

## 超硬材円筒部品の簡易面取り装置の開発 品質工学の適用事例

岩本竜一\*1, 佐藤哲朗\*2

Development of the Chamfering Equipment of Cylindrical Parts made of Tungsten Carbide  
The Application Example of Quality Engineering Method

Ryuichi IWAMOTO, Tetsuro SATO

超硬材円筒部品の簡易面取り装置を開発するにあたって、品質工学の手法を用いて要素研究を行った。この結果、次のことが明らかになった。(1)砥石軸方向の研削抵抗を低減するためには、砥石粒度を細かくすることが効果大きい。砥石半径方向および砥石回転方向の研削抵抗は、加工条件を変えても大きな効果は見込めない。(2)送り速度を低くすることが砥石面の研削温度の低減に効果が一番大きい。(3)ドウェル時間を長く取ることが、びびり形状を低減できる効果の大きい要因である。以上の知見を活用して、簡易面取り装置を試作開発した。

Key words : chamfering equipment, tungsten carbide, Quality Engineering Method, diamond wheel

### 1. 緒言

近年、携帯電話の震動源、電動化の進んだ自動車部品、家電製品における各種モータなど、モータ需要の増加とともに多品種化が進み、関連する金型種類が増加している。

これらのモーターロータ、ステータの金型においては、製品形状に対応した複雑形状部品(ダイ)だけではなく、シンプルな円筒形状部品も多く用いられている。

これら円筒部品の端面処理として、面取り工程が必須である。この理由は、金型内において他の部品との摺動時にキズの発生を防ぐ目的の他、金型の組み上げ時に鋭角のエッジによる作業者のケガを防ぐ必要があるためである。しかし、超硬製であるため切削加工は不可能であり、研削加工による面取りが必要である。超硬材の研削加工には、ダイヤモンド砥石が用いられるが、研削温度が上昇するとダイヤモンド砥石は急激に損耗する。また、超硬材端面が研削熱等によってエッジ品質が劣化するようなことがあってはならない。

当然ながら、円筒研削盤などを用いて面取りすることは可能である。しかし、使用する円筒部品の直径、全長等の寸法が様々であることから、段取り替えが度々発生するため、コストがかかりすぎるという欠点があり、現状では、外周加工を円筒研削盤で、端面加工を平面研削盤で仕上げ、面取り工程は作業者による手仕上げ作業に依存している。この手仕上げのレベルに個人差があり、エッジ品質にバラツキが発生していた。このため、最悪の場合は、危険を承知の上で面取りを行わずに金型を組み上げる場合もあった。

そこで、これらの問題を解決するために、低コストで良質な面取りが可能な装置を開発することとした。この面取り装置は、複数箇所で行われている金型の組み上げ工程において、作業者が金型組み上げ作業と面取り加工を同時並行して行い、作業の効率化を図るため、容易に移動できるよう一般の研削盤のような据え置き型ではなく、キャスト等で移動できる必要がある。また、金型組み上げ工程は、防錆の面からも水分を嫌う。このため、乾式研削により研削液タンクおよびポンプを省略できることが望ましい。

研削加工に品質工学の手法を適用し、効率的に成果を上げた研究事例は多く報告されている<sup>1)</sup>。そこで本研究では、装置開発前の要素研究に品質工学の手法を適用し、研削抵抗および砥石温度上昇が小さく、かつ加工面形状の良好な研削条件の最適化を検討したので報告する。

### 2. 実験方法

#### 2.1 実験装置

超硬材円筒部品の面取り加工のために、実験装置として旋盤((株)昌運工作所製 ST-5)を使用した。実験装置に研削盤ではなく旋盤を使用した理由は、開発する面取り装置の構造を簡易なものと想定しており、高精度な研削盤よりも旋盤の方がその想定に近く、試作開発を進めやすいと判断したからである。

実験装置の全景写真を図1に示す。旋盤の刃物台を取り外し、エプロン上に、超硬材円筒部品の研削加工を可能とする砥石軸を設置した。砥石軸は、圧電型切削動力計(日本キスラー製 9257B)上に設置することで、面取り加工中の3成分の研削抵抗を測定できるようにした。砥石軸は、カップリングを介してインダクションモータ(パナソニック製 M91Z90SV4LS, 90W)と同軸上に配置され、このモータにより

\*1 鹿児島県工業技術センター: 〒899-5105 鹿児島県霧島市隼人町小田1445-1

Kagoshima Prefectural Institute of Industrial Technology

\*2 株式会社東郷: 〒891-1103 鹿児島県鹿児島市川田町2194  
TOGO co.ltd

(学会受付日:2012年7月9日)

作用面を90°に調整した直径150mmのダイヤモンド砥石を駆動する。切削動力計上には砥石軸のみ設置し、モータは研削抵抗の測定に影響の無いよう切削動力計とは別配置とした。なお、このモータはスピードコントローラにより変速が可能で、砥石軸回転数はデジタルタコメータで確認する。加工中の砥石作用面の温度上昇は、旋盤奥側に設置したサーモグラフィ（フリーシステムジャパン(株)製 SC620)で確認する。サーモグラフィにより加工開始時から終了時まで連続して温度変化を確認できる。

旋盤主軸には、被削材となる超硬材円筒部品(直径15mm, 長さ65mm, CIS規格VM-50相当材)を取り付ける。被削材の面取り部分に、熱電対を取り付けて加工中の温度変化を測定できるようにした。この熱電対は回転体対応であり、軽いバネによって面取り部分に押し付けられる構造になっている。あらかじめ、被削材回転中に摩擦による温度上昇が認められないことを確認した。この熱電対出力は、記録計(千野製 EB22005)に記録・デジタル表示される。

## 2.2 実験方法

実験および解析は、品質工学の手法を用いて行った。制御因子と水準の決定に当たっては、試作開発する面取り装置の基本スペックに反映できるよう考慮した。緒言で述べたとおり、面取り装置には、ダイヤモンド砥石による乾式研削を採用したいため、研削温度およびこれに密接な関係が推定される研削抵抗に影響を及ぼすと考えられる要因を中心に、表1および図2の実験装置概略に示す制御因子を選択し、水準を決定した。これをもとに表2のL18直交表<sup>2)</sup>に割り付けて実験を行った。

制御因子(A)および(B)は、砥石半径方向と砥石軸方向の送り方向とそれぞれの方向への送り速度を設定した。面取り装置の基本的構成に反映させるためである。

制御因子(C)および(D)は、使用する砥石の粒度と回転数を設定した。使用する砥石メーカーとも協議し、推奨条件を中心に選定した。

制御因子(E)は、被削材の回転数を設定した。開発する面取り加工機では、手動ハンドルによる送りも想定しているため、比較的低い回転数を水準に選択した。

制御因子(F)および(G)は、被削材の突出量と振れ量を設定した。超硬材円筒部品の仕様上、端面へのセンタ穴加工は許されないことから、片持ち把持方式とならざるを得ない。この場合、コレットによる把持等が通常であるが、面取り装置に対して、寸法形状が様々な円筒部品に対応するコレットを準備することはコスト高となる。そこで、三つ爪スクロールチャックの適用が可能であるかを確認するために、制御因子として設定した。被削材先端の振れは芯振れ調整形スクロールチャック(小林鉄工(株)製 SC-4A)を用いて、ダイヤルゲージによって調整・確認した。

制御因子(H)は、所定の面取り加工終了後のドウェル時間を設定した。このドウェルの間、被削材はスパークアウト状態となる。ドウェル時間を設定することにより、被削材の振れが加工面形状等に及ぼす悪影響を低減する効果を狙って設定したものである。

## 3. 結果および考察

実験は全てC1の面取り加工を行い、このときの研削抵抗および研削温度を測定した。加工後は、真円度測定機で加工面の品位を評価した。なお、C1の面取り加工に達したかどうかの確認は、実験装置に取り付けたダイヤルゲージの読みにより行った。



図1 実験装置全景写真

表1 制御因子

	1	2	3
A 送り方向	半径方向	軸方向	—
B 送り速度 mm/rev	0.0937	0.125	0.1875
C 砥石粒度	#140	#170	#230
D 砥石回転数 rpm	1700	1500	1300
E 被削材回転数 rpm	40	60	80
F 被削材突出量 mm	18	25	40
G 被削材振れ量 μm	50	30	0
H ドウェル時間 s	0	5	10

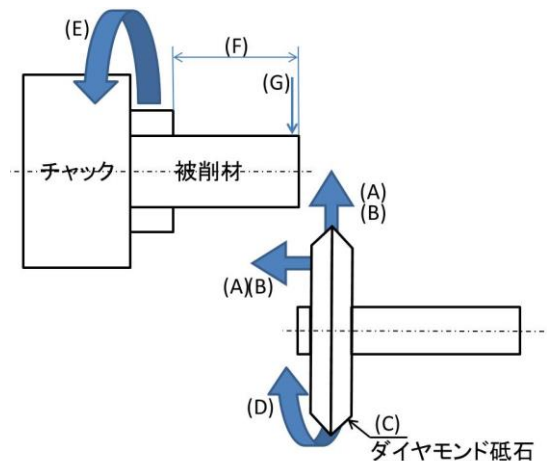


図2 実験装置概略

表2 L18直交表

No	制御因子							
	A	B	C	D	E	F	G	H
1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	1	1	2	2	2	2	2	2
3	1	1	3	3	3	3	3	3
4	1	2	1	1	2	2	3	3
*				*				
*				*				
17	2	3	2	1	3	1	2	3
18	2	3	3	2	1	2	3	1

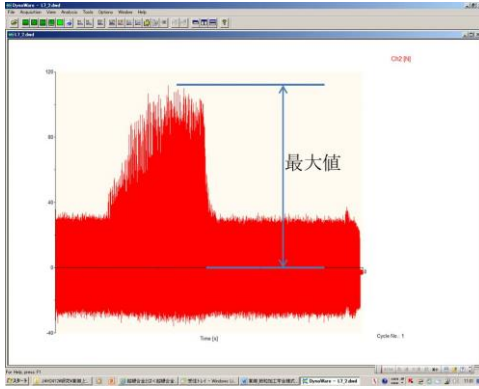


図3 研削抵抗測定結果例(砥石軸方向)

表3 研削抵抗結果 (N)

	半径方向	軸方向	回転方向
L1	148.69	108.57	140.12
L2	130.54	103.53	133.08
L3	129.21	62.09	126.75
L4	157.81	106.32	126.48
L5	169.33	87.31	152.57
L6	148.19	60.11	151.51
L7	148.98	104.95	120.95
L8	138.16	159.51	129.36
L9	128.39	31.50	118.85
L10	183.81	99.34	169.94
L11	109.02	55.35	114.96
L12	119.29	53.26	137.30
L13	158.96	120.01	145.52
L14	123.91	100.14	128.10
L15	145.39	63.76	95.84
L16	167.15	122.14	137.44
L17	142.16	102.54	160.20
L18	142.02	79.78	156.79
平均	143.95	90.01	135.88

表4 研削抵抗のSN比 (dB)

	半径方向	軸方向	回転方向
L1	-43.45	-40.71	-42.93
L2	-42.31	-40.30	-42.48
L3	-42.23	-35.86	-42.06
L4	-43.96	-40.53	-42.04
L5	-44.57	-38.82	-43.67
L6	-43.42	-35.58	-43.61
L7	-43.46	-40.42	-41.65
L8	-42.81	-44.06	-42.24
L9	-42.17	-29.97	-41.50
L10	-45.29	-39.94	-44.61
L11	-40.75	-34.86	-41.21
L12	-41.53	-34.53	-42.75
L13	-44.03	-41.58	-43.26
L14	-41.86	-40.01	-42.15
L15	-43.25	-36.09	-39.63
L16	-44.46	-41.74	-42.76
L17	-43.06	-40.22	-44.09
L18	-43.05	-38.04	-43.91
平均	-43.09	-38.51	-42.59

### 3.1 研削抵抗

研削抵抗の測定結果例を図3に示す。砥石空転時の研削抵抗の時間平均値と、加工中の研削抵抗の最大値との差を研削抵抗とした。通常、研削抵抗は最大値ではなく平均値を取るが、本実験では、面取り加工の進行に伴い、単位時間当たりの研削断面積が大きくなり研削抵抗も大きくなると考えられることから最大値との差を研削抵抗として採用した。砥石空転時の時間平均値との差とした理由は、設置した砥石軸とインダクションモータの取り付けに僅かな芯ズレがあり、これにより生じる変動抵抗を除去するためである。

実験結果を表3に示す。研削抵抗ができるだけ小さい方が、被削材および砥石に対する物理的・熱的ダメージが少なく、良い加工条件であるとする望小特性のSN比<sup>3)</sup>として計算した。この計算結果を表4に示す。表4の結果から要因効果図を作成した。この結果を図4～6に示す。

図4～5を見ると、砥石半径方向および砥石回転方向の研削抵抗は、加工条件を変えてもSN比に大きな変化が無く効果が小さいことが分かる。

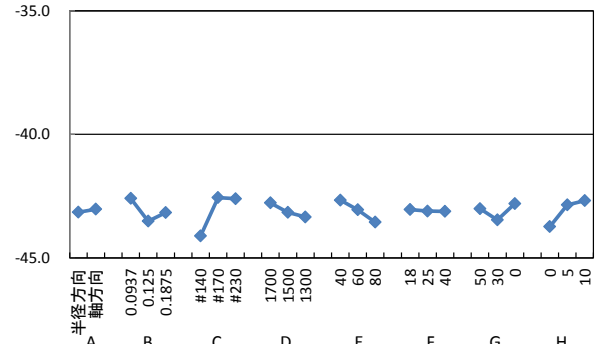


図4 要因効果図(砥石半径方向研削抵抗)

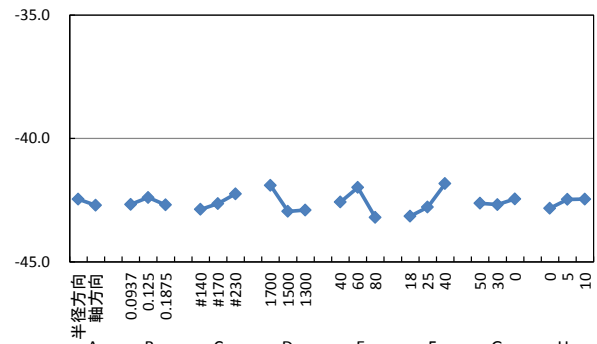


図5 要因効果図(砥石回転方向研削抵抗)

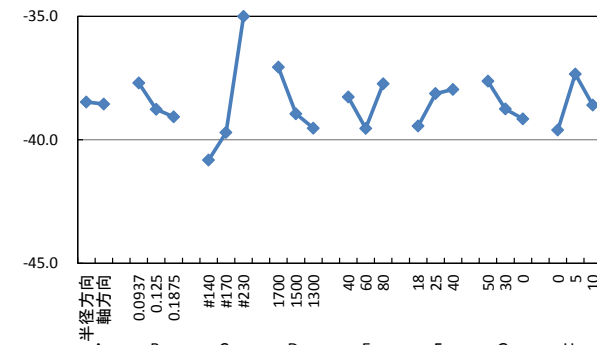


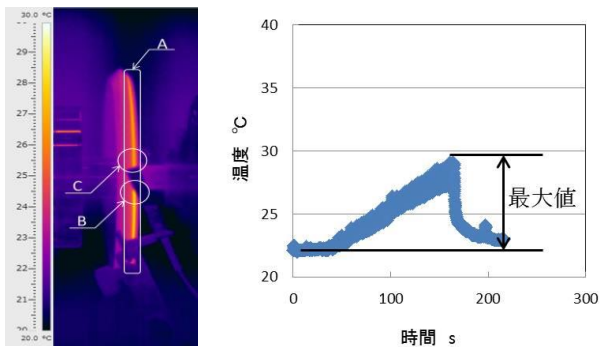
図6 要因効果図(砥石軸方向研削抵抗)

一方、図6の砥石軸方向の研削抵抗において、砥石粒度(C)を細かくすると研削抵抗を小さくでき、効果の大きい要因であることが分かる。また、砥石粒度に比べ効果は小さいものの、砥石回転数(D)を上げる、もしくは、送り速度(B)を小さくすることも研削抵抗を低減する効果のあることが認められる。

3.2 研削温度

砥石作用面の研削温度は、サーモグラフィによって測定した。図7(a)にサーモグラフィ画像例を示す。研削加工中の砥石作用面全体(A部)における最大値と砥石空転時の砥石温度との差を図7(b)に示すように研削温度とした。全ての実験条件において、この最大値が発生する箇所は、研削点直後である図(a)中のB部であった。なお、本実験条件において、サーモグラフィ本体の分解能と測定距離から算出される砥石作用面上の1画素サイズは0.5mm角程度である。

被削材の研削温度は熱電対による砥石空転時の被削材温度と加工中の最大値との差を記録計のデジタル表示から読み取り、被削材の研削温度とした。実験結果を表5に示す。



(a) 画像例 (b) 研削加工中の温度変化  
図7 サーモグラフィによる測定

表5 研削温度結果(°C)

	砥石面	ワーク
L1	7.0	4.0
L2	14.1	9.5
L3	5.5	3.5
L4	7.3	5.0
L5	12.7	11.5
L6	10.1	5.5
L7	24.1	22.5
L8	13.0	8.0
L9	38.4	5.8
L10	14.9	7.0
L11	5.5	5.5
L12	16.0	6.5
L13	25.8	9.0
L14	11.7	7.0
L15	14.0	3.5
L16	30.4	3.5
L17	31.2	7.5
L18	18.8	8.0
平均	16.7	7.4

表6 研削温度SN比(dB)

	砥石面	ワーク
L1	-16.90	-12.04
L2	-22.98	-19.55
L3	-14.81	-10.88
L4	-17.27	-13.98
L5	-22.08	-21.21
L6	-20.09	-14.81
L7	-27.64	-27.04
L8	-22.28	-18.06
L9	-31.69	-15.19
L10	-23.46	-16.90
L11	-14.81	-14.81
L12	-24.08	-16.26
L13	-28.23	-19.08
L14	-21.36	-16.90
L15	-22.92	-10.88
L16	-29.66	-10.88
L17	-29.88	-17.50
L18	-25.48	-18.06
平均	-23.09	-16.34

表5に示すとおり砥石作用面の温度上昇は最大40°C程度という結果になった。しかし、前述したような測定方法を採用したことから、ここでの砥石作用面の研削温度は、1個のダイヤモンド砥粒に作用する真の研削点温度とは異なる。真の研削点温度は表5に示す温度よりもかなり大きいと考えられる。しかし、研削砥石が1回転した後の図7(a)C部のB部に対する温度低下は2~3°C程度と小さく、砥石の急激な損耗も認められないことから、ダイヤモンド砥粒が連続的に炭化する状況にあるとは考えにくい。したがって、本実験範囲内においては、砥石作用面の研削温度の上昇はダイヤモンド砥粒の炭化温度を考慮しなければならないレベルより小さいと判断した。同様に、被削材の温度上昇も最大23°C程度と小さく、被削材が熱影響により組織変化を引き起こすレベルより低いと判断した。

しかし、より研削温度上昇が小さい方が、砥粒の損耗も少なく良い加工条件であると考えられるため、3.1項と同様に望小特性のSN比として計算した。この結果を表6に示す。

表6の結果から作成した要因効果図を図8~9に示す。図8を見ると、送り速度(B)を低くすることが研削温度の低減に効果が一番大きいことが分かる。次に、被削材の回転数(E)を遅くすることも効果が認められる。被削材の振れ(G)を低く抑えると効果が大きい結果となっているが、これは、被削材の振れに伴い切り込みが変化して加工温度が変動することによって推定される。このことから、被削材の振れは、加工精度にとどまらず、研削温度にも影響を及ぼすため可能な限り小さくする工夫が必要である。ここで、被削材の振れ量が30μmと50μmではSN比の差が小さく、振れ量が0μmの場合にSN比が大きくなる結果が得られた。本実験では、振れ量の0μmは、芯振れ調整形スクロールチャックとダイヤルゲージ(目量:1/100mm)を用いて設定したものである。この設定作業は、

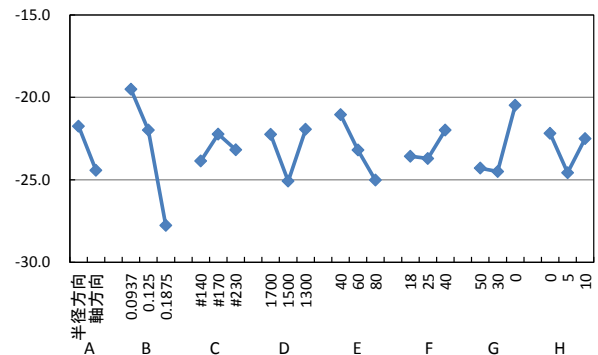


図8 要因効果図(砥石面研削温度)

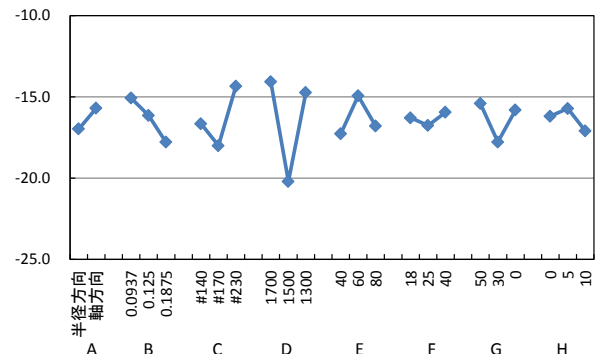


図9 要因効果図(ワーク研削温度)

比較的短時間で、かつ容易であることから、試作開発する面取り装置においては、コスト低減のためコレットを用いず三つ爪スクロールチャックを適用することが可能と考えられる。

図9を見ると、砥石回転数(D)、砥石粒度(C)、送り速度(B)に効果のあることが認められるが、図7の送り速度の効果より小さい。砥石面の温度を下げることで被削材に伝達する熱量も小さくなることから、送り速度を小さく設定し、砥石面の温度を上昇させない対策の方が有効であると考えられる。

ここで、砥石軸方向の研削抵抗を解析した図6と砥石作用面の研削温度を解析した図8を比較する。研削抵抗を低減する効果がある要因は、砥石粒度を細かくすることであり、送り速度の効果はこれに比べて小さい。逆に、研削温度上昇を低減できる要因は、送り速度を小さくすることであり砥石粒度の影響は小さい結果となった。一般に、研削抵抗と研削温度は密接な関係があることから、これらは矛盾しているように思われる。この原因は明らかではないが、研削抵抗の測定結果が砥石軸方向における砥石粒度の効果のみが突出して大きく、他は大きな差が認められないことに注目すると、筆者らが製作した砥石軸の剛性が低く、砥石軸方向にわずかに逃げることで砥石粒度の細かい条件で研削抵抗が小さくなったことが推定される。一方、研削温度上昇は、元々の測定結果が小さかったことから、この影響が少なかったと考えられる。

本来、研削盤の設計思想からは砥石軸の剛性を上げることを検討すべきであるが、本研究では砥石軸をより積極的に逃がすことにより研削抵抗を低減する手法を面取り装置に採用することとした。

3.3 加工面形状

加工面形状は、面取り部分を真円度測定機(Taylor Hobson Talyrond262)で測定し、真円度を評価した。

真円度測定結果を表7に示す。前項と同様に、真円度ができるだけ小さい方が、良い加工条件であるとする望小特性のSN比として計算した。表7の真円度測定結果を用いて、SN比を計算した結果を表8に示す。表8の結果から要因効果図を作成した。図10に示す。

図を見ると、ドウェル時間(H)を長くすることが、効果の大きいことが分かる。真円度の測定結果から、真円度が悪化する原因は、被削材の傾き等に起因する楕円形状ではなく、図11に示す1周当たり数十山のびびり形状に起因することが明らかとなった。これは、研削抵抗の変化により、砥石と被削材間にわずかな距離の変化が生じていることが原因と推定される。

本実験条件では、加工後半になるほど(最終製品加工状態に近くなるほど)、切り込み量が増え、研削抵抗は増大する。このため、ドウェル時間を設定することで切り込み量が徐々に漸減し加工面品位を向上させていると考えられる。ドウェル以外では、被削材振れ(G)や送り速度(B)を小さくすることに効果が認められる。

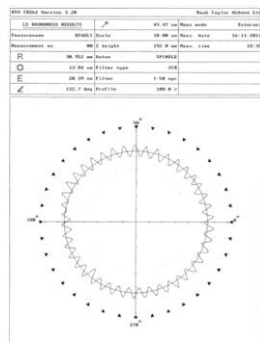


図11 真円度測定結果例

表7 真円度結果 (μm)

	真円度
L1	9.26
L2	3.30
L3	2.66
L4	1.78
L5	18.96
L6	3.36
L7	2.21
L8	8.91
L9	15.16
L10	16.69
L11	2.39
L12	1.96
L13	1.84
L14	3.07
L15	7.87
L16	7.42
L17	3.01
L18	19.84
平均	7.21

表8 真円度SN比 (dB)

	真円度
L1	-19.33
L2	-10.37
L3	-8.50
L4	-5.01
L5	-25.56
L6	-10.53
L7	-6.89
L8	-19.00
L9	-23.61
L10	-24.45
L11	-7.57
L12	-5.85
L13	-5.30
L14	-9.74
L15	-17.92
L16	-17.41
L17	-9.57
L18	-25.95
平均	-14.03

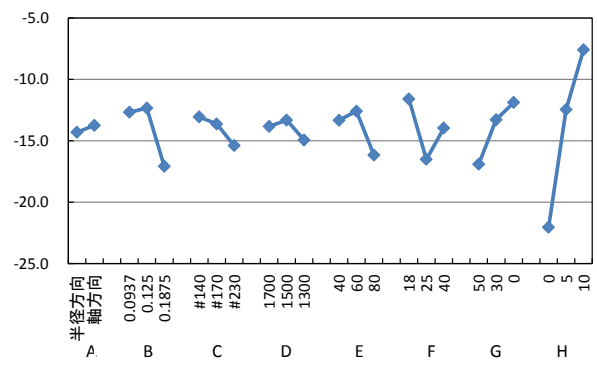


図10 要因効果図(加工面形状)

3.4 確認実験

実験結果の再現性を検討するために確認実験を行った。確認実験にあたっては、研削抵抗、研削温度、加工面形状の観点から最適条件<sup>9)</sup>を推定した。研削抵抗については、砥石軸方向の研削抵抗に大きな差が認められ、砥石半径方向および回転方向の研削抵抗の差は小さかった。よって、砥石軸方向の研削抵抗の要因効果図から、効果の大きい砥石粒度(C3)を最適条件として選択した。研削温度については、砥石面とワークの2カ所測定したが、より変化の大きい砥石面の研削温度を用い、効果の大きい要因である送り速度(B1)を最適条件として選択した。加工面形状も同様に、最も効果の大きい要因であるドウェル時間(H3)を選択した。以上の3因子C3、B1、H3を用いて下式により利得を推定する。水準別SN比の補助表を表9~11に示す。

$$\frac{(-210.06) - (-238.27)}{6} + \frac{(-117.05) - (-131.95)}{6} + \frac{(-45.55) - (-74.78)}{6} = 4.7 + 2.5 + 4.9 = 12.1(\text{dB})$$

確認実験は、砥石粒度(C3)、送り速度(B1)、ドウェル(H3)で他は第2水準としたものを最適条件として、また、全ての因子を第2水準としたものを現行条件として実験を行った。確認結果を表12に、この表から求めたSN比を表13に示す。

表9 水準別SN比合計補助表(研削抵抗) (dB)

	1	2	3
A	-346.25	-347.01	—
B	-226.21	-232.62	-234.43
C	-244.93	-238.27	-210.06
D	-222.38	-233.69	-237.19
E	-229.63	-237.25	-226.39
F	-236.68	-228.79	-227.79
G	-225.78	-232.55	-234.93
H	-237.66	-224.03	-231.57

表10 水準別SN比合計補助表(研削温度) (dB)

	1	2	3
A	-195.73	-219.90	—
B	-117.05	-131.95	-166.63
C	-143.16	-133.39	-139.07
D	-133.47	-150.50	-131.66
E	-126.28	-139.19	-150.15
F	-141.47	-142.25	-131.91
G	-145.77	-146.98	-122.88
H	-133.13	-147.45	-135.04

表11 水準別SN比合計補助表(加工面品位) (dB)

	1	2	3
A	-128.79	-123.75	—
B	-76.06	-74.05	-102.43
C	-78.38	-81.81	-92.35
D	-83.01	-79.91	-89.62
E	-80.01	-75.55	-96.99
F	-69.57	-99.14	-83.84
G	-101.50	-79.72	-71.32
H	-132.21	-74.78	-45.55

表12 確認実験結果

	最適条件	現行条件
研削抵抗(N)	63.71	96.76
研削温度上昇(°C)	15	21.2
加工面形状( $\mu\text{m}$ )	1.7	4.17

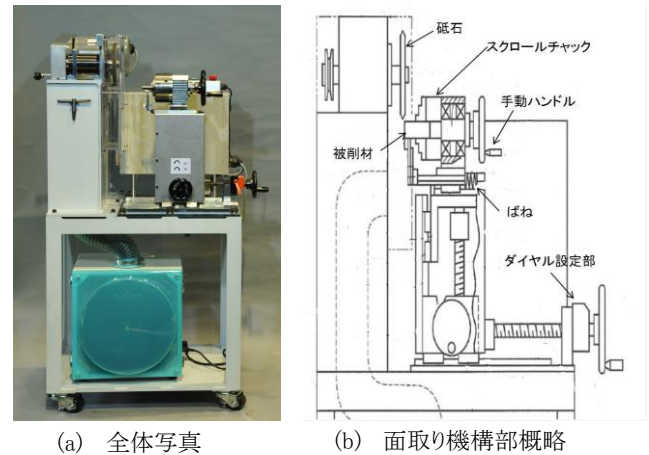
表13 確認実験 (dB)

	最適条件	現行条件	利得
研削抵抗	-36.1	-39.7	3.6
研削温度上昇	-23.5	-26.5	3.0
加工面形状	-4.6	-12.4	7.8
合計			14.4

確認実験を行った結果、最適条件は現行条件と比べ推定値(12.1 dB)とほぼ同様な利得(14.4 dB)が得られ、実験の再現性が確認できた。

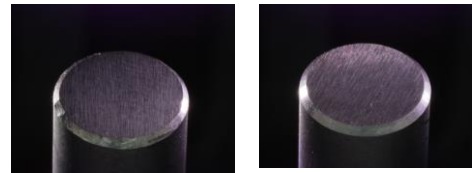
以上の知見を活用して、簡易面取り装置を試作開発した。試作した簡易面取り装置の写真を図12(a)に示す。装置上段が面取り機構部で下段が集塵装置となっており、装置全体はキャスターで移動できる。面取り機構部の概略を図12(b)に示す。回転する砥石に対してスクロールチャックに取り付けられた被削材は手動ハンドルで回転しながら研削される。このスクロールチャック全体は、ストローク10mmのばねにより浮動しており、あらかじめ設定されたダイヤル設定により所定の面取り量まで定圧送りされる機構となっている。この時の設定荷重は5~6N程度と低く設定することにより研削抵抗のさらなる低減

を図った。この面取り装置による面取り結果と、従来の作業者による手仕上げ結果を図12(c)に示す。これらの被削材の仕上げ面の形状および研削温度上昇は表12に示す最適条件と同等のレベルを確保できることが確認できた。



(a) 全体写真

(b) 面取り機構部概略



(c) 面取り結果(左:手仕上げ, 右:面取り装置)

図12 簡易面取り装置

#### 4. 結言

超硬材円筒部品の簡易面取り装置を開発するにあたって品質工学の手法を用いて要素研究を行った。この結果、次のことが明らかになった。

##### (1) 研削抵抗

砥石軸方向の研削抵抗は、砥石粒度を細かくすると小さくできる。砥石半径方向および砥石回転方向の研削抵抗は、加工条件を変えても大きな効果は見込めない。

##### (2) 研削温度

送り速度を低くすることが砥石面の研削温度の低減に効果が一番大きい。

##### (3) 加工面形状

ドウェル時間を長く取ることが、びびり形状を低減できる効果の大きい要因である。

最後に、本研究は、公益財団法人かごしま産業支援センターの研究開発助成事業の助成を受け、株式会社東郷との共同研究として実施したものです。謝意を表します。

また、研究を進めるに当たり、有益な助言を賜りました鹿児島県溶接協会技術顧問森田春美氏に謝意を表します。

#### 5. 参考文献

- (1) Hiroshi SIBANO and others: Journal of the Japan Society for Abrasive Technology (JSAT) Vol.54 No.2(2010) p.69-89 (in Japanese).
- (2) 田口玄一: 品質工学講座3 品質評価のためのSN比, 日本規格協会(1988)p.123
- (3) 田口玄一: 品質工学講座3 品質評価のためのSN比, 日本規格協会(1988)p.19
- (4) 田口玄一: 品質工学講座1 開発・設計段階の品質工学, 日本規格協会(1988)p.81