

# Development of Tool Path Generation Method with Lower Calculation Cost: Application of Tool Dependent Refinement of Progressive Mesh

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-03 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	<a href="https://doi.org/10.24517/00009106">https://doi.org/10.24517/00009106</a>

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



# 工具経路生成時間短縮法の開発

## - 工具依存プログレッシブメッシュ表現の適用 -

金沢大学大学院 ○鬼頭亮太, 金沢工業大学 高杉敬吾, 金沢大学 浅川直紀, 金沢大学 岡田将人

### Development of Tool Path Generation Method with Lower Calculation Cost —Application of Tool Dependent Refinement of Progressive Mesh—

Kanazawa University Ryota KITO, Kanazawa Institute of Technology Keigo TAKASUGI  
Kanazawa University Naoki ASAKAWA, Kanazawa University Masato OKADA

Reduction of calculation time of tool path generation for complex 3D models is an important issue in development of CAM applications. In this study, tool dependent progressive mesh is applied for the models which are represented by meshes. This method maintains history of simplification of the 3D model with hierarchical structure. 3D model can be refined and simplified by using the tool dependent progressive mesh. Therefore, the tool path is safely generated with reduced number of meshes appropriately to reduce calculation time. In this paper, the method and calculated path are evaluated.

#### 1. 緒言

工具姿勢を自由に決定できる多軸制御加工機においてCAMは必須である。近年CAMに関するさまざまな研究が行われており、干渉回避やオフセット面の高精度生成はNURBS補間の採用により、高精度な工具経路生成が可能になったが、計算コストは増加しており、工具経路生成計算時間短縮の研究が行われている。例えば、森重らは、2次元コンフィギュレーション空間（以下C-Spaceと略す）を用いて各領域の境界線の表現方法を簡略化し、工具経路生成を高速にする方法を提案している<sup>1)</sup>。

本研究ではCAM上の3Dモデルの表現方法に着目した。加工点の生成に関しては、なるべく誤差の少ない幾何計算が望ましいことからNURBSなどといったパラメトリック表現をそのまま用いる必要があるが、干渉検出に対しては加工点生成ほどの厳密さは必要ない。そこで3Dモデルをメッシュで表現し、視点依存プログレッシブメッシュ表現<sup>2)</sup>（以下V-PM表現と略す）を応用した加工点依存プログレッシブメッシュ表現（以下C-PM表現と略す）を用いることで、工作物における加工点付近のメッシュは詳細にし、加工点から離れたメッシュは簡略化されたメッシュにすることで的確にメッシュ数を削減し、干渉検出の計算時間を削減する方法を提案した<sup>3)</sup>。しかし、大きなオーバーハングを持つ3Dモデルの場合、加工点近傍を詳細なメッシュにするC-PM表現ではオーバーハングを詳細化できない場合が存在した。そこで、本報では、詳細にする範囲を加工点近傍ではなく工具軸方向にした工具依存プログレッシブメッシュ表現を開発し、大きなオーバーハングを持つ3Dモデルにおいても工具と工作物が干渉する可能性の高い領域の幾何誤差を最小限に抑えつつ干渉検出の高速化を図る手法を提案する。さらに、工具経路生成を行い、計算時間と生成結果を比較し評価したので報告する。

#### 2. C-PM表現

C-PM表現とは、V-PM表現を応用しており、加工点と工作物の位置関係を考慮し、干渉判定が不要な領域のメッシュは粗く、必要な領域のメッシュは密にすることで、メッシュ数を減らしながら、誤検出を防ぐ方法である。以下にC-PM表現の手順を示す。

- (1) 十分な精度を確保したメッシュ表現の3Dモデルを用意する。  
この簡略化前の3Dモデルのメッシュ頂点をオリジナルポイントと呼ぶ。
- (2) QEM法<sup>4)</sup>を用いて3Dモデルを簡略化する。この時、変更された点は図1に示すように階層構造として保存される。簡略化後に残った点は階層構造の最上階に位置し、*root*と呼ばれる。
- (3) 加工点の座標値から近い順に*root*を複数点選択する。
- (4) 選択した*root*に属するオリジナルポイントを全て使うように詳細化していく。

(2)のQEM法で簡略化を行う際にEdge collapse（以下*ecol*と略す）と呼ばれるアルゴリズムを用いて簡略化を行う。これは図2に示すように、辺 $e$ と点 $v_1, v_2$ 、面 $f_1, f_2$ を削除し、新しい点 $v$ を生成することで、簡略化を行う。この際、*ecol*の逆操作である

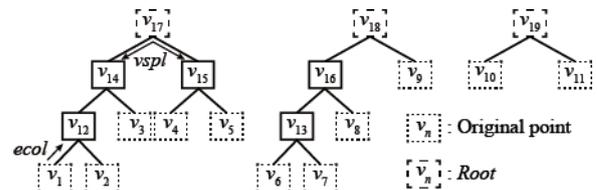


Fig. 1 Hierarchical structure of C-PM

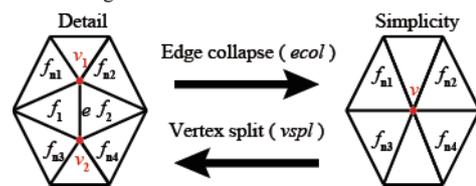


Fig. 2 Definition of *ecol* and *vspl*

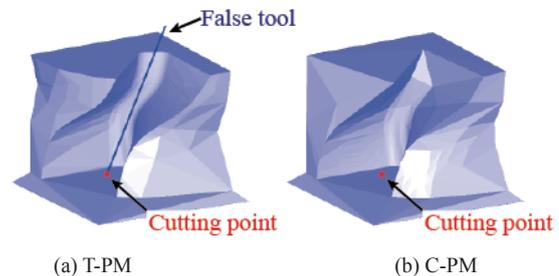


Fig. 3 Difference between the refinements

Vertex split（以下*vspl*と呼ぶ）を用いて(4)の詳細化を行う。また、*vspl*には条件が存在し、 $v$ が存在している。また、 $v$ の周囲に $f_{n1} \sim f_{n4}$ が全て存在していることである。この条件に則り詳細化を行う。

#### 3. T-PM表現

C-PM表現で大きなオーバーハングを持つ3Dモデルの場合、干渉を誤検出してしまう可能性があるため、工具軸方向を考慮し3Dモデルを詳細化することで、大きなオーバーハングを持つ3Dモデルでも誤検出なく詳細化できると考え、C-PM表現の(3)において工具軸方向の線分で擬似工具を設定し、これに近い順で*root*を選択し、詳細化するように変更した。図3(a)にT-PM表現、(b)にC-PM表現で詳細化した3Dモデルを示す。詳細化した*root*はどちらも2点であるが、この図を見てわかるようにT-PM表現の方がオーバーハング部がより詳細化されていることがわかる。

#### 4. 工具経路生成計算時間の検証

##### 4.1 検証条件

工具経路生成を行い、計算時間の比較を行った。比較対象を以下に示す。

- i) 工具、工作物をオリジナルポイントで構成されるメッシュで表現した場合
- ii) 工具、工作物をメッシュで表現し、工作物のみC-PM表現を

適用した場合

iii) 工具，工作物をメッシュで表現し，工作物のみ T-PM 表現を適用した場合

今回用いた工具，工作物のモデルは図4に示すφ4のボールエンドミルと大きなオーバーハングを持つモデルである．工具のメッシュ数は M=454，工作物は M=2588 である．

加工点は NURBS 曲面を用いて図5のように 502 点生成した．この時，加工点ごとに法線ベクトルと接線ベクトルを計算し，この2つのベクトルを用いて工具経路生成を行う．工具経路生成方法は，各加工点の法線ベクトル方向に工具を移動させる．この姿勢を初期姿勢とし，加工点を中心として工具を ± 30 度の範囲で 5 度ずつ接線ベクトル，接線ベクトルと法線ベクトルの外積周りに回転させる．もし，工具と工作物の干渉が生じない姿勢を見つけたら，その加工点においては計算を終了する．そして，全ての加工点において計算を行い，工具姿勢を決定するまでの時間を測定する．ii) と iii) の場合は QEM 法を用いて工作物を簡略化し，C-PM 表現や T-PM 表現を適用し，工作物の詳細化を行い，工具姿勢を決定する．工具姿勢が決定したら，工作物を QEM 法で簡略化した状態に戻し次の加工点に移動する．

また，干渉検出の精度を確認するため干渉の有無を図6に示すように工具の回転角度である接線ベクトル周りの回転角度を  $\gamma$ ，接線ベクトルと法線ベクトルの外積周りの回転角度を  $\beta$  として，プロットした C-Space (以下干渉マップと呼ぶ) を作成し，i) ~ iii) で比較する．工具経路生成や干渉検出は工具経路生成結果や干渉マップが i) で生成した場合と一致した場合が正しいと定義する．

今回使用した PC は，CPU: Intel core i5-3570 (コアを1つ使用)，メモリ: 8Gbyte，OS: Windows 7 Professional 64bit である．

4.2 計算時間比較

計算時間は i) で 759 秒となった．ii) の C-PM 表現を用いた場合では root を 2 点詳細化すると，計算時間は 150 秒となり，計算時間は減少したが工具経路生成結果は正しくならなかった．しかし，iii) の T-PM 表現を用いて詳細化する root の数を ii) の場合と同じ 2 点にすると工具経路生成結果は正しくなった．そして，計算時間は 377 秒となり，i) と比べ 50% 減少した．また，C-PM 表現で詳細化する root の数を 11 点にした場合，工具経路生成結果が正しくなり，計算時間は 697 秒掛かった．

次に干渉検出の結果がどのように変化するか確認した．図7に示す加工点3点で干渉マップを作成した．図8に干渉検出結果を示す．(a) は i) の場合，(b) は ii) で root を 2 点詳細化した場合，(c) は iii) で root を 2 点詳細化した場合である．赤い部分が工具と工作物が干渉している姿勢である．C-PM 表現では干渉検出結果に不備があるが，T-PM 表現では不備がなかった．この結果より，大きなオーバーハングを持つ 3D モデルの場合，T-PM 表現は C-PM 表現より詳細化する root を少なくすることができ，より計算時間を削減することができた．

これらの結果より，大きなオーバーハングを持つ 3D モデルの

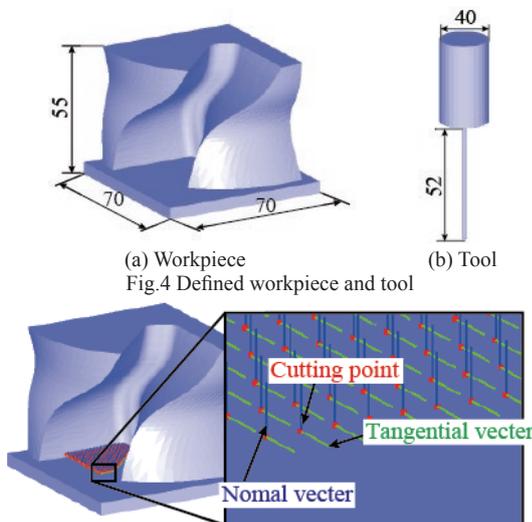


Fig. 5 Generation of cutting point, normal vector and tangential vector

場合，T-PM 表現は C-PM 表現より詳細化対象の root を少なくしながら，工具経路生成の計算時間を減少でき，かつ工具経路生成結果や干渉検出結果の不備をなくすことができた．

5. 結言

工具経路生成時の計算時間短縮を目的として，T-PM 表現による工作物の簡略化を提案し，本手法を用いて工具経路生成を行い，この時の計算時間を簡略化前の計算時間と比較を行うことで，以下の結論を得た．

- (1) T-PM 表現を用いることで，工具軸方向に近いメッシュは詳細なメッシュ，遠い所では簡略化されたメッシュにし，工作物のメッシュ数を的確に削減することができた．
- (2) 工具経路生成を行い計算時間を測定し，約 30% 計算時間を短縮することができた．
- (3) 大きなオーバーハングを持つ 3D モデルの場合 C-PM 表現より，詳細化対象の root 点数を少なくすることができた．

参考文献

- 1) 小畑智晴, 森重功一, 竹内芳美: 2次元 C-Space を利用した 5 軸制御加工のための工具経路生成法 - 複雑形状加工に適用するための処理の高速化と堅固化を重視した改良 -, 精密工学会誌, 70,2(2004), pp.287-291
- 2) Hoppe, H., View-dependent refinement of progressive meshes, In Computer Graphics, SIGGRAPH'97 Proceedings, (1997), pp.189-198
- 3) 鬼頭亮太, 高杉敬吾, 浅川直紀, 岡田将人: プログレッシブメッシュを応用した工具経路生成時間短縮法の開発 - 加工点依存プログレッシブメッシュの適用 -, 第 10 回生産加工・工作機械部門講演会, (2014), pp.205-206
- 4) M. Garland and P. S. Heckbert. Surface simplification using quadric error metrics. In Computer Graphics (Proc. SIGGRAPH 97), pp.209-216. ACM Press, New York, 1997.

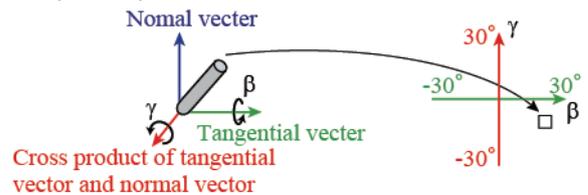


Fig.6 Definition of the C-Space

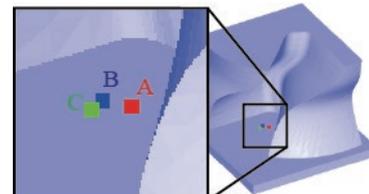


Fig.7 Cutting points of making collision map

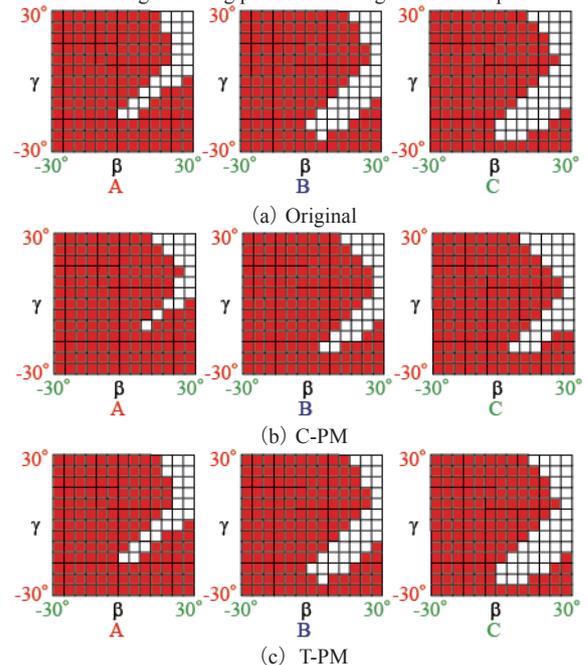


Fig.8 Distribution of collision area in the C-Space