

特集記事 7

の生産の際に発生した捨石・不用鉱物等、いわゆる「隠れたフロー(エコロジカル・リュックサック⁶⁾)」も同図に示されている。

鉄鋼業における主要鉱物資源利用量は、1億1050万tの鉄鉱石と6070万tの石炭をそれぞれ輸入使用し、鉄屑4380万t、石灰石1330万t、生石灰480万t(石灰石換算850万t)を使用している⁷⁾。鉄鉱石と石炭の輸入依存度は100%であり、鉄屑と石灰石はほぼ国内調達である。この鉄鉱石と石炭の輸入使用量は図1の我が国のマテリアル・バランスからみると輸入資源の25.2%となり、石灰石を含めた量は自然からの資源採取量の10.0%で、鉄屑を含めた量は国内物質利用総量の10.7%を占める。輸入原料に対する「隠れたフロー」すなわち原料の生産の際に発生した捨石・不用鉱物量は地質的条件や技術によって異なるが、日本の輸入資源の鉄鉱石1tに対して約2.4t、石炭1tに対

して約9.6tと見積られている⁸⁾。この鉄鉱石および石炭の「隠れたフロー」を図1中に併せて示した。

次に、エネルギーバランスの面から見てみる。図2に平成7年度の日本のエネルギーバランスを示した^{9,10)}。これによると平成7年度の一次エネルギー総供給量は 543.9×10^{13} kcal (2.277×10^{16} kJ) で、石炭・石油・天然ガスは98.5%が輸入である。鉄鋼の一次エネルギー使用量は石炭・石油 49.5×10^{13} kcal (2.072×10^{15} kJ) で一次エネルギー総供給量の9.1%となっている。エネルギー消費で見ると、鉄鋼は民生用・運輸用も含めた最終エネルギー消費計の11.4%、産業部門最終エネルギー消費の24.0%、製造業最終エネルギー消費の27.0%を占めている。

これらの資源利用による生産および消費に伴う廃棄物の処理・処分・リサイクルの1993年のフローを図3に示した¹¹⁾。産業廃棄物の発生量は3億9700万tで、資源投入量の19%になっている。製造業からの発生量は1億9000万tとなっており、このうちリサイクル量は7100万tで、処理減量後の最終処分量は2500万tで、発生量の6.3%となっている。この産業廃棄物の発生量に占める鉄鋼業からの発生は汚泥、スラグ、ダストが乾量で各々約60万t、3500万t、480万tの計4040万tで、産業廃棄物量の10%で、製造業からの廃棄物量の21%となっている。

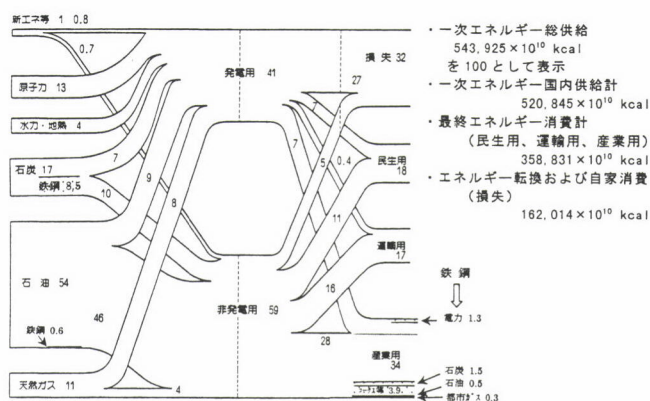


図2 日本のエネルギーバランスと鉄鋼生産のエネルギー利用(平成7年度)

2.2 鉄鋼製造プロセスのマテリアルバランスとエネルギーバランス

平成7年度の鉄鋼生産のマテリアルバランスを副原料・エネルギー資源を含めて図4にまとめた。粗鋼生産量1億2万tに対して総物質使用量は2億6560万tで、うち輸入資源は約70%となっている。資源投入で見ると、鉄屑のり

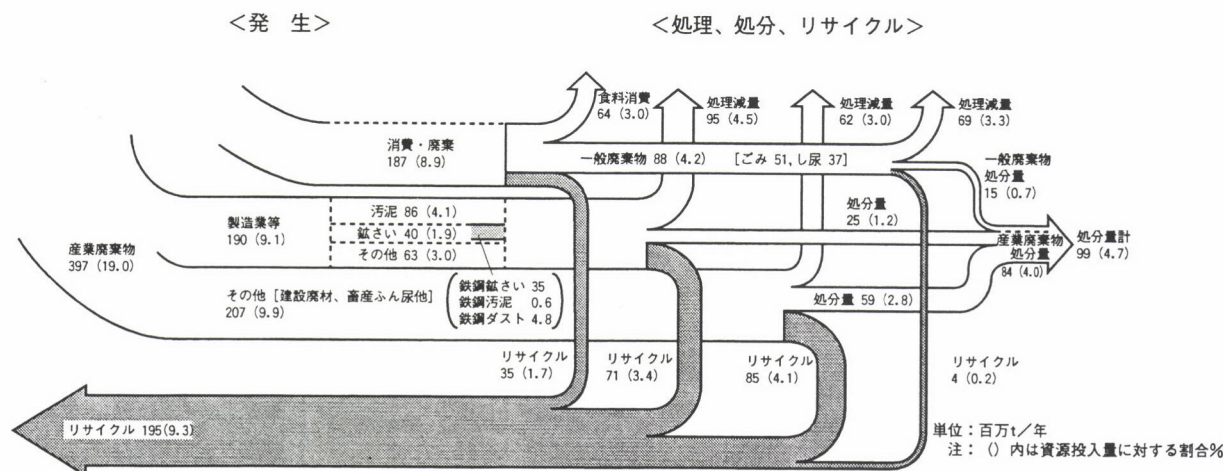


図3 廃棄物の処理・処分・リサイクルのフロー(1993年)¹¹⁾

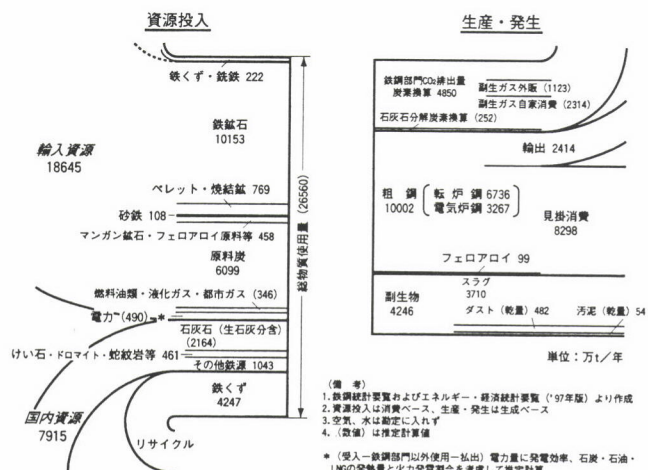


図4 鉄鋼生産のマテリアルバランス (平成7年度)

サイクル量を考慮すると鉄分は約58%が輸入となり、エネルギーとしての炭素・水素分は100%が輸入である。

以上のようなマテリアルバランスおよびエネルギーバランスにもとづく生産活動から派生する主要な環境・資源問題の一つに図3に示した生産に伴う副生物の処理があげられる。鉄鋼製造プロセスから発生する副生物は、大半が有効利用排出物としてリサイクルを主体として利用されているが、廃棄物としての処理をおこなわれているものもあり、これらは資源循環・環境保全・エネルギー利用の観点からも、そのリサイクルの質の向上および廃棄物発生ゼロすなわちゼロウェイスト生産プロセスをめざすことが重要である。

3 鉄スクラップのリサイクル

鉄スクラップはリサイクル社会の優等生ともいわれる。図5に我が国の鉄スクラップの流通フローをまとめた¹²⁾。鉄鋼推定蓄積量は1996年度で約11.5億t、その内の約2.5%の2854万tが老廃屑として回収利用されている。また、加工屑、自家発生屑も合わせて約2000万tが回収利用されている。鉄スクラップの再生利用は、溶解エネルギーだけで還元エネルギーが不要なため環境保全の面からも好ましく、鉄鋼蓄積量の増加と相まってさらに推進していく重要な課題である。しかしながら、今後、老廃屑を主体に約70~90万t/年で増加すると推定されており、その場合、ニッケル、クロム、銅、錫などのトランプエレメントがスクラップに蓄積され、リサイクルに制約を受けることになる。これらの課題に対応するため、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)ー金属材料研究開発センター(JRCM)のもとで鉄鋼12社が参加して「環境調和型金属系

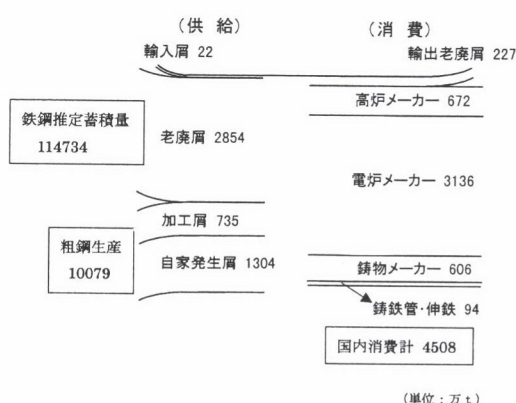


図5 日本における鉄スクラップの流通フロー (1996年度)

素材回生利用基盤技術の開発」の共同研究が行われており、現在、新日本製鐵(株)君津製鉄所内に試験評価設備が設置され、試験が行われている。この研究開発はトランプエレメントの除去技術に加えて、排ガス無害化・ダスト処理技術、省エネルギーのための予熱・溶解技術の開発も含めて、広範囲に鉄スクラップのリサイクルシステムを開発することを目的としている。鉄スクラップのリサイクルシステムについては、このような技術開発に加えてライフサイクルを考慮した材料設計および社会システムの基盤作りも含めて進められている。

4 他産業・地域との関わりの中で・廃プラスチックの高炉への吹込み

環境保全のために他産業および地域との連携がますます重要となる中、他のプロセスあるいは地域から発生する副生物ないしは廃棄物を別のプロセスで原料として用いる、いわゆるプロセス間リンクシステムの例として、ここでは廃プラスチックの高炉への吹込みを紹介する。

1996年におけるプラスチックの生産量は1466万tで、廃プラスチックの発生量は909万tで、リサイクル率は39%となっている。残りの61%(561万t)は単純焼却24%と埋立37%である。

廃プラスチックの高炉への吹き込みは、この単純焼却と埋め立ての廃プラスチックの有効利用の一つとして、高炉での鉄鉱石の還元剤としてコークスの代わりに廃プラスチックを一部代替利用するものである。NKK京浜製鉄所で行われている廃プラスチック高炉原料化リサイクルシステム¹³⁾は、一貫リサイクルシステムとしては世界初である。1996年10月より稼働しており、図6にシステムフローを示した。この廃プラスチック高炉一貫リサイクルにより、①プラスチック廃棄物の発生の減少、②プラスチック廃棄物の最終処分場が不要、③コークス使用量の削減により、

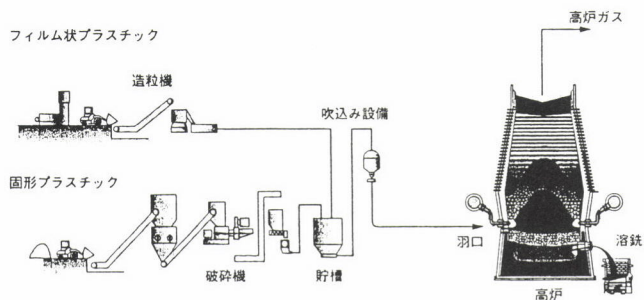


図6 廃プラスチック高炉原料化一貫リサイクルシステム

海外に依存している石炭の省資源となると同時に資源採取に伴う環境負荷の低減にも寄与、④CO₂の発生量が削減され、地球温暖化にも有効、⑤有害な副生ガスは発生せず、副生ガスは既存のプラントで発電などに利用、⑥このプロセスの総合エネルギー利用効率は80%以上と高レベルで、他のリサイクルプロセスに比べて省資源・省エネルギーの面で有利、等の特長がある。当面、塩化ビニル樹脂を除いた産業廃棄物系廃プラスチックのリサイクルとなっているが、今後、2000年の容器包装リサイクル法の全面施行への対応できる技術として産業廃棄物に加えて一般廃棄物も対象とし、異物除去技術、塩ビの分離、塩ビの脱塩素技術、等の開発も進められている。

5

鉄鋼製造プロセスからの副生物のリサイクル

5.1 副生物の発生とリサイクルの現状

鉄鋼製造プロセスから発生する副生物の種類は大別して①ダスト、②スラッジ、③スラグ、④廃煉瓦、⑤廃油の5種類となる。

高炉・転炉・電炉スラグ、乾・湿ダストおよび汚泥のリサイクルの状況について図7¹⁴⁾に示した。スラグのリサイクルについては各スラグとも道路・鉄道用に利用されているが、各スラグの性状の特性から高炉スラグではセメント用、転炉スラグでは港湾・土木用、電炉スラグでは地盤改良用など、主に各種の土工材として多く利用されている。ダストは焼結・高炉・製鋼原料等の原料としてリサイクルされている。乾ダストで亜鉛回収処理をされている分もあるが、これは主に電炉乾ダストである。汚泥は焼結・高炉・セメント原料としてリサイクルされているが、埋立割合が多い。

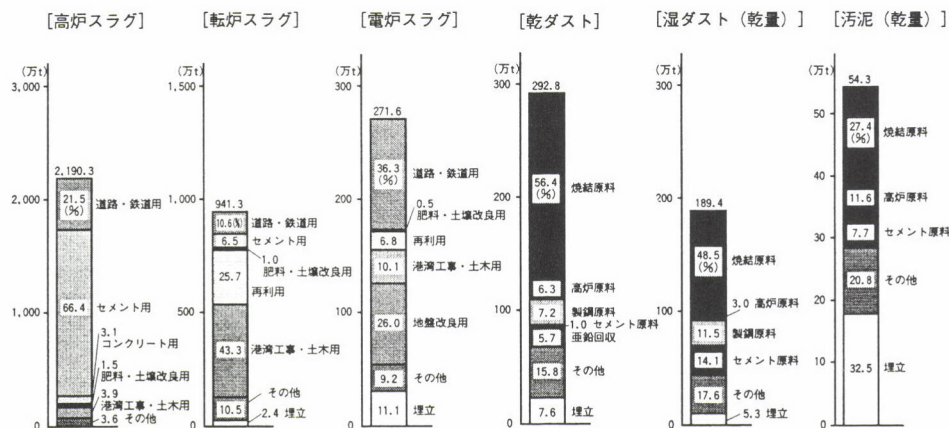
なお、平成7年度における製造業等に係わる産業廃棄物・有効利用物全国調査結果¹⁵⁾によると、鉄鋼業は産業廃棄物・有効利用物排出量が製造業中最も多いが、再資源化率は76.9%で製造業中最も高く、製造業平均の38.6%を大きく上回っており、リサイクルトップランナーといえる。

5.2 リサイクル処理の問題点および技術課題

5.2.1 ダストのリサイクル処理の問題点と技術課題

ダストのリサイクルの状況を見ると十分なりサイクルとはなっていない。この原因は主に成分、特にZn含有量からきており、Znの排出方法がリサイクルのネックとなっている。ここでは例として鉄スクラップの循環と関連するダスト中亜鉛の資源化について考えてみる。

日本における1991～1996年の亜鉛需給は、概ね、需要が約65～80万t/年で、地金の国内生産量は70万t/年前後で、原料の鉱石は大部分が輸入である。用途は亜鉛めっき鋼板用に約50%が用いられている。亜鉛用途で最も多い亜鉛めっき鋼板は使用後は鉄スクラップとして回収され、多くが電炉で溶解されて鉄鋼製品として再生される。この時、亜鉛は電炉から排出されるダストに入ってくる。このダス

図7 鉄鋼のスラグ、ダスト、汚泥のリサイクル状況(平成7年度)¹⁴⁾

トは資源としてみると有価な鉄、亜鉛、鉛を多く含み、鉄鉱石と亜鉛鉱石の混合物ないしは化合物の形態を持つ天然鉱石とは異なる金属資源、いわば都市鉱山資源とみることができる。日本における電炉ダストの発生量は年間約50万tと見積もられ、この内、現状では65%が亜鉛回収処理され、35%は無害化処理して埋立処理となっている。発生ダスト中に含まれる亜鉛量は金属亜鉛換算濃度20%として約10万tとなる。高炉—転炉ダスト中Znと電炉ダスト中Znの総量を概算すると約11.2万tと見積もられ、この量は内需の18%に相当する。現在回収されているZn量は電炉ダストからの5万tと転炉ダストからの0.5万tの推定5.5万tで、内需の8.8%である。ところで、亜鉛資源の耐用年数は19年と見積もられており、主要金属資源の中で最も短く、またリサイクル率も最も低く6%程度である¹⁶⁾。リサイクル率の低い理由の一つは犠牲防食というZn本来の役割から自然腐食で土に還るためでもある。一方、Znの生産原料の84%は鉱石で硫化亜鉛である。このためZn製錬は硫酸が併産となり、硫酸需給の問題から亜鉛製錬メーカーでの酸化亜鉛の要望も高い。ダスト処理によりZnが原料としての適当な濃度にまで濃縮されれば、Sを含まないことの有利性もでる。

5.2.2 スラッジのリサイクル処理の問題点と技術課題

各工程からの排水を一括混合して中和剤、界面活性剤、キレート剤を用いて凝集沈殿させた後に脱水・乾燥等を行う処理フローが主体となっているために、各種成分が混在し、また油分が含まれている場合がほとんどである。硝酸分、Fも含まれるスラッジもあり、さらに、ハンドリング性も悪く、したがってほとんど再利用困難となっている。しかしながら、めっき系スラッジはZnを15%程度含有しており、発生量は乾量で約4万t/年程度と見積もられるので、Zn量は約0.6万tになり、このZnの回収が望まれる。当面は発生系統別に排水を分別回収処理するなどの製造プロセスの改善により、発生量そのものを削減することが重要と考えられる。

5.2.3 スラグのリサイクル処理の問題点と技術課題

高炉スラグでは、CaSxが水に溶解して黄色を呈す黄水の問題、転炉スラグでは膨張崩壊性、アルカリの溶出等の問題から、出荷前のエージング処理が必要であり、発生量が多量なために広い保管スペースが必要となっている。また、スラグは高炉では鉄を抽出した残渣であり、転炉では不純物除去材であるので、金属以外の工業原料あるいは建設・土工材として砂・砂利の代替品となっているが、重量の割には有利な商品にはなっていない。発生量の削減が重

要な課題であるが、高炉スラグは原料の脈石由来であり、その量の削減には限界がある。一方、転炉・電気炉では不純物除去材であるため、操業・処理方法の工夫により削減が可能とされ、転炉スラグの発生を極小化する努力がはらわれている。発生量に対してはその量の割合はわずかではあるが、スラグウール化、予備処理スラグはその成分特性に合わせたリサイクルの方向、例えばカリ肥料、リン酸肥料へのスラグの高付加価値化へ向けた処理技術の開発が進められている。

6 新しいリサイクル処理プロセスの開発

6.1 ダスト処理プロセス

ダスト処理のニーズに対して、主に電気炉ダストを対象に亜鉛の回収を指向したプロセスが稼働および開発が行われている。しかしながら、現状では日本、米国、欧州とも発生ダストの多くはウェルツキルン法によって処理されており、処理会社も限定されている。このため最近では、環境規制への対応と発生量の増大に伴う処理コストの面から、ウェルツキルン法に代わる簡易で安価で効率のよいオンサイトで処理できるプロセスの開発が盛んになっている。新しい処理プロセスの提案の一例として、(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)からダストの発生工程の中で有価な金属のリサイクルや環境の改善をめざす技術開発が提案された。そのプロセスイメージを現状の代表的処理フローと比較して図8に示した¹⁷⁾。この提案を電炉ダストを対象に考える。その組成はFe約33%、Zn約18%である。このため、電炉の密閉化をはかるとともに排ガスの温度と酸素ポテンシャルを制御してFeとZnを分別回収できれば、回収物は直ちに各々の原料としてリサイクルでき、ダスト発生ゼロを実現できる。「省エネルギー型金属ダスト回生技術の開発」と題して工業技術院の「即効的・革新的エネルギー

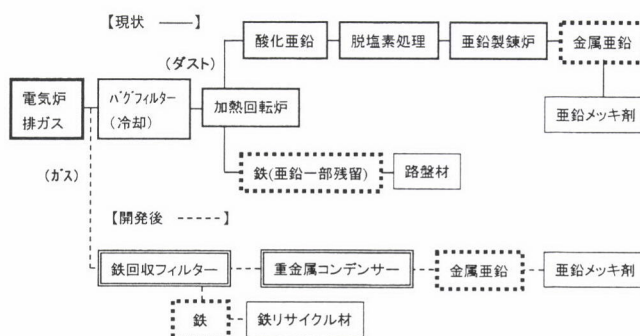


図8 省エネルギー型金属ダスト回生技術の提案プロセスフロー

8 おわりに

製鉄プロセスにおけるリサイクルの状況と今後の方向について述べ、ゼロウェイスト生産プロセスに向けた鉄鋼業の取り組みについて紹介した。本講が21世紀の鉄鋼業の新たな展開へ向けて、そして次の世代に夢のある鉄鋼製造プロセスを引き継いで貫くために、今、何が求められているかについて考える一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本鉄鋼連盟：環境に関する行動指針，鉄鋼界報，1585 (1993)
- 2) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画，鉄鋼界報，1698 (1997)
- 3) 国民経済計算統計，経済企画庁編，(1997)，133.
- 4) 産業連関表1995年，通商産業大臣官房調査統計部編，(1995)，101.
- 5) 環境白書，平成9年版 総説，環境庁編，(1997)，179.
- 6) 森口祐一，吉田雅哉：第13回エネルギーシステム・経済コンファレンス，講演論文集，エネルギー・資源学会，(1997)，37.
- 7) 鉄鋼統計要覧，日本鉄鋼連盟 鉄鋼統計専門委員会編，(1997)，115，138.
- 8) Resource Flows The Material Basis of Industrial Economics, World Resources Institute, (1997), 44.
- 9) エネルギー'97，通商産業省編，電力新報社，15.
- 10) 総合エネルギー統計 平成9年度版，資源エネルギー庁長官官房企画調査課編，通商産業研究社，296.
- 11) クリーンジャパン，クリーン・ジャパン・センター，122 (1997)，50.
- 12) 鉄源年報，日本鉄源協会，9 (1998)，18.
- 13) 脇元一政：リサイクル技術研究発表会講演論文集(第4回)，クリーンジャパンセンター，(1996)，93.
- 14) 鉄鋼業のスラグ等の発生及び利用・埋立て状況報告書，日本鉄鋼連盟，(1995)
- 15) 永田令子：クリーンジャパン，123 (1997)，16.
- 16) 金属の資源・製錬・リサイクル，(財)未踏科学技術協会監修，長井 寿編，化学工業日報社，11，17.
- 17) JRCM NEWS，(財)金属系材料研究開発センター，148 (1999)
- 18) JRCM NEWS，(財)金属系材料研究開発センター，134 (1997)
- 19) (財)金属系材料研究開発センター，金属系二次資源有効活用部会パートII，調査報告書，(1997)
- 20) 上杉浩之：BOUNDARY，3 (1999)

(1999年3月8日受付)