

エネルギーイノベーションプログラム
ナノテク・部材イノベーションプログラム

「鉄鋼材料の革新的高強度
・高機能化基盤研究開発」

(平成19年度～平成23年度 5年間)

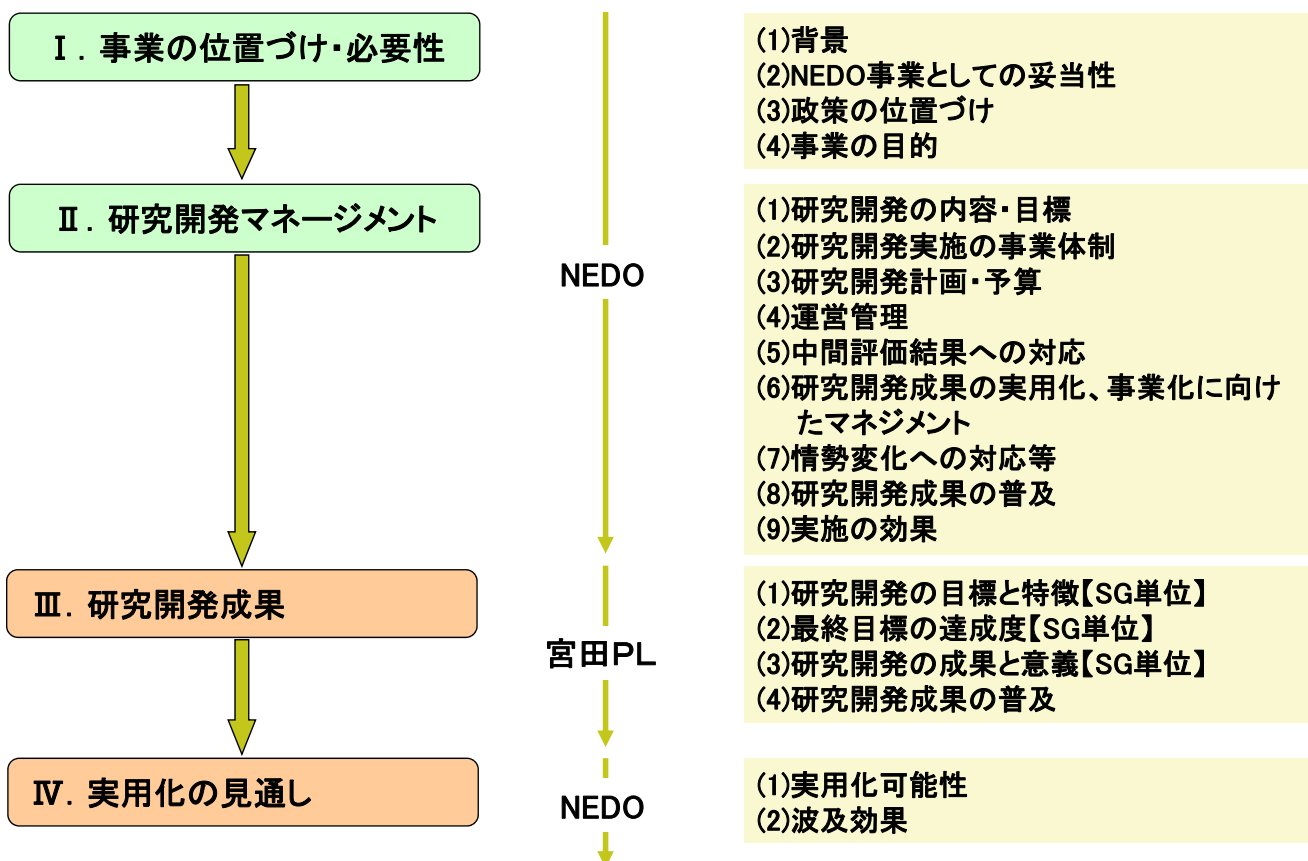
プロジェクトの概要 (公開)

独立行政法人 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

平成24年 8月20日、21日

複製を禁ず

内容



【国内鉄鋼業界の背景】

- 新興国の旺盛な需要に伴う粗鋼生産量の増大
- 海外巨大メーカーの台頭による粗鋼生産量シェアの低下

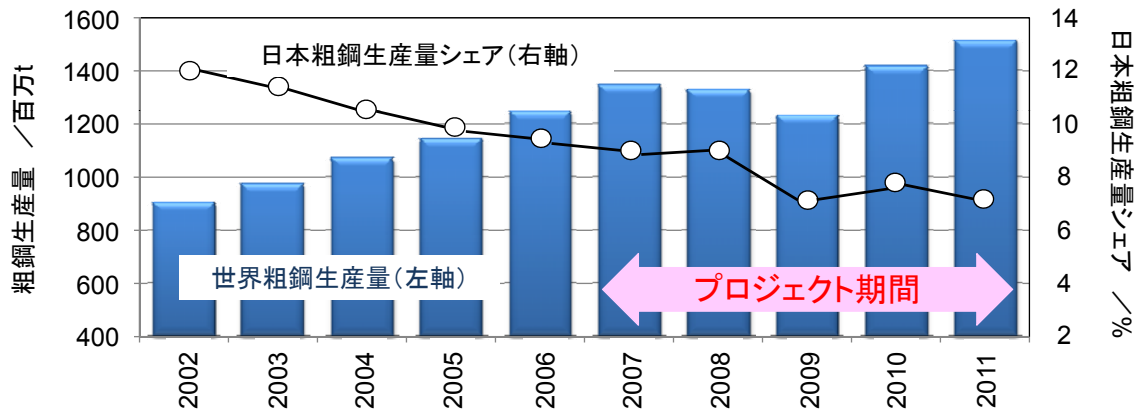


図. 世界粗鋼生産量と日本粗鋼生産量シェアの推移

出典: worldsteel 銑鉄・粗鋼年間生産量・時系列表(日本鉄鋼連盟ホームページ)をもとに作成

日本鉄鋼業の強みである高付加価値商品(高級鋼※)による差別化

エネルギー開発や自動車等輸送機器向けの高級鋼分野で
高い国際競争力を維持、発展

※高強度鋼・低温用鋼・耐熱鋼等の総称

安全・安心な低炭素社会の実現

高効率・省エネルギー化の追求

【社会的背景から鉄鋼材料に望まれるニーズ】

- エネルギー・インフラ分野での極低温、高温・高圧など極限環境への対応
- 輸送機器分野でのさらなる軽量化 etc..

鉄鋼材料・周辺技術への要求水準は年々高度化

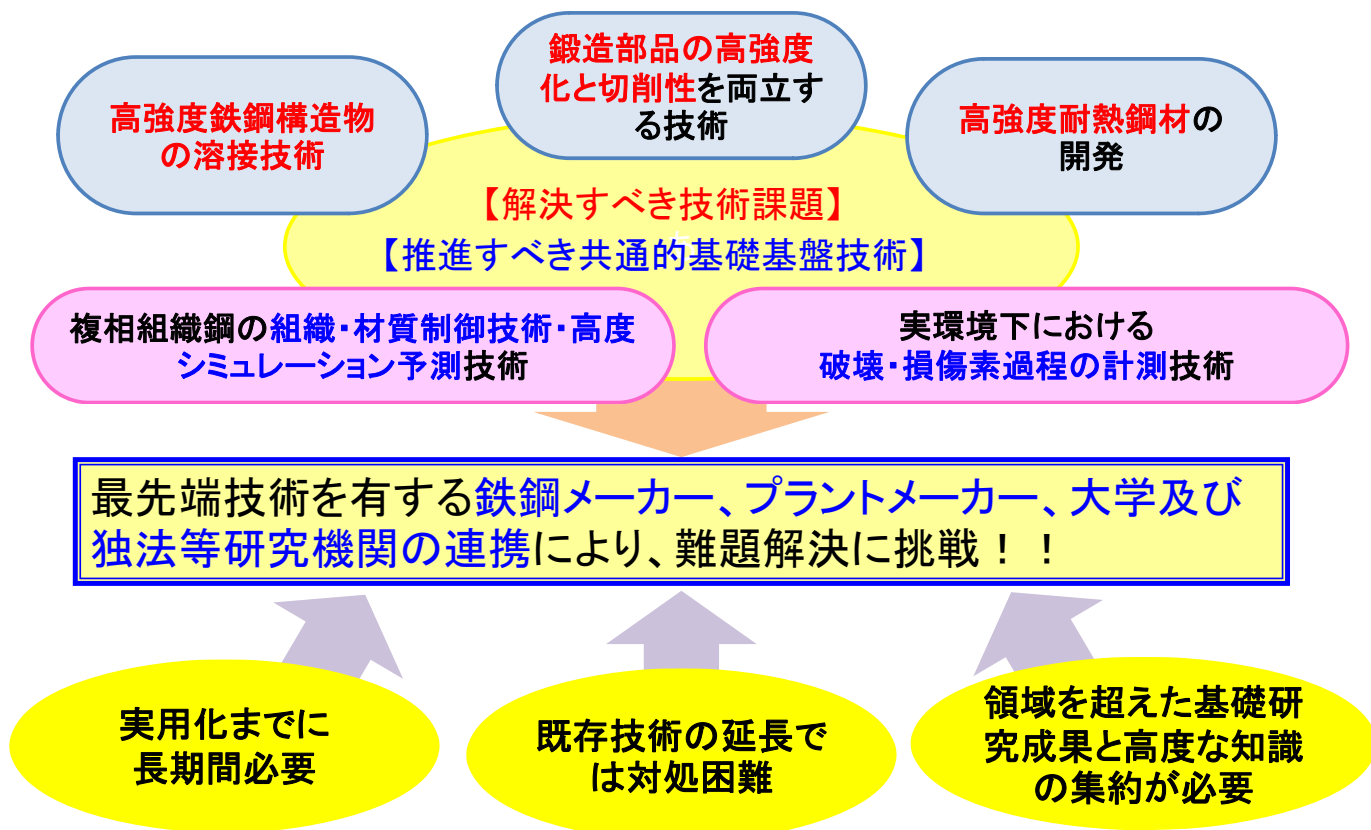
NEDO先導調査(H17年度)の結果 (国内鉄鋼需要業界85社対象に調査)

【解決すべき課題】

- a. 高強度鋼板の加工技術
 - b. 応力腐食割れ防止技術
 - c. 高強度鉄鋼構造物の溶接技術
 - d. 高強度耐熱鋼材の開発
 - e. 鍛造部品の高強度化と切削性を両立する技術
- } ユーザー(自動車業界・化学プラント)を中心に精力的な研究開発実施中

【推進すべき共通的基础基盤技術】

- f. 複相組織鋼の組織・材質制御技術及び高度シミュレーション予測技術
- g. 実環境下(高温・高圧など)における破壊・損傷素過程の計測技術 など



NEDOが関与する意義

鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発は、

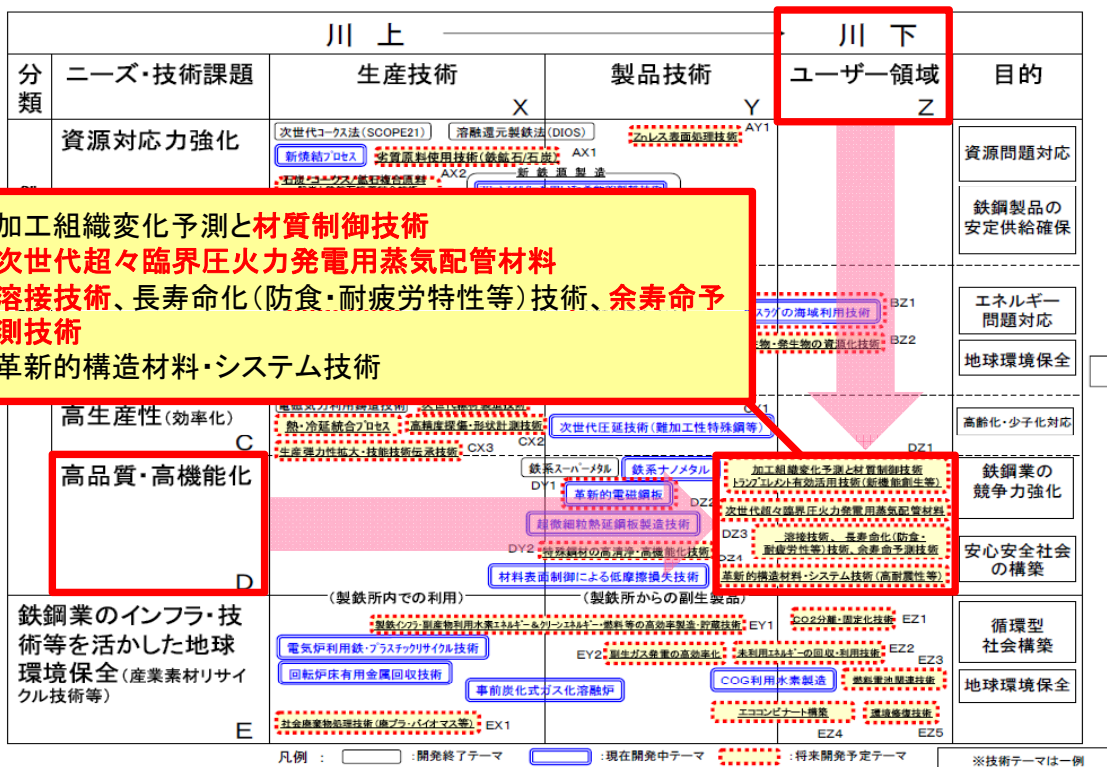
- 社会的必要性:大、国家的課題
- 鉄鋼業界の国際競争力の更なる強化にも貢献
- 研究開発の難易度:高
- 最先端技術を有する企業や研究機関の連携が必要
- 投資規模:大 = 開発リスク:大



NEDOがもつこれまでの知識・実績を活かして推進すべき事業

鉄鋼技術戦略マップ【H17年度】

2005. 4. 18
製鉄企画室(JRCM)



- ◆ 加工組織変化予測と材質制御技術
- ◆ 次世代超々臨界圧火力発電用蒸気配管材料
- ◆ 溶接技術、長寿命化(防食・耐疲労特性等)技術、余寿命予測技術
- ◆ 革新的構造材料・システム技術

鉄鋼業の国際競争力の強化
鉄鋼製品の安定供給確保による日本製造業の国際競争力の維持・発展への貢献

◇第3期科学技術基本計画(平成18年3月、閣議決定)

「ナノテクノロジー・材料分野」は、重点推進分野に指定、優先的に資源配分

◇イノベーション25(平成19年6月、閣議決定)

「ナノテクノロジー・材料分野」は、中長期的に取り組むべき課題

◇エネルギーイノベーションプログラム基本計画(平成20年4月、経産省)

①総合エネルギー効率の向上 超燃焼システム技術

◇ナノテク・部材イノベーションプログラム基本計画(平成20年4月、経産省)

V. 材料・部材領域 広範囲な産業領域に波及する基盤的革新材料、川上・川下連携、すり合わせ力の一層強化

◆Cool Earth—エネルギー革新技術計画(平成20年3月、経産省)

重点的に取り組むべきエネルギー革新技術「21」 ○高効率石炭火力発電 ○革新的材料・製造・加工技術

◇低炭素社会づくり行動計画(平成20年7月29日、閣議決定)

(1) 革新的技術開発のロードマップの着実な実行

『…(略)…、「Cool Earth—エネルギー革新技術計画」に示された、重点的に取り組むべき21のエネルギー革新技術』

◇経済財政改革の基本方針2009(平成21年6月23日、閣議決定)

第2章 成長力の強化 1. 成長戦略の推進 (1) 低炭素革命・環境・エネルギー革新技術等の開発・実証の集中実施

◆エネルギー基本計画(平成22年6月18日、閣議決定)

2. 化石燃料の高度利用 (1) 火力発電の高度化 具体的取組 『IGCC・A-USC(先進的超々臨界圧発電)等』

事業の目的

日本鉄鋼業が得意とする高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる

1. 高級鋼※厚板溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術及び金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術の開発を行い、鋼構造物、エネルギープラント等の高強度、高機能化、長寿命化を可能とする。



(※高級鋼とは、高強度鋼・低温用鋼・耐熱鋼の総称)

2. 部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適傾斜機能を付与する機械部品鍛造技術の開発を行い、自動車等のさらなる軽量化・信頼性を向上する。

『安全・安心な省エネルギー社会を構築すると共に、日本製造業の国際競争力の更なる向上を図る』ことを目的とする。


II. 研究開発マネジメント (1) 研究開発の内容・目標

公開

研究開発対象	研究開発の内容	期待される効果
溶接技術 	高強度鋼・低温用鋼の溶接部の強度・靱性・疲労・水素割れ等の課題を解決する高効率な施工法及び溶接材料の開発	我が国が得意とする高強度鋼・低温用鋼の実用範囲の拡大
水素脆化 	高強度鋼の水素による低温割れの機構解明、信頼性確保のための割れ予測手法の開発	高強度鋼・低温用鋼の実用範囲の拡大、溶接鋼構造物の安全信頼性の向上

対応
課題

- 高強度鉄鋼構造物の溶接技術(解決すべき課題)
- 材質制御技術及び高度シミュレーション予測技術(推進すべき共通的基础基盤技術)


研究開発対象	研究開発の内容	期待される効果
高温クリープ 	・700℃級先進的超々臨界圧火力発電(A-USC)用耐熱鋼の提示と高精度クリープ強度予測法の確立	火力発電の高効率化(600℃25MPa→700℃35MPa)に対応可能な世界最高レベルの耐熱鋼

対応
課題

- 高強度耐熱鋼材の開発(解決すべき課題)
- 材質制御技術及び高度シミュレーション予測技術(推進すべき共通的基础基盤技術)


II. 研究開発マネジメント (1) 研究開発の内容・目標

公開

研究開発対象	研究開発の内容	期待される効果
制御鍛造 	硬質部・軟質部の傾斜機能をもった自動車部品の制御鍛造技術の開発 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステムの基盤構築	高強度化による自動車部品の小型・軽量化と切削性の両立によるコスト競争力の強化

対応
課題

- 鍛造部品の高強度化と切削性を両立する技術の開発(解決すべき課題)
- 材質制御技術及び高度シミュレーション予測技術(推進すべき共通的基础基盤技術)

研究開発対象	研究開発の内容	期待される効果
内部起点疲労破壊 	・高強度軸受け部品の転動疲労における内部き裂評価技術・寿命予測式の構築	高強度軸受け部品の長寿命化(=信頼性向上)・軽量化による海外メーカー製品とのさらなる差別化

対応
課題

- 実環境下における破壊・損傷素過程の計測技術(推進すべき共通的基础基盤技術)

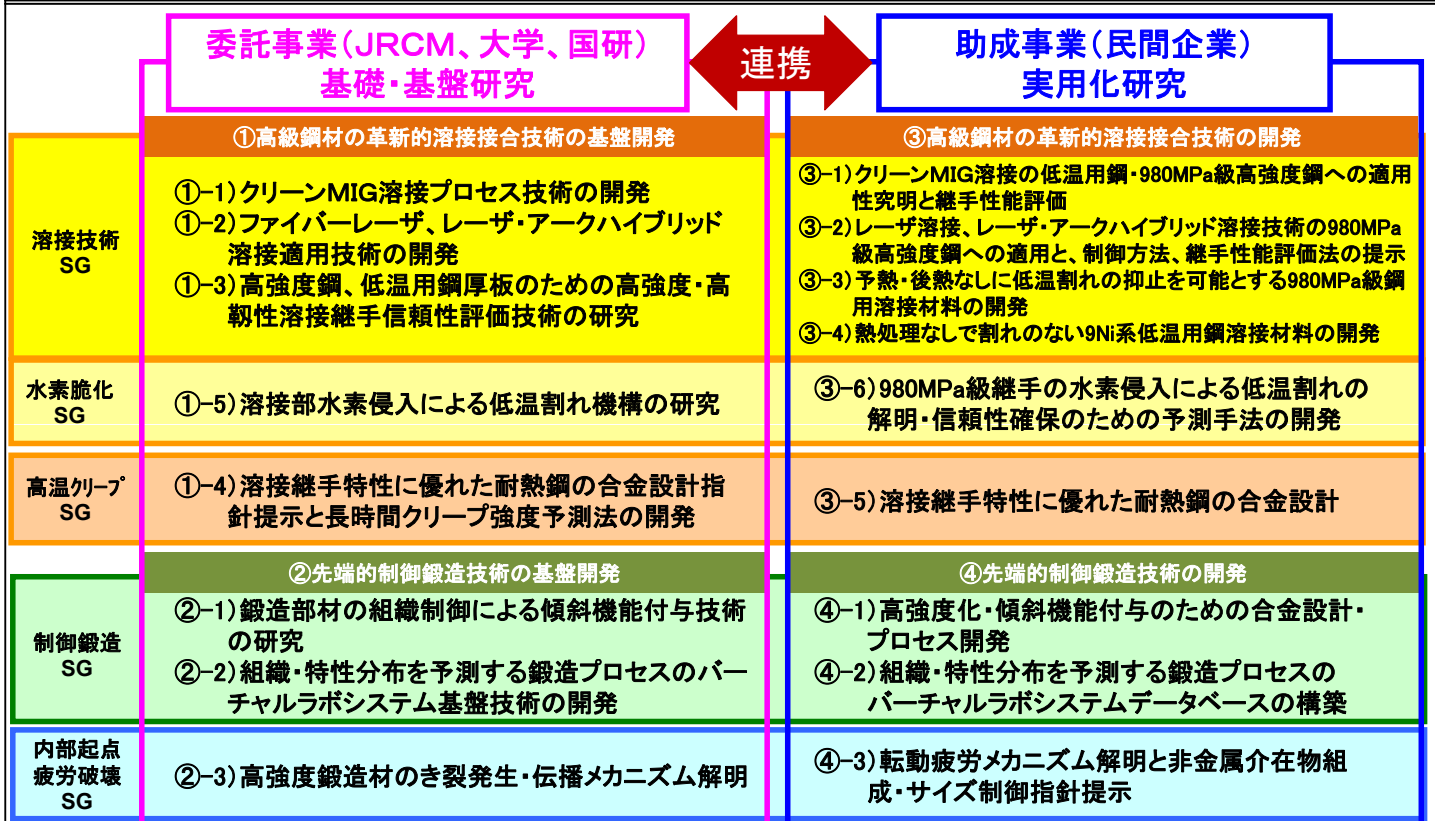
II. 研究開発マネジメント (1) 研究開発の内容・目標

公開

研究開発対象	研究開発目標	設定根拠
溶接技術	開発技術を基に施工される鋼構造体で 予熱無しで高強度(980MPa以上)及び高靱性(-40°Cで47J以上) を達成	予熱なし溶接可能レベルを400MPaから980MPaへ飛躍的な向上を狙い、技術的・経済的に世界をリードする。
水素脆化	980MPa級継ぎ手の 水素侵入による破断限界の予測法 を構築	
高温クリープ(耐熱鋼)	<ul style="list-style-type: none"> 耐熱鋼の強度が650°C(フェライト系)、700°C(オーステナイト系)、750°C(Ni基)で10万時間クリープ強度100MPa以上 Factor of 1.2のクリープ強度予測法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 700°C級先進的超々臨界火力発電(A-USC)に対応した世界最高強度の耐熱鋼の提示 クリープ強度予測技術の高精度化
制御鍛造	<ul style="list-style-type: none"> 同一部材内で高強度部1000MPa以上、軟質部900MPa以下の傾斜機能を発現する鍛造技術の開発 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステムの基盤構築 	<ul style="list-style-type: none"> 高強度化(降伏強度:600→1000MPa)による自動車部品の小型・軽量化と加工性の両立による製品の差別化。 部品開発の支援ツールによる実用化加速
内部起点疲労破壊	<ul style="list-style-type: none"> 初期き裂の3次元形態とき裂進展挙動の評価技術確立 材料力学と材料因子の両方を考慮した転動疲労試験の寿命予測式を構築 	内部起点疲労破壊損傷(転動疲労)のメカニズムを解明し、 製品の製造に重要な非金属介在物と応力の関係を明確化 。

II. 研究開発マネジメント (1) 研究開発の内容・目標

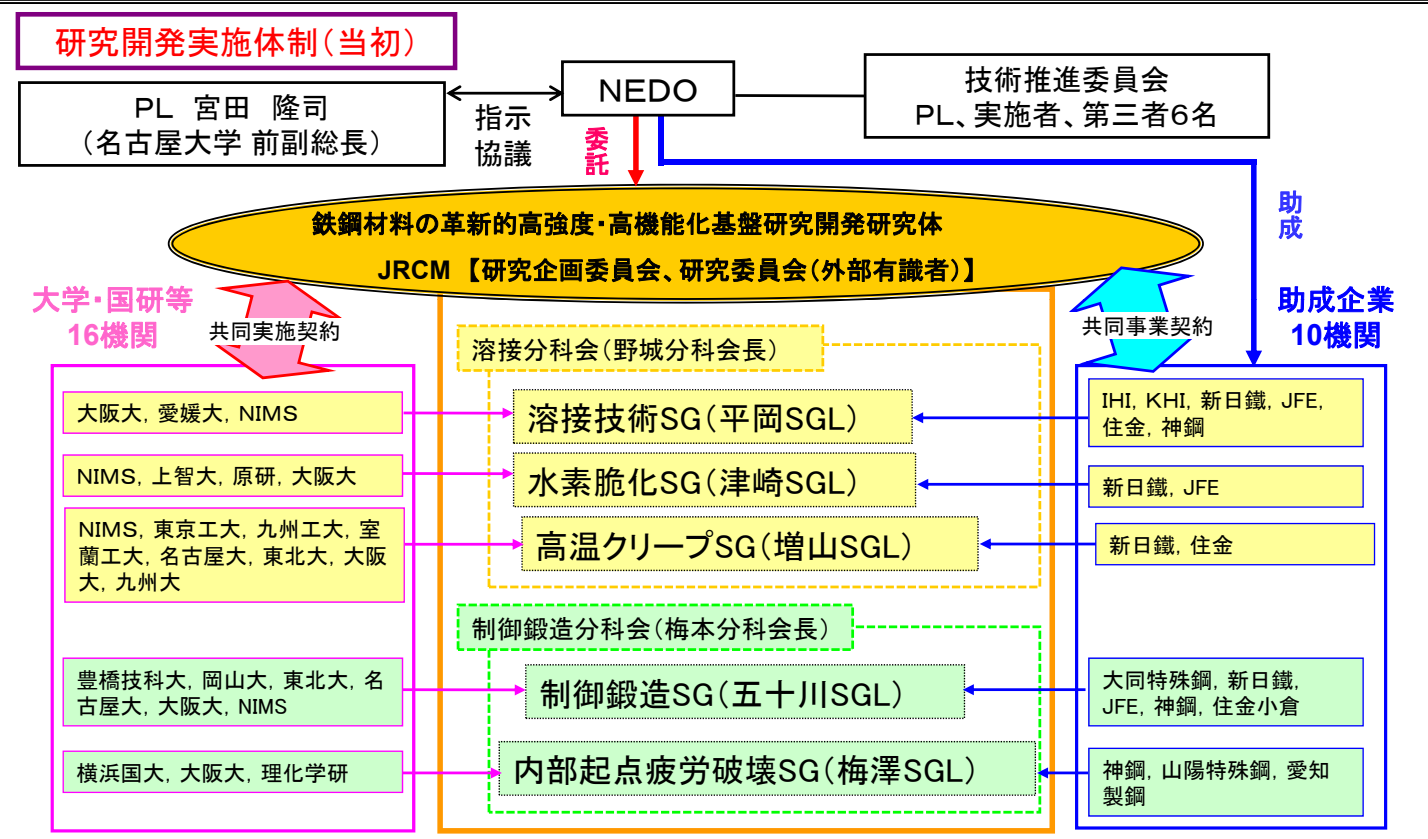
公開



委託(大学・国研の基礎基盤研究)と助成(企業の実用化研究)の緊密な連携により事業を推進

II. 研究開発マネジメント (2) 研究開発実施の事業体制

公開



各実施機関が緊密に連携をとりながら事業を推進できる体制を構築

II. 研究開発マネジメント (3) 研究開発計画・予算

公開

		H19	H20	H21	H22	H23	H24~
溶接技術SG	クリーンMIG溶接プロセス技術		溶接部含有酸素量 50ppm以下		強度>980MPa、 -40℃靱性値≥47J		企業研究(実用化技術開発)へ
	ファイバーレーザー・レーザーアーク溶接技術		板厚12mm厚板2パス隅肉・1パス貫通溶接継手+JIS I類品質		-40℃靱性値≥47J、疲労強度1等級アップ		
	溶接材料開発・継手信頼性評価		溶接割れ防止する溶接部の金属組織・残留応力の明確化		予熱なしでHT980鋼・低温用鋼の溶接材料		
水素脆化SG	水素侵入低温割れ機構・破断限界の予測		メソスケールでの水素の挙動解析技術の基盤構築		粒界破断限界(水素量・局所応力)の予測手法		最終目標
高温クリープSG	耐熱鋼の合金設計・高精度クリープ予測法の構築		継手強度係数>0.7、3万hクリープ強度100MPaの合金設計とクリープ強度予測技術開発		継手強度係数>0.7、10万hクリープ強度100MPaの合金設計と破断時間推定精度F1.2		
制御鍛造SG	鍛造材の傾斜機能付与技術の開発		母材析出強化最大化・細粒化鍛造プロセスの指針提示		傾斜機能部品のプロトタイプ試作(YS≥1000MPa、≤900MPa両立)		
内部疲労SG	組織・特性予測パーソナルラボシステム開発		組織・硬さ分布予測可能なシステム構築(一般プロセス)		予測システムの構築と検証(開発プロセス)		自動車軽量化
	転動疲労のき裂発生・伝播メカニズム解明		初期き裂の形態・進展の評価技術確立		介在物・応力の影響明確化・寿命予測式の構築		
		基礎・基盤研究ステージ			実用化研究ステージ		

研究開発の予算

	H19年度		H20年度		H21年度		H22年度		H23年度		合計
	委託	助成	委託	助成	委託	助成	委託	助成	委託	助成	
溶接技術SG	296	74	220	93	292	74	72	51	86	68	1,327
水素BRU	128	8	97	18	74	18	0	20	0	25	386
高温クリープSG	105	44	164	95	79	61	118	36	133	154	987
制御鍛造SG	150	155	114	153	145	133	34	48	33	64	1,030
内部起点疲労破壊SG	89	43	53	29	93	44	32	20	41	35	478
小計	768	324	648	388	683	330	256	176	292	345	4,209
合計	1,092		1,036		1,012		432		637		

備考) プロジェクト立ち上げ当初想定事業費58億円

単位: 百万円

技術推進委員会 (NEDO主催、3回開催)

氏名	所属	役職
一柳朋紀	(株)鉄鋼新聞社	取締役
国重和俊	香川大学 工学部	教授
粉川博之	東北大学 大学院工学研究科	教授
新田明人	(一財)電力中央研究所 材料科学研究所	所長
※野本敏治	東京大学	名誉教授
松川不二夫	(一財)日本自動車研究所	主席研究員

※は委員長

研究委員会 (研究体(PL)主催、8回開催)

氏名	所属	役職
※粟飯原周二	東京大学	教授
大堀學	日本精工(株)	部長
酒井拓	電気通信大学	理事
高木愛夫	東京電力(株)	マネジャー
福神健字郎	日産自動車(株)	部長
福田祐治	パプコック日立(株)	所長
藤根学	トヨタ自動車(株)	部長
松山晋作	前 神奈川大学	講師
宮崎建雄	ユニバーサル造船(株)	担当部長

※は委員長

ユーザーを含む外部有識者の評価、研究開発費の確保状況等を総合的に勘案し、**達成目標、実施期間、基本計画、研究開発体制等の見直し**を弾力的に行い、運営管理に反映させて研究開発内容の妥当性を確保。

- その他委員会等
- **研究企画委員会(4回/年)**
 - PL中心に研究内容の進捗管理・予算配分等の運営方針を協議
 - **SG会議**
 - SGリーダー中心に実務者レベルで研究内容の進捗確認と方針を協議

SG/BRU	溶接技術SG	水素脆化BRU	高温クリープSG	制御鍛造SG	内部疲労SG
SG会議回数	38回	22回	30回	53回	23回

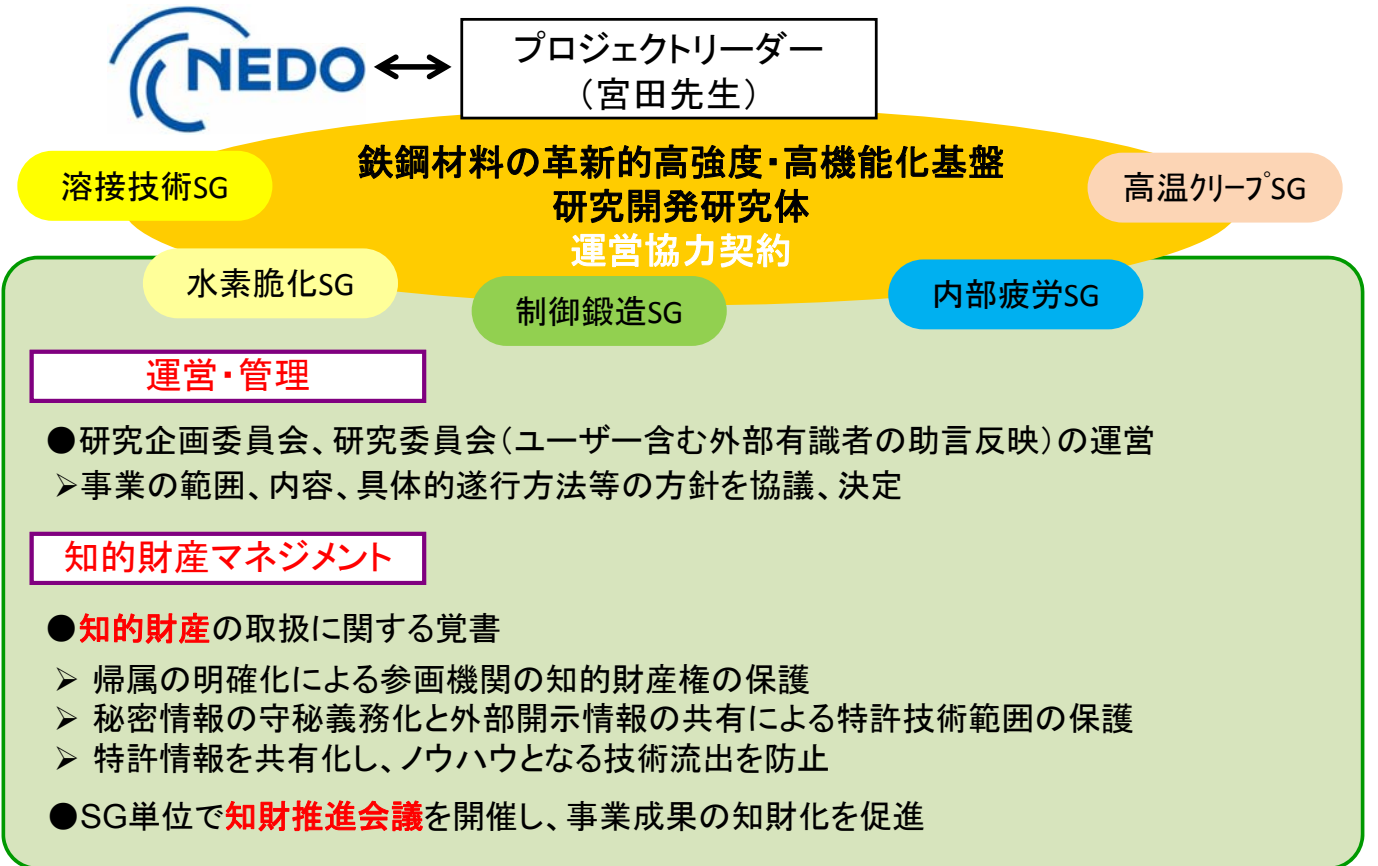
中間評価結果 (2009年7月3日)

＜全体評価＞ **優良評価**

評価項目	評点(満点:3.0)
1. 事業の位置付け・必要性	3.0
2. 研究開発マネジメント	2.6
3. 研究開発成果	2.6
4. 実用化の見通し	2.0

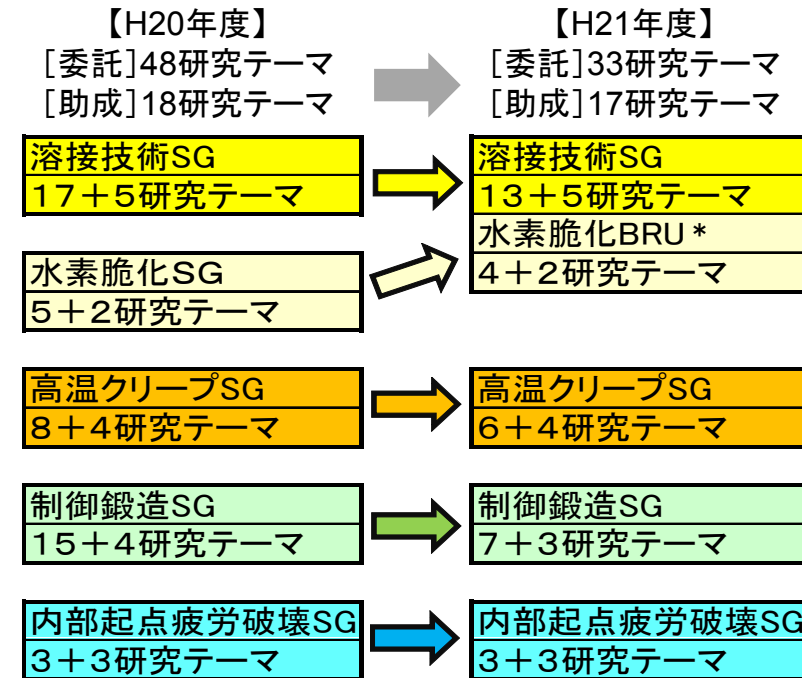
中間評価提言の反映 ※外部有識者の提言に対する対応は各発表内で明示

今後に対する提言	対応方針
溶接助成 ・継手としての総合評価が 実用上重要 で、大型部材による実用レベルでの検証が望まれる。今後は実際の溶接環境を考慮し、実用化のための十分なデータ蓄積と施工裕度の確保がキーポイントになる。	・ 大型部材による実用レベル検証は主要実施項目 とする。 ・将来の規格化に資するための定義付け(技術開発要件の数値化と具体化)を行う。
高温C委託 ・開発材料の接合法の確立と 溶接継手でのクリープ評価研究も助成研究と連携 して進めて欲しい。 ・経済効果の大きい 長時間クリープ強度予測技術の信頼性確保 が重要。	・ 継手製作・クリープ評価を助成研究と連携して実施 する。 ・ 既存鋼を対象に予測手法の確立 を測る。新開発材への適用性も助成と連携して評価する。
制御鍛造助成 ・実用部品の選定に関して、 早期にユーザーとの接点を作り、対象部品の明確化 と“傾斜機能”が付加価値を上げ、競争力を増す。	・ ユーザー企業を訪問し討議 することにより、引き続き最新ニーズの収集を図る。
内部疲労助成 ・本PJ終了段階では、 微小介在物の検出法や規格化に関する総合的な指針提示 を期待したい。	・ 微小介在物の評価(超音波探傷、極値統計)と寿命との関係を基に、将来の規格化 へ向けたデータ採取を行う。



研究体制の再編成と研究テーマの選択と集中
(H20.12技術推進委員会評価結果への対応)

平成21年度の主な変更点



備考) 委託+助成の研究テーマ数

*Base Research Unit

(1) 出口の明確化を目的に水素脆化SGを溶接技術SGに統合し、連携を強化

(2) 研究テーマの選択と集中

<制御鍛造SG>

・「析出強化」「微細化」の2法で検討。

↓
「析出強化」に集中

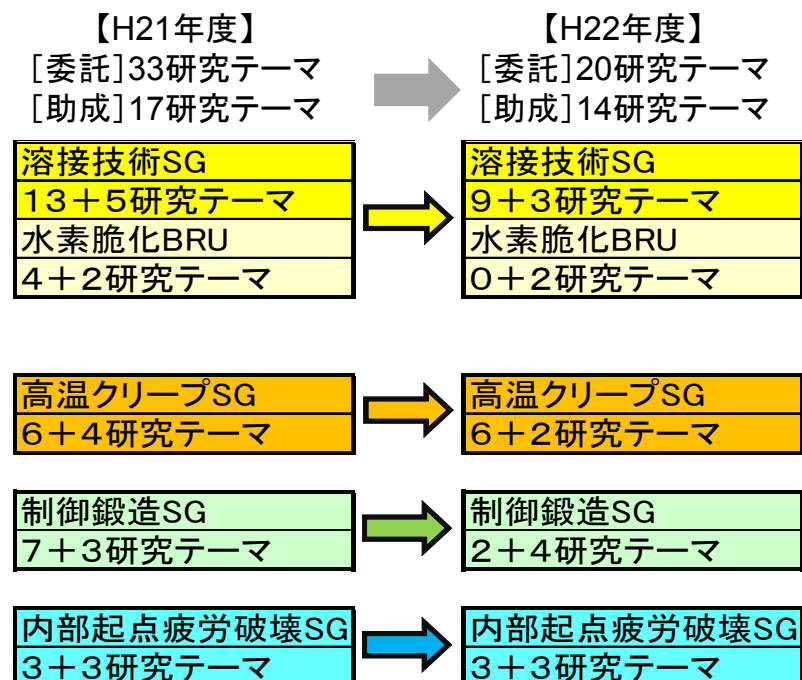
・最終目標(委託)の変更

「降伏強度1000MPa以上でγ域加工でフェライト粒径2μm以下、α域およびα+γ域加工でフェライト粒径1μm以下の超微細粒の実現」

↓
「降伏強度1000MPa以上を実現するVC析出形態と加工熱処理条件の明示」 中間評価で承認

研究体制の再編成と研究テーマの選択と集中

平成22年度の主な変更点



備考) 委託+助成の研究テーマ数

(1) 低温用鋼(9Ni)の事業 **早期完了**
平成21年度までに実用化目途
最終目標達成

(2) 水素BRU委託事業の **早期完了**
基本的なメカニズム解明、
最終目標達成
成果は助成事業で活用

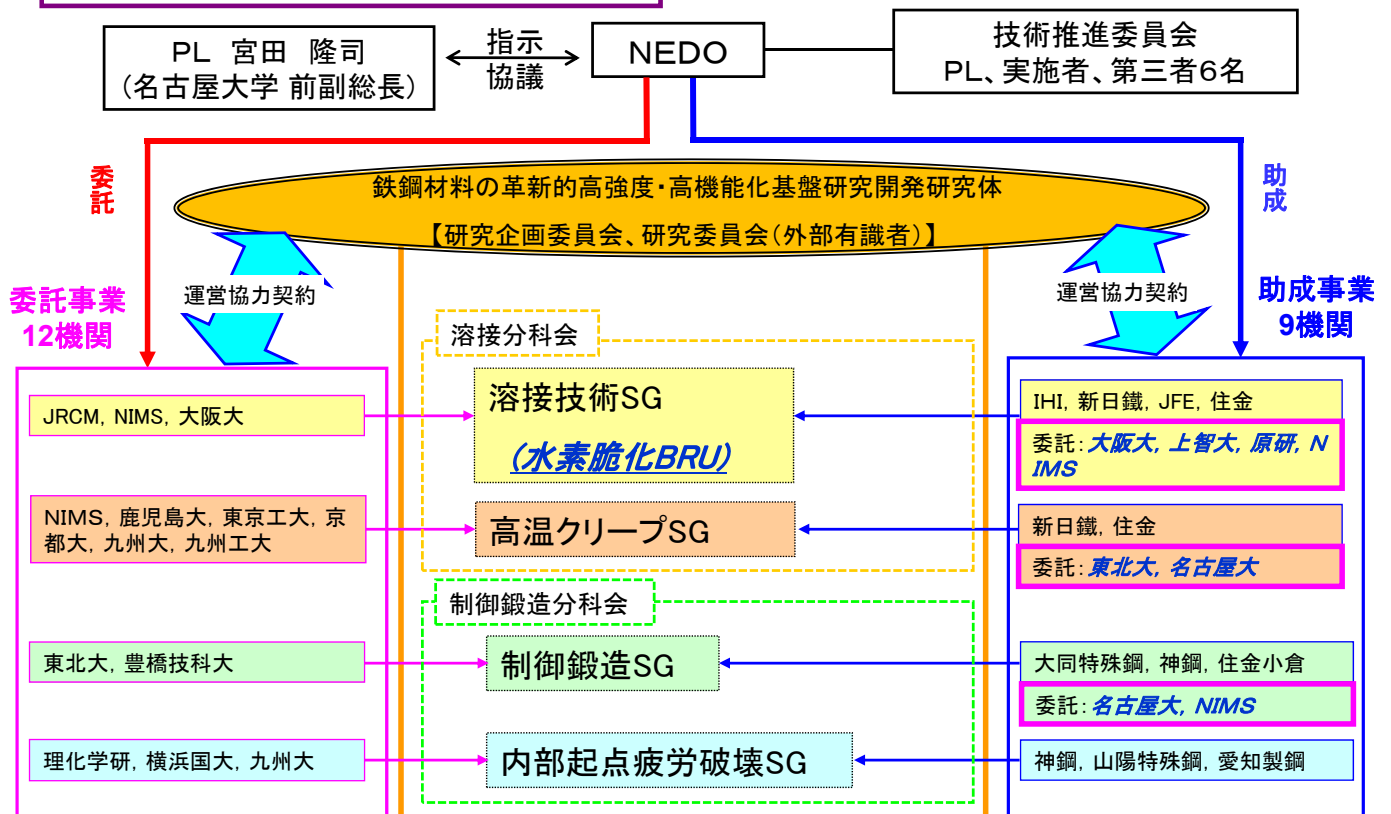
(3) 耐熱鋼の合金設計は **企業研究**へ
10万h強度の指導原理は取得済み
最終目標変更
但し、新材料の強度評価は継続

(4) 制御鍛造バーチャルラボシステム
開発は **企業研究**へ
システム基盤技術は開発済み
最終目標変更

最終目標の変更(抜粋)

	研究開発項目	中間目標(平成21年度末)	最終目標(平成23年度末)	備考
高温クリープSG 助成	③-5 溶接継手特性に優れた耐熱鋼の合金設計	実溶接継手強度係数0.7以上を実現できる、実機クリープ強度に及ぼす微細組織の変化機構・合金組成との関係の把握。	下記a.~e.の実証を通じ、700℃級超々臨界火力発電用耐熱鋼の設計指針提示と試作、溶接継手クリープ強度係数0.7以上の実証の目処。 -a.-フェライト系耐熱鋼;100MPa-at-650℃ -b.-オーステナイト系耐熱鋼;100MPa-at-700℃ -e.-Ni基合金;100MPa-at-750℃	合金設計 →企業研究へ
制御鍛造SG	委託 ②-1 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究	母材の析出強化最大化方策の抽出と鍛造プロセスによる細粒化指針提示	降伏強度1000MPa以上でγ域(900℃)加工でフェライト粒径2μm以下、α域及びα+γ域加工でフェライト粒径1μm以下の超細粒の実現 →降伏強度1000MPa以上を実現するVC析出形態と加工熱処理条件の明示(第2回技術推進委員会の結果反映)	傾斜機能付与鍛造技術 →テーマの絞り込み
	助成 ④-2 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステムデータベースの構築	システムを構成する各モジュール用データベースの構築(一般的な鍛造プロセス使用)	システムを構成する各モジュール用データベースの構築と、大変形マクロシミュレーションモデルの構築(開発鋼種、開発鍛造プロセスを使用した、プロトタイプ試作モデルによるシステム検証)	バーチャルラボシステム →企業研究へ

研究開発実施体制(H22年度~)



加速財源投入実績

SG	年度	件名	金額(M¥)
溶接技術SG 水素脆化BRU	H19	高輝度光源装置	7
	H19	低温冷却装置装備5MN疲労・大変形引張装置	13
	H19	水素雰囲気溶接熱・応力サイクル再現装置	79
	H19	温度制御・計測システム装備 材料強度・破壊試験装置	14
	H19	高電流形電場指紋照合装置	13
	H19	サーマル電解放出型走査電子顕微鏡装置	39
	H20	横向き繰返し荷重載荷アクチュエータ	17
	H21	その場精密水素分析装置	28
	H22	大型溶接継手の耐低温割れ性評価システム(クリーンMIG)	31
高温クリープSG	H19	陽電子線クリープ試験評価装置	47
	H20	組織・構造解析用試料高精度化装置	10
	H20	微小領域ひずみエネルギー解析装置	21
	H21	フェライト系開発材の国際規格化データ採取	30
	H22	陽電子消滅CDB法計測装置	39
	H23	耐熱鋼損傷評価用クリープ試験機	100
	H23	オンサイト型陽電子消滅寿命測定装置など	58
制御鍛造SG	H19	捻り式熱間加工シミュレータ・高周波加熱装置	22
	H19	超微細結晶方位解析装置	36
	H20	TEM用一軸引張フォルダー	6
	H21	透過型電子顕微鏡用CCDカメラ	13
内部起点疲労 破壊SG	H19	非干渉型3chガウスメータ&マルチトリガーシステム	26
	H20	超精密楕円振動切削装置	5
	H21	前処理成形加工装置	7
	H21	3次元近接センサーシステム	7
	H22	転動疲労寿命評価装置	10

事業原簿 II-53, 54

25

加速財源投入実績例(一部)

※加速財源投入で得た成果は各SGの発表内で明示

SG	件名	金額(M¥)	効果
溶接技術SG	大型継手の耐低温割れ性評価システム(クリーンMIG)	31	低温割れ発生防止拘束条件を明確化し、継手の信頼性向上に寄与。溶接工法の規格化基準データを取得し、実用化を加速。
高温クリープSG	耐熱鋼損傷評価用クリープ試験機	100	開発合金のクリープデータを採取し、国際標準の取得に活用。開発鋼の実用化を加速。
	陽電子消滅法によるクリープ強度予測	97	クリープ損傷状態を精度よく検出。現場へ持ち運び可能なシステムとし、実プラントでの配管クリープ損傷の検出を可能に。
制御鍛造SG	TEM用CCDカメラ	13	部品強度を支配する析出VCのサイズ・数密度を精度良く定量化。鍛造部品の強化指針を明確化し、より安価な高強度部品の合金設計に活用。
内部起点疲労破壊SG	転動疲労寿命評価装置	10	疲労寿命評価期間を従来比1/3に短縮し、き裂進展・停留データを拡充。転動疲労寿命予測式を構築し、軸受け部品の信頼性向上に寄与。

目覚ましい技術的成果を上げたテーマに対し、追加的な資金配賦実施
 →研究開発を加速し、当該分野で国際競争上の優位性を確立する。

◆ 研究開発成果の普及活動

- 鉄鋼業界、ユーザーの技術者を対象に**成果報告のシンポジウムを開催(計2回)**
- 溶接業界、ユーザーの技術者、一般人を対象に『**2012国際ウェルディングショー**』で**NEDOブース**を出展し、**研究開発成果(溶接技術SG+水素脆化BRU)**を広く発信
- **成果を広くPRするプレスリリースの実施**
 - 世界最高レベルの発電プラント用鉄鋼材料の設計指針を確立(H24.1.10)
 - 高強度鋼板の溶接技術を開発(H24.4.5)



メイン会場

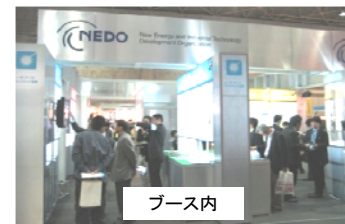


講演概要集

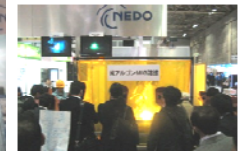


成果物展示会場

鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発シンポジウム



ブース内



クリーンMIG溶接実演ブース

2012国際ウェルディングショー NEDOブース

◆ 研究開発成果の実用化を加速する施策

次段階の研究となる経産省 A-USCプロジェクトで高性能耐熱鋼の開発成果を活用

実施の効果(市場規模／費用対効果)

【本PJ事業費用の総額】 **42億円**

【創出される市場規模】 **1600億円／年**(2020年時点各社売上げ、成功確率100%)
高強度・高機能鋼・鍛工品市場／各種インフラ市場(造船、橋梁、LNGタンクなど)

【火力発電建設材料コスト削減】 **37億円/基**(100万kWh級)

<前提: 欧州のNi基合金のみによる建設に比較し、その使用量を半分に抑える>

【省エネルギー効果】 **55万kL／年(原油換算)=275億円／年**

(1) 高級鋼の革新的溶接技術

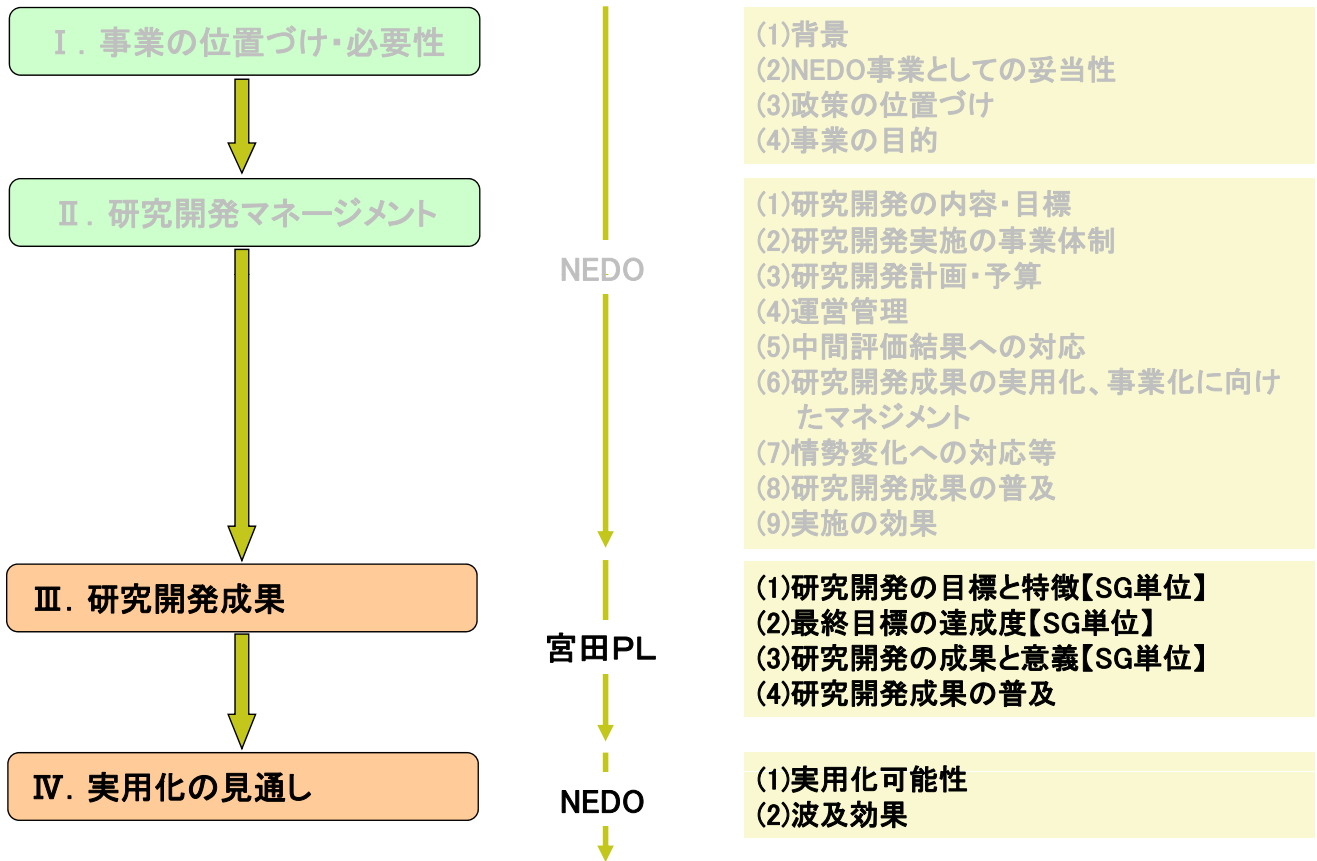
- ① 高級鋼厚板(高強度・低温用)溶接時の予熱・後熱フリー化 : 2万kL/年
- 高強度鋼適用による船舶軽量化(重量軽減率13.2%) : 19万kL/年

② 亜臨界or超臨界火力発電プラントから

超々臨界火力発電プラントへのリプレース(現行効率41%→46%へ向上)
: 23万kL/年(259万kL/年(寄与率考慮なし))

(2) 先端的制御鍛造技術

自動車鍛造部品の軽量化による燃費改善 : 11万kL/年

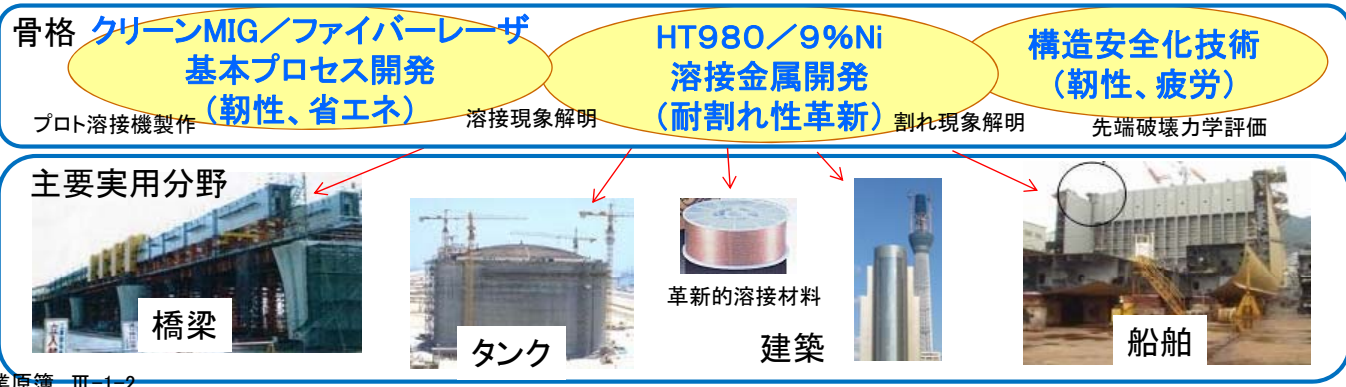


溶接技術SG・水素脆化BRU

- (1)研究開発の目標と特徴
- (2)最終目標の達成度
- (3)研究開発の成果と意義

Ⅲ. 研究開発成果(1) 研究開発の目標と特徴【溶接技術SG+水素脆化BRU】公開

- <目標>** ・高級鋼材の溶接部の強度・靱性・疲労・水素割れ等の課題を解決する施工法及び溶接材料の開発
 ＊酸素を含まない純Ar雰囲気下でのMIG溶接技術(クリーンMIG)の確立
 ＊クリーンマルテンサイト高強度溶接金属組織設計の実現
 ＊予熱・後熱処理なしで割れない溶接金属の開発
 ・開発技術を基に施工される鋼構造体での目標強度(980MPa以上)及び靱性(-40℃で47J以上)の達成
 ・低温割れ(水素脆化)現象の解明と低温割れ発生の予測手法の開発
- <特徴>** ・明確な出口: 世界最先端の鋼材、高強度HT980鋼と極低温用9%Ni鋼の溶接技術革新にフォーカス
 ・最先端への挑戦: クリーンMIGとファイバーレーザー溶接からなる次世代先端溶接技術(世界初)の実用
 粒界水素量の定量化や原子レベルでの粒界き裂発生挙動の計算科学を用いた解析
 ・組織制御の革新: 従来組織利用(単相、二相)から三相組織(利用)制御への飛躍
 マルテンサイト+フェライト組織に残留オーステナイトを積極活用する三相組織の実用は世界初
 これによる、強度・靱性・疲労・水素割れ等の背反特性の兼備という組織制御技術の革新を狙う



Ⅲ. 研究開発成果(2) 最終目標の達成度【溶接技術SG+水素脆化BRU】公開

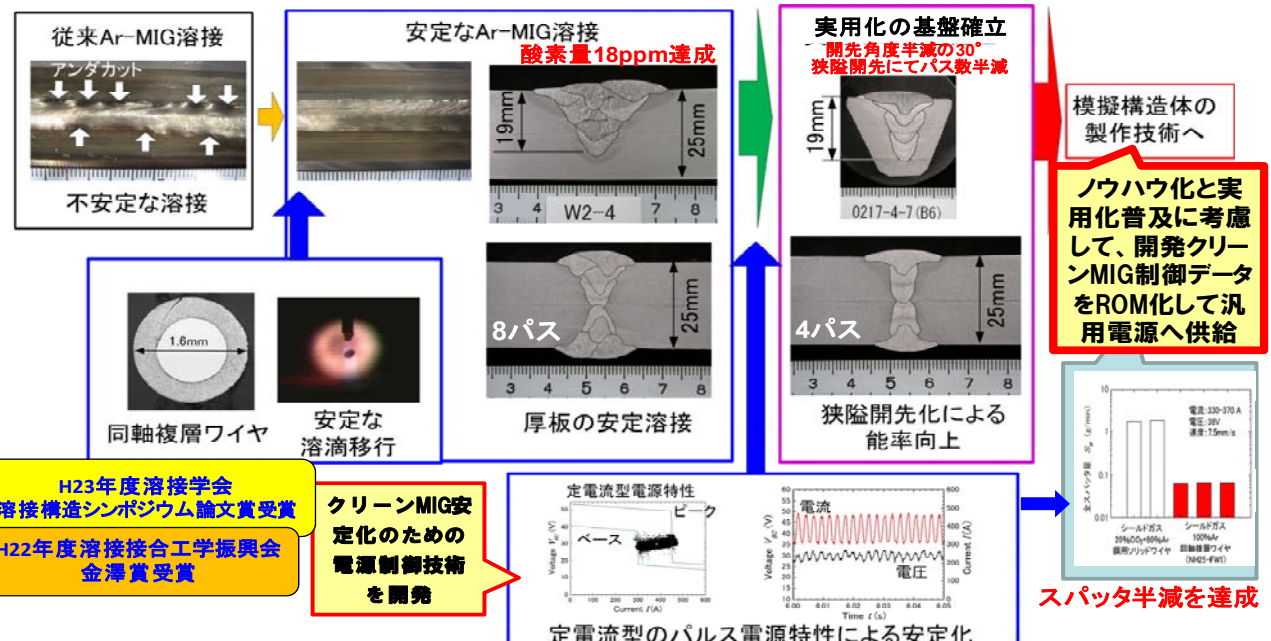
検討項目	研究開発成果	達成度
委託①-1) 助成③-1) クリーンMIG溶接プロセス技術の開発	・世界初のクリーンMIGの溶接安定化制御条件を明示。汎用溶接機へ制御条件をノウハウ化のためROM化して提供。クリーンMIG溶接プロト機の導入、施工性把握。	◎ ○
委託①-2) 助成③-2) ファイバーレーザー、レーザー・アークハイブリッド溶接の高級鋼適用技術開発	・板厚12mmでのレーザー突合せ継手において、Gap変動(0~1mm)に対応できる裏当て金無しでのJIS1類の高品質安定ビード形成法を開発した。条件裕度の拡大は実用化への重要な成果。大型実模擬構造体で施工安定性を実証。	◎ ○
委託①-3) 助成③-3) 助成③-4) 高強度鋼、低温用鋼厚板のための溶接金属の開発および溶接継手信頼性評価技術の研究	・Ni-Cr系での低温割れ抑止において、拡散速度が遅いことが水素の集積を軽減し、遅らせることを明示。且つ予熱フリーには5%程度のオーステナイト量が必要であることを明示。高強度鋼用プロトタイプ溶接材料の成分を確定。低温用鋼プロトタイプ溶接材料の開発完了。	◎ ○ ○
委託①-5) 助成③-6) 溶接部水素侵入による低温割れ機構の解明、信頼性確保のための予測手法の構築	・空孔、転位、炭化物、粒界の混在する系での粒界水素量を予測するプログラムのプロトタイプを作成。単純化した金属組織を持つ1000MPa高強度鋼での局所応力-局所水素量に基づく破断限界の取得。	◎ ○



クリーンMIG溶接プロセス技術の開発

同軸複層ワイヤ法

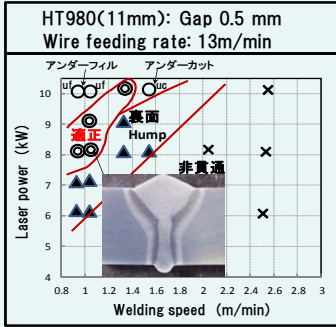
最適成分設計された同軸複層ワイヤと定電流特性型パルス制御による純アルゴンMIG溶接技術(世界初)を開発した。
 最適条件下で酸素量18ppmで従来より開先角度を半減した狭隘化でパス数の半減を実現し、同時に従来のスパッタ発生量の半減以下を達成した。



ファイバーレーザー・アークハイブリッド溶接プロセス技術の開発

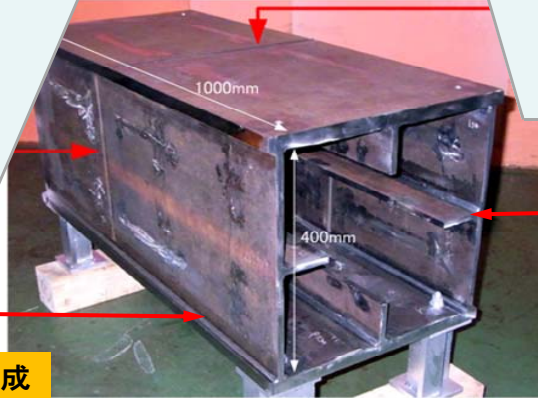
板厚12mm高強度鋼
レーザー・アークハイブリッド突合せ貫通溶接

アーク力と溶着量の最適バランスから裏当て金無しでギャップ0~1mmにおいてJIS1類ビード形成を高強度鋼で達成した(世界初)。



ギャップ裕度拡大は
実用化への
重要な成果

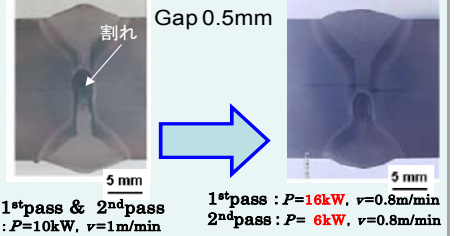
大型橋梁モックアップの
製作で実用性を検証



片面1パス隅肉溶接の達成

板厚25mm高強度鋼
レーザー・アークハイブリッド両面2パス溶接

ギャップの存在によって2パス目ビードにて発生する割れを抑止するため、初層パス大出力施工と裏面パス小出力施工の最適溶接条件バランスで、ギャップ0~1mmにおいて無欠陥溶接を達成した。



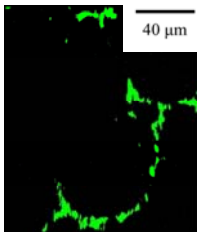
両面2パス疲労強度改善
隅肉溶接の達成

残留オーステナイトを積極活用する溶接金属組織設計

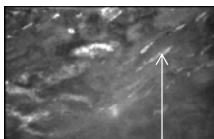
一例

Ni-Cr系溶接金属の
残留オーステナイト

①凝固セル界面の
オーステナイト
(EBSD解析結果)

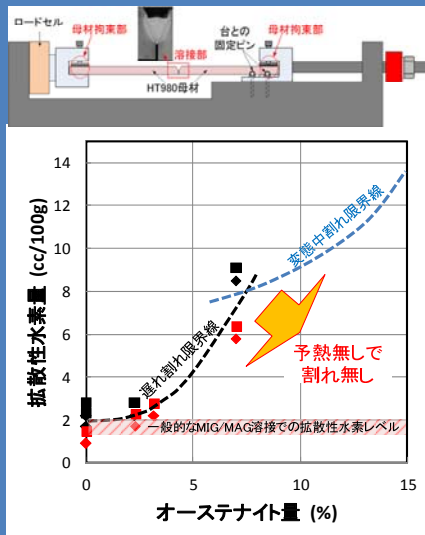


②マルテンサイト相
のラス界面のオース
テナイト



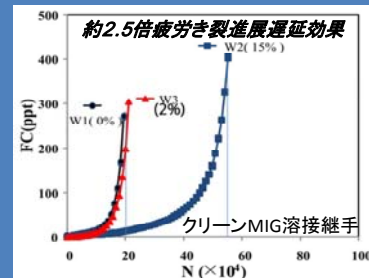
残留オーステナイト
Zone axis: [112]

拘束割れ(RRC)試験によりクリーンMIG溶接金属の低温割れ発生挙動を計測



実用拘束条件下における予熱無しでの低温割れ抑止限界を明示

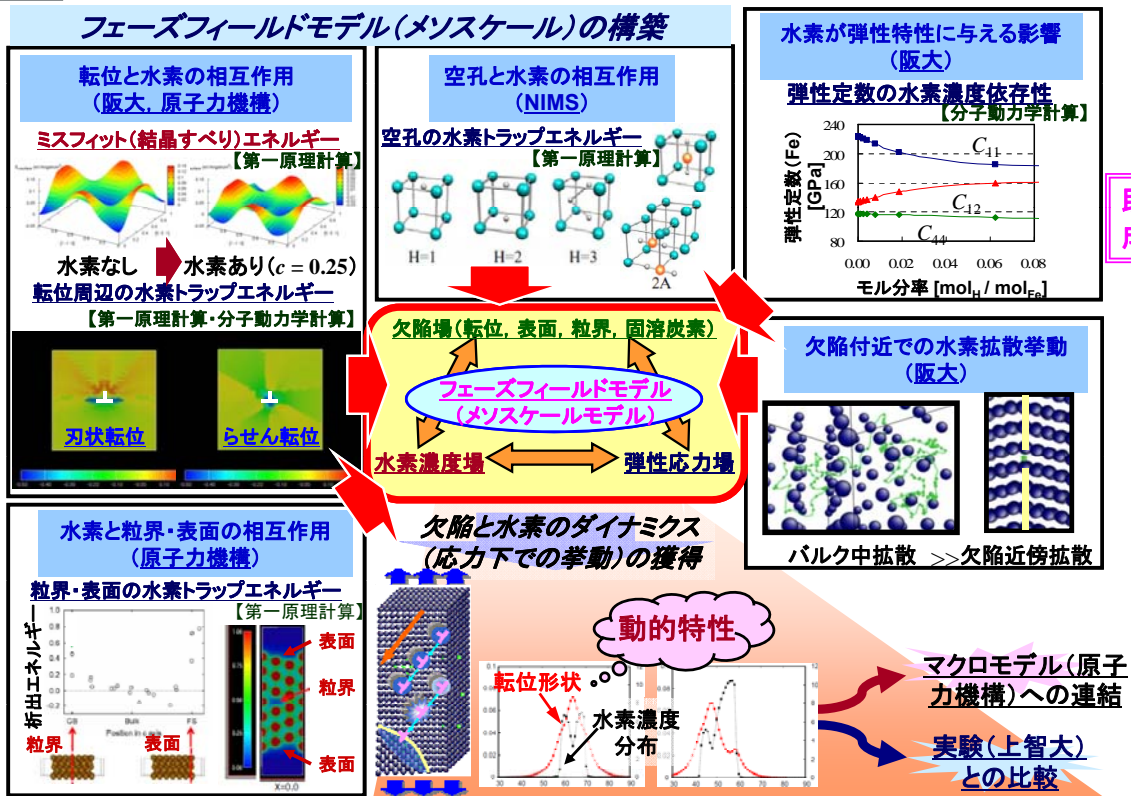
FSM(電場指紋法)によりクリーンMIG溶接金属のキ裂進展を計測



クリーン溶接金属において、マルテンサイトに7%以上の残留 γ が存在するとき、トリップ効果により疲労き裂の進展が2.5~4倍遅延することを明示(世界初)

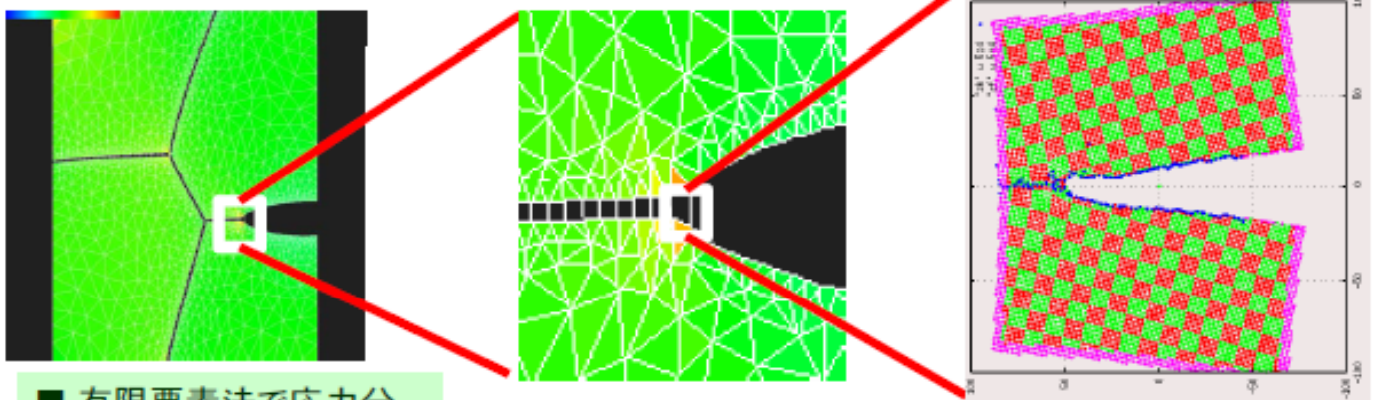
■ 目標1)

水素存在状態と拡散移動に関する研究全体像



粒界亀裂のメソスケールモデルの構築

原子スケールの分子動力学計算の結果を有限要素計算に使用



■ 有限要素法で応力分布を計算

■ 有限要素法で水素の拡散による存在状態の時間変化を計算

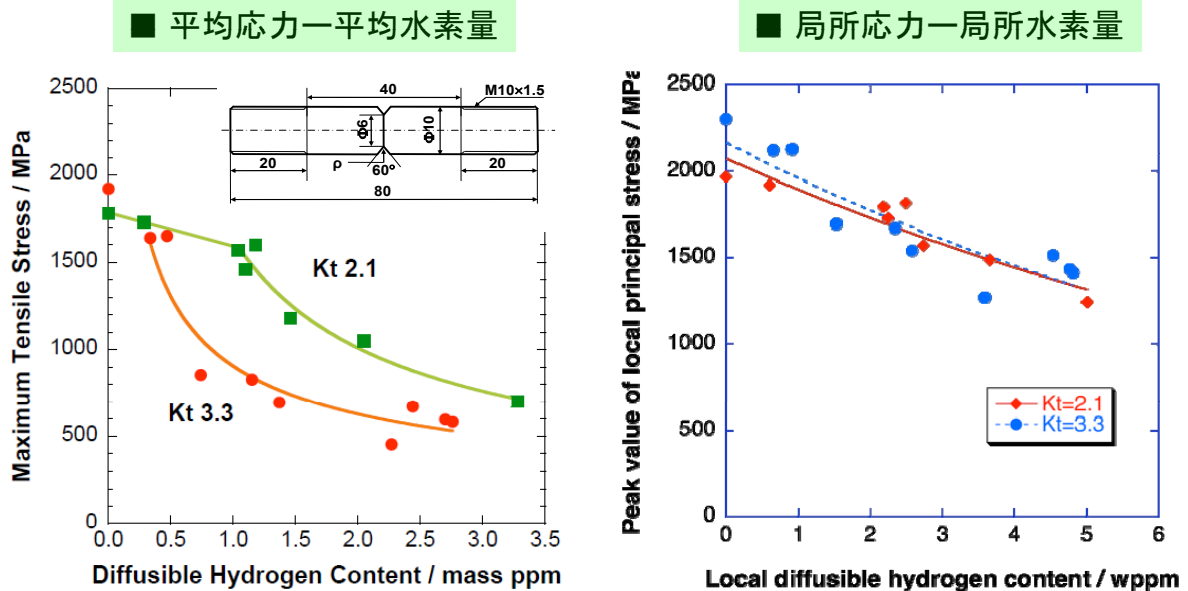
■ 亀裂先端では特別な有限要素(XFEM)を使用
水素濃度と応力拡大係数に応じて亀裂を進展させる

■ 水素が偏析した粒界亀裂先端の分子動力学計算により、水素濃度に依存した臨界応力拡大係数K_{Ic}を計算しておく

外部応力1GPa, 水素濃度5wppm, 初期亀裂3μmの場合に水素拡散に律速された 1μm/sec 程度の遅い亀裂進展を再現。

局所応力-局所水素量を数値シミュレーション
 →K値に依存しない、破断限界マスターカーブ

破断限界マスターカーブの妥当性を確認



事業原簿 Ⅲ-2.3-19

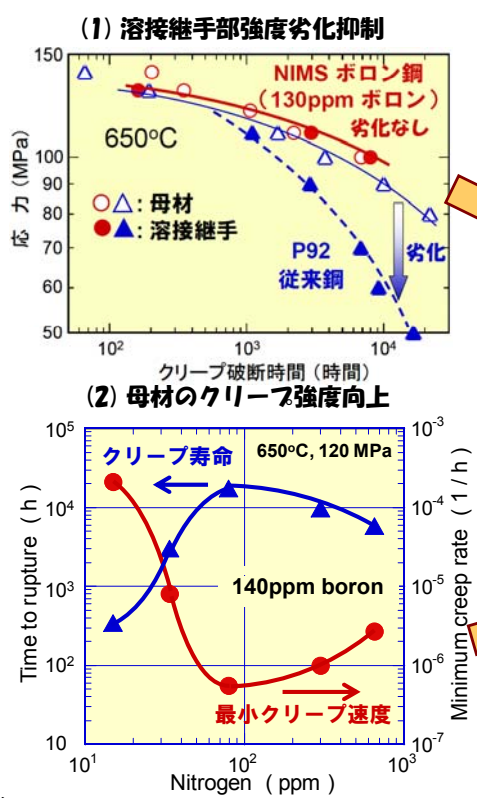
TS=980MPa級、焼き戻しマルテンサイト鋼

39

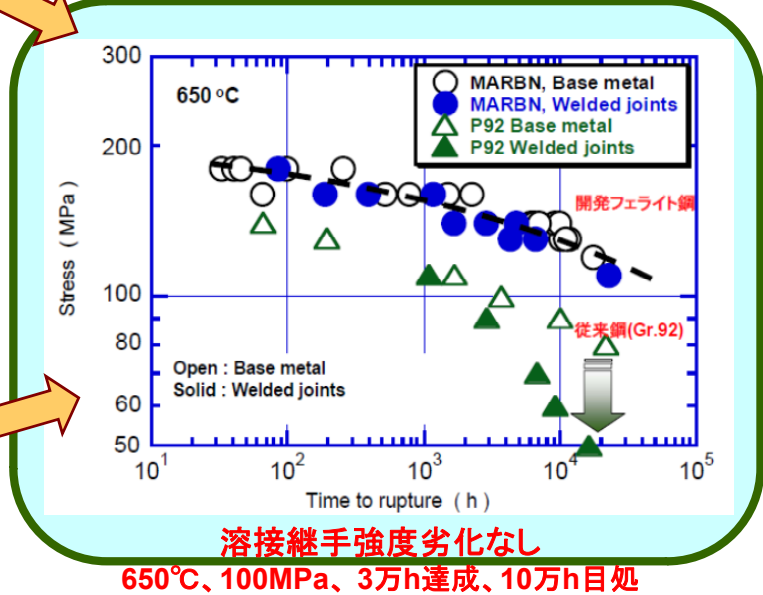
高温クリープSG

- (1)研究開発の目標と特徴
- (2)最終目標の達成度
- (3)研究開発の成果と意義

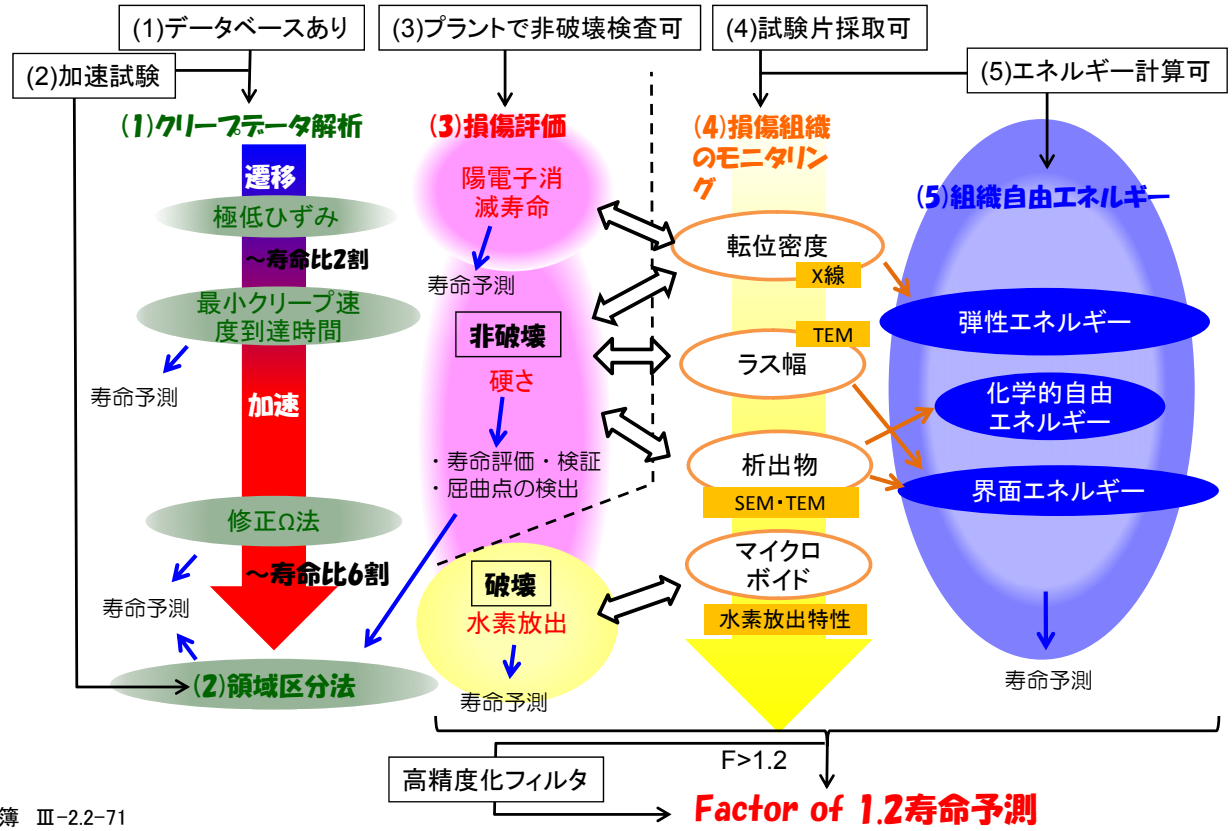
650°C、100MPaフェライト鋼の開発と溶接継手の強度劣化抑制



▶高ボロンの固溶により、溶接継手強度劣化抑制 (世界初の劣化機構の金属組織学的解明による)
 ▶ボロン・窒素添加量の最適化により、強度向上 (窒化ボロンが生成しない範囲で、窒素を高める 世界初の合金設計：固溶ボロン、MX析出強化)



寿命予測プロシージャ(フェライト鋼母材の例)



● **最終目標、10万時間、100MPa を達成する合金設計指針を提示
溶接継手強度係数 >0.7 を確認(世界最高、世界初)**

1. 650°C用フェライト系耐熱鋼: 高B低N鋼を提案、溶接部劣化抑制法開発
世界最高権威のASME規格への登録
2. 700°C用オーステナイト系鋼: 金属間化合物粒界析出強化鋼を提案
(18Cr-30Ni-3Nb鋼)
企業研究移行による試作材での実用性評価

● **破断時間推定精度 Factor of 1.2の高精度クリープ強度推定法
を提案し、組織診断プラットフォームを構築(世界初)**

1. 組織劣化パラメータによる新劣化診断法(局所結晶方位測定法、組織自由エネルギー法、極小SPクリープ試験法、硬さモデル法、陽電子消滅寿命法、水素放出特性法等)を確立
2. クリープ強度新解析法(クリープ機構領域区分法、最小クリープ速度寿命法等)の提案
3. 組織診断プラットフォームの構築、組織劣化パラメータ組合せによる高精度化
経産省 A-USCプロジェクト研究の中での次段階研究開始

制御鍛造SG

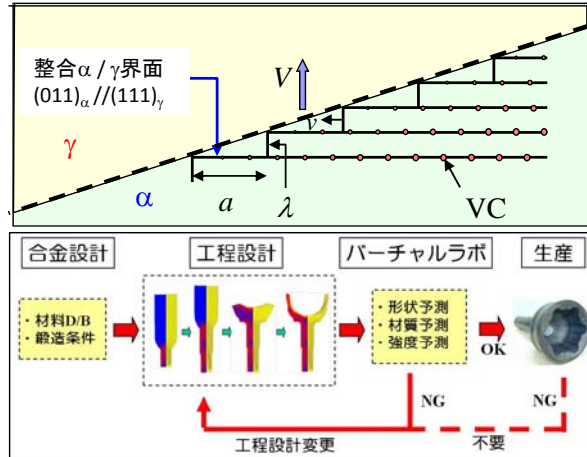
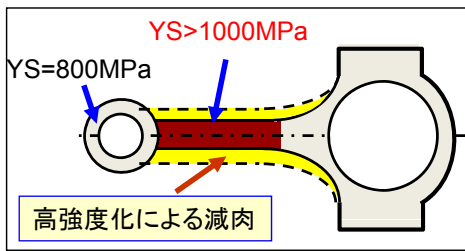
- (1)研究開発の目標と特徴
- (2)最終目標の達成度
- (3)研究開発の成果と意義

<目標>

- ・同一部材内で、高強度部1000MPa以上、軟質部900MPa以下の傾斜機能を発現できる VC(バナジウムカーバイド)析出制御による高強度化の鍛造技術の開発
- ・組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の研究
- ・プロトタイプ鍛造技術を生かした試作(コンロッド、ハブ、シャフト模擬部品等)

<特徴>

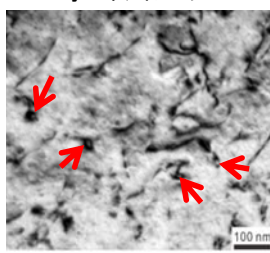
「フェライト+パーライト」組織において、相界面析出するVCの粒度および析出量(分布や平均粒子の半径分布)の最適化により高強度化を図る。また同時に、軟質化条件の最適化により高強度部と軟質部の造り込みプロセスを確立する。



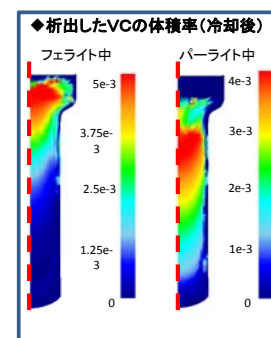
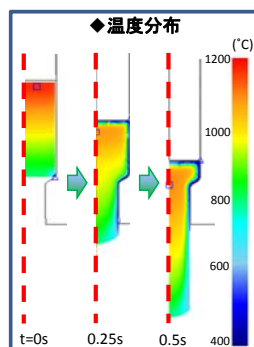
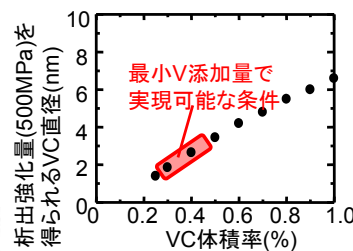
検討項目	研究開発成果	達成度
委託②-1) 助成④-1) 高強度化・傾斜機能付与のための合金設計、プロセス開発	・VC析出強化メカニズムの解明と強化量の定量予測式を構築。 同一成分鋼による2種類の加工熱処理条件で降伏強度1000MPa、軟質部900MPa以下を併せ持つ傾斜機能付与技術を提示。	○ ○
委託②-2) 助成④-2) 組織・特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術の開発及びデータベース構築	・VCの固溶・析出予測モジュール、相変態モジュール、組織強度予測モジュールを構築し、一般鍛造プロセスにおけるV添加非調質鋼の組織と降伏強度の分布予測可能な有限要素解析システムを完成した。	○※ ○※

【特記】バーチャルラボシステムの最終目標は企業の自主研究で実施
 達成度: ○最終目標を達成、※平成21年度中間目標を達成終了

1%引張変形材でのオロワングループ



$d_{VC} = 4.4 \text{ nm}$



②-1 鍛造部材の組織制御による傾斜機能付与技術の研究

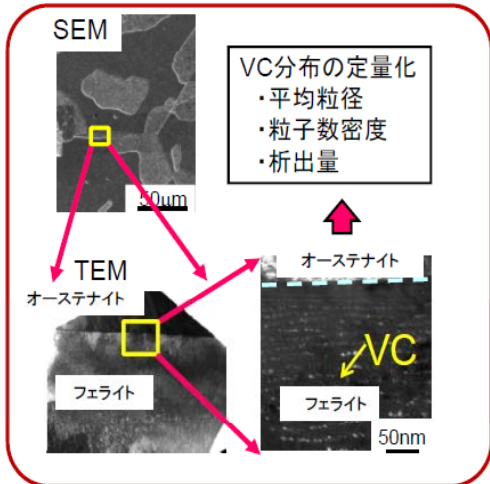
VC析出制御による高強度化

開発の狙い VC相界面析出による中炭素鋼の高強度化機構の解明

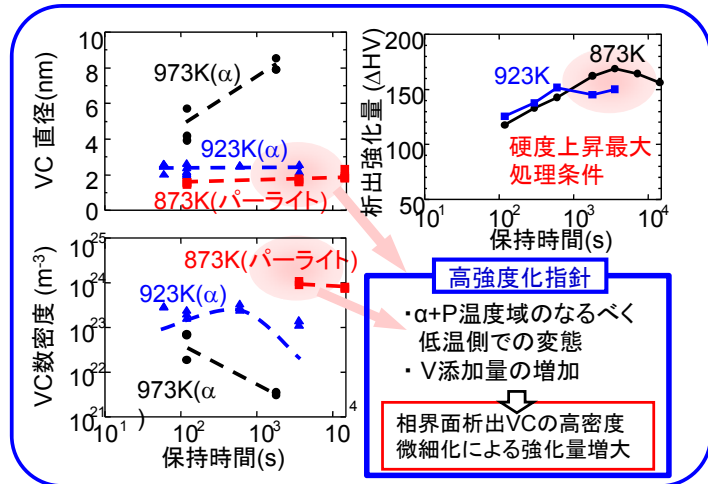
- 成果
1. 相界面析出VC分布の定量評価法の確立
 2. 析出組織の定量化による高強度化指導原理の明確化

⇒ 助成事業の降伏強度 1000MPa達成に貢献

相界面析出VCの定量化技術の確立

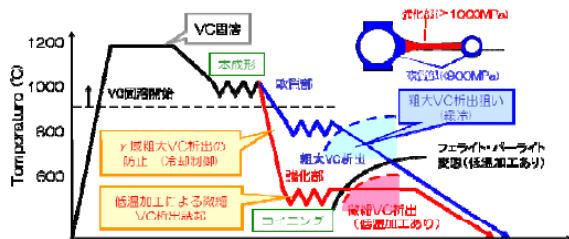


中炭素鋼でのVC相界面析出による高強度化指導原理

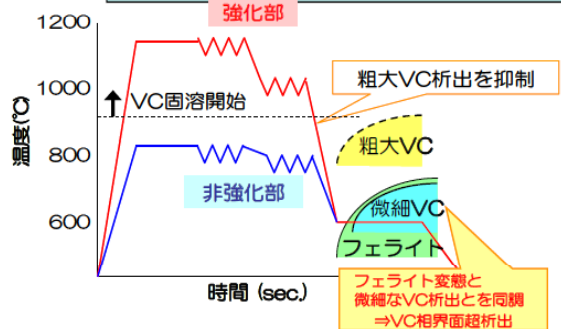


高強度化・傾斜機能付与 (助成：析出Gr.)

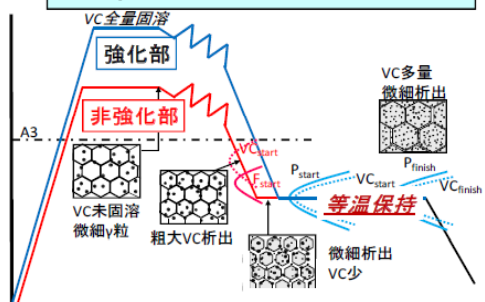
(a) 低温での加工(+保持)を加える強化・軟化ルート(大同特殊鋼)



(b) 加熱温度差を利用した強化・軟化ルート (神戸製鋼所)



(c) 低温保持による強化・軟化ルート(住友金属小倉)



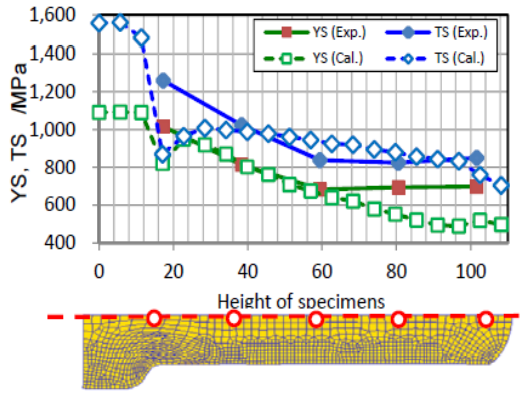
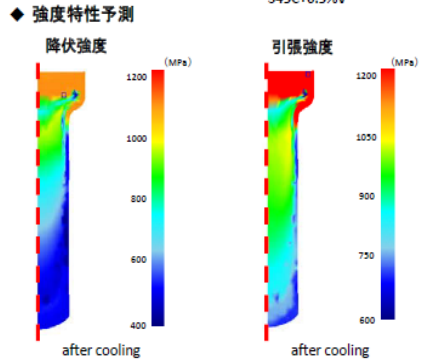
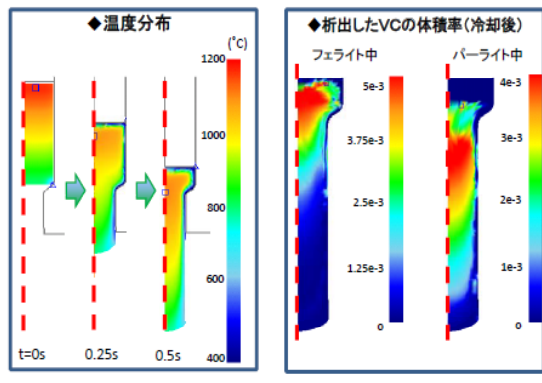
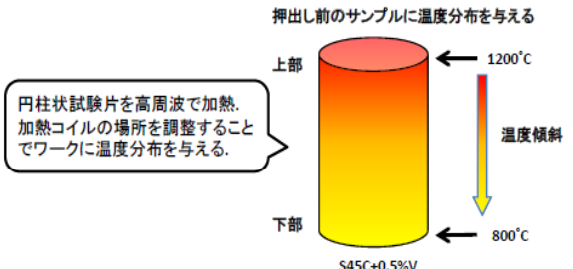
◆ 高強度化・傾斜機能付与のための合金設計・プロセス開発の達成状況

(VCの相界面析出による強化機構の活用ルートとして3種類を開発)

プロトタイプ部品試作

②-2 特性分布を予測する鍛造プロセスのバーチャルラボシステム基盤技術研究
 材質予測FEM鍛造システム

傾斜加熱 → 熱間前方押し
 VC析出の傾斜化 → 強度傾斜
 > 実測の強度とバーチャルラボシステムを使った計算値を比較

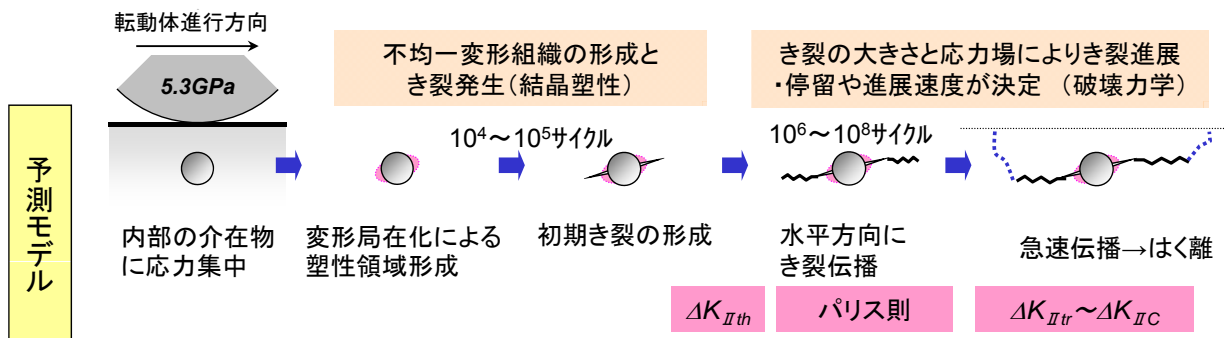


内部起点疲労破壊SG

- (1)研究開発の目標と特徴
- (2)最終目標の達成度
- (3)研究開発の成果と意義

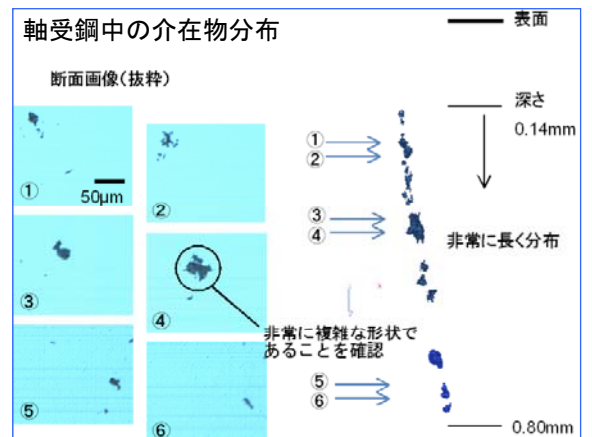
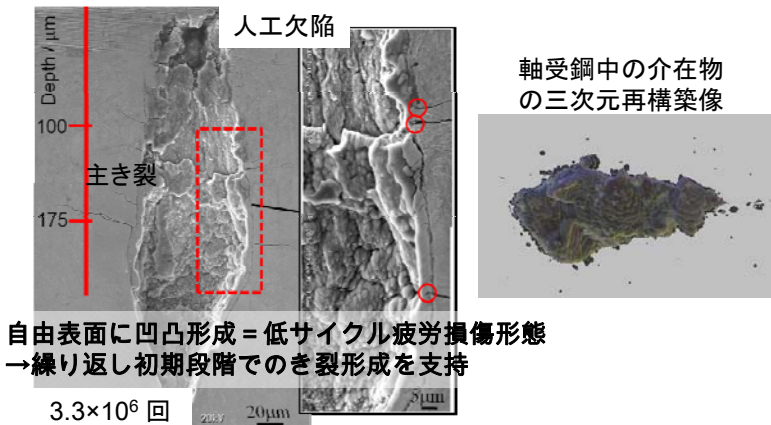
- <目標>**
- 転動疲労によるき裂発生から剥離に至るまでのメカニズム解明
 - 剥離までの寿命予測手法の確立
- <特徴>**
- 開発したき裂生成・伝播挙動の可視化技術を駆使して、転動疲労破壊モデルの充実化を図る。
 - 対象介在物を酸化物に加え、窒化物や硫化物へ拡張。
 - 非金属介在物からのき裂や損傷の3次元観察データを充実させ、データベース化して統計的な評価を行い、材料力学と材料因子の両方を考慮した世界初の寿命予測式を構築。
 - 目標寿命および限界き裂長さに及ぼす非金属介在物と応力の影響を明確化。

転動疲労における各過程の高度評価技術を確立 → メカニズム解明のための情報取得、寿命予測式の基盤構築



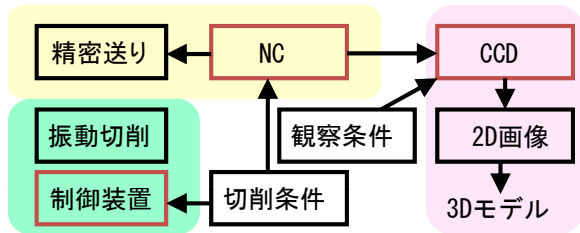
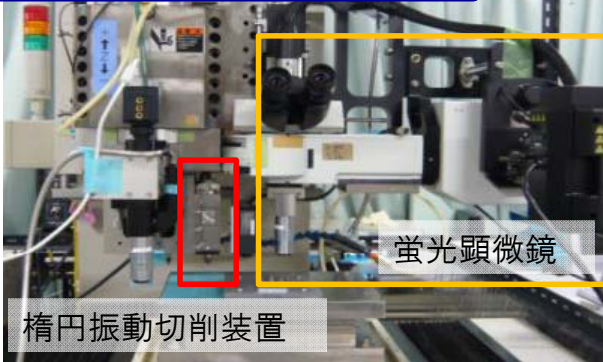
検討項目	研究開発成果	達成度
先端的制御鍛造技術の開発 委託②-3) 助成④-3) 高強度鍛造材のき裂発生・伝播メカニズム解明及び非金属介在物組成・サイズ制御指針提示	<ul style="list-style-type: none"> ・鉄鋼材料における転動疲労初期き裂の3次元観察基礎技術を確立 ・転動疲労き裂の発生から剥離に至るメカニズムを導き、非金属介在物と応力の影響を明確化 ・非金属介在物周囲の応力状況シミュレーション技術を構築し、転動疲労初期き裂の発生要因を抽出 ・材料力学と材料因子の両方を考慮した転動疲労の寿命予測式を構築 	◎ ○

達成度：◎最終目標を超過達成、○最終目標を達成

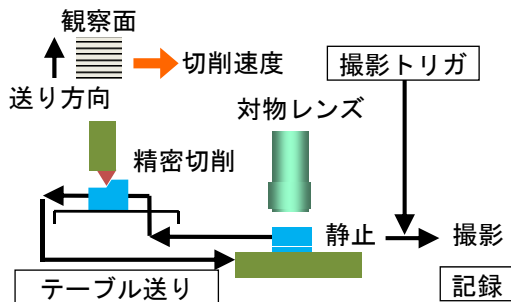


「精密切削による鉄系材料内介在物の高速自動観察手法の確立は、世界初」

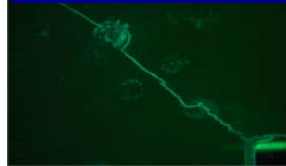
3次元内部構造観察システム



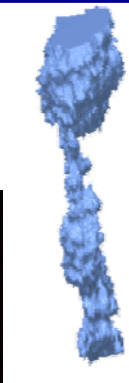
- ・介在物含有試験片の多断面・高速観察
- ・疲労試験片内の初期疲労き裂観察



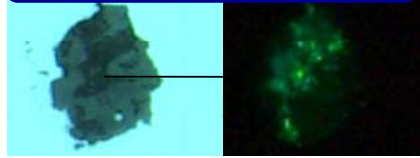
き裂を明確識別



介在物の3次元構造



介在物内部空隙の確認

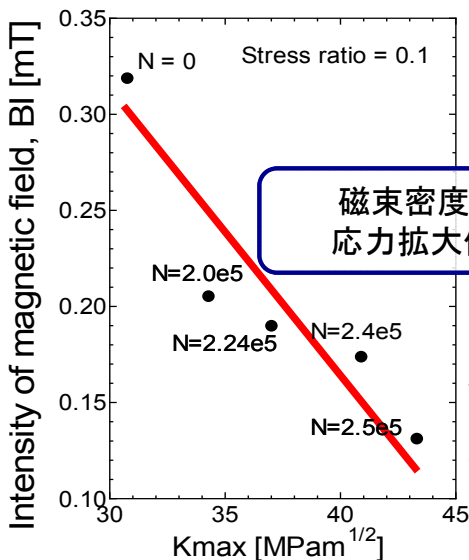
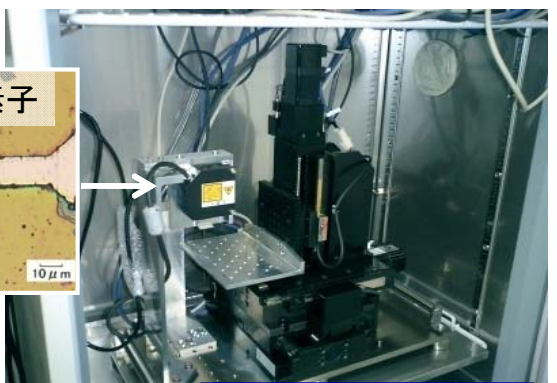


「磁場顕微鏡による疲労き裂先端の動的評価手法の確立は、世界初・最高水準」

<磁場観察システム>

- き裂先端の塑性域拡大を検出
- 繰返し数毎の磁場分離
- 室温大気中・高精度・高分解能 (X線法の2000倍)

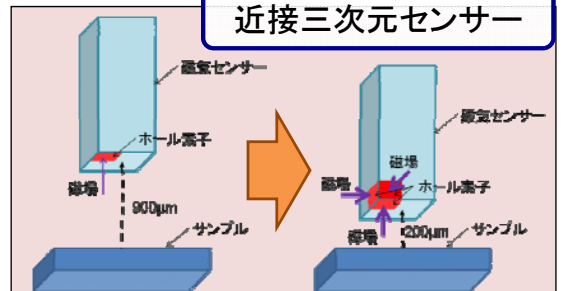
(高精度ステージ, 恒温環境, 防磁環境, 位置制御, データ分割)

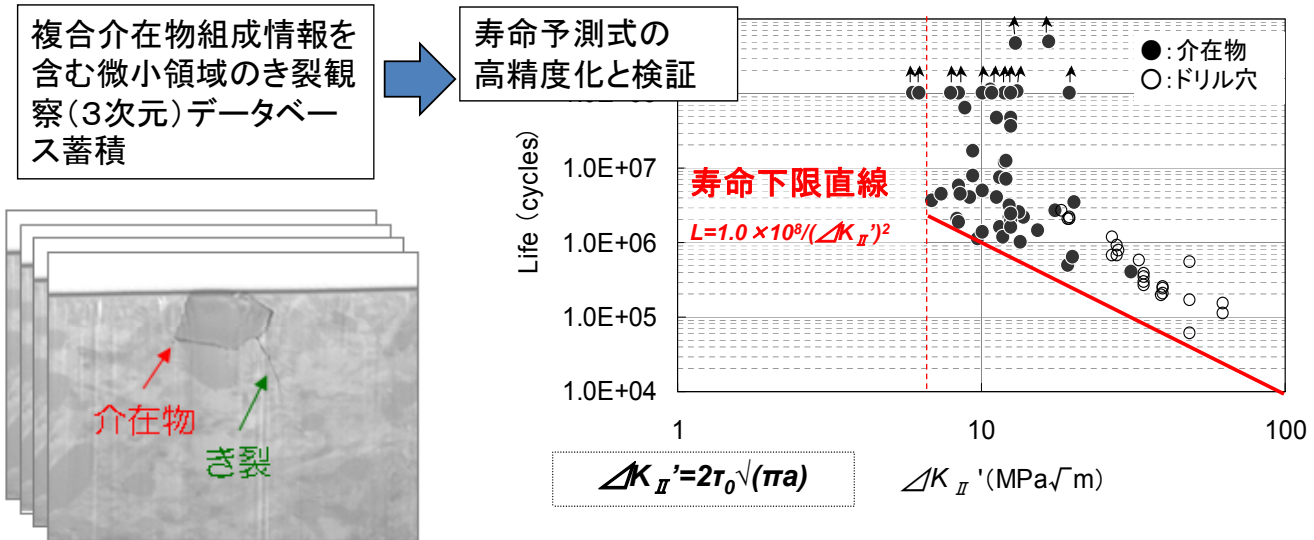


磁束密度:き裂進展に
応力拡大係数と強い相関性

新技術の発展性
→ Activeなき裂の観
察データから応力拡大
係数を見積る

近接三次元センサー





- ★酸化物系介在物の大きさの異なる材料による検証
- ★MnS系またはTiN系介在物の大きさの異なる材料による検証
- ⇒最悪寿命予測の考え方に矛盾しないことを確認。

	H19	H20	H21	H22	H23	計
特許出願	3	8	7	10	6	34件
論文投稿(査読付き)	0	42	23	17	18	100件
研究発表・講演	23	91	71	59	60	304件
受賞実績	0	1	1	2	6	10件
新聞・雑誌等への掲載	4	4	13	8	8	37件
展示会、シンポジウム等	0	0	1	0	2	3件

- 【受賞実績例】 平成24年5月31日現在
- ◆ 文部科学大臣表彰(平成21年、平成22年)
 - ◆ 日本金属学会、日本鉄鋼協会、日本物理学会、溶接学会 各学会論文賞、若手講演論文賞等
 - ◆ Thermec Distinguished Award, 2011
 - ◆ Best Paper Award of ICMAM2011

鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化 基盤研究開発プロジェクト シンポジウム



- ◆ 第1回(H21.4.14-15): 講演数74件、参加者約400名
- ◆ 第2回(H24.1.12-13): 講演数61件、参加者445名

2012国際ウェルディングショーへの成果物展示 (溶接技術SG+水素脆化BRU、'12.4.11-14)



- ◆ ブース来場者; 3, 653人、名刺情報交換; 1, 209
- ◆ 日刊工業新聞(2回)、日経産業新聞等、業界紙4紙面、5つのWebサイトに掲載
- ◆ 日経BP、日本工業出版、産報出版の取材・寄稿

プロジェクト新聞掲載の一部例



'12.1.11
日経産業新聞

'12.2.10
日経産業新聞

'12.4.11
日刊工業新聞

'09.4.21
溶接専門紙
(産報出版)

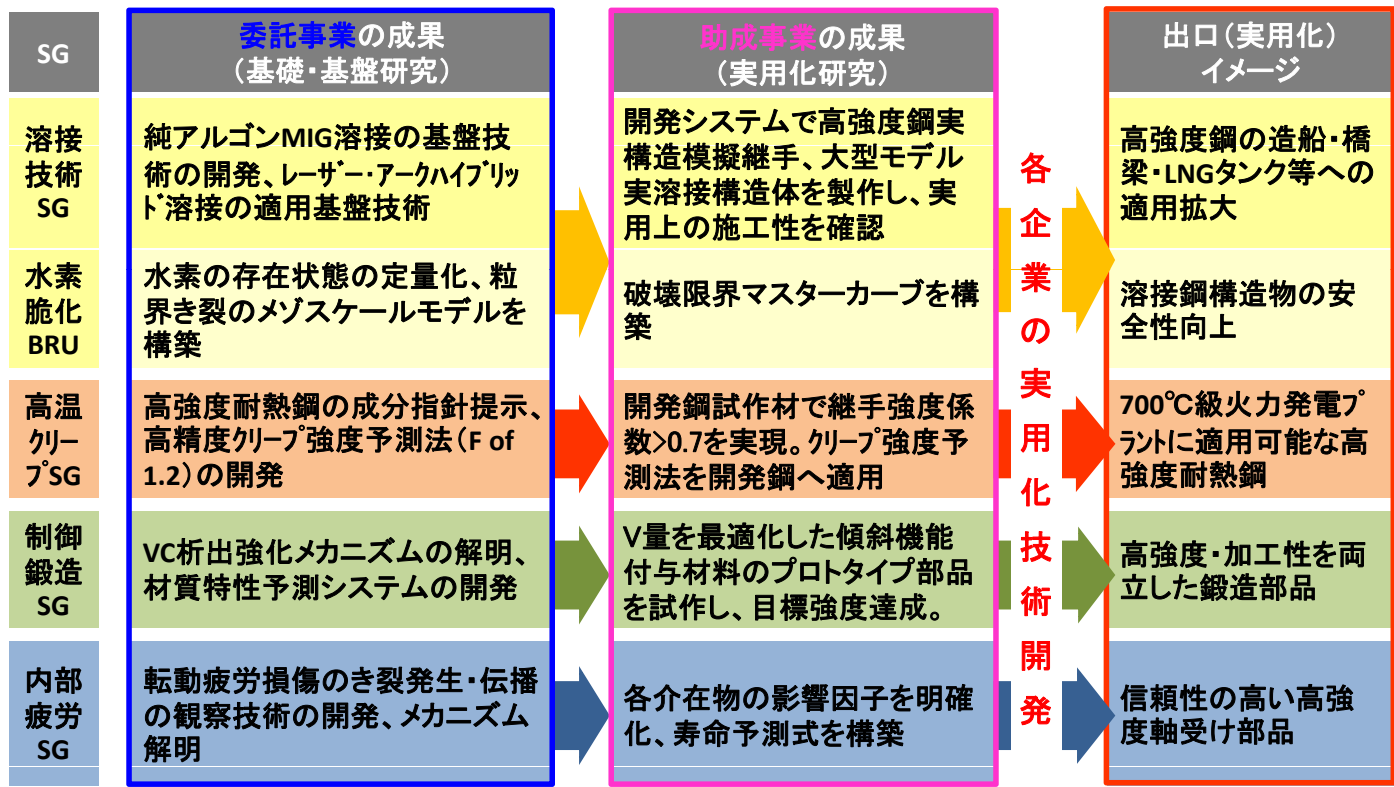
Ⅳ. 実用化の見通し

(1)実用化可能性

(2)波及効果

IV. 実用化の見通し(1)実用化可能性(研究成果の展開)

公開




委託事業→助成事業の連携で得られた成果は、実用化開発へ展開


IV. 実用化の見通し(1)実用化可能性、(2)波及効果【溶接技術SG】

公開


【HT980】



建築鉄骨




水圧鉄管




橋梁

【低温用鋼】
- LNGタンク -



~2025



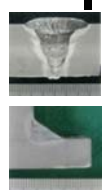
【実用化のための確認済項目】

- ・継手性能
- ・予熱フリー化
- ・大型試験: 安全性確認
- ・モックアップ試験: 施工性確認

適用部位の確定・データ検証

客先承認(認証)・設計(設計応力向上→板厚低減)

実機溶接装置の開発・溶接ワイヤの量産、性能保証



980MPa高強度鋼・低温用鋼の
想定市場(～10年後)

対象	市場規模	鋼材重量	備考
橋梁	国内	¥2200億/年	25万トン/年* *:クリーンMIG適用≒20%
	国内	¥250億/年	5250トン/年
LNGタンク	海外	¥800億/年	21000トン/年 Ar入手可能地域に限る

(注) 水圧鉄管: HT980鋼材量≒現状×1.5

【クリーンMIG溶接の適用効果例】

- 橋梁
 - ・許容応力向上による板厚低減
 - ・予熱フリーによる工数削減
 - ・板厚低減による工数削減、工期短縮
- LNGタンク
 - ・許容応力向上による板厚低減
 - ・溶接材料の低減
 - ・Ni量低減による低コスト化 & レアメタル低減

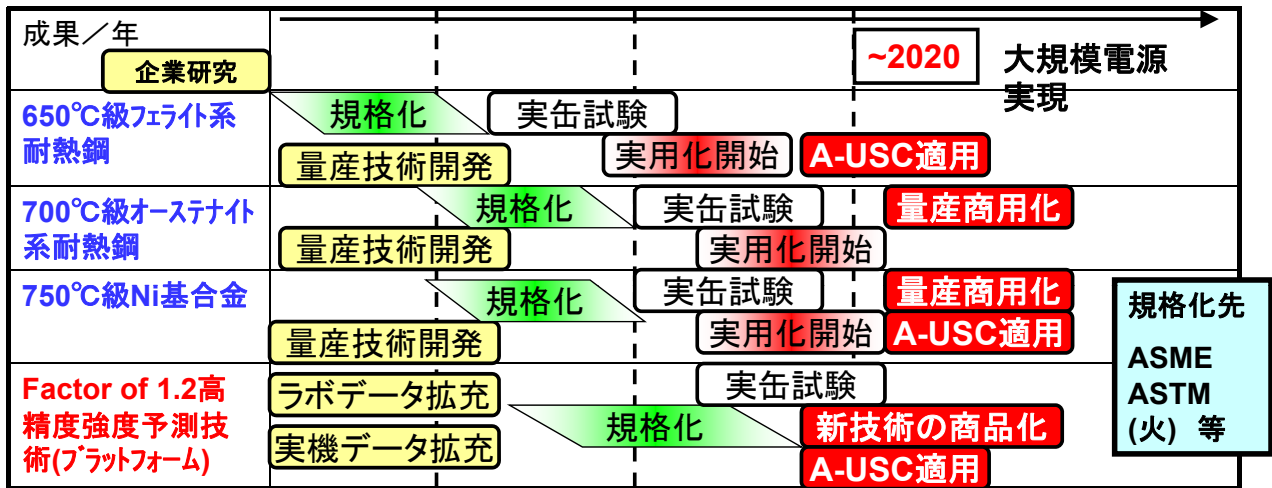
・鉄鋼メーカー: 高級鋼の拡販(世界規模)

・ファブリケータ: シェア拡大(世界規模)

・社会的貢献: トータル&ライフサイクルコスト削減

実機適用

IV. 実用化の見通し(1)実用化可能性、(2)波及効果【高温クリープSG】公開



規格化先
ASME
ASTM
(火)等

波及効果

- ・A-USCプラントへの開発鋼の適用
(想定市場規模 2025年頃大規模実用化)
- ★国内対象量 100万t(約一兆円市場)
- ★海外向け対象量 200万t(二兆円市場)
- <リプレイス等を含む10年間試算/独占>

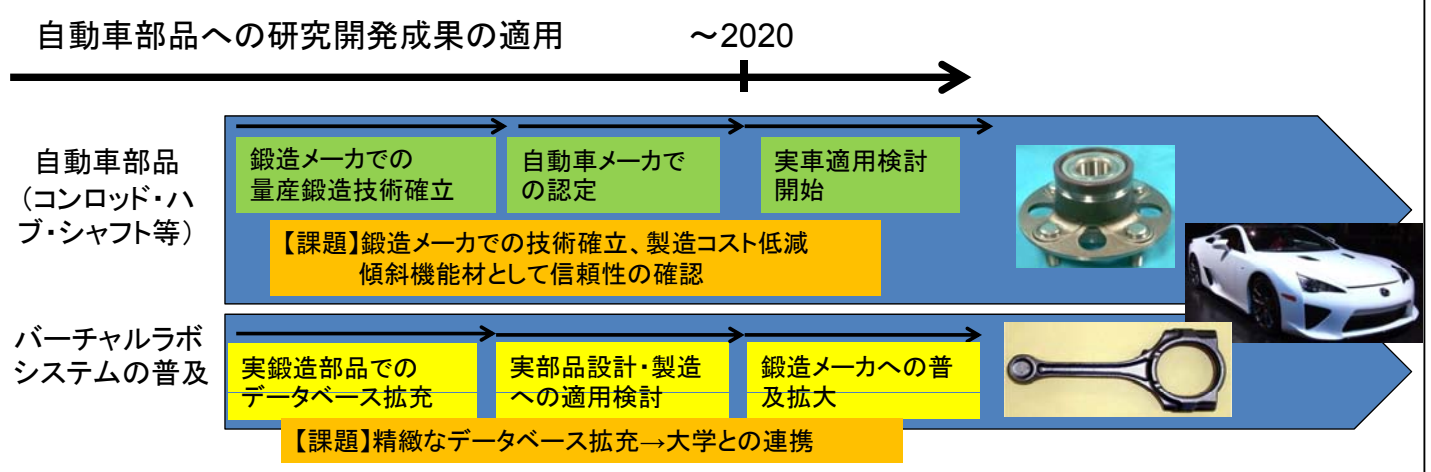


開発成果実用化による資源、環境負荷低減

	現在(2012)	将来(2018)
蒸気条件	600°C、25MPa	700°C、35MPa
発電効率	42%	48%[世界最高]
CO ₂ 削減率	発電分野5%、日本全体2%減	

◎高効率プラントを戦略輸出商品とでき、石炭産出国、または途上国のプラント建設に貢献
◎日本の中核電源として機能し、3000~5000万kWの電力を低資源リスクで供給可能。

IV. 実用化の見通し(1)実用化可能性、(2)波及効果【制御鍛造SG】公開



波及効果

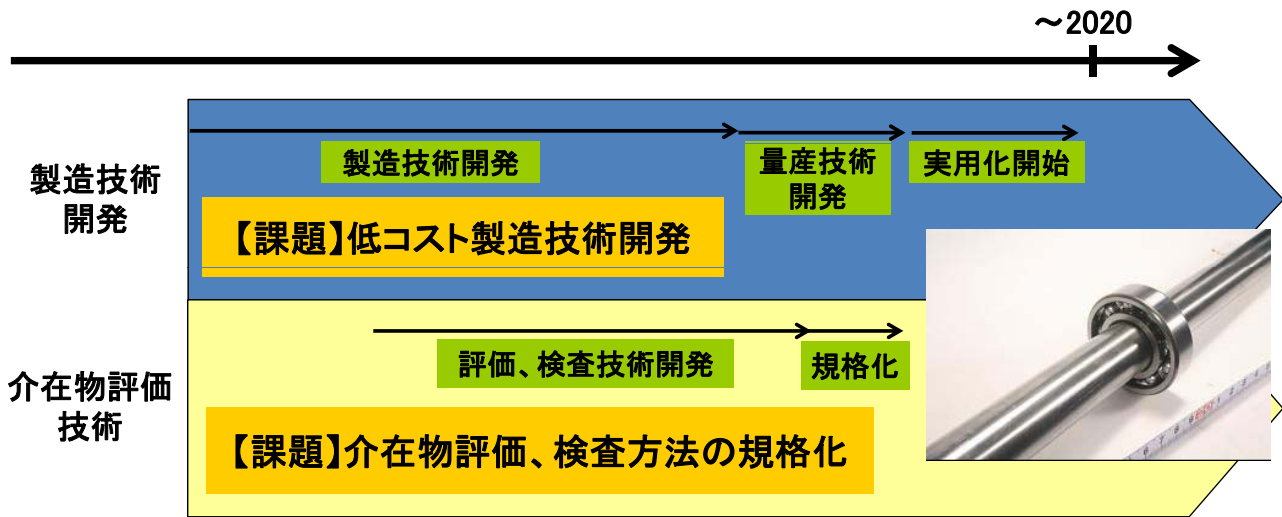
自動車部品への開発成果適用による軽量化・省エネ効果

想定市場規模(2025年頃実用化想定)
コンロッド、ハブ、クランクなどの
自動車鍛造部品用の素材
→国内対象量 150万t(約1500億円市場)

- 軽量化効果(想定) : 14kg/台の軽量化
- 燃費改善効果 : 約0.2km/L改善
- CO₂削減量(原油換算) : 約11万kL/年

★鉄鋼、自動車産業におけるグローバル競争力を大幅に強化！
★加えて、CO₂排出量低減などの社会問題に大きく貢献！

IV. 実用化の見通し(1)実用化可能性、(2)波及効果【内部疲労破壊SG】公開



■本研究開発成果の自動車への展開

想定市場規模(2018年実用化想定)
自動車部品用軸受け鋼
国内 18.9万t(約1350億円市場)

軽量効果 (ユニット重量)	1.85kg	31% →	1.27kg
燃費改善効果	15.10km/L		15.23km/L
省エネ効果 (原油換算)	53.5万kL/年		

IV. 実用化の見通し(1)実用化可能性、(2)波及効果 公開



実用化・事業化の見通しの詳細は各社から個別に報告