

鉄鋼のオンライン分析および自動分析

解 説

岩 田 英 夫*・石 橋 耀 —*2

On-line Analysis and Automatic Analysis in Steel Making Processes

Hideo IWATA and Yohichi ISHIBASHI

1. は じ め に

鉄鋼製造プロセスでは化学組成の制御が操業管理や製品の品質管理に重要な位置を占めており、成分分析の迅速化、オンライン化のニーズは大きい。鉄鋼分析技術は、形態分析、表面分析、微小域構造解析といった高度解析技術と併行して機器分析、自動分析の推進によって化学分析の高度化・効率化を進めてきた¹⁾²⁾。本文では主に1980年代以降の鉄鋼分析の自動化およびオンライン化について以下の3分野の現状と問題点、将来の見通しについて解説する。

(1) 製鋼プロセスにおける成分センサー、オンライン分析およびオンサイト分析

(2) 表面処理プロセスにおけるオンライン分析

(3) 鉄鋼分析の自動化(ラボラトリーオートメーション)

鉄鋼原料のサンプリングに関連した自動化についてはここでは述べない。

2. 製鋼プロセスにおける成分センサー、オンライン分析およびオンサイト分析

溶鋼成分の連続リアルタイムな検出や分析時間の短縮は化学成分の適中率を向上させるとともに製鋼プロセスの品質向上、合理化に大きく寄与する。しかし溶鋼の直接分析法は濃淡電池方式の酸素センサーや凝固点降下方式の炭素センサーなどごく一部が実用化されているだけである。現在、転炉では転炉排ガスの分析情報により転炉の脱炭反応速度や吹錬終点制御を行うダイナミックコントロールが実施されている⁴⁾⁵⁾。

溶鋼の発光スペクトルなどを利用した分析化学的手法による溶鋼の直接分析技術は1950年代から研究開発が試行されてきた。溶鋼の直接分析では対象が高温(約1600℃)でかつ周辺環境も外乱が多いため通常の分析手法の適用が困難である。また、溶鋼は分析を要求され

る成分数も多く、成分コントロール範囲も狭い。溶鋼の直接分析ではこのような多くの技術的な問題点が存在しているため決め手になるような分析手法が実現していなかった。

2・1 溶銑, 溶鋼成分センサー

最近、溶銑、溶鋼中の成分を直接分析できるセンサーの開発が数多く試みられている。固体電解質を利用した酸素濃淡電池型のOセンサーは既に実用化されており、溶鋼中のO測定が数多く実施されている。溶鋼の凝固点降下法によるCセンサーも実用化され転炉サブランス用に市販されている。その他ジルコニアを利用した副電極型ガルバニ電池によるAl, Cr, Mn, Siセンサーや3相固体電解質を利用した溶銑用Siセンサー、溶融金属の物性を利用した溶銑用Siセンサーや溶鋼用Alセンサーなどが開発されている。しかしOセンサー以外は、たとえばCセンサーは低C濃度域での精度が悪いといったように定量精度などに問題点があり完全に実用化されるまでにはいっていないようである。これらの溶銑、溶鋼成分センサーについては日本学術振興会製鋼第19委員会製鋼センサー小委員会報告などの多くの文献、報告書があるので参考とされたい³⁾。

2・2 溶銑, 溶鋼直接分析技術

溶鋼直接分析技術開発の経過については高橋⁶⁾、川村⁷⁾、JECKO⁸⁾、岩田⁹⁾、佐伯¹⁰⁾らの総説がある。Table 1に1950~1960年代に発表されたものをまとめた。1970年代は一時溶鋼直接分析の研究開発は停滞していたが、1980年代に入ってTable 2に示すように再び活発化している。

2・2・1 溶鋼湯面直接発光法

(1) スパーク放電法

溶鋼湯面直接発光方式では溶融金属湯面にスパーク放電を飛ばして発光させこの光を光ファイバーで分光器へ伝送し、多元素を同時定量する方法が神戸製鋼所²⁴⁾や新日本製鉄²⁵⁾で検討されている。

平成3年3月7日受付 (Received Mar. 7, 1991) (依頼解説)

* NKK 中央研究所主席研究員 (Advanced Technology Research Center, NKK Corporation)

*2 NKK 中央研究所主査 (Advanced Technology Research Center, NKK Corporation, 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

Key words: steel making process; direct analysis of molten steel; on-line analysis; automatic analysis.

Table 1. Development for direct analysis of molten steel in 1950 s to 1960 s.

Methods		Performers
Direct analysis by emission spectrometry on surface of molten metal	Spark and arc plasma emission spectrometry	IRSID ¹²⁾ , Zavod. Lab. ¹³⁾ , Sheffield Univ. ¹⁴⁾ , Battelle Lab. ¹⁵⁾
	Laser emission spectrometry	National Research Institute for Metals ¹⁶⁾ , Ford Motor ¹⁷⁾ , Battelle Lab. ¹⁸⁾
	Radiated emission from molten metal	Zavod. Lab. ¹¹⁾
Plasma emission spectrometry with particles generation		Iowa State Univ. ¹⁹⁾ , BSC ²⁰⁾ , Battelle Lab. ²¹⁾ , ARL ²²⁾ , BISRA ²³⁾
Emission spectrometry with adhesive sampling		Battelle Lab. ¹⁵⁾

Table 2. Development for direct analysis of molten steel in 1980 s.

Methods		Experiment at laboratory	Experiment at actual furnace
Direct analysis by emission spectrometry on surface of molten metal	Spark plasma emission spectrometry Laser emission spectrometry	Kobe Steel ²⁴⁾ , Nippon Steel ²⁵⁾ , Los Alamos National Lab. ²⁶⁾ , Lehigh Univ. ²⁹⁾ , Okayama Univ. ²⁸⁾ , ONERA ³²⁾	Kawasaki Steel ²⁷⁾
	Electron beam excitation Measurement of emission spectrum at hotspot		Nippon Steel ³¹⁾
Plasma emission spectrometry with particle generation	Laser excitation Ar gas injection Spark excitation	Los Alamos National Lab. ²⁶⁾	Nippon Steel ³³⁾³⁵⁾ , BSC ³⁴⁾ , Nippon Steel ²⁵⁾
Plasma emission spectrometry with chemical reactions aerosol generation		NKK ³⁶⁾ , Duisburg Univ. ³⁷⁾	
Analysis by exhaust gas dust		NKK ³⁹⁾	NKK ⁴⁰⁾
Measurement of equilibrium gas pressure		Nippon Steel ⁴¹⁾	Nippon Steel ⁴²⁾

(2) レーザー励起法

溶鉄，溶鋼表面にレーザーを照射して励起発光させる方式が Los Alamos 研究所²⁶⁾，川崎製鉄²⁷⁾，岡山大学²⁸⁾，Lehigh 大学²⁹⁾，Krupp⁷⁶⁾ で検討されている。川崎製鉄では波長 1.05 μm の Nd-ガラスレーザーをもちいて，高炉出鉄種の溶鉄を直接分析している。出鉄種溶鉄中の C, Si, Mn, P, S を連続分析し，通常のスプーンサンプリングによる発光分光分析結果と比較し Fig. 1 に示すような良好な結果を得ている。Krupp では転炉の側面に穴をあけて溶鋼にレーザーを照射し励起したスペクトルを光ファイバーで取り出して分光器で測光する方式で溶鋼中の C, Si, Mn, Cu, Ni, Cr を分析する方法を検討して，実炉での実験も行っている。

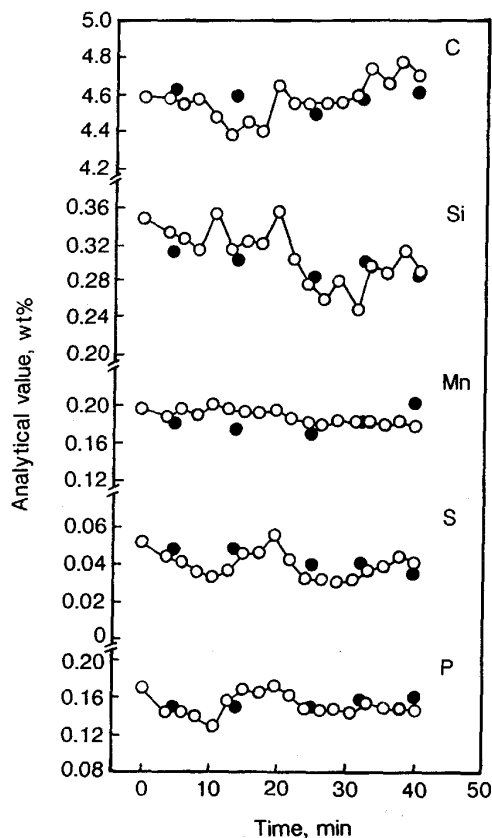
(3) 火点法

新日本製鉄では転炉中の溶鋼が酸素を吹きつけられている火点⁴⁸⁾で溶鋼表面温度が 2 200~2 600°C になることに注目し，火点における Mn および Fe の原子発光を実験炉による基礎実験で確認した³⁰⁾。火点における Mn と Fe の原子発光スペクトルを光ファイバーをもちいて分光器に伝送して転炉吹錬時の溶鋼 Mn 濃度を直接求める方法を検討している³¹⁾。

2・2・2 微粒子生成搬送法

(1) レーザー照射法

溶鋼表面にレーザーを照射して微粒子を生成させる方

Fig. 1. Analysis of pig iron with laser emission spectrometry (○) and conventional method (●)²⁷⁾.

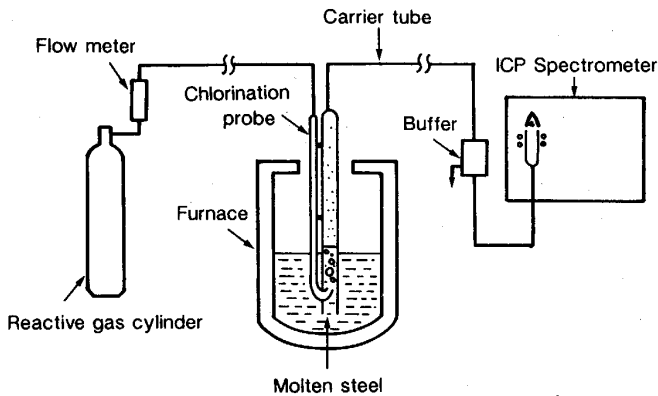


Fig. 2. Schematic diagram of ultra fine particle ICP system for direct analysis of molten steel³⁶⁾.

法が Loss Alamos 研究所で検討されている²⁶⁾。レーザーによる微粒子生成では各元素の蒸発エネルギーの違いによる選択蒸発が観察されている。C は Ar ガス中の C の影響をうけて測定されていない。

(2) Ar ガス吹込み法

新日本製鉄³³⁾と BSC³⁴⁾は溶銑，溶鋼中に Ar ガスを吹き込んで生成させた微粒子を誘導結合プラズマ発光分光分析装置 (ICP 発光分光分析装置) まで搬送し，溶銑，溶鋼を直接分析する方法を検討している³⁵⁾。

(3) スパーク放電法

新日本製鉄では溶鋼表面にスパーク放電を飛ばし発生させた微粒子を Ar ガスで ICP 発光分光分析装置へ搬送して分析する方法を検討している²⁵⁾。

2.2.3 化合物生成搬送法

溶鋼に O_2 ガスまたは Cl_2 ガスを吹き込んで塩化物や酸化物を生成させて ICP 発光分光法やアークプラズマ発光分光法で分析する方法が NKK³⁶⁾や Duisburg 大学³⁷⁾で検討されている。NKK は溶鋼に Cl_2 ガスを吹き込み生成した塩化物を ICP 発光分光分析装置まで搬送して分析することにより溶鋼の組成を直接求める塩化物生成搬送法を検討している。溶鋼中の塩化物の生成量は $[A] = K P_{AG} / P_{FC}^{x/2}$ で示される。ここで $[A]$ は成分 A の溶鋼中の活量， P_{AG} は ACl_x の分圧， P_{FC} は $FeCl_2$ の分圧， K は定数。

この式は各成分の溶鋼中濃度は生成塩化物量と生成塩化鉄量の比から求められることを示している。塩化物搬送法の例を Fig. 2 に示す。

2.2.4 排ガスダスト分析法

転炉におけるダスト発生の機構については詳しく調査されており溶鋼の蒸発が寄与していることがわかっている³⁸⁾。NKK ではダスト中に Fe と比較して高い蒸気圧をもつ Mn が濃化されていることに注目し，転炉排ガスダスト中の Mn 量から溶鋼 Mn 濃度を推定する方法を検討している³⁹⁾。ダスト分析用に改造した原子吸光分析装置の黒鉛炉に $10 \mu m$ フィルターを通過させた実操

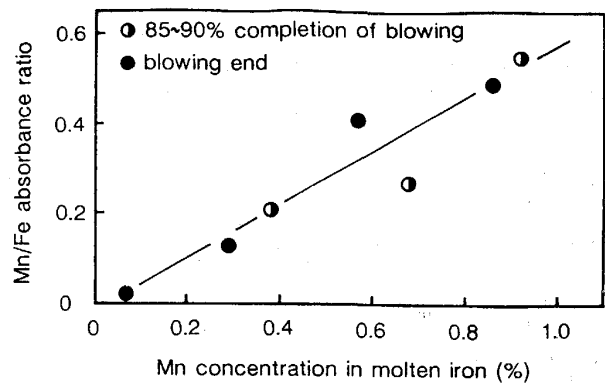


Fig. 3. Relation between Mn concentration in molten iron and Mn/Fe absorbance ratio obtained with direct analysis of dust by graphite furnace AAS⁴⁰⁾.

業転炉の排ガスダストを直接導入してダストを原子化し，その吸光度を測定した結果，Fig. 3 に示すような鋼中 Mn との良好な相関を得ている⁴⁰⁾。また連続測光を行うためフレーム原子吸光法による測定も実施し黒鉛炉原子吸光法の場合と同様の結果を得ている。

2.2.5 ダスト平衡分圧測定法

新日本製鉄では溶融 Al 中の H 分析法として実用化されている方法の Sieverts の式 $H = K \sqrt{P_{H_2}}$ の原理によるシステムを組み立てて，溶鋼中 H のオンライン分析の検討を行っている^{41)~43)}。検出器を半導体センサーに置きかえる検討も行われており迅速かつ高精度なオンライン H 分析法となる可能性がある⁴⁴⁾⁴⁵⁾。

2.3 オンサイト分析技術

製鋼 2 次精錬プロセスなどでは分析値フィードバックの迅速化，高精度化が強く求められている。現行の分析技術をもちいて分析時間を短縮するには精錬現場に分析装置を隣接して設置するオンサイト分析方式が有効である。オンサイト型発光分光分析装置の製鋼プロセスへの適用が新日本製鉄⁴⁶⁾，NKK⁴⁷⁾，神戸製鋼所⁷⁹⁾などで行われている。新日本製鉄では Fig. 4 に示すようなサ

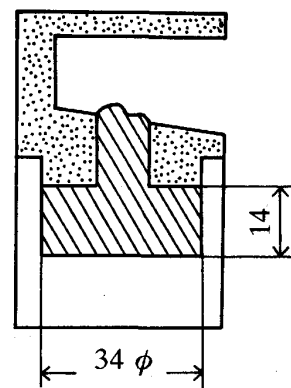


Fig. 4. New sampler for on-site analysis of molten steel⁴⁶⁾.

Table 3. Comparison of specification between on-site and conventional type of spectrometer⁴⁶⁾.

On-site type A	On-site type B	Conventional type
Dimension (mm) 1 100 w × 785 d × 1 420 h	750 w × 1 100 d × 1 450 h	1 530 w × 990 d × 1 380 h
Radius of curvature of diffraction grating 500 mm	750 mm	1 000 mm
Reciprocal linear dispersion 0.74 nm/mm	0.33 nm/mm	0.47 nm/mm
Measuring system Simultaneous integration	Simultaneous integration	PDA-method ↑
Pre-spark conditions L 10 μH C 8 μF R —	30 μH 12.2 μF 1 Ω	140 μH 2.5 μF 1 Ω

↑ Pulse height distribution analysis method

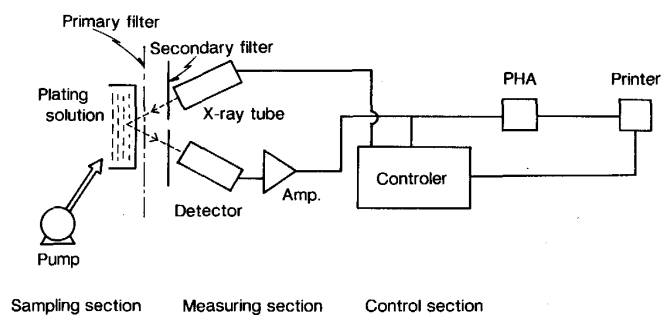
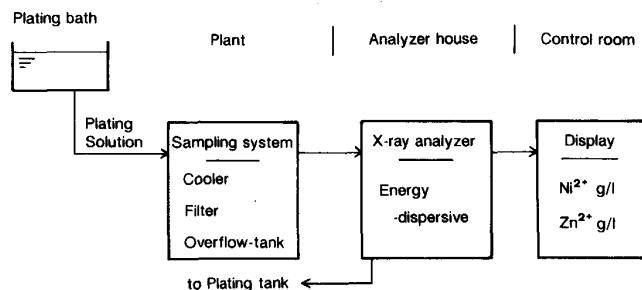
ンプリングプローブを開発し、Table 3 に示すオンサイト型発光分光分析装置で分析し、従来法とはほぼ同等の分析精度を得ている⁴⁶⁾。分析時間は約 1/3 に大幅に短縮されている。これらのオンサイト分析技術は溶銅の直接分析が実用化されるまでの過渡期的な技術とみなすこともできるが、現行の発光分光分析技術を応用すれば対応は比較的容易な技術であり、適切な使用方法を考えて実用化すれば転炉の迅速出鋼や転炉終点成分の適中率向上などにその効果は大きい。現在オンサイト分析方式は転炉や脱ガスプロセスなどで実用化されている。

3. 表面処理におけるオンライン分析

表面処理鋼板の品質安定には、厳密なめっき皮膜の組成と付着量およびめっき液組成の制御が不可欠であり、このためにはオンラインリアルタイムでの工程管理分析が要求される。Zn めっき鋼板、Sn めっき鋼板などの単一めっき皮膜の付着量の測定は比較的簡単で既に 1970 年代にはオンライン分析装置が開発されており、測定技術も確立している^{49)~51)}。一方、合金めっき皮膜のオンライン分析やめっき液のオンライン分析については 1980 年代に入ってから検討され実用化されている。X 線回折法をもちいたオンライン合金化度計も開発されている。

3.1 めっき液のオンライン分析

新日本製鉄は迅速性に優れている蛍光 X 線分析法を利用し、バランスフィルター法の Fig. 5 の装置により Zn-Ni 合金めっき液のオンライン分析を実施している⁵²⁾。分析対象元素は Zn, Ni, Co, Fe である。各定量元素はマトリックス補正を行い定量値を求めている。住友金属工業ではエネルギー分散方式の蛍光 X 線分析法をもちいた装置を開発している⁵³⁾。それぞれの蛍光 X 線強度からマトリックス補正を行い定量値を求めている。装置のシステムは Fig. 6 に示す。川崎製鉄では波長分散方式の多元素同時分析型蛍光 X 線分析装置を

Fig. 5. On-line analysis system for plating solution⁵²⁾.Fig. 6. Block diagram of on-line analysis system for plating solution⁵³⁾.

利用してめっき液中の Zn, Ni, Fe, Na, S, Cr, Cl を分析できるオンライン分析システムを開発している⁵⁴⁾。システムの概念図を Fig. 7 に示す。めっき液の一定量をろ紙に点滴して乾燥し分析する方式を取っている⁵⁵⁾。

ICP 発光分光分析装置をもちいためっき液のオンライン分析計の開発が川崎製鉄⁵⁶⁾と神戸製鋼所⁵⁷⁾などで行われている。めっき液はサンプリングバルブで採取され混合セル内で Y 内標準溶液と混合され定量ポンプによって ICP のネブライザーへ送られ各元素の濃度が測定される。蛍光 X 線分析法や ICP 発光分光分析法以外の手法によるめっき液のオンライン分析計の開発例としては吸光光度法をもちいためっき液中の Fe 2 価 (Fe^{2+}), Fe 3 価 (Fe^{3+}) イオンの形態別測定⁵⁸⁾やフローインジェクション法による Fe 3 価の測定などの例がある⁵⁹⁾。

3.2 めっき鋼板のオンライン分析

住友金属工業ではめっき液の場合と同様の方式の Fig. 8 に示すバランスフィルター法を採用し、電気 Zn-Ni 合金めっき鋼板のオンライン分析装置を開発している⁶⁰⁾⁶¹⁾。新日本製鉄では波長分散方式を採用し、ドリフトやパスラインの変動による測定精度の低下を低減させるために Fe との強度比をもちいた Zn および Ni の測定蛍光 X 線強度でめっき付着量と Ni 量を算出している⁵²⁾。蛍光 X 線分析装置がオンライン分析計として設置された場合の電気 Zn めっきライン、溶融 Zn めっき

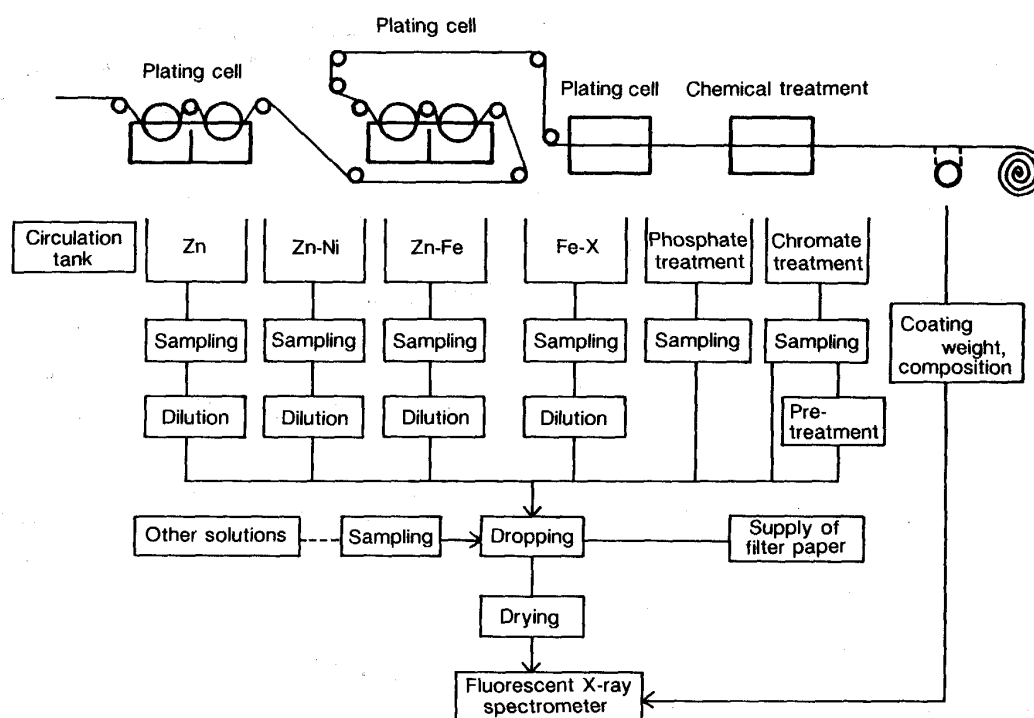


Fig. 7. Block diagram of on-line analysis system by using filter paper for plating solution⁵⁴⁾.

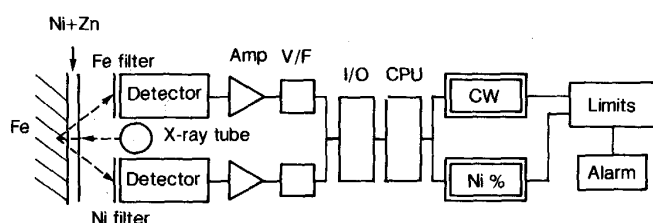


Fig. 8. Schematic diagram of on-line X-ray fluorescence analysis system for electro-plating steel⁶⁰⁾.

ライン、Sn めっきライン、TFS ラインにおけるそれぞれの測定精度を推定した報告がある⁶²⁾。総合精度は電気 Zn めっきの場合 $0.198 \text{ g}/(20 \text{ g/m}^2)$ 、溶融 Zn めっきで $0.2 \sim 1.0 \text{ g/m}^2$ 、TFS で $4.1 \text{ mg}/(100 \text{ mg/m}^2)$ であると算出推定している。このように比較的精度良くめっき皮膜付着量や成分含有量が測定できることから最近建設されている製造ラインには蛍光 X 線分析法によるオンライン分析計が設置される例が多い。また、川崎製鉄が X 線回折法と蛍光 X 線分析法をもちいた Fe-P/Zn-Fe めっき鋼板の上層、下層の付着量と下層 Fe 含有率測定用のオンライン分析計を開発している⁶³⁾。

3.3 X 線回折法をもちいたオンライン分析

溶融 Zn めっき鋼板の場合、合金化度の程度が製品特性を支配し、合金化溶融 Zn めっき鋼板の品質特性はめっき皮膜中の Fe 濃度と強い相関があることが知られている。これらの測定のための X 線回折法もオン

ライン分析計として使用されている。日新製鋼では X 線回折法をもちいて合金化溶融 Zn めっき鋼板の δ 相 (FeZn_{13})、 δ_1 相 (FeZn_7) をオンライン測定する方法を開発している⁶⁴⁾。川崎製鉄では Γ 相 ($\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$) と α -Fe 相の回折 X 線強度から溶融 Zn めっき皮膜中の Fe 濃度の測定を行う方法を実用化している⁶⁵⁾。

3.4 分光光度法をもちいたオンライン分析

X 線分析法以外の手法では分光光度計をもちいた TFS 中の Cr 水和酸化物付着量のオンライン分析計が NKK によって開発されている⁷⁷⁾。鋼板表面に光を照射しその分光反射率と Cr 水和酸化物付着量との相関を求めて Cr 水和酸化物付着量を測定する方法である。

4. 鉄鋼分析の自動化 (ラボラトリーオートメーション)

年間 700 万 t レベルの粗鋼生産規模をもつ近代的な製鉄所では月間約 30 万成分の分析を必要とするといわれている。成分分析の 90% 以上は発光分光分析や蛍光 X 線分析や燃焼赤外法などの機器分析的な手法で処理されている¹²⁾。残りがいわゆる湿式化学分析手法で処理されている。この湿式化学分析に要する要員は機器分析の要員とほぼ同数であるとされており、湿式化学分析が非効率であることがわかる。最近では原子吸光法や ICP 発光分光法が普及して湿式化学分析の機器化は進んでいる。機器分析の場合でも分析試料調製や分析操作を自動化することによって合理化、省力化が達成できる。このような鉄鋼分析の自動化の最近の状況について述べ

る。

4.1 粉体試料分析の自動化

通常、製鉄所の分析室では石炭、コークス、鉄鉱石、焼結鉱、スラグなどの鉄鋼原料用の粉体試料も数多く分析している。鉄鉱石、焼結鉱、高炉滓などは粉碎、プレス成型、ガラスビード作製、蛍光 X 線分析、データ伝送までの一連の分析試料調整、分析操作を自動化したシステムが開発され実用化されている⁶⁶⁾⁷⁸⁾。石炭、コークスの工業分析も全自動分析システムが開発されている⁶⁷⁾。

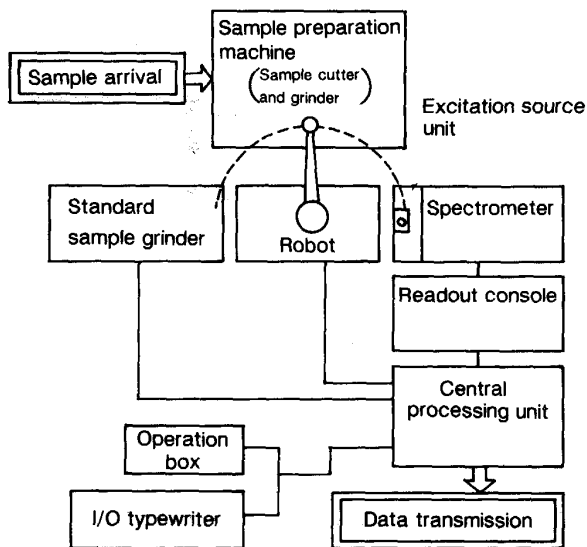


Fig. 9. Configuration of fully automatic emission spectrometric analyzer⁶⁸⁾.

4.2 銑鉄、鋼分析の自動化

最近、溶銑予備処理、取鍋精錬処理、脱ガス処理などの成分調整の多段化や連铸鋼片の直送圧延など操業工程の迅速化に伴って銑鉄、鋼分析の迅速化、分析精度の向上が求められている。住友金属工業では発光分光分析法の自動化のための全自動発光分光分析装置の検討を行い、転炉操業を対象として、分析試料の分析室への到着以降を自動化した全自動発光分光分析装置を開発した⁶⁸⁾。装置の構成は Fig. 9 に示すように試料調製部と分析装置部とからできている。日新製鋼では製鋼プロセスの転炉、脱ガス処理、連続铸造からの工程分析の自動化システムを開発し分析している⁶⁹⁾。このシステムの特徴は、分析試料が各製鋼プロセスの気送管に投入されれば、試料搬送、試料調製、分析操作、データ伝送までの全作業が自動化されていることである。NKK では製銑工場より発生する銑鉄試料の試料調製から蛍光 X 線分析までの自動化と、製鋼工場より発生する鋼試料のサンプリング、搬送、試料調製から発光分光分析までの自動化システムを開発している⁷⁰⁾⁷¹⁾。このシステムのフロー図を Fig. 10 と Fig. 11 に示す。銑鉄分析の自動化システムはカップ型試料をもちいて分析面の厚さを薄くして急冷し分析面の深さ方向すべてで完全に白銑化させて C の分析精度を向上させている。鋼試料では発光の励起条件と分析線との関係、時間分解測光法、分析試料温度などが分析精度に与える影響を調査し最適な自動分析条件を決めている。川崎製鉄では分析室全体の分析システムのコンピューター化を進めており、上位のビジネスコンピューターから最下位のマイクロコンピューターま

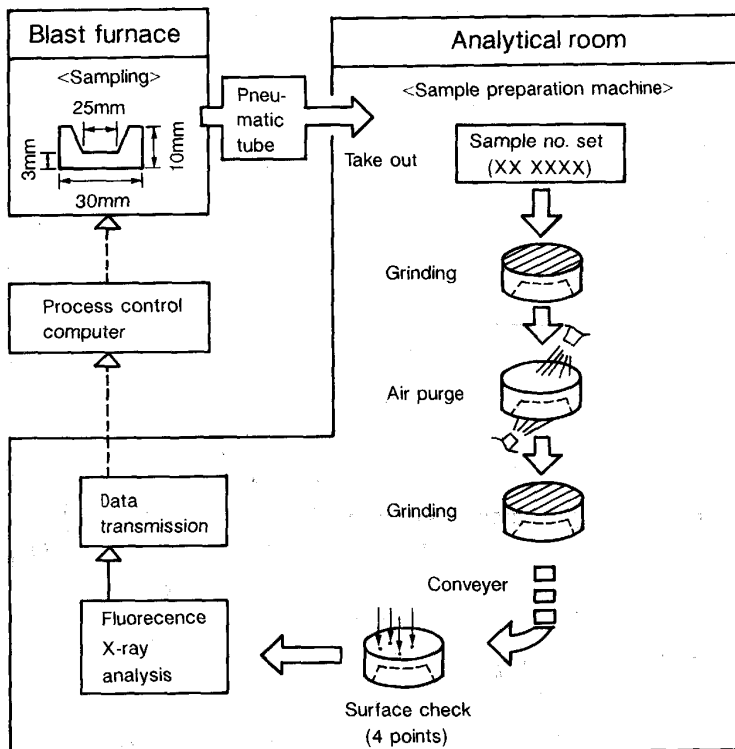
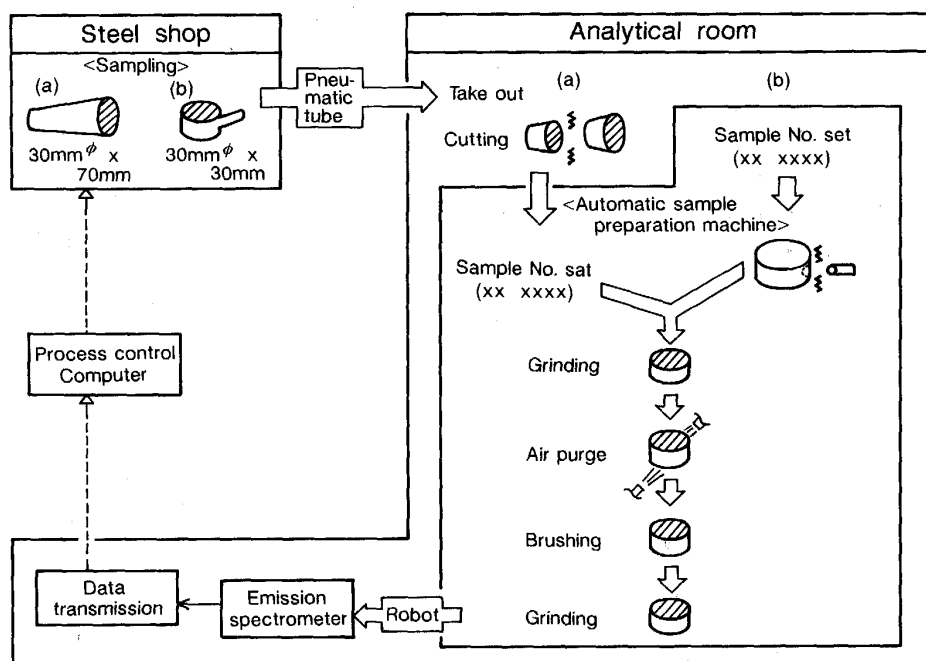


Fig. 10. Flow chart of fully automatic analysis system for pig iron⁷⁰⁾.

Fig. 11. Flow chart of fully automatic analysis system for steel⁷¹⁾.

でを階層的に配置し、分析情報の迅速化と信頼性を向上させている⁶⁶⁾。新日本製鉄でも製鋼プロセスにおける鋼分析の自動化システムを開発している⁷²⁾。新日本製鉄では分析試料の履歴、発生場所などの識別と試料の到着情報などから総合的に分析条件を決定する試料マッチングシステムを確立し自動化を図っている。その他、ドイツの Krupp⁷³⁾ や Hoesch⁷⁸⁾ や Rotherham Engineering Steels⁷⁴⁾ の各社も分析室全体の自動化を行っている。

5. 鉄鋼分析の自動化、オンライン化の将来展望

最初に溶鋼の直接分析技術の将来展望について考えてみると、溶銑、溶鋼成分センサーは副電極型センサーや3相電解質センサーや熔融金属物性を利用したセンサーの開発が進展して、熱力学的な考察と熔融金属物性の解明が進めば多くの溶鋼成分の測定が将来可能となるであろう。溶鋼のオンライン分析法では、現在レーザー発光法や火点法や排ガスダスト分析法による Mn 分析、多元素分析の検討とガス平衡分圧法による H 分析の検討などが実用化に近い技術として実炉実験で検討されている。レーザー発光法や火点法は高温の溶鋼に非接触で測定できること、レーザー用プローブや光ファイバーのみによる測定で全体システムのメンテナンスが容易なことなどが実用化に有利な点と考えられている。排ガスダスト分析法は排ガスダストの粒子径が非常に微細なため固体直接分析が可能であり、配管、フィルター、サイクロン分級装置などを組み合わせて比較的簡便な分析システムが構築できる。ガス平衡分圧測定法も検出部に半導体センサーの使用が可能になれば迅速、高精度な鋼中 H

のオンライン分析法となる可能性がある。

表面処理鋼板製造プロセスにおけるオンライン分析は合金めっき技術の進展に伴って、製造プロセスのオンライン制御技術も相互に関連し発展してきた。今後もより高度で複雑な多層めっき皮膜やめっき液、合金化層、金属相などのオンライン分析化ニーズが想定される。これらのオンライン測定は蛍光 X 線分析法、X 線回折法、ICP 発光分光法、フローインジェクション法などを応用すれば技術的には十分対応が可能であろう。オンライン分析計を設置する場合、分析、計測制御、工場の各担当技術者が相互の情報交換を密にして求められている分析情報の内容を明確にし、オンライン分析計をより効率的で安定したものに設計する努力が必要である⁷⁵⁾。

鉄鋼分析の自動化では、大部分の銑鉄、鋼分析が機器分析化されていることを受けて、我が国の主要製鉄所の分析室では銑鉄、鋼の分析試料の搬送、試料調製、分析操作、データ伝送までを全自動化したシステムが開発導入されており、分析作業の合理化、省力化、分析値フィードバックの迅速化が達成されている。これらのラボラトリーオートメーションが進展した技術的なポイントとして、ロボット技術の応用、自動試料調製装置の開発、機器分析自動化の進歩、自動制御システムの発達、自動化に適合した分析技術開発などがあげられる。湿式化学分析の領域でも原子吸光法、ICP 発光分光法、イオンクロマトグラフ法などの汎用化が進み、また鉄鋼試料の自動溶解装置の導入などで自動化の比率は高まっている。しかし湿式化学分析の秤量や試料溶解操作の自動化は問題が多く人工知能 (AI) やエキスパートシステムを応

用した技術開発が期待される分野である。今後のラボラトリーオートメーションを更に進めるためには最近の技術的な進歩が著しいロボット技術、画像処理技術、コンピュータなどを有機的に組み合わせて単位操作ごとの自動化を図るとともに全体の分析システムもエンジニアリングワークステーション (EWS) やローカルエリアネットワーク (LAN) などを有効に活用し効率的なシステムを構築し、特殊成分分析や極微量分析や介在物分析など自動化しにくい分析分野もきめ細かく自動化、システム化を進めてゆくことが必要である。分析ニーズの変化、分析条件の変化などに対応できるフレキシブルな分析システムが求められる。

文 献

- 1) 松本龍太郎: ぶんせき, **175** (1979), p. 358
- 2) 岩田英夫: 第 61・62 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 159
- 3) 日本学術振興会製鋼第 19 委員会製鋼センサー小委員会報告 (1989)
- 4) 滝 千尋, 粕谷昌紀, 福味純一, 小松喜美, 畑中聡男, 竹腰篤尚: NKK 技報, **129** (1989), p. 1
- 5) 別所永康, 竹内秀次, 藤井徹也, 中西恭二, 馬田 一, 森 淳: 鉄と鋼, **75** (1989), p. 40
- 6) 高橋 務, 尾崎 太: 分光研究, **26** (1977), p. 339
- 7) 川村和郎: 鉄と鋼, **71** (1985), A117
- 8) G. JECKO: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 1823
- 9) 岩田英夫: 学振 19 委-No. 10927 (昭和 63 年 5 月)
- 10) 佐伯正夫: ぶんせき, **181** (1988), p. 912
- 11) V. N. BALANDIN and S. L. MANDELSTAN: Zavod Lab., **2** (1957), p. 545
- 12) M. BONJIC, J. B. BOURDIEN, D. TORRE and G. BARBUER: Rev. Met., **67** (1970), p. 237
- 13) A. B. SHAEVICH and S. SHUBINA: Zavod. Lab., **28** (1962), p. 447
- 14) J. B. HEADRIDGE and A. K. LAMBERT: Analyst, **93** (1968), p. 211
- 15) 日本機械工業連合会: 産業リモートセンシング (製鉄編) (1978), p. 182
- 16) 尾崎 太, 高橋 務, 岩井良衛, 郡司好喜, 須藤恵美子: 鉄と鋼, **67** (1982), p. 872
- 17) E. F. RUNGE, S. BONIFIGLIO and E. R. BRYAN: Spectrochim. Acta, **22** (1965), p. 1678
- 18) 日本機械工業連合会: 産業リモートセンシング (製鉄編) (1978), p. 218
- 19) V. A. FASSEL and G. W. DICKINSON: Anal. Chem., **40** (1968), p. 247
- 20) E. A. Du Bois: Proc. Soc. Anal. Chem., **5** (1968), p. 185
- 21) 日本機械工業連合会: 産業リモートセンシング (製鉄編) (1978), p. 187
- 22) 日本機械工業連合会: 産業リモートセンシング (製鉄編) (1978), p. 175
- 23) BISRA: Annual Report (1966), p. 78
- 24) 野々村英造, 小谷直美, 徳田利幸, 成田貴一, 吉田康夫, 矢場田武: 鉄と鋼, **71** (1985), A125
- 25) 小野昭紘, 千葉光一, 佐伯正夫, 仁部晴美, 笠井茂夫: 鉄と鋼, **71** (1985), A129
- 26) D. A. CREMERS, F. L. ARCHULETA and H. C. DILWORTH: Proc. the 5th Process Technology Conference (1985), p. 157 [The Iron and Steel Society]
- 27) 角山浩三, 谷本 正, 久田秀穂, 浅川久夫: 鉄と鋼, **71** (1985), A133
- 28) 古賀隆治, 熱田直也, 中西清二, 小坂 恵, 佐野博也: 信学技報, OQE 86-178 (1986), p. 38
- 29) Y. W. KIM: Intell. Process Mater. Adv. Sens. (1987), p. 103
- 30) 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 大野剛正: 分析化学, **37** (1988), p. 365
- 31) 山内雅夫, 金本通隆, 大野剛正, 千葉光一, 小野昭紘: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 151
- 32) B. DAIGNE and F. GIRARD: Rech. Aerosp., **4** (1977), p. 231
- 33) 小野昭紘, 千葉光一, 佐伯正夫, 仁部晴美, 笠井茂夫: 鉄と鋼, **75** (1989), p. 902
- 34) A. A. RUSH: EUR Rep. Comm. Eur. Commun. No. EUR-6282 (1980), p. 33
- 35) 中島潤二, 辻野良二, 萩林成章, 仁部晴美, 早川泰弘, 小野昭紘: 材料とプロセス, **2** (1989), p. 152
- 36) 秋吉孝則, 高橋隆昌, 近藤隆明: 分析化学, **38** (1989), p. 486
- 37) A. GOLLOCH: Steel Res., **57** (1986), p. 427
- 38) 平居正純, 辻野良二, 大野剛正, 石渡信之, 井下 力: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1954
- 39) 辻 猛志, 望月 正, 岩田英夫: 鉄と鋼, **73** (1987), S1146
- 40) 辻 猛志, 望月 正, 石橋耀一, 郡司直樹, 秋吉孝則, 村木靖徳: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 599
- 41) T. OHTUBO, H. KAWASE and S. YAMAZAKI: Hydrogen Embrittlement, Prevention and Control, ASTM STP 962 (1988), p. 105 [Philadelphia, ASTM]
- 42) 小野昭紘, 山崎修一, 木村秀明, 山田 哲, 妹尾健吾: 鉄と鋼, **73** (1987), S953
- 43) 日本学術振興会製鋼第 19 委員会: 製鋼反応の推奨平衡値改訂増補 (1984)
- 44) 早川泰弘, 小野昭紘: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 1616
- 45) J. PLESSERS, R. MAES and E. VANGELOOVEN: Metallurgical Plant and Technology, **11** (1988), p. 38
- 46) 仁部晴美, 黒崎将夫, 笠井茂夫: 分析化学, **37** (1988), T133
- 47) 杉本和巨, 竹林秀行, 秋吉孝則, 近藤隆明: 材料とプロセス, **1** (1988), p. 1613
- 48) 川上公成: 鉄と鋼, **72** (1985), S186
- 49) 渡辺俊雄: 第 61・62 回西山記念技術講座 (日本鉄鋼協会編) (1979), p. 47
- 50) 白岩俊男, 藤野允克, 小田泰雄, 山中和夫: 鉄と鋼, **60** (1974), p. 1910
- 51) Norelco Repr., **3** (1956), p. 580
- 52) 北山 実, 斎藤隆徳, 渡辺 靖, 岡 襄二, 三吉康彦: 鉄と鋼, **68** (1982), A65
- 53) 藤野允克, 松本義朗, 渋谷敦義, 中原秀翼, 中瀬郁夫, 小泉明宏: 鉄と鋼, **69** (1983), p. 1510
- 54) 安井規子, 山本 公, 安原英子, 松村泰治, 安部忠廣, 宮地一明, 牧野義和: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 1790
- 55) M. MURATA and K. MUROKADO: X-ray Spectorometry, **11** (1982), p. 159
- 56) 近藤喜代太, 柴崎豊作, 岩沼克彦, 木村篤光, 増野豊彦, 斎数正晴, 関口秀明: 鉄と鋼, **71** (1985), A145
- 57) 汐田健一郎, 大神正彦, 和田厚生, 土肥一修, 中村昭二: 材料とプロセス, **3** (1990), p. 588
- 58) 小野昭紘, 緑川正博: 分析化学, **37** (1988), T142
- 59) 石橋耀一, 石井照明, 岡野三治, 後藤桂三: 特開昭 60-057239
- 60) 藤野允克, 松本義朗, 渋谷敦義, 中原秀翼, 中瀬郁夫, 小泉明宏: 鉄と鋼, **70** (1984), p. 128
- 61) T. SHIRAIWA and N. FUJINO: Advances in X-ray Analysis, **12** (1969), p. 446
- 62) N. MATSUURA and T. ARAI: Advances in X-ray Analysis,

- 32 (1989), p. 21
- 63) 山本 公, 谷本 亘, 横石規子, 松村泰治, 牧野義和, 安部忠廣: 川崎製鉄技報, **21** (1989), p. 53
- 64) 伊藤武彦, 広瀬裕輔, 田伏健二, 井田文博: 日新製鋼技報, **37** (1977), p. 1
- 65) 川辺順次, 藤永忠男, 押場和也, 安部忠廣, 榊原信夫, 高橋俊雄: 鉄と鋼, **71** (1985), S470
- 66) 杉原孝志, 斎藤啓二, 合田明弘, 畑 俊彦: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 2287
- 67) 石橋耀一, 福本邦二, 前田孝三, 小川 旭, 後藤桂三, 石井照明: 鉄と鋼, **73** (1987), p. 387
- 68) 藤野允克, 松本義朗, 吉原正任, 樽井基二, 福井 勲, 今村直樹, 平野隆英: 鉄と鋼, **68** (1982), p. 2585
- 69) 早瀬寿夫, 平田晴彦: 鉄と鋼, **71** (1985), A137
- 70) 石橋耀一, 吉岡 豊, 佐藤重臣: 分析化学, **37** (1988), T157
- 71) 佐藤重臣, 吉岡 豊, 石橋耀一: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1191
- 72) 波戸利久, 青木 実, 土屋武久: 分析化学, **37** (1988), T163
- 73) T. VERSPOHL and R. KAMPHOFF: Metallurgical Plant and Technology, **11** (1988), p. 61
- 74) J. HACON: Steel Times, **216** (1988), p. 235
- 75) J. B. CALLIS, D. L. ILLMAN and B. R. KOWALSKI: Anal. Chem., **59** (1987), A624
- 76) F. KRUPP: Steel Times, **218** (1990), p. 326
- 77) 弓場則男, 後藤桂三, 大西英明, 生天目優: 鉄と鋼, **71** (1985), A153
- 78) K. H. KOCH, K. D. OHLS and J. FLOCK: Steel Technology International (1990), p. 293
- 79) 斉藤 忠, 江波戸紘一, 坪根 巖, 山名 寿, 竹添英孝: 鉄と鋼, **76** (1990), p. 1972