

# 熱風炉自動制御装置

## Automatic Control System of Hot Blast Stoves

菅 興 彦\*  
Okihiko Kan

### I. ま え が き

昭和 34 年に当社の熱風炉自動制御装置の最初のもの<sup>(1)</sup>が富士製鉄・室蘭製鉄所に納入されて以来、43 年 2 月末現在までに当社は延べ 113 基分（納入済 101 基分、製作中 12 基分）もの同装置を製作してきた。それまでわが国の各製鉄所に設置される熱風炉に装備される自動制御装置のほとんどは輸入品であったが、以来、同装置は逐次国産品に切換えられて行き、現在ではほぼ 100%、国産品が使用されるまでになった。この間当社は同装置の標準方式を完成させるなど、技術の向上ならびにコスト<sup>(2)(3)</sup>ダウンに不断的な努力を重ね、熱風炉自動切換装置、自動燃焼制御装置については一応完成されたシステム技術をもつにいたつた。しかし近年の高炉設備の大形化は著しく、また高温・高圧送風などの高炉操業技術の発展と相まって高炉の付帯設備である熱風炉についても、従来より以上にばく大な熱量が消費されるようになり、これのささいな合理化でも大きな経済的効果をもたらすことから、より一層の合理的な制御システムへの要求が絶えない。当社もこれに答えるべく種々の新しい制御システムの企画を行なっており、このうちいくつかはユーザの賛助を得て実施されつつある。ここではこれらのうちの二、三についてその概要を述べる。

### II. 熱風炉自動制御装置

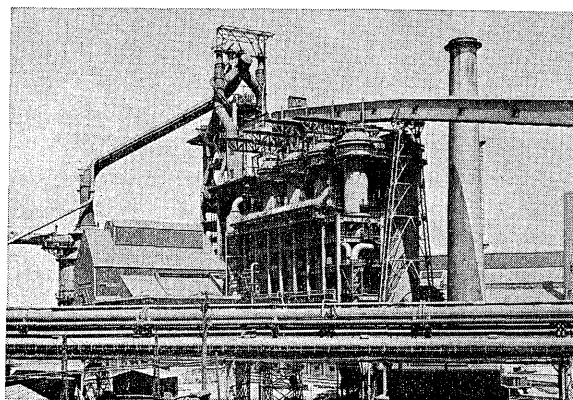
熱風炉自動制御装置は大きく分けて下記 3 装置より構成される。

- 1) 切換用弁類
  - 2) 自動切換装置
  - 3) 計測制御装置（自動燃焼および熱風温度制御装置）
- このうち当社では 2)、3) 項を担当して製作している。

今後の熱風炉自動制御装置に要求される場所は

- 1) 熱効率の向上
- 2) 信頼性の向上

に要約される。熱効率の向上については以下に述べるパラレル送風方式の採用、制御用電子計算機の利用などが効果的であると思われる。信頼性の向上については電子式計装設備の使用、無接点化された自動切換装置の採用がこれに答えてくれよう。



第 1 図 熱風炉（外燃式）外観

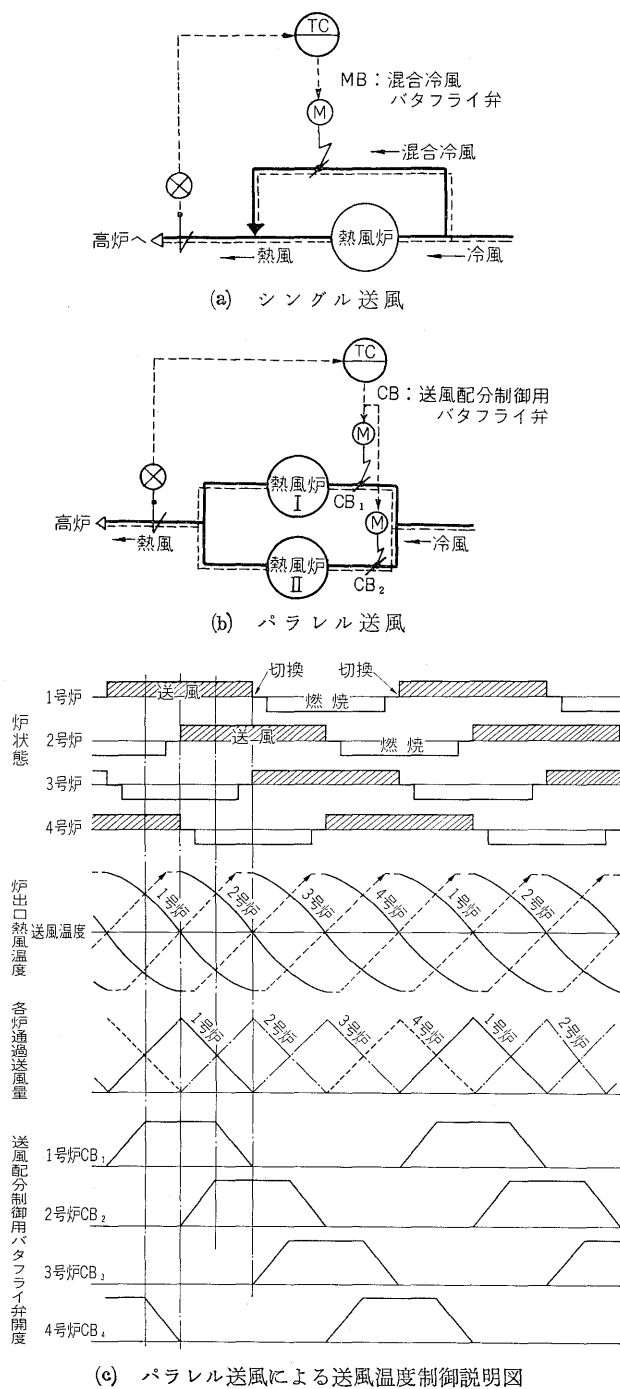
Fig.1 Outer view of hot blast stove

#### 1. 熱風炉のパラレル送風方式

熱風炉において燃料から送風に熱置換される熱量はばく大なものであり、炉の熱効率の良否は銑鉄コストに少なからぬ影響を与える。熱風炉の熱置換効率向上の一手段としてパラレル送風方式なるものがある。本送風方式はラップパラレル送風（overlapped parallel blowing）あるいはスタガードパラレル送風（staggered parallel blowing）方式とも呼ばれ、熱風炉が 4 基設備されたときに可能な送風方式である（3 基設備の場合にも可能な部分ラップパラレル送風方式もある）。従来の高炉においては熱風は常に 1 基の熱風炉を通過して送風され、炉を通過した送風指定温度よりも高い熱風は、送風本管からバイパスさせた冷風を混合して送風指定温度に制御されていた（第 2 図(a)）。ラップパラレル送風では常時 2 基の熱風炉を送風の用に供し、冷風を 2 基の炉に並列に通過させる（第 2 図(b)）。ここで 2 基の熱風炉の送風周期はその周期の半分だけオーバーラップさせている（第 2 図(c)）。したがって高炉への送風はまだ十分に熱量を保持している熱風炉を通過した高温熱風と、すでに熱量をかなり放出している熱風炉を通過した低温熱風との混合風となる。送風温度制御は両炉を通過する送風量の配分比を変化させて行なう。

シングル送風方式では当然のことであるが炉出口の熱風温度は送風指定温度よりも低下させるわけにいかない。しかしながらラップパラレル送風方式ではそれが可能である。またラップパラレル送風では原理的には混合冷風を必要としない。パラレル送風方式によって生じる

\* 計測技術部



第2図 送風温度制御方式

Fig.2 Control system of hot blast temperature

- メリットとしては次のようなことがあげられる。<sup>(4)(5)</sup>
- 1) 送風開始時と終了時とでの蓄熱室ギッタの温度差が大となり単位容量に対する蓄熱室能力が増加する。
  - 2) 廃ガス温度が低下し廃ガスによる熱損失が減少する。また炉壁からの放射による熱損失も低減する。
  - 3) 燃焼時に燃焼生成ガスとギッタとの温度差が大となるため熱置換効率が上がり熱経済的に有利となる。
  - 4) シングル送風に比し送風時間はほとんど倍近くまで長くなるので炉切換所要時間の割合が相対的に減少し、熱風炉の使用効率が向上する。
- パラレル送風の際の熱風温度制御は次のようにして行

なわれる。いま4号炉+1号炉の並列送風から1号炉+2号炉の並列送風に切った直後を例にとって本温度制御方式を説明すると、この時期には1号炉の熱風出口温度は送風指定温度となっており、全送風量は1号炉を通過し2号炉の送風制御弁（以下CB<sub>2</sub>と記す）は全閉となっている。この状態で送風を続けると時間の経過とともに熱風温度が低下してくるのでCB<sub>2</sub>に対して温度調節計から制御信号が出される。ここに使用する温度調節計はテレバーム断続式調節計で、これは偏差の極性に応じて制御信号を増あるいは減の長短のパルスで発信するものである。CB<sub>2</sub>は徐々に開度を増しこれに伴って1号炉・2号炉の送風通過抵抗の比が変わり2号炉を通過する送風の割合が増す。すなわち高温熱風が低温熱風に混合されて熱風温度が制御されることになる。この状態で制御が続きCB<sub>2</sub>の開度が1号炉の送風制御弁（以下CB<sub>1</sub>と記す）の開度と等しくなると、あらかじめセットされていたリミットスイッチが働きCB<sub>2</sub>はこの開度に保持される。以後制御信号はCB<sub>1</sub>に送られるように回路が切換えられ、同時に増減の制御信号の極性は逆に転換される。この時期には1号炉および2号炉を通過する送風量はほぼ等しい。さらに制御が進行してCB<sub>1</sub>の開度が全閉付近になると3号炉が送風待機の状態となりCB<sub>1</sub>全閉と同時に3号炉が送風に入り2号炉+3号炉の並列送風となる。高炉への送風は一時的にも絶対に途絶させることのできない性質のものである。このパラレル送風を行なっている際になんらかの故障で送風中の2号炉の送風制御弁の開度の和が異常に低下するということがあった場合、これは高炉への正常な送風が行なえなくなるということであるので、このような事態に備えて最小開度和規制装置を設けねばならない。

パラレル送風方式については実設備を使用した実験が行なわれ本方式が熱経済的に大きなメリットを有することが確認されている。<sup>(4)(6)</sup>

## 2. 制御用電子計算機の利用

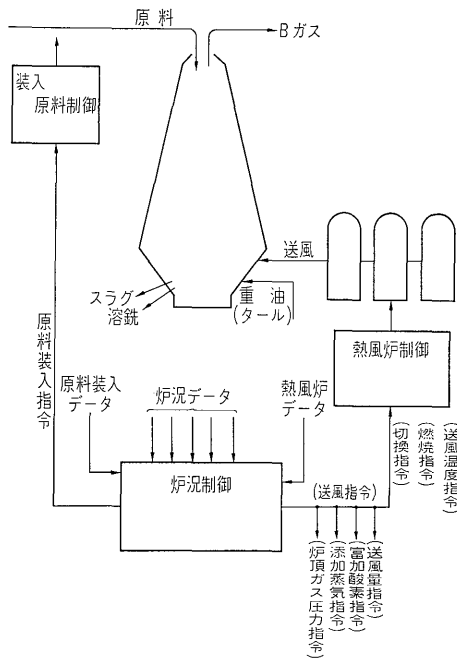
最近の高炉設備には高炉の各種技術計算を目的とした電子計算機の導入が活発に行なわれている。高炉への計算機の導入の究極の目的はいうまでもなく高炉の炉況制御を行なうことにあるが、炉特性の理論的解析が難しく、また炉反応状態の直接的な測定が困難であるなどのために、現状では各社とも決定的な制御モデルの完成を見るにはいたってないようである。

一方高炉の付帯設備である熱風炉についていえば、自動燃焼制御、自動切換制御などの自動化はかなり進んでいるにもかかわらず、これらは単に熱風炉プロセスのみを考慮した単能的なものにすぎず、高炉と結びつけた最適スケジュール運転、最適燃焼制御などについての自動化はほとんど行なわれていない。

高炉の炉況制御を行なうにはかなりの演算能力と記憶容量をもった中規模程度以上の計算機システムが要求されるし、またこれは

- 1) 高炉炉況解析 (炉況データのリアルタイム処理)
- 2) 原料装入制御 (炉況に応じた配合成分指令)
- 3) 送風制御・熱風炉制御 (炉況に応じた送風指令)

の各 JOB 処理機能を密接に関連づけ、これらを抱括して高炉プロセス全体としての生産性、経済性を考慮していかなければならないものではあるが、当面直接高炉炉況制御に結びつかなくとも、この計算機を利用して熱風炉操業効率の向上を図ることは考えられる。



第 3 図 高炉制御システム概略図

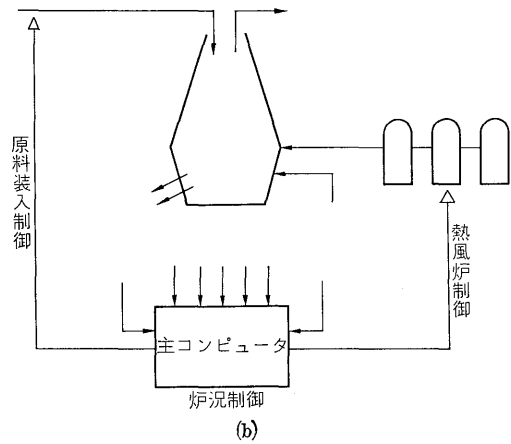
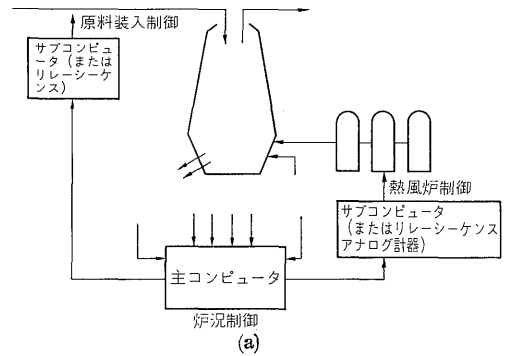
Fig. 3 Schematic diagram for blast furnace

高炉への計算機の導入方式<sup>(7)</sup>については第 4 図(a)および(b)に示す 2 方式が考えられる。すなわち原料装入制御ならびに熱風炉制御を司る単能的なサブコンピュータもしくは従来形の制御装置を置き、これらの装置を(炉況制御を目的とする)主コンピュータからの操業指令によって自動的に動作させる方式と、ほとんどそういったローカルの制御装置を置かず主コンピュータで炉況制御とこれらのシーケンスコントロールとを含めて一緒に行なう方式である。両方式の優劣については種々論議もあろうが、当面は(a)方式によって制御方式を確立しつつ併せて計算機の信頼性を確認し、しかる後(b)方式が採用されていくことになろう。

以下(a)方式の熱風炉制御部分に関しての計算機の利用方法について述べてみる。

1) 熱風炉自動切換制御

熱風炉の高効率操業を行なうためにパラレル送風方式の採用が有効であることはすでに述べたが、このパラレル送風を支障なく行なわせるための切換時期の判断を計



第 4 図 高炉計算機制御システム

Fig. 4 Computer control system for blast furnace

算機に行なわせることが考えられる。パラレル送風の場合にはシングル送風に比し、熱風炉の基数が増えること、制御モードが複数(パラレル送風かシングル送風か、全ラップパラレル送風か部分ラップパラレル送風か)となること、炉状態の判別が複雑(まったく同じ送風状態にある 2 基の熱風炉のいずれを先に送風状態から休止状態に落とすかの炉別および順序判断を行なわなければならない)となることなど従来よりも高度の論理判断機能をもたせることが必要である。

このようなことは計算機の最も得意とするところであり、これらの機能を堅い(Hard)回路で組むことはかなり複雑なものを要することになる。

従来当社が供給してきた熱風炉の自動切換装置は次の四つの切換方式を選択し得る機能をもっていた。

(1) 全自動切換方式

温度継電器からの信号を得て装置自身が放熱終了時期、蓄熱完了時期を判断し、さらに送風状態とする炉、燃焼状態とする炉を判別し、まったく自動的に各炉を定められた順序にしたがって切換えてゆく方式

(2) 半自動切換方式

運転員が切換指令を出して各炉の状態(送風—休止—燃焼)を指定してやれば、後はまったく自動的に各切換弁をシーケンシャルに開閉して、指定された炉状態に切換わる方式

(3) 遠隔手動切換方式

運転員が操作デスク上に各切換弁に対応して設けられた操作開閉器を操作して各弁を単独に開閉し、炉状態を切換える方式

(4) 現場手動切換方式

各切換弁本体に取付けられた手動ウィンチにより人力で弁を操作し炉状態を切換える方式

このうち(1)の切換方式の論理判断機能を計算機に置き換え、さらに進めて高炉および熱風炉の各種データに基づいた蓄熱完了、放熱完了の予測計算を行ない、熱風炉の最適切換スケジュールを作成し実行させることが考えられる。サブコンピュータを設ける場合には熱風炉の各切換弁を一定のタイムスケジュールにしたがって切換えるシーケンスコントロールの機能までをこれに受けもたせることになる。信頼度の協調という観点からは入出力部を含めて切換シーケンス回路の無接点化を図ることが有効であろう。

2) 自動燃焼制御

高炉送風流量および温・湿度は炉況コントロールの操作量となるため変動がある。

高炉へ送風頭熱として熱風炉から供給する熱量に過不足を生じないようにまず図られなければならない。一般的には安全のために、供給熱量に不足をきたさないよう充分余裕をもたせた操業、いいかえれば効率の悪い蓄熱が行なわれているようであるが、確度の高い高炉の熱需要予測計算が行なわれれば、これを基にした燃焼制御を行

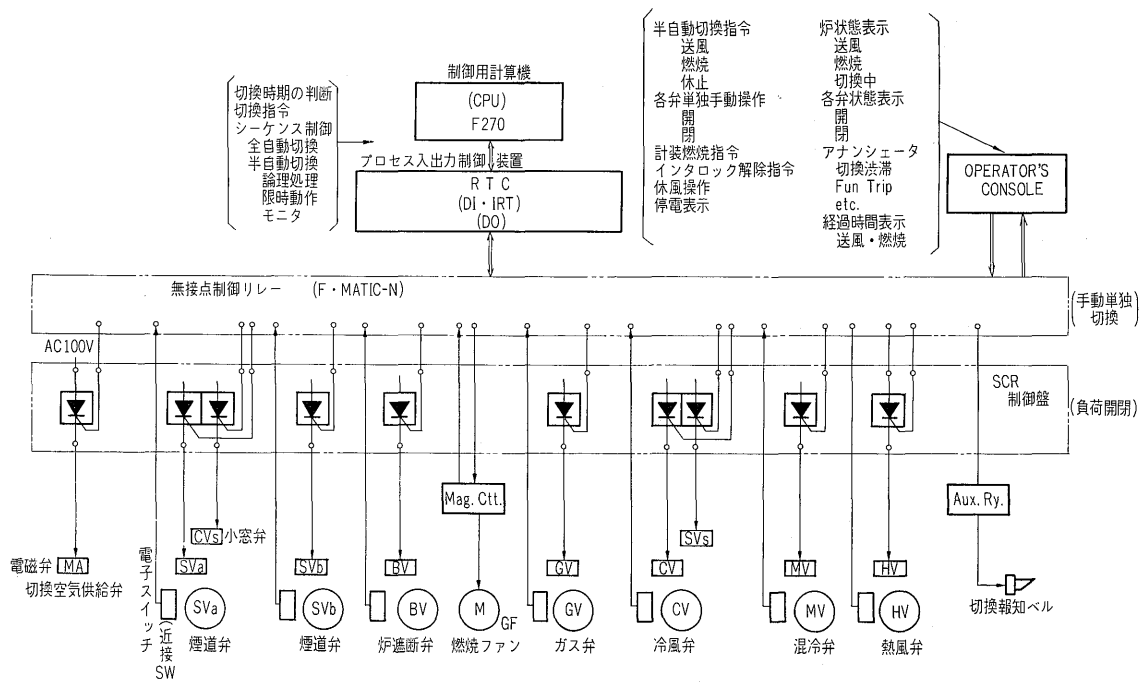
なうことによって熱効率の向上が期待できる。

高炉の熱需要予測計算の結果と熱風炉の特性とから定まる熱量を蓄熱するために、使用燃料量を最少とする燃焼制御を、炉頂温度、燃焼ガス量、C gas/B gas 混合比、空燃比を操作変数として、計算機に行なわせることが考えられる。パラレル送風方式をとる場合にはシングル送風方式に比べ燃焼期間が短くなるから、蓄熱量に不足をきたさないよう、最短時間で所要熱量の蓄熱を完了させるような制御方式がとられることになる。1) で述べたように計算機によって各種予測計算結果に基づく切換スケジュール計画の作成がなされれば、燃焼期間終了と同時に蓄熱が完了するような熱損失の少ない最適燃焼制御が行なわれることになる。

燃焼制御を計算機によって行なう場合に、インシャルコストの低減と、単純な制御ループであることから簡単なバックアップ機器で済ませられること、およびもともとそのように設計されたものであるから計算機との結合が容易であることなどの理由によって、簡単なDDC制御システムを採用するのが効果的であると思われる。

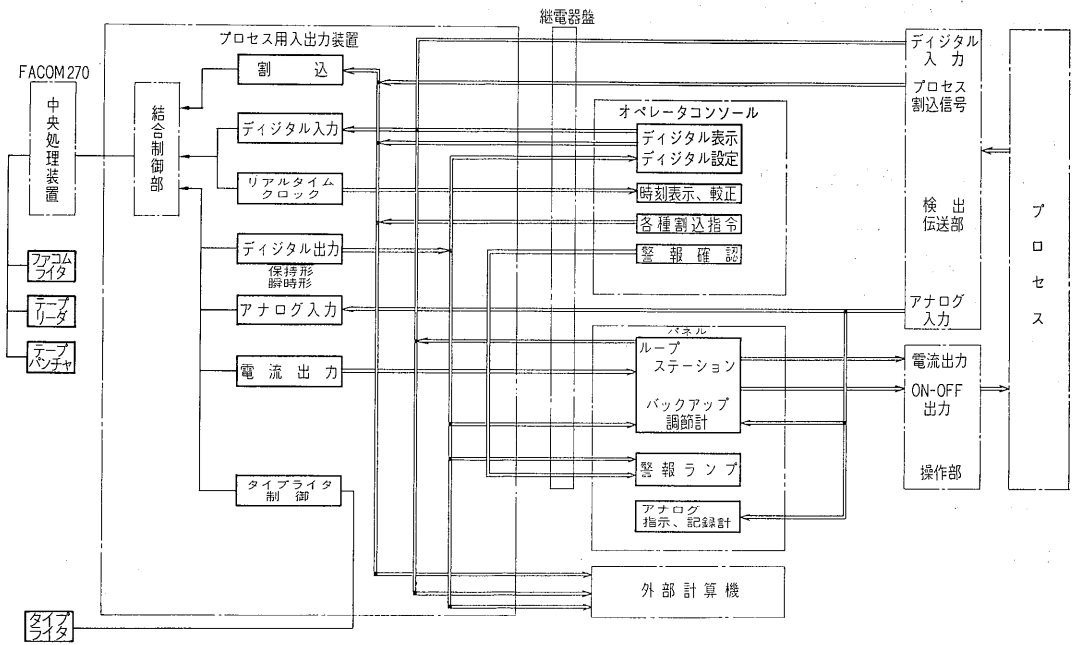
III. む す び

以上、熱風炉自動制御装置と題してパラレル送風方式および熱風炉への制御用計算機の応用について概念を述べた。パラレル送風制御装置についてはすでに2セットを納入しさらに1セットを製作中である。また計算機の

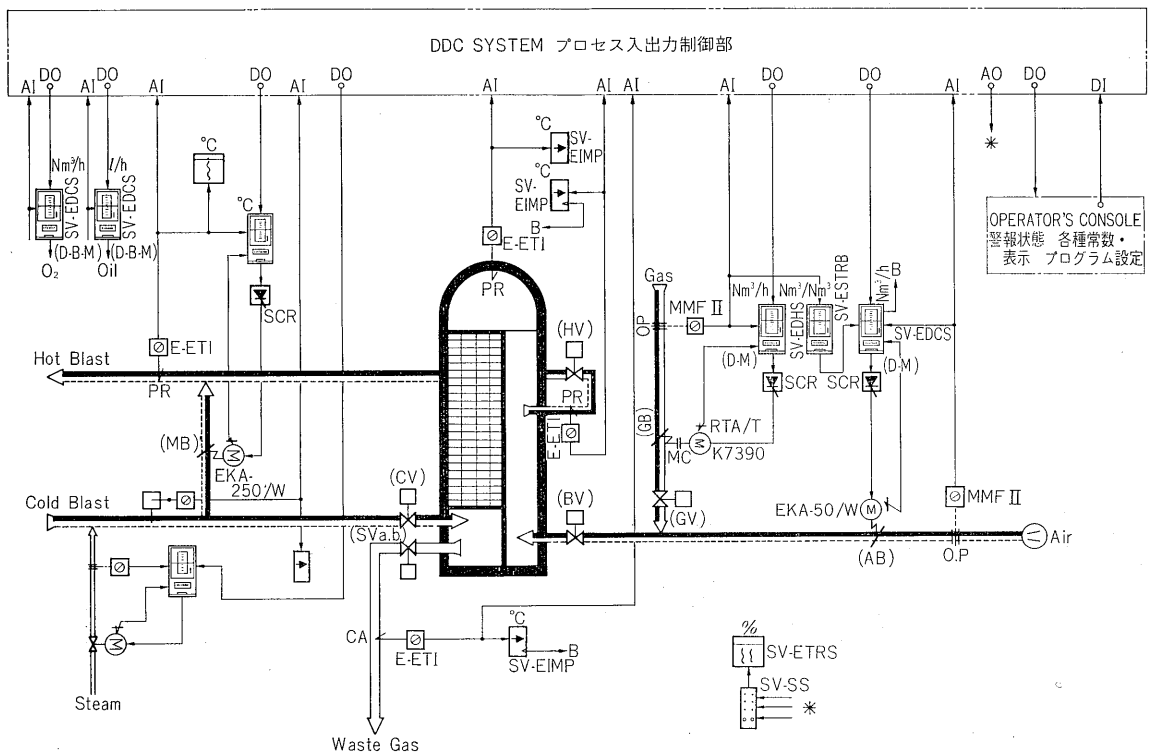


第5図 無接点制御システムによる熱風炉自動切換装置ブロックダイアグラム

Fig. 5. Block diagram of automatic switching device for hot blast stove by contactless control system



(a) 富士DDCシステムブロックダイアグラム



(b) DDCシステムによる熱風炉計測制御装置系統図

第 6 図 熱風炉 DDC システムブロック図および系統図

Fig. 6. Block diagram and system diagram of DDC system for H.B.S.

応用の中で述べた制御方式の一部については、これを盛り込んだ高炉用電子計算機システムを受注し、目下鋭意製作中である。

今後制御用計算機の信頼度がユーザに確認されるにしたがい、本文に述べたような局所的な計算機制御が次第にON-LINEに組み込まれてゆき、高炉炉況制御モデルの完成の程度に応じて主プログラムに結合されてゆくように思われる。

参考文献および資料

- (1) 草刈, 林部: 富士製鉄・室蘭製鉄所納入, 熱風炉自動切換および自動燃焼制御装置 富士時報 33, No. 8
- (2) 安岡, 平尾: 熱風炉自動切換制御標準方式 富士時報 35 No. 7
- (3) 石井: 熱風炉自動燃焼制御標準方式 富士時報 35 No. 7
- (4) 特許公報 昭 33-604, 熱風炉の操業方法
- (5) 日本鉄鋼協会共同研究会第31回計測部会資料 No. 計31-2-2
- (6) 日本鉄鋼協会共同研究会第33回熱経済技術部会資料 No. 33-熱-2
- (7) 石井: 高炉の計算機制御について 社刊資料



\*本誌に記載されている会社名および製品名は、それぞれの会社が所有する  
商標または登録商標である場合があります。