

アルミニウム技術戦略ロードマップ
2009
(概要版)

社団法人 日本アルミニウム協会

目 次

はじめに

I. アルミニウム産業を取り巻く環境

I-1 社会産業の潮流・底流

I-2 科学技術の潮流・底流

II. 導入シナリオ

II-1 市場の動向・マーケティング

II-2 ユーザーヒアリング

II-3 アルミニウム需要統計

II-4 アルミニウム産業の課題

II-5 未来のアルミニウム産業に向けて

II-6 人材育成・社会への仕掛け

III. アルミニウム技術戦略ロードマップ

III-1 ロードマップ作成のコンセプト

III-2 ロードマップの詳細

はじめに

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、社団法人日本アルミニウム協会としてロードマップを作成することにした。協会内に「ロードマップ作成小委員会」を設け、会員企業の委員および軽金属学会の先生方にも委員として参画いただき検討した。会員企業は圧延・押出が主体であるため、作成されたロードマップは主として展伸材から見た内容となっている。また、本ロードマップは、昨年度発表された軽金属学会のロードマップを補完するもので、今後定期的に見直すことを予定しており、関係各界からのご意見を賜れば幸甚である。

1. 日本のアルミニウム産業の課題

日本のアルミニウム産業は、2度のオイルショックで、製錬業が壊滅し、ほぼ全量輸入に依存する地金をプロセス処理する業態が主となっている。また、ユーザーのきめ細かい品質の要求に応えるべく、多品種少量ロットによる生産形態をとっているため、原料調達コストの高さも相俟って、国際競争力維持に課題があると言われている。

また、現在添加元素に用いられている銅、亜鉛、マンガン、マグネシウムといった、今後地金価格が高騰する可能性のある枯渇元素や、ある特定国への依存度が高い金属があり、生活に欠かせない基礎材料としての供給安定性や信頼性が損なわれる懸念がある。

2. 未来のアルミニウム産業の発展に向けて

(1) 弱みを強みに変える技術開発

新地金を全面的に海外に依存していることによる原料コスト面の劣勢を、今後ますますリサイクル率を向上させることにより軽減する(総需要450万tに対して75万t回収量を増加、現行300万tの輸入量の内75万tを削減)。このためには、リサイクルの技術革新を図り、かつスクラップを上流工程に円滑に戻す社会システムを構築し、リサイクルコスト低減を実現する。これにより、原料費のコストダウンが図られるとともに、海外製錬への依存量を減らすことによる二酸化炭素(CO₂)の抑制で地球温暖化問題の解決にも貢献できる。

添加元素の枯渇や特定国への依存度の高さといった問題については、ナノテクの活用で添加元素量低減(少ない添加元素量で性能維持)を図り、また、さらには添加元素を豊富に賦存する鉄、シリカ等のユビキタス元素に代替し、かつ性能優位性が獲得できるような合金組成に仕上げるための研究開発を推進し、国際競争力を高める。

(2) 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を誇るものが種々ある。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、その利用拡大のための技術開発を強力に推進する必要がある。一例として、電気自動車（EV）の普及への対応については、EV車は車体の軽量化が走行距離の延長という点で極めて重要な意義を持つため、アルミニウム材料の採用に向けた技術開発を強力に推進する。

ライフサイクルアセスメント（LCA）の見地からは、毎年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、アルミニウム材料の製造段階でのCO₂排出量に比較して、アルミニウム材料を自動車へ使用し軽量化することによる走行時のCO₂削減量の方が数倍大きく、アルミニウム材料の需要拡大は社会全体のCO₂排出抑制に大きく貢献できる。

（3） 人材育成の強化

アルミニウムは日常生活に欠かせない金属材料であるが、最近の学生の理系離れや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ることもあり、蓄積された経験やノウハウの伝達は重要な課題である。このような背景にかんがみ、アルミニウム産業の研究・技術開発を担う人材の育成を目指し、これまでに開発された中核人材育成プログラムに更なる改良を加え、中堅研究者・技術者の系統的な教育を推進する。

I. アルミニウム産業を取り巻く環境

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、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、今や中国等をはじめとする新興勢力にその座を譲ろうとしている。量的な尺度としてのGDPは国民の幸福とどれほど関連するかという疑問はあるが、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。

特に、近年その問題の解決が急務となっている地球温暖化問題の解決のためには、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だれよりも先に迫られているという意味でも、日本は先進国であり、これら課題解決のためにリーダーとして果たすべき日本の役割は大きい。

あいにく、現在の産業界は未曾有の金融危機に端を発した不況の中にあり、各国において「グリーンニューディール」と呼ばれる内需喚起のための政策が実施されている。日本のアルミニウム産業においても、需要は少しずつ回復基調にあるものの、危機発生以前の水準にまで回復するには、まだあと数年はかかるのではとの悲観的な見通しもある。このような一過性の要因の他にも以下のような潮流や底流の変化があり、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。

I-1 社会・産業の潮流・底流

(1) 低炭素社会への貢献：

地球温暖化問題の解決はま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いる。

(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や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。

(3) 少子高齢化社会への貢献：

2006年時点の日本の人口1億2000万人の中で20%が65歳以上とされているが、これが2050年には人口は9000万人で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。

I-2 科学・技術の潮流・底流

(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へのアルミニウム関連研究テーマの玉だし

第4期科学技術基本計画に向けて、材料戦略の検討が開始されている。世界のトップランナーとして国際競争力を維持するため、元素戦略では、レアメタル以外のベースメタル戦略・ユビキタス化戦略の推進、ナノテクと材料の融合、革新的な材料開発、革新的な生産技術開発等が求められている。

(3) 経産省技術戦略マップとアルミニウム産業・アルミニウム技術戦略との乖離

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ず、その展開での国家プロジェクトが、アルミニウム関連では5年間皆無に等しい。一方他分野では、IT（ユビキタス情報通信・センサーネットワーク）、NT（ナノテクノロジー・ナノ材料・ナノコーティング）、BT（バイオテクノロジー・生命科学）が進展しており、材料技術もそれらの活用も含め、成長領域への新用途・新技術開発が求められている。

II. 導入シナリオ

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、未来の想定とユーザー業界ヒアリングを継続的に実行することにより、市場の潜在的なニーズ動向を把握しアルミニウム新用途・新技術探索に反映することとした。

II-1 市場の動向・マーケティング

(1) 自動車の未来

地球環境問題解決の切り札として、EVやハイブリッド車（HV）が今後急速に普及することが予想されており、車体の軽量化や電池の搭載といった点から、アルミニウムにとってもっとも期待の大きい市場である。

- ①電気自動車：モータ、絶縁ゲート型バイポーラトランジスタ（IGBT）、電池、構体、ケーブル等
- ②交通の未来：鉄道、トラック、バス、自転車等の電化と軽量化
- ③リサイクルの強化：自動車から自動車へのリサイクル

(2) 住宅の未来

未来の住宅は、省エネルギー及びゼロエミッションを徹底して目指すことが求められており機能材、高強度構造部材としてのアルミニウムの地位の確立が期待される。

- ①オールアルミ住宅：200年住宅、CO₂ゼロ住宅とゼロエミッション住宅
- ②建築・土木等の社会インフラの未来：超高層ビル、耐震ブレード、橋梁、未来都市
- ③リサイクルの強化：サッシからサッシへのリサイクル、高強度リサイクル部材

(3) 家電の未来

テレビ、冷蔵庫、エアコン等の一般家電に加え、安全・安心、快適生活に必要な電気製品の普及が予測される。これら家電製品についても、地球温暖化対策の推進といった観点から、省資源、省エネルギーに資する更なる小型化（大型化）、高性能化、及び高効率化が求められており、より高機能なアルミニウム材料の開発が望まれる。

- ①オールシーズン空調システム、超大型映像機器、ネットワーク化（高速通信網）
- ②ホームセキュリティシステム

(4) エネルギーの未来

エネルギーの分野においても、従来の化石燃料依存から、CO₂排出の極小化を図るため太陽電池等の再生可能エネルギーのさらなる導入が期待されており、より高機能なアルミニウム材料の開発が望まれる。

- ①原子力、再生可能エネルギー（太陽電池・太陽熱、水力、波力、潮力、風力等）
- ②蓄電池：LIB、NAS電池、レドックスフロー電池等

- ③燃料電池：固体高分子形燃料電池（PEFC）、固体酸化物形燃料電池（SOFC）
- ④超伝導

（５） ロボットの未来

少子高齢化の問題が深刻な事態になっていくことが予想される中で、介護ロボットや福祉ロボットへのニーズが非常に高まってきている。ロボット構体のベース材料としては、薄肉（軽量）・高強度・高成形アルミニウム材料の提案が望まれる。

- ①技術の融合としてのロボット、構体としての超軽量高強度部材
- ②電池（動力源）の軽量化、高性能化（長時間化）

（６） 食の未来

食文化は経済のグローバル化に伴いますます多様化していくことは明らかである。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。また、食料の自給率向上の観点から、植物工場の建設や運転も増加していくことが予想され、意外な需要が出てくることも考えられる。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アルミニウムの利用が増えることも期待される。

（７） 半導体の未来

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半導体分野はさらに成長することが予想される。半導体を進歩させるためには、それを作る半導体製造装置の技術革新が必要不可欠となる。半導体製造装置と共通点の多い製造装置として、フラットパネルディスプレイ（FPD）製造装置やソーラーパネル製造装置があり、これら製造装置部門への大型、高精度厚板の提案が望まれる。

（８） 情報通信の未来

安全安心、快適な社会の実現に向けて、防災や防犯・セキュリティ、食品・農業、医療・福祉、物流など広範な分野において、ユビキタスセンサーネットワーク構想が取り上げられており、2010年で1兆円を越す市場規模が見込まれている。

- ①センサーネットワーク、電波方式個体認識（RFID）

☆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。

《08JAA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、RFID、感光ドラム 等

《開発中の製品》

- ①JAA：燃料電池車（FCV）水素タンク用Alライナー：NEDOプロジェクト2003～2009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

《関連するJAAの活動》

中長期需要・技術開発委員会、自動車アルミ化委員会、車両委員会、アルミ建築構造協議会、土木製品開発委員会および土木構造委員会 等

II-2 ユーザーヒアリング

ロードマップ作成にあたって、アルミニウムを使用するユーザーの業界団体もしくは代表企業に各業界の現状、課題、今後の動向についてヒアリングを行い、目標設定の参考とした。現時点で完了した分野及びその概要は次表の通りであり、今後もヒアリングを継続し追加していく予定である。

| 製品分野／ユーザー | ヒアリング項目 | 課題・要望等 |
|---|---|---|
| <p>輸送</p> <ul style="list-style-type: none"> ・(社)日本自動車工業会 (FCGJ水素構成材料WG) ・日野自動車(株) ・東京電力(株) ・アルミ車両委員会 (日本アルミニウム協会) | <ul style="list-style-type: none"> ・HEV、EV、FCVの今後 ・高圧水素用アルミ材料の課題 ・トラック、バスの今後 ・電気自動車の普及とインフラ整備 ・鉄道車輛の未来 | <ul style="list-style-type: none"> ・FCVのコスト低減、信頼性・耐久性の改善、 ・高強度アルミ材 ・大型車の軽量化 ・アルミは切欠き感受性が課題 ・材料+構造変更、加工法提案 鋳物、ダイキャストに期待 ・EVのコストダウンと高性能電池の開発 ・軽量化（ガソリン車に比べ効果大） ・疲労強度、検査方法 接合部の信頼性が課題。 ・大断面の押出材開発 ・高剛性、高減衰性材料開発 ・型材の形状、サイズの規格化（モジュールの統一） ・リアモーターカーの軽量化 ・リサイクル推進 |
| <p>建築・土木</p> <ul style="list-style-type: none"> ・清水建設(株) | <ul style="list-style-type: none"> ・TRY2025 未来都市構想 | <ul style="list-style-type: none"> ・構造材はMg合金として、海水からの製錬を前提 |

| | | |
|--|--|---|
| <p>電気・機械</p> <ul style="list-style-type: none"> ・電力中央研究所 ・未来ロボット技術研究センター (千葉工業大学) | <ul style="list-style-type: none"> ・電化社会、グリーン化社会 ・ロボットの現状と未来 | <ul style="list-style-type: none"> ・電気利用技術開発と普及 ・軽量化（構体、部品） ・安全性確立 |
|--|--|---|

Ⅱ－３ アルミニウム需要統計

(1) 現状整理

- ① 全世界のアルミニウムの消費量は増加傾向にある。
- ② 特に 2000 年以降の中国での伸びが大きく、欧州全体でも増加している。
- ③ 一方、日米は 2000 年以降停滞状態である。
- ④ 人口 1 人当たりのアルミニウム消費量で見ても、中国と欧州は増加している。
- ⑤ 人口 1 人当たりのアルミニウム消費量で見たとき、1980 年までは米国での消費量が多かったが、1990 年以降では日米がほぼ同等であり、我が国は人口 1 人当たりで見ると世界最大のアルミニウム消費国である。
- ⑥ 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、建設、輸出

(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。)

(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、すでに米国と並び世界最大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。

II-4 アルミニウム産業の課題

今後の資源循環型社会、低炭素社会、自然共生社会への貢献と適応を考える。

- ① 元素戦略および資源高騰・枯渇への状況から、アルミ合金の添加元素の低減を先取りした形で、超軽量・高強度部材開発を、世界に先駆けて実行することが必要である。また枯渇的要素であるCu代替、SUS代替、Zn代替の商品へのアルミニウム展開も図る。
- ② 自動車産業の電化の構造変化を睨んで、シャーシ、ボディーの超軽量・高強度部材の要求はさらに強くなるとともに、自動車 to 自動車の3R技術開発を世界に先駆けて実行する。住宅の電化も含め、コアデバイスのLIB、モータ、IGBT、PV等のアルミニウムの新規用途開発へ新技術を含め注力し、実行する。
- ③ 金属アルミニウムの新用途開拓がバルク材で遅れている。アルミ建築構造材、土木構造材、海洋構造材等への展開を積極的に図る。なお、アルミ耐震ブレース、アルミエコハウス、アルミ橋等で、アルミニウムの特徴が活かされた社会インフラへの適用が始まりつつある。
- ④ 電子電気・半導体・情報通信・光学領域等において、機能性部材としては世界一のアルミ部材が多い。HD基板、PVインク、半導体製造装置、高純アルミターゲット、ユビキタスアンテナ、熱交換器等であり、更なる付加価値の高い機能性部材で世界初、世界一の展開を図る。
- ⑤ 日本のアルミニウム産業は、精錬事業からは遠くなったが、低コスト精錬技術の確立は長期的課題であり、新技術・極限的技術の開発に手掛かりを見つける。

II-5 未来のアルミニウム産業に向けて

(1) アルミニウム業界共通の基盤技術開発

(1) - 1 添加元素 (Mg、Mn、Zn、Cu) 低減合金の開発

ナノ組織制御による引張り強度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 低減、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 ナノ組織制御でのブレークスルー
 - ・ DSS-F (Deformation Semi Solid -Forming) プロセス (里：東工大)
 - ・ 水素化脱水素化による微細組織化 (文科省元素戦略 2007~2011 年：東北大)
- 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：物材機構)
 - ・ 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
- ③ 外部力による組織微細化
 - ・ 急速冷却

- ・電磁力
- ・超音波

(1) - 2 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 耐火コーティング技術：非金属介在物ゼロ

(1) - 3 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
：独）バイエルとALCAN：1000MPa
- ② 摩擦攪拌接合（FSW）での異種材料接合

(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。

- ① チクソ・ランナーレス射出押出技術（三輪：産総研）
- ② チクソ展伸材DSSF（里：東工大）Fe1%含有高強度材

(1) - 5 連続プロセス化

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

(1) - 6 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、新精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）JAA 2008年～

(1) - 7 リサイクル合金分別技術

展伸材から展伸材へのリサイクル技術開発に取り組む。

- ① 新アルミニウムリサイクル技術開発事業 JAA 2009年 NEDO 事前研究実施中。
2009年（NEDO 事前研究実施中）2010～2012年（NEDO 先導研究を予定）

(2) 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

☆調査テーマ☆

現在調査中または助成中の技術テーマを以下に示す。

《2009年調査テーマ》

- ① AlH₃水素吸蔵合金
- ② 新精錬法：炭素還元、水素還元、
太陽光レーザ還元（JAA 研究助成：2008～2009年）
- ③ 磁性アルミ～モータコア
- ④ 次世代LIB
- ⑤ 超伝導アルミ

《2008～2009年の中長期研究助成テーマ》

- ① Al 基熱電材料：名古屋大学
- ② Al イオン伝導体；NAS 電池代替：大阪大学
- ③ Al 触媒：徳島大学
- ④ Al 陽極酸化光機能材料：日大
- ⑤ Al 陽極酸化LIB 界面機能：山形大

Ⅱ-6 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、新教育システムを構築する。

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

JAA：2010年以降 アルミニウムプロセスメタラジスト育成実行

Ⅲ. アルミニウム技術戦略ロードマップ

Ⅲ-1 ロードマップ作成のコンセプト

日本はこれから循環型社会、低炭素社会、安全安心の社会の実現を目指す。アルミニウムを、その一役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、今後、アルミニウム協会を中心に年度毎の見直しを実施する。

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。

② 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450万トンに対して75万トン回収を増加させることを目指す。

③ 利用拡大技術の確立(アルミニウムの性能改革による新たな可能性の開拓)

これまでの統計データでも分かるように、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、新しい性能の改革が必要である。そのために、ファーストチョイス素材となるために、アルミニウム構造部材としての品質、用途の付加価値に即したコストを併せ持つ性能を革新できる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/年の需要増を2009年度版として設定する。

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、2009年度版とした。

図4、図5に全体のコンセプト図を示す。

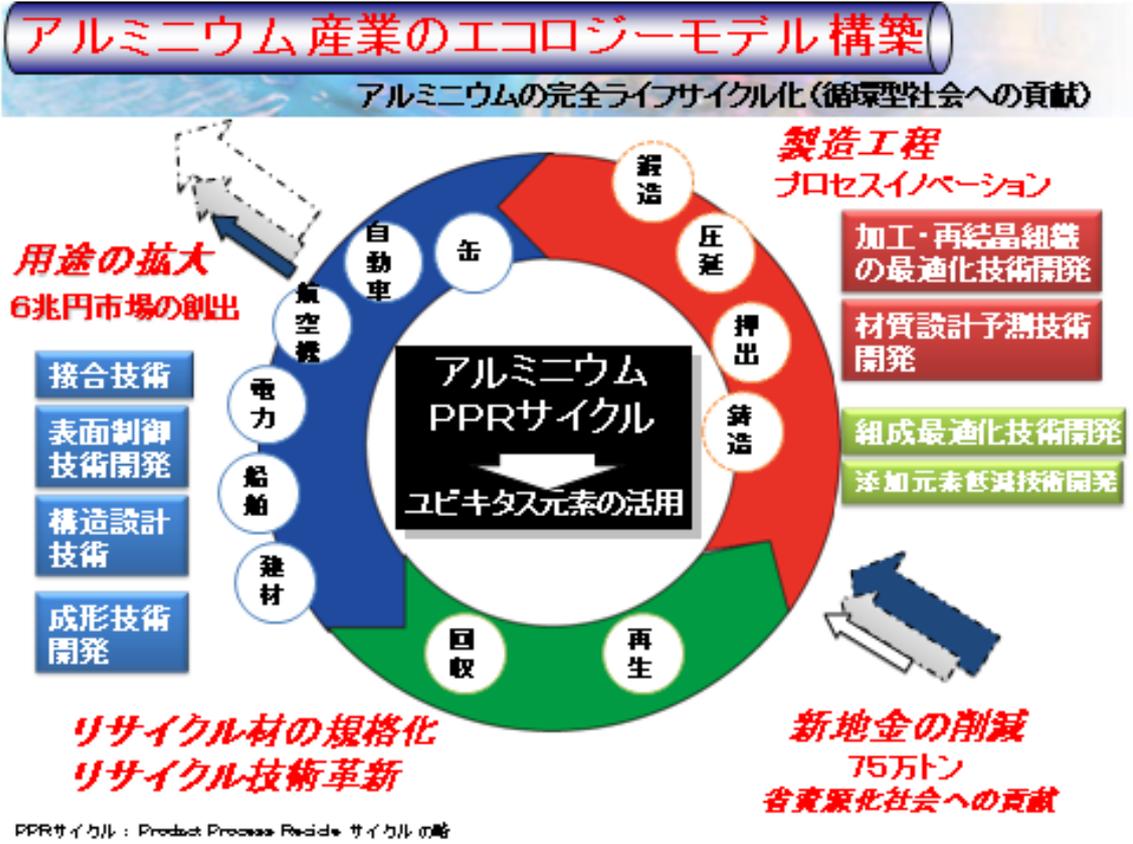


図4 アルミニウム産業のエコロジーモデル構築



図5 アルミニウムが作る低炭素社会

Ⅲ-2 ロードマップの詳細

ロードマップの詳細は公開しないが、具体的なアクションの参考とすべく、いくつかのシナリオで検討した。