

アルミニウム技術戦略ロードマップ

2022



一般社団法人 日本アルミニウム協会

序文

昨年アルミニウム業界は、新型コロナウイルス及び変異株による感染拡大、半導体不足等による影響に翻弄されたものの、一昨年に比べれば、アルミニウム製品全体としては需要の持ち直しが見られた。また、東京オリンピック・パラリンピックでは、多様性と調和、持続可能性を配慮した大会運営がなされ、聖火リレーのトーチには東日本大震災後の仮設住宅アルミ建材を再利用した押出材が用いられるなど、アルミニウムの環境への貢献がクローズアップされることとなった。

新型コロナウイルス感染症による経済、供給、原材料価格に対する下振れリスクには引き続き注意する必要があるが、コロナ克服後を見据えた将来への成長戦略として、自動車の電動化促進、蓄電池・半導体の国内生産基盤の確保に向けた投資促進などが有力視されており、これらの産業に部材を供給するアルミニウム産業への期待と役割は大きい。世界のアルミニウム需要が拡大する中、地金やエネルギー資源を海外に依存している日本及びアルミニウム業界にとっては、これらの安定確保が極めて重要な課題となっている。

一方、全世界的に脱炭素化、CO₂削減の取り組みが加速する中、国内では、「2050年カーボンニュートラル」が宣言され、昨年は新たな実現目標が表明された。アルミニウム業界においては、再生地金やCO₂排出量の少ない新地金の使用、展伸材のCO₂排出量削減への取り組みが急務となる。また、リサイクル性に優れ、かつ、軽量化、省エネにも貢献するアルミニウムは、持続可能な社会の実現にとって不可欠な材料であり、この特性を最大限に引き出す技術開発を更に進展させること、新たな分野への参入、進出を模索し、カーボンニュートラルの実現に貢献していくことがアルミニウム業界の果たすべき役割となる。

こうした技術開発を迅速に進めるためには産学官の連携が必須であり、円滑かつ効率的に進めるため、当協会では軽金属学会研究部会の支援のもと、開発の方向性や目標値を示す「アルミニウム技術戦略ロードマップ」を策定し発行している。本ロードマップを参考にして「アルミニウム素材の高度循環システム構築」の提案を取りまとめ、NEDO先導研究の採択、2021年からは国家プロジェクトをスタートすることができた。ロードマップは社会環境、新技術の開発に応じた見直しを行っており、今回の改訂ではCO₂削減、リサイクルについて大きく状況が変化していることも考慮し策定した。

本ロードマップが、持続的発展に向けた取り組みの円滑かつ効率的な推進に資するように、各界からのご意見やご鞭撻を賜れば幸いである。

令和4年3月31日

一般社団法人 日本アルミニウム協会
会長 木村良彦



目 次

I. 概説	3
II. アルミニウム産業の現状と取り巻く環境	4
II-1 日本の社会・産業界の動き	5
II-2 日本の科学・技術開発の動き	8
III. アルミニウムの技術戦略のシナリオ	11
III-1 市場の動向・マーケティング	11
III-2 アルミニウム需要統計	25
III-3 未来に向けたアルミニウム産業の技術開発の基本戦略	27
III-4 アルミニウム産業の未来に向けた技術開発の進捗状況	29
III-5 人材育成・社会への仕掛け	32
IV. アルミニウム技術戦略ロードマップの解説	33
IV-1 ロードマップ作成のコンセプト	33
IV-2 アルミニウム技術戦略マップ	35
IV-3 アルミニウムビジネスロードマップ	36
IV-4 アルミニウム要素技術マップ	36
IV-5 アルミニウム技術ロードマップ	36
IV-6 アルミニウムサイエンスロードマップ	36
別表1 アルミニウム技術戦略マップ（技術開発戦略の俯瞰図）	37
別表2 アルミニウムビジネスロードマップ（製品開発、プロセス開発のスケジューラ一覧表）	38
別表3 アルミニウム要素技術マップ（要素技術と製品分野の関連一覧表）	42
別表4 アルミニウム技術ロードマップ1（技術開発スケジューラの一覧表）	44
別表5 アルミニウム技術ロードマップ2（技術開発スケジューラの一覧表）	45
別表6 アルミニウム技術ロードマップ3（技術開発スケジューラの一覧表）	46
別表7 アルミニウムサイエンスロードマップ1（研究開発の行程表）	47
別表8 アルミニウムサイエンスロードマップ2（研究開発の行程表）	48
別表9 アルミニウムサイエンスロードマップ3（研究開発の行程表）	49
ロードマップ作成小委員会委員名簿	50
（別資料）	
●開発目標値の設定	51
●キーテクノロジー個別ロードマップ	54
（補足資料）	
●2021年度、2022年度アルミニウム研究助成テーマ一覧	75

I. 概説

わが国のアルミニウム産業の発展と経済への一層の貢献を推進していくために、産学官連携による研究・技術開発は不可欠である。この連携を円滑に、かつ効率的に進めるための共通認識とすることを願い2009年に「アルミニウム技術戦略ロードマップ」を策定した。本ロードマップは一般社団法人軽金属学会のロードマップと補完関係にあり、今後のアルミニウム産業の研究開発の方向性を示すものである。

制作に当たっては、将来にわたる社会の変化とアルミニウムの需要を分析し将来像からバックキャストすることで、今後取り組みが必要な技術課題を設定した。併せて、研究開発の動機となる出口の根拠も明確に示すよう努めた。また、常に最新の情報を提供するため関連する研究開発の進捗状況を把握し、定期的な改訂を通じて最新の開発目標値を継続的に示してきた。

2009年の初版発行から10年以上が経過し、当初描いていた未来社会のイメージも変化してきている。特に、カーボンニュートラルを始めとした気候変動対策あるいは地球環境の保全と経済の両立は最重要な課題となっている。今回の改訂では、時間軸を従来の2035年までから2050年までに拡張し、社会の変化の方向性を分析して、将来必要とされるアルミニウム製品の姿、およびそのための技術課題を抜本的に見直し整理した。

また、これまでの「技術ロードマップ」（技術課題についてのロードマップ）に加え、それを支える学術的な研究課題を「サイエンスロードマップ」として今回新たに追加した。「サイエンスロードマップ」の作成に際しては、（一社）軽金属学会 研究部会に全面的に尽力いただいた。相互の関連性がより明確になり、アカデミアの研究成果の産業面への応用が進むことを期待したい。

「アルミニウム技術戦略ロードマップ」を通じて、未来社会に向けて克服すべきアルミニウムの技術課題を公開することで、産学の研究者にその実現に向けた研究開発に参画いただき、そこで開発された技術を基盤とした製品を世に送り出す、そのような流れを効果的に創り出すことを願っている。

Ⅱ. アルミニウム産業の現状と取り巻く環境

日本のアルミニウム製品の総需要は2006年に446万トン記録した。その後2008年のリーマンショックの影響で一時的に落ち込んだものの、その後は回復基調にあり2014年以降は6年連続で400万トンを超えとなった。2020年は新型コロナウイルス感染症の影響で前年度比11%減の367万トンと再び減少した。中長期的には、少子高齢化を伴う人口減少を考えると現状の構造のままでは国内需要の増加を期待することは難しい。アルミニウム製品の高付加価値化あるいは機能拡大により、新規の需要開拓を進めていかなければならない。

世界的に見るとアルミニウムの需要は、リーマンショックの一時期を除いて、急拡大している。中国での需要が全体を押し上げる形となっている。現在、中国は世界の新地金の56%を生産し、消費量においても世界の60%を占める巨大な存在となっている。日本のアルミニウム産業は、製品、原料の両面において中国の影響を大きく受ける状況にある。

2021年は後半に入りアルミニウム製品の重要な副原料であるマグネシウムと金属シリコンの価格が急騰した。中国政府が石炭火力発電を抑制したことにより電力不足となり非鉄金属の製錬所が減産に追い込まれたためである。中国は世界のマグネシウムの82%、金属シリコンの67%を生産しており、日本はそれぞれ99%、83%を中国からの輸入に依存している。

主原料であるアルミニウム新地金の価格も同様に、電力ひっ迫の見通しからロンドンメタル取引所(LME)においても高騰しており2021年10月時点で年初に対し1.4倍になっている。このような原料価格の変動は今後も大きなリスクである。

通商面でも中国の生産能力過剰に伴うアルミニウム製品価格の低下が構造的な問題になっている。米国やEUを始め多くの国々で中国品の輸入に対して防衛策を講じている。

環境面からは、アルミニウム製品のCO₂排出量削減への取り組みが焦眉の課題となっている。背景には、2016年のパリ協定以降の各国における脱炭素化の加速がある。日本でも2020年10月に「2050年カーボンニュートラル」が宣言された。アルミニウム製品の顧客においても、材料選択の指標としてCO₂排出量が重要視される傾向が強まっている。

特に展伸材でのCO₂排出量が多い。これは、原料として新地金を多く使用するためであり、再生地金に切り替える、あるいは新地金製造(製錬)におけるCO₂排出量の削減が有効な対策となる。

すでに海外の製錬メーカーの中には、ノルスク・ハイドロ、ルサール、エミレーツ(EGA)など、水力発電や太陽光発電を用いた低炭素フットプリントのアルミニウム地金を「グリーンアルミニウム」として販売しているところもある。BMWやアップルなど大手顧客による採用も報道されている。また、リオティントとアルコアは電解時にCO₂を排出しないタイプの不活性セルの開発を進めており、2024年の実用化を目指している。これは、新地金のCO₂排出原単位をさ

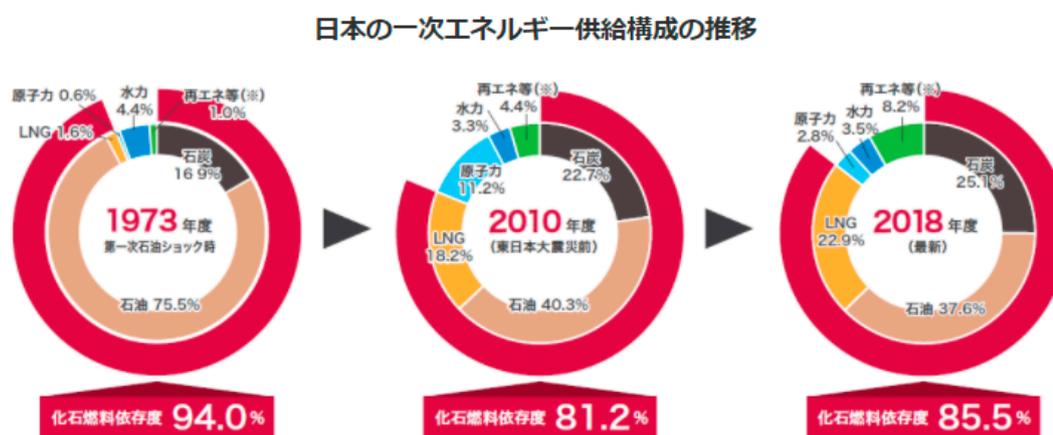
らに下げる技術として注目されている。

日本のアルミニウム産業は国内に製錬業を持たないこともあり、「グリーンアルミニウム」のみに依存するのではなく、新地金の使用比率を下げ、再生時に排出するCO₂の少ない再生地金を用いることで、展伸材についてもCO₂排出原単位低減を図る戦略を取ることにした。要素技術の開発のため2019年からNEDO先導研究を開始し、2021年からは後継の国家プロジェクトをスタートさせて実用化に向けた技術開発を進めている。安定的な原料確保など、社会実装にはゲームチェンジを可能とする革新的技術の開発が必須である。

II-1 日本の社会・産業界の動き

(1) 脱炭素社会への貢献：

地球温暖化問題の解決は待った無しの対応を迫られており、また化石燃料はいずれ枯渇するとも言われていることから、より一層の省エネルギーの推進およびCO₂を排出しない再生可能エネルギーや原子力等の利用推進が求められてきた。しかし東日本大震災に伴う原発事故の発生により、原子力発電の安全性に対する国民の強い要求に加え、再生可能エネルギーへの期待がより一層高まっている。一方で、当面のエネルギー供給における再生可能エネルギーの占める割合は僅かであることから、高効率化された石炭、石油や天然ガス火力に頼らざるを得ないのが現状である（下図の日本の一次エネルギー供給構成の推移参照）。



(出典) 資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」

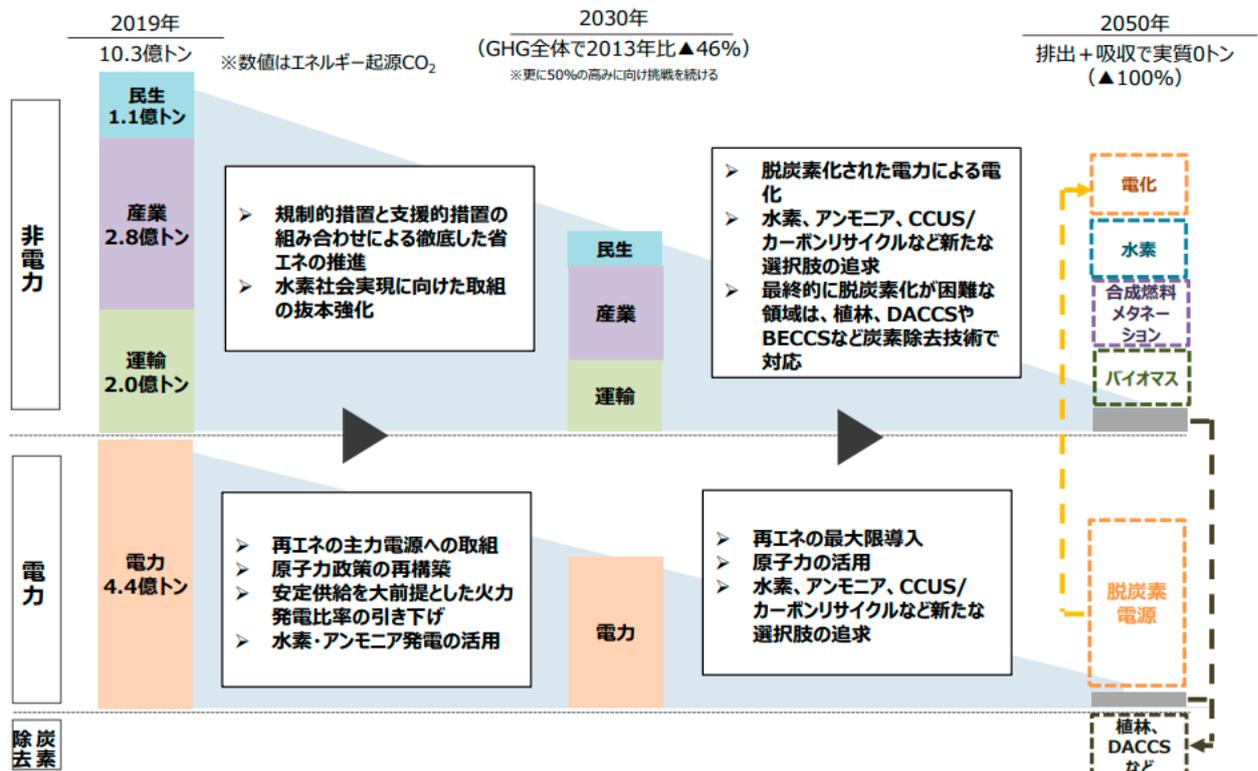
※四捨五入の関係で、合計が100%にならない場合がある。再エネ等（水力除く地熱、風力、太陽光など）は未活用エネルギーを含む。

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/johoteikyo/energyissue2020_1.html

経済産業省は、関係省庁と連携し、2020年12月に「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」を策定した。温暖化への対応を、経済成長の制約やコストとする時代は終わり、国際的にも、成長の機会と捉える時代に突入したとの考えのもと、従来の発想を転換し、積極的に対策を行う。これにより産業構造や社会経済の変革をもたらし、

次なる大きな成長に繋がっていき、「経済と環境の好循環」を作っていく。この産業政策をグリーン成長戦略と位置付けた。電力部門以外では革新的な製造プロセスや炭素除去技術などのイノベーションが不可欠となる。電力部門では再生可能エネルギーの最大限の導入および原子力の活用、さらには水素・アンモニア、CCUS（Carbon dioxide Capture, Utilization and Storage）などにより脱炭素化を進め、このような電力を使用して、電力部門以外の脱炭素化を進める（下図の2050年カーボンニュートラルの実現参照）。

2050年カーボンニュートラルの実現



<https://www.meti.go.jp/press/2021/06/20210618005/20210618005.html>

日本アルミニウム協会では2020年3月に、2030年度までの「低炭素社会実行計画」以降の方向性を示す「アルミニウム圧延業界の温暖化対策長期ビジョン(2050年)」を策定した。これは当時、政府の「2050年までに80%削減」を考慮し、策定したものである。しかし、菅前総理が2020年10月の所信表明演説において、「2050年カーボンニュートラル(実質ゼロ)」を目指すことを宣言し、さらに2021年4月には「2030年に2013年度比46%削減」という新たな目標を表明した(政府の地球温暖化対策推進本部および気候サミット)。また、経団連は「低炭素社会実行計画」を2021年度から「カーボンニュートラル行動計画」と改め、2050年に向けたビジョンの策定を各業界へ求めている。

これを受けて、既に策定した「アルミニウム圧延業界の温暖化対策長期ビジョン(2050)」を基本として、2050年カーボンニュートラルに向けたビジョンの策定を行った。

2050年カーボンニュートラルに向けたビジョン

目指す姿

持続可能な地球環境と脱炭素社会の実現を目指し、

1) 展伸材製造時

①展伸材製造時の国内CO₂排出量実質ゼロを目指す。

- ・展伸材製造時に必要なエネルギー（電力、燃料）によるCO₂排出量を最小化する。
- ・排出したCO₂は回収、貯蓄、再利用等で脱炭素化を図る。

②地金を含む展伸材製造時のCO₂排出量の最小化を目指す。

「国内のCO₂排出量削減」①に加え、海外からの新地金調達を最小化する（温暖化対策長期ビジョン（2050）による）。

2) 製品での貢献

軽量化や高熱効率などの特性を活かし、自動車や産業分野など幅広い分野でのCO₂削減に貢献する。

(2) 循環型社会への貢献：

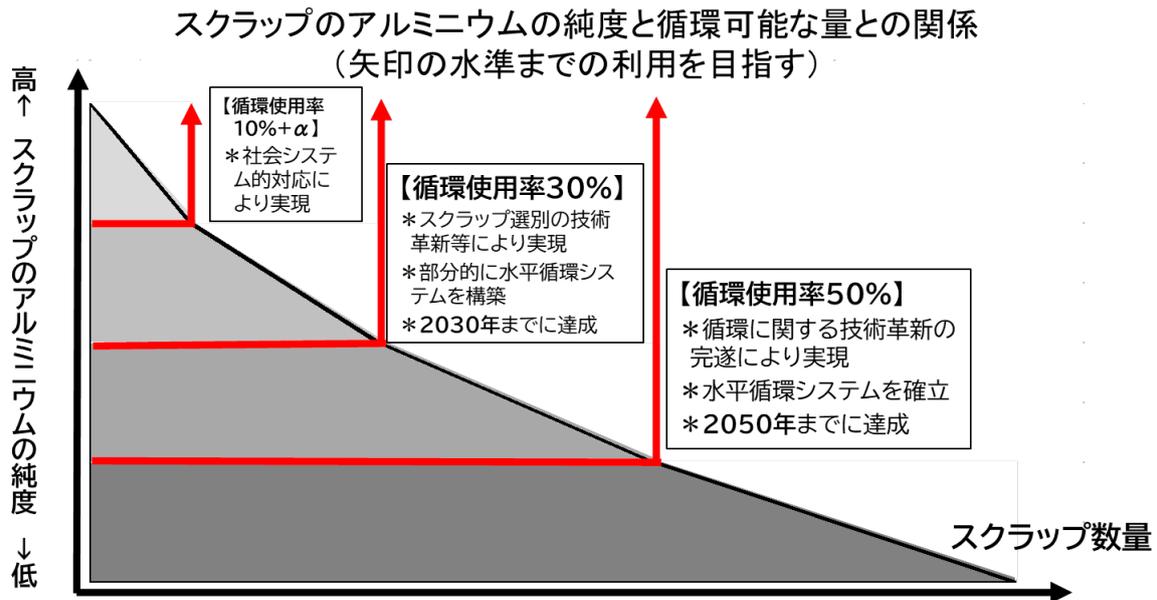
資源・エネルギーに乏しい日本は、その殆どを輸入に依存しており、資源・エネルギーの安定供給確保の観点からも一刻も早い循環型社会システムの構築が課題となっている。そのためにも、都市鉱山とも言われる廃棄家電製品・情報化製品に含まれる有用金属の回収技術や高度なりサイクル技術の確立が必要とされている。

日本アルミニウム協会は、2020年9月のアルミニウムVISION2050にて、資源循環への取り組みを公表した。アルミニウムの完全資源循環を目指した目標として、2030年までに展伸材における循環利用率（再生材使用比率）30%、2050年までに50%を掲げ、これら目標を達成する上での課題を整理するとともに、日本アルミニウム協会としての取り組みを明確にした（次頁のスクラップとアルミニウムの純度と循環可能な量との関係参照）。

また、NEDO先導研究プログラムとして2019年に採択された「アルミニウム素材の高度資源循環システム構築」は2021年7月に終了したが、次のステップとして2021年9月より5年間の国家プロジェクトに繋げることに成功した。これにより、今後アルミニウムの水平リサイクル、さらにはアップグレードリサイクルの実現が期待される。

(3) 安全・安心社会への貢献：

「令和3年高齢社会白書」によると、2020年10月1日時点の日本の総人口は1億2,571万人で前年より46万人減り、一方、65歳以上の高齢者人口は3,619万人で総人口に占める割合（高齢化率）は28.8%と過去最高となった。また、2065年には人口は8,808万人に減少し、65歳以上の人々が38.4%（2.6人に1人）に、75歳以上の人々が25.5%（3.9人に1人）に達すると予測されている。このような状況の下では、医療、介護、福祉等への負荷が相当高まるものと予測され、遠隔医療システムや介護福祉ロボットの開発など社会システムもそれに対応して整備されていく必要がある。



アルミニウムVISION2050 p17

https://www.aluminum.or.jp/vision2050/pdf/VISION2050_main.pdf

Ⅱ-2 日本の科学・技術開発の動き

(1) 2020年度以前の科学技術基本計画

第5期科学技術基本計画（2016～2020年度）では、「先を見通し戦略的に手を打っていく力と、どのような変化にも的確に対応していく力を重視」との基本方針に基づき、「未来の産業創造と社会変革」、「経済・社会的な課題への対応」、「基盤的な力の強化」、「人材、知、資金の好循環システムの構築」を4本柱として掲げ、基盤技術として、AI技術、バイオテクノロジー、量子技術、マテリアル、また、応用分野として環境エネルギー、安全・安心、健康・医療、宇宙、海洋、食料・農林水産業についての分野別戦略を策定してきた。

(2) 2021～2025年度：第6期科学技術・イノベーション基本計画

「科学技術・イノベーション基本計画」とは、科学技術政策の基本的な枠組みとして1995年に制定された「科学技術基本法」に基づき政府が策定する5ヵ年計画である。この基本計画は、25年ぶりに実質的な改正が行われ、「科学技術・イノベーション基本法」へと名称を変更した改正基本法のもとで策定される初の計画となる。

その基本計画の「科学技術・イノベーション政策の推進体制の強化」において、SIP（戦略的イノベーション創造プログラム）やムーンショット型研究開発制度など関係事業と連携しつつ、社会実装や研究開発を着実に実施する。さらに、マテリアルについてはわが国の科学技術・イノベーションを支える基盤技術であるとの前提のもと、「マテリアル革新力強化戦略」（次頁の概念図参照）に基づき、産学官共創による迅速な社会実装、データ駆動型研究開発基盤の整備と物事の本質の追求による新たな価値の創出、人材育成等の持続発展性の確保等、戦略に掲げられた取り組みを強力に推進する。

マテリアル革新力強化戦略(概念図)

「マテリアル革新力」(マテリアル・イノベーションを創出する力)を強化するための戦略を、
政府の重要戦略の一つとして、**産学官関係者の共通のビジョンの下で策定**

戦略策定の意義

ESG/SDGs意識の高まり

- ・マテリアルはカーボンニュートラルやサーキュラーエコノミー(循環経済)に直結
⇒ マテリアルの位置付けの高まり

社会実装が遅い

- ・社会を変える力を本来持つが、ドラスティックな変化としては見えにくい
⇒ 早く世に出し、走りながら変えていく姿勢

国際状況

- ・技術覇権争いの激化、サプライチェーンの脆弱性、EU環境政策等
⇒ 希少資源の確保や循環経済の重要性

我が国の強み(高い技術力、優れた人材、良質なデータ、高度な研究施設・設備、産学官の連携関係等)に立脚した差別化

目指すべき姿

マテリアル革新力を高め、経済発展と社会課題解決が両立した、持続可能な社会への転換に世界の先頭に立ち取り組み、世界に貢献

- ・ Society5.0の実現
- ・ 世界一低環境負荷な社会システムの実現
- ・ 世界最高レベルの研究環境の確立と迅速な社会実装による国際競争力強化

https://www8.cao.go.jp/cstp/material/material_gaiyo.pdf

(3) 経済産業省産業技術ビジョンとアルミニウム技術戦略

経済産業省は、2025年、2050年に向けて産業技術の方向性を提起、議論を喚起するために、2020年5月に「産業技術ビジョン」を発表した。わが国は、SDGsの達成やサーキュラーエコノミーへの移行、災害・感染症対策等の社会課題の解決に対応するとともに、産業競争力の強化を図っていくため、一層のイノベーションの創出を必要としている。他方、近年の日本のイノベーションを巡る状況は芳しくなく、Society 5.0への準備が整っていないことが今回の新型コロナウイルスによる危機によって浮き彫りとなった。改めて、日本のイノベーションシステムが抱える本質的な問題を捉えつつ、産業技術という切り口から中長期的な視点で解決すべき課題を特定し、イノベーションの創出に取り組む必要がある。

こうした問題意識から、2050年に向けた5つのグローバルメガトレンドと世界の動向を踏まえながら、日本が抱える本質的課題を仮説として特定し、2050年の産業技術の方向性、2050年までに実現すべきこと等を「産業技術ビジョン2020」として取りまとめた(次頁の対応の方向性(イメージ)参照)。重要な基盤マテリアルを担うアルミニウム産業も2050年に向けた戦略的取り組みが必要である。

レイヤー3

知的資本主義経済を見据えたR&D投資の重点化

- (A) デジタル【スライド3】
- (B) バイオ
- (C) マテリアル
- (D) エネルギー・環境

リソースの戦略的集中

レイヤー2

技術シーズを競争力につなげる研究開発・ビジネス戦略の重視

- ①レイヤーマスターを目指すR&D
- ②ものづくり・部素材分野におけるグローバルニッチトップ強化
- ③不確実性を考慮したリスク管理・ポートフォリオのためのR&D戦略

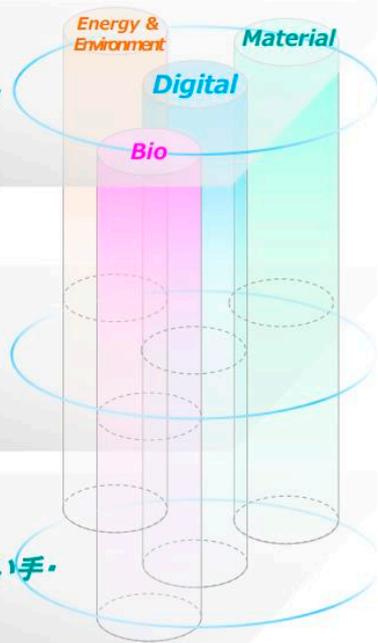
R&D投資効率向上

レイヤー1

「個」の解放によるイノベーション力の強化

- ①スタートアップエコシステム形成（短期）
- ②人材流動化・高度人材呼び込み（短中期）
- ③知的資本の国内供給システム（教育）の見直し（中長期）

基盤（イノベーションの担い手・エコシステム）づくり



<https://www.meti.go.jp/press/2020/05/20200529010/20200529010-1.pdf>

Ⅲ. アルミニウム技術戦略のシナリオ

数多く存在する物質の中で、実際に利用されるものが材料であり、「使われてこそ材料」が本質である。そこでマーケットイン志向から、未来の想定のために、ユーザー業界ヒアリングを実行して、市場の潜在的なニーズ動向を把握し、技術戦略のシナリオ化することでアルミニウム新用途・新技術探索に反映することとした。

Ⅲ-1 市場の動向・マーケティング

アルミニウムの主要需要分野

分野	現在市場規模 (兆円/年)	将来 性 ¹²⁾	期待用途
自動車	72.3 ¹⁾	↑	車体(パネル、骨格、足回り)、熱交、EV、HV
住宅・土木、建築	62.7 ²⁾	→	橋梁材料
家電	7.3 ³⁾	→	空調機器(オールアルミ熱交)
エネルギー	110.3 ⁴⁾	↑	再生可能エネルギー、水素エネルギー、燃料電池、蓄電池
ロボット	2.9 ⁵⁾	↗	軽量構造部材
食	101.5 ⁶⁾	→	飲料缶、飲料カップ、野菜工場
半導体	4.7 ⁷⁾	↗	半導体素子、集積回路
情報通信	99.1 ⁸⁾	↗	タブレット、中継基地
医療、介護	101.3 ⁹⁾	↑	CT、MRI、軽量高強度介護器具
航空宇宙	2.2 ¹⁰⁾	↗	構造部材、宇宙ステーション
鉄道	0.3 ¹¹⁾	→	車両

1) 自動車・同附属品製造業・2019年度売上高(法人企業統計調査 年次別調査2019年度統計表・財務省)

2) 令和3年度建設投資見通し(国土交通省)

3) 2020年家電・IT市場動向(GfKジャパン)

4) 2019年度国内環境産業市場規模(環境省)

5) 2035年度ロボット産業将来市場予測(NEDO)

6) 令和元年食品産業の国内生産額(農林水産省)

7) 調査統計ガイドブック 2020-2021 半導体(電子情報技術産業協会)

8) 2018年情報通信白書 産業市場規模:名目国内生産額(総務省)

9) 高齢者向け市場2025年推計(みずほコーポレート銀行産業調査部)

10) 航空宇宙産業データベース 令和3年8月(日本航空宇宙工業会)

11) 令和元年度車両生産金額(日本鉄道車輛工業会)

12) 

(1) 自動車の未来

CASE (Connected、Autonomous/Automated、Shared and Electric) やMaaS (Mobility as a Service) といった自動車業界で自動車のあり方について大変革期を迎える中、近年の環境問題であるCO₂削減に向けた取り組みが急激に具体化されつつある。世界的に地球温暖化が問題視されており、カーボンニュートラルという言葉がメディアだけでなく、様々な場面で聞かれるようになり、各国、各地域での具体的目標が公表されつつある。自動車産業が関与するCO₂排出は非常に大きな割合であることからその目標に向けた取り組みは従来の方針から大きな転換を迫られている。

日本では国内の温室効果ガスの排出を2050年までに「実質ゼロ」とする方針を表明した。また、2030年度の新たな温室効果ガス削減目標として、2013年度から46%削減することを目指し、さらに50%の高みに向けて挑戦を続けるとの新たな方針を示されている。具体的な施策は各企業にゆだねられており、概ね各自動車メーカーで2030年もしくは2035年までに電動車両の割合を定めて温室効果ガスの抑制に努めるという指標を示している。

アルミニウム素材は、車体軽量化に重要な役割を担うが、製錬時のCO₂排出が大きくこの点を改善しない限り今後の適用が限定される可能性がある。しかしながら、この製錬時のCO₂が素材提供時の90%を占めていることから、リサイクル材や低CO₂排出の地金ソースを用いることによって素材のCO₂は劇的に改善され他の素材以上の低CO₂量となる可能性が十分にある。ただしライフサイクルでのCO₂排出量算出ルールやカーボン税(カーボンプライス)の取り決めや法整備によってリサイクルを始めとするCO₂削減の対応にも変更が求められることも十分に考えられるため、これからの数年間の各国や関連団体の動向に注目が求められる。

自動車向けアルミニウムの新しい技術としては、最近では米電気自動車(EV)大手テスラが発表した「ギガプレス」が部品点数や工数の削減に効果があると話題になっている。期待された効果が実現できるか注目に値する。

(2) 建築・住宅の未来

人口減少と少子高齢化、インフラ老朽化に加え、地球環境問題による自然災害の激甚化・頻発化や新型コロナウイルスの拡大等の相互作用により、社会構造の大きな転換期を迎える中で、価値の多様化を再構築し、豊かさと安全・安心が持続する国土の実現が求められている。

これを受け、既にAIやIoTの技術を使いサイバー空間とフィジカル空間を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会的課題の解決が両立する、人間中心の社会(Society 5.0)実現を目指し、デジタル革命の動きや様々な国家施策も実施されている。

さらに、世界的な動きとしては持続可能な開発目標「SDGs」に向けた取り組みや、国内では「2050年カーボンニュートラル」の宣言が行われ、持続可能な環境の下でデジタルを最大限に活用した真に豊かな国土を再構築する中期的な国家施策も検討されている所である。

上記を踏まえた建築市場動向としては、新築着工が減少する中、良質な建築ストックの有効活用を基本とし、ユニバーサルデザイン、レジリエンス（※）、環境負荷低減をキーワードとした開発が進展すると考えられる。

特に住宅やビルは、省エネ基準適合義務化や説明義務化といった規制措置の強化が行われたことで、発電・蓄電・消費電力を一括で管理し、実質的なエネルギー消費量をゼロ以下にするゼロエネルギー住宅（ZEH）やゼロエネルギービル（ZEB）の普及に向けた取り組みが加速しており、職場管理、健康管理、防災、防犯など日常生活をサポートする様々な技術導入も飛躍的に発展することが期待される。

さらに 中期的には2030年、長期的には2050年を見据えて、「脱炭素社会に向けた住宅・建築物の省エネ対策等のあり方」も活発に議論されており、今後ハード・ソフト両面の取り組みと施策の立案の方向性が示される場所である。

このような状況下でアルミ建築材に対しては、資源循環型素材、適材適所のハイブリッド活用の概念をベースに、省エネルギーおよびゼロエミッションに貢献し、安全で快適な空間を実現すべく、高機能・高性能材としての地位確立が期待されている。

また、アルミニウム建材製造メーカーに対しては、クラウド環境でのBIM（Building Information Modeling）連携や、ものづくり技術における積層造形技術の活用など、多品種小ロットニーズに品質を担保しながら短納期・低コストで供給出来る体制を構築し、グローバルな視点で変革する時代の潮流を捉えた取り組みが望まれる。

※レジリエンス・・・災害への粘り強くしなやかな対応

（国土交通省；新たな「国土のグランドデザイン2050」2016年）

（3） 土木製品・土木構造物の未来

土木建築用途総需要は、1996年の99.6万トンと推定され、近年では約50万トンと半減して推移している。そのうち土木製品・土木構造物は、1万トン前後と推定される。主な製品は、車両用防護柵、照明柱、検査路などの道路・橋梁関係と水門・陸閘などの河川関係である。アルミ土木製品需要は、大半が政府支出に依拠しているが、政府土木関連投資額は、約20兆円／年で安定的に推移している。新設橋梁などは減少するが、点検義務化による検査路や災害対策による水門・陸閘は増加が見込まれる。

橋梁本体がアルミニウム製の事例として、歩道橋・跨線橋には多数の施工例があるが、道路橋としては、兵庫県に1961年に竣工した全長12mの1例があるのみである。道路橋に要求される荷重条件により、スパンを伸ばすと鋼製よりも重量増となることや鋼製と比較して価格が高いことなどの制約があるためである。橋梁本体構造部に対する使用よりも橋梁の添架物（付属部材）にアルミニウム使用の可能性が大きい。最近では、橋梁点検義務化によるアルミニウム製検査路の軽量性・高耐食性が評価され、既存橋梁への設置が急増している。

このように土木分野において、アルミニウムは鋼・コンクリートと比較して使用開始時期が遅く、主要な材料と認識されているとは言い難い。しかし、軽量であることによる施工日数の短縮、高耐食性によるライフサイクルコストの低減などにより社会資本整備に多

大の貢献が可能である。

特に今後、2050年に向けて自動運転が普及すると道路の形態が変わる可能性がある。人間が運転しないので、道路の構造は現状以上に安全に配慮したものになると考えられる。現在、車両用防護柵は、転落防止のため橋梁のみに設置されているが、車両の走行レーンにも歩車道分離のために設置される必要性が高くなる。現状では、ごく一部に接触防止用の防護柵が設置されているのみであるが、2030年代から10年程度かけて整備されるとすると2050年頃の年間需要量は約5万トンと予想され、アルミニウムの活用が期待される。

(4) 家電の未来

新型コロナウイルス感染症が拡大した2020年は、巣ごもり需要増とともに特別定額給付金の支給による後押しもあって、調理や健康関連家電とともにエアコン、冷蔵庫、洗濯機を中心とする白物家電の国内売上額が2.5兆円と前年度を上回った。AV機器類の2020年度の国内売上額も約1.3兆円と順調な状態にある。主要製品であるテレビの買い替え需要が年々高まっているとみられ、4年連続のプラス成長となった。加えて、コロナ禍による視聴機会の増加や、東京オリンピック・パラリンピックなどが追い風となったものと思われる。4Kテレビの販売台数は前年比22%増となり、また大画面化も進展したこともあって、テレビの単価の上昇につながった。一方、情報機器に類するパソコン等の2020年度国内売上額は約1.06兆円であった。テレワークやオンライン授業、政府主導のGIGAスクール構想等によりヘッドホンやヘッドセットの需要は拡大したが、増税前の駆け込み需要やWindows7サポート終了に伴う特需があった2019年度のパソコン売上額には届かなかった。また、ほぼLEDに置き換わった一般照明器具の出荷額はここ数年7,000億円を超えていたが、2020年はそれを下回った。まだ回復が見込めない2021年度、さらにその先となる新型コロナウイルス感染症収束後においては、多様化する社会環境（暮らし、働き方等）や新しい生活様式が続き、しばらくは健康清潔志向とともに、これまでのような高機能・高付加価値製品を含む多様な消費者ニーズに応えた家電が求められるものと思われる。

家電は電気を必要とするエネルギー消費機器のため、2050年脱炭素社会に向け製品自体の省エネ化を進化させるとともに、製品の製造、回収や廃棄における温室効果ガス排出量の削減が求められる。1970年代のオイルショックを契機に始まった省エネ政策では、各々の製品毎にエネルギー消費効率の優劣が明確となる「トップランナー制度」が導入され、メーカー各社は、新製品開発においてその環境性能向上にしのぎを削っている。白熱電球の国内生産は終了し、蛍光灯からLEDや有機ELへの置き換わりも進んでいる。さらに家電の効率的な運転を行うため、使用状況が把握できる各種センサーが導入された。一方、スマートフォンの機能としてはじまった音声認識技術は新たなユーザー・インターフェイスとして、AI技術とともにスマートスピーカーや携帯用自動翻訳機から活用が始まっている。今後、様々な家電に各種センサーや音声認識技術が組み込まれることで、無駄が減るとともに人と家電との距離が縮まり、さらに家電が利用者のサポート役として活躍することが期待される。

国内家電向けアルミニウム展伸材の2020年度出荷量は、若干減って、約4.1万トンとなった。その内、板材出荷量は3.5万トンで、約9割が熱交換器用フィン材で占められている。優れた熱伝導性を有するアルミニウム材料は、熱交換器やヒートシンク等とともに、廃熱のこもりを防ぐために電気・電子機器の支持体や筐体として幅広く活用されている。家電のさらなる高機能化やコンパクト化を図る上でも、アルミニウム材料による熱伝導性の向上が今後も求められるものと考えられる。

(5) エネルギーの未来

2020年12月に発表された「2050年カーボンニュートラルに伴うグリーン成長戦略」では、電力部門の脱炭素化を最重要課題と位置付けている。カーボンニュートラルは産業・運輸・家庭分野での一層の「電化」を促進する。そのため、2050年における電力需要は現在より30～50%増加すると予想されている。この電力需要を賅う電源構成としては、太陽光をはじめ洋上風力発電などの再生可能エネルギーの比率を50～60%にまで引き上げることを目指している。現在の主力電源である火力発電はCO₂を排出しないCCUS（CO₂回収・再利用・貯蔵）技術と併用した上で、原子力発電を合わせて、比率としては30%～40%を目指すとしている。また、新しいエネルギーとして水素・アンモニア発電も10%程度見込まれている。

この中で特に注目されるのは水素である。燃料電池による発電や、燃料として水素発電に用いられ電力需要の一部を賅うだけでなく、回収したCO₂との組み合わせで、メタンほか炭化水素を合成しこれをCO₂フリーの燃料として「熱需要」を賅う構想でもある。Hydrogen Councilの推計によると2050年における水素エネルギーのシェアは15%超にもなるとされており、水素の存在感は今後非常に大きくなると予測される。

水素の運搬には、液化して大量に海上輸送することが考えられている。アルミニウムはLNG輸送船のタンクに使用されており、水素運搬船においても採用を期待したい。また、水素の陸上輸送やステーションでの貯蔵の際に用いられる圧力容器にも、ライナー材としてアルミニウム合金が採用されている。エネルギー分野の変革とともにアルミニウムの需要拡大が期待される。

そのほか、電動車用のアルミハーネスやアルミ送電線の更なる普及などにおいても需要拡大が期待される。

(6) ロボットの未来

ロボット市場は拡大を続けている。既に市場が形成されている製造業分野の成長に加え、サービス分野、農林水産分野などの新たな分野へのロボットの普及により、2020年2.9兆円から2035年9.7兆円への市場拡大が見込まれている。

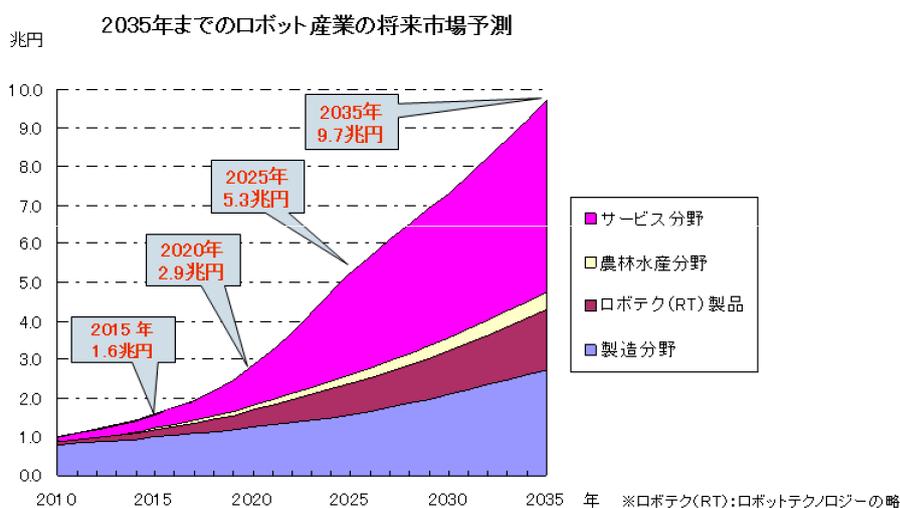
世界における産業用ロボットの年間設置台数は、この10年（2010～2019年）の間に3倍以上に増えて38万台に達し、今後も年率14%の高い伸び率で推移すると見られている。アジアは産業用ロボット最大の市場であり、日本における2019年の稼働台数は、前年比12%増の約35万5,000台を記録した。現在は製造分野、中でも電気・電子産業、自動車産業、金属・機械産業が導入の中心となっている。

製造分野においては、人工知能ソフトウェアと各種センシングシステムを併用することで、適用作業範囲の拡大が見込まれている。デジタルトランスフォーメーション（DX）の進展とともに、食品・飲料、繊維、木製品、プラスチック産業へも拡大している。また少子高齢化・労働力不足を背景に中小企業での導入が進んでいる。利用分野としても従来の製造分野に加えて、物流、介護・福祉、清掃、移動支援、インフラ検査作業などのサービス分野や、農林水産分野への拡大が期待されている。

課題としては、ハードウェアの面ではボルトレス、ケーブルレスなど構造の簡素化が求められている。アルミニウムは軽量かつ高強度・高剛性で、高い寸法精度での加工も可能なため、ロボットアームや構造フレーム用材料として様々な部品へ採用されている。近年はロボット稼働時のCO₂削減のために軽量化が求められており、構造材料としてのアルミニウム合金のさらなる適用拡大が見込まれる。またコンパクト化に伴い電装系からの放熱も問題となっており、熱設計の分野においてもヒートシンク、ヒートパイプ用材料としての期待が大きい。

2035年に向けたロボット産業の将来市場予測 ①

- 今後のロボットの普及を加味したロボットの将来市場予測は、
2015年 **1.6兆円**、2020年 **2.9兆円**、2025年 **5.3兆円**、2035年 **9.7兆円**



製造業を始めとした現在市場が形成されている分野の成長に加え、サービス分野を始めとした新たな分野へのロボットの普及により、2035年に9.7兆円まで市場拡大し得る。

<https://www.nedo.go.jp/content/100080673.pdf>

(7) 容器・食の未来

今後のアルミ缶の需要動向推測はアルミニウムVISION2050に示されており、2020年の約40万トンから2050年は20万トン増加し約60万トンと推測している。増加分は海洋プラスチックごみの問題によりPETボトルからの置換を想定したものである。海外においては脱プラの観点からアルミ缶や紙容器への転換が進んでいる。国内の各飲料メーカーにおいてはPETボトルのリサイクルを進めており2050年にはPET to PET率50%を掲げている飲料メーカーもある。アルミニウムのCANT to CAN率は現在約70%であり、使用済みアルミ缶年間33万トンのうち15.8万トンが缶材にリサイクルされ、約8万トンは鋳物など、約9万トンは海外輸出されている。CANT to CAN率の向上のためには、缶材リサイクル以外の部分もリサイクルしていく仕組みや、リサイクル材を多用するためのアルミ成分緩和、それに伴う成形技術の改善が必要と思われる。

現在、蓋と缶胴は異なる材質であるが同一材質化や、蓋も缶胴同様にリサイクル材を適用するニーズも高まっていくと思われる。

缶以外の容器としては現在使い捨てプラカップのアルミ化も進んでおり、米国ではアルミカップをスーパーボウルなどで販売、ホームパーティーなどでも利用され、2020年からかなりの勢いで販売されている。

国内飲料メーカーがPET to PETリサイクルを強力的に推進している中で、アルミニウムは現在以上にリサイクル率を上げることが必要となってくる。また、世界では脱プラからのアルミ化が高まっており、CO₂排出量だけでなく、海洋汚染の観点も考慮したアルミ缶の有用性をアルミニウム業界として示していく。

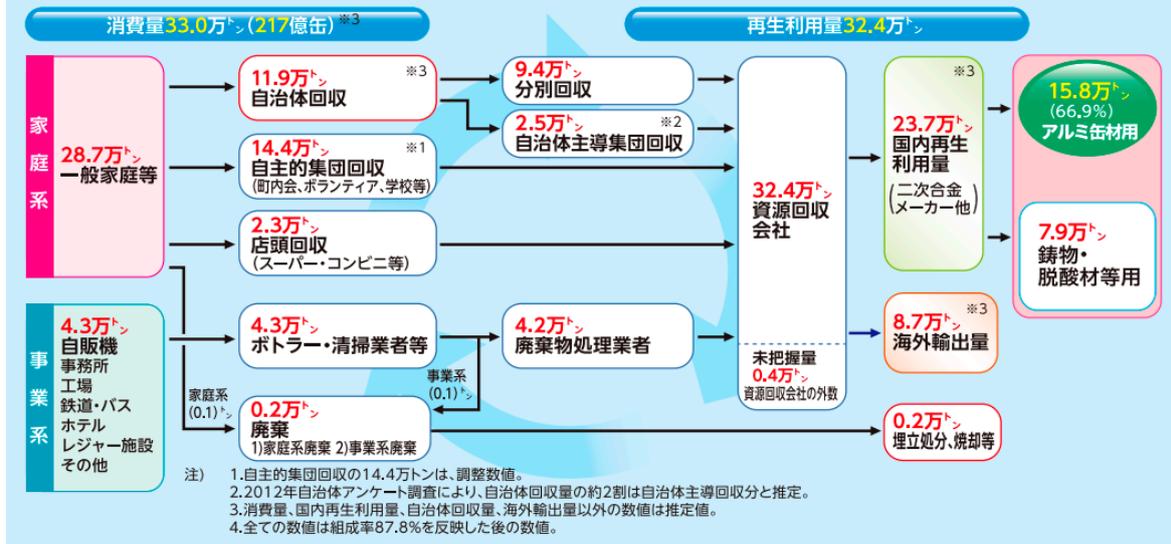
食に関しては、昨今の異常気象、台風による農作物への被害、農業従事者の減少、農作物の効率的生産、農薬使用量の低減、安全性などから、今後の農業はICT

(Information and Communication Technology)を使用した効率的な農作物の生産や、病害虫の影響が少ないLED光源を使用した野菜工場なども必要になってくる。

農業分野におけるアルミニウム材料は効率的生産のための農業機器やドローン、ICTデバイス、野菜工場における棚、架台などに使用され食の未来の一端を担っていく。

2019年度 アルミ缶再生利用フロー図

アルミ缶消費重量は33.0万トン。再生利用重量は32.4万トン(国内23.7万トン+輸出8.7万トン)。
リサイクル率は海外輸出を入れて97.9% CAN to CAN率は66.9%

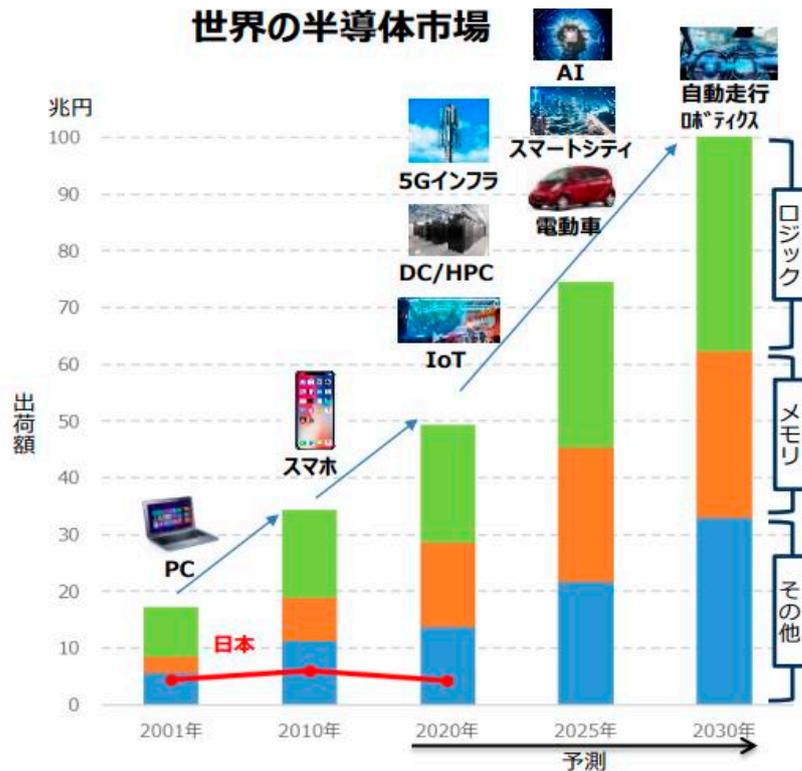


<http://www.alumi-can.or.jp/publics/index/62/>

(8) 半導体の未来

半導体は5G、DX、ICT、デジタル社会を支える基盤技術である。日本の半導体産業はかつて世界シェアの50%以上を占めていたが、近年は10%程度にまで低下している。しかし足元では、経済安全保障の観点から政府による半導体産業への支援が活発化している。日本の製造装置、素材産業の強み、デジタル投資促進をテコに、海外の先端半導体デバイスメーカーとの共同開発が推進されていく。さらに、先端ロジック半導体の量産化に向けた半導体製造拠点の国内立地が図られ、具体的には半導体製造プロセスにおける前工程での微細化、後工程での実装3Dパッケージで日本の製造装置・素材産業、産総研などと連携した技術開発が順次開始される。半導体の市場規模は2030年には100兆円となり現在の倍になると推測されている。

半導体分野の中でアルミニウム材料は生産設備の筐体などに使用され、クリーンな環境を維持する表面処理など半導体業界の成長の一端を担っていく。



https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/joho/conference/semicon_digital/0004/03.pdf

(9) 情報通信の未来

2020年よりサービスが開始された5Gは、従来に比べ飛躍的に高速大容量かつ低遅延で、同時多接続可能な通信を社会にもたらしている。その特徴を活かして、スマート工場、スマートシティ、物流自動化、遠隔医療、ロボットや建設機械の遠隔操作、エンターテインメントを始めとしたあらゆる分野への活用と新たなビジネス創出の取り組みが進められている。

さらにその次世代である6Gは、サイバー空間を現実世界と一体化させ、Society 5.0のバックボーンとして中核的な機能を担うことが期待されており、アクセス通信速度と同時接続数は5Gの10倍、コア通信速度は100倍が目標となっている。

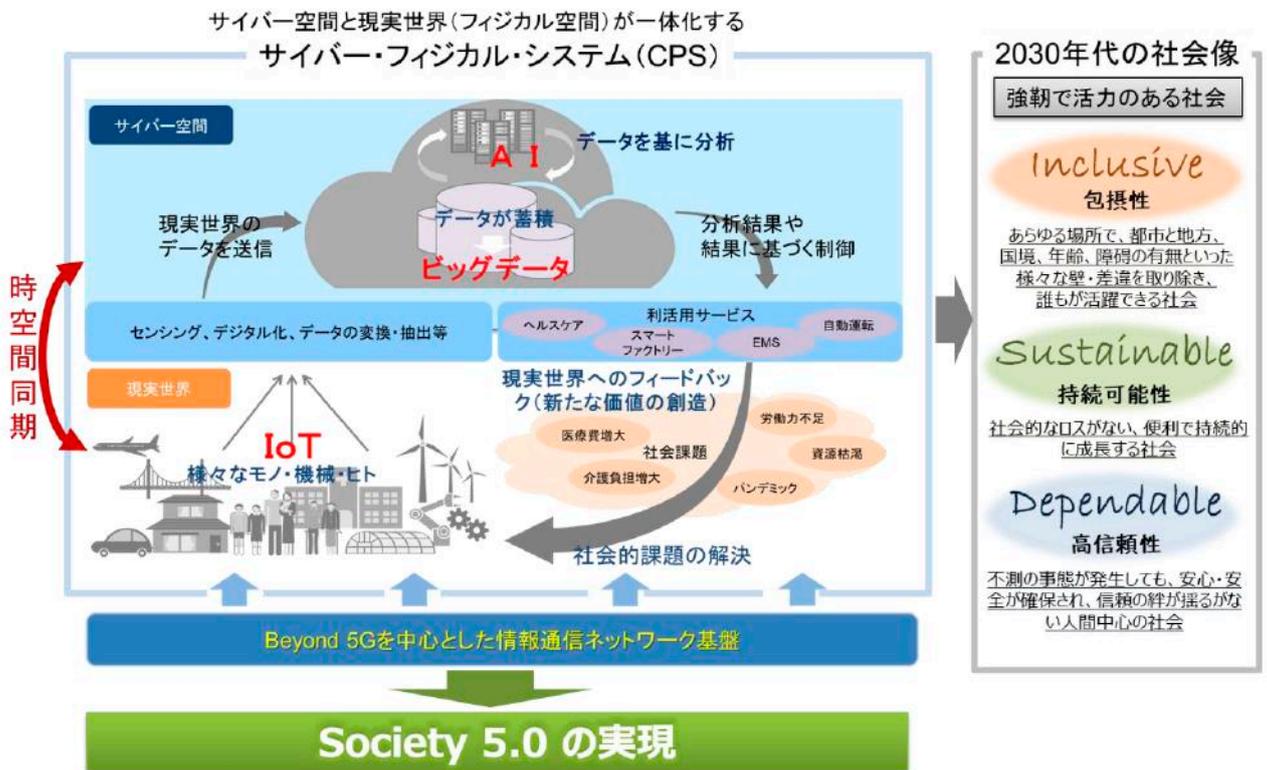
超多接続が可能となることから、ありとあらゆる場所にセンシングデバイスを設置し、同時接続することが可能となる。このことからスマートフォン、タブレットなどの従来端末だけでなく、様々なデバイスが出現するものと考えられる。さらに災害に対するレジリエンス向上や地上インフラ整備コスト削減の観点から、衛星コンステレーションを活用した通信事業計画も発表されている。これらの新たなニーズの出現により、将来的なアルミニウム合金需要の拡大が期待される。

また基地局や中継器について、現在は機能毎に専用機器が配置されているが、将来は汎用機器化とリソースの共有が進むと見込まれている。データ処理速度の高速化にともなって電子基板の熱マネジメントの重要性がさらに高まり、放熱部品としてアルミヒートシンクが、筐体部品としてアルミダイカストの需要増加が期待される。ストレージの分野では、データセンターでは引き続きアルミニウム基板を使用したハードディスクドライブが

使用されると見られる。記憶容量増加のため基板搭載枚数が増加する傾向にあり、高強度アルミニウム合金基板への期待が大きい。

「Beyond 5G推進戦略 - 6Gへのロードマップ-」の公表

(図表1：サイバー・フィジカル・システムの進展と2030年代の社会像)



https://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/01kiban09_02000364.html

(10) 医療・介護の未来

日本の人口推移(厚労省統計)によると、2025年までは特に後期高齢者数が急増すると推測されている。2000年から2015年にかけて81%増加し、2015年から2025年は33%の増加と見込まれる。一方、2025年以降2040年までは高齢者の増加は鈍化し、生産年齢人口が急激に減っていく。高齢者の数は大きく増加しないが、医療や介護費用は今後も伸びが進んでいくため、医療や介護についてどのような改革を行っていくかが重要になってくる。

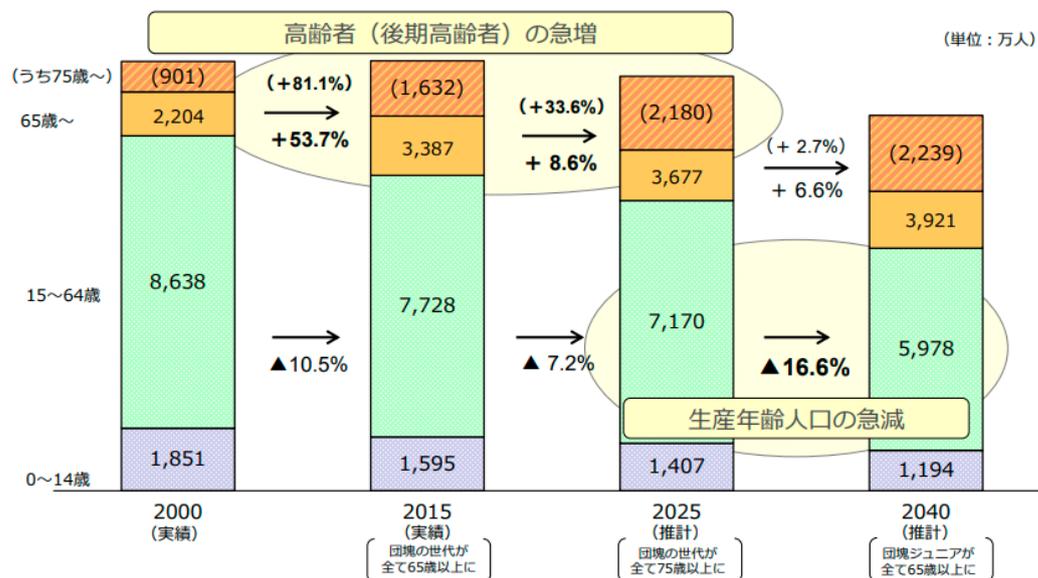
1つは高齢者の数が増えるが、働ける高齢者も増えているという事実もあり、健康寿命の延伸が重要であり、健やかな生活習慣形成、疾病予防、重症化予防、介護予防、認知症予防が必要となる。もう1つは、より少ない人手でも回る医療福祉の現場を実現することであり、医療や介護分野の生産性を高めるためには、ロボット、ICT等の実用化促進、データヘルス改革による生産性の向上が必要となる。

アルミニウム材料は健康増進器具、介護器具、ロボット、パワースーツ、ICTデバイスに使用され、医療介護の未来の一端を担っていく。

2040年までの人口構造の変化

- 我が国の人口動態を見ると、いわゆる団塊の世代が全員75歳以上となる2025年に向けて高齢者人口が急速に増加した後、高齢者人口の増加は緩やかになる。一方で、既に減少に転じている生産年齢人口は、2025年以降さらに減少が加速。

【人口構造の変化】



(出典)総務省「国勢調査」「人口推計」、国立社会保障・人口問題研究所「日本の将来推計人口 平成29年推計」

<https://www.mhlw.go.jp/content/12400000/000614048.pdf>

(11) 航空の未来

2020年度の国内航空機生産額は前年度比20.7%減の1.47兆円となった。世界的なコロナ禍により航空旅客輸送需要が激減し、航空機の製造や開発にも大きな影響があった。

日本の民間航空機産業は世界的航空機メーカーであるボーイング社等との共同開発や製造分担が主である。日本メーカー比率が約35%のボーイング787の減産とともに、2020年納入に向け生産準備作業が進められていたボーイング777Xについても、開発スケジュールが延長された。また、エアバスA320neo用エンジンであるPW110G-JMも減産されている。さらに日本にとって40年ぶりとなる国産旅客機の三菱スペースジェットの開発活動が一旦立ち止まることが発表された。このように航空業界全体が低調にあるが、ホンダジェットについては2020年も引き続き、世界で最も多く出荷された小型ビジネスジェット機となった。

防衛機分野では、現戦闘機F-2が退役を迎える2035年に、後継戦闘機として配備が期待される次世代戦闘機のための各種要素技術の研究開発が開始されることになった。また国産の大型戦術輸送機C-2や哨戒機P-1など陸海空自衛隊向け量産事業は順調に進んでいる。

その一方で、物の輸送あるいは人の移動の新たな手段として、ドローンの活用が検討されている。日本でも、経済産業省／国土交通省の声掛けで「空の移動革命に向けた官民協議会」が設立された。ここでは、ドローンによる物の輸送の実用化とともに、2020年

代には地方で、2030年代には都市部でも人の移動手段として空飛ぶクルマの実用化を目指すロードマップが示された。ベンチャー企業を含め、多くの業種の民間企業が興味を示すとともに、官でもインフラや法制度等の整備について検討が開始されている。

世界的にみると、直近のコロナ禍とともに気候変動の対策が航空輸送分野の喫緊の最重要課題となっている。国連の機関である国際民間航空機関（ICAO）では、国際航空需要が今後も伸び続ける状況を踏まえた上で、2020年以降、温室効果ガス総排出量を増加させないとするカーボンオフセット制度（CORSI A）の推進を取り決めた。さらに世界の航空交通量の82%を占める航空会社が加盟する国際航空運送協会（IATA）では、2050年までに排出量を実質ゼロ化する目標を打ち出している。コストはさて置き、ここでの前提には、CO₂排出量取引等の市場メカニズムの活用とともに現行のケロシンを用いた航空燃料をバイオマス燃料等の持続可能な代替燃料に転換することが想定されている。

航空機では初期段階から運動性能や燃費向上のため軽量化が求められ、軽量効果に優れた高強度アルミニウム合金材料が使用されている。既存の大型民間航空機の機体の約7、8割をアルミニウム材料が占めている。また三菱スペースジェットやホンダジェットなどの最新鋭の中小型の旅客機の主翼にも実績のあるアルミニウム材料が採用された。その一方で、新たな軽量材料の使用も試みられている。最新の大型民間旅客機ボーイング787やエアバスA380では、樹脂複合材の使用比率が高まった。またアルミニウム材料が主体である現行のボーイング777も、777Xへの改良にともなって主翼が樹脂複合材に置き換わることが決まった。樹脂複合材には、素材コストとともに、生産性や信頼性等の課題が指摘されていることから、内閣府革新的イノベーション創造プログラム（SIP）の「革新的構造材料」のテーマの一つとしてこれらの検討が並行して行われている。また、新たなマグネシウム材料については、その難燃性が米連邦航空局（FAA）に認められたことから、2020年以降の航空機への採用を目指して熊本大学を中心に研究開発が精力的に進められている。

2050年のカーボンニュートラルに向け、市場メカニズムの活用や代替燃料への転換が取り組まれる中、機体の軽量化の要求はさらに強くなるものと想定される。そのため、個々の素材の特性向上や生産技術の改良とともに、最適設計による航空機体のマルチマテリアル化の検討も自動車と同様に不可欠と考えられる。新構造材料技術研究組合（ISMA）では、マルチマテリアル化の検討を中核的な課題と位置付け、総合的な取り組みが引き続き進められている。このような中であっても、航空機分野において信頼と実績のあるアルミニウム材料は今後も主要な役割を果たしていくことが期待される。

（12） 宇宙の未来

新型コロナウイルス感染症の影響により厳しい状況にあった2020年度も、官需を主とするわが国の宇宙機器製品の生産総額は0.3兆円強で推移している。わが国の基幹ロケットであるH-IIが3機打ち上がるとともに、小惑星探査機「はやぶさ2」は小惑星「リュウグウ」で採取したサンプルを納めたカプセルを無事に帰還させることに成功した。また、H-IIから引き継がれるH3ロケットも打ち上げに向けた準備が進められている。一方で、

宇宙基本計画が5年ぶりに改定された。宇宙機器産業の事業規模として官民合わせて10年間で累計5兆円とする目標が継続記載された。ここには日本独自の宇宙の探査や活用の計画とともに、国際宇宙探査協働グループの一員として、米国NASAが主導する月周回有人拠点（ゲートウェイ）の建設を含む有人月面長期探査やその先の有人火星着陸を目指すアルテミス計画へ参画するための予算も含まれている。

宇宙産業には情報通信を中心とした宇宙利用産業と、衛星やそれを打ち上げるためのロケット、地上管制装置などを製造する宇宙機器産業に分けることができる。2040年に向け宇宙利用産業の領域は、弾道軌道や低軌道から中高軌道、月周回軌道、月面、さらに火星など月以遠へ拡大することが期待されている。宇宙空間における無重力体験ツアーが始まるとともに、米国スペースX社では、低軌道に投入する1万機を超える人工衛星を組み合わせた衛星インターネット接続のサービスである「スターリンク」プロジェクトが進められている。このプロジェクトでは最大4万2千機の人工衛星を自前で宇宙へ打ち上げることが計画されている。一方、宇宙機器産業は、上記宇宙利用産業の要求に応える関係にあり、宇宙への人や物の輸送頻度や量が飛躍的に増加すると、宇宙機器の国際競争が激化することになる。代表的な機器である打ち上げ用ロケットでは、当然、安全性や信頼性の確保が最も重要であるが、特に民間利用ではコスト低減も大きな課題となっている。官主導のわが国の基幹ロケットの開発においても次期H3ロケットでは打ち上げ費を現在運用中のH-IIA/Bロケットから半減することを目標としている。これでも国際価格競争力としては不十分であることから、将来計画では2030年までに第1段ロケットを再利用することで、打ち上げ費をさらに半減、2040年までにさらに1/5とし、最終的に現状の米国民間ロケット並みの打ち上げ費を目指すとされている。そのために構造の見直しとともに、小型・軽量・高性能なロケットエンジンの開発を含めたロケット自体の軽量化が図られている。その一方で、搭載する衛星の小型・軽量化、さらに必要最低限の性能を確保した超小型衛星を開発することで、一回の打ち上げで軌道投入できる衛星の数を増やす形で単価を下げる取り組みも国内で進められている。宇宙空間では寒暖の差が著しくかつ放熱し難いため、衛星の多機能化や高性能化とともに特に小型化において装置内の温度制御も大きな課題となる。そのため、比強度とともに、ますます熱特性にも優れた低コスト素材が求められることになる。

アルミニウム材料は軽量で溶接を含めた加工性や低温特性に優れ、さらに比較的lowコストであることで、これまでもロケットの接合部材や液体燃料タンク、宇宙ステーションの実験棟などの構造体等に使用されている。現在、宇宙機器に利用する国内アルミニウム材料生産額は数億円程度と他の製品用途と比較すると著しく少ないが、日本でも既述した宇宙基本計画あるいは宇宙旅客輸送協議会が描く未来の宇宙関連産業の姿は、多種多様でそれぞれ大きく発展・成長することが示されている。非磁性であるアルミニウム材料はさらなる熱特性の向上で、例えば衛星の小型化に、また型材やポーラス材等による衝撃吸収能の向上で、軟着陸用の脚システム等への適用が検討されている。将来成長が期待される宇宙利用市場で求められる様々な素材特性に応えることで、アルミニウム材料の需要も拡大していくことが期待される。

(13) 鉄道車両の未来

1962年山陽電鉄に日本で初めてアルミニウム合金製車両が導入されて60年が経過し、その軽量性、耐食性、リサイクル性が鉄道関係者に広く認識されている。昨今では毎年製造される車両の約60%がアルミニウム合金製車両を占め、今後も通勤車両から新幹線車両まで幅広く普及することが期待される。

新幹線車両は2020年に新型のN700S量産車が営業運転を開始した。荷棚材には700系の廃材によるアルミニウム押出材が使用されており、高速鉄道では世界初の新幹線から新幹線への水平リサイクルが実現したことで話題を呼んでいる。

整備新幹線のうち、北陸新幹線（長野-金沢間）、北海道新幹線（新青森-新函館北斗間）、九州新幹線（長崎ルート）にもアルミニウム合金製新幹線車両が導入されて運行しているが、今後、北陸では敦賀、北海道では札幌に延伸する計画である。また、海外の国産高速車両にもアルミニウム合金が使用されており、台湾、英国に続き、今後は米国、インド等多くの国に使用される予定である。

さらに、超電導磁気浮上方式のリニア中央新幹線にはアルミニウム合金製車両が導入されており、2027年に東京-名古屋間で先行開業予定である。東京-大阪間の全線開業は2045年を予定している。

鉄道車両においてもカーボンニュートラルを目指しての脱炭素化の動きが今後加速する。軽量性、リサイクル性を活かしたアルミニウム合金製車両の採用に加え、エネルギー関係において、燃料電池やバイオ燃料、さらには水素燃料で走行する気動車への新たなアルミニウムの適用が期待される。

Ⅲ-2 アルミニウム需要統計

(1) 現状整理

- ① 図1に世界の新地金生産量と日本のアルミニウム総需要の推移を示す。2009年日本の総需要は、リーマンショックにより過去にない落ち込みとなった。その後回復基調にあり、リーマンショック前のレベルに戻りつつあったが、2019年コロナ禍の影響から需要が若干落ち込んだ。世界の新地金生産量は堅調に伸びており、全世界のアルミニウム消費量は今後も増加が予想される。
- ② 図2に主要国のアルミニウム消費量推移を示す。国全体では、日・米・ドイツは2000年以降停滞状態であるが、中国は大きな伸びを示している。一方、人口1人当たりでは、ドイツが2010年以降トップであるものの最近下降している。日・米は2010年以降回復している。中国は2000年以降著しく増加し、日・米・ドイツと並ぶ消費量となった。
- ③ 図3は用途別の需要推移を日米で比較したものである。その他を除く上位4用途は、日本は、輸送、金属製品、建設、食料品、米国は、輸送、容器包装、建設、輸出である。輸送関係が共通してトップであり、他用途に大差をつけている。日本の金属製品、建設と食料品はほぼ同程度である。金属製品は高品質であることが需要を押し上げているものと思われる。米国の第2位は容器包装である。アルミニウム製容器の大量消費によるものと思われる。

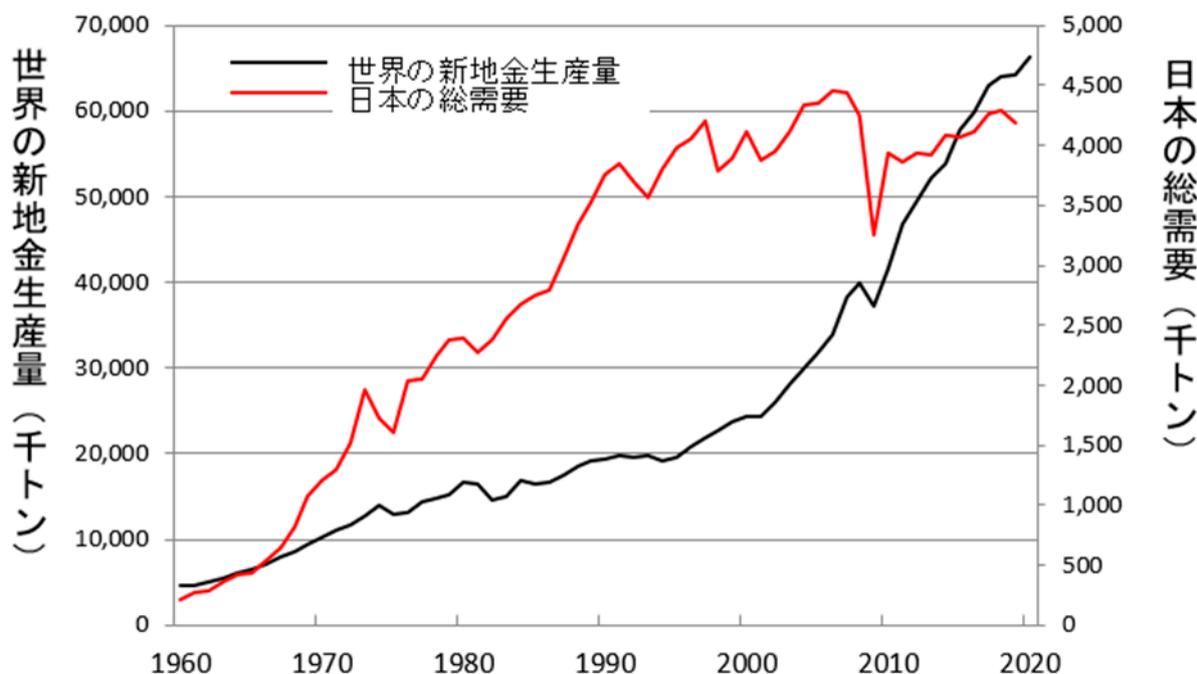


図1 世界の新地金生産と日本の総需要

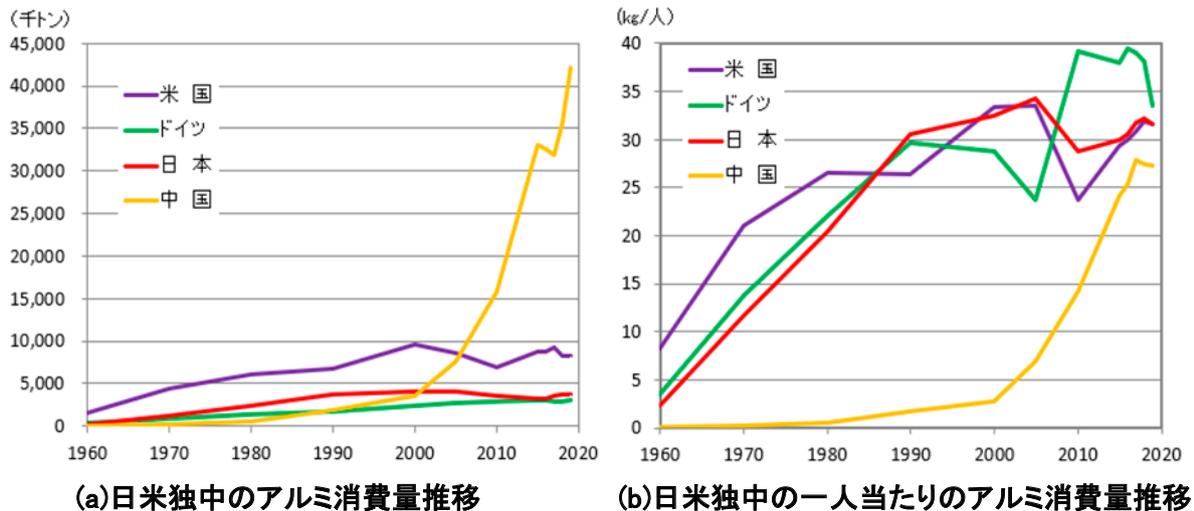


図2 アルミニウム消費量の日米独中の比較

出典: Metal Statistics World population prospects, 世界人口白書、総務省統計

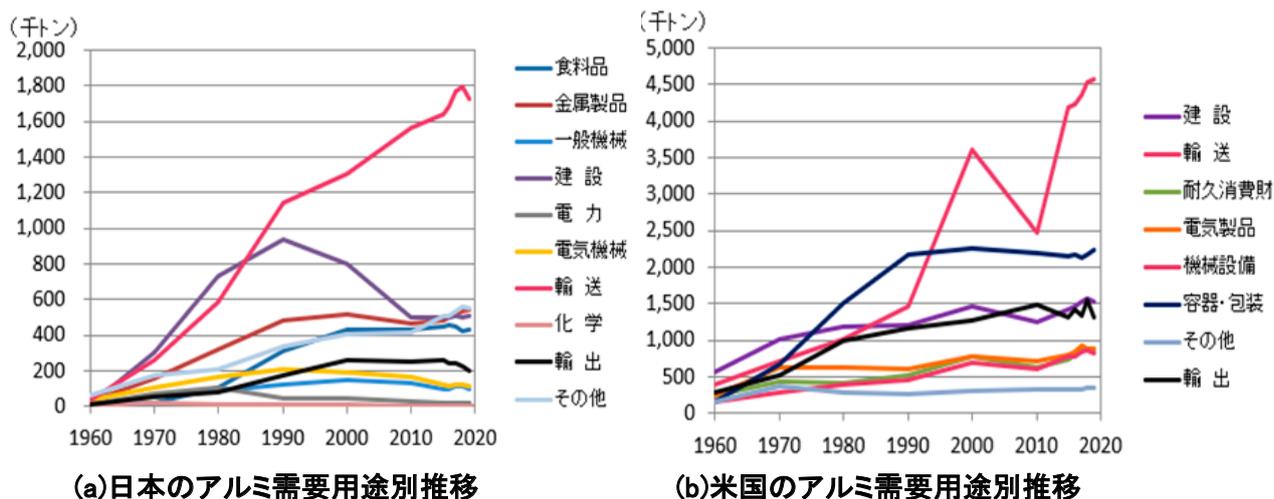


図3 日米のアルミニウム需要用途別推移

出典: 日本アルミニウム協会統計年表、米国アルミニウム協会統計年表

④ 日本は、これまでも多くの世界品質No. 1製品やオンリーワン製品を生み出してきたが、そのいくつかを紹介する。

《世界品質No. 1、オンリーワン製品》

アルミ熱交換器、高速鉄道車両、PV電極、バックシート、LiBケース・正極、アルミ缶、HD基板、アンテナ、電波方式個体認識(RFID)、感光ドラム、アルミ自動車ボディ(パネル、骨格部材、バンパー)・サスペンション部材、LNGタンカー(アルミタンク)等

(2) 今後への期待

地球温暖化対策のために、各国が2050年カーボンニュートラルに向けた様々な施策を行う中、日本のアルミニウム産業は、世界をリードする独自の材料技術や加工技術により、リサイクル関連の技術開発を促進する必要がある。資源輸入国であるわが国にとって、資源の有効活用による輸入資源の減少にもつながることであり、今後への期待は大きい。

Ⅲ-3 未来に向けたアルミニウム産業の技術開発の基本戦略

(1) 脱炭素・資源循環社会の実現を目指した技術開発

わが国では大量の電力を消費し、かつCO₂の直接排出量も多いアルミニウムの製錬事業から撤退した。その結果、日本のアルミニウム産業は原料である新地金を全面的に海外に依存し、地金価格の変動リスクを構造的に抱えてきた。銅、亜鉛、マグネシウム、マンガンなどの添加金属も輸入に頼るため、価格の高騰、枯渇の懸念、あるいは産出国の政治的・経済的動向など調達上の不安定要因が内在している。

加えて直近では、国内外関係なくライフサイクル全体を通じた脱炭素化が喫緊の課題となっている。特に国内でスクラップをリサイクルしてアルミニウム製品に再生することは、脱炭素化を進める上で非常に効果的な解決策である。現状では、鑄造材へのリサイクルは進んでいるが、展伸材へのリサイクルはアルミ缶やサッシなど一部に留まる。展伸材はリサイクルの際に混入する異種金属に対して許容度が低いため高精度な選別が必要となるが、大量に流通する合金種でなければ経済的に成立しにくいという事情がある。社会の脱炭素化に向けた動きの中で、アルミニウムは軽量構造材料として輸送分野を中心に今後需要の高まりが予想される。特に展伸材の使用量が伸びて行くことから、その原料となるスクラップの確保も今後重要な課題となる。

このような背景から、『展伸材スクラップを展伸材に』更には『鑄造材を展伸材に』リサイクルする技術の開発が求められており、それには次の3つの技術革新が必要となる。

- ① 固体段階での選別（スクラップを合金組成毎に分ける）
- ② 溶融状態での不純物除去（選別したスクラップから有害元素を取り除く）
- ③ 不純物の存在を前提とした加工（有害元素を無害化する加工・熱処理・成形技術）

日本アルミニウム協会は、これらの技術の開発および実用化を推進し、展伸材における再生材使用率を2030年には30%、さらに2050年には50%とすることを目指している。そのための取り組みとして、2019年から2年間、国研、大学および軽圧各社と共同でNEDO先導研究（Ⅲ-4に記載）を行っている。その終了後、引き続いて2021年から国家プロジェクトによる後継研究に取り組んでいる（Ⅲ-4に記載）。リサイクル技術の研究開発は今後ますます社会的な重要性を増す。企業はもとより大学、国公研の多くの研究者に参画頂くことを期待するものである。日本アルミニウム協会は、本ロードマップほか種々のチャンネルを通じて推進に向けた情報発信を継続して行っていく所存である。

(2) アルミニウムの需要拡大を目指した研究開発

今後の需要拡大の点では自動車、鉄道、航空機など輸送機器分野への期待が大きい。アルミニウムは車体・機体の軽量化に大きく貢献することができる。輸送機器に次いで需要の多い建設分野では、例えばアルミニウムの優れた耐食性により建造物のメンテナンスの負担を軽減することができる。アルミニウムの持つ高い熱伝導性は、高性能な熱交換器・放熱器を実現し、今後未利用熱の活用などの用途での採用が期待される。導電特性の面では、LiBの集電体や自動車のハーネス、コンデンサーの電極などに用いられる。アルミニウムは多様な価値の提供が可能であり、用途に合わせ機械的あるいは機能的特性をさらに高める技術開発に継続して取り組む。

また、今後はこのような製品用途に直接結びつく特性だけでなく、アルミニウムの持つ優れた環境調和性が重要視される機会が増えると考えている。アルミニウムはマテリアルリサイクルが可能な材料である。マテリアルリサイクルは、廃棄物を熱源としてあるいは化学的に分解して原料物質として再利用するのではなく、素材のまま再利用するものであり、地下資源とエネルギーの消費量を低減し持続可能性に優れるリサイクル形態である。近年、アルミニウムのこのような特性が見直され、飲料容器においてPETボトルからアルミ缶に回帰する動きが欧米を始め日本でも起きている。また、自動車や鉄道車両においても、使用後の廃棄物リサイクルへの関心が高まっており、このような潮流は広範な用途分野に拡大するものと予想する。持続可能な社会の実現に貢献すべく、リサイクル材をベースとした合金設計・加工技術の研究開発を推進していく。

(3) 人材育成の強化

日本のアルミニウム産業は、高性能・高付加価値製品の提供を可能とする優れた技術力を競争力の源泉としてきた。今後もこの高い技術力を維持・深化させていかなければならない。そのための課題は人材の確保と技術の継承である。

日本アルミニウム協会では2010年度より「アルミニウム産業中核人材育成講座」を開講し若手技術者の育成に取り組んでいる。このプログラムは、大学の学問とアルミニウム産業の製造技術の融合、材料系学問と機械系学問の融合、そしてアルミニウム企業間の技術の融合という3つの融合により完成したものであり、企業の中堅研究者・技術者を対象に材料と加工プロセスの両面から系統的な教育が行われている。

次代を担う学生・研究生を対象とした人材育成としては、2011年度から9年間にわたり「アルミニウム・夏の学校／初春の学校」を関東・関西の2か所で開催した。講師に企業の若手技術者を起用し、学生が企業の技術者と直に討論することでアルミニウム産業に興味を持ち理解を深める機会とした。このほかにも、大学からのインターンの受け入れや企業から大学へ講師を派遣しアルミニウム産業・技術を講義する特別出張講座（2006年度～）などを実施している。

また、大学、国公研の研究者に対して、アルミニウム関連研究課題に対して研究助成を行っている（若手研究者：2年間、教授または准教授：数年間）。

直近3年間の活動実績をⅢ-5節に記載した。今後も引き続きこのような活動を通じてア

ルミニウム産業の将来を担う人材の裾野を広げていく所存である。

Ⅲ-4 アルミニウム産業の未来に向けた技術開発の進捗状況

(1) アルミニウムの材料技術開発（組織制御）

①科学技術振興機構（JST）産学共創基礎基盤研究プログラム

「革新的構造用金属材料創製を目指したヘテロ構造制御に基づく新指導原理の構築」

期間	研究課題	主な研究者(敬称略)
2011 ～2013	鉄を活用した新規ナノヘテロ構造アルミニウム合金の創製と3D構造解析	里：東工大
2011 ～2015	超微細粒強化と時効析出強化を並立させる新規アルミニウム合金展伸材の開発とその合金設計指導原理の確立	廣澤：横国大、 寺田：千葉工大、 堀田：九大、 松田：富山大
2014 ～2019	水素分配制御によるアルミニウム合金の力学特性最適化	戸田：九大、 山口：原研、 松田：富山大
2015 ～2017	協調的粒界すべりのすべり群サイズの決定機構（超塑性変形速度向上の指導原理）の解明	佐藤：宇宙研、 鵜飼：北大
2016 ～2019	ヘテロ凝固機構により高造形性・高強度を実現する積層造形用金属粉末の開発	渡辺：名工大、 中野：産総研、 鈴木：早大
2016 ～2019	階層的マルチヘテロ構造の創出によるアルミニウム合金の多機能化とその指導原理の解明	芹澤：芝浦工大、 石崎：芝浦工大、 阿相：工学院大、 高田：名大

②強歪加工プロセス開発によるブレークスルー（堀田：九大、向井：神戸大）

- ・溶解／ダイキャストプロセス
- ・押出プロセス～捻り押出 ・圧延プロセス～溝圧延
- ・強歪せん断～E C A P（Equal Channel Angular Pressing）、H P T（High Pressure Torsion）など

③外部力による組織微細化

- ・急速冷却 ・電磁力 ・超音波

④半熔融技術の活用

半熔融技術の活用による高性能材料開発の可能性を探索する。

- ・チクソ・ランナーレス射出押出技術組織制御（三輪：産総研）
- ・展伸材D-SSF（里：東工大）Fe1%含有高強度材の組織制御

(2) アルミニウムの生産技術開発（プロセス）

①新溶解鑄造法の開発

省エネと溶解ロスの低減を目指した、新たな溶解法と非金属介在物ゼロを目指した新たな耐火物コーティング技術を探索する。

- ・ 炉の省エネ：1/5～1/20にする。
- ・ ドロス低減溶解：1/5～1/10にする。
- ・ 耐火物コーティング技術：非金属介在物ゼロ

②他の材料との融合

他材料との融合により高機能、新機能の発現を目指すとともに、低コスト化を探索する。

- ・ 複合材料
 - ・ アルミ粉末とカーボンナノチューブ（CNT）：強度3倍・高熱伝導性
 - ・ アルミニウムと樹脂（接合）
 - ・ アルミニウムと異種金属（接合）
- ・ 摩擦攪拌接合（FSW）での異種材料接合

③連続プロセス化

双ロールキャスターによるFe、Mn含有率増加合金の実用化（熊井：東工大）を目指す。

（Fe無害化、高強度化）

2019～2021年 NEDO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」に採択。

2021年～ 国家プロジェクト「アルミニウム素材の高度資源循環システム構築事業」に採択。

④アルミニウムの安定ソース確保

低コスト原料の安定確保を目指して、新製錬法開発に向けた探索を行う。

- ・ 極低酸素雰囲気によるアルミニウム直接還元（池田：産総研）JAA2008年
- ・ イオン液体によるアルミニウム製錬（野平：京大、津田：大阪大）

⑤リサイクル合金選別技術

展伸材から展伸材へのリサイクル技術開発に取り組む。

アルミニウム新リサイクル技術開発事業 JAA2009年 NEDO事前研究

2010～2012年 NEDO実用化開発研究実施

2014～2015年 省エネ型アルミ水平リサイクルLIBSソーティング実証事業として経済産業省事業に採択

2016～2018年 「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」としてNEDO（国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）のアジア省エネルギー型資源循環制度導入実証事業に採択。

2019～2021年 NEDO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」に採択。

⑥3D積層造形技術への対応

近年、鑄型を必要とせず、中空構造や複雑な構造物を一体成型できる金属粉末3D積層造

形技術の発展が著しい。アルミニウム合金粉末を原料として複雑形状のアルミニウム製品が作製できれば、アルミニウムの用途拡大が見込まれる。今後、3D積層造形に対応可能なアルミニウム合金粉末の開発、上記造形法による製品の特性・信頼性評価の必要性が出てくるものと予測される。

(3) 大型国家プロジェクトへの参画

公募機関	事業名	期間	研究課題
経済産業省	革新的構造材料等技術開発 (ISMA)	2014 ～2020	高強度・高靱性アルミニウム合金の開発
			アルミニウム材料新製造プロセス技術開発
			鋼材／アルミニウムの接合技術の開発
			アルミニウム／CFRP接合技術開発
	エネルギー使用合理化技術開発補助金	2014 ～2015	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
NEDO	省エネルギー革新技術開発事業	2009	アルミニウムリサイクルの新プロセスの事前研究
		2010 ～2012	アルミニウム資源循環における超省エネルギー次世代プロセスの開発
	アジア省エネルギー型資源循環制度導入実証事業	2016 ～2018	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
	先導研究	2018 ～2020	エクセルギー損失削減のための熱交換・熱制御技術
		2021 ～	表面・構造機能化による新概念熱物質交換器開発
		2019 ～2021	アルミニウム素材の高度資源循環システム構築
	国家プロジェクト	2021 ～	アルミニウム素材の高度資源循環システム構築事業

(4) アルミニウム業界進化のための技術探索

性能向上や新規機能を付加しアルミニウム材料の進化を目指した技術探索を行う。

- ①機能材：熱伝導性、電気伝導性、非磁性、光反射性、化学的腐食性、ガスバリアー性（水蒸気、水素、・・・）など
- ②機能性発現：ナノ、生体融合、光物性など
- ③材料融合：ナノ材料、セラミックス、プラスチック、異種金属など

Ⅲ-5 人材育成・社会への仕掛け

アルミニウム材料立国を支える、新教育システムの構築と実施

○ 日本アルミニウム協会：「アルミニウム産業中核人材育成講座」開講

2019年度

- ①溶解鋳造：安田：京都大学、9月4日～6日、19名参加
- ②熱処理：熊井：東京工業大学、9月17日～19日、18名参加
- ③材料の強度-強化メカニクス：渋谷：大阪大学、7月12日～13日、27名参加
- ④加工(圧延・押出)：吉田：岐阜大学、9月25日～27日、19名参加

2020年度

コロナの影響で中止とした。

2021年度

- ①溶解鋳造：安田：京都大学、8月30日～31日、26名参加
- ②熱処理A：熊井：東京工業大学、9月9日～10日、17名参加
- ③熱処理B：廣澤：横浜国立大学、9月2日～3日、25名参加
- ④材料の強度-強化メカニクス：渋谷：大阪大学、7月16日～17日、17名参加
- ⑤加工(圧延・押出)：吉田：岐阜大学、9月28日～29日、31名参加

コロナ対策のためWeb開催とした。

熱処理の講座は希望者が多いため、同一内容で2講座開講した。

○ 日本アルミニウム協会：「アルミニウム・夏の学校」開催

2019年度

- ①中部地区：名古屋、2020年1月17日、4大学、学生17名参加
 - ②関東地区：東京、2020年1月9日、6大学、学生13名参加
- 学生に参加しやすくするため、8月から1月に開催時期を変更した。
中部地区の学生に参加を促すため、関西から中部に開催地区を変更した。

2020年度

開始から10年の区切りにあたり、一定の成果はあったことから本事業は終了とした。

○ 日本アルミニウム協会：「特別出張講座」開講

富山大学「先端材料工学講座」

2019年度：10月3日～1月23日の各木曜日に全13回開催

2020年度：10月8日～1月28日の各木曜日に全13回開催

2021年度：10月7日～1月27日の各木曜日に全13回開催

他大学

2019年度：大阪大学、名古屋工業大学、東北大学で開催

IV. アルミニウム技術戦略ロードマップの解説

IV-1 ロードマップ作成のコンセプト

アルミニウムが、将来に亘り社会の一翼を支える材料であり続けるための技術開発の戦略とその実現に向けた道筋（ロードマップ）を作成した。2009年版を初版として、日本アルミニウム協会の専門委員会において定期的に見直しを行っている。

アルミニウムは、今後も高度化するニーズに対応し軽量化構造を実現する高強度・高靱性／高成形性素材である必要がある。脱炭素化の面からは、新地金に替えてCO₂排出量の少ないリサイクル材を主要な原料とし、製品の廃棄後もリサイクルされて資源が完全に循環する素材となることも不可欠である。そして、完全循環型素材であることを背景に、アルミニウムの持つ様々な優れた特性を活かした製品を社会に送り出し、安全・安心社会の実現に貢献することを目指している。そのための技術開発のシナリオを、次の3つの大きな柱を軸にしてロードマップに展開した。

① 材料技術・組織制御技術・加工技術の確立

使われる目的に最適な金属組織を、事前にその組織を設計し、その設計どおりに製造できるプロセスを確立する。合金の設計においては、添加元素として将来的に枯渇や供給に懸念がある元素あるいはリサイクルを阻害する元素の使用量を削減し、組織制御・加工技術の向上で材料特性を確保する。

高強度材としては、2050年以降において、展伸材で引張強さ1,000MPa、伸び10%以上を目指す。

② 資源生成・循環技術の確立

アルミニウムにおいて脱炭素化を実現するためには、資源生成(スクラップの再資源化)・循環技術の確立が不可欠である。純度の低い組成である鑄造材スクラップから、純度の高い組成である展伸材へのリサイクルを可能にする必要がある。技術開発のカギは、個体での選別、熔融状態での不純物除去、不純物存在下での加工技術である。それにより、スクラップおよび製品の需給に応じて環境負荷の低いアルミニウム製品を持続的、安定的に供給することが可能になり、脱炭素社会・循環型社会に大きく貢献する。

③ 利用拡大技術の確立（アルミニウムの高性能化と新機能の発現）

国内でのアルミニウム需要の拡大には、新しい需要分野の開拓が不可欠である。その需要拡大には、アルミニウムの高性能化と新機能の発現が必要である。アルミニウムを構造材料の第一選択素材とするために、品質と高付加価値と低コストを併せ持つ、革新的なものづくり技術を確立する。その結果として、2050年で180万トンの需要増（総需要602万トン）を設定する。

このアルミニウムの将来像を実現するために、大分類をさらに要素技術まで分類しそれを確立するロードマップを検討した。

図4、図5に全体のコンセプト図を示す。

アルミニウム技術戦略ロードマップのコンセプト

アルミニウムを軽量構造材料のファーストチョイスに！
アルミニウムをNo. 1 エコマテリアルに！
アルミニウムを機能材に！



図4 アルミニウム技術戦略ロードマップのコンセプト

アルミニウムで創る脱炭素・循環型社会

アルミニウムの完全な資源循環の実現

実現に向けた課題

～不純物存在下での展伸材加工技術の開発～



図5 アルミニウムで創る脱炭素・循環型社会

IV-2 アルミニウム技術戦略マップ（別表1）

今後のアルミニウム産業の研究開発を推進するに当たり、戦略目標、社会的要求、技術的要求、要素技術、技術開発の出口としての製品・用途について俯瞰的にまとめた。

戦略目標および特性

- ① 他材料からの代替ではなく、アルミニウムを軽量構造材料のファーストチョイスにするため、高強度、高成形性の両立や高強度化を進め薄肉・軽量化によりCO₂排出削減を図り脱炭素社会に寄与する。
- ② 全ての材料の中でNo.1エコマテリアルとしての地位確立のため、展伸材の再生材利用率の増加による資源循環を強化するとともに、近い将来枯渇が懸念される、またはリサイクル時に除去しにくい合金添加元素（Mn、Zn、Cu等）の低減により、循環型社会の実現に寄与する。
- ③ 熱伝導性や耐食性、光学特性、抗菌・抗ウイルス性、耐低温特性、表面処理性、放射線遮蔽性等の性能向上と新たな機能探索により、アルミニウムの利用拡大を目指す。

社会的要求・技術的要求

脱炭素社会の実現、循環型社会の実現、安全安心快適社会の実現への貢献

- ① 製品の軽量化、製造・加工プロセスの省エネ化、製造のDXによる脱炭素社会の実現
- ② アルミニウム素材高度資源循環システムの構築、リサイクルしやすくするための合金添加元素量の低減
- ③ 長寿命化、高機能化、抗菌化、抗ウイルス化などによるニューノーマル時代への対応

要素技術

大分類として材料技術・組織制御技術・成形加工技術、資源循環技術、利用拡大技術とし、各分野において新たな要素技術の開発を目指す。

材料・組織制御技術・加工技術：ナノテクノロジーを応用した組織制御技術、巨大歪加工、急冷凝固、半熔融凝固などを利用した新プロセス技術の開発

資源循環技術：展伸材から展伸材へのリサイクルプロセスの確立を目指した回収技術、再生技術の開発

利用拡大技術：新製品、新用途開発を目指し、接合、表面処理、成形加工法など新たな製品技術の開発
導電性、耐食性、耐熱性、光学特性、放射線遮蔽性、伝熱性の向上と新たな機能性探索

製品・用途

新たな技術開発を推進、アルミニウムの軽量性と機能性を活用した新製品、新用途を提案し、利用拡大を目指す。

Ⅳ-3 アルミニウムビジネスロードマップ（別表2）

ユーザーヒアリングや他分野のロードマップ等を参考に、製品の分野毎に予想される用途開発や新製品開発のシナリオを2050年までの時間軸上に設定した。また、アルミニウム素材の製造プロセスやリサイクルシステムの技術開発についても、シナリオを示した。

Ⅳ-4 アルミニウム要素技術マップ（別表3）

アルミニウム要素技術の大分類、中分類、小分類をさらにキーテクノロジーまで細分化し、アルミニウムビジネスロードマップに取り上げた製品や用途との関係を明確に示した。

製品、用途に適した材料の開発や、プロセス開発において、必要とされる関連技術に○印をつけ、関連技術の中で上記各開発の推進に対し、特に期待が高い技術に◎印をつけて関連付けた。

Ⅳ-5 アルミニウム技術ロードマップ（別表4、5、6）

技術ロードマップの左欄より要素技術を大・中・小分類に分解し、それぞれの技術開発シナリオを2050年までの時間軸上に設定した。各要素技術について、上段（黄色の枠内）に目指す姿、下段に実現のための手段および実行すべき主な研究開発テーマを記し、その期間を矢印で示した。

Ⅳ-6 アルミニウムサイエンスロードマップ（別表7、8、9）

技術ロードマップ（別表4、5、6）の左欄に挙げた要素技術に対して、個々の技術開発を支えるサイエンスとその行程表を示した。

前回（2020年版）、参考資料として巻末に収録していたものを、今回の改訂に際して技術ロードマップとの関連性が見える形に整理し内容も見直したものである。作成に当たっては、（一社）軽金属学会（研究委員会）に全面的に協力頂いた。