ノート

干渉回避シミュレータの開発

田村　信[*]　木嶋　祐太[**]　相田　収平[**]　石川　淳[**]　須藤　貴裕[*]

Development of the simulator for a 5-axis milling machine with the interference evasion function

TAMURA Makoto[*]，KIJIMA Yuuta[**]，AIDA Shuhei[**]，ISHIKAWA Atsushi[**]and SUTOH Takahiro[*]

1. 緒　　言

従来 5 軸加工機は，工作物に対して任意の工具姿勢を与えることができることから，一体化構造で薄肉・複雑曲面形状のタービン翼，プロペラなどの自由曲面の加工，インペラ翼面のルールド面の加工などに使用されてきた。近年，より単純な形状の一般機械部品や金型などの加工分野においても，段取り替えの省略による工程削減などへの期待から，5 軸加工機による高速・高精度加工が注目されている。また近年，市場の急拡大が予測されている航空機分野では，部品の多くが 5 軸加工機により加工されている。

5 軸加工においては，技術的利点を有する反面，干渉の生じない NC プログラムの生成は複雑であり，その実現は容易でない。例えば，工具系形状（工具，工具ホルダ，スピンドル）とテーブル系形状（工作物，ジグ，テーブル）間に生じる干渉は，加工機を用いたテストランもしくはシミュレータによって検出し，干渉が生じた場合は，作業者が加工戦略を変更し，干渉が生じない経路を再生成する必要がある。5 軸加工機を用いる企業においては，高速で，最適な NC プログラムの生成を可能にするシミュレータに対する強い要望を持っている。

本研究では，市販 CAM より出力される NC プログラムに対して，工具系とテーブル系間に生じる干渉を，高速かつ確実に検出することができ，その干渉を自動で回避することができる機能を備えた干渉回避シミュレータの開発を行った。

*　研究開発センター
**　下越技術支援センター

2.　干渉回避シミュレータの開発

2.1　概要

干渉回避シミュレータは，データ入力部，回避処理部，プログラム出力部で構成される。従来方法と比較して構成を図 1 に示す。シミュレータによって干渉を検出した場合，従来方法では作業者が加工戦略を変更し，干渉が生じない経路を再生成する必要がある。それに対して，干渉回避シミュレータは，干渉を検出した際，自動で干渉を回避し最適な NC プログラムの生成を行う。そのため NC プログラムの生成作業の効率化が図れる。

2.2　入出力部の開発

データ入力部は，工具系形状とテーブル系形状，および CAM より出力されたツールパスを入力する。

工具は半径および突き出し長さを入力する。工具を除く工具系形状とテーブル系形状は STL 形式で入力する。STL 形式とは 3D Systems 社の SLA CAD のファイルフォーマットで，三角形の面法線ベクトルと 3 頂点の座標値で記述されている。データ入力部は STL 形式で記述された工作機械形状と工作物形状の三角形要素データ（ポリゴンパッチ）を読み込み，各行の文字列を分析して，ポリゴンパッチの 3 頂点の座標値と単位法線ベクトルを設定する。このデータは干渉検出，回避処理および OpenGL での形状表示に用いる。

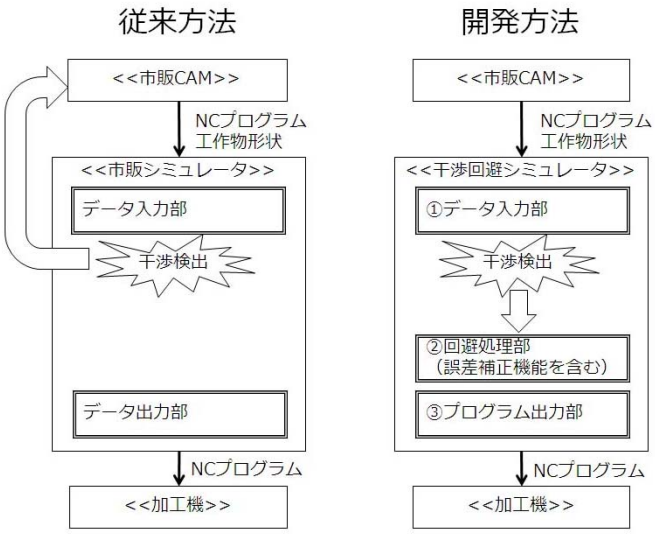


図１　干渉回避シミュレータの概要

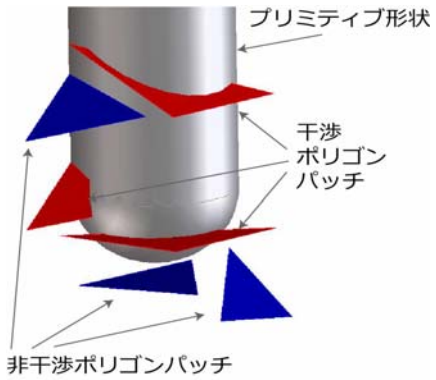


図２　プリミティブとポリゴンパッチの干渉検出

ツールパスはNCプログラムを入力する。テキスト形式のNCプログラムを読み込み，ブロック単位で各ワードのアドレスと指令値データを解析し，ワーク座標系のCL（カッティングロケーション）データを作成する。

出力部は回避処理部で回避されたCLデータをNCプログラムに変換して出力する。

なお，工具先端点制御なし，工具先端点制御（回転軸指定）および工具先端点制御（工具軸指定）に対応した。

2.3　回避処理部の開発

2.3.1　干渉検出

干渉検出の概略図を図2に示す。工具系とテーブル系間に生じる干渉検出の処理は，処理の高速化，検出漏れ防止などを考慮して，干渉検出の対象となる工具系はプリミティブ（半球，円柱）で定義された工具，工具ホルダなどで構成されているものとした。また，干渉検出の対象となるテーブル系は使用工具径より短い稜線を少なくとも1本含む三角形のポリゴンパッチで近似された工作物，テーブル，ジグなどで構成されているものとする。このことにより，工具系とテーブル系の干渉検出問題をプリミティブとポリゴンパッチの稜線間の交差検出問題に置換した。本システムではプリミティブを半球，円柱に限定し，ポリゴンパッチとの干渉を検出した。

2.3.2　回避処理

回避方向を示すベクトル定義を図3，干渉回避の模式図を図4に示す。干渉回避は，テーブル系のポリゴンパッチに対して以下の手順で行う。

①回避処理前NCプログラムの特徴を示す補助情報より回避方向（ベクトルA）を決定する。補助情報は，加工形状（凸形状，凹形状など），加工部位（内側，外側），本体加工動作（等高線，螺旋，平行など）を示すもので，それぞれ識別番号で指示する。

②ポリゴンパッチの法線ベクトルと回避方向ベクトルとの内積が負であるポリゴンパッチに対して，B軸を回転軸として工具軸ベクトルを回転させたときに干渉が生じる天頂角の最小値を$\alpha 1$とする。ここでB軸とは，ベクトルAとn軸に垂直で，工具中心点Otを通る軸である。干渉を回避できない場合は$\alpha 1$を$\pi/2$radに設定する。（図4(a)）

③ポリゴンパッチの法線ベクトルと回避方向

ベクトルとの内積が正であるポリゴンパッチに対して，B 軸を回転軸として工具軸ベクトルを回転させたときに干渉が生じる天頂角の最小値を α2 とする。干渉を回避できない場合は α2 をπ/2rad に設定する。（図 4(b)）

④この 2 つの天頂角 α1 と α2 により，回避方向に干渉の存在しない区間［α1，α2］を決定する。

⑤α1≦α2 の場合は，回避方向に干渉を回避できないことを意味する。

⑥回避量の算出，工具軸ベクトルの設定をする。

2.4　回避処理の検証

回避処理を検証した。回避処理前 NC プログラムは工具系形状とテーブル系形状間に干渉を有する 3 軸加工用プログラムとした。そのプログラムを汎用 5 軸 CAM の 5 軸変換機能および干渉回避シミュレータを用い 5 軸加工 NC プログラムを作成し，それぞれの作成に要する時間を評価した。

汎用 CAM は 5 軸加工 NC プログラムを作成する方法が各種用意されている。具体的には，方法軸自動設定方式（工具の初期角度，優先回避軸を設定，以下方法①），ガイドカーブ利用方式（作業者がガイドカーブを描き工具軸方向を設定，以下方法②）などがある。干渉回避シミュレータは自動生成を目的としていることから，時間の比較は方法①と行った。コンピュータはデスクトップ PC（Dell precision T3400, CPU:core2 Duo E8500 3.16GHz，メモリ:3GB）を用いた。

検証した形状を図 5，検証結果を表 1 に示す。検証した形状は干渉回避が容易に思えるが，方法①では干渉回避できない場合が多いことがわかる。こうした形状に対しては，方法②で行うことになる。それに対し，干渉回避シミュレータを用いた場合はいずれの形状に対しても実用的な時間で NC プログラムを生成できることがわかる。

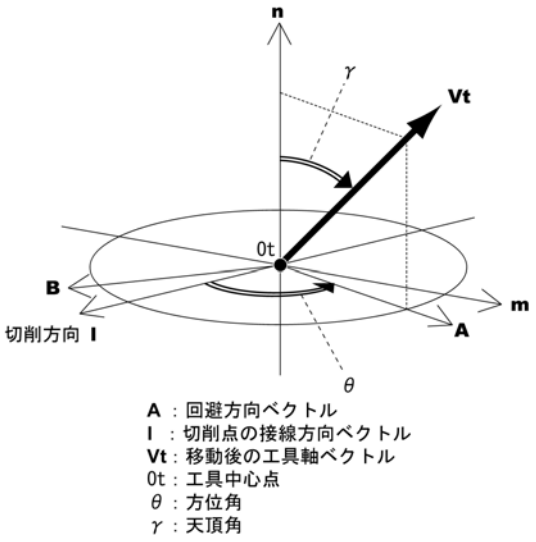


図 3　ベクトルの定義

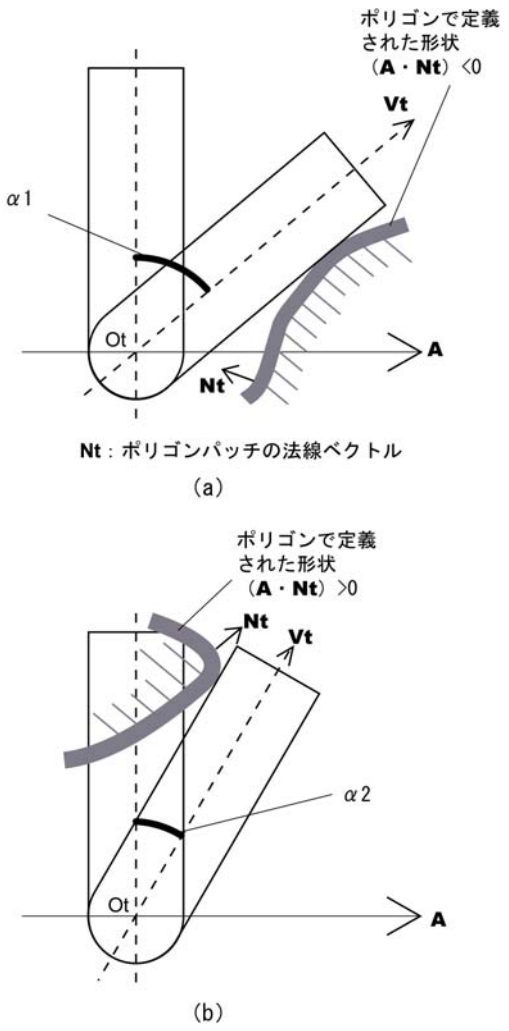
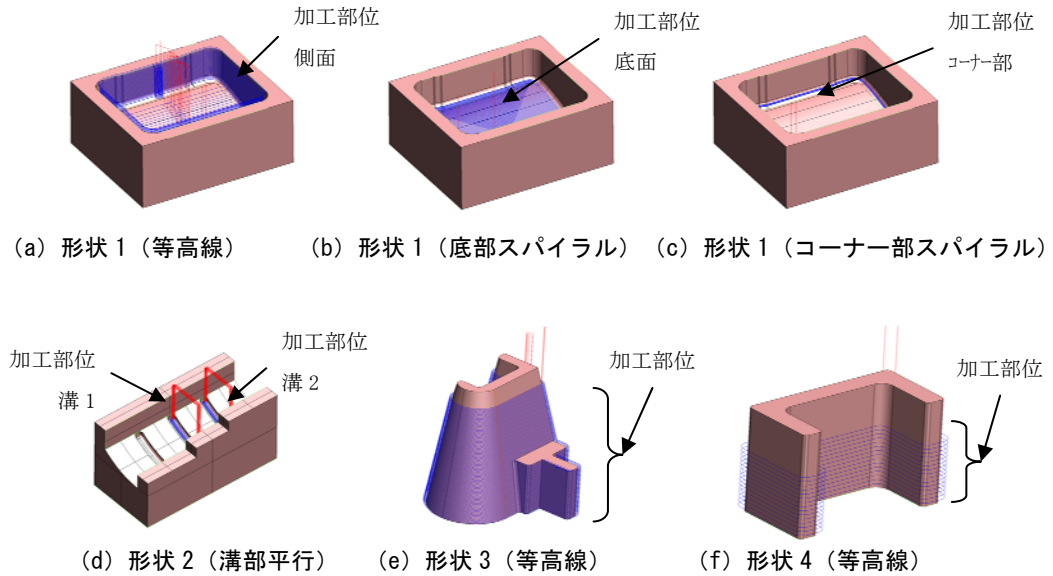


図 4　回避処理の模式図



(a) 形状 1（等高線）　(b) 形状 1（底部スパイラル）　(c) 形状 1（コーナー部スパイラル）

(d) 形状 2（溝部平行）　(e) 形状 3（等高線）　(f) 形状 4（等高線）

図 5　検証形状（括弧内は本体動作形態を示す）

表 1　プログラム生成に要する時間比較

	干渉回避 ｼﾐｭﾚｰﾀ	汎用 CAM 方法①
形状 1 等高線動作	35 秒	NG
形状 1 底部ｽﾊﾟｲﾗﾙ	20 秒	NG
形状 1 ｺｰﾅｰ部ｽﾊﾟｲﾗﾙ	15 秒	26 秒
形状 2 溝 1	29 秒	NG
形状 2 溝 2	29 秒	NG
形状 3	1 秒	NG
形状 4	32 秒	NG

図 6　実加工検証サンプル

実加工により，作成した NC プログラムの検証を行った。加工は形状 1 の等高線加工（図 5(a)），底面加工（図 5(b)）およびコーナ部加工（図 5(c)）の 3 種類行った。加工後のサンプルを図 6 に示す。いずれも干渉することなく加工が行えた。しかし，加工面には加工品質が低下している部位が確認された。これは，工具姿勢の連続性が悪く，局部的に姿勢変化するためで，姿勢変化を分散させるなどの改善が必要である。

干渉回避は確実に行えたが，実用化するためには工具姿勢の連続性を考慮するパラメータの改善が必要である。

3.　結　　言

(1) 工具系とテーブル系間に生じる干渉を検出し自動で回避できるシミュレータを開発した。

(2) 干渉回避性能および処理速度は実用上問題ないが，工具姿勢の連続性を考慮するパラメータの改善が必要である。