

© 1992 ISIJ

技術報告

製鉄所における工程管理分析自動化システムの開発

秋山 正行*・大原 和美*・菊池 統一*

Development of Analytical Automation System for Process Control in Steel Making Works

Masayuki AKIYAMA, Kazumi OHARA and Toichi KIKUCHI

Synopsis :

An automatic and integrated analysis system for iron and steel making process was developed in Oita Works of Nippon Steel Corporation.

This automatic analysis system, in principle, needs no human labor except for instrument calibration and treatment in trouble and performed a large quantity of labor-saving.

Analytical precision after automation showed no difference compared with the former system and has given satisfactory results.

And also in analysis time improvement can be seen. Thus this automatic system has contributed greatly to the steel production.

Key words : analytical automation system; instrumental analysis; steel marking works; process control.

1. 緒 言

鉄鋼生産において、製品の多様化、高級化に伴い各製造ラインでは、工程管理のための試験、分析の迅速化、高精度化が求められており、一方では、自動化などによる試験分析業務の効率化も求められている。新日本製鉄(株)大分製鉄所の試験分析業務は、鉄鉱石、銑鉄、鋼、滓類などの分析、原料、コークス等の物理試験、各種測定作業、水質分析、機械試験に分かれ、種別型体制であり、しかも所内9か所に分散配置されていた。このことは①各箇所類似した作業を行っている。②類似した設備機器を保有し、投資効率が悪い。③機器化は進んでいるが手作業も多く残っており、自動化の余地が大きい。などの理由から、機械試験を除く他部門の作業場所を一か所に統合し、FA化およびOA化により作業の効率を図り大幅な要員合理化を実施した。

以下、今回大分製鉄所が施した工程管理分析の自動化システムについて述べる。

2. 分析自動化システムの概要

本自動化システムの構成は Fig. 1 に製鉄分析自動化ラインの例を示すが、システムの基本設計思想は、設備

の校正およびトラブル処置以外はオペレーターは介入せず、作業は完全無人化で実施することである。自動化分析については、佐藤¹⁾、石橋²⁾、波戸³⁾、平松⁴⁾は鉄鋼工程分析の銑鉄鋼の自動化について報告しており、また、粉体試料の自動化分析は生川⁵⁾、杉原⁶⁾らの報告がある。今回我々が実施した自動化分析は製銑および製鋼工程分析とも、固体試料と粉体試料を同時に開発し、試料調製、分析からデータ伝送まで全自動化を図った。ただし、自動化ラインの故障時の対応としてバックアップシュートを設け試料を取り出し、人手による分析が可能な機能を設けた。自動化を実施する上で、ハードの開発も多く行ったが、OA化によるソフト面の開発も多く、試料の識別番号登録を追跡管理する自動トラッキングシステムの開発、検量線管理、分析値管理、全般的な精度管理などのシステム開発、また、すべての分析設備は、分析マイクロコンピュータで制御され、分析値は分析マイクロコンピュータから、ビジネスコンピュータ、プロセスコンピュータ、オンラインを経て各工場へ伝送される。

2-1 銑鉄分析自動化ライン

試料は鑄床でディスク型(30 mmφ×15 H)の試料を採取し、冷却後、紙気送子に入れ発信機に試料No.を登録、分析室まで気送される。試料は自動化試料取出し装

平成3年6月5日受付 (Received June 5, 1991)

* 新日本製鉄(株)大分製鉄所 (Oita Works, Nippon Steel Corp., 1 Oaza-Nishinosu Oita 870)

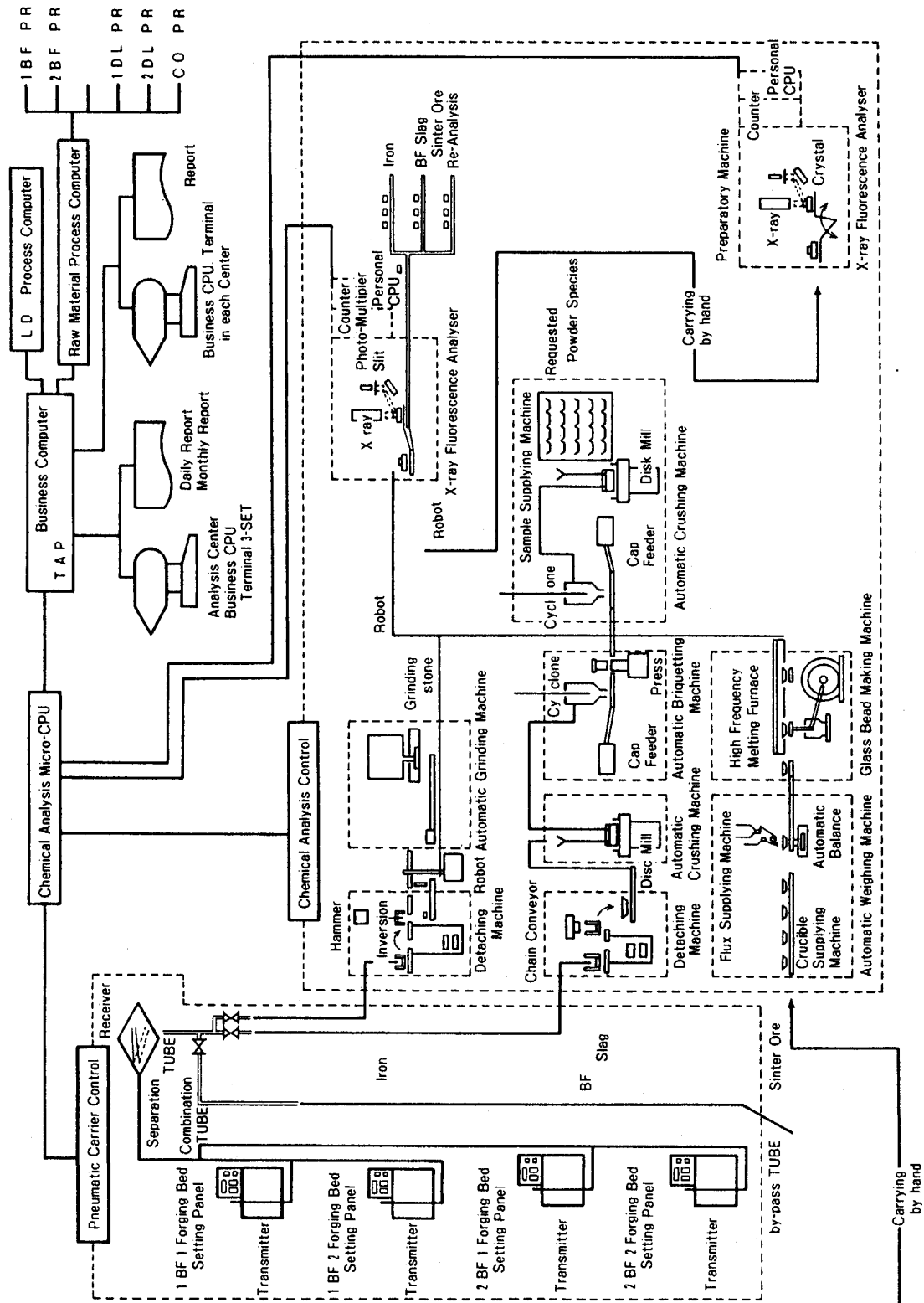


Fig. 1. Scheme of automatic system in iron process control analysis.

置で取り出され、ロボットで次工程の研磨装置で研磨後、ベルトコンベアー搬送、ロボットを経て蛍光 X 線分析装置へ挿入、分析、伝送される。

2.2 高炉スラグ分析自動化ライン

試料は鋳床で採取、凝固後 40~50 g を鋼鉄製カプセルに入れ、カプセルを紙気送子にセットし、発信機に試料 No. を登録、分析室まで気送される。カプセルの蓋はロボットにより開放され、試料は取り出されチェーンコンベアーで自動粉砕装置へ挿入される。試料は、150 μm 以下に粉砕後、吸引搬送によりサイクロンにストック後、自動切出し、バインダーと混合され、加熱式自動成型装置によりブリケット試料に成型される。成型後の試料はベルトコンベアー搬送、ロボットを経て蛍光 X 線分析装置へ送られ、分析後、分析値は工場へ伝送される。

2.3 焼結鉱分析自動化ライン

焼結鉱試料は、粗粉砕、微粉砕（自動）後、人手による搬送により本自動化システムの焼結鉱自動化ラインに供給される。試料は自動秤量され、その重量に対応した量の剝離剤 (KIO_3)、溶融剤 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) が、先に白金るつぽに自動秤量されていた試料中に自動切出しされる。試料はグラスビード作製装置によりビード化され、空冷後、ロボットにて、ベルトコンベアーへ、ロボットを経て蛍光 X 線分析装置で分析、分析値は工場へ伝送される。

2.4 鋼分析自動化ライン

製鋼工程分析は、製鋼工場の分析試料発生場所、10 か所から、3 系統の気送管で分析試料を送付している。

鋼試料は、転炉（精錬中間、吹止め）、RH 脱ガス、連铸（格付）の 3 か所で採取、冷却後、紙気送子に入れ発信機に試料 No. を登録後分析室へ気送される。試料は自動試料取出し装置により取り出され、ロボットで次工程の自動高速切断機へ送付、切断、分析面を自動研磨

機で研磨（#80 相当研磨ベルト）、ロボットを介して発光分光分析装置にセットされ分析、分析値は各工程へ伝送される。

本自動化により分析待ち時間が減少し、試料の到着から分析値報告までの所要時間は Fig. 2 に示すようにばらつきが小さくなり平均時間も 3.4 min から 2.9 min に短縮された。

2.5 製鋼工程銑鉄分析自動化ライン

製鋼工程での銑鉄分析は、溶銑予備処理試料と鍋溶銑試料を採取し分析している。試料は 30 mm ϕ ×10 mmH のディスク型を採取、採取場所の発信機に試料 No. を登録後、紙気送子に入れ分析室まで気送される。分析室へ到着後の試料の流れは、先の製銑工程分析自動化ラインと同じである。

2.6 転炉スラグ、溶融パウダー分析自動化ライン

スラグ類は、高炉スラグと同じ鋼鉄製カプセルに 40~50 g 入れ、カプセルを紙気送子にセット、試料 No. を発信機に登録後分析室へ気送される。試料は自動試料取出し装置のロボットでカプセルの蓋が開放され、180° 回転させ試料を取り出す。試料は、転炉スラグ、RH スラグ、脱硫スラグ溶銑予備処理スラググループと溶融パウダーグループに分かれ、それぞれチェーンコンベアーで自動試料粉砕機から成型機（2 系列）へ送られ、粗粉砕後磁送、微粉砕、成型され、ブリケット試料を作製、ベルトコンベアーで蛍光 X 線装置へ送付分析、分析値はそれぞれの箇所へ伝送される。

3. 自動化実施上の課題と解決

今回の自動化を実施する上での基本的な考え方は、既設設備の改造、流用を前提とし、新規機能を付加し自動化を図るが、工程は極力短縮、投資額を最小限にすることである。このような考え方において各工程分析の全自

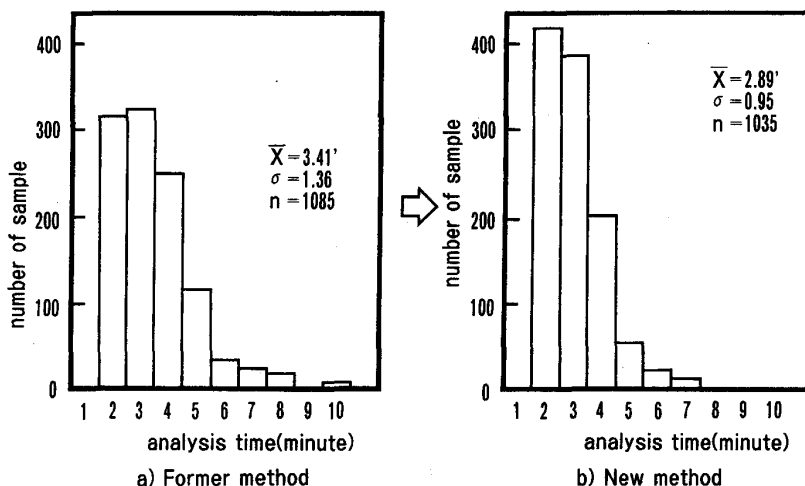


Fig. 2. Comparison of analysis time for molten steel between new and former systems.

動化を実施するには多くの課題を解決しなければならなかった。以下、特に重要であった課題について述べる。

3.1 スラグ類試料の気送法と取出装置の開発

従来、粉体試料の気送は鋼鉄製の気送子で行っていた。しかし、従来型の気送子では、自動的に試料を取り出すことは、開閉口の構造等に問題があり、今回、気送子と気送子から試料を取り出す装置の開発が課題となった。気送子の開発は、①開閉口の構造が簡単で、容易に、自動的に試料の取出しが可能な機構であること。②気送中、衝撃などにより開閉しないこと。③コンパクトで耐久性があること。以上3点を主眼に開発を進めた結果、Fig. 3に示す構造の気送子を開発した。

気送子は、開閉口の蓋を二重構造とし、内蓋と外蓋を連結、回転可能な構造にしたこと、さらに内蓋と外蓋との間にコイルバネを装着したことで蓋の脱着が鍵状溝を介して容易となり、また、内蓋と外蓋がコイルバネの力により互いに押し合い、蓋の固定が強固となり、気送子内の試料からこぼれ出ることがない気送子が開発できた。一方、試料の取出しは、自動試料取出し装置の開発により可能となった。本装置は、ロボットのアームで気送子を垂直に固定し、別のアームで気送子の蓋を押しながら回転させ、鍵状溝(L字型)から蓋を取り、移載搬送機でバケツ状受皿の上部まで搬送、180° 転動さ

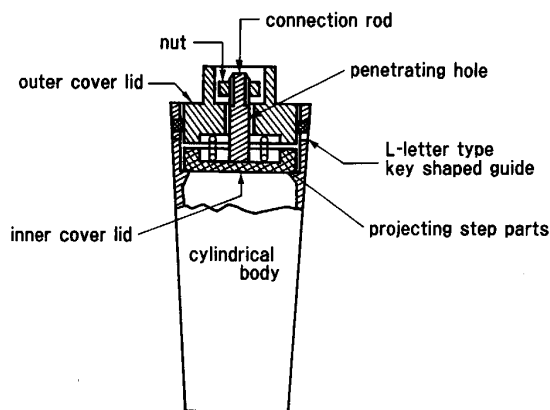


Fig. 3. Scheme of capsule for pneumatic transfer of powder samples.

せ受皿上に試料を排出させる機構を有するものである。

3.2 無秤量、熱硬化剤添加-加熱プレス試料調製法の開発

高炉スラグの試料調製は、自動化が容易と考えられる粉碎、成型法(ブリケット法)を採用した。しかし、既存の粉碎、成型機は試料粉碎後そのままプレス成型しているため、成型体の表面等から粉が剥離し装置内に飛散、分析精度の低下など、種々のトラブルの要因となっている。

そこで、問題点を解決するため、熱硬化剤添加-加熱プレス法を検討し、①熱硬化剤を自動的に供給する定量切出し装置、②高炉スラグ試料と熱硬化剤を粉碎、混合する粉碎容器、③混合粉体を試料中カップに搬送、充填する機構、④混合粉体を加熱した加圧ヘッドで加熱成型する加熱成型装置、などからなる粉碎加熱成型装置を開発した。Fig. 4に示す本装置の開発により成型後の試料は機械的強度も強固であり、表面などからの粉体飛散はほとんどなく分析時のトラブルは無くなった。一方、試料および熱硬化剤の無秤量化を考え、種々検討した結果、分析試料と熱硬化剤の配合率が変化しても、分析時にX線強度による補正を行うことにより、分析値に誤差が生じない無秤量分析法を確立した。このことから装置全体の構造が簡単となり自動化の実施が容易となった。

3.3 銑鉄、鋼試料の研磨方法の開発

銑鉄、鋼試料の調製は、従来円筒型(30~35 mmφ, 50~60 mmL) 試料を切断、研磨を行っていた。今回の自動化システムでは分析工程の省略により投資効果を上げることも考え、銑鉄試料をディスク型とすることで切断工程を省略した。しかし、鋼試料は、工場側のサンプリング設備の改造による投資、ディスク型による試料不良発生などを考慮し、従来どおり円筒型試料とした。銑鉄、鋼分析の完全自動化を実施するには、分析試料の表面調製を従来のベルトサンダー(研磨布)で研磨することは、切断工程のないディスク型銑鉄試料の研磨においては、研磨量が多いことによる研磨ベルトの消耗が激しく、①安定した研磨面が得られず試料間で分析誤差が生じる、②一定量研磨のコントロールが難しい、③ベルト交換頻

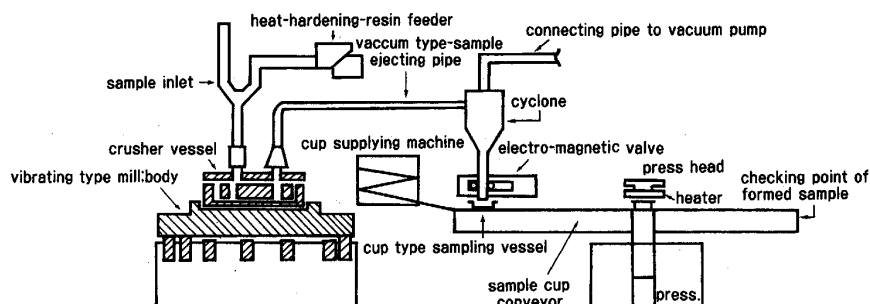


Fig. 4. Crushing and hot briquetting machine for BF slag.

度が多く人手の介入頻度も多くなり無人化に反する，などの問題があること，また，鋼試料研磨においても自動化全体設備の中で粗研磨用と仕上げ研磨用の2台の研磨機を設置することは，スペースを広く必要とし，既設設備の老朽更新などに合わせて自動化を実施する場合の障害となることから，研磨方法の検討を行った．一般的に研磨後の試料表面粗度に問題があると言われているが，上記①～③の解決が容易と考えられる硬石研磨法を選択し検討を行った．

砥石研磨による試料研磨能力の一般的な性質を利用して研磨初期段階で研磨量を多くし，最終段階では研磨量を少なくすることで同一研磨砥石を用いて粗研磨と仕上げ研磨を行う技術を確認した．このことにより研磨時間の短縮と研磨面の清浄かつ，安定試料面の確保，また，研磨機一台設置で研磨が可能となり，スペース問題も解決した．分析値への影響は，Fig. 5. に示すように従来法と砥石研磨に差は認められず，試料温度も40～60°C以内に収まっており問題はなかった．Fig. 6に本装置の略図を示す．

Element	○:by Grindstone				×:by Belt Sander			
(%) C	○	○	○	○	○	○	○	○
(%) P	○	○	○	○	○	○	○	○
(%) S	○	○	○	○	○	○	○	○
Temp. (c)	○	○	○	○	○	○	○	○
Sample No.	A	B	C	D	E	F	G	H

Fig. 5. Effect of different grinding methods on analytical results for iron and steel.

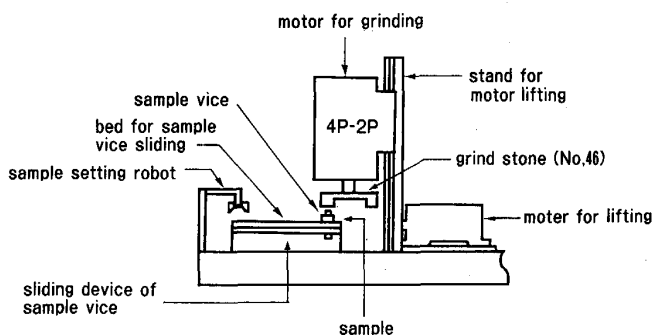


Fig. 6. Scheme of grinding machine for iron and steel.

4. 自動化の分析精度調査

今回使用した分析機器は，発光分光分析装置および蛍光 X 線分析装置であり，従来と同じである．しかし，試料調製方法が大きく異なっているため，従来法との比較を主に精度調査を行った．分析機器の主な仕様を Table 1 に示す．

4.1 製鉄工程分析の分析精度

鉄鉄など，自動化ラインの精度確認を従来法との比較で行った．Table 2 に鉄鉄分析の繰返し精度の比較を示したが，新自動分析法によるばらつきが小さく，精度の向上が見られた．これは，高炉スラグ，焼結鉱も同じ結果が得られた．Fig. 7 に高炉スラグの T. Fe 分析について，従来法との比較を示したが，差は認められず，鉄鉄，高炉スラグ，焼結鉱の他成分についても同様であった．

4.2 製鋼工程分析の分析精度

鋼などの自動化ラインの精度確認を従来法との比較で行った．Fig. 8 に鋼の C, 分析の比較結果を示したが，従来法との比較において差は見られず，他成分および他品種でも同様に差は認められなかった Table 3 に鋼の繰返し精度を示した．分析精度は従来法と比較して同等もしくは，向上が認められ，転炉スラグ，鉄鉄においても同様の結果が得られた．

Table 1. Main specification of analytical instrument and analytical computer.

Process	Analytical Instrument	Subjective Sample	Main Specification of Instrument
Process Analysis in Iron Making	Fluorescence X-ray Analyser	Iron BF-Slag Sinter Ore	•Model:SHIMAZU Corporation VXQ-150A •X-ray tube:Rh,50KV-100mA •Spectrometer:18ch,LiF,TAP,PET,Ge,NaCl,SX-2
	Analysis Center Micro-CPU System	whole without concerning to Steel Making	•Model:NSC MC-1000 •CPU & Processing Ability:chip 80286,0.5MIPS •Memory Capacity:Main→4 MB,Auxiliary→80MB
Process Analysis in steel Making	Optical Emission Spectrometer	steel	•Model:SHIMAZU Corporation GVM-1016 •Spectrometer:28ch,Wave length range →165~410nm •Photometer:PDA method,QC-7
	Fluorescence X-ray Analyser	Iron,LD-Slag Other Slag Species	•Model:SHIMAZU Corporation VXQ-150A •X-ray tube:Rh,50KV-100mA •Spectrometer:10ch,SX-2,TAP,PET,Ge,NaCl,LiF
Analysis Sec in Steel Making	Micro-cpu. System	ditto	•Model:NSC MC-1000 •CPU & Processing Ability:chip 80286,0.5MIPS •Memory Capacity:Main→4 MB,Auxiliary→80MB

Table 2. Comparison of repeatability for iron analysis (%).

		Si	Mn	P	S	Ti
Conventional method	\bar{x}	10	10	10	10	10
	σ_M	0.239	0.499	0.0953	0.0777	0.025
	C. V	0.005	0.003	0.0008	0.0009	0.0005
Automatic method	\bar{x}	10	10	10	10	10
	σ_M	0.219	0.480	0.1017	0.0552	0.0242
	C. V	0.0011	0.0005	0.0004	0.0002	0.0002
		0.5	0.1	0.4	0.4	0.8

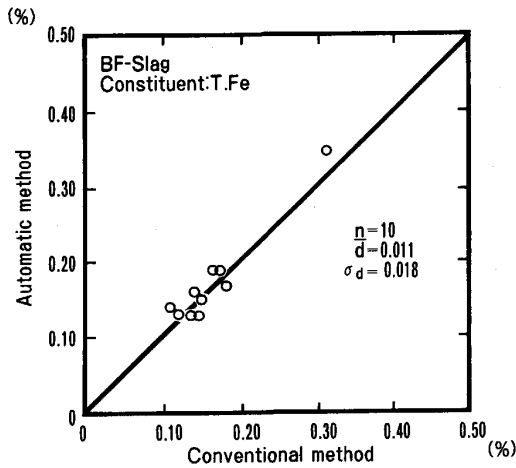


Fig. 7. Comparison of T. Fe contents determined by conventional method and automatic method.

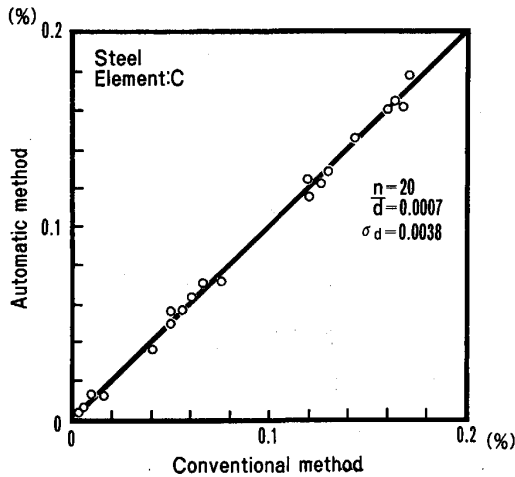


Fig. 8. Comparison of C contents determined by conventional method and automatic method.

5. 自動化による効果

工程管理分析の自動化を実施した効果として、①大幅な省力化ができた、②自動化により、人的要因による変動がなくなり、安定した分析値が得られ、分析精度が向上した、③Table 4 に示すように一部を除き分析所要時間の短縮が図られた、④コンピューターシステムの構築により、作業管理および情報処理網が整備され、大幅な報告業務の効率向上とペーパーレス化を実現した、などがあり、その他、今回報告できなかった、作業場所統合による効果、受入検査作業の OA 化、単独化学分析機器の自動化などを合わせ実施したことにより、直営 56 名、協力事業所 2 名の大幅な合理化が実施でき、労働生産性は 13 500 t. steel/人、月となり、自動化前と比較

Table 3. Comparison of repeatability for steel analysis (%).

		C	C	Si	Mn	P	S	Al
Conventional method	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{X}	0.0037	0.2638	0.0299	1.012	0.0347	0.0315	0.0709
	σ_M	0.0008	0.0043	0.0012	0.006	0.0008	0.0010	0.0014
	C.V	21.6	1.6	4.0	0.6	2.3	3.2	2.0
Automatic method	n	10	10	10	10	10	10	10
	\bar{X}	0.0028	0.2435	0.0299	1.002	0.0309	0.0339	0.0716
	σ_M	0.0006	0.0030	0.0030	0.006	0.0007	0.0011	0.0013
	C.V	21.4	1.2	1.0	0.6	2.2	3.2	1.8

Table 4. Comparison of analysis time by conventional method and automatic method (min).

Division	Sample	Analysis time	
		Automatic method	Conventional method
Chemical analysis in iron making division	Iron	6	6
	BF Slag	11	30
	Sinter ore	12	40
Chemical analysis in steel making division	Steel	3	3.5
	LD Slag	6	6
	Iron	4	5

し、117% 増となった。

6. 結 言

試験分析業務の徹底した FA 化、OA 化を実施し、業務の効率化体制を新たに構築した。今回の分析自動化システムは①工程分析の FA 化技術の開発、②省力化技術の開発による作業の統合、③分析業務の OA 化、などにより実現できた。これらの技術開発は、当所設備技術部門とシステム部門の技術力とメーカーの協力によるものであり、特許および実用新案 10 件の出願と数多くの技術の蓄積ができた。

文 献

- 1) 佐藤重臣, 吉田 豊, 石橋耀一: 鉄と鋼, **74** (1988), p. 1119
- 2) 石橋耀一, 吉田 豊, 佐藤重臣: 分析化学, **37** (1988), T157
- 3) 波戸利久, 青木 実, 土屋武久: 分析化学, **37** (1988), T163
- 4) 平松茂人, 北門達男, 山路 守, 井上善照, 渡辺隆志: 島津科学ジャーナル, **2** (1990), p. 5
- 5) 生川 章, 小田 功: 分析化学, **37** (1988), T601
- 6) 杉原孝志, 斉藤啓二, 合田明弘, 畑 俊彦: 鉄と鋼, **72** (1986), p. 2287