

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 5 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760109

研究課題名(和文) 砥石の曲げ振動音とAE波観測による研削作業の最適化に関する研究

研究課題名(英文) A Study on the Optimization of Grinding Operation with Super Abrasive Wheel using Vibration Sound and AE Wave

研究代表者

澤 武一 (SAWA, TAKEKAZU)

芝浦工業大学・デザイン工学部・准教授

研究者番号：80593045

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円、(間接経費) 900,000円

研究成果の概要(和文)：研削作業の自動化を目的とする加工状態の認知技術に関する研究は幾つかの方法が報告されている。しかし、これらの研究報告は同一材料であっても研削盤の精度や剛性など、実験環境や研削条件によりしきい値が異なり、その評価法は未だ確立されず、実用化には至っていない。本研究では、研削盤の剛性や研削条件に依存しない自動化技術として、小型マイクロフォンを用いた砥石の曲げ振動音観測およびAE波観測による研削作業の自動化技術の確立を目指した。その結果、砥石の曲げ振動音観測により、加工環境に依存されず研削作業を自動化できることが確認できた。

研究成果の概要(英文)：There are some studies on the cognitive technique of the grinding state aiming at automation of grinding processing. However, these researches are not used in production line, since the threshold level which show the quality of the grinding states according to the experiment environment or the grinding conditions differs. This study aims at establishment of the automation technique which is not influenced by the experiment environment or the grinding conditions by observing the vibration sound and AE wave. In the result, it conformed that the vibration sound can carry out measurement substitution of the grinding force. And, it was shown clearly that it is significant to measure the vibration sound as automation technique which is not influenced by experiment environment.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：研削加工 曲げ振動 研削といし 振動音 マイクロフォン 自動化 ドレッシング

1. 研究開始当初の背景

機械加工技術への要求は、小型化、薄型化、表面仕上げ、複雑形状へと難易度が高くなっている。さらに近年では、震災、円高、エネルギー問題の影響により、機械加工の海外シフトが加速し、国内では、多品種少量生産への移行、小ロット生産、コスト削減などの要求はますます厳しくなっている。日本の製造業の強みは、研究開発力の高さにあると共に、ものづくりにおける熟練工の技能に負う所が大きい。しかし、熟練工が完全退職を迎える2012年を迎え、ものづくり力の低下が危惧される中、熟練工の技能を継承することは重要かつ緊急な課題である。この対策として、技能(暗黙値)を科学し、形式値化することによる機械加工技術の『最適化』と『自動化』は、比較的スキルを持たない一般作業員にも上手に作業が行え、高品質・高信頼性加工技術を確立する方法の一つと考えられ、特に高度な熟練技能が必要とされる精密研削作業においては、作業の良否を判別するナビゲーションシステムの構築が早急の課題と言える。

2. 研究の目的

研削加工は砥石表面に不規則に点在する砥粒により除去加工を行うため制御性が低く、その良否は作業員の熟練度に依存する。このため、研削作業の良否を認知するナビゲーションシステムの構築が必要である。

この一手法として、本研究では、研削作業中に研削砥石から発生する曲げ振動と工作物から発生するAE波に着目し、これらの信号を観測することにより、研削作業の最適化を目指す。なお、ホイールの曲げ振動およびAE波の振幅に関しては、研削条件と被研削材の機械的特性から定量的に予測できるよう両者の関係を定式化することを目標とする。

3. 研究の方法と研究成果

(1) 曲げ振動による研削作業定量化システム

図1に、研削といしの曲げ振動による研削作業定量化システムの概要を示す。研削といしの側面にマイクロフォンを近接することにより、研削作業中の曲げ振動音を測定する。研削加工の良否によって研削音が変わるが、研削音の一部は研削といしから発生する曲げ振動音である。また、研削といしから発生する曲げ振動音は研削といしの固有振動数における音圧レベルが最も高くなる。そこで、研削作業中に研削といしから発生する固有振動数の音圧を観測することにより、定量的な研削作業の良否を判断する目安とすることができる。本研究では、研削作業の良否を判別する音圧レベルのしきい値を求めることが課題である。

(2) 研削といしの固有振動数の測定

研削といしの固有振動数を測定するため研削といしの打撃試験を行った。図2に、研

削といしの打撃試験の概略図を示す。固有振動数の測定には、加速度センサおよびマイクロフォンを使用した。また、研削といしは外径205mm、厚さ13mmのWA80K6Vを使用した。打撃試験は研削といしにフランジに取り付け、紐で吊るした状態でといし作業面を鋼棒で加振した。これは、研削加工中の法線研削抵抗を想定したものである。法線方向についても打撃試験を行った。打撃試験によって得られた信号を振動計に通しFFT解析を行った。図3に、FFT解析の結果を示す。図から、マイクロフォンおよび加速度ピックアップともに2.0kHz、3.2kHz、5.6kHz、7.9kHzにそれぞれピークが見られた。この結果から、本実験で使用した研削といしの固有振動数は、2.0kHz、3.2kHz、5.6kHz、7.9kHzと確認することができた。

図4に、研削といしを研削盤に取り付けた状態で打撃試験を行った結果を示す。図から、図3と同様に、2.0kHz、3.2kHz、5.6kHz、7.9kHzにそれぞれピークが見られた。この結果から、研削といしの曲げ振動は研削盤の主軸剛性に依存しないことが確認でき、曲げ振動音を使用して研削作業の良否を判別できれば、汎用性の高い自動化技術として利用できるといえる。なお、本図において、2.0kHz以下にいくつかのピークが見られたがこれは研削盤に取り付けたことによる主軸の固有振動数などが検出されたものと考えられる。

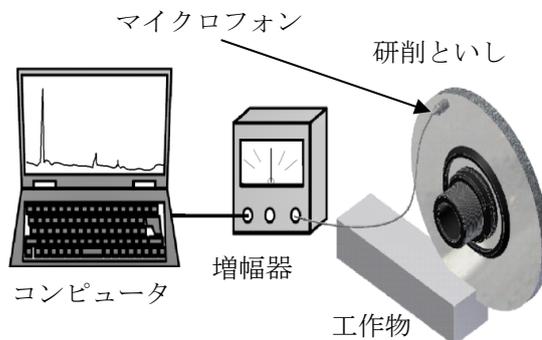


図1 研削といしの曲げ振動による研削作業自動化システムの概略

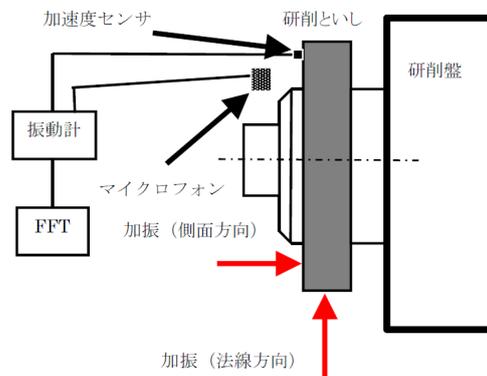


図2 打撃試験の模式図

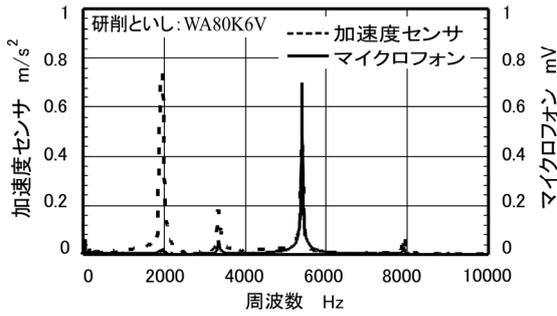


図 3 研削といしを紐で吊るした状態における打撃試験の結果

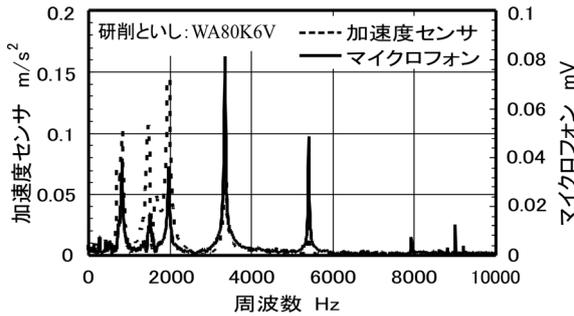


図 4 研削といしを研削盤に取り付けた状態における打撃試験の結果

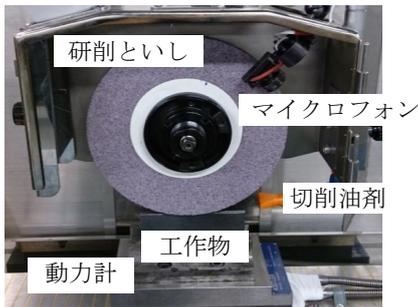


図 5 マイクログフォンを取り付けた研削盤の外観

(4) 曲げ振動音による研削抵抗の測定置換
精密平面研削盤を使用し、実際に工作物を研削することによって曲げ振動音と研削抵抗の関係を調べた。図 5 にマイクログフォンを研削といし側面に近接した様子を、表 1 に研削条件をそれぞれ示す。研削抵抗の測定にはキスラー製 9257A を使用した。

図 6 に、切込み深さ $5\mu\text{m}$ における曲げ振動音の FFT 解析の結果を示す。図から、 3.2kHz および 5.6kHz において、音圧レベルの顕著な上昇が確認できる。この周波数は前述した研削といしの固有振動数に近い値であったため、本周波数における音圧は研削といしの曲げ振動に起因するものといえる。一方、前章において、研削といしの固有振動数として確認された 2.0kHz および 7.9kHz では明確な音圧レベルの上昇は見られなかった。このため本実験では 3.2kHz および 5.6kHz における 2 点の音圧レベルを観察対象とした。

図 7 に、乾式研削の場合の各切込み深さに

表 1 研削条件

研削といし	WA80K6V
研削といし寸法	205mm×31.75mm×13mm
工作物	S45C
研削面寸法	5mm×100mm
といし周速度	30m/s
送り速度	0.2m/s
切込み深さ	$1\mu\text{m}\sim 7\mu\text{m}$
研削方法	プランジカット研削
切削油剤	ソリュブルタイプ (1/20)

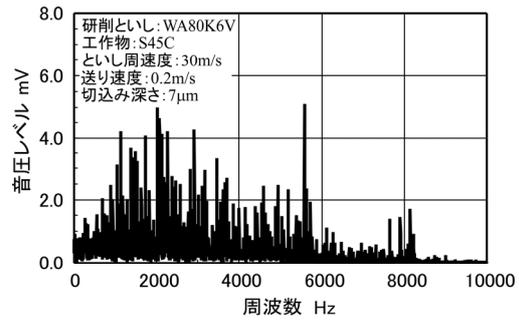


図 6 切込み深さ $5\mu\text{m}$ における振動音解析の結果

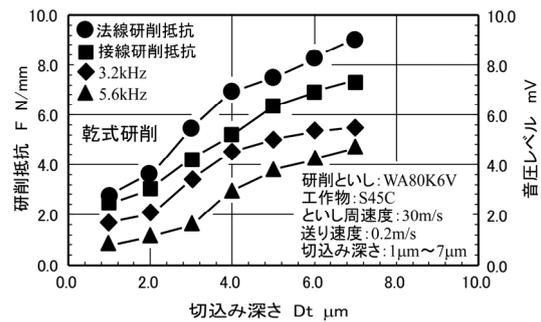


図 7 乾式研削における研削抵抗と音圧レベルの関係

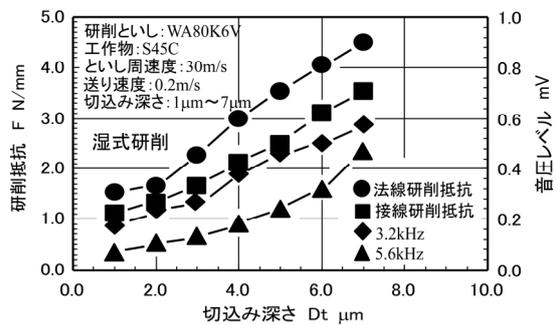


図 8 湿式研削における研削抵抗と音圧レベルの関係

における研削抵抗と曲げ振動音の音圧レベルの関係を、図 8 に、湿式研削の場合の各切込み深さにおける研削抵抗と曲げ振動音の音圧レベルの関係をそれぞれ示す。なお、湿式研削の場合には、マイクログフォンに防水処理を施している。両図から、乾式研削および湿

式研削とともに、切込み深さが増大するにともない、研削抵抗および音圧レベルともに大きくなることを確認でき、研削抵抗と曲げ振動音の音圧レベルは相関関係を持つことが確認できる。この結果から、曲げ振動音を周波数解析し、研削といしの固有振動数における音圧レベルを観測することにより、研削抵抗を測定置換することが可能であることが明らかになった。

(5) 曲げ振動音によるドレッシング抵抗の測定置換

本章では、ダイヤモンド単石ドレッサを用いたドレッシング作業において、ドレッシング抵抗が曲げ振動音によって測定置換できるか否か調査した。実験方法は、前章と同様に、研削といしの側面に付けたマイクロフォンを近接し、ドレッシング作業中に生じる研削といしの曲げ振動音を観測した。

図9に、ドレッサ切込み深さ30 μm における振動音のFFT解析結果を示す。図から3.2kHz、5.6kHz、7.9kHzにて音圧レベルにピークが確認できる。この周波数は前章で求めた固有振動数と近い値であることから、研削といしの曲げ振動音であるといえるので、ドレッシング作業においても研削作業と同様に、曲げ振動音によってドレッシング抵抗を測定置換できることがわかった。ただし、ドレッシングにおいては、研削抵抗の場合とは異なり、比較的高周波成分に大きなピークが見られることがわかる。これは、ドレッシングと通常の研削加工では研削といしに対する加振の仕方が違うからと考えられるが、これに関しては追加実験を含め今後の課題としたい。

図10に、ドレッシング作業における切込み深さと曲げ振動音の音圧レベルの関係を示す。図から、切込み深さが増大するにともなって曲げ振動音の音圧レベルも大きくなり、切込み深さと曲げ振動音の音圧レベルは相関関係を持つことが確認できる。この結果から、曲げ振動音を周波数解析し、研削といしの固有振動数における音圧レベルを観測することにより、ドレッシング抵抗を測定置換することが可能であることが明らかになった。

(6) 超砥粒ホイールへの適用

近年、精密研削加工に多用される超砥粒ホイールに本研究で試作した曲げ振動音観測装置が適用できると考えた。はじめに、打撃試験により、超砥粒ホイールの固有振動数を調べた。超砥粒ホイールの寸法は外形200mm、内径32.8mm、厚さ10mmである。図11に、紐で吊るした状態における打撃試験結果を、図12に研削盤に取り付けた状態における打撃試験結果をそれぞれ示す。両図より、1.9kHz、3.2kHz、5.2kHz、7.7kHzの周波数にピークが確認できる。この結果から、超砥粒ホイールの固有振動数は1.9kHz、3.2kHz、5.2kHz、7.7kHzと判断できる。なお、図12では、2.0kHz以下にも大きな信号が加振方向によらずそ

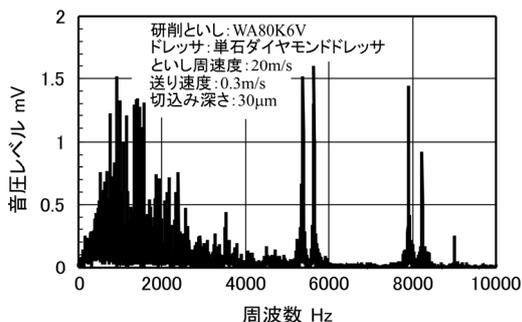


図9 ドレッサ切込み深さ30 μm における振動音解析の結果

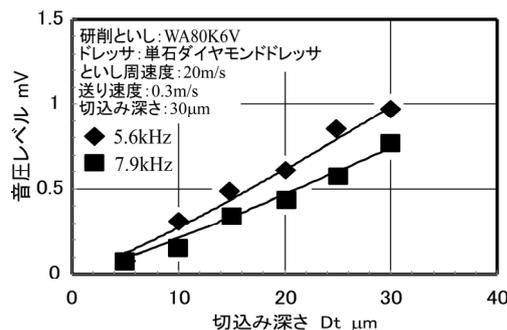


図10 ドレッサ切込み深さと音圧レベルの関係

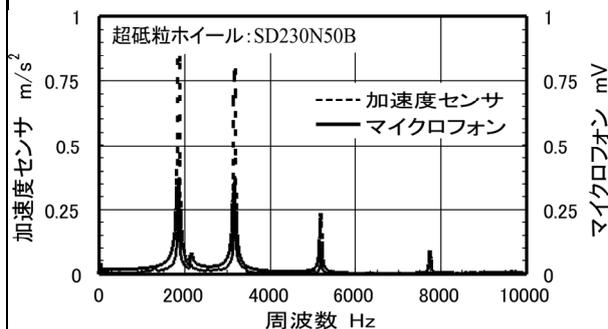


図11 超砥粒ホイールを紐で吊るした状態における打撃試験結果

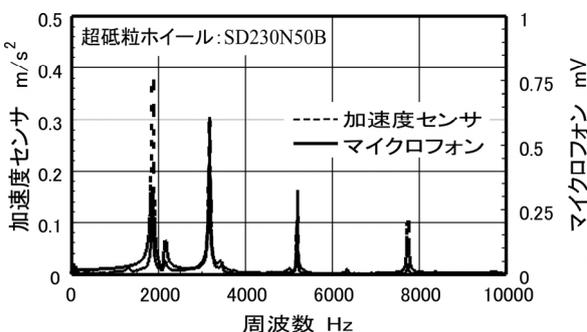


図12 超砥粒ホイールを研削盤に取り付けた状態における打撃試験結果

れぞれ得られている。これは研削といしの場合と同様に、研削盤主軸の固有振動数が検出されたものと考えられる。

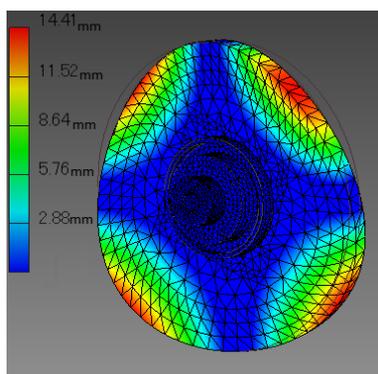


図 13 有限要素法による解析結果

表 2 有限要素法により導出した各振動モードにおける振動数

振動モード	振動数 Hz
1	1920
2	2480
3	3160
4	5100
5	5120
6	7600

次に、有限要素法を使用して曲げ振動解析を行った。

図 13 に、有限要素法による解析結果を示す。また、表 2 に、有限要素法により導出した各振動モードにおける振動数を示す。表より 1.9kHz, 3.2kHz, 5.2kHz, 7.7kHz に近い振動数がそれぞれ現れたため有限要素法解析の結果が妥当であり、各周波数における振動モードを確認することができた。

(7) まとめ

本研究では研削作業の自動化と最適化を目的として、研削といしの曲げ振動を使用して研削作業の良否を判定できるか否かを確認した。本研究にて得られた結果を以下にまとめる。

- ①普通研削といし WA80K6V の曲げ振動の固有振動数は 2.0kHz, 3.2kHz, 5.6kHz, 7.9kHz であり、マイクロフォンを使った振動音観測により、研削といしの曲げ振動を測定することが可能である。
- ②研削といしの曲げ振動音により研削抵抗を測定置換することが可能である。
- ③ドレッシング作業においても曲げ振動音の音圧レベルが変化することが確認できた。また、研削加工に比べ高い周波数帯域で曲げ振動が大きく生じることがわかった。
- ④超砥粒ホイールにおいて曲げ振動解析を行った結果、曲げ振動音観測による研削加工の測定置換できる可能性を見出した。

以上のことから、本研究の成果は精密研削加工の自動化システムの実用性に有意義であるといえる。なお、AE 観測に関しては実験途中であり、現状報告できる実験データを収集中であることを付記する。

4. 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)

[学会発表] (計 2 件)

- 1) 鹿島峻, 澤武一, 研削といしの曲げ振動音を利用した研削作業の最適化に関する研究, 砥粒加工学会卒業研究発表会, 2014 年 3 月 7 日, 東京都大田区産業プラザ。
- 2) 鹿島峻, 澤武一, 研削といしの曲げ振動音を利用した研削作業の最適化に関する研究, 千葉県加工技術研究会, 2014 年 3 月 6 日, 千葉工業大学。

6. 研究組織

(1) 研究代表者

澤 武一 (SAWA, TAKEKAZU)

芝浦工業大学・デザイン工学部デザイン工学科・准教授

研究者番号 : 80593045