

「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 材料・ナノテクノロジー部
-----	--

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)実用化・事業化に向けた戦略

- ・最終目標である 1.5GPa-20%高張力鋼板の開発は、5 年間前倒しとなる平成 29 年度末（前半 5 年）に実験室レベルで完了する見込みである。平成 29 年度からは実用化・事業化に必要な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 FS 研究として取り組み、平成 30 年度以降の本研究化を目指す。その上で、革新鋼板の実用化・事業化について、各分担研が独自に実機における製造性を検討するとともに、自動車メーカーなどと協議し開発を進める。
- ・難燃性新マグネシウム合金の開発では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、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る。
- ・アルミニウム材では、まずは国産ジェットの MRJ に参入するべく合金開発・量産体制の確立を目指す。時期としては次々世代の MRJ をターゲットとして各種規格や認定の取得を実施する。続いて海外小型ジェット機メーカーやボーイング、エアバスへの展開を計る。アルミニウム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、アルミニウム素材開発によって実用化することを狙いとしている。
- ・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。プロセス開発成果の実装化を加速するために、コスト低減効果の高い課題に優先的に絞り込み、開発を進める予定である。
- ・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 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。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、官とも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。
- ・炭素繊維強化プラスチック；Carbon Fiber Reinforced Plastics（CFRP）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（公研）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。
- ・マグネシウム合金では、高コストなマグネシウム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、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。
- ・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。
- ・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。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。
- ・CFRP の BMW i3、i8 へ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、船舶等他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。
- ・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）

- ・ 中間目標の 1.2GPa 鋼板および最終目標の 1.5GPa 高張力鋼板の実製造性について各分担研で取り組むとともに実用性能の評価と材料改良を実施していく。また、1.5GPa 高張力鋼板の腐食と水素脆性について協調して研究開発を行い革新鋼板の実装化を図る。
- ・ マグネシウム合金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、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。本体制の元、4 つの開発ステップ（①ラボレベル研究開発、②実機レベル研究開発、③部分モデル構体作製、④モックアップモデル構体作製）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。
- ・ アルミニウム材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。航空機用材料では各種規格・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。
- ・ 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。
- ・ 炭素繊維実用化に向けては、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、本技術開発の後継プログラムとして進めることを期待したい。
- ・ 熱可塑性 CFRP では、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。
- ・ 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。適用化開発以降は、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、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。
- ・アルミニウム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。
- ・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。
- ・炭素繊維では、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。
- ・熱可塑性 CFRP の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。

- ・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）

- ・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はあたっては、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。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高い。
- ・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。
- ・炭素繊維では、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。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。
- ・熱可塑性 CFRP は、輸送機器を中心として省エネルギーや CO₂ 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。
- ・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。
- ・アルミニウム材では、近年大型航空機においては軽量化・燃費効率の観点から 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アルミニウム-リチウム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。
- ・炭素繊維の製造法(進藤方式)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。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できる。
- ・熱可塑性 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）

- ・鉄鋼材料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。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散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。
- ・炭素繊維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、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 CO₂ 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。
- ・熱可塑性 CFRP では、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熱可塑性 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 CO₂ 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。

2.テーマ毎の取り組み及び見通し

2.1「革新鋼板の開発」

- [テーマ番号 22] 残留 γ 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）
- [テーマ番号 47] 異相界面腐食解析の基盤技術開発（FS 研究）
- [テーマ番号 48] 超高強度薄鋼板の水素脆化に関する研究基盤技術開発（FS 研究）

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

中間目標である引張強度 1.2GPa-伸び 15%高張力鋼板の開発は、1 年間前倒しで開発が完了した。最終目標である 1.5GPa-20%高張力鋼板の開発は、5 年間前倒しとなる平成 29 年度末（前半 5 年）に実験室レベルで完了する見込みである。平成 29 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 FS 研究として取り組み、平成 30 年度以降の本研究化を目指す。革新鋼板の実用化・事業化について、各分担研が独自に実機における製造性を検討するとともに、自動車メーカーなどと協議し開発を進める。複層鋼板の 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、平成 27 年度末に FS 研究を完了した。

(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高張力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）

中間目標の 1.2GPa 鋼板および最終目標の 1.5GPa 高張力鋼板の実製造性について各分担研で取り組むとともに実用性能の評価と材料改良を実施していく。また、1.5GPa 高張力鋼板の腐食と水素脆性について協調して研究開発を行い革新鋼板の実装化を図る。平成 27 年度末に FS 研究が完了した複層鋼板 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%高張力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高張力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る鉄鋼材料の高強度かつ高延性の1.5GPa-20%高張力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高張力鋼板の製造技術を、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 高張力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 CO₂ 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）[テーマ番号 22、47、48]

(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 年度以降の取り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、ユーザで本材料の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（富津分室、尼崎分室） [テーマ番号 23、47、48]

(1) 実用化・事業化に向けた戦略

これまでの検討で、単純組成からなる革新鋼材の特性として引張強度 1.5GPa、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確立した。しかしながら、現時点では、実験室レベルの試作と引張特性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、大型サンプルの試作・評価とともに、構造体としての使用時に必要な耐環境性、耐久性、等を見極めたうえで、実用化判断を行う必要がある。

そこで、平成 29 年度より、革新鋼材が腐食した場合に増加する構造材料のリスクをミニマム化するための腐食解析技術の検討を開始した。

(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）

実用化・事業化戦略策定において、実装時の耐環境性の評価が急務であることから、鉄鋼 3 社の協調課題として、東北大 武藤教授を筆頭に、北海道大 伏見准教授、東北大 菅原助教、NIMS 片山主幹研、鉄鋼各社から選出された 3 名からなる腐食技術検討委員会を設置した。

上記、耐食性、耐環境性の評価を経て、平成 30 年度以降、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。

(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

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。

腐食技術検討委員会での議論の結果、革新鋼材の持つ特異な異相界面を起点とする腐食現象を解析する技術の強化が必要であると判断され、提言。平成 29 年度、協調課題として F S テーマ化を進め、採択された。

(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

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。

(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）

各社で開発中の材料と競合する。したがって、実用性能を評価した上で、性能面、コスト面での精緻、客観的な評価が必要である。

(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

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）[テーマ番号 24、47、48]

(1)実用化・事業化に向けた戦略

平成 34 年度を目標に 1.5GPa 級高延性超高強度鋼板の事業化を目指す。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 年の 92 百万台から 2050 年には 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）

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、最終目標を有する鋼板開発に展開する。1.5GPa 級鋼の実用化における課題の一つである遅れ破壊については、協調領域テーマにおいて、その危険性を適正に評価する方法を検討する。

(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

平成 27 年度中間目標材について、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、最終目標を有する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 CO₂ 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 CO₂ 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（富津分室）[テーマ番号 25]

(1) 実用化・事業化に向けた戦略

自社に持ち帰り移動体構造部材への適用性を中心に実用化、事業化の可能性を検討した。その結果、製造に長時間を要すること、大型品の製造が困難であること、等から、実用化および事業化検討は時期尚早であると判断した。従って、FS 研究が終了した 27 年度で、本課題を終了する決断に至った。

(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

適用部材が未定であるため、市場規模および経済効果等の見積もりに至っていない。

(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）

平成 27 年度で終了した。

(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、現行材と同等の製造性、生産性が必要である。現在の製造技術での解決は困難と判断した。

(5) 実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

複層鋼板は、既存鋼板とは異なった製造工程で生産する必要があり、仮に実用化・事業化を推進するためには、複層鋼板の製造に特化したラインの新設が必要となる。本プロジェクトで試作した複層鋼板は単体の鉄鋼材料より優れた延性を有するもの、原料費、材料特性、生産性、等から多角的に評価した結果、莫大な設備投資を吸収するだけの価値創出は困難であるとの結論に達した。

したがって、自動車用構造材料としての実用化・事業化の見通しの目途が立つまでには至っていない。

(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）

競合する技術・事業は単体の現行鋼板である。引張特性は複層鋼板の方が優位である。一方、耐環境性や単体鋼板の方が優位である。コスト面でも、単体の現行鋼板が優位である。

(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

高強度マルテンサイト鋼の延性や破壊靱性の向上指針など、基礎的な機構解明研究が前進した。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で、大きな波及効果があることを確認した。

2.1.2.5 JFE スチール（千葉分室） [テーマ番号 26]

(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、炭素活用による革新的加工性を有する超高強度鋼板等へ適用して、更なる付加価値の向上に繋がることが期待される。

(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

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）

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。

(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

実製造プロセスや部材の加工工程等の課題を抽出し、製造技術からの解決方法について検討を行う。

(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 CO₂ 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 CO₂ 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 「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の MRJ に参入するべく合金開発・量産体制の確立を目指す。時期としては次々世代の MRJ をターゲットとして各種規格や認定の取得を実施する。続いて海外小型ジェット機メーカーやボーイング、エアバスへの展開を計る。

② 新製造プロセス(イオン液体利用)技術開発（深谷分室）

これまでに、小型の連続電析実験機を用い、イオン液体浴からの電解 Al 箔の作製条件を検討した。パイロットプラント構築に向け設計に取り組んだ。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 Al 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)

Al 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 Al 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 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 Al 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 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 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の MRJ に参入するべく合金開発・量産体制の確立を目指す。時期としては次々世代の MRJ をターゲットとして各種規格や認定の取得を実施する。続いて海外小型ジェット機メーカーやボーイング、エアバスへの展開を計る。

(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。

(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を目的として、高品質アルミニウム合金素材の提供に資する溶解鑄造技術を担当する。具体的には、航空機的设计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総合的に考慮し、高強度高靱性な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り国内調達のシェアはまだ小規模にとどまっている。しかし、現在開発が進められている国産航空機の実用化により、航空機用アルミニウム合金の国内調達量が大幅に増大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）

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、名古屋守山分室では、鑄塊の組織微細化技術および脱ガス技術の開発を担当している。どちらも3年目までに実験室レベルにおいて基本技術の確立を行った。今後、本開発技術の実用化に向け、実生産プロセスへの展開に必要な要素技術の開発を5年目までに行い、実用化・事業化を進めていく。

(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

鑄塊の組織微細化技術では、大型形状への対応が容易な電磁攪拌プロセスに着目し、断面形状が丸であるビレットにおいて、鑄塊全体の均質微細化を達成しており、現在実生産プロセスである連続鑄造プロセスへの展開を進めている。しかしながら、断面形状が四角であるスラブに適用した場合、角部に微細化の不十分な領域が見られ鑄塊全体での微細化が行えていない。攪拌条件やスラブ形状などが微細化領域に及ぼす影響を詳細に検討し、スラブ材においても鑄塊全体の均質微細化を可能とする技術開発

を行う。一方、脱ガス技術としてはアルミニウム合金中の含有水素量を 0.1ppm 以下にまで低減可能な処理方法を開発した。アルミニウム合金中のガス量は最終製品において少ないことが重要であり、脱ガス処理後の工程でガス量が増大してしまえば意味がない。今後は、アルミニウム合金中のガス量を増大させる条件（温度や加工度など）を明確にし、最終製品においてガス量が最小となるよう加工条件の見直しや脱ガス処理工程の導入場所について検討を進める。

(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 4 年が経過した現在、鋳塊の高強度高靱性化に向けて鋳造組織や含有水素量の制御に向けた基礎技術は着々と積み上げている。さらに、実用化に向け千年分室と協力しながらスケールアップ・生産ラインへの適用について検討を行い、必要となる要素技術の開発を進めているところである。

(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）

鋳造組織微細化の方策としては、微細化剤添加が現在広く用いられている。しかし、微細化剤は高価でありまた供給不安が懸念されるレアメタルを含むため、それに代わる方法が求められている。その方法として超音波や電磁振動などの印加プロセスが検討されているが、どちらも特殊な装置を必要とするためコスト高となるだけでなく大型化が困難であるといった問題を抱える。一方、電磁攪拌は必要とする装置が簡便であり大型化が容易であるため、実生産レベルの装置設計に対してコスト面で優位性を有する。含有水素量の低減においては、現在不活性ガスを用いたバブリングが主流であるが、0.2ppm 程度までの低減が限界である。本プロジェクトにおいて行っている脱ガス処理では、0.05ppm を下回るところまで水素量を低減することが出来ており、性能面で優位性を有している。

(7) 波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

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 系アルミニウム合金に限定されるものではない。2000 系、5000 系、6000 系など幅広いアルミニウム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、靱性・疲労特性を阻害する材料中の水素と晶出物を制御した鋳造合金(水素ガスを徹底的に除去した鋳造合金)に、最適な鍛造技術ならびに熱処理技術の適用でマイクロ組織の組織制御を行い、高強度・高信頼性を有

するアルミニウム鍛造材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特性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、H27 年度目標値達成した。引き続き、最適な熱間鍛造、熱処理条件をマイクロ組織に対応付けて選定し、5 年目の H29 年度(中間年度)目標値を達成する。さらに、H30 年度からの実機レベル評価に向けた大型設備で用いる金型設計案の作成を進める。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

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。

(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材料特性の向上に関しては、「高強度化」とともに高靱性化、高疲労特性化ならびに高耐食性化からなる「信頼性の向上」を図るために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高強度化・信頼性の向上の観点から、マイクロ組織の組織制御では、「時効析出物の微細分散」、「結晶粒の微細化」、「集合組織の集積」、「晶出物の微細分散」が主体になっている。この手法をさらに最適化し、靱性・疲労特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

これまでに、小型の連続電析実験機を用い、イオン液体浴からの電解 Al 箔の作製条件を検討した。パイロットプラント構築に向け設計に取り組んだ。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 Al 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 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)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）

Al 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 Al 箔の状態での回収する。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 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 Al 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

Al 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 Al 箔の状態での回収する。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）^{1),2)}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、潜在ユーザーにも技術PRしながらユーザーの求める骨格部材を対象にしたアルミニウム素材の創出に繋げることによって実用化を図る。

(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

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要素技術開発に取り組む

(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）

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 「革新的マグネシウム材の開発」

[テーマ番号 15] 難燃性マグネシウム合金の信頼性（疲労・破壊・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耐食技術の開発

[テーマ番号 20] 難燃性マグネシウム合金の接合技術の開発

[テーマ番号 50] Mg 材の性能・寿命に関する MI（マテリアルズインテグレーション）活用技術開発（FS 研究）

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部材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。

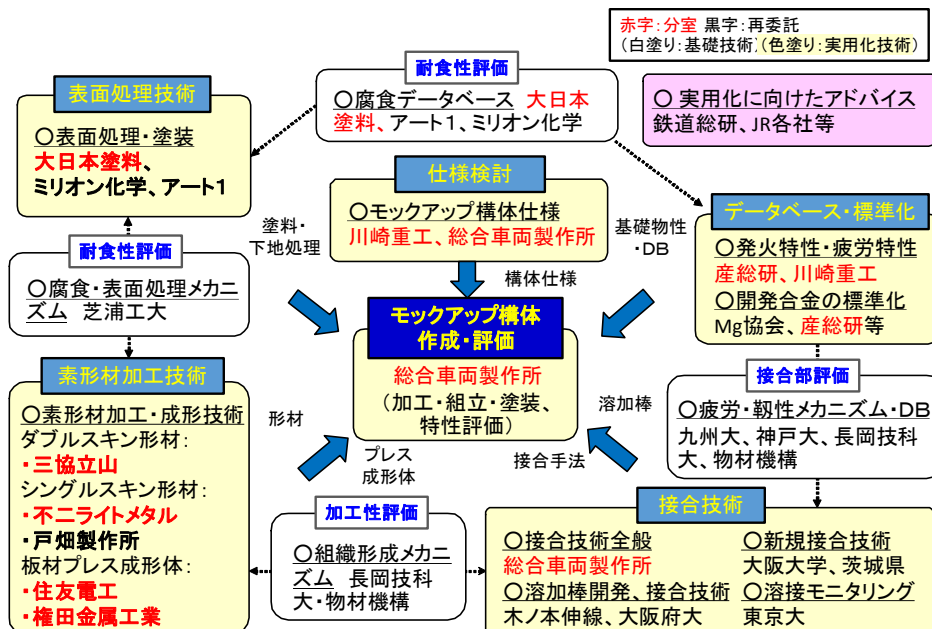
例えば、新幹線のアルミニウム合金製車両構体をマグネシウム合金製車両構体に代替できた場合、車両構体（屋根・側構体、妻体、台枠）に利用されるアルミニウム合金は 1 両当たり約 7t であり、上記部品を全てマグネシウムに置き換え、部品は同一形状であると仮定した場合、1 両当たり約 6t の需要が生まれ、車両製造が 1 年当たり 400 両と仮定すると（385 両：2013 年）、国内 Mg 合金展伸材需要（約 700t）の倍以上の 2400t の需要が生まれることになる。さらに自動車用外板にまで展開できれば、一部車種に限定されたとしても国内だけでも上記と同等の量の需要が見込める。

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。

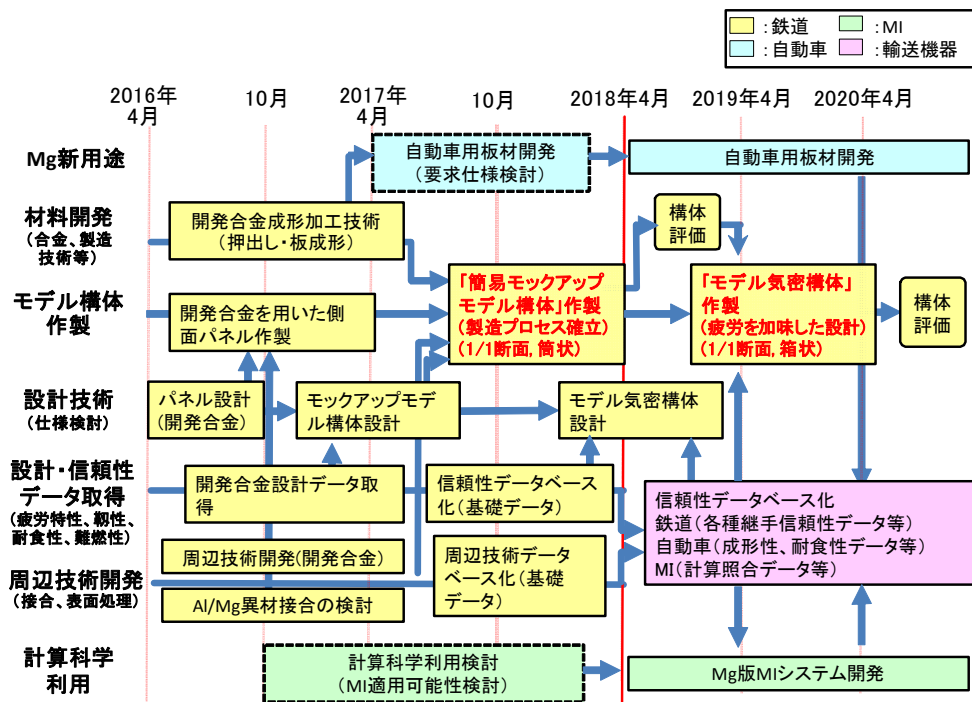
(3) 実用化・事業化に向けた具体的取り組み（実施体制、計画、マイルストーン）

本テーマ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、図IV-2.3.1-1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。本体制の元、4つの開発ステップ（①ラボレベル研究開発、②実機レベル研究開発、③部分モデル構体作製、④モックアップモデル構体作製）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、必要に応じて適宜変更していくことを考えている。



図IV-2.3.1-1 平成29年度以降のプロジェクト開発体制

上記ステップを達成するための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-2.3.1-2 Mgプロジェクトのスケジュール

(4) 実用化・事業化に向けた課題と解決方針

開発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や、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。本開発テーマでは、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、新規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、素材メーカーが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在、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、大幅な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、アルミニウム合金展伸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、そのためにもモックアップモデル構体の作製・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であり、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大きな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。このことから、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。さらには、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が達成できれば、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

平成 27 年度までに新たな難燃性マグネシウム合金を開発するための合金設計指針を導出した。そこでは、ターゲットとする特性（強度・延性・難燃性・押出特性）に焦点を絞り、組成の導出を行った。なお、高速車両構体を設計するためには、上記の基本特性に加え、疲労特性や衝撃変形特性、耐食性を明らかにする必要がある。平成 28 年以降は開発した合金の上記特性を明らかにすることをテーマとして掲げ、母材・継手の特性評価を系統的に実施し、構体設計に直接活用することができるデータベースを構築することを目指している。また、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、難燃性の評価手法の標準化を推進している。

(2) 市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

難燃性マグネシウム合金の適用範囲は高速車両構体のみならず、航空機用部材や建築用部材等、高い難燃性が必要とされる用途に拡がりつつある。現在、構築中の各種データベースの一部は、難燃性マグネシウム合金の疲労特性、衝撃変形特性、腐食特性、発火特性を物語る普遍的知見であり、他の用途にも利用することができ、その適用範囲は広い。また、標準化の活動（難燃性評価）に関しても、他の用途に適用可能であり、その適用範囲は広い。

(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）

平成 27 年度までは、新たな難燃性マグネシウム合金の合金設計指針を構築するための研究開発を実施してきた。平成 28 年度以降は、開発した合金の疲労特性、衝撃変形特性、腐食特性のデータベース構築を目指している。疲労特性に関しては、名古屋守山分室、明石分室に加え、射水分室、相模原分室、大阪分室と協力して、平面曲げ疲労試験により母材・継手（MIG, TIG, FSW）の疲労特性を評価し、データベース化する予定である。また、平成 30 年度以降に作製するモックアップ構体の設計に役立てる予定である。さらに、日本マグネシウム協会と連携し、発火特性評価方法の標準化を推進する予定である。

(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

難燃性マグネシウム合金も含めたマグネシウム合金展伸材の信頼性にまつわるデータは、他の実用金属と比較して圧倒的に少なく、性能評価の長期化が懸念されており、いかに効率化するかが、今後の研究開発の鍵となっている。そこで、本研究開発では、各分室が協力して信頼性データを効率良く取得することに加え、構造材料の組織と性能を、理論や経験則、数値モデリング、データベース、機械学習などを融合して予測可能とする手法、「マテリアルズインテグレーション(MI)システム」の適用可能性についても検討を行い、少ない実験データにより部材を設計することを可能とするシステムを構築することを検討している（テーマ 50 と連携して実施）。

(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

疲労特性、耐食性、衝撃変形特性、発火特性のデータベースを構築するに当たっては、エンドユーザー（鉄道会社・車両メーカー）が車両の設計に際して直接利用できることを念頭に構築する必要がある。そこで、本プロジェクトでは、溶接条件や継手形状についてエンドユーザーからのアドバイスを得た上で、継手の形状や溶接条件を設定し、その継手の疲労特性、衝撃変形特性、耐食性を系統的に取得し、データベースを構築している。

(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）

プロジェクト内で開発中の難燃性マグネシウム合金は A6N01 合金や A7N01 合金を代替することを想定しており、上記アルミニウム合金に匹敵する特性とコストを付与する必要がある。なお、疲労特性については、これまでに開発した合金（母材・MIG 継手）の評価（板材を利用した平面曲げ疲労試験）を完了しているが、A6N01 合金と比較して遜色のない特性が得られている。今後、TIG, FSW 継手の疲労特性に加え、衝撃変形特性、耐食性を継続的に評価し、競合材であるアルミ合金との比較を系統的に実施していく予定である。

(7)波及効果（技術的・経済的・社会的効果、人材育成等）

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、疲労特性、衝撃変形特性、耐食性や発火特性のデータベース、及び標準化された素材や評価方法は、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 川崎重工業（明石分室）

(1)実用化・事業化に向けた戦略

本研究開発の目的は高速鉄道車両の構体に難燃性マグネシウム合金を適用した軽量構体を実現することにある。

従来から高速車両の構体は常に軽量化を求められてきた。その理由は高速化のための出力増大による駆動機器質量増加、乗り心地向上のためのサービス機器・制振機器などの搭載による機器質量の増加、並びに車内外騒音低減のための遮音、吸音対策の

ための物量投入、さらには走行時の軌道への地盤振動影響を低減する為の車両そのものの軽量化要求などである。構体材料は初期の鉄鋼材料からアルミ材料に変遷し構体質量は 40%近い軽量化を達成している。しかしながら、アルミ材料による構体の軽量化は既に限界に近いところまで成熟をしている。更なる営業速度の高速化に伴う構体の軽量化要求に対応する為にはマグネシウム合金の特性に着目するものである。マグネシウム材料は比重が小さい為には軽量化効果を期待できる一方、耐食性あるいは異種金属接触による電蝕のために構体への適用には大きな障害となっている。これらの問題は塩水噴霧試験、暴露試験などで表面処理性能の確認を行い構体への適用を進めるものである。

(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

現在、国内で生産される高速車両は年間約 300～400 両である。この中で営業最高速度が 300km/h を越える高速車両の割合が 50%と仮定すると、マグネシウム合金構体を適用した高速車両の市場規模は年間 150～200 両程度と推定される。また、一般的に車両寿命を 20 年程度とすると一定の置き換え需要をこの先も見込むことが出来る。

1 両当たりのマグネシウム合金使用量を 6t とすると、年間のマグネシウム合金消費量は 900～1200t を見込むことが出来、現在の国内でのマグネシウム合金消費量約 700t を大きく上回ることになる。

(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）

① 平成 28 年度の取組

マグネシウム合金を材料とした高速車両構体の基本設計を実施し軽量化と構体強度および構体剛性の両立性を確認する。更に、来年度製作予定のモックアップ構体の設計を行う。

② 平成 29 年度の取組

原寸断面で 1 窓ピッチの輪切り構体モックアップを試作することで従来にないマグネシウム合金による大型構造物を製作することが出来るかを確認する。

③ 平成 30 年度の取組

抽出した構体モックアップの設計製作による課題点を反映した構体設計を進めると共に、構体気密疲労試験のための疲労試験構体を設計・製作する。想定される営業線での気密疲労強度を確認するために疲労試験構体を用いて繰り返し疲労試験を実施する。

(4)実用化・事業化に向けた課題と解決方針

表IV-2.3.2-1 課題と解決方針

課題項目	内容	解決方針
材料特性の取得	母材および接合部の静強度・疲労強度などの機械特性の取得 押出・圧延方向、押出・圧延直角方向による異方性の把握	異方性を含む各種材料試験の実施
構体設計と軽量化	気密疲労強度、構体縦曲げ剛性などの荷重条件による軽量化効果の確認	基本設計の実施とその評価
施工性の確認	機械加工あるいは板金加工の易・難加工性、あるいは押出加工性の確認 溶接作業施工性の確認	モックアップ製作により施工性確認
構体強度の確認	垂直荷重、3点曲げ、気密疲労強度などの確認	疲労試験構体を用いた気密疲労試験実施により確認
運用時の耐環境性	表面処理、塗装などの耐環境性の把握	塩水噴霧試験、暴露試験の実施

(5)実用化・事業化の見通し（市場ニーズ、ユーザーニーズ）

JR 東日本殿に於いて北海道新幹線札幌延伸に向けて更なる営業速度の向上を実施する方針が明らかにされている。本研究開発のマグネシウム合金構体はこれら高速鉄道の構体をターゲットとするものである。

(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）

現在のアルミニウム合金、ダブルスキン構造に置き換わる超軽量高速車両構体は以下である。

① シングルスキン・溶接構造

アルミニウム合金構体の初期はシングルスキン構造であったが骨皮構造により構体構造が複雑であること、細かい溶接箇所が多数あることから現在はダブルスキン構造に置き換わっている。

② シングルスキン・リベット構造

大きな軽量化を実現できるため、過去に試験車両などに取り入れられたことがあるが、リベット施工は特殊な技能を必要とすること、打釘には多大な工数、すなわちコストがかかることから量産車には取り入れられることがなかった。

一方、マグネシウム合金を用いたダブルスキン構体とすることで構体組立工数を現行のアルミニウム合金ダブルスキン構体と同等としつつ軽量化を達成し、コストを抑えた構体を実現できると考えている。

(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を適用するためには数多くの課題を克服する必要がある。過去にアルミニウム合金を高速車両構体に適用するときにも同様の課題を克服する為に研究開発が行われている。今回も同様の研究開発を実施することにより研究者・設計者の人材育成に寄与するものと考ええる。

2.3.2.3 三協立山（射水分室）

(1)実用化・事業化に向けた戦略

本開発テーマにおける目標は、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の作製を工業レベルで実現することにある。しかしながら、単に目標値を達成す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。プロジェクトにおいては、開発材に目標の達成が求められることは勿論だが、実用化に向けてプロジェクト開発当初より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。

本テーマでは、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っている。以降においても、平成 29 年度にはモックアップモデル構体の試作開発を実施し、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としている。

上述の施策に加え、本開発テーマでは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た押出材の作製に取り組むことも同時に遂行する。

(2)市場動向と売上損益見通し（市場規模・成長性、経済効果）

実用金属中最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 CO₂ 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の提供が実現できれば、押出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への適用が実現できれば、マグネシウム押出材の市場規模の飛躍的な成長が見込まれる。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ることも予想されることより、国内経済にも好影響を及ぼす効果も大いに期待できると考える。

