

# STEPを用いた工作機械の構造・形状統合モデルの提案とその5軸加工への応用

北海道大学大学院情報科学研究科 ○松田拓也, 田中文基, 小野里雅彦, 伊達宏昭

## 要旨

CNC 工作機械を用いた加工において、データ生成、シミュレーション時に工作機械の構造と形状の両方を表現するモデルが必要となるが、その両方を統合したモデルが存在しない。そこで本研究では、STEP(ISO10303)に基づく工作機械の構造・形状統合モデルを提案する。また、運動が複雑な5軸工作機械の統合モデルを作成し、そのモデルを用いて運動シミュレーションを行った。

## 1. 緒論

CNC 工作機械で加工を行う場合、工作機械固有の NC データを生成し、その NC データを用いて加工を行う。しかし、図 1 に示すように、現状では NC データ生成の際に工作機械構造モデルのみを使用して生成されているため、十分な干渉チェックが行われないままデータが生成される。そのため、シミュレーションによって干渉チェックを行い、干渉があった場合、再びデータ生成を行わなければならない。またシミュレーション時には、工作機械の構造モデル、形状モデルの二つが必要となるが、構造モデルはシミュレータ毎に別途入力する必要がある。このような問題は、工作機械構造モデルと工作機械形状モデルを統合させることにより解決でき、そのモデルを用いることで、より能率的で高精度な加工が実現可能となる。また近年、機械に依存しない次世代 CNC データモデルとして ISO14649 データモデル<sup>1)</sup>が登場したが、それ自体には機械に関する情報を含んでいないため、加工やシミュレーション時に構造と形状を表現するモデルが必要となる。そこで本研究の目的として、STEP(ISO10303)を用いて工作機械構造モデルと工作機械形状モデルとを統合した構造・形状統合モデルを提案する。また、運動が複雑な5軸工作機械を例として、統合モデルを作成し、そのモデルを用いて運動命令生成、運動シミュレーションが可能であることを示すことにより、提案するモデルが含む情報の完全性を検証する。

## 2. 構造・形状統合モデルのデータ構造

本研究で提案する構造・形状統合モデルを図 2 に示す。この統合モデルは、工作機械の構造を示す構造モデル、形状を示す形状モデルから成る。構造モデルとして、国際規格 ISO10303-105<sup>2)</sup>で規格化されている情報モデルから工作機械構造を記述する上で必要な部分を追加したモデルを提案する。一方、形状モデルとしては、STEP part42<sup>3)</sup>のモデルを採用する。ISO10303-105では、ベースからのリンク集合を mechanism としているので、工作機械の場合ベースから工具まで、ベースから被工作物 (workpiece) までの二つの mechanism の下位型を追加する。また、構造的に末端に位置するリンクを end\_link として、工具・素材までの位置を後述する SU パラメータで表現するよう追加する。そこで、工作機械の構造モデルがもつ kinematic\_link と形状モデルがもつ shape\_representation とを kinematic\_link\_representation\_association によって関連付けすることで工作機械構造モデルと工作機械形状モデルを一つのデータモデルに統合する。

## 3. 工作機械構造の表現法

本研究では、工作機械構造の表現法として、SU 記法<sup>4)</sup>を採用した。これは、図 3 内の a, b, c,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  で表現される 6 つの

SU パラメータでペアの前後の位置を表現し、ペアの運動はペア上のローカル座標系での z 軸に関する座標変換で表すことでリンクとペアから成る構造を表現する。SU 記法の利点としては、ISO10303-105 において、SU 記法を用いた情報モデルが存在すること、また、ペアの前後の位置を示す 6 つのパラメータの決め方が一義的であり、全てのペアの運動がローカル座標系での z 軸を基準とした座標変換で表現できるため、コンピュータ上で処理しやすいことが挙げられる。

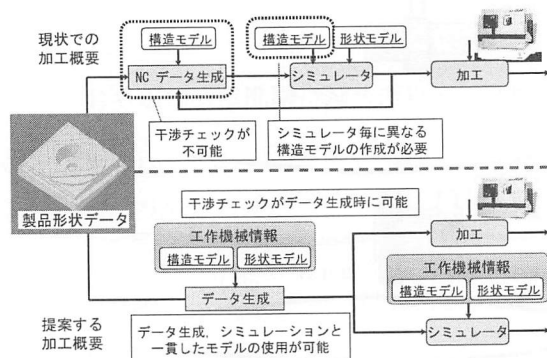


図 1 NC 工作機械を用いた加工の流れ

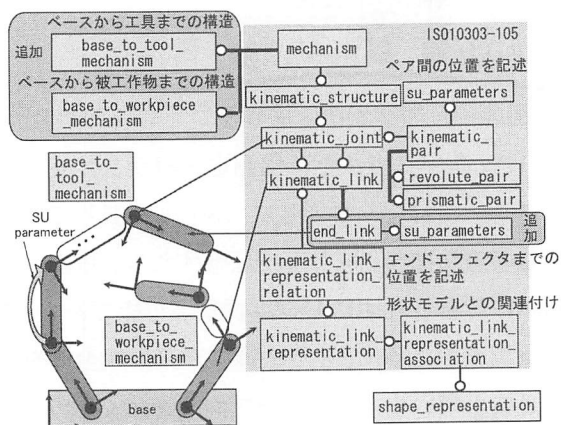


図 2 構造・形状統合モデルのデータ構造

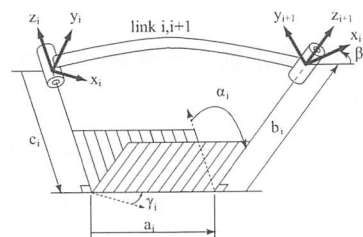


図 3 SU パラメータ

#### 4. 構造・形状統合モデルの5軸工作機械への応用

##### 4.1 統合モデルを用いた運動シミュレーションの概要

提案した構造・形状統合モデルがもつ情報の完全性を検証するために、この統合モデルを用いた運動シミュレーションを行う。その概要を図4に示す。まず、5軸工作機械の工作機械構造モデルデータを作成し、その工作機械構造モデルデータと工作機械形状モデルデータを関連付けることで構造・形状統合モデルデータを作成する。次に、作成したモデルデータを用いて各軸の運動命令を生成し、生成された運動命令と構造・形状統合モデルデータを用いて運動シミュレーションを行う。

##### 4.2 5軸工作機械の構造・形状統合モデルデータの作成

対象とする5軸工作機械は、三井ら<sup>5)</sup>が作成したものをを用いた。その形状モデルデータを図5に示す。提案したデータ構造を用いて、この5軸工作機械の構造モデルデータを表現し、形状モデルデータと関連付けることで統合したデータ構造を図6に示す。この図から、工作機械の可動軸と kinematic\_joint を、各テーブルと kinematic\_link を、base から見たそれぞれの mechanism の末端と end\_link を対応させていることが分かる。また kinematic\_link とは、それぞれ対応する形状データのアセンブリを表現する shape\_representation と関連付けされる。

##### 4.3 運動命令生成およびシミュレーション

運動命令生成には、竹内ら<sup>6)</sup>が提案した手法に基づいて行った。ここで工作機械の構造モデルデータ上で workpiece 側から順に link をたどり、最初の回転軸を第1回転軸、次の回転軸を第2回転軸とする。各軸の運動命令は、まず構造モデルデータ内の SU パラメータより第1回転軸、第2回転軸を求め、そこから姿勢ベクトルを用いて各回転角を求める。各回転角が決定すると、残りの並進量については、位置ベクトルと座標変換行列からなる方程式を解くことで決定する。

生成された運動命令と構造・形状統合モデルデータを用いて工作機械の運動シミュレーションを行った。その実行例として球面加工の運動シミュレーションを図7に示す。

#### 5. 結論

本研究では、加工の能率化・高精度化のために工作機械の構造モデルと形状モデルを統合した構造・形状統合モデルを提案し、以下の結論を得た。

1. ISO10303-105 を拡張し、SU 記法を採用した工作機械構造モデルを提案した。
2. STEP に基づいた工作機械の構造モデルと形状モデルの統合モデルを提案した。
3. 5軸工作機械の構造・形状統合モデルデータを作成した。
4. 作成したモデルデータを用いて運動命令生成、および運動シミュレーションが可能であることを示すことで、提案するモデルが含む情報の完全性を検証した。

#### 参考文献

- 1) ISO 14649-1 : Physical device control — Data model for computerized numerical controllers — :Overview and fundamental principles
- 2) ISO 10303-105 : Product Data Representation and Exchange:Integrated Application Resource:Kinematics
- 3) ISO 10303-42 : Product data representation and exchange:Integrated generic resources:Geometric and topological representation

- 4) P.N. Sheth, J.J. Uicker, Jr, A Generalized Symbolic Notation for Mechanisms, ASME Journal of Engineering for Industry 93 (1971) 102.112.
- 5) 田中ら, 加工情報のデジタルセマンテックモデル化とその実装 (第2報)-5軸加工を対象とした実装-, 2006 年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集 193.194.
- 6) 竹内ら, 5軸制御マシニングセンタ用ポストプロセサの研究, 精密工学会誌 60 (1) (1994) 75.79.

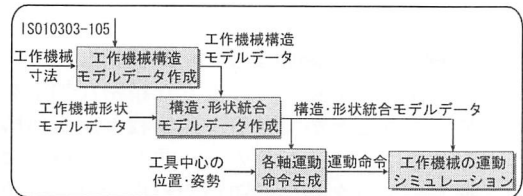


図4 統合モデルを用いた運動シミュレーションの概要

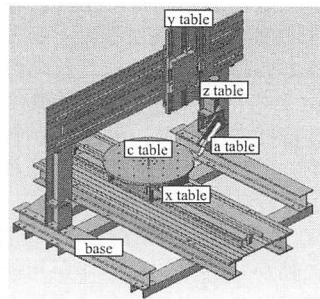


図5 5軸工作機械形状モデルデータ

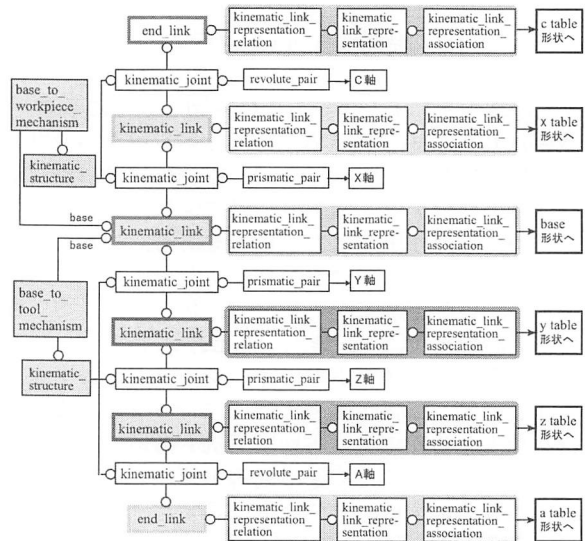


図6 5軸工作機械の構造モデル

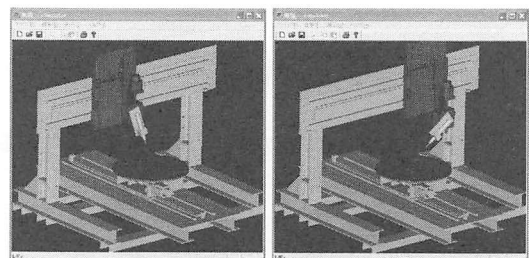


図7 シミュレーション実行例