

氏 名	福 田 武 人 ふく たけ ひと
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 博 第 143 号
学位授与の日付	昭 和 43 年 9 月 24 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
研 究 科 ・ 専 攻	工 学 研 究 科 数 理 工 学 専 攻
学 位 論 文 題 目	Fundamental Research on Problems of Nonlinear Servo-Systems (非線形サーボ系に関する基礎的研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 榎 木 義 一 教 授 得 丸 英 勝 教 授 明 石 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、主として二次元非線形サーボ機構の非線形補償問題に対して理論的および実験的な研究を行なったもので、これに関連した二、三の基礎的な非線形サーボ系に関する議論も含めて7章から成っている。

第1章は、二次元サーボ機構による図形追跡の問題点を基礎的な立場から論じたもので、以下の2章の準備としている。すなわち、互いに直交する2軸に組み合わされた二つのサーボ機構を用いて、2直線で構成される図形を追跡する場合に図形のかどに生ずる行き過ぎ量と切り込み量を評価している。その結果、線形サーボ機構のみならず非線形サーボ機構によっても、生ずる行き過ぎ量は図形のかどが直角の場合に最大になることを示している。切り込み量は、実際は行き過ぎ量にくらべて少なく、速応性の面からいっても行き過ぎ量を重視することが妥当であると述べている。また、同様な解析が三次元の図形についても適当な座標の選択によって行なえることを示している。

第2章は、線形補償回路の導入によって二次元非線形サーボ機構に用いられる非線形サーボ機構の安定化および過渡特性の改善を行なったものである。補償回路として、比例+微分要素を導入し、微分要素のゲインを大きくすることによって行き過ぎ量のある程度少なくすることができるが、系が不安定になることをアナログ計算機およびモデルを用いた実験によって確かめている。そこで微分要素の出力側にCR進相回路を導入し、系の安定化を図っている。

第3章は、追跡速度の大小にかかわらず行き過ぎ量を与えられた許容誤差範囲内におさめるための非線形補償の問題を考察したものである。一般に、追跡速度を大きくすれば、それに対して行き過ぎ量は増加する傾向にある。よって上記の問題は制御工学上きわめて興味ある問題である。非線形補償要素は、逆記述関数法を採り入れ、実験データを用いて決定している。その結果、導入されるべき非線形補償要素は、実用上、不感帯要素が最適でモデル実験によって所要の条件を十分満足していることを確認している。

第4章は、前章までに扱った非線形サーボ系の安定性を検討するもので、多くの非線形要素を含む制御

系の安定問題としても興味深い。安定解析は、マイナーループ部の線形化と記述関数法を使って限界ゲイン曲線を作図し、安定限界を求めることによってなされている。この解析においては、系に本質的に含まれる非線形要素、特に飽和要素とバックラッシュの安定性に及ぼす影響を巧みにとらえ、新たに導入された不感帯要素の効果も調べている。

第5章は、非線形サーボ系の可追従性の概念を定義し、可追従性と安定性との関係を検討したものである。すなわち、ある入力に対して非線形サーボ系が追従するかどうかを判定するためには、適当な変換によって修正された系の漸近安定を論ずればよいことを示している。この概念を実在のサーボモデルに適用し、そのモデルがランプ入力に対して追従しうること確かめている。また、追従性能の向上についても絶対安定条件を求める方法を工夫することによって可能であると論じている。

第6章は、非線形制御系の過渡応答を求める近似手法を提案したものである。特に、解法の実用性に重きを置くという立場から、計算手順が非常に簡単で、かつ実用的には十分許容しうる程度の精度が得られるような近似手法について考察している。近似の着眼点は、応答時間を十分短い区間に分割すれば、その区間ではフィードバック量を一定値または直線で近似できる点にある。この考え方に基づいて、非線形関数を時間に関してテラ展開し、二次以上の項を無視し、閉ループ系を開ループ系に近似し、前向き経路の応答を逐次求めている。この近似手法の精度を厳密解の求められる系について近似解を求め、時間の分割幅および系のパラメータを変えて検討している。その結果、系のパラメータによっては、非線形関数の展開項の打ち切り影響が著しく、必ずしも項数が多い方がよいとはかぎらないことを指摘している。また、応用例でも示しているように、実在の複雑な非線形サーボ系の過渡応答も工学的に十分な精度で評価しうる。

第7章は、SCRサーボ増幅器を用いた高速サーボ系の解析を試みたものである。先に改善された非線形サーボ機構は磁気増幅器を使用したものであったが、鋼板の自動ガス切断作業のみならず、マーキング作業への応用をも考えた場合には、より高速のサーボ系の開発が期待され、そのためより高性能のサーボ増幅器を工夫する必要がある。本研究では、近来著しく脚光を浴び小型、軽量ながら非常にすぐれた特性を有するシリコン制御整流素子(SCR)を導入している。これによって、先の磁気増幅器にくらべて約3倍の追従性能の向上が得られている。また、この性能改善を助ける二つの補償回路、すなわち、静特性改善のためのLOW-pass filter 回路およびツェナーダイオードを含む動特性改善のための補償回路の効果を、サーボモデルの実験結果を吟味しながら順を追って明確に解析している。また、もともとSCRそのものの特性が顕著な非線形特性を有するため系全体の解析を困難ならしめるが、これを克服するための試みとしてSCRの波形のアナログ計算機によるシミュレーションを行なっている。シミュレーションの結果から、より効率のよいSCRサーボ増幅器を設計するためには、電源周波数を高くすればよいと述べている。

論文審査の結果の要旨

機械工業において、生産過程にオートメーション技術が急速に採用されつつあることは周知のことであるが、とりわけサーボ機構の果たす役割りは極めて大きい。著者は、こういう時点において、サーボ機構の一つの重要な応用面である図形追跡サーボ機構を例にとり、非線形サーボ系に対して基礎的な立場から

理論的ならびに実験的な研究を行ない、かつ、過渡的および定常的両面からサーボ機構を把握し、いくつかの興味ある成果を得ている。特に、系に本来存在する非線形特性を巧みにとらえ、積極的に新たな非線形要素を導入して制御性能の向上に役立てている点は注目に価する。

まず、二次元サーボ機構による図形追跡問題において、実際の応用面からみて考慮されねばならない問題点を明らかにし、それに対する評価の仕方を述べている。特に、近来、わが国の造船工業の飛躍的発達に大いに寄与しているところの製造工程の合理化の一つである鋼板の自動ガス切断およびマーキング作業へのサーボ機構の応用を目的とし、その面からの検討を重点的に行なっている。

実際、図形を追跡する場合に追跡速度の大小にかかわらず、図形面に生ずる行き過ぎ量や切り込み量がある許容誤差範囲内におさめることが望ましい。この問題は、制御工学上非常に興味深い、非線形制御理論、特に非線形要素の積極的利用という観点に立って解決している。しかも、その際導入されるべき補償要素の決定手順は、簡単で実用性に富んでいる。

続いて、安定問題に対しても著者は十分な解析を行なっている。元来、実在のサーボ系は何らかの形でいくつかの非線形要素を含んでおり、その安定解析は困難とされている。しかしながら、著者はこの困難さを克服し、非線形要素の系の安定性におよぼす影響を詳細に検討している。

つぎにとりあげている問題は、非線形サーボ系の追従性に対する基礎的な研究である。サーボ機構は、いわゆる追従制御系として構成され、本来追従性の問題は重要である。しかしながら、未だ十分に基礎的な立場からの研究はなされていない。そこで、著者は、サーボ系がある入力に対して追従しうるかどうかが、すなわち可追従性の概念を導入して、これが簡単な変換によって漸近安定の概念と結びつくことを見出している。また、現在非線形制御系の安定問題の中心をなしているいわゆる絶対安定の概念にも考えを拡げている。ついで実在の非線形サーボ系に、この概念を適用し、物理的意義を考慮しながらその可追従性を吟味している。このように従来ややもすれば理論のみに終始する傾向のあった安定問題を、実際の現象と結びつけるという努力は高く評価されるべきである。

つぎに非線形サーボ系の解析ならびに設計において古くから関心事である過渡応答を近似的ではあるが解析的に求める方法を提唱している。特に、工学的見地から解法に実用性を持たせることに重点を置き、計算手順の簡略化を行なっている点に特徴がある。しかも、その精度は工学的に十分なものである。具体例について系のパラメータと解の精度の関係について吟味を行なっている。また、複雑な具体例を解いて、適用範囲が広いことを示している。

さらに、サーボ系の高速化に関する研究を、新しい半導体素子であるSCRを用いたサーボ増幅器を使用して試みている。特に、実際のサーボモデルを使ってのいろいろな角度からの実験によって、静特性ならびに動特性改善のための補償回路の効果を理論的考察も加えながら明確にしている。また、将来のこの種の要素の果たす役割り重要性を見通し、解析、ならびに設計を容易ならしめるべく、SCRそのもののアナログ計算機によるシミュレーションを行なっている。

これを要するに、本論文は非線形サーボ機構特に二次元非線形サーボ機構に関し種々の角度から基礎的な解明を行ない、ややもすれば理論のみにしりがちな非線形制御理論を、実際的な問題と関連づけ、幾多の実用的かつ有効な結果を提供するとともに、従来から解析困難な分野である非線形問題に対し近似的

ながら理論的解決策を与えており，学術上，工業上寄与するところが少なくない。よって，本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。