

【産業競争力懇談会 2008 年度推進テーマ報告】

サステナブル生産技術基盤（08 年度活動）

【循環型社会形成のための高度リサイクル技術】

2009年3月6日

産業競争力懇談会（COCN）

【エグゼクティブサマリー】

1. 提言の骨子

我が国は、エネルギー輸入依存や環境問題などの課題を省エネや新エネ技術で克服する政策をこれまで推進してきた（モノづくりジャパン）。その成果として世界に誇る省エネ、新エネ、環境機器等を創造し、我が国のみならず世界の発展に寄与してきた。しかしながら、近年の資源価格の高騰や不安定化、資源国が自国資源を国家戦略として扱おうとする動きは、我が国の生産の基礎である資源の入手そのものを困難にし、今後の持続的な発展を阻害しかねない。このような新たな課題を克服するには、これまでの省エネ・新エネ技術に加え、国内で資源を循環し再利用する資源循環技術が必要である（リサイクルジャパン）（図1）。具体的には、使用済みの家電製品やハイテク製品よりなる、いわゆる「都市鉱山」から資源を取り出し国内で再利用する。本提案ではそのための「高度リサイクル型の生産技術基盤」の確立を提案する。

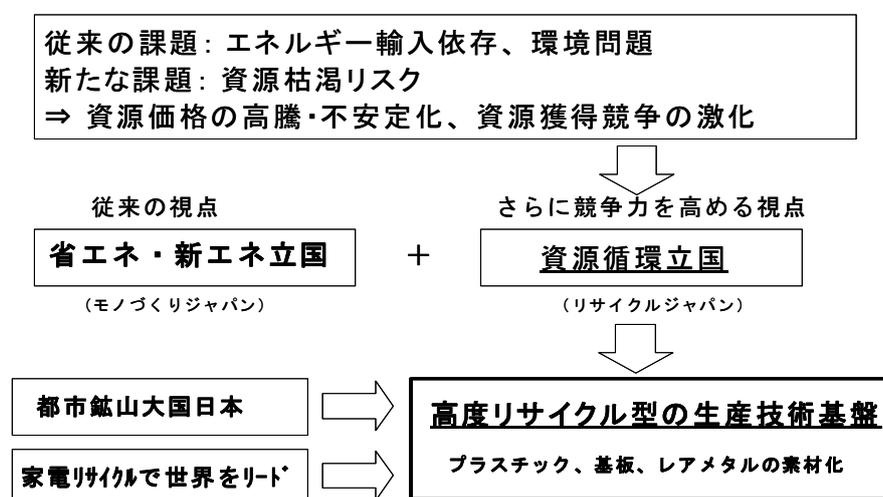


図1 我が国の課題と今後の方向

我が国の都市鉱山に含まれる希少金属やレアメタルの埋蔵量（特にインジウム、銀、錫、金等）は世界の資源保有国に匹敵するとの報告がある。一方でこれまで進められてきたリサイクルは鉄、銅、アルミなど主要金属資源が対象であり、石油枯渇により安定確保が懸念されるプラスチックや資源が希少なレアメタルに関し、本格的なリサイクルは未着手である。リサイクルの先進的な取り組みとして世界をリードする「家電リサイクル」においても実情は同様で、リサイクル工程より排出される混合プラスチック、基板類、モータ等の金属混合物に含まれるレアメタルは、現状ではその多くは国内で再素材化されず、海外再生市場に流出、或いは国内で焼却処理されている（図2）。この理由は、これらの混合素材を安価に自動選別する技術が無く、海外の人手に頼らざるを得ないからである。

以上のように、素材化技術が無い為に国内で十分活用されていない貴重な資源である混合素材を、図2中の「④提案の混合素材再生の流れ」のとおり、「革新的素材化技術」即ち、高度リサイクル型の生産技術基盤により国内に取り戻すことを提案する。具体的には

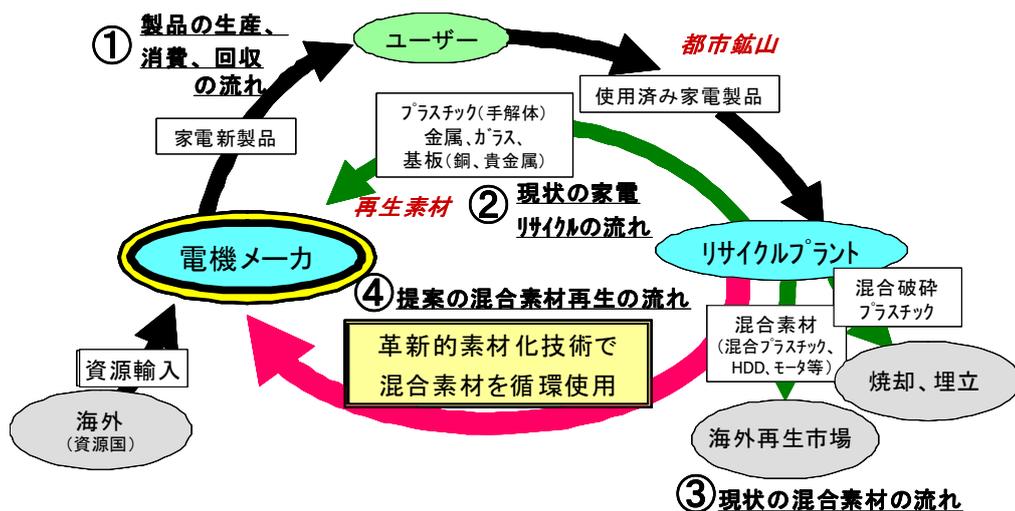


図2 混合素材の革新的素材化による資源循環

第一に、混合素材（プラスチック、基板、レアメタル）の選別・利用技術の開発と統合リサイクルモデルプラントの建設・実証を行ない、実用課題と経済性を把握し、解決策を提言する。第二にそれに基づき関係諸機関と電機・電子・IT 機器等の貴重な資源を循環するスキームを作成し、リサイクルプラントを全国的に整備する（例えば全国 25 箇所設置、最大 1000 億円、新規雇用最大 1 万人）。さらに、他分野（自動車リサイクル等）との連携を検討し、国家的な生産基盤への発展を目指す。上記に伴い、プラントの整備や事業の経済性自立を支援する財政的支援、原料となる使用済み製品の海外流出防止、消費者への啓蒙活動など、政策支援を要望する。以上による効果は下図のとおりである。

<p>1. 産業競争力の強化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・安価な再生素材やレアメタルの国内循環、安定確保
<p>2. 二酸化炭素の排出抑制</p> <ul style="list-style-type: none"> ・再生素材の活用による抑制約160万トン／年（電機・IT）
<p>3. 経済活性化</p> <ul style="list-style-type: none"> ・素材価値 最大1000億円／年程度（電機、IT） ・プラント全国整備による雇用創出最大1万人（電機・IT）
<p>4. 他業種（自動車、他）への適用拡大および国際貢献</p> <ul style="list-style-type: none"> ・規模は電機、電子、ITの約5倍（最大5000億円程度の素材価値） ・海外でのリサイクル事業への貢献（国内の約10倍規模）

図3 本提案による社会的効果

2. プラスチックリサイクル技術

プラスチックの再素材化では、製品使用時の劣化やリサイクル工程での異物の混入（純度低下）による物性低下を抑えることが重要である。これに対し、リサイクルプラスチックの品質をチェックし維持する仕組みとして、スペクトル分析技術を用いる大量・高精度選別技術と品質信頼性（寿命）評価技術の開発を提言する（図4）。スペクトル利用選別技術では、スペクトル分析による材料の識別技術を用いた新たな選別装置を開発する。こ

の結果、従来の比重選別や静電選別では選別が不可能な材料の選別を可能にし、大量・高純度な選別を実現する。品質信頼性評価技術では材料の劣化に関わる基礎データの取得、物性維持技術開発等を行う。

社会的効果では、家電リサイクル事業等のプラスチック再資源化の量的拡大により、最大 320 億円の素材価値の創造と最大 16 万トンの CO₂ 発生量の削減が期待される。また国際的には、海外でも国内と同レベルの回収システムが構築される前提で、最大 4 兆円レベルの再生プラスチックと、最大 2000 万トンレベルの CO₂ 発生量の削減が長期的に見込まれる。

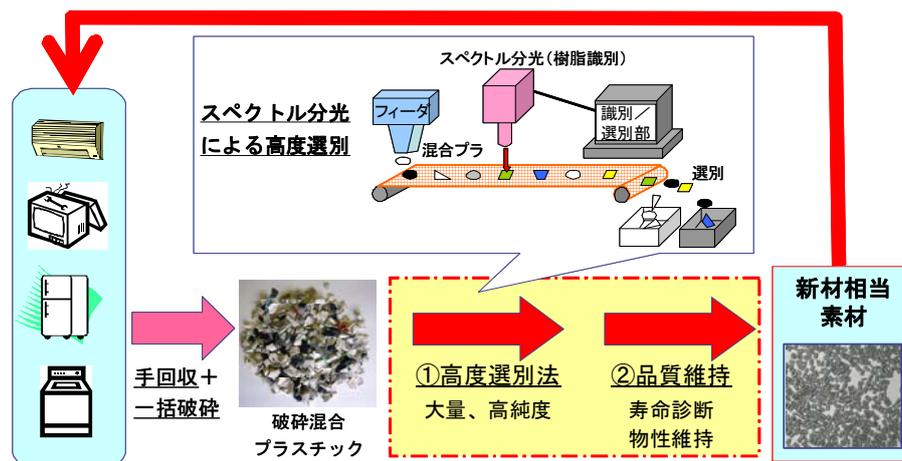


図 4 プラスチックリサイクル技術の提案概要

3. プリント基板等からの金属資源等の分離回収技術

プリント基板は現状では、廃電気・電子機器から手解体され非鉄精錬にて銅が回収されると共に、金、銀などの貴金属が副産物として回収される。一方、レアメタルは溶融スラグとなり廃棄され、また基板重量の約半分を占めるエポキシ等のプラスチック成分は焼却され CO₂ として排出される。この理由は、基板中のレアメタル濃度が非常に低く且つ貴金属に比べ安価なため、現状では経済性が無いからである。その対策として、レアメタルを含有する素子類を予め分離・選別し、レアメタル濃度を高める技術が必要である。

具体的には、溶媒を用い 300℃程度の温和な条件で基板のプラスチック成分を溶解し、固形分である素子類、銅回路を選別装置にて個別に回収する。その結果レアメタル濃度が高まり、その後の素材産業での資源回収の経済性が向上する。また、プラスチック成分を溶媒から回収することで、化学原料としての再利用も可能になる。即ち、希少資源であるレアメタルやプラスチックを含むトータルなリサイクルシステムが構築できる(図5)。

社会的効果においては、家電リサイクル事業の廃プリント基板の可溶化処理によってリサイクルされる材料は 28 億円の市場価値と 3.5 万トンの CO₂ 削減効果を有する。国内の家電リサイクル以外の全てのプリント基板への適用では、約 80 億円と 10 万トンの CO₂ 削減効果が期待される。また、熱硬化性プラスチックの国内市場の 30%がリサイクルされ、年間 41 万トン焼却処理でなく可溶化処理した場合には 144 万トンの CO₂ 削減となる。

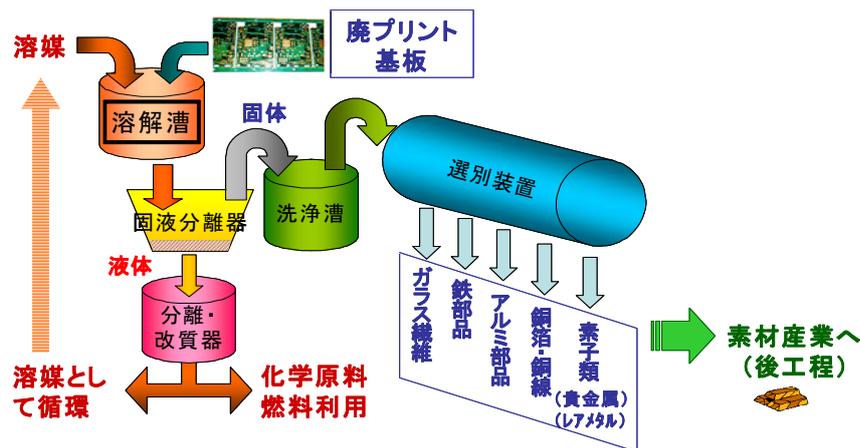


図5 プリント基板等からの金属資源等の分離回収技術の提案概要

4. レアメタルの回収・再生技術

レアメタルの中でもレアアースは、殆ど全ての IT 製品だけでなく、今後の日本の戦略製品であるハイブリッドカーにも不可欠な物質である。一方でレアアースの生産は中国に集中しており、資源供給の安定性の面でリスクがある。そこで、使用済み製品からレアアースを回収利用する取組みとして、これまで、回収されたレアアース含有部品（希土類磁石）からレアアースを化学的に濃縮する技術開発が進められてきた。しかしながら現実に回収を進めるには、その前段である使用済み製品からレアアース含有部品を安価に取り出す技術も必要である。そこで本提案では、製品回収とレアアース含有部品を取り出す技術を開発し、経済性と CO₂ 削減効果を含めて回収や社会的スキームを提言する（図 6）。

社会的効果では、IT 産業と自動車産業で合計約 150 兆円（約 95 兆円＋約 54 兆円）の製造業を持続可能にする。希土類磁石の主要製品については、IT 産業で希土類磁石を積極的に使う製品（FPD, HDD, 磁気ディスク）の市場は約 2.6 兆円、重量は約 146 万トンあり、CO₂ 削減効果はこれに匹敵する約 146 万トンが期待できる。また、自動車産業では、ハイブリッドカーに約 1.3 兆円の市場があり、このレアメタルを含む回収で CO₂ 削減効果は約 52 万トンと見積られる。なお、これらの効果はいくつかの仮定に基づいたもので、CO₂ 削減効果と経済性について本プロジェクトの実行で実証的に明らかにする。

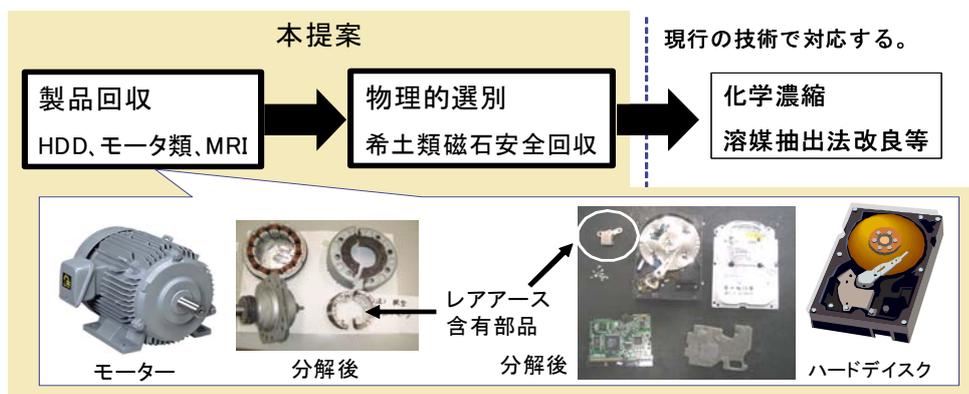


図6 レアメタルの回収・再生技術の提案概要

目次

はじめに	1
1. プラスチックリサイクル技術の開発	3
1-1 現状分析	3
1-2 課題の分析	7
1-2-1 リサイクルプラスチックの品質信頼性	7
1-2-2 破碎混合プラスチックの選別回収技術	9
1-2-3 リサイクルの費用構成	11
1-3 課題解決のための提言	12
1-3-1 リサイクルプラスチックの品質信頼性評価技術	12
1-3-2 スペクトル利用のプラスチック選別技術	12
1-4 社会的効果	13
1-5 今後の活動	15
1-6 政策への展開案と要望	15
1-6-1 リサイクル実証とプラント整備	15
1-6-2 法的整備・支援	15
2. プリント基板等からの金属資源等の分離回収技術開発	17
2-1 現状分析	17
2-2 課題の分析	18
2-3 課題解決のための提言	19
2-3-1 熱硬化性樹脂の可溶化技術	19
2-3-2 社会的効果	21
2-4 今後の活動	22
3. レアメタル回収・再生技術の開発（特に、希土類磁石にフォーカス）	24
3-1 現状分析	24
3-2 課題の分析	24
3-2-1 希土類磁石回収技術開発の位置づけ	24
3-2-2 対象製品	25
3-3 課題解決のための提言	26
3-3-1 回収・運搬の調査検討	26
3-3-2 回収プロセス・技術	26
3-3-3 再生方法の検討	28
3-4 社会的効果	28
3-5 今後の活動	29

3-6	政策への展開案と要望	29
3-6-1	環境産業の育成を目指すリサイクルインフラの整備	30
3-6-2	法的整備・支援	30
3-6-3	雇用創出	30
4.	提言のまとめ（プラスチック、基板、レアメタル）	31
4-1	提案：高度リサイクル型生産基盤の整備	31
4-2	実現に向けた課題（予算、規制、制度等）	31
4-3	効果	32
5.	建築建設 WG	34
5-1	現状の取り組み	34
5-2	課題の概要	34
5-3	環境整備等の支援策の要望	36
6.	製紙 WG	37
6-1	森林のサステナブル経営	37
6-2	古紙の高度利用	38
7.	製鉄 WG	39

はじめに

ものづくりを原動力として発展してきた日本経済は大きな転換期を迎えつつある。

国内においては、少子高齢化が進む中で、大量生産によるコスト低減と経済の拡大成長を前提に構成されてきた社会基盤が見直しを迫られ、ライフプランやキャリア育成についての不透明感や閉塞感が高まる一方で、高いレベルでの環境や社会性への配慮、嗜好の多様化に対応した多品種少量生産など、これまでとは異なった価値を生み出す成長モデルへの移行が求められている。

海外に目を向けると、中国を筆頭とする発展途上国の経済成長による旺盛な消費意欲の拡大に加え、近年の地政学的・地球環境的リスクの増大と投機的マネーの流入にともなう資源高騰は、わが国の経済に多大な影響を及ぼしてきている。

このような社会動向に対応し、日本が国際社会で再度、確固たる競争力と地位を築くためには、限られた労働力で付加価値の高いものを環境リスクや資源リスクに配慮して生産する新次元の「ものづくり技術」の確立と体系化が必要である。

これらの視点から、07年度は「サステナブル生産技術基盤」の全般論をまとめた。08年度は検討分野を電機機器に絞り、プラスチックリサイクル技術、プリント基板等からの金属資源等の分離回収技術、希土類磁石にフォーカスしたレアメタルの回収・再生技術という3つの具体的テーマについて、提言を行った。

2009年3月6日

産業競争力懇談会

会長 野間口 有

【プロジェクトメンバー】

全体ワーキング リーダー 三菱電機株式会社

電機機器ワーキング リーダー 三菱電機株式会社

メンバー 株式会社 東芝

メンバー 株式会社 日立製作所

メンバー 松下電器産業株式会社

メンバー 日本電気株式会社

プラスチックリサイクル SWG : 三菱電機株式会社

プリント基板回収技術 SWG : 株式会社 東芝

レアメタル回収・再生技術 SWG : 株式会社 日立製作所、三菱電機株式会社

建築建設ワーキング リーダー 清水建設株式会社

メンバー 鹿島建設株式会社

製紙ワーキング リーダー 王子製紙株式会社

製鉄ワーキング リーダー 新日本製鐵株式会社

1. プラスチックリサイクル技術の開発

1-1 現状分析

資源・エネルギー問題に関し我が国産業界が置かれている課題の全体像をまず概観する。我が国は、エネルギー輸入依存や環境問題などの課題を省エネや新エネ技術で克服する政策をこれまで推進してきた（モノづくりジャパン）。その成果として世界に誇る省エネ、新エネ、環境機器等を創造し、我が国のみならず世界の発展に寄与してきた。しかしながら、近年の資源価格の高騰や不安定化、資源国が自国資源を国家戦略として扱おうとする動きは、我が国の生産の基礎である資源の入手そのものを困難にし、今後の持続的な発展を阻害しかねない。このような新たな課題を克服するには、これまでの省エネ・新エネ技術に加え、国内で資源を循環し再利用するための資源循環技術が必要である（リサイクルジャパン）（図1）。具体的には、使用済みの家電製品やハイテク製品よりなる、いわゆる「都市鉱山」から素材を取り出し国内で再利用する。本提案ではそのための「高度リサイクル型の生産技術基盤」の確立を提案する。

我が国の都市鉱山に含まれる希少金属やレアメタルの埋蔵量（特にインジウム、銀、錫、金等）は世界の資源保有国に匹敵するとの報告がある¹⁾。一方でこれまで進められてきたリサイクルは鉄、銅、アルミなど主要金属資源が対象であり、石油枯渇により安定確保が懸念されるプラスチックや資源が希少なレアメタルに関し、本格的なリサイクルは未着手である。このような状況を、リサイクルの先進的な取り組みとして世界をリードする「家電リサイクル」を対象に分析し、解決すべき課題を明らかにする。

家電リサイクルは、「循環型社会形成推進基本法」の枠組みのもと個別のリサイクル法の一つである「特定家庭用機器再商品化法（通称：家電リサイクル法）」にのっとり、使用済み家電製品（エアコン、テレビ、冷蔵庫、洗濯機の4品目）から生ずる廃棄物の減量と部品・素材のリサイクルを目的として進められてきた（2001年4月施行）。家電リサイクルの進展状況は、各年度の再商品化率の推移で推し量ることができる（処理重量のうち新たな製品の部品又は原材料として再利用した割合：但し、再利用する外部業者に有償ま

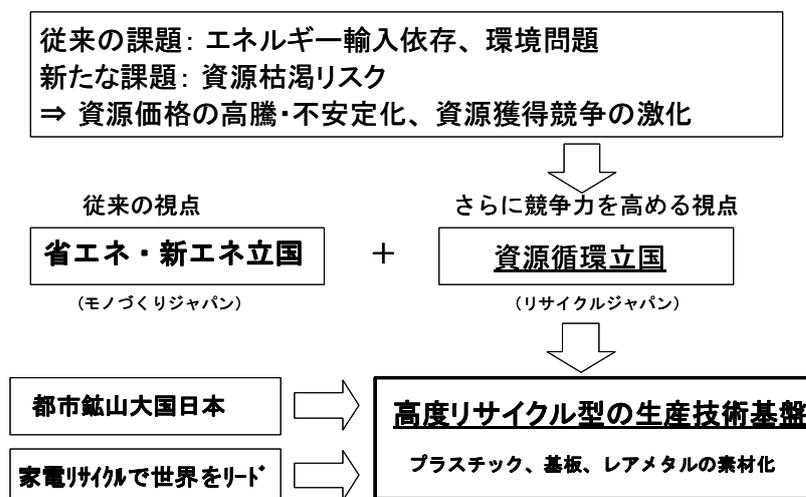


図1 我が国の課題と今後の方向

たは無償で引き渡すことも含む)。素材毎に積み上げた各年度の再商品化率を図2に示す。家電製品は素材別に、金属類（鉄、銅、アルミ等）、ガラス、プラスチック（図ではその他有価物にほぼ相当）で構成される。金属類やガラスには古くから再生市場が存在するが、プラスチックには安定した再生市場が少ない。そのため、家電リサイクルの制度創設当初（2001年）にはリサイクルの主体は金属類、ガラスであった（その他有価物の再商品化は少量）。その後のプラスチックの再商品化に向けた努力により、及び特に近年では石油など資源価格の高騰が追い風となり、プラスチックの再商品化が順調に進展した。その結果、再商品化率は全体として81%であり、目標（50~60%以上；品目により異なる）を満たす。

上記状況により現状の家電リサイクルは、廃棄物の減量と部品・素材のリサイクルという当初の目標を満たす一方、循環型社会の形成という点ではまだ不十分である。具体的には、再商品化の中には、国内で単一素材（金属、ガラス、プラスチック）まで分解されリサイクルされている物質以外に、国内では部品或いは素材混合物までの分解に留まりそれ以降は海外で素材化されている物質が含まれる（金属混合物、混合プラスチック）（図3）。また基板類は、回収の容易な貴金属や銅が回収され再商品化されているが、残る構成素材である樹脂やレアメタル等の回収は不十分である。これらを除外すると、国内で有効に資源活用されている割合は再商品化率の81%より小さく、60%程度と推定される。この理由は、素材の複雑な混合物を安価に自動選別する技術が現状では無く、海外の手に頼らざるを得ないからである。

以上のような素材化技術が無い為に国内で十分活用されていない混合素材を、本提案では、革新的な素材化技術の開発により循環使用する（図4）。図中の「④提案の混合素材再生の流れ」は、提案する「革新的素材化技術」、即ち、高度リサイクル型の生産技術基盤によりもたらされる。

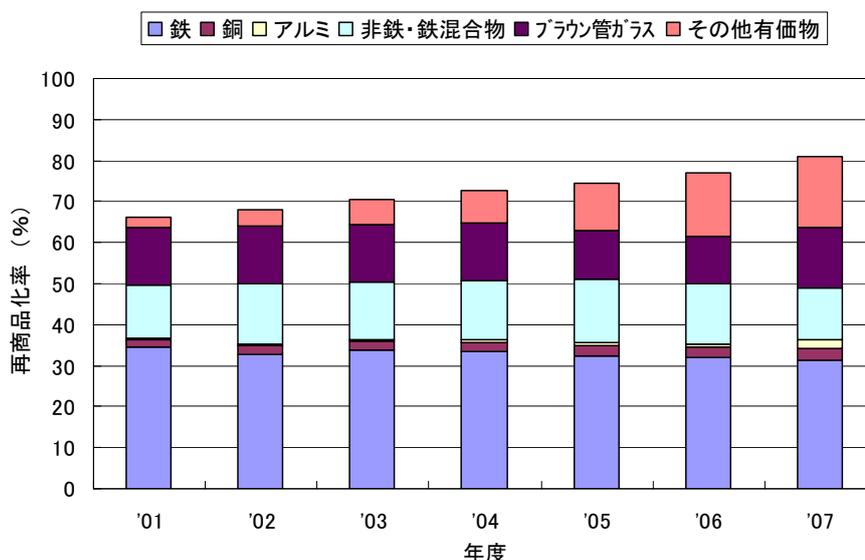


図2 家電リサイクルにおける再商品化率の状況²⁾

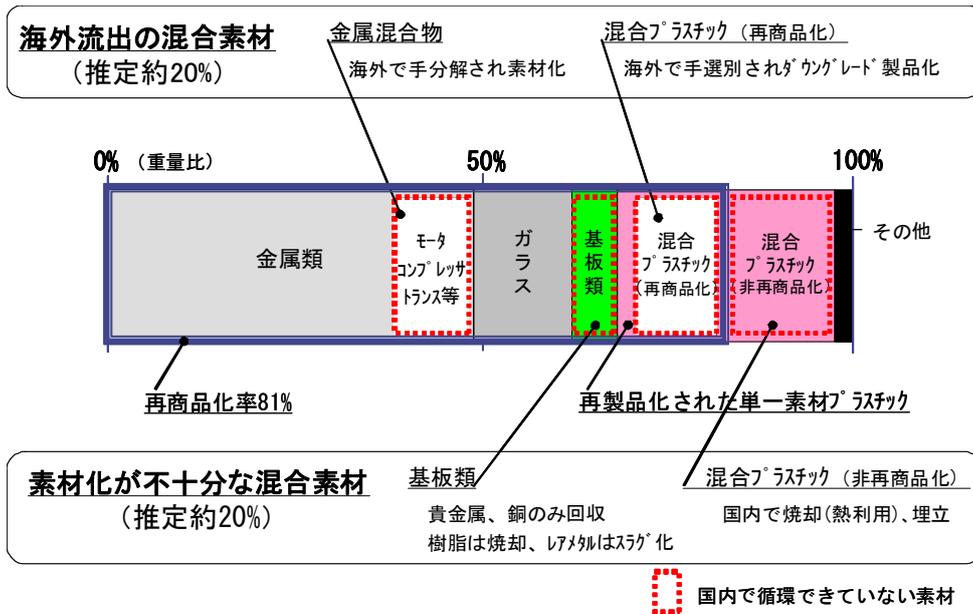


図3 国内での資源循環が不十分な事例²⁾ ('07年)

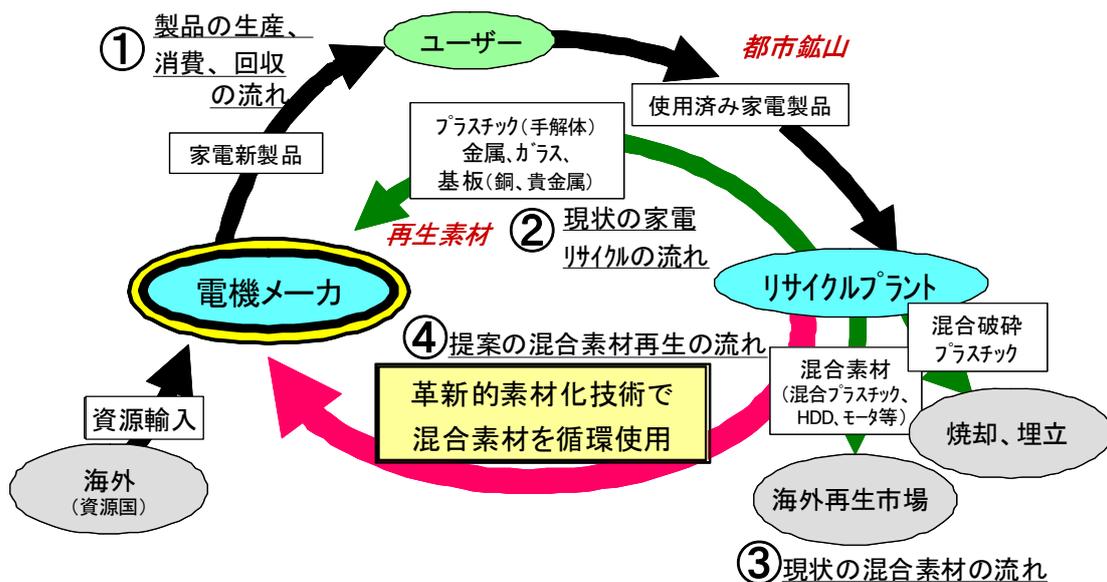


図4 混合素材の革新的素材化による資源循環

なお、素材の循環利用が CO₂ 削減に大きく寄与することは、いくつかの文献で既に報告されている^{3,4)}。例えば家電製品協会の報告³⁾では、現実の再商品化施設で得られた有価物（鉄、非鉄、ガラス、プラスチック）の LCA 評価により、再生素材（有価物）は素材を資源から製造する場合に比べ、素材の製造に必要な CO₂ 発生量が約 1/6 に低減されることが示されている。

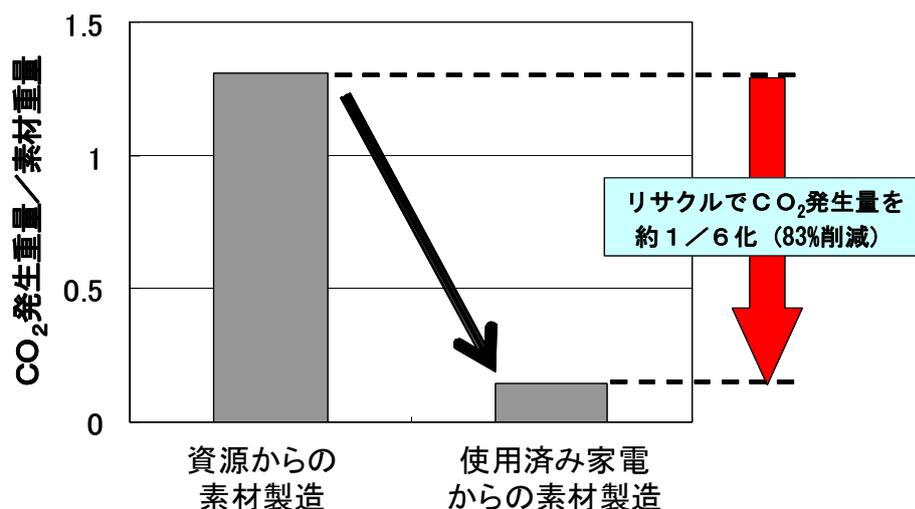


図5 再生素材によるCO₂発生量の削減³⁾

次に、プラスチックに関し更に詳細に分析する。

資源の繰り返し利用を可能にする点で理想とされる、使用済み家電製品から新たな家電製品へのプラスチックの自己循環リサイクル（マテリアルリサイクル）は、一部では実現しつつあるが量的にまだ少量である。三菱電機の事例^{5,6)}では、自己循環リサイクルの主原料は手解体で回収するプラスチックであり、その回収量は 600 トン/年程度に留まる。残る手解体回収が難しいプラスチック含有部品から得られる破碎混合プラスチックは 10,000 トン/年程度存在する。その多くは現時点では、海外を含むプラスチックのダウングレード市場等に提供されている（雑貨品や擬木等の原料として利用）。

回収プラスチックの自己循環リサイクルがこれまで手解体プラスチック主体である理由は、第一に回収プラスチックの純度維持（例えば 99%以上）が容易な点である。手解体プラスチックは単一樹脂よりなる相対的に大きな部品であり、樹脂種判別装置で容易に樹脂種を識別できる。第二に、破碎混合プラスチックから回収したプラスチックを再度樹脂原料として用いるには、破碎プロセスで発生した金属や異種樹脂等の微小異物の混入に対する対策が別途必要になる。電機メーカーはこれら課題に対する開発を進めており、その成果として、破碎混合プラスチックから回収されたりサイクルプラスチックの製品化が、少量ではあるが進行中である。

このような動きと同期してリサイクルプラスチックを今後本格的に導入するには、リサイクルプラスチックの寿命や信頼性に関わる基礎情報や、繰り返し安全に利用する方法を明らかにする必要がある。そのような技術開発により目指すプラスチックの自己循環リサイクルの全体像を図6に示す。回収プラスチックの主体である破碎混合プラスチックの高度な選別技術や、リサイクルプラスチックの品質を確保する方策をシステムに組み入れることで、プラスチック素材を含めた循環型社会の構築が可能になる。

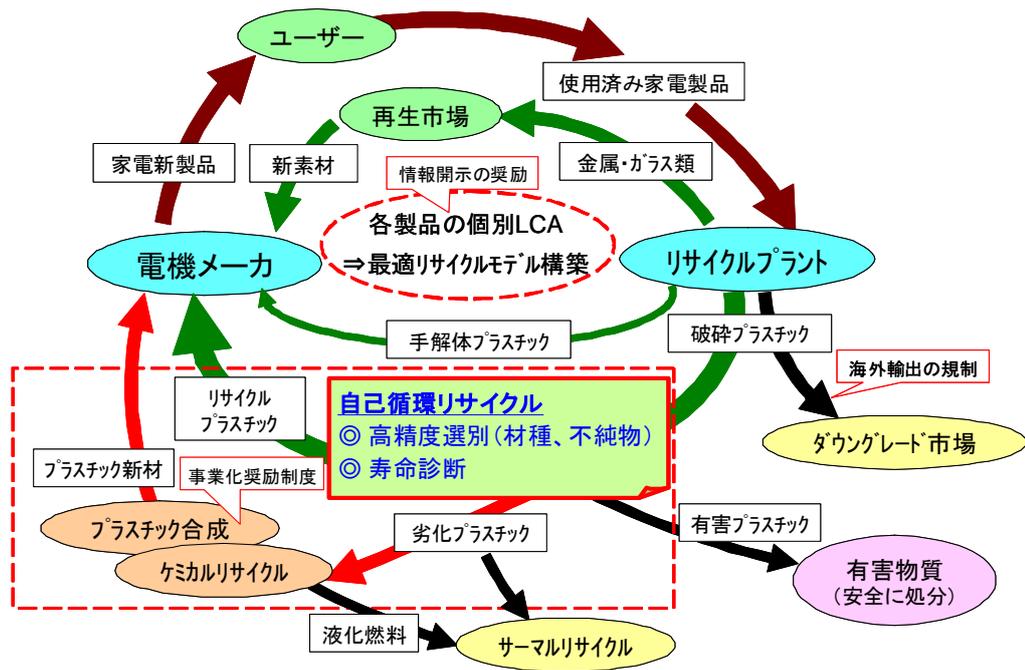


図6 提案するプラスチックの自己循環リサイクル⁷⁾

1-2 課題の分析

1-2-1 リサイクルプラスチックの品質信頼性

プラスチック製品は、その使用環境下で長期に熱、光、薬品などにさらされると化学的に劣化し、特性が低下する。典型的な劣化挙動は、前述の要因が作用しプラスチックの分子内に不安定なラジカルを生成することに起因する。このラジカルが生成すると連鎖反応が生じ、プラスチックの骨格をなすポリマー主鎖が切断され分子量の低下に至る。さらに、プラスチックに白化、黄変、クラックなどの変化が伴い、物性が低下する。一般的には、このような連鎖的な劣化反応の進行を防ぐ為プラスチックに各種の添加剤が加えられており、過度な劣化は抑えられている。劣化を抑制する代表的な添加剤として酸化防止剤がある。

図7は、プラスチック成形品の熱酸化劣化加速試験における、衝撃強度の保持率と試験時間の関係の一例である。新材の試験の初期段階では酸化防止剤が機能しており、衝撃強度が維持される。正確には、酸化防止剤が犠牲となって消費され、劣化が防止されている。しかしながら試験時間が更に延びると、酸化防止剤が完全に消費されポリマー本体の劣化に至り、成形品の衝撃強度が大きく低下する。このような段階では、ポリマーの平均分子量が低下しいわゆる酸化劣化材となっている。

一方リサイクルプラスチックでは、再素材化の工程で酸化防止剤が再添加され、新材相当の長期信頼性が与えられる(図7の添加剤有りのリサイクル材に相当)。但し、リサイクルプラスチックに酸化防止剤の再添加処理を施さない場合には、酸化防止剤が早期に消

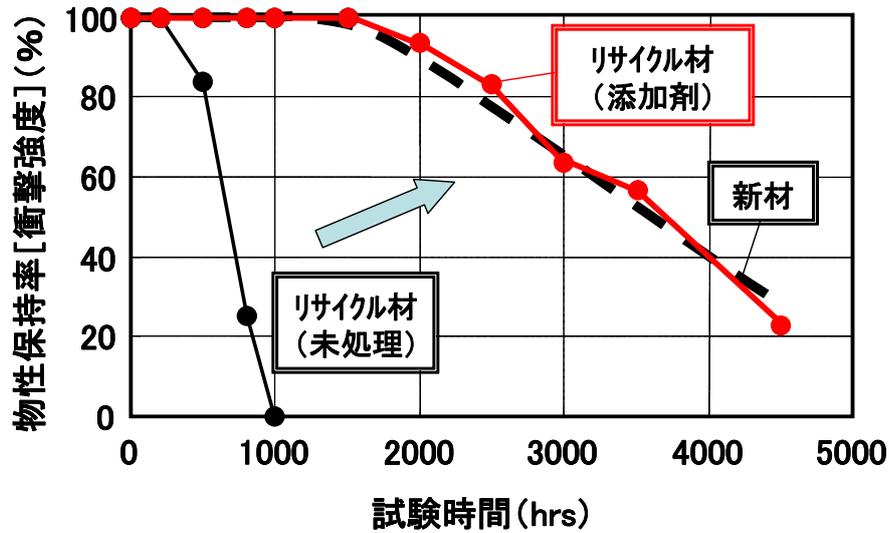


図7 熱酸化劣化加速試験におけるプラスチックの物性保持率と試験時間^{8,9)}

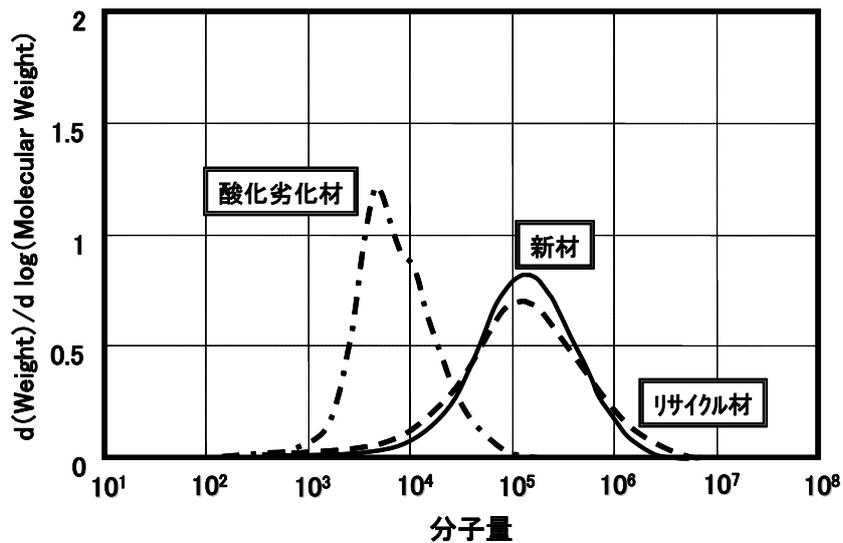


図8 各プラスチック材におけるプラスチックの分子量分布⁸⁾

費されポリマー本体の劣化が速やかに進行するため、家電製品への適用が難しいケースがある（図7の未処理のリサイクル材に相当）。以上のことをプラスチック材料の分子量分布の変化として調べた結果が図8である。図8において、新材及びリサイクル材は共に分子量がほぼ同じであり、両者の間にポリマー分子の状態に差異は無い。一方、熱劣化加速試験で新材を過度に劣化して得られた酸化劣化材では平均分子量が大きく低下し、衝撃強度の低下を裏付けている。このような状態ではポリマー主鎖の切断によりプラスチックの分子量が低下しており、添加剤の再生処理ではプラスチックの再生は難しい。

以上のような劣化モードを踏まえると、リサイクルプラスチックの信頼性確保の点から、

再利用に際し以下の点に留意する必要がある。第一に、例えば製品の内装部品と屋外環境で使用された外装部品との間の劣化の差異、或いは何回も家電製品に再生された樹脂部品の劣化のダメージの蓄積などに留意し、幅広いサンプルを対象にプラスチックの劣化状況を調査・把握する必要がある。第二に、現実のリサイクル工程において利用可能な簡便な劣化評価手法や、多少なりとも劣化した回収プラスチックの利用方法及びそれが物性や耐久性に及ぼす影響を把握する必要がある。また好ましくは、劣化したプラスチックの物性を回復する手法も検討の余地がある。

1-2-2 破砕混合プラスチックの選別回収技術

プラスチックの自己循環リサイクルという点では、家電製品から手解体で回収したプラスチックを家電製品に再利用する取り組みが、既に電機メーカー各社でなされている。

次のステップとして、手解体回収の残りである破砕混合プラスチックを対象に、再製品化を追及する動きが進行中である。破砕混合プラスチックの組成の一例を図9に示す。比重選別技術により回収可能なPP（ポリプロピレン樹脂：充填材等を含まないもの）が全体の約35%を占め、更に静電選別技術によって回収可能なPS（ポリスチレン樹脂）が約20%、ABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン樹脂）が10%程度を占めている（共に充填材等を含まない）。これらPP、PS、ABSは家電製品において使用量が多く、3大汎用プラスチックと呼ばれている。図に示す重比重プラスチックとは、比重選別処理において比重が1.1より大きいプラスチックとして得られる

ものである。重比重プラスチックの主たる成分は、充填材や難燃剤等を含むため比重が増大したABS、PSであり、その他に比重が大きいエンジニアリングプラスチック等を含む。上記含有物を含むABS、PSは本来の比重からずれて重くなっているため、比重選別法では回収できずその他のプラスチック（重比重プラスチック）として処理されている。現状の比重選別技術、静電選別技術により混合プラスチックからPP、PS、ABSを回収する三菱電機の選別回収シナリオを図10に示す。上記技術により、破砕混合プラスチックの約65%が

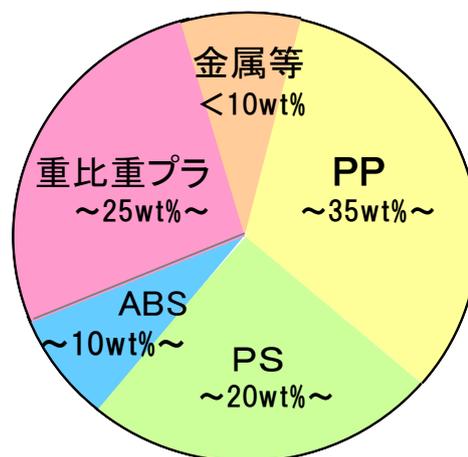


図9 破砕混合プラスチックの組成例⁴⁾

選別・回収可能である。技術的には純度99%レベルの回収が検証されている。三菱電機ではPPについて冷蔵庫部品への一部適用を開始する一方、静電選別技術によりPS、ABSを高純度に回収し家電製品へ適用を進める計画である¹⁰⁾。

このようなPP、PS、ABSの家電製品への自己循環リサイクルを確実に進展させると共に、

混合プラスチック

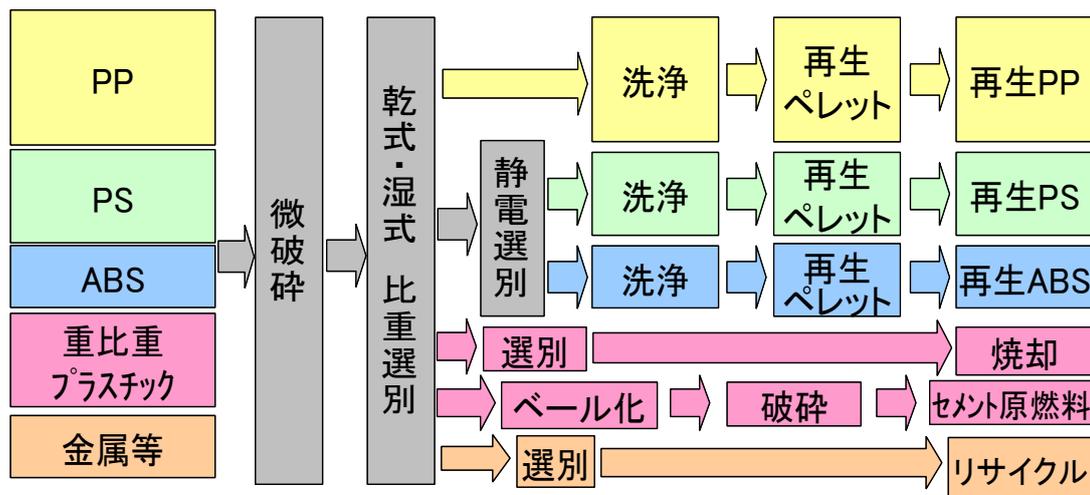


図 10 破碎混合プラスチックのリサイクルシナリオ例⁴⁾

リサイクルを行なう対象プラスチックを更に拡大するには、以下の点が課題になる。

① 回収 PP、PS、ABS の更なる高純度化

現状ではプラスチックを純度 99%で選別回収する要素技術が開発されており、自己循環リサイクルへの適用計画が公表されている¹⁰⁾。しかしながら、長期に亘る複数回のリサイクルにおいて且つ回収材のみが 100%利用される極限のケースを想定すると、回収純度の一層の向上が望まれる。例えば、現実の回収プラントで純度 99%で回収を行なえたとしても、リサイクルの回数に応じ累積の純度が低下する（例えば 2 回目に 98%、3 回目に 97%、等）。実際にはその他の要因による純度低下も想定されるため、純度低下が材料物性に及ぼす影響が懸念される。

② 含有物を含むプラスチックの選別技術

先に述べたように、重比重プラスチックの主体は ABS や PS であるが、フィラー、タルクなどの充填材や、難燃剤、安定剤などの添加剤により比重が変化（増大）しており、比重選別で素材を特定する選別を行なうことは難しい。またその他には、PC（ポリカーボネート樹脂）、PVC（塩化ビニル樹脂）等の比重の大きなプラスチックも含む。このような、含有物で比重が変化したプラスチック、或いは多種類のプラスチックから成る混合物から特定のプラスチックを選別するには、比重選別や静電選別のような相対的な物性比較に基づく現有の選別技術では選別が難しい。これに替わる技術として、識別技術に基づく選別技術が、材料を直接識別することで添加物の有無に関係なく精度良く選別でき、次世代の技術として期待される。

プラスチック種別や充填剤或いは添加剤を識別するための候補技術を特許調査をもと

に表 1 に示す。赤外吸収、ラマン散乱、蛍光 X 線などのスペクトル分析を利用した識別技術、ガス分析や温度特性の差異を利用した識別技術等が提案されている。

表 1 プラスチック識別技術^{1 1)}

赤外吸収	赤外線吸収スペクトルによる材質同定
ラマン散乱	ラマン散乱光を検出して材質同定
蛍光X線	電磁波を照射し、X線スペクトルで含有元素を識別
ガス検出	熱分解で発生するガス成分を分析して材質(PVC)を同定
温度変化	赤外線を照射、温度分布から材質識別
指標物質添加	材質毎に異なる指標物質を添加し、赤外線、紫外線、X線などで識別

1-2-3 リサイクルの費用構成

使用済み製品のリサイクルには、製品の収集や運搬、リサイクルの処理、各工程の管理、及びそれらに必要な開発等の多くの作業が含まれる。家電リサイクルの例では、それらに必要なリサイクル費用を主として消費者が再商品化等料金として負担し、メーカーは家電のリサイクルを実施する。再商品化等に要したリサイクル費用の公表はないが、経済産業省からリサイクルに係る費用の試算例の報告がある^{1 2)}。家電 4 品目の一例として洗濯機のリサイクル費用の分析例を図 11 に引用する。特徴は以下のとおりである。

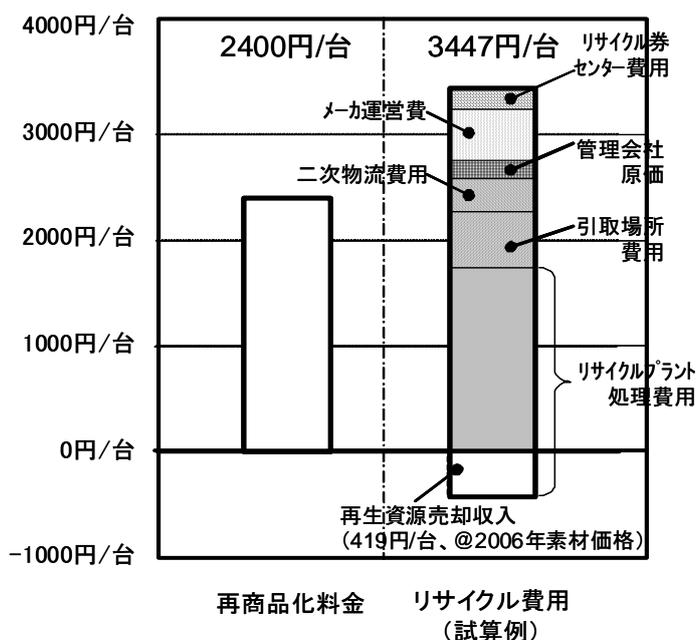


図 11 リサイクル費用の試算例^{1 2)} (洗濯機)

- ①引取り、輸送、管理、技術開発（メーカー運営費に含まれる）など、物流・管理に関わる費用は、リサイクル費用全体の約半分を占める
- ②再生資源売却収入はリサイクルプラントの処理費用の約 1/5、リサイクル費用全体ではその約 1/10 である
- ③リサイクル費用を支えるのは、第一に消費者による再商品化等料金であり、不足分を再生資源売却収入とメーカー（メーカー運営費）が補填している

家電リサイクル全体の費用構成は 4 品目を総合しても洗濯機の例と大差無く、管理的な経費の割合が大きく、また再生資源売却収入の割合は限定的である。従って、新たな製品

のリサイクルを具体化するには、物流も含めた発生コスト全体の把握が重要と考えられる。なお当然ながら、素材価格が長期的に上昇すれば、リサイクルに関わる直接的な費用負担はその分軽減される。

1-3 課題解決のための提言

1-3-1 リサイクルプラスチックの品質信頼性評価技術

前項で述べた課題を解決し、リサイクルプラスチックの品質信頼性を確保するため、以下の開発が必要と考える。

- ①リサイクル材の劣化状況の把握（データベース）
 - －回収プラスチックの劣化状況（使用環境、リサイクル回数、不純物等）
 - －再利用の影響、再利用基準
- ②リサイクル材の劣化評価技術・物性維持技術
 - －劣化指標及び評価技術（リサイクル回数、劣化モニター技術等）
 - －劣化プラスチックの物性維持技術
- ③劣化プラスチックの物性回復技術

以上の項目はいずれにおいても、開発面では広い技術分野が必要であり、また実行面ではメーカー間のコンセンサスが欠かせない。また開発成果では、上記課題の解決によりリサイクルプラスチックの品質信頼性が広汎に確保されるとともに、リサイクルプラスチックの社会的認知が高まるものとする。

1-3-2 スペクトル利用のプラスチック選別技術

現状のスペクトル分析技術においても、以下のようにプラスチックの識別が可能である。具体的には、赤外吸収やラマン散乱等の現状のスペクトル分析技術を用いることで、多数のプラスチックの種類を識別可能である。従って同技術により、例えば、PP、PS、ABSの中から純度低下の要因である少量の異種樹脂を識別し選択的に除去するシステムを構築可能である。或いは、多種類のプラスチック種を含有する重比重プラスチックを、プラスチック種毎に識別し選別することも原理上可能である。また現実には、近赤外線を利用したプラスチック種の識別装置が一部市販されたり、ラマン散乱を利用したリサイクルプラスチックの選別報告例がある。しかしながらこれら既存装置では以下に挙げる課題があり、量産への適用は現実的には難しい。

- (1) 選別精度
- (2) 黒色プラスチックの識別が困難
- (3) 高価格

そこで、上記3点の課題を克服することで、既存の比重選別法や静電選別法の弱点を補完できる実用的なスペクトル利用選別技術が利用可能になると考える。あるいは、既存の選別技術との組み合わせた高度な運用も考えられる。具体的には、新たな高精度識別と分別方法、黒色プラスチックを識別できる前処理方法、安価なシステム構成などの開発がターゲットとなる。

品質信頼性評価技術と合わせ、提案する破碎混合プラスチックの自己循環技術の概要を図12に示す。両技術により信頼性が確保された新材相当の素材（樹脂ペレット）を得、再生プラスチックの普及を促進する。

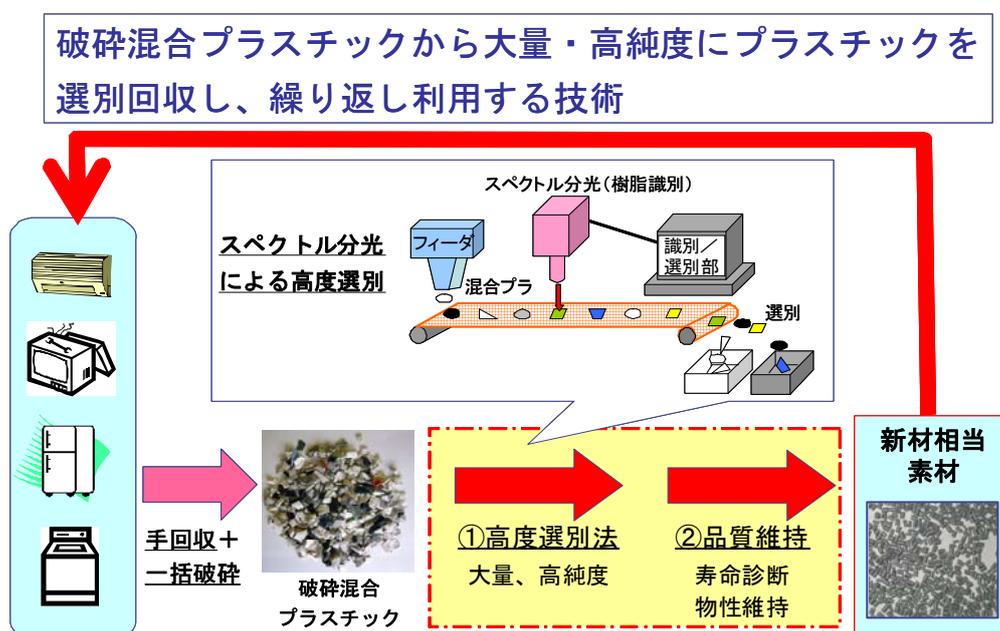


図12 破碎混合プラスチックの自己循環技術の概要

1-4 社会的効果

再生素材が直接生み出す効果をまず検討する。

現状の家電リサイクルから得られる廃プラスチックを対象とすると、先の図3において、再商品化された混合プラスチック及び非再商品化の混合プラスチックの総量として、最大16万トン／年程度の混合プラスチックの再資源化が期待できる。その結果、プラスチック原料の単価として例えば200円/kgを想定すると最大320億円の素材価値を生む余地がある。またリサイクルプラスチック1トン当たりCO₂発生量を1トン削減すると仮定すると⁹⁾、CO₂発生量を最大16万トン／年程度、新材料を使う場合に比して削減できる。

また、国内他業種への波及効果が考えられる。第一に、自動車リサイクルにおけるシュ

レッダーダストの再資源化への貢献がある。車由来のシュレッダーダストは廃家電由来の物とは金属含有量や樹脂組成等の点で異なり、再利用が難しいとされてきた。しかし発生量が70万トン/年程度と大きく、また自動車メーカーの精力的な取り組みもあり、今後更に両業界が協力／開発することで再資源化が実現すれば、その効果は大きい。その他の業種では、例えば電機・機械装置分野でも年間120万トン程度のプラスチック（産業廃棄物）が排出されている。この分野で廃製品の再資源化を進めるには廃製品を集める物流システムの構築という別の課題があるが、複写機等の事務機械類のリサイクルに見られるようにリース物流網の活用という案も考えられる。また既存のリサイクル拠点の活用等メーカー間の協力も可能であろう。これらの可能性を見込むと、最大4000億円規模の素材価値の創造と200万トン/年程度のCO₂発生量削減が波及効果として期待される。この時プラスチックの再利用量は日本の年間廃プラスチック量の約2割に相当する。

リサイクル技術の展開先として世界に目を向ける。例としてリサイクルが世界的に進められつつある電気・電子機器類、自動車について考える。

電気・電子機器類については、例えばEUでは廃電気・電子リサイクル指令（WEEE指令）に基づくリサイクルが進められている。本提言が対象とする破碎混合プラスチックは、MIXプラスチック或いは比較的低純度のプラスチックとして回収され、オープン市場（プラスチック製品の一般市場）に提供されている。これらの再生樹脂製品は使用後一般的には廃却される。本開発が狙うモデルはプラスチックを循環使用するもので、環境負荷的にはるかに優位である。家電製品の世界市場は量的に、国内市場の10倍程度存在する。次に自動車については、EUでは2000年に使用済み自動車に関するEU指令が発効され制度が導入されつつある。また韓国や中国でも導入が準備／検討されている。このような自動車の世界市場は、保有数では世界は日本の約11倍、販売台数では主要国（欧米、ロシア、中国等）は日本の約8倍存在する。

両業界における日本のリサイクルの取り組みは、制度着手の速さ／徹底した実行及び技術において、先進的なEUに比して更に進んでいる。今後の環境と共存する社会では温暖化問題に関する新たな規制導入が製品市場の潜在的リスクと考えられているが、本技術は特に世界市場においてそれに対抗する有力な手段となる。またリサイクル単独の経済的効果については、海外市場の制度や慣習、環境意識の差異等により、予測は国内以上に不透明である。しかしながら、資源枯渇や環境意識の高まりは不可避であり、長期的には海外においても日本同様の取り組みが進むものと考えられる。このような想定に基づき、リサイクルに必要な回収システムや費用負担の社会的合意が日本国内と同レベルに整備される前提では、世界の商品市場は国内市場の概して10倍程度あり、即ち、最大4兆円レベルの再生プラスチック市場と、最大2000万トンレベルのCO₂発生量削減が見込まれる。リサイクル技術をいち早く開発し先行的に実証することで、このリサイクル／資源市場への道が拓ける。CO₂発生量の削減においては、国内では京都議定書の目標達成に向けて政府計画のもと、産業部門として大きな削減に取り組みつつあるが（2005-2010年にかけて産

業部門は 2400 万トンの CO₂ 削減¹³⁾)、現実として大きな課題でもある。本技術は国内外の市場において長期的にそれを強化する。

1—5 今後の活動

品質信頼性評価技術とスペクトル利用選別技術の要素技術開発と装置試作による検証を、最初の 2 年程度 (2009-2010) の期間で行う (資源循環基盤技術開発)。品質信頼性評価技術開発では、リサイクル材の劣化状況や再利用の影響に関わるデータの取得、物性維持技術、再利用に適さない劣化プラスチックの物性回復技術開発を行う。スペクトル利用選別技術では、スペクトル分析による材料の識別技術を用いた新たな選別技術と利用技術を開発する。

次に統合リサイクルモデルプラント (プラスチック、プリント基板、レアメタル) の建設・運用を行い (2011 から)、実用課題と経済性を把握し、解決策を提言する (実証試験)。それらの成果を踏まえ高度リサイクルの生産技術基盤の実現 (リサイクルプラントの整備) に向けて関係者と調整を進める。

なお、特に要素技術開発においては、異分野のメーカー間の分担/協力体制の構築と共に、大学や国研の参加を促し、技術のブレークスルーを図る。

1—6 政策への展開案と要望

1—6—1 リサイクル実証とプラント整備

(1) 基盤技術開発と実証試験にかかる補助金

プラスチックリサイクルの基盤技術開発 (2009-2010)

概算予算 20 億円×2 カ年; 3 テーマ (プラスチック、基板、レアメタルの回収技術)

統合リサイクルモデルプラントの実証試験 (2011-2012)

概算予算 100 億円; 3 テーマを含む統合的なモデルプラント

(2) リサイクルプラントの全国整備にかかる財政的支援

全国的に 25 箇所程度の電機・電子・IT 機器リサイクルプラントを整備 (最大 1000 億円)

(3) 長期的に他分野 (自動車リサイクル等) との連携/展開を検討し、国家的なリサイクル生産技術基盤の整備を目指す。

1—6—2 法的整備・支援

- (1) リユース目的以外の家電製品の海外流出防止 (産業構造審議会方針の徹底)
- (2) 主に経済性の欠如から再生利用が進展しない化成品 (プラスチック等) や環境に貢献する商品が評価され消費者に優先購買を促すための国民啓蒙 (パンフレットや HP など)
- (3) 国際競争力を維持させるための技術的・財政的支援 (経済合理性を満足できない部分につ

いて、有期で財政的支援を行う等)

参考文献

- (1) 馬場研二:「地上資源が地球を救う」(技報堂出版)
- (2) (財)家電製品協会:家電リサイクル年次報告書(平成19年度版)(平成20年7月)
- (3) (財)家電製品協会:家電リサイクル年次報告書(平成16年度版)(平成17年7月)
- (4) 広瀬他:第2回日本LCA学会研究発表会講演要旨集、P2-41(平成18年3月)
- (5) 高木他:三菱電機技報、Vol.79、No.5、317(2005)
- (6) 遠藤他:三菱電機技報、Vol.81、No.6(2007)
- (7) 曾根:精密工学会LCE専門委員会ワークショップ資料(平成20年9月9日)
- (8) 松尾他:成形加工シンポジウム'08予稿集、D-105(平成20年10月)
- (9) 三菱電機(株)HP、環境報告(環境特集・廃プラ再生の超先端)(平成20年12月)
- (10) 三菱電機(株)ニュースリリース(平成20年8月20日)
- (11) 日本国特許公開公報(昭和58年~現在)調査による
- (12) 産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会資料(資料4-1)(平成19年3月6日)
- (13) 中央環境審議会地球環境部会:京都議定書目標達成計画の評価・見直しに関する最終報告(平成20年2月8日)

2. プリント基板等からの金属資源等の分離回収技術開発

2-1 現状分析

我が国ではテレビ、冷蔵庫、エアコン、洗濯機の家電4品目やパソコンは法律により再資源化が定められている。回収された使用済みの電気・電子機器は、指定された再商品化施設や再資源化センターにおいて、手解体や機械による破碎・選別により素材毎に回収された鉄や銅等は素材メーカー等において再生素材としてリサイクルされている。

使用済み電気・電子機器のプリント基板は、銅の他に金、銀等の貴金属も含有しており、貴金属がその含有濃度により採算上回収可能な場合は非鉄精錬メーカーに有価で売却することができるため、通常は手解体の工程で分解・回収されている。手解体で回収されずに破碎機等に投入されたものからはプリント基板の破碎屑を効率良く選別・回収することが困難なため十分にリサイクルされていない場合もある。

また、家電4品目のプリント基板は、金、銀等の貴金属の含有濃度が低いためそのままでは逆有償となるものも多く、取り外された廃プリント基板から中間処理業者が銅精錬で不純物となる鉄やアルミニウム等の部品類を除去することにより品位を上げて非鉄精錬メーカー（山元）に売却しているケースも多い。このような中間処理業者での作業は機械化が進んでおらず人手により行われるため非効率的であり、人件費の高い我が国においては廃プリント基板リサイクルの収益性を悪化させる要因となっている。また、人件費の安いアジア地域などで高価な電子部品回収やプリント基板等からの貴金属回収を行うために、中古品として廃電気・電子機器が海外へ流出しているとも言われている¹⁴⁾。

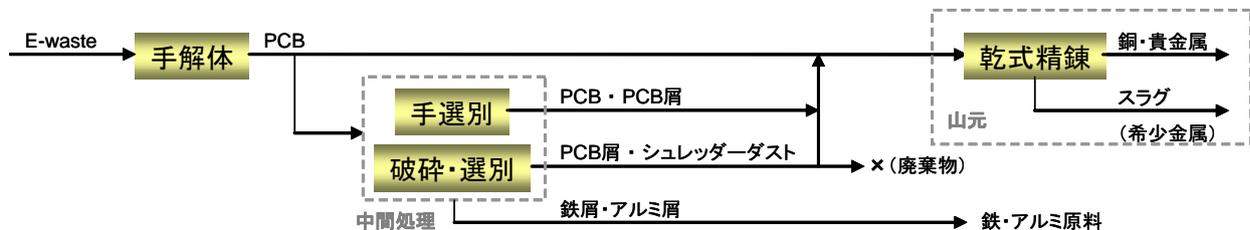


図 13 従来のプリント基板リサイクルの流れ ※PCB:プリント基板

最近の電気・電子機器の高機能化に伴い、プリント基板には金、銀等の貴金属のほか、レアメタルといわれる各種の希少金属が含まれており、これらを再生利用することは持続可能な生産技術を確立し、資源循環型社会を構築する上で重要と考えられるが、現状では廃プリント基板は乾式精錬によって多量のエネルギーを消費して高温熔融処理され、銅や金、銀等の貴金属は回収されるものの、銅より卑なる金属であるレアメタルは熔融スラグに移行するために経済的に回収することは事実上不可能になり、廃棄されているケースがほとんどである。

そのため、2007年度より独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構（以下、JOGMEC）

が経済産業省の補助金で「希少金属等高効率回収システムの開発事業」を実施しており、携帯電話・デジタルカメラ等の廃小型電子・電気機器からのレアメタル回収技術の開発に着手したところである。

プリント基板中のレアメタルは主に実装されている半導体素子等の電子部品に微量に含有されているので、これを効率良く回収するためにはプリント基板上の実装部品を分離、回収してレアメタルを極力濃集することが有効であり、JOGMECの開発事業においても特定の金属を高濃度で含むことが判明した基板上の素子などを粉碎前に選別・取り外すことが重要と位置づけている¹⁵⁾。

2-2 課題の分析

プリント基板に含有される素材は、電子部品類に含有されている貴金属やレアメタル、回路パターンのような比較的純度の高い銅、鉄、アルミの金属材料に加えてプリント基板の基材を構成するガラス繊維、紙類、エポキシ樹脂やフェノール樹脂等の熱硬化性プラスチック、半導体素子のモールド材である熱硬化性プラスチックやセラミック等の非金属材料から構成されている。これらの構成素材のうちリサイクルの目的となっている銅や貴金属に比べ、プラスチックやガラス繊維といった非金属素材の構成比率が比較的高い。例えば、パソコンのマザーボード（PC基板）の粉碎物では56.3%がプラスチックや揮発成分の可燃成分で残りの43.7%が金属成分とのデータがある¹⁵⁾。

廃プリント基板を乾式精錬に投入する場合に、プラスチック等の可燃分を焼却・除去して品位を上げるための前処理（仮焼き）を行うか、そのまま溶鉱炉等へ投入され、ガラス繊維等の不燃分は高温で熔融されてスラグとして排出される。乾式精錬のプロセス全体から見れば投入されるプリント基板の量は微々たるものとしてあまり留意されることはないが、廃プリント基板のリサイクル処理プロセスの観点から見ると、回収可能な金属以外の不燃分を全てスラグ化してしまうことにより無駄なエネルギーを消費していると考えられる。

また、これまでの廃プリント基板のリサイクル処理プロセスにおいて、プラスチック成分が回収されることはなく、可燃分として乾式精錬の前処理工程や高温熔融工程で燃焼されている。前述の通り、プリント基板の重量比率にして約半分はプラスチック等の可燃分であり、炭酸ガスの発生源になっている。したがって、プリント基板のプラスチック成分を分離・回収し、石油由来の化学品等の原料として利用することが可能となれば、CO₂排出が抑制されて地球温暖化防止にも繋がる。

このため、手作業によらない方法によりエネルギー消費とCO₂の排出を抑制しつつ、レアメタルなどの有用な金属素材を含有する電子部品等を効率よく分離・回収することが可能となる廃プリント基板リサイクル処理システムが求められる。そのためにはプラスチック等の可燃分を燃焼することなく、廃プリント基板から半導体素子等の電子部品類、銅

パターン（銅箔）、ガラス繊維、樹脂成分等に分離・回収することが解決手段となる。

すなわち、電子部品等を選択的に分離・回収して貴金属やレアメタルを含有する特定の素子だけを選別・濃集することが可能となったり、高純度で銅パターンが分離・回収されるため精錬プロセスでの高温の溶融処理が不要となり省エネルギー化が可能となったりする。また、ガラス繊維やプラスチック等の非金属素材を純度良く安定して分離・回収することができるようになれば、それぞれを再生素材として有効に利用できる可能性も高まるため、新たな廃棄物を生むことなく、廃プリント基板を構成する素材のほとんどを無駄なく再生利用することが可能となる。

また、前述の通り、中古品として廃電気・電子機器等がアジア地域を始めとする海外に流出しているが、そのような地域の一部では十分な作業環境も確保されないまま、人手によって直接プリント基板を加熱してハンダを溶解し、貴金属を多く含有する CPU を始めとする電子部品類を回収していることが多いと伝えられている¹⁴⁾。そのような状況において作業員や周辺住民等の健康被害も懸念される。本章で提案する廃プリント基板リサイクル処理システムが実用化されれば、直接人手をかけずに電子部品等を回収することができ、鉛等の有害物質の周囲環境への放散も抑制できる。このような技術を世界に普及していくことによって、単に資源循環型社会の構築に資するだけでなく、海外のリサイクル現場における作業環境を改善するという国際的貢献にもなる。

2-3 課題解決のための提言

2-3-1 熱硬化性プラスチックの可溶化技術

プリント基板の構成部品を素子部品、銅パターン、ガラス繊維、プラスチック成分等に分離する手段として、下図に示すようにプリント基板の基材成分である熱硬化性プラスチックを溶媒に溶解させることによってプラスチック溶液から分離した不溶残渣を洗浄・分別する方法が考えられる。

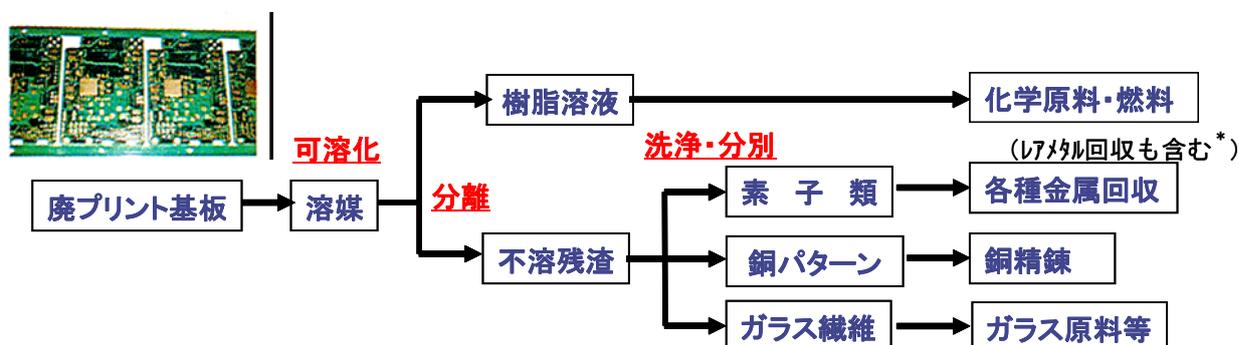


図 14 プラスチックの可溶化技術によるプリント基板リサイクルの流れ

このような熱硬化性プラスチックの可溶化技術として、亜臨界水やアルコール系溶媒を使用して繊維強化プラスチック（FRP）等を溶解してリサイクルする技術が開発されてお

り、一部実用化されているものもある。また、バイオマス由来の溶媒を利用してエポキシ樹脂等を可溶化する研究も行われている¹⁶⁾。

このような溶媒による熱硬化性プラスチックの可溶化技術を廃プリント基板に適用すれば、解体したプリント基板を粉砕することなく、300℃程度までの比較的低温で適切な溶媒処理することによって、電子部品、銅パターン、ガラス繊維等を分離・選別しやすい形で回収することが可能となり、レアメタル等の金属資源の回収・選択率の向上とともに回収工程におけるエネルギー消費量とそれに伴うCO₂排出量の削減も期待できる。

下図に熱硬化性プラスチックの可溶化技術による廃プリント基板からの金属等分離回収システムの構成例の概要を示す。

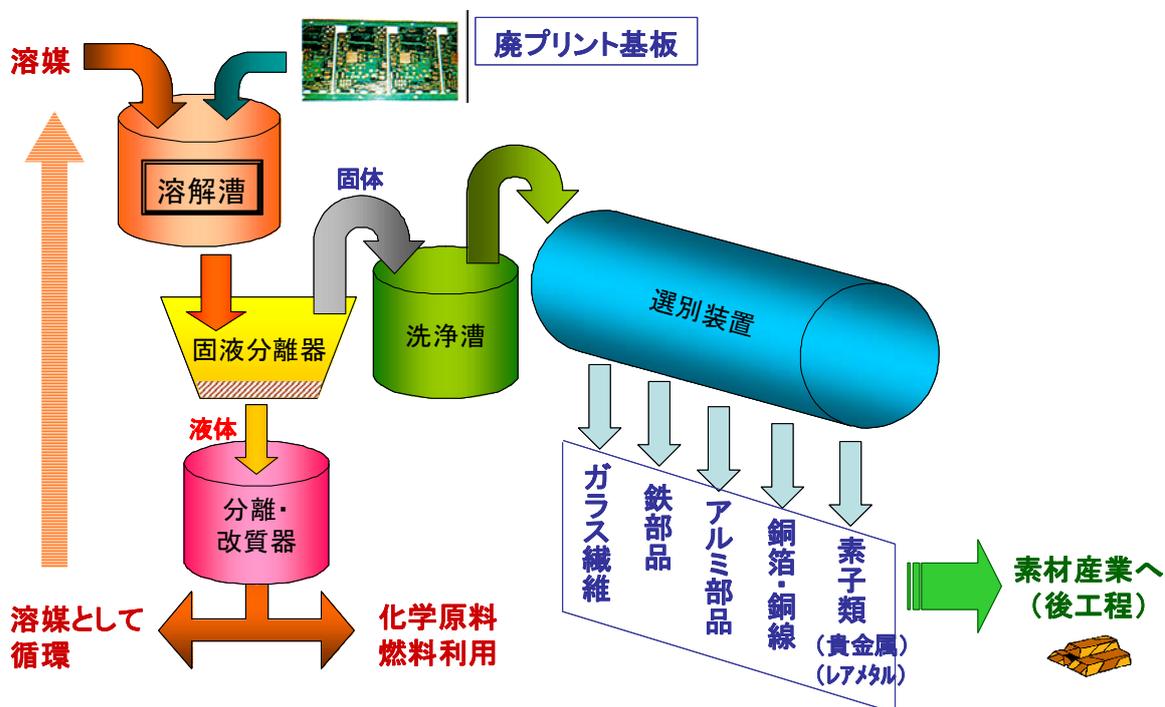


図 15 廃プリント基板からの金属等分離回収システムの構成例

このような熱硬化性プラスチックの可溶化技術を廃プリント基板リサイクルに応用した新しいプロセスの可能性を評価し、装置開発を進めて実用化を図っていくためには、以下の課題の解決が必要と考えられる。

- (1) プリント基板の基材構成プラスチックと添加剤に対応する最適な溶媒の探索
- (2) 溶解反応に最適な温度、圧力、触媒添加量などの可溶化条件の把握
- (3) 溶解反応にかかる所要時間を大幅に短縮するような反応促進方法の検討
- (4) 溶媒に溶解したプラスチック成分を回収し、有効にカスケード利用する方法の検討
- (5) 回収されたガラス繊維等の無機成分を有効に再利用する方法の検討
- (6) プリント基板から溶解するハンダの回収方法と鉛の無害化や装置安全性の検討

- (7) プリント基板に含まれる臭素等、ハロゲンの除去技術の検討
- (8) プリント基板からの部品や素材の分離回収するリサイクル・システムの事業性評価

2-3-2 社会的効果

上記開発技術の社会的効果として、経済効果の観点では以下の内容が考えられる。

家電リサイクル4品目の年間処理重量¹⁷⁾と各品目のプリント基板の重量比率¹⁸⁾から家電リサイクルによる廃プリント基板の発生量は現状年間約1万トンと推定される。家庭等からの家電4品目の総排出量は、家電リサイクル法ルートに乗らない「見えないフロー」と呼ばれるものを含めて家電リサイクル法ルートの約2倍と見られ¹⁹⁾、全体では年間2万トン程度の廃プリント基板が家電4品目により発生しているものと予想される。

また、J E I T Aの調査²⁰⁾によれば平成21年度から追加される薄型テレビのプリント基板の構成比率は10%以上であり、ブラウン管テレビに比べると高いことから将来的に廃プリント基板の発生量は増加する傾向となる。

仮に組成比を、銅：プラスチック：繊維、他＝1：5：4とすると、熱硬化性プラスチックの可溶化技術により2万トンのプリント基板から銅2千トン、プラスチック1万トン等がリサイクル可能となり、材料として合計で28億円の市場価値を有する（1kg当たり銅：400円、プラスチック：200円とする）。

家電4品目以外で携帯電話やパソコン等の電気・電子機器や自動車等に使用されているプリント基板全般のリサイクルへの可溶化技術の適用を考慮すると、平成20年の国内でのプリント基板生産量が23,366千m²（(社)日本電子回路工業会）であることから仮に重量を2.5kg/m²とすると年間5.8万トンとなり、同量の廃プリント基板が発生するとすれば約80億円の市場価値に相当する。

ちなみに国内の電子回路基板の年間生産高は約1兆円であるが、世界の電子回路基板の市場規模は日本国内の5倍程度であり、中国や東南アジアを始めとして世界に広めることによりリサイクルされる材料の市場価値は単純計算で400億円程度となる。

また、廃プリント基板のみならず、その他の熱硬化性プラスチック製品のリサイクル方法として、可溶化したプラスチック成分からモノマー等を回収して化学品等の原料として再生利用できれば石油等の化石資源の代替となる。ちなみに熱硬化性プラスチックの国内市場（エポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリウレタン樹脂、シリコーン、ポリイミド樹脂）は2012年に137万トン（8,470億円）との予測がある²¹⁾。

一方、我が国のIT産業に必要な金属資源確保の観点から、本技術開発の結果として、廃プリント基板から実装部品を破損することなく、分離・選別して特定の元素を選択的にストックすることが可能となる（各部品の元素構成が既知であることが条件）。すなわちレアメタルを一時期保管（Reserve）し、蓄積を行い、将来の原料（Stock）とすること²²⁾が可能となり、将来のレアメタル資源の国内循環に資することができる。

さらにCO₂削減効果の観点からは以下の内容が考えられる。

従来のようにプリント基板のプラスチック成分を焼却することなく、化学原材料として再生利用すること、処理条件が穏和(200~300°C程度)で省エネルギーなプロセスであることからCO₂排出量は大幅に低減可能となる。また、溶媒をカーボンニュートラルなバイオマスから製造することも検討されており、更なるCO₂削減も期待できる。

フェノール樹脂の液相分解法と加熱燃焼法でのLCA比較による研究成果²³⁾によれば、プラスチック1kg当たりの地球温暖化負荷(CO₂換算)はそれぞれ1.28kg-CO₂/kg樹脂、4.78kg-CO₂/kg樹脂であった。定量的な削減量について、両者の差分(3.5kg-CO₂/kg樹脂)をCO₂削減量として試算すると、家電4品目のリサイクルにおいて廃プリント基板中の熱硬化性プラスチックを仮に年間1万トン可溶化処理した場合、3.5万トンのCO₂削減となる。国内のプリント基板生産量(5.8万トン)と同量の(うち熱硬化性プラスチックを2.9万トンとする)廃プリント基板を可溶化法でリサイクルすると仮定して約10万トンのCO₂削減となる。

また、熱硬化性プラスチックの国内市場を137万トンとして、その30%がリサイクルされると仮定して、年間41万トンの熱硬化性プラスチックが焼却処理でなく、可溶化処理によって再生利用することが可能となれば、単純計算だが144万トンのCO₂削減となる。

社会システムの観点から、国内に広範囲に分布している廃電気・電子機器やそれらから解体されるプリント基板を効率よく処理するためには、銅や貴金属等の金属資源の回収を行う遠隔地の非鉄精錬メーカーにそのまま輸送するのではなく、回収された地域にてプラスチック等の中間処理生成物の大部分を再生利用することが望ましい。

可溶化法による分離技術の大きな特徴は、回収したプラスチックを原材料資源あるいはエネルギー資源としてそれぞれの地域の実情に合致した形態で再生利用できる点にある。すなわち、地域内で発生する多様な工業製品に含まれているプラスチック廃棄物(例えば、廃プリント基板)を、地域内に鉄鋼産業があればコークス代替として、石油産業があれば化学原材料として、主要な産業が無い場合には重油または固体燃料の代替として利用すること等が考えられる。

2-4 今後の活動

熱硬化性プラスチックの可溶化技術による廃プリント基板からの金属等の分離・回収システムを実現するには、前節に述べたように多くの課題を解決することが不可欠である。

そのためには基礎的な可溶化メカニズムと最適な可溶化プロセスを実現する環境条件の把握などの基礎的研究が重要である。また、基礎的研究の成果に基づき可溶化プロセスを効率よく促進し部品や部材の分離、回収が容易となるような装置技術等の開発も重要となる。このような基礎研究から装置開発への技術開発は、大学、素材メーカー、装置メーカー

等が連携協力してプロジェクト体制で推進していくことが肝要である。

今後の進め方として、2009年度に現在検討されている種々の熱硬化性プラスチックの可溶化技術と各種プリント基板の熱硬化性プラスチックの種別、材質等への適応性を調査して、それらの結果を総括して2010年度以降に実施可能な開発の目標と体制をまとめる。

参考文献

- (14) 経済産業省：産業構造審議会 環境部会 廃棄物・リサイクル小委員会 国際資源循環ワーキング・グループ（第2回）配布資料4「アジアにおけるリユース・リサイクル」（平成16年7月）など
- (15) (独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構：平成19年度エネルギー使用合理化技術開発希少金属等高効率回収システムの開発事業 成果報告書（平成20年3月）
- (16) 廃棄物資源循環学会：リサイクルシステム・技術研究部会 第3回講演会予稿集－新たな家電リサイクルへ技術とシステムの進展を知る－ pp. 47-64（平成21年2月）
- (17) (財)家電製品協会：家電リサイクル年次報告書（平成19年度版）（平成20年7月）
- (18) 平成6年度NEDO委託研究「家電品のリサイクルに関する調査・研究」報告書（平成7年3月）など
- (19) 環境省、経済産業省：中央環境審議会 廃棄物・リサイクル部会 家電リサイクル制度評価検討小委員会、産業構造審議会 環境部会 廃棄物・リサイクル小委員会 電気・電子機器リサイクルワーキンググループ 第8回合同会合 配布資料2「見えないフロー」の実態について（案）（平成19年4月）など
- (20) (社)電子情報技術産業協会：液晶テレビ及びPDPテレビのリサイクルシステムに関する調査研究（平成17年3月）
- (21) (株)富士経済：2006年熱硬化性樹脂と応用製品の現状と将来展望（平成18年3月）
- (22) RtoS研究会：<http://www.coden.jp/RtoS/>
- (23) (財)クリーン・ジャパン・センター：平成14年度NEDO「熱硬化性樹脂などの液相分解法によるモノマー・化学原料へのケミカルリサイクル技術の開発」成果報告書（平成15年3月）

3. レアメタルの回収・再生技術の開発（特に希土類磁石にフォーカス）

3-1 現状分析

レアメタルは埋蔵国が偏在し、また、埋蔵量も少量であることから、近未来には枯渇してゆき、産出国からの輸出が戦略的に規制されることも危惧されている。レアメタルは、電子・情報・電機産業の持続に不可欠であるにもかかわらず、輸入に依存していることは、産業競争力の維持・向上を根底から覆しかねない。中でも、ネオジウムやジスプロシウムなどの希土類磁石は産出国に限られ、関税率のアップや輸出規制が実施されれば、電子・電機産業、自動車産業、医療機器産業など、日本を牽引している産業で、製品製造に支障をきたすなど甚大な影響が危惧される。

2001年4月より施行された家電リサイクル法においては、エアコン、テレビ、電気冷蔵庫、電気洗濯機の4機種が、回収対象となっている。リサイクルプラントに於いては、プラスチック類、パネル等を構成する鉄、銅などの金属類などについては、リサイクル技術が進んでおり効果的な再利用が可能となっている。しかしながら、近年の家電機器の小型化、高性能化、省エネルギー化に大きく寄与している希土類元素であるネオジウム、サマリウム、ジスプロシウムを用いた高性能磁石については、希土類元素の価格高騰や資源の偏在性等による入手難が危惧されているにもかかわらず、その解体、回収、再生のリサイクルシステムについては進んでいるとは言い難いのが現状である。希土類磁石の代表であるネオジウム磁石のマテリアルフローを考えた場合、磁石製造の際に発生する工程くずは製錬、精製工程に還流され、約90%がリサイクルされていると言われるが、製品に組み込まれた後のリサイクル率は極めて低い。

日本が世界に先駆けて希土類磁石を使用済み製品から回収する技術と仕組みを開発・構築できれば、サステナブル製造業の基盤作りに先鞭をつけることになり、日本の産業競争力の持続と先行・向上に大きく貢献できる。

3-2 課題の分析

3-2-1 希土類磁石回収技術開発の位置づけ

希土類磁石（ネオジウム、ジスプロシウム）はレアメタルの中でも製品中に高密度に実装されているが、現在、回収・選別法がないため、鉄スクラップとして処理されている。このルートを断ち切り、回収・再生を合理的・経済的に行うためには、都市に分散する製品を、小型製品（HDD等）から大型製品（MRI、中大型モータ）に至るまで、(1)製品または選別された部品として回収する仕組みが必要であり、さらに、(2)それらを安全に分解・選別するアシスト装置群の開発が求められる。

廃電気・電子機器のリサイクルプラントにおける上記、希土類磁石を用いたモーター類の取り扱いは、現状では、手作業による分離回収が行われており、時間とコストを要すると共に、分離されたモーター類は、多くの場合、中古品等として途上国を中心とした海外

メーカーへと売却され、希土類金属は重要な資源であるにもかかわらず、国内における回収サイクルは完結していない。これは、磁石を用いた製品の場合には、磁石材料が着磁しており、プラント機器や構造体に磁気による付着が生ずるために、製品に対し一括破碎による処理が適用しにくいこと、破碎後の鉄系等の金属と磁石との分離がしにくいことと考えられる。また、磁石くずが回収できた場合でも、不純物等の混入が多く、磁石として再生する場合に必要なとされる高い品位の磁石くずを安定に入手することが難しい。

本開発では、これまで見落とされがちだった(1)回収と(2)物理的選別方法とを中心に進める。その次の段階として、回収・選別された希土類磁石を再生する技術の開発が位置づけられる。ユーザの使用済み製品から希土類磁石を回収・再生するためには、図 16 に示すように、(1)製品回収→(2)物理的選別→(3)化学的濃縮（湿式製錬：溶媒抽出法等）のすべて、または、トータルを経済的に行うことが求められる。

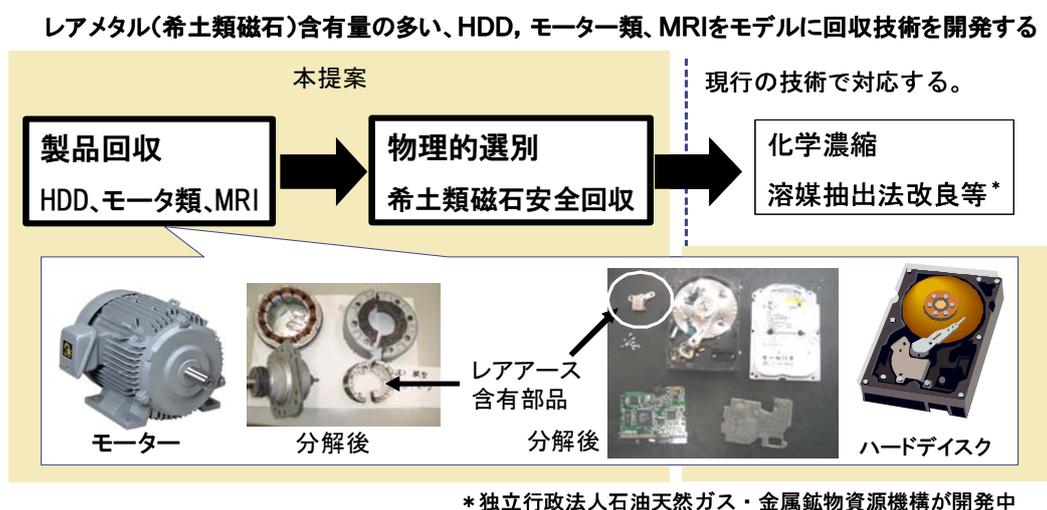


図 16 本提案の位置づけ

- (1) 製品回収については、使用済み製品の発生場所から、次の物理的選別拠点まで輸送する必要がある。そのための、トラックの選択、積載方法など、実際に製品を収集・運搬して運搬方法やコストを調査する。
- (2) 回収した製品から希土類磁石を物理的に選別する方法を検討・開発する。次に述べる製品を対象にして、個別製品ごとに、希土類磁石の経済的な回収技術を開発する。

3-2-2 対象製品

希土類磁石が集中して使用されている製品として、ハードディスク、モータ（コンプレッサ）、MRI を候補とする。この他にも、希土類磁石を使用している製品は多いので、対象品目はさらに検討し、最終報告までに、品目を確定する。具体化の過程で取り組む品目

の数は多少増減する。

(1) ハードディスク

ハードディスクにはピックアップ駆動用のボイスコイルモータ (VCM) が使用されている。ハードディスクはパソコンを中心に世界で数億台が生産されている。大きさには種類があるが、内部構造は基本的に同じで、同様なボイスコイルモータが使用されている。重量は小さいものの、多量に集めれば同質（組成が近い）の希土類磁石を回収できる。

(2) モータ（コンプレッサ）

モータ（コンプレッサ）は高機能化、強力化、耐熱性が高いほど、希土類磁石中のジスプロシウム含有率も高くなる。製品は、家電製品や産業機器など広く使用されている。家電リサイクル工場は、そのエアコンや洗濯機をリサイクルしており、ここに回収されたモータ（コンプレッサ）での希土類磁石の (a) 使用比率調査と (b) 含有率調査を行い、実態を把握する。また、家電以外の産業機器は、機種が多数に渡るので、目標とする対象機器を絞る。

(3) MRI

MRI には 1 トンクラスの多量の希土類磁石が使用されている。しかし、一般的には磁石含有製品はスクラップ処理でも、破碎機や選別工程に悪影響を及ぼすとされている。MRI に使用されている希土類磁石を安全かつ経済的に回収できれば、量的効果は大きい。そこで、鉄スクラップという位置づけでなく、希土類磁石多量含有製品としての価値を検討する。

3-3 課題解決のための提言

3-3-1 回収・運搬の調査検討

ハードディスク、モータ（コンプレッサ）、MRI は重量が大きく異なる。このため、輸送費が異なる。ハードディスク、モータ（コンプレッサ）については、工場の不良品に着目し、これらを「4.2 回収プロセス・技術」開発用のサンプルにする。また、MRI については、使用場所からの搬出、運搬方法の選択が現実的な問題となる。実際にこれを実施して、最適な方法を調査・検討するとともに、費用を試算する。

3-3-2 回収プロセス・技術

(1) ハードディスク

ハードディスクは海外に輸出されると、人手による徹底分解が行われている。日本では単純破碎しか道がないが、人件費が安価な国で実施されるため、ボイスコイルモータを経済的に回収できる。これに対抗して、輸送費も含めたトータルコストで海外の経済性に勝る、国内処理技術の開発を目指す。すなわち、ハードディスクを自動分解、あるいは、ボイスコイルモータを選択的に回収できる物理的選別プロセスを開発する。この

方式を調査・検討して、原理確認装置を試作する。この装置コストと運用コストから、1台あたりの分解費用を求め、分解された部品の売却費と比較する。また、試作装置の実用規模の設計を行い、経済性をより高める検討を行う。

(2) モーター（コンプレッサ）

市場から回収するモーターは、家電製品だけでなく産業機器もあり、重量、型式、形状、構造が一定ではない。そこで、製品に組み込まれた希土類磁石のリサイクルを可能とするためには以下の課題の解決が必要と考えられる。

- ・磁石が組み込まれた家電製品の一括破碎処理を可能とするためには、プラント設備への磁気付着を避けるための磁石の脱磁する技術が必要である。
- ・希土類磁石の製品への組み込みに当たっては、磁石の固定のため、接着剤が多く用いられており、接着剤の除去技術、あるいは製品からの磁石を剥離する技術が必要である。また、特定の工程で除去あるいは剥離し易い接着剤の開発も有効である。
- ・破碎後には鉄等の金属くずと磁石くずとが混合した状態で得られるため、この混合くずからの磁石くずを効率的に分離して、回収する技術が必要である。
- ・回収された磁石くず中には、接着剤、酸化防止用表面処理等からの炭素、酸素、窒素、金属等の混入が想定される。磁石くずからの磁石の再生を行う場合には、これらの不純物の混入は磁石特性に大きく影響を及ぼし、一定量以上混入した場合には、特性発現が困難となる。再生品に於いて有効な特性を発現させるためには、これらの不純物の混入を抑制、あるいは除去する技術が必要である。
- ・磁石の効率的なリサイクルの実現に当たっては、構造設計段階、構造材・接着剤等材料選定段階から、上記課題を解決を容易とする製品設計も必要と考えられる。
- ・現状では回収されたモーター等は海外への流出が多く、国内リサイクル事業を立ち上げようとした場合には、海外流出を抑制し、経済的、工業的に成立しうる必要量、回収量を確保することも必要と思われる。

(3) 脱磁プロセス

回収された希土類磁石は磁場が強く接着力が強い分、高反発力もあり、そのままでは安全な分解ができない。そこで、脱磁（消磁）が必要になる。どの段階で、どのような方法で脱磁するのが最適かを検討し、その試験プロセス（装置）を実際に構築して、実用性を検証する。この脱磁プロセスは、(1) ハードディスクでも同様なので、対象は(1)(2)両方である。特に、希土類磁石そのものは小型であり、また、製品も大きくはないので、脱磁ラインをイメージして検討する。

(4) MRI

MRI の大型磁気回路（磁場発生ユニット）から希土類磁石を回収する方法を検討する。MRI では、磁石が大型であるため、モーター同様、安全な回収方法が特に必要とされる。そのため、前述の「(3)脱磁プロセス」の開発と連動させて、MRI 専用の安全な脱磁プロ

セスを調査・検討する。

次に、大型磁気回路（磁場発生ユニット）から希土類磁石とそれ以外の構成素材を効率良く分離・分別する装置（あるいは治具）および方法を開発する。

3-3-3 再生方法の検討

希土類磁石のリサイクルには、上記のような多くの課題が想定されるが、リサイクルプラントでの適用を考慮し、従来の手作業による磁石適用製品の解体を省力化、効率化することを目指し、一括破碎の適用を可能とするために、希土類磁石に対する脱磁技術の検討と、破碎くずからの分離回収技術の検討が有効と考えられる。この回収磁石くずを有効に再生、資源化するためには、低コストで、高い品位の磁石原料の再生が必要であるが、これらは難易度が高く、ハードルの高い技術と想定され、大学、製錬・精製等専門メーカーの高度な知識と技術力を結集する必要がある。本提案では、回収した使用済み希土類磁石を原料にして、再度、希土類磁石生産工程に戻せるかを確認する。特に費用を試算し、全体の経済性と課題を調べる。

3-4 社会的効果

ネオジム、ジスプロシウムなどの希土類磁石は、「この発明なくしては今日のわが国の産業機器の国際競争力はなかった」と言われ、日本の IT/産業機器を支える文字通り基盤材料である。HDD、小型高性能モータを活用する省エネ型家電製品ならびに FA 機器、MRI、携帯電話、ハイブリッドカーなど、省エネ化と環境対応など、今後のわが国の産業競争力の要といえる。特に、ネオジムとジスプロシウムは中国からの輸入に強く依存しており、中国の対応次第では、供給不能に陥ることも懸念される。原料を調達できず、日本を支えるコア製品を作りたくても作れなくなれば製造業は壊滅する。IT 産業の市場は 95 兆円/年（総務省情報通信白書）、自動車産業の市場は 54 兆円/年（日本自動車工業会）あり、この持続と発展のために、希土類磁石の確保とリサイクルを世界に先駆けて産業政策にすることが重要である。

特に、「都市鉱山」と呼ばれるように、都市に IT 機器や産業機器が多く使用されており、そこに、レアメタル等が蓄積されている。これをいかに回収し再生するかが課題である。しかし、技術開発は、これまで主に、製錬技術の開発に集中していて、肝心の回収スキームや物理選別など、社会的スキームの検討（特に経済性や CO₂ 削減効果）がなされていない。このため、実効ある回収が行われていないのが実態である。そこで、本プロジェクトは回収・選別・再生を実験的に試行して基礎データを取り、経済性と CO₂ 削減効果を定量し、これを普及させるための課題と対応策を明らかにする。

希土類磁石を海外の地下鉱石に依存せずに、都市鉱山から回収・再生できるとすると仮定し、CO₂ 削減効果を試算した例はなく、経済性も明らかになっていない。これらを、本

プロジェクトの実施で明らかにしてゆく。すでに、提案者は、家電リサイクルについて、そのCO₂削減効果を試算した経験がある。効果試算のポイントは、(1) 鉱石から採掘する全CO₂と、(2) リサイクルで削減できるCO₂と新たに発生するCO₂から、(1)―(2)の差分で効果が見積もられる。

そこで、現段階ではかなり大雑把ではあるが、リサイクルする製品重量と、低減できるCO₂とを見積もったところ、ほぼ製品重量に匹敵するCO₂重量の削減効果があると予測している。IT産業で希土類磁石を積極的に使う製品（FPD, HDD, 磁気ディスク）の市場は約2.6兆円、重量はおよそ146万トンになる（工業レアメタル2008、産業技術総合研究所、日本メタル経済研究所等より）。したがって、これと同等重量のCO₂削減効果を期待できる。

なお、自動車産業ではこれら希土類磁石モータが、ハイブリッド化、電気モータ駆動化などで、中核になるコアパーツであり、将来、ここでもかなりの量のCO₂削減効果が見込まれる。現在市場だけを見積もっても、ハイブリッドカーには約1.3兆円の市場があり、このレアメタルも加味したCO₂削減効果は約52万トンと見積もられる。

IT・家電機器・産業機器・自動車などは、今後のわが国の成長産業であり、これらの効果は将来さらに増えるものと見込まれる。

3-5 今後の活動

本開発では、(1) 製品回収と(2) 物理選別の現実的かつ経済的な方法を開発し、(3) 化学濃縮については現在可能な方法での再生可能性とコストを確認する。この結果、開発が成功すればただちに実運用に入ることが出来る。希土類磁石が使われているボリュームゾーンである、ハードディスク、モータ（コンプレッサ）、MRIでの可能性と課題を明らかに出来るので、特に、産出国が限られているジスプロシウムの回収など、日本の電子・情報・電機・機械産業の持続的な発展に貢献できる。

経済性が十分でない場合は、放置すれば、希土類磁石は国外に流出すると同時に、もし、産出国からの輸入が困難になれば、希土類磁石利用製品の生産がストップする。これに対抗するためには、回収部品の政府による一時買取や備蓄などの選択肢も検討しなければならない。そのような、政策立案・決定のためにも、現段階での現実的な回収方法とコストを評価することが必要である。

3-6 政策への展開案と要望

現在、電機・電子製品は多くが海外に流出している。海外の安価な人件費に依存する現行の仕組みでは、資源の国外流出が避けられず、結果的に、日本の持続的発展を維持できない。このため、国内でのリサイクル産業を文字とおり「産業化」することが、資源制約時代に不可欠であり、この仕組みをいち早く構築した国が、21世紀の製造業を国際的にリードできる。そこで、これを実行するために、リサイクルインフラを国内に整備し、雇

用も創出させることで、循環型社会の先行実現、枯渇資源の国内循環、新規資源を採掘しないことによる低炭素社会への貢献も合わせて目指してゆく。

3-6-1 環境産業の育成を目指すリサイクルインフラの整備

- 1) レアメタルを含む製品、ならびに、現在、法規制のない電機・電子製品のリサイクルを行う、統合リサイクルモデルプラント事業の推進
(22年度、概算予算 50 億円 2 年間)
- 2) 上記実証モデルプラントにより実用課題と経済性を把握し、解決策を提言する。
- 3) 上記、電機・電子製品リサイクルプラントの普及(24年度以降)
全国約 25 箇所に、一箇所 40 億円程度のリサイクルプラント建設
(合計最大 1000 億円)

3-6-2 法的整備・支援

- 1) 受益者負担(消費者)、EPR(拡大生産者責任)を両立させる法的スキームの確立
(例:家電リサイクル法)
- 2) 国際競争力を維持させるための技術的・財政的支援:経済合理性を満足できない部分については、有期で財政的支援を行う。

3-6-3 雇用創出

- 1) 全国 25 箇所の電機・電子機器リサイクルプラントでは、機械による自動選別(本プロジェクト開発技術の適用)と共に、前処理としての手分解を行う。これにより、全国で約 6000 人(推定)の直接雇用を期待できる。
- 2) 収集・運搬・有価物再生・廃棄物適正処理ではさらに約 4000 人(推定)の雇用創出が期待できる。合計最大 10000 人程度(推定)。

4. 提言のまとめ（プラスチック、基板、レアメタル）

プラスチックやレアメタル等、我が国が海外から輸入した貴重な資源の多くが、製品の使用后海外に再び流出している。海外の安価な人件費に依存する現行の資源回収の仕組みでは、資源の国外流出が避けられず、結果的に日本の持続的発展を維持できない。このため、貴重な資源を国内に留めるためのリサイクルインフラを国内に整備し、経済活性化／雇用創出を行いつつ、循環型社会の先行実現、枯渇資源の国内循環、新規資源を採掘しないことによる低炭素社会への貢献を合わせて目指す。

4-1 提案：高度リサイクル型生産基盤の整備

必要な技術の開発とモデルプラントによる技術、コストの検証をまず行う。次いでその成果を基に関係機関と電機・電子・IT 機器等の貴重な資源を循環するスキームを作成し、必要なりサイクルプラントを全国的に整備する。更に他分野（自動車リサイクル等）との連携を検討し、最終的に国家的な高度リサイクル型の生産技術基盤の確立を目指す。詳細は以下のとおりである。

(1) 資源循環基盤技術の開発

混合素材から安価・高精度にプラスチック、レアメタル等を回収する技術(表 2 参照)

2009-10 年の 2 カ年で実施、概算予算は各年 20 億円程度

(2) リサイクルモデルプラントによる実証

統合リサイクルモデルプラントの建設と実証

実用課題と経済性を把握し、解決策を提言

2011 年に実施、概算予算は 100 億円程度

(3) 電機・電子・IT 製品のリサイクルプラントの整備

関係機関と電機・電子・IT 機器等の貴重な資源を循環するスキームを作成

必要なりサイクルプラントを全国的に整備（2012 年以降）

（例えば、全国約 25 箇所に、一箇所 40 億円程度のプラントを建設；合計最大 1000 億円）

(4) 他分野との連携/波及

4-2 実現に向けた課題（予算、規制、制度等）

実現に向けた課題を図 17 に示す。

新たな社会的インフラを滞りなく導入するには、実証プラントレベルでの事前検証／課題の解決が重要である。現在の家電リサイクルの成功は、それに先立ち当時の通商産業省、家電製品協会の支援で実施した、リサイクル実証プラントでの事前検証にあると考える。従って本提案についても、モデルプラント実証を行うための財政的な支援を要望する。

使用済み製品の海外流出を防ぐ法的支援は、特にリユース目的以外の家電製品の流出の懸念について、産業構造審議会方針の徹底をお願いする。

表2 統合リサイクル実証の計画案

資源循環基盤技術の開発		
2009— 2010年度	20億円 ×2ヵ年	①プラスチックリサイクル技術 ・スペクトル分光による自動選別技術 ・品質維持技術 ②プリント基板等からの金属等の分離回収技術 ・基板の基材樹脂を溶解し回収する技術 ・回収した材料の再利用技術 ③レアメタルの回収再生技術 ・ハードディスクの半自動分解・レアメタル回収技術 ・モーター・コンプレッサのネオジウム磁石回収技術 ・MRIのネオジウム磁石回収技術 ④実証装置開発
リサイクルプラントによる実証試験		
2011年度	100億円	①リサイクルプラントの建設、実証試験 (プラスチック、プリント基板、レアメタル)

1. **リサイクル実証とプラント整備の財政的支援**
 基盤技術開発・実証試験にかかる補助金
 リサイクルプラントの全国整備にかかる財政的支援
2. **使用済み製品の海外流出防止の法的支援**
 リユース目的以外の家電製品の海外流出防止
 (産業構造審議会方針の徹底)
3. **リサイクル事業の経済性確立までの有期の助成**
 国際競争力の維持のための有期の財政支援
4. **消費者に優先購入を促す啓蒙とインセンティブ**
 環境貢献する商品の優先購買を促す国民啓蒙：パンフレット、HPなど

図17 実現に向けた課題

またリサイクル事業は先に見たように、少なくとも現状の素材価格では経済的な成立性が厳しい。プラント整備や立上げ当初の有期の助成をお願いする。

消費者に対しては、主に経済性の欠如から再生利用が進まない化成品(プラスチック等)や環境に貢献する商品の購入が優先されるよう、国民啓蒙(パンフレットやHPなど)等の活動を要望する。

4-3 効果

高度リサイクル型の生産技術基盤による社会的効果は、プラスチック、基板、レアメタルを合わせて図18のとおりである。産業競争力やCO₂の排出抑制などは既に説明のとおりである。経済

活性化の面では、海外での資源採掘やリサイクル等の経済活動の一部を国内に取り込むことにより、雇用拡大に寄与する。電機・電子・IT機器のリサイクルプラントでは、例えば全国25箇所のリサイクルプラントでの直接雇用と、それに付随する収集・運搬・廃棄物適正処理等の雇用を合わせ、推定合計最大1万人程度の雇用を生み出す。

本提案の技術は自動車などの他業種のリサイクルへの展開が可能であり、電機・IT分野と比較してにボリューム的に最大5倍程度の効果を期待できる。海外においてはリサイクルに必要な回収システムや費用負担の社会的合意が日本と同レベルに整備される前提で、10倍程度の規模を想定できる。

<p>1. 産業競争力の強化 ・安価な再生素材やレアメタルの国内循環、安定確保</p>
<p>2. 二酸化炭素の排出抑制 ・再生素材の活用による抑制約160万トン／年（電機・IT）</p>
<p>3. 経済活性化 ・素材価値 <u>最大1000億円／年程度</u>（電機、IT） ・プラント全国整備による雇用創出最大1万人（電機・IT）</p>
<p>4. 他業種（自動車、他）への適用拡大および国際貢献 ・規模は電機、ITの約5倍（最大5000億円程度の素材価値） ・海外でのリサイクル事業への貢献（国内の約10倍規模）</p>

図18 本提案による社会的効果

5. 建築建設 WG

5-1 現状の取り組み

07 年度に建設分野のサステナブル生産基盤構築に向けた以下の核となる技術開発プロジェクトを提案したが、既に技術開発が推進されているものもあり、08 年度は、これらのフォローとともに、産業の共通生産基盤の確立を目指すサステナブル建築材料技術の開発およびサステナブル資源蓄積・循環技術の開発を重点化して取り組むことを提案する。

[07 年度の提案]

(1) 革新的構造材料を利用した高耐震性能を有する超長期耐用建築システム

府省連携プロジェクト（内閣府、経済産業省、国土交通省、総務省、文部科学省）として推進中。

(2) 多世代超長期耐用建築の形成・管理技術の開発

国土交通省の総合技術開発プロジェクトとして推進中。

(3) 既存ストックを再生・活用するための性能設計型生産システム

(4) RFID 等を利用したリユース部材の流通システム

国土交通省建築研究所において開発中。

(5) 省エネルギー型コンクリート資源循環システム及び再生骨材を活用した建築構工法

(6) インフィルの易分離解体技術

国土交通省の長期優良住宅の基盤整備として調査研究中。

(7) 解体材に含まれる有害物質の検知・除去及び適正処理技術

(8) 住宅履歴情報システムを他用途にも適用できるよう拡張した施設履歴情報システム

国土交通省の長期優良住宅の基盤整備として開発中。

(9) 長寿命化推進における建設基幹資源（コンクリート・鉄）の LCA 評価技術

[08 年度の提案]

(1) サステナブル建築材料技術の開発

(2) サステナブル資源蓄積・循環技術の開発

5-2 課題の概要

昨今、主に鋼材を主とする建設の基幹資源が急速な不足の状況を呈し、その価格高騰とともに建設産業に大きな影響を及ぼしている。建設産業がこれまで建築ストックとして建築物や構築物に蓄積してきた鉄・銅・アルミニウム・コンクリートなどの基幹資源は膨大な量に及ぶが、これらの効率的な循環利用が進んでいないのが実情である。特に、鋼材・コンクリートなどの構造材料の高強度化が進んでおり、資源生産性のよい建築物・構築物

へと転換し、我が国の建設産業の生産基盤を安定させることは、社会資産となる住宅等の質の向上につながるばかりでなく、厳しい国際競争を行っている製造業の生産施設の性能向上にも寄与すると考える。

しかしながら、このような基幹資源の開発やその蓄積および循環利用の仕組みは、各産業で閉じており、廃棄物だけがリサイクル材として流通している状況である。今回は、産業の共通生産基盤の確立を目指す観点から、産業間共通で鉄・銅・アルミ・コンクリートなどの基幹資源を有効活用するためのサステナブル建築材料技術の開発およびサステナブル資源蓄積・循環技術の開発を提案するものである。

(1) サステナブル建築材料技術の開発

- ・現状の資源使用量を半減でき、他産業との循環利用に適した高強度基幹材料および利用技術の開発（高強度鋼材・コンクリート部材及びそれを利用した構造システムなど）
- ・スケルトン・インフィルシステム等の更新サイクルの異なる建築システムに適した循環利用材料および利用技術の開発（内外装・設備材料およびそれを利用した建築システムなど）

(2) サステナブル資源蓄積・循環技術の開発

- ・ライフサイクルの異なる製品間での基幹資源を最適資源配分するための評価技術の開発
- ・産業間における基幹資源循環のための情報基盤の構築

これらの技術開発は、異業種が共同研究開発を行える場において、サステナブルマニュファクチャリングあるいはサステナブル生産基盤構築として、民間が協力し競争的資金を活用して実施する。

表3 スケジュール(案)

	2008	2009	2010	2011	2012
サステナブル建築材料技術の開発	企画	調査	技術開発		
					先導モデル事業
サステナブル資源蓄積・循環技術の開発	企画	調査研究	技術開発		
					試行
共通		アジア圏との情報交換・テーマ設定			

5-3 環境整備等の支援策の要望

以上に述べた課題については、すでに各産業においてさまざまな技術開発が行われているが、個別の技術課題として取り組まれていることが多く、サステナブル生産技術という観点から関係府省の協力を得てこれらを連携させ、大きな経済効果を生むようにまとめ上げる必要がある。

まずは、各産業で個別に進められている技術課題のうちからその核となるものを抽出し、それらを連携させた府省連携型の技術課題として位置づけ協力して推進することが望まれる。

また、これらの技術開発の成果を有効にするには、特に、東アジア圏における連携した取り組みが必要であり、「アジア経済・環境共同体」構想などの中に位置づけ、国際共同研究などの場が設けられるよう、官側の支援をいただきたい。

なお、ここで開発された成果については、安定した社会基盤と生産基盤を同時に構築していくという性格があるため、先導的モデル事業の創設、税制優遇措置の設定などの奨励策が望まれる。

6. 製紙 WG

6-1 森林のサステナブル経営

日本企業の海外植林事業について調査した。

1992年にリオデジャネイロで開催された「環境と開発に関する国連会議（地球サミット）」で提案された「持続的な森林経営」の考え方は、森林生態系の健全性を維持し、その活力を利用して、人類の多様なニーズに永続的に対応できるような森林の取り扱いを行うことを目指すものである。これを具体化するために温帯林等を対象とした「モンリオール・プロセス」と呼ばれる国際的作業グループが結成され、日本は、米国・カナダ・ロシア・中国等と共に参加している。「モンリオール・プロセス」では、「持続可能な森林」の達成状況を評価するため、基準等が合意されており、現在、その適用に向けた国際的なフォローアップ作業が進められている。また、各国、各地の事情を尊重しながらも、より普遍的な価値観に基づいて森林経営のあり方を統一することを目的に出発した「森林認証制度」も「持続可能な森林経営」を維持するための施策として進められている。

(1) 海外植林の現状

日本の海外植林事業は製紙企業が中心となり、商社や電力会社など他の産業分野の企業が参加して行われている例が増えている。2005年末現在、オーストラリア、南米といった南半球を中心に9カ国、計33プロジェクトが行われている。（別紙1 日本企業の海外植林）

1990年からの15年間で日本が行った海外植林面積は4.4倍に増加し、57万ヘクタール（ほぼ愛媛県の面積に相当）に達している。（海外産業植林センター調べ）

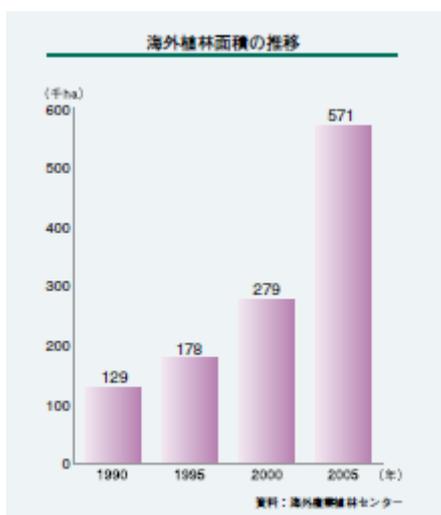


図9 海外植林面積の推移

(2) 植林の目標値

製紙産業は「製紙原料の安定確保」、「森林資源を循環させながら持続的に利用する」といった観点から、植林活動を世界各国で積極的に展開している。製紙産業は国内外で61万ヘクタールの植林を行ってきたが、2012年にこれを70万ヘクタールに引き上げることを目指している。(日本製紙連合会)

(3) 地球温暖化対策と植林

1997年のCOP3(気候変動枠組条約第3回締約国会合)において、温室効果ガス排出削減目標を達成するためのひとつの手段として、京都メカニズムが規定された。その中で、途上国と先進国が共同で温暖化対策に取り組む仕組みとして、クリーン開発メカニズム(CDM)が規定された。CDMのひとつとして、吸収量を増加させるCDM(吸収源CDM)が2001年11月のCOP7において規定され、新規植林・再植林が対象となることが決まった。

日本では、京都議定書による温室効果ガス削減義務6%のうち、最大で3.8%分を国内森林のCO₂吸収で充当することが認められている。

製紙会社の中にはCDM制度に基づく植林事業を推進している会社があり、そのために必要な「新方法論」をCDM理事会に申請し、2007年7月のCDM理事会で正式に承認されている。この方法論は、持続的な森林生産を目的とした植林活動を通じて二酸化炭素クレジットを計測するためのものであり、製紙業界としては世界初の方法論となる。CDM植林対象地として検討しているマダガスカルでは、過度の薪炭材伐採や焼畑などにより荒廃した草地が拡大しており、未利用の荒廃地に持続的な森林経営を行うことで、製紙原料を造成するとともに、温暖化防止、地元社会、環境に貢献することが期待されている。(王子製紙グループウェブサイトより)

6-2 古紙の高度利用

進捗なし

7. 製鉄 WG

08 年度も前年度に引き続き、この分野の研究開発が必要であることを国の関係先に説明を行ない、その重要性は認識を得たが、09 年度の新規課題として採択されるには至っていない。現在、今後の活動について検討中である。

なお、この活動については学会（日本鉄鋼協会春季大会、秋季大会）においてシンポジウムを開催し、より多くの関係者の理解を得るための活動を並行して行っている。09 年春の鉄鋼協会春季大会においてもシンポジウムを開催する予定である。

	会社名	出資会社	国名	地域名	植林前の状況	植林開始年	2006年末 植林面積	将来の 目標面積	主な植林樹種
							(千ha)	(千ha)	
(チッププロジェクト)									
1	South East Fibre Exports Pty., Ltd.	日本製紙、伊藤忠商事	オーストラリア	NSW州	牧草地	1989	3.4	5.0	ユーカリ
2	Albany Plantation Forest Co., of Australia Pty., Ltd.	王子製紙、伊藤忠商事、千趣会、東北電力、日本郵船	オーストラリア	WA州	牧草地	1993	23.7	26.0	ユーカリ
3	Bunbury Treefarm Project	日本製紙、三井物産	オーストラリア	WA州	牧草地	1996	12.9	20.0	ユーカリ
4	Tas Forest Holdings Pty., Ltd.	三菱製紙、三菱商事、東京電力	オーストラリア	TAS州	牧草、灌木、伐採跡地	1996	15.2	25.5	ユーカリ
5	Victoria Treefarm Project	日本製紙、三井物産	オーストラリア	VIC州	牧草地	1996	3.7	8.0	ユーカリ
6	Green-triangle Treefarm Project	日本製紙、三井物産	オーストラリア	SA州、VIC州	牧草地	1997	3.2	10.0	ユーカリ
7	Green Triangle Plantation Forest Co., of Australia Pty., Ltd.	王子製紙、双日、凸版印刷、北海道電力	オーストラリア	SA州、VIC州	牧草地	1997	6.6	10.0	ユーカリ
8	Australian Afforestation Pty., Ltd.	トヨタ自動車、三井物産	オーストラリア	WA州	牧草地	1999	1.2	2.0	ユーカリ
9	Brisbane Plantation Forest Co., of Australia Pty., Ltd.	王子製紙、伊藤忠商事、電源開発、講談社、セイホク、JP リソーシズ	オーストラリア	QLD州	牧草地	1998	4.4	10.0	ユーカリ
10	East Victoria Plantation Forest Co., of Australia Pty., Ltd.	王子製紙、双日、日本紙パルプ商事、小学館	オーストラリア	VIC州	牧草地	1999	3.1	10.0	ユーカリ
11	Southern Plantation Forest Pty., Ltd.	丸紅、中国戦力、ローム、集英社	オーストラリア	SA州、VIC州	牧草地	1999	5.5	10.0	ユーカリ
12	VIZ Australia Pty., Ltd.	小学館	オーストラリア	VIC州	牧草地	2000	0.6	0.5	ユーカリ
13	Plantation Platform of Tasmania Pty., Ltd.	大王製紙、JFE 商事、ニッセン、ナカバヤシ、ウィルコーポレーション、日経BP 社、光文社、NBS リコー、凸版印刷	オーストラリア	TAS州	牧草地	2000	3.3	7.5	ユーカリ
14	Yonden Afforestation Australia Pty., Ltd.	四国電力	オーストラリア	VIC州	牧草地	2001	0.3	1.0	ユーカリ
15	Eco Tree Farm Pty., Ltd.	大阪ガス、三井物産	オーストラリア	WA州	牧草地	2001	0.6	1.0	ユーカリ
16	Portland Treefarm Project	日本製紙、三井物産、トヨタ自動車	オーストラリア	SA州、VIC州	牧草地	2001	1.6	3.0	ユーカリ
17	WA Plantation Resources Pty., Ltd.	丸紅、日本製紙	オーストラリア	WA州	植林木伐採跡地	2002	30.1	32.0	ユーカリ、ラジアータ
18	Adelaide Blue Gum Pty., Ltd.	三菱製紙、北越製紙、イオン、中部電力、東京ガス、日本郵船、三菱商事	オーストラリア	SA州	牧草地	2003	1.1	10.0	ユーカリ
19	JAF MATE Plantation Pty., Ltd.	JAF MATE	オーストラリア	VIC州	牧草地	2004	0.1	0.1	ユーカリ
20	Kodansha Treefarm Australia Pty., Ltd.	講談社	オーストラリア	VIC州	牧草地	2005	0.2	0.5	ユーカリ
21	Recruit Treefarm Australia Pty., Ltd.	リクルート、リクルートメディアコミュニケーションズ	オーストラリア	WA州	牧草地	2006	0	0.5	ユーカリ
	オーストラリア計						120.8	192.6	
22	Southland Plantation Forest Co., of New Zealand Ltd.	王子製紙、伊藤忠商事、富士ゼロックス、富士ゼロックスオフィスサプライ	ニュージーランド	南島	牧草地	1992	9.9	10.0	ユーカリ
23	New Zealand Plantation Forest Co., Ltd.	中越パルプ工業、北越製紙、丸住製紙、丸紅	ニュージーランド	北島	牧草地	1997	2.2	10.0	アカシア
	ニュージーランド計						12.1	20.0	
24	Forest Anchile Ltda.	王子製紙、名古屋パルプ、伊藤忠商事	チリ	第X州	牧草、灌木、伐採跡地	1989	29.4	40.0	ユーカリ、ラジアータ
25	Forestal Tierra Chilena Ltda.	三菱製紙、三菱商事	チリ	第VIII州、第IX州	牧草、灌木、荒地	1990	8.8	10.0	ユーカリ
26	Volterra S. A.	日本製紙、住友商事、商船三井	チリ	第VIII州	牧草地	1991	12.9	13.5	ユーカリ
27	Amapa Florestal e Celulose S. A.	日本製紙、丸紅	ブラジル	アマバ州	伐採跡地	2006	62.0	130.0	ユーカリ、パイン
	中南米計						113.1	193.5	
28	Quy Nhon Plantation Forest Co., of Vietnam Ltd.	王子製紙、双日、大日本印刷	ベトナム	ビンデン省	草地、荒地	1995	8.9	9.1	アカシア、ユーカリ
29	広西王子豊産林有限公司	王子製紙、丸紅	中国	広西チワン族自治区	植林地伐採跡地	2002	6.3	6.0	ユーカリ
30	Forest Resources Pty., Ltd.	日本製紙、住友商事	南アフリカ	クワズールーナタール州	植林地伐採跡地	1996	11.6	10.0	ユーカリ、アカシア
31	Oji Lao Plantation Forest Co. Ltd.	ラオス政府、王子製紙、国際紙パルプ商事、集英社、商船三井、千趣会、リクルート、第一紙業、サトー、シーズクリエイト、日本通信教育連盟、マルマン	ラオス	カムアン県、ポリカムサイ県	灌木、荒地	2005	5.3	50.0	ユーカリ
32	Huizhou Nanyou Forest Development Co. Ltd.	王子製紙、丸紅、広東南油経済発展公司	中国	広東省	植林地伐採跡地	2005	16.7	60.0	ユーカリ
33	Acacia Afforestation Asia Co., Ltd.	中越パルプ工業、伊藤忠商事、飯野海運、川崎汽船、商船三井	ベトナム	ドンナイ県、バリアブントアン県	植林地伐採跡地	2005	1.9	2.1	アカシア
	その他地域計						50.7	137.2	
	チッププロジェクト 計						296.7	543.3	
(パルププロジェクト)									
1	Celulose Nipo-Brasileira S.A.(*)	日伯紙パルプ資源開発	ブラジル	ミナス・ジェライス州	植林地伐採跡地	1973	125.8	110.0	ユーカリ
2	Pan Pac Forest Products Ltd.	王子製紙、日本製紙	ニュージーランド	北島	植林地伐採跡地	1991	33.0	33.0	ラジアータ、ダグラスファー、ユーカリ
3	PT Mushi Hutan Persada	丸紅、インドネシア林業公社	インドネシア	南スマトラ州	草地、灌木、荒地	1991	190.0	190.0	アカシア
	パルププロジェクト計						348.8	330.0	
	合計						645.5	873.3	

注：オーストラリアの州名 NSW：ニューサウスウェールズ、SA：南オーストラリア、TAS：タスマニア、VIC：ビクトリア、WA：西オーストラリア
 (*) パルププロジェクト 1 Celulose Nipo-Brasileira の植林面積は暫定値。

産業競争力懇談会（COCN）

東京都千代田区丸の内一丁目6番6号 〒100-8280

日本生命丸の内ビル（株式会社日立製作所内）

Tel : 03-4564-2382 Fax : 03-4564-2159

E-mail : cocn.office.aj@hitachi.com

URL : <http://www.cocn.jp/>

事務局長 中塚隆雄