

— 技 術 資 料 —

鉄鋼業におけるオートメーション (I)

(Automation in Iron and Steel Industry—A Review)

岡 勇*

I. 緒 言

生産に対する人間の努力をより一層有効に利用するため、人間作業を機械作業に移し、それによつて均一で良質な製品を能率よく作り、コストを下げるということ、すなわち作業および生産の経済化をはかるといふ考えはいまさらあたらしいことではないが、これを数年前米国ではじめてオートメーションという言葉で唱えられてから世界各国において急速に発展をつづけている。

しかし筆者が本年1月末、製鉄技術管理専門視察団の1員として米国および欧州における製鉄技術管理の現状を視察したところでは、欧米鉄鋼業におけるオートメーションは他の生産工業よりも立遅れていると思われる。

ひるがえつて、わが国鉄鋼業におけるオートメーションの歴史を見ると、昭和24年米人技師が来朝し、わが国熱管理の調査報告と勧告および熱経済技術部会の活動により、標準計器の設定および自動制御の研究が進められ、その結果昭和27年頃より業界全般にわたりオートメーション関係の諸問題が重要課題としてとりあげられ今日のような発展を見たのである。しかしながら欧米同様他の工業に比しその進歩はかなりおくられている。

その理由としては、プラントの自動化は制御工学的見地から実施すべきものであるが、鉄鋼業の技術者には関心がうすく理解されている向も少なかったこと。たとえばプラントの静特性、すなわち設計の基礎としている定常状態におけるプラントの作動はよくしつているが、変動中の状態でのプラントの動特性（制御の見地から見れば動特性はきわめて重要である）はあまり、しられていない。すなわちプロセスにおいてその特性を見極めるための

- (1) 伝達おくれや、むだ時間が長いか、短いか。
- (2) プロセス反応速度が遅いか、速いか。
- (3) 自己制御性が有るか、ないか。
- (4) 負荷変化の大きさ、起り方、頻繁さ。

等の定量的なデータが不足していたためである。しかし実際には制御対象たるプロセスの特性が本質的にはなかなか、つかみ難いものである。

わが国では外国文献または類似プラントを参考として

設計されたものが多く、そのため制御対象であるプラントの特性を把握している向は少ない。これが発展のおくられている原因ではなからうか。プラントまたはプロセスの自動化がどれだけ製品の質とコスト切下げに役立つたかを探求することはもちろんのこと将来へのための制御方式の研究改善など追求する意欲が望ましいと思う。

よつてこゝに欧米およびわが国鉄鋼業におけるオートメーションの現状と当社における二、三の実験による私見を加えて述べ、自動制御の発展に努力されている方々の参考資料とする。

II. 熔鋳炉および熱風炉のオートメーション

A わが国におけるオートメーション

熔鋳炉における製鉄作業は

- (1) 炉頂よりコークス、鉍石および石灰石を交互に炉内に装入し。
- (2) 下部羽口より衝風を送風機にて送る。
- (3) 衝風はあらかじめ熱風炉にて熱したものをを用いる。熱風炉は、ある時間ガスを燃焼して炉内格子積煉瓦に蓄熱する。
- (4) つぎに送風機より冷風を送つて熱交換し熱風とする。
- (5) 熱風は指定温度とするため一部冷風を混入する。この場合熱風の圧力および流量は一定であることが望まれる。
- (6) 熔鋳炉内では、装入されたコークスは燃焼してCOまたはCO₂ガスとなつて鉍石を熔かし、その酸化鉄を還元し、同時に鉍石中のMn, Siその他の不純物をも還元する。
- (7) しかし、そのMn, Siなどは分離した熔鉄中にある量の炭素とともに入り鉄鉄となつて炉底に溜る。
- (8) このとき鉍石中の還元されない不純物、岩石分やコークス灰分などは石灰石と結合して鉍滓となつて炉底に下つて熔鉄の表面に浮ぶ。
- (9) 炉底に熔鉄が充分溜れば、壁にある出鉄口を開

* 株式会社神戸製鋼所

け取出される。

以上の高炉および熱風炉の操業における計装は

- (1) 装入物の降下および分布状況を装入深度計にて測定する。
- (2) 装入量および回数ならびに時間を装入回数記録計にて測定する。
- (3) 風量を流量調節計により、送風機側で一定に制御する。
- (4) ガスと燃焼用空気を比率調節計で一定比率に制御し、燃焼結果を CO₂ 分析計で監視する。
- (5) 燃焼および送風終了時を知るため、炉頂および

熱風出口温度を測定する。

- (6) 熱風温度を指定温度に制御するため、熱電対で検出し、熱風温度調節計により冷風調節弁を操作して、混入する冷風量を調節する。
- (7) 炉体、炉頂、炉底の温度、炉頂圧力、冷却水量などを測定して、炉内反応のバランスと炉体損傷の防止をはかる。

図1にわが国の高炉および熱風炉の計装の一例を示す。以上の計装の中一言注意したいことは(5)の熱風出口温度の測定方法である。測定目的は炉出口熱風温度の監視および熱風炉切替時の観測であるが、測定は正確

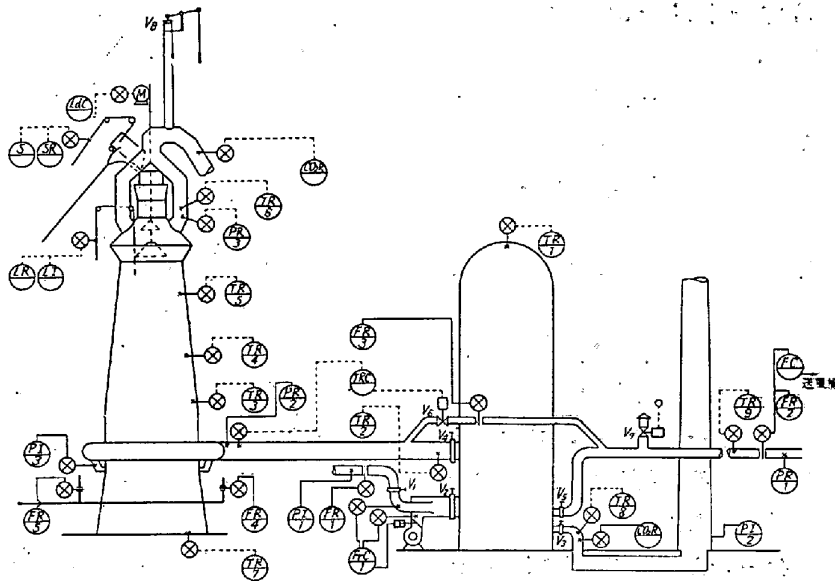


図1 高炉熱風炉の計装
高炉熱風炉計器の仕様

LI	装入深度指示計			セルシン
LR	装入深度記録計			〃
LdC	配分調節機	電気式		
S	装入回数積算計	〃		
SR	装入時間記録計			
FR-2	送風流量記録計			
TRC	熱風温度調節計	電気式	PI動作	オリフィス 熱電対
TR-3~5	シャフト温度記録計			〃
TR-6	炉頂ガス温度記録計			
CO ₂ R	炉頂ガス分析記録計			
PR-2	送風圧力記録計			
PR-3	炉頂ガス圧力計			
PI-3	各羽口圧力指示計			
TR-7	炉底(側板)温度記録計			測温抵抗体
FR-4~5	冷却水流量記録計			
FC	送風流量調節計	油圧式	PI動作	オリフィス
PR-1	送風圧力記録計			
TR-9	送風温度記録計			測温抵抗体
FR-1	ガス流量記録計			オリフィス
PI-1	ガス圧力指示計			
FrC-1	ガス空気流量比率調節計	油圧式	I動作	オリフィス、またはピトー管
TR-1	炉頂温度記録計			熱電対
TR-2	熱風温度記録計			〃
FR-3	冷風流量記録計			オリフィス
TR-8	排気温度記録計			熱電対
O ₂ R	排ガス分析記録計			
PI-2	煙道吸引力指示計			

に測温することが重要である。一般に出口温度は普通の熱電対を管路に挿入して測温しているものが多く、また配管の関係から水冷弁および棒の近所に挿入されている。このような箇所に挿入された普通の熱電対は熱風と熱交換を行うと同時に周囲の壁との輻射による熱交換も行う。すなわち水冷弁箇所の壁との輻射による熱交換を行い、熱電対は、熱風よりの伝熱だけでなく、周壁からの輻射の影響を受けた見かけの温度を指示するので正確な測温は得られない。出口温度によつて炉の自動切替を行う場合とか熱風炉の熱効率などの計算の場合には貫流式高温計を使用することが必要である。

B 米国におけるオートメーション

i 原料装入の自動調節

高炉における装入原料の供給はスキップまたはバケットにより規則正しく行うことが必要である。現在米国ではつぎのような方式のものが多く採用されている。これは図2に示す装入機構が間歇式になつており、装入はあらかじめ定められた方式(プログラム方式)にしたがつて行われる。この機構の構成は

(1) スケールカーが原料貯蔵所の下を走つており、高炉の容量からあらかじめ計算によつて定められた重量の鉱石および石灰石がこれにチャージされる。スケールカーには2個のホッパーがあり、それぞれ独立にスケールカー操作員の希望する重量が積み込まれる。両方のホッパーに積込みが終ればスケールカーは移動してスキップカーの上に行き、2個のスキップカーのいずれかに移される。

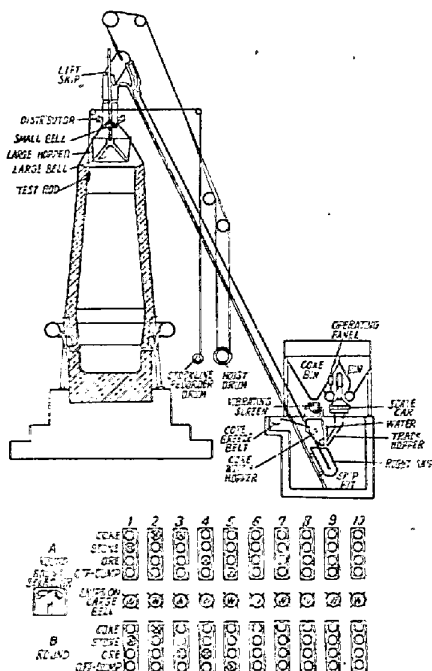


図2 原料装入機構の自動化

(2) スキップカーピットの上側に2個のコークス槽があり、この下部に2個の篩が振動しており、粗塊はコークスを運ぶホッパーに、また微粒のものはベルトにより coke breeze のために配給地へ運ばれて行く。コークスホッパーは自動扉があり、スキップカーに対してあらかじめ定められた重量のコークスを与える。

(3) 原料を炉頂まで運搬するのは2個のスキップカーで、これは傾斜したトラックの上を並行につるべ式に動く。

(4) 炉頂でスキップの内容物は、デストリビューターに落される。

(5) デストリビューターの底にはスモールベルがある。デストリビューターが回転すると、スモールベルは開き、内容物は下のラージベルに落ちる。

(6) ラージベルには所定の数だけスキップの内容物がスモールベルにより開けられると、開いて原料は炉内に落ちる。

(7) 装入設備としてさらにストックライン検尺棒があり、各炉に通常2~3個備えられている。このロッドは損傷を防ぐためにラージベルが開くたびにロッドをストックラインから引上げられる。

(8) また装入設備の一つとしてストック給水機構があり、スキップにあらかじめ定められた水量を与える。これによつて炉より生ずるダストの量を減じ、炉頂温度を下げ、炉頂部炉材が高温のガスによつて過熱されるのを防ぐ。

このプログラム調節は上記の動作を自動的に順番に行わせ、しかも常につぎの動作に移す前にそのために必要な条件が整つているかどうかをチェックする。動作はすべて操作者の選択により自動または手動にて行われる。

調節装置はロータリースイッチ、ラッチリレー、コントロールリレー、伝送スイッチおよび押ボタンが一体になつて上述の動作を行う。

コントロールパネルに各リレーの予備があり、故障リレーを点検する間、速かにこれを予備と切換えて使用することができる。

ストックハウスにある操作員のパネルボードに指示ランプがあり、つぎの信号をあたえる。

- (1) スtockラインの位置。
- (2) デストリビューターの回転角。
- (3) コークスホッパーの状況。
- (4) ラージベルおよびスモールベルの位置。
- (5) スキップカーの位置。
- (6) スキップカーに、次に装入すべき原料。

(7) 現在プログラムは何ラウンドにあり、このラウンドのスキップは何チャージ、ラージベルに供給されたか、つぎに操業プログラムの一例を述べる。

操業プログラムは2種のラウンド、A、Bからなるものとする。AラウンドおよびBラウンドは交互に装入され、炉に適当な量をあたえる。

Aラウンドは石灰石をスキップに1杯、コークスを2杯、鉬石を1杯とする。

Bラウンドは石灰石をスキップに1杯、コークスを1杯、鉬石を2杯とする。

主コントロールパネルのセレクタースイッチを“AB”に設定すると自動的にAおよびBが交互に繰返される。石灰石用ボタンはAラウンドの最初のスキップのときに押すべきもの、コークス用ボタンは第2、第3のスキップに対するもの、鉬石ボタンは第4のスキップに対するもの、また off-dump ボタンは第5のスキップに対するものである。

信号ランプは左側のスキップがピットにいることを示しているものとする。操作員はスケールカーから左側のスキップに石灰石を装入する。それよりスキップスタートボタンを押すと、左側スキップはピットを出て炉頂へ昇つて行く。その間右側のスキップはピットに降りてくる。つぎの2個のスキップがコークスで一杯になると(自動操作)スケールカーに乗った操作員はカーを貯蔵所まで動かして右のスキップを鉬石、左の方を石灰石で一杯にする。

荷を積んだスキップが炉頂に近づくとき自動的に減速される。もしなにかの理由でスモールベルが開いたり、または先の原料がスモールベルから落ちてなかつたりした場合には、スキップは停止し、スモールベルの作動が完了するのを待つてから装入を行う。

右側のスキップがピットに達すると右側のコークスホッパーゲートのモーターが働いて、ゲートを開けコークスをスキップに装入する。ホッパーが空になると、ゲートは閉じ、スキップは自動的に上昇して行く。右側のスキップがピットを離れると、スモールベルが下り最初のスキップによる装入原料はラージベルに落される。スモールベルが閉じると、操作員用のパネルにランプが灯いて、第1のスキップがラージベルにチャージされたことを示す。

一方空のコークスホッパー上の篩が起動されて、ホッパーに希望する量のコークスを装入する。左側のスキップがピットまでくると、これにあらかじめ測定された量のコークスが装入される。操作員用のパネルのランプが

灯いて第4のスキップは鉬石とすることを示す。右側のスキップがピットに入ってくると、操作員は右のスケールカーホッパーからこれに鉬石を装入しスタートボタンを押す。ランプによつてつぎのスキップ(Bラウンドの最初)は石灰石を装入すべきことが示されるから、左側のスキップがピットに入つたら操作員は左のスケールカーホッパーからこれに石灰石を装入し、スタートボタンを押す。このスキップがピットを離れるとスモールベルは降下し、Aラウンドの最後のスキップをラージベルに落す。スモールベルは閉じ、ラージベルが開きAラウンド4杯のスキップを炉に供給する。それからBラウンドの操作が順々にAラウンドと同じ要領で行われる。これが完了すると自動的にふたたびAラウンドに切換えられる。

この調節系統には、インターロック機構があり、二、三の動作はそのため必要な条件が充されるまでは実施されないようになってい。たとえば

(1) コークスはスキップがピットの中にあるときのみこれに供給される。

(2) スケールカーホッパーのゲートはスケールカーがピットの中心上にあつてプログラムが鉬石または石灰石の装入を要求し、当のスキップがピットにあるときのみ開くことができる。

(3) スモールベルはラージベルが開く前に閉じ、またラージベルはスモールベルが開く前に閉じるようになってい。

(4) デイストリビューターは、スキップから装入中は停止し、ストックラインロッドはラージベルの開く前に炉頂まで引上げられる。

ii) 熱風炉温度調節

燃焼の制御はわが国と同様に燃料—空気比率調節計によつて燃焼制御を行う。

熱風炉温度調節は図3に示すように(1)ドーム温度調節。(2)煙道温度調節からなり、熱風炉内のそれぞれの部分における温度にしたがつて熱風炉に供給するガスの調節を行うものである。

ドーム温度の調節は、ドームが過熱されないようにするもので、もしドーム温度があらかじめ定められた

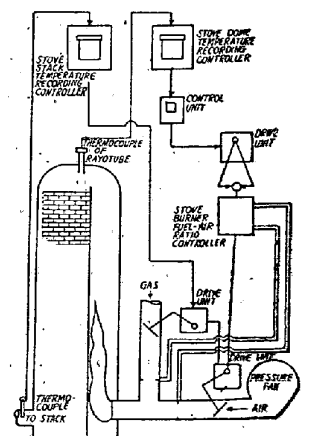


図3 熱風炉温度調節装置

設定点に達したら、ドーム温度調節計が働いて燃料、空気比率調節計に指示をあたえてバーナーに過剰の空気を導き熱風炉の燃焼ガスの温度を下げてやる。

もし燃料、空気比率調節計が全目盛を行ききつて、バーナーにこれ以上空気を送れないとなると調節は比率調節計の操作端からバーナーにいたるガス配管中のバタフライバルブ操作機構に切換えられる。これはバタフライバルブを閉じ、バーナーに供給するガス量を減ず。

熱風炉の煙道でも同様な調節が行われる。この温度が高くなると、煙道温度調節計によつてガス配管内のバタフライバルブが閉じる。

このようにしてドーム温度および煙道温度とも自動調節される。

iii 熱風温度調節

熱風炉から出て円形のバースルパイプに近い熱風主管に熱電対が置かれている。ターボブローから出た冷風管と熱風炉の出口のところで冷風を混入させるための送風管とにバタフライバルブを設ける。(図4参照)

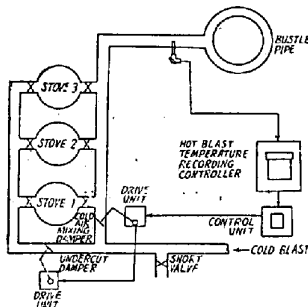


図4 熱風炉温度調節装置

熱風温度調節計が混合用冷風管中のバタフライバルブを操作して、設定温度を保持する。もしこのバタフライバルブが一杯に開いて、しかも熱風の温度が目標値よりも高いならば、ターボブローからの主送風管中のバタフライバルブを駆動するよう信号があたえられ、このバルブを閉じて炉を通る空気を少なくし、混合用冷風管の方に余計通す。その結果熱風温度は均一に保たれる。

iv ストックライン記録計

ストックラインレベルの位置はラージベルの0~20ft下でストックラインウインチのシャフトのスライドワイヤーによつて測る。このウインチは回転計が付いていてストックラインの降下速度に比例する電圧を発生し、0~10ft/mnの速度を測定できる。ストックラインのレベルと速さとは連続記録される。また回転計にはクラッチが付いていて、ロッドが炉から引出される時は外れる。

C 将来の発展と私見

まだ標準作業として考えられてはいないが、いくつか

の自動制御方式が米国および欧州で高炉に適用され、順調に作動している。

(1) 米国の Republic Steel Corporation Youngstown 工場の No.4 高炉では、羽口と炉頂の差圧制御を実施しており、hanging や slipping の防止に役立たせ、また操業成績においても他の高炉よりもよいことを示していた。(表1参照)

(2) Chicago の Engineer and Technical Counselor A. J. Boynton & Co できいたところでは、各羽口から供給される熱風の量を自動制御し、炉内通気の制御を行つている。これを実施している炉が20程あり、今後ますます採用される傾向にあるという。

(3) ドイツの Dortmund-Horder-Huttenunion Dortmund 工場および Westfalen-Hutte A. G. Dortmund 工場では炉内のガスの通り方を知る(低品質の鉄のできるのを防ぐ上に役立つ)ため、炉の中を通るようになった水冷したガス採取管をシャフトに取付け、ガス分析を行う他に温度、圧力、速度を測定するもので、採取管は機械的に水冷管にそつて炉内を走り、炉の内径を端から端まで動き連続的に分析ができる機構となつている。この装置を各炉に取付けていた。

(4) 熱風炉において、空気およびガスバルブを自動変更して、変更動作を早くする(約60sec)こと。

(5) 炉にあたえる熱風の温度を連続測定し、蒸気を

用いて自動制御する。

などである。

高炉々頂圧力調節装置

休風時における炉頂圧の制御は重要なもので、従来休風時には down comer valve にてガスを遮断し、炉内発生ガスおよび残留ガスの放散は炉頂 bleeder を開放する。bleeder よりの放散が長時間におよぶときは、炉頂圧が下り吸引状態となり炉頂爆発などを惹起するため予防手段として炉頂へ蒸気を入れ、炉頂圧が正圧を保持するよう手動にて bleeder の開度を調節するのである。この場合計器の指示によつて開度の調節を行うが、炉頂 bleeder valve は荒ガスのため逐次磨耗し、ガス洩れが多くなり微細な調節は手動ではなかなか困難である。そのため往々炉頂爆発を起している。それがたとえ軽微な爆発であつても休風中の羽口の取換などの作業はこの影響をうけ、はなはだ危険である。

以上のことから休風時の炉頂圧力一定保持ということ

は重要な課題と思われる。以下に炉頂圧自動制御の私案を述べる。

表

1

W-1537

REPUBLIC STEEL CORPORATION BLAST

FURNACE DEPARTMENT

Youngstown District

Ladle weights:

Basic: 340

Bessemer: 38.5

Pig Machine: 38.5

Date 2~15 1957

Operating data

Fec. No.	Ladles produced	Est. tonnage	Produced to-date	Average per day	Monthly rate	Disposition		P.M.
						O.H.	Bess	
#1	30.5	1170	17050	11.37	31840	70	1040	60
#2	32.0	1090	16450	10.97	30720	1090	—	—
#3	36.0	1220	17111	11.41	31950	1220	—	—
#4*	17.5	626	9760	6.52	18260	390	230	—
#5	19.0	720	11500	7.67	21480	120	520	80
Total	135.0	4840	71870	4.794	134250	2890	1790	140
#1 #2	Sinter Plant	796	11515	7.68	21504			

Fce. No.	Charges	Casts	Wind blown	Tons dust prod. to-date	Flue dust		Coke rate		Coke consumed	Heat	
					#1	ton	Day	Month		Lo	Hi
#1	42~42	5	82 70	2460	421	289	1762	1886	32150	800~950	
#2	56~54	5	75 70	1640	150	199	1760	1754	28854	900~1200	
#3	53~54	5	75 70	1558	134	182	1671	1765	30197	1000~1100	
#4	57~57	5	48	738	—	151	1813	1762	17230	950	
#5	45~42	5	61	738	—	128	1936	1777	20438	950~1100	
Total					Average 169	198			Used tons;		

STOCK PILES

Ore & Sinter 357.307

H. V. Coal 108.911

L. V. Coal 14.051

Fce Coke 6.406

Breeze

Stone

註 * は羽口炉頂差圧制御を行つている高炉

図5に、この装置を示す。作動の概要は

(1) 押ボタン S₁ を押すと電磁弁 V₃ が作動し、開度調節計 LC が働き、パワーシリンダーにより bleeder valve V₁ を開く。開度調節計は、開度の設定および開閉連続作動等自動と手動の切換ができるものである。

(2) 手動または押ボタン式にて down comer valve を閉じるとこの valve に取付けてある接点により

蒸気管に挿入してある弁 V₄ が開き蒸気を流す体勢をとる。

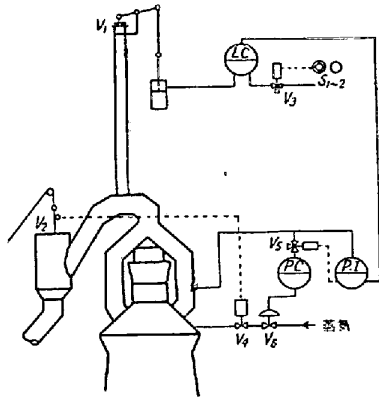
炉頂ガス圧が所定圧以下に降下すれば、圧力指示計 PI により開度調節計 LC を動かし bleeder を閉める。ただし全閉の位置よりわずかに開いた位置で止る。同時に他方電磁弁 V₅ を開き、圧力調節計 PC を作動させ、設定微圧と炉頂圧の偏差に応じ、調節弁 V₆ を開閉し蒸気の流入を調節する。

通風開始の場合は

(1) 手動または押ボタンにて down comer valve を開ける。接点が開となり電磁弁 V₄ が閉じ、蒸気を切る。炉頂圧が上れば圧力指示計 PI の指示が上り、電磁弁 V₅ が切れ圧力調節計 PC 回路は停止の状態となる。

(2) bleeder の押ボタン S₂ を押せば開度調節計 LC は停止し bleeder は全閉となる。

この装置を取付けることにより炉頂圧の安全保持が自



LC.	ブリーダー開閉調節計
P.C	炉頂圧力調節計
P.I	炉頂圧力指示計
V ₁	ブリーダー
V ₂	ダウンカマーバルブ
V ₃	電磁弁
V ₄	〃
V ₅	〃
V ₆	調節弁
S _{1~2}	押ボタン

図 5 休風時の炉頂圧力制御装置

動的に確保できることになる。

以上熔鋳炉関係のオートメーションについて述べたが鉄鋼業で最も遅れているのが熔鋳炉のオートメーションである。前に述べたように欧米ではさかんに自動化の研究がなされておる。わが国でも欧米の模倣でなく国情に合った独創的な研究が望まれる。

III. 平炉のオートメーション

平炉の操業（冷銑操業）は

(1) 炉が熔解に適する高温で炉床に異状がなければ炉前面扉を開け製鋼用原料を装入機により炉内に装入する。この装入期には扉の閉開を頻繁に行うため炉温が低下するので、これを防止するため煙道ダンパーにより通風を弱くしておく。

(2) 装入が終れば燃料の供給量を増加させ装入物の熔解を始める。この場合装入物は山をなしているので焰はこれと衝突し、四散して炉内側壁および天井を損傷さすおそれがあるので、煙道ダンパーを開いて通風をよくしてやる。

(3) 熔解期中はとくに装入物中に半熔解の糊状が生じないよう供給燃料およびバーナーの角度などを調節しまた炉内温度分布状態および高温火焰を持続さすため、燃料、二次空気の変更は 30 分間隔から漸次変更間隔を短縮して増々高熱をあたえるよう操作を行う。

(4) 装入物が完全に熔解して湯が静まつた頃、炭素の量、スラグおよび湯温の判定など行つて、熔鋼が所定の成分となるよう調節した後、

(5) 希望する鋼質のものになれば、炉壁の出鋼口より出鋼させる。

(6) 出鋼後は炉床の点検を行い、異状がなければ引続き、つぎの製鋼作業を行う。

以上のように平炉の操業は batch Process であり、化学反応がふくまれている。

平炉のオートメーションに関しては製鉄技術共同研究会の計測分科会において現在もなお研究が行われており、その結果各社共優秀な制御装置が設備されておる。これらの計装は欧米に劣らぬ優秀なものが多い。当社においても平炉の自動化に際し組織的研究を試み、図 6 に示すような制御装置を設置することができた。これについて以下述べることにする。図 6 の計装の要点は

(1) 炉天井圧力を検出し、調節計により煙道ダンパーを操作してこれを制御する。

(2) 炉天井温度を許容限界以下に押えるため、天井温度調節計は重油流量制御系との結合制御により重油流量を加減する。これは同時に霧化空気および燃焼用空気流量制御系とも結合し、重油と霧化空気および重油と燃焼用空気の流量比率を適当な値に制御する。ただし助燃酸素を使用するときはこれに相当する燃焼空気量を自動的に低減する。

(3) 酸素流量を制御する。

(4) 重油温度を霧化に適当な温度に制御する。

(5) 炉の左右に一對ずつある内外蓄熱室の温度差を無くるすために、これを検出し燃焼空気の配分を加減する。

(6) 変更をつぎのように自動的に行う。

(i) ある最小設定時間が経つまでは変更を行わない。

(ii) 最小設定時間が経つてから左右蓄熱室の温度差が設定値を越えたとただちに変更を行う。

(iii) ある最大設定時間が経てば、蓄熱室の温度差が設定値に達しなくてもただちに変更を行う。

などである。

A 炉内圧力の制御について

一般に炉において炉内圧力が低くて外気が炉内に侵入すれば、このため炉は冷却されて熱損失となり、また不規則な空気の侵入は燃焼状況に悪影響をおよぼし燃料を空費させる結果となる。このような状態の下で空気過剰率の一定保持や炉内温度の制御を行つても完全な効果をあげることはできない。また他面外気の侵入を防ぐために炉内圧力を高くすると、焰が炉の隙間から吹き出して熱損失とともに炉材を焼損する。

これらを防止するために煙道ダンパーを開閉して炉内

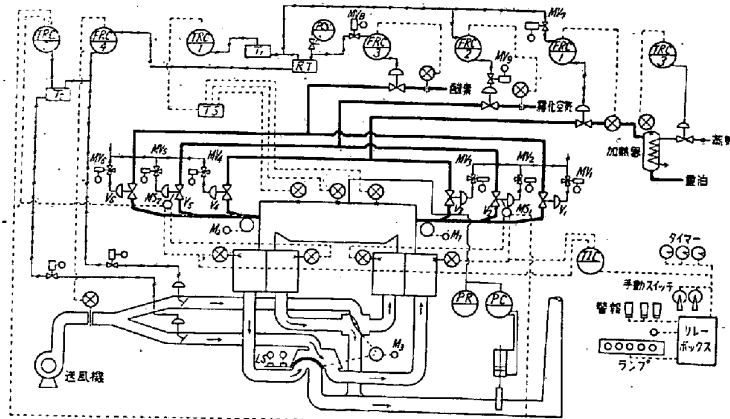


図6 平炉の計装
平炉計装の仕様

TRC-1	天井温度記録調節計	空気式	PI動作	輻射発信器
TRC-2	蓄熱室温度差記録調節計	〃	PI	〃
TRC-3	重油温度記録調節計	〃	PI D	IC熱電対
TIC	変更指令温度指示調節計	電気式	2位置	輻射発信器
FRC-1	重油流量記録調節計	空気式	PI動作	面積式
FRC-2	霧化空気流量記録調節計	〃	PI	U字管浮子
FRC-3	酸素流量記録調節計	〃	PI	〃
FRC-4	燃焼空気流量記録調節計	〃	PI	沈鐘式
PR	炉内圧力記録計			複鐘式
PC	炉内圧力調節計	油圧式	I動作	隔膜
PCV	酸素流量設定弁	空気圧式	インデックス設定	
TS	3点セレクター			3輻射発信器の最高値を選択
T ₁	トータライザー			出力=(手動)-(TRC-1)
T ₂	〃			出力=(FRC-4)-(TRC-2)+手動)
RT	比例トータライザー			出力=a×(Ti)-b×(PCV)
V ₁ ~V ₆	切換弁			変更指令により on-off
M ₁ M ₂	モーター			バーナー駆動
M ₃	〃			変更弁駆動
MV ₁ ~3	三方電磁弁			変更中インターロック用
MV ₉ ~11	電磁弁			TRC-2 入力信号の切り換え
MS ₁ ~2	水銀スイッチ			変更弁駆動モーター用
LS	リミットスイッチ			

よりの燃焼ガスの排送を加減して炉内圧力を適正な値に保持し、炉内雰囲気安定をはかればよいのである。そのため制御装置が採用されるのであるが、プロセスである炉の性質に適合した制御装置を組合せてはじめて効果があがるもので、良い制御を行うためには、炉の特性を知ることが必要である。

i プロセスの静特性

こゝでいうプロセスの特性は、図7において入力であ

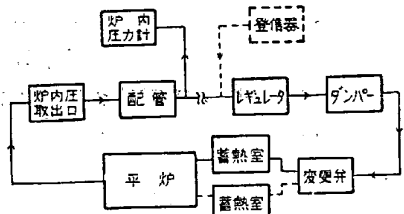


図7 炉内圧力制御系のブロック線図

る煙道ダンパーの開度と、出力である炉内圧力信号との

間の関係である。

図8に当社平炉（特に断らない限り45t固定式重油専焼平炉を対象とする）においてもとめた。正常操業状態におけるプロセスの静特性を示す。

図の(a)に示すように特性は相当非直線性を有し、また測定値はかなり分散している。これは炉内圧力がダンパーの開度の他に炉内の状況や気象などにも影響され簡単な関係が成立たないからである。また炉の燃焼方向によつて特性曲線はかなり違う。これは左右蓄熱室の排ガスの流れに対する抵抗が異なるためである。

さらにこれらの静特性曲線は、炉が古くなるにつれて変化する。すなわち図(b)のように、ダンパーは同じ炉内圧力に対して開いた位置をとるようになる。

ii 炉内圧力に対する外乱

前に炉内圧力が、ダンパーの開度の他に外乱によつて変動すると述べたが、炉内圧力の変動の原因は

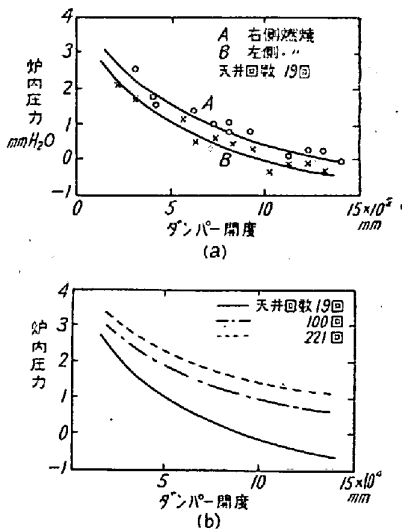


図 8 プロセスの炉内圧静特性

データをもとめて数値処理を行い、炉内圧力変動の自己相関函数をもとめた。これを図9に示す。さらにこれを図9の点線のように適当に近似して、これから圧力の正規スペクトル密度をもとめると図10のようになり、炉内圧力の連続的変動、すなわち制御装置の入力信号がどの程度のものが推察できた。

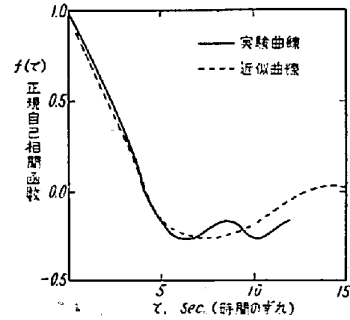


図 9 連続的な炉内圧力変動の正規自己相関函数 $\rho(\tau)$

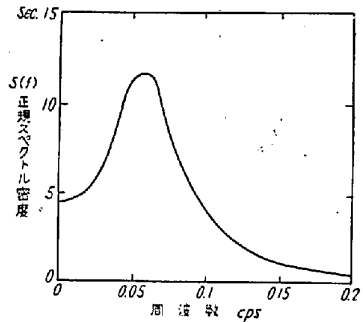


図10 連続的な炉内圧力変動の正規スペクトル密度 $S(f)$

- (1) 燃料供給量の変化
 - (2) 燃焼空気供給量の変化
 - (3) 燃料および蓄熱室の変更
 - (4) 炉内温度の変化
 - (5) 蓄熱室の抵抗の変化
 - (6) 扉の開閉
 - (7) 炉内における装入物などの化学反応
 - (8) 天候の変化
- など数多く、さらに原因が判明しないものが加わつていて、炉内圧力は定常操業状態でもたえずある程度の変動をうけている。

まず原因の比較的はつきりした外乱によつて生ずる炉内圧力の変動をもとめたところ

- (1) 炉の変更は炉内圧力に最も激しい変動を起す。その大きさは1.5~3 mmH₂O で変動は 15~25sec 継続する。
- (2) 扉の開閉 (主として装入期) 時にも 0.5~1.2 mmH₂O 程度の激しい変動が起り 20~45 sec 位続く。
- (3) 燃焼空気流量の変化が炉内圧力にどの程度に影響するかを確かめるため、燃焼空気の調節弁の開度を steps 状に変えて試験したところ、炉内圧力は大体一次おくれをともなう応答を示した。応答の時定数は 3~5 sec, むだ時間は 1 sec 以内であつた。
- (4) 霧化用空気および酸素の流量を変えて見たが、炉内圧力にはあまり影響しなかつた。

つぎに前述の単独的外乱他に原因はまだよく判明していないが、連続的に働く外乱がある。この炉内圧力の連続的な変動がどのような周波特性であるかをもとめるため、ダイヤフラム型炉内圧力記録計の記録より、代表的な一定時間 400 sec を採り、0.5 sec 間隔に 800個の

iii 制御系の周波応答特性

当社の炉内圧力制御装置は油圧式で積分動作であること、それに外乱が激しいために回路を開いた場合、系の平衡がとり難いので、図7に示す制御系の導管と検出部の隔膜の間(図中『の点)で開き、発信器によつて、steps 状の空気をレギュレーターに加え、それに対する回路一巡後の炉内圧力の変動をダイヤフラム型圧力計で記録し、開いた回路の過渡応答をもとめた。

つぎにこの系は積分動作の制御装置とむだ時間および一次のおくれを有する制御対象からなる系

$$F(s) = e^{-sT_L} / sT(sTa + 1) \dots\dots\dots (1)$$

の過渡応答曲線とよく似ており、実験曲線をすべてこの系の過渡応答曲線と仮定して回路の特性値 T, T_L, Ta を定め、(1)式を用いて開いた回路の周波応答特性をもとめたものを図11に示す。

以上は新しい炉について行つたものであるが、出鋼を重ねて炉が古くなると蓄熱室の抵抗が増し、すでに述べたように静特性が劣化し、調節用ダンパーは開放したままとなり、制御動作を行わなくなる。このようなときに

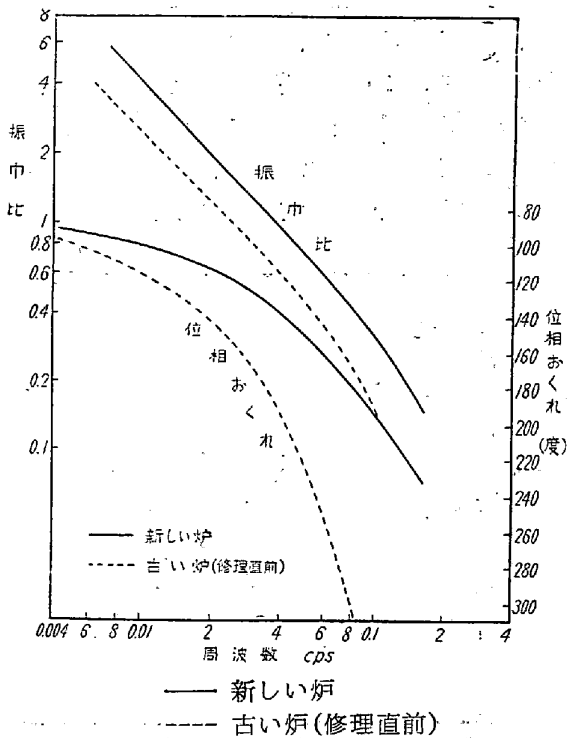


図11. 開いた回路の周波数応答特性
(インディシャル応答から計算したもの)

は動特性も同時に劣化しているのである。同じ炉で炉が古くなつて修理を行う直前に、一時的に炉圧の設定を高くして、さきに述べたと同じ方法で開いた回路の周波応答特性をもとめたところ、図 11 の点線で示すように特性は変つていた。

iv ダンパー開度と蓄熱室の塞り

制御系のブロック線図から明かなように、ダンパーの開度は制御装置の出力であり、またプロセスの入力である。したがつて自作制御を行つた場合のダンパー開度はプロセスの特性と密接な関係がある。そこでダンパー開度の記録を取つて見た。この記録の一例を図 12 に示す。

これによると、設定値は同一でも変更毎にダンパー開度がかかなり大きく変つている。すなわち蓄熱室の左右の不平衡がみられる。また装入から熔解期へと入るにつれてダンパーが次第に閉じてゆく傾向もみとめられる。これは炉内温度の上昇とともにドラフトが増すためである。炉が古くなり蓄熱室が塞り、抵抗が増すと、ダンパーが全開してうの様子は図 13 でみられる通り明らかであり、制御装置による調整が困難になる。

この対策としては、格子積の構築のときから作業中にかけて左右蓄熱室の平衡をよくとることが根本的だが、小煙道のダンパーで調節することも一つの方策である。蓄熱室の塞りは急速に進行する場合もある。図 14 (a)

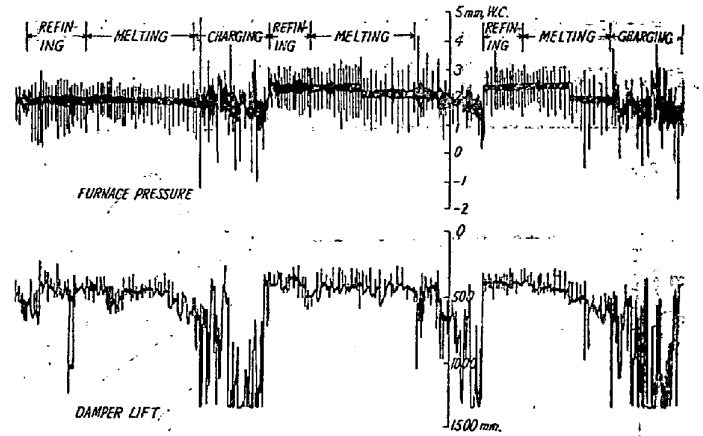


図12 炉内圧力と調節用ダンパー開度の記録
(新しい炉)

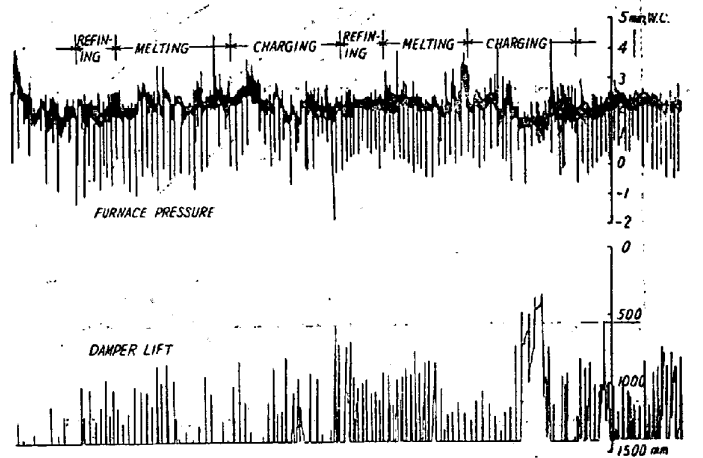
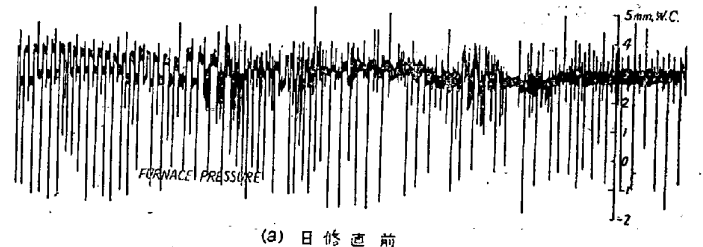
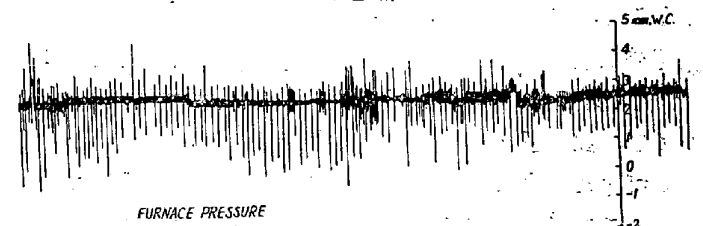


図13 炉内圧力と調節用ダンパー開度の記録
(古い炉)



(a) 日修直前



(b) 日修直後

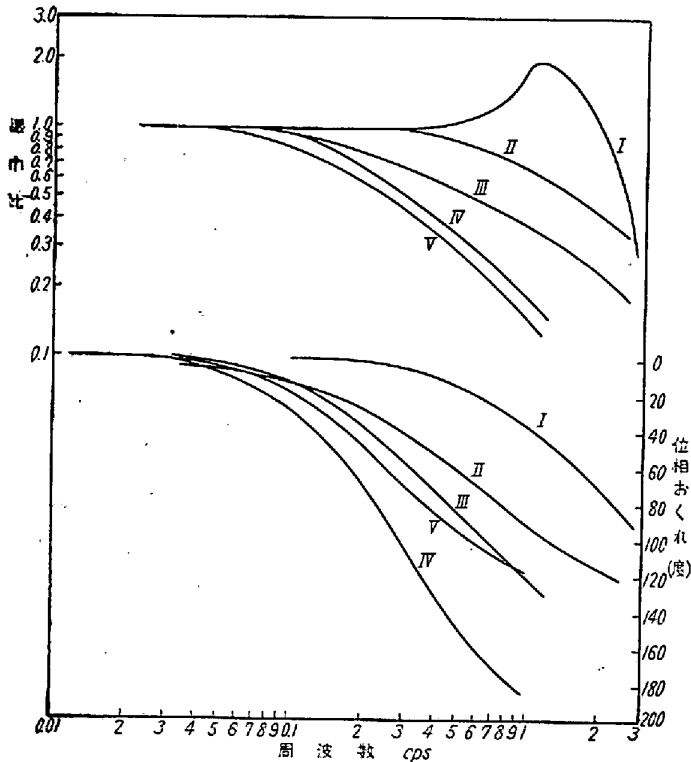
図14 炉内圧力におよぼす蓄熱室掃除の影響

によるとわずか半日でいちじるしく塞つてきたことがわかる。この場合日修を行ない蓄熱室が掃除されれば制御の結果は同図 (b) に示すように回復する。

蓄熱室の補修は単に炉内圧制御だけを考えても重要な問題である。

v. 検出部の特性

炉内圧力の検出部としてここに述べた隔膜式の他に複鐘式、沈鐘式、環状天秤式など用いられている。



- I. 複鐘式
- II. ダイアフラム式(1½"φ×32000 mmの導圧管および補償導管付)
- III. 沈鐘式
- IV. 環状天秤式
- V. 浮子式

図15 各種圧力計の周波数応答特性

これらの検出部の周波数特性を比較実験してみると図15のようになった。制御装置の検出部は設定部とともに状態と制御設定値との僅少の差を確実に検出するものであること。すなわち (1) 検出おくれは最少のもの (2) 固有振動数は高いものがよく (3) 制御変数は連続的に常に変化するから、検出部の動的応答はその静的な精度および不動範囲と同様に重要なものである。

ただ考えなければならないのは、検出信号の意義ということで制御の目的に対してあまり意味のないような高い周波数の変動を検出する必要はない。プロセス側のおくれのために、検出はできてはいても実際には有効に制御できる周波数範囲は限られてしまう。これについてはまだ研究の余地があるように思う。

vi 炉内圧力導管

炉内圧力の測定には天井の絶対圧力と、大気圧との差を測定する必要があり、炉内圧取出口より制御装置まで長い配管を必要とする。この長い配管が制御装置におよ

ぼす影響をもとめた。これを図16に示す。図において点線で示したものは、空気圧を直接ダイアフラムに加えた場合のもので、これと配管を付けたものと比較すると位相おくれの増加がみとめられる。さらに補償導管を連結すれば図の鎖線で示したように、おくれはさらに増大する。これはまた配管の太さによつても変るのである。

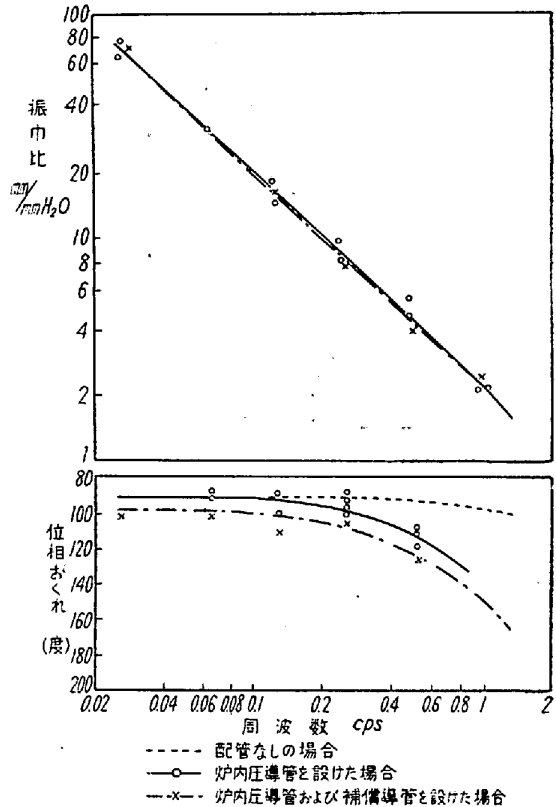


図16 制御装置の周波数応答特性

以上炉内圧力の制御についての実験結果を述べたが

(1) 蓄熱室が塞り出すと、プロセスのおくれが増すから、制御動作は害される。塞りがひどくなると、もはや調節用ダンパーでは訂正しきれず、ダンパーは全開した儘停止してしまう。この対策として蓄熱室の掃除を行う必要があること。

(2) 炉扉の開閉、炉内での燃焼反応による変動は制御によつて訂正し難い外乱であること、これは制御系の検出端に近い所で入る外乱でダンパーの調節によつて訂正することがむずかしい。

(3) 変更時の炉内圧力の変動はきわめて急激に起りこれも自動制御によつて打消し難いこと。などが判明したと思う。

炉内圧力の測定および導管に関しては種々な論説があるが、これについての現場的研究がまだ必要と思われる (以下次号) (昭和 32 年 9 月寄稿)