

部会報告

UDC 669.187.26 : 621.365.3

## 鉄鋼基礎共同研究会「特殊精錬部会」活動中間報告

後 藤 和 弘\*

### An Intermediate Reports on Activities of Committee on Special Refining Techniques of Steels of the Joint Society on Iron and Steel Basic Research

Kazuhiro Goto

#### 緒 言

特殊精錬部会は昭和 49 年 3 月に発足し、5 年間の活動をし昭和 54 年 2 月に終了する予定である。昭和 48 年 9 月に鉄鋼協会代表として井上道雄教授、常務理事の吉田道一氏、技術部の内藤充裕氏、金属学会を代表して小林卓郎教授、学振より小生が出席し特殊精錬部会の準備会を開催した。その結果特殊精錬とは称しても実際の研究活動は ESR (エレクトロスラグ再溶解) にしぼること、また ESR の共同研究において何をテーマとしてとり上げるかは各界にアンケートを出して鉄鋼業界の要求を大幅にとり入れることが申し合せられた。

ESR の研究者、ESR を設置している各会社に詳細なアンケートを出し、回収しとりまとめる仕事を行なった結果次の 6 つの分科会を併存し活発に共同研究を行なうことが決った。ESR の化学と物理 (第 1, 第 4 分科会)、ESR の凝固組織 (第 3 分科会)、ESR の現場的諸問題 (第 2 分科会)、ESW の研究 (第 5 分科会)、特殊精錬全体に関する情報収集 (第 6 分科会)。準備中の期間はエネルギー事情も現在のごとく深刻でなく、アンケートの答えには ESR の技術の確立と広汎な応用に強い要望が含まれていた。

次に着手したことは、各分科会の主査の方々を依頼することであつた。その後は主査の間で何度か相談をし、各分科会が自由に活発に共同研究をしてもお互いに情報が絶えないようにする方法を考えた。各分科会の会合には各主査はお互いに出席し合うと同時に他分科会に提出された関連の資料を自分の分科会でまた発表してもらうということを数多く行なっている。

各分科会の活動は以下に少し詳しく記してあるので、全体的なことを記すると、この特殊精錬部会は次のごとき 2 つの公開シンポジウム、数編の出版物によつてその成果の一部をすでに世に送り出している。1) 第 1 回

ESR シンポジウム (昭和 49 年 9 月 24 日、名古屋) 2) 第 2 回 ESR シンポジウム (昭和 52 年 9 月 14 日、東京) 3) ESR 文献集第 1 巻、同第 2 巻、4) 特殊精錬法文献集、5) ESR 文献カード、6) ESR 鋼塊、鋼材の欠陥事例集。また研究成果の一部はすでに春秋の鉄鋼協会大会や討論会で数十編の口答発表がなされ印刷論文としては本特集号にも数編の論文が収録されている。

研究設備としては本部会の研究活動のために名古屋大学に小型直流 ESR 炉が設置され、各大学、各会社の共同利用の実績を上げている。

このような大きな研究成果は活動の中心となつている各分科会の主査、井上道雄教授、郡司好喜博士、梶山太郎教授、小林卓郎教授、荻野和巳教授、成田貴一博士、および成田博士の前任者である渡辺誠一郎博士の絶大な努力によるものであつて深い感銘をうけている。また本部会の活動を裏から支え、かつ素直なる批判を常に出している鉄鋼協会技術部の若手部員の献身的努力にはいつも頭の下る思いをしている。

以下はこのような特殊精錬部会の活動の中間報告である。

#### 第 1 分科会 (ESR の精錬と化学反応)

主査 井上 道雄

第 1 分科会は ESR の精錬反応とその電気的特性を研究目的としている。特殊精錬部会発足とともに、昭和 49 年 6 月 20 日に第 1 回分科会を開催して以来、毎年 2 回の研究会を開いており、この間取扱つた主な課題は、主として ESR における酸素、硫黄および水素の挙動に関するもので、さらに電極先端からの滴生成、電圧-電流特性と電位分布の測定などが行なわれている。さらにまた、これらの基礎実験から、スラグ、メタルプールの流

\* 鉄鋼基礎共同研究会特殊精錬部会部会長

動解析へと進みつつある。これらのうち、いくつかは、昭和 50 年 10 月本会討論会で発表されたので、詳細はその資料を御参照されたい。

本部会発足とともに、研究用として設置された ESR 炉は、0~50V, max. 2700 A の直流で、普通電極径 40 および 50 mm, 長さ 1500 mm, 鋳型は内径 110mm の水冷銅鋳型である。本設備は共同研究用として、名古屋大学工学部に設置された。

酸素の挙動に関する基礎研究としては、小島ら<sup>1)</sup>の名大グループ、小口ら<sup>2)</sup>の川鉄技研グループ、それに榎井ら<sup>3)</sup>の鋼管技研グループのものが発表された。小島らは溶解時のスラグによる精錬作用と汚染作用を合せて考える必要のあることから、スラグ中の  $O^{2-}$  や  $AlO_3^-$  イオンの挙動に着目し、直流再溶解時のスラグからの酸素の吸収機構を明らかにしようと試みた。本実験目的に前述の本部会の ESR 炉が主として使用された。一般に電流密度の高い小型実験炉では、どのようなスラグを用いても、鋼塊中の酸素は増加するが、電極径あるいは鋳型径とスラグメタル界面の電流密度との間には、一定の関係があるので、これを組合せることにより鋳型径と鋼塊中の酸素濃度を求めることができる。これによれば、鋼塊中に固定される酸素濃度は、鋳型径が大きくなるにつれて低下するが、この関係は DCSP (電極負) の場合いちじるしく、実用鋼塊では DCSP (電極正) より有利である。

小口は、鋳型径 105 mm, 最大 2700 A の小型直流 ESR 炉を用い、硫黄とともに、極性、雰囲気のちがいによる酸素濃度の変化を求め、直流溶解では極性の影響が大きく、やはりこのような小型炉では、電極負の方が酸素のピックアップが大きいといっている。なお本研究では一部交流溶解も試みているが、一般に交流の場合の方が低い酸素値を得ている。

榎井は電極径 80~120 mm の交流 ESR により、大気からの酸素吸収について検討を試みた。すなわち、ESR 処理中の電極機の Al, Si, Mn の損失から計算した酸素量を求めると、電極の酸化量より遙かに大きく、大部分が大気からスラグを通して吸収されたものと考えられ、その機構を詳細に考察した。

硫黄の挙動については前記の小口の研究結果が報告された。もちろん、ESR における気化脱硫の効果は既に認められている事実であるが、大気中溶解の場合、 $Al_2O_3$  を含むスラグ系では DCRP の方が低 S 鋼塊が得られた。CaO を含む系では極性のちがいによる差はそれほど大きくはない。気化脱硫については新井田ら<sup>4)</sup> (八幡技研) が、5 t ESR 炉について S の物質収支から気化脱硫率を求めているが、それによると  $CaF_2-Al_2O_3$  系スラグでは大気下の溶解では、低塩基度、(FeO) の高いほど大きく 80% 以上にも及ぶことを明らかにした。一方るつぼ実験結果から  $CaF_2$  60~70% のスラグで大気

下の脱硫速度  $K_S$  は  $0.01g/cm^2 \cdot min$  となるが、これは類似のスラグ系での実用 ESR の値とかなりよく一致する。

気化脱硫の機構について諸岡ら<sup>5)</sup> (京大工) は、 $CaF_2$  系ではないが高炉スラグを対象とし、スラグ中の S の存在形態のちがいによる脱硫速度を解析した結果を報告した。すなわち、スラグ中の S が Sulphate として存在するときは、一般に脱硫速度がおそく、 $P_{O_2}$  を高めてもかえつておそくなることが注目された。一方、スラグメタル間反応に関しては、 $CaF_2$  系スラグによる脱硫反応と界面張力について森ら<sup>6)</sup> (九大工) は、るつぼ実験で透過 X 線観察から、脱硫速度とともに反応時の界面張力の同時測定結果を報告した。ここでは脱硫の進行とともに界面張力は増大し、ほぼ平衡到達時にはスラグ組成にはあまり影響されず、 $1500 \sim 1600 \text{ dyn/cm}$  ( $1550 \sim 1560^\circ C$ ) を示すことを明らかにした。なお加藤ら<sup>7)</sup> (名工試) も S の径時変化を追跡し、雰囲気中の  $P_{O_2}$  との関係を求めている。

ESR における水素の挙動については、榎井ら<sup>8)</sup> (鋼管技研) によつて詳細に検討され優れた成果が得られた。本研究は、交流 ESR 炉 (鋳型径: 180 mm) を用い、3 種類の  $CaF_2$  系スラグのもとで種々の条件下で水蒸気分圧を 2~25 mmHg と変化させて、鋼塊中にピックアップされた水素量を測定したものである。結果を総合すると、H を支配する要因は、気相-スラグ界面のスラグ境界層における  $(OH^-)$  イオンの拡散律速とみなすことができ、これにもとづき水素吸収の数式モデルを提出した。さらにこのモデルの応用について、これまで報告された内外の二、三の実用炉のデータを用いて計算した結果、本モデルの実操業への適用性が十分高いことを認めた<sup>9)</sup>。

水素に関連して井口 (東北大・工)<sup>10)</sup> は種々の合成スラグの水蒸気吸収に関する一連の研究結果を報告した。これについて、スラグおよび溶鉄の水素分析法、特に試料採取法について詳細な検討がなされ注目された。

以上の諸元素の挙動とは別に、ESR 溶解における特性を把握する目的で二つの興味ある報告が発表された。原ら (阪大・工)<sup>11)</sup> は SUS-321 ステンレス鋼を対象として、ESR 溶解時の滴の大きさとスラグメタル間界面張力の関係を求めた。本研究には、前述の本部会共同研究用 ESR 炉を用いた。ステンレス鋼の場合、同一溶解条件で比べると、炭素鋼に比し滴重量が小さい結果が得られ電極先端で生成するメタル滴の大きさとスラグメタル間界面張力との間には密接な関係があることが認められる。また一般に弗化物系の ESR スラグと溶鉄とは普通の酸化物系スラグより高い界面張力を示していることは注目すべき点であろう。本実験においては、同時に各合金元素の挙動を追跡しているが<sup>12)</sup> 酸素と Al の増加が DCSP の場合目立つが、これは小島らの結果とよく一

致している。また石井ら<sup>13)</sup>(北大・工) 実験室規模の小型の ESR 装置を組立て、電極先端での溶解現象を X線透過観察した結果を報告し、滴生成に及ぼす諸条件について考察した。

本分科会のもう一つのテーマである、ESR における温度および電位分布について、川上ら<sup>14)15)</sup>(東工大) が、鋼管技研および本部会の実験炉を用いて測定した結果を報告した。前述のごとく、前者は交流で後者は直流である。いずれも電極材は炭素鋼でスラグは  $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  (70-30) である。温度測定結果によると、前者では  $1750 \pm 50^\circ\text{C}$ 、後者の場合も  $1700^\circ\text{C}$  で、ほぼスラグ内は均一とみなすことができる。また半径方向に電極中心から 4 カ所において電位分布を測定し等電位線分布図を作製した。これらの結果から等発熱分布図を求めることができ、大部分の発熱は電極近傍に集中していることが明らかとなった。またメタルプールとスラグの間には界面過電圧とみられる電圧降下が認められた。一方、浅井ら<sup>16)</sup>(名大工) は ESR における温度分布および発熱量分布の測定結果から、スラグおよびメタルプール内の熱分散係数の算出を試み、スラグ相がメタル相に比し激しく攪拌されていることを推察した。

## 第 2 分科会 (ESR 実操業上の諸問題)

主査 相山 太郎

第 2 分科会の活動の目的は、ESR 実操業上の問題点を整理して明確にし、それを他の分科会の基礎研究活動の参考に供することによつて、部会活動と実操業技術の関連を密接にすることである。昭和 49 年 6 月以来これまでに 8 回の研究会議を開催した。

まず、ESR 操業の問題点を明らかにするため、構成各社の分科会委員が過去に経験した ESR 鋼塊鋼材の欠

陥事例を提出し、その原因を共同討議することにした。第 8 回会議までに各委員から約 45 件の事例の提出があり、それらを分類すると、ESR 鋼塊表面に発生した欠陥、ESR 鋼塊内部に見い出された欠陥、ESR 鋼材に加工された後に見い出された欠陥に大別された。

いうまでもなく、ESR プロセスは、高品質を要求される鋼材の製造に適した再溶解法として開発されたものであり、鋼塊の表面および内部の欠陥が少ないことを特徴としている。しかし、操業条件いかんによつては、各種の欠陥が発生することも事実である。したがつて、提出欠陥事例の多くは、各社において ESR 導入の当初に経験したものであり、その後、操業条件の検討により解決したものである。各社とも操業開始時に比較的同様の経験をしていることが明確になるとともに、それらの欠陥の成因および防止策について、各自の経験に基づいて有益な討論を行なつた。1 例を上げると、ESR 鋼塊独特の表面欠陥の 1 つと考えられるアーク・スポット (電撃痕) 欠陥は、鋼塊表面の短絡アーキングによる凝固殻の溶損欠陥であるが、本分科会提出事例により、それは鋼塊表面の局所的な深い凹欠陥として発生するだけでなく、凸状の突起欠陥ともなりうるということが明らかにされた。また、ステーションナリー・モールド (Stationary mould) の場合、モールド胴部 (Sleeve) とモールド底板 (Stool) の間の電氣的絶縁のありなしで、アーク・スポットの発生傾向に差があり、前者の方が大であることが報告された。しかし、前者すなわち絶縁モールド (Insulated mould) より有利とされている後者すなわちライブ・モールド (Live mould) でも、操業条件によつては、アーク・スポットが発生しうることも報告された。このアーク・スポットの発生条件を、より基礎的に明確化する意味においても、現在、第 1 分科会で検討している ESR 時の電位分布の研究や第 4 分科会で検討している ESR

表 1 鋼塊表面欠陥の分類

欠陥名称	欠陥の特徴		主なる原因
	発生位置	状態	
リップル	不定	横方向の波状のしわ。	断続的な電圧電流の変動に伴うスラグ温度の変動。
くびれ	不定	横方向に走るくびれ状溝。	一時的な電圧電流の変動。(操業中の停電など)
二重肌	不定	二重肌あるいは多重肌。	フラックス組成量や通電条件の不適によるスラグ・シエル破損に伴う溶鋼の流出。
アーク・スポット	不定	局所的な凹みまたは突起。	モールドと鋼塊ソリッド・スキンの間のアーク発生が原因。特に絶縁モールドで絶縁が不十分のとき起りやすい。
凹み疵	不定	やや広がりをもつ局所的な凹み。	フラックス組成や通電条件の不適による厚いスラグの鋼塊面部への局所的付着。

スラグその他の電気特性に関する研究などの進展が期待される。

表1に、鋼塊表面欠陥の分類整理結果を示した。第2分科会では、これまでの貴重な提出事例を取纏めて欠陥事例集として公に刊行すべく作業を進めている。

上述の欠陥事例の検討を進めている過程で ESR 時の水素の挙動が問題になり、ESR フラックスの品質および前処理法と気泡性欠陥との関係を討論した。これに関連して、ESR 時に溶鋼プールから直接ガス分析試料を採取する方法も検討した。大型 ESR 装置では直接試料採取が比較的容易であるのに反し、小型装置では、電極とモールドの内壁との間隙が狭いため採取が難しい。今後とも、この面の検討が気泡性鋼塊欠陥の成因解明には必要である。

さらに、鋼塊肌におよぼす ESR 操業条件の影響については、資料1件が提出され、500kg ESR 装置(260mmφモールド)での電極径、フラックス使用量を一定にし電圧電流条件とフラックス種類の影響を調べた結果を、溶解速度との関係も含めて検討した。また、溶鋼プール形状、介在物とマイクロポロシティにおよぼす ESR 操業条件の影響については、資料4件の提出があり、20t以上の大型 ESR 鋼塊のマクロ偏析とその防止策についても2件の報告がなされた。これらの報告は、ESR 時の凝固現象に関連する問題であり、この点で、第3分科会で検討を進めている凝固に関する数式モデル作成研究に期待がもたれる。

また、ESR 用モールドについても検討を行なった。モールド変形については、資料3件が提出され、モールド材質と変形量の関係が明らかにされた。すなわち、銅製モールドは、ステンレス鋼製モールドに比較して、変形量が少なく、1200回以上問題なく使用でき、使用回数にして数十倍の寿命になることが明らかにされた。また、425mm角モールドの使用回数80回後の歪を測定し、モールドのフランジ上端より30~50mm下の部分の変形量が一番大きいことが示された。さらにスラブ鋼塊用モールド(内径453mm $T$ ×1200mm $W$ ×1800mm $H$ )の溶解時の歪を、ダイヤル・ゲージで連続測定した結果が報告された。ESR 用モールドは、操業の能率や費用などを考慮して、種々の形式、材質のものが使用されているが、そのさいモールドの変形は非常に重要な問題である。この点について、分科会の場で検討できたことは有益であつたと信ずる。

第2分科会は、他分科会との連繋の下で今後も ESR 実操業上の問題点の整理明確化の作業を進める予定であるが、並行して ESR 操業に関する経験式的な数式モデルの共同検討を進めたい。また、ESR 関係の用語の整理統一の作業も必要と考えている。

### 第3分科会 (ESR における凝固)

主査 郡司 好喜

#### 1. 分科会の研究方針

活動を始めるに当り参加各委員の意見によつて分科会の研究方針が次のように決められた。

- 1) 研究は小型 ESR 炉による基礎的な研究を主目標とし、共同研究および自主研究を行なう。
- 2) 共同研究は ESR の溶解および凝固プロセスを精度よく、できるだけ普遍的に表現できる数学モデルを作製するために行なう
- 3) 自主研究は ESR の操業パラメーターとインゴットのマクロ組織、ミクロ組織および非金属介在物の特性との関係を主な研究分野とする。

活動は順調に開始されたが、その後産業界の活力低下が原因となり小型 ESR 炉の操業を停止せざるを得ない委員が増加し、残念ながら分科会の初期の目標を完全に達することは困難になりつつある。

#### 2. 共同研究の経過

熱伝導式を解いて金属の凝固プロセスを解明することはきわめて普通の方法であり、とくに電子計算機の発達によつてこの分野の研究は急速に進歩している。金属の造塊や連続铸造プロセスのみならず、ESR プロセスについても2,3の数学モデルが提案されている。しかし、提案されている多くの数学モデルの共通の欠点は、そのモデルの基礎になつた操業例にだけ適用され得るとか、凝固プロセスのきわめて狭い範囲にしか適用性がないということであろう。その原因の主なものは、1) 凝固プロセスの詳細が不明である(たとえば液体の流動、温度分布)、2) 計算に使用する物性値が不正確である、などであろう。

分科会では変化に富んだ多くのデータを共通のテーブルで処理できるという利点を生かしてこの問題をとり上げたが、この共同研究によつて、1) 幅広い範囲に適用できる数学モデルの確立、2) 数学モデルを構成するための問題点の抽出、などが達成できると考えている。

研究は全委員が実測データを提出し、梅田委員がモデルの構成および電子計算機による計算を担当する形で進められているが、計算の結果から、必要とする新しい測定を追加しモデルを refine するようにしている。

現在、次のような基礎式の非定常モデルを前進差分式を用いて解き各パラメーター間の相互関係を多くの鋼種について実測値と比較しながら明らかにしつつある。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( kr \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial Z} \left( k \frac{\partial T}{\partial Z} \right)$$

ここで、 $T$ : 温度、 $\rho$ : 密度、 $C$ : 比熱、 $t$ : 時間、 $r$ : 半径、 $Z$ : 縦方向距離、 $k$ : 熱伝導度。

これまで数次にわたつて計算結果が報告され、活発な

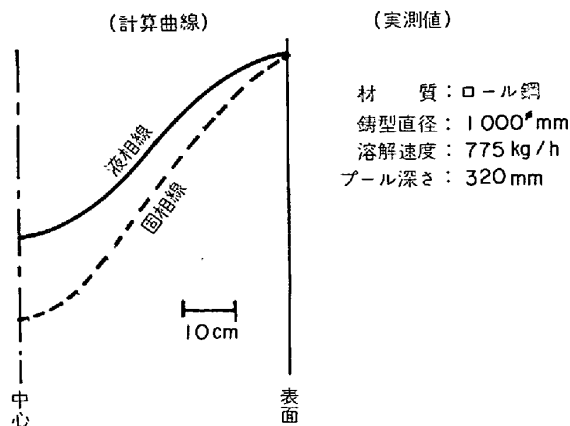


図1 メタルプール深さの計算値と実測値の比較

討論によつて数学モデルの妥当性が検討され、問題点の抽出が行なわれて来たが、図1はロール鋼についての計算値と実測値の比較の1例を示したものである。もちろん、十分 refine されたモデルとは言い難いので完全な一致は得られていないが、スラグおよびメタルの温度分布や流動の強さ、抜熱速度あるいはデンドライトのアームスペーシングなどについて価値の高い研究結果が得られる見通しなので、最終的には溶解過程や凝固過程を予測しながら操業条件を制御できる数学モデルの確立が期待される。

### 3. 自主研究の経過

これまでに報告されている自主研究は次のように大別することができる。

- 1) スラグおよびメタルプールの温度分布と電位分布
- 2) メタルプールの形状および結晶の成長方向
- 3) メタルプールの流動および混合
- 4) メタルの凝固過程および凝固組織
- 5) 偏析
- 6) 脱酸および非金属介在物の分布
- 7) 凝固計算
- 8) その他

#### 3.1 スラグおよびメタルプールの温度分布と電位分布

スラグおよびメタルプールの温度および電位分布が操業条件によつて変り、それが凝固プロセスおよびインゴットの品質に直接影響するために解明すべき重要な因子となつている。小型炉での実測およびシミュレーター測定の結果からは、スラグ内での発熱が大部分電極近傍で起こるにもかかわらずスラグ内の温度は均一に分布していると言えそうである。またスラグ-メタル界面近傍でのスラグ側の温度勾配は測定者によつて異なり、大型炉での温度分布および界面の半径方向の温度分布とともに今後の問題点として残りそうである。

メタルプール内では固液界面に向つて広範囲に温度勾配が観察され、この点から言えばメタルの流動はあまり大きくないように想像される。

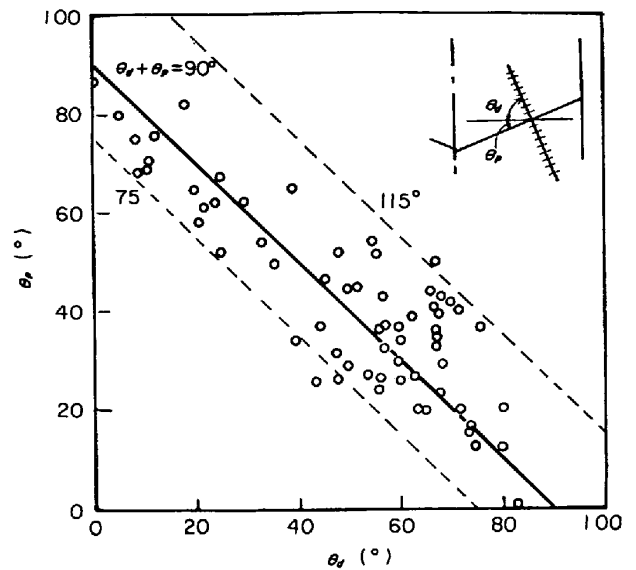


図2 水平線に対するデンドライトの角度( $\theta_d$ )とプールの角度( $\theta_p$ )の関係

#### 3.2 メタルプールの形状および結晶の成長方向

操業条件の変化によつてメタルプールの形状はいちじろく変形し、それが直接インゴットの品質を左右するのでプール形状の変化は ESR 操業のもつとも重要な指針となつている。分科会には、プール形状の決定方法をも含めた多くの研究結果が提出され、プール形状におよぼす数多くの因子の影響が少しずつ整理されつつある。

液体の流動がなければデンドライトの成長方向は固液界面と垂直になるはずであるが ESR のメタルプールでは図2(柵井ら:特殊 3-5-1)のようにこの関係は正確に保たれていないことが多くの人によつて明らかにされた。このことはメタルプール内での流動を暗示するものであり、この関係を定量的に把握できればメタルの流動の強さを決めることができると思われる。

#### 3.3 メタルプールの流動および混合

成分濃度の異なる電極を溶融する方法およびX線透過法という2方法で検討されたが、今後更に検討を要するという結論となつた。温度勾配からは流動が弱く、デンドライトの成長方向からは割合に流動があるという推測が可能であり、その見極めは今後に残された大きな問題である。

#### 3.4 メタルの凝固過程および凝固組織

デンドライトの1次および2次アームスペーシングのインゴット内における変化を測定する試みが多く鋼種について試みられた。さらにそれらの値からインゴット各部における冷却速度あるいは凝固速度を計算し、それによつて固液共存域の幅を決めたり酸素の分布との関係を明らかにすることに成功している。

凝固組織から得られる情報は数学モデルの妥当性を決める重要な手がかりとなるばかりでなく、操業条件を正

確に反映する重要な変数でもあるので早急にその特性を把握したい問題である。しかし現時点では基礎的なデータが不足しているため若干の遅れは止むを得ないように考えられる。

### 3.5 偏析

現在マクロ偏析およびマイクロ偏析に関する研究は少ないが、インゴット内での偏析は鑄型の種類によつて異なり、同じ寸法の普通鋼塊とは相当異なることが明らかにされている。

### 3.6 脱酸および非金属介在物の分布

ESR プロセスの中で、化学反応としての脱酸反応は研究も多くよい成果が挙げられている。その反面、凝固過程での脱酸反応およびインゴット中での非金属介在物の分布の研究はきわめて少ない。分科会ではこの問題を重点目標の一つに掲げており、2, 3の研究が行なわれている。しかし実験の難しさもあり、現時点では満足すべき水準まで到達していない。凝固プロセス、凝固組織、偏析および非金属介在物の相互関係を総合的に捉えることが当面の大きな課題と言える。

### 3.7 凝固計算

共同研究の数学モデルとは別に自主的な凝固計算の研究も行なわれ、共同研究の推進に大きく貢献している。

### 3.8 その他

それぞれの自主研究とは別に、分科会の研究推進に役立つと思われる、スラグの物性、凝固現象の理論あるいは実操業での諸現象など他分科会ならびに他分野での研究成果を必用に応じて御発表いただいている。

以上第3分科会のこれまでの研究経過と今後の問題点を概説したが、紙面の都合で個々の研究を取上げることができなかつたことを付記します。

## 第4分科会 (ESR フラックスの物理的性質)

主査 荻野 和巳

ESR プロセスにおけるスラグの役割はきわめて重要であり、その選択いかんによつて鋼塊の性状や作業性に大きく影響を与える。すなわち粘性、電導性、表面性質、熱的性質などは鑄塊の性状に、電導性、粘性、密度、蒸発性などは作業性に、また粘性、拡散などは反応性に影響を与えるといわれている。

さいわいなことに ESR スラグは他の精錬スラグと比較して組成的に単純なものが多く、いわゆる基本系スラグの測定結果より実用スラグの挙動を知ることが容易にできると考えられる。しかし、基本系である  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{CaF}_2\text{-CaO}$ 、 $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  系などの単純系に対する測定にもかかわらず測定結果に相違の大きいことが目につく。そのため、その物性値の利用にあつて利用者に困惑を与えている。

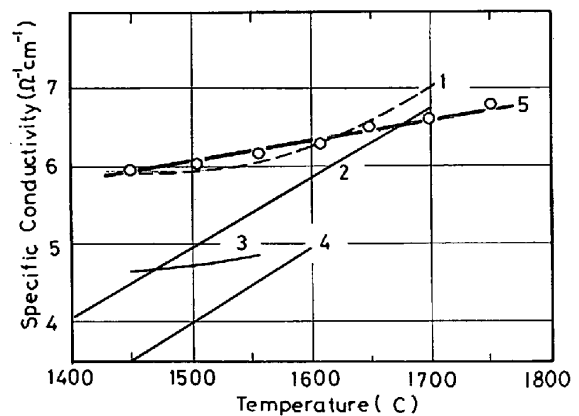


図3 種々の研究者による  $\text{CaF}_2$  の電導度の比較  
1. MITCHELL et al. 2. EVSEEV 3. WINTERHAGER et al. 4. ZMOIDIN 5. Present Work (Mo crucible)

かかる現状を考え、第4分科会は ESR 操業上重要な性質に対し信頼性の高いデータを分科会自身によつて測定し、認定することを目的として発足した。発足以来電気伝導度、粘度、密度、表面張力、界面張力などの物性測定ならびに蒸発に関する問題の解決のためにすでに7回の研究会を開催し検討を加えてきた。その結果、電気伝導度については基本系に対する測定をほぼ完了した。他の諸性質についても鋭意測定を実施中である。現在までに得られた成果を以下に略記する。

### 1. 電気伝導度

スラグの発熱性を支配する電導性に関しては従来より基本系である  $\text{CaF}_2$ 、 $\text{CaF}_2\text{-CaO}$ 、 $\text{CaF}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{CaF}_2\text{-CaO-Al}_2\text{O}_3$  系ならびに実用スラグについてかなりの測定がなされている。しかし、 $\text{CaF}_2$  の例にみるように大きな相違がある (図3)。現在まで、本分科会においては7回にわたり実測データにもとづいて種々な角度より検討を加え信頼できるデータを判断し得るようになった。

図3に示した諸結果は各研究者が各人各様に種々な方法によつて測定されたものであるから、その結果を検討するにあつては、その測定法をまず検討せねばならない。 $\text{CaF}_2$ 、あるいは  $\text{CaF}_2$  を主成分とするスラグの電導度は大きく、しかもこれを ESR の操業温度である  $1700\sim 1800^\circ\text{C}$  の高温で測定せねばならない。

従来の測定は一極法 (ルツボ対極法) あるいは二極法によつてなされているが、これらの方法によると溶液抵抗以外の導線、電極部の抵抗を十分除去することができない。さらに電圧測定端子に電流を流すため測定抵抗に電極-浴界面インピーダンスの測り込む恐れがある。これらの欠点を除くため電流端子、電圧端子を独立させる交流4端子法による測定方法を開発、検討した。さらに  $1800^\circ\text{C}$  に達する高温測定に用いる容器、電極の材料についても吟味を加え、モリブデンやタングステンの使用

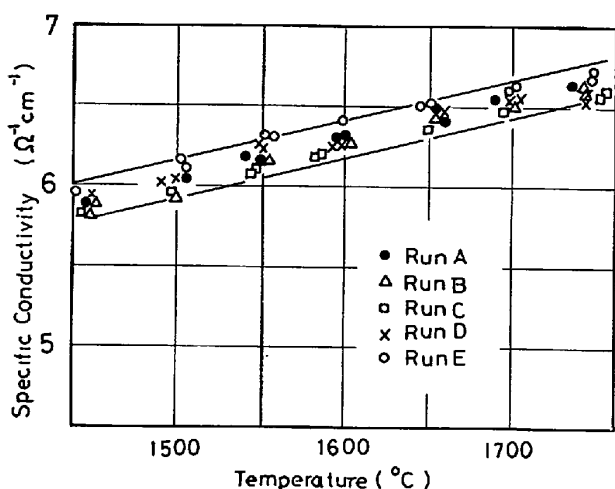


図4 種々の実験条件下による  $\text{CaF}_2$  の電導度 (crucible; Mo, Run A, B, and D; Samples without premelting, Run C; Remelted sample Run E; Dehydrated sample under vacuum heating)

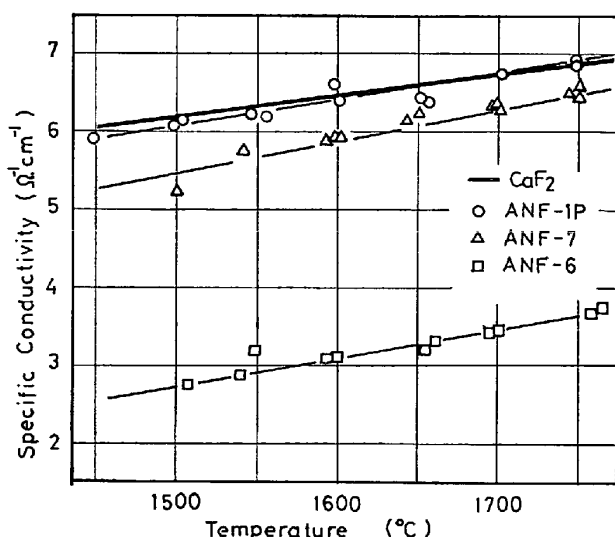


図5 各種市販フラックスの電導度と温度の関係

が効果的であることを認めた。一方測定対象の融体についても脱水処理や、溶融状態における組成の均一化が十分でないときには測定値に変動のあることを認めたので、このような条件についても十分に留意することを確認した。図4に種々な試料の測定結果を示す。処理の十分な試料について得られた結果が Run E であり、最も高い測定値を示す。処理不十分な試料に対しては若干低い値を示す。黒鉛ルツボで溶解したものは図2の結果よりかなり低い値を示す。この結果と図1の従来の結果とを比較すると、MITCHELL らの結果とほぼ一致することになり、EVSEEV ら、WINTERHAGER らによつて報告されているような低い電導度や大きい温度依存性は問題があると考えられる。

実用スラグに対しても同様な方法によつて測定をおこ

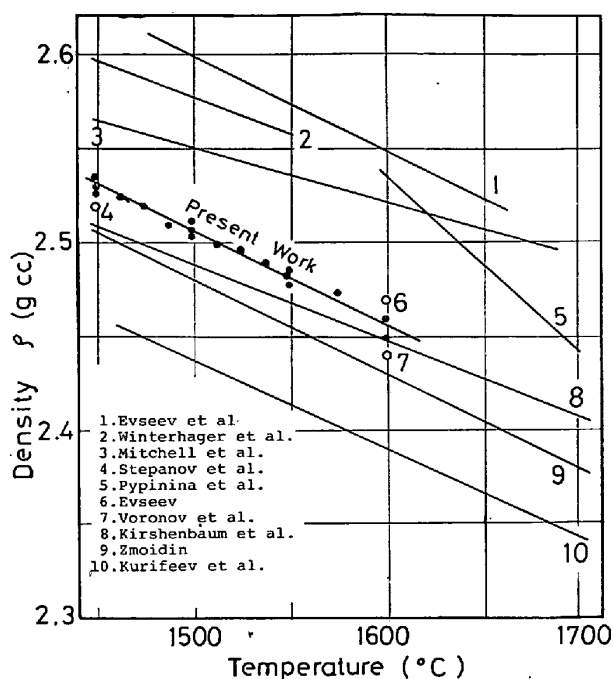


図6  $\text{CaF}_2$  の比重

ない図5の結果を得た。

## 2. 密度

ESR スラグの密度の測定も従来若干の測定がある。しかしそれらの結果は電導度の場合と同様図6にみるように相違が大きいの。高温における密度の測定方法としてはアルキメデス法が最も信頼性が大きく、本分科会においてもこの方法によつて測定、検討をおこなつた。その結果は図6に示すが、従来の結果と比較すると温度係数は多くの測定とほぼ同様の傾向を示している。密度の値はほぼ平均値に近い。この測定結果より、密度値にみられる相違は試料の純度、シンカーの体膨張係数の評価、表面張力頂の消去法などによるものと考えられる。ちなみに膨張係数における10%の相違は密度値で  $0.015\text{g/cm}^3$  に相当する。

## 3. 表面張力

ESR スラグの表面張力の測定は若干みられるが、二三の例外を除き比較的良好な一致をみている。 $\text{CaF}_2$  に対する本分科会の検討値は

$$\gamma_s = 417.7 - 0.0844t \text{ (dyn/cm)}$$

で与えられる。

ESR スラグに対し広範な測定を行なつている YAKOVASHIVILI の  $\text{CaF}_2$  についての測定値  $400\text{dyn/cm}$  ( $1400^\circ\text{C}$ ) は問題があると思われる。

## 4. 蒸気圧、蒸発種

ESR プロセスは高温のためスラグ構成成分の蒸気圧は重要な物性であるが、その測定の困難さは極めて大きい。一方  $\text{CaF}_2$  を含むスラグ中に  $\text{Al}_2\text{O}_3$  や  $\text{SiO}_2$  が存在すると  $\text{AlF}_3$  や  $\text{SiF}_4$  の、また水分を含む場合は  $\text{HF}$  の蒸発がある。本分科会ではこのような蒸発現象につい

表2 マススペクトロメーターにより検出された  
CaF<sub>2</sub>-基溶体より放出されたイオン種

System	KARO et al.	SHINMEI
	Ionic species	
CaF <sub>2</sub>	Ca <sup>+</sup> , CaF <sup>+</sup>	
CaF <sub>2</sub> -CaO	Ca <sup>+</sup> , CaF <sup>+</sup>	
CaF <sub>2</sub> -Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca <sup>+</sup> , CaF <sup>+</sup> , CaF <sup>+</sup> AlF <sup>+</sup> , AlF <sup>+</sup> <sub>2</sub>	Al <sup>+</sup> , AlF <sup>+</sup> AlF <sup>+</sup> <sub>2</sub>
CaF <sub>2</sub> -SiO <sub>2</sub>	Ca <sup>+</sup> , CaF <sup>+</sup> , SiF <sup>+</sup> SiF <sup>+</sup> <sub>2</sub> , SiF <sup>+</sup> <sub>3</sub>	SiF <sup>+</sup> <sub>2</sub> , SiF <sup>+</sup> <sub>3</sub> SiF <sup>+</sup> <sub>4</sub>

ても蒸発種、蒸気圧の測定を行なっている。現在までに実験された系としては CaF<sub>2</sub>, CaF<sub>2</sub>-CaO, CaF<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CaF<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> の各系である。これらの系について得られた蒸発イオン種の結果を表2に示す。

### 第5分科会 (ESW の研究)

主査 小林 卓郎

厚板の高エネルギー溶接法として、エレクトロスラグ溶接(以下 ESW と略省)法が実用化されて、十数年が経過している。この間高エネルギーを目的とした狭開先法や消耗ノズルを用いる簡易 ESW など開発された。しかしながら溶接中の冶金反応および電極の溶融速度、スラグ温度などの基本的物理現象について系統的研究がきわめて少なく、未知のことが多い。これらのことを解明することにより、ESW 法のより一層の発展、開発が期待される。

特殊精錬部会第5分科会は ESW に関する研究を担当し、会社および中立機関からの委員 16 名で構成されている。昭和 50 年 4 月から昭和 52 年 3 月現在までに、9 回の研究委員会をもち、約 40 件の研究報告がなされた。本分科会における研究方針は第一回目の委員会において、各委員の意見および発言内容をもとに、つぎに示す 4 項目に沿って研究を進めることとなった。

- (1) ESW の化学反応とフラックスの性質
- (2) ESW の物理現象
- (3) ESW の機械的性質
- (4) ESW の調査

上記分類で (1), (2) は ESW の基礎的現象の解明が主であり、(3) は ESW 使用者の現場的諸問題も含めたものである。(4) は国際溶接学会 (IIW) における各国の ESW 関係の研究紹介と相互の情報交換などに関与するものである。これまで報告されたものの中から二・三の代表的な研究について簡単に紹介する。

ESW におけるスラグ-メタル間の反応で溶接金属中の水素、酸素、炭素、けい素およびマンガンの挙動についての解析が多い。またフラックスの構造および塩基度

の概念などについても解析された。

SiO<sub>2</sub>-CaO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-MnO-CaF<sub>2</sub> 系フラックスの組成をそれぞれ変えたもの (20 種) および組成の異なる電極、鋼板を種々溶接条件で溶接し、つぎに示す結果が得られた。

(i) スラグ-メタルの反応のほとんどは電極端あるいは移行溶滴でおこり、溶融池内の反応にスラグは関与しない。

(ii) 溶着金属中の酸素の大部分はスラグ中の SiO<sub>2</sub> の解離によつてもたらされるもので酸素は  $a_{\text{SiO}_2}$  に比例して増加する。大気からの酸素吸収は電極表面の酸化のみを考慮すればよく、スラグからの酸化に比べ酸素に対する寄与は小さい。

(iii) CaF<sub>2</sub> の添加は酸素の低減にきわめて有効であるが、C, Si, Mn の歩どまりやスラグ中 FeO 量に影響を与えない。このことは溶融池からの脱酸生成物の浮上分離が促進されるためと推定される。

(iv) 溶融母材は溶融壁に沿って直接溶融池に入るため母材から添加された Si, Mn, S などの歩どまりは電極に比べはるかによい。

上記研究とは実験手法を異にするがスラグ-メタル反応を解析する目的は同一である。数種の ESW 用電極線と CaO-SiO<sub>2</sub>-CaF<sub>2</sub> 三元系溶成フラックスを用い、水冷銅鑄型中で溶解を行ない電極線中の元素の挙動を電極線が溶融し離脱する前の溶滴段階と凝固したインゴットおよびスラグの諸成分を分析し、次に示すような結果が得られた。

- (i) Mn は電極先端から離脱した後に主に酸化される。
- (ii) フラックス中の SiO<sub>2</sub> が増加すると電極線中の Mn は酸化されやすく、インゴット中の SiO<sub>2</sub> 量は増す。
- (iii) インゴット中の酸素含有量とスラグ中の FeO 含有量の比  $L_0 = [\% \text{O}] / (\% \text{FeO})$  は一定で  $L_0 = 0.0051$  であり、塩基度により変化せず、平衡状態に近い値を示した。
- (iv) Fe-Mn-C 系、および Fe-C 系電極線中の炭素含有量は全 ESR 過程で、ほとんど変化しなかった。
- (v) フラックスの塩基度 (CaO/SiO<sub>2</sub>) が電極線中の Mn の損失量およびインゴット中の Si 増加量に大きく影響した。

ESW 金属中の水素がフラックスの塩基度ならびに溶接条件などを変えることによつてどのように変化し、また実用的立場より ESW に重要な役割をするものかどうかといった二三の解析がある。

溶接金属中の水素量は溶接中に溶融池に石英管を挿入し溶接金属を吹き上げ、急冷し、IIW 法によつて拡散



性水素を定量し、さらに 700°C の真空抽出法によつて非拡散性水素を定量した。SiO<sub>2</sub>-MnO-CaO 系のフラックスに CaF<sub>2</sub> を 0~30% 添加するか塩基度を変化させて溶接し、溶接金属中の水素量を求め、つぎの結果が得られた。

- (i) ESW 溶接金属の水素量はフラックスの塩基度、極性、電流の影響を受けない。
- (ii) 溶接開始側の水素濃度は溶接終了側よりも高い。
- (iii) フラックスへの CaF<sub>2</sub> の添加は水素量、酸素量および介在物量の減少に効果的であつた。

低酸素溶着金属を得るためにフラックスを高塩基性にするといわれが発生し、このわれは拡散性水素量と関係があることが見出されている。

- (i) 高塩基性フラックスを使用するほど拡散性水素量は高くなり、われは拡散性水素量が 6 ml/100g 溶着金属をこえれば発生する。
- (ii) 溶接雰囲気の水蒸気分圧  $P_{H_2O}$  が 100 mm Hg 以下であれば、拡散性水素量は  $\sqrt{P_{H_2O}}$  に比例する。
- (iii) (溶着金属拡散性水素量) / (スラグ中水素量) = 0.50~0.59 の分配則がなりたつ。

水砕によつて製造された塩基性フラックスは製造時すでにフラックス中水素量は 12 ml/100g をこえ  $P_{H_2O}$  にかかわらず、われを発生する。酸性フラックスでは製造時の水素量も低く、かつ  $P_{H_2O}=144$  mmHg の高湿度で初めてわれが発生する。したがつて酸性フラックスを用い通常の溶接を行なう限り、水素によるわれ発生の危険はきわめて少ない。

以上は ESW におけるスラグ-メタル間の元素の挙動を化学的見地から取扱つたものである。つぎに本分科会の研究項目 (2), (3) について報告されたものの中から代表的な研究について紹介する。

ESW のスラグ浴内の溶融現象を解明するため、消耗ノズル ESW のスラグ浴内を X 線透過で直接観察した。X 線透過像からワイヤの溶滴移行形態、スラグ対流、などが観察され、これらの現象が溶接条件によつてどのように変化するか検討された。これらの結果の概略はつぎの通りである。

- (i) 電流の効果：電流が高くなるとワイヤ先端付近に働く電磁力が増大してスラグ対流が激しくなり、細粒の溶滴が高速で移行するようになる。その結果溶け込みも増大する。
- (ii) 電圧の効果：電圧が低くなると、ワイヤ先端と溶融金属表面との距離が小となり、同一電流でも電流の拡がりは小さくなる。また入熱も小さくなつてスラグ対流も弱くなる。
- (iii) 極性効果：上記 (i) (ii) は逆極性での結果で

あるが、極性を正極性にするると電極先端ならびに母板壁から気泡を発生し溶接が不安定になる。その結果、母板への溶込みも小さくなる。

- (iv) ビード外観に影響する溶融金属面のゆれは、電流、フラックスの高温での粘性（実際は溶接中のスラグの電気抵抗）が大になるほど、また電圧、スラグ浴深さが小になるほど激しくなる。しかし直流では交流に比べてゆれは激減する。

ESW におけるスラグ浴内での電流分布、温度分布、および母板の溶込み形成機構などの物理的な現象について解析された。軟鋼板を ESW した場合の溶接中のワイヤ先端近傍の温度は 1700~2500°C で、それより上方では 1300~1500°C と先端部より低い。これは浴内に深く浸漬しているワイヤ先端より母板へ流入する電流分布に起因するものである。実験に使用する SiO<sub>2</sub>-MnO-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-CaO 系フラックスの電気伝導性は 1200~1300°C まではさほど変化はみられないが 1400~1500°C 以上になると急激に増大する。

スラグ浴内の電流分布は温度分布とよい対応を示している。さらに極性効果が存在し、ワイヤの極性により、スラグ浴内の電位分布、電流分布、温度分布、が大きく異なる。母板の溶込みは浴内の電流分布に起因する強力な対流によるものであることなどを明らかにしている。銅ブロック内でスラグ溶融を行なつた場合、熱源形態として、スラグ熱源、スラグ浴内アークおよびスラグ浴上アークの三種の形態が条件によつて現われることを示された。これら熱源とスラグの種類、電圧、電流およびスラグ浴深さとの関係を明らかにしている。

最後に ESW の実用および応用例の紹介があり、これらについてみてみよう。造船における ESW の使用に関し、日本の代表的な造船所 35 工場に対しアンケート調査した結果がある。この調査によれば数百隻の大型船の建造に大入熱溶接が適用され、適用ヶ所は船体平行部の上甲板、船側外板、縦横隔壁、ロンヂ材などにわたつていた。高張力鋼 (50 kg/mm<sup>2</sup> 級) の現場継手には ESW は一部の例外を除いて適用されていなかった。船体用軟鋼厚板の溶接継手の脆性破壊の発生および伝播停止特性について研究された。また高張力鋼の ESW の造船への適用に関し、溶接部の靱性について研究がなされた。極大入熱の溶接部ではその溶接金属の靱性がかなり低下するので、入熱を小さくしたり、開先をより狭くしたりする方法が検討された。さらに大入熱の場合でも靱性の高い溶接部が得られるような鋼材の開発が進められており、例えば、新日鉄の Ti, N 添加の鋼、川鉄の Al, Ca, B 添加の鋼および住金の低 Si, Al, B 鋼などがある。これらは細かいフェライト、パーライトが得られるように考慮されたものである。以上は造船における ESW の使用についてみたが、この他ボイラドラム、鋼管、リアクター圧力容器など種々の実用例がある。ESW の特色

を生じた応用としては例えばエレクトロスラグ溶解法原理を利用した溶造技術が開発され、この技術を用い原子力カエルポの製作がなされている。

## 第6分科会（特殊精錬に関する情報収集）

主査 成田 貴一

### 1. はじめに

第6分科会は特殊精錬部会の発足とともに、渡辺誠一郎主査（新日鉄）が中心となり、いち早く活動に入った。昭和48年12月には、後藤部会長、渡辺主査ほか9名の出席のもとに準備会がもたれ、部会発足の経緯、目的、第6分科会の役割りについて説明があり、当初の活動原案「各国のESRに関する情報の収集およびESRの経済性に関する研究」について討議した。経済性に関する事項は文献情報のみでは調査が不可能であること、実操業上の問題としてとりあつかうほうが適当であることなどから、これを対象から除外し、「特殊精錬に関し、ESRを主体に国内外の文献を可能なかぎり収集し、今後の特殊精錬部会研究活動の参考資料に役立てる」を第6分科会の活動方針とすることにした。昭和49年3月には第1回会合を開き、主査以下12名の委員をもつて分科会を構成することを確認したのち、活動方針にしたがつて昭和49年度の活動スケジュールを作成し、具体的調査を開始した。すなわち昭和49年度は、ESR法に関する国内外の文献、資料を可能なかぎり収集し、その成果を特殊精錬部会第1～第5分科会の円滑な研究活動およびESRに関係する研究者や技術者にとって活用しやすいように、文献集としてとりまとめることにした。昭和50年度からは、部会の名に示すごとく、ESR法以外の特殊精錬法について調査の範囲をひろげ、さらに昭和51年度からは、ESR溶製材の材質特性データから精錬プロセスとしてのESRの位置づけをおこなうため、データ集のとりまとめを目標に調査を開始した。なお昭和50年度より、渡辺主査に代り、成田貴一主査（神鋼）が業務を引き継ぎ、また昭和51年度には委員の移動もあつたが、この間、昭和49年度には4回、50年度および51年度にはそれぞれ3回の会合を持ち、上記3つの内容について調査を進め、現在に至っている。

### 2. ESR文献集

調査はまず各委員所有の文献、資料、科学技術文献速報（日本科学技術情報センター）などをもとに整理することから手がけ、その内容（図、表、写真の概要説明）を南江堂文献カード（NANKÔDÔ 851-G2）を用いてカード化し、つぎの分類項目（コード数102）にしたがつて分類、穿孔した。

#### ESR文献分類大項目

I. 発表年、II. 雑誌名、III. 注目元素、IV. 金属種、V. 再融解規模・形状、VI. スラグ、VII. 反応

論、VIII. スラグの物性、IX. 熱的諸問題、X. 電気界面現象、XI. 操業に関するもの、XII. 鑄塊、XIII. 材料の性質、XIV. その他

第2回（昭和49年6月）および第3回（同11月）会合において、文献、資料の収集状況のチェック、問題点の抽出、作業の分担、文献集の編集方針などについて討議を重ね、昭和50年2月にはESR文献集第1集（81ページ）としてその完成をみた。文献集はできるだけ内容を具体的につかみうるように、当分科会で入手できるものを対象としており、その内容は1950年代後半から1973年末までの国際会議、シンポジウム、学協会誌、専門誌および各種資料にわたり、欧文資料492件、邦文資料140件の計632件を収録した。ひきつづき昭和50年度は第5回～第7回（3, 6, 9月）の会合を経て調査は順調に進み、昭和51年3月には、第1集に未収録の文献およびソ連関係の文献、計270件、ESRに関する単行本の紹介ならびに第4分科会からの資料の一部“ESR用フラックスの性質に関する文献”をまとめて、文献集第2集として刊行した。これらの文献集は各分科会、関係部署に配布するとともに、広く一般に有償頒分している。また内容を記載した文献カードは複製、頒分し、研究者や技術者の情報検索に供している。

ESR法がソ連においてエレクトロ・スラグ溶接（ESW）の応用技術として発展、工業化されて以来、そのすぐれた長が確認され、とくに1960年代後半から急速な勢いで各国に広がっていった。このようなすう勢は多くの論文からもうかがわれ、ESRを対象とした国際会議、シンポジウムなども数多く開催されるようになってきた。また技術的な研究とともに、プロセス解析をはじめとした基礎研究についてもきわめてすぐれた成果が発表され、本技術の進歩に大きく寄与している。また最近ではESR設備の大形化とともに、極厚スラブ、中空鑄塊などへの適用や、連続エレクトロ・スラグ粉末融解法（CESPM）、エレクトロ・スラグ鑄造法（ESC）のようなESRの原理を応用した技術に発展しつつあり、製鋼製錬における1つの新しい分野を形成しつつある。

### 3. 特殊精錬法文献集

特殊精錬法については昭和50年度から調査を開始し、第6回会合において、ESR文献集の場合と同様に斯界の情報を取りまとめることにした。調査範囲を真空誘導融解法（VIM）、真空アーク融解法（VAR）、プラズマ・アーク融解法（PAR, PAM）、電子線衝撃融解法（EBR, EBM）、真空酸素脱炭法（VOD）、アルゴン酸素脱炭法（AOD）、ASEA-SKF法などとし、単なる脱ガス・取鋼精錬法や特定のプロセスを対象としない基礎的なものは対象から除外することにした。そのような経過を経て、第7回会合から分類作業に入り、第8回～第10回（昭和51年3, 7, 11月）と調査を進めながら分類項目、編集方針を検討し、昭和52年3月には774件の

国内外文献を、つぎの分類項目 (コード数 107) にしたがって分類整理し、特殊精錬法文献集第 1 集を刊行した。

#### 特殊精錬法文献分類大項目

I. 発表年, II. 雑誌名, III. プロセス, IV. 注目元素, V. 金属種, VI. 実施規模, VII. 操業, VIII. 精錬反応, IX. 鑄塊, X. 耐火物, XI. プロセス解析, XII. 物性, XIII. 材料の特性, XIV. その他

#### 4. ESR 溶製材の材質特性データ集

ESR 溶製材の材質特性データについては、第 6 回会合以来、調査対象、まとめ方などについて討議を重ねたが、昭和 51 年度から各委員が分担して ESR 文献集第 1 集および第 2 集の中からクリープと疲労に関するデータを抽出し、整理を試みた。その結果、ESR の融解条件、試料履歴、試験条件などの詳細が不明のものもかなりあるが、材質データを利用する立場からすれば、融解条件はとくに問題とならず、また ESR 材と大気溶解材との比較、ESR 材の材質特性の位置づけができることから、鋼種別に材質データを取りまとめることにした。なお大気溶解材に関する材質特性データについてはこれまでもすぐれた収録が刊行されているが、ESR のような特定のプロセスで造られた材料の材質特性データ集の収録ははじめての試みであり、その成果が大いに期待される。

#### 5. おわりに

以上の調査活動は今後もひきつづいておこない、昭和 53 年度末までに、つぎのような予定で収録を刊行したい。

	ESR 文献集	特殊精錬法 文献集	ESR 材材質 特性データ集
昭和 49 年度	第 1 集	—	—
〃 50 〃	2	—	—
〃 51 〃	—	第 1 集	—
〃 52 〃	3	—	—
〃 53 〃	4	2	第 1 集

本分科会の特長の 1 つは、入手しうる原文を対象とし、その内容を適確に表わしていると考えられる図、表、写真などのデータをもとに分類、整理している点にあり、その成果は各委員の献身的な努力によるところが大きい。反面、とくに国外の特殊な資料の入手あるいは調査の困難な場合があり、この点については関係機関の協力をえて、さらに積極的に情報の収集をおこないたい。

#### 文 献

- 1) 小島 康, 井上道雄, 豊田剛治, 加藤 誠: 第 1 分科会提出資料, 1-1-3, 昭 49. 6. 20  
井上道雄, 小島 康, 加藤 誠, 野村正一: 同上 1-2-3, 昭 50. 1. 30  
井上道雄, 小島 康, 加藤 誠: 同上, 1-3-3, 昭 50. 7. 2
- 2) 小口隆男: 同上, 1-1-1, 昭 49. 6. 20
- 3) 榊井 明: 同上, 1-3-2, 昭 50. 7. 2
- 4) 石川英毅, 新井田有文: 同上, 1-3-1, 昭 50. 7. 2
- 5) 盛 利貞, 諸岡 明: 同上, 1-6-5, 昭 51. 12. 17
- 6) 竹内栄一, 岸本 誠, 森 克巳, 川合保治: 同上, 1-5-3, 昭 51. 6. 30
- 7) 井上道雄, (故)小島 康, 加藤 誠, 長谷川清: 同上, 1-5-2, 昭 51. 6. 30
- 8) 榊井 明: 同上, 1-1-2, 昭 49. 6. 20
- 9) 山村 稔, 榊井 明: 同上, 1-2-1, 昭 50. 1. 30
- 10) 井口泰孝: 同上, 口頭発表, 昭 50. 1. 30
- 11) 荻野和巳, 原 茂太, 橋本英弘, 木本辰二: 同上, 1-4-3, 昭 51. 2. 5
- 12) 荻野和巳, 原 茂太: 同上, 1-6-2, 昭 51. 12. 17
- 13) 山本澄夫, 石井邦宜, 古井周雄: 同上, 1-6-3, 昭 51. 12. 17
- 14) 川上正博, 永田和宏, 山村 稔, 坂田直起, 後藤和弘: 同上, 1-5-1, 昭 51. 6. 30
- 15) 川上正博, 永田和宏, 後藤和弘: 同上, 1-6-1, 昭 51. 12. 17
- 16) 井上道雄, 浅井滋生, 岩崎哲夫: 同上, 1-6-6, 昭 51. 12. 17