

## 鉄鋼業界における微量元素分析の自動化と技術的進化 ～EMIA (炭素・硫黄) およびEMGA (酸素・窒素・水素) シリーズの役割と展望～

Automation and Technological Evolution of Trace Element Analysis in the Iron and Steel Industry  
～The Role and Prospects of the EMIA and EMGA Series～

朴 商云

PARK Sangwoon

鋼材中の炭素・硫黄、酸素・窒素・水素といった微量元素の分析は、機械的特性や耐食性の管理に直結する重要な工程となっている。従来は熟練作業員による手動分析が主流であったが、人的ばらつきの排除、測定精度の安定化、およびスループット向上の観点から、分析装置自体の非属人化や自動化が強く要請されるようになった。掘場製作所のEMIAシリーズ(炭素・硫黄分析装置)およびEMGAシリーズ(酸素・窒素・水素分析装置)は、こうした産業界のニーズに対応する形で進化を遂げてきた。本稿では、EMIAおよびEMGAシリーズの技術的発展と自動化対応の歩みを概観し、鉄鋼業界における分析装置の果たす役割と、将来的な展望について考察する。

The analysis of trace elements such as carbon, sulfur, oxygen, nitrogen, and hydrogen in steel is an important process directly related to the control of mechanical properties and corrosion resistance. In the past, manual analysis by skilled operators was the mainstream, but from the perspective of eliminating human variability, stabilizing measurement accuracy, and improving throughput, there is now a strong demand for de-personalization and automation of the analyzers themselves. Horiba's EMIA series (carbon and sulfur analyzers) and EMGA series (oxygen, nitrogen, and hydrogen analyzers) have evolved in response to these industrial needs. This paper reviews the technological development of the EMIA and EMGA series and their progress toward automation, and discusses the role of analyzers in the steel industry and their future prospects.

### はじめに

製造業では、グローバル市場における競争激化やサステナビリティへの対応といった背景から、製品の品質を安定的に維持しつつ、生産性を同時に高める取り組みが重要性を増している。特に鉄鋼業界では、材料特性の高度化や国際的な品質保証基準の導入に伴い、製造プロセス全体におけるトレーサビリティとリアルタイム品質評価の必要性が顕著となっている<sup>[1]</sup>。

こうした背景のもと、鋼材中の炭素・硫黄、酸素・窒素・水素といった微量元素の分析は、機械的特性や耐食性の管理に直結する重要な工程となっている。これらの成分は、たとえば靱性や割れ感受性といった性質に顕著な影響を及ぼすことから、ppmレベルでの精密な定量が求められる。従来は熟練作業員による手動分析が主流であったが、人的ばらつきの排除、測定精度の安定化、およびスループット向上の観点から、分析装置自体の操作簡易化や自動化が

強く要請されるようになった<sup>[2]</sup>。

掘場製作所のEMIAシリーズ(炭素・硫黄分析装置)およびEMGAシリーズ(酸素・窒素・水素分析装置)は、こうした産業界のニーズに対応する形で進化を遂げてきた<sup>[3]</sup>。特に近年では、工場全体のスマート化を目指すIndustry 4.0の潮流の中で、分析装置にもネットワーク連携機能、遠隔操作性、測定条件の自動適応などが求められている<sup>[4],[5]</sup>。

### 日本の鉄鋼業界と分析装置の需要

#### 鉄鋼業界における品質要求の高度化

日本の鉄鋼業界は、長年にわたり高品質かつ高信頼性の鋼材を供給し、建設、自動車、機械、造船、エネルギーといった多様な産業の発展を支えてきた。1980年代以降、製品の軽量化・高強度化・耐食性の向上といった機能的要件が高まったことで、鋼材の材料設計は複雑化し、製造工程全体に対してより高度な品質管理が求められるようになった<sup>[6]</sup>。

Table 1 Effects of each element on steel materials

元素	鉄鋼に与える影響
炭素 (C)	機械的性質に影響
	硬さに影響
硫黄 (S)	耐食性
	加工性や溶接性を劣化
酸素 (O)	疲労強度
	延性, じん性を低下
窒素 (N)	強度を増加させるが, 延性, じん性を低下
水素 (H)	遅れ破壊
	延性を低下

このような品質要求の高まりの中で特に重要視されているのが、鋼材中の微量成分、すなわち酸素・窒素・水素などの定量管理である。これらの元素は、微量であっても材料の機械的性質に著しい影響を及ぼす。たとえば、酸素は延性・靱性を低下させ、窒素は時効硬化や延性の劣化を引き起こし、水素は遅れ破壊の原因となる<sup>[1]</sup>。そのため、製品の信頼性向上および不良率の低減には、ppmオーダーでの精密かつ再現性の高い分析が不可欠である (Table 1)。

さらに、品質保証の国際的な標準化が進む中で、JIS (日本産業規格)に加え、ASTMやISOといった海外規格への準拠が不可欠となりつつある。このような国際的要求に応えるため、分析装置には一層の高精度・高信頼性・高再現性が求められている<sup>[1]</sup>。

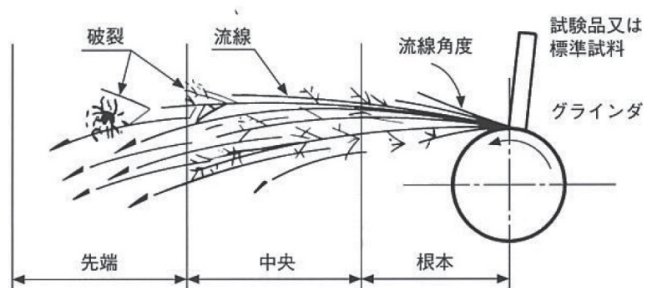


Figure 1 JIS G 0566(1980) Spark test method for steel.\*

\* 株式会社山本科学工具研究社 火花試験標準片 <https://www.ystl.jp/products/spark/index.html>

### 微量成分分析の現場ニーズ

従来、鋼材中の化学成分分析は、熟練作業員による手作業に依存していた。特に火花試験などの定性的手法では、作業員の熟練度や手順の違いにより、結果に大きなばらつきや誤差が生じやすかった (Figure 1参照)。このような分析の属人性と作業負荷の高さは、安定した品質保証を図る上で大きな課題となっていた。

こうした課題に対応する形で登場したのが、HORIBAのEMIA, EMGAシリーズである。これらの装置は、化学反応に基づく高感度な測定技術と自動化された操作系を兼ね備えており、人依存の分析から機器依存の高精度・高再現性分析への移行を可能にした。Figure 2は、EMGAを用いた酸素・窒素・水素分析の一例であり、再現性の高い結果が得られていることがわかる。

このような定量分析技術の進展により、鉄鋼業界では品質の安定化と大量生産体制の両立が実現され、分析精度の向上だけでなく、作業工数の削減や安全性の強化といった観点からも、自動化対応が長年にわたって強く求められてきた。

HORIBAが展開するEMIA・EMGAシリーズは、これらのニーズに対応すべく、高感度・高再現性な測定性能により、標準化された定量結果を迅速に取得可能で、様々な自動化機能 (例: るつばの自動排出, オートサンプラー)により夜間無人運転を実現しており、EMIA・EMGAシリーズは、単に高性能な分析装置にとどまらず、「自動化対応型の品質

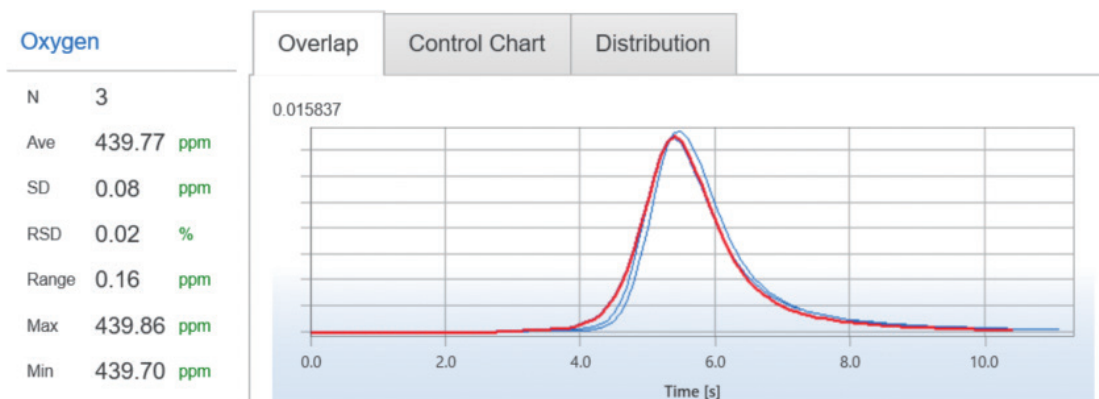


Figure 2 Example of EMGA analysis results.

評価プラットフォーム」として、国内外の鉄鋼業界から高い評価を受けている<sup>[2],[3]</sup>。

## EMIA・EMGAシリーズの技術的進化と自動化対応

### 分析原理と装置構成の概要

HORIBAが提供するEMIAシリーズおよびEMGAシリーズは、それぞれ鋼材などの無機材料に含まれる微量成分の定量分析に特化した装置である。前者は炭素・硫黄の分析、後者は酸素・窒素・水素の分析に対応しており、いずれも高感度かつ高精度な測定が可能である。

EMIAシリーズは、試料を高温下で燃焼させ、酸化反応で生成されたCO<sub>2</sub>およびSO<sub>2</sub>ガスを非分散型赤外線吸収法（NDIR）により定量する方式を採用している（Figure 3）。一方、EMGAシリーズでは、試料を不活性ガス中で融解し、発生したCO、N<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>成分を酸化、炭素還元を通して熱伝導度法（TCD）及びNDIRにより検出する（Figure 4）。

両装置の共通構成要素としては、精密に制御された加熱炉（インパルス炉）、ガス流路、ガス精製系、検出ユニットとなっており、加熱炉でサンプルを高温でガス化し、測定可能なガスに変換し、NDIR検出器で測定することで、ガス選択性が非常に優れているNDIR検出器の性質を活かしている。

### 操作性と自動化機能の進化

初期の分析装置は、前処理やつぼ交換、検体の投入など、多くの工程を人手で行う必要があり、分析精度やスループットは作業者の熟練度に依存していた。これに対してEMIA・EMGAシリーズは、以下のような技術的進化を経て自動化・効率化を実現してきた<sup>[3]</sup>。

- 1) オートサンプラーの搭載による連続測定対応
- 2) 自動つぼ冷却・排出機構による測定サイクルの短縮
- 3) サンプルID管理システムによる誤差・混入リスクの排除
- 4) 測定条件のレシピ化により、ユーザー間の操作差を排除
- 5) 装置状態モニタリングとエラー通知機能によりダウンタイムを最小化
- 6) 気送管から送られるサンプル分析の全自動化

Figure 5に示すように、1980年代に発売されたEMGA-730は、HORIBAが開発した初の自動化対応分析装置である。当時は、つぼのクリーニングを自動で行う機構や、X軸移動に特化したロボットとY-Z軸を空気圧シリンダで駆動する構成を採用していたFigure 6に示すように、自動秤量機構を備えたモデルと、サンプルストッカーを中心にしたモデルの2系統があり、ユーザーの要求に応じた選択が可能であった<sup>[6]</sup>。

Figure 7は、当時の自動分析における基本動作フローであ

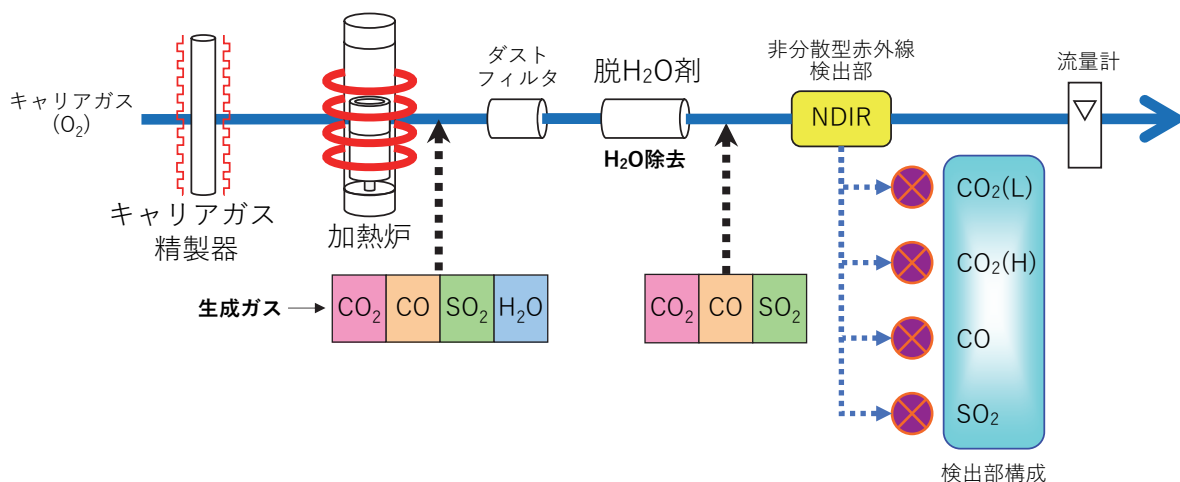


Figure 3 EMIA Measurement Principle.

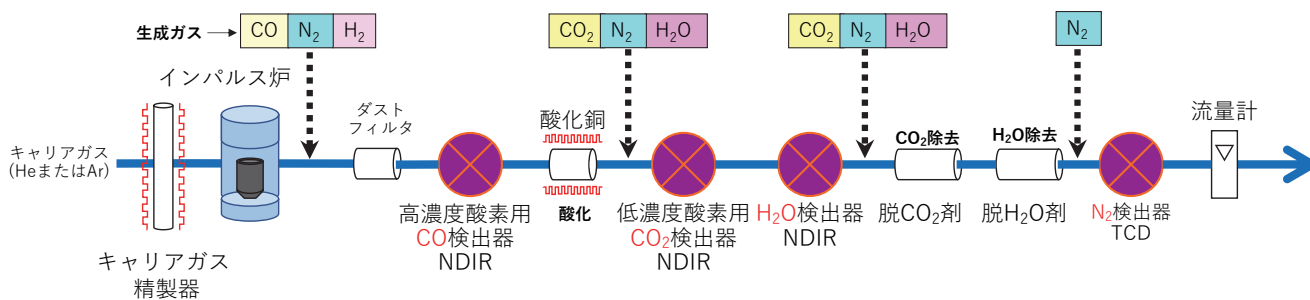


Figure 4 EMGA Measurement Principle.



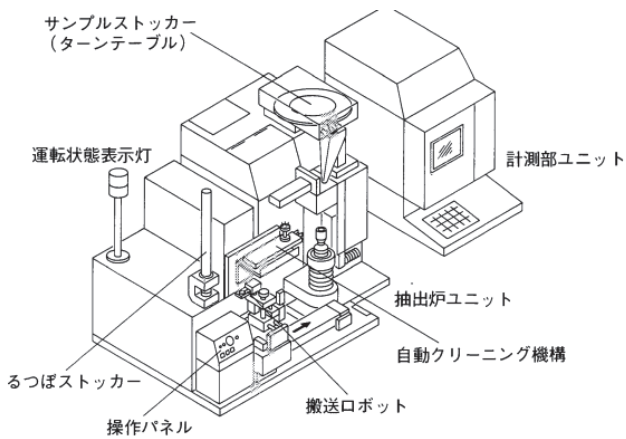


Figure 5 The first automation system, EMGA-730 (top)  
System configuration with sample stocker function (bottom).

る。ここでは秤量と投入が主な対象であり、装置そのものの動作とは別に、試料処理にかかる工数をいかに削減するかが、自動化の焦点となっていた。

その後40年を経て、EMIAシリーズはさらなる進化を遂げ、最新の全自動化装置EMIA-2000では、XYZ軸の自由移動を可能とするロボットアームを中核とし、以下のような高度な動作が実現されている (Figure 8)。

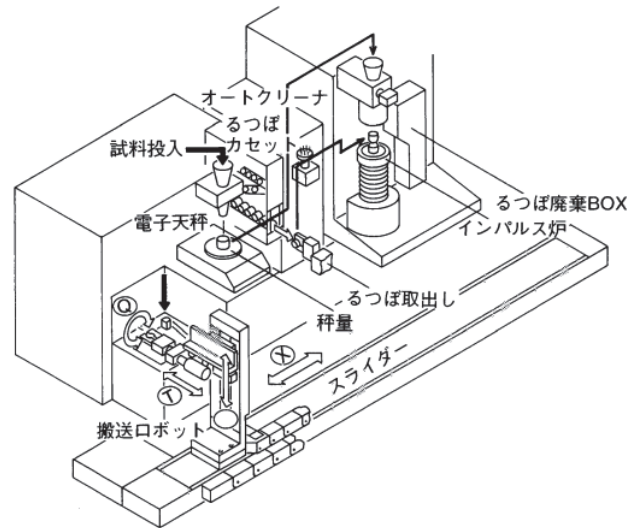


Figure 6 Automated system EMGA-730 with automatic weighing function.

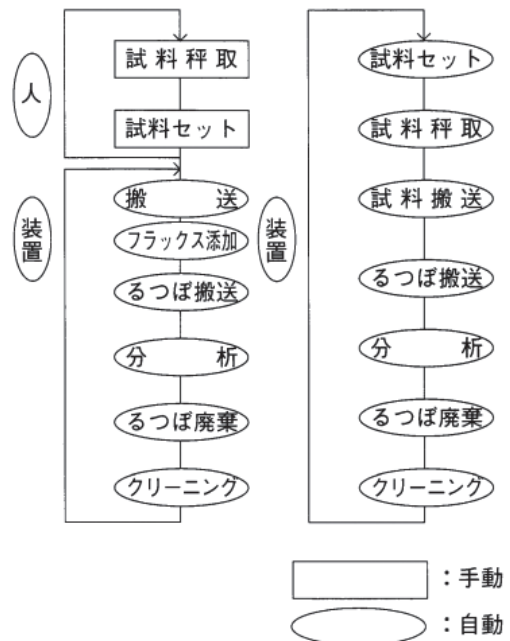


Figure 7 Basic operation of automation equipment.



Figure 8 EMIA-2000 automatic machine (left) and interior (right).

Figure 9に示すように、るつぼは加熱ユニットからロボットアームによって取り出され、所定の位置に搬送される。この動作は、重力搬送とエアシリンダによる微細制御により、高精度な位置決めが行われるように設計されている。

その後、Figure 10に示すように、ロボットは試料と助燃材を正確に投入し、自動秤量を行う。初期の2種類の自動化構成に対し、現行モデルではこれらを1つの統合システムで処理できるようになっている。

最終的に、ロボットは試料を本体装置であるEMIA-Pro/Expertへ投入する（Figure 11, Figure 12）。従来の直線軸移動に依存した設計とは異なり、X-Y-Z軸を自由に制御することで、安全カバーの形状や装置レイアウトに応じた柔軟な対応が可能となっている。

このように、試料セットや秤量といった工程の自動化は、作業者の負荷軽減と作業工数の削減に直結しており、EMIA・EMGAシリーズは市場の自動化ニーズに継続的に対応している。

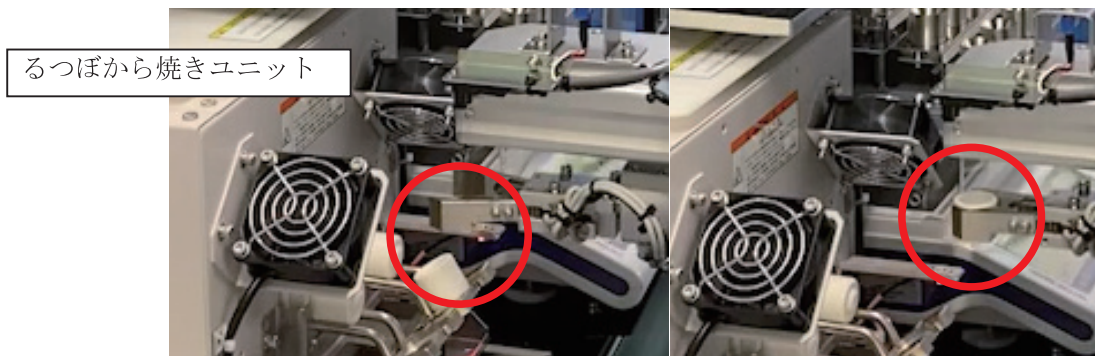


Figure 9 Crucible set from the baking unit from the crucible.

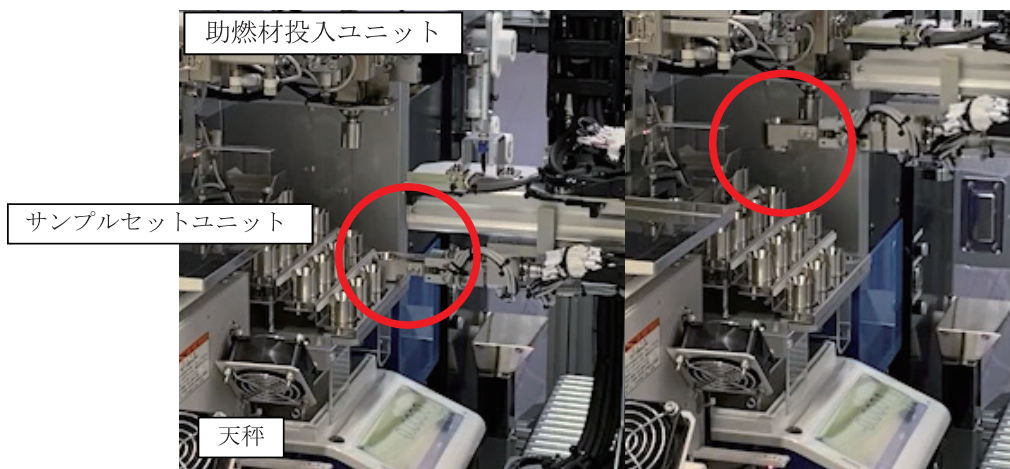


Figure 10 Sample sets, weighing.

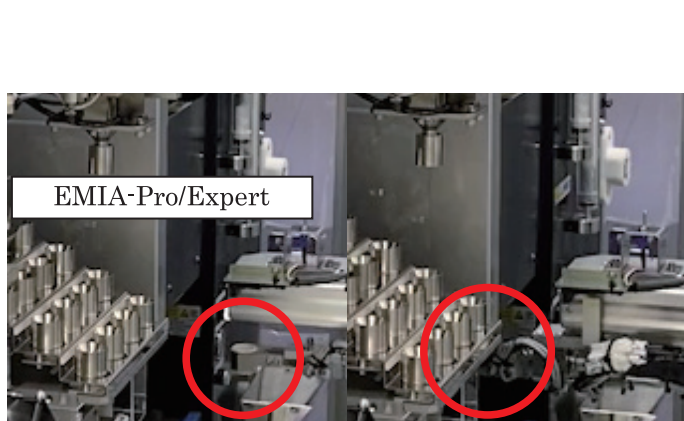


Figure 11 Sample set for EMIA - Pro/Expert.



Figure 12 EMIA-Pro/Expert sample set (angle change).



## 鉄鋼業界における導入事例と評価

EMIA・EMGAシリーズをはじめとする分析装置は、鉄鋼業界において品質保証部門のみならず、製鋼・圧延などの主要な生産工程にも導入されている。とりわけ、製造ラインから採取されたサンプルを迅速に分析し、その結果を炉内条件の調整に即時反映させる運用は、大手鉄鋼メーカーにおいて標準的な実践となっている。このようなリアルタイム連帯型の運用により、次のような運用上のメリットが報告されている。

- 1) 分析から工程への即時フィードバックによる品質変動の抑制
- 2) データの蓄積・可視化によるトレーサビリティの強化
- 3) 測定作業の自動化によるオペレーターの負荷軽減と教育コストの削減

EMIA・EMGAシリーズは、単なる測定機器の枠を超え、生産工程のリアルタイム最適化を支援する知的支援装置(Intelligent Analytical System)として再定義されつつある。鉄鋼業界における導入事例は、装置が「データを得る」存在から「品質と効率の両立を実現するための戦略的ツール」へと進化していることを示している。

## 自動機の展望

### 自動化機構の成熟と多機能化

近年、分析装置の自動化技術は、単なる検体処理の省力化を超えて、ユーザーインターフェース、制御アルゴリズム、装置の自律判断機能といった複数領域において大きな進展を見せている。オートサンプラーと搬送装置の連携や、エラーの自己検知・回復機能などが高度化してきており、装置はより“使われる”ものから“共に判断し、提案する”機器へと変貌しつつある。

このような背景のもと、EMIA・EMGAシリーズでは以下のような拡張機能が今後想定される。

- 1) AIを用いた測定条件の自動補正およびエラー予測機能の強化
- 2) 検体情報の読み取り(バーコード・RFID)による測定プロファイルの完全自動切替
- 3) 複数台の分析装置間でのジョブスケジューリング・負荷分散制御の実装
- 4) 動的な測定中断・再開機構と柔軟な再計算モード

### 自動化がもたらす現場への影響

分析現場における自動化の進展は、作業者の役割を「操作する人」から「監視し最適化する人」へと変えていくことになる。これにより、属人的な運用の削減、教育コストの縮小、そしてトラブル対応の迅速化が期待される。また、複

雑な材料や新素材への対応が進むなかで、試験条件の設定や標準化手順の合理化はますます重要性を増す。

将来的には、測定者が現場に不在でも遠隔からモニタリング・制御が可能な「非接触型運用」や材料のロット差や形状に応じた「リアルタイム条件最適化AI」、他工程からのデータを解析し分析装置が能動的に測定タイミングを提案する「予測駆動型分析」の実現で、作業工数削減から、さらなる“解析”の自動化システムを目指す。

### 自動分析装置の未来像

今後のEMIA・EMGAシリーズに代表される分析装置は、単なる「高精度測定機」だけではなく、製造と品質の間に立つ「自律的判断支援装置」としての役割を担っていくと考えられる。特にカーボンニュートラルやスマートマテリアル開発といった新たな技術潮流において、分析装置は単独で機能するのではなく、より広範な情報ネットワークの中で自らの役割を発揮することが求められる。さらに、AIや機械学習を用いた、解析の自動化にもパイオニアとして貢献することを目標とする。

このような装置の設計思想には、ユーザー中心、トラブルレス、将来拡張性という三本柱が必要であり、今後もHORIBAの製品開発はこれらを軸に発展していくことが期待される。

## おわりに

本稿では、日本の鉄鋼業界における品質保証の高度化と、それに対応する分析装置の技術的進化について、HORIBA製EMIA・EMGAシリーズの自動化システムについてその歴史と近況、その将来について述べた。

微量成分の分析は、鋼材の信頼性確保に直結する極めて重要な工程であり、その自動化と高精度化は、製造現場全体の効率と品質を大きく左右することからEMIA・EMGAシリーズは、単なる分析精度の向上にとどまらず、オートサンプラーや自動排出機構、測定条件のレシピ管理、さらにネットワーク連携やリモート監視といったスマートファクトリー対応機能を取り入れることで、ユーザーの多様なニーズに応えてきた。これにより、分析装置は「検査機器」という位置付けから、「製造プロセスの一部」「経営判断を支える情報装置」へと役割を拡張している。

今後は、Industry 4.0のさらなる進展に加え、AIを活用した自動異常検出や測定条件の最適化、LIMS(検査情報管理システム)やERP(統合基幹業務システム)とのリアルタイム接続など、分析装置に求められる機能はますます高度化していくことが予想される。特に、脱炭素社会の実現やグローバルサプライチェーンの透明性確保といった社会的要

請に対応するためには、信頼性の高いデータを安定的に供給できる分析装置の存在が不可欠である。

HORIBAのEMIA, EMGAシリーズの自動化システムは、長年にわたり蓄積してきた分析技術と装置開発力を背景に、今後も製造業のスマート化と品質革新を支える中核的存在として、世界市場における競争力を高めていくことが期待される。

\*編集局注：本内容は特段の記載がない限り、本誌発行年時点での自社調査に基づいて記載しています。

## 参考文献

- [1] 野村総合研究所, “Industry 4.0と日本の製造業の意義”, 2016年
- [2] 経済産業省, “工場システムのサイバー・フィジカルセキュリティガイドライン”, 2023年
- [3] 堀場製作所, “EMGAシリーズ 製品カタログ”, 2022年
- [4] 堀場製作所, “EMIAシリーズ 製品カタログ”, 2022年
- [5] HORIBA Readout No.E45, “Application Technology in Analysis”, 2021年
- [6] HORIBA Readout No.5 酸素・窒素・水素分析装置の自動化ニーズに向けて, 1992



## 朴商云

PARK Sangwoon

株式会社堀場製作所  
開発本部 固体・粉粒体計測開発部  
チームリーダー  
Section leader,  
Solid & Partical Analysis R&D Dept.,  
R&D Division  
HORIBA, Ltd.