

最近の自動制御とその応用

The Recent Automatic Control and Its Application

吉 山 博 吉*
Hirokichi Yoshiyama

内 容 梗 概

最近の自動制御の進歩は著しい。主として応用の立場から最近の日立製作所の自動制御の技術の進歩を、電力方面、一般産業機械、化学工業金属工業などのプロセス制御に大別してその概要を述べる。

1. 緒 言

自動制御の最近の進歩普及はまったく著しいものがある。自動制御はきわめて広範にわたる技術で、従来の工学の分類からいえば、電気、機械などの多くの専門にまたがり、また電気分野だけを考えてみても、発電電、電力応用などいわゆる強電から、通信、計測、電子応用などのいわゆる弱電に至るまで、すべてに関連し、またこれら広い範囲の相互援助なくしては完成し得ない新しいかつきわめて興味ある一技術部門として前途を注目されている。

最近の自動制御技術の進歩の原因は種々あるが、主なものは、自動制御理論、情報理論などの数学的解明法が進んだこと、自動制御用の新しい機器が開発され普及したこと、第二次大戦以降世の中の一般産業において生産機構の自動化の気運が高まり、設備の実施例が多くなつて実際経験を豊富にしたことなどであるが、もちろんこれらは結果がさらに原因となつて相互に助長され、加速度的発展をした。たとえば自動制御系解明のためのアナログコンピュータのごとき電子計算機が、次には装置の制御機構の中に取り入れられ、一段と複雑な自動制御の応用を可能としてきているごときである。

また自動制御応用の発達と共に、エレクトロニクスの進歩が大きな助力となつたことは看過できない。エレクトロニクスは制御の目的を達するためのきわめて便利な手段として利用できるからである。

日立製作所は、幸い電気、機械、通信、計器、電子管など自動制御に関係するほとんどあらゆる技術部門を有しているので自動制御を応用した総合製品の完成には最も便利な組織であるだけでなく、中央、日立の両研究所によつて理論的バックアップもなしうる最も恵まれた立場にあり、大いにこの種技術を推進すべく、努力を払っている。

以下日立製作所の最近の自動制御の進歩を、主として応用面から簡単に述べる。

2. 最近の自動制御理論

進歩の初期は微分方程式を解くことに主眼がおかれ、

* 日立製作所電機事業部次長

周波数領域で扱う設計法が確立された。その間最適調整を扱う問題が花形として研究され、これに伴いアナログコンピュータが実際の設計への橋渡しとして活躍してきた功績は大きい。

一方実際の系は必ず非線形性を伴うので、非線形の理論的研究も活発に行われた。

また不連続な情報を扱うサンプリング制御系がレーダなどの照準制御の場合などに盛んに解析されている。この系は比較的高級な制御動作を出すことができ、また一般の制御に際しても多重制御、ディジタル計算機を含む場合などに関連して注目されているものの一つである。

さらに制御系の良さの目安として統計的に偏差の2乗平均を最少にする手法が研究され、自動制御理論の一分野を形成している。この手法はさらに系の伝達函数を運転状態のデータより求める手法にまで拡張されている。

以上のように線形制御理論より出発し、非線形制御、サンプリング制御、さらに統計的手法と制御理論も高度化しているが、この反面、線形理論も完全に解決されたわけではなく、たとえば分布常数系の問題であるとか、アナログディジタル変換サーボ系のように実在系を完全に解析できない多くの問題が残っている。

日立製作所においてもこれら各方面の研究が行われ、特にアナログ計算機による実在系の解析は他社に先がけて盛んに行われ、自動制御の実際の応用に大きな推進力となつた。

また統計的手法については電力系統の制御に実際に適用されつつあり、一方系の動特性を求める基礎研究も併行して進んでいる。

3. 最近の自動制御の応用

3.1 電力方面における応用

発電機の自動電圧調整は系統安定度向上のためにも、高速応性かつ調整能力の大きなことが必要で、従来の接点型に代つて、増幅型がすべての主要機に使用されてきた。日立の回転増幅機 HTD はすでに多くの実績をあげており佐久間発電所 93 MVA 水車発電所で定格実負荷遮断試験に電圧上昇 4V 20%、回復時間 T_s 3 秒の、また日本国有鉄道川崎の 63 MVA ターボ発電機では

4V 9%, Ts 3秒の好成績を示している。さらに大出力磁気増幅器を用いた全静止型も製作され回転増幅機に劣らぬ成果を示している。

水車调速機の改良も著しい。定周波の良質の電力をうるためいつそうの高感度が必要になり、電気式调速機が製作されている。これは主機に直結したアクチュエータ発電機より主機回転数に比例した周波数の電圧を受けて並列共振回路に導き、位相弁別特性の速応型磁気増幅器により検出増幅して電磁可動弁を制御するもので、機械式よりはるかにすぐれた特性をもち、さらに速度調定率、過渡調定率の強さ、時定数などを任意に変更整定できる便がある。笠置発電所の実績では、補助サーボモータまでの感度で $\pm 0.014\%$ 以内であり、全負荷遮断時の不動時間は 0.034 秒の好成績で、次に述べる AFC への協力発電所として、系統周波数変動に忠実に応動し真価を発揮している。この電気式调速機は、たとえば常時の小範囲の緩い周波数変動は AFC にまかせ、0.1~0.3~程度の大幅の変動ではその速応性を十分発揮させて、周波数の一定保持と、水の効果的使用を図るなど、実際の適用に当っては個々の特殊性に応じ応用しうるものである。

AFC (自動周波数制御) は発電所に対する自動制御の応用の新しい部面である。昭和29年四国電力松尾川第一、第二発電所にわが国最初の AFC 装置を納入して以来、装置の安定化、遠方制御、多数発電所の協調方式確立をめざし絶えず努力してきた当社は最近さらに北陸電力神通川第一、第二発電所を協調制御するため画期的な装置を製作納入した。これは今日における AFC 技術の粋をことごとく盛り込んだもので、特殊な水系平衡をとりつつ、FFC (系統周波数の一定制御)、FTC (融通電力の一定制御)、TBC (上記両者の同時一定制御) のいずれかを行うものであり、さらに連絡線電力、神通第一発電所のプログラム運転、調整池水位の上下限制御、電気時計の時差補正なども自動的に可能である。

昨今盛んに論議されている電力の経済配分制御については複雑な水系についてシミュレータを試作し鋭意研究推進中であり、放水の流下時間を考慮し、既設 AFC 装置との協調をとりながら一群の水力発電所を最も経済的に運転するための計算をこれで行い電力系統の総合自動化を行うものである。

以上は主として水力発電所に関係の深いものである。

火力発電所は最近ますます高温高圧大容量化が進んでいるが、その高効率を十分発揮するためには運転を能率化することがきわめて重要となつてき、装置の自動化、総合的な自動制御の任務がさらに加重された。

ボイラの制御は大別すると、燃焼、蒸気温度、給水制御の三種になるが、高温高圧化されるにつれて、過熱器の熱吸収量および管の保有熱量が増加するため、蒸気温

度の制御はますます困難となり、再熱方式の採用の時は、再熱蒸気温度の制御も必要となるので一段と複雑になる。

したがって従来の自動燃焼装置 (ACC) に加えてボイラ給水を調節する自動ボイラ制御装置 (ABC) が広く実施されるようになってきた。缶水保有量が少ないので活胴水位を許容範囲に納める制御が特に重要であり最近の大型発電用は水準計、給水流量計、蒸気流量計の三つの計器によつて給水量を調整する3要素式が普通である。

火力発電所における電気集塵装置は従来スパーク時過電流のため遮断されていたが、定電流装置と自動再投入装置により自動化され保守の労を著しく軽減した。

送電線、変電所では同期調相機、負荷時電圧調整器などの制御による電圧、力率の自動調整が従来より行われてきている。またT分岐点に負荷時電圧調整器を設け、両系統の無効電力分担を制御する自動潮流制御などは目新しいものであろう。

3.2 一般産業機械における応用

一般産業機械に対する自動制御は生産の拡充と合理化のためますます高度化された制御を要求されるようになり、そのため磁気増幅器は無接点制御の分野にいよいよ広く利用されている。また継電器に代る静止型スイッチが実用化されてきた。これは論理作用を行わしめることも可能で今後の産業方面における複雑な制御にはこの型の進出が予想される。また制御方式として今まで多く用いられたアナログ制御に代りデジタル制御の適用が次第に目だちつつある。

製鉄方面は電動力応用関係の自動制御が最も普及進歩しており、本年春、八幡製鉄株式会社に納入した12,000 HP 電動機が過電流することなく、わずか1秒間で逆転可能であること、日本鉄板株式会社ほか、数箇所へ納入したセンジマーミルを含む数台の高速可逆冷間圧延機がいずれも広い調整範囲に対して完全に定張力制御を行い、パス途中の再起動時の任意径のコイルの慣性を巧みに自動補償して運転能率を上げていること、住友金属工業株式会社に納入した世界最高の5,000 fpm 級連続線材ミルで噛込み時のインパクトドロップを最小にして、良質の線材をうるよう制御されていることなどはいずれも、この方面の自動制御の優秀さを物語る例である。このほか磁気および電子管式論理回路要素を応用した圧延機の穿孔テープによる計数制御装置、鋼帯圧延機の自動厚み制御装置、水銀整流器単器による電動機の可逆運転などの研究も実施されている。

製紙方面におけるセクショナルドライブで日立的の定位無定位併用制御方式の特長の詳細についてはいまさら記す必要はない。最近さらに自動定張力制御ヘルパー駆動を含むドライブを数セット完成していずれも好成績を得

ている。鉱山方面では交流巻上機の進歩が著しい。最近常磐炭硯株式会社に納入したものは低周波制御による全自動スキップ巻であり、回転力制御力を自動制御して直流にほとんど劣らぬ加速減速特性を得るようにしている。ポンプ、送風機などに工業計器そのほかを応用し所望の圧力、流量を得るように駆動電動機を自動制御する例が多くなってきた。関門トンネルの自動換気装置も類似の例で、トンネル内 CO ガス量を検出しながら、安全濃度内にかつ経済的に換気扇を自動運転するものである。

工作機の自動制御はますます進んでいる。従来の油圧サーボまたは電子管—油圧による位置制御は旋盤フライス盤プレーナーなどに広く実用化されており、最近はさらに能率精度を上げるためデジタル式のものが研究されている。機械試験所と協力して試作中のものにテープ制御のフライス盤があり、今後大型のものはほとんどの傾向を予想される。また、トランスファマシンの普及も見べきものがある。その他特殊なものとしては自動車などの万能試験機で慣性走行抵抗などを自動制御により等価的に補償し特性を試験するものなどがある。

3.3 化学工業、金属工業などのプロセス制御

オートメーションの進展に伴い工業計器が品質向上生産合理化にいかにか有用であるかが認識され、それに伴い各種計測器は著しく進歩発達しますますそれぞれの産業に応用せられるようになった。したがって要求される制御方式や測定方式も一段と高度の技術が必要となり、またプラントの規模が複雑高次化するとともに計器の数が増加し、計器相互の関係の運転監視を容易にするため、集中管理方式が採用され、その反応過程を一目瞭然たらしめるセミグラフィック、またはグラフィックパネル方式の採用につれて計器の小型化が要望されることにもなった。

日立製作所における工業計器も TO プラント、ポリ塩化ビニルプラント、クラフトパルププラント、均熱炉などのプロセス制御にその精鋭さを発揮している。

これらオートメーションに使用する計器としては、温度、流量、液面、圧力、ガス成分、液体成分、湿度、厚さ、放射線応用と、多機種にわたる。プロセス自動制御の最高度のものはプロセス最終製品の品質の均一化を目的とする終点制御と考えられるのでこの意味で分析計関係に力を注ぎ、滴定、赤外線分光光度計などの連続測定計器を逐次完成している。なお調節方式も電気式落下枠式のものから最近では空気式、電気電子管式の種々の調節計を中心とし、さらにプロセス過程の記憶判断をも行つて、統合的な制御すなわち計算機制御の研究を進めている。またプロセスの性質—応答性、正確性—を遠隔判断し優秀な計器を製作すると同時に需用者の立場に最も適切有利な制御方式を開発するため工場内にモデルプラ

ントを設け、検出方式の研究や、自動制御に対する基礎実験および応用実験を進めている。

3.4 その他

その他特殊なものに原子炉の自動制御がある。これで最も重要な装置は制御棒による炉内中性子束の制御ならびに緊急の時にただちに炉を停止して安全を保証する安全回路である。これらについて当社は政府の補助金の交付を受け試作研究を行い、十分満足する結果を納めた。

また最近東北大学に納入した水銀整流器は特殊の波形の大電流により極強磁場を作るためのもので、水銀整流器の格子制御の応用としては特殊かつ、高精度の制御の一例である。

3.5 自動制御用機器および自動計算装置

今まではすべて自動制御された装置の例を述べたが、これに用いられる自動制御機器および自動計算装置の進歩についても、簡単にふれておきたい。自動制御用増幅器のうち主として産業機械用に使用される回転増幅器 HTD は数年前より高利得の分割型となり磁気増幅器また、その使用鉄心の性能向上と相まって高利得のものとなつている。電子管増幅器のほか、トランジスターを使用した増幅器も実用化している。最近自動制御方式にデジタル制御が使用されることから、電子管式はもちろん、パラメトロン式、磁気式またはトランジスタ式の各種の計数回路がすでに実際装置に使用されてきている。また種々の電子計算機が開発された。アナログ計算機は高速度、低速度の両型式ともが完成し、たとえば運転曲算計算機、AVR 系などのシミレータとして使用されている。デジタル計算機は、技術面のみならず、事務の自動化の面でも注目すべきもので、いわゆる会計機のほかに、最近では記憶機能を利用した列車、航空機などの座席予約機がある。技術計算用の計算機として、最近完成したものは演算素子にパラメトロンを使用しており 10 進 12 桁の数字を取り扱うことができ、1 秒間に 250 回の加算または減算が行える。記憶容量は 2,048 語ですでに電線の弛度の計算などに利用され、威力を発揮している。アナログ計算機とデジタル計算機の相互連結のためアナログ、デジタル変換器またはその逆のデジタル、アナログ変換器が開発されつつある。

4. 結 言

以上当社の実施している自動制御を主として応用の立場からその概略を述べた。自動制御の応用は今後とも測り知れざる大きな前途をもっており、この実施を推進するためには、広い技術の協力が必要である。幸い日立製作所は、社内に各種の技術陣を擁しているので需用者の各位の御指導のもとにさらに今後のこの種技術の発展に努力したい念願である。

最近の日立製作所社員の自動制御に関する社外寄稿一覧

(その1)

(1) 自動制御の基礎理論と要素

題 目	氏 名	誌 名	巻 号	頁	年 月
プロセス自動制御のボード線図による検討	北 川	計 測	3 6	268	28— 6
プロセス自動制御のボード線図による検討	北 川	日 立 評 論	35 11	1,623	28—11
可飽和リアクトル型定電圧自動移相器	小野田	日 立 評 論	37 8	1,151	30— 8
自動制御系の図式による安定判別法	沼 倉, 三 浦	電 気 学 会 誌	76 810	256	31— 3
Discribing Function Method による非線形制御系の解析	沼 倉, 三 浦	電 気 学 会 誌	77	1	32— 1
パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定法	沼 倉, 三 浦	自動制御研究会資料 (I)	90	31	32— 5
パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定法	沼 倉, 三 浦	自動制御研究会資料 (II)	91	19	32— 6
パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定法	沼 倉, 三 浦	自動制御研究会資料 (III)	92	13	32— 7
パラメータを座標軸とする自動制御系の図式安定判別法	沼 倉	自 動 制 御	4 4	275	32—12
サーボ・ボード (資料)	鴨 井, 三 巻	エレクトロニクス	8	1,012	32— 8
過去の観測値による未来値の推定についての一試案	高 田, 島 田	日 立 評 論	39 11	1,333	32—11
電子管式アナログ計算の自動制御への応用	三 浦	自 動 制 御	4 3	205	32—10
A New Stability Criterion Linear Servomechanisms by a Graphical Method	沼 倉, 三 浦	Trans AIEE	76 2	40	32
フォトホーマの誤差に関する検討	三 浦, 阿 部	電 気 学 会 誌	78 833	186	33— 2
ツエロン回路とその改良型回路の研究	小野田	電 気 学 会 誌	78 838	873	33— 7
Bode 線図より自動制御系閉回路の過渡応答近似式を得る方法	小野田	自動制御研究会資料	97	25	33— 2
Bode 線図より過渡応答近似式を得る方法	小野田	自 動 制 御	5 2	58	33— 4
直流増幅器について	阿 部	自動制御研究会資料	100	21	33— 5
放射線計測用直流増	阿 部	エレクトロニクス	5	450	33— 5
シン ク ロ	不 破, 鴨 井	オートメーション	5 2	90	33— 4
レ ズ ル バ	不 破, 鴨 井	オートメーション	5 3	90	33— 6
レ ズ ル バ と そ の 応 用	小 倉	エレクトロニクス	6	589	33— 6

(2) 水 力 発 電 機 器

題 目	氏 名	誌 名	巻 号	頁	年 月
水車の自動運転化について	鯀 沢	日 立 評 論	32 2	85	25— 2
水力発電所の自動制御方式について	川 井	日 立 評 論	32 2	104	25— 2
水車调速機の機構	鯀 沢, 外 岡	生 産 研 究	3 9	340	26— 9
日立调速機について	鯀 沢	電 力	35 10	692	26—10
電子管を用いた小勢力振動型交流自動電圧平衡装置	小 林, 竹 村	日 立 評 論	34 2	383	27— 2
東北電力株式会社納沼沢沼揚水発電所の制御装置	森 井	日 立 評 論	34 5	649	27— 5
台湾電力公司納天冷発電所用制御装置および配電盤	広 吉	日 立 評 論	34 8	935	27— 8

(第23頁へ続く)