

NIMS-EMC 材料環境情報データ No.16
マテリアルリース社会システムの
グランドデザインの検討



NIMS-EMC 材料環境情報データ No.16
マテリアルリース社会システムの
グランドデザインの検討

2007年 3月

執筆者

原田幸明

井島 清

(独) 物質・材料研究機構
元素戦略クラスター

環境の世紀とも呼ばれる 21 世紀になって、経済活動や生活のあらゆる局面で地球環境を考慮した変化が進んでくるようになってきています。そのような中で素材や材料は、あらゆる製品をかたちつくりしている存在であり、かつ、資源として地球環境圏から取り出され、廃棄物として地球環境圏に戻される、地球環境に密接に係わった存在でもあります。それゆえ素材の製造者だけでなく、製品の製造者、使用者、さらには処理に係わる人達すべてが、使用されている素材に対して、その素材に係わる環境負荷やリサイクルのしやすさ・状況等を的確に知り資源生産性の向上や持続可能な社会に向けた選択に生かして行くことが重要です。

しかし、そのために必要な材料の環境負荷や循環に対する情報はまだまだ整備されておりません。中には一部の側面だけを肥大化させた情報などが散見され判断に困る場合も出てきています。

このような状況に対し、エコマテリアル研究センターでは、信頼性における材料環境情報の整備が物質・材料研究の中核機関として欠くことのできない努めであると判断し、ここに、NIMS-EMC 材料環境データをシリーズとして発行する事にしました。なお、NIMS は物質・材料研究機構 (National Institute for Materials Science) の略、EMC はエコマテリアル研究センター (Eco Materials Center) の略です。データ集やデータベースとは若干趣は異なりますが、専門家による綿密な聞き込み調査などをもとに統計資料などでは得られない材料の製造や循環に係わるデータや、LCA 的な考察に不可欠の材料データなどを提供して行きたいと考えております。

2006 年

物質・材料研究機構

エコマテリアル研究センター長

原田幸明

2003 年以来、上記の趣旨で材料環境情報データを発行してきました。その後、エコマテリアル研究センターは発展改組されましたが、同様の趣旨で材料環境情報データの発行を継続することとしました。

2007 年 3 月

物質・材料研究機構

元素戦略クラスター長

原田幸明

目 次

- 1．はじめに
- 2．内容概略
- 3．マテリアルリースの論点の整理
- 4．マテリアルリース・システムの必要性の分析
- 5．マテリアルリース・システムのインセンティブ
- 6．マテリアルリースの対象
- 7．現実のリサイクルシステムとの検討
- 8．まとめ

本報告は、2000年から2004年にかけて、科学技術振興機構社会技術研究「循環型社会」の一環として、「マテリアルリース・システム構築のための総合研究」として、物材機構の原田幸明当時エコマテリアル研究センター長（現材料ラボ長）をグループリーダーとして、中村崇東北大多元研教授、細田衛士慶応大学教授、盛岡通大阪大学教授でグループをつくりすめた研究成果のなかから、総合グループ（原田）の成果をまとめたものです。

報告書の中にあるように、マテリアルリースの概念自体が発展途上のものであるが、近年特に、資源の立場からリサイクルの必要性が強く認識されるようになってきており、このマテリアルリースの中で示されている、循環に経済主体がかかわっていくチェーンづくりの重要性が浮き彫りになっている。そこで、少々古い報告ではあるが、このマテリアルリース研究のグランドデザインに関する部分を採録することとした。

1. はじめに

世界的な人口爆発、生活環境向上に伴う個人当りの消費エネルギーの急激な増加などによる地球レベルでの環境問題、資源問題に対する一つの解答を与えるために資源生産性の向上が望まれている。本研究はマテリアルリース社会システムの構築を基に資源生産性の向上を図るものである。ここでいうマテリアルは、エネルギーを除く人間生活に利用するすべての素材・物質を対象として考え、マテリアルリースとは、かならずしも明示的なリースの形態をとる必要はなく、素材・物質の生産者が最終管理責任の所在を経済行為の中に含んで素材・物質を提供するシステムである。この社会システムが構築されることにより、従来行なわれてきたカスケード型の物質循環でなく、真の物質循環システムを可能とすることが期待できる。

資源生産性の向上は、人々の豊かさを確保しつつ地球規模でのサステナビリティを実現していくために欠くことができない課題である。現在、わが国が推し進めようとしている大量生産、大量消費、大量廃棄型の現行の経済社会システムから循環型社会経済システムへの転換の方向は、その有力な方向のひとつではある。しかし、現在の循環対象の資源の多くが大量生産、大量消費、大量廃棄型システムに依存した端材であるケースや、使用済み製品からの再生資源の経済価値が大量生産素材との競争に耐えられず処理ルートの中で生産性に結びつかない循環に陥るなど、循環が自己目的化され資源生産性の向上に結びつかないケースも多く見られるようになってきている側面も無視できない。このような問題から脱却し、循環型経済社会システムへ向けた取り組みを資源生産性の向上に有効に結び付け、脱物質型の循環型経済社会システムへと高めるためには、リサイクルも含めて資源を最も有効に利用することにより経済的社会的な地位を高めることのできるプロバイダーを育成するシステムを構築していくことが重要である。

マテリアルリースの考え方は、このような現状をふまえ、素材や物質の生産者が最終管理責任の所在を経済行為の中に含んで素材・物質を提供するシステムとして材料のエンジニアリングサイドから提案されている。これは、単にリースシステムを理想の物質管理形態と考えるのではなく、すでに循環型を背景とした資源利用が経済行為として成立している一部の使用済み金属資源の取引システムに範を得たものであり、必ずしも直接的なリースの形態をとる必要は無く、提供者が受け入れ責任を明示することによって素材提供サービスに付加的価値をつけることのできるシステムにより条件は満たされると考えられる。そこでは製品の解体、素材の識別などを通じて提供者/受用者間で定めた状態で返納することにより、それ以降の物質循環は提供者側の責任によって行われる。これにより競合バージョン材とのバランスの調整も可能になるのみならず、提供者は添加物、含有物等についての正確な情報を保有しており有害物質管理も含めた資源の有効利用が促進できるシステムとなりうる。また、マテリアルリースで全ての素材が同一製品に戻ることを必須とする必要は無く、マテリアルリース側で関連素材の需給バランスを考慮した物流ルートへの調整でより高い資源生産性を目指すことも期待出来る。

「リース」という表現は、経済的な lease として長期間にわたる賃貸借契約をイメージする場合が多い。しかし、ここでは、既にある経済行為としてのリースの範疇を超えて「長期間の貸し借り」として考えていくことにする。すなわち、その視点から「資源」を見ると、われわれが地球環境から資源を採取し、最終的に再び地球環境に戻すということは、「資源をわれわれが地球から借りている」という大きなリース関係の中にあるということができる。この地球との循環を「大リース」と呼ぶならば、経済行為の中の一対一のリース契約は有用物として「使用」するステージにかかわる「使用」と「管理」の関係の「小リース」であるということができる。では、その中間にもリース関係があるのか。それが、ここで明らかにしようとしているマテリアルリースの関係であり、地球環境と人間圏の大リースのもとで人間圏に持ち込まれた資源を、製品の製造や管理者、さらには消費者や処理リサイクル業者という特定の者の所有責任として処理していくのではなく、個々の局面においてはあたかもリース関係のように、資源、物質に経済行為がついて回るという見方をすることができる。これが、人間圏の中の「中リース」関係であり、マテリアルリース研究が目指すものはこの「中リース」システムとは何かということである。

この考え方は、ディマテリアリゼーション（脱物質化）へのパラダイムシフトと基を一とするものである。20世紀型の大量生産、大量消費、大量廃棄の社会は、消費者の要求をショーウインドウ型の物質化した選択として提示しその獲得と生産に力を注いできた。それに対して現在問い直されているものは、消費者（享受者）が欲していたものは物質そのものなのか、それを通じて受けられるサービスなのかという問題である。享受者が欲しているものが物質ではなくサービスであるならば、物質は享受者に所有される必要はなくより優れたサービス提供を行える主体のもとで管理・循環させればよいという考え方である。「より優れたサービス提供を行える主体のもとでの管理・循環」、これがマテリアルリースのポイントであり、サービス提供主体も単一の者ではなく、社会的分業の中でかかわっており、これらの経済行為も「モノを所有する」ことではなく「モノを適正にまわすこと」によって動機付けられることを目指すものである。ちなみに、lease の語源は release（開放する）と同じで、「手放す」ところにあり、「管理責任を誰が取るか」ではなく、それを適正に処理し適正な循環に手渡していくことのできるシステムがマテリアルリース・システムといえる。

このマテリアルリース・システムは、材料学関係の視点からは理想に近い物質循環を保証し得るものと期待されるが、経済的、法的、人間行動学的諸側面および技術的にもシステムとしての成立基盤などの課題を的確に把握し、それぞれの分野でのブレークスルーとなる技術、施策、および時間的空間的な広がりシナリオなどを検討し、社会的実践に結合し得る提案としていく必要がある。そこで、本制度により、技術 - 経済 - システムを軸に、法学、人間行動学等の諸側面から、マテリアルリース・システムを総合的に検討に掛け、これらの知識の結集によって、マテリアルリース・システムの社会的有効性、実現の物質的、経済的、社会的基盤、実現に向けての時間座標と技術的、政策的、意識改革的課題を明らかにしてい

く同システムを実効性のある社会提案としていくことを目指していく。

本研究の発端となったのは、2000年の「第17期学会議物質創製工学研究委員会金属材料専門委員会報告書『材料の21世紀へのストラテジー』」である。そこでは、21世紀の材料が持続可能社会を支えていくためには資源生産性の向上が不可欠であると指摘され、その資源生産性の向上に資する材料技術が議論された。さらに、その報告書を受けて「資源生産性とその向上の方向性に関する委員会」が内閣府のミレニアム研究「循環型社会に関する大規模な調査研究」を実施していた当時の金属材料技術研究所を事務局に設置され、材料関係の各学協会からの代表者を集めて資源生産性向上のための材料技術の検討が進められた。その中で、重要な3つの柱として指摘されたものが、○ソリューション指向の材料システムの構築、○産業間フュージョンによる新しい生産体制、そして○国際的マテリアルリース社会の構築である。

おりしも、当時の科学技術振興事業団で社会技術研究推進事業が立ち上げられ、「循環型社会」がそのテーマとして取り上げられた。本研究は、その社会技術研究推進事業「循環型社会」の公募研究として取り上げられたものであり、「資源生産性とその向上の方向性に関する委員会」のメンバーである原田幸明（物質・材料研究機構エコマテリアル研究センター長）と中村崇（東北大学多元研究所教授）が材料エンジニア・サイトからだけの研究では不十分としてシステムの観点から盛岡通（大阪大学大学院工学系研究科環境工学教授）および、経済の観点から細田衛士（慶應義塾大学経済学部教授）と共同で進めたものである。なお、材料関係各学協会からなる「資源生産性とその向上の方向性に関する委員会」のメンバーも「資源生産性委員会」として、マテリアルリース・システムの検討が、資源生産性の向上という本来の目的に合致しているかという点を研究の中で協力、助言を受ける体制で進めてきたものである。

2．内容概略

マテリアルリース社会とは何か、その考え方の基本を明らかにし、従来型のシステムとの基本的相違、マテリアルリース・システムにより生じる新しいマテリアルフロー、それらの資源生産性向上との関係などを明らかにする。そのために、まず、マテリアルリースに関する論点を整理し、その観点から現状のマテリアルフローの問題点を明らかにする。さらに、これまでのわが国の循環型の取り組みの中にあるマテリアルリースのプロトタイプの可能性や問題点を検討し、デポジット制などの類似型の提案の限界と相違についても明確にする。さらに、現在の循環型の取り組みの中からマテリアルリースへの萌芽を抽出し、具体的な提案としてまとめた。

3．マテリアルリースの論点の整理

マテリアルリースは概念先行の提案であり、それがいかにして具体化され、また、効果を持つかということが本研究の中心点である。さらに、マテリアルリース・システムが机上での効果だけでなく、現実に機能するシステムとして動機付けができ、かつ、実現可能でなければならない。これらのグランド・デザインを明確にすることが、本研究の中心となる。

「リース」という表現は、経済的な lease として長期間にわたる賃貸借契約をイメージする場合が多い。しかし、ここでは、既にある経済行為としてのリースの範疇を超えて「長期間の貸し借り」として考えていくことにする。すなわち、その視点から「資源」を見ると、われわれが地球環境から資源を採取し、最終的に再び地球環境に戻すということは、「資源をわれわれが地球から借りている」という大きなリース関係の中にあるということができる。この地球との循環を「大リース」と呼ぶならば、経済行為の中の一対一のリース契約は有用物として「使用」するステージにかかわる「使用」と「管理」の関係の「小リース」であるということができる。では、その中間にもリース関係があるのか。それが、ここで明らかにしようとしているマテリアルリースの関係であり、地球環境と人間圏の大リースのもとで人間圏に持ち込まれた資源を、製品の製造や管理者、さらには消費者や処理リサイクル業者という特定の者の所有責任として処理していくのではなく、個々の局面においてはあたかもリース関係のように、資源、物質に経済行為がついて回るという見方をすることができる。これが、人間圏の中の「中リース」関係であり、マテリアルリース研究が目指すものはこの「中リース」システムとは何かということである。

この考え方は、図1に示すディマテリアリゼーション（脱物質化）へのパラダイムシフトと基を一とするものである。20世紀型の大量生産、大量消費、大量廃棄の社会は、消費者の要求をショーウインドウ型の物質化した選択として提示しその獲得と生産に力を注いできた。それに対して現在問い直されているものは、消費者（享受者）が欲していたものは物質そのものなのか、それを通じて受けられるサービスなのかという問題である。享受者が欲しり優れたサービス提供を行える主体のもとで管理・循環させればよいという考え方である。

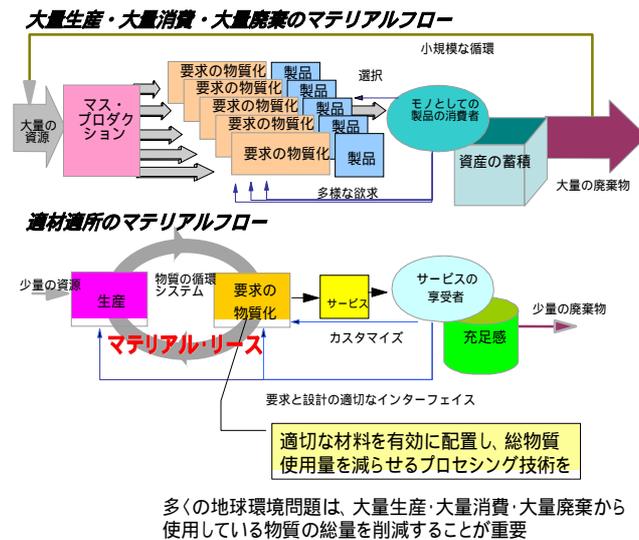


図1 20世紀マテリアルフローとマテリアルリース型フロー

「より優れたサービス提供を行える主体のもとでの管理・循環」、これがマテリアルリースのポイントであり、サービス提供主体も単一の者ではなく、社会的分業の中にかかわっており、これらの経済行為も「モノを所有する」ことではなく「モノを適正にまわすこと」によって動機付けられることを目指すものである。ちなみに、leaseの語源はrelease（開放する）と同じで、「手放す」ところにあり、「管理責任を誰が取るか」ではなく、それを適正に処理し適正な循環に手渡していくことのできるシステムがマテリアルリース・システムといえる。

そのためにまず、提案初期の概念としてのマテリアルリースを確認する。図2はマテリアルリース型のマテリアルフローの概念図である。図の中ほど左に位置しているものが、使用者と管理者のリース契約、ここでいう小リース関係であり、消費者ではなく管理者が所有権を持つことで製品の循環が容易になりマテリアルリースを促進する一つの要素ではあるが、マテリアルリースの主たる要素ではない。重要な流れは、解体業から発し製造業へと循環する「マテリアルリース・ファクトリー」と書かれたルートである。このルートは、プラスチック、繊維、鉄、非鉄と材料ごとに例示されているように、対象となる材料によって決まるルートである。参考のために、図3にわが国の現在の使用済み製品から素材の再生にいたる流れを示した。この図はNEDOのLCAプロジェクトの静脈インベントリーの調査にもとづくものである。この現在の流れでも資源循環の基本は、元の素材業に戻ることが意図されているが、マテリアルリースの考え方では、図3の矢印が右端で終了するのではなく、図2のように循環し再度製品として提供されることに注目している。すなわち、「素材業に廃素材の処理を持っていく」のではなく「素材資源の循環利用」が先にあるとしてとらえ、そのために製造、管理、解体などのそれぞれの主体がそのループに如何に結びつくかというようにと

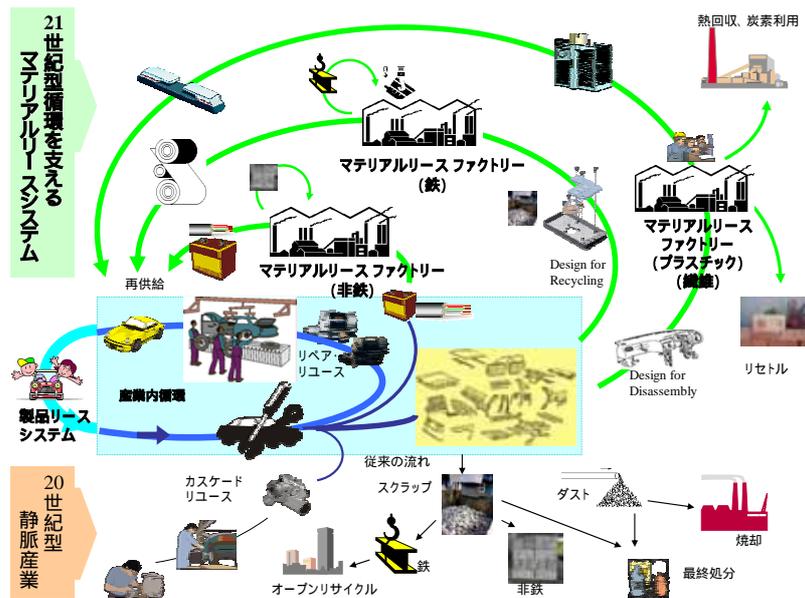


図2 マテリアルリース型フローの概念図

らえようということである。これは、図2でいうマテリアルリース・ファクトリーが地球環境資源からの「大リース」の人間経済圏の受け口であり、そこを端として人間経済圏の中で、マテリアルリースという「中リース」を展開することとなる。

このマテリアルリース・ループは、循環ループを前提にしているが、全てを循環させねばならないと考えるものではない。なぜならば、マテリアルリース・ファクトリーは中リース

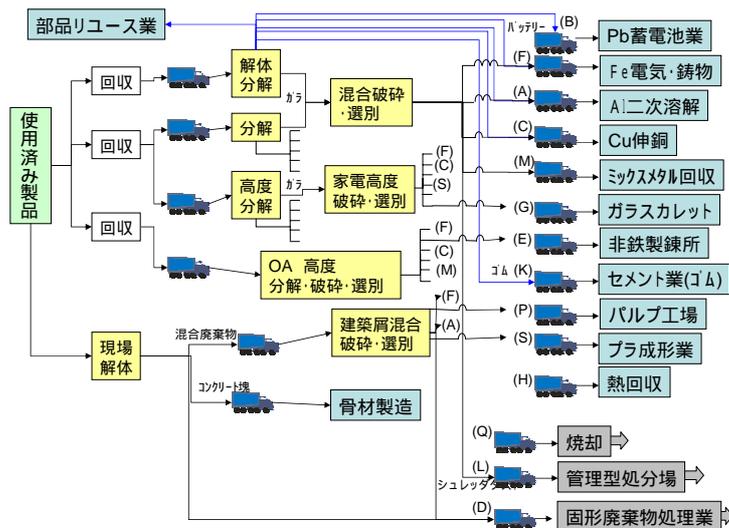


図3 わが国の使用済み製品から素材にいたる流れ

としてのマテリアルリースの核であるのみならず、大リース（地球環境資源とのリース関係）の受け渡し口であり、必要かつ適正な熱回収や炭素利用、安定化处理など地球環境に還元する措置をとることができるし、資源を取り入れた者ほどその資源をいかに環境中に還元するかを知っているという点でもふさわしいものである。もちろん、ここでいうマテリアルリース・ファクトリーは、資源を獲得し供給している現在の素材産業の発展系として考えられている。

ところで図3を見る限り、現在の静脈産業も、最終段に素材産業をもってくることによって循環を形成させているかのようにも見える。しかし、図2の下に20世紀型の静脈産業として記したように、最終処分に至る過程の有効成分の取り出しによる減量化や、資源リサイクルの場合でも、自動車スクラップの鉄は建築材料に用いられるなど、銅ケーブル、鉛バッテリーなどの極少ない例外を除いて、一般にカスケード利用が主体であり、再使用資源として循環を前提に組み立てられたシステムには至っていない。

なお、マテリアルリースは、クローズドリサイクルもしくは水平リサイクルと呼ばれる同一製品、同一素材へのリサイクルを前提にするものではない。マテリアルリースはあくまで、大リース（地球環境資源とのリース関係）のもとでの人間経済圏のリース関係であり、大リースによって人間経済圏にインプットがあれば必ず蓄積を除いた相当量のアウトプットが存在するはずであり、そのインプットとアウトプットの量をより少なくしていく（資源生産性を向上させる）ためには、マテリアルリースのループの中で劣化の程度に応じながら多段で資源を利用していくことはむしろマテリアルリース・ファクトリーの重要な仕事であると考えられる。問題なのは、現在のカスケードリサイクルが資源生産性という視点で行われていないことである。

では、マテリアルリースのマテリアルフローはどうなるのかを検討しよう。図4および図5はそれぞれわが国の鉄および非鉄金属のマテリアルフローを金額ベースで表現したものであり、鉄で約3,700百万円、非鉄で1,800百万円の素材が素材産業から供給され、素材加工

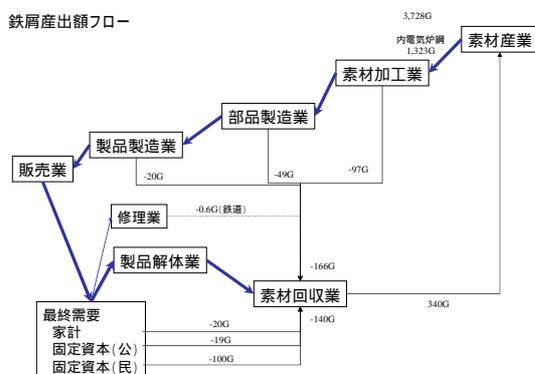


図4 わが国の鉄のマテリアルフロー
(産業連関表より計算)

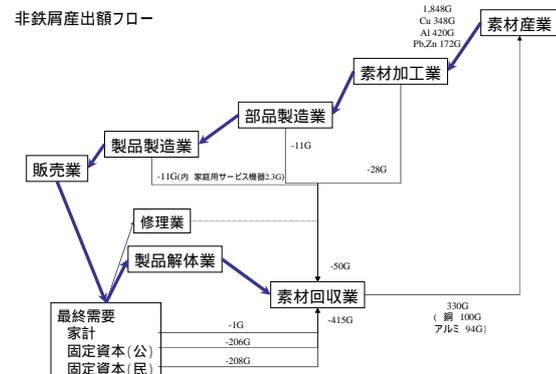


図5 わが国の非鉄のマテリアルフロー
(産業連関表より計算)

業、部品製造業、製品製造業を経て、販売業から最終需要者の手に渡される。最終需要者は消費者であり、また資本として蓄積される。この最終需要から廃材が発生し、加工くずとともに素材回収業を経て約 340 百万円が素材産業に戻されている。本来はこの最終需要から素材回収業の間に素材解体業が入るわけだが、まだ産業連関表の中では顕著に現れるに至っていない。この現状のマテリアルフローは素材回収業を通じて循環される形態をとっている。このとき素材回収業は、別名「選別業」とも呼ばれ、さまざまな廃材の中から再生可能な素材をより分けて有価金属として素材業に売っている。

この流れを基礎に、マテリアルリース関係がどのような形で循環の中に組み込まれるかを検討した。そこには、図 6 に示すような、あい補完しあう複数の経路が存在しうる。ひとつは B to B の典型的なリース的循環の連鎖チェーンであるインバースタイプであり、素材 素材加工 部品製造 製品組み立て 製品販売のそれぞれに素材や部品が戻ってくるタイプである。二つ目は、ラウンドロフトタイプとでも呼ぶもので、循環の製品の流れにはそれに特化した処理業者が介在しそれを管理する素材産業のもとに循環する。鉛バッテリーがこれにあたる。三つ目は、一旦混在した素材を素材回収業のもとで分離し素材業に循環させるダウン・アンド・アップ・タイプでありマテリアルリースのもとで許容できる混在様式が指定される。鉄高度リサイクルはこの方式の発展形となりうる。さらに、他の素材産業へまわしているケースがあるが、これは廃棄物の減量としての意味は大きい、マテリアルの循環としては、元に戻らないダウンスパイラルと見ることができる。

この中で、インバース・タイプは製品そのものの流れを逆ルーとで戻り、もっともリースに近い関係であり、BtoB の関連付けは明確になる。このタイプでは製品そのものの流れと一致しているため、占有性が明確であり、リペア、リユースなど知的所有権にもかかわる部分も権利を保持、もしくは有利な条件として取り扱うことができる。しかし、このプロセスにある各産業がそれぞれ解体・分離の能力を持つことが要求され、徹底したインバースマニ

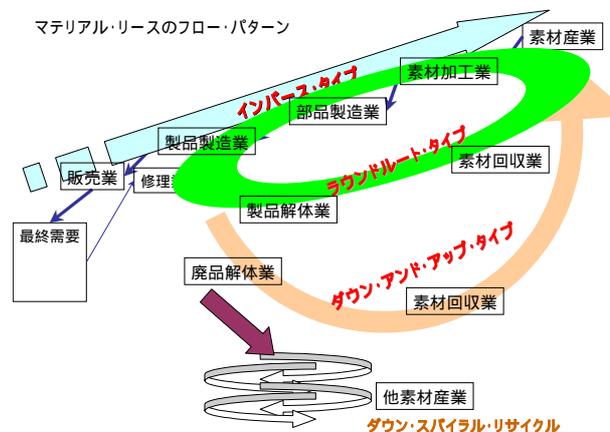


図 6 マテリアルリースの3つのフローパターン

ファクタリングによる設計とそれを実現できる生産・逆生産能力が必要となる。また、部品の劣化は必ず起きるものであり、分解不能な劣化部品に対する対応も必要となる。徹底したインバースの可能性を検討してみるならば、これは完全な閉鎖系のシステム形成を意味しており、エントロピー増大の原則からも外部からのエネルギーや資源の投入・排出のある開放系としなければシステムの恒常性は保てない。また、徹底したインバースのルートが有意義かという点でも、インバース・ルートによる要素への単体分離の方向は、「分離・精製 合成 加工・結合」という分業型大量生産システムへの組み込みという点では適合しているが、この分業型のシステムが今後も維持される保証はなく、むしろ融合型の生産システムや循環型に対応した混合素材システムが普及した場合、逆に複雑な処理ルートを持つものになってしまう。既に、フィルムや触媒など微量物質の担体となった材料などではそのための回収プロセスは有効でなくむしろ複合したまま処理することが好ましいものも多数ある。このような点を考えるならば、インバースループは資源の希少性や有害物管理の必要性などの大きい物質や製品に限られるものと考えられ、マテリアルリースにおいてインバースを前提に考える必要はないとみなせる。

ダウンアンドアップタイプは、使用済み物を廃棄物などの低レベルの混在物に落として大量処理可能な形態にしたのちに、素材産業がその中から資源を回収し素材化する方式である。これは現行の循環型リサイクルでしばしば用いられている素材産業に資源を循環させるひとつの有効な方式ではあり、大量、集中処理が比較的 low コストで実現でき、集約化しやすく微量物質の濃縮も可能となるなどの利点がある。他方で、回収される資源に対して大量の二次廃棄物が発生し、非鉄製錬所のようにそれを受容できるシステムを持つものだけがメリットを生かすことができる。また、一旦混在させるために有害物質を含む物質情報が消え、リユース、リペアと結びつくことも難しい。そのため製品設計者の意向と関連付けることが困難であり、設計者に対する素材提供者のメリットと責任があいまいになり、素材提供時のコスト化が難しいという面を持つ。

このような点を考えるならば、現実のマテリアルリースは図7のラウンド・ループ型を基本として考え、高付加価値、有害物質管理などにかかわる特殊な例がインバースループ、消費性が高く広域に薄く分布するものがダウンアンドアップタイプですすんでいくと設定するのが妥当であると判断できる。

ラウンドループタイプの場合、製品の流通と異なるルートで素材産業に戻されることになるため、素材産業に戻るための動機付けが必要となる。図7ではそれをリターナブルコンディションと称して記述している。そこでは、まず素材業が自社（もしくは指定の系列）に戻すならば容易にリサイクルできる条件（組成、形状、表面状態など）を指定し、部品加工業に素材を納める、部品加工業は製品製造業に対して、そのリターナブルコンディションの情報を付加してリサイクル設計を行った部品として納める。使用後に解体業に回った製品が、

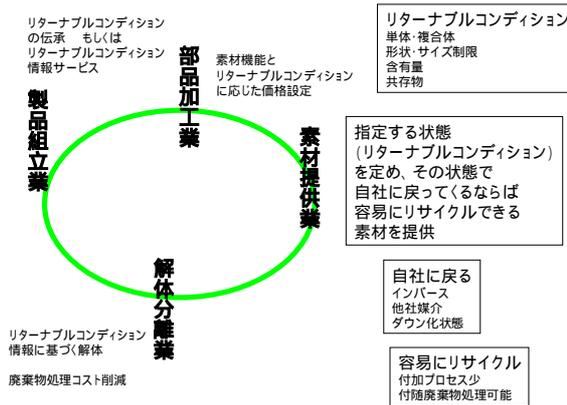


図7 ラウンドループ型マテリアルリースの形成

そのコンディションを維持してきたものが相対的に高価で素材業に資源として引き渡される。図8はモータを例にしてこのリターナブルコンディションの例を示してみた。このように、マテリアルリースは、使用者と所有者のリース関係といった小リースではなく、社会全体で資源を循環させるシステムである。そのため、使用者と所有者もしくは BtoB の一部においてリース関係が生じることは含まれるかもしれないが、基本的に、資源情報の管理で使用済み資源を適切に処理でき高い付加価値を生み出しうる素材業の元に戻し、その付加価値を情報の管理者で分配することで中リース関係をもたらずのものであるといえる。

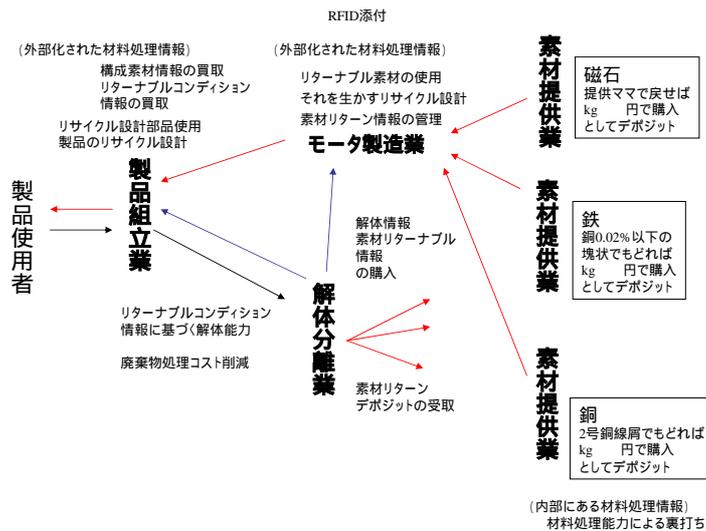


図8 モータを例としたリターナブルコンディション

4. マテリアルリース・システムの必要性の分析

循環型社会が唱えられている今、何故敢てマテリアルリース・システムという新たな提唱が必要なのか。それを検討するためには、現在の循環型社会が、有効に持続可能社会の方向を向いた循環型社会であるかを検討する必要がある。この研究で調査した現在の循環型システムの調査対象を表1に示しておいた。

表1 調査対象項目

<p>・金属素材マテリアルフロー把握の現状調査 資源的に重要な非鉄金属の現状のリサイクル経路、リサイクル率等のマテリアルフローの把握の現状と問題点を調査</p> <p>・マテリアルリース先行型調査 リターナル・ビール瓶システム、レンズ付カメラ等のマテリアルリースの萌芽を含んだ先行型や類似の形態、先導的試みの例などを広範な素材や製品から抽出</p> <p>・廃棄物のプロセス間リンクの現状と可能性の調査 ダウン&アップ型のマテリアル循環形態をとった場合を想定し、産業間のプロセスリンクを使った産業廃棄物状態からの再生の可能性の現状、キャパシティ、問題点を調査</p> <p>・プラスチック類のリユースの現状と可能性調査 プラスチック類のラウンド・ルートタイプもしくはインバースタイプの循環を考慮し、リユースもしくはそれに準じるマテリアルリサイクルの現状と可能性を調査。</p> <p>・鉛蓄電池リサイクルシステムの現状調査 今回想定しているマテリアルリース社会システムに近い状況にあると考えられる鉛蓄電池のリサイクルシステムについてどのような経緯で確立されたか、現状問題なく推移しているか、実施後社会情勢の変化により問題点が生じたかどうか。</p> <p>・自動車リサイクルケース調査委託 自動車からの材料リサイクルに関して、「逆工場形」「シュレッター型」「中間型」の種々のリサイクル形態に関してフィールド調査、専門家ヒアリング。</p>

現在、循環型社会が目指されているが、人間活動はそもそも地球圏（Eco-sphere）の循環の中で考えねばならず、その意味での「循環志向」は優先されるべきものである。しかし、人間圏（Techno-sphere）の中の循環はあくまでEco-sphereに負担を与えない投入と排出を実現するための手段であり、自己目的化することにより本来の目的を見失う危険性がある。特に、循環型社会形成推進基本法とあわせて資源有効利用促進法が2000年の改正で、その目的を「資源の確保」から「廃棄物の減量」に変更したことに典型的に現れているように、現在のリサイクルは「不要物の処分」の一形態としてとらえられる傾向が強くなっており、自然から借りているものを有効に使用するという「大リース」の観点が希薄化し、リサイクルの行為自体が自己目的化している側面も指摘されつつある。

われわれが目指すべきものは Recycling-based Society ではなく、資源生産性の高い Recycling-based Dematerialized Society であり、その意味でマテリアルフローを再検討すると、「スクラップ使用率」の高さは循環型の指標とはなりえない。図9はリサイクルの優等生であるアルミニウムのマテリアルフローであるが、50%以上のスクラップ使用率を誇るアルミの場合も需要に対する天然資源の削減率で見ると、それは20%程度にしかならない。それ

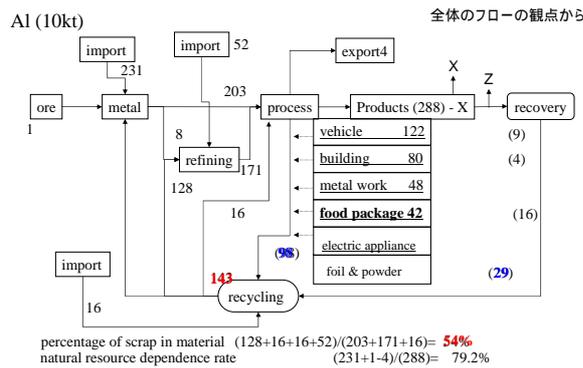


図9 マテリアルフロー調査結果の例(アルミニウム)

は、アルミニウムのリサイクルの多くがプリ・コンシューマーの加工屑（図で 970kt）のリサイクルであり、ポスト・コンシューマーの使用済み（EoL: End of Life）屑（290kt）はその1/3にも満たないからである。極論すると、大量生産方式からくる生産歩留まりの悪さから発生する産業廃棄物をリサイクルによってカバーしている部分が現在の高リサイクル率を担っていることになる。資源生産性の高い「循環型」社会を目指すならば、使用済み（EoL）財の循環利用が鍵になる。

この傾向はアルミニウムに限定されるものではない。図10には各種の金属のマテリアルフローの調査から得られた、最終需要に対する天然資源の削減率、すなわち、最終需要と同量の天然資源利用をゼロとして、実際の天然資源の利用量が需用比でどの程度削減されているかを削減分を正の方向で示したものである。鉄もアルミと同程度であり、銅が若干それらを上回っており、金、銀、白金などの貴金属と携帯などのコンデンサーに用いられているタンタルが天然資源の消費を最終需要以下に抑えている。なお、クロムとバナジウムに関しては国内最終需要など統計上の不明点もあり見かけ上の数値になっている。ここで、唯一天然

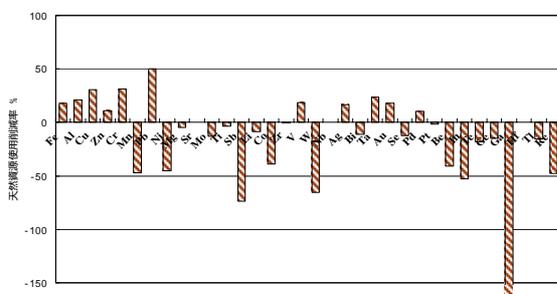


図10 リサイクルによる天然資源消費削減効果

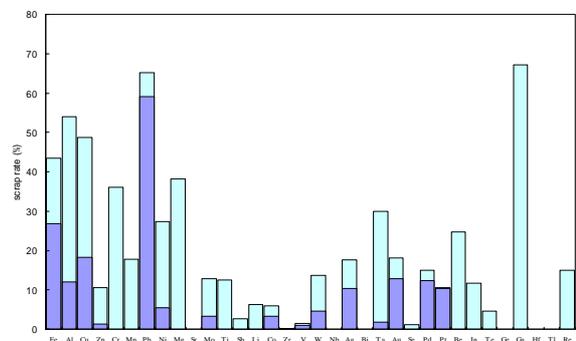


図11 リサイクル率中の使用済み材リサイクル

資源消費を半減させているのが鉛であり、主要な用途である鉛バッテリーでマテリアルリースの先行形とも言える循環型システムが採用されていることは注目に値する。

図 1 1 にいわゆるリサイクル率である、製造素材原料中の全スクラップの利用率および EoL スクラップの利用率を示した。先述の鉛は、素材原料中の EoL スクラップの比率が 80% に及びこれが高い天然資源消費削減効果に結びついている。ほかにも、天然資源消費削減率の高いものは EoL スクラップの比率が高くなっている。他方で半導体に用いられる Ga はリサイクル率は高いものの EoL スクラップからのリサイクルはほぼ皆無に等しく、天然資源の消費削減にリサイクルはほとんど役立っていないことになる。このようなことから、天然資源の消費率の削減すなわち資源生産性の向上にとって、単なるリサイクル率ではなく、EoL スクラップのリサイクル率が有効であることがわかる。

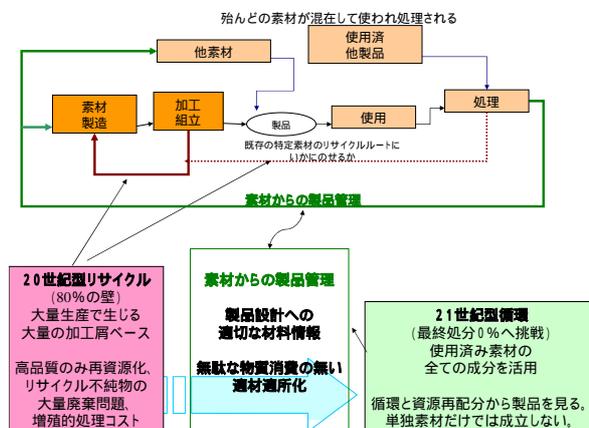


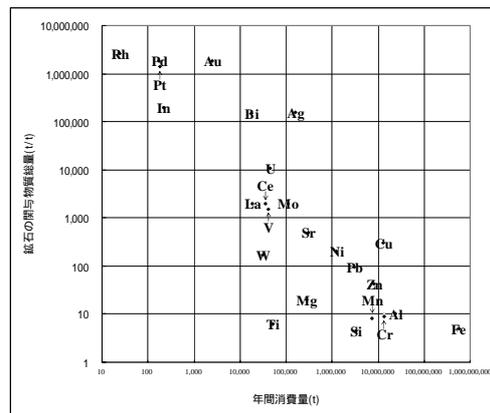
図 1 2 20 世紀型と 21 世紀型のリサイクル

このように現在のリサイクルの優等生とされる金属材料のリサイクルも、基本的に大量生産に伴い大量に発生する加工スクラップをベースに成り立っており、それに対し循環型社会として期待されているリサイクルは、使用済みの素材を製造工程に還流させるリサイクルなのである。この両者の関係を図 1 2 に示した。加工スクラップは ビス、塗装などの異材の混入が少ないのみならず、均質なスクラップを、大量に、集中して発生させ、しかも組成などに対する情報も得やすいという使用済み (EoL) スクラップと比較して多くのプロセス上のメリットを持っている。これに対して EoL スクラップの使用は、現時点では、廃棄物の減少という環境面のメリットと比較的低価格で (場合によっては逆有償で) 入手できる可能性がある以外にはプロセス的なうまみは皆無といってよい。使用済みスクラップは、加工スクラップと異なり、ほとんどが異物との混合状態で回収され、また組成も不明なため、製造段階では意識的に添加した合金成分さえもが不純物として取り扱わざるを得ないなど、一次地金や加工スクラップに対して不純物を含む要素が極めて大きくなる。そのため、不純

物レベルの許容できる他合金系へカスケードリサイクルされるケースがほとんどであり、循環型志向による使用済みスクラップの回収量の増大は市場の需給バランスを壊す恐れさえある。また、そのような不純物レベルの高い使用済みスクラップを精製し加工スクラップや一時地金と同等の品位に持ってくる方法も検討されているが、多くの場合多量のエネルギー投入などが必要でコスト的に大きな負担となるのが現状である。

しかし、持続可能な社会への移行を考えるならば、これらのプロセス上のデメリットを克服し天然資源消費量の削減につながる使用済みスクラップ利用のシステムを構築していく必要がある。そのためには素材を意識した製品の循環管理が必要であり、またそれを受け入れられかつ当事者にとっても利益となるマテリアルリースのループを確立させる必要がある。それが大量生産の結果の循環ではなく、人間圏での循環（中リース）を軸に経済行為が動いていく 21 世紀型のリサイクルとなる。

その 20 世紀型から 21 世紀型への転換の大きさを定量的に見ていくために、ここでは、TMR（関与物質総量）というパラメータを使用する。この TMR は資源量の比較のための数値であり、鉄 1t と金 1t を同じ 1t として扱うのではなく、その 1t を得るために掘った鉱石や土石の総量など移動や使用した総天然物を推算したものである。鉄では 5.1、銅は 300、金では



金属の関与物質総量と年間消費
原田幸明、井島清、片桐望、大蔵俊彦：日本金属学会誌、Vol.65, No.7(2001)564-570より作成

図 1 3 金属鉱石の関与物質総量

100 万になる。これは鉄 1kg を得るために 5.1kg の天然資源が必要とされ、金では 1,000t が必要になることを意味している。その値を生産量に対してプロットしたものを参考のために図 1 3 に示した。この値をわが国のマテリアルフローの数値に当てはめて、リサイクルに関する三つのシナリオを設定して計算したものが図 1 4 である。棒グラフの一番高い部分は、現在の需要をリサイクルをまったく行わないまま天然資源から得た場合の仮想的な TMR である。二つ目は、現在のマテリアルフローに相当するものであり、図中の白い部分が現時点のリサイクルの効果と言える。さらに、製品設計や素材設計を現状のままと仮定して、使用

済みスクラップが素材業に戻された場合のリサイクルポテンシャルから計算したものが三段目の値である。この二番目と三番目の差が製品設計や素材設計を現状のままと仮定した最小限の場合のマテリアルリースの効果とみなすことができ、全ての金属資源を合わせると現状からやく 30%の資源利用率の削減につなげることができる。もちろん、これは製品設計や素材設計がまったく現状のままを仮定しており、易解体設計、リサイクラブル材料設計などが取り入れられれば、この効果は飛躍的に大きくなることが期待される。

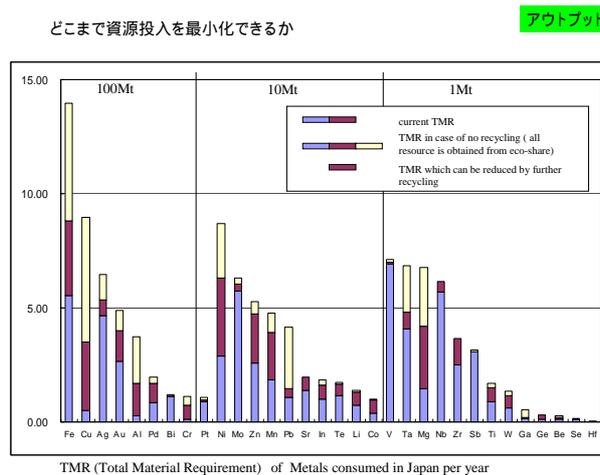


図 1 4 リサイクルとマテリアルリースによる TMR (関与物質総量) の削減効果

5 . マテリアルリース・システムのインセンティブ

では、このように使用済み素材を素材業に有効に戻す力が本当に働くためには何が必要なのであろうか。基本的には、使用済み素材を適正な素材業に戻すことによる経済的メリットであり、それから波及して、適切なマテリアルリースのルートを持っている素材を用いることの経済的メリットである。この両者が一連で機能した場合、マテリアルリースは図7に示したリターナブル・コンディションが価値として表されるものとして単純に理解できる。このリターナブル・コンディションの価値を契約の中に入たいこむ典型が狭義のレンタル・リース関係であり、一旦預かり金として受け取り回収時に還元される典型がディポジット制であるといえる。

ちなみに、リースとは、ある経済主体が設備等の所有権を保持した状態で別の経済主体に使用权を貸与することを言い、「賃貸借」の一形態である。なお、レンタルは短期間、一時的な物品の賃貸借を指す。リースはこれまで経済的に財務上、税務上、管理上のメリットで採用されてきた。これに加え、近年、環境問題を配慮した統合製品政策 (IPP: Integrated Products Policy) の立場から、管理主体を使用者から製品製造者に移しライフサイクル管理

を徹底させるひとつの手法としても注目されている。すなわち、使用後に製品がリース会社に戻ることににより、使用後の廃棄段階への拡大製造者責任（EPR: Extended Products Responsibility）を果たしやすくするシステムのひとつと捕らえられるようになってきている。

マテリアルリース・システムは、リース制度のもつ環境メリットに注目して名づけたシステムであり、製品レベルではなく素材レベルで、製造者の元に使用済み素材が戻ってくるシステムを含んだ契約形態を意味する。契約形態は、特にリース契約を前提とせず、デポジット制、前払い処分料金制、などの多様な形態がありうるが、基本的に使用済み素材の処理コストを内部化することにより、素材製造業への効果的な還流をはかることに特徴付けられる。

マテリアルリースはこのように EPR の考えを引き継いだものであるが、EPR が主として「製品」を中心に考えているのに対し、マテリアルリースは「素材」を意識することにより、より本源的に資源生産性の向上につながる循環システムの構築を意図している。EPR が「生産者」としてとらえている主体が、MLS では「消費者」としてとらえられ、主体は「素材製造者」となる。ここに、マテリアルリースが EPR より資源に近づいたアプローチを可能とするポイントがある。もちろん、EPR の政策的手段に対してはその有効性は継承される。

図 15 はスウェーデンで行われている飲料容器に対するデポジット・リファンド制の EPR(拡大生産者責任)の例である。システム管理会社が管理費とデポジットを製品製造者(この場合は飲料メーカー)から取り、回収費等に分配している。一見優れたシステムだが、上

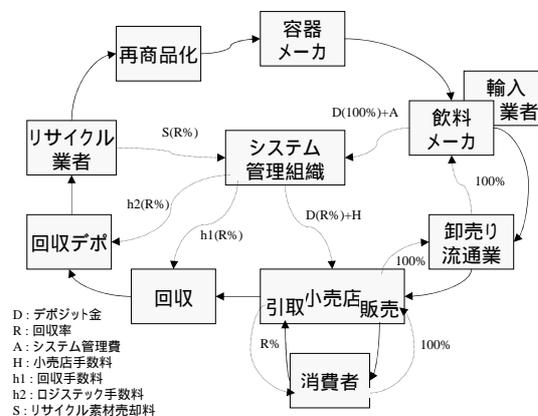


図 15 スウェーデンの容器のディポジット制

部の精製業、再商品化の流れに対してはこのシステムはほとんど手を打っていない。むしろ、リサイクル素材の売却益として S を見積もってさえいる。実際には S はゼロもしくは負になる可能性がある。たとえば、自動車のリサイクルにおいてガラ価格が鉄スクラップの価格動向により負に転じる危険性も指摘されており、飲料容器のように「容器 TO 容器」の準クローズドなリサイクルでない限り、 S が負になるケースがはるかに多い。

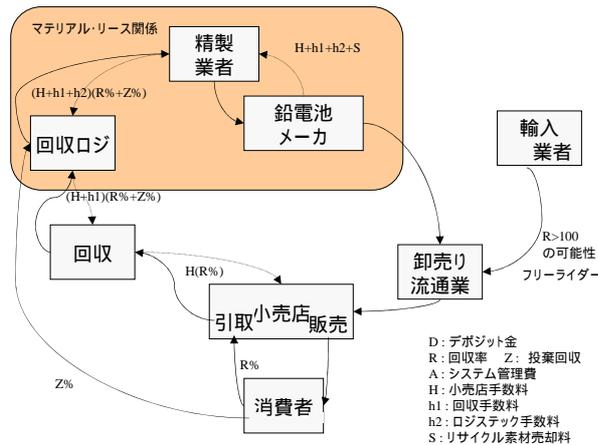


図18 マテリアルリース型のデポジット

それに対して、同じデポジット制でもマテリアルリース・システムとして考えた場合はとうなるであろうか。図18はマテリアルリース・システムとして考えた鉛バッテリーのケースである。図17の場合と異なりマテリアルリース関係と記された領域での金銭の授受が主体となっている。また、Sは「素材処理・再生費」となっており、この部分をEoL素材を受け入れることを前提に精製業者が事前にシステム管理組織と契約する、一種の前払い処理費の要素ももつことになり、EPRのデポジット制においては付加的な部分だったものが、主要な要素となり、素材処理・再生費Sを効果的に設定することがシステムの目的となり、精製業のアクティビティを「素材処理・再生」のために積極的に引き出すシステムとなりうる。

別の例として、廃プラ建築コンパネの循環の試みを見てみる。これは、鉄鋼メーカーが高炉吹き込みようとして回収したプラスチックを一旦吹き込む前に建築コンパネとして製品化しそれを回収後に高炉に吹き込むもので、リサイクル製品を鉄鋼業から建築業へマテリアルリースの形態で循環させたかたちである。この場合、廃プラをコンパネにして高炉でのC利用以前にもうワン・ライフサイクル使用するという側面も環境的には重要であるが、ここでは循環部分のみに注目してみると、図19の左が廃プラボードの循環であり、右が循環高炉処理のもの左が従来のものであるが、従来型で廃ボード処理に支払う金額S'に相当するS+hがボード売却時に組み込まれており、高炉メーカーの技術をするならば $S+h < S'$ の関係は容易に得られる。なお、建材業者も使用するボードに対してEPRを実践した構造になる。

このように、素材製造業がその素材の使用後の処理を自らが受け入れることを条件に、素材処理・再生コストを何らかの形で素材価格の内部に組み込んだ形がMLSの基本形となるものと考えられる。なお、EPRにおいても「前払い処分料金」という考え方はあり、ドイツのDSDもそのひとつの形態といえるが、処理コストは素材製造業とは切り離されて運営されており、素材再生のインセンティブを高める上では不十分である。

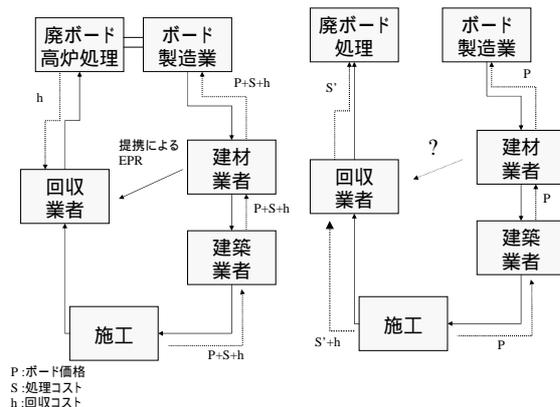


図 19 廃プラ建築コンパネのケース

このマテリアルリース・システムが有効に機能するには、図 18 のシステムの中に取り込まれ内部化されたリサイクル益 S の部分で、 S を大きくするメカニズムが働かなくてはならない。それはひいては資源生産性の向上に結びつきかつ、素材産業自体の発展にも結びつくものである。その基本は、戻ってきた受容物の中から、高付加価値の部分をかき取り出すか、ということである。図 20 がマテリアルリースのケース、図 21 が従来のシステムで再商品化可能なものを分離業を経て受け入れた後の再資源化である。もちろん従来のリサイクルにおいても高い付加価値の資源を取り出すことは試みられていた、では、マテリアルリース・システムの場合はどこが違うのか、それを図 20 と図 21 に示した。

まず、受け入れ状態が異なることに注目したい。マテリアルリースでは受容物は販売時の契約の中で指定することができるので、それによって DfR (design for recycling リサイクル容易設計) などで付随物や混合物の少ない処理しやすいものを安定して入手することができる。このことは、再生の過程でのエネルギー等の投入や廃棄物の発生を少なくするだけでなく、品質が高く付加価値の大きい素材への再生を可能とする。他方で、従来型は受容はその時点で

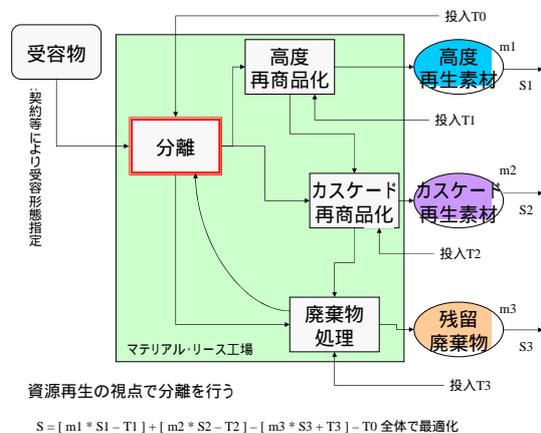


図 20 マテリアルリースの再資源化

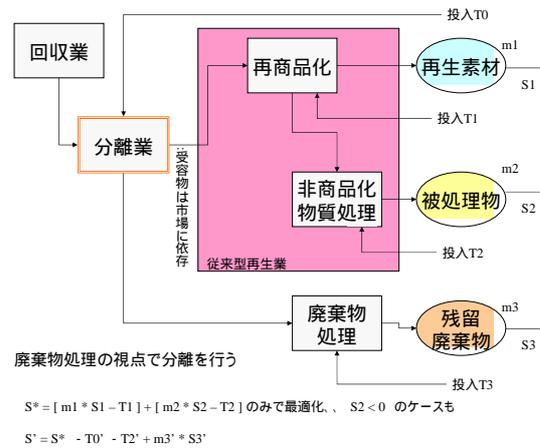


図 2 1 従来型リサイクルの再資源化

の取引コストに依存し、その際、DfR 等の努力は混在したスクラップの中では有効性に乏しくなる。さらに、受容できなかった部分は廃棄物処理に回さざるを得なくなる。このようなメリットよりさらに重要なことは、多くの素材製造プロセスがそもそも自然の不純物からの分離・精製機能を有していることによる、複合プロセスによる価値の創造の可能性である。まずスクラップの中から高付加価値のものを抽出する機能により高度再生材を生産できる。その抽出残も十分に資源的価値が存在し（市場購入スクラップレベルが想定できる）カスケードで再生素材を提供することができる。もちろん、これらのプロセスでも残留廃棄物は必ず発生するが、その処理も含めて全プロセスで最適化することができ、プロセスとしての尤度が大きくかつ大きな価値の創造に結びつけることができる。しかも、プロセス内部の廃棄物処理から分離へと回帰させることにより、微量有価（もしくは有害）物質を濃縮し取り出すことも可能となるのである。たとえば、 $m1, m2, m3$ を量、 $s1, s2, s3$ をそれぞれの再生品の単価、 $T1, T2, T3$ をプロセスへの投入とすると図 2 0 のマテリアルリース・システムでは、 $m1, s1$ の高度再生品、 $m2, s2$ のカスケード再生品を適度に振り分けることによってシステムの最適化ができるのに対して、図 2 1 の従来型では、 $m1, s1$ と $T1$ のバランスのみが正方向の可変因子となり最適化が難しい。高付加価値の部分を取り出すには、劣化部分や周辺部分などカスケード的にしか用いることのできない部分が多数存在しており、このシステムの自由度を確保することはマテリアルリースの源泉となる再生益の素材側での回収を支えるものである。そして、その鍵を握るのは、「解体・分離」を廃棄物の処理としてではなく、素材の原料処理として組織しシステムの内部に置くことであり、これによりマテリアルリースを実現するインセンティブが生じる。

6 . マテリアルリースの対象

マテリアルリースの対象は、基本的には、地球環境との大リースによって人間経済圏に組み込まれた資源から得られた全ての素材である。しかし、戦術的にはどの素材に優先度を置いてシステムを構築していくかを選定していく必要があり、もっともインセンティブを与えやすく、かつ資源生産性の向上に寄与するものに重点を置いてマテリアルリースのシステムを構築していくことが重要になってくる。インセンティブはコストという比較的わかりやすいパラメータが存在するが、資源生産性という点では十分に社会的に認知されたパラメータはまだない。そこで、ここでは、先述の TMR(関与物質総量)を用いて実際のリサイクルシステムを検討し、マテリアルリースとして優先すべき事項の抽出の可能性を示す。

図 2 2 は、わが国の自動車のリサイクルのマテリアルフローを実際量ベースで記述したものである。マテリアルフローのほぼ 3/4 は鉄であり、シュレッダー後のスクラップとして回収されている。また、次いで大きいものは樹脂であり、これはシュレッダーダストに含まれて熱利用されている。この同じフローを TMR を用いて表現してみると、図 2 3 のように異

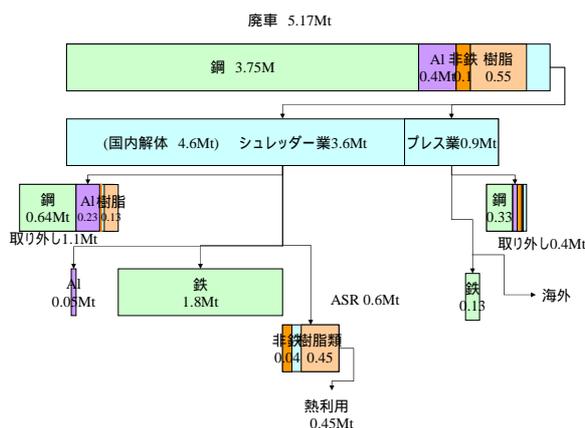


図 2 2 実際量ベースの自動車リサイクル

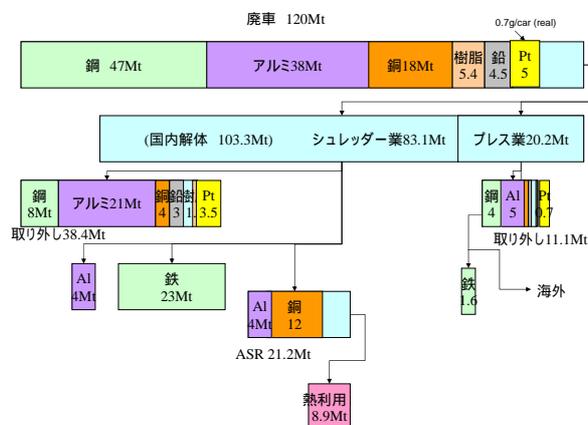


図 2 3 関与物質総量ベースの自動車リサイクル

なった図になる。

まず、自動車は、ほぼ 1/4 づつの鉄とアルミと銅で構成され、鉛および実量としては 0.7g/car 程度の白金が 1 割に近い比率を占めることになる。次いで重要なことは、リサイクルの主要な側面は、シュレッダーでもプレスでもなく、それにかかる以前の取り外しであり、そこではアルミニウムの多くの部分と白金が回収されている。さらに、シュレッダーダストの重要成分は樹脂ではなく銅になっている。これは、実は実際のリサイクル工程で起こっていることと一致している。すなわち、廃車から何が優先的に抜き取られるかという、触媒とアルミであり、シュレッダーダスト ASR は非鉄製錬工場に送られようとしている。このように、TMR（関与物質総量）でみることは、物質の循環の流れを資源の目で正しく把握することになり、より適切なマテリアルリース・システムの構築に役立つ。

今ひとつ、TMR を用いたリサイクルの解析例を示す。図 2 4 は廃タイヤのマテリアルフローを実物量フロー（上）と TMR による資源総量フロー（下）で比較したものである。上の実物量フローではタイヤの成分の大部分はリサイクルされていることになるが、TMR フローによると、そもそもタイヤの 30%以上は鉄関連資源ということになり、リサイクル率も 50% をきってしまうことになる。ここから帰結する方向は、タイヤはゴムとともにスチールであると考え、ゴムの再生とともに鉄鋼業でのスチールの再利用を図るべきであるということになる。このように、TMR を用いて資源フローを追いかけることで、従来の廃棄物処理型のリサイクルでは見えなかった、資源の有効利用の観点からの問題と方向性が明らかにでき、マテリアルリースをどの素材ですすめ、どの素材を重視して再生するのが明らかになってくる。

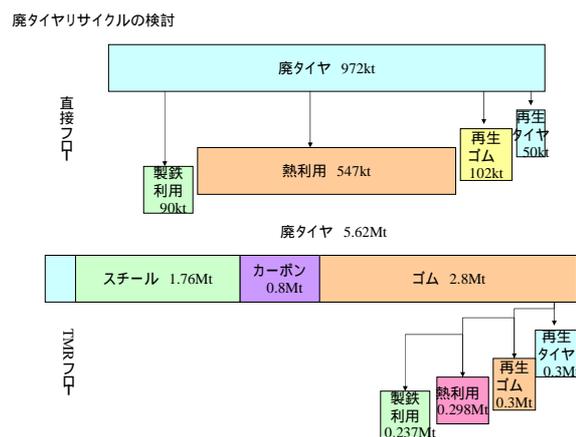


図 2 4 タイヤのリサイクルフローの比較

7. 現実のリサイクルシステムとの検討

では、現実のリサイクルシステムがマテリアルリース型のシステムとして進んでいっているであろうか。現在動き出そうとしている自動車のリサイクルシステムを対象に、マテリアルリース型への移行の可能性を検討する。自動車のリサイクルの TMR フローは既に図 2 3 に記しているように、解体時の役割が大きい、ASR は銅源である、ということが示されている。それに対し自動車リサイクルでは図 2 5 のように実物量のフローに基づき、その阻害要因になっている ASR の処理などに費用負担をつけるというシステムになっていることは良

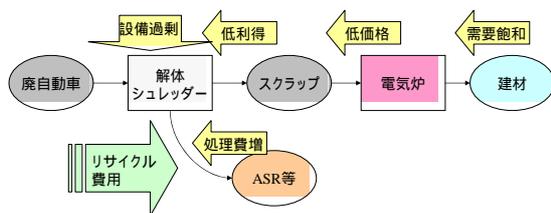


図 2 5 自動車リサイクルのインセンティブ

く知られている。これを先の図 2 0 および図 2 1 の関係に当てはめれば、図 2 6 に示すようにまさに図 2 1 の従来型のリサイクルシステムにすっぽりと収まった構造になっている。すなわちシステムの最適化は電気炉から生じる建材価格を通じてしか行うことはできず、受容物、すなわちスクラップは市場に委ねられる。素材業は分離業から受容したのものに対してより高い価値を生み出すことは容易ではなく、リサイクルに対する補助は単に現状の潤滑材としてのみ機能する。ここで、このシステムが今後マテリアルリース型に転換していくためにはどのようにすればよいか、図 2 0 の関係をもとに考える。

ここでまずポイントとなるのは「分離」の位置である。現行では分離は素材業と切り離さ

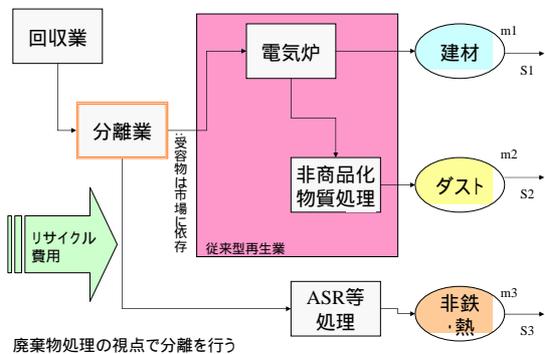


図 2 6 現行の自動車リサイクルシステム

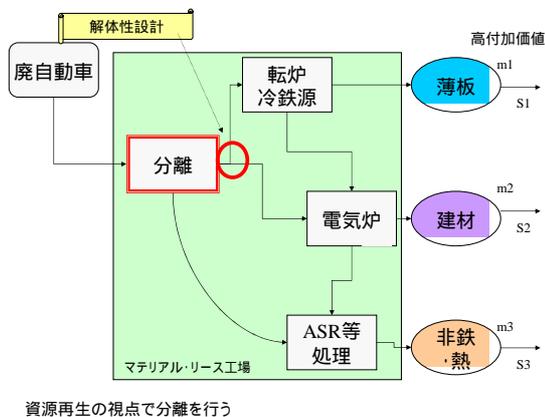


図 2 7 マテリアルリース型へのシステム

れて存在しているが、この分離業が素材業と連携して機能するか否かが大きなポイントになる。これは、現在の電炉用スクラップの供給だけでなく、転炉用の冷鉄源としても用いることのできる高価なスクラップの供給も視野に置いたものとなる。場合によっては、さらに部材レベルでのリユース、リペア用材としての高付加価値のショートサーキットの循環もありえ、それらから大量に発生する端材の処理技術として従来の電気炉用スクラップが支えることになる。この組み合わせと配分の最適化の中で ASR 処理も実施されるべきであり、リサイクル推進の資金の投入は、マテリアルリース指向の「分離・解体業」の育成と、その分離・解体を促進できる、「易解体性設計」の促進に向けられるべきであろう。

図 2 8 は、この解体・分離を素材再生業と切り離れたままにしておいた場合に何がおきることについて示したものである。解体・分離からの受容物すなわちスクラップから価値を引き

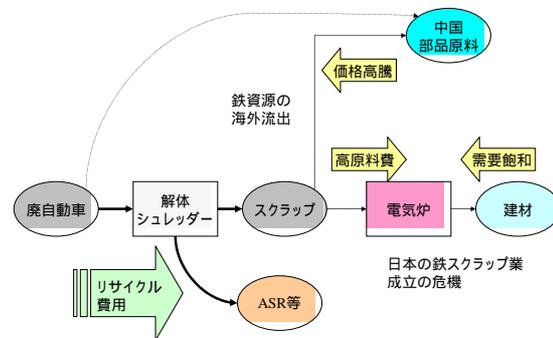


図 2 8 解体・分離を素材再生と切り離れたケース

出すことができずそのまま市場価格に委ねるために、いまや国際市場となったスクラップ価格の変動にこのリサイクルシステムは翻弄されることになる。当初スクラップ価格の高騰で動き出すものの、良質のスクラップもしくはその原料である廃自動車自体が国際スクラップ市場に流出し、国内では逆にその価格高騰がそれを受け入れる電炉など再生業の基盤を失わせることとなる。今すでに動き出しているこのような傾向を、一部に、「廃棄物処理が海外に流出している」とのとらえ方があるが、マテリアルリースの観点からは、資源の価値を強く理解している国が、国際的なマテリアルリース関係を構築する方向で動き出しており、わが国はその「中リース」の末端の借り手になっていこうとしているともみなすことができる。早急に、マテリアルリース型のリサイクルへの転換が推し進められることが必要である。

8. まとめ

持続可能な循環型社会の形成に向けた「マテリアルリース」という新しい提案を、「リース」という手段にこだわることなく検討を行った。その結果、マテリアルリースの本質は、「物質の循環を中心に考えて、そこに各経済主体がかかわるあり方」であるといえる。

基本的な考え方としては、そもそも資源は地球環境圏から人間経済圏に貸し与えられ再度地球環境圏に還元する大きなリース関係の上に成り立っており、地球環境と適合した経済の持続可能性を考えるならば、この大リース関係との整合のもとで物質循環を進めていく必要がある。その意味で、マテリアルリースは人間の経済行為特に消費行為を主体に考えた物質処理としてのリサイクルではなく、物質循環から組み立てたりサイクルのあり方を提起しているものといえる。

では、マテリアルリースにより地球環境圏との物質循環は改善できるのか。本研究では資源生産性のパラメータで解析を行い、マテリアルリースにつながる21世紀型のポストコンシューマーのリサイクルへの転換で資源生産性の向上が可能なこと、逆に、現実の循環型社会の段階であるプリコンシューマー・リサイクルや廃棄物処理型リサイクルでは資源生産性の向上には不十分であることを示すことができた。

そのマテリアルリース型のリサイクルと現実のリサイクルやそれを意図したディポジットなど相違は何か。その答えは、「再生物が素材業の元に戻り、そこで価値を生み出す」ことがシステムの中に入っているか否かである。従来のデポジット制などではこれが外部の経済に委ねられ自立的にかつインセンティブをもって動くには限界があった。マテリアルリースでは、素材業のもとに戻して再生の価値を生み出すことで、素材製造の価値と再生の価値すなわち動脈と静脈を一体化した物質の価値を中心に循環を形成していくことができる。

しかし、単純に素材業に戻せばリサイクルはできるのか。否であり、多くのリサイクルがそこで破綻の危機に瀕していることも本研究を通じて行った調査で明らかになった。マテリ

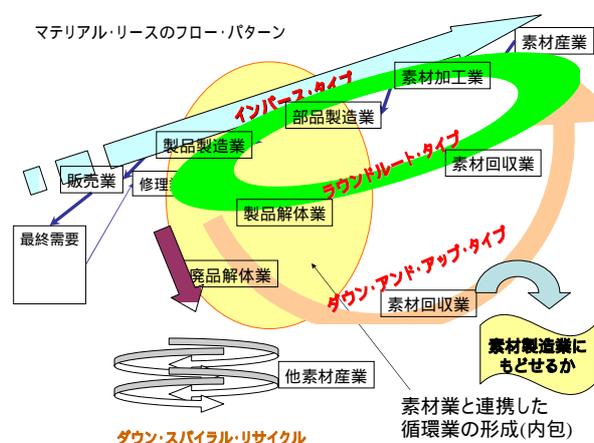


図 2 9 マテリアルリースのフローパターン

アルリースの鍵を握るものは、素材業が価値を生み出すことで物質循環の推進力になることであり、そのためには、解体・分離が素材業との連携で進められているかということが最も重要な成立要因になってくる。すなわち、解体・分離が廃棄物処理の観点で素材業と切り離されて行われている場合には、たとえそれが素材業に戻ってももはや資源としての価値は低く高い価値を再生することは困難である、にもかかわらず、現実のリサイクルは解体・分離が廃棄物処理の観点から組織されており、ある意味ではワンウエー型のリサイクルとも言われかねない状態になっている。

マテリアルリース・システムへ移行するために、何が必要なのか。最も重要なことは、国や広域自治体、製造業の団体で一つ一つのリサイクル制度を組み立てるときに、対象となる物質の資源性を把握し、実行しようとするリサイクルがワンウエー型のリサイクルになっていないか、価値を創造する部分がきちんと組み込まれているかを明確に念頭において検討することである。次に、素材業からの情報の提示と循環のシステムである。本研究の中で述べた「リターナブル・コンディション」をきちんと伝え、その情報を管理し行使できたものが利益を得るシステムになれば、解体・分離の素材との連携も容易になる。また、製造業においては、易解体設計の推進がかぎとなるが、これもリターナブル・コンディションとあわせて解体業という経済主体が両者の情報を活用することで利益を上げることができそれゆえに易解体設計を行った製品の循環を促進するというレベルまで持っていく必要がある。

最後に、スペースの都合で本文には書かなかったが、本研究をすすめる議論の中でマテリアルリースの方策として会社が進めるべき点を検討した。結局、時間的に十分に練ることはできなかったが、参考のために坂本竜馬の船中八策に模して、「マテリアルリース七策」として提示しておく。

- マテリアルリース7策
1. 敵を知らば危うからずの策
資源指標で使用済み物を捉える
TMR(関与物質総量)の利用
 2. カエサルのはカエサルへの策
資源指標の高いところで処理することを優先
 3. 玉石混交せずの策
付加価値の高いものは付加価値の高いものとして取り出すもしくは取り出せる設計
 4. 自己カスケードの策
玉を取ったあとの石を利用できるルーチンを準備
 5. 最期のひとはたらきの策
熱回収など最終処理を前提として それ以前に、再度リサイクル素材化
 6. 呉越同舟の策
分離不能物質は同一処理系統の物質とともに用いる
注) どう処理されるかの認識が不可欠
 7. 環境懸念物質不拡散宣言の策
有益だが環境影響が懸念される物質の無害循環はその提供者が最も有効になしうる
例) 鉛バッテリー

図30 マテリアルリース7策

NIMS-EMC 材料環境情報データ

No.1	金属元素の製錬・精製段階における環境負荷算定に関する調査	(2003年3月)
No.2	鉛マテリアルフロー作成のための基礎調査	(2004年3月)
No.3	我国における自動車用白金族金属触媒のリサイクル動向	(2004年3月)
No.4	鉄スクラップの消費動向とその拡大技術シナリオのLCA的検討	(2004年3月)
No.5	我が国のアルミニウムマテリアルフロー調査	(2004年3月)
No.6	バイオマスの利活用に関する調査	(2005年3月)
No.7	中国の非鉄金属リサイクル動向と日本の廃家電を中心とするリサイクル6法のその後の状況	(2005年3月)
No.8	「鉱物資源使用」カテゴリーの特性化係数	(2005年3月)
No.9	中国の鉄鋼需給の現状と展望	(予定)
No.10	関与物質総量(TMR)の算定 資源および工業材料のTMR	(2006年3月)
No.11	金属元素のマテリアルフローを統一した形式で整理する試み	(予定)
No.12	社会蓄積量の把握に関する専門家意見調査	(2006年3月)
No.13	Ni, Co, V, REEの現状に対する考察	(2006年3月)
No.14	ナノテクノロジーの倫理・社会影響に関する調査研究	(2006年3月)
No.15	中国のリサイクル・資源利用調査報告	(2007年3月)
No.16	マテリアルリース社会システムのグランドデザインの検討	(2007年3月)
No.17	社会インフラとしての鋼構造物のハイパーネーション・ストックとしての評価	(2007年3月)
No.18	概説 資源端重量(Total Material Requirement ; TMR)	(2009年3月)

独立行政法人物質・材料研究機構
元素戦略クラスター

〒 305-0047

茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL 029-859-2668

FAX 029-859-2601

e-mail emc@wotome.nims.go.jp

home page <http://www.nims.go.jp/>

