【64】

氏名（本籍）	片岸一起（東京都）
学位の種類	工学博士
学位記番号	博甲第467号
学位授与年月日	昭和62年3月25日
学位授与の要件	学位規則第5条第1項該当
審査研究科	工学研究科
学位論文題目	**心臓造影映画のスプライン関数による解析に関する研究**
主査	筑波大学教授　工学博士　森　亮一
副査	筑波大学教授　工学博士　池辺　八洲彦
副査	筑波大学助教授　工学博士　寅市　和男

論文の要旨

本博士論文は，スプライン関数を用いた補間結果が滑らかになるための最適な節点位置とその有効性について論じられており，6章から構成されている。

第1章では，本研究の意義ならびに本研究に関わる基礎について述べている。

第2章では，スプライン関数の内で最良近似性をもつところの奇数次のスプライン関数を用いて，有限区間内で観測される有限個の標本値列から連続関数を得るような補間のための実用理論を与えている。第2章における実用理論の対象は，音声信号などの1変数関数と画像などの2変数関数である。ここでは，周期Bースプライン関数系ならびにそのテンソル積をそれぞれ基底に選んだときに，補間を行う作用素を意味する1変数ならびに2変数の離散的Bースプライン変換対を定式化し，その諸性質をそれぞれ解析している。その結果，離散的Bースプライン変換対の存在性が証明され，1変数の離散的Bースプライン変換対は巡回・対称行列であることが導かれた。更に，この問題を2変数の場合に拡張したときに，4次のテンソルで表わされる2変数の離散的Bースプライン変換対は1変数の離散的Bースプライン変換対で表現できることが明らかにされた。第2章は，奇数次の周期スプライン関数による補間の問題の取り扱いを容易にするのみならず，そこで得られた基本性質が，偶数次の周期スプライン関数の基礎理論を確立する上での手がかりとなっている。第3章では，偶数次のスプライン関数族の内で周期Bースプライン関数

第3章では，偶数次のスプライン関数族の内で周期Bースプライン関数系の線形結合によって

表わされる実用上有効な２次の周期スプライン関数に対しての最適な節点位置を，関数の滑らかさを測る評価規準のもとで導出している。はじめに，そのような評価規準の１つとして，関数の２階導関数の２乗ノルムを採用し，２次の周期スプライン関数を用いた補間結果におけるその意味について論じている。次に，与えられた標本値列とそれを正確に通る２次の周期スプライン関数との関係を導出するために，離散的Ｂ－スプライン変換対の定式化を行っている。最後に，２次の周期スプライン関数の最適な節点位置を決定するために，標本点列を正確に通る２次の周期スプライン関数の滑らかさ規準の定式化を行っている。そして，その規準が最適になるような節点位置について解析している。その結果，隣合う標本点間に存在する節点がその間の中央に位置するようにすべての節点を配置すれば，それが滑らかさ規準のもとで２次の周期スプライン関数の最適節点位置になっていることが明らかとなった。最適節点位置をもつ２次の周期スプライン関数は，与えられた標本値列を視覚的により短く，且つ，より滑らかに結んでおり，医用画像処理などにおける一次元信号・画像・立体の処理に有効である。また，標本値列と２次の周期スプライン関数との関係を支配する離散的Ｂ－スプライン変換対は巡回行列であるので，最適な節点位置をもつ２次の周期スプライン関数を標本値列から構成するアルゴリズムが簡潔に表わされ，FFT（Fast Fourier Transform）を用いたその高速算法の開発も可能となる。

第４章では，第３章で得られた最適な節点位置をもつ２次の周期スプライン関数を線画による立体表示に適用することによって，その有効性を検証している。はじめに，最適な節点位置をもつ２次の周期スプライン関数を，１変数関数の表示に適用する。次に，２変数関数で表わされる閉曲線は一般に媒介変数表現により１変数関数で表わされるという事実に基づいて，上記の２次のスプライン関数を多価関数で表わされる滑らかな閉曲線表示に適用する。最後に，この閉曲線を，データ群がメッシュ状または断層状に与えられる３次元物体の表示に適用する。この結果，最適な節点をもつ２次の周期スプライン関数は，与えられた標本値列を視覚的により短く，且つ，より滑らかに結んでいることが確かめられた。更に，上記スプライン関数によって表わされる多数の閉曲線を用いて構成される３次元物体は，視覚的に自然なものとなっていることも確かめられた。ここでの立体表示法には第３章で述べた離散的Ｂ－スプライン変換が用いられているので，標本点数の多い場合にも大次元の連立１次方程式を解く必要がなくCT（Computed Tomography）などに応用することができる。

第５章では，第２章から第４章までで述べた最適な節点位置をもつ２次周期スプライン関数による関数近似の手法を左室造影映画処理システムに適用した例について述べ，その有効性を検証している。はじめの例は，左室造影画像の中から抽出された確からしい左室輪郭点列より左室輪郭線を再現したものである。次の例は，離散的に計測された左室容積値列から時々刻々と連続的に変化する左室容積値の様子を左室容積曲線として再現したものである。そして最後の例は，左室造影画像に内在している３次元情報を基にして，左室の立体図を再現したものである。その結

果，本システムによって再現された左室輪郭線，左室容積曲線ならびに左室立体図は，臨床医の十分満足のいくものであることが確かめられた。本システムによって，左室輪郭線の自動抽出，左室容積の自動計測，ならびに左室立体図の自動作成が行えるので，臨床医の手間が省け，自動診断システムが可能となる。

最後に，第６章では，第２章から第４章までの画像処理に用いるスプライン関数についての考察と，第５章での造影映画処理への応用に関する考察を総括して本博士論文が解決した点を明確にし，本研究の今後の発展性や問題点を述べている。

審　査　の　要　旨

２次周期スプライン関数の最適な節点位置を，関数の２階導関数の２乗ノルムによって定義される滑らかさ規準のもとで解析的に求めたことは，従来その決定方法が経験的であったことを考慮すると，数学的に新規性のあることと思われる。本博士論文において２次周期スプライン関数の最適な節点位置が解析的な手法によって求められたのは，標本値列ベクトルからＢ－スプライン係数列ベクトルへの変換として定義された離散的Ｂ－スプライン変換が巡回行列となったことによって，その問題が離散的Ｂ－スプライン変換の固有値問題に帰着されたことによる。このことは，巡回行列の固有値問題から派生する，離散的Ｂ－スプライン変換の高速算法の開発という意味において，工学的にも意味のあることと思われる。また，最適な節点位置をもつ２次周期スプライン関数を左室造影映画処理へ適用したときに，そこで得られた処理結果が臨床医の十分満足のいくものであるということは，ここでのスプライン関数が実際に役立つものであることを実証していることになる。

一方，本博士論文で論じている滑らかさ規準の解釈は，その客観性に関して議論の余地があると思われる。例えば，ここでの最適な節点位置をもつ２次周期スプライン関数を用いた補間結果には，振動が生じないという保証が明らかにされていない。このことは，補間結果に生じる振動と滑らかさ規準との関係が，まだ充分に解析されていないことによるものと考えられ，この問題について，今後更に議論する価値があると思われる。

よって，著者は工学博士の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。