

技術研究所最近の成果

Outputs of Research Activities for the Last Decade

技術研究所副所長 藤 元 克 己



1. 緒 言

わが国産業界の、いわゆる中研ブームにはほぼ10年おくれて、昭和44年、当社技術研究所の中研的性格をもつ施設が千葉に開設された。今年5月に満10年を迎える。

この10年の間に、わが国の経済は環境問題、ドルショック、オイルショック、円高と次々にインパクトをうけて、経済企画庁編「経済白書」の副題を借りると、「豊かさへの挑戦」（昭和44年）から「成長経済をこえて」（同49年）、「安定成長への適応をすすめる日本経済」（同52年）へと変貌した。

鉄鋼業においても、資源・エネルギー事情の変化や社会・需要の構造変化に対応して、環境対策や省資源・省エネルギー・省力を重視した体質改善への努力が重ねられた。注目すべき技術の進歩としては、原料炭代替への一般炭の使用、公害防止や廃棄物の利用、大型高炉の操業、転炉の自動精錬、溶鋼の二次精錬、連続铸造、直送圧延、鋼板の制御圧延、圧延機の計算機制御等の技術および溶接性、靱性、加工性、あるいは耐食性のよりすぐれた製品の開発を挙げることができよう。

当社においても、技術開発の対象は上記の大き

な流れと軌を一にするが、新しく経験する設備として継目無鋼管、UOE大径鋼管、VOD、加圧铸造、Q-BOP、水アトマイズ鉄粉などが稼動し、プロセスと製品の種類の拡大が行われてきた。

当技術研究所は当社のプロセス・製品のほとんどすべての分野にわたって、研究開発の担い手として、本社技術本部・各製造事業所が一体となって活動してきた。とくに新技術・新製品の開発に当って、基礎的知見の探究、実験室規模の先行探索試験、生産実機における操業試験をとおして、現場技術者との緊密な協力のもとに、時宜を得た成果をあげてきたものと自負している。ちなみに当所は昭和44年には総人員624名（平均年齢32才）うち主任研究員86名を擁したが、昭和54年2月現在では総人員861名（平均年齢36才）うち主任研究員146名を数えるにいたっている。

牧野博士の言葉によれば、「技術の世界に身を置いていると、眼前の問題を追うに忙しく、「技術の変身に気がつかないことが多い」ときに立止って前後を見廻すことも有意義であろう。千葉施設開設10周年の機会に、あらためて過去をふりかえり、この間における研究の動向を知る記録資料とするとともに、反省と今後の方針への一助とするために、ここに各対象分野別に10年間の成果の概要をまとめることとした。

2. 製 鉄

2.1 製鉄原料

2.1.1 鉄原料

鉄原料に関しては、鉄鉱石の焼結に関する研究が主体であった。まず、数式によるシミュレーションを用いた焼結過程の検討を行った。このために、焼結鉱の生成機構ほか焼結現象を理解するための広範な研究を行い、伝熱、コークスの燃焼、溶融・凝固などの現象を組み合わせることで焼結過程を数式化した¹⁾。また、シミュレーションによる計算結果と実操業における諸因子の効果との対応を明確にした²⁾。さらに、製鉄所発生ダストからの還元ペレット製造の検討を行い、川崎プロセスの確立に寄与した³⁾。

還元粉化現象に関しては、還元粉化の原因となる酸化鉄の定量法を確立し⁴⁾、還元粉化試験法の研究を行い、製鉄部会法を社内統一法として実操業の管理に適用するとともに、測定精度を向上させるための検討を行った。また、焼結融体の組成およびその酸化還元速度などに関する基礎的な研究も行った^{5,6)}。

2.1.2 石炭、コークス

アスファルト・ピッチ類の粘結性補充用添加剤としての利用を目的に、各種瀝青物について、化学構造⁷⁾、コークス化特性⁸⁻¹⁰⁾、粘結剤としての評価¹¹⁾ならびに添加方法などの研究を行い、実炉における確認実験と合わせて室炉法における粘結剤利用技術の開発を行った。この技術は後述の再生炭の利用技術の研究に引継がれている。同時に重質油の改質利用を目的に、熱による改質、触媒による改質^{12,13)}、石炭粉などフィラー (filler) 添加による改質、ならびに重質成分の生成機構¹⁴⁾などの研究を行った。

石炭組織学の配合への応用を図るため、従来の石炭のコークス化性指標と石炭組織との関係¹⁵⁾や新配合指標の導出を検討し、実操業に適用した。コークスのマトリックス強度¹⁶⁾、石炭組織成分の粉碎性¹⁷⁾、装入炭粒度構成と強度との関係¹⁸⁾、乾留過程におけるコークス化機構の定式化などの

研究を通じて操業因子を含めたコークス強度の定量化を進め、冷間強度の推定はほぼ可能となった。また、コークス組織成分の反応性¹⁹⁾、反応による基質強度の劣化²⁰⁾などの熱間性状に関連した基礎研究を行った。

米国Continental Oil Companyと技術提携し、一般炭などを溶剤抽出水添処理することにより再生炭とする方法、及びその利用技術の開発を、昭和49年より開始した。

コークス用原料としての再生炭の添加は低流動性配合炭の品位向上に有効であり、また一般炭の多量配合が可能となることが判明した。

2.2 高 炉

PW式ベルレス装入装置が千葉2高炉、6高炉で採用された。ベルレストップの装入方法と装入物分布との関係を把握するため、縮尺模型および実機によるテストを行った²¹⁾。実験結果は実操業での炉頂ガス利用率の傾向とよく対応し、燃料比低下の操業方針に貢献した。また、ベルレストップにおける装入物の運動を力学的に解析し²²⁾、本装入装置の機能を理解する点で役立った。

高価なコークスを安価な重油に置換して鉄鉄コストを低減するために、重油の多量吹込みが行われた。羽口先でのコークスおよび重油の燃焼状況を羽口ゾンデを用いて調査し²³⁻²⁵⁾、多量吹込みにおいては重油の燃焼を出来るだけ速やかに完結することが重要であることを見出した。この目的に適合した水冷式ブローパイプの開発を行い²⁶⁾、また千葉2高炉における重油比120 kg/tでの操業を実現するのに寄与した。

計算機による高炉操業法の開発がなされた。高炉の異常を早期に検出し、冷え込みなどの極端な炉況異常を防止するゴー・ストップ (GO-STOP) ・システムを高炉操業へ適用した²⁷⁾。

焼結鉱とコークスの粒度構成から装入物の圧力損失、通気抵抗を推定する実験式を導いた²⁸⁾。さらに実用粒度での装入物通気性の検討¹⁾、填充時の炉内装入物調査法の確立²⁹⁾、実炉での実験操業などにより高炉の装入物分布制御に対する現場操業への指針を示した。また、炉床におけるスラグ流れの研究を行い、残滓量を低下させるための条件を示し、残滓量低下による高炉操業の安定化に寄

与した³⁰⁻³²⁾。さらに、羽口先レースウエイ形成の力学的条件を明らかにし、レースウエイの異常現象の解明を行った³³⁻³⁵⁾。

高炉内での炉熱レベルの目安とされていたSiO₂の還元に注目し、羽口付近におけるSiOガス発生の可能性を検討するとともに、溶銑へのSiの移行に対するSiOガスの寄与を熱力学的に考察した³⁶⁾。また、SiOガスと溶銑との反応による溶銑へのSi移行に関する速度論的研究を行った³⁷⁻³⁸⁾。その結果を背景とし、高炉内でのSi, Mn, Sの主反応領域の解明を行い、スラグ、銑鉄内へのこれら元素の分配比がそれぞれの領域の状態変化の情報をもたらしていることを明らかにした。これをもとに高炉炉熱判定法および炉況判定法および炉況判定法の開発を行った^{39,40)}。

昭和52年2月千葉1高炉が吹止め廃棄され、高炉解体調査を行った。炉内より採取したコークス、焼結鉱など高炉装入物とトレーサーコークスなど特殊装入物について性状試験、分析調査を行い、炉内現象の解析を行った^{41,42)}。

2・3 直接製鉄

粉鉄鉱石が直接使用できてクロード化が可能であるとともに、還元ガス製造設備が不要で還元剤の多様化が可能な流動層還元プロセスの研究開発を行った。高温還元⁴³⁾と多段化⁴⁴⁾の研究を行い、H₂による高温流動層還元を実現した⁴⁵⁾。ついて、重質油や石炭などを還元ガス製造設備なしに直接還元剤として利用できる新しい還元プロセスの可能性を見出し⁴⁶⁾、必要な熱量の供給方法として熱媒体循環流動層を応用する研究を0.5t/dの実験装置を用いて行った⁴⁷⁾。さらに、直接製鉄システムのシミュレーション・プログラムを開発し、各種プロセスの評価や新しいプロセスの最適システム構成の研究に応用した⁴⁸⁾。また、還元法の研究とともに、還元鉄の利用技術に関する研究も行った⁴⁹⁾。

一方、プラズマの鉄鉱石の還元への応用を目的として、Ar-H₂プラズマジェット炎中での酸化鉄の還元実験を行い、最高85%の還元率の値を得ることができた⁵⁰⁾。

- 1) 浜田, 小坂橋, 岡部: 鉄と鋼, 58 (1972), 1567
 2) 浜田, 小坂橋, 岡部, 菅原, 才野, 佐藤: 川崎製鉄技報, 5 (1973), 30
 3) 高橋, 野住, 松本, 齊藤, 深木, 荒谷, 佐々木: 鉄と鋼, 64 (1978), A 99
 4) 安部, 片山, 米沢, 佐々木: 鉄と鋼, 58 (1972), S175
 5) 戸村, 佐々木, 荒谷, 岡部: 鉄と鋼, 58 (1972), S52
 6) 佐々木, 町島, 岡部: 鉄と鋼, 59 (1973), S15
 7) 宮川, 武上: 燃料協会誌, 51 (1972), 162
 8) 宮川, 高橋, 伊藤: 燃料協会誌, 51 (1972), 172
 9) 宮川, 榎木, 嵯峨, 谷原: 燃料協会誌, 52 (1973), 595
 10) 第7回製銑部会コークス分科会: コ7 C14(白), (1957)
 11) 藤島, 宮川: 燃料協会誌, 55 (1976), 30
 12) 宮川, 藤島, 武上, 鈴木: 燃料協会誌, 52 (1973), 652
 13) 宮川, 藤島, 武上, 鈴木: 燃料協会誌, 53 (1974), 99
 14) 宮川, 藤島, 武上, 鈴木: 日本化学会誌, 1269 (1974)
 15) 特開昭: 53 66289
 16) 宮川, 藤島: 燃料協会誌, 54 (1975), 983
 17) 宮川, 榎木, 嵯峨, 栗山, 磯崎: コークスサーキュラー, 24 (1975), 118
 18) 杉辺, 宮川: 鉄と鋼, 64 (1978), S513
 19) 宮川, 嵯峨, 谷原: 燃料協会誌, 56 (1976), 337
 20) 宮川, 神下, 谷原: 鉄と鋼, 64 (1978), S 512
 21) T.Nagai, J.Kurihara, H.Takahashi, K.Okumura, K.Okabe and M.Koddo: 6th McMaster Symposium on Iron and Steelmaking, (1978)
 22) 近藤, 岡部, 栗原, 奥村, 富田: 鉄と鋼, 63 (1977), S 441
 23) 岡部, 稲谷: 鉄と鋼, 56 (1970), S45
 24) 清水, 長井, 岡部, 近藤, 稲谷: 鉄と鋼, 58 (1972), 589
 25) M.Kondo, T.Inotani and K.Okabe: Trans. ISIJ, 14 (1974), 267
 26) 稲谷, 岡部, 西山, 芹沢, 高橋, 才野: 鉄と鋼, 62 (1976), 514
 27) T.Nagai, M.Saino, S.Tamura, K.Kaneko, K.Okabe, F.Fukutake and S.Taguchi: 36th Ironmaking Conference of ISS-AIME, April, (1977)
 28) 福武, 岡部: 鉄と鋼, 57 (1971), 1627
 29) 山田, 佐藤, 宮崎, 鳴村, 田口: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 16
 30) 福武, 岡部: 鉄と鋼, 60 (1974), 607
 31) T.Fukutake and K.Okabe: Trans. ISIJ, 16 (1976), 309
 32) T.Fukutake and K.Okabe: ibid, 16 (1976), 317
 33) 福武, 岡部: 鉄と鋼, 61 (1975), S 19
 34) 福武, 近藤, 岡部: 鉄と鋼, 61 (1975), A 57
 35) 田口, 福武, 岡部: 鉄と鋼, 62 (1976), S 67
 36) 徳田, 榎谷, 大谷: 鉄と鋼, 58 (1972), 219
 37) 榎谷, 徳田, 大谷: 鉄と鋼, 58 (1972), 1927
 38) N.Tsuchiya, M.Tokuda and M.Ohtani: Metallurgical Transactions B, 7B (1976), 315
 39) 榎谷, 田口, 高田, 岡部: 鉄と鋼, 63 (1977), 1971
 40) 田口, 榎谷, 高田, 岡

部：鉄と鋼、64 (1978)、691 41) 森岡、小坂橋、橋爪、高橋、奥村、中川、富田、佐藤：鉄と鋼、64 (1978)、S 108、S 109 42) 近藤、小西、小坂橋、田口、森岡、橋爪、高橋、奥村、富田：鉄と鋼、64 (1978)、S 546、S 547、S 548 43) 浜田、岡片：鉄と鋼、58 (1972)、S 328 44) 浜田、小坂橋、岡部：化学工学協会第7回秋季大会講演要旨集、(1973)、B 209 45) 浜田、小坂橋、岡部：鉄と鋼、61 (1975)、S 35 46) 浜田、稲谷、小坂橋、岡部：鉄と鋼、61 (1975)、S 407 47) 特開昭54 1219 48) 浜田、稲谷、小坂橋、岡部：東南アジア鉄鋼協会ファイリッピンンボジウム、(1978) 49) 森岡、稲谷、浜田、岡部：粉体粉末冶金協会昭和53年春季大会講演概要集、(1978)、4 50) 齊藤、森岡、岡部、三本木：鉄と鋼、63 (1977)、S 10

3. 製 鋼

3-1 溶銑予備処理

脱硫のインペラ攪拌法については、門型スターラーに N_2 ガス噴出口をつけて脱硫効率を向上させた NP 式脱硫装置²⁾を開発した。吹込法についても Mg の取鍋吹込²⁾と改質カーバイドの混銑車吹込の脱硫効率に関する詳細な検討を行いプロセスの選択および操業指針とした。脱硫剤としてはまず低融点で反応性の良い $CaO \cdot CaF_2$ 系汎用焼結脱硫剤³⁾を發明した。さらに脱硫剤コストを下げるため、主たる脱硫プロセスである混銑車吹込について、吹込性に優れ反応効率も良い、特殊処理を施した CaO 系微粉脱硫剤を開発し、工業化した⁴⁾。将来の新プロセスとしては、多段環流式高炉種脱硫装置を試作し⁵⁾、工業化を図った。

3-2 転炉吹錬

LD 法については、吹錬中の炉内情報検知用サンプランス、排ガス分析、音波測定の研究と、終点制御のための静的・動的モデルの開発を通じて、吹錬の自動制御と効率化に寄与した。また、極低燐鋼溶製のための 2 回吹錬脱燐法⁶⁾、フェライトステンレス鋼溶製法の確立を、実験室・現場での実験と解析により援助した。

Q-BOP 法については、水モデルおよび 5t 実験炉を用いて炉内反応をモデル化した⁷⁾。別途開発した動的終点制御モデルを併用して、230t 実験炉の操業変数と炉内反応、耐火物寿命、燃料比、歩留りとの関係を解明して、操業改善に貢献した⁸⁾。また 5t 実験炉により高炭素鋼の脱燐技術、純鉄・珪素鋼・ステンレス鋼などの特殊鋼吹錬技術を開発した。

3-3 溶鋼 2 次精錬

RH 法に關して溶鋼環流量の測定法を考案し⁹⁾、脱酸生成物除去¹⁰⁾や極低炭域への脱炭¹¹⁾を迅速に行うための環流量増大最適処理法を確立した。この方法で転炉溶鋼を処理し、珪素鋼を、フェライトステンレス鋼の生産が工業化された。一つの発展として 3 レッグ RH 法¹²⁾も開発された。ASEA-SKF 法 VOD 法¹³⁾、取鍋 Ar バブリング法¹³⁾についても溶鋼攪拌のための印加エネルギー密度と攪拌混合度と介在物除去速度の関係を統一的に解明¹⁴⁾し、2 次精錬の操業指針となった。VOD については、極低炭素極低窒素ステンレス鋼の溶製が可能なる SS VOD 法¹⁵⁾の開発に至った。

3-4 連続鑄造

取鍋/タンディッシュ間の無酸化注入、タンディッシュ内腹構造、浸漬ノズルと鑄型内溶鋼流動が溶鋼再酸化と介在物除去に及ぼす影響を解析し、鑄片に捕捉される介在物を最小とする取鍋・タンディッシュ・ノズル・鑄型系を決定した^{16,17)}。この方式は、工具鋼、シームレス・ERW・UOE パイプ用鋼、低合金高張力鋼、SC 材、DI 用鋼¹⁸⁾、ステンレス鋼、タイヤコード用硬鋼線素材、珪素鋼などすべての高級鋼の鑄込に採用されている^{19,20)}。また、Ca 添加により酸化物系介在物の形態制御を行い効果的に除去する方法を工業化し、鑄込非定常期の鑄片の清浄化を可能とし、高級鋼の多連鑄化による歩留り向上を実現した²¹⁾。一方、鑄片の表面欠陥防止のため、鑄型内凝固²²⁾、顆粒状焼結モールドフラックス²³⁾、2 次冷却²⁴⁻²⁶⁾の研究を進め、無手入れ温片直送圧延の工程化に寄与した。形状の複雑なビーム・ブランク鑄片においても、適切なパウダー、冷却方法の選択で表面欠陥を皆

無とすることが可能となった²⁷⁻²⁹⁾。これらと併行して行った内部割れ³⁰⁾、中心偏析防止³¹⁾の研究は連铸の高速化³²⁾に役立っている。

3・5 造 塊

キルド高張力鋼について铸造条件が铸型内溶鋼流動、表皮下介在物、沈殿晶帯介在物集積に及ぼす影響を明かにした。この結果、低速下注ぎ³³⁾と早期発熱高発熱量押湯ふりかけ剤の併用による表皮下・内質ともに清浄な高級鋼塊の造塊法³⁴⁾を確立し、鋼塊品質は格段に向上している。また、極厚鋼板用大型扁平鋼塊の偏析とザクを最少とするための最適鋼塊形状を決定した³⁵⁾。さらに、特殊造塊法として2層、3層クラッド鋼板製造用の铸くるみ法における層間接着性を改良し、高炭素鋼、ステンレスクラッドの工業生産を達成した³⁶⁾。

3・6 新製品、品質改善

RE, Caによる硫化物形態制御を研究し^{37,38)}、これを応用して低温用強靱鋼、耐ラメラテア鋼、耐水素誘起割れ鋼を開発した³⁹⁾。また、溶鋼中のBの挙動を調べ、大入熱溶接用鋼、ほうろう用鋼⁴⁰⁾の開発に寄与した。

3・7 基 礎

上述の開発、改良は並行して進めてきた基礎研究の成果に負うところが多い。主なものを記すと次のとおりである。溶鋼内ガスジェット挙動解析⁴¹⁾、酸化精錬炉内反応解析⁴²⁾、スラグ-メタル反応機構^{43,44)}、溶鋼酸化速度⁴⁵⁾、RE, Ca-S平衡⁴⁶⁾、アルミナクラスター生成機構⁴⁷⁾、高温における鋼の機械的性質⁴⁸⁾、铸片クレーター内の溶鋼の流動混合状態⁴⁹⁾などがある。

- 1) 別所, 中西, 高田, 江島, 久我, 香月, 川名: 鉄と鋼, 64 (1978), 1528 2) 中西, 江島, 鈴木, 教士: 鉄と鋼, 64 (1978), 1323 3) N.Tsuchiya, H.Ooi, A.Ejima and K.Sanbongi: Proc.Symp.External Desulfurization of Hot Metal Hamilton May, (1975), 9-1 4) 山田, 教士, 永井, 拝田, 江見: 鉄と鋼, 65 (1979), S 153 5) 小口, 齋藤, 藤井: 鉄と鋼, 65 (1979), S 223 6) 飯田, 今井, 教士, 鈴木, 江島: 鉄と鋼, 62 (1976), A 9 7) 中西, 加藤, 鈴木, 馬田: 学振19委-10103, (1978) 8) 中西, 三本木: 鉄と鋼, 65 (1979), 138 9) K.Nakanishi, J.Szekely and C.W.Chang: Ironmaking and Steelmaking, (1975)2,115 10) 垣生, 江見, 北岡, 三本木, 飯田: 鉄と鋼, 59 (1973), A97 11) 江島, 小口, 藤井, 在田, 飯田, 島崎, 上田: 鉄と鋼, 61 (1975), S543 12) 小口, 藤井, 江島: 学振19委 9904, (1976) 13) K.Nakanishi, T.Fujii, H.Ooi, Y. Mihara and S.Iwaoka: Proc. 4th ICVM, (1974), [ISIJ] 14) K.Nakanishi and J.Szekely: Trans. ISIJ, 15 (1975), 235 15) H.Kaito, T.Ohtani, A.Iwaoka, S.Yano, Y.Oguchi and A.Ejima: Proc. 3rd IISC, Apr. (1978), [AIME] 16) 岡野, 西村, 大井, 千野: 鉄と鋼, 61 (1975), 2982 17) 飯田, 上田, 江見, 垣生, 阿部, 角南, 芳賀, 久々凌: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 1 18) 垣生, 北岡, 吉井, 江見: 鉄と鋼, 62 (1976), 1803 19) T.Emi and Y.Habu: Proc.Phys.Chem. and Steelmaking, Oct.2 (1978), 2-54 20) 江本, 児玉, 深井, 野崎, 吉門: 川崎製鉄技報, 9 (1977), 121 21) 吉井, 垣生, 江見, 森脇, 今井: 鉄と鋼, 64 (1978), S626 22) 木下, 北岡, 江見: 学振19委-10126, (1978) 23) T.Em, H.Nakato, Y.Iida, K.Emoto, R.Tachibana, T.Imai, and H.Bada Proc.61st NOH-BOSC, Apr. (1978), 350 24) 飯田, 守脇, 上田, 垣生: 鉄と鋼, 59 (1973), S 89 25) 野崎, 松野, 村田, 大井, 児玉: 鉄と鋼, 62 (1976), 1503 26) T.Nozaki, J.Matsuno, H.Ooi and M.Kodama: Trans.ISIJ, 18 (1978), 330 27) 野崎, 村田, 伊丹, 松野, 深井, 児玉: 鉄と鋼, 62 (1976), S 546 28) 野崎, 伊丹, 村田, 松野, 深井, 児玉: 川崎製鉄技報, 9 (1977), 110 29) 伊丹, 野崎, 松野, 児玉, 大西: 鉄と鋼, 64 (1978), S 157 30) 反町, 江見: 鉄と鋼, 63 (1977), 1297 31) 川鉄技研, 川鉄千葉: 鉄鋼基礎共同研究会製鋼部会 鋼55-18, (1973) 32) 児玉, 小島, 中井, 反町, 今井, 垣生, 野崎: 鉄と鋼, 64 (1978), A 123 33) 川鉄技研, 川鉄千葉: 鉄鋼基礎共同研究会製鋼部会 鋼64-重5, (1976) 34) 垣生, 北岡, 江見: 鉄と鋼, 62 (1976), 971 35) 木下, 北岡, 岡野, 江見: 鉄と鋼, 65 (1979), S 135 36) 木下, 江見: Proc.3rd IISC, Apr. (1978), [AIME] 37) 櫻谷, 江見, 垣生, 江島, 三本木: 鉄と鋼, 62 (1976), 1653 38) 伊丹, 新庄, 松野, 川名, 山本, 深井: 鉄と鋼, 63 (1977), S 586 39) 拝田,

- 江見, 三本木: 鉄と鋼, **64** (1978), 1538 40) 鈴木, 江島, 川生, 江見, 今井: 川崎製鉄技報, **8** (1976), 189
 41) K.Nakanishi, Y.Kato, T.Nozaki and K.Suzuki: 5th OBM/Q BOP Meeting Oct. (1978) 42) Y.Kato, K.Nakanishi and T.Nozaki: 2nd Japan-Sweden Symp.on Ferrous Metall Preprint, Dec. (1978), 50
 43) 大井, 野崎, 吉井: 鉄と鋼, **58** (1972), 830 44) T.Emi: "Electrochemistry" Ed.J.O.M.Bockris, (1976), Chapt. 6 45) T.Emi and R.D.Pehlke: Met. Trans. **6B**, (1975), 95 46) 江島, 鈴木, 三本木: 鉄と鋼, **61** (1975), 2784 47) 大井, 関根, 河西: 鉄と鋼, **59** (1973), 1078 48) K.Kinoshita, G.Kasai and T.Emi: Sheffield Int. Conf. Solidification & Casting, July. 2 (1977), 43 49) 藤井, 松野, 大井: 鉄と鋼, **60** (1974), 1041

4. 耐火物

4-1 製鉄用の耐火物

多くの高炉について、吹卸し後の解体耐火物の調査による損傷要因の検討¹⁾、内張り材質選定のための特性評価などを通じ炉命延長に寄与してきた。マッド材についても同様の検討を行うとともに、樋材を含めた統一試験規格を確立した²⁾。

コークスカ³⁾、熱風カ⁴⁾についても回収耐火物の損傷機構を検討し、とくに後者についてはチェッカーレんがのクリープ挙動の研究⁵⁾を行い、多くの知見を得た。混鉄炉および混鉄車についても同様の検討を行ってきているが、とくに脱硫操業により損傷の著しい混鉄車についてはスラグライン耐火物の損傷機構を明らかにする⁶⁻⁷⁾とともに、これに対処するためサイアロン結合SiC-Al₂O₃質耐火物を開発した⁸⁾。

4-2 製鋼、造塊用耐火物

転炉関係ではQ-BOP炉底耐火物の損傷機構を

明らかにするとともに、それに対する各種の対策を検討し炉命延長に貢献した。また、この検討の過程において、アコースティックエミッションの原理を応用したパネルAE法スポーリング試験装置を開発した。これにより耐火物の熱応力損傷に関する有用な知見を得た^{9,10)}。LD転炉に関しては、内張り耐火物のスラグによる侵食やドロマイト造滓による侵食低減などを検討し炉命延長に寄与した。塩基性耐火物に関しては、気孔構造とスラグの浸透性¹¹⁾、熱間における機械的性質¹²⁻¹⁴⁾、結合様式と機械的性質¹⁵⁾、MgOクリンカー中のBの分布状態¹⁶⁾などの基礎的研究、外国産のクロム鉱やドロマイト原料の利用に関する検討、転炉媒溶剤の試作などを行ってきた。連铸、造塊関係では、浸漬ノズル¹⁷⁾やAl₂O₃-SiO₂系耐火物のMn鋼による侵食機構¹⁸⁾、連铸用各種ノズルの閉塞機構¹⁹⁾、スライディングノズルの損傷などの検討により、現場トラブルの解決に努めた。また、耐食性に優れたZrO₂材料の耐熱衝撃性の改善²⁰⁾やSi₃N₄-Al₂O₃系材料(サイアロン)の溶鋼、熔融スラグとの反応²¹⁾などの検討を通じ材料開発を行ってきた。

- 1) 齊藤, 新谷, 川上, 金谷: 日本鉄鋼協会共研第23回耐火物部会 23-2, (1978) 2) 福田, 新谷, 川上: 日本鉄鋼協会共研第23回耐火物部会 23-2, (1978) 3) 福田, 新谷, 川上: コークス部会 コ14-C (14)白, (1977)
 4) 渡辺, 内村, 川上: 川崎材技報, **9** (1978), 2 5) 川上, 新谷, 福田: 耐火物, **30** (1978), 138
 6) 川上, 新谷, 福田: 耐火物, **30** (1978), 538 7) 新谷, 福田, 川上: 鉄と鋼, **64** (1978), S199, S200
 8) 福田, 新谷, 川上, 岸高: 川崎材技報, (1979)10, 2; 鉄と鋼, **65** (1979), S115 9) 熊谷, 内村, 川上: 昭和53年社団法人窯業協会年会, (1978) 10) 熊谷, 内村, 川上: 窯業協会誌, (1979), 投稿中 11) 久保田, 内村, 渡辺, 川上: 耐火物, **28** (1976), 190 12) 川上, 内村, 渡辺: 耐火物, **29** (1977), 104 13) 内村, 川上, 渡辺, 熊谷: 川崎材技報, (1977)8, 4 14) 川上, 内村, 熊谷: 耐火物, **30** (1978), 374 15) 川上, 内村, 熊谷: 耐火物, **30** (1978), 569 16) 川上, 内村, 熊谷, 角山: 耐火物, **30** (1978), 262 17) 新谷, 福田, 川上: 鉄と鋼, **59** (1973), S 429 18) 久保田, 新谷, 福田, 川上: 耐火物, **26** (1974), 86 19) 新谷, 福田, 川上: 日本鉄鋼協会第18回耐火物分科会, (1975) 20) 川上, 新谷, 福田: 耐火物, **29** (1977), 310
 21) 前田, 新谷, 川上, 岸高: 昭和54年社団法人窯業協会年会, 発表予定

5. 圧 延

5・1 分塊圧延

鋼塊をスラブに分塊圧延する際に発生する先後端のクロップ・ロスを大幅に減少させる方法として、ライン内または近接して設置したプレスによって分塊圧延の初期パス相当分の幅圧下を行うプレス・圧延分塊法を開発した^{1,2)}。この方法の原理は接触長さを大きくして作用圧力を深く滲透させることによりメタルの流れを均一にしようとするもので、この考え方は通常の分塊圧延にも取り入れられて圧延歩留りの向上に寄与している。

5・2 厚板圧延

厚板の計算機制御圧延技術の向上を目的として、温度、圧延荷重に関する従来の式を全面的、基本的に見直しを行った。厚板圧延中の冷却過程の解析にもとづいて温度予測式³⁾を作成した。さらに、転位論に立脚した変形抵抗式を作成するとともに圧下力関数に改良を加えて、圧延理論にもとづく圧延荷重予測モデル⁴⁾を完成した。これらは板厚計算式、形状制御モデルとともに、水島第2厚板ミルにおける計算機制御技術として実用化され⁵⁾、自動化、能率向上、一級率向上、品質の安定化に成果をあげている。

5・3 薄板圧延

低炭素鋼の冷間圧延において、引張試験により求めた変形抵抗と圧延荷重から求めた摩擦係数の結果を、4スタンド・タンデム・ミルの計算機制御に適用した⁶⁾。

コールドタンデムミルの非定常圧延現象を精度よくシミュレーションする数式モデルを開発した⁷⁾。これにより、通板時から高速圧延時の全圧延領域で安定した圧延作業^{8,9)}と良好な板厚^{10,11)}をうることのできるAGCシステムの検討を行い、その実用化に寄与した。

冷間圧延の形状制御については、熱延原板の性状と冷延鋼板の形状との関係に着目し、熱延原板の内質が幅方向に均一であり、幅方向板厚分布(プロフィール)は凸型であることが好ましいことを明らかにした¹²⁾。DCRミルにおいて、接触磁歪式

形状計の測定精度の検証を行い¹³⁾、形状制御システムの開発を行っている¹⁴⁾。

冷延薄板のプロフィールは、熱延原板のプロフィールによってほとんど決定され、冷延条件によっては、わずかにエッジ・ドロップを制御しうることを明らかにした¹⁵⁾。これにもとづいて、熱延板のプロフィール制御方法の開発に着手し、ロール・サイクル内のサーマル・クラウンと板クラウンの対応関係を確認した¹⁶⁾。プロフィール制御に必要なロールの摩りおよび熱膨張分布について検討を行い、実測データとよく一致するモデル式を開発した¹⁷⁻¹⁹⁾。板クラウンの変動を制御するために、圧下配分モード変更法を提案し、理論と実験の両面からその有効性を確認し実用化した^{20,21)}。また、エッジ・ドロップ制御のために考案された台形クラウン付ワーク・ロールによる方法について理論的に体系化し²²⁾、実用化に寄与した²³⁾。

熱延時の圧延荷重式、変形抵抗式および圧延温度式についてオンラインモデル式を開発した²⁴⁾。これによりセットアップ計算精度が向上した。

冷間圧延の潤滑については、DCRミルによる、極薄冷延鋼板の圧延に際して発生する異常振動(チャタリング)現象が、圧延油の潤滑不良によるロール振動系と圧延板の共振現象であることを明らかにした。この対策として、圧延油性状の適正管理とともに、高温・高圧力での潤滑性が良好な圧延油を開発し、安定操業の確立に寄与した^{25,26)}。

冷間圧延板の表面疵の一つである、潤滑不良にもとづくヒート・ストリークは、ロールの研削疵を起点にして、鋼板の温度上昇の大きい圧延条件で発生しやすいことを明らかにした²⁷⁾。

冷間圧延油についてはミルクリーン油の開発および圧延油の成分分析法、とくに脂肪酸、乳化剤、極圧剤の分析方法を研究した。

熱間圧延潤滑の基礎として、圧延油の特性、油量、圧延条件、鋼種およびスケールの性状について調査研究し、実用化に寄与した²⁸⁾。

5・4 継目無鋼管圧延

6 $\frac{1}{2}$ "マンドレルミル方式による小径継目無鋼管の製造に関しては、特に、管の内外面疵の発生頻度および寸法精度におよぼすピレットの加熱条件ならびにピアサー、マンドレルミル、ストレッチ・

レジャーサーの圧延条件の影響を調査し、鋼種に応じた適正製造条件の確立に努力した²⁹⁻³¹⁾。また、これらの研究を通じて工具類(プラグ、ガイドシュー、マンドレルバー)あるいは潤滑剤の改善が進められ、生産性と品質の向上に大きく寄与した^{32,33)}。

16"プラグミル方式による中径継目無鋼管の製造については、操業に先立ってピアサー、エロンゲーター、プラグミル、リローラーの圧延スケジュールをプラスチックおよび鋼モデル圧延機により検討し、それぞれの適正範囲を求めた³⁴⁻³⁶⁾。

素材品質については、熱間ねじり試験法、鋼モデル穿孔機による熱間加工性の評価法や超音波探傷機による大型非金属介在物の定量法を用いて、取鍋における適正な脱酸法およびブルーム圧延時

において許容される最小圧下率に関して有益な知見をえた。さらに、同様な手法により各鋼種にわたって連铸素材の確性試験を行い連铸材比率の向上に寄与した。

5-5 条鋼圧延

ドッグボーン状粗形鋼片のオープンカーバー圧延特性の検討を行った。この結果を、単一素材から多数サイズのH形鋼を製造する工程へ適用³⁷⁾し、非常域のフランジ外面に生成する圧延疵の消滅³⁸⁾に応用した。

H形鋼のユニバーサル圧延におけるフランジとウェブ間のメタル移動率と圧下率との関係式を求め、プラスチック実験により確認した³⁹⁾。

- 1) 特公昭 53-40937 2) 中川, 金成: 第58回圧延理論部会資料, (1977), 58-8 3) 木村, 磯辺, 坪田, 板橋: 鉄と鋼, **63** (1977), S658 4) 木村, 磯辺, 塩田, 坪田, 菊川, 馬場: 鉄と鋼, **64** (1978), S695 5) 大島, 瀬川, 磯辺, 坪田, 井上: 日本金属学会会報, **17** (1978), 137 6) 鏡田, 中川: 潤滑, **19** (1974), 45 7) 吉田, 伊藤, 江藤, 藤原, 佃, 大島: 第28回塑性加工連合講演会, (1977), 55 8) 吉田, 伊藤, 溝仲, 佃, 江藤, 北尾: 第29回塑性加工連合講演会, (1978), 85 9) 佃, 藤原, 江藤, 土井, 溝仲, 吉田: 昭和53年度塑性加工春季講演会, (1978), 9 10) 吉田, 伊藤, 江藤, 北尾, 藤原: 昭和53年度塑性加工春季講演会, (1978), 17 11) 待留, 直井, 藤原, 吉田, 吉田, 諸岡: 第29回塑性加工連合講演会, (1978), 88 12) 黒津, 鈴木, 中里, 君嶋, 中川, 鏡田: 鉄と鋼, **59** (1973), A37
- 13) 古川, 栗原, 下西, 鏡田, 清野: 鉄と鋼, **64** (1978), S702 14) 古川, 栗原, 柳島, 鏡田, 中川: 鉄と鋼, **64** (1978), S703 15) 鏡田, 北村, 中川, 高崎, 松田: 鉄と鋼, **63** (1977), S668 16) 北村, 鏡田, 中川, 玉井, 相原, 福島: 鉄と鋼, **62** (1976), S616 17) 磯辺, 伊藤, 広瀬, 三宅, 浜田, 野口: 金属, 鉄鋼中四国支部講演大会, (1978), 21
- 18) 広瀬, 浜田, 直井, 三宅, 磯辺, 伊藤: 鉄と鋼, **65** (1979), S291 19) 磯辺, 伊藤, 浜田, 広瀬, 三宅, 直井: 昭和54年度塑性加工春季講演会 発表予定 20) 鏡田, 北村, 中川, 玉井, 足立, 福島, 君嶋: 鉄と鋼, **63** (1977), A107 21) 鏡田, 北村, 片岡, 中川, 玉井, 福島, 君嶋: 塑性加工春季講演会論文集, (1977), 41 22) 北村, 鏡田, 片岡, 中川, 足立, 弦田, 福島, 浅川: 塑性加工連合講演会論文集, (1976), 92 23) 足立, 豊島, 福島, 浅川, 北村, 鏡田, 片岡, 中川: 塑性加工春季講演会論文集, (1977), 45 24) 吉田, 伊藤, 浜田, 広瀬, 須藤: 鉄と鋼, **63** (1977), A25 25) 古川, 鏡田, 清野, 滝本, 中里, 中川, 福永: 川崎製鉄技報, **8** (1976), 60
- 26) I.Yarita, K.Furukawa, Y.Seino, T.Takimoto, Y.Nakazato and K.Nakagawa: Trans. ISIJ, **18** (1978), 1
- 27) 北村, 鏡田, 中川, 青木, 松田, 坂上: 鉄と鋼, **65** (1979), A45 28) 比良, 阿部, 中川, 伊藤, 小本木: 塑性加工春季講演会論文集, (1976), 25 29) 辻, 平野, 佐山: 川崎製鉄技報, **1** (1975), 213 30) 佐々木, 辻, 捻橋, 小山, 佐山: 鉄と鋼, **64** (1978), S270 31) 佐々木, 辻, 捻橋, 小山, 佐山: 鉄と鋼, **64** (1978), S273
- 32) 特開昭 51 61424 33) 特開昭 52 112057 34) 佐山, 富樫, 江島, 金成: 鉄と鋼, **64** (1978), S688
- 35) 佐山, 富樫, 江島, 金成: 鉄と鋼, **64** (1978), S689 36) 中川, 阿部, 金成: 鉄と鋼, **64** (1978), S690
- 37) 永広, 山下, 大見, 阿久根, 草場: 川崎製鉄技報, 投稿中 38) 草場, 佐々木, 橋本, 三浦: 鉄と鋼, **64** (1978), S749 39) 中川, 比良, 阿部, 金成: 鉄と鋼, **64** (1978), S748

6. 厚板

6-1 高張力鋼板、ラインパイプ用鋼板

80kg/mm²級調質鋼 RIVER ACE K-0の性能向上については、焼入性を向上させるためB、Nなどの成分バランス、極厚材製造のための冷却速度と焼入特性との関係、靱性を最高にするマルテンサイトとベイサイトの混合組織などについて検討^{1,2)}、その結果溶接性が飛躍的に改善され、製品は球形タンク、橋梁、水圧鉄管などに多量に使用されるにいたった。海洋構造物用としては150mmまでの極厚材が製造された。一方、溶接の能率向上の要請にこたえて、低炭素当量で60kJ/cmまでの入熱に対して溶接継手靱性の劣化しない鋼材を開発した³⁾。これらの成果を応用して溶接性のすぐれた100kg/mm²級鋼を開発し、WESの鋼種認定を受けた。

一方、60kg/mm²級調質鋼についても溶接性、靱性の向上に努力し、水車ケーシング、球形タンク、橋梁などに大量に用いられている。最近では原子炉格納容器用として、国内で初めての使用実績をあげた。また調質高張力鋼は一般に溶接に際し予熱が必要とされていたが、低Cとし P_{cm} 値を0.20%以下とした溶接割れ感受性の低い60kg/mm²級高張力鋼を開発し板厚100mmまでのWES認定を取得した。

非調質高張力鋼については大入熱溶接用の船体用高張力鋼の開発がある。REMとBを適量添加するとボンド部の組織が改善され、きわめて高い靱性が得られることを見出し「BD鋼」を開発⁴⁾した。またREMとBによるボンド組織の改善の機構を明らかにした^{5,6)}。

さらに板厚方向特性におよぼす介在物の量および形状の影響を調査することにより、ラメラリア感受性の低い鋼板の製造技術確立した⁷⁾。

UOE造管工場の建設に伴い制御圧延によるラインパイプ材の製造技術の確立に努力し、短時日のうちに低温靱性のすぐれたX-70級までの各級鋼の安定大量生産に成功した。一方、制御圧延の圧延スケジュールについて詳細に検討し、高温の再結晶域、中温の未再結晶域、低温の2相域の3段階を定義し、組織と材質におよぼす各段階の圧

延の役割を明らかにした^{8,9)}。また、Nb-V鋼、Mo-Nb鋼制御圧延材の溶接部の靱性におよぼすMn、Mo、Nb、Vの影響についても詳細に検討した¹⁰⁾。さらに、セパレーションにおよぼすバンド状組織と集合組織の影響を明らかにし¹¹⁾、これらを制御することによって、セパレーションの少ないX65用厚板の製造¹²⁾を可能にした。

6-2 低温用鋼板

LNG用鋼板として母材の強度靱性、溶接性の良好な板厚70mmまでの9%Ni鋼板(KLN9)を開発するとともに、低コストで9%Ni鋼板と同等の性能を有する含Cu7%Ni鋼を開発し、好結果を得た¹³⁾。

エチレン用3.5%Ni鋼板に関しては、安全性向上の見地から従来のKLN3A(焼ならし型)、3B(調質型)の他に、強度、靱性の格段にすぐれた特殊熱処理型の3.5%Ni鋼板を開発した。

LPG用鋼板の分野では、低C-低Nで溶接部の低温靱性が優れたアルミキルド鋼を開発し需要家の好評を得ている^{14,15)}。さらに成分系、製造工程の両者について検討し、強度、靱性、溶接性の良好な含Nb低温用鋼の製造方法を確立した¹⁶⁾。

基礎分野においては、Ni含有鋼の焼もどし時に析出するオーステナイト相が、低温靱性に対して有効であることを示した^{17,18)}。

6-3 圧力容器用鋼板

昭和51年以降、中・常温用圧力容器の高応力設計に適する鋼材の開発が要請された。そこで、350°Cで25および35kg/mm²以上の降伏強さを保証する鋼材の開発を目指して、析出硬化型合金元素の影響を調べ、Mo、VおよびNbの析出および降伏強さに及ぼす複合効果とその機構を明らかにした¹⁹⁾。

これらの基礎的データにもとづいてKHY 25²⁰⁾およびKHY 35²¹⁾を開発した。

圧力容器の大型化にともなって、これに用いられる厚鋼板の極厚化に対処するため、化学プラント圧力容器用Cr-Mo鋼および原子力圧力容器用Mn-Ni-Mo鋼を用いて、強度、靱性におよぼす化学成分²²⁾、熱処理条件²³⁻²⁵⁾の影響を明らかにした。その結果、十分な特性を有する、200mm厚Cr-

Mo鋼²⁶⁾および240mm厚Mn-Ni-Mo鋼²⁷⁾の製造を可能にした。鋼の高温強度については、Cr-Mo鋼における焼もどしパラメーターの影響²⁸⁾、ボイラー材における化学成分の影響²⁹⁾などについて有用な結果を得た。

6・4 耐候性鋼，耐海水鋼

耐候性鋼の大気暴露試験によって、耐候性に対する環境側および材料側因子の影響、耐候性鋼の塗装性、さび安定化処理性などを明らかにした^{30,31)}。さらに無塗装使用に適した耐候性鋼の成分を定めた。耐海水鋼に関しては、耐海水性に対する合金元素および環境条件などの影響を検討し³²⁻³⁴⁾ 溶接構造用耐海水性鋼の成分を定めた。

6・5 脆性破壊，疲労

鋼構造物の破壊に対する安全性の試験のため、8 000tの構造物試験機³⁵⁾を設置し、海洋構造物の格点構造の実物モデルの破壊試験³⁶⁾、250mmの極厚鋼板の引張試験などを行っている。また、基礎的研究としては、破面性状と破壊特性の関係³⁷⁾、破壊力学特性値の意義の検討³⁸⁾、非金属介在物と破壊特性の関係の調査³⁹⁾、破壊現象とAEの関係⁴⁰⁾、鋼管材の破壊現象に関する研究⁴¹⁾などを行った。

疲労に関する研究については、溶接構造物の使

用状態での引張圧縮疲労試験による評価を行い、とくに高張力鋼の母材および溶接継手の疲労試験を数多く行った^{42,43)}。また、千葉製鉄所構内鉄道橋に高張力鋼板を使用し、橋梁部材の疲労特性について貴重な知見^{44,45)}を得た。さらに低温構造用9%Ni鋼などについては低温疲労特性が重要で、液体窒素中での試験を実施した⁴⁶⁾。基礎研究としては、疲労による亀裂寿命推定のため各種鋼材溶接継手の亀裂伝播特性の調査^{47,48)}、寿命推定法の提案^{49,50)}などを行ってきた。時効が疲労特性に与える影響などの研究も学会、委員会活動の一環として実施した⁵¹⁾。

6・6 環境脆化

水素脆化については、電気化学的水素透過法を確立し、環境からの水素侵入挙動、鋼中の水素拡散および固溶元素、格子欠陥と水素のトラップとの関係を明らかにし⁵²⁻⁵⁵⁾、この方面の研究の基礎を確立した。

液体アンモニア用大型球形タンクの割れについては、実タンク内の割れ調査や実タンク内の暴露試験により割りの実態を種々調査し、また液安中での鋼の挙動を観察することにより、割れの促進試験法を確立し、同時に割れの機構を明らかにすることができた^{56,57)}。

- 1) 船越、坪井、安田、猪又、青木：川崎製鉄技報、4 (1972)、406
- 2) 阪神高速道路公団：南港連絡橋用各社HT-80、HT 70鋼板資料まとめ、(1971)、10月
- 3) 田中、腰塚、阿山、赤秀、徳久、大橋：川崎製鉄技報、11 (1979)、投稿中
- 4) 五藤、船越、安田、坪井、青木、上田：川崎製鉄技報、9 (1977)、29
- 5) 船越、田中、上田、石川、腰塚、小林：鉄と鋼、63 (1977)、303
- 6) 船越、田中、上田、石川、腰塚、小林：Trans. ISIJ、17 (1977)、419
- 7) 榎並、森、三宮、青柳、山本、上田：川崎製鉄技報、8 (1976)、324
- 8) 田中、波戸村、田畑：川崎製鉄技報、6 (1974)、552
- 9) T.Tanaka, N.Tabata, T.Hatomura and C.Shiga: Micro Alloying, History and Theory, (1975)、88
- 10) 志賀、波戸村、田畑、鎌田、大橋：川崎製鉄技報、10 (1978)、1
- 11) 森、榎並、船越、岡部：鉄と鋼、63 (1977)、S794
- 12) 丁字、矢野、上杉、井上、三輪、森、渡辺：鉄と鋼、63 (1977)、S793
- 13) 船越、梶水、腰塚：川崎製鉄技報、3 (1971)、75
- 14) 三宮、吉村、鈴木：鉄と鋼、63 (1977)、S282
- 15) 鈴木、三宮、関根、吉村：鉄と鋼、64 (1978)、S325
- 16) 瀬山、矢野、三宮、関根、鈴木：鉄と鋼、65 (1979)、S487
- 17) 船越：学位論文、(1973)
- 18) 鈴木、船越：鉄と鋼、61 (1975)、A45
- 19) 上田、石川、鎌田、大橋：鉄と鋼、64 (1978)、2177
- 20) KHY委員会：日本溶接協会PMS委員会資料、(1978)
- 21) KHY委員会：日本溶接協会PMS委員会資料、(1977)
- 22) 榎並、波戸村、田中、船越：川崎製鉄技報、6 (1974)、162
- 23) 榎並、佐藤、田中、船越：鉄と鋼、58 (1972)、S436
- 24) 榎並、佐藤：鉄と鋼、61 (1975)、A29
- 25) 榎並、佐藤、田中、船越：川崎製鉄技報、6 (1974)、145
- 26) 佐藤、榎並、楠原、林：川崎製鉄技報、4 (1972)、375
- 27) 楠原、吉村、荻野、榎並、船越、林：川崎製鉄技報、6 (1974)、174
- 28) 佐藤、川崎、岡部、小野、大橋：鉄と鋼、63 (1977)、S247
- 29) 岡部、小野、大橋：川崎製鉄技報、6 (1974)、102
- 30) 久野、中井、今津、嶋中：川崎製鉄技報、2 (1970)、8
- 31) 中山：川崎製鉄技報、2 (1970)、36
- 32) 清水、久野、嶋中：鉄と鋼、

- 59 (1973), 61 33) 清水, 久野, 嶋中: 日本金属学会春期大会講演会予稿集, (1974), 98 34) 栗栖, 久野: 腐食防食協会春期大会講演会要旨集, (1975), 130, 132 35) 船越, 田中, 中野, 藤元: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 284 36) J.Kudo, M.Tanaka and S.Takizawa: 3rd International Symposium on Criteria for Preventing Service Failure in Welded Structures, Japan Weld. Soc., (1978) 37) 鎌田, 腰塚, 船越: 鉄と鋼, 60 (1974), 1483; 61 (1975), 2839 38) 中野: 鉄と鋼, 64 (1978), 891 39) 小林, 成木, 船越, 平井: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 336 40) K.Sano: Proc. 4th AE Symp., (1978), 8 41) 中野, 上藤, 船越, 加賀, 亀田, 伊庭: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 459 42) 田中, 成木, 船越, 西田: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 40 43) 松本, 小林, 田中: 溶接学会 FS 委員会, (1979), FS 487 79 44) 田島, 伊藤, 石原, 嶋, 船越: 川崎製鉄技報, 3 (1971), 438 45) 本州四国連絡公団: 本四橋鋼上部構造に関する調査研究報告書, (1973) 3月 46) 日本造船研究協会: RR811研究部会報告書, (1974), 3月, R-28 47) 成木, 田中, 船越: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 38 48) M.Tanaka, A.Narumoto and T.Funakoshi: I.I.W. Doc. XIII 780-75, (1975) 49) K.Kobayashi, A.Narumoto, M.Tanaka and T.Funakoshi: Proc. 3rd International Conference of Pressure Vessel Technology, (1976) 50) 小林, 成木, 田中, 船越: 鉄と鋼, 64 (1978), 1072 51) 成木, 小林, 田中, 船越: 材料, 25 (1976), 846 52) 中井, 浅野: 鉄鋼基礎共同研究会第2回遅れ破壊部会シンポジウム資料, (1973), 35 53) 中井: 鉄鋼基礎共同研究会遅れ破壊部会報告書, (1975), 75 54) 中井, 上杉, 嶋中: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 75 55) 中井, 厚, 浅野, 夫谷: 日本金属学会誌, 38 (1974) 7, 626 56) 中井, 上杉: 鉄と鋼, 65 (1979), S375 57) 中井, 上杉: 鉄と鋼, 65 (1979), S376

7. 薄 板

7.1 熱延鋼板

厚物熱延鋼板のプレス成形性の要求に応えるため, プレス加工用熱延鋼板 KFN を開発した¹⁻³⁾。

熱延鋼板の分野では高張力化が大きな課題であった。自動車用を中心とする構造物や産業機械向けの加工用鋼板としては, 曲げ性や伸びフランジ性改善のためのTi添加材, 高強度化のためのTi, Nbなどの添加材につき, 基礎的研究を行った。その結果に基づき, 引張強さ40~100kg/mm²の加工用鋼板を開発した⁴⁻⁶⁾。

ラインパイプ用鋼板の分野では, 厚物(1/2~1インチ)を含む熱延コイルの化学組成と熱間圧延条件の検討を行った。スラブ加熱からコイル巻取りまでの熱履歴や圧下率によるオーステナイトの再結晶, フェライトへの変態による結晶粒微細化を検討し, 最適制御圧延技術を確立した。これにより高強度, 高靱性のAPI X70グレードまでの高級鋼を開発した⁷⁻¹⁰⁾。また, 冷却速度制御を適用した最適材質設計システムを開発した¹¹⁻¹³⁾。

7.2 冷延鋼板

冷延鋼板の再結晶集合組織におよぼす組成およ

び熱履歴の影響を検討し, 現場工程において再結晶集合組織を制御する技術的基礎を確立した¹⁴⁻²²⁾。さらに, Cの存在状態の異なるFe-C合金単結晶の冷延, 回復再結晶過程における変化を詳細に検討し, 鋼中のCが再結晶集合組織に寄与する機構を明らかにした²³⁻²⁷⁾。また, 極微量Cの影響を検討する²⁸⁾過程で, {100}再結晶集合組織の発達した鋼板の製造法を見出した²⁹⁻³¹⁾これに関連して α - γ 変態集合組織について検討し, その形成機構を論じた^{32,33)}。RH脱ガス極低炭素鋼を素材とし, BおよびREM添加により加工用冷延鋼板, 加工用連続重鉛メッキ鋼板の新製品を開発した^{34,35)}。

鋼板表面物性に係わる問題として, 昭和44年頃から冷延鋼板を焼鈍中に鋼中のCが黒鉛として鋼板表面に析出し, 製品表面を汚染し, 表面処理性を著しく劣化させるという現象が生じた。また, Alキルド鋼を焼鈍中に雰囲気中のNが鋼中に入り材質を劣化させるという問題が起った。これらの問題が, 鋼板表面における界面反応によって支配されることを明らかにし, これを制御することにより, これらの問題を解決した³⁶⁻⁴⁷⁾。また, 焼鈍雰囲気組成によって焼鈍後の鋼板表面組成が顕著に変化することを示した。現場工程では, 雰囲気中のO potentialが高い程焼鈍後の鋼板表面のP濃度は増加し, Si, Al濃度は低下することを示し

た^{48,49)}。昭和43年頃からゴーストライン（冷延鋼板のプレス成形後に現われる微細な凹凸）が問題となった。その原因は、大きなものがAl、小さなものがMn, S, P, Oなどの偏析によるものであることが明らかとなり、造塊条件の制御によって満足すべき結果を得た^{50,51)}。

脱炭脱窒焼鈍した極低C鋼板の2次加工脆性が低温脆性と同様粒界破壊であることを明らかにした。粒界強度が極微量（1ppm以下）のC含有量の変化によって支配されること⁵²⁻⁵⁴⁾、および粒界破壊防止に必要なC含有量がP含有量の増加とともに増加することを示した^{55,56)}。

高張力鋼板については、自動車の車体重量の軽減のため、鋼板の高張力化の研究を行った。従来のバッチ焼鈍法による高強度鋼板の強度-延性に及ぼす合金元素の影響を調べ低C-Mn-Si-(Nb)系で引張強さ40~60kg/mm²のAPFC 40~60を製造した⁵⁷⁾。一方、連続焼鈍法により、低C-Mn-Cr系で降伏比が低く、かつ歪時効による強度増加の大きい2相混合組織からなる高張力鋼板を開発した⁵⁸⁻⁶³⁾。また、高張力薄鋼板の成形性やスポット溶接性についても検討した^{64,65)}。

ほうろう用鋼板については、脱炭リムド鋼板のリム層部分につまどび性の劣る部分が存在したので、その原因を明らかにし^{66,67)}、これを改良して1回掛けほうろう用鋼板の製造技術を確立した⁶⁸⁾。

コイルで連続的に前処理を行い、前処理後に深絞りなどの成形加工の行える直接掛けほうろう用前処理鋼板の製造技術を確立した^{69,70)}。同時に、ほうろうと鋼板の密着機構にも検討を加えた⁷¹⁾。また、連続鋳造で製造可能なキルド鋼ほうろう用鋼板KTMを開発し、2回掛けほうろうに供している^{72,73)}。

低降伏点鋼板については、自動車外板用として要求される低降伏点鋼板については、熱延後の冷却条件と酸洗性および製品の機械的性質の関係を検討し、最適条件を見出し、HKTとして生産した⁷⁴⁾。

7・3 薄板の成形性

プレス成形の限界を明らかにする立場から、延性破壊に及ぼす結晶粒度、カーバイトの形態、C量、S量などの影響を明らかにした⁷⁵⁾。また、球頭ポンチ張出し成形における頭部の摩擦係数の近似計算式を導いた。これを用いて限界絞り比や限界張出高さとの関係を明らかにした^{76,77)}。深絞り-張出し複合成形における材料の変形過程を、全歪理論により応力解析し、エネルギー法によりポディシワ発生限界深さを求めた。これにより、材料特性がしわ発生限界に及ぼす影響を明らかにした⁷⁸⁾。また、プレス成形における成形限界（最大成形量）をしわ因子と破断因子の積で表わし、材料の板厚、 r 、 n との関係を求めた⁷⁹⁾。さらに、しわと破断の簡易評価法としてCCBT(Conical Cup Buckling Test)法を提案し、しわと破断の同時的評価指数(FI)を定め、円錐台成形と自動車のフェンダー・モデル・プレスに適用してその有効性を確認した⁸⁰⁾。プレス成形における潤滑の重要性を明らかにし、Kコート鋼板の開発に寄与した⁸¹⁾。

高張力冷延薄鋼板のプレス成形性と成形品については、材料降伏強度と深絞り性、張出し性、伸びフランジ性やしわ不良との関係、成形品の形状性、張り剛性および耐デント性との関係を解明した⁸²⁾。この結果は、最近の2相混合組織高張力鋼板の開発にも活用されている。

ブリキ板を円筒に深絞りした後のしごき加工につき、限界絞り比としごき加工限界圧下率の近似式を導き、これに及ぼす成形条件および材料特性の影響を理論と実験の両面から明らかにした。また、カーリング加工性についても研究し、DI缶用ブリキ原板の製造技術の確立に寄与した^{83,84)}。

薄板のロール成形性と材料特性との関係について検討し、弾性限度力が大きく、降伏点におけるポアソン比の小さい材料ほどポケットウェイブなどの形状不良が発生しない⁸⁵⁾。

- 1) 伊藤、中沢、中里、大橋：川崎製鉄技報，5 (1973)，224
 2) 伊藤、大橋、中沢、中里：鉄と鋼，59 (1973)，S210
 3) 西田、徳本、大橋、中沢、福島：鉄と鋼，61 (1975)，S140
 4) 高橋、加藤、佐藤、森：川崎製鉄技報，8 (1976)，276
 5) I.Takahashi, T.Kato, T.Tanaka and T.Mori: 106th AIME Annual Meeting, Atlanta, March, 6 (1977). [AIME]
 6) 加藤、高橋、西田、田中、森：鉄と鋼，63 (1977)，S299
 7) 西田、

- 加藤, 大橋, 中里, 森: 鉄と鋼, 59 (1973), S634
 549 9) 西田, 加藤, 大橋, 森: 鉄と鋼, 63 (1977), 1116 10) 浦山, 岡本, 小川, 伊藤, 森田: 鉄と鋼, 61 (1975), S250 11) 坂元, 伊藤, 岩崎, 池田, 井上: 鉄と鋼, 64 (1978), S263 12) 伊藤, 坂元, 佐伯, 齊藤, 滝沢, 東野: 鉄と鋼, 64 (1978), S806 13) 伊藤, 小島, 蕨野, 江口, 三宅, 吉柳: 鉄と鋼, 64 (1978), S807 14) 小西, 大橋, 有馬: 日本金属学会講演概要, (1970), 94 15) 小西, 大橋, 有馬: 鉄と鋼, 58 (1972), S271 16) 小西, 大橋, 有馬: 再結晶部会資料 鉄再 19, (1971) 17) 小西, 大橋, 有馬: 川崎製鉄技報, 5 (1973), 164 18) 小西, 大橋, 有馬: 鉄と鋼, 59 (1973), S200 19) 小西, 大橋, 有馬: 鉄と鋼, 59 (1973), S648 20) 小西, 大橋, 有馬: 再結晶部会資料 鉄再 36, (1972) 21) 小西, 大橋, 有馬: 再結晶部会資料 鉄再 50, (1973) 22) 小西, 大橋, 有馬: 鉄と鋼, 62 (1976), S697 23) 小西, 小原, 大橋, 吉田: 鉄と鋼, 62 (1976), S695 24) 小西, 小原, 大橋: 鉄と鋼, 67 (1976), S696 25) 小原, 小西, 田中, 大橋: 鉄と鋼, 63 (1977), S243 26) 小原, 小西, 田中: 鉄と鋼, 63 (1977), S867 27) M.Konishi, T.Obara, T. Tanaka and N.Ohashi: 5th International Conference on Textures of Materials, (1978) 28) 小西, 橋本, 吉田, 大橋: 鉄と鋼, 60 (1974), S338 29) 特開昭52-22516 30) 特開昭53-31515 31) 特開昭53-31518 32) 橋本, 小西, 大橋: 鉄と鋼, 61 (1975), S770 33) 橋本: 鉄と鋼, 63 (1977), S868 34) 坂元, 伊藤, 岡田, 上田: 鉄と鋼, 63 (1977), S312 35) 岩崎, 坂元, 伊藤: 鉄と鋼, 64 (1978), S264 36) 井口, 西田, 小西, 大橋, 佐々木, 後藤: 鉄と鋼, 58 (1972), S276 37) 西田, 井口, 小西, 大橋: 鉄と鋼, 59 (1973), S194 38) 井口, 西田, 小西, 大橋: 鉄と鋼, 59 (1973), S657 39) Y.Inokuti: Trans. ISIJ, 15 (1975), 315 40) Y.Inokuti: ibid, 324 41) 特開昭48-11222 42) 特開昭48-11223 43) 特開昭48-48317 44) 特開昭48-44140 45) 特開昭48-48318 46) 特開昭48-52610 47) 特開昭48-52646 48) 小西, 有馬, 田中: 鉄と鋼, 63 (1977), S311 49) 小西, 有馬, 小原, 田中: 鉄と鋼, 64 (1978), A171 50) 日本特許 867840 51) 中里, 大西, 久我, 小西: 鉄と鋼, 61 (1975), S170 52) 小西, 吉田, 大橋: 鉄と鋼, 59 (1973), S655 53) 小西, 吉田, 大橋: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 395 54) M.Konishi, M.Nishida and N.Ohashi: 8th Biennial Congress of IDDRG, (1974) 55) 小西, 小原, 田中: 鉄と鋼, 63 (1977), S874 56) 小西, 小原, 田中, 大橋: 鉄と鋼, 65 (1979), A97 57) 大橋, 高橋, 橋口, 吉川: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 415 58) 大橋, 高橋, 橋口: 塑性と加工, 17 (1976), 883 59) N.Ohashi, I.Takahashi and K.Hashiguchi: Trans. ISIJ, 18 (1978), 321 60) M.Nishida, K.Hashiguchi, I.Takahashi, T.Kato and T.Tanaka: 10th Biennial Congress of IDDRG, (1978) 61) 橋口, 高橋, 大橋: 鉄と鋼, 60 (1974), S488 62) 橋口, 高橋, 大橋: 鉄と鋼, 61 (1975), S773 63) 加藤, 西田, 橋口, 田中: 鉄と鋼, 64 (1978), S755 64) 大橋, 高橋, 橋口, 橋本: 鉄と鋼, 62 (1976), A127 65) 橋口, 高橋, 大橋: 鉄と鋼, 62 (1976), S312 66) 高橋, 安田, 大橋: 鉄と鋼, 60 (1974), S540 67) 高橋, 安田, 伊藤, 大橋: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 189 68) 高橋, 高崎: 鉄と鋼, 64 (1978), S778 69) 特開昭49-4644 70) 特開昭51-22632 71) 安田, 高橋, 田中: 鉄と鋼, 63 (1977), S201 72) 芳賀, 久々湊, 今井, 伊藤: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 201 73) 芳賀, 今井, 久々湊, 高橋: 鉄と鋼, 61 (1975), S279 74) 高橋, 大橋, 中里: 鉄と鋼, 61 (1975), S162 75) K.Nakagawa: La Metallurgia Italiana, (1968), 667 76) K.Nakagawa, S.Okazaki: Trans. ISIJ, 11 (1971), 908 77) 中川, 岡崎: 川崎製鉄技報, 3 (1971), 1 78) 阿部, 中川: 塑性と加工, 13 (1972), 949 79) K.Nakagawa: 7th Biennial Congress of IDDRG, (1972), 80) 阿部, 中川: 塑性加工講演会論文集, (1975), 121 81) 原田, 阿部, 細田, 近藤, 山根, 村居: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 380 82) 阿部, 中川: 川崎製鉄技報, 5 (1973), 210 83) 阿部, 北村, 中川, 久々湊: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 42 84) H.Abe, T.Imae, K.Kitamura and K.Nakagawa: 9th Biennial Congress of IDDRG, (1976) 85) 比良, 阿部, 中川, 小泉, 成田, 佐伯: 塑性加工連合講演会論文集, (1978), 384

8. 珪素鋼

8-1 方向性珪素鋼とその絶縁被膜

昭和48年に磁束密度、鉄損、磁歪特性が従来の方向性珪素鋼に比し、著しくすぐれているRG-Hを開発した。RG-Hの製造工程は従来の2回法工程を基本とし、(1)SeあるいはSとSbとの複合添加による粒成長抑制力の強化、(2)最終高温焼鈍工程における低温二次再結晶処理の導入、(3)低熱膨張組成の絶縁コーティングの塗布、などの新しい技術を導入し完成された¹⁻⁴⁾。この開発には、インヒビターとして含有されるMnSeやMnSの挙動とその役割、鋼中に含まれる多くの不純物元素の電磁特性に及ぼす影響、熱延・冷延集合組織と二次再結晶との関係、などの基本事象の解明が支えとなっている。その後も連続鋳造による工程簡略化や品質の向上を達成している。

方向性珪素鋼の絶縁皮膜については、均一性、密着性のよいフィロステライト被膜を得るため、まず脱炭焼鈍の前工程に関し、鋼板の表面状態と酸化挙動との関連を明らかにした。また、脱炭焼鈍工程の雰囲気酸化性と鋼中含有元素が、脱炭および酸化反応に及ぼす影響を調べた^{5,6)}。焼鈍分離剤については活性度と含有元素について検討し、最終高温焼鈍雰囲気や、加熱条件の影響を明らかにして良質の被膜を得ることができた。

上塗りコーティングとしては、低熱膨張ガラス質皮膜(Mコーティング)を開発した^{4,7)}。MコーティングはSiO₂-MgO-P₂O₅を主成分とし、鋼板に引張応力を与えることにより、高磁束密度方向性珪素鋼RG-Hの磁気歪の歪感受性を著しく改善した。

RG-Hの製造技術はスウェーデンやフランスの

有力珪素鋼メーカーにも技術輸出された。

8-2 無方向珪素鋼とその絶縁被膜

低鉄損化の要請に対し、当社では微量の不純物元素が粒成長性に及ぼす影響や、無方向性珪素鋼の適正集合組織形成条件を種々検討し、(1)微量の希土類元素を添加して鋼中のSを固定して粒成長を促進させ^{8,9)}、(2)冷延2回法工程における、中間焼鈍の高温化、最終強冷延法の採用によって(hk0)[001]を主方位とする高磁場特性のすぐれた無方向性珪素鋼板を開発した¹⁰⁻¹³⁾。この新製品はS-09より鉄損が低く、磁束密度が高い。圧延方向および圧延直角方向の鉄損の平均値は方向性珪素鋼板のそれよりすぐれており、従来方向性珪素鋼が使用されていた2極タービン発電機の鉄心としても適している。

電磁鋼板の絶縁皮膜に対する、打抜性や溶接性の改善要求に応えるため有機樹脂の利用を検討し、クロム酸塩系皮膜の上にワニスを薄く処理した三重皮膜のCコーティングを開発した^{14,15)}。これによって、工具鋼ダイスで100万回以上の打ち抜きが可能になり、従来の燐酸塩系あるいはクロム酸系無機質被膜に比べ、打ち抜き性が10~40倍に向上した。また、溶接性の向上とCコーティングの1回処理化をはかるべく、クロム酸塩水溶液に樹脂エマルジョンを配合したC1およびC2コーティングを相次いで開発した¹⁶⁻¹⁸⁾。特に、C2コーティングは特殊エマルジョンを配合することによって生成する微細な凝集粒子を被膜中に分散させ、表面粗度を大きくしたことにより120cm/minの高速溶接が可能になった。この被膜のもう一つの特長は歪取焼鈍後でも高い層間絶縁抵抗を有するために、従来の被膜にみられた鉄心同志の融着(スティッキング)による磁気特性劣化が防止された。

- 1) 的場、今中、松村、後藤、市田、菅、小林、福田、平田：川崎製鉄技報，7 (1975)，39 2) 特公昭51-13469
 3) I.Goto, I.Matoba, T.Imanaka, T.Goto and T.Kan : Proc. E.P.S Conf., 3 (1975), 265 4) H.Shimaka, I.Matoba, T.Ichida, S.Kobayashi and T.Funahashi : Proc. E.P.S Conf., 3 (1975), 269 5) N.Morito and T.Ichida : Scr., 10 (1976), 619 6) N.Morito and T.Ichida : Corr. Sci, 17 (1977), 961 7) 特開昭50-79442 8) 特開昭51-62115 9) 特開昭52-156124 10) 特開昭51-151215 11) 入江、松村、中村、荻野：川崎製鉄技報，10 (1978)，15 12) 嶋中、入江、松村、荻野、中村：電気学会全国大会論文集3，S5-2 (1977)，107 13) 入江：昭和53年電気四学会連合大会講演論文集1，(1978)，121 14) 入江、丹田、中野：川崎製鉄技報，10 (1978)，15 15) 入江：特殊鋼，19 (1970)，12 16) 特開昭53-79296 17) 特開

昭50-12140 18) 特公昭52-48586

9. 鋼 管

9-1 大径鋼管

UOE 鋼管成形の各段階における材料の力学的変形挙動について、曲げ理論による解析を行い、操業条件の確立に寄与した¹⁾。

UOE 鋼管の性質に関しては成形による引張および衝撃特性の変化について、成形時の繰返し加工による塑性挙動の変化を明らかにし^{2,3)}、鋼管成形後の降伏応力、引張強さおよび応力-ひずみ挙動を成形前の素材の応力-ひずみ曲線から推定する方法を確立した⁴⁻⁸⁾。さらに鋼管の衝撃試験における延性-脆性遷移温度も素材の応力-ひずみ曲線から推定できることを示した^{9,10)}。これに関し、制御圧延材においては造管工程でのわずかな冷間ひずみによって結晶方位の回転が起こり、この方位回転がセパレーションの変化を通して衝撃特性に大きい影響を与えることを明らかにした¹⁰⁾。一方、UOE 鋼管の降伏応力を機械式抜管時の圧力から推定する管理試験法についても検討を行い、±12%の精度で推定可能なことを示した¹¹⁾。

鋼管の成形による残留応力の低温実管破壊特性に及ぼす影響は小さく、またこのときの破壊応力は、脆性破壊域では COD 値から計算した破壊応力に対応し、遷移領域および延性破壊領域では引張試験の破壊応力に対応することを明らかにした¹²⁾。

鋼管の耐食、耐摩耗性の調査、研究にもとづき、スラリーや都市ごみ等に適した耐食、耐摩耗鋼管の製造法を確立した¹³⁻¹⁶⁾。

9-2 継目無鋼管

電縫鋼管による油井管やラインパイプの製造分野で、熱処理新技術として誘導加熱法の採用が検討されてきたが、短時間加熱が鋼管の品質向上に著しい効果を与えることが認められたため、昭和49年、小径管熱処理のためのパイロットプラントを建設、鋼管を誘導加熱する際に生じる端面および断面効果による温度分布の特性と均熱の機構を明らかにした¹⁷⁾。同プラントで開発された焼入れ

リング、均熱方法などは昭和51年完成した小中径継目無鋼管用焼入れ焼戻し設備に採用された¹⁸⁾。鋼管の誘導加熱熱処理は、鋼の組織の微細化、真円度などの寸法精度の向上を通じて新製品の開発を可能にし、耐SSCC性の優れた油井管や高コラプス強度を有する高張力油井管¹⁹⁾、高強度・高靱性を有する中径シームレスラインパイプ、などの開発に結びついた。

9-3 電縫鋼管

石油、天然ガスラインパイプ、油井管、ボイラー管や機械構造用管など使用条件の厳しい高級管の分野への電縫鋼管の進出という最近の情勢に対応して電縫管の製造技術と品質の研究を進めてきた。

中径電縫鋼管においては、特に厚さ/外径比の小さい高強度管の平板展開引張り試験時の降伏強度の低下が大きいので、パウシンガー効果の予歪み依存性を明らかにするとともに、成型歪み履歴の差を考慮した降伏強度予測方法を確立し素材コイルの成分設計に反映させた²⁰⁻²²⁾。また、高 Mn 材で溶接面に生じるペネレーター欠陥と造管条件(速度、入熱)の関係把握するとともに、ペネレーター組成が素材の Mn/Si 比に著しく依存することを明らかにし、ビード部に排出され易い低融点ペネレーター組成を得るに最適な Mn/Si 比の範囲を求めた^{23,24)}。

溶接現象に関しては、HAZ 形状が V シェイプ部に流れる電流や溶接速度などの影響を著しく受け、溶接品質に密接な関係を有するので、各造管条件における V-シェイプの各位置での HAZ 形状変化を測定し、伝熱計算により温度分布を求めるなど、基礎的な知見を得た^{25,26)}。

また、溝食に及ぼす材質および環境因子の影響を検討し、耐溝食性電縫鋼管を開発した²⁷⁻³⁰⁾。

9-4 被覆鋼管

電電公社向け2層ポリエチレン被覆鋼管の開発を行った。これは従来のアスファルトジェート巻鋼管に替るもので、昭和47年に知多工場内にテストプラントを設置して製造条件を検討し、工率上や品質上の問題点を解決して実用化した。

水道用鋼管としては、原水の水質悪化に伴う水道水の白水、赤水の問題に対処するため、それまで使用されていた亜鉛めっき鋼管の代りとして、ポリエチレン粉体塗装で内面被膜した無公害鋼管の開発を行った。ポリエチレン層の密着性、膜厚とピンホールの関係、塗膜のレベリングおよび塗膜の水質への影響などをとくに重視し、実用化のための適正材料の決定や製造条件の検討を行った。

現在 KFP の商品名で市販されている。

9.5 環境脆化

硫化水素を含む、いわゆるサワーガス輸送ラインでの水素誘起割れの機構を解明し、その防止策として REM または Ca 添加による介在物の形態制御が最も有効であることを見出し、耐水素誘起割れ鋼管を開発した³¹⁻⁴²⁾。

- 1) 阿部, 中川: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 489 2) 高田, 杉江: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 14 3) I.Takada and E.Sugie: Trans. ISIJ, 16 (1976), 531 4) 高田, 杉江, 蓮野: 鉄と鋼, 61 (1975), S581 5) 高田, 杉江, 蓮野: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 400 6) T.Tanaka, T.Funakoshi, M.Ueda, J.Tsuboi, T.Yasuda and C.Utahashi: Int. Symp. High Strength Low Alloy Steels, (1977), 399 7) 高田, 杉江, 蓮野: 鉄と鋼, 62 (1976), S599 8) 高田, 杉江, 蓮野: 川崎製鉄技報, 9 (1977), 42 9) 高田, 片岡, 山口: 鉄と鋼, 64 (1978), S552 10) 高田, 片岡, 山口: 川崎製鉄技報, 11 (1979), 投稿中 11) 阿部, 杉江, 大坪, 片岡, 中村, 大谷, 中沢: 鉄と鋼, 64 (1978), S266 12) E.Sugie, J.Kudo, Y.Kataoka and T.Ohtani: Int. Conf. on High Strength Low Alloy Steels, (1979) 13) 特開昭 52-127428 14) 特開昭 52-127429 15) 特開昭 53-46445 16) 特開昭 53 142912 17) 滝谷, 山県, 黒川, 西, 田上: 鉄と鋼, 62 (1976), S686 18) K.Takitani, M.Yamagata, H.Kurokawa, H.Nishi, T.Taue and Y.Morisaki: Mechanical Working and Steel Processing (ISS of AIME), XVI (1978), 166 Chicago, U.S.A., 19) 蓮野, 滝谷, 江島, 野崎, 西: 鉄と鋼, 65 (1979), S337 20) 横山, 大坪, 山県, 杉本: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 23 21) 横山, 大坪, 山県, 杉本: 鉄と鋼, 61 (1975), S582 22) 大坪, 横山, 山県: 鉄と鋼, 61 (1975), S583 23) 横山, 山県, 嘉納, 渡辺: 鉄と鋼, 63 (1977), S650 24) 横山, 山県, 嘉納, 渡辺: 川崎製鉄技報, 10 (1978), 23 25) 横山, 石本, 江島, 渡辺: 鋼管部会第23回溶接管分科会, (1978) 26) 横山, 石本, 江島, 渡辺: 鉄と鋼, 64 (1978), S904 27) 栗柄, 久野: 腐食防食協会春期大会講演要旨集, (1977), 85 28) 栗柄, 久野, 原田: 腐食防食協会春期大会講演要旨集, (1978), 16 29) 栗柄, 久野, 原田, 井田: 鉄と鋼, 64 (1978), 447 30) 特開昭 53 100119~100121, 53-100158 31) 中井, 元田, 山口: 鉄と鋼, 61 (1975), S239 32) 中井, 元田, 山口: 鉄と鋼, 61 (1975), S240 33) 西田, 加藤, 田中: 鉄と鋼, 63 (1977), S291 34) 中井, 藤原, 内藤: 鉄と鋼, 63 (1977), S175 35) 井田, 江見, 白石: 鉄と鋼, 63 (1977), S173 36) 倉橋, 中井: 鉄と鋼, 64 (1978), S292 37) 中井: 鉄と鋼, 64 (1978), S291 38) 中井, 井田, 江見, 藤原, 白石: 鉄と鋼, 65 (1979), A23 39) Y.Nakai, O.Haida, T.Emi, H.Mottate and K.Hirose: ME-NACE Corrosion Conf. Bahrain, (1979) 40) 特開昭 53-14606 41) 特開昭 53 14607 42) 特開昭 53-106318

10. 表面処理鋼板

10.1 ぶりき, ティンフリー・スチール

電気ぶりきの食肉部門への進出に際し、ぶりきの光沢異常、木目模様などの欠陥を解決する¹⁾とともに、高耐食性ぶりきの製造法の研究を行った^{2,3)}。また、塗装密着性を向上させる目的で表面酸化膜の形態を調べ⁴⁾化学処理条件を与えた。また、耐硫化性、耐スマッジ性の改良を行った^{5,6)}。連铸素材

の添加元素である Si, Al のぶりきの耐食性への影響を調査し、Si の悪影響を明確にした。さらにぶりき原板の製造工程条件による表面への諸元素の濃縮と、めっき工程でのそれら濃縮元素の挙動を追跡し、ぶりきの表面特性への影響を解明した。

また、ティンフリー・スチールの商業生産に先立っては、実験室的研究により製造条件の検討を行った。ティンフリー・スチールの低温硬化型塗料の塗膜密着性向上のため、高分子物質を主体とする表面処理方法を開発した⁷⁻⁹⁾。

一方、ふりき、およびティンフリー・スチールについて、内容食品の種類ごとに実缶試験により Sn, Fe, Cr の溶出量測定、味などの官能テストとその結果の統計的判定、色調の測定、混在微生物の試験などを行った¹⁰⁾。対象とした食品は魚介、野菜、果実、ジュース、炭酸飲料など10類で、これらの結果を製造にフィードバックして品質の向上に役立てた。ジュース類などにおいて味、色調などを良好と保つために必要な Sn の溶出を塗装によって調節すべく、塗料の選択および塗装方法の改良を行った¹¹⁾。イージーオープン缶蓋の新製品を開発した^{12,13)}。食缶内面塗膜の耐水性につき、応力緩和法を拡張して塗膜構造と耐水劣化性との相関性を明らかにした¹⁴⁾。

10-2 亜鉛めっき鋼板

溶融亜鉛めっき鋼板の用途が多様化し高品質化が求められる一方、連鑄材や高張力鋼も素材として用いられるようになり、めっきの密着性が問題となってきた。焼鈍時（めっきライン内焼鈍を含む）の鋼板表面への鋼中諸元素の濃化、析出の悪影響を迎えるため焼鈍条件、亜鉛浴中の有効 Al 濃度の増加¹⁵⁻¹⁷⁾、めっき前処理¹⁸⁾などを検討し、対策を示した。

合金化亜鉛めっきに関しては、加熱条件による合金構造と耐食性について検討し、生産操業に寄与した。

自動車の防食のための片面亜鉛めっき鋼板の要求に対応して、溶融亜鉛めっきでは、剥離の容易なめっき阻止剤を用いる片面めっき技術を開発¹⁹⁾し、また電気めっきにおいては、片面厚目付けのための裏面へのめっき廻り込み防止技術などを確立した。

亜鉛めっき鋼板のクロメート処理については、液組成^{20,21)}、電解処理などを検討し、有効な処理法を見出した。また、合金化亜鉛めっき鋼板の高耐食性クロメート処理剤を開発し、実用に供した。

10-3 亜鉛-アルミ複合電気めっき鋼板

電気亜鉛めっきの耐食性を飛躍的に向上させるものとして Al 粉末を分散した特殊な亜鉛めっき浴からの複合めっきが極めて効果のあることを見出し、Al 共析の安定した複合めっき技術を確立した²²⁻²⁴⁾。

10-4 アルミニウム被覆鋼板

真空蒸着パイロットラインにより Al 蒸着の主要な技術的問題点を解決した²⁵⁻²⁷⁾。

一方、粉末法 Al 被覆鋼板については、ふくれ防止と密着性向上に極めて有効な極薄 Zn 予備めっき法を見出し²⁸⁾、すぐれた諸特性を与える製造方法を確立した²⁹⁾。

10-5 ジンクリッチプライマー塗装鋼板

自動車用表面処理鋼板として高耐食性ですぐれた被膜加工性を有する塗装鋼板¹⁰⁾(KZコート鋼板)を開発した。この製品は特殊な磷酸塩被膜の上に加工性・耐食性のすぐれた含亜鉛樹脂を塗装焼付けしたもので、とくにプレス加工時の耐被膜剥離性が優れている。また、ジクロメタルの製造に関し、製造条件の表面特性に与える影響を調べ、生産操業に寄与した。

10-6 固型潤滑剤被覆鋼板

自動車メーカーにおける油公害、作業環境の改善などの目的で固型潤滑剤被覆鋼板の要求が生じ、プレス成型性、防錆性、除去性、溶接性などの良好な常温固形のワックスタイプの潤滑剤被覆鋼板“Kコート鋼板”を開発した³⁰⁾。

10-7 耐さび性鋼板

冷延鋼板の焼鈍時における鋼中不純物元素の表面濃化を迎える方法として Feめっき³¹⁻³³⁾、Fe-Sn³⁴⁾めっきなどを行うと耐さび性が改良されることを見出した。また、鋼板表面に安定な不動態皮膜を形成させる技術を開発し、耐さび性がすぐれているうえ、色調(テンパーカラー)がない)塗装性のすぐれた鋼板(仮称 SPS 鋼板)を開発した³⁵⁾。

- 1) 特公昭 51-2899 2) 特公昭 51-20013 3) 特開昭 49-123443 4) 吉原、原田、木村、：第51回金属表面技術講演大会、(1975)、B8、B9 5) 吉原、木村、原田：第56回金属表面技術講演大会、(1977)、B8
6) 特開昭 51-92739 7) 特開昭 51-63328 8) 特開昭 51-119338 9) 特開昭 52-91747

- 10) 田波：日本公衆衛生雑誌、19 (1972)、52 11) 特開昭 48 97591 12) 実開昭 49 44667
 13) 実用新案 121151 14) 小菅、津川：高分子論文集、32 (1975)、252 15) 特開昭 52 49937
 16) 特開昭 52 52835 17) 大和、後藤、高村：第52回金属表面技術協会学術講演大会、(1975)、A21
 18) 特開昭 53-43629 19) 特開昭 52 146730 20) 特公昭 49-9021 21) 特開昭 48 9937
 22) 特開昭 51-143534 23) 吉原、木村、原田：第57回金属表面技術協会学術講演大会、(1978)、B27
 24) 木村、吉原、原田：第57回金属表面技術協会学術講演大会、(1978)、B28 25) 特公昭 46 4047 26) 特
 公昭 46 39445 27) 浜田：金属材料、10 (1970)、61 28) 特公昭 52 12629 29) 浜田、久保、原田：
 第58回金属表面技術協会講演大会、(1978)、C24 30) 特開昭 53-60340 31) 特開昭 49 123937
 32) 特開昭 50-109138 33) 特開昭 51 54842 34) 特開昭 51 24351 35) 特開昭 53-46447

ト鋼単結晶の冷延・再結晶組織についても詳細に検討した¹³⁾。

11. ステンレス鋼・高合金鋼

11.1 ステンレス鋼

11.1.1 フェライト系ステンレス鋼

SS-VOD法など当社独自の製鋼技術の進歩によって極低炭素の材料が容易に得られるようになったため、これを利用して種々の高級フェライトステンレス鋼を開発した。その代表的なものは、SUS 430 の加工性溶接性を飛躍的に改善したR 430LT (Ti添加17% Cr 鋼)¹⁻³⁾およびその耐食性を向上させたR434LT-1 (Ti添加18%Cr-1%Mo 鋼)⁴⁾、R434LN-1 (Nb添加 18%Cr-1%Mo 鋼)⁴⁾、R434LT-2 (Ti添加 18%Cr-2%Mo 鋼)⁴⁾、R434LN 2 (Nb添加 18%Cr-2%Mo 鋼)⁴⁾など一群の18%Cr-Mo 鋼、さらに一段と高級な SHOMAC・RIVER26-1 (Nb添加26%Cr-1%Mo 鋼)⁵⁾である。これらについては、溶接部の靱性および耐食性を改善するために、適正成分の検討⁶⁻⁷⁾を行うとともに、塩化物水溶液中での長時間浸漬試験などを行って孔食や隙間腐食の挙動を調べ実環境での特性を把握した^{8,9)}。

一方、通常のSUS 430鋼については、孔食の起点がCaSのような非金属介在物のあることを見出しこれをもとに耐錆性のよい鋼の製造技術を確立した¹⁰⁾。また粒界腐食機構についても研究し¹¹⁾、その原因である粒界のCr-depletion zoneを修復させるための熱処理条件を検討して、これが因で生ずる表面欠陥の防止方法を確立した¹²⁾。さらにリッジングの機構解明に関連して、〈110〉軸を圧延方向もしくはそれと異なる方向にもつフェライ

11.1.2 オーステナイト系ステンレス鋼

成形性に対する加工誘起変態やオーステナイト安定度 (Md₃₀) の影響を研究し¹⁴⁻¹⁷⁾、SUS 304 鋼よりも格段にプレス成形性がよく、深型シンクや一体成形バスタブ材に適した材料、R 304UD (Cu 含有14%Cr-7%Ni 鋼)を開発した¹⁸⁾。またステンレス鋼のプレス方法についての研究を行い、材料のフランジ部を加熱し、ボンチ接触部を水冷するとともに、新しく開発した適切な潤滑剤を使用することによって著しく優れた深絞り性を賦与することが可能なことを見出した¹⁹⁾。さらに従来から深絞り成形に際して問題となっている置割れの機構²⁰⁾、引張性質、とくにγ値に対する集合組織の影響²¹⁾についても基礎的な観点から詳細な研究を行った。

Ni 省資源のための高Mn オーステナイトステンレス鋼の開発は、主として耐酸化性の改善に重点をおいて検討し、低炭素 REM 添加鋼にその成果をみた。また近年 LNG 地下タンクのメン・ブレンなど極低温で使用されるSUS304鋼について、溶接部の低温引張性質や皮労性質を含め種々の角度から検討しその特性を把握した。

11.1.3 マルテンサイト系ステンレス鋼

オートバイのディスクブレーキには規格鋼としてはSUS 420 J2が使用されているが、ユーザーからの希望もあって Cr 含有量を高めた HCS 16 (0.3%C-16%Cr 鋼)の製造技術を確立した。現在ではこの材料が主流となっている。またコンテ

ナーのような溶接構造用材料として、Niの添加なしに溶接部の靱性を改良した R410DH (極低炭素、Cu 含有、11%Cr鋼)を開発した。

11・1・4 耐酸化ステンレス鋼

自動車排ガス浄化装置など耐熱耐酸化性を必要とする用途に適切なステンレス鋼を開発するため、くり返し加熱での酸化抵抗に対する成分の影響を検討し、ALT-15 (15%Cr-3%Al REM鋼)²²⁾、R409SR (高Si-11%Cr Ti鋼)²³⁾、およびRXM-15 (高Si-20%Cr-13%Ni-REM鋼)²⁴⁾を開発した。このうちR409SRはクリーンヒーター燃焼筒などの材料として実績をあげている。

11・2 高合金鋼

11・2・1 マルエイジング鋼

INCO 社の特許にもとづき、東大宇宙研究所および三菱重工(株)の協力を得て、宇宙開発用ロケットの胴体を使用するHT200V (18%Ni-マルエイジング鋼)鋼板の製造技術を確立するとともにその特性について検討した²⁵⁾。また価格低減のためNiの一部をCuで置換した材料の開発も行った²⁶⁾。

11・2・2 13Mn鋼, サイレントアロイなど

昭和45年の知多工場における継目無鋼管圧延設備の導入を前にして、圧延に使われるマンドレルバー (SKD-6)の自社製造技術を確立した。またリニアモーターカーの軌道スラブ用非磁性鉄筋 (13%Mn鋼)の製造技術を確立した。その他、東京芝浦電気(株)の特許にもとづく防振合金サイレントアロイ (12%Cr-3%Al鋼)の商用生産を可能にした。

- 1) 木下:特殊鋼, 21 (1072), 7 2) 日本特許 849392 3) 小野:金属材料, 17 (1977), 18 4) 大橋, 小野, 増尾, 竹田, 西山:川崎製鉄技報, 9 (1977), 83 5) S.Iwaoka, H.Kaito, T.Ohtani, N.Ohashi, M.Takeda and N.Kinoshita:Stainless Steel, a global forum paper 10, London, (1977) 6) 吉岡, 竹田, 木下, 小野, 大橋:鉄と鋼, 63 (1977), A135 7) 吉岡, 竹田, 木下, 小野, 大橋:日本金属学会シンポジウム予講, (1978)
- 8) 増尾, 小野, 大橋:川崎製鉄技報, 8 (1976), 90 9) 増尾, 小野, 大橋:防食技術, 26 (1977), 573
- 10) 木下, 大橋, 竹田:鉄と鋼, 57 (1971), 2152 11) 竹田, 吉岡, 小野, 大橋:鉄と鋼, 63 (1977), 622
- 12) 特開昭 52-85918 13) 橋本, 大橋, 藤元:鉄と鋼, 57 (1971), 1155, 1167 14) 野原, 小野, 大橋:鉄と鋼, 63 (1977), 772 15) 野原, 小野, 大橋:鉄と鋼, 63 (1977), 812 16) K.Nohara, Y.Ono, and N.Ohashi:1st JIM International Symposium on New Aspects of Martensitic Transformation, Kobe Japan, (1976); Supplement to Trans. JIM, 17 (1976), 315 17) 成谷:鉄と鋼, 64 (1978), A41 18) 大橋, 小野, 野原, 宮脇, 渡辺:川崎製鉄技報, 9 (1977), 33 19) 野原, 小野, 大橋, 山田, 有山:鉄と鋼, 64 (1978), S718
- 20) 岡, 木下, 的場:鉄と鋼, 62 (1967), S627 21) 岡, 木下, 大橋:鉄と鋼, 61 (1975), S772 22) 小野, 佐藤, 川崎, 岡, 大橋:川崎製鉄技報, 7 (1975), 21 23) 川崎, 佐藤, 小野, 大橋:川崎製鉄技報, 8 (1976), 1
- 24) 小野:ステンレスの応用・加工, 4 (1976), 14 25) 佐藤, 小野, 大橋:川崎製鉄技報, 4 (1972), 60
- 26) 日本特許 791923

12. 条 鋼

12・1 線材・棒鋼

高力ボルト用¹⁾、タイヤコード用²⁾素材を開発し、現在はいずれも連铸で製造する技術を確立した³⁾。また本四連絡橋公団の要望に応じて防錆処理高力ボルトセットを開発し、実用化に備えている⁴⁾⁶⁾。

タイヤコードについては、Cu-Zn 2重めっきを熱拡散する黄銅めっきの条件の検討、めっき後の新しい表面処理法の開発⁷⁾を行うとともに工程におけるプレフォーム加工について安定条件⁸⁾を見出して品質の向上に寄与した。

鉄筋用異形棒鋼では、太径⁹⁾および非磁性材を実用化し、後者は、国鉄の磁気浮上式実験鉄道に大量に試用された。PC工法による構造物の使用増大に応じて、ヘッドイング性、ねじ転造性、点溶

接性などの条件を十分に満足する PC 鋼棒の開発、実用化に成功した¹⁰⁾。また軸受鋼では、従来の電炉に代わる LD-LRF 工程による量産体制を確立した¹¹⁾。細引き用軟鋼線材には、従来低炭リムド鋼が充てられていたが、連铸化を志向して、低炭、低窒素鋼を開発した¹²⁾。さらに熱間圧延棒鋼の降伏応力経時変化についての考察を行った¹³⁾。

高炭素鋼線の捻回特性に及ぼす諸要因を明白にし、捻回特性ひいては加工性のよい高炭素鋼の製造技術を確立した¹⁴⁾。

自動車用シートのジグザグバネの応力-たわみの関係を明かにし、バネ鋼開発のための基礎資料を得た¹⁵⁻¹⁷⁾。

- 1) 佐々木、峰、倉橋、浅川：川崎製鉄技報、7 (1975)、47 S94 2) 大井、大坪、中川、松野、峰：鉄と鋼、63 (1977)、S94 3) 大井、中川、大森、福水、松野：鉄と鋼、63 (1977)、S95 4) 久野、今津、原田：日本鋼構造協会防錆防食小委員会、第1回鉄構造技術懇談会講演予稿集、(1978)、101 5) 特開昭 51 37378 6) 特開昭 52-134965 7) 特開昭 53-106853 8) 篠原、新井：川崎製鉄技報、8 (1976)、48 9) 嶋、松岡、浅川、佐々木、村木：川崎製鉄技報、6 (1974)、149 10) 原、佐々木、篠原、内田：川崎製鉄技報、3 (1971)、103 11) 江本、山本、飯田、大井、西岡：鉄と鋼、63 (1977)、2043 12) 峰、藤田、佐々木、船越、浅川、山本、上杉：鉄と鋼、65 (1979)、S393 13) 峰、藤田、佐々木、船越、中島、小林：鉄と鋼、63 (1977)、S374 14) 篠原、志賀、新井：川崎製鉄技報、2 (1970)、84 15) 篠原、新井：日本機械学会講演論文集、(1974)、740-10、65 16) 篠原、新井：日本機械学会講演論文集、(1975)、750-2、41 17) 篠原、新井：日本機械学会講演論文集、(1975)、750-12、209 18) 吉田、佐々木、近藤：鉄と鋼、63 (1977)、S736 19) 佐々木、近藤、磯辺、橋本、森本：鉄と鋼、62 (1976)、S601 20) 富沢、佐々木、近藤：鉄鋼協会中四国支部第23回講演大会概要、(1978)、22

13. 鋳・鍛 鋼

13-1 鋳 鋼

熱間圧延用ロールについては、アダマイトロールの化学成分の改良、遠心鑄造法の適用、金型直接鑄込み、特殊な熱処理法の研究¹⁻³⁾を行い、ロール原単位、圧延能率や圧延品々質の向上に寄与した。

鑄鉄鑄物については、化学成分や黒鉛分布と表面硬化性の関係^{4,5)}、画像解析装置によるダクティル鑄鉄の黒鉛の球状化率の定量⁶⁾、鋼鑄物については、合金鋼、特殊鋼の鑄造法と品質、黒鉛鋼における黒鉛の球状化機構⁷⁻⁹⁾の研究を行った。

鑄型(鑄物砂)については、無機粘結剤、CO₂ガス型法と無水ほう酸を添加した水溶性塗型材の

12-2 形 鋼

圧延後の不均一冷却により発生する熱応力を解析し、H形鋼の残留応力¹⁸⁾やU形鋼欠板の曲りに対して有力な軽減方法を見出した。さらに形鋼のローラー・ストレートナー矯正時に生じる無用の変形や損傷に¹⁹⁾対して、改善策を講じた。形鋼用素材に連铸鑄片が多用されるようになって、Siキルド鋼のユニバーサル圧延に特有な積層構造を有するスケール疵が発生し、連铸化の障害となったが、メカニズムの解明と防止対策を確立した²⁰⁾。特殊なものとして、前述した浮上式鉄道用の非磁性H形鋼の製品化が挙げられる。

研究¹⁰⁾により、砂かみ欠陥のない自硬性鑄型を開発した。さらに、自硬性ダイカル鑄型の水ガラスのモル比の調整¹¹⁾および型張り欠陥対策¹²⁾について研究を行ってきた。

13-2 鍛 鋼

当社における鍛鋼生産の特色は転炉鋼の使用にあり、独自のLD-RHおよびLD-LRFのプロセスによる優れた鍛造用大型鋼塊の製造技術を確立した^{13,14)}。また、合金鋼大型鋼塊に関し、凝固理論を用いた改善を造塊面に適用して最適鋼塊形状の決定を行った^{15,16)}。さらに、鍛鋼の最高級品といわれるタービンローターシャフト材を、LD-EF-LRF設備の特徴を活かした真空C脱酸処理により製造可能とし¹⁷⁾、圧力容器用フランジ、シェル材では偏析軽減と歩留向上を図るため、中空鋼塊の製造技術を開発し実用化した¹⁸⁻²¹⁾。

一方、材質面ではBの有効活用による超厚肉HT-80 kg/mm²級ベンストック用補剛環、フランジ材として奥清津揚水発電所に使用され、以後多くの実績を挙げている。また、艦船用高降伏点鍛鋼の靱性に関する影響因子を解明し、製品形状に応じた最適条件を適用する製造技術確立²⁾、ESRによる製品をしのぐ特性が得られている。さらに、高温圧力容器用Cr-Mo鋼に関し、系統的研究を続け、その焼もどし脆化特性を改善し、高温強度特性の改善のために直接高温焼入れ法の採用を提唱した²⁶⁾。

た最適条件を適用する製造技術確立²⁾、ESRによる製品をしのぐ特性が得られている。さらに、高温圧力容器用Cr-Mo鋼に関し、系統的研究を続け、その焼もどし脆化特性を改善し、高温強度特性の改善のために直接高温焼入れ法の採用を提唱した²⁶⁾。

- 1) 特公昭 49 19975 2) 渡辺、平野、神崎、有本、勝田、渡辺：川崎製鉄技報、4 (1972)、74 3) 松田、松室、山中、田中、稲葉：川崎製鉄技報、7 (1975)、233 4) 渡辺、山根：日本鋳物協会第88回講演大会、(1975)、48 5) 渡辺、山根：日本鋳物協会第91回講演大会、(1977)、23 6) 渡辺、江島：日本ダクタイル鋳物協会第59回技術委員会資料、(1978) 7) 渡辺、山本木：日本学術振興会鋳物研究第24委員会鋳鉄分科会資料、(1976)、42 8) 渡辺、山根：鉄と鋼、62 (1976)、S305 9) 渡辺、山根：日本鋳物協会第90回講演大会、(1976)、4 10) 特公昭 43 7523 11) 特公昭 48-6691 12) 兼沢、野口、谷川：日本鋳物協会第83回講演大会、(1973)、78 13) 松野、早川、作田：第6回国際自由鍛造会議、(1973)、19 14) 大井、松野、西岡、早川：川崎製鉄技報、4 (1972)、17 15) 松野、大井、作田：第7回国際自由鍛造会議、(1975)、6 16) 松野、大井：鉄と鋼、61 (1976)2、A25-討7 17) 朝生、和申、飯田、内田、狩野、山野辺、馬場：鉄と鋼、65、4 (1979)、S186 18) 飯田、山本、宮井、朝生、松野：鉄と鋼、64 (1978)、S679 19) 飯田、山本、宮井、松野、小沢：鉄と鋼、64 (1978)、S680 20) 和田、富田、朝生、宮井、松野、西岡：鉄と鋼、64 (1978)、S681 21) 小沢、岡野、飯田、山本、朝生、宮井：鉄と鋼、64 (1978)、S682 22) 佐藤、狩野、大井：鉄と鋼、61 (1975)、S596 23) 佐藤、狩野、大井、松居、早川、後藤：川崎製鉄技報、7 (1975)、162 24) 佐藤、狩野、松居、大井：第8回国際自由鍛造会議、(1977) 27 25) 朝生、和申、和田、内田、狩野、船越：川崎製鉄技報、投稿中 26) 佐藤、狩野、榎並、船越：鉄と鋼 講演討論会、(1977) A151-討21

14. 鉄・鋼粉

14-1 還元粉

ミルスケール還元粉の研究¹⁾では主として昭和43年より高密度用鉄粉の製造技術の検討を進めた。仕上還元後、さらに低温の焼鈍処理を行い鉄粉中のN量を低減し、従来の還元鉄粉より圧縮性や他の特性に優れたKIP 270MS鉄粉を開発した²⁾。

また、粗還元工程におけるサカー充填状態でのミルスケール還元機構の理論的解明と固体還元剤の検討を行い³⁾、充填厚みや還元剤のガス化率の還元速度に及ぼす影響を明らかにし、生産性の向上に寄与した。廃酸処理で副生する酸化鉄を原料とした鉄粉の特性についても検討した⁴⁾。

このほか、還元鉄粉の粉体、圧粉体特性^{5,6)}や焼結体を得る際の添加合金元素、焼結条件、その他焼結体の切削加工性に関する研究を行った。

14-2 アトマイズ鉄鋼粉

水アトマイズ法による鉄鋼粉製造試験設備を用

い、アトマイズ条件と鉄鋼粉の特性に関する研究を行った⁷⁾。とくに水ノズルヘッダーに検討を加え、川鉄ペンシルジェット方式⁸⁾を開発した。また、水圧や水量と鉄鋼粉の粒径との関係を調べた⁹⁾ほか、アトマイズ後の鉄鋼粉の取扱¹⁰⁾、仕上還元条件^{11,12)}、鉄鋼粉の特性について検討を行った。これらの結果は昭和53年稼働のアトマイズ鉄鋼粉製造設備の建設や操業に適用された。

14-3 低合金鋼粉とVIDOP

アトマイズ鉄粉の研究と並行して鋼粉の合金成分、組成の検討¹³⁾のほか、低酸素低合金鋼粉の製造方法を開発した。従来の鋼粉に比べ残留酸素量の極めて少ない AISI 4100や8600相当などの鋼粉が得られている。

これら鋼粉を用いた焼結体特性の検討¹⁴⁾をし、さらに焼結鍛造条件¹⁵⁾や鋼粉中の合金炭素量^{13,15)}、熱処理条件¹⁶⁾などが鍛造材の諸特性に及ぼす影響について、従来のベルト式仕上還元で得られた酸素含有量の高い鋼粉と比較検討した。低酸素低合金鋼粉を用いた焼結鍛造材は、同種の溶製鋼材

に比べ、機械的性質、焼入性の点で何ら遜色のないこと^{17,18)}を明らかにした。また、ガス滲炭したCr-Mo鋼粉を用いた焼結材¹⁹⁾および焼結鍛造材の特性²⁰⁾についても検討を進め、さらに、各種焼結材のジョミニー曲線やCCT曲線^{13,20)}を測定した。

これらの低酸素低合金鋼粉を得るため、昭和49年より焼鈍還元処理法²¹⁾とその装置²²⁾の開発を行った。この方法はVIDOP²²⁾と呼ばれ、アトマイズ過程で鋼粉中に合金したCを還元剤として真空中で誘導加熱^{23,24)}を行い、脱酸する方法²⁵⁾である。

なお装置は堅型であり^{25,26)}、近い将来工業化が図られる予定である。

14・4 新技術・新用途

アトマイズ鋼板を用いた数10kgの大型部品を得るためのバック鍛造法の検討や得られた無偏析鍛造材の特性を明らかにした^{27,28)}。アトマイズ純鉄粉の磁性材料面への新しい適用を目指して、小型モーターの鉄心への実用化研究を行っている。

- 1) 森岡：川崎製鉄技報，1 (1969)，65 2) 森岡：粉体および粉末冶金，22 (1976)，247 3) 遠藤，森岡，伊藤：日本金属学会誌，40 (1976)，247 4) 伊藤，森岡，遠藤：粉体および粉末冶金，20 (1973)，147
5) 岸高：川崎製鉄技報，4 (1972)，15 6) 久保，遠藤，伊藤：昭和52年粉体粉末冶金協会春期大会予稿，(1977)，10
7) 岸高，森岡，田村：川崎製鉄技報，3 (1971)，21 8) 特公昭 52-19540 9) 岸高：粉体粉末冶金協会焼結と磁性材料シンポジウム，(1972) 10) 特公昭 53 43148 11) 高城，遠藤，新田，伊藤：昭和52年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1977)，50 12) 遠藤，久保，伊藤：昭和52年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1977)，52 13) 梶永，森岡，新田，桜田，伊藤：川崎製鉄技報，7 (1975)，323 14) 伊藤，小倉，桜田，大村，梶永：昭和53年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1978)，18 15) 梶永，桜田，新田，伊藤：昭和51年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1976)，42 16) 梶永，桜田，小倉，大村，伊藤：昭和51年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1978)，20 17) 梶永，新田，桜田，伊藤：塑性と加工，18 (1977)，268 18) U.S. Patent 3,890,136 (1975)ほか
19) 桜田，小倉，梶永，新田，伊藤：昭和53年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1978)，38 20) 小倉，桜田，大村，梶永，伊藤：昭和53年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1978)，40 21) 特公昭 53 3982，U.S. Patent 3,966,454 (1976)ほか 22) 梶永，小倉，桜田，新田，遠藤，伊藤：鉄と鋼，64 (1978)，S230 23) 遠藤，高城，梶永，伊藤：昭和53年日本金属学会春期大会予稿，(1978)，112 24) 高城，遠藤，今井，梶永，伊藤：昭和53年日本金属学会春期大会予稿，(1978)，112 25) 小倉，桜田，新田，梶永，伊藤：昭和53年粉体粉末冶金協会秋期大会予稿，(1978)，16 26) 特開昭 52-110208 27) U.S. Patent 3,899,821 (1975) 28) 伊藤，梶永，桜田：塑性と加工，18 (1977)，299；プレス技術，15 (1977)，12

15. 溶 接

15・1 厚板の溶接

15・1・1 高張力鋼

調質HT-60，80など高張力鋼の溶接について、溶接材料および鋼板の溶接性の両面から研究を行った。耐割れ性と靱性の向上のためには溶接部におけるガス成分すなわちH，O，Nの制御が必要であり、溶接中におけるこれらガス挙動の解明を中心とした研究を行った。大阪南港連絡橋の製作に関連させ、HT-80鋼の各種溶接おれがおもに水素に起因するものであることを明らかにした^{1,2)}。

さらに、アーク溶接での水素源に関して熔融金属への水素溶解現象³⁾、母材への拡散現象⁴⁾、被覆アーク溶接における水素源の定量的評価⁵⁾、サブマージ・アーク溶接 (SAW) における水素溶解機構⁶⁾などの検討を行い、極低水素系被覆アーク溶接棒ELシリーズや、SAWにおいてフラックスに適量の炭酸塩を含有させることにより著しく水素量を低下させた溶接材料を開発した^{7,8)}。

一方、溶接金属の靱性はO，Nのガス成分やTi，Bなどの微量元素の量および形態によって大きく影響される。これに関し、各種微量元素の靱性、組織に与える効果の検討を行うとともに⁹⁻¹¹⁾、変態核としての可能性が推測できる微細介在物 (酸化物、窒化物) と変態組織との関係¹²⁾について検

討し、靱性に対するOの効果求めた。さらに、アーク溶接における脱酸過程の解明^{13,14)}やNの挙動¹⁵⁾に関しても検討し、それらの制御をより容易に行えるようにした。これらの結果を応用して高靱性の得られるSAW材料を開発した。

大人熱溶接用に開発されたCe-B系の鋼板のボンド靱性に対してN低減が有効であることを明らかにした¹⁶⁾。

ラメラテアに関しては、AEを利用してその検出を試み、発生時期、伝播形式から3つのタイプのラメラテアが存在することを明らかにした¹⁷⁾。介在物の形態とラメラテアとの関係を鋼板製造履歴に関連させて検討した^{18,19)}。引張強さ50~80 kg/mm²級の鋼材の鋼中介在物と溶接われとの関連性について検討し²⁰⁾、溶接中の水素の低減の重要性を明らかにした。

潜水艦用鋼材の高強度化が進められ、HT-100鋼の溶接性および溶接材料に関する研究を行った²¹⁾。さらに、ペンストックを対象として厚肉HT-80鋼の高温下での溶接についても検討した²²⁾。

15・1・2 極厚鋼板

原子炉圧力容器に用いられるASTM A533 Gr. B Cl.1および石油プラントなどに使用されるASTM A 387 Gr.22の溶接材料の開発、溶接継手性能の検討を行った^{23,24)}。また、最近注目されている常中温圧力容器用高強度鋼の溶接性についても研究した。

15・1・3 溶接材料

前述した材料以外のおもな成果について述べる。低水素系溶接棒で発生するアーク中断現象について検討を行い²⁵⁾、被覆剤を内・外層に分離してそれを防止した2重被覆棒KSDシリーズを実用化した。エレクトロ・スラグ溶接(ESW)における反応に関し詳細な研究を行い^{26,27)}、フラックス組成設計の指針を明らかにした。横向溶接専用のSAWフラックスを実用化した²⁸⁾。

15・1・4 溶接法

造船におけるSAW片面溶接は自動化における最大の問題点とされていた高温割れを凝固形態の改善で防止(ホット・トップ法)し、それを応用

したKFA法を開発した²⁹⁾。つぎに、SAWのビード形成現象の解明につとめ^{30,31)}、ホット・トップ機構を合わせ利用することにより小入熱、深溶込み溶接の可能性を明らかにした。開発した深溶込み溶接KX法およびLH法は高張力鋼や低温用鋼の溶接に有効なものであり^{32~34)}、さらにこの技術はかど溶接にも応用され角柱の溶接に実用化されている³⁵⁾。NC切断の普及でI開先溶接の必要性が高まったが、SAWで25mm厚までの鋼板をルート間隔を零としたI開先に深溶込み溶接するHIVAS法を開発し³⁶⁾、造船、橋梁分野で実用化した。

立向溶接については、各種産業分野でESWが大いに普及したが、直流電源を用いることにより低入熱化した狭開先ESWを可能とし³⁷⁾、大径鋼管の円周溶接などで実用化した。造船、建築などでの溶接長さの短い部材に対し簡便な装置で溶接できるEGW-ラック法を開発した³⁸⁾。

すみ肉溶接に関して、水平姿勢でのビード形状についての基礎的考察³⁹⁾、高速時の割れや気孔に対する検討を行い^{40,41)}、材料と装置を組み合わせたSAW法を開発した。

15・2 鋼管の溶接

15・2・1 溶接性

寒冷地用の試作ラインパイプを用いて、北海道原野における寒冷地溶接実験を行い、鋼管溶接性の確認を行った⁴²⁾。

また、HAZ靱性に及ぼすNb、Vの作用について検討し、要求される特性値に対しそれぞれの限界量を求めた⁴³⁾。

15・2・2 溶接材料

SAW溶接金属の靱性については、Nb、Vの析出状態、金属組織およびそれらとTi、Al、Bなどの微量元素や介在物との関連性について検討を加え、SAW用フラックス、ワイヤーによる高靱性化をはかった^{44,45)}。

15・2・3 溶接法

UOE鋼管のSAWを3電極とすることにより効率向上をはかった。そのために各電極の機能を

明確にして条件選定の考えかたを明らかにするとともに⁴⁶⁾、結線方式に関する検討を行った⁴⁷⁾。SAW工程前の仮付溶接はSAW品質に大きく影響をおよぼすが、2電極MIG連続溶接方式を採用して、そのビード形式に関する検討を行い、高速度

とした施工条件を確立した⁴⁸⁾。

鋼管の現地溶接方法としてラインパイプの全姿勢SMAW、MIG施工法の検討^{42,49)}、大径水道鋼管のESW法の開発⁵⁰⁾および鋼管抗の横向炭酸ガスシールドアーク溶接法の確立をはかった⁵¹⁾。

- 1) 坪井, 寺嶋: 溶接学会誌, 42 (1973), 51 2) 坪井, 平井, 寺嶋, 西馬: 溶接学会誌, 42 (1973), 76
 3) 坪井, 中野, 佐藤: 溶接学会誌, 42 (1973), 3 4) 坪井, 西馬: 溶接学会誌, 42 (1973), 132 5) 坪井, 平井, 広: 溶接学会誌, 42 (1973), 87 6) 坪井, 寺嶋: 溶接学会誌, 42 (1973), 38 7) 坪井, 寺嶋: 溶接学会誌, 43 (1974), 46 8) 坪井, 寺嶋: 溶接学会誌, 42 (1973), 32 9) 寺嶋, 坪井: 第69回溶接冶金研究委資料, (1977) 10) S.Nakano, A.Siga and J.Tsuboi: IJW Doc. No. XI-B-182-75, (1975) 11) 中野, 皆川, 玉置: 溶接学会全国大会講演概要第21集, (1977), 78 12) 井村, 志賀, 坪井: 溶接学会全国大会講演概要第21集, (1977), 20 13) 寺嶋, 西山, 坪井: 溶接学会誌, 46 (1977), 57 14) 寺嶋, 坪井: 溶接学会全国大会講演概要第20集, (1977), 98 15) 中野, 皆川, 玉置: 溶接学会全国大会講演概要第21集, (1977), 103 16) 平井, 山口, 坪井: 第71回溶接冶金研究委資料, (1978) 17) 平井, 坪井: 溶接学会誌, 45 (1976), 34 18) 平井, 坪井: 溶接学会誌, 45 (1976), 41 19) 平井, 坪井: 溶接学会誌, 45 (1976), 48 20) 坪井, 平井: 第48回溶接冶金研究委資料, (1972) 21) 坪井, 平井: 溶接学会誌, 43 (1974), 36 22) 奥村, 高橋, 坪井, 平井: 溶接学会誌, 42 (1973), 44 23) 広, 西山, 坪井, 岡部, 森: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 69 24) 広, 西山, 坪井: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 102 25) J.Tsuboi and H.Sasaki: Trans. JWS, 2 (1971), 67
 26) S.Nakano and J.Tsuboi: IJW Doc. No. XI-J 49-76, (1976) 27) 中野, 玉置, 坪井: 溶接学会誌, 46 (1977), 68 28) 坪井, 新行内, 齊藤: 溶接学会全国大会講演概要第10集, (1972), 103 29) 齊藤, 赤秀, 藤井, 松山: 第32回溶接法委資料, (1970) 30) 赤秀, 浮辺: 第47回溶接アーク物理委資料, (1977) 31) 赤秀, 浮辺, 坪井: 第68回溶接法研究委資料, (1978) 32) J.Tsuboi, K.Akahide and K.Agusa: The Symposium on Advanced Welding Technology, (1975), 2 3-(1) 33) A.Akahide, K.Agusa and J.Tsuboi: An International Conference on Structural Design and Fabrication in Ship Building, (1975), 131 34) 赤秀, 浮辺, 阿草, 坪井: 川崎製鉄技報, 10 (1978), 34 35) 山口, 赤秀, 滝沢, 阿草, 永易, 西村: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 116
 36) 赤秀, 浮辺, 阿草: 川崎製鉄技報, 3 (1971), 122 37) 坪井, 新行内, 徳久: 第54回溶接法研究委資料, (1975)
 38) 坪井, 新行内, 徳久: 第42回溶接施工法委資料, (1972) 39) 坪井, 坂本, 美浦: 溶接学会誌, 41 (1972), 104
 40) 坪井, 志賀: 川崎製鉄技報, 5 (1973), 17 41) 坂本, 岡部, 美浦: 第34回溶接法研究委資料, (1971)
 42) 堀, 浜田, 志賀, 中野, 阿草, 高橋, 藤本: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 76 43) 坪井, 志賀: 第57回溶接冶金研究委資料, (1974) 44) 坪井, 志賀, 井村: 溶接学会全国大会講演概要第18集, (1976), 36 45) 志賀, 坪井: 第69回溶接法研究委資料, (1978) 46) 赤秀, 阿草, 浮辺, 坪井: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 100 47) 坪井, 赤秀, 阿草: 第50回溶接法研究委資料, (1974) 48) 坪井, 齊藤: 溶接学会全国大会講演概要 第19集, (1976), 30
 49) 阿草, 赤秀, 坪井: 川崎製鉄技報, 6 (1974), 85 50) 齊藤, 坪井: 溶接学会全国大会講演概要 第20集, (1976), 376 51) 坪井, 赤秀, 松山: 第40回溶接法研究委資料, (1972)

16. 計測・非破壊検査

16.1 放射温度標準

放射温度計の校正に関する標準トランスファ技術について検討し、純金属の凝固を利用した定点黒体炉と1次標準温度計との組み合わせにより高精度標準を実現し、これを黒体炉によって2次標準

(社内各工場標準)にトランスファすることにより、誤差を極少化しかつ定量的に評価した。この標準を中心として、全社温度標準のトレーサビリティ体系を確立した¹⁾。

16.2 プロセス計測

おもにインプロセスセンサーの開発に関する研究を行った。高炉装入物レベル計については、測

定が間欠的かつ誤差の大きい従来の機械式サウンディング装置に代わるマイクロ波利用のレベル計を検討し、千葉第2高炉において実験した。マイクロ波方式の欠点は、広がったビームの面積平均値しか得られないことおよび特定の条件において測定が不安定になることであるが、適当な処理を施すことにより、連続的かつ信頼性の高い測定方式を確立した²⁾。マイクロ波の上記の欠点を補うため、より波長の短い電磁波を用いて諸実験を進めつつある。

直送圧延の前提条件となる分塊スラブの表面きずの熱間検出と判定の自動化の技術を開発した³⁾。本装置の特徴は、きず取り装置との結合を考慮していることおよび検出感度の高いことである。一方、連铸スラブについてはその利用目的に応じてITVによる検出監視装置を実用化した。

冷延鋼板の圧延中の形状測定について基礎的な

研究を行い、形状測定に関わる方式設計上の問題点を明らかにした。

16.3 超音波探傷

板波探傷における板厚・励振周波数・モードと探傷機能との関係についての理論的・実験的な解析の結果、機器特性と検出能の関係が明らかとなり、板波探傷の機能と信頼性を向上させた。また従来の板波探傷の適用範囲は板厚5～6mmを上限としていたが、適当な周波数を選定し、特殊の励振をあたえることによって、さらに厚い鋼板への適用が可能となり、板波探傷の機能が著しく拡大した⁴⁾。

高温鋼材の超音波探傷については、電磁超音波の方法と圧接式カップリングの方法により研究を進め、後者は実用化のための実験結果からその実現が期待されている。

- 1) 栗田、岩村、田村：川崎製鉄技報、(1979)、投稿中
2) 岩村、浅野：鉄鋼協会第65回計測部会資料 計65-1-1、(1977)
3) 北川、藤井、三宅、栗田：鉄と鋼、61(1978)、S743
4) 丸山：日本非破壊検査協会第2分科会資料、(1979)、2723

17. 分 析

17.1 物理分析

17.1.1 IMMA, AES, GDS

表面局所分析に関し、昭和48年2月にイオンマイクロプローブ・マスマナライザ(IMMA)を、また同年11月にオージェ電子分光分析装置(AES)を設置した。

IMMAについては、鉄鋼材料に適した試料調整法、分析手法を開発し、これらをもとに合金元素の定量分析法を確立した¹⁻³⁾。また、二次イオン生成機構について考察を加え、衝突複合体の解離・イオン化からなる新しいモデルを提案し、それが他の金属にも適用できることを示した⁴⁾。最近では、これらをもとに酸化皮膜の定量分析について検討を進めている。一方、これらの基礎研究によって得られた知見は、表面処理鋼板、珪素鋼板、ステンレス鋼などの表面皮膜、スケールなどの構造、

元素分布の把握、高張力鋼板、冷延鋼板などにおける水素、ほう素などの軽元素の検出に活用され⁵⁾、新製品の開発、現場トラブルの解消に関して有益な情報が得られている。

AESについては、鋼板表面、結晶粒界への合金元素の濃化現象を調べ、圧力容器用鋼材の焼もどし脆化機構の解明、冷延鋼板の深絞り加工時における粒界割れの原因の究明などに応用してきた⁶⁾。また、合金元素の表面偏析と粒界偏析の相関をもとめ、焼もどし脆化について新しい考え方を提案するとともに、鉄の酸化物に関して、形態分析を行うことができることを示した。

このほか、昭和53年2月には、迅速分析が可能な表面分析装置として、グロー放電分光分析装置(GDS)を設置した。これは当研究所の改良によって実用化されたもので、導入後直ちに冷延鋼板、表面処理鋼板、ステンレス鋼などの表面分析に利用され、有益な知見が得られている。今後さらに各種の鉄鋼材料の研究に利用されていくものと思われる。

17-1-2 けい光X線分析

特に軽元素や微量元素にも対応できる新型けい光X線分析装置を昭和46年に開発し、自動分析が可能なオンラインシステムを完成させた⁷⁾。多くの特長を備えたこの装置は、鉄共研で行われた補正定量法による鉄鋼分析のJIS化のための共同実験などに有益なデータを提供した。当所では、いち早く補正法を導入し鉄鋼分析の一元化をはかった⁸⁾が、さらに従来の試料研磨法にかわる金ヤスリによる自動研磨装置を開発し、分析精度の改善、微量域への適用拡大とともに分析の能率を大幅に向上させた^{9,10)}。

また、標準試料による検量線法を用い、蛍光X線法により、鋼板の表面分析法を確立した¹¹⁾。これにより鋼板の発錆の原因となる表面汚染付着物の定量やクロメートなど各種化成被膜量の測定がきわめて容易に行えるようになった。

一方、鉄鉱石などの粉体試料については、特別に考案したるつばを用いて作成したガラスビードによって、分析精度を大幅に改善するのに成功した^{7,12)}。さらに、複数試料を一度に融解できる自動融解装置を開発し、分析の能率を一段と向上させた^{10,13,14)}。

17-1-3 EPMA

X線マイクロアナライザー (EPMA) の1号機を設置して以来、補正定量法¹⁵⁾、状態分析法¹⁶⁾などの基礎的研究や鉄鋼表面欠陥の原因解明、そのほか偏析、析出調査などあらゆる分野での応用研究に成果を上げてきた。この間、電子線束安定機構の考案や酸素や窒素の感度向上のための特殊分光器の開発により装置を改善した。

電子線系の制御からデータ解析まですべてを自動化させ、無人連続運転が可能な全自動化システムを昭和53年に開発した^{17,18)}。このシステムにより大幅な省力化、精度の向上が達成でき、濃度分布図が簡単に作成できるなどの成果が得られた¹⁹⁾。

17-2 化学分析

17-2-1 原子吸光法・吸光光度法

湿式化学分析に関しては、多様な業務を整理、合理化するためにフレーム原子吸光法の簡便性、迅速性そして正確性を備えた特長に着目し、早くから鉄鋼分析へ幅広く適用することを検討した。現在、この方法は鉄鋼化学分析の中心的位置を占めるに至り²⁰⁾、その後達成した自動分析のためのオンライン化とあいまって日常分析に多大な貢献をしている。それと並行してフレーム中の化学種の平衡反応に関して熱力学的考察を加えた結果^{21,22)}、それまでに得られた経験則をある程度理論的に裏付けることができた。

極微量元素定量法に関しては、特に高感度の炭素炉原子吸光法を利用してAl²³⁾、P、Pbを鋼中1～4 ppmまでの定量法を確立した。また、吸光光度法の呈色感度ならびに選択性を向上させる方法を検討し、有機呈色試薬に第4級アンモニウム塩を付加して錯形成を行う反応を利用し、鋼中3 ppmまでのGaとGeの定量法を確立した²⁴⁾。一方、鋼中C、Sの微量化に対応して非水溶媒滴定法や硫化水素発生法などを検討し製鋼技術の進歩に貢献した。

17-2-2 非金属介在物

鋼中非金属介在物分析では、鋼中に存在する各種の炭化物、窒化物の電解抽出方法を確立し、実用化した。Ca化合物、REM化合物についても良好な電解抽出方法を確立し、実用化している。一方、抽出成分の態別定量方法についても検討し、鋼中の硫化鉄と硫化マンガン²⁵⁾の分別定量方法²⁵⁾、鋼中の窒化ほう素の定量方法²⁶⁾を確立した。また、鋼中の大型介在物の粒度別分離定量方法を確立し²⁷⁾、実用化した。これらの研究を通じて、抽出成分からセメントサイトを分離する方法^{2,3)}、抽出成分の捕集に用いる有機物マイクロフィルターの灰化方法²⁾など、介在物分析分野で必要とされる基本的な分析手法を確立した。その他、電解残さ中炭素の定量方法を確立した²⁸⁾。

1) 角山、大橋、鈴木、鶴岡：鉄と鋼、60 (1974)、1989

2) 鈴木、角山、大橋：学振141委第8回、(1976)90

3) K.Tsunoyama, Y.Ohashi and T.Suzuki: Anal. Chem., 48 (1976)、832

4) 角山、大橋、鈴木：質量分析、

- 25 (1978), 297 5) 角山, 大橋, 鈴木: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 1 6) 大橋, 角山: 川崎製鉄技報, 8 (1976), 174 7) 安部: 日本金属学会会報, 13 (1974), 425 8) 日本鉄鋼協会: 鉄鋼の工業用X線分析法 (1973) 9) 安部: 日本鉄鋼協会共同研究会鉄鋼分析部会 蛍光X線分析分科会資料 FX 484, (1978) 10) 安部: 第15回X線分析討論会講演要旨集, (1978) 11) 津村, 押場: 鉄と鋼, 63 (1977), 1170 12) 安部, 鶴岡, 合田, 鷺見: 鉄と鋼, 59 (1973), S614 13) 安部, 鶴見, 鷺見: 鉄と鋼, 60 (1974), S665 14) 安部, 鶴岡, 鷺見: 日本金属学会 機器分析用金属および粉体資料の前処理 シンポジウム予稿, (1975)13 15) 鹿野: 鉄と鋼, 64 (1977), S364 16) 大橋, 角山, 森本, 安部, 針間矢: 鉄と鋼, 64 (1978), S518 17) 安部, 森本, 鈴木, 鷺見, 藤心ほか: 鉄と鋼, 63 (1977), S235 18) 安部, 森本, 鈴木ほか: 川崎製鉄技報, 11 (1979), 投稿中 19) 安部, 鈴木: 日本金属学会会報, 投稿中 20) 針間矢, 中井, 鷺見: 日本鉄鋼協会共同研究会鉄鋼分析部会化学分析分科会 CA-181, CA-456, CA-513, CA-596, CA-691 21) 鷺見, 穂谷, 合田: 鉄と鋼, 60 (1974), S199 22) 鷺見, 針間矢, 穂田, 合田: 第35回分析化学討論会講演要旨集, (1974) 23) 森山, 合田, 針間矢: 鉄と鋼, 64 (1978), 1424 24) 針間矢, 大路, 小田島: 鉄と鋼, 60 (1974), 1869 25) 吉田, 中野: 川崎製鉄技報, 2 (1970), 278 26) 吉田, 船橋, 神野: 鉄と鋼, 64 (1978), 640 27) 吉田, 船橋: 鉄と鋼, 61 (1975), 2489 28) 吉田, 船橋, 神野: 鉄と鋼, 64 (1978), S361

18. 物理測定

18-1 電子顕微鏡

透過電顕では、主として、薄膜、レプリカの組織観察、局部分析、磁区観察を行い、走査電顕では表面組織、磁区、方位を観察してきた。極微小領域、分析電子顕微鏡で200Å程度の微小領域の分析を、高分解能高倍率電顕像を観察しながら、非分散X線分光器、エネルギーアナライザーおよび超極微小回折により総合的に行っている¹⁾。また、絶縁被膜付方向性珪素鋼板の磁区観察を高圧(150 kV)の走査電顕(SEM)を用いることにより初めて可能にした^{2,3)}。この装置により、方向性珪素鋼板の絶縁皮膜により地鉄に与えられる応力が磁区構造に及ぼす影響を明らかにした。

18-2 結晶粒の方位測定(ECP法、透過コッセル法)

バルク試料の結晶方位解析には、従来エッチピットやマイクロラウェなどの方法が用いられてきたが、解析角度精度や解析領域、手間に制限があった。昭和53年にSEMを用い、ECP(電子チャンネリング・パターン)を利用した微小結晶粒の方位解析装置を作製し、解析方法を確立した。この解析手法は0.5°の角度精度を有し、所要時間が従来の手法に比べて大幅に短縮した。

薄膜試料の微小領域の結晶方位解析のために、

SEMを利用した透過コッセル装置を開発した。この装置は(1)45 s程度の短時間照射で、良質の回折像がえられること、(2)約5μφの微小領域の方位解析が可能であること、(3)コンピューター・チャート法を用いることにより、方位解析を2~3minの所要時間中に0.3°の精度で行えることなどの特長を有する。この装置により、方向性珪素鋼の一次粒の方位分布や、微小領域の歪の状態など、従来の設備で得られなかった新しい情報がえられるようになった。

18-3 メスバウアー効果

メスバウアー測定装置により、極低温に焼入れで生成したFe-Cマルテンサイト中の炭素原子の位置は八面体位置ばかりでなく四面体位置にもあることを定量的に解析し、藤田(英)教授の四面体位置説を支持した⁴⁻⁶⁾。また、Fe-Mn-C合金中でFe₃CへMnが固溶する過程を定量的に解析した⁷⁾。さらに、海水中での鋼材表面におけるさび形成が海水中の溶存酸素および鋼材中の格子欠陥と密接に関係していることを明らかにした⁸⁾。約3%のSiを含む商用珪素鋼板中のSi原子が全く無秩序に配列しているのではなく、高濃度のFe-Si合金とは異種の規則化状態を含むことが判明した⁹⁾。

18-4 内部摩擦, AE

振り振りとして当所には、K&E, 逆吊り, Collette 振子を備えている。Alキルド鋼とリムド鋼の歪時

効性の相違について、Collette振子を用いて検討した¹⁰⁾。しかし、Collette振子で試料の内部摩擦を求める式の導出過程に誤りを見出し、振り振子全般の見直しをはかった¹¹⁾。逆吊り、Collette振子のような複合振子における試料の内部摩擦の意味を明確にした^{11,12)}。その結果、Collette振子には適用限界があり、剛性の大きな試料の内部摩擦測定に向かないことを示し¹³⁾、これに代る新型振り振子を発明した¹⁴⁾。さらに、降点近傍の運動転位の挙動¹⁵⁾、転位による内部摩擦とマグネトメカニカル・ダンピングの関係¹⁶⁾などの研究を行った。アコースティック・エミッション(AE)については、種々の鉄鋼材料と金属単結晶の変形中の発生特性を転位の運動、増殖機構と関連付けて検討した。軟鋼の応力緩和実験により、炭素原子の存在が運動転位を減少させること、およびAEが運動

転位密度に依存することを明らかにした。Cuの単結晶では、降伏点近傍で超音波吸収とAEの発生が同時に測定された。塑性変形の素過程をGranato-Lücke理論で解析し、AEの発生機構について検討した¹⁷⁻¹⁹⁾。

18・5 X線回折

測定機の効率化に努め各装置を粉末試料回折装置、逆極点図作成装置、正極点図作成装置など測定目的ごとに専用化してきた。一方、3次元結晶方位分布関数を用いて、集合組織の3次元表示法を確立した²⁰⁾。また、結晶方位測定については、昭和44年に直視式結晶方位解析装置を開発し²¹⁾、さらに、微小領域(1.4mm×2mmの照射面積)の集合組織分布が定量的に得られるようになった。

- 1) 清水：分析電顕の応用、日本鉄鋼協会鉄鋼基礎共同研究会偏析部会、(1979)、投稿中 2) T.Irie and B.Fukuda : AIP Conf. Proc., 29 (1975), 574 3) B.Fukuda, T.Irie and H.Shimanaka : IEEE Trans. Mag., (1977), 1499 4) 藤田、志賀、守谷：日本金属学会誌, 38 (1974), 1030 5) 志賀、木村、藤田：日本金属学会誌, 38 (1974), 1037 6) 志賀、藤田、木村：日本金属学会誌, 39 (1975), 1205 7) 志賀、加茂：昭和50年秋期金属学会講演大会講演概要、(1975)、129 8) 清水、久野：昭和49年春期金属学会講演概要、(1974)、98 9) M.Shimizu, T.Honsako and K.Fujimoto : International Conference on the Applications of the Mossbauer Effect, Kyoto, (1978) 10) 志賀、佐々木、松村：川崎製鉄技報, 5 (1973), 191 11) Y.Iwasaki, T.Imanaka and K.Fujimoto : J. Phys. E., 10 (1977), 1050 12) Y.Iwasaki, T.Imanaka and K.Fujimoto : Proc. ICFUAS-6 (6th International Conference on Internal Friction and Ultrasonic Attenuation in Solids), (1977), 803-7 13) Y.Iwasaki and K.Fujimoto : J. Phys. E., 12 (1979), 21 14) Y.Iwasaki and K.Fujimoto : J. Phys. E., (1979) 投稿中 15) 今中、佐野、藤元：川崎製鉄技報, 3 (1971), 371 16) 木下、今中、藤元：純鉄の精製と性質、純鉄部会鉄鋼基礎共同研究会、(1971)、163 17) 今中、佐野、清水：川崎製鉄技報, 5 (1973), 1 18) T.Imanaka, K.Sano and M.Shimizu : Cryst. Lattice Defect, 4 (1973), 57 19) 今中、佐野、清水：日本金属学会会報, 12 (1973), 871 20) 北川、片山、森本、丸山、鶴岡：鉄と鋼, 63 (1977), 1 21) 鶴岡、安部、深尾：川崎製鉄技報, 1 (1969), 290

19. 環境科学

19・1 窒素酸化物(NO_x)対策

排煙脱硝技術に関しては、アンモニア選択接触還元法における排ガス中のダスト、その他の共存成分による触媒層の閉塞、触媒の劣化などの大きな問題があった。しかし、種々検討の結果、触媒層の閉塞機構を解明し¹⁾、ダスト対策に見通しをつけ、脱硝設備設計上のネックを解決した。また、

触媒の劣化、原因を解明することによって良好な触媒の開発を促し、脱硝設備の計画や建設に一つの指針を与えた。また、脱硝コストの低減をはかるために高性能脱硝触媒および安価な酸化鉄系触媒の探索²⁻⁵⁾、プロセスの改良を行った。さらに、実設備の脱硝操業データなどを解析して、実設備の触媒の寿命予測、再生方法および触媒性能と経済性の評価方法を確立し、今後採用する触媒の選定基準を明らかにした。

焼結過程で発生するNO_xについては、NO_x発生

機構およびNOx発生におよぼす諸因子の影響を明らかにした⁶⁾。また排ガス循環焼結法の開発など焼結排ガスのNOx低減法の検討に力を注いだ^{7,8)}。

さらに、焼結炉のNOx対策として、主たる発生要因であるコークス中のNを低減するために高温加熱による脱窒実験を行った^{9,10)}。高温処理によりコークス中のN量は減少し、かつ残留Nの大半はAINに変換して、焼結過程でNOxの生成に寄与しないことを明らかにした。なお、NOxの研究に関連した成果として、コークスのN定量法の検討^{11,12)}、および排ガスの低濃度NOxを対象とした試料採取方法および装置の開発¹³⁻¹⁵⁾があげられる。

19・2 粉じん対策

粉じんおよびばいじんの性状、挙動などについて検討を行っている。

19・3 廃液処理

昭和41年に、塩酸酸洗設備の導入が計画され、酸洗条件から廃液処理に至る研究を実施した。酸洗原単位ならびに酸洗槽の物質収支、廃液処理方式の決定、装置材料の選択、回収塩酸の性状、な

どを検討し、噴霧焙焼法による塩酸廃液処理技術を完成させた¹⁶⁾。また塩化第1鉄溶液の物性把握を目的とした基礎研究を行い、塩化第1鉄水溶液と水酸化ナトリウム水溶液との準静的反応で、反応析出物に金属鉄が生成するなど新しい知見を得た^{17,18)}。

廃水中の重金属¹⁹⁾、COD²⁰⁾、Pなどの除去方法について検討を行い、とくに硫化水素腐食割れ試験廃液の処理については自動処理装置を開発した。最近、イオン交換膜電気透析装置、逆浸透装置、限外ろ過装置、拡散透析装置を導入し、膜を用いる水処理技術の研究を進めている。

19・4 スラグの利用

高炉スラグを道路用材などとして利用するため、高炉スラグ中硫化物の溶出機構の解明とエージング法の開発を行った^{21,22)}。さらにダスト添加改質スラグについては製造技術上の問題に関する検討を行った。なお、本研究を進めるために、Sの形態分析法を確立した^{23,24)}。転炉スラグについてはスラグの基本物性および利用上問題となる膨張崩壊などの対策について基礎的な検討を行っている。

- 1) 特開昭 52-50970, 53-86672 2) 特開昭 53-87971, 53-113291 3) 成瀬, 小笠原, 畑: 川崎製鉄技報, 投稿中 4) 成瀬, 小笠原, 畑, 岸高: 鉄と鋼, 65 (1979), 投稿中 5) 成瀬, 小笠原, 畑, 岸高: 鉄と鋼, 65 (1979), 投稿中 6) 佐々木, 齊藤, 町島, 岡部: 川崎製鉄技報, 投稿中 7) 山田, 福留, 奥山, 児玉: 鉄と鋼, 63 (1977), S26 8) 安本, 福留, 山田, 児玉: 鉄と鋼, 64 (1978), S483, S484, S485 9) 畑, 河野: 川崎製鉄技報, 7 (1975), 295 10) 畑, 小笠原, 河野: 川崎製鉄技報, 9 (1977), 1 11) 畑, 河野: 鉄と鋼, 64 (1978), 1671 12) T.Hata and Y.Kono: Trans. ISIJ, 投稿中 13) 畑, 河野, 阪野: 鉄と鋼, 64 (1978), 297 14) 畑, 河野, 阪野: 川崎製鉄技報, 投稿中 15) 特開昭 53-98893 16) 岸高, 谷原, 伊藤, 宮川, 嵯峨: 川崎製鉄技報, 1 (1969), 56 17) 伊藤, 宮川: 工業化学雑誌, 73 (1970), 2721 18) 伊藤, 宮川: 防蝕技術, 20 (1971), 359, 21 (1972), 73 19) 内野, 小笠原: 川崎製鉄技報, 投稿中 20) 特開昭 53-132495 21) 板谷, 荒谷, 船越: 鉄と鋼, 63 (1977), S426 22) 越田, 小笠原, 畑: 鉄と鋼, 63 (1977), S428 23) 越田, 小笠原, 畑: 鉄と鋼, 65 (1979), S443 24) 特開昭 53-140095

20. 結 言

技術研究所の千葉施設開設10周年に際して、過去10年の当所の研究成果の概要を述べた。紙面の制約のために各項目の記述は簡潔とせざるを得なかったため、各章の末尾に参考文献を付した。

よくいわれるように、鉄鋼業の主プロセスは、500年前の高炉、120年前の転炉、400年前の圧延機

と原理的に違わないが、その技術のもつ知識集約型性格の故に、その改善は周辺技術の進歩に大きく依存している。この10年をふりかえってみると、大型高炉、連続製造、圧延の大型・高速・自動化と製品品質の高級化、検査・分析技術の向上などの鉄鋼技術の進歩は、とくに電子工学の発達とその新製品普及による事象の解析・装置の制御手法の進歩に負うところが大きいように思われる。

革新的技術の出現が困難とみられる昨今、Eketorp教授が指摘するように、鉄鋼の研究開発の90%は現行プロセスや製品の欠陥の段階的修正である。一貫製鉄所のどの部門をとってみても、膨大な物量を処理する故に、僅かの改善が巨額の利益を生む。Paxton教授が述べたように、大きな技術突破であっても、成功の可能性の低いプロジェクトは避け、既存プロセスの地味な改善が相当の利益をもたらすことに着目して、その方向に研究開発の重点をおくという姿勢は今後も続けられるであろう。

国情によっては、またある種の分野では、中規模技術の優位性が期待されるかも知れないが、こ

の10年にわたって完成されてきたわが国の大型一貫製鉄所の技術体系は、その慣性の大きさの故に、容易には変身できない宿命を負っているようにみえる。

したがって、これからの10年も、当所は前記路線にかなりの勢力を投入していくことになる。しかしその際、周辺技術の取りこみとともに、固有技術の進歩に役立つ研究に力を注ぎ、千葉施設開設時の旗標でもあった、新事象の発見を芽とする自主技術の開発を目指してすすみたいと思っている。関係する各界の御指導、御協力を願い、攬筆する。

(昭和54年4月27日原稿受付)



3%珪素鉄の Facet Pattern と表面方位

十分再結晶させた3%珪素鉄を、 $\sim 10^{-5}$ Torrの真空度で、 $2^\circ\text{C}/\text{min}$ で 1130°C まで昇温、 $3^\circ\text{C}/\text{min}$ で 700°C まで徐冷の熱サイクルを二度繰返したとき観察されたものである。

正方形および正六角形（いずれも対角線長さ $\sim 6\mu$ ）を含む波状facetが観察された。micro Laue法により、それらは表面方位 $\{100\}$ および $\{111\}$ にそれぞれ対応することが判明した。

(撮影倍率：
A・B $\times 200$ ，C $\times 400$)

