

© 1991 ISIJ

展 望

鉄 鋼 分 析 の 展 望

佐 伯 正 夫*

Recent and Future Trends of Analytical Techniques in
Iron and Steel Industry in Japan

Masao SAEKI

1. は じ め に

鉄鋼業の進歩に貢献する関連技術の一つとして分析技術があり、その最近の進歩発展について今回本誌分析特集号として集約することは、時宜にかなった有意義なものと考えられる。それは日本の鉄鋼業が成熟期からさらに変革期にある今日、次の時代を予測し、切り拓いていく方向を考える上でも役立つことが多いと思うからである。

そこでまず、1950 年以降鉄鋼分析技術の長期的流れについて四つの側面から考えてみたい。すなわち (1) 鉄鋼業の技術課題、(2) 分析分野での技術課題、(3) その技術向上に寄与する周辺技術の発展、(4) 新しい分析技術の研究開発と実用化、である。

鉄鋼業の技術課題については細木繁郎氏の特別講演¹⁾に要約されるように、導入技術の消化、生産性の向上、環境・省エネルギー、高級化・多様化、弾力的生産体制、新規分野への進出であり、これらに対応して(時期的にはそれらの初期段階で)分析部門での技術課題が設定されてきた。一方で周辺技術の発展で特筆すべきは、エレクトロニクスの進歩とコンピューターの普及、分光技術、高真空技術、電子ビームやプラズマ技術の発展があり、これら環境諸条件と分析技術者(1960 年代までに世界のトップレベルになっていた)の研究開発と実用化の努力は数多くの成果を生み、鉄鋼業の発展に貢献してきた。例えば、転炉操業での発光分析技術、連続 casting の普及では铸片中心偏析の、また鋼材高級化・多様化では表面および微細構造の分析・解析技術、環境問題での極微量分析技術等があげられる。

さらに 1970 年代以降では機器分析の高性能・システム化の時代となり、分析技術でも日本が世界をリードするようになってきた。この例として発光分析におけるパルス分布測定法や製鋼分析室の無人化等がある。80 年代からは鉄鋼各社も新素材・エレクトロニクスなど新規

分野へ事業拡大に努め、ppb オーダーの極微量分析や原子尺度での表面および微細構造解析では先進他業界に短期間で追いつきつつあり、これら技術を活用する社外分析事業でも総合的分析・解析力を高く評価されている現状である。この 40 年間の大きな流れを表 1 に示す。

この展望では 1970 年から 1990 年までの 20 年間について分析・解析技術の主な進歩と技術者の活動状況に関して概説し、さらに将来への展望を述べることにしたい。

なお、1970 年代以前の鉄鋼分析技術については本誌鉄鋼分析特集号²⁾、第 61・62 回西山記念技術講座³⁾、成書⁴⁾があり、最近の進歩については第 19 回白石記念講座⁵⁾があるので、詳しくはそれらを参照していただきたい。

2. 鉄鋼分野での分析・解析技術の進歩

2・1 高感度・高精度分析

1970 年代の環境問題では環境分析が広く関心を集め、国や地方自治体の規制や企業の社会的責任からも正しい測定値を出すことが必須課題となった。環境分析ではサンプリングの難しさと同時に ppm レベルでの微量域定量において、従来の吸光光度法では妨害成分も多く適用困難であったが、原子吸光法(AAS)を採用し、さらに抽出分離と組み合わせたり、無炎原子吸光法(FL-AAS)を採用して迅速、高感度な定量法とし、そのあと誘導結合プラズマ(ICP)発光分析法の普及により多元素同時定量も可能となり大きく進歩した。

排ガスや大気中 NO_x 定量では基準となる化学分析法が不正確であったため、改良ナフチルエチレンジアミン(NEDA)吸光光度法を鉄鋼業界で開発し NO_x 実態調査や対策検討に役立て、さらに ISO 法としても提案され、国内外に貢献している。

鉄鋼中 C や S 定量では製鋼技術の進展に伴い、10 ppm レベルで正確、迅速な定量法が必要とされ、高周波加熱および赤外線吸収測定技術を利用した赤外線吸収

平成 3 年 4 月 19 日受付 (Received Apr. 19, 1991) (依頼展望)

* 新日本製鉄(株)参与 (Executive Counsellor, Nippon Steel Corp., 1618 Ida Nakahara-ku Kawasaki 211)

Key words: general views; iron and steel analysis; Japanese steel industry.

表 1 技術的課題と分析技術の変遷⁵⁾

	1950 (S25)	1960 (S35)	1970 (S45)	1980 (S55)	1990 (H2)
研究の流れ					
日本鉄鋼業の技術課題 () は分析分野の技術課題	プロセス研究	新製品開発 (析出物分析) 生産性向上, 合理化 (迅速機器分析, 精度向上)	環境問題 (環境分析) 省エネルギー (OC 中心偏析, 組織制御)	製品研究	製品研究
周辺技術の発展, 普及	真空管 光電管 トランジスター 真空分光器 RI 利用	IC コンピュータ利用 回析格子型分光結晶 電子(イオン)ビーム利用, プラズマ利用	LSI マイクログコンピュータ 電子分光技術 EDX	高級化, 多様化 (微細析出相分析, 表面分析および微細構造解析) 弾力的生産体制 (分析システム, オンライン分析) 新規分野 (対象拡大, 極微量分析, 社外分析)	
分析・解析技術の流れ	化学分析の確立	機器分析の導入	化学分析の迅速, 高精度, 高感度, 多様化 機器分析の高性能化, システム化 高度解析機器の導入, 活用 対象の拡大		
元素分析技術	高感度分析 迅速分析 省力, 無人, オンライン分析	吸光光度分析 放射化分析 滴定分析, 吸光光度分析	鋼中ガス分析, 原子吸光, スパーク質量分析 真空型発光分析, 蛍光 X 線分析, d ₁ 分析 中性子放射化分析 めっきモニタリング分析, 吸光分析自動化	クリーンルーム, ICP(GD) 質量分析 FIA 現場分析, 時間分解法 製鋼分析室無人化, オンライン分析	
状態, 局所分析・解析技術 介在物, 析出物 表面, 界面 微細構造 結晶構造 有機分子構造	酸溶解分離, ハロゲン有機溶媒分離 (酸化物) 電頭 X 線回析 (計数) 質量・赤外分光分析,	定電位電解分離 (非水溶媒) (炭化物) EPMA 電界イオン顕 走査電頭 応力, 集合組織 NMR, ガスクロマトグラフ	新フィルター (硫化物) XPS, AES, SIMS 超高圧電頭 三次元極点図 AP 電界イオン顕 分析電頭 HP-LC, GC-MS, FT-NMR レーザーラマン, FT-IR	SPEED 法 (析出物) GDS, CMA SAM 高分解能電頭 分析電頭 + AES (金属間化合物) TR-XRF RBS STM EXAFS	

法 (HF-IR) が米国で開発され、いくつかの改良を経て世界中に普及した。これらは純化学物質を用いて検量線を作成する操作に改良され ISO 法にもなった。

1980 年代には鉄鋼中金属成分のうち多くの成分定量法が AAS から ICP 発光分析法に置きかわり、分析能率を大幅に向上させた。また 10 ppm 以下の極微量分析が必要となり、日本鉄鋼協会共同研究会鉄鋼分析部会 (以下部会と略す) 化学分析分科会を中心にして分析方法の共同研究を行い推奨法をまとめた。さらに日本鉄鋼協会鉄鋼標準試料委員会により高純度鉄標準試料が製造され、この面でも世界を大きくリードした。いっそうの高感度化も研究され、フローインジェクション分析法 (FIA)、ICP (またはグロー放電) 質量分析法や放射化学分析法等の新しい物理分析手法も活用され始めた。

2・2 迅速分析

製鋼操業管理のための迅速分析として発光分析法が 1960 年代に定着し、70 年代はコンピューターの利用と高速発光装置の利用で大きく前進したが、スパーク放電挙動と放電条件の選択、さらに放電ごとに得られる信号処理法を生み出してパルス分布測定法 (PDA 法) が日本で初めて開発され、鋼中 Al の形態別定量やほぼ全成分の精度向上が実現し、少し遅れて高エネルギー発光法も開発され、これらは国内で広く使われているだけでなく、外国でも高く評価された。80 年代は鋼中 C、P、S 定量で微量域へ拡大するために、グロー放電発光分析法 (GDS) や時間分解法等の研究や部会機器分析分科会における微量域での分析精度調査や分析条件の改善のための共同研究が行われた。一方で製鋼操業現場に簡易型発光分析装置を設置し製鋼操業者が自ら分析する試みも迅速化の手段として行われている。

蛍光 X 線分析法も発光分析法と並んで発展し、70 年代には X 線の高強度化や粉体試料のガラスビード作製による粒度効果の解消技術が完成し、鉄鋼や鉄鉱石、スラグを対象とする迅速機器分析としてその地位を盤石なものとした。その後、微量域への定量範囲拡大、C 定量の工夫等がなされ、また極微量分析手法としてユニークな全反射蛍光 X 線法 (TR-XRF) が開発された。

鋼中 O、N、H 定量も迅速化が進み、試料加熱にインパルス炉を用い大電流で短時間に昇温する方式等を採用した不活性ガス搬送融解-熱伝導度法が米国で開発され、70 年代後半には定着した。

2・3 省力・無人化、オンライン分析

鉄鋼業における操業管理用オンライン分析が実施されたのはめっき鋼板製造ラインが初めてで 60 年代後半のことである。70 年代に入ると鉄鋼生産の伸びを上まわった分析作業量の伸びとなり、分析室における省力化が緊急の課題となって、湿式化学分析を AAS、溶液発光分析法に置きかえたり、Mn や P の吸光光度法を自動化したりして化学分析室の様相が大きく変わり、さらに

80 年代に入ると価値の低い分析をやめたり、コンピューター導入によるシステム化やロボット化で一部無人化しながら大幅な要員合理化を達成した (約 30% と推定される)。

機器分析室でもコンピューターの導入により、発光分析や蛍光 X 線分析での分析値自動判定や検量線自動較正が実施され、さらに試料調製を含む全分析操作を自動化した無人分析室が 80 年代後半には出現し順調に稼動する等、この面も日本が世界にさきがけた技術の一つである。

溶鋼オンライン分析は分析技術者の夢であり、これまで各国で多くの試みがなされたが実用には至らなかった。70 年代は固体電解質を使った濃淡電池方式による溶鋼中 O 測定法や、凝固温度測定による溶鋼中 C 測定法が研究され実用化された。80 年代に入ると高級鋼化や弾力の生産ニーズから再び開発が日本を中心として始まり、数種類のオンライン分析法が研究されている。一部では転炉火点スペクトル測定による溶鋼中 Mn 測定法が実炉で試用され始めた。

2・4 介在物・析出物分析

1970 年代後半から 80 年代にかけて製鋼技術の進歩、鋼材の高級化や多様化の中で介在物・析出物分析に対するニーズが変わってきた、すなわち不純物としての鋼中非金属介在物は含有率が減り、粒径も小さくなった、これとは別にマイクロアロイング技術が進み微小複合析出物やステンレス鋼中金属間化合物等の解析が必要となった。

このための解析内容は、量と組成、結晶構造と整合性、析出挙動、粒度と分布、析出場所と形態、等総合的な解析が必要で材料のキャラクタリゼーションの基盤としてその重要性を増している。

周辺技術としては画像処理技術や物理的解析機器の進歩があり、これらに着目し積極的に取り入れていった時代である。

80 年代に進歩した技術に、電子線プローブ X 線マイクロアナライザー (EPMA) の高性能化と画像処理技術の導入によって μm オーダーまで高精度に解析可能とした新 EPMA (CMA 法) があり、連铸鑄片の中心偏析や介在物の低減に大いに貢献した。

微小析出物のマイクロ解析に電子顕微鏡や表面分析法が総合的に使われるようになり、また、走査電顕による観察のために鉄鋼試料表面を軽く電解して鉄だけを溶解し、介在物・析出物だけを表面に残す選択的電解エッチング (Speed 法) が開発されたり、鑄片の P 偏析を簡便に検出するりんプリント法も電気化学的手法の応用として開発され介在物・析出物分析の適用を広めた。

2・5 表面分析

表面分析技術では 1970 年代から使用され始めたオージェ電子分光法 (AES)、X 線光電子分光法 (XPS)、

二次イオン質量分析法 (SIMS) が 80 年代には鉄鋼材料の解析に有効であることが実証され、その地位を確立したことが特徴といえる。すなわち、AES により結晶粒界での元素偏析挙動や表面処理鋼板での表面 Cr の存在状態が三次元でミクロに解析でき、XPS によって腐食初期過程の解析や元素の化学状態の知見がえられ、また SIMS により鋼材表面の微量不純物を精度よく、かつ局所的三次元情報として得られる等、他の手法では全く得られなかった有益な情報が比較的容易に得られるようになった。

上記の表面分析法以外にも、深さ方向の化学組成分布を簡便に分析するグロー放電発光分析法やラザフォード後方散乱法 (RBS)、Fe や Sn 等特定元素の化学結合状態や磁気スピン状態を解析する転換電子メスバウワー分光法や表面汚染元素を検出する全反射蛍光 X 線分析法等がある。

表面分析法の普及に伴い得られるデータの定量性を向上させるための共同研究が部会表面分析小委員会で始まり、成果をあげた。さらに表面分析法の標準化のための国際共同研究活動がベルサイユサミットの結果として発足し日本の鉄鋼各社も参加している等、一部の表面分析法では成熟期を迎えようとしている。

2.6 微細構造解析

1970 年代後半から鉄鋼製造プロセスの進歩による鋼材特性の向上は著しい。例えば制御圧延や制御冷却等の加工熱処理工程の組合せによる強度じん性バランスの改善や再結晶集合組織制御による深絞り性向上等多くの例があるが、これらの技術開発を支えたものに電子顕微鏡 (電顕と略す) や X 線回折を駆使したミクロ組織の解析技術の高度化がある。

微細構造解析においては、金属組織の観察や相同定だけでなく、相間の結晶方位関係、個々の結晶粒の方位、組成分析や内部ひずみなど多様な解析が行われ、また相変態、塑性変形、再結晶等材質特性を支配する諸現象をより深く理解するための動的解析も併用される。

これらの解析には分析電顕、高分解能電顕、超高压電顕、走査電顕がよく利用され、また真空技術、光学素子や解析ソフトの進歩により高性能化してきた。材料の原子配列、原子 1 個 1 個の同定とその結果による組成分析が行える原子プローブ電界イオン顕微鏡 (AP-FIM) が活用され始め、さらに 80 年代後半に開発された走査トンネル顕微鏡 (STM) やレーザー顕微鏡も利用されようとしている。

X 線回折法を基本とする三次元極点図測定、動径分布解析法も利用され、X 線の細束化により 10 μm オーダーまで微細化されるようになった。80 年代後半からシンクロトロン放射光 (SOR) の利用が盛んになり、X 線の細束化、高輝度化、平行性を生かして X 線吸収端微細構造解析法 (EXAFS) により局所的原子構造の解

析や結晶構造変化の動的観察に威力を発揮しつつある。

微細構造解析技術は現在も発展段階にあり、今後さらに大きな飛躍が期待されている。

2.7 有機構造解析

鉄鋼分野ではこれまで有機構造解析に対してあまり高度な需要がなく、石炭、タールや塗料の解析に赤外吸収、質量分析やガスクロマトグラフ分析が用いられる程度であった。1970 年代から表面処理皮膜、圧延潤滑油や有機複合鋼板の解析に、さらに 80 年代後半からは新規分野に研究開発の対象が広がると有機高分子材料やシリコンウェファの解析に、高度な有機構造解析が必須となり、各社とも人および設備の増強を図った。例えば、高速液体クロマトグラフ分析 (HP-LC)、ガスクロマトグラフ質量分析 (GC-MS)、レーザーラマン分析、フーリエ変換赤外吸収分析 (FT-IR) や核磁気共鳴分析 (NMR) が導入され、ようやく化学業界などに追いついた段階であり、今後いっそうの充実が望まれている。

3. 新規事業分野での分析・解析技術の進歩

1980 年代には鉄鋼各社も新規事業分野に積極的に進出し始め、分析部門もこれに十分対応するように、まず化学、新素材に、次いでエレクトロニクスを対象にその戦力を振りむけていった。具体的には化学、新素材では炭素繊維、有機高分子材料、炭素材料、ファインセラミックス、水素吸蔵合金、形状記憶合金、アモルファス、磁性材料等がまず対象となり、エレクトロニクスではシリコンウェファや電子部品に力を注ぐことになった。

鉄鋼分析技術者にとってほとんど未知の材料であり、まず材料についての知識を勉強し、その上で材料研究開発にどのような分析・解析技術が必要になるか調べて体制を逐次構築していった。この 10 年間は先進の他業界に追いつくべく懸命な努力をした時期で、分析部門にとって 70 年代の環境分析、60 年代の迅速機器分析および 50 年代の湿式化学分析と同様に時代を代表するキーワードになるであろう。

新規事業分野の分析・解析技術と鉄鋼分野のそれとは基本的な面では共通点が多いものの、かなりの点で異なっている。例えば前者では商品開発に追われて基盤的研究に手がまわらず、また自社に既存事業を持たないので課題をしっかりと流動的である。試料の種類が極端に多くなり、試料調製法が多様化し、その上定量すべき範囲が極微量域から高含有率域まで広く、クリーンルームや超高純度試薬を用いたり、さらに機能材料の解析では最表面単原子層から深さ数 μm までの組成、構造、欠陥等の情報を必要とするように、情報の種類が大幅に増大した。このため化学的な分析技術の上に物理的な高度解析技術を総合的に保有していることが必須となってきた。

これらの技術向上のためには分析技術者が日本鉄鋼協

会や日本金属学会の場で交流するだけでなく、日本学術振興会、日本分析化学会、応用物理学会等に参加して技術を高めたり、国内外の大学との交流や国家プロジェクトへの参加、公立研究機関の大形解析設備の借用等、人の交流の場が従来より圧倒的に広がったが、これは鉄鋼分野にもプラスの影響をもたらすことになる。

鉄鋼各社とも事業分野拡大の一環として、これまで蓄積した分析・解析技術を活用して社外からも分析を受託する事業を小規模ながら 1980 年代から開始した。これは多くの民間企業が新規事業への進出を目指し、官公庁研究機関も研究対象を新素材に向ける。このような潮流の中で材料の分析・解析への需要は高まり、鉄鋼材料を中心に高いポテンシャルを持つ鉄鋼各社への期待があり、これに応えるよう事業化したもので分析技術者の活躍の場が社外にも開けたともいえる。

社外分析事業の内容は材料の組成分析、表面分析、微細構造解析、有機構造解析また材料の物理試験や物性測定をベースにした材料評価が主体で、これに各社の特色を付加した内容にして特徴を出しいろいろな形で実行している。需要家はエレクトロニクス、機械、金属、化学等の民間企業や官公庁研究機関で幅が広い。

この事業は技術、ソフトが商品であり、営業活動も難しく、納期、価格、報告内容等で需要家を満足させることはたいへんであるが、膨張を続ける研究支援産業の一環としての社会的位置づけもされ、ますます必要性を高めている。

4. 分析・解析技術向上のための活動

分析・解析技術向上の業務は鉄鋼各社の製鉄所、研究所や大学および研究機関の技術スタッフや研究者によって遂行されている。1980 年代は鉄鋼各社とも大幅な合理化と新規事業分野へのシフトを行ったが、分析部門では製鉄所の技術スタッフが約 30% 減少し、研究者数はほぼ横ばいで対象を新規事業分野に広げた (1988 年の調査では大手 5 社の合計で前者が約 50 名、後者が約 100 名)。

大学等における分析研究も対象が新素材、生体等に変わり、鉄鋼を対象とする研究室は 2, 3 か所にすぎない。この傾向は欧米も同じで、特に米国ではほとんど存在しないと思われる。

分析・解析技術の全般的傾向として物理的手法による解析技術が主流となり、湿式化学分析技術は研究対象としても少なく、特に熟練者の確保がむずかしく、機器分析のための基準値を求めたり、標準試料の標準値決定のための化学分析において問題が顕在化することがあり、米国を筆頭に欧州各国等鉄鋼先進国の共通の悩みとなっている。専門分野別では鉄鋼分野の元素・状態分析が減り、新規事業分野の表面分析、微細構造解析が増大している。

鉄鋼分析の共同研究の場として部会があり、1960 年 (昭和 35 年) 以来活発な活動をしてきたが、85 年には従来の 6 分科会から 2 分科会 2 小委員会の合理化した体制に改め、より実質的な共同研究を行えるようにした。このほか日本学術振興会製鋼第 19 委員会では第 1 分科会 (分析) と環境分析協議会を改組して化学計測協議会とし、産学共同研究課題を選び活動している。また最近では他の学会の講演会に参加して新規分野での研究交流を積極的に行っている。

外国の鉄鋼分析技術者との交流が頻繁になった (例えばフランスや北欧の分析技術調査団の来訪、日本から EC 主催の鉄鋼分析国際会議への参加、ISO/TC17/SC1 および TC102/SC2 の会議)、これはもはや各国単独では技術向上が図れなくなり国際協力を必須とする時代に入ったこと、および日本の役割が重要となったことを意味している。

5. 標準化

分析技術が他の技術と異なる特徴の一つに、共通の尺度としての役割から正しい情報であるという客観的認知が必要であり、また他所でも実施できる普遍性も必要で、このために手法の標準化が重要となっている。

標準化活動は国内、業界内、社内などのレベルで行われていたが、国際的取引の増大に伴って国際標準化機構 (ISO) を中心に国際標準化も推進されている。鉄鋼関連では鉄鋼分析 (TC17/SC1)、鉄鉱石分析 (TC102/SC2)、石炭コークス分析 (TC27/SC5)、フェロアロイ分析 (TC132, 155)、はたる石分析 (TC175) があり 80 年代以降は日本が国際的にリードする立場で積極的に貢献している。

分析値の保証や分析方法の検討のためには良い標準試料が必須であるが、日本鉄鋼協会が製造する日本鉄鋼標準試料は他国のものとくらべ、信頼性高く、品種の豊富さ等から高い評価を受けている。また標準試料製造の分野でも国際化が検討され、標準試料に対する ISO ガイドラインの制定や各国間の協力も始まった。

6. これからの分析・解析技術の方向

6.1 高性能化

鉄鋼分野の今後の大きな技術課題は製品の高級化、多様化の推進、弾力的生産体制の確立および省力省エネルギー・地球環境対策で、新規事業分野では新材料、エレクトロニクス部材の事業化および生活・生命関連事業への接近等があり、分析・解析技術も多面的な取組が必要となる。

一方、周辺技術の進歩発展も目覚ましく加速度的な展開をみせる、例えば超マイクロコンピューターや AI 技術の進歩と普及、高感度光学素子、超高真空、選択性のよいセンサーの実用化、マイクロビームの高輝度化や粒

子、陽電子の活用等が予想され、分析・解析技術の向上に役立つと思われる。

分析・解析技術の高性能化の技術課題として、鋼中 C, S やガス成分の迅速機器分析法や極微量分析法の開発が当面最大の課題で、将来の新製鋼プロセスの実用化に向けて溶鋼のオンライン分析法、スクラップ多量使用でのトランプエレメントのモニタリング法の開発も必要である。また連铸と製品直結化や鋼材特性向上のため結晶細粒化による組織制御では粒界や微細析出物の初期生成段階のミクロ解析技術や複合材料の接合界面のミクロ解析も重要な課題である。

労働生産性の抜本的向上では分析作業の削減と AI 技術による無人化の実施が急がれている。材料構造解析では微小欠陥の三次元検出技術や疲労余寿命予測技術の開発が必要であり、局所解析技術の高性能化にはプローブビームの微細化、高輝度化等現在の延長線の開発が期待されている。この方面の技術課題は科学技術庁諮問第 9 号⁶⁾に詳しく説明があり、日本の現状と技術課題とを表 2 に示す。

6.2 材料科学への接近

研究開発が企業の生き残りをかける重要な戦略となりつつあり、商品研究や商品開発は当然として目的基礎研究もある比率で行うべきとする意見が強くなっている。

分析・解析技術は各分野の研究に共通する基礎基盤技術の一つであり、Materials characterization として重要な役割を持っている。材料が示す特性は材料を構成する構造に起因し、この構造は化学的組成と物理的構造の

両面から考えるべきで、Materials characterization をしっかり行うことで材料特性と材料構造とを科学的に結びつけることが可能となり、今後は分析・解析技術者の側から材料科学に接近する道があると思う。

最近、材料研究開発において「素機能の解析・評価」という概念が提唱されている⁷⁾。素機能は材料の持つ機能を発現させる最小単位における機能であり、この最小単位（通常は数 10～数 100 個の原子、分子の集合体）において機能とそれをもたらし構造との関係を解析・評価によって解明して科学にまで高めることが重要である。ここではメソスコピック・レベルでの解析が必須となり、動的、その場分析も重要となる。

6.3 分析値の信頼性向上

分析の機器化、無人化が進むと人間のチェックが介在しないで多量の分析値が出され、一方で国際交流の増大から国境を越えた分析所間の分析値の差が問題となるケースがふえると予想され、分析値の信頼性向上（品質保証）が体系的に整備、実行される時代を迎える。

従来から原子炉材製造における分析値の保証体制等一部には実施されていたが、今後は全面的にしかも国際レベルでの体制確立が望まれる。このためには国内および国際的にも整合した、分析法の標準化、分析室・人の資格認定、技術開発と人の育成、標準試料の整備、これらの実施状況定期チェック等全体としての体制を確立し実行する必要がある。

表 2 計測（解析）技術の現状と技術的課題⁶⁾

研究対象分野	我が国の技術水準	技 術 的 課 題		期待される成果
		全般的課題	個 別 的 課 題	
I. 顕微鏡手法 (透過電子顕微鏡, 走査トンネル顕微鏡など)		- 分解能の向上 - 定量性の向上	- プローブビーム源の研究開発 - 探針や位置制御技術, 画像処理技術の開発	- 原子配列観測の高分解能化, たとえば表面・界面や粒界構造の原子レベル理解 - 高分子や生体物質の広い応用
II. 分光学的手法 (光電子分光法, 二次イオン質量分析法, 蛍光 X 線分析法など)			- 他の手法との複合化や測定自動化・知能化など - ビームのマイクロ化・高輝度化	
III. 回折的手法 (X 線回折, 電子線回折, 中性子回折など)			- 強力な X 線源の開発 - 強力な熱・冷中性子源の開発	
IV. その他の手法 (X 線吸収端微細構造分析法, 陽電子消滅法など)		ビームの高輝度, 高強度化	- 中性原子回折法のための極高真空技術開発 - 高効率 X 線光学素子の開発 - 高強度エネルギー変換電子源の開発	動的構造変化の解析
V. 物性測定法 ① 半導体系 ② 金属系 ③ セラミックス系 ④ 高分子系		定量性のある迅速な測定法等の研究開発	- 不純物濃度等の定量化研究 - CT 技術などの位置分解能の向上 - 破壊機構と測定値との相関把握 - 諸物性の変化を捉える計測手法の開発 μg オーダの試料の熱的測定装置の開発	新しい機能の発見

7. お わ り に

分析・解析技術は研究開発や生産における基盤技術として、日本さらには世界の鉄鋼業の新しい展開に大いに貢献することが期待されている。

この分野で必要となる技術は、従来の分析化学と物理的解析の融合、総合化、高性能化した分析・解析技術にとどまらず、材料の本質に迫る材料科学の一分野としての物性評価技術の両立であり、この意味で「解析科学」とでも名づける側面がありそうだ。

分析・解析技術者は技術課題解決にあたり、他分野の技術者や、外国人とも協力して新技術を創出し、実用化していく学際的研究開発を積極的に推進する心構えが以前にもまして必須となっている。

文 献

- 1) 細木繁郎: 鉄と鋼, **75** (1989), p. 2139
- 2) 池野輝夫: 鉄と鋼, **60** (1974), p. 1729
- 3) 池野輝夫: 第 61・62 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 1
- 4) 日本鉄鋼業における分析技術 (日本鉄鋼協会編) (1982)
- 5) 佐伯正夫: 第 19 回白石記念講座 (日本鉄鋼協会編) (1990), p. 3
- 6) 「新材料研究開発に係る計測及び制御技術の高度化のための重点課題及びその推進方策について」(諮問第 9 号) に対する答申 (航空電子等技術審議会編) の概要 (昭和 61 年 3 月 28 日), p. 3
- 7) 物質・材料の極微小領域における素機能の計測・評価・制御技術に関する調査 (科学技術庁編) (1989)