

Automation Techniques of Coke Oven Moving Machines



稲山 晶弘

Akihiro Inayama

千葉製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(課長補)



野口 宏基

Hiroki Noguchi

千葉製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(主席掛長)



柴田 知典

Tomonori Shibata

千葉製鉄所 制御技術
部制御技術室 主査
(掛長)

要旨

コークス炉における、石炭装入からコークス押出し、搬出までの作業は4台の移動機械の連係動作で行われており、比較的動作の単純な消火車以外の押出機、装炭車、ガイド車には、個別にオペレータが搭乗して操作するのが一般的であった。川崎製鉄では、1994年よりコークス炉移動機械の自動化に取り組み、従来は困難といわれていた押出機も含めた無人運転化を千葉製鉄所6・7コークス炉で達成した。既存設備の自動化を推進する上で、それぞれ稼働後26年および19年経過して老朽化した炉体への考慮や、設備の軽微な故障時には極力人的介入を要しないための工夫など、移動機械の停止精度や運転方案の面で多くの課題を解決する必要があった。本稿では、千葉製鉄所6・7コークス炉の移動機械自動化技術に関して、システムの構成と特徴および稼働状況を紹介する。

Synopsis:

In a coke oven plant, four associated moving machines are used for coal charging, coke pushing, coke guiding and transportation. Except quenching cars, which are easy for automation, pusher cars, coal charging cars and coke guide cars had been driven by boarded operators respectively. Since 1994, Kawasaki Steel has been tried to realize the automatic no-man operation of the moving cars, including the pusher car that was considered to be difficult, at Chiba Works No. 6 and No. 7 coke oven plants. Consideration to the oven bodies deteriorated through the respective usage of 19 and 26 years, and preventive function to manual interruption during the detected light fault of equipment, are the key issues to achieve this goal in order to modify and improve the existing equipment. For automation techniques of the moving cars developed at Chiba Works No. 6 and No. 7 coke oven plants, the feature of the automation system and the current operating condition are described in this paper.

1 緒言

コークス炉の操業において、生産性の向上は延命技術、環境対策と並んで従来からの大きなテーマである。コークス炉の実作業は、押出機、ガイド車、消火車、装炭車などの移動機械の運転と炉の燃焼管理から成り立っている。自動制御が進んだ後者に比べ、前者は個々の移動機械にオペレータが搭乗して操作するのが一般的で、労働生産性向上の余地が残されていた。比較的動作の単純な消火車を除き、押出機、装炭車、ガイド車は、各窯のドアや装入孔蓋の開閉などの複雑な動作が必要で、しかも、老朽化し変形の始まった炉体に対しての作業となるため、オペレータの経験に基く確かな手動介入操作がコークス炉の安定稼働には不可欠であったことは否めない。

川崎製鉄では、1994年からコークス炉操業におけるさらなる生産性の向上、労働環境の改善を目指して、移動機械の自動化に取り組み、従来は困難といわれていた押出機も含めた無人運転化を千葉

製鉄所6・7コークス炉で達成した。

本稿では、千葉6・7コークス炉の設備と操業の概要を紹介した後、移動機械自動化技術について、そのシステムの構成、機能と稼働状況を述べる。

2 コークス炉の設備と操業の概要

Fig. 1 に千葉製鉄所6・7コークス炉の設備構成を示す。コークス炉では押出機、装炭車、ガイド車、消火車と呼ばれる4種の移動機械が1つのグループを構成し、たがいに連係して動くことが要求される。各移動機械の役割は以下の通りである。

装炭車が石炭塔よりホッパーに石炭を受け、空炉となっている窯に装炭する。この石炭が乾留プロセスを経てコークスとなった後、押出機、ガイド車が各々窯の両側のドアを外し、押出機がコークスを炉外に押出す。押出されたコークスはガイド車を経て消火車のバケットに落され、乾式消火設備もしくは湿式の消火塔に運搬されて冷却される。

押出し作業では、炉が均一に加熱されること、燃焼室の温度が均一で熱損失を少なくすること、押出し中および乾留中に炉壁にかか

*平成11年7月23日原稿受付

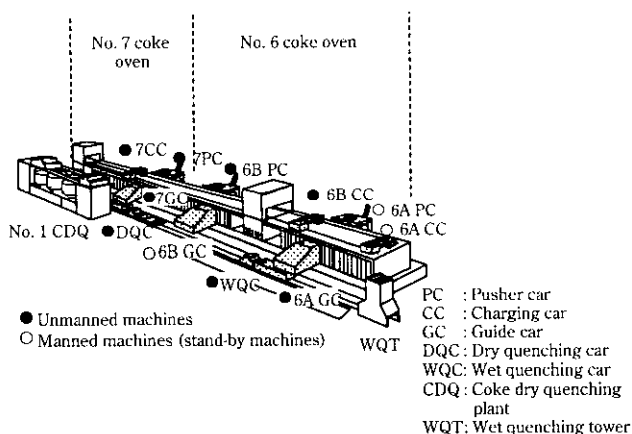


Fig. 1 The outline of equipments at Chiba Works No. 6 and No. 7-coke oven plant

る圧力を最小とすることを目的として、5 窯飛びに実施する方法がとられている。また、押出し作業と装炭作業を続けて実施することが操作効率向上につながるため、押出機は、押出しが終了し装炭作業を実施している 5 窯分ずれた窯に対するレベラー装入（装入した石炭の長方向均し作業）を、押出し作業と併行して行う。さらに、次回押出窯の準備として、レベラー装入孔である小蓋のクリーニング作業も併行して行う。

千葉製鉄所 6・7 コークス炉は、6 コークス炉 102 窯と 7 コークス炉 66 窯が隣り合うレイアウトとなっており、乾留窯のサイズ、間隔が共通であることから、各々同一軌条上に存在する 3 台の押出機、装炭車、ガイド車、2 台の消火車のコークス炉間の相互乗り入れが可能である。通常の操業は 6・7 コークス炉で各々 1 つのグループを構成して行なわれ、3 台ある押出機、装炭車、ガイド車の内各々 1 台は予備機としてスタンバイ状態にある。

3 移動機械自動化の計画と課題

千葉製鉄所 6・7 コークス炉の移動機械は、従来、7 コークス炉消火車を無人にて運転している以外、オペレータが車上に乗込み運転操作を要する有人機械であった。要員配置は 1 シフトあたり移動機械運転要員 7 名、付帯作業やトラブル対応を行うフリーマン 2 名と中央操作室要員 2 名を加えた計 11 名体制で操業を行っており、移動機械に搭乗したオペレータは通話無線と誘導無線信号表示を頼りに移動機械間で連携して作業を行っていた。

この中で無人化の対象とした移動機械は全 11 機の内、予備機 3 機と無人化されていた消火車 1 機を除く 7 機であり、実施状況を Table 1 にまとめた。無人化済みの消火車においても制御システムの部分更新を行った。従来、有人にて運転されていた移動機械に自動走行を始めとする無人運転機能を搭載し、移動機械運転状態監視、操業スケジュール作成、装入炭量設定などの機能を持つ監視・制御システムを中央操作室に設置することにより、すべての移動機械を無人運転化し、1 シフトあたりフリーマン 2 名と中央操作室 2 名の計 4 名での操業体制を計画した。

6・7 コークス炉の各移動機械は、従来よりドアの脱着、装入孔開閉などの複雑な動作に対して、作業ブロック単位でアクチュエーターを連動して動かす制御機能（ブロック自動）を有していた。このブロック自動機能をそのまま遠隔で自動動作させるだけでは以下のような課題が残る、無人化達成のためにそれらの解決が必要であ

Table 1 Manned/automatic transition of moving machines at No. 6 and No. 7 coke oven plants

	No. 6 coke oven	No. 7 coke oven	Stand-by machines
Pusher car	 → 	 → 	 → 
Charging car	 → 	 → 	 → 
Guide car	 → 	 → 	 → 
Quenching car	 → 	 → 	—

Previous system → Current system  Manned  Automatic (unmanned)

Table 2 Examples of manual intervention

Moving car	Manual intervention required for the potential following incidents
Pusher car	Failure of pulling out a door from a battery Failure of crossing a rocking bar to the bracket Failure of making a leveling hole opened
Charging car	Failure of pulling out the lid from a charging hole because of the sealing liquid hardening Mis-detection of the timing of the lid pulled out
Guide car	Failure of pulling out a door from a battery Failure of crossing a rocking bar to the bracket Mis-detection of the position of the guideway marching forward
Quenching car	Mis-detection of the timing of the gate closed after the gate is opened and closed

った。

第 1 の課題は、移動機械の停止位置精度の問題である。高温下で熱的な変位を受け、また老朽化とともに変形の進行する炉体に対応するため、熟練オペレータは各窯の傾きやずれの度合を勘案し、作業対象窯に応じて微妙に停止位置を調整することにより、円滑な操業を継続していた。しかしながら、停止位置の指標が存在するわけではなく、また、走行駆動系の劣化も進んでいたことから、オペレータの思い通りの位置に停止できるものでもなく、ブロック自動の成功率は個人の力量に左右される点が課題であった。

第 2 の課題は、オペレータ判断による手動介入操作の自動化である。従来、オペレータの介入操作を必要としていた主な作業を Table 2 にまとめた。ブロック自動が機器動作渋滞発生により不可能となったとき、オペレータはその都度、自動運転から手動運転に切替え、経験に基づく判断により、個々の機器をリトライ操作して作業を継続したり、停止が即刻減産に結び付かない装置に関しては、その窯での運転を断念して主要作業を継続したりという工夫がなされていた。

第 3 に、これまで押出機に搭乗していたオペレータは機械の運転操作だけでなく、押出し作業を実施する際に、炭化室レンガの観察、コークスの炭化状態の確認も実施しており、無人運転化するにはこれらの作業の遠隔監視機能も必要であった。

上記の課題への対策として、(1) 機械系を含めた走行制御系のリフレッシュ、(2) 自動リトライ機能・自動縮退運転機能の導入、(3) 押出機オペレータに代る監視センサの導入を行うことにより、移動機械全体の更新を行うことなく、既存の移動機械をそのまま流用して自動化を図ることとした¹⁾。

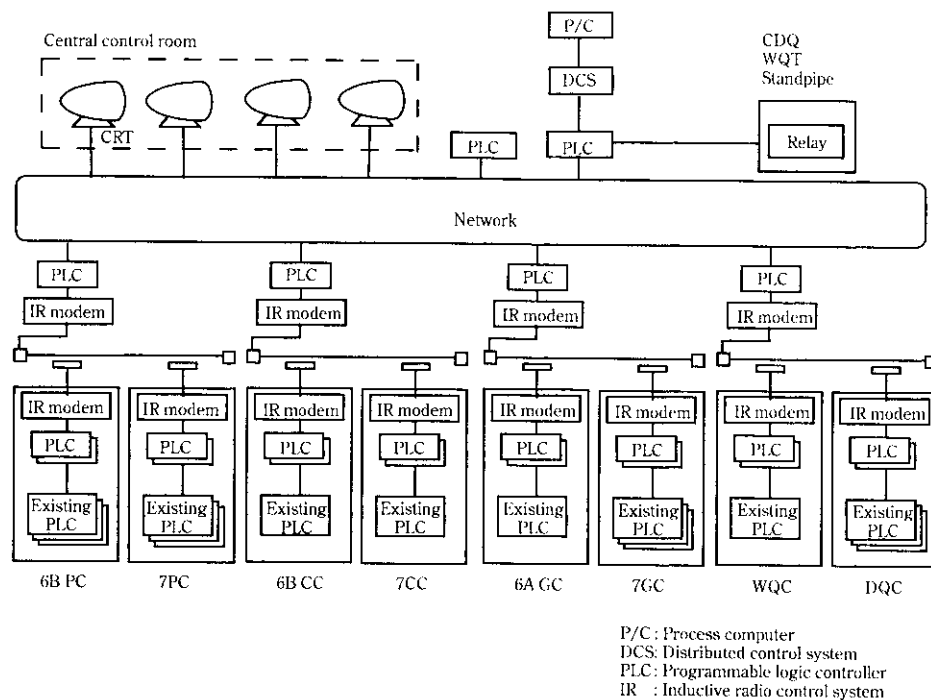


Fig. 2 System configuration of the automatic control for moving machines

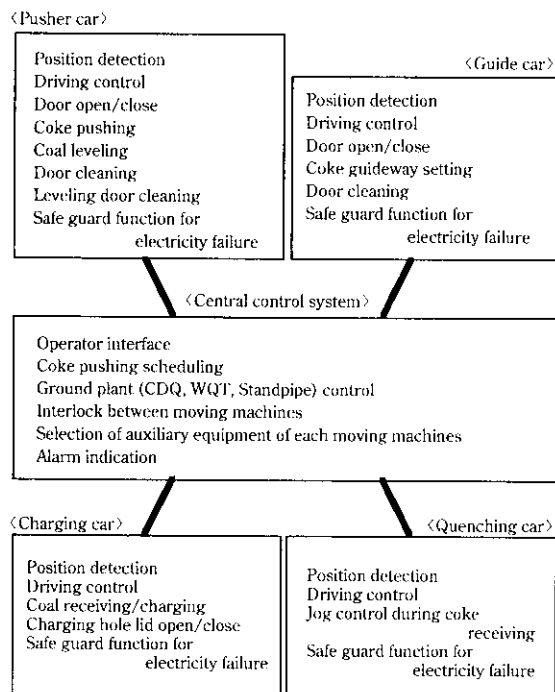


Fig. 3 Functional workshare of the automatic control system

Table 3 Required accuracy for position control of moving machines

	Required accuracy	Result
Pusher car	$\pm 5 \text{ mm}$	$\pm 4 \text{ mm}$
Charging car	$\pm 10 \text{ mm}$	$\pm 4 \text{ mm}$
Guide car	$\pm 10 \text{ mm}$	$\pm 4 \text{ mm}$
Quenching car	$\pm 200 \text{ mm}$	$\pm 120 \text{ mm}$

ソコンを積極的に導入し、すでにシーケンサにて制御を行なっている機器については、これをリモート I/O として流用することにより、安価な構築を図った。また、コークスの移動機械は連係して動作することが求められるので、移動機械間のデータ送受信を、押出機、装炭車、ガイド車、消火車の各々の軌条と平行に延線された誘導無線ケーブルと中央制御装置ネットワークを経由する形で行った。さらに、高い走行停止精度が要求される押出機、装炭車、ガイド車の制御装置には 2 台の PLC を搭載し、走行処理とそれ以外の処理とを分けることで高速スキャンの走行処理専用 PLC による高精度停止位置制御を実現した。

このように移動機械側に多数の PLC・シーケンサを配置した分散型制御システムを採用した理由は、上記で述べた安価なシステム構築を指向したことのみならず、中央と移動機械間の通信ダウンなど異常発生時にも、異常復旧までの移動機械オペレータさえ確保すれば最低限の操業が可能となるよう考慮した結果である。

4 移動機械の自動化技術

4.1 自動化システムの構成

移動機械自動化のため構築したシステム構成を Fig. 2 に、本システムでの中央制御装置と移動機械制御装置の機能分担を Fig. 3 に示す。

システムの特徴として、中央制御装置に汎用シーケンサ、汎用バ

4.2 移動機械の走行制御

コークスが移動機械が各窯前での機器動作を動作渋滞することなく行なうための機械的走行停止要求精度は Table 3 に示すとおりで、この要求精度達成が自動化における最大のポイントである。特に押出機は、前述の通り同時に 3 つの窯を作業対象とするため、停止精度は $\pm 5 \text{ mm}$ 以内が要求される。

この停止精度を達成するために走行制御装置の全面更新を実施

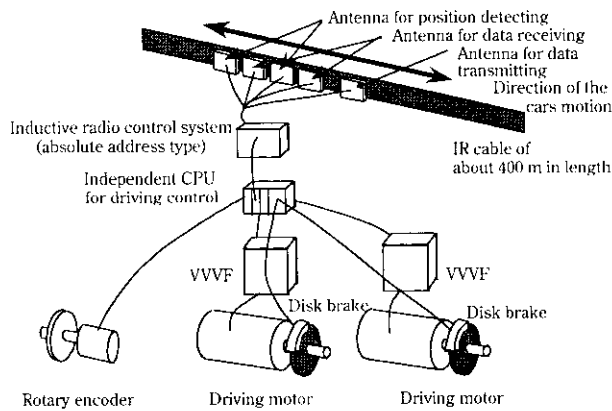


Fig. 4 System configuration of position detection and driving control

し、ベクトル制御インバータを導入して低速領域での制御性を確保した。また、移動機械の位置検出方法として、高い分解能が要求される押出機、装炭車、ガイド車については、主流である交差型誘導無線方式と CCD カメラ方式を比較検討し、目標位置修正の容易さ(ソフトウェアにより変更可能)やメンテナンス性などから交差型誘導無線を選定した。停止要求精度が比較的ラフな消火車についてはロータリーエンコーダ方式を採用した。

走行制御システムの構成を Fig. 4 に示す。各移動機械には 5 つの誘導無線用のアンテナを設置しており、この内 2 つが位置検出に使用される。

6・7 コークスガでは、新規導入した走行制御専用的高速スキャンの PLC において、誘導無線信号にロータリーエンコーダ出力を組み合わせて処理し、さらにベクトルインバータを介してリフレッシュされた走行装置へ指令を与えることにより、1mm の分解能での位置制御を可能とした。このような走行制御システムを用いることにより Table 3 の実績に示す通り、各移動機械の走行停止要求精度を十分達成することができた。

4.3 無人化のための新たな機能

移動機械無人化を実現するために、既存の連動運転機能以外に新たに導入した機能を Table 4 に示す。

押出機とガイド車のドア脱着、装炭車の装炭孔蓋開閉などの複雑な動作は、従来より連動運転機能を有していたが、本体の歪みなどの影響を受け、連動運転が作業途中にて渋滞停止することがしばしばあった。無人運転化にあたって、連動運転が停止した場合にオペレータが経験的に行っていたリトライ操作を自動シーケンスにて実施する(自動リトライ機能)ことにより、渋滞発生時の手動介入操作を不要とした。

また、コークスガでは乾留のプロセスにおいて種々の付着物が発生するため、移動機械にドア・小蓋などのクリーニング装置を設けている。これらの装置の短時間の停止は即刻減産に結び付くものではないため、クリーニング装置の連動運転が途中で停止した時には装置を待機位置に戻し、移動機械全体としての運転はそのまま継続させる自動縮退運転機能も設けた。

オペレータが目視にて実施していた炭化室内のレンガ観察の代替機能として、光ファイバー放射温度計を用いた炉壁温度監視センサを導入した。また、コークス炭化状態確認用に ITV カメラを設置し、いずれも中央操作室からの遠隔監視を可能とし、異常確認時にオペレータが詳細点検を行う形態とした。

保安面では、停電対策が重要である。有人運転時には停電発生時

Table 4 Newly introduced function for automatic operation

Moving car	Newly introduced function
Pusher car	Retry function Simplified operation function for the auxiliary equipment
Charging car	Retry function Coal charging speed automatic control function Simplified operation function for the auxiliary equipment
Guide car	Retry function Simplified operation function for the auxiliary equipment
Quenching car	Retry function

Table 5 Automatic operation ratio of coke oven plant

	Average during 3 months (1999 Jan.~Mar.)	
	No. 6	No. 7
Pusher car	98.0	98.4
Charging car	98.9	99.7
Guide car	98.1	97.9
Quenching car	98.2	100.0

Automatic operation ratio (%)

$$= \frac{\text{Automatic success oven number}}{\text{Automatic trial oven number}} \times 100$$

に迅速な対応を期待できるが、無人化した場合、地上のオペレータが対応をとるまでに時間を要し設備焼損の恐れがある。このような危険を回避するため移動機械に無停電電源装置を設置し、シーケンサ、電磁弁系統の電源をバックアップすることにより、停電時には設備焼損の恐れのない状態まで自動シーケンスで動作させる機能を持たせた。

5 工程と稼動状況

千葉製鉄所 6・7 コークスガの移動機械自動化については、1994 年より詳細検討を開始した。現地作業については、既存の移動機械を走行系以外はそのまま流用し、制御システムのみ自動化対応機能を追加する形態を取ったことから、コークスガの通常操業を維持しながら、改造工事 1.5 ヶ月、試運転 2 ヶ月という短い工期で完了させた。

従来から無人運転であった 7 コークス消火車に加え、まず 1995 年 8 月に、step 1 として 6 コークス消火車を無人化した。その後、step 2 として 1996 年 3 月に装炭車 2 台、4 月にガイド車 2 台を無人化した。最も困難と考えられた押出機 2 台に関しては、step 3 として 1998 年に無人化を達成した。

Fig. 5 に無人化への実績工程を、Table 5 に最近の各移動機械の自動化率を示す。押出機に関しては特に要求精度が厳しいことから、走行軌条の凹凸やコークスを押出すラムヘッドの傾きなどの精度管理技術を十分確立すること、運転方案のレベルアップを積み重ねることなどにより無人化を達成した。

6 結 言

川崎製鉄千葉製鉄所 6・7 コークスガの移動機械自動化技術について、主としてシステム構成や制御機能に関して紹介した。本システムは省力や自動運転率の面で当初の目標を達成し、現在も順調に

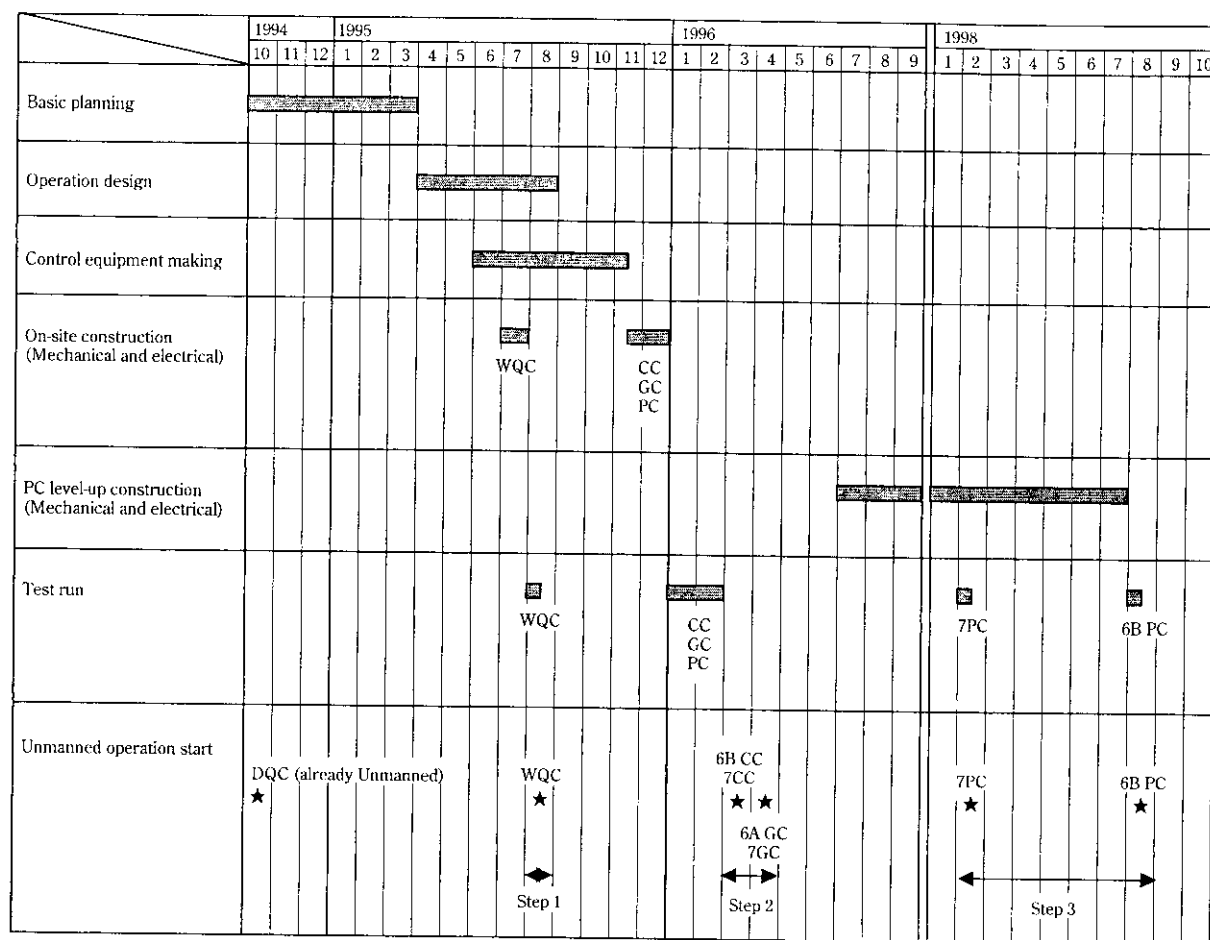


Fig. 5 Actual work schedule of automation system at No. 6 and No.7 coke oven plants

稼働中である。

老朽化した設備の自動化レベルを一定の水準に維持するためには、本稿で紹介したシステム面での機能のみならず、日常のきめの

細かい地味なメンテナンスが重要なことは言うまでもない。

今後も、本システムの自動化レベル維持を通して、コークス炉の延命とコストダウンに注力していく所存である。

参考文献

- 1) 渡辺宗一郎、鎌野秀行、松本敏行、内田哲郎、高橋 保、野口宏基：「コークス炉移動機における自動化技術の開発」、材料とプロセス、10(1997), 158
- 2) 柴田知典、野口宏基、稲山品弘、内田哲郎、駒村 聖、渡辺宗一郎、高橋 保：「千葉 No. 6, 7 コークス炉 FA 化」、材料とプロセス、10(1997), 1021
- 3) 高橋 廉、仲田卓史、横澤二男、高橋 保、内田哲郎、野口宏基：「千葉 No. 6, 7 コークス炉移動機自動化に於ける機械精度管理技術」、材料とプロセス、11(1998), 156