

# Haptic Device を用いた旋削加工用 CAM システムの開発 特殊工具を用いた複雑形状加工

電気通信大学 ○市谷拓也 電気通信大学大学院 森重功一

## 要旨

先行研究では、仮想空間内の物体を操作できる力覚呈示装置を用いて、直感的に旋削加工の工具経路を生成するシステムを開発してきた。本報では、難度の高い加工に対応するために、特殊形状を有する工具を作製し、複雑な形状に対して工具干渉を考慮した適切な経路を出力する機能を開発した。この機能により、内径にオーバークラウド部を持つ形状であっても、干渉のない工具経路を容易に生成でき、実際に加工できることを確認した。

## 1. 序論

NC 加工機を用いた加工は、加工機の動作プログラムである NC データの作成が必須である。そのため、通常は CAM ソフトウェアを用いて NC データを作成している。しかし、CAM を用いて NC データを作成する場合、一般に市販されている工具しか対応していないため、加工に応じて特殊な工具を作成しても NC データを生成できず、加工を行うことができない。

本研究では、難度の高い旋削加工を可能にするために、既存の CAM では対応できない特殊形状工具を作成し、先行研究により開発されたシステムを改良することによって操作制限および加工条件を付与し、適切な NC データを生成できるようにすることを目的とした。

## 2. システムの構成

本システムは、HapticDevice (HD) と PC で構成される。HD とは、仮想空間にある物体の操作を可能にするインタフェース機器である。仮想空間内の衝撃や振動などの物理的な力覚を作業者に呈示することができるため、作業者の操作を的確に誘導することができる。本研究では、HD として、米国 SensAble Technologies 社製の 3 次元触覚インタフェース PHANTOM Omni を用いた。

本研究で開発した CAM ソフトウェアを図 1 に示す。PC 内の仮想空間に加工対象となる仮想工作物を構築し、ディスプレイ上に表示される仮想工具を HD で操作して、仮想工作物を旋削する。この作業中の仮想工作物と仮想工具の位置関係を記録した工具経路データを生成し、NC 旋盤に出力することで、仮想空間での加工を実際に再現する。

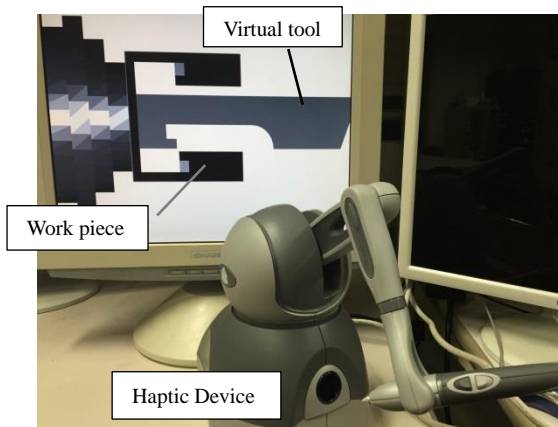


Fig.1 システムの外観

CAM システムは、Microsoft Visual Studio 2010 を用いて開発した。グラフィックに関する処理については OpenGL などの API (Application Programming Interface) を、力覚の発生など HD に関する処理は SensAble Technologies 社が提供している Haptic Device API (HDAPI) を用いて実装している。

## 3. 複雑形状に対応した機能の拡張

### 3.1 仮想空間における加工の様子

工作物の形状は、2 次元の正方形セルの集合によって表現されており、工具によって除去された部分のセルを非表示にすることで、加工によって工作物の形状が変化していく様子を表現している。また、図 2 のように断面を表示することで、通常では見ることのできない内部の状況を把握しながら作業することができる。

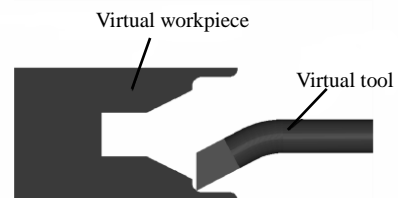


Fig.2 加工時の断面表示

### 3.2 ボクセルモデル切削時の移動方向制限

溝入れバイトや突っ切りバイトなどは、切削方向に対して垂直な方向は動かすことができない。図 3 に示すように、ボクセルモデルを切削する時は、不適切な方向への移動に対し、正しく切削を行えるよう逆ベクトルの力覚を呈示することにより移動を制限させることで、干渉や誤切削を防止している。

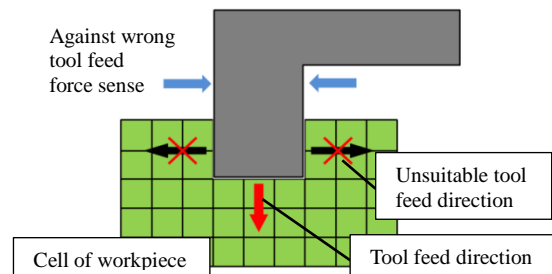


Fig.3 力覚による移動制限

HD による仮想工具の力覚の呈示には、proxy と呼ばれる HD と仮想的なばねモデルによって連結されている仮想物体を用いる方法を採用した。本研究では、仮想工具を proxy として扱っている。

proxy は通常、図 4 (a) に示すように HD とともに仮想空間内を移動する。図 4 (b) に示すように、HD および proxy が、proxy の侵入が制限されている仮想物体内に侵入した際、proxy は仮想物体の表面に留まる。このとき、ばねモデルによってインタフェースに力覚を呈示することで、作業者は工具の動きが制限されていることを力覚によって感じ、操作が制限される。

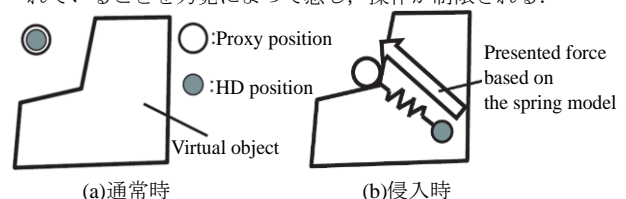


Fig.4 proxy による力覚の呈示

### 3.3 内径部の加工における干渉判定

加工において、工具と工作物の干渉や、オーバーカットを防止することは重要である。特に内径を加工する際は、多数の面に対する干渉を考慮する必要がある、プログラムが複雑になってしまう。本システムでは、目標形状と工具の輪郭線を生成し線分交差判定を用い干渉判定を行うことで干渉を防止している。

まず、3次元CADソフトを用いて設計した目標形状および工具形状 STL データを読み込み、輪郭線情報を生成する。得られた輪郭線情報から、有効切れ刃以外の領域を干渉検知領域として設定する。干渉検知領域と工作物の輪郭線で干渉判定を行い、線分の接触部分がなければ、図 5 (a) のように切削が可能であると判定する。線分の接触がある場合は、図 5 (b) のように作業者に対して反力となる力覚を呈示することで、オーバーカットを防止する。

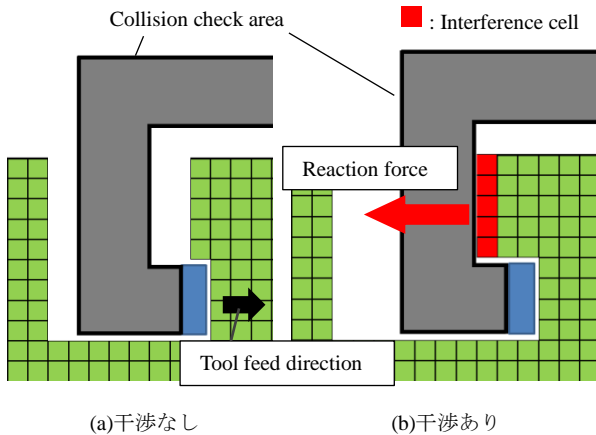


Fig.5 干渉検知領域を用いた誤切削回避

## 4. 加工実験

開発したシステムの有用性を示すために、図 6 に示すような内径にオーバーハング部を持つ形状を対象に加工実験を行った。ここでは、図 6(a) に示すオーバーハング部の加工について説明する。

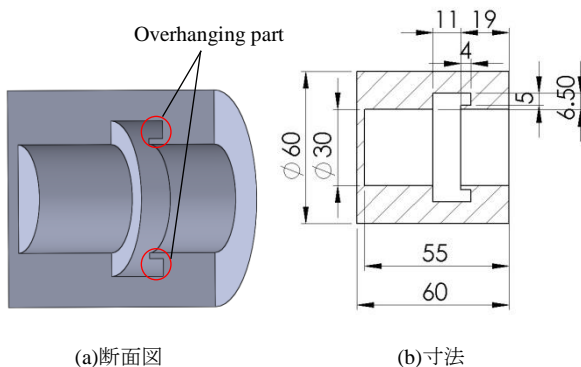


Fig.6 内径にオーバーハング部を持つ形状

図 6 のオーバーハング部を加工するにあたり、図 7 に示すような切れ刃と送り方向を持つ工具を作製した。目標形状に対する工具の切れ刃の先端点の軌跡を図 8 に、加工中の様子を図 9 に示す。加工実験結果を図 10 に示す。



Fig.7 作成した複雑形状工具

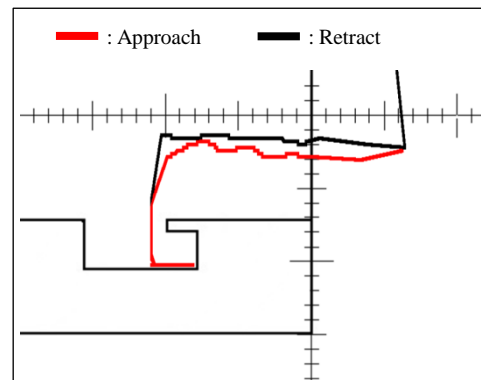


Fig.8 切れ刃先端点の軌跡

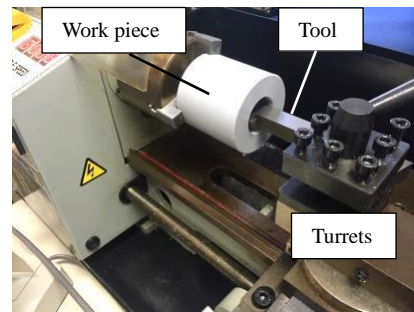


Fig.9 加工中の様子

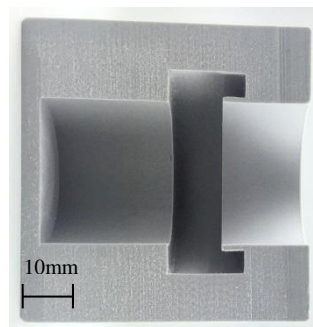


Fig.10 加工結果

図 8 に示すように、オーバーハング部の切削中は、工具軌跡が直線になっている。工具の不適切な移動を、力覚によって制限する機能が正常に働いていることがわかる。これにより、実際の加工においても、干渉やオーバーカットのない切削をすることができた。また、寸法誤差も確認できなかったことから、仮想空間内での加工を実際の加工で再現することができたといえる。

## 5. 結論

本研究では、難度の高い旋削加工を可能にするために、既存の CAM では対応できない特殊形状工具を作成し、先行研究により開発されたシステムを改良することによって操作制限および加工条件を付与し、適切な NC データを生成できるようにすることを目的とした。有効切れ刃の設定、工具と加工物の干渉回避などの機能を開発し、加工実験を行った結果、以下の結論を得た。

- (1) 自作した工具に対し、開発したシステムを用いて適切な有効切れ刃と干渉検知領域を設定し、送りを制限することによって誤切削を防ぎ、干渉のない経路データが生成されることを確認した。
- (2) 仮想空間で実行した加工のとおり、実際に複雑形状の加工を行うことができたことにより、本システムの有効性を確認した。

## 参考文献

- [1] Raiyo Oka, Koichi Morishige: Development of Operation Interface for Turning Machine Using Haptic Device, International Journal of Automation Technology, Vol.8, No.3 (2014) 445-451.