

展望

21世紀の日本鉄鋼業

第3回 21世紀の製鉄プロセスの展望

林 明夫
Akio Hayashi

通商産業省 基礎産業局 製鉄課長

Japanese Iron and Steel Industry in the 21st Century (3)

日本鉄鋼業は、1973年の石油危機を境に、量的拡大から製品の高付加価値化へ、1985年のプラザ合意以降の円高を契機にコスト削減と生産体制の最適化を目指したリストラクチャリングを進めてきているが、21世紀における最適な製鉄プロセスを方向付ける要因として、次の3点を挙げる事ができる。

第1は、需要規模と各種製鉄プロセスの経済優位性であり、第2は資源・エネルギー需給と価格動向、特に鉄源—スクラップ—の需給であり、第3は地球規模の環境問題への対応である¹⁾。

この中で、特に地球規模の環境問題、なかんづく地球温暖化問題についての対応が、21世紀に於ける製鉄プロセスに大きな影響を与えると考えられる。フランス鉄鋼研究所(IRSID)のヴァン・ホーネッカー所長も昨年の新製鉄フォーラムの中で「地球環境問題が21世紀において鉄鋼業の新たなフロンティアを開く」と述べている。

本節では、鉄鋼業を取り巻く状況の変化を踏まえながら、最適化に向けた21世紀の製鉄プロセスを展望することとする。

1 最適な製鉄プロセスの決定要因

1.1 需要規模と各種製鉄プロセスの経済性

前号で述べたように日本をはじめとする先進国では、鉄鋼需要の大幅な拡大が期待できないことから、大量生産を前提とした高炉、転炉、連铸、ホットストリップミルといった一貫生産ラインが新增設される可能性は低いと考えられる。

図34に示すように高炉・転炉プロセスで競争力を有するためのミニマム生産規模は年間300万トン程度と考えられるが、このような規模のホットコイルを生産する一貫製鉄所を新設する場合、トン当たり設備費は少なくとも800～1,000²⁾程度と言われている²⁾。このような設備費で

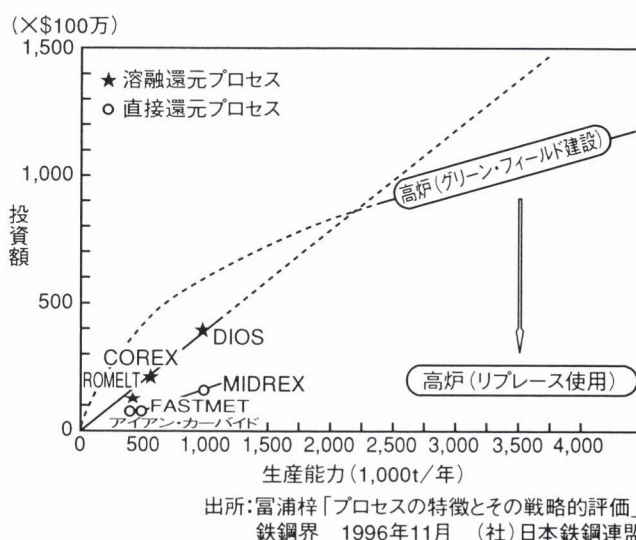
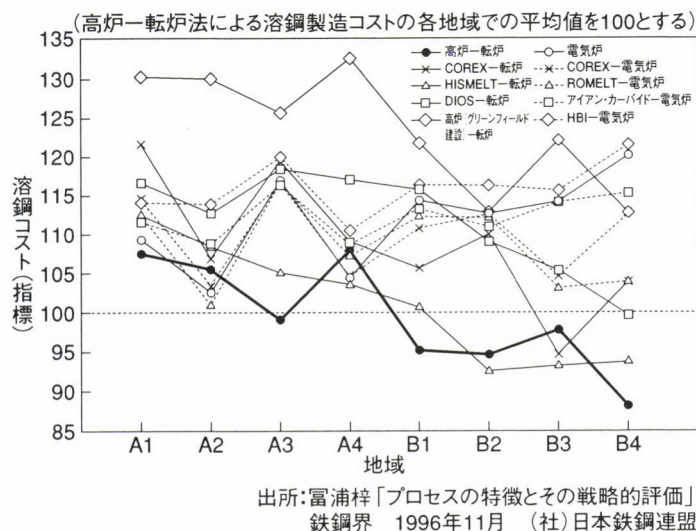


図34 主要鉄源プロセスの生産能力と初期投資額

は、金利と償却費は通常、製品トン当たり100²⁾程度となり、400²⁾のホットコイルの価格を想定しても、売上げに占める金利・償却費の比率は25%になる。従って、現在の国際価格を前提とすると、多額の初期投資を必要とする大規模一貫製鉄所の建設は、たとえ相当の鉄鋼需要の伸びが見込まれる経済発展地域においても、生産設備の建設費が特別に低い国を除いては、コマーシャルベースのみで判断を下すことが容易でない投資プロジェクトになりつつある。

このような投資環境下で前節の「製鉄プロセスの進化」で述べたように、鉄源製造部門では溶融還元法等の新プロセスが開発・実用化され、製鋼部門では薄スラブ連铸やストリップ連铸が導入され、圧延部門ではコンパクトミル等設備の簡素化が図られ、多額の投資を必要としない生産プロセスの導入が進められようとしている。

鉄源製造工程については、溶鋼の製造プロセス別の経済性評価分析が、新日鐵・富浦氏より、96年の国際鉄鋼協会(IISI)大会の場で発表されているが、同氏は図35の地域



資源から見た地域類型

市場		原燃料の入手容易性			
		鉱石	スクラップ	石炭/コークス	天然ガス
A1	成熟	△	○	○	×
A2		△	○	△	×
A3		○	○	○	×
A4		○	△	○	×
B1	成長	○	△	○	×
B2		○	×	×	○
B3		○	×	○	×
B4		○	×	○	○

注：○：恵まれる △：普通 ×：劣る

出所：富浦梓「プロセスの特徴とその戦略的評価」
鉄鋼界 1996年11月 (社)日本鉄鋼連盟

図35 地域別・鉄源プロセス別溶鋼製造コストの試算結果

別・鉄源プロセス別溶鋼コストの試算結果を、次のように分析している³⁾。

①新プロセスは、地域依存性が極めて強いプロセスと今まで一般的に考えられていたが、地域性に係わらず、溶鋼獲得の手段として競争力のあるプロセスが存在し得ることが明らかになった。

②先進国で高炉一転炉の休止に伴う生産量減を補う必要があるならば、スクラップと電気エネルギーを安価に入手し得る限り、電炉法あるいは新しいプロセスと電気炉の合併プロセスが有利となろう。

③鉄鋼需要の伸びが高い地域では、様々な選択肢が考えられる。需要量が著しく多く、原料入手に有利な地域では、高炉一転炉法が有効な手段であるが、需要規模、入手し得る原料、およびエネルギー価格の条件によっては、様々なプロセス選択が考えられる。

④適切な選択肢を考える要件として、市場の規模、獲得し得る原料とエネルギーに加え、環境規制の動向とエネルギー価格の動向が重要となる。

鑄造、圧延工程については、薄スラブ連鑄とコンパクトストリップミルを使った新プロセスによる熱延薄板製品の生産が、ニューコア・スチール社により、1989年から始められている。本プロセスについてホーガン氏は、「現在の発展段階で、コンパクトストリップミルが、限られた範囲で、一般品質の薄板を競争力あるコストで、ほぼ安定生産できることは実証された。製品化できる薄板の厚さと品質が限られているため、まだ、従来の薄板生産方式に代わり得る、対等のものとは考えられない。しかし、これはミニミル型工場の領域、つまり年度100万^ト以下の工場、製品トン当たり400^{万円}程度の投資で、限られた種類の薄板製品を

生産するには、競争力のある手段といてよい。」と述べている⁴⁾。薄スラブ連鑄はスラブが薄く、熱延工程で粗圧延機や中間圧延機が不要となるため、コンパクトストリップミルと組合せることで、生産ラインの長さも従来の1/3以下の200メートル程度となり、より安い設備費によって熱延薄板の製造が可能となっている。

従って、上述の溶鋼コストを勘案すると、①電気炉または電気炉と新鉄源製造プロセスとの合併プロセスと②薄スラブ連鑄とコンパクトストリップミルの組合せによって、汎用の薄板については、小規模設備でもコスト競争力を維持しつつ、市場に参入することが可能であると考えられる。

さらに、直接熱間薄板を鑄造するストリップキャスターがステンレス鋼のみならず、普通鋼の分野でも実用化されれば、新たなプロセス選択の幅が大きく広がっていくと考えられる⁵⁾。

以上のような製鉄プロセスにおける新たな技術進歩は、従前は一貫製鉄所のみで生産可能と考えられていた薄板の分野の一部に、いわゆるミニミルといわれる電炉メーカーが、世界各地で参入できることを意味しており、21世紀の製鉄プロセスを展望する上で重要なポイントとなっている。

1.2 資源・エネルギーの需給動向

一スクラップ需給とコークス炉の老朽化一

図36は、(社)日本鉄源協会によって1996年に試算された国内市中スクラップの回収量と回収見通しである。日本の鉄鋼蓄積量が増加していくにつれて、老廃スクラップの発生量が1980年度1,500万^トから、93年度2,400万^トへと60%の大幅な増加を示している。1993年度のスクラップ供給量は、加工スクラップと自家発生屑を合わせると4,300万^トと

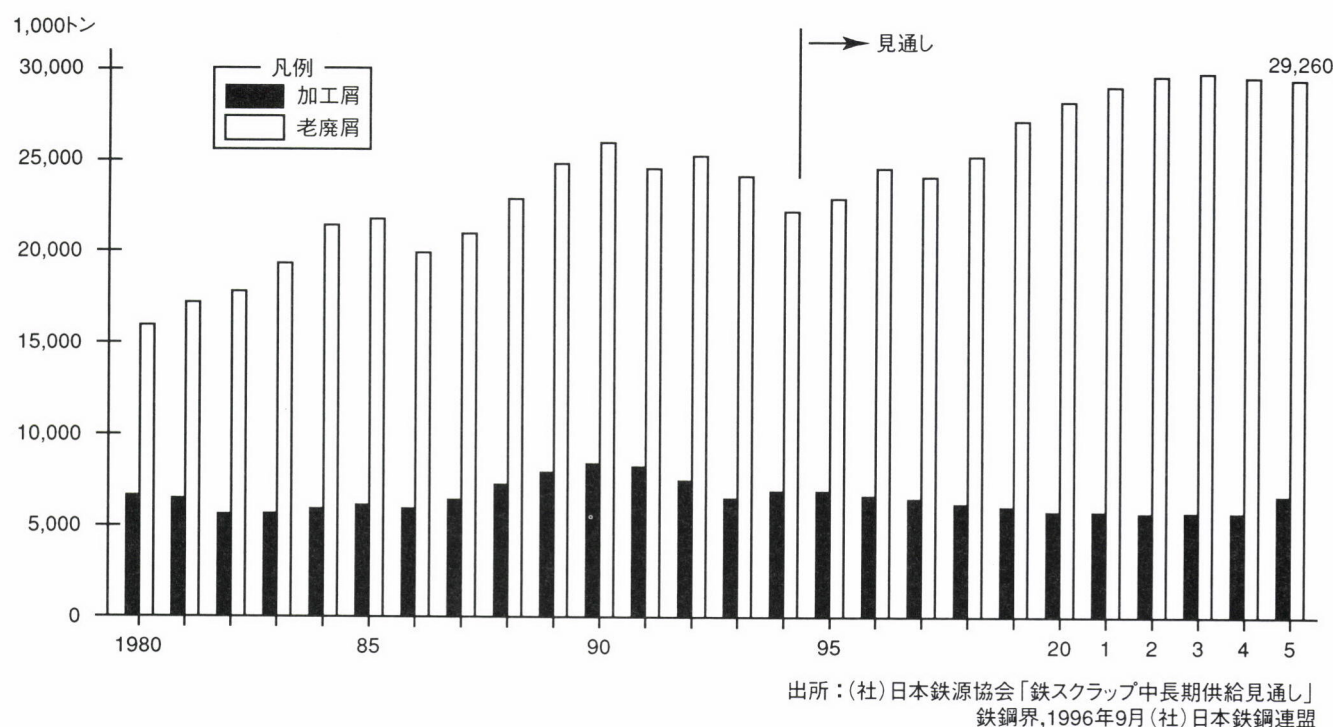


図36 国内市中スクラップ回収見通し(Aケース)

なっている。

同協会は、2000年の粗鋼生産を9,500万トン(Aケース)と1億トン(Bケース)の2つに分けてスクラップの発生量を予測し、表10に示すように、2005年のスクラップ供給量を、老廃スクラップ(発生量2,900～3,000万トン)、自家発生屑、加工スクラップ合計で、4,700～5,000万トンと予測している⁶⁾。

蓄積量の伸びを年間2%程度と仮定すると、現在10億トンの蓄積量は、2020年には2倍の20億トンになり、2.1～2.2%の回収率を想定すると4,200～4,400万トンの老廃スクラップが発生することになる。自家発生屑を1,200万トン、加工スクラップを600万トンとすると、2020年には、6,000万トン程度のスクラップが供給され则认为られる。

また、同協会は、表11に示すように、アジア地域における2000年の冷鉄源需給を予測しているが、本調査によれば、1995年の需給ギャップ1,400万トンは、電炉鋼増産によるスクラップの大幅需給増を背景に、2000年では2,400万トンと、更に1,000万トン拡大する見通しとなっている⁷⁾。アジア地域へスクラップを輸出できる地域としては、米国、EU、日本、旧ソ連・東欧等が考えられるが、地球環境問題への対応からのスクラップ使用の増加や、米国におけるミニミル増産によるスクラップの輸出余力の減少も考えられ、アジア地域のスクラップ需給は、需要増を背景に一層タイトになると考えられる。

その一方で、鉄鉱石、石炭については、長期的に開発が進められていることから、需給バランスが大きく変化する

表10 鉄スクラップ供給中長期予測(まとめ)

(単位: 1,000トン)

	93年度	2000年		2005年		93—2000年増減		93—2005増減	
		Aケース	Bケース	Aケース	Bケース	Aケース	Bケース	Aケース	Bケース
自家発生	12,281	11,805	12,640	11,805	12,640	▲476	359	▲476	359
内(分譲スクラップ)	(2,385)	(2,570)	(2,700)	(2,570)	(2,700)	185	315	185	315
加工スクラップ	6,777	6,340	6,840	6,080	6,570	▲437	63	▲697	▲207
老廃スクラップ	24,428	27,780	28,920	29,260	30,460	3,352	4,492	4,832	6,032
(うち輸出)	(1,091)								
国内市中	31,205	34,120	35,760	35,340	37,030	2,915	4,555	4,135	5,825
供給計	43,486	45,925	48,400	47,145	49,670	2,439	4,914	3,659	6,184

注：分譲スクラップは現行の転炉鋼自家発生スクラップに占める過欠補正值の割合で設定した。

出所：(社)日本鉄源協会「鉄スクラップ中長期供給見通し」
鉄鋼界, 1996年9月, (社)日本鉄鋼連盟

表11 中国、台湾、韓国、インド、アセアン5カ国合計の冷鉄源需給状況

(単位: 万 t)

	2000年	1995年	対95年比 増加量
需 要 計	11,400	8,300	3,100
ス ク ラ ッ プ	8,800	6,400	2,400
冷 鉄	1,500	1,300	200
還 元 鉄	1,100	600	500
供 給 計	9,000	6,900	2,100
ス ク ラ ッ プ	7,100	5,400	1,700
冷 鉄	900	900	0
還 元 鉄	1,000	600	400
需 給 ギ ャ ッ プ	2,400	1,400	1,000
ス ク ラ ッ プ	1,700	1,000	700
冷 鉄	600	300	300
還 元 鉄 等	100	0	0

注: 95年の需給ギャップは輸入等によりバランスされている

出所: (社)日本鉄鋼連盟, 鉄鋼界報 No. 1699. 1997. 2. 1 及び
(社)日本鉄源協会「アジアにおける2000年時点の冷鉄源
需給の展望」1996年12月

ことは考えられず、価格も他のエネルギー価格が大幅に変動しない限り、大きな変動は生じないと考えられる。

このような状況から、スクラップ需要が供給を上回る地域では、スクラップ不足を回避するとともに、スクラップ価格の変動をより小さなものとするため、安定かつ高品質の鉄源を獲得する手段として、設備費が小さく需給に合わ

せた柔軟な操業が可能な新鉄源製造プロセスの導入が進むと考えられる⁸⁾。

ところで、溶鋼の製造工程では高炉—転炉法による既存の一貫製鉄所が、現在最もコスト競争力を有していると考えられているが、高炉操業に必要なコークス炉については、図37に示すように2010年頃には寿命を迎える炉が全体の70%を占めており、これらの炉が休止した場合どのような形でコークスを手当するかが問題となる。生産性・エネルギー効率の向上を目指し現在開発中の次世代コークス炉のような新プロセスにリプレースすることや外部からコークスを購入することが考えられる。

また、コークス炉を必要としない溶融還元法やコーレックス法等の新鉄源製造プロセスが、高炉鉄の減少を補うプロセスとして導入される可能性も考えられる⁹⁾。

1.3 地球環境問題への対応

日本鉄鋼業は、我が国全体のエネルギー消費の約12%、炭酸ガス排出については、それ以上の比率(14~15%)を占めていると考えられる。従って、前節で述べたように、日本鉄鋼業としては、炭酸ガスを削減し、地球温暖化対策に積極的に寄与していくことが求められており、既存の工程毎の省エネルギー化を更に進めるとともに、石炭を代替する還元材の利用、エネルギー使用効率の向上、省エネルギーの徹底、スクラップの有効活用等により、炭酸ガスの発生をより抑制することが可能なプロセスにシフトしてい

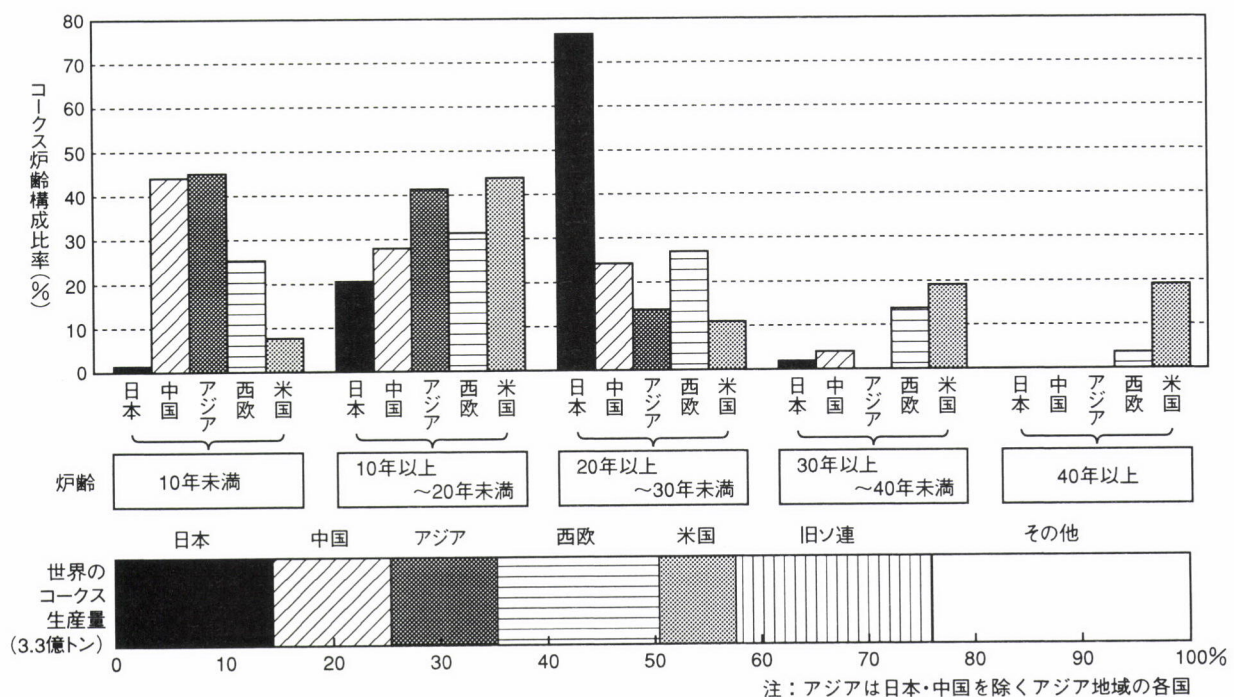


図37 コークス炉齢構成と生産量

くことが求められている。

図38は1988年の一貫製鉄所のエネルギー消費構成である。鉱石から溶鋼を得るプロセスでは、酸化鉄から酸素を除去するために必要な熱量が鉄1トン当たり180万Kcalであるため、製鉄システムにおける熱効率の向上、排熱の効率的回収により、現在費やされているトン当たり約400万Kcalとの差の200万Kcalを引下げ、またその顕熱や廃熱を下工程で有効に利用していくことが求められている¹⁰⁾。

粗鋼を製造する重要プロセス毎のエネルギー消費を比較すると表12及び図39のとおりであり、粗鋼1トン当たりの消費エネルギーは、高炉—転炉が380万Kcal、ガスを利用した還元鉄と電気炉の組合せが420万Kcal、電気炉が120万Kcalとなっている。DIOS等の溶融還元法は耐火物寿命とも関連するが、溶鉄製造のエネルギー効率で高炉法を越える可能性が考えられる。各種の粗鋼製造プロセスを比較すると、鉱石の還元により粗鋼を得るプロセスとしては、高炉—転炉又は溶融還元炉—転炉が効率的であるといえる。特に、高炉法と同程度又は上回るエネルギー効率を有すると考えられる溶融還元法は、粗鋼の利用やフレキシブルな操業が可能なることから、高炉を補完する新鉄源プロセスとしての成熟が期待されている¹¹⁾。

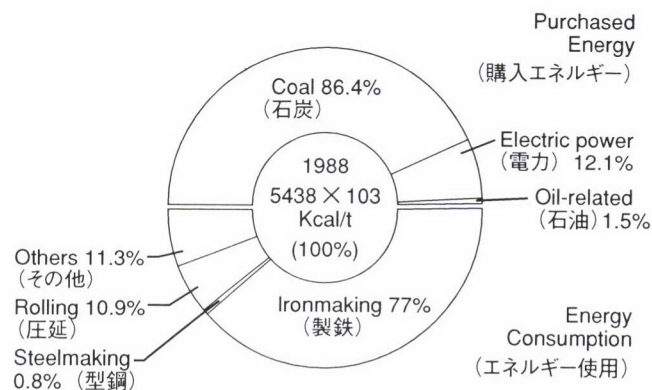
また、還元反応が不要なスクラップ溶解法では、高炉—転炉に比べエネルギー消費量が粗鋼トン当たり120万Kcalと約1/3になることから、スクラップを有効に活用し、鉄鋼製品に再生していくことが、炭酸ガスの削減に大きく寄与することになる。前述のように日本では1993年で4,300万トンのスクラップが発生すると見込まれることから、不純物を有する老廃スクラップを含め、スクラップを利用しながら、高品質の鋼材を製造していく製鋼プロセスが重要になる。従って、環境調和型新製鋼法を利用した老廃スクラップからの銅・錫といった有害金属の除去技術や、スクラップと鉱石の還元により製造された高品質の鉄源を適切に混合し、高品質の鋼材を製造するプロセスが開発、導入されていくと考えられる¹²⁾。

casting、圧延工程では、プロセスの連続化、工程の省略による省エネルギー化が重要な対策となり、電磁気力を利用した連铸スラブの品質向上、直送圧延、薄スラブ連铸、ストリップ連铸、中低温を含めた排熱の回収・利用プロセスが重要となってくる。

2 21世紀の製鉄プロセス

2.1 製鉄プロセスの将来方向

日本鉄鋼業の当面の課題は、グローバル化に対応したコスト競争力の維持、強化であるが、中長期的には地球環境



出所：今井卓雄「これからの鉄製錬技術」
第135回 西山記念技術講座 (1990年11月) (社)日本鉄鋼協会

図38 Purchased energy and breakdown of energy consumption by division. (Kawasaki Steel, Mizushima Works)

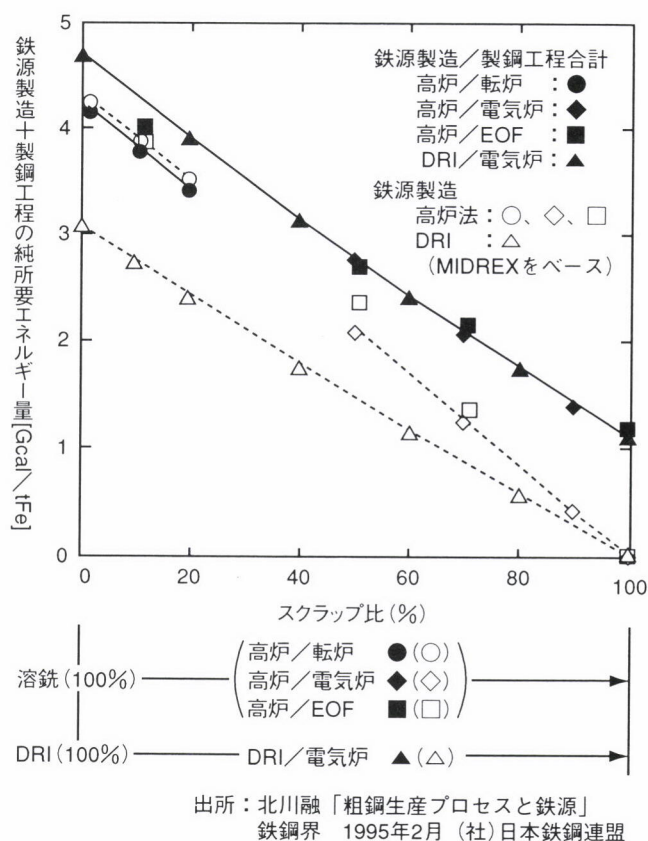


図39 各種粗鋼生産プロセスの純所要エネルギーの比較

との共生が最大の課題となると考えられる。当然のことながら、この課題は日本のみならず世界のどの地域の鉄鋼業にとっても21世紀における最も重要な課題であり、この課題に適切に対応していくことのできる製鉄プロセスが、新しい時代をリードしていくことになる。

前述の製鉄プロセスの最適化に多大な影響を及ぼす要因の変化を踏まえ、いかに鉄鋼製品を低コストで効率的に環境と調和しながら生産していくかという視点から、21世紀

表12 各種鉄源プロセスの純所要エネルギー比較

原料	プロセス	製 品	純所要エネルギー量 [Gcal/tFe]	製鋼への持込熱量 ⁽¹⁾			修正所要エネルギー [Gcal/tFe]	その他、鉄源としての 特性
				炭素濃度 (%)	温 度 (℃)	[Gcal/tFe]		
鉄 鉍 石	高 炉	溶 鉄	4.4	4.5	1,350	0.6	3.8	・鉄鉍石中の脈石成分は製錬過程でスラグとして除去されている。 ・循環成分は殆ど含まない。
	COREX		4.5	4.1	1,350	0.6	3.9	
	DIOS		3.1～3.6	3～4	1,350	0.5～0.6	2.5～3.1	
	Hismelt							
	ROMELT							
	CCF							
	MIDREX	海綿鉄 (DRI)	3.1 ^{(2),(3)}	1～2	常 温	≒0.1 ⁽⁴⁾	3.0	・鉄鉍石中の脈石成分を含む。 ・循環成分を殆ど含まない。
	HYL III		3.3 ^{(2),(3)}	1～2		≒0.1 ⁽⁴⁾	3.2	
	FIOR		4.2 ⁽³⁾	0.5		≒0 ⁽⁴⁾	4.2	
	FASTMET		3.7 ^{(2),(3)}	<2		<0.2 ⁽⁴⁾	3.5	
Iron Carbide	炭化鉄		3.2 ⁽³⁾	<6		<0.5 ⁽⁴⁾	2.7	
鋼屑	直 接 使 用		0	常 温 (予熱して製鋼炉に装入する) (方法はあるが本稿では0)			0	・市中屑を中心に循環成分を含む。

注：(1) 含熱量および炭素の燃焼熱を算定した。
(2) 粉鉍石のペレット化のためのエネルギー所要量を、0.5Gcal/tFeとしてエネルギー消費量の報告値に加算した。
(3) 直接還元鉄の純鉄分は使用鉍石品位により変化するが、本表では95%として算定。
(4) 直接還元鉄中の脈石成分の製鋼工程における溶解エネルギーは、一桁低いレベルであるため本表では考慮されていない。
出所：北川融「粗鋼生産プロセスと鉄源」鉄鋼界 1995年2月 (社)日本鉄鋼連盟

の新しい製鉄プロセスを展望すると、次のような方向が考えられる。

第一は、巨額な設備投資を回避でき、共通仕様で自動化され、メンテナンスも容易なコンパクトな製鉄プロセスの導入である。

第二は、多様な原材料をエネルギー効率よく利用し、かつ、スクラップの需給バランスに合わせ柔軟に生産量を調整できる鉄源製造プロセスの導入である。特に、先進国においては、既存の設備とのマッチングや老朽化の度合を視野に置いたプロセスの導入になると考えられる。

第三は、地球環境問題やリサイクル推進の観点から、スクラップの有効利用を念頭においた新製鋼プロセスの導入である。

第四は、省エネルギー化、環境保全作業環境の改善とともに、製品の高品質化や高付加価値化を目指したプロセスの連続化、統合化、クローズド化である。

第五は、需要地に近接した都市型一貫製鉄所については、電力、熱供給事業やリサイクル事業を合わせ行う立地点により密着した形の生産形態になると考えられる。

以上の目標と対策の方向をまとめると、図40のようになると考えられる。

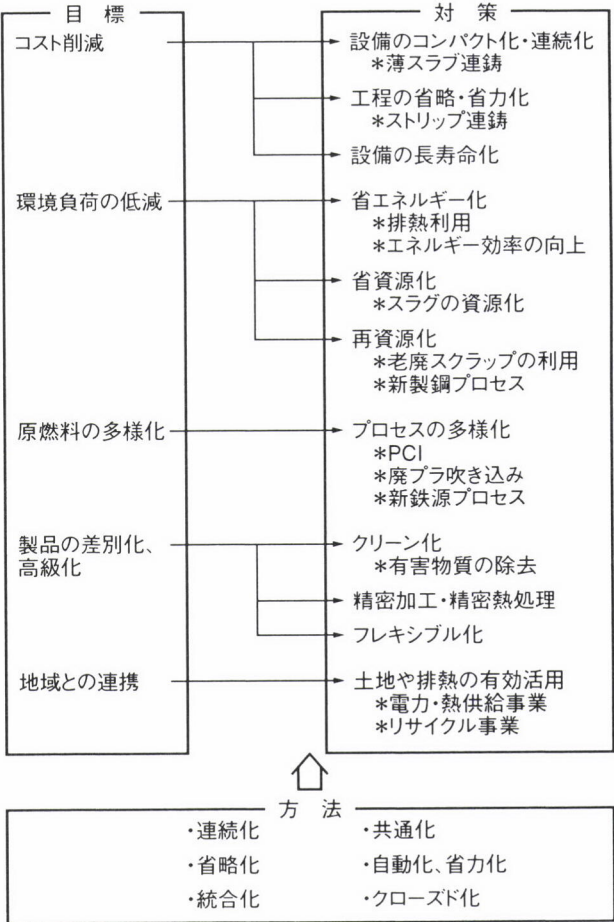
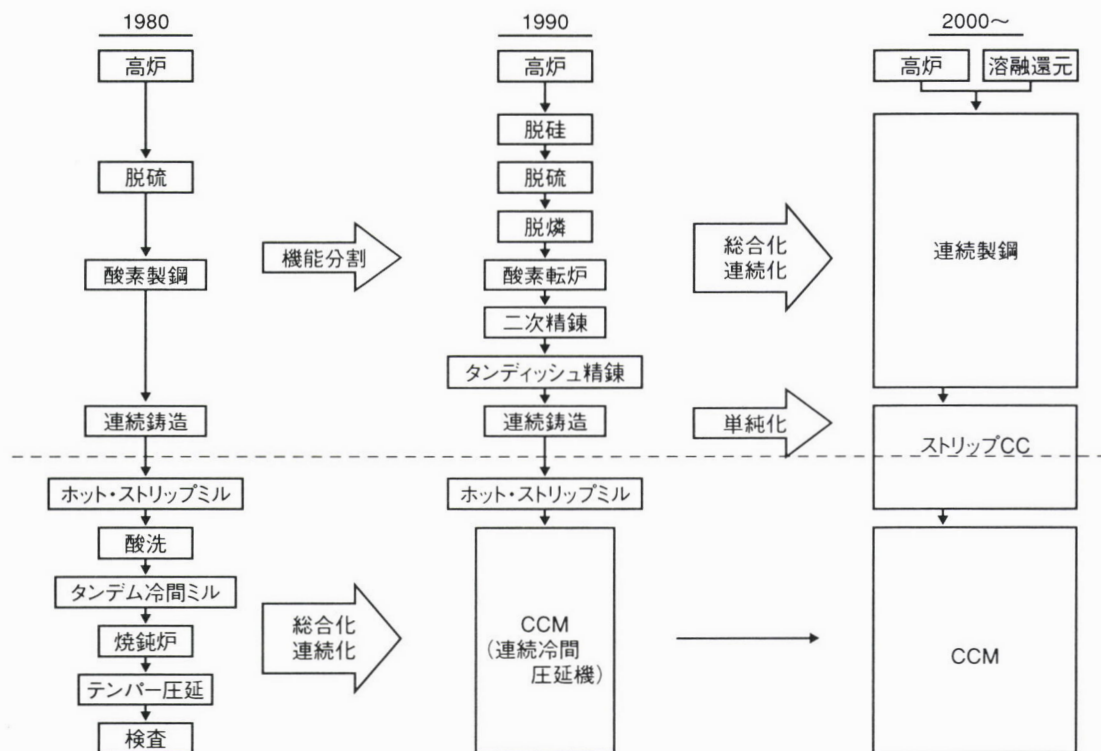


図40 21世紀の製鉄プロセスの目標と対策の方向



出所：“Metallurgical Process for the Year 2000 and Beyond” (1988)
下村泰人「20世紀鉄鋼技術史のトピックス」、(社)日本鉄鋼連盟より再掲

図41 2000年の鉄鋼製造プロセス

2.2 21世紀の製鉄プロセスの展望

将来の製鉄プロセスの予測については、米インランドスティール社のヒューズ氏、川崎製鉄今井氏¹⁰⁾、新日本製鐵の武内氏¹⁴⁾、通産省中島氏¹⁸⁾等の研究がある。ヒューズ氏は、図41に示すように機能分割された工程が連続化、統合化される方向を予測し¹³⁾、今井氏は製鉄製鋼工程の変革の方向として、第一に固定費の過大負担、原料に対する硬直性を回避できる柔軟な鉄鋼生産への対応、第二に連続製鋼も視野に入れた高純度鋼のFMS (flexible manufacturing system) の構築、第三に自動化、無人化への対応を挙げている¹⁰⁾。武内氏は、図42のように製鋼分野を中心に「原材料使用の自由度拡大、リサイクル、環境調和、凝固加工プロセスなどの技術革新が中心になっていく」と予測している⁹⁾¹⁴⁾。

これらの研究を踏まえ、各工程毎に将来の製鉄プロセスを展望すると、次の通りである。

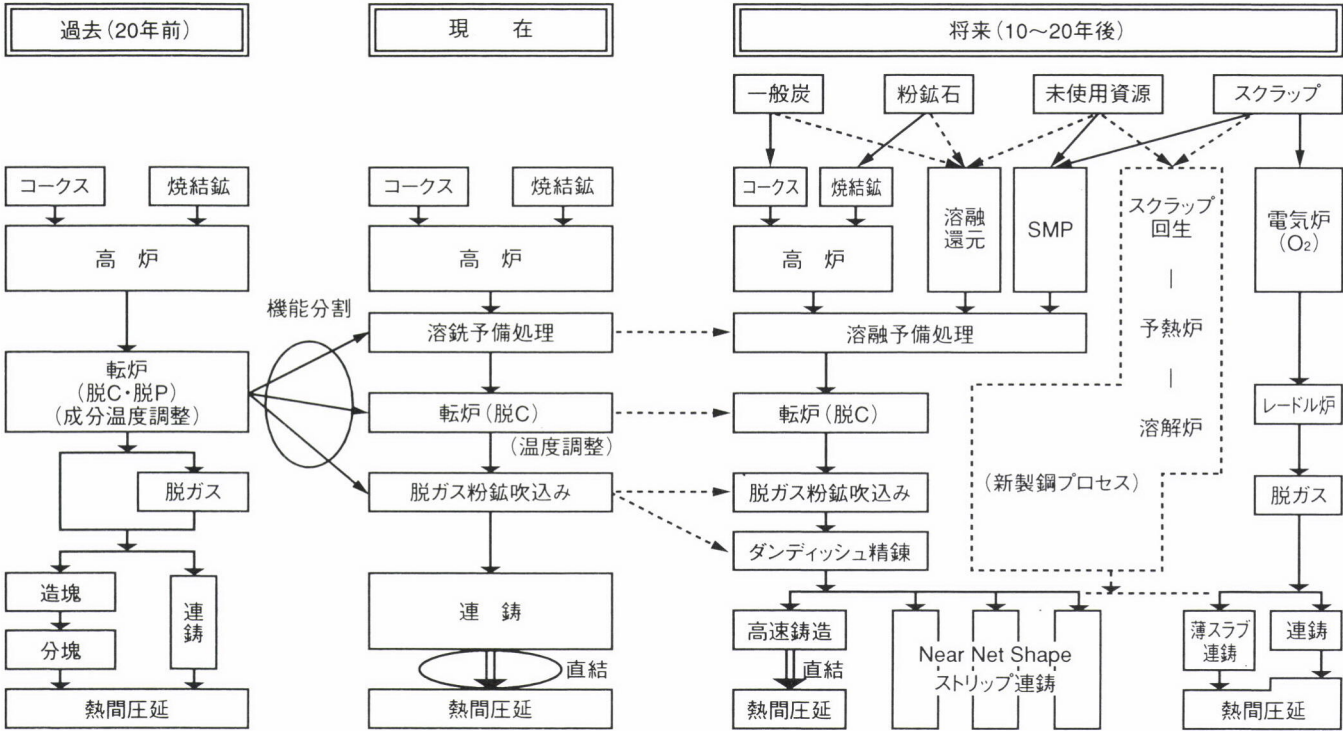
(1) 製鉄部門については、日本のような先進国でコークス炉の老朽化が進む中で、高炉転炉法を補完する鉄源供給プロセスとして溶融還元法の導入が考えられる。同プロセスは、前述のようにエネルギー消費効率で高炉を上回る可能性があり、炭酸ガス削減に寄与するプロセスとして期待されている。また、粉鉱や粉炭を直接挿入する

ことができることから、原燃料ソースの多様化が図られるとともに、コークス炉や焼結機が不要となる。

更に、巨大投資を必要としない年間100万トンの程度のコンパクトな設備で、需要に合わせて柔軟に生産量を変化させることが容易である。したがって、需要の伸びが著しくスクラップ不足が予想される東南アジア等の経済発展地域でも鉄源を供給するプロセスとして活用することが考えられる。

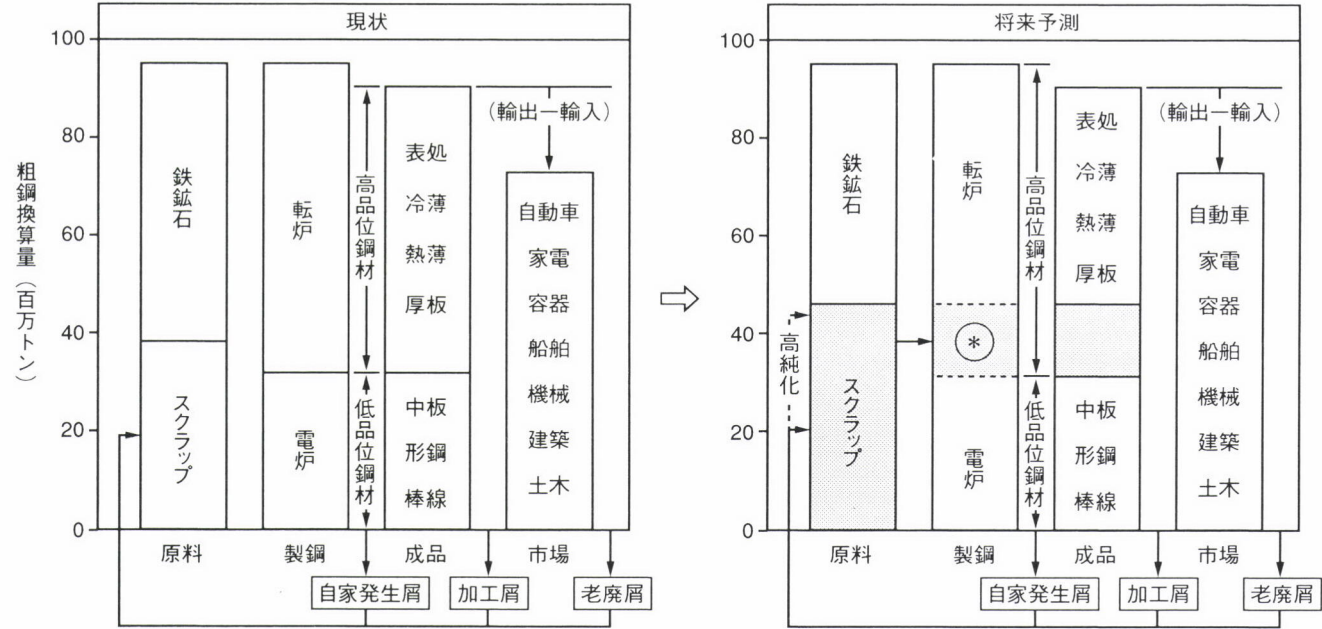
また、米国のニューコア社がトリニダード・トバコで1994年より製造を開始しているアイアンカーバイドは、酸化しにくく輸送が容易なため新たな鉄源製造プロセスとして注目に値する。大量の鉄鉱石、石炭の輸送に要するエネルギーの削減を勘案すると、鉄源をアイアンカーバイドやホット・ブリケット・アイアンのような形態で資源産出国で製造し、需要地の製鉄プラントに供給することも将来における一つの可能性として考えられる。

(2) 製鋼部門では、炭酸ガス削減と資源の有効利用の観点から、老廃スクラップの利用を目指した新製鋼プロセスや、機能分化精錬のデメリットを解消する連続製鋼プロセスが考えられる。新製鋼プロセスは、老廃スクラップ中の有害金属、元素を除去し、リサイクルに伴う品質劣化を抑えつつ、エネルギー効率よく高品位の溶鋼を



出所:武内美継「鉄鋼技術10年の軌跡—3.6、次世代製鋼法と開発課題」鉄と鋼 Vol.81、1995年4月、(社)日本鉄鋼協会を翻訳

図42 製鋼プロセスの大量生産から工程省略型、環境調和型プロセスへの進展



出所: 武内美継「鉄源プロセスの動向」鉄鋼界、1995年2月、(社)日本鉄鋼連盟

図43 鋼材原料構成と成品・市場の関係

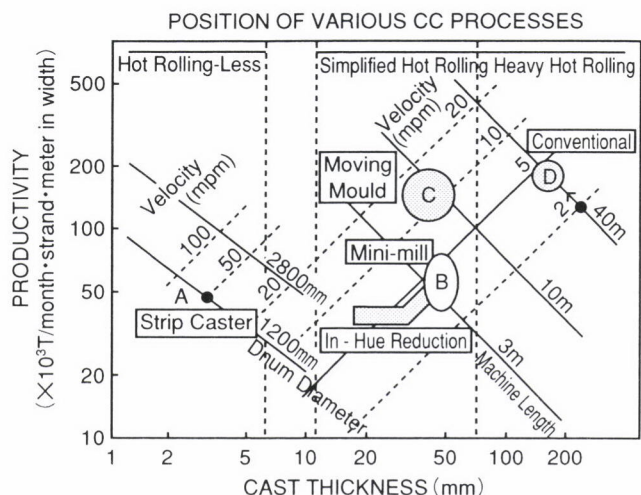
製造するプロセスで、地球環境問題に対応して粗鋼製造エネルギー原単位を引き下げようとするものである（図43参照。図中*の部分が新製鋼プロセスの対象分野の一部である）⁹⁾。

連続製鋼は、製鋼工程を転炉のようなバッチ方式ではなく、連続で行うものである。現在製鉄と製鋼の間で炉外精錬を含め、機能分化精錬が進み鋼の品質向上に資する一方で、処理時間の延長やリレードル回数の増加など熱エネルギー的には負荷が増加している。このような問題を解決するとともに、クローズド化による雰囲気コントロールによって、鋼の高品質化を図る方法の一つとして連続製鋼が考えられる¹⁰⁾。

(3) 鑄造工程では、前号で紹介した薄スラブ連铸やストリップ連铸をはじめとするニアネットシェイプが、将来益々重要な位置を占めていくと考えられる。特にストリップキャストは、幅20¹⁾、長さ100¹⁾程度の小さな建屋に入るコンパクトな設備で、年間50万¹⁾程度の生産規模でもコスト競争力を持つことから、技術開発が進み、実用化が可能となれば、先進国、途上国を問わずいわゆるミニミルを中心に導入される可能性が大きいと考えられる。

ストリップキャストは、鑄造と熱延工程を統合したプロセスと考えられるが、この連続化とコンパクト化によって、更にクローズド化への道が開かれると予想される。クローズド化されると、焼鈍工程のように外気から遮断された制御雰囲気の中で、圧延、加工、熱処理が可能となり、鋼の品質や省エネルギー面で新しい発展が期待される。即ち、ストリップキャストは、酸洗工程の簡素化・省略を含め、熱延と冷延工程の連続化に関しても大きな意味を有する画期的プロセスになる可能性を秘めている。（図44参照）

(4) 圧延、加工、熱処理、表面処理工程では、連続化、クローズド化、精密圧延、精密熱処理、クリーン化による品質向上や省エネルギー化が進むと考えられる¹⁵⁾。鋼材の製品開発の分野では、合金元素を極力減らし、ミクロンレベルの微細複相組織（メゾスコピック組織）の作り込による強靱で環境に調和した「スーパーメタル」の研究開発が通産省によって、強度2倍、寿命2倍を目指した「新世紀構造材料」の開発が科学技術庁によって、平成9年度からスタートしている。上述の鑄造、熱延、冷延、焼鈍、表面処理まで含めた連続、クローズド化が進めば、これらの研究開発の成果を製造プロセスの中で活かすことが可能となり、従前では達成できなかった強度と靱性を合わせもつような性能を有する鉄鋼製品が作られることも期待される。



出所：S. Mizoguchi, The Ethem T. Turkdogan Symp., ISS, (May 1994), p.166

図44 ストリップ連铸、薄スラブ連铸、通常の連铸の比較

(5) 立地場所に密着した形の製鉄プロセスとしては、① 石炭ヤードや豊富な土地を活用した電力供給事業、② 製鉄所から生じる中低温排熱を利用した熱供給事業、③ 溶融廃棄物処理等、溶融技術を活用した資源リサイクル事業、④ 廃プラスチックの高炉吹込み事業等が考えられる。

特に、廃プラスチックの高炉吹込みについては、産業や一般生活から生じた廃プラスチックを試験的に稼働中の高炉に吹き込んでいるが、水素リッチな廃プラスチックの還元材としてのリサイクル活用とそれによる炭酸ガス発生量の削減の両面から、その実用化と普及が期待されている。

2.3 鉄鋼生産システムの展望

以上、各部門毎に新しい製鉄プロセスの動向を展望したが、既存の生産システムの存在を前提にこれらの新プロセスを組み込んだ製品の生産体制の方向を予想すると次のとおりである。

第1の方向としては、既存の一貫製鉄所の最適化の方向である。図34に示したように溶鋼コストの最も低い生産方式は、既存の高炉—転炉によるものであり、また、鉬石からつくられることから品質的にも優れた鋼をつくることが可能である。従って既存の一貫製鉄所は、①上工程のコスト競争力を活かし、新技術、新プロセスを設備の更新時に導入しながら、一層のコスト引下げによって、後述のコンパクト製鉄所やミニミルと競争していく方向、②高品質の鋼を活かし、高付加価値・多品種の鋼材をFMSにより効率的に製造していく方向、③既存の上工程を活用し、溶鉄、溶鋼、半製品を関係の電炉メーカーに供給する方向が考え

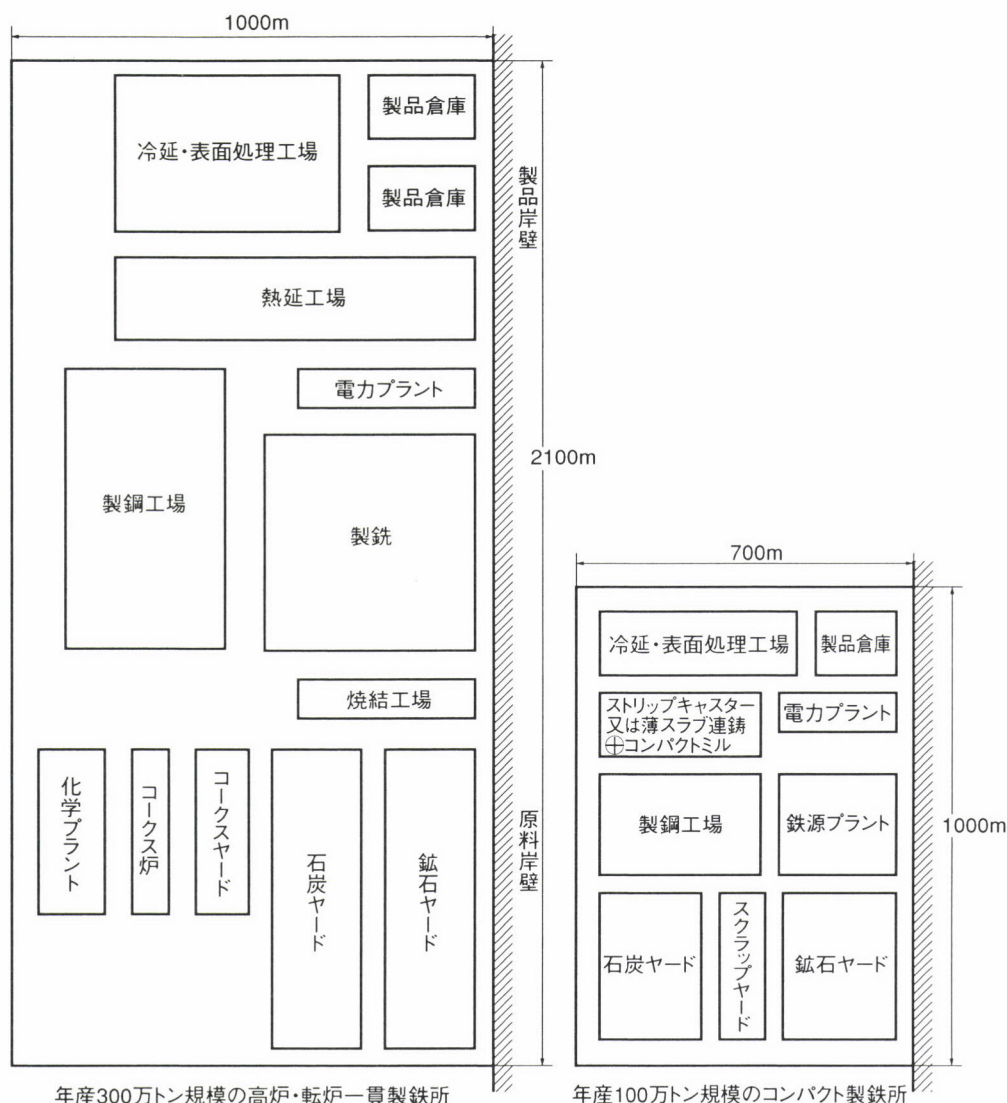


図45 一貫製鉄所とコンパクト製鉄所のプラントレイアウト例の比較

られる¹⁶⁾。

第2の方向としては、米国のミニミルに見られるような薄スラグ連铸とコンパクトストリップミルを用いて既存の電炉メーカーが汎用薄板の分野へ進出していくことが考えられる。

第3の方向としては、図45に示すような①溶融還元法等の新鉄源プロセス、②スクラップや新鉄源を利用した製鋼工場(電炉、転炉、又はこれらを改良したもの)、③ストリップ連铸(又は薄スラブ連铸とコンパクトストリップミル)から冷延・表面処理までクローズドで連続化が可能なラインを一部に含むようなコンパクト製鉄所の新設が、アジアのような需要の伸びの著しい地域で考えられる。このようなコンパクト製鉄所は、鋼種・形状を限定し、可能な限り、連続化、自動化、省力化を進めることにより、労働生産性を向上させるとともに、設備及びその計測制御システムを共通化し、設備費・メンテナンス費の引下げを目指すことが予想される。設備の初期投資額や製造コストをできるだ

け引下げ、より安価な汎用鋼材を提供することによって市場参入を図ることが想定される。

第4の方向は、我が国の需要産業が海外展開し、また、東南アジア等で需要産業が発展するのに対応した高品質素材供給工場として需要地域に下工程中心の製造プラントが導入されることが考えられる。このケースでは、中間製品としてのホットコイルや半製品としてのスラブ、ブルーム等が日本から供給され、高品質の冷延製品が現地で生産されることが考えられる。

第5の方向は、還元鉄やアイアンカーバイド等の鉄源を鉱石、天然ガス、石炭の生産地域又はその近傍で製造し、クリーンなスクラップ代替鉄源として需要地域に立地している電炉メーカー等に供給するものである¹⁷⁾。

21世紀においては、これらの異なる生産体制の製鉄所・鉄鋼工場が、コスト競争力の向上を図りつつ、ユーザーニーズや二酸化炭素抑制等の社会ニーズに対応しながら、互いに競争し、また協力し、グローバルな連携を視野に入れた

つ、環境調和型最適化（オプティマイゼーション）を図っていくと考えられる。

2.4 トータルエネルギー&マテリアルコントロール

コスト競争力を維持しつつ、環境への負荷を極力減らした環境調和型製鉄システムが、21世紀の製鉄プロセスの主流になるとの見通しを述べたが、環境とは当然のことながら製鉄所内と所外の双方の向上を目指した製鉄プロセスのクローズ化は、作業環境と周辺環境の向上にもつながるものとなる。そして、クローズ化の前提である連続化は、プロセスの自動化、省力化を容易にし、製鉄から圧延までの工程を全体として統合的にコントロールすることを可能とする。即ち、製鉄所内のトータルエネルギー&マテリアルコントロールが、図45に示すようなコンパクトなレイアウトの製鉄プラントの中で達成されることになろう。

ところで、環境共生型製鉄プロセスは、鉄鋼業のみでは完結しえないことは前号で述べたとおりである。社会全体での鉄鋼材料の流れを俯瞰すれば、図46のようになるが、このループを社会全体で最適なものにしていくことが求められている。本号では、第二層の製鉄プロセスのトータルエネルギー&マテリアルコントロールに焦点を当てて説明したが、次回は社会全体でのLCA（ライフ・サイクル・アセスメント）的視点に立ったトータルエネルギー&マテリアルコントロールに対する鉄鋼業の取組を含め、21世紀に向けた日本鉄鋼業の対応の方向について述べることにしたい。

「以下 次号に続く」

引用文献及び参考文献

- 1) 殷瑞鈺：「鉄鋼業と製鉄所の構造の最適化に関する工学評論」鉄鋼界，1994年1月，(株)日本鉄鋼連盟
- 2) W. T. ホーガン著，松田常美訳：21世紀の鉄鋼業，日鉄技術情報センター，p.173
- 3) 富浦梓：「プロセスの特徴とその戦略的評価」鉄鋼界，1996年11月，(株)日本鉄鋼連盟
- 4) 文献2)，p.178
- 5) (株)日鉄技術情報センター：「薄スラブ連铸：高圧下ミルによるストリップ製造技術とストリップ連铸技術」鉄鋼界，1994年10月，(株)日本鉄鋼連盟
- 6) (株)日本鉄源協会：「鉄スクラップ中長期供給見通し」鉄鋼界，1996年9月，(株)日本鉄鋼連盟
- 7) (株)日本鉄源協会：「アジアにおける2000年時点の冷鉄源需給の展望」，1996年12月
- 8) 金子伝太郎：「環元鉄利用の拡大」鉄鋼界，1995年2月，(株)日本鉄鋼連盟
- 9) 武内美継：「鉄源プロセスの動向」鉄鋼界，1995年2

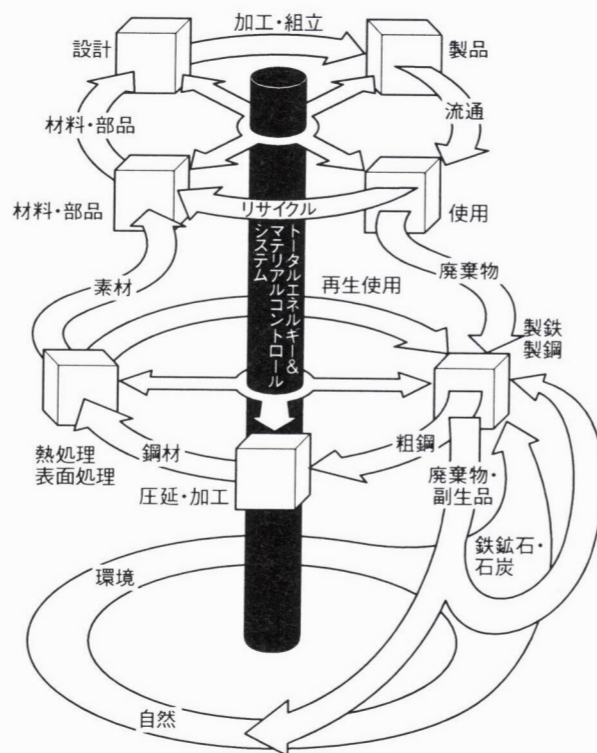


図46 トータル・エネルギー&マテリアルコントロールのイメージ図

月，(株)日本鉄鋼連盟

- 10) 今井卓雄：「これからの鉄製錬技術」第135回西山記念技術講座，1990年7月，(株)日本鉄鋼協会
- 11) 北川 融：「粗鋼生産プロセスと鉄源」鉄鋼界，1995年2月，(株)日本鉄鋼連盟
- 12) 財金属系材料研究開発センター：「新製鋼プロセス」鉄鋼界，1993年4月，(株)日本鉄鋼連盟
- 13) 下村泰人：「20世紀鉄鋼技術史のトピックス」，(株)日本鉄鋼連盟，p.156
- 14) 武内美継：「鉄鋼技術10年の軌跡—3,6,次世代製鋼法と開発課題」鉄と鋼 Vol.81，1995年4月，(株)日本鉄鋼協会
- 15) 江本寛治：「薄板製造における連続化・同期化技術とその効果」鉄鋼界，1995年11月，(株)日本鉄鋼連盟
- 16) 三好俊吉：「大規模高炉一貫製鉄所の競争力強化」鉄鋼界，1993年11月，(株)日本鉄鋼連盟
- 17) 永井親久：「製鋼における鉄源問題：鉄源技術の総括」鉄鋼界，1994年11月，(株)日本鉄鋼連盟
- 18) 中島一郎：「21世紀の製鉄環境」第135回西山記念技術講座，1990年11月，(株)日本鉄鋼協会

(1997年4月2日受付)