



Title	Studies on the Hankel Singular Value for Rational Approximation of Input Delay Systems
Author(s)	黄, 弐鉄
Citation	大阪大学, 1996, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39746">https://hdl.handle.net/11094/39746</a>
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、<a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">大阪大学の博士論文について</a>をご参照ください。

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名	黄式鉄
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第12507号
学位授与年月日	平成8年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科電子制御機械工学専攻
学位論文名	Studies on the Hankel Singular Value for Rational Approximation of Input Delay Systems (入力むだ時間系の有理近似化のためのハンケル特異値に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教授 池田 雅夫 教授 大川 善邦 教授 前田 肇

### 論文内容の要旨

本論文は、入力むだ時間系の有理近似化のためにハンケル特異値、特異ベクトルの計算方法とそれらの解析的な性質を研究した成果をまとめたものであり、緒論、本論3章、結論からなっている。

緒論では、ハンケル作用素が線形系の低次元化など制御理論で重要な役割を果しているという背景と、むだ時間系に対してハンケル特異値を計算するという本研究の目的および意義を述べている。

第2章では、数学的準備として、ハンケル作用素、準分離核関数をもつ積分作用素およびヒルベルト空間での有界かつコンパクト作用素の主な性質などを述べている。

第3章では、入力に一つのむだ時間を含む系のハンケル特異値を計算する方法とその性質について述べている。系が時不変である性質に着目し、そのリフティング系に基づいて可制御および可観測グラミアンを計算し、そのグラミアンが準分離核関数をもつ積分作用素で表されるという性質を示している。そして、その性質に基づいて、グラミアンをボルテラ作用素と有限次元作用素の和で表し、单一入力むだ時間系のハンケル特異値をグラミアンの固有値問題により構成される超越方程式を解くことによって計算する方法を導いている。それと同時に、本研究と従来の結果が変換行列関数で結ばれていることを明確に示した。従来の結果と別の方法でハンケル特異値が計算できることを示したことにより次章での複数むだ時間系への理論の適用が可能となっている。さらに、非負であるコンパクトな自己共役作用素のミニマックス定理を用いて、ハンケル特異値の上界と下界を求め、むだ時間が増加するにつれ、すべてのハンケル特異値が単調増加する性質を証明している。この単調増加性により、むだ時間が増加することによって集中定数系に及ぶむだ時間の影響が大きくなることを明かに示している。

第4章では、入力に複数のむだ時間が存在する系のハンケル特異値を計算する方法を提案している。单一入力むだ時間系と同じように、リフティング系の可制御および可観測グラミアンを計算し、むだ時間要素の比がすべて有理比の場合と、非有理比であってもむだ時間の数が2である場合には、グラミアンが準分離核関数を持つ積分作用素であることを明確に示している。その性質に基づいて、複数の遅れをもつ入力むだ時間系のハンケル特異値を超越方程式の解から得る計算方法を導いている。さらに、得られた結果が、グラミアンの固有関数を特徴化することによって導かれる2点境界値問題の初期値が存在する条件であることを示し、单一入力むだ時間系についての従来の結果が複数入力むだ時間系にも拡張できることを示している。

また、入力むだ時間系の有理近似における上記の結果がもつ有用性を、簡単な数値例題を通じて確認している。ハ

ンケル特異値と特異ベクトルに基づいた打ち切り出力正規実現は、パデー近似の周波数応答より低周波域での近似誤差は大きいが、高周波域では小さいことを示し、ステップとインパルスに対する時間応答よりむだ時間の影響が表れる時間域でパデー近似よりむだ時間系固有の性質を良好に保っていることを示している。

結論では、以上の結果をまとめて述べ、本研究の意義と今後の課題を述べている。

### 論文審査の結果の要旨

本論文は、入力むだ時間系の有理近似化のためにハンケル特異値と特異ベクトルの計算方法、およびハンケル特異値の解析的な性質に関する研究を目的としたもので、主な結果を要約すると次のとおりである。

1) 入力むだ時間系の可制御および可観測グラミアンが、系のリフティング表現に基づいて計算され、それらが準分離核関数をもつ積分作用素である性質を示している。特に、入力に複数のむだ時間が存在する系のグラミアンが、むだ時間がすべて有理比である場合と、非一有理比であってもむだ時間の数が2つである場合には、準分離核関数をもつ積分作用素であることを明らかに示している。

2) グラミアンの準分離性を用いてグラミアンの固有値と固有ベクトルの計算法を導くことによって、入力むだ時間系のハンケル特異値と特異ベクトルが、集中定数系のグラミアンと時変な同次微分方程式の基本解の終端値で構成される超越方程式の解で得られることを示している。

3) 単一入力むだ時間系のハンケル特異値の計算における、本研究の結果と従来の結果が変換行列関数で結ばれていることを示すことによって、従来の結果が複数入力むだ時間系にも拡張できることを明らかに示すこととともに、入力むだ時間系の有理近似化における上記の結果がもつ有用性を、簡単な数値例題を通じて確認している。

4) 非負であるコンパクトな自己共役作用素のミニマックス定理を用いて、ハンケル特異値の上界と下界を求め、むだ時間の長さが増加することによってすべてのハンケル特異値が増加するという単調増加性を示している。その結果として、ハンケル特異値の上界と下界を集中定数系のハンケル特異値と摂動作素の作用素ノルムで示し、それと共にむだ時間が集中定数系に及ぶ影響を明かに示している。

以上のように、本論文は、入力むだ時間系のグラミアンが準分離核関数をもつ積分作用素であることを明らかにし、その性質に基づいてハンケル特異値と特異ベクトルの計算方法を導くとともに、むだ時間の長さが増加するにつれ、すべてのハンケル特異値が単調増加する性質を解析的に証明しており、その成果は入力むだ時間系の特性解析と有理近似化を含むロバスト制御理論に対して寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。