

(様式 5)

2022 年 6 月 16 日
Year Month Day

学位（博士）論文要旨

(Doctoral thesis abstract)

論文提出者 (Ph.D. candidate)	工学府博士後期課程 機械システム工学 専攻 (major) 2018 年度入学(Admission year) 学籍番号 18833001 氏名 浅野 哲也 (student ID No.) (Name)
主指導教員氏名 (Name of supervisor)	中本 圭一
論文題目 (Title)	製品製造情報を利用した工程設計支援システムの開発に関する研究 A Study on Development of Computer-aided Process Planning System Using Product and Manufacturing Information
論文要旨（2000 字程度） (Abstract(400 words)) ※欧文・和文どちらでもよい。但し、和文の場合は英訳を付すこと。 (in English or in Japanese) 近年、機械部品の多品種少量生産化は顕著であり、生産リードタイムにおける加工準備時間の割合が高くなっている。このため、機械加工の更なる効率化には加工時間だけでなく、その準備時間の削減が不可欠であり、従来は作業者に著しく依存していた工程設計をコンピュータにより支援することが望まれている。また、製品開発のコストや時間の削減を目指して、寸法公差や幾何公差などの非幾何学的な製品製造情報（PMI：Product Manufacturing Information）を注釈として 3 次元 CAD モデルに付加するモデルベース定義（MBD：Model Based Definition）が様々な業界で普及し始めている。 コンピュータを援用した工程設計支援においては、一般に目標形状の CAD モデルから加工フィーチャと呼ばれる、加工工程を特徴付ける領域を認識する。先行研究では、素材形状との差分である除去領域を加工プリミティブと呼ばれる単純形状に分割し、作業順序を割り当てながら加工フィーチャを認識する方法が提案されている。しかしながら、対象とする製品製造情報が表面粗さに限定され、荒加工のみしか取り扱っていない。また、認識された加工フィーチャに製品製造情報が引き継がれておらず、製品製造情報を参照して作業設計が施せないという課題があった。そこで本研究では、仕上げ加工を対象とした新たな加工フィーチャを導入し、荒加工から仕上げ加工までの一連の加工工程を対象とすると共に加工フィーチャに引き継がれた製品製造情報から作業設計できるようにする。 一方、加工フィーチャ認識後の作業設計においては、切削条件や使用工具などの作業情報が作業者の技能に依存して標準化が進んでいないためにばらつきが生じる要因となっている。事例ベース推論による切削条件の推定手法も提案されているが、CAM ソフトウェアで NC プログラムを生成するには、切削条件だけでは不十分である。そこで本研究では、認識された加工フィーチャを利用することで、切削条件だけでなく使用工具や工具経路パタ	

ーンなども含めた作業情報を自動的に推定する。

認識された加工フィーチャの組合せは、加工箇所や作業順序に応じて相当数となり、加工精度、環境負荷や加工時間を指標として、加工工程を評価する必要がある。しかしながら、CAM ソフトウェアにより加工時間等を算出する場合、NC プログラムの生成などに時間がかかり、膨大な組合せからの所望の加工箇所や作業順序を選択するには時間を要する。そこで本研究では、機械学習を用いて、加工フィーチャから高速に加工時間を推定する。

第 1 章「緒論」では、機械加工の工程設計支援に関する工業的・工学的背景と課題について示すとともに、本研究の目的について述べている。

第 2 章「工程設計支援のための加工フィーチャの認識」では、工程設計支援システムの開発において、中核となる加工フィーチャの認識に関する従来研究について述べる。また、特に関連する先行研究として、除去領域から加工プリミティブを取得し、加工順序を割り当てることで加工フィーチャを認識する方法の詳細について述べている。

第 3 章「製品製造情報を反映した加工フィーチャの認識」では、製品製造情報を反映できる仕上げ加工に向けた新たな加工フィーチャの導入について述べる。これまでに提案されている加工フィーチャは、荒加工のみを対象としており、取り扱える製品製造情報も表面粗さに限定されていた。また、製品製造情報が加工フィーチャに紐づいていないため、作業設計時に製品製造情報を参照できなかった。そこで、仕上げ加工を対象とした新たな加工フィーチャを導入する。また、引き継がれた製品製造情報を参照することで、仕上げ加工を含む一連の加工工程を対象に作業設計を施す方法を考案し、ケーススタディを実施して、その有用性を検証している。

第 4 章「加工フィーチャを用いた事例ベース推論による作業情報の推定」では、工程設計の自動化に向けて、上記の製品製造情報が紐づいた加工フィーチャを利用した作業情報の推定方法について説明する。切削条件や使用工具などの作業情報は、作業者の技能に強く依存して決定されており、標準化が進んでいない。また、決定した作業情報の CAM ソフトウェアへの入力を作業者に委ねており、時間的負担を強いている。そこで、認識された加工フィーチャを用いて、事例ベース推論により作業情報を推定し、CAM ソフトウェアを用いて NC プログラムを自動的に生成する。実施したケーススタディにより、仕上げ加工の有無に応じて異なる作業情報を推定できることを確認している。

第 5 章「工程選択に向けた機械学習による加工時間の推定」では、認識された加工フィーチャを利用した機械学習による加工時間の推定方法を説明する。加工工程の評価指標の一つである加工時間を、CAM ソフトウェアで生成される NC プログラムから計算するには、加工工程の候補が膨大なため、相当の時間が不可欠になる。結果として、加工フィーチャの認識により算出される加工工程案の選択に時間を要する。そこで、認識された加工フィーチャを利用して、機械学習により高速に加工時間を推定する方法を考案し、ケーススタディにより、高速に高い精度で加工時間を推定できることを確認している。

第 6 章「結論」では、各章で得られた結果をまとめるとともに、今後の展望について述べている。

(英訳) ※和文要旨の場合(400 words)

Manufacturing industry tends toward high-mix low volume production in recent years. The ratio of preparing time for machining is increasing in production lead time. In order to shorten the preparing time, it is expected to develop a computer-aided process planning(CAPP) system. On the other hand, geometric dimension and tolerance data begin to be used as product manufacturing information (PMI) in model based definition.

The recognition of machining features has been a key technology in the development of CAPP system. Machining feature is a characteristic shape pattern indicating a machining operation. In previous studies, a recognition method of machining features is proposed by dividing the removal volume into simple shapes. However, treated PMI is limited, namely surface roughness, and the machining features focus on only roughing operations. Furthermore, PMI is not transferred to the recognized machining features. Therefore, in this study, machining features for finishing are newly introduced to reflect PMI.

Operation information is usually determined by the skill of operators. Since the standardization is not sufficient, it is difficult to stabilize the machining quality. Though cutting conditions are inferred using case-based reasoning, it is impossible to generate NC program using only cutting conditions. Therefore, in this study, other operation information such as tool path pattern are also inferred.

Additionally, there are a lot of combinations of recognized machining features. On the other hand, it is difficult to select suitable machining process from the candidates. Because it consumes long time to estimate the machining time by generating tool paths in CAM software, the machining time is accurately inferred using machine learning based on the recognized machining features.

In chapter 1, the background of computer-aided process planning is described in terms of industry and engineering. Additionally, the objective of this study is explained.

In chapter 2, the previous recognition methods of machining features for computer-aided process planning are described.

In chapter 3, machining features reflecting PMI are introduced. In addition to the previously proposed machining features, dedicated machining features are introduced to deal with a finishing operation. When a finishing operation is required to satisfy PMI, two types of machining features are recognized corresponding to a roughing or finishing operation, respectively.

In chapter 4, a determination method of operation parameters is described based on case-based reasoning using the recognized machining features. It becomes possible to widely deal with operation parameters such as not only cutting tool

and cutting conditions, but also tool approaching and retracting patterns that are required to be input in CAM system.

In chapter 5, a selection method of machining process is proposed based on machine learning of recognized machining features. The proposed method infers an evaluation index such as machining time according to past machining cases of machining features.

In chapter 6, the obtained results in the above are summarized and issues to be solved are discussed.