

コークス炉移動機械の F A 化技術の開発

Development of Factory Automation Technology of Coke Oven Battery Machines

金 野 好 光 ⁽¹⁾ Yoshimitsu KONNO	村 上 富 士 雄 ⁽²⁾ Fujio MURAKAMI	渡 辺 生 司 ⁽³⁾ Ikuji WATANABE	境 田 道 隆 ⁽⁴⁾ Michitaka SAKAIDA
中 川 洋 治 ⁽¹⁾ Yoji NAKAGAWA	松 永 雅 雄 ⁽⁵⁾ Masao MATSUNAGA		

抄 録

新日本製鐵ではコークス製造プロセスにおいて、コークス炉の労働生産性向上・生産最適化対策として、移動機械の無人化及び炉上作業の省力化で構成されるコークス炉 F A 化技術の開発と実機化を推進し、大分 3、4 コークス炉において、1992年に全移動機械無人化を達成した。F A 基本技術として、移動機械の自動定位置停止機構、及び窯毎の炉体プロフィールに追従性のよい移動機械搭載機器の自動化機構を開発するとともに、炉上作業の省力化を狙って、上昇管と炭化室のカーボン除去装置の実機化を図った。また、実機 2 号機である八幡 5 コークス炉 F A 化においては、サイクルタイムシミュレータの開発及び活用による作業シーケンスの改善、及び手動介入率削減対策によりサイクルタイム短縮を図り 140 本/日の高窯出本数を達成した。

Abstract

Nippon Steel has been developing and putting into practical use technologies for factory automation (FA) of coke oven battery which is consisting of an automation of coke oven battery machines and a reduction in labor for the working on coke battery's top, as a countermeasure to increase the labor productivity and to comfort the working environment in the coke oven battery, and achieved the automation of all the coke oven battery machines in No.3 and No.4 coke oven battery in Oita Works of Nippon Steel in 1992. The basic technologies applied for the FA were a mechanism for the coke oven battery machines to stop automatically at fixed positions and a mechanism for loading machinery and tools on the machines to be automated so as to follow well to the battery's profile of each coke oven. In addition, carbon removing apparatus for ascension pipes and coke oven chambers were automated with a view of relieving the maintenance work for the coke oven battery. Further, in the second FA brought into No.5 coke oven battery in Yawata Works, the cycle time was made shortened by developing a cycle time simulator and putting it to practical use and by reducing in the intervening ratio of manual operation, resulting in attaining 140 pushings of coke per a day.

1. 緒 言

コークス炉は製鉄所内他工場に比較して作業環境レベルが悪く、労働生産性また将来の要員確保等の観点からも、従来から自動化・省力化のニーズが高かった。しかしながら、炉体プロフィールや炉体金物条件(据付誤差等)が窯ごとに異なっているため、窯ごとにオペレータによる機器動作の微調整・確認が必要であり、各移動機械の個別作業単位の自動化や装入車等の単体移動機械の無人運転化は実機化されてきたが、押出機を含めた全移動機械の無人運転化は達成されていなかった(図 1 参照)。海外でも、ドイツのMannesmann社Huckingenコークス炉において全移動機械の自動化事例があるが、操業監視のため移動機械は有人となっている。新日本製鐵で

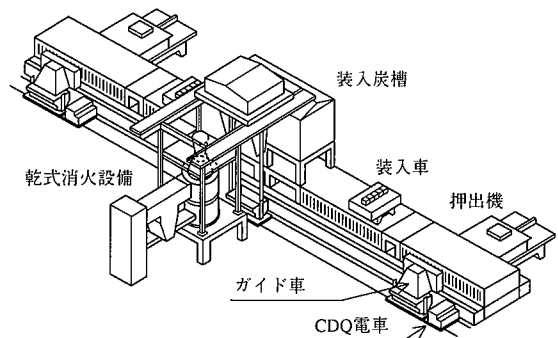


図 1 コークス炉移動機械構成

⁽¹⁾ 日鐵プラント設計(株) 課長
⁽²⁾ 大分製鐵所 生産技術部 部長代理
⁽³⁾ 大分製鐵所 製鉄部

⁽⁴⁾ 技術開発本部 設備技術センター プラントエンジニアリング部
⁽⁵⁾ 八幡製鐵所 製鉄部 掛長

は、1980年より老朽炉を含む既存コークス炉へ適用可能な全移動機械の無人運転化技術開発に着手し、大分製鐵所第3、4コークス炉(以下、大分と記す)を実機1号機として、1992年に無人運転化を実現した。続いて1994年には、実機2号機として八幡製鐵所第5コークス炉(以下、八幡と記す)のFA化を実施した。八幡では、投資効率の観点から押出機のみを有人として、他移動機械を監視する方式を採用し、140本/日という高窯出本数に対応可能なFA化を達成した。更に、1995年には新日鐵化学(株)君津製造所第4、5コークス炉(以下、君津と記す)にて八幡方式のFA化を実施した。本稿においては、FA化技術の課題、実機化開発内容、及び高窯出本数対応技術について述べる。

2. 実機化における課題

2.1 自動化機器の炉体への追従性

コークス炉及び上昇管等の付帯機器は、経年劣化、稼働率等の操業変動、及び気温差・天候等の環境要因により窯ごとに寸法・位置が変動する。FA化においては、これらの炉体及び付帯機器の変動に対し、窯ごとに自動化機器が追従し、確実に操作が行われることが重要である。そこで、自動化機器に既存設備の変動に追従可能な機能と、既存設備の変動に対するフレキシビリティを持たせる必要がある。加えて、自動化機器がサイクルタイムの許す範囲で再度操作し、既定のリトライ回数を越えた場合に手動介入を行うといったリトライ機能も必要となる。そのため、手動介入を最小限に抑えるための、既存設備の徹底したメンテナンスと、手動介入による作業時間延長の正確な評価を実施した。

2.2 コークス炉作業の機械化

コークス炉作業の無人化は、単に炉回り移動機械の無人走行技術が可能になっただけでは不可能であり、関連するコークス炉付帯作業の機械化・自動化が達成できて初めて可能になると考えられる。

FA化技術の開発においては、現状コークス炉作業の分析を行い、全移動機械無人化及び環境対策上のメンテナンス作業省力化に必要な開発技術を抽出した。抽出結果を表1に示す。表1の中で重要かつ本質的なものについて大分FA化で実機化を図った。

3. 実機FA化技術内容

3.1 FA化範囲

実機1号機である大分では、押出機、装入車、及びガイド車(CDQ(Coke Dry Quench)電車は既に無人化)の全移動機械を無人化し、統括制御室にシステム監視要員を配置した。加えて、装入車に牽引させた上昇管先行開放台車の導入により、上昇管操作の自動化を行い、炉上作業を省力化した。

大分は2炉団FA化であり、押出機2台のオペレータを無人化し中央制御室に1名の監視要員を置いた^{1,2)}。実機2号機である八幡は1炉団のみのFA化である。そのため、下記の2方式の投資効率比較を行った。

- 1) 大分と同様の全移動機械無人化中央監視方式
 - 2) 押出機は有人、他の移動機械は無人とし、押出機にシステム監視機能を付加し押出機オペレータをシステム監視業務と兼務させる方式
- その結果、上記2)の方式を採用した^{3,4)}。君津炉FA化も八幡と同様の構成とした(図2参照)。

表1 コークス炉作業の機械化・省力化開発課題と実機化開発項目

No.	要素機械化作業名	FA化機器	技術の内容及びポイント	実機化要否
1	装入蓋ガス漏れ監視	ガス漏れ検知装置	H ₂ ガスを検知	×
2	装入蓋ガス漏れ処置	新型蓋取り装置等	水平蓋収め、蓋鉢の線接触	○
3	上昇管操作確認	機械式確認装置	屋外・高温下での確認	○
4	炉蓋装着確認	機械式確認装置	屋外・高粉塵下での確認	○
5	上昇管着火	点火装置	屋外・強風下での確認	○
6	上昇管立管カーボン除去	燃焼除去装置	空気スカイフイーリングによる除去確認	○
7	炉内監視	炉内プロフィール測定装置	高温下での確認	×
8	炉内カーボン除去	燃焼除去装置	空気最速還流	○
9	装入鉢掃除	スクレーパ式除去装置	除去効果確認	×

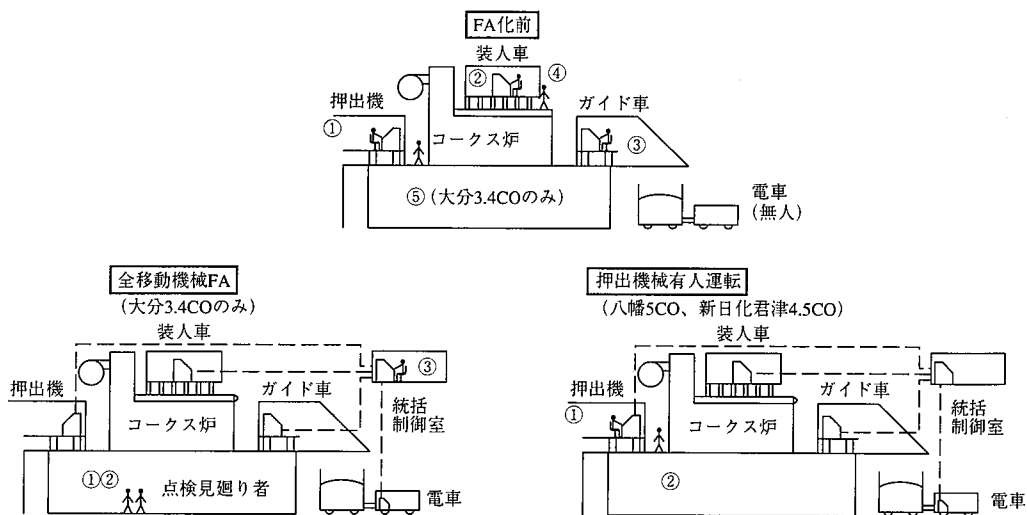


図2 要員合理化内容

3.2 自動運転制御方式とシステム構成

全体システム構成を図3に示す^{3,7)}。各移動機械に走行用PLC (Programable Logic Controller)を搭載し、中央の主幹制御装置で各移動機械に窯出1サイクルの作業指令を行うと共に、マクロ的な稼働状態把握と移動機械間のインターロック制御を行う。PLCは中央からの指令を受けて、窯出1サイクルの自動運転を実施する。この中央管理機上分散制御方式の利点は、中央制御装置が故障しても、オペレータによる従来レベルの自動運転が可能であることである。八幡及び君津では、移動機械稼働状態表示機能を押出機に付加し、押出機オペレータが全体システムの監視を行うシステムとなっている。信号の伝送方式は、誘導無線方式としている。

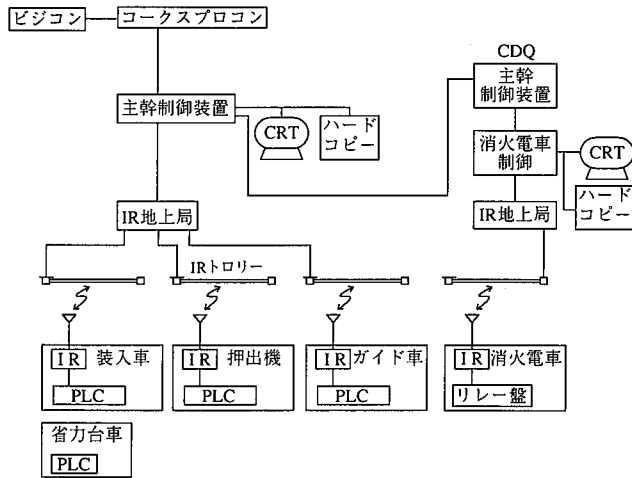


図3 FAシステム構成

3.3 移動機械の定位置停止制御機構

定位置停止制御装置の概要を図4に、窯芯センサの概要を図5に示す。制御フローの概略は以下の通りである。

- (1) 地上主幹制御装置からの作業窯番、作業内容の指令をPLCが受け取り、目的位置までの距離を算出し、走行を開始する。
- (2) アプソコードにより現在位置を検出し、PLCにて目的位置までの残距離を算出し、走行速度がリファレンス速度にトレースするようにVVVF (Variable Voltage Variable Frequency inverter) モータを制御する。
- (3) 移動機械が目的位置に接近し、目的窯のターゲットが窯芯センサの視野に入ると、アプソコードから窯芯センサによる走行制御に切り替わる。
- (4) ターゲット中心位置とセンサ視野中心とのずれ量をPLCにて演算し、ずれ量が±10mm以内となるようVVVFモータを制御する。
- (5) 窯芯センサにより、ターゲットに開けられたスリットでコード化された窯番データを確認し、制御を完了する。

押出機においては、押出用ラムヘッドが炉壁を損傷しないよう、更に高精度(±5mm)の停止精度が要求され、かつ車体重量が大きいことから、VVVF+APS (Automatic Positioning Stopper) (図6参照)を併用した。

本制御機構において、1回の停止操作で必要精度内に停止する一発停止率の向上、及び停止精度向上を狙い制御方法の改善を行った。詳細は3.5.3項に述べる。

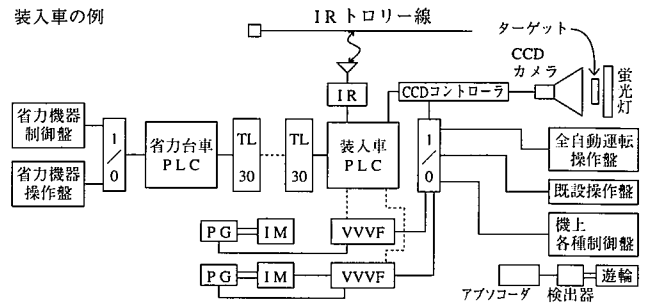
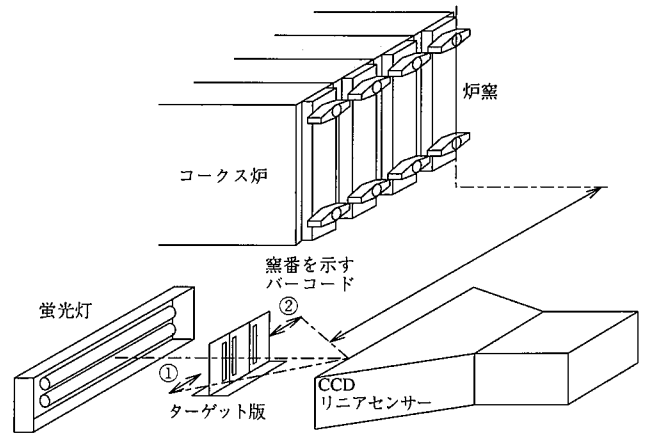


図4 定位置停止制御システム



画像上①-②が限界以内であることで窯芯を検出

図5 窯芯センサ概念図

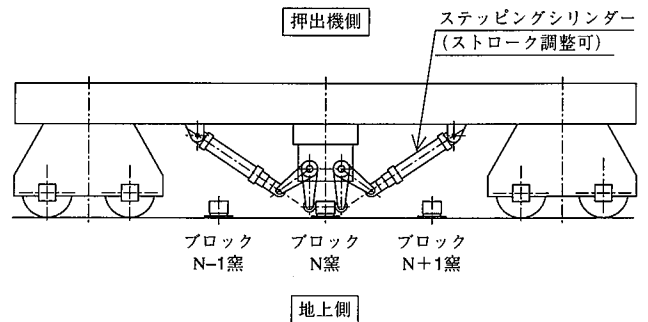


図6 押出機APS概念図

3.4 炉上作業の省力化^{3,4,7)}

新日本製鐵では、全移動機械の無人化技術に加え、先述したコークス炉作業の機械化を図ることにより総合的な省力化を推進することにした。

3.4.1 炭化室カーボン除去装置(図7参照)

本装置は炭化室に付着したカーボンを高速空気を吹き付けることにより燃焼除去する装置であり、新日本製鐵において開発実機化され自動カーボン除去装置として大きな効果を発揮してきた。FA化に際し、本装置の装入口部付着カーボン除去能力向上を図るため、No.5装入口の装入口部のみカーボン除去を行う短尺ランスの追加、及び既設No.2~4装入口ランスに装入口部エア吹き出しノズルの設置を行った。本改造により、人力で行ってきた装入口部カーボン除去作業の省力化が可能となった。

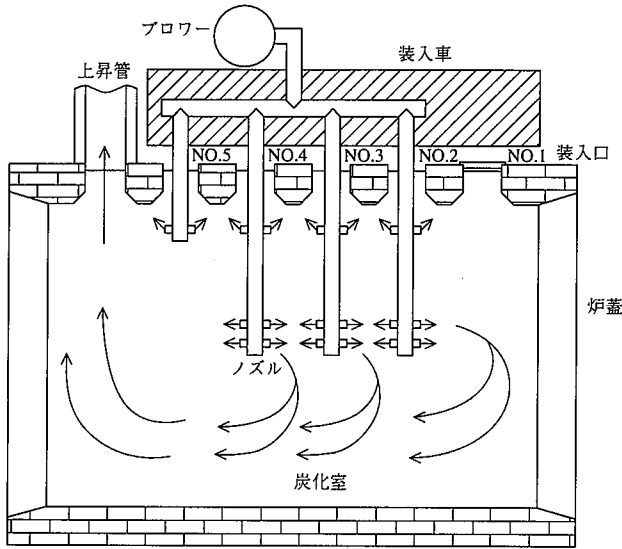


図7 炭化室カーボン除去装置概念図

3.4.2 上昇管操作装置

上昇管操作装置については上昇管トップカバーの開閉、ドライメンの切り替え、上昇管開時の発生ガスへの自動着火装置を装備している。実験結果では、スパーク源があれば雨、強風時にも着火しているが、着火装置の不良時を考慮して着火源を2点とした。上昇管操作装置の設備概要を図8に示す。FA化において、これら操作の自動化装置を1組にして装入車に牽引された台車に搭載した装置を実機化した。実機化に当たり、個々の上昇管の据付精度(位置、立管傾斜)のばらつき修正すると共に、ばらつきを許容する機構を開発した。更に、八幡FA化では本装置を装入位置から10窯先に設置することで装入作業と同時に上昇管開放作業を行うことが可能となり、自動化に伴う装入車サイクルタイムを低減する機構とした。

3.4.3 上昇管基部カーボン除去装置

上昇管基部へのカーボン付着は、押出負荷増加につながるほか、上昇管基部断面積縮小による炭化室内圧上昇のためガス漏れを誘発する。その除去として従来、押出機から空気スカーフィング装置を上昇管基部に挿入し空気スカーフィングする方法により対応してきたが、空気スカーフィングは除去効率が低いため、定期的な人力作

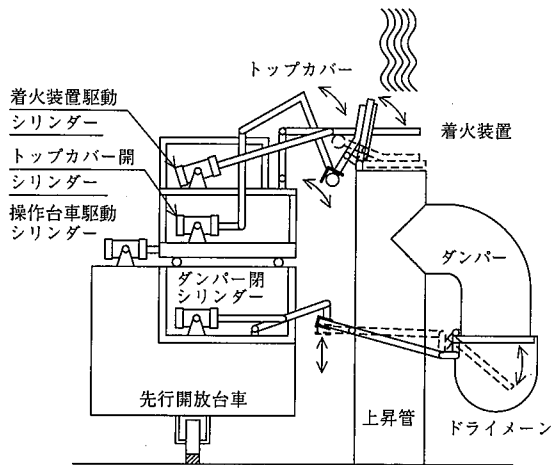


図8 上昇管先行開放装置概念図(特開平7-82563号)

業が必要であった。FA化において、空気スカーフィング装置の吐出ノズルを高速吐出タイプ(ラバールノズル：流速=音速)に改造し、エジェクタ効果により周辺空気を巻き込み、上昇管基部の通気量を増大させることで、図9のように従来法に対し大幅なカーボン除去効率の向上を図った。

3.4.4 装入蓋ガス漏れ処置

装入蓋ガス漏れ調査結果では、当該窯を装入した後モルタルシールを実施し、そのときにはガス漏れはなく良好であるが、次の窯を装入しているときに当該窯に炉頂クリーナが作動し、モルタルのシール性を悪化させるため、炉頂クリーナ後の再シール装置を追加した。これらの装置を設置して炉上作業者の業務が省力可能となった。

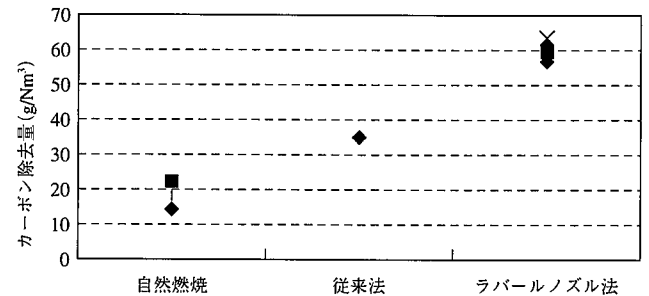


図9 カーボン除去方法とカーボン除去量の関係

3.5 高窯出本数への対応

実機2号機である八幡5コークス炉は生産バランス上1日の窯出本数が140本/炉団と、大分の110本/炉団と比べて窯出1本当たりのサイクルタイムの低減が必要となった。このため以下の対策を実施した。

3.5.1 上昇管先行開放台車の導入

自動化に伴い移動機械の作業が増加するものとして上昇管の開放作業がある。人手で対応していた上昇管開放作業を装入車で実施すると、装入車は装入作業、5窯先の装入終了窯の高圧安水から低圧安水エジェクタへの切り替え作業、5窯先の押出完了窯のカーボン焼却作業、10窯先の次回押出予定窯の上昇管開放作業を行うことになり装入車の走行距離が増加し、大幅なサイクルタイムの延長を招く。そこで、装入作業実行中に10窯先の押出予定窯の上昇管開放作業が同時にできる上昇管先行開放台車を導入し、サイクルタイム延長を回避した。

先行台車の移動方式は既設装入車で牽引する方式を採用した。本対策によりサイクルタイム105分/日の低減を可能とした。また、上昇管開放時間の短縮ができ、発生COGの回収量も1%程度増加した。

3.5.2 コークス炉サイクルタイムシミュレータの開発⁸⁾

従来サイクルタイム計算は手計算で行われていたが、窯出作業が押出機、装入車、ガイド車、及びCDQ電車の同期作業であるため、シミュレーションのケース設定に制限を付けざるを得ず、実炉で発生する様々な操業形態のシミュレーションに限界があった。八幡5コークス炉FA化に当たり、互いにインターロックにより結ばれた移動機械の各作業のシークエンシャルな動きをパソコン上で忠実に再現することでコークス炉サイクルタイムシミュレータのモデル化を図った。実操業との比較検証の結果、同シミュレータの計算精度は誤差1%であった。同シミュレータにより、様々な操業パター

におけるサイクルタイムの高精度な計算が可能となり、手動介入率の窯出時間に与える影響、サイクルタイム低減対策の検討等に活用した。その例を図10に示す。

本シミュレータを用い、最適作業方法(作業順序)を抽出し、個々の作業内でのロスタイム(待ち時間)の短縮を図り、61分/日程度のサイクルタイム低減を可能とした。

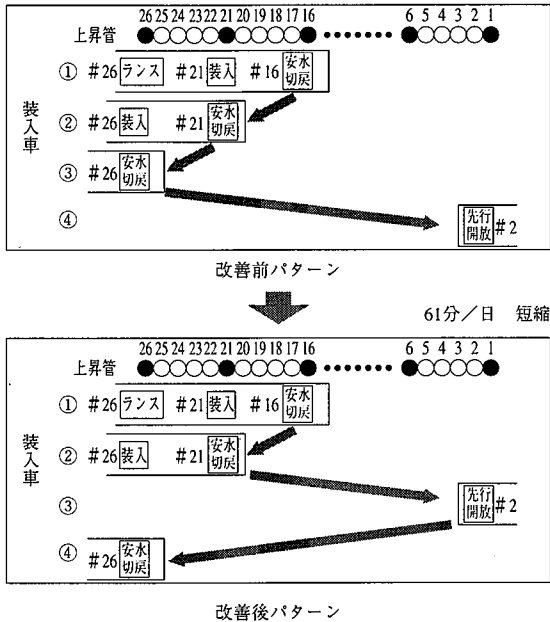


図10 装入車作業パターンの改善

3.5.3 各移動機械の一発停止率の向上化対策

各移動機械の一発停止率を向上させ、サイクルタイム延長を回避するために以下の対策を実施した。

制御系に関する対策として、停止誤差が大きくなる原因が高速走行時に一定速度領域が無く、加速中に減速操作を行うことを見出し、走行距離が短くなるに従って最高速度を遅くし、一定速度領域を十分確保できるような走行制御方式を開発導入した。更に、窯ごとに停止位置を調整できる制御方法とした。

また炉体変動による一発停止率悪化の対策として、装入車及びガイド車の走行軌条の高さ方向のレベル調整、歪み調整及び継ぎ目の凹凸修正等を実施した。

以上の諸対策により、図11に示すように八幡5コース炉装入車において100%の一発停止率を達成した。他移動機械においてもほぼ100%を達成している。

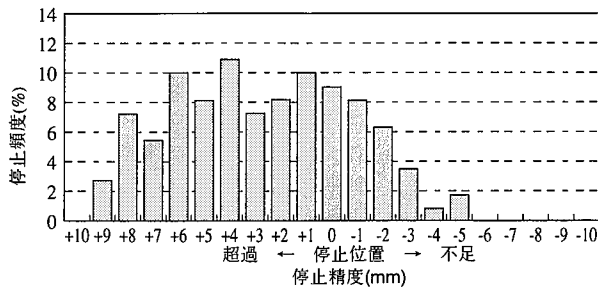


図11 八幡5コース炉装入車停止精度

3.6 安全対策

FA化においては、移動機械が無人運転になるため安全対策は従来以上に行う必要があり、以下のような設備上の対策を講じた。

移動機械の走行に関する安全対策として、指定点での減速出力、スピードチェック、オーバーラン、走行極限、及び逆走等のソフト、ハード対策、更に同一軌条に並んでいる大分3、4コース炉の場合には装入車ごと、ガイド車ごと、押出機ごとにマイクロ波方式による衝突防止を設置した。

これらに加え、コース炉への石炭装入、窯出のための安全確認対策として、

- (1) 炉口ITV監視
 - (2) 炉蓋門取め確認装置
 - (3) 移動機械回りのITV監視
- 等がある。

押出機の定位置停止精度は±5mmで、停止にはメカニカルな停止装置(APS)を装備していることは先述した。押出機には更に、ラムヘッドが熱歪みにより炉蓋脱着の芯と合わない場合があり、ラムヘッドがコース炉本体に接触するのを防止するために、窯口でラムヘッドとフレーム間のクリアランスがあることをオペレータがITVで確認しバックアップしている。また、無人化前には押出機、ガイド車で炉蓋脱着作業に関し、炉蓋取めが完全に行われているかをオペレータが確認している。このためリフター側から2本のレバーを出しそれぞれ門及び門受けのレベル差を検出し炉蓋の装着を確認している。図12に炉蓋門取め確認装置を示す。

大分では、コース炉回り関し及び機体状況監視のために、炉上全体、押出機全体、ガイド車全体を監視する地上固定ITVを各炉団ごとに設置している。

3.7 FA化稼働状況

各移動機械の停止精度は目標値を達成しており、自動化設備を含めた自動化率は大分(全移動機械無人化)で88~93%、八幡(押出機のみ有人)で94~97%で安定推移中である(図13参照)。各移動機械の手動介入は、その発生原因の大半が既存設備に起因しており、炉蓋脱着装置等のメンテナンスの徹底が、FA安定稼働の要となっている。

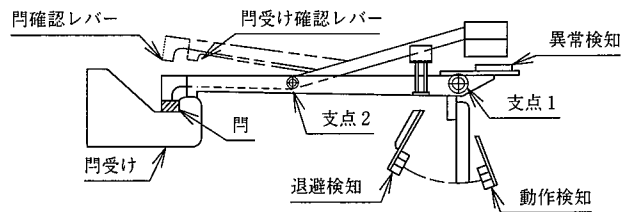


図12 炉蓋門取め確認装置

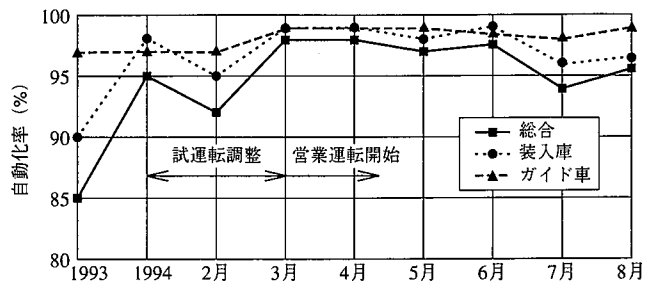


図13 八幡5コース炉自動化率実績

3.8 FA化効果

表2にFA化による、炉回り作業要員合理化数を示す。大分においては-32、八幡では-9の要員合理化を達成した。更に付帯効果として、上昇管先行開放装置の設置によりCOG放散時間が短縮され、COG回収量の増加メリットを享受した。

4. 結 言

以上、コークス炉のFA化技術の実機化における課題と課題の解決となる新技術について述べた。大分FA化では、全移動機械無人運転が達成され、コークス炉作業の労働生産性の大幅な向上のみならず、

快適な職場環境づくりに大きく寄与した。実機2号機である八幡FA化では、大分で蓄積されたエンジニアリングノウハウを活用し、更に信頼性の高いシステムを構築した。加えてサイクルタイムシミュレータの開発と活用により140本/日という高窯出本数を達成した。その後、君津FAも実機化し、現在八幡製鐵所第4コークス炉でFA化を実行中である。

今後FA化を進める上で以下のような課題がある。

- (1)老朽化するコークス炉でのFAの安定稼働を維持するための、炉体変動の抑制、移動機械及び付帯機器のメンテナンスの強化
- (2)無人化されたコークス炉において、厳しさを増すガス漏れ等の環境規制に対応可能な設備及び操業法の改善

これらの課題を解決し、今後も社内外コークス炉のFA化を推進していく考えである。

表 3 FA化効果

	大 分		八 幡	
	炉作業	上昇管作業	炉作業	上昇管作業
FA前	$5 \times 4 \times 2 = 40$	14	$4 \times 4 = 16$	3
FA後	$3 \times 4 + 2 = 14$	8	$2 \times 4 = 8$	2
要員合	▲26	▲6	▲8	▲1
理化数	▲32		▲9	

参考文献

- 1) 伊藤茂雄 ほか：2nd-ICMC. London, (1992)
- 2) 尾方良普：53th-AIME. Chicago, (1993)
- 3) 松永雅雄：54th-AIME. Nashville, (1995)
- 4) 境田道隆 ほか：第94回コークス特別会. 49(1994)
- 5) 渡辺生司 ほか：材料とプロセス. 4, 1117(1991)
- 6) 渡辺生司 ほか：材料とプロセス. 5, 1125(1992)
- 7) 渡辺生司 ほか：材料とプロセス. 6, 60(1993)
- 8) 境田道隆 ほか：材料とプロセス. 7, 971(1994)