

Recent Technological Trend of Global Environmental Protection in Kawasaki Steel



加藤 俊之
Toshiyuki Kato
技術総括部長

要旨

川崎製鉄の地球環境保全における最近の技術動向を概括した。地球温暖化防止のための省エネルギー技術分野では、蓄熱式熱交換システムを応用した高効率加熱装置に代表される設備の高効率化や千葉製鉄所第3ホットストリップミルでのエンドレス圧延などの製造工程の連続化により大きな効果を達成している。環境負荷低減技術では、コークス炉でのドアガス漏れ的大幅低減などの製造プロセスでの排ガス対策や、排水中の窒素削減などの水質保全対策が効果を発揮している。スラグを始めとする自社発生副産物の資源化率は、ゼロウェイスト活動の推進により、1997年度以降は99.5%を達成した。さらに、鉄鋼製造で培ったパイロメタラジー技術の廃棄物処理への展開を積極的に進めており、川鉄サーモセレクト方式廃棄物ガス化溶融炉、Z-STAR炉などの資源化技術を開発し、実用化している。これらの技術を利用して産業間連携による廃棄物再資源化活動などを積極的に進めており、今後、循環型社会構築において川崎製鉄の環境保全技術は重要な役割を果たすことができると考えられる。

Synopsis:

This paper summarizes a recent progress in technologies of global environmental protection in Kawasaki Steel. Reduction in energy consumption for the prevention of global warming has been achieved by improving the energy efficiency of manufacturing process, for example, by applying regenerative heat exchange system to heating equipment, and developing continuous manufacturing processes, e.g., the endless rolling practice introduced to No. 3 hot strip mill at Chiba Works. The load of factory operations on its surrounding environment is reduced by exhaust gas control in the manufacturing processes, such as reduction in gas leakage from coke oven doors, and by the treatment of waste water, such as nitrogen reduction from the water by various methods. The recycling ratio of by-products, recovered in the internal manufacturing processes from wastes, such as slag, dust and sludge has reached 99.5% after fiscal year 1997 by promoting a zero waste activity. In addition, Kawasaki Steel has been aggressively applying the pyro-metallurgical technologies, attained through the iron and steel manufacturing, to the waste treatment, and has developed recycling technologies such as Kawasaki Steel Thermoselect System and Z-STAR furnace. By using these technologies, Kawasaki Steel has been positively promoting activities such as waste recycling among various industries. It is expected that the environmental protection technologies in Kawasaki Steel can play an important role in the construction of sustainable society in the future.

1 はじめに

1980年代後半から地球温暖化やオゾン層破壊の問題など地球規模化した環境問題の重要性が国際的に認識されてきた。1997年12月には気候変動枠組条約第3回締約国会議(COP3)が京都で開催され、地球温暖化防止に向けた国際的枠組みに関する合意が成立した。日本の目標としては、CO₂を主とする温室効果ガスの排出量を、2008年から2012年において1990年比で6%削減することがあげ

られている。また、新たな世紀における循環型社会の形成に向けてすでに多くの取り組みが行われている。

川崎製鉄は、環境問題の地球問題化に対応するために、1991年に地球環境管理委員会(1997年に地球環境委員会に改組)を設置し、1993年に地球環境保全行動指針を制定して全社の方針・計画の策定を行う体制を整備した。

さらに事業活動の全段階において、環境負荷をなお一層低減するために環境マネジメントシステム(EMS)を構築し、1997年から1999年にかけて主要事業所でISO14001の認証を取得し、地球環境保全に向けて積極的な取り組みを進めてきている。

また、これまで製鉄所の建設、操業の中で培ってきた環境保全に

* 平成12年9月8日原稿受付

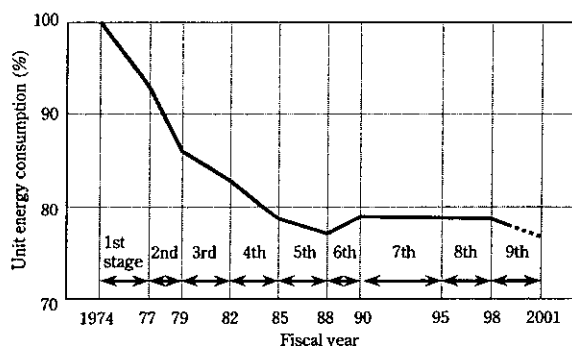


Fig. 1 Reduction in unit energy consumption

関する技術を世界的規模で活かすべく、エンジニアリング事業部内で活動を展開してきたが、1998年に環境事業部として体制を整え、循環型社会構築に貢献可能な技術開発と商品化を進めている。

本稿では、地球温暖化防止のための省エネルギー技術、環境負荷低減技術、製鉄所でのゼロウェイストへの取り組み、鉄鋼製造の過程で培ったパイロメタラジー技術の廃棄物処理への展開による資源化技術などを中心に最近の環境保全技術の動向について述べる。

2 省エネルギー対策技術

川崎製鉄は、1973年末の第1次石油危機以降本格的な省エネルギー活動を実施してきた。1974年から第1次省エネルギー活動を開始し、現在の第9次活動に至るまで活動を継続、推進している。その結果、Fig. 1に示すように20%を超える省エネルギーの実績をあげてきた。

川崎製鉄が進めてきたエネルギー戦略を大きくまとめると次の3つの施策に分類できる¹⁾。

- (1) 排エネルギー回収、設備の高熱効率化および省工程・工程連続化などの省エネルギー対策
- (2) 総合的エネルギー管理システムの構築^{2,3)}によるエネルギーコストの最小化
- (3) 鉄鋼製品の高付加価値化による社会での省エネルギーへの貢献、酸素・窒素・アルゴンなどの空気分離製品販売などによるエネルギーの高付加価値化⁴⁾

以下に製造工程での省エネルギーに寄与してきた排エネルギー回収、設備の高熱効率化および省工程・工程連続化による省エネルギー対策について記す。

2.1 排エネルギー回収

排エネルギーの発生をプロセスの高効率化などにより削減することがエネルギー対策の原則であるが、設備の性格上排エネルギー発生量を削減することが困難な場合には、排エネルギーの回収を実施してきた。排エネルギーの回収には2つのタイプがある。回収エネルギーを循環使用することによりその設備の効率を向上させるものと、当該設備外で再使用するものである。

前者に該当するものとして、高炉熱風炉排熱回収設備、加熱炉の高効率レキュペレーター、燃料ガス予熱装置などがある。比較的小規模な設備が多く、省エネルギー活動の初期に多数設置された。特に、鋼材加熱炉における高効率レキュペレーターでの燃焼用空気や燃料ガスの高温化による省エネルギーには、 NO_x 削減技術が必須であり、低 NO_x バーナーの開発が行われた。

後者に該当するものは大規模なものが多く、コークス乾式消火設

備(CDQ)、焼結クーラー排熱回収設備、高炉炉頂圧発電設備、転炉ガス顕熱回収設備、排熱ボイラーなどがある。

排熱回収における今後の課題は、比較的低温の排熱を主とする未回収排熱から、価値の高い電力や蒸気などを経済的に回収する技術を開発することである。

2.2 設備の高熱効率化

設備の高熱効率化は、高効率設備の開発・導入および制御システムの高度化により達成した。

コークス炉での高効率化技術の主要なものは端フリー昇温バーナーと石炭調湿設備(CMC)⁵⁾である。端フリー昇温バーナーの設置により、炉温の低いコークス炉両端部の昇温が可能となり、平均炉温の低減による省エネルギーおよびコークス押し出し時の発じん防止が可能となった。石炭調湿設備の導入は、石炭の事前乾燥によるコークス炉の燃料使用の削減と、嵩密度向上による装入炭量増加にともなうコークス強度向上および生産性向上をもたらした。

エネルギー転換分野でエネルギーを多量に使用するものは、発電設備と空気分離設備である。発電設備の高効率化の例として、1987年に千葉製鉄所で稼動した国内初の副生ガス焚きコンバインド発電設備⁶⁾や現在水島製鉄所で建設中の高炉ガス専焼ガスタービンコジェネレーション設備がある。また空気分離設備においても分離効率の向上や変動吸収装置による酸素放散の極限化が図られている。

蓄熱式熱交換システムを応用した高効率加熱技術は、従来から高炉用熱風炉、コークス炉など高温用の炉に用いられてきた。蓄熱式バーナーは、高い熱効率では知られていたが、燃焼空気の高温化にともなう NO_x 濃度の上昇や装置の信頼性の低下などの問題を持っていた。川崎製鉄ではこれらを解決し、連続焼鈍設備(CAL)ラジアンチューブバーナーの蓄熱式バーナー、連続式加熱炉の直火型蓄熱バーナー、製鋼の取鍋加熱システム、タンディッシュの無酸化加熱装置(N_2 ジェットヒーター)などを実用化し、大きな成果を上げてきた⁷⁾。圧延プロセスでの加熱炉や熱処理炉などにおいては、本技術は画期的な技術であり、その採用により、大幅な省エネルギーの達成と、鋼材の均一加熱による品質向上が達成される。

制御システムの高度化による効率化の例としては、コークス炉での乾留制御システムの導入や、ファジー理論の熱風炉への適用、加熱炉入り口から圧延後までの鋼板温度推移を正確に予測するモデルの開発による材質の作り込みなどがある。

2.3 省工程化・工程連続化

鉄鋼製造工程では昇温・降温を繰返して製品が製造されるが、この降温工程をなくすることが大きな省エネルギーにつながる。

省工程化・工程連続化の代表的な設備としては、コークス炉を経由せずに微粉炭を直接高炉に吹き込む高炉微粉炭吹込み設備(PCI)、連続鑄造設備(CC)、直送圧延(DR)、連続焼鈍設備(CAL)、酸洗・冷間圧延連続化設備、さらに世界で初めて実用化した千葉製鉄所第3熱間圧延工場のエンドレス圧延技術⁸⁾などがある。このエンドレス圧延技術は、仕上ミルにおける先尾端の非正常現象を回避して圧延を飛躍的に安定化させるとともに、板厚や仕上がり温度などのばらつきを低減して熱間圧延鋼板の品質を格段に向上させることができるが、省エネルギーにも大きく寄与している。

3 環境負荷低減技術

川崎製鉄は従来から事業活動を行っていく上で環境保全を最優先事項と認識し、環境改善の徹底に必要な公害防止技術の開発や導入

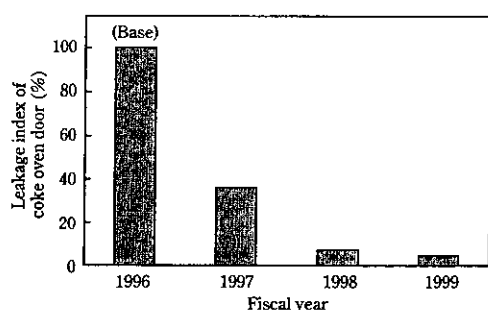


Fig. 2 Reduction in leakage index of coke oven door

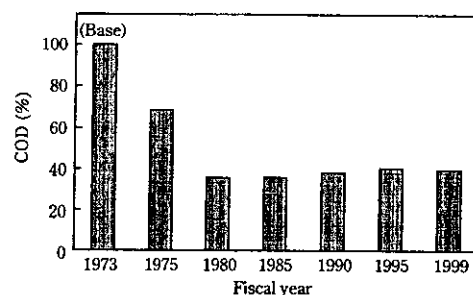


Fig. 4 Reduction in COD at Chiba Works

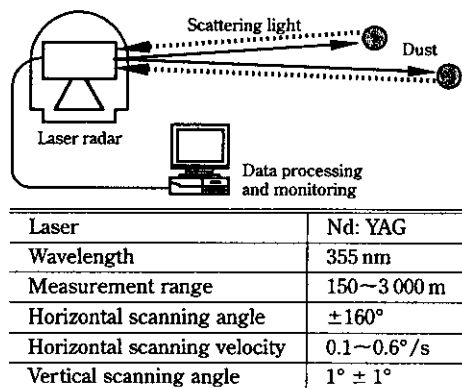


Fig. 3 Schematic view and specification of dust monitoring system

に積極的に取り組んできた。SO_x、NO_xに代表される従来型の環境問題の多くに対しては、すでに1970年代に種々の対策を実施しており大きな効果が得られている。また、ダイオキシンやベンゼンなどの有害物質に対しても、削減技術の開発に取り組んでいる。

3.1 大気環境保全

製鉄所では、焼結工場で焼結鉱を製造する際に鉄鉱石・コークスに含まれる硫黄分がSO_xになるほか、コークス炉、ボイラー、加熱炉などでも燃料中の硫黄分がSO_xとなって排出される。SO_xの排出低減対策として、硫黄分の少ない鉄鉱石や都市ガス・LPGの使用、焼結排煙脱硫装置、コークス炉ガス脱硫装置⁹⁾の設置を推進してきた。

NO_xは、焼結製造工程やコークス炉、加熱炉などでの燃焼過程で発生する。NO_x排出低減対策として、低NO_xバーナーの開発¹⁰⁾、焼結炉などでの排煙脱硝装置の導入を行ってきた。

これらの対策により、1970年代初頭に比較して現在の排出量は、SO_xで約90%の削減、NO_xは約50%削減となった。

製鉄所におけるばいじんの発生源は、焼結工場の他、コークス炉、加熱炉、ボイラーなどである。

コークス炉のばいじん対策としては、排ガスの黒煙発生防止とコークス炉ドアからのガス漏れ対策が重要である。コークス炉排ガスでの黒煙発生原因は、炭化室から燃焼室へのコークス炉ガスのリークによるもので、その対策として、炭化室内圧力の制御高度化¹¹⁾や煙道への集じん機設置による徹底したばいじんの発生抑止を行うとともに、独自技術による炉体補修¹²⁾を推進している。

コークス炉ドアからのガス漏れ対策としては、気密性に優れた空冷炉蓋の全炉への導入やドアクリーナの改良¹³⁾を実施し、ドア漏れ

を徹底して削減してきた。Fig. 2にコークス炉ドア漏れ指数の最近の状況を示す。

粉じん防止対策として、鉄鉱石や石炭の荷揚げ作業中、ベルトコンベアによる輸送時に発生する粉じんに対しては集じん機を設置している。また石炭や鉄石ヤードには固定式・移動式の散水装置を設け粉じん発生防止を行っている。さらに監視体制として、ITVによる監視の他、夜間でも監視の可能なレーザーレーダーを開発・導入し¹⁴⁾、きめの細かい監視と粉じん発生防止を行っている。Fig. 3にレーザーレーダーによる粉じん監視システムの概要を示す。

3.2 水質環境保全

水処理における指標となる化学的酸素要求量(COD)の削減対策として、コークス炉での廃水処理¹⁵⁾および冷間圧延における含油廃水処理における技術開発、廃油再生設備および含油排水COD除去設備の導入などを実施してきた。これらの対策実施による千葉製鉄所におけるCOD負荷量の削減状況をFig. 4に示す。

排水中のNの削減対策としては含油廃水の生物処理、イオン交換樹脂法によるステンレス廃酸の回収などを実施してきた。

新たな水処理技術として、下水の高度処理として適用される包括固定化担体を利用した循環式硝化脱窒法、膜分離活性汚泥法¹⁶⁾さらに湖沼や河川の水質浄化に適用される浮遊ろ材を使用した生物ろ過方式の水処理プロセス(リバーフロート)の開発に取り組んできた。特に、膜分離活性汚泥法による排水の高度処理技術は、循環式硝化脱窒法と膜分離法を組み合わせることにより省スペース化を実現できるとともに、種々の菌が高濃度で保持されるので、さまざまな汚染物質が分解処理できる。また、孔径0.1μmの多孔質膜を通過した処理水は沈殿池の処理水に比較して極めて清澄であり、下水再利用のニーズに応えることが可能である。

3.3 有害物質対策技術

ここでは新たな環境負荷物質として規制の対象となっているダイオキシンとベンゼンにつき、その排出抑制対策を述べる。

製鉄所プロセスでのダイオキシンの発生源は、製鋼用電気炉および焼結工場である。製鋼用電気炉については、関連会社4社の設備に対して種々の対策を実施し、2002年12月適用予定の規制値5 ng/Nm³を十分下回るレベルをすでに達成している。焼結炉排ガスについても、千葉、水島両製鉄所で2002年12月からの規制値1 ng/Nm³を下回る排出濃度となっているが、さらなる排出抑制に取り組んでいる。

製鉄所においてコークス製造過程で副次的に生成されるベンゼンを回収、製品化している。鉄鋼業界は1997年度よりベンゼンの大気への排出抑制に関する自主管理計画を策定しており、川崎製鉄は前述のコークス炉ドア漏れ対策などを進め、この管理計画で設定し

Table 1 Recycling situation of by-products (FY1999)

	Amount (kt/y)	Ratio (%)	Landfill (kt/y)	Recycling ratio (%)
Slag	5 575	82.1	0.0	100.0
Dust	1 085	16.1	5.0	99.5
Sludge	41	0.6	23.6	42.4
Others	87	1.3	5.3	93.9
	6 788	100.0	33.9	99.5

た目標を大幅にクリアしている。

また PRTR (Pollutant Release and Transfer Register) 制度に基づく有害性の確認されていない物質移動の実績把握が 2001 年度から始まる。現在製鉄所を対象とする物質について調査中であるが、PRTR 対象物質の中には、固形廃棄物や土壌のような固体資料について分析方法が確立されていない物があるため、その分析方法確立のための検討を進めている¹⁷⁾。

4 循環型社会への取り組み

川崎製鉄の循環型社会への取り組みは、自社の副産物に対するゼロウェイスト活動およびパイロメタラジー技術に基づく地域社会や他産業の発生物の資源化に適する技術開発の 2 つの柱からなる。

4.1 製鉄所副産物の資源化技術

川崎製鉄における 1999 年度の製鉄所副産物品目別の発生量と埋立量、資源化率の実績を Table 1 に示す。

1999 年度年間の全副産物発生量は 6 788 千 t であり、その 82% はスラグで、残り 18% がダスト、スラッジなどである。ゼロウェイスト（廃棄物ゼロ）活動推進の結果、Fig. 5 に示すように、1990 年度に 94% 弱だった副産物の資源化率は、1997 年度以降は 99.5% に達している。その結果、1990 年度 391 千 t だった埋立処分量は 1999 年度には 91% 削減し 34 千 t に減少した。

現在、2005 年度の埋立処分量を 1998 年度比で 80% 削減することを目指し技術開発を実施している。

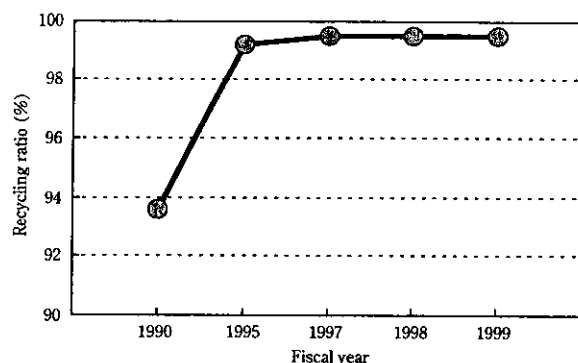
4.1.1 スラグの 100% 資源化技術

副産物発生量の 82% と大部分を占めるスラグについて、製鉄所内リサイクルと所外での用途拡大により資源化¹⁸⁾を進めた結果、スラグ埋立量は 1995 年度からゼロを実現した。その利用技術開発の主なものには以下のものがある。

- (1) 製鋼スラグの Fe、CaO 分を有効利用する焼結・高炉へのリサイクル
- (2) 高炉水砕スラグのセメント利用拡大
- (3) 高炉水砕スラグの土木利用技術開発、硬質水砕製造によるコンクリート骨材化
- (4) ステンレス鋼製スラグを含む製鋼スラグの路盤材利用技術開発、サンドコンパクションパイル工法への利用技術開発
- (5) 高炉スラグからのロックファイバー製造

4.1.2 ダストリサイクル技術

従来から実施してきた焼結工程へのダストリサイクルに加え、溶銑予備処理でのダスト利用を進めてきた。さらにステンレス製鋼工程で発生する難還元性クロム含有ダストを溶融還元し、金属として回収する新しい 2 段階式コークス充填層型溶融還元炉 (STAR 炉)¹⁹⁾を開発した。回収した金属はそのままステンレス鋼の原料として再利用し、発生ガスは燃料として、スラグは道路路盤材として利用している。



$$\text{Recycling ratio} = \frac{(\text{Amount of by-products}) - (\text{Amount of landfill})}{(\text{Amount of by-products})} \times 100 (\%)$$

Fig. 5 Progress in recycling of by-products

また、千葉製鉄所第 4 製鋼工場で転炉からのダスト発生抑制を目的としたホットサイクロンを導入し、2000 年 6 月に稼働した。

これらの成果により、ダストの資源化率は 1990 年度の 96% から 1999 年度には 99.5% に上昇した。

4.1.3 スラッジ他

水処理スラッジや所内各プロセスでの集じんダストは焼結原料として利用しているが、その資源化率は 1999 年度で 42.4% と他の品目に比べて低く、資源化の困難さを物語っている。

水処理スラッジは、含水率が高いこととリサイクルを阻害する成分を含むことから資源化が遅れている。たとえば、鋼材の圧延水処理設備から発生するスラッジは油を含み、めっき排水処理設備から発生するスラッジは亜鉛や鉛を含んでいる。また、ステンレス酸洗排水処理設備から発生するスラッジはフッ素を含んでいる。このように、個々に性状が異なるうえ、製鉄所で資源化するには混在する油の除去や鉄以外の物質の分離が必要であり、分離物の資源化方法も課題である。これら各種のスラッジの完全リサイクルに向けた研究開発を現在推進中である。

4.2 パイロメタラジーを利用した廃棄物の資源化技術

鉄鋼製造の過程で培ったパイロメタラジー技術を基に開発した廃棄物資源化技術を用い、地域社会や他産業からの発生物を処理し、回収される金属や燃料ガスなどを有効利用する Fig. 6 に示すようなリサイクルシステムの構築を進めている。

4.2.1 Z-STAR 炉（先進ダスト製鉄炉）

先に述べた STAR 炉の溶融還元技術と、新たに開発した亜鉛回収技術を組み合わせ、エネルギー創生型先進ダスト製鉄炉 (Z-STAR 炉) を開発した。この炉では、これまで処理困難であった可燃物および亜鉛、鉛を含む電気炉ダスト、シュレッダーダストなどが処理され、2 次的廃棄物を排出することなく、可燃物や亜鉛など高揮発性金属がガス化によりおのおの回収・有効利用されるとともに、鉄などが溶融金属として効率的に回収される²⁰⁾。水島製鉄所で 2000 年 2 月に試験稼働を開始し、水島製鉄所内にあるダイワスチール(株)の電気炉ダストを処理するとともに、シュレッダーダストなど地域で発生する産業廃棄物の処理への展開を進めている。

4.2.2 川鉄サーモセレクト方式廃棄物ガス化溶融炉

産業廃棄物および一般廃棄物処理に際して、ダイオキシンの発生をほぼゼロに抑えながら、廃棄物を発電や化学原料に使用可能な精製ガス、メタル、スラグなどに再資源化できるまさに時代のニーズに応える川鉄サーモセレクト方式廃棄物ガス化溶融炉²¹⁾を 1999 年 9 月に千葉製鉄所内に建設した。試運転に引き続き、一般廃棄物処

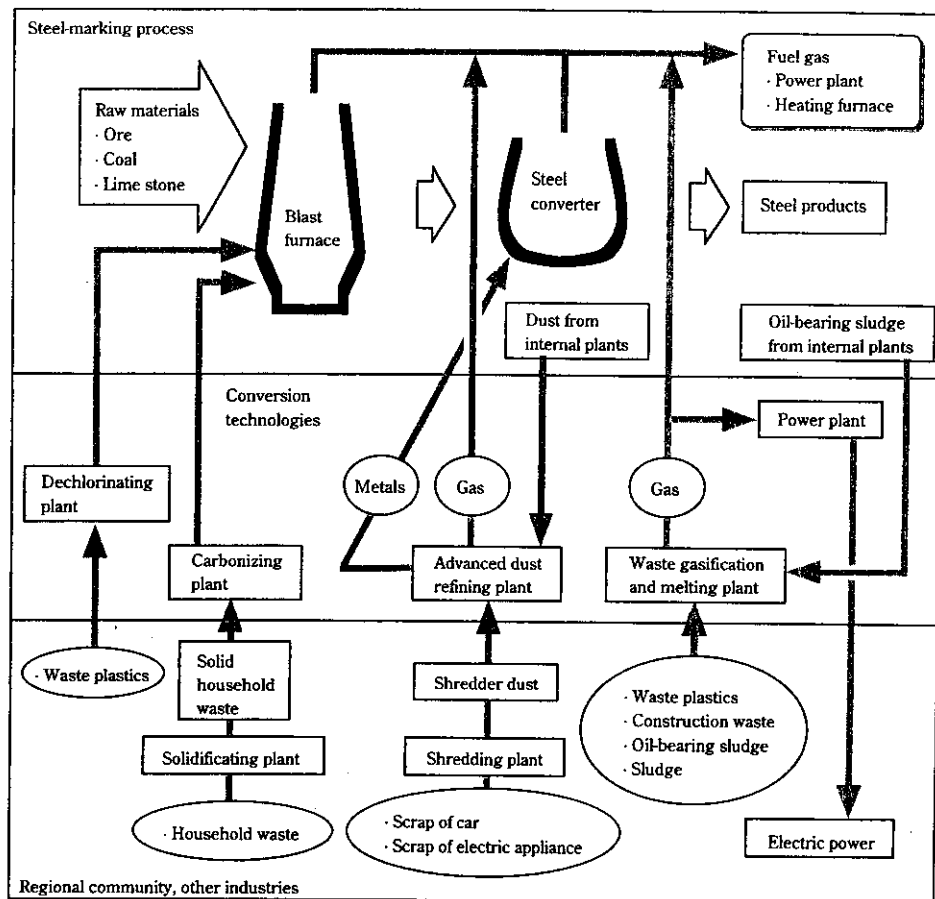


Fig. 6 Recycling system based on steel-making process

理に関して千葉市および千葉県と共同研究を実施し、2000年3月には(社)全国都市清掃会議より技術検証・確認概要書を取得した。[川鉄サーモセレクト方式] 廃棄物処理プラントの販売を進めるとともに、千葉製鉄所内において産業廃棄物処理業を開始した。

4.2.3 RDF (ごみ固化燃料)

ごみ処理施設におけるダイオキシン類などの排出問題およびリサイクル・未利用エネルギー回収への関心の高まりにより、「ごみ固化燃料 (RDF) 施設」が注目をあび、川崎製鉄は(株)日本リサイクルマネジメント (RMJ) と共同で、その普及に努力してきた。RMJ 方式は水分の多い日本のごみを対象に開発した技術であり、採用実績は国内13ヶ所である。RDFは燃焼特性、輸送性、貯蔵性に優れており、RDF設備は広く採用されるようになってきたが、小規模RDFプラントにおいて、RDFの利用先が限定されていることから、その導入を控えている自治体も多い。川崎製鉄では、このような状況の中でRDFを炭化させ、マテリアルリサイクル可能な炭材を製造する技術を開発した²²⁾。製品である炭化物は「リバーエコ炭」と称し、製鉄所などで還元材として利用できるだけでなく、土壌改良材など多目的な利用が期待できる。この技術はRDFを部分酸化させることにより低酸素雰囲気下で乾留する方式であり、水島製鉄所内においてRDF処理能力30t/dの実証炉を設置し、2000年4月より試験運転を行っている。RDF技術の発展型であり、国内外への普及が期待される。

4.2.4 プラズマ溶融技術

焼却灰を最終処分場に投棄する方法は、最終処分場の逼迫、ダイオキシン問題、資源循環型社会構築の観点から望ましくなく、高温溶融による有害化学物質の分解無害化、スラグの再資源化の社会的

ニーズが高まっている。川崎製鉄は、スラグの資源化のために高温で完全溶融が図れるプラズマ溶融技術に着目し1986年から開発に着手し、実用化してきた。その特徴は、生成スラグからの金属溶出量が十分少なく土壌溶出基準を満足すること、ダイオキシンに代表される有害化学物質は高温雰囲気により99%以上分解されること、および電極寿命が長く維持管理が容易であることなどである。本技術²³⁾は千葉市北谷津プラズマ溶融センターおよび京都市東北部清掃工場(仮称)ばいじん溶融設備で採用されている。

ここ数年、ゴミ焼却処理が見なおされ、焼却灰の発生しないガス化溶融プロセスが開発されてきているが、プロセスの切り換えには長い時間が必要であり、灰溶融のニーズは今後も継続していくものと考えられる。

4.2.5 鉄鋼プロセスを利用した廃棄物の資源化技術

水島製鉄所は業界に先がけてコンビナートに種々のエネルギー(副生ガス、酸素・窒素・アルゴンなどの空気分離製品)を供給して、地域社会のエネルギー経済に寄与するとともに製鉄所のエネルギー需給の効率的、経済的な運用を図ってきた。また、これらの企業から一部の産業廃棄物を受け入れて処理を行っているが、さらにコンビナート内企業の廃棄物・副産物を相互に有効活用しエネルギーおよび資源を創造するための研究を行っている。

また、千葉製鉄所においても半導体洗浄過程で使用後、分別管理された廃酸をステンレス鋼酸洗剤として再使用するなどの取り組みを行っている。

今後も、鉄鋼プロセスを利用した完全リサイクル型の廃棄物処理技術の開発・普及を図ることにより、循環型社会の構築に貢献していく。

5 おわりに

川崎製鉄が進めている最近の環境保全技術の動向について、省エネルギー技術、環境負荷低減技術、製鉄所副産物資源化技術および

パイロメタラジーを利用したリサイクル技術を中心に概括した。

川崎製鉄は、高機能で地球にやさしい製品作り、海外技術協力²⁴⁾などの活動も含めて、今後も率先して地球環境保全に向けた技術開発を行い、持続的発展が可能な社会の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- 1) 森川晶夫, 藤川徳次郎, 吉村博安: 川崎製鉄技報, 17(1985)2, 93-97
- 2) 前澤利春, 小宮山滋, 南部正悟, 峰松隆嗣, 安部成雄: 川崎製鉄技報, 17(1985)2, 104-109
- 3) 荻野 哲, 香月泰弘, 天野 忍: 川崎製鉄技報, 28(1996)4, 249-254
- 4) 佐々木洋三, 山元 深, 小泉 進: 川崎製鉄技報, 17(1985)2, 98-103
- 5) 坂本誠司, 井川勝利, 反町健一: CAMP-ISIJ, 9(1996), 40
- 6) 高崎英樹, 沖汐正悦: 省エネルギー, 40(1988)7, 35-40
- 7) 安達一成, 中川二彦, 小橋正満: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 287
- 8) 二階堂英幸, 磯山 茂, 野村信彰, 林 寛治, 森本和夫, 坂本秀夫: 川崎製鉄技報, 28(1996)4, 224-230
- 9) 柴山人之, 高山明久, 國武幹生: 日本芳香族工業大会技術・研究発表要旨, (1998), 14-18
- 10) 中川二彦: 伝熱研究, 37(1998)146, 33-39
- 11) 松隈 隆, 馬場真二: CAMP-ISIJ, 10(1997)4, 866
- 12) 笠岡玄樹, 安藤 猛: 川崎製鉄技報, 29(1997)1, 11-15
- 13) 安野元造, 内田哲郎, 後藤 毅, 田中 均: CAMP-ISIJ, 6(1993)1, 55
- 14) 米山泰之, 秋吉哲男: CAMP-ISIJ, 13(2000)4, 1007
- 15) 岡田英晃, 國武幹生: アロマティックス, 49(1997)1-2, 19-22
- 16) 斉藤 功, 福田一美, 野間秀明: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 318
- 17) 志村 真, 吉岡啓一: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 339
- 18) 桜谷敏和: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 323
- 19) 長谷川伸二, 国分春生, 原 義明: 川崎製鉄技報, 29(1997)1, 51
- 20) 水藤政人, 原 義明: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 312
- 21) 三好史洋, 清水益人, 丸島弘也: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 287
- 22) 塩津浩一, 山田純夫, 吉田鉄男: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 307
- 23) 山下繁昭, 菊地 亨, 菅原英世: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 300
- 24) 小泉 進, 吉田和彦, 森下 仁: 川崎製鉄技報, 32(2000)4, 331