

# 「アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業」 (中間評価)

2021年度～2025年度 5年間

## プロジェクトの概要 (公開版)

2023年6月22日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

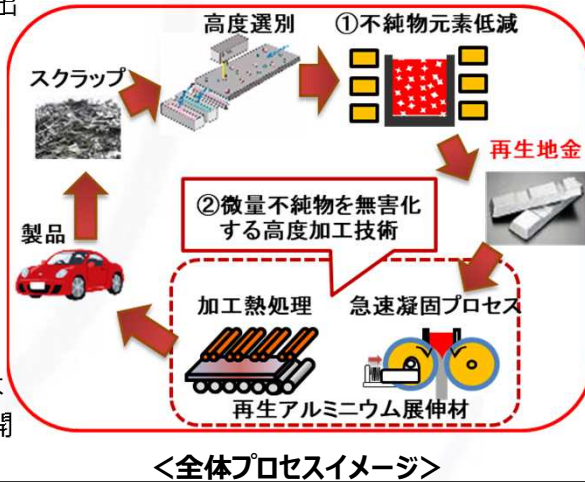
環境部

# アルミニウム素材高度資源循環システム構築事業



## プロジェクトの概要

近年、環境問題の深刻化が予測され、“循環経済（CE）”への転換が求められている。アルミニウムは、資源循環向上の取組が期待される素材であり、輸送用機器の軽量化等、CO<sub>2</sub>排出量削減を目的とする用途において需要の大きな伸びが予測されているが、電解製錬により新地金を製造するため、製造時のCO<sub>2</sub>排出原単位が11.1kg-CO<sub>2</sub>eq/Kgと大きいことが課題である。一方、再生地金はアルミニウムの融点が低く、再生のためのエネルギーが新地金製造の1/20程度と少ないことから、需要が増大しつつある。ただし、アルミニウムスクラップのリサイクル過程で混入する不純物により、再生地金は一部の用途に使用が限定される状況にある。そこで、本事業はアルミニウム素材の高度資源循環システム構築のため、不純物元素低減技術、微量不純物を無害化する高度加工技術等を開発する（右図）。



## 想定する出口イメージ等

アウトプット目標	研究開発項目①不純物元素低減技術の開発： Si:7%以上のスクラップから、Si:3%以下の再生アルミニウムを70%以上回収 研究開発項目②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発： 急冷凝固プロセスや加工熱処理による、従来の展伸材と同等以上の特性（引張強度、伸び）を持つ再生展伸材の創製
アウトカム目標	本技術開発成果により、2040年度までにアルミニウム圧延業界を中心に再生展伸材の製造技術を確立、普及率30%に当たる再生展伸材生産量130万トン/年、CO <sub>2</sub> 排出量968万トン/年削減を達成し、国内企業における製品の環境性能向上による国際競争力強化、及び幅広い産業における温室効果ガス排出量削減を実現する。

環境部

PM：今西大介 主任研究員

関連する技術戦略：資源循環（アルミニウム）分野の技術戦略

プロジェクト類型：基礎的・基盤的研究開発

## 既存プロジェクトとの関係

2019年度 エネ・環先導研究：アルミニウム素材の高度資源循環システム構築

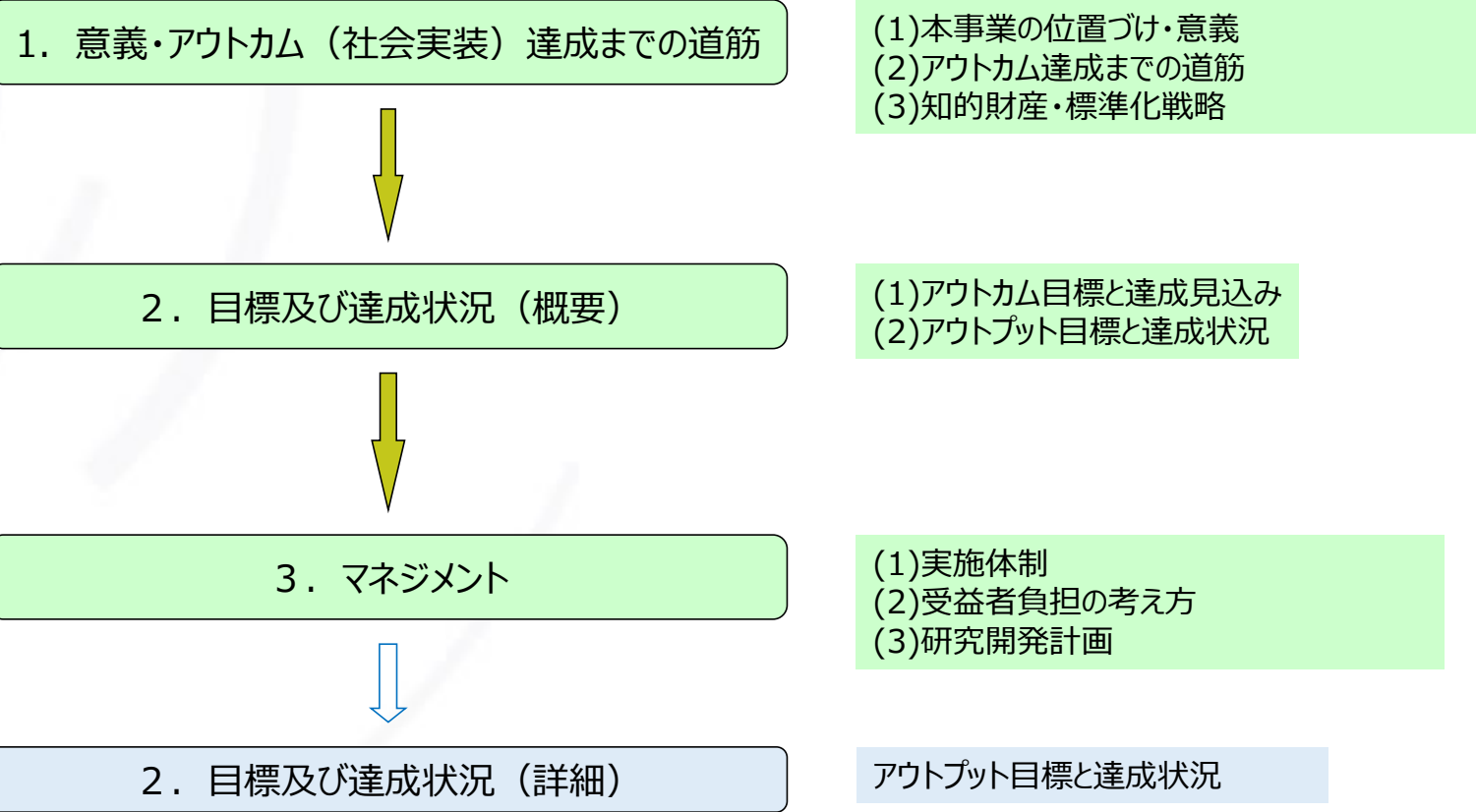
## 事業計画

期間：2021～2025年度（5年間）

総事業費（NEDO負担分）：15.0億円（予定）（助成）

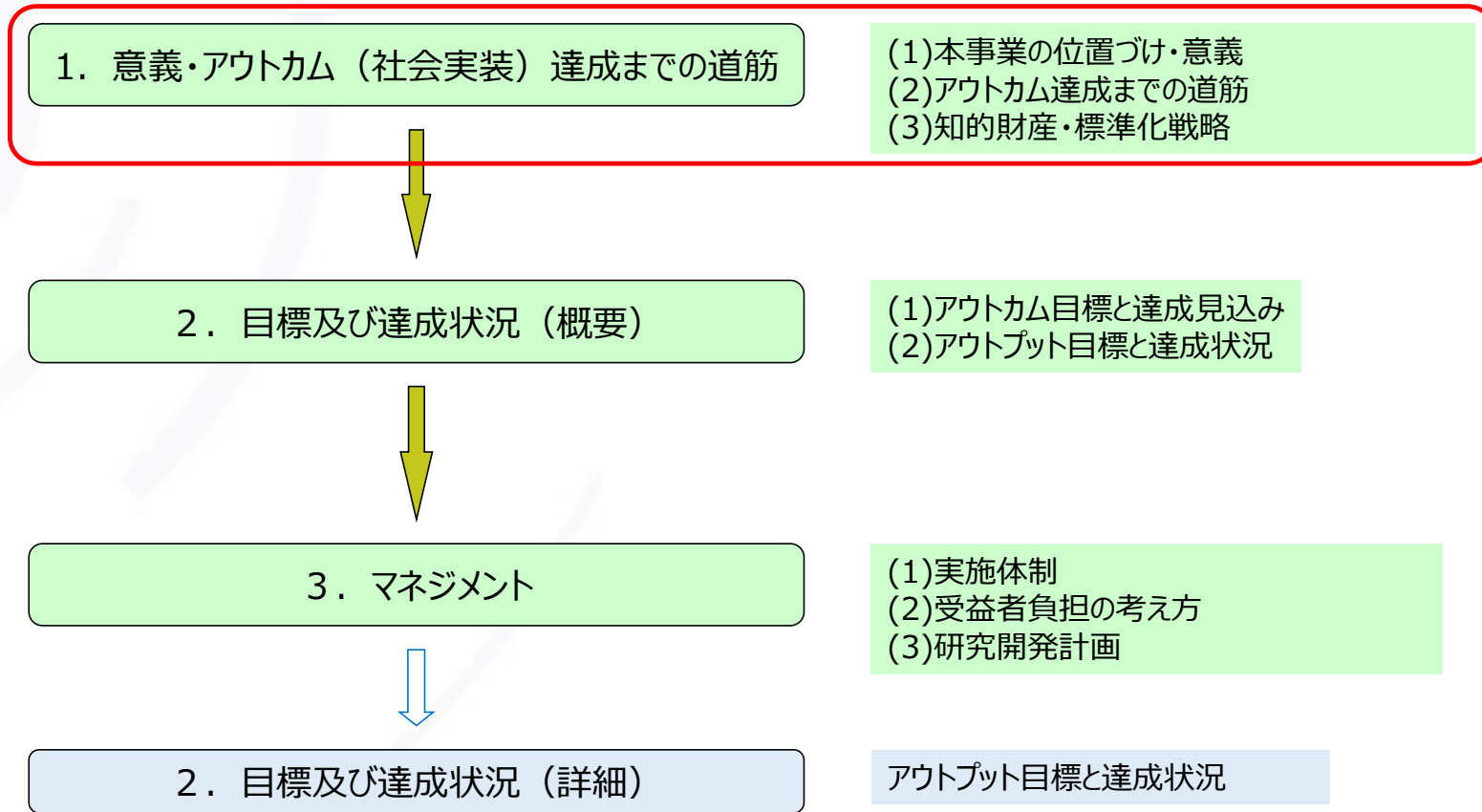
### <研究開発スケジュール・評価時期・想定する予算規模>

	R03 2021	R04 2022	R05 2023	R06 2024	R07 2025	R08 2026
①不純物元素低減技術の開発	→					
②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発	→					
評価時期			中間評価			終了時評価



## <評価項目 1> 意義・アウトカム（社会実装）達成までの道筋

- (1) 本事業の位置づけ・意義
- (2) アウトカム（社会実装）達成までの道筋
- (3) 知的財産・標準化戦略



## 事業の背景・目的・将来像

- アルミニウムは軽量材料として優れた特性を持ち、今後、自動車等での需要が急増する見込みだが、製錬時に電力を大量に消費し、CO<sub>2</sub>を大量に排出する
- アルミニウム再生材の使用により、生産時のCO<sub>2</sub>排出量の96%が削減可能だが、再生材には不純物が含まれるため、現状では用途が限られ、自動車の車体等に利用できないことが課題となる
- 本事業では、アルミニウムスクラップを、自動車の車体等にも使用可能な素材(展伸材)へとアップグレードする基盤技術（①不純物元素低減、②微量不純物を無害化する高度加工技術等）を開発し、アルミニウムの高度な循環利用を実現する

## 政策・施策における位置づけ

### ■ 第四次循環社会形成推進基本計画（2018年6月）

鉄、アルミニウム、銅等ベースメタルのリサイクルを一層促進するため、高度破碎設備や合金成分も加味できる高度選別設備の開発・導入を支援するとともに、二次原料利用量拡大に資する基準等の検討を行う。

### ■ 革新的環境イノベーション戦略（2020年1月）

金属等（アルミニウムを含む）の循環利用を進めることで原料からの一次製錬が不要となりCO<sub>2</sub>の大幅な削減が期待される。

### ■ 循環経済ビジョン2020（2020年5月）

リサイクル技術の高度化・多角化を検討していくにあたっては、ベースメタル（鉄、アルミニウム、銅等）、セメント、紙、ガラス、プラスチック等の主要素材について、改めて今後の需給見通しや再生材の利用可能性についての評価・分析をしていくことが重要である。

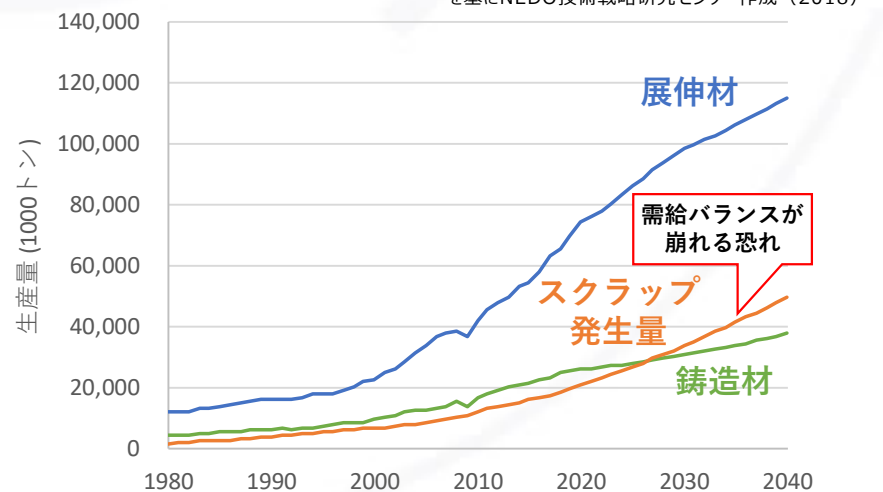
本プロジェクトにおいて政策上重要な位置づけにあるアルミニウムの循環再利用実現へ重要となる技術開発を実施する

# 技術戦略上の位置づけ

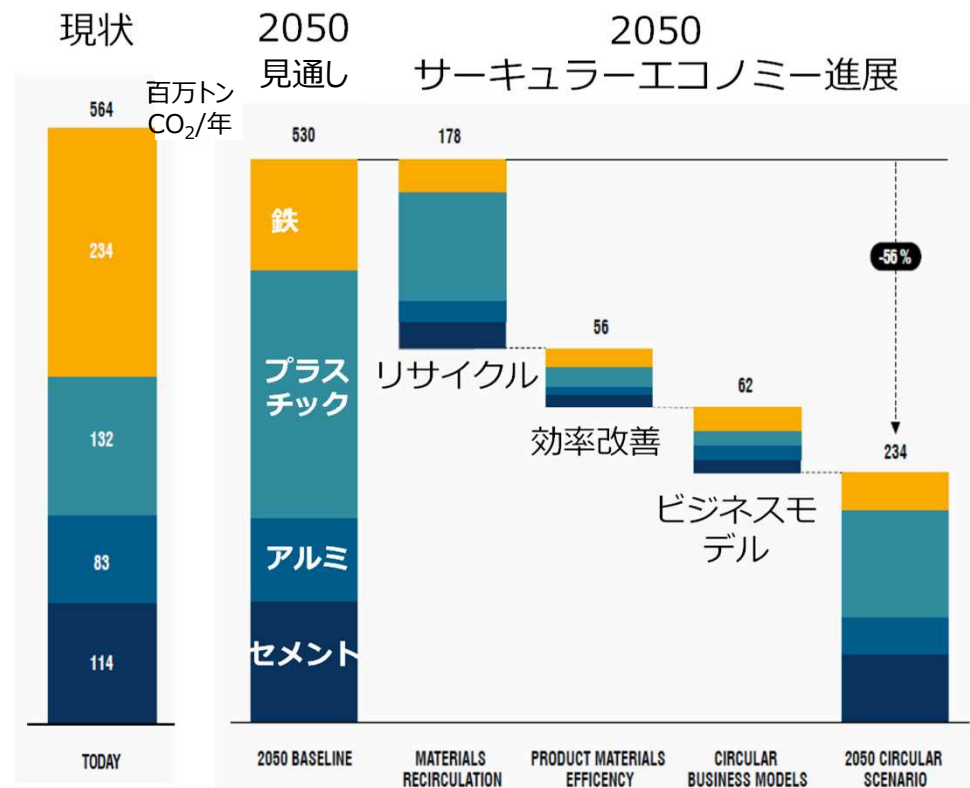
需要増加が予想される展伸材に再生地金を利用可能とし、CO<sub>2</sub>発生量の大幅な削減を図る



出典：鉱物資源マテリアルフロー 2017 25.アルミニウム (AI) (JOGMEC, 2017) 等資料  
を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2018)



出典：Regional Aluminium Flow Model 2017 (International Aluminium Institute, 2017)  
国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構



出典：The Circular Economy, A Powerful Force for Climate Mitigation (Material Economics, 2018)  
を基にNEDO技術戦略研究センター作成 (2018)





# 国内外の動向と比較

## ■ 国際的には水平リサイクルやクローズドループの構築が主流

### 航空機のリサイクル

- ・ PAMELAプロジェクト（エアバス）
  - ・ AFRAプログラム（ボーイング）
- 解体技術の高度化により水平リサイクルを目指す

### Apple

- MacBook Airに100%リサイクルアルミを使用
  - ・ リサイクル作業ロボットを開発
  - ・ 下取りによる使用済み製品回収
- 自社製品の回収によるクローズドループを構築

### JAGUAR LAND ROVER

一部に市場屑を用いるが、プレス端材と廃車のクローズドリサイクルが基本

EUにおける主要なアルミニウムの循環の研究開発プロジェクト

名称	コーディネーター	概要	期間 EU予算（PJ予算）
ENSUREAL	SINTEF (ノルウェー)	改良Pedersen法を用いて低品質のボーキサイトからのアルミナ精製を行うことで、EU領域内での持続的なアルミニウムバリューチェーンを構築する。	2017/10～2021/9 9.0億円（11.2億円）
Aluminium ScrapDbase	BRUNEL UNIVERSITY LONDON (イギリス)	鉄不純物を含むアルミニウムスクラップ合金を使用して、高価値アルミニウム製品を製造することを可能にする方法を、固相挙動や結晶生成挙動を解析することにより開発する。	2015/9～2017/8 0.6億円（0.6億円）
Recycal	LENZ INSTRUMENTS SL (スペイン)	アルミニウムスクラップを鍛造材に適用するため、高切断加工（HSP）技術を用いた溶融調整プロセスにより、機械的特性を改善する微細構造を実現した。	2014/1～2016/12 3.0億円（4.0億円）
REALCAR2	Jaguar Land Rover Limited (イギリス)	使用済アルミニウムを使用して、低コストでエネルギー効率良く、5000番台のアルミニウムを使用し、軽量の車体構造を構築するための技術開発を行なった	2013/2～2015/7 0.7億円（0.7億円）
REALITY	Jaguar Land Rover Limited (イギリス)	アルミニウム合金を分離し、その後展伸アルミニウム合金を合金種別毎に、さらに分離するための、センサーベースのスクラップソーティング技術の開発および産業展開を目指してスケールアップを行なった。	2017/6～2020/3 2.0億円（3.0億円）
SHREDDER SORT	LENZ INSTRUMENTS SL (スペイン)	自動車スクラップからの非鉄金属を選別し、二次アルミの品質を向上させるため、LIBS等のセンサーによる鑄造/展伸アルミ合金の選別技術の開発を行う。	2014/1～2016/12 4.2億円（5.6億円）
HR-Recycler	Ethniko Kentro Erevnas Kai Technologikis Anaptyxis (ギリシャ)	WEEEをリサイクルするための前処理における人間とロボットの協働によるソーティングプラントシステムを開発する。	2018/12～2022/5 8.8億円（8.8億円）

出所；CORDIS, InnovateUKを基にNEDO技術戦略センター作成（2019）

- マルチマテリアル化の進展によりスクラップが多様化
- グローバル化により生産地・消費地が多様化、回収も困難に
- 展伸材屑を含むスクラップからのアップグレードを含めた資源循環システム構築の実現が理想
- 日本の強みである結晶分別純化精製技術、鑄造板製造技術を組み合わせ、アップグレードリサイクルを推進

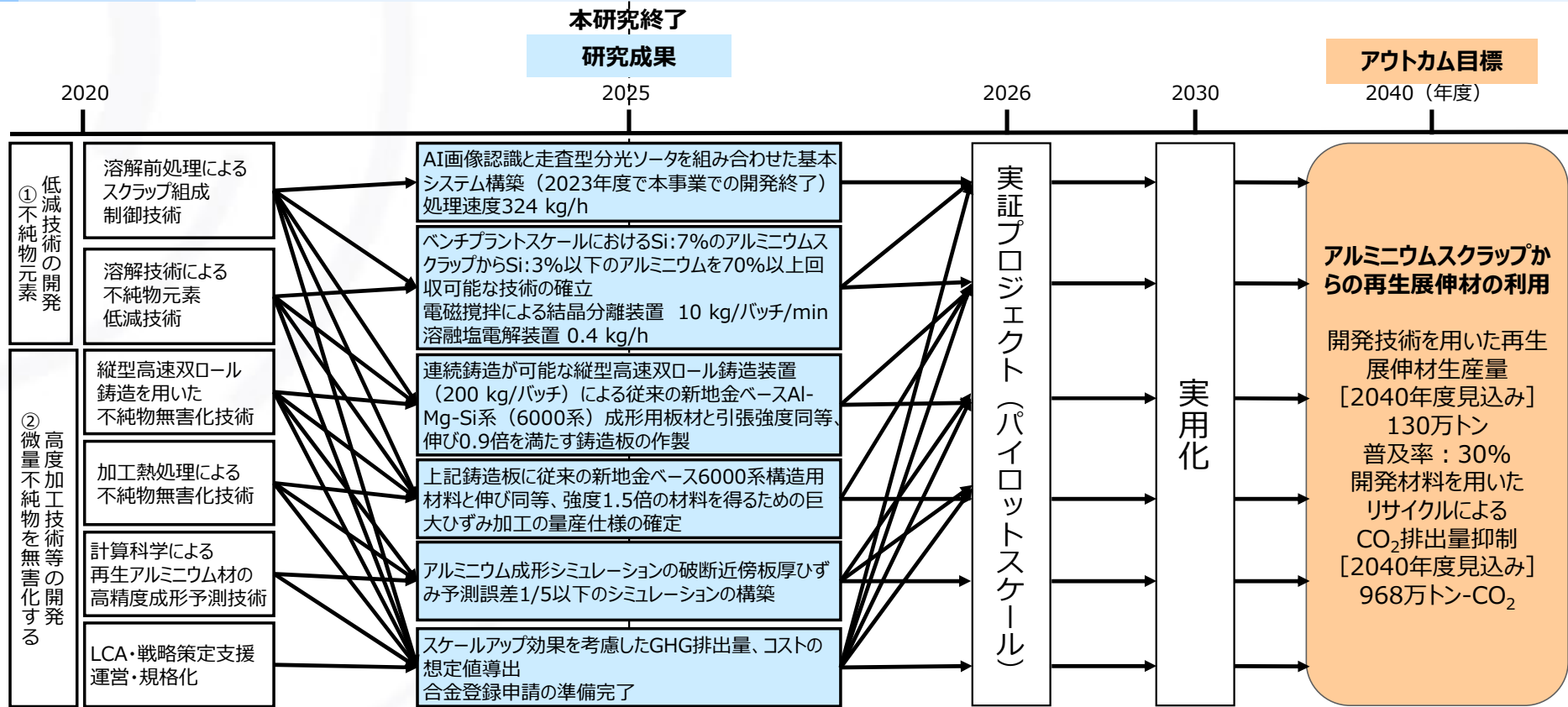


# 他事業との関係

項目	実施機関	プロジェクト名	期間	事業タイプ	事業内容
1	経済産業省	省エネ型アルミ水平リサイクルのLIBSソーティング実証事業	2014～2015	補助事業	リサイクル工程の高度化に資する、金属スクラップ（アルミニウム、銅）の高効率・高度選別技術等の実証を行う。
2	NEDO	「動静脈一体車両リサイクルシステム」の実現による省エネ実証事業	2016～2018	補助事業	鉄道車両のアルミニウム材料を水平リサイクルすることを目的に、LIBSソーティング技術によるアルミニウム合金選別システムの開発および実証を行う。
3	環境省	省CO <sub>2</sub> 型リサイクル等高度化設備導入促進事業	2018～2020	補助事業	使用済製品等のリサイクルプロセス全体のエネルギー起源二酸化炭素の排出の抑制及び再生資源の回収効率の向上を図るための省CO <sub>2</sub> 型リサイクル等高度化設備を導入する経費の一部を補助する。
4	NEDO	アルミニウム素材の高度資源循環システム構築	2019～2021	委託事業 (先導研究)	アルミニウムスクラップから不純物元素を低減する技術を開発するとともに、微量不純物存在下で材料特性を向上させる技術を開発し、両者の組み合わせで、再生アルミニウムが展伸材として利用可能となるか検証する。
5	JST	共創の場 形成支援プログラム	2022～	基盤研究	不純物を含むアルミニウムスクラップからの再生地金の利用を可能とする研究開発を行う。また、資源循環社会モデルを地域（富山）の産官学民の全ステークホルダーと共に構築し、新市場への進出を支援する。さらに、持続的・自立的な産学官の共創システムを構築し、富山で資源循環社会モデルを創成する。

項目4のNEDO先導研究を基にして本研究開発をナショナルプロジェクトとして開始

# アウトカム（社会実装）達成までの道筋



本事業における技術開発を通じ、高度なリサイクル技術を獲得することで、アルミニウム素材を利用する国内製造企業における製品の環境性能向上を可能とし、資源制約の克服やCO<sub>2</sub>排出量削減等、地球環境問題の解決に貢献する。

# 知的財産・標準化戦略

## ■ 知的財産に関する戦略

オープン領域：再生展伸材の規格（不純物元素含量）、性状

クローズ領域：各種開発技術（助成事業参画企業間には自由に利用）

国内アルミニウム関連事業者には特許の実施を許諾（非独占的通常実施権）

基本特許（バックグラウンド特許）を基とした知財創出活動

（①不純物元素低減技術6件、②微量不純物を無害化する高度加工技術等5件）

## ■ 知的財産や研究開発データに関する取扱いルール

再生展伸材のリサイクル（製造含む）に関連する特許は積極的に取得

## ■ 国際標準化戦略・計画

再生展伸材の標準化を推進

- ・ 各プロセスでの試作結果に基づき、再生合金の規格化に向けて登録する材料を選定
- ・ 開発材料とその周辺特許を出願し特許網を構築した後、合金登録申請が出来る準備を整える
- ・ プレス発表、国内外の学会、展示会等で開発材料のPR を実施

# 知的財産管理

## ■ 知的財産権の帰属

助成事業の実施によって得られた知的財産権等の研究成果は、助成先に帰属

## ■ 届出

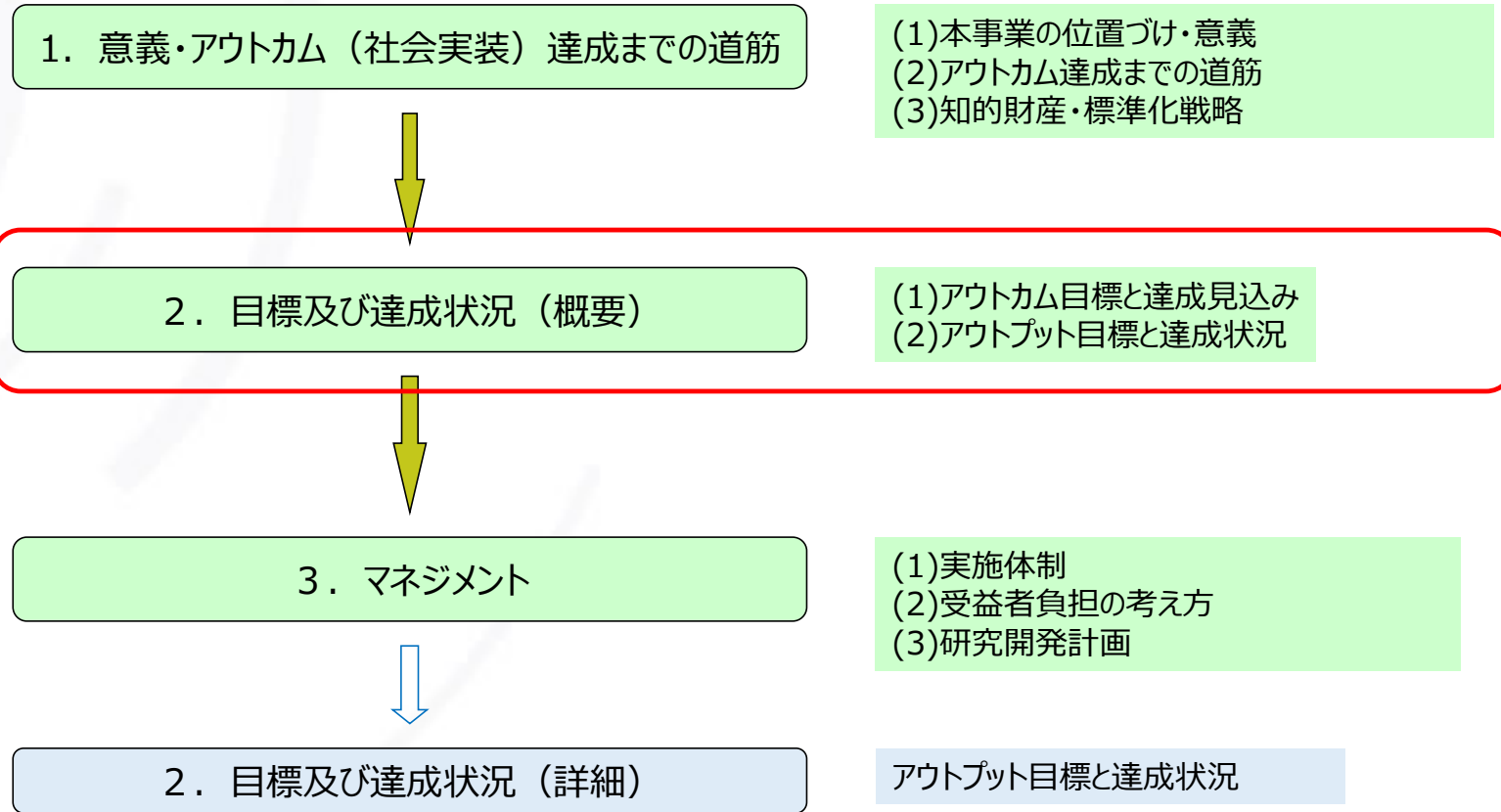
助成事業の実施期間中または助成事業年度の終了後5年以内に、助成事業の成果を学術誌等で発表した場合、助成事業に基づく発明、考案等に関して、産業財産権等を出願または取得した場合およびそれらを譲渡し若しくは実施権を設定した場合には、「産業財産権等届出書」を提出（交付規定 第9条第1項第十六号）

## ■ 助成先（事業者）における管理

- 発明委員会において情報を管理（豊栄商会、東北大学）
- 知財運営委員会において情報を管理（11助成先（UACJ他）、12共同研究先（産総研他））  
審議案件受理後、関係者に資料を送付し書面審議

## <評価項目 2> 目標及び達成状況

- (1) アウトカム目標及び達成見込み
- (2) アウトプット目標及び達成状況



## アウトカム目標の設定及び根拠

	国内展伸材生産量 (万t)			CO <sub>2</sub> 削減量 (万t)
	合計	新地金	再生地金	総量
2040年	432	302	130	968
2050年	513	256	257	1,914

### アウトカムの算出前提

- International Aluminium Instituteの需要予測によれば日本国内におけるアルミニウム展伸材生産量は、2019年269万トン、2040年432万トン、2050年513万トンと今後大幅に増加
- 本研究開発によって再生展伸材を利用可能とし、その普及率を2040年に30%、2050年50%とすると、削減される新地金輸入量2040年130万トン、2050年257万トン  
相当する市場規模は2040年6,500億円、2050年 1兆2,900億円程度（再生展伸材価格¥500/kgで計算）  
温室効果ガス排出量削減規模は2040年 968万トン、2050年 1,914万トンとなり、大幅な効果が得られる  
その他、製品使用段階における削減効果（自動車軽量化による削減効果）も期待できる



# 本事業における「実用化」の考え方

## ■ 実用化とは

本研究開発成果を適用したパイロットプラントスケールでの実証を終了し、アルミニウムに関係する事業者等が、これらの技術を用いて再生展伸材の製造を開始すること。

# アウトカム目標の達成見込み

## 標準化等に向けた公的機関の支援

- ・アルミニウム協会、産業環境管理協会、エンジニアリング振興協会等

## 産業界のバックアップ体制

- 精錬メーカー、合金メーカー  
エンジニアリグメーカー等

・パイロットスケール実証試験  
2 t/h

実証プロジェクト

2026年～

- ・再生材性能向上  
・ベンチスケール実証 200 kg/d

本事業

2021～2025年

- ・原理検証  
・コンセプト実証

先駆的研究

2019～2021年度

・実用装置  
40 t/h

実用化

2030年～



展伸材・製品へ  
加工・輸出

再生展伸材130万t/y(2040年)

## ユーザー

- 自動車、鉄道、食品、トイ  
レタリー、住宅、印刷等

## 研究機関

- ・国内の大学、国研、企業を中心としたコンソーシアム

本事業の成果の実用化を踏まえ、2040年、2050年のアウトカム目標の達成を見込む。

## 波及効果

### 【再生展伸材の普及によるCO<sub>2</sub>削減量】

展伸材を新地金から再生地金に置き換えることで達成されるCO<sub>2</sub>発生量削減の他に、再生展伸材が自動車の車体等に使用されることで車体が軽量化され、走行時のCO<sub>2</sub>発生量も削減される。

- 自動車の車体等の軽量化による走行時のCO<sub>2</sub>削減  
2040年：112万トン/年（再生アルミ使用車の走行台数約2,500万台）  
2050年：205万トン/年（再生アルミ使用車の走行台数約4,600万台）

※再生展伸材が自動車に利用されることにより、71kg/台程度の軽量化が可能  
軽量化による燃費改善効果を+0.75 km/Lと想定（基準：ハイブリッド車23.1 km/L）  
年間走行距離11,840km/年、ガソリンのCO<sub>2</sub>負荷2.7kgCO<sub>2</sub>/Lで計算

### 【再生展伸材の普及による貢献】

- 資源制約克服
- 地球環境問題の解決への貢献
- 企業競争力向上

## 費用対効果

### 【投資コストと効果】

プロジェクト費用の総額  
15億円  
(2021-2025年度)



経済効果:再生展伸材売り上げ予測  
2040年: 6,500億円/年  
2050年: 12,900億円/年

#### ◆計算根拠

再生展伸材価格: ¥ 500/kgと仮定

再生展伸材売上量 2040年 130万t × ¥ 500/kg = 6,500億円

2050年 257万t × ¥ 500/kg = 12,900億円

## アウトプット目標の設定及び根拠 (先導研究)

前身プロジェクトや先導研究等	取組の成果とその評価 (事後評価)
<p>NEDO先導研究プログラム/ エネルギー・環境新技術先導研究 プログラム/ アルミニウム素材の高度資源循環 システム構築  (2019-2021年)</p>	<p>総合評価：優れている</p> <p>コメント：</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・アルミニウムリサイクルに関する多岐に渡る研究開発を、様々なユーザーを巻き込みながら推進し、大規模実用化される可能性の基礎を築いたことは高く評価できる。実用化に耐えうるシステムを構築することを期待する。</li> <li>・社会実装を目指すには、最終的には顧客、設計・製造部門等に受け入れられることが重要であるため、規格面や使いこなしのノウハウ等、その実現のために必要な活動にも合わせて取り組んでいただきたい。</li> </ul>

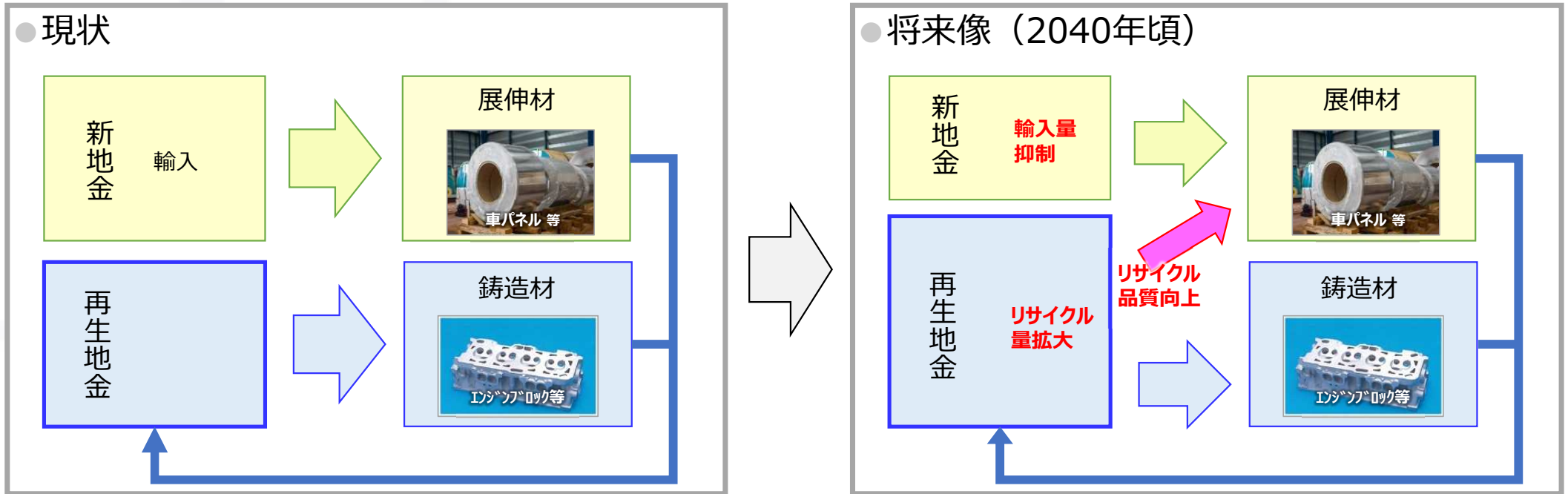
先導研究の事後評価を踏まえ、本事業では、再生展伸材の成形性を予測するシミュレーション技術の確立等、再生展伸材の利用が進むよう、ユーザーとの取り組みも実施中

# 非連続ナショナルプロジェクトに該当する根拠

事前評価において、非連続ナショナルプロジェクトに該当することを確認済

選定基準	該当	理由
①非連続的な価値の創造	該当	<p>不純物元素低減技術、微量不純物を無害化する高度加工技術等、これらの技術を実装することで、これまで二次合金メーカーから casting material メーカーへの供給に限定されていたサプライチェーンが展伸材メーカーにも繋がり、アルミニウム素材のCircular Economy（循環経済）への転換が可能となる。また、アルミニウムは、融点が低く、再生材の利用によりCO<sub>2</sub>削減に大きく寄与することから、今後必要とされる持続可能な社会の実現に近づけることができる。</p>
②技術の不確実性	該当	<p>①不純物元素低減技術の開発：                      casting material を含むスクラップにおける不純物元素の低減には、従来の結晶分別法の適用が理論的に難しいとされる中、それを克服する新たな技術を開発するため、不確実性が高い。</p> <p>②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発：                      不純物元素を含むスクラップの溶湯から製造する材料中の粗大な晶出物の生成を抑制し、材料の展延性を確保するには、不純物元素由来の晶出物を合金中に微細に分散させる必要がある。これには、冷却速度を大きくし、合金板を急冷凝固させ晶出物を微細化させる方法が考えられるが、世界で実用例はなく、実用化するには高度な溶湯制御技術と連続 casting material プロセス設計が必要なため、不確実性が高い。</p> <p>また、固相に巨大ひずみを加え、不純物由来の晶出物を機械的に粉碎し不純物元素を微細化する方法が考えられるが、強加工技術の実用例はなく、再生材の不純物を強化元素として用い、従来の高力アルミニウム合金に匹敵する特性を得ることも世界初の試みであり、不確実性が高い。</p>

# アウトプット（研究開発成果）のイメージ



①不純物元素低減技術、②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発により、再生地金を展伸材に利用可能とし、アップグレードリサイクルを実現する

# アウトプット(中間)目標の設定及び根拠

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	最終目標 (2026年3月)	根拠
①不純物元素低減技術の開発	Si:5%以上を含むアルミニウムスクラップからSi:3%以下の再生アルミニウムを70%以上回収可能とする技術を開発する	Si:7%以上を含むアルミニウムスクラップからSi:3%以下の再生アルミニウムを70%以上回収可能とする技術を開発する	スクラップ casting 材にはSiが多く添加され、展伸材への再生を阻害する要因となっており、Si除去をメインターゲットとする <ul style="list-style-type: none"> <li>・Si濃度:自動車スクラップのSi濃度より上限はSi 7%</li> <li>・目標値:後工程において適用可能な値としてSi 3%</li> <li>・回収率:新地金との価格競争力を持つため収率70%程度が必要</li> </ul>
②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発	Si:3%を含む再生材を使用したAl-Mg-Si系(6000系)合金で、以下の特性を有する材料を得るための技術を開発する <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来の新地金ベースAl-Mg-Si系(6000系)成形用板材(引張強度250 MPa、伸び30%)と引張強度同等で、伸び0.8倍</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・従来の新地金ベースAl-Mg-Si系(6000系)成形用板材と引張強度同等で、伸び0.9倍</li> </ul>	Al-Mg-Si系合金は展伸材中、最も多くSiを含み、Mgの添加量、熱処理条件によって強度レベルを広く振ることが可能なため、再生材使用展伸材に最適 <ul style="list-style-type: none"> <li>・伸び0.9倍程度を確保できれば、成形シミュレーション技術を使うことで、殆どのプレス成形が可能</li> </ul>
	Si:3%を含む再生材を使用したAl-Mg-Si系(6000系)合金で、以下の特性を有する材料を得るための技術を開発する <ul style="list-style-type: none"> <li>・従来の新地金ベースAl-Mg-Si系(6000系)構造用材料(引張強度333 MPa、伸び15%)と引張強度1.2倍で、伸び同等</li> </ul>		



# アウトプット目標の達成状況

研究開発項目	中間目標 (2024年3月)	成果 (2023年4月)	計画との差異	今後の課題と解決方針
①不純物元素低減技術の開発	Si:5%以上を含むアルミニウムスクラップからSi:3%以下の再生アルミニウムを70%以上回収可能とする技術を開発する	溶融塩電解小規模ベンチプラント (処理量: 0.03 kg/h) Si: 10.8%⇒0.2% アルミ回収率58.7%	○ 2024年3月達成見込み	溶融塩混入に影響を与える、下記因子の条件を変更し、回収率向上を図る ①溶融塩中Al <sup>3+</sup> 濃度 ②電流密度 ③電極板面積
		電磁攪拌ラボ装置(溶湯:100g程度) Si: 7%⇒3.3% アルミ回収率60% Si: 5%⇒3% アルミ回収率70%	○ 2024年3月達成見込み	先行してSi以外の不純物元素除去などの課題解決に向けラボレベルでの実験を実施する
②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発	Si:3%を含む再生材を使用したAl-Mg-Si系(6000系)合金で、以下の特性を有する材料を得るための技術を開発する ・従来の新地金ベースAl-Mg-Si系(6000系)成形用板材(引張強度250MPa、伸び30%)と引張強度同等で、伸び0.8倍	ロール荷重・ロール周速・ロール形状・ノズル形態を工夫しT4材にて 引張強度同等(250MPa) 伸び0.8倍(24%)を達成し 目標をクリアした(小型実験機)	△ 一部未達	縦型高速双ロール casting: 長尺実験機完成後、速やかに最適操業条件を確立し中間目標(従来材の引張強度同等で0.8倍の伸び)を達成するため、小型実験機、広幅短尺実験機を活用し、特性改善のための casting 条件を確立する
		Si:3%を含む再生材を使用したAl-Mg-Si系(6000系)合金で、以下の特性を有する材料を得るための技術を開発する ・従来の新地金ベースAl-Mg-Si系(6000系)構造用材料(引張強度333MPa、伸び15%)と伸び同等で、引張強度1.2倍	HPS加工:伸び同等(14%) 引張強度1.4倍(473MPa) IF-HPSによる大型化(幅200mm)達成 ARB加工:伸び同等(17%) 引張強度1.2倍(399MPa)	○ 2024年3月達成見込み

## 研究開発成果の意義（副次的成果）

### ①不純物元素低減技術の開発

開発装置（電磁攪拌装置）の従来合金（リサイクル合金以外）への展開

電磁攪拌装置による組織微細化などの展伸材用アルミニウム素材の特性向上

Fe、Mnなどの除去による、鋳造用アルミニウム合金の特性向上

### ②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発

開発装置（縦型高速双ロール鋳造機）の従来合金（リサイクル合金以外）への展開

従来合金の製造に適用することで、均質化処理及び熱間圧延といった鋳造後工程の省略が可能

- 製品製造時間の短縮
- 消費エネルギー、CO<sub>2</sub>発生量の削減（板材製造全エネルギーの約1/4）
- 増産体制構築に有効（同程度の製造能力で価格1/5、設置面積1/10）

### ③その他

OJTを通じた当該分野における技術者の育成

- 溶融塩電解によるアルミニウム精錬技術者
- 総合的な材料設計技術の習得

異業種、異分野連携の重要性認識

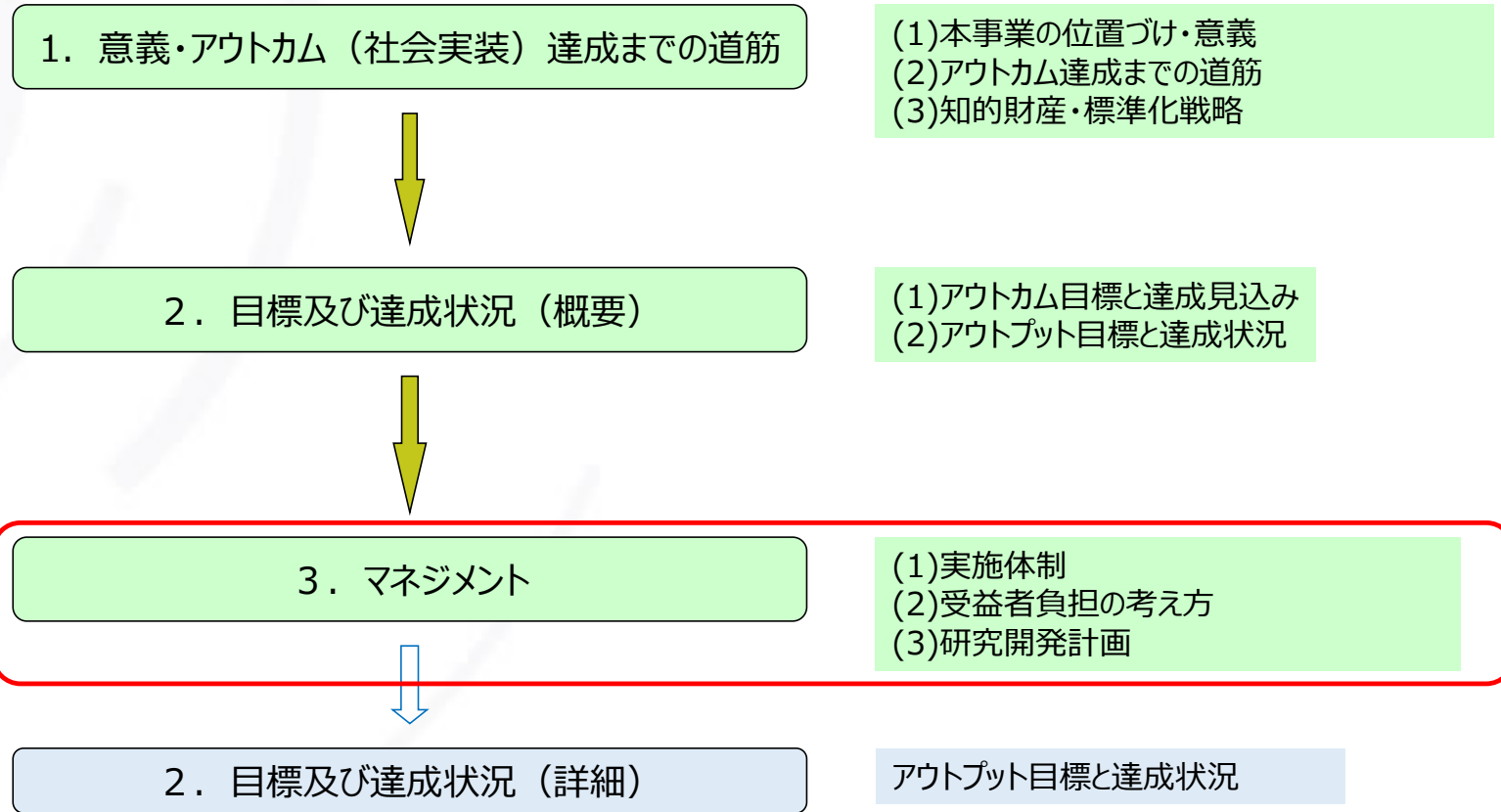
## 特許出願及び論文発表

	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度	計
特許出願 (うち外国出願)	0 (0)	2 (0)	0 (0)	—	—	2 (0)
論文	0	3	3	—	—	6
研究発表・講演	1	9	6	—	—	16
受賞実績	0	0	0	—	—	0
新聞・雑誌等への掲載	0	2	0	—	—	2
展示会への出展	0	1	0	—	—	1

※2023年5月23日現在 (2023年度は計画含む)

## <評価項目 3> マネジメント

- (1) 実施体制
- (2) 受益者負担の考え方
- (3) 研究開発計画



## NEDOが実施する意義

- アルミニウムのリサイクルに関わる問題の解決は国の方針に沿った重要課題であり、本事業によるアルミニウム再生材の展伸材への利用ならびにCO<sub>2</sub>排出量の削減は社会的必要性が高い。
- NEDOではこれまでに培ってきた各種素材のリサイクル技術の開発で得た知見や成果、ネットワークを活用し中長期的な技術開発を行うことが可能。
- 研究開発の難易度が高く、必要な投資規模が大きく、また実用化までのリードタイムが長いことから、民間企業だけではリスクが高い。

NEDOが持つ知識、実績を活かして推進すべき事業

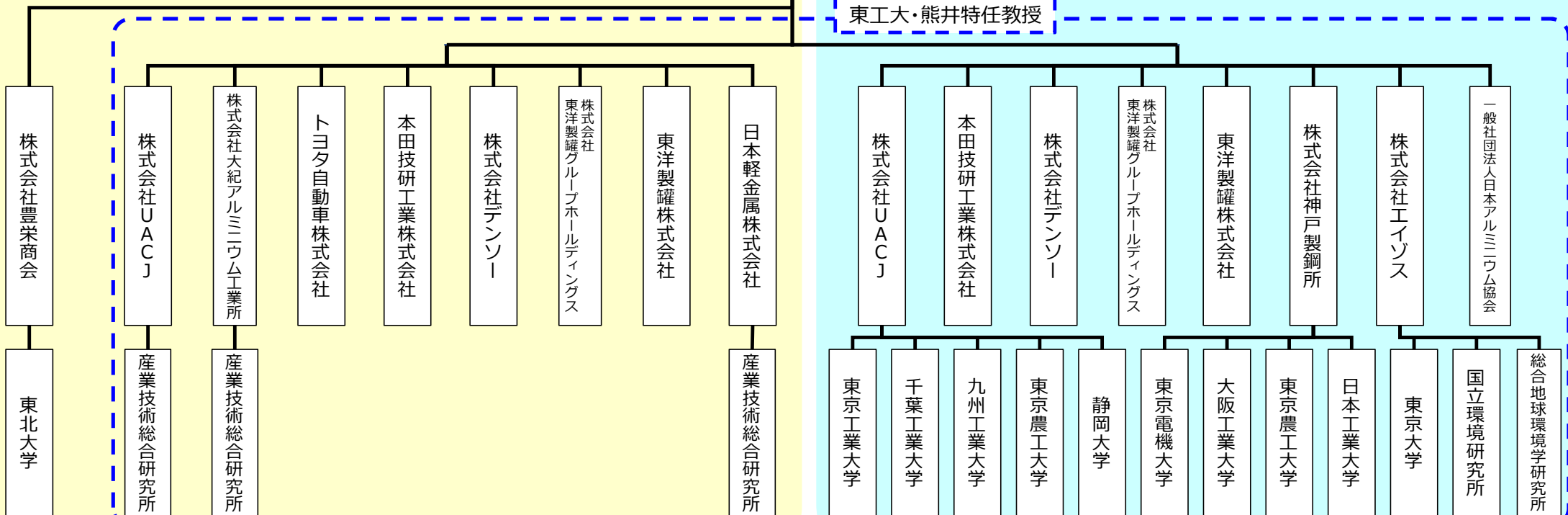
# 実施体制 (実施者間での連携)

NEDO  
PM 今西大介

研究開発項目①不純物元素低減技術の開発

研究開発項目②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発

事業者リーダー  
東工大・熊井特任教授



ユーザー企業も参画した体制で研究開発を実施

## 個別事業の採択プロセス

### 【公募】

公募予告（2021年1月15日）

⇒公募（2021年4月23日）⇒公募〆切（2021年5月24日）

### 【採択】

採択審査委員会（2021年6月9日）

採択審査項目：NEDOの標準的採択審査項目にて実施

### 【採択審査委員】

区分	氏名	所属	役職
委員長	喜多川 和典	公益財団法人日本生産性本部	エコ・マネジメント・センター長
委員	相浦 直	一般社団法人軽金属溶接協会	専務理事
委員	小野田 弘士	学校法人早稲田大学	教授
委員	田畑 智博	国立大学法人神戸大学	准教授
委員	辻 伸泰	国立大学法人京都大学	教授

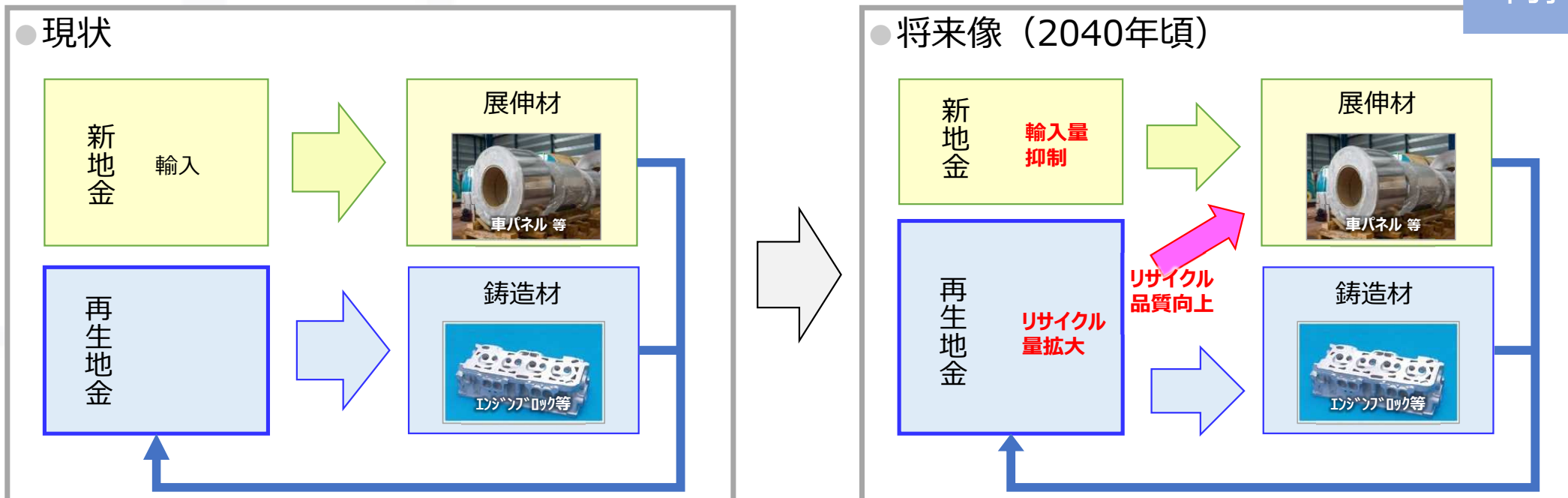


## 予算及び受益者負担

事業名	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度	合計
アルミニウム素材 高度資源循環システム 構築事業	300	312	260	(300)	(300)	(1,472)

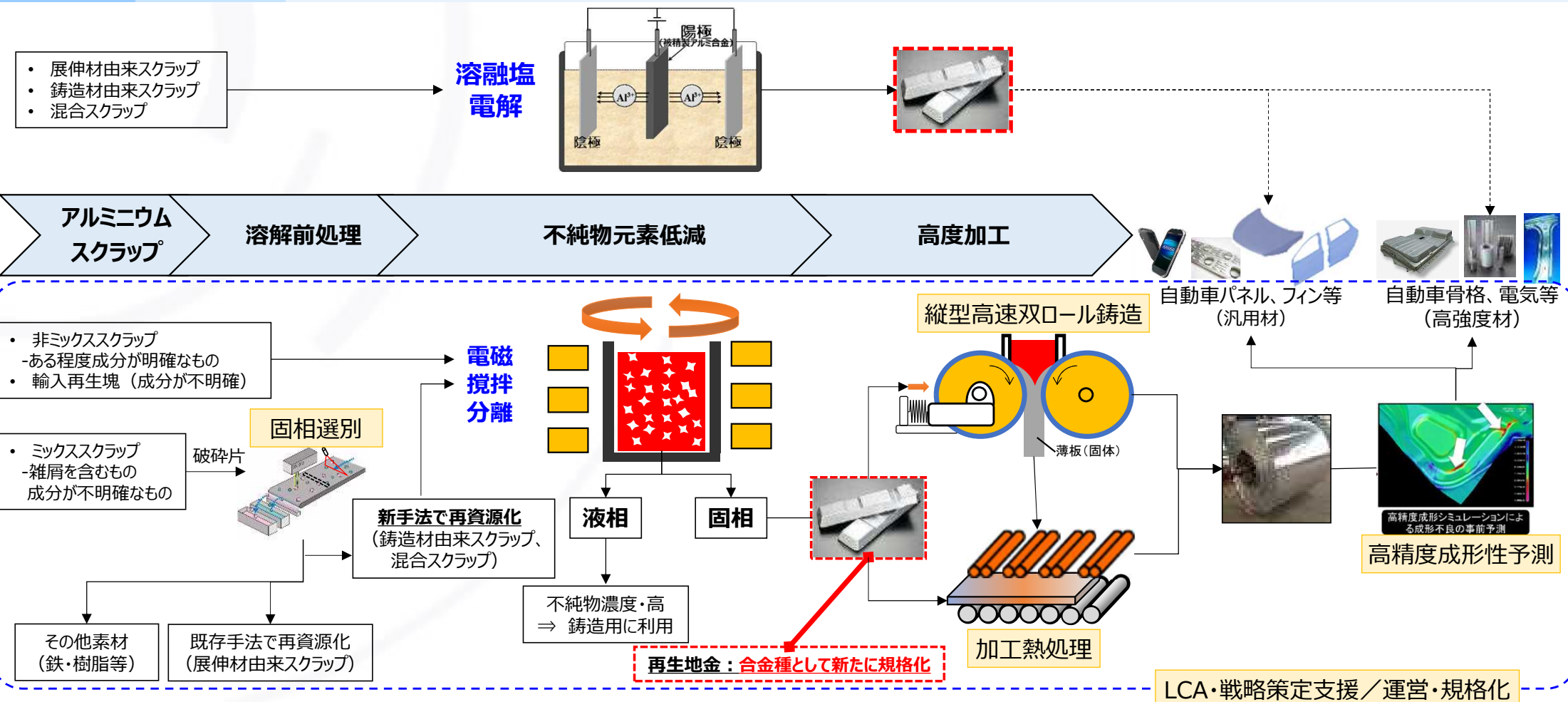
1/2助成 (単位：百万円)

# アウトプット（研究開発成果）のイメージ



①不純物元素低減技術、②微量不純物を無害化する高度加工技術等の開発により、再生地金を展伸材に利用可能とし、アップグレードリサイクルを実現する

# 目標達成に必要な要素技術



# 研究開発のスケジュール

2030年実用化によるアウトカムを達成すべく、2025年度末までに必要技術を獲得することを目指し、スケジュールを設定

研究開発項目	2021年度	2022年度	2023年度	2024年度	2025年度
①不純物元素低減技術 固体溶融塩電解		小規模ベンチプラントによる 運転方法確立・生産性評価	大規模ベンチプラント 設計・製作 生産速度への 各因子影響調査	大規模ベンチプラントによる 運転方法確立・生産性評価	
電磁攪拌によるα-Al相晶出量制御		ラボスケールによる条件検討 試作開発機		対象合金拡大 組成情報を元に試作	
溶解前処理によるスクラップ組成制御		走査型分光ソータ処理試験 3D位置制御システム開発	走査型分光ソータと 組み合わせ		
②微量不純物を無害化する高度加工技術等 縦型高速双ロール鋳造を用いた不純物無害化		表面品質と材料特性が優れた鋳造条件確立 長尺実験機の設計と設置	試作材供給	長尺実験機による 長時間安定操業技術確立	
加工熱処理による不純物無害化		リサイクル材を用いたHPSとARBによる 材料特性改善手法の確立		リサイクル材を用いた 高強度板材の大型化実証	
高精度成形予測技術（成形シミュレーション）		既存材を用いた多軸応力データベース構築 高精度材料モデリング手法確立		リサイクル材の高精度材料 モデリングと予測精度向上	
LCA/規格化		各プロセスに対しLCA評価、経済性評価、 再生合金の規格化に向け登録する材料選定		スケール効果を加味したLCA評価、経済性評価 再生合金の登録申請準備	

# 進捗管理

p31の通り、関係者数が多いため、進捗管理や情報共有を円滑にするために、各種会議体などでの連携促進を図っている。

## 【NEDO主催】

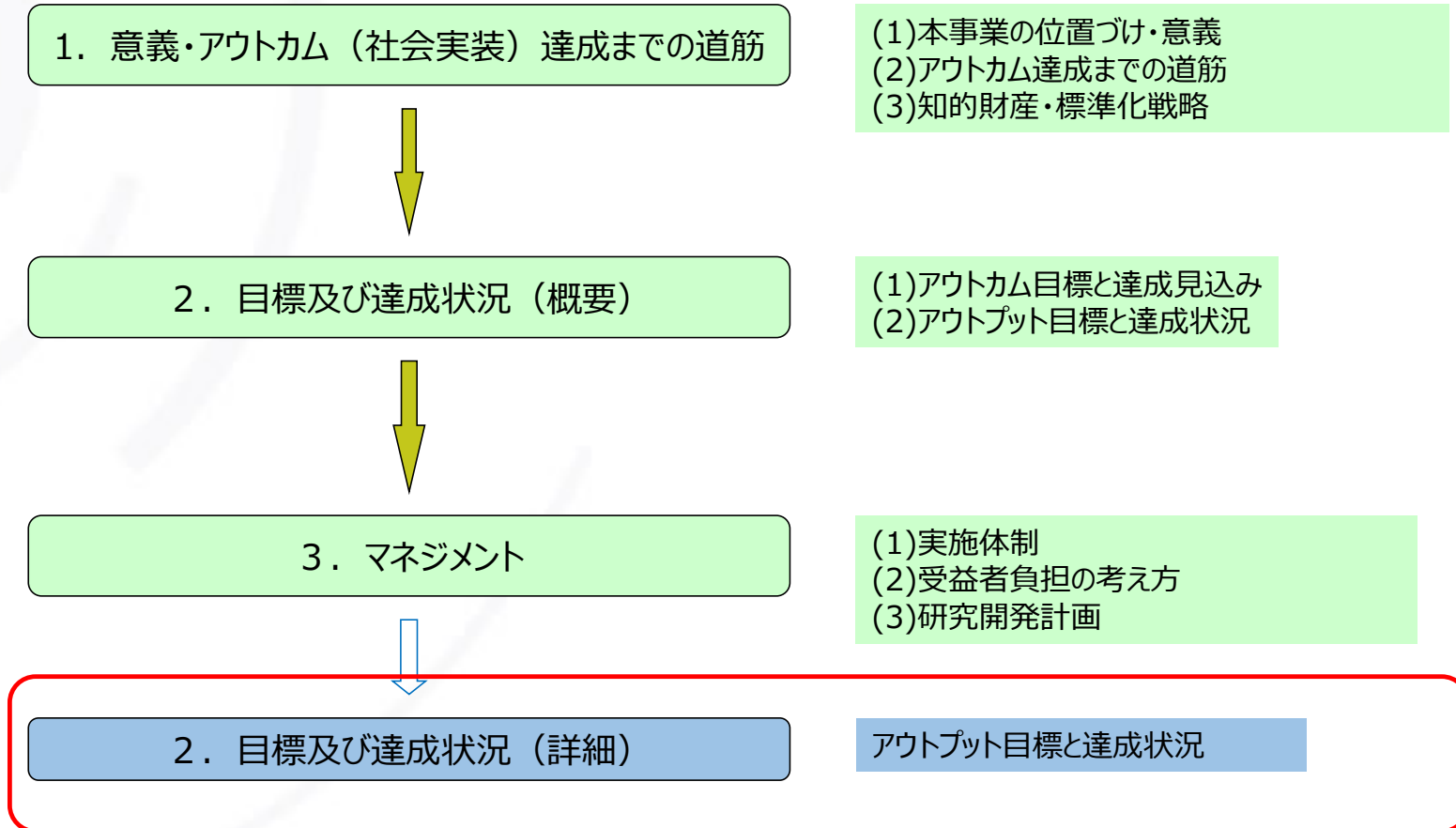
会議名	主要出席者	目的	頻度
NEDO技術推進委員会	外部有識者、事業者、NEDO	本事業の進捗状況、方針の確認等を第三者である外部有識者からアドバイス、指導を得る	2回/年程度

## 【事業者主催】

会議名	主要出席者	目的	頻度
共同研究進捗連絡会	豊栄商会、東北大学	(1)ベンチプラントの設計・製作・試運転 (2)ベンチプラント運転、結果の解析、次回運転計画の作成	1~2回/月
発明委員会	豊栄商会、東北大学	本プロジェクトから生まれた知財を積極的に権利化し、その使用実施権の譲渡を含めた検討を行う（現在までは未開催）	数回/年程度
研究開発推進委員会	外部有識者、UACJ他、NEDO、オブザーバー	事業の進捗等を外部有識者と共有し、アドバイス、意見を得る。オブザーバーの意見を収集しニーズ把握に繋げる。	3回/年程度
研究開発実務者会議	UACJ 他	一気通貫の事業運営を円滑に図るため、各研究課題の進捗、供試材への要求を直接聞き、連携強化に繋げる。	4回/年程度
知財運営委員会	UACJ 他	特許出願、研究発表、論文投稿等の研究成果の情報公開前に関係事業者間で討議し円滑な事業運営を図る。	6回/年程度
テーマ①-1 不純物元素除去進捗会議	UACJ 他	溶解炉、電磁攪拌装置など設備に関する設計案作成、各担当の進捗状況確認	5回/年程度
テーマ②-1 縦型高速双ロール 鋳造機設計/進捗会議	UACJ 他	縦型高速双ロール鋳造機に関する設備詳細設計案作成 各担当の進捗状況確認、詳細実験計画立案	12回/年程度
テーマ②-2 加工熱処理 進捗会議	UACJ 他	各担当の進捗状況確認、詳細実験計画立案	6回/年程度
テーマ②-3 成形シミュレーション 進捗会議	UACJ 他	各担当の進捗状況確認、詳細実験計画立案	3回/年程度

## 進捗管理：動向・情勢変化への対応

状況	対応
<p>2021年度初頭より半導体不足が顕在化 IT向け半導体と異なり、産業機器向け半導体不足が続いており、設備導入が遅れるなど影響が認められる</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• 保有済みの小型実験機により製造条件の検討を進め、本検討結果の活用により、設備導入後の製造条件最適化の時間短縮を図る（事業者対応策）</li><li>• 技術推進委員会（NEDO主催）による本研究開発の計画変更の妥当性の確認／了承</li><li>• 計画の変更へ対応した予算の変更</li></ul>

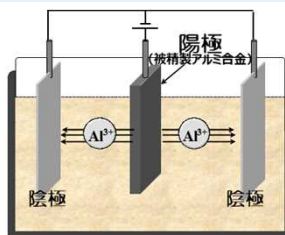


# 目標および達成状況 (詳細)

- 展伸材由来スクラップ
- 鋳造材由来スクラップ
- 混合スクラップ

溶融塩  
電解

概要・進捗 p41~45



アルミニウム  
スクラップ

溶解前処理

不純物元素低減

高度加工

概要・進捗 p46~48

- 非ミックススクラップ  
-ある程度成分が明確なもの
- 輸入再生塊 (成分が不明確)

電磁  
攪拌  
分離

概要・進捗  
p51~53

固相選別



- ミックススクラップ  
-雑屑を含むもの  
成分が不明確なもの

新手法で再資源化  
(鋳造材由来スクラップ、  
混合スクラップ)

液相

固相

不純物濃度・高  
⇒ 鋳造用に利用

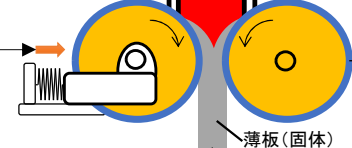
概要・進捗 p49、50

その他素材  
(鉄・樹脂等)

既存手法で再資源化  
(展伸材由来スクラップ)

再生地金：合金種として新たに規格化

縦型高速双ロール鋳造



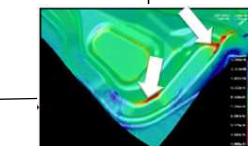
薄板(固体)

自動車パネル、フィン等  
(汎用材)

自動車骨格、電気等  
(高強度材)

概要・進捗  
p54、55

加工熱処理



高精度成形シミュレーションによる  
成形不良の事前予測

高精度成形性予測

概要・進捗  
p56、57

LCA・戦略策定支援 / 運営・規格化

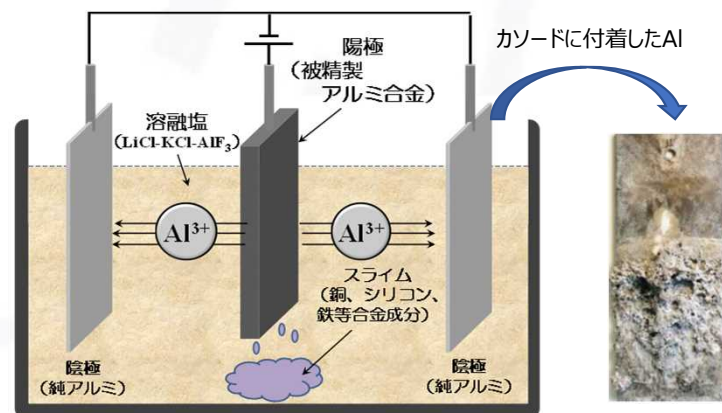
概要・進捗 p58~60



## ● 固体溶融塩電解（東北大学研究シーズ）の概要

### ■ 固体溶融塩電解の実験装置

アルミスクラップから作成した陽極板と陰極（純アルミ）を溶融塩中に浸漬し電解する



固体のまま電解することによってSi, Cu, Fe等の元素を電析Alに混入させることなくスライムとして沈降・分離することができる

### ■ 固体溶融塩電解の特徴

- ・アルミスクラップ中のSi, Cu等の不純物が陽極泥として分離できる
- ・新地金製造よりエネルギー消費量が低い

→既存実用化法であるHall-Heroult法の35～50%程度

### ■ 予備実験結果

溶融塩：LiCl-KCl共晶組成+AlF<sub>3</sub>

電極板：AD12.1及びAC2Aを陽極、純アルミを陰極に配置

電流密度：0.2A/cm<sup>2</sup>

電解時間：2H

電解温度：500℃

		成分濃度(質量%)			
		Al	Si	Cu	その他
実験例1	AD12.1合金 (電解前)	84.36	11.48	1.91	2.20
	陰極電析物 (電解後)	99.90	0.005	0.002	0.07
実験例2	AC2A合金 (電解前)	90.18	5.05	3.75	1.00
	陰極電析物 (電解後)	100	検出せず	検出せず	検出せず

- ・純度99.9%以上のAlが得られた
- ・高濃度で含まれていたSi, Cuは陽極下にスライムとして堆積

## ● 事業の概要

### ①-1 各種アルミスクラップに対する電極反応機構の解明と最適電解条件の提示

アルミスクラップには多くの種類の元素が幅広い濃度幅で含まれるため、除去可能なアルミスクラップ組成等の範囲の確認を進める。この際、電極界面反応の解明についても検討を進め、基礎研究結果を蓄積し、ベンチプラントの運転最適化に資する電解条件の探索に取り組む。

### ①-2 研究シーズのベンチプラントを用いた評価ならびにスケールアップ時の課題抽出

ベンチプラントサイズを段階的に拡大し、スケールアップ時の課題を抽出する。また、Si濃度5%以上のアルミスクラップからSi濃度3%以下、アルミ回収率70%以上の運転条件を確立する。

### ①-3 本技術を適用した場合のアルミ需給バランス最適化解析

世界あるいは国内におけるスクラップの需給状況を調査し、今後の自動車産業の行方をシナリオ化して、そのシナリオに基づいて、本技術が対象とするアルミスクラップ量の導出について取り組む。

## ■ 研究成果

### ①-1 各種アルミスクラップに対する電極反応機構の解明と最適電解条件の提示 (担当：東北大学)

【再溶解アルミスクラップの組成範囲取りまとめ、本技術適用後の品質のマップ化】

#### ■ 成果

5種類のAl合金の電解実験を実施し、電析物中Si濃度は0.27%以下と極めて低いことが分かった。

【最適電解条件提示】

#### ■ 成果

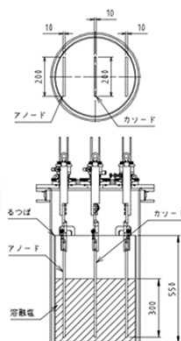
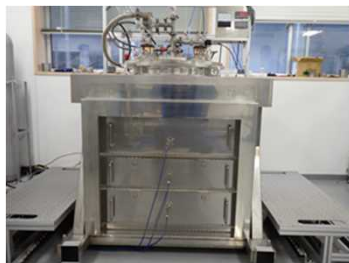
- ・Si濃度：Si:10%以上の合金からSi:0.2%以下の電析物を取得した
- ・アルミ回収率：槽内のAlF<sub>3</sub><sup>+</sup>濃度を向上させることで、10%未満であったAl回収率を58.7%まで向上させることができた。

### ①-2 研究シーズのベンチプラントを用いた評価ならびにスケールアップ時の課題抽出 (担当：株式会社豊栄商会、東北大学)

【小規模ベンチプラントの設計・製作】

#### ■ 成果

電極サイズが20cm×30cm×1cmの陽極と陰極を溶融塩に配設した小規模ベンチプラントの設計・製作をした。



【小規模ベンチプラントによる評価】

#### ■ 成果

- ・Al回収率：58.7%
- ・電析物中のSi含有率：0.2%以下、Al純度：88.0%（溶融塩の巻き込みあり）

#### ■ 課題

- ・Al回収率の向上
- ・電析物への溶融塩の混入

【大規模ベンチプラントの設計・製作】

#### ■ 成果

現在基本設備スベック検討完了。設計・製作・試運転完了後、運転方法の確立、アルミ生産性評価を実施予定。

### ①-3 本技術を適用した場合のアルミの需給バランス最適化解析 (担当：東北大学)

#### ■ 実施項目

- ・電気自動車へのシフトに着目した輸送部門およびその他製品部門にわたる世界のAl需給量の分析
- ・国内の利用不可能な鋳造な鋳造スクラップ量、自動車用Al鍛造品必要量等の算出。

#### ■ 成果

世界のアルミニウム新地金の需給量は2040年には54万t減少して7200万tとなる。このとき電気自動車へのシフトに伴うAl鋳造品の余剰量は364万tに達し、本技術導入によりこの余剰量を新地金と同等の品質に戻すことができるので、新地金の需給量は6830万tに減少できる。

# アウトプット目標の達成状況

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
①-1 各種アルミスクラップに対する電極反応機構の解明と最適電解条件の提示		再溶解アルミスクラップの組成範囲取りまとめ、本技術適用後の品質のマップ化	<b>中間目標：</b> 本技術が適用可能なアルミスクラップ組成と適用後の品質のマップを作成する <b>達成状況：</b> ○ 5種類のSi濃度の異なるスクラップを用いた基礎実験実施し、Si濃度=5~11%、Cu濃度=0~4%の範囲では、付着Al中のSi濃度は最大0.27%であり、電析物のアルミ純度は、Si、Cu濃度に依らないことを確認した（当初計画との差異無し）。
		最適電解条件提示	<b>中間目標：</b> 本技術の最適化された電解条件を提示する <b>達成状況：</b> ○ Si濃度：Si:10%以上の合金からSi:0.2%以下の電析物を取得した アルミ回収率：槽内のAlF <sup>3+</sup> 濃度を向上させることで、10%未満であったAl回収率を58.7%まで向上させることができた（当初計画との差異なし）。

◎ 大きく上回って達成、○達成、達成見込み（中間）、△一部達成、×未達

# アウトプット目標の達成状況

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
①-2 研究シーズのベンチプラントを用いた評価ならびにスケールアップ時の課題抽出	①-2-1 小規模ベンチプラントによる評価	小規模ベンチプラントの設計・製作／基礎実験結果との比較	<b>中間目標：</b> 東北大学の基礎実験結果と比較が可能な小規模ベンチプラントを設計、製作し、スケールアップ時の課題を明らかにする。 <b>達成状況：</b> ○ 実機サイズ1/10の小規模ベンチプラントを設計・作製を完了した。電解試験により、ほとんど不純物を含まないアルミが電析されることを確認したが、想定より電析量が少なく、電析物に巻き込まれる溶融塩の分離・除去が必要なことを確認した (当初計画との差異なし)。
		運転方法の確立	<b>中間目標：</b> Si:5%以上のアルミスクラップを用い、Si3%以下、アルミ回収率70%以上を達成する。 <b>達成状況：</b> ○ Si濃度：Si:10%以上の合金からSi:0.2%以下の電析物を取得した。 アルミ回収率：槽内のAlF <sup>3</sup> +濃度を向上させることで、10%未満であったAl回収率を58.7%まで向上させることができた (当初計画との差異なし)。
	①-2-2 大規模ベンチプラントによる評価	実機1/5サイズ(小規模ベンチプラントの2倍)の電極面積を有する大規模ベンチプラントの設計、製作の完了ならびに試運転の開始	<b>中間目標：</b> 設計・製作・試運転を完了する。 <b>達成状況：</b> ○ 基本設備スペックの検討を進めており、2023年10月にプラントを完成、試運転開始の予定 (当初計画との差異なし)。
①-3 本技術を適用した場合のアルミの需給バランス最適化解析		アルミスクラップの具体的な市場推定	<b>中間目標：</b> アルミ需給バランスに及ぼす波及効果の定量的解析を実施し、世界あるいは国内において本技術が対象とするアルミスクラップ量の導出をする。 <b>達成状況：</b> ○ 全世界において2040年には電気自動車へのシフトに伴うアルミ鋳造品の余剰量は364万tに達することを把握した (当初計画との差異なし)。

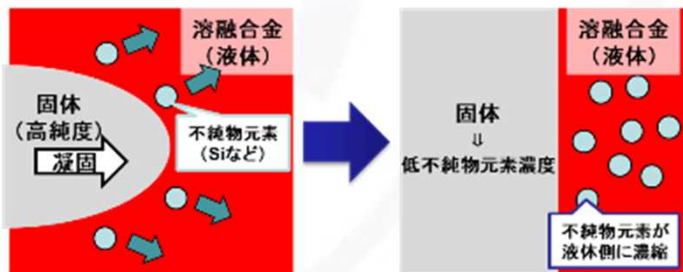
◎ 大きく上回って達成、○達成、達成見込み (中間)、△一部達成、×未達

# 各研究開発テーマの達成状況（詳細）の補足（①-1 溶解技術による不純物元素低減技術）



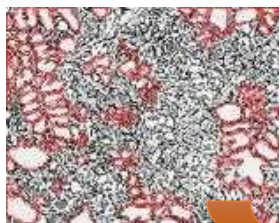
最終目標 Si:7%以上を含むアルミニウムスクラップから Si:3%以下の再生アルミニウムを 70%以上回収可能とする技術を開発

## 【従来の技術】分別結晶法



高純度固体側を回収、リサイクル可能  
 ⇨不純物元素濃度が高い場合には収率が低下  
 展伸材由来スクラップにのみ適用が可能

流動なし



流動付与



ADC12合金 (11%Si)  
 ⇨本来α-Al相は10%程度しか得られないが、40%程度晶出可能

100mm

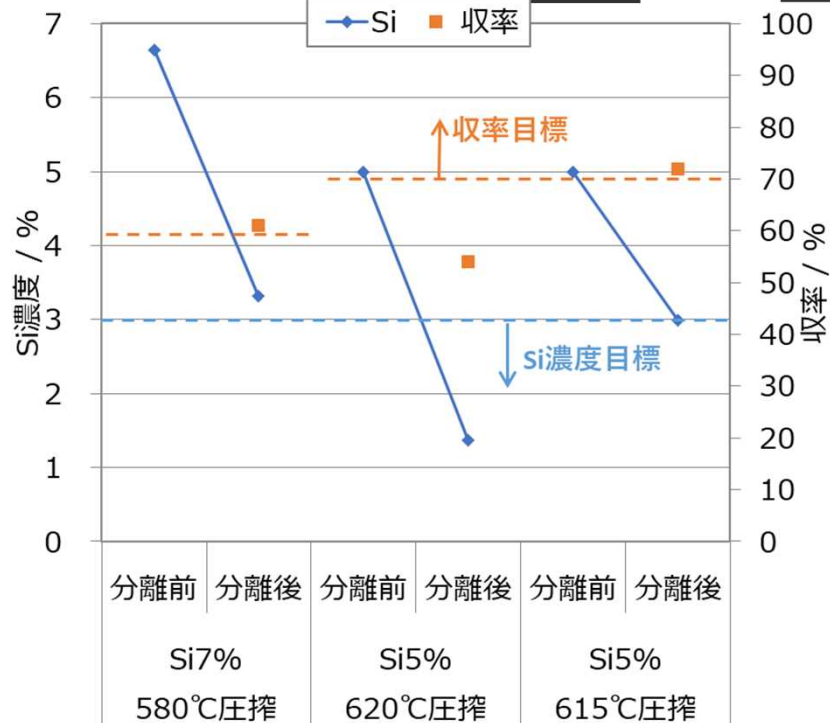
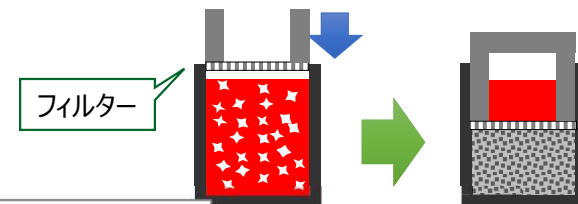
電磁攪拌などによる流動付与

流動付与により非平衡α-Al相が晶出

流動付与により高純度固体の晶出量が増加、収率の改善が可能

自動車スクラップを想定し、Si:7%（現状のスクラップ相当）、Si:5%（NEDO基本計画組成・将来の自動車スクラップ想定）を対象に試験

## ● 溶融プロセス・圧搾による不純物元素分離ラボレベル試験（100g程度）



- ラボレベルでは展伸材へ再生可能なレベルまでSi除去が可能
- NEDO基本計画の中間目標は達成

# 各研究開発テーマの達成状況（詳細）の補足（①-1 溶解技術による不純物元素低減技術）



**大型化に向けた検討** これまでに100g程度のサンプルで試験を実施 ⇨大型化に向け想定される課題を解決することが必要

溶解炉（100kg）



電磁攪拌装置  
制御用電源に用いるインバータが半導体不足の影響で入手困難  
→納期は9月頃



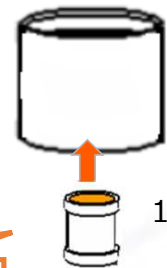
固液分離用プレス機



- 溶湯の取り回しなども考慮し設備全体のレイアウトを決定
- 電磁攪拌装置用電源の納入が遅れているものの、それ以外の設備については完成
- 電磁攪拌を加えない条件での実験を先行して行う予定

①-1-1 電磁攪拌を用いた流動付与によるα-Al 相晶出量制御技術の開発  
容器挿入・搬出装置

100kg溶解炉



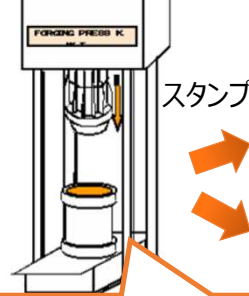
10kg精製容器  
(φ180×h300)

電磁攪拌装置

高純度固体と不純物濃化液体の混合スラリー

①-1-2 α-Al 相の分離回収技術の開発

50 t 圧搾プレス（長ストローク）



スタンプ

不純物濃化部  
→ 鋳造材へ

精製物  
→ 展伸材へ

フィルタ形状や材質の検討  
圧下力の最適化

- 大型化に向けた課題の抽出・解決や、実用化に向け圧搾部品などの最適化を検討する予定
- 実用化に向けては、不純物濃化部も有効に使うことが必要。不純物濃化部は鋳造材で適した濃度になることが期待されるため、最適な温度制御を行えるよう技術開発を進める

大型化への対応  
流速分布制御、温度制御など

# アウトプット目標の達成状況

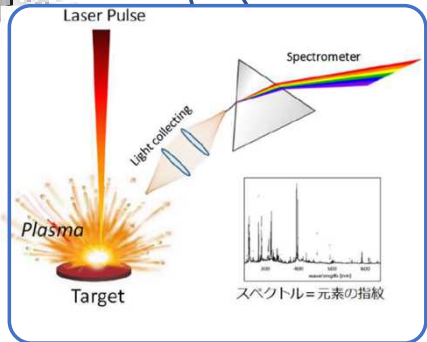
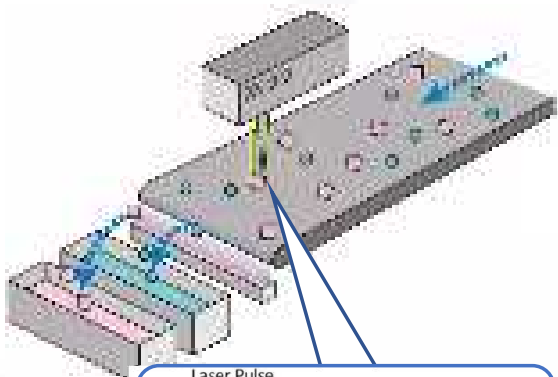
大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
①-1 溶解技術による不純物元素低減技術	①-1-1 電磁攪拌を用いた流動付与による $\alpha$ -Al相晶出量制御技術の開発	ラボレベルにおける $\alpha$ -Al相晶出量制御の最適化	<b>中間目標</b> : Si:7%程度のスクラップ模擬材からSi:3%以下のアルミニウムを回収、収率60%にするための電磁攪拌付与条件を調査する。実際のスクラップへの適用を考慮し基本計画に比べ高い目標を設定。 <b>達成状況</b> : ○ 100g程度のラボレベル試験にて7%Siから3%程度への純化を確認。計画どおり2023年6月に中間目標達成見込み (当初計画との差異なし)。
		テストプラントを用いた $\alpha$ -Al相晶出量制御技術の実証	<b>中間目標</b> : テストプラントを導入し、 $\alpha$ -Al相制御技術を確立する。 <b>達成状況</b> : ○ 電磁攪拌装置、および溶湯の取り回しを含めた設備全般の設計を完了。半導体不足の影響により装置の導入が遅れているが、2023年12月に達成見込み (当初計画との差異なし)。
	①-1-2 $\alpha$ -Al相の分離回収技術の開発	ラボレベルにおける $\alpha$ -Al相分離技術の確立	<b>中間目標</b> : Si:7%程度のスクラップ模擬材からSi:3%以下のアルミニウムを回収、収率60% <b>達成状況</b> : ○ 100g程度のラボレベル試験にて7%Siから3%程度への純化、収率60%以上を確認。計画どおり2023年6月に中間目標達成見込み (当初計画との差異なし)。
		テストプラントによる $\alpha$ -Al相分離技術の実証	<b>中間目標</b> : テストプラントを導入し、 $\alpha$ -Al相の分離によるアルミニウムの純化を確認する <b>達成状況</b> : ○ 溶湯の取り回しを含めた設備全般の設計を完了、溶解炉・プレス機を導入。電磁攪拌装置の納入遅れはあるが、2023年12月に達成見込み (当初計画との差異なし)。
		スクラップ組成調査と実証対象とする組成の決定	<b>中間目標</b> : 今後のアルミニウム需要の変化を想定し、不純物除去が必要となる組成の調査、対象とする合金系を決定する。 <b>達成状況</b> : ○ 今後必要となる技術として、低Si材料やADC12などのモデル材料を決定、一部に対してはラボレベルの試験を実施しており、計画どおり2023年6月に中間目標達成見込み (当初計画との差異なし)。低Si材などはラボレベルで試験を実施。



# 各研究開発テーマの達成状況（詳細）の補足（①-2 溶解前処理による不純物元素低減技術）

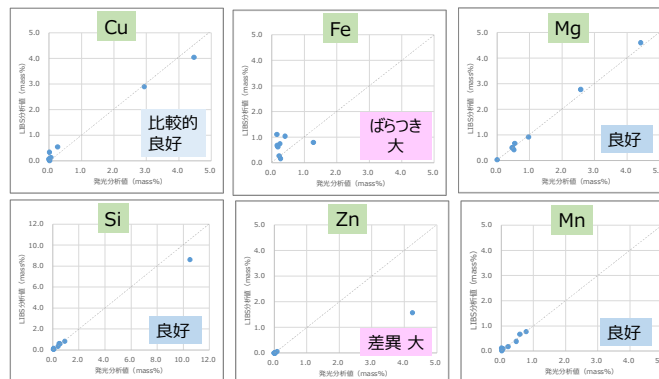


## 走査型分光ソータ



スペクトルから元素含有量を算出  
⇒合金毎の選別可能

## ■ 現行機 元素組成制御の限界，経済性の検証



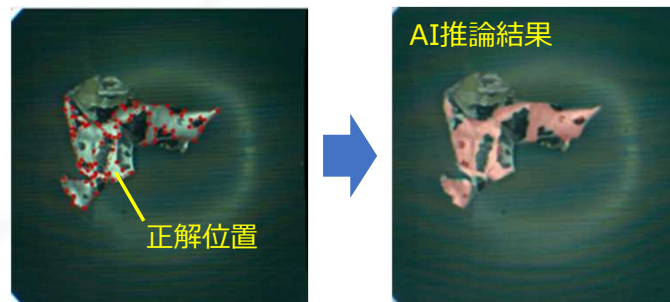
## 市中スクラップの選別結果

分類	重量(kg)	割合
2000系	0.87	0%
3000系	4.80	2%
5000系	18.25	7%
6000系	78.00	32%
7000系	0.59	0%
Al other	20.70	8%
unknown	122.50	50%

判別不能が多い

分析精度低下の原因追究と  
スクラップ前処理条件を最適化を  
進める

## ■ 開発機 2D/3D 画像情報より分光用レーザーの集光照射ポイントを自律的に決定する制御システム ⇒これを搭載した簡易な走査型分光ソータを試作



AI学習によりレーザー照射好適位置検出が  
可能となった



# アウトプット目標の達成状況

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
①-2 溶解前処理によるスクラップ組成制御技術の開発		走査型分光ソータによる大量処理の制御限界ならびに使用コスト把握	<p><b>中間目標：</b> LIBSの分析精度とコストの限界検証完了し、現行機が実用で成立する条件を明らかにする。</p> <p><b>達成状況：</b>○ 各元素の分析精度を検証完了。今後、表面状態、形状の影響を調査し、精度、処理効率を検証することにより、計画通り2024年3月に中間目標達成見込み (当初計画との差異なし)。</p>
		走査型分光ソータ用制御システム開発	<p><b>中間目標：</b> 2D/3D併用走査型LIBSソータの試作完了。</p> <p><b>達成状況：</b>○ 2D/3Dデータ解析システム、レーザー集光ポイント自立制御システムを開発し、スペクトル解析方法を確立することにより、計画通り2024年3月達成見込み (当初計画との差異なし)。</p>

◎ 大きく上回って達成、○達成、達成見込み (中間)、△一部達成、×未達

# 各研究開発テーマの達成状況（詳細）の補足（②-1 縦型高速双ロール鋳造を用いた不純物無害化技術）

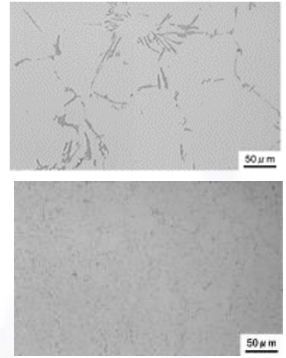
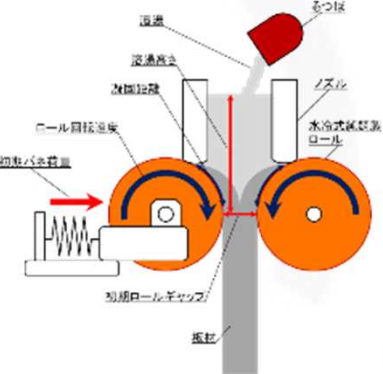


3種の実験機を使用して実用化の目途建てを目指す

## ②-1 【縦型高速双ロール】実験機

縦型高速双ロール鋳造機；各実験機の特徴及び目的

名称	板幅 (mm)	鋳造時間	溶湯供給安定性	熱的安定性	荷重制御	板厚制御	目的
小型実験機	50-100	数秒	×	×	△	△	鋳造条件、ノズル、ロール表面最適化による中間目標達成のための鋳造技術確立
広幅短尺実験機	600	数秒	×	×	△	△	各種用途向け特性評価
長尺実験機 (新設)	200	2-4分	○	○	○	○	量産に向けての安定製造技術確立

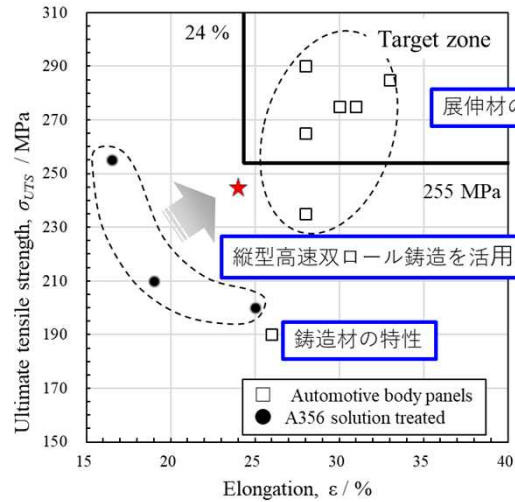


6022+1.0Feの晶出物

### 【縦型高速双ロール鋳造法】

合金溶湯から薄板材を高速で製造する新規な手法

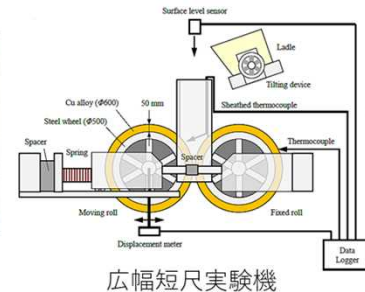
- 溶湯プールの形成により、従来の横型双ロール鋳造法と比べ、
- 高冷却能 (約1000℃/s、横型の数10倍 ⇒ 晶出物微細化)
- 鋳造速度の向上 (約1m/s、横型の10~20倍)
- 高生産能力(10-20万t/年、横型の10~20倍で熱間圧延に匹敵)



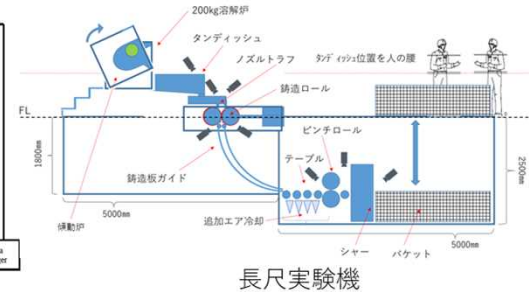
縦型高速双ロール鋳造により不純物が多い鋳物合金 A 356であっても6000系展伸材に近い強度/延性特性を有する材料が得られる



小型実験機



広幅短尺実験機

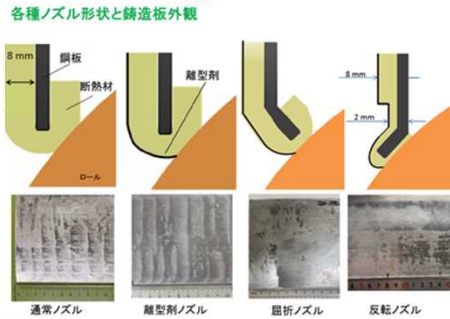


長尺実験機

- 基本的な鋳造技術、性能確認は小型実験機を用いて実施
- 広幅短尺実験機は小型実験機の成果を活かして各種評価用材料を製造
- 量産機に求められる安定製造技術を新設の長尺実験機で確立

## 小型実験機を使用した表面品質・材料特性改善検討

ロール荷重 (N/mm)	カラーチェック前	カラーチェック後
5	白濁	
100		
420	光沢/白濁	



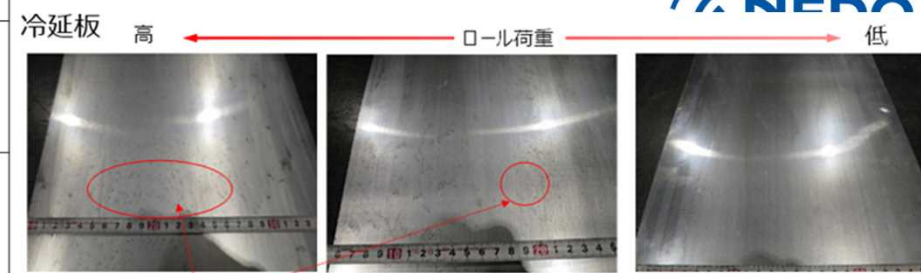
ロール荷重低減による改善

溶湯ノズル先端形状による改善

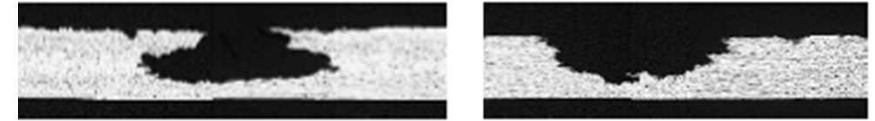
	鑄造板表面	鑄造板カラーチェック後
イローロ目止		割れ
イローロ目露		
イローロ目止		

ロール表面模様による改善

## 広幅短尺実験機を使用したユーザー企業評価材試作

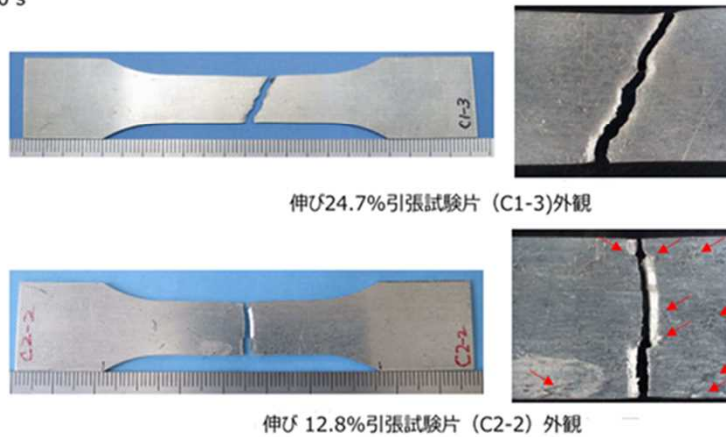
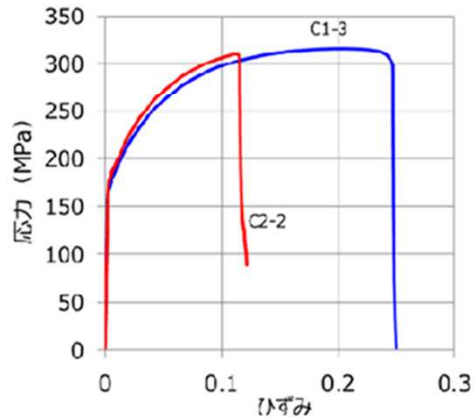


冷延板 高 ← ロール荷重 → 低  
 A6 細かな表面割れ  
 A7  
 A8  
 広幅短尺鑄造でも、低荷重鑄造を行い表面を改善した試験材を作製  
 \*ASTM G85A1  
 縦型 CC材 DC材

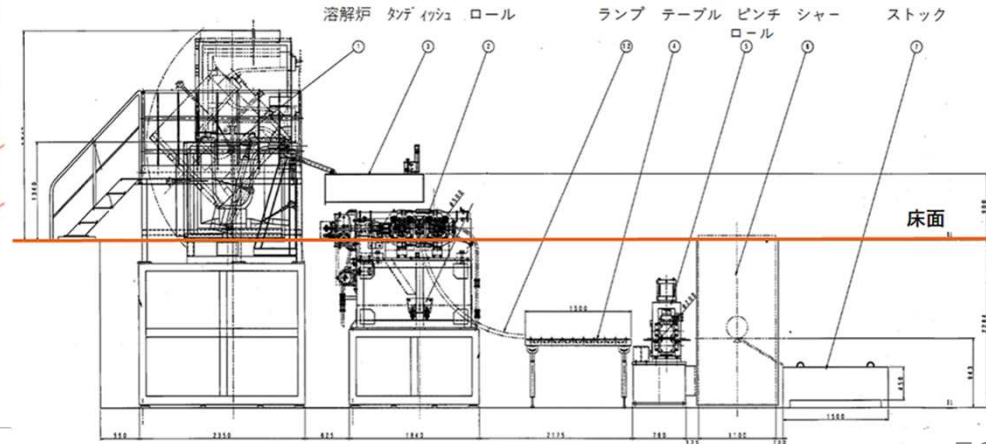


耐食性評価の例

C1-3 ロール荷重 5N/mm、接触時間 0.20 s  
 C2-2 ロール荷重 100N/mm、接触時間 0.20 s



## 小型実験機での知見を展開した長尺実験機的设计



ロール荷重低減により、伸びが改善され、中間目標 (UTS 250MPa, 伸び24%) を上回る UTS 310MPa, 伸び 24.7% を達成した。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

# アウトプット目標の達成状況

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
②-1 縦型高速双ロール製造を用いた不純物無害化技術	②-1-1 縦型高速双ロール製造の連続操業技術開発	長尺縦型高速双ロール製造機 (長尺実験機) による長時間安定操業技術確立	<p><b>中間目標:</b> 長時間安定操業技術確立を目的とした板材の長尺化に対応可能な長尺実験機を完成させ、引張強さ250MPa、伸び24%を有する板材を製造する。</p> <p><b>達成状況:</b> △ 設備導入遅れにより、材料特性目標は小型実験機で達成する。東工大で長尺実験機本体の入札を実施した。落札した設備メーカーに設計・製造を発注し、基礎設計が完了した。 2024年3月に長尺実験機本体完成見込み (当初計画より遅れ)。</p>
	②-1-2 縦型高速双ロール製造板の表面、内部組織の改善	小型実験機を用いた最適製造条件の確立	<p><b>中間目標:</b> 製造条件、ノズル材質・形状、ロール材質・表面溝形状等を最適化し、引張強さ250MPa、伸び24%を有する板材を製造する。</p> <p><b>達成状況:</b> ◎ 製造の低荷重化・高速化で大きく特性が改善され、中間目標値を超える引張強さ310MPa、伸び24.7%を予定の2024年3月より早い2023年2月に達成した。 割れが少ない表面が得られるノズル形状、ロール表面テクスチャーを見出した。 2024年3月に性能安定化の方策確定見込み (当初計画より大幅に短い期間で達成)。</p>
	②-1-3 広幅試作材の製造と各種評価	対象製品毎の個別条件・基準による評価	<p><b>中間目標:</b> 広幅短尺実験機で製造した板材を製品用途ごとに評価し、実用化に向けた課題を抽出する。</p> <p><b>達成状況:</b> ○ 小型実験機の結果に基づき、低荷重化・高速化で広幅短尺実験機材の表面状態を大きく改善できた。ばらつきは大きいものの、中間目標を超える特性が得られた。早期課題把握のため、改善前ではあるが、板材サンプルを各ユーザー企業で評価した。 2024年3月に実用化を目指す製品の絞り込みまで進む見込み (当初計画との差異なし)。</p>

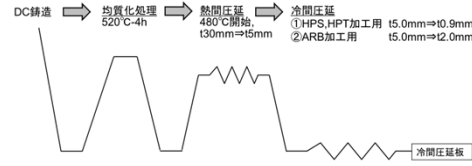
# 各研究開発テーマの達成状況（詳細）の補足（②-2 加工熱処理による不純物無害化技術）



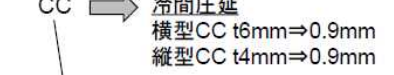
ベース合金の成分の考え方  
リサイクル原料：ADC12+6022  
不純物元素低減技術による精製

合金名	狙い化学組成 (wt.%)						
	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Zn	Al
ベース合金	3.0	1.0	0.8	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 Cuレス	3.0	1.0	<0.01	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 0.4Cu	3.0	1.0	0.4	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 Fe減	3.0	0.5	0.8	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 Fe増	3.0	2.0	0.8	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 Si減	2.0	1.0	0.8	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 Si増	4.0	1.0	0.8	0.2	0.5	0.4	Bal.
ベース合金 Mg減	3.0	1.0	0.8	0.2	0.3	0.4	Bal.
ベース合金 Mg増	3.0	1.0	0.8	0.2	0.8	0.4	Bal.

DC铸造⇒圧延材

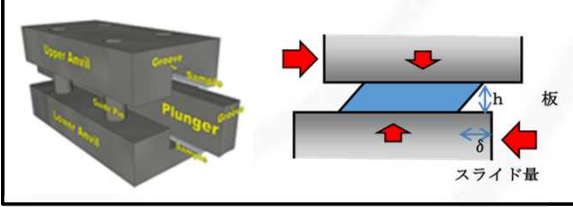


CC⇒圧延材

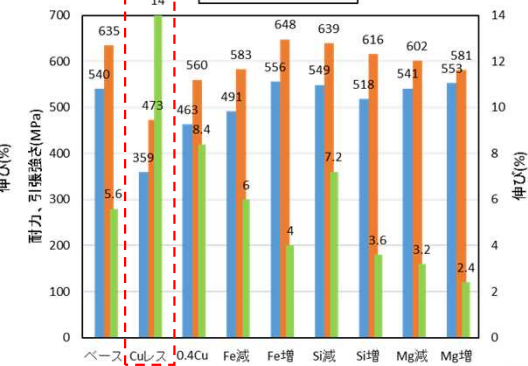


冷間圧延板

## HPS加工



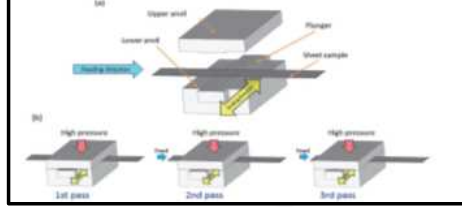
HPS 15mm



Cuレス材で中間目標をほぼ達成した特性（引張強さ473MPa,伸び14%）が得られた。

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

## IF-HPS加工 ※広幅短尺実験機



ベース合金: DC铸造⇒圧延材

IF-HPS加工により割れなく板幅200mmの大型材を製造できた。

※加工条件: 3mm-5R (1GPa)



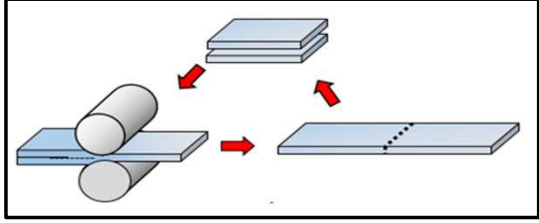
ベース合金: 縦型CC⇒圧延材

ベース合金: 横型CC⇒圧延材

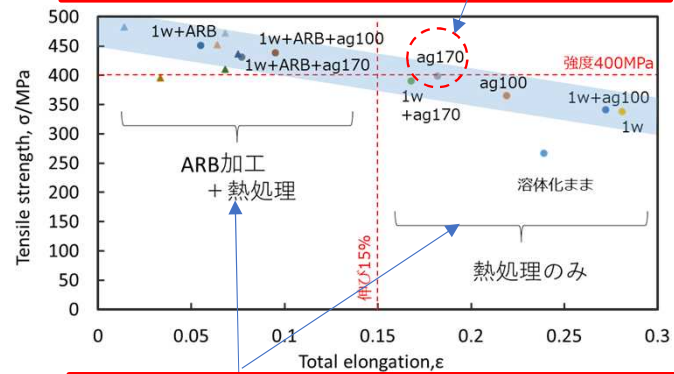
※加工条件: 3mm-5R (1GPa)



## ARB加工 ※広幅短尺実験機



人工時効（170°C×5時間）を行うことにより中間目標をほぼ達成した特性（引張強さ 399MPa,伸び17%）が得られた。



中間目標とする機械的特性を達成するための最小加工ひずみを明確化した。

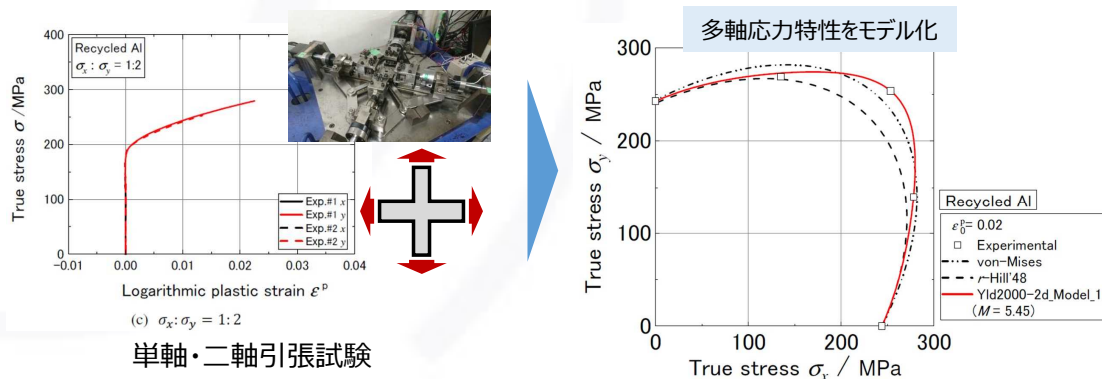
# アウトプット目標の達成状況

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
②-2 加工熱処理による不純物無害化技術	②-2-1 IF-HPSを用いた大型化技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・広幅化のためのIF-HPS加工条件 (加工量・加工パス・加工圧力) の最適化</li> <li>・機械的特性向上のための、HPT加工による、加工条件 (加工量・加工圧力・加工温度) の最適化</li> </ul>	<p><b>中間目標：</b>            (1)IF-HPSの大型化、広幅短尺実験機材を用いて幅200mm材の作製            (2)引張強さ：400MPa以上、伸び：15%以上  <b>達成状況：</b>(1)(2)ともに◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・IF-HPSの1パスあたりのスライド加工量を3mmとして、5パスの加工での加工を行うことで、割れなく板幅200mmの大型材を製造できた。</li> <li>・Cuレス材を用いHPSスライド量を15mmとすることで、中間目標をほぼ達成した特性 (引張強さ473MPa,伸び14%) が得られた。</li> </ul> <p>2023年2月に中間目標を達成 (当初計画より大幅に短い期間で達成)。</p>
	②-2-2 ARBを用いた大型化技術	<ul style="list-style-type: none"> <li>・機械的特性に及ぼすARB圧延パス数の影響評価</li> <li>・ARB加工と、その前後での熱処理の影響評価</li> </ul>	<p><b>中間目標：</b>            (1)広幅短尺実験機材を用いて、効果発現ための最小加工ひずみ (圧延パス数) を明確化する            (2)引張強さ：400MPa以上、伸び：15%以上  <b>達成状況：</b>(1)(2)ともに◎</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ARB加工において、中間目標とする機械的特性 (引張強さ：400MPa以上、伸び：15%以上) を達成するための最小加工ひずみを明確化した。</li> <li>・溶体化、自然時効後に、人工時効 (170℃×5時間) を行うことにより中間目標をほぼ達成した特性 (引張強さ 399MPa,伸び17%) が得られた。</li> </ul> <p>2023年2月に中間目標を達成 (当初計画より大幅に短い期間で達成)。</p>

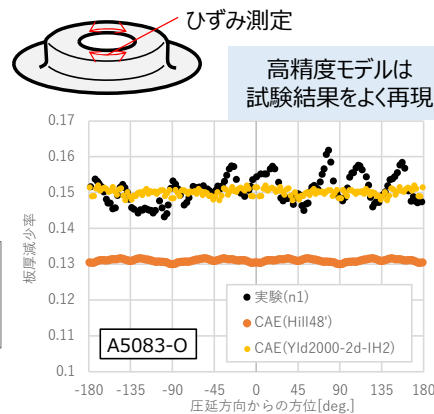
◎ 大きく上回って達成、○達成、達成見込み (中間)、△一部達成、×未達

## ②-3 計算科学による再生アルミニウム材の高精度成形性予測技術

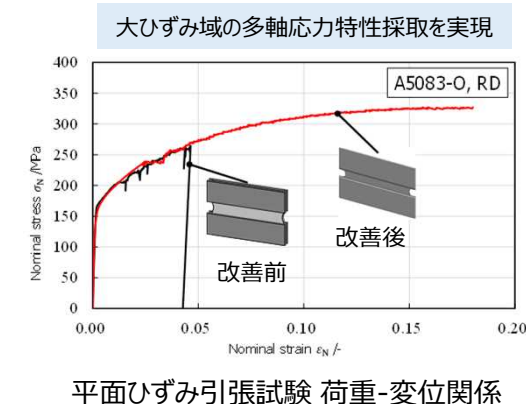
### ■ 実試験によるモデル合金材の材料モデル構築



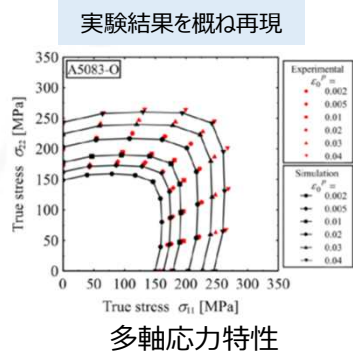
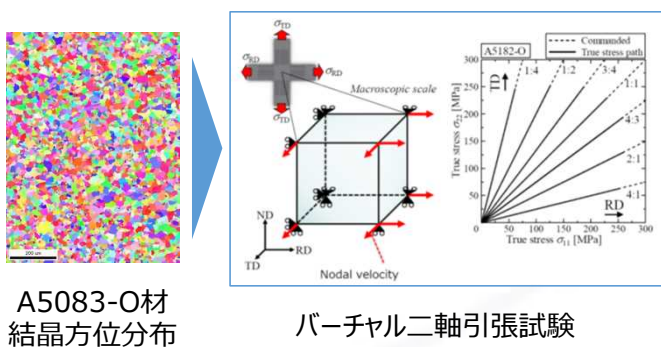
### ■ 高精度材料モデルの検証



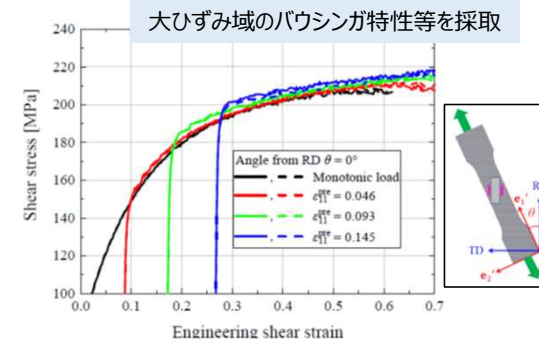
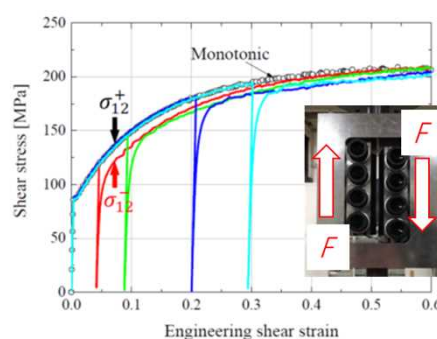
### ■ 多軸応力特性の簡易取得法の整備



### ■ バーチャル材料試験による材料モデル構築



### ■ 結晶塑性モデルを検討するための力学的試験方法の整備





# アウトプット目標の達成状況

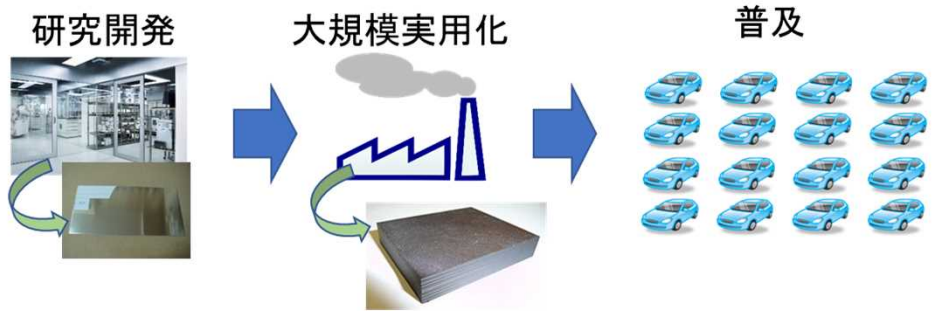
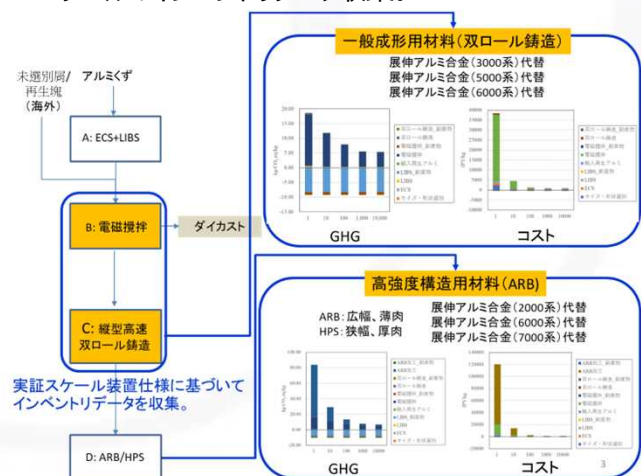
大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
②-3 計算科学による再生アルミニウム材の高精度成形性予測技術	②-3-1 多軸応力試験による再生アルミニウム材の高精度材料モデルの構築と実験検証	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高精度材料モデル構築</li> <li>・試作モデル材の成形性評価とフィードバック</li> </ul>	<p><b>中間目標：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・試作再生材の多軸応力特性などを実験により直接測定し、高精度材料モデルを構築する。また、このモデルを活用し、成形シミュレーションの破断近傍板厚ひずみ予測誤差を従来手法より1/2以下に低減する。</li> </ul> <p><b>達成状況：</b>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・試作再生材の材料特性を採取し、高精度材料モデルの構築完了。</li> <li>・素材の多軸応力特性の測定について、十字引張試験片による厳密な測定法に加え、簡易な「外接多角形による降伏関数同定法」を整備した。</li> <li>・自動車部品の金型モデルを作成中。上記構築モデルを用いて試作再生材の評価を実施し、計画通り2024年3月に中間目標を達成見込み（当初計画との差異なし）。</li> </ul>
	②-3-2 結晶性モデルおよび機械学習による再生アルミニウム材の材料モデル高速推定システムの開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・高精度、高速推定システム開発</li> </ul>	<p><b>中間目標：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・バーチャル材料試験により構築した材料モデルを用い、成形シミュレーションの破断近傍板厚ひずみ予測誤差を従来手法より1/2以下に低減する(精度評価は②-3-1で一括実施)</li> </ul> <p><b>達成状況：</b>○</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・多軸応力試験結果を高精度に再現可能な材料モデルをバーチャル材料試験から構築する手法の整備を完了した。</li> <li>・材料の組織情報と基礎力学特性から材料モデルを高速に推定可能なシステムを整備した。</li> <li>・交差負荷試験法およびその結果を高精度に再現可能な結晶塑性有限要素モデルによるバーチャル材料試験方法を整備した。</li> <li>・バーチャル材料試験および高速推定システムによって構築した試作再生材の材料モデルの評価を実施し、計画通り2024年3月に中間目標を達成見込み（当初計画との差異なし）。</li> </ul>

# 各研究開発テーマの達成状況（詳細）の補足（②-4 LCA・戦略策定支援）



## LCA :

- プロセス全体のLCA評価・レビュー。
- 電磁攪拌および縦型高速双ロール鋳造の実証スケールのインベントリデータ収集。



大規模実用化に向けた技術課題をフィードバック

大規模実用化を想定したコスト・環境負荷

社会全体の環境影響(最終的な評価結果)

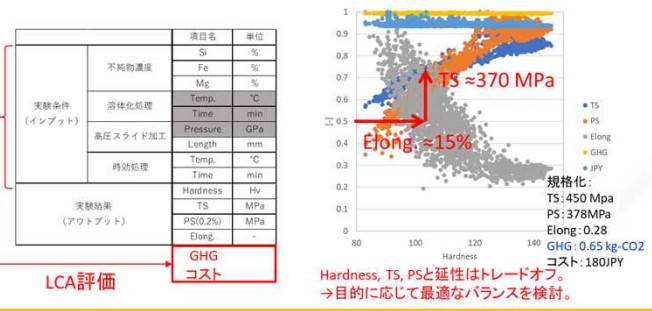
ラボスケールのインベントリデータ(出発点)

大規模実用化時のインベントリデータ

将来需要推計  
普及に向けた技術課題をフィードバック

## AI解析 :

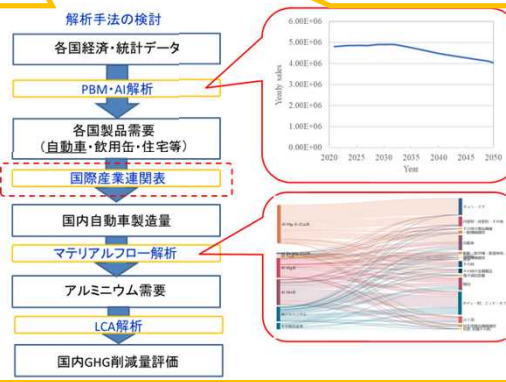
- 加工熱処理についてLCA評価×AI解析を実施。
- 電磁攪拌についてLCA評価×AI解析を実施中。



AI解析  
実験条件最適化支援

## 将来需要推計 :

- AIを用いた人口・経済統計データによる2050年における自動車販売台数推計
- アルミニウムの型番別マテリアルフローデータの整備
- 国際産業連関表解析の準備
- 空間情報解析手法の検討・データの整備
- SNS情報解析手法の検討・データの整備





# アウトプット目標の達成状況

大分類	中分類	小分類 (要素技術)	目標と達成状況 (当初計画との差異)
②-4 LCA・戦略策定支援		LCA・AI解析 将来需要推計	<p><b>中間目標：</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・実証スケールにおけるインベントリデータの収集と、コスト・環境影響評価を行う。</li> <li>・AIを用いたプロセス最適化手法を、研究開発項目①②の技術に適用する。</li> <li>・国内外のアルミニウム使用製品の将来需要を推計するための手法の開発を行う。</li> </ul> <p><b>達成状況：</b>○ 仮の実証機データに対してLCA評価を実施し、実データ入手後に推計内容をアップデートする。さらに、将来需要推計については、特定のアルミニウム使用製品(飲料缶)について、空間情報、ウェブ情報、統計情報、技術情報等を活用したケーススタディを実施することで、計画どおり2024年3月に中間目標達成見込み(当初計画との差異なし)。</p>
②-5 運営・規格化		委員会運営、情報管理、調査結果反映、 ②-4との連携及び規格化準備	<p><b>中間目標：</b></p> <p>委員会設置によるテーマをまたいだ横ぐし情報交換での研究開発推進、情報管理体制構築、文献・特許・市場調査結果の反映、環境負荷・コスト削減(②-4テーマ)の将来的技術課題明確化連携及びISO国際規格化のための準備。</p> <p><b>達成状況：</b>○ 年数回の研究開発推進委員会及び実務者会議開催で研究開発推進、知財合意書運用による情報管理、②-4へのデータ協力、委員会の場での調査共有化及び文献調査のなかで国内外規格の現状把握により、計画通り2024年3月に中間目標達成見込み(当初計画との差異なし)。</p>