

エキスパートシステムを適用したコークス乾式消火設備自動運転制御システムの開発

Development of Coke Dry Quenching Automatic Control System by Expert System

新日本製鉄(株) 名古屋製鉄所 飯田 洋行*・宮田 英憲・斎藤 英之

1. 緒言

コークス乾式消火設備(以下CDQと略記)はコークス炉から炉出しされた赤熱コークスを不活性ガスにより消火し、同時にその顕熱を工業的に利用できるエネルギー(高压蒸気等)として回収する設備である。当社では、昭和51年に八幡製鉄所で日本初の実機規模のソ連式CDQを稼働させたのを最初に、現在では各所に設置した合計7基のCDQにより、生産したコークスの約90%をCDQにより消火処理している。

CDQの運転制御については、ボイラー設備やクレーン設備は従来より自動化されていたものの、ガス循環系・コークス処理系を含むプロセス全体の制御については、コークス炉の操業変動や装入されるコークスの乾留状態に応じた複雑かつ計画的な制御操作が要求されるため、自動化が遅れていた。

今回、これらの制御に関するオペレーターの状況判断・制御操作に関する知識をエキスパートシステム(以下ESと略記)に取込み、運転作業負荷がきわめて少なく、また蒸気回収量が増大できるCDQ自動運転制御システムを開発し、名古屋製鉄所の1, 2炉CDQ及び4炉CDQに適用したので報告する。

2. 名古屋製鉄所のCDQ設備について

Fig. 1に名古屋製鉄所コークス工場の設備レイアウトを示す。当所には2基のCDQが設置されている。各々、2, 4炉コークス全量と1, 3炉の一部のコークス処理を行っており、運転監視については、石炭・コークス輸送コンベアー等と併せて、工場中央部の「統括運転室」より遠隔運転を行っている。

両CDQの仕様についてTable 1に概略を示した。

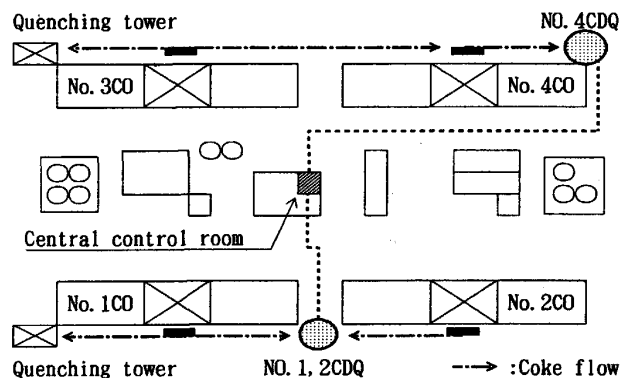


Fig. 1. Layout of NAGOYA Works' coke plant

Table 1. Main specifications of NAGOYA's CDQs

	NO. 1, 2CDQ	NO. 4CDQ
Coke throughput capacity(t/h)	106	129
Chamber volume (m ³)	390	430
Blower capacity (Nm ³ /h)	143,000	161,000
Steam from boiler Temp. (°C) Pressure (10 ⁵ MPa) Max. production rate (t/h)	530 115 65	530 115 68
Date of start-up	Aug. 1985	Feb. 1982

3. 自動化の狙いと開発課題

本システムの目的は以下の通りである。

- ①コークス炉の操業変動やコークス乾留状態の変化に対し、安定した赤熱コークスの消火処理を行うこと
- ②循環ガス温度の高位安定化とエネルギーロスの低減により、回収蒸気量の高位安定化を図ること
- ③設備の自動化を図り、オペレーターの運転監視作業を軽減すること

以上の目的を達成する為に、今回、Fig. 2に示す設備を自動制御化し、オペレーターの行っていた全てのプロセス制御操作を自動化した。制御内容はTable 2に示した通りである。

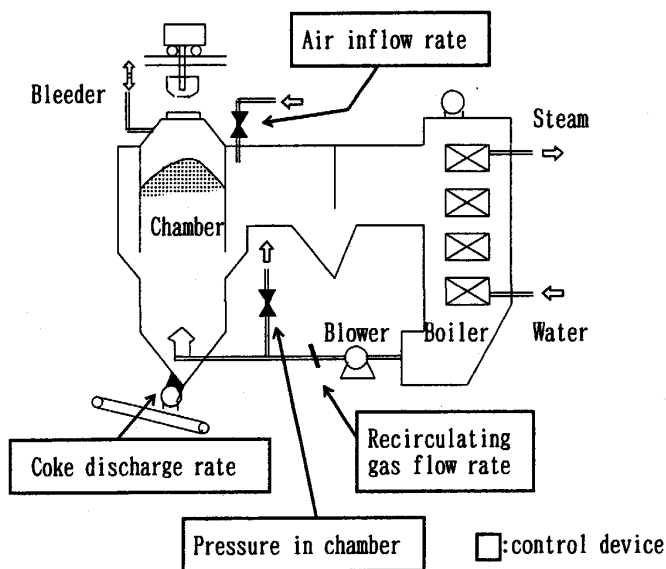


Fig. 2. Automatic control devices

平成 3年11月 1日受付 (Received Nov. 1, 1991)

* Hiroyuki Iida (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokai-cho Tokai 476)

Table 2. Process variables to be controlled

Temperature control of boiler inlet gas	<ul style="list-style-type: none"> Control of gas temperature to the extent allowable with the boiler devices Prevent temperature change associated with coke charging of hot coke 	
Control of combustible gas content in recirculating gas	<ul style="list-style-type: none"> The content of combustible gases can be controlled by producing, combusting and discharging them. a) Production : By air inflow from the bleeder at the top of chamber b) Combustion : By air inflow to the outlet of chamber c) Discharge : By discharging combustible gas from the bleeder 	
Control of coke level in chamber	<ul style="list-style-type: none"> Deciding coke discharge rate with the pushing schedule and the level simulation model, in addition, with ES rules to improve the efficiency of steam recovery 	
Temperature control of discharge coke	<ul style="list-style-type: none"> This system estimates and controls coke temperature change by ES the because time constant of this temperature is very large. 	
Control of steam flow rate	<ul style="list-style-type: none"> Control of steam flow rate to the extent allowable with the installed boiler capacity by setting temperature of boiler inlet gas. 	

また、現在までにオペレーターが蓄積した経験をシステムに反映させることは、操業の安定化・回収蒸気量の増大のために必須と考えるが、オペレーターの Know-How は定量的な表現が困難で、体系的に整理しにくい。そこで、ES を適用し、断片的な Know-How を「ルール」としてダイレクトにシステムに登録・蓄積し、システムで推論を行ってオペレーター判断に近い解を導出可能とした。

なお、本システムのルール構築に当たっては、作業の標準化からルール作成・入力までを一貫して工場オペレーターが行っており、システムエンジニアの介在する従来のソフト製作工程を単純化すると共に、タイムリーなソフトメンテナンスを可能とし、システムの陳腐化防止を図った。

また、システム機能分担に当たっては、Fig. 4 に示すように ES 系 c p u の負荷軽減を図り、推論時間を短縮（平均推論時間 19 秒）、ES としては極めて高速のレスポンスを確保した。

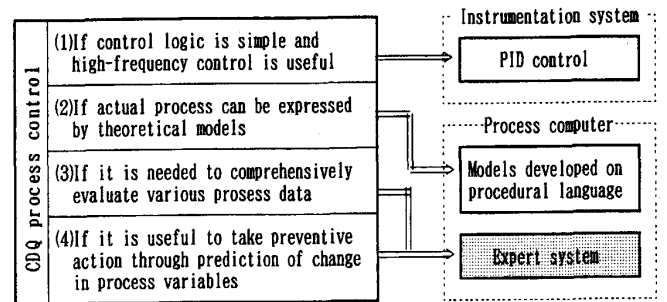


Fig. 4. Function sharing of the system

4. システム構成及び制御ルール

システム構成を Fig. 3 に示す。本システムは上位プロセスコンピューターで制御目標値を演算し、下位計装システムに設定する「設定制御」とした。本制御のメインとなるプロセスコンピューターは昭和 63 年に当社で開発したもので、同一筐体内に高速伝送バスで接続された ES 系と汎用処理系（手続き型言語）c p u を装備、両 c p u の並行処理が可能で、高速処理・伝送化が図られている。また、帳票作成等の実績収集は上位ビジネスコンピューターで行った。

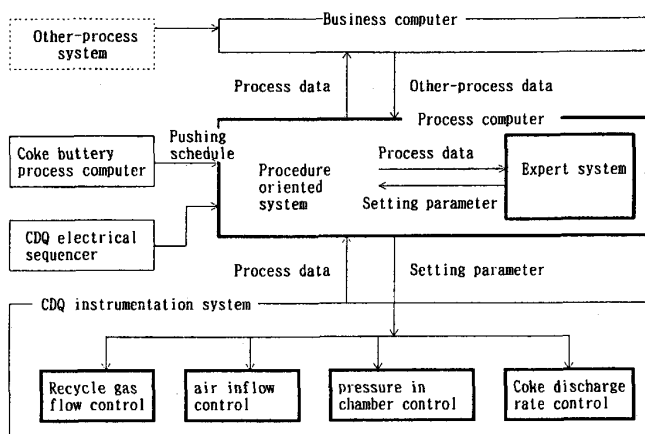


Fig. 3. Configuration of automatic CDQ operation control system

ルール構成は Fig. 5 の通り、一部のルールの修正が全体に影響しないように制御項目毎にルールを独立させた。各制御ルールの推論結果は総合判定ルールで重要度を判定し取捨選択される。ルール数は CDQ 1 基あたり約 400 である。

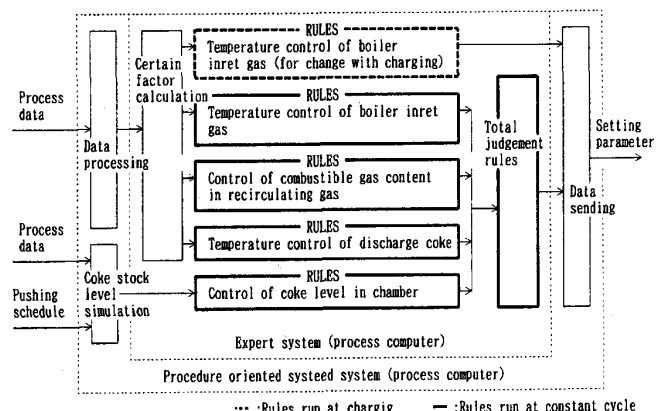


Fig. 5. Rule configuration for automatic CDQ control system

5. プロセス制御の方法と制御結果

本システムでは、前出の Table 2 に示した種々の制御により、総合的に CDQ の自動運転制御を実施しているが、以下に、蒸気回収量増大に寄与している 2 つの制御の詳細について述べる。

5.1 ボイラー入側循環ガス温度の制御

ボイラー入側ガス温度はボイラー設備の保護のために上限管理されており、制御できない温度変動が発生する場合には、あらかじめ変動分だけ温度を低めにして運転せざるを得ない。従って、この温度変動を低減することは蒸気発生量増大に直結する。温度変動のうち最も大きな変動は、赤熱コークス装入時に発生する、持ち込まれる可燃ガス（コークス中残留VM；H₂、CO等）や開いた装入口から侵入するエアによる系内可燃ガスの急激な燃焼による温度上昇である。

本システムでは、ボイラー入側循環ガス温度の安定化を図るため、赤熱コークス投入毎（毎回）に温度変動量を事前推定し、直前に推定値に応じた温度変動防止アクションを実施している。

温度変動量の推定は、ESにて確信度を用いて行った。推定機能の概要をFig. 6に示す通り、温度変動量を左右する要因をオペレーターの経験から関数化し、得られた指数を合成して変動量を推定している。

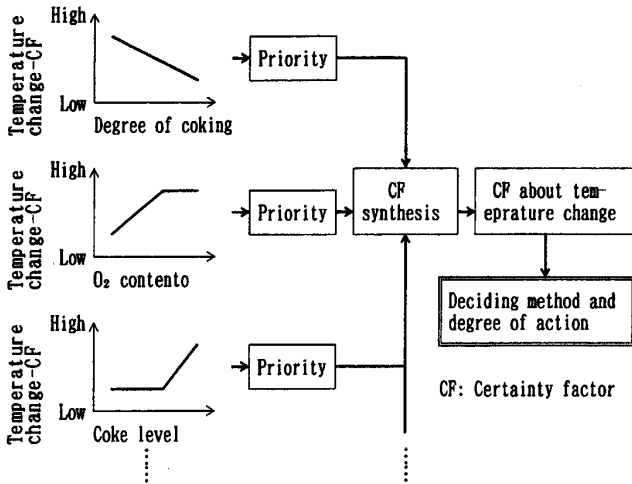


Fig. 6. Method of prediction of temp. change

推定結果をFig. 7に示すが、温度変動量のある程度推定することができる。アクションは、装入直前に循環ガス温度を温度変動推定値に応じた低下勾配とし、装入時の温度上昇を相殺する方法とした。

制御結果をFig. 8に示す通り、本方法で温度変動を著しく低減する事ができた。

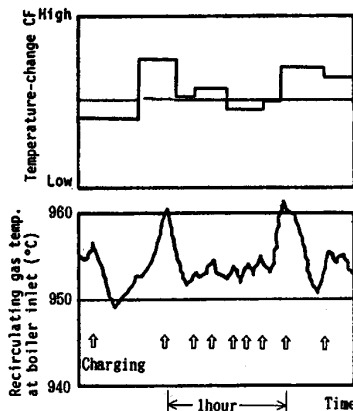


Fig. 7. Result of prediction of temperature change(automatic control off)

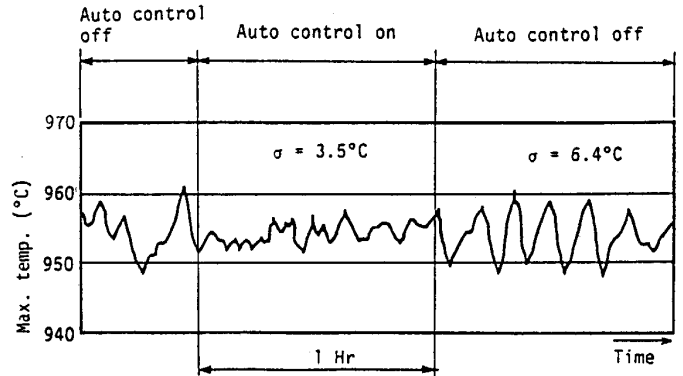


Fig. 8. Result of automatic control

5.2 エネルギーロスの低減

従来、CDQでは、排出コークス量をできるだけ一定にすることが安定操作のために必要と考えられてきた。しかしながら、排出コークス量が一定だと赤熱コークスから回収される熱量も一定となるため、コークスの乾留状態が悪く可燃ガスが多量に発生した場合には、ボイラー入側ガス温度の制約から、可燃ガスを燃焼しきれず一部を系外に放散する必要があった。

本システムでは、このエネルギーロスを無くするため赤熱コークス顕熱を排出コークス量により調整し、可燃ガスの全量燃焼を図った。Fig. 9に制御イメージを示した。

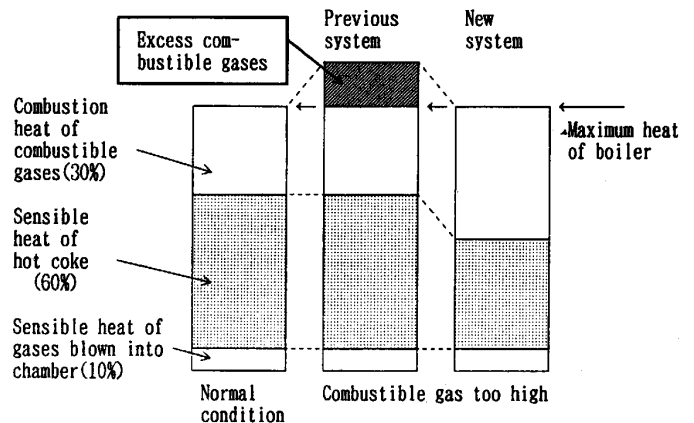


Fig. 9. Heat organization of combustible gas content too high

Fig. 10に従来法と本システムによる排出コークス量制御結果を示す。本法によれば、排出量を約50T/H程度減少することで、大部分の場合、可燃ガスを全量燃焼可能である。

(尚、排出量の増減は、今回構築したチャンバー在庫シミュレーションモデルの計算結果に基づき計画的に実施するので、コークス処理への悪影響はない。)

Fig. 11に可燃ガス濃度が上昇した場合の制御結果を示す通り、本システムでは、排出コークス量を低下させた場合でもボイラー入側ガス温度に応じて可燃ガスを燃焼させるため、ガス温度を安定維持しつつ可燃ガス濃度を低下させることが可能である。

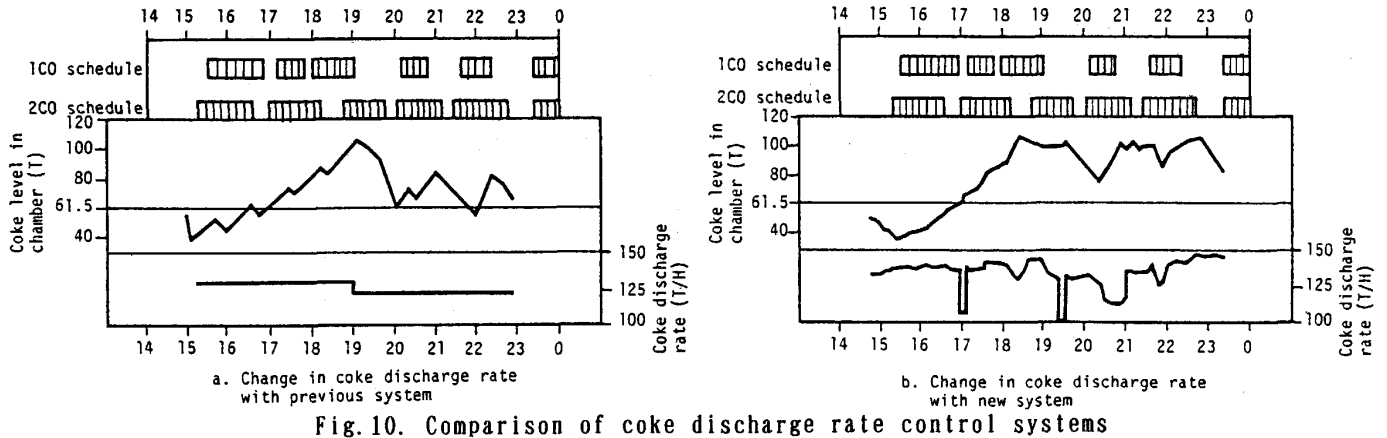


Fig. 10. Comparison of coke discharge rate control systems

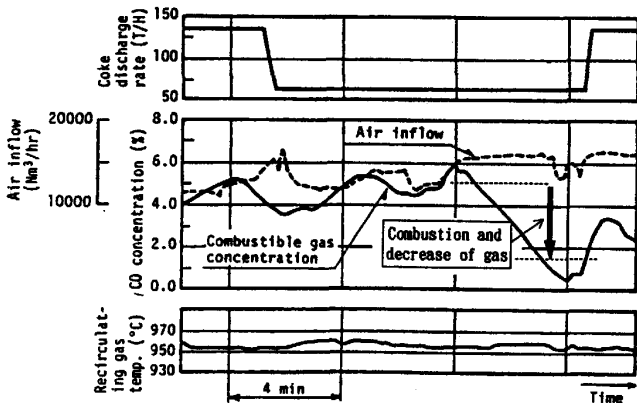


Fig. 11. Combustible gas concentration control by coke discharge rate

Fig. 12にオペレーター制御と自動制御のボイラー入側ガス温度のバラツキを示す。以上述べてきた一連の制御により、ボイラー入側温度を高位安定化することができた。

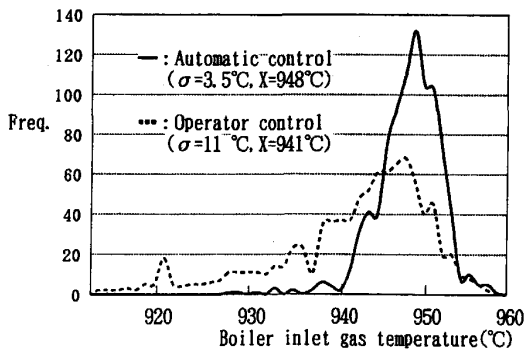


Fig. 12. Comparison of temperature change of boiler inlet gas

6. 自動運転の効果

Fig. 13に自動運転前後の回収蒸気原単位の推移を示す。ボイラー入側ガス温度の高位安定化により回収蒸気原単位は平均で約20 Kg/T-coke 向上した。

一方、コークス炉のトラブル時等を含め、システム適用率は100% (除 システムメンテナンス) であり、オペレーター作業負担を大幅に軽減することができた。この結果、Fig. 14に示す通り、石炭及びコーク

ス輸送コンベアーの運転と併せて、オペレーター1名で運転できる体制を確立した。

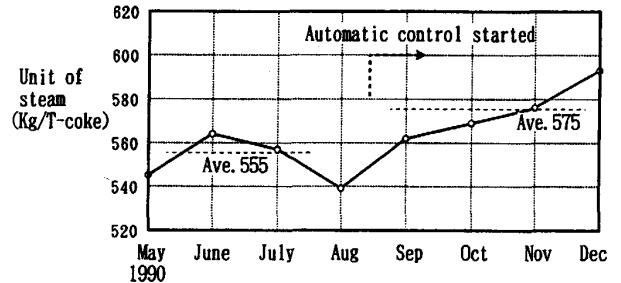


Fig. 13. Transition of unit steam production

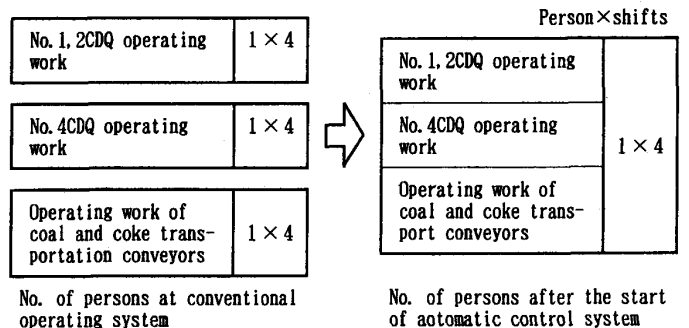


Fig. 14. Number of operators

7. 結 言

ESを適用したCDQ自動運転システムを開発した。ESは、工場オペレーターがプログラムを作成できるため、従来のシステムに比べ開発性・メンテナンス性が良く、今後標準化し難い作業・作業方法が変化し易い作業をシステム化していく場合に有効と考えている。また、本システムではESでリアルタイム制御を実現しており、適用範囲の拡大を図ることができた。今後、オペレーターのシステム知識の拡充を図り、ルールの改善等を進め、更なる蒸気回収量増大に取り組みたい。

文 献

- 1) 岩月鋼治 鉄鋼協会第120回講演大会(1990)
- 2) 山田稔久 第29回計測自動制御学会(1990)
- 3) 佐治秀道 第30回計測自動制御学会(1991)