



21世紀の日本鉄鋼業

第2回 地球環境問題の顕在化と鉄鋼技術の進歩

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 (2)

前号では、日本鉄鋼業が直面している変化とその将来動向に関し、第1に先進国における需要の成熟化、第2に発展途上国、NIESを中心とする鉄鋼生産の拡大と国際鉄鋼市場への参入について述べた。

本号では、前号に引続き第3の変化である「地球規模の環境問題の顕在化」、第4の変化である「製鉄技術の進歩」について述べ、併せてその変化の将来動向を展望することとする。

1 地球規模の環境問題の顕在化

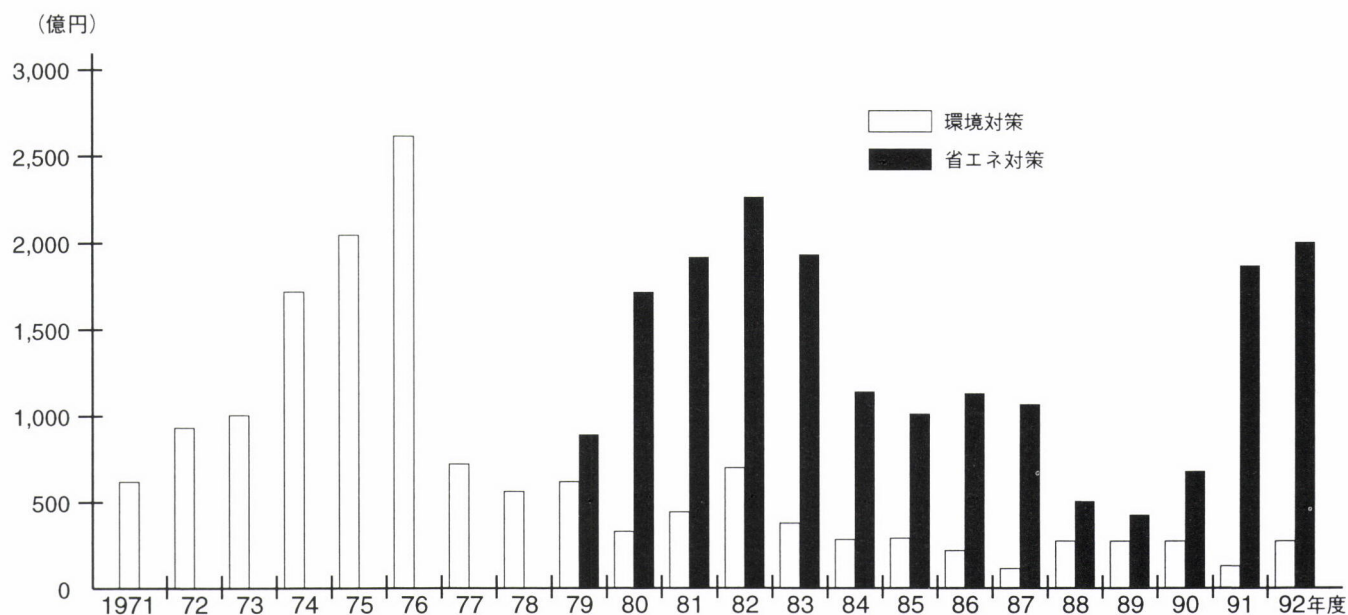
1.1 日本鉄鋼業の環境対策とその成果

鉄鋼業は、金属、プラスチック、セメント、木材等の素材消費の40%を占める安価で強靱な鉄鋼材料を大量に生産し、供給している¹⁾。そしてその製造工程で、多量の石炭や

エネルギーを還元剤及び熱源として使用しているが、その過程で、硫黄酸化物 (SO_x)、窒素酸化物 (NO_x) 等の大気汚染物質や炭酸ガス (CO_2) 等が発生することとなる。世界全体で年間6億トン以上消費される鉄鋼材料は、その生産に随伴する物質も決して少量ではなく、この点で環境問題は、大量素材供給産業である鉄鋼業にとって不可避の重大な課題である。

このような課題に対し、日本鉄鋼業は積極的に取り組み、公害防止のための技術開発や設備投資(図14参照)を進めることにより、世界最高水準の環境対策に達している。その成果は、図15に示すように20年前の1973年に比較して、硫黄酸化物の排出量で80%、窒素酸化物の排出量で40%もの大幅な削減となっている。

また、エネルギー使用についても、図16に示すように石油危機以降の省エネルギー努力によって、1973年から85年



出所：大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦、
日本鉄鋼協会調査検討部会、1996年6月 (P.89)

図14 鉄鋼業の省エネ・環境対策投資の推移

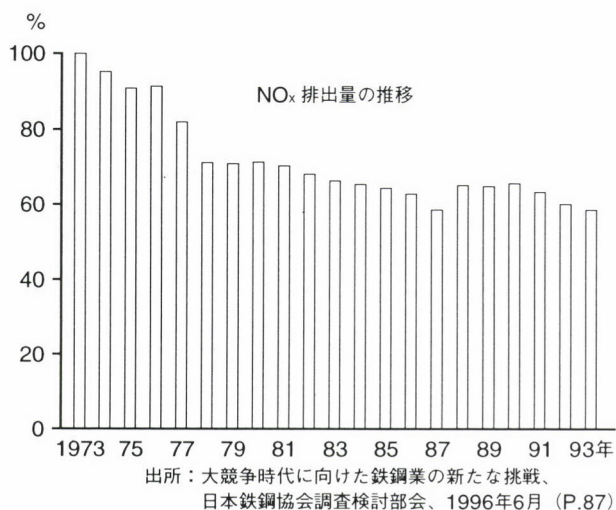
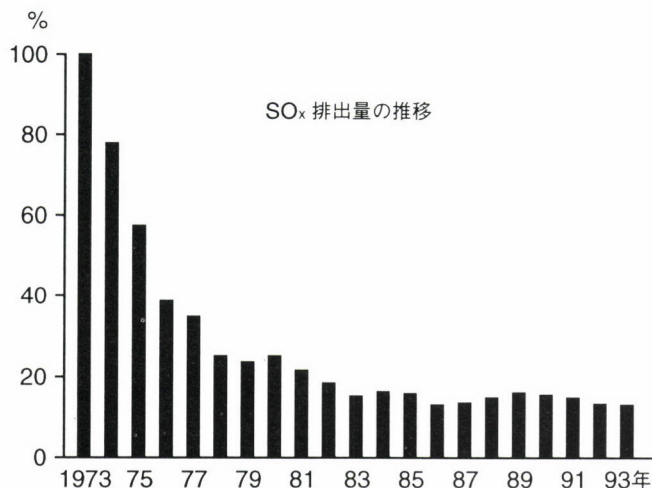


図15 鉄鋼業の環境対策

までのほぼ10年間で20%のエネルギー消費原単位の削減を達成している。国際的にみても図17に示すように最高水準のエネルギー効率で鋼材を生産している²⁾。

1.2 地球温暖化問題の顕在化

このような努力により、いわゆる汚染物質に関する公害問題の多くは解決されてきているが、近年地球温暖化という新たな環境問題が顕在化する中で、日本全体のエネルギー消費の12%を占め、多量の炭酸ガス(CO₂)を排出している日本鉄鋼業にとって、その排出抑制対策が重大な課題となってきた。

もとより炭酸ガスは、生物の呼吸によって発生し、光合成にも不可欠な物質である。しかしながら、産業革命以降の大量エネルギー消費によって、大気中の濃度が増加し、気候変動に関する政府間パネル(IPCC)第2次評価報告書によれば、現在のCO₂排出トレンドが今後も継続した場合、世界全体のCO₂排出量は、21世紀末までには1990年の3倍

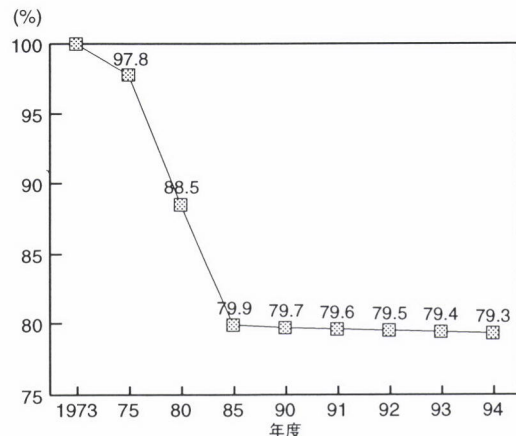
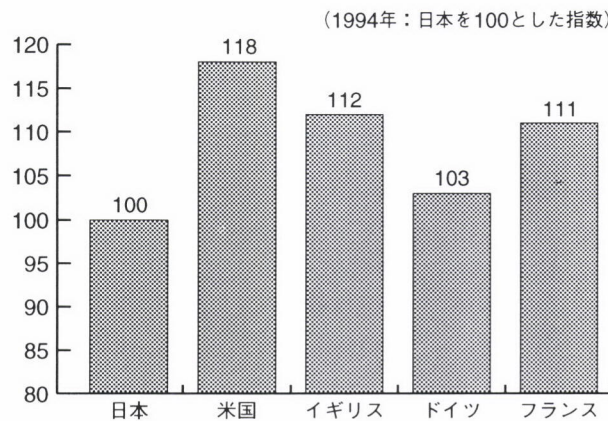
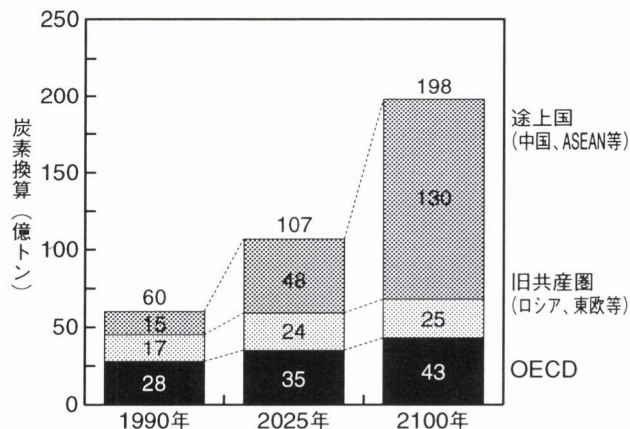


図16 粗鋼トン当たりエネルギー消費原単位推移



出所：国際鉄鋼協会(Statistics on Energy in the Steel Industry)より試算した鉄鋼連盟資料。
「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」(1996年12月)
注1：フェロアロイ及びコークス製造用のエネルギーは含まない。
注2：鉄鋼比等により補正を行った比較である。
注3：米国は1991年の原単位で指数比較している。

図17 粗鋼トン当たりエネルギー原単位の国際比較



出典：IPCC第2次評価報告書、通商産業省「気候変動問題について」(1997年2月)より再掲

図18 世界のCO₂排出量予測

強となり、大気中のCO₂濃度は、現在の約360ppmから約700ppmになると見込まれている(図18参照)。この結果、地球全体の平均気温は約2℃、海面は約50cm上昇すると予測されている。

同報告書は、また、CO₂の濃度を産業革命前の約2倍の

550ppmのレベルで安定化させるためには、世界全体のCO₂排出量を最終的には、現在のレベルの約50%まで削減することが必要であると指摘している。全体で50%の削減は、発展途上国の経済発展に伴うCO₂排出量の増加を踏まえれば、先進国にとって最終的にCO₂排出量を現在の数分の一

表8 鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画（日本鉄鋼連盟1996年12月）の概要

I 基本的な考え方

1. 地球温暖化対策
- ・日本鉄鋼業は、次の4つの方向に向かって努力して行く。
 - ①鉄鋼の製造に際してベスト・アベイラブル・テクノロジーの積極導入を基本として、不断の技術革新を行い、世界最高のエネルギー効率を維持する。
 - ②廃プラスチック等資源としてのポテンシャルのある廃棄物の鉄鋼生産への活用や製鉄所の低温未利用エネルギーの工場周辺地域での有効利用等地域社会との連携を通じた社会システムとしてのエネルギーの有効利用を図る。
 - ③鋼材や副産物の使用段階でのエネルギーが効率的に使われるよう一層努力する。
 - ④世界最先端の日本鉄鋼業の技術で、エネルギー効率改善の余地の大きい国々の鉄鋼業への技術移転に協力する。

II 地球温暖化対策

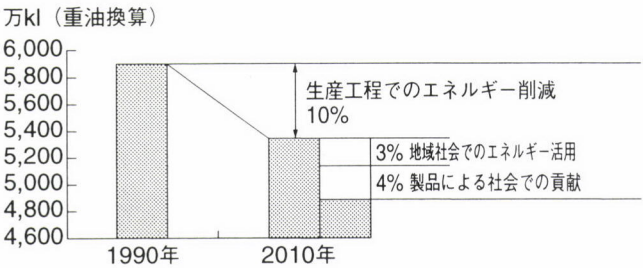
1. 鉄鋼生産工程における省エネルギーの今後の取り組み

＜主要な排エネルギー回収設備＞	＜主要な高効率生産設備＞	＜次世代製鉄技術＞
・ コークス乾式消火設備 ・ 焼結クーラー排熱回収設備 ・ 焼結主排ガス顕熱回収設備 ・ 乾式高炉炉頂圧回収発電設 ・ 転炉ガス顕熱回収設備 ・ 電気炉スクラップ予熱装置	・ 直流電気炉 ・ 高効率型連続鑄造設備 (薄スラブ連鑄等) ・ エンドレス圧延設備 ・ 高効率自家発電設備 ・ 高効率酸素設備	・ 溶融還元製鉄 ・ 次世代コークス炉 ・ 新製鋼フォーラム

2. 地域社会との連携を通じたエネルギーの活用

- (1) 廃プラスチック、都市ごみ等の有効活用
- (2) 未利用エネルギーの近隣地域での活用
3. 製品・副産物による社会での省エネルギー貢献
4. 国際技術協力による省エネ貢献

2010年に向けた取り組みの数量的評価



といった著しく低いレベルに抑える必要があることを意味している。

このような問題は、勿論、短期的に解決できるものではなく、100年単位の長期に亘り、世界全体で持続的取組みが必要な課題であるが、鉄鋼業としても当然のことながら対応していかなければならない大きな課題である³⁾。

1.3 地球温暖化問題への日本鉄鋼業の取組み

このような状況の中で、(社)日本鉄鋼連盟は、1996年12月に「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定し公表した。その概要は、表8に示すとおりである。

本自主行動計画は、2010年までの対策を取りまとめたものであるが、上述のように地球温暖化問題は長期に亘り持続的対策を取り続けなければならない課題であり、鉄鋼業の将来に多大な影響を与えられとされる。特に、環境・省エネルギー対策の分野で世界をリードしてきた日本鉄鋼業が、本分野で重要な役割を果たすことに対して大きな期待が寄せられている。

ところで、鉄鋼連盟の自主行動計画でも指摘されているように、CO₂の削減は、単に作る側の努力だけでは限界があり、ライフサイクルアセスメントの観点に立って、「作る→使う→再生する」のトータルな循環型鋼材利用について、

需要産業、一般ユーザー、消費者、関係省庁、自治体とともに、その最も効率的で環境負荷の少ない利用パターンを追求していくことが必要となってきた。また、製造工程で発生する排熱の有効利用、スラグ等の副産物の有効利用についても、日本全体としてのCO₂削減取組みの中で、その促進を図っていくことが求められる。

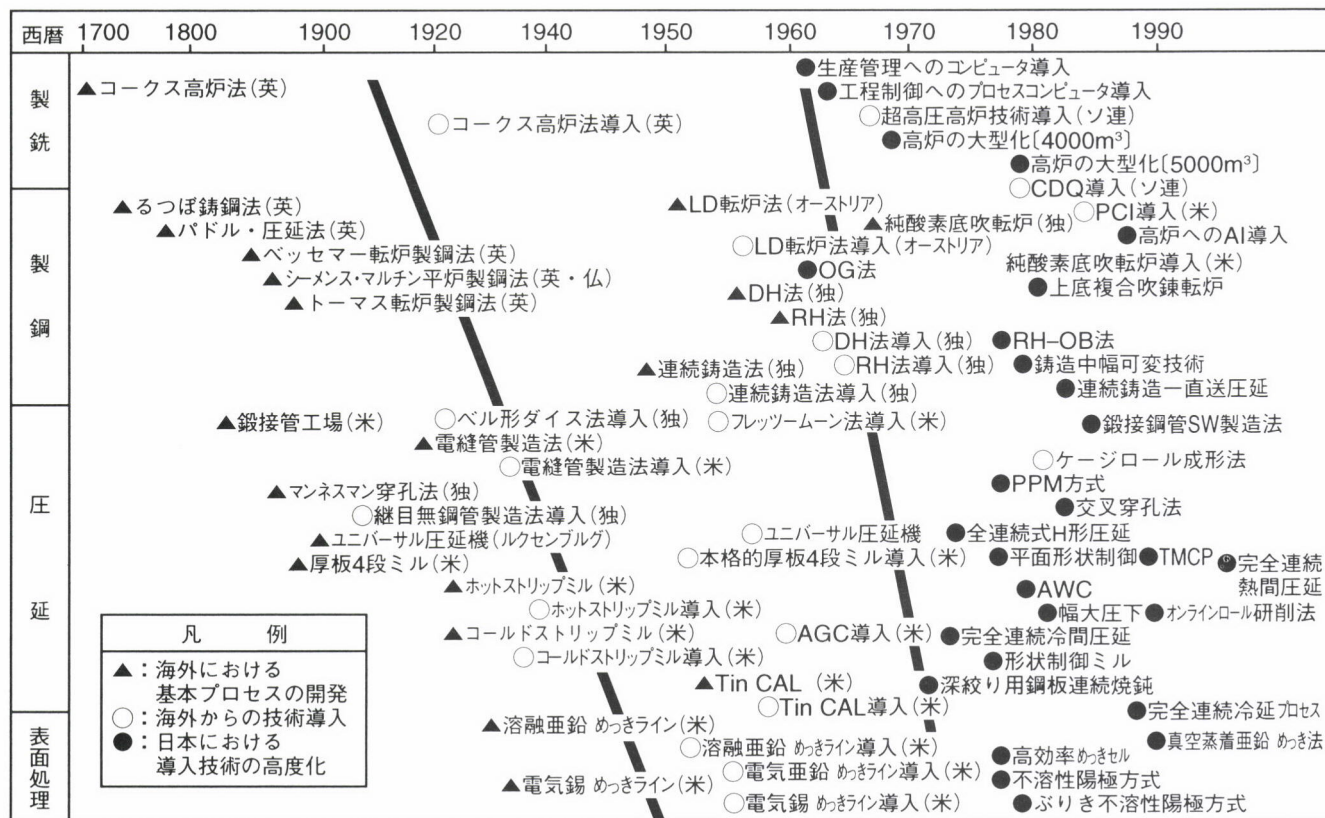
このような視点に立てば、日本鉄鋼業も単なる素材供給産業から、素材の製造から利用・再生までの全体を包括する素材統合産業へ転換していくと考えられる。そして「トータル・マテリアル・コントロール」ともいうべき解り易く説得力のある材料の製造・利用・再生に関する技術体系を構築することが求められているといえる。

2 製鉄技術の進歩

次に日本鉄鋼業が直面している第4の変化である「製鉄プロセスと鉄鋼材料の進歩」について、近年の発展を振り返りながら、最近の変化と今後の動向について展望することとする。

2.1 製鉄プロセス技術の発展

図19は、プロセス技術を中心とした製鉄技術の発展を概



出所：三好俊吉：「鉄鋼技術の進歩発展と将来展望」
鉄と鋼 Vol.81 (1995) P.N537

図19 鉄鋼技術（プロセス技術）の発展の歴史

括したものである。これをみると第1に、50年前の1950年代までに現在の主要製鉄プロセスの殆んどが諸外国で開発されていること、第2に70年代以降は、外国で開発された基本プロセスの改良や高度化が日本鉄鋼業によって進められてきていることが解る⁴⁾。

1950年代からの日本鉄鋼業の発展を技術面から振り返ると、次の4つの時代に分けることができる。第1は、1950年代から1973年の石油危機までの外国の新技术・新プロセスを積極的に導入し、臨海一貫製鉄所の建設、設備の大型化・高速化、生産性の向上に努め、急速な量的拡大を遂げた「量的拡大期」である。

第2は、1973年の石油危機を契機に、いわゆる右肩上りの生産拡大期が終り、大きな社会問題となった硫酸化物、窒素酸化物等の公害対策やエネルギー価格高騰に対処するための省エネルギー対策が、鉄鋼生産に於いて重要な課題となった「環境・省エネルギー対策期」である。

第3は1980年代に入り、環境・省エネルギー投資が一巡し、内外需とも量的拡大が期待できない中で、需要家のニーズの多様化に対応して、製品の多品種・高付加価値化を目指した溶銑予備処理、RH脱ガス、表面処理のプロセスに力が注がれた「多品種・高付加価値化期」である。

第4は、1985年のプラザ合意に端を発する大幅で急激な円高によって、国際競争力に陰りが出る中で、コスト削減に向けた生産の最適化・集約化やリストラクチャリング努力が進められている「最適化・リストラ期」である。

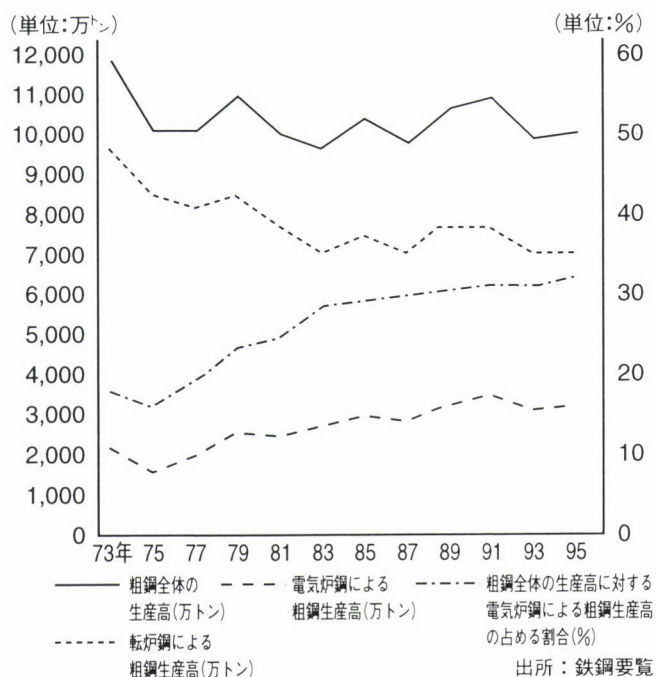


図20 電気炉鋼・転炉鋼別粗鋼生産高表 (暦年別)

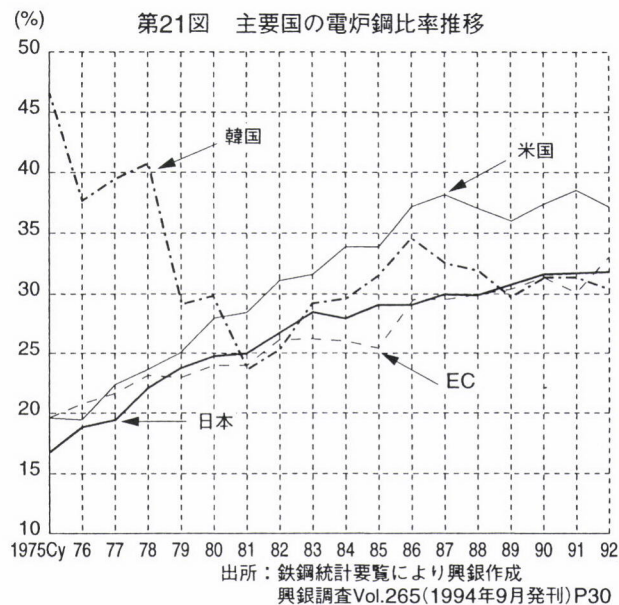


図21 主要国の電炉鋼比率推移

2.2 製鉄プロセスにおける3つの新展開

ところで、石油危機以降、量的拡大が期待できない中で、80年代製品の多様化・高付加価値化が進められるのと並行して、製鉄プロセスに関する3つの展開が生じてきている。

第1は、電炉操業技術の向上と電炉鋼比率の増加である。量的拡大が終わった1973年以降の粗鋼生産の推移を製造ブ

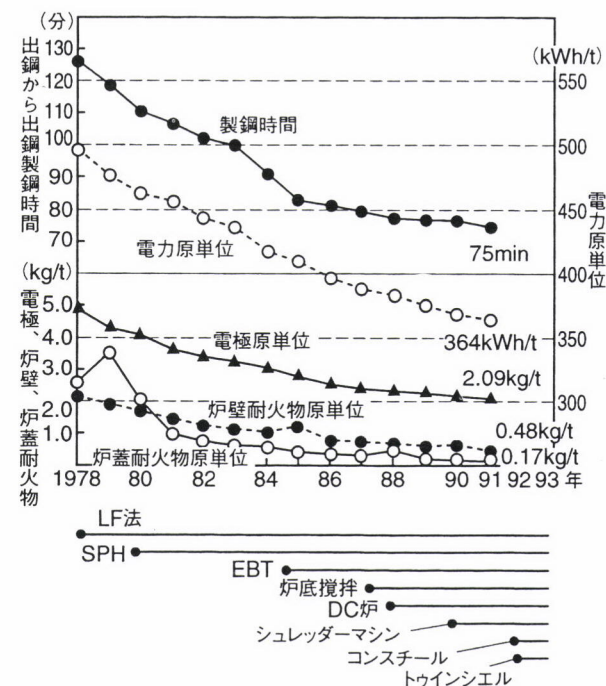
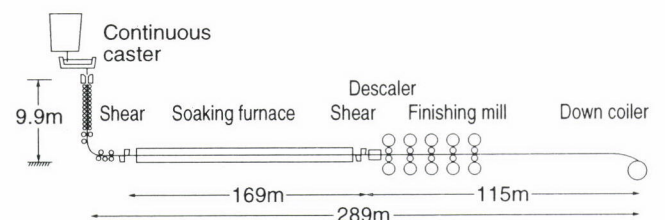


図22 電炉製鋼における主な技術開発と各種原単位の改善

ロセス別に見ると、図20に示すように転炉鋼が減少している中で、電炉鋼が着実に増加し、電炉鋼比率も1973年の18%から、95年には32%に増加していることが解る。この傾向は、図21に示すように主要鉄鋼国でも生じている。

この背景としては、発生するスクラップ量の増加、スクラップ価格の安定に加え、超高電力操業、取鍋精錬法、スクラップ予熱、直流電気炉の実用化等により、図22に示すように電炉鋼のエネルギー原単位・生産性の向上が図られるとともに、品質も向上し、競争力が強化されたことが挙げられる。特に粗鋼全体のエネルギー原単位が85年から横這い状況にある中で、電炉鋼の電力原単位が1978年から91年までに30%近く改善し、製鋼時間も40%短縮し生産性が大幅に向上していることは、注目に値する⁵⁾。

米国では電炉を用いたいわゆるミニミルが生産量を拡大



出所：杉谷泰夫「薄スラブ連鋳機開発の現状と今後」
日本鉄鋼協会 西山記念技術講座 1994年 P.242

図23 Nucor Steel Crowdfordville工場の薄鋼板生産ライン

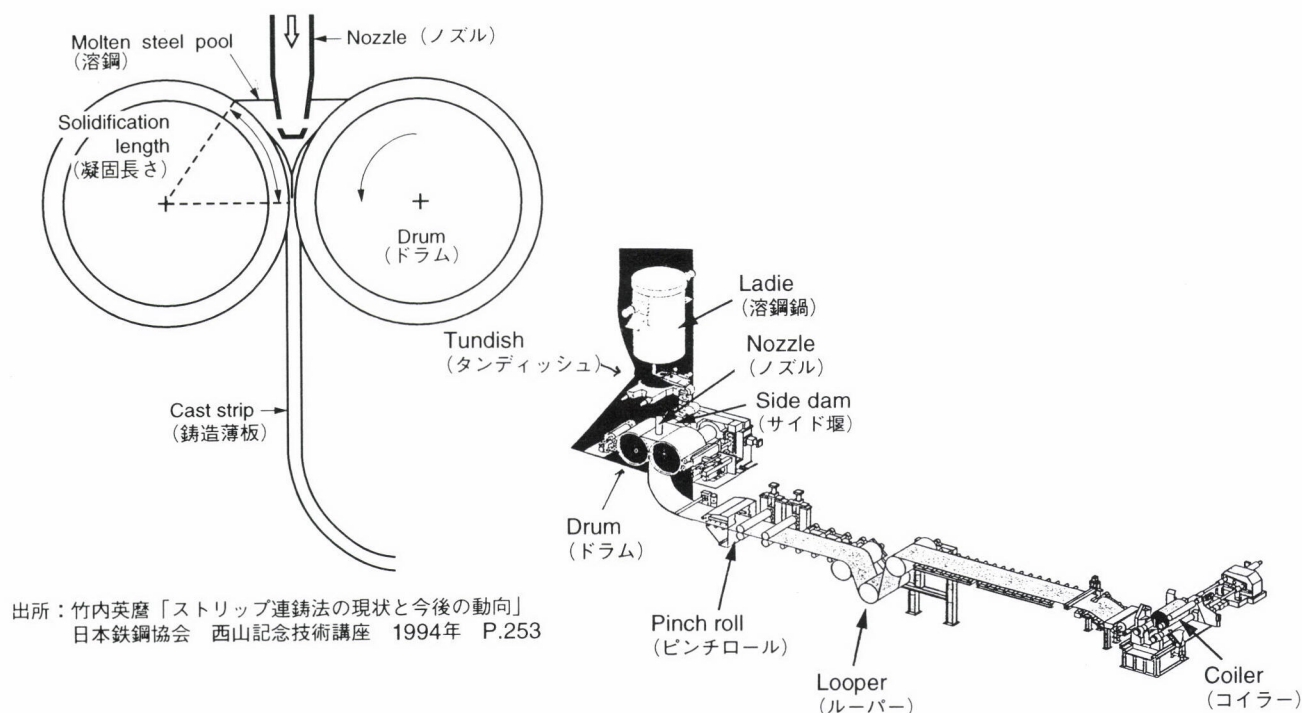
しているが、このようにミニミルの拡大が減少傾向にあった米国の粗鋼生産を反転させ、増加させる大きな要因となっている。

第2は、薄スラブ連鋳法やストリップ連鋳法の出現である。薄スラブ連鋳法は、厚さが20～80mm程度の薄いスラブを連続鋳造することによって、従来の熱間圧延工程の前段を省略しようとするもので、独のシュレーマン・ジーマグ社により、1980年代後半開発・実用化された連鋳プロセス

表9 世界における薄スラブ連鋳機の稼働・建設状況

	会社名	国	メーカー	稼働年	特記
稼働中	Avesta/Avesta	Sweden	VAI	1988	SUS 80mm厚
	Nucor/Crawfordsville	USA	SMS	1989	
	Nucor/Hickman	USA	SMS	1992	
	Arvedi/Cremona	Italy	MHD	1992	
	ILVA/Terni	Italy	SMS	1993	SUS
建設中	Hylsa/Monterrey	Mexico	SMS	1994	
	Nucor/Crawfordsville	USA	SMS	1994	CC 2st化
	Nucor/Hickman	USA	SMS	1994	CC 2st化
	Geneva/Provo	USA	SMS	1994	薄厚兼用
	韓宝/牙山湾	韓国	SMS	1995	
	Hylsa/Monterrey	Mexico	SMS	1995	
	Gallatin/Warsaw	USA	SMS	1995	
	Armco/Mansfield	USA	VAI	(1996)	75mm厚
	Nusantara/K-Lumpur	Malaysia	MHD	(1996)	I & SM情報
	Ipsco/(USA立地)	Canada	MHD	(1996)	100mm厚
	Cukurova/Aliaga	Turkey	MHD		繰延べ

出所：王寺睦満「鋼のスラブ連鋳技術の最近の動向」
日本鉄鋼協会 西山記念技術講座 1994年 P.34



出所：竹内英彦「ストリップ連鋳法の現状と今後の動向」
日本鉄鋼協会 西山記念技術講座 1994年 P.253

出所：「しんにつつ」新日本製鐵
(1997年3月)

図24 ストリップ鋳造法の原理及び設備のイラスト

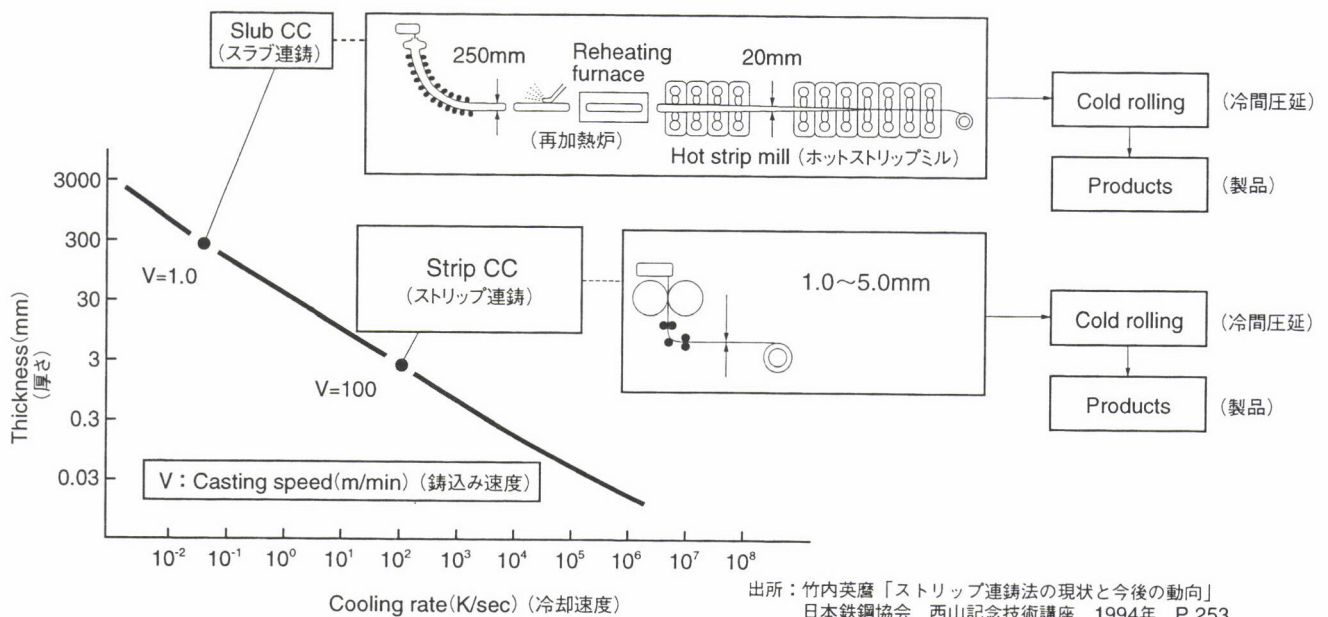


図25 冷却速度と板厚の関係の従来連続鋳機との比較

である。これにより、熱間圧延設備がコンパクト化でき、設備費の大幅削減が可能となり、特定の品種については年間100万吨程度の設備でも、大型ホットストリップミルによる大量生産方式（200～300万吨／年）とコスト面で対抗できる状況が生まれつつある。

このような技術開発の結果、従前は一貫製鉄所内の大型設備によって生産されていた薄板の一部の製品（いわゆる汎用品）が、電気炉とコンパクトストリップミルを組み合わせたいわゆるミニミルでも製造できるようになってきている。現に、1989年ニューコア・スチールのクロフォードビル工場において、薄スラブ連続鋳機が稼働し、その後数基の薄スラブ連続鋳機が世界各地で稼働している。（図23、表9参照）⁶⁾⁷⁾

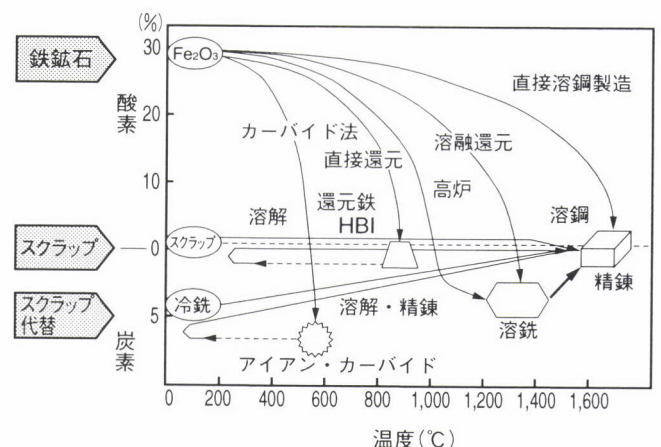
ストリップ連続鋳機は、熱間圧延工程を省略し溶鋼から直接鋼板を製造しようとする方法で、そのアイデアは19世紀のベッセマーに溯るが、1980年代後半から、より製品に近い形に鋳造するニアネットシェイプ鋳造技術開発が盛んになる中で、新日本製鐵、三菱重工業、ユジノール・サシノール社、ティッセン社等の鉄鋼各社で研究開発が進められている。本年9月に新日本製鐵光製鉄所でステンレス鋼板製造用のストリップキャスター（ストリップC.C）が、世界にさきがけて実用化され稼働する見込みである。（図24、25参照）

本プロセスの特徴は、図25に示すように冷却速度が100℃／秒と従来法より1000倍大きく、板厚は1～5mm程度と従来法の1/100であり、熱間圧延が不要なことである。ストリップ連続鋳機は、急冷凝固により、介在物、偏析の少

ない展延性等にすぐれた鋼板を製造できるとともに、薄スラブ連続鋳と同様、多額の設備費を投入せずに小規模生産量で競争力のある薄板を特定品種については、製造することを可能にすると考えられる⁸⁾⁹⁾。

第3は、熔融還元法等の新鉄源製造プロセスの出現である。1970年代初より天然ガス等を利用した還元鉄製造プロセスは実用化され、現在では2千数百万トンの還元鉄が生産されているが、近年注目されているのは、ミドレックス法のような従前の還元鉄製造法に加え、石炭を利用した新しい鉄源製造プロセスが実用化されたり、実用に向けて開発が進められていることである。

図26は、各種の溶鋼製造プロセスの還元ルートであり、



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 P.26

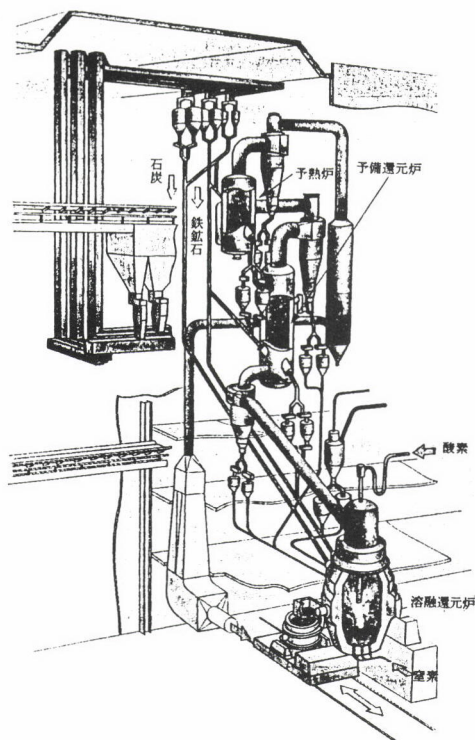
図26 溶鋼製造プロセス

製鉄法		溶融還元製鉄法			その他の製鉄法	
還元	高炉法	①DIOS法	②Hlsmet法	③AISI(直接製鋼法計画)	①COREX法	②直接還元鉄生産法
鉄鉱石 (Fe_2O_3 、 Fe_3O_4) 燃料・還元剤 (C・H化合物)	焼結鉱 コークス充填層 微粉炭	粉炭	粉炭	石炭	塊鉱・ペレット・焼結鉱 石炭	粉鉱 ペレット 塊鉱 天然ガス 石炭
↓ 固体(非溶融)還元 ↓ 還元鉄 (FeOx) ↓ 溶融還元 ↓ 鉄鉄(溶鉄) (Fe)	排ガス 還元用ガス 70% 30% スラグ(酸化物) 熱風 溶鉄	ガス改質用 還元用ガス 30% 70% 酸素 溶融還元炉(流動層) スラグ 熱風 溶鉄	排ガス 予備還元炉(流動層) 還元用ガス 30% 70% 熱風 天然ガス 溶鉄	予備還元炉 (シャフト炉) 還元用ガス 35% 65% スラグ 溶融還元炉 鉄スクラップ (直結) 取鍋 溶鉄	還元炉(シャフト炉) 還元用ガス 90% 10% 溶融ガス化炉 溶鉄	還元率 90%以上 直接還元鉄
	R&D実施国	日本	オーストラリア	米国	南アフリカ	中南米・ASEAN・中東ほか
	資源	原・燃料は、海外に依存 高炉(200万トン/年・基)代替	鉄鉱石、石炭、天然ガス等を産出 小規模製鉄所(100万トン/年)			生産設備はシャフト炉による方式が大宗を占める
備考	その他の特徴	予備還元炉は流動層			還元炉は直接還元鉄生産で培われたシャフト炉の技術を応用(塊成鉄鉱石の使用は高炉と同様、高炉はシャフト炉の一種)	
		パイロット・プラント(500トン/日)建設中	パイロット・プラント(10万トン/年)建設中		・溶融還元炉で発生する還元用ガスの能力はCOREX法と比較して低下する。 ・パイロット・プラント(5トン/時)研究済み(10トン/時)研究中	
		原理は古くから研究されている。溶融還元炉で発生する高温ガスの冷却・清浄化、耐火レンガの損耗度低下などが課題 高炉と比較して、鉄鉱石装入から出鉄までの時間が短い			・直接還元鉄生産設備と高炉の下部を組み合わせた方式ともいえる。 ・商業プラント(30万トン/年)稼働中	

(注) イラストは固体還元、溶融還元の領域を横断的に示している。

(出所)「鉄鋼界」1992年4月「高炉法と非高炉製鉄法」

図27 製鉄法(高炉法、溶融還元鉄法、その他の製鉄法)の違い



出所: DIOSパンフレット

図28 DIOSパイロットプラント設備のイメージ

図27は代表的な鉄源製造プロセスの概要である。

前項で述べたように電気炉—薄スラブ連铸—コンパクトストリップミルという新しい薄板の製造プロセスが生まれつつある中で、良質の鉄源をどのように確保するかが重要な課題になりつつある。良質のスクラップ不足を解消するための一つの方策として、新製鉄法による鉄源の製造、特に粉鉱石や非粘結の粉炭を前処理せず幅広く利用できるDIOSプロセス(図28参照)等の溶融還元法に関心が寄せられている¹⁰⁾。また、塊鉱と石炭を利用するコーレックス法については、韓国の浦項総合製鉄が導入し、生産を開始していることから、注目を集めている。

3 鉄鋼材料の進歩と展望

3.1 需要分野別鉄鋼材料の進歩

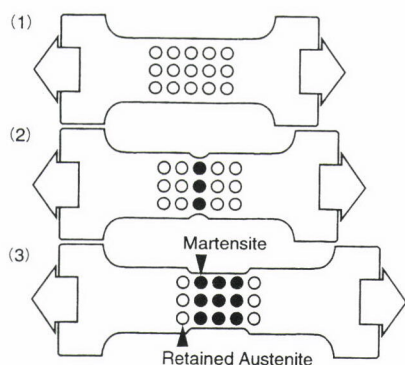
鉄鋼材料は、その安さ、強さ、加工性、信頼性によって、全世界で使用されている素材の約40%を占めるに至っている。素材としての鉄鋼材料に対しては、これらの特性をより高めていくことが期待されているが、近年の鉄鋼新材料や新製品を需要分野別にまとめると、図29のとおりである。構造材としての鉄鋼は、①強度(引張り強さ等)、②靱性(低

	1980年	1985年	1990年
建築用		・低降伏化鋼	・耐火鋼
自動車用	・IF鋼による深絞り用鋼板		・TRIP系ハイテン ・2層溶融合合金化Znめっき鋼板
電気機器用	・高鮮映性鋼板 ・制振鋼板 ・高磁束密度方向性電磁鋼板 ・高磁束密度無方向性電磁鋼板	・2層合金電気Znめっき鋼板	・高耐食性潤滑鋼板 ・6.5%ケイ素鋼板
船舶用	・TMCP鋼		・予熱低減ハイテン鋼 ・SUF鋼
エネルギー用	・二相ステンレス	・ボイラー用高Crフェライト鋼	

(出典:「鉄鋼主要分野における製品開発経緯と今後の展望」 1988年7月
(社) 鋼材倶楽部)

図29 鋼材の近年の開発状況

高残留オーステナイト高張力熱延鋼板は、室温で存在しているオーステナイトがひずみを受けることによって、マルテンサイトに変態する性質を利用して超塑性を得るものである。

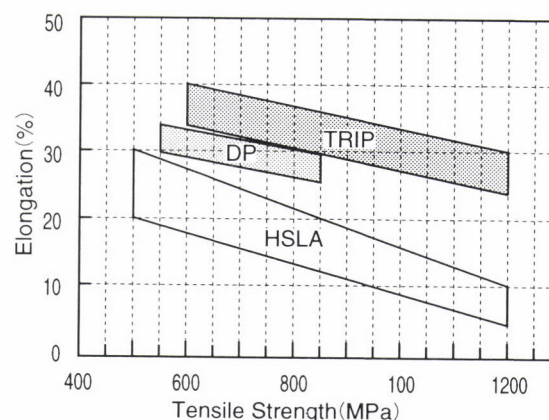


(a) Schematic Diagram of TRIP Effect.

すなわち (a) 図1に示すように (1) 鋼板に塑性ひずみを与えると、(2) ひずみが集中した箇所では残留オーステナイトがひずみ誘起マルテンサイト変態を起こす。(3) その結果、相対的に低強度の未変形部において新たな変態が起こる。この現象が繰り返し起こり、ひずみが次々と未変形部に分散され変形が均一となり延性が向上する。これがTRIP効果 (Transformation Induced

Plasticity) と言われているものである。

このTRIP効果によって高残留オーステナイト鋼板は、従来の高強度鋼板と比較して優れた強度-延性バランスを有している。(b)は、高残留オーステナイト鋼の強度-延性バランスが、析出強化型のHSLA鋼 (High Strength Low Alloy) や複合組織強化型のDP鋼 (Dual Phase) と比較して優れていることを示している。



(b) Relation between Tensile Strength and Elongation.

出所:横井龍雄他「残留オーステナイトを含む高強度熱延鋼板の疲労特性」
社団法人 自動車技術会 学術講演会前刷集952
1995年5月 P153より抜粋

図30 変態誘起塑性 (TRIP) の仕組みとTRIP鋼の特性

温脆性、延性等)、③耐食性、④加工性(深絞り性、溶接性等)の特性が向上しており、また、機能材としては、電磁気特性、耐熱性、耐火性等が向上した鋼材が開発されている。

需要分野別の鉄鋼材料の主な進歩は、次のとおりであるが、素材としての鉄鋼は、単に一つの特性が向上しただけでは意味がなく、部品や製品に加工される段階、これらが使用される段階での需要産業や使用者のニーズに応え、信

頼性、安全性を確保しながら、新しい鉄鋼材料が開発されてきている点に注目すべきである。

建築、土木分野では、①鋼材の信頼性・安全化向上の観点から、降伏点を下げ、鋼材の塑性変化により大地震のエネルギーを吸収する低降伏点鋼、②予熱温度50℃で容易に溶接ができる予熱低減高張力鋼、③大入熱溶接を可能とする大入熱溶接用高張力鋼等が開発されている。

自動車向分野では、①製鋼段階で炭素含有量をできるだ

け低くするとともに、鋼材中の炭素や窒素をチタンやニオブによって固定することにより深絞り性を向上させたIF (Interstitial Free) 鋼、②残留オーステナイトからマルテンサイトへの変態誘起塑性 (TRIP: Transformation Induced Plasticity) を活用することにより、1000MPa以上の強度と30%以上の伸びの同時達成を可能にしたTRIP鋼 (図30参照)¹¹⁾、③耐食性を向上させた2層合金化亜鉛めっき鋼板等の開発を挙げることができる。

電気機器分野では、①洗濯機等の音や振動を吸収する制振鋼板、②耐食性、加工性を向上させるとともに、家電製品の組立工程の改善に資する高耐食性潤滑鋼板やプリペイント鋼板、③鉄損を改善し、変圧における省エネに寄与する高磁束密度電磁鋼板等を挙げることができる。

船舶の分野では、①制御圧延と制御冷却 (水冷による加速冷却) を適切に組み合わせるTMCP (Thermo-Mechanical Control Process、加工熱処理) 技術により造られる厚板の非調質高張力鋼 (TMCP鋼) が挙げられる (図31参照)。TMCP鋼は、結晶粒の微細化と析出物の微細分散化によって、合金成分や炭素当量を抑えながら、溶接性を損なわずに靱性と高張力を達成できる鋼材である。これにより予熱を低減した溶接が可能となり、信頼性や加工性の向上に大きく寄与している¹²⁾。また、厚板の表層部の結晶粒をサブミクロンに微細化し、脆性亀裂の伝播を阻止するSUF鋼も開発されている。更に、耐食性にすぐれたチタンクラッド鋼板も開発され、現在建設中の東京湾横断橋やメガフロートの試作品のスプラッシュ部に使用されている。

エネルギー分野では、発電エネルギー効率を向上させる

ため、圧力30MPa、蒸気温度600℃以上で使用できる高クロムフェライト系ステンレスチューブ等が開発されている¹³⁾。

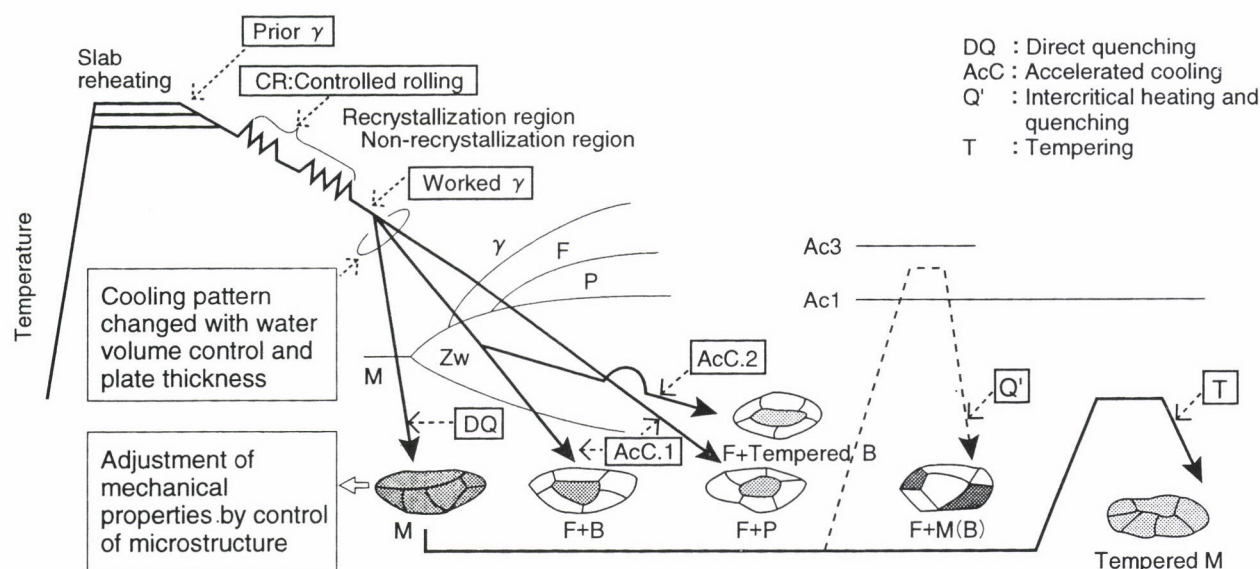
3.2 鉄鋼材料の展望

以上が、主な需要分野における鉄鋼材料の最近の進歩であるが、これからの経済・社会ニーズに対応した鉄鋼材料の方向を予想すると次の2点が考えられる。

第1は、地球温暖化問題に対応した省エネルギー性、リサイクル性に優れた材料の開発である。省エネルギー化の観点からは、①製造に要するエネルギー使用原単位の少ない鋼材、②建築物や機械製品がつくられる過程で、使用原単位を減ずることのできる強靱で薄い鋼材、③自動車の軽量化や発電タービンの耐熱性向上のように、製品の使用時におけるエネルギー効率向上に資する鋼材、④メンテナンスが容易で長期間安全に使用できる鋼材、⑤耐火鋼のように新規利用分野を広げることによって省エネルギーに資する鋼材の開発が求められている。

リサイクルの観点からは、繰り返し再生使用してもトランプエレメントの増加によって品質劣化をもたらされない、再生過程でコントロールが容易な合金元素のみを含む鋼材や表面処理鋼板が求められている¹⁴⁾¹⁵⁾。

このような要請に応える材料として、「エコ・スチール」とも呼ぶべき鋼材の開発が考えられる。「エコ・スチール」とは、①合金元素を極力使用せず、②スクラップの使用をできるだけ可能とし、③強さ、靱性、耐環境性等に優れ、④リサイクル性にすぐれ、製造、使用、回収、再生のそれ



出所：大沢紘一「鉄鋼技術10年の軌跡」鉄と鋼 Vol.81, No.4(1995) P204

図31 加工熱処理技術によるマイクロ組織制御の図解

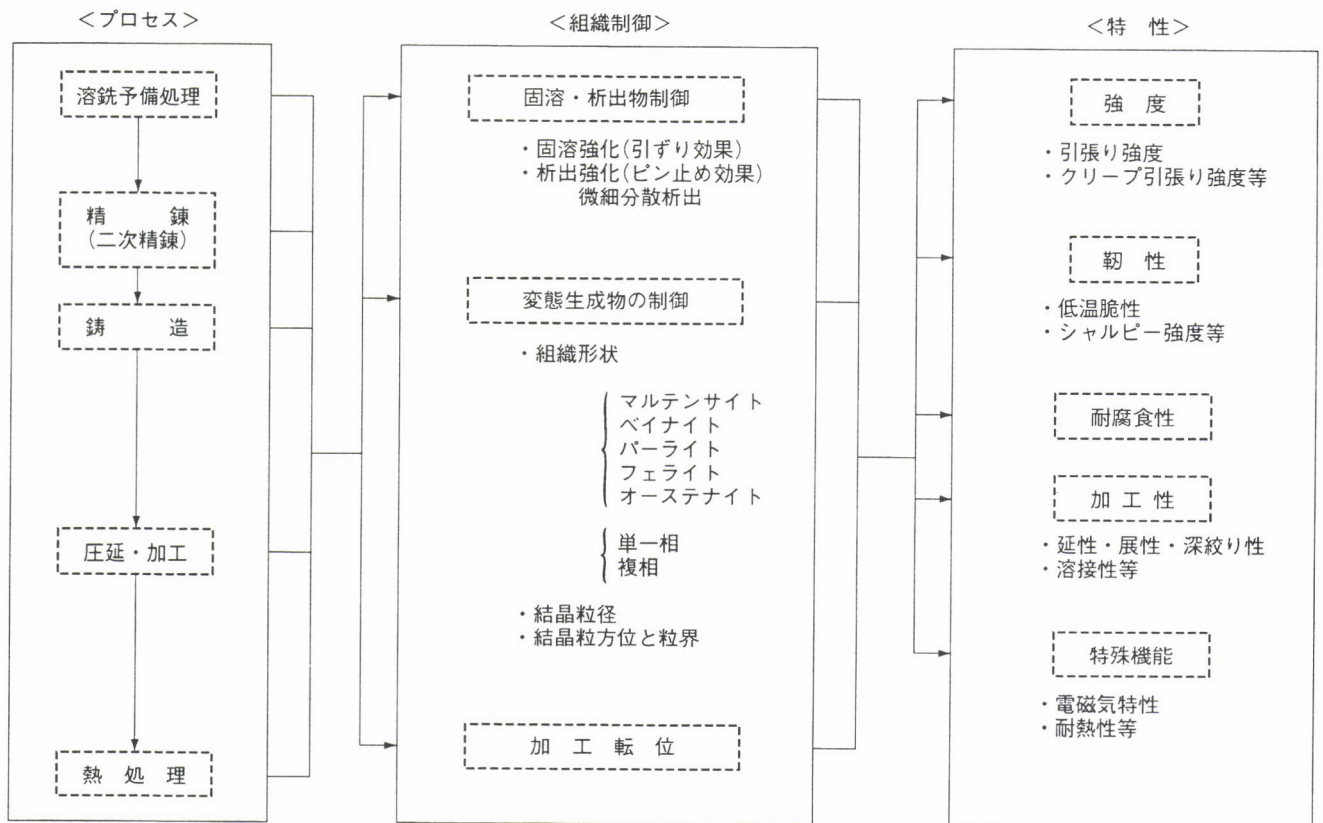


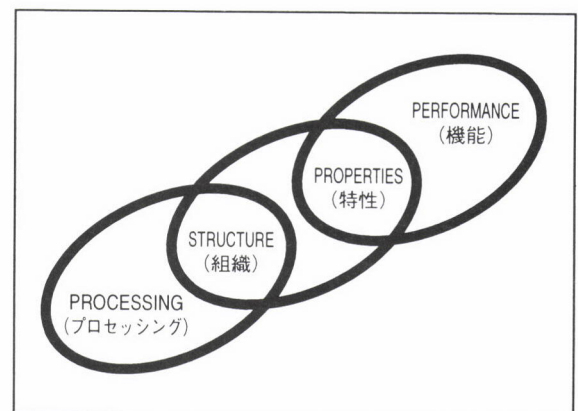
図32 鋼の製造プロセス、組織、特性の関係

それぞれの局面を通して環境への負荷が少ない鋼材である。

平成9年度から通産省産業技術開発プロジェクトとしてスタートする「スーパーメタルの研究開発」は、メゾスコピック制御技術によりミクロンオーダーの微細な結晶組織をつくり、合金元素を極力抑えながら強度と靱性の同時向上を目指しているが、「エコ・スチール」の実現に向けた一つの試みといえる。同じく平成9年度からスタートする科学技術庁金属材料技術研究所の「新世紀構造材料研究開発」も、合金元素を極力抑えながら構造用鉄鋼材の強度と構造体の寿命の2倍化を目指している点で、「エコ・スチール」のコンセプトと関連を有しているといえる。

今後の鋼材開発の第2の方向は、阪神大震災のような巨大で瞬時に加わる外力や衝突による高速歪みや高サイクルの引張り圧縮力に対しても対応できる強靱で信頼性の高い鋼材の開発である。鉄鋼材料は、厳しい品質管理のもとで工場生産されているため、バラツキが少なく信頼性が高い素材である。しかしながら、建築物のように現場溶接等の加工が加わると、異なった環境下で多様な変化に幅広く対応できる性能が求められることになる。即ち、使用され、加工される局面においても、信頼性や安全性がユーザーへの負担の少ない形で確保でき、メンテナンスや修復も容易にできる鋼材が求められている。

先に述べた変態誘起塑性 (TRIP) 現象を伴う材料は、材料に加わる応力を感知して、オーステナイトがマルテンサイト変態を起こし、①クラック先端の応力集中を緩和するとともに、②マルテンサイト変態にともなう組織の膨張によって、微細はクラックを小さくしながら大きな伸びを生んでいくものであり、発生した亀裂を自ら小さくする性質



G B Olson, Proceedings of International Forum on Creation of Super Metallic Materials, NEDO, RIMCOF, JRCM, Feb. 1997 (P.15)

図33 材料科学と材料工学の中心的パラダイムのための3つのチェーンモデル

を有している。このように使用時における高速歪みに組織変態して対応できる鋼材も上述の鋼材開発の一方であると考えられる。

図32に示すように、予備処理から熱処理に至る各工程の中で、鋼の組織制御がなされ鋼の特性が発現されていくが、各プロセスにおける成分、温度、圧延加工コントロールの精度が一層向上し、また、強加工または急速熱処理による大歪み、高速歪みを加えるプロセスが導入されることにより、従前では達成できなかった優れた性能を有する鉄鋼材料が開発されていくことが期待されている¹⁶⁾¹⁷⁾。

そして、図33に示すように各プロセスにより、材料組織がつくられ、それによる特性が発現し、材料としての機能を発揮していく方向に加え、機能から特性、組織、そのためのプロセス制御を導き、機能に対応した鋼材を製造していくことも将来の方向として考えられる¹⁸⁾。

〔以下 次号に続く〕

引用文献及び参考文献

- 1) 通商産業省基礎産業局監修「新世代の鉄鋼業に向けて」通産資料調査会, 1987年 (p.62)
- 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, 1996年12月公表
- 3) 産業構造審議会地球環境部会報告書, 1997年3月
- 4) 三好俊吉: 鉄鋼技術の進歩と将来展望, 鉄と鋼 vol.81, 日本鉄鋼協会, 1995年, (p.537)
- 5) 須田興世: 自動化進む鉄鋼製造プロセス, 鉄鋼界, 日本鉄鋼連盟, 1993年4月号
- 6) 王寺陸満: 鋼のスラブ連铸技術の最近の動向, 日本鉄鋼協会西山記念技術講座, 1994年
- 7) 杉谷泰夫: 薄スラブ連铸機開発の現状と今後, 日本鉄鋼協会西山記念技術講座, 1994年
- 8) 竹内英麿: ストリップ連铸法の現状と今後の動向, 日本鉄鋼協会西山記念技術講座, 1994年
- 9) 竹内英麿他: ツインドラム鑄造法によるステンレス鋼板の製造, 新日鉄技報351, 新日本製鐵, 1996年5月
- 10) 日本鉄鋼連盟: 溶融還元製鉄法 (DIOS) の共同研究を終えて, 鉄鋼界, 日本鉄鋼連盟, 1996年6月
- 11) 横井龍雄他: 残留オーステナイトを含む高強度熱延鋼板の疲労特性, 自動車技術会学術講演会前刷集952, 1995年5月
- 12) 大沢紘一: 材料製造技術, 鉄と鋼 vol.81, 日本鉄鋼協会, 1995年 (p.449)
- 13) 21世紀に向けて進化を遂げる鉄, 鉄鋼界報 1697号, 1997年1月
- 14) H.Harada: MLCA helps Eco-Design of Materials, 2nd International Eco Balance Conference
- 15) 原田幸明: 表面処理技術とエコマテリアル化, 表面技術 第46巻第2号, 1995年
- 16) 友田陽: エコマテリアル事典第2章, サイエンスフォーラム
- 17) 牧正志: 鉄鋼の組織制御の現状および展望と問題点, 鉄と鋼 vol.81, 日本鉄鋼協会, 1995年, (p.473)
- 18) G.B.Olson: Proceedings of International Forum on Creation of Super Metallic Materials, NEDO. RIM-COF, JRCM, Feb, 1997

(1997年2月19日受付)