

報告番号 ※ 甲 第 1488 号

## 主論文の要旨

題名 線形システムの構造可制御性  
に関する研究

氏名 早川 義一

# 主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号 氏名 早川 義一

## 線形システムの構造可制御性に 関する研究

1960年以降の“状態”の概念を用いた現代制御理論の根幹を成すものの一つに可制御性・可観測性の概念がある。これらの概念は、制御対象への入力既知の下で、制御対象の出力観測から制御対象の状態を知り得るか（可観測性）、また、制御対象の状態を知り得ても、果たして、適当な入力印加により、状態を希望の状態に制御できるか（可制御性）という、本来の概念にとどまることなく、制御理論の多くの基本的な問題を明らかにしてきた。このことは、特に、線形制御理論に多くの例をみることができ、伝達関数と状態方程式表現との関係（正準構造定理）、最適レギュレータ問題の完全な解決、Luenbergerの状態観測器、Wonhamの極指定などを挙げることができる。このように、制御系の解析・設計において、制御系が可制御・可観測であるかどうかを判定することは必要不可欠なことからである。

## 主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 早川 義一

線形時不変系の可制御性を調べるには、よく知られているように、可制御行列と呼ばれる行列のランクを調べればよい。しかし、現実の問題では、制御系のパラメータの値が正確にわかっていることはまれであり、数値計算上の誤差をも考えると、このランクの計算はそれ程容易でない。

この問題に対し、C. T. Lin は、制御系の物理的構造に着目し、制御系内の結合関係の有無だけに依存する可制御性、すなわち、構造可制御性という概念を提案した。具体的には、Lin は、制御系の物理的構造を

- (1) 状態方程式の係数行列の各要素は零に固定された要素（零固定要素）と、そうでない要素（変動要素）に類別される。
- (2) 変動要素はそれぞれの間には特別の関係がない独立なパラメータとみなされる。

ととらえ、このとき、独立なパラメータの値がほとんどのように変化しても系が可制御となるとき、その系を構造可制御な系と呼んだわけである。この構造可制

# 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川 義一

御性の概念は、与えられた制御系の可制御性の新しい（数値計算上の問題点を回避した）判定法を与えるに与えらるることなく、従来の制御理論に新しい側面からの問題を提起しつつある。すなわち、制御系の物理的構造に着した制御理論展開であり、構造可制御性の研究を基礎に、制御系の定常特性を表現するシステムタイプの構造的な見方、制御対象のパラメータ変動に強い頑健な（robust）サーボ補償器やレギュレータ補償器の設計、そして大規模システムの故障、診断等に役立つ構造可同定性の問題などが注目され、研究が始められたばかりである。

しかし、Linの制御系の構造のとらえ方に対する反省もある。確かに、上記の条件(1)、(2)のうち、条件(1)は系内の結合関係の有無を反映するものとして比較的受け入れやすいものであるが、条件(2)のように系の物理的構造を把握することは必ずしも現実を反映するものではない。力学系や電気回路網などを記述する状態方程式ではLinが独立なパラメータとみなした係数行列の要素（変動要素）間に従属関係

# 主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 早川 義一

があるのが普通であり、この従属関係は、系の物理的構造に起因して規定される。

本研究の目的は、このような反省の上に立ち、変動要素間の従属関係をも考慮した構造可制御を考察し、その判定条件をグラフ理論的に確立するとともに、その結果を基礎として、線形コンパートメントシステムや回路網システムの構造可制御性とコンパートメントグラフや回路網グラフとの関係を確立することである。

本論文は、序章、結言の他4章から構成されている。以下各章の内容を簡単に要約する。

第1章序論では、構造可制御性の意義と従来の研究及び問題点について述べ、本研究の占める位置および目的を明記した。そして、各章の内容を簡単に説明し、本論文の概要を述べた。

第2章では、まず最初に、線形時不変系の状態方程式とそのグラフ表現である Coates グラフとの関係を述べた。さらに、この章では、本研究で考察される拘束構造化システムを厳密に定義した。これは、Lin の制御系の構造のとらえ方のうち、条件(2)を

# 主論文の要旨

報告番号 ※甲第 号 氏名 早川 義一

次の条件 (2°) を置き換えたものであるということが出来る。

(2°) 係数行列の同一列 (あるいは行) に位置する  
変動要素間には線形従属の関係が存在してもよい。  
ただし、異なる列 (あるいは行) に位置する変動要素の  
間には何らの従属関係も存在しない。

これらの準備をもとに、拘束構造化システムの特性方程式のある既約性と Coates グラフの強連結性との関係を明らかにした。

3章では拘束構造化システムのモード (特性方程式の根) に関して、非零モードの可制御条件と零モードの可制御条件を個別に考察することにより、拘束構造化システムが拘束構造可制御であるための必要十分条件を得た。この必要十分条件は、拘束構造化システムのグラフ表現である Coates グラフの構造に関する条件 (accessibility) と変動要素間の従属関係を表現する数値行列のランク条件という2つの条件で与えられ、前者の条件は非零モードの可制御性を意味し、後者の条件は零モードの可制御性と等価なものである。特に、非零モードの可制御条件

# 主論文の要旨

報告番号 ※甲第

号 氏名

早川 義一

を考察するに際して、オ2章の結果が重要な役割を果たした。

オ4章では、オ3章の結果を用い、線形コンパートメントシステムの構造可制御性とコンパートメントグラフの構造との関係を明白にした。従来、線形コンパートメントシステムの構造可制御性に関しては、特殊な構造（ただ一つのシンク）を有する場合だけ、その必要十分条件が知られていた。この章で得た結果は一般的な構造（複数のシンク）を有する場合にも適用できるものである。

オ5章では、電気回路網システムの構造可制御性について述べた。つまり、構造可制御性と回路網グラフの構造との関係である。従って、この章の結果は、電気回路網システムにとどまることなく、機械系、流体系（音響系、液体系）、熱伝導系、拡散系など、電気系とのアナロジーを有する広範な線形システムに適用することができる。この章では、まず最初に、状態方程式と回路網グラフとの関係を述べた。そして、回路網グラフに狭義の現準本

# 主論文の要旨

報告番号

※甲第

号

氏名

早川 義一

が存在する場合の構造可制御性と回路網グラフの構造との関係を確立した。これは、 $\alpha$ 3章とほぼ平行した議論によって得られた。一方、回路網グラフに狭義の規準木が存在しない場合には、線形時不変系の状態方程式の範囲内で考察することができず、中間標準形方程式の中間変数に関する可制御性・可到達性と回路網グラフの構造との関係を考察した。

$\alpha$ 6章結言では、本論文の研究の総括を行ないさらに今後に残された課題及び問題点を指摘した。