

「革新的新構造材料等技術開発」 説明資料

2018年6月21日

経済産業省

産業技術環境局 研究開発課 産業技術プロジェクト推進室

目次

- 1 . 事業の背景
- 2 . 事業の概要
- 3 . 事業のロードマップ
- 4 . 評価体制
- 5 . 成果・ステージゲートの結果
- 6 . 内閣府 評価専門調査会からの前回指摘事項への対応状況
- 7 . まとめ

1. 事業の背景(1) -CO₂排出・エネルギー消費状況-

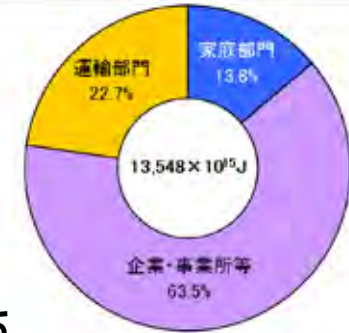
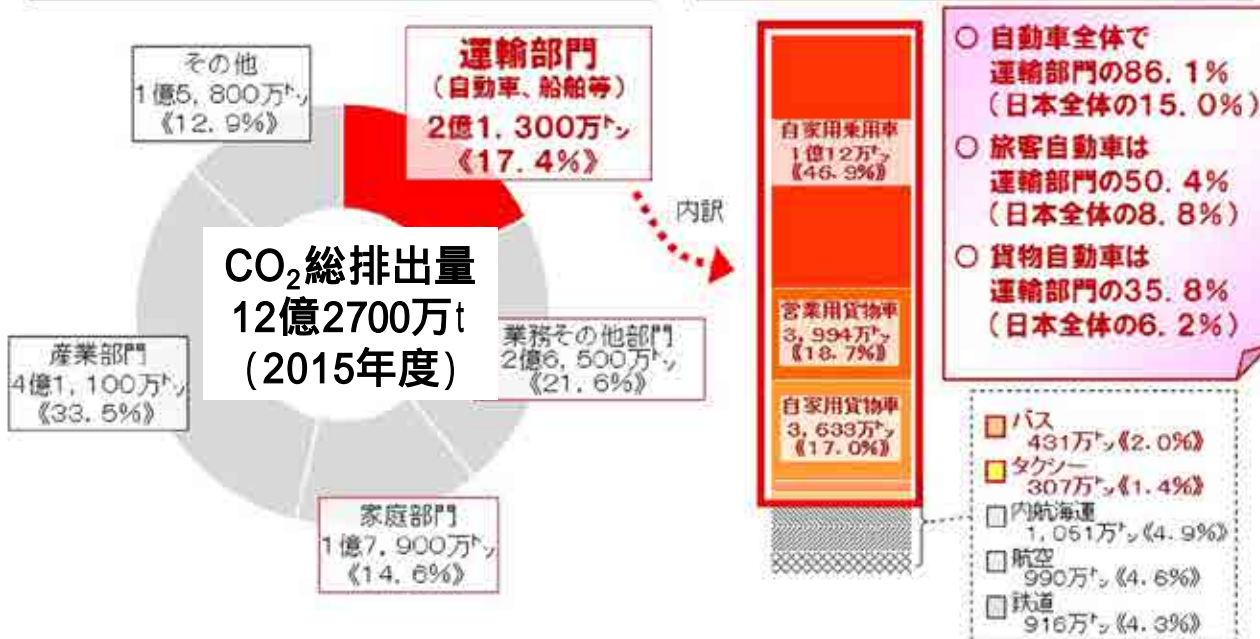
国内年間CO₂排出総量は約12億トン。うち運輸部門は約17.4%（約2億1300万トン）を排出。
 自動車は運輸部門の86%を占め、日本全体の約15%を排出している。
 国内のエネルギー消費量は1.35万PJ。うち運輸部門は約23%を消費、その内訳はガソリン、軽油、LPガス、
 潤滑油等、石油系エネルギーを96%利用している。自動車は運輸部門の約84%を占める。
自動車の燃費改善技術は非常に社会的影響が大きい

運輸部門における二酸化炭素排出量(内訳)

最終エネルギー消費の構成比(2015年度)

日本の各部門における二酸化炭素排出量

運輸部門における二酸化炭素排出量



うち
自動車83.5%・バス3.5%・鉄道3.7%・船舶2.6%・航空6.7%

運輸部門エネルギー内訳
 石油系エネルギー96.3%
 電力等2.0%

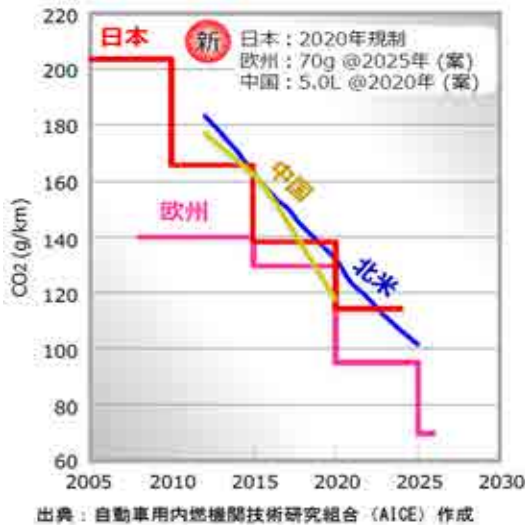
※ 電気事業者の発電の伴う排出量。熱供給事業者の熱発生に伴う排出量はそれぞれの消費量に応じて最終需要部門に配分
 ※ 端数処理の関係上、合計の数値が一致しない場合がある。
 ※ 温室効果ガスインベントリオフィス「日本の温室効果ガス排出量データ(1990~2015年度)確報値」より国土交通省環境政策課作成

(出所) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」を基に作成

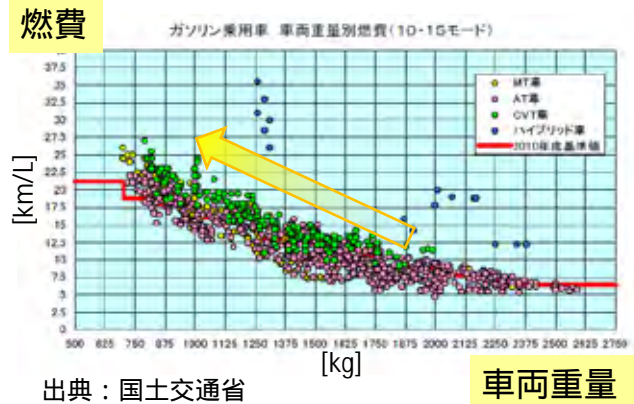
1. 事業の背景(2) - 軽量化へ向けたマルチマテリアル化 -

- ρ 日本、欧米など各国でCO₂排出（燃費）規制強化の方向
- ρ 自動車を念頭においた場合、燃費改善のため、パワートレイン等の改善の他、車体軽量化が有効な手段
- ρ 車体の軽量化には、従来の鋼材の改良だけでは大幅な軽量化は実現できず、より軽量の部材を適材適所に使うマルチマテリアル化による最適設計・軽量化が重要
- ρ マルチマテリアル化の実現には、個別の材料開発のみならず異種部材間の接合技術が重要
- ρ 世界中でマルチマテリアル化に向けた研究開発競争が激化

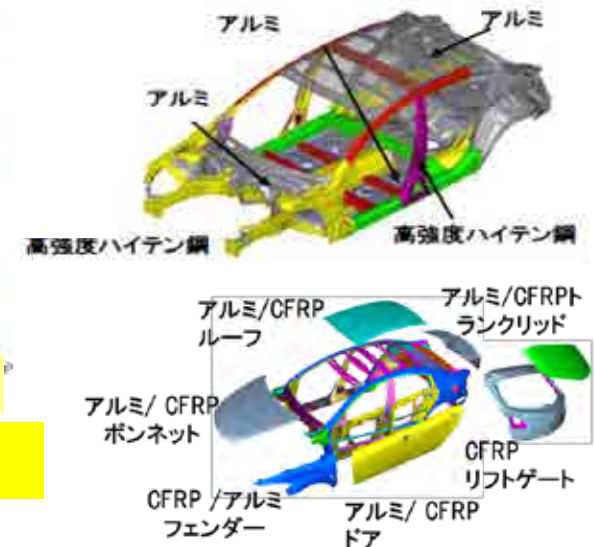
燃費規制の強化



車両重量と燃費の関係



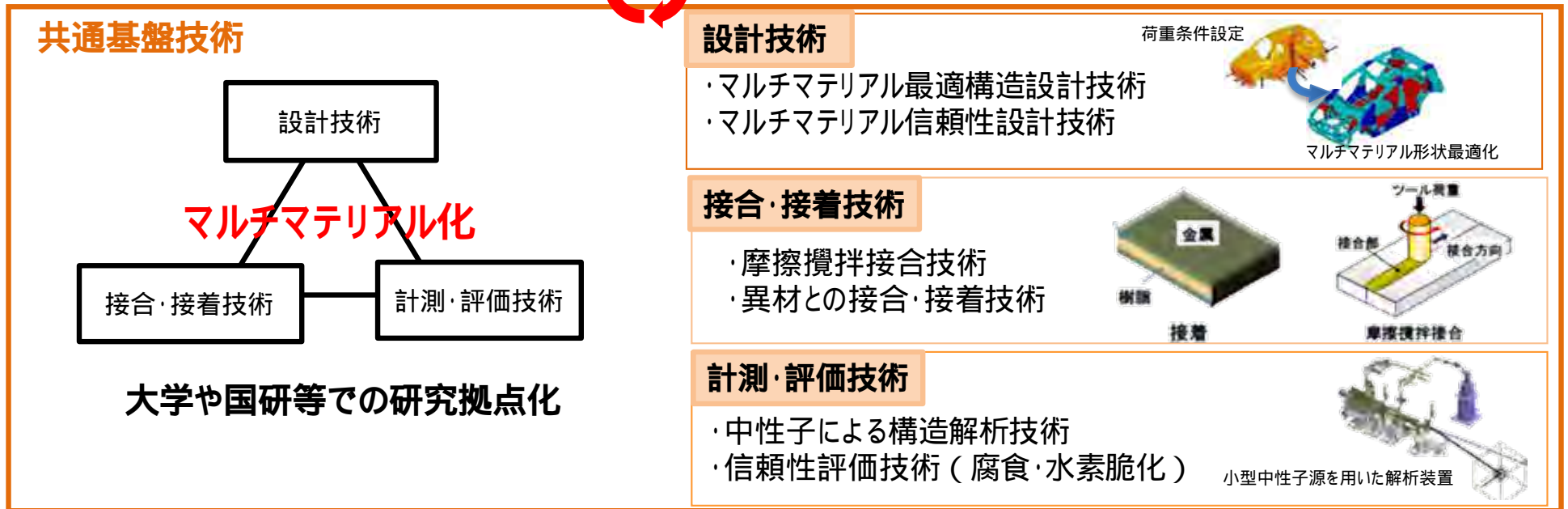
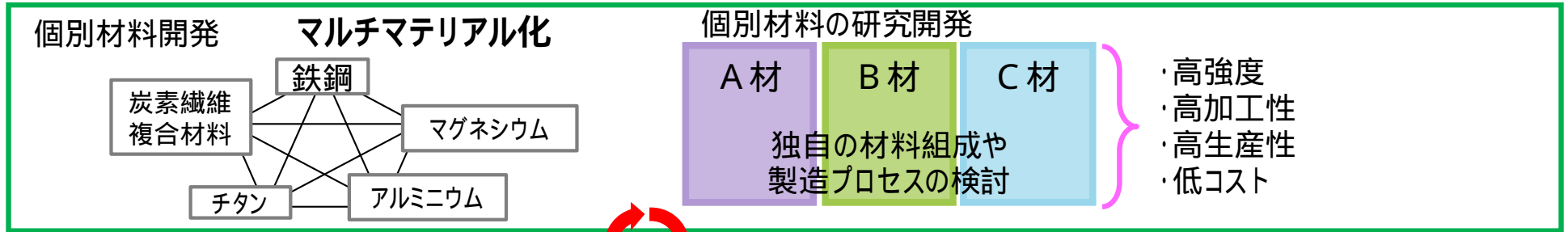
自動車のマルチマテリアル化例



燃費向上には車両軽量化が有効

2. 事業の概要(1)

企業、国研、大学の資源を集約すべく、マルチ材料化の共通基盤的課題となる、「設計技術」「接合・接着技術」「計測・評価技術」については、協調領域として産総研・大学を中心に横断的に取り組み、各企業の安全性に関わるデータや知財等を集約して研究開発を行う事としている。

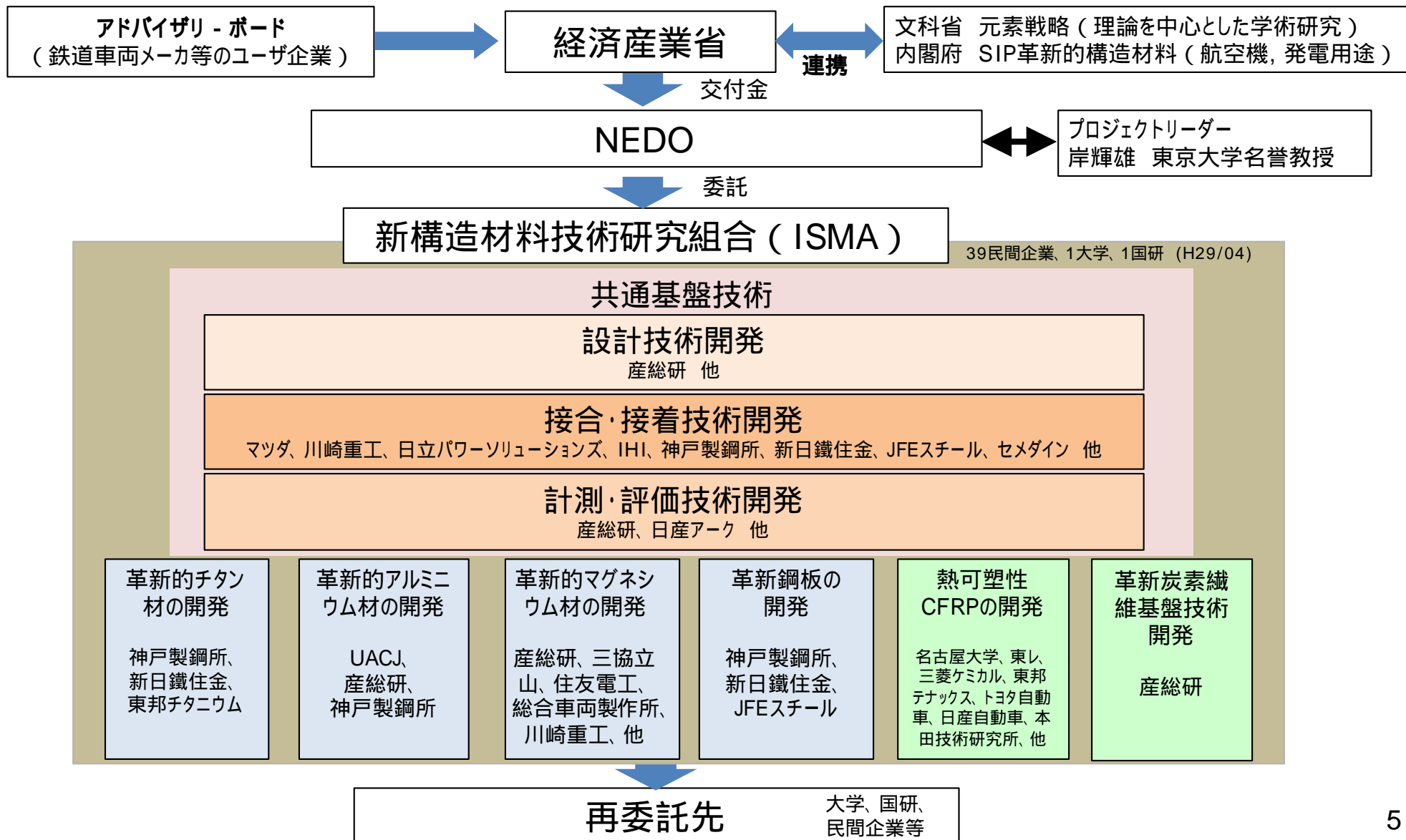


他分野(インフラ、家電、ロボット等)への波及効果

参考：産業構造審議会産業技術環境分科会研究開発・イノベーション小委員会『イノベーションを推進するための取組みについて』(2016/5/13中間取りまとめ)改訂

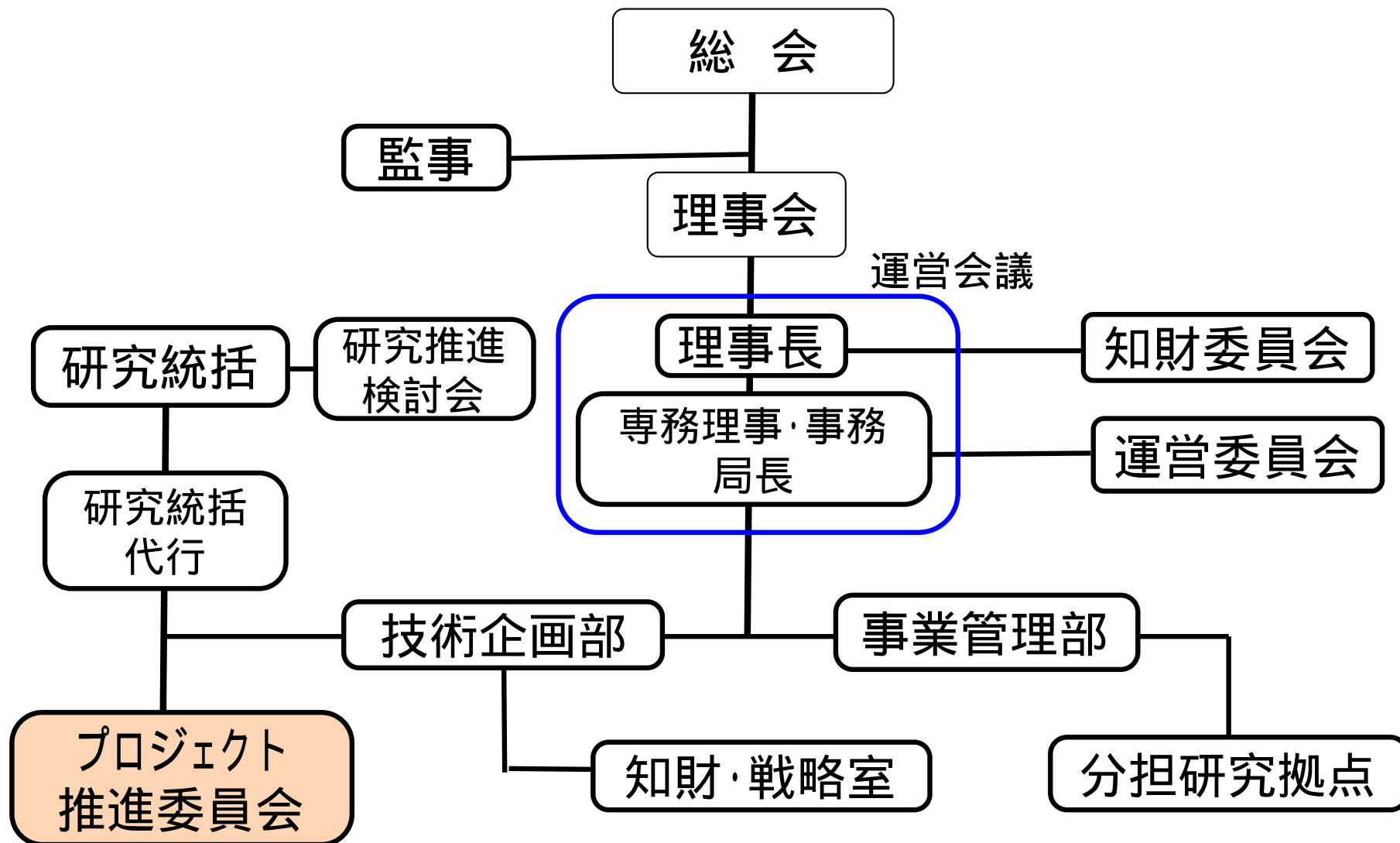
2.事業の概要(2) -研究開発実施体制(H29年度)-

- ρ 競合メーカー・競合業種が結集して技術研究組合を形成。大学・国研と共に協調領域を重点的に開発。各参加企業は知的財産権取扱規程に同意し、知財を拠出し共有・相互利用。



2.事業の概要(参考) -新構造材料技術研究組合(ISMA)内部体制-

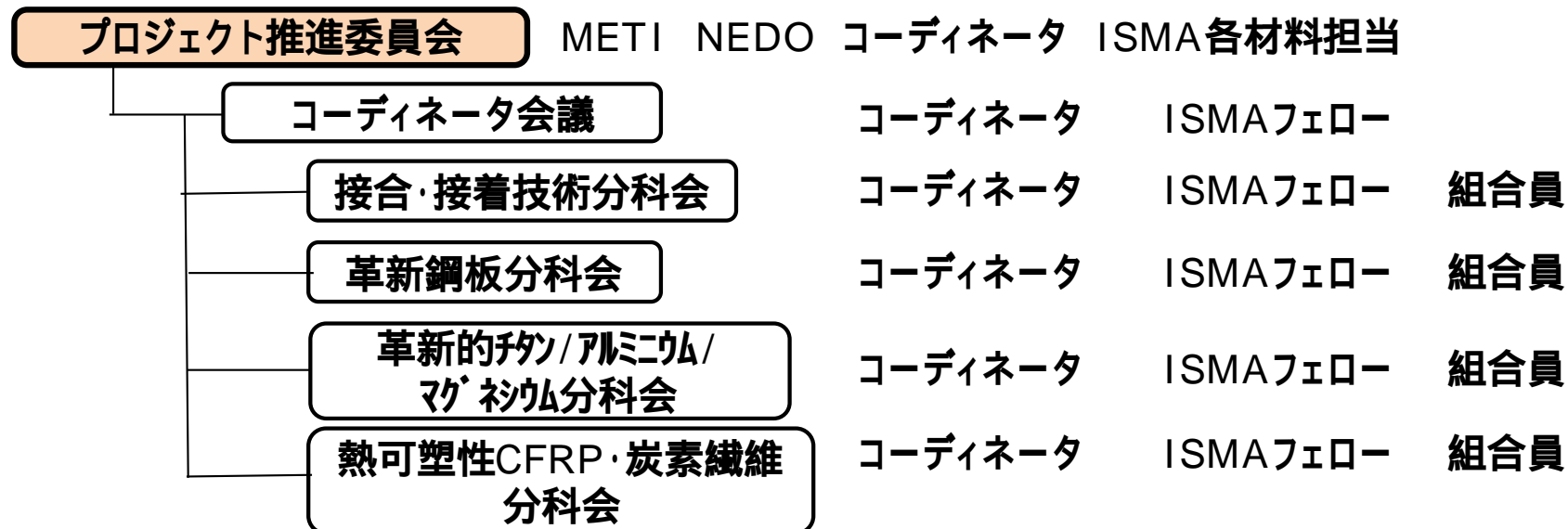
2-3



2. 事業の概要(参考) - ISMA運営管理体制(H29年度) -

プロジェクト推進委員会

プロジェクト推進に関してはISMA内に以下の分科会および委員会を設け、コーディネータ、ISMAフェロー、組合員が一体的に運営する。



分野

接合・接着

革新鋼板

革新的珪素/アルミニウム/マグネシウム

熱可塑性CFRP・炭素繊維

共通基盤

コーディネータ

平田 好則 阪大特任教授

大村 孝仁 NIMS副ユニット長

吉澤 友一 AIST副部門長

武田 展雄 東大副学長

ISMAフェロー

平田 好則 (兼)

兵藤 知明

堀谷 貴雄

山下 秀

志田 憲一

ISMA成果報告会の開催 (非公開6月、公開1月)

本事業に関して、そのあり方、今後の方針について、ユーザー機関等の有識者がその立場から所要のアドバイスを経済産業省及び実施者に行う場として、経済産業省に設置。

アドバイザリーボード構成員

- ・熊谷 則道 氏 (公財)鉄道総合技術研究所 理事長
- ・小林 敏雄 氏 (主査) 国立大学法人東京大学 名誉教授
- ・種子田 裕司 氏 三菱重工業(株)交通・輸送ドメイン 技術統括室長
- ・間瀬 清芝 氏 トヨタ自動車(株)有機材料技術部 部長

- | | | |
|-----|------------|------------------------------|
| 第1回 | 平成27年3月25日 | 研究開発と内容と今後の方向性 |
| 第2回 | 平成27年7月6日 | 研究開発と内容と今後の方向性 |
| 第3回 | 平成28年5月20日 | 第1期成果および第2期の研究課題、新たな取り組みについて |
| 第4回 | 平成29年12月7日 | これまでの成果、平成30年度以降の取り組みについて |

【アドバイスの例】

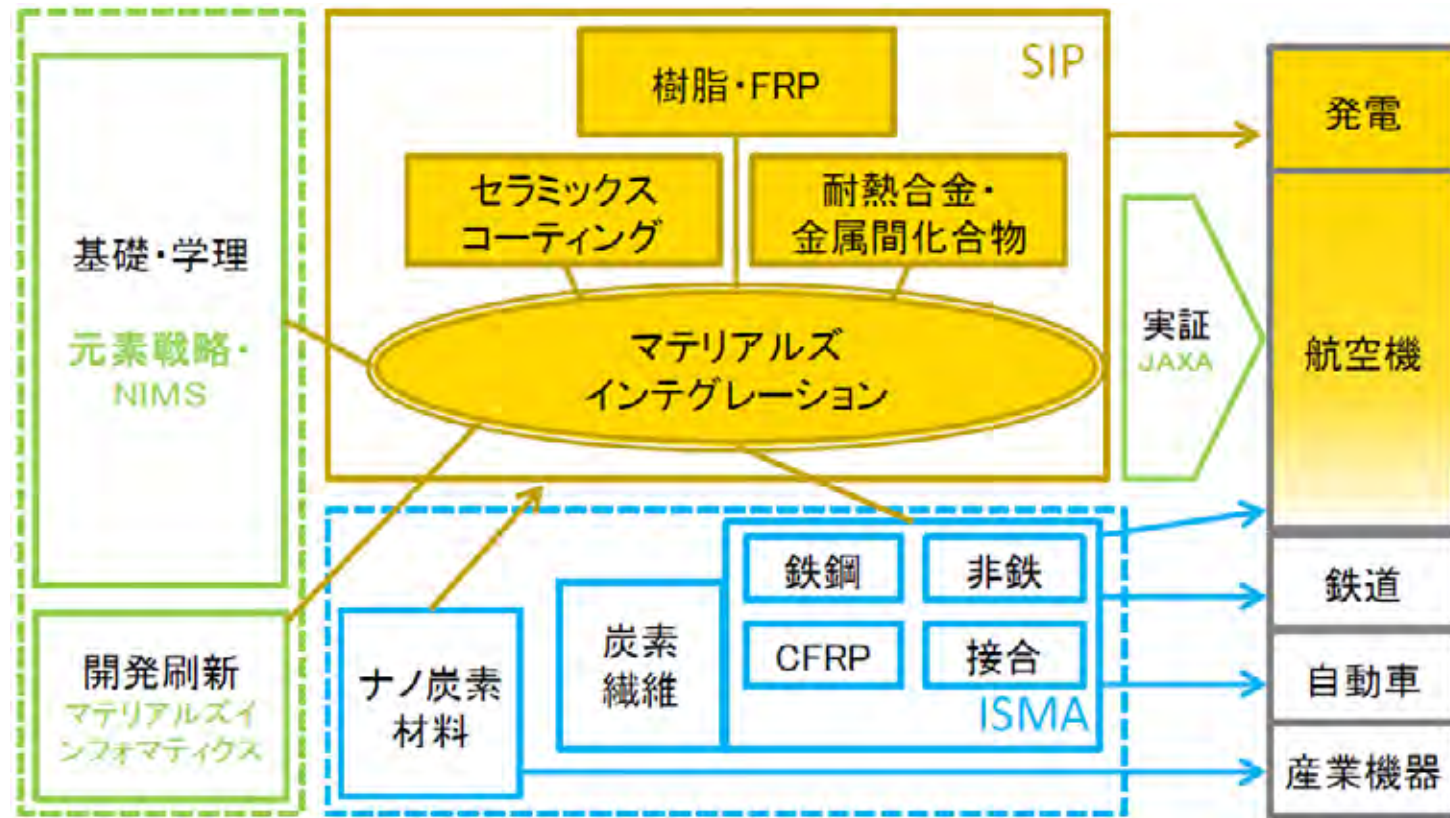
「とんがった材料の創製」

- * 中途半端な目標設定は意味がなく、非連続な発展に向かった目標設定をするべき
- * 自動車用強度部品および軽量外板への活用のための素材会社のメニューラインアップの拡大
ユーザーの選択肢の拡大 (Right Material, Right Place, Right Reason)
- * 鉄道用構造部材への活用可能性の向上
- * 接合装置 (FSW)・接合手法の実用化

2.事業の概要(4) -関係府省との連携状況(1)-

2-6

- ρ 内閣府SIP、文科省元素戦略事業との間で、各事業のカバーする領域を整理
- ρ 3府省事業の間でガバニングボードを設置し(年1回開催)、事業の進捗状況や課題の共有、具体的に協力できる課題の抽出(これまでの事例:特殊大型設備の相互利用体制の整備等)などを行っている。



出典：SIP革新的構造材料 研究開発計画(2016/3/10)

【3府省合同成果報告会を開催】



内閣府、文部科学省、経済産業省の共同開催による、各事業からの有識者によるパネルディスカッションを行い、「日本発の軽量マルチマテリアル輸送機械の実現」について議論

- ・2017年6月13日
- ・参加者600名超
- ・各事業から合計70件以上の成果報告

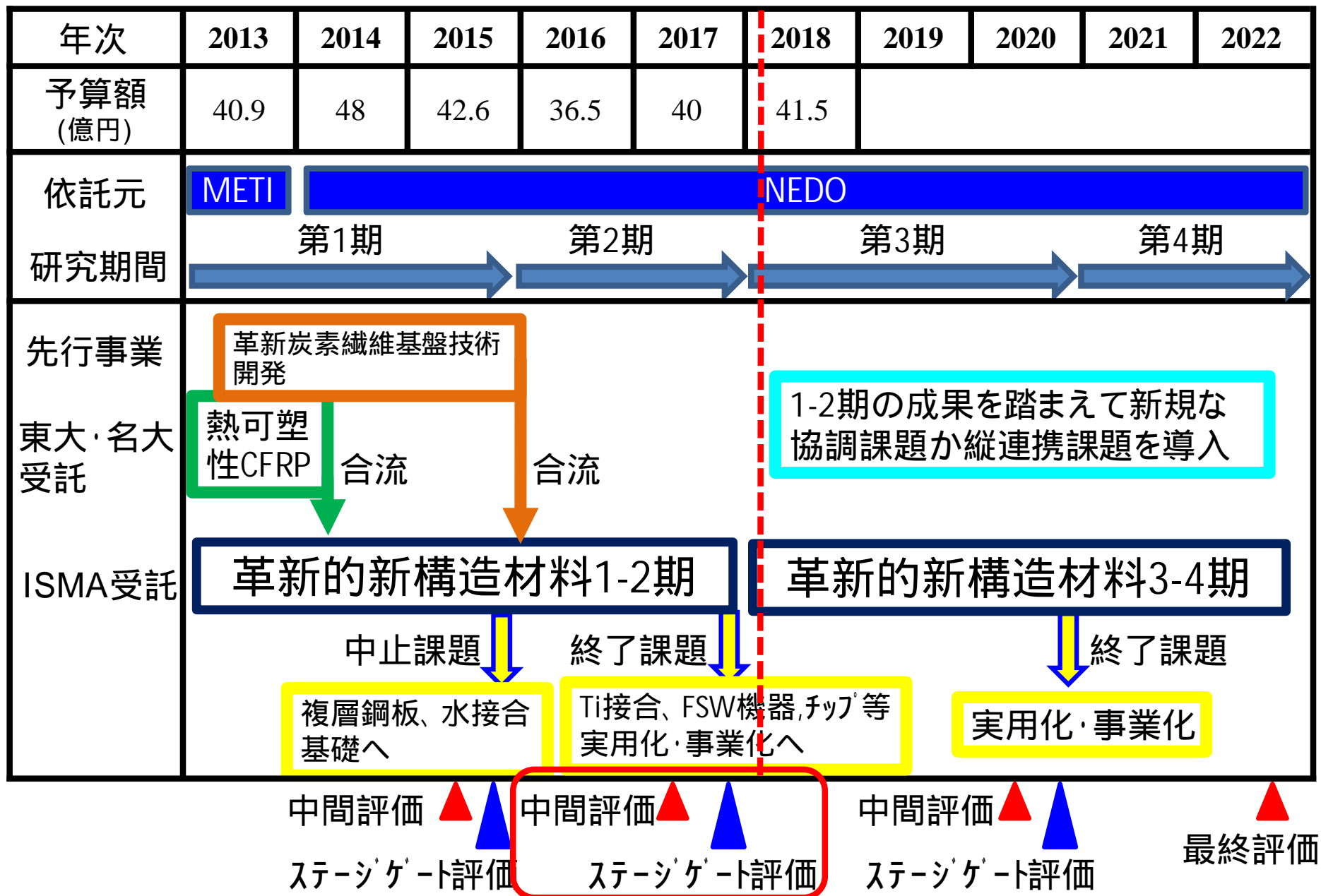
【SIP革新的構造材料との連携】

SIPで開発を進めているマテリアルズインテグレーション(MI)*について、本事業で素材データを蓄積しているマグネシウム合金開発への適用可能性を両事業の実施者間で議論・検討を行い、本事業内でのFS研究の後、平成30年度から本格的に研究を開始

*マテリアルズインテグレーション

材料科学の成果を活用すると共に、理論、実験、解析、シミュレーション、データベースなどの全ての科学技術を融合して材料の研究開発を工学的な視点に立ち支援することを目指す総合的な材料技術ツールと定義
(SIP内の説明資料より抜粋)

3.事業のロードマップ(1) - 研究開発スケジュール



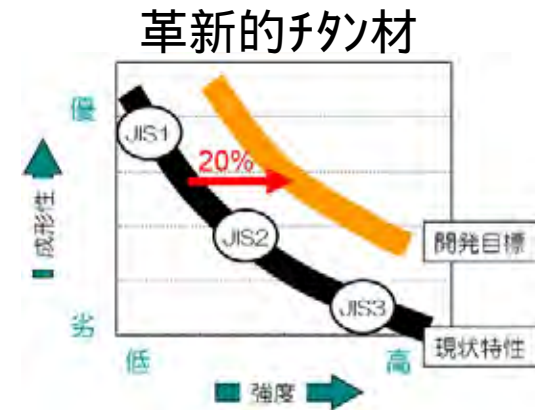
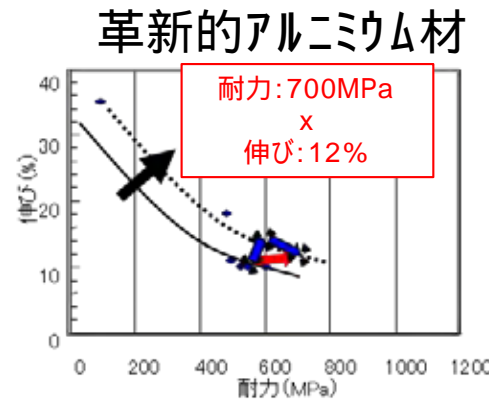
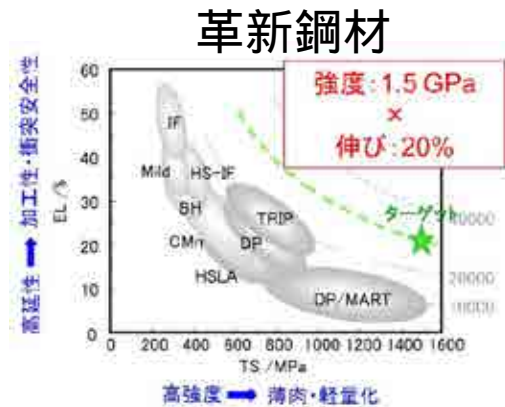
金属材料：バナナカーブ上での性能ポジション向上(右、右上)

革新鋼板：更なる高強度かつ高延性材料開発

革新的マグネシウム材：難燃性素材による大型押し出し材の成型技術開発
(モデル構造体試作による技術の有効性の確認)

革新的アルミニウム材：大型押し出し材で高強度化技術の開発

革新的チタン材：高強度材の創出と低コストプロセス技術の開発



熱可塑性CFRP：車体/構造用部品への対応性を見極め

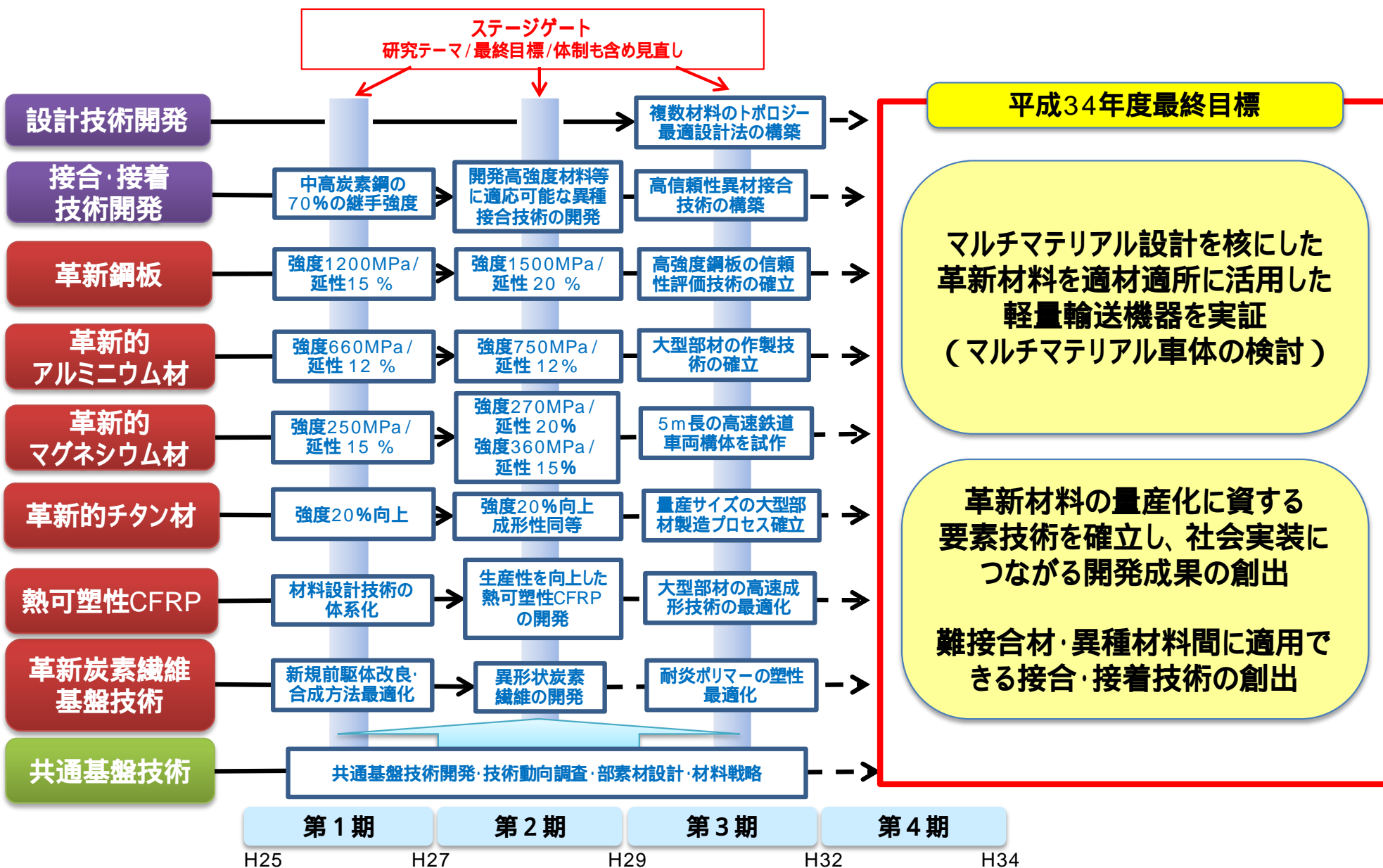
熱可塑性CFRP：短繊維強化材料による熱可塑性樹脂を用いた大型部品の試作技術開発

接合・接着技術：溶融接合や摩擦接合を活用した接合技術開発

同種材料：FSWによる接合技術開発

異種材料：素材の特徴や目的に応じた接合方法の研究

3.事業のロードマップ(3)



【評価基準】（事業の全体に対して評価を行う）

- 1 . 事業の位置付け・必要性
事業目的、NEDOの事業としての妥当性
- 2 . 研究開発マネジメント
目標、計画、実施体制、進捗管理、知的財産等に関する戦略の妥当性
- 3 . 研究開発成果
(1)研究開発目標の達成度及び研究開発成果の意義 (2)成果の最終目標の達成可能性
(3)成果の普及 (4)知的財産権等の確保に向けた取組
- 4 . 成果の実用化・事業化に向けた取組及び見通し
戦略、具体的取組、見通し

【第2回（平成29年度）開催内容】

日時：2017年6月30日（木） 9:30～18:10

場所：大手町サンスカイルームD室

委員：7名（大学6名、民間1名）

4. 評価体制(2) - 技術推進委員会 -

【評価基準】（個別テーマに対して評価を行う）

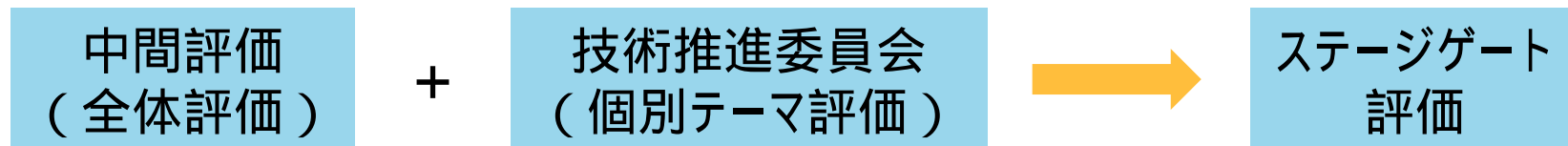
- 1．実施計画書記載の目標への到達度見込み
- 2．前年の技術推進委員会アクションへの取り組みとその成果の見込み
- 3．中間評価結果も考慮しテーマごとのステージゲート審査を実施

【平成29年度開催内容】

日程：2017年10月3日（火）4日（水）5日（木） 3日間

場所：NEDO川崎本部 21階 2104/2105会議室

委員：9名（大学6名、民間3名）



5.成果・ステージゲートの結果(1) –中間評価分科会の結果–

5-1

< 肯定的コメント >

- ・本プロジェクトは、材料開発とユーザーの両方の関連主要企業を巻き込んだオールジャパン体制で実施されている。
- ・中間目標の達成（達成できる状況）、前倒しで目標達成もしており、研究開発の目標や計画、進捗管理等が適切に運用された結果と考える。
- ・多くのテーマで、実用化・事業化に向けた課題抽出を行い、その解決方針を示しており、実用化・事業化に向けて期待が持てる。
- ・研究成果についても多数の論文、特許、技術開発報告等がなされている。

カテゴリー	指摘事項	対応方針
事業の位置付け ・必要性	なし。	-
研究開発 マネジメント	各素材間の連携について、全体を俯瞰し、かつ小回りのきくマネジメントが望まれる。 横串を通す役割を担っていると考えられる「戦略基盤」と協力して、最終材料使用ユーザーとの連携についても更なる推進をはかってほしい。	戦略基盤研究の中で連携を推進する。具体的にはマルチマテリアル設計を推進し、異種材料のデータを集約するとともに相互理解を進める。 マルチマテリアル接合技術テーマを新規に立ち上げ、自動車メーカーと材料メーカーが協調する仕組みを強化する。
研究開発成果	プロジェクトの後半は、軽量化とコスト低減に向け、ユーザーニーズを勘案し、材料特性バランスや開発コストの面から見直したほうが良い。	プロジェクト後半では、実用化により力点を置き、ユーザーニーズを勘案した開発内容・目標値に修正していく。
成果の実用化・事業化	材料開発が進展してきたため、ユーザー企業に対して、より具体的に形状や設計に必要な物性値、材料の必要時期等を確認すべきである。	マルチマテリアル設計を推進する中で、自動車メーカーから必要情報を提供してもらうべく働きかける。

	研究の進捗状況又は留意点
接合・接着	3課題(#1, #3, #6)が良好な研究成果を挙げて来年度から企業内での自主研究へ移行することになり、実用化・事業化へ向けて進んでいる。今後は研究連携を進め、マルチマテリアル化ができる組織作りを検討すべきである。
革新鋼板	高強度の鋼板の研究開発は順調で、最終目標を達成見込み。一方、腐食や水素脆化の悪化が懸念される。これらを評価解析する技術の開発と、将来の標準化を見据えた測定方法、データ取りを、産学官連携して行うこと。
革新的チタン/ アルミニウム/ マグネシウム	<ul style="list-style-type: none"> ・チタン材においては、製錬、加工工程でのコスト削減等により実用化を目指している。基本的な事項が抜けないように、特性以外の目標も取り入れること。 ・アルミニウム材においては、ユーザー企業との綿密な連携を組み、ターゲットを見据え適用部位及び素材への要求仕様を明確化することが重要である。 ・マグネシウム材は、高速鉄道向けに採用されるにはコスト削減が課題。MIは総力戦で取り組むべきで、外部での研究データの活用も考慮して欲しい。
熱可塑性CFRP・ 革新炭素繊維	炭素繊維については、紡糸プロセスで太径はハードルが高いため、 基盤研究をきちんと実施する必要 。CFRPについては、 拠点化をすることで、実用化・標準化にとどまらず、日本としてCFRP技術を発展させることが重要 である。
共通基盤	基礎研究の種をタイミング良く仕込んでいくことが重要である。また 研究成果のアーカイブ拠点をいかに実現するかも課題として認識が必要 である。

5.成果・ステージゲートの結果(3) -H29ステージゲートによる判断結果-

5-3

	H29年度ステージゲート判断 (課題数)	H30年度からの体制 (課題数)
事業継続	14	14
再編 (体制見直しを含む)	10	5
課題見直し (性能やマルチマテリアル化に絞る)	3	3
終了 (実用化に向け自社内開発へ移行)	5	—
中止	2	—
新規	—	6
合計	34	28

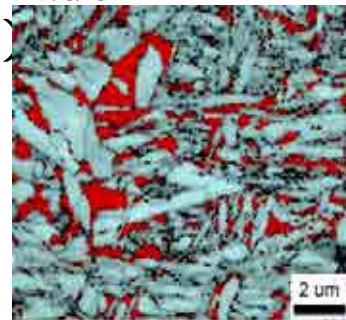
5.成果・ステージゲートの結果(4) -H29ステージゲート判断結果の例-

	番号	テーマ名	実施者	H29年度末目標値	達成状況	ステージゲート判断	見直し内容
革新的アルミニウム	21	複層アルミ合金の開発	神鋼	熱処理後の耐力 600MPa 以上		継続	高強度化の手法である複層化で自動車部品への応用を目指す
革新的マグネシウム	15-20	難燃性マグネシウム合金の信頼性(疲労・破壊・難燃性)評価	産総研・川重	・引張強度： 270MPa 以上 ・伸び：20%以上 ・発火特性、腐食特性 および疲労特性に関するデータベース構築		再編	革新的マグネシウム材の開発および信頼性評価と革新的マグネシウム材製鉄道車両構体の応用開発に注力
熱可塑性CFRP	27	熱可塑性CFRPの開発及び構造設計・応用加工技術の開発	名大	自動車構造体を想定して、自動車ボディの剛性試験などにより軽量化の検証を行う		再編	リサイクル繊維の活用などLFT-Dを活用した部品の低コスト化を目指す
接合・接着	2	残留 相制御中高炭素鋼板の接合技術の開発	神鋼	強度1.2GPa 以上の中高炭素鋼で母材強度の70%以上		課題見直し	鋼材とALの接合に絞る；外加圧spotとアークエレメントを活用
革新鋼板	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	JFE	強度1.5GPa以上を目指し、伸び20%以上		終了	自社内で水素脆化など性能に関する課題を遂行(#48と連携)
共通基盤	49	マルチマテリアル設計技術開発	京大・アルモニクス	開発課題の設定		継続(新規)	H30年度課題として公募

5. 成果・ステージゲートの結果(5) - 成果(1) -

革新鋼板: 強度1500MPa、伸び20%の最終目標を前倒して達成

開発した超高張力鋼の組織例 (0.4C-Si+独自プロセス)



革新的マグネシウム材: 難燃性で強度363MPa、伸び15%を確認 (AZX811)、また押し出し材ではAX92合金で成形性を確認



革新的アルミニウム材: 強度739MPa、伸び15.3%を確認
複層材では強度600MPa以上、伸び20%を確認



革新的チタン材: コストダウンを目指した一貫製造プロセスの開発(-20%)
気孔率<0.2%のスポンジチタン製法確立

Tiブリケット

熱可塑性CFRP: 名大; 大型部品試作プロセスをほぼ完成
東大; 部品製造ラインの構築を開始

名大; ボディ-構造体



東大; テープ系開発基材

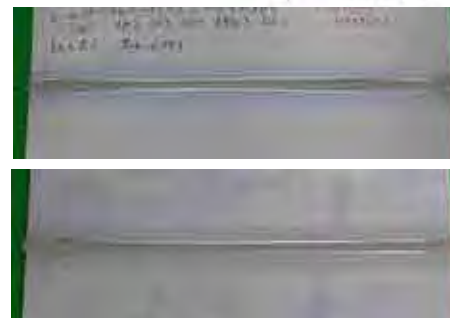
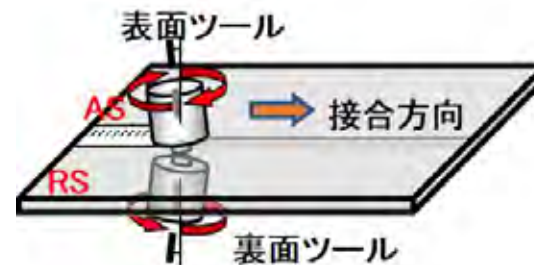
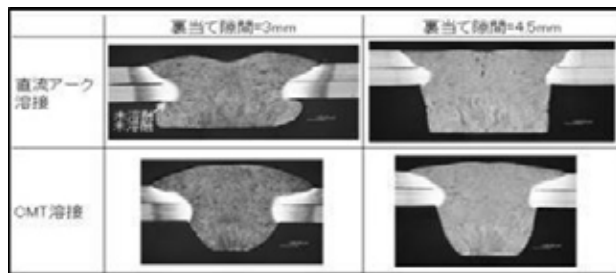


5. 成果・ステージゲートの結果(6) - 成果(2) -

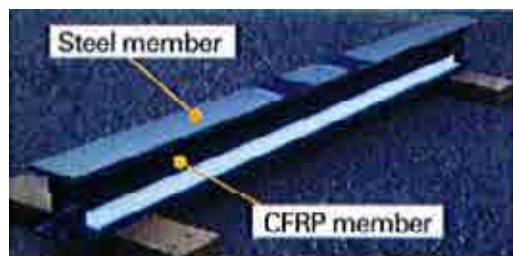
接合・接着：

鋼板-鋼板；各種接合装置の整備完了、PHM-FSW併用で板厚1.6mm、1.2GPa材の接合可能

アークスポット溶接のプロセス安定化



鋼板-CFRP；複合柱構造の評価まで進捗

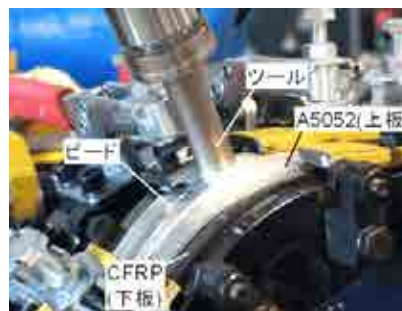


アルミニウム-鋼板；外加圧スポット溶接完成



アルミ
鋼板
ハイテン

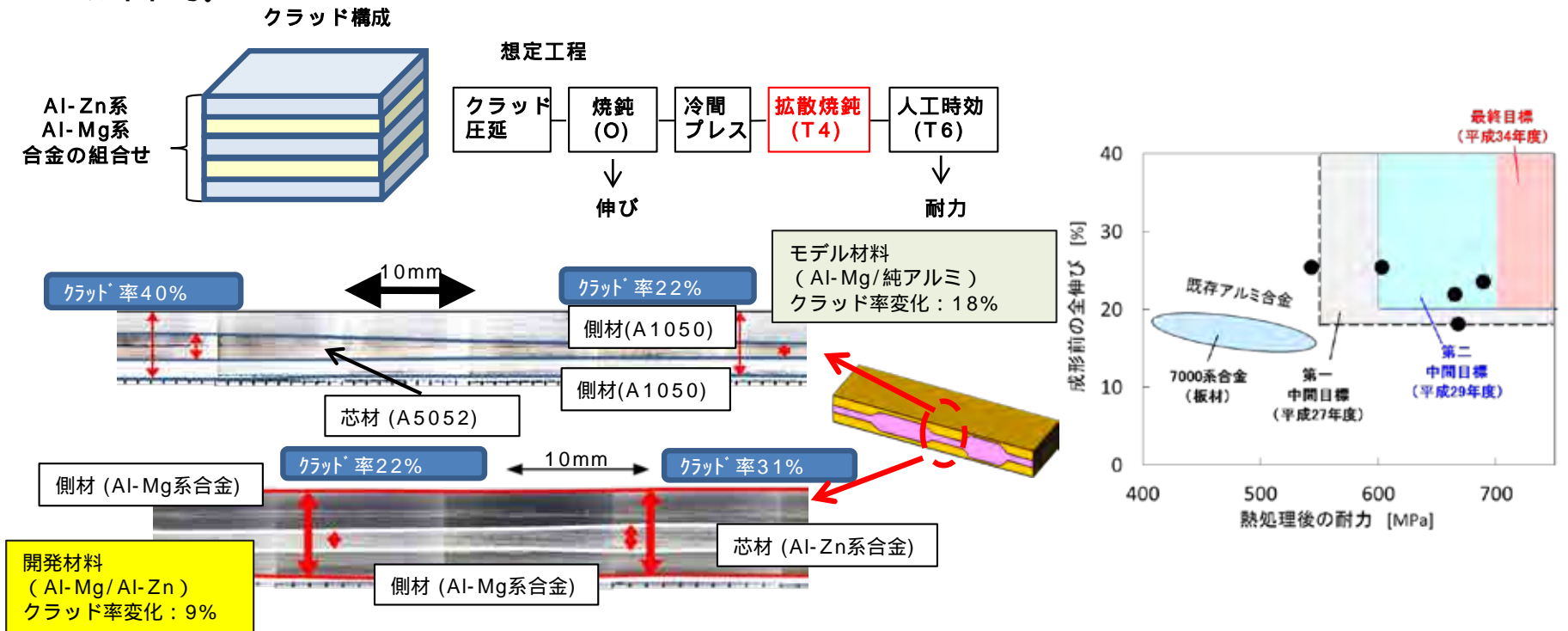
アルミニウム-CFRP；FSWによる接合条件を確認



5. 成果・ステージゲートの結果(7) - 継続課題の例 -

複層アルミ合金の開発 (#21 神戸製鋼所)

本研究は、革新的なアルミニウム材を開発することで、まだ自動車への適用が十分に進んでいないアルミニウム材の自動車部材への適用を推進し、自動車の抜本的な軽量化に貢献することが目的。

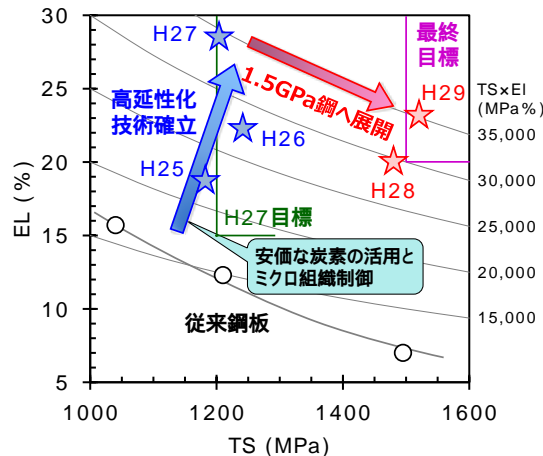


第3期の課題

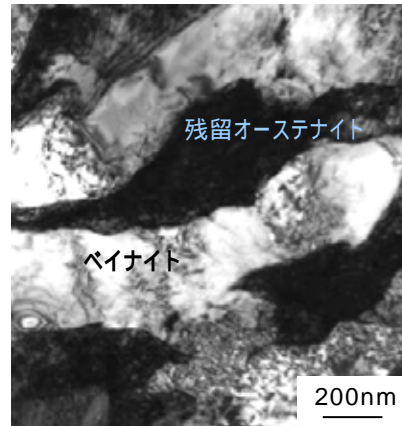
素材: 更なる高強度・高延性化のための合金組成、クラッド構成、熱処理条件最適化
実用化検討に向けた部材適用への課題抽出、部材特性向上指針の構築
部材 (製造技術): 圧延荷重低減・表面性状確保のための適正圧延条件の確立

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(#24JFE)

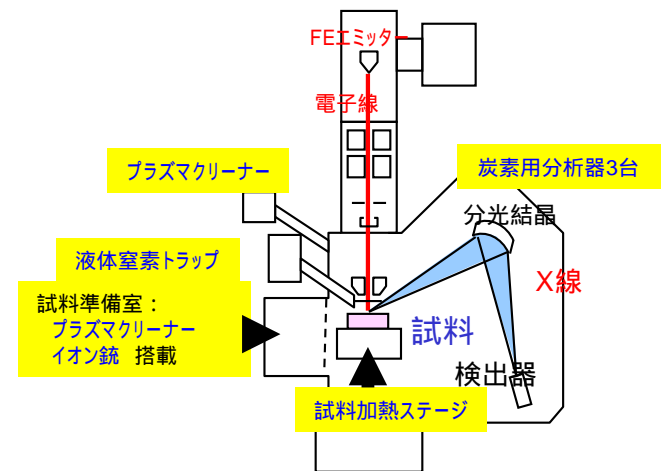
鋼板に炭素を積極添加した新しい合金設計と、鑄造～熱間/冷間圧延～熱処理の総合的な製造プロセス制御により、レアメタルを多量添加することなく、画期的な強度と伸びバランスを有する鋼板の開発に成功。鋼板中の炭素の分配挙動の厳密制御により、残留オーステナイトが多量に微細分散する延性に富んだ鋼板組織を実現した。
 (H34目標値；強度1500MPa、伸び20%を達成)



H34年度最終目標を前倒し達成



達成した高強度鋼伸び鋼板の組織



完成したC量評価装置

今後：実装化に向けた信頼性向上のため、高強度化の課題となる水素脆性に関して協調領域研究と連携し、使用環境での水素割れ危険性を適切な方法で評価していく予定である。

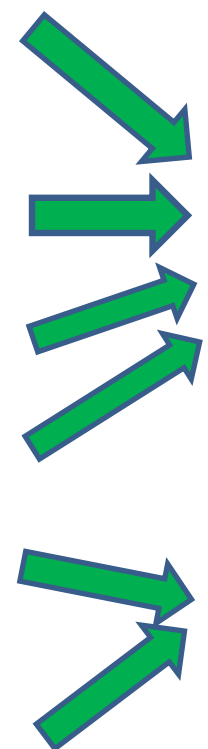
5. 成果・ステージゲートの結果(9) -テーマ再編例-

マグネシウム開発テーマの開発体制の再編・継続

第2期の開発体制

No.	テーマ	体制	
		分担研	再委託先
15	難燃性マグネシウム合金の信頼性評価	産総研、川崎重工業	長岡技大、九大、神戸大、NIMS、Mg協会（車両メーカー、JR各社、他）
16	易加工性マグネシウム押出材 & 高強度厚板材の開発	三協立山、権田金属工業	長岡技大、NIMS
17	高強度マグネシウム薄板材の開発	住友電工	長岡技大
18	高強度マグネシウム押出材の開発	不二ライトメタル	戸畑製作所
19	難燃性マグネシウム合金の耐食技術	大日本塗料	ミリオン化学、アート1、芝浦工大
20	難燃性マグネシウム合金の接合技術	総合車両製作所	木ノ本伸線、大阪府大、阪大、東大、茨城県工技セ

第3期の開発体制



No.	テーマ名	分担研 [再委託先]
34	「革新的マグネシウム材の開発及び信頼性評価」	産総研、三協立山、権田金属工業、住友電工、不二ライトメタル [長岡技大、戸畑製作所、茨城大、Mg協会]
35	「マグネシウム材製高速車両構体の開発」	総合車両製作所、川崎重工業、大日本塗料、NIMS [木ノ本伸線、ミリオン化学、茨城県工技セ、芝浦工大]

「技術アドバイザー：JR各社」

1. マグネシウム材へのMI(マテリアルズ・インテグレーション)適用の可能性の検討開始(2017~)
2. 鉄道以外(自動車等)へのマグネシウム材適用技術の基礎開発開始(2018~)

6.内閣府 評価専門調査会からの前回指摘事項への対応状況(1)

6-1

指摘事項	回答
<p>コストに配慮した上で、設計や製造、あるいは、開発された材料の社会への波及効果などでの評価といった実用化を見すえた対応が必要</p>	<p>自動車メーカー等ユーザー企業を事業メンバーに引き入れ、コストを含めて実用化に必要な要件やユーザーニーズの把握に努めている。 例えば、鉄鋼材料では現有装置が活用できる冷延鋼板の開発、チタン材では工程を簡略化して大幅なコストダウン可能な製法、等の普及促進を想定した開発を行っている。</p>
<p>強度と伸び以外に実装に必要な材料特性や品質面などからの評価をすべき</p>	<p>マルチマテリアル化した部品までの腐食や水素脆化特性、マグネシウム板では環境腐食特性、といった実装に必要な特性・品質を目標に追加し検討を進めている。</p>
<p>マルチマテリアル化において、どの材料がどの部品に応用できるのかについて検討し、その上で各材料が要求される性能、品質、コストを満足したものとなっているのかを評価すべき</p>	<p>信頼性設計手法でマルチマテリアル設計技術開発を開始している。 例えば、自動車企業からの要望で、特定の構造部に鋼材/アルミを用いて、軽量化及び剛性の最大化を行っている。品質やコスト面も考慮した検証を進める予定である。</p>
<p>接合技術についても、いかなる環境下で使用され、どのような物性が要求されるのかを明確にした上で、評価すべき</p>	<p>鋼板/アルミニウム/CFRPの組み合わせで、各種方法で接合した部材を様々な環境下で性能比較試験を行い、マルチマテリアル設計に組み込む基礎データとして整備している。</p>

強度と伸び以外に実装に必要な材料特性や品質面などからの評価

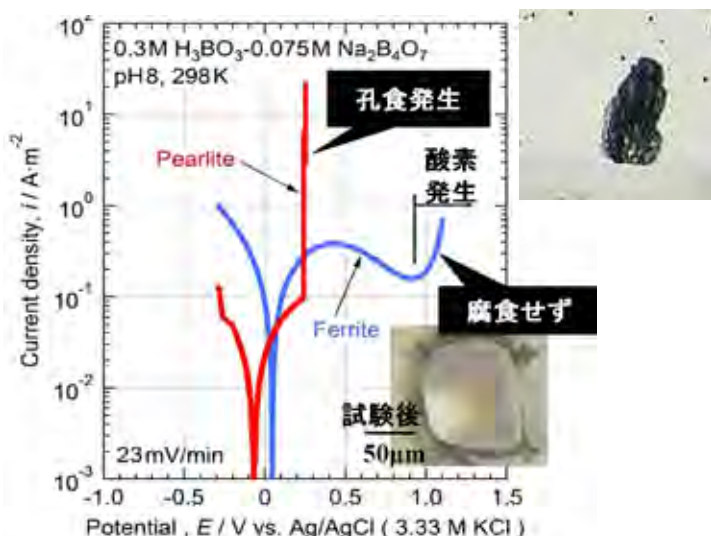
<革新鋼板>

引張強度1.5GPa、伸び20%を達成（最終目標値を達成）

実用化に向けた課題

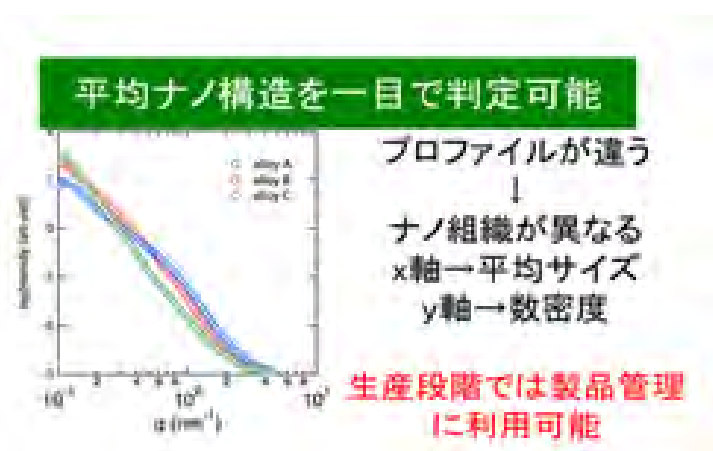
信頼性評価（腐食）

電気化学的手法により、腐食起点の確認、及び発生機構を明確にし、信頼性評価を実施中。



材料マクロ品質評価

中性子解析により、大体積評価を行い、材料品質評価に向けて検討中。



革新的新構造材料等技術開発

基盤技術開発

異種、同種間の
接合技術開発



マルチマテリアル化技術開発

モデル車体の提案

- ・ 計算機援用構造設計 (CAE)
- ・ マルチマテリアル部材の信頼性評価
- ・ 各種材料のLCA比較

個別材料開発

高強度化、伸び等の
材料開発



実用化に向けた開発

- ・ 大型化/量産化、信頼性評価
- ・ 部材試作

輸送機器の抜本的な軽量化に資する新構造材料等の 技術開発事業

国費見積総額 403億円

平成30年度予算額 41.5億円(40.0億円)

事業の内容

事業目的・概要

- 本事業では、エネルギー使用量及びCO₂排出量削減を図るため、その効果が大きい輸送機器（自動車、鉄道車両等）の抜本的な軽量化に繋がる技術開発等を行います。
- 具体的には、輸送機器の省エネルギー化を目指し、材料特性を最大限活かした軽量化のための、複数の材料を適材適所に利用したマルチマテリアル化の最適設計手法、評価手法等の開発を行います。複数の材料を適材適所に使うために必要な接合技術の開発等を行います。
- 革新鋼板、炭素繊維複合材料、アルミニウム材、マグネシウム材、チタン材等について、強度、加工性、耐食性等の複数の機能とコスト競争力を同時に向上させた軽量材料の開発を行います。併せて小型・高効率モーターを実現する高性能磁石等の開発を行います。
- これらにより、材料開発、加工、最適設計、評価手法が一体となった開発を行い、輸送機器の抜本的な軽量化につながるマルチマテリアル化の最適設計技術による省エネルギー化を世界に先駆けて実現します。

成果目標

- 平成26年度から34年度までの9年間の事業であり、本事業を通じて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、それらの抜本的な軽量化（自動車車体の場合50%軽量化）及び平成42年度において約373.8万トン/年のCO₂排出量削減を目指します。

条件（対象者、対象行為、補助率等）



事業イメージ

最適設計・評価手法開発

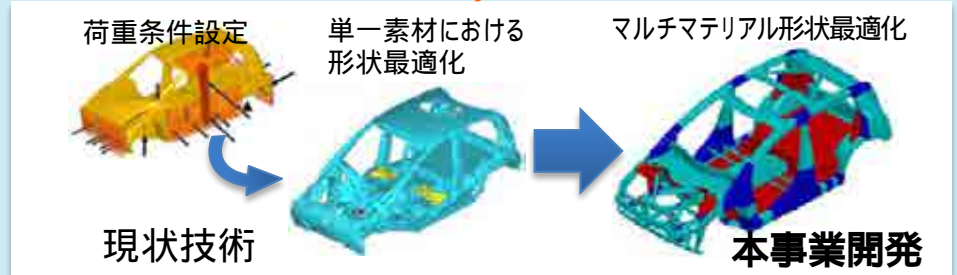
マルチマテリアル化に対応した最適設計ツールの開発を行うと共に、中性子計測技術により、接合部等を非破壊で評価する技術の開発を行う

例) 中性子計測技術によるイメージング
結晶相、結晶サイズ、歪みの非破壊測定



加工熱処理シミュレーションでのその場評価の概念図

例) マルチマテリアルCAEによる形状最適化



接合技術開発

難接合材の同種接合技術や、接着を含めた異種材料接合技術の革新により、革新材料の実用化、マルチマテリアル化を促進

例) 固相摩擦攪拌接合技術



材料開発

二律背反する強度と加工性を同時に向上させた材料を開発する

例) 鉄道車体への適用

