

ミレニアム・プロジェクト「循環型経済社会」事業実施報告書

【府省名：文部科学省】

事 項	説 明
実施施策名	14. 資源循環型社会の実現に資する環境負荷を低減する物質・材料に関する調査研究
実施目標	鉄・アルミ・コンクリート等の循環量の大きい物質及び含塩素有機化合物、重金属等の数量でも環境に大きな影響を与える物質・材料についての、環境負荷、発生量の調査を行うとともに、環境負荷物質の削減又は廃棄物量の削減に寄与する技術及び動向を調査し、その中から環境負荷の削減に特に効果的と想定されるものを選定する。
事業の成果と実施状況	<p>(事業の成果) 及び (事業実施内容)</p> <p>環境低負荷型物質材料のリサイクルに関しては、北米、欧州および我が国のアルミ、プラスチックおよび鉄鋼について、現地調査、ヒヤリングを実施し、物質・材料科学技術における重要研究開発課題を抽出した。共通的には、スクラップ利用による最大効果を上げるための物流圏を想定して、製品の多様なニーズに対応し、かつ高付加価値化できる比較的小規模の素材・製品一体化製造技術の開発が鍵であることが示された。</p> <p>環境負荷の大きい不純物を除去してリサイクルするために必要な関与物質総量という概念で、リサイクル環境負荷を定量化する手法を開発し、主要金属等の循環型転換効果の重要性を評価した。その結果、構造材料である鉄、アルミ、銅およびステンレスなど現在大量消費されているもので効果が大きいことが解析された。</p> <p>学会会議該当委員会等との意見交換しつつ、循環型経済社会における物質・材料における環境負荷低減に資する技術開発の方向性について提言をまとめた。その中では、上記以外に、都市鉱山資源調査の必要性、開発技術の海外移転を前提とした国際共同開発などが重要であることが示された。</p>
事業の企画立案・実施者としての事業の総括	<p>(実施目標の達成状況)</p> <p>目標をほぼ達成した。</p> <p>鉄、アルミに関しては十分な調査、解析を実施できたが、コンクリートに関する調査、検討は、実際にはプラスチックと置き換わった。これは、調査範囲を広げすぎると、自動車関係材料に絞って調査、解析した方が、より効果的であるという観点からの選択の結果である。</p> <p>(成果の政策への活用)</p> <p>民間では既に対応技術としては十分に進んだ展開を行っているが、一方、抜本的な対策のためにはより基礎基盤的な研究開発が必要という解析結果となった。したがって、物質・材料研究機構で実施中の関連プロジェクトへの速やかな反映、来年度以降の各種競争的資金枠で分野設定への提案などによって、成果を活用していく。</p> <p>(今後の事業の展開)</p> <p>本事業自体は終了するが、成果の普及、関係業界とのより深い意見交換などによるフォローアップを物質・材料研究機構などに実施継続させる。</p> <p>(その他)</p>
関係機関や民間との連携の状況	<p>(1) 「循環型社会における物質・材料技術に関する調査委員会」を、独立行政法人物質・材料研究機構、独立行政法人産業技術総合研究所、東京工業大学、東北大学、茨城大学等の独法や大学の専門家で構成し、鉄鋼、重工、電気、自動車メーカーから協力を得る体制で実施した。</p> <p>(2) 経済産業省のLCAプロジェクト、環境省のLCA施策などとも密接な人的関係を持って進めた。また、LCA日本フォーラムやエコマテリアル研究会を通じて民間企業および関連諸機関とも緊密な関係を保った。</p>
当該テーマにかかる外的な研究環境(国際動向、研究動向等)など参考事項	ISOでLCAのデータベースの標準フォーマットが議論されており、データ共有の基盤は整備されつつある。また、材料関連技術では、北米において、資源戦略を絡めた自動車リサイクル体制の技術的準備が着実に進んでいる。平成13年10月にエコマテリアル国際会議が開催された。
所要経費	平成12年度：11百万円 平成13年度：11百万円

【年次計画表】

事業名 (番号) 14.資源循環型社会の実現に資する環境負荷を低減する物質・材料に関する調査研究

	12年度	13年度
当該年度の目標	リサイクル、温暖化寄与物質発生量の削減、有害化学物質等の除去に資する物質・材料についての現状及び環境負荷の低減に効果的な技術の把握 具体的には、自動車リサイクルに関して、特に北米の状況を把握し、国内状況との比較を行う	特に効果的と想定される物質・材料の実現のために必要な研究開発方策の検討 具体的には、自動車リサイクルに関して、特に欧州の状況を把握し、国内状況との比較を行う
当該年度の具体的課題	リサイクルの促進、CO2等の温暖化寄与物質の発生量の削減に資する物質・材料の現状及び動向の調査 有害化学物質等の除去に資する物質・材料の現状及び動向の調査 環境負荷の低減に効果的な技術を把握する	環境低負荷型物質材料のリサイクルに関しては、特に、欧州および我が国のアルミ プラスチックおよび鉄鋼について、現地調査、ヒヤリングを行う 含塩素有機化合物、重金属等の除去に関する現状の調査及び今後の方向性を調査する。 循環型経済社会における物質・材料における環境負荷低減に資する技術開発の課題の整理とオールジャパンの研究体制についてのあり方について、提案を取りまとめる。
実施体制 (委託先等)	文部科学省金属材料技術研究所 一部、(社)末踏科学技術協会エコマテリアル研究会委託	独立行政法人物質・材料研究機構 一部、(社)末踏科学技術協会エコマテリアル研究会委託
予算	11百万円	11百万円
進捗状況 (実施に当たって生じた問題点等を含む)	環境低負荷型物質材料のリサイクルに関して、我が国および北米における自動車および素材メーカー、リサイクル関係業者等からリサイクル材に関する現状を調査した。同時に、材料関係業界、関連学協会における取り組み状況も調査しまとめ、今後の研究開発の方向性についてまとめた。 温暖化寄与物質発生量の削減等、環境負荷解析に関して、MLCA (材料LCA) を適用して材料の地球環境への負荷を定量的に解析するために、その基礎となる材料の製造時およびその原料の製造時の環境負荷に関するデータを収集 整備した。 資源循環型社会における材料技術、プロセス技術などの基本的考え方を調査 検討した。	静脈、動脈分類から民間企業等の活動状況を整理し、循環型社会のためには両者が融合していくことが必要という観点から、技術的課題をそれぞれ抽出 整理した。 環境負荷の大きい不純物を除去してリサイクルするために必要な関与物質総量という概念で、リサイクル環境負荷を定量化する手法を開発し、主要金属等の循環型転換効果の重要性を評価した。 学術会議該当委員会メンバーとの意見交換、WS開催による一般参加者等との意見交換を進め、研究開発上の方向性を提言にまとめた。
自己評価	素材の枠を越えた調査体制を軌道に乗せ、総合的な観点からの調査を実施できる基盤を築いた。	多数の企業や関係団体の協力を得て、所定の目標をほぼ達成した。

平成 13 年度報告書

資源循環型社会の実現に資する

環境負荷を低減する物質・材料に関する調査研究

(エグゼクティブサマリー)

平成 14 年 5 月

独立行政法人物質・材料研究機構

事業の目的と推進体制

本事業は、来るべき資源循環型社会を支えるために開発すべき物質・材料技術課題を明確にするために、リサイクルの促進、CO₂等発生量削減、有害化学物質等の除去に資する物質・材料の現状及び動向の調査とそれらの環境負荷に関する定量的解析を目的としている。

調査および解析に当たっては、資源環境型社会の実現に効果的と想定される物質・材料技術、研究開発方策や産学官連携のあり方について、産業界、学界等との幅広い意見交換を図りつつ意見をとりまとめることに留意した。

事業の多くは、(社)未踏科学技術協会 エコマテリアル研究会に委託し、同研究会内に「循環型社会における物質・材料技術に関する調査委員会」を組織して、推進した。

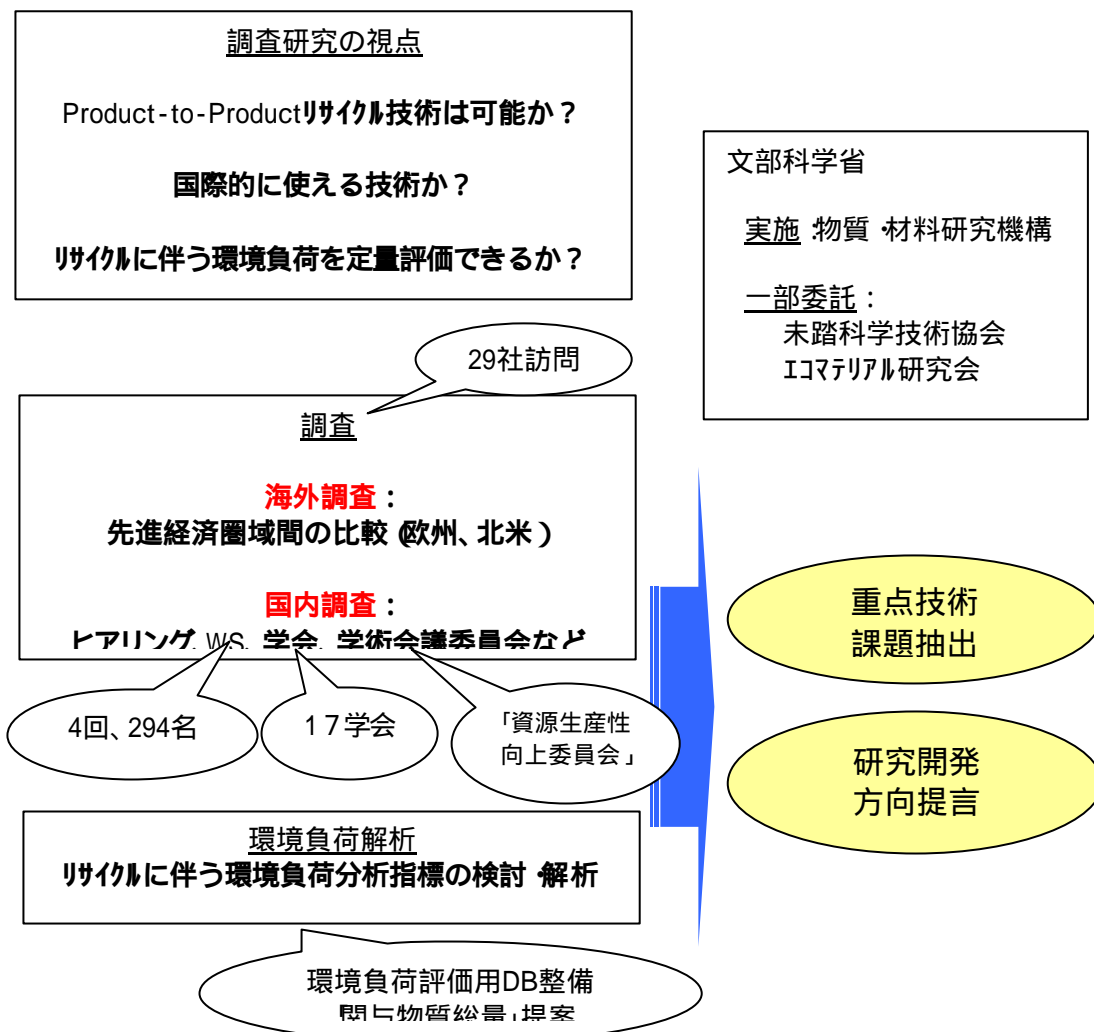


図1 事業の全体像

事業の内容と成果

(1) 北米、EU、日本の「経済圏」間の比較

資源循環の総括的把握は、原料、素材、製品、使用から、廃棄、回収、再生に至るすべてのマテリアル・フローを知るところから始まる。マテリアル・フローは、既に国内の地域間は言うに及ばず、いくつもの国境をやすやすと越えている。したがって日本のマテリアル・フローのあり方を展望する際には、国内の実態調査はもちろん複数国からなる経済圏の現状にこそ注意を払わなくてはならない。本調査では、そのような経済圏として、北米、欧州 (EU)、そして日本、中国を中核とした東アジア圏を想定した (表 1 参照)。工業化先進国では、資源循環に関する問題に共通性も多いが、詳細はそれぞれ異なっている。また、経済圏域内かその隣接地域に、最終処分を分担する国や急成長国も存在する。

表 1 調査先の想定内容

経済圏域		地下資源	都市鉱山 ^注	最終処分	静脈役割	急成長
東アジア	日本	なし	形成中	海面埋立 (不足)	(東南アジア)	中国など
	中国	わずか	未形成	水陸とも十分	内陸部	
北米		一定量有	ほぼ形成	陸上埋立 (十分)	カナダ メキシコ (中南米)	?
EU		わずか	ほぼ形成	陸上埋立 (十分)	東欧 (南欧)	東欧諸国

注：「都市鉱山」とは、地下資源の鉱山に対比して、現代工業社会では物質資源が都市に豊富に蓄積されており、それらを将来の資源とみる視点を表している。

(2) 動脈産業から静脈産業まで広範囲に調査

経済圏域を問わず、ほとんどの企業はそれぞれの性格、目的の違いがあっても、動脈・静脈一体化 (融合) にむけてリサイクル容易な材料選択や製品設計、廃棄物処理技術開発に取り組んでいる。来るべき資源循環型社会を担う製造業へ転換していくための指針を、本調査では、**動脈産業<材料製造 (部品製造) 製品製造>のグリーン化と静脈産業<リサイクル/リユース (回収・解体・スクラップ処理 再資源化)>の高度化による相互の融合**でなくてはならないと見定め、この視点から各国における静脈、動脈両サイドの製造業等の活動を調査し、分析した。

(3) 抽出された重要課題と優劣比較 (図2参照)

1) 素材供給メーカーにおける省エネルギープロセスと高機能化

欧州では、製鉄高炉メーカーが、環境負荷が大きい(具体的には廃水、廃ガス、副産物量が大)高炉+転炉+連続鋳造によるスラブ製造+連続圧延>という従来の一貫プロセスに加え、より環境負荷が低い、高炉-転炉を利用した<ストリップ連鋳>や<薄スラブ連鋳+ミニミル>への部分的転換を進めている。さらに、<薄スラブ連鋳+ミニミル>では、材質の広範囲造り込み制御が実現しつつある。この点では欧州が世界的にリードしている。日本は、欧米におけるこれらの設備設計やノウハウ提供などで寄与しているものの、自国内に設備を持たないため、操業経験、製品供給力の点で立ち遅れが懸念される。

2) 部品設計との一体化を図る組立産業

<材料製造+部品製造>型の企業では、部品ニーズと材料問題を把握しつつ材料および部品開発を並行して行っている。すなわち、部品設計と材料利用が一体化しており「製品の一部としての材料」という位置付けが明確である。製造業の空洞化、脆弱化が叫ばれる中、このような方法論による資源循環型ものづくりの技術やノウハウを育成していくことが日本の強みになる。

この点では欧州内 AUDI 社におけるアルミニウム車体自動車への取り組みが参考になる。世界の自動車メーカーでは、軽量化を最重要視しつつ、様々な材料の特質を活かし、部品要求特性に最適な材料選定による自動車を開発しつつある。しかし、現時点では異種金属の接合方法や電食対策、リサイクル等多くの課題がある。そこで、AUD 社では既存の製造設備体系にとらわれず、アルミニウム合金鋳物を多用し、部品の一体化、肉厚の最適化を実現して、アルミニウムの実車適用を成し遂げた。

3) 廃棄物処理の技術開発

注目を浴びる手分解型(解体・回収・廃棄物処理)

最近注目を浴びている手分解型は、材料別分離あるいは高価値スクラップ回収に有効だが人件費がネックである。また、回収量が増えていくと、塗装膜、複合化設計など従来は隠れていた分離困難要因が再生材質を低下させる恐れがある。

一方シュレッダー型では、分離効率を飛躍的に高めるべく(新開発された微粉砕法によっても、同一材料系のグレート別完全分離は達成できず、再生はカスケードリサイクルとならざるをえない)。解体容易部品設計や材料成

分統一化などがこれらの問題解決に不可欠である。

リユース部品再生技術への期待

欧州高級自動車メーカーの中古車は、東欧へ車あるいは部品として流れる。我が国でも、ロシアや東南アジアへの中古車輸出が増えており、リユース部品市場が現実化している。リユース部品の再生、補修などの技術開発が、市場の安定化、拡大のためには有効である。

物流システム技術の革新

静脈産業が成立するためには、資源循環型の合理的物流技術・システムの開発がいっそう重要性を増してきている。

多様な意見が存在するプラスチックリサイクル

比較的意見がまとまりやすい他の材料に比べて、多様な意見が現に存在するプラスチックリサイクル問題への対応方針を慎重に議論した。その結果、以下のような大筋の合意を得た。

- ケミカルリサイクル対象物質を指定し、品種を拡大していく
- 戻しやすいプラスチックの開発を促進、拡大する
- 品種の統一、分別技術、油化技術などは今後いっそう開発を進める
- 製品性能と素材性能の設計上の歩み寄りが必要。
- サーマルリサイクルの除外も悪いし、それに限定するのも良くない。
- プラスチックを他材料で代替する可能性も視野に入れる。
- プラスチックの本質的重要性を活かしていくための基礎研究重要。

欧州プラスチックリサイクル

欧州プラスチックリサイクルは、ドイツ企業を調査した範囲であるが、当初暗黙的であった「ドイツは日本よりもプラスチックリサイクルが進んでいる」という考えが変わった。特に家電リサイクルに関しては、日本では既に家電リサイクル法が施行されているのに対して、ドイツでは未だ議論中で、日本の状況を見つつ対応するとのことである。日本の家電リサイクル法にも問題点は残されているが、世界に先駆けた画期的なものと評価できる。一方で、「包装容器リサイクルでリサイクル経費(技術開発費も含む)を製品価格に内包する点には日本も見習うべき点が多い。

また、ドイツ国内においてもリサイクル意識には地域差がある。さらに、最終処分に関しては、本来は埋め立てすることになっている廃プラスチックだが、東欧に流出している量も無視できないと言われる。シュレッダー屑の最終処理についても不明な点が多い。

4)再生メーカーにおけるスクラップ高度利用法の開発

鉄スクラップから再生材料を製造して部品、製品メーカーへ材料を供給している電炉系再生メーカー、固有の優れた技術を既に保有している。今後は高付加価値製品用素材提供のために製品メーカーとの結びつきをより深

める方向にある。特に米国で先行しており、日本は国際的に立ち遅れている。

5) 材料製造と製品設計の融合型製造業の存在

これは、<材料製造(開発)+部品製造+製品製造+回収・資源化>を同一企業内もしくは系列企業内で行っている場合であり、内部で動脈産業と静脈産業がクローズし、融合している。

たとえば、YKKでは、素材から製品、製造設備、さらには工場内ゼロエミッション、スクラップの受け入れ、に至る一連のループを一企業で担っている。そこでは、「製品の一部としての材料」の観点で貫徹されているのは勿論のこと、材料、製品、リサイクル等の観点で同格であり、的確かつ柔軟に総合的に問題解決が図られている。これらは、資源循環型社会に適合できる企業の最適モデルと評価される。

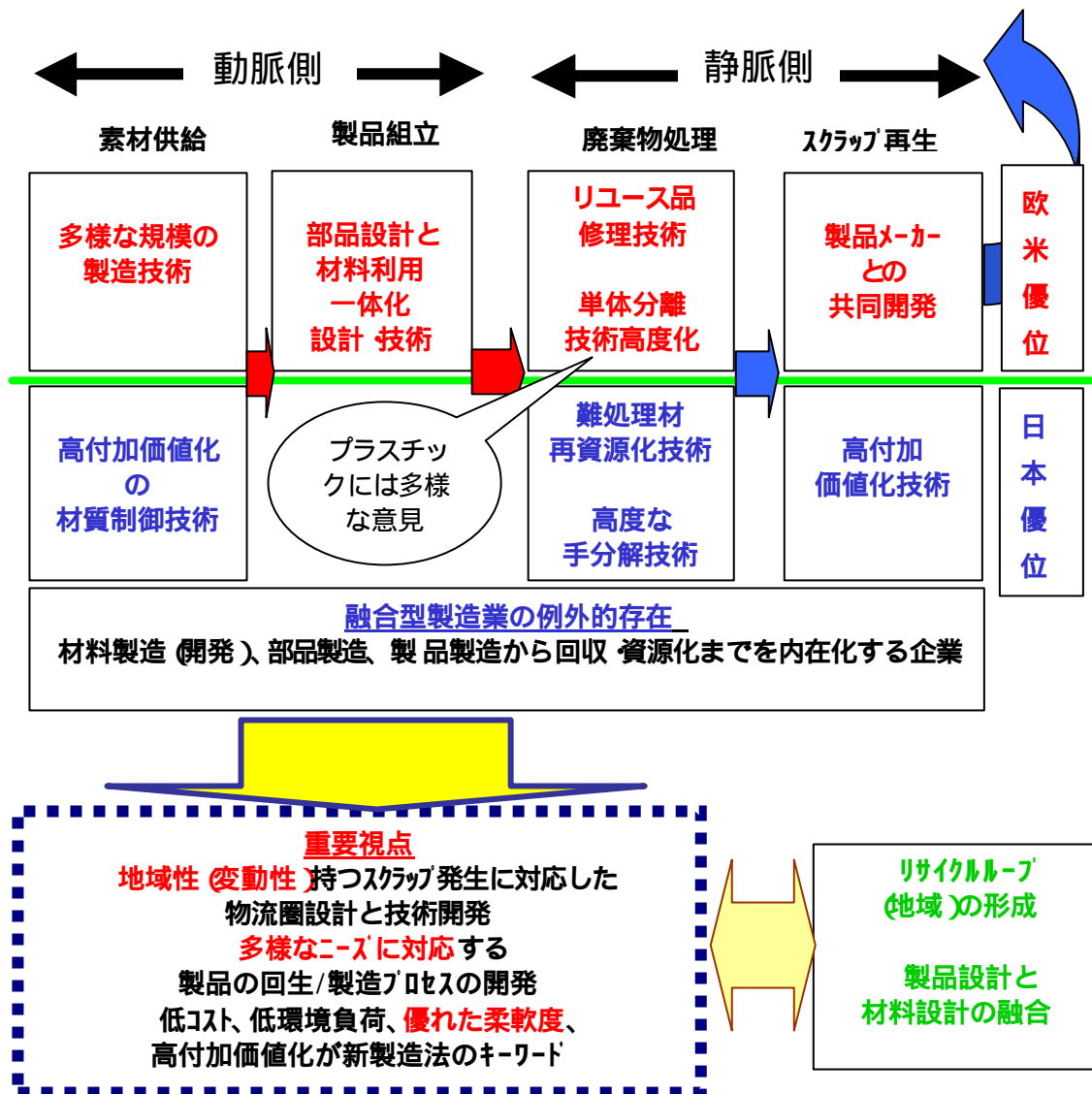
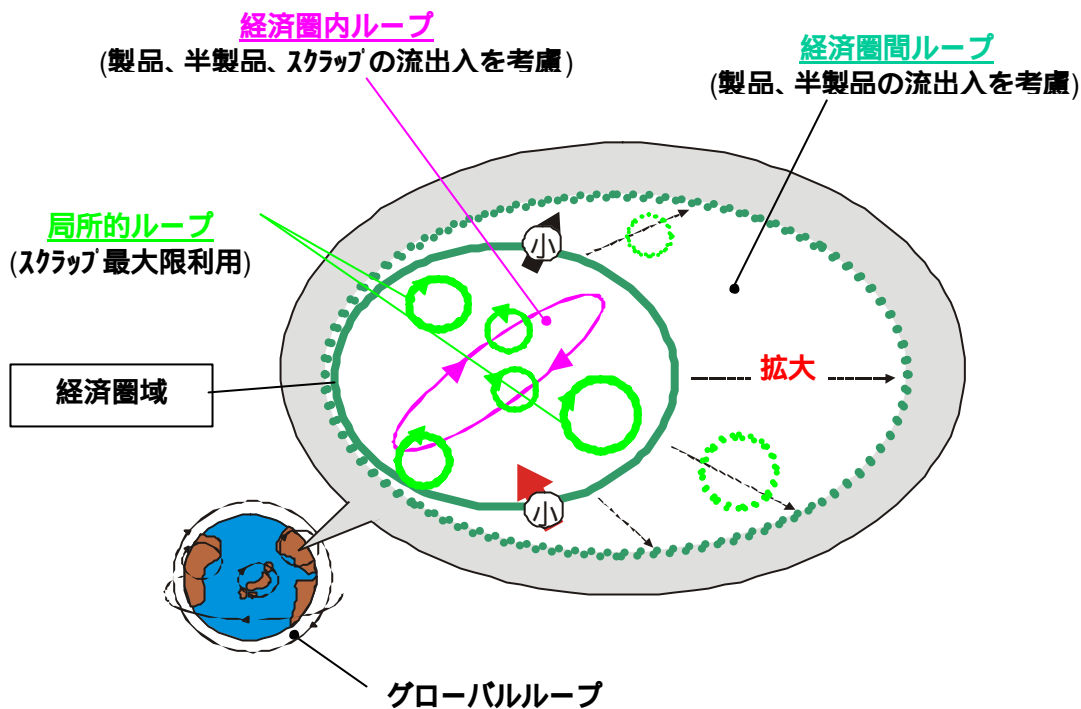


図2 抽出された重点技術課題(調査視点から)

(4) 資源循環型社会に不可欠な製造技術開発の重要視点

資源循環型社会を生み出し、支える融合型の製造技術開発のための視点は以下のとおりである。

- 1) 地域性 (変動性) をもって発生するスクラップに対応する物流圏設計と技術開発を進める
- 2) 多様なニーズに対応する製品の回生 / 製造プロセスを開発する
- 3) 低コスト、低環境負荷、優れた柔軟度、高付加価値化を新製造法のキーワードとする
- 4) 融合型への転換を進め、支えるためには以下のような観点が重要。
 - リサイクルループの形成 (図3)
 - ・ 小さなループから解決していく姿勢
製品と材料との融合
 - ・ サービス、パフォーマンス、リスク管理を含めて、製品にシステム化された材料の視点をいっそう進める
再生材も融合型に
 - ・ 再生材の高純度化に縛られず、不純物を許容する開発
 - ・ 有毒だが必須な物質の分離・分別技術の高度化および代替材開発



ある地域 より広い地域へ 地球規模へ

図3 ループの形成

(5) 環境負荷解析のための指標検討

資源循環型構造材料の環境負荷解析の結果、我が国の生産が関与しているCO₂ 発生量および関与物質総量 (図 4)を得た。

関与物質総量 (TMR)

物質・材料循環の全生涯に渡る効率的な資源の利用と環境への影響」

生産に対して関与した地球資源の総量

結論として、構造材料である鉄、アルミ、銅、ニッケル(ステンレス)、クロム(ステンレス)が循環型で用いられることによる環境負荷低減の効果は大きく、現時点でもすでに1/3程度の環境負荷の削減に貢献している。さらに使用済み素材のリサイクルを進めれば、今後も同程度の環境負荷削減効果が期待できる。

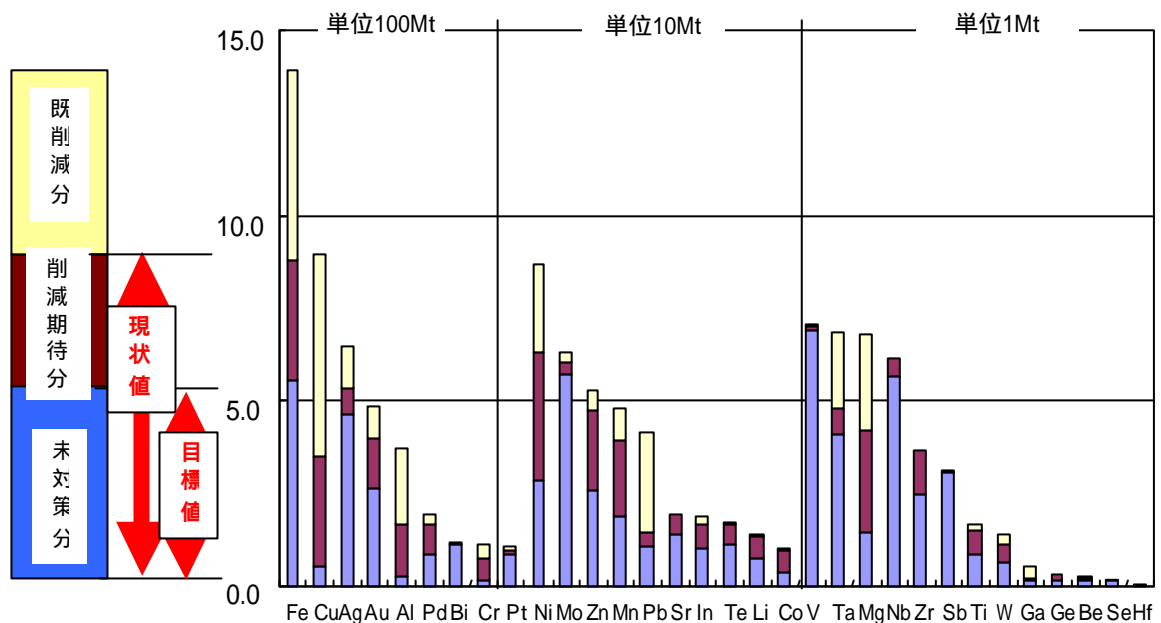


図 4 各元素別 年間の関与物質総量(TMR) (我が国の生産関与分)

提言

静脈、動脈の分類から見た両者の融合のための提言

留意点

大量使用材料を対象にすることが、最も効率的に地球環境保全に寄与

スクラップ原料のスモールスケールプロセス技術開発

ニーズと原料の多様化に対応できる

(規模、製品が)フレキシブルな素材製造技術を導入

今後はニーズも原料(スクラップを含む)も多様化する。環境負荷を増加させずこの要求に応えるためには、各素材は、単一組成化、スクラップ利用、低コスト、多品種少量生産をより多く指向することになる。それには、少品種大量生産に最適された現状のプロセス(大量一貫生産ライン)のみでは対応できない。すなわち、プロセスにも多様な選択が求められる。

統計調査

都市鉱山を資源循環型社会の原料源に設計を

都市鉱山の形成という観点からは、スペック、発生量の変動がスクラップ利用のネックとなっている。材料の如何を問わず、今後、スクラップ発生量は製品内需量に向けて量的には漸増する。材質についても、製品毎の製造量と寿命についてデータを蓄積しつつ、スクラップの材質毎の発生量に統計的なフィードバックをかけていけば、近未来のスクラップについて材質毎の発生量のある程度予測できる。その結果は、社会基盤再整備のグランドデザインに大きく寄与する。

国際共同研究

静脈動脈融合産業融合体の育成により

マテリアル・フローミニマムサイズのユニット化を新しい国際標準に

資源循環は必ず地域性を内包している。この点でエコタウン構想は理にかなっており、これからの運用と充実に期待がもたれる。また、エコタウンを資源循環型社会の基本単位として、環境技術未開発国へそれを支える技術体系ごと移転していくことが期待される。

多局地ループを内包するグローバル体を考え、総合的な環境負荷、資源消費を最小限に押さえることが合理的である。そのための国際共同研究開発が望まれる。

残された課題

1. 局地ループのサイズ設計における経済性評価

材料側から見た技術的課題の抽出は大いに進展したが、社会に受容される技術にまで高めていくためには、輸送コストなどを含めた総合的経済性の評価からの検討が不可欠である。その結果として、局地ループの最適サイズが導かれれば、実用化技術開発の意味が始めて生まれると言って過言でない。

2. 製品側からみた材料毎の課題の評価付け

さらに製品のリサイクル性を向上させる観点からの要求事項をより深く理解し、材料技術課題の重要度を精査する必要がある。

3. 解決すべき重要課題の年次展開からの位置付け

以上の作業を経て、解決期待タイミングを見定めて、各課題の年次展開や研究期間を有効に設定する必要がある。

本事業の意義

材料の枠を越え、材料と製品の境界を無くし、かつ動脈、静脈の垣根を越えて調査を実施できたことは、極めて有意義であったと評価できる。このような体制をさらに有効に発展させて行くなかでこそ、社会的に受容容易な解決策が探索されていくものと確信する。

この意味で、今後は関連業界との対話、業界間の対話をいっそう足進していく取り組みが期待される。

また、重要性、緊急性が明確な課題については、遅滞なく既存プロジェクトへの反映や、新規研究枠の設定などを講じていく必要がある。

以上