

第2章 製鋼

2.1 製鋼分野最近の10年間の動きと課題

2.1.1 技術動向概説

この10年間は製鋼分野にとっても変動の時代であり、平成バブル崩壊後の低成長期から、鉄鋼大手企業間の統合を経て、最近の東アジアが牽引する鉄鋼需要増大への動きの中で、多くの技術開発が進められた。

図2.1には、1994年から2003年にかけての10年間における粗鋼生産量、特殊鋼比率、溶銑予備処理比率、2次精錬比率、連铸比率の推移を示す。粗鋼生産量は、1995年の1億164万tに始まり、1998年の谷(9355万t)を経てその後回復基調となり、2000年から4年連続で再び1億tの万台に乗った。更に、2004年では1億1000万tを超え、過去最高の1億1932万t(1973年)に迫る勢いが予想されている。このうち電気炉鋼は、2842万tから3425万tの間で推移している。特

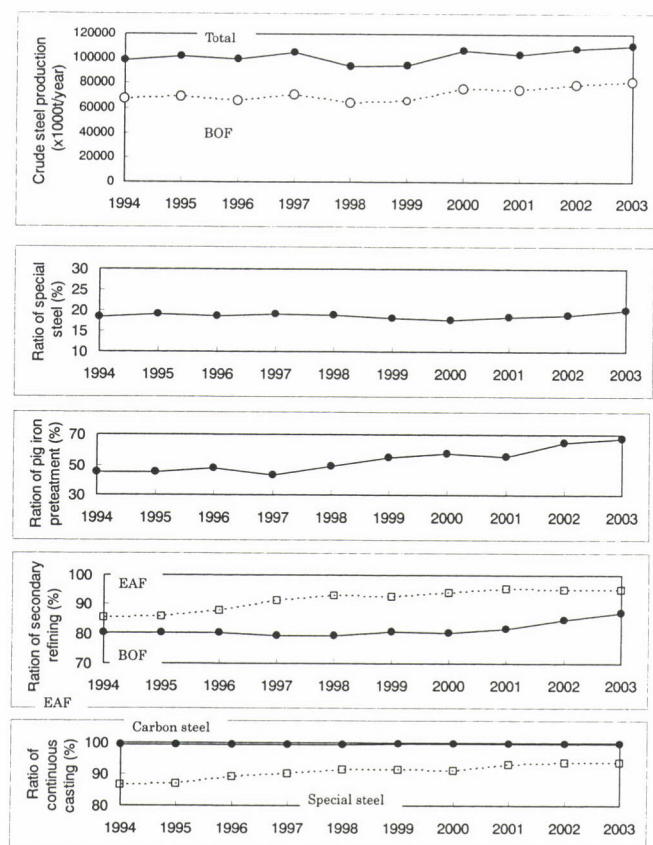


図2.1 最近10年間における粗鋼生産量および処理比率の推移
(数値出典：日本鉄鋼連盟資料)

殊鋼の比率は、18.4%から20%とほぼ一定となっている。一方、溶銑予備処理比率は44.9%から67.6%へと大幅に増加した。これは後述するプロセス再編の効果だと考えられる。また、2次精錬比率は、特に電気炉鋼での増加が著しい。連铸比率は、1994年の96.9%から2003年の98.6%に増加しており、中でも特殊鋼は87.2%から93.5%へと増加が著しい。一方、普通鋼の連铸比率は99.8%と、ほぼ限界までに到達している。(数値出典：日本鉄鋼連盟資料)

日本鉄鋼協会講演大会における発表件数の推移を図2.2に示す。発表総数は345件(94年)から160件(04年)へと半減している。基礎および応用に分けて内訳を見ると、精錬、凝固とも応用開発の発表減少の影響が大きく、逆に精錬の基礎研究は増加している。応用開発の発表減少は、この10年間で鉄鋼各社の現場技術者や研究者が大幅に減少したことや特許監視の厳格化および提携・アライアンス等の影響が考えられるが、今後の学会活性化の維持は重要な課題である。

また、同じく日本鉄鋼協会講演大会での発表内容から見た技術分類の推移を図2.3に示す。まず精錬においては、この10年間の前半では新鉄源やスクラップ処理(94年：合わせて23件)、耐火物改善(94年：12件)、二次精錬関係(94年：59件)の発表が多くを占めたが、後半はスラグ関係の発表が大幅に増加し(01年：32件)、また熔融スラグ構造や物性値、熱・物質移動、反応速度、熱力学といった基礎的な研究(04年：64件)の発表比率が高くなっている。すなわち、プロセス関連の開発が前半で一段落し、後半には環境問題に対する取り組みや計算モデルの高度化に伴う基礎物性値および次ステップに向けた基盤研究が重視されてきたのが判る。なお、最近現れたノーベルプロセッシングの分野は、マイクロ波を利用した基礎研究であり、今後発展が期待される。

一方、凝固では、前半は品質に関する発表(94年：介在物含め42件)が比較的多かったが、中盤の1999～2001年頃は、電磁力(00年：37件)や再び介在物関連(99年：13件)の発表が増加し、後半では凝固基礎現象(03年：31件)に関する発表が多くなっている。また、全体を通してモールドフラックス関連(例年9～32件)の発表が多い。凝固においても、精錬と同様に、前半でプロセス開発やベースの鋳片品質に関する研究が一段落し、後半で次ステップに向けた基盤研究が重みを増してきた。また、高速鋳造や鋳片品質の厳格化対応および無手入れ化推進から、従来は経験の域から脱し得なかった連铸モールドフラックスの研究ニーズが高まり、特に大

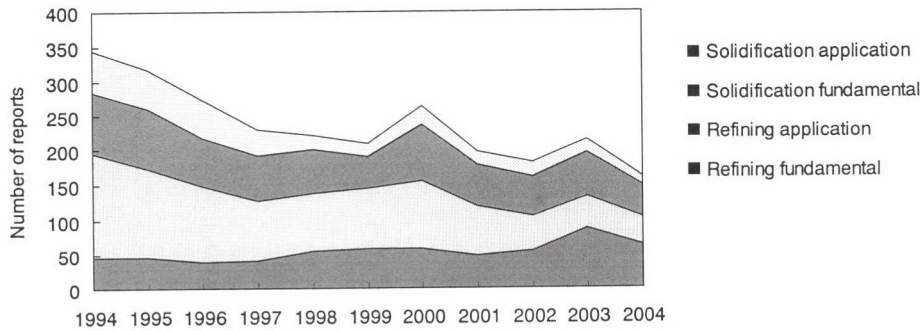


図2.2 日本鉄鋼協会講演大会における発表件数の推移（製鋼分野）

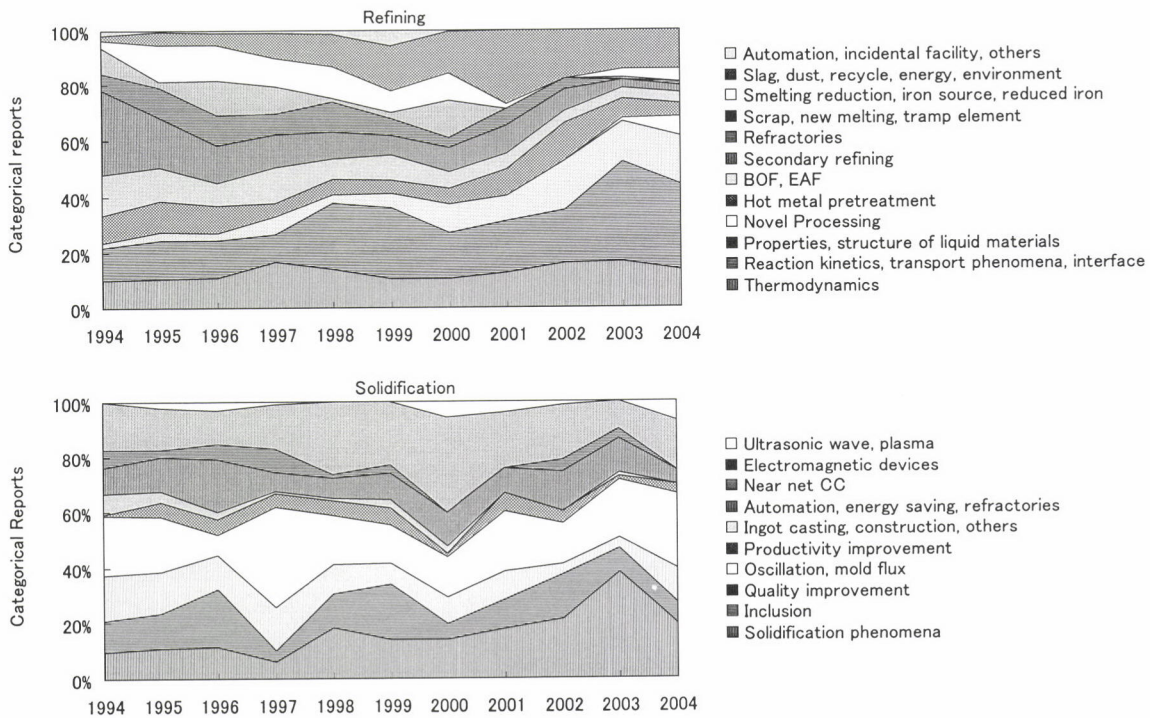


図2.3 日本鉄鋼協会講演大会での発表内容から見た技術分類（製鋼分野）

学側から基礎理論に則した高度な測定や解釈が多数発表された。

図2.4には、この10年間の日本鉄鋼協会の講演大会討論会・シンポジウムテーマと共同研究会製鋼三部会の重点・共通テーマ分類の割合を示す。この10年間の特徴は、製鋼基礎および新技術に関するテーマが多く取り上げられていることである。表面および内質を加えた連铸品質は、従来同様に数多く議論されており、また、一次精錬に占める溶銑処理・スラグ・環境問題の割合は、従来よりも高くなっている。製鋼技術が成熟した中で、新たな技術の発掘やユーザーの厳しい要求への対応、環境問題対応に関心が大きく移っていることが判る。

また、この10年間で国家プロジェクトとして、環境調和型金属系回生利用技術基盤（新製鋼プロジェクト）および電磁気力利用によるエネルギー使用合理化金属製造プロセスの

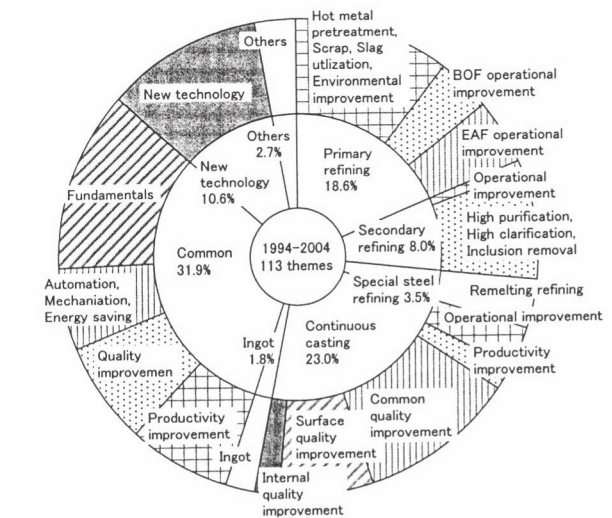


図2.4 日本鉄鋼協会の講演大会討論会・シンポジウムテーマと共同研究会製鋼三部会の重点・共通テーマ分類の割合

研究開発（新電磁気力プロジェクト）が産学協同で進められた。

なお、2000年春の日本鉄鋼協会講演大会で、「21世紀に向けての高温プロセスの展望」基調講演が製鋼分野で6件行われたことも、世紀をまたぐ今10年の特徴である。

2.1.2 主要技術

最近10年間の製鋼技術開発の特徴は、以下のカテゴリで代表される。

(1) 溶銑予備処理プロセスの再編

従来の、トーピードカーまたは溶銑鍋での予備処理に代わり、転炉を用いた予備処理法が各社で開発された（H炉法、SRP法、NRP法、MURC法、LD-ORP法）。これにより、脱磷時の高速吹酸とスラグのリサイクルが可能となり、脱磷の高効率化とともにスラグの系外排出量の削減が大幅に進んだ。また、溶銑予備処理を全量行う工場も増えてきた。

(2) 地球環境に配慮した精錬プロセス

この10年間で、地球環境に対する意識はますます高まり、製鋼においても、特に製鋼スラグの扱いが重要な課題となった。スラグの系外排出量を削減する技術として、徹底した脱珪によるゼロスラグ・プロセスが開発され、系外排出量が60 kg/tと従来に比べて半減する大幅な削減を達成した（CAMP-ISIJ, 13 (2000), 52.）。また、脱炭滓を高炉焼結や溶銑脱硫にリサイクルする技術が開発され、製鋼スラグのリサイクル率が高まった。更に、スラグからのフッ素溶出に関する規制が成立し、これまで造滓材として広く使われていたホタル石の代替技術が進むとともに、フッ素溶出低減法の研究が進められた。一方、製鋼スラグを積極的に活用するための技術開発もなされ、特に水和固化した成型体として護岸に用いる技術が企業合同で進められた。また、製鋼ダストのリサイクルも活発に進められ、ダスト還元設備が建設された。更に、CO₂削減技術の一環として、革新的なスクラップ溶解技術が、国家プロジェクト（環境調和型金属系回生利用技術基盤）として進められ、2000年3月に完了した。

(3) 電磁力利用技術の革新

この10年間の初期には、電磁攪拌や局所的に作用する電磁ブレーキの報告がなされていたが、その後、溶鋼の加速・減速を切り替えられる電磁力設備（EMLS/LA）や鋳型幅方向に均一な磁場を与える静磁場を利用したブレーキ（FCモード、LMF）が開発、実用化された。これら設備の最適な使用法に関して、連銑鋳型内の溶鋼流動を推定するモデル計算手法が発展した。また、国家プロジェクトでは、電磁気

力利用によるエネルギー使用合理化金属製造プロセスの研究開発として、電磁気力を利用した次世代鋳造プロセスの研究開発が行われ、超高周波法、電磁オシレーション法、電磁潤滑法、低周波パルス印可法、超電導磁石による強磁場の研究開発が進められ、2001年3月に完了した。

(4) 高品質化対応技術

ユーザーの品質要求は益々厳格になり、この10年間でも品質に関する研究開発は高い比率を維持している。まず、介在物の低減に関して、1994年に4年間の研究を終了した日本学術振興会製鋼第19委員会介在物小委員会に引き続き、日本鉄鋼協会の研究会として超清浄鋼研究会が1995年から4年間にわたり産学協同で実施された。ハード面では、二次精錬で新しいバーナーランスの設置によりRHの多機能化が進んだ。また、連銑では、電磁力の高機能化とともに、割れ防止、巻き込み防止のためのモールドフラックス研究が活発となり、更には品質を予測するための技術も生み出された。また、清浄度の代表指標として軸受鋼の酸素レベル推移を挙げると、1994年の5ppmに対して、2001年には平均4.7ppmとなり、ベスト値で3ppm台前半の値まで到達している（第182・183回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，（2004），151.）。

(5) 高速鋳造技術

先の10年間では連続鋳造の速度がどこまで到達できるか盛んに議論されたが、海外での薄スラブ高速鋳造法が飛躍的な発展を遂げたこの10年間では、薄スラブの国内実用化こそ無かったものの、鉄鋼需要の増大を背景に、後半では現行連銑機の生産性を高める技術が発展し、ストランドあたり月産20万tを超える連銑機も現れた（CAMP-ISIJ, 16 (2004), 950.）。一方、鋳造速度から見た場合でも、現行スラブ連銑機では、3 m/minの速度が報告され（CAMP-ISIJ, 10 (1997), 246.）、また、薄スラブ試験CCでは、8 m/minの高速鋳造を達成することが出来た（CAMP-ISIJ, 12 (1999), 834.）。

一方、ストリップ連銑に関しては、この10年間の前半で各社から研究報告が為されていたが、最終的にはステンレスのストリップCCが実用化された。

(6) 新設備

この10年間に製鋼設備も多数建設された。既に述べた物以外の新設備としては、まず製鋼工場として、JFE千葉4製鋼、住金と歌山新製鋼が挙げられる。精錬設備としては、住金鹿島：3RH、新日鐵八幡および君津：新型DH、同八幡：誘導加熱炉付貯銑炉、同室蘭：取鍋型精錬設備、JFE福山：