

Haptic Device を用いた旋盤加工用インタフェースの開発 — 特殊工具による複雑加工への対応 —

電気通信大学 ○中田美晴, 電気通信大学大学院 ◎森重功一

要旨

本研究では、複雑加工に対応した旋削加工システムを開発することを目的としている。Haptic Device を用いて仮想空間内の工具を操作し、溝加工や通常では困難とされる複雑な加工を行う。特殊な形状の工具を作成し、その工具に対応した干渉防止機能を開発した。仮想空間内で生成した加工経路を用いて実際の旋盤で加工実験を行うことで、開発したシステムの有用性を確認した。

1. 序論

旋盤には、ハンドルを操作して加工する汎用旋盤と、数値制御により加工を行う NC 旋盤とがある。汎用旋盤は、適切な送り方向と切り込み量を考慮して手動で操作しなければならないが、NC 旋盤は、プログラミングを理解しなければならないなど、知識や経験が必要となる。

先行研究では、作業者が機械の複雑な特性を意識することなく、旋削加工において基本的であるといえる外形削りと内径削りを仮想空間上で行い、生成した加工経路データをオフラインで旋盤に送信し加工を行うことで、簡単かつ安全に旋削加工を行うことを可能にした。

本研究では、基本的な加工だけでなく、溝掘り加工や突っ切り加工の他、より複雑な加工を可能にする旋削システムを開発することを目的とする。

2. システムの構成

本システムは、Haptic Device (HD) と NC 旋盤、旋盤を制御する 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。仮想空間内で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。

開発したシステムを図 1 に示す。まず、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ことができる。

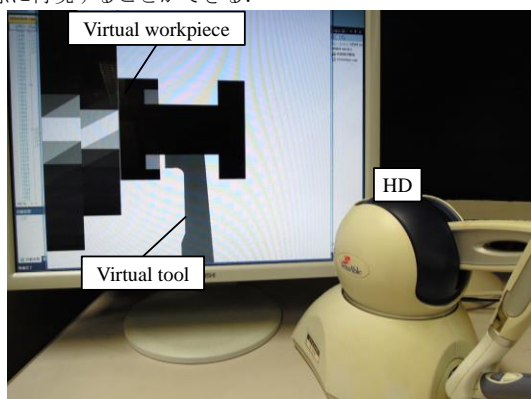


Fig.1 システムの外観

本研究のプログラムは、Microsoft 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旋削システム

3.1 加工シミュレーション

本システムでは、画面に仮想工具と仮想工作物を表示し、加工状況を表現している。

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しており、工具によって旋削された部分のセルを非表示することで、加工によって工作物の形状が変化している様子を表す。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もできる。

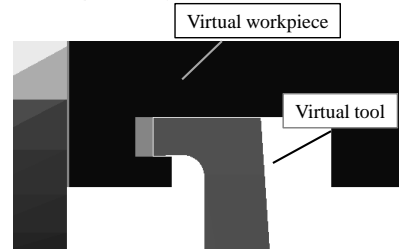
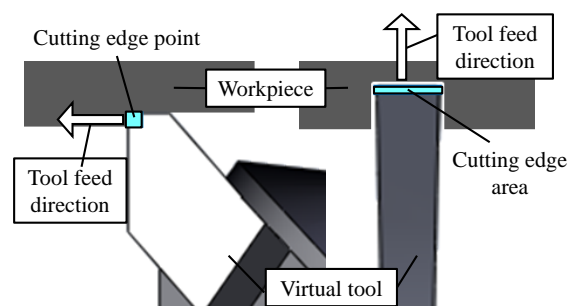


Fig.2 加工時の断面表示

3.2 有効切れ刃の設定

工具には、それぞれ適切な有効切れ刃が設定される。本システムでは、有効切れ刃を任意の工具の適切な範囲に設定できるように対応した。

例えば、図 3(a) のような片刃バイトの有効切れ刃は点で設定することにより、外形削りなどの工具の先端を接触させて切削する加工に対応することができる。一方、図 3(b) のような突っ切りバイトに対しては、有効切れ刃を線で設定することによって、突っ切りや溝掘りといった加工に対応することができる。



(a) 片刃バイト (b) 突っ切りバイト

Fig.3 有効切れ刃の設定

3.3 切削方向の制限

図 3(b) のような突っ切りバイトは、図 4 における矢印方向、すなわち切削方向に対して垂直な方向には動かすことができない。そこで、図 4 のように、左右方向への移動に対して力覚を呈示することにより、適切な切削方向以外には動かさないようにした。

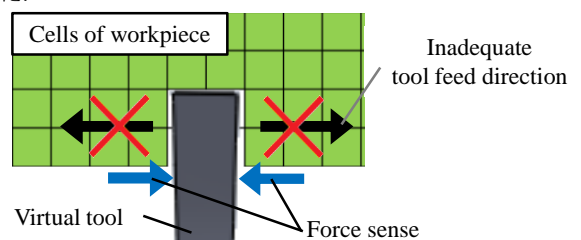


Fig.4 力覚による移動制限

3.4 力覚による操作の制限

HDによる仮想工具の力覚の呈示には、proxy[2]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 として扱う。

proxyは通常、図5(a)に示すようにHDとともに仮想空間内を移動する。図5(b)に示すように、HDがproxyの侵入を制限されている仮想物体内に侵入した際に、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、操作を制限される。

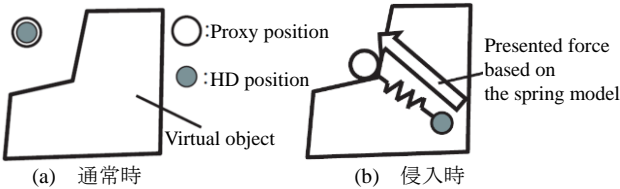


Fig.5 Proxyの挙動の例

3.4 工具形状を考慮した干渉判定

加工において、オーバーカットを防止することは重要である。本システムでは、工具の輪郭と工作物の干渉判定を行うことで、オーバーカットを防止している。

3次元CADソフトを用いて設計した工具のSTLデータから輪郭の点群を読み込み、その点をつないだ線を輪郭線とする。得られた輪郭線から、有効切れ刃部分以外の輪郭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セルで干渉判定を行い、干渉がなければ、図6(a)のように切削が可能であるが、干渉がある場合は、図6(b)のように作業者に対して力覚を呈示することでオーバーカットを防止する。

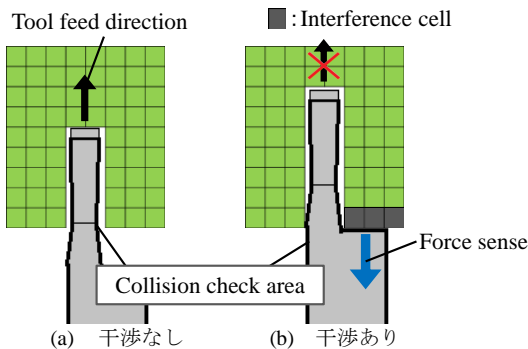


Fig.6 干渉検知領域による切削回避

4. 加工実験

提案したシステムの有用性を示すために、加工実験を行った。

4.1 目標形状

加工の目標とする複雑形状を図7に示す。本報では、この形状をオーバーハングした溝形状と呼ぶ。

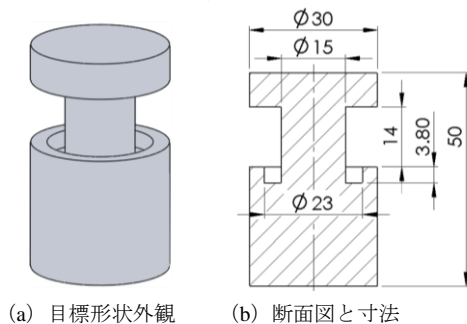


Fig.7 オーバーハングした溝形状

4.2 工具の作成

オーバーハングした溝形状を加工するにあたり、既存のJIS42型S515型のハイスバイトを用いると、図8(a)に示すように干渉が起きてしまう。そこで、図8(b)のように干渉している部分を削ることによって溝形状に適応した工具を自作した。工具の外観を図9に、刃先を図10に示す。

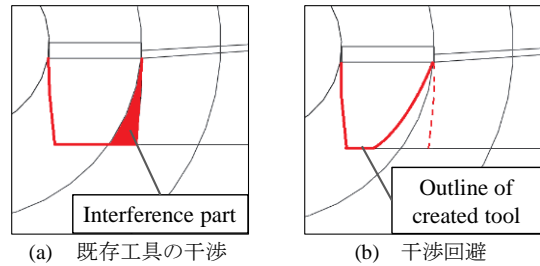


Fig.8 工具と工作物の干渉



Fig.9 作成した工具



Fig.10 作成した工具の刃先

4.3 加工実験結果

実験結果を図11に示す。まず、突っ切りバイトを用いて図11中の矢印部分の溝を加工し、自作した工具を用いて図11中の太線に示す箇所の加工を行った。

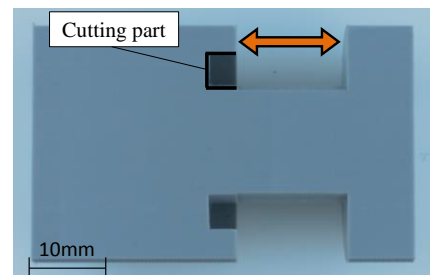


Fig.11 実験の加工結果

作業中は、適切でない切削方向への移動は力覚によって制限されていることから、実際の加工においても適切な切削方向へ工具を動かして切削をすることができた。

図7(b)と比較して、溝深さに0.1mm程度の誤差が生じたものの、オーバーカットは確認されず、概ね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。

5. 結論

本研究では、Haptic Deviceを利用して直感的に複雑な旋削加工を可能にするインタフェースを開発することを目的とし、有効切れ刃の設定、工具形状を考慮した干渉回避などの機能を開発した。複雑形状を加工するための工具を自作し、試作したシステムにより経路データを生成して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、本システムの有用性を確認した。

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.
- [2] D C Ruspini, K Kolarov, O Khatib, The haptic display of complex graphical environments, SIGGRAPH 97.