

Title	ロボット設計のためのスケッチベースインターフェース
Author(s)	品田, 康平
Citation	
Issue Date	2026-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	https://hdl.handle.net/10119/20492
Rights	
Description	Supervisor:謝 浩然, 先端科学技術研究科, 修士(知識科学)

近年のロボティクス分野では、衣類をたたむタスクやコーヒーを淹れるタスクなど、日常生活を支援するロボットの研究開発が活発に行われている。ロボットを人々の暮らしに導入し、生活を向上させる試みだが、現在のロボットは高価で導入しにくいという課題がある。この課題の解決策としてロボットの個人開発がある。家庭用 3D プリンタの普及により、自宅や学校での 3D モデルの立体化が容易になった。ロボティクス分野では評価実験を 3D プリンタ製のロボットで行うこともよく見られる。3D プリンタ製のロボットは安価に製作しやすい。しかし、実際には普及が進んでいない。この原因はロボット設計が機械工学、電気工学、情報工学などの広範で専門的な知識を必要とするからだ。また、設計手法の問題もある。現在の設計手法は三次元 CAD 型とモジュール型に 2 極化されており、三次元 CAD 型は 3D モデリングソフトを用いる手法で、操作が難解かつ複雑である代わりに数値による計算、入力によって自由かつ厳密なロボット設計が可能である。モジュール型は予め決められたパーツどうしを配置、接続して設計する手法で操作が簡単な反面、限られた設計空間で設計を行うため、自由度が低く、ロボット設計未経験者が思い通りのロボットを設計することは難しい。この 2 極化した設計手法の課題を解決するためにはスケッチベースインターフェースが有効である。スケッチは古くから人々に親しまれてきた表現手法であり、多くの人が直感的に操作することができる。HCI 分野ではデザイン支援システムに用いられ、ユーザのスケッチ入力をアルゴリズムやニューラルネットワークで処理し、計算や解析などの専門的な部分をシステム化することで、非専門家のデザインも支援することができる。

ロボット設計は形状と構造の設計である。3D モデルだけではロボットとして動作せず、動作するためには、関節の情報が必要である。従来手法では数値で厳密に定義するか、モジュールが役割として関節を持っていた。ロボット設計未経験者のロボット設計を支援するためには、この関節定義も直感的な操作でユーザが自由に定義できる方法が必要である。すなわち、形状と構造をスケッチ操作によって入力することが好ましい。

本論文では、ロボット設計手法が 2 極化しており、形状設計、構造設計においてロボット設計未経験者向けの直感的な操作と設計自由度を両立するシステムが無いという問題を解決するため、ロボット設計を行うためのスケッチベースインターフェースを開発した。

本論文では、まず関節の記号化によってロボット設計未経験者の関節構造定義を支援したシステム Sketch2Joints について述べる。Sketch2Joints はユーザがキャンバス上に記号化した関節を配置し、それらを直線、曲線で接続することで関節構造の情報を入力する。入力を基に運動学モデルを定義し、リンクを線分で表示し、関節角度に応じて姿勢の表示を変更する運動学フィードバックを行った。また、設計した関節構造のリンクを自動作成し、3D プリンタで印刷した。予め設計済みの関節と接続することで、ユーザの設計したロボットを製作することができた。

次に、Sketch2Joints の形状自由度、運動学フィードバックの強化、そして関節情報の入力をより直感的な操作に置き換えたシステム Sketch2Robpla について述べる。Sketch2Robpla は、ユーザのスケッチを入力として、3D 生成 AI を用いてロボットの 3D モデルを生成する。これにより、3 次元 CAD を習得せずに、また、複雑で厳密な数値入力を必要とせずに自由な形状を設計することが可能になった。そして、生成した形状を線分で分割することで関節情

報の入力を行う。3Dモデルビューの上に線分を描画し、線分とカメラ視点を用いて切断面を計算、モデルの分割を行うことで、直感的にモデルの分割が可能である。また、断面の中心に自動的に関節を配置し、関節位置、関節回転軸、関節の接続関係を自動的に計算する。これにより、ユーザの負担を更に低減し、形状を反映した運動学フィードバックにより、ユーザは完成イメージを視覚的に理解することができる。さらに、ロボットモデルには実際に関節を挿入することができる。従来手法ならモータに応じた取り付け位置、配線計画を設計する必要があったが、Sketch2Robplaは予めモータに応じて設計したメッシュを関節位置と回転軸を合わせて配置し、干渉部分を切除して置き換えることで関節機構を持つロボットモデルに変換することで、ユーザの負担を低減した。最後に、ロボットの形状と構造を記述できるURDFファイルを出力する。URDFファイルは構造を表すテキストと各リンクの形状を表すメッシュで構成されている。出力されたメッシュは3Dスライサソフトで読み込んでG-codeに変換することで、3Dプリンタで印刷することができる。

ユーザ実験により、Sketch2Robplaがロボット設計未経験者の設計を支援し、直感的な操作と設計自由度の両立を実現することを確認した。