

3. 製鋼

3.1 製鋼分野最近の 10 年間の動きと課題

3.1.1 製鋼分野における技術動向

我が国の経済情勢，社会情勢が大きく変化する中で，鋼材に対する要求特性が多様化かつ高度化し，その対応に製鋼技術は常に大きな役割を果たしてきた。Fig. 3.1 は，ここ 30 年間における製鋼分野での主な統計的指標とその間に開発された代表的な技術を示している。おおよそ 10 年ごとに，技術の重点が大きく推移している。

(1) 1963 年から 1972 年まで

粗鋼生産の増大要請に，転炉能力の積極的な拡大で応えた時代である。この間に次の 10 年間の主役を果たす湾曲型連铸機の導入が始まった。電気炉においても UHP 技術や酸素富化操業，カーボンインジェクション操業など高生産性技術が導入され始めた。また昇熱機能を有する二次精錬装置や，VOD, AOD などの主要なステンレス精錬装置が導入された。以降の製鋼分野を支える核となる技術の芽が出揃った時代である。

(2) 1973 年から 1982 年まで

二度にわたる石油危機や円高影響を，歩留や生産性に優れた連铸機の積極的な拡大により乗り越えてきた時代である。

連铸化率は 1973 年の 21% から 1982 年には 80% と飛躍的に伸びた。この間，転炉鋼における脱ガス比率が 1973 年の 4% から 1982 年には 42% に増加するなど精錬工程における二次精錬処理の普及と，铸造工程における無酸化铸造，Ar 吹き込みや電磁搅拌などの普及により，連铸法は造塊法に対し生産性において凌駕するとともに品質において遜色のないものとなった。転炉の上底吹化による精錬機能の改善や，CC-HCR, HDR などの省エネルギー技術の改善も進められた。製鋼の全工程において，核である技術が大きく発展した時代である。

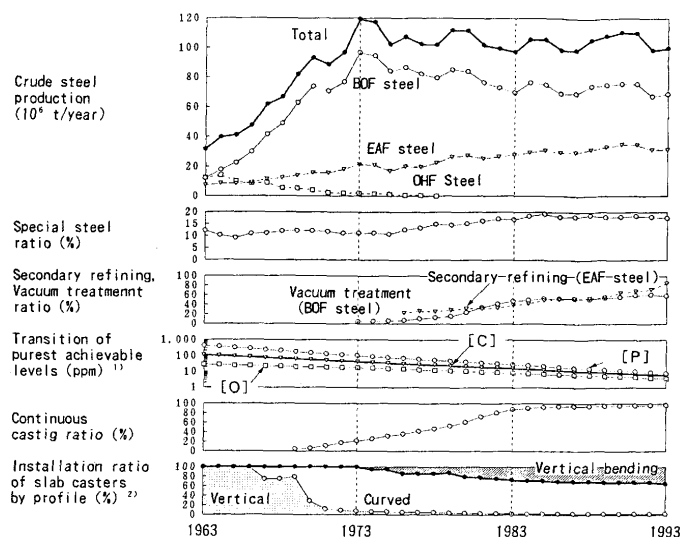
(3) 1983 年から現在まで

先行する各 10 年間がそれぞれ転炉，連铸という製造プロセス革新の時代であるのに対し，この 10 年間は需要家側からの鋼材品質特性の飛躍的な向上要請に，精錬-凝固技術が一貫的に対応し総合的な完成度を高めた時代である。

精錬工程においては，溶銑において成品要求レベルまで脱りん，脱硫処理を行う大量溶銑予備処理技術が開発された。高純度鋼の効率的かつ大量な生産を可能としたのみならず，精錬スラグ量の減少による鉄分ロスの低減などで一般汎用鋼のコスト低減にも有効なため，広く普及した。[P]の精錬限界能は，各社報告値からの回帰に基づく 1983 年には 28 ppm であったものが 1993 年には 8 ppm までも低下している。また自動車用表面処理鋼板の増大に対応する極低炭素鋼においては，RH 脱ガス精錬能の改善により [C]の精錬限界能は 1983 年には 16 ppm であったものが 1993 年には 6 ppm に低下している。このように大量溶銑予備処理，上底吹転炉，および二次精錬処理を組合せ，各精錬工程における精錬反応を品質とコストの面で最適な条件に設定することができる分割精錬が主流となった。

凝固工程では，自動車用鋼板や飲用缶などの品質要求の高度化に応えるため，湾曲型連铸機に比べ気泡や介在物の分離浮上性に優れた垂直曲げ型連铸機の導入が進んだ。さらに製鋼工程から成品工程までの一貫歩留を向上する直行直結化が進められた。铸片表面品質を向上するためにモールド内での初期凝固および溶鋼流動を制御するモールド内電磁搅拌や，中心偏析およびポロシティなどの铸片内部品質を改善するために铸片凝固末期での軽圧下が広く普及した。

電気炉においては，我が国もスクラップの社会的蓄積とその還流の進展から，粗鋼に占める電気炉鋼比率は 1983 年の 28% から 1993 年には 31% と電気炉生産量が着実に増大している。特に EBT や直流アーク炉の導入，炉外精錬処理の普及により，電気炉においても生産性や品質の向上に顕著な進展が見られるのもこの 10 年の特徴である。



BOF refining	Desulphurization OG Sublance dynamic	MgO-C brick Combined-blown	Mass treatment of de- phosphorization
EAF refining	Water-cooled lining UHP Burner	Scrap preheat O ₂ -enriched C-injection	DC-EAF EBT
Secondary refining	VOD AOD RH-OB LF VAD TN	CAS	V-KIP
Continuous casting	Curved BL, BT Shroud casting Curved SL EMS	CC-HDR Level control	Soft reduction EMS in mold

Fig. 3.1. Chronological changes in steelmaking process. (JISF, ¹⁾M. Sasabe: 143-144th Nishiyama Memorial Seminar, ISIJ, Tokyo (1992), p. 1, ²⁾M. Ohji: 153-154th Nishiyama Memorial Seminar, ISIJ, Tokyo (1994), p. 1)

3.1.2 最近 10 年間の製鋼技術の課題

Fig. 3.2 はこの 10 年間の日本鉄鋼協会の講演大会討論会テーマと共同研究会製鋼三部会の重点・共通テーマにおける製鋼分野課題の推移である。これらは、その時点で大学・企業で横断的に取り組むべき技術課題として選定されているため、その時々重点的な技術課題の動きが読み取れる。一次精錬分野では、溶銑予備処理とならんで電気炉操業改善のテーマが多く、転炉に関するテーマが減少していることは注

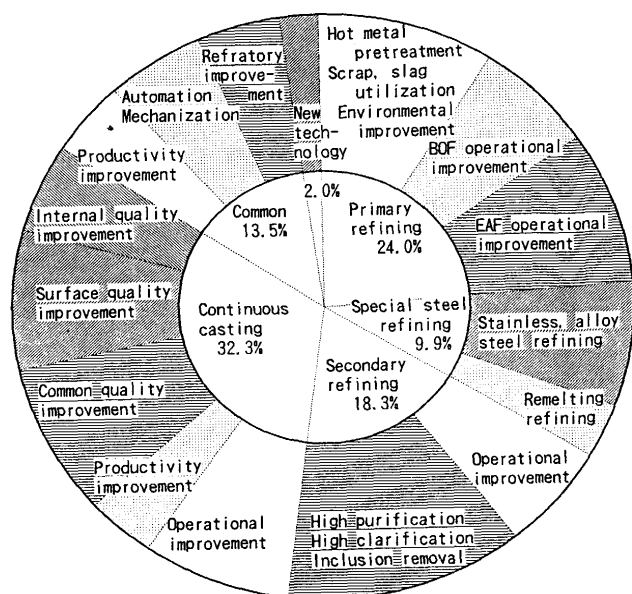


Fig. 3.2. Proportion of symposium themes at ISIJ Meetings, Steelmaking, Special Steel, and Electric Furnace Committees of the Joint Research Society, ISIJ. (106 themes, 1983-1993)

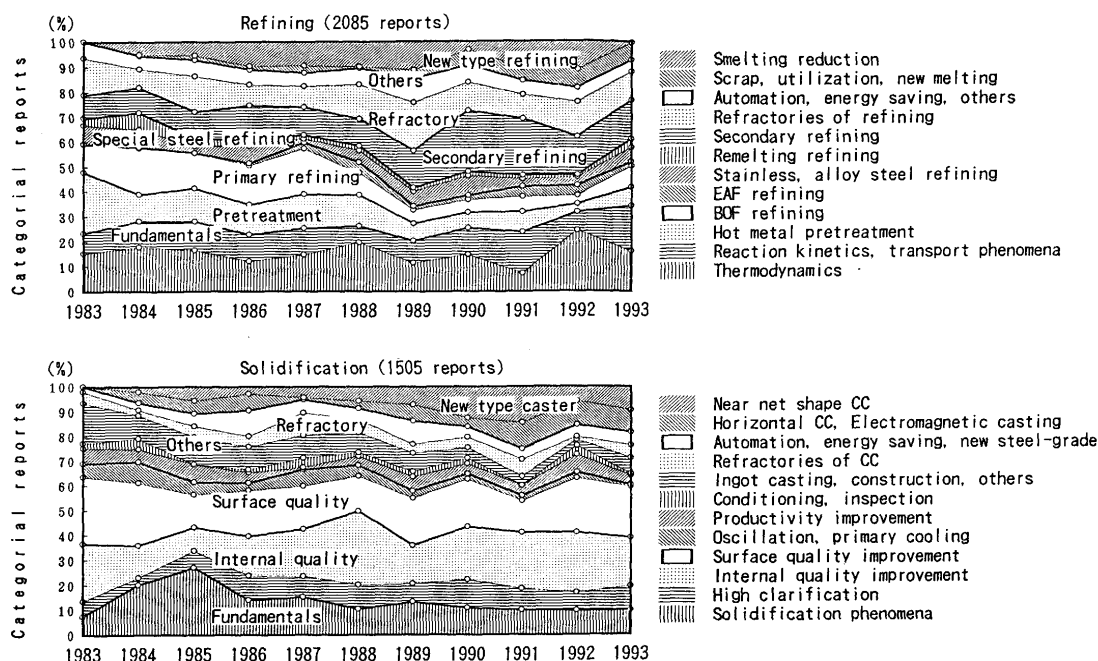


Fig. 3.3. Chronological trend of reports at ISIJ Meetings.

目される。またステンレス鋼・高合金鋼精錬の操業改善に関する課題も多い。二次精錬分野では、この 10 年の時代の要請に応える高純度化・高 cleanliness 化・介在物低減に関するテーマが主体である。連铸分野でも、特に表面品質や内部品質改善に関する課題の重点化が認められる。

Fig. 3.3 に、この 10 年間の講演大会への投稿論文の技術分野別発表件数比率の推移を示している。これらは大学・企業の自発的な研究開発成果の発表であり、全体として捉えると大学・企業の研究・開発活動の動きが読み取れる。ここでは最近の 10 年間を前期 (1983~86)、中期 (1986~89)、後期 (1989~93) に区分して技術動向を捉えている (以降単に前期、中期、後期と記す)。

精錬分野においては、先行する 1980 年代初頭が大量溶銑予備処理の普及期に当たるため、前期にはその発表が多いが、プロセスの普及・操業の安定化とともに中期以降発表は漸減している。中期においては、溶銑予備処理と上底吹転炉を組み合わせた少量スラグ精錬、溶銑予備処理で低下した転炉の熱的余裕度の改善などに関する一次精錬の改善に重点が移行している。後期には一次精錬の改善も一段落し、二次精錬の機能向上に重点が移行し、特に課題も脱炭・介在物低減・介在物形態制御から脱炭特性改善に重点が移行している。精錬工程において大きなコストを占める耐火物の改善に関しても定常的に研究開発が行われている。この 10 年間の精錬分野の新技术として、溶融還元に関する研究が大きな比率を占めている。さらに後期以降、スクラップとその利用、微量元素の除去に関する発表が増大していることも注目される。熱力学的アプローチや攪拌・流動解析などの精錬に関する基礎的な研究が、着実に進められているのも精錬分野の特徴である。

凝固分野においては、総じて品質改善に関する発表が3～4割を占めている。大きな流れとしては、先行する1980年初頭からのCC-HCR、HDRの拡大や生産性を高める高速製造の進展により、前期においてはパウダーや二次冷却による表面品質の改善に重点があるが、中期以降は中心偏析、ポロシティや介在物の低減などの内部品質の改善に重点が移行する。またタンディッシュ溶鋼加熱など、連続製造の非常常部（铸造開始部、終了部、取鍋交換部）の品質改善にも積極的に取り組まれている。後期には、特に一貫での直行直結改善からモールドへの電磁攪拌、電磁ブレーキなどの溶鋼流動制御を適用し、介在物、気泡、铸片表面割れの改善や、湯面レベル制御やパウダーの改善による表面品質の向上が強く進められている。この10年間の連続分野の新技術として、水平連铸機や電磁铸造を中心とした特殊連铸に関する発表と、ストリップ連铸機を中心としたニアネットシェイプ連铸に関する発表が着実に増大している。

3.1.3 今後の製鋼技術の課題

以上製鋼分野においては10年ごとに、転炉の導入と普及、連铸機の導入と普及、製鋼工程一貫における品質対応力の向上と、それぞれの時代が必要とするうねりのような技術の大きな発展があった。これからの10年は、最近の円独歩高に加速される国内製造業の産業空洞化の動きや国際比価競争力の再構築など我が国鉄鋼業の直面するかつてない厳しい構造的な変化に対処するために、これまで以上にコスト競争力と高度化する鋼材品質要求を両立できる新しい製鋼技術体系が求められている。現在取り組まれている高品質鋼製造技術、コスト低減技術、生産性向上技術や環境・リサイクル問題に応える製鋼技術を、継続して高度化していくとともに、多様化する市場のニーズや原料事情の変化に対処するために製鋼プロセスとしての新しい選択肢も創出していく必要がある。このためには、基礎研究から応用技術までを体系的に積み重ねていくことが、いっそう重要となっている。

3.2 高品質鋼製造技術の進歩

3.2.1 高品質鋼ニーズの増大

鋼の高品質化に対する需要家の要求は近年厳しさを増しているが、その背景には鋼材の使用環境の苛酷化、安全性に対する高い信頼性確保、加工工程の作業性改善、より複雑な加工、検査の自動化や省略などがある。

高品質鋼に要求される特性は、(1)加工性向上、(2)疲労特性や強度、靱性などの材質向上、に大別できる。以下に、要求品質特性レベルの高い代表的な鋼種について、需要家のニーズを具体的に示す。

(1)に関して、自動車や家電用に供される薄板材は、加工特性の向上と連続焼鈍プロセスの適用などのニーズから極低炭

素鋼の生産比率が増加してきた。Fig. 3.4に示すように、延性や深絞り性などの機械的特性を増して複雑な加工を精度良く行うためには鋼中の炭素濃度を極力低減させることが有効であり、それは同時にニオブなどの炭素固定元素量の減少を可能とする。なお、薄板材は外板として使われることが多く、良好な表面性状を保つことも重要である。また、DI缶は0.25 mm以下の板厚で成形されているが、軽量化を図るため元板厚のさらなる低減が要求される。深絞り加工時のフランジ割れは製缶工程の作業能率を著しく低下させるので、より厳しい条件下で割れ起因となる非延性 Al_2O_3 系介在物を低減させる必要がある。タイヤコード線材も加工度が大きく、伸線時の断線が生産性を阻害する。断線は中心偏析と

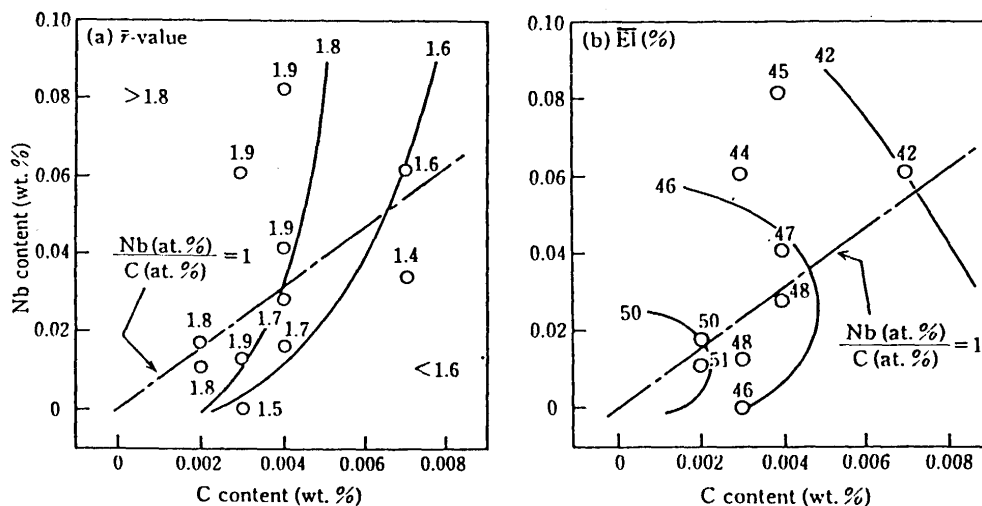


Fig. 3.4. Mechanical properties as functions of C and Nb contents. (Kawasaki Steel Giho, 21 (1989), p. 208)