）の両立が合金開発における大きな技術課題と言える。特に、押出速度の高速化と Ca 添加による難燃特性にはトレードオフの関係にあることより、押出用素材となるビレットの組織制御や熱処理技術も含めた押出プロセスのさらなる高度化が必須と考える。当該課題の解決に向けては、連携先の名古屋守山分室の再委託機関と密に情報共有を図り、微視的観点からの組織制御指針の導出を試行する。また、最終

目標である押出材の大型化・長尺化においては、保有設備の増強も含めた設備投資も想定しつつ、押出金型の設計改良を主体に対応可否を見極める。

高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討では、板材の幅広化・厚板化に対する高強度化・高延性化の両立が課題である。マグネシウム合金はラボサイズでは高強度・高延性化が可能であっても、幅 300 mm 程度を境に強度は低下し内部組織は不均一化する傾向が強いことが知られ、強度と延性はトレードオフの関係にある。実用化・事業化に際してはこれまでに得た高強度・高延性発現加工プロセスを開発した AZX811 合金で幅広・厚板化に対して段階的に引き上げ、組織・性能・特性予測を実施する。作製した板材はモデル構体や内装品及び表面処理・溶接に資することで加工プロセスや溶湯清浄化にフィードバックさせ、良成形板材の作製に繋げる。

事業化に向けては、市場が必要とする大きさの製品提供が不可欠である。実施結果を反映させて大型化に取り組んでいく。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

高速車両構体にマグネシウム合金を適用すると車体重量を約 20%削減できると試算されていることから、本開発テーマの成果はユーザー側からの期待が大きい。それゆえ、実用化によって当該分野からの需要の大幅な増加が見込まれることより、十分に市場・ユーザーが望む低コスト化も実現可能と考える。

一方、マグネシウム合金に対するもう一つの大きなユーザーニーズに耐食性の改善（表面処理技術の構築）が挙げられる。当該技術課題については、本プロジェクト内の表面処理 WG が主体となり難燃性マグネシウム合金材の表面処理技術を開発しているが、当分室で試作した開発材を使って技術構築を推進中である。したがって、当該 WG との連携をさらに強化し、材料メーカーと表面処理メーカーが一体となって技術開発を推進することで早期の課題解決と実用化が達成できると考える。

また、マグネシウム板材に対するユーザーニーズの一つに、冷間での加工が挙げられる。本開発テーマでは、成形性を考慮した板材作製を行い、省力化と省エネルギー化に直結したものづくりを推進する。本課題では高強度・高延性厚板の作製を行うため、薄板材のニーズが高くとも対応は十分に可能である。また、厚板ではないが難燃性マグネシウム合金薄板において、建築用天井材として国土交通省の不燃認定（認定番号 NM-3781 両面シリコンアクリル樹脂系塗料／マグネシウム合金板）を取得し、事業化として施工も行った。今後、厚板材の建築材応用も視野に入れて、鉄道車両・自動車等の難燃性 Mg 合金市場ニーズの調査を行い、適切に対応していく。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

本開発テーマで実用化のターゲットとした高速車両構体用構造部材には、現行アルミニウム合金展伸材が採用されている。アルミニウム合金展伸材を使った車両構体のさらなる軽量化には限界が来ており、大幅に軽量化が期待できるマグネシウム合金展伸材への置換は大いに優位性がある。一方、マグネシウム合金展伸材はアルミニウム合金のそれと比べると現状は高価であるが、本開発テーマで開発中の押出加工プロセスや圧延加工プロセスを量産化技術に落とし込むことができれば、部材レベルでも十

分競争力が生まれる可能性がある。また、車両の走行・運用まで含めたトータルコストの観点からも、軽量化によるメリットが創出されると考える。また、本テーマで開発するマグネシウム合金は高価なレアアースを添加しない汎用マグネシウム合金として市場に受け入れ易いことから、レアアースを添加した他のマグネシウム合金に比べてコスト面やリサイクル面でも優位性があると言える。

また、同じ次世代材料として CFRP も競合材料として想定されるが、車両構体への適用に際しては定期的な補修に対応できることも材料の選定条件であることから、接合技術や製品性能の確保の観点で金属材料に利点があると考えられる。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

難加工材料である難燃性マグネシウム合金の展伸加工プロセス・組織制御技術を工業的に展開することで技術力の向上と低価格化を達成し、高速車両構体用部材として実用化できれば、波及効果として自動車分野への適用も十分見据えることができる。輸送部門におけるマグネシウム合金展伸材の適用によるエネルギー効率の向上と輸送能力の向上、及び環境への配慮は、経済、社会に対して大きな波及効果を生み出すことができると考える。比較的若い人材が本開発テーマに従事することで、恒常的に科学的に裏付けられたものづくりを強く意識し、学会等での積極的な成果発表や論文投稿を推進すれば、社内は勿論、国内における研究レベルの底上げと人材育成にも貢献できると考える。

#### **2.3.2.3 住友電気工業（大阪分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

本研究開発では、高強度難燃性マグネシウム材を得るための基本的な合金組成の検討を長岡技科大と共同で実施し試験片レベルでは、目標の特性を得られている。実用化・事業化のためには大型板材を量産レベルで製造する必要がある。従って、本プロジェクトで得られた組成の板材の大型化、量産化を図り高速車両構体に適用できる板材としての実用化に結び付ける。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、マグネシウム展伸材の大きな需要増加を見込むことができる。例えば、車両構体（屋根・側構体、妻体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は 1 両当たり約 5t である<sup>1)</sup>。上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1 両当たり約 4t の需要が生まれることになる（マグネシウム置換により車両重量が 20%減少する場合）。車両製造が 1 年当たり 400 両と仮定すると（385 両：2013 年）<sup>2)</sup>、1600t の需要が生まれることになる。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

当初研究開発部でプロジェクトを受託、スタートしたが平成 32 年実用化に向けて、マグネシウム合金開発部でプロジェクトを遂行している。開発部の中では合金開発のみなら

ず生産技術開発も行っている。

#### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

実用化・事業化に向けては、生産技術面でも幅広の板を安定的に生産する技術の構築が課題となる。幅広板材の生産技術は、現行事業にも関わる課題であることから、社内リソースを活用して解決を図る。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

エンドユーザである JR 各社および鉄道車両メーカーがドバイザーとして参画しているプロジェクトであり市場ニーズ、ユーザーニーズをくみ取りながら開発を進めている。従って、市場ニーズ、ユーザーニーズに沿った開発を実施しており実用化・事業化の見通しは明るいと言える。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

高強度マグネシウム合金は、強度・延性・難燃性において従来に無い高いバランスを有する合金を指向している。本合金はレアメタルを利用しない合金組成となっており、コスト面でも優れた合金であると言える。また、将来生産装置の大型化により生産性が飛躍的に向上すれば、アルミニウム合金ともコスト面で競合しうる合金となることが予測される。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本研究開発により、高い難燃性を有する高強度マグネシウム合金材が開発された場合、高い難燃特性が要求される航空機、建材へのマグネシウム合金展伸材の用途展開が期待される。

- 1) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 2) 鉄道車両工業会ホームページ資料

#### **2.3.2.4 不ニライトメタル（長洲分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

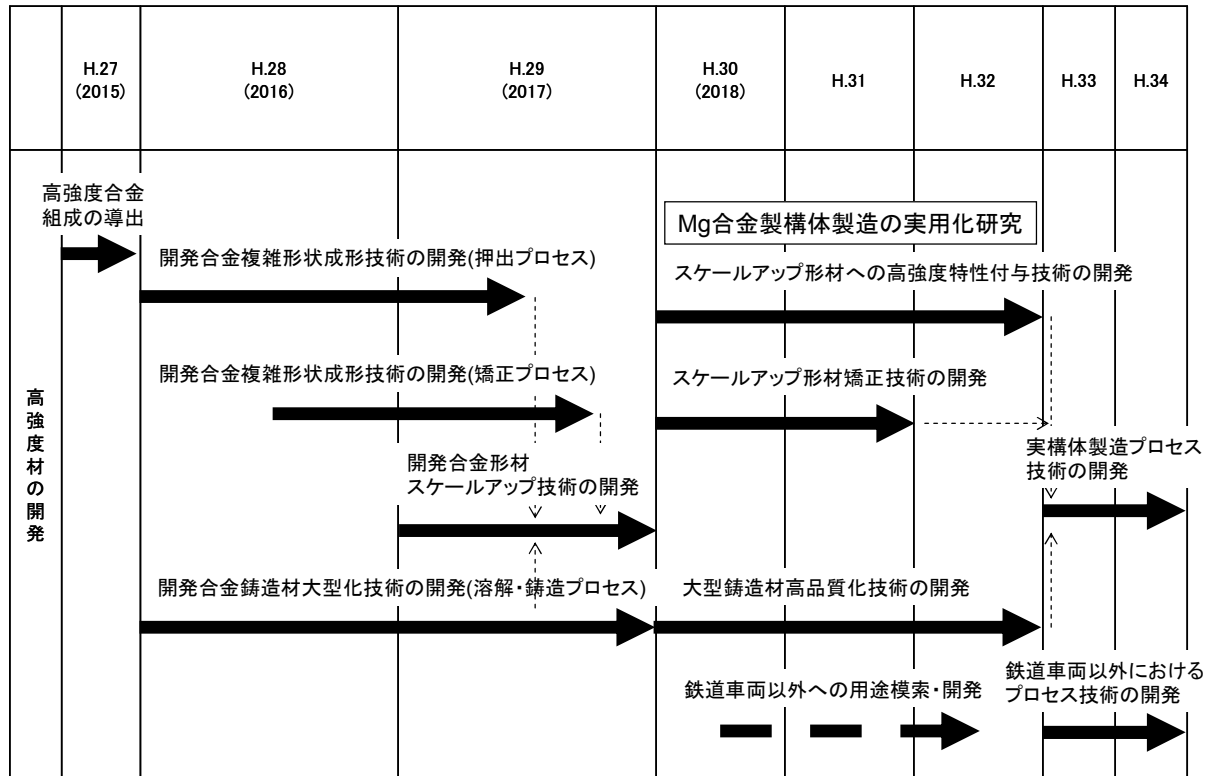
開発合金を用いて、高速車両シングルスキン構体実機に用いられている高強度アルミニウム合金の梁材、柱材と同断面形状を有する押出し形材を作製し、鉄道総研、車両メーカー、JR 各社へアピールを行っている。

##### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

新幹線構体全てをマグネシウム合金で作製すると仮定した場合、1 年あたりのマグネシウム合金の使用量は、1600t 程度であるとされている。日本国内におけるマグネシウム合金の使用量は 1 年あたり 700t 程度であり、仮に一部のみのマグネシウム合金への代替としてもマグネシウム合金市場全体の大幅な拡大が期待できる。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

生産実機を用いた開発合金の押出し材を作製し、関係各所へサンプルを供試することで、疲労試験、腐食試験、接合試験等の実際の使用に向けたデータの取得を開始した。また、さらなるスケールアップのための各種開発計画を以下に示す。



図IV-2.3.2-1

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

高強度の合金であるため、塑性加工性が低く、生産実機で押出加工を行うと、押出荷重が高くなる。ダイスの材料流動や、ビレットの均質化処理によって押出荷重を低減することで解決する。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

現在の高速車両構体は、アルミニウム合金のダブルスキン材で作製されているが、より高速化の要求が高まってきており、大幅な軽量化が必要になることが想定される。こうした流れから、材料としてのより軽量化が求められ、7N01 を代替として本開発材料のニーズがあると考えられる。

### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

7N01 材と比較してより軽量であるが、一方で現時点においては、コスト面で劣る。これは、当分室の取り組みとして、押出速度の向上を図るとともに、マグネシウム合金市場全体が今後成長し、リサイクルフローが確立されることで大幅なコスト減が期待できる。

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

高速車両構体にマグネシウム合金構造部材が採用されることで、これまで特に安全性の観点から敬遠されていた、他の輸送機器（トラック、自家用車、航空機等）においても適用へのハードルが下がると考えられ、マグネシウム合金市場全体のさらなる拡大が期待できる。

### **2.3.2.5 大日本塗料（小牧分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

マグネシウム合金による軽量化には、鉄道車両関係者が多大の期待を示しており、高速車両構体への検討が試みられている。しかしながら、現状のマグネシウム合金は腐食性が大きく、表面処理（化成処理皮膜、陽極酸化、塗装等）が必須となる。ただ、現在使用中の表面処理は室内で使用される製品を対象として居り、化成処理皮膜は従来の処理槽使用の方法の適用が難しい。従って、新規に塗布または簡易シャワーの様な処理方法の検討が必要となる。また、塗料についても従来通りの熱による硬化作業は困難であり、常温乾燥で使用出来る製品が必要となる。

今、プロジェクトにて検討を進めている腐食評価方法による確認を行い、素材メーカーとの連携を密にして、開発中のマグネシウム合金についても、採用時には最適な処理方法が提供できる様、表面処理の最適化を進める。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

鉄道車輛単独では、大きな市場規模の形成は難しいが、公共交通機関であり、耐久性が求められる車両外板で有効性が実証出来れば、自動車及び他の産業への採用可能性が拡大する。また、簡易化成処理と常温乾燥塗料による使用し易いシステムを構築する事により、工場の管理された生産ラインでしか生産されていないマグネシウム合金の市場を拡大することが出来る。其の事により、軽量化、減衰効果が求められる省エネルギー分野の開拓が可能となる。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

マグネシウム合金を高速車両構体に適用しようとする取り組みは、素材メーカー、加工メーカー、素材利用の製造メーカー、表面処理メーカー、エンドユーザーが連携協力して進めており、実施体制としては理想的な状況である。表面処理グループとしては、評価方法の確立、新評価手法による評価での信頼性向上を実施し、表面処理の適用方法及びその特性の改善により、検討グループ全体の、マイルストーンである、側構体パネル作成、モデル構体作成計画を順調に進められる為の取組を進める。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

マグネシウム合金は自動車などの輸送機器部品や、IT機器の筐体や内部部に使用されることが多く、鋳造材が主流であるために表層の偏析層や離型剤の残分をエッチング等の工程で除去しなければ十分な皮膜性能が得られず、その表面処理は浸漬式で

タンクを十数槽並べた比較的複雑で環境負荷の高いラインにより処理する必要がある。一方車輛などの大型構造物への処理方式はこのような処理方式では現実性がなく、新たに大型構造物に適した処理方式と考えられる塗布型や簡易シャワー方式の処理システムの開発が必須である。マグネシウム合金は素材の腐食性が大きいので、アルミ材と異なり、塗装の下地処理は必要であり、以上のような大型構造物に適した簡易的な化成処理の薬剤、及び処理方式の最適化を進める。また、塗装においても一般に焼付塗装が基本的には有利ではあるが、同様に大型構造物では常温乾燥型が現実的であり、この点でもマグネシウム合金用の常温乾燥塗料の最適化が必須である。従って下地処理、塗装の両面からマグネシウム合金の大型構造物用の最適化改良を進めることが必要である。

さらにその最適化にあたっては、塗膜性能の評価方法が重要であり、マグネシウム合金では腐食形態が従来金属素材とは異なっており、これまでの一般的な促進試験方法では実態と相関するかどうか不確定であることがわかっている。従って屋外暴露試験と相関する塗膜耐久性評価法を見出し、その評価法によって最適化を実施していくことが重要である。化成処理と塗膜の最適化と同時に暴露試験と種々の促進試験方法で最適な促進試験方法を選択、確立する。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

市場ニーズとしては、マグネシウム合金の軽量、比強度、減衰性という点から、温暖化対策の切り札の 1 つとして挙げられ、ユーザーニーズとしても高速車両の軽量化の要求から実用化が切望されている素材の 1 つであり、製造工程の改善により、コストのデメリットが何処まで改善出来るかが鍵を握る。表面処理としては大型部材に適用可能な塗装下地処理、塗装の表面処理システムの開発による適用が最重要課題である。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

アルミニウム合金、CFRP 等が競合品として有力であり、アルミニウム合金は既に各種用途に実用化されており、コストはより高いものの CFRP も実用化性能面で強力な競合技術である。しかし軽量という他素材には置き換えられないひじょうに大きな利点がマグネシウム合金にはあり、様々な諸問題を解決していけば優先的に採用される可能性は非常に大きいといえる。具体的にはこれまでにあげている具体的な課題、すなわち塗装システムの最適化（簡易下地処理法の開発、常温乾燥塗料の最適化）を解決していけばアルミや CFRP などの素材には実現できない軽量化の最大効果が与えられる。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

技術的効果には、塗装システムの最適化により、自動車や建設等の部材にも適用可能であり、マグネシウム合金の適用幅の拡大により需要の拡大が期待され、用途の拡大や塗装システムの最適化による生産量の拡大や製造コストの改善も期待される。経済的効果には軽量化により省エネ効果が期待されることから、省エネ素材として生産



量・輸出量の拡大が期待される。社会的効果としては、生産量・輸出量の拡大により業界従事者の増加が見込まれる。業界の発展につながることで、人材確保がしやすくなる。設備投資の増加により産業の活性化が期待される。

#### 2.3.2.6 総合車両製作所（横浜金沢分室）

##### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

技術開発を進めるに当たり、不燃性を確保した新合金の開発、それらのプロセス技術開発は、他の分室と密接に連携して実施している。現状では、確立されていないマグネシウム合金の接合施工法や、その継手の信頼性（疲労・靱性）評価手法の開発・確立を行っている。接合施工法の開発については、平成 27 年度末までに部分構体の作製をおこない平成 30 年度末までにモックアップモデル構体の作製を通じて基礎技術を確認したいと考えている。さらには難燃性マグネシウム合金を鉄道車両の内装品にまずは使用を試みて材料の特性を幅広い人々に知ってもらうための実用化の実証なども準備をおこなっている。

##### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

新マグネシウム合金による高速鉄道車両構体が完成し、実用化された場合、他国には存在しない軽量化技術を手に入れることになる。そのため、日本国内の市場だけではなく、アメリカ・ブラジル・ベトナム等の高速鉄道の建設が検討されている海外市場への進出を有利に展開できる技術シーズになると考えられる。

##### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

接合技術の開発および信頼性の評価技術を推進するに当たり、母材の選定、溶加棒の選定、継手の腐食特性等、横浜金沢分室だけで決定困難な特性について他の分室の意見を取り入れる等して、他の分室と密接に連携して研究開発を実施している。

接合施工法の開発については、部分構体やモデル構体の作製を通じて平成 29 年度末までに基礎技術を確認したいと考えている。信頼性評価に関しては、構体設計の可能性を評価するために必要なデータの取得を平成 30 年度末までに完了したいと考えている。

##### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

これまでのマグネシウム合金の適用事例には、自動車では小型鋳造部材や小型鍛造部材に、家電製品筐体では情報機器筐体で鋳造・展伸部材などに、新幹線では小型鋳造部材（荷棚など）などがある。これらの製品は、接合を伴わない小型部品であり構造部材での適用事例はみられない。また、新幹線の鉄道車両構体のような構造部材へのマグネシウム合金の適用は、アルミニウム合金よりもさらなる軽量化効果が期待できる。このような大型構造体（鉄道車両）にマグネシウム合金部材を適用するためには各種接合技術(TIG, MIG, FSW)の確立が必須になる。同時に、材料の特性に合わせたマグネシウム合金に適した構造設計も必要となる。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

高速車両の現状の課題は、騒音問題、振動問題などである。これらを解決するには、軽くて強いマグネシウム合金の利用は有効である。この新合金の接合技術を開発して構体製作に利用することは、高速化・騒音低減・振動低減を実現するための必須技術である。高速車両，特に新幹線でのマグネシウム合金の適用は，軽量化による省エネ化・高速化・快適性の向上・リサイクル性向上・メンテナンスコスト削減をもたらすと考えられる。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

現プロジェクトでは、アルミニウム合金で利用している接合技術を難燃性マグネシウム合金に適用するための技術開発を展開している。アルミの接合技術と比較しての現時点の大きな問題点は、アーク切れ，接合部割れおよび溶加材の酸化である。この点が解決できれば、アルミと競合できる技術に近づくものと考えられる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

前記した通り，鉄道車両構体では軽量化・低騒音・低振動が課題となり日夜技術開発が進められているが，これらの課題は，鉄道車両分野のみならず、自動車分野、航空機分野、建材分野等にも当てはまることから，マグネシウム合金の構造物への適用による経済波及効果は大きいと考えられる。

## 2.4 テーマ4 「革新的チタン材の開発」

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発

### 2.4.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクトではチタン材の「革新的新製造プロセス」を実用化することで、高価なチタン材のコストダウンを図ることを最終目標としている。そのため、まずプロジェクト前半では、それぞれの工程（チタン製錬工程－茅ヶ崎分室、溶解工程－西神分室、圧延工程－富津分室）でラボスケールでの基盤技術の確立をめざし、その後スケールアップ技術を確立し、パイロットプラントなどによる試作実証を経て、事業化に結びつける予定にしている。また、並行して各開発段階でコストの試算、実証を進め、実用化・事業化の目標値や方向性を明確にしていく予定である。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

##### ① 革新的溶解・ casting プロセスの開発（西神分室）

チタン材の主要市場であるエネルギー・インフラ市場では純チタン材が用いられるが、新興国の経済発展を受け、市場の拡大が予測されている。もう一つの主要市場である航空機市場は、CFRP の機体材適用に伴い、従来のアルミニウム合金からチタン材への置き換えが進んでおり、新興国需要の増加との相乗効果でチタン材の需要拡大が予測されている。現在の国内の展伸材出荷量は約 2 万 t であるが、いずれの市場でも予測されるチタン材の需要拡大は、これを遥かに上回る規模であると言われており、本プロジェクトの成果によって、これらの需要を取り込むことができ、日本のプレゼンス拡大につながると期待される。

##### ② 低コスト化薄板製造技術開発（富津分室）

本開発の対象となる薄板展伸材市場は、耐食性が主な要求特性である用途や高価ゆえに活用が進まなかった用途であり、現在のチタン展伸材市場の半分以上を占める。さらに、低コスト化を図ることにより、現行のチタン市場の置き換えだけでなく、新たなメガ市場(例えば、輸送機器など)を創出することも期待される。

##### ③ 高効率スポンジチタン製造プロセスの開発（茅ヶ崎分室）

スポンジチタン市場は年率約 5%で成長しており、これまで日本は、航空機分野ではスポンジメーカーとして、一般工業分野では展伸材メーカーとして世界的に優位な地位を保ってきた。しかし、近年は、海外後発メーカーの追い上げが激しく、日本のチタン産業にとっての脅威となっている。

本プロジェクトでスポンジチタンの高品質、高効率製造プロセスが成功し、海外競合メーカーに対して品質、コスト面で優位に立つことで、世界における日本のチタンの地位を確固たるものにすることが期待できる。

### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

#### **① 革新的溶解・鋳造プロセスの開発（西神分室）**

成果の実用化計画については、本プロジェクト終了後、一貫製造プロセスの実証小型プラントによる 5 年の実証を経て商用量産化を見込む。但し、一貫製造プロセスの確立を待たずとも実用化できる成果については、積極的な事業化を推進する。

#### **② 低コスト化薄板製造技術開発（富津分室）**

「高効率チタン薄板製造技術開発」で得られた成果は、製品への適用用途を見極めた後、速やかに新日鐵住金株式会社が実用化する見込みである。

「チタン新製錬技術開発」は、本開発の結果、実用化の目途があるとの判断がなされた場合、製錬メーカーを中心に、実機化検討（エンジニアリング検討を含む）、パイロットラインによる検証（設備設計、コスト検討を含む）を実施する。

#### **③ 高効率スポンジチタン製造プロセスの開発（茅ヶ崎分室）**

現在進行中のラボスケールやオフラインの要素技術の開発を終えたのち、それらを活用したパイロットプラントを設計、製造する。さらに、既存の工程の一部を活用し、実機生産ラインの一部に組み込み（平成 29 年度）、各種データ収集および不具合部の改善、改良に取り組む。パイロットプラントでは耐久性の評価も含め約 2 年間実証試験をおこなう予定である。

### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

#### **① 革新的溶解・鋳造プロセスの開発（西神分室）**

本プロジェクトで目指す開発プロセスは世の中に類を見ず日本の国際競争力強化に直結する課題であると考えられる。この開発には実機相当プロセスでの検証が必要と考えている。

#### **② 低コスト化薄板製造技術開発（富津分室）**

「高効率チタン薄板製造技術開発」の実用化に向けた課題は、チタン薄板の欠陥抑制および無害化である。これまでの実験室規模の試験でその原因は明らかになりつつあり、このための対策試験を今後順次実施する。この他、実用化に向けた課題は本開発期間で解決を図り、本開発完了後に早期に実用化に向けた取り組みを開始する。

「チタン新製錬技術開発」は、平成 27 年度に開催しているアドバイザリーボードで可能性がある判断された有望技術について、さらに基盤強化の研究開発を実施するとともに、製錬メーカーを中心に産業界側で工業化に向けた基盤技術・実用化にむけた課題検討を実施する。

#### **③ 高効率スポンジチタン製造プロセスの開発（茅ヶ崎分室）**

新しい工程で製造されたスポンジチタンの評価及びその結果が大きな課題となるが、組合員でユーザーである新日鐵住金㈱と連携しながら評価を進め、製造プロセスの安定性及び信頼性が確認されたのち実用化へと展開する。航空機分野向けについては、

新製造工程に関して航空機用認定を取得する必要がある。まずは、機体用向けに実績を積み認定を取得後、エンジン向けの認定を取得する予定である。

また、平成 27 年度以降はパイロットプラントの実証試験を実施し、その終了（平成 31 年度）後に事業性の検討に入る。その際、投資採算性の高い新プロセス設計が重要であり、新プロセスへ変更するための投資がどの程度に抑えられるかが、事業化への判断基準になる。

## **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

### **①革新的溶解・鋳造プロセスの開発（西神分室）**

現在設定している目標値はユーザーニーズに基づいたものであるため、この目標値をクリアすることで実用化できるものと考えている。

### **②低コスト化薄板製造技術開発（富津分室）**

本開発により、チタン材（特に薄板）の低コスト化が図られ、チタン材の利用が大幅に促進されると期待される。その市場は、耐食性が主な要求特性である用途（板式熱交換器、電力、化学向け等）や高価ゆえに活用が進まなかった用途（自動車向け部品、民生品）等の既存のチタン展伸材市場の置き換えだけでなく、新たなメガ市場を創出することも期待される。

### **③高効率スポンジチタン製造プロセスの開発（茅ヶ崎分室）**

供給過剰な状態にある現在のチタン市場の場合、航空機分野、一般工業分野とも、低価格化かつ高品質へのユーザーニーズは今後さらに高まり、そのニーズに対応できたスポンジメーカーが生き延びられる。従って、本テーマに掲げた目標、すなわち、コストダウンと高品質という研究開発は、まさに世界のチタンニーズに合致している。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

チタン材は他の競合となる他の金属材料に対して、比強度や耐食性といった性能面では総じて圧倒的に優位にあり、適用拡大に向けてのネックはコスト面のみである。

例えば、純チタン展伸材が多用される熱交換器等のプラントでは、ステンレス合金が競合材となるが、耐食性の観点でチタンに優位性があり、チタン材の低コスト化により需要拡大が磐石になると想定される。

また、航空機分野ではアルミニウム合金が競合となるが、アルミニウム合金は近年多用されつつある CFRP との電食の問題があり、性能ではチタン合金に優位性がある。コスト面ではアルミニウム合金に劣っているものの、本プロジェクトにて材料単体のみでなく、2 次加工コスト低減もしくは部材コスト低減効果を見込んでおり、部材コストとして遜色無いものが実現できると期待される。

さらに、日本のスポンジチタンは世界最高水準の品質を維持しているが、近年は海外後発メーカーでも品質向上が進んでおり、日本の製造コストは一部の海外競合メーカー（例えば、中国）と比較すると劣っていると考えられる。本プロジェクトでは、従来のチタン製錬プロセスを抜本的に見直し、世界最高レベルの生産性と品質を有す

る工程にすることを目的としている。最終目標を達成した場合、これまでにない高品質と、世界最高の生産性による低コストを同時に達成することができ、日本のスポンジチタン材の優位性を確実なものに出来る。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

チタンは製錬時に多くの電気を必要とする金属である。同じく電力多消費のアルミニウムの製錬事業が、国内から全て無くなったような事態を避けるため、高い電力単価をカバーする新技術を開発しないと日本国内でチタン製錬事業を続けていくのは困難となる。当研究開発によるチタン製錬技術の革新により、日本国内でのチタン製錬事業の継続が十分可能となり、日本の経済および雇用に大きく貢献できる。

また、本開発の成果として得られるチタン材の低コスト化により、チタン材の利用が大きく促進され、様々な波及効果が期待される。例えば、チタン材は、現在自動車に主に使用されている鋼材に比べ、密度が小さく比強度に優れているため、チタン材を有効に活用することにより輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の削減ができると期待される。また、チタン材は、現在海洋構造物に主に使用されている鋼材に比べ、海水に対する耐食性に優れているため、チタン材を有効に活用することにより、メンテナンスフリーで構造物の寿命を長くできると期待される。さらに近年、チタンの持つ意匠性や軽量性等により、メモリアル的な大型建造物への適用が増えているが、本開発により、建築・土木分野における更なる適用拡大、すそ野の広がりが期待できる。

これまで、日本のチタン業界は、高価で加工性が難しいチタンを種々の工夫をこらしチタン用途市場を広げ市場開発を積極的に進めたことが、今日のチタン市場の広がり（特に民需部門）に繋がっている。今後、世界にその事例を発信してゆくことで、チタンの優れた性質の恩恵を世界全体が享受することを可能としてきており、本研究開発を完成させることにより、世界でのリーダーシップを引き続き発揮できることとなる。

### **2.4.2 各社の取り組み及び見通し**

#### **2.4.2.1 神戸製鋼所（西神分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

開発と並行してユーザートライを実施することで、検討課題に抜けが生じないように最新で詳細な情報を収集し、効果的に実用化を図る。一貫製造プロセスの確立を待たずとも実用化できる成果については積極的な事業化を図る。

##### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

チタン材の主要市場であるエネルギー・インフラ市場には純チタン材が用いられるが、新興国の経済発展を受け、市場の拡大が予測されている。もう一つの主要市場である航空機市場は、CFRP の適用を受け、従来のアルミニウム合金からチタン材への置き換えが進んでおり、新興国需要の増加との相乗効果でチタン材の需要拡大が予測されている。現在の国内の展伸材出荷量は約 2 万 t であるが、いずれの市場で予測さ

れるチタン材の需要拡大も、これを遥かに上回る規模であると言われており、本プロジェクトの成果によって、これらの需要を取り込むことができ、日本のプレゼンス拡大につながると期待される。

### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

成果の実用化計画については、本プロジェクト終了後、一貫製造プロセスの実証小型プラントによる5年の実証を経て商用量産化を見込む。但し、一貫製造プロセスの確立を待たずとも実用化できる成果については積極的な事業化を推進する。

### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

本プロジェクトで目指す開発プロセスは世の中に類を見ず日本の国際競争力強化に直結する課題であると考えられる。この開発には実機相当プロセスでの検証が必要と考えている。

### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

現在設定している目標値はユーザーニーズに基づいたものであるため、この目標値をクリアすることで実用化できるものと考えている。

### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

対象事業によるが、軽量で耐食性に優れるというチタン材の特徴から、競合材料としては軽量のアルミニウム合金と耐食性に優れるステンレス合金が挙げられる。ただ、いずれの合金に対しても耐食性という観点でチタン材が優位であることから、海水を用いる環境や、CFRPと接触する部材にはチタン材が選択される。一方、これら競合材料に対して素材コスト面では劣ることが課題である。これに対しては、本プロジェクトの成果を活用することで改善可能であり、今後の成長市場に対して、高性能で低コストなチタン材を提供することで、市場拡大を足元から支えることができると期待する。

### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

チタン素材産業に留まらず、高加工性・成形性の開発チタン材料を、最適な加工方法と組み合わせることで、チタン材料を活用する我が国の部品加工産業、さらには最終製品産業においても競争力強化に寄与すると期待される。

#### **2.4.2.2 新日鐵住金（富津分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

本開発において、実用製品（チタン薄板コイル）の試作とコスト実証まで行う。また、当社既存設備（圧延機等）を最大限活用して大型設備投資を抑える。これらにより、開発終了後、速やかに実用化を図る。

##### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

本開発の対象となる市場は、耐食性が主な要求特性である用途（板式熱交換器、電力、化学向け等）や高価ゆえに活用が進まなかった用途（自動車向け（足回り、マフラー等）、民生品）であり、現在のチタン展伸材市場の半分以上を占める。さらに、低コスト化を図ることにより、現行のチタン市場の置き換えではなく、新たなメガ市場を創出することも期待される。

### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

「高効率チタン薄板製造技術開発」で得られた成果は、製品への適用用途を見極めた後、速やかに新日鐵住金株式会社が実用化する見込みである。

「チタン新製錬技術開発」は、本開発の結果、実用化の目途があるとの判断がなされた場合、製錬メーカーを中心に、実機化検討（含 エンジニアリング検討）、パイロットラインによる検証（設備設計、コスト検討を含む）を実施する。

### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

「高効率チタン薄板製造技術開発」の実用化に向けた課題は、チタン薄板の欠陥抑制および無害化である。これまでの実験室規模の試験でその原因は明らかになりつつあり、このための対策試験を今後の本開発で順次実施しする。この他、実用化に向けた課題は本開発期間で解決を図り、本開発完了後に早期に実用化に向けた取り組みを開始する。

「チタン新製錬技術開発」は、平成 27 年度に開催しているアドバイザリーボードで可能性がある判断された有望技術について、さらに基盤強化の研究開発を実施するとともに、製錬メーカーを中心に産業界側で、工業化に向けた基盤技術・実用化にむけた課題検討を実施する。

### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

本開発により、チタン材（特に薄板）の低コスト化が図られ、チタン材の利用が大幅に促進されると期待される。その市場は、耐食性が主な要求特性である用途（板式熱交換器、電力、化学向け等）や高価ゆえに活用が進まなかった用途（自動車向け（足回り、マフラー等）、民生品）等の既存のチタン展伸材市場の置き換えだけでなく、新たなメガ市場を創出することも期待される。

### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

本開発により、低コストのチタン薄板や、その特徴を活かして引張強度・延性バランスを向上させた従来にない高機能チタン板が得られる。これらにより、品質特性を向上しつつある中国製や韓国製チタン薄板より、競争力のある、低コストで強度・延性バランスの優れたチタン薄板の製造が可能になる。

### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

チタン材の低コスト化により、チタン材の利用が大きく促進され、様々な波及効果が期待される。例えば、チタン材は、現在自動車に主に使用されている鋼材に比べ、



密度が小さく比強度に優れているため、チタン材を有効に活用することにより輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の削減ができると期待される。

### 2.4.2.3 東邦チタニウム（茅ヶ崎分室）

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

スポンジチタンは半原料であり、溶解工程を経てチタンインゴットとなった後、加工工程にて成形され、板材や棒材となる。

東邦チタニウム㈱は、スポンジメーカーであると同時にインゴットメーカーであるため、開発されたスポンジチタンは、スポンジチタンまたはインゴットの形で既存顧客へ販売する。開発されたスポンジチタンは、高品質かつ安価であるため、海外の競合メーカーに対して優位に立てる。

また、従来にない高品質なスポンジチタンを作れるため、高純度チタン分野での新製品開発等、新たな分野での実用化も期待できる。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

スポンジチタン市場は年率約 5%で成長することが予想される成長産業である。その市場は航空機分野、一般工業分野に大別できるが、これまで日本は航空機分野ではスポンジメーカーとして、一般工業分野では展伸材メーカーとして世界的に優位な地位を保ってきた。しかし、近年は、海外後発メーカーの追い上げが激しく、カザフスタン・ウクライナ・中国・韓国等が競合メーカーとして市場での地位を拡大しており、日本のチタン産業にとっての脅威となっている。

当研究開発にてスポンジチタンの高品質、高効率製造プロセスが成功し、海外競合メーカーに対して品質、コスト面で優位に立つことで、成長するスポンジチタン市場での差別化を図りながら、日本のチタン事業の拡大を目指し、世界における日本のチタンの地位を確固たるものにする。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

現在進行中の要素技術の開発を終えたのち、それらを活用したパイロットプラントを設計、製造し、既存の工程の一部を活用し、実機生産ラインの一部に組み込み（平成 29 年度）各種データ収集および不具合部の改善、改良に取り組む。耐久性の評価も含め約 2 年間実証試験をおこなう予定とする。実証試験で製造されるスポンジチタンは、既存市場での評価とともに、高純度等の高付加価値分野での評価用に供し、品質面での確認をおこなう。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

本プロジェクトで開発された工程で製造されたスポンジチタンは、品質、コストともに競争力があり、既存市場、新規市場ともに既存品に置き換わって実用化される。既存市場は大別し、一般工業用途と航空機用途がある。一般工業用途では、展伸材メーカーにて圧延加工され板、条として市場に投入される。それらの製品が、機械的特性が安定し、また、酸素や鉄成分の低い展伸材は冷間加工性を高めることが確認さ

れ、市場に広く受け入れられ、事業化へとつながる。

航空機分野は、安定した品質が重要であり、かつ、それを前提としてコスト競争力があるスポンジチタンが強く望まれている。本プロジェクトで開発された工程が市場ニーズに合ったものであることを航空機メーカーに理解させ、認定取得の手続きを経たのち市場へ段階的に投入し、使用実績を積んで信頼性を獲得することにより、本格的な事業化につながる。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

供給過剰な状態にある現在のチタン市場の場合、航空機分野、一般工業分野とも、低価格化かつ高品質へのユーザーニーズは今後さらに高まり、そのニーズに対応できたスポンジメーカーが生き延びられる。従って、本テーマに掲げた目標、すなわち、コストダウンと高品質はという当研究開発は、まさに世界のチタンニーズに合致している。また、高純度チタン分野では、低価格化のニーズに加え、これまでにない高品質の高純度チタン開発のニーズも高まっており、当研究開発で開発された高品質化技術の一部は、先行して、この高純度チタン分野に応用できるかも検討し一部の市場からでも開発成果の実用化を図る。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

現時点で工業化しているチタン製錬プロセスは、クロール法のみであり、世界中のチタンメーカーがクロール法でスポンジチタンを作っている。日本のスポンジチタンは、世界最高水準の品質を持つが、近年は、海外後発メーカーでも品質向上が進んでおり、品質面での相対的優位性は薄れつつある。また、日本は電力単価等が高いこともあり、日本の製造コストは一部の海外競合メーカーに劣っていると考えられる。

当研究開発は、クロール法における還元分離工程の非効率な生産を見直し、世界のどこよりも優れた生産性を極めることを目的とし、最終目標を達成した場合、これまでにない高品質と、世界最高の還元分離の生産性による低コスト\*を同時達成することができる。（\*低コストについては、為替などの経営環境が平成 27 年 7 月時点と同様の場合）

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

チタンは製錬時に多くの電気を必要とする金属である。同じく電力多消費のアルミニウムの製錬事業が、国内から全て無くなったような事態を避けるため、高い電力単価をカバーする新技術を開発しないと日本国内でチタン製錬事業を続けていくのは困難となる。当研究開発は、チタン製錬技術の革新により日本国内でのチタン製錬事業の継続を可能とし、日本の経済および雇用に大きく貢献できる。さらに、チタン製錬の川下事業においても日本企業の優位性が確保され、日本のチタン産業全体の発展に寄与するとともに、国際的には日本のシェアを拡大することにより世界での日本のチタン産業の地位を上げることが期待できる。

日本のチタン業界は、高価で加工性が難しいチタンを種々の工夫をこらしチタン用途市場を広げ市場開発を積極的に進めたことが、今日のチタン市場の広がり（特に民

需部門)に繋がっている。世界にその事例を発信してゆくことで「軽くて強い、耐食性が高くメンテナンスフリー、生体適合性が高く人体に優しい」チタンの優れた性質の恩恵を世界全体が享受することを可能としてきており、本研究開発を完成させることにより世界でのリーダーシップを引き続き発揮できることとなる。

## 2.5 テーマ 5「革新炭素繊維基盤技術開発」

### 2.5.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

炭素繊維の需要分野は自動車等の輸送機器に限らず、環境・エネルギー、土木・建築など極めて多岐にわたり、省エネ（低コスト）な炭素繊維製造技術を確立できれば、需要量は膨大であり、極めて大きな波及効果が期待できる。しかしながら、現在の炭素繊維の製造プロセスでは、消費エネルギー及び CO<sub>2</sub> 排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。日本企業が世界の主要な生産・供給プレーヤーになっている PAN 系炭素繊維を高機能化・低コスト化する次世代版炭素繊維の開発シーズを大学と主要企業が産学連携によって確立し、その生産を事業化することは、日本の炭素繊維の製造業をさらに活性化し、その炭素繊維を利用するユーザー企業の部材・製品の競争力を高めることになる。ただし、本開発の研究室レベルでのエンジニアリング技術については、将来の連続した生産工程などの検証が十分出きないので、技術移転候補の企業と協議しながら、セミプラントレベルの実証設備が必要かどうか検討し、その必要度に応じて国の資金援助を要請するかどうかの判断ができる意見を集約する必要がある。本技術開発事業の政策的意義、社会的・経済的意義は極めて重要であり、将来の自動車の進化に重要な超軽量化技術の核となり、炭素繊維に係る技術開発競争は海外においても一層加速していることなどから、産学官一体となった体制において、本技術開発の成果を実用化することを検討していきたい。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

炭素繊維は、軽くて強いという優れた特性から、自動車等の運輸車両の軽量化を図ることができるということで省エネルギーや二酸化炭素排出削減に大きく貢献できる素材として期待されている。これまで炭素繊維の世界市場は日本企業が約 7 割を占めるという寡占状態であったが、近年では航空機を中心とした需要の牽引を受け、欧米の既存の炭素繊維メーカー各社が炭素繊維製造プラントの増設を発表するとともに、中国では政府主導により炭素繊維製造技術の開発に注力しており、既に汎用炭素繊維レベルまでの生産能力はあると言われている。今後、中国における汎用炭素繊維の生産能力の飛躍的な拡大も否定できない状況である。2030 年には、約 700 万台の新車に炭素繊維が使われると推定すると自動車用途として約 12 万 t/年の大量な炭素繊維需要が見込まれているが、現行方法での生産能力では対応が困難な状況であり、近い将来見込まれる炭素繊維の大量需要に速やかに対応するためには生産性向上等が喫緊の課題となっている。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

実用化に向けては、素材製造・複合材料化から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保等の課題もあり、パイロットラインが新設できれば、製造技術の蓄積や他のプロジェクトとの連携が可能となる。パイロットラインにおける開発研究で本プロセスのポテンシャルを把握し、効率よく幅広い技術や製造ノウハウを蓄積することは、本技術の実用化を加速することのみならず炭素繊維産業の国際競争力

を確保してゆくことにも繋がる。今後、パイロットラインによる取組は本技術開発の関係者らによる検討が必要であるので、本技術開発の後期もしくは後継プログラムとして進めることを期待したい。

#### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

実用化への道筋の確立、事業終了後の成果の取扱い、重点的に解決すべき問題の絞り込み等を通じ、スピード感をもって前倒しで本開発事業を進めることが要求されている。製造設備の大型化や量産性の実証以上に繊維特性の向上に注力することが、事業化に果たす役割はより大きいという指摘もある。また、素材と反応を伴う製造工程が大幅に変わるので、有害物質排出の可能性について知見を得るようにしていく必要がある。実用化に向けては、素材製造・複合材料化から製品設計、新素材による自動車製造及び品質、信頼性の確保等の課題もありパイロットラインによる製造技術の蓄積や他のプロジェクトとの連携が必要不可欠である。パイロットライン開発研究で本プロセスのポテンシャルを把握し、効率よく幅広い技術や製造ノウハウを蓄積することは、本技術の実用化を加速することのみならず炭素繊維産業の国際競争力を確保してゆくことにも繋がる。パイロットラインによる取組は本技術開発の関係者らによる検討が必要である。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

軽量構造材料に対する社会的ニーズとともに、生産性の向上によるコスト削減効果も期待されることから、本技術開発の成果は事業化に直結するものである。また、本開発においては、炭素繊維メーカーが参加し、迅速な事業化への対応に向けてプロセス技術開発も並行して行う実施体制となっており、成果の実用化の見込みは極めて高いものと確信している。

炭素繊維は、道路や建築物の補強材料などとしても使用されはじめている。本技術開発により、自動車等の移動体用の構造材料として炭素繊維が大量導入されれば、必然的にその価格も低下し、それによって、これまでコスト面で導入が見送られていた補強材料としての市場への拡大が期待される。

電気自動車の軽量化のために CFRP が使用されはじめているが、本技術開発により、炭素繊維のコストが低下するとともに、製造時におけるエネルギー消費量を低下させることができれば、トータルでの省エネルギー効果が増し、燃料電池車や電気自動車等の他の低環境負荷自動車の普及にも貢献することが期待される。水素、天然ガス等の燃料タンクや風力発電ブレードなど、エネルギー分野での利用拡大によって、炭素繊維の市場拡大は様々な省エネルギー効果を生み出すものと期待される。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

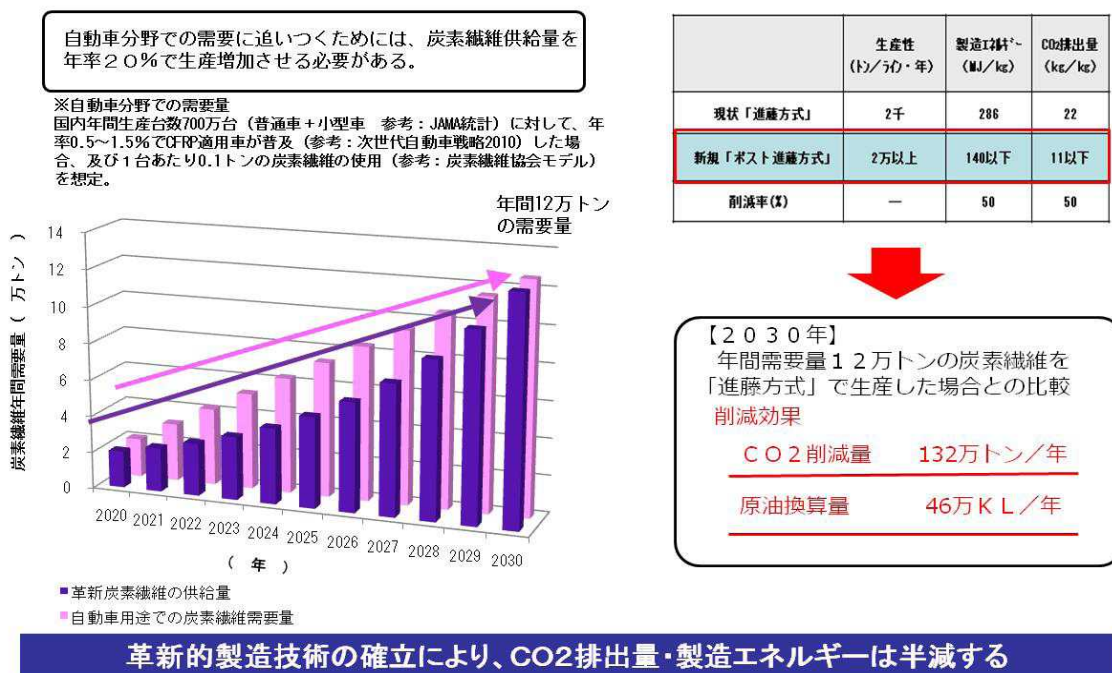
現在の炭素繊維の製造法（進藤方式）では、消費エネルギー及び CO<sub>2</sub> 排出量が大きく、生産性の向上も困難であることが課題となっている。現在の炭素繊維製造法は、アクリル繊維を空气中高温で耐炎化（焼成）するため、製造エネルギー及び二酸化炭素排出量はいずれも鉄の約 10 倍と非常に高く、除熱効率の装置限界から生産性もな

なかなか高められないのが現状である。先端素材である炭素繊維が幅広い用途に普及していくためには、従来の製造方法のままでは製造エネルギー、二酸化炭素排出量及び生産性の観点から限界であると言える。現行の炭素繊維製造における原料（炭素繊維前駆体）、製糸、焼成の技術について、抜本的な見直しを行うことにより、製造エネルギー及び CO<sub>2</sub> 排出量を半減させるとともに生産性も飛躍的に向上させる技術を確立できる。

### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

本技術開発が成功した場合の産業的なインパクトについて検討した結果を図 IV-2.5.1-1 に示した。その結果、自動車用途等の需要増年率 20%と仮定すると、2030 年までには安定して供給できる体制が整う。また、2030 年時には炭素繊維生産時に 132 万 t の CO<sub>2</sub> 削減、原油換算量で 46 万 KL/年削減という大きな効果が見込まれる。さらに、これらの活用により軽量化した自動車等によって低炭素社会への実現に貢献できることになる。

2030年における自動車分野での炭素繊維需要量と供給量



図IV-2.5.1-1 革新炭素繊維が与える産業的なインパクト

## 2.5.2 各社の取り組み及び見通し

### 2.5.2.1 東レ株式会社

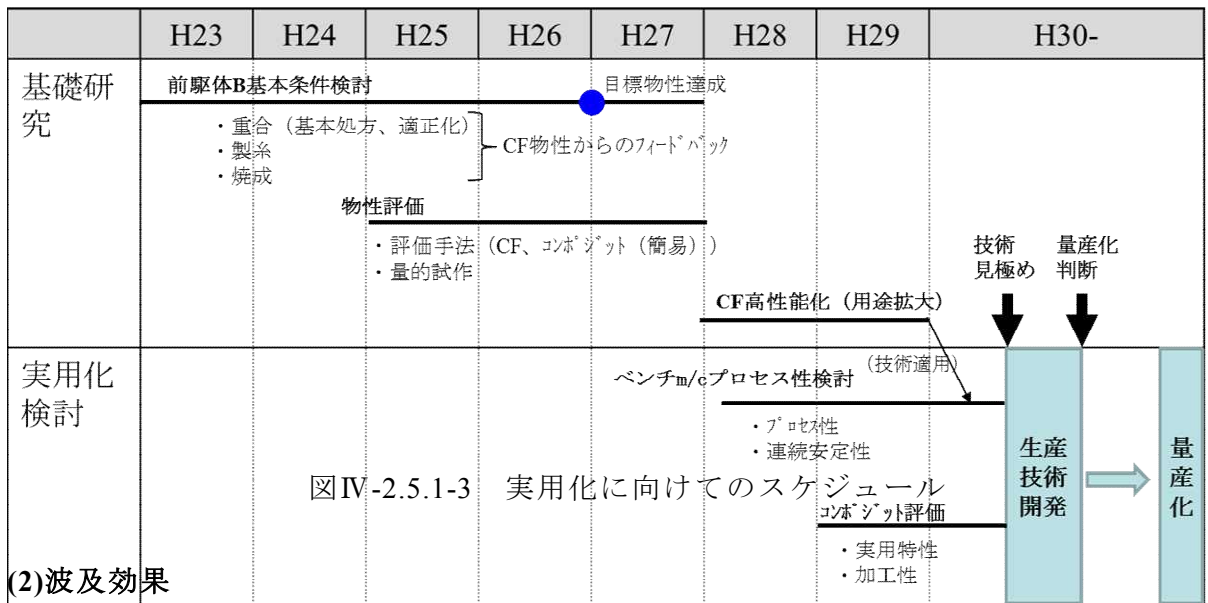
#### (1) 実用化・事業化までの戦略

炭素繊維製造工程の律速である耐炎化工程を短縮可能な新規炭素繊維前駆体ポリマー（前駆体 B）を開発し、炭素繊維製造エネルギー、製造工程から排出される二酸化炭素量の低減、さらには、炭素繊維製造コストの抑制を目指す。炭素繊維前駆体としての実用化するためには、想定する産業用途に適した物性発現を可能とするプロセス条件と、既存の進藤方式の炭素繊維製造プロセスに対し、ポテンシャルを有することを見極める必要がある。前駆体 B およびその炭素繊維の基本条件確立は、基礎研究のステージとして検討が進められてきた。これまでのところ、重合、製糸、焼成工程のそれぞれについて適正化を進め、目標の炭素繊維物性（弾性率 235GPa、伸度 1.5%）を達成している。実用化に向けた課題は、実際に使用が想定される製品形態で目標の炭素繊維物性を達成でき、かつ安定して重合、製糸、焼成工程を通過することであり、基礎的な検討はプロジェクト期間内に開始し、両立可能なプロセスウィンドウの判断を行う。

また、重要である前駆体重合工程について、スケールアップした場での基礎技術開発のステージで検討を進める。ここでは、大量生産を実現可能なプロセス速度と、連続生産に耐えるプロセス安定性、品位、品質安定性の両立を目指した製造技術検討を進め、量的試作を実行するなかで技術的の観点の課題抽出を行う。ここで得られたプロセス性の適用可能範囲から、生産適用した場合のフィージブルスタディを行い、経済性の観点で現行の進藤方式に対する優位性があるか判断する。また、試作した炭素繊維について、並行して、特に自動車用途への展開を意識したコンポジット作製・物性評価により、技術完成度を評価し、前駆体 B より得られる炭素繊維の特徴を生かせる用途展開の可能性を検討する。これらの基礎技術開発の結果、一定の成果が得られた場合、量産化を目的とした生産技術開発ステージに移行する。

検討ステージ		基盤研究 (現時点)	基本技術開発	生産技術開発	量産化
検討項目	もの	CF特性	CF特性安定性 品位	長期安定性 均一性 コスト	→
	プロセス	炭素繊維化（少量） プロセス範囲	連続炭素繊維化 スケールアップ 連続運転（数日） 安全性	炭素繊維試作 連続（月単位） 環境負荷、コスト	炭素繊維生産 → 連続（年単位）
	評価	図IV-2.5-2	実用化に向けた物性（検 ポソ）	実用特性追加検討 用途開拓、コスト	→

さらに、基礎技術開発と並行して、適用用途の拡大を目的とした前駆体 B 炭素繊維の更なる高性能化に向けた検討を基礎研究として継続する。



今後普及が進むと予想される環境低負荷自動車 (HV、PHV、EV、FCV) に、軽量化技術が導入された場合、前駆体 B から得られる標準弾性率炭素繊維は、内装パネル部材や、適用が増える電装部品の外装などへの適用、さらに自動車向けに開発が進んでいる新規 CFRP 成型技術と合わせることで、大きな軽量化効果が期待できる。軽量化の副次的な効果として、前記自動車に必須の電池、モーターに使用される希少材料 (レアメタル、リチウム) の削減も可能となる。さらに、炭素繊維の高性能化を実現することで、自動車においては高剛性が求められる構造部材や高強度が求められる衝撃保護部材への適用拡大が見込めるほか、炭素繊維自身の低コスト化、大量生産性と合わせて乗用車以外の、トラック・二輪車、家電製品、ロボット等への展開が考えられる。



図IV-2.5.1-4 波及効果

### 2.5.2.2 東邦テナックス株式会社

#### (1)実用化・事業化に向けた戦略

炭素繊維の需要拡大に応えるべく炭素繊維の製造プロセス大容量化のために高効率な加熱・後処理技術としてのマイクロ波炭素化技術とプラズマ表面処理技術を開発する。これにより炭素繊維製造工程から排出される二酸化炭素量の削減を目指す。

目標物性は引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%であり、既存の PAN 系炭素繊維の汎用グレードと同等であることから、既存品との置き換えが可能で顧客にも受け入れやすいと考えられる。



## (2)市場動向（市場規模・成長性）

炭素繊維の需要は、2008 年米国発の金融危機の影響で一時的に縮小したものの、2011 年からは再び成長に転じた。成長の牽引役は、環境・エネルギー用途における例えば風力発電の拡大が挙げられる。「省エネ・省力化」、「温暖化ガス削減」などに沿った環境配慮志向の高まりに「軽く」て「強い」炭素繊維の特長が合致し本格的な拡大期を迎えたと言える。

特に、自動車用途では、今後とも強化される CO<sub>2</sub> 排出規制に対応するため、自動車メーカー各社は炭素繊維メーカーと協働し車体などへの炭素繊維採用の検討を進めており、将来的に同用途での大きな成長が期待できる。



図IV-2.5.1-5 PAN系炭素繊維の需要動向（東邦テナックス推定）

[第28回複合材料セミナー講演資料(2015年2月25日)

PAN系炭素繊維の現状と将来 より]

産業用途の代表例である風力発電用途は、炭素繊維需要の拡大に最も大きく寄与するものの一つとして期待されている。世界的な原子力政策の見直し、温暖化ガス排出削減といった社会のニーズを満たすため、再生可能エネルギーへの依存は今後も高まり、風力発電の洋上化、発電効率や採算性の向上を図るため、ブレードの大型化傾向が進んでいる。ブレードの更なる軽量化、高剛性化が可能となる炭素繊維の使用比率が高まり、炭素繊維需要の更なる拡大が期待される。

自動車は、最も多くの「温暖化ガス」を排出している分野の一つである。このため、世界各国では厳しい規制を設けて自動車の排ガス規制を行っている。自動車メーカー各社は規制に対応するため、電気自動車、ハイブリッド車、内燃エンジンの改良、車体の軽量化など環境対応技術の開発を進めるとともに、ディーゼルや天然ガス車の比率増加を図っている。しかし、各国は更に厳しい排ガス規制の導入を目指している。例えば欧州では、2021年までにCO<sub>2</sub>排出量を95g/km以下に抑える方針である。2012年に欧州市場で販売された新型乗用車のCO<sub>2</sub>排出量は140g/km前後であった。つまり、2021年までに50g/km近いCO<sub>2</sub>排出量削減を実現しなければならないことになる。こ

の厳しい規制に対応するためには、更なる車体の軽量化が必要となり、これまで、レーシングカーや超高級スポーツカー等、ごく一部の車両へ適用されるに留まっていた CFRP が、量産車へ本格的に採用される可能性がある。ドイツ BMW 社はカーボン製のモノコックを採用した量産型電気自動車「i3」シリーズを 2013 年後半から販売開始、SGL 社との合弁会社で炭素繊維生産能力を継続的に拡大するなど好調な販売が伝えられており、他の自動車メーカーの CFRP 本格採用へ波及することが期待される。CFRP を量産車へ普及させるには、低コスト化、供給能力の確保、リサイクル技術・サプライチェーンの確立、生産タクトタイムの短縮など取り組むべき課題が多いが、自動車メーカー各社、炭素繊維メーカー各社は、共同しながら技術開発を強化・推進している。

### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

マイクロ波炭素化技術は、基本原理が確立したが安定的な炭素化処理が課題であるため、技術の完成度が比較的高いプラズマ表面処理技術を用いたプラズマ表面処理炭素繊維の市場投入が先行すると考えている。

マイクロ波炭素化技術・・・来年度以降は委託研究として炭素化の基本技術開発に取り組むことを想定している。基本技術の開発が済み、次の段階への移行が妥当と判断されれば、ベンチプラントでの技術検討の実施を検討する。更にスケールアップが妥当と判断できれば、パイロットスケールでの技術検討を行い、フィージビリティスタディを行う。その後、事業化可否の判断を行う。

プラズマ表面処理技術・・・来年度以降に補助金を活用したスケールアップ検討を行うことを想定している。次の段階への移行が妥当と判断できれば、フィージビリティスタディとサンプル評価を行い、その後、事業化可否の判断を行う。

### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

マイクロ波炭素化繊維・・・標準的な引張弾性率をもつことをラボレベルで確認済みである。大量生産のための基盤技術確立が課題であり、多錘化、安定処理のできる技術検討を進めた上で、ターゲット市場、使用環境を明確化し、事業化に向けた検討を進める。

プラズマ表面処理炭素繊維・・・繊維／樹脂界面の性能をラボレベルで確認済みである。複合材料での繊維／樹脂界面特性の確認、大量生産技術の確立が課題であり、ラボでの実験結果を基にベンチスケール生産設備での製造条件について検討する。

### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

マイクロ波炭素化繊維・・・低コスト、大量生産技術の開発により、自動車用途、産業用途に代表される大規模なニーズにマッチすることが期待される。

プラズマ表面処理炭素繊維・・・樹脂との接着性の改善により熱可塑性樹脂への適用が見込まれ、低タクトタイムが望まれる用途に対応できる可能性がある。

## **(6)波及効果（技術的・経済的・社会的効果）**

自動車分野で現行使用されているスチール、今後の軽量化素材として検討されているアルミニウム、マグネシウムに比べ、CFRP は引張特性（比引張弾性率、比引張強度）、および曲げ特性（比曲げ剛性、比曲げ強度）に優れている。

環境問題への意識の高まりを背景に、「省エネ・省力化」、「温暖化ガス削減」など時代の要求に合致する PAN 系炭素繊維の需要は今後さらに拡大すると考えられる。例えば、自動車用途への採用が軽量化による燃費改善、二酸化炭素排出量削減に貢献する。炭素繊維協会の試算では、車両重量が 1380kg から 970kg へ軽量化でき、燃費 9.8km/l、生涯走行距離が 9.4 万 km のとき、二酸化炭素排出量は約 5t 削減できるとされている。炭素繊維の普及が促進されれば自動車に代表されるモビリティ分野における環境性能の向上、風力発電に代表される環境・エネルギー分野において、より環境負荷の少ないエネルギーの利用を促進することになり、「永続的に成長可能な世界の実現」に貢献すると期待される。

### **2.5.2.3 三菱レイヨン株式会社**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

当社は既に PAN 系炭素繊維のみならずピッチ系炭素繊維を事業化を行っているが、炭素繊維そのものや、それとマトリックス樹脂との界面を評価する手法を確立することで、炭素繊維の表面構造を最適化し、特に今後拡大すると予想される熱可塑性樹脂をマトリックスにした CFRTP に適した炭素繊維を提供していくことで事業規模を拡大していく。また開発した炭素繊維の評価手法を、関連する公的機関（炭素繊維協会、プラスチック工業連盟、JIS 規格、等）と連携し、標準規格を確立していく。このように日本が先導的に規格化を行うことで、世界標準の地位を確保し、日本の炭素繊維の全世界に占めるシェアを拡大していく。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

「平成 23 年度経済産業省調査 サプライチェーンを見据えた高機能繊維およびその活用・加工技術の実態調査」によると、2020 年には炭素繊維の需要量は 14 万 t と見込まれている。そのうち自動車用途を含む産業用途には 11 万 t が見込まれ、これは全体の約 80%を占める。2020 年以降もさらにその需要は年率約 15%で増加するものと推定される。

経済効果として「車載用 CFRP の世界需要予測 2014（矢野経済研究所）」によると、自動車用途において、炭素繊維、樹脂、成形品の合計として、2020 年に約 1500 億円、2025 年に 2800 億円が見込まれている。仮に日本の製造メーカーが 50%のシェアを確保すれば、2020 年に 750 億円、2025 年に 1400 億円の市場が期待できる。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

当社は PAN 系炭素繊維のみならず、世界首位のピッチ系炭素繊維事業を持ち、両者の強みを生かした複合材料を設計できることに特長がある。本プロジェクトで開発

した評価技術を、この両炭素繊維に適用し、最適な表面、界面設計を付与した競争優位性のある炭素繊維を市場に提供していく。同時に、本プロジェクトで行われている新規前駆体とマイクロ波焼成により得られた炭素繊維や、もしくはリサイクル炭素繊維の界面を評価し設計することにより、最もコストパフォーマンスに優れた複合材料を設計し、事業化につなげていく。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

第一に炭素繊維自身の低コスト化が重要と考える。その解決策として本プロジェクトの低コスト炭素繊維の活用が挙げられるが、それをコンポジットに仕上げるためには界面の評価および設計技術が重要になると考えられる。次いでプロセスコストの低減も必要となるが、成形時間の短縮化が可能である熱可塑マトリックスの活用が期待される。しかしながら熱可塑性樹脂は高粘度であるために、繊維束中に樹脂が含浸しにくいという問題点がある。この解決のため、本プロジェクトでは含浸性の良い界面を設計しそれを評価する技術を開発する予定である。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

自動車用途を含む産業分野での実用化には、炭素繊維複合材料と既存材料とのコストと性能のバランスで決まるものと考えられる。今後ますます CO<sub>2</sub> の排出規制が強まる自動車用途では、排出量に影響の大きい軽量化へのニーズが強く、炭素繊維への期待が大きい。この車体軽量化のコストに見合うだけの排出量の削減が達成できれば、事業化の可能性は高いものと判断する。また EV がユーザーに受け入れられるためには、走行距離改善のための車体軽量化がさらに重要になる。今後の市場動向に注目していく。

#### **(6)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

日本の炭素繊維メーカーのシェアは約 70%であり、本プロジェクトでの低コスト炭素繊維の製造と、炭素繊維の表面とマトリックス樹脂との界面の最適設計などの、日本発の材料技術が生み出す経済的効果は大きい。しかしながら、欧州を中心とした複合材料の加工技術の進展が、原料である炭素繊維の製造メーカーに対するアドバンテージを持つ可能性もある。またこのような状況は、欧州での活発な加工技術開発の取組によってすでに現実のものになろうとしている。この状況を打開するためにも、本プロジェクトとコンポジットの設計と加工を主体とした他プロジェクト、また複数の機関が連携した研究開発体制を構築し、成形加工技術で先行する欧州をキャッチアップする必要がある。

## 2.6 テーマ 6 「熱可塑性 CFRP の開発」

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

### 2.6.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

車体軽量化への寄与度が最も高いと期待される CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics、炭素繊維強化プラスチック) の特長であるテーラードデザインの可能性を生かし、強化材の形態や配向状態、樹脂組成、製造プロセスを含めたトータルな材料設計技術を構築する。そのために、材料メーカー、成形加工メーカー、装置メーカー、自動車メーカー、アカデミア (大学、公研) からなるコンソーシアムを形成し、基盤技術と実用化技術がより密接した体制の下で研究開発を進める。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し (市場規模・成長性、経済効果)

BMW i3、i8 への CFRP の採用を起点として自動車用構造材料の一端を担う材料として注目が高まっている。現状では、強化材である炭素繊維のコストおよび生産量がネックとなり、量産車への対応は困難であるが、材料費に加えてトータルでの部材製造コストの低減により 2020 年以降量産車への本格的な導入が見込まれている。CFRP の特長である高比剛性・高比強度は、省エネルギー対策として航空機、鉄道車両、船舶等の輸送機器への展開が見込まれ、自動車用部材として静・動的特性、耐環境性、コストへの対応が可能となれば、さらに適用が加速され、市場規模の大幅な拡大が見込まれる。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み (実施体制、計画、マイルストーン)

前述のように全体としては、材料メーカー、成形加工メーカー、装置メーカー、自動車メーカー、アカデミア (大学、公研) からなるコンソーシアムを形成し、基盤技術と実用化技術がより密接した体制の下で研究開発を進めている。実用化に向けては、要素技術開発、実部材を想定した適用化開発、実用化開発とステージを設けて取り組む。要素技術開発では、熱可塑性 CFRP の基礎的特性の把握、強化基材 (形態) の選定、成形プロセスの基礎的検討を進める。適用化開発では、車体実部材を想定したモデル部材を試作・評価し性能検証を行い、課題の抽出を進める。実用化開発では、実用化に向けた課題の解決を行う。実用化開発は、自動車メーカー、材料メーカー、装置メーカー、成形加工メーカー等企業が主体となって進め、アカデミアは、連携して基盤的課題の解決を進める。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

実用化に向けた現状での課題は、1) 材料コストを含めた部材製造コストの低減、2) 接合を含む構造体としての信頼性確保、3) リサイクル、リユース、リペア技術の確立、4) 環境影響評価 (LCA) の実施等が挙げられる。CFRP は、強化材の形態、配向、含有量により材料特性を任意にデザインできるメリットを持つとともに、強化材

と樹脂間に界面を内在する（不均一性）というデメリットもあり、材料の特性を周知したうえでの適用化検討が必要である。車体構造体において適用可能部材の選定およびその要求特性の明確化、それに対応した材料設計、成形試作、性能・コスト検証等適用化検討の過程において自動車メーカー、材料メーカー、アカデミア間での十分な情報共有が必要不可欠である。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

輸送機器を中心として省エネルギーや CO<sub>2</sub> 排出削減に対応するため構造体の軽量化ニーズが増大している。高比剛性・高比強度を特長とする CFRP は、構造体の力学特性は維持しつつ軽量化が達成可能なため、輸送機器以外の各種産業機器、家電・重電機器、橋梁、インフラ設備等広範な産業分野で需要拡大が見込まれる。また、低コスト化の可能性から従来の熱硬化性 CFRP の代替も進みさらに市場が拡大する。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

自動車用構造材料として、力学特性では、超高張力鋼板、軽量化では、アルミニウム、マグネシウム、比剛性・比強度では、熱硬化性 CFRP が競合材料となる。現状では、他材料（熱硬化性 CFRP は除く）に比べコスト高であるが、トータルの部材製造コストの低減、設計の自由度を生かした付加価値の創出（他機能の付与）等によりコストパフォーマンスにおいて優位性を構築する。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本技術開発は、低コスト・高性能 CFRP 技術を確立することにより、自動車軽量化技術において国際的な競争力強化につながる。我が国発祥の技術であり、70%の世界的シェアを有する炭素繊維のさらなる市場拡大はもとより、前述のように広範囲な産業分野での軽量化ニーズに伴う CFRP の市場拡大が予測され、その経済的効果は非常に大きい。また、炭素繊維、成形基材、樹脂、成形・加工プロセス、分析・評価等各要素技術の向上が図られ複合材料技術全体のレベルアップが達成される。

産学一体となった開発体制の下、人材交流による技術レベルの向上、視野の拡大、ネットワーク形成等人材育成上有意義であり、特に若手研究者や学生等の先端材料技術への関心も高まり、今後の材料技術研究者の育成上も効果的である。

### **2.6.2 各社の取り組み及び見通し**

#### **2.6.2.1 名古屋大学（名古屋大学集中研分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

- ・プロジェクト期間内に、企業による実用化・事業化のために必要な LFT-D 技術成熟度を達成し、データベース、手法、及びノウハウ等の技術基盤を整える。
- ・研究開発に当たっては企業ニーズを反映した取組を図る。学術研究支援 WG は、LFT-D の学術解明への企業ニーズを背景に H26 年度からスタートした。
- ・研究開発で得られる知財成果について積極的に権利化を推進する。

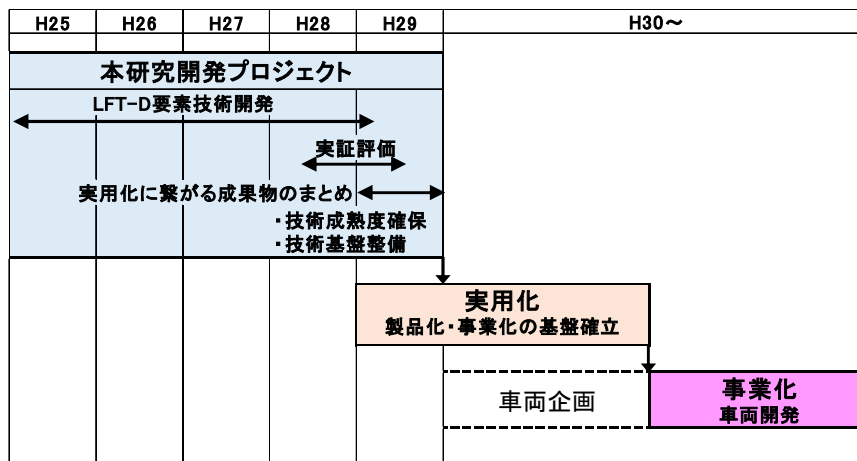
(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

- ・世界の自動車販売台数は新興国を中心に年率 2.8%の伸びと予想。（約 8000 万台 @2012→約 1 億 1500 万台@2030）
- ・LFT-D 適用車の市場投入は 2026 年と想定、2026 以降 5 社が販売する新型車には全て LFT-D 適用車とし、かつ各年の販売車の 12%が新型車とすると、LFT-D 適用車の 5 社の総販売台数は約 1540 万台@2030
- ・LFT-D 部品重量は車体構造重量の 25%とし、売上構成比率は重量比とした場合、2026-2030 年の LFT-D 部品の売上総額は 2 兆 3000 億円、付加価値総額は約 5800 億円の効果が見込まれる。（事業原簿 III 参照）

(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

- ・プロジェクト実施体制として、材料、構造設計、設備・型・成形、補強材の各 WG リーダーに名大とのダブルボックスで企業リーダーをアサインし、企業との連携体制を構築。
- ・学術支援 WG を組織し、企業努力では難しい LFT-D 特性解明や流動挙動の学術的解明に取組み。
- ・本期プロジェクト中に実用化の技術基盤の整備に着手。

表IV-2.6.1-1



(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

表IV-2.6.1-2

	実用化・事業化へ向けた課題	解決方針
材料	LFT-D 力学特性と流動性の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ H27 設備を用いたパラメータ実験による繊維長分布等の最適化</li> <li>・ 学術理論による物性発現メカニズムの解明</li> </ul>
手法	LFT-D 使いこなし手法の取得	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ LFT-D の特性限界の見極め。</li> </ul>

	(設計、成形、補強材、設備、金型)	・各種条件下での実験データの蓄積と実用視点での DB 整備
成形コスト	成形プロセスの高速化	・高速 H&C 金型・プロセス開発
補強材	多様な補強材設計・成形手法の確立	・H27 設備を用いた各種補強材パターンの実験データ取得・評価
接合法	融着接合プロセスの信頼性及び高速化	・各種接合法と接合条件の最適化、実証構造による検証

#### (5) 実用化・事業化の見通し (市場ニーズ、ユーザーニーズ)

- ・CO<sub>2</sub> 削減のための軽量化ニーズの増大を背景に、複合材の自動車適用は世界のトレンドとなっている。
- ・これまでの活動成果、特にフロアパネル実証部品の試作、名大における学術研究支援は企業から評価をいただいております、企業での実用化・事業化を視野に、コストと強度を両立させる LFT-D 研究開発の継続的推進のニーズは高い。

#### (6) 競合する技術・事業との比較 (性能面、コスト面での優位性)

- ・競合技術としては、熱硬化樹脂を用いる高速 RTM があげられるが、連続繊維にともなう材料付加価値、材料保管コスト、リサイクル性、高速成形性の点で、熱可塑性複合材に優位性があると認識している。

#### (7) 波及効果 (技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)

##### ① 技術的効果

- ・計測技術：ランダムな繊維長及び繊維配向を効率良く測定できる技術。樹脂の劣化を効率的に計測する技術。
- ・シミュレーション技術：混練及び成形流動の理論とシミュレーション技術
- ・設備技術：混練、押出し、プレス、マテハン等の設備技術
- ・金型技術：LFT-D、LFT-D/補強材ハイブリッド一体成形金型技術
- ・標準化：LFT-D フトン素材、成形品特性、成形プロセス、及び計測技術の標準化

##### ② 経済的社会的波及効果：

- ・自動車産業の生産波及効果倍率は 3.3 倍 (出所：もの作り技術の現状と課題) とされているが、仮に (1) 項に示すカーメーカーの世界総売上約 1 兆 4000 億円とすると、国内生産額は約 3300 億円となり、波及効果としては生産額で約 1 兆 900 億円、約 1 万 2000 人の雇用創出が期待できる。  
(LFT-D 非適用ケースとの差分は考慮していない)

##### ③ 人材育成他

- ・集中研他企業メンバーとのコミュニケーション、人脈、ネットワーク形成
- ・各 WG 活動参画を通じた LFT-D 知識、知見、経験の蓄積。見識の拡充。プロジェクト終了後に企業内展開のキーパーソンとして期待。



## 2.6.2.2 カドコーポレーション（たつの分室）

### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

弊社では成形法において、ハンドレイアップ工法、バキュームバック、プリウエットバキューム、オートクレーブ、RTM、VaRTM、プレス成形など様々な工法を取り入れ、かつ樹脂においても熱硬化性樹脂から熱可塑性樹脂も取り扱う。またこれら成形に使用する機器・機材も社内で構成、製作、改良することでオリジナリティを出すことで市場での差別化を行っている。

またセーリングヨットの造船所として誕生した会社であるため、複合材同士や複合材と金属、異種材の接着・接合する技術も兼ね備えており、複合材単品の製作だけでなく、最終商品として仕上げる技術を持っている。

弊社は、今回の研究テーマである“大物高速成形技術の開発”ならびに“大物接合技術の開発”を担当している。この2つのテーマにおいては、熱可塑性 CFRP を製品化および商品化する際、大変重要な要素技術となる。サイクルタイムを高めるため、マテハンを高速させる技術、熱可塑性 CFRP 同士の接合の高速化を確立することで、コスト且つ力学的特性を両立させた量産車生産の実用化を追求する。

### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

市場では、CO<sub>2</sub>削減の取り組みが盛んとなっており、軽量でかつ高強度材である CFRP、特に高速成形が有望とされている熱可塑性 CFRP においては、市場からの注目と期待を感じられるが、自動車産業が求める生産性や品質検査手法の課題が残されている。それらを解決することで、市場での採用は早まると考えられる。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

弊社では、複合材製品の製作販売や官民から受託研究を行う事業に加え、近年、複合材の加工技術・加工装置の設計・製作・販売を行っており、熱硬化性 CFRP においては、加工装置の販売実績がある。今後、複合材の世界で期待されている、熱可塑性 CFRP の加工装置やオートメーション化のノウハウを高めることで、装置販売事業を成長させたい。

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

近い将来、現状の商品（自動車）に軽量・高強度材である熱可塑性 CFRP において高い期待が持たれている。しかし、原材料の生産過程から製品の生産、リサイクル過程、これらライフサイクルを通して排出される CO<sub>2</sub> 量を算出して環境負荷を定量化する取り組みである CFP（カーボンフットプリント）の取り組みが進む中、熱可塑性 CFRP ならびに成形技術においても低炭素成形をより一層研究する必要がある。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

今回、開発している材料・技術においては、自動車を中心とした構造材料であり、環境影響に大きな影響力を持つ自動車において採用されることは大いに期待されている。また軽量部材であることで高齢化社会で要望される、軽量な車いすや杖などの福

社用具・家電への適用も考えられる。これは日本だけにとどまらず、追って中国やインドにおいても日本と同じ状況下になると予想されており、他の産業界においても市場効果が大きいと期待される。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

炭素繊維は、比重が鉄の約 1/4、引張比強度が約 10 倍と非常に有望な材料ある。これらの理由以外でも、“錆びない”、“衝撃吸収性”においても優秀な材料である。長期寿命であり、人や環境に優しい材料として優位性を商品に取り入れることで、単純にグラム当たりのコスト高を高性能材料として優位性を持たせる事ができると考えられる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

現在、CFRP 業界において熱硬化、熱可塑に関わらず、自動化が進んでおり、今までのような職人を育てるのではなく、商品設計から生産プロセス、成形装置の一連の工程を同時に考える“デジタル・マニュファクチャリング”を考案できるエンジニアの育成が必至であるが、日本の CFRP 産業において、いないに等しい。複合材の特徴や性能、成形プロセス、機械装置、ロボット生産技術、これら設計・製作・生産が総合的に判断ができるエンジニアを今回の研究開発を通じて育成を行う。今回の研究で培われる技術は総合的にみて、自動車構造軽量化に先駆けており、自動車産業だけでなく、日本の他産業への応用にも貢献できると考えられる。

### **2.6.2.3 産業技術総合研究所（名古屋守山分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

名古屋大学分室で開発している成形法で製造された、熱可塑性 CFRP 中に於ける炭素繊維状態などの分析評価を行うことで、成形法を支配する因子を検証し、成形法の完成度を高めるための基礎データを取得することで、実用化・事業化へのサポートする。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

名古屋大学分室で開発している成形法によって製造された熱可塑性 CFRP の分析評価を分担しており、直接、実用化・事業化は行わない。ただし、開発成形法によって製造された熱可塑性 CFRP は新規構造部材として期待されていることから、分析評価により得られた知見は実用化・事業化に於いて重要である。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

公開情報無し

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

公開情報無し

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

公開情報無し

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

公開情報無し

#### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

CFRP には、経済的な側面から高速成形のニーズがある。そのため、熱可塑性樹脂を用いた成形の開発は CFRP の普及にとって重要なテーマである。そのため、名古屋大学分室で開発している成形法で製造された熱可塑性 CFRP を適切に評価するための技術的な蓄積が必要である。

### 2.6.2.4 トヨタ自動車

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

・軽量素材である CFRP の有力候補として LFT-D 技術を位置付けており、名古屋大学集中研にて検討中の大型アンダーフロアの成形加工結果を受け、自社にてさらなる成形性及び力学特性の向上により実用化を図る。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

・少量生産車を頭出しとし、次に高級車へ展開。その後、徐々に市販車へと展開予定（但し、市場規模の現時点での正確な予測は困難）。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

・NCC で培われた LFT-D 基礎技術をベースに、当社内においても適用開発を推進し、CFRP 部品の実用化を図る。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

- ・課題は①ハイサイクル一体成形加工技術、②材料コスト低減、③LFT-D 材料特性向上、④最適構造設計。
- ・今後、社内にも研究設備を導入を検討し、材料・車両構造・生産技術が一体となり適用開発を推進。上記課題の解決により事業化を可否判断。
- ・また、真の環境技術確立に向けた CF の低 LCA 化のため、「CF 製造エネルギー低減（NEDO 革新炭素繊維など）」と「CF リサイクル技術確立」のオールジャパンでの取り組みが必要。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

- ・各国の CO<sub>2</sub> 排出規制は数値の厳格化、対象国の激増が予想。HV、PHV、EV 等の次世代車両の積極的開発導入と共に、軽量化による走行抵抗低減は必須。
- ・次世代車両において、今後走行抵抗低減のニーズが大。鉄、アルミの使い切りと共に、CFRP による抜本的な軽量化技術は日本の自動車業界生き残りのためには必須。

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

- ・アルミに対する優位性（軽量化、コスト同等）を確保するには、材料コスト低減、設計合理化などの課題克服が不可欠。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

- ・大型一体成形化(モジュール)により、従来の車両構造・製造の抜本的な革新を起こす。  
→日本の自動車産業構造の革新へ。
- ・従来の日本のお家芸であるすり合わせ型を活かした新たなビジネスモデル構築のチャンス ⇒ものづくり大国日本としての新たな成長カーブの形成可能
- ・伝統技術・技能の伝承と共に、新たな発想のできる人材の育成が可能。

#### **2.6.2.5 本田技術研究所**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

燃費向上を含めた軽量化を目的とする将来 CFRP は、他の燃費向上手段や既存のアルミ等他の軽量化手段とも十分に競える効果量と併せてコスト競争力を有することが必須である。この目的に向け本プロジェクトに参画することで、低廉化を目指す熱可塑性 CFRP ランダム材の実用化研究を推進し、パネル部材等への適用可能性を検討、最適な材料を最適な部位に配置した車体の実現を目指している。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

主要市場は先進国から新興国にシフトしつつ拡大する方向である。これに伴い、スポーツカーや高級車のみならず、軽量高燃費の量販小型車を幅広いユーザーに廉価で提供できることも重要である。廉価な熱可塑性 CFRP を大量生産できるシンプルな軽量化プロセス技術を併せて構築し、持続的に成長可能な生産体制を築く礎としたい。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

将来自動車で熱可塑性 CFRP を実用化するためには、以下のステップが必要である。

- 1.他の軽量化素材に勝る軽量化量とコスト効率の実現
- 2.部品形状や板厚を大量に再現性良く賦形、接合できる生産技術の構築
- 3.破壊現象や剛性等の車両性能を予測できる設計ツールと設計基準開発
- 4.最適な形状で最適な部材に適用できる設計 K/H の構築

項目 3 までを本プロジェクトで実施することで熱可塑性 CFRP の成立性を確認、基盤技術を高効率で構築しながら、自社内で項目 4 を検討することで速やかな実用化を狙う。

##### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

熱可塑性 CFRP の事業としての成立要件は、必要な軽量化量を妥当なコストで提供できる熱可塑性 CFRP 部材の生産を工業化できるかどうかである。

まずは効果的に軽量化できる部位や形状の部品から、他の燃費向上手段と同等以上の価値を提供できる仕様を検討し、その工業化技術を確立しながら適用先を拡大していく事が重要である。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

熱可塑性 CFRP はまずは面状部材が適用しやすい。プロジェクトでの検討が進むことで、大型パネル部材の成形が競争力のあるコストで可能となれば、軽量化手段として選択される可能性は高まり、実用化の具体的な検討に入りやすい。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

最高の燃費／コスト競争力を持つ商品を市場に提案する為、旧来の CFRP や、アルミ、ハイテンのような他の軽量化手段のみならず、パワープラント系の燃費向上手段やバッテリーなどの電動化手段等も並行検討し、これら様々な技術の中から最適な技術組合せを検討することが必要である。熱可塑性 CFRP の材料やプロセス、構造の最適化でコストを削減し、コスト競争力と軽量化量を両立させることで部品の適用範囲は拡大する。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

現状の自動車関連産業は日本の就業人口の約 10%が就業する基幹産業であり、経済効果に与える効果も大きい。このような背景を持つ自動車産業でプロジェクト成果である革新的な CFRP 技術が活用されることは、

- ①世界最高水準の自動車軽量化技術が実現可能となる
  - ②自動車産業の幅広い裾野を含め、新しいプレーヤーの参入が期待される等
- の大きなメリットが期待される。

### **2.6.2.6 三菱自動車工業**

#### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

三菱自動車は、『地球を走る。地球と生きる。』をテーマに、地球環境に配慮しながら、地球上のさまざまな地域のお客様に走る喜びを提供する」という想いをコミュニケーションワード「Drive@earth」に込め、“環境への貢献”、“走る喜び”、“確かな安心”を追求したクルマづくりを推進している。

“環境への貢献”として電動車両の航続距離向上や既存エンジン車の燃費向上、“走る喜び”としての運動性能向上を目的に車体軽量化に取り組んでいる。

軽量化検討手法として車体構造の合理化と材料置換があるが、現行スチール材料の車体構造の合理化検討のみでは軽量化の限界がある。本プロジェクトの熱可塑性 CFRP 実用化研究の成果である熱可塑性 CFRP による材料置換と構造合理化を検討し、さらなる軽量化を見込んでいる。

#### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

環境問題に対する燃費規制は日欧米だけでなく中国などの新興国でも厳しい規制が実施される見通しである。その中で、高い環境性能を持つ電動車両や低燃費車両は今後さらにそのニーズが高まると考えられている。軽量化の 1 手段として、熱可塑性 CFRP の実用化の可能性は高い。

### (3)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

当社では車体構造のパネル部材への熱可塑性 CFRP 適用を考えている。その場合、現行のスチール構造と比較し、空気伝播の振動騒音特性の悪化が懸念される。構造音響シミュレーション技術や最適化計算技術を構築・活用して、軽量かつ、現行の特性を上回る熱可塑性 CFRP 構造を見出すことを目標とする。

### (4)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

熱可塑性 CFRP パネルと現行スチールの振動騒音特性を計測し、現行材料に対する熱可塑性 CFRP の優位性を分析する。また、CAE との整合性検証を行い、シミュレーション技術の精度向上を図る。次に、パネル技術の最適設計技術の構築とその技術を用いたパネル特性向上検討をおこなう。そして、マルチマテリアルの低騒音熱可塑性 CFRP パネルの実車適用をすることで、軽量化・コスト・適用部位への要求特性を満たし、接合・生産性・賦形性・リサイクル性などの実用化を目指した研究を推進する。

### (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

車体骨格であるホワイトボデーの質量のうちパネルの質量は 20～30%を占める。このパネル質量を熱可塑性 CFRP によって半減できれば、ホワイトボデーの 10～15%の軽量化が見込める。また、マルチマテリアルの全体最適検討によって、さらなる軽量化が見込める。

### (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

競合する軽量化材料としてはハイテン、アルミ、更に樹脂複合材の中では熱硬化・熱可塑をベースとしたガラス繊維強化複合材など多くの材料がある。また、工法も射出成形、プレス成形など多岐にわたっている。

本プロジェクトで使用する熱可塑性 CFRP は、金属材料より比剛性が高く、同剛性で軽量化が可能である。熱硬化性樹脂と比べプレス成形の時間が短く、大量生産に向いている。また、廉価高性能 CF を用いることでコストアップの抑制が可能である。

### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

本研究開発で構築する技術は世界最高水準の CFRP 技術、自動車軽量化技術となりえ、国際的な競争力の向上が見込める。また、熱可塑性 CFRP の車体構造への適用が実現できれば、環境問題に大きく貢献できる。また、最先端の技術に関わり、同業他社・異業種との連携を通じ、技術者の育成の場として非常に有用である。

#### 2.6.2.7 スズキ

##### (1)実用化・事業化に向けた戦略

これまでは安全・快適装備の充実や車格の拡大などにより自動車の車重は増加の一途であったが、環境性能対応・ガソリン価格高騰により燃費改善の必要性が高まり、加えて運動性能向上も期待できることから、各社ともに 2008 年頃から約 10 年の間に大幅削減の目標値を掲げて車体軽量化の取組みを進めている。

今後更なる環境性能要求の高まりが予想される中、大量生産に適した工法を適用可能な熱可塑性 CFRP に着目し、本プロジェクトで各種熱可塑性 CFRP の実力値を掴み、早期に最適な適用部位・形態とその設計・生産技術を習得していかなければならない。

### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

ハイブリッド車が市場を席卷しつつあり、顧客の燃費に対する要求レベルは年々高まっている。更に着実に厳しくなり続ける二酸化炭素排出規制強化に対応するため、各社共に車両の電動化や車体の主材料である鋼板の使用効率向上に取り組んでいるが、鋼板使用による軽量化の限界は徐々に見えて来ている。このままの勢いで二酸化炭素排出規制が続けば、各社共にコストをかけても非鉄軽量素材の使用を迫られる状況が発生する為、大量生産に適しており従来の CFRP に対して低コストな熱可塑性 CFRP が次世代の軽量化材料として期待されている。

### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

本プロジェクトを含む「熱可塑性 CFRP の開発プロジェクト」を通じて、熱可塑性 CFRP を自動車に活用するための基盤技術、熱可塑性 CFRP の生産プロセスに関する基礎技術を獲得する。

### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

従来の CFRP に対しては本プロジェクトの熱可塑性 CFRP はコスト優位性があるが、実際には炭素繊維そのものを含む素材コストが他の非鉄軽量材料に対して競争力を持つまで安価ではない。より安価な炭素繊維の製造を目指している革新炭素プロジェクトの成果に期待すると共に、本プロジェクトで熱可塑性 CFRP の合理的な活用方法を構築し、他の軽量化手法に対して同等以上の適用優位性を見出す検討が必要である。また耐久消費財として成立するだけの品質を確保する為の技術構築も重要であると考えられる。

### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

上記実用化に向けた課題に対して素材価格の低減、生産プロセスの最適化等で解決の目途が付き、ハイテン材や他の非鉄軽量材料であるアルミの費用対効果に対する競争力が得られれば、熱可塑性 CFRP の適用部位としては 2 次構造部材等への適用が期待できる。

### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

車体部品として適用が可能で競合する軽量材料としては、費用対効果に優れるハイテン材、更なる軽量化が見込めるアルミ、コストは比較対象ではなくなるがアルミを越える大幅な軽量化が見込める熱硬化 CFRP、マグネ等があり、他にも鋼板に代わって熱可塑性樹脂を適用して軽量化が可能となる部位もまだ存在する。こういったライバルに対して、本プロジェクトで熱可塑性 CFRP の製造コストを可能な限り抑えて最も効果的に使用できる部位に適用する技術を構築することが出来れば、競合する技術

を抑えて採用が可能になることが考えられる。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本プロジェクトにおける熱可塑性 CFRP の自動車への適用技術開発の成果は、日本の自動車産業の軽量化技術の幅を広げ、世界的な競争力を高めることが出来ることに加え、波及効果として既存の複合材料にも適用可能な設計・評価に関する基盤技術を得られることなどが考えられる。

また本プロジェクトは、多くの競合他社や主要な材料メーカー等と一同に会して研究を行える、非常に貴重且つ大変勉強になる場となっており、技術者としての幅を大きく広げることが出来る人材育成に最適な場となっている。

#### **2.6.2.8 東レ**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

- ・熱可塑性 CFRP のマトリックス樹脂には、長期信頼性が要求される自動車の 1 次構造用途向けとしてエンジニアリングプラスチック（ナイロン等）を想定する。
- ・本プロジェクト（LFT-D 成形システム）に適した自社材料（炭素繊維、樹脂）の開発課題を把握することが重要。本プロジェクトに積極的に参画し、実用化・事業化に向けた自動車メーカーの関心点や技術課題などのニーズ情報を早期に入手し、これを元に具体的な自社材料の開発に展開させ、実用化・事業化を狙う。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

- ・2025 年頃から、日常的に比較的短距離を移動する都市内移動手段として中～小型サイズの EV 系車両の市場が形成されると予測する。高分子材料にとって致命的な高温発生源（内燃機関など）がなくなることで、熱可塑性 CFRP の 1 次構造材への適用拡大が期待される。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

- ・高分子材料技術者が社内バックアップする体制で複合材料技術者（機械工学）を実行責任者に置き、合わせて成形技術者を専任投入することで、材料（評価分析を含む）、構造設計、成形技術（設備・型技術を含む）および大学の学術支援 WG 連携などの実務活動を推進する。
- ・本プロジェクト終了（2017 年度（H29）末）後には、自動車メーカーが LFT-D 成形システムを具体的な部品や構造へ適用できるように、自社材料開発計画を開始する。

##### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

- ・LFT-D 成形システムに適合した自社材料（炭素繊維、樹脂）を有することが必要である。さらに自動車メーカーのニーズに適していなければならない。本プロジェクトに参画することで自社材料の開発課題を把握し、自動車メーカーの LFT-D 採用（事業化）に適合した自社材料の開発を進める。
- ・具体的な実用化・事業化には、連続繊維強化の熱可塑性 CFRP の成形技術と LFT-D



との融合化技術、および熱融着技術（接合面の前処理を含む）を中心とした高精度・高強度組立技術（異種材接合を含む）が不足している（本プロジェクトの計画外）。これらは自動車メーカーのニーズに沿った開発が必須であり、新たなプロジェクトのテーマアップが望まれる。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

- ・自動車分野は金属製部品を中心とした産業構造が確立している。その頂点に位置する自動車メーカーは、下支えしているサプライヤーの技術ノウハウや既存インフラを不要とするような急激な変化を望んでいない。金属製ではない構造や部品を実現する新しい技術開発においても、これらが活用できることが望ましい。
- ・本プロジェクトの熱可塑性 CFRP の LFT-D 成形システムは、成形・賦形プロセスでは金属のプレス成形技術が、また組立プロセスではスポット溶接技術の発展的展開が図り得るため、実用化・事業化への期待が大きい。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

- ・熱可塑性樹脂による射出成形やスタンプブルシート（ガラス繊維強化ポリプロピレン）に比較し、LFT-D 成形システムの成形品は自動車の構造部品に適用できる高い物性や軽量化を実現する点で優位にある。前者が主に 2 次構造向けであるのに対して、本技術は 1 次構造に適する。
- ・熱硬化性樹脂による RTM や SMC に対しては、成形時間が大幅に短いことから、生産キャパシティが高く、コスト上の量産効果が得られる。また、前者と異なり、接着材を使用せず短時間に熱溶着組立ができるので組立コストにおいても優位である。
- ・RTM は連続繊維強化複合材料の高い性能が要求される高級車種向けであるのに対し、不連続繊維強化複合材料である本技術は、流動成形によるリブなどの分岐形状、偏肉部分を含む大面積の面形状、トリミングなどの後加工を不要にするネットシェープ成形が可能であり、汎用車種への適用に適している。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

##### **① 技術的波及効果**

- ・炭素繊維の適用範囲が熱硬化性樹脂から熱可塑性樹脂（エンジニアリングプラスチック）に拡大する。これまで一般部品に留まっていた熱可塑性樹脂が複合材料として自動車構造部品へ拡大する。巨大な市場を形成する自動車用途向けに開発されるこれらの技術成果の波及効果は極めて大きい。

##### **② 経済的・社会的波及効果**

- ・本プロジェクトの LFT-D 成形システムは、金属製部品の製造業種がこれまで培ってきたプレス技術やスポット溶接組立技術を発展展開して実用化・事業化するので、金属と複合材料の双方を使った部品製造・組立産業が成立する可能性がある。

##### **③ 人材育成他**

- ・エンジニアリング面では、用途ニーズを持つ自動車メーカーと材料シーズを持つ材料メーカーの技術者が、成形技術と構造設計を仲立ちにした一体体制でプロジェクト

を推進し、これにサイエンス面の大学の研究者による学術支援が加わっている。この異業種間の技術者と研究者の人的交流による実用化・事業化への効果は大きい。

#### 2.6.2.9 三菱レイヨン

##### (1)実用化・事業化に向けた戦略

当社は、低コストで量産性に優れた LFT-D 材の物性や成形性の向上を図り、コストパフォーマンスに優れた CFRTP の開発、自動車用途での事業拡大を目指す。

LFT-D 材に最適な炭素繊維を開発し、LFT-D 用炭素繊維および熱可塑 CFRTP 中間材料の事業化を図る。

##### (2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

「平成 23 年度経済産業省調査 サプライチェーンを見据えた高機能繊維およびその活用・加工技術の実態調査」によると、2020 年には炭素繊維の需要量は 14 万 t と見込まれている。そのうち自動車用途を含む産業用途には 11 万 t が見込まれ、これは全体の約 80%を占める。2020 年以降もさらにその需要は年率約 15%で増加するものと推定される。

経済効果として「車載用 CFRP の世界需要予測 2014（矢野経済研究所）」によると、自動車用途において、炭素繊維、樹脂、成形品の合計として、2020 年に約 1500 億円、2025 年に 2800 億円が見込まれている。仮に日本の製造メーカーが 50%のシェアを確保すれば、2020 年に 750 億円、2025 年に 1400 億円の市場が期待できる。

##### (3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

NCC プロジェクトにおいて、材料 WG、設備・型・成形 WG、分析評価チームおよびスクリーニーズ検討メンバーとして参画し、LFT-D 特性解析、性能向上に必要なプロセスファクターの解明に取り組んでいる。

また、来年設置予定の小型 LFT-D を用いて要素技術の構築に取り組む。

##### (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

課題として、LFT-D の材料設計技術と成形プロセス技術の構築が挙げられる。その解決手段として、来年導入予定の小型の LFT-D を活用し、繊維種の影響やスクリーニーズの最適化を図り、材料設計技術を構築する。また、NCC における各 WG に参加し、他社とのディスカッションを通して LFT-D の成形プロセスの構築を目指す。

##### (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

炭素繊維複合材料は CF コストと生産性に課題があり、自動車部材に使用するためにはより低コストのプロセス構築と生産性の向上が必要不可欠である。LFT-D は機械物性や成形性に課題はあるものの、最も低コストで量産性が期待できるプロセスであり、NCC に参画しこれらの技術課題を解決していくことで、低コスト CFRTP としての事業化の可能性を期待したい。

## (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

LFT-D 材は、熱硬化材料（RTM、SMC 等）に比べると生産性やリサイクル性で優れている。また熱可塑性では射出成型品と比べると、繊維長が長く物性面で優位性があり、かつプレス成型の為、大型部材の成形にも適している。

## (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

自動車部品の開発に必要な、材料、設計、シミュレーション、設備・プロセスおよび分析技術など多方面の基盤技術を獲得できることから、自社研究員の技術力向上として波及効果は高い。

更に、他企業メンバーとのコミュニケーションを通じて、人脈、ネットワーク形成が可能であり、学術的な知見も得られることから、人材育成面での波及効果も大きい。また、大手自動車メーカーが参加したプロジェクトであり、環境負荷低減に向け一体化した取り組みをアピールできる点で社会的効果も大きい。

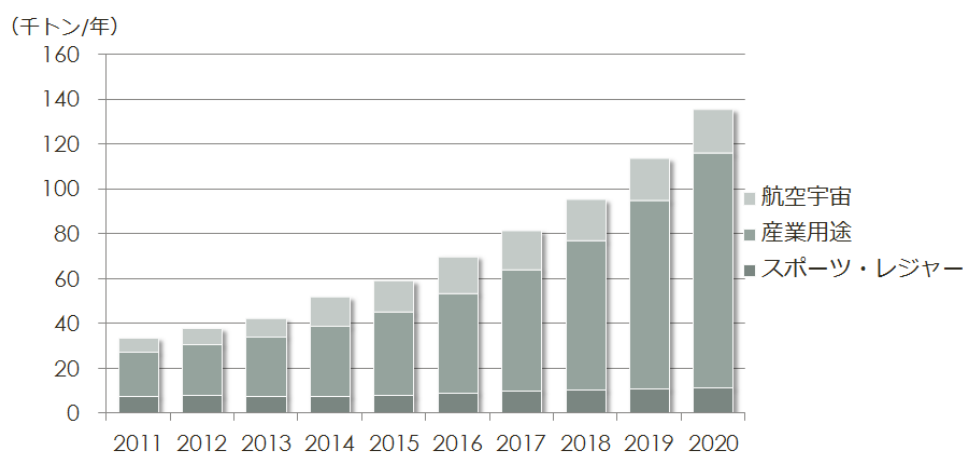
### 2.6.2.10 東邦テナックス

#### (1)実用化・事業化に向けた戦略

- ・ LFT-D に関する 材料 および 成形技術の開発を進めながら、本用途に適した炭素繊維の社内研究開発にフィードバックする。
- ・ 学術研究支援 WG などを活用し、一企業では実施が難しいテーマについての技術的知見を獲得する。

#### (2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

- ・ 炭素繊維の需要は、環境規制等を背景に航空機、自動車等の産業用途が牽引し、今後 年率 15%の成長が予想される。



図IV-2.6.1-1 炭素繊維の需要予測

#### (3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

- ・ プロジェクト内の全ての WG・WT<sup>1)</sup>（材料、構造設計、設備・型・成形、補強材、分析評価）活動に参加し、材料や分析評価技術はもちろん、構造設計・設備・

型・成形等に関する技術的知見も収集する。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

表IV-2.6.1-3 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

	実用化・事業化に向けた課題	解決方針（材料を中心に）
材料	力学的特性の改善	<ul style="list-style-type: none"> <li>力学的特性向上に寄与する因子の究明と対策実施（残存繊維長・繊維配向の制御、ボイド率低減他）。</li> <li>補強材の効率的な使用</li> </ul>
		<ul style="list-style-type: none"> <li>分析評価技術の開発・技術向上と各WG活動への適用</li> </ul>
成形	成形性の改善 タクトタイムの短縮	<ul style="list-style-type: none"> <li>残存繊維長の制御（押出機仕様、混練条件の最適化）</li> <li>LFT-D形状の適正化（型温制約、流動性を考慮した押しノズル設計）</li> </ul>
	接合技術の確立	<ul style="list-style-type: none"> <li>接合条件の最適化</li> </ul>

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

・全世界のCO<sub>2</sub>排出量380億tのうち、約17%、約65億tを自動車が占める。各国は燃費向上、CO<sub>2</sub>排出量削減に関する各種規制を打ち出しており、今後、車体の軽量化ニーズは拡大すると予想される。販売量の多い大衆車まで車体の軽量化を実現するには、比強度・比剛性に優れ、且つ、生産性の高い熱可塑性樹脂系炭素繊維複合材料が主流になると推察される。

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

・競合材料は、熱硬化性樹脂系炭素繊維複合材料、ハイテン鋼、アルミ合金などが想定される。熱硬化性樹脂系複合材料であるRTM<sup>2)</sup>、RFI<sup>3)</sup>成形品は、生産性（タクトタイム1分は対応不能）の観点から高級車への適用が限界であり、大衆車までの適用を考慮した場合、熱可塑性樹脂系炭素繊維複合材が優位にあると認識している。

#### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

##### a. 技術的効果

繊維長分布の自動計測、繊維配向測定などの分析評価技術

混練・成形時の材料流動解析・シミュレーション技術

ダイレクト押し出し、マテハン、接合などの設備技術

LFT-Dと補強材との一体成形、溶着技術

##### b. 人材育成

- ・ NCC に参加している各大学、研究機関、企業の研究者との意見・情報交換を通じた人脈形成。

注釈 1) WT : Working Team の略

2) RTM : Resin Transfer Molding の略。熱硬化性樹脂複合材料の成形法の一つ

3) RFI : Resin Film Infusion の略。熱硬化性樹脂複合材料の成形法の一つ

#### 2.6.2.11 アイシン精機

##### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

公開情報無し

##### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

公開情報無し

##### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

公開情報無し

##### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

公開情報無し

##### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

公開情報無し

##### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

公開情報無し

##### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

公開情報無し

#### 2.6.2.12 小松製作所

##### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

弊社製品の 1 つであるプレス機を LFT-D に適用し、プレス機の適用範囲を拡大することにより事業収益の安定成長を図る。

##### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

自動車生産台数予測より自動車 1 台あたりの CFRP 部品を仮定し、生産サイクルタイムより量産に必要なプレス台数を予測した結果、2020 年以降は CFRP 用プレス需要が伸長する。

##### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

他研究プロジェクトにも参画し CFRP 成形に関する知見を修得している。将来的に

は上記需要にマッチするプレスの商品化して行く。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

プレス技術以外にも複合材の成形に必要な技術を開発すべく、連携活動を検討中である。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

国内では CFRTP が普及すると想定しており、その中でも LFT-D は有力工法の 1 つである。その LFT-D の量産技術が確立できれば上記プレス需要の多くを LFT-D で取り込むことができる。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

CFRTP 主体とした成形技術の開発により、生産性、コスト面で CFRTP を主体とした欧州技術に追い付き、追い越すことが可能である。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

名大集中研に参画することにより、異業種企業との交流機会が増え、研究員どうしによるサプライチェーンの構築が期待できる。

### **2.6.2.13 共和工業**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

- ・ 2022 年までに、車両軽量化に向けた 1 つの工法である LFT-D 成形品実用化のための基本製作基準（強度、成形工法、成形時間等）を確立し、そこにおける金型を含めた成形設備のあり用を確立する（車両製造販売年の 3~4 年前には基礎データを確立し商品設計段階から成形材料、成形工法を決定する必要性が有る）

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

- ・ 車両の軽量化については、2020 年度以降は CO<sub>2</sub> 対応のため必修となり、比強度の高いカーボン製品は圧倒的に有利であるが、強度軽量化コスト率が悪く、生産工程の削減が商品コストを大きく左右する。そのため、生産工程の 70%削減の可能性のあるコンポジット化（特に LFT-D 化）が急速に進む。型市場規模 2022 年にはコンポジット金型は 200 億程度膨らむと考えられる。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

- ・ 材料、構造設計、設備・型・成形、補強材各 WG にて、NCC リーダーと企業リーダーのダブル体制により各 WG 連携する。
- ・ 実形状製作成形における 流動挙動、流動強度などを学術的な裏付けを学術支援 WG にお願ひし、学術 WG よりのデータの実証実験を行う。計画においては、名古屋大学基本計画に基づく。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

- ・材料：流動長と強度の相関・・・各パラメータごとの実証実験及び分析。
- ・設備：押出し機・・・繊維長と強度物性、流動長の相関関係洗い出し。
- ・型、その他設備：温度、高速化に伴う繊維長と強度物性、流動長の相関関係洗い出し。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

- ・CO<sub>2</sub>削減対策における車両軽量化ニーズは近年大幅に増大しており、コストを抑えた軽量化を進めるにあたり LFT-D（カーボン+熱可塑樹脂複合材）早期対応を求められている。
- ・比強度及び生産効率、形状自由度、リサイクル等を加味すると 2030 年には、車両全体の 70%程度は樹脂化、その内 50%程度は LFT-D 複合材とされている。

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

- ・熱硬化樹脂+カーボン繊維を使用した高速 RTM があげられるが、連続繊維にともなう材料付加価値、歩留まり、材料保管コスト、リサイクル性、高速成形性の点で、熱可塑性複合材に優位性が有る。

#### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

- ・技術的波及効果
  - ①複合材の評価試験の普及
  - ②複合材における CAE,FEM シミュレーション技術の普及
  - ③LFT-D における金型技術の確立
  - ④LFT-D における、設備技術の確立

### 2.6.2.14 富士重工業

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

プロジェクト期間中に、量産課題の明確化と量産課題対応技術確立を行う。  
プロジェクト終了後に、個社にて技術転用し、次世代軽量化車体に適用する（事業化。）

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

実用化（2019～2022）パイロット生産実施  
事業化（2022 以降）数万台／年程度

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

プロジェクト期間中に、量産課題の明確化と課題対応技術確立を行う。  
その技術を持ち帰り、実用化開発を継続（約 2～3 年）し、一部車種におけるパイロット生産を開始。その後、順次展開拡大を図る。  
適用部位は、フロア周り大型部品を想定。（事業化）

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

【コスト課題】：炭素繊維市場規模拡大～供給量増加に伴うコスト低減に期待。

【製造課題】：現状の金属主体の車体製造ラインに対し、ライン新設・改造にて対応。(投資課題有り)

【その他】：リサイクル技術の早期確立が望まれる。

(産学官、各産業分野協業による技術開発、進展に期待)

#### **(5)実用化・事業化の見通し(市場ニーズ、ユーザーニーズ)**

【市場ニーズ】各種排ガス規制への対応(2019以降)

【ユーザーニーズ】より低燃費車両へのユーザーニーズ

#### **(6)競合する技術・事業との比較(性能面、コスト面での優位性)**

協業技術としては、車体構造向け素材として超々ハイテン材、高強度アルミ等あるが、更なる軽量化車体の実現には比強度・比剛性の高い、炭素繊維複合材適用が必達と考える。さらに欧州で広まりを見せている「熱硬化性樹脂複合材」に対して本「熱可塑性樹脂複合材」は部品の接着性、二次加工性、リサイクル性等において優位性を持つものとする。

#### **(7)波及効果(技術的・経済的・社会的効果、人材育成等)**

現状の金属主体の車体構造に対し、より複雑形状の車体構造部品設計が可能となり、波及効果としてよりルーミーなキャビン、より対衝突性能の高い車両を提供可能となる。

より軽量化された車両の実現により、更なる燃費向上が可能となり、CO<sub>2</sub>排出量の低減に寄与できる。

炭素繊維複合材の効率的適用のための新たな車体設計技術の進展とともに、新たな設計、製造エンジニアの育成が図られるものとする。

#### **2.6.2.15 東レ(伊予分室)**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

中間基材あるいは成形品としての事業化が想定できるが、材料メーカーとして中間基材売りを軸とする。ただし、最近の複合材料は材料特性の向上のみでは価値の提案とはいえず、設計・成形技術を含めた製品提案力が必要。ユーザー企業を含めた業界トップランナーの集結する本プロジェクトで技術ベースの連携を進め、ニーズにあった提案力を強化する。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し(市場規模・成長性、経済効果)**

PAN系炭素繊維の市場は拡大基調で、ラージトウを合わせると生産能力ベースで10万tに近づいている。自動車を含む産業用途が需要を牽引し、市場は今後も継続的な拡大が見込まれている。一方で量的拡大に伴うプレーヤー増加により、新興国に有



利な価格競争が起こる。

### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

少量事業化を先行し、実績と信頼を構築して本格生産に移る。プロジェクト開発材料は先進技術であり、初期はサンプルワークを中心とする価値の発信、中期以降は厳密な機密管理のもとでの B to B（企業間取引）での共同開発が軸となる。

### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

事業化は顧客企業の採否に依存する。また、自動車を含め一般産業用途は国内外企業との競合が激しく、価格要求も厳しい。顧客企業との共同開発の形態を取りオンリーワンの製品に繋げることで、事業成立の確度を上げる。また、新製品＝実績のない製品であり、安全性審査を徹底して行う必要がある。

### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

市場ニーズは多様化を伴いながら拡大する。航空機、スポーツ用途に加え、圧力容器、風車、自動車、建材、電線、ロボット、産業機械、電気・電子部品、日用品など様々なニーズがある。これらにマッチできる、応用範囲の広い技術開発を意識して進める。

### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

熱硬化性 CFRP（プリプレグ、RTM）は自動車を含めた産業用途に順調に拡大しており、これが最大の競合技術となる。熱可塑性 CFRP は形状賦形性、タクトタイム（組み立て・接合工程含む）で優位であり、産業用途への適合性は高いと考えている。金属材料に対しては、適材適所の共存を図る。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

複合材料は複数の要素技術の集合体であり、全体を俯瞰できる人材育成が急務である。展示会等では海外技術者の貪欲な姿勢が目立つ。大学との連携で、先端材料に興味を持つ若手研究者を育成する。

#### **2.6.2.16 三菱レイヨン（豊橋分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

当社は既に PAN 系炭素繊維のみならずピッチ系炭素繊維を用いた中間材料を事業化しているが、これらを用いつつ今後拡大すると予想される熱可塑性樹脂をマトリックスにした熱可塑性 CFRP の中間基材を開発していくことで、この事業を拡大していく。また市場拡大のためには、中間基材の製造のみならず、それらを用いた部品を設計、加工することも重要と考える。このため当社は本プロジェクトの成果を活かし、部品の設計技術や製造プロセスも含めたトータル設計を提案をすることで、主とする中間基材事業を拡大していく。

## **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

「平成 23 年度経済産業省調査 サプライチェーンを見据えた高機能繊維およびその活用・加工技術の実態調査」によると、2020 年には炭素繊維の需要量は 14 万 t と見込まれている。そのうち自動車用途を含む産業用途には 11 万 t が見込まれ、これは全体の約 80%を占める。2020 年以降もさらにその需要は年率約 15%で増加するものと推定される。

経済効果としては、「車載用 CFRP の世界需要予測 2014（矢野経済研究所）」によると、自動車用途において、炭素繊維、樹脂、成形品の合計として、2020 年に約 1500 億円、2025 年に 2800 億円が見込まれている。仮に日本の製造メーカーが 50%のシェアを確保すれば、2020 年に 750 億円、2025 年に 1400 億円の市場が期待できる。

## **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

当社は PAN 系炭素繊維のみならず、世界首位のピッチ系炭素繊維事業を持ち、両者の強みを生かした複合材料を設計できることに特長がある。本プロジェクトで開発した中間基材とその設計、成形加工技術を、この両炭素繊維に適用し、競争優位性のある炭素繊維中間基材を市場に提供していく。同時に、他プロジェクトで行われている新規前駆体とマイクロ波焼成により得られた炭素繊維や、もしくはリサイクル炭素繊維を活用することにより、最もコストパフォーマンスに優れた複合材料を設計し、事業化につなげていく。

## **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

第一に炭素繊維自身の低コスト化が重要と考える。その解決策として他プロジェクトの低コスト炭素繊維、またリサイクル CF の活用が挙げられるが、それを競争優位性のある低コスト中間基材に仕上げていく。次いで部品コストの低減が必要となるが、最適な中間基材を最適な場所に利用していくという適材適所、マルチマテリアル設計を進めていく。そのことにより部品点数の削減と成形加工のハイサイクル化を進めながら、部品の高性能化を進める。

## **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

自動車用途を含む産業分野での実用化は、炭素繊維複合材料と既存材料とのコストと性能のバランスで決まるものと考えられる。今後ますます CO<sub>2</sub> の排出規制が強まる自動車用途では、排出量に影響の大きい軽量化へのニーズが強く、炭素繊維への期待が大きい。この車体軽量化のコストに見合うだけの排出量の削減が達成できれば、事業化の可能性は高いものと判断する。また EV がユーザーに受け入れられるためには、走行距離改善のための車体軽量化がさらに重要になる。今後の市場動向に注目していく。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

公開情報無し

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

日本の炭素繊維メーカーのシェアは約 70%であり、優位性のある炭素繊維を用いた優れた中間基材を開発するという、日本発の材料技術が生み出す経済的効果は大きい。しかしながら、欧州を中心とした複合材料の加工技術の進展が、原料である炭素繊維やその中間基材に対するアドバンテージを持つ可能性もある。またこのような状況は、欧州での活発な加工技術開発の取組によってすでに現実のものになろうとしている。この状況を打開するためにも、本プロジェクトのようにコンポジットの設計と加工を主体としたプロジェクトと低コスト炭素繊維を開発するプロジェクト、また複数の機関が連携した研究開発体制を構築し、成形加工技術で先行する欧州をキャッチアップする必要がある。

#### **2.6.2.17 東洋紡（大津分室）**

##### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

事業化の検討は平成 12 年（2000 年）から上市しているガラス繊維強化熱可塑性樹脂コンポジット「QuickForm®」の事業体との協業で進めている。具体的には、弊社が保有する熱可塑性樹脂設計技術と繊維集合体設計技術を核として、既存事業のネットワークを活用し、本プロジェクトの知名度の高さを有効に活用して炭素繊維強化熱可塑性コンポジットの事業化に結びつけて拡大を図ることを考えている。

##### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

当初の想定どおり、市場は、平成 32 年（2020 年）ごろに立ち上がり、平成 42 年（2030 年）ごろ市場成熟期になる「雰囲気」が形成されつつある。しかしながら、成長性、市場規模は、まだ明確ではない。

##### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

実用化・事業化に向けた実施体制は、既存熱可塑性コンポジットビジネスを有するエンプラ事業部と共同で進めている。マイルストーンは、平成 30 年（2018 年）ごろ試験販売開始を目標とし、併せて、この時期に投資判断を行う予定である。

##### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

事業化に向けた課題は、①炭素繊維のコスト、②ユーザー候補の材料認知、③成形インフラの整備、④ユーザー候補が利用可能な材料データベース、並びに、CAE 技術の構築になる。事業化に向けた課題を解決する方策は、I) 本プロジェクトでのユーザー候補との協業による材料への理解の深化、II) 成形メーカーとの協業による成形インフラの構築、III) 大学・公的研究機関との協業による材料データベースの構築と、設計技術開発にあると考えている。

##### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

潜在的な市場ニーズとして高強度・高剛性／高耐衝撃性材料への期待は大きく、特に自動車分野においては、環境と安全の両立から高性能材料へのニーズが高いと考えている。また、金属材料の高強度化による薄肉化は、構造の剛性低下を招く可能性が

あり、補強材料としてのニーズも高いと考えている。潜在的なニーズを顕在化するニーズに掘り起こすことが重要と考え、本プロジェクトでは可能な限りオープンイノベーションとして、結果の共有に努めている。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

自動車構造材料として「広義」の競合技術は、鉄・非鉄材料と 2 次電池高性能化技術になる。「狭義」の競合技術（コンポジット分野）は、国内外のメーカーが競合する。コスト面での優位性の有無の確認は、必ずしも材料コストのみで判断できないため、本プロジェクト外で情報収集・検証を行う予定である。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

波及効果は人材育成の効果が最も高い。弊社のプロジェクト構成比率は若手が最も多く、東京大学集中研での異業態の研究者との議論を通じて育成を図っており、市場本格成長期の 10～15 年後までに中核人材に育てていきたい。

### **2.6.2.18 タカギセイコー（高岡分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

熱可塑性 CFRP による軽量量産車に向けた成形加工技術を材料、評価、設計およびその装置開発と共創し世界にと先駆けて開発することにより、国際競争力や他に比べて実用化・事業化での優位性を得る。

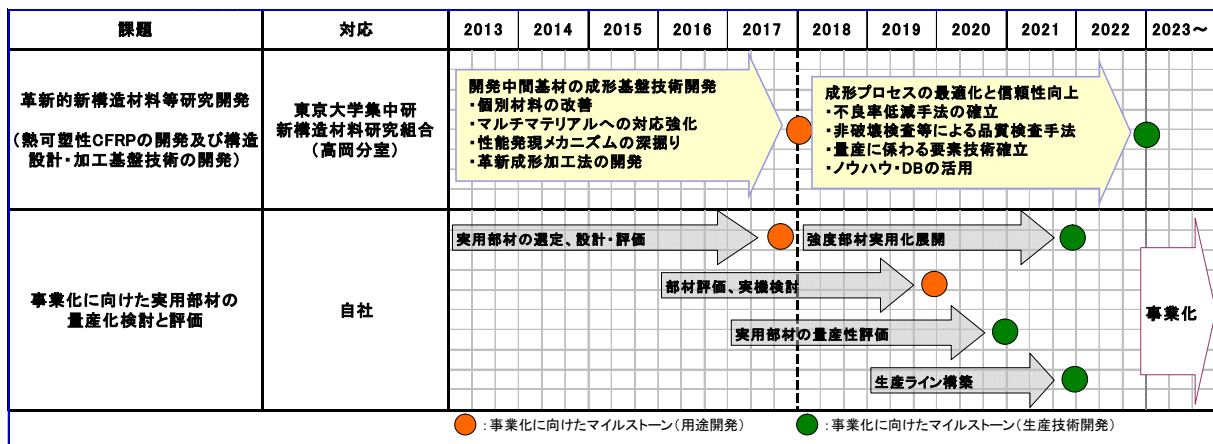
#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

炭素繊維の世界生産シェアは、日系企業が 7 割を維持しているが、自動車産業では特に欧州において世界的な原油高と CO<sub>2</sub> 排出規制を受けて、CFRP による量産自動車の軽量化が加速している。

売上は軽量量産車に本格的な採用が見込まれる 2023 年頃となるが詳細な売上損益見通しは不明である。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

実用化・事業化に向けた具体的取り組みを以下に示す。



図IV-2.6.1-2

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

本プロジェクトでは川下から川上まで各産業分野の量産自動車の軽量化テーマに必要なヒト・モノが集まり、先進的な幅広い研究を行っている。しかし参画企業の研究囲い込みの壁は高くプロジェクト内の連携が不十分である。プロジェクト内でのオープンイノベーションの比率を上げることが、実証用部材の研究品質を上げることとなり、実用化・事業化を加速させるものと考えられる。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

国際的な重要課題であるエネルギー消費量、CO<sub>2</sub> 排出量削減に対して、運輸機器、特に自動車の CFRP による軽量化は、その最も有効な手段の一つとされている。また、生産性が高く設計の自由度が高い熱可塑性 CFRP は、自動車の大量生産対応に対しても望まれている。本プロジェクトにおいて部材を設計、製作、評価し、実用レベルにおける実証検証での課題を解決することで広く実用化・事業化が可能であると考えている。

### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

部材は、先のプロジェクトで明らかのように競合する鉄鋼材料や非鉄材料の置き換えでは成り立たず単純な比較は難しいが、材料から成形加工技術は軽量化、生産性、環境性能など、他の軽量化技術より優れた性能を実現できる。コスト面では、生産性では優位にあるが、CF コスト、部材製造コスト（設備費）の面では更なる低コスト化が望まれる。

### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

軽量自動車部材適用による事業化は、その生産性、信頼性の観点から他の輸送機器のみならず、広い範囲の産業分野にも適応が可能となり、軽量化が求められる更なる市場の拡大が期待される。

## 2.6.2.18 スズキ（浜松分室）

### (1)実用化・事業化に向けた戦略

これまでは安全・快適装備の充実や車格の拡大などにより自動車の車重は増加の一途であったが、環境性能対応・ガソリン価格高騰により燃費改善の必要性が高まり、加えて運動性能向上も期待できることから、各社ともに 2008 年頃から約 10 年の間に大幅削減の目標値を掲げて車体軽量化の取組みを進めている。

今後更なる環境性能要求の高まりが予想される中、大量生産に適した工法を適用可能な熱可塑性 CFRP に着目し、本プロジェクトで各種熱可塑性 CFRP の実力値を掴み、早期に最適な適用部位・形態とその設計・生産技術を習得していかなければならない。

### (2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

ハイブリッド車が市場を席卷しつつあり、顧客の燃費に対する要求レベルは年々高まっている。更に着実に厳しくなり続ける二酸化炭素排出規制強化に対応するため、各社共に車両の電動化や車体の主材料である鋼板の使用効率向上に取り組んでいるが、鋼板使用による軽量化の限界は徐々に見えて来ている。このままの勢いで二酸化炭素排出規制が続けば、各社共にコストをかけても非鉄軽量素材の使用を迫られる状況が発生する為、大量生産に適しており従来の CFRP に対して低コストな熱可塑性 CFRP が次世代の軽量化材料として期待されている。

### (3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

本プロジェクトを含む「熱可塑性 CFRP の開発プロジェクト」を通じて、熱可塑性 CFRP を自動車に活用するための基盤技術、熱可塑性 CFRP の生産プロセスに関する基礎技術を獲得する。

### (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

従来の CFRP に対しては本プロジェクトの熱可塑性 CFRP はコスト優位性があるが、実際には炭素繊維そのものを含む素材コストが他の非鉄軽量材料に対して競争力を持つまで安価ではない。より安価な炭素繊維の製造を目指している革新炭素プロジェクトの成果に期待すると共に、本プロジェクトで熱可塑性 CFRP の合理的な活用方法を構築し、他の軽量化手法に対して同等以上の適用優位性を見出す検討が必要である。また耐久消費財として成立するだけの品質を確保する為の技術構築も重要であると考える。

### (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

上記実用化に向けた課題に対して素材価格の低減、生産プロセスの最適化等で解決の目途がつき、ハイテン材や他の非鉄軽量材料であるアルミの費用対効果に対する競争力が得られれば、熱可塑性 CFRP の適用部位としては 2 次構造部材等への適用が期待できる。

### (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

車体部品として適用が可能で競合する軽量材料としては、費用対効果に優れるハイテン材、更なる軽量化が見込めるアルミ、コストは比較対象ではなくなるがアルミを越える大幅な軽量化が見込める熱硬化 CFRP、マグネ等があり、他にも鋼板に代わって熱可塑性樹脂を適用して軽量化が可能となる部位もまだ存在する。こういったライバルに対して、本プロジェクトで熱可塑性 CFRP の製造コストを可能な限り抑えて最も効果的に使用できる部位に適用する技術を構築することが出来れば、競合する技術を抑えて採用が可能になることが考えられる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本プロジェクトにおける熱可塑性 CFRP の自動車への適用技術開発の成果は、日本の自動車産業の軽量化技術の幅を広げ、世界的な競争力を高めることが出来ることに加え、波及効果として既存の複合材料にも適用可能な設計・評価に関する基盤技術を得られることなどが考えられる。

また本プロジェクトは、多くの競合他社や主要な材料メーカー等と一緒に会して研究を行える、非常に貴重且つ大変勉強になる場となっており、技術者としての幅を大きく広げることが出来る人材育成に最適な場となっている。

#### **2.6.2.20 本田技術研究所（芳賀分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

燃費向上を含めた軽量化を目的とする将来 CFRP は、他の燃費向上手段や既存のアルミ等他の軽量化手段とも十分に競える効果量と併せてコスト競争力を有することが必須である。この目的に向け本プロジェクトに参画することで、低廉化を目指す熱可塑性 CFRP ランダム材の実用化研究を推進し、パネル部材等への適用可能性を検討、最適な材料を最適な部位に配置した車体の実現を目指している。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

主要市場は先進国から新興国にシフトしつつ拡大する方向である。これに伴い、スポーツカーや高級車のみならず、軽量高燃費の量販小型車を幅広いユーザーに廉価で提供することも重要である。廉価な熱可塑性 CFRP を大量生産できるシンプルな軽量化プロセス技術を併せて構築し、持続的に成長可能な生産体制を築く礎としたい。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

将来自動車で熱可塑性 CFRP を実用化するためには、以下のステップが必要である。

- 1)他の軽量化素材に勝る軽量化量とコスト効率の実現
- 2)部品形状や板厚を大量に再現性良く賦形、接合できる生産技術の構築
- 3)破壊現象や剛性等の車両性能を予測できる設計ツールと設計基準開発
- 4)最適な形状で最適な部材に適用できる設計 K/H の構築

項目 3 までを本プロジェクトで実施することで熱可塑性 CFRP の成立性を確認、基盤技術を高効率で構築しながら、自社内で項目 4 を検討することで速やかな実用化を狙う。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

熱可塑性 CFRP の事業としての成立要件は、必要な軽量化量を妥当なコストで提供できる熱可塑性 CFRP 部材の生産を工業化できるかどうかである。

まずは効果的に軽量化できる部位や形状の部品から、他の燃費向上手段と同等以上の価値を提供できる仕様を検討し、その工業化技術を確立しながら適用先を拡大していく事が重要である。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

熱可塑性 CFRP はまずは面状部材が適用しやすい。プロジェクトでの検討が進むことで、大型パネル部材の成形が競争力のあるコストで可能となれば、軽量化手段として選択される可能性は高まり、実用化の具体的な検討に入りやすい。

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

最高の燃費／コスト競争力を持つ商品を市場に提案する為、旧来の CFRP や、アルミ、ハイテンのような他の軽量化手段のみならず、パワープラント系の燃費向上手段やバッテリーなどの電動化手段等も並行検討し、これら様々な技術の中から最適な技術組合せを検討することが必要である。熱可塑性 CFRP の材料やプロセス、構造の最適化でコストを削減し、コスト競争力と軽量化量を両立させることで部品の適用範囲は拡大する。

#### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

現状の自動車関連産業は日本の就業人口の約 10%が就業する基幹産業であり、経済効果に与える効果も大きい。このような背景を持つ自動車産業でプロジェクト成果である革新的な CFRP 技術が活用されることは、

①世界最高水準の自動車軽量化技術が実現可能となる

②自動車産業の幅広い裾野を含め、新しいプレーヤーの参入が期待される等の大きなメリットが期待される。

#### 2.6.2.21 三菱自動車工業（岡崎分室）

##### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

三菱自動車は、『地球を走る。地球と生きる。』をテーマに、地球環境に配慮しながら、地球上のさまざまな地域のお客様に走る喜びを提供する」という想いをコミュニケーションワード「Drive@earth」に込め、“環境への貢献”、“走る喜び”、“確かな安心”を追求したクルマづくりを推進している。

“環境への貢献”として電動車両の航続距離向上や既存エンジン車の燃費向上、“走る喜び”としての運動性能向上を目的に車体軽量化に取り組んでいる。

軽量化検討手法として車体構造の合理化と材料置換があるが、現行スチール材料の車体構造の合理化検討のみでは軽量化の限界がある。本プロジェクトの熱可塑性 CFRP 実用化研究の成果である熱可塑性 CFRP による材料置換と構造合理化を検討し、さらなる軽量化を見込んでいる。



## **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

環境問題に対する燃費規制は日欧米だけでなく中国などの新興国でも厳しい規制が実施される見通しである。その中で、高い環境性能を持つ電動車両や低燃費車両は今後さらにそのニーズが高まると考えられている。軽量化の1手段として、熱可塑性CFRPの実用化の可能性は高い。

## **(3)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

当社では車体構造のパネル部材への熱可塑性CFRP適用を考えている。その場合、現行のスチール構造と比較し、空気伝播の振動騒音特性の悪化が懸念される。構造音響シミュレーション技術や最適化計算技術を構築・活用して、軽量かつ、現行の特性を上回る熱可塑性CFRP構造を見出すことを目標とする。

## **(4)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

熱可塑性CFRPパネルと現行スチールの振動騒音特性を計測し、現行材料に対する熱可塑性CFRPの優位性を分析する。また、CAEとの整合性検証を行い、シミュレーション技術の精度向上を図る。次に、パネル技術の最適設計技術の構築とその技術を用いたパネル特性向上検討をおこなう。そして、マルチマテリアルの低騒音熱可塑性CFRPパネルの実車適用をすることで、軽量化・コスト・適用部位への要求特性を満たし、接合・生産性・賦形性・リサイクル性などの実用化を目指した研究を推進する。

## **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

車体骨格であるホワイトボデーの質量のうちパネルの質量は20～30%を占める。このパネル質量を熱可塑性CFRPによって半減できれば、ホワイトボデーの10～15%の軽量化が見込める。また、マルチマテリアルの全体最適検討によって、さらなる軽量化が見込める。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

競合する軽量化材料としてはハイテン、アルミ、更に樹脂複合材の中では熱硬化・熱可塑をベースとしたガラス繊維強化複合材など多くの材料がある。また、工法も射出成形、プレス成形など多岐にわたっている。

本プロジェクトで使用する熱可塑性CFRPは、金属材料より比剛性が高く、同剛性で軽量化が可能である。熱硬化性樹脂と比べプレス成形の時間が短く、大量生産に向いている。また、廉価高性能CFを用いることでコストアップの抑制が可能である。

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本研究開発で構築する技術は世界最高水準のCFRP技術、自動車軽量化技術となりえ、国際的な競争力の向上が見込める。また、熱可塑性CFRPの車体構造への適用が実現できれば、環境問題に大きく貢献できる。また、最先端の技術に関わり、同業他社・異業種との連携を通じ、技術者の育成の場として非常に有用である。

## 2.6.2.22 日産自動車（追浜分室）

### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

本事業で創出される技術成果を用いて、日産自動車（株）が有する豊富な車種ラインナップの中から、適切な車種を選定し製品としてのコスト採算性を考慮した事業化プランを定め、本技術成果を基に詳細設計、試作、実車試験に取り組み、自動車製品としての性能（適用車体形状における剛性、衝突、運動性能など）及び生産性（車体組立工程検討、車体寸法精度など）の実証、新規課題の抽出と解決を実施し、実用化を判断する。

### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

BMW i3 の登場で、自動車骨格への CFRP の適用機運が高まっており、生産規模が年間 20,000 台を超える自動車への適用が視野に入る。この場合、仮に 1 台あたり 200kg の CFRP を使用すると仮定すると、樹脂含有率、廃材を考慮し、少なくとも 2600t の炭素繊維が必要となり、自動車業界のみならず、炭素繊維業界にも影響は大きい。しかし現在の価格レベルでは利益を得られず、欧州の MAI Carbon がアナウンスしているように部品コスト 20EURO/kg 以下の劇的な低廉化が求められる。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

実施体制：材料技術、構造設計技術、生産技術の知見を有する研究員 3 名を登録し、材料の特徴を生かした構造設計および部品実用化を見据えた性能評価、生産性実証を担う。また社内有識者をオブザーバーとして配置し、技術レビューと変化点・変更点レビューを逐次実施して研究開発の総合的なスピード向上を実現する体制を構築する。

計画：平成 27 年度～28 年度は構造部材(センターピラーなど)を対象にした最適構造設計技術とそれを実現する生産技術を蓄積する。平成 29 年度以降に部分的な適用および車体全体への適用それぞれについて適用可能な車種への実用化を検討する。

マイルストーン：平成 28 年 3 月 センターピラー型構造材料の最適化設計と試作 完了、平成 29 年 3 月 車体の部分的最適化設計と試作 完了

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

課題 1：材料物性に異方性を有する当該材料の最適設計の体系化・仕組化

解決方針：材料メーカー、数値解析プロバイダおよび社内有識者と協同して最適設計の体系、仕組みを構築する。

課題 2：車載実用化に向けた性能・品質評価方法の確立

解決方針：対象部品に特有の性能目標値（衝突、振動、剛性、耐久試験など）を事前決定し、本事業で創出される試作部品を活用して性能・品質評価方法を確立する。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

市場ニーズは、依然、CFRP=高性能、であり、少量生産の限られた高額な車種に限られると考えられている。マーケットとの最初のコミュニケーションはこういった高性能で高額な車で始まるが、低廉化・量産技術を進化させ、CFRP の特性を生かした高性能以外の付加価値をつけたうえで、量産車への展開させることができる。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

軽量化の観点で競合する技術は軽金属となるが、一般的に車体骨格の鋼板に対する軽量化限界は、アルミで-30%であるのに対し、CFRP は-50%超と、軽量化効果が高い。コストについて、部品費はアルミ並まで引き下げることが非常に困難だが、成形の大物一体化、リストライク工程削減により成形型費を引き下げ、トータルでのコスト削減を目指す。

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本事業で扱う技術開発により、自動車部品に限らず他産業分野でも有用である材料技術や設計手法を生む波及効果がある。自動車は航空機と違い、様々な使用者により、様々な使い方を受ける状況で品質と安全性を確保しなければならない過酷な使用環境に晒される。従って本事業の技術開発により、CFRP が最も過酷な使用環境に耐える技術的知見が見出される可能性があり、この知見は他産業分野の CFRP 適用推進にも効果があると推定する。

### **2.6.2.23 島津製作所（京都分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

本研究により開発された CFRP 材料および、それらを用いた構造部品に対して信頼性が担保され設計に資するデータが得られる評価法を、物性評価装置として製品化する。

具体的には、

- 1)試料調整から前処理、評価の実施（評価治具や計測機器を含め）、データ解析結果の出力までを一貫して行うことができる総合評価システムの製品化。
- 2)物性評価装置と、各種（外部・内部）観察手段や化学的分析装置等を組合せ、経時的なメカニズムを評価するシステムの具現化。
- 3)上記システムを基本にした材料・部材生産ラインにおける品質管理用途自動機器の製品化。
- 4)評価方法及び装置について国際標準への提案検討。

などにより事業化を図る。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

テーマ番号 28 の概要（2.6.1）にも記載されているとおり、構造材料の CFRP 化は社会的必要性を前提に今後進むと考えられ、将来的には現在の金属材料（主として鉄鋼）と同等の研究開発・生産設備の需要が見込まれ、その評価機器市場規模は日本国内のみでも 1000 億円を超えると見込まれる。（鉄鋼市場規模等から推測）

異種材料との接合技術開発や輸送機等のアセンブリ・実物評価、さらには国外における展開などを視野に入れば市場成長性は更に大きく、現時点で正確な見積りはできないものの、経済的効果も非常に大きいと考えられる。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

当分担研は、国内規模としては最大の分析計測機器の製造メーカーであり、本研究で対象となる評価機器の主たる基盤技術となる物性評価機器においても、国内首位（年間売上 100 億円超）のシェアを維持し、製品開発体制としても十分な体制を有している。

本研究でのプロトタイプをもとに汎用化・ユーザビリティ価値を同時並行開発し、またそれらを適宜知財権利化することによって順次の製品化を図る。

#### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

試料となるべき材料やその組立品などは、それぞれメーカーや加工・組立を行う企業にとっては開発過程にある企業機密事項であることが多く、通常の場合は評価手法等の妥当性を見極めるために必要な基準サンプル、比較サンプルの入手が困難である。これに対しては本研究における共同研究体制のなかで提供を受けることができ、その調整をにより解決できる見込みである。

また、特性や扱いに未経験要素が多い新規材料ゆえ、従来評価治具の適用に困難を伴う可能性があるが、当分担研の有する幅広い既存の応用技術をもって解決できると考えている。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

(2)に記したように、CFRP 材料および、それらを用いた構造部品市場の拡大に、その評価装置の需要は確実に追従し、材料・製品開発および、量産時の品質管理にかかわるニーズも増えると見込まれるため、事業化は（評価機器製造に関しては既存の設備から大きな変更は必要ないことも含め）可能と考える。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

性能面においては、試料調整からデータ出力までを一気通貫で、かつ信頼性の高い結果が得られるシステム製品が最大の差別化要素となる。コスト面では、本研究での成果を用いることでの開発・性能評価費用の低減、量産を視野に入れたコスト低減によって優位性を持たせることができる。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

CFRP を対象とした評価機器を 1 次的なものとし、これを更に他の新構造材料や接合部の評価などへの展開を図ることにより、より多様な応用技術的ノウハウの蓄積に繋ぐ効果を目論む。当然ながら、これらの総合的な効果は低炭素社会の実現に寄与するものである。

### **2.6.2.24 福井ファイバーテック（豊橋中原分室）**

#### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

60 年以上の編む技術と 30 年以上の熱硬化性引抜成形の技術をフルに活用して①多軸挿入機による中間基材の創生②熱可塑性引抜成形による中間成形品の創生及び構造部品を最終的形狀で創生する。

## **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

自動車用材料として成立した場合には市場規模は大きく、コストを含めた成形加工のノウハウは建築/土木分野などにも展開可能な事が予測される。

## **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

中間基材についてはコミングルヤーンを用い、社内保有の多軸挿入機を使用して試編し（2015 上半期）プレスでの成形性評価を行う。熱可塑引抜成形は社内保有の引抜成形機を使用して矩形（UD 15x2 金型製作準備中）成形品のトライを行い（2015 上半期）、各種評価後、大断面成形品の検討を行う。

## **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

中間基材は含浸を考慮した挿入糸を如何に安価に生産できるかが大きな課題になる。多軸挿入機のオンライン上で原糸とマトリックス糸を併せる事がキーになる。熱可塑引抜成形は要求特性上 UD のみで成立しない場合に必要な直交方向の特性付与が課題であり中間基材とのマルチマテリアル化で対応する。

## **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

適用部位は特定できていないものの中間基材は連続/非連続系問わずプレス用材料として軽量化に寄与できる。熱可塑引抜成形品はオーバーモールドイングのベース材としてのみならず、それ自身をポストフォームすることによりフレーム構造への対応も可能になる。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

織物を使用した中間基材と比較した場合、設計の自由度がかなり大きく、配向確度や層数をパラメータとすることにより異方性設計が可能になる。連続繊維を使用した引抜成形は繊維含有率を高めることが可能なことより他材料を性能的（比強度/比剛性）には他材料を凌駕する。

## **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

自動車以外の用途に繋がり中小企業が多い複合材料のモルダーの活性化につながる。

### **2.6.2.25 カドコーポレーション（たつの分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

弊社では成形法において、ハンドレイアップ工法、バキュームバック、プリウエットバキューム、オートクレーブ、RTM、VaRTM、プレス成形など様々な工法を取り入れ、かつ樹脂においても熱硬化性樹脂から熱可塑性樹脂も取り扱う。またこれら成形に使用する機器・機材も社内で構成、製作、改良することでオリジナリティを出すことで市場での差別化を行っている。

またセーリングヨットの造船所として誕生した会社であるため、複合材同士や複合

材と金属、異種材の接着・接合する技術も兼ね備えており、複合材単品の製作だけでなく、最終商品として仕上げる技術を持っている。

弊社は、今回の研究テーマである“熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発”ならびに“熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発”を担当している。この 2 つのテーマにおいては、熱可塑性 CFRP を製品化および商品化する際、大変重要な要素技術となる。これらで得た成形技術や生産装置技術を、製品生産や成形装置事業として日本企業の強みに繋げる。

## **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

市場では、CO<sub>2</sub> 削減の取り組みが盛んとなっており、軽量でかつ高強度材である CFRP、特に高速成形が有望とされている熱可塑性 CFRP においては、市場からの注目と期待を感じられるが、自動車産業が求める生産性や品質検査手法の課題が残されている。それらを解決することで、市場での採用は早まると考えられる。

## **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

弊社では、複合材製品の製作販売や官民から受託研究を行う事業に加え、近年、複合材の加工技術・加工装置の設計・製作・販売を行っており、熱硬化性 CFRP においては、加工装置の販売実績がある。今後、複合材の世界で期待されている、熱可塑性 CFRP の加工装置やオートメーション化のノウハウを高めることで、装置販売事業を成長させたい。

## **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

近い将来、現状の商品（自動車）に軽量・高強度材である熱可塑性 CFRP において高い期待が持たれている。しかし、原材料の生産過程から製品の生産、リサイクル過程、これらライフサイクルを通して排出される CO<sub>2</sub> 量を算出して環境負荷を定量化する取り組みである CFP（カーボンフットプリント）の取り組みが進む中、熱可塑性 CFRP ならびに成形技術においても低炭素成形をより一層研究する必要がある。

## **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

今回、開発している材料・技術においては、自動車を中心とした構造材料であり、環境影響に大きな影響力を持つ自動車において採用されることは大いに期待されている。また軽量部材であることで高齢化社会で要望される、軽量な車いすや杖などの福祉用具・家電への適用も考えられる。これは日本だけにとどまらず、追って中国やインドにおいても日本と同じ状況下になると予想されており、他の産業界においても市場効果が大きいと期待される。

## **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

炭素繊維は、比重が鉄の約 1/4、引張比強度が約 10 倍と非常に有望な材料ある。これらの理由以外でも、“錆びない”、“衝撃吸収性”においても優秀な材料である。長期寿命であり、人や環境に優しい材料として優位性を商品に取り入れることで、単純

にグラム当たりのコスト高を高性能材料として優位性を持たせる事ができると考えられる。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

現在、CFRP 業界において熱硬化、熱可塑に関わらず、自動化が進んでおり、今までのような職人を育てるのではなく、商品設計から生産プロセス、成形装置の一連の工程を同時に考える“デジタル・マニファクチャリング”を考案できるエンジニアの育成が必至であるが、日本の CFRP 産業において、いないに等しい。複合材の特徴や性能、成形プロセス、機械装置、ロボット生産技術、これら設計・製作・生産が総合的に判断ができるエンジニアを今回の研究開発を通じて育成を行う。

#### **2.6.2.26 住友重機械工業（横須賀分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

住友重機械では CFRP に関連する主な装置として、射出成形機とプレス装置を保有しており、射出成形機においては LFP（Long Fiber Pellet）に対応した装置の販売を行っているが、本格的な CFRP 関連事業は未だ行っていない。高成長が見込まれる分野として樹脂加工装置の視点に立ち、上記機種のご組合せや新たな要素技術を追加した新機種開発の戦略を立案しているところである。具体的にはプロジェクト開発材をターゲットとしその最適な加工プロセスを見極めた上で、それに適応した機種のご開発を実施する方針である。また将来的には広く産業機械に CFRP が適用されることも予想されるため、材料評価及び設計に関して継続的に調査、研究を実施し、随時弊社の装置への適用可能性を追求していく方針である。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

CFRP 市場は今後順調に拡大し、特に自動車用途は成長の中心になると予想される。現在、自動車骨格ボディの製造装置市場は、500 億円/年程度と推察しており、今後もその市場は拡大することが予想される。また、骨格ボディ以外での自動車部品も CFRP に代替され、また、自動車業界に採用される程度まで CFRP 価格が下がれば産業機械への適用も現実味を帯びることから、1000 億円/年レベルの市場が立上る可能性があると考えられる。但し、2020 年以降に徐々に実用化されると予想しており長い視点での戦略が必要と考えられる。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

現在は技術研究所を中心として調査、基礎研究を実施している。本プロジェクトでは加速予算で一連の CFRP 成形ラインが導入され、成形プロセスのご開発が加速される見込みである。そのタイミングに合わせ、技術研究所と関連事業部との連携を強化し、装置開発を加速し事業化への展開を推進していきたい。

##### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

CFRP の自動車用途への活用の鍵は成形コストであり、装置価格も重要なファク

ターとなる。今後さらに CFRP 成形に必要な成形装置技術とスペックの最適化を検討することで顧客価値を最大化する CFRP 成形装置の実現を目指したい。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

射出成形機とプレス装置の技術は保有しているため、CFRP に適した制御や機能を本プロジェクトで獲得することが、事業化に結び付くと考える。CFRP 成形は今後需要が高まると考えられるが、CFRP の成形を熟知したユーザーは少ない。本プロジェクトで熱可塑性 CFRP に適した成形プロセスを獲得し、提案することが成形装置事業において重要と思われる。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

熱可塑性 CFRP は鉄鋼等の金属材料と比較すると圧倒的な軽量化のポテンシャルがあり、複雑成形が可能である。一方で、熱硬化性 CFRP と比較すると生産性と二次加工性で優位性があることから、素材開発と成形プロセスが確立されれば、熱可塑性 CFRP の競争力は高い。なお鋼板の単なる代替としてでなく、CFRP に適した構造設計が当たり前のように行われることが、普及の一つの鍵になるとと思われる。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

CFRP 成形の特徴の一つである異方性を考慮した設計および成形が可能になれば、今までの設計思想にない構造の提案が可能となる。将来的に産業機械全般にダイナミックに CFRP が適用され軽量化が図られる可能性があり、省エネの観点からも非常に有意義であると考えられる。

### **2.6.2.27 IHI（瑞穂分室）**

#### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

自動車向け複合材料に関しては実用化・事業化計画は特になし。

#### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

公開情報無し

#### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

公開情報無し

#### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

公開情報無し

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

公開情報無し

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

公開情報無し



#### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

弊社は世界に先駆けて航空機エンジン用の熱可塑ファン構造案内翼を開発・実用化するなど、熱可塑性複合材料の優れた生産性に着目して、熱可塑性複合材分野の技術開発を20年以上にわたり独自で進めてきた。但し航空機向けでは熱可塑性複合材は熱硬化性複合材料と比較して素材・成形方法・設備のいずれの分野においても産業としての規模が小さく、結果として技術シーズの数も少なく、継続的に技術開発していく上での課題となっている。

一方、現在は航空機向けの需要が複合材料の技術開発動向をリードしているが、今後は航空機以上に低コストが要求される自動車向けの分野において、熱可塑性の低コスト材料・低コスト成形法が発展すると予想される。自動車向け熱可塑複合材料は量産適用事例が少ないという実用化に向けた課題があるが、この点では弊社の培った航空機向け複合材料技術、特に評価技術を応用することで本事業に貢献できる。

以上より、今後の熱可塑性複合材料の発展においては自動車向け航空機向けなどの適用用途を越えた協力が非常に効果的と考えられる。弊社としては本事業を通じて、自動車向け熱可塑性複合材料の開発に参加することで、航空機向けにも適用可能な技術・企業に関する知見を多く得ることができ、今後の航空機向けの熱可塑性複合材料開発において大きな相乗効果・波及効果が得られると期待している。

## 2.7 テーマ7「接合技術開発」

- [テーマ番号 01] アルミニウム／CFRP 接合技術の開発
- [テーマ番号 02] 残留γ相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発
- [テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発
- [テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発
- [テーマ番号 05] アルミニウム／異種材料の点接合技術
- [テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発
- [テーマ番号 07] 鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発
- [テーマ番号 08] チタン／チタン連続接合技術の開発
- [テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

### 2.7.1 テーマ全体の取り組み及び見通し

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

本プロジェクトで開発する革新的構造材料（鉄鋼、アルミニウム、マグネシウム、チタン、CFRP）による同種・異種材料接合技術を確立するため、被接合材料に適した新規接合方法の開発とその有効性の検証を進める。実用化に際しては、本技術開発成果の主な適用先である輸送機器メーカー、特に自動車メーカーなどとの連携の下、実用化の具体的な指標を明確にし、生産ラインへの適合性等も考慮しつつ実部材への適用検討を推進する。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

自動車需要は今後もアジアなどの新興国中心に拡大することが予想され、さらに環境問題に起因する更なる燃費向上（CO<sub>2</sub>排出量の低減）の必要性や今後のHV・EV車の台頭による搭載機器の重量増に伴う車体の軽量化へのニーズは、今後ますます高まるものと予想される。車体の軽量化に対しては、鉄鋼材料の高強度化および構造部材へ適材適所に各種材料を配置したマルチマテリアル化が拡大するものと予測され、それに伴い、超高張力鋼板同士の接合やCFRPと鋼板やアルミとの接合等従来にない新しい接合技術が必要不可欠となる。本技術開発は、上記のように新たな材料の適用に際して必須な技術であり、新規構造材料の開発と同様に市場規模の拡大・成長が見込まれる。また、本技術開発は、新たな接合技術の開発に止まらず、ロボット等装置開発やそれを構成する部品開発に展開され、市場拡大による経済効果は大きい。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

実用化に向けては、要素技術開発、実部品を想定した適用化開発、実用化開発とステージを設けて取組む。要素技術開発では、適用候補技術についてそれぞれのポテンシャル分析を進め、適用技術の可能性検証と絞込みを行う。適用化開発では、実部材を想定したモデル部材を試作・評価し性能検証を行い、課題の抽出を進める。実用化開発では、実用化に向けた課題の解決を行う。適用化開発以降は、自動車メーカー、装置メーカー、部品メーカー等との協調体制を構築し、ニーズ・シーズ情報や検討課題の情報共有を密に行い効率的な研究開発を進める。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

新規接合技術の開発と並行して、接合部の信頼性評価（評価技術も含む）、構造体としての品質/性能等の評価技術の確立が必要不可欠であり、且つ相互の情報が円滑にフィードバックされる研究開発体制の構築が必須である。現状プロジェクトで運用している技術分科会の活用等に止まらず、新たな研究開発体制作りを進めていく。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

今後、鉄鋼材料の高強度化および車体軽量化に向けたマルチマテリアル化はかなり加速されると予測され、素材開発だけでなくそれに対応した新規接合技術も装置化も含めて大きな市場ニーズが予想される。マルチマテリアル化に際しては、軽量化のみならず、ユーザーニーズにおいて付加価値となり得る機能の付加も考慮した開発を指向することでさらなる適用拡大が期待できる。一方、自動車用途における高張力鋼板のニーズは、軽量化ニーズと相まって増大しており、中高炭素ハイテン鋼板自体の開発とともに、優れた継手特性が得られ信頼性の高い接合技術が求められる。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

プロジェクトで開発している新規構造材料（超高強度鋼板、高強度アルミニウム、難燃性高強度マグネシウム、熱可塑性 CFRP 等）では、同種・異種材料の接合に関してその殆どが、継手強度確保およびコスト面から従来技術をそのまま適用するのは困難である。各種被接合材料において、新規材料との適合性、継手強度の確保（信頼性を含む）、生産ラインへの適合性、コスト等に関するベンチマーキングを行い、性能面、コスト面で優位な技術を選択し適用化を進める。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本技術開発は、素材産業の活性化はもとより各種輸送機器（自動車、航空機、鉄道車両、船舶等）の軽量化による CO<sub>2</sub> 削減や省電力化に貢献できるだけでなく、家電・重電分野やインフラ分野等他産業へ展開可能であり、技術的・経済的波及効果は極めて大きい。また、本技術開発を通して異業種企業、アカデミア等との間で多様な人材交流が可能であり、特に若手技術者や学生等の技術開発力向上等人材育成上非常に有意義である。さらに、接合技術開発では大阪大学を中心に基礎研究が精力的に行われており、最先端の研究を通じて材料工学分野の人材育成に貢献している。

## 2.7.2 各社の取り組み及び見通し

### 2.7.2.1 東レ（伊予分室）

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

まずは FLJ ポテンシャルを見極めて適用可否判断を行い、新規な接合技術としての有効性を決定する。ポジティブな結果となれば設備実用化を装置メーカーと連動して進めていく。

実用化に向けた取り組みとしては、輸送機器メーカー、特に自動車メーカーとの連動が不可欠であり、本事業枠組みも活用して実用化の具体的指標を明確にし、実部材への適用検討を加速できる連携を構築する必要がある。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

輸送機器は特に自動車が、今後の HV・EV 車導入が前提と考えられ、重量の大きな電池容量を車体軽量化によりどの程度削減することが出来るかが、総合的な自動車軽量化の重要な課題となる。

表IV-2.7.1-1 に今後の HV・EV 車予測台数を示す。HV 車、EV 車ともに増加の傾向にあり、軽量化技術の適用が大きく期待されるものと推定する。表IV-2.7.1-2 に EV 車導入を考慮した樹脂需要の予測を示す。これは繊維強化系、非強化系を合わせた樹脂量であり、CFRP として使用される量はこの一部となる。EV 車の増加に伴い、使用される樹脂量も増加し、なかでも比重が軽く、安価で吸水も小さな PP が最も多く 2020 年には年間 50 万 t 近くの需要になると予測されている。Al などの金属と複合化前提の使い方も想定されるため、接合技術として FLJ が確立できれば、大きな事業へと繋がる可能性がある。

表IV-2.7.1-1 HV・EV 車予測台数（台）

車種		2012年	2016年	2020年
HV	大型乗用車	1,130	1,430	1,800
	中型乗用車	524,686	965,480	2,834,765
	中型トラック	2,184	3,721	6,341
	コンパクトカー	214,835	465,651	1,009,291
	軽自動車	100	100	100
EV	普通乗用車	5,000	22,000	42,000
	コンパクトカー	8,000	39,000	84,000
	軽自動車	25,200	92,250	256,350
全車種生産台数		10,605,919	12,323,835	14,421,852

表IV-2.7.1-2 EV車導入を考慮した樹脂需要の予測 (t)

樹脂種	2012年	2016年	2020年
PP	364,235	423,279	495,247
PA	78,153	90,887	104,967
PPS	9,589	11,170	13,054

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

FLJ ポテンシャル見極めを平成 27 年度末までに行う適用可否判断が必要である。適用可の場合、設備実用化を装置メーカーと連動して進めるために、連動先の選定が必要となる。

実用化を想定した取り組みには、自動車メーカーとの連携が不可欠と考える。現時点では実用部品での検討は平成 30 年度以降の想定であるが、取り組みを具体化するためには、検討の早い段階で接合に関する必要特性まで踏み込んだ部材の絞り込みとモデル検証が必要と考えており、具体的なターゲットを明確にしていく。

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

自動車メーカーとの連携については、実用化の具体的指標を明確にするために、情報共有化が可能な枠組みを構築することが必要である。枠組みの構築には ISMA 参画企業の連携を有効活用して、プロジェクト全体として取り組む必要があると考える。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

AI などの金属と CFRP との複合体は、上記したように EV 車導入を前提とした自動車軽量化構造の重要なパーツとなりうる。単純な軽量化だけでなく、例えば AI/CFRP 複合体による耐衝撃特性向上などの高性能化と結びつけることで、さらなる適用拡大が期待できる。

### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

既存の接手法ととの定量的比較により、FLJ の有効性判断が必要であるが、回転ツールを接合部に押し当てる簡便な機構で短時間のうちに樹脂材料の高温融着が可能であることは、大きなメリットとなる可能性がある。3 次元形状にも追従可能なロボット FLJ とすることで、さらに実用的な接合法となる。

異種材の個別接合を必要としない部材の一体化成形技術は、まだまだ形状や成形プロセスの観点で、ある程度の制限がかかることになると想定され、一体化成形が困難な部材に対しては、個別の接合技術が必要となるケースが依然多くなるものと推定する。

### (7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

AI をはじめとする金属と CFRP との複合体は、輸送機器のみならずその他の産業用途にも展開が可能と考える。金属の導電性や熱伝導性を発揮できる家電製品など、開

発期間の比較的短い産業用途アイテムでは、特性がマッチすれば早期事業化の可能性もあると考える。また、自動車への CFRP 適用が拡大すれば、CO<sub>2</sub> 削減に日本発の材料技術である CFRP がさらに大きく貢献することにもなり、日本の技術力 PR にも繋がる。

### 2.7.2.2 神戸製鋼所（西神分室）

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

接合技術に関しては、テーマ No.22 で開発した革新鋼板を接合するための技術としてユーザに提案することで実用化を促進させる。この時、ユーザの保有する設備や適用する部位に応じた適切な接合方法を選定して提案できるよう、各種の接合技術を開発し技術提供できるようにする。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

本テーマで開発する接合技術については、テーマ No.22 で開発する革新鋼板をユーザに販売する際にユーザソリューションの 1 つの技術として提供するものになる。そのため、超高強度鋼のマーケットが今後拡大していく中で、適用範囲が拡大が期待される。本技術については接合装置メーカーにライセンスすることでライセンス料の獲得、接合装置メーカーとしても装置の売上が期待できると共に、本接合技術普及による革新鋼板の実用化による売上で経済効果が期待される。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

接合技術については、革新鋼板をユーザに提供する際に合わせて提示していくことになる。装置開発が必要な技術に関しては、接合装置メーカーとの協力体制を構築し、装置開発および実用化に取り組んでもらいつつ、ユーザへは技術供与しながら実施していく。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

中高炭素鋼については、国プロジェクトで目標としている継手強度だけでなく、その他の特性、例えば疲労、遅れ破壊等の各種特性について重要性を整理したうえで、技術開発を要する項目については、技術開発に取り組み、実用化課題を克服するようにする。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

革新鋼板に対するユーザニーズは顕在化しつつあり、その鋼板を用いた部品を組み立てていくための接合技術は不可避である。そのため、革新鋼板の販売がなり立てば、ここで開発した技術群はユーザにとって必須の技術となる。

#### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

革新鋼板の接合技術として競合するものは、接着ならびに機械接合となる。接着については、接着剤という消耗品の使用と接合部の信頼性確保という課題がある。また機

械接合についてはピン等の消耗品の利用と、高強度ゆえに加工負荷が大きいために生産性が高めにくいという両面からコストがかかる技術となる。これらに対して、コスト面では優位にあるが、各観点から得失を整理して適切な接合技術を選択することが必須となる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

ここで開発した接合技術を活用することができれば、革新鋼板だけでなく一般鋼材の接合についても容易となるため、生産性の向上が期待される。また、関係する会社、組織の技術者が本技術の周辺技術について検討、対外発表することで本接合分野の技術者の技術力向上に活用できる。

#### **2.7.2.3 新日鐵住金（富津分室、尼崎分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

当社は、鋼板の優れた特性を活かした最終製品を目指し、鋼板そのもののユーザ提供のみならず、成形技術、溶接技術など所謂ソリューション技術の提案を進めている。

本プロジェクトにおいて、開発された革新的中高炭素鋼に対して、熔融溶接技術として、ワイヤ添加による効果が期待されるアークスポット溶接や、新しい摩擦接合技術として、摩擦攪拌リニア接合等を検討し、革新的中高炭素鋼板とともにソリューション技術を提供し、その実用化を推進する。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

1.5 GPa 級の中高炭素鋼を自動車用のピラー、レール類などいわゆる構造部材に用いると約 30%の軽量化が可能と試算されている。環境問題を背景とした高燃費化（CO<sub>2</sub> 排出量の削減）や衝突安全性能の向上要求の高まりから、この高張力鋼板の適用量は今後ますます増加し、その接合技術に対する必要性は高い。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

熔融接合として、主に取り組むアークスポットでは、継手特性、部材特性の明確化及び施工性の改善技術を確立し、実用化検討段階への移行を目指す。一方、摩擦攪拌リニア接合では、新しい接合プロセスの開発に着手し、その継手性能を明らかにする。

##### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

実用化し得る信頼性の高い中高炭素鋼の接合技術の確立を目指し、その強度発現メカニズムの解明とプロセスによる継手性能改善検討を進める。また、平行して、従来接合法とのメリット、デメリットの利害損失を明確化し、中高炭素鋼の優れた特性を活かしきる接合ソリューション技術を提案する。

##### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

既存の接合法（スポット、レーザ、FSW）では、中高炭素鋼への適用は難しく、優れた特性（成形性、耐食性等）を有した中高炭素鋼とともに、優れた継手特性が得れ

る信頼性の高い接合技術が必要である。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

競合となるスポット、レーザなどは、いずれも溶融溶接であるため、継手強度の確保が困難であるが、アークスポット溶接では、ワイヤによる溶接金属の成分改善や接合部の形状制御が可能であり、高い継手強度が確保される。一方、摩擦攪拌リニア接合は、摩擦攪拌接合の課題であるツールを使わない特徴を有する。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

開発された中高炭素鋼が、開発するアークスポット溶接法により、車骨格部材として広く普及されれば、車体の軽量化による燃費向上（CO<sub>2</sub>）削減が可能になる。また、摩擦攪拌リニア接合など新しいプロセス開発を進めることにより、この技術分野の発展とともに新たな知見が得られる可能性がある。

### **2.7.2.4 JFE スチール（千葉分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

平成 34 年度までに、高周波加熱およびレーザ照射装置を利用した予熱後熱プロセス条件の最適化、裏面加熱装置による攪拌性向上、さらには接合ツール材質および形状の最適化を図り、接合施工性向上および継手特性向上の両立を目指す。さらに、厚さ 2mm、強度 1.5GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合プロセスを最適化することにより、接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%の実現を目指す。

本開発技術を基にすることで、実用化を見据えたロボット接合技術の確立が可能となり、これは、自動車メーカーにおける将来の自動車軽量化戦略と合致している。

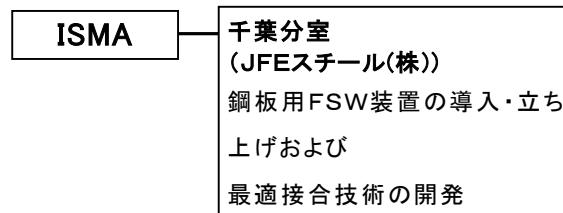
#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

自動車需要は、今後もアジアなど新興国中心に伸び代が大きく、2015 年 92 百万台から 2050 年 283 百万台に大きく拡大することが予測されている。こうした予測の中、中高炭素鋼ベースの自動車用超高強度鋼板は、安価でかつ軽量化および安全性向上効果の大きい素材と考えられるが、従来の溶接技術の適用のみでは十分な接合施工性および継手強度を得ることが困難である。したがって、この超高強度鋼板に対して接合施工性および継手強度を十分確保可能な新接合技術の開発は必須であり、鋼板の爆発的な需要拡大に大きく寄与するものと予想され、その経済効果も大きい。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

27 年度は、26 年度に導入した FSW 装置を用い、厚さ 2mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼に対して接合継手の引張せん断強さ $\geq$ 母材強度の 70%を実現する。接合施工性と継手健全性の観点から適正プロセス条件範囲を明確化することで、第 2 期以降の中高炭素鋼の実用的接合技術開発に展開する。実施体制を下図に示す。





図IV-2.7.2-1 実施体制

#### (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

27年度においても中間目標を達成するための継手評価を実施する中で、実用化に向けた技術課題を抽出するが、想定される課題としては接合施工性の劣化および継手強度の劣化が挙げられる。

抽出した課題は来年度以降の研究開発にフィードバックし、第2期以降の実用的接合技術開発に展開する。

#### (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

中高炭素鋼ベースの自動車用超高強度鋼板は、安価でかつ軽量化および安全性向上効果の大きい素材と考えられ、市場ニーズは極めて高い。例えば、1.5GPa級冷間プレス用鋼板の需要は、2020年で200万t/年以上、2030年で300万t/年以上に達する可能性がある。したがって、上記の超高強度鋼板に適用可能な新接合技術についても、市場ニーズは非常に高いといえ、鋼板の爆発的な需要拡大に大きく寄与する技術であると予想される。

#### (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

レアメタルを多量に含まない超高強度鋼板の開発により、非鉄・非金属材料に対する製造コスト、リサイクル性の圧倒的な優位性を維持したまま、弱点である比強度が大幅に改善され、非鉄・非金属材料並みの軽量化素材となる可能性がある。この高強度鋼板に対して、従来の溶接技術では十分な接合施工性および継手強度を得ることは困難であると想定されることから、新接合技術は性能面においては格段の優位性を持つことになる。加えて、鉄鋼材料用に開発される最新のFSWツールを適用することにより、コスト面でも非常に大きな優位性を持つものと考えられる。

#### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

開発する新接合技術および中高炭素鋼が自動車製造に適用されることにより、自動車の燃費向上によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量が大幅に削減され、燃費改善目標（国立環境研究所 AIM PJ チーム試算）の10～20%相当のCO<sub>2</sub>削減で地球温暖化ガスの低減に寄与する。加えて、自動車の安全性(耐衝突性)・走行性能の向上により、社会の安心・安全向上にも寄与すると考えられる。

また、開発する新接合技術は中高炭素鋼のみならず、異材接合技術としても非常に有用であるものと想定している。

### 2.7.2.5 マツダ（広島分室）

#### (1) 実用化・事業化に向けた戦略

マルチマテリアル車体を多関節ロボットによる抵抗スポット溶接を前提とした現行の車体組立ラインで製造することは容易ではなく、ラインの新設や大幅な変更が必要となる。その点、本テーマで戦略的に取り組む二つの異材点接合技術（アルミニウム/鋼板、アルミニウム/CFRP）はいずれも多関節ロボットとの組み合わせが可能であり、リベットや接着などの旧来の接合方法に比べると現行の車体組立ラインへの適合性が高い。即ち、多額の設備投資が不要であり、且つ、従来の鋼板製車体とマルチマテリアル車体の混流生産や海外生産にも展開可能であることから、マルチマテリアル車体実用化のコア技術になるものと考えられる。

#### (2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

技術開発のトレンドによると車体のマルチマテリアル化は 2020 年頃から車の全面改良に合わせて随時拡大するものと予想され、最小（1 モデル）でも年間数万台レベル、主要車種に適用されれば年間数十万台レベル、同業他社が採用した場合にはさらに大きな事業規模に達する。開発技術を着実に社会へと還元するため、マツダの占有ではなく、海外メーカを除く国内同業他社への技術ライセンスを検討する。

#### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

研究開発が 10 年間の長期に及ぶことから、研究テーマの運営にステージ管理を導入している。具体的には研究期間を技術構想の実証（H25～H27 年度）、実部品での性能/効果の検証（H28～H29 年度）、実用化の主要課題解決（H30～H34 年度）の三つのステージに分け、各ステージに応じた研究内容/研究体制/資金運用としている。各ステージでの研究内容やゴールを明確に設定することで研究目標の達成を確実なものとする。

#### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

マルチマテリアル車体を実用化するためのコア技術は異材接合であるが、一方で車体としての基本品質や性能の確保も重要な課題である。そこで本研究開発では、異材接合部の電食や熱ひずみの解析手法、さらに軽量化に伴い悪化する振動騒音性能を補完するための最低限の要素技術も同時に確立することを基本方針としている。これによりマルチマテリアル車体の製造技術に留まらず、車体としての品質/性能も確保でき、実用化の確度をさらに高めることができる。

#### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

自動車の燃費規制は温室効果ガスの CO<sub>2</sub> 削減を目的に年々強化されている。当面は 2020 年の欧州 CO<sub>2</sub> 規制（95g/km）への対応が急務となるが、パワートレインの改良だけでは達成が困難であり、車両の大幅な軽量化が不可欠となっている。現行の鋼板を主体とした車体では軽量化が既に限界に達しつつあり、2020 年頃から軽量材料を適材適所に用いたマルチマテリアル化が進行するものと考えられる。提案する二つの異

材点接合技術は、既存の車体組立ラインへの適合性が高く、従来の鋼板製車体とマルチマテリアル車体の混流生産にも展開可能であることから、実用化への期待が大きい。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

車体はプレス成形した部材同士のフランジ部を点接合して組み立てる。本研究では車体組立ラインで多用されている抵抗スポット溶接に置き換え可能な異材点接合技術を開発対象としている。一部に使用されているリベット接合よりも低コストで多様な板組（板厚）に対応できるという利点もあり、マルチマテリアル車体の接合技術として他の接合法に比べて優位にある。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

アルミニウム/異種材料の点接合技術は、自動車産業だけでなく、航空機や鉄道車両、電気機器等の他産業にも展開可能である。また、異材の接合が可能となることから、アルミニウムなどの軽金属や樹脂/CFRP などの需要拡大、さらには素材産業の活性化にも繋がるものと考えられる。

### **2.7.2.6 UACJ（深谷分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

近年、地球環境保護とエネルギー危機の観点から、輸送機器の軽量化が重要になっている。中でも自動車の軽量化には軽量材料への置換が直接的であり、ボディおよび部品の鋼からアルミニウムへの転換、更に樹脂や CFRP への置換も検討されている。ハイブリッド化が進む中、アルミニウム合金の特長を十分に活かした利用と、他素材との接合が大きな課題となっている。本テーマで戦略的に取り組むアルミニウム/CFRP 異材点接合技術は、軽量で自動車メーカーが扱いたかったポリプロピレン樹脂に着目した重ね点継手の製造技術であり、自動車の車体組立ラインへの適合性が高く、技術確立後の速やかな技術普及・浸透見込まれる。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

欧州、北米、アジアの何れでも CO<sub>2</sub> 排出による地球温暖化対策として、中長期的に、具体的目標値を設定した燃費向上検討に取り組んでる。いずれの地域においても目標が必達とされており、自動車業界での軽量化は急務である。

材料置換という軽量化に直接的に影響を与えるために必須とされている異材接合技術は、国内にとどまらず、全世界での普及が見込まれる。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

研究開発計画として、以下を設定している。①H25～H27 年度：研究期間を技術構想の実証、②H28～H29 年度：実部品での性能/効果の検証、③H30～H34 年度：実用化の主要課題解決。各ステージでの研究内容やゴールを明確に設定することで研究目標の達成を確実なものとし、課題に応じた研究体制、および、資金運用の見直しを適宜行い、ベストな実施体制としている。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

車体重量軽量化達成のためにはマルチマテリアル車体の実用化が急務であり、最も効果大きいと期待できるアルミニウム/CFRP の異材点接合技術開発が核となっている。一方で車体としての基本品質や性能の確保も重要な課題である。

そこで本研究開発では、軽量樹脂の中ではアルミとの接合が難しいとされているポリプロピレンに注目し、接合メカニズムの解明、継手の性能評価法、有機皮膜の性能向上、さらに、軽量化に伴い悪化する振動騒音性能を補完するための要素技術の両立させることを基本方針としている。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

欧州、北米、アジアの何れでも CO<sub>2</sub> 排出による地球温暖化対策として、中長期的に、具体的目標値を設定した燃費向上検討に取り組んでる。いずれの地域においても目標が必達とされており、自動車業界での軽量化は急務である。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

アルミと樹脂との異材接合後術における競合技術として、接着剤による接合、副資材による機械的締結などが挙げられる。接着剤による接合では、接着剤の硬化のタイミングや程度の制御が課題とされている。機械的締結では、副資材の圧入時に繊維強化層から破壊してしまうなど、樹脂側のダメージが大きい。以上から、我々が検討している手法は、比較的短時間で安定した継手の性質が得られると考えられる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

軽量化は、自動車産業のみならず、身近な所ではスマートフォンなどを始めとする電気機器、新幹線を代表として高速化が進む鉄道車両業界、航空宇宙産業などでも必要されている。従って、アルミニウム/CFRP 材料の接合を可能にすることで、アルミニウム合金材料や樹脂/CFRP などの複数の業界に亘る需要の拡大をけん引する技術になると考える。

### **2.7.2.7 住友電気工業（伊丹分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

当社が 80 年以上培ってきた切削工具用超硬合金と 30 年以上培ってきた PVD コーティングの開発技術を活かし、実用的なツール性能、ツール寿命を有するフリクションスポット接合（FSJ）ツールを開発する。FSJ ツールの超硬合金素材製造、成形加工、PVD コーティングのプロセスは、切削工具用のプロセスと基本的に同じであるため、開発目標達成後は、切削工具の量産技術を応用し量産技術の確立を図る。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

2020 年の自動車の世界総生産台数は、1 億台に達すると報告されている。衝突安全性の向上や軽量化による燃費向上とそれに伴う CO<sub>2</sub> 排出量削減のため、自動車ボディに占める引張強度 1GPa 以上の超高張力鋼の比率は今後ますます増加する見込みであ

り、2020年において全鋼板中の20%を占めると予測されている。これらの予測に基づき、引張強度1GPa以上の超高張力鋼を対象に既存の抵抗スポット溶接の20%がFSJに置き換わると仮定すると、ツールの市場として1,800億円/年が見込まれる。

また、本プロジェクトで得られた成果の一部を一般鋼板への応用展開することで、さらなるFSJ適用量の増加が見込まれることや、今後自動車生産台数が増加すると予想される新興国への販売展開により、爆発的な市場拡大が期待される。

売上損益に関しては、想定ツールコストに対し、目標ツール寿命が達成できれば、当社が販売している超硬合金製切削工具と同等の損益が確保できる見通しである。

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

本プロジェクト期間中は、切削工具向け超硬合金素材およびPVDコーティングの支援研究を行っている住友電気工業アドバンストマテリアル研究所において、実用的なツール性能（継手強度：1.5GPa 中高炭素鋼接合においてJIS A級）、目標ツール寿命の達成を目指した技術開発と生産プロセスの確立を行う。プロジェクト終了後は、切削工具の製造部門である住友電工ハードメタルおよび生存拠点である関係会社と連携して、プロジェクト終了後2年後を目途に量産技術の確立を図る。

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

実用化・事業化に向けた主な課題は、実用的な継手強度（JIS A級）の達成と実用的なツール寿命の達成の2点である。継手強度については、ツール形状の開発に加え、川崎重工業と共に接合プロセスの最適化、接合プロセス改善により解決を図る。ツール寿命については、耐摩耗性、耐欠損性、耐塑性変形性に優れた超硬合金母材開発と耐酸化性、耐摩耗性、密着性に優れたPVDコーティング開発に加え、川崎重工業と共に接合プロセスの最適化、接合プロセスの改善により解決を図る。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

(1)に記載の通り、自動車ボディにおける超高張力鋼の比率は今後益々増加する予測であり、製造時のCO<sub>2</sub>排出量が少なく、市況変動や供給性に懸念のあるレアメタルの添加量が少ない中高炭素高張力鋼のニーズは非常に高いものと予想される。また、FSJは抵抗スポット溶接に対し消費電力が1/2以下であり、車体製造時のCO<sub>2</sub>排出量削減、省電力というニーズにも応えることが可能である。

### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

現在鋼板接合用に市販もしくは開発されているFSJツールの素材としては、本テーマで開発する超硬合金+PVDコーティング以外に、PCBN（立方晶窒化硼素焼結体）、コバルト基合金、ニッケル基合金、レニウム合金等の高融点金属、窒化珪素がある。PCBNはツール寿命が長く数万打点と予測されるが、価格が約70万円と非常に高価なため、ツールコストは数十円/打点であり、また突発的な欠損で短寿命となる場合があるため信頼性の点で自動車の生産に使うには難があると思われる。高融点金属は耐酸化性が低いため、シールドガスが必要であるという課題があり、超硬合金+PVD

コーティングに比べ耐摩耗性が低く、寿命は短いと予想される。レニウム合金はレアメタルを用いるためツール価格も非常に高価である。窒化珪素は現在市販されているツールは 10 万円と高価であり、成分の珪素が鋼と反応しやすいため、超硬合金+PVD コーティングに比べ耐摩耗性が低く、寿命は短いと予想される。

本テーマで開発する超硬合金+PVD コーティングは、競合ツールに対し低い 1 打点あたりのツールコストを目指しており、これが実現できれば競合するツールに比べコスト面で優位となる。

### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

本テーマで開発した FSJ ツールは、既に自動車ボディに使用されている 270MPa 級の軟鋼から 1.2GPa 級超高張力鋼までの冷延鋼板、およびダイクエンチ鋼の接合にも適用可能と考えられる。また、本テーマで開発した超硬合金素材や PVD コーティングの技術は、切削工具にも応用が可能と考えられる。

FSJ は、抵抗スポット溶接に対し消費電力が 1/2 以下であり、車体製造時の CO<sub>2</sub> 排出量削減、省電力にも貢献できるとともに、ヒュームやチリ、スパッタが発生しないため、製造時の作業環境のクリーン化も期待できる。

#### **2.7.2.8 川崎重工業（神戸東川崎分室）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

当社は軽合金向けの FSJ ロボットを製品化しているが、その適用拡大を狙って比較的難易度が低い既存の高張力鋼（低炭素）を対象とした独自開発を社内ロボット事業部門と行っている。まずは、その開発において自動車メーカーへの装置の供試や協業を通して徐々に市場投入を図り、既存の溶接方法からの転換を進める。本テーマにおいて中高炭素鋼が開発され、次世代の自動車ボディへ採用された後は、その高品質な接合法として FSJ ロボットの本格適用とその浸透を図る。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

今後、自動車の生産台数およびスポット溶接ロボット販売数はともに増加すると予測されている。一方、引張強度が 1.0 GPa 以上の超高張力鋼板が自動車ボディに多量に使われており、その適用量も増加するとされている。高張力鋼板に対応した溶接ロボットは、このような動向に追従する形で販売数が増加していくと推測される。また、今後、自動車生産台数が爆発的に増加すると予想される新興国へも展開することで、市場拡大が期待される。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

中高炭素鋼の FSJ の基本技術を確立した後、自動車メーカーとの協業を通して実用化ステージに移行する。当社は接合部の品質保証方法、生産ラインとの親和性が高い装置の開発を進める。今後、H29 年度末を目標に 1.5 GPa 級鋼板の接合技術を確立し、状況に応じて実用化に向けた取組みへ移行する考えである。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

FSJの実用化では生産性（タクトタイム等）、接合部の品質保証、さらに生産装置として工場ラインへの適合性が重要であるため、自動車メーカーとの協業体制を構築し、ニーズに合致した開発を推し進める。なお、当社は既に軽合金を対象としたFSJロボットを自動車部品の製造ラインに導入しており、その経験・実績も本テーマの開発に活かしていく。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

中高炭素鋼の確立したFSJ技術は既存の高張力鋼板への適用が可能であり、設備的な横展開を図りやすい。今後、そのような実績が増加するに従い、スケールメリットによるコスト低減効果が得られ、また、市場の信頼性獲得へとつながる。国内実績を得ることで、軽量化競争が激化している欧米においてもニーズの積極的な取込みを図る。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

高炭素鋼の溶接では継手強度や靱性確保という点で課題があり、既存の溶接法では高品質な溶接施工は難しい。また、FSWは一般に装置剛性が必要で、設備が大がかりとなるため、自動車ボディの組立てラインへの導入は困難である。一方FSJは、固相接合のため継手性能が安定しており、ロボット化されているため既存ラインの大きな変更を伴わず導入できるという点でメリットが大きい。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

中高炭素鋼が自動車ボディに適用されることで、車体の軽量化による燃費向上およびCO<sub>2</sub>ガス排出量が削減され、CO<sub>2</sub>ガス削減や省電力という社会要請に応えることができる。また、溶接工程における作業環境が大幅に改善されるという利点があり、昨今、工場環境の改善への要求に対応できる。

### **2.7.2.9 新日鐵住金（富津分室、尼崎分室）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

当社は、鋼板の優れた特性を活かした最終製品を目指し、鋼板そのもののユーザ提供のみならず、成形技術、溶接技術など所謂ソリューション技術の提案を進めている。本プロジェクトにおいて、開発された革新的中高炭素鋼に対しても、ユーザが安心して使用できるFSJ接合技術を開発し、革新的中高炭素鋼板とともにソリューション技術を提供し、その実用化を推進する。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

1.5 GPa級の中高炭素鋼を自動車用のピラー、レール類などいわゆる構造部材に用いると約30%の軽量化が可能と試算され、環境問題を背景とした高燃費化（CO<sub>2</sub>排出量の削減）や衝突安全性能の向上要求の高まりから、高張力鋼板の適用量は増加すると予想される。

### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

中高炭素鋼の FSJ の継手強度向上、安定化手法の基礎技術を確認し、自動車メーカーとの協業による実用化検討段階に移行させる。

### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

実用化し得る信頼性の高い中高炭素鋼の FSJ 技術の確立には、その強度発現メカニズムの解明とともに、その結果に基づき、組織制御観点に立った組織、プロセス検討を進める。さらに、平行して、従来接合法とのメリット、デメリットの利害損失を明確化し、中高炭素鋼の優れた特性を活かしきる接合ソリューション技術を確認することにより、中高炭素の適用拡大を図る。

### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

既存の溶融系接合（スポット、レーザ）では、中高炭素鋼への適用は難しく、非溶融接合技術の開発が期待されている。特に、FSJ 接合は、多関節ロボットへの搭載可能、両側からの狭持加圧など、既存スポット溶接との類似も多く、ユーザーニーズが高い。そのスポットとの差異を明確化することにより、実用化の推進を図る。

### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

競合となるスポット、レーザなどは、いずれも溶融溶接であるため、継手強度の確保が困難。また、アークスポットは、ワイヤによる溶接金属の成分改善は可能であるが、簡便性に劣る。

### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

開発された中高炭素鋼が、開発された FSJ 接合技術により、車骨格部材として広く普及されれば、車体の軽量化による燃費向上（CO<sub>2</sub>）削減が可能になるとともに、従来スポット、レーザの課題であるスパッタレスが実現され、溶接工程における作業改善にも貢献する。

## **2.7.2.10 IHI（横浜磯子分室）**

### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

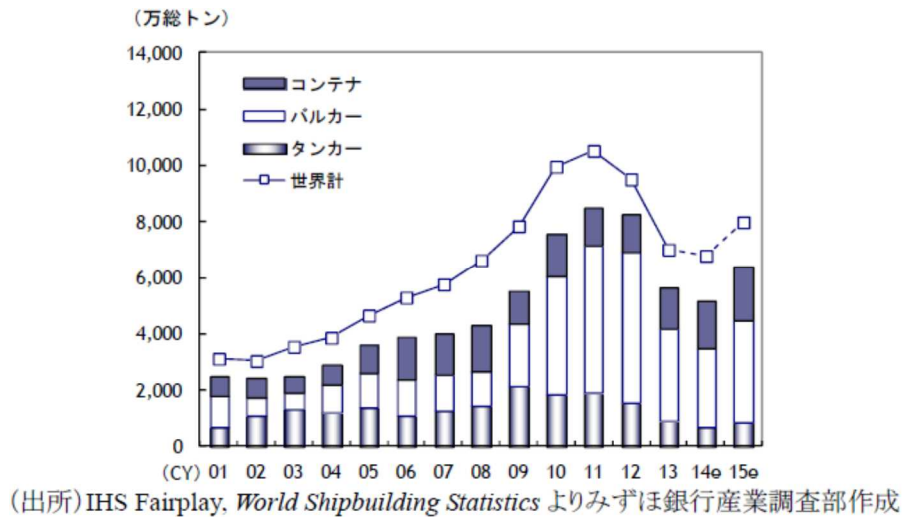
実用化・事業化に向けては日本海事協会等、船級協会での認証が必要となるため、ある程度の基礎技術が確立した段階から、試験項目、結果等の取扱いを協議しながら研究を進めることとする。また、船舶上部構造への適用をいきなり目指すのではなく、上部構造小物部材、ドアパネル、デッキ等へと、段階を追って実用化を目指すこととする。

### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

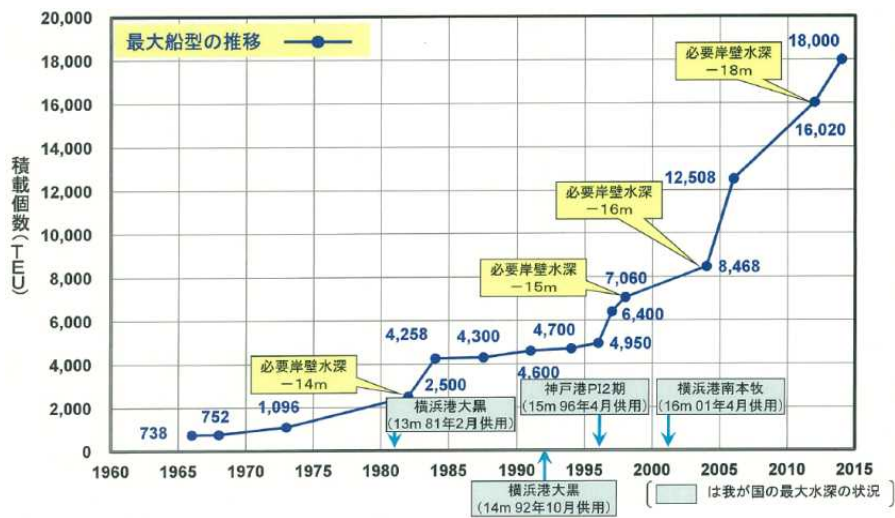
世界の船舶の竣工量は図IV-2.7.2-2 に示すように 2011 年度をピークに減少しているが、その中でコンテナ船は堅調に増加している。コンテナ船に関しては、図IV-2.7.2-3 に示す様に大型化が進んでいる。大型化に伴い船体強度維持の観点から重要構造部際



の厚板化が不可欠となり船体重量の増加およびそれに伴う燃料消費量の増加が課題となっている。図IV-2.7.2-4 に国別の竣工量推移を示すが、日本は中国、韓国に対して竣工量が少なく、現状、市場規模としては、2013 年度実績で世界で 15 兆円、日本では 3.5 兆円程度となる。国内造船業としては、中国、韓国との差別化により受注量を増加させていく必要がある。その中で、上部構造複合部材化による軽量化は、燃費向上、船体性能向上による差別化が可能であり、大きな経済効果を有すると考えられる。

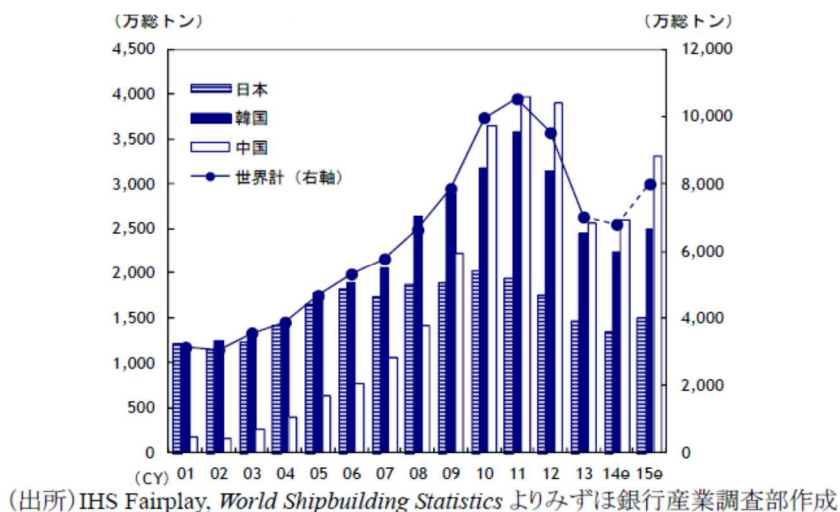


図IV-2.7.2-2 世界の船種別竣工量推移



図IV-2.7.2-3 コンテナ船の積載重量推移

出典：国交省港湾局資料（2013）



図IV-2.7.2-4 国別竣工量推移

### (3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

本技術開発そのものが、構造要素、構造部材、大型構造部材と段階を追って開発を進めていくため、各段階で性能検証が完了した段階から、適用対象を設定して実用化を目指す検討を進める。

### (4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

- ・新構造に対する船級承認取得：  
上述のように、開発段階から船級協会と協議しながら進めることで、理解を得る。
- ・製作コストの低減：  
鋼板の製造・加工コストと比較して、CFRPの製造・加工コストは現状では非常に高く、また大型化における課題もある。この点に関しては、必要とされるCFRPの性能を維持しつつ選択が可能な繊維、樹脂および成形方法も含めて検討を行うと共に、船舶の燃費低減から得られるライフサイクルコストも含めたトータルのコストで評価してもらう。

### (5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

本研究開発にて開発した異種材料複合構造部材は、例えば船舶の上部構造に適用することで10～20%の重量低減が可能であり、それにより燃費向上のみならず低重心化、振動の低減などの性能向上見込まれる。燃費向上による燃料費削減の効果は大きく、船舶のライフサイクルコストを考えると、CFRP適用によるコストアップをある程度回収することが可能と考えられる。また、CO<sub>2</sub>排出量の削減は国際海事機関（IMO）の新設計基準において新造船における段階的な削減が義務付けられており、本技術の適用によりこの点も達成できると考えられる。

### (6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

鋼板のさらなる高強度化による軽量化が考えられるが、現時点では、耐食性と強度、じん性を両立でき、かつ溶接による性能低下が起こらない鋼材は厚板の分野では存在

しないため、複合構造化技術が確立すれば、十分に優位性が確保できる。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

構造複合化による部材の軽量化、構造最適化技術は輸送機器のみならず、海洋構造物、橋梁部材等、インフラ分野においても利用価値が高く、波及効果は大きいと考えられる。

#### **2.7.2.11 日立パワーソリューションズ（日立分室会瀬）**

##### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

今回のプロジェクト推進における開発 FSW 装置をベースに、自動車分野を中心とした接合ニーズの更なる創出を図るとともに、開発技術を応用した FSW 装置の拡販を行ない、将来的には接合条件やツール寿命、さらには予兆診断等までも含めたシステム製品としてソリューションビジネスへの展開を目指す。

##### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

自動車の燃費向上や CO<sub>2</sub> 削減による耐環境性の向上には、重量の低減が必須の条件となる。現在でも自動車メーカー、部品メーカーにおいては部品のアルミ化、高張力鋼板化、一部部品の樹脂化が進展しており、材料接合のための FSW 装置のニーズは今回のプロジェクト推進によりさらに加速されるものと予想され、FSW 装置あるいは接合システムのニーズは飛躍的に拡大していくものと推測する。

##### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

今回のプロジェクトを通して日立分室としてチタン合金用ツール開発を行っており、高炭素鋼用ツールとして供給を開始している。今後もプロジェクト参加の日立グループフォーメーションを強化してツールの長寿命化を目指し、FSW 装置開発と合わせ車の両輪として平成 28 年度末を中間開発年度として技術開発を推進していく。

チタン接合でのツール長寿命化は、高張力鋼板接合技術に通じるため車の高張力鋼板化への対応も視野に入れ開発を推進していく。

##### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

現状のマシニングセンタタイプの FSW 装置は汎用機のため、装置サイズやインライン化対応の観点で最適化されていない。自動化、インライン化を図るためには専用機を開発することが必要である。これを解決する手段として、FSW 装置のロボット化があげられる。一方、接合品質への要求は今後高まることが予想され、この実現のためには接合部温度をコントロールすることが有効であることがわかってきた。従来の接合では入熱量を一定とする接合方法であり、接合部の温度は時間の経過とともに変化し、接合品質の不安定要因となっている。これを解決する手段として、ツール温度を計測し、接合部温度を一定にするために入熱量をコントロールする自動制御技術が有効となる。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

プロジェクトのテーマとして FSW 装置のロボット化を推進することにより、自動車産業を中心とした汎用機化、インライン化ニーズに対応した装置実現が可能となる。

また、ツール温度計測による接合温度制御技術の開発を行ない、FSW 装置への温度制御機能を付加することにより、特にこれから増加していくことが予想される異種材料接合を高品質に実現することが可能となる。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

FSW 接合の温度管理技術として、レーザー加熱、誘導加熱等のハイブリッド FSW 接合技術が知られているが、従来方式ではリアルタイムの温度制御は行っていない。

接合品質の安定化を図るためには有効な制御方法となる。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

アルミ化、高張力鋼板化、さらにはマルチマテリアル化の拡大により、特に軽量化を推進する自動車分野を中心に接合法の一つとして、優れた特徴を持つ FSW 接合法の採用が進展することにより、従来接合が困難であった難接合材の接合が容易となり、製品のトータルコスト低減を図るとともに、ガソリン消費量や CO<sub>2</sub> 排出量の削減が可能となって、製品の耐環境性向上を図ることができる。

また、本プロジェクトに参画することにより、研究者を通じた最先端技術の吸収により、グローバル化するための技術者総合技術レベルの向上を図ることができる。

### **2.7.2.12 日立分室大みか（日立製作所）**

#### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

プラント機器向けのポンプを最初の適用対象製品として、チタンまたはその他の高融点材料の FSW を適用した試作品を作製し、性能等を評価する。これにより、チタンまたはその他の高融点材料の FSW の有用性を実証して、事業化の突破口を切り開く。

#### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

プラント機器向けのポンプ市場は世界規模で 700G¥/年と言われており、海水淡水化プラントは今後も成長すると予測されている。この分野の日本企業のシェアを増加させることで、経済効果が見込まれる。

#### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

日立分室の各拠点で FSW 装置開発、FSW ツール開発、FSW 技術等の要素技術を平成 27 年度中に確立する。これらと同時に平成 27 年度中にビークル製品の実機サイズの実機試作を実施する。

#### **(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

平成 27 年度中に要素技術と平行して実機サイズの実機試作を予定している。短期

間で実施するため、スケジュール調整が課題となる。加速開発予算により、外注等を有効に活用して、開発時間の短縮を図る。

#### **(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

実用化を検討している対象部材は腐食対策が必要であるが、製造技術としての選択肢がないため、溶融溶接で耐食性材料を肉盛している。FSW の適用が可能となれば、製造コスト低減、使用材料の多様化等のメリットがあるため、生産者側のニーズが高い。

#### **(6) 競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

競合技術としてアーク溶接、レーザー溶接等が挙げられる。性能面では FSW は材料を溶かさなため、他の技術では代替できない優位性がある。コスト面では FSW は高コスト化の傾向にあるが、接合材の前処理（寸法精度、洗浄等）、後処理（変形矯正、検査）は FSW の方が作業負荷の軽減が期待できるため、トータルでコストメリットを出せる可能性が高い。

#### **(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

溶融溶接が難しい高融点材料、高機能材料は、有効な接合技術が確立していないため、これらの材料の適用が拡大しない要因と考えられている。本技術の確立により、高機能材料の適用拡大が期待できる。

### **2.7.2.13 日立分室安来第 1（日立金属）**

#### **(1) 実用化・事業化に向けた戦略**

開発された FSW ツール用 Co 合金のマスターインゴットの量産製造技術を開発するため、種々の開発合金のマスターインゴットを実験溶解炉で溶解し、量産を模擬した鋳型に鋳造することにより、製造性の基礎評価を行い、量産時に必要な製造技術を確立する。

#### **(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

チタン、高強度鋼板などの溶接接合が難しい構造材料は、今後、需要の増加が見込まれている航空機、自動車などの輸送機器に使用されるため[Ref.2, 7]、FSW の実用化に伴い FSW ツール需要増加が期待される。これらの新構造材料を実用化するには FSW 等の新接合技術が必要とされる。セラミックス等の高価なツールに比べて安価な Co 合金ツールは FSW 市場の拡大に合わせて伸長することが見込まれ、大きな経済効果が期待される。

#### **(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

現状の日立分室は、合金開発、マスター製造、ツール製造、接合評価、装置開発が一体となった実施体制であり、この体制および計画で実用化に取り組んでいく予定である。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

マスターインゴットおよび精密鑄造によるツールの鑄造組織は、合金組成の影響を受ける。合金開発担当と製造担当の技術者が協力して開発を進めることで良好な組織を有する Co 合金ツールを開発していく。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

FSW 接合の市場ニーズは輸送機器産業を主体に増加してくるものと予想される。また、FSW 技術の知的財産面での制約が解消されれば市場の大きな伸びが期待され、FSW ツールビジネスも大きく伸びるものとする。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

FSW ツールの競合材料はセラミックス、W-Re に代表される耐火合金（Refractory Alloy）等であり、非常に高価な材料である。Co 合金は、これらの既存材料に比べて安価であり、性能面で遜色ない合金が開発できれば優位な材料となり得る。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

FSW 接合技術が普及すれば、今まで接合できなかった種々の材料、異種材料の接合の可能性が開け、材料選択の幅が広がる。今まで使えなかった素材が使用可能となったり、組み合わせの自由度が高まることによる技術的、経済的効果が期待される。また、本開発を通じて、大学、企業、材料技術者、接合技術者、装置技術者との交流により、多様性を許容、活用できる人材育成の効果も期待される。

### **2.7.2.14 日立分室安来第 2（日立メタルプレシジョン）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

Co 合金ツールを納入した顧客からの評価結果を把握した上でツール材質・形状に合った製造条件、加工条件を確立する。ニーズを捉えた販路開拓をし FSW 市場を拡大させる。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

航空機に使用されるチタンは溶融接合すると接合強度が落ちるため、現状では無垢材からの削り出しで加工され 80%が切り屑となっている。そこで当社はチタン系材料の接合が可能な Co 合金ツールを精密鑄造法によりニアネットシェイプなツール形状にし提供することで加工工数、材料費低減等大幅なコストダウンに貢献できると考える。また FSW 接合は現状接合困難な異種材同士の接合が可能であり、今後更なる成長が見込める。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

日立分室は材料開発、インゴット製造、ツール製造、接合評価、装置開発と一貫体制で開発を進めている。開発から評価まで情報を共有化して取組み 2 年毎に見直しをして、開発・マーケティング及び拡販を進めていく。

#### **(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針**

チタン、高強度鋼板などのは、航空機、自動車などの輸送機器に使用されるため [Ref.2, 7]、FSW の実用化に伴い FSW ツールの需要増加が期待できる。これら以外の分野のニーズに関しては、今後、調査する予定である。その過程で顧客の評価結果を取込み、接合材質毎の基礎データを採取しながら顧客ニーズに応じた戦略を策定していく。

#### **(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）**

軽量化に伴い航空機、船舶、ロケット等に多く使用されるチタン材や自動車に多く使用されるハイテン材、異種材同士の接合等のニーズが増加している。また他の接合法との性能差や価格メリットを検証することで、抵抗スポット溶接、熔融接合からの置換えも期待される。

#### **(6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）**

FSW 接合は溶接歪が少なく母材比 95%以上の接合強度を持ち合わせることが可能な優れた接合方法である。当社はチタン系材料の接合等に有望な Co 合金ツールを精密鑄造法によりニアネットシェイプで量産できる体制を持ち現行のセラミックツールと比較すると安価に大量生産することが可能である。

#### **(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）**

マルチマテリアル化で軽量化が必須とされる航空機のチタン材、自動車のハイテン材等に展開されることで FSW 市場が拡大し大きな経済効果が生み出される。本プロジェクトに参画することで、技術レベルを向上させることができ、製造技術確立のための技術者の育成が期待される。

### **2.7.2.15 日立分室平塚（田中貴金属工業）**

#### **(1)実用化・事業化に向けた戦略**

今後のユーザーへのサンプル提供を基に顧客ニーズ及び使用条件を把握し、それらに最適な材料組成を見出す。また、その材料組成に応じた鑄造条件および熱処理、機械加工条件などを探索する。

#### **(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）**

FSW の接合技術が利用される市場としては、自動車や航空機などの輸送機器分野、発電プラントなどのエネルギー分野、海洋構造物等のインフラ分野が挙げられる。

自動車の市場は、米国、欧州及び中国で大きく、米国、欧州の市場は飽和しているものの、中国やインドでは販売台数が大幅な増加が予想されている。

また、エネルギー分野では、新興国の進展により、世界の発電施設容量は、大きく拡大すると予測され、その中でも中核電源となる火力発電は、増加が予測されている。

#### **(3)実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）**

2015年度にユーザーへのサンプル提供を開始し、フィードバックを得る。また、同時に、より高耐久性を持つツール材料の探索を開始する。2016年度はフィードバックを基に材料の改良を進める。同時並行的に進める高耐久性材料は DR1 を 2016年度および 2017年度で実施し製品企画を行う。2018年度には DR2 を実施し製品設計の策定を行う。2019年度から 2020年度にかけて DR3 を実施し実用化に向けた検証を実施する。

#### (4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

市場ニーズやユーザーの求めている条件が不明確であり、FSW ツール材料開発に反映できていない点が最大の問題である。ISMA プロジェクト内での共通評価材料の選定や拠点横断型の幅広いディスカッションを通してニーズの明確化を行うことで、実用化に対して現実性のあるツールの開発が実施できる。

#### (5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

自動車分野では、燃費と安全性を向上する手段として車体の軽量化にしのぎを削っており、超ハイテン、アルミニウム、マグネシウム、CFRP 等の新材料が指向される中、摩擦攪拌接合などの異材接合技術が実用化されており、更なる応用展開に向けて、ツール寿命や信頼性の担保が期待されている。

エネルギー分野では、火力発電等に耐熱素材である Ni 基合金を用いたタービンブレードが、高温運転の環境下で利用されている。そのような環境下で用いられた Ni 基合金の高温割れや再熱割れに対して、摩擦攪拌接合の技術を用いた表面改質による補修が、コストを削減効果として期待されている。

インフラ分野では、特に厳しい腐食環境で使用される海洋構造物において、構造物の長寿命・低コスト防食技術が検討されており、耐腐食性の高い SUS やチタン材料と鋼材とのクラッド構造を得るために、摩擦攪拌接合の利用が期待されている。

#### (6)競合する技術・事業との比較（性能面、コスト面での優位性）

現在開発を進めている Ir 添加 Ni 基超合金ツールの競合として WC ツール、Co 基ツールが挙げられる。これらのツールと比較してコスト面では貴金属が含まれるためイニシャルコストは高くなるが、リサイクル技術および改鋳技術が発達しているため使用後のリサイクルを含めたプロダクトライフを考えることができ、環境面では優位に立つことができると考えられる。一方、性能面では同条件での比較をほとんど行っていないため一概に比較することは困難であるが、各種物性値から考えて接合温度が高くなる炭素鋼およびオーステナイト系ステンレス鋼の接合に適していると考えられる。

#### (7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

摩擦攪拌接合は、ツールを高速回転させながら材料を挿入し、発生する摩擦熱と攪拌によって生じる材料の塑性流動を利用して接合する方法である。接合中の最高到達温度は接合母材の融点より低く、金属を溶解せずに接合できるため、金属間化合物の



生成の抑制や組織の微細化による接合部の強度アップを実現できる。

よって、自動車分野では、燃費と安全性を両立した軽量化に貢献でき、エネルギー分野やインフラ分野でも、素材の長寿命やコスト削減に貢献できる。

人材育成面では、当社の若手社員を本プロジェクトに主体的に参画する経験を通じて、将来当社を率いる中核的な人材に成長することが期待できる。

#### **2.7.2.16 新日鐵住金（富津分室、尼崎分室）**

FS研究終了後、その接合メカニズムが把握され、実用化可能レベルの継手強度が得られた場合は、4年目以降、実用化を視野に入れたプロセス研究開発を改めて検討する。

市場動向としては、一部の車種では、蓋物（薄板、非強度部材）を対象に、AI、CFRP などへの軽量材料への置換が既に見られ、骨格部材への適用も検討されつつある。ここでは、車体の主たる構成材料である鋼と機械的な接合法や接着等の工法がなされているが、汎用的かつ信頼性の高いマルチマテリアル接合技術に対する開発ニーズは大きい。

V. 成果資料（共同研究、再委託研究も含む）

1. テーマ1 「革新鋼板の開発」

表V-1-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	10	2	0	0	0	8	9	1	0	0	1	5
合計	10	2	0	0	0	8	9	1	0	0	1	5

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

1.1 特許

（非公開）

1.2 論文

[テーマ番号 22] 残留 $\gamma$ 高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
特に無し。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
特に無し。

### 1.3 その他外部発表

#### (a)学会発表・講演

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	杉山昌章	新日鐵住金	In situ Observation of Reverse Transformation	18 <sup>th</sup> International Microscopy Conference	2014/09/09

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	吉田康紀,宮本吾郎,古原忠	東北大学	オーステナイト逆変態に及ぼす合金元素の影響	日本鉄鋼協会 学生鉄鋼セミナー	2014/11/19
2	田中裕二,山下孝子,名越正泰	JFE スチール	鋼中微細組織に対応した微量炭素の定量分析	日本鉄鋼協会 第169回春季講演大会	2015/3/19
3	吉田康紀,宮本吾郎,古原忠	東北大学	オーステナイト逆変態に及ぼす合金元素の影響	日本鉄鋼協会 第169回春季講演大会 学生ポスターセッション	2015/3/19

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	J. P. Du, S. Ogata	Osaka Univ.	Molecular dynamics study of diffusion bonding bcc/fcc interface	The 9th International Conference on Computational Physics, Singapore (ICCP9)	2015/1/7-11
2	T. Q. Nguyen, H. Kimizuka, and S. Ogata	Osaka Univ.	Atomistic Modeling of Hydrogen-Vacancy-Carbon Interactions in Alpha Iron	The 9th International Conference on Computational Physics (ICCP9)	2015/1/7-11
3	J. P. Du, S. Ogata	Osaka Univ.	Atomistic study of the effect of temperature on diffusion bonding between bcc and fcc metals	The 9th Asian Consortium on Computational Materials Science - Virtual Organization (ACCMS-VO) General Meeting	2014/12/20-22

4	T. Q. Nguyen, H. Kimizuka, and S. Ogata	Osaka Univ.	Hydrogen-Vacancy-Carbon Formation in BCC Iron: First- Principles Study	The 9th Asian Consortium on Computational Materials Science - Virtual Organization (ACCMS-VO) General Meeting	2014/12/20-22
---	---	----------------	--	---	---------------

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
特に無し。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	JFE スチール・NEDO・ISMA	世界最高精度の炭素定量分析装置を開発 自動車用高強度鋼半の開発促進	鉄鋼通信	2015/1/14
2	JFE スチール・NEDO・ISMA	炭素分析精度 10 倍に (新 FE-EPMA 装置を開発)	産業新聞	2015/1/15
3	JFE スチール・NEDO・ISMA	炭素定量分析の精度 10 倍以上 ハイテン開発迅速化に期待	日本金属通信	2015/1/15
4	JFE スチール・NEDO・ISMA	炭素分析装置 精度 10 倍 高張力鋼に活用	日経産業新聞	2015/1/15
5	JFE スチール・NEDO・ISMA	炭素濃度分析 精度 10 倍 ハイテン開発迅速化	日刊工業新聞	2015/1/15
6	JFE スチール・NEDO	JFE スチール炭素分析装置を開発	フジサンケイビジネスアイ	2015/1/15
7	JFE スチール・NEDO・ISMA	炭素定量分析装置を開発 世界最高精度 車用鋼板の高度化に活用	鉄鋼新聞	2015/1/15
8	JFE スチール・NEDO・ISMA	共同で炭素定量分析装置 精度は従来の 10 倍	日刊自動車新聞	2015/1/16
9	JFE スチール・NEDO・ISMA	鉄鋼材料の炭素含有量 0.01%レベル で定量分析 世界最高精度の FE-EPMA 開発	科学新聞	2015/1/16

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
特に無し。

### (c)プレス発表

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
特に無し。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

番号	所属	タイトル	発表形式	発表年月
1	NEDO, ISMA, JFE スチール)	世界最高精度 0.01%レベルの炭素定量分析装置「FE-EPMA」を開発	共同ニュースリリース 投げ込み形式	2015/01/14

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
特に無し。

### (d)その他

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
特に無し。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
特に無し。

#### 1.4 展示会への出展

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
特に無し。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
特に無し。

#### 1.5 受賞

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
特に無し。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	東北大学・吉田康紀	オーステナイト逆変態に及ぼす合金元素の影響	日本鉄鋼協会 第169回春季講演大会 学生ポスターセッション 努力賞	2015/3/19

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
特に無し。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
特に無し。

## 1.6 フォーラム

### [テーマ番号 22] 残留 $\gamma$ 高度制御革新鋼板の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

## 2.テーマ2 「革新的アルミニウム材の開発」

表 V-2-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	4	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	3
合計	4	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	3

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### 2.1 特許

（非公開）

### 2.2 論文

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
特に無し。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。



## 2.3 その他外部発表

### (a)学会発表・講演

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	木村航 久米裕二 小橋眞 金武直幸	名古屋大学	7000 系 Al 合金鋳造材の組織微細化に及ぼす圧縮ねじり回転数の影響	第 65 回塑性加工連合後援会	2014/10
2	木村航 久米裕二 小橋眞 金武直幸	名古屋大学	圧縮ねじり加工による 7000 系アルミニウム合金鋳造材の組織微細化と機械的特性	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11
3	佐々木勝郎 <sup>1</sup> 戸田裕之 <sup>1</sup> 坂口信人 <sup>2</sup> 渡辺良夫 <sup>2</sup> 上杉健太郎 <sup>3</sup> 竹内晃久 <sup>3</sup> 鈴木芳生 <sup>3</sup>	1 九州大学 2 UACJ 3 高輝度光科学研究センター	7150 アルミニウム合金の力学特性におよぼす水素マイクロポアの影響	軽金属学会第 126 回春期大会	2014/05/17
4	吉村卓郎 <sup>1</sup> 戸田裕之 <sup>1</sup> 坂口信人 <sup>2</sup> 渡辺良夫 <sup>2</sup> 上杉健太郎 <sup>3</sup> 竹内晃久 <sup>3</sup> 鈴木芳生 <sup>3</sup>	1 九州大学 2 UACJ 3 高輝度光科学研究センター	7150 アルミニウム合金の力学特性におよぼす水素マイクロポアの影響	日本材料学会第 63 期学術講演会	2014/05/18
5	多田雄貴 <sup>1</sup> 戸田裕之 <sup>1</sup> 坂口信人 <sup>2</sup> 渡辺良夫 <sup>2</sup> 上杉健太郎 <sup>3</sup> 竹内晃久 <sup>3</sup> 鈴木芳生 <sup>3</sup>	1 九州大学 2 UACJ 3 高輝度光科学研究センター	7000 系アルミニウム合金の破壊における水素マイクロポアの影響	軽金属学会第 126 回春期大会	2014/05/18
6	吉村卓郎 <sup>1</sup> 戸田裕之 <sup>1</sup> 上杉健太郎 <sup>2</sup> 鈴木芳生 <sup>2</sup> 竹内晃久 <sup>2</sup> 坂口信人 <sup>3</sup>	1 九州大学 2 高輝度光科学研究センター 3 UACJ	高 Zn7000 系合金の晶出物が損傷破壊に及ぼす影響	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/15

	渡辺良夫 <sup>3</sup>				
7	佐々木勝郎 <sup>1</sup> 戸田裕之 <sup>1</sup> 上杉健太郎 <sup>2</sup> 鈴木芳生 <sup>2</sup> 竹内晃久 <sup>2</sup>	1 九州大学 2 高輝度光科学 研究センター	7075 アルミニウム合金における 水素脆化挙動の3D/4D解析	軽金属学会第127回秋期 大会	2014/11/16
8	多田雄貴 <sup>1</sup> 戸田裕之 <sup>1</sup> 坂口信人 <sup>2</sup> 渡辺良夫 <sup>2</sup> 上杉健太郎 <sup>3</sup> 竹内晃久 <sup>3</sup> 鈴木芳生 <sup>3</sup>	1 九州大学 2 UACJ 3 高輝度光科学 研究センター	高 Zn7000 系アルミニウム合金の 破壊に対する固溶水素量の影響	軽金属学会第127回秋期 大会	2014/11/16

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
特に無し。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。

**(c)プレス発表**

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
特に無し。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。

#### **(d)その他**

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
特に無し。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。

#### **2.4 展示会への出展**

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
特に無し。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。

#### **2.5 受賞**

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
特に無し。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
特に無し。

## 2.6 フォーラム等

### [テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### 3.テーマ3 「革新的マグネシウム材の開発」

表 V-3-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	0	0	0	1	0	1	0	0	0	3	0	0
H26FY	2	0	0	1	0	28	5	0	2	5	5	6
合計	2	0	0	2	0	29	5	0	2	8	5	6

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

#### 3.1 特許

（非公開）

#### 3.2 論文

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価  
特に無し。

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	T.Ito <sup>1</sup> , M.Noda <sup>2</sup> , H.Mori <sup>3</sup> , Y.Gonda <sup>1</sup> , Y.Fukuda <sup>1</sup> , S.Yanagihara <sup>1</sup> ,	1 Gonda Metal Industry Co., Ltd. 2 Chiba Institute of Technology 2 Railway Technical Research Institute	Effect of antigravity suction casting parameters on microstructure and mechanical properties of Mg- 10Al- 0.2Mn-1Ca cast alloy	Materials Transactions, 55(2014), 1184- 1189.	有	2014/6/13 (Advance View)
2	Naoto Sakai <sup>1</sup> , Kunio funami <sup>1</sup> , Masafumi Noda <sup>1</sup> , Hisashi Mori <sup>2</sup> ,	1 Chiba Institute of Technology 2 Railway Technical Research Institute	Effect of Ca Addition on the High-Temperature Deformation Behavior of AZ31 Magnesium Alloy	Proceedings of THE 8 <sup>TH</sup> PACIFIC RIM INTERNATIONAL CONGRESS ON ADVANCED MATERIALS AND PROCESSING ( ISBN 978-0- 470-94309-0)	有	2013/8/4

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発  
特に無し。

### 3.3 その他外部発表

#### (a)学会発表・講演

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	駒井浩	日本マグネシウム協会	マグネシウム需要動向と海外調査の報告	日本マグネシウム協会主催講演会第 22 回マグネシウム技術研究発表会	2014/06/16
2	駒井浩	日本マグネシウム協会	マグネシウム需要動向と海外調査の報告	日本マグネシウム協会主催講演会第 23 回マグネシウム技術研究発表会	2014/06/27
3	小原久	日本マグネシウム協会	国内外における難燃性マグネシウム合金の技術開発動向	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
4	鈴木一孝, 斎藤尚文, 黄新ショウ, 湯浅元仁, 千野靖正	産業技術総合研究所	示差熱分析装置を用いたマグネシウム合金の発火温度測定	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
5	斎藤尚文, 鈴木一孝, 千野靖正, 伊藤友美, 福田祐太, 権田善夫	産業技術総合研究所、権田金属工業	難燃性マグネシウム合金鑄造材の圧延特性および機械的特性に及ぼす主要元素濃度の影響	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
6	黄新ショウ, 千野靖正, 上田祐規, 井上正士, 松本敏治	産業技術総合研究所、不二ライトメタル、戸畑製作所	AZX912 マグネシウム合金押出材の機械的特性に及ぼす組織・集合組織の影響	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
7	井上正士, 上田祐規, 松本敏治, 春山康徳, 千野靖正, 黄新ショウ	不二ライトメタル、戸畑製作所、産業技術総合研究所	Al, Ca 添加量が難燃性マグネシウム合金の組織と機械的特性に及ぼす影響	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
8	中田大貴, 松本拓也, 鎌土重晴, 河部望, 吉田克仁, 弘栄介	長岡技術科学大学、住友電気工業	Mg-Ca-Mn 合金圧延材のミクロ組織および機械的性質に及ぼす Al 添加量の影響	軽金属学会第 127 回秋期大会	
9	清水和紀, 松本泰誠, 岩川博昭, 花木悟, 鎌土重晴	三協立山、長岡技術科学大学	希薄 Mg-Al-Ca-Mn 系合金による高速押出加工	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16

10	中田大貴,安嶋龍太, 鎌土重晴,松本泰誠, 清水和紀,花木悟	長岡技術科学大 学、三協立山	微量な Zn 添加による希 薄 Mg-Al-Ca-Mn 系合金押 出し材の高強度化	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
11	Ma Lan,佐々木泰祐, 宝野和博	物質・材料研究機 構	Mg-9Al-1Zn 合金の組織と 特性に及ぼす Ca 添加の 影響	(一社)日本マグネシウム 協会 マグネシウム合金高速車 両構体実用化技術委員会	2014/11/16
12	小原久	日本マグネシウム 協会	国内外における難燃性マ グネシウム合金の技術開 発動向	(一社)日本マグネシウム 協会マグネシウム合金高 速車両構体実用化技術委 員会第 24 回技術委員会	2014/12/11

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	伊藤 友美 <sup>1</sup> , 福田 裕太 <sup>1</sup> , 森 久史 <sup>2</sup> , 野田 雅史 <sup>3</sup> ,	1 権田金属工業 2 鉄道総合技術研 究所 3 千葉工業大学	難燃性マグネシウム合金 の機械的性質に及ぼす 製造組織と圧延条件の 影響	日本金属学会 2014 年春 季講演大会	2014/3/23
2	福田 裕太 権田 善夫 伊藤 友美 柳原 理	権田金属工業	難燃性マグネシウム合金 の製造プロセス及び圧 延特性	平成 26 年度塑性加工春 季講演会	2014/6/7
3	清水 和紀 <sup>1</sup> 松本 泰誠 <sup>1</sup> 岩川 博昭 <sup>1</sup> 花木 悟 <sup>1</sup> 鎌土 重晴 <sup>2</sup>	1 三協立山 2 長岡技科大	希薄 Mg-Al-Ca-Mn 系合金 による高速押出加工	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
4	中田 大貴 <sup>1</sup> 安嶋 龍太 <sup>1</sup> 松本 泰誠 <sup>2</sup> 清水 和紀 <sup>2</sup> 花木 悟 <sup>2</sup> 鎌土 重晴 <sup>1</sup>	1 長岡技術科学大 学 2 三協立山	微量な Zn 添加による希 薄 Mg-Al-Ca-Mn 系合金押 出し材の高強度化	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
5	伊藤 友美 <sup>1</sup> , 福田 裕太 <sup>1</sup> , 柳原 理 <sup>1</sup> , 権田 善夫 <sup>1</sup> , 野田 雅史 <sup>1</sup> , 森 久史 <sup>2</sup>	1 権田金属工業 2 鉄道総合技術研 究所 3 千葉工業大学	難燃性マグネシウム合金 の塑性加工性向上に及 ぼす製造初期組織の影 響	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
6	福田 裕太 <sup>1</sup> , 伊藤 友美 <sup>1</sup> , 早川 佳伸 <sup>1</sup> , 権田 善夫 <sup>1</sup> , 野田 雅史 <sup>1</sup> , 森 久史 <sup>2</sup>	1 権田金属工業 2 鉄道総合技術研 究所	反重力 casting で作製され た難燃性マグネシウム 合金の金属組織及び機 械的特性に及ぼす圧延 条件の影響	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
7	斎藤 尚文 <sup>1</sup> , 鈴木 一孝 <sup>1</sup> , 千野 靖正 <sup>1</sup> , 伊藤 友美 <sup>2</sup> , 福田 裕太 <sup>2</sup> , 権田 善夫 <sup>2</sup>	1 産業技術総合研 究所 2 権田金属工業	難燃性マグネシウム合金 casting 材の圧延特性お よび機械的特性に及ぼ す主要合金元素濃度の 影響	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	中田大貴 <sup>1)</sup> 鎌土重晴 <sup>1)</sup> 弘栄介 <sup>2)</sup> 吉田克仁 <sup>2)</sup> 河部望 <sup>2)</sup>	1) 長岡技術科学 大学 2) 住友電気工業	Mg-Ca-Mn 合金圧延材の ミクロ組織および機械的 性質に及ぼす Al 添加量の 影響	軽金属学会第 127 大会	2014/11/16

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	上田祐規	不二ライトメタル	Al,Ca 添加量が難燃性マ グネシウム合金の組織と 機械的特性に及ぼす影響	軽金属学会第 127 回大会	2014/11/ 16

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	西水 貴洋、伊藤 恵 介、宮下 幸雄	長岡技術科学大学	Mg-Al-Zn-Ca 系合金押 出材の母材と TIG 溶接継 手の疲労強度特性	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
2	瀧川 順庸、上田 光 二、木ノ本裕、上杉 徳照、辻川 正人、東 健司	木ノ本伸線、大阪 府立大学	難燃性マグネシウム合金 の MIG 溶接	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
3	味原 颯大、松下 遼、 瀧川 順庸、上杉 徳照 、東健司、上田 光二 、木ノ本裕	大阪府立大学、木 ノ本伸線	難燃性マグネシウム合金 MIG 溶接体の欠陥形成お よび継手強度に及ぼす溶 接条件の影響	一般社団法人軽金属学会 平成 26 年度関西支部若 手研究者・院生研究発表 会（ポスター発表）	2014/12/26
4	上路 林太郎、河隅 海、藤井 英俊、釜井 正善、森貞好昭、石 川 武、橋本 健司	大阪大学、総合車 両製作所	超音波 TIG 溶接されたマ グネシウム合金溶接部の 気孔欠陥と組織	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16
5	河隅 海、上路 林太 郎、森貞好昭、藤 井 英俊、釜井 正善	大阪大学	Suppression of Weld Defects by Ultrasonic Tungsten Inert Gas Welding of AZ31 Magnesium Alloys	The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation(VISUAL- JW2014) にて口頭発表	2014/11/28
6	長谷 貴之、川 智 明、染川 英俊、 向井 敏 司	神戸大学、物質材 料研究機構	カルシウム添加 Mg- Al-Zn 合金の破壊韌 性	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
7	行武 栄太郎	茨城県工業技術セ ンター	摩擦攪拌接合による難燃 性マグネシウム合金の接 合条件の最適化	軽金属学会第 127 回秋期 大会	2014/11/16



8	伊藤海太	東京大学	AE 法による難燃性マグネシウム合金の摩擦攪拌接合中のリアルタイム欠陥検出	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/16
---	------	------	---------------------------------------	------------------	------------

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価  
特に無し。

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	千葉工業大学 鉄道総合技術研究所 権田金属工業	「圧延加工により高強度化した Mg 合金および Al 合金の機械的特性と成形性」	日本機械学会 機会材料・材料加工部門 ニュースレター	2014/5
2	権田金属工業	難燃性マグネシウム合金のプレス材の開発	素形材 Vol. 56, No. 1, p. 28.	2015/1
3	権田金属工業 鉄道総合技術研究所	ガスバブリング鋳造法による難燃性マグネシウム合金の開発	材料 Vol. 64, No. 3, p. 245.	2015/3/15

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	大阪大学、総合車両製作所	難燃性マグネシウム合金の超音波 TIG 溶接技術の開発	日刊工業新聞	2015/1/26
2	木ノ本伸線	難燃性マグネシウム合金製 MIG 溶接ワイヤ	アルトピア Vol.45 No.2	2015/2/15

**(c)プレス発表**

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価  
特に無し。

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討  
特に無し。

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発  
特に無し。

**(d)その他**

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価  
特に無し。

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	所属・氏名	タイトル	発表形式	発表年月
1	三協立山・清水 和紀	希薄 Mg-Al-Ca-Mn 系合金による高速押出加工	日本 Mg 協会第 24 回 Mg 合金高速車両構体実用化技術委員会での口頭発表	2014/12/11
2	権田金属工業・野田 雅史	難燃性マグネシウム合金の鑄造組織と圧延加工が機械的特性に及ぼす影響	日本 Mg 協会第 24 回 Mg 合金高速車両構体実用化技術委員会での口頭発表	2014/12/11

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発  
特に無し。

### 3.4 展示会への出展

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価  
特に無し。

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	所属	展示会名	出展形式	開催年月日
1	権田金属工業	Asian Symposium Magnesium Alloy	パネル・サンプル	2013/10/7～8
2	権田金属工業	第 64 回塑性加工連合講演会内展示	パネル・サンプル	2013/11/1～3
3	権田金属工業	第 5 回国際マグネシウム展	パネル・サンプル	2013/11/6～8
4	三協立山	第 1 回高機能金属展～メタルジャパン	サンプル	2014/4/16～18
5	権田金属工業	第 1 回高機能金属展～メタルジャパン	パネル・サンプル	2014/4/16～18
6	三協立山	第 1 回関西高機能金属展～メタル大阪	サンプル	2014/9/24～26
7	権田金属工業	第 1 回関西高機能金属展～メタル大阪	パネル・サンプル	2014/9/24～26
8	権田金属工業	第 6 回日本マグネシウム展	パネル・サンプル	2014/10/15～17

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発  
特に無し。

### 3.5 受賞

#### [テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	物質材料研究機構・佐々木泰祐	工業材料部門	日本金属学会 奨励賞	2014/09/24
2	物質材料研究機構・佐々木泰祐	マルチスケール組織解析による熱処理型高強度展伸マグネシウム合金の開発	軽金属学会 奨励賞	2014/11/15

#### [テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	権田金属工業・伊藤	日本マグネシウム協会 奨励賞	日本マグネシウム協会 平成 25 年度（第 17 回）奨励賞	2014/6/18
2	千葉工業大学・野田雅史 千葉工業大学・酒井直人 千葉工業大学・船見国男 鉄道総合技術研究所・森久史 JR 東日本・藤野謙司	Mg-3Al-1Zn-1Ca 合金の圧延加工による結晶粒微細化と高強度化	日本塑性加工学会 平成 26 年度日本塑性加工学会論文賞	2014/6
3	千葉工業大学・野田雅史 千葉工業大学・船見国男 鉄道総合技術研究所・森久史 権田金属工業・権田善夫	圧延加工により高強度化した Mg 合金および Al 合金の機械的特性と成形性	日本機械学会 機会材料・材料加工部門 第 91 期部門表彰 優秀講演論文部門	2014/9

[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発  
特に無し。

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発  
特に無し。

### 3.6 フォーラム等

#### [テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

#### [テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

#### [テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

#### [テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

#### [テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

#### [テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

#### 4.テーマ4 「革新的チタン材の開発」

表V-4-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳）

【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	3
合計	10	0	0	0	0	10	0	0	0	0	0	3

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

#### 4.1 特許

（非公開）

#### 4.2 論文

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

### 4.3 その他外部発表

#### (a)学会発表・講演

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	阿部賢太	大阪大学 大学院	純チタン板の冷間圧延における ロールコーティングの形成	第 65 回塑性加工連合 講演会	2014/10/11

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	Yuka Yamanaka, Taiki Morishige and Toshihide Takenaka	関西大学	Electrochemical Behavior of Ti in Molten Fluoride- Oxide System	2014 ECS and SMEQ Joint International Meeting (19th International Symposium of Molten Salts and Ionic Liquids 19). ECS Transactions, 64(4), 275-283 (2014).	2014/10/7
2	山中優佳, 森 重大樹, 竹中 俊英	関西大学	高温フッ化物熔融塩中での溶質 と Ti 還元反応の関係	第 46 回熔融塩化学討 論会, 要旨集, 11-12 頁	2014/11/13
3	下川翔, 山中 優佳, 森重大 樹, 竹中俊英	関西大学	高温フッ化物熔融塩中での Ti 還元反応におよぼす溶質の影響	日本金属学会 2015 年 度春季大会	2015/3/18
4	○羽田大将、 野口宏海、夏 井俊悟、菊地 竜也、鈴木亮 輔	北海道大 学	熔融塩電解を用いた CaTiO <sub>3</sub> の 還元	日本鉄鋼協会第 168 回秋季講演大会ポス ター (講演要旨集)	2014/9/24-26
5	○羽田大将、 野口宏海、夏 井俊悟、菊地 竜也、鈴木亮 輔	北海道大 学	CaCl <sub>2</sub> -CaO 熔融塩電解によるチ タン酸化物の還元とカソードガ ス発生	第 46 回熔融塩化学討 論会 (電気化学会溶 融塩委員会) パワー ポイント、紙 (講演 要旨集)	2014/11/13
6	○野口宏海、 羽田大将、夏 井俊悟、菊地 竜也、鈴木亮 輔	北海道大 学	CaCl <sub>2</sub> -CaO 熔融塩電解による CaTiO <sub>3</sub> の還元とカソード電極形 状	第 46 回熔融塩化学討 論会 (電気化学会溶 融塩委員会) パワー ポイント、紙 (講演 要旨集)	2014/11/13
7	○羽田大将、 野口宏海、夏 井俊悟、菊地 竜也、鈴木亮 輔	北海道大 学	CaCl <sub>2</sub> -CaO 熔融塩電解を用いた 酸化物還元とアノードガス制御	電気化学会第 82 回大 会ポスター (講演要 旨集)	2015/3/15-17
8	Yuuki Yamada, Akihiro Kishimoto, Tetsuya Uda	京都大学	Electrodeposition Mechanism of Titanium in NaCl-KCl (Poster presentation)	Joint Symposium on Materials Science and Engineering for the Next Generation	2014/6/24
9	Yuuki Yamada, Akihiro Kishimoto, Tetsuya Uda	京都大学	Electrodeposition Mechanism of Titanium in NaCl-KCl (Poster presentation)	10th Workshop on Reactive Metal Processing	2011/5/20



[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

**(c)プレス発表**

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

**(d)その他**

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

**4.4 展示会への出展**

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

#### 4.5 受賞

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
特に無し。

#### 4.6 フォーラム等

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

## 5.テーマ5 「革新炭素繊維基盤技術開発」

表V-5-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年8月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	3	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0
H26FY	5	0	3	5	0	15	3	0	0	0	1	2
合計	8	0	3	5	0	27	3	0	0	0	1	2

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### 5.1 特許

（非公開）

### 5.2 論文

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	松尾剛,影山和郎	東京大学	熱可塑性 CFRP の繊維方向圧縮破壊メカニズムに関する一考察	日本複合材料学会誌 Vol. 40 No. 3	有	2014/5
2	諸星圭祐, 藤田和宏, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験（その3）－横方向圧壊試験に及ぼす圧子サイズの影響－	材料試験技術 59 巻 3 号 142 頁	有	2014/7
3	松尾剛、影山和郎	東京大学	熱可塑性 CFRP の繊維方向圧縮強度の温度依存性に関する一考察	日本複合材料学会誌 Vol. 40 No. 5	有	2014/9
4	杉本慶喜, 岩下哲雄, 影山和郎	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による評価試験（その4）－軸方向圧縮試験－	材料試験技術 60 巻 1 号 52 頁	有	2015/1
5	Daichi Wada, Jun-ichi Sugiyama, Hiroaki Zushi, Hideaki Murayama	東京大学	An optical fiber sensing technique for temperature distribution measurements in microwave heating	Measurement Science and Technology	有	2015/5 Accepted.

## 5.3 その他外部発表

### (a)学会発表・講演

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	藤田和宏, 小島実希子, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験(その2)ーねじり試験ー	第256回材料試験技術シンポジウム	2013/7/31
2	岩下哲雄, 諸星圭祐, 永井英幹, 藤田和宏	産業技術総合研究所	炭素繊維強化熱可塑性プラスチック用炭素繊維の評価試験	産業技術総合研究所 計測フロンティア研究部門第10回シンポジウム	2013/9/6
3	K. Higuchi, H. Watanabe, N. Yamada, N. Iwashita	産業技術総合研究所産総研	Temperature dependence of emissivity and electrical resistivity of carbon fiber	日本鉄鋼協会第166回秋季講演大会	2013/9/18
4	K. Higuchi, H. Watanabe, N. Yamada, N. Iwashita	産業技術総合研究所	Emissivity and Electrical Resistivity Measurements of Carbon Fiber	The 10th Asian Thermophysical Properties Conference	2013/10/2
5	諸星圭祐, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の横方向圧縮特性	日本学術振興会 第117委員会	2013/11/15
6	諸星圭祐, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の横方向圧縮特性の評価手法の開発	第40回炭素材料学会年会	2013/12/5
7	羽鳥浩章	産業技術総合研究所	溶媒可溶性芳香族高分子を出発物質とする炭素繊維の製造	平成25年度繊維学会年次大会	2013/6
8	入澤寿平, 曾根田靖, 児玉昌也, 羽鳥浩章	産業技術総合研究所	CARBONIZATION BEHAVIOR OF FIBERS FROM SOLVENT-SOLUBLE AROMATIC POLYMERS	The Annual World Conference on Carbon, Carbon2013	2013/7/15
9	羽鳥浩章	産業技術総合研究所	新規前駆体高分子を原料とする炭素繊維の製造	第44回繊維学会夏季セミナー	2013/8/9
10	羽鳥浩章, 入澤寿平, 曾根田靖, 吉澤徳子, 児玉昌也	産業技術総合研究所	芳香族高分子を前駆体とする炭素繊維の製造	日本学術振興会産学協力研究員会 炭素材料第117委員会第308回委員会	2013/11
11	入澤寿平, 杉本慶喜, 曾根田靖, 児玉昌也, 羽鳥浩章	産業技術総合研究所	溶媒可溶性芳香族高分子繊維前駆体炭素繊維の構造と引張特性	第40回炭素材料学会年会	2013/12/3
12	羽鳥浩章, 曾根田靖, 吉澤徳子, 児玉昌也	産業技術総合研究所	人とエネルギーの未来を支える軽量構造材料ー革新炭素繊維ー	エネルギー技術シンポジウム2013	2013/12/6
13	羽鳥浩章	産業技術総合研究所	Carbon Fibers from Aromatic Polymer Precursors	招待講演 Carbon2014	2014/6/30
14	諸星圭祐, 藤田和宏, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験(その3)ー横方向圧壊試験に及ぼす圧子サイズの影響ー	第260回材料試験技術シンポジウム	2014/7/25
15	樋口健介, 渡辺博道, 山田修史, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	Development of Thermal Expansion Measurement System for Carbon Fib	The 20th European Conference on Thermo-physical Properties	2014/8/30
16	永井英幹, 諸星圭祐, 藤田和	産業技術総合研究所	炭素繊維単繊維横方向圧縮試験のFEM解析	計測フロンティア研究部門第11回シンポジウム	2014/9/5

	宏, 岩下哲雄				
17	金井誠, 和田大地, 大沢勇, 影山和郎, 圖子博昭, 鈴木貴也	東京大学	ピンホール治具を用いた単繊維の引き抜き試験法の開発	第 39 回複合材料シンポジウム	2014/9/18
18	杉本慶喜, 入澤寿平, 岩下哲雄, 影山和郎	東京大学 産業技術総合研究所	Assessment of axial compression property of single carbon fiber	ISF2014	2014/9/29
19	富田奈緒子, 杉本慶喜, 曾根田靖, 吉澤徳子, 児玉昌也, 羽鳥浩章	産業技術総合研究所	芳香族高分子繊維を前駆体とする炭素繊維の力学特性と構造	第 41 回炭素材料学会年会	2014/12/9
20	佐藤 (帝人株式会社) (連名者) 齋藤、鈴木、圖子、村山	東京大学 (帝人)	ポリアクリロニトリル繊維の熱処理過程における SAXS/WAXD その場解析 (2)	第 4 回 FSBL 成果報告会	2015/1/9
21	諸星圭祐, 岩下哲雄, 藤田和宏	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その10) - 三点曲げ試験 -	第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/5
22	杉本慶喜, 藤田和宏, 岩下哲雄, 塩谷正俊, 影山和郎	東京大学 産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験(その11)-炭素繊維の到達可能強度の評価-	第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/5
23	藤田和宏, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その12) -ねじり弾性率に及ぼす直径計測の影響-	第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/5
24	永井英幹, 藤田和宏, 岩下哲雄	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その13) - 横方向圧縮による断面の弾塑性変形-	第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/5
25	渡辺博道, 樋口健介, 岩下哲雄, 山田修史	産業技術総合研究所	炭素繊維の単繊維による特性評価試験 (その14) - 炭素繊維の熱膨張係数の温度依存性-	第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/5
26	松尾剛、影山和郎	東京大学	熱可塑性 CFRP のための繊維方向曲げ試験法の提案と曲げ強度に関する一考察	第 6 回 日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/6
27	蜂谷有希子, 藤田和宏, 岩下哲雄, 影山和郎	東京大学 産業技術総合研究所	マイクロコンポジット法によるポリプロピレン-CF界面接着性の評価	第 6 回 日本複合材料会議 (JCCM-6)	2015/3/6

### (b)新聞・雑誌等への掲載

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東京大学	特集 鉄並に安くなる炭素繊維 「量産車への搭載がついに始まる低コスト化で日本が世界をリード」	日経ものづくり 2014 October P41-43	2014/10
2	東京大学	特集 「炭素線に市場 テイクオフ」 第二回	日刊工業新聞 2015/5/14 P11、	2015/5/14、
3	東京大学	特集 「炭素線に市場 テイクオフ」 第三回	日刊工業新聞 2015/5/21	2015/5/21

### (c)プレス発表

特になし

### (d)その他（同様の形式で表を作成する）

特になし

## 5.4 展示会への出展

特になし。

## 5.5 受賞

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	東京大学 影山和郎、 松尾剛	「熱可塑性 CFRP の繊維方向圧縮破壊メカニズムに関する一考察」 第40巻3号 pp.98-105 (2014)	日本複合材料学会誌 論文賞	2015/6/9

## 5.6 フォーラム等

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	岩下，諸星，永井，藤田（産業技術総合研究所）	産業技術総合研究所オープンラボ2013	炭素繊維モノフィラメントによる評価試験（パネル展示）	2013/10/31-11/1
2	影山和郎	革新的新構造材料等技術開発プロジェクト成果報告会	革新炭素繊維基盤技術開発の研究内容報告	2014/6/17

## 6.テーマ6 「熱可塑性 CFRP の開発」

表 V-6-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成 27 年 3 月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	2	0	0	10	0	72	4	0	7	1	1	4
H26FY	1	0	0	3	0	36	12	0	2	3	1	6
合計	3	0	0	13	0	108	16	0	9	4	2	10

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### 6.1 特許

（非公開）

### 6.2 論文

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	立石拓也	国立大学法人名古屋大学 工学研究科航空宇宙工学専攻	超音波融着による非連続炭素繊維強化熱可塑性複合材のモード I 破壊靱性	日本複合材料学会等主催 第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	有	2015/3/4
2	米川考示	国立大学法人名古屋大学 工学研究科航空宇宙工学専攻	不連続炭素繊維強化熱可塑性樹脂板とアルミニウム合金板の融着体のモード I 層間破壊靱性	日本複合材料学会等主催 第 6 回日本複合材料会議 (JCCM-6)	有	2015/3/4

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	S. Yumitori, Y. Arao, T. Tanaka, K. Naito, K. Tanaka, T. Katayama	物質・材料研究機構	Increasing the interfacial strength in carbon fiber/polypropylene composites by growing CNTs on the fibers	Computational Methods and Experimental Measurements XVI, Vol. 55, pp. 275-284.	有	2013/7
2	K. Naito	物質・材料研究機構	The effect of high-temperature vapor deposition polymerization of polyimide coating on tensile properties of polyacrylonitrile- and pitch-based carbon fibers	Journal of Materials Science, Vol. 48, No. 17, pp. 6056-6064.	有	2013/9
3	山下慎一郎・大澤勇・松尾剛・高橋淳	東京大学	CF/PP のソフトスキン効果に関する研究	日本複合材料学会誌, Vol.39, No.5, pp.176-183.	有	2013/9
4	大澤勇・高橋淳	東京大学	マイクロ・ドロップレット試験と CF/PP 界面のせん断強度評価	強化プラスチック, Vol.59, No.9, pp.330-336.	有	2013/9
5	山下慎一郎・大澤勇・松尾剛・張昕・高橋淳	東京大学	3点曲げ試験による CFRTP の縦弾性率および面外せん断弾性率に関する評価	日本複合材料学会誌, Vol.39, No.6, pp.221-230.	有	2013/11
6	山下慎一郎・大澤勇・高橋淳	東京大学	インパルス電流発生装置を用いた CFRTP の被雷時損傷挙動に関する考察	日本複合材料学会誌, Vol.40, No.1, pp.17-24.	有	2014/1
7	Tsuyoshi Matsuo, Takeshi Goto, Jun Takahashi	東京大学	Investigation about the fracture behavior and strength in a curved section of CF/PP composite by a thin-curved beam specimen	Advanced Composite Materials, DOI: 10.1080/09243046.2014.886754	有	2014/2 (online)
8	H. Sheng, X. Peng, H. Guo, X. Yu, K. Naito, X. Qu, Q. Zhang	物質・材料研究機構	Synthesis of high performance bisphthalonitrile resins cured with self-catalyzed 4-aminophenoxy phthalonitrile	Thermochimica Acta, Vol. 577, pp. 17-24.	有	2014/2
9	Y. Wan, T. Matsuo, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Effects of curvature on strength and damage modes of L-shaped carbon fiber reinforced polypropylene	Journal of Reinforced Plastics & Composites, Vol.33, No.14, pp.1305-1315.	有	2014/7
10	Y. Wan and J. Takahashi	東京大学	Deconsolidation behavior of carbon fiber reinforced thermoplastics	Journal of Reinforced Plastics & Composites, Vol.33, No.17, pp.1613-1624.	有	2014/8
11	H. Lee, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Effect of plasma surface treatment of recycled carbon fiber on carbon fiber-reinforced plastics (CFRP) interfacial properties	Applied Surface Science, Vol.328, pp.241-246.	有	2015/2



## 6.3 その他外部発表

### (a)学会発表・講演

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	先端複合材料の自動車・航空機等への浸透と、それを支える名大 NCC の役割と今後の方向	第 251 回 中部社会経済研究所フォーラム	2013/5/23
2	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	我が国における CFRP 関連の研究開発動向と名古屋大学整備中の NCC の紹介	あいち産業科学総合技術センター 講演会	2013/6/19
3	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名古屋大学ナショナルコンポジットセンターの紹介	日本塑性加工学会 2013 年度第 1 回 CFRP 成形研究委員会「名古屋大学 NCC における CFRP 研究開発」	2013/7/8
4	山根 正睦	ナショナルコンポジットセンター	「FRTP の過去、現状と課題」～熱可塑性コンポジット 温故知新～	日本塑性加工学会 2013 年度第 1 回 CFRP 成形研究委員会「名古屋大学 NCC における CFRP 研究開発」	2013/7/8
5	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名古屋大学ナショナルコンポジットセンターの紹介	日本材料学会第 131 回 衝撃部門委員会	2013/7/12
6	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	ナショナルコンポジットセンターの研究開発の方向性と機能についての紹介	B 本材料学会東海支部 H25 年度第 1 回見学会・講演会	2013/8/5
7	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	ナショナルコンポジットセンターの概要と今後の研究開発の方向	第 13 回 炭素繊維複合材料利用研究会 (広島)	2013/8/26
8	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	先端複合材料の航空宇宙・自動車分野への適用拡大と、それに伴って開設された名大ナショナルコンポジットセンターの紹介	日本技術士会中部支部秋季例会	2013/9/7
9	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	複合材利用の総括と NCC の紹介	東京国際航空宇宙産業展 2013	2013/10/4
10	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	次世代自動車への適用を狙った低コスト CFRTP 技術	TECH Biz EXPO 2013 - 次世代ものづくり基盤技術産業展	2013/10/10
11	山根 正睦	ナショナルコンポジットセンター	「熱可塑性コンポジットの開発の歴史 過去・現在・未来」～ナショナルコンポジットセンターの役割～	(公財)岡山県産業振興財団炭素繊維複合材料 CFRP 公開講座	2013/10/18
12	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	炭素繊維複合材料研究の最新動向とナショナルコンポジットセンターの展開	公益財団法人科学技術交流財団炭素繊維複合材料応用技術研究会	2013/10/21
13	山根 正睦	ナショナルコンポジットセンター	「熱可塑性コンポジットの開発の歴史」～FRTP 温故知新～	SAMPE JAPAN 先端材料技術展 2013 特別講演	2013/11/7
14	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	JAXA における先進複合材研究の最新成果と欧米における航空機用複合材技術の新しい方向	(社)中部航空宇宙技術センター先端複合材セミナー「航空機産業における現状とその展望」	2013/11/16

15	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	Exposure of Japanese Challenges and Opportunities	フラウンホーファーシンポジ ウム『第2回 Green Technology made in Germany ー 軽量化設計のた めの技術』	2013/11/18
16	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	イノベーション拠点形成の 意義と NCC の研究開発活 動	(独) 産業技術総合研究所 中部センター本格研究ワーク ショップ	2013/12/10
17	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	複合材技術の現状と将来・ 設計/評価技術	VR テクノ複合材料技術と NCC 見学会	2013/12/13
18	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	NCC の役割と設備の概要 の紹介	VR テクノ複合材料技術と NCC 見学会	2013/12/13
19	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	先進複合材料の開発状況概 要と自動車構造への応用の 展望	リード エグジビジション ジャパン株式会社 Automotive World 2014	2014/1/17
20	長岡 猛	ナショナルコン ポジットセン ター	自動車における樹脂系材料 の現状および成形加工にお ける課題	岐阜技術革新センター自動 車・航空機産業における複合 材料に関する最新の取組	2014/1/23
21	山根 正睦	ナショナルコン ポジットセン ター	「名古屋大学 ナショナル コンポジット センターの 紹介」 ～コンポジットつ て何? 未来の自動車はど うなるの?～	舞鶴工業高等専門学校・機械 工学科特別講演会	2014/1/24
22	山根 正睦	ナショナルコン ポジットセン ター	「熱可塑性コンポジットの 開発の歴史」 ～ FRTP 温故知新 ～	石川県工業試験場いしかわ次 世代産業創造支援センター 協力会講演会	2014/2/4
23	長岡 猛	ナショナルコン ポジットセン ター	「CFRP 成形加工技術の最 新動向」	名古屋市工業研究所 CFRP 成 形加工に関する技術講演会	2014/2/19
24	長岡 猛	ナショナルコン ポジットセン ター	「新規複合成形機による CFRTP 成形技術」	次世代自動車地域産学官 フォーラム CFRTP の加工技 術に関する講演及び成形機見 学会	2014/2/21
25	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	NCC の役割・機能と設備 の概要の紹介	日本ファインセラミックス協 会 H25 年度第 4 回見学会	2014/3/5
26	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	次世代、複合材料研究開発 拠点である名古屋大学 NCC の視察	東海圏開発プロジェクト分科 会平成 26 年度 第 1 回勉強会 (見学会)	2014/5/14
27	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	欧州の複合材研究開発セン ター(CFK-Valley, EMC2, NCC-UK)を巡っての所感	SAMPE JAPAN 第 151 回技術 情報交換会	2014/5/23
28	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	Overview of Recent Advanced Composites Research in Japan: Key Issue for Green and Smart Technology	JSPS France- Japan Workshop	2014/6/13
29	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	日本の先進複合材料研究の 最先端の展望：世界に勝つ ために	JFCC 研究成果発表会	2014/7/4
30	石川 隆司	ナショナルコン ポジットセン ター	CFRTP 自動車協調プロ ジェクト (熱可塑性 CFRP の開発) への名大 NCC の 取組み	名古屋商工会議所第 3 回産業 経済委員会	2014/9/1

31	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名古屋大学ナショナルコンポジットセンターの取り組み	岐阜大学複合材料研究センター(GCC) 総合研究棟Ⅱ 竣工記念講演会	2014/9/29
32	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	自動車構造への CFRP の適用の背景と技術開発の動向(名大ナショナルコンポジットセンターの役割)	自動車技術会中部支部 2014 年度 第 4 回 技術講習会	2014/10/10
33	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	ナショナルコンポジットセンターにおける自動車構造用 CFRP の研究開発の概要	日本繊維機械学会講演会「繊維強化複合材料の最前線」	2014/10/21
34	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名古屋大学に設立されたナショナルコンポジットセンター(NCC)の研究開発と熱可塑性 CFRP(CFRTP)の今後の展望	東北大学 CFRP 研究会 設立総会 記念講演	2014/10/28
35	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	航空宇宙への CFRP 適用の現状と NCC の研究開発の概要紹介	浜松地域 CFRP 事業化研究会 第 10 回浜松地域 CFRP 事業化研究会	2014/10/29
36	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)のモビリティへの適用現状と自動車用途へ向けた開発の展望	IPF JAPAN 2015 主催者企画 先端技術セミナー	2014/10/31
37	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	複合材料の航空宇宙・自動車等への応用の動向について	日本機械学会東海支部第 154 回 見学会	2014/11/26
38	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名大に設置されたナショナルコンポジットセンター(NCC)で実施されている研究開発の現状紹介 -大型高速油圧プレス機と耐雷試験装置の役割-	名古屋大学技術部平成 26 年度 技術部特別講演および研修報告会	2014/12/3
39	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名大ナショナルコンポジットセンターで実施している自動車構造への CFRP 適用技術の研究開発	長野県テクノ財団、南信州・飯田産業センター、CFRP 特別講義 #2	2014/12/4
40	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	名大ナショナルコンポジットセンターの取組みと最新の研究開発成果	プラスチック成形加工学会、新加工技術委員会 第 48 回研究会	2014/12/11
41	石川 隆司	ナショナルコンポジットセンター	CFRP の航空・自動車への応用展開とレーザー加工への期待	ALPROT ユーザー連携実用化推進シンポジウム	2014/12/15

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	T. Matsuo, K. Takayama, J. Takahashi, S. Nagoh, K. Kiriya and T. Hayashi	東京大学	Design and manufacture of anisotropic hollow beam using thermoplastic composites	19th international conference on composite materials	2013/7
2	K. Shinohara, K. Uzawa, H. Murayama, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Fracture mechanism of mechanically fastened CFRTP	19th international conference on composite materials	2013/7
3	N. Mitsui, K. Kageyama, K. Uzawa, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Influence of material flow in compression molding on mechanical properties of discontinuous CF/PP	19th international conference on composite materials	2013/7
4	Y. Nomura, K. Uzawa, H. Murayama, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Comparison of mechanical properties in welding joint methods of CF/PP	19th international conference on composite materials	2013/7
5	Y. Wan, T. Goto, T. Matsuo, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Investigation about fracture mode and strength in curved section of carbon fiber reinforced polypropylene	19th international conference on composite materials	2013/7
6	Y. Sato, J. Takahashi, T. Matsuo, I. Ohsawa, K. Kiriya and S. Nago	東京大学	Elastic modulus estimation of chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastics using the monte carlo simulation	19th international conference on composite materials	2013/7
7	S. Yamashita, I. Ohsawa, A. Morita and J. Takahashi	東京大学	Fracture behavior of carbon fiber reinforced polypropylene under artificial lightning strike	19th international conference on composite materials	2013/7
8	H. Wei, T. Akiyama, H. Lee, M. Yamane, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Recycling of market CFRP/CFRTP waste for mass production application	19th international conference on composite materials	2013/7
9	H. Lee, Y. Ozaki, M. Yamane, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Effect of plasma surface treatment of recycled carbon fiber on the mechanical properties of recycled CFRP	19th international conference on composite materials	2013/7
10	K. Suzuki, I. Ohsawa, J. Takahashi and K. Uzawa	東京大学	Numerical study on ultrasonic welding joint for CFRTP	19th international conference on composite materials	2013/7
11	K. Hasegawa, M. Yamane, K. Suzuki, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Influence of the impregnation rate and compression molding conditions on the mechanical properties of CFRTP	19th international conference on composite materials	2013/7
12	T. Tomioka, K. Uzawa, H. Murayama, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Joint efficiency of multi-point spot ultrasonic welding for CFRTP	19th international conference on composite materials	2013/7
13	H. Nakayama, K. Goto, TH. Nam, S. Yoneyama, S. Arikawa, K. Naito, Y. Shimamura, Y. Inoue	物質・材料研究機構	Development Study of Lightweight Structural Materials using UD Carbon Nanotube Sheet	19th international conference on composite materials	2013/7
14	Y. Tanaka, K. Naito, S. Kishimoto, Y. Kagawa	物質・材料研究機構	Measurement of thermal deformation in CFRP laminate at different scales	19th international conference on composite materials	2013/7

15	K. Naito	物質・材料研究機構	Tensile Properties of PAN- and Pitch-based Hybrid Carbon Fiber Reinforced Epoxy Matrix Composites	19th international conference on composite materials	2013/7
16	高橋淳	東京大学	熱可塑性 CFRP の産業応用への新展開	炭素繊維活用フォーラム	2013/7
17	内藤公喜	物質・材料研究機構	連続炭素繊維の特性と破壊挙動	CFRP(炭素複合材料)の含浸性向上技術セミナー	2013/8
18	内藤公喜	物質・材料研究機構	カーボンナノチューブ複合材料を用いたハイブリッド化と量産化技術の開発	第1回カーボンナノチューブコンポジットワークショップ	2013/8
19	王慶華, 岸本哲, 田中義久, 内藤公喜, 香川豊	物質・材料研究機構	Generation of overlap-scanning laser microscope moiré fringes using micro grids for in-situ deformation measurement	日本機械学会 2013 年度年次大会	2013/9
20	K. Naito, Y. Inoue, H. Fukuda	物質・材料研究機構	Tensile properties of carbon nanotubes grafted polyacrylonitrile-based carbon fibers	International Conference on Diamond and Carbon Materials 2013	2013/9
21	N. Hirano, Y. Takebe, A. Tsuchiya, H. Muramatsu	東レ	Design and development of discontinuous carbon fiber-reinforced thermoplastic sheets	COMPOSITES WEEK	2013/9
22	S. Yamashita, I. Ohsawa, T. Matsuo, X. Zhang and J. Takahashi	東京大学	Influence of out-of-plane shear modulus on the estimation of flexural modulus of carbon fiber reinforced thermoplastics	COMPOSITES WEEK	2013/9
23	Y. Wan, T. Goto, T. Matsuo, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	L-shaped tensile test for determining the minimum radius of CFRTP structure	COMPOSITES WEEK	2013/9
24	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Industrial Application	COMPOSITES WEEK	2013/9
25	田中義久, 内藤公喜, 岸本哲	物質・材料研究機構	積層 CFRP の界面に及ぼす熱膨張異方性の影響	M&M2013 材料力学カンファレンス	2013/10
26	Y. Tanaka, K. Naito, S. Kishimoto	物質・材料研究機構	Thermal deformation inhomogeneity of hierarchical microstructure composite materials	International Symposia on Micro and Nano Technology	2013/10
27	内藤公喜	物質・材料研究機構	カーボンナノチューブ析出炭素繊維とその複合材料の力学および機能特性	第2回先端複合材料研究センターコロキウム	2013/10
28	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Industrial Application	International Workshop "A New Perspective in Advancement of Composite Materials"	2013/10
29	高橋淳	東京大学	CFRP の新規産業展開と技術開発動向 (熱可塑性 CFRP を中心として)	最先端材料技術調査研究委員会	2013/10
30	鶴澤潔	金沢工業大学	国内外の炭素繊維強化熱可塑性樹脂複合材料の開発動向について	M&M2013 材料力学カンファレンス	2013/10
31	内藤公喜	物質・材料研究機構	炭素繊維とポリイミドの密着性・含浸性と引張特性	CFRP における樹脂と炭素繊維の含浸性向上技術セミナー	2013/11
32	鶴澤潔	金沢工業大学	熱可塑性樹脂複合材料の加工技術の現状と今後の動向	学技術交流財団炭素繊維複合材料応用技術研究会第3回炭素繊維複合材料応用技術研究会	2013/11
33	平野啓之	東レ	CFRP の製法と成形	NEDO 技術フォーラム in 四国	2013/11
34	K. Uzawa	金沢工業	Basic study of CFRTP joints for	The 13th Euro-Japanese	2013/11

		大学	automotive applications	Symposium on Composite Materials	
35	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Automotive Application	The 13th Euro-Japanese Symposium on Composite Materials	2013/11
36	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学	Current Japanese Activity in CFRTP for Mass Production Automotive Application	13th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition	2013/11
37	Y. Wan, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Investigation about the springback effect on short fiber reinforced thermoplastics	13th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition	2013/11
38	S. Yamashita, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Electrical and thermal properties of chopped carbon fiber tape reinforced thermoplastics and carbon fiber mat reinforced thermoplastics	13th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition	2013/11
39	K. Hasegawa, K. Suzuki, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Influence of pre-heating conditions and molding pressure on the mechanical properties of CFRTP	13th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition	2013/11
40	S. Zheng, S. Yamashita, I. Ohsawa, A. Morita and J. Takahashi	東京大学	Galvanic corrosion between CFRTP and metal in corrosive environment	13th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition	2013/11
41	H. Wei, H. LEE, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Mechanical properties of carbon fiber mat reinforced thermoplastics made by carbon paper	13th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition	2013/11
42	高橋淳	東京大学	量産車用熱可塑性 CFRP の開発動向	自動車技術会 疲労信頼性部門委員会企画シンポジウム	2013/11
43	H. LEE, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Effect of surface treatment of recycled carbon fiber by using plasma	The 5th conference of Systems Innovation	2013/12
44	S. Yamashita, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Structural integrity of carbon fiber reinforced polypropylene after lightning strike	SAMPE SEICO 14	2014/3
45	H. Wei, T. Akiyama, H. Lee, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Mechanical properties of recycled carbon fibers reinforced thermoplastics made by card web	SAMPE SEICO 14	2014/3
46	Y. Wan and J. Takahashi	東京大学	Thermal deformation caused by residual stress in short fiber reinforced thermoplastics	SAMPE SEICO 14	2014/3
47	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学	Next challenge in CFRTP for mass production automotive application	SAMPE SEICO 14	2014/3
48	高橋淳	東京大学	量産自動車用熱可塑性CFRPプロジェクト（東京大学集中研）	日本塑性加工学会 第6回CFRP成形研究委員会	2014/5
49	T. Hayashi, K. Hasegawa, H. Wataki and J. Takahashi	東京大学	Development of novel heat efficient preheating process for high cycle thermoforming of discontinuous CFRTP	16th European conference on composite materials	2014/6
50	T. Ohori, T. Matsuo, K. Furukawa and J. Takahashi	東京大学	Finite element analysis of CFRTP hollow beam under flexural load for an application to vehicle body structure	16th European conference on composite materials	2014/6
51	W. Nagatsuka, N. Hirano, H. Muramatsu, Y. Takebe, A. Tsuchiya and J. Takahashi	東京大学	Design of carbon fiber mat reinforced thermoplastics by controlling fiber/matrix adhesion and volume fraction of fiber	16th European conference on composite materials	2014/6
52	M. Akamatsu, T.	東京大学	Finite element simulation of the	16th European conference	2014/6

	Matsuo, T. Ohori, X. Zhang and J. Takahashi		delamination propagation of l-shaped CFRTP specimen	on composite materials	
53	H. Wataki, I. Ohsawa, T. Hayashi, K. Suzuki, K. Hasegawa and J. Takahashi	東京大学	Resin impregnation of CFRTP preform by using ultrasonic wave	16th European conference on composite materials	2014/6
54	Y. Wan and J. Takahashi	東京大学	Fiber length effect on tensile and compressive strength of short fiber reinforced thermoplastics	16th European conference on composite materials	2014/6
55	S. Yamashita, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Experimental and theoretical study about electrical and thermal properties of carbon fiber mat reinforced thermoplastics	16th European conference on composite materials	2014/6
56	H. Wei, T. Akiyama, H. Lee, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Mechanical properties of recycled carbon fiber reinforced thermoplastics made by carbon fiber paper	16th European conference on composite materials	2014/6
57	高橋淳	東京大学	複合材料の未来に向けて	SAMPE Japan 平成26年度第1回技術情報交換会	2014/7
58	高橋淳	東京大学	量産車用熱可塑性CFRP	ファインセラミックスシンポジウム	2014/10
59	Y. Wan and J. Takahashi	東京大学	Investigation of the deconsolidation effect of carbon mat reinforced thermoplastics	9th Asian-Australasian Conference on Composite Materials	2014/10
60	H. Wei, W. Nagatsuka, H. Lee, I. Ohsawa and J. Takahashi	東京大学	Manufacturing process and mechanical properties of recycled carbon fiber card web reinforced thermoplastics	9th Asian-Australasian Conference on Composite Materials	2014/10
61	X. Lyu, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Dynamic measurement of elastic modulus of CFRTP by vibration	9th Asian-Australasian Conference on Composite Materials	2014/10
62	X. Lyu, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Damping capacity of carbon fiber reinforced thermoplastics	11th China-Japan Joint Conference on Composite Materials	2014/10
63	J. Takahashi and T. Ishikawa	東京大学	Recent Japanese Activity in CFRTP for Mass Production Automobile	ITHEC 2014	2014/10
64	Y. Tsujimura, H. Nishida, J. Takahashi and I. Ohsawa	東京大学	Ultrasonic Thermal Fusion of Thermoplastic Epoxy Composites	10th SPSJ International Polymer Conference	2014/12
65	山下慎一郎・高橋淳	東京大学	熱可塑性CFRPによる量産車の軽量化に関する研究開発	第6回システム創成学術講演会	2014/12
66	高橋淳	東京大学	炭素繊維リサイクル	カード機セミナー	2015/1
67	長塚渉・高橋淳	東京大学	炭素繊維強化プラスチックのリサイクル動向～CFRPの自動車展開のために～	日本産業機械工業会3Rリサイクル研究会	2015/2

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

## [テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	ナショナルコンポジットセンター	名古屋大学に設置されるナショナルコンポジットセンターの概要と使命	会誌 強化プラスチック 8月号	2013/8/23
2	ナショナルコンポジットセンター	CFRTP シャーシ部品 NCC が今期 内試作	化学工業日報	2014/4/24
3	ナショナルコンポジットセンター	四大工業地帯は今	日経産業新聞	2014/5/5
4	ナショナルコンポジットセンター	LFT-D 手法で CFRTP 成形 量産化 向けシャーシに的	化学工業日報	2014/5/9
5	ナショナルコンポジットセンター	次代への種まき-目立つ産学連携-	日本経済新聞	2014/6/30
6	ナショナルコンポジットセンター	炭素繊維強化プラスチック(CFRP)の 次世代自動車への適用の展望	自動車技術協会会誌	2014/7
7	ナショナルコンポジットセンター	自動車軽量化→コアテクノロジー	日刊工業新聞	2014/8/18
8	ナショナルコンポジットセンター	CFRP の自動車構造への適用のため に NCC で実施している研究開発の 概要	月刊誌「素形材」	2014/8
9	ナショナルコンポジットセンター	炭素繊維強化プラスチック (CFRP) の次世代自動車への適用の展望	自動車技術会誌	2014/11/10
10	ナショナルコンポジットセンター	熱可塑性 CFRP 製自動車部品の開発 に向けた課題と取り組み	石油化学新報	2014/11/21
11	ナショナルコンポジットセンター	PRESS e 36 号	名古屋大学工学研究科情報誌	2014/12/15
12	ナショナルコンポジットセンター	技術 100 選	日経産業新聞	2015/2/2
13	ナショナルコンポジットセンター	東海地域の大学におけるイノベーション 創出拠点	中部経済産業局	2015/3

## [テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	東京大学	「炭素繊維車」20年に実現	日本経済新聞（朝刊 1 面）	2013/6/22
2	東京大学	炭素繊維再利用技術開発を支援	日経産業新聞（朝刊 11 面）	2013/7/30
3	東京大学	CFRTP でクルマを造る	日経 Automotive Technology	2014/3



### (c)プレス発表

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発  
特に無し。

### (d)その他

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

番号	所属	施設見学団体等	発表年月
1	ナショナルコンポジットセンター	日本材料学会	2013/7/12
2	ナショナルコンポジットセンター	日本材料学会東海支部	2013/8/5
3	ナショナルコンポジットセンター	炭素繊維複合材料応用技術研究会	2013/10/21
4	ナショナルコンポジットセンター	JISSE-13	2013/11/13
5	ナショナルコンポジットセンター	名古屋商工会議所	2013/11/14
6	ナショナルコンポジットセンター	航空宇宙プログラム	2013/12/13
7	ナショナルコンポジットセンター	日本ファイナセラミックス協会	2013/3/5
8	ナショナルコンポジットセンター	名古屋商工会議所	2014/9/1
9	ナショナルコンポジットセンター	日本機械学会東海支部	2014/11/26

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発  
特に無し。

## 6.4 展示会への出展

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

番号	所属	展示会名	出展形式	開催年月日
1	ナショナルコンポジットセンター	TECH Biz EXPO 2013 - 次世代ものづくり基盤技術産業展	パネル,カタログ	2013/10/09～10/11
2	ナショナルコンポジットセンター	IPF JAPAN 2014	成形品,パネル,カタログ	2014/10/24～10/28
3	ナショナルコンポジットセンター	JEC EUROPE2015	成形品,パネル,カタログ	2015/3/10～3/12

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

番号	所属	展示会名	出展形式	開催年月日
1	東大集中研	JEC Europe	ジャパンプース	2015/3/10～12

## 6.5 受賞

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	物質・材料研究機構	The effect of adhesive thickness on tensile and shear strength of polyimide adhesive, ELSEVIER Ltd.	Top 25 Hottest Articles, International Journal of Adhesion and Adhesives January to December 2012 full year	2013/9
2	東京大学・高橋淳		協会特別賞、先端材料技術協会 (SAMPE Japan)	2014/7/24

## 6.6 フォーラム等

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ナショナルコンポジットセンター	NCC 次世代複合材研究会プレゼン会及び名刺交換会	企業プレゼン	2013/9/19
2	ナショナルコンポジットセンター	次世代産業高度化セミナー	講演	2013/11/14
3	ナショナルコンポジットセンター	欧州技術動向調査	情報収集,現地視察	2014/3/10~3/19
4	ナショナルコンポジットセンター	英国 NCC セミナー	講演	2014/3/24
5	ナショナルコンポジットセンター	NCC 次世代複合材研究会プレゼン会及び名刺交換会	企業プレゼン	2014/6/26
6	ナショナルコンポジットセンター	東海北陸連携キックオフイベント	講演,ブース展示	2014/11/12
7	ナショナルコンポジットセンター	東海北陸連携キックオフイベント付帯プレゼンテーション会	企業プレゼン	2014/11/13
8	ナショナルコンポジットセンター	欧州技術動向調査	情報収集,現地視察	2015/3/9~3/18
9	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

## 7. テーマ7 「接合技術開発」

表V-7-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
H26FY	12	0	3	4	1	17	1	0	0	2	1	9
合計	15	0	3	4	1	17	1	0	0	2	1	9

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### 7.1 特許

（非公開）

### 7.2 論文

#### [テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	永塚公彬*, 吉田昇一郎 *,土谷敦岐 **,中田一 博*	*大阪大学 接合科学研 究所,**東 レ(株)	Direct joining of carbon-fiber- reinforced plastic to an aluminum alloy using friction lap joining	COMPOSITES PART B: ENGINEERING, Vol.73 (2015) 82-88.	有	2014/12/20

#### [テーマ番号 02] 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

特に無し。

#### [テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

特に無し。

#### [テーマ番号 04] 中高炭素鋼板のPHMによる実用FSW技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 05] アルミニウム／異種材料の点接合技術**

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	関口悠 佐藤千明	東京工業大 学	Experimental study of the Mode I adhesive fracture energy in DCB specimens bonded with a polyurethane adhesive	the Journal of Adhesion	無	2015/07/25

**[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発**  
特に無し。

**[テーマ番号 07] 鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発**

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	K. Naito	物質・材料 研究機構	Tensile Properties of Polyimide Composites Incorporating Carbon Nanotubes Grafted and Polyimide Coated Carbon Fibers	J. of Mater. Eng. and Perform., 23 (9) 3245-3256	有	2014/09

**[テーマ番号 08] チタン／チタン連続接合技術の開発**

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	Yutaka S. Sato et al.	Tohoku University	Tool material factors for suppression of wear in Co-based alloy tool during friction stir welding of 0.45C steel	Proceedings of 10 <sup>th</sup> International Friction Stir Welding Symposium, CD-ROM	有	2014/05/20
2	Yutaka S. Sato et al.	Tohoku University	Performance enhancement of Co-based alloy tool for friction stir welding of ferritic steel		有	2015/03/16

**[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発**  
特に無し。

### 7.3 その他外部発表

#### (a)学会発表・講演

##### [テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	永塚公彬*, 吉田昇一郎*, 土谷敦岐**, 中田一博*	*大阪大学 接合科学研究所, **東レ(株)	摩擦重ね接合による炭素繊維強化熱可塑性樹脂とアルミニウム合金の直接異材接合	溶接学会 平成 26 年秋季全国大会	2014/09/10
2	永塚公彬*, 吉田昇一郎*, 土谷敦岐**, 中田一博*	*大阪大学 接合科学研究所, **東レ(株)	Effect of tool rotation speed on the dissimilar materials joint characteristics of carbon fiber reinforced thermoplastic and aluminum alloy by friction lap joining	Young welding Professionals International Conference 2014	2014/09/17
3	永塚公彬*, 田中宏宜*, 土谷敦岐**, 中田一博*	*大阪大学 接合科学研究所, **東レ(株)	摩擦重ね接合によるアルミニウム合金と樹脂・CFRP の直接異材接合	溶接学会 第 229 回溶接法研究委員会	2015/01/27

##### [テーマ番号 02] 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

特に無し。

##### [テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	Funikazu Miyasaka	大阪大学	Numerical simulation for fluid flow around a tool of FSW	The 4th East Asia Symposium on Technology of Welding & Joining, Xi'an, China, 口頭発表	2014/10/22
2	Yurika Miyake, Fumikazu Miyasaka, Shuhei Matsuzawa, Shunta Muraio, Kenta Mitsufuji, Shinnosuke Ogawa	大阪大学	Development of FSW simulation model-effect of tool shape on plastic flow	TMS2015, Orland, USA, ポスター発表	2015/03/16
3	Miyano Yasuyuki Ueji Rintaro Fujii Hidetoshi	大阪大学	Microstructure and Mechanical Properties of Friction Stir Welded Joints of Medium Carbon Steels	10th Friction Stir Welding Symposium	2015/05/22
4	宮野泰征 神谷修 大久保療 上路林太郎 藤井英俊	秋田大学 大阪大学	中炭素鋼 (S45C) 摩擦攪拌接合継手の組織と機械的特性に及ぼす影響	第 26 回溶接・接合研究会	2015/07/18
5	宮野泰征 上路林太郎 藤井英俊	秋田大学 大阪大学	摩擦攪拌接合により得られる中炭素鋼継手の組織と機械的特性	一般社団法人日本溶接学会平成 26 年度秋季全国大会	2015/09/11

6	Miyano Yasuyuki Ueji Rintaro Osamu kamiya Ryou Okubo Fujii Hidetoshi	秋田大学 大阪大学	Effect of Heat Input on Microstructure and Hardness of Friction Stir Welded Joints of Middle Carbon Steel	The International Symposium on Visualization in Joining & Welding Science through Advanced Measurements and Simulation (Visual- JW 2014)	2015/12/28
---	---	--------------	--	--	------------

[テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 05] アルミニウム／異種材料の点接合技術

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	田中耕二郎 西口勝也 杉本幸弘	マツダ(株)	鋼板/アルミ異材抵抗スポット溶接の継手強度に及ぼす鋼板めつき種の影響	軽金属学会第 128 回 春期大会	2015/05/16
2	小川裕樹 曙紘之 加藤昌彦 菅田淳 田中耕二郎	広島大学   マツダ(株)	摩擦攪拌点接合によるアルミニウム合金/CFRP 異材接合継手の疲労強度評価	日本材料学会 第 64 期通常総会・学術講演会	2015/05/24

[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 07] 鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	北川大喜*、永塚公彬*、山岡弘人**、中田一博*	*大阪大学 **IHI	摩擦重ね接合による鉄鋼材料／樹脂の直接異材接合	溶接学会平成 26 年度秋季大会	2014/09/11
2	北川大喜、三輪剛、永塚公彬、中田一博	大阪大学	Dissimilar Direct Joining of SUS304/CFRTP by Friction Lap Joining	Visual JW 2014	2014/11/27
3	三輪剛、北川大喜、永塚公彬、中田一博	大阪大学	Effect of Joining Speed on Formation of SUS304 / Polyamide 6 Joint by Friction Lap Joining	Visual-JW 2014	2014/11/27
4	内藤公喜	物質・材料研究機構	炭素繊維の構造、表面状態と強度、密着性評価	炭素繊維の表面特性とマトリックス樹脂との含浸性向上セミナー	2014/04/24
5	K. Naito	物質・材料研究機構	Interfacial Shear Strength of Carbon Nanotubes Grafted Carbon Fiber/Epoxy	16th European Conference on Composite Materials (ECCM16)	2014/06/26
6	内藤公喜	物質・材料研究機構	炭素繊維の特徴、強度と樹脂との密着性評価	炭素繊維/樹脂界面の制御と強度評価セミナー	2014/11/14
7	内藤公喜、田中	物質・材料	ナノ組織混入炭素繊維強化高分	同志社大学先端複合材料	2015/02/28

	和人、松岡敬	研究機構	子系複合材料の作製とその複合材料の力学的特性評価	研究センター2014年度末研究成果発表会	
--	--------	------	--------------------------	----------------------	--

[テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	佐藤裕	東北大学	鋼の摩擦攪拌接合過程における Co 基合金ツールの摩耗抑制因子	溶接学会平成 26 年度春季全国大会	2014/04/23
2	Yutaka S. Sato	Tohoku University	Tool material factors for suppression of wear in Co-based alloy tool during friction stir welding of 0.45C steel	10 <sup>th</sup> International Friction Stir Welding Symposium	2014/05/20
3	薄田真一	東北大学	組織制御による Co 基合金摩擦攪拌接合ツールの高性能化	溶接学会平成 26 年度秋季全国大会	2014/9/10
4	Yutaka S. Sato	Tohoku University	Wear behavior of cobalt-based alloy tool during friction stir welding of ferritic steel	The 9 <sup>th</sup> International Forum on Advanced Materials Science and Technology	2014/12/01
5	Yutaka S. Sato	Tohoku University	Performance enhancement of Co-based alloy tool for friction stir welding of ferritic steel	TMS 2015 144 <sup>th</sup> Annual Meeting and Exhibition	2015/03/16

[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

特に無し。

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

**[テーマ番号 01]** アルミニウム／CFRP 接合技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 02]** 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 03]** 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 04]** 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 05]** アルミニウム／異種材料の点接合技術

番号	所属	タイトル	掲載誌名	発表年月
1	マツダ(株)	取材対応「革新的接合技術の開発」	日刊工業新聞	2014/10/13

**[テーマ番号 06]** 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 07]** 鋼材／CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

特に無し。

**[テーマ番号 08]** チタン／チタン連続接合技術の開発

特に無し。

**[テーマ番号 09]** 水和物架橋低温接合技術の開発

特に無し。



(c)プレス発表

[テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 02] 残留  $\gamma$  相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 05] アルミニウム/異種材料の点接合技術  
特に無し。

[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発  
特に無し。

[テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発  
特に無し。

[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発  
特に無し。

(d)その他

[テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 02] 残留  $\gamma$  相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 05] アルミニウム/異種材料の点接合技術

特に無し。

[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

[テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

特に無し。

#### 7.4 展示会への出展

[テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 02] 残留  $\gamma$  相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 05] アルミニウム/異種材料の点接合技術

特に無し。

[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

特に無し。

[テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

特に無し。

[テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

番号	所属	展示会名	出展形式	開催年月日
1	日立メタルプレジジョン	精密工学会秋季大会 (鳥取) 先端技術紹介セッション	カタログ、 FSW ツール展示	2014/9/16~18
2	日立メタルプレジジョン	TECHINNOVATION2014 シンガポール政府主催 JST(科学技術振興機構)と共同展示	パネル、 FSW ツール展示	2014/9/23~24

[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

特に無し。

## 7.5 受賞

### [テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	大阪大学 接合科学研究 所 永塚公彬	摩擦重ね接合による炭素繊維強化熱 可塑性樹脂とアルミニウム合金の直 接異材接合	一般社団法人 溶接学 会 平成 26 年度溶接学 会優秀研究発表賞	2014/12/22

### [テーマ番号 02] 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

特に無し。

### [テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

特に無し。

### [テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

特に無し。

### [テーマ番号 05] アルミニウム/異種材料の点接合技術

特に無し。

### [テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

特に無し。

### [テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

特に無し。

### [テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

特に無し。

### [テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

特に無し。

## 7.6 フォーラム等

### [テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 02] 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 05] アルミニウム/異種材料の点接合技術

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20



## 8.テーマ8 「戦略・基盤研究」

表V-8-1 特許、論文、外部発表等の件数（内訳） 【平成27年3月末現在】

区分 年度	特許出願			論文		その他外部発表				展示 会へ の出 展	受賞	フォー ラム等 ※2
	国内	外国	PCT 出願 ※1	査読 付き	その 他	学会 発 表・ 講演	新聞・ 雑誌等 への 掲載	プレ ス発 表	その 他			
H25FY	0	0	0	7	10	19	0	0	2	0	1	0
H26FY	0	0	0	0	0	25	0	0	2	0	2	4
合計	0	0	0	7	10	44	0	0	4	0	3	4

※1：Patent Cooperation Treaty :特許協力条約

※2：実施者が主体的に開催するイベント（フォーラム、シンポジウム等）

### 8.1 特許

（非公開）

### 8.2 論文

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略  
特に無し。

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査

番号	発表者	所属	タイトル	発表誌名、ページ番号	査読	発表年月
1	津崎兼彰	九州大学	構造材料の新たなフロンティア：壁を超える微視組織と材料特性	日本学術会議材料工学連合講演会講演概要集	無	2013/11/25
2	K. Cho <sup>1</sup> , M. Niinomi <sup>1</sup> , M. Nakai <sup>1</sup> , J. Hieda <sup>1</sup> , P. F. Santos <sup>1</sup> , Y. Itoh <sup>2</sup> , N. Ohtsu <sup>3</sup> , T. Kozuka <sup>3</sup> ,	1 東北大学, 2 静岡県工業技術研究所, 3 北見工業大学, 4 名城大学, 5 関西大学	Mechanical and biological biocompatibility of newly developed beta-type Ti-Mn alloys for biomedical applications	Materials Science Forum	有	

	T. Hattori <sup>4</sup> , M. Ikeda <sup>5</sup>					
3	S. Minakuchi and N. Takeda,	東京大学	Recent Advancement in Optical Fiber Sensing for Aerospace Composite Structures	Photonic Sensors Vol.3, No. 4, 2013, PP. 345-354.	無	2013/11/10
4	A.Tochimitsu Yokobori, Jr., Yoshiko Nagumo, Takahiro Yajima and Kenichi Kobayashi	東北大学	The Characterization of Dominating Region of Fracture (Process Region) around a Crack Tip International Conference on Fracture	Proc. of the 13th International Conference on Fracture, (2013)	無	2013/6
5	Ryuji Sugiura, Toshimitsu Yokobori, Kazuto Sata, Masaaki Tabuchi, Kenichi Kobayashi, Masataka Yatomi and Kamran Nikibin	東北大学	Creep Crack Initiation and Growth Behavior in Weldments of High Cr Steels	Proc. of the 13th International Conference on Fracture, (2013)	無	2013/6
6	Haruhisa Shigeyama, A. Toshimitsu Yokobori. Jr., Ryuji Sugiura and Takashi Matszaki	東北大学	Three-Dimensional Bacancy Diffusion Analysis Related to Micro Damage of C (T)Specimen for P92Steel under Creep Condition	Proc. of the 13th International Conference on Fracture, (2013)	無	2013/6
7	Daisuke Kobayashi, Masamichi Miyabe, Yukio Kagiya, Ryuji Sugiura, A.Toshimitsu Yokobori	東北大学	An Assessment and Estimation of the Damage Progression Behaver of IN738LC under Various Applied Stress Conditions Based on EBSD Analysis	Metallurgical and Materials Transaction A, 44A (7), (2013), 3123-3135	有	2013/7
8	Haruhisa Shigeyama, RYuji Sugiura, A.Toshimitsu Yokobori,Jr., Takashi Matsuzaki	東北大学	Effect of Multi-axial Stress on Creep Damage Behavior for Notched Specimen of P92 Steel.	Proceeding of the 2013 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, (2013)	無	2013/7
9	Go Ozeki, Ryuji Sugiura, A.Toshimitsu Yokobori,Jr., Yoshiko	東北大学	Effect of Material Microstructure on Creep Damage Formation Behavior for Ni-base Directionally Solidified Superalloy	Proceeding of the 2013 ASME Pressure Vessels and Piping Conference, (2013)	無	2013/7



	Nagumo, Hiroaki Takeuchi, Takashi Matsuzaki					
10	R.Sugiura, A.T.Yokobori,Jr , J.Park, T.Kawamura, H.Tsukidate	東北大学	Constitutive Law of Creep Deformation for Notched Specimens Related to the Creep Ductility and Fracture	Strength, Fracture and Complexity, An International Journal, 8, (2013), 45-57	有	2013/9
11	A.T.Yokobori,Jr , R.Sugiura, H.Takechi, G.Ozeki, A.Ishida, D.Kobayashi and S.Hosono	東北大学	Law of Fracture Life for Directionally Solidified and Poly-crystal Nickel-base Superalloys (CM247LC and IN100) Under Creep-Fatigue Conditions Based on Non Equilibrium Science	Strength, Fracture and Complexity, An International Journal, 8, (2013), 25-44	有	2013/9
12	杉浦隆次、横 堀壽光	東北大学	最近の高温クリープ・疲労条 件下での寿命予測に関する研 究とその展望	日本材料強度学会誌 47 卷 2号(2013), 17-22	無	2013/9
13	Takashi Matsuzaki, Ryuji Sugiura, Yoshiko Nagumo and A.Toshimitsu Yokobori, Jr.	東北大学	Crack Growth Characteristic and Damage Evaluation under Creep-Fatigue Interactive Condition for W-Sided High- Cr Steel	Materials Transactions, 54 (12), (2013), 2215-2224	有	2013/12
14	Go Ozeki, A.Toshimitsu Yokobori, Jr., Ryuji Sugiura	東北大学	Law of crack growth life under creep-fatigue interactive conditions for Ni-base Directionally Solidified Superalloy based on Non- Equilibrium Science (The Effect of Stress Holding Time)	Proceeding of the 6th International 'HIDA' Conference, (2013)	無	2013/12
15	横堀壽光、杉 浦隆次	東北大学	高 Cr 鋼（火力ボイラ配管 鋼）溶接継手材の余寿命評価	日本工業出版検査技術, (2013)	無	2013/12
16	Haruhisa Shigeyama, Ryuji Sugiura, Takashi Matsuzaki, A.Toshimitsu Yokobori,Jr.	東北大学	Micro and Macro Creep Damage Formation for P92 under Multi-axial Stress related to Circular Notched Specimen	Journal of Material Science and Technology, 30 (1), (2014), 43-49	有	2014/1/
17	Daisuke Kobayashi, Masamichi	東北大学	Analysis of Damage Behavior Based on the EBSD Method under Creep-Fatigue	Journal of Material Science and Technology, 30 (1), (2014), 24-31	有	2014/1

Miyabe, Yukio Kagiya, Yoshiko Nagumo, Ryuji Sugiura, Takashi Matsuzaki, A.Toshimitu Yokobori,Jr		Conditions for Polycrystalline Nickel-base Superalloys			
--	--	---	--	--	--

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

### 8.3 その他外部発表

#### (a)学会発表・講演

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	Yoshio Akimune and Teruo KISHI	ISMA	Introduction to the new project named Innovative New Structural Materials	TMS	2014/2/18

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査

番号	発表者	所属	タイトル	会議名	発表年月
1	津崎兼彰	九州大学	構造材料の新たなフロンティア：壁を超える微視組織と材料特性	日本学会会議材料工学連合講演会	2013/11/25
2	津崎兼彰	九州大学	ESISM としての国土強靱化への貢献：長周期地震動対策と構造材料そしてプラストン	ESISM 構造材料元素戦略研究拠点シンポジウム	2014/01/11
3	津崎兼彰	九州大学	Enhanced ductility in beta Ti alloys: <i>deformation modes and microstructure</i>	2nd ESISM International Workshop	2014/03/11
4	中川恵友 <sup>1)</sup> , 伊藤吾朗 <sup>2)</sup> , 中井学 <sup>3)</sup> , 金谷輝人 <sup>1)</sup> , 松浦洋司 <sup>1)</sup>	1)岡山理科大学, 2)茨城大学, 3)(株)神戸製鋼所	7000系アルミニウム合金の疲労特性に及ぼす微量添加元素の影響	軽金属学会第126回春期大会	2014/05/17
5	石澤真悟 <sup>1)</sup> , 山田隆一 <sup>1)</sup> , 伊藤吾朗 <sup>1)</sup> , 車田亮 <sup>1)</sup> , 中井学 <sup>2)</sup>	1)茨城大学, 2)(株)神戸製鋼所	航空機用アルミニウム合金の疲労き裂進展特性に及ぼす不純物・添加元素の影響	軽金属学会第126回春期大会	2014/05/17
6	山田隆一 <sup>1)</sup> , 石澤真悟 <sup>1)</sup> , 伊藤吾朗 <sup>1)</sup> , 車田亮 <sup>1)</sup> , 中井学 <sup>2)</sup>	1)茨城大学, 2)(株)神戸製鋼所	航空機用アルミニウム合金の疲労き裂進展挙動に及ぼす環境の影響	軽金属学会第126回春期大会	2014/05/17
7	P. F. Santos <sup>1</sup> , M. Niinomi <sup>1</sup> , K. Cho <sup>1</sup> , M. Nakai <sup>1</sup> , J. Hieda <sup>1</sup> , Y. Itoh <sup>2</sup> , M. Ikeda <sup>3</sup>	<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 静岡県工業技術研究所, <sup>3</sup> 関西大学	Microstructures and mechanical properties of Ti-Mn alloys for biomedical applications produced by metal injection molding and cold crucible levitation melting	第21回機械材料・材料加工技術講演会 (M&P2013)	2013/11/9
8	趙研 <sup>1</sup> , 新家光雄 <sup>1</sup> , 仲井正昭 <sup>1</sup> , 稗田純子 <sup>1</sup> , 大津直史 <sup>2</sup> , 池田勝彦 <sup>3</sup>	<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 北見工業大学, <sup>3</sup> 関西大学	新規生体用チタン合金としての低コストβ型Ti-Mn合金の開発	日本チタン協会 第1回チタン若手交流会	2013/11/15
9	P. F. Santos <sup>1</sup> , M. Niinomi <sup>1</sup> , K. Cho <sup>1</sup> , M. Nakai <sup>1</sup> , J. Hieda <sup>1</sup> , Y. Itoh <sup>2</sup> , M. Ikeda <sup>3</sup>	<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 静岡県工業技術研究所, <sup>3</sup> 関西大学	Investigation of relationship between microstructures and mechanical properties of Ti-Mn alloys fabricated by metal injection molding for biomedical applications	第126回東北大学金属材料研究所講演大会	2013/11/28
10	K. Cho <sup>1</sup> , M. Niinomi <sup>1</sup> , M. Nakai <sup>1</sup> , J. Hieda <sup>1</sup> , P. F. Santos <sup>1</sup> , Y. Itoh <sup>2</sup> , N. Ohtsu <sup>3</sup> , T. Kozuka <sup>3</sup> , T. Hattori <sup>4</sup> , M.	<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 静岡県工業技術研究所, <sup>3</sup> 北見工業大学, <sup>4</sup> 名城大学, <sup>5</sup> 関西大学	Mechanical and biological biocompatibility of newly developed beta-type Ti-Mn alloys for biomedical applications	International conference on processing & manufacturing & advanced materials 2013	2013/12/4

	Ikeda <sup>5</sup>				
11	P. F. Santos <sup>1</sup> , M. Niinomi <sup>1</sup> , K. Cho <sup>1</sup> , M. Nakai <sup>1</sup> , J. Hieda <sup>1</sup> , Y. Itoh <sup>2</sup> , M. Ikeda <sup>3</sup>	<sup>1</sup> 東北大学, <sup>2</sup> 静岡県工業技術研究所, <sup>3</sup> 関西大学	Comparison of mechanical properties of low-cost $\beta$ -type Ti-xMn alloys for biomedical applications fabricated by CCLM and MIM methods	日本金属学会 2014 年春期講演大会	2014/3/22
12	横堀 壽光	東北大学	Potential driven particle diffusion theory and its application to engineering problems	Invited lecture at the Engineering Science Department University of Oxford	2013/11/18
13	A. Tochimitsu Yokobori, Jr.	東北大学	The Characterization of Dominating Region of Fracture (Process Region) around a Crack Tip International Conference on Fracture	13th International Conference on Fracture	2013/6/
14	A. Tochimitsu Yokobori, Jr.	東北大学	Non Linearity Characteristics of Crack Growth Life under High Temperature Creep and Fatigue Conditions Based on Non Equilibrium Science	International Symposium for the 70th Anniversary of the Tohoku Branch of the Chemical Society of Japan	2013/9
15	J. T. SIIVOLA, K. KIKUCHI, S. MINAKUCHI AND N. TAKEDA	東京大学	Effect of Temperature and Humidity on Indentation Property of Polymethacrylimide (PMI) Foam Core Sandwich Structures	米国複合材料学会	2013/09/10
16	J. T. SIIVOLA,, S. MINAKUCHI AND N. TAKEDA	東京大学	Application of Fiber-Optic Distributed Sensing System to CFRP-foam Core Sandwich Panel and Its Detection Ability of Local Indentation Damage	米国複合材料学会	2013/09/11
17	DmitryBULGAR EVICH	物質・材料研究機構	Detector for Polarization-Sensitive Time-Domain Terahertz Spectroscopy	5th International Workshop on Far-Infrared Technologies 2014	2014/03/5
18	志波光晴	物質・材料研究機構	非破壊材料信頼性評価	RACE コロキウム	2014/01/16
19	松本良, 金谷重宏, 宇都宮裕	大阪大学	金属レーザー積層造形法による発泡アルミニウム表面への緻密層形成	日本機械学会年次大会	2014/9/7

20	劉陽, 下田昌利, 渋谷陽二	大阪大学	Parameter-free shape optimization method for strength design of stiffeners on thin-walled structures	Proceedings of the 8th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems	2014/5/25
21	劉陽, 渋谷陽二	大阪大学	マルチマテリアル構造の界面強度問題に対する最適設計手法	日本機械学会第27回計算力学講演会	2014/11/25
22	劉陽, 下田昌利, 渋谷陽二	大阪大学	Parameter-free method for shape optimization of stiffeners on thin-walled structures to minimize stress concentration	Journal of Mechanical Science and Technology	2015/1/6
23	K. Cho, M. Niinomi, M. Nakai, J. Hieda, P. F. Santos, Y. Itoh and M. Ikeda	東北大学	Mechanical properties, microstructures, and biocompatibility of low-cost $\beta$ -type Ti-Mn alloys for biomedical applications	Ceramic Transactions, 251, 21-30	2014/9/26
24	趙 研、新家光雄、仲井正昭、稗田純子、Pedro Fernandes Santos、伊藤芳典、池田勝彦	東北大学	浮揚溶解法および金属粉末射出成型法を用いて作製した低コスト $\beta$ 型 Ti-Mn 合金の力学的特性と微細組織	軽金属学会第126回春期大会	2014/5/17
25	趙 研、新家光雄、仲井正昭、稗田純子、Pedro Fernandes Santos、伊藤芳典、池田勝彦	東北大学	金属粉末射出成形を用いて作製した低コスト高強度 $\beta$ 型 Ti-Mn 合金における冷間圧延による飛躍的な機械的強度の向上	第127回金属材料研究所講演会	2014/5/28
26	P. F. Santos, M. Niinomi, K. Cho, M. Nakai, J. Hieda, Y. Itoh, M. Ikeda	東北大学	Mechanical behavior and microstructure of low-cost $\beta$ -type Ti-Mn alloys produced by metal injection molding and cold crucible levitation melting methods	第127回金属材料研究所講演会	2014/5/28
27	趙 研、新家光雄、仲井正昭、Pedro	東北大学	金属粉末射出成型法を用いて作製した低コスト $\beta$ 型 Ti-Mn 合金の冷間圧延による高	日本金属学会第155回講演大会	2014/9/24

	Fernandes Santos、伊藤芳典、池田勝彦		強度化		
28	P. F. Santos, M. Niinomi, K. Cho, M. Nakai, J. Hieda, Y. Itoh, M. Ikeda	東北大学	Mechanical properties, microstructures and biocompatibility of low-cost $\beta$ -type Ti-Mn alloys fabricated by CCLM and MIM methods	日本金属学会第 155 回講演大会	2014/9/24
29	趙 研、新家光雄、仲井正昭、Pedro Fernandes Santos、伊藤芳典、池田勝彦	東北大学	金属粉末射出成形法により作製した低コスト Ti-Mn 合金のミクロ組織および力学的特性	日本歯科理工学会平成 26 年度秋期第 64 回学術講演会	2014/10/4
30	Ken Cho, Mitsuo Niinomi, Masaaki Nakai, Junko Hieda, Pedro F. Santos, Alethea M. Liens, Masahiko Ikeda	東北大学	Evaluation of long-term mechanical and biological biocompatibility of low-cost $\beta$ -type Ti-Mn alloys for biomedical applications	Materials Science & Technology 2014 (Pittsburgh, PA, USA)	2014/10/12
31	Ken Cho, Mitsuo Niinomi, Masaaki Nakai, Junko Hieda, Pedro Fernandes Santos, Yoshinori Itoh, Masahiko Ikeda	東北大学	Development of low-cost high-strength $\beta$ -type Ti alloys using a metal injection molding	Materials Science & Technology 2014 (Pittsburgh, PA, USA)	2014/10/12
32	趙 研、新家光雄、仲井正昭、Pedro Fernandes Santos	東北大学	低コスト $\beta$ 型 Ti-Mn-Mo 合金の微細組織および力学的特性に及ぼす Mo の影響	軽金属学会第 127 回秋期大会	2014/11/15
33	趙研、新家光雄、仲井正昭、劉恢弘、P. F. Santos, A. M.	東北大学	低コスト生体用 $\beta$ 型 Ti-Mn 合金の微細組織および疲労特性の評価	第 128 回金属材料研究所講演会	2014/11/27

	Liens, 池田勝彦				
34	P. F. Santos, M. Niinomi, K. Cho, M. Nakai, Y. Itoh, M. Ikeda	東北大学	Microstructures and compressive behaviour of low-cost $\beta$ -type Ti-Mn alloys produced by metal injection moulding	第 128 回金属材料研究所講演会	2014/11/27
35	趙 研, 新家光雄, 仲井正昭, 劉恢弘, P.F.Santos	東北大学	第三元素添加を用いた塑性変形メカニズム制御による Ti-Mn 系合金の強度-延性バランスの改善	第 13 回日本金属学会東北支部研究発表大会	2014/12/10
36	趙 研, 新家光雄, 仲井正昭, 劉恢弘, P.F.Santos	東北大学	変形機構制御による Mo 添加 b 型 Ti-Mn 系合金の強度-延性バランスの改善	日本鉄鋼協会第 169 回講演大会	平成 27 年 3 月 18-20 日
37	Pedro F. Santos, Mitsuo Niinomi, Ken Cho, Masaaki Nakai, Huihong Liu	東北大学	Mechanical properties of new Ti-Mn-Mo alloys for use in biomedical applications	日本金属学会第 156 回講演大会	平成 27 年 3 月 18-20 日
38	小山元道、澤口孝宏、津崎兼彰	九州大学	双晶誘起塑性鋼の双晶変形挙動に及ぼす炭素の影響 (Part 1)	論文誌:鉄と鋼,100(2014)1246	2014/9/30
39	小山元道、澤口孝宏、津崎兼彰	九州大学	双晶誘起塑性鋼の双晶変形挙動に及ぼす炭素の影響 (Part 2)	論文誌:鉄と鋼,100(2014)1253	2014/9/30
40	M. Koyama, E. Akiyama, D. Raabe, K. Tsuzaki	九州大学	Factors affecting hydrogen embrittlement susceptibility of twinning-induced plasticity steels	高 Mn 鋼についての国際シンポジウム	2014/9/3
41	M. Koyama, T. Sawaguchi, K. Tsuzaki	九州大学	Role of twin boundary on plasticity and embrittlement in high Mn austenitic steel	塑性に関する国際会議	2015/1/7
42	Narumichi Sato, Masaki Hojo, Masaaki Nishikawa	京都大学	Novel test method for accurate characterization of intralaminar fracture toughness in CFRP laminates	Composites, Part B, Vol.65, pp. 89-98	2014/10/1
43	Masaki Hojo,	京都大学	Characterization of crack	6th International	2015/3/26

	Masaaki Nishikawa		length dependency for delamination fatigue crack growth behavior in toughened CFRP laminates	Conference on Fatigue of Composites	
--	----------------------	--	---	--	--

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

**(b)新聞・雑誌等への掲載**

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略  
特に無し。

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査  
特に無し。

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。



[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

**(c)プレス発表**

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略  
特に無し。

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査  
特に無し。

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

#### (d)その他

##### [テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略

番号	所属	タイトル	発表形式	発表年月
1	ISMA	革新的新構造材料の研究開発の概要	JRCM NEWS	2014/01

##### [テーマ番号 30] 技術動向調査分析

番号	所属	タイトル	発表形式	発表年月
1	金属系材料研究開発センター(JRCM)	THERMEC'2013 に参加して	JRCM NEWS No.328 レポート記事	2014/02
2	金属系材料研究開発センター(JRCM)	革新的新構造材料等技術開発「技術動向調査分析」平成 25 年度成果概要 (1) 接合技術編	JRCM NEWS No.334 レポート記事	2014/08
3	金属系材料研究開発センター(JRCM)	革新的新構造材料等技術開発「技術動向調査分析」平成 25 年度成果概要 (2) 構造材料編	JRCM NEWS No.335 レポート記事	2014/09

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査  
特に無し。

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

## 8.4 展示会への出展

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略  
特に無し。

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査  
特に無し。

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
特に無し。

## 8.5 受賞

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	Nobuo Takeda	2014 Smart Structures/NDE Symp., SPIE	NDE Lifetime Achievement Award	March 11, 2014

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
特に無し。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
特に無し。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査

番号	所属・氏名	タイトル	受賞名	受賞年月日
1	津崎兼彰	(公) 本多記念会	本多フロンティア賞	2014/5/29
2	津崎兼彰	(社) 日本鉄鋼協会	学術功績賞	2015/3/18

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究

特に無し。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究

特に無し。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究

特に無し。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study

特に無し。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study

特に無し。

## 8.6 フォーラム等

### [テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 30] 技術動向調査分析

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査

番号	所属	フォーラム等の名称	形式	開催年月日
1	ISMA	成果報告会	ポスター	2015/01/20

### [テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究

特に無し。

### [テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究

特に無し。

### [テーマ番号 43] 計測解析評価研究

特に無し。

### [テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study

特に無し。

### [テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study

特に無し。

## VI. 参考文献

### 1. テーマ 1 「革新鋼板の開発」

[テーマ番号 22] 残留  $\gamma$  高度制御革新鋼板の開発  
該当なし。

[テーマ番号 23] 軽元素の有効利用による革新鋼材の開発  
該当なし。

[テーマ番号 24] 炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板の開発  
該当なし。

[テーマ番号 25] 中高炭素鋼ベース高強度高延性複層鋼板の開発  
該当なし。

[テーマ番号 26] 複層鋼板の界面構造解析と特性調査  
Ⅲ-2.1.5.2 :

- 1) Inoue et al.: Scripta Materialia, 59 (2008), 1055-1058.
- 2) Nambu et al.: Scripta Materialia, 60 (2009), 221-224.
- 3) Michiuchi et al.: Acta Materialia, 57 (2009), 5283-5291.
- 4) 小関ら: 金属, 80 (2010) 4, 271-275.
- 5) 井上ら: 金属, 80 (2010) 4, 276-282.
- 6) 道内ら: 金属, 80 (2010) 4, 283-288.
- 7) 南部ら: 金属, 80 (2010) 4, 289-293.

## 2.テーマ2 「革新的アルミニウム材の開発」

[テーマ番号 13] 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発  
該当なし。

[テーマ番号 14] アルミニウム材新製造プロセス技術開発

図IV-2.2.2-1 : 株式会社 富士経済、2012 電池関連市場実態総調査 下巻、276 ページ（発行 2012 年）

[テーマ番号 21] 複層アルミ合金の開発  
該当なし。

### 3.テーマ3 「革新的マグネシウム材の開発」

[テーマ番号 15] マグネシウム合金設計と難燃性評価

III-2.3.1 :

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料 (2014 年 4 月 30 日 名古屋)
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.
- 4) 鉄道車両工業会ホームページ資料
- 5) 日本自動車工業会ホームページ資料
- 6) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 7) 日本マグネシウム協会ホームページ資料

[テーマ番号 16] 易加工性マグネシウム材（押出材）の開発及び高強度マグネシウム材（厚板）作製の基礎的検討

III-2.3.2 :

- 1) 目崎達也ほか，“Mg-Al-Ca-Mn 系希薄合金押し出し材のミクロ組織および機械的性質に及ぼす押し出し温度の影響”，軽金属学会第 123 回秋期大会講演概要, (2012), 213-214.
- 2) 松本泰誠ほか，“Mg-Al-Ca-Mn 系マグネシウム合金の押し出し特性”，軽金属学会第 124 回春期大会講演概要, (2013), 117-118.
- 3) M. Noda et al., Thermal Stability, Formability, and Mechanical Properties of a High-Strength Rolled Flame-Resistant Magnesium Alloy, Light Metal Alloys Applications, InTech (2013), 126-144.
- 4) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 5) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料 (2014 年 4 月 30 日 名古屋)
- 6) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.
- 7) 鉄道車両工業会ホームページ資料
- 8) 日本自動車工業会ホームページ資料
- 9) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 10) 日本マグネシウム協会ホームページ資料



[テーマ番号 17] 高強度マグネシウム材（薄板）の開発

Ⅲ-2.3.3 :

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料（2014 年 4 月 30 日 名古屋）
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.

[テーマ番号 18] 高強度マグネシウム材（押出材）の開発

Ⅲ-2.3.4 :

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料（2014 年 4 月 30 日 名古屋）
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.
- 4) 鉄道車両工業会ホームページ資料
- 5) 日本自動車工業会ホームページ資料
- 6) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 7) 日本マグネシウム協会ホームページ資料

[テーマ番号 19] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（耐食性）の開発

Ⅲ-2.3.5 :

- 1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.
- 2) 森 久史「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料（2014 年 4 月 30 日 名古屋）
- 3) 鈴木 康文「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.
- 4) 鉄道車両工業会ホームページ資料
- 5) 日本自動車工業会ホームページ資料
- 6) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.
- 7) 日本マグネシウム協会ホームページ資料
- 8) 松村健樹「マグネシウム合金の化成処理」防錆管理 2007-9, 30-37P

9) I.Nakatsugawa and F.Dai : 「Chemical Conversion Coating used for Magnesium Electric Housings」 :Proc. Magnesium Technology in the Global Age ,p.519-532,(2006)

10) 松村健樹 「自動車に使用されるマグネシウム合金部材の表面処理」 アルトピア, 1(2011) , 32p

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の評価手法（疲労特性）の開発

III-2.3.6 :

1) 森 久史、藤野 謙司、栗田 健、千野 靖正、斎藤 尚文、野田 雅史、駒井 浩、小原 久、「高速鉄道車両への難燃性マグネシウム合金の適用」、まてりあ Vol.52 (2013) pp.484-490.

2) 森 久史 「高速鉄道車両開発に向けた軽量金属材料への期待」、軽金属学会東海支部平成 26 年度第一回講演会資料（2014 年 4 月 30 日 名古屋）

3) 鈴木 康文 「アルミニウム合金による鉄道車両の軽量化と今後の課題」、軽金属 Vol.60 (2010) pp.565-570.

4) 鉄道車両工業会ホームページ資料

5) 日本自動車工業会ホームページ資料

6) 畑山直史、竹内久司、栄輝、杉本明男 「新幹線車両用アルミニウム合金製押出部材の技術開発」、神戸製鋼技報 Vol. 58 No. 3 pp.55-61.

7) 日本マグネシウム協会ホームページ資料

#### 4.テーマ4 「革新的チタン材の開発」

[テーマ番号 10] チタン材一貫製造プロセス技術開発  
該当なし。

[テーマ番号 11] チタン薄板の革新的低コスト化技術開発  
該当なし。

[テーマ番号 12] 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス技術の開発  
該当なし。

5.テーマ5 「革新炭素繊維基盤技術開発」

該当なし。

## 6.テーマ6 「熱可塑性 CFRP の開発」

[テーマ番号 27] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・応用加工技術の開発  
該当なし

[テーマ番号 28] 熱可塑性 CFRP の開発及び構造設計・加工基盤技術の開発  
該当なし

## 7.テーマ7 「接合技術開発」

[テーマ番号 01] アルミニウム/CFRP 接合技術の開発

表IV-2.7.1-1:「自動車用プラスチック部品の需要予測」、工業材料、11月号(2011)

表IV-2.7.1-2:「自動車用プラスチック部品の需要予測」、工業材料、11月号(2011)

[テーマ番号 02] 残留 $\gamma$ 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発  
該当なし。

[テーマ番号 03] 中高炭素鋼の革新的接合技術の開発  
該当なし。

[テーマ番号 04] 中高炭素鋼板の PHM による実用 FSW 技術の開発  
該当なし。

[テーマ番号 05] アルミニウム/異種材料の点接合技術

III-2.7.5 :

玄道俊行ほか、摩擦点接合技術の開発、日本金属学会誌 第70巻11号(2006)

武田実佳子、漆原亘、松本克史、加藤淳、抵抗スポット溶接法による Fe-Al 異材接合技術の開発、神戸製鋼技報 Vol.57(2007)

図III-2.7.5-4: 田中耕二郎、杉本幸弘、西口勝也、鋼板/アルミ異材抵抗スポット溶接の継手強度に及ぼす鋼板めっき種の影響、軽金属学会第128回春期大会予稿集

[テーマ番号 06] 中高炭素鋼/中高炭素鋼のフリクションスポット接合技術の開発  
該当なし。

[テーマ番号 07] 鋼材/CFRP 等樹脂材料の接合技術開発

図IV-2.7.2-2: 特集: 2015年度の日本産業動向(造船)、みずほ産業調査/49、No.1、P.114(2015)

図IV-2.7.2-3: 国土交通省港湾局、国際コンテナ戦略港湾政策のレビュー、第1回国際コンテナ戦略港湾政策推進委員会、資料2、P.11(平成25年7月)

図IV-2.7.2-4: 特集: 2015年度の日本産業動向(造船)、みずほ産業調査/49、No.1、P.113(2015)

[テーマ番号 08] チタン/チタン連続接合技術の開発

III-2.7.8 :

西村孝, 大山英人: チタンおよびチタン合金の現状と将来の展望, 軽金属, 36-11(1986), 778-787.

深川仁: 航空宇宙でのチタン合金の利用状況, チタン, 57-3(2009), 212-217.

平井光芳, 湊章男: 世界での淡水化計画の現状と将来, 日本海水学会誌, 55-3(2001), 141-144.

上瀧洋明：チタンの溶接技術, (社)チタン協会(2000).

J. Perrett, J. Martin, J. Peterson, R. Steel and S. Packer: Friction Stir Welding of Industrial Steels, TMS 2011 140th Annual Meeting Proceedings, Friction Stir Welding and Processing VI (2011), 65-72.

B. Thompson: Tungsten-Based Tool Material Development for the Friction Stir Welding of Hard Metals, TMS 2011 140th Annual Meeting Proceedings, Friction Stir Welding and Processing VI (2011), 105-112.

[テーマ番号 09] 水和物架橋低温接合技術の開発  
該当無し

## 8.テーマ 8

### 「戦略・基盤研究」

[テーマ番号 29] 新構造材料の技術・研究戦略  
該当なし。

[テーマ番号 30] 技術動向調査分析  
該当なし。

[テーマ番号 31] 高分子複合材料技術開発動向調査  
該当なし。

[テーマ番号 32] 共通基盤技術の研究調査  
該当なし。

[テーマ番号 41] 非鉄金属先導研究  
該当なし。

[テーマ番号 42] 材料・接合等技術動向調査研究  
該当なし。

[テーマ番号 43] 計測解析評価研究  
該当なし。

[テーマ番号 44] 中性子線による構造材料解析技術の Feasibility Study  
該当なし。

[テーマ番号 45] 構造用接着技術に関する Feasibility Study  
該当なし。



## 「革新的新構造材料等研究開発」基本計画

電子・材料・ナノテクノロジー部

## 1. 研究開発の目的・目標・内容

## (1) 研究開発の目的

## ①政策的な重要性

エネルギー消費量削減や CO<sub>2</sub> 排出量削減は、国際的な重要課題である。産業・運輸・民生の各部門で様々な対応が図られており、例えば運輸部門では、世界的に自動車に対する厳しい燃費規制が設定されている。我が国においても、CO<sub>2</sub> 総排出量の 20% 近くが自動車からの排出であり、今後の CO<sub>2</sub> 排出量削減に向けて、自動車の燃費向上に係る技術開発が重要となる。

自動車の燃費改善に係る課題には、エンジンを始めとした動力機関の効率向上、車両の軽量化、空気抵抗軽減などがある。中でも動力機関の効率向上に向けた研究開発は精力的に取り組み、例えばハイブリッド車の普及に至っているが、これに加えて車両の軽量化もまた、燃費改善効果が高いとされ、重要な取組課題の一つになっている。

近年の車両軽量化技術開発では、軽量材料を適材適所に使うマルチマテリアル化が進められている。その際、異種材料接合が鍵となるが、材質が大きく異なる材料間の接合や、自動車としての安全性を保證する上で欠かせない接合部の性能評価技術など、今後克服すべき数多くの技術課題が残されている。

また、構造材料そのものの軽量化も極めて重要な課題であり、高強度、高延性、不燃性、耐食性、耐衝撃性等の機能が確保された軽量構造材の開発が必要である。それと同時に、これらの機能を損なうことのない接合技術や成形加工技術等の開発が求められる。

## ②我が国の状況

我が国で生産している部素材は、全体シェアから見れば大きくはないが、それぞれ高機能を必要とする、自動車用ハイテン鋼や航空機用炭素繊維などの高級部素材に関して、大きなシェアを有している。この強みを生かし、切れ目なく研究を実施する事で、継続して世界をリード出来るよう努める必要がある。

## ③世界の取組状況

EU や米国では、炭素繊維強化樹脂 (Carbon Fiber Reinforced Plastics、以下「CFRP」という。) やハイテン等の純粋な材料開発とともに、量産化・接合・シミュレーションなど「材料を使いこなすための技術開発」や「(先進材料を用いた) 車両設計に関する技術開発」も目立ち始めていることから、厳しい燃費規制に対応した車両の軽量化技術の開発競争は

今後激化していくことが予想される。

#### ④本事業のねらい

自動車を中心とした輸送機器の抜本的な軽量化（半減）に向けて、革新的接合技術の開発や、鋼材、アルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、炭素繊維及び CFRP 等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発を一体的に推進する。これにより、輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量と CO<sub>2</sub> 排出量の削減、我が国の部素材産業及びユーザー産業の国際競争力強化を目指す。

### (2) 研究開発の目標

#### ①アウトプット目標

輸送機器の抜本的な軽量化（自動車の場合は半減）のために、必要な革新的構造材料技術や革新的接合技術を開発する。

研究開発項目は多岐にわたるため、具体的な開発目標は、別紙の研究開発計画に記載する。

#### ②アウトカム目標

現在使用されている輸送機器の原材料を革新的新構造材料に置き換えることで軽量化を図り、平成 32 年において、373.8 万 t の CO<sub>2</sub> 削減が期待される。

#### ③アウトカム目標達成に向けての取組

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下「NEDO」という。）は、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討するとともに、技術推進委員会等において、研究開発の進捗管理や目標の見直しを行うなど、細やかなマネジメントを実行することで、社会ニーズに合った研究開発を推進し、確実な実用化へと繋げる。

### (3) 研究開発の内容

上記目標を達成するために以下の研究開発項目について、開発を行う。

それぞれの研究開発項目の具体的な開発内容は、別紙の研究開発計画の通りとする。

#### 【委託事業】

研究開発項目①「接合技術開発」

研究開発項目②「革新的チタン材の開発」

研究開発項目③「革新的アルミニウム材の開発」

研究開発項目④「革新的マグネシウム材の開発」

研究開発項目⑤「革新鋼板の開発」

研究開発項目⑥「熱可塑性CFRPの開発」

研究開発項目⑦「革新炭素繊維基盤技術開発」

研究開発項目⑧「戦略・基盤研究」

本研究開発は、実用化まで長期間を要するハイリスクな基盤的技術に対して、産官学の複数事業者が互いのノウハウを持ち寄り、協調して実施する事業であり、委託事業として実施する。

また、開発成果の社会への浸透を図るため、成果の一部は、開発段階に合わせて順次実用化する。

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、我が国の将来の成長の糧となるイノベーションを創出する未来開拓研究プロジェクトにおいて実施されるものであり、経済産業省が平成23年度（研究開発項目⑦）及び平成25年度（研究開発項目①～⑥、⑧）に企業、大学等の研究機関（委託先から再委託された研究開発実施者を含む）から公募によって選定し、共同研究契約等を締結する研究体を構築して開始したものである。

平成26年度よりNEDOが本研究開発の運営・管理を承継するに当たっては、平成25年度までの進捗状況を踏まえて研究開発を実施する。

平成25年度の進捗状況を踏まえた研究開発内容・計画及び実施体制の妥当性について、外部有識者による審議を含めた評価を行った上で最適な研究開発体制を構築し、委託して実施する。

なお、各実施者の研究開発能力を最大限に活用し、効率的かつ効果的に研究開発を推進する観点から、NEDOは研究開発責任者（プロジェクトリーダー）を選定し、各実施者はプロジェクトリーダーの下で研究開発を実施する。また、技術動向調査の結果及び各研究テーマの進捗を元とした事業化（出口）を見据えた開発戦略（全体の最終目標達成に向けたテーマ毎の研究開発ロードマップを含む）を構築し、効率的な研究開発・研究成果の実用化を目指す。

研究開発項目②～⑦の個別課題において開発された革新的材料は、①の接合技術開発と連携し、⑧の戦略・基盤研究における知見も取り入れながら、速やかに適合する接合技術を開発することで、実用化を促進する。

### (2) 研究開発の運営管理

#### ①研究開発の進捗把握・管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有するNEDOは、経済産業省及び研究開発実施者と

密接な関係を維持しつつ、本事業の目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて、技術推進委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、随時、プロジェクトの進捗について報告を受けること等により進捗の確認及び管理を行うものとする。また、全体の最終目標の効率的かつ効果的な研究開発の早期達成のため、(新たな課題の対応も含む) 関連技術や市場の動向を随時把握し、最新の技術や知見を取り込むこととし、毎年度、実施方針に掲げられた研究開発プロジェクトの目標や研究開発の内容を評価し、必要に応じて変更するものとする。早期実用化が可能と認められた研究開発については、期間内であっても研究を完了させ、実用化へ向けた実質的な研究成果の確保と普及に努める。

#### ②技術分野における動向の把握・分析

NEDO は、プロジェクトで取り組む技術分野について、内外の技術開発動向、政策動向、市場動向等について調査し、技術の普及方策を分析・検討する。なお、調査等を効率的に実施する観点から委託事業として実施する。

#### ③ステージゲート方式の実施

研究開発を効率的に推進するため、ステージゲート方式を適用する。NEDO は、経済産業省と密接に連携し、外部有識者による審査を活用し、平成 28 年度以降の研究開発テーマの継続是非を平成 27 年度に決定する。

### 3. 研究開発の実施期間

平成 26 年度から平成 34 年度までの 9 年間とする。但し、研究開発期間を平成 26 年度から平成 27 年度までの 2 年間で第 1 期、平成 28 年度から平成 29 年度までの 2 年間で第 2 期、平成 30 年度から平成 32 年度までの 3 年間で第 3 期、平成 33 年度から平成 34 年度までの 2 年間で第 4 期と区分として実施する。社会情勢等の変化を踏まえ、第 3 期以降の研究開発項目及び目標は、第 2 期の最終年度(平成 29 年度)に策定することとする。

なお、研究開発項目①～⑥及び⑧は、平成 25 年度に、また、研究開発項目⑦は、平成 23 年度から平成 25 年度に経済産業省で実施し、平成 26 年度から NEDO が実施する。

### 4. 評価に関する事項

NEDO は、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

中間評価については、第 1 期の最終年度(平成 27 年度)、第 2 期の最終年度(平成 29 年度)、第 3 期の最終年度(平成 32 年度)に実施する。事後評価については、第 4 期終了の翌年度(平成 35 年度)に実施する。第 3 期以降の研究開発項目及び目標は、中間評価結果

を踏まえ、平成 29 年度末に設定し、新たに実施者を公募する。

なお、中間評価結果、内外の研究開発動向、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化等を踏まえ、本事業の必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等についてゼロベースで見直しを行うこととする。特に、研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるもの、研究開発成果の進捗が芳しくないもの等については、予算の加速や研究開発の前倒し終了などを弾力的に行うこととする。

評価の時期については、研究開発動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ①成果の普及

NEDO 及び研究開発実施者は、研究成果を広範に導入・普及するように努めるものとする。

#### ②標準化施策等との連携

得られた研究開発の成果については、標準化等との連携を図るため、標準案の提案等を必要に応じて実施する。

#### ③知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱いに関する基本的考え方」に基づき、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第 25 条の規定等に則り、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、プロジェクト実施者に、知的財産管理規程、再委託契約書、共同研究契約書等を制定させる。

### (2) 関係省庁の施策との連携体制の構築

文部科学省が実施する「元素戦略プロジェクト<研究拠点形成型>：構造材料領域」の実施体制と緊密に連携するため、各プロジェクトの統括者、主要参加企業、大学等の責任者、所管省庁等の課室長等から構成される連携体制を構築する。当該連携体制では、プロジェクト間の事業計画の調整、成果の共有や取扱いの調整、設備の共用や研究人材交流の促進等について協議を行うものとする。

また、内閣府が実施する「戦略的イノベーション創造プログラム：革新的構造材料」の実施体制と緊密に連携する。

### (3) 基本計画の変更

NEDO は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、国内外の研究開発動向、政策動向、評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制、新規テーマの追加等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (4) 根拠法

本プロジェクトは独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第十五条第1項第一号ニに基づき実施する。

### (5) その他

大学の研究者の企業等への出向を容易にするための取組や守秘義務を課した形でのポストドク等のプロジェクトの参加などの本プロジェクトを活用した実践的人材の育成への取組を促すこととする。また、大学側も、これらの取組を促進する方策について検討するものとする。

## 6. 基本計画の改訂履歴

平成 26 年 3 月、制定。

## (別紙) 研究開発計画 (第 1 期・第 2 期)

### 研究開発項目①「接合技術開発」

#### 1. 研究開発の必要性

輸送機器の製造では、高強度材の同種接合や、マルチマテリアル化で必要な異種接合の需要が高いものの、現状では、接合強度やコストの面で実用的な技術が十分に確立されていない。例えば自動車の次世代構造材として期待される中高炭素鋼 ( $C > 0.3\%$ ) や、航空機で多用されるチタン材の接合では、高温加熱時に、変態・炭化物の析出や酸化による材料の脆化が起るため、従来型の溶融接合法が適用できない。

代表的な非溶融接合の一つである固相摩擦攪拌接合も、中高炭素鋼やチタン材に対しては、攪拌ツールの激しい摩耗・損傷等がネックとなり、現状では適用が困難である。

鋼材／アルミ、鋼材／CFRP、アルミ／CFRP 等のマルチマテリアル化で鍵となる異種接合では、低融点側材料の劣化、接合部での脆い金属間化合物の生成、線膨張係数の違いによる歪みの発生、電食など、多くの問題点が残されている。

#### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、これらの技術課題を解決するため、コスト競争力に優れ、具体的な用途が想定された革新的接合技術を開発する。具体的には、中高炭素鋼やチタン材といった難接合材の接合、金属／CFRP 間等の異種接合に適用できる革新的な固相摩擦攪拌接合技術や溶融接合技術等を開発する。また、異種接合固有の電食や熱歪みに関する評価技術の開発を行う。

#### 3. 達成目標

##### (1) チタン／チタン連続接合技術の開発

###### 【第 1 期目標 (平成 27 年度末)】

- ・接合深さ：5mm 以上
- ・接合強度：母材強度の 90%以上
- ・接合装置：設計技術の確立

###### 【第 2 期目標 (平成 29 年度末)】

- ・接合深さ：10 mm以上
- ・接合強度：母材強度の 90%以上
- ・接合装置：設計技術の確立

##### (2) 中高炭素鋼／中高炭素鋼接合技術の開発

###### 【第 1 期目標 (平成 27 年度年末)】

(a) スポット接合技術開発

- ・接合強度：厚み 1.5mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、JIS-A 級 (JIS Z3140) の引張せん断荷重平均値の 70%

(b) 連続接合技術開発

- ・接合強度：厚み 2 mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、母材強度の 70%

【第 2 期目標 (平成 29 年度末)】

(a) スポット接合技術開発

- ・接合強度：厚み 1.5mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、JIS-A 級 (JIS Z3140) の引張せん断荷重平均値の 70%以上

(b) 連続接合技術開発

- ・接合強度：厚み 2 mm、強度 1.2GPa 以上の中高炭素鋼で、母材強度の 70%以上

(3) 鋼材／アルミニウムの接合技術の開発 (スポット接合技術)

【第 1 期目標 (平成 27 年度末)】

- ・接合強度：試験片の接合で、JIS-A 級 (JIS Z3140) の引張せん断荷重平均値以上または母材破断
- ・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立
- ・鋼板／アルミニウム間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立

【第 2 期目標 (平成 29 年度末)】

- ・高減衰接着剤の仕様決定
- ・電食に対する防錆技術の確立

(4) アルミニウム／CFRP 接合技術の開発

【第 1 期目標 (平成 27 年度末)】

- ・接合強度：試験片の接合で、JIS-A 級 (JIS Z3140) の引張せん断荷重平均値以上または母材破断
- ・電食による接合部腐食の電気化学的評価手法の確立
- ・アルミニウム／CFRP 間の熱膨張差による熱歪みの評価解析手法の確立

【第 2 期目標 (平成 29 年度末)】

- ・高減衰接着剤の仕様決定
- ・電食に対する防錆技術の確立

(5) 鋼材／CFRP 等樹脂接合技術の開発



**【第1期目標（平成27年度末）】**

- ・接合強度：母材破断

**【第2期目標（平成29年度末）】**

- ・接合強度：母材破断
- ・電食による接合部腐食の評価手法の確立

研究開発項目②「革新的チタン材の開発」

1. 研究開発の必要性

チタン材は、一般的な金属材料と比較して、耐食性や強度に優れるため、長期耐久性が求められる構造部材や、航空機の一部機体や部品など、高い負荷環境下で利用されている。一方、チタンの資源量は比較的豊富であるものの、チタン材は複雑な工程によって製造されており、高いコストが原因でチタン材の普及が妨げられているのが現状である。したがって、チタン材の利用促進のためには、チタン製錬やチタン材製造プロセスの生産性向上が必要となる。また、チタン材のさらなる高機能化によって幅広い応用展開が期待できる。

2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、生産性を向上した新規のチタン製錬技術やチタン材加工技術開発（製錬・溶解・熱延工程を革新的に短縮した高機能チタン薄板製造技術開発、連続一貫製造プロセス技術など）を行うとともに、チタン材の構造制御や不純物濃度低減技術等による高機能チタン材の開発を行う。

3. 達成目標

- (1) 製錬・溶解・熱延工程を革新的に短縮した高機能チタン薄板製造技術開発

**【第1期目標（平成27年度末）】**

- (a) 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス要素技術の開発

- ・鉄含有値：ばらつき範囲 50～500ppm 平均値 200ppm 以下
- ・酸素含有値：ばらつき範囲 100～200ppm 平均値 150ppm 以下
- ・塩素含有値：300ppm 以下

- (b) 上記スポンジチタンを活用した高効率チタン薄板製造プロセス要素技術の開発

- ・薄板中の気孔率：1%以下
- ・引張強度・延性バランス：現行材より 20%向上

**【第2期目標（平成29年度末）】**

- (a) 高品質スポンジチタン高効率製造プロセス要素技術の開発

- ・大型工業製品製造に不可欠な工程技術の要素技術を確立し、量産プロセスの見通しを

得る。

- (b) 上記スポンジチタンを活用した高効率チタン薄板製造プロセス要素技術の開発  
・工業的に薄板を製造するプロセスの要素技術を確立し、量産プロセスの見通しを得る。

(2) チタン材連続一貫製造プロセス技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- (a) スクラップチタンやチタン鉱石などのチタン低廉材料の溶解・精錬要素技術の開発  
・精錬後の酸素含有値：300ppm 以下
- (b) 上述の溶解・精錬技術と鋳造、圧延を組み合わせたチタン材連続一貫製造プロセス要素技術の開発  
・引張強度：現行材より20%向上

【第2期目標（平成29年度末）】

- (a) スクラップチタンやチタン鉱石などのチタン低廉材料の溶解・精錬要素技術の開発  
・実機プロセスにおける精錬後の酸素含有値を300ppm 以下とする要素技術確立の見通しを得る。
- (b) 上述の溶解・精錬技術と鋳造、圧延を組み合わせたチタン材連続一貫製造プロセス要素技術の開発  
・高速高圧下箔圧延技術：生産性向上の達成に向けた要素技術を確立し、量産プロセスへの見通しを得る。

(3) チタン新製錬技術開発

【第1期目標（平成27年度末）】

- 工業化への展開が可能な低コストでの新規な製錬技術の開発  
(ラボスケールで検証)
- ・鉄含有値：2000ppm 以下  
・酸素含有値：1000ppm 以下

【第2期目標（平成29年度末）】

- 工業化への展開が可能な低コストでの新規な製錬技術の開発  
・精錬プロセス設計指針を構築し、量産プロセスへの見通しを得る。

研究開発項目③「革新的アルミニウム材の開発」

1. 研究開発の必要性

アルミニウム材は比強度や延性に優れた軽量材料であり、既に様々な輸送機器に活用されている。しかしながら、現状のアルミニウム材では、輸送機器の更なる軽量化に向けての一層の高強度化や、コスト面での課題がある。したがって、アルミニウム材の物性をよ

り向上させる技術の開発とともに、低コスト化が重要となっている。

## 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では次世代航空機や自動車等の輸送機器への適用を目指した革新的アルミニウム材の開発を行う。具体的には、アルミニウム材の構造制御技術等を確立することで、強度や延性を向上させた革新的なアルミニウム材を実現する。また、海外メジャー企業並みの低価格を実現できる新規アルミニウム材製造プロセス等の開発を進める。

## 3. 達成目標

### (1) 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・引張強度：660MPa 以上（現状：600MPa）
- ・耐力（降伏強度）：600MPa 以上（現状：550MPa）
- ・伸び：12%以上

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・引張強度：750MPa 以上（現状：600MPa）
- ・耐力（降伏強度）：700MPa 以上（現状：550MPa）
- ・伸び：12%以上

### (2) アルミニウム材製造電析プロセス技術開発

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・電解条件の確立
- ・電析メカニズムの解明

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・AlCl<sub>3</sub>系イオン液体の大量合成手法の確立
- ・パイロットプラントによる実証実験

## 研究開発項目④「革新的マグネシウム材の開発」

### 1. 研究開発の必要性

マグネシウムは、実用金属中で最も軽く、優れた比強度を有することから、CFRP と並び次世代の構造材料として注目されている。しかしながら、マグネシウムは化学的に活性で燃えやすく、加工性が悪いなどの欠点がある。今後、輸送機器用途へと応用するためには、耐熱性と加工性（特に展伸性）に優れたマグネシウム材の開発を、資源供給不安の少ない組成（レアアースフリー）により実現することが求められる。

## 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では可燃性や難加工性といった欠点を克服するため、マグネシウム材の組織制御により強度や延性、耐熱性などの材料特性を向上させたレアアースフリーマグネシウム材の開発を行う。また、大型展伸材を製造するための革新的製造プロセス技術等の開発に加え、マグネシウム材の特性評価技術開発を併せて行う。

## 3. 達成目標

### (1) 易加工性マグネシウム材の開発

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：250MPa 以上
- ・伸び：15%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性
- ・AZ31（マグネシウム材）と同程度以上の押出速度

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：270MPa 以上
- ・伸び：20%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性
- ・A6N01（アルミニウム材）と同程度以上の押出速度

### (2) 高強度マグネシウム材の開発

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：350MPa 以上
- ・伸び：13%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアアース添加無し
- ・引張強度：360MPa 以上
- ・伸び：15%以上
- ・AZX311 マグネシウム合金と同程度以上の難燃性

### (3) マグネシウム材の評価手法の開発

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・既存の難燃性マグネシウム合金を対象として、発火メカニズムおよび腐食メカニズムの解明と評価手法の導出

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・既存の難燃性マグネシウム合金を対象として、発火特性、腐食特性に関するデータベース構築

### 研究開発項目⑤「革新鋼板の開発」

#### 1. 研究開発の必要性

鉄鋼材料は自動車等の主要材料であり、車両軽量化に向けて、薄肉軽量化と衝突エネルギー吸収性の両立を可能にする高強度・高延性化を追求していく必要がある。

近年の高強度・高延性鋼板（中高炭素鋼板）開発の動向では、多量のレアメタル添加による高合金化を図る傾向にあるが、製造プロセスでの有害ヒューム発生などの安全面に係る問題や、近年のレアメタル需要増加と資源国による輸出規制などによる価格高騰の背景から、レアメタル多用の製造方法からの脱却が求められている。

#### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、レアメタル添加量が極限まで抑えられた次世代中高炭素鋼板の開発を目標とし、鋼板製造工程を精密制御し、レアメタルに代えて鋼材中の既存軽元素が強度や延性などの特性に及ぼす機能を最大限に発現させる技術や、鋼材中の結晶粒微細化・組織制御技術などの各種アプローチの高度化を図る。また同時に、中高炭素鋼開発の加速化に貢献する革新的な解析・評価技術を開発する。具体的には、中性子や放射光、電子線等を用いて、中高炭素鋼中の固溶炭素分布状態や、熱処理や加工プロセスにおける鋼微細組織変態挙動の動的解析技術等を開発する。

#### 3. 達成目標

##### (1) 高強度高延性中高炭素鋼の開発

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・レアメタル添加量：10wt%
- ・引張強度：1.2GPa
- ・伸び：15%以上

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・レアメタル添加量：10wt%未満

- ・引張強度：1.2GPa 以上
- ・伸び：20%以上

## (2) 中高炭素鋼の解析・評価手法の開発

### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・低濃度炭素検出技術  
炭素定量下限：30ppm
- ・微細粒成長動的観察技術  
像分解能：15nm
- ・加熱加工模擬技術の確立
- ・鋼の歪み挙動解析技術の確立

### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・鋼組織の高速定量解析技術の確立
- ・鋼中のヘテロ構造と軽元素の空間相関評価技術の確立

## 研究開発項目⑥「熱可塑性 CFRP の開発」

### 1. 研究開発の必要性

炭素繊維と樹脂の複合材料である CFRP は、航空機の構造材等に使用され、機体の軽量化によって省エネに貢献している素材であるが、現在、CFRP のマトリックス樹脂に使用されているのは、主に熱硬化性樹脂であり、生産コストも高いため、大量生産型製品への適用は困難な状況である。さらに、将来的に様々な素材を適材適所に使用していくためには CFRP と金属材料の接合が必要であるが、熱膨張率の差に起因する変形や電食等の課題がある。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、これらの課題を解決するため、量産プロセスに適用できるレベルの熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術を開発し、接合部の耐久性等の評価解析技術を確立する。また、熱可塑性 CFRP の中間基材の開発と、その特性に基づいた構造設計、成形加工、性能評価等に係わる技術開発を包括的に実施する。

### 3. 達成目標

#### (1) 熱可塑性 CFRP と金属材料との接合技術開発

##### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・CFRP と異種材料（鉄鋼、アルミ合金）との接合の要素技術の見極めを行い、上記接合方式・接合形状における強度設計に必要なデータベースを構築する。

【第2期目標（平成29年度末）】

- ・平成27年度までに構築した異材接合データベースを基に、現行量産車において多用され一般的に用いられている接合方式（ボルト締結や接着接合）と同等以上の強度を達成するための要素技術及びその設計手法を確立する。また、最適な非破壊評価手法を確立する。

（2）熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・加工技術の開発

【第1期目標（平成27年度末）】

（a）熱可塑性CFRPの中間基材の開発

- ・中間基材のバリエーションを拡大し、車体の6割軽量化を実現する中間基材の製造に係る要素技術を確立する。

（b）熱可塑性CFRPの性能評価技術の開発

- ・開発材の静的及び動的力学特性把握のための標準試験法・試験片製作方法を提案する。

（c）熱可塑性CFRPを用いた構造設計技術の開発

- ・開発材の静的及び動的力学特性をCAE（Computer Aided Engineering）解析に適用した予測技術を確立し、予測精度を既存の鋼板製車体と同等以上とする。

（d）熱可塑性CFRPの成形加工技術の開発

- ・成形シミュレーション技術を構築する。

（e）LFT-D（Long Fiber Thermoplastics-Direct）成形の基礎技術の開発

- ・炭素繊維と熱可塑性樹脂の混練体の流動特性と材料特性の関係を解析し、混練プロセスの最適条件を解明し、基礎的力学的モデルを提案する。また、初歩的CAE解析技術を確立する。

（f）大物高速成形技術の開発

- ・初歩的なボディ部材を対象に高速プレス成形技術を確立する。また、構造材の剛性確保のためにLFT-D成形品の部分補強を試行する。ハイブリッド構造を達成するためのマテハン技術の概念を決定する。

（g）大物高速接合技術の開発

- ・熱可塑性CFRP使用部材同士の接合方法を見極め、最適手法を選択する。

（h）高意匠性外板製造技術開発

- ・高意匠性を支配する技術要因を分析し、基礎技術を見極める。

（i）実証評価

- ・実証評価の実施方法を策定する。

【第2期目標（平成29年度末）】

（a）熱可塑性CFRPの中間基材の開発

- ・組立パーツの部品点数の半減を実現する中間基材の製造に係る要素技術を確立する。
- (b) 熱可塑性 CFRP の性能評価技術の開発
  - ・材料特性発現メカニズムを解明することにより、標準試験法による評価値の妥当性を検証する。
- (c) 熱可塑性 CFRP を用いた構造設計技術の開発
  - ・CAE 解析予測技術を用いた複数部材の一体化設計技術を開発し、組立パーツの部品点数半減と車体の 6 割軽量化のための要素技術を確立する。
- (d) 熱可塑性 CFRP の成形加工技術の開発
  - ・成形シミュレーション技術を基にして、繊維配向や形状安定性の予測手法を確立する。
- (e) LFT-D (Long Fiber Thermoplastics-Direct) 成形の基礎技術の開発
  - ・量産化につながる混練・押出プロセスの要素技術を確立する。また、LFT-D の材料特性データベースの一部を構築するとともに、試験法標準化への道付けを実施する。さらに、力学モデルの高度化を行い、CAE 解析ソフトウェアに組込む。
- (f) 大物高速成形技術の開発
  - ・複雑なボディ部材の成形技術を確立し、量産化に繋がる要素技術を確立する。ハイブリッド成形技術を確立するとともに、高速マテハン技術の要素技術を確立する。
- (g) 大物高速接合技術の開発
  - ・熱可塑性 CFRP 使用部材同士の接合技術を確立する。
- (h) 高意匠性外板製造技術開発
  - ・選定した材料、プロセスを用いて、高意匠性付与技術を確立する。
- (i) 実証評価
  - ・自動車構造体を想定して、軽量化及び量産性の検証を行う。

## 研究開発項目⑦「革新炭素繊維基盤技術開発」

### 1. 研究開発の必要性

現在の炭素繊維製造方法（進藤方式）は、アクリル繊維を空气中高温で耐炎化（焼成）するもので、製造時における消費エネルギー及びCO<sub>2</sub>排出量はいずれも鉄の約10倍と高い。また、製造装置の除熱効率の限界から生産性もなかなか高められないのが現実であり、これらは大きな課題となっている。今後の自動車の軽量化に向けた普及拡大を考えると、近い将来見込まれる炭素繊維の大量需要に的確に対応していくことが必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高温長時間の加熱をマイクロ波に代替することなどにより、消費電力及びCO<sub>2</sub>排出量を半減するとともに、製造速度を向上し生産効率を引き上げる炭素繊維製造プロセスの革新を行う。また、炭素繊維の多機能化を目指した異形状炭素繊維の開発と、製造プロセス等に係わる技術開発を実施する。



### 3. 達成目標

#### (1) 新規炭素繊維前駆体化合物の開発

##### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・下記（2）の成果とあわせて、新たな炭素繊維前駆体の効率的な合成プロセス技術を確立し、新たな炭素繊維前駆体を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。

##### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・下記（2）の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。

#### (2) 炭化構造形成メカニズムの解明

##### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・（1）の成果とあわせて、新たな炭素繊維の製造技術を開発する。なお、汎用炭素繊維と同等の特性とは、引張弾性率 235GPa、破断伸度 1.5%とする。

##### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・（1）の成果とあわせて、異形状炭素繊維の製造技術を確立する。

#### (3) 炭素繊維の評価手法開発、標準化

##### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・圧縮試験、曲げ試験、ねじり試験方法の規格原案を作成し、JIS/ISO 化に必要なデータを収集する。また、単繊維の熱膨張率計測試験について、試験装置を開発し、評価手法を確立するとともに、熱可塑性樹脂との界面接着特性試験について、複数の評価手法について比較検討を行い、その結果をテスト報告（TR）としてとりまとめる。さらに、新規炭素繊維前駆体から製造される炭素繊維を適用した複合材料の設計やライフサイクルアセスメント（LCA）に活用するためのデータを収集する。

##### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・熱可塑性樹脂と異形状炭素繊維の界面特性を検証し、その特性発現メカニズムを解明することにより、標準的な力学的試験法を確立する。

### 研究開発項目⑧「戦略・基盤研究」

#### 1. 研究開発の必要性

10年にわたる長期間での実施を予定している本研究開発では、その間、また将来的に開発技術を着実に社会へと還元していくために、今後の社会動向に合わせた研究開発のビジ

ョンを明確にする必要がある。具体的には、今後中長期的に自動車や航空機に求められる構造材料等の在り方を展望した上で、上記研究開発の方向性や目標、新たな研究開発分野などを設定していく必要がある。

## 2. 研究開発の具体的内容

材料、部品、自動車や航空機などのメーカーや、全材料を横断的に見渡せる有識者へのヒアリング、内外の技術動向や政策支援の調査、新しい技術の可能性調査（FS）、基盤研究など、本研究開発の方向性検討に必要な調査を全般的に行い、革新的新構造材料等研究開発の効果的な推進に繋げる。

## 3. 達成目標

### (1) 新構造材料の動向調査・技術・研究戦略

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・研究開発のビジョンの明確化
- ・接合技術及び個別材料の技術戦略指針、実用化に向けた課題抽出
- ・プロジェクトの技術・研究戦略の策定
- ・新規材料の輸送機器への適用可能性の明確化
- ・新規材料の研究開発方針の明確化

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・必要に応じて、平成27年度末に設定する。

### (2) 共通基盤技術の調査研究

#### 【第1期目標（平成27年度末）】

- ・構造材料、接合プロセスに関する新たな研究シーズの顕在化
- ・マルチマテリアル設計における、研究方向性の明確化
- ・材料と破壊の基礎メカニズム解明
- ・接合部の非破壊評価手法の確立
- ・プロセスモニタリング／ヘルスマニタリング手法の確立

#### 【第2期目標（平成29年度末）】

- ・必要に応じて、平成27年度末に設定する。

# 事前評価書

作成日 平成26年2月20日

1. プロジェクト名	革新的新構造材料等研究開発
2. 推進部署名	電子・材料・ナノテクノロジー部
3. プロジェクト概要（予定）	
1) 背景	
<p>エネルギー消費量削減やCO<sub>2</sub>排出量削減は、国際的な重要課題である。産業・運輸・民生の各部門で様々な対応が図られており、例えば運輸部門では、世界的に自動車に対する厳しい燃費規制が設定されている。我が国においても、CO<sub>2</sub>総排出量の20%近くが自動車からの排出であり、今後のCO<sub>2</sub>排出量削減に向けて、自動車の燃費向上に係る技術開発が重要となる。</p> <p>自動車の燃費改善に係る課題には、エンジンを始めとした動力機関の効率向上、車両の軽量化、空気抵抗軽減などがある。中でも動力機関の効率向上に向けた研究開発は精力的に取り組まれ、例えばハイブリッド車の普及に至っているが、これに加えて車両の軽量化もまた、燃費改善効果が高いとされ、重要な取組課題の一つになっている。</p> <p>近年の車両軽量化技術開発では、軽量材料を適材適所に使うマルチマテリアル化が進められている。その際、異種材料接合が鍵となるが、材質が大きく異なる材料間の接合や、自動車としての安全性を保証する上で欠かせない接合部の性能評価技術など、今後克服すべき数多くの技術課題が残されている。</p> <p>また、構造材料そのものの軽量化も極めて重要な課題であり、高強度、高延性、不燃性、耐食性、耐衝撃性等の機能が確保された軽量構造材の開発が必要である。それと同時に、これらの機能を損なうことのない接合技術や成形加工技術等の開発が求められる。</p>	
2) 目的	
<p>自動車を中心とした輸送機器の抜本的な軽量化（半減）に向けて、革新的接合技術の開発や、鋼材、アルミニウム材、チタン材、マグネシウム材、炭素繊維及び炭素繊維強化樹脂（Carbon Fiber Reinforced Plastics、以下「CFRP」という。）等、輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発を一体的に推進する。これにより、輸送機器の燃費向上によるエネルギー消費量とCO<sub>2</sub>排出量の削減、我が国の部素材産業及び川下となるユーザー産業の国際競争力強化を目指す。</p>	

### 3) 実施内容

革新的接合技術の開発や輸送機器の主要な構造材料の高強度化等に係る技術開発を行う。具体的なテーマは以下のとおり。

#### ① 革新的接合技術

コスト競争力に優れ、具体的な用途が想定された革新的接合技術を開発する。具体的には、中高炭素鋼やチタン材といった難接合材の接合、金属／CFRP 間等の異種接合に適用できる革新的な固相摩擦攪拌接合技術や熔融接合技術等を開発する。

#### ② 革新的チタン材の開発

生産性を向上した新規のチタン製錬技術やチタン材加工技術開発（製錬・溶解・熱延工程を革新的に短縮した高機能チタン薄板製造技術開発、連続一貫製造プロセス技術など）を行うとともに、チタン材の構造制御や不純物濃度低減技術等による高機能チタン材の開発を行う。

#### ③ 革新的アルミニウム材の開発

次世代航空機や自動車等の輸送機器への適用を目指した革新的アルミニウム材の開発を行う。具体的には、アルミニウム材の構造制御技術等を確立することで、強度や延性を向上させた革新的なアルミニウム材を実現する。また、海外メジャー企業並みの低価格を実現できる新規アルミニウム材製造プロセス等の開発を進める。

#### ④ 革新的マグネシウム材の開発

可燃性や難加工性といった欠点を克服するため、マグネシウム材の組織制御により強度や延性、耐熱性などの材料特性を向上させたレアアースフリーマグネシウム材の開発を行う。また、大型展伸材を製造するための革新的製造プロセス技術等の開発に加え、マグネシウム材の特性評価技術開発を併せて行う。

#### ⑤ 革新鋼板の開発

レアメタル添加量が極限まで抑えられた次世代中高炭素鋼板の開発を目標とし、鋼板製造工程を精密制御し、レアメタルに代えて鋼材中の既存軽元素が強度や延性などの特性に及ぼす機能を最大限に発現させる技術や、鋼材中の結晶粒微細化・組織制御技術などの各種アプローチの高度化を図る。また同時に、中高炭素鋼開発の加速化に貢献する革新的な解析・評価技術を開発する。

⑥熱可塑性CFRPの開発

量産プロセスに適用できるレベルの熱可塑性CFRPと金属材料との接合技術を開発し、接合部の耐久性等の評価解析技術を確立する。また、熱可塑性CFRPの中間基材の開発と、その特性に基づいた構造設計、成形加工、性能評価等に係わる技術開発を包括的に実施する。

⑦革新炭素繊維基盤技術開発

高温長時間の加熱をマイクロ波に代替することなどにより、消費電力及びCO<sub>2</sub>排出量を半減するとともに、製造速度を向上し生産効率を引き上げる炭素繊維製造プロセスの革新を行う。また、炭素繊維の多機能化を目指した異形状炭素繊維の開発と、製造プロセス等に係わる技術開発を実施する。

(2)規模 総事業費（需給）470億円を想定  
平成25年度、METI直執行予算：41億円  
平成26年度予算：48億円

(3)期間 平成26年度～34年度（9年間）

①～⑥は平成25年度をMETI直執行。  
⑦は平成23年度から平成25年度までMETI直執行。  
平成26年度よりNEDO執行予定。

4. 評価内容

(1) プロジェクトの位置付け・必要性について

1) NEDOプロジェクトとしての妥当性

本事業は、日本再生戦略「グリーン成長戦略」（平成24年7月31日閣議決定）に定められた重点施策「グリーン部素材が支えるグリーン成長の実現」に則ったものである。

再生可能エネルギー発電設備、蓄電池の高性能化、自動車や航空機の軽量化・省エネ、高断熱住宅等に関する部素材などは、現時点では日本が高い競争力を有しているものの、部素材メーカー単独では製品開発までは行えず、必ずしも部素材の強みを最終製品に反映できていない。

本事業は、国が主導的に関与し、川上から川下までの共同技術開発の支援を行うことで、材料科学分野で生み出された優れた成果を革新的構造材料として輸送機器に適用し、最終製品としての国際競争力を強化することで、グローバル化が進む中で引き続き国内産業を成長させていく取組みであり、社会的、経

済的にも重要である。

本事業で行う研究開発では、素材毎に縦割りではなされてきた従来の研究開発スタイルから脱却し、これらの素材の壁を越えて統合的に事業を推進することで、これまでの技術開発の延長線では成し得ない画期的な部素材を開発する。このような長期的でリスクの高い研究開発は、民間企業が単独で実施することは困難であり、国が積極的に関与し、実施する意義がある。

## 2) 目的の妥当性

世界的に自動車に対する厳しい燃費規制が設定されるなど、運輸部門におけるエネルギー消費量削減やCO<sub>2</sub>排出量削減は、国際的に重要な課題であると認識されている。我が国でも、CO<sub>2</sub>排出量の20%を運輸部門が占めていることから、燃費改善の必要性は大きい。

自動車等輸送用機械分野では、ハイブリッド車の普及に代表される動力機関の効率向上に加えて、車両の軽量化も燃費改善効果が高いとされており、重要な取り組み課題の一つとして挙げられている。単なる軽量化だけではなく、衝突時の安全性等の向上も求められることから軽量でかつ高強度、長寿命の、従来の延長上にはない画期的な材料の開発が必要となっている。

また、軽量材料を適材適所に使うマルチマテリアル化が進められているが、材質が大きく異なる材料間の接合や、安全性を保證するうえで欠かせない接合部の性能評価技術など、克服すべき技術課題が数多く残されている。

日本の部素材産業は、国際的にみても技術的優位性を有しているが、近年、新興工業国の台頭、グローバル化の進展により、企業間の国際的な競争が激化している。そのような中、我が国の材料産業、ひいては製造業の国際競争力を維持するためには、国として、産官学を巻き込んだ新たな手を打つことが求められる。

本技術開発では、以上を踏まえ、自動車等輸送用機械分野での省エネルギー化、安心・安全を図るため、さらなる軽量化、高強度化等が求められている材料について、最新の科学的知見を利用し、革新的材料の製造及び利用する基盤的技術開発を行い、実用化を促進する。

### (1) プロジェクトの位置付け・必要性についての総合的評価

エネルギー消費量削減やCO<sub>2</sub>排出量削減という国際的な課題に対し、大きな貢献が期待できるとともに、グローバル化が進む中で引き続き国内産業を成長させていく取組みであり、社会的、経済的にも重要である。

また、川上から川下までの連携、素材の壁を越えた事業推進など、民間企業単独では実施が困難であることからNEDOが主導して実施する意義は大きい。

## (2) プロジェクトの運営マネジメントについて

### 1) 成果目標の妥当性

これまでは、各部材がどのような材料と組み合わせられて使用されるかといったユーザー企業からの視点での材料開発はほとんど進められておらず、材料ごとの高性能化に特化した開発が進められてきた。本プロジェクトでは、自動車や高速車両メーカーのニーズ（市場が要求する仕様）に基づき、どの材料をどの構造部材へ適用するかというイメージも持ちながら、各材料（Ti合金、Mg合金、Al合金、革新鋼板、炭素繊維、複合材料）の高性能化・低コスト製造プロセス開発・設計加工技術開発の目標を設定している。

### 2) 実施計画の想定と妥当性

研究開発項目である新部素材開発、異種材料接合技術開発、革新製造プロセス開発は、課題も多く、研究開発期間には長期間を要すると考えられる。そのため、研究期間を第1期（平成26年度～27年度）、第2期（平成28年度～29年度）、第3期（平成30年度～32年度）、第4期（平成33年度～34年度）分けて事業を推進する。

### 3) 評価実施の想定と妥当性

NEDOは、技術的及び政策的観点から研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による評価を実施する。

中間評価については、第1期の最終年度（平成27年度）、第2期の最終年度（平成29年度）、第3期の最終年度（平成32年度）に実施する。事後評価については、第4期終了の翌年度（平成35年度）に実施する。第3期以降の研究開発項目及び目標は、中間評価結果を踏まえ、平成29年度末に設定し、新たに実施者を公募する。

なお、中間評価結果、内外の研究開発動向、社会・経済情勢の変化、政策動向の変化等を踏まえ、本事業の必要性、目的、目標、研究開発の内容、推進体制等についてゼロベースで見直しを行うこととする。特に、研究開発の最終段階にあるものや早期に成果が見込まれるもの、研究開発成果の進捗が芳しくないもの等については、予算の加速や研究開発の前倒し終了などを弾力的に行うこととする。

<p><b>4) 実施体制の想定と妥当性</b></p>
<p>推進体制として技術と事業の両面で世界に勝てる産学官ドリームチームとなっている。また、今までなしえなかった企業間・府省間を超えた連携体制で川上～川下企業のシナジー連携効果まで期待出来る形になっている。</p>
<p><b>5) 実用化・事業化戦略の想定と妥当性</b></p>
<p>戦略・基盤研究にて、自動車や航空機、部品、材料メーカーや、全材料を横断的に見渡せる有識者へのヒアリング、内外の技術動向や政策支援の調査など、本研究開発の方向性検討に必要な調査を全般的に行い、確実な実用化へと結びつける。</p>
<p><b>6) 知財戦略の想定と妥当性</b></p>
<p>委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「未来開拓研究プロジェクトにおける知的財産等の取扱いに関する基本的考え方」に基づき、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第25条の規定等に則り、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。</p> <p>また、推進体制を構成する企業等が相互に連携しつつ、研究開発及び事業化を効果的に推進するために、プロジェクト実施者に、知的財産管理規程、再委託契約書、共同研究契約書等を制定させる。</p>
<p><b>7) 標準化戦略の想定と妥当性</b></p>
<p>革新的構造材料の評価技術、新規異種材料接合において、接合部の強度評価技術等物性評価方法の開発を進め、新規材料、接合技術の国際標準化を進める計画である。</p>
<p><b>(2) プロジェクトの運営マネジメントについての総合的評価</b></p>
<p>自動車メーカーなどユーザーのニーズに基づき、プロジェクトの目標を設定しており、それに対する評価や評価結果の対応などマイルストーンも明確である。また、世界をリードする企業、大学、国研が一体となった研究開発体制を敷くとともに、これまで成しえなかった企業間を超えた連携体制で川上～川下企業のシナジー効果まで期待出来る。</p>
<p><b>(3) 成果の実用化・事業化の見通しについて</b></p>
<p><b>1) プロジェクト終了後における成果の実用化・事業化可能性</b></p>



本技術の実現により、自動車の軽量化が可能となり、その結果として次世代自動車として4.5 km/Lという数値目標も裏付けのあるデータから算出されており、実用化・事業化の可能性は非常に高い。

## 2) 成果の波及効果

本プロジェクトでは、技術と事業の両面で世界に勝てる産学官ドリームチームを目指しており、産官学の強い連携を行う。プロジェクトに参画する大学等アカデミアが、企業との開発連携を行う事で、企業側、大学側両者の人材育成につながるものと考えられる。

また、本プロジェクトでは、これまでなしえなかった、企業間、府省間を超えた連携体制を築き、一体的に事業を進めていくことで、川上(部素材)～川下(ユーザー企業)の連携によるシナジー効果が期待でき、日本の部素材産業の国際競争力強化に大きく寄与できるものと考えられる。

輸送機器(自動車、航空機等)の抜本的な軽量化に繋がる技術開発を行うことにより、エネルギー使用量及びCO<sub>2</sub>排出量削減が実現できることの社会的意義は非常に大きい。

## (3) 成果の実用化・事業化の見通しについての総合的評価

環境調和を実現する輸送機器の実現は社会の強い要求であること、産学官の強い連携によるシナジー効果や人材育成が期待できることから、シーズ、ニーズの両面から見て、実用化・事業化の見通しは良い。

「革新的新構造材料等研究開発 基本計画（案）」に対するパブリックコメント募集の結果について

平成26年3月12日  
NEDO  
電子・材料・ナノテクノロジー部

NEDO POSTにおいて標記基本計画（案）に対するパブリックコメントの募集を行いました結果をご報告いたします。

1. パブリックコメント募集期間  
平成26年2月27日～平成26年3月12日
2. パブリックコメント投稿数<有効のもの>  
計0件

以上