

特別講演

鉄鋼分析技術の変遷と技術課題

佐伯正夫
Masao Saeki

富士物産(株)社長
(株)日鉄テクノロジーサーチ技術顧問

View of Analytical Technology Development in Japan

この度は栄えある浅田賞を戴き、まことに身に余る名誉なことと厚くお礼申し上げます。これは私一個人のことでなく、永年にわたる日本の鉄鋼分析技術者全体の成果による表彰であると考え、関係の方々のご指導ご支援の賜物と深く感謝申し上げます。日本の鉄鋼分析技術の変遷がその時代での鉄鋼業の技術課題や周辺技術の進歩とどのような関係にあったのか、さらに21世紀への将来展望について述べさせていただきます。

1 はじめに

「鉄は文明の尺度である」はフランス革命時代のフルクローア(化学者で文部大臣)の言葉¹⁾ですが、これにならうと「鉄鋼分析は製鉄技術の尺度である」と言えると思います。

製鉄技術の課題解決のために鉄鋼分析が必要とされて分析技術が前進し、逆にその進歩が製鉄技術の進歩をもたらしてきました。したがって、鉄鋼分析技術はその時代、その国における製鉄技術を映す鏡、あるいはその技術レベルを示す尺度でもありました。しかし、鉄鋼分析技術の進歩

は製鉄技術からのニーズだけでなく、周辺の科学技術(例えば、化学や物理などの基礎科学、分光器やコンピューターなどの周辺技術)の進歩とそれを活用する人材との組合せも必須でした。これらの関係を過去の具体例で説明し、さらに21世紀への展望にもふれたいと思います。

2 日本の鉄鋼分析技術の変遷

戦後50年ですが、1950年代からの約40年間を各々の時代の特徴から表1のように4期に分けて流れを概観してみます²⁾。

1950年代は第二次大戦で壊滅状態となった日本鉄鋼業の復興の時代であり、平炉の操業度を高めるために人海戦術で化学分析を行い、そのための迅速化学分析法として吸光光度法の研究を学振製鋼19委員会第1分科会を中心にして推進した。この時代は「化学分析の時代」であり、人材の育成に役立ったことも見逃がせない事実です。

1960年代は高度成長の中核を担って鉄鋼業の急成長が始まり、鉄鋼先進国から技術導入しながら彼らを次々に追い越していきました。この時期を象徴する転炉操業では当時

表1 技術的課題と分析技術の変遷

	1950 (S25)	1960 (S35)	1970 (S45)	1980 (S55)	1990
研究の流れ	— プロセス研究 —	製品研究 —	プロセス研究 —	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 (迅速機器分析、精度向上)	環境問題 (環境分析) 省エネルギー (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(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 分光器 RI	IC コンピューター 分光結晶 電子(イオン)ビーム プラズマ	LSI マイクロコンピューター 高真空 電子分光 EDX	画像処理 光ファイバー ロボット SOR	
分光・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 ← 機器分析の高性能、システム化 → ← 高度解析機器の導入、活用 →	← 対象の拡大 →	

最新の真空型スパーク放電発光分光分析装置や蛍光X線分析装置を米国から導入したり国産化にも努め、試料採取法での工夫も重ねて実用化して10数元素同時定量を数分間で行えるようにしました。少し遅れて原子吸光分析法も導入され、簡便で精度が良いため吸光光度法に代わって普及し、またX線マイクロアナライザーの導入は鉄鋼材料の微小領域解析の嚆矢です。この時代はエレクトロニクス発展に裏づけられた「機器分析の時代」であり、鉄鋼各社の分析技術者が共同研究会分析部会に集い、協力しながら切磋琢磨していった時代です。

1970年代には日本は自由世界第一の鉄鋼製造国となりましたが、環境やエネルギー問題から成熟期に入ります。

分析分野でも環境分析に力を注ぎ、誘導結合プラズマ発光分光分析法を導入し、化学分析の合理化に役立てました。連続鋳造比率の拡大や鋼材の高品質化が進展する中で、スパーク発光分光分析法におけるパルス強度分布解析法など日本独自の開発成果も現れました（後述）。鉄鋼材料の表面や結晶粒界での微小領域の化学組成や構造を解析するための物理的解析技術が導入され、成果をあげ始めます。この時代の特徴は分析機器にコンピューターがつけられ、自動化や情報処理に威力を発揮し、全体としてシステム化を推進した「分析システム化の時代」で分析技術者の数が最も多い時代でした。

1980年代後半から日本鉄鋼業も将来の姿を模索して、既存の鉄事業の抜本的合理化、新しい鋼材の研究開発、新規事業への進出を積極的に行いました。分析分野もこの3方向に対応した新技術を導入し多様化していった時代です。合理化では製鉄所における分析室の自動化による人員削減に力を入れ、さらに無人化やオンライン分析化でも世界の最先端を走っています（後述）。新しい鋼材では高機能自動車用鋼板の開発などが進められ、極微量分析法や材料解析のための新手法の研究開発によって貢献しました。新規事業、例えばシリコンウエファ製造事業、ファインセラミックスや炭素繊維などの新素材事業では材料の表面分析、不純物の超微量分析、ナノ領域での結晶構造解析などで新しい解析技術に積極的に取り組み、これらの事業の定着に大いに貢献しています。また、分析分野自身でも社外からの受託事業を始め、これまでに培った技術を活用し研究支援産業の一端を担うようになりました。現在の分析技術は多様化した対象に多様な手法を駆使し、材料科学を構成する「解析科学の時代」にあります。分析技術者は大学、研究機関、他産業と共同研究や交流を積極的に行う時代となり、また国際化では1981年にISO TC17/SC1（鉄鋼分析）の事務局を日本が引き受けるなど指導的役割を果たすようにもなりました。

3 技術開発の具体例

これ迄に私が関係した技術開発の例でもう少し具体的に説明したいと思います。

3.1 発光分光分析におけるPDA法の開発

1970年代、転炉—連铸の高稼働率の確保や析出強化型高張力鋼の開発のために分析精度の大幅な向上やsol Al定量の迅速化が強く要請されましたが、従来の発光分光分析法では対応できなかったため抜本的な技術開発が必要となりました。鋼試料中化学成分の存在状態（例えば、固溶や酸化物の状態で存在するAl）とスパーク放電の発光挙動との関係を基本的に解明し、一方ではミリ秒での測定技術とコンピューターによるデータ処理技術との組合せによって、まったく新しいPDA法（パルス強度分布解析法）による発光分光分析技術を確立して目的を達成することができました³⁾。

この成功の原因には、強いニーズ、製鉄所と装置メーカーとの組合せ、冶金と分光学的知結の結合、発展途上にあったコンピューターの活用、数年間にわたる根気などが考えられます。

3.2 溶鋼中Mnの直接分析法の開発

製鋼でのコスト低減策の一つとして、1980年代後半からMnの添加を合金鉄でなくマンガニ石を利用するようになり、転炉操業管理に迅速なMn定量値が必要となりました。この頃製鋼研究分野で火点の観察に光ファイバーを使用する試みがあり、これを分析にも利用できないかとの提案があり実験が始まりました。実験室のテストで分析応用への目途がたち、実際の転炉に図1の装置を設置し現場実験を行いました。火点からの発光を吹錬用ランスに内蔵した光ファイバーで分光器に送り、MnとFeの発光強度をデータ処理して溶鋼中Mn含有率を15秒間隔で連続測定する技術を世界で初めて開発できました^{4), 5)}。この事例では、溶鋼の直接分析法の研究で永年の経験、製鋼側の提案に半

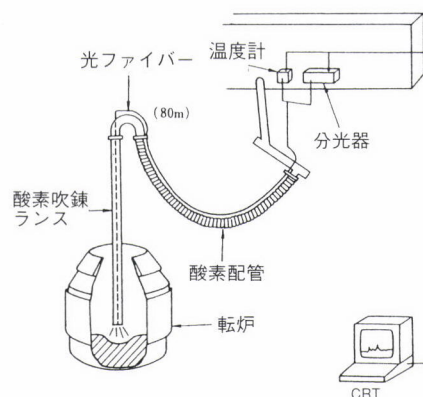


図1 火点スペクトル測定による溶鋼中Mn直接分析法

信半疑ながらも対応した、実炉での多くの実験と分析技術の理論的裏づけ、などが成功の原因のように思います。

3.3 分析の省力化技術の開発

分析分野におけるコスト低減では化学分析の機器分析化や自動化による省力化、無人化に各所とも力を入れ、共同研究会分析部会での情報交換や見学を参考にしながら自所に最適の技術開発をしてきました。1980年代の生産性の向上は表2に示すように相当大きいものです⁶⁾。

表2 事業所における分析部門の労働生産性の推移（注）

	1982年	1992年
一貫製鉄所（高炉）		
分析負荷〔粗鋼100t当たり試料数〕	14	12
分析部門の人数	80	53
労働生産性	537	818
〔一人・1月当たり試料数〕		
	(100%)	(152%)
製鋼所（電炉）		
分析負荷〔粗鋼100t当たり試料数〕	91	70
分析部門の人数	23	18
労働生産性	560	820
〔一人・1月当たりの試料数〕		
	(100%)	(152%)

（注）日本鉄鋼協会鉄鋼分析部会の調査結果をもとに算出

4 日本の鉄鋼分析技術の特徴

日本の製鉄技術は世界一ですが分析技術はどうでしょうか。鉄鋼分析に関して発表された技術論文の数量と内容について日本の特徴を調べますと、表3に示すように日本の寄与が最近では約34%に増加していることが分かります⁶⁾。論文の内容では、発光分光分析法の高度化や炭素、酸素定量法の高感度化およびICP質量分析など極微量分析法の改善が多く、最も特徴的なものは起電力法や分光法による溶銅直接分析法の研究開発とその実用化で日本の論文が全体の2/3を占めています。一方で、元素分析技術の基幹をなす化学分析法や原子吸光法での論文が少なくなり、日本も欧米の鉄鋼先進国の仲間入りをしたようで今後の懸念材料でもあります。

日本の分析研究組織が元素・状態分析法の研究だけでなく、表面分析法、ナノ領域構造解析法、有機分析法の研究や材料の総合的キャラクタリゼーションを行える体制を持っていることも特徴です。鉄鋼分析の研究開発活動は、日本では各社の研究部門や製鉄所を中心に一部の大学や国立研究機関でも行われ、その上に本会や日本学術振興会などの共同研究もあり活発ですが、欧州では各社単独での研究は減りEC委員会からの援助による研究や共同研究が多く、米国や旧ソ連からの研究発表が激減しアジアに中心が移る予感があります。

表3 鉄鋼分析に関する技術論文で日本の寄与（1990-1991年）

分析方法		論文数		寄与 ^(注)
		世界	日本	
原子吸光分析		31	5	—
発光分光分析	スパーク放電	14	6	◎
	ICP発光	28	9	○
	グロー放電	28	9	○
蛍光X線分析		32	9	—
質量分析		18	8	◎
加熱抽出分析 (C、S、O、N、H)		12	5	◎
化学分析		13	2	—
介在物・析出物分析		15	3	—
表面分析		24	8	○
溶銅直接分析	分光分析	14	11	◎
	ガス抽出	6	3	◎
	電気化学	24	16	◎
その他		59	14	—
合 計		318	108 (34%)	○

注) ◎：40%以上 ○：30～40%

5 おわりに——21世紀にむけて

あと数年で21世紀です。これ迄とは異なった視点、即ち「生活者・生命の重視」「国際化と地域主義の相克」「精神と近代合理主義の融和」などが重要になると思われます。鉄鋼業はアジアで活況を呈する時代で、技術も従来の欧米先行型とは一味違ったものになるでしょう。

鉄鋼分析における技術課題は(1)一層の高性能化——極微量と迅速化、(2)材料科学への接近——材料の本質と特性値との関係明確化、(3)分析値の信頼性向上——地球規模での普遍化と透明化、であろうと考えますが、ここでは(2)と(3)に少しふれてみます。

21世紀はアジアを中心として社会資本の充実が課題となります。都市では1,000m級超高層ビル、地方ではメンテナンスフリーの長大橋など、高強度、高剛性、高耐食性の鋼材開発のためにはメゾスコピックレベルでの構造制御が必要となり、分析は原子・分子レベルの要素還元解析技術だけでなく、原子・分子が数千から数百万個のレベルの要素集成的解析技術をも発展させることが課題となります。

社会が安心して使える鋼材の供給、生活における数値情報の多様化、機器分析の増加とブラックボックス化、分析データの国際的流通、などから分析値の信頼性を第三者に分かる形で保証する体制の確立が必要です。このためには分析方法の標準化だけでは不十分で、図2に示すように標準物質の認証や分析所の認定の体制も必要となり現在国際的に検討されていますが、日本の積極的な貢献が期待されています。

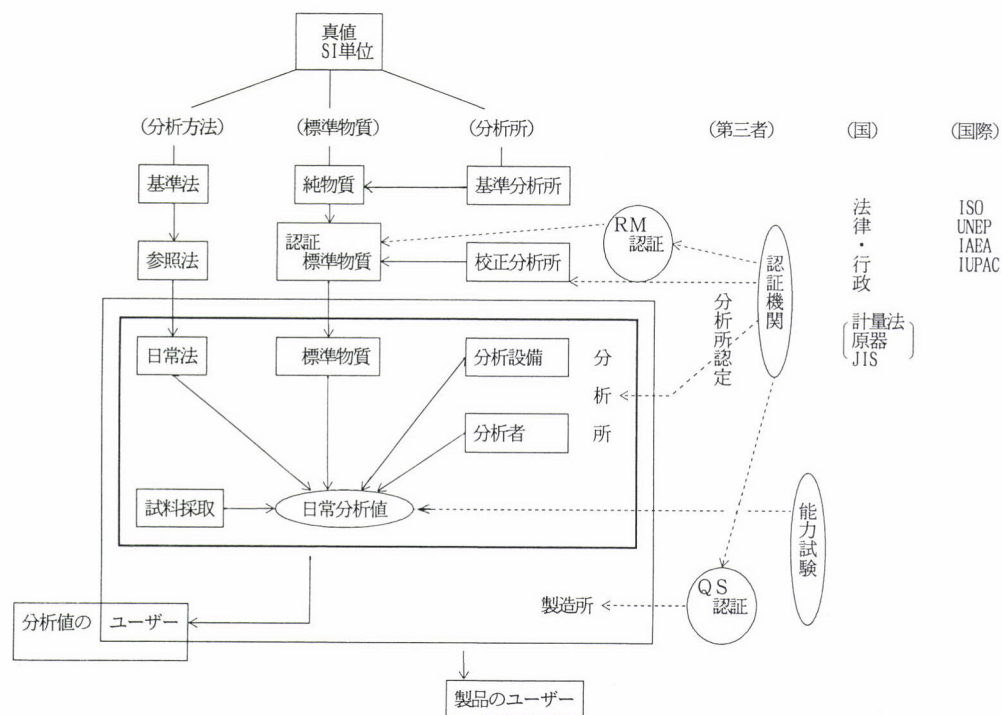


図2 分析値の信頼性確保のための仕組み

鉄鋼分析分野は今後も多くの課題を抱え、少ない技術者で対応するためには大学・研究機関、他産業との共同活動や外国との連携を従来より強固に進め、新しい鉄の世紀を拓く先鋒としての役割を果たすことを期待します。

引用文献

- 1) ルードウィヒ・ベック著, 中澤護人訳: 「鉄の歴史」第4巻第1分冊, p.5, たたら書房
- 2) 佐伯正夫: 鉄と銅, 77 (1991), p.1734
- 3) 小野寺政昭, 佐伯正夫, 西坂孝一, 坂田忠義, 小野準一, 福井勲, 今村直樹: 鉄と銅, 60 (1974), p.2002
- 4) 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 大野剛正: 分析化学, 37 (1988), p.365
- 5) 大野剛正, 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 山内雅夫, 金本通隆: 鉄と銅, 77 (1991), p.805
- 6) 佐伯正夫: 鉄と銅, 81 (1995), p.424
(本原稿は、1995年度浅田賞受賞記念講演, 1996年3月26日受付)