

# Readout

HORIBA Technical Reports

特集 元素をはかる

July 1992 ■ No.5

---

## 元素分析の過去と将来 — 鉄鋼業の場合 —

Elemental Analysis in the Steel Industry :  
Past and future

佐伯正夫  
Masao SAEKI

(Pages 14-19)

---

株式会社 堀場製作所



## 元素分析の過去と将来

— 鉄鋼業の場合 —

## Elemental Analysis in the Steel Industry : Past and Future

## はじめに

「元素分析」という用語には何やら古いイメージがあり、新しい発展はあまり期待できそうもないと誤解されているようだ。はたしてそうであろうか？

分析化学の役割は目的に対応した物質のキャラクタリゼーションであり<sup>1)</sup>、すなわち物質の物性を推測できるようにするため、その組成と構造とを求める手法を開発し、それらに関する総合的な情報を提供することである。組成情報としては元素(主成分、不純物)の定性定量情報はじめ、元素間の結合状態、化合物集合状態、マクロやミクロの二次元・三次元的分布状態や時間的変化、表面・界面状態など多様な情報が必要となる。

これまで、ニーズの多様化に応じて分析化学もすばらしい発展をとげてきた。その具体例として日本鉄鋼業における分析技術の推移を述べ、さらに分析化学の大きな流れも視野に入れながら、元素分析の今後の方向について考えてみたい。

## 1. 日本鉄鋼業における分析技術

1950年(昭和25年)以降の日本鉄鋼業の発展を10年区分で、戦後の復興期、高度成長期、成熟期および変革期に分け、さらに次の四つの視点、すなわち、鉄鋼業の技術課題、分析分野での技術課題、その技術向上に役立つ周辺技術の発展、そしてそれらの結果としての分析技術の流れから見たものであり、これらを表にしめす<sup>2)</sup>。

鉄鋼業の技術課題については細木繁郎氏の特別講演<sup>3)</sup>に要約されるように、外国からの導入技術の消化、生産性の向上、環境・省エネルギー、製品の高級化・多様化、弾力的生産体制と新規分野への進出であり、これらに対応して分析分野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の普及、分光技術、真空技術、電子ビームやプラズマ技術の発展があり、分析技術者の研究開発や実用化がこれらと相まって数多くの成果を生み、日本鉄鋼業の発展に貢献してきた。たとえば、1950年代の迅速吸光光度分析、60年代の転炉操業での発光分析、70年代の環境問題では極微量分析、また鋼塊の連続鑄造の拡大や80年代の自動車用鋼板の高級化では表面分析や微細構造解析などがあげられる。

1970年以降では日本鉄鋼業の設備や技術レベルは世界トップとなり、分析技術でも機器分析の高性能化、システム化において世界をリードするようになった。この例として発光分析におけるパルス分布測定法、製鋼分析室の無人化や化学分析の自動化がある。80年代は工業化社会から情報化社会への変革期となり、鉄鋼各社も新素材・エレクトロニクスなど新規分野への事業拡大に努め、ppbオーダーの極微量



新日本製鐵株式会社  
技術開発本部 参与

佐伯正夫

Masao Saeki

日本鉄鋼協会共同研究会製鉄分析部会長  
鉄鋼標準試料委員会委員長  
ISO/TC17/SC1(鉄鋼分析)常任議長

〈略歴〉

1959年：東京大学工学部応用化学科卒業  
1959年：富士製鉄株式会社入社 広畑製鉄所勤務  
1972年：新日本製鐵広畑製鉄所分析課長  
1980年：同基礎研究所分析研究室副部長  
1983年：同第一技術研究所分析研究センター所長  
1991年：同技術開発本部参与

〈研究分野〉

鉄鋼材料等の分析・解析全般、  
発光分光分析や溶鋼直接分析の  
研究開発

〈趣味〉

ゴルフ、囲碁・将棋、映画鑑賞

分析や原子尺度での表面および微細構造解析で先進他業界に短期間で追いつき、これら技術を活用する社外分析事業でも総合的分析・解析技術力を高く評価されるようになった。

## 2. 情報科学としての分析化学

分析化学をその生いたちから現在までを概観する上で鎌田東大名誉教授のご考察が参考になる<sup>4)</sup>。分析化学の大系づけは19世紀後半に物質の構成要素を元素というパターンで整理し、約90個の元素とそれらの組み合わせによって物質を記述する基礎ができ、この過程で物質の化学的分離法がすばらしい発展をとげたことに始まった。次いで20世紀に入り元素の原子モデルによるパターン化がされ、それらに基づいて分光法など機器分析法が始まった。そこでは元素そのものを物質分離することなく、それらが持つ性質であるスペクトルなどを信号として利用し、その存在を認識する間接的方法のスタートであり、1950年代以降の開花を待つことになる。

この間、元素の組み合わせで同一物質にみえても全く異なる機能を持つ物質が存在することが明らかになり、単なる組み合わせでなく、元素の配列、結晶、異性体、分子の集合状態などの概念によるパターン認識も必要となり、一方で量子論を基礎とした結晶や分子構造理論も進展し、1960年代からはエレクトロニクス、真空技術やコンピュータの進歩、普及に支えられて、機器分析は百花繚乱の時代に入る。

現在では、ppt オーダーの極微量分析、最表面層の解析、原子尺度での結晶構造解析、ナノ秒オーダーの短時間現象の解析、三次元 CT-NMR、DNA 解析による生命現象の解明、など極限に近い解析技術が実現しつつあり、これらの成果は社会の進歩に大きく寄与した。

今後もこの延長線上での分析技術の発展も期待されるが、一方ではこれまでの反省からホロニクスの概念が取り上げられつつある。つまり、あまりにも小さな要素に分けすぎた情報からは、それらをいくら積み上げても元の全体像は得られないことがある(単なる要素の総和で説明できず不連続的な質の変化を伴う)。金属材料の例では、強度などの特性は原子一個一個では発現せず、数百から数千個のオーダーではじめて発現する。そのメソスコピックレベルの最小単位を見極め、そこでの特性と組成、構造との関係を明確にする必要が提起されている。情報化時代は“物質”を物体(情報のキャリアー)と性質(情報)の二面から考える時代となり、分析化学は情報科学の一分野としてさらに重要となる。

	1950(S25)	1960(S35)	1970(S45)	1980(S55)
日本鉄鋼業の発展段階 研究の流れ	復興期 プロセス研究	高度成長期 製品研究	成熟期 プロセス研究	変革期 製品研究
日本鉄鋼業の技術課題 ( )は分析分野の技術課題	導入技術の消化, 吸収 (介在物分析, 機器分析) 操業の安定 (迅速化学分析)	新製品開発 (析出物分析) 生産性向上, 合理化, 品質 管理 (迅速機器分析, 精度向上)	環境問題 (環境分析) 省エネルギー, 省力 (CC 中心偏析, 組織制御)	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)
周辺技術の発展, 普及	真空管 トランジスター 光電管 真空分光器 RI 利用	IC コンピューター利用 回折格子型分光結晶 電子(イオン)ビーム利用, プラズマ利用	LSI マイクロコンピューター 高真空技術 電子分光技術 EDX	画像処理 光ファイバー ロボット利用, SOR 利用
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, システム化 高度解析機器の導入, 活用 キャラクタリゼーションの概念 対象の拡大	
元素分析技術 高感度分析	吸光光度分析 放射化分析	鋼中ガス分析, 原子吸光	HF-IR, FL-AAS, ICP 発光 分析 改良 NEDA 法 ガラスビード法, パルス分 布測定法 めっきオンライン分析, 吸 光分析自動化	クリーンルーム, ICP(GD) 質量分析 高エネ発光法 現場分析, 時間分解法 製鋼分析室無人化, オンラ イン分析
迅速分析	滴定分析, 吸光光度分析	真空型発光分析, 蛍光 X 線 分析		
省力, 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	酸溶解分離, ハロゲン有機 溶媒分離 (酸化物) 電顕 X 線回析	定電位電解分離(非水溶媒) (炭化物) EPMA 電界イオン顕 走査電顕 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) (窒化物) XPS, AES, SIMS, メスパウワー 超高圧電顕, 分析電顕, AP-FIM 三次元極点図 HP-LC, GC-MS, FT-NMR レーザーラマン, FT-IR	SPEED 法 分析電顕+AES (析出物) (金属間化合物) GDS, CMA 高分解能電顕 STM EXAFS
有機分子構造	元素分析 質量・赤外分光分析			

表 技術的課題と分析技術の変遷  
Trends of Technical Problems and Analytical Techniques

### 3. 元素分析の将来と課題

前章までに述べたことで元素分析がこれまでに発展し、広く社会に役立ってきたが今後その内容をかなり変える、あるいは変えざるをえない状況にあることもご理解いただけたかもしれない。この章では鉄鋼業(金属製造業の例として)における元素分析の将来と技術的課題を述べることにする。

### (1) 分析対象の明確化

鉄鋼製品も従来とは様相が変わり、有機物との複合材料、表面機能性材料などいろいろな複合機能鋼材がふえる傾向にある。それに伴ない分析目的によっては、その対象を、数百トンの全体、最表面の酸化層、最表面から数 $\mu\text{m}$ までの深さ方向の元素分布、複合材料の接合界面、あるいはスクラップのような混合物の平均組成などに選ぶことも考えられ、与えられた試料を漫然と分析するのではなく、目的に最適の対象を明確にすることがまず重要となる。

### (2) 高感度 高精度化

製品の高品質化によりppmレベル以下の不純物(硫黄、水素、ホウ素)や高純度金属中の極微量非金属元素(酸素、窒素、炭素)の定量が問題となることが多くなり、また試料を特定の局所から微量とり分析する目的のためにも高感度化は必須となる。次世代材料の一つである金属間化合物の分析では主成分の化学量論比組成を有効数字3桁まで求める高精度化も必要となる。さらに、操業管理分析ではこれらを1ないし2分以内に分析できるようにしなければならない。

### (3) 知能化

今後ますます分析対象が複雑となり、また熟練した分析者の確保がむづかしくなると分析作業遂行が困難をきたすことが予想される。この対策として装置自身が分析対象に最適な条件を見つけ出す装置の知能化や、センサとその出力信号の演算処理回路を一体化したスマートセンサなどの開発が必要となる。他の例ではX線マイクロアナライザの二次元情報やX線結晶情報などの組み合わせにより鋼材中非金属介在物のパターン認識ができるような知能化も必要となろう。

### (4) センサ化

製造プロセスの複雑化とプロセス間の直結連続化が進み、これに伴い各段階での操業管理をより厳格に行うことが要請され、オンライン直接分析の必要性を高める。現場に設置する分析装置としては精度もさることながら、小型・安価で操作が簡単、安全性・耐久性にすぐれた知能化センサなどの開発がのぞまれる。

### (5) 高度情報化

情報科学の一分野である元素分析も今後は情報の量、質、種類などが急激に増加し、そのシステム化が望まれる。たとえば金属材料も単なる工業材料として工業的利用だけを考えるのではなく、社会的利用も視点に入れると生命科学に関連する元素分析情報も必要とされるようになったり、また物質やその状態をパターンで認識する(人の知覚に近づける)工夫が必要となる

物質の機能発現機構の解明やその実用化においては、機能発現の最小単位での物性値とそこでの組成、構造情報との関係を明らかにする研究が必要で材料研究者との共同作業が望まれる。

### (6) 国際標準化

国際貿易の拡大、地球環境の保全、新技術の普及によるアメニティの増大など、国際交流は飛躍的に増加する気運にある。「見る、測る」の基本技術である分析の国際標準化活動(ISO)はそのテンポを一層速める必要がある。このためには諸外国の情勢をよく知り、長期展望に基づく基本戦略を持って、タイムリーな発信と地道な努力により主体的に行動しなければならない(鉄鋼分析では日本が指導的役割を果たしている)。

ISO活動の中で特に注目すべきはISO 9000シリーズ(製品の品質保証)<sup>5)</sup>であり、これを支える試験分析値の品質保証ガイドラインが制定され、各々の分析室が管理方針、分析者教育、装置、分析法などの管理を確実に実行することにより、適格な分析所としての認定を受けることを要請されるようになる。日本としてもこのために国の体制、認定機関の設立、実施などの準備が必要となるが、分析値の信頼性向上や地位向上に役立つと思われる。

## おわりに

元素分析は百数十年の歴史を持ち、社会に大きな貢献をしてきたが、今後も基盤技術の一つとして従来の延長線上で発展していく部分と、情報化社会の中で内容を変えながら新しい展開を期待される部分とがあり、我々はこれら二つの部分をうまく調和させながら魅力的な新元素分析時代を切り拓いて行きたい。

### 参考文献

- 1) 鎌田 仁編“最新の鉄鋼状態分析”アグネ(1979)p2-5.
- 2) 佐伯正夫“鉄鋼分析の展望”鉄と鋼, Vol.77, No.11, p1734-1740(1991).
- 3) 細木繁郎“日本鉄鋼業と研究開発”鉄と鋼, Vol.75, No.12, p2139-2145(1989).
- 4) 鎌田 仁“わが歩んだ分析化学の道”ぶんせき, 1992, No.3, p224-229(1992).
- 5) 久米 均監修“品質保証の国際規格—ISO規格の対訳と解説—”日本規格協会(1988).

---

## Elemental Analysis in the Steel Industry : Past and Future

This report will use examples from the Japanese steel industry to look at the role and development of elemental analysis, in the sense of actually measuring the elements. Also considered here will be the future of this technology from the point of view of analytical chemistry considered as part of the field of information sciences.

The steel industry of Japan began to make significant progress in the technology of elemental analysis in the 1950s. The 1960s and 1970s, primarily as the result of instrumental analysis, saw spectacular developments in the field that contributed greatly to the expansion of the steel industry. The 1980s have ushered in another period of technological revolution, notably increasing the importance of elemental analysis, with both the refinement of elemental analysis data and an increasing variety of materials that can be handled.

We can expect that directions taken by elemental analysis in the future will be largely dictated by the needs of our increasingly information-dependent society. As a result, elemental analysis technology will require the development of equipment with sensors and functions ever more diversified, sensitive, and accurate. In the future, as activities in the field are enhanced by cooperation with other branches of science and technology --- and as the field as a whole takes on a more global perspective --- we can look forward to a new era of elemental analysis technology.

---





