

り、セメント原料化のための研究課題の探索を進めている。  
今後、さらに推進すべき課題は、スラグ品質の安定化と溶

銑予備処理系、電気炉還元系など個々に違った特性を持つス  
ラグに対し、個別の最適な用途先の開発と考えている。

### 3.6 次世代製鋼法と開発課題

#### 3.6.1 緒言

日本の鉄鋼業を取り巻く環境がバブル崩壊と急速な円高により激変したため、鉄鋼各社はリストラクチャリングの早期完遂を余儀無くされている。一方、資源リサイクル、環境保全などの社会的要請は日増しに高まり、企業の積極的な取り組みも求められる状況となっている。こうした業界内外の課題に対処するため、とりわけ生産、コスト、品質の要である製鋼分野では、経営に資する創発的な技術革新が期待されている。しかし、他方では製鋼プロセスはすでに成熟期にあるとの見方もあり、次世代に向けて技術をなおいっそう打破していく必要がある。そこで、製鋼分野の動向を周辺環境との関連から概括するとともに、21世紀に向けて解決すべき開発課題について述べる。

#### 3.6.2 周辺環境からみた製鋼の変遷

この四半世紀の製鋼の変遷を周辺環境やニーズの視点から総括し、Table 3.8 に示した。マクロ的には、

- 第1期：粗鋼生産の長期拡大の時代（1950～60年代）
- 第2期：地域環境保全（公害）対応の時代（1970年代）
- 第3期：高品質・高機能商品造込みの時代（1980年代）
- 第4期：環境調和-都市共生の時代（1990年代～）

に分割される。時代の流れから今後を予測すれば、これまで築いてきた高品質・低コスト製造体制を基にリサイクル、地

球環境などの新たな課題を解決して都市と共生するとともに、新規鉄鋼需要を開拓していかなばならないことになる。換言すれば、原料事情や鉄鋼商品ニーズの高度化・多様化に即応しながら社会環境に調和する製鋼プロセスを構築し、国際競争力を高めていかなばならない時代になったことになる。

#### 3.6.3 次世代製鋼プロセスの構成要件

ここで、次世代製鋼法を考えるに当たり製鋼を取り巻く諸要件を Table 3.9 に示す。中でも特に製鋼原料中のスクラップ比率の高まり、環境・エネルギー問題への対応、新たな鉄

Table 3.9. Measures against problems surrounding Japanese steel industry and main projects.

Item	Target and Means	Projects
Resource energy environment	1. Flexible use of raw materials 2. Countermeasures for greenhouse effect 3. Reducing of various emissions 4. Oil savings 5. Transfer of efficient technology 6. Use of fuels containing hydrogen 7. Use of unutilized materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ DIOS smelting reduction</li> <li>◎ Smelting reduction for ferro-chrome alloy</li> </ul>
Recycling	1. Recovery of scrap and reclamation 2. Reuse of steel-dust and slag 3. Eco-factory and eco-materials	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ New steelmaking process</li> </ul>
Steel Products	1. Various requirements of users - high quality, minimum lots, just in time 2. Innovation of new function-materials - beauty, ultra-high strength	<ul style="list-style-type: none"> <li>▷ FFR Ferrous frontier renaissance</li> </ul>
Innovation of Steelmaking	1. Expansion of flexibility in production 2. Process elimination 3. Direct casting of products (NNS-CC) 4. Introduction of advanced technology	<ul style="list-style-type: none"> <li>★ Semi-solid processing (Rheo-Cast)</li> <li>★ Electromagnetic metallurgy</li> </ul>
Improvement on Work	1. Amenity 2. Flexible working hours	<ul style="list-style-type: none"> <li>△ Factory automation</li> </ul>

Table 3.8. Change of backgrounds in Japanese steel industry and progress of steelmaking process.

Period	1st period (1950～60)	2nd period (1970～ )	3rd period (1980～ )	4th period (1990～ )
	Capacity increase	Pollution prevention	High grade steel	Environment—friendly process
Background	High economic growth ① Expansion of demand and large-scale investment ② Import of cheap and good quality iron ore	Oil crisis, energy saving ① Steel works harmonized with citizen life ② Severe control of environmental pollution	Depression by Yen's strength ① User requirements of high quality and new products ② Quality guaranteed system ③ Multi-function products	Restructuring & recycling ① Environment—friendly technology ② Multi-energy ③ Recycling of resources
Progress of steelmaking	(1) Introduction & commercializing of BOF (2) Mass production by BF-BOF (3) Introduction of DH & RH (4) Introduction of AOD & VOD	(1) First plant with all CC (2) Rapid expansion of CC process (3) Non polluting device (4) Energy saving technology	(1) Mass production of high grade steel—Division of refining function, combined blowing, high speed casting (2) Improvement of EAF process	(1) Scrap recycling (2) Flat products by EAF (3) R & D for near net shape CCM (4) Flexible operation (5) Electromagnetic metallurgy

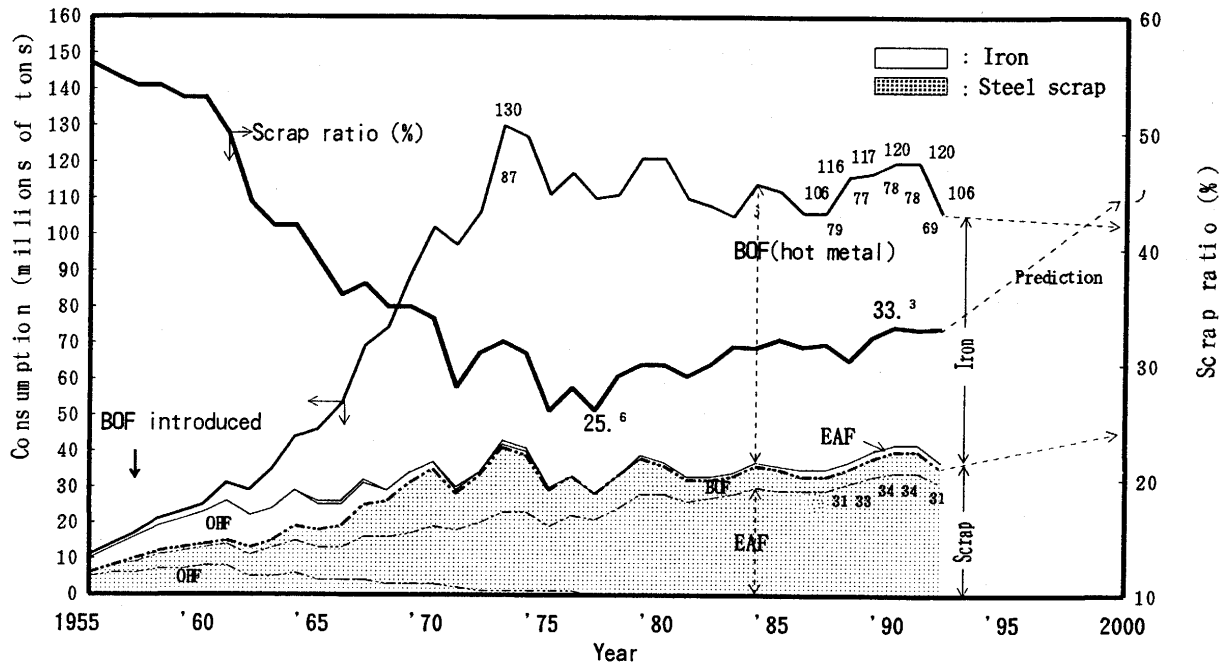


Fig. 3.43. Change in consumption of raw materials and scrap ratio in Japanese steel industry.

Table 3.10. Prediction of scrap quality.

		Present (1993)	Future
Heavy scrap	HS	Cu: 0.27% #1	0.15 %
	H1	0.10	0.15 % #2
	H2	0.24	0.36
	H3	0.33	0.45
Car shredder		Cu: 0.25% Zn: 0.7	0.30% #3 0.9
Prompt scrap		Zn: 0.8%	(0.8%)

#1 large deviation  
 #2 150% : Estimated by JRCM  
 #3 Increase of small motor installed with car

鋼需要の開拓などについて研究の国家的レベルでの展開が重要となる。

(1) 製鋼原料(スクラップ)の動向

製鋼原料がコスト、品質、エネルギー構造など製鉄プロセスに大きな影響を及ぼすことは論を待たない。日本における各種製鋼原料の使用に占めるスクラップ比率の推移を Fig. 3.43 に示した。転炉法において溶銑が現在なお大半を占めていることには変わりはないが、1990年に10億tを超えた鉄鋼蓄積を背景にスクラップ発生量は着実に増加し、製鋼原料に占めるスクラップ比率は1990年33.3%にまで達した。そして、1992年秋に生じたスクラップ余剰現象が大きな社会問題として話題を集めた。今後の鉄リサイクル問題の動向が注目される。このスクラップ余剰は、主な用途先の普通鋼電炉需要以上に老廃スクラップが発生するようになったこと、Table 3.10 に示すように不純物が増加しスクラップの品質劣化(ごみ化)が進んでいること、さらに二次廃棄物の処理コスト負担が増大し鉄リサイクルそのものを困難にしていることなどが起因していると考えられる。しかも老廃スク

ラップの発生量は今後も100万t/Y(鉄鋼蓄積量増分の約3%)のペースで増加するものと予測されており、今後の老廃スクラップの回生利用は不可欠である。仮に増分スクラップを国内で全量消費するとすると、Fig. 3.44の需給バランスからわかるように板用高純度鋼にまで使用する必要があり、製鋼プロセスや品質の改善対策が重要な課題となる。一方、スクラップの海外需要に対処するため輸出を行うと仮定すると、出荷設備の増強、スクラップの国際競争力などが課題となる。また、後述するようにスクラップの回生利用にはエネルギー、環境問題などが密接に関わっており総合的な対策を推進していくことが重要である。

(2) 地球環境(CO<sub>2</sub>)対応と原料・エネルギー問題

石炭と鉬石による高炉-転炉法では原理的に余剰のエネルギーを投入し副産エネルギーを回収する方法がとられているため、CO<sub>2</sub>発生量の抑制には製鉄システムの熱効率の極限追求と未回収エネルギーの徹底利用が基本となる。一方、溶解のみで還元が不要なスクラップ溶解法ではその消費エネルギーは原理的に高炉-転炉法の1/3程度となるので、スクラップの有効利用がCO<sub>2</sub>抑制に効果的である。Fig. 3.45はこれらの関係を銑鉄配合率と炭素排出量の関係で示したものである。日本ではスクラップ比率の増加により図中P点からF点へのシフトが予想されるが、グローバル的にはエネルギー消費大国である中国、ロシアと発展途上国へのCO<sub>2</sub>抑制についての技術移転が非常に重要である。さらに、スクラップ溶解エネルギーに一次エネルギー(石炭)を使用するか、二次エネルギー(電気)を使用するかは発電コストや地域のエネルギー構造などに関連するため、立地条件に適した溶解エネルギー種の選択が重要となる。また、水素系エネルギーへの直接的、間接的転換技術の研究も長期課題として進

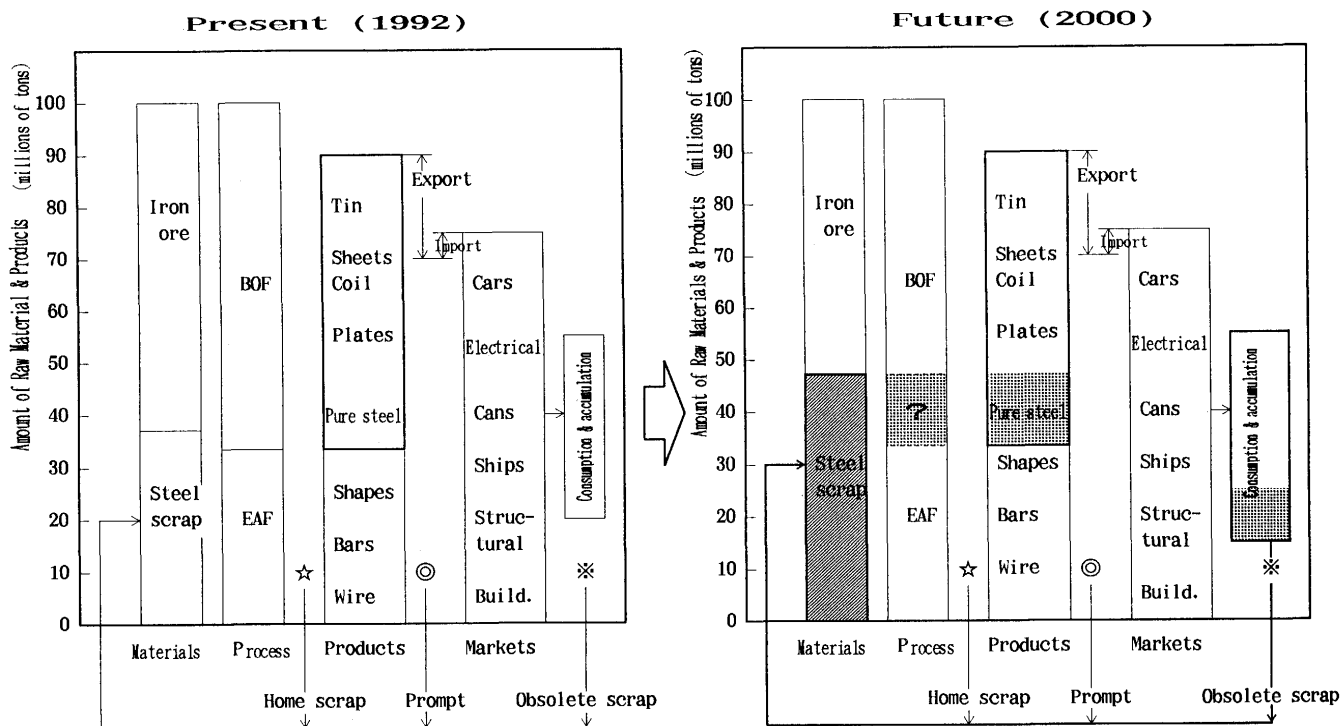


Fig. 3.44. Influence of increasing steel scrap on steelmaking process and steel products in the future.

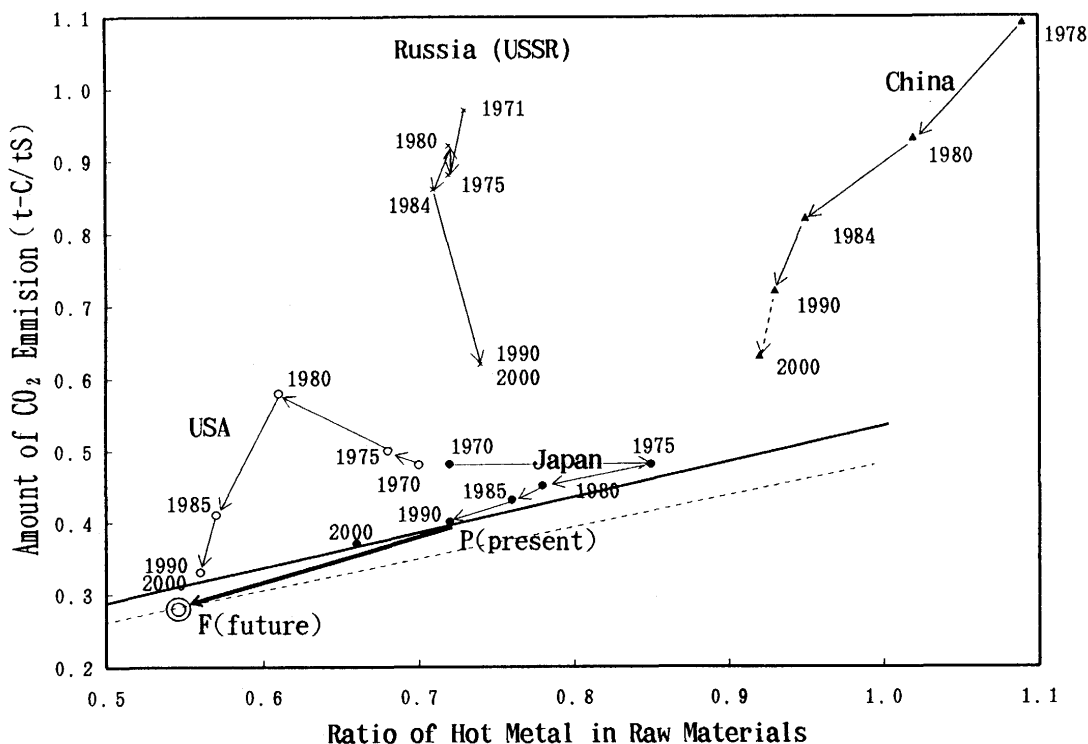


Fig. 3.45. Relation between ratio of hot metal in raw materials and CO<sub>2</sub> emission. (H. Komiyama *et al.*: "Control of CO<sub>2</sub> Emission and Future Iron & Steelmaking Process", Internal Report, ISIJ, Tokyo, (Jul. 1993))

められている。

### (3) リサイクル性を考慮した製品設計

鋼材品質を設計する際、消費後のリサイクル性を考慮したいわゆる「エコマテリアル」思想に基づく製品設計の考え方が今後重要な課題となろう。このような観点から、表面処理鋼板や樹脂系材料との複合鋼板などは優れた商品特性を發揮

する反面、リサイクル段階において問題がある。このように生産からリサイクルまで一貫した対策を講じることの意義は大きい。

### (4) 最近の製鋼プロセスと位置付け

以上述べてきた観点から、最近の新しい製鋼プロセスを環境・エネルギー面と製鋼原料（製品品質）面から位置付けて

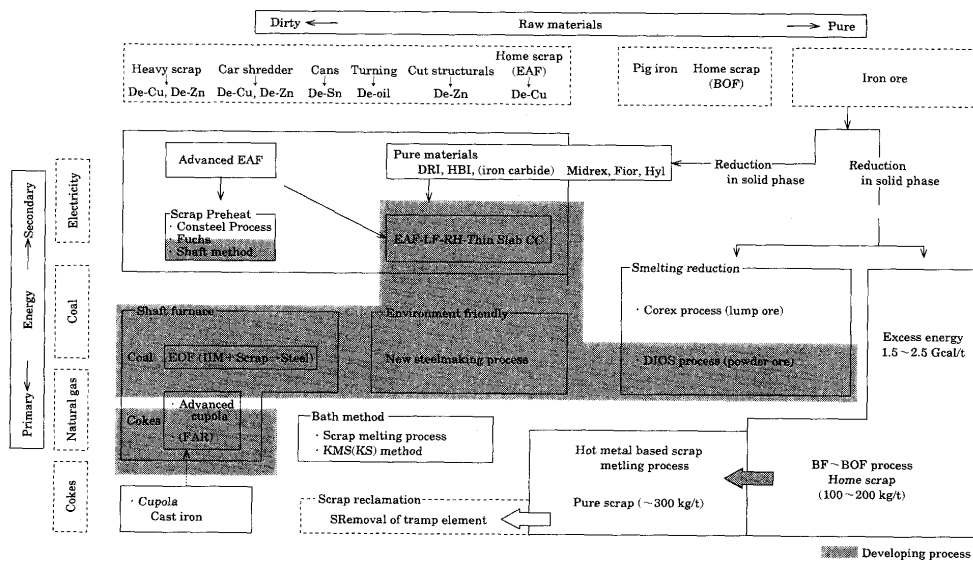


Fig. 3.46. Situation of current scrap-based steelmaking on raw materials and environment issue.

表したのが Fig. 3.46 である。現行の高炉・転炉法（鉱石・石炭，大規模生産）と電気炉法（スクラップ・電気，小規模生産）を両極にして各種ローカル条件の下で双方の利点を折衷したプロセスが多くみられる。この中では後述する電気炉→薄スラブ連铸→簡易熱延法が小規模の薄板製造プロセスとして世界的に注目されている。

#### (5) 課題解決の国際的展開

CO<sub>2</sub> 放出や大気汚染のように国境を超えた対策が必要な課題が増える一方で、危険物の移動や逸散を防止するためのバーゼル条約のように地域内で解決しなければならない課題も注目され始めている。こうした環境に関わる課題はシーズ技術的に共通する点が多く、国家的・国際的な研究が必要との声が高まっている。また、世界の流通・通信システムの発展により人的移動や情報伝達が容易となり、国際的研究活動の場も整いつつある。すでに国際鉄鋼協会 (IISI) を中心にその取り組みが始まっているほか、日本を中心とした新製鋼フォーラムは鉄鋼分野では初の国家レベルでの国際共同研究として活動中であり、研究成果が期待される。

#### 3.6.4 次世代製鋼プロセスの開発概況

製鋼分野におけるこの 20 年来の技術の変遷と今後の動向を Fig. 3.47 に示す。現在までの技術革新の核は、

① 転炉機能の分化による精錬の総合効率向上。高純度化（脱炭，脱磷，脱硫性能）の極限追求（高純度鋼の製造技術）

② 高速・高性能連铸機の開発と直行直結体制の確立

の二つに要約されるが、今後は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考えられる。これらの課題解決は今日まで主として自社開発や共同研究会における技術交流などによりなされてきたが、今後、基盤の共通課題については国家プロジェクトとして取り組まれることが多くなると考えられ

る。

#### (1) 凝固～加工プロセスの革新

最近の各社の技術開発の重点は精錬プロセスから凝固～加工プロセスに移ってきている。その一つに薄スラブ連铸機の実用化がある。現在の高生産・高品質連铸機は造塊→分塊プロセスを省き，高歩留，省エネ，物流簡素化，高品質化に極めて威力を発揮してきたが，さらに熱延工程の一部（粗圧延）を省く薄スラブ連铸機（厚 40～60 mm）が米国 Nucor 社において 1989 年実機化された。生産能力は 100 万 t/Y 程度であるが，比較的小規模投資で熱延コイルが生産できるため，電炉→薄スラブ連铸→簡易熱延法（CSP 法や ISP 法）として電炉ミニミルに導入する動きが活発である。製造品種がどのレベルまで拡大可能となるか今後の動向が注目される。

次に薄スラブ連铸機よりさらに最終製品に近い条件で铸造し，圧延工程をより簡略化するニア・ネット・シェイプ連铸機 (NNS-CCM) の開発も最近活発である。ビームブランクやホローピレットなどの条系連铸機はすでに実機稼働しているが，板系のストリップ連铸機は現在まさに世界的に開発が進められている。この連铸機は回転双ロール上部に溶鋼を注入し，1～5mm 厚のストリップを直接製造する方法で，同期铸型という凝固原理上の利点を有する反面，端部の湯漏れ防止（サイド堰）や小容量湯溜での初期凝固安定化技術が開発上のポイントであるが，最新の精密機械，高精度制御システム，耐火物技術を駆使した 10 t 規模の開発機により実用化がいつそう近づいたと報告されている。生産性は原理的に 1 スtrand 当たり 50 万 t/Y 程度であるため，ステンレス鋼や凝固特性を活かした難加工材および小ロット材の革新铸造法として発展していくと考えられる。上述した各種スラブ連铸機の基本特性については Table 3.11 と Fig. 3.48 に示した。

#### (2) 国家プロジェクトの開発状況

製鋼分野における国家プロジェクトはすでに完了したフェロクロム溶融還元法や Fig. 3.47 に示す各種プロジェクトが

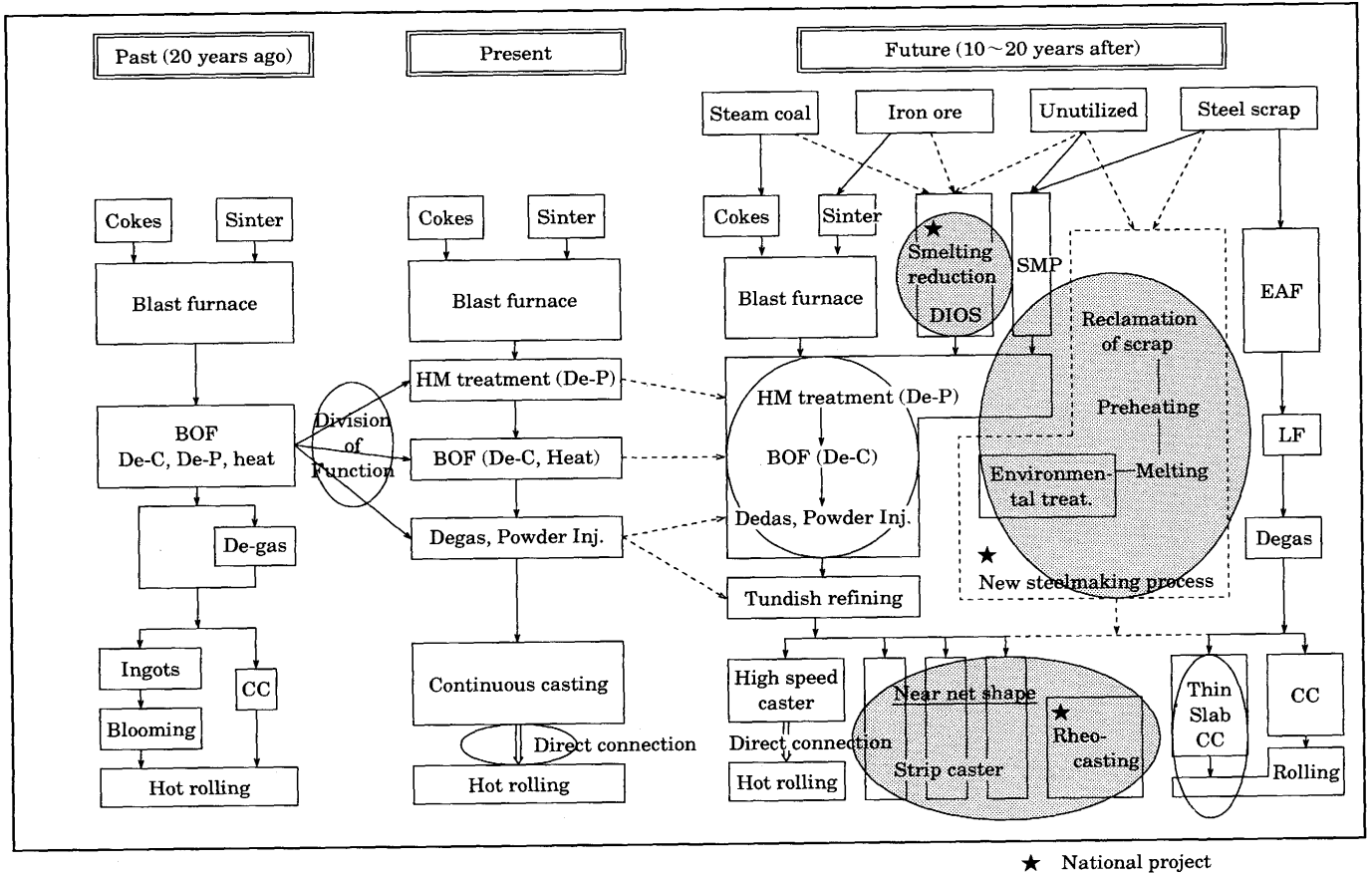


Fig. 3.47. Progress of steelmaking processes from mass production to process elimination and environment friendly process.

Table 3.11. Characteristics of various casters for flat products.

	Conventional	Thin slab caster	Strip caster
Mold thickness	200 mm	40-60	1-5
Casting rate	2 m/min	5-10	20-130
Capacity	2.5 mt/Y	0.5-1.0	0.5
Hot rolling	Full process 3.0-4.0 mt/Y	No roughing mill 1.0 mt/Y	Unnecessary

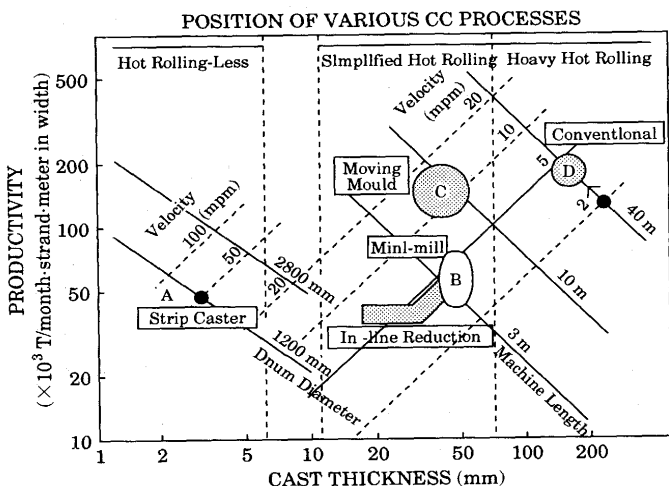


Fig. 3.48. Position of various casters. (S. Mizoguchi: The Ethem T. Turkdogan Symp., ISS, (May 1994), p. 166)

あるが、いずれも次世代製鉄法を構築する上で重要な位置付けとなっている。Table 3.12 に開発スケジュールを示す。

① フェロクロム溶融還元法の開発

安価な石炭の直接利用によるフェロクロム溶融還元法は鉄鋼、非鉄メーカー 11 社からなる研究組合により 1982~1987 年に開発がなされた。多量スラグ中で粒状コークスにより生クロム鉱石を還元する方法で、実用化技術を完成したが、その後の円高や海外のフェロクロム供給能力の増強により実機適用の意義は薄れている。なお、多量スラグ法の概念は鉄の溶融還元法に引き継がれ、現在実用化が図られている。

② 鉄の溶融還元技術の開発

鉄の溶融還元は溶銑製造技術であり、世界的に COREX 法、AISI 法など多数のプロセスが開発されている。我が国では DIOS (日本鉄鋼連盟) 方式が石炭利用総合センターと高

Table 3.12. Overall schedule of various national projects.

	Budget	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99
New steelmaking process	billion yen 10.0						▷	▷	Basic research			○			Estimation
Smelting-reduction for Fe-Cr alloy	5.8		Large-scale ▷	Test	○										
D I O S process smelting-reduction	15.5			▷	Basic R&D	○			Pilot plant			Estimation			
Semi-solid processing Rheo-casting	3.5		▷	Basic research				○	Construction	▷	Test	○			
F F R Ferrous frontier renaissance	---							▷	Integrated test						
												▷	Survey		

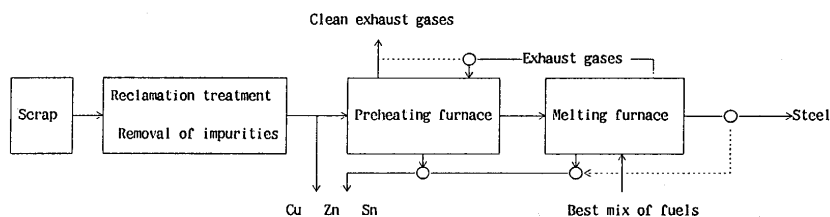


Fig. 3.49. Scope of new steelmaking process by national project.

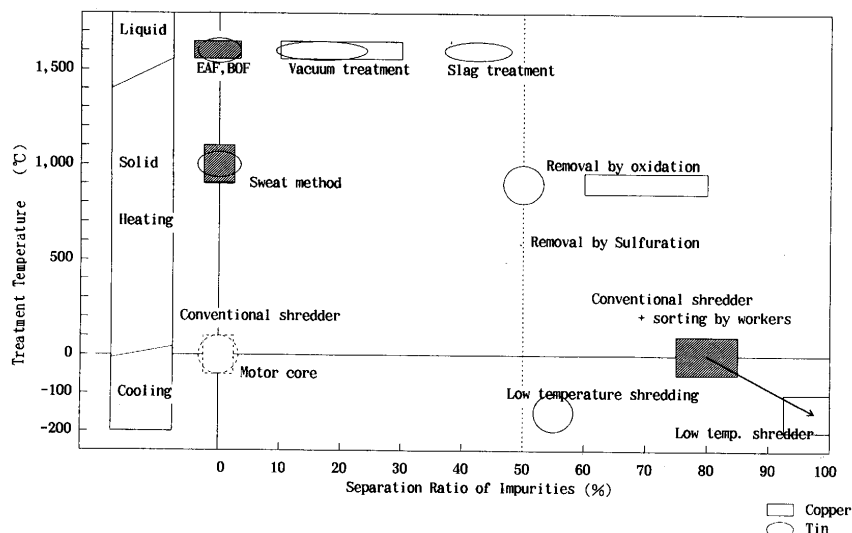


Fig. 3.50. Experimental results on removal of copper and tin from obsolete scrap. (R. Arima: NEDO Report, (1993))

炉 8 社による共同研究として 1988 年から総額 155 億円の予算で開発されている。その原理や技術の特色は製鉄分野 (2 節) に詳述されているが、各社の要素研究に引き続いた 500 t/d 規模のパイロットプラント研究が現在 NKK において実施されている。製鋼分野においては既存転炉の活用により高炉を経ずに溶銑を直接製造できることや粉銑石と一般炭が直接使用できること、さらには稼働、休止が比較的自由にできることが魅力である。パイロットプラント研究は 1995 年度の鉄浴炉への水冷炉体壁適用試験により終了し、その後の実用化が期待される。なお、ステンレス鋼における溶融還元製造法は川崎製鉄 (株) や NKK においてすでに実機稼働しており、普通鋼における今後の発展が期待される。

### ③ 環境調和型新製鋼法 (新製鋼フォーラム)

発生量が増加するとともに不純物混入により品質が劣化してきたスクラップを環境に調和して再生利用することを目的に新製鋼プロセス・フォーラムが 1991 年に発足した。高炉

6 社、電炉 6 社、フランス Usinor Sacilor 社の鉄鋼 13 社からなる国際共同研究組織を金属系材料開発センター (JRCM) に置き、総額 100 億円規模の研究が進められている。具体的には ①不純物を除去するスクラップ回生技術、②効率的なスクラップの予熱、溶解技術、③環境調和型排ガス処理技術の開発により銅、錫などの混在する老廃スクラップの再利用を促進し、併せて CO<sub>2</sub> 発生量を抑制して地球温暖化防止に貢献することを目標にしている。Fig. 3.49 にその全体システムを示す。現在、8 年計画に基づく要素研究として、①老廃スクラップの低温破碎分離技術、②酸化・硫化法による脱錫、脱亜鉛技術、③減圧蒸発法による溶鋼脱銅技術、④各種予熱・溶解炉 (キューボラ、シャフト炉、ロータリー炉、攪拌浴炉、電気炉) の特性調査、⑤ダスト類からの脱亜鉛技術、⑥スクラップ固相処理時の排ガス特性把握の研究などが実施されている。特に分離除去の困難な銅や錫に関する研究が進められており、Fig. 3.50 に示す結果が報告されている。要素

研究に引き続き平成7年度からは総合システム評価研究が始まる予定で、環境調和型新製鋼法の早期実用化が内外より期待されている。

#### ④ 半凝固加工プロセスの開発

半凝固加工法は、金属を凝固点近辺で固相と液相成分を緻密にかつ均質に混在するスラリー状とし、この金属スラリーを直接成形加工して最終成品に近い特性の製品を得る新技術である。鉄、銅、アルミニウムなどの金属材料に適用でき、通常のデンドライトではなく均質粒状組織により新機能材料を創出ことを目的としている。開発会社として鉄鋼13社、非鉄重工4社からなる(株)レオテックが1987年川崎製鉄(株)に設立され、半凝固金属製造法と加工技術の研究が行われている。前者では大剪断力付与が可能な機械攪拌、電磁攪拌、単ロール攪拌方式が開発され、後者ではダイカスト、鋳造、鍛造、押出法が研究されている。研究は最終段階にあり、リン青銅(Cu-8%Sn-0.1%P)とSUS310のストリップ鋳造試験により、初期の目的の材料特性が得られたと報告されている。

#### ⑤ フェロ・フロンティア・ルネッサンス(FFR)

成熟産業とみられがちな鉄鋼技術の未開拓地を掘り起こし21世紀の鉄鋼業の発展を支援する国の技術行政の基本スタンスとして「フェロ・フロンティア・ルネッサンス(FFR)」構想が提唱されている。生産プロセスの革新により新規需要を開拓し、その研究活動を通じて基礎研究分野における国際貢献を図るもので、具体的には、

- 1) 鉄鋼材料分野における材料工学的技術革新スーパーメタルの開発、鉄の高純度化技術の研究、電磁気力利用による次世代製鉄技術の研究
- 2) 社会ニーズに適応した鉄鋼業の技術開発石油代替エネの促進、コークス炉や高炉のメンテナンス技術の伝承、省力化技術、就業環境の改善

が掲げられており、先導研究として平成7年度からは既存の組成制御法と異なる組織構造制御法によるメゾスコピックレベルの材料開発を行うスーパーメタルの開発や電磁気力利用技術の研究が始められる予定である。

### 3.6.5 研究開発の取り組み体制

#### (1) 国家プロジェクトの意義と課題

製鋼を取り巻く課題は従来の生産・品質・コスト中心から環境やリサイクル問題の加わった複合的要素が高まり、一企業あるいは一業界単独での解決はますます困難となり、国家または国際的取り組みの重要性が高まっていくことは想像に

難くない。こうした動きを先取りし技術課題と開発機構の共有化を進め、技術移転などの国際協力を図っていくことは日本の鉄鋼業の将来にとって重要である。現在、日本鉄鋼協会を中心に産・学・官に跨がる技術開発機構の再構築が練られており、企業間、学会と業界、関連業界や海外企業などとの連携が強化され、共同研究が促進されていくと考えられる。しかし、共同研究を実施する上で考慮しておくべき課題も多い。例えば、①廃車リサイクルのような業界間に跨がる研究テーマの具現化と参画会社の選定方式、②基礎研究に留めるか実証プラントまで狙うか、③装置産業の立場からハードメーカーとの開発分担をどうとるか、④知的財産権の共有方法と第三者への技術移転をどう進めるかなど企業原理と共研理念の接点にある課題も多く、総合的に対策を進めていく必要がある。

#### (2) 技術移転による国際貢献

世界的に見ると、まだ連鋳化のように省エネルギー技術の普及が遅れている国や粗鋼生産拡大が必要となる国では今後の地球温暖化抑制や環境対策が重要となる。こうした意味から、省エネルギーの徹底した成熟技術や最新の環境対策技術を、必要な地域に移転していくことの意義は大きい。現在までに蓄積した技術を基盤にして今後の技術課題に対応するため、国の支援のもとに共同研究を我が国が主導的に実施し、国際貢献を図っていくことは重要である。

### 3.6.6 結言

最近の製鋼分野の変遷と今後の課題について周辺環境との関連から技術的に述べた。今後の課題はいずれも社会環境と関連が深く、技術と社会が一体化した対策を進めていく必要がある。例えば、リサイクルに関しては発生源から流通段階における分別回収やそのリサイクルコストの市場原理への反映など社会システムが重要であり、また都市との共生に関してはエネルギー供給、都市インフラ支援、都市廃棄物の受入れなどに関する法制度面の整備や規制緩和が必要と考えられる。さらに、企業の源泉である技術力の担保に関しては、例えば、商品開発など企業ニーズ性の高い短期的競争力に対しては企業自らが取り組む一方、環境、リサイクルなど社会ニーズ性の大きい長期的な取り組み課題に対しては産・学・官による大型開発プロジェクトを強化していくことも考えられる。このように製鋼分野は社会や環境と密接な関係のもとに21世紀の日本鉄鋼業を支える重要な役割を担っている。リストラクチャリングを克服し、共同研究成果を高め、次世代製鋼プロセスの実現に向けて邁進していかねばならない。