

## 工作機械の幾何拘束表現から機構モデルへの変換に関する研究

北海道大学 大学院情報科学研究科 ○中根悠, 田中文基, 小野里雅彦

### 要旨

機構モデルを用いた多数のソフトウェアが様々な分野で活用されているため、システムに中立な機構データ交換が必要であり、その形式に STEP は有効である。機構データとして設計データを直接利用することが望ましいが、CAD の組立品表現と STEP の機構モデルとは表現方法が異なるため、データ変換を行う必要がある。本研究では、CAD の幾何拘束表現から機構モデルへの変換手法の提案、実装を行い、運動シミュレーションにより、提案する手法の有効性を示す。

### 1. 結論

機構モデルを用いた多数のソフトウェアが存在するためシステムに中立な機構データ交換が必要となる。Liらは、機構データ交換のために STEP(ISO10303)形式の機構データ交換システムを開発した[1]。機構データとして設計データを直接利用することが望ましいが、CAD の組立品表現と STEP の機構モデルとは表現方法が異なるため、データ変換を行う必要がある。そこで本研究では、CAD システムによる幾何拘束表現を STEP の機構モデルに変換するシステムの開発を目的とする。

### 2. 本研究の概要

本研究の概要を図1に示す。CAD システムによる組立品表現は、部品間の幾何拘束により表現される。それに対し、STEP による機構表現は、リンクとジョイント、ジョイントの運動を表すペア、リンクの位置・姿勢を表す SU パラメータにより表現される。従って、CAD データ中の構成要素の一致情報などから、拘束される部品をリンク、部品間の相対運動をペアのように変換することにより、STEP 形式の機構モデルを生成する。また運動シミュレーションを行い、提案する手法の有効性を実証する。

### 3. 工作機械機構モデル

工作機械の機構モデルとして、ISO10303-AP214[2]を採用した。主要なエンティティを図2に示す。5軸工作機械における機構モデルには、ベースから工具、ベースから被工作物までの2種類の部分機構が存在する。mechanism は kinematic\_joint で結合された kinematic\_link から構成される。ジョイントの運動は kinematic\_pair により指定する。su\_parameters とは、図3に示すリンク k における  $a_k, b_k, c_k, \alpha_k, \beta_k, \gamma_k$  という6つの SU パラメータを意味し、これらによりリンクの位置・姿勢を表現する。リンクの情報は kinematic\_link\_representation により表現され、リンクの形状表現である shape\_representation と関連付けられている。CAD から STEP 形式の機構モデル生成には、幾何拘束から kinematic\_pair と su\_parameters を導出する必要がある。

### 4. 幾何拘束表現から機構モデルへの変換システム

#### 4.1 システムの概要

本研究で開発するシステムは、図4に示すように、幾何拘束を含む CAD データを入力とし、自由度変換、拘束還元による複数の幾何拘束から本質的な自由度の導出、ペア変換、SU パラメータの導出、及びモデルインスタンスの生成を行い、STEP 形式で出力する。拘束還元とペア変換を行う際に、Turner らによる拘束還元手法[3]を採用した。また、変換の対象とする CAD システムは SolidWorks である。以下、各手順について詳しく述べる。

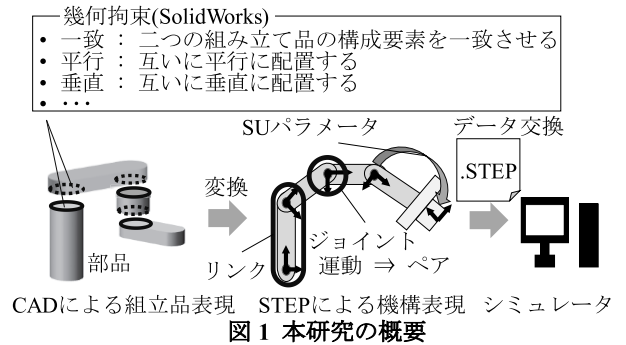


図1 本研究の概要

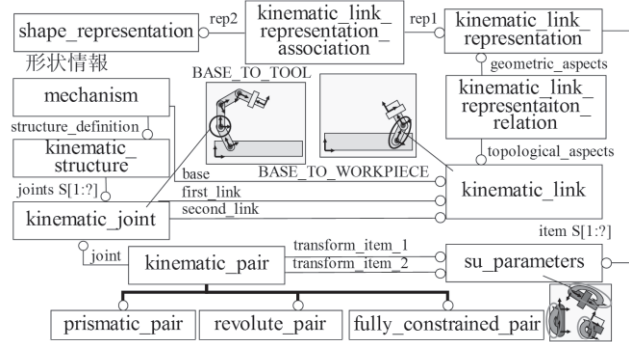


図2 工作機械機構モデルのデータ構造

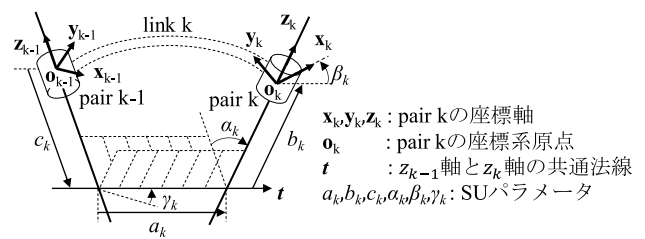


図3 SUパラメータの概念図

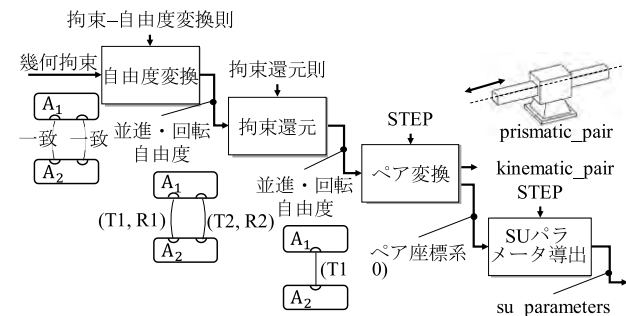


図4 開発するシステムの処理手順

## 4.2 自由度変換

本研究では、図 5(a)及び(b)に示すように、並進と回転の自由度を独立に扱い、前者を 4 種類、後者を 5 種類に分類した。CAD システムの幾何拘束のうち、一致拘束と自由度の関係を表 1 に示す。この拘束-自由度変換則に従い、幾何拘束を自由度に変換する。

## 4.3 拘束還元

拘束還元(constraint reduction)とは、組立品に付加された多数の幾何拘束から、本質的な自由度を導出する手続きである。拘束還元は、拘束還元則を用いて実現する。拘束還元の具体例を図 6 に示す。この例では、部品(A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>)に対して、2 つの幾何拘束がつけられており、それぞれの幾何拘束を自由度で表現すると、(T<sub>2</sub>, R<sub>2</sub>)、(T<sub>1</sub>, R<sub>1</sub>)となる。ただし 2 つの自由度の並進軸は平行であり、回転軸は平行ではないという制約があるものとする。図 6 右に示した拘束還元則に従い、拘束還元を行うことにより、部品間に残る本質的な自由度(T<sub>1</sub>, R<sub>0</sub>)が導出される。

## 4.4 ペア変換

拘束還元された自由度を STEP の kinematic\_pair に変換する。自由度表現と kinematic\_pair の関係を図 7 に示す。すなわち、2 つの部品間に残る自由度が(T<sub>0</sub>, R<sub>1</sub>)なら revolute\_pair、(T<sub>1</sub>, R<sub>0</sub>)なら prismatic\_pair に変換される。

## 4.5 SU パラメータ導出

各ペアに座標系を設定し、座標系間の SU パラメータを導出する。座標系の設定方法は座標系原点を拘束要素の原点とし、z 軸をペアの運動方向、x 軸を任意方向に設定する。SU パラメータ導出方法は、下川部らの提案した SU パラメータ導出アルゴリズム[4]を採用する。

## 5. システムの実装

4 章で述べた手順で幾何拘束表現から機構モデルへ変換するシステムを実装した。システムへの入力例として、図 8 左に示す、牧野フライス製作所(株)製 5 軸工作機械の CAD データを用いた。モデルは、ベースから工具と、ベースから被工作物の 2 つの部分機構で構成され、前者は非運動ペア 1 軸と並進ペア 2 軸、後者は並進ペア 1 軸と回転ペア 2 軸で構成される。モデルに付加された幾何拘束の具体例を図 8 上に示す。SPINDLE と SADDLE の間には、二つの基準平面に対する一致拘束がつけられている。生成したベースから工具までの部分機構の機構モデルを図 8 右に示す。

生成した工作機械機構モデルに対して、同時 5 軸の運動シミュレーションを実行した。実行例を図 9 に示す。

## 6. おわりに

CAD の組立品表現と STEP の機構モデルとは表現方法が異なるため、機構データとして設計データを直接利用出来ないという問題点に対し、本研究では、CAD システムの幾何拘束表現を、STEP 形式の機構モデルに変換する手法を提案した。また、変換システムの実装を実際の 5 軸工作機械 CAD データに対して行い、変換した機構モデルに対して、運動シミュレーションを行うことにより、提案する手法の有効性を示した。本報では、対象とする幾何拘束が一致拘束のみであるが、平行や垂直といった、その他の幾何拘束についても対象とすることが今後の課題となる。

## 謝辞

5 軸工作機械 CAD モデル提供等、本研究に多大なご協力を頂いた牧野フライス製作所(株)に御礼申し上げます。

## 参考文献

- [1] Yujiang Li et al. System integration for kinematic data exchange International journal of computer integrated manufacturing vol. 28.No1 pp.87-97(2015)
- [2] ISO 10303-214 : Product data representation and exchange : Core data for automotive mechanical design process
- [3] Joshua U. Turner et al. Constraint representation and reduction in Assembly Modeling and Analysis IEEE Transactions on robotics and automation Vol. 8 No. 6 pp.741-750(1992)
- [4] 下川部他, 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, 精密工学会北海道支部学術講演会講演論文集, pp.9-10(2008)

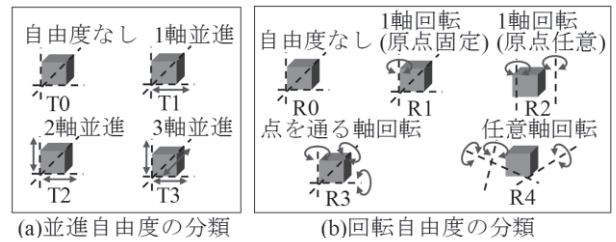


図 5 自由度表現

表 1 一致拘束における拘束-自由度変換則

幾何拘束の種類	拘束要素	自由度
一致	平面-平面	(T <sub>2</sub> , R <sub>2</sub> )
一致	直線-直線	(T <sub>1</sub> , R <sub>1</sub> )
一致	点-点	(T <sub>0</sub> , R <sub>3</sub> )

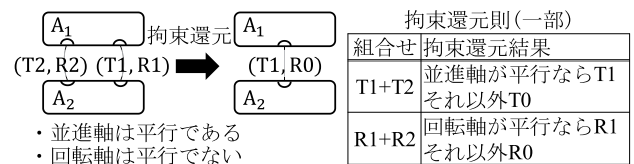


図 6 拘束還元例

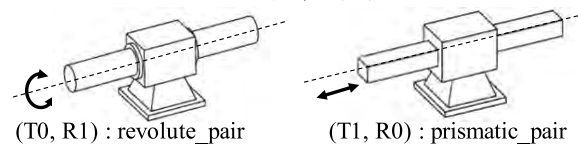


図 7 各 kinematic\_pair に対応する自由度[2]

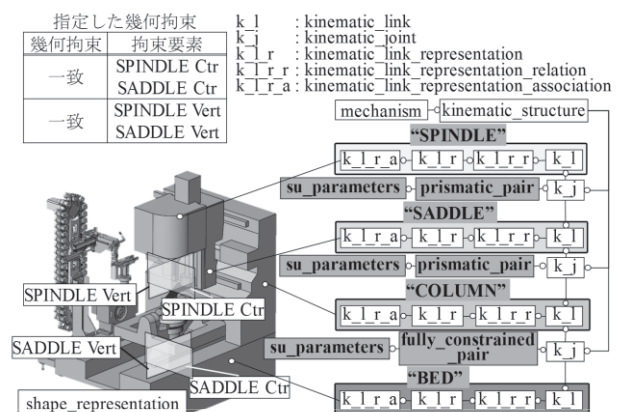


図 8 指定した幾何拘束と機構モデル生成結果

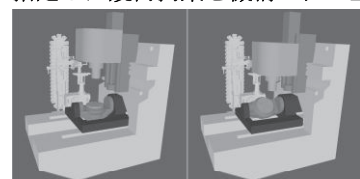


図 9 シミュレーション実行例