

アルミニウム技術戦略ロードマップ

2018



一般社団法人 日本アルミニウム協会

序文

年初に出された内閣府の国内の経済見通しでは、海外経済が回復する下で、輸出や生産の持ち直しが続くとともに、個人消費や民間設備投資が持ち直すなど民需が緩やかに改善しつつあることが示されている。さらに「平成30年度の経済財政運営の基本的形態」として、国内600兆円経済の実現を目指し、少子高齢化に抗した「生産性革命」と「人づくり革命」を2020年度までの最重要課題として取り組んで行くことが示されている。具体的には、「生産性革命」を実現するために“IoT、AI、ロボット”等を活かした「Society 5.0」に向けたイノベーションの先取りに傾注し、そのイノベーションの拠点となる大学を改革していくこととされている。

一方、アルミニウム産業は、世界のアルミニウム地金の過半数を生産する中国の動向とともに米国の保護主義的政策や北朝鮮などの地政学的リスクへの懸念はあるが、国内アルミニウム総需要はここ数年連続して400万トンを超える高い水準を維持している。また、2020年の東京オリンピック・パラリンピック開催に向け国内のアルミニウムの需要の伸びも期待されている。

日本アルミニウム協会では、国内のアルミニウム産業が持続的に発展するために、循環型社会、低炭素社会や安全安心快適な社会の構築に貢献するアルミニウムの技術戦略が必要であること、また、この実現のために企業間サプライチェーンはもとより、関係官庁や研究拠点となる大学との中長期的な連携が重要との認識に至った。そこで、学側を中心とした一般社団法人軽金属学会と協力して、リーマンショック直後の2009年に「アルミニウム技術戦略ロードマップ」を策定し、当協会が考えるアルミニウムの将来の姿やその実現に向けたマイルストーンを公開した。その結果、ここでの内容の一部は政府の産業政策の「アクションプラン」に取上げられるとともに、国家プロジェクトの選定などの参考資料としても活用いただいている。

当協会では引き続き、社会環境の変化や新技術・新製品の開発の進展に応じたロードマップの見直しを定期的に行っている。今回も第一線で活躍するアルミニウム関連若手研究者を中心とした「ロードマップ小委員会」にて検討を重ね、改訂版としての「アルミニウム技術戦略ロードマップ2018」を策定した。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。

平成30年4月27日

一般社団法人 日本アルミニウム協会
会長 岡田 満



目 次

I. 概説	3
II. アルミニウム産業の現状と取り巻く課題	6
II-1 日本の社会・産業界の動き	7
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	10
III-1 市場の動向・マーケティング	10
III-2 アルミニウム需要統計	19
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	21
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	23
III-5 人材育成・社会への仕掛け	26
IV. アルミニウム技術戦略ロードマップの解説	27
IV-1 ロードマップ作成のコンセプト	27
IV-2 アルミニウム技術戦略マップ	29
IV-3 アルミニウムビジネスロードマップ	30
IV-4 アルミニウム要素技術マップ	30
IV-5 アルミニウム技術ロードマップ	30
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）	31
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ル一覧表）	32
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）	34
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ルの一覧表）	35
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ルの一覧表）	36
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ルの一覧表）	37
ロードマップ作成小委員会委員名簿	38
（別資料）	
●開発目標値の設定	39
●技術キーワード個別ロードマップ	42
（補足資料）	
●2017年度、2018年度アルミニウム研究助成テーマ一覧	62

I. 概説

今後のアルミニウム産業の研究開発の方向性を示すため、2009年、社団法人日本アルミニウム協会としてロードマップを発行した。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、研究開発の出口・目標とそのため取り組み状況について、常に最新の情報を提示し続けるため、定期的に見直しを行っている。今回は初版発行から10年目に当たり、前回から2年間のアルミニウム産業を取り巻く環境の変化、技術開発テーマの進展などを新たに盛り込んだ。

その間、日本の産業界は世界的な景気回復や政府の経済政策を背景にリーマンショックや東日本大震災による停滞から完全に脱しつつあり、製造業の国内回帰の傾向も現れている。しかし一方では、米国の保護主義的政策や新興国の景気減速、北東アジア情勢の不安定化など、先行き不透明な状況にもある。構造的には、国際競争の激化、社会保障費の増加、人手不足、温暖化・環境問題を抱えており、対応が急がれる。

● 日本のアルミニウム産業の現状

日本のアルミニウム産業は、2度のオイルショックによる電力高騰を受け製錬業から撤退したことで、1980年代以降、加工を主体とするビジネスモデルへの転換を余儀なくされた。原料・地金調達を海外からの輸入に依存するために、地金から加工までの垂直統合型モデルを展開してきた欧米・中国企業に比べ国際競争力の面では不利にならざるを得なかった。最近では、中国の過剰生産能力による地金価格の低迷を受け、米メジャー会社における上下部門分離と自動車・航空機向けなど下流工程へのシフトなど、業界構造は大きく変化している。

今後の原料の需給動向や加工業における競争激化などの諸条件を踏まえ、常に最適なビジネスモデルを追求していく必要がある。国内ユーザーの厳しい要求を満足する高品質な製品を提供する加工技術力・ユーザー対応力は日本のアルミニウム産業の強みであり、今後、より一層磨きをかけていかなければならない。

今後世界的に需要拡大が見込める輸送機器の分野では、軽量化を始めとした素材の高度化ニーズが高まっている。日本のアルミニウム産業にとっても大きなビジネスチャンスである。

日本のアルミニウム総需要は、2006年に約450万トンを記録したがその後低下傾向にあり、圧延品については1996年に約250万トンを記録してから減少が続いている。直近では総需要、圧延品ともほぼ横ばい傾向にあるが、今後の少子高齢化と人口減少を考えると、現状の需要構造のままでは増加を期待することは難しく、新規の需要開拓は喫緊の課題である。

生活に欠かせない基礎材料であるアルミニウム製品の安定供給の観点からは、添加元素として、銅、亜鉛、マンガン、マグネシウムといった枯渇懸念金属や、ある特定国への依存度の高い金属が現在用いられており、産出国の資源ナショナリズムが高まる中、将来的に支障を生じる懸念もある。リサイクルによる原料確保の重要性が高まっている。

● 未来のアルミニウム産業の発展に向けての課題

経済産業省が策定した金属素材競争力強化プランでは、「技術開発戦略」、「製造基盤強化」、「グローバル戦略」の3つをアクションプランの柱として掲げている。その中で、アルミニウム分野の課題を下記にまとめた。

(1) 技術開発戦略

日本のアルミニウム産業の競争力を今後も維持していくためには、強みである加工技術をより一層高め、コモディティ化されていない高付加価値な製品を提供することで海外製品との差別化を図っていくことが何より重要である。そのためには、合金技術による素材としての高度化と材料組織制御など加工プロセスの高度化をさらに図っていく必要がある。

最大の需要分野であり、また、今後の有力な成長分野でもある自動車や航空機などの輸送機器分野では、異なる素材の最適配置あるいは最適組み合わせと言ったマルチマテリアル化が急速に浸透している。アルミニウムに対する期待は、軽量構造材料として鉄に替わるために足りない特性を担保することである。高強度、高成形性、高耐食性、接合技術、成形技術は、アルミニウムの利用拡大のための重要技術である。国内ユーザーと連携しその要求に応じていく中で国際競争力を鍛えていかなければならない。

素材として社会的な要請に応じていくことも重要である。世界的に低炭素・循環型社会への転換が急がれており、工業製品への環境要求も高まっている。アルミニウム製品のライフサイクル全般にわたり環境負荷低減を求めるA S I (Aluminum Stewardship Initiative) などの動きは、今後わが国のアルミニウム素材およびそれを使用した完成品にまで影響を及ぼす可能性が高く、注視していかなければならない。アルミニウム製品の環境負荷は地金製錬によるところが大きい。製錬業を持たないわが国にとっては、いかにして環境負荷の低い地金原料を確保するかが課題である。国内の都市鉱山でもあるアルミニウムスクラップのリサイクルを最大限進め、環境負荷の低い再生地金を原料とすることが有効な対策となる。そのためにも、スクラップを元の用途に再利用可能にする水平リサイクルシステムの構築は今後ますます重要となる。

(2) 製造基盤強化

昨今急速に発展しているI o T (Internet of Things)・I C T (Information and Communication Technology) 技術は様々な面から製造基盤の強化をもたらすと期待されている。近い将来、製造現場では製造工程のデータを収集・蓄積し、これをA I (Artificial Intelligence) などで分析・活用するようになると言われている。そこから得られる情報をもとに仕入・製造・在庫といった操業の効率化・最適化が図られ、生産性の向上、省エネに大きな効果が得られる。リアルタイムに工程情報を収集・分析することにより高度な品質管理／作り込みも可能になる。工場設備のセンシングにより予防保全が進み、稼働率の向上やメンテナンスコストの削減に寄与する。これらは日本のアルミニウム産業の強みである加工技術力・ユーザー対応力の更なる強化に大きく貢献すると期待される。積極的に取り入れ、ものづくりを変革していくことが求められる。

(3) グローバル戦略

全世界のアルミニウム需要は今後も順調に拡大すると予測されており、日本のアルミニウム業界にとっても海外市場への展開がますます重要になっている。特に、中国市場は成長途上にあり、今後の世界の需要増加のうち大半を占めると見られ、注視していく必要がある。

従来の海外展開は、現地生産を目的（消費地に近いところでの供給拠点）として、独立したサイト化が進められて来た。しかし、技術立国を目指すわが国では、国内工場をマザー工場として、各地域のサイトを有効に結び、地球規模で事業を考える時代が来ている。例えば、欧米の主要なアルミニウム産業では、グローバル事業を目指す企業と現地の需要家を細やかに支える企業の二ーズも高まっている。この点で、わが国のアルミニウム業界は、他の産業分野に比較すると遅れており、早急な戦略化と実現が必要である。

グローバル戦略においても人材育成は重要な課題である。アルミニウム産業を地球規模で大局的に見ることができる俯瞰性と客観性をもった国際感覚のある人材育成も必要である。

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産業を取り巻く環境は、経済のグローバル化の進展により、大きく変化してきている。日本経済は、先の大戦後、国民総生産（GDP）世界第二位の規模にまで成長を遂げたものの、様々な課題に直面しており、2010年ついに中国にその座を譲り渡した。

量的な尺度としてのGDPが国民の幸福とどれほど関連するののかという指摘もあるが、これまで「ものづくり」で経済成長を遂げてきた日本が、グローバルな競争が激化する中で、引き続き世界の先進国として生き残っていくためには、これまでとは違った新たな視点による戦略の遂行が必要となっている。

近年、人類が直面している地球温暖化対策は最重要課題のひとつである。省エネルギー・省資源で世界をリードしてきた日本への期待は、世界で高まっている。また、少子・高齢化問題にしてもその課題解決を世界のどの国より先に迫られているという意味でも、リーダーとして果たすべき日本の役割は大きい。

先の震災での原子力発電所の事故に起因した電力供給に関する政策・行政の見直しにより、省電力の機運も更に高まり、LED照明など省エネ商品の需要が大きく伸びてきている。また、電力の自由化も相まって再生可能エネルギーへの期待も拡大しており、太陽光発電も住宅への設置やメガソーラーの建設により増加してきている。風力発電の建設も増えている。電気自動車は環境対応車としてだけでなく、家庭用蓄電池としての役割もあり、今後、世界での需要動向が注目される。

日本のアルミニウム需要を見ると、これらのエネルギー分野での需要拡大が見込まれる。一方で、中国や東南アジアでの需要拡大と国内エネルギーの割高感から、今後も予想される国内の需要家の生産拠点の海外移転に伴う、素材需要の国内空洞化懸念は高まっている。

2010年6月、日本アルミニウム協会が発表した世界の新地金の需要見通しでは、「BRICsと新興国の比較的堅調な経済成長により、2010年の3,800万トンから2020年には7,400万トンに拡大し、その約6割弱を中国が占めるが、同時に世界で約1,000万トンの供給不足が懸念される」と推定されていた。ほぼ、予測どおりに推移しているが、一方で2014年後半から、中国政府の自国アルミニウム市場への介入により、国際競争のアンバランスを引き起こしており、日米などのアルミニウム産業界も中国に早急な改善を要求している。欧州通貨危機によるEU諸国の経済の変調とその長期化などの影響もあり、上記新興国も従来のような高い経済成長を持続できない可能性が生じている。

日本のアルミニウム産業には、このような変化に適切に対応した取り組みが必要とされている。

II-1 日本の社会・産業界の動き

(1) 低炭素社会への貢献：

地球温暖化問題の解決は待ったな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及びCO₂を排出しない再生可能エネルギーや原子力エネルギー等の利用推進が求められてきた。しかし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信頼が揺らいでおり、再生可能エネルギーへの期待がより一層高まることが予想される。一方で当面のエネルギー供給において、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現状である。

日本アルミニウム協会では、日本経団連へ「地球環境保全の自主行動計画」の提出等の地球環境問題に係る自主的な行動表明をおこなってきており、「地球温暖化対策編」は2012年度で最終年を迎えた。

また日本経団連が新たに策定した、2020年度を目標とした「低炭素社会実行計画」に参加を表明し、2014年3月に計画を提出している。

さらに、日本経団連が新たに実施する2020年度以降（2030年度最終目標）の「低炭素社会実行計画フェーズII」へも参加を表明し、2014（平成26）年12月に計画を提出している。

日本アルミニウム協会の低炭素社会実現に向けての決意表明

“温暖化防止はアルミニウムが決め手”

アルミニウムはこの世に一旦デビューすると、その軽量性やリサイクル性などの特徴により、CO₂排出抑制に大きく貢献し、地球温暖化防止のエースとなる素材である。製造段階やリサイクルによるCO₂削減はもとより、製品使用段階において、大きな削減効果が期待される。エネルギー政策の見直し作業も踏まえ、「低炭素社会実行計画」において中長期的な目標を立て、地球温暖化防止のための絶え間ない努力を続ける。

(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では、2014-2015年度経済産業省「エネルギー使用合理化技術開発費補助金」事業において、LIBSソーティング実証事業を推進し、アルミ合金スクラップの相互選別の事業性を実証した。さらに本技術は2016-2018年度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、「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採択された。この実証事業を通じて、アルミニウム合金を合金系別に選別し、水平リサイクルを可能にする選別技術開発と、動静脈一体スキームの認証規格化を図り、電車車両リサイクルシステムの研究開発が促進される。これにより、今後アルミニウムの水平リサイクルが実現していくことが期待される。

(3) 安全・安心・快適社会への貢献：

「平成29年版高齢社会白書」によると、2016年10月1日時点の日本の総人口は1億2,693万人で前年より16万人減り、一方、65歳以上の高齢者人口は3,459万人で総人口に占める割合（高齢化率）は27.3%と過去最高となった。また、2060年には人口は9,000万人を割り込み、65歳以上の人が40%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。

II-2 日本の科学・技術開発の動き

(1) 2005～2010年：第3期科学技術基本計画の実態と反省

日本における材料開発は世界最高水準のレベルに達していると言える。また、ナノテクでのシーズや元素戦略・希少金属代替ではそれなりの成果が出ているものと考えられる。しかし材料分野の成果は見え難く、金属・無機・有機材料の融合等が課題として指摘されている。

(2) 2011～2016年：第4期科学技術基本計画

科学・技術・イノベーション政策を、他の重要政策と密接な連携を図りつつ、官民の総力を挙げて推進することを基本方針に、第4期科学技術基本計画が策定された。グリーン・イノベーションとライフ・イノベーションを大きな柱とし、科学・技術が成長を支えるプラットフォームと位置付けられる。

“材料”という言葉は姿を消したが、材料はグリーン・イノベーションやライフ・イノベーションに貢献する、無くてはならない分野である。アルミニウムは科学・技術を支えるベース材料の一つであり、蓄電池、次世代自動車、医療機器、介護機器など出口を見据えた新たな材料、利用技術の提案が求められる。

(3) 2016～2020年度：第5期科学技術基本計画

「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本柱として推進される。日本を「世界で最もイノベーションに適した国」へと導くと位置付けられている。“材料”については、「経済・社会的な課題への対応」の中で「ものづくり・コトづ

くりの競争力向上」と表現されている。

(4) 経済産業省産業構造ビジョンとアルミニウム技術戦略

2007年及び2008年の経済産業省技術戦略マップにアルミニウム関連研究開発テーマが掲載されなかったことから、アルミニウム関連の国家プロジェクトは5年間皆無に等しかった。このような状況を反省して策定された、「アルミニウム技術戦略ロードマップ2009」は、2010年6月に公表された経済産業省「産業構造ビジョン2010」のアルミニウム産業のアクションプランで取り上げられた。そこでは、取り組む具体的施策として、i) アルミニウムの特性を活かした成長分野の需要開拓、ii) 新興国需要の取り込み、iii) 高度なりサイクルシステムの実現、iv) アルミニウム資源の安定調達、v) 企業基盤の強化が挙げられ、実現に向けて革新的な技術開発の取組が求められている。

経済産業省は2015年6月に金属素材競争力強化プランを策定し、それをフォローアップするという位置付けで非鉄金属製造産業戦略の作成・とりまとめを実施中である。業界の課題や戦略をまとめ、今後の政策立案につなげる計画である。

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継続的に実行して、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	市場規模 (兆円/年)	将来性 ¹³⁾	期待用途
自動車	64.5 ¹⁾	↑	車体(パネル、骨格、足回り)、熱交、EV、HV
住宅・土木、建築	50.9 ²⁾	↗	橋梁材料
灯り	1.0 ³⁾	→	LED照明
家電	7.7 ⁴⁾	→	空調機器(オールアルミ熱交)
エネルギー	104.3 ⁵⁾	↑	再生可能エネルギー、燃料電池、蓄電池、超伝導
ロボット	9.7 ⁶⁾	↑	軽量構造部材(2035年予測)
食	95.4 ⁷⁾	→	飲料缶、植物工場
半導体	3.3 ⁸⁾	↗	半導体製造装置
情報通信	95.7 ⁹⁾	↑	タブレット、中継基地
医療、介護	62.9 ¹⁰⁾	↑	CT、MRI、軽量高強度介護器具 (2025年 101.3兆円の市場予測)
航空宇宙	1.7 ¹¹⁾	↗	構造部材、宇宙ステーション
鉄道	0.2 ¹²⁾	→	車両

1) 自動車・同附属品製造業・2015年度売上高(法人企業統計調査 年次別調査 平成27年度統計表・財務省)

2) 平成28年度建設投資見通し(国土交通省)

3) 照明市場に関する調査結果 2017(矢野経済研究所)

4) 平成29年版 家電・IT市場動向(GfKジャパン)

5) 2015年度国内環境産業市場規模(環境省)

6) 平成22年度ロボット産業将来市場調査(経済産業省・NEDO)

7) 平成27年度食品産業の国内生産額(農林水産省)

8) 2015年国内半導体素子・集積回路市場(電子情報技術産業協会)

9) 平成27年度情報通信産業市場規模:名目国内生産額(総務省)

10) 2007年高齢者向け医療・医薬・介護・生活産業市場(みずほ情報総研)

11) 2016年度日本の航空宇宙産業規模(日本航空機開発協会)

12) 平成26年度車両生産金額(日本鉄道車両工業会)

13) → ↗ ↑
(小)-----> (大)

(1) 自動車の未来

地球環境問題から、自動車に対するCO₂排出量の規制が厳しくなり、ゼロエミッション活動が世界的に進められている。このような背景のなか、将来に向けた世界的な自動車の電動化が検討されはじめ、欧州では、イギリス、フランスが2040年までにガソリンおよびディーゼル車の販売を禁止することを2017年7月に政府等が表明。ドイツは2030年にガソリン、ディーゼル車の販売禁止を連邦議会で決議している。また、オランダやノルウェーは2025年とさらに早い段階で電動化を進めようとしている。欧州の電動化は、HEVを含むPHEV、FCV、EVであり、ガソリンあるいはディーゼルエンジンはHEVとしては残ることになる。一方、北米カリフォルニア州や中国はさらに厳しく、特に、カリフォルニア州は、ゼロエミッションビークル（ZEV）としては、PHEV、FCV、EVのみ対象となり、これらを一定数販売しなければならない状況となる。このようなZEV規制は、2018年から強化されるといわれている。

さらに、自動運転化技術も進められている。欧州、日本で開発が進められており、メルセデスベンツ、アウディが盛んに技術開発を進め、日本でも日産、SUBARU、トヨタ等が進めている。特に、2018年モデルのアウディA8がレベル3と世界的にも自動運転化が進んだ車を市販化している。

このように、自動車の電動化、自動運転化が進む中、新たな部品が増加し、また、熱交換器の需要が高まる可能性があると考えられる。電動化は、モーターや電池の搭載、かつ、新部品が加わることで車両重量が重くなることが容易に予測され、車両重量の増加は航続距離が短縮化される要因となる。これら次世代車は、航続距離をより長くすることが課題となり、そのために、車体の軽量化技術が求められ、軽量素材への置換、関心が高まっていると考えられる。

軽量素材の利用が高まる中で、クロージャーパネルへのアルミニウム合金板やCFRP等樹脂系の軽量素材への置換はもちろんのこと、骨格部品への軽量素材の適用がさらに進む。鋼板のハイテン・超ハイテンによる薄肉軽量化、アルミニウムでは押出型材など高強度展伸材の適用、CFRPによるキャビン系部品の軽量高強度化など適材適所化（マルチマテリアル化）により、アルミニウム合金の需要拡大が予測される。さらに、熱交換器用のアルミニウム合金や新しい部品へのアルミニウム合金の適用が期待される。

また、公用としての輸送機の電動化が進むと考えられ、バスやトラック、鉄道等においては、自動車より以上に軽量化のニーズが高く、アルミニウムの利用が拡大すると考えられる。

(2) 建築・住宅の未来

世界レベルでの国や都市間競争、人口減少と少子高齢化、インフラ老朽化、地球環境問題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、豊かさや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、AIやIoT等の技術革新を活用し、効率・最適化指向によるコンパクト化した地域圏を高速交通手段で繋げ、さらに国境付近の海洋や離島も含めて国土全体を維持可能な形で利用する中長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、レジリエント、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、発電・蓄電・消費電力を一括で管理し、実質的なエネルギー使用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。

更に、スマートメーターを含めスマートハウスでの系統電力とEVや再生可能エネルギーとの連携、および発光ダイオード（LED）の普及も踏まえ、直流化の動きが進展しており、新しいエコ住宅の試みとして「EV付き住宅」の販売も開始されている。

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をベースに、省エネルギー及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。

（3） 土木製品・土木構造物の未来

2013（平成25）年11月のインフラ長寿命化基本計画、2014（平成26）年5月の国土交通省インフラ長寿命化計画（行動計画）の決定、2020年東京オリンピック開催、更には、昨今の防災・減災への関心の高まりなどにより、土木分野は今後大きく注目される。

アルミニウムのメリットは、軽量である点と耐食性に優れている点である。軽量である点は耐震性や移送利便性の向上につながり、防災対策並びにしなやかな（レジリエンス）構造物の構築に適している。また、腐食しにくいことはメンテナンス費用の削減によるライフサイクルコストの低減に結びつく。これらの利点を生かして、防護柵、高欄、水門、橋梁検査車、橋梁点検車、照明柱、トラス屋根、耐震ブレース、床版など広い範囲で利用されてきている。

今後、少子・高齢化が急速に進む我が国においては、メンテナンス費用および要員の確保がますます困難になり、トータルコストダウンに結びつくアルミニウムは大変有利といえるが、さらに需要を拡大するためには、土木構造物として広く使用されている鉄鋼材やコンクリートに比べて、アルミニウムの初期コストが高い点や、設計基準類の整備が不十分な点を克服する必要がある。

2000年頃からアルミニウム歩道橋や拡幅歩行者用アルミニウム床版が建設されるようになり、最近では道路橋用アルミニウム床版を用いた鋼製橋が建設されるようになってきており、2015年には国土交通省近畿地方整備局で60m級の緊急架設橋用の床版として採用された。2015年には最新の研究結果を盛り込んだ「アルミニウム合金土木構造物設計・製作指針（案）」が完成した。この指針（案）の最大の特徴は、摩擦攪拌接合を考慮した構造設計法を与えたことである。さらに高速道路の建設・管理に関する研究開発を行っている

(株)高速道路総合技術研究所発行の「高速道路設計要領」2017年7月版に「橋梁用アルミ合金製検査路」規格が掲載されるなど、各種設計基準の策定とともに土木分野へのアルミニウムのさらなる活用が期待される。

(4) 灯りの未来

省エネで環境にやさしい“あかり”として白熱電球からLED照明や有機EL照明等の高効率な照明製品への切替えが進んでいる。環境省及び経済産業省も節電・温暖化対策のための高効率照明普及キャンペーン「あかり未来計画」を実施している。2020年には、国内SSL器具（LED照明、有機EL照明）出荷比率は、100%に近づくと推測されている。世界市場も人口増加に伴う新興国での照明市場は増加すると予想されている。LED照明では、アルミニウムの優れた加工性と熱伝導性を活かして放熱素材として利用されている。また、LED基板としても適用されており、アルミニウムはLEDに欠かせない素材として、今後の展開が期待される。

有機ELは、平面で発光する光源デバイスなので、大面積化が可能であり、紫外線レス、水銀レスという点で、環境にもやさしい。また、近年の材料・デバイス技術の進展により、LEDを超える高効率、長寿命が期待できるものになってきた。有機ELは、平面での発光であり放熱性に優れるが、熱の逃げ難い構造の場合は他の光源と同様に発熱するため、放熱性に優れるアルミニウムの基板およびヒートシンクとの組合せにより、より効率的な照明にできる可能性があり、今後、アルミニウムの適用が期待される。

一方、自然光を反射の連続で室内に運び、そのまま室内照明として使う採光システム「光ダクトシステム」の採光部、導光部、放光部には、軽量性、反射性、耐久性の観点からアルミニウムが多く用いられている。本システムは古くから実用化されているものの、一般住宅用として大きく伸びるまでには至っていなかったが、近年、環境負荷軽減の高まりに伴い徐々に普及し始めている。今後も省エネ・温暖化対策の有力なアイテムとして大きく拡大することが期待される。

(5) 家電の未来

エアコン、冷蔵庫、洗濯機を中心とする白物家電は国内人口減少とともにその販売数量も減少傾向にある。一方、高付加価値機能が搭載された機種の人気も高いことから、2016年度の売上額は2.3兆円と持ち直しを見せた。AV機器類の2016年度の総売上額は約4.2兆円と横ばい状態にある。現在、4Kテレビの立ち上がり時期に当たり、平均販売価格の上昇に寄与しているが、薄型テレビの販売台数の減少を相殺することはできなかった。一方BDレコーダーはチューナの複数化等の高機能機種の流れ行きが好調なため、平均販売価格の上昇に寄与した。また、パソコンやデジタルカメラの販売台数も減少傾向にあるが、高性能化による平均価格帯の上昇は2016年度も続いている。

民生部門の省エネ推進の施策として導入されている「トップランナー制度」は、各々の製品毎にエネルギー消費効率の優劣が明確になるため、各社、基本機器の性能向上とともに、人の空間位置情報を得る赤外線センサー等を活用した効率的な運転のための制御機能の付与にしのぎを削る状況が続いている。一方、スマートフォンの機能として始まった対話型の音

声操作に対応したAIアシスタントを組み込んだスピーカー、スマートスピーカーが各社から相次いで発売された。家庭とインターネットとをつなぐ新たなインターフェイスとして登場した音声認識技術は、IoT化の流れのなかで他の家電へも展開されるものと思われる。

国内家電向けアルミニウム展伸材はここ数年5万トン弱で推移し、2016年度4.3万トンの圧延材の内約8割が熱交換器用フィン材で占められている。家電におけるアルミニウム材料は、優れた熱伝導性を活かした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活用されている。家電製品のさらなる高機能化やコンパクト化を図るために、アルミニウム材料には熱伝導性の向上が今後も求められるものと考えられる。

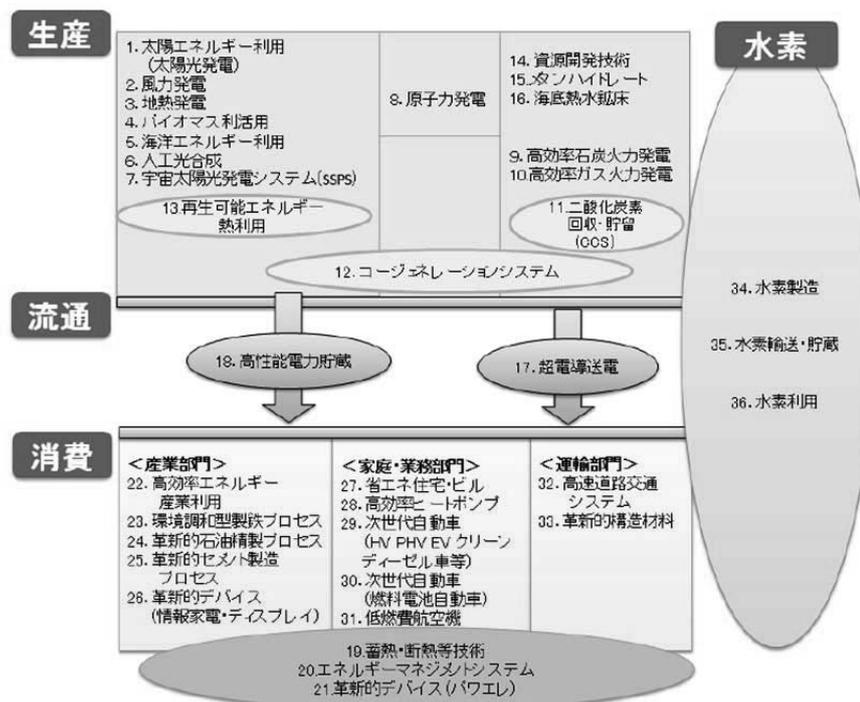
(6) エネルギーの未来

2014年4月11日に第四次エネルギー基本計画が閣議決定された。この基本計画は東日本大震災および東京電力福島第一原子力発電所事故後初となる基本計画であり、大震災および原子力発電所事故後のエネルギーに関する様々な問題に直面する状況に対し、現実的かつ実現可能なエネルギー政策の方向性を総合的・俯瞰的に示したものである。

この基本計画に明示された技術開発に関するロードマップが「エネルギー関係技術開発ロードマップ」として2014年12月に策定された。

このロードマップの中に技術課題として36の課題が生産・供給、流通、消費のエネルギー・資源のサプライチェーン、水素の4つの局面に対応して整理されており、「エネルギー白書2017」ではそれぞれの技術課題に対して25の具体的な主要施策が紹介されている。

これら技術課題の解決のためには、軽量かつ、耐食性・加工性・導電性・熱伝導性に優れたアルミニウム材料の活用が必須であり、また、これらの特性を活かしたさらなる研究・開発が望まれる。



(7) ロボットの未来

日本は長い間世界をリードしているロボット大国であるが、最近では欧米や中国など新興国の巻き返しも活発である。政府の発表した「ロボット新戦略」（2015年）では、日本を世界のロボットイノベーションの拠点にし、世界一のロボット利用社会とすることを旨とするとともに、ロボットの市場規模を現在の6,000億円から2020年には2兆4,000億円へと成長させることを目標に掲げている。

従来の産業用ロボットに加え近年は工場などで人と共存するロボットの普及が進んでいる。物流分野でもロボットの積極的な活用が拡大している。ロボットは単に人に代わる労働力としてだけでなく、人工知能やIoTなど新しい情報技術との組み合わせにより新たな付加価値を生み出す可能性を持っている。一般家庭でも、ロボットをパートナーとして受け入れる時代が目前に来ている。

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の材料を始めさまざまな部品へ採用されている。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、ヒートパイプなどアルミニウムの技術が期待されている。

(8) 食の未来

食文化は経済のグローバル化、国内の高齢社会の進展、家庭環境へのAIロボット採用、訪日外客数の急速な増加（日本政府観光局調査2016年1～12月計：20,039千人、昨年比+21.8%）に伴いますます多様化していくことが明らかである。新しい食品の製造や容器包装の分野で新たな需要が出るのが予想される。機能的（健康）食品・飲料製品や高齢者向け食品の急速増加、観光客向けの食品・飲料製品の開発により、消費者の心を上手に捉えるデザイン食品包装やロボットの扱いやすい食品包装の商品開発は大きな商機をもたらす可能性が現われてくるだろう。また、食料自給率向上の観点から植物工場の建設や運転も始まり栽培棚などの構造部位にアルミニウムが用いられている。さらに、地震等の緊急時保存用としての米や水を保存する容器に遮光性の観点からもアルミニウムの利用が増えることも期待できる。

(9) 半導体の未来

半導体分野は、電化社会、高度情報化社会だけでなく、現代生活のあらゆる面で欠くことのできない電子テクノロジーを支えるものである。IoT・ビッグデータ・人工知能（AI）時代の到来、東京オリンピック・パラリンピック開催時に全世界で500億台の機器がネットとつながる試算等により、大量の情報を保管するデータセンターの新設や設備増強は必須になるだろう。こうした状況下、新型メモリーとして3次元NAND型フラッシュメモリーが注目され、最近その製造施設に数十億米ドルの巨額投資が行われて、今後数年の生産量が劇的に増えると予想される。記憶機器もハードディスクドライブ（HDD）よりメモリーベースの高速小型のソリッド・ステート・ドライブ（SSD）への切り替わりが一気に加速され、オールフラッシュの時代が到来するだろう。

この半導体技術の飛躍的な発展に伴い、半導体製造装置の技術革新が必要不可欠となる。

この技術革新や開発に伴い、アルミニウムの従来利用拡大と新規採用が期待される。

(10) 情報通信の未来

無線通信の高速・大容量化、クラウド・コンピューティングの普及、IoT技術の進展など情報通信は大きく変わろうとしている。パソコンやスマートフォンに加え、家電、産業機器、自動車、ドローン（無人航空機）も新たに通信機能を備え、インターネットに接続されるようになった。これらの機器によってやり取りされるデータは今後膨大な量になり、それらビッグデータの分析・活用により、これまでにない様々な付加価値が生まれていく。

このような通信の変化は、情報トラフィックとデータストレージ需要を加速的に増加させる。対策の一つとして、超高速の第5世代移動通信システム（5G）が2020年から実用化される。アルミニウムは中継基地局、アンテナなどに使用されているが、更なる機能向上による用途の拡大が期待される。ストレージの分野では、データセンターにおけるサーバー冷却に消費される膨大な電力がますます問題となる。アルミニウムの特性を生かした高効率かつ経済的な冷却デバイスの提案が待たれる。

11) 医療・介護・バイオ・健康の未来

平成29年度版高齢社会白書によれば、少子高齢化の進行により我が国の高齢化率（65歳以上の割合）は2015年の26.6%から、2035年には32.8%を超え、人口的には13.0%増加することが予想されている。これに対し、生産年齢人口（15~64歳人口）の比率は60.0%から56.4%に、人口的には14.9%低下することが予想されている。

こうした少子高齢化に伴う高齢者の増加と生産年齢人口の減少は、医療・介護サービスなどの分野では国内需要を拡大させるが、一方その担い手となる労働力の確保、生産性の向上が必要不可欠であり、介護用ロボット活用の期待が高まっている。

アルミニウム材料は軽量であることはもちろんであるが、無臭・無害の毒性のない金属であり、磁気を帯びない、腐食し難い等の特長を持っており、これらの分野での用途拡大が期待される。

(12) 航空の未来

世界的な民間航空需要は拡大傾向にあり、特に150席クラスの旅客機を中心に長期にわたって年率約5%の需要の伸びが予測されている。このため大量生産に対応した高レートの製造体制の構築についての検討も始まっている。その一方で、航空需要の伸びで懸念される地球温暖化問題とともに、運航コストに占める燃料費の比率が高いことから燃費に優れた航空機の開発が強く求められている状況にある。

国内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ことから、ここでの短期的な減産の影響を受けて2016年度の国内航空機生産額が前年比7.8%減の1.68兆円となった。日本メーカー比率約35%のボーイング787の生産の継続とともに、約21%の割合で参画することが決まったボーイング777Xの製造についても2020年納入に向け準備作業が進められている。さらに日本にとって

40年ぶりとなる国産旅客機の三菱リージョナルジェット(MRJ)の試験機が米国に移り、米国連邦航空局(FAA)の型式証明取得に向けた飛行試験が本格化した。また、ホンダジェットは2015年12月米国を皮切りに各国で型式証明を取得し、2017年上期、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。

一方、国内防衛機分野では、生産額が2012年以降若干減少傾向にあるが、防衛省より新たに防衛装備品の技術に関する一連の政策が打ち出されことで市場の拡大が期待されている。米国ロッキード・マーティン社製の次期戦闘機F-35Aの導入や国内先進技術実証機X-2の活動とともに、国産大型戦術輸送機C-2の部隊配備や先行している姉妹機の哨戒機P-1の長期にわたる量産が予定されている。

航空機用の高強度アルミニウム合金材料はすでに長期にわたる技術の蓄積や改良による高い信頼性ととともに、加工やメンテナンスを含めたトータルコスト面で優れていると評価され、既存の多くの民間航空機の大型機体の約7-8割の部分に使われている。またMRJやホンダジェットなどの最新の中・小型の旅客機の主翼にはアルミニウム材料が採用された。現在も引き続き、リチウム添加合金とともに、新構造材料技術研究組合(ISMA)の「革新的新構造材料技術の開発」のテーマの一つとしても高い比強度を有するアルミニウム合金の開発は進められている。

一方、さらなる燃費向上の要求に応じて最新の民間大型旅客機ボーイング787やエアバスA380では、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)を中心とした樹脂系複合材の採用が急激に進んだ。また、アルミニウム材料が主体である既存のボーイング777も、777Xへの改良にともなって主翼のCFRP材への置き換えが決定されている。CFRP材には、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、並行して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進められている。また、マグネシウム材料についても、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。

今後も航空機性能の向上のため、機体の軽量化がさらに強く求められるものと思われる。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進むものと思われる。

(13) 宇宙の未来

人工衛星やロケット等の宇宙機は、将来において、高性能化とともに小型化・軽量化が要求され、さらには、信頼性の向上も求められている。宇宙機において重要な基盤技術は、誘導・制御、軌道・航法、電子部品、電源、通信データ処理などがある。経済産業省・航空機武器宇宙産業課宇宙産業室において、「超高分解能合成開口レーダの小型化技術の研究開発」「宇宙産業技術情報基盤整備研究開発事業」等を進めており、高性能小型衛星(レーダ衛星)の開発や人工衛星やロケットの低コスト化と高機能化を実現するための開発を行っている。これら宇宙開発事業を進めるにあたり、小型化・軽量化のために重要な技術のひとつに部材を支える材料開発がある。たとえば、アルミニウムは、軽量、非磁性等の特性からロケットや人工衛星等宇宙機に部分的に使用されており、さらに、高機能性材料として、内部に多数

の空隙あるいは気孔を入れたポーラス材が着目され、特にアルミニウムポーラス材は、軽量かつ衝撃吸収能があることから、小型探査機のピンポイント着陸にも適用の可能性があると見て着陸脚システムの一部に検討された例がある。

アルミニウム業界では、宇宙機へのアルミニウムの適用は、市場規模に大きく影響は与えないものの、軽量、高剛性、非磁性という特徴を持ち、機能性の高いことから、宇宙への分野にも一部部材として活用されるであろうと期待することができる。

(14) 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年近く経過し、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半数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。

全国新幹線鉄道整備法に基づき整備計画が定められた5路線の整備新幹線のうち、一部あるいは全線が未開業の3路線、北陸新幹線（2015年3月長野-金沢間が開業）、北海道新幹線（2016年3月新青森-新函館北斗間が開業）、九州新幹線（長崎ルート）（2022年度から可能な限り前倒しして全線開業予定）にも、アルミニウム合金製新幹線車両が導入される予定である。

さらに、1997年から山梨リニア実験線でアルミニウム合金製車両を用いた超電導磁気浮上方式（超電導リニア方式）の走行試験が進められている。そして、2011年の全国新幹線鉄道整備法において、東京-大阪間を結ぶ中央新幹線はこの超電導リニア方式を正式に採用することになった。なお、首都圏-中京圏間が2027年に先行開業し、東京-大阪間の全線開業は2045年を予定している。

Ⅲ-2 アルミニウム需要統計

(1) 現状整理

- ① 2009年日本のアルミニウム総需要は過去にない落ち込みとなった。
その後回復基調にあったが、世界経済成長の鈍化等により厳しい状況にある。
- ② 全世界のアルミニウムの消費量は今後も増加が予想される。特に2000年以降の中国での伸びが大きい。一方、日・米・ドイツは2000年以降停滞状態である。
- ③ 人口1人当たりのアルミニウム消費量について、1980年までは米国の消費量が多かったが、1990年以降、米は下降傾向。近年、日・米・ドイツは停滞しているが、中国は増加継続し、中国の消費量が先進国並みになってきた。
- ④ 用途別日米比較（上位4用途）
日本：輸送、建設、金属製品（箔、PS版）、食料品
米国：輸送、容器包装、輸出、建設
(輸送関係が共通してトップ、日本は高品質の金属製品が、また米国では容器包装分野でのアルミニウムの大量使用とコスト競争力を生かしての輸出が特徴的。)

☆日本の開発製品☆

これまでも多くの世界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。

《JAA世界NO. 1、オンリーワン製品》 * JAA：日本アルミニウム協会

アルミ熱交換器、アルミ新幹線車両、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 等

《開発中の製品》

- ① JAA：燃料電池車(FCV)水素タンク用アルミライナー：NEDOプロジェクト
2003～2009年
水素用アルミニウム材料評価・開発：NEDOプロジェクト
2010～2011年
- ② 物質・材料研究機構：アルミ陽極酸化不揮発メモリー：文科省元素戦略 2007～
2011年 レアメタルを用いない、オールアルミ系抵抗変化型メモリー素子の集積化プロセスの開発に成功、次世代半導体デバイスとして期待される。

(2) 今後への期待

日本のアルミニウム産業は、これまで欧米からの技術導入により発展してきたが、人口1人当たりで見ると、すでにドイツ、米国と並び世界屈指のアルミニウム消費国である。今後は世界をリードする独自の材料開発、用途開発が望まれる。また、コスト競争力を向上させる工夫が必要である。

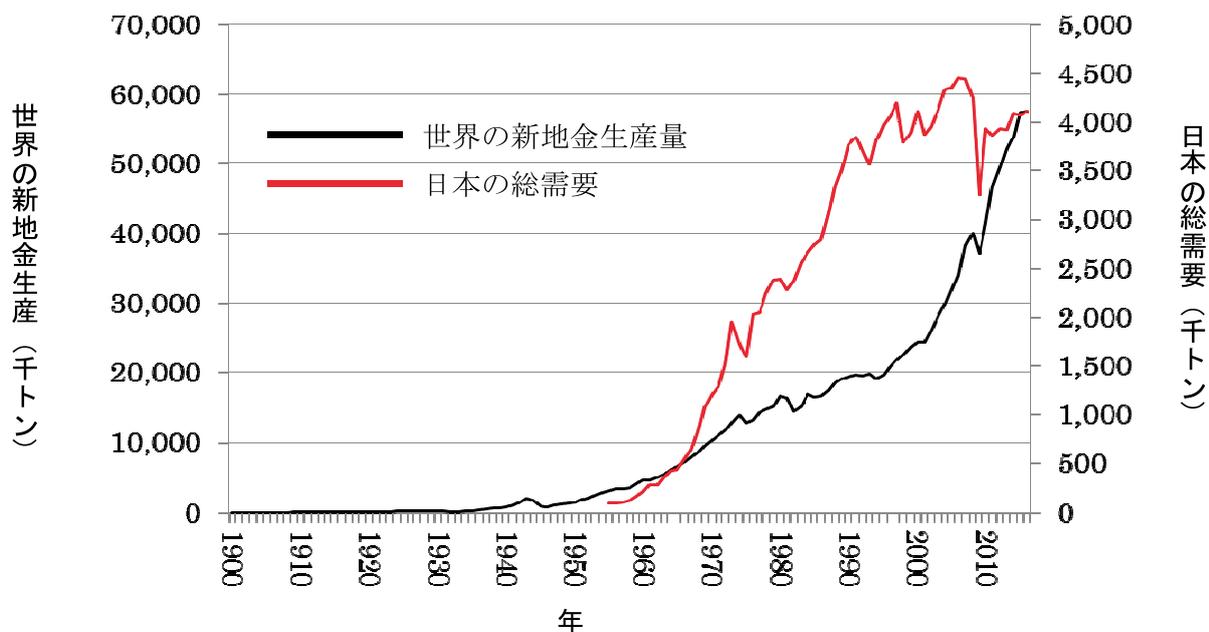


図1 世界の新地金生産と日本の総需要（～2016）

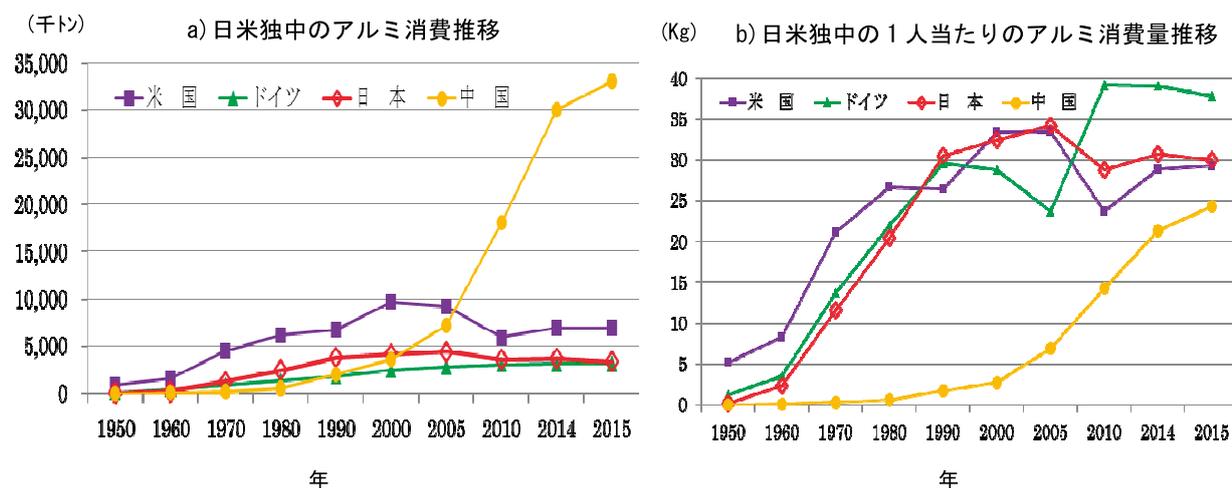


図2 アルミニウム消費量の日米独中の比較

出典：Metal Statistics 1997-2009 World population prospects、世界人口白書、総務省統計

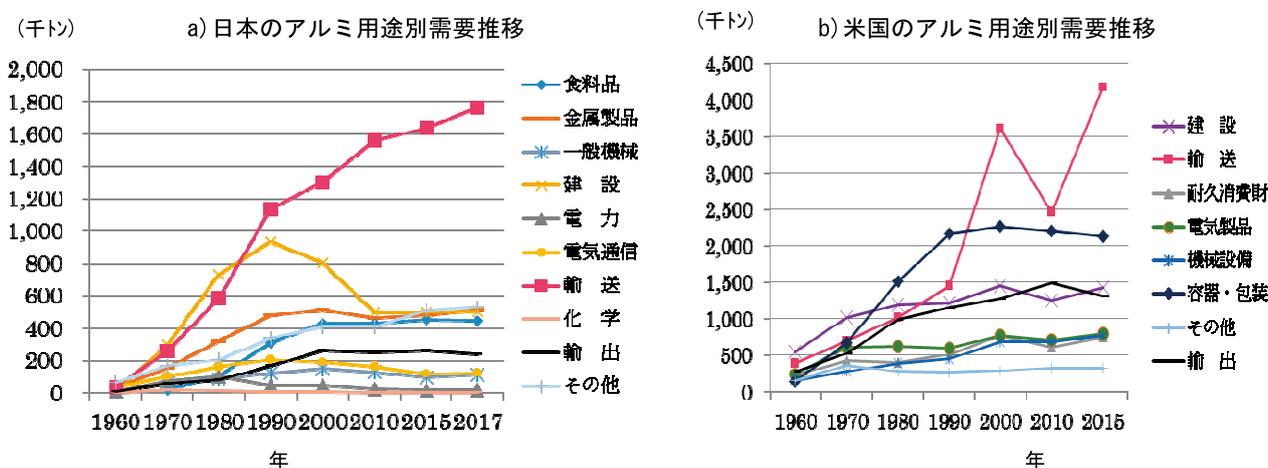


図3 日米のアルミニウム需要用途別推移

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

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

●弱みを強みに変える技術開発

わが国のアルミニウム産業は、新地金を全面的に海外に依存していることで欧米や中国のアルミメジャーに対し原料コスト面で劣勢に立たざるを得ない。工業製品に対する環境負荷低減の観点から、材料選択においてもLCA（Life-Cycle-Assessment）がますます重要視されるようになってきている。地金に添加して使用する銅、亜鉛、マグネシウム、マンガンなどの金属についても海外に依存しており、グローバルでの消費量増加による価格の高騰、枯渇の懸念、あるいは産出国の資源ナショナリズムの高まりなど、将来にわたるリスクを抱えているのが現状である。

これらの原料を巡る課題への対応として、まず、鍵となるのはリサイクルである。アルミニウムは、新地金製造時には多量のエネルギー消費とCO₂排出を伴うが、一方で廃製品からアルミニウムをリサイクルして再生地金を製造する際には、エネルギー消費量・CO₂排出量は共に新地金製造時の2－3%ときわめて少なく済む。再生地金の使用を拡大し新地金の使用量を削減することは、原料の安定確保と工業製品の環境対応の両面で効果が期待できる。現在、再生地金は9割が鋳物・ダイカスト用途に用いられ展伸材への使用は1割程度に留まる。鉄（Fe）、シリコン（Si）などリサイクルの際に混入する不純物元素を無害化し/あるいはうまく活用し、アルミニウムスクラップを展伸材へリサイクル可能にする、純化精製、ナノ組織制御といったプロセス技術の開発が待たれる。

将来の枯渇や特定国への依存といった添加元素の問題に対しても、ナノ組織制御技術の活用で使用量の低減を図り、さらには豊富に存在する鉄、シリコン等のユビキタス元素をそれらの代替として積極的に使用していくことを目指す。性能優位性を獲得できるような合金組成に上げるための研究開発を推進し、国際競争力を高めていく必要がある。

●アルミニウムの需要拡大を目指した研究開発

アルミニウムを使った製品としては、熱交換器、リチウムイオン電池（LIB）のケース及び正極、ハードディスク（HD）基板など、世界市場でNO.1を誇るものが数々ある。しかし、アルミニウムというリサイクル性に優れた素材の利用を拡大し、循環型経済社会の構築にさらに貢献するためには、利用拡大につながる技術の開発を強力に推進する必要がある。

近年アルミニウムに対するユーザーの要求は多様化かつ高度化している。最も大きな需要分野である自動車などの輸送機器では、アルミニウムは鉄に替わる軽量構造材料として有力視されており、強度・延性を始め種々の特性の更なる向上が求められている。この要求に応え合金・加工技術の開発を加速しなければならない。一方で、マルチマテリアル化の流れも一般化しつつあり、異種材料と組み合わせた使われ方への対応も欠かせない。異種金属や樹脂との接着・接合技術や防食技術の開発が待たれる。

LCAの見地からは、日本アルミニウム協会の環境自主行動計画報告書に記載されているように、アルミニウム材料を使用して車体を軽量化した場合の走行時のCO₂削減量は、材料

製造段階でのCO₂排出量に比較して数倍大きい。すなわち、アルミニウム材料の使用拡大は社会全体のCO₂排出削減に大きく貢献するものである。

自動車関連以外については、インフラ整備と防災・減災対応が進みつつある土木・建築分野、あるいはクラウド・コンピューティングなどの情報通信技術、ICTと電力ネットワーク（スマートグリッド、環境共生スマートシティ、次世代エネルギー社会システムの実証プロジェクト）、更には新産業としての植物工場・次世代農業等が挙げられ、この領域へのアルミニウム材料の用途開発を推進する。

●人材育成の強化； 高い専門力、創造力、国際感覚

アルミニウムは日常生活に欠かせないベースメタルであるが、材料分野の拡大・多様化に伴い大学における金属系学科は減少傾向にあり、金属分野の専門知識を持たない学生が増加している。一方で、これまで産業を支えてきたベテランの団塊世代の人材が定年を迎えたこともあり、蓄積された経験やノウハウを確実に継承していくことが喫緊の課題となっている。

このような背景に鑑み、日本アルミニウム協会では金属系材料研究開発センター（JRCM）と共同で経済産業省の委託事業としてアルミニウム産業の研究・技術を担う人材の教育プログラムを開発してきた。その成果を踏まえ2010年度より「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。

学生を対象とした人材育成としては、従来のインターンシップ制度及び特別出張講座に加え、2011年度から毎年「アルミニウム・夏の学校」を開催している。関東と関西の2か所で行われる。材料系の学生に限らず、電気、機械、化学等の学生も対象に加え、毎回60名を超える多くの学生の参加がある。ここでは、企業の若手技術者を講師に起用し、学生が企業側の技術者と直に討論することを通じてアルミニウム産業に興味を持ち理解を深めてもらっている。

今後も引き続きこのような活動を継続し、アルミニウム産業の将来を担う人材の裾野を広げていきたい。

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) アルミニウムの製品技術開発（組織制御）

添加元素（Mg、Mn、Zn、Cu）低減合金と、不純物であるFeの活用技術を開発する。ナノ組織制御による引張強さと伸びをバランスさせた超軽量、高強度部材の開発を目指す。またユビキタス元素（Si、Fe等）ベースの部材開発を行い、用途モノアロイ化（6000系合金）への布石（Mg、Mn、Cu、Zn低減）とする。

目標 2025年：従来の限界を越えた500MPa～30%の軽量・高強度部材の開発
2035年：800MPa～40%の軽量・高強度部材の開発

(1) -1 ナノ組織制御でのブレークスルー

- ・ D-S S F（Deformation -Semi Solid Forming）プロセス（里：東工大）
科学技術振興機構「産学共創基礎基盤研究」プログラム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」
- ・ 微細粒強化、転位強化と時効析出強化の並立
（廣澤：横国大、寺田：千葉工大、堀田：九大、松田：富山大）
科学技術振興機構「産学共創基礎基盤研究」プログラム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」
- ・ 水素化脱水素化による微細組織化（文科省元素戦略 2007～2011：東北大）
- ・ 水素ポア制御による力学特性向上
（戸田：九大、山口：原研、松田：富山大）
科学技術振興機構「産学共創基礎基盤研究」プログラム2014～2016
「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」
- ・ 超塑性変形挙動（佐藤：宇宙研、鶴飼：北大）
科学技術振興機構「産学共創基礎基盤研究」プログラム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」
- ・ ヘテロ凝固核による組織微細化（渡辺：名工大、中野：産総研、鈴木：早大）
科学技術振興機構「産学共創基礎基盤研究」プログラム2016～
「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」
- ・ 水蒸気を利用した強度と耐食性の向上（芹澤：芝浦工大、石崎：芝浦工大、阿相：工学院大、高田：名大）
科学技術振興機構「産学共創基礎基盤研究」プログラム2016～
「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」

- (1) - 2 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
- (1) - 3 外部力による組織微細化
- ・ 急速冷却 ・ 電磁力 ・ 超音波
- (1) - 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) Fe 1%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)
- (2) - 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。
- ① 炉の省エネ：1/5～1/20にする。
 - ② ドロス低減溶解：1/5～1/10にする。
 - ③ 耐火物コーティング技術：非金属介在物ゼロ
- (2) - 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。
- ① 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
 - バイエルとアルキャン：1000MPa
 - アルミと樹脂 (接合)
 - アルミと異種金属 (接合)
 - ② 摩擦攪拌接合 (FSW) での異種材料接合
- (2) - 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)
- (2) - 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。
- ① 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) J A A 2 0 0 8 年

② 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）

(2) - 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 J A A 2 0 0 9 年 N E D O 事前研究

2 0 1 0 ~ 2 0 1 2 年 N E D O 実用化開発研究実施

2 0 1 4 ~ 2 0 1 5 年 省エネ型アルミ水平リサイクル L I B S ソーティング実証事業)
として経済産業省事業に採択

2 0 1 6 ~ 2 0 1 8 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 N E D O (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。

(2) - 6 3 D 積層造形技術への対応

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

(3) - 1 革新的新構造材料等技術開発（平成 2 5 年度経済産業省公募事業）

輸送機器の抜本的軽量化に向け、機能とコスト競争力を同時に向上させたアルミニウム材の開発と、これら材料を適材適所に使用するために必要な接合技術の開発に取り組む。

① 革新的アルミニウム材の開発

i) 高強度・高靱性アルミニウム合金の開発

ii) アルミニウム材製造電析プロセス技術開発

② 接合技術開発

i) 鋼材／アルミニウムの接合技術の開発（スポット接合技術）

ii) アルミニウム／CFRP 接合技術開発

(3) - 2 水素除去による各種力学的特性向上

水素ミクロポアを低減することによる各種力学的特性の向上に取り組む。

① 水素ポア制御によるアルミニウムの力学特性向上（戸田：九大） J A A 2 0 1 2

② 水素ポア制御による航空機用アルミニウム合金の力学特性向上

（戸田：九大） J A A 2 0 1 3

③ 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）

(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

- 経済産業省委託事業 JRCM&JAA：2007～2009年
製造中核人材育成プログラム作成と実証

- 日本アルミニウム協会：2016年度「アルミニウム産業中核人材育成講座」開講
 - ① 溶解鋳造：（安田：京都大学、9月 1日～ 3日）、19名参加
 - ② 熱処理：（熊井：東京工業大学、9月 8日～10日）、17名参加
 - ③ 材料の強度・強化メカニクス：（渋谷：大阪大学、7月29日～30日）、18名参加
 - ④ 加工（圧延・押出）：（吉田：岐阜大学、9月29日～10月1日）、21名参加
- 日本アルミニウム協会：2017年度「アルミニウム産業中核人材育成講座」開講
 - ⑤ 溶解鋳造：（安田：京都大学、9月21日～23日）、18名参加
 - ⑥ 熱処理：（熊井：東京工業大学、9月14日～16日）、18名参加
 - ⑦ 材料の強度・強化メカニクス：（渋谷：大阪大学、7月14日～15日）、28名参加
 - ⑧ 加工（圧延・押出）：（吉田：岐阜大学、9月28日～30日）、17名参加

- 日本アルミニウム協会：2016年度「アルミニウム・夏の学校」開催
 - ① 関西地区：（京都、7月22日～23日）、6大学、学生26名参加
 - ② 関東地区：（東京、8月26日）、10大学、学生18名参加
- 日本アルミニウム協会：2017年度「アルミニウム・夏の学校」開催
 - ① 関西地区：（京都、7月21日～22日）、2大学、学生8名参加
 - ② 関東地区：（東京、8月25日）、9大学、学生25名参加

- 日本アルミニウム協会：「特別出張講座」開講
2016年度
 - ①富山大学、②東京工業大学、③首都大学東京、④産業技術短期大学、⑤京都大学
2017年度
 - ①富山大学、②大阪大学、③大阪府立大学

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

日本はこれから低炭素社会、循環型社会、安全・安心の社会の実現を目指す。アルミニウムを、その一翼を担う材料に位置づけるべく技術戦略マップの実現の道筋(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を中心に定期的に見直しを実施する。

アルミニウムは、環境負荷の小さい、軽量化構造を実現する高強度、高靱性/高成形性素材の提供、製品開発/製造/リサイクル(PPRサイクル)の完全循環型素材として確立し、様々な顧客製品に対して、信頼性の高い、構造素材であることが必要である。この未来のアルミニウムの姿を実現するために、次の3つの大きな柱を中心にロードマップに展開した。

① 材料技術・組織制御技術・成形加工技術の確立

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。出来上がる材料は、添加元素を枯渇元素からユビキタス元素(Fe、Si)に代替する合金設計でかつ高強度、高靱性/高成形性(高伸び)を有する。高強度材は、2035年以降において、展伸材で引張強さ800MPa、伸び40%以上を目指す。

でき上がった材料を目的の形状へ成形加工できる技術を有する。

② 資源生成・循環技術の確立

輸送機材分野、エネルギー分野でのアルミニウムの適用が進展している中、資源生成・循環技術の重要度が増してきている。リサイクル、リユース技術の確立(回収と再生の技術の確立)および新精錬技術の確立により、アルミニウムの完全循環型社会を実現するため、現状の総需要410万トン/年に対して当面66万トン/年回収を増加させることを目指す。将来的にはリサイクル率100%を目指し、現状の「カスケードリサイクル」からバージン材を必要とせず資源循環に制約のない「水平リサイクル」へとシステムを転換するため、国家プロジェクトとしての活動を計画する。

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)

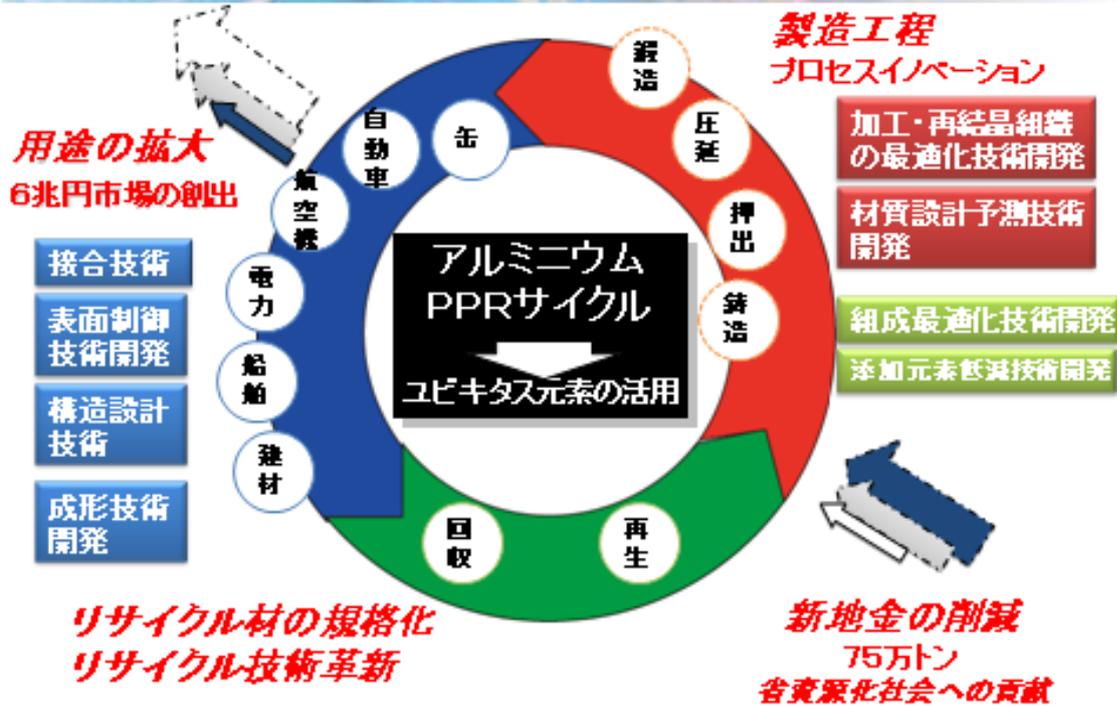
国内でのアルミニウム需要の拡大には、新しい需要分野の開拓が不可欠である。その需要拡大には、アルミニウムの高性能化と新機能の発現が必要である。アルミニウムを構造材料の第一選択素材とするために、品質と高付加価値と低コストを併せ持つ、革新的なものづくり技術を確立する。その結果として、2035年で200万トン/年の需要増(総需要610万トン/年)を設定する。

このアルミニウムの将来像を実現するために、大分類を更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。

アルミニウム産業のエコロジーモデル構築

アルミニウムの完全ライフサイクル化(循環型社会への貢献)



PPRサイクル：Product Process Recycle サイクルの略

図4 アルミニウム産業のエコロジーモデル構築

アルミニウムがつくる低炭素社会

アルミニウムを構造材料のファースト・チョイスに!
・構造物の軽量化 ・輸送機器の省エネ

海外締結時の
CO2大幅削減への貢献
アルミニウムを
機能性物質に!

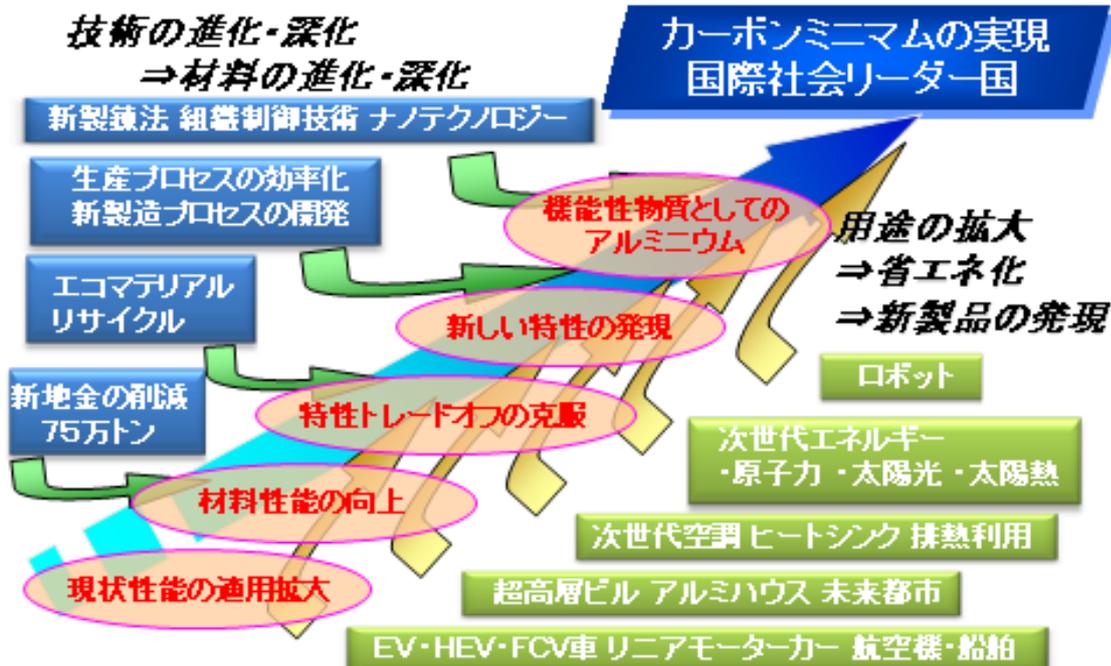


図5 アルミニウムが作る低炭素社会