

超音波振動援用型アーバ式内面研削スピンドルの開発

安達 和彦

大久保 元博（大久保精工株式会社）

各種産業機械の円筒形状部品に対する内面研削加工に超音波振動援用することで従来の加工精度を超える高精度の加工を実現する次世代の内面研削スピンドルの開発を目的とした。2018年度は、前年度の超音波振動援用の技術調査と調査結果を反映した内面研削スピンドルに適用可能な方式の検討結果に基づき、超音波駆動部の設計および試作を行った。

1. はじめに

超音波振動援用した加工は1950年代まで遡り、切削加工および研削加工に適用されてきた。したがって、超音波振動援用した加工は技術的には半世紀を超えるものとなっているが、超音波振動デバイスの高性能化と低廉化による汎用品としての普及と加工対象の拡大から、今なお研究開発が精力的に進められている。例えば、2016年度砥粒加工学会学術講演会で発表された超音波振動援用加工技術として、

- ・脆性材料のドリル加工（文献2）
- ・セラミックス材料の研削（文献3）

がある。本研究課題で対象とする深穴の内面加工に対する応用としては、

- ・ホーニング加工への適用（文献4、5）

が挙げられる。近年では、超音波振動援用した加工についての教科書（文献6）が出版されるに至り、切削・研削加工における一般的な技術として普及する時期にあることが指摘できる。一方、昨年度の超音波振動援用の技術調査の結果、以下の5つの技術ポイントが明らかとなった。

- 1) 超音波振動子は径方向と軸方向の振動が生じるが、径方向振動の腹（最大振幅）の位置で軸方向振動が節（振動零）となること。
 - 2) 既存の超音波振動援用の加工工具では、超音波振動子の径方向振動の腹の位置で主軸と結合する構造となっていること。
 - 3) 上記2)の構造により、超音波振動子の駆動下において長時間の運転が可能出ることが実証されていること。
 - 4) 様々な寸法（直径）の超音波振動子が市販で低コストに調達できること。
 - 5) 市販の超音波振動子では径方向振動の腹の位置に取り付け用フランジが装備されていること。
- そこで、本研究課題では、図1に一例を示すアーバ式の内面研削スピンドルに市販の超音波振動子を組み込む方式（以下「提案方式」）を対象として設計を行う。提案方式により「交換可能で低コストの超音波振動援用の内面研削スピンドルの実用化が可能」となると考えられる。

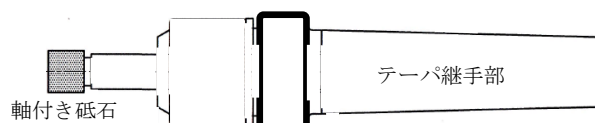


図1 アーバ式の内面研削スピンドルの一例

2. 超音波振動援用型アーバ式内面研削スピンドルの設計

2.1 超音波振動子

本研究課題では、表 1 と図 2 に示す市販のボルト締めランジュバン振動子を選定し、超音波振動援用型アーバ式内面研削スピンドルの設計を行う。市販の超音波振動子では径方向振動の腹の位置に取り付け用フランジが装備されているので今回は取り付け用フランジを把持することとし、振動子自身に軸付き砥石を取り付けることを想定した。

表 1 ボルト締めランジュバン振動子の代表特性

単体共振周波数：	39.56 kHz
静電容量：	898 pF @1 kHz
径（フランジ径）：	φ15（φ21） mm
全 長：	67 mm

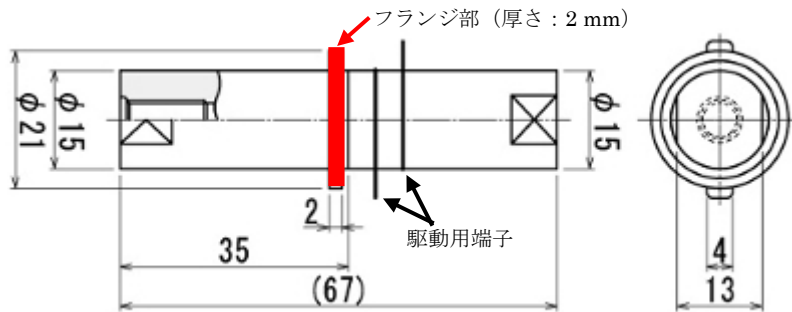


図 2 ボルト締めランジュバン振動子の外観および寸法（単位：mm）

2.2 超音波振動援用型アーバ式内面研削スピンドル

図 3 に提案方式によるアーバ式の内面研削スピンドルの外観を示す。

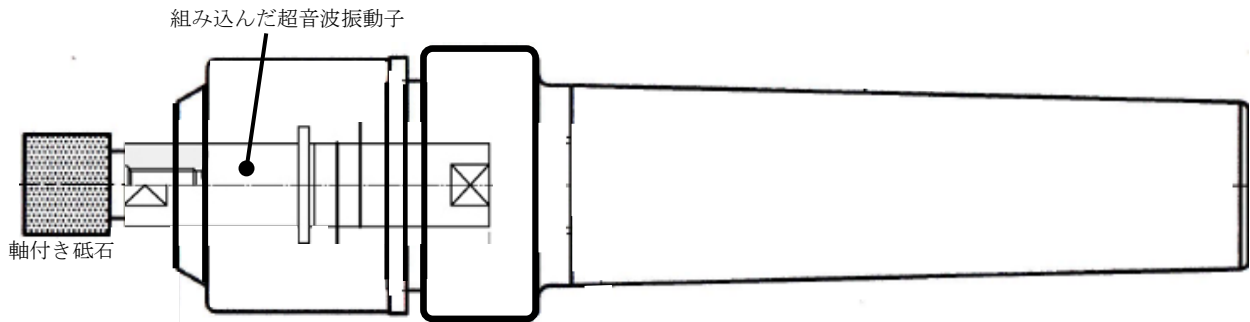


図 3 超音波振動援用型アーバ式内面研削スピンドル

超音波振動子の単体共振周波数が 40 kHz であることから、振動子の駆動回路を LCR 共振回路で構成することで駆動電力の最小化を図る。

$$f_n = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 40 \text{ kHz} \quad (1)$$

表 1 より式 (1) の $C = 898 \times 10^{-9} \text{ F}$ であることから、必要な誘導成分は $L = 18 \mu\text{H}$ と

見積もることができる。

設計 1 :

スピンドル上の超音波振動子（回転側）はスリップリングを介して静止側の電源で駆動する。この場合、上記の誘導成分は受動素子であるコイル巻線で実現するか、あるいはアクティブフィルタの一種である図 4 に示すシミュレーテッドインダクタで実現する。シミュレーテッドインダクタを用いる場合、図 4 中の可変抵抗 R_5 の調整で任意のインダクタンスを実現できることから、コイル巻線と異なり現インダクタンスの現場調整が容易に可能となる。

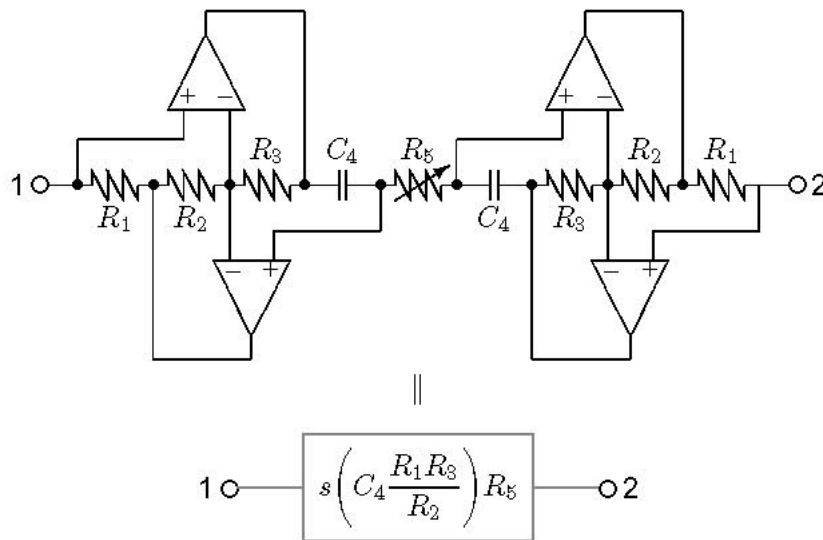


図 4 シミュレーテッドインダクタ回路

設計 2 :

スピンドル上の超音波振動子（回転側）は給電コイルによって非接触で静止側の電源で駆動する。この場合、給電コイルはトランスとみなすことができ、電力供給側（静止側）からの等価回路を用いて LCR 共振回路を構成することとなる。給電コイルをスピンドルの外面を周回するように配置することで、スピンドル本体がトランスの磁路に相当することとなる。給電コイルのインダクタンスに設計 1 で示したシミュレーテッドインダクタ回路を追加することで、回路系のインダクタンスを調整する。

今回の設計では、超音波振動子の取り付け用フランジを把持する構造を採用した。しかし、フランジ部厚さが 2 mm であるため、研削力に抗して振動子の位置を保てるかどうかの検証が必用となる。

3. 開発技術の展開

本研究課題で開発を進めている超音波振動援用型アーバ式内面研削スピンドルは、研究代表者が共同研究者とともに別途開発を進めている長尺内面研削スピンドルに応用展開することで、工作機械主軸の高性能化（高速回転で軸振れ低減）を実現できると考えられる。

4. おわりに

本研究課題では各種産業機械の円筒形状部品に対する内面研削加工に超音波振動援用することで従来の加工精度を超える高精度の加工を実現する次世代の内面研削スピンドルの開発を目的とし、平成 30 年度は超音波駆動部の設計および試作を行い、実機開発の見通しを得た。

参考文献

- 1) 岳 義弘, 超音波加工装置による超音波加工作用について, 2017 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2017)講演論文集, A11, (2017), pp.29-30.
- 2) 米山 陽, 石黒輝雄, 佐野正明, 清水 毅, 超音波振動を援用した小径ドリル加工, 第 2 報: ドリル食いつき時の切削抵抗挙動について, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2016)講演論文集, B17, (2016), pp.138-139.
- 3) 米谷宇人, 今井健一郎, 超音波振動を援用したアルミナセラミックスの延性モード研削加工, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2016)講演論文集, A20, (2016), pp.144-145.
- 4) 水谷秀行, 超音波振動援用によるホーニング加工面の表面性状, 2016 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2016)講演論文集, B23, (2016), pp.157-158.
- 5) 渡邊友貴, 水谷秀行, 大江裕之, 浜田晴司, セラミックスのホーニング仕上げ面性状に及ぼす超音波振動の影響, 2017 年度砥粒加工学会学術講演会 (ABTEC2017)講演論文集, A02, (2017), pp.3-4.
- 6) 磯部浩己・原 圭祐, 超音波振動加工技術 ～装置設計の基礎から応用～, 科学情報出版, (2017), 178p.
- 7) R.Schaumann, M.E.Van Valkenburg, Design of Analog Filters, Oxford University Press (2001), pp.533-540.