



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Using Four-Dimensional Geometric Models for Representing Dynamic Machining Process [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	張, 同
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第16179号
Issue Date	2024-09-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/93558
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Tong_Zhang_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学) 氏名 張 同

審査担当者 主 査 特任教授 小野里 雅彦

副 査 特任教授 金井 理

副 査 准教授 田中 文基

学位論文題名

Using Four-Dimensional Geometric Models for Representing Dynamic Machining Process

(動的な機械加工プロセスの表現への 4 次元幾何モデルの適用)

航空機部品や射出成型金型などの高付加価値品の加工には、多軸数値制御工作機械が多く用いられており、事前に切削シミュレーションにより切削プロセスが適切な過程と結果を生じているかの評価が行われる。しかしながら、加工の進行に合わせて変化する被削材の形状と、位置・姿勢・切削点を変える回転工具の切れ刃との干渉状態を精度よく評価することは、現在の 3D モデリングとシミュレーションの組み合わせでは容易ではない。位置、姿勢、形状が連続的に変化する対象を適切に記述できる手法が必要とされる。

本論文は回転切削工具 (例: ボールエンドミル) と加工部品の被削材を 4 次元時空間における幾何形状として運動・変形履歴を陽に持つ幾何的表現をすることにより、切削工具と被削材との干渉 (Cutter-Workpiece Engagement: CWE) を静的に記述し、評価する手法を提案している。また、CWE の 4 次元時空間での幾何学的演算により定式化とプログラムによる実装を行っている。

まず、本論文の第 1 章においては、機械加工における切削プロセスの表現手法を中心とした研究領域の背景とそこに抱える課題、そして、本研究の目的とそれに対して設定された研究アプローチの概要について述べている。

本論文の第 2 章においては、切削工具と被削材との干渉評価 (CWE) に関連して、多軸工作機械による加工の説明と従来の研究アプローチについて述べている。

本論文の第 3 章では、こうした問題点に対して 3 次元空間に時間軸を加えた 4 次元時空間を加工プロセス表現の場として導入し、4 次元空間の 4 面体要素による 4 次元メッシュモデルで切削プロセスを連続的に表現することを提案している。

本論文の第 4 章においては、対象物を 4 次元に高次元化したことで増大するモデルのデータ処理に対して、4 次元の座標ベクトルを記述・処理可能なソフトウェア (Houdini など) の適用と、GPGPU や CUDA といった並列処理を行うハードウェア/ソフトウェアについての実装例を示し、その適用効果と課題を提示している。

本論文の第 5 章では CWE に特化した 4 次元形状の生成手法として、T-map 法と 4D-imprint 法を提案している。T-map 法は 3 次元の Z-map 法の 4 次元への自然な拡張であり 3 次元のボクセル構造に時間軸方向に延びた半直線との交点を記録する。また 4D-imprint 法は除去加工が工具掃引領域

の転写であることを用いて,境界メッシュの反転をつないで加工面を生成する.これらの手法の適用例と評価を示している.

本論文の第6章では,4次元メッシュモデルの集合演算手法について考察を行い,演算に中核となる4次元空間にある4次元四面体の集合演算について advancing front 法を拡張して導入している.

最後の本論文の第7章では,本研究で得られた成果を総括し,4次元時空間での切削プロセス記述の応用の可能性と課題について述べている.今後の展開として人間のためのモデルから, AI のためのモデルへと重点が移行したとき,時空間を陽に記述する本研究のアプローチが有効な手段となると期待される.

以上,これを要するに,著者は機械加工における切削工具と被削材と干渉関係を,4次元時空間での幾何学的関係として定式化し,それを4次元メッシュモデルにより表現し,コンピュータ上に実装する手法を3つの異なるアプローチ (T-Map, 4D-imprint, set operation) を提案し実装した.こうした研究成果は切削工学, 計算機援用生産工学, デジタル幾何処理工学への貢献大なるものがある.

よって著者は,北海道大学博士 (情報科学) の学位を授与される資格あるものと認める.