

III. 技術の変遷からみた講演の推移

1. はじめに

ヨーロッパでは 15 世紀以前に高炉が出現し、1856 年にはベッセマーが転炉を発明して溶鋼の生産に成功している。一方、日本では、安政 4 年 (1857 年) に釜石で高炉が稼動、明治 13 年 (1880 年) にるつぼ炉製鋼法による生産が開始されたに過ぎなかった。それから半世紀後の昭和 18 年には約 770 万 t の粗鋼を生産するまでに発展したが、第 2 次大戦の打撃によつて鉄鋼産業は潰滅状態になつてしまつた。

しかし、昭和 25 年の朝鮮動乱をきっかけとし、日本鉄鋼産業の事態は一変して急に活況を呈し、基幹産業として戦後復興の大きな役割を果たしたばかりでなく、今日の繁栄をもたらした高度成長の足がかりともなつたのである。

昭和 32 年の LD 転炉、昭和 30 年の連続鑄造にはじまり多くの主要技術が先進諸国から導入され、それらの導入技術がその限界まで改良されたばかりでなく、高炉、転炉、造塊、圧延、熱処理、表面処理など各工程において独自の技術が数多く開発されてきた。さらに、最近のエネルギー事情の悪化や環境問題の壁も見事に乗り越え、いま生産性、品質及び経済性とも世界の追随を許さない鉄鋼産業に発展してきた。

このような素晴らしい発展の主な要因として、

- (1) 安価な資源、エネルギー、 (2) 立地条件、
(3) 素晴らしい労働システム

が挙げられている。戦後相次いで開発された石油や鉄鉱石などが資源過剰時代を現出したが、この買手市場を巧みに利用して良質で安価な原料を入手し、これを臨海製鉄所で製錬、加工し、高品質で安価な製品を売りさばってきた。さらに、その生産工程を発達させてきたのは、戦後の新しい教育システムで教育された優れた能力をもつ人的資源である。魅力ある基幹産業に参加してきた優秀な技能者、技術者及び研究者、さらには大学などの研究者の素晴らしいチームワークは、導入された新しい技術の芽をすばやくかつ寸分の狂いもなく育て、信じられないような成果を収めることに成功している。このようにして発展してきた日本の鉄鋼産業は、その驚異的な内容故に世界の先進国をして追随を諦めさせ、新しい製鉄体系への挑戦を余儀なくさせつつある現状である。

こうした鉄鋼産業の技術発展の歴史をもつともよく物語っているのは、講演大会に発表されてきた研究成果で

あり、その軌跡をたどることで技術発展の歴史の全貌をうかがい知ることができよう。

14 件の研究発表があつた第 1 回当時の日本の年間粗鋼生産量は 100 万 t を少し超える程度であつたが、700 件以上の講演のある第 100 回大会の現在では 1 億 5000 万 t の生産能力にも達する程に成長している。この間講演大会に発表されたオリジナルな研究発表の総数は約 17900 件の多きに上つている。

あらゆる産業が黎明期にあつた初期の頃には、鋳物に関する研究成果の発表が多く見られ、さらに非鉄金属の研究や溶接の研究の発表も少なからず行われていた。しかし、産業の発展に従い、鋳物協会、金属学会、溶接協会などが独立して活動するようになり、鉄鋼協会独自の色彩が次第にはつきりしてきた。

講演内容や講演数の変遷をつぶさに観察すると、その時代に重要な役割を果たした技術の消長、導入された技術の改良の過程、開発された独自の技術の成長過程、あるいはリバイバル技術の出現など多くのことを仔細に知ることができる。

以下に、技術の変遷と講演数の変化や講演内容の関係をなどを各分野毎に総括し、日本鉄鋼業の今日の繁栄を支えてきた科学技術の発展の歴史を明らかにした。またご参考までに講演大会開催年月と開催地を次表に示した。

(郡司 好喜)

講演大会開催年月と開催地

回	年	月	開催地	回	年	月	開催地
1	大	14. 10	東京	25	16. 4	東京	東京
2	昭	15. 11	八幡	26	16. 10	東京	東京
3		2. 11	東大	27	17. 4	東京	東京
4		3. 11	大阪	28	17. 10	東京	東京
5		5. 10	大室	29	18. 4	東京	東京
6		6. 4	東大	30	18. 10	大阪	大阪
7		6. 10	八幡	31	19.	東京	東京
8		7. 4	東大			関西	関西
9		7. 10	東大			九州	九州
10		8. 4	東大			東北	東北
11		8. 11	名古屋			各地	各地
12		9. 4	名古屋			講演	講演
13		9. 10	満州 (大連)	32	21. 10	東京	東京
14		10. 4	東大	33	22. 4	東京	東京
15		10. 10	神戶	34	22. 10	東京	東京
16		11. 10	福岡	35	23. 4	東京	東京
17		12. 4	東大	36	23. 10	大阪	大阪
18		12. 10	札幌	37	24. 4	東京	東京
19		13. 4	東大	38	24. 10	八幡	八幡
20		13. 10	東大	39	25. 4	東京	東京
21		14. 4	東大	40	25. 9	東京	東京
22		14. 9	満州 (奉天)	41	26. 4	東京	東京
23		15. 4	東大	42	26. 10	東京	東京
24		15. 10	神戶	43	27. 4	東京	東京

回	年 月	開 催 地	回	年 月	開 催 地
44	27. 10	福岡	73	42. 4	東京
45	28. 4	東京	74	42. 10	東京
46	28. 10	東京	75	43. 4	東京
47	29. 4	東京	76	43. 9	東京
48	29. 10	東京	77	44. 3	東京
49	30. 4	東京	78	44. 10	東京
50	30. 10	東京	79	45. 4	東京
51	31. 4	東京	80	45. 10	東京
52	31. 10	東京	81	46. 4	東京
53	32. 4	東京	82	46. 10	東京
54	32. 10	東京	83	47. 4	東京
55	33. 4	東京	84	47. 10	東京
56	33. 10	東京	85	48. 4	東京
57	34. 4	東京	86	48. 10	東京
58	34. 11	東京	87	49. 4	東京
59	35. 4	東京	88	49. 11	東京
60	35. 10	東京	89	50. 4	東京
61	36. 4	東京	90	50. 10	東京
62	36. 10	東京	91	51. 4	東京
63	37. 4	東京	92	51. 10	東京
64	37. 10	東京	93	52. 4	東京
65	38. 4	東京	94	52. 10	東京
66	38. 10	東京	95	53. 4	東京
67	39. 4	東京	96	53. 10	東京
68	39. 10	東京	97	54. 4	東京
69	40. 4	東京	98	54. 10	東京
70	40. 10	東京	99	55. 4	東京
71	41. 4	東京	100	55. 10	東京
72	41. 10	東京			

2. 製 鉄

2.1 今日にも通用する草創期の研究テーマ

第1回講演大会が開かれたのは大正14年(1925)であるが、鉄鋼協会が発足したのは、その10年前の大正4年である。大正4年のわが国の鉄鉄生産高は僅かに30数万tで、このとき稼動中の高炉は八幡製鉄の東田に3本、釜石製鉄所に2本、輪西(室蘭)製鉄所に1本であり、最大炉容は東田4高炉の521m³である。しかしこの年に早くも東田で高炉の除湿送風が試みられている。ただしコスト的に引合わず不採用になった。

10年後の大正14年の鉄鉄生産量は満州鞍山製鉄所など外地生産も含むが92万t(内地産68.5万t)に増加している。しかし高炉の炉容は東田5高炉573m³、戸畑1高炉576m³でさして大きくはなっていない。生産の増加は操業技術の進歩によるものであろう。国産技術として黒田式コークス炉が八幡に築炉されており(大正9年)、鞍山製鉄所ではFe30~40%の貧鉄を還元焙焼して選鉄能率を上げる技術を完成している(大正13年)。

第1回講演大会の発表をみると、九州大学助教授、谷村潤が「鉄鉄の研究」と題して、京都大学助教授、沢村宏が「鑄鉄の黒鉛化について」と題して、ともに鑄物用鉄鉄の冷却速度と品質の関係について研究発表している。また八幡製鉄所技師、長谷川態彦は「砂鉄の研究」

と題して製鉄原料として砂鉄がどの程度使えるものかについて発表している。大正15年の第2回大会では八幡製鉄所、足立逸次が「製鉄用使用鉄石について」、同じ八幡製鉄所の香春三樹次が「高炉セメントについて」発表している。

昭和に入つて、第3回(昭和2年)には、八幡製鉄所、黒田泰造が「現時わが国の製鉄用鉄炭について」と題して、日本炭を主原料としてコークスを造る場合の諸因子の影響について発表している。第4回(昭和3年)には東京大学助教授、田中清治が「溶鉄炉内における珪素の還元に対する実験」として、木炭と鉄石と一緒に加熱して、還元鉄中に入るSiを測つた結果を発表している。第5回(昭和5年)には東京大学教授、俵国一が「溶鉄炉における化学反応」と題して、溶鉄炉の各位置でどんな反応が起つて、成分変化がどうなるかを論じている。こうした発表からみると、その研究課題は100回を迎える今日にもほとんど通用するものであることに気付く。

昭和6年からは春秋2回の講演大会が開かれるようになったが、この頃の製鉄技術をみると、昭和2年に釜石製鉄所で、ドワイト・ロイド焼結機(155t/日、2基)が稼動している。昭和5年には八幡製鉄所、洞岡コークス工場で乾式消火装置を設置しているが、故障頻発で中止になつている。高炉は洞岡1高炉が内容積705m³、能力500t/日として、この年火入れされて、高炉大型化の出発点となつた。昭和7年春の第8回大会で、八幡製鉄所、山岡武が「洞岡第1溶鉄炉内形の決定について」発表している。ちなみに同高炉は炉床径6.0m、炉腹径7.0m、炉口径5.1m、総高24.0m、羽口12本(非常羽口6本)となつている。

昭和9年は講演大会が始まつて10年目に当たるが、製鉄合同で日本製鉄が発足した年である。この年の鉄鉄生産量は241万t(内地産173万t)で、以後年々増産に拍車がかけてゆく。翌年(昭和10年)の鉄と鋼、第6号は協会創立20周年記念号になつているが、日本鋼管、中田義算は「本邦鉄鉄製造法の発達」なる論文を発表している。その中で「わが国では鉄炭が甚だ高価なる故、鉄炭節約を第一として」高品位鉄石(Fe58%前後)を主体に、コークス比低減を第一眼目にすべきことを説いている。装入原料の粒度については、「理想としては鉄石も鉄炭も75mm位に揃えたい、100mm以上は不良、細かい方は6mmまでは使用に堪える。ただし6-20mm大のものは全装入の20%程度まで一定割合で混入する必要あり」としている。装入方法は「炉壁に沿つてガスは太く流れる故に、その部分に鉄石を集めせ

しめ、従つて炉心に骸炭が集まる様な装入方法がよい」としている。さらに高炉下部の内部状態についても推論しており、炉内の荷重を支えるのに朝顔部にアーチを形成して支える状態と、炉芯があつて、中心部の柱が荷重を支える状態の二つがあり、後者の方が低 Si 銑 (2% 以下) を吹製するには適していると述べている。

さて昭和 10 年春の第 14 回大会では京都大学教授、沢村宏が「名種鉄銑石の存在下における CO の分解作用について」として、炭素析出の研究結果を、13 年の 20 回大会では「鉄銑の還元に伴う膨張について」を発表している。同じ大会で、大阪大学教授、藤井寛が「団銑法について」と題して、粉銑石と炭材を固めて還元焼成する実験結果を発表しており、製錬プロセスの基礎研究が発表されるようになってきている。

第 21 回 (昭和 14 年秋) には八幡製鉄所、大原久之が「わが国における回転炉の製銑試験について」として、セメント用キルンを使つての鉄銑石還元の試みを発表している。第 23 回 (昭和 15 年春) には八幡製鉄所、松倉由次郎が「1000 t 溶銑炉の操業について」を発表している。これは昭和 12 年に火入れした洞岡 3 高炉 (内容積 1105 m³, 炉床径 7.2 m, 炉腹径 8.2 m, 炉口径 5.9 m, 総高 27.0 m) についての操業成績の発表である。同じ大会に八幡製鉄所の八木貞之助は「試験用小形溶銑炉の研究」を発表して、能力約 1 t/日の小形炉の操業が可能であることを報告している。

第 25 回 (昭和 16 年春) には理化学研究所長、大河内正敏が「回転炉、反射炉等による直接製鉄法」と題した発表で、「コークス化し得ざる石炭を使用して直接製鉄、製鋼し営むことは急務中の急務である」として、内外情勢が厳しくなつてきたことを伝えている。第 28 回 (昭和 17 年秋) には大同製鋼、吉井周雄が「CO-H₂ 混合ガスによる鉄銑石の還元」について発表し、還元反応の速度論的研究を始めている。

2.2 学術研究の昭和20年代、新技術採用の昭和30年代

二次大戦終結までの銑鉄生産は昭和 17 年の 425 万 t が最高で、昭和 18 年 403 万 t, 昭和 19 年 316 万 t となるが、19 年の 31 回大会は戦争が激しく統一大会は開けなかつたようである。戦後の昭和 20~23 年の生産は 100 万 t 以下で生産面からは壊滅期であるが、講演大会は昭和 21 年秋 (32 回大会) から再開されている。この大会で東北大学助教授、三本木貢治は「FeO+CO $\rightleftharpoons$ Fe+CO₂ 平衡の測定」を発表しており、世界水準を抜く研究が戦後すぐに始まつていることがわかる。

第 33 回 (昭和 22 年春) には輪西 (室蘭) 製鉄所、久田清明が「北海道炭による高炉コークスの製造」を、

京都大学、沢村宏、他が「焼結法に関する実験的研究」を、第 34 回に東北大学、的場幸雄、他が「高炉シャフトにおける鉄銑石の被還元性に関する研究」を、第 35 回に八幡製鉄所、児玉惟孝、他が「本邦産鉄銑石の還元性並びに熱膨張について」を、第 36 回に東北大学、高橋愛和、他が「酸化鉄の焼結性ならびに被還元性について」発表し、この時期に原料関係の本格的な基礎研究が始まつている。

高炉内の反応関係では、第 34 回大会 (昭和 22 年秋) に八幡製鉄所、和田亀吉、他が「内地鉄銑石使用と溶銑炉における脱硫問題」について、東北大学、大谷正康が「溶滓より溶鉄への珪素還元について」発表しており、高炉下部の液相反応にも研究が及んでいる。

戦後の鉄鋼生産が本格的に再開されたのは、製鉄所の賠償指定からの解除、傾斜生産による集中化、アメリカおよびカナダからの鉄銑石と原料炭の輸入開始等によつてである。銑鉄生産は昭和 24 年 (1949 年) に 155 万 t, 25 年には 223 万 t に回復した。その後の日本鉄鋼業は今日にみるように目覚ましい発展を遂げるわけであるが、この間の製銑部門の技術発展の主要なものは図 1 に示したようになる。

昭和 25 年 (1950 年) は日本製鉄が解体して、八幡製鉄と富士製鉄が発足した年である。昭和 26 年頃から、鉄銑石の整粒化が始まり、各社とも銑石処理関係の設備増強を進めた。昭和 28 年には八幡洞岡に近代的焼結工場 (ドワイト・ロイド式, 53.5 m², 1000 t/日) が建設された。またこの年に川崎製鉄、千葉製鉄所が操業を開始して、大型臨海製鉄所の端緒となつた。

昭和 26 年に八幡洞岡 3 高炉で炉底に初めてカーボンレンガが使用されたが、第 38 回大会 (昭和 24 年秋) に八幡製鉄所、中村直人が「溶銑炉の炉壁侵蝕状況について」幻燈を使つて報告している。この回からスライド幻燈が使えるようになった。第 39 回には八幡製鉄所、八木貞之助、他が「溶銑炉に炭素レンガを使用する研究」を、第 40 回には東京大学、金森九郎、他が試験高炉を使つた「高炉炉底吹精の研究」を 3 報に亘つて発表している。第 45 回 (昭和 28 年春) には東京大学、雀部高雄、他が「高炉の生産能力の一考察」を発表している。

昭和 30 年 (1955 年) の銑鉄生産量は 522 万 t になるが、この年秋の第 30 回あたりから製銑関係の発表が増加し、昭和 30 年代から、昭和 40 年代にかけて、全発表件数の 20% を越えることになる。第 50 回では「劣質炭よりの冶金用成型コークスの製造」(石炭総合研究所・八幡製鉄所) の発表があり、わが国の成型コーク

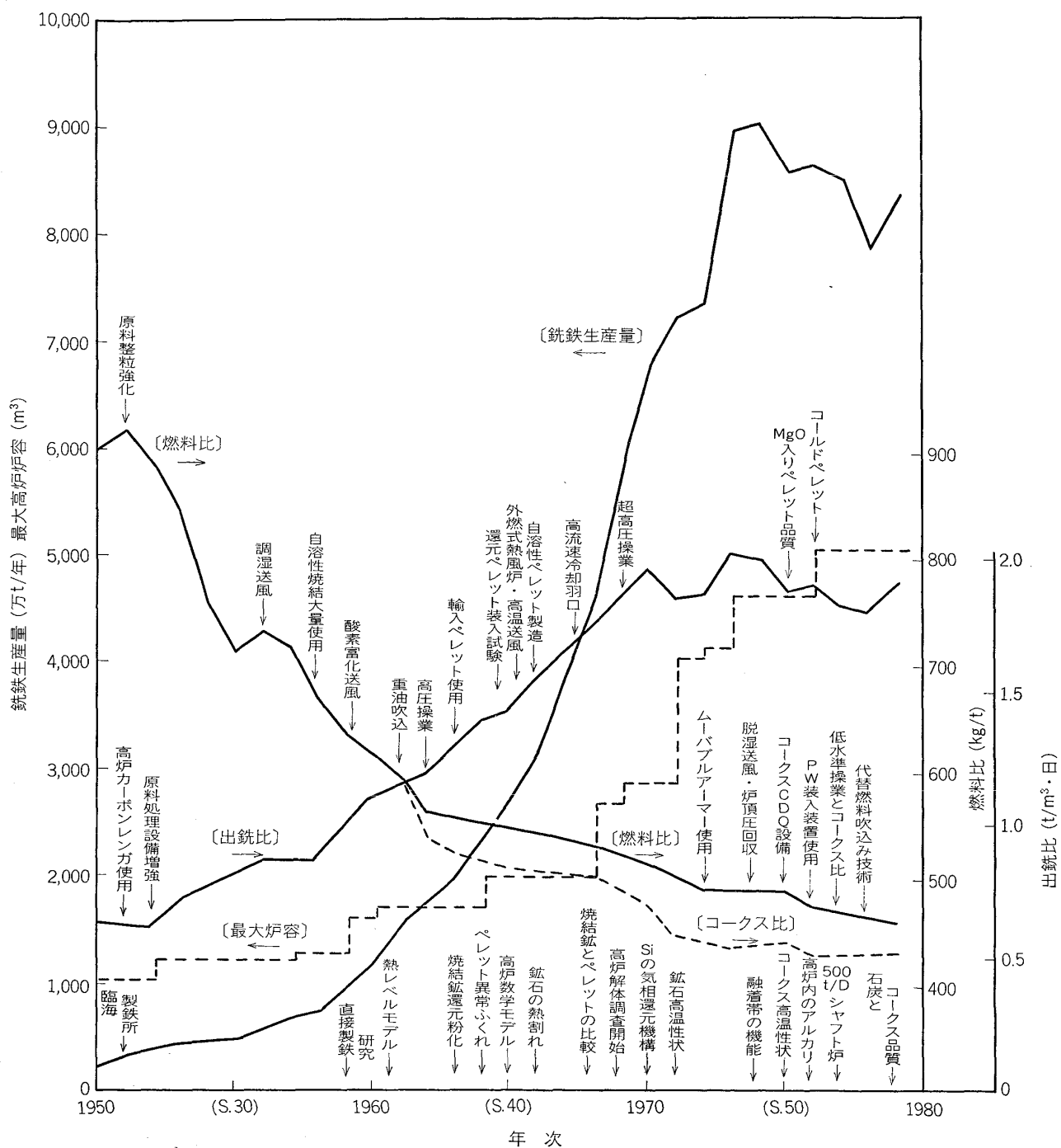


図 1 1950 年以降の製鉄部門の主要技術の進歩

ス製造法の研究が始まったことを示している。第 52 回 (昭和 31 年秋) には「溶鉱炉模型による装入物分布の研究」(中山製鋼), 53 回には「高炉炉床チタン化合物の挙動」(富士製鉄, 室蘭), 「炉芯の大きさと形状と炉況」(富士製鉄, 釜石) などが発表されている。

第 55 回 (昭和 33 年春) には「1500 t BF に使用する コークスの 製造条件の検討」(八幡製鉄, 技研) の発表があり, いわゆるマンモス高炉に使用するコークスの品質を問題にし始めている。高炉操業では「溶鉱炉の調湿操業について」(八幡製鉄, 八幡), 56 回に「溶鉱炉の水蒸気吹込み操業について」(日本鋼管, 鶴見), 57 回に「東田第 5 溶鉱炉における酸素富化送風操業試験」(八幡製鉄, 八幡) が発表され, 次々と新技術の適用結果が発表されるようになる。

原料面では, この頃から焼結鉱の自溶性化が進む。第 56 回 (昭和 33 年秋) に住友金属, 小倉が「自溶性焼結鉱の製造ならびに 100% 装入による高炉操業」を報告し, 自溶性焼結鉱が被還元性に優れ, 低コークス比が狙えることから各社とも全面的に自溶性化することになる。第 58 回大会には自溶性焼結鉱関係の報告が 6 件発表されている。

これに続く新技術としては, 昭和 36 年に高炉重油吹込み, 昭和 37 年に高圧操業, 昭和 38 年にマルコナペレットの輸入開始となるわけであるが, 講演発表では, 第 62 回 (昭和 36 年秋) に「高炉燃料吹込みに関する基礎研究」(神戸製鋼, 中研), 63 回に「日本鋼管川崎 3 高炉における重油吹込み試験」(日本鋼管, 川崎) があり, 第 64 回には各社から 6 件の重油吹込みの実施結果が報告されている。

高圧操業の報告はやや遅れて, 第 71 回 (昭和 41 年春) 以降になるが, ペレットの製造や品質についての報告は早くから発表されている。川崎製鉄, 千葉では昭和 28 年にシャフト炉方式によるペレット工場 (100 万 t/年) を建設しており (昭和 46 年休止), 第 61 回 (昭和 36 年春) に「ペレット生産の要点と試験法」を発表している。62 回に「皿型造粒機によるペレット製造」(尼崎製鉄), 65 回に「焼結とペレタイジングの比較」(富士製鉄, 室蘭) などがみられる。初期のマルコナペレットが還元時に異常膨張を示したことから, この原因, 対策追求で大学及び鉄鋼各社がいつせいにペレットの基礎研究を共同歩調で進めることになる。第 69 回 (昭和 40 年春) にはこの関係の研究報告が数件発表されている。

この他に, 昭和 30 年代後半から 40 年代初期にかけて, ラテライトの利用や, 砂鉄のロータリーキルン還元, 粉鉱石を対象にした流動還元など, 直接製鉄関係の

研究発表がかなりなされている。これは昭和 35 年以降, 豪州が鉄鉱石の輸出を許容するようになるまでは, わが国の鉄鉱資源確保の観点から真剣に取り組まれた研究である。

2.3 巨大化メリット追求の昭和 40 年代, 省エネルギーの昭和 50 年代

昭和 40 年代は日本鉄鋼業がいくつかの新製鉄所を増設して飛躍的な発展を遂げ, 設備的には高炉の超大形化を始め, スケールメリットを極度に追求した時代である。昭和 40 年 (1965 年) には八幡製鉄, 堺 1 高炉 (2047 m³), 昭和 41 年には日本鋼管, 福山 1 高炉 (2004 m³), 昭和 44 年には富士製鉄, 名古屋が 3 高炉にソ連式のステープ冷却を採用した超高压高炉 (2924 m³, 2.5 kg/cm².G) を採用して火を入れている。

昭和 45 年には八幡・富士の合併により新日鉄が発足しているが, 昭和 46 年には住友金属が鹿島 1 高炉 (3159 m³) に火を入れ, 同じ年に日本鋼管, 福山 4 高炉 (4193 m³) が初めて 1 万 t/日 を越える出鉄を達成している。昭和 47 年には新日鉄, 大分 1 高炉 (4158 m³) に火が入る。しかしながら昭和 40 年代後半になると, 巨大化した生産単位は環境問題を提起することになり, この技術的解決が重要研究課題となる。さらに昭和 40 年代末から昭和 50 年代にかけて, 再々訪れるオイルショックは生産面での成長を一時停滞させることになる。

鉄鉄生産量は暦年で, 昭和 40 年 2,750 万 t, 昭和 45 年 6,805 万 t, 昭和 49 年が最高で 9,044 万 t, 昭和 50-52 年が 8,600 万 t 前後で, 昭和 53 年 7,859 万 t, 昭和 54 年がやや回復して 8,383 万 t である。新技術では昭和 41 年に神戸製鋼がグレート・キルン方式で国内ペレット工場 (100 万 t/年) を建設し, 翌 42 年には自溶性ペレットの製造を開始している。昭和 43 年頃から高炉装入物の分布を制御するためのムーバブルアーマーが装備されるようになり, さらにシュート型の装入装置の Paul Wurth 式が昭和 48 年に導入契約されている。昭和 49 年には新日鉄, 広畑で脱湿送風が実施され, 川崎製鉄, 水島では炉頂圧回収タービンが設置される。

昭和 50 年 3 月に君津 3 高炉が燃料比 431 kg を達成し, 昭和 51 年には日本鋼管, 扇島 1 高炉 (4052 m³) が稼動する。この年にコークスの乾式消火設備が新日鉄, 日本鋼管で実施される。さらにこの年に高炉の炉容は, 住友金属, 鹿島 3 高炉 (5050 m³), 新日鉄, 大分 2 高炉 (5070 m³) と 5000 m³ を越えることになる。しかし昭和 54 年になると, オイルの不足, 高騰が激しくなり, オイルカット操業が試みられ, 昭和 55 年には半数近い高炉がオールコークス操業に切替えられると同時に, 一方

では微粉炭の高炉吹込みなどの重油代替燃料吹込み技術の開発に力が入られている。高炉燃料比は昭和 55 年 3 月に川崎製鉄、千葉 6 高炉がオイルを 37 kg 使用するものの 418 kg という限界値に近い実績を得ていることが伝えられている。

コークス関係では原料炭の一部をブリケット化しコークス炉に装入して品質向上を指向する成型炭配合法が、昭和 46 年頃から実炉に適用され始めている。昭和 54 年には新日鉄、室蘭が原料炭を乾燥、予熱して装入するプレカーボン法を実施している。成型コークス法に関しては、これより先、新日鉄が基礎研究を続けてきた冷間成形、直接乾留方式を、昭和 53 年から国家補助による共同研究として発足し、昭和 55 年から 200 t/日のパイロット炉の設計、建設に着手することになっている。

直接製鉄関係では新日鉄がシャフト炉方式による 500 t/日高圧還元炉（最高 5 kg/cm²G）を、それまでの多くの基礎研究結果のもとに独自技術で建設し、昭和 52-53 年に実証運転をしている。

さて、以上の技術進歩に対応した講演大会における発表をみると、第 69 回（昭和 40 年春）に新日鉄、室蘭では「石炭-重油スラリーの高炉への噴射実験の研究」という先駆的な発表を行なっている。第 70 回には「計算機制御の高炉への導入」（日本鋼管、水江）の発表があり、計算機技術の製鉄部門への本格的導入も昭和 30 年代後半から進められてきていた。高炉制御では炉頂ガス組成を正確に連続測定して計算される熱精算から投入熱量の余剰度と高炉炉況とを関連づけて制御しようとする熱レベルモデル方式が、各所で試みられた。一方では名古屋大学、鞭巖教授が純理論的な高炉の数学モデルを発表し（昭和 40 年、金属学会発表）、高炉の炉内現象を理論的にシミュレーションして制御に役立てようとする研究も始まった。

第 71 回（昭和 41 年春）からは討論会が開催されるようになった。第 1 回目は「焼結鉱の還元時における挙動」（座長三本木貢治）という表題で、焼結鉱の低温還元粉化が討論されている。次の 72 回には鉱石、焼結鉱の還元性状、還元速度関係の発表が 20 件近くになつている。この中には高温下における鉱石の荷重軟化性を測定した報告（八幡製鉄、技研）もある。このときの討論会は「高炉における高圧操業」（座長、雀部高雄）である。

討論会テーマは第 73 回「鉄鉱石の熱割れに関する研究」、74 回「高炉におけるカーボンレンガの効果」、75 回「焼結鉱、ペレットの高温性状」、76 回「高炉プロセスの化学工学」、77 回「焼結鉱・ペレットの焼結機構」、78 回「高炉内の脱硫」というように原料関係と高炉関

係が交互にとり上げられている。

第 75 回（昭和 43 年春）には「数学的モデルによる高炉の高圧操業の解析」（名古屋大学、鞭巖他）が発表され、理論モデルの適用例が紹介されている。第 80 回（昭和 45 年秋）には「ガス相による溶鉄への C、Si の移行について」（東北大、選研、槌谷、大谷、徳田）が発表され、高炉内における気相経由の SiO₂ 還元機構の提案がなされている。81 回（昭和 46 年秋）には「大型超高圧高炉の操業」（新日鉄、名古屋）として、超高圧高炉の操業成績が発表されている。炉容 2924 m³、炉頂圧 2.5 kg/cm²G、出鉄比 2.86 t/m³ 日、燃料比 486 kg（重油 65 kg）、銑中 Si 0.3%（昭和 44 年 11 月）ということで、高圧、高出鉄、低燃料比、低 Si 操業として注目された。

第 82 回（昭和 46 年秋）には 2,3 年前から進められていた新日鉄、東田 5 高炉の解体結果が発表され、その後につづく解体調査ブームの端緒を開くとともに、それまで操業者、研究者によつてまちまちであつた高炉の内部イメージを統一させたことは、わが国の製鉄技術を世界一に飛躍させる礎になつたといえよう。

討論会は 83 回「高炉内における SiO₂ 還元」、84 回「高炉羽口破損の機構」、85 回「装入物の性状と高炉操業」、86 回「高炉熔融帯における反応」、87 回「高炉燃焼帯の挙動」、88 回「炉底侵食の機構と対策」となつて、研究の対象が主に高炉の融着帯以下に移つている。88 回（昭和 49 年秋）には新日鉄、広畑 1 高炉の解体調査結果が発表され、逆 V 型融着帯のガス分配機能が強調された。

第 89 回（昭和 50 年春）には「コークス性状の高炉操業に及ぼす影響」と題した討論会が開かれている。このとき東京大学、生産技術研究所から、試験高炉における内部を直接観察した発表があり、しかもコークス品質によつて内部状況が非常に異なることが報告され、コークスの熱間性状の重要性が注目されることになる。90 回には日本鋼管、住友金属等における解体調査結果の発表がなされ、内部状況の解明がさらに進められる。

91 回（昭和 51 年春）には神鋼中研が「ドロマイトペレットの還元性状」を発表し、MgO 添加ペレットの優秀性を報告している。93 回には環境関係のセッションが組まれて、排煙脱硫、焼結 NO_x 対策、スラグ処理などの報告がなされている。94 回には新日鉄、名古屋がセメントボンドの非焼成コールドペレットの開発を報告している。95 回には「高炉燃料比の限界について」新日鉄君津が燃料比 431 kg を達成した内容を発表している。

理論的な研究では鉱石とコークスの層状装入を考慮し

た高炉の数学モデルが発表され (81 回, 昭和 46 年名古屋大学, 桑原他), さらに計算機技術の進歩により精細な流体力学的な解析がなされるようになる。すなわち, 流体の流れと, 熱移動ないし化学反応を同時現象として解析する計算手法が開発され (94 回, 昭和 52 年, 東北大学, 八木他), それに基づいた製鉄プロセスのシミュレーション計算, ないしは基礎実験, 模型実験等との対応検討が盛んになる。97 回 (昭和 54 年春) にはこの分野の討論会「高炉内現象の移動速度論的解析」も開かれている。

石炭・コークス研究では, 高炉内のアルカリによるコークス品質の劣化が問題視され, その種の基礎研究, 討論会等が開かれている (94 回, 昭和 52 年秋)。またコークスの CO_2 , H_2O との反応に伴う劣化についても研究発表がなされ, 討論会が開かれた (95 回)。さらに真に高炉が必要とする品質は, 高炉内での強度であるとする立場から, コークスの CO_2 との反応後強度を石炭組織から推定する試みも発表され (95 回, 昭和 53 年, 新日鉄, 小島他), コークスの熱間性状と石炭組織成分との関係を論ずる討論会も開かれている (99 回, 昭和 55 年春)。

一方, 成型コークス技術の開発が進められ, 試験的に作られた成型コークスの高炉使用試験も発表されるようになる (95 回, 97 回), 成型コークスの場合, レースウェイでの燃焼時に微粉化しやすい傾向が指摘されている。98 回 (昭和 54 年秋) には新日鉄が提案し, 共同研究で進めている冷間成型ブリケット, 直接加熱乾留方式による成型コークス製造プロセスの総合発表がなされている。

新製鉄プロセス関係では, 製鉄所内ダストの有効利用を目的としたロータリーキルン還元方式が, 比較的早い時期に各社で完成しており, それらの報告 (91 回, 昭和 51 年) や, 各プロセスの比較検討を行なつた討論会も開かれている (96 回, 昭和 53 年秋)。ガス還元による直接製鉄は, 昭和 30 年代から多くの基礎研究ないしパイロット炉段階の研究報告がなされてきているが, 実用規模に近いものとしては, 第 96 回 (昭和 53 年秋) に新日鉄, 広畑に設置された, 500 t/日, 高圧シャフト炉の報告があり, 98 回 (昭和 54 年秋) には討論会も開かれている。

さて 100 回を迎える今日, 製鉄部門が当面している最大の課題は製鉄プロセスの省エネルギーないし, 安価エネルギーへの切替えである。それらは講演発表では, 高炉の低燃料比操業であり, オールコークス操業であり, 微粉炭燃焼であり, コークス, 焼結, スラグの熱回収である。また, 重質油の高度利用であり, SRC (溶剤精製炭) の開発である。これらに関連した発表がなされつつある。

(原 行明)

3. 製 鋼

製鋼部門においては, 講演大会での発表件数の推移は総数では増加の一途をたどっており, 最近では 150~200 件/回を示している (図 2)。これを項目別の発表件数の比率で示せば製鋼法の変遷とともに大きな変化が見られる (図 3)。昭和 32 年純酸素転炉法の導入に伴って昭和 30 年代の後半より平炉法に関する研究発表が転炉法に関する研究に切替わり, 同様にして普通造塊法に関する研究は連続铸造法に関する研究へと大部分が切替わつた。電気炉法については, 粗鋼生産シェアーは着実に漸増を続け最近 20% を越えているが, 一方講演数は近年ことに減少してきている。

精錬基礎に関する研究は講演大会の発足以来着実な動向を示しているが, 昭和 40 年代にはことに多くの研究発表が行われた。この時期の精錬基礎研究に蓄積された努力の中から転炉法の製鋼技術の安定・向上, 炉外精錬技術・脱ガス技術の採用と操業実施が行われ, あるいは昭和 53 年以降の新たな予備精錬技術・複合吹錬等の技術開発の推進の源が見出されよう。脱酸・介在物等に関する研究に蓄積された技術的ポテンシャルは連铸鑄片・

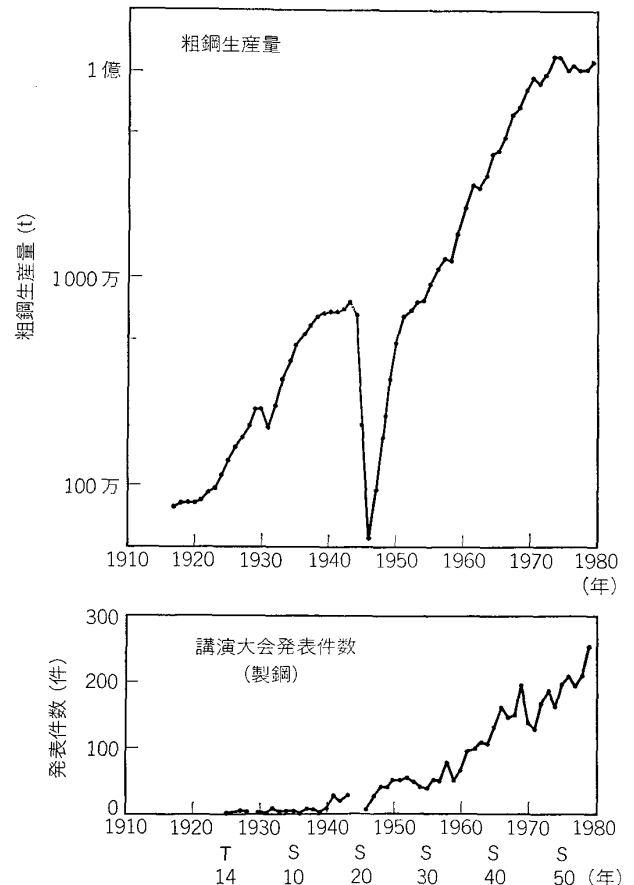


図 2 粗鋼生産量と製鋼部門講演件数の推移

大型鋼塊の内質向上あるいは取鍋精錬法による清浄鋼の製造技術の発展につながっているものといえよう。凝固基礎に関する研究はリムド鋼造塊法・大型キルド鋼造塊法および連続铸造法など各種の凝固形態に対応して理論的基盤を形成している。

発表件数の総数は約 4,200 件,その内訳は精錬基礎に関する研究 21%,以下連続铸造法 13%,転炉法および脱酸・介在物各 12%,造塊法 10%,平炉法 8%,電気炉法・脱ガス法・凝固基礎の 3 項目が各 4%,炉外精錬・特殊精錬各 3% などとなっている。

討論会については昭和 38 年秋より始められ,脱酸・介在物に関するもの 9 回,連続铸造法 7 回,転炉法 5 回など合計 34 回も開催されており,150 件以上の研究発表が行われている。

3-1 平炉製鋼法・電気炉製鋼法・転炉製鋼法

平炉製鋼法に関する研究は“酸性平炉製鋼”(2回-大正 15 年)からスタートし,塩基性平炉法への改造(8回),予備精錬式混鉄炉と平炉の合併法(9回),Burner 式平炉(15 回),鉬石使用(26 回),重油式大型平炉(34 回),酸素製鋼(36 回)を経てメルツペーレン式平炉(60 回)へと発展している。この間炉体形式・築炉技術などの設備技術については戦前戦後から昭和 30 年代を通じて不断の努力(51 件)が続けられ,一方燃焼管理に関してもガス燃焼・重油燃焼を含めて多数の改善がはかられてきた(30 件)。平炉製鋼技術開発の中心は酸素有効利用であり,気体酸素によるカッティング溶解促進・鋼浴精錬促進を実施することにより,生産性の向上と鋼質改善の目的が達成された(36~63 回,20 件)。平炉法によるリムド鋼製造(40 回以降)については昭和 30 年代を通して研究発表が行われた。鋼中窒素の挙動(23 回),スラグ組成(27 回),脱磷・脱硫・脱炭など精錬反応の解析も進んだが,純酸素転炉法への転換に伴って昭和 40 年代初頭を最後に研究発表は行われなくなつた。発表件数の総数は約 320 件である。

電気炉製鋼法については,研究発表数は毎回一桁の件数で推移してきている。高周波誘導炉(7 回-昭和 6 年)からスタートした誘導炉方式と,30 t 電気製鋼炉(9 回-昭和 7 年)からスタートしたアーク炉方式に大別されるが,後者については塩基性電気炉(20 回),大容量炉体(28 回),鋼浴の誘導攪拌(54 回)を経て UHP の採用(83 回)により飛躍的な生産性の向上と合理化が実施されてきている。さらに技術開発は電気炉・炉外精錬技術の組み合わせによる質・量の向上,海外への技術輸出など著しい技術力充実にもかかわらず,発表件数は極端に少なくなつてきている(総数約 200 件)。

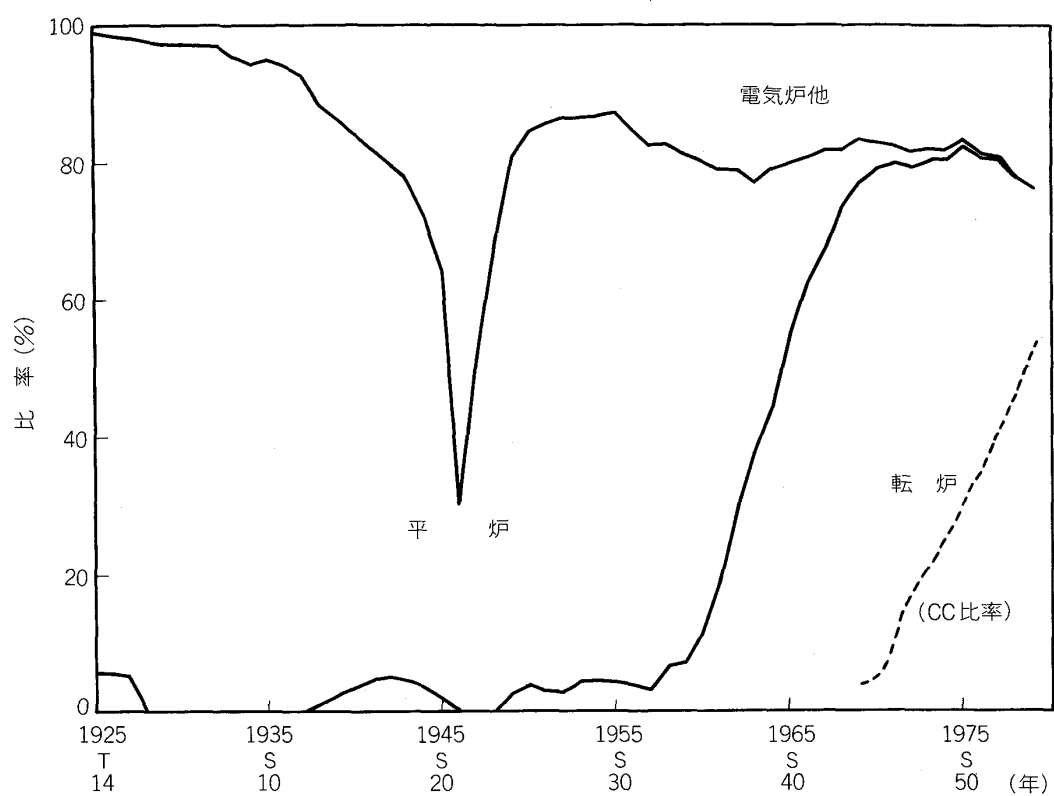
転炉製鋼法に関する研究は“トーマス転炉鋼の材質比較(23 回-昭和 15 年)以来,昭和 20 年代を通して鋼質改良の苦勞が続けられた(5 件)が,純酸素製鋼法の導入(55 回)に伴い小型試験転炉での研究開発と相まって純酸素転炉法に関する研究が急速な発展となり,64 回(昭和 37 年)以降約 10 年間は平炉法に関する研究に代つて主役の座についた。

純酸素工場の建設と操業に関する研究発表は昭和 40 年代初頭までにピークに達し,改造工事を含めて合計 31 件に達している。転炉炉体の 3 基整備 2 基稼動(62 回)は多くの転炉工場が実施し,転炉ガス回収設備(65 回)は現在では製鉄所の省エネルギーの支柱の一本となつて

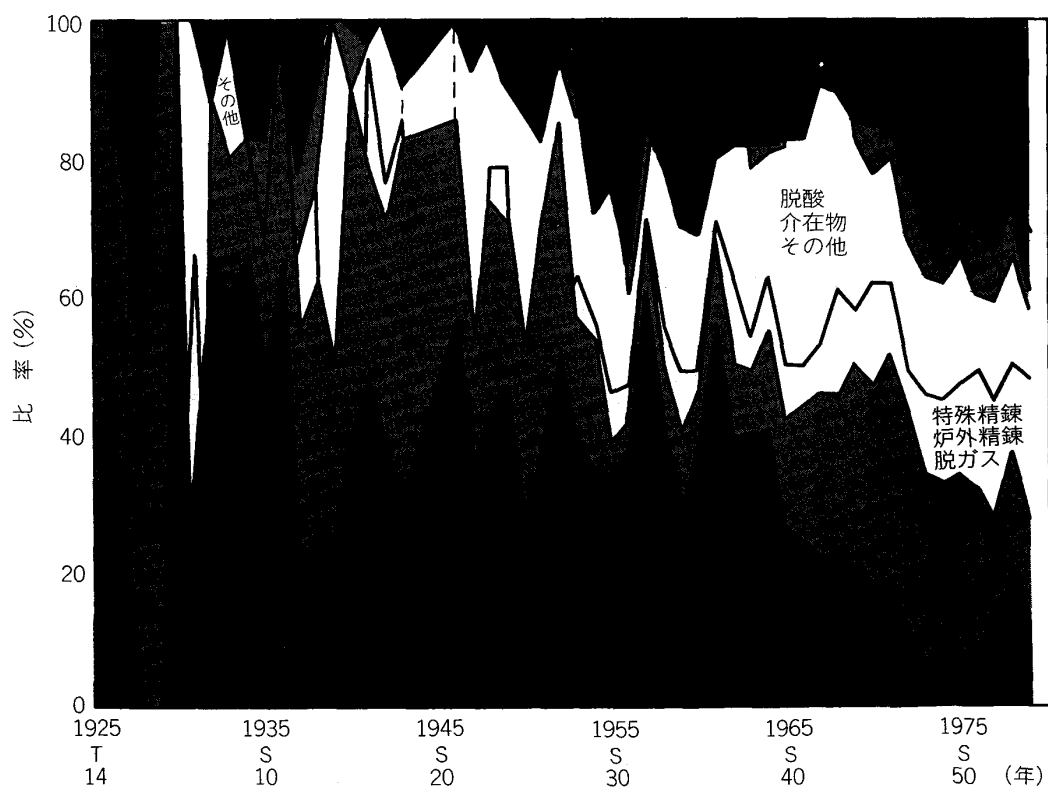
いる。吹錬用ランス・ノズルと酸素ジェットの特性は転炉製鋼法の鋼質・製鋼能率を支配する大きな要因の 1 つということで,当時米国の先端技術であつた航空力学分野の超音速気体力学が導入されて(69 回),昭和 40 年代の転炉精錬プロセス解析の普遍的手法となつた。多孔ノズル開発・火点理論の展開・脱炭反応解析などが積極的に推進された(35 件)。一方転炉法の酸素吹止め時点すなわち吹錬終点での鋼浴温度・成分の安定化を目指して多くの努力がはらわれたが,吹錬作業中の計測ランスの開発(71 回)などにより昭和 40 年代後半にかけて飛躍的な終点判定技術の向上が見られ,短期間の間に吹錬経過のダイナミック・コントロール(77 回)の最盛期へと展開するにいたつた。炉内反応については造滓材の溶解・造滓状況,スロッピング防止などスラグ生成に関するもの,脱磷反応,脱硫反応などに加えて,転炉法の大きな特徴である低窒素鋼の吹錬経過については発表件数こそ少ないが(5 件),実質的な転炉鋼普及の要因の 1 つとなつた。さらには高炭素鋼領域での脱磷(36 回以降),合金鋼の製造(68 回以降)にいたるまで,転炉鋼の幅広い鋼種適応性が示されてきた。

溶銑配合率は 58% 配合率(75 回)から全溶銑配合(80 回)まで,個別の生産前提条件によつて大巾な変動に対応可能な操業開発が行われた。さらには冷銑の使用のみならず積極的にコークスによる冷銑溶解(64 回)転炉での重油使用(67 回)Oxy-Fuel ランス(78 回)などの冷材溶解能力の増進が模索された。

純酸素転炉製鋼法はすでに生産性・鋼質・製造コストともに完成された技術であるかとも見受けられたが,さらにその限界能力の開発を目指して再び活発な技術開発に関する研究が発表され始めた。すなわち転炉法と炉外精錬との組合せ技術(86 回),底吹き転炉法(95 回)が操業化され,また旋回ランス(96 回),複合吹錬(98



(a) 粗鋼の製造方法の推移



(b) 講演内容の推移

図3 粗鋼の製造方法と講演内容の推移

回), LD-OB 法, 上吹き底吹き転炉法 (99 回) など転炉炉内における精錬反応をより促進する新しい試みが開始された。これは溶銑の予備処理技術・取鍋での炉外精錬技術との組合せのなかで, 大量生産鋼の生産性と生産コストをカバーしつつプロセスの合理化・鋼質の改善など技術の限界に挑戦する 1980 年代の新しい製鋼技術開発の方向を示すものである (論文発表総数は約 500 件)。

3.2 特殊精錬・炉外精錬・脱ガス処理

特殊製鋼に関しては, タルボット製鋼法 (7 回, 昭和 6 年), 砂鉄の直接製鋼 (18 回), 砂鉄より直接バナジウム鋼の製鋼 (20 回) の後, 第 25 回 (昭和 16 年) には直接製鋼の一方式, 平炉改造による直接製鋼, ニッケル・クロム鋼の直接製鋼等 4 件が発表され, また直接タングステン鋼熔製の工業実験 (28 回) が発表された。戦後では Shaking Converter による粗フェロニッケル (65 回) から三段式連続製鋼 (76 回) に至っているが, この分野は現在省エネルギー・省資源の観点から溶融還元法の開発など再び開発対象のテーマとしてクローズ・アップされてきている (発表件数約 22 件)。

製鋼炉に装入される前の溶銑の予備処理については, 高炉銑の脱硫法 (36 回, 昭和 23 年), アルミニウムによる溶銑の脱硫 (37 回), CaC_2 による溶銑の脱硫 (49 回), 混銑炉内の溶銑の予備処理 (52 回), 揺動取鍋法による脱硫 (68 回) を経て, ポーラス・プラグ脱硫法 (77 回), 上吹きインジェクションによる溶銑脱硫 (78 回) などへと発展してきている。その後, 混銑車での脱硫や溶銑鍋での攪拌による脱硫なども含めて, 現状では多くの量産工場において大量の溶銑が脱硫処理されるようになった (発表論文数は約 50 件)。

脱磷処理については, 普通銑を原料とする低磷銑の製造法 (28 回, 昭和 17 年), 塩基性平炉による低磷銑の製造実験 (30 回) 以降, 固体石灰による脱磷の熱力学的考察 (45 回), HCl による酸化期鋼滓の脱磷 (47 回) を経て, 新製鋼用合成造滓剤 (81 回) 溶銑の脱磷挙動 (87 回), アルカリ・スラグ粉による脱磷・脱硫 (89 回), 連続予備脱磷 (92 回), 炭酸ソーダによる溶銑脱磷 (94 回), 同脱硫・脱磷の同時反応 (95 回), CaO-CaCl_2 による脱磷・脱硫反応 (97 回), およびスラグ・ミニマム (98 回) に至っている。ことに昭和 52 年以降では新しい予備脱磷プロセスの開発が大規模に試みられており, 同時脱磷・脱硫方法, 脱磷剤の回収方法, スラグ・ミニマム法の開発, あるいは炭素飽和溶鉄中での酸化ポテンシャル, スラグの CaO の溶融特性など今後につながる新たな研究の場が提供され活発な研究発表と討論が行われて, 大量溶銑の予備脱磷プロセスの開発と確立への努

力が続けられている (発表数約 30 件)。

簡易取鍋精錬については, 溶鋼の CaC_2 および石灰による脱硫 (52 回), 電磁攪拌による精錬 (73 回), 取鍋溶鋼への不活性ガス吹込み (75 回), 取鍋内精錬の方式の開発 (80 回), 同 LF 精錬の開発 (92 回), 溶鋼への Al の新添加法 (80 回), Al 弾投射法 (85 回), 不活性ガス吹込みによる気泡での溶鋼攪拌の理論検討 (84 回), 鋼浴内での気泡の挙動 (89 回) が研究発表されてきた。この間ガス・インジェクションの実験と解析が 84 回以降活発に行われ, また極低酸素・低硫黄・低磷鋼への提案 (77 回) が発表されている。硫化物の形態制御については Ca, Mg 処理や REM 添加 (85 回) が発表され始めたが, 昭和 50 年代に入つて Ca 添加方法の改善技術や Mg インジェクション, Ca インジェクション (92~95 回) 法の研究発表が行われ, これらに関する発表件数は急激に増加してきている。電弧加熱を伴う取鍋精錬法としては LF のほかにも LRF や保持炉も同時 (92 回) に発表されている (発表件数は約 60 件)。

溶鋼の脱ガス処理については“塩基性電弧炉の白点問題” (17 回, 昭和 12 年), 製鋼過程の水素の挙動 (17~18 回), 13% クロム不銹鋼溶製時の水素低下実験 (29 回), アルゴン吹込みによる溶鋼の水素除去 (50 回), などにより水素欠陥調査や水素含有量低減対策が続けられてきたが, 昭和 30 年代に入つて塩基性電弧炉精錬における脱ガス (52 回), 鋼の真空鑄造 (55 回) により溶鋼の真空脱ガス処理が検討され始めた。真空鑄造については大型真空鑄造設備 (58 回), 真空流滴脱ガスによる鍛鋼ロール (63 回), 減圧下凝固したリムド鋼塊 (64 回), など鑄造凝固時の脱ガス処理技術が導入・開発された。一方溶鋼の脱ガス処理については取鍋脱ガス (62 回), 未脱酸鋼の取鍋脱ガス (65 回), 環流式真空脱ガス設備 (67 回), DH 式真空脱ガス法 (68 回), 出鋼脱ガス法 (71 回), など各種の脱ガス装置と脱ガス処理技術が導入・開発された。昭和 40 年代以降はこれらの脱ガス装置・脱ガス方法に伴う研究発表が数多く行われ, 大型鍛造用鋼塊・大型鋼塊の内質改善やリムド鋼の CO バランス調整を経て, 連続鑄造へ供給される大量の溶鋼の脱酸調整・合金元素添加・温度調整等に適應されるようになった (発表件数は約 160 件)。

特殊鋼・合金鋼の精錬に関してはステンレス鋼の脱炭反応について, 減圧下でのステンレス鋼の脱炭 (79, 82 回), 酸化性ガス上吹きによる溶融ステンレスの真空脱炭 (83 回), 転炉-RH・OB 法によるステンレス鋼の溶製 (86 回), AOD 法 (86~95 回), 底吹き気泡によるステンレス鋼の脱炭 (89 回), 減圧下での超低炭素域での

脱炭挙動 (90 回), VOD 法による超極低炭素・窒素・ステンレス鋼の製造 (93 回) などが研究発表された。電弧加熱を伴った真空取鋼精錬法としては ASEA-SKF 法 (83 回) VAD 法 (89 回) が発表され, 溶鋼の脱酸・脱硫・成分・温度調整が容易に可能となった。

高合金などの真空精錬, 二次溶解に関しては, 電磁材料の真空溶解 (37 回, 昭和 24 年) に始まる真空誘導溶解法は設備紹介のほか, 炭素による脱酸平衡 (61, 71 回), 脱砒 (64 回), 純鉄製造 (66 回), 微量元素の蒸発 (82 回) について発表が行われている。消耗型電極溶解法による鋼の溶解 (52 回) は 65 回まで合計 7 件の研究発表があり, 真空アーク溶解 (63 回) は超低炭ステンレスなど 5 件の研究発表があつた。エレクトロ・スラグ溶解法 (69 回) は清浄鋼塊の製造を目指して高合金, Ti ステンレスなどスラグ精錬と凝固現象について活発な研究発表が行われてきている。プラズマ溶解炉 (71 回以降 21 件), 電子ビーム溶解法 (84 回) は今後の発展が注目されている (発表件数の総数は約 130 件)。

3.3 造塊法・連続鋳造法

造塊関係では“鋼塊鋳型について” (3 回, 昭和 2 年) を皮切りに約 400 件の研究発表がある。このうちリムド鋼・セミキルド鋼に関するものが約 30% 含まれる。リムド鋼に関しては縁付鋼塊 (12 回) 以降第 40 回からはほぼ毎回発表が行われキャップド鋼 (56 回) 大型偏平リムド鋼塊 (64 回) の登場以降, 昭和 45 年前後まででそのピークに達している。セミキルド鋼は 20 t 電気炉におけるセミキルド鋼の溶製 (43 回) 以降, 昭和 50 年前後まで研究発表が続けられた。キルド鋼については, 鋼塊の凝固過程と不均質性の研究 (9 回, 昭和 7 年) 以降沈黙していたが, 昭和 31 年からは逐次研究発表が行われはじめ, 異常偏析 (55 回), 大型偏平鋼塊の逆 V 偏析 (65 回), 大型ハイテン鋼塊の割れ (80 回), ザク組織 (83 回), 等を経て REM 処理 (85 回) へと至っている。この間表面割れ, 介在物分布, マクロ組織, 内部性状など多くの研究発表が行われてきた。ことに最近, 昭和 51 年以降は, 大規模製鋼工場において大型偏平鋼塊の内質を一層向上させるために鋼塊形状, 鋳型形状の変更, 押湯方法の改良等が研究発表されてきている。逆 V 偏析については第 85 回から第 95 回にかけて塩化アンモン実験, チャンネル理論, 小型鋼塊による再現実験等の研究発表により, その生成要因の解明が大きく前進した。押湯保温方法は, 電弧による鋼塊頭部加熱 (39 回, 昭和 25 年), 発熱保温 パウダー (55 回), 同スリーブ (56 回), 多層式発熱保温剤 (60 回) など多くの研究発表が行われた。

均質な凝固組織を得るための努力として, 回転造塊 (29 回), 加圧凝固 (62 回), ステンレスの回転凝固 (63 回), 各種の振動・攪拌凝固 (75, 86, 90 回) の発表が行われている。中空鋼の製造試験 (27 回, 昭和 17 年), 中空鋼塊 (96 回) のほか, 第 94 回以降では鋳込みクラッド鋼塊, 水平造塊法など新しい造塊法についての発表がなされている。

連続鋳造については, 溶鋼の連続鋳造に関する研究 (37 回, 昭和 24 年) 以降, 約 520 件余の研究発表が行われた。その初期においてはビレット連鋳機を中心としており, 広巾スラブ連鋳機の建設と操業 (75 回) までは約 25 件の発表件数であつた。しかし研究発表の技術項目の内容は冷却方法, 割れの解析, 欠陥防止, エア・ギャップ, 凝固アナログ計算, ステンレス鋼, 軸受鋼, 浸漬ノズル, パウダーなど現在でもそのまま研究対象となつているものである。

連続鋳造設備の建設と操業については, 連続鋳造設備と初期の操業 (74 回) 以降, 改造を含めて 28 件に達している。この間に広巾スラブ連鋳機 (75 回), 国産連鋳機 (87 回), カービリニヤ型 (86 回), 全連鋳製鋼工場 (87 回), ビーム・ブランク (88 回), 回転連鋳機 (89 回), ブルーム連鋳機 (91 回), 垂直曲げ連鋳機 (94 回), ローヘッド連鋳機 (99 回) など新機種への積極的な展開が研究発表に表われている。操業面では先鍋一後鍋での成分変化 (75 回), 連続-連続鋳造操業 (80~84 回), 高速鋳造 (84 回), 自動鋳込み, 無手入圧延鋳片 (86 回), モールド・レベル計 (87 回), 鋳造巾変更操業 (93 回), 異鋼種連々鋳 (95 回) 等を中心とした高能率操業が進められている。この間, 鋳型内湯面コントロール, 二次冷却法の計算制御をはじめ, 鋳込みから引抜き・冷却・切断に至る操業の自動化・省力化が進められた。

鋳片内における介在物の挙動については, 昭和 44 年から昭和 50 年頃にかけて多数の調査と研究発表が行われているが, 積極的な低減対策としては浸漬ノズル・パウダーのほかに, 大型タンディッシュ (79 回), 鋳型内流動に関する研究 (80~84 回) アルゴンガス・シール鋳造 (91 回), 無酸化注入 (92 回) の研究発表が見られ, 昭和 53 年以降においては非定常鋳込み部の対策へと展開してきている。この間, 硫化物形態制御として希土類元素の添加 (86 回) も行われてきている。鋳造鋼種はステンレス鋼 (68 回), 軸受鋼・高硬線・パネ鋼・純ニッケル (69~71 回) から連鋳材の冷圧性 (78 回), アルミキルド鋼 (80 回), 低炭素アルミキルド鋼・同アルミ・シリコンキルド鋼 (85 回), 軟鋼線・タイヤ・コード (93 回) を経て弱脱酸鋼 (98 回), 高級 シームレス 鋼

(99 回) へと鋼種拡大が進み、連铸材の巾広い鋼種適応性が発揮されてきている。

連続铸造の新技术については、ハゼレット法(76 回)、水平連铸機による铸鉄棒(79 回)、インライン・リダクション(84 回)、電磁攪拌(86 回)、軽圧下(92 回)を経て水平連铸機、ロータリー・キャスター(97~99 回)へと展開してきている。

铸片の中心偏析については、昭和45年~52年を中心にその生成機構についての研究発表が集中的に行われた。その成因としては、スラブ中心部の完全凝固直前にデンドライト樹間の濃化溶鋼が铸片表面のバルジングおよび凝固収縮により铸片引抜き方向に移動して発生するという理論が支配的である。中心偏析対策としては、クレーター・エンド近傍のバルジング防止対策のほかに低温溶鋼铸込み、低速引抜き铸込み、シェル内容鋼の電磁攪拌などが研究発表されてきている。

铸片の表面割れ・内面割れについては第59回(昭和35年)以来着実な研究が積み重ねられてきているが、鋼の高温延性(89 回)に始まる高温強度・応力解析により基本的な立場からの研究発表が重点的に行われた。铸造まま铸片の高温変形能は700~900°Cにおける脆化と凝固点近傍での脆化が測定され、前者はオーステナイト粒界への析出物と初析フェライトにその原因が求められ、後者は結晶粒界における液相の存在が原因と考えられるようになった。これらの変形特性を踏まえて、連続铸造中の凝固シェルの応力・歪解析が行われて铸片の表面割れ・凝固界面割れ防止のための条件整理が行われた。昭和53年~54年を中心に铸型内パウダーを含めた铸型内における凝固シェルの挙動に関する研究発表が行われた。

3.4 精錬基礎・脱酸介在物・凝固基礎

精錬基礎に関する研究は、“製鋼作業における脱酸および脱硫について”(第1回大会、大正14年)以降現在までに総計約860件以上となつている。

精錬反応の平衡論および化学熱力学的研究は講演大会の発足以来今日にいたるまで、精錬技術の基盤として製鋼技術の変遷とともに不即不離の形で研究発表が続けられてきている。戦前戦後を通じて行われた脱酸・脱硫・炭素-酸素平衡の理論は、鋼中酸素などの分析手法の追求とともに遂次その体系が完成されてきた。一方電気炉での脱磷等より生じたスラグの酸化力あるいはスラグの電気化学的取扱に関する研究発表が行われた(昭和18年)。その後これらの研究は、昭和40年代を中心とするスラグ-メタル間の物質移動の電気化学的取扱に関する研究発表へと発展してきている。

反応機構の解明、プロセス解析に伴う速度論およびプ

ロセス工学的研究は、“高温度における鋼の粘性について”(2回、大正15年)以降、元素の拡散や溶滓の粘性など基本物性の研究発表および脱炭機構・脱炭速度定数(28~29 回)に関する研究発表を経て、昭和30年代の脱硫・脱珪・脱酸・窒素吸収現象の解析の研究発表に引継がれていった。プロセス・シュミレーションやモデル解析の研究発表も行われ、出鋼時の溶鋼流や転炉内でのガス流れに関する研究をはじめ、昭和35年から昭和40年代にかけては転炉製鋼法に関する流体力学的研究やエマルジョン解析などが活発に行われた。昭和40年代にはこれらの製鋼反応の基礎研究活動と併せて、エレクトロスラグ法や減圧下のC-O反応などの研究発表が大巾に増加し、本分野でのエポックを形成した。

最近では、新しい精錬造滓剤の反応解析・炭酸ソーダ・塩化カルシウムなどを用いたスラグ循環式の新しい省資源精錬プロセスの提案と研究が行われている。一方溶銑・溶鋼へのガス・インジェクション・プロセスの解析あるいはプラズマ精錬法など新しい技術開発に関する基礎研究も着実に実施されてきている。

脱酸・介在物に関する研究発表は“鋼中の珪酸塩抽出法に就いて”(7回、昭和6年)の発表以降現在までに約500件に達している。昭和35年までの介在物の起源に関する研究は、介在物の抽出・分析法(サンド分析:21回、塩素化法:25・26回、クリンゴッホ法:52・58回、スライム法:62回)および着実な脱酸平衡論の研究や耐火物・溶鋼間反応に関する研究とともに進展してきたとみられよう。

昭和37年~43年を中心に脱酸反応および介在物の合体・浮上についての多数の研究発表が行われ、これらはその後の鋼中介在物の起源についての研究に寄与することとなつた。

昭和44年からは連铸铸片内の介在物挙動についての研究が着手され、一方リムド鋼の介在物挙動に関する研究発表は昭和48年頃までにはほぼ終熄し、それ以降はAlおよび複合脱酸剤による脱酸と介在物挙動による研究にその主体が移つた。

そのほか、取鍋内容鋼のガス攪拌による介在物の分離促進(85 回)、連铸法における無酸化铸込み(92 回)、浸漬ノズル・デザインの最適化(83 回以降)など各工程での多様な介在物低減対策についての研究発表が行われて現在に至つている。また希土類元素(85 回以降)、Ca添加(87 回以降)などによる硫化物の形態制御に関する研究発表が行われている。

鋼の凝固現象の研究は鋼塊の偏析の解明から始まり、昭和25年頃からリムド鋼を対象として研究発表が行わ

れるようになった。

鋼の凝固および偏析に関する研究は、実際の鋼塊を対象としたものとモデル実験によるものとに分類される。前者の手法としては、昭和 31 年～37 年のバーテスト・RI の利用・電子計算機による鋼塊の凝固の解析があり、これらの研究は昭和 44 年頃から始まる連続鋳造における凝固伝熱解析・クレーター・エンドの測定などに応用された。後者のモデル実験としては、昭和 38 年～41 年のパラフィン凝固による V 偏析の研究・濃化溶鋼の浮揚モデル等があり、その後も塩化アンモニウム水溶液などの有機溶剤による V 偏析・逆 V 偏析・鋼塊底部負偏析および柱状晶-等軸晶遷移の模型実験が行われた。また一部では小鋼塊を使つた実験も実施されて、たとえば逆 V 状チャンネルの生成におよぼす成分元素の影響や濃化溶鋼の流動機構が論議された。

凝固時の偏析や組織を改善する試みは昭和 39 年頃から行われ、その中には電磁攪拌・振動の適用などがあり最近では希土類元素の添加・湯面振動法などの研究発表がある。

その後の研究としては、多元系の鋼の凝固温度算出式、固液共存領域を伴う凝固の解析およびマイクロ偏析の研究発表が行われ、これらは連铸鋳片の中心偏析の生成機構の解明などに応用された。また鋼の凝固時の CO 気泡の発生条件の検討、結晶成長方向や柱状晶-等軸晶遷移、マクロ偏析におよぼす溶鋼流動の影響など、凝固現象の理論解析が進み多くの研究発表が行われた。

さらに、連铸材を対象とした鋼の高温強度の測定、内部割れの限界歪、電磁攪拌の実験、応力解析など連铸材の品質向上に関する基礎研究が行われ研究発表がなされている（発表件数は約 150 件）。

“温故知新”。先人の足跡の中には、これからの製鋼技術の研究・開発に対する多くの示唆と着想が散りばめられている。
(川上公成)

4. 加工

加工部門が講演大会の中で独立したのは第 86 回（昭和 48 年秋）からである。しかし、加工に関連のある発表は、他の資料により明らかであるように、第 1 回大会において 2 件、第 2 回において 3 件というように、第 13 回大会を除いて常に数えることができる。しかし、初期の加工関連の発表には板の圧延の発表もあるが、かなりの件数は鋳物の製造に関する、鋳物砂の処理、中子の作り方などのもので占められている。

講演発表の内容を年代を追って大略述べると次のようになる。初期（昭和 10 年前後まで）は時々板圧延の

操業に関するものも見られるが、鋳鉄や鋳鋼の製造に関するものが多い。徐々に圧延関係の報告が増加して来て第 2 次大戦とその終結の時期に至る。

第 2 次大戦終結後まず目につく加工関係の発表は池島らを中心とするマンネスマン方式の穿孔機とその下工程の管製造に関する発表である。また、材料の熱間変形抵抗の発表も見受けられる。昭和 30 年代に入り、鉄鋼生産量の飛躍的増大の時期になり、三重式の合わせ板の熱間圧延機はホットストリップミルに、また電気設備の改善と制御技術の進歩に伴って冷間可逆式圧延機が高速タンデムコールドストリップミルに代られるに依りて、板の圧延の研究だけでなく、板の二次加工（プレス加工）に関する研究が増大してくる。板のプレス成形性の研究は、自動車工業への原料供給者としての鉄鋼の立場を反映し板のプレス成形性を支配する製造条件の影響及び金属学的因子の影響についての研究発表が多数を占めるようになる。丁度この時期に、昭和 28 年に発足した学際的ボランティアな研究会であつた塑性加工研究会が本会をはじめとする金属関係諸学協会と日本機械学会・日本精機学会との共催で塑性加工連合講演会を毎年開催するようになる。したがって企業現場における塑性加工の重要性は直接には講演会の件数や内容にあらわれていない。塑性加工研究会は昭和 35 年には隔月刊で「塑性と加工」を発刊し、昭和 36 年には任意団体ではあるが日本塑性加工学会と改称、「塑性と加工」は月刊となつた。この日本塑性加工学会は昭和 41 年に社団法人となつている。

圧延における技術の変遷と対応させて見るときに、昭和 30 年代から昭和 40 年始めまでの講演大会の加工関係の内容は著しく板のプレス成形性にかたよつていてと考えられる。しかし昭和 41 年・42 年にはこのテーマと板の集合組織とを組み合わせた金属学会との合同シンポジウムも開かれ、講演件数も多く注目を集めた。一方そのために、圧延加工における計測・制御・総合特性など、昭和 40 年代における圧延の技術進歩に資するような発表講演をこの時期にほとんど見ることはできない。これらの研究発表はほとんど日本塑性加工学会との共催の塑性加工連合講演会においてなされていた。

昭和 40 年代に入り、冷間圧延技術は、板厚制御の面ではかなり十分なレベルに達し、それとともに、完全連続圧延機が開発されたりし、コイルのトップとボトムにそれぞれ 20 m～60 m 残っていたオフゲージ部を一挙に 2～3 m 内外に減少させるに至つた。これに刺激されて、バッチ式の圧延機でも AGC 技術の改良が行われ、従来のフィードバック AGC からフィードフォワード AGC へ、それに合わせて電動圧下から油圧圧下

への改造などの技術の進展により、オフゲージ長も 2～3 m に減少するようになった。

圧延関係でこの年代における技術に影響を与える業界関係の問題では、たとえば新日鉄系（八幡・釜石）でのみ生産されていたレールを日本鋼管でも生産する、板も従来線棒専門メーカーであった神鋼が生産する、パイプも日本鋼管と住金だけでなく新日鉄も川鉄も生産する、ワイドフランジピームも新日鉄系（広畑）だけでなく他の工場（堺・君津他）や日本鋼管（福山）、住金（鹿島）、川鉄（水島）でそれぞれ生産する、などの高炉各社がほぼすべての鉄鋼の一次製品を生産するようになるという変化である。このことにより、後発のメーカーでは先発メーカーの技術水準を目標に勉強と研究を盛んに行い、先発メーカーの技術に優るとも劣らない特色のある技術を生み出す努力をして来た。このようなことを反映して、昭和 40 年代後半から昭和 50 年代はじめにかけて、再びマンネスマン穿孔機をはじめとする傾斜圧延方式についての研究発表を数多く講演大会プログラムに見ることができる。また従来アイデアとしてあつたプレス穿孔と圧延との組み合わせを生産方式として確立した PPM 製管法に関する開発研究もこの中に見出だすことができる。このことは形鋼や厚板の研究についても言うことができる。

加工が独立の部門になつた昭和 48 年はいわゆるオイルショックの年である。このオイルショックを契機として鉄鋼技術の課題として省力・省エネルギー・省資源が強調されるようになった。本講演大会における加工は、計測・制御・情報なども加えて、現場における圧延工程以降のマテリアルハンドリングの技術開発に関する研究もその部門の内容としている。近年の加工部門の急激な発表件数の伸びはこのことを象徴している。省力の課題はとくにマテリアルハンドリングの技術開発、情報処理についての技術開発の研究を刺激している。省エネルギーは直送圧延や熱片装入と炉操業などについての研究発表の増加、省資源は圧延工程での歩留まり向上のための圧延技術、省エネルギー省資源のために鋼連铸化比率増大を目的とした圧延プロセスの開発研究も盛んに発表されている。

加工関係の技術の変遷を知るのに有用な資料としては、日本鉄鋼協会創立 20 周年記念特集して編集された記事と同じく創立 40 周年記念特集の記事がある。

前者は鉄と鋼 Vol. 21 (1935) No. 6 である。加工に関連の深い記事とその筆者は次のとおりである

- ① 「本邦鋼材圧延作業の発達」 岡崎泰助(日本製鉄)
- ② 「本邦薄板製造の発達」 中島道文(川崎造船所)

- ③ 「本邦線材製造の発達」 浅田長平(神戸製鋼所)
- ④ 「本邦珪素鋼板製造の発達」 水谷 浩(日本製鉄)
- ⑤ 「本邦鋳力板工業の発達」 水谷 浩(日本製鉄)
- ⑥ 「本邦鋼材鍛錬の発達」 甲藤 新(日本製鋼所)
- ⑦ 「本邦鉄鑄物の発達」 杉浦春吉(新潟鉄工所)
- ⑧ 「本邦鋼鑄物の発達」 諏訪常次郎
- ⑨ 「本邦熱処理法の発達」 佐々川清(呉海運工廠)
- ⑩ 「鉄鋼溶接の最近の発達」 岡田 寛(大阪帝大)

これらの資料に設備のレイアウト図や、写真なども見られ、この時代の加工関連技術がどのようなものであつたかを知ることができる。しかしこの時期は導入技術の習熟に忙しく、新しい開発や工夫についての研究を行うにしても発表するのは困難であつたろうと思われる。①の文献の結びの部分を紹介しよう。

「條鋼にあれ鋼板にあれ八幡製鐵所を草分けとして本邦の製鐵工場は躍進的進歩の道程にありて軍需景気に乗りて昭和 9 年度の如き鋼材 3 百數十萬噸の國內生産を見るに至り品質形状は勿論數量に於ても輸入を要とせざる迄に躍進したことは同慶の至りなり。滿洲國も漸次開發せらるべく或は一時多少の不況に遇ふ事もありとするも鋼板一人當り消費量の未だ歐米のそれに遠く及ばざる本邦に於ては吾々の精進す可き前途は洋々たるものあるべきを疑わず。沈滞するものは亡ぶべく互携漸進せば優良にして廉價なる鋼材を以て世界の市場に臨まん事も敢て不可能事に非る可し、」

創立 40 周年記念特集は鉄と鋼 Vol. 41 (1955) No. 7 である。加工関連の記事は次のとおりである

- ① 「本邦條鋼圧延技術の進歩」 湯川正夫(八幡製鉄)
- ② 「本邦鋼板圧延技術の進歩」 内川 悟(富士製鉄)
- ③ 「本邦鋼管圧延技術の進歩」 塑月 要(日本鋼管)
- ④ 「本邦鉄鋼鍛造技術の進歩」 小林佐三郎(日本製鋼所)
- ⑤ 「本邦鑄鉄、鑄鋼技術の進歩」 谷村 熙(九州大学)
- ⑥ 「本邦鉄鋼業計測技術の進歩」 山内二郎(東京大学)
- ⑦ 「本邦鉄鋼工場における管理方式並びに技術の進歩」 山岡 武(元日本鉄鋼協会会長)

この特集各表題が技術の進歩で終つていたことが、前の 20 周年記念特集が作業の発達とか製造の発達で終つていたことにより対照をなしている。前者にならつてここでも②の文献の結びを紹介しよう

「戦後の混乱した時代から、占領下ながら平和の回復するにつれて、戦後の復興と合せて、圧延設備の稼動が次第に活発となり、朝鮮動乱による異常な需要も加つて板類鋼材の生産もそれに応じて急増し、一般鋼材に比して

復旧の度合も顕著となつてきた。……

中略

我国も敗戦により大陸の資源を全く喪失し、しかも、8500 万の人口がこの狭い四つの島で生きて行くためには大量の食糧と諸原料を輸入せねばならない。従つてこれに見合う輸出をするためには我が國は工業立國により優れた技術と、ありあまる労働力による優秀低廉の生産品を大量に製作し、輸出する必要がある。近來鉄鋼は我が國輸出品の王座を占めつつあるが、今後ともこの優れた板類鋼材が改善された設備と、研鑽された技術によつて歐米諸國に堂々と伍して行くことを念願してやまぬ次第である。」

昭和 30 年代から現在までの日本鉄鋼業の置かれた状況とそれに対応して來た技術の状況が、発表された研究成果とどのように対応したかはすでに概括したとおりである。ただし、加工関連の研究におけるこの間の消長をさらに正確に把握するためには、残念ながら、本会講演大会のみでは不十分であり、先に紹介した塑性加工連合講演会やさら計測・制御関係、システム関係―鉄鋼分野から出されている論文についても詳細にあたる必要がある。(木原諄二)

5. 性 質

5.1 はじめに

鋼材の性質の技術的發展は、需要の側からの要請すなわち高性能化、経済性、多様化などに応える形で行なわれるものと、研究者が基礎的に見出した新事実の応用面への探索、適用という形で行なわれるものがある。過去の鋼材の特性向上の歴史をふりかえつてみると、前者の方が圧倒的に多いであろう。他産業の鋼材への要請が鋼材の性質を向上させ、新製品を生み、またその鋼材を使用することにより他産業も發展してきたともいえる。もちろんそのためには、材料科学の發展が重要な役割を果たし、その支えとなつている。

第 1 回 (大正 14 年) より第 99 回 (昭和 55 年春) までの講演大会プログラムを通して見ると、講演題目の変遷の裏に、その時々、社会的ニーズが浮かび上がってくる。鉄鋼技術の変遷、進歩については、過去 4 回進歩総説が^{1)~4)}「鉄と鋼」を通して出され、詳細に報告されているので、ここでは社会的ニーズ、他産業の動向と講演数、講演内容の変化について、大まかに時系列的に追

つてみる。紙面の都合もあり、性質の全分野について述べることは不可能であり、比較的発表数の多い厚板、薄板、ステンレス鋼、耐熱鋼、鋼管、表面処理などの関連について主として触れる。またかなり独断的に論じることをお許し願いたい。

総合的に講演数の推移をみると、第 2 次大戦前より戦中の第 1 回～第 31 回 (昭和 19 年) までは性質関係全体で 1 回当たり 10 ～30 の講演数であり、昭和 40 年頃より飛躍的に増え始め、とくに昭和 42 年春 (第 73 回) より 100 を超える研究発表が行なわれている。昭和 55 年春 (第 99 回) には約 230 の講演が行なわれた。

5.2 初期より終戦までの講演大会 (第 1 回より第 31 回まで)

この間の研究発表とくに第 22 回 (昭和 14 年秋) までは非鉄材料の研究が比較的多いのが特徴的である。ジュラルミン、超々ジュラルミンなどの Al 合金、また Al 青銅、Ni 青銅、Si 青銅などの Cu 合金の発表が目立つ。また Co-Ni-Cr の状態図が第 8 回 (昭和 7 年春) に報告され、軟鋼の降伏現象の研究が第 9 回 (昭和 7 年秋) に報告されている。第 23 回 (昭和 15 年春) より第 30 回 (昭和 18 年秋) にかけては耐熱代用鋼と強靱鋼の性能改善の研究が発表されている。これは第 2 次大戦中における軍事的研究の一端を示すものと思われる。鋼中の水素の挙動については、低合金鍛造材の大型化につれて次第に関心がもたれ、昭和 15 年春 (第 23 回) に白点の生成と水素との関係が論じられている。また、旧海軍は昭和 16 年頃より溶接性高張力構造用鋼の開発に努力し、Si-Mn 系 50 kg 級鋼の量産化に成功した。

5.3 終戦より現在までの講演大会 (第 32 回より第 99 回まで)

この間の講演大会の推移は、昭和 40 年頃 (第 69 回) までの戦後復興期および技術蓄積期と、それ以後昭和 49 年 (第 87 回) のオイルショックまでの高度成長期および昭和 50 年代の安定成長期に分けることができるが、ここでは技術の流れとして終戦より現在までを一貫して捕らえ、各品種別に講演大会の変遷を述べる。

5.3.1 厚板関連

昭和 21 年 (第 32 回) より昭和 55 年春 (第 99 回) までの厚板関連の講演数の推移を図 4 に示す。ここで厚板関連としては、高張力鋼、耐候性鋼、原子炉用鋼、容器用厚板、低温用鋼、マルエージ鋼、高 Mn 非磁性鋼、高降伏点鋼などを含め、また焼もどし脆性、破壊靱性、照射脆化などの問題および制御圧延に関する報告を含めた。おくれ破壊関係はこの中に含まれていない。

1) 「最近 20 年間の鉄鋼関係事業の発達」, 鉄と鋼, 21, (1935), No. 6
2) 「戦後 10 年間における本邦鉄鋼技術の進歩」, 鉄と鋼, 41, (1955), No. 7
3) 「鉄鋼技術の進歩」, 鉄と鋼, 51 (1965) No. 3
4) 「鉄鋼技術の進歩」, 鉄と鋼, 61 (1975) No. 5

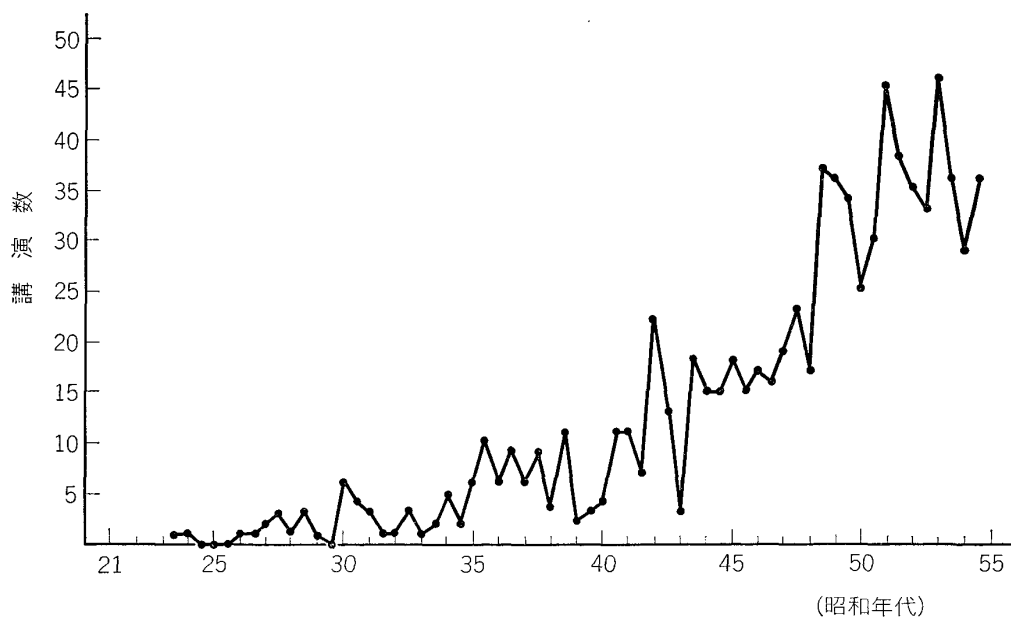


図 4 厚板関連の研究発表数の推移

図からわかるように昭和 40 年（第 69 回）頃より講演数が非常に増加してくるのがわかる。厚板関連の研究で昭和 40 年頃までの主流をなすものは、溶接性高張力鋼の研究である。昭和 27 年頃より、各方面から溶接性高張力鋼の要望が高まり、旧海軍の戦時中の研究成果を参考として Si-Mn 系 50 kg 級鋼の生産が開始された。昭和 29 年春（第 47 回）にその最初の研究発表が行われ、漸次発表数が増加していく。この鋼は SM 50 として昭和 34 年に JIS 化されている。昭和 27 年に US Steel の T1 鋼が紹介され、焼入焼もどしによる調質高張力鋼が注目されるようになり 60 kg 級、70 kg 級、80 kg 級の高張力鋼が開発された。これらの鋼は压力容器、橋梁など各方面に用いられている。

高張力鋼の開発に関連して、鋼の組織と靱性の研究が進められ、組織の微細化による靱性改善効果の大きいことが昭和 34～35 年頃より発表され始めた。この効果に加え、Nb, V の炭化物の析出硬化を利用して安価な非調質高張力鋼が開発された。オイル・ショック後は省エネルギーの観点より、高張力鋼の非調質化の指向が一段と高まり、現在種々の研究が進められている。

高張力鋼の研究は昭和 40 年以後も活発に行なわれ、厚板関連研究の多くの割合を占めている。とくに昭和 44 年頃より新油田開発に伴う寒冷地向けラインパイプ用鋼 (X-65) の製造が始められ、制御圧延を中心とした多くの研究（オーステナイトの動的再結晶、制御圧延時の集合組織、組織と成分と靱性など）が行なわれた。また海洋開発に伴い重骨組構造の海洋構造物のラメラティアが問題となり、昭和 47 年秋（第 84 回）に発表され

て以来、発生要因の解明、評価法、脱硫、脱ガス、介在物の制御などの研究が行われ成果をあげている。

耐候性鋼に関しては昭和 34 年秋（第 58 回）に大気暴露の結果が発表されているが、本格的に注目され始めたのは昭和 40 年頃米国における耐候性鋼の建造物への裸使用が紹介されてからであろう。昭和 42 年秋（第 74 回）には、さび層の解析が数社より発表され、耐候性の機構解明に貢献するところ大であった。耐候性鋼はその後溶接性が改善され、現在橋梁に多く使用され、耐候性の研究も引き続き行なわれている。

高張力鋼および耐候性鋼の講演数の推移を図 5 にまとめて示す。（高張力鋼の制御圧延は一部鋼管関連の講演数と重複している。）

戦後の技術開発の中で原子力開発は極めてユニークなものに思われる。原子炉用鋼は照射脆化を受けるという点で非常に特徴的であり、厚板の靱性に関して新たな問題を提供したものといえる。压力容器鋼としての特性は、昭和 34 年頃より研究発表がなされているが、中性子照射に対する効果は、昭和 37 年より本協会と学振、原子力研究所、溶接協会共同の下に数年にわたり検討された。昭和 48 年秋（第 86 回）には原研より原子炉用鋼の照射に関し数編の報告が出され、また極厚板の特性改善という観点から現在も研究が進められている。

靱性の改善あるいは鋼材使用中の靱性の保持ということは、厚板の基本的命題ともいえる。以上述べてきた各種厚板も靱性の保持改善をいかに行なうかがその根底にある。厚板の靱性に関する研究については焼もどし脆性、使用中脆化の問題を省くことはできない。焼もどし

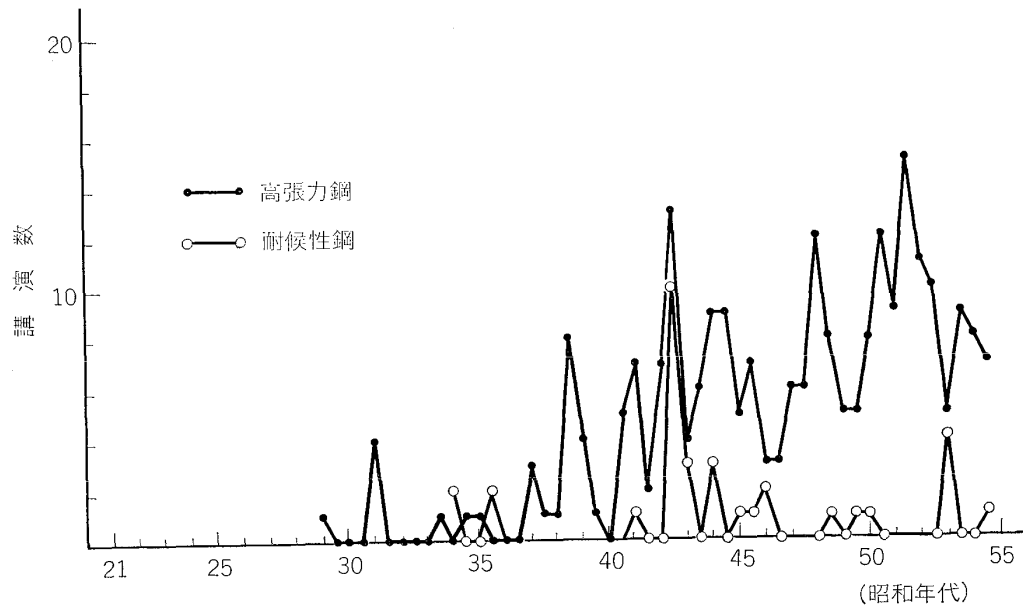


図 5 高張力鋼，耐候性鋼の研究発表数の推移
(厚板関連の研究発表数の内数)

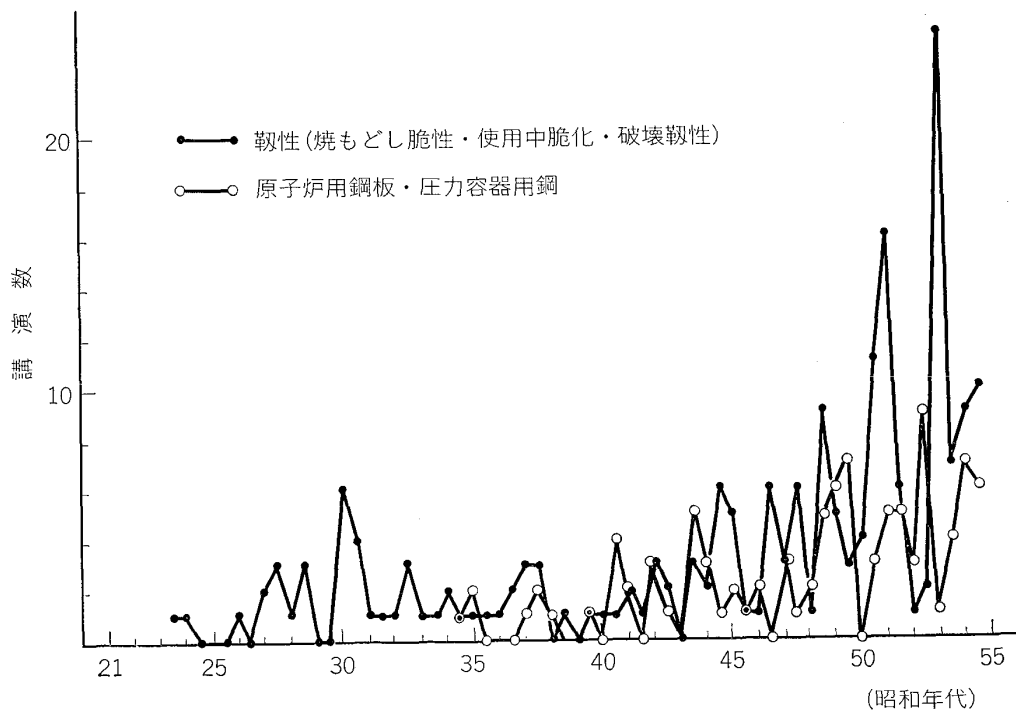


図 6 靱性関連，原子炉用鋼板，压力容器鋼の研究発表数の推移
(厚板関連の研究発表数の内数)

脆性の研究発表はすでに昭和 15 年頃より行なわれているが，重要課題として注目され始めたのは，重油直接脱硫装置の大型化，高圧化が進み， $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼の反応容器の厚肉化が進んできた段階からであろう。昭和 45 年頃よりそれに関する基本的検討，機構，対策などに関する研究発表が増え始めている。とくに最近では AES, IMA などを利用して破面，結晶粒界における P, S, Si

などの偏析を定量的につかみ，機構解明，抑制法などが一段と進んだ。

原子炉用鋼板，压力容器鋼，焼もどし脆性などの研究発表数の変化を図 6 に示す。

鋼の強度を上げると一般に靱性が低下する傾向にあるが，強度，靱性ともに備えた超強力鋼の研究開発は，鋼材研究者の一つの目標であり，昭和 35 年頃より多くの

研究発表が行なわれている。この一つの方向はオースフオーミングなどの加工熱処理による鋼の強靱化であり、他の方向は極低CあるいはCをほとんど含まないマルテンサイト組織への金属間化合物の微細分散の利用による強靱化である。前者は鋼材としての実用化よりもむしろ、塑性変形と変態の組合せによる組織変化とそれに伴う性質の変化という観点から多くの基礎的な知見を与えた。また後者はマルエージ鋼として多くの開発研究が行なわれてきている。マルエージ鋼は昭和 35 年頃米国において発表され、高強度、高靱性の極限的材料として我が国においても強い関心をもたれ、活発な研究が行なわれ、昭和 40 年頃より毎年多くの研究が発表されている。現在までに鉄鋼における金属間化合物の析出による強化機構に対する基礎的な知見を始め、200~250 kg/mm²クラスのマルエージ鋼、経済的なマルエージ鋼、マルエージ型ステンレス鋼の研究などが進んでいる。厚板関連では、更に低温用鋼、高 Mn 非磁性鋼の研究発表が目立つ。

5.3.2 薄板関連

薄板関連の昭和 21 年より昭和 55 年春までの講演発表数の推移を図 7 に示す。薄板の性能改善の研究は、我が国における自動車産業の発展と密接な関係をもっている。乗用車、バス、トラックを含む年間生産台数は昭和 25 年頃約 2 万台に過ぎなかったが、昭和 51 年には 800 万台に増加している。それに伴って薄板の研究発表数も

飛躍的に増えている。とくに 150 万台を数えるようになった昭和 40 年以降、研究発表数も急激に増加した。

技術的な推移をみると、昭和 25 年に Lankford が鋼板の深絞り性における塑性異方性の効果を提唱し、また Burns, Hayer が昭和 33 年に深絞りに適する集合組織を提唱した。これに対応して、昭和 30 年頃より 48 年頃まで成形用極軟冷延鋼板の研究が非常に進み、自動車の量産体制を支え、コスト・ダウン、質的向上に資するところが大きかった。昭和 45 年より 50 年にかけて ESV (Economic Safety Vehicle) 計画が出され、自動車用鋼板の高張力化が要望され、成形用高強度鋼板の研究開発が行なわれ始めた。昭和 46 年頃よりそれに関する研究発表が行なわれている。昭和 48 年のオイルショックを契機として、省エネルギー対策が非常に重要な課題となり、とくに米国において自動車の軽量化によるガソリン消費量の節減が考えられるようになった。そのため成形用高強度鋼板のニーズは非常に高まり、図 7 に見るように、その研究発表数は、ここ数年の間に非常に増加している。これに関連し、高加工性複合組織鋼の研究が昭和 48 年秋 (第 86 回) より出されている。また昭和 47 年頃より成形用鋼板の連続焼鈍が現場技術として開始された。

5.3.3 ステンレス鋼関連

ここでは耐食性を中心としたステンレス鋼の研究発表の推移について述べる。図 8 は昭和 21 年より昭和 55

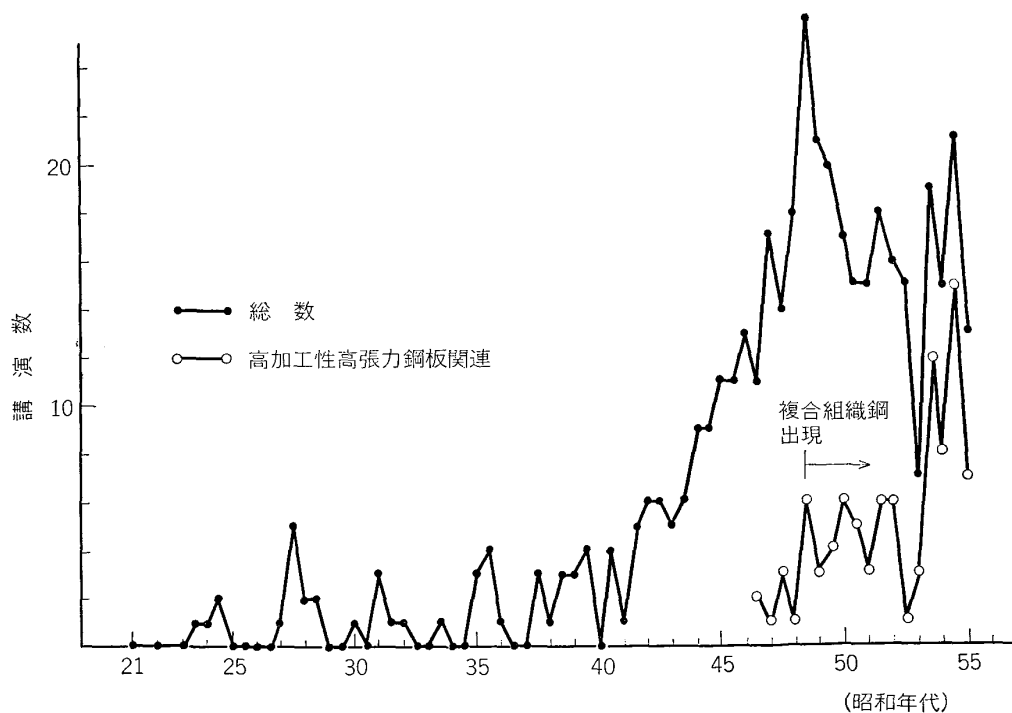


図 7 薄板関連の研究発表数の推移

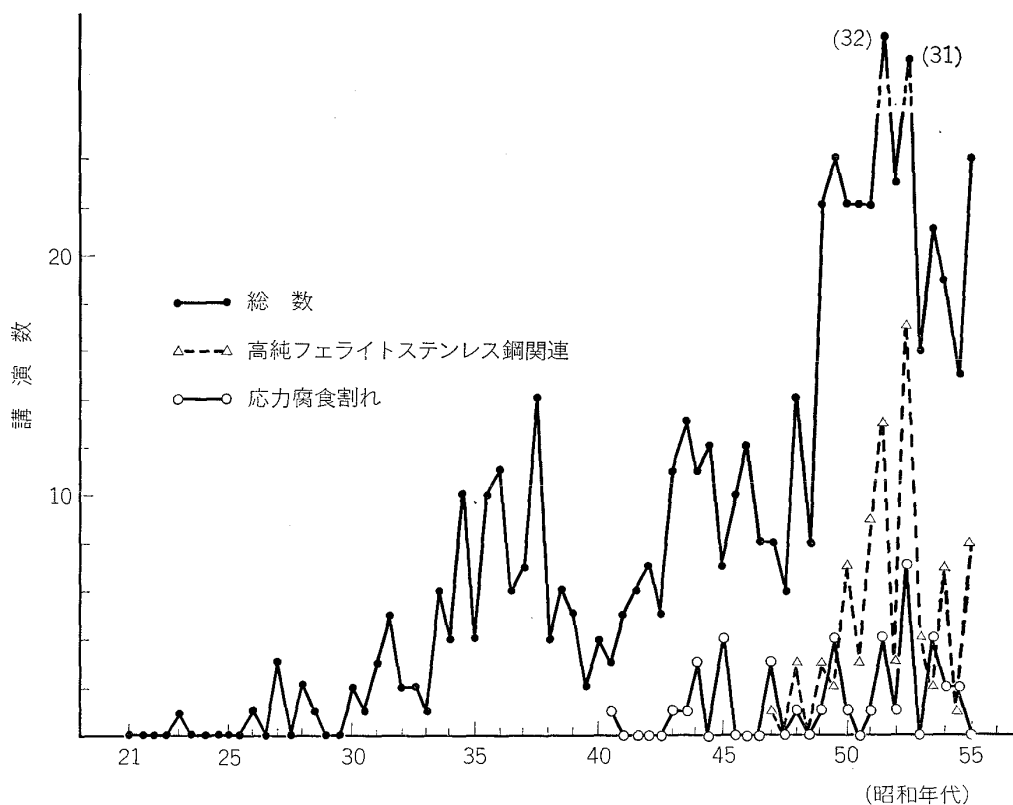


図 8 ステンレス鋼関連の研究発表数の推移

年春までのステンレス鋼関連の研究発表数の変化を示す。

ステンレス鋼の生産量は昭和 35 年頃粗鋼で約 30 万 t あつたものが、その後急激に伸び、昭和 45 年には約 160 万 t となり米国を抜いて世界第 1 位の生産国となっている。また昭和 48 年のオイルショック前には 200 万 t を超える生産量となつた。これらの生産量の伸びは輸出量の増大もさることながら、化学工業の発展をはじめ、家庭用電気製品、厨房器具、浴槽などの家庭用品、自動車部品、建築用部材として幅広く一般的に使用され始めた効果が大きいと思われる。

またステンレス鋼の生産の伸びには、AOD、VOD などの特殊脱炭処理技術が発達し、比較的容易に低 C の材料が製造できるようになつたことに負うところも大である。これにより 18Cr-2Mo、19Cr-2Mo などの高純フェライト系ステンレス鋼の大量生産が可能になつた。すなわち、フェライト系ステンレス鋼はオーステナイト系ステンレス鋼の最大の欠点である応力腐食割れをおこさないという長所があり、化学工業への適用が考えられていたが、従来の 430 系 (17 Cr) のステンレス鋼は、応力腐食割れ以外の耐食性は必ずしも充分ではなく、また加工性、溶接性、靱性の点で劣り、その適用はごく限られたものであつた。これらの欠点を改善するためには、高 Cr 化、Mo 添加、極低 C 化、極低 N 化が必要であり、

そのための材質面からの研究は種々行なわれていたが、工業的に極低 C、極低 N の高 Cr 鋼を生産するに至つていなかったのである。

研究発表の推移をみると、高純フェライト系ステンレス鋼の研究は昭和 47 年春 (第 83 回) より現われ始め、その後急激に増加している。なお米国の E-Brite 26-1 (電子ビーム溶製高純 26 Cr-1Mo 鋼) が高耐食、高耐孔食性材料として発表されたのが昭和 45 年頃である。

オーステナイト系ステンレス鋼の応力腐食割れは、同鋼使用上の最大の問題点とされ多くの研究が行なわれてきた。応力腐食割れにおよぼす C、N、P、Si、Cu などの効果が系統的に研究され、耐応力腐食割れ鋼の開発が行なわれた。また微細組織との対応、環境因子の解明などが論じられている。昭和 50 年以降は原子炉 (軽水炉) 環境を対象に高温高圧水中の応力腐食割れ挙動が検討されている。

フェライト系ステンレス鋼に関しては、薄板の加工性に関連して、リジングの機構解明とその対策に関する研究が多い。これらの研究は昭和 45 年頃より多く発表されている。またステンレス鋼全般の問題として、耐海水性、孔食、隙間腐食に関する基礎的研究が昭和 48 年頃より発表され、その機構に関し多くの知見が得られている。

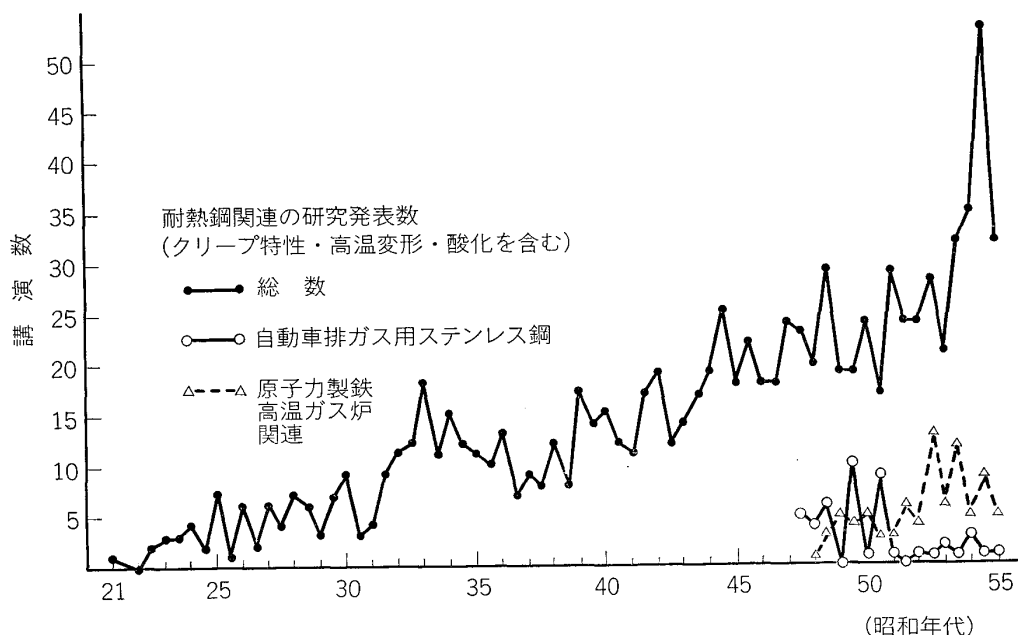


図 9 耐熱鋼関連の研究発表数の推移

5.3.4 耐熱鋼関連

耐熱鋼関連の研究には、炭素鋼， $2\frac{1}{4}$ Cr-1Mo 鋼のような低合金鋼，12 Cr 系のフェライト系ステンレス鋼，300 シリーズのオーステナイト系ステンレス鋼，HK 40 系の耐熱鋳鋼，鉄基，Ni 基，Co 基の超合金が含まれている。また高温酸化，高温腐食，クリープ特性，高温変形などが含まれている。

耐熱鋼の研究は戦前より比較的多くの発表が行なわれているが，昭和 21 年より昭和 55 年春までの発表数の推移は図 9 のような状態である。戦後比較的早い時期より研究が行なわれ，漸次発表数が増加している。

耐熱鋼，耐熱合金を重要な構成材料として使用する高温装置には，火力発電用のボイラと蒸気タービン，ガスタービン，また航空機のジェットエンジン，自動車の排気弁や排気ガス浄化装置および化学工業における各種高温の反応装置などがある。これらの装置の高効率化のために高温化，高压化，大型化が指向され，より高度の耐熱性が材料に要求され，耐熱鋼，耐熱合金の研究が推進され，また新材料が開発されてきた。

昭和 30 年より 40 年にかけては， 600°C 附近で使用するタービンブレードなどの耐熱鋼として 12% Cr 鋼系の研究が進められた。またほぼ同時期に，ガスタービン，ジェットエンジンなどに用いられるオーステナイト系 Cr-Ni-Fe 合金の時効特性，析出挙動について種々の研究が行なわれ多くの成果が報告されている。高 Mn 耐熱鋼の研究，高 P のバルブ鋼の研究などもこの時期に行なわれている。

昭和 45 年頃より環境汚染が社会的問題として表面化

し，自動車排気ガスの規制が出されてきた。これに対応して，排気ガス浄化装置の研究開発が自動車各社において行なわれ，同装置用耐熱材料として，オーステナイト系ステンレス鋼，フェライト系ステンレス鋼を中心に多くの研究発表が 47 年頃より行なわれてきている。

ボイラ用鋼としてはオーステナイト系ステンレス鋼の研究が多く発表されているが，熱伝導性，スケールの剥離性などの問題，また価格の点からフェライト系ステンレス鋼の研究も意欲的に進められている。9~10 Cr-Mo 鋼は 600°C 附近でオーステナイト系ステンレス鋼と比較し，クリープ破断特性が同等以上であることが報告されており，最近では，高速増殖炉用鋼管としての適合性も種々検討され，また石炭専焼ボイラ用としての効果も検討されている。昭和 48 年度より通産省大型プロジェクトの原子力製鉄技術の開発研究が始まり，それに関連して中間熱交換器用の Ni 基耐熱合金の開発に関する研究および He 中のクリープ破断特性，He 中の酸化特性の研究が発表され，He 中 1000°C における耐熱合金の高温特性が解明されてきている。

耐熱鋼，耐熱合金の研究は，昭和 50 年代に入り，一段と活発になり，耐熱合金の合金設計，クリープ機構，長時間クリープデータ，化学工業用耐熱鋳鋼，クリープ中の組織変化，高速増殖炉用耐熱鋼，高温腐食などに関し，優れた成果が報告されている。

5.3.5 鋼管関連

鋼管の使用をごく大まかに分ければ，室温附近で使用するものと，高温で使用するものとなる。ボイラなど高温で使用する鋼管の研究発表数に関しては，耐

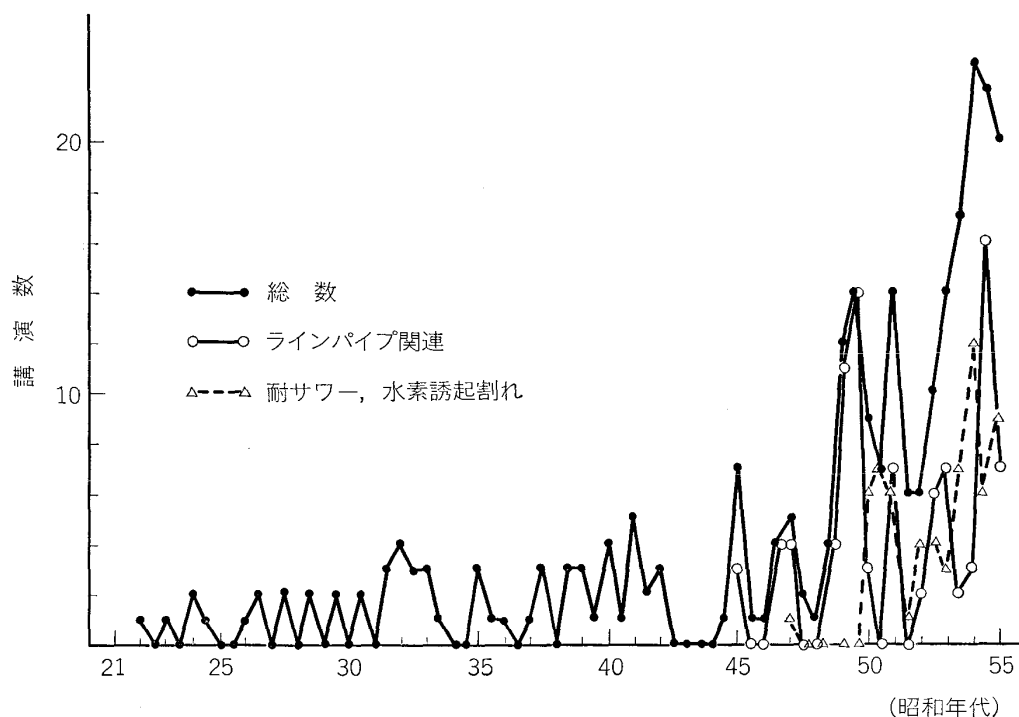


図 10 鋼管関連の研究発表数の推移

熱鋼関連の中に含めた。ここでは室温附近で使用される鋼管の研究動向について述べる。

図 10 に示すように、鋼管に関する研究は昭和 45 年頃より急激に増加している。これはエネルギー源として、石油や天然ガスの需要がこの頃より著しく増大し、世界的な規模で新しい油田やガス田が精力的に開発されたため、それに伴い油井管、ラインパイプの需要が増大したことに対応している。これらの油田などの環境は H_2S を含むいわゆるサワー環境が多く、含 H_2S 水からの水素侵入、水素誘起割れ、水素脆性の研究が活発に行なわれてきた。そして水素誘起割れの機構、割れ発生点としての MnS などの非金属介在物の形態制御などの報告が発表され、最近では鋼管の使用性能の立場からサワー環境の評価も系統的に行なわれ始めた。また合金元素・不純物元素の水素誘起割れ・水素脆性に対する効果の研究が進められ、耐サワー鋼管の開発が行なわれている。さらに制御圧延の効果など鋼管製造プロセスの検討も種々報告されている。

5.3.6 表面処理関連

表面処理鋼板の主流をなすものは、ブリキ、亜鉛めつきおよび TFS (Tin Free Steel, クロメート・クロムめつき) などであろう。研究発表もブリキ、亜鉛めつきに関するものが多い。大正 12 年に我が国においてはじめて熱漬ブリキが製造され、大正 14 年の第 1 回大会においてすでにブリキに関する研究報告がなされている。

第 2 次大戦の激化とともに、ブリキや薄板の生産は激減し、鉄鋼の研究も戦時色が濃くなり、表面処理関係の研究はほとんど行なわれなかつた。戦後、昭和 28 年頃ゼンジマー法による連続亜鉛めつきラインの稼働、昭和 30 年頃フェロスタ法による電気めつきの製造開始の前後から研究も積極的に行なわれるようになった。

昭和 30 年代には、TFS、密着性の良いボンデ鋼板、ガルバニール鋼板、アルミめつき鋼板、高耐食性ブリキ、高耐食性亜鉛めつきなどが開発された。40 年代に至り、食生活の変化に伴う缶詰の増加、炭酸飲料缶、ビール缶の生産量の増加に伴い、ブリキ、TFS が、また建材、容器類、自動車、車輛、家庭電気製品の伸びにつれて亜鉛めつき鋼板の生産が非常に増加し、研究発表も昭和 45 年頃より多くなつてきている。

最近に至り、自動車用鋼板として片面亜鉛めつきの要求が出され、これに関する研究発表、また高耐食亜鉛めつきとしての多層電気亜鉛めつき、合金亜鉛めつきなどの研究も報告されている。また連続鋳造材の表面特性とブリキとしての耐食性の検討も行なわれ、基礎的、技術的に種々の成果が得られている。

5.4 解析技術の発達

鋼材の特性改善あるいは現象の機構の解明を行なう場合、解析技術は極めて重要な役割を果たす。戦後における鋼材の著しい発展は、X線回折、電子顕微鏡、内耗測定、走査型電子顕微鏡、オージェ電子分光分析 (AES)、

イオン・マイクロアナライザー (IMA), ESCA, X線マイクロアナライザー (XMA) などの解析技術, 解析装置の発達に負うところが極めて大きい。昭和 30 年頃より普及し始めた電子顕微鏡は, レプリカ技術, 薄膜技術の開発とともに鋼材の微細組織観察と解析に非常に有力な手段を提供した。また XMA は, 顕微鏡組織の成分分析を可能にし, AES, IMA, ESCA は, 表面, 界面の分析に非常に威力を発揮している。更に昭和 42 年頃開発された走査型電子顕微鏡はその焦点深度の深さを利用して, 破面観察を容易に高倍率で行なうことを可能にし, フラグトグラフィーを発達させ, 鋼材の破壊に関する研究に欠くべからざる装置となつている。また X線回折装置はコンピューターと接続することにより, 薄板などの集合組織を短時間に描かせ, 解析を容易にした。解析装置, 解析技術はコンピューターの利用などを介して今後更に発達するものと思われるが, その有効利用が鋼材の開発にとりますます重要になるであろう。

(細井祐三)

6. 分 析

分析に関する研究発表を年代及び手法別に分類すると図 11 のようになり, 総数約 670 件である。

昭和 25 年頃 (第 40 回) までは, 重量法や滴定法による鉄鋼 5 元素 (C, Si, Mn, P, S) の分析と, 鋼中サンド

分析 (第 6 回, 昭和 6 年, 第 21 回, 昭和 14 年) や酸素, 窒素, 水素などのガス成分の量と形態を, 鉄鋼の製錬や性質と関連させる研究が主であつた。

鋼中の酸素分析は, その後も引続き真空融解法, Her-ty 法 (第 45 回, 昭和 28 年), 不活性ガス融解法, 中性子放射化法 (第 82 回) などが研究されたが, 固体電解質を利用する方法 (第 77 回) が開発され, 溶鋼中の酸素定量が 20 sec 以内で測定でき, 迅速なフィードバックが可能となつたので, 酸素分析に関する発表は減少してきた。

鋼中水素定量法は, 真空加熱抽出法 (第 17, 21 回) による学振法が発表され, その検討 (第 40, 41 回), 真空低温融解法, 不活性ガス法などが研究された。最近になつて微量拡散性水素 (第 94 回), 試料採取法 (第 94, 95 回) など微量域に関する研究が行われている。

非金属介在物分析では, 酸法, ハロゲン法, 電解法などいわゆるサンド分析法 (第 6 ~ 53 回) が研究されたが, 近年, 析出硬化型高張力鋼の研究に対応した状態分析法の研究が活発となり, EPMA, (第 63, 65 回), X線回折 (第 79 回) などの導入によつて, 非金属介在物の分析がマクロ的な解釈からミクロの観点で論じられるようになり, 熱処理でおこる鋼中の反応が化学的に解明できるようになつた。

一方, 昭和 23 年頃から酸素製鋼法が研究されだし, 迅速分析法が第 33 回以降活発に発表され, 吸光光度法の採用によつて, いわゆる鉄鋼 5 元素時代から脱皮しトランプエレメントが分析されるようになった。その後, 吸光光度法は種々の元素へ応用され, 更に極微量域, 吸光度自動測定法の開発 (第 82 回) に至る。また原子吸光分析 (第 73 回) が微量成分に応用されて化学分析の能率や精度向上に貢献した。更に黒鉛炉による原子化法 (第 91 回), 還元気化法, 固体試料の直接分析 (第 99 回) などへ拡大されている。

発光分光分析は, 第 21 回「分光器に依る鉄鋼の定量分析」の発表以来, 乾板法で研究されたが, 第 55 回初めてカントレコーダーが用いられ, 現在まで約 80 件に上る。最近では GP レーザー (第 78, 81 回), グロー放電 (第 97 回), 高エネルギー放電 (第 98 回), パルス分布解析 (第 87 回) など新しい発光励起源や形態別定量が研究されている。更に ICP を光源とした溶液発光分析が鉄鋼 (第 92 回), 鉄鉱石 (第 98 回) などの多元素同時定量法として活用されている。

蛍光 X 線分析は, 特殊鋼の主成分定量法 (第 59 回) の研究から始まり, 銑鉄, 炭素鋼への拡張が行われたが多鋼種試料の自動補正定量法 (第 85 回) が開発され,

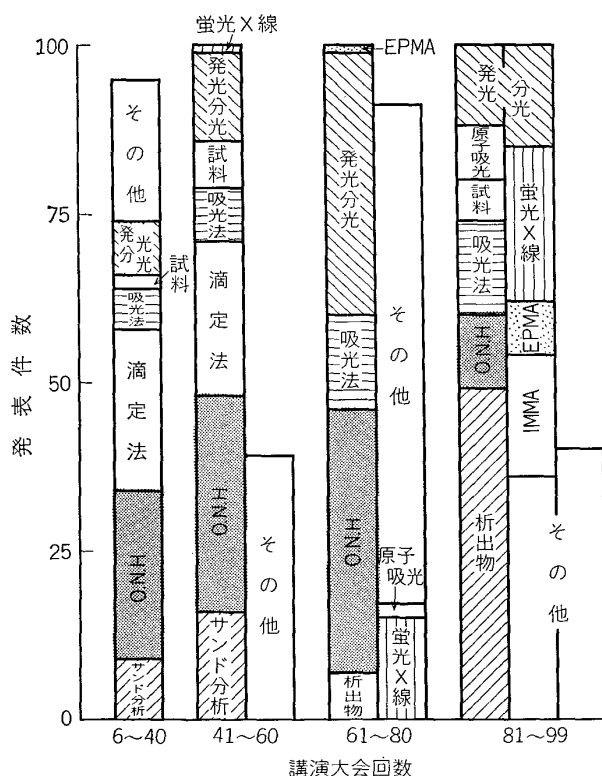


図 11 分析関係の年度別, 手法別発表件数

固体試料の分析法は確立した。粉末試料の粉碎法やブリケット法、ガラスビード法が検討され、鉄鉱石、スラグなどに応用された。更にケミカルシフト（第 94 回）による形態分析や化学分離法と連けいした微量分析など広く活用されている。

鉄鋼材料の研究で局所表面の分析が要望され、IMMA

（第 86 回以降）、Auger（第 89 回）、ESCA（第 95 回）などが開発され、極表面層や微少領域における元素挙動が明らかになり、今後表面物性の解析に効果あるものと期待される。

（針間矢宣一）