

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業  
「省資源、短納期、高機能放電電極の開発」

研究成果等報告書

平成23年3月

委託者 関東経済産業局

委託先 特定非営利活動法人 JRCM産学金連携センター

## 目 次

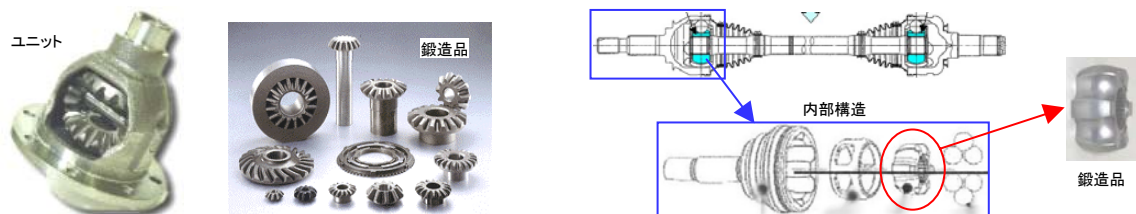
|                                     |    |
|-------------------------------------|----|
| <b>第1章 研究開発の概要</b> .....            | 1  |
| 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標.....           | 1  |
| 1-1-1 研究開発の背景.....                  | 1  |
| 1-1-2 研究目的及び目標.....                 | 2  |
| 1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者).....  | 2  |
| 1-2-1 研究組織及び管理体制.....               | 2  |
| 1-2-2 管理員及び研究員.....                 | 3  |
| 1-2-3 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項.....     | 4  |
| 1-2-4 研究開発スケジュール.....               | 4  |
| 1-3 成果概要.....                       | 5  |
| 1-4 当該プロジェクト連絡窓口.....               | 6  |
| <br><b>第2章 本論</b> .....             | 7  |
| 2-1 銅タングステン粉末形状・組成の適正化及び予備処理技術..... | 7  |
| 2-2 レーザー焼結加工機開発と加工条件の開発.....        | 8  |
| 2-2-1 レーザー焼結加工機の開発.....             | 8  |
| 2-2-2 レーザー焼結条件の開発.....              | 11 |
| 2-3 適正な加工雰囲気と粉末供給条件の開発.....         | 13 |
| 2-3-1 適正な加工雰囲気の開発.....              | 13 |
| 2-3-2 粉末供給条件の開発.....                | 13 |
| 2-4 電極としての評価.....                   | 14 |
| 2-4-1 マシニング加工.....                  | 14 |
| 2-4-2 放電加工.....                     | 16 |
| <br><b>最終章 全体総括</b> .....           | 19 |

## 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

#### 1-1-1 研究開発の背景

本技術開発で対象とする金型は冷間鍛造用の精密金型である。

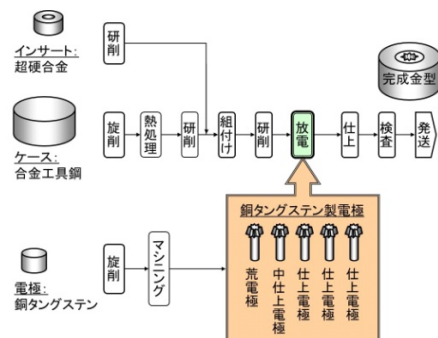


デファレンシャルギア(左)と等速ジョイント(右)

鍛造は熱間鍛造、温間鍛造、冷間鍛造に分類されるが、汎用製品の鍛造は海外の工場へシフトし、今後国内に残る鍛造は、大型製品の熱間鍛造と特殊鋼を用いた複雑形状の精密冷間鍛造に絞られるものと考えられる。

冷間鍛造は、ギア歯車、等速ジョイント等複雑形状の重要機械部品を高精度で大量生産できる加工法として自動車、産業機械等幅広い産業で利用されている。金型は冷間鍛造に不可欠な製品として、安定、低コストでの供給は川下製造業者にとっても重要な課題である。冷間鍛造用の金型は、特殊鋼のものもあるが、高精度の製品については、ヤング率が高く、耐摩耗性に優れた超硬合金で製作されている。

超硬合金の加工法としては、ギア、等速ジョイントなど複雑形状のものは放電加工により生産されている。これは超硬工具が極めて硬く、電極と金型素材間のアーク放電による高熱で、タングステンカーバイド(WC)を主体とする金型素材の表面を瞬間的に蒸発、除去し成形する以外の加工方法が無いからである。放電加工における電極の消耗は激しく、高精度の金型を製作するには、通常4～6本の電極を使用する。



金型の代表製作工程



放電加工機外観

電極は金型精度を決める重要な工具であり、金型精度に対し支配的な影響を与えることから、電極製作には細心の注意が必要。通常、電極には金型精度の倍以上の精度が必要とされる。

電極は銅タングステン合金が用いられているが、上記の通り消耗品で、高精度の電極を低コストで生産することが冷間鍛造金型の重要な課題であり、鍛造品の競争力を大きく左右する。

従来電極は、タングステン粉末をプレス成形したバルク材に溶銅を含浸成形したものを切削加工で成形するプロセスで生産されている。この方法では切削量が大きく、高価な材料で利用されない部分が多く、切削加工に長時間を要し、コスト上の問題が大きい。特に最近のレアメタルの高騰は大きな課題であり、中小金型メーカーは企業の存亡を賭けて高価なタングステンの使用削減を図らなければならない。

### 1-1-2 研究目的及び目標

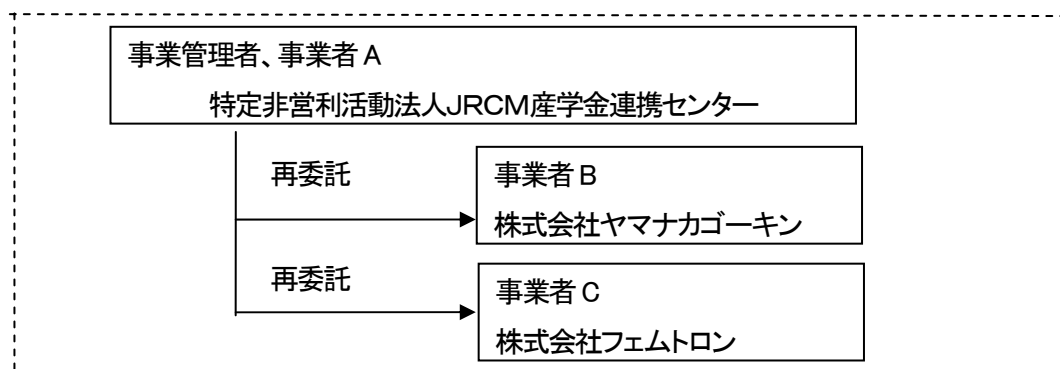
本研究開発は、冷間鍛造金型に用いられる超硬合金の加工法である放電加工に使われる電極について、従来の焼結・切削加工法に代わり、樹脂等の異形状の製作(ラピッド・プロトタイピング)に利用されているレーザー光造形技術を電極製作に応用し、銅タングステン粉末材料をレーザーを用いた焼結加工で積層形成し、電極を製造するプロセスの開発である。高価なレアメタルの節約を図ると共に、コスト削減、省資源、短納期の電極生産を可能とし、鍛造金型生産の低コスト化を目的とする。

目標は①電極加工時間の削減(従来比-30%)、②電極素材重量の低減(従来比-77%)、③従来電極同等以上の放電性能を有することの3項目とする。

## 1-2 研究体制

### 1-2-1 研究組織及び管理体制

#### (1)研究組織(全体)



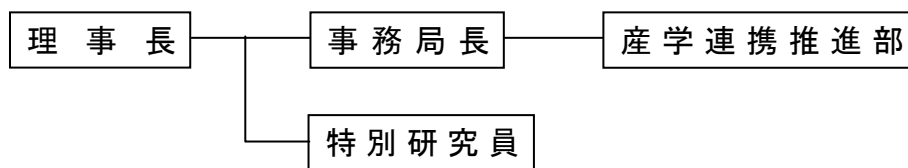
総括研究代表者(PL)  
 所属: 株式会社ヤマナカコーキン  
 役職: シニアマネージャー  
 氏名: 角南不二夫

副総括研究代表者(SL)  
 所属: 特定非営利活動法人JRCM産学金連携  
 センター  
 役職: 特別研究員  
 氏名: 木内学

## (2) 管理体制

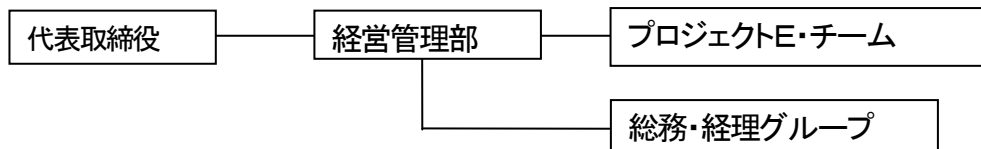
### ① 事業管理者

[特定非営利活動法人JRCM産学金連携センター]

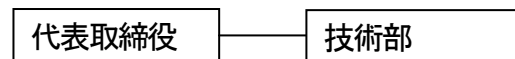


### ② (再委託先)

株式会社ヤマナカコーキン



株式会社フェムトロン



## 1-2-2 管理員及び研究員

【事業管理者】特定非営利活動法人JRCM産学金連携センター

### ① 管理員

| 氏名   | 所属・役職       | 実施内容(番号) |
|------|-------------|----------|
| 小島彰  | 理事長         | ⑤        |
| 伊藤瑛二 | 産学連携推進部長    | ⑤        |
| 佐藤麻子 | 産学連携推進部 管理員 | ⑤        |

### ② 研究員

| 氏名  | 所属・役職 | 実施内容(番号) |
|-----|-------|----------|
| 木内学 | 特別研究員 | ①②③④     |

【再委託先】

株式会社ヤマナカゴーキン

| 氏名    | 所属・役職                  | 実施内容(番号) |
|-------|------------------------|----------|
| 角南不二夫 | 経営管理部 プロジェクトE・チーム 技術監査 | ①②③④     |
| 岡澤彰裕  | 経営管理部 プロジェクトE・チーム 研究員  | ①②③④     |
| 大高浩二  | 経営管理部 プロジェクトE・チーム 研究員  | ①②③④     |

株式会社フェムトロン

| 氏名   | 所属・役職     | 実施内容(番号) |
|------|-----------|----------|
| 五香征広 | 代表取締役技術部長 | ②③       |

1-2-3 他からの指導・協力者名及び指導・協力事項

電極開発委員会名簿を以下に示す。

| 氏名    | 所属・役職                               | 備考  |
|-------|-------------------------------------|-----|
| 山中雅仁  | 株式会社ヤマナカゴーキン 代表取締役社長                | P L |
| 角南不二夫 | 株式会社ヤマナカゴーキン 経営管理部 プロジェクトE・チーム 技術監査 |     |
| 岡澤彰裕  | 株式会社ヤマナカゴーキン 経営管理部 プロジェクトE・チーム 研究員  |     |
| 大高浩二  | 株式会社ヤマナカゴーキン 経営管理部 プロジェクトE・チーム 研究員  |     |
| 木内学   | 特定非営利活動法人 JRCM 産学金連携センター 特別研究員      | S L |
| 五香征広  | 株式会社フェムトロン 代表取締役                    |     |
| 小島 彰  | 特定非営利活動法人 JRCM 産学金連携センター            |     |
| 伊藤 瑛二 | 特定非営利活動法人 JRCM 産学金連携センター            |     |
| 佐藤 麻子 | 特定非営利活動法人 JRCM 産学金連携センター            |     |

1-2-4 研究開発スケジュール

| 実施内容                        | 20-I | 20-II | 20-III | 20-IV | 21-I | 21-II | 21-III | 21-IV | 22-I | 22-II | 22-III | 22-IV |
|-----------------------------|------|-------|--------|-------|------|-------|--------|-------|------|-------|--------|-------|
| ① タングステン粉末の形状・組成の適正化、予備処理技術 |      |       |        |       |      |       |        | ●     | →    |       |        |       |
| ②-1 レーザー加工機開発               |      | ●     | →      |       |      |       |        |       |      |       |        |       |
| ②-2 レーザー加工条件開発              |      |       |        |       | ●    | →     |        |       |      |       |        |       |
| ③ 適正な加工雰囲気と粉末供給条件の開発        |      | ●     | →      |       |      |       |        |       |      |       |        |       |
| ④ 電極評価                      |      |       |        |       |      |       |        |       |      | ●     | →      |       |
| ⑤ 電極開発委員会の開催                |      |       | ○      | ○     | ○    | ○     | ○      | ○     | ○    | ○     | ○      | ○     |

### 1-3 成果概要

初年度の開発目的の主体は焼結積層造形加工をする手段を入手することであるが、加工の素材は市場で容易に入手できる粉末を使い、目的の焼結積層造形が出来ることが条件となる。特に目的としてコストダウン、期間短縮を挙げていることから安価で入手が容易な素材を用い、高速で造形をする事が目的になるので、酸化せず、ハイパワーで高速で安定して焼結加工が出来る設備が条件であり、今回製作したレーザー加工機は何れの点に於いても十分市場設備の能力を超えており、高いポテンシャルがある。（“焼結積層造形ができる”とは、高性能のレーザー焼結加工機、安価な粉末、高能率で安定した焼結が出来ることを示す。）今回はそのレーザー焼結加工機を設計・製作し完成させることができた。焼結条件の模索・探究は次年度以降に委ねることとなった。

2年度目は実験設備の検証とともに、最適な造形条件の模索と粉末の仕様を確定させることである。“タングステンが均一に分布し、造形物表層から1mm程度のところに巣が無く、銅が酸化していない”状態を実現する焼結条件を見出すことを目標として掲げる。レーザー焼結加工機に関して改良により機能の高効率化を進めつつ、あらゆる実験条件を実施することが出来た。その結果、最適な条件の方向性を見出すところまでに至った。

最終年度は電極を製作し放電加工の実施により電極としての評価をすることである。目標は①電極加工時間の削減（従来比－30％）、②電極素材重量の低減（従来比－77％）、③従来電極同等以上の放電性能を有することの3項目とする。また、前年度の課題である焼結体内部の空隙改善のため、焼結条件を追求する。

電極の評価結果は、①従来比－20％（未達）、②従来比－88.8％（達成）、③従来電極の70％程度の放電性能（未達）となった。一方、焼結体内部の空隙改善の結果は空隙の存在比率で比較した。従来品約1.4％に対し、焼結品は約2.5％（未達）となった。焼結条件の調整はまだ改善の余地があるものと考えている。また、焼結電極特有の性質により③の目標が未達になった可能性も否めないため、想定していたとおり放電加工条件の観点からも開発を進める必要がある。

本年度はおよそ予定とおりに電極としての評価を実施することが出来た。また、焼結条件についてもあらゆる実験条件を実施することが出来た。その結果、いくつかの課題は残っているものの現時点において最適な焼結条件を見出し、電極としての機能も確認するところまでに至った。

今後の課題は焼結条件の更なる最適化を図り、内部空隙の低減をすることと、焼結電極

の放電性能を従来電極同等以上にすることの2つである。最終目標は電極製作コスト・工数低減及び放電工数の低減を実現し、本焼結加工による電極製作システムを完成させ、事業化していくことである。

#### **1-4 当該プロジェクト連絡窓口**

法人名：特定非営利活動法人 JRCM産学金連携センター

住所：〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1

東京大学工学部 4 号館 マテリアル工学 221 号室

連絡担当者名・所属役職：伊藤瑛二 産学連携推進部 部長

TEL:03-5841-1507 FAX:03-5841-7105



## 第2章 本論

### 2-1 銅・タングステン粉末形状・組成の適正化及び予備処理技術

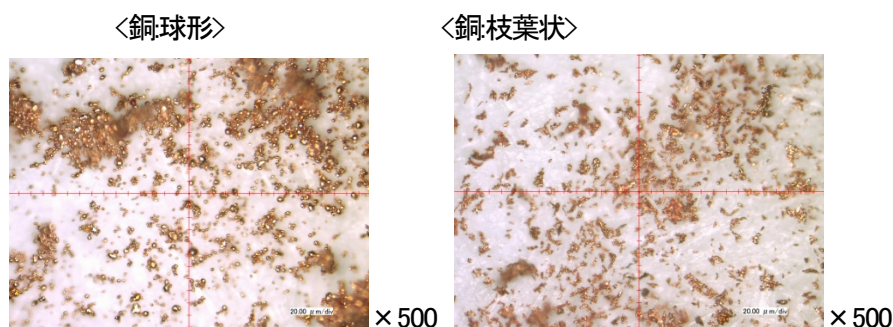
粉末は原料の製法としていくつかあり、その粒度、形状により造形の状態に大きく影響を及ぼすことが想定される。また、熔融時の粘性、親和性の影響も考えられる。これらを総合的に検討して適正化を図る。

#### 検証項目

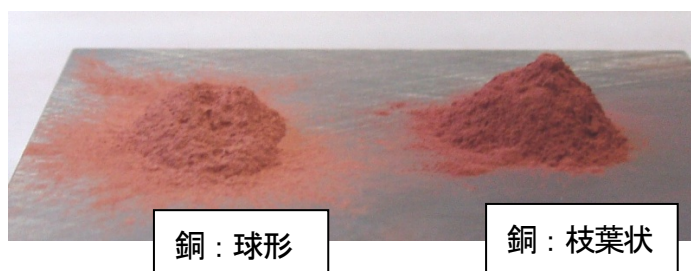
##### <銅及びタングステン材料>

粒度及び粒形状は初期空間容積、ハンドリング性、混合性などから粒径は小さく、球形状が良好となる傾向を見出した。

- ・銅は流動性と混合状態における分散性の良さから球形のものを採用した。

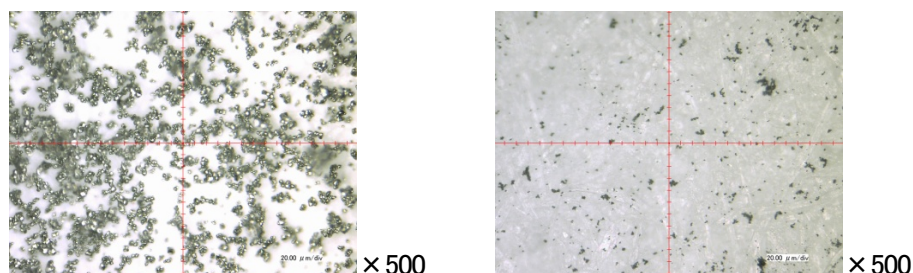


##### <安息角比較(銅)>

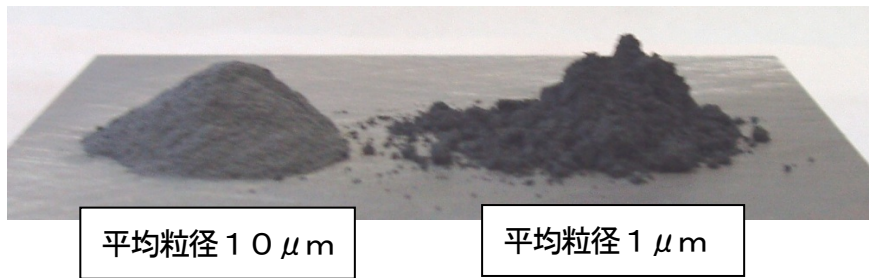


- ・タングステンは数種の粒径を比較し、凝集性が小さく流動性の良い平均粒径 $10\mu\text{m}$ 品に決めた。(写真は $1\mu\text{m}$ 品との比較)

##### <タングステン:平均粒径 $10\mu\text{m}$ >      <タングステン:平均粒径 $1\mu\text{m}$ >



### ＜ 安息角比較(タングステン) ＞



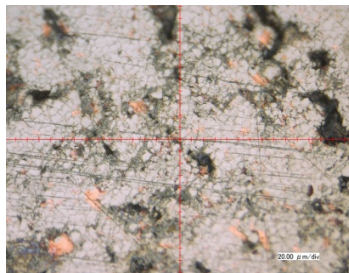
### ＜表面活性剤等＞

タングステン粉末に銅鍍金をする手法を検討したが、処理コストが想像以上に高いことから、この案は断念することを結論付けた。

### ＜添加剤＞

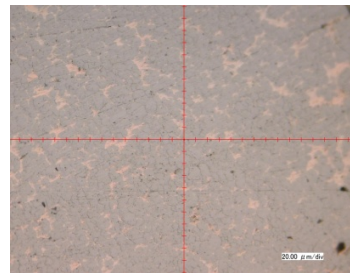
銅の表面張力を抑えるために数種類の粉末で実験をしたところ、ニッケル粉で良好な結果が得られた。

#### ＜ ニッケルなし ＞



× 500

#### ＜ ニッケルあり ＞



× 500

※試験結果については 2-2-2 レーザー焼結加工条件の開発に記載する。

## 2-2 レーザー焼結加工機開発と加工条件の開発

### 2-2-1 レーザー焼結加工機開発

本研究開発にあたりレーザー焼結加工機の製作からスタートとなり、次のことに留意して検討を進めた。鉄粉による金型のレーザー焼結積層造形技術の知見やこれまでの基礎実験結果から、パルスでなく連続出力レーザーで安定的出力の確保は重要な要素である。特に複雑形状では、積層する部分ではレーザー照射し、積層しない部分では照射を切るため、オン・オフの繰り返しも多く、その際の立ち上がり時間での出力安定性の確保が重要である。

レーザービームとしては、①エネルギーの浸透深さ ②所定のスポット範囲の均一溶融、③エネルギー吸収率が異なる複数の粉末の溶融条件を満たすことが重要であり、これら条件の適正

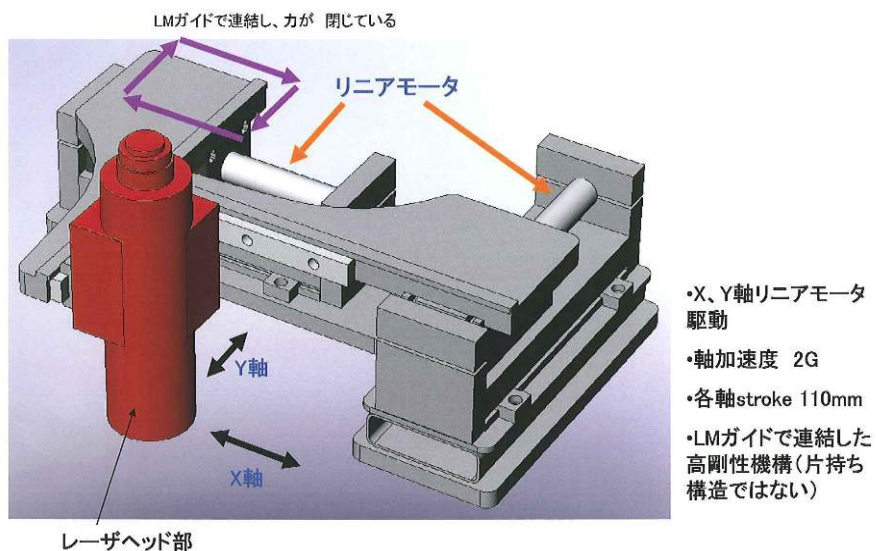
化により、④溶融面での気泡生成回避。⑤合金の元素分布が均一な組成。⑥仕上げ時の加工外力で溶融粉末の脱落が起らない電極材料の製造条件の確立を図る。レーザー焼結加工機で最も重要な要素は下記の内容がポイントになる。

- 1) 発振はパルスではなく連続波。
- 2) コストダウンを狙うには大出力で早く送るか、広い焦点で幅広く照射。
- 3) レーザー加工機の価格として低価格でないと普及しない。
- 4) 入手しやすい安価な粉末素材で造形が出来る設備でないとメリットが小さい。

以上を基にしたレーザー焼結加工機の性能及びシステム外観を示す。

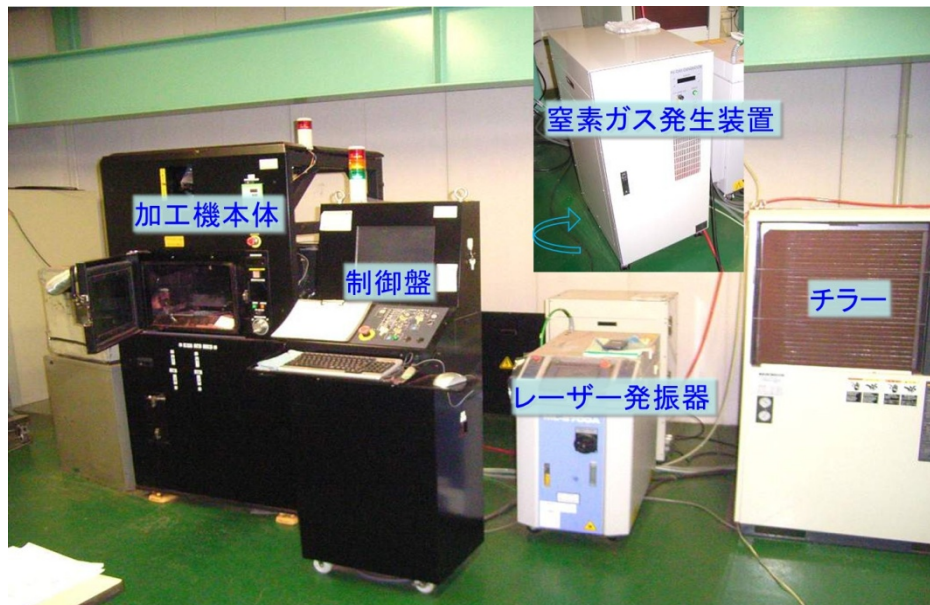
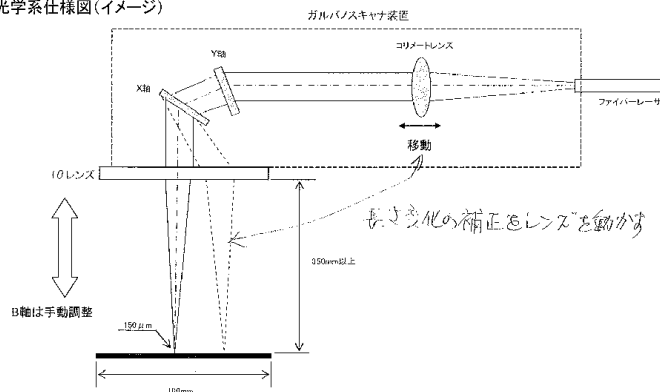
- ① 出力……………500w(実効;470W)
- ② 出力安定度……………±5%以内(特に発光立ち上がり)
- ③ ビーム径……………200 $\mu$ m
- ④ 走査範囲……………150mm×150mm
- ⑤ レーザー種類……………ファイバーレーザー
- ⑥ スキャン方式……………ガルバノスキャン方式

#### 【XYテーブル概略図】



## 【ガルバノ装置概略図】

① 装置仕様について  
光学系仕様図(イメージ)



最終的に完成したシステム外観

加工範囲は大半の電極サイズをカバーする大きさ(横100×奥100×高さ100)の立方に入る大きさを設定した。

### 【今後の課題】

本研開発究においては焼結条件を確立するまでを考えた実験機であったため、量産性の面での課題が挙げられる。混合粉末の自動供給、未使用粉末の自動回収・再生、焼結品の自動取り付け・取り出しなど無人化とするための設備が必要となる。また同時に、夜間運転時には完全に監視がなくなるので、緊急停止などの安全装置の設置やこれを加味したマクロプログラムなどの改善も必要となる。



## 2-2-2 レーザー焼結条件の開発

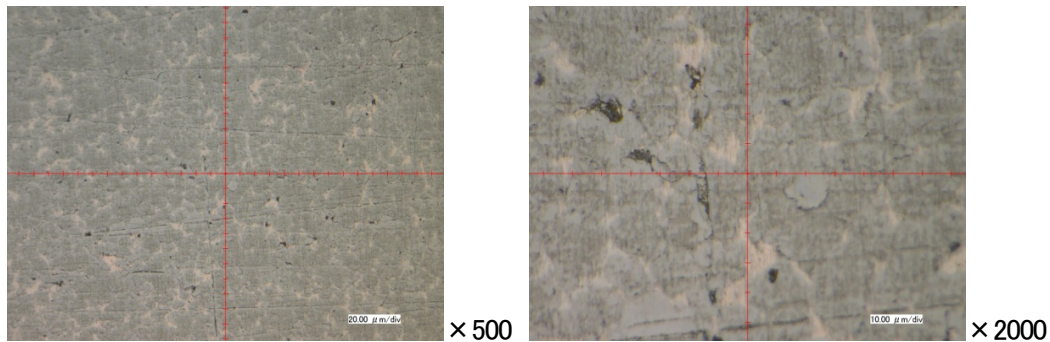
### 2-2-2-1 焼結実験

焼結条件において重要な条件は数多くあるが、代表的な下記条件を中心に実験を行った。

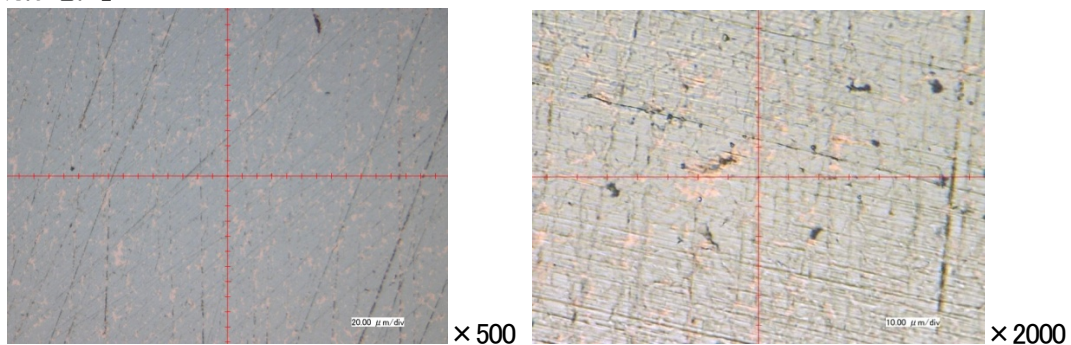
- |           |           |            |
|-----------|-----------|------------|
| ①スキャンパターン | ②レーザー出力   | ③スキンスピード   |
| ④スキャンピッチ  | ⑤積層ピッチ    | ⑥混合比(Cu:W) |
| ⑦銅粉末      | ⑧タングステン粉末 | ⑨その他、備考    |

以下に焼結積層造形電極と既存電極の内部の断面観察写真を示す。

#### 【焼結電極】



#### 【既存電極】



#### <まとめ>

焼結条件のポイントとしては、「冷却時間」「照射エネルギー(レーザー出力とスキンスピードのバランス)」「粉引き状態」「粉末の粒度」「加工雰囲気(特に温度)」などが挙げられる。

結果的には内部の空隙率(観察断面内にある空隙が占める面積の割合)に着目すると、既存電極が約1.4%であるのに対し、焼結電極は約2.5%となった。本研究のような比重が2倍程度異なる異種混合粉末のラピッドプロトタイピングの参考事例がないことから、本研究としては既存電極以下(≒1%以下)が最低目標としている。今後は解明されていないプロセスの1つ1つを見直すことが重要な課題の1つであり、レーザー知識の他に粉体加工に関する情報を活用し、内容に応じて予備実験をしてでもしてデータ収集をする必要がある。

## 2-2-2-2 ベベルギア形状電極試作

製品形状の3次元モデルからスキャニングデータを生成するためのCAMソフトの改良によりあらゆる形状に対応することが可能となった。

そこで実製品の1アイテムを選定して試作した。実験サンプルはほぼCAMモデルに酷似した形状を得ることができ、その後のマシニング加工も問題は発生しなかった。今回は時間の都合上、放電テストまでは至らなかったが今後の開発において非常に期待が持てる結果が得られたと考えている。課題は加工時間である。サンプル写真を以下に示す。

<実験サンプル>



<マシニング加工後>



## **2-3 適正な加工雰囲気と粉末供給条件の開発**

### **2-3-1 適正な加工雰囲気の開発**

最終年度までの取組みにおいてレーザー焼結加工機システムは改良された。特に加工槽内の雰囲気を安定且つ低酸素濃度雰囲気条件を確保するために気密性の向上に努めた。初期完成時には酸素濃度は2～5%程度の能力であったが、改造により0.2%以下で安定した雰囲気を実現することに成功した。

不活性雰囲気を保つために、市販類似機は大気中の空気から窒素を取り出し使用しているが、初期仕様は市販の窒素ガスボンベよりレギュレーターを介し減圧して使用した。最終的には窒素ガス発生装置に変更した。システム立ち上げ時には加工槽内に窒素ガスを充填させるため、ガスボンベを併用することで段取り時間を削減することも可能である。

### **2-3-2 粉末供給条件の開発**

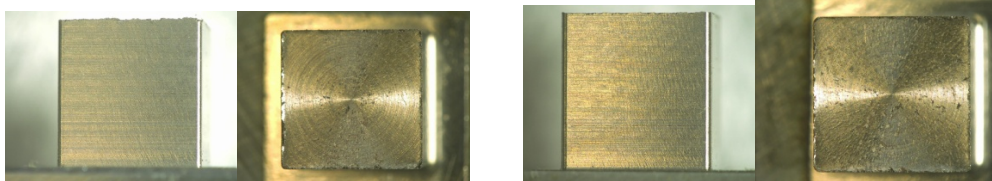
他の鉄系の事例では粉が細かいものの、比重差が少ない上に形状は球形にしてもあまり高額にはならず、ベタツキ感は無いので漉き取りの角度は直角でも鋭角(45°)でも摺り切りの余った材料がスムーズに回転し供給される。それに反し、銅の場合は粉末同士の結び付きが良いのか、圧力を掛けると固まりになる性質があり、押し付けず且つ空隙も小さくする工夫が必要となる。先端のブレードは成形性と損傷を考慮し、樹脂製を選択した。最終的には設備の剛性が確認されてきたのでスチール製に変更していった。

## 2-4 電極としての評価

### 2-4-1 マシニング加工

マシニング加工(切削加工)による電極の評価は、切削力に負けない強度を有するか否かを焼結電極素材と既存電極素材との比較により判断した。また、電極加工時間の削減(目標:従来比-30%)と電極素材重量の低減(目標:従来比-77.7%)について確認した。それぞれの結果を以下に示す。

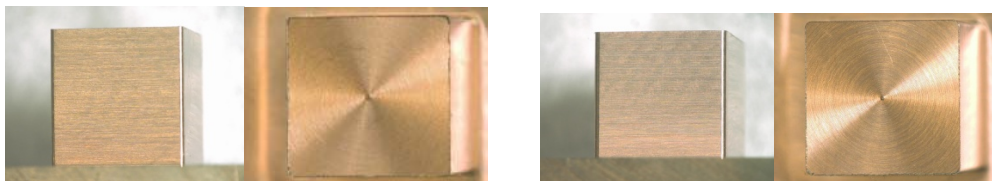
#### 【焼結電極】



(荒放電用)

(仕上げ放電用)

#### 【既存電極】



(荒放電用)

(仕上げ放電用)

#### <電極加工時間の確認>

マシニング加工時間を比較した。既存電極の2.5hrに対し、焼結電極は2hrであった。結果として従来比-20%となり、目標は未達となったが、電極サイズが大きいものや複雑形状なものについて効果が期待できるものとする。

#### <電極素材重量の確認>

焼結電極はマシニング加工量を減らすためにニアネットシェイプ成形をしている。従来電極の313gに対し、焼結電極は3.5gと大幅に低減された。結果としては従来比-88.8%となり、目標達成である。

#### <寸法精度の確認>

焼結電極の寸法精度において素材強度不足による加工中のたわみによりXY方向の寸法バラツキが懸念されたが、下表の測定データのとおり最大でも0.003mmであり、測定誤差範囲内であった。



この結果は良好であると判断する。

#### <まとめ>

マシニング加工(切削加工)に対する強度は十分あることがわかった。その裏付けとして寸法精度において四角形状のXY方向の寸法バラツキがほとんどなく最大0.003mmであった。強度不足なところがある場合、切削力によりたわみが生じてしまい狙いとおりの寸法が得られないからである。

加工時間においては最終形状に対し数mmの加工代をつけた形状を焼結電極形状としているため、従来の荒加工が不要となる。その点においては問題なく効果が得られ、従来比-20%の工数低減となった。目標は-30%であったが、テスト形状は単純形状且つサイズが小さめだったので低減効果が小さかったものとする。

最後に素材重量についてであるが、上記のとおり最終形状に数mmの加工代をつけた形状を焼結電極形状としているため、初期の素材重量は非常に少なくなる。目標は-77.7%であったが、-88.8%の重量低減の効果が得られた。

以上のことから、電極製作段階における電極評価は良好である。

## 2-4-2 放電加工

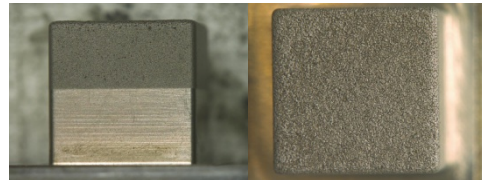
放電加工による電極の評価は、放電後の電極状態・電極消耗、ワーク状態(表面・内部)・ワーク加工量及び放電時間を焼結電極と既存電極との比較により判断した。

＜放電後の電極状態＞

【焼結電極】

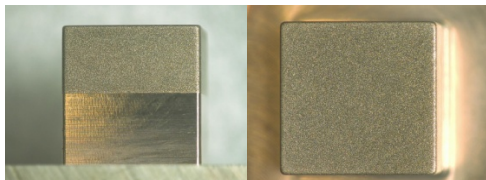


(荒放電用)



(仕上げ放電用)

【既存電極】



(荒放電用)



(仕上げ放電用)

＜放電後のワーク状態(表面)＞

【焼結電極使用】



(側面)



(底面)

【既存電極使用】



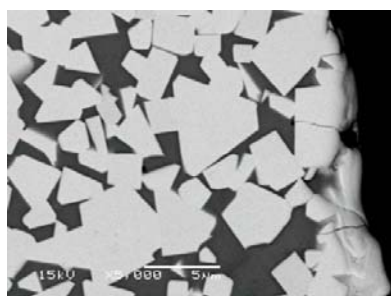
(側面)



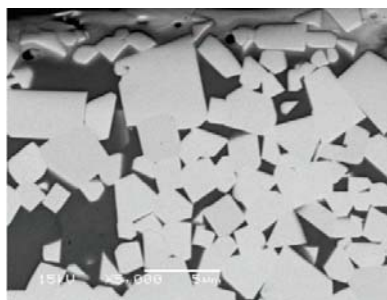
(底面)

## ＜ワーク状態(内部)＞

### 【焼結電極使用】

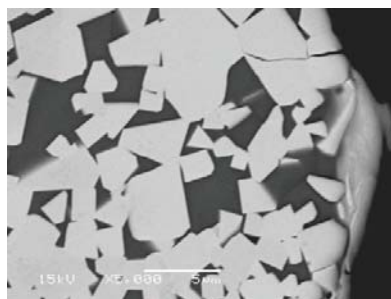


(側面)

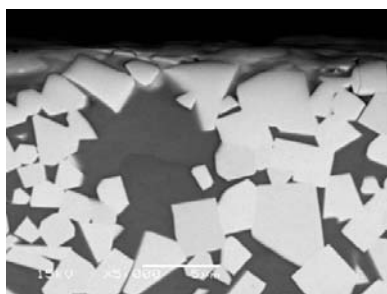


(底面)

### 【既存電極使用】



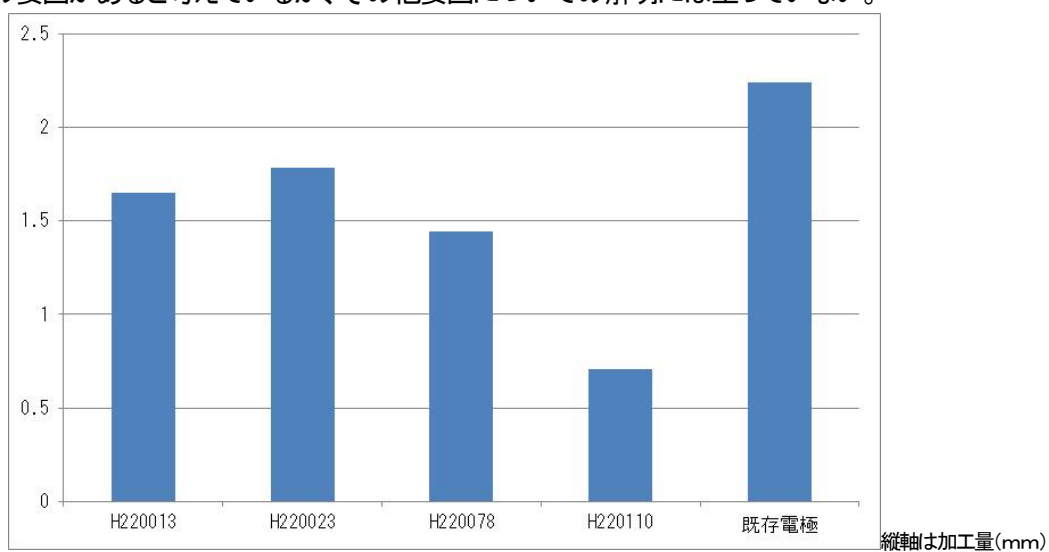
(側面)



(底面)

## ＜ワーク加工量の確認＞

放電加工条件を合わせるため荒放電用1本目のワーク加工量を確認した。その結果を下のグラフに示す。焼結電極の加工量が既存電極に対して約70%程度の結果となった。これは内部の空隙以外の要因があると考えているが、その他要因についての解明には至っていない。



#### <まとめ>

放電加工結果を見る限り焼結電極は、既存電極同等以上の性能を有するには至らなかった。ワーク加工量やワーク加工表面の面粗さ状態などの全ての要因は焼結電極の消耗が既存電極に比べて劣ったことが挙げられる。電極の消耗が早い原因は焼結電極による放電の参考データがなく解明に時間を要している。現在わかっている範囲では焼結電極の内部空隙の課題、焼結体の組成の影響、放電加工条件の不適合などが複雑に絡み合っているのではないかと推測している。内部空隙の改善により現在より緻密な焼結電極を開発し、放電実験を通じてあらゆるデータを残していきたいと考えている。

## 最終章 全体総括

本研究開発はレーザー焼結造形加工機の開発からはじまり、焼結実験を経て、放電実験により電極としての評価をして、目標とする省資源・短納期・高機能放電電極としての製品化(事業化)へと繋げるようプロジェクトを遂行してきた。3年間を通じて計画通りに電極としての評価を実施することが出来た。また、焼結条件についてもあらゆる実験条件を実施することが出来た。その結果、焼結積層造形電極は寿命面で既存電極に劣ることが電極評価実験により判明し、現象の解明を続けている。電極成分は従来のもので有るので、焼結造形加工による特有の問題があると想定している。現時点ではできた電極の緻密性がいまだ従来品に達していない。このことが放電性能に影響があるのかについては参考になるデータが無く、現在解決方法については検討の段階である。今後の課題は焼結条件の更なる最適化を図り、内部空隙の低減をすることと、焼結電極の放電性能を従来電極同等以上にするものの2つである。

リーマンショック後に一時的に金型受注量は半減以下に落ち込んだものの、平成22年度前半までにある程度回復した。しかし、平成22年度後半からまた低迷の傾向が伺える。また、中国・韓国などの自動車メーカーが各国へ市場を広げているが、これらに使用される金型は日本製のものは使用せず、安価である程度の精度を確保した社内製のものと対応している。この状況が続くと日本の金型は高精度だが高価であることが足を引っ張り、需要が低下することが容易に想像できる。従って、川下ユーザーの金型製作コストダウンの必要性は更に高まっているものと判断する。よって、電極材料費の低減、電極加工時間の短縮、放電加工時間の短縮の他に焼結造形加工の全自動による無人化(＝人件費削減)も重要性が高まったことが課題として挙げられる。但し、本研究は異種粉末(特に比重が2倍、融点が3倍違う)の焼結造形加工であり前例が無い為、造形加工の確立に注力してきた。新たな課題については現在構想段階である。

最終目標は電極製作コスト・工数低減及び放電工数の低減を実現し、本焼結加工による電極製作システムを早急に完成させ、事業化していくことであるが、上記にも述べたように現時点で開発品は電極評価において従来電極に寿命面で劣っている為、技術開発により同等の性能まで改善することである。商品として販売する場合、商品のレベルとして一歩も二歩も差別化が図られることが重要となり、従来電極性能を超えることが開発品の価値(魅力)となる。この付加価値を如何に造り出すかが事業化におけるその他の課題と考えている。この課題に対しては従来電極内部には無い放電加工液の流路を設け、放電スラッジの排出性を改良することにより放電加工時間短縮を検討している。競合技術等に対する検討に

については、競合は元からある含浸法の製法であり、原料の低減、コストダウン、製作期間短縮は望むべくもなく、将来にわたって競合先が強くなることは考えにくい。

最後になるが、金型は日本の技術の象徴でもあるので、継続して金型の製法の改善に役立てたく、この焼結造形電極が大きな役目を果たすと信じており、未だ数年は製造から評価までの実験を繰り返す必要がある。製作にあたっては、焼結条件が重要であり、設備特有の違いが有るとうまくゆかないので、今まで蓄積してきたノウハウを使用し、焼結条件の最適化を最優先で進めたいと考えている。

以上