

# 論 文

## D.L. 式焼結設備の自動制御装置と 諸外国における最近の動向\*

辻畑敬治\*\*・宮川燮蔵\*\*\*・沢田保弘\*\*\*

### Automatic Control System of a D.L. Sintering Machine and its Recent Tendency in Foreign Countries.

*Keiji TSUJIHATA, Shōzō MIYAGAWA and Yasuhiro SAWADA*

#### Synopsis:

Recently many researches on automatic control system of sintering equipments are put in practice in foreign countries as well as in Japan.

Especially in U.S.A. & U.S.S.R. its progress is remarkable, the author deals with a new automatic control system which has not been found in even foreign countries as well as in Japan.

This equipment is completely different from the ordinary one-man control system which has been misunderstood as the automatic control system to the present.

In Yawata Steel Works since 1956 a study of automatic control system of sintering equipments has been made, which was developed from the new idea and comprized a complete loop type system.

The outline of an actual example thereof and the recent tendency in foreign countries were explained briefly in comparison with the new automatic control system in Japan.

## I. 緒 言

最近、焼結設備を自動化する傾向として、国内はもちろんのこと、諸外国においても盛んに研究が進められ、とくに米国、ソ連においてはいちじるしいものがある。本報告で取扱うものは、国内はもちろんのこと、未だ諸外国においても充分に開発されていない自動制御装置に関するもので、従来、取扱われてきた総括制御装置のごとき自動装置に関するものではなく、当所において、昭和 29 年より研究を重ね、まったく新しい構想のもとに開発したところの完全な loop をもつ焼結設備一連の自動制御装置に係るものであり、その実施例の概略と最近における諸外国の動向を当所のものと対比して簡単に述べるものである。

## II. 焼結設備に於ける自動制御系の概略

焼結設備の自動制御系は Fig. 1 に示すごとく、大別してつぎの 3 系統に分類される。

### a) 焼結機装入層高の自動制御系

焼結機装入層の密度を一定に保つとともに最適の通気性を与え、さらに、装入層の表面には燃料分を多く含んだ微粒粉を浮上させるごとく被制御体の速度を自動制御するにある。

b) 廃ガス温度および負圧を間接的に利用した、焼結機、給鉱機、冷却器、一連の自動制御系

焼結状態を廃ガス温度および負圧によつて間接的に検出しあらかじめ目的の wind-box において焼結が完全に完了するごとく設定した設定温度および負圧に検出値が合致するごとく、被制御体の速度を自動制御するにある。

c) Surge hopper level の自動制御系

受鉱量と送鉱量を hopper level で検量し、常時設定した量に維持するごとく ore feeder の速度を同一割合で自動制御するにある。

以上の系統はいずれも独立した loop を形成している

\* 昭和 35 年 10 月本会講演大会にて発表

\*\* 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所製鉄部 工博

\*\*\* 八幡製鉄株式会社八幡製鉄所製鉄部

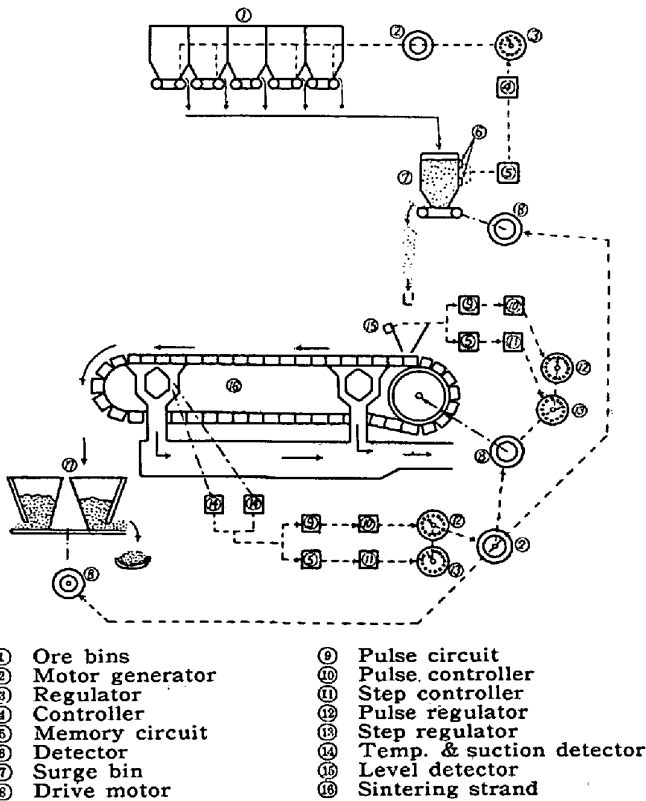


Fig. 1. Schematic diagram of automatic control system in a Dwight Lloyd type sintering plant.

が、この loop はさらに機械的、あるいは電氣的に interlock されており、一種の multi-loop を形成している。また、この制御系統は制御体が粉粒体である関係上、いずれの系も間接制御方式の不連続制御を採用している。その他の自動制御装置としては、点火炉の自動燃焼制御、ore feeder の秤量自動制御、添加水分の自動調節などがあるが、これらは一般に用いられているものであるから省略した。

III. 焼結機装入層高の自動制御装置

本装置は装入量の変動 (hopper あるいは feeder などからの切出時に起こるもの)、pallet speed の変動 (焼結状態の変化によつて自動制御されたときに起こるもの)、その他、不規則、不定常の外乱による装入量の変化を層高で検出し、その検出信号を制御装置に伝え、装入層高が常時設定範囲内へ維持されるごとく、焼結機速度を pulse 的 (微分的な要素を含んだ比例制御) あるいは step 的 (積分的な要素を含んだ比例制御) に制御するものである。本装置の構成は

- a) 制御変数 (controlled variable)—装入層の厚さの変動
- b) 制御体 (control medium)—装入層の厚さ

c) 操作変数 (manipulated variable)—焼結機速度

d) 操作体 (control agent)—焼結機

であつて、この構成の利点は操作体が焼結機であるため、検出、制御、応答、に遅れが少なく、time lag を問題にする必要がない。しかし drum feeder を操作体にした場合には time lag による over shoot を起す可能性が強い。もちろん本方式によつて操作体を drum feeder にすることは容易である。ソ連の Vysokogorsky 焼結工場<sup>2)</sup>では drum feeder を操作体として回転速度を sample 值的に加減速制御しているようである。

1. 検出制御装置

当所において開発した検出部はまったく独創的なもので、Fig. 2 に示すごとく、従来の cut-off plate 方式を根本的に改め、新構想のもとに multi cut-off plate 方式を案出したもので、装入層高を検出する検出体は sloping plate の先端に回動自在に遊着されており、装入原料量によつて押されると検出体は軽く回動するようになっている。そのため回動位置を検出することで容易に装入原料量すなわち層高の変化を知ることができる。検出体と検出器の連結は遊着 rod および arm で行なわれる。

検出器には selsyn, 差動変圧器, 摺動抵抗器, 容量変換器, 等が用いられる。本装置において multi cut-off plate 方式を採用した理由は、

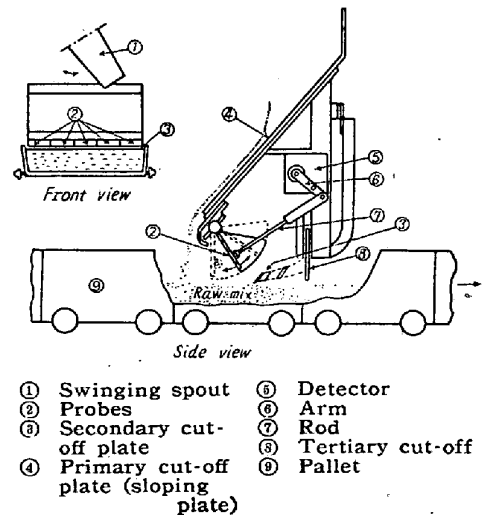


Fig. 2. Section of bed-level detector. 燃料分や微粒粉原料を常に装入層の表面へ浮上させるとく装入し、点火歩留をいちじるしく向上させると同時に、制御の設定範囲、すなわち最適範囲を広くすることを可能にすることにある。装入量の変化と装入層高の関係は静的に積分値的な関係にあるが装入層高と焼結機速度との静的関係は実験的に次式で近似させることができる。

$$V = v(h \pm \Delta h)^2 \cot \beta / h^2 \cot \alpha$$

V: 装入層高が ±Δh だけ変化したときの求める新速度

- v: 設定装入層高で balance しているときの速度
- h: 設定装入層高
- $\Delta h$ : 設定装入層高と変化した装入層高との差高
- $\beta$ : 装入層高が  $h \pm \Delta h$  だけ変化したときの原料安息角
- $\alpha$ : 設定装入層高のときの原料安息角

上式によつて求めた速度は pulse 制御の gain として apply することができる。step 制御の場合は変量の時間積分値によつて、その gain は決められる。

2. 制御回路

本制御装置は5コの detector によつて検出された。検出信号を Fig. 3 に示すごとく取捨選択し、下限優先

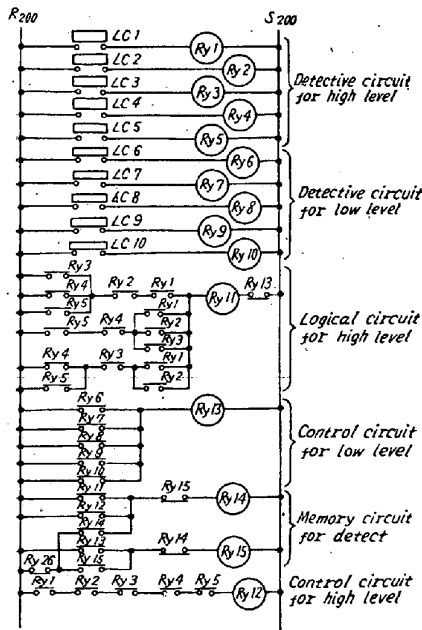


Fig. 3. Control circuit for detector.

理由は装入層へ凹部を作ることが焼結過程上もつとも好ましくないためである。Fig. 3について簡単に説明すると、LC<sub>1</sub>~LC<sub>10</sub> は detector に内蔵された検出接点 (上限 LC<sub>1</sub>~LC<sub>5</sub>, 下限 LC<sub>6</sub>~LC<sub>10</sub>) で Ry 11 は上限検出接点が3コ閉路した場合にのみ励磁する継電器、Ry 13 は下限検出接点が1コ閉路すると励磁する継電器、もちろん Ry 13 が励磁すると Ry 11 は無励磁となる。Ry 12 は上限が全部検出されたときのみ励磁する継電器、Ry 14 は上限検出によつて励磁し、制御回路に信号を伝え、1動作が完了するまでその信号を記憶する継電器、Ry 15 は下限の場合で上限の場合と同一の働きをする。以上のように複数個の信号は、最終的に Ry 14 (上限) か Ry 15 (下限) に変換される。もちろんこの場合 Ry 14, あるいは Ry 15 に相当する継電器を変動の大きさに比例して複数個とし gain をいろいろの大きさに変えることもできる。本検出機構において測定可能な層高は cut-off plate の先端に対して同

の信号とする。detector を5コにしたのは装入層の形状が5区分に変化するからで、この個数はどのようにしても差支えない。また本制御装置は簡単のために検出接点を上限のおおの1コ下限のおおの1コとしたが実際は複数個のものである。

下限優先とする理由は装入層へ凹部を作ることが焼

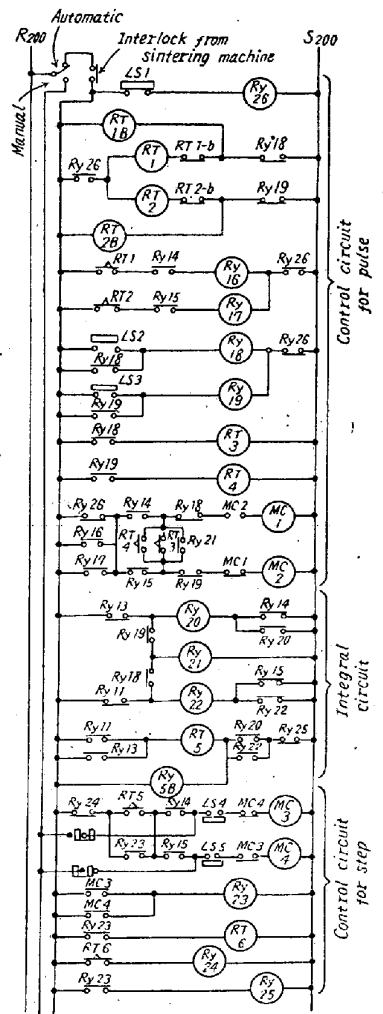
level から最高 150mm 程度までであり、通常操作における設定は下限 20mm, 上限 50mm としている。もちろん、これら設定高や設定範囲は容易に変更することができる。

3. 自動制御回路

Ry 14 (上限), Ry 15 (下限) によつて検出された信号は Fig. 4 に示すごとく制御回路によつて、焼結機駆動 motor の界磁回路を制御する。本回路を簡単に説明すると control circuit for impulse 回路では上, 下限検出信号によつてそのときの変量の大きさに比例した大きさあるいは時間の impulse 制御をする。この場合 impulse であるから、必ず平均値に戻るごとく設計されている。このように impulse 制御とした理由は、焼結機

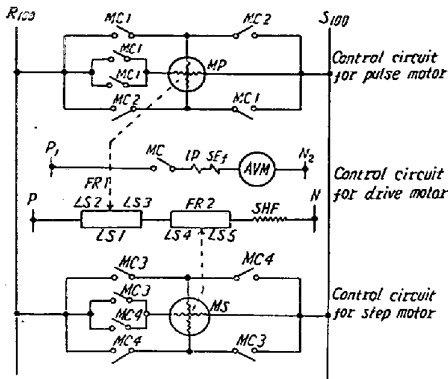
の速度を制御することによつて焼結状態に影響を与えることがないように考慮し、さらに変化に対する速応性をもたせることにある。impulse top の stay time は max 3mn であるが、実際操作では上限の場合 20s, 下限の場合 40s 位に set されている。integral circuit はそのときの変量に応じて時間積分し、ある値 (通常操作では 5mn) に達すると、step in させることによつて、焼結機速度の平均値を変化させる。以上の制御に含まれる比例的な要素の値は impulse の場合 max 20%, step の場合 5~10% である。

以上例示した値はいずれもその process における最適値であり、本例は戸畑 3,500 t/d 焼結機のものである。しかし洞岡における 1,000 t/d 焼結機のもとは大差はなく、どの process も以上の程度におけるもので充分最適制御し得るものである。以上の値は manual で



註: 図中 Control circuit for pulse は Control circuit for impulse の誤り

Fig. 4. Control circuit for pulse and step.



註: 图中 AVM は Arm の誤り

Fig. 5. Control circuit for drive and control motor.

抵抗を FR<sub>1</sub> および FR<sub>2</sub> と直列, あるいは並列に使用し, impulse と step を別個に独立して制御することにある。

#### IV. 廃ガス温度および負圧による 焼結機一連の自動制御装置

本自動制御装置は焼結状態の判定を間接的に廃ガスおよび負圧によって推測し, 常時設定 wind box の廃ガスおよび負圧が設定値になると自動制御するものである。米国の U.S. Steel<sup>2)</sup> では廃ガス温度のみで最終 wind box 側の wind box を 5~6 コ使用し, その廃ガス温度を走査して最高温度になつている wind box を検出し, その位置が常に設定した wind box になると 30mn の interval で制御している。ソ連<sup>2)</sup> では最終 wind box 3 コを使用しその廃ガス温度差によって step 的に sampling 制御している。本制御装置において廃ガス温度と負圧を組合せる理由は, 温度のみで制御する場合に起る 2 通りの下限検出 (a. 焼結状態が不良の場合, b. 焼結の完了が早過ぎる場合) を補償すると同時に, 温度に比較し負圧は応答が平均値的で鈍感なことから, その特性を利用して feed forward 的に検出点以前の状態を予測し, 操作量を変化させることにある。

本装置の構成は

- a) 制御変数 (controlled variable)—廃ガス温度, 負圧の変動
- b) 制御体 (control medium)—焼結状態
- c) 操作変数 (manipulated variable)—焼結機, 冷却器, 給鉄機 の速度
- d) 操作体 (control agent)—焼結機, 冷却器, 給鉄機 であつて, 本構成における操作体は 1 set の Ward-Leonard system になつている。

容易に設定変更することができるものである。Fig. 5 は前述の自動制御回路によつて制御される servo motor 回路と直流電動機回路を示したものであつて, 本機の特長とするところは界磁

#### 1. 検出制御回路

温度および負圧の検出 wind-box は通常 last wind-box の手前 2 コから 5 コまで位に set するごとく selector switch が設けられている。設定温度は通常 320~350°C, 設定負圧は通常 1,100~1,200mmAq 程度である。これらの検出は電子管式計器でなされ, その検出信号は servo motor に連結された on-off switch によつて伝達される。設定値は可変でありどの値にでも set できる。しかし一度設定すればよほど原料性状の変化が起るか, または fuel の添加量が変わらない限り変更する必要はない。設定範囲を設ける理由は, 信号を容易に伝達し得ること, さらに plant を監視するための emergency として利用することができる, などであつて例えば長時間に亘つて同一方向の変動が連続的に起る場合には当然 plant 状態が変化したと見做されるから, そのときには別途, 設定範囲内に検出値が維持されるごとく原料性状あるいは fuel などに action を加えなければならない, このような場合の信号を容易に取出せるものである。以上のような信号は Fig. 6 に示される検出制御回路によつて, 温度, 負圧の特性を利用した信号として制御回路に伝達される。

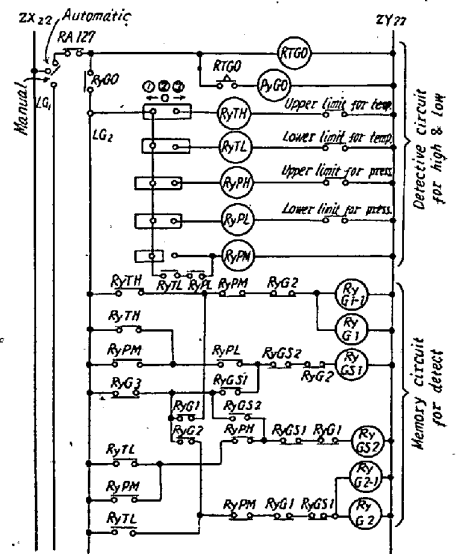
本制御回路に示される RyTH RyTL が温度の上, 下限用継電器, RyPL, RyPH が負圧の上, 下限用継電器となつている。

また PyPM は焼結完了の早

過ぎを lock するための継電器であり, 負圧のみで制御する場合にも使用される。本制御回路は selector switch の切換により, 温度のみの制御, 負圧のみの制御, 温度および負圧を組合せた制御が可能である。

#### 2. 自動制御回路

Fig. 7 は pulse および step 制御回路を示すもので, 基本的には装入層高の自動制御回路と同一であるが, 異なる点は impulse 制御ではなく pulse 制御になつてゐることである。もちろん, pulse 制御の場合, 変量が



①: Temp. side, ②: Temp. & press side, ③: Press side

Fig. 6. Control circuit for detector.

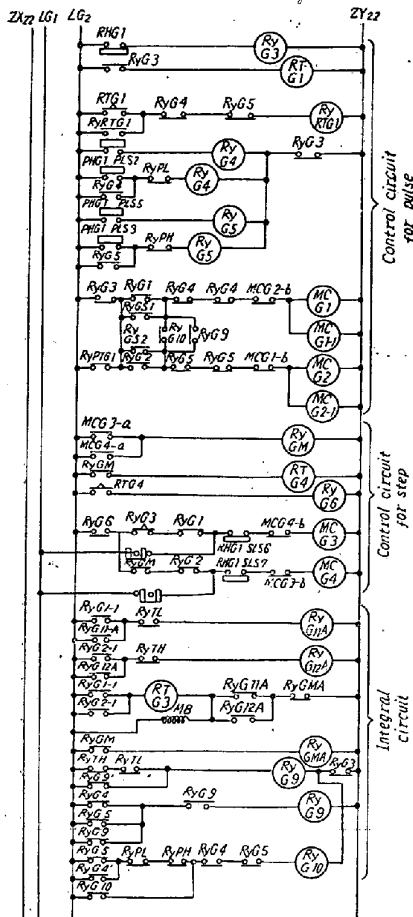


Fig. 7. Control circuit for pulse and step.

設定範囲内に這入ると平均値へ操作量は引戻される。pulse の gain は、そのときの変量に応じて変化するが max 20% (焼結機速度に対して) とし step の gain は 5~10% としている。また積分的な要素としての integral time は 20~30 mn に set される。例えば制御量が設定範囲外になるとただちに速応性をもつた pulse 制御によつてそのときの変量に応じた大きさの操作量を出し、焼結機、給鉱機、冷却器の

速度を加減速制御する。一方 step 側においては変量の大きさに応じた時間積分を行ないその settling value に達すると平均値を変化させるべく step-in し加減速制御する。この積分制御回路は装入層高の場合も本装置の場合も同様であるが、同一方向の変動に対してはどのような断続的なものでもその変量に対する時間積分を続けるが、逆方向に変量が起るとただちに旧方向の積分値は零に復帰し、新方向の変量に対する時間積分を開始するごとく設計されている。

Servo-motor の制御回路は Fig. 5 に示すものと同一であるが、制御対象は motor generator の界磁抵抗となる。本装置は以上のごときものであるが、廃ガス温度と焼結機速度の関係は近似的に次式で求められる。

$$V_s = v_s(l \pm \Delta l) / l$$

$V_s$ : 求める新速度,  $l$ : 設定 wind box と点火炉の距離,  $v_s$ : 旧速度 (変動が起こる前の速度)  $\Delta l$ : 設定 wind box から設定値がずれた wind box までの距離  
上式で実験的に求めた速度は pulse 制御の比例 gain として apply することができる。

本装置では以上のごとくただちに焼結機一連の速度を制御しているが、米国の U. S. Steel South Chicago<sup>7)</sup>

の No.2 焼結機では ore feeder の給鉱量を 30mn の interval で簡単な三位式の step controller によつて制御している。また discharge end の監視用に工業 television<sup>8)</sup>を採用し operator に監視させる試みもある。

### V. Surge hopper level の自動制御装置

本制御装置は検出部に抵抗式あるいは容量式の leveler を用い、その検出信号によつて ore feeder の給鉱量を全般的に同一割合で変化させ常時 hopper 内へ設定量の原料が保たれるごとく自動制御するものである。制御装置は基本的に層高および温度、負圧、の場合と同様 pulse および step 制御を組合せたものであつて、各 settling value は pulse の場合の比例要素, gain が ore feeder の速度に対して 20~30% step の場合の比例要素 gain が ore feeder の速度に対して 5~10% となつている。積分時間は 20~25mn に set される。

本装置の構成は

- a) 制御変数 (controlled variable)—surge hopper 内の原料量
- b) 制御体 (control medium)—surge hopper への送鉱量
- c) 操作変数 (manipulated variable)—ore feeder の給鉱速度
- d) 操作体 (control agent)—ore feeder 制御 motor

となつている。制御対象は Ward-Leonard 用発電機の電圧であり ore feeder のみが 1 set になつている。本制御装置には焼結機、給鉱機、冷却器の set から受ける interlock が干渉し本装置からは干渉しない。その干渉は数 volt の order である。

本制御回路については基本的に装入層高、温度、負圧の自動制御と同一であるから詳略する。

### VI. 制御応答

#### 1. Block diagram

以上、述べた制御装置の中で装入層高自動制御系についてその系統を block diagram で示すと Fig. 8 のごとくなる。

例えば, cut-off plate の調整を 300mm として, 300mm 層厚の焼結装入層を set して操業する場合, 設定層厚は 320mm~340mm となる。detector で検出された信号は 320mm 以下かあるいは 340mm 以上かまたは最適層かを検出して, actuating signal を pulse および step circuit に伝達する。そして、制御対象を impulse

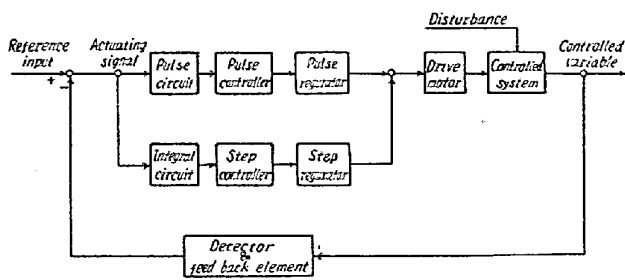


Fig. 8. Block diagram of automatic control system for bed level.

的あるいは step 的に制御するのである。制御結果はふたたび設定値と比較するため feed back される。

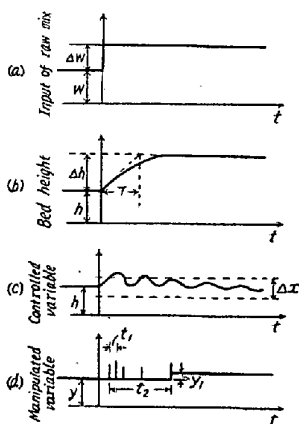


Fig. 9. Diagram of recovery.

## 2. 制御の応答図

例えば、装入層高の場合について制御の応答を Fig. 9 に示すと、(a) に示すごとく step 状の入力変化があつた場合装入層高の変化は近似的に一次遅れ要素として次式で取扱うことができる。すなわち  $V = v(h \pm \Delta h)^2 \cot \beta / h^2 \cot \alpha$  の関係式から (b) に示すごとく一次遅れの曲線が考えられ

$$h_x = \Delta h(1 - e^{-t/T})$$

を適用することができる。(c) は (b) のごとく装入層高の変化に対し鎖線のごとき設定範囲  $\Delta x$  を設けた場合に (d) のごとく操作量を与えた場合の応答を示すものであつて (c) および (d) によつて知られるごとく、本装置においては操作体が焼結機である関係上、ほとんど lag はなく応答は速応的である。しかるに drum feeder の場合を推考すると検出と制御の間に transfer lag が起こり、それだけ応答は遅れることとなり cycling は避けられないようである。(d) に示す impulse の sampling time, あるいは変量に対する操作 gain の大きさ, 積分時間  $t_2$ , step の操作 gain  $y_1$ , などは、その process に応じて決定すべきである。もちろん総て調整可能である。

## VII. 結 言

以上、本報告で取扱つてきたものは、当所において開発し、特許として登録されたものおよび出願中のもので

あつて国内はもちろん、諸外国においても未だ研究の段階にあり、実際に使用されて偉力を発揮しているところは少ない。ソ連における Vysokogorsky<sup>2)</sup> の焼結工場での報告によると装入層厚の制御は電極を用いた drum feeder 回転速度の簡単な on-off control であり、充分にその目的を達しているとは考えられない。また、米国においても U. S. Steel の South Chicago No. 2 新焼結機<sup>7)</sup>, Granit City Co. の新焼結機<sup>4)</sup>, Jones & Laughlin Co. の Cleveland 新焼結機<sup>5)</sup>, などで研究されているが、米国特許、その他の刊行物、工場見学などによつて知り得た範囲内では on-off control を sampling 的に step 制御している程度で決定的な本当に使える自動制御装置は未だ開発されていないようである。独においてはこの方面についてほとんど考えていないようである。また、米国では最近 analog computer<sup>6)</sup> を利用して温度制御をする試みもある。しかし米国の computer control の定義は若干あまいのでこのみにするのは早計であると考えられる。このように、米国、ソ連でも焼結設備の自動化については深い関心を示しており、さらに焼結設備の自動化に限らず製鉄設備においても自動化の研究は活発に進められている現状である。そこでわが国においてもこれら自動制御装置の開発に努力し、今後 computer の導入を計つて Loop I の世界、すなわち feed-forward の時代に這入りたいと考えている。もう end point control の可能性は目前であり、profit control (製鉄設備一連のもの) へと発展させたものである。最後に、諸外国に先進するためには各社の協力による日本最高の技術が必要ではないかと考えるものである。

(昭和 36 年 2 月寄稿)

## 文 献

- 1) 宮川, 沢田: 製鉄研究, No. 225 (1958) p.2222 ~2235
- 2) I. M. RAVIKOVICH: Iron & Coal Trades Rev., (1957), Aug. p. 323~325
- 3) Metal Progress, (1958), Sept. p. 74~78
- 4) WILLIAM R. CORZILIVS: Blast Furn. & Steel Plant; 47 (1959), Jan., p. 44~50
- 5) J. & L. Blast Furn. & Steel Plant, 46 (1958). April
- 6) R. M. SILLS: Iron Steel Eng., (1959) Aug. p. 72~78
- 7) U. S. Patent Office, Patent, Mar 17 1959, No. 2, 878, 003