

オートメーションと自動制御

高橋 安人

これは1957年5月31日、本所の開所記念日の所内公開の日に講演をした要旨に若干加筆したものである。当日の聴衆は、工学にほとんど関係のない方から一流の専門家までを含んでいた。したがってこの講演ではすでに多くの工業関係者の常識化していることから、専門内のかなり限られたことまで加えて話した。これを原稿にして見ると入門と専門講演のいずれから見ても不満足のものとなったことを予めお断りしておきたい。

1. オートメーション

世界のどの国でもジャーナリストがとびついたかに見えるオートメーションという言葉は、内容がやや漠然としているので、人によりいろいろな使い方や受取り方があるようだ。この言葉は要するに、生産工程を全自動へもっていくこと、そのための手法、自動的である状態、自動操作そのものなどを意味すると考えてよい。しかしこれを受入れる側の人たちからは、たとえば化学工業技師は蒸留塔などの中央管制室を、機械生産技師は工作機械のテープ制御を、電気技術者は電子回路だけを連想する類のことがおこる。通信理論家の一部には自らの分野の一部分としか考えられない人もあるかも知れない。実業家にはこれまでよりましな卓上計算機のカatalogを思い浮べる人もあるだろう。工業評論家にとっては工業経済まで考慮に加えての需給、雇用の新問題なども好個の論題になるだろう。

ところで、工業方面のオートメーションを見るとつぎの3方向が大きく浮び上がってくる。

A. 自動制御, B. 自動操作, C. 自動計算

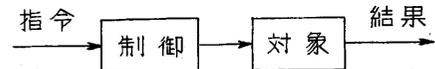
これらはことごとくオートメーションという新語の登場以前から存在し、特にAとBとは速く18世紀の機械文明誕生にまでさかのぼる。特にBの自動操作はAの自動制御よりも古くから普及したもので、たとえば時計仕掛けによるロボットの類は機械文明の一つのシンボルにさえなった。孔あきテープによる自動ピアノは西部劇の酒場にも出てくるし、やはり孔あきテープを使うレース織りのジャカルタ機は古い紡績工場にも見られるものである。

この考えはコンベヤを使う流れ作業にも結びつく性質を具えている。フォード自動車の流れ作業により大衆車の量産に成功したのは昔のことであるが、同じ会社が自動車機関の大量生産用として一連の工作機械を一体に結びつけたトランスファーマシンを用いて作業速度を数倍

に上げることに成功し、この方式にオートメーションという名前をつけたのである。

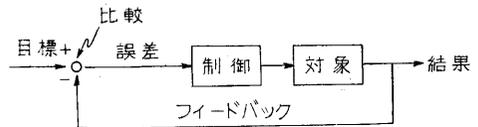
こうして自動操作は大量生産のための欠くべからざる手段となったわけであるが、そのままでは一つの欠点をもつ。この欠点を極度に誇張したのが昔の映画にすでにあった。それは近代文明を皮肉ったチャップリンの“モダンタイムス”で、ここに工具へ食事させる機械が出てくる。機械が食事を口へ押込むテンポが人間のそれと合わないで口を閉じたところへ食事をおしつけてしまう。

チャップリンはここに機械の限界を想定したのかも知れないが、こういうことを防ぐ手法は、やはり18世紀からあった。“自動制御”がそれである。“自動操作”で



第1図

は第1図のように指令側が結果のいかんにお構いなしに操作を進めるから上記のような無理がおこる。“自動制御”はこれに対し、第2図のように、いつも結果をにら



第2図

んで制御する方式である。結果のいかんによっては“手加減”をするという意味でこれは自動操作よりは人間の操作(“手動”)に近いものである。事実これは人間の代りに機械の運転を監視しようという要求からおこったものである。

すなわち、蒸気機関が原動機として実用化した18世紀に、機関の速さを測ってそれを希望の一定の速さに保つように蒸気弁の開きを変えろという“調速機”がつくられ、これが自動制御のはじまりであった。

以上のように自動操作と自動制御とは、それぞれ古い歴史を持ち、別個のしかもさして目立たない存在のまま

で今世紀の前半を過した。それが工学、工業の発達につれて急におもてに出てきたのは自動化への要求が激増したからであり、この要求に応え得る手法が確保されてきたからでもある。後者に関連するものとしては、電子工学の進歩や電子工学関係その他自動装置を実施するための部品や装置の優れたものが入手できるようになったことが有力な一因であるが、自動制御の理論が高度に進んで、自動化すべき系が工学的に企画設計されるようになったことも見逃せない。

計算機はオートメーション論のなかに含まれてはいるが、今日ではまだ工業の自動化のなかに組込まれるには至っておらない。しかし現在すでに必要に応じて自動制御の系内に自動操作が織り込まれているように、自動計算もまたこれらと一体をなす系内に組込まれる日も遠くはないだろう——ある種の単能数字計算機構はすでに自動制御装置として実用化されかかっている。

以上の概説から二つを拾って以下の話題とする。それは自動制御の歴史と、近況の点描、特に計算自動制御への動きとである。

2. 自動制御の歴史

明治時代の末期から今日までの自動制御の歩みを回顧

すると、第1表のようになる。これで見られるように、第1次大戦ころまでの自動制御の主たる応用は調速、電力関係だけであり、その裏付けとなる理論は高次の微分方程式を必要とするので、工学的設計の実用に供されるものではなかった。第1次大戦後には他の方面にも次第に自動制御が応用されるようになった。その一つは船や特に飛行機の自動操縦である。もう一つは液面とか温度などの自動調節——いわゆるプロセス制御である。後者はサーモスタットとか、うきに給水弁をてこで結びつける類の簡単な方式まで含めるともって歴史が古いかも知れない。しかし油圧や空気圧を補助動力に使う本格的な自動調節が製油、鉄鋼、化学工業等に用いられたのは大正末、特に昭和年代に入ってからのものである。

油圧や電気装置により物体（工作機械の刃物、回転軸など）の位置や角度を迅速正確かつ強力にフィードバック制御する手法は、前記の調速装置等の一部として古くから見られなくはなかったが、これだけを取り出したものが工作機械に做削用として登場したのは大正末だった。昭和時代に入ってからこのような位置の制御系が H. L. Hazen によりサーボ機構と命名された。

以上の諸応用はその生い立ちからしてばらばらの存在

第 1 表

年 次		60年									
		1900	1910	1920	1930	1940	1950				
調速および 電気量など の自動制御	* 実施			カプラー 国産開始							電気式国産
	理論		微分方程式法		M. Tolle の著書						R. Oldenburger の 非線形最適制御 周波数応答法
船舶、航空 機などの 自動操縦	* 実施				国産開始						国産再開
	理論			N. Minorsky の論文		微分方程式法		W. R. Evans の論文			周波数 応答法 根軌跡法
サーボ機構 做い削など	* 実施			油圧做い削							做い削国産
	理論					H. L. Hazen の論文 微分方程式法					周波数応答法 サンプル値系理論
プロセス制御	* 実施					国産開始					オ1回ISA博
	理論			K. Kummel の総合研究 Th. Steino の論文 A. Ivanoff の論文 微分方程式法				J. G. Ziegler, N. B. Nicholas の論文 周波数応答法			過渡応答法
一般 制御理論	体系							W. Oppelt の論文 微分方程式法			ラプラス変換法に横行
	** 専門書			H. Nyquist の 安定判別法							周波数応答法 サンプル値理論 根軌跡法
年 代		明治 40		大正 10		昭和 10		昭和 20		昭和 30	

** 日、英、米、独の代表的なもの1冊を1本とした。

* 左の破線部分は一部試みられている程度の時代を示す。
実線部分が本格的な実施を示し、国産開始などの文字は、大体その該当年次に記してある。

であり、いずれも付属機構として扱われていた。それらが、実はばらばらのものでなく、一つの体系に属することをドイツで W. Oppelt が指摘したのは、第2次大戦の気配がしのびよる1939年(昭14)のことだった。一つの新しい体系“自動制御”の存在がようやく工学界で一部の人たちの注目を引きはじめたのはドイツばかりでなく、アメリカでもそうであり、日本でも故寒川武君がこの立場を代表していた。しかしそうする内に、世界中が第2次大戦の渦中に突入してしまった。

大戦の消煙が消え、戦時研究の秘密が解除されるにつれ現われてきた姿は、制御技術の発達と、制御理論の革命的進歩と、それらを基盤とする工業の自動化であった。

技術の面で第一に挙げられるのは、おびただし優秀な部品による電子工学の発展だろう。これは従来不可能だったプロセス量の計測、したがって制御を可能にした。しかし弁を操作する類の機械的動きを伴う部分には、空気や特に油圧の方が依然便利な手段であった。そこでこれらの機械的手段も改良を重ねられていった。

戦前の制御理論は、各国ともに高次の微分方程式という壁につき当って実用化が阻まれていた。戦争中のアメリカでこの壁が破られた。その一つは、プロセス制御に関するジューゲラ・ニコルス法の出現である。もう一つはサーボ機構の戦時研究から生れた周波数応答法であった。この周波数応答法は、戦前から通信工学の方で知られていた原理に基くものではあるが、それが自動制御全般に共通のしかも実用化された形へと進められていた。

わが国では、戦後の数年は敗戦から立上ろうとしつつも空白時代がつづいた。千葉の第二工学部の敷地ではさつまいもがよくとれた。そのいもをかじりながら、電気工学科の福田(節)教授室で自動制御研究会が開かれたのは昭和23年だった。10年前のことである。この集りでジューゲラ・ニコルス法、周波数応答法などがつぎつぎに紹介され、活発に討論された。次第に数を増す海外専門書(第1表の右下すみ参照)もここで消化され国内へ紹介されていった。

そうこうする間に工業界も戦災から立上った。それからのちのこれら工業の自動化ぶりは周知の通り目覚ましいものがある。従業員5,000人級の化学工場を例にとると、過去5年間に機器(Instruments)総数が600から1,800へと飛躍した。この間に制御理論を駆使する幹部技術者から機器の保守を専門とする工具までの組織もでき上り、連続操作プラントではプラント費用の3~5%、パイロットプラントではその15~55%を計装費に充てて、ますます発展をつづけている現況である。これに呼応して計装機器の国産量も5年間で約5倍の飛躍を示している。

ここで最近の話題のいくつかを拾って見よう。

3. 最近のトピックス点描

今春の自動制御界は、アメリカからの二人の自動制御専門家の来日でにぎわった。その一人は自動制御研究会10周年を祝って来訪した D. M. Boyd 氏、もう一人は東大客員教授として滞在した R. Oldenburger 教授である。

M. Boyd 氏は記念講演会の席で、可動部分を含まない純電子式調節器により分留塔の塔頂温度を $1/100^{\circ}\text{C}$ の範囲内におさめることに成功したと発表した²⁾。この成功の直接原因は、アナコム技術の進歩に伴って新型全電子式調節器が生れたことにある。ここで彼が強調したのは、なぜこの調節器だとうまくいくかという原因解明である。彼は周波数応答法によりこの説明を行い、この工学的手法が従来のかんを排除して組織的発達の根拠となることの重大な意義を指摘した。

ついでながら、温度と違って変動速度の速い流量系では、改良を重ねられた空気式の新型調節器が見逃せない。旧式のものではオリフィス前後の圧力差を測る水銀柱自体の動きがのろまのため、制御系は流量よりむしろ水銀柱を制御している始末だった。これにくらべ最近の力平衡発信器使用のものは、毎秒数サイクルの変動まで有効に制御する³⁾。これは流れの乱れによるノイズとの境界まで制御できること、したがってこの方面での限界まで発達したことを意味する。しかもこの発達を可能にした機器の設計は、もはやかんではなく周到な理論的計算やアナコムの駆使による検討が土台となっている⁴⁾。

つぎに R. Oldenburger 教授は昨年まで調速機会社の重役をしている間に、周波数応答法の行詰りを破る一つの手段として昔からの微分方程式法を極めて実用的に駆使する方法を考えつき、すでに日本へも発表した⁵⁾人である。彼はまた非線型性の積極的利用法を開発してきた1人でもある⁶⁾。非線型振動学者が摩擦とか飽和性など今日ではアナコムで片付け得る現象に対し非実用的な方程式をもてあそんでいる間に、真の制御工学者が積極的活用面を開拓しはじめたのは興味深い事実といえよう。

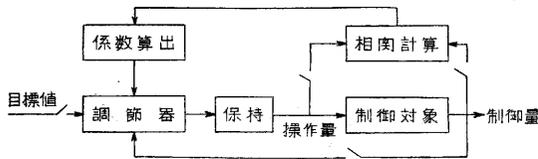
この積極的活用は、それにより従来の比例、積分、微分式制御動作よりもはるかにまじな制御成績を得ようとするをねらっている。というのは従来の線型動作はこれをもっと高度化しようとする装置が不当にうるさくなるし雑音などの悪作用も目立ってくるので、現状が破り難くなっているからである。

この困難をのりこえる他の手段は動作を時間的に断続させ(これをサンプリングという)、信号を量子化して扱うことである。サンプリングの原理を使うサンプル値制御⁷⁾の理論はこの数年来急な発展をとげ、いまなお発達途上にある。いわゆる Z-変換理論がそれである。これは今日までの実施対象はレーダ系のように、サンプ

リングをどうしても必要とするものに限られてきたようだ。しかし量子化された信号を断続的に処理する手法により、複雑な計算操作が簡単かつ確実な機構により行われるところに、この方法の技術的特色がある。そのような新型制御装置はすでに本所の森政弘君により試作されている。

このような高度の自動制御動作を行う装置は、従来のものと区別して計算自動制御装置とよぶ方がよくはないかと筆者は考える。装置自体は特殊の数字計算機に他ならない。ここにオートメーションの高度の段階——来るべき世界——が現われてくる。それはこれまで別個に育ってきた自動制御装置と電気式計算機との結合である。現在の計算機は、各種の数学的問題を扱うようにつくられた万能型である。しかも連続使用を考慮したものではない。他方現在の自動制御装置は1次の微分、積分動作だけをもつ極めて幼稚なアナログ計算機とみられなくはない。計算機とはいえないようなものだが、その代りに安く工場現場での連続使用に耐える。これら両者の“結合”は両者を単に結びつけることでは決してない。それは現在の計算機が非常に特殊化されて単能連続使用向きに生れ変わることを、換言すれば現在の自動制御装置が原理を改めて、高度の計算能力をもつものへ発展することである。

その一つが上に述べたサンプリング式の計算自動制御装置だろうと思う。すでにこの方式で自動的に自らを制御対象特性へ適合させて、制御結果を最適に保持する形式のものが最近の論文⁵⁾で発表されている。これは第3



第 3 図

図に示すように制御対象の入出力信号のサンプル値から相関関数の計算によって対象の動特性を把握し、調節器内の定数値を常に最適値になるように自動設定しようと

いうものである。明日はすでにはじまっているといえるのではなからうか？

4. 結 言

この稿では展望しなかったが、いくつかの日本で生れた業績には世界的なものがある。10年前に本所で自動制御研究会が生れた当座は、何年もの空白をとりもどすことが、新生のこの分野ではスタートからを意味するに等しく、海外の知識を吸収するのにいそがしかったといえる。しかし若干の人たちのレベルがたちまち世界の水準に達して、諸外国から注目される研究が生れるようになったことは誠によろこばしい。私が特にここで強調したいのはこれらの特に若い人たちに対してまず国内の人たちが——特に職域の近い人たちが——あたたかく親身になって応援し、拍手してあげて下さることである。もしそうなれば、世界的レベルになりそうなきざしがあっただけで惜しくも立消えたこれまでの他の先例を破って、日本がこの分野の発達により世界に寄与する可能性は十分にあると思う。(1957. 8. 29)

参 考 文 献

- 1) 日本機械学会 60 年史 (1958) に掲載予定
- 2) D. M. Boyd ; 微分動作に及ぼすヒステリシスの影響, 自動制御, 4, 2, 72, 1957
- 3) A. R. Catheron, B. D. Hainsworth ; Dynamics of Liquid Flow Control, Ind. Eng. Chem. 48, 6, 1042 (1956)
- 4) たとえば: 高橋安人 ; ASME-IRD 第 3 回年次大会の論文抄録 (第 93 回自動制御研究会資料) 参照
- 5) オルデンバーガ: 代数方程式はすぐ解ける, 自動制御 No. 3, p. 141 (1955)
- 6) 同上; 非線型の最適制御, 自動制御 No. 2 p. 69 (1956)
- 7) 森政弘; サンプル値制御の応用, 生産研究 8, 11, 400~405.
- 8) 前出 4) のなかの一つ; R. E. Kalman, Design of a Self-optimizing Control System, ASME-Paper, 57-IRD-12

東京大学生産技術研究所報告第 6 巻第 7 号予告

金森九郎 (外) 著「1 トン試験高炉の操業について」

昭和 30 年 3 月の第 1 次から 32 年 3 月の第 4 次に至るまでの 1 トン試験焙鋳炉の操業についての報告であって、まず第 1 次～3 次までの操業によって、この炉の通常操業条件が確立された経過を述べた後、付属設備全体を説明し、次に第 3 次および第 4 次操業期間中に行われた諸吹精試験の内容を詳述している。吹精試験としては、酸素濃度、流量などの吹精条件を確立する実験、石灰粉の焙鋳への吹込みによる脱硫の実験、水・鋸石粉の吹込による脱クロム試験が含まれており、また吹精に伴う復硫現象の解明とこれに基づく脱硫機構の説明も章をあらためてふれられている。また熱精算の面からこの炉の特徴である高周波加熱と吹精の効果を追求し、最後に炉体浸蝕状況を述べた後、今後の課題を明らかにして結んでいる。