

3次元CADモデルの生データから直接仕上げ加工プログラムを抽出し、NC加工データを生成する手法の検証
(加工実験結果)レポート

近畿経済産業局平成16年～17年度地域新生コンソーシアム研究開発事業
採択プロジェクト報告書より抜粋

- * 本プロジェクトで用いたNC仕上げ加工用データ作成手法は
特願2003-053345で特許出願願いを申請した手法

平成17年3月

有限会社ランクコーポレーション

兵庫県神戸市兵庫区吉田町3丁目7番29号

ランクアップ有限責任事業組合

大坂府高槻島真上町3丁目7番35号

3.3 仕上げ加工用CAMによる加工試験結果

3.3.1 仕上げ加工に用いたCAM

仕上げ加工に用いたCAMは(有)ランクコーポレーション製のCAMで商品名をVector CAMを用いる。

3次元造形物のNC加工データ作成で加工プログラムを用いている製品は航空機・潜水や高温高圧タービンなどの高精度部品である。

一般の民生用3次元造形物のNC加工データ作成は3次元CAD/CAMを用いている。

3次元CAD/CAMのNC加工データ作成工程は殆どのシステムがブラックボックス化処され、一般の加工データ作成技術者はその過程を伺える構造にはなっていない。

このブラックボックス化の工程は学術や研究者の論文などから解き明かされている内容では、造形物を3次元CADデモでリングし、3次元CAMでモデルを再現させ、モデルにシートを覆い、その表面に離散的にばらまいた点の群を発生させ、この点群を細工して加工データとしている。

この時モデル作成に採用した図形要素並びにシートは廃棄処分されモデル骨格作成に用いたエレメントは点群作成のための処置ツールである。

仕上げ加工データ作成に当たって精度が良く、滑らかで面粗度良好且つ最適切削加工時間が可能な三拍子揃った仕上げ加工用NCデータ作成方法は、加工プログラムを有し且つ3次元CAD又はモデラーでモデリングした生データから直接プログラムを抽出する方法である。

3.3.2 加工プログラム要素の主要諸元

造形物の表現は開発設計のスピード化・諸解析機能上と環境問題のペーパーレス化で3次元CAD設計が時代の趨勢である。

3次元設計のモデリングに用いられる要素は点・直線・円弧・曲線の4要素類である。

この4要素を表現する方法を考える。点以外の直線・円弧・曲線には2次元要素と3次元要素があり、これらの全てを表現出来る2点間ベクトル表現を用いる。

形状処理定義文要素のセグメント(点・円弧・直線・曲線)の定義構文は以下とする。

NCデータ作成プログラム法にクーンズ曲面処理法を採用し、基本思想は空間立体幾何学のベクトル工学用いる位置ベクトルと方向ベクトルであり、位置ベクトルには実数値のX、Y、Zを方向ベクトルに方向余弦を採用し、この基準値使用を下記する。

3.3.2 加工プログラム要素の主要諸元

(1) 基準数値

採用する数値は右手直角座標系座標値とする。

3.3.2 加工プログラム要素の主要諸元

(2) 寸法値

(a) 単位 : ミリ

(b) 位取り : 10進法小数点入力方式を採用し小数点以下の数値でリーディング0(ゼロ)は省略する但しミリの区切りに必ず小数点を付記する。

(c) 数値 : ±99999.999

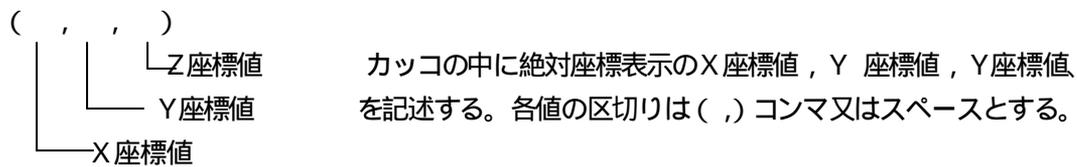
記事 ゼロより小さい数値にはマイナス(-)記号を付記するが、ゼロより大きい数値にプラス(+)
記号は付記してはならない。

3.2.2 加工プログラム要素の主要諸元

(3) 点(原点Oに対する点Pの位置ベクトル表示)

点を表示する場合は原点O(X0,Y0,Z0)に対しての点Pの位置を表示する、表示方法は原点に対して絶対座標値記述とする。

構文 絶対座標値表示

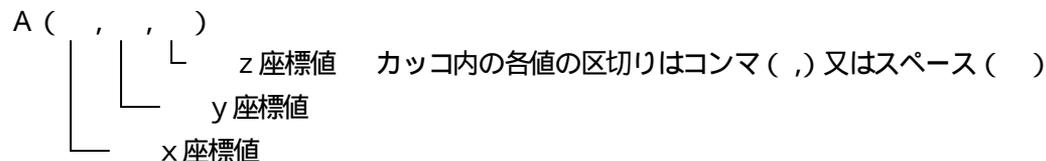


3.3.2 加工プログラム要素の主要諸元

(4) 角度(方向ベクトル表示)

採用する角度表示に用いる記述内容は、先に説明してある方向余弦記述とし角度表示方法は相対座標値記述とする。

構文 相対座標値表示



記号A カッコ内の数値は方向余弦表示による方向ベクトルである、表示記号Aの代わりに記号Bを用いるときは、必ず角度表示のAに関する角度表示と基本的に1対となる、この場合のカッコ内の内容はA同様方向余弦表示の方向ベクトルである。

3.3.2 加工プログラム要素の主要諸元

(5) 位置ベクトルの点に方向ベクトルを貸与した点情報

位置ベクトルの点に方向ベクトルを貸与した点情報を2種類に使い分ける。(a)セグメント点と(b)ポテンシャル点として区別する。

(a)セグメント点は位置ベクトルの点1点に対して1ヶの方向ベクトルを貸与した点であり、(b)ポテンシャル点は位置ベクトルの点1点に対して2ヶの方向ベクトルを貸与した点である。

(a)セグメント点を用いるプログラムは、セグメントである直線・円弧・曲線生成用であり、(b)ポテンシャル点を用いるプログラムは、パッチ曲面生成である。

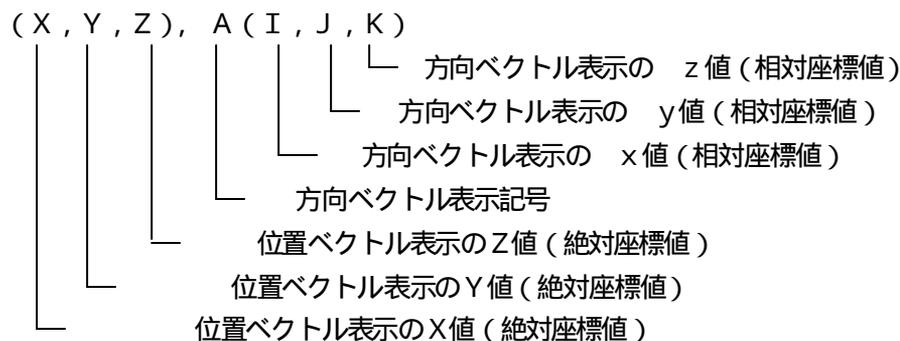
3.3.2 加工プログラム要素の主要諸元

(5) 位置ベクトルの点に方向ベクトルを貸与した点情報

(a) セグメント点

(a)セグメント点のプログラム文は位置ベクトルの絶対座標点とその点を通過する1方向の方向ベクトルを幾何学角度表示方式の方向余弦記述を行う。

構文(1行1ステートメント処理)



このセグメント点記述方式を採用すると、図形要素の直線・円弧・曲線の全てを表現出来るのでこの記述方法を用いる。

3.3.2

(5) 位置ベクトルの点に方向ベクトルを貸与した点情報

(b) ポテンシャル点

(b) ポテンシャル点のプログラム文は位置ベクトルの絶対座標点とその点を通る2方向の方向ベクトルを幾何学角度表示方式の方向余弦記述を行う。

構文(1行1ステートメント処理)

(X, Y, Z), A(I, J, K), B(P, Q, R)

Bベクトルの z 値 (絶対座標値)
Bベクトルの y 値 (絶対座標値)
Bベクトルの x 値 (絶対座標値)
ベクトル表示記号
Aベクトルの z 値 (絶対座標値)
Aベクトルの y 値 (絶対座標値)
Aベクトルの x 値 (絶対座標値)
Aベクトル表示記号
位置ベクトル表示のZ値 (絶対座標値)
位置ベクトル表示のY値 (絶対座標値)
位置ベクトル表示のX値 (絶対座標値)

ポテンシャル点に貸与する2方向の方向ベクトルの

A方向の方向ベクトルとは、工具が走行カッティングする方向 = 説明上・主曲線の方向の方向ベクトル = ベース・ラインの方向

B方向の方向ベクトルとは、主曲線と交差する交差曲線 = 従曲線 = 工具がピック移動する方向の曲線の方向ベクトル = クロス・ラインの方向

曲面切削で曲面の四隅と2方向で8通りの切削方法が自由選択出来る。2次元プリミティブ並びに曲面はこのポテンシャル点4組でパッチ曲面を表すことが出来る。3次元CAD生データから直接位置ベクトルと2方向の方向ベクトルを抽出する事でパッチ曲面を認識して加工データ変換を行う事が出来る。

3.3.3 アプロテック社ビード仕上げ加工

(株)アプロテック・ビード製作図面による仕上げ加工データ作成並びに加工後の検証結果は次の通りである。

(1) 上げ加工プログラムに当たって

仕上げ加工図面は図3.3.3(1)加工図面である。荒加工は「仮想加工システム」による加工データ作成であって、3次元モデリング形状データを拝見した所、位相軸変換形・等高線切削形状と判断し、2次元図面の元図を借用する。

2次元図面を拝見の結果矢張り、常に外形円弧の中心点を通る切断面が真円であって、位相軸変換形・等高線切削形状であることが判明した。

故に、3次元モデラーのAlt Designerによるソリッドモデル作成し、CAD生データから直接ビード加工プログラムの形状部を抽出して、運動命令を付記して、Vector CAMでNCデータ変化し(株)アプロテックの本社工場で加工をして頂く。

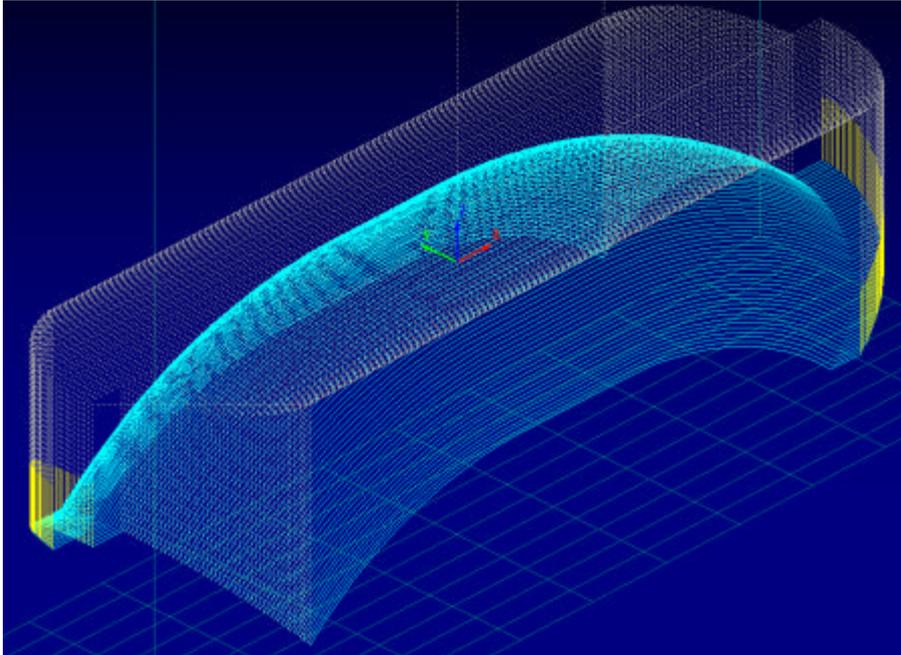
(a) 加工結果

(株)アプロテック殿で加工の結果、外観については問題無し、垂直壁と曲面部の臨界領域も良好との結果を戴く。

又後日形状測定の結果が理想形状に対して加工精度が ± 0.02 以内に入っている測定結果を戴き当方としては満足している。

CAD/CAMの加工精度は一般に ± 0.05 が許容範囲とされているので良好の結果が得られた。


```
(5.000 0.000 3.000) A(-100.000 0.000 0.000) B(0.000 -100.000 0.000)
(5.000 -10.000 -7.000) A(-100.000 0.000 0.000) B(0.000 -0.000 -100.000)
(-5.000 0.000 3.000) A(-100.000 0.000 0.000) B(0.000 -100.000 0.000)
(-5.000 -10.000 -7.000) A(-100.000 0.000 0.000) B(0.000 -0.000 -100.000)
(-31.818 0.000 -7.560) A(-73.152 0.000 -68.182) B(0.000 -100.000 -0.000)
(-25.000 -10.000 -14.875) A(-73.152 0.000 -68.182) B(68.183 0.000 -73.151)
T0 ; BACK ; M30 ; END
```



第3章 実証用試作システムの性能の検証と今後の課題

3.1 実証用試作システムの課題

DCM実証用試作システムによる加工実験を通してDCMの性能評価をする中で、以下のような課題が明らかとなった。

(a) NC制御装置の処理能力で工具送り速度が制限される

工具経路を生成する時間間隔がNC制御装置の処理能力に左右される。時間間隔が長くなると最小の工具移動距離が大きくなるため、加工精度を低下させる。一般的な制御装置では16msec、高性能な制御装置では8msecであり、加工精度に配慮すると工具送り速度の上限は現状では3~4m/minとなる。

(b) STLフォーマットで加工面形状を表現するため加工精度が制限される

DCM実証用試作システムの開発期間の制約から、3次元CADから加工面形状データを取得する際のデータフォーマットをSTLフォーマットに限定した。STLフォーマットでは、加工面形状を微小な3角形で多面体近似するため、工具経路を生成する際に加工面形状の近似誤差が含まれてしまう。

(c) 逐次的に工具位置を計算するために凸角部で工具経路に誤差が発生する

工具経路を生成する時間間隔ごとに工具位置を逐次的に計算するため、加工面形状の凸角部では頂点部をオー

バーカットするような工具経路が生成される。(頂点を挟む2点の工具位置を結ぶと、結果的に頂点部がオーバーカットされる。)特に工具送り速度を大きく設定すると工具移動間隔が広がり、頂点部のオーバーカット量が大きくなる。

(d) 作業者が希望する加工面や加工形状に適した工具経路が得られない

加工面や加工形状に応じて作業者が工具経路パターンを決定するわけではなく、予め用意された工具経路パターンに沿って自動的に加工が行われるために、結果として作業者が希望する工具経路が得られない

上記のうち、(a)は制御装置の性能向上、(b)はシステム開発仕様の変更により対応可能な課題である。一方、(c)と(d)はDCMの本質的な問題である。(c)は制御装置の性能が向上し、工具経路を生成する時間間隔を小さくすることができれば、問題を軽減することはできる。しかし、3次元CADデータから作業者が関与することなく機械加工を実現できることが特徴であるDCMでは、(d)の課題を解消することはできない。

以上のDCMの課題を現実的に解決する対策として、荒加工と中仕上げ加工をDCMで、最終仕上げ加工を3次元CAMで作成したNCプログラムで行う方針で、NCプログラム作成のための仕上げ加工用システムを開発する事となった。

3.2 仕上げ加工用システムの開発結果

3.2.1 概要

昨年度の加工試験で仕上げ加工用NCプログラムの生成に利用した(有)ランクコーポレーション製Vector CAMを用いて、仕上げ加工用システムを開発することとした。使用したVector CAMは、加工面のベクトル情報に基づいて高品位のNCプログラムが作成できるという特徴を有する。しかしながら、NCプログラムの作成を効率化したいという本プロジェクトの目的に対して、汎用の3次元CADとの連携が不十分という問題点があった。

仕上げ加工用システムでは、DCMで荒加工と中仕上げ加工を行った後に行う最終仕上げ加工用のNCプログラムを作成するが、3次元CADデータから作業者が関与することなく機械加工を実現できるというDCMの特徴を活かすためには、できるだけ少ない操作でNCプログラムを作成する必要がある。そこで、3次元CADのSolid Worksでモデル化された加工品形状に対して、加工面をマウスで指示することにより対象加工面のベクトル情報を抽出するインタフェースを開発することとした。

3次元CADで設計される機械加工部品の7~8割はプリミティブ(円柱や立方体といった基準立体)で構成されると言われているが、NCプログラムの生成の過程で、工具経路の曲線部分が円弧補間指令のG02やG03で表現されることはなく、微小な直線補間指令のG01で近似されることが殆どである。このため、曲面加工部の工具経路は微細な折線となり、 $\pm 0.05\text{mm}$ 程度が加工精度の限界となっていた。生成される工具経路の精度を改善するためには、曲線はできる限り曲線で近似することが望ましく、ここで使用したVector CAMは、加工面のベクトル情報を参照しながら、曲線はできる限り曲線で近似した高品位のNCプログラムを生成することができる。

3.2.2 仕上げ加工用システム

概要で述べたとおり、Vector CAMでは加工面のベクトル情報を用いて高品位のNCプログラムを作成することができる。Vector CAMでは加工面がCoons曲面で表現できることを前提としており、Vector CAMが参照するベクトル情報は、加工面を近似する四角のパッチ（Coonsパッチ）の4頂点（これをポテンシャル点と呼ぶ）の座標値と4頂点（ポテンシャル点）における各稜線のuとv方向の方向ベクトルを、Solid Worksでモデル化された加工部品形状の3次元CADデータから抽出する。

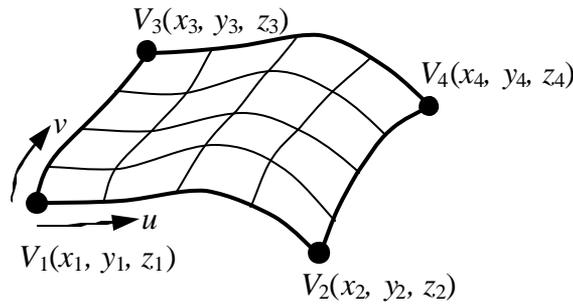


図3.2.1 加工面を近似する Coons パッチ

(1) Coons パッチによる加工面の近似

Vector CAMではCoons曲面で加工面を近似するが、図3.2.2で示すように近似の際のCoonsパッチの連続性によって4種類に分類している。ここでは単一パッチ、(n行×1列)メッシュ、(1行×m列)メッシュ、(n行×m列)メッシュの4種類である。これらの違いは、ポテンシャル点の座標値および方向ベクトルデータの配列が異なることによるもので、曲面に沿った工具経路を計算する上での本質的な違いはない。

曲面の大きさや種類（平面、球、円錐曲面、自由曲面等）に関係なく、3次元CADで設計された加工形状の3次元データからCoonsパッチを構成する4本の稜線（直線、円弧、自由曲線）からポテンシャル点の座標値および方向ベクトルの情報を抽出してVector CAMへ入力してやれば、仕上げ加工用のNCプログラムが生成される。

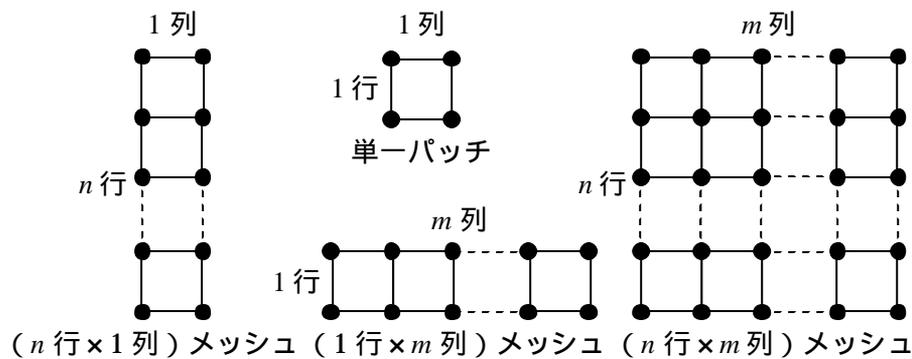


図3.2.2 Coons パッチによる曲面近似の種類

(2) 仕上げ加工用システムの実装

仕上げ加工用システムは、汎用3次元CADのSolid Worksが提供するAPI（Application Program Interfaceの略、

プログラミングすることなく Solid Works が持つ機能を利用することができる)を用いて Solid Works 上に実装した。ユーザは Solid Works を操作しながら、Solid Works でモデル化された加工品形状に対して、加工面をマウスで指示することにより対象加工面の NC プログラムを効率良く生成することができる。

NC プログラムを作成する場合には、対象加工面の幾何学的な情報以外に、加工に関する情報が必要となるので、幾何学的な情報 (ポテンシャル点の座標値および方向ベクトル) を抽出する他に、以下の2つの機能も用意した。

(a) 3次元オフセット指令機能

エンドミル加工においては、使用する工具半径を考慮して加工形状をオフセットする必要がある。使用する工具情報を入力して、オフセット面の生成を指令する機能である。

(b) 運動命令附記機能

Vector CAM が NC プログラムを生成する際に、主軸回転数や工具送り速度といった切削条件の情報や、ワーク座標系の設定やクーラントの on/off など、NC 工作機械に指令する運動命令を附記する機能である。

3.2.3 仕上げ加工用システムによる最終仕上げ加工の評価結果

(1) 加工実験に用いた3次元CADデータ

加工実験は図3.2.3に示すアプロテック社造形部品のビードダイ B を用いて実施した。この加工形状は昨年度に実施した Vector CAM の性能評価の加工実験で用いた部品形状と類似である。最終仕上げ加工用の NC プログラムは、今年度開発した仕上げ加工用システムを用いて抽出した加工面の幾何学的な情報 (ポテンシャル点の座標値および方向ベクトル) を基に、Vector CAM で NC プログラムに変換した。

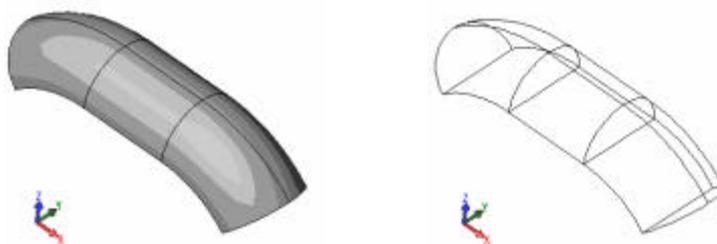


図3.2.3 加工実験に用いた3次元CADデータ

- * ビードダイ B 面直仕上げ 3R ボールエンド使用
- * 一方向切削パターンプログラムを用いた仕上げ加工データは上部曲面部のみで他はDCM加工で仕上げた。

(2) 実験結果

仕上げ加工用システムの検証として、図3.2.4に示すシステム構成で加工実験を行った。中仕上げ工程まではDCM (仮想加工システム) で行い、最終仕上げ工程は本システムで作成した NC プログラムを NC 工作機械内のハードディスクに登録してディスク運転での加工を行った。

使用設備の一覧を表3.2.1に、また、加工ワーク（ビードダイB）の形状を図3.2.5にそれぞれ示す。

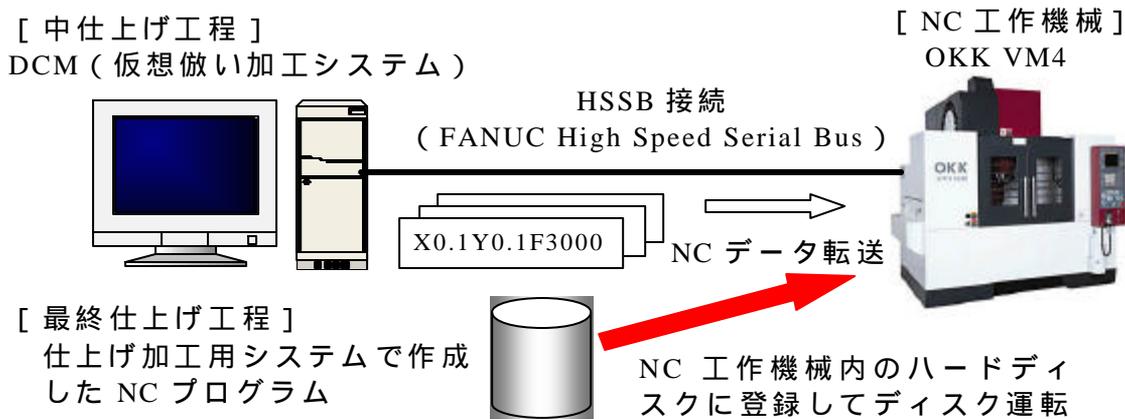


図3.2.4 検証システム構成

表3.2.1 使用設備の一覧

工作機械	OKK VM4 (主軸：2000min ⁻¹ 仕様，制御装置：FANUC F180is-MB)
コントローラ (パソコン)	型式 Dell Precision370 仕様 CPU: Pentium4 3.0GHz, RAM: 1Gbyte, OS: Windows XP Pro SP2
仮想加工 ワーク	DCM [仮想加工機能] ソフトウェア Ver1.6 SKD11 (100×50×40mm)
工具	10 R5 ボールエンドミル HITACHI CEPB2100 突出 45mm 8 R4 ボールエンドミル HITACHI CEPB2080 突出 40mm 6 R3 ボールエンドミル OSG WX-EBD R3×6 突出 35mm
ホルダ	10用 BIG BBT40-MEGA32D-105 8用 BIG BBT40-MEGA16N-105 6用 NIKKEN BT40-GSK16-120P

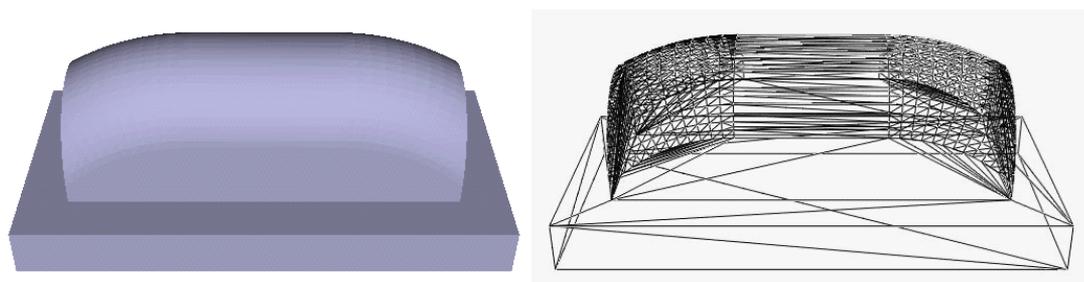


図3.2.5 加工ワーク形状

DCMによる中仕上げ工程および仕上げ加工用システムで作成したNCプログラムによる最終仕上げ工程の加工結果を表3.2.2にまとめて示す。なおDCMによる加工面と比較する為、最終仕上げ工程については半分の領域のみ加工を行った。

表3.2.2 DCMおよび仕上げ加工システムによる加工結果

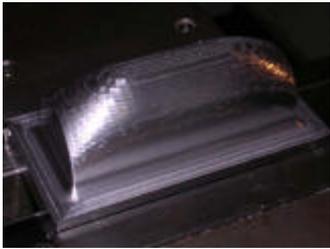
<p>DCM 第1工程(荒加工)</p> <p>工具経路パターン 等高線 外 内</p> <p>使用工具 10ボールエンドミル</p> <p>主軸回転数 3000 min⁻¹</p> <p>送り速度 1000 mm/min</p> <p>Z切込量 1.0 mm</p> <p>XYピッチ量 2.5 mm</p> <p>残り代 0.5 mm</p>	<p>加工時間 1時間30分</p> 
<p>DCM 第2工程(中荒加工)</p> <p>工具経路パターン 走査線</p> <p>使用工具 8ボールエンドミル</p> <p>主軸回転数 6000 min⁻¹</p> <p>送り速度 2000 mm/min</p> <p>Z切込量 5.0 mm</p> <p>XYピッチ量 1.0 mm</p> <p>残り代 0.2 mm</p>	<p>加工時間 9分</p> 
<p>DCM 第3工程(中仕上げ)</p> <p>工具経路パターン 走査線</p> <p>使用工具 8ボールエンドミル</p> <p>主軸回転数 8000 min⁻¹</p> <p>送り速度 2000 mm/min</p> <p>Z切込量 5.0 mm</p> <p>XYピッチ量 0.1 mm</p> <p>残り代 0.1 mm</p>	<p>加工時間 1時間15分</p> 
<p>最終仕上げ工程 (仕上げ加工用システムで作成したNCプログラムによるディスク運転)</p> <p>使用工具 6ボールエンドミル</p> <p>主軸回転数 12000 min⁻¹</p> <p>残り代 0.0 mm</p>	<p>加工時間 29分</p> 



図 3.2.6 仕上げ加工の結果（右半分の領域）

加工実験の結果、図 3.2.6 に示すように仕上げ加工を行った領域については、当然のことながら元の STL 形状は残っていない。特に曲面形状の加工ワークの場合は、DCM では STL の形状が加工面に転写されてしまうことから、DCM では中仕上げ工程までを行い、開発した仕上げ加工用システムで作成した NC プログラムで最終仕上げ工程を行うのが最適な方法だと言える。

3.2.4 まとめと今後の課題

Solid Works でモデリングした 3 次元 CAD データから、開発した仕上げ加工用システムで加工面の幾何学的な情報（ポテンシャル点の座標値および方向ベクトル）を抽出し、そのデータに基づいて Vector CAM で加工用 NC プログラムを作成した結果、問題無く高品位の加工面を加工することができた。

なお、ここで実施した加工実験では問題はなかったが、このシステムを実用化するためには、以下のような改善が必要である。

- ・現状では Solid Works 上での操作と Vector CAM 上で操作を必要とするが、Solid Works 上の操作だけで加工用の NC プログラムが生成できるような自動変換システムとする必要がある。
- ・Coons パッチは四角形を基本とするパッチであるが、自由曲面を近似する際には三角形を基本とするパッチが存在することから、三角パッチに対応した処理を追加する必要がある。
- ・最終仕上げ加工における工具経路パターンを選択する際に、一方向切削、往復切削、放射状切削、複数個切削等の工具経路パターンを視覚化して、操作が容易なユーザインタフェースにする必要がある。

以上