



展望

21世紀の製鉄所 ～環境と調和する製鉄をめざして～

Iron Works in the 21st Century

— Iron and Steelmaking Technologies Harmonized with the Earth Environment —

NKK 総合材料技術研究所 主席研究員 坂本 登 Noboru Sakamoto

NKK 技術開発本部 専務 北田豊文 Toyofumi Kitada

1 はじめに

超高層ビル、新幹線、高速道路、原油タンカー、海峡をまたぐ長大橋などの超大型構造物あるいは車、テレビ、冷蔵庫、エアコン、炊飯器など日常生活に欠かせない耐久消費財はいずれも鉄を素材として作られている¹⁾。このようにわれわれは日々の生活の中で特別な意識を持たずに鉄の恩恵にあずかっており、鉄を素材とした製品無しの生活は考えられない。これはあたかも空気や水の重要性を知りつつも日常生活でその存在を意識しないのと同じなのかもしれない。

一方18世紀の産業革命以来先進国を中心に重化学工業の発達、飽くなき豊かな生活の追求によって化石燃料消費量は指数関数的に増加していった。その結果大気中のCO₂濃度は徐々に上昇を続け地球温暖化問題が顕在化するに至った。97年の第3回締約国会議(COP3)で採択された「京都議定書」によれば我が国はCO₂発生量を2010年までに1990年比で6%の削減を求められている。これを受け最終エネルギーの11%強を占める鉄鋼業は自主行動計画を策定しCO₂削減行動を開始している²⁾。

ところで製鉄原・燃料資源に恵まれない我が国鉄鋼業は資源の輸入、製品の輸出の利点を追求すべく昭和40年代以降臨海製鉄所にその活路を求めた。これは必然的に産業あるいは一般廃棄物処理の問題を抱えた都市と近接することになり都市と製鉄所は一体となって健康で快適な環境を確保する循環型社会を作り上げて行かなくてはならない。

これらの背景のもとに素材産業としての鉄鋼業の技術構築と人間社会への寄与、鉄鋼業が取り組んでいる地球環境に優しい循環型社会に対応する技術開発およびその成果の適用による次世代都市型製鉄所のあるべき姿を報告する。

2 科学技術の集約としての鉄鋼製造プロセス

2.1 鉄鋼製錬はいかにして技術から科学となったか

鉄の歴史は古くその起源はBC1500年の古代ヒッタイト帝国まで遡る³⁾。ヒッタイト遺跡から出土の文書によれば、当時鉄は貴重なため金の5倍、銀の40倍の価値があったとされている⁴⁾。この様に貴重な鉄ではあったが鉄の製錬技術は長い間経験技術に依存していた。これが理論体系化されたのはずっと新しく18世紀、フランスのラボアジェが酸素を発見した以降であった。それまではフロギストン(燃素)の考え方が支配的で金属の中にはフロギストンが存在し、これが抜けると価値のない金属灰になると考えた。これに対しラボアジェはフロギストンなど存在せず、ものが燃えるとは酸素との化合(酸化)であり、逆に金属酸化物から酸素を奪ってやれば金属になること(還元)を初めて明らかにした⁵⁾。さらに1875年米国のJ.ギブスが熱力学を構築し、この考えを鉄鋼製錬に応用することで反応平衡の理論体系化がなされた。現在の金属製錬は全てこの還元・酸化の化学反応原理と熱力学の原理が活かされている。21世紀になっても生産効率を追求する技術開発は依然として進展するだろうが、これらの原理を活かした製錬プロセス以外はあり得ない。この原理に加え海外の原・燃料を製鉄原料化するための地質・鉱物学・エネルギー工学、鉄を加工し製品にする機械工学、製品の高機能化に伴う原子オーダーで材料組織設計を行うための物理学、鉄鋼製造プロセスを制御する電子・制御工学など鉄鋼製造プロセスは規模の大きさのみならず自然科学と工学が融合して成り立つ総合科学技術とも言える。鉄鋼の生産面からは設備投資額が相対的に低い直接製鉄法は今後、徐々に生産比率を増やすものと考えられる。しかし生産性、品質の安定性などから圧倒的に高炉・転炉を用いる間接製鉄法が世界を席卷しておりこの傾向は21世紀になっても基本的には変わら

ないであろう。このような総合科学技術の集合として発展してきた鉄鋼製造プロセスと他の基礎素材製造プロセスとの製造エネルギーを比較すると図1が得られる⁶⁾。これより鉄鋼製品は製造エネルギーにおいては他の基礎素材と比較し格別に低いエネルギーで製品を生産していることがわかる。これは資源の豊富さ、熱力学的観点からの製錬の容易さなど鉄鋼分野特有の背景にも依存するが製錬の基礎原理をもとに効率化、省エネ化技術を徹底的に追求してきたことにも起因している。

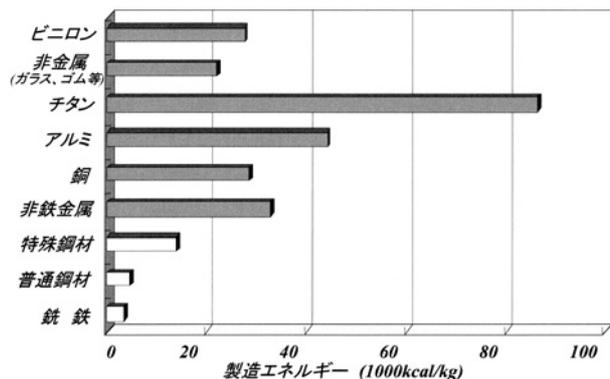


図1 主要基礎素材の製造エネルギー比較

2.2 コメと産業のコメ、どちらが高いかを考える

既に述べたように鉄は我々の生活のあらゆる分野に入り込んで快適性、利便性に寄与している。ところで日々の食事に主食のコメ無しでは生活が成り立たないと考える日本人は多い。このため「鉄は産業のコメ」とも称されている。いずれも我々の生活では重要な素材であるがそれでは価格を比較してみるとどうなるであろうか。例えば代表的なコメとして新潟産のコシヒカリと車、テレビ、冷蔵庫、洗濯機などに使われる冷延鋼板⁷⁾を比較してみると図2が得られる。モノの価値を比較するとき重さで比較するか嵩で比較するかによって価値観は変わるがここでは単純に重さで比較をする。コシヒカリ1袋は5kgで3000円である。一方冷延コイルは1巻約40



図2 鉄と生活必需品との価格比較

トンで200万円以上であるから鉄は圧倒的に高いと考えるのは早計である。単位重量あたりで評価すれば前者は600円/kgであり、後者はわずか53円/kgである。コメは口に入るまで八十八回の農作業が必要とよく言われ、それゆえに貴重な主食となっている。一方鉄を生産するまでには海外から原・燃料を運び、製鉄所で莫大なエネルギーを投入し製精錬、加工をして漸く素材化する複雑な工程が要求される。鉄鋼製品は素材として優れた材料特性に加え、その価格の安さがあらゆる産業の基盤を支えていると言えよう。

3 循環型社会に都市型製鉄所はどのように寄与できるか

3.1 地球環境の現状に対し鉄鋼業はどう取り組むか

我々はエネルギーを消費し廃棄物を排出することで生命活動を行っている。持続可能な社会活動の範囲内でエネルギー消費と廃棄物の排出を行っている分には問題はないがこれをはるかに越える消費と廃棄物の排出が行われるようになると地球規模での問題が顕在化してくる。たとえば過剰のエネルギーを使用した結果我々の住む閉鎖系としての地球大気圏における温室ガスであるCO₂濃度は上昇を続け、ここ100年間で大気中のCO₂濃度はおよそ290ppmvから360ppmv(ppmv:体積基準で100万分の1)に上昇し地球表面温度は0.6℃上昇した。またこれによる海面上昇は過去100年で10~25cmと見積もられている⁸⁾。96年を例にとれば世界のCO₂総排出量は約62億トンで我が国は米、中、ロシアについて第4位の4.9%を占めている。また我が国鉄鋼業のCO₂排出量は95年の原油換算と比較すると11.4%であり単一産業排出量としては際だっていると言えよう⁹⁾。ところでオランダで開催された第6回締約国会議(COP6)ではEUが罰則を含めた厳しい規制案を提示したのに対し米国・日本は反対の態度をとっている。また中国、印度などの発展途上国も今後の自国の経済成長を考え排出量規制には反対の立場を示している。

「京都議定書」で設定した2010年で1990年比6%のCO₂削減を達成すべく鉄鋼業は96年12月に図3に示すような自主行動計画による数値目標を設定した²⁾。当初90年比で10%削減を宣言したが、97年9月には廃プラスチック処理を前提とした省エネ効果1.5%を追加し計11.5%削減目標を掲げ活動中である。

3.2 地球環境を救う高炉への廃プラスチック吹き込み

プラスチックは基礎素材の一つであり多くの優れた特性から日用品から機械部品に至るまで様々な分野で幅広く活用されている。図4に主要国のプラスチック生産量および70年

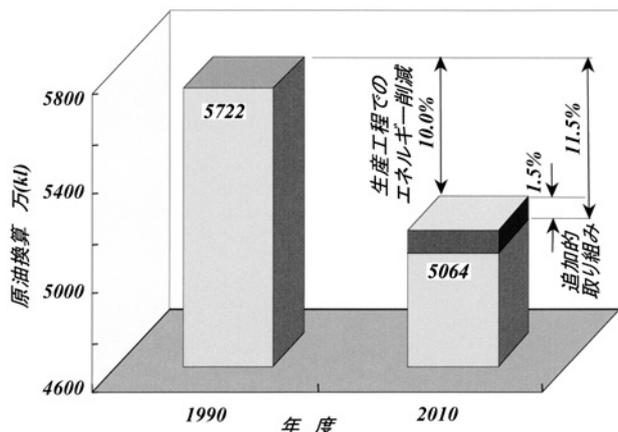


図3 鉄鋼業の自主行動計画による省エネルギー

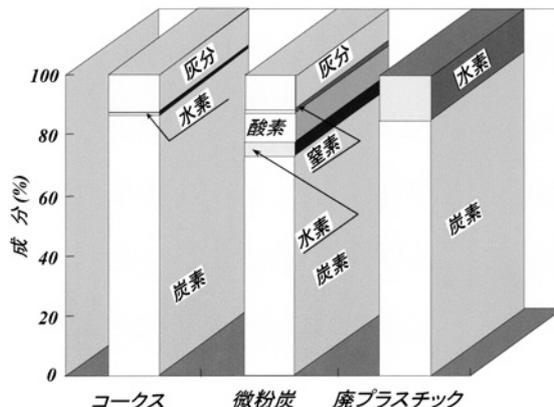


図5 高炉還元材としての廃プラスチックの特徴

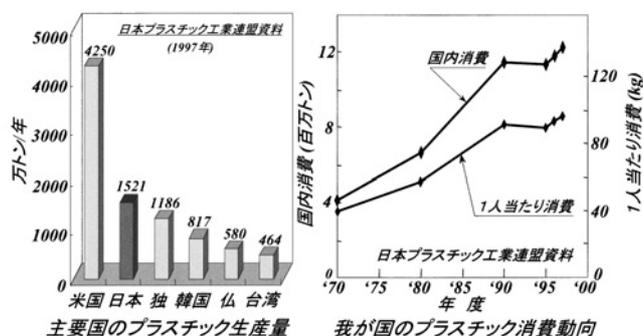


図4 プラスチックの生産と消費

度以降の国内消費と個人消費の変遷を示す¹⁰⁾。これより我が国は世界第2位の生産国であり、国内消費、個人消費ともほぼ直線的に上昇している。最近の20年を見ても国内消費、個人消費とも2倍の伸び率を示している。これだけ消費量が増えれば当然廃棄物として環境に廃棄される量も増加する。97年を例に見ると約1200万トン生産されたプラスチックは一般廃棄物及び産業廃棄物として950万トンが環境に放出されたことになる。このうち利用されずに単純焼却あるいは埋め立てに回される量は実に58%、550万トンに達し¹¹⁾社会問題として顕在化した。ところで廃プラはその安定した性質のため廃棄しても分解せず焼却すると有害物質による環境汚染が問題となる。この様な状況下、2000年4月「プラスチック製容器包装リサイクル法」が施行され容器包装を扱うメーカーは再商品化の義務を負うこととなった。これに対し鉄鋼業は省エネ自主行動計画の中で2010年までに100万トンの廃プラを処理することで1.5%の省エネを達成することを目標に掲げている¹²⁾。

ここではこの目標に対し高炉に廃プラスチックを吹き込む技術の工業化を達成したNKK京浜製鉄所の例を紹介する。高炉は鉄鉱石を製錬する巨大な還元炉である。この役割をコークスあるいは微粉炭が受け持っている。ところで鉄石の還元はコークスでなく水素でも可能である。両者の製錬反応は

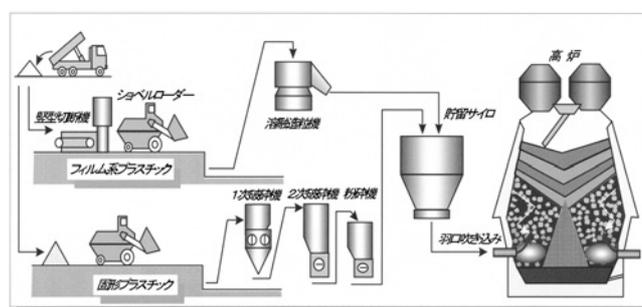
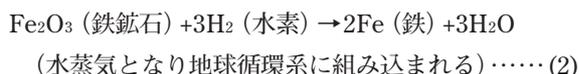
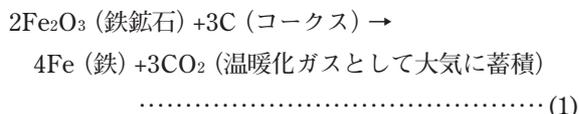


図6 京浜高炉の廃プラスチック吹き込みシステム

(1)、(2)式で表せる。



CO₂の抑制面からは廃棄物を環境に無害な水として排出する(2)反応を積極的に起こさせることが望ましい。この観点から代表的な還元材であるコークス、微粉炭及び廃プラの成分を評価すると図5が得られる。図5よりコークス、微粉炭は水素はほとんど含有されず高炉にとって不要な灰分が約10%含まれている。これに対し廃プラは灰分が皆無の上地球環境にとって望ましい水素含有量が10%以上含まれることが理解できる。また灰分がない分発熱量が高く高炉の熱源として他の燃料より望ましい。ただし実際に高炉で廃プラを使用する場合は廃プラの形状、高密度、異物含有などによりそのまま使用できず、複雑な事前処理工程を必要とする。

図6に96年より開始したNKK京浜製鉄所における廃プラの高炉吹き込み処理フローを示す¹³⁾。神奈川を中心とした関東地区市町村から出る分別回収された廃プラ(一般廃棄物)及び事業所より排出される廃プラ(産業廃棄物)は京浜製鉄所に運搬される。ここでプラスチック製トレイ、包装用紙、包装袋、ビデオテープなどのフィルム系廃プラとプラスチック

表1 2000年度廃プラスチック処理計画

企業	処理方法	処理規模
新日鐵	コークス炉装入	84,000 トン
NKK	高炉吹き込み	69,000
川鉄 (ジャパン・リサイクル)	ガス化熔融炉	8,000
神鋼	高炉吹き込み ボイラー燃料	4,700

ク容器を主体とする固形廃プラに分けられる。前者は脱塩ビ処理後破断・熔融造粒を、また後者は破砕・粉碎後貯留サイロに貯められここから高炉の羽口を介し炉内に吹き込まれる。高炉内では(1)、(2)式に示す還元反応によりコークスの代替還元材としての機能を果たしCO₂排出を抑制する。また還元後の高炉ガスは燃料として製鉄所の下工程で使用され、省エネに寄与している。当初は由来のはっきりした産廃プラから高炉吹き込みを開始したがその後処理工程の対応により一般家庭から排出する廃プラの処理も軌道に乗っている。一方各社とも都市型製鉄所は地域で発生する膨大な廃プラを積極的に使い循環型社会に寄与すべく活動中である。表1は2001年に各社で処理した廃プラの計画を示す⁷⁾。これより各社で廃プラ処理法が異なりそれぞれの特徴ある技術で処理を行っている。今後各社とも更なる技術開発と共に市町村、企業と密接な提携のもとで対応し図3に示す追加的取り組み達成に向かって前進して行くことになるであろう。

3.3 製鉄所と製鉄プロセスが都市と地域住民に寄与できる技術は何か

従来の鉄鋼業は安価で高品質の鉄鋼製品を安定して供給することを要求されていた。しかし鉄鋼業も社会を構成するメンバーである限り昨今の地球環境問題の軽減、解決に積極的に取り組むべき役割がある。我が国の製鉄所は都市に隣接した立地条件で鉄鋼製造を行っており環境問題に対しては独自の技術開発も含め積極的な対応をとってきた。たとえば海外製鉄所と比較しNO_x、SO_xの排出基準など現在の最高技術で対応できる厳しい規制値を遵守している。また昨今社会問題として顕在化してきたダイオキシンに対しても直ちに産学協同でその発生メカニズムと生成抑制に対応し国の規制値を達成すべく活動中である¹⁴⁾。一方鉄鋼製造プロセスは1000℃以上の操作が主体であり、この技術を積極的に地域社会に還元することが社会と共生する製鉄所の責務でもある。廃プラの高炉吹き込みなどは典型的な循環型社会寄与技術と言えよう。各社ともこれ以外にも今後の地球環境を視野に入れた技術開発を行っておりその一部は既に工業化され社

会貢献を行っている。ここではNKKが取り組んでいる環境対応技術を例に一貫製鉄所および製鉄技術が都市社会にどのように貢献できるかを述べる。

1) 高温ガス化直接溶融炉¹⁵⁾

地域社会から排出される生ゴミ、清掃工場から排出される焼却灰、最終処分場から掘り起こしゴミ、シュレッダーダストなどを高温ガス化炉で溶融しスラグとメタル化する。また発生する高カロリーガスはクリーン燃料として使用する。2000℃以上の高温領域が存在するためゴミ焼却で問題となるダイオキシンは分解し環境汚染のないプロセスとして評価されている。この技術は高炉と類似した操作が多く鉄鋼プロセスが基礎技術になっている。

2) 廃トナー処理¹⁶⁾

大都市部では膨大な情報がコピーを介して行き交っている。その結果コピー機から大量のトナーが廃棄物として排出されている。トナーの成分はC:75～80%、H:～10%、O:～10%で構成されており、不純物はFeが主体である。また粒度がわずか数ミクロンのため焼却操作が困難で対応に困っていた。ところで高炉は粉状の鉄鉱石を焼き固めた焼結鉱を原料として鉄を生産している。焼結鉱は原料である粉鉄鉱石を粉コークスで一部還元を行いながら焼き固めるプラントから製造される。廃トナーをこの還元・バインダー材と鉄の原料に利用できることに着目し種々の試験を経て京浜製鉄所の焼結機で処理を行うことに成功した。図7に焼結工程で廃トナーをリサイクルするプロセスを示す。本プロセスは廃プラの高炉吹き込みと同様単に焼却ではなく熱化学リサイクルとして位置づけられ廃棄物リサイクルの一貫に組み込まれている。

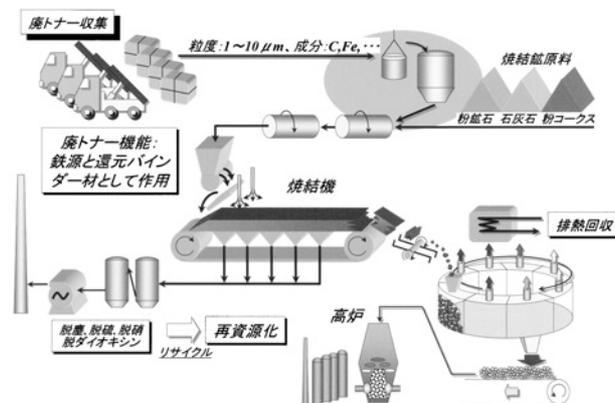


図7 廃トナーの焼結原料化プロセス

3) 人工藻礁

鉄鋼製造工程で必然的に発生するスラグの処理は地球環境

上重要な問題である。ここでは製鉄所の排出CO₂を製鋼スラグによって固定し、鉱物資源のリサイクルとCO₂の削減を同時に達成しようとする試みが行われている。スラグ炭酸固化ブロックを人工藻礁として使用することにより海藻類の繁茂、魚類の生息が確認されている¹⁷⁾。また海藻の繁茂により光合成作用が活発化しCO₂の吸収とO₂の放出を促進することにもなる。図8に製造したマリンプロックとこれを海洋中に設置したときの海藻の植生試験状況を示す。

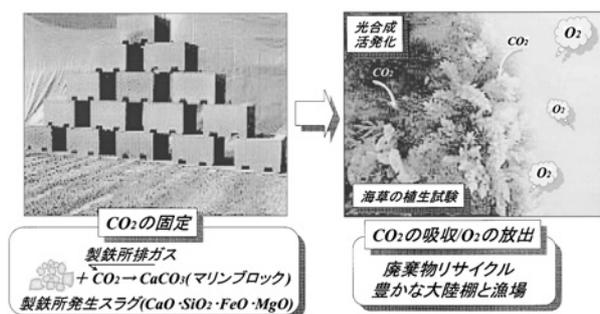


図8 スラグを原料としたマリンプロックと植生試験状況

4) その他

溶銑予備処理工程の一貫として行われる脱珪処理によって得られる脱珪スラグに高温場でカリウムを添加し緩効性ケイ酸カリ肥料とする技術開発が進行中である。市販ケイ酸カリ肥料、塩化カリ、ケイカル肥料との野菜栽培比較試験では同等の効果が得られている¹⁸⁾。また廃車、廃家電から発生するシュレッダーダストをタールを熱媒とする熱浴で処理し浮遊物と沈殿物に分離し高炉原料化と減量化を達成するシュレッダーダストリサイクル技術が検討されている¹⁹⁾。一方我が国の粗鋼は約30%を電炉鋼が占めている。このため電炉での省エネルギーはCO₂削減にとって重要な技術課題となる。この課題を解決すべく新たな電炉が考案されている。すなわち原料となるスクラップを電炉の廃熱で予備加熱することによって熱効率を向上させる高効率アーク溶解炉の開発が行われ電力原単位は従来の380kwh/tから150kwh/tに削減することを可能とした²⁰⁾。以上製鉄技術の特徴である高温プロセス、大量の物流処理プロセスを活かした新技術の紹介を行った。今後とも製鉄プロセスの原理を応用する地球環境対応技術は新たな発展をしてゆくものと考えられる。

4 鉄の未来に都市型製鉄所は どう対応するか

4.1 鉄とCO₂の固定と解放

地球はおよそ46億年前に誕生したとされている²¹⁾。図9に地球誕生から現在に至るまでのCO₂と鉄鋼製錬に関連す

る鉄鉱石、石炭、石灰石鉱床想定生成過程を示す。原始地球は内部より放出された大量のCO₂やH₂Oを主体とした高压ガスで覆われていた。その結果大気温度は数百度に達したとも言われている。この時期には海水中のCa、Feイオンが海水中に溶けたCO₂によって炭酸塩や水酸化物となった。また一部は酸素を放出する原始バクテリアによって酸化され鉱床として沈殿する。その結果大気中のCO₂量は徐々に減少し大気温度は低下することになる。ただし鉄鉱床、石灰石鉱床ともまだ十分な鉱化作用を受けずにいたであろう。また原始地球の酸素分圧は低く鉄分は磁鉄鉱、硫化鉄鉱として存在する比率が高かったと考えられる。その数十億年を経て鉄鉱床、石灰石鉱床とも鉱化作用によって徐々に成長を続ける。今から5億年前の古生代になると海には珊瑚や藻類、陸上には植物が繁茂し光合成が活発になる。その結果CO₂は石灰石として固定され光合成で爆発的に増加した酸素によって現在の大気が形成されるとともに鉄は赤鉄鉱まで酸化され現在の鉄鉱床となる。一方3億年前の石炭紀より石炭鉱床の形成が始まり鉄鋼製錬に必要な原・燃料はこの様な地質学的年代を経て地球上に固定される^{22, 23)}。

我々の祖先は限りあるこの地球の恵みをささやかに使うことで豊かな生活を甘受してきた。そしてその使用が大気圏を含めた地球の自然浄化作用の範囲で行われる限り健康で快適な生活が持続できた。しかるに18世紀産業革命が進行すると40億年以上をかけ固定してきた貴重な資源の使用は飛躍

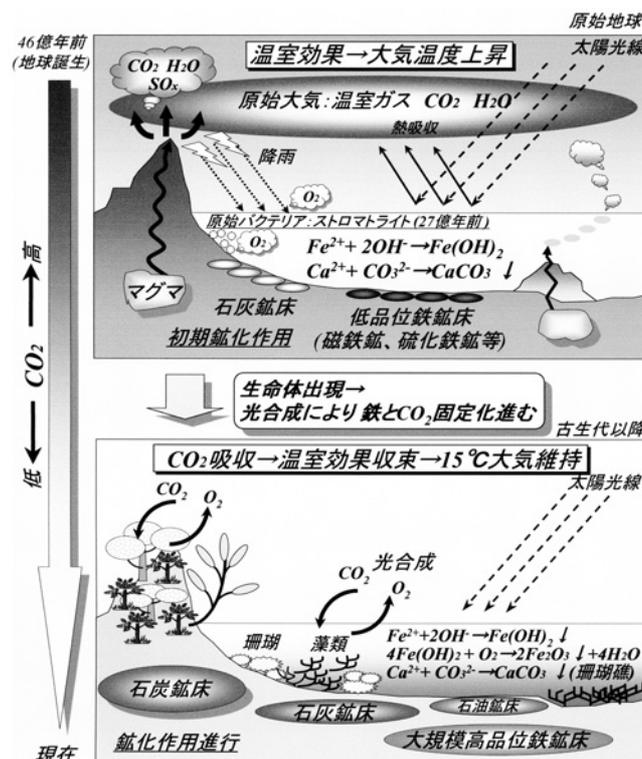


図9 原始地球から鉄とCO₂の固定過程

的に増えることとなる。特に20世紀の後半の半世紀で資源消費量は指数関数的に増加し図10に示すように大気中のCO₂濃度は急激な増加を辿っている⁸⁾。この結果地球の自浄作用を越えるに至り地球温暖化の原因の一つと考えられCOP3に発展した。鉄鋼業で見れば石炭と石灰石に固定したCとCaCO₃をCO₂として大気圏に放出し続け、このままでは時間の流れを原始地球方向に向けることになりかねない。今後の鉄鋼プロセスは持続可能な社会という背景を無視した開発はあり得ないし、その考慮こそ企業存続に影響を及ぼす技術開発となり、他企業に対する差別化につながるはずである。

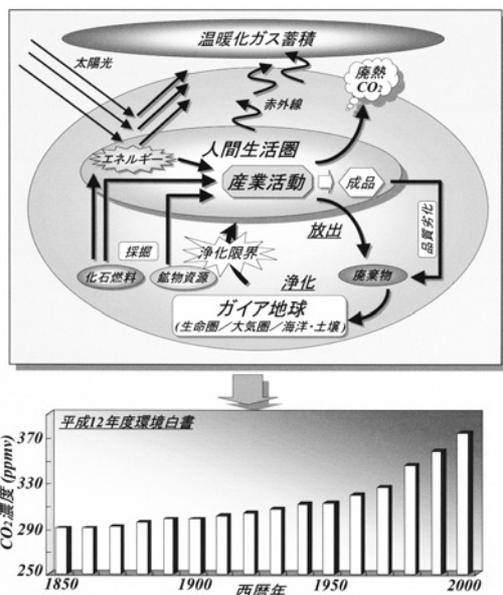


図10 産業・社会活動と大気中のCO₂濃度の推移

4.2 終わりのない省エネルギー追求

我々は外部から食料というエネルギーをとって老廃物を体外に捨てることで体内のエントロピーの増大を防ぎ生命を維持している。この現象をオーストリアの物理学者シュレーディンガーは「我々は負のエントロピーを取り入れ生命活動を営む」といった²⁴⁾。鉄鋼業を含むあらゆる社会・産業活動も人体機構と全く同じで、系外から原・燃料エネルギーを取り込み製品を作りその過程で廃棄物と排熱を系外に捨てることでプロセスが成り立っている。この活動が閉鎖系としての地球循環を乱さない範囲であれば地球の浄化作用によって健康で快適な社会生活が約束される訳である。ところが18世紀の産業革命以来、なかんずく20世紀後半から化石燃料と原料を大量に消費し、その結果大量廃棄、大量排熱によっていまや地球の自浄作用が脅かされつつある。2000年のハーグで開催されたCOP6の結果を受け今後世界的規模で環境規制は厳しくなろうし、子孫につけを残さないためには厳しい罰則も考えられよう。こうした中で鉄鋼業界は図3に示したような行動計画をたて活動中である。現在、主要製鉄国におけ

るエネルギー原単位を比較すると我が国は省エネでは既に世界の第一位に到達している²⁵⁾。この様な状況下で更に11.5%という省エネを新たに達成しなくてはならない。このため従来技術の延長上で省エネを図ることも重要であるが抜本的なプロセスの見直しを含め新たな技術開発の必要性が要求されている。その際配慮すべきは従来のように大量生産によって閉鎖系地球環境に大量の排熱、廃棄物を放出することをまず抑制することである。鉄鋼製造のような高温プロセスを扱う場合、中低温排熱を徹底的に回収し省エネを図ると共に従来廃棄物とされていた副産物の新たな資源化にも注力する必要がある^{17,18)}。この観点から鉄鋼製造プロセスを見直せば図11の様な方向が一つの解決の糸口を与えてくれるであろう。熱力学の第2法則によってあらゆる生産工程はエントロピーという排熱を系外に排出して成り立っている。これをゼロ、言い換えれば排熱を排出しないで成り立つ生産プロセスは理論的に不可能である。しかし個別の生産工程で排出する廃棄物、排熱を徹底的に有効利用しどこまで理論値に近づけられるかが今後の技術開発の方向になる。

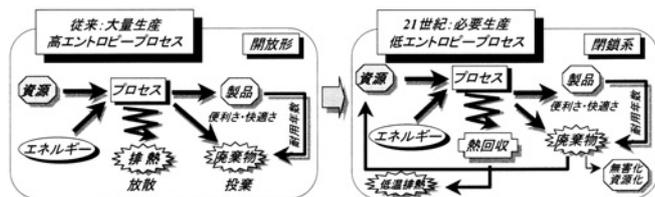


図11 循環型社会に対応する21世紀に指向する製鉄プロセス

4.3 リサイクルすべき廃棄物すべきでない廃棄物

豊かな地球の未来を達成するためにはあらゆる廃棄物は徹底的にリサイクルし限りある資源を次世代に残さなくてはならないという見解がある。これは考え方としては正しいがエネルギー効率、ひいては地球環境面から見れば必ずしも正しいとは言えない。図12に製鉄と関連の深い鉄スクラップと廃プラを例にリサイクルを考えてみる。まず鉄を生産する場合鉄鉱石から高炉を経て鉄を造る場合とスクラップから電気炉を経て鉄を造る場合を比較する。前者は製錬のために還元工程を要するが後者は既に還元が終了しているスクラップを溶解するだけのためその製錬エネルギーは大幅に削減が可能である²⁶⁾。このため鉄の生産には積極的にスクラップを使う方がエネルギー効率的には有利となる。現在我が国の鉄スクラップのリサイクル率はスチール缶を例にとれば95年で73.8%であり、鉄鋼業はこれを2000年に75%まで上げる計画で対応中であった²⁵⁾。しかし最近の実績では99年に既に83%を達成している。一方プラスチック類を作る場合原料にナフサを求める場合と廃プラに求める場合でその製造エネルギーに差は見られない。廃プラ、特に一般廃プラは成分が安

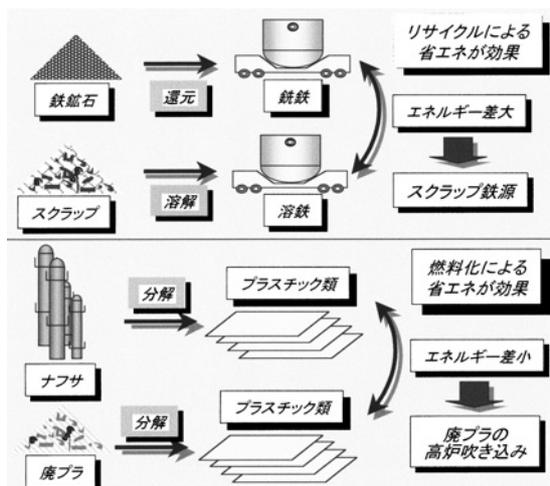


図12 資源リサイクルの合理的な考え方

定しないためこれを資源化するのに更にエネルギーを必要とするため再生利用率は極端に低くなる¹¹⁾。廃プラのリサイクルには異なる意見もあるが^{27,28)}、過剰のエネルギーをかけて再生するよりも高炉に吹き込み還元材として使用した方がトータルのエネルギー効率は向上し、地球環境にも優しいことになる。鉄についても同様でスクラップ由来の鉄製造エネルギーが低いからといってリサイクルを進めて行くと化石燃料に置き換えられるリサイクルコストが上昇し、また製品の鉄中に不純物混入が増え材料特性が悪化するという問題も発生する。

耐用年数が尽き環境中に廃棄される廃棄物は原則として循環使用されることが望ましいが図12の例のように地球環境にとって一番望ましいリサイクルの方法はどうあるべきかをいつも念頭に置いた生産活動が今後望まれよう。

5 おわりに

鉄はその材料特性、値段の安さ、資源の豊富さによって21世紀も基礎素材としての重要性は決して低下することはない。この役割を担いつつ社会活動によって排出される様々な廃棄物を有効活用し環境と調和する鉄鋼プロセスはどうあるべきかを当社の技術開発を中心に述べた。都市型製鉄所はその立地条件を活かしこれらの問題点を果敢に解決すべく種々の技術開発を行い社会ニーズに今後とも応えて行くであろう。

20世紀、特に後半の半世紀はある意味では大量消費、大量廃棄を美徳とした時代であった。しかし21世紀は我々の子孫に負の遺産を押しつけることがないよう持続可能な社会を目指すライフスタイルを指向しなくてはならない。このラ

イフスタイルを応援すべく都市型製鉄所は21世紀の地域社会貢献の一翼を担いうるものと確信している。

<参考文献>

- 1) ふえらむ, 5(2000)12, 864.
- 2) 地球環境, March, (2000), 6.
- 3) 大村幸弘: 鉄を生み出した帝国, NHKブックス(1981)
- 4) 三笠宮崇仁 編: 古代オリエントの生活, 河出書房新社(1991)
- 5) 三宅泰雄: 空気の発見, 角川書店(1995)
- 6) 大谷正康: 鉄と鋼, 72(1986), 1983.
- 7) 日刊鉄鋼新聞(2001.3.23)
- 8) 平成12年度版環境白書(総説), 環境庁(2000)
- 9) 鉄鋼界, 鉄鋼連盟環境エネルギー部, June, (1997), 2.
- 10) 矢野記念会: 1999/2000年版日本国勢図絵, 国勢社(1999)
- 11) 久保島悦子, 稲見浩之: 鉄鋼界, June, (2000), 8.
- 12) 地球環境, April, (2000), 52.
- 13) 浅沼 稔: 資源と素材, 116(2000), 737.
- 14) 細谷陽三, 中野正則, 葛西栄輝, 野田英俊, 富田幸雄: CAMP-ISIJ, 13(2000), 796.
- 15) 松平恒夫, 中村 直, 鈴木康夫, 吉田朋広, 須藤雅弘, 山川祐一: NKK技報, 164(1988), 42.
- 16) 廃トナーリサイクルシステム(NKKパンフレット)
- 17) 磯尾典男, 高橋達人, 西 勝宏, 岡田善清: CAMP-ISIJ, 13(2000), 856.
- 18) 八尾泰子, 磯尾典男, 松原健次, 高橋達人: CAMP-ISIJ, 13(2000), 858.
- 19) 広羽弘行, 岡田敏彦, 有山達郎, 上野一郎, 脇元一政, 熊木親生: CAMP-ISIJ, 13(2000), 897.
- 20) 水上秀昭, 山口隆二, 中山 剛, 牧 敏道, 佐藤靖浩: NKK技報, 170(2000), 1.
- 21) 端山好和 編: 地学事典, 平凡社(1973)
- 22) 松井孝典: 地球・46億年の孤独, 徳間書店(2000)
- 23) 丸山茂徳, 磯崎行雄: 生命と地球の歴史, 岩波書店(2000)
- 24) E.シュレーディンガー: 生命とは何か, 岩波書店(1979)
- 25) 鉄鋼界, 鉄鋼連盟環境エネルギー部, June, (1997), 7.
- 26) 小宮山 宏: 地球持続の技術, 岩波書店(1999)
- 27) 武田邦彦: リサイクル幻想, 文藝春秋(2000)
- 28) 奥 彬: ケミカルエンジニアリング, 44(1999), 97

(2001年3月27日受付)