

日本の自動制御界現況

〔これはドイツの自動制御専門誌 REGELUNGSTECHNIK に近く
掲載される記事の邦訳である。引用した人名はこのため敬称がつけてない。〕

高橋安人編

一般¹⁾

プロセス工業、特に比較的大きい化学工場は既存のプラントの操業効率を改善したり新しいプラントのために自動制御を積極的に採用しようとしている、主たる工程に対して大規模な総合的制御を行う諸計画もある。

これらの趨勢に応じて計器会社の数や製品の種類も数年にして急増した。その結果競争も激化し需要者の知識や経験が増すにつれて良品がいかさま物を駆逐しつつある。

重工業方面でも諸自動調整装置が新しい部品やシミュレーション理論を用いて研究されている。

これらの状態は教育および研究界への要望も高めつつあるが、この方面ではまだ少数ながら特に若い年代層の非常に熱心な学者がフィードバック制御理論ととりくんでいる。(高橋安人)

線形理論^{1) 2)}

各種の制御系、特に圧力制御問題に関し寒川は2次大戦中に広汎な研究をした。それは彼の死後2冊の本になつて出版された。彼の研究はかなり古典的な微分方程式による解析ではあるが、多回路系や分布常数系など複雑なものも含んでいた。単純でない制御系の解析に適するテンソルの利用も若干の研究者が試みている。東京工大の中田は4端子の概念を用いて回路素子を結合する組織的手法を提唱した。同じ大学の田代は系の動作をマトリックス形に表わす手法を提案した。工業の諸問題には系をブロック線図に表わしてからそれを変換整理して解析するのが最も実用的計画法となる場合がよくある。寺尾は電気試験所で彼の試作した自動平衡式露点記録計の性能をこの手法によりしらべた。野本は2段および3段オートコントロールのような複雑な系の機能をしらべて制御特性を明らかにした。工業界にふえつつある多変数系についての組織的研究も非常に要望されている。たとえば笠井は2変数系を研究して、その機能上からの分類法を提案した。

アメリカの Vazsonyi と類似の見地から増淵は減衰係数を推定した場合のループゲインシミュレーションの一例を示した。また伊沢はこれに使う型紙を提案した。近年閉ループシミュレーションに使われはじめた根軌跡法では野本がむ

概 要

自動制御の理論と実際とは欧米におけると同じく日本でも急速に進歩中の重要な応用科学分野である。本稿は8人の筆者の協力によりこの国における本分野の現況を簡単に展望する。

だ時間のあるプロセスや分布系のよりに超越項を含むものへこれを発展させた。彼の研究によると超越項のために根軌跡は無数の枝に分れる。それらの枝が系の特性にどう作用するかは軌跡の特性から容易につきとめられるものである。根軌跡を実用

化するために鴨井は走査装置を用いてブラウン管の上に軌跡を出す機構を考え試作している。一般的にいつて制御理論は学界ばかりでなく制御系の設計にもかなりよく消化されているとみられる。統計的手法も注目されている。たとえば高見はこれを実際の平炉の研究へ応用し、高橋は東京ガスの発熱量制御精度の研究に応用した。また高橋は自動車振動にも応用した。それは路面のどこぼこを定常不規則と仮定し、車輛を線型フィルタとみて振動を定量的に推定するものである。最近佐藤は自己相関かん数を算定する際の時系列の期間選定に関し覚書を公表した。(野本明)

周波数応答法³⁾

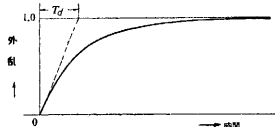
特にアメリカで発達したこの方法の重要さはいち早くこの国の制御工学者の注目するところとなつた。基本原理自体はすでに高度の発展をとげていたので、主たる寄与はそれの実際応用に関するものだつた。たとえば高橋はこれを熱変換器へ応用した。

周波数応答の実測は制御工学者もシステム設計者も試みている。たとえば北辰会社の小林は機械的に正弦波入力をつくる特殊の空気式試験機を用いて彼の会社の製品たる空気式調節器の周波数応答を求めた。東京計器の早瀬は応答がブラウン管上にリサーチ図形をえがく試験装置を組立てた。大島は万能正弦波発信機構をもつサーボ試験機を製作した。中田および池辺は周波数応答法および過渡応答法によつて油圧制御系を実験的に研究した。(野本明)

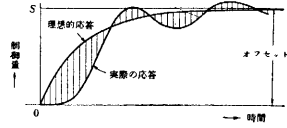
最適調整公式⁴⁾

プロセス制御性および最適調整値を推定するのに、ジエグラ・ニコルズ公式は広く制御技術者達の使うところとなつている。高橋は図解法によつて代表的制御系の過渡応答をえがく方法を考え、単位ステップ状外乱に対する過渡応答の制御面積を最小にするための調節器調整量を求めた。彼と堀とはこの研究をさらに拡張して外乱が

一つの時定数 T_d をもつ場合も研究した (第1図)。このとき制御面積は第2, 3図の斜線部分の面積であると定義する。第4図でA型と定義したプロセスに対し最小制御面積を与える比例帯, リセット率, 微分時間は第5~7図のようになる。第8図は外乱がゆるやかになる,



第1図 対数曲線外乱

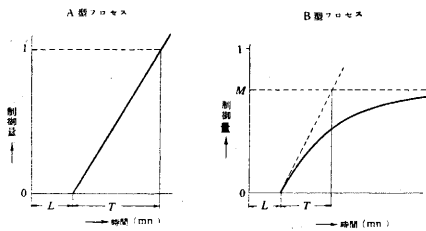


第2図 P制御の制御面積

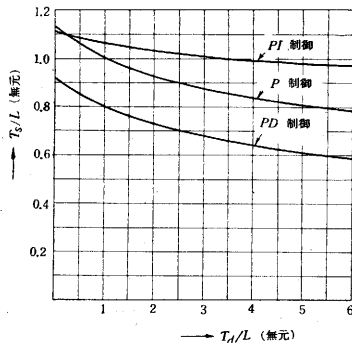


第3図 PI制御の制御面積

のP, PI制御では最適条件はジエグラ・ニコルズの第1種最適調整公式と事実上一致する。



第4図 操作量の単位ステップ変化に対する制御対象の過渡応答



第5図 A型プロセスの最適比例帯“S”

伊沢は主として化学方面の若干研究論文に示された最適条件を代表応答成分の減衰係数によって比較し, それらは常に振動状であること, そして係数が0.2~0.4の間にあることを見出した。(高橋安人)

非線型問題⁵⁾

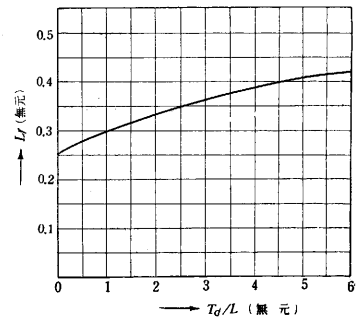
制御回路における摩擦, バックラッシュ, 飽和性などによる非線型性, 流体摩擦による連続的非線型性などの

作用は近似線型化とか応答の幾何学的追跡によつて, 非線型振動問題と同じように扱われる。

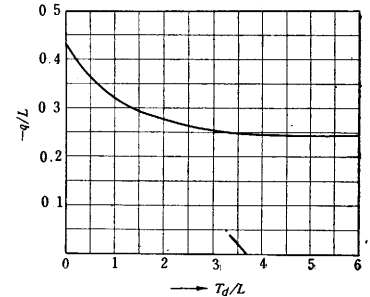
たとえば伊沢は不動帯のある単速度動作その他を拋物線形の型紙によつて追跡する幾何学的手法を発表した。さらに伊沢は位相面を使う方法をペニシリン培養槽のオンオフ制御問題解析に応用した。彼の理論値は実験結果とよく一致した。藤井らもまた不動帯のある系, 比例動作の限られた系, 摩擦とバックラッシュのある系を位相面および模型試験で研究して両者の一致をたしかめた。

解析的研究として西原, 榎木, 沢村はクーロン摩擦のある制御系を停滯の作用も考慮に加えて解いた。彼等は非線型力学でのいわゆる等価線型抵抗に立脚する近似解を求めた。また彼らは

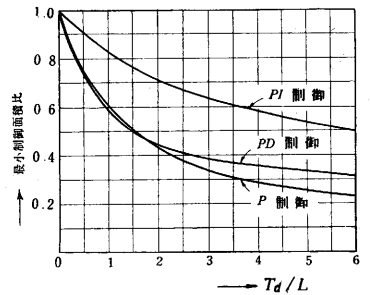
非線型積分動作を部分的直線および3次曲線でおきかえて解き, 安定限界と定常振幅を求め, 小さい定常振幅の有効な利用法にもふれた。池辺および藤井はそれぞれ油圧式制御装置の解析をやつている。堀は圧力検出端の非



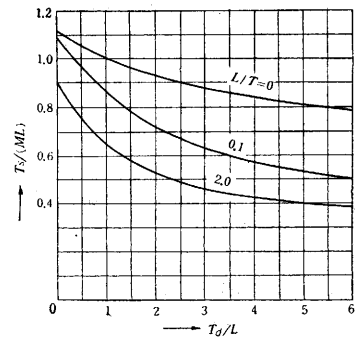
第6図 AプロセスのPI制御における最適リセット率 r (1/mn)



第7図 A型プロセスPDの制御における最適微分時間 q (mn)



第8図 最小制御面積におよぼす T_d の作用 (A型プロセス)



第9図 B型プロセスのP制御における最適比例帯

線型性を振幅のかん数としての時間おくれで置換し、小さい外乱では安定だが大きい外乱のとき不安定となるシステムの可能性を指摘した。これらの諸非線型論は、たやすくはないが、次第に実在現象と理論との不一致をへらしていくだろう。(藤井澄二)

断 続 制 御

サンプリング動作の計器に見られるような制御についての理論は少い。1次おくれにむだ時間のついた $e^{-\lambda s}/(1+Ts)$ という形の制御対象と、検出時間間隔 d でむだ時間 h のあるオンオフ調節器よりなる系の解析により、伊沢は外乱が一定なら位相面解析が使えること、この系は $e^{-\lambda s}/(1+Ts)$ なるオンオフ制御系と同等であること、ただし λ はつぎの確率により統計的に求まる見かけのむだ時間であることを論じた。

$$P(\lambda) = \begin{cases} \frac{1}{d} & : h < \lambda < h+d \\ 0 & : \text{その他} \end{cases}$$

外乱が不規則に変動しているときでも、それが緩慢ならば、PD検出が非常に有効で制御量の変動抑制に効果がある。また最適調節条件は rms または分散から導かれる。(伊沢計介)

アナログ計算機

フィードバック制御系のアナリシスおよびシミュシスの道具としてのアナログ計算機の重要性は次第に研究者および設計者の関心をよびはじめた。その研究および応用が活ばつてきた。

いまこの国で動いている計算機の数はまだ多くはないが、国産品および輸入品によつてふえつつある。野村は電子式微分解析機的设计公式を求めた。また彼は時定数 8 箇のシステムで任意の非線型性を含むものまで扱うことのできる中型計算機を製作した。同じものは日立中央研究所でも製作された。これらはいま各種の問題を扱うのに活ばつて使われている。高井は回路網解析機式の計算機を製作した。同じようなものは東芝鶴見研究所でもつくられた。高橋は機械式フーリエ合成機をつくつた。これは 19 次まで合成でき、周波数応答法による計算に活用される。アメリカ・フィルブリック社の GAP/R 計算機も 2 組輸入された。他の型式も間もなく輸入される予定である。

アナログ計算機を実際に応用する場合の一つの大きな問題は諸制御回路要素の伝達かん数をどうきめるかということである。この点は特に電気工学界で認識され、多くの努力が払われている。なお磯部は電解槽の等ポテンシャル線を追跡するサーボ機構製作に成功した。

(野村民也、伊沢計介)

実 際 の 応 用

電気機器その他の分野にも着実な進歩が見られるが、

自動制御応用の最も顕著な進歩が行われているのはプロセス制御方面である。すでにかんりの発達をとげた石油精製方面は別として、合成化学工場その他のプロセス工業ではますます自動制御の重要性を認識しつつある。しかしこれまでは多くのプラントは多分に控え目であった。その理由の一つは装置がかなり高価なこと(簡単なプロセス調節器 1 組は普通の労働者の約 1 年の給料に当る)、また経営者が自動制御のもたらす経済的技術的利点および自動制御の信頼度について十分になつてくしていなかつたこと、さらに自信や経験の不足、またさらにこの国も不注意な使い方や不良製品による若干の失敗を経験する点で例外ではなかつたことなどによる。

同時にこれらの事情はプラント技術者に対する制御工学教育の重要性について一般の関心をひきおこした。一般的にいうと大工場の若干では啓蒙時代はすでに過ぎて円満な基盤にたつて自動制御の能力を活用する段階になつてきている。自動制御により運転する大仕掛なプロセスの多くは各社の秘密に属するので、一般に公表されている例はごく僅かにすぎない。その一つとして東京ガスでは荒木が極めて精密な発熱量制御に成功した。その検出端たる湿式熱量計はかなりのろまなものだが、彼は巧な配列と混合タンクの平均化作用によつて制御に成功した。他の例として別府化学がある。ここでは 1949 年に硫酸プラントの集中管理へ第 1 歩をふみだした。

製紙工場では製紙機械の自動制御運転が各所で試みられ成功している。他方小野田セメントでは粉碎音(2000~4000 cps)を制御量にとつて微粉機のフィード制御に成功した。それは微粉機内の粉量がデシベル単位の音量に逆比例するという関係を利用してゐる。この自動制御によつて粉砕能力が 10% 増大すると共に製品の品質も均一化された。なお多くの分野で急な進歩が行われているので、今後もつと多くの面白い例がぞくぞくと報告されるだろう。

近年の顕著な傾向の一つとして各社による電子管式自動平衡計器の製造が挙げられる。代表的計器会社のうち山武計器は空気式や電子式のブラウン計器を製造している。空気式、電子式は北辰、島津、横河等の各社も製作している。その多くは P または P I 調節器である。東京計器および大倉電機はそれぞれ変つた電子式調節器を製作している。ジューメンス式調節器で知られているのが富士電機である。噴射管式制御装置は日本レギュレータがアメリカアスカニヤと、東京機器工業がメルリンアスカニヤとそれぞれ結びついて製作しており、特に鉄鋼界その他の圧力制御等に広く用いられている。これら各社にはそれぞれの業績がある。たとえば島津製作所は管路のロタメータの動きによるインダクタンス変化で流量を検出する鋭敏な電子式流量調節計を製作した。検出端には耐蝕材を用い、腐蝕性流体の少量(1,000~10,000cc/min)

の制御に成功したのである。

ボイラ制御とはといえば、戦前は主として大容量プラントへ応用され、ジューメンズ型が最初のものであった。最近ではもつと小さい工業用および船用ボイラにも応用されている。戦後の他の進歩としては平炉の制御がある。たとえば設楽は入幡製鉄に近代的計装を施した。今日におけるサーボ機構の代表例にはジヤロパイロットとならない削りがある。東京計器はスペリー社と提携して微分動作つきの新型をつくりはじめた。また北辰は独特の新型を発展させずに20隻以上の船にとりつけた。これはオンオフ式で特殊の微分動作をそなえている。池貝社は油圧式ならぬ旋盤を製作している。日立社もまた自社でならぬ旋盤を製作し、機械加工の自動化もようやく一般の注目を惹くに至つた。

(高橋安人, 大島康次郎, 河東準)

教 育

自動制御の講義をする大学数は急にふえてきている。それらの大部分は電気、機械および時として化学工学の学生に対するもので、多くは半年間毎週2時間である。大学院学生に自動制御を講義する大学もある。たとえば早稲田大学では電気、機械、化学工学からの約40人の学生が1年間毎週2時間の講義をきいている。

特に生産工場の若い技術者の多くはフィードバック制御の理論と実際を熱心に学ぼうとしている。この傾向に応じて多くの機関が短期講習を開催した。たとえば1953年9月に自動制御研究会は2日間の講習会を開き9人の講師が12時間にわたり自動制御理論、実際の計算、展望および応用を講義した。これには全国から200人以上の熱心な聴講者が集つた。

各所に自発的に形成される勉強グループの重要な役割も見逃すことはできない。たとえば三菱化成黒崎工場における自動制御の急な進歩はそのような背景をもつプラント技術者によるところが大きいだろう。(高橋安人)

学 会 活 動

2大会会すなわちそれぞれ約20000人の会員をもつ機械学会と電気学会はこの新分野を発達させるのにかなりの関心を示している。その一結果として2年前に両学会の対応専門部会により連合自動制御委員会が生れた。この委員会の主たる目的と活動はこれまでは用語の標準化であつて最近に至り第1次原案ができた。

電気学会および機械学会の大会で発表される論文数もふえてきた。たとえば電気学会の秋の大会(1952年10月)では20編以上が発表された。それらはアンプリダインとロトロールの応用、磁気増幅器の改善および応用、手動制御、アナログ計算機、工業計器の特性、非線形理論等であつた。

電気学会および機械学会からそれぞれ出している便覧にも自動制御が新たにつけ加えられた。機械学会誌の10月号(1953)は自動制御特集で、理論と実際の展望や最近の話題ばかりでなくサイバネティクス関係のものまで含み、それらの若干は欧米の専門家が寄稿した。

またわれわれは自動制御に関心をもつ学者および技術者よりなるグループをもっている。現在では会員約300を数え、会員の研究発表や論文紹介および情報交換のための月例会合を東京で開いている。このグループでは自動制御文献題目集を編さんした。目下もつと大きな学会へと改組中である。

文部省は機械、電気、計測工学および数学者よりなる21人の学者グループへ3年にわたり総会研究費を支出した。このグループの目的は自動制御理論体系確立にあり、その成果は明年本となつて出版される予定である。

もつと広いサイバネティクスの分野に関しては北川により最初の会合が昨秋開かれた。この会合で北川はこの分野を数学面から論じ、本川は物心両面からの人体機構と挙動に関する論文を発表した。第2回会合は1953年9月に開かれた。その主題は自動制御とインホメーション伝達についてであつた。自動制御工学の現状に関する高橋の講演に対し特に量子化への傾向についての対議があつた。時実は筋肉系をサーボ機構的に見て神経系を量子形で通るシグナルを数量的に論じた。次回の会合は計算機と頭脳活動を主題として来春開かれるべく予定されている。(高橋安人, 沢井善三郎, 大島康次郎)

文 献

1) 書 籍

- 寒川武, 自動制御の理論と実際, 1, 2巻, 機械学会(1948)
 高橋安人, 自動制御, 科学技術社, (1949)
 オッペルト, 基礎自動制御論, 連続自動制御編, 高橋安人邦訳, 科学技術社(1953)
 オルデンブルグ, サルトリウス, 自動制御の力学, 高橋安人, 伊沢計介邦訳, 誠文堂(1953)
 コントロールエンジニア, 第1集, 高橋安人編, (1952) 誠文堂, 第2集, 沢井善三郎編, (1953), 同, 別冊, 高橋安人編, (1953) 同
- 2) 野本明, Contribution to the Root Locus Analysis of the feedback Control System, Proc. 2nd Jpsn Nat. Congress for Appl. Mech., (1952) (359).
 笠井湧二, 電気試験所報告 15, 5 (1951)
 寺尾満, 計測 3, 5 (1953)
- 3) 高橋安人, Regelungstechnik, 2, 1 (1953)
 寺尾満, 村山錦石, 電気試験所報告 16, 7 (1952)
 池辺洋, Fundamental Research on Hydraulic Servomotor, Proc. 2nd Jpsn Nat. Cong. for Appl. Mech. (1952)
 中田孝, 山田鉄夫, 池辺洋, Numerical analysis of Transient phenomena, Proc. 1st Japan Nat. Cong. for Appl. Mech. (1951)
 高橋安人, 目片康男, 噴射管式自動調整装置の周波数特性, 生産研究, 5, 6 (1953) 124
- 4) 高橋安人, 1に記した彼の著書
 伊沢計介, 機械学会論文集, 17, 63 (1951)
 5) 伊沢計介, 機械学会論文集, 18, 70 (1952)
 西原利夫, 榎木義一, 沢村泰造, 機械学会論文集, 17, 64 (1951), 同 19, 79 (1953)
- 6) 野村民也, 生産研究, 5, 5 (1953)
 高橋安人, 目片康男, 同 5, 6 (1953)
- 7) 電気工学ハンドブック, 16編, (1951), 電気学会, 機械工学便覧, 1951年版, 3の7 (1953) 機械学会, サイバネティクス, 北川敏男編, (1953) みすず書房