

(論文内容の要旨)

本論文は、加工法の特徴を考慮してエンドミル加工の工程設計を行うためのシステムに関する研究についてまとめたものであり、次の7章からなる。

第1章は緒論であり、エンドミル加工の工程設計作業の概要と工程設計システムの研究開発の動向について述べている。従来、作業者の意思決定に委ねられてきたエンドミル加工の工程設計を、加工法の観点から分析し、加工システム全体で最適化する工程設計システムの必要性について述べている。

第2章では、固定サイクルを加工法の特徴を工具パスで表現したサブフィーチャとしてとらえ、サブフィーチャを固定サイクルでデザインする方法について述べている。段、溝、片側オープン溝、ポケット、内円筒の5種類の加工フィーチャを研究対象とし、それらの加工フィーチャの加工を実現する固定サイクルとして、渦巻加工、トロコイド加工、隅加工、ヘリカル穴加工、側面加工、全幅溝加工を選定している。

第3章では、加工フィーチャ認識の代表的な手法について調査し、その問題点と解決方法について述べている。従来の加工フィーチャ認識は形状特徴をベースとしているために、加工方法の特徴が考慮されていない。このため、加工フィーチャ決定後の工具パスや加工条件が固定化されるため、より能率が高い工程設計解を得ることが難しい。また、形状特徴をベースとした自動フィーチャ認識法はアルゴリズム自体も複雑である。これらの問題を解決する手段として作業者が入力した加工フィーチャをシステムが基本要素に分割し再構成することで、最適な加工フィーチャ列を探索するための候補列を派生するアルゴリズムを構築している。この方法では、基本要素への分割とフィーチャの構成時にフィーチャの組合せ数およびその加工順序パターン数が増大するという問題が発生する。そこで、絞り込みルールを用いて実現可能な加工フィーチャ列の候補を限定し、この問題を解決している。構築したフィーチャ列派生アルゴリズムを、3種類の部品形状の加工フィーチャ認識に適用し、各部品において、加工可能な複数の加工フィーチャ列の候補が生成されることを示している。

第4章では、加工コストシミュレーションを行うための工具寿命予測法について述べている。工具寿命の予測のために工具寿命消費率という概念を導入し、複数の加工フィーチャを含む加工工程に対して工具寿命予測の適用範囲を拡張する手法を提案している。まず、工具寿命評価の基準となる固定サイクル（側面加工固定サイクル）において標準切削加工条件を決定し、工具が摩耗していない状態での切削抵抗を実験で求め、切削抵抗モデルを作成する。また、他の固定サイクルの切削抵抗が基準固定サイクルの標準条件の切削抵抗

となるように、送り速度を制御し、刃先における加工負荷が基準固定サイクルの加工負荷と同じになるようにする。工具寿命を 1 刃当たりの擦過距離に換算した総擦過距離で表現し、実擦過距離／総擦過距離を用いて工具寿命消費率を計算することで工具寿命をシミュレートする方法を部品加工実験で検証している。

第 5 章では、加工の評価関数を定義し、第 3 章と第 4 章の手法を用いて工程設計システムを構築し、モールドベース部品について加工コストを最小とする工程設計解を求め、NC 加工歴 9 年の加工技術者の工程設計解との比較を行った。その結果、工程設計システムと加工技術者の選択する加工フィーチャ列は同じとなったが、採用する加工条件に大きな差があり、比較対象とした加工技術者は重切削条件を用いて加工時間を重視した工程設計を行っていることが明らかになった。一方、システムの採用する加工条件を用いると、加工時間は長いが工具摩耗が安定化され、工具コストが低く抑えられていることがわかった。

第 6 章では、開発した工程設計システムによる工程設計解の加工能率が加工技術者の工程設計解の加工能率より低い原因が切削抵抗と切削条件の制約にあると考え、制約条件を変化させたときにシステムによる工程設計解の決定過程がどのように変化するかを調査している。このために、制約条件と切削条件との関係を関数化して、制約条件の変化に対応できる切削条件決定アルゴリズムを構築し、重切削戦略、加工精度制約付きの重切削戦略、高速切削戦略の 3 種類の加工戦略を用いて、2 段溝部品の工程設計のケーススタディを行っている。このケーススタディにおいて、切削抵抗と切込量の制約が全幅溝加工固定サイクルとトロコイド溝加工固定サイクルの選択に影響を与え、結果として加工時間が制約されることを示した。また、加工能率の低下の原因はサイクル内の非切削時間に起因していること、加工の評価関数における操業チャージ（単位時間当たりの機械チャージと人件費の和）が変化した場合は加工戦略を変更する必要があることを示した。

第 7 章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

(論文審査の結果の要旨)

エンドミル工具は底刃と側刃を持ち、複雑な部品の機械加工に用いられるため、エンドミル加工の工程設計は非常に難しい。特に、加工フィーチャの認識および加工順序の決定は、工具コストや設備コストのような環境要因と加工法に依存する。また、切削条件決定にあたっては、何を評価し制約条件とすべきかが問題となる。本論文では、従来、作業者の意思決定に委ねられてきた工程設計の個々のプロセスを加工法の観点から分析し、加工システム全体で最適化する工程設計システムの開発について述べている。本研究の主な成果は以下のとおりである。

まず、加工対象をサブフィーチャ化し、加工法の特徴を工具パスや切削条件で記述できる固定サイクルを定義し、サブフィーチャを固定サイクルでデザインできるようにした。次に、加工フィーチャ認識において、作業者が入力した加工フィーチャ列をシステムが基本要素に分割し、最適な加工フィーチャ列を再構成することで、工程設計解の候補を派生するアルゴリズムを構築した。

さらに、工具寿命消費率と切れ刃擦過距離という概念を導入し、複数の加工フィーチャを含む加工工程に対して、加工コストシミュレーションのための工具寿命予測の適用範囲を拡張する手法を開発した。そして、加工時間や加工コストを最小化する工程設計解を与えるアルゴリズムを構築し、実際にモールドベース部品を対象として開発したシステムを用いて工程設計を行い、熟練技術者の工程設計解との比較を行った。最後に、工程設計解に影響を与える制約条件を変化させたときの加工フィーチャ列を求め、制約条件の優先度の変更に対して、システムによる工程設計解がどのように変化するかを明らかにした。

本論文では、考案したシステムの開発を通して、これまで経験や主観に依存していたエンドミル加工の工程設計問題に対して、加工法の特徴を基礎に客観的、定量的に工程設計解を与えるための基礎を体系化しており、学術上、実際上の価値が非常に高い。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年1月22日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。