

平成 22 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「細溝加工用高速・長寿命・省レアメタル型・メタルソー  
および加工法の研究開発」

## 研究開発成果等報告書

平成 23 年9月

委託者 近畿経済産業局

委託先 公益財団法人ふくい産業支援センター



# 目 次

第 1 章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
(1) 研究背景、目的	
(2) 研究概要	
(3) 実施内容	
1-2 研究体制	4
(1) 研究組織・管理体制	
1) 研究組織（全体）	
2) 管理体制	
(2) 研究者氏名	
1) 業務管理者及び研究員	
2) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	
3) 推進委員会	
1-3 成果概要	8
1-4 当該研究開発の連絡窓口	9
第 2 章 高度化メタルソーの研究開発	10
2-1 高速・長寿命型メタルソーの開発	10
2-2 多溝同時加工カッターの開発	12
第 3 章 高付加価値化に対応の細溝加工の研究開発	15
3-1 超音波振動で細溝加工刃の開発	15
3-2 超高压クーラントによる細溝加工用メタルソーの開発	16
3-3 サンプル加工と評価	17
第 4 章 全体総括	20



## 第1章 研究開発の概要

### 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

#### (1) 研究背景、目的

航空機、発電用ガスタービンの燃焼器および自動車用モータの整流子には細溝加工が多くあり、高速化、難削材対応、工具寿命、加工コストの国際競争力等で課題があり、対応技術が確立されていない。本研究では、これらの課題解決のため、チタン眼鏡加工で確立した技術を高度化し、特殊刃型や新コーティング及び省レアメタルタイプの次世代メタルソーの開発と超音波振動、超高压冷却法を取入れた加工法等を研究開発し、高精度、長寿命、高生産性の実現を図る細溝加工技術を確立することを目的とする。

#### (2) 研究概要

航空機、発電用ガスタービンに信頼性向上、燃費向上、低公害性等が求められ、タービンの燃焼器について部品の大型化、超耐熱材料の使用、信頼性向上、コスト低減、増産化、国際競争力対応、かつ冷却ガスを効率よく流すため難削材への多数の細溝に新技術による加工が必要となっている。自動車産業において、燃費向上や排ガス規制等への積極的な環境対応、エンジン等の高効率化、車体部品の軽量化、さらに、ハイブリッド化、高機能化が求められている。車載ブラシ付きモータの部品の整流子セグメントにスリット溝を入れる細溝加工があるが、従来法では工具の寿命に限界があり、また整流子セグメントの材質変更で新切削工具や加工技術を高度化することを求められている。また、工具材料にレアメタルのタングステンが用いられており、これの使用量を削減することも求められている。

本事業では、「細溝加工用高速・長寿命・省レアメタル型・メタルソーおよび加工法の研究開発」に至る課題を抽出し、その解決を図るものである。①高度化メタルソーの研究開発、②高付加価値化に対応の細溝加工の研究開発の2項目において、6つのサブテーマを設定して開発を進め、川下企業のニーズに適合した技術の確立を目指す。

#### (3) 実施内容

##### ①高度化メタルソーの研究開発 (株式会社ウノコーポレーション、

株式会社ナサダ、国立大学法人福井大学、福井県工業技術センター)

細溝加工において、メタルソーでの切削は、エンドミルより強度的に強く、深溝の加工が可能であり、溝の荒加工回数の削減が見込める。メタルソーの性能をきめるファクターは“素材材質”、“刃型形状”、“表面コーティング”の要素が大きく作用し、工具として高速化、長寿命、高精度の要求に、加工対象・加工材料等に対し、最適な選択する。メタルソーの寿命は2倍に、加工のトータルコストの50%低減を目標とする。

### ①-1 高速・長寿命型メタルソーの開発

(株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ)

超耐熱難削材、モータの整流子素材を主な対象素材として細溝加工用の高度化したメタルソーおよび周辺機器、新加工法の研究開発をする。

省タングステン型取り付けアーバー径拡大細溝加工用メタルソー、取り付けアーバー径拡大細溝加工用メタルソーフランジ、台金ロー付け形式細溝加工用メタルソー、特殊刃型細溝加工用メタルソーを試作開発する。表面コーティングとしてダイヤモンドコーティングを実施し、コーティング無と比較研究する。

目標値：省タングステン型はタングステンの50%節減を目指す。

### ①-2 多溝同時加工カッターの開発

(株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ)

細溝加工用メタルソーを複数枚取り付けアンクル駆動マシニングセンター用アタッチメントを開発し、自由度の高い多条溝加工工法を開発する。

目標値：直線型多溝に対し、高効率の加工が出来ること。

### ①-3 サンプル加工と評価 (株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ、 国立大学法人福井大学、福井県工業技術センター)

材料に適した工具材質・刃先条件の確立、刃先表面向上のためのコーティングの開発、工具寿命の低下原因、表面品質の測定・評価技術を研究開発する。

目標値：要求精度が確保できること。加工表面品質が確保できること。

## ② 高付加価値化に対応の細溝加工の研究開発

(株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ)

切削加工において、工具寿命、加工品質を確保するために刃先の温度と切粉の排出性が重要な要素となっている。その対策の技術として、超音波振動で加工する方法、新技術の超高压クーラントによる方法がある。本研究で超音波振動ユニットに最適組合せの刃先チップの試作開発、7Mpa以上(～20Mpa)の超高压クーラントに適した細溝加工用メタルソーを試作開発する。

### ②-1 超音波振動で細溝加工刃の開発

(株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ)

超音波振動加工は加工するための摩擦発熱が軽減され、刃先の振動は切粉の付着を防止し、排出性が大幅に向上する。

目標値：超音波振動で細溝加工が可能となること。

### ②-2 超高压クーラントによる細溝加工用メタルソーを開発する。

(株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ)

超高压クーラントの冷却効果により、刃先チップの摩耗が軽減され、切粉を細かく分断し、切削エリアから迅速に排出する。面粗度、寸法精度の向上を図る。

目標値：超高压クーラントによる細溝加工が可能となること。

②-3 サンプル加工と評価（株式会社ウノコーポレーション、株式会社ナサダ、  
国立大学法人福井大学、福井県工業技術センター）

新工法の効果等評価技術を研究し、加工精度、表面品質、工具寿命の評価をおこない、高速化、高精度化、工具寿命延長を目指す。

目標値：加工精度、表面品質が確保されること。加工コストの目途が立つこと。

上記の実現により、対象物に最適な工具、方式を選択することができ、加工工程数の削減、加工時間を短縮し、安定して加工でき、工具寿命は2倍に延ばし、コスト1/2の達成を目指す。

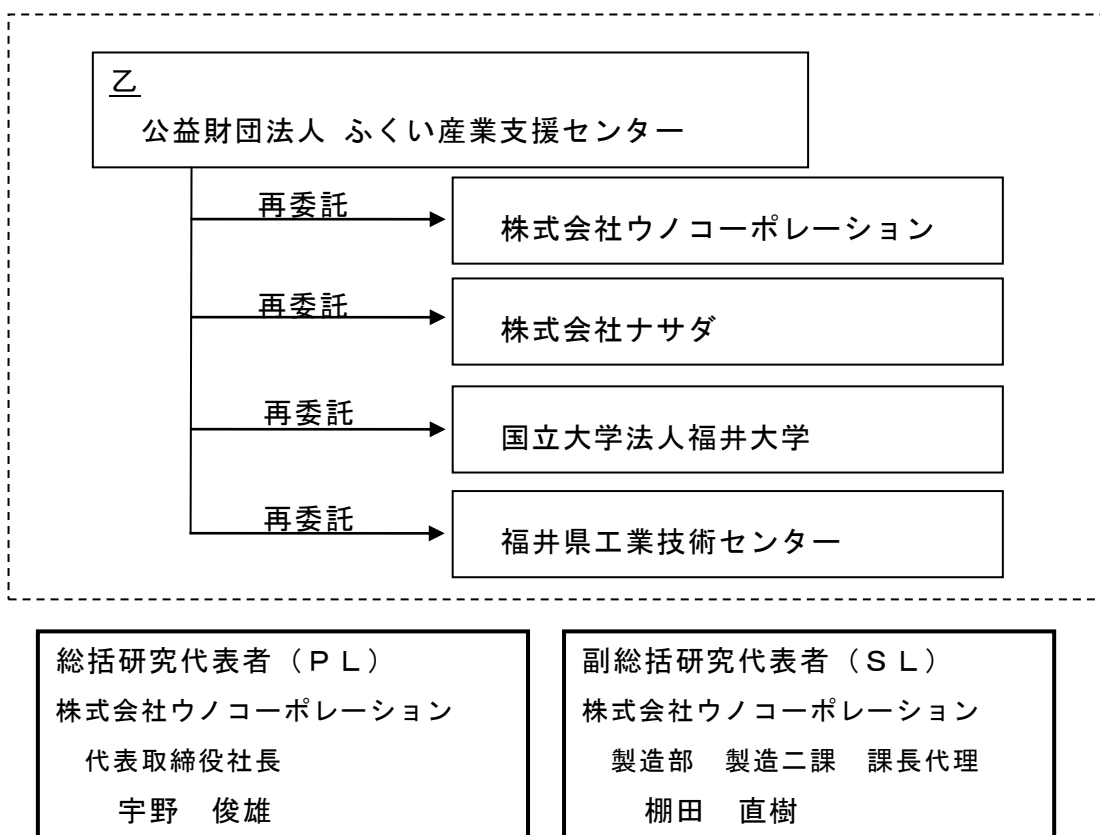
③ プロジェクトの管理・運営（公益財団法人ふくい産業支援センター）

再委託契約の締結業務、研究事業推進委員会の準備・開催、報告書の作成、国ならびに再委託先との連絡調整、委託費の管理・執行を行う。

## 1-2 研究体制

### (1) 研究組織・管理体制

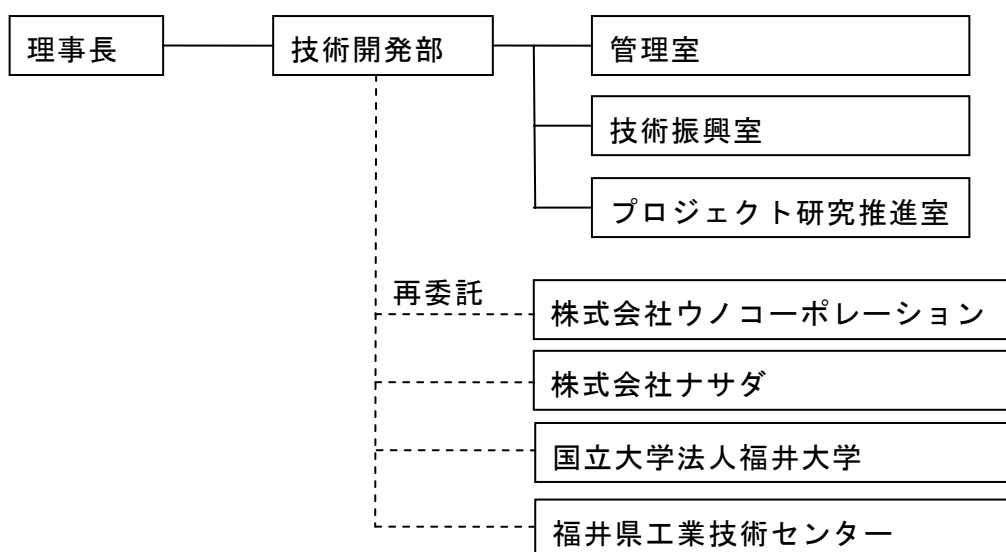
#### 1) 研究組織（全体）



#### 2) 管理体制

##### ① 事業管理機関

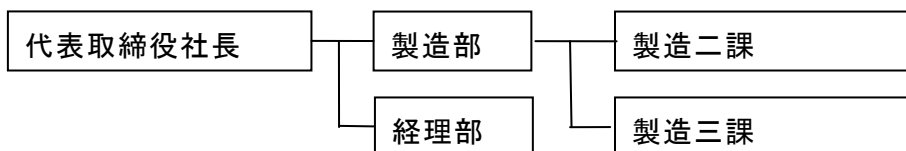
[公益財団法人 ふくい産業支援センター]



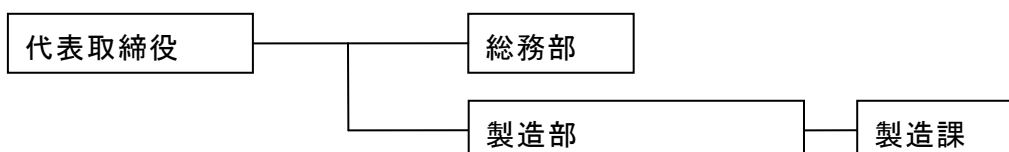


②(再委託先)

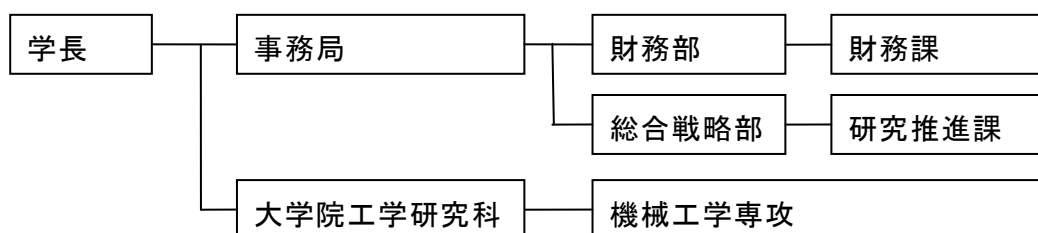
株式会社ウノコーポレーション



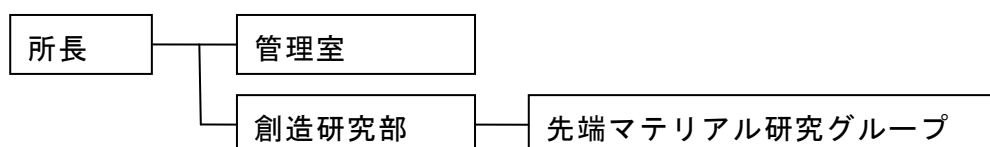
株式会社ナサダ



国立大学法人福井大学



福井県工業技術センター



(2) 研究者氏名

1) 事業管理者及び研究員

【事業管理機関】公益財団法人ふくい産業支援センター

①管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
岩佐 進一	技術開発部プロジェクト研究推進室 室長	③(H23.5.16まで)
上山 明彦	技術開発部プロジェクト研究推進室 室長	③(H23.5.17から)
木下 佳紀	技術開発部プロジェクト研究推進室 主任研究員	③
真杉 弘祐	技術開発部管理室 主事	③

【再委託先】

株式会社ウノコーポレーション

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
宇野 俊雄	代表取締役	①、②
棚田 直樹	製造二課 課長代理	①、②
澤崎 達哉	製造三課 主任	①、②
谷口 誠	製造三課 主任	①、②

株式会社ナサダ

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
本田 和志	製造課長	①、②

国立大学法人福井大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
岩井 善郎	大学院工学研究科機械工学専攻・教授	①-3、②-3
宮島 敏郎	大学院工学研究科機械工学専攻・助教	①-3、②-3

福井県工業技術センター

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
橋本 賢樹	創造研究部先端マテリアル研究グループ 主事	①-3、②-3

2) 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

公益財団法人ふくい産業支援センター

(経理担当者)	技術開発部管理室 主事	真杉 弘祐
(業務管理者)	技術開発部プロジェクト研究推進室 室長 (H23.5.16 まで)	岩佐 進一
(業務管理者)	技術開発部プロジェクト研究推進室 室長 (H23.5.17 から)	上山 明彦

(再委託先)

株式会社ウノコーポレーション

(経理担当者)	経理部 部長	宇野 宏子
(業務管理者)	代表取締役	宇野 俊雄

株式会社ナサダ

(経理担当者)	総務部経理主任	山口 一彦
(業務管理者)	常務取締役工場長	進藤 茂實

国立大学法人福井大学

(経理担当者) 財務部財務課長(H23.3.31 まで) 高島 純一  
 (経理担当者) 財務部財務課長(H23.4.1 から) 落合 祐二  
 (業務管理者) 大学院工学研究科機械工学専攻・教授 岩井 善郎

福井県工業技術センター

(経理担当者) 管理室 主事 酒井 諒平  
 (業務管理者) 所長 宮崎 孝司

3) 研究推進委員会

①推進委員会委員

氏名	所属・役職	備考
宇野 俊雄	株式会社ウノコーポレーション 代表取締役	PL
棚田 直樹	株式会社ウノコーポレーション 製造二課 課長代理	SL
本田 和志	株式会社 ナサダ 製造課長	
岩井 善郎	国立大学法人福井大学大学院 工学研究科機械工学専攻 教授	
宮島 敏郎	国立大学法人福井大学大学院 工学研究科機械工学専攻 助教	
橋本 賢樹	福井県工業技術センター 創造研究部 先端マテリアル研究G 主事	
松原 守	株式会社名光精機 代表取締役会長	アドバイザー
鈴木 秀幸	富士工業株式会社 代表取締役社長	アドバイザー
森合 主税	株式会社トクピ製作所 代表取締役社長	アドバイザー
川瀬 正浩	有限会社サンエレクト 代表取締役社長	アドバイザー

## 1-3 成果概要

### ①高度化メタルソーの研究開発

#### ①-1 高速・長寿命型メタルソーの開発

超硬メタルソーの切削による発熱を最も抑えた刃形を求めるため、被削材が銅、炭素鋼およびチタンについて切削時の切粉形状、温度変化について、有限要素解析ソフトを用いてシミュレーションを行った。被削材ごとの切削熱の最低温度、最高温度になる刃形状（外周二番角と溝すくい角）が解析できた。実際に切削実験をすると、かなりの時間と労力を必要とするが、今回は有限要素解析ソフトのおかげで、研究の時間短縮にも役立った。

鏡面研磨用超硬ラップ盤においては、超硬メタルソー表面の鏡面度を向上させる研究を行った。研磨砥粒の吹き付け角度の影響を調べるため、超硬メタルソー表面の角度と砥粒番手の組み合わせを研究した。もっとも効果のある組み合わせは表面角度 $30^{\circ}$ で砥粒#3000であるという成果が得られた。メタルソー表面の鏡面度向上による、切削抵抗の軽減や長寿命化の目処がたった。

メタルソースリット加工専用機を用いて、超硬材料を50%以上節減目標とする、超硬メタルソーと炭素鋼(S45C)を接合した省レアメタル型メタルソーの開発試作に成功した。今後は厚みの薄いメタルソーの開発のための接合部の改善研究が課題である。

#### ①-2 多溝同時加工カッターの開発

チタン、ハステロイ（耐熱合金）への溝切切削加工の高速、高能率化を目的として多溝同時加工用の研究を実施した。アタッチメントへ超硬メタルソー5枚同時に取り付けての多溝同時加工を達成できた。

#### ①-3 サンプル加工と評価

超硬メタルソーの材料として検討している2種類（AF312とKA10）の超硬合金について、組織を観察し、硬さおよび曲げ強度を測定し、WC粒径の違いやWC以外のCo等の成分量、硬さおよび曲げ強度がわかった。

工具の最適化（基材・コーティング材質・基材とコーティングの表面仕上げ）をMSE法によるコーティング評価を実施して、一番耐摩耗性の良好なものは改DLCだった。エアロラップ処理を行うと、コーティングの磨耗率に基材影響が見られなくなり、耐摩耗性はエアロラップ処理を施さないコーティング処理のみの試料よりも向上することが明らかになった。基材部分の磨耗率はAF312の方がKA10よりも大きい結果となった。

MSE法で皮膜の耐摩耗性が最も良い試料に対して、メタルソー皮膜が実用レベルで基材と密着しているかを圧痕試験法およびカロテスト法により評価を行った。両試験結果から、基材と皮膜の界面状態が正常かつ密着性が良好である事がわかった。

## ②高付加価値化に対応の細溝加工の研究開発

### ②-1 超音波振動で細溝加工刃の開発

振動切削開発用工具研削盤を用いて、超音波振動による切削試験および超音波振動による刃先切り屑付着防止、排出性向上の研究を実施した。円盤型被削材 S45C と SUS304で行い、外周面への加工を行った結果切込量 0.1 mmのときが一番良好な結果となり、外周面への溝入れに成功した。

### ②-2 超高压クーラントによる細溝加工用メタルソーの開発

高压クーラントメタルソー開発用工具研削盤を用いて、切削性に向上を目的とした超硬メタルソー刃型の研究試作を行った。不等ピッチ、スパイラル、千鳥刃および高低差の合計 4 種類を試作した結果、段取り時間の短縮など課題はあるが成功した。

高能率切削を目的としたオイルホールメタルソーの試作と、そのクランプ装置試作を行うため、高压クーラントメタルソー開発用工具研削盤を用いて超硬メタルソーを作製した後、オイルホール開発用専用機を用いて、超硬メタルソーの外周部から内径に向けて、加工厚み 23.65 mmの細穴（貫通）加工に成功した。

### ②-3 サンプル加工と評価

試作した、不等ピッチ、スパイラル、千鳥刃および高低差の超硬メタルソーを用いて、被削材（銅、炭素鋼、チタン）への切削試験を実施した。不等ピッチによる防音、防振効果や千鳥刃による切削抵抗減効果など成果が得られた。

試作したオイルホールメタルソーとオイルホール無を用いて、被削材（銅、炭素鋼、チタン）への切削試験を実施した。オイルホールメタルソーでの切削試験結果は切削音の少なさや、切り屑排出性向上の効果があった。

## 1-4 当該研究開発の連絡窓口

公益財団法人ふくい産業支援センター 技術開発部

〒910-0102 福井県福井市川合鷺塚町 61 字北稲田 10

TEL: 0776-55-1555 FAX: 0776-55-1554

連絡担当者 プロジェクト推進室 室長 上山明彦

E-mail: a.ueyama@fisc.jp

## 第2章 高度化メタルソーの研究開発

### 2-1 高速・長寿命型メタルソーの開発

#### 2-1-1 有限要素解析による最適刃形の設計

##### ・はじめに

超硬メタルソーの切削による発熱を最も抑えた刃形を被削材(銅、炭素鋼、チタン)ごとに求めるため、有限要素解析ソフト(AdvantEdge; THIRD WAVE SYSTEM 社製)を用いてシミュレーションを行った。

##### ・シミュレーション条件と結果

超硬メタルソーの切削による発熱を最も抑えた刃形を求めるため、被削材が銅、炭素鋼およびチタンについて切削時の切粉形状、温度変化について、有限要素解析ソフトウェアを用いてシミュレーションを行った。シミュレーション時の超硬メタルソーの形状は、溝すくい角を $4^{\circ}$ 、 $8^{\circ}$ 、 $12^{\circ}$  および $15^{\circ}$  の4通り、外周二番角を $10^{\circ}$ 、 $12^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$  および $20^{\circ}$  の4通りの組み合わせ(16通り)とした。なお、サイズは $\phi 45 \times 1.6\text{mm}$ 、刃数40枚で固定した。また、切削条件は回転数700rpm、1刃あたりの送り量0.1mm、切り込み深さ1.0mmおよび切削距離8.0mmで固定した。

温度変化グラフを見ると切削距離6.0mm付近が全パターンとも最高温度を示しているのが、6.0mmの温度を比較すると、溝すくい角 $4^{\circ}$ と外周二番角 $10^{\circ}$ が $178.498^{\circ}$ と最も低温で、溝すくい角 $8^{\circ}$ と外周二番角 $20^{\circ}$ が $212.438^{\circ}$ で最も高温、すなわち切削熱が一番発生しているという結果になった。炭素鋼においては、溝すくい角 $4^{\circ}$ と外周二番角 $15^{\circ}$ が $410.105^{\circ}$ と最も低温で、溝すくい角 $8^{\circ}$ と外周二番角 $20^{\circ}$ が $560.644^{\circ}$ で最も高温となり、チタンにおいては、溝すくい角 $12^{\circ}$ と外周二番角 $10^{\circ}$ が $227.418^{\circ}$ と最も低温で、溝すくい角 $4^{\circ}$ と外周二番角 $20^{\circ}$ が $284.774^{\circ}$ で最も高温という結果になった。銅、炭素鋼、チタンの3種類の切削熱を比較すると、1番低温な被削材は銅で、次にチタン、そして一番高温になるのは炭素鋼と解析できた。そして、被削材ごとの切削熱の最低温度、最高温度になる刃形状(溝すくい角、外周二番角)が解析できた。

##### ・まとめ

1. 銅切削時の切削熱が一番低温になる刃形状は、溝すくい角 $4^{\circ}$ と外周二番角 $10^{\circ}$ となる。
2. 炭素鋼切削時の切削熱が一番低温になる刃形状は、溝すくい角 $4^{\circ}$ と外周二番角 $15^{\circ}$ となる。
3. チタン切削時の切削熱が一番低温になる刃形状は、溝すくい角 $12^{\circ}$ と外周二番角 $10^{\circ}$ となる。
4. 被削材での切削熱を比較すると、銅→チタン→炭素鋼の順で高温になる。
5. 被削材によって、低温、高温になる刃形状(溝すくい角、外周二番角)が解析できた。

## 2-1-2 鏡面研磨加工

### ・はじめに

鏡面研磨用超硬ラップ盤(ALM-YT300; ヤマシタワークス社製)を使用して、研削(#500)されている超硬メタルソー表面の鏡面度を向上させる研究を行った。

### ・鏡面研磨加工試験方法と結果

鏡面研磨用超硬ラップ盤においては、ノズルの角度は水平から45°固定となっている。研磨砥粒の吹き付け角度の影響を調べるため、超硬メタルソー表面の角度を0°、30°、45°および60°の4種類で試験した。また、研磨砥粒は#3000と#20000の2種類で行った。図2-1-2-1に超硬ラップ盤内部写真を示す。

図2-1-2-2に研磨砥粒未投射の超硬メタルソーの表面写真を示す。また、表2-1-2-1に鏡面研磨加工結果をまとめたものを示す。

超硬メタルソー表面の角度設定による鏡面研磨加工結果は0°、30°の設定では鏡面研磨加工効果が得られたが45°、60°の設定では鏡面研磨加工効果が得られなかった。これは、拭き付けノズルの投射角度(45°固定)から投射される研磨材が、超硬メタルソー表面を点で捉えてしまい効果的に超硬メタルソー表面上を走らなかつた為である。次に0°と30°の鏡面研磨加工効果を比較すると(図2-1-2-1参照)30°で設定した方が鏡面距離(面積)が得られている。超硬メタルソー表面の角度設定4種類の中では、一番効果的に超硬メタルソー表面上を研磨剤が滑走して鏡面研磨加工されている事がわかる。

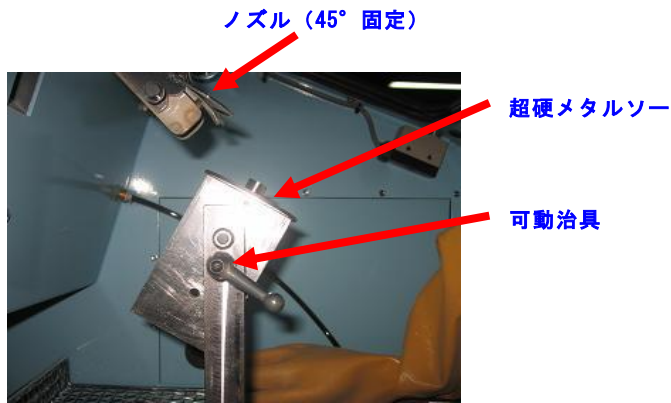


図 2-1-2-1 超硬ラップ盤内部



図 2-1-2-2 未投射メタルソー表面

### ・まとめ

2種類の研磨砥粒、超硬メタルソー表面の角度設定4種類による鏡面研磨加工研究を行った結果、鏡面研磨加工効果が最も得られる条件は超硬メタルソー表面の角度が30°で研磨砥粒が#3000のときだった。

### 2-1-3 省レアメタル型メタルソーの開発

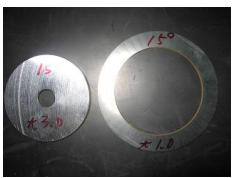



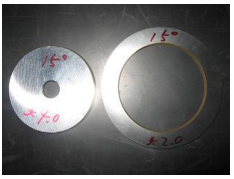
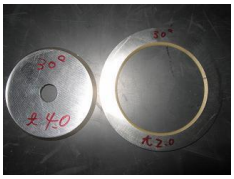



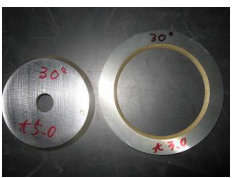


#### ・はじめに

超硬材料を50%以上節減目標とする、超硬メタルソーと炭素鋼 S45C を接合した省レアメタル型メタルソーの開発試作を行った。

#### ・試作加工方法と結果

メタルソースリット加工専用機（UN-0iE-GH12（A04B-0323-B001#D5；ファナック社製 + SURFCOM 1800GH；東京精密社製））にて、従来超硬メタルソーを専用治具にて取り付けて、従来超硬メタルソーの内径をテーパーに加工した。また、これに接合させる台金（炭素鋼 S45C）も同じように治具に取り付けて台金の外径をテーパーに加工した。テーパー角度は15°、30°の2種類を実施、超硬部厚みを、0.7mm、1.5mm、2.2mmの3種類を準備して、合計6枚の加工を行った。次に、超硬内径部と台金外径部のロウ付け加工→台金の両端面研削→超硬部の両端面研削を行い、その後、従来超硬メタルソー製造工程同様、溝切研削→外周仕上研削を行なった。

表 2-1-3-1 省レアメタル型メタルソー試作結果

品名	省レアメタル			
	ロウ付け前		省レアメタルメタルソー完成	
角度（片角）	15°	30°	15°	30°
φ70×0.7t				
φ70×1.5t				
φ70×2.2t				

今後は超硬と台金の接合形状をキー溝付きなどに改善し周り止めや、研削強度にも耐えられる接合部の形状にする必要があると判断した。今後の資材の高騰にもコストダウンと資源の無駄を無くす、環境にやさしいタングステン節減率51.5%の省レアメタル型メタルソーの試作開発ができた。一例として、省レアメタル型メタルソー寸法を表2-1-3-2、断面を図2-1-3-1に示す。



表 2-1-3-2 省レアメタル型メタルソー寸法

	超硬従来サイズ	超硬省レアメタル型
外径	70	70
t 寸法	2.2	2.2
内径	12.7	51
$\pi$	3.1416	3.1416
R	35	35
R	6.35	25.5
h	2.2	2.2
従来体積 mm <sup>3</sup>	11,165	5,417

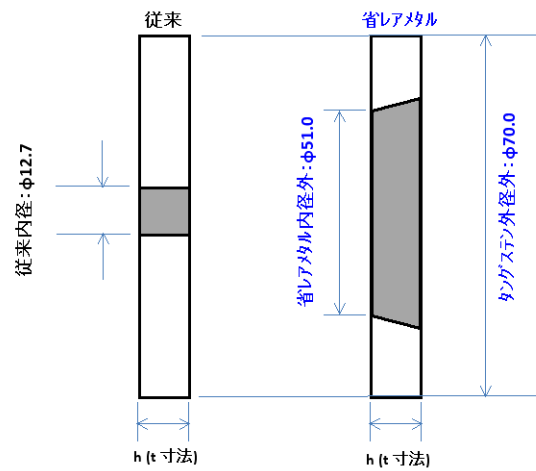


図 2-1-3-1

省レアメタル型メタルソー断面

$$\text{タングステン節減率} = 1 - 5,417 / 11,165 \approx 0.515$$

・まとめ

1. メタルソースリット加工専用機での限界角度は 30° だった。
2. 今後は、ロウ付け接合部の改善を行い研削強度に耐えられる試作研究が必要となる。
3. タングステン節減率 51.5%の省レアメタル型メタルソーが製作できた。

## 2-2 多溝同時加工カッターの開発

### ・はじめに

チタン、ハステロイ（耐熱合金）への溝切削加工の高速、高能率化を目的として多溝同時加工の研究を実施した。

### ・多溝同時加工試験方法と結果

被削材ハステロイとチタンの多溝同時加工試験で使用する超硬メタルソーは $\phi 50 \times 1.5t \times \phi 12.7$ （刃数 40 枚）と $\phi 75 \times 1.5t \times \phi 25.4$ （刃数 60 枚）の 2 種類を準備した。



図 2-2-1 超硬メタルソー（ $\phi 50$ ）



図 2-2-2 多溝同時加工時の取付

### ・まとめ

1. ハステロイ、チタンともに $\phi 50$ 、 $\phi 75$ の 2 種類の超硬メタルソーを使用しての 5 枚同時溝加工試験は、全ての切削条件で溝切削加工の結果は良好だった。
2. ハステロイ、チタンともに $\phi 50$ 、 $\phi 75$ の 2 種類の超硬メタルソーを使用しての 5 枚同時溝切削試験は、テーブル送り (mm) F100、切込み量 (mm) 1.0 の一番過酷な切削条件でも成功した。
3. 5 枚同時溝切削の場合ハステロイよりもチタンの方が切削音が大きくなる傾向にある。

### 第3章 高付加価値化に対応の細溝加工の研究開発

#### 3-1 超音波振動で細溝加工刃の開発

##### ・はじめに

超音波振動による細溝加工切削試験、刃先振動による切り屑の付着防止、排出性向上の研究を実施した。

##### ・超音波振動による切削方法と結果

円盤型の被削材 S45C と SUS304 を、切削加工用の材料形状 ( $\phi 80 \times 3.0 t \times \Phi 25.4$ ) に加工し、振動切削開発用工具研削盤 (UN-53502GSNC4 (FUM 1; 富士工業社製+DP-730NC  $\alpha 4$ ; 伊藤製作所社製)) に専用治具で取り付け、京セラ製超硬チップ TCMD1102HQ にて被削材の外周面を超音波振動切削開始した。

次に切削良好だった切込量 0.1mm 条件にて、加工物回転数 (mm/min) 5000 を 2500 と 10000 の 2 パターン増やして、超音波振動切削試験をした結果、切削加工自体は良好だった。

S45C、SUS304 とも加工物回転数 (mm/min) 5000 の条件時が、Ra ( $\mu m$ ) は一番低い結果となった。S45C と SUS304 での切削性、超硬チップの磨耗の違いはみられず、超硬チップへの切り屑付着もなく、切り屑排出も良好だった。

細溝の切削加工に成功し材料の持つ特有の振動係数が切り屑分断の要因になることがわかった為、材料特性に応じた切削条件の研究をするのが今後の課題となる。

##### ・まとめ

1. 加工物回転数 (mm/min) 5000 固定時は切込量 0.1mm が良好な切削結果だった。
2. 切込量 0.1mm 固定の場合、仕上面粗さ Ra ( $\mu m$ ) が一番低い結果だったのは、加工物回転数 (mm/min) 5000 の条件時だった。
3. S45C と SUS304 での切削性、超硬チップ磨耗の違いはみられない。
4. 超硬チップへの切り屑付着もみられず切り屑排出も良好な結果だった。



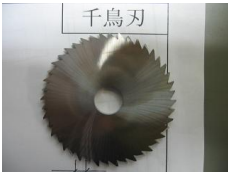




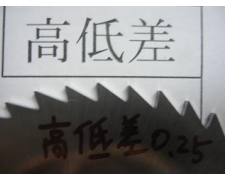
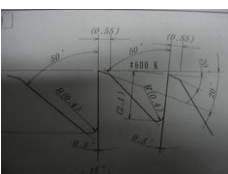
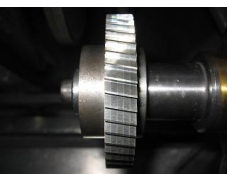
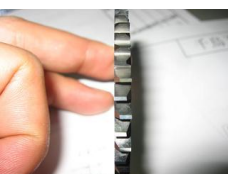

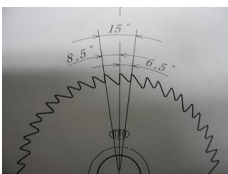
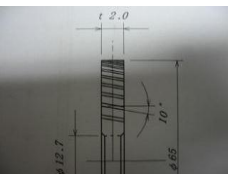


### 3-2 超高压クーラントによる細溝加工用超硬メタルソーの開発

#### 3-2-1 超硬メタルソー刃型の研究試作

・はじめに

超高压クーラントでの超硬メタルソー研削を実施、および刃型の研究試作を行った。

表 3-2-1-1 超硬メタルソー刃型の研究試作

No	1	2	3	4
品名	不等ピッチ	スパイラル ネジレ 10°	千鳥刃	高低差 差 0.25
サイズ	φ60×1.2t×φ12.7	φ65×2.0t×φ12.7	φ60×4.0t×φ12.7	φ100.5×2.0t×φ25.4
刃数	48 枚刃	46 枚刃	44 枚刃	48 枚刃
形状				
				
				
				

・まとめ

1. 不等ピッチ、スパイラル、千鳥刃、高低差の刃型形状をした超硬メタルソーを試作開発する事ができた。

### 3-3 サンプル加工と評価

#### 3-3-1 超硬メタルソー新刃型の切削試験

- はじめに

超硬メタルソー刃型の研究試作（3-2-1）にて開発された超硬メタルソーを用いて切削試験を実施した。

- 切削試験方法と結果

銅、炭素鋼、チタンの3種類の被削材を用意して、不等ピッチ、スパイラル、千鳥刃、高低差の4種類の超硬メタルソーで切削試験を行った。超硬メタルソーのサイズ、刃数などは表3-3-1-1に示す。まず、既存の縦型マシニング機にて被削材をクランプして（図3-3-1-1参照）、1.0mmの溝加工を行った。加工条件は1刃送り0.01mm、回転数250rpm、加工長100mmにて行った。一例としてS50Cの切削条件を表3-3-1-2に示す。

表 3-3-1-1 超硬メタルソーの寸法

No	品名	外径	厚み	内径	刃数	エアロラップ 両側面 外周・すくい	コーティング	数量
1	不等ピッチ メタルソー	60	1.2	12.7	48	有	ALCRONA PRO	1
2	スパイラル メタルソー	65	2.0	12.7	48			
3	千鳥刃 メタルソー	60	4.0	12.7	44			
4	高低差 メタルソー	100.5	2.0	25.4	48			



図 3-3-1-1 溝加工時の加工方法

表 3-3-1-2 新刃型の切削テスト条件

	印字 No	1	2	3	4
工具	品名	不等ピッチ	スパイラル	千鳥刃	高低差
	超硬材種	KA10	KA10	AF312	AF312
	カッター外径	60	65	60	100.5
	カッター厚み	1.2	2.0	4.0	2.0
	カッター内径	12.7	12.7	12.7	25.4
	刃数	48	46	44	48
	エアロラップ	有			
	コーティング	AP			
	数量	1			
切削条件	回転数 N (rpm)	250			
	切削速度 V (m/min)	47.10	51.03	47.10	78.89
	送り f (mm/刃)	0.01			
	テーブル送り F (mm/min)	120	115	110	120
	径方向切込 Rd (mm)	1.0			
	アップカット ダウンカット	ダウン			
	切削油の 有無	微量水溶性			

4種類の超硬メタルソーを用いての切削結果として、まず不等ピッチはピッチの広い刃で切削したあとに、ピッチの狭い刃が続いて切削するため、等ピッチでの切削試験と比較して、若干だが防音、防振の効果があったように感じられた。

スパイラルは、ネジレ刃の効果で切り屑排出向上の成果が得られた。ただ、今回は加工溝深さを1.0mmと浅めの条件だったので、切り屑排出の向上が得られたとも考えられるので、今後は加工深さを深くした条件にて切削試験を行い、切り屑排出の動向を研究する必要がある。

千鳥刃は切り屑排出向上に大きな効果は見られなかったが、被削材の加工溝端面のバリ（カエリ）が平均的に小さいようにみえた。これは、超硬メタルソーの刃型が千鳥刃になっているので、超硬メタルソー端面への切削抵抗が軽減されていると思われる。切削音も、ビビリなど無く良好だった。

高低差は今回の切削試験では、これといった切削性向上の効果が得られなかった。

今後、高低差（外径差）の 0.25 mm を 0.5 mm にするなどして試作と切削研究するのが課題である。今回の切削試験の各超硬メタルソー、切り屑、被削材の切削面画像を、表 3-3-1-3、表 3-3-1-4 に示す。

・ まとめ

1. 不等ピッチは若干だが、防音、防振の効果が得られた。
2. スパイラルはネジレ刃により、切り屑排出の向上が見られた。
3. 千鳥刃は超硬メタルソー端面への切削抵抗減効果により、被削材のバリ（カエリ）が軽減される効果が得られた。
4. 高低差は切削性向上の結果が得られなかった。

## 第4章 全体総括

まず超硬メタルソーの切削による発熱を最も抑える刃型を銅、炭素鋼およびチタンの被削材ごとに求める為、有限要素解析ソフトを用いてシミュレーションを行った。超硬メタルソーの溝スクイ角と外周二番角との組み合わせより、被削材ごとに異なる発熱結果となった。一例として、銅切削時の一番低温になる組み合わせは、溝スクイ角 $4^{\circ}$ 、外周二番角 $10^{\circ}$ となった。逆に一番高温になる組み合わせは、溝スクイ角 $8^{\circ}$ 、外周二番角 $20^{\circ}$ となった。

超硬メタルソー表面の鏡面度向上を目的とした研究では、表面角度 $30^{\circ}$ 、砥粒#3000が最も鏡面度向上の効果が得られる成果が得られた。

今後の資材高騰に備えてコストダウンと資源の無駄を無くすため、超硬メタルソーと炭素鋼を接合した環境にやさしいメタルソーの試作開発を行ったところタングステン節減率51.5%の省レアメタル型メタルソーを試作ができた。

多軸同時加工の研究ではチタンやハステロイなどの耐熱合金への溝切削加工の高速、高能率化を目的とした多軸同時加工のテストを実施した。これまでは1溝ずつ加工していた工程を5溝同時に加工出来るようになり高速、高能率で切削できるように成った。

超音波振動切削加工においては切削工具への切り屑付着もなく、良好に排出される事が確認出来た。

刃型の研究では不等ピッチメタルソーなどの開発に成功した。海外とのコスト競争にさらされている国内の製造業においては省レアメタル型メタルソーの提案を行う事で、製造コストの低減が行えるとともに憂慮されているレアメタルの高騰による工具価格上昇への備えともなる。

また、従来型の切削を行っているために起こる切削工具への切り屑付着や、切り屑排出時の問題を抱える業種に対して超音波振動切削の研究内容を提案、実用化につながる研究開発を共同で進めていく事が今後の課題となっている。

メタルソーを用いた多溝同時加工が実現可能なことや被削材に適した超硬素材とコーティング種の選定が簡易に行える手法を共有することが国内製造業の競争力を高める一因になると思われる。

今後、より厚みの薄い超硬メタルソーでの開発研究が課題となり、耐熱合金などの加工をする先端産業の航空機産業などの生産性を著しく向上させ、日本企業の海外企業に対する競争力を向上する目的で実用化に向けた試験を繰り返し行っていく事が今後の最も重要な課題であると思われる。