

Feature Article

特集論文

鉄鋼業界における中国・アジアの躍進と 固体中ガス分析装置の開発

Breakthrough of the Chinese and Asian market in steel industry
and the development of the gas analyzer in solid sample

井上 貴仁

Takahito INOUE

近年、鉄鋼業界における中国・アジアの躍進により、本市場をターゲットにした製品開発の重要性は増してきている。固体中ガス分析装置は、鉄鋼の品質管理・研究開発において鉄鋼の性質を決める重要な元素を計測する装置である。これらの装置において、保守性や精度向上が望まれており、中国の顧客の意見を取り込むことは必要不可欠である。本稿では炭素・硫黄分析装置(EMIAシリーズ)と酸素・窒素・水素分析装置(EMGAシリーズ)ならびに自動化装置についてその特長を述べる。

In recent years, as breakthrough of Chinese and Asian market in steel industry, this opinion can't be ignored for product development. The gas analyzer in solid sample is important device in quality control and the research development of steel. Especially the improvement of the maintenance and performance are desired. In this time, we developed gas analyzer in solid samples for important element as determine the performance of steel. This paper is discussed several features for carbon and sulfur analyzer (EMIA series), oxygen, nitrogen, hydrogen analyzer (EMGA series) and automation unit.

はじめに

近年鉄鋼業界における中国の躍進は目を見張るものがある。2010年1月22日に世界鉄鋼協会(WSA: World Steel Association)の発表では、2009年の世界粗鋼生産量は12億1,971万トンであり、その特長をあげると、(表1)

- 1) 世界粗鋼生産量は2007年の13億4,582万トンをピークに2008年は13億2,645万トンで対前年-1.4%、引き続き、昨年2009年は対前年-8.0%となった。
- 2) 2009年はほぼ全ての主要国が世界的な経済情勢悪化の影響を受けて、粗鋼生産量は減少したが、1位中国と5位インドは増加した。中国の対前年伸び率は13.5%であり、世界の約47%となった。

- 3) 日本やEU主要国はいずれも2009年は対前年20%を越える減少であった。更に米国は対前年36.4%の大幅減少となった。一方で、ロシアは減少率が12.5%にとどまり、韓国も減少率を9.4%に留めている。

中国の鋼材生産は2008年の金融危機の影響を受け一時減少傾向にあったが、いち早く政府が公的資金を投入して景気刺激策を講じた。自動車産業の好調さと、上海万博等に向けたインフラ整備等の需要増加により、大幅な伸長を示している。特に、自動車生産は過去最高を更新し続け、2009年の自動車生産台数は、対前年に48%増の1,379万台となり世界最大の自動車生産国となった^[1]。さらに設備投資の伸びは著しく、2006年以後は売上高設備投資比率と投資額の双方とも日本の企業を上回っている^[2]。

表1 各国の粗鋼生産量(2009年)

Rank		2009	2008	2007	2006	2005	2004	%2009/2008
1	China	567.8	500.3	489.3	419.1	353.2	282.9	13.5
2	Japan	87.5	118.7	120.2	116.2	112.5	112.7	-26.3
3	Russia	59.9	68.5	72.4	70.8	66.1	65.6	-12.5
4	United States	58.1	91.4	98.1	98.6	94.9	99.7	-36.4
5	India	56.6	55.1	53.1	49.5	45.8	32.6	2.7
6	South Korea	48.6	53.6	51.5	48.5	47.8	47.5	-9.4
7	Germany	32.7	45.8	48.6	47.2	44.5	46.4	-28.7
8	Ukraine	29.8	37.3	42.8	40.9	38.6	38.7	-20.2
9	Brazil	26.5	33.7	33.8	30.9	31.6	32.9	-21.4
10	Turkey	25.3	26.8	25.8	23.3	21.0	20.5	-5.6
11	Italy	19.7	30.6	31.6	31.6	29.3	28.6	-35.5
12	Taiwan, China	15.7	19.9	20.9	20.0	18.9	19.6	-20.8
13	Spain	14.3	18.6	19.0	18.4	17.8	17.6	-23.3
14	Mexico	14.2	17.2	17.6	16.4	16.2	16.7	-17.7
15	France	12.8	17.9	19.2	19.9	19.5	20.8	-28.2
16	Iran	10.9	10.0	10.1	9.8	9.4	8.7	9.1
17	United Kingdom	10.1	13.5	14.3	13.9	13.2	13.8	-25.4
18	Canada	9.0	14.8	15.6	15.5	15.3	16.3	-39.6
19	South Africa	7.5	8.3	9.1	9.7	9.5	9.5	-9.5
20	Poland	7.2	9.7	10.6	10.0	8.3	10.6	-25.9
21	Malaysia (e)	6.0	6.4	6.9	5.8	5.3	5.7	-6.6
22	Austria	5.7	7.6	7.6	7.1	7.0	6.5	-25.4
23	Belgium	5.6	10.7	10.7	11.6	10.4	11.7	-47.2
24	Egypt	5.5	6.2	6.2	6.0	5.6	4.8	-11.1
25	Australia	5.2	7.6	7.9	7.9	7.8	7.4	-31.2
26	Netherlands	5.2	6.9	7.4	6.4	6.9	6.8	-24.2
27	Thailand (e)	5.0	5.2	5.6	4.9	5.2	4.5	-4.1
28	Saudi Arabia	4.7	4.7	4.6	4.0	4.2	3.9	0.5
29	Czech Republic	4.6	6.4	7.1	6.9	6.2	7.0	-28.1
30	Kazakhstan	4.1	4.3	4.8	4.3	4.5	5.4	-2.4
31	Argentina	4.0	5.5	5.4	5.5	5.4	5.1	-27.6
32	Venezuela	3.8	4.2	5.0	4.9	4.9	4.6	-9.5
33	Slovakia	3.7	4.5	5.1	5.1	4.5	4.5	-16.5
34	Indonesia (e)	3.5	3.9	4.2	3.8	3.7	3.7	-10.6
35	Finland	3.1	4.4	4.4	5.1	4.7	4.8	-30.3
36	Sweden	2.8	5.2	5.7	5.5	5.7	6.0	-46.0
37	Romania	2.7	5.0	6.3	6.3	6.3	6.0	-46.4
38	Byelorussia	2.4	2.6	2.4	2.3	2.0	1.8	-6.6
39	Luxembourg	2.2	2.6	2.9	2.8	2.2	2.7	-14.2
40	Greece	2.1	2.5	2.6	2.4	2.3	2.0	-15.9
	Others	23.3	28.3	29.8	28.6	25.8	24.8	-17.5
	World	1219.7	1326.5	1345.8	1247.3	1144.1	1071.5	-8.0

出典 WSA資料 (WSA: World Steel Association 国際鉄鋼協会)

以上のように、鉄鋼業界において中国鉄鋼生産の伸びは非常に大きく、品質管理・研究開発における固体中ガス分析装置は、今後一層重要な分析装置として、位置づけられていくであろう。

固体中ガス分析装置

鉄鋼生産において迅速かつ高精度な分析が、材料特性の把握や品質管理の断面から益々必要となってきた。特に炭素・硫黄・酸素・窒素・水素は鉄鋼の基本的特性を考える上できわめて重要な元素であり、今日に至るまで工程管理・品質管理上の重要な分析元素となっている。また鉄鋼の種類によっては、元素含有量は極低濃度から比較的高濃度まで幅広い分布が見られる^[3]。現在、弊社において、鉄鋼中の炭素・硫黄分析装置として、高周波誘導加熱燃焼—赤外線吸収法を用いたEMIAシリーズ、鉄鋼中の酸素・窒素・水素分析装置として不活性ガス融解—赤外線吸収法・熱伝導度法を用いたEMGAシリーズを販売している。

今回、保守性および精度向上に対して中国ユーザーの意見を取り込み、開発した製品の内容について報告する。また、それらの機種をベースとした自動化装置もあわせて報告する。

ソフトウェアによる作業効率改善

今回開発したEMIA・EMGA共に、ソフトウェアの改良を行なった。ここでは、新規に開発した機能の特長を報告する。

今回の装置では、保守作業を行なう際にソフトウェアが重要なサポートを行なっている。従来は、取扱説明書の内容をソフトウェア上で閲覧できるものであった。しかし、実際に保守作業を行なう際、どのように活用しているのか分かり難いとの意見が多くあった。そこで、ソフトウェア上で作業箇所を表示し、同時に作業内容を動画で説明するメンテナンスナビゲーションを開発した。この機能により、作業内容についての誤った認識と個人のばらつきを低減することができ、装置停止時間を少なくできるようになった。

EMIA-920V2(炭素・硫黄分析装置)

鉄鋼中の炭素・硫黄分析装置EMIA-920V2の特長を、以下に報告する。(図1)



図1 EMIA-920V2外観

原理

本装置は、高周波誘導加熱—赤外線吸収法を採用している。

高周波誘導渦電流により、セラミックルツボ内に入っている試料が加熱され、酸素気流により燃焼し、融解される。この時、燃焼促進のために、助燃剤が一般的に添加される。助燃剤としては、主に金属タングステン、スズ、銅、鉄、などが用いられる。燃焼過程にてガス化された炭素・硫黄は、二酸化炭素(一部、一酸化炭素)・二酸化硫黄となる。これら発生ガスは、酸素気流にて非分散型赤外線検出器へ搬送され、炭素・硫黄として定量される事になる^[3]。以下に分析結果の一例を示す。(表2)

表2 日本鉄鋼標準物質(JSS)を用いたEMIA測定データ

試料名	炭素		硫黄	
	JSS1201-1	JSS111-12	JSS606-8	JSS150-14
標準値% (m/m)	0.0005	4.25	0.0008	0.030
1	0.000495	4.241	0.000803	0.0301
2	0.000506	4.269	0.000839	0.0301
3	0.00050	4.236	0.000815	0.0299
4	0.000479	4.258	0.000823	0.0301
5	0.00047	4.251	0.000796	0.0298
平均値	0.00049	4.251	0.000815	0.0301
σ_{n-1}	0.000015	0.013	0.000017	0.0002
CV (%)	3.1	0.31	2.08	0.49

自動清掃機構

試料燃焼において、ガスの発生と共にダストが発生する。このダストは燃焼炉内に堆積し、燃焼の妨げとなる。さらに、燃焼により発生したSO₂ガスを吸着しやすく、硫黄分析値の低下を引き起こす。そこで、本装置はダスト堆積の防止に自動清掃機構、そしてガス吸着の防止にダストフィルターの加熱機構を搭載している。ただし、これらの機構を搭載していても、ダストが燃焼炉内および機構部に徐々に堆積していくため、定期的にこれらの機構を保守清掃する必要がある。従来、この保守作業は工具が必要な作業であり、時間がかかっていた。EMIA-920V2シリーズでは、工具を使用せずに自動清掃機構を取り外せるようにした。その結果、保守作業のミス低減・作業時間の短縮を実現し、本機構周辺の作業効率は飛躍的に上昇した。

ダストボックス

前述の自動清掃機構に加え、EMIA-920V2に燃焼炉内の清掃に関する新たな機能を付加した。従来は分析後にキャリアガスを吹きつけることで、ダストの除去を行っていた。清掃の能力をさらに高めるため、EMIA-920V2に掃除機を用いた吸引機構を付加した。この結果、掃除機による吸引と、ガスによる吹きつけを組み合わせる方法になり、EMIA-920V2では炉内の清掃効率をあげることができた。このことにより、定期保守を実施する間隔を広げることができた。

吸引機能を付加するにあたり、清掃時に炉内から吐き出されたダストを収集するダストボックスの設置位置を装置の左側から前面へと変更した。従来のダストボックスは、装置の左側に設置されていた。そのため、保守作業の際は、毎回装置の左側に回りこまなければ、作業を行なうことができなかった。そこで、EMIA-920V2では、ダストボックスを前面から容易に取り出せるようにし、作業負荷低減と共に、作業時間の短縮を行なった。

EMGA-900シリーズ (酸素・窒素・水素分析装置)

次に鉄鋼中の酸素・窒素・水素分析装置EMGA-900シリーズの特長を、以下に報告する。



図2 EMGA-900外観

原理

本装置は不活性ガス溶解—赤外線吸収法・熱伝導度法を採用している。黒鉛ルツボに電流(～1000 A)を流し、発生したジュール熱で、ルツボを3,000℃以上に加熱する。この加熱により、ルツボ内に含有または付着しているガス成分の脱ガスが行なわれる。その後ルツボの温度を一旦下げ、試料をルツボに投入し、再度加熱を行なう。加熱により試料は融解され、黒鉛ルツボと反応する。試料中に含有されている酸素・窒素・水素は、それぞれ一酸化炭素ガス、水素ガス、窒素ガスとなり抽出される。これらの抽出ガスは不活性ガス(キャリアガス)により検出器へ搬送される。検出器は非分散型赤外線検出器と熱伝導度検出器が搭載されている。ガス検出において、前者はガス選択性があるが、後者には選択性がない。従来の酸素分析では、非分散型赤外線検出器を使用し、一つの検出器で低濃度から高濃度まで対応させていた。しかし、EMGA-900シリーズでは、低濃度にCO₂検出器、高濃度用にCO検出器と二つの検出器を搭載させた。低濃度用と高濃度用とを、各濃度に適した検出器へ切り替えることで、高精度の酸素分析が可能になった。

窒素は酸素・水素を計測後、ガスを脱CO₂剤、脱水剤に通し窒素ガスのみにし、熱伝導度検出器にて検出する^[4]。酸素・窒素・水素の三成分測定が可能な機種での水素分析は、酸化剤にて水(H₂O)に酸化させ、非分散型赤外線検出器を用いて検出する方法を採用している。また水素分析専用機として、カラム分離にて水素ガスを分離し、水素専用熱伝導度検出器を用いて検出する機種もライン

Feature Article 特集論文 鉄鋼業界における中国・アジアの躍進と固体中ガス分析装置の開発

ナップしている。
以下に本装置での分析結果例を示す。

表3 日本鉄鋼標準試料(JSS)を用いたEMGA測定データ

	酸素	窒素	水素
試料名	JSS GS-6b	JSS 366-8	JSS GS-1d
標準値% (m/m)	0.00034	0.00075	0.00016
1	0.000362	0.000722	0.000160
2	0.000357	0.000774	0.000160
3	0.000366	0.000751	0.000162
4	0.000367	0.000769	0.000156
5	0.000361	0.000725	0.000163
平均値	0.000362	0.000758	0.00016
σ_{n-1}	0.000043	0.0000206	0.000003

自動清掃機能

試料抽出において、ガスの発生と共に黒鉛ダストが発生する。このダストは、分析性能に影響を与えるため、測定者は測定毎に炉内の清掃を行なう必要がある。従来の炉内の清掃は、測定者が手作業で行なう必要があった。そのため、測定者によって炉内清掃の度合いに違いが生まれ、測定結果のばらつき原因の一つになっていた。そこで、EMGA-900シリーズに、炉内の自動清掃機能を標準装備させた。その結果個人差を無くし、各測定における測定者の負担を低減できた。

ルツボローダー機構

従来のEMGAでは、測定者がルツボを毎測定時に電極上にセットする必要があった。そこでEMGA-900シリーズに、ルツボを装置内にあらかじめストックし、測定毎に電極上にルツボを自動で供給するルツボローダー機構を付加させた。自動清掃機構、ルツボローダー機構の追加により、測定時間の短縮ならびに安定した測定結果を得ることができるようになった。

ガス分析装置の自動化

中国の生産量の激増に伴い、鉄鋼生産ラインにおける人件費の削減、生産性の向上および個人差低減を進める動きが強まり、元素分析装置に対して自動化要求が高まっ

てきている。試料の受取りから秤量、測定、ルツボの廃棄までの測定における一連の流れを、全て自動化装置に行なう必要がある。従来の自動化装置は、機能の制約で大型になり、稼働部の保守が必要な箇所が多かった。そこで、小型化、保守容易化の要求に対して新規に自動化装置の開発を行なったので、その特長を以下に報告する。

専用のハンドリング機構

小型化の要求に応えるために、自動機内部の試料搬送ユニットの制御機構を一新させた。試料搬送ユニットにおいて、アーム制御を行なっているのは、X、Y、Z、R方向である。従来は、ルツボ搬送用のアームの移動、秤量用の天秤のカバーの開閉、試料・助燃剤投入用ロートの上下動など稼働部が非常に多い構造となっていた。さらにY、Z方向は、駆動用シリンダーで位置が決まっていたため、試料受け取りからルツボ廃棄までの、必要な各ポジションはX方向に並べて配置しなければならなかった。(図3(a)参照)今回開発した自動化装置は、アームの移動機構に電動モーター駆動を採用している。この機構の特長は、アームの移動位置を任意に設定できることである。これにより、前述したようなZ、Y方向の制限はなくなり、搬送に必要なポジションを配置する自由度が広がった。(図3(b))その結果、設置面積の大幅減少を実現することができた。また、今までシリンダーで制御を行っていたポジションも、電動アームで行なえるため、システム全体として保守項目の削減を実現した。(図4)

インターフェース

分析装置の自動化と共に重要なのは、試料前処理装置と自動化機構が連動して動き、分析ライン全体のシステムが機能することである。近年、通信手段として、双方向・大容量の通信の利点からLANを使用することが増加してきている。通信インターフェースをLANにすることで様々な試料前処理装置との連動が可能となり、今回開発した自動化装置も本通信システムを採用している。これにより、自動化装置は周辺装置からの様々な要求に対して柔軟に対応できるようになった。

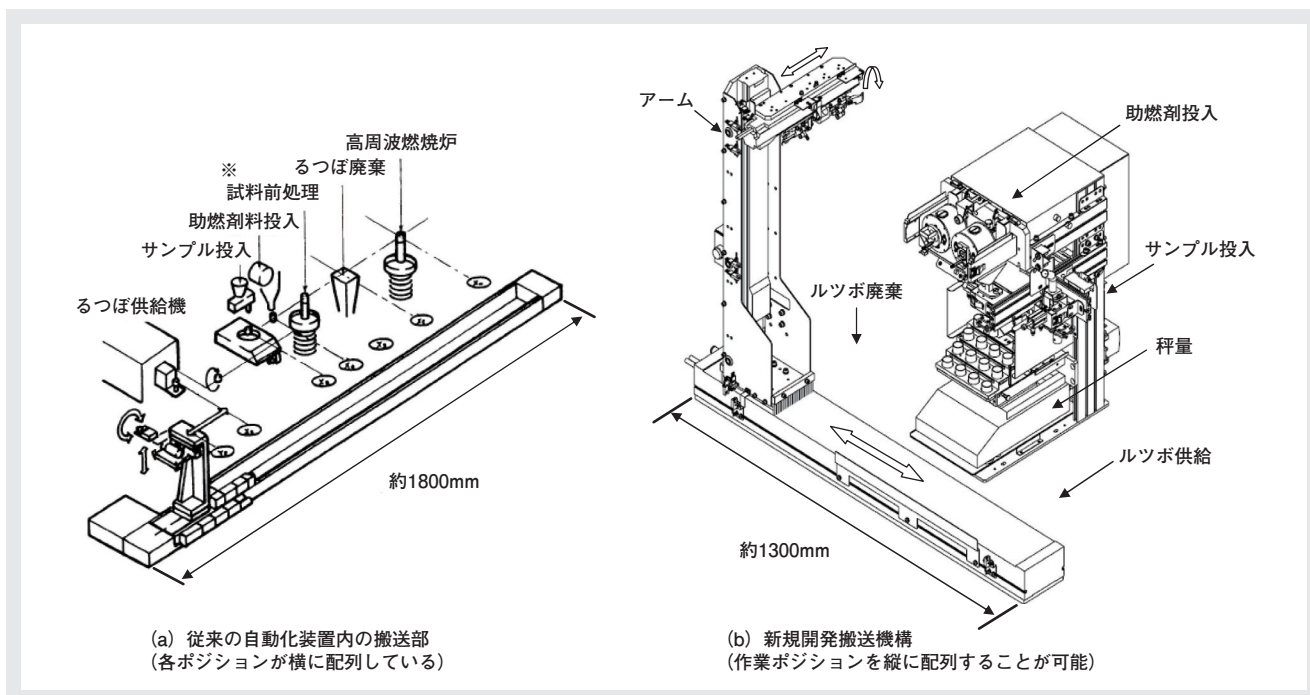


図3 自動化装置機構

おわりに

鉄鋼業界における中国・アジア市場の躍進は非常に大きく、自動車生産量がトップになるまでに成長している。そのため、鉄鋼業界における分析装置開発において、中国市場の要求を盛り込むことは必須となっている。自動車に使用される鋼板は主に高付加価値鋼板であり、より高品質な鋼板の生産が今後中国で増加していくと予想される。そのため、中国市場において、保守性の更なる向上に加え、測定精度向上の要求が増加していくと考えられる。今回開発した分析装置が中国市場に浸透していくことを期待すると共に、今後さらに、中国市場の要求、意見を取り入れ、新製品開発につなげていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 日本鉄鋼協会生産技術部門, 2009年鉄鋼生産技術の歩み, ふえらむ, 2010, vol.15, no.3, p.22-41
- [2] 川端望, 東アジアの製鋼一貫企業—高級鋼材生産システムの構築をめぐる競争—, ふえらむ, 2010, vol.15, no.3, p.16-25.
- [3] 辻勝也, 平野彰弘, 炭素・硫黄分席装置の自動化ニーズに向けて, Readout, 1991, no.2, p.73-74.
- [4] 平野彰弘, 酸素・窒素・水素分析装置の自動化ニーズに向けて, Readout, 1992, no.5, p.64-73.

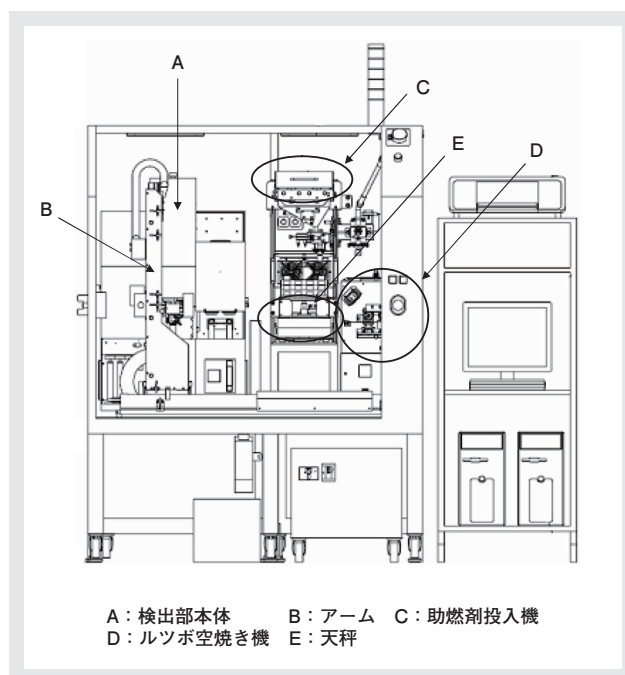


図4 自動化装置ユニット外観(型式: EMIA-9200V)



井上 貴仁

Takahito INOUE

株式会社堀場製作所
科学・半導体システム統括部
自動計測機器開発部