

平成 30 年 5 月 23 日現在

機関番号：15301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17952

研究課題名(和文) 工具カタログデータマイニングシステムによる難削材加工技術の最適化手法の開発

研究課題名(英文) Development of Optimization Technique for Difficult-to-cut Material Processing Technology Using Tool Catalog Data-mining System

研究代表者

児玉 紘幸 (Kodama, Hiroyuki)

岡山大学・自然科学研究科・講師

研究者番号：60743755

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)：非階層・階層型クラスタリング手法を併用したデータマイニング手法を応用することにより、技能者に対して難削材加工に必要な切削条件決定を支援するシステムを提案した。非階層型手法であるK-means法を用いることにより、工具形状の特徴がひと目で分かる分布でクラスタリングが行えた。主成分回帰および応答曲面法を用いることにより、切削条件決定式の導出が行えた。難削材に対して、実際に提案するシステムによって導出された切削条件を用いて検証実験を行った結果、システムから導出された条件は、いかなる難削材に対しても初期の指針となる切削条件として有効であることが示せた。

研究成果の概要(英文)：The data-mining methods using hierarchical and non-hierarchical clustering methods to help engineers decide appropriate end-milling conditions were proposed in this study. The aim of our research is to construct a system that uses clustering techniques and tool catalog data to support the decision of end-milling conditions for difficult-to-cut materials. We used the K-means method and variable cluster analysis to find tool shape parameters that had a significant relationship with the end-milling conditions listed in the catalog. We used both the principal component analysis and the response surface method to derive end-milling condition by using significant tool shape parameters obtained by clustering. Milling experiments using a square end mill under two sets of end-milling conditions for difficult-to-cut materials showed that catalog mining can be used to derive guidelines for deciding end-milling conditions.

研究分野：工学

キーワード：エンドミル 難削材 データマイニング クラスタリング

1. 研究開始当初の背景

日本国内の航空機市場の将来的な発展予測により、チタン合金や炭素繊維複合材料、超耐熱合金などの高能率な切削加工が必要とされてきた。しかしながら、これらの材料は低熱伝導性、高い加工硬化性、高い凝着性等を有するため「難削材料」と称され、鋼の切削加工において一般的であった加工法や切削条件下においては工具の非定常摩耗が急速に進展する。上記に加えて、高速度、高能率な切削を実現するためには、切削の温度のモニタリングおよび、切削時の加工面形状の起伏に起因する再生型びり振動の抑制を考慮する必要がある、最適な切削条件およびツリング方法の決定は困難である。これまでに、難削材料の被削性を材料特性の観点から定義する手法の提案が行われてきたが、具体的な切削条件決定の指針を提示するまでには至っていない。

先行研究としてこれまでに、日本国内大手工具メーカーの超硬スクエアおよびボールエンドミルカタログデータに対して、非階層・階層型クラスタリング手法を併用したデータマイニング手法を適用することにより、金型の粗加工から中粗加工に適用可能な切削条件を決定できる支援システムを提案してきた。これらの切削条件決定支援システムのノウハウを難削材料加工用工具に適用することにより、未知の被削材料や切削工具に対応可能な切削条件決定支援システムを構築する必要がある。

2. 研究の目的

難削材料の切削加工を支援できる切削条件決定システムを構築する。近年、チタン合金や炭素繊維複合材料、超耐熱合金などに代表される難削材料加工の需要が高まってきたが、その材料特性により現場に合った最適な切削条件の決定が難しい。これまでに、難削材料の被削性を材料特性の観点から定義する手法の提案が行われてきたが、具体的な切削条件決定の指針を提示するまでには至っていない。本申請では、非階層・階層型クラスタリング手法を併用したデータマイニングシステムを、難削材料加工用のエンドミルに適用することにより、未知の難削材料や切削工具に対応可能な切削条件決定支援システムを構築する。

3. 研究の方法

図1に構築したい切削条件決定支援システムの概要図を示す。日本国内外において、難削材加工用の工具を記載しているすべてのカタログをデータベースとする。抽出された有意変数を用いて、予測精度のある応答曲面法を適用することにより、3変数2次の切削条件決定式を導出する。特に難削材加工用のエンドミルにおいては、切削時の再生型びり振動を抑制可能な、不等リード・不等ピッチと呼ばれる難削材加工用エンドミルが

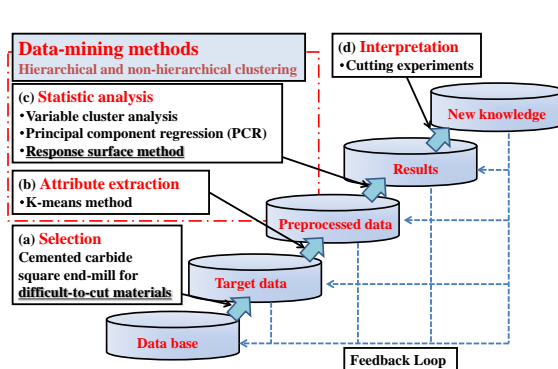


図1 カタログマイニングフロー

一般的に流通している。そこで、本研究では難削材加工用エンドミルの刃部の正味長さを幾何学的に算出する。一方で工作機械を核とする切削システムにおいて、工作機械の主軸、テーブル、被削材、工具、ホルダーといった要素間で動的・静的な変形や摩擦熱により、工具摩耗が進展するなどの相互干渉にさらされている。このように複雑化・細分化した要素間の影響により、それらを内包した最適切削条件の決定は工具カタログの情報だけでは不十分である可能性がある。そのため、カタログマイニングシステムのデータベースをホルダーや工作機械、被削材等の各社が提供する技術情報や寸法情報に拡張的に応用することにより、難削材加工用のシステム総合的な支援システムの構築を行う。支援システムにより導出される切削条件を用いて、切削時の刃部温度を赤外線サーモグラフィによって計測することにより、工具摩耗と切削温度との関係性を定量的に明らかにする。

4. 研究成果

(1) 難削材加工用の工具カタログデータマイニングシステムの確立

図2にカタログデータマイニングを難削材加工用のデータベースに対して適用した、マイニングの過程図を示す。全体のカタログデータベースに対して、非階層型クラスタリング手法であるK-means法を適用することによって、エンドミルの工具形状の特徴を考慮した5つのクラスターへの分類に成功した。その後、階層型クラスタリング手法である変数クラスタ分析を用いて、説明変数間同士の相関関係を樹形図により見える化した。一方で、主成分回帰手法を用いることにより、説明変数および目的変数間の相関関係を定量化し、樹形図と併用することで、切削条件の予測に重要な説明変数の特定可能なことがわかった。最後に応答曲面法を用いることにより、先行研究までに用いた重回帰分析よりも高精度な切削条件決定式の導出が行えた。図3に、本システムによって導出された切削条件と、カタログ推奨条件の相関関係図を示す。本研究の成果により、相手被削材に対して推奨切削条件が不明な場合であっても、工具形状および被削材のロックウェル硬さが

超耐熱合金 (Inconel718) に対するカタログマイニング進行過程図

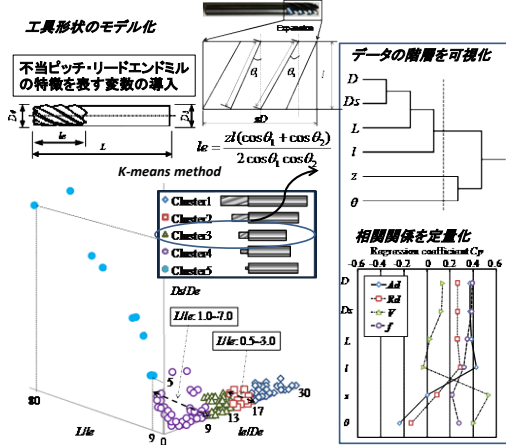


図2 カタログデータマイニングシステム

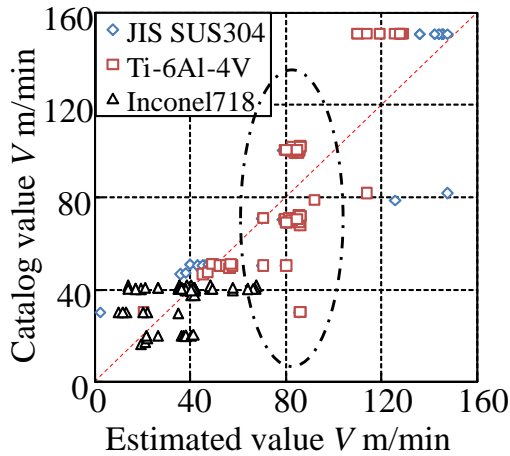


図3 導出される切削条件域の見える化

判明すれば迅速に初期の指針となる切削条件の導出が可能となるシステムの構築が行えた。さらに本システムは、工具の外径が1.0mm以下の小径エンドミルおよび超硬ソリッドドリルの工具カタログデータを対象とした場合においても有効であることがわかった。

(2) 薄肉超耐熱合金の溝加工における検証

航空機のエンジンケースに用いられる難削材である超耐熱合金 (Inconel718) を被削材として、実際に提案するシステムによって導出された切削条件を用いて、溝切削を行った際の切削条件の有用性を評価した。表1に導出されたマイニング推奨条件を基準として、ラテン方格法により設定された切削条件を示す。図4に示すように、実験計画法を用いることにより、切削条件の因子と水準の相互作用を、SN比によって定量化することにより、切削抵抗の増減に起因するパラメータは軸方向の切り込み量であることがわかった。赤外線サーモグラフィによって計測された刃先逃げ面の最高温度と、切削条件により導出された材料除去率の関係を図5に示す。図5より、マイニングによって導出された条

表1 実験に用いた切削条件

Test	S [rpm]	F [mm/tooth]	Ad [mm]	MRR [cm <sup>3</sup> /min]
1	800	0.020	0.5	0.26
2	800	0.035	1.2	1.08
3	800	0.050	2.0	2.56
4	1200	0.020	1.2	0.92
5	1200	0.035	2.0	2.69
6	1200	0.050	0.5	0.96
7	1600	0.020	2.0	2.05
8	1600	0.035	0.5	0.90
9	1600	0.050	1.2	3.08

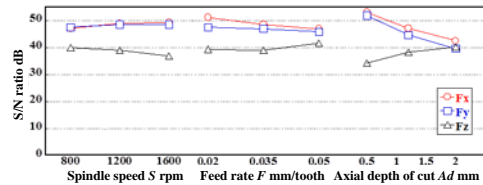


図4 S/N比による要因効果図

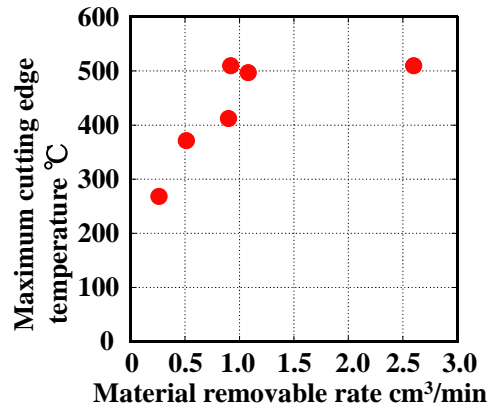


図5 材料除去率と加工点最高温度

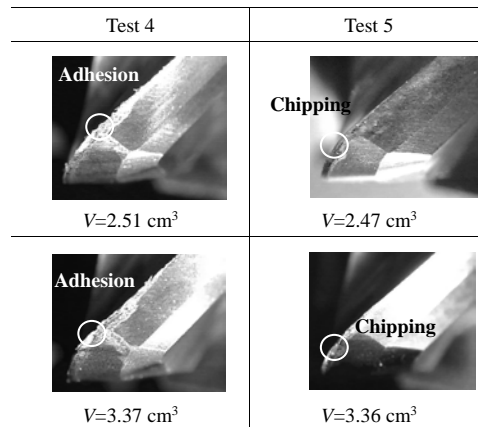


図6 逃げ面摩耗幅の観察結果

件は、比較的高い材料除去率を示すが、他の材料除去率が同値の条件と比較して、加工時の最高温度は100℃ほど低い結果であることがわかった。さらに、図6に示すように、加工後の工具の刃先の最大逃げ面摩耗幅を計測したところ、マイニング条件のほうが、材料除去能力が同値の切削条件に対して刃先

の切りくず凝着現象が抑えられていることがわかった。マイニングによって導出された切削条件は、軸方向の切り込み量が難削材加工に適したパラメータが設定されていることが示唆された。本研究により非階層・階層型クラスタリング手法を併用したデータマイニング手法の有用性を示したことで、非熟練技術者育成を支援できるだけでなく、工具カタログに隠された暗黙知の体系化の根幹技術となれることが予測される。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

① Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, and Kazuhiro Tanaka, Aiding of Micro End-Milling Condition Decision Using Data-Mining from Tool Catalog Data, Int. J. of Automation Technology, 査読有, Vol. 12, No. 2, 2018, pp. 238-245, DOI 10.20965/ijat.2018.p0238

② Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, and Tsukasa Inada, Chip Formation during Precision Cutting of Metallic Glass, Advanced Materials Research, 査読有, Vol. 1136, 2016, pp. 265-270, DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.1136.265

③ Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, and Tomoya Hayase, An Experimental Study on Slotting of Inconel 718 Thin Sheet, Journal of Mechanics Engineering and Automation, 査読有, Vol. 5, No. 11, 2015, pp. 601-608, DOI 10.17265/2159-5275

[学会発表] (計4件)

① Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, and Takuya Tsujimoto, USING catalog data mining IN support of DETERMINING micro end-milling conditions, ISFA2016 International Symposium on Flexible Automation, Cleveland (USA), 2016-08-01

② Hiroyuki Kodama, Koichi Okuda, and Takuya Tsujimoto, Decision Methodology of Micro end-milling Condition Using Tool Catalog Data-Mining System, euspen's 16th International Conference & Exhibition, Nottingham (UK), 2016-05-30

③ 児玉紘幸, 工具カタログマイニングによるエンドミル切削条件の決定支援システム, 産学交流研究シーズ発表会, あましんアルカイックホール・オクト (兵庫県尼崎市), 2015-10-15

④ 児玉紘幸, 奥田孝一, 布引雅之, 工具カタログデータマイニング手法を適用した難削材加工用の切削条件決定支援システム, 2015年度精密工学会秋季大会, 東北大学 (宮城県仙台市), 2015-09-04

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

児玉 紘幸 (KODAMA, Hiroyuki)

岡山大学・大学院自然科学研究科・講師

研究者番号: 60743755