

調 査

第55号
(2003年7月)

内 容

素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開 リサイクルビジネスの高度化に向けて

循環型社会構築に向けリサイクルの担い手として素材型産業が持つ潜在力は大きい。本稿では既存の産業集積を活用したリサイクルビジネスの展開と産業間連携（資源循環クラスター）などを通じた新たな取組みを概観する。

素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開 リサイクルビジネスの高度化に向けて

【要 旨】

1. 循環型社会形成が大きな課題として浮上するなか、わが国では法体系の整備が急速に進められている。その一環として容器包装、家電、自動車など使用済み製品を対象とする個別リサイクル法が制定され、従来は廃棄物として処理されていた財の再資源化が求められるようになった。法整備による対象の拡大は、再資源化すべき廃棄物の量的拡大を意味する一方、分別の不徹底による異物混入や資源性の低い財をリサイクルする必要が出てくるなど質的な変化をもたらす。今後はリサイクルプロセスの環境負荷の軽減や経済性の確保が一層重要になってくる。
2. 近時、素材型産業が持つリサイクル基盤としてのポテンシャルが注目されている。素材型産業をリサイクルの担い手としてみた場合、大量処理が可能である、物流システムや熱処理工程などの設備、有害物質管理ノウハウなど既存の経営資源の活用が可能である、自工程の原燃料としての利用であり、再生品の市場性確保（出口）に関する問題が少ない、などの特徴から、総じて環境負荷、経済性の両面で優位性があるものと考えられる。現在、各素材型産業ではそれぞれの事業特性を踏まえてリサイクル拡大に向けた取組みが進められている。
3. 紙パルプ産業では、回収ルートが確立し安価で安定した製紙原料として古紙の利用を拡大しており、更なる利用率の上昇を要請されている。板紙分野の利用率は9割と既に限界に近いため、今後の古紙投入は現状3割強の利用にとどまっている紙部門に依存することになる。しかし、古紙利用の拡大はパルプ製造工程で発生する黒液を利用したバイオマスエネルギーの減少とこれを補うための化石燃料の使用増加、古紙に含まれるインクや不純物の増加に伴う廃棄物（ペーパースラッジ）排出量の増加を伴う。これらを勘案すると、原料としての古紙利用の拡大には環境負荷、経済性の両面から一定の限界があると考えられる。今後は、サーマルリサイクルの拡大を含め、多面的な展開が必要になるだろう。
4. 鉄鋼業では、従来から行われている電炉による鉄スクラップの利用に加えて、高炉、コークス炉における廃プラスチック（廃プラ）の利用が拡大している。容器包装リサイクル法に基づいて分別収集されたプラスチック製容器包装では狭義のマテリアルリサイクル（再生シートなど）が伸び悩むなか、8割が製鉄プロセスの中で利用されており（2001年度）、大量処理が可能で再生品の出口問題がないという素材型産業の強みが発揮されている。製鉄プロセス内で利用できる廃プラの量は粗鋼生産8000万トン程度でも、単純焼却や埋立てされている未利用廃プラ全量をカバーできると試算され、リサイクル基盤として鉄鋼業の持つ潜在力は大きい。今後はそのポテンシャルに見合った分別収集量の確保が課題といえるだろう。

5. 非鉄金属製錬業では、電力用送電線や鉛蓄電池など社会的に回収ルートが確立しているものに加え、近時使用済み製品リサイクルに対応した製品内の金属資源回収を強化している。その対象は電気電子機器のように希少金属含有割合の高いもの（都市鉱山：urban mine）から、今後法規制の導入・強化により増加することが確実である自動車や家電のシュレッダーダストといった処理困難物まで多岐に亘る。製錬プロセスは、原料、エネルギー、副原料など多段階の利用を通じて複雑な組成の財のリサイクルを可能にする設備、ノウハウを備えており、リサイクル基盤として大きな役割が期待される。今後は、複雑化する廃棄物の性状に対応した受入可能量の拡大と立地上の制約を補う回収システムの構築などが課題となろう。
6. 素材型産業は、天然原料やリサイクル原料に含まれる不要成分や副原料の残さをスラグやスラッジなどの副産物（副産物、廃棄物）として排出し、それらをセメント産業との連携のもとで有効利用してきた。素材型産業のリサイクルビジネスの強みは、個別部門での取組みに加え、こうした産業間の連携（クラスター形成）に負う所が大きい。ところがセメント生産量が縮小傾向にあるなか、セメント産業では石炭灰や都市ゴミ焼却灰、下水汚泥など処理ニーズが相対的に高い廃棄物の受入れを拡大する傾向がみられるなど、副産物の有効利用を可能にしてきた従来のクラスターに変化が生じつつある。
7. 副産物の需給バランスの変化に対応すべく、企業はその発生抑制や新たな用途確保に向けた取組みを強化している。副産物の新用途開拓に向けた研究開発に加えて、グループ企業によるクラスターを活用して副産物の発生を極小化するリサイクルネットワークの構築（非鉄金属製錬）や、従来埋立処分されていたダスト類の鉄原料化を可能にする新技術の導入（鉄鋼）などの取組みが注目される。今後この分野での取組みの巧拙はリサイクルビジネスの拡大を左右する要素の一つとなるだろう。加えて重要なのが国際的な資源循環との関係である。スラグや古紙輸出に代表されるように、近年、経済のグローバル化を受けて、産業活動に伴う循環資源の移動も広域化している。有害廃棄物輸出を規定するバーゼル条約との兼ね合いなど難しい問題もあるものの、今後は国内での取組みと平行して、アジア地域における資源循環の中に副産物を位置付けていくことが従来以上に重要となってくると考えられる。
8. 循環型社会の実現に向けて、リサイクル基盤としての素材型産業への期待は今後ますます高まってくる。同時にリサイクル対象物の拡大に伴う回収される使用済み製品の質の低下、セメント産業との連携を通じた副生物有効利用クラスターの変化など、新たな課題も浮上している。今後のリサイクルビジネス拡大には、分別・回収スキームなど社会システムの高度化と並んで、コストを抑制しながらこうした課題を乗り越えていくことが一層重要になってくる。そのためには 副産物の性状の安定性確保と、生成を抑制するゼロエミッションへの取組みの継続、 アジアを中心とする海外の受け皿を活用した資源循環の拡大、 サーマルリサイクル（エネルギー回収）手法の再評価が必要となるだろう。

こばやし みきまさ
[担当：小林 幹昌 (email : mkkobay@dbj.go.jp) (現中国支店)]

[目次]

【要旨】

	頁
はじめに	6
第1章 リサイクル基盤の形成と素材型産業	7
1. 循環型社会形成に向けた法整備とリサイクルの拡大	7
2. 産業の視点からみたリサイクル	8
(1)リサイクルビジネスの特徴	8
(2)素材型産業の優位性	10
第2章 転機を迎えつつある紙パルプ産業の古紙利用	12
1. 紙パルプ産業における古紙利用の現状	12
2. 古紙利用拡大に伴う問題	13
(1)古紙投入先の変化	13
(2)古紙利用の持続性	14
エネルギー - バランスの問題	14
製紙スラッジとして発生する産業廃棄物	15
3. 古紙利用の経済硬化と状況変化	16
4. 今後の古紙利用拡大	17
第3章 法整備を契機に拡大する鉄鋼業のリサイクル事業	19
1. 容器包装リサイクル法施行に伴う廃プラリサイクルの拡大	19
(1)廃プラの排出状況	19
(2)容器包装リサイクル法の施行状況	20
2. 製鉄プロセスを活用した廃プラリサイクルの特徴	23
3. 電炉によるリサイクル事業の展開	26
第4章 非鉄金属製錬プロセスを活用した金属回収	28
1. 非鉄金属リサイクルの特徴	28
2. ASRからの非鉄金属回収	30
3. 非鉄金属製錬によるリサイクル事業	31
4. 今後の使用済み製品からの金属回収の見通し	34

第5章 高度化するセメント産業のリサイクル機能	36
1. セメント産業における廃棄物・副産物の利用	36
2. 廃棄物受入原単位の拡大に向けた課題	38
粘土以外の原料代替	38
塩素含有廃棄物の問題	39
企業間、地域間の格差	39
3. リサイクルの高度化	40
第6章 リサイクル基盤の高度化に向けて	43
1. 素材型産業によるリサイクル事業の基礎条件	43
2. 資源循環クラスターと新たな動き	44
(1) 資源循環クラスター	44
(2) セメント産業の変化	46
(3) 資源循環の国際化	46
3. リサイクル基盤の高度化に向けて	49
(1) 今後の方向性	49
(2) 2次廃棄物、副産物の発生抑制に向けた取組み	50
グループ企業間の連携による副産物発生抑制の取組み	
～同和鉱業(株)グループの例～	50
地域の異業種間の連携による副産物発生抑制の取組み	
～青森県エコタウンの例～	52
新技術(製鋼ダストからの亜鉛回収)の導入による	
ゼロエミッション製鉄所への取組み ～新日本製鉄(株)の例～	54
(3) ドイツにおけるリサイクルシステム整備例	56
DSDシステムの概要	56
DSDシステムの背景と環境変化への対応	59
強制デポジット制度による補完	60
4. おわりに	62
引用文献・参考文献一覧	63

はじめに

「環境の世紀」とも言われる21世紀を迎え、わが国では循環型社会の形成に向けたリサイクル関連の政策体系の整備が進んでおり、様々な主体がこれに対応した事業の強化を続けている。しかし、全く新しい産業の登場と目されがちなりサイクル産業であるが、その多くが既存の産業集積を前提としている、という事実は見過ごされることが多い。なかでも重厚長大産業の代表格である素材型産業の持つインフラや技術には、リサイクルビジネスに応用可能なものが多く、様々な企業が既存の経営資源を平行移動させ、事業展開を図っている。リサイクル事業の技術的困難性や初期投資の大きさを鑑みると、わが国に厚く集積する素材型産業の存在は、法整備に伴って本格化する資源循環システムの構築を効率的に進める際の、貴重な基盤であるとさえ言えるだろう。

本稿では、以上のような認識のもとに、まず第1章で素材型産業全般が持つリサイクル事業における優位性について確認した後、第2章～第5章では、今後の循環型社会構築において素材型産業が果たしうる潜在的な機能について個別産業ごとに概観する。具体的には第2章では古くから紙パルプ産業によって担われてきた古紙リサイクルの現状と課題について、第3章では鉄鋼産業において近年新規参入が多く見られる廃プラスチックやシュレッターダストといった廃棄物処理のポテンシャルを計測する。続く第4章では法整備により拡大が予想される自動車、電機機器など非鉄金属含有製品からの金属回収に取り組む非鉄金属製錬業について、第5章では製鉄所から排出される高炉スラグなど産業副産物や廃棄物を原料として利用してきたセメント産業における取組みについて概観する。

以上を踏まえた第6章では、前章までは明示的に触れなかった素材型産業の強みとして、各産業から排出される廃棄物・副産物の相互利用を通じた資源循環クラスターの形成について取り上げる。その主体的役割を担ってきたセメント産業の生産縮小や、古紙などの循環資源取引のグローバル化など、事業環境の変化に応じて従来の枠組みは変わりつつある。最後にこうした変化に伴って、今後顕在化することが予想される課題について取り上げ、既にこうした課題の解決に向けて対策を講じている各企業の取組みを紹介し、今後の方向性について展望する。

第1章 リサイクル基盤の形成と素材型産業

1. 循環型社会形成に向けた法整備とリサイクルの拡大

わが国は天然資源の多くを海外に依存しているうえ、平野部が少なく人口密度が高いという国土構造から廃棄物の処分場確保が困難という国情にあり、かねてから資源の有効活用や廃棄物発生量の抑制が大きな政策課題となっていた。特にここ数年間は、廃棄物の不適切な中間処理や不法投棄などに伴う環境負荷が社会的に大きな問題となったこともあり、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄型の社会システムを改め、循環型社会システムを形成するための政策整備が急速に進展している。

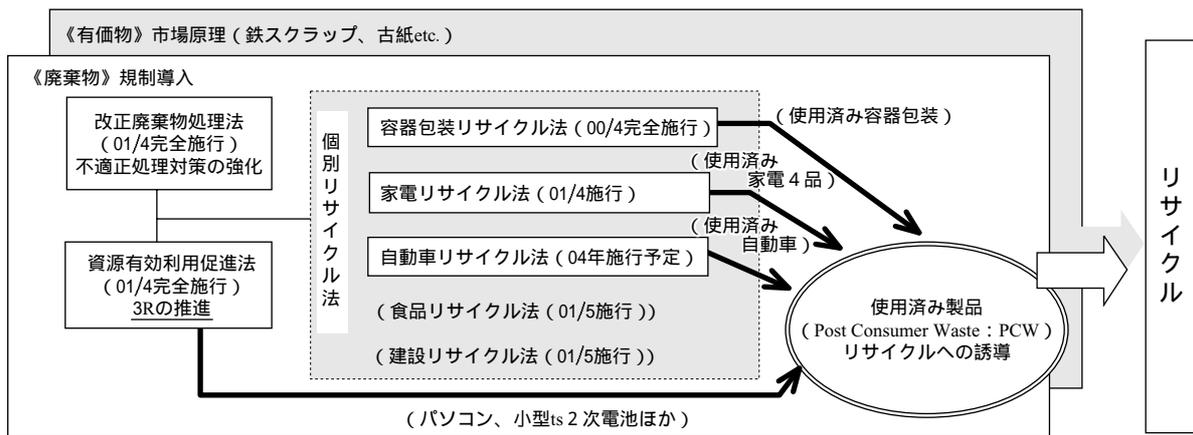
2000年6月にはその枠組を定めた「循環型社会形成推進基本法（循環社会基本法）」が公布され、循環型社会への移行が社会的な目標として明示されるに至った。同法では、循環型社会を形成する手段として、廃棄物の発生抑制（reduce） 製品・部品としての再使用（reuse） 原材料としての再利用（マテリアルリサイクル） 熱回収（サーマルリサイクル） 適正処分、の順に優先的に取り組むことを定めている。この原則は、廃棄物の排出者責任の強化や処理レベルの向上を規定する「改正廃棄物処理法」と、製品のライフサイクル全般に亘って、いわゆる3Rの推進を求める「資源有効利用促進法」の2法によって具体化される。現在、この枠組の中で廃棄物の特徴に対応した個別のリサイクル法が制定されるなど、わが国のリサイクル政策体系は急速に整備されつつあり、2003年3月には、その具体的な数値目標値（平成22年度）として、資源生産性¹を平成2年度の21万円/トンから39万円/トンに、循環利用率²を同じく平成2年度の8%から14%に、最終処分量³を同110百万トンから28百万トンとすることを設定している。

こうした政策体系の整備、なかでも容器包装や家電、自動車といった使用済み製品を対象とした個別リサイクル法の制定を契機に、古紙や鉄スクラップなど従来特定の財に限定されてきた資源循環の範囲が大きく広がりつつある。ここでいう資源循環の拡大とは、収集システムの整備や啓蒙活動の進展、大量処理技術の開発・導入によって、もともと再資源化されていた財のリサイクルが量的に拡大する面（「量的拡大」）と、不純物含有などの理由からリ

-
1. 資源生産性 = GDP / 天然資源投入量で計算され、産業や人々がいかにものを有効に利用しているかを総合的に表す指標。
 2. 循環利用率 = 循環利用量 / (循環利用量 + 天然資源投入量) で計算され、経済社会に投入されるものの全体量のうち循環利用量の占める割合を示す指標。
 3. 一般廃棄物と産業廃棄物の最終処分量の和として計算される。

サイクルが困難とみなされてきた財が新たにリサイクルの対象として加わってくる面（「対象物の拡大」）という2つの側面を伴う。近時、リサイクルをビジネスとして捉え、新規産業としてその成長に期待が寄せられるのも、こうした理解に基づくものといえるだろう。しかし、見逃してはならないのは資源循環の拡大は、対象物の量や範囲の拡大をもたらすのと同時に、これを事業として捉えた場合に新たな課題を惹起するという点である。本章では、まずこの観点からリサイクルビジネスの課題を考えてみることにする。

図表 1 - 1 法整備とリサイクル拡大の概念図



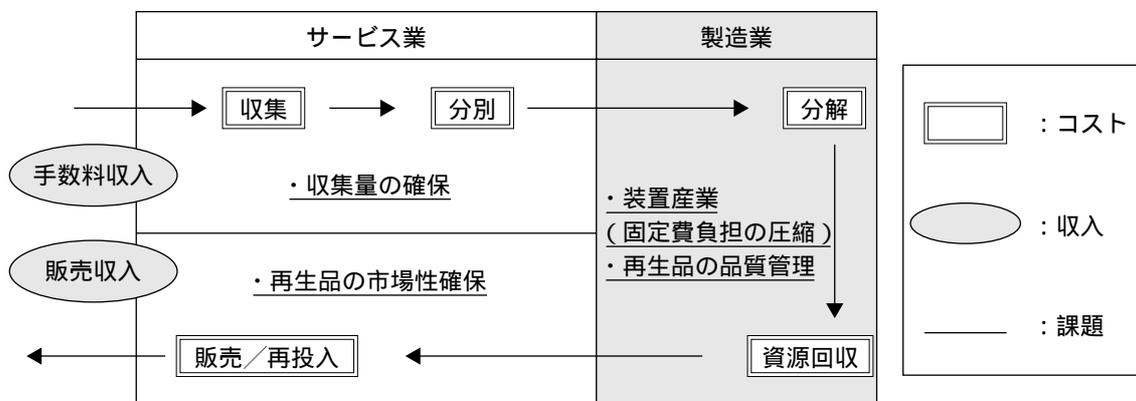
（出所）政策銀作成

2. 産業の視点からみたリサイクル

（1）リサイクルビジネスの特徴

政策体系の整備により、中期的には量的な拡大が約束されたかに見える「リサイクル産業」であるが、その事業性を決定する要素は図表 1 - 2 の様に整理することができる。

図表 1 - 2 リサイクル産業の概念図



（出所）政策銀作成

リサイクル産業は大きく分けて、廃棄物などを再生して商品化する製造業の側面と、排出者から処理を受託し、さらにリサイクル工程を経て製造された再生品を販売するサービス業の側面を持っている。このようにリサイクル産業は、廃棄物の受入（入口）、リサイクル工程（再生品製造）、再生品の販売（出口）の全てが機能してはじめて事業として成立するものといえる。

これを収支構造の観点から整理すると、収入⁴は排出者から受け取る廃棄物の処理手数料収入と再生品の販売収入の2つから成り立っている。リサイクル産業の事業性とは、この2つの収入の最大化を図りつつ、再資源化に必要なコストを最小化することである。より具体的には「入口」にあたる収集量を安定的に確保すること、固定費を中心としたリサイクル工程のコストを極力押さえること、再生品の品質管理を厳格に行い、「出口」である再生品に市場性を確保すること、に加えて、処理すべき廃棄物もその再生品も一般に嵩が張るため一連の工程における物流負担を極力抑制すること、などが主な要件となる。入口の収集量は競合する他の廃棄物処理事業の価格水準に左右され、また出口の再生品に厳密な品質管理を施せば、リサイクル工程のコスト上昇が避けられないなど、これらの要素は相互に密接に関連しており、互いを制約するという関係にある。リサイクルビジネスの拡大は、これらの要件を満たせる場合に可能になるわけだが、社会全体の資源循環が拡大し、次のような制約要因が生ずるなかでは容易なことではない。

図表 1 - 3 リサイクル拡大に伴う変化

		リサイクルの手法	
		狭義の MATERIAL リサイクル (化学変化を伴わない)	広義の MATERIAL/エネルギー利用 (化学変化を伴う)
処理対象物の組成	単純な組成	再生品の需要不足 廃プラから再生シートを作る 古紙から段ボールを作る	RPFなどの固形燃料利用
	複雑な組成	雑誌古紙を製紙原料として利用する	シュレッダーダストなどからの金属回収 高炉、コークス炉での廃プラ利用

(出所) 政策銀作成

4. リサイクルの対象が有価物の場合は、収入は販売収入のみとなる。

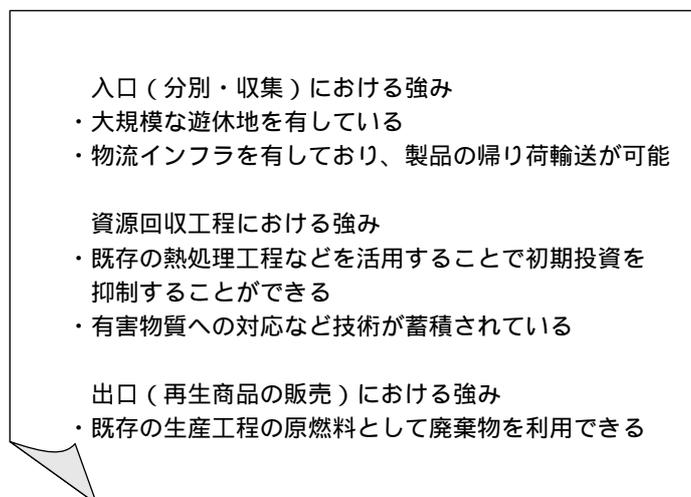
まず、社会全体の資源循環が拡大することにより少量のリサイクルでは顕在化しなかった再生品の需要不足（出口問題）が一層深刻になる可能性が指摘できる。天然資源を原料とする製品と同等の品質、価格を達成するための技術的困難性に加えて、消費者の意識調査などから考えても再生品の積極的な購買層が国内で十分な規模で形成されているとは言い難いのが現状である。リサイクル量が増加し再生品が増加するほど、実需に対応した適切な用途へのリサイクルルートが用意されなければならない。より環境負荷の低い製品を優先的に購入するグリーン調達や、消費者の啓蒙など現在強化されている取組みは、再生品の実需拡大に向けた重要な一歩であるが、常に品質とコストの両面から厳しい比較に晒される民間企業の購買を考えた場合、再生品の需要不足を払拭するには充分ではないといえよう。

加えて、量的あるいは対象物の拡大を通じて社会全体で資源有効利用水準を引き上げようとすればするほど、相対的に異物混入が多いものや、これまでリサイクルの対象とならなかったような資源性の低いものまでリサイクルの対象とせざるを得なくなる。1次排出源での対策が不十分なままで、この処理がリサイクル産業の手に委ねられてしまうと高度な異物除去や原料回収のプロセスの導入、あるいは廃棄物発電などによりエネルギー回収するといった追加的な対策が必要となるが、これには大規模な設備投資やその運営のための技術・ノウハウが必要となり、リサイクルコストを増加させてしまう。

(2) 素材型産業の優位性

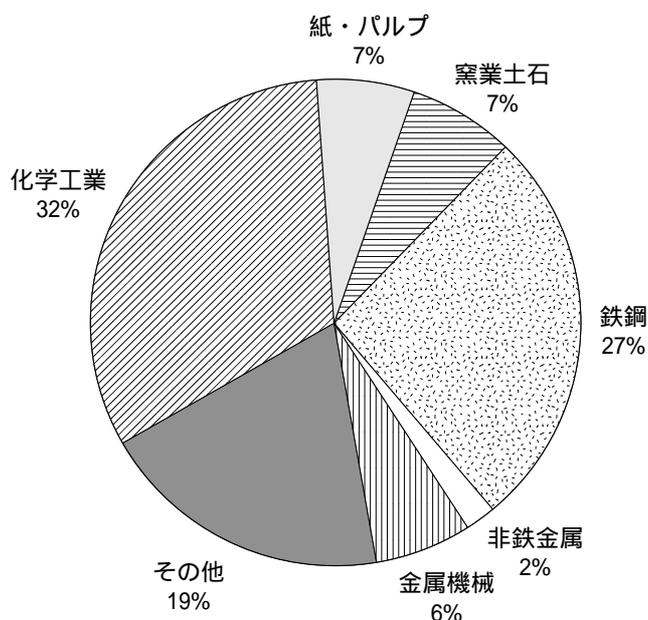
次章以降で詳しくみるように、近年リサイクル産業の担い手として鉄鋼や非鉄金属製錬といった素材型産業の存在感が急速に高まっている。これは、素材型産業は、上記のようなリサイクル産業が構造的に持つ制約を受けないという斯業の特性によるものであろう。先に述べたリサイクル工程に係る3つの段階に分けてその強みを整理すると、まず入口の部分では、素材型産業の多くが臨海地に大規模な拠点を持していることがポイントとなる。廃棄物は一般に嵩が張るものが多く、そのための広大なストックヤードや物流インフラが必要となるが、素材型産業の多くは既存の拠点活用により、廃棄物を大量かつ効率的に受け入れることができる。また製造業の部分では、鉄鋼における高炉やセメントのキルンなど既存の熱処理工程があり、これらを活用することでイニシャルコストを大幅に低減させることが可能である。さらにこれら既存の工場は、公害防止の観点から排水やダイオキシン類など汚染物質に係る規制を受けており、その対応も比較的容易であることから、この面でも設備やその運営ノウハウといった経営資源をそのままリサイクル事業に転用可能である。最後に出口部分における強みとして、受け入れた廃棄物のほとんどを自工程内で原燃料として消費できるた

図表 1 - 4 リサイクル産業に求められる要件と素材型産業の特徴



（出所）政策銀行作成

図表 1 - 5 産業別最終エネルギー消費



（出所）総合エネルギー統計

め、リサイクル商品の需要先を新たに開拓する必要がないという点が指摘できる。素材型産業がエネルギー多消費型産業であるという特徴（図表 1 - 5）は、廃棄物による代替のポテンシャルの大きさと読み替えることも可能であろう。

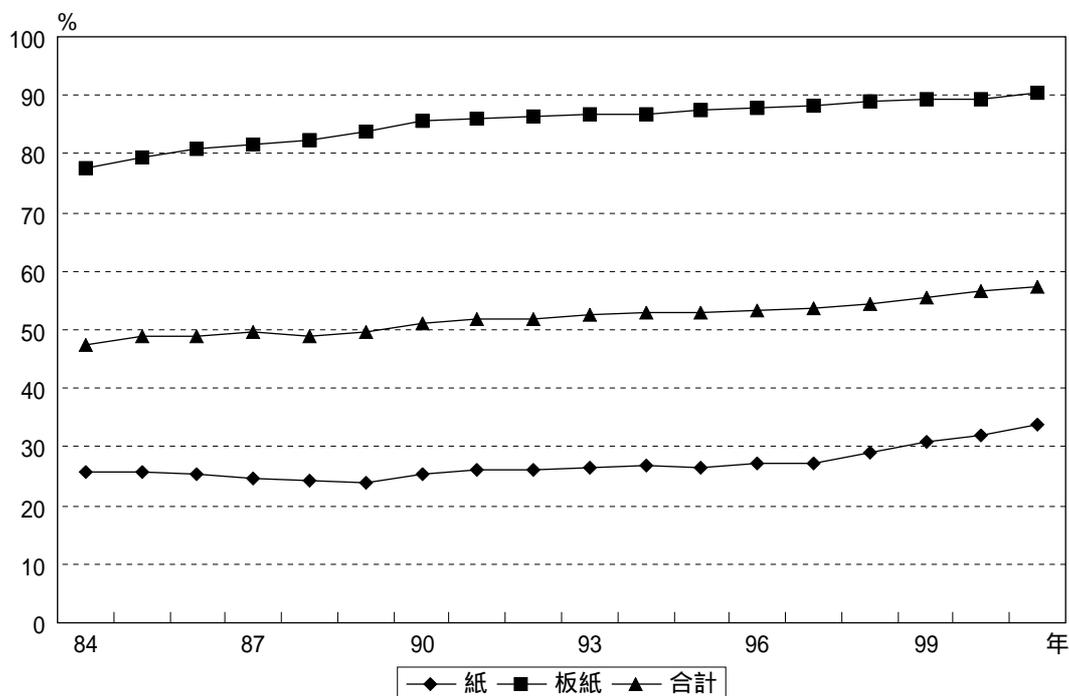
素材型産業がリサイクル産業としての機能を担ううえでの優位性は以上のように整理できるが、その具体的な展開となると、各産業によって資源利用状況も異なり、抱えている課題も様々である。以下では、そうした個々の特徴や課題を抽出するために、廃棄物原燃料の使用実績や計画などから今後の資源循環において重要な位置を占めるものと思われる紙パルプ産業、鉄鋼産業、非鉄金属製錬業、セメントの4産業の順に取り上げる。

第2章 転機を迎つつある紙パルプ産業の古紙利用

1. 紙パルプ産業における古紙利用の現状

古紙は古くから製紙用原料として利用されており、利用率の高さ、自律的な回収システムの存在などからリサイクルの優等生とされてきた。事実、図表2-1にみるように日本の古紙利用率（製紙用繊維原料に占める古紙の比率）は年々上昇しており、2001年には57.5%にまで達している。紙パルプ業界では、2005年度までにこれを60%にまで高めることを自主目標として掲げている。

図表2-1 紙・板紙別古紙利用率



(出所) 経済産業省「紙・パルプ統計年報」

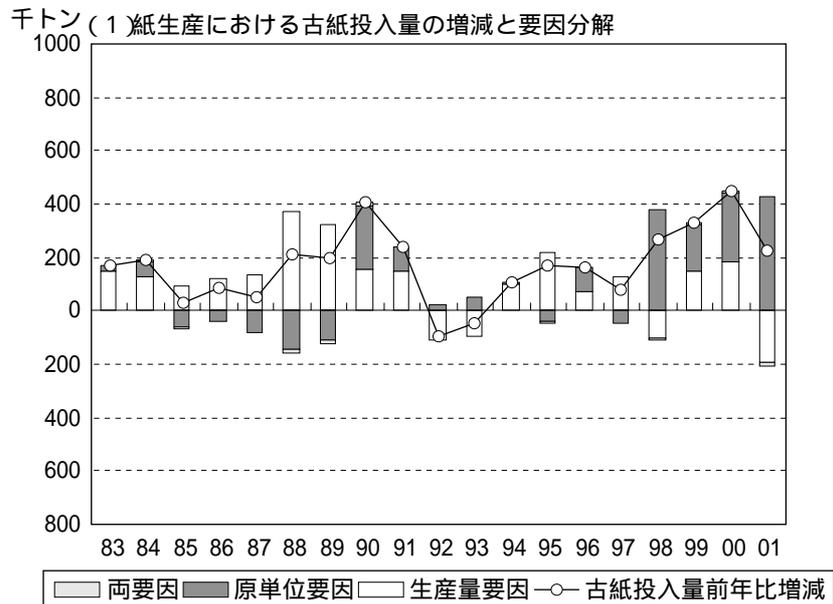
一見堅調に見える古紙リサイクルであるが、市況次第で回収システムが機能不全に陥るといふ不安定さを抱えており、ここに至る道のりは平坦ではなかった。近時では、90年代後半に古紙回収の逆有償化が進展し、行き場を失った古紙が大量に市中に留まるという事態を経験しているし、逆に2002年後半には中国向け古紙輸出の急増により古紙価格が急騰し、製紙メーカーがその確保に追われるという現象がみられた。今後を考える場合、こうした不安定さに加え、前章で指摘したリサイクルの拡大に伴う制約が古紙リサイクルについても顕在化しつつある点に留意が必要であろう。本章では、まずこの点について考えてみよう。

2. 古紙利用拡大に伴う問題

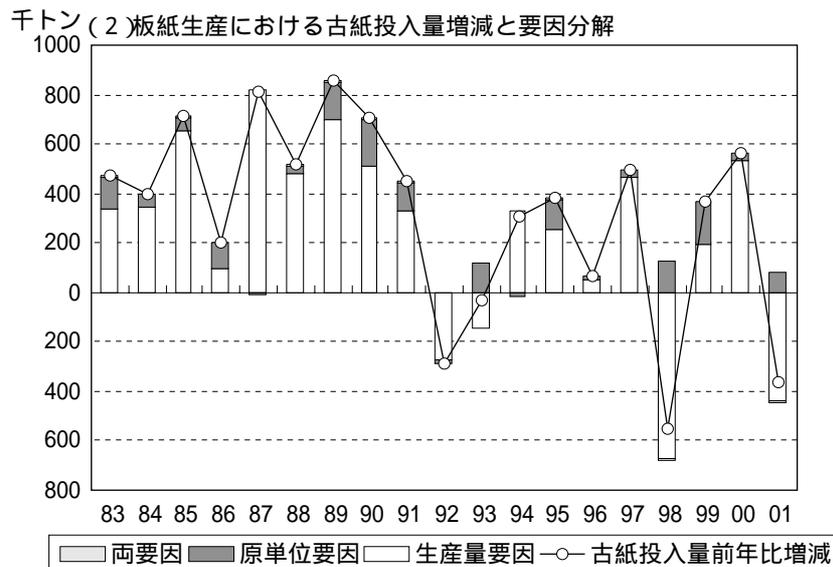
(1) 古紙投入先の変化

古紙の利用はこれまで段ボール原紙など板紙部門が中心であったが、その古紙利用率は既に9割に達し限界に近づきつつある。加えて製造業の海外移転の影響を受けて製品の梱包などに使用される板紙生産量の伸びは鈍化しており、今後の古紙利用拡大の主体は印刷情報用紙など紙部門に移らざるをえない。実際、古紙利用量の増減要因を図表2-2によりみると、紙部門における古紙利用原単位は近年着実に上昇してきている。これは従来、雑誌古紙

図表2-2 製紙工程における古紙投入量の変化と要因分解（紙・板紙）



(出所) 経済産業省「紙・パルプ統計年報」



(出所) 経済産業省「紙・パルプ統計年報」

利用の妨げとなっていた背のりを分離する技術の進歩などにより、従来は使用できなかった低級古紙の利用を拡大させてきたことの表れである。しかし紙部門における古紙利用の拡大は、次にみるように新たな制約要因も同時に誘発している点にも目を向ける必要がある。

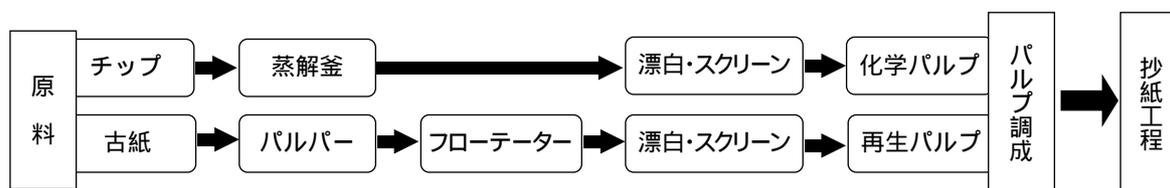
(2)古紙利用の持続性

紙製品のなかには衛生用紙のように使用後に回収されないもの、百科事典やアルバムなどのように長期保存にまわるものも含まれることから、理論的な回収率の上限は70%程度とみられている。さらに回収された古紙にはインクや異物が含まれるため歩留まりは重量比で6割～8割に留まる。これらを踏まえれば、国内で生産される3,000万トンの紙・板紙を原料古紙として生産できる製品は1,500万トン程度であり、需要に応じた生産を維持するためには木材から生産されるバージンパルプの投入は避けられない。したがって、製造される紙製品を全て古紙100%のものにすることは物理的に不可能であり、こうした認識に立って、経済合理性や環境負荷など総合的に最適な古紙利用割合が検討されるべきである。その際に考慮すべき事象として、リサイクルの拡大に伴って顕在化してきた次の2点について十分考慮する必要がある。

エネルギーバランスの問題

第1に、古紙利用拡大に伴うエネルギーバランスの変化の影響である。製紙プロセスにおける主原料は、木材チップから製造されるバージンパルプ（主にクラフトパルプ）と古紙である。このうち、クラフトパルプの製造工程においては木材チップに含まれるリグニン¹が除去されるが、パルプ製造工程における廃液（黒液²）はボイラーで燃焼され、蒸気または電気エネルギーとして回収される。黒液から得られるエネルギーはパルプ製造に使用する蒸気、電力を賄うだけでなく余剰のエネルギーを産み出しており、これが下工程である抄紙工程でも利用されている。つまり、古紙利用の増加は、カーボンニュートラルなバイオマス

図表2-3 製紙プロセスの概略



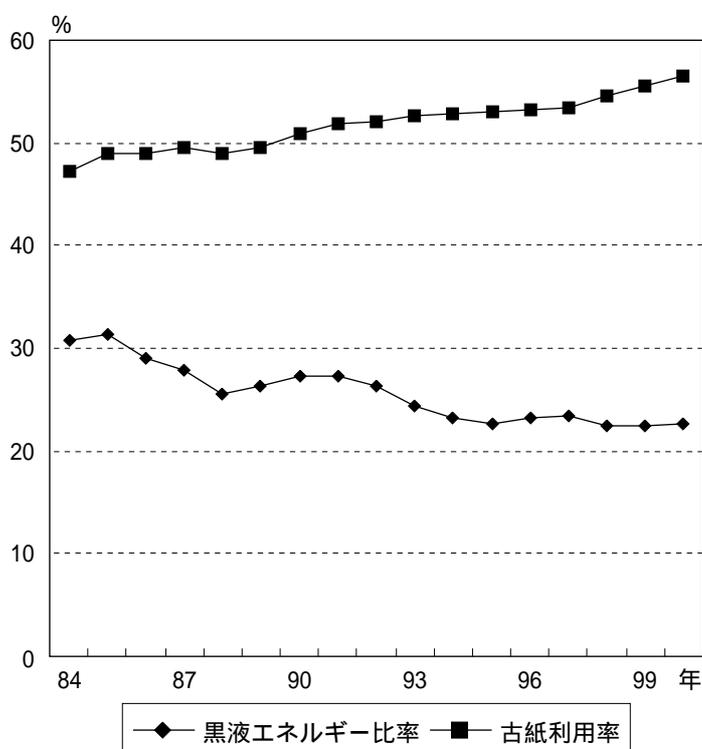
（出所）各種資料より政策銀作成

1. リグニンとは、セルロース繊維と並ぶ木材の主要構成成分の一つで、非繊維質のフェニルプロパン系高分子である。
2. 黒液とは、パルプ製造工程の際に木材チップから除去されるリグニンを主に含んだ廃液。

資源である黒液エネルギーの減少を意味し、製紙プロセスにおける化石燃料使用量の増大（コストの増加と温室効果ガス排出量の増加）を招くことを意味する。

実際近年の古紙利用拡大に伴い、紙パルプ産業のエネルギー使用量に占める黒液エネルギーの割合は年々低下している（図表2-4）。これに加えて、従来利用されてきた返本古紙などと比較して相対的に異物混入が多い低級古紙の利用量が増加することに伴い、異物除去や排水処理に係るエネルギー消費量も遡増することが予想される。地球温暖化対策などから化石燃料使用量の削減が求められる中で古紙利用の拡大とエネルギー問題のバランスを取ることは困難な課題である。

図表2-4 黒液エネルギーと古紙利用率



（出所）経済産業省「紙パルプ統計年報」、総合エネルギー統計

製紙スラッジとして発生する産業廃棄物

第2に廃棄物（製紙スラッジ）発生量の増加という問題がある。回収された古紙には雑誌古紙に含まれる背のりや、回収の過程で混入した異物、インクなどが含まれる。除去されたこれらの異物は産業廃棄物として排出されることになるため、その処理コストが別途必要となる。各社では工場内に焼却炉を設置し、製紙スラッジを焼却してエネルギー回収しつつ、焼却灰はセメント原料として処理を委託することで処理コストの低減を図っているが、古紙利用拡大に伴うスラッジ発生量の増加がコスト増要因となることに変わりはない。

3 . 古紙利用の経済硬化と状況変化

このようにエネルギー効率の悪化や、廃棄物対策として新規投資が必要であることなど、デメリットを伴いながらもこれまで古紙利用が拡大してきたのは、古紙が貴重な原料ソースであることに加えて、古紙余剰の状況が続く中で、原料価格が割高で初期投資額が多額となるバージンパルプを利用する場合に比べて、古紙利用のコストメリットが相対的に大きかったためである（図表2 - 5）。

図表2 - 5 バージンパルプと古紙利用のコスト比較

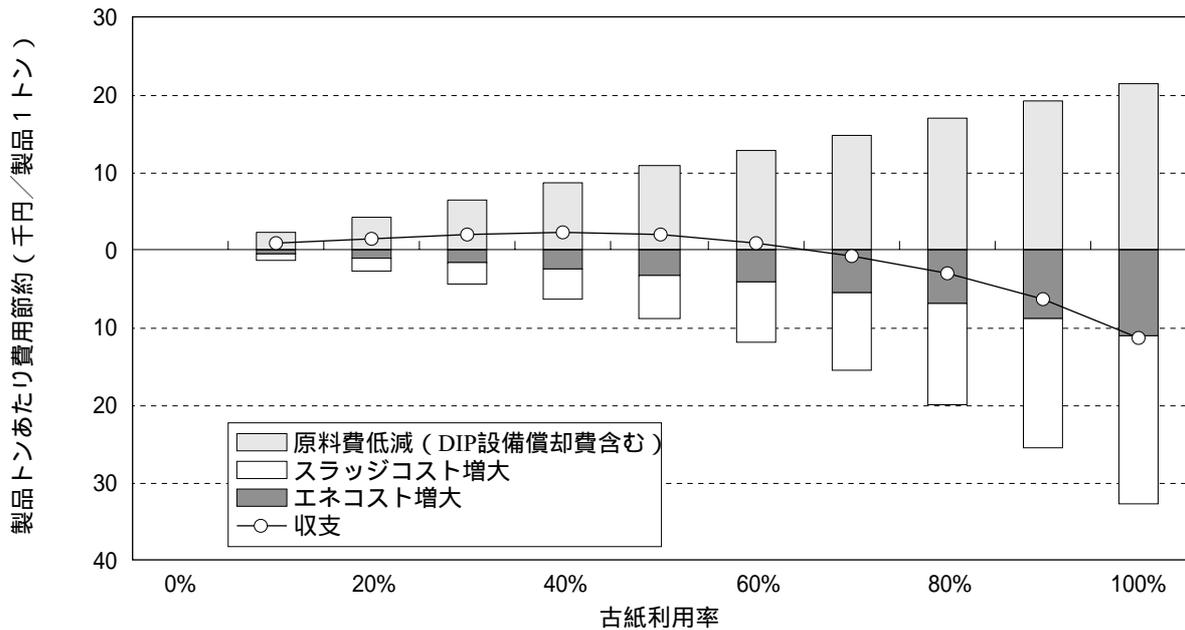
	バージンパルプ利用	古紙利用
初期投資額	化学プラントまで含めると800億円程度	バージンパルプの1/3
購入価格	チップ価格は同1.5～2万円（為替の影響を受ける）	トンあたり3～4万円
収率	5割程度、残りは黒液としてエネルギー回収が可能	7～8割程度
黒液エネルギー -	回収可能	なし
スラッジの発生	ほとんどない	2～3割排出

（出所）政策銀作成

しかし、近時中国への古紙輸出の拡大がこうした与件を変化させつつある。輸出増に伴う国内古紙市況の上昇に加えて、上質な古紙ほど高値で輸出される傾向にあることから、中期的には製紙原料に適した高品質な古紙が輸出にまわり、国内の製紙工場では低質な古紙を利用せざるを得ない状況も想定される。このため今後国内の古紙利用率をさらに上昇させていくためには処理の難しい低質古紙の利用を拡大していかざるを得ない。古紙の投入量が増加すれば、DIP（脱墨パルプ）設備など関連設備はより重装備になっていき、また、一部の低質な雑古紙ではトンあたり使用電力が700kWhに及ぶものもあるとされるなど、低質な古紙であるほど原料利用には電力など使用エネルギーが増大することになる。使用エネルギーの増加は古紙価格の上昇とともに、古紙利用の経済メリットを低減させるものである。

図表2 - 6は、以上の観点を踏まえ、古紙利用の拡大に伴って増加するスラッジの処理コスト、および黒液エネルギーの減少や夾雑物の増加に伴う化石燃料使用量増大のコストを勘案して古紙利用に伴う経済メリットを試算したものである。試算によると古紙利用率が一定水準を超えた場合、古紙とパルプの価格差をコスト増大が上回り、古紙利用の経済性が失われることが確認できる。従来のように製紙用原料としての古紙利用を拡大するためにはコスト面での犠牲を伴わなければならない。加えて化石燃料消費量やスラッジ発生量の増加による環境負荷を勘案すればなおさらである。

図表 2 - 6 古紙利用拡大の経済性試算



(前提)

古紙利用率10%～100%の場合を想定しクラフトパルプ100%使用(外部購入の価格(近年の最安値)でコストを代替)の場合と原料費、スラッジの処理コスト、エネルギーコストを比較。試算は古紙利用に伴うコストデメリットのイメージをつかむためのものであり、前提はごく単純に仮定してあるため、現実の適正な古紙利用率を算出するためのものではない。

古紙の収率 = 70%、クラフトパルプの収率100%

古紙価格(DIP設備の償却費を上乗せ) = 20円/kg

KP価格 = 56円/kg

KP100%使用時のエネルギー - コスト = -107リットル/トン(重油換算)

古紙使用時は古紙利用率50%時で135リットル/トン(同)

重油価格 = 25円/リットル

スラッジ発生量は古紙利用量の27%～36%で古紙利用率の上昇に伴い逓増することとした。

スラッジの処理コストは焼却によるエネルギー - 回収はせずに管理型最終処分場に埋め立てることを前提に3万円/トンと仮定した。

(出所) 政策銀作成

4. 今後の古紙利用拡大

古紙利用の拡大は、エネルギーバランスの変化や国内市況の変化などを受けて転換点に差し掛かっているといえるだろう。こうしたなか製紙各社では古紙パルプ製造設備の増強と平行して、古紙利用に伴うエネルギー損失の最小化や新たなバイオマス発電設備の設置を計画するなど各々独自の取組みを進めている。王子製紙(株)では雑誌古紙からパルプを製造する工程において分解しやすい背のりや綴じ込みシールのあり方を提唱しているほか、日本ユニパックグループの日本製紙(株)は勿来工場に木くず廃材などバイオマス資源を燃料とした発電設備を新設することを計画している。加えて各社に共通する取組みとして廃プラスチックと古紙を固形燃料化したRPF(Refuse plastic and paper fuel)の利用が挙げられる。

日本製紙連合会では2010年までに製品1単位あたりの購入エネルギー原単位を10%削減する自主行動計画を設定しているが、古紙利用が拡大するにつれてこの達成は益々困難になる。古紙利用拡大に伴って使用エネルギーが増大するなかで、RPFなど古紙のサーマルリサイクルの重要性は一層増しているといえるだろう。実際、図表2-7にみるように、現在製紙各社ではRPF利用拡大に向けた取組みを強化している。RPFにはフラフ状のものから鉛筆状のものまで様々な形状があるが、鉛筆状などエキゾーストファンで吹きこめるものであれば既存のバークボイラ³で燃やすことも可能である。

図表2-7 各社のRPF利用計画

	各社のRPF利用計画の概要
王子製紙	<ul style="list-style-type: none"> ・本体の苫小牧工場、日南工場、米子工場、王子板紙の大分工場にRPFボイラを導入予定。 ・2010年度までにさらにもう一工場に導入する計画。
日本ユニパックグループ (日本製紙、 日本大昭和板紙)	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道の日本製紙工場を中心に既設ボイラでRPFを混焼。 ・その他日本大昭和板紙吉永にてペーパースラッジとRPFの混焼ボイラを設置。 ・勿来工場に設置するバイオマスボイラでのRPF利用も検討。
大王製紙	<ul style="list-style-type: none"> ・保有するスラッジ発電ボイラ3缶のうち1缶を石炭からRPFに燃料転換。残る2缶についても転換を進める予定。
名古屋パルプ	<ul style="list-style-type: none"> ・ボイラー5缶のうち1缶で助燃材として利用(月間300トン)。

(出所) 各社発表資料、各種報道資料より作成

北越製紙(株)では二酸化炭素排出量の少ない天然ガスの利用を進めるとともに、98年から製紙業界のなかでも他社に先んじてRPFの利用を開始している。また、王子製紙グループや日本ユニパックグループなどその他の大手各社は木くずなどのバイオマス発電やPS焼却炉における助燃材などとしてRPFの利用拡大を計画している。紙パ産業全体でのRPF利用量は大幅な拡大が見込まれ、低級古紙や今後容器包装リサイクル法によって収集拡大が期待される紙製容器包装の新たな利用用途としても期待されている。

前節までにみてきたように製紙用原料として古紙利用を拡大することに伴うコストメリットは相対的に低減してきており、今後、製紙原料としての古紙利用の大幅な拡大は見込み難い。とはいえ、一貫して古紙利用率の向上が至上課題とされてきたため、工場によってはDIPプラントへのシフトを進める過程でバージンパルプ設備の運営ノウハウを失いかねないというところもあり方向変換は容易ではない。今後は古紙利用率を上げれば上げるほど良いという認識を見直し、原材料としての古紙利用は適切なレベルにとどめたいうえでカスケードリサイクルとしてサーマルリサイクルでの古紙利用を積極的に認めていくことが必要であろう。

3. バークとは樹皮のこと。かつては製紙工場内で剥皮を行っていたため、パルプ工場で大量のバークが発生していた。これらは燃料として利用されていたが近年は材木集散地や製材所で行われるため、現在は紙パ各社がバークを購入している。そのためバークのRPFへの代替はコスト削減にもつながる。

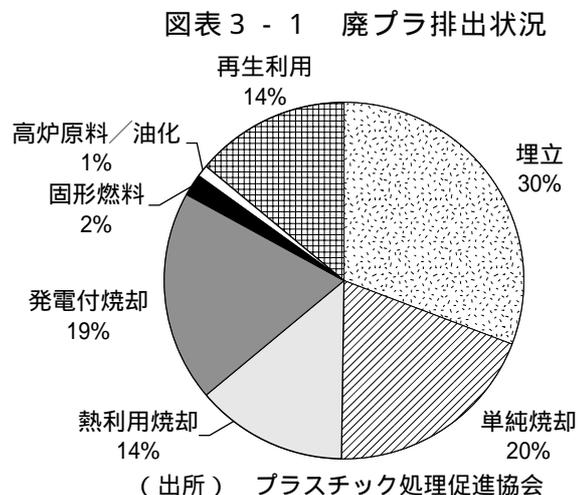
第3章 法整備を契機に拡大する鉄鋼業のリサイクル事業

鉄鋼業は、鉄スクラップを主原料とする電炉鋼が国内生産の約3割を占めており、従来からリサイクル産業としての側面を持った産業であるといえる。近年これに加えて、廃プラスチックやシュレッダーダストのリサイクル事業へ新規参入する企業が相次ぐなど斯業におけるリサイクル機能は多様化している。以下では今後の拡大が期待される製鉄インフラを活用したリサイクル事業の拡大可能性について概観する。

1. 容器包装リサイクル法施行に伴う廃プラリサイクルの拡大

(1) 廃プラの排出状況

製鉄インフラを利用したリサイクル事業の皮切りとなったのは高炉における廃プラスチック（以下、廃プラ）の利用である。現在わが国では年間約1,000万トンの廃プラが排出されているが、図表3-1にみるようにその有効利用率は50%にとどまっている。毎年500万トン程度が単純焼却あるいは埋め立てられているわけで、その有効利用の拡大は枯渇性資源への対応、逼迫する最終処分場対策の両面において大きな課題である。



鉄鋼業では、97年以降、産業廃棄物系の廃プラを年間3～5万トン程度、製鉄副原料（還元材）として利用してきた実績があるが、年間1,000万トンにも及ぶ廃プラ排出量全体からみればその量は限界的である。しかし、2001年4月の容器包装リサイクル法（「容器包装に係る分別収集及び再商品化の促進に関する法律」。以下、容リ法）の本格施行を契機に、処理対象が家庭などから排出される一般廃棄物系の廃プラにも広がりつつある。鉄鋼業のリサイク

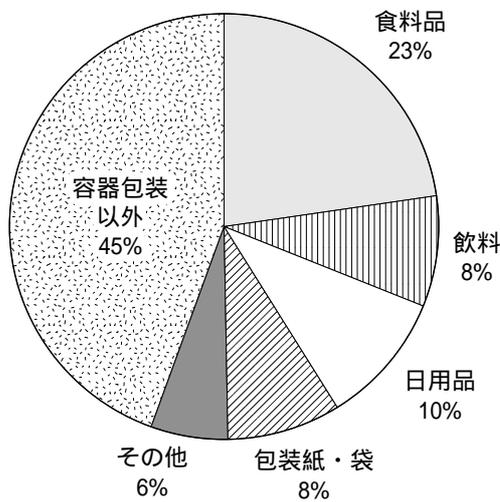
ル産業としての機能を論じる前提として、まずその契機となった容り法の施行状況について確認してみよう。

(2) 容器包装リサイクル法の施行状況

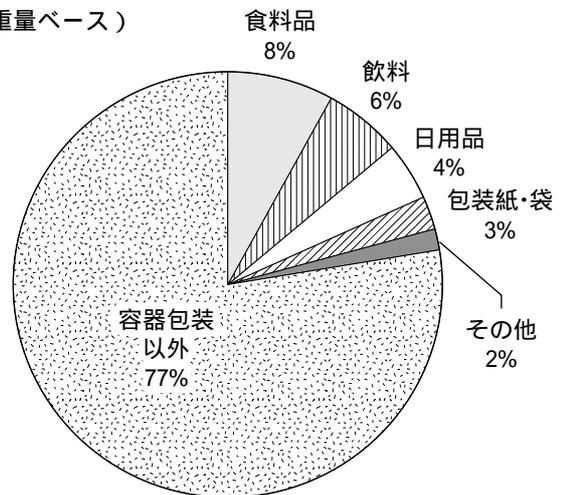
容り法は、家庭から排出される一般廃棄物のうち重量比で2割、容積比で5割を占める容器包装(図表3-2)の有効利用を目的として制定された個別リサイクル法の嚆矢である。図表3-3にみるように、都市ゴミ組成上、構成比を拡大している廃プラの大半が容器包装であることから、同法は一般廃棄物の減量(減容)という観点からも大きな役割を担っている。

図表3-2 一般廃棄物に占める容器包装の割合 容積比、重量比

(容積ベース)

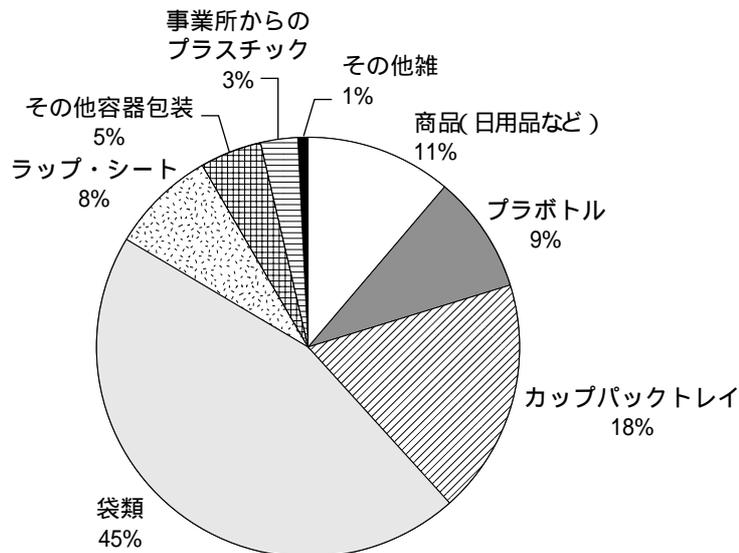


(重量ベース)



(出所) 厚生省、平成8年

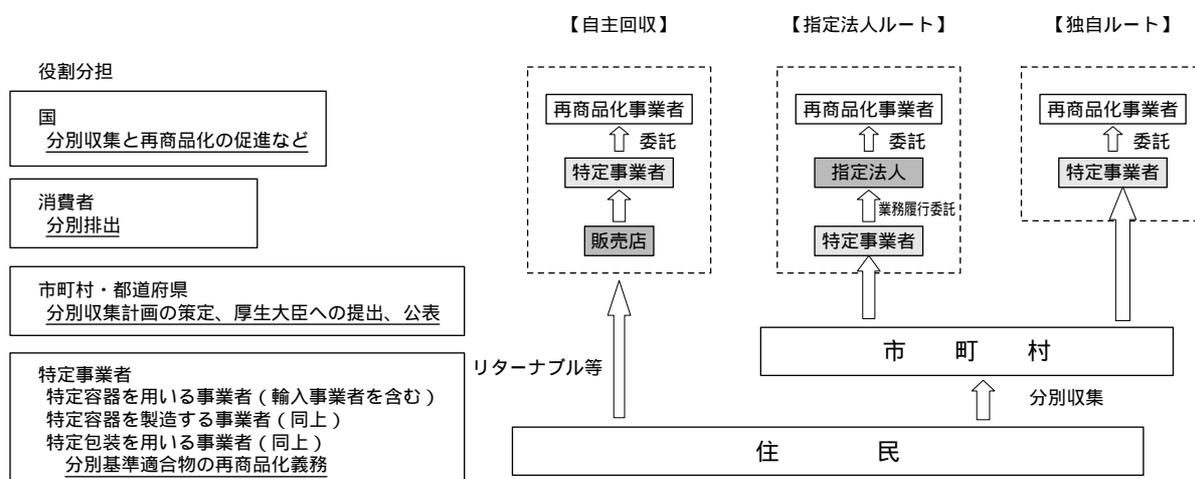
図表3-3 都市ゴミ中の廃プラの用途(京都市の例)



(出所) 京都市環境局

容リ法は、97年4月よりガラスびんとPETボトルを対象に先行施行された後、2000年4月からはその対象をプラスチック製容器包装、紙製容器包装に拡大するなどして本格施行されたが、その基本スキームは、分別排出を行う消費者、分別収集を行う自治体、再商品化を行う特定事業者といった当事者間による役割分担に依っている（図表3-4）。このうち特定事業者とよばれる容器包装の製造者や中身メーカー、販売、輸入業者などが容器包装の再商品化の義務を負う点は、いわゆる拡大生産者責任（EPR）の概念をわが国に初めて導入したものといえ、これに続く家電リサイクルや自動車リサイクルなど使用済み製品リサイクル法の先駆をなしている¹。

図表3-4 容器包装リサイクル法のスキーム



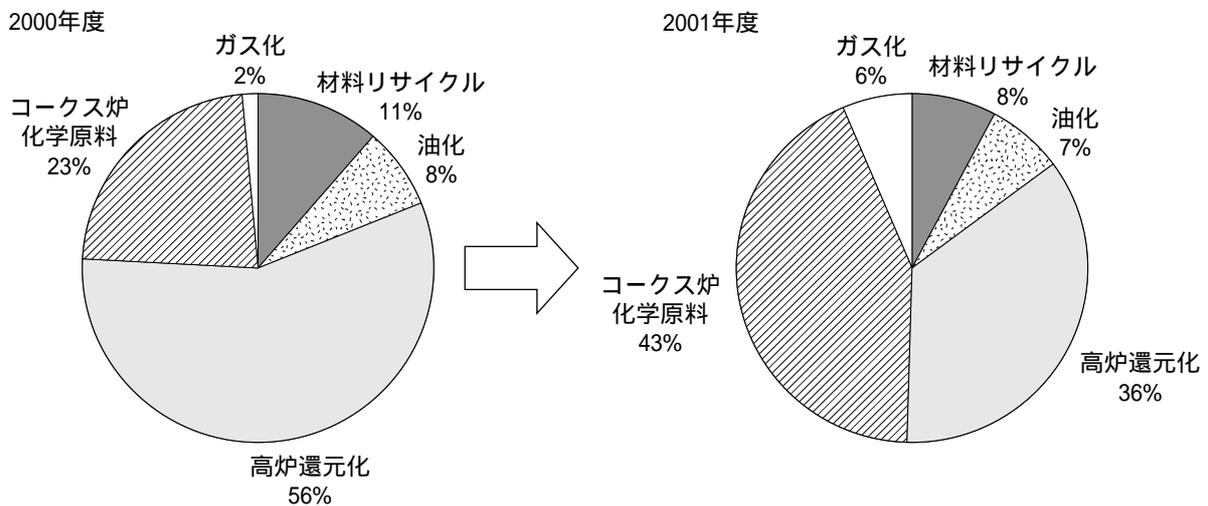
具体的には、特定事業者は自ら容器包装のリサイクルを行うか、再商品化事業者（リサイクル事業者）に委託料を支払うことが義務付けられている。これにより従来はゴミとして廃棄されてきた容器包装がリサイクルの対象物となったわけであるが、樹脂の種類が多様であり、かつその用途特性によって異物の混入が避けられないことから、現実には再資源化を進めるのは容易ではない。第1章で述べたリサイクルの事業性に照らせば、とりわけ低コストかつ実需に見合った用途の構築（出口の確保）が制度発足当初からボトルネックとして指摘されてきた。容器包装リサイクルの手法は、回収された容器包装を材料としてそのまま使用する（狭義の）マテリアルリサイクル、化学反応などを通して化学原料として使用するケミカルリサイクル、エネルギーとして利用するサーマルリサイクルに分類されるが、容リ

1. 各特定事業者は、業種によって異なる一定の比率や生産量などのデータから算出された再商品化委託料を指定法人に支払うことで義務を履行したとみなされることになっているが、その支払を怠る事業者（フリーライダー）の問題や、最もコストが重いとされる分別収集を地方自治体の税金で賄われていることから容器包装の使用量削減につながらないといった制度上の批判も少なくない。この点についてはドイツの例を引用しつつ第6章で再度触れることとする。

法ではマテリアルリサイクルに優先的な位置付けが与えられている。例えば、ペットボトルのリサイクルにおいて、容り法では当初、収集された廃ペットボトルから異物を除去した後、破碎・洗浄・乾燥させて製造される再生樹脂（ペットフレーク）として再商品化するマテリアルリサイクルのみがリサイクル手法として認められていた²。再生樹脂はシートや衣料の原料として使用されるが、こうした再生品はコスト面や品質面で天然原料を使用した製品との差別化が難しいうえに、食品向けの用途など消費者の衛生上の要求が厳しいことも手伝ってその利用は限定的にとどまっているのが現状である。組成が一樣で比較的異物混入の余地が少ないペットボトルにおけるこうした問題は、多種多様な樹脂が混在し、かつその使用用途から異物混入がおきやすいその他廃プラスチック容器包装では一層顕著であり、マテリアルリサイクルが優先される中でその用途の開発が課題であるとされてきた。

ところが、近時鉄鋼業の廃プラリサイクルへの関与が拡大するなかでこうした状況は大きく変わりつつある。図表3 - 5は、2001年度に指定法人容器包装リサイクル協会に委託され、再商品化されたプラスチック製容器包装12万トンの処理構成をみたものである。一見して分かるように、実に8割近くが製鉄プロセスを利用してリサイクルされている。多岐に亘るリサイクル手法が提案されているなかで、製鉄プロセスを活用した廃プラリサイクルが大きく伸長している理由はどこにあるのだろうか。次節ではその特徴を整理してみよう。

図表3 - 5 プラ製容器包装の再商品化内訳



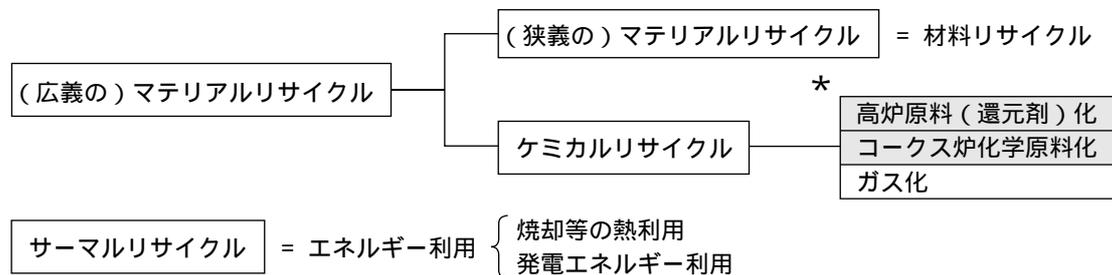
(出所) 日本容器包装リサイクル協会

2. こうした中、帝人(株)によりペットボトルのケミカルリサイクル技術が開発された。同技術はポリエステル以外のポリマー成分、添加物、加工剤を含むほとんどすべてのポリエステル製品より、石油から製造したものと同等のポリエステル原料（DMT：ジメチルテレフタレートおよびEG：エチレングリコール）を回収できる画期的な技術として注目されている。2002年4月から同社より分社化された帝人ファイバー(株)による廃ペットボトルのケミカルリサイクルが事業化されており、さらに2003年7月から、廃ペットボトルをペットボトルの原料（テレフタル酸）そのものにリサイクルする事業に切り替える計画。

2. 製鉄プロセスを活用した廃プラリサイクルの特徴

廃プラのリサイクル手法は、廃プラを再配合のうえ、プラスチック成形材料として再生する（狭義の）マテリアルリサイクル、化学反応により各種化学原料として利用するケミカル（フィードストック）リサイクル、発電や償却による熱利用を行うサーマルリサイクルに分類される（図表3-6）。製鉄プロセスを活用した手法には、日本鋼管（現JFEスチール）を主体に実用化された「高炉原料化法」と、新日本製鉄が展開するコークス炉化学原料化法があるが、両者ともケミカルリサイクルに位置付けられている。

図表3-6 容器包装プラのリサイクル手法



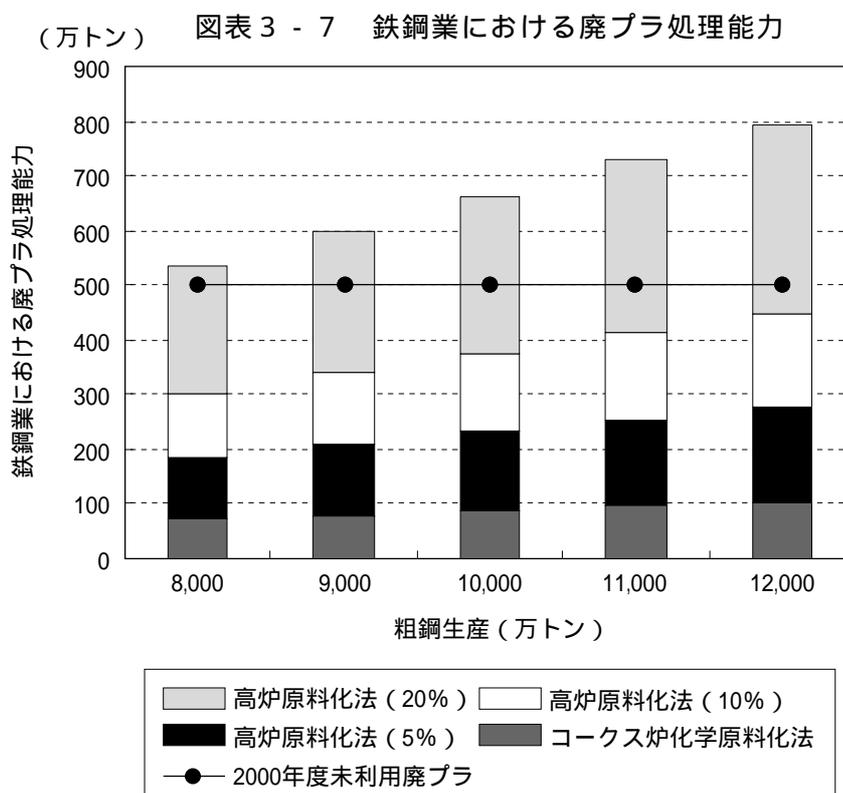
（出所）政策銀作成

製鉄プロセスでは、原材料である鉄鉱石から銑鉄を得る過程で還元材として石炭から製造されたコークスが使用されており、上記の「高炉原料化法」ではこのコークスに一部配合するものとして、「コークス炉化学原料化法」ではコークスの原料である石炭に一部配合するかたちで、それぞれ廃プラが使用されている。こうした廃プラの投入は化石燃料使用量の削減効果を持つことに加えて、工程内で発生するガスや炭化水素油が製鉄所内のエネルギーとして、また併設する既存化学プラントの原料として有効利用できることから、利用効率でも80%超と非常に高い水準を達成している。

このように、製鉄プロセスにおける廃プラの利用は、高効率の利用が可能であるという点もさることながら、製鉄所の立地やインフラをフルに活用できるという点に最大のメリットがある。具体的には、第1に、鋼材の帰り荷輸送の利用など製鉄所の持つ物流インフラの活用を通して物流コストを抑制することが可能である点が挙げられる。廃プラの嵩比重は鋼材の数十分の1であり、その物流量（容積）は膨大であるだけに動脈物流と同軌化できることのメリットは非常に大きい。第2に、主たる処理設備が既存の高炉やコークス炉であるため、初期投資が抑制されている点である。両技術とも設備腐食の原因となる塩化ビニル

(PVC) ガラスや土砂などの異物除去といった事前処理工程が必要となるものの³、その他は樹脂の種類を問わず利用できることから、必要な設備投資は限定的である。さらには、これら事前処理工程についても、リサイクル制度が浸透するにつれて排出側の分別高度化が進み、また当初は予測不可能であった廃プラの性状についての情報が蓄積されることにより、今後は設備軽量化の余地も残されていよう。第3にエネルギーも含めた再生品の全てを製鉄所および併設プラント内で利用できることから需要開拓の必要がない点である。このため、石炭価格の暴落でもない限り、経済合理性にかなった事業展開が可能であり、不安定な再生品市場の動向に煩わされずに済むというメリットが生まれる。

製鉄プロセスを利用した廃プラリサイクルは、このように第1章で整理した素材型産業の優位性を見事に活かしたプロセスといえ、今後の拡大余地についても大きな潜在力を秘めているといえる。図表3-7は、そのポテンシャルについて行った試算である。高炉原料化



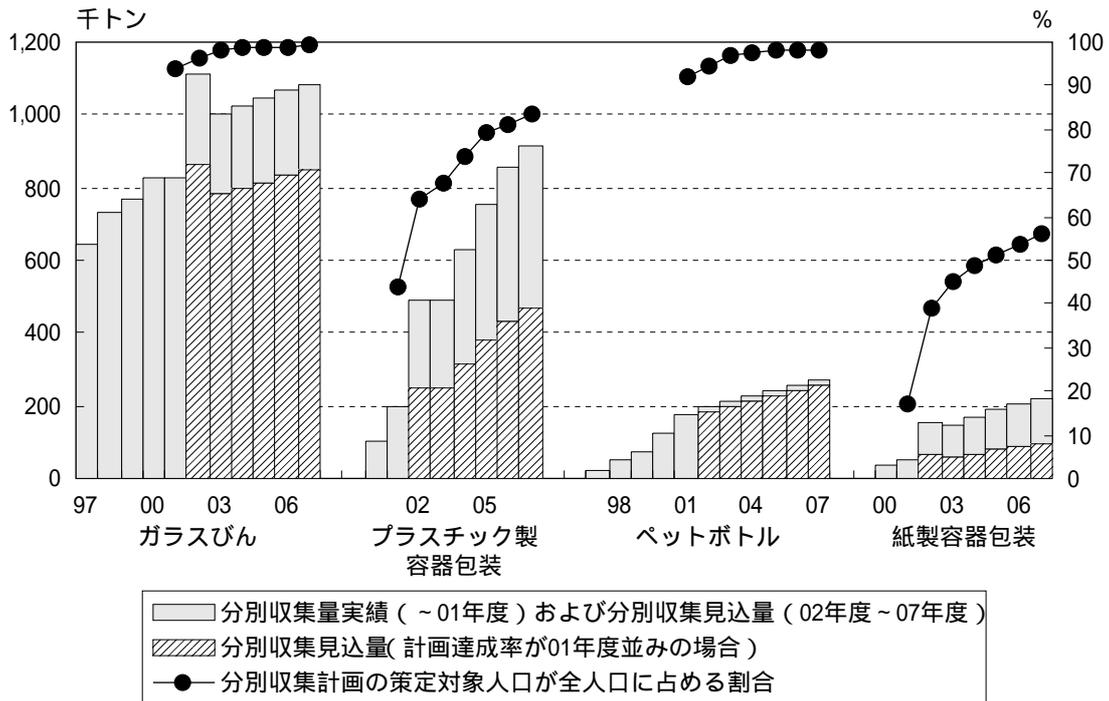
試算の概要

- ・コークス法では石炭からコークスの収率を0.741、廃プラの石炭への混合比率を2%とした。
- ・高炉原料化法ではコークス代替比率を5%～20%と仮定したうえで、各々のケースを積み上げグラフで表示。
- ・平成10年の各社のコークス使用料を元に粗鋼生産1トンあたりに使用するコークス量を求め、各々の手法で使用が可能となる廃プラの量を計算した。

(出所) 各社資料、コークスノートなどより政策銀作成

3. 日本鋼管(株)の高炉原料化法においては塩化ビニルから塩素を除去したうえで高炉に投入する技術も確立されている。

図表3 - 8 容器包装の分別収集実績と計画



(出所) 環境省、 容器包装リサイクル協会資料などより政策銀試算

法、コークス炉化学原料化法とともに製鉄プロセスの一端として廃プラを利用する方式であることから、その処理可能量は鋼材生産の水準に左右されるが、この試算によれば、わが国の製鉄プロセスにこれらの処理技術があまねく装備された場合、仮に粗鋼生産が8000万トン程度まで落ち込んだ場合であっても現状有効利用されていない廃プラ500万トン全てのリサイクルが可能であるという結果になる。

以上のように製鉄プロセスを活用することで廃プラリサイクルは当初の課題であった出口問題を克服したといえ今後の拡大余地も大きいわけであるが、この巨大なポテンシャルを活用するためには一転して入口部分にあたる分別収集が課題となる。既に多くの自治体で分別収集の対象となっているペットボトルやガラスびんと比較すると、その他プラスチック製容器の分別収集が行われている地域の人口比は全国で44% (全人口ベース、2001年度) にとどまっている。この要因は様々に考えられるが、その一つにこれらプラスチック製容器包装は多様な用途に用いられているうえに形状が不均一で分別がしにくいという点がある。既に高い水準で整備されている廃プラのリサイクル基盤を活用するためには、分別収集拡大の阻害要因となっている収集費用の分担の問題や、より分別しやすい容器包装の設計について再検討する必要があるだろう。

3. 電炉によるリサイクル事業の展開

鉄鋼業によるリサイクル事業の強化は、これまでみてきた高炉各社に留まらない。従来から鉄スクラップの需要家として資源循環の一端を担ってきた電炉企業のなかにもその事業特性を活かしてリサイクル事業に進出する企業が出始めている。その主たる分野が自動車や家電製品などの使用済み耐久消費財のリサイクルである。図表3-9は、このうち代表的な取組みをみたものである。

図表3-9 リサイクル事業に参入する電炉企業

	概要
東北東京鉄鋼	産業廃棄物、医療廃棄物などの処理に加え家電リサイクルプラントを新設。自動車リサイクル法の施行に向けてASRリサイクルへの参入を計画中。
共英製鋼	医療廃棄物処理のメスキュード事業に加えて、熱分解ガス化炉、シュレッダー設備を新設し、家電、自動車リサイクルなど産業廃棄物処理事業に本格参入する計画。
その他	既存の電炉設備に廃車ガラを投入する全部処理など

このうち東北東京鉄鋼(株)では、原料である鉄スクラップの安定調達、川上分野への進出といった観点から、1990年にシュレッダー設備を導入し、使用済み自動車の集荷を開始したが、2001年度の家電リサイクル法施行、2004年度に施行が予定されている自動車リサイクル法の成立など、関連法体系が整備されてきたのを受けて当該事業をより中核的なものとして位置付け、事業拡大を計画している。

同社は既にシュレッダー設備を導入済みであり、また豊富な未利用地を有していることから、これを武器に家電リサイクル事業に参入しており、家電メーカーAグループ(松下、東芝など)の指定リサイクル拠点となっている⁴。同社の家電リサイクルプラントでは、入荷した使用済み家電を自動洗浄した後、手作業でブラウン管などを分別し、鉄分は製鉄原料に用いられている。同社では従来は外部に委託していた冷蔵庫やエアコンに含まれるフロンやテレビのブラウン管についても自社処理を検討しており、今後同事業の充実を図っていく計画である。

加えて自動車リサイクル事業については鉄含有量が6~7割と廃家電と比較しても大きく、今後処理体制が整備されていくことから、同社の本業である製鉄業の原料費低減効果にかかる期待も大きい。現状では集荷された使用済み自動車は分別された鉄分、非鉄分などの

4. 集荷エリアは北東北3県+宮城に及んでいるが、首都圏でリサイクル拠点の処理能力が逼迫していることから2002年10月より山形県も当社エリアに加わっている。

利用にとどまっているが、今後新たに熱分解ガス化炉を新設して廃自動車から発生するシュレッターダスト（ASR）と家電リサイクルプラントで発生するシュレッターダストからカーボン、ガスを生成し、リサイクル率の向上を図ることを計画している⁵。

後述するように、非鉄金属各社など先行他社はASRの性状の不安定さから設備の安定稼働確保に相当悩まされたことから、当社でも運用技術の確立や、安定的な集荷体制の整備など課題はあるものの、鋼材需要が低迷するなかで、本業の事業特性を活かして新規事業を構築した好例といえるであろう。

以上のように高炉、電炉を問わず多様なリサイクル事業が展開されつつある。これは素材型産業の中でも特に生産量が大きく、大規模な熱処理工程を持つ鉄鋼業の基盤を活用したものであるといえよう。廃プラリサイクルについて試算したように鉄鋼業におけるリサイクル機能のポテンシャルは相当に大きく、今後はその活用に向けたリサイクル資源の収集など入口部分の問題解決が当面の課題となるであろう。

5 . 同社のリサイクルフローは以下の通りである。 自社発生ASRのうち、風力選別により分離された比較的比重が軽く非鉄類の混入率の高い軽ダスト（廃車ガラ重量比20%）から被覆電線の塩ビ、土砂、ガラスなどの不要物を静電分別・磁界選別を行うことによって直接電気炉に投入でき、還元材としての機能を併せ持つ高カロリーの廃プラ燃料（同6%）を製造する。 自社発生ASRの中の重量物（同10%）および外部から受託した、成分が不均一なASRをキルン式熱分解ドラム内で約450℃・無酸素状態で加熱させることにより、ASRを熱分解ガスと熱分解カーボンに分離生成する。生成した熱分解ガスで発電（900Kw）を行い自工程内で活用するほか、生成カーボンと鉄・非鉄に分離することで電炉還元材を製造する。

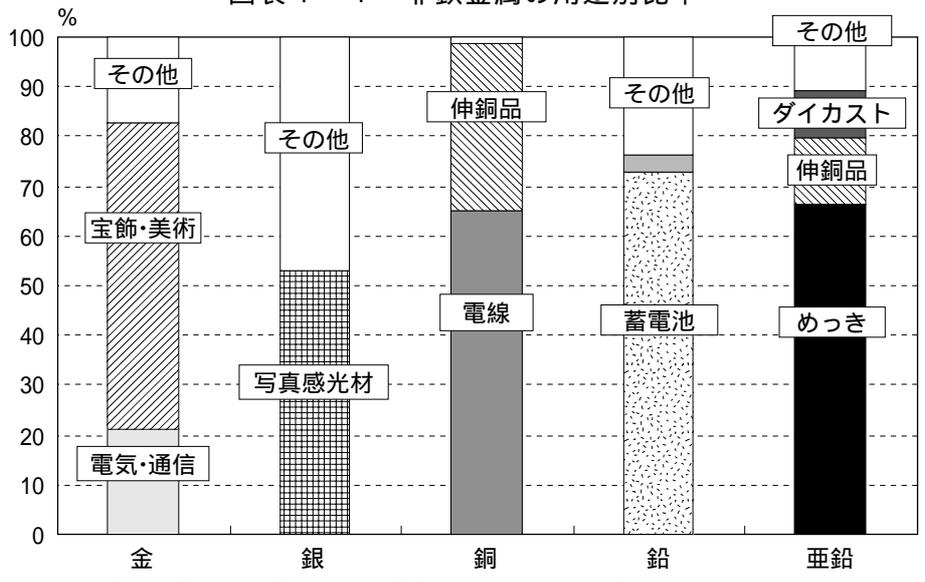
第4章 非鉄金属製錬プロセスを活用した金属回収

金や銀などの貴金属類は希少性が高く、古くから再利用の対象となってきた素材である。しかし、これら貴金属類の使用領域が電子回路など工業分野に拡大して以降、その回収・リサイクルは困難なものになっており、廃棄されてしまう量も少なくない。リサイクル政策の基盤整備が進むなかで、廃棄物中に含有される非鉄金属の回収が課題として浮上し、これを効率的に行える基盤として製錬所の活用が注目されている。

1. 非鉄金属リサイクルの特徴

非鉄金属のリサイクルの進展の度合いは、各金属が持つ資源としての希少性といった要素に加えて、その用途（利用形態）によっても大きく左右される。希少性の高い金属の場合、回収・分離に相応なコストを投じて、それを上回る利益が期待できるためリサイクルが進展しやすいが、希少性が低いものはたとえ回収・分離に要するコストが小さくてもリサイクルには結びつきにくい。また同じ金属でも回収・分離が容易な用途に使用されているものはリサイクルされやすく、そうでないもののリサイクルは進展しない。図表4-1は、代表的な非鉄金属の用途別比率をみたものである。このうち金は希少性が高いうえに主要な用途が宝飾・美術品向けということもあり、社会に存在するストックは廃棄により大きく減少することなく維持されてきた。一方、鉛は主たる用途が蓄電池であり、取り外しが比較的容易で社会的に回収ルートが確立していたことから、希少性は低いもののリサイクルが進んでいる

図表4-1 非鉄金属の用途別比率



(出所) 資源統計年報より一部項目を合算して政策銀作成

金属の一つであるとされている。

用途によるリサイクル率の違いを最も端的に示しているのが銅である。銅はその電気伝導性、熱伝導性、展進性に優れた特性から電力・通信・鉄道の電線や、電気機器、自動車、建築資材など広範に使用されている。図表4-2は財団法人クリーンジャパンセンターの調査による銅含有使用済み製品からの銅排出量および回収量である。同調査によると、電力・通信鉄道の銅電線からの回収率が100%となっているのに対し、機器・金属製品類からの回収率は20%と低位にとどまっている。電力・通信鉄道などの電線向けの銅は単体で使われることが多く純度が高いことから回収・リサイクルの効率が低いのに対し、機器類に使用される銅はプリント基板類のように樹脂などとの複合素材を構成しており、形状も複雑なものが多いため、リサイクルが容易ではない。用途による回収率の相違は、使われ方の違いを反映したものと見える。機器類に使用されている銅は、分離・回収されることなく破砕され樹脂などと共にシュレッダーダストとして排出され、その多くは埋立に回ってきた¹。

図表4-2 銅含有使用済み製品からの排出銅量、回収銅量・回収率

(単位：千トン)(1997年)

排出分野	排出銅量	回収銅量	回収率	非回収銅量
A. 電力・通信・鉄道の銅電線	197	197	100%	0
B. 機器・金属製品類	141	29	20%	112
C. 自動車	79	38	48%	41
D. 産業用機器・機械・船舶等	62	51	82%	11
E. 建設関連廃棄物	118	81	69%	37
合計	598	396	66%	202

クリーン・ジャパン・センター編

「廃棄物減量化のための社会システム評価に関する調査研究報告書」p.5(1999)より

近時のリサイクル政策の整備は、こうした非鉄金属処理のあり方に修正を迫るものといえる。家電リサイクル法や自動車リサイクル法が求めるリサイクル率の達成には、従来埋立てに回っていた基盤類などに含まれる非鉄金属類の回収・分離が必要になってくるためである。使用済み製品のリサイクル費用を製造者に転嫁する、いわゆる拡大生産者責任の考え方が一般化しているなか、希少性に乏しく回収・分離が難しい非鉄金属のリサイクルをいかに効率的に行うかは循環型社会の形成に向けた大きな課題になっている。ここで注目されるのが非鉄金属製錬の技術やノウハウである。

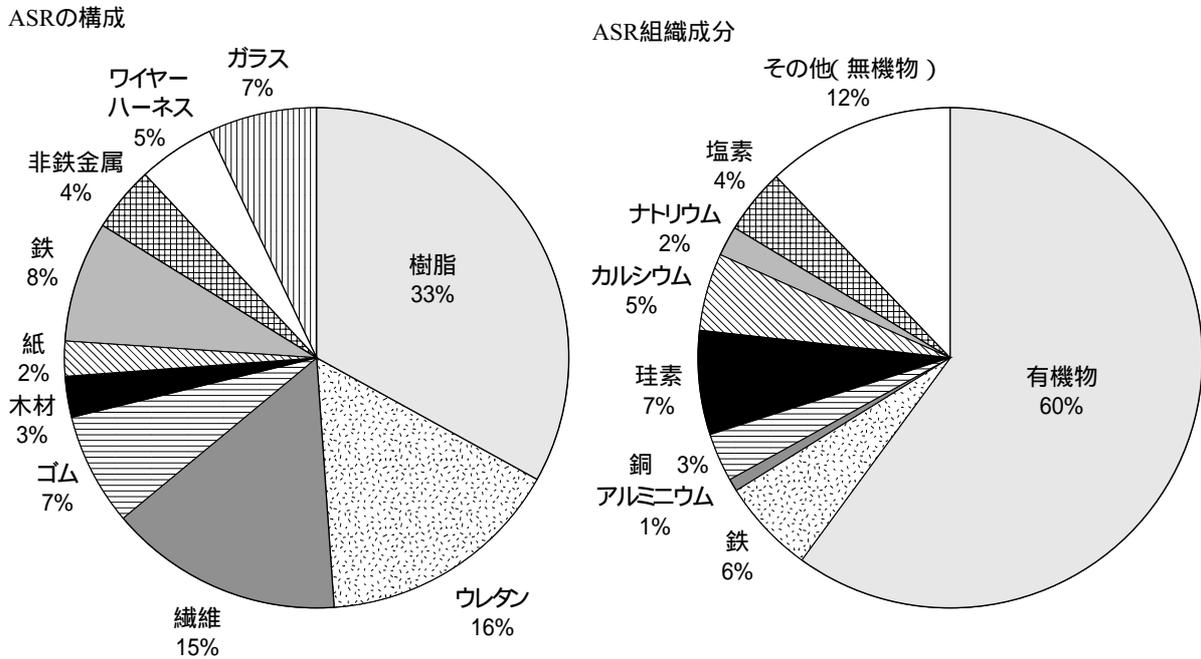
1. 同様にめっきに使用される亜鉛の回収も困難である。鋼材に使用された亜鉛めっきの場合は、鋼材の使用期間中に一部が自然界に拡散してしまう上に、残存した亜鉛分も鉄スクラップとして製鋼プロセスに投入された際にダストとして排出されるため、亜鉛含有率の低さなどから資源としての利用価値が低いのが一般的であるとされる。近年、製鋼ダストからの亜鉛回収は各方面で研究されており、その点については第6章で再度触れることとする。

2 . ASRからの非鉄金属回収

非鉄金属製錬所を活用したりサイクルの取組み例として使用済み自動車から発生するシュレッダーダスト（Automotive Shredder Residue：ASR）処理についてみてみよう。

図表4 - 3にみるように、シュレッダーダストはその成分比に占める樹脂類の割合が高く、再生利用方法としては熱回収やガス分解などによるエネルギー利用が中心になるものと考えられている。非鉄金属類の含有率は重量比で3%と決して低くないものの、その資源としての価値は、天然鉱石はもとより携帯電話などいわゆる「都市鉱山（urban mine）」の別名を持つその他の電子機器類よりも極めて低い（図表4 - 4）。よく知られているように携帯

図表4 - 3 ASRの成分



(出所) 経済産業省

図表4 - 4 非鉄金属含有製品から回収される金属類の金額換算

トンあたり含有量	金	銀	銅	その他	資源価値(万円)
フィルム焼灰スラッジ		50 ~ 350kg			395
自動車廃触媒				Pt 1kg Rd 100g	256
携帯電話	320g	1.5kg	100kg	パラジウム 100g	60
電子基板	100g	2kg	100 ~ 200kg		20
鉛バッテリー			530kg		5
ASR			44kg	亜鉛11kg 鉛 2kg	1
(参考) 菱刈金山平均金品位	50 ~ 60g				7

(出所) 政策銀作成

電話 1 トンが含有する貴金属類の重量は、世界的にみても高品位であるとされる菱刈金山（鹿児島県）から産出する鉱石をも大きく上回る水準であり、その資源価値を2002暦年の平均市況で金額換算すると使用済み携帯電話の価値はトンあたり60万円にも及ぶ。こうした資源価値の高い使用済み製品は規制の対象としなくても市場原理により自律的な回収が行われる財といえるだろう。これに対してASRに含まれる金属類の価値は同 1 万円程度にすぎず、その資源価値の低さから何らかの規制措置がなければ廃棄される財といえる。

2004年から自動車リサイクル法が施行されると、自動車メーカーは、ASRのリサイクル率（活用率）を2006年度に30%、2010年度に50%と段階的に引き上げ、2015年度には70%にまで高めるように求められるものとみられる。高いリサイクル率を達成するためには4割を占める無機成分の有効活用拡大が必要であるとともに、3%を占める銅のリサイクルも重要な手段であることはいうまでもない。問題は、これを如何に効率的に回収するシステムを構築するかである。図表4-6にみるように、現在、ASRのリサイクルには高度な分解を通じたマテリアルリサイクルやガス化溶融など多様なシーズが提示されているが、この観点から大いに有望視されているのが銅製錬所を活用したASRリサイクルである。

図表4-5 ASRリサイクル手法別有効活用率

（単位：t/t - ASR）

	燃料代替 + 原料化	焼却処理 + 熱回収 + 原料化	乾留ガス化 + 熱回収 + 原料化	乾留ガス化 + ガス利用 + 原料化
投入量計	27.73	2.20	7.74	7.03
回収量計	22.16	1.25	5.01	5.36
回収／投入	80%	57%	65%	76%

（出所）産業構造審議会・中央環境審議会 合同会議資料より作成

3．非鉄金属製錬によるリサイクル事業

非鉄金属製錬所の多くは国内鉱山の付属設備としての成り立ちをもち、産出する鉱石に応じた設備、製錬プロセスを取ってきたため、各製錬所のリサイクル能力は様々である。しかし、不純物を大量に含んだ天然鉱石から、効率よく含有率の低い有用金属を分離するという金属製錬の設備やノウハウは、人工的な鉱石ともいえるASRなどの廃棄物にも基本的にそのまま転用できるという点で、本稿の冒頭でみた素材型産業の優位性を共通して備えているといえる。ここではASRリサイクルに先駆的に取り組んできた2社について取り上げる。

銅製錬所としていち早くASRリサイクルに取り組んだのは福島県いわき市に立地する小名

浜製錬(株)である。同社では国内の銅製錬プロセスとしては当社に唯一残る反射炉法²を採用しており、この反射炉にASRを直接投入する方式を取っている。反射炉法による銅精錬は熔錬工程において大量の石炭や重油を燃焼し、その燃焼熱で鉱石を熔解する方式であることから、エネルギーコストが高つくデメリットがある。同社は石油危機を契機にこうしたエネルギーコスト削減のため、廃タイヤ（昭和55年～）を反射炉の副燃料として使用し始めていた。その後廃タイヤの有効利用用途が多様化する中で、十分な量の廃タイヤが確保しにくくなってきたため、平成5年よりASRの利用も開始し、非鉄金属成分や蒸気の回収、自家発電に利用しており³、ストックヤードの新設などの新規投資と平行して、順次処理能力を増強してきた。処理量の増加に伴い、塩素腐食、ボイラー内へのダストの付着などの問題が顕在化したものの、ハンマーによる付着ダストの除去、耐火煉瓦の材質の変更など様々な改良を経て、現在の11,000トン/月体制における処理技術の確立についてはほぼ目途が立ったとされ、その処理能力の規模は他のリサイクル手法と比較しても大規模なものとなっている。

一方、秋田県内陸部に立地する同和鉱業(株)グループの小坂製錬(株)は、従来から銅のほか鉛、金、銀など様々な不純物を含む複雑鉱である黒鉱⁴を原料としてきた経緯から、複雑な構成の鉱石からの金属回収に強みを持っており、ASRなど金属品位の低い廃棄物も含めて幅広くリサイクル事業を展開している。

同社ではASRリサイクルのために流動床炉式の金属・蒸気回収炉を新設し、当事業は2002年度下期から本操業に入っている。受け入れたシュレッダーダストは性状に応じて製錬所内で追加処理を施した後、燃焼カロリーが一定となるように調合し、先述の流動床炉に投入して、燃焼させている。流動床炉で得られた蒸気はエネルギーとして利用しているほか、流動床炉で回収した有価金属類は製錬原料として既存の自溶炉に投入され、電気銅が生産されている。同製錬所は内陸立地というハンデを背負っているため、リサイクル原料（2次原料）の利用拡大に努めており、原料に占めるリサイクル原料の比率はパラジウム⁵で80%超に達するほか、銀、

2. 反射炉とはアーチ型の天井や側壁で燃焼熱を反射して加熱する形式の炉のことで、周囲から温度が高まる構造になっており、中心部には高温の空間が存在する。銅製錬で主流となっている自溶炉では、銅鉱石を炉上部からスプラッシュ状にして投入していることからこういったスペースはそれほど存在せず、燃焼しにくいASRを完全に燃焼させる十分なスペースを有していることは反射炉の特徴であり、その他の製錬所と比較すると現状の処理能力は際立って大きい。

国内では小規模な反射炉が日鉱金属日立工場に残っており、リサイクル炉として使用されている。

3. 現在では、使用エネルギーの50%弱程度を蒸気でまかなっている。

4. 閃亜鉛鉱・方鉛鉱・黄鉄鉱・黄銅鉱・重晶石・石英などから成る緻密（ちみつ）な混合鉱石であり、銅・鉛・亜鉛・金・銀の原料鉱石となる。銅製錬において主流である黄銅鉱に比べて品位が低く、高度な製錬技術が必要とされる。小坂・花岡地区は黒鉱の一大鉱床であった。

5. 自動車廃触媒から回収されるパラジウムは田中貴金属工業(株)との共同出資による日本PGM(株)で事業展開されている。

図表 4 - 6 ASRリサイクルの取組み状況

稼働中

会社名	地域	処理能力	稼働時期	概要
小名浜製錬	東北 (福島県)	15万トン/年	03年5月 現在 1.2万トン/月 稼働中	銅製錬工場(反射炉法)のインフラを活用したASRリサイクルシステム。銅をはじめ有価金属を回収。
小坂製錬	東北 (秋田県)	5.3万トン/年 (初年度4万トン 目標)	02年11月 本格稼働	既存の製錬設備を活用したリサイクルシステム。原料を燃焼し、金属と、重油代替として活用する蒸気エネルギーを回収。
日立金属 日立製作所 (エコパレー 歌志内)	北海道	5.5万トン/年	02年10月 稼働中	破碎くずを蒸し焼きし、溶融炉で得られた高温の熱をボイラーで回収し、蒸気タービンで発電。乾燥、熱分解ガス化から溶融までを一つの炉で処理。
カネムラ	九州 (熊本県)	3万トン/年	稼働中	熱分解ドラムで炭化し、カーボン、鉄、非鉄に選別。カーボン分はガス化溶融炉で溶融。溶融炉で得られた高温の熱をボイラーで回収し、蒸気タービンで発電。
青森RER	東北 (青森県)	16万トン/年	02年12月 本格稼働	溶融炉で得られた高温の熱をボイラーで回収し、蒸気タービンで発電。
豊田メタル	東海 (愛知県)	4万トン/年 20万台(1台=1 トン、ASR重量構 成比20%とする)	02年10月 稼働中	ASRの徹底した精密分別により金属類や高分子材料を回収し、自動車部材の原料等として再利用。
日鉱三日市 リサイクル	北陸 (富山県)	8,400トン/年	稼働中	回転床炉にて混合燃焼した後、焼却灰・飛灰を焼結機で固める。コークスで還元し、亜鉛その他有価金属の回収。
カンガイ	中国 (岡山県)	5千トン/年	稼働中	焼却後、精錬会社に売却。
ヤマナカ	関東 (神奈川県)	2万トン/年	01年10月 本格稼働	金属選別した後、熱分解炉で得られたガスを高温で水素やメタン等の安定したガスに改質して回収。

稼働予定

豊田メタル	東海 (愛知県)	3,600トン/年 計画中	03年 本格実証	溶融炉内600度で熱分解、ガス化。チャー(不燃物)を1600度以上で溶融、無害のスラグへ。
東金属	関東 (群馬県)	1.8万トン/年	03年1月 稼働予定	ダストヤード、非鉄選別ライン、製品ヤードを備え、ロータリーキルンで処理。自社焼却。
東北東京鉄鋼	東北 (青森県)	3.4万トン/年 計画中	04年10月 稼働予定	風力選別により不要物を除去し、電気炉に投入。廃プラ燃料を製造。ドラム内450度、無酸素状態で加熱。熱分解ガスと熱カーボンに分離育成。
共英製鋼	中国 (山口県)	3.7万トン/年	04年 稼働予定	
住友金属工業	関東 (茨城県)	6万トン/年 計画中	04年 稼働予定	1,600度の高温で焼却。
新日本製鐵 (北九州エコ エナジー)	九州 (福岡県)	7.3万トン/年 計画中	05年3月 稼働予定	可燃物は溶融設備で熱分解され燃料ガスとした後、発電設備で燃焼させ電力とする。不燃成分は溶融設備で高温溶融し、再利用可能な金属とスラグとして資源化。
日本鋼管	関東 (神奈川県)	1,200トン/年 計画中		金属とプラスチックを分別。
三菱マテリアル	四国 (香川県)	3.6万トン/年	03年10月 稼働予定	可燃物を溶融炉で燃焼エネルギー回収し、溶融物を銅製錬炉で処理し、有価金属を回収する。

(出所) 各社資料、新聞報道などにより政策銀作成

銅、鉛でも20%前後となっている。これは、グループ企業が取り組んでいる家電リサイクル事業や産業廃棄物処理業などのグループ事業との密接な連関に基づくものである。同じ同和鉱業グループの(株)エコリサイクルは秋田県北エコタウン事業の中核事業の一つとして家電リサイクルBグループ(ソニー、三洋電機、シャープなど)のリサイクル拠点に指定されており、そこから発生する基盤類⁶や、ブラウン管に含まれる鉛は小坂製錬(株)で金属回収されている⁷。

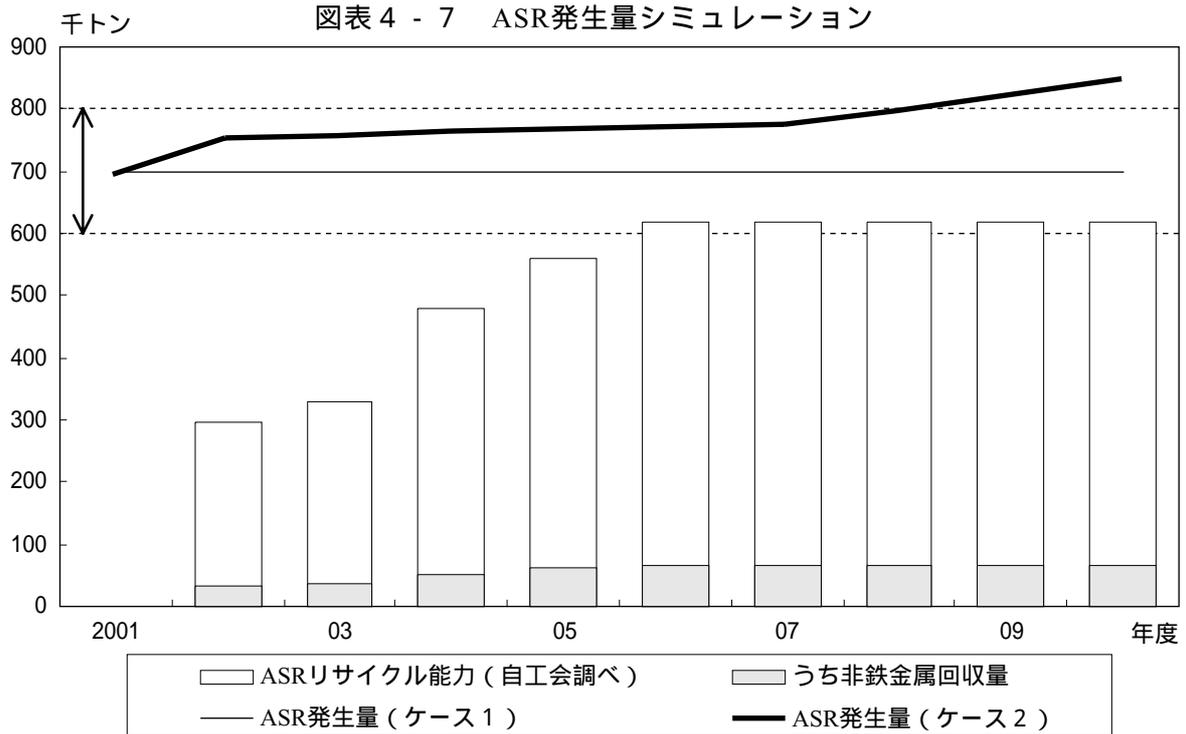
4．今後の使用済み製品からの金属回収の見通し

以上のように製錬所の成り立ちなどから、各社のプロセスやその事業範囲は異なっているものの、稀少資源である非鉄金属類を使用済み製品から回収するリサイクル技術基盤として製錬所に大きな役割が期待されることに変わりはない。その対象は電気電子機器のように金属含有比率の高いものから、今後法規制の導入・強化により増加することが確実である自動車や家電のシュレッダーダストといった処理困難物まで多岐に亘っている。ASRについては一般に年間60～80万トン程度が安定的に国内で発生するとの見方もあるが、80年代以降の自動車の重量化などを考えるとその発生量がさらに増加しても不思議ではない。図表4-7は自動車の素材構成変化、および重量変化を織り込んでシュレッダーダストの発生量を試算したものであるが、自動車重量の増加を織り込んだケース2の場合、2010年にかけてASR発生量が継続的に増加することが見込まれる。

同様に、90年代以降普及の著しい携帯電話やパソコン等の電気・電子機器類についても図表4-8で試算を行った。実際には機種によって回収のされ方や適用されるリサイクル方法も様々であるが、金属回収源として大きな潜在力を持っていることがわかる。

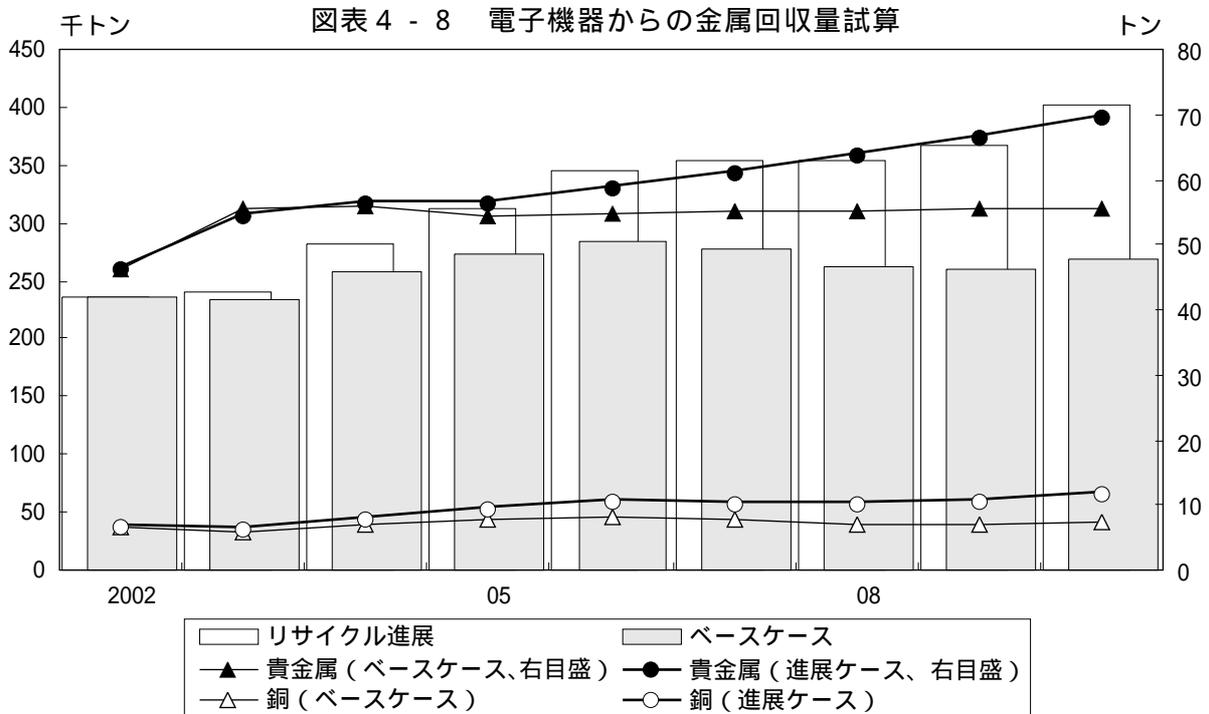
製錬所はその成り立ちから、立地が固定されており、排出源からの輸送などの面で必ずしも有利とはいえないが、非鉄金属製錬の基盤無しには、こうした金属資源を効率的に分離回収することは難しい。稀少資源の有効利用の観点から、製錬技術や設備などリサイクル基盤の一層の有効活用に向けて、物流、集荷を含めた効率的なりサイクルシステムの構築が望まれる。

-
- 6．家電に使われている廃基板類については、PCなどと違って希少金属があまり使われず銅主体であり、かつその含有量も少ないため、そのままでは製錬工程に直接投入できない。このためグループ企業で産業廃棄物中間処理を担う同和クリーンテックス(株)で焼却し、銅品位を50%程度にしてから小坂製錬(株)で金属回収している。
 - 7．当社の工程の特徴としてはブラウン管ガラスをパネルガラスとファンネルガラスとに分解する必要がない点がある。一般にファンネルガラス中には鉛コーティングが含まれるため、処理が難しいとされるが、当社ではブラウン管を小坂製錬(株)の鉛製錬工程に投入しているためこの問題がない。またガラスのシリカ分は製錬工程の副原料として使用されている。



- ・ ASR発生量(ケース2)は、自動車の素材構成変化、重量変化を織り込み、電炉投入率10%を想定して政策銀が試算。
- ・ ASRリサイクル能力は、自動車工業会による積み上げデータ(最大能力予測)。
- ・ 非鉄金属回収量は、処理能力×ASRに占める非鉄金属(アルミ、銅、亜鉛、鉛等)の重量比。

(出所) 政策銀作成



- ・ 処理量は家電4品とPC(鉄スクラップとガラス分を除く)と携帯電話。
- ・ ベースケースとリサイクル進展ケースは回収率の変化による相違。
- ・ 貴金属は、金、銀、パラジウムを計上。

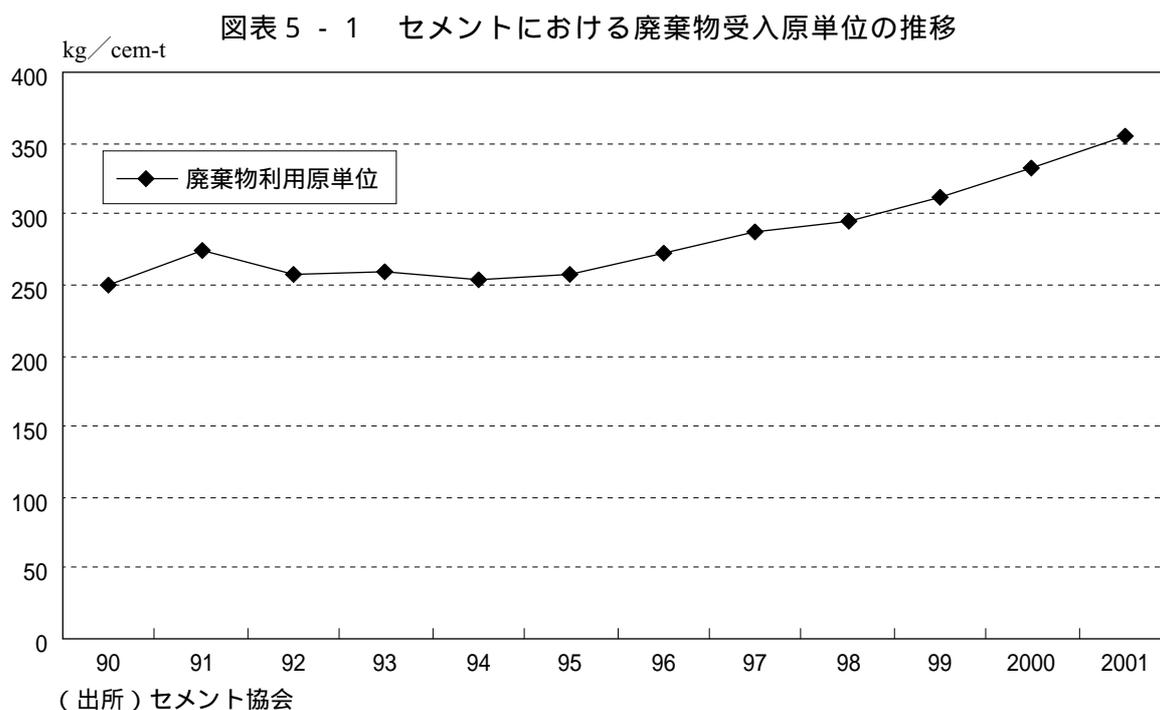
(出所) 政策銀作成

第5章 高度化するセメント産業のリサイクル機能

セメント産業は古くから、国内の各製鉄所で発生する鉱滓などの廃棄物・副産物を原料として用いてきた産業である。近年、企業が環境配慮の観点から廃棄物ゼロエミッションへの取り組みを強化するなかで、多様な廃棄物を原燃料として有効利用できるセメント産業への期待が高まっている。本章ではセメント産業による廃棄物利用の新しい展開を概観する。

1. セメント産業における廃棄物・副産物の利用

図表5-1は(社)セメント協会調べによるセメント産業の廃棄物利用原単位の推移である。セメント原料としての廃棄物・副産物の受入量は2001年度で2,806万トンであり、これはセメント1トンあたり354kgをリサイクル原料として使用した計算になる。



セメント業界では2010年までにこの原単位を400kg / cem-tにまで上昇させる目標を掲げているが、こうした廃棄物の利用が可能となっているのは、製品・製造工程の特徴によるところが大きい。セメントの主成分は石灰(CaO)、珪素(SiO₂)、酸化鉄(Fe₂O₃など)などであり多くの廃棄物と構成する元素が類似していることから、各原料を効率よく調合することによって天然原料からの置換えが可能になる。図表5-2は鉄鋼スラグと普通ポルトランドセメントの成分を示したものであるが、両者の構成する元素が類似していることがわかる。加え

て、セメントキルンの内部は1,400～1,500 もの高温となるため、ほとんどの廃棄物が無害化され、残った灰分はほぼ全量セメント原料として利用可能である。このように2次廃棄物・副産物がほとんど発生しないという特徴は、他の素材型産業と比較しても特筆すべき点である。

図表5 - 2 普通ポルトランドセメントと鉄鋼スラグの成分

(単位：重量%)

種類 成分	高炉スラグ	製鋼スラグ			安山岩	普通 ポルトランド セメント
		転炉スラグ	電気炉スラグ			
			酸化スラグ	還元スラグ		
SiO ₂	33.8	13.8	17.7	27.0	59.6	22.0
CaO	42.0	44.3	26.2	51.0	5.8	64.2
Al ₂ O ₃	14.4	1.5	12.2	9.0	17.3	5.5
T-Fe	0.3	17.5	21.2	1.5	3.1*	3.0**
MgO	6.7	6.4	5.3	7.0	2.8	1.5
S	0.84	0.07	0.09	0.5	-	2.0***
MnO	0.3	5.3	7.9	1.0	0.2	-

(出所) 日本エネルギー学会編、「日本エネルギー学会誌」第81巻第2号「鉄鋼スラグの利用」より

(注) *FeOとして、**Fe₂O₃として、***SO₃として

こうしたセメント産業の特徴を反映して、原燃料として利用できる廃棄物、副産物は図表5 - 3のように多岐に亘る。特に高炉スラグ¹(図表5 - 4)、廃タイヤ(図表5 - 5)などでは、その有効利用に占めるセメント原料化が大きな位置を占めている。

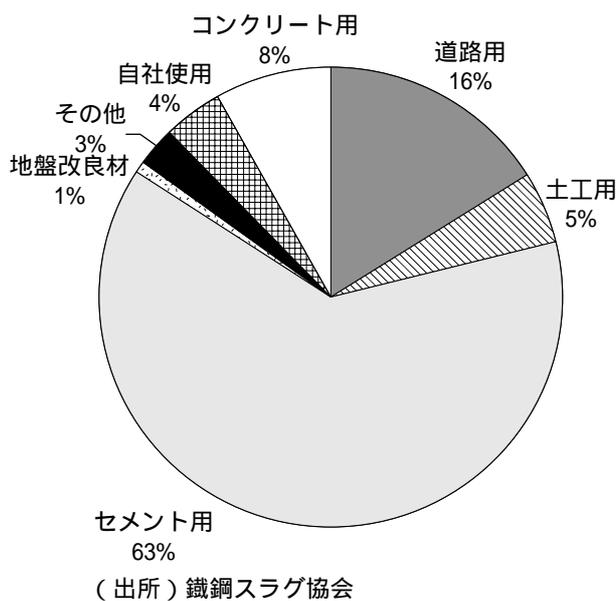
図表5 - 3 セメント工場で受け入れられている廃棄物・副産物

	主な用途
高炉スラグ	原料・混合材
石炭灰	原料・混合材
副産石こう	原料(添加材)
汚泥・スラッジ	原料
非鉄鉱滓等	原料
製鋼スラグ	原料
鋳物砂	原料
燃え殻(石炭灰は除く)・ばいじん・ ダスト	原料・燃料
ボタ	原料・燃料
廃白土	原料・燃料
廃タイヤ	燃料
再生油	燃料
廃油	燃料
廃プラスチック	燃料

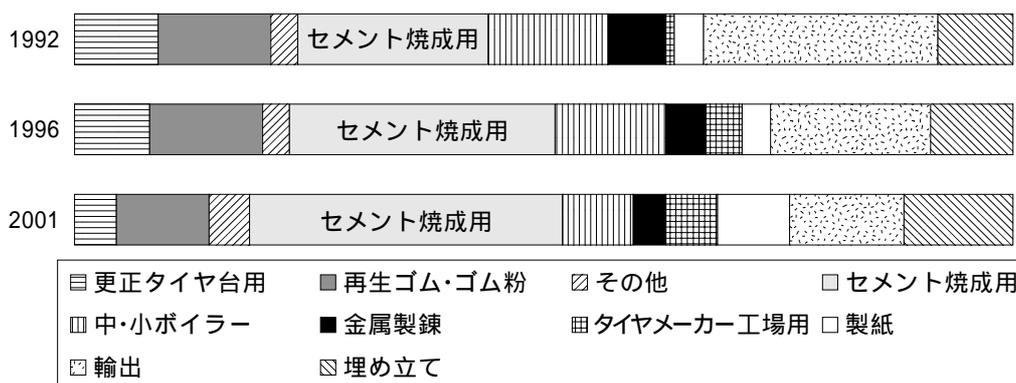
(出所) セメント協会

1. 高炉スラグとは、鉄鉱石から銑鉄を製造する際に、溶鉱炉で生成する不要成分である。かつては埋立、製鉄所内の工事資材として利用されていたが、1960年に高炉セメントのJISが改正されて以降セメント原料としての使用が拡大してきた。

図表 5 - 4 高炉スラグの有効利用に占めるセメント用の割合



図表 5 - 5 廃タイヤ有効利用に占めるセメント焼成用の比率の推移



2 . 廃棄物受入原単位の拡大に向けた課題

しかしこれまで順調に廃棄物利用原単位を拡大してきたセメント産業にとっても、設定されている400kg / cem-tという目標の達成は容易なものではなく、幾つかの課題を抱えている。

粘土以外の原料代替

まず原料の多様化に係る課題である。セメントを1トン製造するには石灰石、珪石、粘土など合計1.4トンの原料が使用されるが、このうち廃棄物により代替されるのは主に粘土の部分である。既に粘土分の8割が廃棄物に代替されているといわれ、今後この部分での代替余地は限界的である。したがって今後の廃棄物使用原単位の拡大は、燃料系あるいは石灰石、珪石や焼成用の燃料など、現状では廃棄物への置換えが進んでいない原料部分への代替に依

存することになる。しかし粘土以外の原料については成分上、廃棄物による代替が難しいのが現状である。

また、燃料代替についても廃プラの利用拡大が期待されているが、現状の技術を前提とすると燃焼温度の維持が難しく、燃料使用量の2～3割程度が限界といわれている。燃料の半分を廃棄物で代替するためには廃プラをガス化して使用するなどの技術革新が必要となり、既存の設備だけでの対応は困難であるとされている。

塩素含有廃棄物の問題

加えて、廃棄物の利用拡大に向けて問題になるのが、塩素濃度による制約である。鉄筋の腐食を防ぐ観点からセメント中の塩素濃度はJIS規格の対象となっているが、受け入れる廃棄物中には、塩素濃度が高いものも少なくない。塩素対策としては塩素バイパス設備の増強による対応が有効とされる。塩素バイパス技術（De chlorine bypath）とは、原料として取り込んだ廃棄物に含まれる塩素がプレヒーターを閉塞させる障害を防ぐためのもので、濃縮された塩素ガスを抽気・バイパスさせて系外に塩素を抽出する技術である。抽出された塩素の一部は再び製品に添加される。各社は抽気率の引上げを検討するとともに、回収された塩類を肥料用や鉱業用に再資源化するなどの技術が研究されている²。

また、制度面でもJIS規格が求めるセメント含有塩素上限値³を現在の200ppmから350ppmに引き上げることが見込まれている（2003年夏）。現在の規格は、海外の同種の基準よりも非常に厳しいものであるため、セメント品質への影響を観察する必要があるものの、さらなる規制緩和の余地があるとみられている。

企業間、地域間の格差

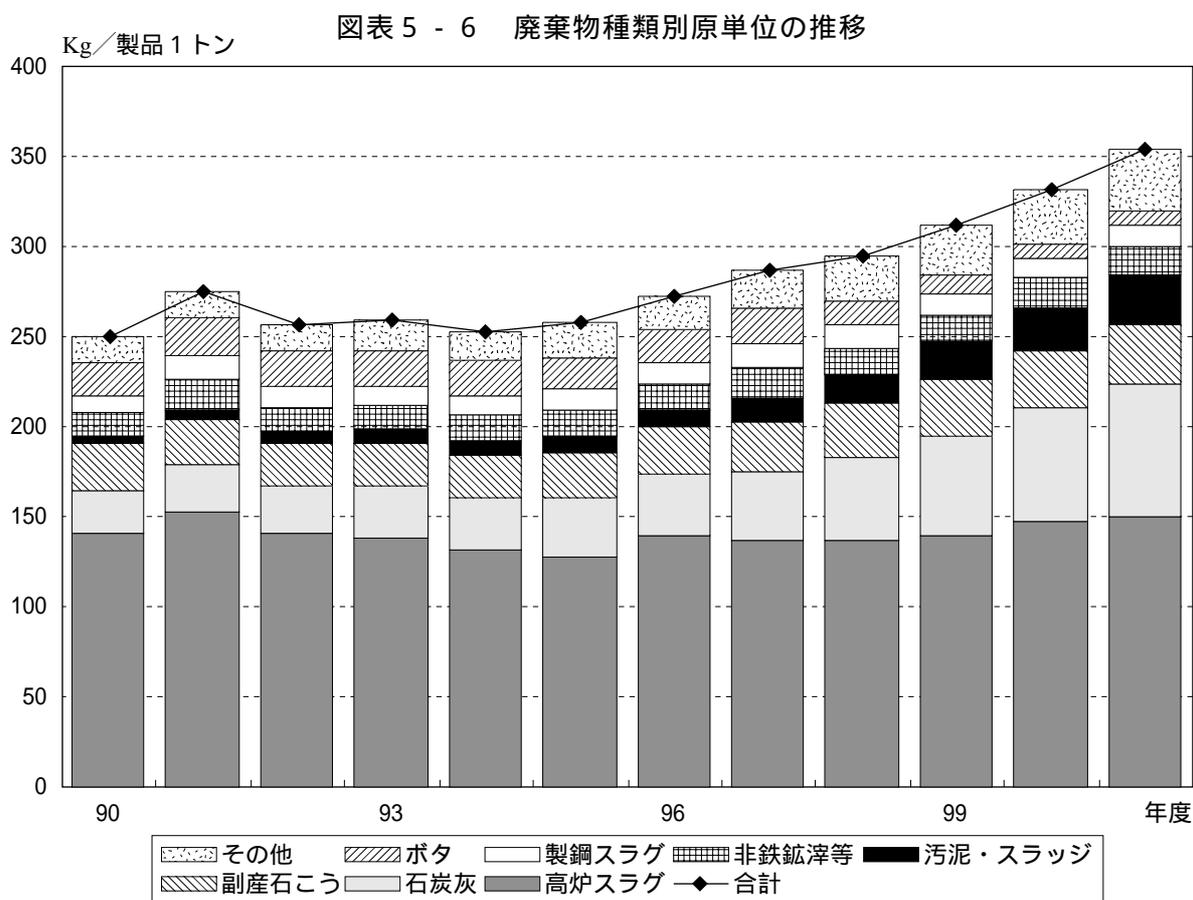
現状、リサイクル技術や受入設備の整備状況にはセメント企業間で格差があるほか、廃棄物の発生状況の地域差や、セメント工場が西日本に偏在していることもあり、原単位水準には工場ごとにばらつきがある。これを高いレベルで水平展開できれば、廃棄物受入れ能力の拡大が期待できる。

-
2. 具体的には塩素バイパスから抽出した塩素ガスを水洗脱塩して塩を回収し、これを肥料用や工業用に再資源化する技術（高塩素含有リサイクル資源対応のセメント製造技術）の開発である。これは経済産業省の技術開発基本計画としてNEDOの補助を得て行われているもので、2003年5月には実証設備が稼働開始となる予定（6t/dの塩を回収）である。実用化されれば、抽出した塩素を再び工程に戻す必要がなくなり、セメントへの負荷を軽減することが可能になる。
 3. 鉄筋腐食への影響を考慮して定められているもの。海外に比べても厳しい水準であり、また骨材や水を低塩素のものにすればコンクリート段階での塩素濃度は下がることから、セメント業界では見直しを求めている。コンクリートでの総量規制の方向で検討が進められている。

太平洋セメントの関東アッシュセンター建設などは、こうした工場間格差への対応事例として注目できる。これは、石炭火力発電所から発生する石炭灰の積替補完機能、中間処理機能を併せ持つ施設として2001年4月に稼動したものであり、東北地区で発生する石炭灰を埼玉県のセメント工場で活用するための拠点として機能している。臨海部の発電所から臨海部のセメント工場に海上輸送によって大量の石炭灰を輸送するという従来の手法には馴染まない内陸部のセメント工場の活用に向けた新たなモデルと位置付けられるだろう。このように今後は、廃棄物の主な排出源である首都圏と地方にあるセメント工場間の効率的な輸送網の整備などにより、工場間の取組み格差を縮小していくことが重要である。また、これに応じた規制緩和措置も検討されるべきであろう。

3. リサイクルの高度化

原単位の増加が上記のような制約要因を抱えるなかで、現在セメント各社はよりリサイクルが困難な廃棄物の利用に向けた研究や設備投資を行うなどリサイクルの高度化に向けて対応を進めている。



(出所) セメント協会

図表5 - 6は廃棄物使用原単位の推移を廃棄物の種類別にみたものである。原単位が一貫して増加するなか受け入れられている廃棄物の比率は年々変化している。特に近年では都市ゴミや下水汚泥など生活系廃棄物や、火力発電所などから排出される石炭灰といった、発生量が増加しており、かつリサイクルの取組みが進展していない廃棄物は、相対的に高い処理料が見込めることもあって、セメント各社ではこうした品目の受け入れを増加させている。

セメントの種類には、最も生産量が多い汎用品種である普通ポルトランドセメントや混合材として30%～70%の量の高炉スラグを用いる高炉スラグなどの混合セメント、セメント原料の50%が都市ゴミ焼却灰や下水汚泥などからなるエコセメントなどが存在し、各々品質や用途が異なっている。各社の取組みは原料に占める廃棄物の割合が高いエコセメントの製造、生産量の多い普通セメントの原料として処理が困難な廃棄物の利用を拡大することなどに大別できる。

図表5 - 7 セメント産業のリサイクル機能高度化に向けた各社の取組み

太平洋セメント	<ul style="list-style-type: none"> ・一般廃棄物焼却灰をセメント原料化する「灰水洗システム」、一般廃棄物を好気性発酵によりセメント原料化する「AKシステム」、三井物産との共同出資による市原エコセメントが取り組んでいる「エコセメント」事業の3つを柱とする。 ・建設系廃材など木くずや汚染土壌などにも処理対象を拡大する計画。
住友大阪セメント	<ul style="list-style-type: none"> ・各工場での塩素バイパス設備や下水汚泥の受け入れ設備の増強、国内初となる使用済みFRP（強化プラスチック）製品の再資源化に取組む。
三菱マテリアル	<ul style="list-style-type: none"> ・資源・環境・リサイクル事業室を新設し非鉄金属製錬など多部門に渡る事業で横断的な取組みを強化。直島エコタウン計画のASRリサイクル施設では、銅製錬プロセスで金属回収した後、スラグをセメント原料として利用する。
トクヤマ	<ul style="list-style-type: none"> ・廃プラ燃料化プラントの増強により2003年7月の稼働時には年8万5千トンの受け入れが可能となる。
山口エコテック	<ul style="list-style-type: none"> ・トクヤマと宇部興産の合併会社。 ・やまぐちエコタウン基本構想の中核プロジェクトの一つとして山口県内のごみ焼却施設から排出される焼却灰をトクヤマの南陽工場および宇部興産宇部工場の普通セメント用原料として再資源化。2002年4月より営業運転開始。
日立セメント	<ul style="list-style-type: none"> ・焼却炉を持たず埋立処分されていた下水道処理場の下水汚泥をセメント原料として利用。

（出所）各社発表資料、各種報道資料より作成

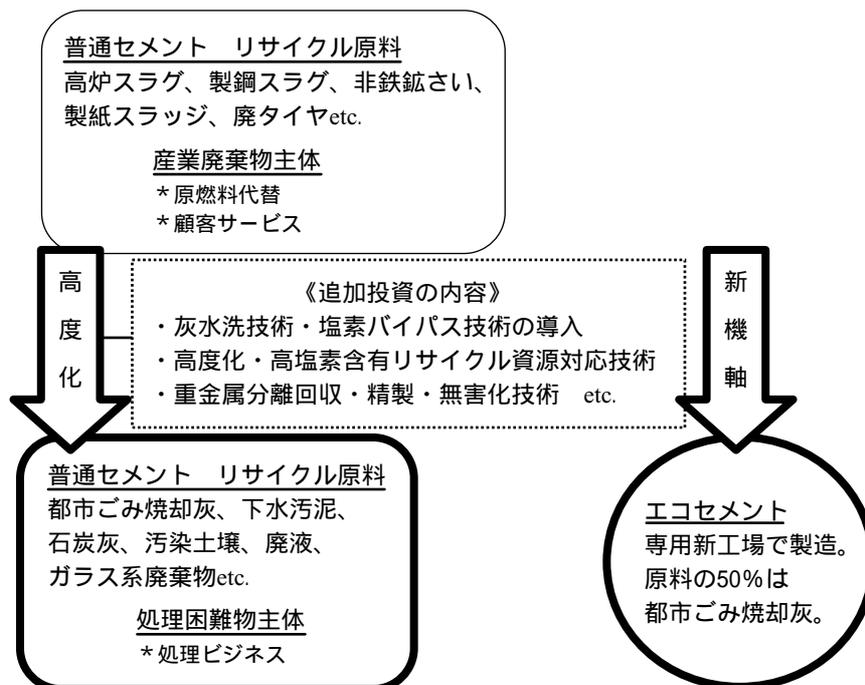
例えば、太平洋セメント(株)では、熊谷工場において都市ごみ焼却残さである焼却灰とばいじん（飛灰）のセメント資源化を行っている。塩素濃度が高い（10～20%）うえに微量ながらダイオキシンや重金属類を含有するばいじんは処理困難な廃棄物であるが、同社は高度な排水処理機能⁴を備えた灰水洗システムによって塩素濃度を低下させたのち、キルンに投入することで無害化を実現している。また、埼玉工場では立地する日高市の一般廃棄物をそのままセメント工場で受け入れ、遊休キルンを改造した「ごみ資源化キルン」で好気性発酵を行った後、セメント原燃料として活用するAKシステムの稼働を開始しているほか、大船渡工

4．灰の水洗に用いられた廃液はアルカリ性であるが、同社のシステムではこれにキルンからの排ガスを注入することで中和させた後に複数段階の凝集沈殿、ろ過を施すという専用の排水処理設備を備えている。

場で建設発生土の受け入れを計画している。さらに三井物産(株)との共同出資による市原エコセメント(株)でエコセメント製造に乗り出すなどその取組みは多岐に亘る。一方、住友大阪セメント(株)は各工場での塩素バイパス設備の増強する方針を示しているほか、栃木工場において日本初となる使用済みFRP(強化プラスチック)製品の再資源化に取り組んでいる。セメント、非鉄金属製錬の両事業を持つ三菱マテリアル(株)の取組みは両事業を両輪としてワンストップ型の処理(ゼロエミッション)を可能としているのが特徴的である。これから本格化させるASR(廃自動車シュレッダーダスト)処理も、まず銅精錬プロセスで金属回収し、発生するスラグをセメントの鉄源として利用することとしている。

しかし、こうした比較的処理が難しい廃棄物を利用することで、新たな研究開発費や高度な塩素処理プロセスの新設、従来はそれほど必要のなかった前処理工程が必要となるなど企業のコストは増加傾向にあるため、事業採算上からも安定的な廃棄物量、相応の処理費用水準の確保は必須である。現在までのところ、セメント産業は中間処理、最終処分といった一般的な産業廃棄物処理と比べて安価でかつ2次廃棄物を発生させないリサイクル基盤として広く活用されているが、その受け入れる廃棄物の範囲がより難易度の高いものに拡大するなかで、従来はセメント産業によってリサイクルが担われてきた廃棄物について社会的に新たな対応が迫られる可能性がある。

図表5 - 8 高度化するセメント産業のリサイクル機能



(出所) 政策銀作成

第6章 リサイクル基盤の高度化に向けて

1. 素材型産業によるリサイクル事業の基礎条件

本稿では第2章から第5章にかけて紙パルプ、鉄鋼、非鉄金属、セメントの各素材型産業のリサイクルに関する取組みとその特徴、さらに今後の方向性について概観してきた。第1章で整理した素材型産業が持つ共通の強みを活かした形で各々の産業がこれまでの実績として、あるいは今後の潜在力として資源循環に寄与する産業であることを確認できた。

紙パルプ産業では従来の製紙用原料としての古紙利用が限界を迎えつつあるなかでRPFの利用などサーマルリサイクルの重要性が増しつつあること、鉄鋼産業ではこれまで再生品の需要や再資源化コストの問題などから事業性が展望しにくかった廃プラリサイクルについて効率的なプロセスを構築しており、今後の課題はその巨大なポテンシャルを活かすための廃プラ収集など入口部分における制度面にあることを確認した。また非鉄金属製錬業は、高度な金属回収が可能であるという他のプロセスにはない特徴から、今後更なる拡大が見込まれる自動車や電気電子機器のリサイクルにおいて大きな役割が期待される一方、その成り立ちから立地制約を受けやすく、効率的な収集・運搬体制の構築など物流面に課題が残ることを指摘した。最後にセメント産業では受入廃棄物の量的な拡大（原単位増加）や多様化（処理困難物の対象化）が順調に進展しているが、地域間、工場間の格差解消、塩素含有廃棄物の受け入れ増加に伴う技術的対応、品質規格整備などの制度的対応が課題であった。

このように各産業では受け入れる財や最終製品の需給バランスなどの違いを反映して抱える課題こそ異なっているものの、各産業の特徴を活かしつつ、その製造プロセスに廃棄物を原料として投入し、リサイクル事業の展開を図っている点では共通している。こうして各素材型産業において原燃料として受け入れられている廃棄物の量は本稿で紹介した4業種合計で3,420万トンにも及び、その経済効果を現状の受入手数料などをもとに簡便に試算すると3,107億円となり、既に相当な規模になっている。加えて前章までに紹介した鉄鋼業による廃プラ利用や、非鉄金属精錬業によるシュレッダーダストの利用などでその潜在力の活用が一層進展した場合、その規模は4,547万トン、7,278億円にまで拡大する余地を持っている。このように各素材型産業は各々が持つ設備、技術をもってリサイクル基盤としての機能を有しているといえるが、その機能を補強するものとして、これまで明示的に触れてこなかった強みがもう一点あることは協調されるべきである。それは、各産業間の連携による効率的な資源循環システムの存在（「資源循環クラスター」）である。これまでみてきた各産業のリサイ

図表 6 - 1 素材型産業 4 業種におけるリサイクル原料の使用量と経済規模

	(単位)	紙パルプ	鉄鋼	非鉄金属製錬	セメント	合算
		紙部門における古紙利用	廃プラ利用	シュレッダーダスト利用	廃棄物利用	
現状利用量(2001年)(A)	万t	583	19	12	2,806	3,420
潜在的な利用可能量(B)	万t	659	664	60	3,164	4,547
今後のポテンシャル(B)-(A)	万t	76	645	48	358	1,127

現状の廃棄物利用が各産業に与える増収効果	億円	1,361	101	30	1,615	3,107
潜在的な利用可能量をフル活用した場合(C)	億円	1,471	3,326	150	2,331	7,278

(留意点)

- ・なお試算では逆有償で受け入れた廃棄物の処理手数料を売上として換算した金額を算出しているが、古紙については有償であるため、バージンパルプを利用した場合と比較して得られる原材料低減効果を示している。
- ・試算では、紙パルプ産業の紙(洋紙)部門における古紙利用、鉄鋼業の廃プラ利用、非鉄金属製錬業におけるシュレッダーダスト利用、セメント産業による廃棄物利用のみを計算の対象としており、各産業がその他に行っている土壌浄化事業やその他のリサイクル事業はおりこんでいないため、実際の売上高はより大きくなるものと思われる。

(試算前提)

- ・潜在的な利用可能量(B)の算出にあたっては各産業の生産量は一定としている。
- ・紙パルプの効果算出においては板紙部門を除く紙(洋紙)部門における古紙利用の効果のみに着目し、本稿第2章、図表2-6のデータを用いてバージンパルプ100%利用時と比較した原材料費低減の効果を計算した。
- ・鉄鋼業では本稿第3章、図表3-7の試算データを用いて利用可能量を算出。処理単価は7万円/トンとした。
- ・非鉄金属製錬では、今後発生が予想される自動車、家電4品、PCのシュレッダーダスト排出量予測(本稿第4章、図表4-7、4-8)のうち5割が非鉄金属製錬で利用されると仮定。処理単価は25万円/トンとした。
- ・セメントでは、社団法人セメント協会の統計を用い、セメント産業における高炉スラグを除く廃棄物の利用量と処理単価1万円を用いて現状利用料を算出。今後は一般廃棄物焼却灰などより処理単価の高い品目にシフトすると予想されることから、セメント1トンあたり400kg/㏍emに向けた今後の拡大分については処理単価2万円/トンとした。

(出所)政策銀作成

クル事業は、このクラスター機能を前提に展開してきたという評価も可能である。ところが、近時の産業構造の変化や経済のグローバル化は、従来素材型産業のリサイクル事業を支えてきたクラスター機能を刻々と変化させており、これが今後の資源循環の在り方に与える影響も小さくないと思われる。そこで次にこの点を見てみよう。

2. 資源循環クラスターと新たな動き

(1) 資源循環クラスター

素材型産業における廃棄物利用の取組みは、そのほとんどが各素材の製造プロセスにおける原燃料としての利用であるため、リサイクルの結果として産出される最終製品は素材そのものであり、従来のリサイクル産業が抱える出口問題、すなわち再生品の需要不足の問題とは無縁であることは第1章で既に指摘した。しかし、セメントを除く紙パルプ、鉄鋼、非鉄金

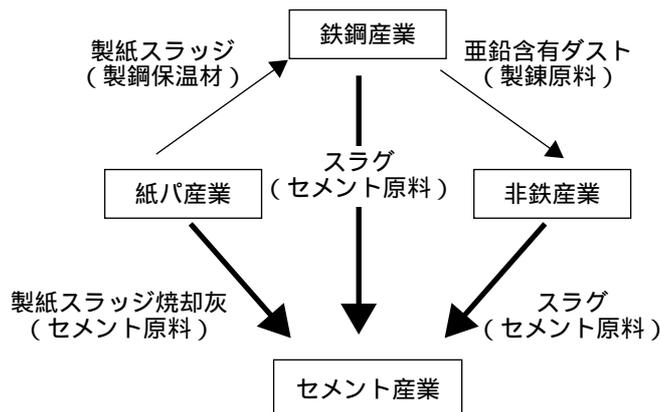
属製錬では廃棄物原料を利用するしないに関わらず、生産に伴い副産物¹が発生する。これは各産業が鉄鉱石や木材といった原料から金属や繊維などを抽出し、純度を高めていくプロセスであることから当然のことである。副産物の発生量は図表6-2にみるように業種による相違はあるものの、総じて相当な量に達する。各産業では、こうした副産物の有効利用の拡大、リサイクル率の向上に努めてきたが、その多くを担ってきたのがセメント産業というのが現状である。図表6-3に示すように、各産業の副産物利用の連携が2次廃棄物をほとんど発生させないセメント産業を中核に据えて成立しており、これまでみてきた個別産業のリサイクル事業も基本的に、この資源循環クラスターを前提に構築されてきたとみることができる。しかしながら現在、この資源循環クラスターに大きな変化が生じつつある。

図表6-2 各産業で発生する副産物

		発生状況	有効利用率	有効利用状況
鉄鋼	高炉スラグ	2,329万t (2001年)	99%	セメント原料63%、道路利用16%、コンクリート用8%など。
	転炉スラグ	1,050万t (2001年)	99%	自社利用32%、道路用17%、土工用33%、セメント用7%など。
非鉄金属 (銅、鉛、亜鉛)	非鉄鉱滓	320万t (1999年)	81%	セメント原料、覆土材など。
紙パ	ペーパースラッジ	古紙投入量の10~30%	-	焼却によるエネルギー回収。焼却灰はセメント原料、土壌改良材、などとして利用。

(出所) 経産省資料、鉄鋼スラグ協会資料などより政策銀作成

図表6-3 セメントと3産業の関連図



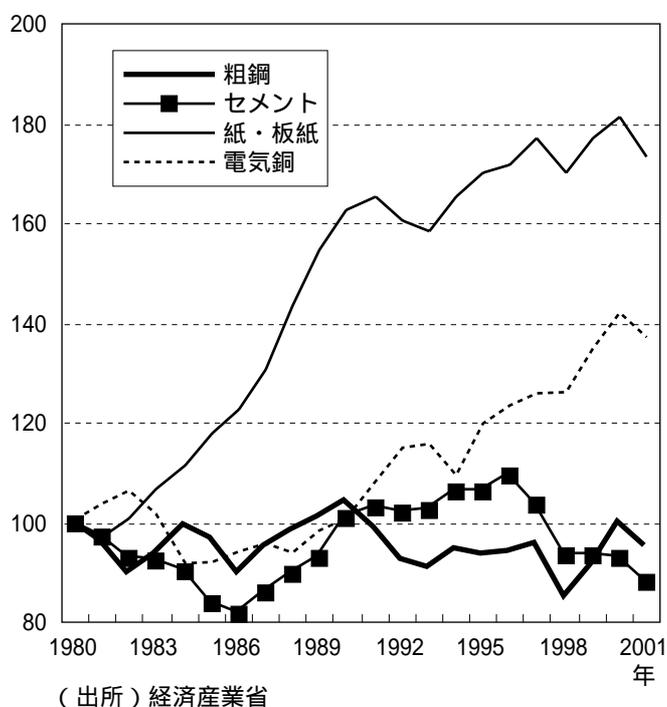
(出所) 政策銀作成

1. ここでいう副産物とは有価、無価を問わず生産に伴い発生する、主製品以外の物質を指す。

(2)セメント産業の変化

図表6-4にみるように、長引く建設不況を受けて国内セメント生産量は他の素材産業の生産量と比較しても縮小が急激に進んでいる。また、第5章でみたようにセメント産業による受入れ廃棄物も、よりリサイクルが困難なものへのシフトを強めている。各産業から排出される副産物の最大の受け皿であったセメント原料化が、原単位の改善以上のピッチで進む生産量の減少(量的な制約)や、対象物の変化(質的な制約)という事態を迎えたことにより、これまで絶妙のバランスで成り立ってきた素材型産業間の資源循環クラスターへの影響は避けられない。副産物の発生抑制と有効利用の拡大がこれまで以上に重要な課題となる²。

図表6-4 素材産業の生産指数(1980年=100)



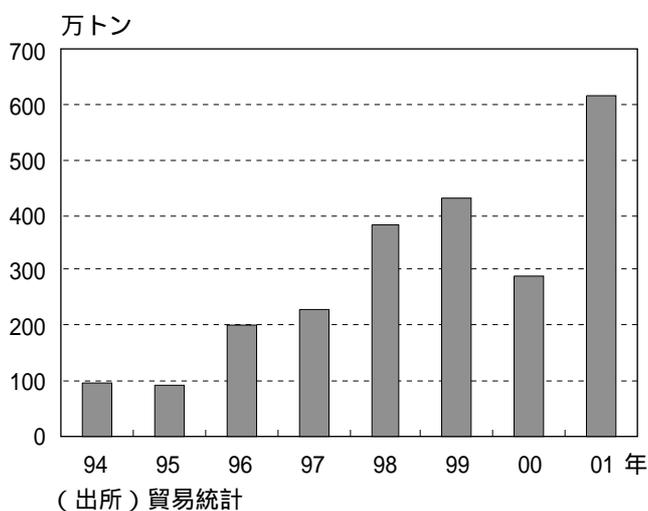
(3)資源循環の国際化

さらに近年顕著となった資源循環の国際化の影響も無視できない。2002年には中国を中心とするアジア地域における素材生産の高まりなどを受けて古紙、鉄スクラップの輸出が急増

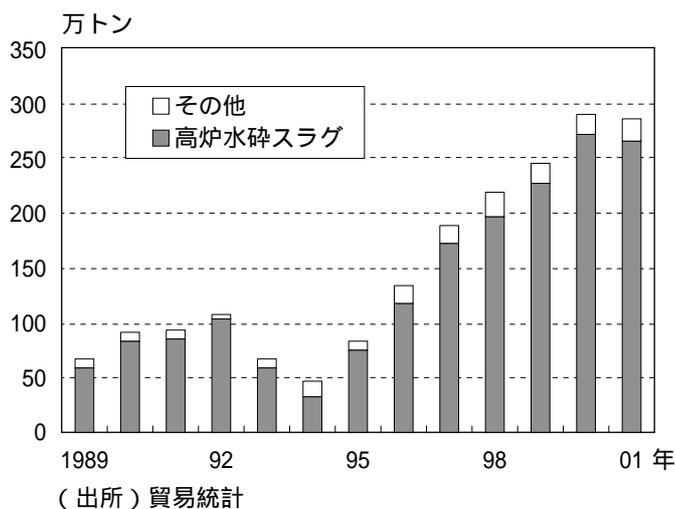
- 古紙の投入量増加がペーパースラッジの発生増加になることは第2章で触れた。鉄鋼における廃プラリサイクルにおいては純粋なプラスチックはほとんど灰分を含まないのでスラグの生成量はむしろ減少するが、異物の混入が多い場合はそれらが2次廃棄物となるため、発生源での分別徹底や、異物除去工程で取り除かれた塩化ビニルなどの有効利用が副産物発生抑制にむけて重要となる。除去された塩化ビニルのリサイクル技術は日本鋼管(株)により、技術的には確立されている。

し、これらの国内市況が急騰する局面が訪れ、国内の紙パ各社、電炉各社はその対応に追われた。その一方でセメント原料となる高炉スラグも輸出が増加しているほか、家電など再生樹脂の需要家産業の製造拠点が海外移転したことなどに伴い廃プラスチックも輸出増加が目につく。このように循環資源の需要や価格形成は既に国内に限って議論できる環境ではなくなりつつある。事実、2002年には環境省が従来は原則禁止されてきた産業廃棄物の輸出を条件付で認める方針を打ち出しており、こうした流れのなかで北陸電力敦賀火力発電所から排出された石炭灰が韓国のセメントメーカー双龍洋灰工業（双龍セメント）に原料として輸出されるなどの事例もみられるようになった。

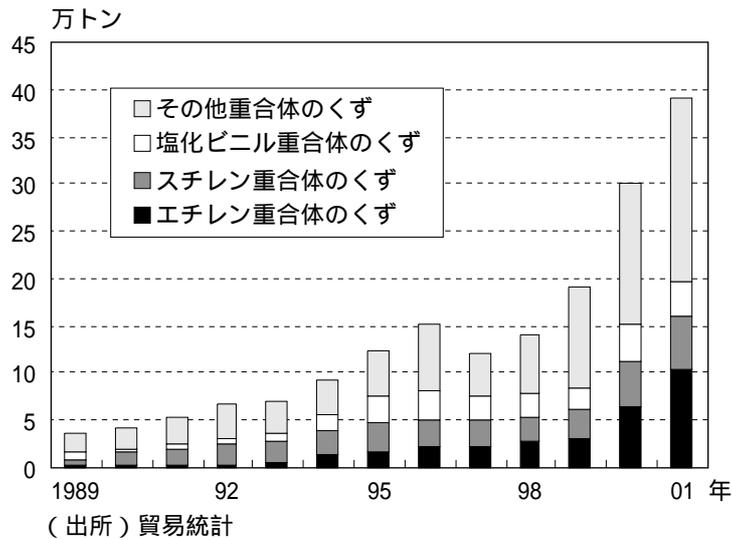
図表 6 - 5 鉄スクラップ輸出の推移



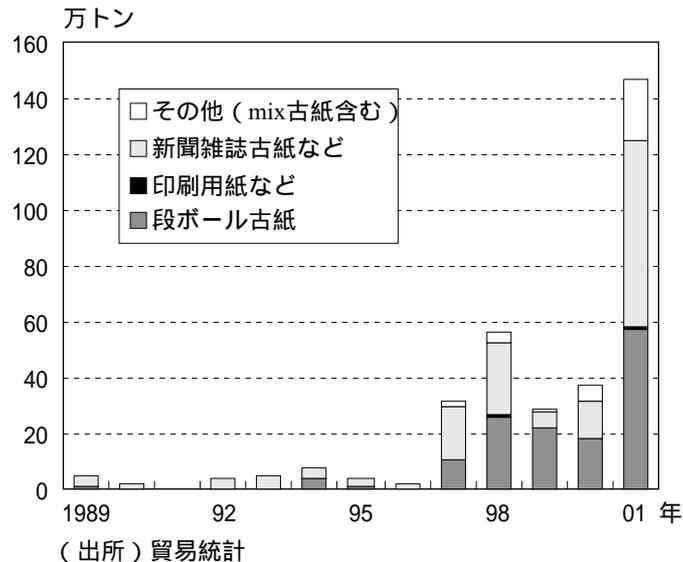
図表 6 - 6 鉄鋼スラグ輸出の推移



図表 6 - 7 廃プラの輸出の推移



図表 6 - 8 古紙の輸出の推移



資源循環の国際化の動きは、古紙や鉄スクラップなど従来は国内の需給を中心に価格が形成されてきた財の価格上昇を伴うといった意味で国内素材産業のコスト増要因となる。一方で、国内の受け皿であるセメント産業の生産減少に伴ってその利用先が縮小しつつある高炉スラグなどの輸出拡大は素材産業における副産物の有効利用先の拡大を意味しており、国際化が進展することの得失は一様ではない。リサイクルを偽装した有害廃棄物の越境移動（バーゼル条約違反）のような輸出が横行する危険性については別途の議論が必要となるが、自由貿易の観点に立てば古紙や鉄スクラップなどの循環資源の輸出増加は自然な流れである。この観点からは、国内でのリサイクルが飽和状態にある循環資源について海外にその利用先を求めることも一つの有効な選択肢といえるだろう。しかし、こうした副産物の輸出

は仕向け地での有効利用の確認が困難な場合が多く（廃棄物輸出との境界があいまい）、また経済性を伴わないのが通常であるため、ここに過度の期待を寄せるのは問題である。より重要なのは、国内における副産物の発生抑制を低コストで実現することであり、副産物の品質を管理することでその用途の確保・多様化を図っていくことであると考えられる。

3．リサイクル基盤の高度化に向けて

(1) 今後の方向性

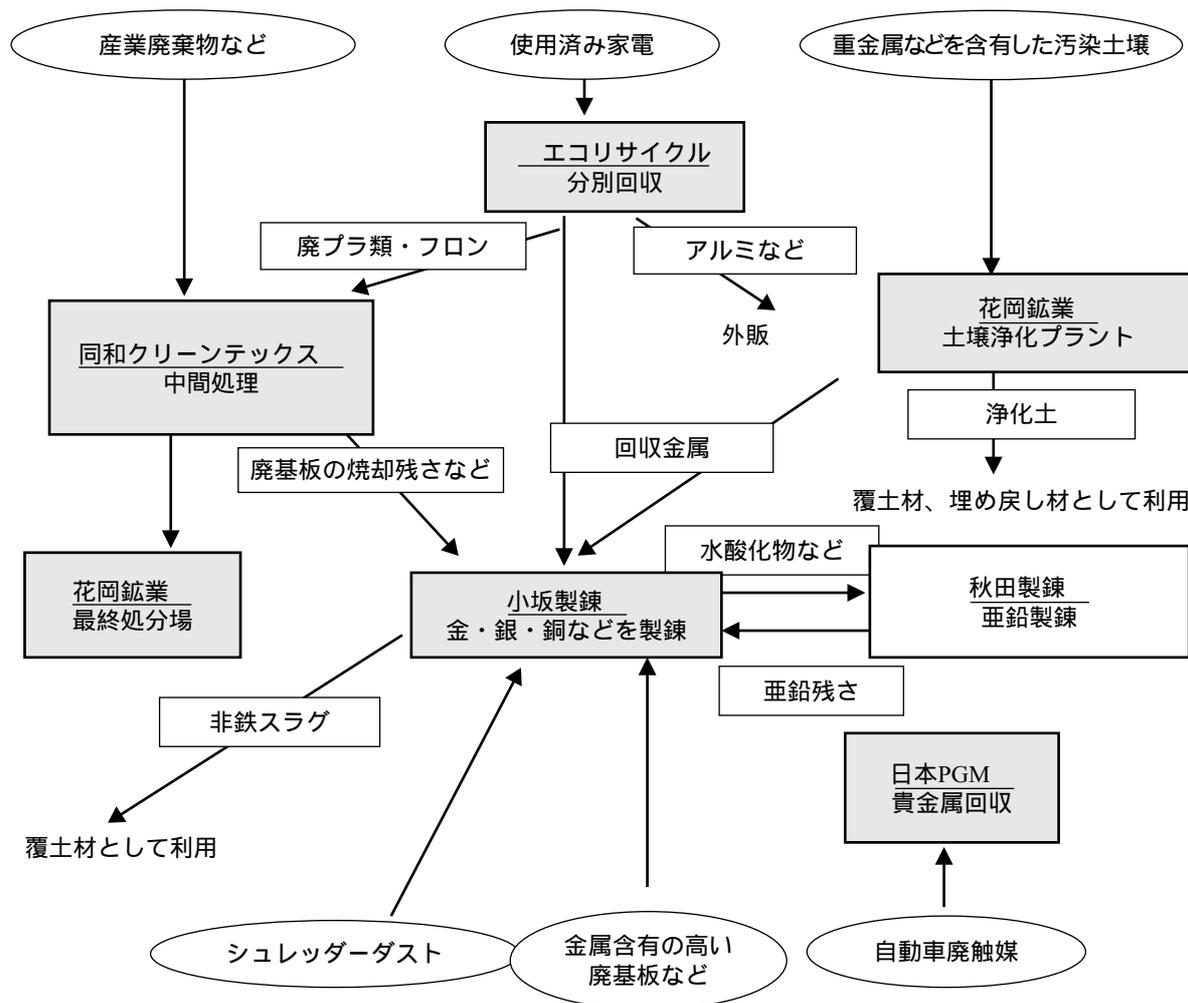
今後、国内の素材型産業がその資源循環産業としての役割をより拡大していくためには、国内産業の構造変化や国際化した需給から形成される循環資源の価格、副産物の用途を前提とした事業計画が必要になる。具体的には 効率的な国内物流網の整備や紙パ産業における古紙利用の一形態としてみられる機密文書の処理サービスなど高付加価値サービスの提供（差別化）による循環資源集荷の強化、副産物の品質管理による用途の確保といった、リサイクル事業の強化に向けた取組みと並んで、異業種企業間の連携による副産物有効利用の拡大、発生源での対策強化による副産物の発生抑制など、前述の変化に対応して資源循環クラスターの維持・拡大を図る取組みが求められることになる。こうした取組みは、一義的には各企業の個別取組みによるところが大きいが、これに加えて企業が必要な対策を講じやすくするための前提条件として広い意味での社会的なシステム整備が重要なことはいうまでもない。ここでいう社会的システムについては、廃棄物処理法の強化による適正リサイクルルートへの廃棄物の誘導、これを裏付ける個別リサイクル法の制定、あるいは環境JISの整備やグリーン調達制度の導入による出口整備などを通じて大枠は形成されている。今後は、これまでに導入されたシステムの評価を通じて明らかになってくるであろう課題、リサイクルの担い手である産業部門の実績から明らかになる課題、を踏まえて、より詳細・具体的なシステム整備が模索されていくことになる。いわば、各企業における技術的な取組みと社会システム整備が一体となって、様々な状況変化にも耐えうる柔軟かつ効率的な循環型経済システムが検討される段階を迎えることが期待される。最後に、こうした今後の方向性を示唆する取組みをみてみよう。個別企業の取組みとしては、既に一部の企業で始まっている資源循環クラスター機能の維持・向上に向けた副産物対策を、社会システムについては、排出源（入口部分）でのシステム化の成功例として知られるドイツの容器包装リサイクルを概観する。

(2) 2次廃棄物、副産物の発生抑制に向けた取組み

グループ企業間の連携による副産物発生抑制の取組み ～同和鉱業(株)グループの例～

第4章で紹介した通り、同和鉱業(株)グループでは、同グループの主力銅製錬所である秋田県の小坂製錬(株)を中心に、幅広い環境関連事業を展開している。小坂・花岡地区における同グループの事業概要は図表6-9に示されている通りであるが、いずれも銅鉱石の選鉱・製錬技術を核として、廃棄物の受け入れ、運搬、金属回収からその過程で発生する廃棄物などの中間処理、最終処分に至るまでの総合的な事業(ワンストップ型)を展開しており、銅含有使用済み製品のリサイクル、土壌浄化事業について垂直的に事業を展開しているのが特徴である。これは、鉱山枯渇に伴って製錬原料を海外に依存するなかで、小規模かつ内陸立地といった制約を持つ当社にとっては環境事業へのビジネスモデル転換であると同時に、かつて産出した複雑鉱(黒鉱)の製錬技術や設備といった非鉄金属製錬業が持つ特性を応用することで川上、川下での事業展開を行い、最終処分される副産物、廃棄物を極力減少させるという側面も併せ持っている。

図表6-9 同和鉱業グループの環境関連事業(小坂・花岡地区)



(出所) 会社資料より政策銀作成

例えば、家電リサイクル事業を担うエコリサイクル(株)の処理プロセスにおいては、まずアルミ放熱板、回路基板、電線、ブラウン管ガラス、鉄分など有価物を手分解した後、冷蔵庫や洗濯機の筐体部分などは破碎し、鉄を磁力選別機で回収している。この処理プロセスで回収された鉄は鉛製錬の還元材として使用されるほか、鉛を含有するため一般には処理が困難とされるブラウン管中のファンネルガラスも、事前処理で分離することなく小坂製錬(株)の製錬工程に投入される。これによりガラスに含まれるシリカ分は製錬工程の副原料として利用され、鉛は製錬プロセスを経て回収されることになる。また、多くのリサイクルプラントでまだ対応できていない冷蔵庫の断熱フロン（冷媒フロン）についても、破碎機からパイプラインを經由して空気ごと同和クリーンテックス(株)に運搬し燃焼空気として利用している。これは同和クリーンテックス(株)という中間処理事業者と併設されているが故のメリットといえ、この断熱フロンは濃縮せずにそのまま送っているため、最近登場してきたノンフロン冷蔵庫に使用される可燃性のイソブタン（炭化水素）についても問題なく処理することが可能であるという³。

一方土壌浄化事業を主に担う花岡鉱業(株)はかつて花岡鉱山から採掘された鉱石から不純物を除去し、製錬所向けの原料（銅精鉱、亜鉛精鉱、鉛精鉱など）を製造していた選鉱工場であった。現在ではこの選鉱プロセスを利用して重金属などを含む土壌を洗浄処理、浄化再生し、土壌に含まれる金属分は先述の小坂製錬(株)で製錬原料としてリサイクルされている。土壌洗浄に用いられている技術である「浮遊選鉱法」⁴は元来鉱石選鉱のための技術であるが、複雑な組成を持つ鉱石の中から最終的に各金属元素ごと分離回収する技術と、重金属に汚染された土壌から重金属を除去する技術は、対象物質が天然鉱石であるか、汚染土壌であるかの違いだけで処理プロセスは全く同じである。そのための薬品の投入方法や、分離回収の順序などは金属製錬業で培ったノウハウ・技術⁵であり、これを土壌浄化事業に転用した点で

-
- 3．冷媒などがイソブタンに置き換わることで、通常の家電リサイクルプラントは爆発のリスクを抱えることになる点が問題視されている。
 - 4．浮遊選鉱法とは、鉱物粒子の表面的性質のひとつである疎水性、親水性を利用して鉱物相互の分離を行う選鉱法である。疎水性鉱物は水に濡れにくい、その表面が気体または油状物質などと親和性を有するため浮遊性を示し、反対に親水性鉱物は水に濡れやすいため水相にとどまり浮遊しにくい。実際の浮遊選鉱では、単に鉱物本来の表面的性質を利用するだけでなく、界面活性剤などの浮遊選鉱試薬を用いて鉱物粒子表面の性質を人為的に調節して、より効率的な分離が行われる。当社プラントでは複数の金属元素を含んだ鉱石（あるいは土壌）を洗浄、細かく粉碎した後、懸濁した鉱液（パルプ）の中に投入し、浮遊選鉱試薬を加えて鉱物粒子の表面の性質を調節しながら、細かい多数の気泡を発生させ、その気泡表面に疎水性鉱物を付着、浮上させることで分離回収している。
 - 5．もう一つ強調すべきが排水処理の強みである。汚染土壌をオフサイトで処理する場合、洗浄プロセス以上に困難なのが排水処理である。汚染土壌中の成分は一定ではないので、どのような成分に対しても安全な排水処理を行うのは難しい。当社は鉱山業を営むことから、鉱山保安法の基準に即した排水基準を満たす排水処理設備を整備しており、これらのインフラを使用できる。これもコスト競争上の優位点である。

「技術の平行移動」の典型例といえるだろう⁶。

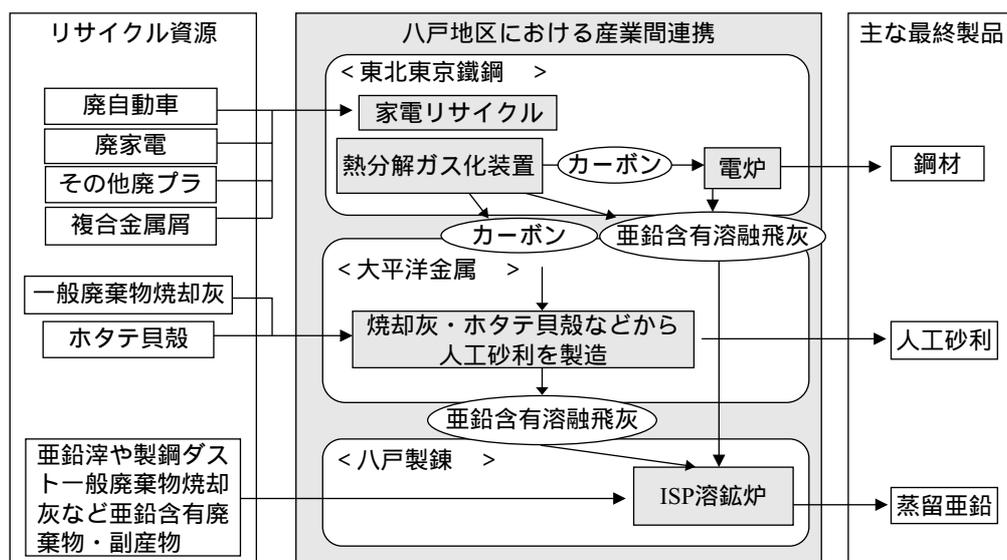
このようにして浄化された土壌や、使用済み製品や汚染土壌からの金属を回収する過程で発生する無害化されたスラグは、同社が鉱山保安法に基づいて行っている鉱山跡地の緑化等の覆土資材として活用されており⁷、出口問題をもクリアしている。数多い、いわゆるオフサイト処理の中でも最も効率的なシステムの構築に成功しているとみることができる。

このように同和鉱業グループの取組みは、各事業所間で発生する副産物・回収物の利用用途を精緻に組み合わせることで全体として高効率なリサイクルを可能としている好例といえよう。

地域の異業種間の連携による副産物発生抑制の取組み ～青森県エコタウンの例～

一方、資本関係がない異業種間の連携の取組みとして注目されるのが2002年12月に承認された青森県エコタウンプラン八戸地区の計画である。同計画において中核事業者となるのはフェロニッケルの製造を行う大平洋金属(株)、第3章で紹介した東北東京鉄鋼(株)のリサイクル事業と、亜鉛製錬を行う八戸製錬(株)である。

図表 6 - 10 八戸地区における各社事業の概要



(出所) 会社資料などより政策銀作成

6. こうした大規模な土壌洗浄プラントは国内では当社が唯一所有しているが、仮に新規に建設すると多額の設備投資が必要となることから、当社の同事業に技術的優位性のみならず、コスト競争力面でも大きなメリットをもたらしている。
7. 浄化された土壌については再生細骨材としての利用も検討されている。
8. 原料の一般廃棄物焼却灰中には、天然鉱石(酸化鉱)とは異なり、鉛、カドミウムなどの有害物質が含まれているが、製錬事業で培った添加剤による成分調整などの技術を転用することで、重金属類や有害不純物元素類を除去した人工砂利の製造が可能となっている。

青森県エコタウン計画の中で大太平洋金属㈱が事業化を計画しているのは、新設する直流還元溶融炉の中で周辺自治体から排出される一般廃棄物の焼却灰⁸を溶融し、鉛、亜鉛、カドミウム、銅などを還元分離してメタルとして回収しつつ、スラグを人工砂利として建設骨材、海洋資材として売却するというものである。生成された溶融スラグは、重金属をスラグの中に閉じ込めている他方式の溶融還元処理で生成されるスラグとは異なり、有害物質をほとんど含まない天然砂利に極めて近い成分である（clean slag）点が特徴である⁹。具体的なプロセスとしては、まず狭雑物を除去した後、配合層において焼却主灰に飛灰を混合し、これに成分調整剤、還元剤（粉コークス）を加え乾燥炉で乾燥した後、直流還元溶融炉に装入して還元溶融させると、酸化鉄や重金属類はメタルとして炉底から回収され、残ったスラグはクリーンな人工砂利となる。

生成されたスラグは成分、強度の面で人工砂利とほぼ同等であるとされ、骨材など土木資材としての利用が見込まれている¹⁰。また、スラグ成分調整剤の代替品として、ホタテ貝の貝殻を添加した海洋ブロックがある。同海洋ブロックはコンブやモズクなどの海藻類が着床しやすいとの実験結果も得られており、漁場復活に貢献する資材としての利用も期待されている。

一方、2次焼却灰などから非鉄金属を回収する事業を期待されるのが八戸製錬㈱である。当社の製錬方式は、国内には同社と住友金属鉱山播磨事業所の2箇所しか存在しないISP法（溶鉱炉方式）を採用しており、その基盤を活用して亜鉛滓などリサイクル原料の利用を行ってきた実績がある。第3章で紹介した同社のASRリサイクルにおいて排出されるダスト類や先述の大太平洋金属㈱の焼却灰溶融工程で生じる飛灰についても引き受けが検討されている。

同社で採用している製錬プロセスであるISP法は、亜鉛・鉛の同時製錬であること、従来から低品位鉱を原料としており多様な廃棄物の受入が可能であること、金・銀の回収に有利であること、などの特徴を有する¹¹。亜鉛製錬プロセスの主流である電解方式に比べて

9. 本プロセスは、ごみ焼却灰（飛灰を含む）を熱効率の良い直流電気還元溶融炉内で還元溶融し、灰に含まれる酸化物の一部及び重金属類はメタルとなり、鉄鋼メーカー等の原料として使用される。重金属等が除かれたスラグは天然材と同等の成分となることから、無害な再資源材として利用される。また灰に含まれる低沸点物質は気化して飛灰として回収され、非鉄金属メーカーの原料として利用できる。

10. 無害化されたスラグは土木用資材のJIS規格及び各種環境基準等を十分に満たしている。現在「高炉・鉄鋼・フェロニッケルスラグ骨材」がJIS化されたことにより、その用途開発が進められ、使用実績も増えてきている。また「溶融スラグ骨材」のJIS化の推進及び用途開発も推進されており、本プロセスで製造した無害化スラグの用途は広がりつつある。

11. ISP法では、鉛と亜鉛などの酸化物をコークスにより還元し、炉内で金属鉛と金属亜鉛に変換する。金属鉛は炉底から拔出し、亜鉛は揮発させ、溶融鉛の液滴で冷却・凝縮して溶融鉛に溶解させる。その後、溶融鉛の亜鉛溶解濃度が温度に依存する性質を利用して、亜鉛を含む溶融鉛を連続的に冷却し、亜鉛を鉛浴から遊離させ比重分離して回収するというプロセスを経る。亜鉛蒸気の冷却に、融点の低い溶融鉛を循環させるのが特徴である。

塩素などハロゲン系物質への許容度が高いことから、ISP法は粗酸化亜鉛、亜鉛滓など2次原料の使用量が相対的に多いという特徴を持っており¹²、各事業所で発生する亜鉛含有飛灰の引き受け手として期待されている。

上記の2社に加えてASR（自動車シュレダークラスト）のリサイクルを行う東北東京鉄鋼株の3社間でこのような連携が可能となったのは、当該地域における素材型産業の集積の厚み・多様性によるところが大きい。今後の課題となる廃棄物集荷など入口部分の対策や、スラグの土木資材としての利用など出口部分の拡大においては、自治体など各関係者との綿密な連携が必要である。加えて亜鉛回収が可能となるようにダスト類の十分な亜鉛濃度水準の確保やその他成分の調整など技術面での対応も必要となろう。このようにいくつか残された課題があるものの、同一地域において、各産業の特性を活かした形で新規事業、地域ゼロエミッションのモデルが構築されるケースは貴重であり、複数の素材型産業が立地するという産業集積を活かした取組みの好例といえるだろう。

新技術（製鋼ダストからの亜鉛回収）の導入によるゼロエミッション製鉄所への取組み ～新日本製鉄株の例～

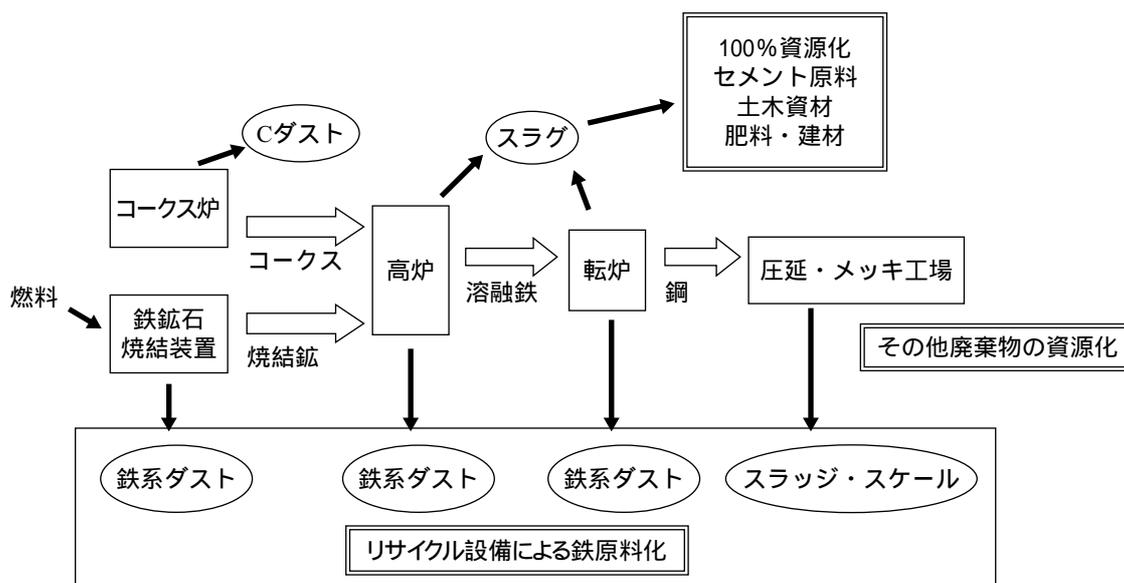
最後に個別企業における新技術導入による副産物発生抑制の取組みとして、高炉や転炉で発生する製鋼ダストの100%再資源化に取り組んでいる新日本製鉄株君津製鉄所の事例を紹介する。

製鉄所の基幹設備の一つである高炉では、粉状の鉄鉱石を焼き固めた焼結鉱とコークスを交互に装入し、炉内に1,200℃の熱風を送り込み、焼結鉱を還元することで銑鉄を製造している。高炉は縦長の構造をしており、熱効率を高めるために上部の温度は相対的に低くなっていることから、カーボンや酸化鉄など不純物が付着しやすい。こうした高炉や転炉に付着した不純物（ダスト）は鉄分を多く含んでいるものの、亜鉛など不純物の成分調整が難しいため製鉄プロセスに再投入するのが困難とされる。これまでは一部がセメント原料として利用されるに留まり大半は埋立処分されてきたが、新日本製鉄株君津製鉄所では、こうした高炉、転炉ダストからの亜鉛回収、再鉄源化に取り組んでいる。

同製鉄所では新たに回転炉床式のダスト還元装置を設置し、高炉に再投入することでダストゼロエミッションを達成することを計画している。回収されたダストはペレット状に加工

12. 但し、コークスとの還元反応を用いたプロセスであることから有機物を溶鉱炉に投入することはできない。また、ハロゲン系物質についても許容度の上限があるので、不純物を多く含む2次原料については溶鉱炉に投入する前に焼却し脱ハロゲンを行っている（再生亜鉛メーカーなどから排出される亜鉛滓などは品位80 - 90%で不純物も含まないので製団工程に直接投入している）。なお、現在の原料に占める2次原料の比率は35%程度となっている。

図表 6 - 11 新日本製鉄(株)君津製鉄所のダスト再資源化プロセス



(出所) 会社資料より政策銀作成

されて還元炉に投入される。この還元工程では酸化鉄と同時に不純物である酸化亜鉛も還元され、亜鉛はガスとして回収される。還元されたペレットは不純物が除去され、焼結工程を経た場合と同様の強度を持つため再度高炉への投入が可能となる。また回収された亜鉛は亜鉛製錬原料としての利用が可能である。同還元装置は2000年5月に1基（年間処理能力18万トン）が稼動開始、2002年12月には2基目（同13万トン）が稼動している。2基目の稼動により水分含有率が高く、リサイクルが困難であるとされるスラッジの再資源化が可能となり、リサイクル率は大きく改善すると見込まれている。このプロセスは、単純埋立てより経済的であるだけでなく、ある程度還元された鉄源の投入により製造効率が改善すること（鉄鉱石、焼結鉱を使用せずに済むため原料コストが低減）や、省エネ効果（高炉の燃料費は還元ペレットを1kg/トン使用すごとに0.23kg/トン減少するため、年間187Tcal（重油2万キロリットル）の省エネが実現）といった付随効果が得られる。こうした、経済効率的に副産物の有効利用を可能とする新技術の導入が、これまでにみえてきたような産業間の資源循環クラスターの形成を支えているのはいうまでもない。この例の他にも様々な副産物の分野で、より効率的な再資源化システムの構築が研究されており¹³、その成果により、資源循環クラスターの機能が強化されることが期待される。

13. 例えば、第2章で触れたペーパースラッジの有効利用としては、日本ユニパックグループの旧大昭和製紙(株)がスラッジの焼却灰を製紙用填料として再利用する研究を静岡県富士工業技術センターと共同で行っているほか、ペーパースラッジは適度なアルカリ分を含み吸水性に優れていることから、土壌改良材、浚渫した汚泥の安定剤、製鋼保温材向けの炭化製品などとして有効利用することが研究されている。

(3)ドイツにおけるリサイクルシステム整備例

DSDシステムの概要

リサイクル基盤の強化にとって、こうした各企業の技術的な対応と並んで社会的なシステム整備が重要なことは前述したとおりだが、一言で社会的システムといってもその内容は多岐に亘る。ここではリサイクル基盤の有効活用にとって極めて重要な入口部分である集荷に係るシステムの代表例としてドイツの容器包装リサイクルをみてみよう。

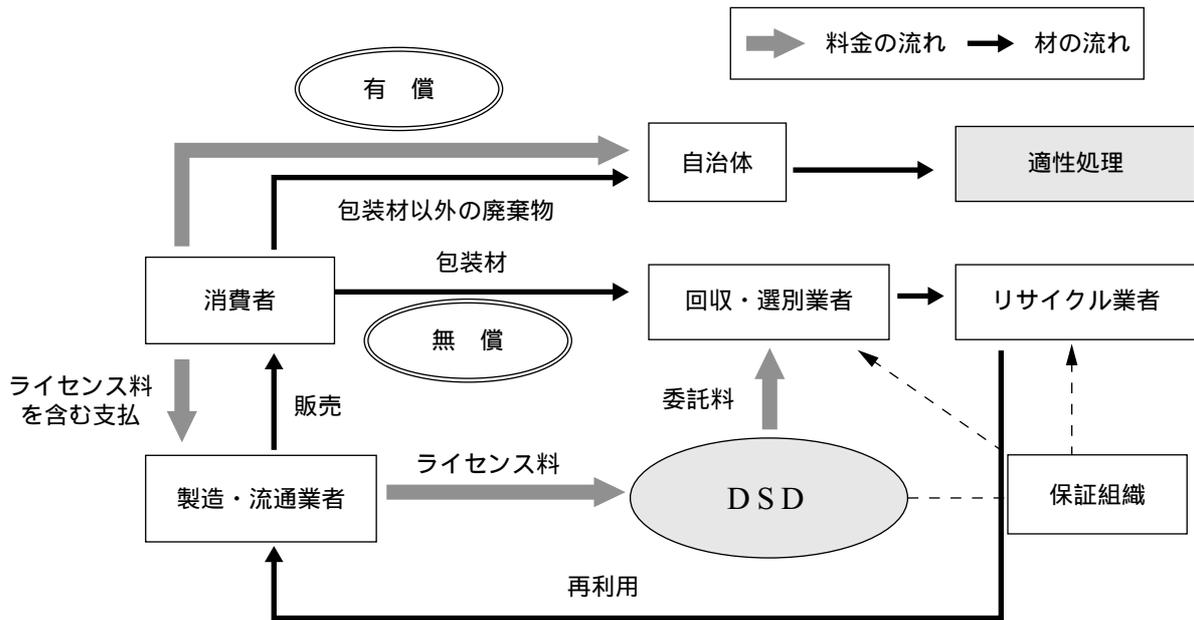
ドイツにおいて容器包装を対象とする個別リサイクル法が導入されたのは、91年7月であり、その規制内容は、包装材の回収・再資源化を製造業者、流通業者の義務とし、これを自治体の処理体系から分離することを骨子とするものであった¹⁴。包装材は、流通段階で用いられる輸送用包装材から最終消費者の手に渡る販売用包装材まで全て規制対象となり、原則として企業は個別に回収と再資源化の義務を負うこととなった。ただし、販売用包装材については、排出源が分散しており製品毎に分別することが著しく困難であることから、共同の収集・再資源化システムを利用すれば個別対応の義務を負わなくてもよいとされ、この共同システムとしてデュアルシステム（das duale System）が成立した。このシステムは、規制導入によって製造・販売した包装材の回収と再資源化を義務づけられた事業者のうち、600社余りが共同で設立した非営利企業デュアルシステムドイツ社（Duales System Deutschland GmbH、以下DSD社）を中心に構築されたシステムを指している。DSD社の役割は、包装材令の義務を、個々の企業単位ではなく、共同で果たすためのインフラを提供することにある。

図表6-12はその仕組みをみたものである。包装材令の回収・再資源化義務を果たす必要のある企業のうち、共同処理を望むものはDSDシステムによって処理されることを意味する同社のロゴマーク（der grüne Punkt：グリーンドット）をライセンス料の支払いを通じて取得し、自社製品に表示する¹⁵。販売用包装材を購入・排出する消費者は、包装材にグリーンドットが印刷されている場合、公的なゴミ収集ルートには乗せずに、DSD社が用意する別系統の回収ルートに分別排出する。DSD社は、こうして分別排出された包装材を回収して再資源化するが、そのコストは、街角に設置されたガラス瓶の収集容器、各家庭の前に置かれた包装材用の専用回収容器などの費用も含めて企業から支払われるライセンス料によって賄われる。こうして、包装材を対象に、伝統的な公的処理体系と民間ベースでの回収・再資源化体系が平行に「並存」することとなり、これが社名の「デュアル」の意味である。

14．包装材令（Verpackungsverordnung）。

15．このライセンス料は、再資源化の難易度に応じて、素材毎に異なる料金が設定されている。

図表 6 - 12 DSDシステムの概要



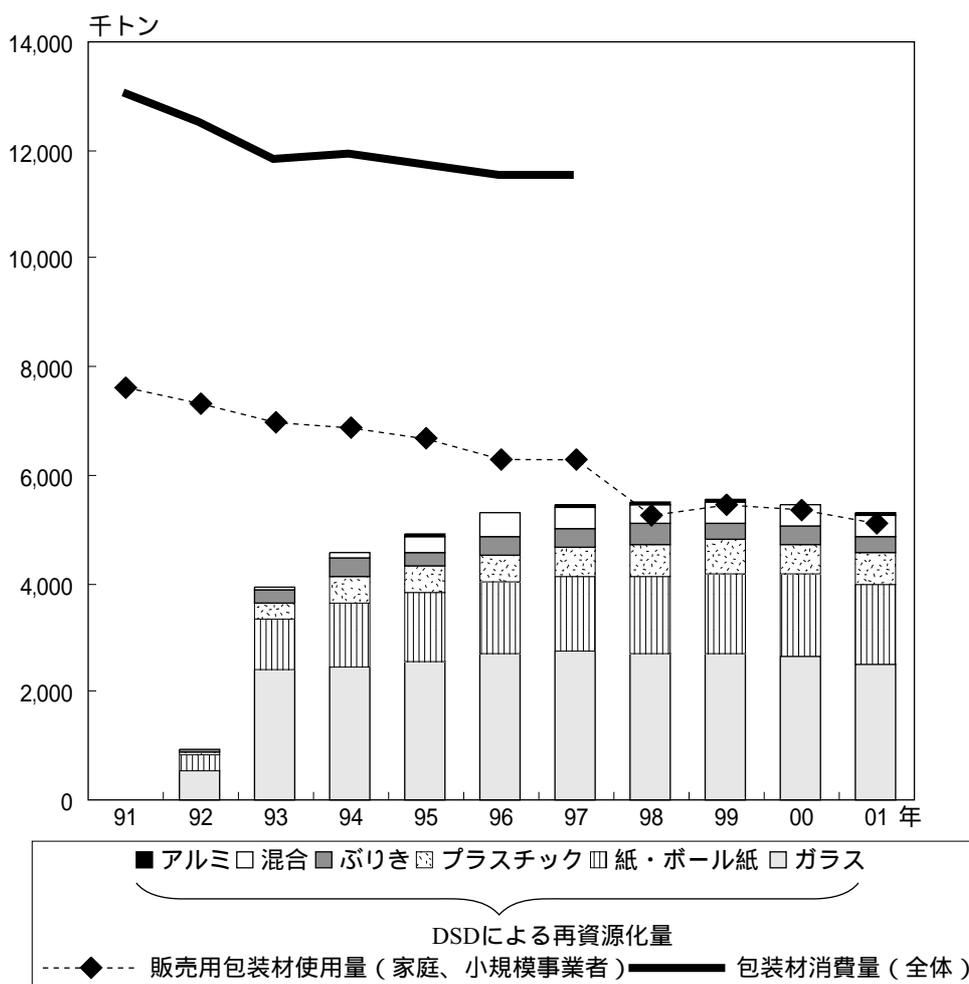
(出所) 政策銀作成

図表 6 - 13は、このDSDシステムの実績をみたものである。図表の太線は包装材全体の使用量を、点線は販売用包装材の使用量を示しており、棒グラフはDSDシステムによる回収・再資源化量の推移を示している。ただし、98年に包装材令が改正されたのに伴い、データの連続性は失われている。すなわち、97年までの点線はDSDの対象・非対象を問わず販売用包装材全体の消費量を示しているのに対し、98年以降の点線はDSDに対してライセンス料を支払った包装材のみの消費量を示している。この図からDSDシステムの特徴をいくつかみ取ることができる。

第1に包装材の全使用量が91年の包装材令の発効と同時に減少に転じた点である。包装材の回収・再資源化が義務づけられたことで、包装の簡素化（軽量化・小型化）再資源化が容易な素材へのシフトが生じた。

第2にDSDの回収・再資源化が着実に増加を続けている点である。運営企業であるDSD社の業績も改善を続け、97年には有限会社から株式会社（AG）への転換を遂げたうえ、99年にはそれまで横這いで維持してきたライセンス料を、初めて9.5%引き下げるに至っている。非営利企業による一種の配当ともいえるライセンス料の引き下げは、DSDシステムを利用せず独自に法的義務を履行してきた企業に対するシステムへの参加誘引を強めるものであり、非営利セクターの経済活動の結果生じた成果の還元としては稀有の成功例といえるだろう。

図表 6 - 13 DSDシステムの実績推移

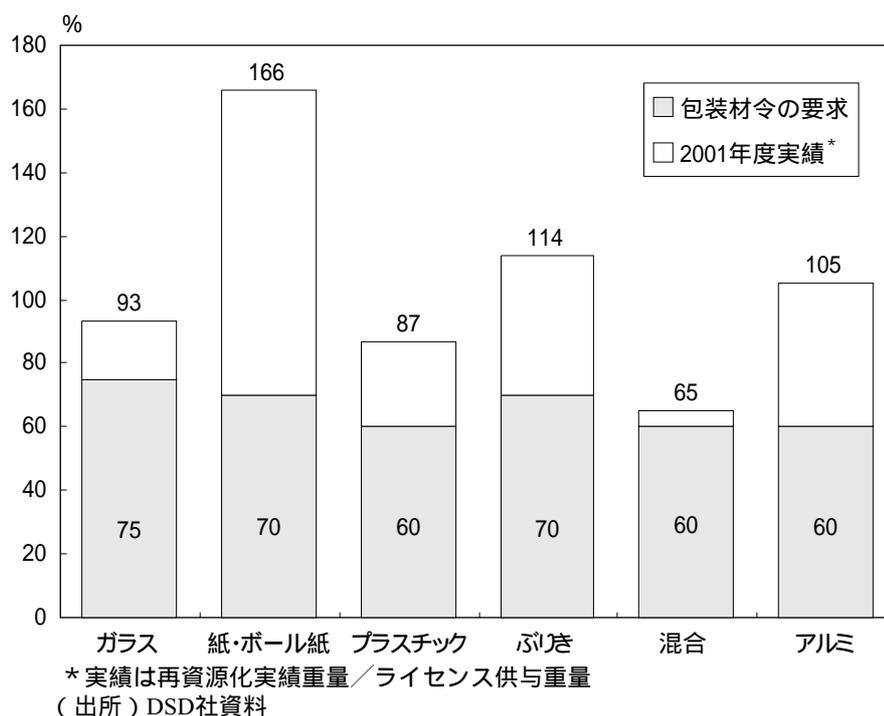


(注) 包装材令の改正により、98年から容器包装材消費量でなく、DSDライセンス締結量を表示
 (出所) kreislaufwirtschaft in Zahlen他より政策銀作成

第3に、ライセンスを取得した以上の包装材がDSD社によって回収・再資源化されている点である。図表6-14にみるように、容器包装リサイクルの法定基準とDSD実績を比較すると、実績が法的基準を大幅に超過するという奇妙な結果になる。これはフリーライダーが排除しきれていない点¹⁶を示すのと同時に、消費者による「包装材ならライセンスの有無を問わず全てDSD」という錯誤に基づく投入の多さにも原因を求めることができる。それだけDSDシステムが社会システムとして広く認知されていることの表れといえるだろう。

16. フリーライダーの問題は、93年にDSD社が業務を開始してから一貫して付きまとう課題であるが、98年に包装材令が改正されたことで意図的なただ乗りは減少しているといわれている。最も重要な変更は、DSDシステムを利用せず自ら収集・再資源化を果たそうとする自主処理業者 (Selbstentsorger) の責任を強化し、DSDシステムと同じレベルに揃えたことである。自主処理業者は、2000年からDSDと同じ再資源化率を課されるとともに、新たに再資源化の事後証明義務を負うことになった。この事後証明義務は、改正前まではDSD社のみが負っており、ただ乗りを助長する制度的な欠陥として指摘されていた点である。

図表 6 - 14 DSDによる種別別回収率と法的基準



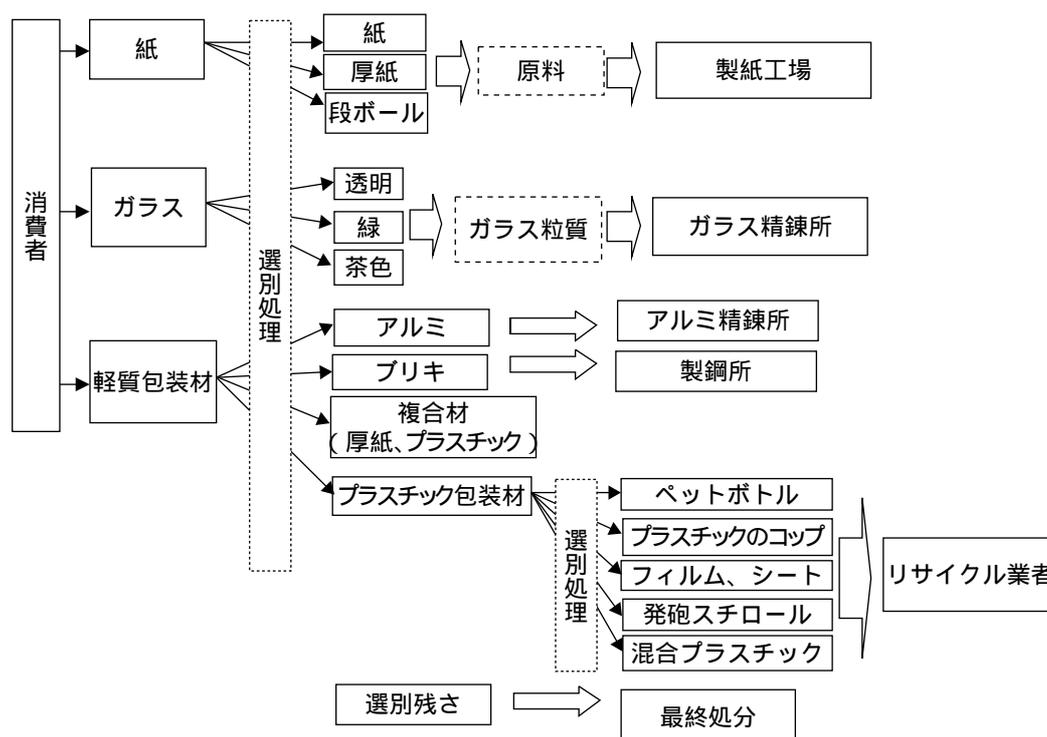
DSDシステムの背景と環境変化への対応

DSDシステムの成功には、販売用包装材を排出する消費者による分別が大きく寄与しているが、これを促したのは経済的なインセンティブの存在である。ドイツの地方自治体は、提供する役務に係る財源をできるだけ使用料や手数料、負担金で調達するように求められており¹⁷、従量制（容積ベース）のごみ処理有償化が一般的である。すなわちDSDシステムにより容器包装が通常のごみでなくなることは、分別排出することで自治体に処理を委ねるゴミの量、ひいては支払うべきごみ処理手数料を抑制できることを意味する。有償化すれば分別排出が促進されるという様に安易に一般化することはできないが、DSDシステムは、容器包装回収システムへのアクセスの良さや啓蒙活動などと並んで、この経済的なシステムの存在によって高度な分別排出を実現してきたということではあるだろう。繰り返しになるが排出源での分別レベルが高ければ高いほど、再分別や分類等に要するコスト負担は少なくて済み、リサイクル事業の事業性は向上する。

DSDシステムは大きな副産物を伴ったといわれる。システム運用にかかるコストの削減を進める過程で様々な技術開発が誘発され、完全自動分別ラインや廃プラスチックの高炉還元材利用など、世界的に注目されるリサイクル基盤技術が開発されることとなったことであ

17. 根拠は各州ごとに定められる自治体の公租公課法であり統一ルールがあるわけではないが、概ねどの州でも生活廃棄物の処理に要する費用の大部分は手数料によってカバーされている。

図表 6 - 15 DSDシステムを介したリサイクルフロー



(出所) DSD社資料より政策銀作成

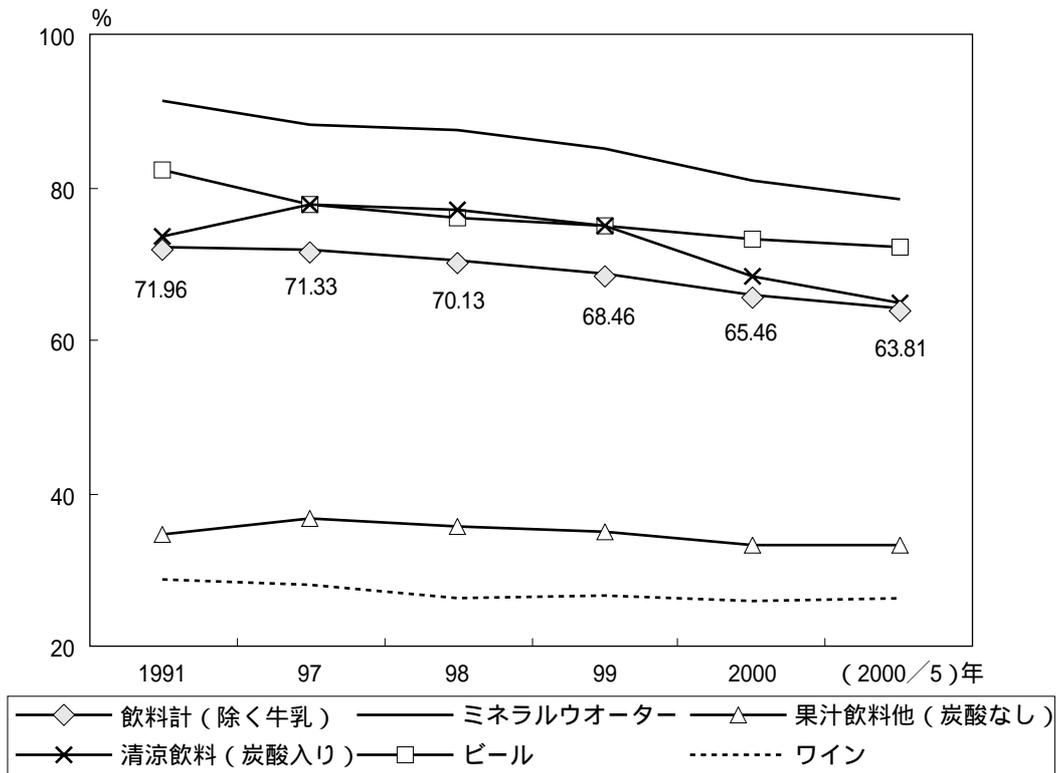
る。また、DSDからの業務委託を通じて、廃棄物処理業界の再編が促され、巨大なリサイクル企業の成長につながっていった点も無視できない(図表 6 - 15)。

強制デポジット制度による補完

こうして成功裡に展開した容器包装リサイクルのシステムにも問題は生じている。その一つが使い捨て容器の増加である。図表 6 - 16にみるように、近時ドイツにおいても、PETボトルの普及などに伴いリターナブル容器のウエイトは低下を続けている。DSDによる使用済み包装材の回収・再資源化は順調に推移しているとはいえ、これが奏効するのは経済的なインセンティブが効く家庭などからの排出であり、もっぱら戸外で消費される使い捨て容器ではない。

包装材令は、使用済み包装材の回収・再資源化の基盤としてDSDシステムを整えるのと同様に、飲料容器についてリターナブル容器(ビール瓶などのように詰め替え可能な容器)を保護する仕組みを講じている。これは、包装材令が発効した91年時点における飲料容器全体に占めるリターナブル容器のウエイト72%を2年連続で割りこむような状態に陥った場合、使い捨て容器に対して強制デポジット(Zwangspfand)を導入するというものである。リターナブル容器のウエイトがこの要件を満たす状態となったことから、連邦政府は2003年の年初から使い捨て飲料容器1個につき0.25ユーロ(1.5リットル以上の容器については0.5ユーロ)

図表 6 - 16 リターナブル容器の構成変化



(出所) 連邦環境省

の強制デポジットの導入を決定した(図表 6 - 17)。このデポジット料金の水準が使い捨て容器の消費量をどの程度抑制し、またどの程度の回収率改善につながるかは今後の動向を注視する必要があるが、ここで指摘できるのは、社会的システムは状況変化に応じて柔軟に修正・改善される必要があるという点である。

図表 6 - 17 ドイツにおけるデポジット制

施行時期	2003年1月1日
対象飲料	ビール、ミネラルウォーター、炭酸飲料水 (ワイン、シャンパン、牛乳は対象外)
対象容器	使い捨て缶、ビン、ペットボトル
デポジット料	25セント(1.5リットル未満) 50セント(1.5リットル以上)
引き渡し場所	商品を購入した店舗、又は同様の店舗
システム整備にかかる費用(推定)	1億3500ユーロ/年 自動返却システム8万台(1台平均12,500ユーロ) 容器へのマーク記載 小規模小売店での人件費 収集業務、洗浄システム
新たな雇用(推定)	25万人

(出所) ドイツ連邦環境省資料より政策銀作成

4 . おわりに

本稿では、循環型社会形成に向けたリサイクル基盤の担い手として素材型産業の集積が果たしうる役割について検討してきた。副産物用途拡大の必要性など新たな課題はあるものの、総じてそのポテンシャルは非常に大きい。個別リサイクル法など政策体系の整備を背景に、こうした素材型産業を基盤とする多様なリサイクル手法が提案され、困難と思われた財の再資源化にも道筋がつきつつあるというのがわが国の現状である。この点は、厚い産業基盤の集積を持つわが国ならではの展開といえる。

現在、政策の焦点は収集量の拡大や適切なリサイクル手法の確保といった初期の課題から、リサイクルが拡大する過程で顕在化してきた多様な課題へと移行しつつある。既にリサイクルが進展し、従来型の有効利用が困難となりつつある古紙リサイクルにおいて、従来の手法に転機が訪れ、RPFの利用といったより低位に位置付けられてきたサーマルリサイクル手法が脚光を浴びているのがその好例といえる（第2章参照）。前節でみたように先進的なシステムであるとされるDSDシステムにおいても、その後の状況変化に応じてシステムの修正を迫られるなど、リサイクル技術の進歩や、産業構造の変化など資源循環に影響を与える要因は数多くある。今後顕在化してくるであろうこうした課題の解決に向けて着実に進展している各企業の技術的な取組みと社会システム整備が一体となって、柔軟かつ効率的な循環型経済システムの構築が検討されることが期待される。

引用文献・参考文献

- 阿座上 竹四 [2001]『非鉄重金属のリサイクルはどうあるべきか』金属Vol.71
- 石川禎昭 編著 [2002]『図解 循環型社会づくりの関係法令早わかり』オーム社
- 上野直樹 原田宏 須藤勘三郎 [1999]『塩素バイパスシステムによるセメントキルンの安定運転と廃棄物の有効活用』セメント・コンクリートNo.634 所収
- 大垣陽二 [2002]『使用済みプラスチックの高炉原料化』日本エネルギー学会誌第81巻第2号所収
- 大住眞雄 [2002]『セメント産業における廃棄物の活用』日本エネルギー学会誌第81巻第2号 所収
- 岡田敏彦 有山達郎 [2001]『循環型社会における鉄鋼業の役割』金属Vol.71 No.11所収
古紙リサイクル推進検討会 [2000]『今後の古紙リサイクルの向上に向けて 報告書』
- 小林幹男 [2002]『非鉄金属リサイクル』日本エネルギー学会誌第81巻第3号 所収
- 近藤博俊 鋤取英宏 祖山薫 [2002]『コークス路価額原料下方によるプラスチックリサイクル』日本エネルギー学会誌第81巻第2号所収
- 財団法人 クリーン・ジャパン・センター [2000]『産業廃棄物（鉱業廃棄物）・有価発生物の実態調査』業種別調査結果の概要（平成10年度実績）
- 佐藤亨 中島正人 [2001]『セメント製造用燃料の50%の廃プラ代替を目指して』セメント・コンクリートNO.657 所収
- 紙業タイムス社 [2001] [2002]『紙パルプ産業と環境』
- セメント新聞編集部 編纂 [2000]『セメント産業年報「アプローチ」第34集』
- セメント協会 [2000]『セメントの常識』
- 竹ヶ原啓介 [2001]『家電リサイクルシステム導入の影響と今後』日本政策投資銀行「調査」20号
- 竹ヶ原啓介 [1999]『わが国環境修復産業の現状と課題』日本政策投資銀行「調査」3号
- 玉重宇幹 [2000]『廃プラスチックをセメント焼成燃料に』セメントコンクリートNO.643 所収
- 内藤貴子・竹ヶ原啓介 [2002]『使用済み自動車リサイクルを巡る現状と課題』日本政策投資銀行「調査」36号
- 荷福正隆 [2002]『プラスチックのリサイクル』日本エネルギー学会誌第81巻第3号所収

日本興業銀行 [2000] 『資源循環型社会におけるリサイクル業の確立に向けて』興銀調査
2000 No. 5 所収

廃棄物学会 [2002] 廃棄物学会主催シンポジウム『我が国素材産業の資源循環産業化の潮流』講演資料

藤原稔 [2002] 『鉄鋼スラグの利用』日本エネルギー学会誌第81巻第2号所収

山本由里子 [2002] 『廃棄物のセメント資源化技術・その最前線』セメント・コンクリート
NO.666所収

吉田卓司 [2002] 『亜鉛のリサイクル技術』Vol.72 NO. 8 所収

『調査』既刊目録

最近刊の索引

- ・ 55(2003. 7) 素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開
- ・ 54(2003. 6) ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス
- ・ 53(2003. 5) 企業の温暖化対策促進に向けて
- ・ 52(2003. 4) 地方民鉄の現状
- ・ 51(2003. 3) 設備投資計画調査報告(2003年2月)
- ・ 50(2003. 1) 設備投資計画調査統計集(1990年度以降)
- ・ 49(2002. 12) 最近の経済動向
- ・ 48(2002. 12) 食品リサイクルとバイオマス
- ・ 47(2002. 11) 中国の経済発展と外資系企業の役割
- ・ 46(2002. 10) 将来不安と世代別消費行動
- ・ 45(2002. 10) 設備投資計画調査報告(2002年8月)
- ・ 44(2002. 8) 日本企業の生産性と技術進歩
- ・ 43(2002. 8) 設備投資・雇用変動のミクロ的構造
- ・ 42(2002. 8) わが国電気機械産業の課題と展望
- ・ 41(2002. 8) 邦銀の投融资動向と経済への影響
- ・ 40(2002. 7) 社会的責任投資(SRI)の動向
- ・ 39(2002. 7) 少子高齢化時代の若年層の人材育成
- ・ 38(2002. 7) 最近の経済動向
- ・ 37(2002. 3) 設備投資計画調査報告(2002年2月)
- ・ 36(2002. 3) 使用済み自動車リサイクルを巡る展望と課題
- ・ 35(2002. 3) 近年の企業金融の動向について
- ・ 34(2002. 3) 労働分配率と賃金・雇用調整
- ・ 33(2002. 2) 都市再生と資源リサイクル
- ・ 32(2002. 1) 環境情報行政とITの活用
- ・ 31(2001. 12) 最近の経済動向
- ・ 30(2001. 12) ROAの長期低下傾向とそのミクロ的構造
- ・ 29(2001. 11) 変貌するわが国貿易構造とその影響について
- ・ 28(2001. 10) 設備投資計画調査報告(2001年8月)
- ・ 27(2001. 7) 最近の産業動向
- ・ 26(2001. 7) 最近の経済動向

分野別の索引

〔設備投資アンケート〕

設備投資計画調査

- | | |
|----------------------------|---------------|
| ・ 2002・03年度 (2003年2月) | 51(2003. 3) |
| ・ 設備投資計画調査統計集(1990年度以降) | 50(2003. 1) |
| ・ 2001・02・03年度 (2002年8月) | 45(2002. 10) |
| ・ 2001・02年度 (2002年2月) | 37(2002. 3) |
| ・ 2000・01・02年度 (2001年8月) | 28(2001. 10) |
| ・ 2000・01年度 (2001年2月) | 21(2001. 3) |
| ・ 1999・2000・01年度 (2000年8月) | 15(2000. 10) |
| ・ 1999・2000年度 (2000年2月) | 7(2000. 3) |
| ・ 1998・99・2000年度 (1999年8月) | 2(1999. 10) |
| ・ 1998・99年度 (1999年2月) | 254(1999. 3) |
| ・ 1997・98・99年度 (1998年8月) | 251(1998. 10) |

〔経済・経営〕

最近の経済動向

- | | |
|-------------------------------|--------------|
| ・ 日本経済の持続可能性に向けた
中期シナリオの検討 | 49(2002. 12) |
| ・ グローバル化と日本経済 | 38(2002. 7) |
| ・ デフレ下の日本経済と変化への兆し | 31(2001. 12) |
| ・ デフレ下の日本経済 | 26(2001. 7) |
| ・ 今次景気回復の弱さとその背景 | 19(2001. 3) |
| ・ ITから見た日本経済 | 12(2000. 8) |
| ・ 90年代を振り返って | 4(2000. 1) |
| ・ 設備投資と資本ストックを中心に | 258(1999. 7) |
| ・ 長引くバランスシート調整 | 252(1999. 1) |
| ・ 今回の景気調整局面の特徴 | 245(1998. 8) |

* 当行のWebページ (<http://www.dbj.go.jp/report/>) では、『調査』発刊開始(1973年)以来の全目録を掲載しており、2001年4月発行の第26号以降については全文をご覧頂くことができます。

* 『調査』入手のご希望については、調査部総務班 (Tel: 03 - 3244 - 1840 E-mail: report@dbj.go.jp) までお問い合わせ下さい。

日本経済一般

- ・日本企業の生産性と技術進歩 44 (2002. 8)
- ・為替変動と産出・投入構造の変化 242 (1998. 6)

金融・財政

- ・邦銀の投融资動向と経済への影響 41 (2002. 8)
- ・社会的責任投資(SRI)の動向 40 (2002. 7)
 - 新たな局面を迎える企業の社会的責任 -
- ・近年の企業金融の動向について 35 (2002. 3)
 - 資金過不足と返済負担 -

設備投資・企業経営

- ・設備投資・雇用変動のミクロ的構造 43 (2002. 8)
- ・ROAの長期低下傾向とそのミクロ的構造 30 (2001. 12)
 - 企業間格差と経営戦略 -
- ・日本企業の設備投資行動を振り返る 17 (2000. 11)
 - 個別企業データにみる1980年代以降の特徴と変化 -
- ・90年代の設備投資低迷の要因について 262 (1999. 9)
 - 期待の低下や債務負担など中長期的構造要因を中心に -

消費・貯蓄・雇用

- ・将来不安と世代別消費行動 46 (2002. 10)
- ・労働分配率と賃金・雇用調整 34 (2002. 3)
- ・家計の資産運用の安全志向について 16 (2000. 10)
- ・企業の雇用創出と雇用喪失 6 (2000. 3)
 - 企業データに基づく実証分析 -
- ・消費の不安定化とバブル崩壊後の消費環境 1 (1999. 10)
- ・人口・世帯構造変化が消費・貯蓄に与える影響 248 (1998. 8)
- ・資産価格の変動が家計・企業行動に与える影響の日米比較 244 (1998. 7)
- ・近年における失業構造の特徴とその背景 240 (1998. 4)
 - 労働力フローの分析を中心に -

貿易・直接投資

- ・変貌するわが国貿易構造とその影響について 29 (2001. 11)
 - 情報技術関連(IT)財貿易を中心に -

海外経済

- ・中国の経済発展と外資系企業の役割 47 (2002. 11)
- ・米国の景気拡大と貯蓄投資バランス 8 (2000. 4)
- ・米国経済の変貌 255 (1999. 5)
 - 設備投資を中心に -
- ・アジアの経済危機と日本経済 253 (1999. 3)
 - 貿易への影響を中心に -

[産業・技術・環境]

最近の産業動向

- ・主要産業の生産は、素材、資本財産業を中心に減少へ 27 (2001. 7)
- ・内需の回復続き、多くの業種で生産増加 13 (2000. 8)
- ・輸出はアジア向けで堅調、内需は回復に力強さがみられず 5 (2000. 1)
- ・全般的に緩やかな回復の兆し 260 (1999. 8)

技術開発・新規事業

- ・製造業における技能伝承問題に関する現状と課題 261 (1999. 9)
- ・最近のわが国企業の研究開発動向 247 (1998. 8)
 - 技術融合 -
- ・わが国企業の新事業展開の課題 243 (1998. 7)
 - 技術資産の活用による経済活性化への提言 -
- ・日本の技術開発と貿易構造 241 (1998. 6)

環境

- ・素材型産業を核とした資源循環クラスターの展開 55 (2003. 7)
 - リサイクルビジネスの高度化に向けて -
- ・企業の温暖化対策促進に向けて 53 (2003. 5)
 - 先進的温暖化対策への取り組み事例から -
- ・食品リサイクルとバイオマス 48 (2002. 12)
- ・使用済み自動車リサイクルを巡る 36 (2002. 3)
展望と課題
- ・都市再生と資源リサイクル 33 (2002. 2)
 - 資源循環型社会の形成に向けて -
- ・環境情報行政とITの活用 32 (2002. 1)
 - 環境行政のパラダイムシフトに向けて -
- ・家電リサイクルシステム導入の影響 20 (2001. 3)
と今後
 - リサイクルインフラの活用に向けて -
- ・わが国環境修復産業の現状と課題 3 (1999. 10)
 - 地下環境修復に係る技術と市場 -
- ・欧米における自然環境保全の取り組み 256 (1999. 5)
 - ミティゲーションとピオトープ保全 -
- ・環境パ - トナーシップの実現に向けて 250 (1998. 10)
 - 日独比較の観点からみたわが国環境
NPOセクタ - の展望 -

化学・バイオ

- ・わが国化学産業の現状と将来への課題 14 (2000. 9)
 - 企業戦略と研究開発の連繋 -

自動車・電機・電子・機械

- ・わが国電気機械産業の課題と展望 42 (2002. 8)
 - 総合電気機械メーカーの事業再編と
将来展望 -
- ・わが国半導体製造装置産業のさらなる 23 (2001. 3)
発展に向けた課題
 - 内外装置メーカーの競争力比較から -
- ・労働安全対策を巡る環境変化と機械産業 10 (2000. 6)
- ・わが国自動車・部品産業をめぐる国際 9 (2000. 4)
的再編の動向
- ・わが国半導体産業における企業戦略 259 (1999. 8)
 - アジア諸国の動向からの考案 -
- ・わが国機械産業の更なる発展に向けて 257 (1999. 5)
 - 工作機械産業の技術シーズからみた
将来展望 -

エネルギー・新エネルギー

- ・分散型電源におけるマイクロガスタービン 24 (2001. 3)
 - その現状と課題 -

運輸・流通

- ・地方民鉄の現状 52 (2003. 4)
 - 輸送密度の相関分析 -
- ・物流の新しい動きと今後の課題 25 (2001. 3)
 - 3PL(サードパーティ・ロジスティクス)からの示唆 -
- ・消費の需要動向と供給構造 18 (2000. 12)
 - 小売業の供給行動を中心に -

情報・通信・ソフトウェア

- ・ブロードバンド時代のデジタルコンテンツ・ビジネス 54 (2003. 6)
 - 映像コンテンツ流通を中心に -
- ・ケーブルテレビの現状と課題 22 (2001. 3)
 - ブロードバンド時代の位置づけについて -
- ・エレクトロニック・コマース(EC)の 246 (1998. 8)
産業へのインパクトと課題

医療・福祉・教育・労働

- ・少子高齢化時代の若年層の人材育成 39 (2002. 7)
 - 企業外における職業教育機能の充実に
向けて -
- ・労働市場における中高年活性化に向けて 11 (2000. 6)
 - 求められる再教育機能の充実 -
- ・高齢社会の介護サービス 249 (1998. 8)