

STEP-NC による自由曲面加工における CNC インターフェースに関する研究

北海道大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻 ○川端一真, 田中文基, 小野里雅彦

従来の NC データ(ISO6983)は, 加工条件が変更される度に NC データを一から作り直さなければならない. STEP-NC(ISO14649)では加工条件の変更に対し, 少ない修正で対応できる. しかし, STEP-NC は普及されていないため, 本研究では STEP-NC を用いた CNC インターフェースを構築する. 自由曲面形状を対象に実装し, 実加工からこの構築システムの機能を確認する. さらに, 工具径の修正に構築システムが対応可能であることより, STEP-NC の優位性を示す.

1 結論

製品形状を加工するための加工用データは, 国際規格 ISO 6983 で規定される, 機械の軸移動のみを記述する NC (Numerical Control)データが広く普及されている. しかし, NC データは, 加工条件が変更される度に NC データを一から作り直さなければならないという問題点を持つ. 新しい CNC データである STEP-NC (Standard for the Exchange of Product model) ISO 14649^[1] は, その問題点を解決することができるが, 未だ STEP-NC は普及されていない. そこで本研究では, STEP-NC を NC データに変換する CNC インターフェースの構築を目的とする. 自由曲面形状を対象に実装し, 実加工によりインターフェースが正しく機能しているかを確認する. また, 工具径の変更を少ない修正で対応できることを示すことで, STEP-NC の優位性を示す.

2 CNC インターフェース

2.1 概要

図 1 に示す本研究で構築した CNC インターフェースでは, 入力した STEP-NC データから NC データ (ISO 6983) を作成し, シミュレーションを行い, 工具の動作等を確認する. さらに, 作成された NC データを既存の CNC 工作機械に入力することで製品を得る. 工具などの加工条件を変える際には, STEP-NC データの一部を変更することで NC データにも変更が自動的に反映され, 工作機械の能力を反映した適切な NC データが生成される. これまで, 平面加工, 穴加工, ポケット加工に関する同様の研究が猪狩ら^[2]によって行われた. そこで本研究では, ボールエンドミルを用いた自由曲面加工に関して CNC インターフェースの構築を行う.

2.2 STEP-NC データモデル

STEP-NC の具体的なデータ構造を図 2 に示す. STEP-NC は Project を 1 つのデータの単位としており, その中に加工に必要な情報が階層的に含まれている. Project は加工工程を表す Workplan が型となる属性 main_workplan を持

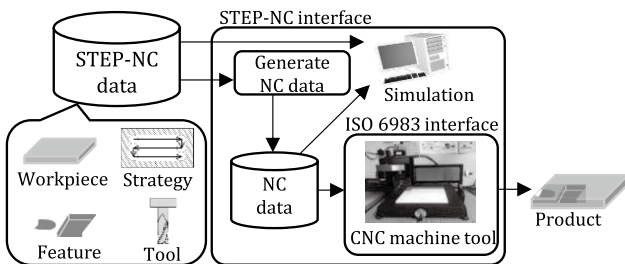


Figure 1 CNC interface using STEP-NC

ち, Workplan は加工工程の構成要素を表す Executable が型となる属性 its_elements を持つ. STEP-NC はその他に, 加工物(Workpiece), 加工形状特徴(Machining feature), 工具(Cutting tool), 加工方法(Machining operation), 工具の動き(Machining strategy), といった情報を持っている. 工具としては, 例えば, ボールエンドミル(Ballnose_endmill)があり, 工具の動きとしては, 例えば, uvパラメータ線に沿った動きを表す uv_strategy がある. また, Milling_machining_operation の属性 overcut_length は, 形状が開いた側面に対してオーバークットする量を表す. Milling_machine_cutting_tool の属性 maximum_depth_of_cut は, 一回の切削での工具の最大切り込み深さを表す.

2.3 工具経路の生成

本研究では自由曲面として双 3 次の Bezier surface を扱うこととする. また, ボールエンドミルを使用するオフセット面の生成に関して樋野ら^[3]による直接オフセット法を用いる. 直接オフセット法による, 曲面上のある点 $S(u, v)$ に対する工具中心点 $S^0(u, v)$ を式(1)に示す.

$$S^0(u, v) = S(u, v) + r \cdot P(u, v) \tag{1}$$

ここで, r は工具半径, $P(u, v)$ はある点 $S(u, v)$ における単位法線ベクトルである. 直接オフセット法では, ある点 $S(u, v)$ から任意距離にある点を逐次求めていき, (1)式を適用する. 図 3 は, 直接オフセット法を用いた工具経路を導

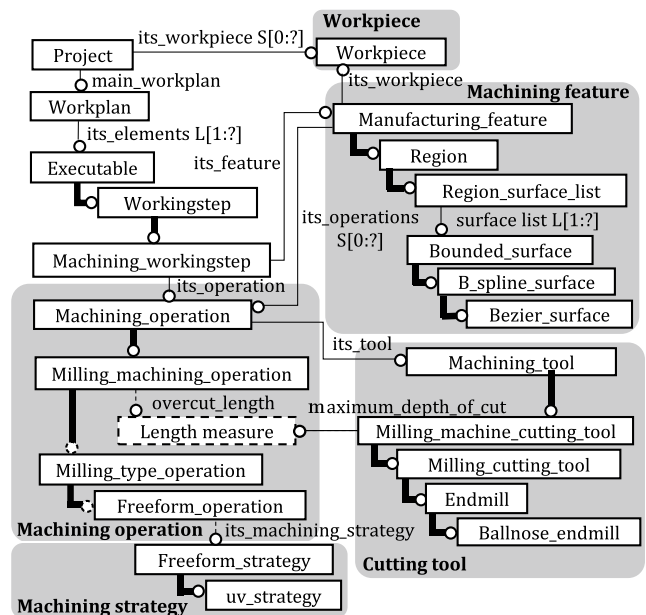


Figure 2 Structure of STEP-NC

出する過程であり、手順は以下の通りである。

- ある点から u, v 方向のそれぞれの刻み幅 lu, lv にある曲面上の点 S を求める。このとき、距離をシンプソンの公式^[4]で近似し、二分法からパラメータを導出する。(図 3(a))
- 点 S に対応する工具中心点 S^o を(1)式から導出する。(図 3(b))
- S^o を $uv_strategy$ の運動方法に従って、直線で結ぶことにより工具経路を生成する。(図 3(c))

本報では、図 3(a)の lu, lv をそれぞれ工具半径と同じ大きさとし、工具の動きを Zigzag に限定する。工具経路生成において、 u, v 方向のそれぞれの overcut の大きさを考慮する必要がある。そのため、 u 方向に関しては、 u 曲線の端点と同じ傾きで、大きさが $overcut_length$ となる点を算出した。 v 方向に関しては、 v 曲線の端点と同じ傾きで、工具半径分だけ手前と奥の点を算出した。さらに、一回の切削で加工することができる深さ ($maximum_depth_of_cut$) についても考慮し、深さの切削限界量を超える場合には、複数層での加工を行うように工具経路を生成した。

3 STEP-NC によるシミュレーションと実加工

実加工で利用する座標系と形状を図 4 に示す。加工には工具長 15mm、工具半径 1mm のボールエンドミルを使用する。制御点は図 4 に示したとおりであり、それぞれ x 座標、 y 座標、 z 座標の値を示す。図 5(a) は使用した工作機械

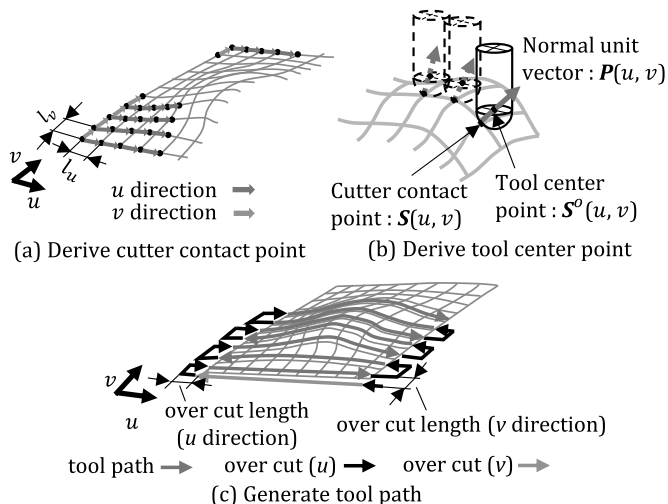


Figure 3 Procedure of generating tool path

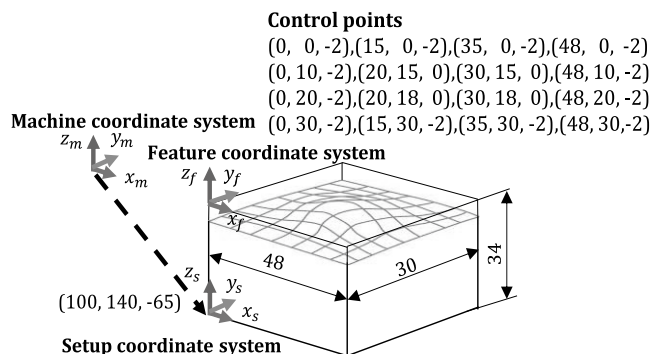


Figure 4 Coordinate systems and a feature

kitmill RD 300 (original mind 社) で、図 5(b) は加工結果である。この結果より、構築した CNC インターフェースが正しく機能したことが確認できた。また、図 6(a) は図 4 に示す工具半径 1mm である、STEP-NC データから生成されたシミュレーション結果であり、図 6(b) は工具半径を 2mm に修正したものである。図 6(b) は、工具半径の変化に伴い、工具の u, v 方向の移動距離も自動的に修正されるため、より幅の広い工具経路が生成されている。これより、STEP-NC データの工具半径の修正に対する工具経路生成は容易に行われることがわかる。

4 結論

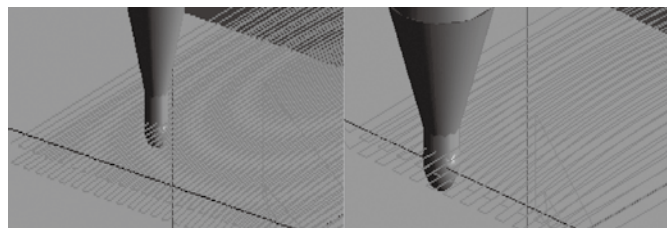
本研究では、STEP-NC を NC データに変換する CNC インターフェースを構築した。実加工を行うことで、構築した CNC インターフェースが正しく機能していることを確認した。また、工具半径を修正することだけで得られる工具経路のシミュレーション結果から、少ない修正に構築した CNC インターフェースは対応可能であることより、STEP-NC の優位性を示すことができた。ただし、本研究ではオフセットを求める際に次の加工点へ等距離移動を行っており、曲率の大きな部分ほど誤差が大きくなってしまいうという問題点がある。そのため、今後は移動距離を曲率に対応させる必要がある。

[参考文献]

- [1] ISO/FDIS 14649-Part 10, 11: Data model for Computerized Numerical Controllers (2004)
- [2] Shinji Igari et al., Development of Process Planning and Machining System for Machine-Independent STEP-NC Data, The Seventh IEEE International Conference on Control and Automation, ThMPo.2.7 (2009)
- [3] 樋野 励 他, 直接オフセット法による工具経路生成 (第 1 報) -基本手順の提案-, 精密工学会誌, Vol69 No.6 p.781-787 (2003)
- [4] 森口 繁一 他, 数学公式 微分積分・平面曲線, 岩波書店, 第 9 刷 (1992)



(a) Machine tool (Kitmill RD 300) (b) Machining result
Figure 5 Machine tool and Machining result



(a) tool radius : 1mm (b) tool radius : 2mm
Figure 6 Simulation result