

4次元メッシュモデルを用いた切削プロセス記述に関する研究

北海道大学 ○亀山 博隆, 小野里 雅彦, 田中 文基

要 旨

本研究では5軸工作機械の切削シミュレーションにより工具運動軌跡を導出し、工具・ワークのボクセル時系列データの取得を行った。この時系列データから、時間方向に関して連続的に記述可能な4次元メッシュモデルを生成することで、切削プロセスを明示的に記述する手法を提案した。また、モデル生成例を示し、4次元形状表現の有用性を示した。

1. はじめに

設計・生産の分野において、対象の変形や運動といった3次元形状の時間変化を扱う問題は多く存在する。例えば、機械加工の分野においては、切削プロセスを表現する際に素材の時間変化とともに工具の運動を記述できるモデルが必要になる。

しかし、これまでのモデル表現では3次元形状の動的な状態変化に対して、離散的な時間の情報しか表していない。このため、連続する状態変化の履歴を効率的に表現することが難しいことが課題であった。

そこで本研究では、時間的な変化をする切削加工プロセスを4次元メッシュモデル[1]を用いて明示的に記述することを目的とする。そのために、ワークや工具掃引履歴情報を持つ4次元形状を定義し、5軸切削加工シミュレーションを行って工具運動軌跡を導出する。次に、シミュレーションで生成したボクセル時系列の時間累積時系列データを4次元モデルに変換し、断面抽出や加工領域を確認することで、4次元表現の有用性を示す。

2. 切削プロセスの4次元メッシュモデル表現

4次元メッシュモデルとは、3次元の空間と1次元の時間により定まる4次元ユークリッド空間 R^4 において、四面体により4次元形状の境界を構成するモデルのことを指す(図1(a))。

本研究では、切削プロセスを表現するために図1(b)に示すように、ワークや工具掃引領域の時間累積を時間方向に対し連続的に表現できる4次元形状で定義する。この時間累積された体積 $V(t)$ を Accumulated Volume と呼ぶ。図1(a)において、4次元形状の $T=t$ での断面の領域 $D(t)$ を考えると、 $V(t)$ は初期時間 t_0 、時間の微小変化 Δt を用いて式(1)、式(2)で表される。

$$V(t) = D(t) \cup V(t - \Delta t) \quad (1)$$

$$V(t_0) = D(t_0) \quad (2)$$

工具・ワークの Accumulated Volume の4次元形状が取得できれば、それぞれの任意時間までの掃引履歴情報を取り出せるようになる。また、図2に示すように2つのモデルの干涉領域を考えれば、任意時間までの除去体積も明示的に取り出せ、従来の離散的な時間情報しか持たない切削プロセス表現に対し、時間方向に連続性を持った切削プロセス表現が可能になる。

3. 掃引履歴情報を持つ4次元メッシュモデルの取得

掃引履歴情報を持った工具・ワークの4次元メッシュモデルの取得法には、図3に示すように3次元ボクセル時系列データから3次元時間累積時系列データを経由して取得する方法と、3次元ボクセル時系列データを最初に4次元メッシュモデルに変換してから取得する方法の2通りが考えられる。本研究ではボクセル同士の集合演算の容易さから、前者の方法を採用した。具体的には、次に示すステップで取得を行った。

I. Gコードを入力とした5軸切削加工シミュレーションにより工具運動軌跡を求め、工具・ワークの3次元ボクセル時

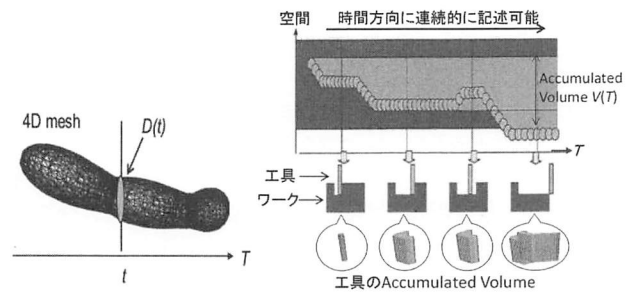


図1 切削プロセスの4次元モデル表現

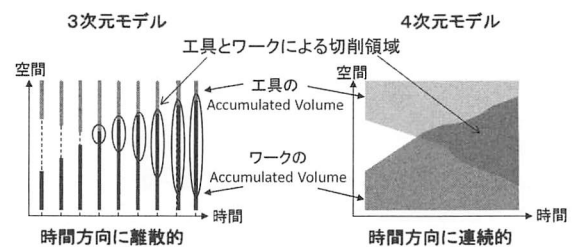


図2 3次元モデル表現と4次元モデル表現との比較

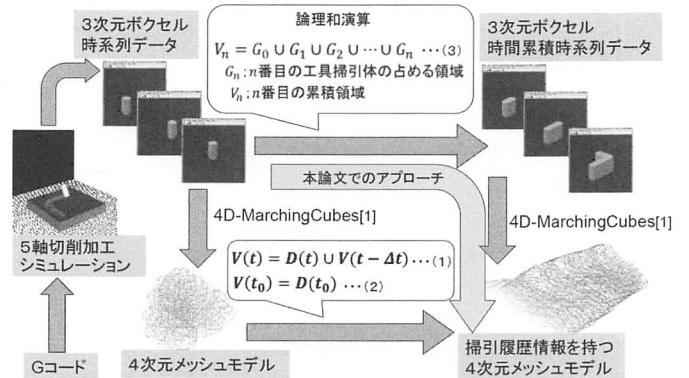


図3 掃引履歴情報を持つ4次元形状取得の流れ

系列データを取得する。

II. 工具の運動によって工具掃引体が次々と形成されるようなプロセスを考え、取得した3次元ボクセルの時系列データに対し式(3)に示すボクセル同士の論理和演算を行うことで、3次元ボクセルの時間累積時系列データを得る。

$$V_n = G_0 \cup G_1 \cup G_2 \cup \dots \cup G_n = V_{n-1} \cup G_n \quad (3)$$

式(3)において、 V_n は n 番目の工具運動が終了した段階での工具の Accumulated Volume の占める領域を表し、 G_n は第 n 番目での工具掃引体が占める領域を表す。

III. 時間累積した時系列データを4D-MarchingCubes法[1]によって4次元メッシュモデルに変換する。

4. 掃引履歴情報を持つ4次元メッシュモデルの生成例

4.1 5軸切削加工シミュレーションによるボクセル取得

履歴情報を持つ4次元メッシュモデルを作るために、ボクセルを用いて5軸切削加工シミュレーションを行い、工具運動軌跡を導出した。本シミュレーションでは、工具の運動として直線運動や円弧運動を考え、現在位置からの相対移動距離 X , Y , Z [mm], 送り速度 F [mm/min], 円弧半径 R [mm], 工具回転角 A , C [度]の情報を含んだGコードを入力とする。また、工具やワークのボクセルモデルの時系列データを逐次的に出力する。

図4はシミュレーションを行った際のXY平面上での工具のパスで、丸数字の順序で工具を動かす。四角で囲まれた領域がワークの存在領域を表し、プロットはその地点でボクセルファイルが出力されたことを表す。図4では(110, 100)で工具をx軸に対し30度、さらに(70, 60)でz軸に対し90度回転させている。

また、図5はシミュレーション描画結果である、工具中心の初期座標は $(x, y, z)=(110, 100, 30)$ 、工具(ボールエンドミル)は工具半径5 [mm]、工具長15 [mm]、ワークの基準点は $(x, y, z)=(47, 47, 0)$ 、ワークサイズは $x=75, y=75, z=12.5$ [mm]とした。生成されたボクセルの時系列データ数は、工具・ワーク各65ステップ、空間分割数は各 $256 \times 256 \times 256$ 個であり、刻み時間は1.0 [s]、ボクセル1個のサイズは $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ [mm]とした。

4.2 4次元形状の取得と断面抽出

上述のシミュレーションで取得した時系列データに対し、式(3)に示した演算を繰り返すことで、3次元ボクセルの時間累積時系列データを取得した。さらに、このデータを4D-Marching Cubes法によって4次元メッシュモデルに変換し、掃引履歴情報を持った4次元形状を作成した。4次元メッシュモデル変換の際に要した時間は工具が41min、ワークが42minであった。(OS: Windows7 64bit, CPU: Intel Core i5 3.33GHz, RAM: 8.0GB)

また、取得した4次元形状に対し、断面抽出を行った。図6(a)は、時間 t 軸に対する断面抽出結果である。任意時間において、それまでの累積された工具掃引形状を表現できていることを確認した。また、図6(b)-(d)は空間 (x, y, z) 軸に対する断面抽出結果である。時間軸方向に対して階段状の形状となり、時間経過とともに工具掃引領域が拡大されている様子が分かる。

5. 4次元形状の加工領域の導出

4で取得した履歴情報を持つ4次元形状に対し、干渉判定[2]を行い、加工領域を導出した。図7では、モデル同士の干渉箇所でも色が変わっている様子が確認できる。この干渉箇所からは除去体積を取り出せる。任意時間での干渉判定を行い、時間経過に対し連続的に除去体積を取り出せることを確認した。なお、一部干渉箇所と関係のない所で色が変わっているが、これは面のラベリングが現状の実装では不完全なためであり、今後の修正点である。また、干渉判定での4次元メッシュモデルのサイズは、工具が168万頂点、1,019万四面体で、ワークが482万頂点、2,917万四面体であった。

6. 結論

本研究では、加工プロセスを明示的に記述するために、過去の掃引履歴情報を持つ4次元メッシュモデルを提案した。また、5軸切削加工シミュレーションでの工具運動軌跡の導出により、掃引履歴情報を持つ4次元メッシュモデルを取得するシステムを実装した。生成した掃引履歴情報を持つ4次元メッシュモデルの断面抽出や干渉判定を行った結果からは、任意時刻までの工具掃引領域が表現できていることや、任意時間での加工領域

を確認し、4次元形状表現の有用性を示した。

今後の課題として、ワークを動かした時のワークを基準とした工具の相対運動を考慮した切削プロセスの記述、ボクセルの和演算を介さず、4次元メッシュモデルから新たに履歴情報を持った4次元形状を生成する手法の検討などが挙げられる。

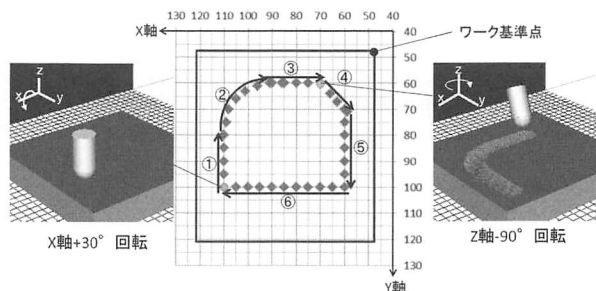


図4 XY平面上での工具パス

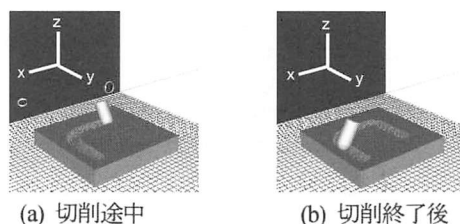


図5 5軸切削加工シミュレーションの描画結果

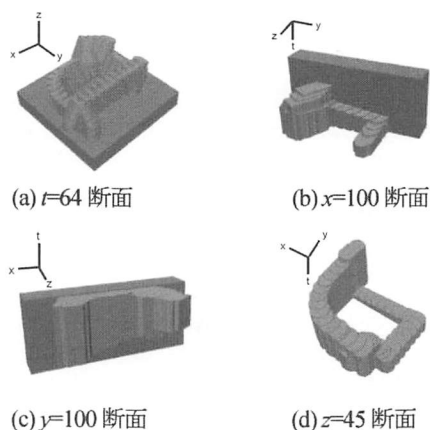


図6 4次元形状の各断面抽出結果

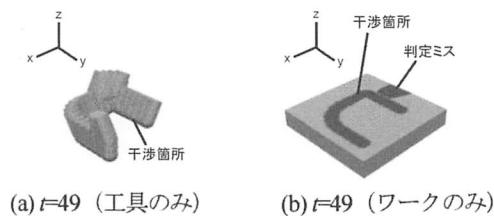


図7 加工領域の導出

[参考文献]

- [1] 川岸良次他, サイバーフィールドのための4次元形状モデリングに関する研究(第2報), 2008年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, J3, 2008.
- [2] 川岸良次他, サイバーフィールドのための4次元形状モデリングに関する研究(第5報), 2009年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, M21, 2009.