

令和 2 年 5 月 19 日現在

機関番号：13301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14568

研究課題名(和文) VattiクリッピングとB+木を用いたニアリアルタイム切削シミュレータの開発

研究課題名(英文) Development of real-time cutting simulator using Vatti clipping and B+ tree

研究代表者

高杉 敬吾 (Keigo, Takasugi)

金沢大学・機械工学系・助教

研究者番号：80710235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本申請課題では、切削加工をリアルタイムでシミュレーション可能な切削シミュレータを開発してきた。その結果、例えばスクエアエンドミルのポケット加工で約3倍ものスピードでシミュレーションできることを確認した。また、切削力も切削ボリュームから算出できることから、予め測定されたエンドミルのコンプライアンスを用いてびびり安定限界線図と現在の切削状況をリアルタイムでモニタリングすることも可能となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究によって開発した切削シミュレータにより、空間分解能0.1mmで切削力をリアルタイム以上の時間分解能で解析可能となった。本成果により、CAMから出力されたツールパスをシミュレータ上で短時間で評価可能となり、本来実切削により初めて判明するびびり振動の有無などの問題を事前に把握することができることから、統合的な工程設計支援ツールとして社会的意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：In this study, a cutting simulator that can simulate cutting processes in real-time has been developed. As the result, we confirmed that the simulator can simulate pocket machining using a square endmill with more than 3 times speed. Moreover, since the simulator can calculate cutting force from cutting volume, monitoring the current cutting process and the chatter stable limit diagram in real-time is also possible by measuring the compliance of the endmill in advance.

研究分野：生産工学

キーワード：切削シミュレータ Vattiクリッピング びびり振動

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

CNC 工作機械や 3D-CAD/CAM の普及により、製品は設計段階から加工の直前まで一貫してデジタルデータのみで扱われるようになってきている。これにより、製品完成までのリードタイムの大幅な削減が達成されている。一方で、加工中あるいは加工後の形状・表面性状や、工具-工作物間の干渉、切削力（びびりの有無）などは、依然として実際に加工するまで分からないため、これらを容易に検証できる切削シミュレータへの要望は高く、すなわち「加工しなくとも加工結果が分かる」究極の工程設計支援プラットフォームの実現が期待されている。

切削シミュレータは現在市販されているものの、その機能は限定的で、CAM によって出力されたツールパスの確認と、工具-工作物間の干渉の有無の確認が出来る程度である。切削力の同定といった、より高い空間分解能と時間分解能を両立できる全く新しいシミュレーションアルゴリズムが必要である。

### 2. 研究の目的

リアルタイムで切削力をシミュレーションできるだけの高い時間分解能、空間分解能を持つ、全く新しい切削シミュレータの開発を目的とする。この目的を達成するため、本研究では、Vatti クリッピングと呼ばれる多角形ポリゴン同士のブール演算を高速に実行出来るアルゴリズムを切削シミュレータに応用する。

### 3. 研究の方法

Vatti クリッピングを切削シミュレータに応用するためには、次の 2 つの課題を解決する必要がある。

- (1) 多角形同士のブール演算が可能な Vatti クリッピングに対し、切削シミュレータでは工作物を多角形、工具を円として表現する必要がある。このとき、円を多角形近似した場合、非常の大きな角数の多角形を用意しなければならず、演算コストに影響を及ぼす。
- (2) Vatti クリッピングは 2 次元上のアルゴリズムであることから、3 次元へ拡張するための方策が必要となる。

上記 2 点の課題を解決しつつ、Vatti クリッピングを用いた切削シミュレータを開発し、リアルタイム性の検証、実加工による切削力シミュレーションの妥当性の検証、びびり安定シミュレータの開発を行う。

### 4. 研究成果

#### (1) Vatti クリッピングの円弧対応

Vatti クリッピングは直線で構成された多角形のみを対象としたアルゴリズムである。本研究では、工具軸方向を法線とする断面上で切削シミュレーションすることを考えた場合、工具は円しか有り得ない。従って Vatti クリッピングを図 1 に示す様に円弧に対応させることで、多角形近似による近似誤差が無くかつクリッピングにかかる演算コストの削減に成功した。

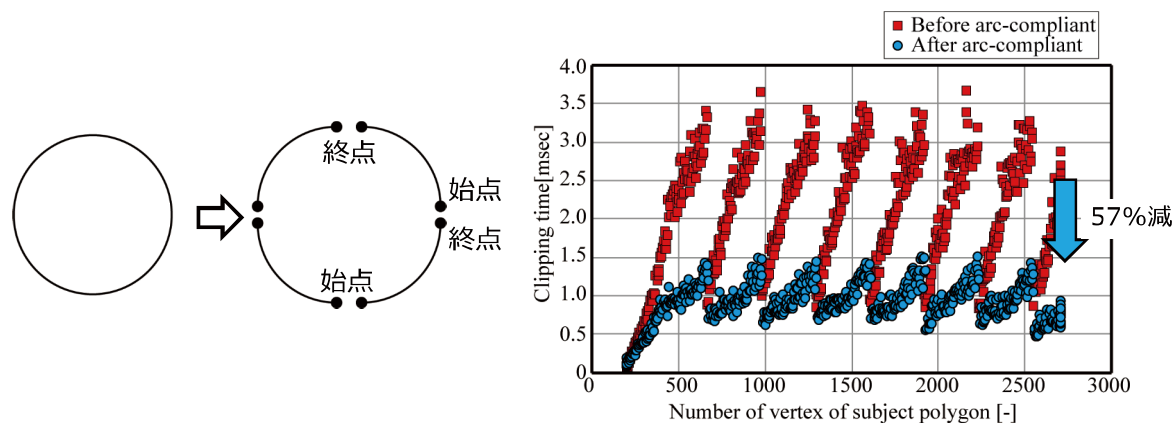


図1 Vatti クリッピングの円弧対応による演算コスト削減

#### (2) 3次元への拡張

2次元の Vatti クリッピングを 3次元に拡張するため、当初の計画では 3 面図-立体間の変換モジュールを開発することで、高々 3 回の Vatti クリッピングによって 3 次元上の工具-工作物間のブール演算を実現する予定であった。しかし検討の結果、様々な 3 面図の状況を考慮して効率良く立体変換を行うことが難しいとの結論に至った。従って本研究では、Vatti クリッピングをレイヤーとし、多層化することで擬似的な 3 次元化を行うこととした。このとき、全てのレイヤー毎に Vatti クリッピングを実施するとレイヤー数に比例して演算時間が増大する。しかし本研究の様な切削シミュレータでは、工具の位置と形状からどのレイヤーまでは同じ Vatti クリッピングが実行されるかが分かることから、1 レイヤーのクリッピングでかなり多くのレイヤーま

でコピーできる。従って演算コストもある程度抑えられる。しかし、工具の上下動が複雑なケースなどではコピーできるレイヤー数が少なく、演算コストは増大する。この点は今後の課題である。

### (3) 開発した切削シミュレータの検証

以上の研究成果を踏まえ開発したシミュレータを用いたシミュレーション結果の一例を図 2 に示す。スクエアエンドミル ( $\phi 5$ ) による直方体のポケット加工をシミュレーションした。シミュレーション条件として、クリッピングのレイヤー数は 50 (レイヤ間距離 0.1mm)、工具回転数 2200rpm、送り 0.1mm/rev とし、1 回転毎にクリッピングを実施した。このときの理論上の加工時間は 27.18 秒である。これに対し本シミュレータは 3.54 秒でシミュレーションを実施することが出来た。また逐次変化する切削ボリュームから切削力を算出することも出来ており、ポケットコーナー部で切削力が瞬間的に増大する状況も確認できる。

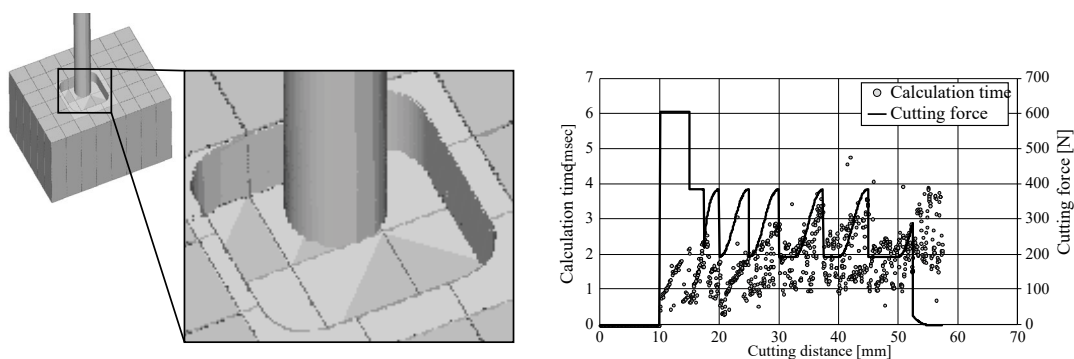


図 2 開発したシミュレータによるシミュレーション

## 5. 結論

本申請課題では、切削力をリアルタイム以上の演算速度で算出可能な、全く新しいシミュレーションアルゴリズムを搭載した切削加工シミュレータの開発を行った。本シミュレータでは、多角形ポリゴン同士のブール演算を高速に行うことの出来る Vatti クリッピングアルゴリズムを切削加工用途に改良することで、シミュレータの時間分解能、空間分解能の向上をはかった。その結果、シミュレーションのケースにも依るが、従来提案されている手法と比べ大幅な高速化、高解像度化を達成することができた。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 鬼頭亮太, 高杉敬吾, 浅川直紀
2. 発表標題 Vattiクリッピングを用いたニアリアルタイム切削シミュレータの開発
3. 学会等名 2018年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota Kito, Keigo Takasugi, Naoki Asakawa, Takahiko Mizutani
2. 発表標題 Development of 3D cutting simulator using Vatti clipping
3. 学会等名 International Conference on Mechatronics Technology (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考