

論文内容の要旨

論文題目 機械部品を対象とした CT 計測データからの
ポリゴンモデル生成と応用に関する研究

氏 名 藤森 智行

近年、CT (Computed Tomography) 計測技術が、医療分野だけでなく工業分野においても、広く利用されつつある。しかし、工業分野における応用においては、医療分野では問題とされなかった精度の問題が重要となる。特に、計測及び画像再構成の原理から、CT 計測によって鮮明な 3 次元画像を得ることはできないという問題があり、この問題が工業応用を難しくする要因となっている。そこで、本研究では、薄板形状と多媒質ソリッド形状のそれぞれについて、この問題を解決するための手法を示す。これらの手法は共通のコンセプトの元に、最終的なポリゴンモデルを出力する。共通のコンセプトとは、離散化された格子空間で位相的な完全性を保証し、その保証の下でポリゴンモデルの位相を作成し、最後にポリゴンモデルの幾何を最適化するというものである。これによって、従来手法では、扱うことが難しかった形状について、CT 計測データからモデルを生成することができるようになった。また、提案手法を実装し、実際の機械部品に適用可能であることを確かめる。

現在、工業分野で行われている CT 計測技術の応用は、物体が単一の媒質からなり、かつある程度以上の体積がある場合を扱うことが多く、それ以上に複雑な場合については、どのように扱うべきかという理論が確立していない。この問題は、計測によって得られる CT 値が連続的に変化するという CT 計測の原理に起因している。このため、複数の媒質が近接して存在していたり、体積が小さい物体を計測する場合を扱うことが難しい。本研究では、従来手法では扱うことができなかったこれらの形状を計測し、得られたデータからモデルを生成する手法について議論する。また、生成するモデルの精度については、CT 計測自体の精度とほぼ同等の精度となることを目標とした。これは、産業界からの要求の程度に応じたものである。

第一に、計測データを表現するための概念として、3 次元空間を立方格子空間として、包括的に表現するセルモデルについて議論し、セルモデルからポリゴンモデルを生成するための基礎としてキュービックシェルという概念を提案する。ポリゴンモデルの生成手法として等値面生成手法なる既存研究が一般に用いられるが、キュービックシェルは、これをセルモデルに適用するために必要な概念である。本論文では、数学的に保証されたキュービックシェル概念を提案し、これによって、生成されるポリゴンモデルが位相的に安全であることを保証する。

また、生成するポリゴンモデルとして、非多様体ポリゴンモデルを採用することにより、一般的な 2 多様体モデルでは扱えないような形状についても、一般化して扱うことができるようになった。同時に、非多様体ポリゴンモデルの生成・編集手法についても考察を行っている。

第二に、薄板形状の CT 計測データからポリゴンモデルを生成する手法を提案する。提案手法の要点は、形状の表面を囲むような表面形状モデルではなく、形状の中央部を通る中立面モデルを抽出するところにある。このような中立面モデルは設計段階におけるモデルと親和性が高く、表面形状モデルをのみ抽出する従来手法と比較して、提案手法の優位性の理由となる。

中立面モデルの生成においては、計測データから直接、ポリゴンモデルの生成を行うのではなく、セルモデルとして離散的に中立面を生成し、そこからさらにポリゴンモデルの生成を行った。この離散的な中立面を中立セルと呼ぶ。中立セルなる中間段階を介することにより、離散化の効果によって、CT 計測に起因するCT 値の連続的な変化の問題を解決することができるようになった。また、中立セルに対して、前述のキュービックシェル概念を用いることで安全にポリゴンモデルを生成することができることを確かめた。生成されるポリゴンモデルについては精度実験を行い、目標としたCT 計測精度と同程度の精度が得られることを確かめた。

第三に、多媒質ソリッド形状のCT 計測データからポリゴンモデルを生成する手法を提案する。従来、形状表面の境界モデルを生成する手法は、ただ一種類の閾値しか用いることができないという問題がある。しかし、多媒質から構成される空間では必然的に複数の閾値が必要となり、3次元空間の部位ごとに用いる閾値を適応的に変更してやる必要がある。従来は作業者が手動で行っていたこの種の作業を、本手法では3次元画像解析によって解決する。具体的にはCT 計測の原理を知識として折り込んだセルモデルでの近傍ラベル付け処理を適用した。

また、複数の媒質の影響が完全に混ざりあった領域では計測精度が落ちるため、CT 計測データから元の空間を復元するのが難しいという問題がある。本論文では、キュービックシェル概念を用いて、この問題についても、一定の解決が行える手法を提案する。具体的には、CT 値を計測データとして用いることができなくなるため、この部位については、生成されるポリゴンモデルの位相的な連続性のみを保証し、最終的に幾何的な最適化処理の適用によって、問題を解決するようにした。

本論文で提案した手法の優位性は、従来手法ではモデルが生成できなかった機械部品についても、位相的な保証がなされたポリゴンモデルを生成可能である点にある。これにより、計算機を用いた設計において、CT 計測データを用いることが容易になり、デジタルエンジニアリングに貢献できると考える。また、本論文では精度実験を行って、CT 計測精度と同程度の誤差のモデルが生成できることを確かめている。これにより、提案手法の実用性が確かめられたと思われる。