

平成21年6月1日現在

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2007～2008

課題番号：19760105

研究課題名（和文）きさげ作業における熟練技能のデジタル化と知的自動化

研究課題名（英文）Digitization and intelligent automation for the skilled work in the hand scraping

研究代表者

堤 博貴（TSUTSUMI HIROTAKA）

東京工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：30300544

研究成果の概要：画像処理により熟練作業者の工具の動作を解析し、機械加工に適した加工動作のデジタル化を試みた。その情報を応用した自動きさげ作業システムをにより、工作用定盤面仕上げを試みた。また、仕上げ面のしゅう動性能を調べたところ、摩擦係数においては熟練作業者のものと同様な傾向を示した。以上より、すり合わせを必要としない定盤面仕上げにおいて本加工機は実用的であると考えられる。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,200,000	0	2,200,000
2008年度	1,200,000	360,000	1,560,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	360,000	3,760,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学

キーワード：知能機械学・機械システム

1. 研究開始当初の背景

(1) 研究背景

きさげ作業は熟練技能であり技能習得には10年以上にも及ぶ経験が必要といわれる。習熟に長い年月を必要とし、手作業であることから製品の製作は時間的にもコスト的にも割高になってしまう。人員削減による生産の低コスト化や合理化が叫ばれ、熟練作業の外国依存が高まる一方で、熟練技能の担い手であった団塊の世代の大量引退、さらには少子化による継承者不足などにより、きさげ作業における熟練技能の衰退が懸念される。以

上のことから、非熟練工による生産性向上を目指してきた加工分野において、きさげ作業の自動化が緊急課題であると考えられる。

(2) 従来の研究と解決すべき課題

きさげ加工は被加工面に対して正確に工具を位置決めし、そして適切な力を加えなければ片当たり、むしれ、すべりなどを生じてしまい、要求された深さおよび精度のきさげ面を得ることができなくなってしまう。そのためには、被加工面に対する工具の当て方、力の加え方、工具の運動モーションなどの仕様が適切でなければならない。しかしながら、

従来の研究のようにあるユニットで単純なモーション機械的な動作で加工を施す場合には、熟練作業者の動きや加工力を再現するには限界があると考えられる。きさげ加工を的確に行うためにはこれらの動作や加工力の変化を正確に把握し、さらに工作機械のモーションを精密に制御する必要があると考えられる。また、きさげ加工をするのみならず、加工から評価にいたるトータルシステムを開発する必要がある。

2. 研究の目的

(1) きさげ作業のデジタル化

第1の目的はしゅう動案内面に適したきさげ加工における熟練技能者の加工動作を明らかにすることである。モーションキャプチャシステムと加工動力計からなる加工モーション測定システムにより、熟練作業者の加工動作をデジタルデータとして取得する。

(2) 定盤用自動きさげ加工機の開発

第2の目的は、3自由度直動位置決め装置にスクレーパ型工具を搭載した自動きさげ盤の開発することである。きさげ加工に適した加工モーションを検討し、そして、自動きさげ盤の加工動作に応用すること。知的で効率の良い自動作業を実現するために、検出された当たりのサイズをもとに加工力を調節する方法を試みた。最後に、これら一連のシステムを有機的に結合した自動きさげ作業法とそのプロセスを構築し、定盤きさげを対象とした自動きさげ作業を試みた。

(3) 仕上げ面のしゅう動性能の評価

第3の目的は、きさげ面の表面性状の機能性、およびすべり案内時に作用する摩擦力と面の浮き上がり量の両方を実験的に明らかにし、これらの相互的關係から、きさげ仕上げされた面の性能を総合的に評価することである。すべり案内時の摩擦力と面の浮き上がり量とを同時に測定可能な摩擦試験装置を試作し、そして、研削、熟練作業者によるきさげ面と比較しつつ、仕上げられたきさげ仕上げ面の評価を試みる。

3. 研究の方法

(1) きさげ作業のデジタル化

① 実験装置

きさげ作業のデジタル化のためのシステムの概要を図1に示す。熟練作業者が加工の様子を高速度カメラで撮影し、フレームレ

ート 300fps、画像サイズ 512×384 にて動画として記録する。そして画像処理ソフト (MV Tec 社 HALCON 7.1) を用いて工具先端のエッジの動きを測定した。なお、工具エッジに2つのマーカーを貼り、位置、角度の測定をおこなった。また、加工時の水平・垂直方向の加工力はワークに設置された工具動力計で測定した。

② 画像処理と位置の測定

ここでは、マッチングの手法を用いて検出した。図2は工具エッジに取り付けられたマーカーの様子と画像処理でマーカーの検出およびモーション測定を行った画像である。マーカーは工具先端(Point2)とその手前50mm(Point1)に取り付けられている。図2よりマーカーが良好に検出されていることがわかる。なお、本画像処理システムを用いた時の実験装置の測定範囲は 500mm、測定精度は約 0.5mm である。

図3はこのシステムにより工具に取り付けられたマーカーのモーションを求めたものである。工具先端のマーカーの動きが水平

であるのに対して、工具の手前のマーカーがやや角度をもっていることがわかる。このことから、熟練作業者は工具のすくい角を変えながら加工をしていることがわかる。

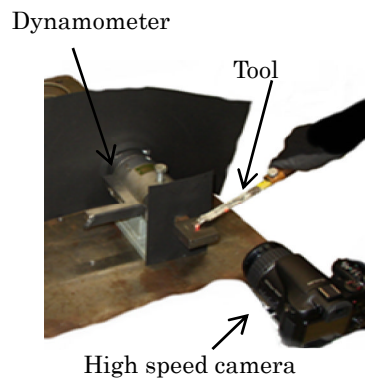


Fig.1 Skill digitizer system for hand scraping

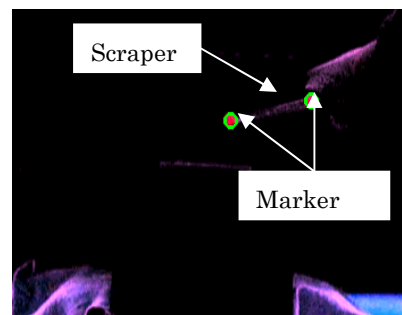
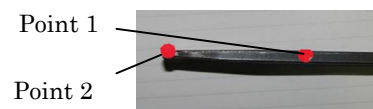


Fig.2 Image processing of scraper edge

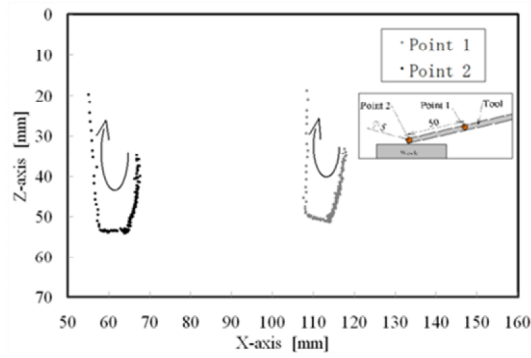


Fig.3 Scraping motion by skilled worker

③ 加工力の測定

図4は、横方向の動きと熟練作業者の水平および垂直方向の加工力の関係を示したものである。加工力は工具動力計にて、また工具の動きは先の画像処理から求めた。加工方向は左向きである。加工はじめに押さえつけをおこないそののちに水平方向への加工がおこなわれていることがわかる。最大加工力は約70Nである。水平方向の加工力は垂直方向よりも大きくなっていることがわかる。

以上より、熟練作業者の加工モーションと加工力を測定することが可能であった。

(2) 定盤用自動きさげ加工機の開発

① 自動きさげ加工機の概要

図5は自動きさげ加工機の概要である。本機はXYZ方向に直動位置決め可能な加工装置本体とその末端部に取り付けられたスクレーパ型きさげ工具で構成される。加工装置本体は3自由度直交座標型の大型ステージで、高精度なボールねじとサーボモータから構成された直動機構をXYZの3方向に組み合わせたものである。直動機構のスライダ部はローラベアリングによって支持され、高荷重下でも所定の精度を維持できる。工具の位置決め精度は $10\mu\text{m}$ 以下である。各軸方向に最高 100mm/sec の速度で駆動することが可能である。

ステージの末端部には図5右上に示すようなきさげ工具ユニットが取り付けられている。これは熟練作業者が手仕上げで用いている工具をスプリングとフレームで支持したもので、ステージが動作することでワーク表面に沿って柔軟に加工を行うことができる。工具チップには超硬を用いた。

② 加工モーションの検討

前述の結果をもとに機械加工に適した加工モーションを検討した。図6は本研究で考案されたモーションである。加工モーションは横 6.5mm 、縦 7mm の範囲で行われる。加工初期の押さえつけ動作を十分に行うことと、加工時のすくい角の変化を考慮し、加工時に

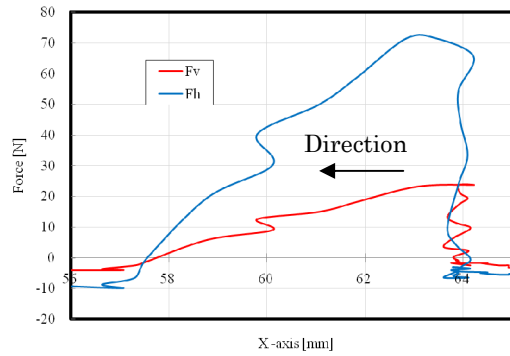


Fig.4 Relation between motion and cutting force

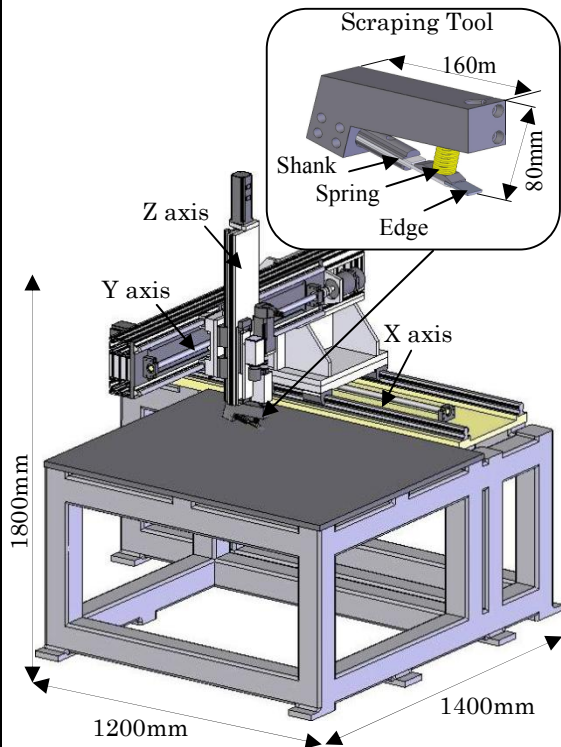


Fig.5 Appearance of the automatic scraping machine

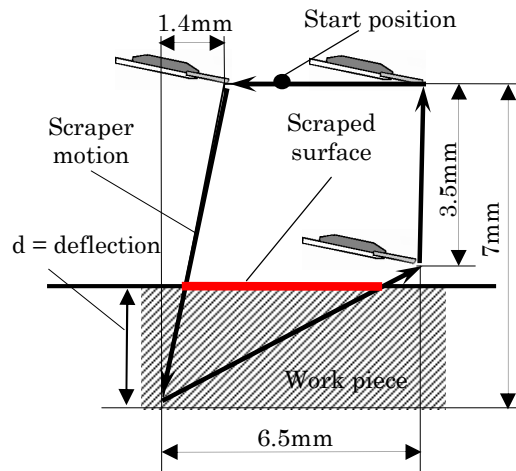


Fig.6 Motion of the machine scraper

やや工法に下がりながら押しえつけ動作を行い、その後きさげ加工モーションを行うこととした。加工時において工具はスプリングでたわみながら加工を行い、その時のたわみ量および加工力は d によって決めることができる。

③ 加工結果

本システムで加工した時の加工痕形状と加工痕の断面形状を図7に示す。加工痕のサイズは 4.9×6.1 mm であり、加工初期に押しえつけを行うことで三角形状になっていることがわかる。

加工痕の断面形状を表面粗さ測定器で調べた結果を図8に示す。加工方向は断面の深さは $8 \mu\text{m}$ であり、これは一般的なきさげ加工と同程度である。押しえつけ動作により加工初期に深くなっており、その後、徐々に浅くなっていることがわかる。

④ 定盤加工への応用

本システムを用いた応用事例として、一般作業用箱定盤の表面加工を試みた。図9は本システムで仕上げられた定盤の外観を示したものである。表面に研削加工を施した鋳鉄製の箱定盤に 6×6 mm の間隔で碁盤目状にテクスチャ加工を施した。仕上げ面のサイズは 160×230 mm であり、988 回きさげ加工した。所要加工時間は約 15 分間であった。1つの加工痕の大きさは 4.3×4.1 mm である。全面積のおよそ 47% を加工している。

定盤面上に油を塗布して平板を置いてすり合わせたところ、表面吸着によるリンキングを起すことなく滑らかにしゅう動させることができた。

図10はこの定盤の表面付近の断面形状を表面粗さ測定機で測定したものである。表面の最大凹凸（油溜まり高さ）は $6 \mu\text{m}$ であった。いずれの加工痕も形状が均一になっており再現性が高いことがわかる。表面粗さは $Ra=0.27 \mu\text{m}$ であり、熟練技能者によるものと同程度である。

以上のことから、本システムが一般作業用箱定盤仕上げに適用可能であることがわかった。

(3) 仕上げ面のしゅう動性能の評価

① しゅう動実験の概要

本システムで製作されたきさげ仕上げ面のしゅう動性能の評価を試みた。図11は評価用に試作されたきさげ仕上げ面の外観である。斜め方向に多数回のきさげ模様づけを行った。一つのきさげ痕の深さは約 $6 \mu\text{m}$ である。

実験装置としては筆者が独自に開発したしゅう動試験機を用いた。この試験機はサーボモータとしゅう動テーブルから構成され

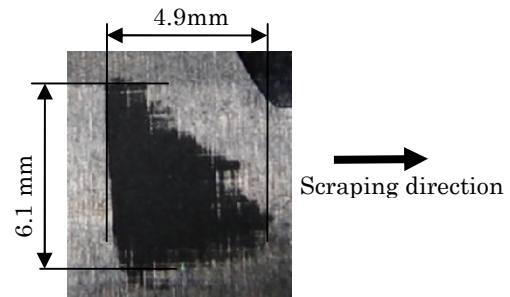


Fig.7 Scraped mark

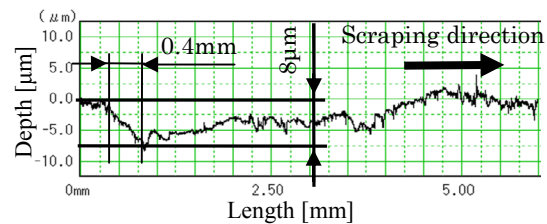


Fig.8 Surface profile of scraping a mark

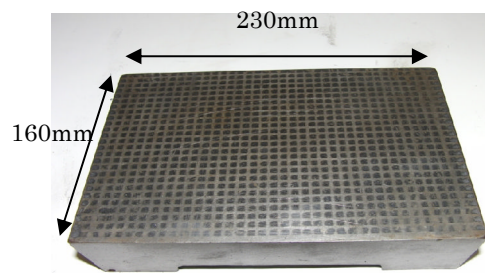


Fig.9 Surface plate scraped by scraping machine with skilled workers motion

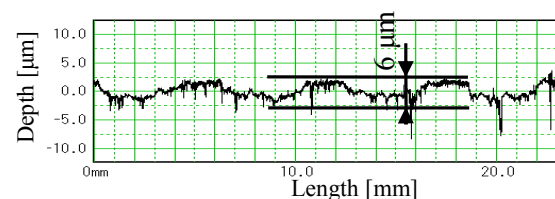


Fig.10 Surface profile of a scraped mark

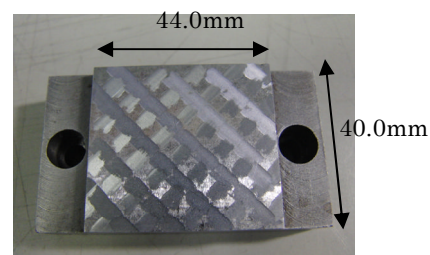


Fig.11 Specimen for sliding test with lubricant

しており、6~6000 mm/min の速度にて実験を行うことができる。しゅう動の相手試験片としては鏡面加工をほどこした SS 材を用い、動粘度 VG686 のしゅう動用潤滑油を用いて、実験における評価パラメータとして、摩擦係数と浮き上がり量を測定した。摩擦力の測定には圧電式のロードセルを、浮き上がり量の測定には静電容量型のギャップセンサを用いた。測定は AD 変換器を搭載したパソコンにてデジタルデータとして取得した。

② 浮きあがりと摩擦係数の評価

図 1 2 はスライド速度と浮き上がり量の関係を示したものである。比較のために、研削面、および熟練作業者が加工したきさげ面の結果も同時にプロットした。本システムに

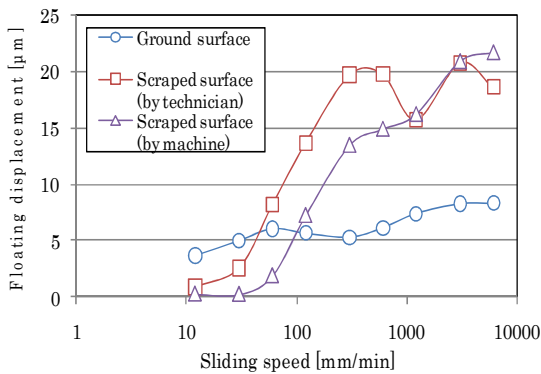


Fig.12 Floating displacement of sliding surface

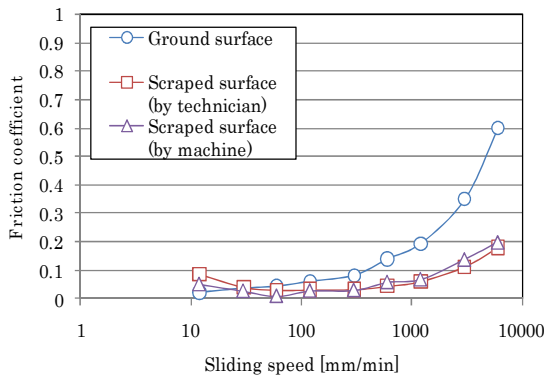


Fig.13 Friction coefficient of sliding surface

よって仕上げられたきさげ面は低速時において浮き上がりが少なく、高速時に浮き上がりが多くなっていることがわかる。グラフ

の傾向は熟練作業者のものと同様であった。

図 1 3 はスライド速度と摩擦係数の関係を示したものである。本システムによって仕上げられたきさげ面は高速時において研削面よりも摩擦係数が低いことがわかる。この理由は、研削面では表面に油膜が形成されて流体潤滑の傾向が強くなるのに対して、きさげ面では、油たまりによって油膜の形成が抑制されて境界潤滑の傾向が強くなるものと推測される。

これらの結果の一覧をとりまとめたものを表 1 に示す。本システムで仕上げられたきさげ面は高速域での摩擦係数、低速域での浮き上がり量において良好な性能を示しており、全般的に熟練作業者のものと同様な性能を示していることがわかる。

4. 研究の成果

(1) きさげ作業のデジタル化

モーションキャプチャーシステムと加工動力計からなる加工モーション測定システムにより、熟練作業者の加工動作をデジタルデータとして取得した。取得された熟練作業者の加工モーションから機械加工用のモーションを行ったところ、熟練作業者と同等なサイズ、深さで加工することができ、 m た、すべりやむしれがなく良好な加工を行うことができた。

(2) 定盤用自動きさげ加工機の開発

前の結果をもとに、3自由度直動位置決め装置にスクレーパ型工具を搭載した自動きさげ盤の開発し、全自動にて鋳鉄製の箱定盤に碁盤目状にテクスチャ加工を施した。160×230mm のワーク面に、988 回きさげ加工した。所要加工時間は約 15 分間であった。一般作業用箱定盤仕上げに適用可能であると考えられる。

(3) 仕上げ面のしゅう動性能の評価

本システムで仕上げられたきさげ面を筆者が独自に開発した装置によりしゅう動試験を行った。同きさげ仕上げ面は高速域での摩擦係数、低速域での浮き上がり量において良好な性能を示しており、全般的に熟練作業者のものと同様な性能であった。

Table.1 Performance comparison of 3 type of sliding surface

Parameter	Slide speed	Ground surface	Scraped surface	
			by Skilled worker	by Machine
Friction coefficient	Low	○	○	○
	High	×	◎	◎
Floating displacement	Low	×	◎	◎
	High	○	△	×

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕(計4件)

- ① 関水巧実、原田徹、堤博貴、福田勝己、久曾神煌、きさげ仕上げされたすべり案内面のトライボロジー特性評価(第2報)―面形状と摩擦特性の関係について―、日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集、Vol.14th、Page.69-70、2008、
- ② 谷合章吾、岸野智、堤博貴、福田勝己、久曾神煌、工作用定盤面仕上げのための自動きさげ加工機の開発、日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集、Vol.14th、Page.67-68、2008
- ③ 鮎沢秀夫、岩沢一成、堤博貴、福田勝己、久曾神煌、工作用定盤面仕上げのための自動きさげ加工機の開発(第2報)―熟練作業者の加工の調査と解析―、日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集、Vol.15th、2009
- ④ 斎藤大樹、弥永大作、堤博貴、福田勝己、久曾神煌、きさげ仕上げされたすべり案内面のトライボロジー特性評価(第3報)―浮き上がり測定法の改良―日本機械学会関東支部総会講演会講演論文集、Vol.15th、2009

6. 研究組織

(1) 研究代表者

堤 博貴 (TSUTSUMI HIROTAKA)

東京工業高等専門学校・機械工学科・助教

研究者番号：30300544