

工作機械の形状・機構統合モデリングシステムと 運動シミュレーションシステムの開発

北海道大学大学院情報科学研究科 ○下川部晴紀, 田中文基, 小野里雅彦, 伊達宏昭

要 旨

本研究では, 工作機械の機構・形状統合モデルを ISO10303 に基づき提案, そのモデリングシステムを開発する. また, 開発したシステムを用い 5 軸工作機械の機構・形状統合モデルを生成, 運動シミュレーションを実装する事で, 提案モデルの有効性を示す.

1. 緒論

多軸工作機械を用いた NC 加工では, 生成した NC データを確認するために, 加工シミュレーション等を行う必要がある. しかし, 図 1 に示すように, 現状では, 異なるソフトウェア間で共通の工作機械モデルが存在しない, 複雑な軸構成の機構モデル生成が困難, 工作機械機構モデルと工作機械形状モデルとの関連付けが困難, という問題点がある. これらの問題点を解決するため, 本研究では以下の事を目的とする.

1. 工作機械の機構モデルと形状モデルを統合し, 工作機械形状・機構統合モデルを提案する.
2. 機構モデルの生成や形状モデルとの対応付けを行う, 工作機械形状・機構統合モデリングシステムを開発する.
3. 5 軸工作機械を例として工作機械形状・機構統合モデルを生成し, それを用いて運動シミュレーションが可能であることを示し, 提案したモデルの有効性を示す.

2. 提案する工作機械形状・機構モデル

工作機械の機構モデルは, ISO10303-105¹⁾を採用した. 主要なエンティティを図 2 に示す. エンティティ mechanism は機構を表し, 工作機械の場合, ベースから工具までと, ベースから被工作物 (workpiece) までの 2 種類が存在する. mechanism は, base からジョイントで結合されたリンクから構成されている. リンクの情報 kinematic_link_representation にまとめられている. リンクの配置情報は, エンティティ su parameters により Sheth-Uicker 記法 (以降 SU 記法)²⁾を用いて表現される. SU 記法では, 図 3 に示すような k 番目のリンクに対して, z_{k-1} 軸と z_k 軸の成す角度を α_k , z_{k-1} 軸と z_k 軸の共通法線に対する x_k 軸, x_{k-1} 軸との成す角度をそれぞれ β_k , γ_k , z_{k-1} 軸と z_k 軸の長さを a_k とし, 座標系の原点 o_k , o_{k-1} から共通法線までの長さを b_k , c_k とする 6 つのパラメータを定義する. それらのパラメータを用いて, リンク上の対偶の位置を座標変換 T (式 (1)) で表現し, 対偶の運動を座標変換 S (式 (2)) で表現する. ここで, $trans(x, y, z)$ は並進マトリクス, $rot(z, Z)$ は z 軸の回転マトリクスを表す.

$$T = trans(0, 0, c_k)rot(z, \gamma_k)trans(a_k, 0, 0) \quad (1)$$

$$rot(x, \alpha_k)trans(0, 0, b_k)rot(z, \beta_k)$$

$$S = trans(0, 0, Z_k) \text{ or } rot(z, Z_k) \quad (2)$$

kinematic_link_representation と形状モデルを表す ISO10303-41,42³⁾ で定義された shape_representation とは, kinematic_link_representation_association を介して関連付けられる.

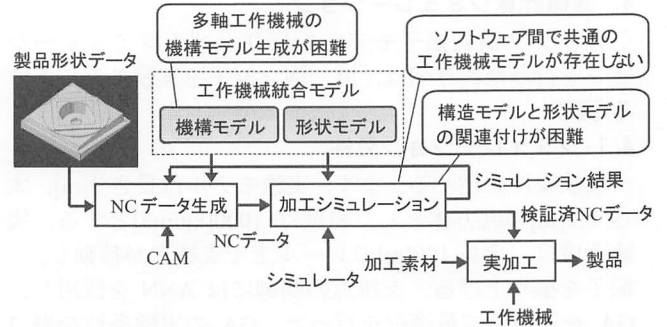


図 1 多軸工作機械を用いた NC 加工における問題点

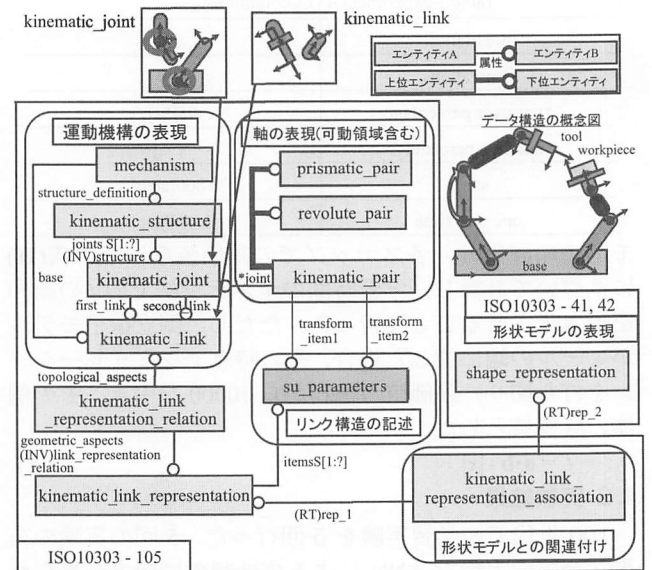


図 2 工作機械形状・機構統合モデルのデータ構造

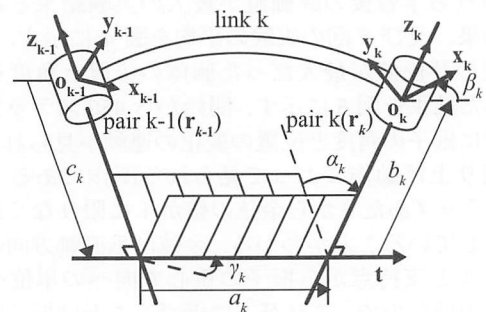


図 3 SU パラメータの概念図

3. 形状・機構統合モデリングシステム

3.1 工作機械形状・機構統合モデリングシステムの概要

本研究では、形状モデルを入力とする形状・機構統合モデリングシステムを開発した。モデル化の手順を以下に示す(図4参照)。

1. CAD データなどの工作機械形状モデルを読み込む。
2. 工作機械機構モデルのモデルデータを生成する。まず、ベースから工具までの mechanism かベースから被工作物までの mechanism かを選択し、 x 軸、 y 軸、 z 軸、 A 軸、 B 軸、 C 軸をそれぞれ 1, 2, 3, 4, 5, 6 のコードで入力する。次に、各リンクの SU パラメータを決定する。
3. 形状モデルと機構モデルの対応付けを行う。すなわち、作成した機構モデルのリンクの要素と読み込んだ形状モデルのリンクの要素をそれぞれ指定する。

最終的に形状モデルと機構モデルを STEP 形式 (ISO10303-21) で出力する。図4に示した例では、ベースから工具までの mechanism に Y 軸、 Z 軸、 A 軸を作成し、ベースから被工作物までの mechanism に X 軸、 C 軸を作成した。

3.2 リンクの SU パラメータの自動算出

本研究では、2つの座標系の位置と軸方向を入力として、SU パラメータを自動算出できるシステムを開発し、モデリングシステムに実装した。そのアルゴリズムを図5に示す。

1. z_{k-1} 軸、 z_k 軸の外積から共通法線方向ベクトル t を求める。
2. (3) 式を用い、座標系の原点位置 o_{k-1} と o_k 、共通法線方向ベクトル t 、及び z_{k-1} 軸、 z_k 軸から a_k 、 b_k 、 c_k を求める。
3. (4)、(5)、(6) 式を用い、 z_{k-1} 軸と z_k 軸、座標系の原点位置 o_{k-1} と o_k 、共通法線方向ベクトル t 、から α_k 、 β_k 、 γ_k を求める。

$$o_k = o_{k-1} + c_k z_{k-1} + a_k t + b_k z_k \quad (3)$$

$$\alpha_k = \cos^{-1} \left(\frac{z_{k-1} \cdot z_k}{|z_{k-1}| |z_k|} \right) \quad (4)$$

$$\beta_k = \cos^{-1} \left(\frac{t \cdot x_k}{|t| |x_k|} \right) \quad (5)$$

$$\gamma_k = \cos^{-1} \left(\frac{x_{k-1} \cdot t}{|x_{k-1}| |t|} \right) \quad (6)$$

4. 運動シミュレーションの実行

運動シミュレーションは以下の手順で実行する。入力した工具中心の位置・姿勢から各軸の移動量は、工作機械形状・機構統合モデルを用いて、被工作物側から工具側へ順に link を辿り、SU パラメータと各軸の変位により算出した逆運動学方程式を解く事で求められる。図4に示す5軸工作機械の形状・機構統合モデルデータに対し、上記の手順で工具が円弧の軌跡を描く運動シミュレーションを実行した。実行例を図6に示す。

5. 結論

本研究では、加工シミュレーションを行う上での問題点を解決するために研究を行い、以下の結論を得た。

1. STEP 規格である ISO10303 に基づき、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。
2. SU パラメータの自動算出プログラムを含む、工作機械形状・機構統合モデリングシステムを開発し、5軸工作機械の形状・機構統合モデルを生成した。

3. 生成したモデルを用いて、運動シミュレーションを実行できたことで、本提案モデル及び開発したモデリングシステムの有効性を示した。

参考文献

- 1) ISO 10303-105 : Product Data Representation and Exchange: Integrated Application Resource: Kinematics (1994)
- 2) P.N. Sheth, J.J. Uicker, Jr, A Generalized Symbolic Notation for Mechanisms, ASME Journal of Engineering for Industry 93 (1971) 102.112.
- 3) ISO 10303-42 : Product data representation and exchange: Integrated generic resources: Geometric and topological representation

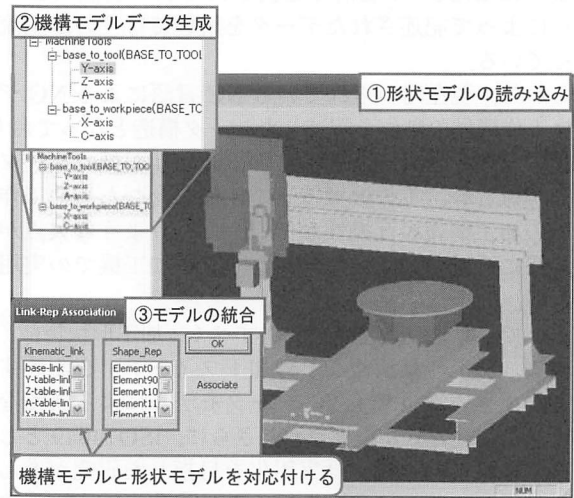


図4 形状・機構統合モデリングシステム

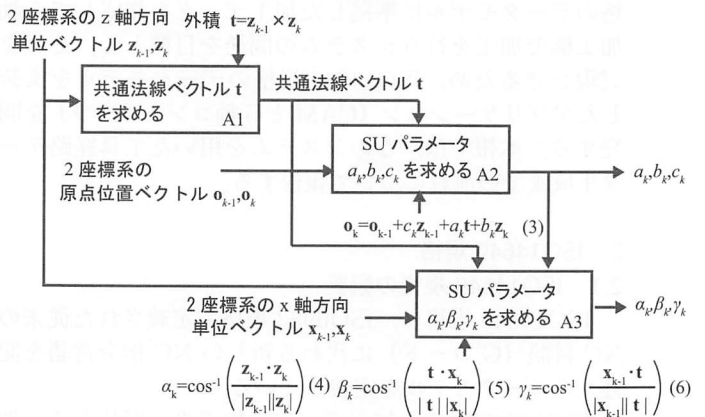


図5 SU パラメータ計算アルゴリズム

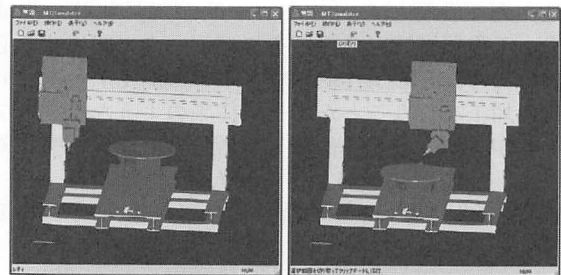


図6 シミュレーション実行例