

平成28年度  
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業  
戦略的基盤技術高度化支援事業

「医療・光学用ステンレス系射出成形金型の  
ダイヤモンド切削技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成29年5月

担当局 関東経済産業局  
補助事業者 公益財団法人埼玉県産業振興公社

## 目 次

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	2
1-2 研究体制	3
1-3 成果概要	4
1-4 当該研究開発の連絡窓口	6
第2章 本論	
2-1 単結晶ダイヤモンド工具に適した専用クーラントの開発	
2-1-1 添加剤の適正化	7
2-1-2 電解作用の適正化	7
2-2 単結晶ダイヤモンド工具を用いた高精度金型切削技術の確立	
2-2-1 切削加工技術の確立	11
2-2-2 実金型の加工技術の確立	17
2-3 単結晶ダイヤモンド工具専用クーラント供給システム装置の開発	
2-3-1 供給システム装置の開発	20
2-3-2 供給システム装置の実用化	21
最終章 全体総括	23

## 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

医療機器、光学関連等の透明製品および鏡面製品では、その射出成形金型製作において金型表面の鏡面性、平滑性が極めて重要となっている。

ステンレス系金型材の鏡面仕上げ工程は一般的に研磨による仕上げであり、単純な形状は自動研磨を行うが、概ね複雑な形状となり手研磨が多い。以前よりその仕上げ工程を自動化や高精度化を目的とし研究を行っているが、効率化や高精度化が不十分であり実用化に至っていないのが現状である。様々な大学・企業でも研究開発が進められているが、やはりまだ多くの課題がある。

その中でも、鏡面加工や高精度加工に単結晶ダイヤモンド工具の適用が最も適していると考えられるが、鉄（ステンレスも含む）の加工では拡散摩耗や高温酸化による化学反応で、著しくダイヤモンドが摩耗する事が分かっている。それを解決すべく研究が理化学研究所にて開発され、化学反応の抑制効果が分かった（「鉄系被削材の切削方法及び切削液供給装置（特許公開 2010-64184）」）。切削可能な現象が明らかとなったものの、実験室レベルでの検証であり、広範囲や様々な形状へ対応した実用レベルに至っていない。

本事業においてこの研究シーズを利用する事で上記課題を解決可能ではないかと考え、実用化技術の開発・検証を行う。

本技術開発の特徴は、添加剤や潤滑剤等を利用した専用のクーラントを用いることで、工具すくい面（切り取った被削材を上方向に排出するための面：図1-1②）に掛かる仕事を低減させる効果を活用するものである。それにより、工具と被削材の接触部分において熱（摩擦熱等）の発生が抑制され、鉄とダイヤモンドの化学反応が起きづらくなると考えられている。図1-1の様に、添加剤（ナノ粒子）を介して加工を行う事により、添加剤が優先的に化学反応し、工具の化学反応が抑制されると考える。

その単結晶ダイヤモンド工具専用のナノ粒子添加電解クーラントの開発を行い、ダイヤモンド工具による鏡面レベルの金型製作を実施した。また、そのシステム専用クーラント供給装置の開発・製作を行った。

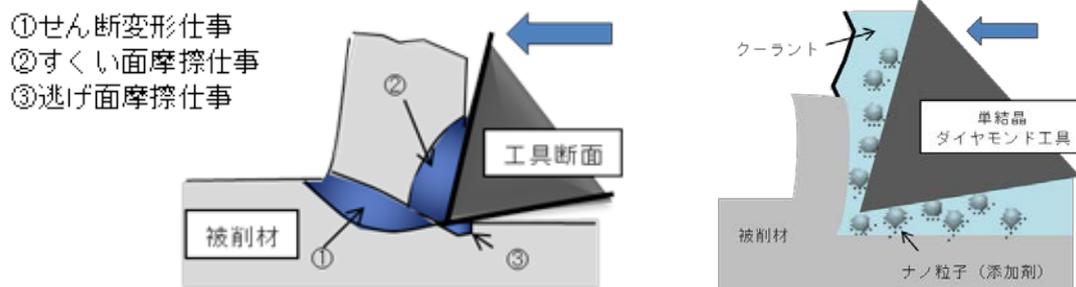
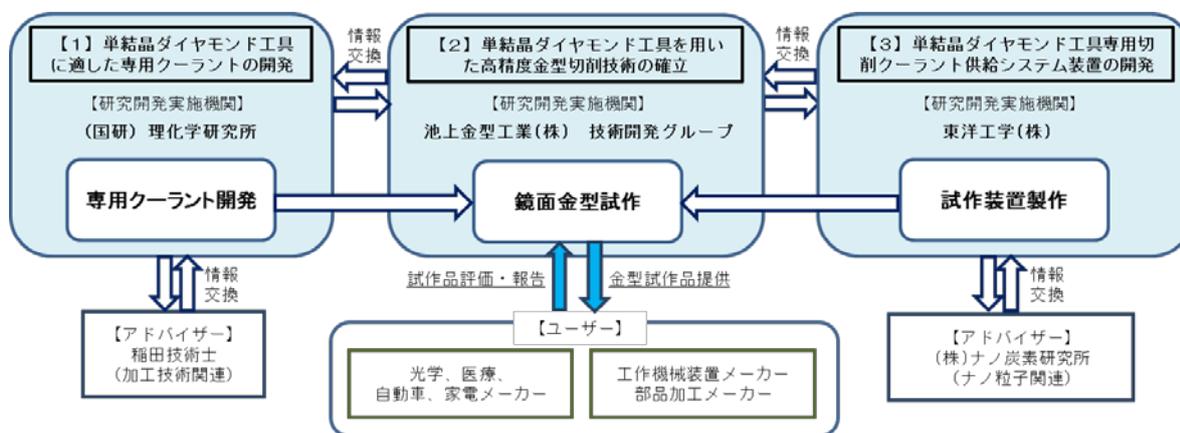


図 1-1 切削原理

## 1-2 研究体制

### ①研究体制



### ②研究者氏名

#### ●公益財団法人埼玉県産業振興公社

氏名	所属・役職
中村 繁之	新産業振興部 先端産業振興グループ・主任
町田 博	新産業振興部 産学、知財支援グループ・ 産学コーディネータ

#### ●池上金型工業株式会社

氏名	所属・役職
池上 正信	代表取締役社長（P L）
大友 誠	技術開発グループ・グループ長
松澤 隆	技術開発グループ
高橋 卓	技術開発グループ
倉持 善至	技術開発グループ
松本 匡純	技術開発グループ

●国立研究開発法人理化学研究所

氏名	所属・役職
加藤 照子	大森素形材工学研究室・研究員（SL）
上原 嘉宏	大森素形材工学研究室・テクニカルスタッフⅠ
金 允智	大森素形材工学研究室・テクニカルスタッフⅡ

●東洋工学株式会社

氏名	所属・役職
竹内 秀喜	技術部長

③協力者

氏名	所属・役職
稲田 明弘	稲田技術士事務所・所長
大澤 映二	株式会社ナノ炭素研究所・代表取締役社長
佐藤 敬悦	リコーインダストリアルソリューションズ株式会社 花巻事業所 光学エンジン本部 オプトデバイスセンター オプトデバイス開発室 生産技術開発グループ・ シニアスペシャリスト

1-3 成果概要

【テーマ1】単結晶ダイヤモンド工具に適した専用クーラントの開発

【テーマ1-1】添加剤の適正化

ステンレス系金型材とダイヤモンドピンとの接触において、開発したクーラント供給装置を用い、ケロシン滴下のダイヤモンドピンとの摩擦係数1とした場合、低減率 50%（1/2以下）以上を目標とし、加工専用クーラントの開発を行った。

その結果、50%以上を満たすナノカーボン（NC）濃度範囲を明らかとした。

【テーマ1-2】電解作用の適正化

ステンレス系金型材とダイヤモンドピンとの接触において、開発したクーラント供給装置を用い、ケロシン滴下のダイヤモンドピンとの摩擦係数1とした場合、低減率 60±2%を安定的に達成するための、電流値範囲及び電解 NC 濃度を調査した。

その結果、60%±2%を満たす実電流範囲と、NC 濃度範囲を明らかとした。なお、NC 電解液は精製水で希釈することを前提とする。

## 【テーマ2】単結晶ダイヤモンド工具を用いた高精度金型切削技術の確立

### 【テーマ2-1】切削加工技術の確立

ステンレス系金型材のダイヤモンド工具における切削加工で、平面の表面粗さ Ra3nm 以下を目標とした。旋削加工において、周速度一定の条件により、均一な加工面が得られた。

- 表面粗さ：Ra3.98nm
- 形状精度（平坦度）：PV0.06  $\mu\text{m}$

※実用精度を満たしているとの判断で、【テーマ2-2】へ移行する。

### 【テーマ2-2】実金型の加工技術の確立

ステンレス系金型材のダイヤモンド工具における切削加工で、球面形状の形状精度 PV0.1  $\mu\text{m}$  以下を目標とした。また、その金型を使用し、射出成形により樹脂製品テスト成形を行った。

- 球面の形状精度は PV0.08  $\mu\text{m}$
- 表面粗さは Ra2.86nm

球面金型製作後、成形テストを行い、鏡面性は問題ないレベルに仕上がることを確認した。

## 【テーマ3】単結晶ダイヤモンド工具専用クーラント供給システム装置の開発

### 【テーマ3-1】供給システム装置の開発

摩擦摩耗試験機での実験に用いる、簡易型クーラント供給システムを考案する。下記仕様を標準としクーラント供給装置（試作機）を製作し、加工機に取り付くシステムを考案する。加工結果を基に、装置及びシステム仕様を適正化し実用型の設計を行った。

- 持ち運びが可能なサイズのケースに、電解電源、コントローラ、溶液タンクを装備する。
- ノズルはフレキシブルとし、工具近接にマグネットなどで固定する。
- 溶液は滴下するタイプとし、時間単位で制御を行う。

### 【テーマ3-2】供給システム装置の実用化

実用型の装置の製作を行った。主な仕様を下記に示す。

- 電解電源装置：定電流（可変）、定電圧
- 供給装置：適正加工条件において 24 時間運転可能
- 電解ノズル

1-4 当該研究開発の連絡窓口

池上金型工業株式会社 技術開発グループ 松澤 隆

E-mail : t-matsuzawa@ikegami-mold.co.jp

電話番号 : 0480-78-0075

## 第2章 本論

### 2-1 単結晶ダイヤモンド工具に適した専用クーラントの開発

#### 2-1-1 添加剤の適正化

ステンレス系金型材とダイヤモンドピンとの接触において、開発したクーラント供給装置を用い、ケロシン滴下のダイヤモンドピンとの摩擦係数1とした場合、低減率50%（1/2以下）以上を目標とし、加工専用クーラントの開発を行った。

実験方法としては、添加剤、電解溶液を選定し、図2-1-1の方式の摩擦試験機にて、摩擦係数を調査する。試験機のボールとディスクの間に、溶液と添加剤の混合割合を変化させたものを滴下し、摩擦係数の差異を調査する。最終的に、ディスク部分には、ステンレス系金型材 SUS420J2 系（HRC54 相当）を、ボール部分には、ダイヤモンドピン（先端R形状）を用いる。添加剤は、ナノ粒子として調査する。溶液は、電解をかけるため、水溶液電解液を精製水で希釈した物を用いる。

なお、実験当初で溶液に電解をする効果が得られたので、本テーマは次の「電解作用の適正化」と並行して進めた。

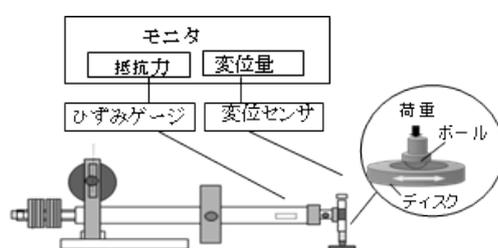


図2-1-1 往復摩擦試験機の模式図

#### 2-1-2 電解作用の適正化

従来研究（稲田ら）により、電解したナノカーボン（NC）溶液により切削面粗さ値が減少することが明らかとなっている。本実験内容としては、幅広いNC濃度において、電解の有無による水質の変化、および潤滑特性の変化を調査する。

まず初めに、使用する電解液とNCの性質調査を行った。図2-1-2に、水質調査の結果を示す。NCを含有した電解液に対して、電気伝導度（EC）、酸化還元電位（ORP）、pHの検証を行った。それぞれ、電解現象により変化が見られた。図2-1-3に、NC濃度に対する電解前後の摩擦係数の変化を示す。ある一定のNC濃度の範囲で、電解後に摩擦

係数が減少することを確認した。図2-1-4に、NCの凝集化の確認として、電解前後でのNC粒径の調査結果を示す。電解前 110nm に対して、111nm と、粒径に変化はなく凝集は無いものと考えられる。溶液のイオン分析を行ったが、電解液にNCを含有させた影響は見られないが、実験中の吐出流量が少なくなると、イオン量が増加する傾向となった。

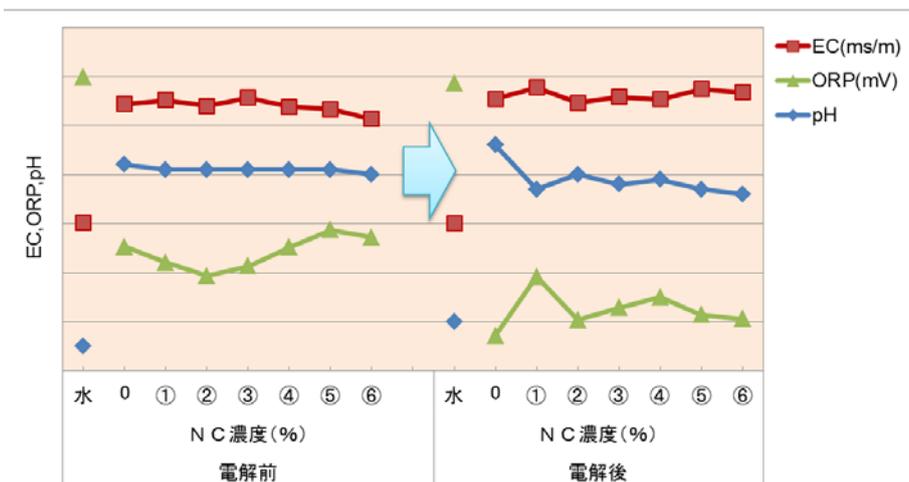


図2-1-2 水質調査

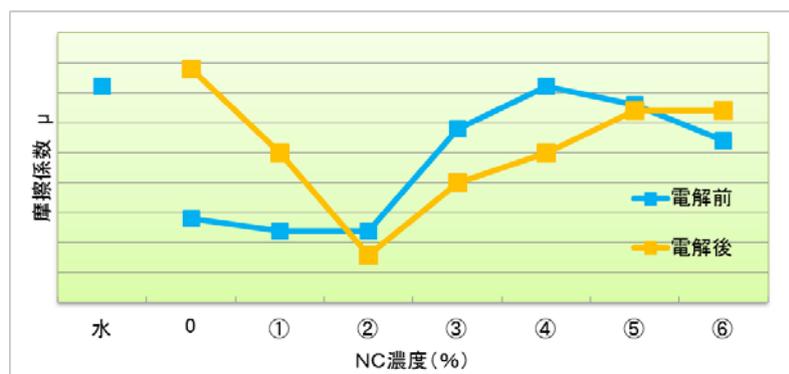


図2-1-3 電解前後の摩擦係数変化

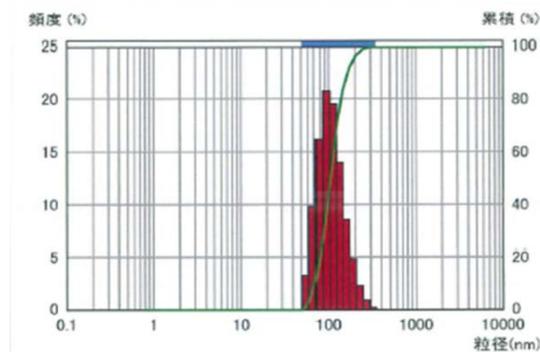


図2-1-4 電解後のNC粒径 (分析：株住化分析センター)

ステンレス系金型材とダイヤモンドピンとの接触において、開発したクーラント供給装置を用い、ケロシン滴下のダイヤモンドピンとの摩擦係数1とした場合、低減率  $60 \pm 2\%$  を安定的に達成するための、電流値範囲及び NC 濃度を調査した。なお、NC は精製水で希釈することを前提とする。図2-1-5に実験の模式図、図2-1-6に実験の様子を示す。

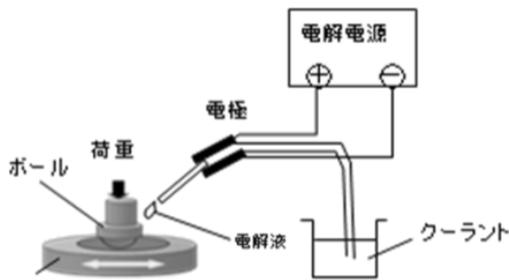


図2-1-5 実験方法



図2-1-6 実験の様子

金型材とダイヤモンド試験片における摩擦係数  $\mu$  値にて検証を行った。電圧値（直流、パルス）の条件を振り、摩擦係数の低い値を調査。その時の摩擦係数が低い電流値を再調査。絞り込みを行った電解条件にて再度濃度影響調査で更に条件を絞り込む。

図2-1-3内の②のNC濃度を元に、電流値の検証を行った結果を図2-1-7に示す。ある電圧・電流の時に、摩擦係数  $\mu$  が低下した。その条件下において、再度NC濃度の検証を行った結果を、図2-1-8に示す。NC濃度④、⑤の時に、ケロシンにおける摩擦係数の、50%以下の目標値が得られた。

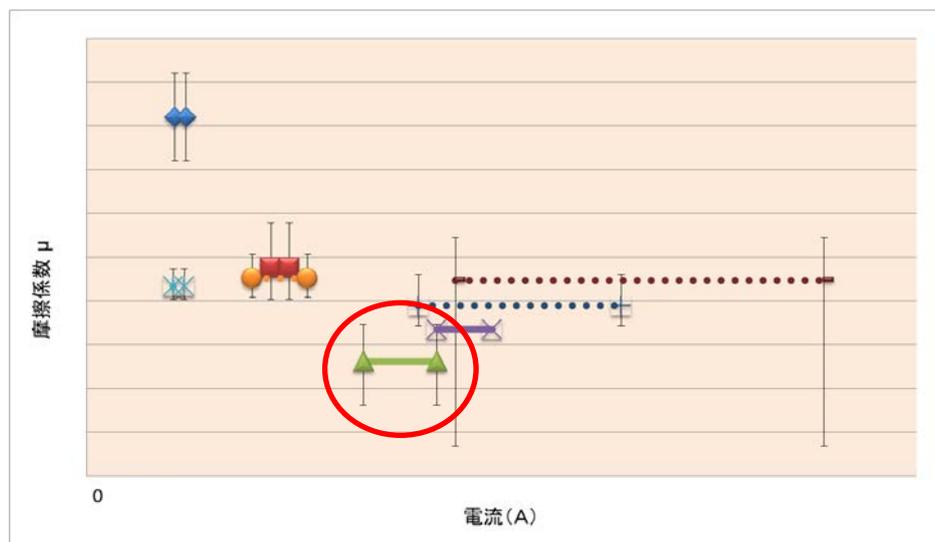


図2-1-7 電流値の条件確認

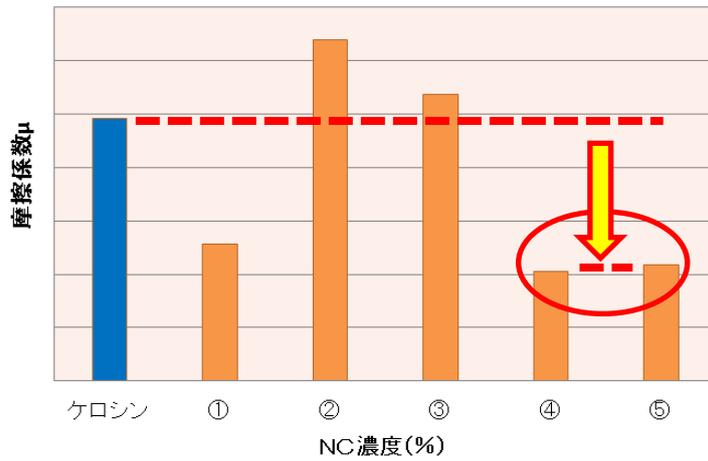


図2-1-8 NC濃度の検証

図2-1-8の④、⑤の条件付近にて、さらに細かくNC濃度の検証を行った。その結果を図2-1-9に示す。全ての範囲でケロシンの場合の50%以下となり、また安定的に60%±2%を満たす実電流範囲と、NC濃度範囲が明らかとなった。

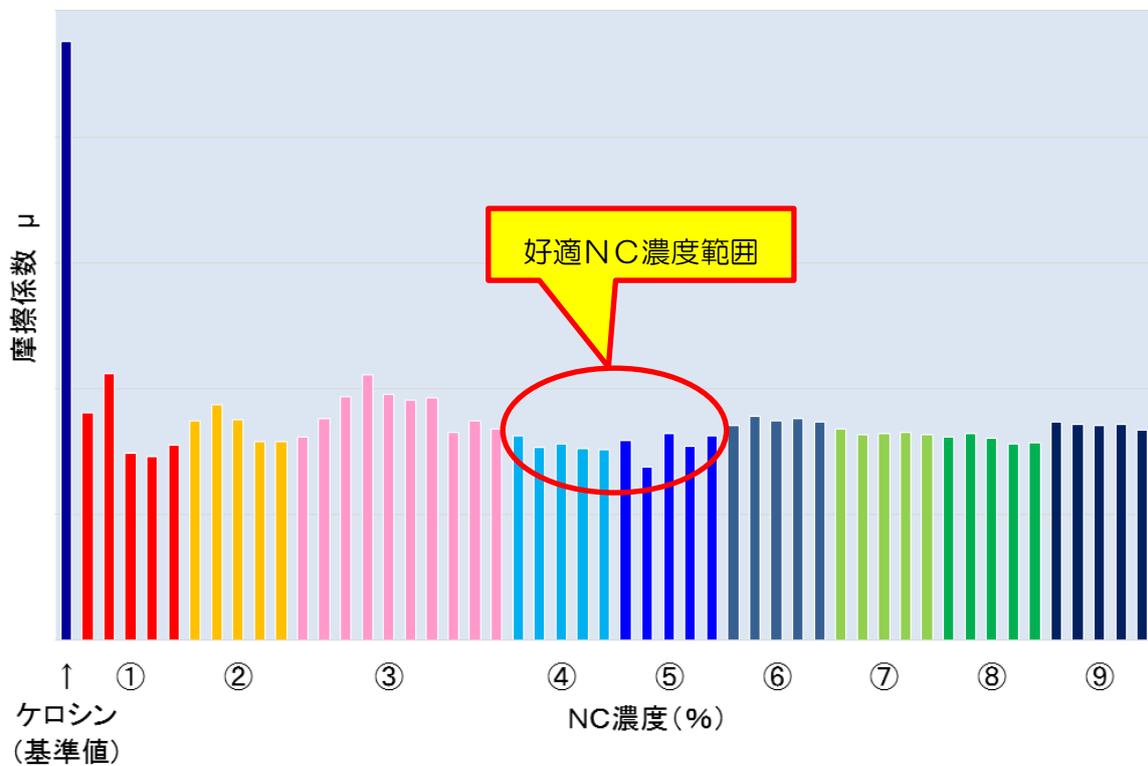


図2-1-9 NC濃度の再検証

## 2-2 単結晶ダイヤモンド工具を用いた高精度金型切削技術の確立

### 2-2-1 切削加工技術の確立

ステンレス系金型材の単結晶ダイヤモンド工具における切削加工で、平面の表面粗さ Ra3nm 以下を目標とした。

以下に、加工実験のシステムを示す。図 2-2-1 に使用した加工機。図 2-2-2 に被削材 (φ18mm) のステンレス系金型材 SUS420J2 系 (日立金属製 HPM38、HRC54 相当)。図 2-2-3 に先端 R 形状の単結晶ダイヤモンドバイト。図 2-2-4 に評価装置。



(A) 東芝機械製 ULG100



(B) ジェイテクト製 AHN15

(出典: <http://www.toshiba-machine.co.jp>)

(出典: <https://www.jtekt.co.jp>)

図 2-2-1 使用した加工機



図 2-2-2 被削材

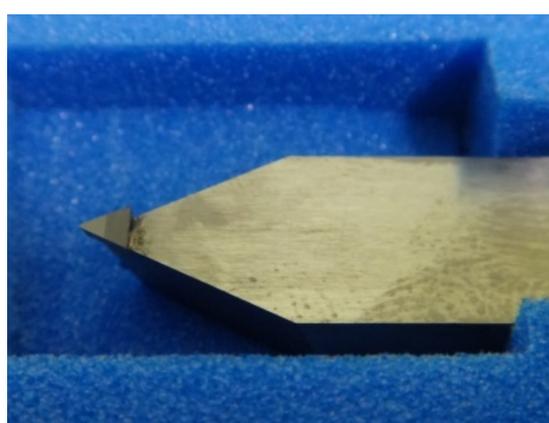


図 2-2-3 単結晶ダイヤモンドバイト



(A) レーザ顕微鏡

(出典：<https://www.keyence.co.jp>)



(B) 三次元光学プロファイラー

(出典：<http://cweb.canon.jp>)

図2-2-4 評価装置

従来法で使用する加工液は、ケロシン系油剤をミスト状でかけたり、潤滑油をかけながらの加工が主流となる。特にダイヤモンド工具の場合、ケロシンミストを一般的に使用する。本技術の場合、ナノ粒子を水溶液に混合して利用し、また、電解作用の確認も行うため、水溶性電解液を主とする。電解液の切削加工への適用も含め、基礎的なサンプル製作により、データを収集する。無酸素銅材において、ダイヤモンド工具・CBN 工具を用い、加工液による表面粗さの差異を調査した。同様にステンレス系金型材において、CBN 工具を用い調査した。参考に、従来鏡面仕上げを行うメッキ面のデータを記す。旋削加工の加工条件は同一とした。結果を図2-2-5に示す。電解液による加工において、ケロシンミストとほぼ同等の加工面が得られているので、本法に適用する場合には、問題ないと考える。

ステンレス系金型材の加工に、ダイヤモンド工具を使用する前に、CBN 工具にて基礎的な条件選定を行った。その時、次章2-3 で開発を行った供給装置を使用し、電解液利用の条件下で、表面粗さの向上を狙った。表2-2-1に加工条件、図2-2-6に CBN 工具による表面粗さを示す。

続いて、その条件をベースに、ダイヤモンド工具にて加工を行った。表2-2-2に加工条件一例、表2-2-3に加工面性状を示す。従来方法で加工を行うと、切り込んだ量だけダイヤモンド工具が摩耗しているが、NC を添加すると、摩耗量が 1/5 以下となった。一部では Ra11.4nm と良好な加工面も得られるようになったが、加工面にバラツキがみられ、加工面粗さも悪化している。

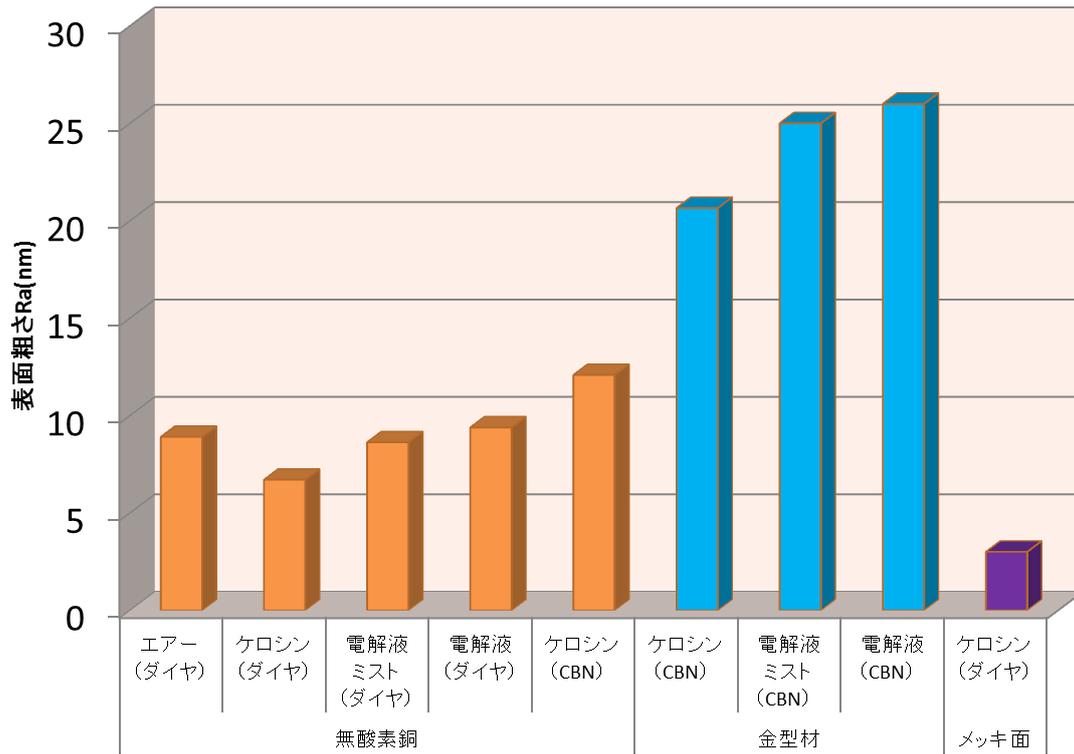


図2-2-5 加工液の検証

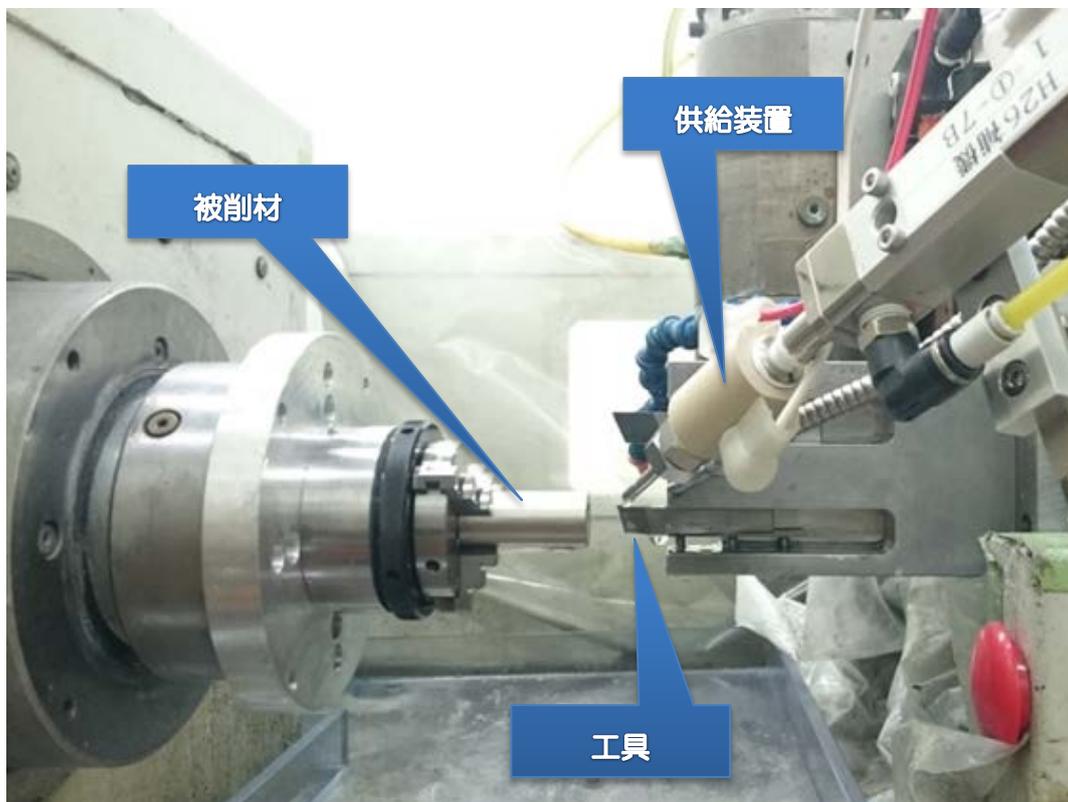


図2-2-6 加工実験の様子

表2-2-1 CBN 工具による旋削加工条件

回転数	1000min <sup>-1</sup>
切込量	1 μm/pass
送り速度	0.3mm/min
切削液	電解液（精製水希釈）

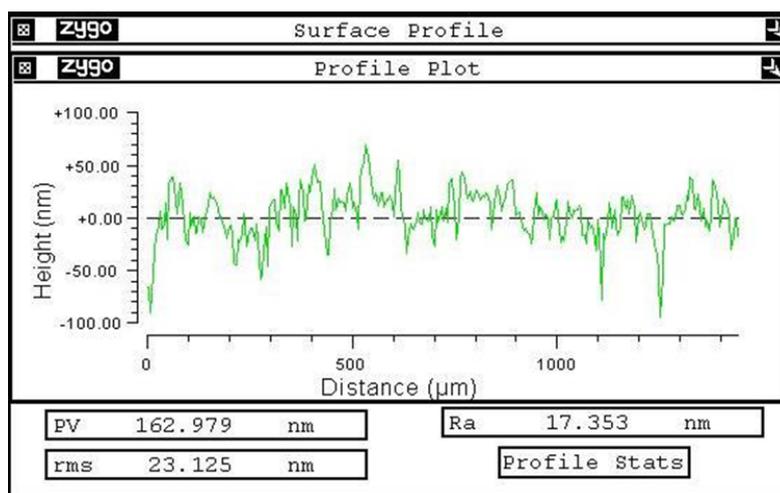


図2-2-7 CBN 工具による表面粗さ

表2-2-2 ダイヤモンド工具による加工条件一例

回転数	1000min <sup>-1</sup>
切込量	0.1 μm/pass
送り速度	3.0mm/min
切削液	電解液（精製水希釈） NC 添加

表2-2-3 加工面性状と表面粗さ

測定データ名	レーザー+カラー	線粗さ計測		
		2点指定1 輪郭曲線	Ra μm	Rz μm
中心付近1			0.0147	0.1056
中心付近2			0.0205	0.1347
光沢部1			0.0114	0.0998
光沢部2			0.0659	0.5439
焼付部1			0.0212	0.1409

なお、前章2-1における、クーラントの開発で、摩擦係数が低減する条件を加工に適用すると、表面粗さが低下することが分かり、相互で何らかの関連性があると考えられる。以後、前章2-1の条件を適用し、加工実験を進める。また、表2-2-3の「光沢部1」の加工条件をもとに検証を進めると、周速度一定のある条件で、均一な面が得られるようになった。表2-2-4には、実験途中の電流値の差異による、加工面の変化を調べたときの加工面の顕微鏡写真を示す。

表2-2-4 電流値の差異による加工面性状

電流値	①	②	③	④
加工表面				

図2-2-8に、平面加工の最終的な表面粗さ結果を示す。旋削加工において、周速度一定の条件により、均一な加工面が得られた。

- 表面粗さ：Ra3.98nm
- 形状精度：PV0.06 $\mu$ m（参考値）

※実用精度を満たしているとの判断で、次章2-2-2へ移行する。

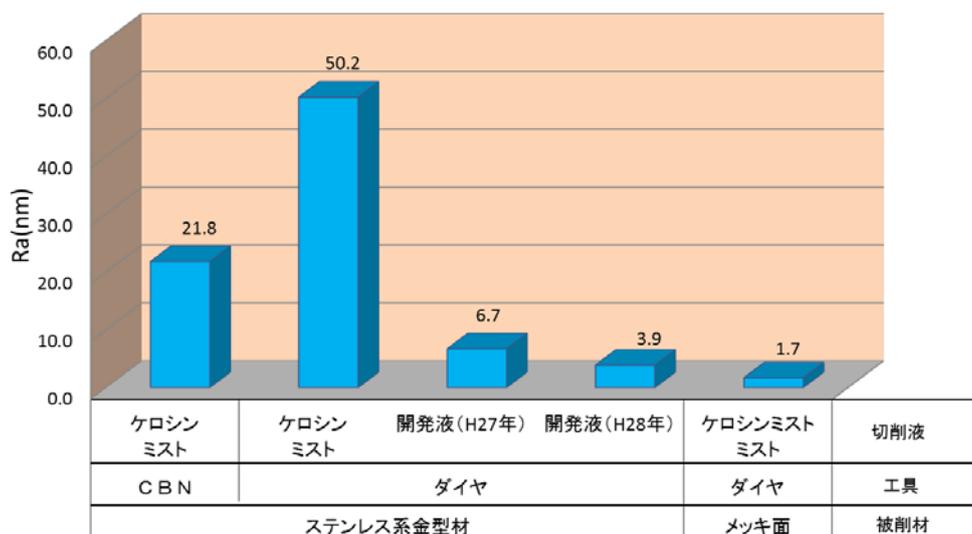


図2-2-8 表面粗さの開発経緯

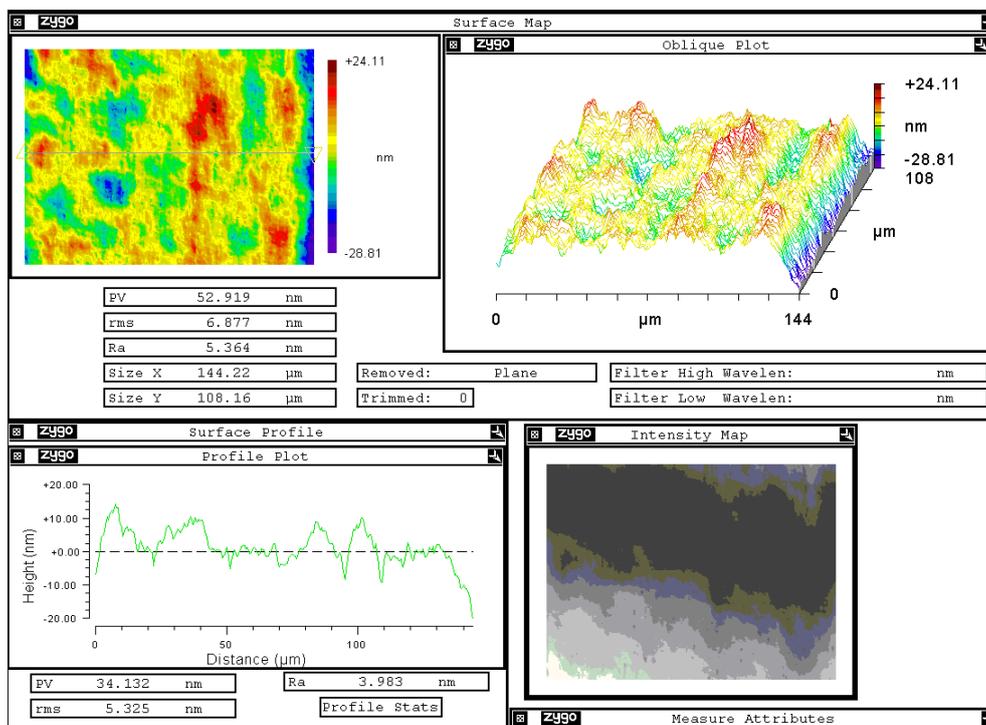


図2-2-9 平面加工の表面粗さ

## 2-2-2 実金型の加工技術の確立

ステンレス系金型材のダイヤモンド工具における切削加工で、球面形状の形状精度  $PV0.1\mu\text{m}$  以下を目標とした。また、その金型を使用し、射出成形により樹脂製品テスト成形を行った。

図2-2-10に加工したサンプル写真、図2-2-11に球面加工の形状精度、図2-2-12に表面粗さを示す。

- 球面の形状精度は  $PV0.08\mu\text{m}$
- 表面粗さは  $Ra2.86\text{nm}$

また、表2-2-5に、ダイヤモンド工具先端の顕微鏡写真を示す。実験当初は切込んだ分だけ摩耗していたものが、最終的に球面金型2個加工しても、摩耗は微小であった。



図2-2-10 球面加工サンプル

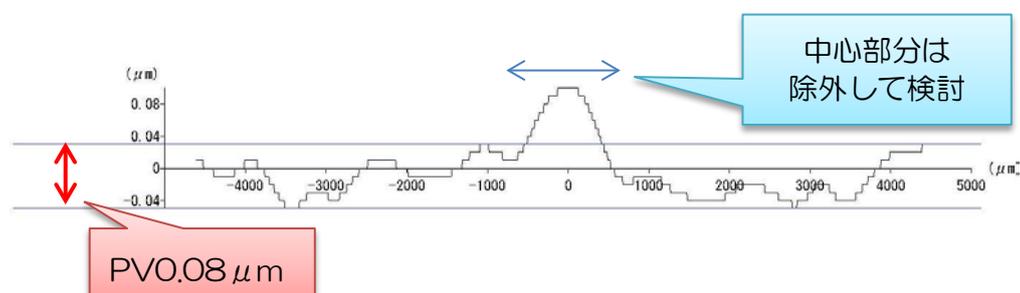


図2-2-11 球面加工の形状誤差曲線

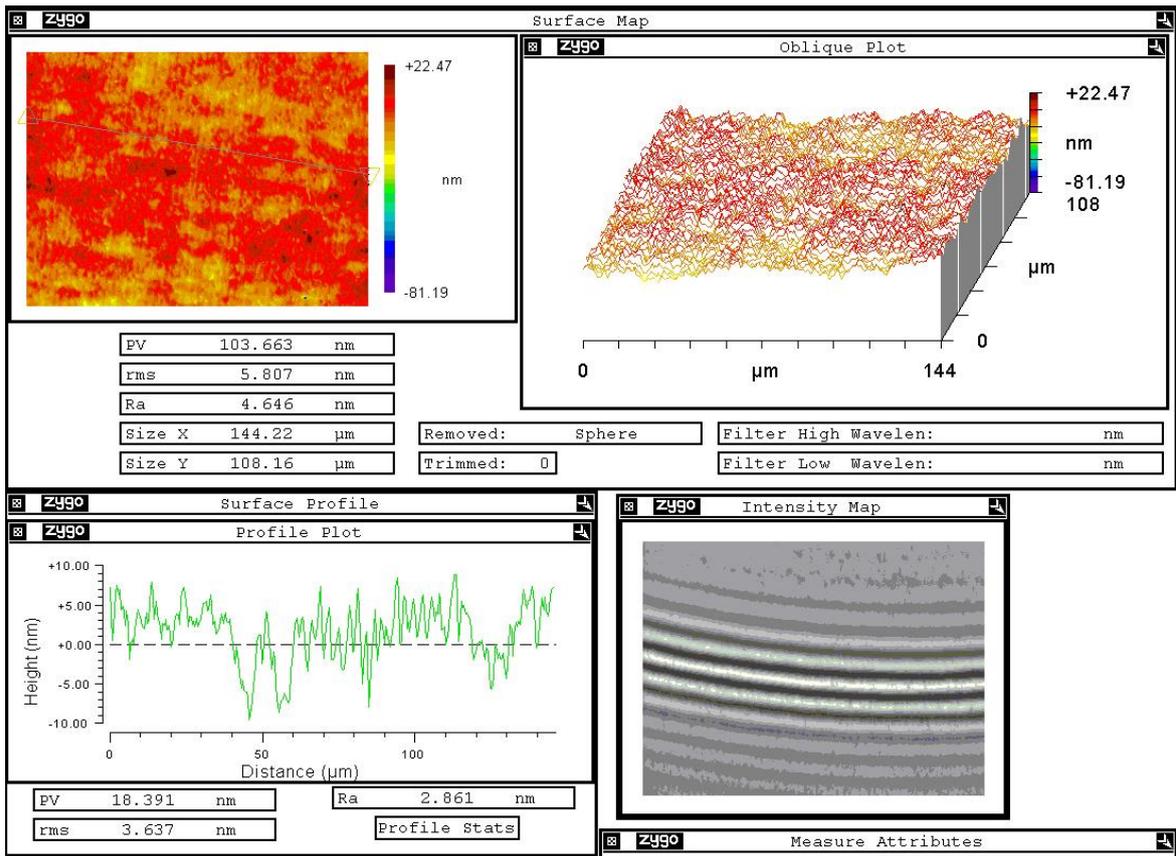


図2-2-12 球面加工の表面粗さ

表2-2-5 ダイヤモンド工具先端の摩耗量の経緯

	実験初期	2年度	最終年度
顕微鏡写真			
加工距離	0.05m	4.5m	—
除去体積	—	1m <sup>3</sup>	2m <sup>3</sup>

球面金型製作後、成形テストを行い、鏡面性は問題ないレベルに仕上がることを確認した。  
図2-2-13に金型外観、図2-2-14に射出成形テストの様子、図2-2-15に成形サンプルを示す。

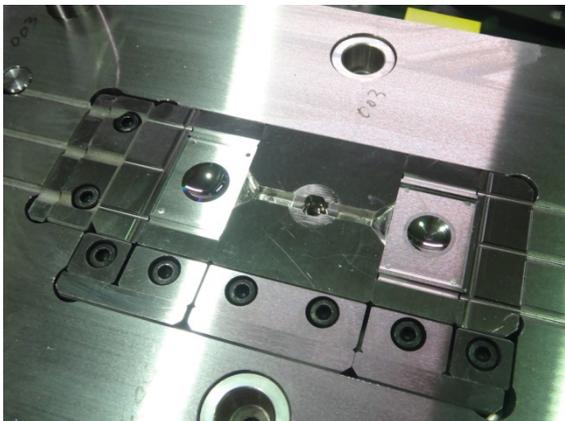


図2-2-13 金型外観

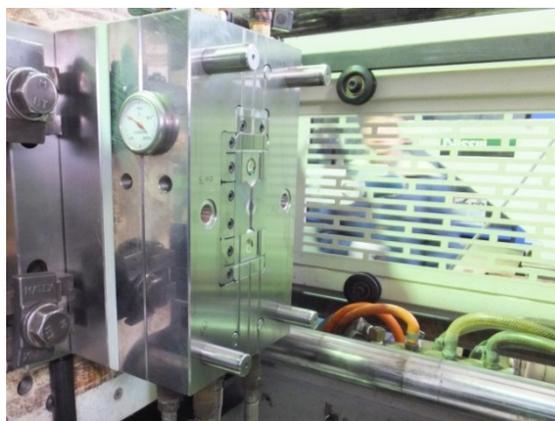


図2-2-14 射出成形テスト

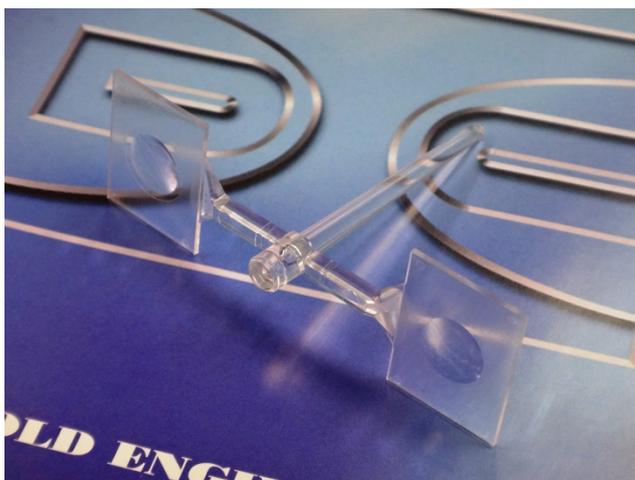


図2-2-15 レンズ成形サンプル

## 2-3 単結晶ダイヤモンド工具専用クーラント供給システム装置の開発

### 2-3-1 供給システム装置の開発

まず初めに、摩擦摩耗試験機での実験に用いる、簡易型クーラント供給システムを考案する。下記仕様を標準としクーラント供給装置（試作機）を製作し、加工機に取り付くシステムを考案する。

- ・持ち運びが可能なサイズのケースに、電解電源、コントローラ、溶液タンクを装備する。
- ・ノズルはフレキシブルとし、工具近接にマグネットなどで固定する。
- ・溶液は滴下するタイプとし、秒単位でインターバルに滴下するように制御を行う。
- ・電源装置は、電圧値・電流値・直流-パルス切替、出力極性切替等、実験条件を考慮して調整可能とする。

また、加工実験に使用する供給システムも製作を行った。トライアンドエラーにより随時設計変更・改良製作を行い、実用化に向け装置の仕様を絞り込んだ。

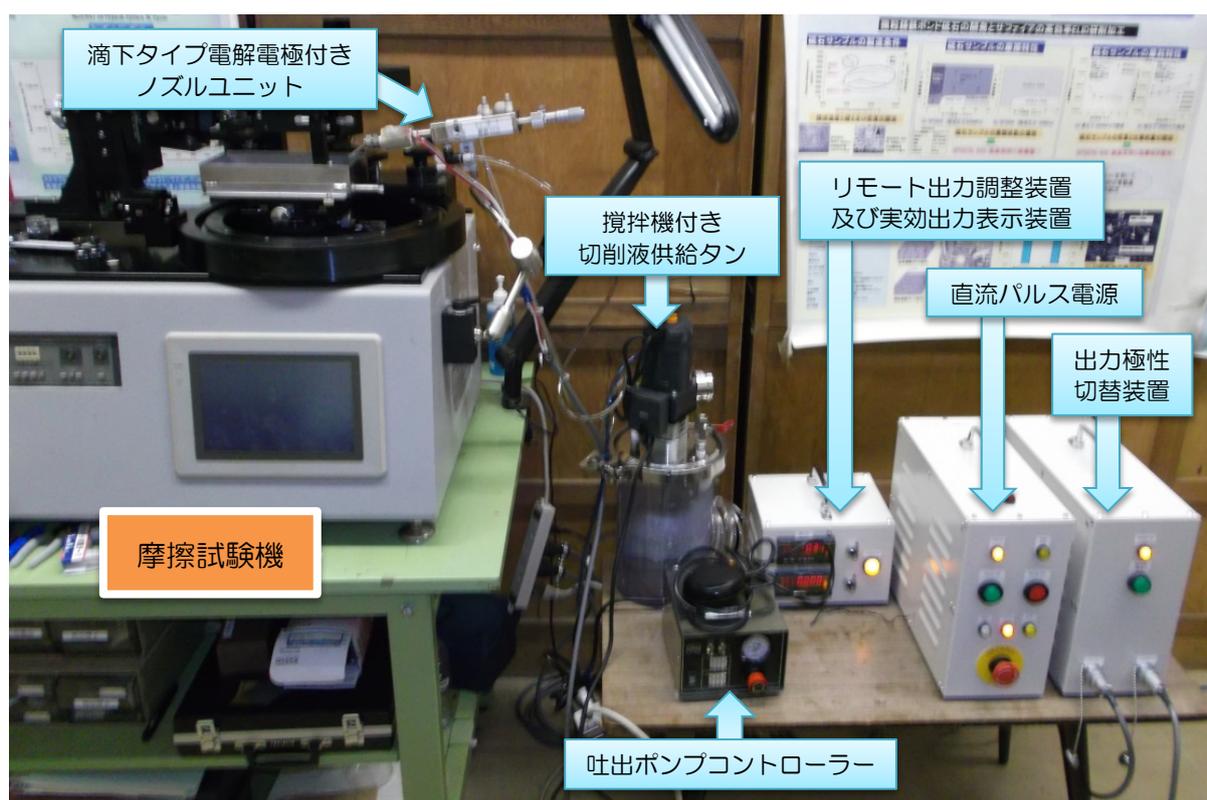


図2-3-1 初期の装置外観

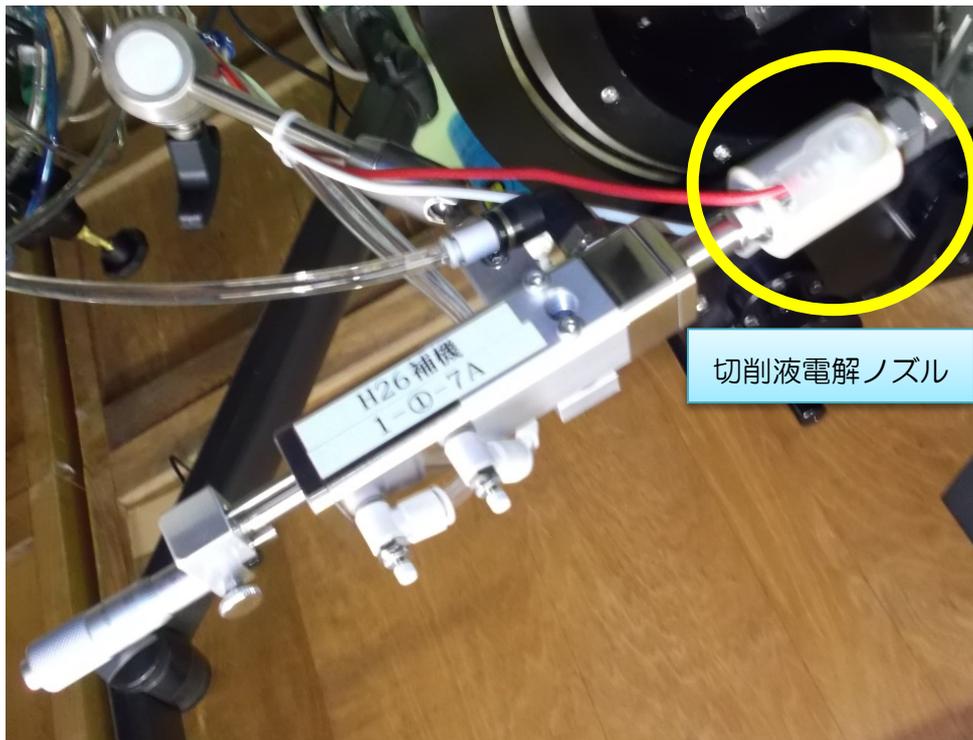


図2-3-2 初期の滴下タイプ電解電極付きノズルユニット外観

### 2-3-2 供給システム装置の実用化

摩擦試験や加工実験を元に、装置及びシステム仕様を適正化し、実用型の設計を行った。最終的に主に3つの構成となる。図2-3-3に構成、図2-3-4にシステム外観を示す。

#### ①電解ノズル

- ・内蔵された電極は消耗品のため、ユーザーが容易に交換できる構造とした。
- ・ノズルの材質はステンレスとし、先端形状は成形しやすい寸法とした。
- ・電極ハウジングの材質を、安価で加工性のよい高強度MCナイロン等に変更した。

#### ②電解電源装置（定電流可変、定電圧）

- ・試作機では定電圧制御としていたが、電流値の一定化も重要であるとの結果により、定電流制御（可変）とした。
- ・電極の消耗により電流値が下降するため、これを検知して警報出力機能を設けた。
- ・供給装置と連動可能な機構とした。

#### ③クーラント供給装置（適正加工条件において24時間運転可能）

- ・電極に付着する結晶、またはカーボン粒子を除去するための極性切替機構を設けた。さらに、切替時間を外部で設定できる機構とした。
- ・工作機械側で、電解電源装置の制御が可能な機構とした。



①電解ノズル



②電解電源装置



③クーラント供給装置

図2-3-3 供給システム構成

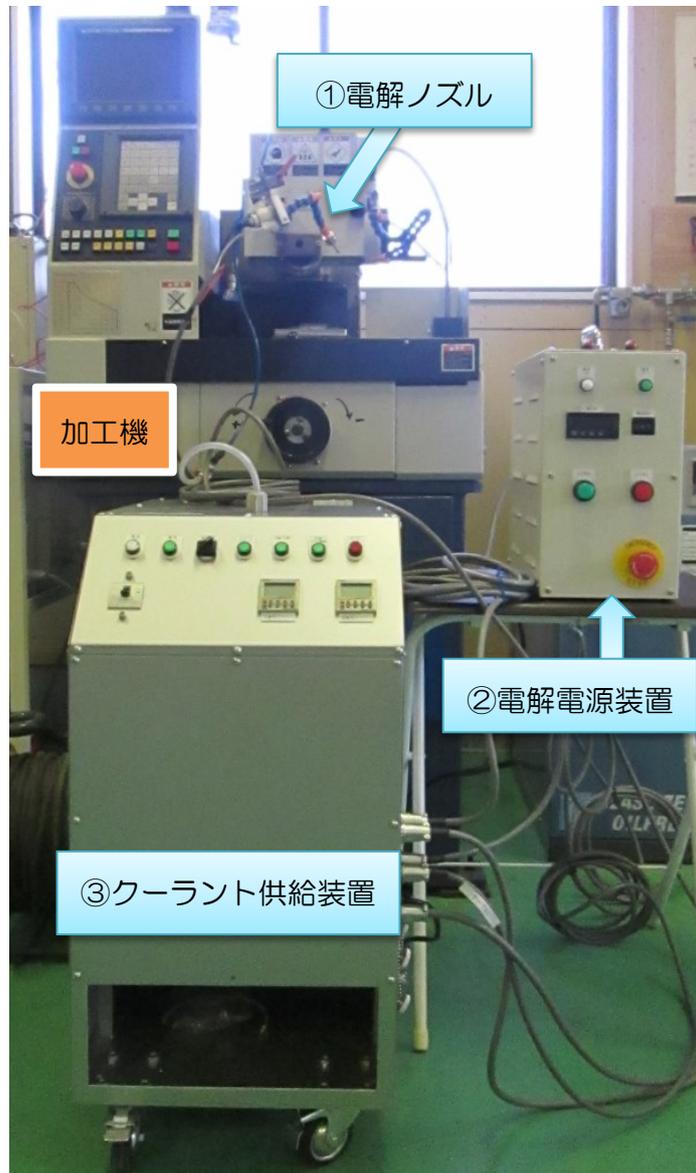


図2-3-4 システム外観

## 最終章 全体総括

### ●研究開発

医療機器、光学関連等の透明製品および鏡面製品では、その射出成形金型製作において金型表面の鏡面性、平滑性が極めて重要となっている。

理化学研究所にて開発された、ステンレス系金型材と鏡面加工に使用するダイヤモンド工具の、加工中に起こる化学反応による工具摩耗の抑制効果（「鉄系被削材の切削方法及び切削液供給装置(特許公開 2010-64184)」）を利用し、鏡面切削加工法の実用化開発を行った。

開発要素として3種類の検証を進めた。(1) 専用クーラントの開発、(2) 切削技術の確立、(3) 専用供給システムの開発となる。

まず、(1) 専用クーラントの開発では、切削専用クーラントの添加剤としてナノ粒子（ナノカーボン）を適用した。基礎的な研究により摩擦低減効果が得られており、そのデータを基にさらに添加剤の成分適正化を進めた。水溶性の電解液にナノカーボンを適量加え、一定の電流値を流した電解液を切削点に供給するとダイヤモンドの摩耗の抑制効果が確認され、適正な数値を検証した。

そのクーラントを適用し、(2) 高精度金型切削技術の確立を進めた。ステンレス系金型材（SUS420J2 系、 $\phi$ 15mm）の平面切削加工を試み、基礎的な条件を導き出した。旋削加工における周速一定の加工条件により、ダイヤモンド工具の摩耗が抑制され良好な加工面が得られた。その後、球面金型（ $\phi$ 10mm、SR15mm）の仕上げ加工を試み、形状精度PV0.1  $\mu$ m 以下、表面粗さRa3nm 以下を実現した。

(3) 専用クーラント供給システム装置の開発として、各実験と並行して装置開発を進め、装置が完成した。

### ●今後の展開

現在、単結晶ダイヤモンド工具により、ステンレス系金型材の鏡面仕上げ加工が実現した。表面粗さに関してはメッキ材と同等の鏡面性を得られた。専用の供給システムの開発も完成した。ただし、材料や形状、加工方式を限定して行っているため、他の材料等への適用は不透明である。

そこで、今後の開発としては、様々な加工方式、加工材料に適用した、クーラントの専用化を進める。例えば、一般鋼材、超硬合金、チタン等の他の材料への適用効果や、円筒加工、

エンドミル加工、さらには研削加工等への、様々な加工方式への展開を目的とする。

また、金型分野への期待される効果として、本開発ではバイト形状の工具としたが、エンドミル形状の単結晶ダイヤモンド工具も近年使用されており、複雑形状の部品や微細部品もステンレス系金型材での製作可能となり、超精密加工分野への適用も格段に広がる。ステンレス系金型材を利用した市場は、主に大量消費樹脂製品や高品位製品の場合が多く、概ね金型価格としては高額な分野となるが、近年の低価格化の波には逆らえないが、本開発の効率化は大変有効である。金型製作の製品部分の仕上げ加工時間の割合は、全体の20~30%程度を占める。その部分の効率化が実現可能であり、他社とは差別化され競争力アップにつながる。

さらに、新たな事業展開の可能性として、鏡面や微細分野に限らず、様々な鉄系材料の機構部品に対して、単結晶ダイヤモンド工具での高精度加工が可能となるので、部品加工分野でも独自の製品として販売促進が可能である。金型業界に限らず、様々な分野へ事業展開が見込める。現在一般的に、ナノ粒子（ナノカーボン）は利用分野を模索している段階であり、クーラント添加剤として利用可能であれば、工業製品として広く適用され、ナノ粒子の需要の拡大につながる。工具メーカーとのタイアップにより単結晶ダイヤモンド切削専用クーラントとして販売が可能である。またクーラント供給システム装置の量産化を行い、単結晶ダイヤモンド切削専用装置として専用クーラントと合わせて販売を行う。また、難削材と呼ばれる材料を用いた機能部品など、様々な部品加工へも応用可能であると考え。医療、光学関連に限らず、自動車関連、航空宇宙産業関連への応用も見込める。

その他、専用クーラントが単結晶ダイヤモンド工具に有効であれば、砥石などのダイヤモンド砥粒にも応用が可能と考えている。適正条件は異なるが、基本的な原理は変わらず、本開発と同様に検討が可能であると考え。