

平成 21 年 5 月 25 日現在

研究種目：基盤研究 (C)
研究期間：2006～2008
課題番号：18560097
研究課題名 (和文) 非導電性研削ホイールのブリッジ放電ツルueイングに関する研究
研究課題名 (英文) STUDY ON BRIDGE-DISCHARGE TRUING OF NON-ELECTROCONDUCTIVE GRINDING WHEELS
研究代表者 水野 雅裕 (MIZUNO MASAHIRO) 岩手大学・工学部・教授 研究者番号：40239249

## 研究成果の概要：

非導電性の研削ホイールを電気的方法でツルueイングする技術は現在確立されていない。本研究では、非導電性の研削ホイールを放電によりツルueイングできるようにすることを目的とし、それに用いる電極構造について検討した。実験の結果、延性の大きな材料を電極材料とし、電極間絶縁層の厚さを数十ミクロン程度にすることで非導電性研削ホイールであっても放電を生じさせることができることを確認した。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	1,300,000	0	1,300,000
2007年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	630,000	4,030,000

## 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：ツルueイング，非導電性研削ホイール，ブリッジ放電，接触放電，電極，絶縁層

## 1. 研究開始当初の背景

光学部品あるいは光学部品成型用金型の仕上げ加工には、超砥粒レジンボンド研削ホイールが用いられる場合が多い。レジンボンド研削ホイールは弾性的に砥粒を支持しているため、研削加工中、研削領域において個々の砥粒切れ刃の高さが揃いやすく、鏡面仕上げに適している。一般的なレジンボンド研削ホイールは非導電性であるが、結合剤に金属粉末が添加された導電性のももある。砥粒の保持力の観点から、#1000以上の微粒の研削ホイールには非導電性のレジンボンドが使用される場合が多い。

超砥粒レジンボンド研削ホイールのツルueイング・ドレッシングは、一般的に機械的方法によって行われている。機械的方法では、従来砥石（アルミナ砥石や炭化ケイ素砥石など）を用いて研削ホイールの結合剤を除去することで砥粒を脱落させ、研削ホイールの形を整える（ツルueイング）。また、摩滅した砥粒を脱落させることで切れ味を回復させる（ドレッシング）。しかし、この方法ではホイール作業面に存在する有用な砥粒切れ刃にも大きな力が作用してしまい、それらを脱落させたり、ダメージを与えたりすることが問題となっている。

## 2. 研究の目的

超砥粒レジンボンド研削ホイールを使用するにあたり、機械的ツルーイング方法よりも砥粒切れ刃へのダメージが小さく、かつ高い砥粒切れ刃密度が得られるツルーイング方法の開発が強く望まれている。

導電性レジンボンド研削ホイールの場合、機械的ツルーイング方法の他に電気的ツルーイング方法を適用することができる。一方、非導電性レジンボンド研削ホイールに対する電気的ツルーイング方法は確立されていない。そこで本研究では、非導電性レジンボンド研削ホイールを電気的方法でツルーイングできるようにするための電極構造に関する検討と、簡単なツルーイング実験を行った。

## 3. 研究の方法

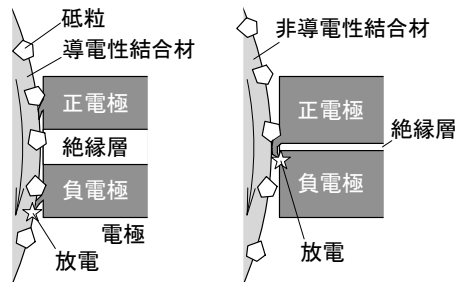
### (1) ブリッジ放電ツルーイングの原理

図1 (a)は一般的な接触放電ツルーイングにおける放電発生メカニズムを示したものである。比較的厚い絶縁層で絶縁された一对の電極に電圧を与え、それを導電性の研削ホイールに接触させると、“正電極-正電極の切り屑-導電性結合剤-負電極の切り屑-負電極”の回路が断続的に開閉する。回路が閉じる瞬間に放電が生じ、その熱によって研削ホイールの結合剤が溶融あるいは気化し、砥粒が脱落してツルーイングが進行する。

一方、図1 (b)のブリッジ放電ツルーイングでは放電の発生メカニズムが若干異なる。電極の絶縁層の厚さを電極の切り屑の大きさよりも薄くすることで、一方の電極で発生した切り屑がブリッジを形成する形で他方の電極に接触する際に放電が生じる。このようにして発生する放電のことを本研究では“ブリッジ放電”と呼ぶことにした。このブリッジ放電を実現できれば非導電性の研削ホイールであっても放電を利用してツルーイングが行えると考えた。

なお、電極材料として硬度の低い材料を用いれば砥粒切れ刃に対するダメージは機械的方法によるツルーイングよりも小さくな

### 研削ホイール



(a)接触放電ツルーイング (b)ブリッジ放電ツルーイング

図1 放電発生メカニズム

ると考えられる。

### (2) 放電用電源回路と放電電力

ツルーイング用電源回路の概要を図2に示す。本ツルーイング装置は放電電流のピーク値  $I_p$  が設定値になるように電極送りを制御する。図2において  $E$  は直流電源の電圧、 $R$  は電流制限抵抗、 $R_g$  は電極間抵抗、 $I$  は放電電流をそれぞれ表している。

この回路において  $E$ 、 $I$ 、 $R_g$ 、 $R$  の間には、オームの法則より次式の関係が成立する。

$$R + R_g = \frac{E}{I} \quad (1)$$

ここで、 $R_g$  は電極とホイールの接触状態に応じて変化し、電極とホイールが完全に離れている場合には  $\infty \Omega$  となる。また、電極間が前述したブリッジの形成によって完全に短絡した場合には  $0 \Omega$  となる。

(1)式に基づき、接触放電電力  $P_g$  は以下のように導出される。

$$P_g = I^2 R_g = I^2 \left( \frac{E}{I} - R \right) \quad (2)$$

(2)式より  $I$  と  $P_g$  の関係は図3のようになる。この図は  $I$  が小さすぎても(電極とホイールが離れすぎても)、また逆に  $I$  が大きすぎても(電極間の短絡の度合いが大きくなりすぎても)  $P_g$  が小さくなることを意味している。 $I$  が大きすぎる場合、電極が機械的に無駄に削られることになり、電極の消耗は激し

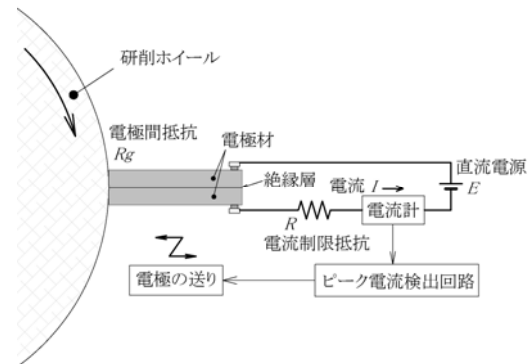


図2 ツルーイング用電源回路の概要

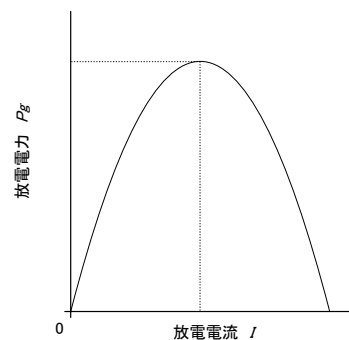


図3 放電電流  $I$  と放電電力  $P_g$  の関係

くなると考えられる。

$P_g$ が最大になるときの  $I$ は次のようにして求められる。

$$\frac{dP_g}{dI} = E - 2RI = 0 \quad (3)$$

$$\therefore I = \frac{E}{2R}$$

効率よくツルーイングを行うためには  $I_p$  が  $E/2R$  になるように電極送りを制御すればよい。また、そのときの  $P_g$  は次式で与えられる。

$$P_g = \frac{Eg^2}{R} = \frac{E^2}{4R} \quad (4)$$

本研究では直流電源電圧  $E=40[V]$ 、電流制限抵抗  $R=10[\Omega]$ とした。したがって、電極で消費される放電電力  $P_g$  が最大になるのは放電電流  $I$ が  $I=2.0[A]$ のときであり、そのとき  $P_g=40[W]$ である。

### (3) 研削ホイール回転装置

図4に実験に使用した研削ホイール回転装置の概要を示す。ベースプレート上に砥石スピンドル、砥石プロファイル測定装置、研削液排出溝を備えている。スピンドルとしてナカニシ製のPST60-200を使用している。スピードコントロールモータの回転数は100-2400rpmの範囲で可変である。研削液はペーパーフィルタで濾過して循環させた。

### (4) ツルーイング装置

ツルーイング装置本体の概要を図5に示す。電極送りには2本のリニアガイド、ピッチ1mmのボールねじ、マイクロステップ駆動のステッピングモータ(オリエンタルモータ製PMM33AH2)を使用している。実験では、ステッピングモータのステップ角の設定を $0.09^\circ$ にしたので電極送りの分解能は計算上 $0.25\mu m$ で

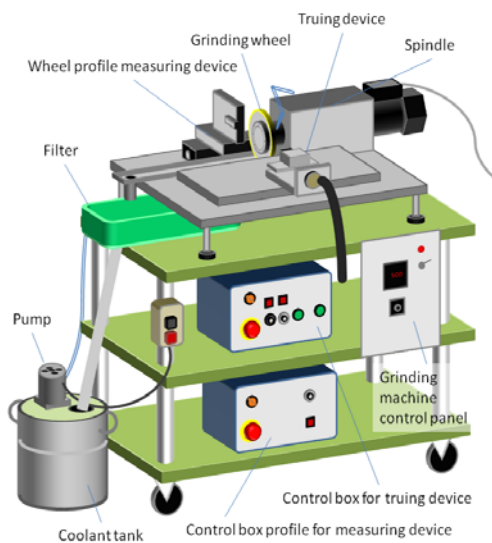


図4 研削ホイール回転装置

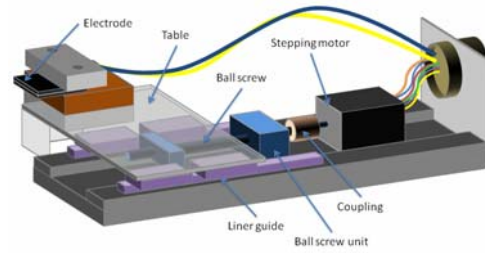


図5 ツルーイング装置本体の概要

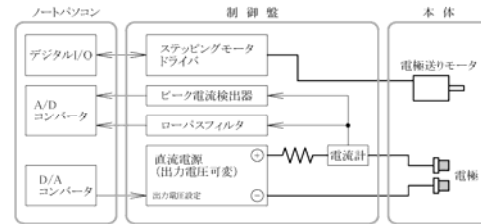


図6 システムのブロック線図

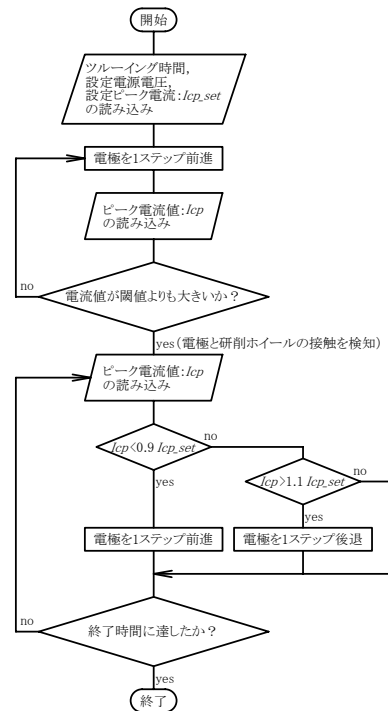


図7 電極送り制御のフローチャート

ある。ツルーイング装置は底面に埋め込まれたマグネットで研削ホイール回転装置に固定した。

ツルーイング装置の制御システムのブロック線図を図6に示す。本システムは、ツルーイング装置本体、制御盤、制御用ノートパソコンから構成されている。電源電圧の設定(24V~74Vの範囲で可変)、ピーク放電電流や平均放電電流のモニタリングはD/AコンバータやA/Dコンバータを介してパソコンで行う。

電極送り制御のフローチャートを図7に示す。放電電流のピーク値  $I_p$ が設定値の90%よ

りも小さいとき、電極を1ステップ前進、設定値の110%より大きいとき1ステップ後退、それ以外の場合は前進も後退もさせない、という単純な方式を採用した。Ipの検出、Ipと設定値との比較、電極駆動の一連のサイクルを25ms間隔で行っている。

#### (5) プロファイル測定装置

図8に研削ホイールのプロファイル測定装置を示す。平行板ばねによって支持されたダイヤモンドスタイラスを研削ホイールに接触させて研削ホイールを低速で回転させるとダイヤモンドスタイラスを支持している部分が研削ホイールの形状に従って半径方向に変位する。その変位を渦電流式変位センサ(オムロン製E2CA-X1R5A)で読み取ることにより研削ホイールのプロファイルを測定する。この測定ユニットは、リニアガイドの移動ブロックに取り付けられており、ホイール半径方向への位置調整が可能である。

研削ホイールのプロファイル測定を行う際、研削ホイール回転装置のスピードコントロールモータをステッピングモータに交換した。測定は、研削ホイールを20ms間隔で0.05°回転させて行った。1回転あたりのデータサンプリング数は7200点とした。

研削ホイールの真円度の評価にあたっては研削ホイールのプロファイルデータ7200点のうち、大きい方から(0.5%である)36点の平均値と、小さい方から36点の平均値を求め、それらの差を真円度とした。

#### (6) 超砥粒研削ホイール

実験に使用した研削ホイールは旭ダイヤモンド(株)製のSD600N125B-5.0, SD1000N125B-5.0, SD2000N125B-5.0の3種類

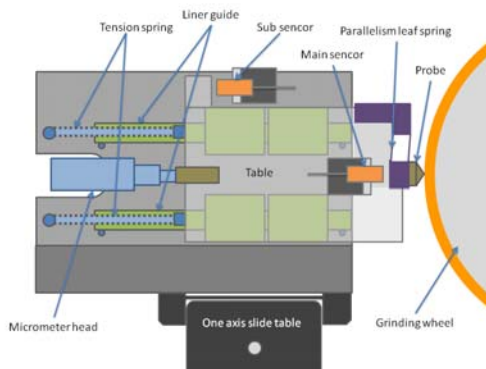


図8 研削ホイールのプロファイル測定

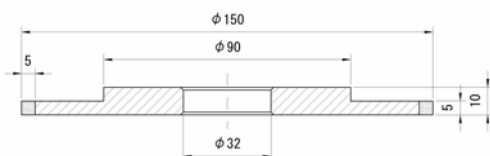


図9 研削ホイールの寸法

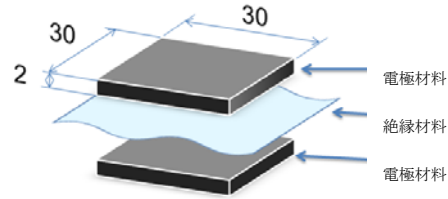


図10 電極の構成

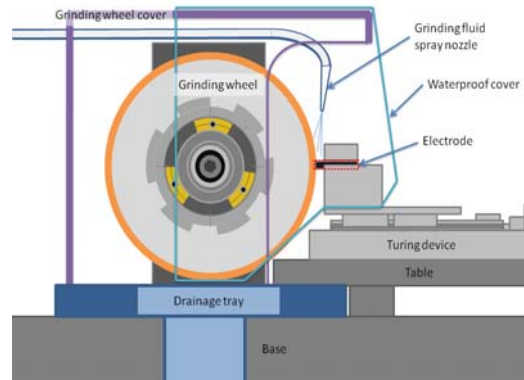


図11 ツルージング実験の概要

である。なお、それぞれの研削ホイール平均粒径は28 $\mu$ m, 15 $\mu$ m, 8 $\mu$ mである。研削ホイールの寸法を図9に示す。

#### (7) 電極

図10に電極の構成を示す。電極材料として超々ジュラルミン(A7075), グラファイト(E+25), 軟鋼(S20C), タフピッチ銅板(C1100P)の4種類を用意した。また、絶縁層の材料としては絶縁性の高い塩化ビニルフィルムを使用した。塩化ビニルフィルムは難燃性や電気絶縁性が高い(>10<sup>18</sup>  $\Omega$ /m)だけでなく、優れた耐水性・耐酸性・耐アルカリ性・耐溶剤性を持つ。本研究では厚み11.5 $\mu$ mの塩化ビニルフィルムを空気が入らないように積層することで絶縁層の厚さを23 $\mu$ m, 46 $\mu$ m, 92 $\mu$ m, 132 $\mu$ mと変化させて実験を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 非導電性レジンボンドホイールに対するブリッジ放電基礎実験

研削ホイールの種類、電極材料、絶縁層の厚さ、研削ホイールの周速、電極送り速度がブリッジ放電電流の大きさに与える影響を調べる実験を行った。実験の形態を図11に示す。予め真円度を10 $\mu$ m以下にした研削ホイールを一定速度で回転させ(周速236, 471, 707m/min), 電極を30秒間接触させた。電極の電源電圧Eは40V, 電極送り速度は0.06, 0.12, 0.18, 0.24, 0.30, 0.36, 0.42, 0.48, 0.54, 0.60, 0.72, 0.84mm/minとした。

#### ① 電極材料と電極送り速度がブリッジ放電電流に与える影響

研削ホイールとしてSD600N125B-5.0を使

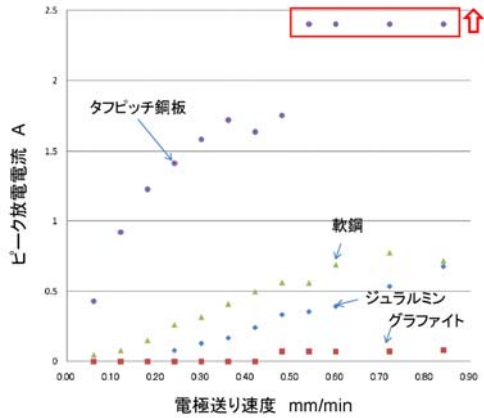


図 12 電極送り速度がブリッジ放電電流に与える影響 (研削ホイール：SD600, 絶縁層厚さ：92 $\mu$ m, 研削ホイール周速：471m/min)

用し、電極の絶縁層厚さを 92 $\mu$ m, 研削ホイール周速を 471m/min としたときの実験結果を図 12 に示す。プロットしたピーク放電電流は 30 秒間のピーク放電電流の平均値である。

延性の小さなグラファイトを電極材料として使用した場合、ピーク放電電流が非常に小さいのに対し、延性の大きなタフピッチ銅板を使用した場合にはピーク放電電流が比較的大きな値となっている。しかし、タフピッチ銅板を使用した場合、電極送り速度が 0.54mm/min 以上のとき電極間が継続的に短絡した。

いずれの電極材料に対しても、電極送り速度の増加に伴ってピーク放電電流が増加する傾向が見られる。これは、研削ホイール周速一定の条件下では電極送り速度が大きくなるほど電極の切り屑が大きくなり、電極間に電極切り屑のブリッジが形成されやすくなるためであると考えられる。しかし、電極送り速度が大きくなるとピーク放電電流の増加率が小さくなる傾向が見られる。

② 研削ホイール周速がブリッジ放電電流に与える影響

研削ホイールとして SD600N125B-5.0, 電極材料として超々ジュラルミンを使用し、電極の絶縁層厚さを 46 $\mu$ m としたときの実験結果を図 13 に示す。極めてわずかではあるが、研削ホイール周速が小さくなるとピーク放電電流が大きくなる傾向が見られる。これは、電極送り速度一定の条件下では研削ホイール周速の減少に伴って電極の切り屑が大きくなり、電極間に切り屑のブリッジが形成されやすくなるためであると考えられる。

以上の実験結果から、(電極送り速度)/(研削ホイールの周速)の値を大きくすればピーク放電電流が大きくなると言える。

③ 電極絶縁層厚さがブリッジ放電電流に与

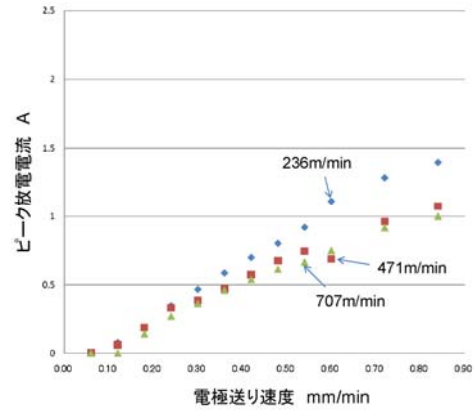


図 13 研削ホイール周速がブリッジ放電電流に与える影響 (研削ホイール：SD600, 電極材料：超々ジュラルミン, 絶縁層厚さ：46 $\mu$ m)

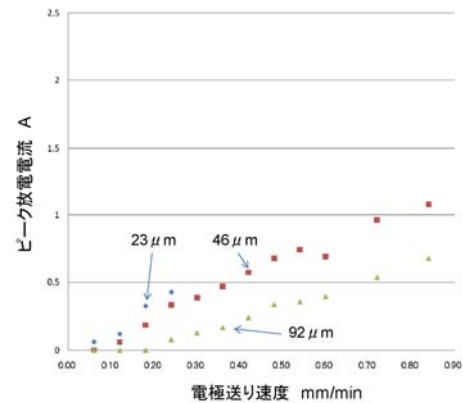


図 14 電極絶縁層厚さがブリッジ放電電流に与える影響 (研削ホイール：SD600, 電極材料：超々ジュラルミン, 研削ホイール周速：471m/min)

える影響

研削ホイールとして SD600N125B-5.0, 電極材料として超々ジュラルミンを使用し、砥石周速を 471m/min としたときの実験結果を図 14 に示す。絶縁層が厚くなるほどピーク放電電流が小さくなる傾向が見られる。これは絶縁層が厚くなると電極間に切り屑のブリッジが形成されにくくなるためであると考えられる。一方、絶縁層の厚さを 23 $\mu$ m と薄くした場合、電極送り速度が 0.3mm/min 以上において電極間が継続的に短絡した。以上の結果より、電極間が継続的に短絡しない程度に絶縁層の厚さを薄くすることが研削ホイールと電極間の放電電力を大きくする上で必要があることがわかった。

④ 研削ホイールの粒度番号がピーク放電電流に与える影響

電極の絶縁層の厚さを 23 $\mu$ m, 研削ホイール周速を 471m/min とし、研削ホイールの粒度番号がピーク放電電流に与える影響を調べた。実験結果を図 15 に示す。電極材料と

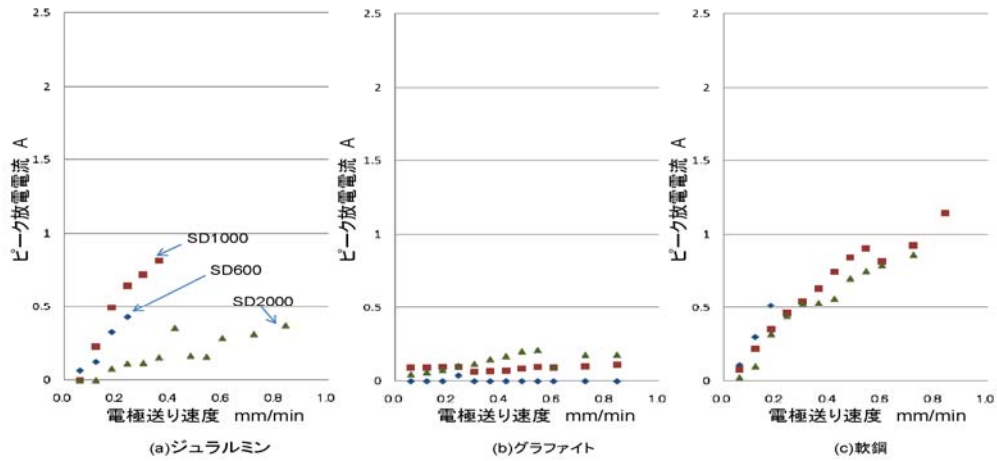


図 15 研削ホイールの粒度番号がピーク放電電流に与える影響（絶縁層厚さ：23 μm，研削ホイール周速：471m/min）

して超々ジュラルミンを使用した場合にはツルーイング対象の研削ホイールがSD600やSD1000のときよりもSD2000のときの方がピーク放電電流は小さくなった。しかし、電極材料として軟鋼を使用した場合には研削ホイールの粒度番号にかかわらずピーク放電電流はほとんど同程度であった。

⑤ ツルーイング実験

ジュラルミンの電極（絶縁層の厚さ46μm）を用い、SD600に対するツルーイング実験を行った。ツルーイング時の研削ホイールの周速は236m/min，1ステップ当りの電極送り量は12.8μm，放電ピーク電力の設定値は16Wとした。研削ホイールの外周のプロファイルの変化と真円度の変化を図16に示す。ツルーイング時間の経過に伴って真円度が向上していることが明らかである。

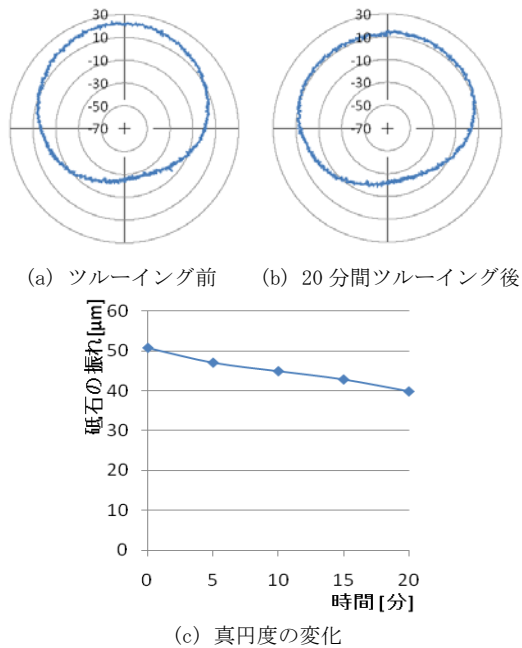


図 16 ツルーイングによる研削ホイールの真円度の変化

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）

〔学会発表〕（計2件）

- ① 佐藤宇，水野雅裕，井山俊郎，西川尚宏，三船英伸，非導電性超砥粒研削ホイールの接触放電ツルーイングに関する研究，日本機械学会東北支部 第44期総会・講演会，2009年3月13日，仙台。
- ② M. Mizuno，T. Iyama，Development of fabrication technique of the electrode used for electrode-contact discharge truing，conference proceedings of euspen，Vol. 2，2007/5/23，Bremen.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

水野 雅裕 (MIZUNO MASAHIRO)  
岩手大学・工学部・教授  
研究者番号：40239249