

令和3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

「安全な自動運転に貢献する車載カメラレンズを製作するため、  
NPD（ナノ多結晶ダイヤモンド）製工具の高精度切削加工技術を  
活用した広角度・超硬合金製ガラスレンズ金型の開発」

研究開発成果報告書

令和4年5月

担当局 九州経済産業局

補助事業者 公益財団法人福岡産業・科学技術振興財団

## 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
- 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

### 第2章 本論

- 2-1 はじめに
- 2-2-1 サブテーマ【1-1】NPD 製特殊工具の試作開発
- 2-2-2 サブテーマ【1-2】コア金型に対する切削加工技術の試作開発
- 2-2-3 サブテーマ【1-3】スリーブ金型に対する切削加工技術の試作開発
- 2-2-4 サブテーマ【1-4】非球面金型に対する切削加工技術の試作開発
- 2-3-1 サブテーマ【2-1】NPD 製特殊工具の実用化開発
- 2-3-2 サブテーマ【2-2】視野角度 150°、 $\phi$ 0.1mm 広角ガラスレンズ  
金型の開発
- 2-3-3 サブテーマ【2-3】ガラスレンズ金型に対する最適切削加工条件の  
マクロ開発
- 2-4 サブテーマ【3-1】性能・実証評価

### 最終章 全体総括

- 3-1 総括
- 3-2 アドバイザーによる講評
- 3-3 研究開発後の課題
- 3-4 今後の事業化展開について

# 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) 研究の背景及び研究目的

世界の自動車生産台数は、1億台を超え、交通事故の発生も年々増えており、自動車の運転時の高い安全性能が強く求められている。自動車業界はセンシング技術や車載カメラの搭載による、衝突防止、居眠り防止、車間距離感知など、より安全性能を追求するための技術開発を進めている。また、将来の完全自動運転実現を目指した技術開発も急がれている。

運転時の周辺環境を細かく監視するための車載カメラの技術開発では、従来よりも広角度の視野角で、レンズユニットの小型化が可能となるレンズ径 $\phi 0.1\text{mm}$ のレンズ開発が急がれている。下の図1にあるように、レンズが広角度（広視野角）であれば、図2のように死角エリアが少なくなり、より安全な運転が可能になる。

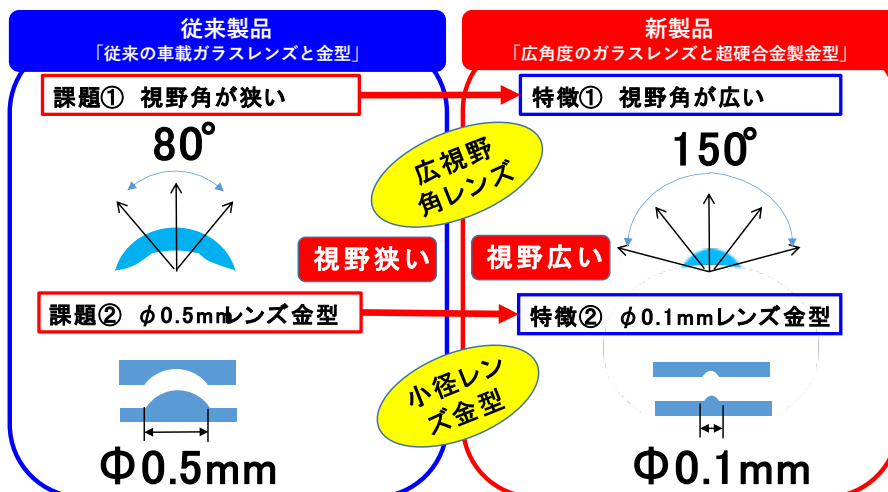


図1 従来型ガラスレンズと広角度ガラスレンズの比較

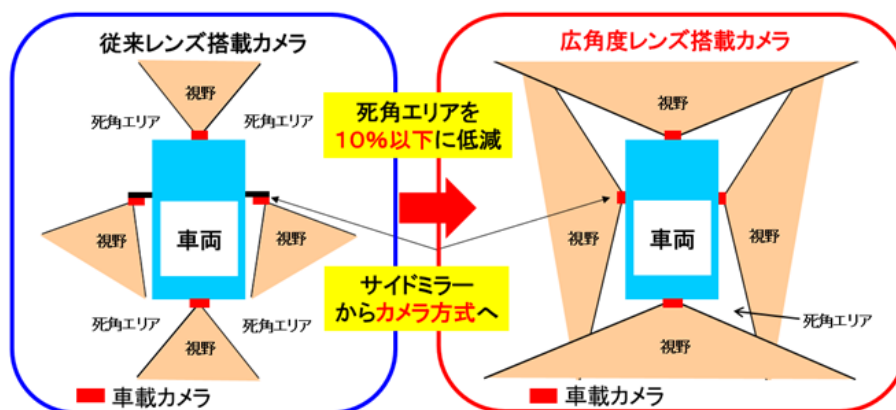


図2 車載カメラに用いるレンズの違いと視野の比較

一方、小径で広角度（広視野角）のガラスレンズを製造するためには、超硬合金を微細かつ高精度に加工する必要があるため、従来の加工技術による金型製作では無理があり、新たに加工法を開発する必要がある。

本研究開発は、安全な自動運転技術に貢献する車載ガラスレンズを製作するために、世界最高強度を持つナノ多結晶ダイヤモンド（Nano-Polycrystalline Diamond、以下 NPD）製工具の開発、ならびに同工具による高精度切削加工技術を活用した広角度・超硬合金製ガラスレンズ金型の開発を目的とした。

## （２）研究目標

超硬合金製の金型の製作に有用なのが NPD 製の工具を用いた加工である。NPD 製工具は市販されているが、そのままでは、小径で広角度のレンズ製造のための金型の製作には使えないため、市販の工具に追加工を行う必要がある。追加工を行った NPD 製の工具を本研究開発では「NPD 製特殊工具」と呼んでいる。本研究開発は、NPD 製特殊工具の研究開発を行った後に、その工具を用いた金型加工技術の研究開発を行うという流れで行った。本研究では表 1 に示す 8 つのサブテーマを設定して研究開発を進めた。

表 1 研究開発サブテーマと目標値

| サブテーマ                                     | 目標値  |  |  |
|---|--|--|--|
|   | 初年度  | 第二年度   | 第三年度   |
| <b>【1】加工技術の試作開発</b>                       | 工具先端 R、形状精度、表面粗さ   |  |  |
| 【1-1】:NPD 製特殊切削加工工具の試作開発                  | 工具先端 R0.05mm 以下<br>形状精度 0.01mm                                       | 工具先端 R0.03mm 以下<br>形状精度 0.007mm                                      | 工具先端 R0.03mm 以下<br>形状精度 0.005mm 以下                                   |
| 【1-2】:コア金型に対する切削加工技術の試作開発                 | 真円度 0.005mm 以下<br>円筒度 0.005mm 以下<br>直角度 0.005mm 以下                   | 真円度 0.003mm 以下<br>円筒度 0.003mm 以下<br>直角度 0.003mm 以下                   | 真円度 0.001mm 以下<br>円筒度 0.001mm 以下<br>直角度 0.001mm 以下                   |
| 【1-3】:スリーブ金型に対する切削加工技術の試作開発               | 真円度 0.005mm 以下<br>円筒度 0.005mm 以下<br>直角度 0.005mm 以下<br>平面度 0.005mm 以下 | 真円度 0.003mm 以下<br>円筒度 0.003mm 以下<br>直角度 0.003mm 以下<br>平面度 0.003mm 以下 | 真円度 0.001mm 以下<br>円筒度 0.001mm 以下<br>直角度 0.001mm 以下<br>平面度 0.001mm 以下 |
| 【1-4】:非球面金型に対する切削加工技術の試作開発                | 形状精度 PV1 $\mu\text{m}$ 以下<br>表面粗さ Ra20nm 以下<br>コーナー R0.1mm 以下        | 形状精度 PV0.5 $\mu\text{m}$ 以下<br>表面粗さ Ra10nm 以下<br>コーナー R0.08mm 以下     | 形状精度 PV0.3 $\mu\text{m}$ 以下<br>表面粗さ Ra5nm 以下<br>コーナー R0.05mm 以下      |
| <b>【2】製品の実用化開発</b>                        | 金型の機能評価  |  |  |
| 【2-1】:NPD 製工具の実用化開発                       | 電子顕微鏡を使用している観察   | 最適な切れ刃状態の開発  | 機能評価及び実用化の検証   |
| 【2-2】:視野角度 150°、 $\phi$ 0.1 広角ガラスレンズ金型の開発 |  | 組み立てた非球面金型で実証評価を受ける  | 確認評価を行い、金型の完成  |
| 【2-3】:ガラスレンズ金型に対する最適切削加工条件のマクロ開発          | 切削加工プログラム標準化   | 切削加工プログラムのマクロ化   | 切削加工データ作成のマクロシステム化   |
| <b>【3】性能・実証評価</b>                         | 検証・評価  |  |  |
| 【3-1】:性能・実証評価                             | レーザー加工評価<br>NPD 工具の評価  | 金型品質評価   | 光学特性評価   |

## 1-2 研究体制（研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者）

### (1) 研究組織・管理体制

本研究開発の研究実施体制を図3に示す。福岡工業大学が以前から研究していたレーザー加工技術を活用して、株式会社ワークスと福岡工業大学が協力して行った。事業管理は、福岡県産業・科学技術振興財団が行った。研究開発等のアドバイザーとしては、アルプスアルパイン株式会社、株式会社住田光学ガラス、株式会社エヌジェーエス、福岡県工業技術センター 機械電子研究所にご協力をいただいた。

アルプスアルパイン株式会社からは、ガラスレンズの仕様や金型に関するアドバイス、株式会社住田光学ガラスからは、ガラスレンズ金型の品質に関するアドバイス、株式会社エヌジェーエスからは、ガラスレンズ金型材料に関するアドバイス、福岡県工業技術センターの機械電子研究所からは、ガラスレンズ金型の加工技術に関するアドバイスをいただいた。

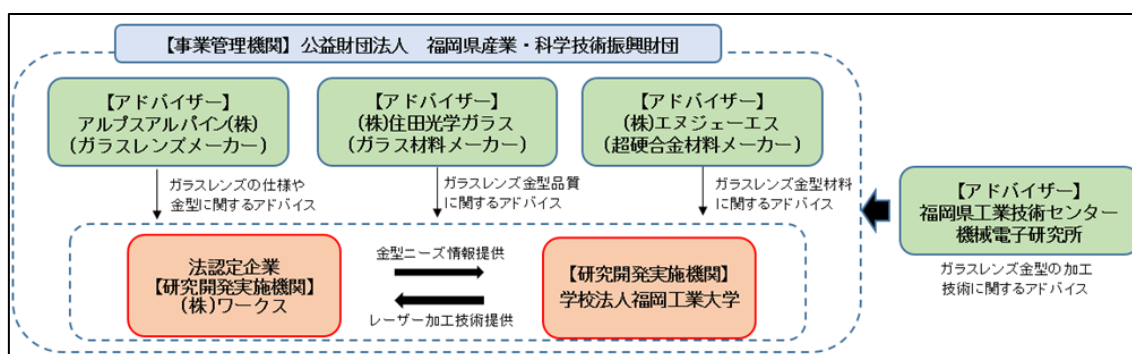


図3 研究実施体制

### (2) 管理員、研究員

【補助事業者】公益財団法人福岡県産業・科学技術振興財団  
管理員

| 氏名      | 所属・役職              |
|---------|--------------------|
| 神谷 昌秀   | ロボット・システム開発センター長   |
| 緒方 道子   | ロボット・システム開発部 部長    |
| 南 守     | ロボット・システム開発部 主幹    |
| 上田 京子   | ロボット・システム開発部 専門研究員 |
| 浦田 薫    | ロボット・システム開発部 主事    |
| コーベイ 信子 | ロボット・システム開発部 主事    |
| 大石 秀徳   | 企画管理部 管理課長         |
| 黒木 健二   | 企画管理部 主査           |
| 西谷 志織   | 企画管理部 主任           |
| 野村 眞一   | 産学コーディネータ          |

【間接補助事業者】

株式会社ワークス

研究員

| 氏名     | 所属・役職                        |
|--------|------------------------------|
| 三重野 計滋 | 代表取締役 (総括研究代表者：PL)           |
| 政光 厚   | 製造課 第二製造係長 兼 品質管理係長          |
| 金子 大祐  | 製造課 第三製造係 M/Cライン長 兼 技術開発ライン長 |
| 福丸 勝規  | 製造課 第二製造係 マイクロノズルリーダー        |
| 村上 達朗  | 製造課 第二製造係 ライン長               |
| 伊藤 慎吾  | 製造課 第三製造係 IGライン長             |
| 三重野 隼矢 | 製造課 第三製造係 WE/EDMライン長         |
| 柳田 光雄  | 製造課 第三製造係 M/Cライン             |
| 森本 浩介  | 製造課 第三製造係 IGライン              |
| 田中 信也  | 製造課 第二製造係                    |
| 森本 利和  | 製造課 第二製造係 ライン長               |
| 西岡 敦   | 製造課 第一製造係 平面研削ライン長           |
| 荒木 省吾  | 製造課 第二製造係                    |
| 松本 修一  | 製造課 第三製造係 M/C ライン            |
| 本田 伸浩  | 製造課 製造技術部リーダー                |

管理員

| 氏名    | 所属・役職         |
|-------|---------------|
| 高下 博史 | 経営企画室室長 兼 研究員 |
| 羽地 将幸 | 経営企画室 兼 研究員   |

福岡工業大学

研究員

| 氏名    | 所属・役職                        |
|-------|------------------------------|
| 仙波 卓弥 | 工学部 知能機械工学科 教授 (副総括研究代表者：SL) |
| 天本 祥文 | 工学部 知能機械工学科 准教授              |

管理員

| 氏名    | 所属・役職              |
|-------|--------------------|
| 木村 由紀 | 総合研究機構 事務長         |
| 石橋 正博 | 総合研究機構 産学連携プロデューサー |
| 泉 麻生  | 総合研究機構 係長          |

【協力者氏名（アドバイザー）】

| 委員名   | 会社名・所属名                              | 役職名         | 具体的協力内容   |
|-------|--------------------------------------|-------------|---|
| 山之内良彦 | アルプスアルパイン株式会社<br>生産本部 長岡製造部<br>2グループ | チーム<br>リーダー | 川下企業の立場から、ユーザーニーズに基づいた広角レンズの仕様、及びそれを満たす金型仕様について等のアドバイスを頂く。      |
| 鶴田 正雄 | 株式会社エヌジェーエス                          | 専務<br>取締役   | 超硬合金材料メーカーの立場から、ガラスレンズ金型仕様等についてのアドバイスをいただく。また、金型について実証、性能評価を頂く。 |
| 春木 俊紀 | 株式会社住田光学ガラス<br>新規開拓推進リーダー            | 主査          | ガラス材料メーカーの立場から、超硬合金製金型に対する品質ニーズについてアドバイスを頂く。                    |
| 在川 功一 | 福岡県工業技術センター<br>機械電子研究所               | 研究員         | 超硬合金製ガラスレンズ金型の加工技術についてアドバイスを頂く。                                 |

1-3 成果概要

本事業において得られた成果の概要を表2に示す。NPD 製特殊工具について、目標とする精度でのレーザー加工による製作に成功し、その工具を利用して、視野角が 150° で、外径がφ0.1mm のガラスレンズを製造するための超硬合金製金型を、目標とする精度で開発することに成功した。

| サブテーマ                           | 成果概要   |
|---------------------------------|--|
| 【1-1】NPD 製特殊切削加工工具の試作開発         | レーザー加工により非球面金型用、コア金型用、スリーブ金型用の NPD 製特殊切削加工工具をそれぞれ試作し、工具先端 R0.03mm 以下、形状精度 0.005mm 以下を達成した。 |
| 【1-2】コア金型に対する切削加工技術の試作開発        | 超硬合金製のコア金型を試作し、真円度0.001mm以下、円筒度0.001mm以下、直角度0.001mm以下を達成した。                                |
| 【1-3】スリーブ金型に対する切削加工技術の試作開発      | 超硬合金製スリーブ金型を試作し、真円度0.001mm以下、円筒度0.001mm以下、直角度0.001mm以下、平面度0.001mm以下を達成した。                  |
| 【1-4】非球面金型に対する切削加工技術の試作開発       | 超硬合金製非球面金型を試作し、形状精度PV0.3μm以下、表面粗さRa5nm以下、コーナーR0.05mm以下を達成した。                               |
| 【2-1】NPD製工具の実用化開発               | 非球面金型用のNPD製特殊工具の加工条件の確立を行い、連続切削加工、切削距離の把握等ができた。  |
| 【2-2】視野角度150°、φ0.1広角ガラスレンズ金型の開発 | 川下メーカーが設計した金型の品質評価を終え、ガラスレンズの成形試作を実施した。  |
| 【2-3】ガラスレンズ金型に対する最適切削加工条件のマクロ開発 | 超硬合金に対する最適切削加工条件のマクロプログラムの開発を行い、コア及びスリーブ・非球面金型を完成した。                                       |
| 【3-1】性能・実証評価                    | 試作したガラスレンズの光学特性評価を実施した。  |

#### 1-4 当該研究開発の連絡窓口

本研究開発についての連絡窓口は、以下の通りである。

氏名：高下 博史

所属：株式会社ワークス 経営企画室

住所：〒805-0048 福岡県遠賀郡遠賀町虫生津 1445-1

電話：093-291-1778

ファックス：093-291-2728

Eメール：[info@wks-co.com](mailto:info@wks-co.com)

## 第2章 本論

### 2-1 はじめに

今回、研究開発を行ったガラスレンズ金型は、図4に示すように、3つの部品に分かれている。円筒の筒型の金型部品を「スリーブ金型」、スリーブ金型に挿入される丸い台形の部品を「コア金型」（上コアと下コア）と呼ぶ。コア金型は、まず先端が平面のものが製作されるが、その後にレンズ形状に合わせて曲面の加工が行われる。コア金型に非球面レンズの形状を加工したものを「非球面金型」と本研究開発では呼ぶ。これらの金型部品を使って、成形機でガラス材料を成形し、冷却して固化することによってガラスレンズが製造される。

本研究開発では、表1に示した8つのサブテーマ（【1-1】、【1-2】、【1-3】、【1-4】、【2-1】、【2-2】、【2-3】、【3-1】）を設定し、それぞれに各年度の目標値を設定して、3年間の研究開発を進めた。

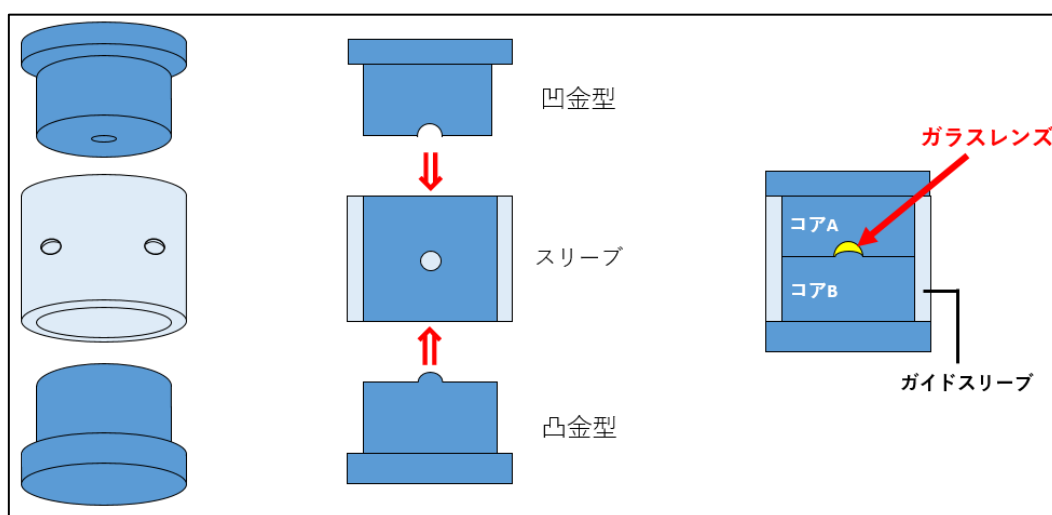


図4 開発するガラスレンズ金型の構成

#### 2-2-1 NPD 製特殊工具の試作開発（サブテーマ【1-1】）

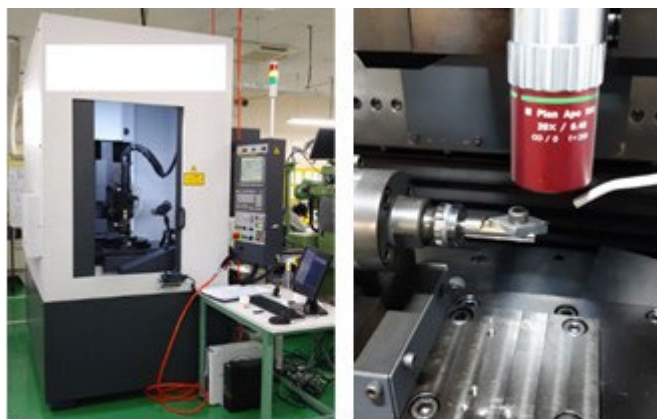
##### （1）研究内容

コア金型、スリーブ金型、非球面金型の各金型の加工に適したNPD製特殊工具の設計を、株式会社ワークスで行い、株式会社ワークスに初年度に設備導入したレーザー加工機で、NPD製工具（市販品）に対してナノ秒レーザー加工を行うことで、NPD製特殊工具を製作した。また、株式会社ワークスに第二年度に設備導入した測定電子顕微鏡で、製作したNPD製特殊工具の観察、評価を行った。

視野角  $150^\circ$  のガラスレンズを製作するには、金型の非球面部のコーナー部の  $R^{*1}$  が  $0.05\text{mm}$  以下である必要があるが、従来の砥石による研削加工では、 $R0.25\text{mm}$  が限界であった。NPD製特殊工具を開発すれば、加工中の摩耗がなく、 $R0.05\text{mm}$  が実現できると見込まれたため、NPD製特殊工具を製作することになった。

※1 「コーナーR」とは、丸みがある部分の半径のことである。

NPD は、他の単結晶ダイヤモンド（SCD）や焼結ダイヤモンド（PCD）に比べて2倍の強さがある世界最強度のダイヤモンドである。NPD製工具は市販されているが、市販品は、今回の研究開発の対象である広角度で小径のガラスレンズの金型の加工には適した形状ではないため、レーザーで追加工することで、適した形状に変えることができる。



＜レーザー加工機＞ ＜レーザー加工機加工部＞

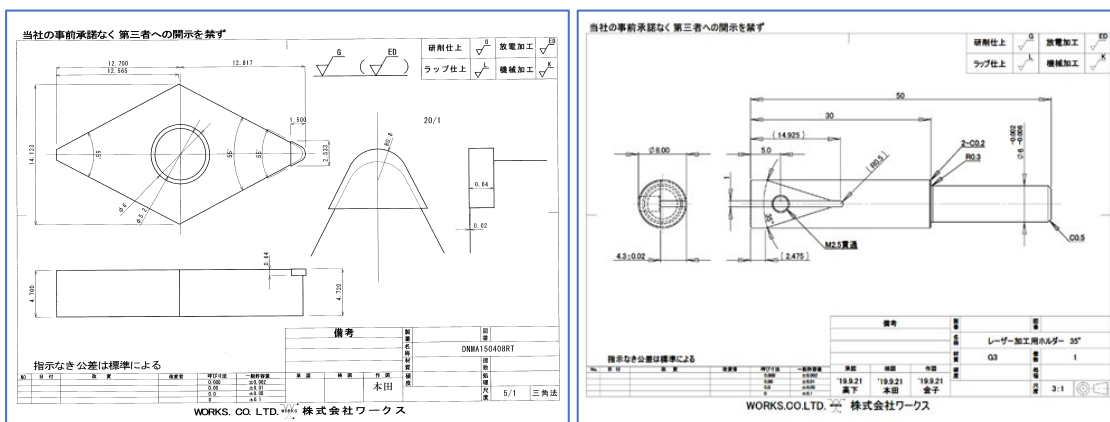
図5 試作に使用したレーザー加工機

NPD は、研削や研磨による加工ではほとんど加工できず、放電等の電気加工も難しいことから、短時間で加工するには、レーザー加工が必要である。福岡工業大学では、従来から、NPD に対するナノ秒レーザー加工を研究していたため、先行してNPD 製特殊工具の試作開発を進めたが、それとともに、株式会社ワークスの研究者が福岡工業大学に出向き、レーザー加工技術の技術教育、指導を受けた。株式会社ワークスの研究者が、福岡工業大学で学んだ技術を自社の設備（レーザー加工機、図5）で実践し、NPD 製特殊工具の試作開発を進めた。

NPD 製特殊工具の種類としては、以下の6種類を設計、製作した。また、NPD 製特殊工具を加工の際に固定するための工具ホルダーについても設計、製作を行った（図6）。

【設計した NPD 製特殊工具】

- ① 外径・端面加工用
- ② 内径粗加工用 A
- ③ 内径粗加工用 B
- ④ 内径コーナー加工用
- ⑤ 非球面粗加工用
- ⑥ 非球面仕上げ加工用



＜NPD 製特殊工具 設計図（一例）＞

＜工具ホルダー設計図＞

図6 NPD 製特殊工具および工具ホルダーの設計図

## (2) 成果

NPD 製特殊工具のレーザー加工にあたっては、レーザーの周波数や加工経路等についても試行錯誤を重ね、最適なレーザーの周波数や加工経路の研究をした。

測定電子顕微鏡による観察、評価では、レーザー加工後、金型製品加工後の NPD 製特殊工具に欠けや割れがないことを確認した。

また、金型の切削加工を繰り返すことで、ノーズ R<sup>※2</sup>、すくい角<sup>※3</sup>、逃げ角<sup>※4</sup>等の刃先形状の最適化を行った。

※2 「ノーズ R」とは、切削に使うチップの角についている丸みの半径のことである。

※3 「すくい角」とは、切削される工作物の面（基準面）と切削工具とが摩擦するとき切りくずを流し出す面（すくい面）が成す角度のことである。

※4 「逃げ角」とは、刃の先端部分と工作物との接触を避けるための、刃の逃げ面と工作物の面との間にできた隙間の角度のことである。

レーザー加工条件の見直しを繰り返し、NPD 製特殊工具について、最終的に第三年度に目標を達成した。

### 【目標達成の推移】

初年度：工具先端 R0.05mm 以下、形状精度 0.01mm を達成。

第二年度：工具先端 R0.03mm 以下、形状精度 0.007mm を達成。

第三年度：工具先端 R0.03mm 以下、形状精度 0.005mm 以下を達成（目標達成）。



〈NPD 製特殊工具〉



〈NPD 製特殊工具先端〉

図6 試作した NPD 製特殊工具

## 2-2-2 コア金型に対する切削加工技術の試作開発（サブテーマ【1-2】）

### （1）研究内容

真円度<sup>※5</sup>、円筒度<sup>※6</sup>及び端面部の直角度<sup>※7</sup>を0.001mm以下の精度で加工するという最終的な目標値で、コア金型の試作開発を行った。

コア金型の切削加工に取り組む前には、超合金製の丸棒素材を用いて加工実験を行い、主軸回転数、切削速度、送り量、切込み量等について、最適加工条件の研究を行った。

まず、金型設計を行い、チッピングを起こさない切削加工条件を適用してNPD製特殊工具でコア金型の加工を行った。加工後に形状評価を行った。

※5 「真円度」とは、どれだけきれいな丸であるかを数値で表したもので、基準円に対する最短の直径と最長の直径それぞれの差を足したもので、数値が小さければ小さいほど真円に近いということになる。

※6 「円筒度」とは、どれくらい正確な円筒形であるかを示す数値で、円筒表面が半径距離だけ離れた同軸の二つの円筒の間になければならないことを示す。

※7 「直角度」とは、データム直線やデータム平面に対して、直角な幾何学的直線、幾何学的平面からの平行であるべき直線形体または平面形体のひらきの値のことである。

### （2）成果

超合金製のコア金型の設計を行い、【1-1】で製作したNPD製特殊工具を用いたコア金型の加工を実施した。チッピングを起こさない適正加工条件を確立した。

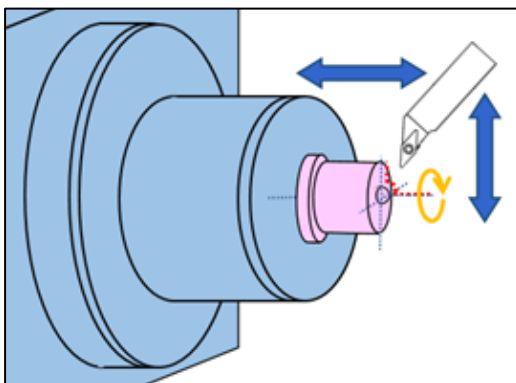
#### 【目標達成の推移】

初年度：コア金型の真円度、円筒度、直角度がそれぞれ0.005mm以下を達成。

第二年度：コア金型の真円度、円筒度、直角度がそれぞれ0.003mm以下を達成。

第三年度：コア金型の真円度、円筒度、直角度がそれぞれ0.001mm以下を達成。

（目標達成）



＜コア金型の加工イメージ＞



＜コア金型＞

図7 試作したコア金型

## 2-2-3 スリーブ金型に対する切削加工技術の試作開発（サブテーマ【1-3】）

### （1）研究内容

スリーブ金型の内径の真円度、外径の真円度、円筒度、平面度<sup>※8</sup>、及び端面に対する直角度を 0.001mm 以下の精度で加工するという目標で、試作開発を行った。スリーブ金型は、コア金型が上下に駆動する際のガイドの役割を担う金型部品である。精密なガラスレンズを成形するためには、コア金型が 0.001mm 以下の直進性で精密に摺動しプレスする必要がある。

本サブテーマでは、初年度に確立したチッピングを起こさない切削加工条件を適用し、NPD 製特殊工具でのスリーブ金型の加工に取り組んだ。また、加工後に形状評価を行った。

※8 「平面度」とは、平面の滑らかさ（均一性）を示す数値で、平面部分が、平行である二面の間に、はみ出ることなく収まっていることを要求する。

### （2）成果

スリーブ金型の加工では奥行方向の加工が必要なため、独自のスリーブ加工用 NPD 工具を製作した。【1-1】で試作した NPD 工具と独自設計した工具用ホルダーを組み合わせた。外観を図 8 に示す。



図 8 スリーブ加工用 NPD 工具

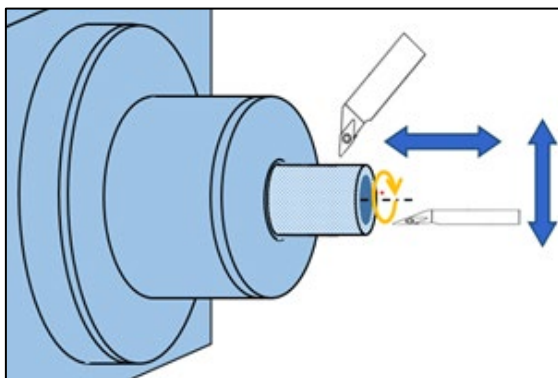
#### 【目標達成の推移】

初年度：スリーブ金型の真円度、円筒度、直角度がそれぞれ 0.005mm 以下を達成。

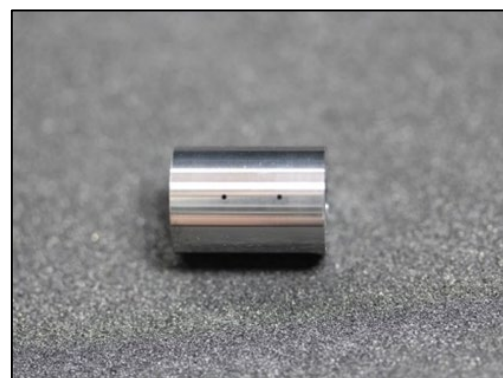
第二年度：スリーブ金型の真円度、円筒度、直角度がそれぞれ 0.003mm 以下を達成。

第三年度：スリーブ金型の真円度、円筒度、直角度がそれぞれ 0.001mm 以下を達成。

（目標達成）



＜スリーブ金型の加工イメージ＞



＜スリーブ金型＞

図 9 試作したスリーブ金型

## 2-2-4 非球面金型に対する切削加工技術の試作開発（サブテーマ【1-4】）

### （1）研究内容

非球面金型の形状精度<sup>※9</sup> PV0.3 ミクロン以下、表面粗さ<sup>※10</sup> Ra5nm 以下、コーナーR0.05mm 以下の精度で加工するという目標で、試作開発を行った。

非球面レンズ形状をナノメートル精度で加工するには、加工狙い寸法よりも微小径の R 形状を持つ NPD 製特殊工具を用いて、3 軸制御加工を行わなければならない。本サブテーマでは、株式会社ワークスの既設の 5 軸制御ナノメートル加工機を使用して、非球面金型に対して切削加工工具の先端切れ刃の 1 点のみで加工可能な同時 3 軸制御の特殊加工プログラムを開発して、非球面形状を加工する技術を開発した。初年度に確立したチッピングを起こさない切削加工条件を適用し、NPD 製特殊工具で非球面金型の加工を行い、加工後に形状評価等を行った。

※9 「形状精度」とは、対象物の形状を決める幾何公差で、真っ直ぐさや丸さ、平さ、輪郭などを測定する。PV とは Peak to Valley のことで、最大値から最小値の差である。

※10 「表面粗さ」とは、加工したワークの表面の粗さを評価するための指標で、Ra は算術平均粗さを示す。

### （2）成果

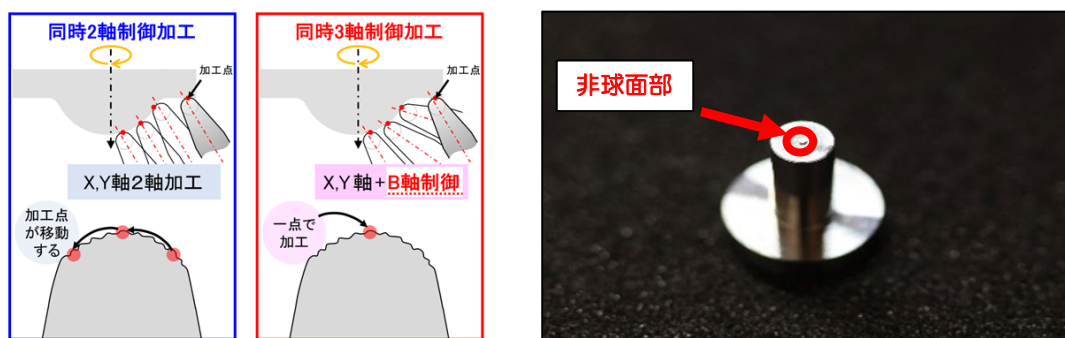
NPD 工具による非球面金型の加工条件を検討した結果、以下の結果を得た。

【得られた非球面形状の推移】

初年度：形状精度 PV1 ミクロン以下、表面粗さ Ra20nm 以下、  
コーナーR0.1mm 以下を達成。

第二年度：形状精度 PV0.5 ミクロン以下、表面粗さ Ra10nm 以下、  
コーナーR0.08mm 以下での非球面金型の加工を達成した。

第三年度：形状精度 PV0.27 $\mu$ m、表面粗さ Ra4.8nm、  
コーナーRは 0.049mm を達成（目標達成）。



<同時 2 軸加工と同時 3 軸加工の違い>

<非球面金型>

図 10 試作した非球面金型

## 2-3-1 NPD 製特殊工具の実用化開発（サブテーマ【2-1】）

### （1）研究内容

工具先端 R0.03mm 以下、刃先形状 R0.005mm 以下で製作した NPD 製特殊工具による加工条件の確立に取り組んだ。まず、工具先端 R0.03mm 以下、刃先形状 R0.005mm 以下で製作した NPD 製特殊工具による加工条件の確立を行った。

次に、アドバイザーからの助言に基づき、工具先端 R0.025mm の NPD 製特殊工具で、超合金製丸棒の連続切削加工を行い、工具摩耗量と切削距離の関係についての調査を行った。最後に、角度の違う（角度なし、角度 35°、角度 45°）チャンファー<sup>※11</sup>による 6 時間連続切削加工テストを行い、真円度、円筒度、表面粗さの調査を行った。

※11 「チャンファー」とは、面取りした角のことである。

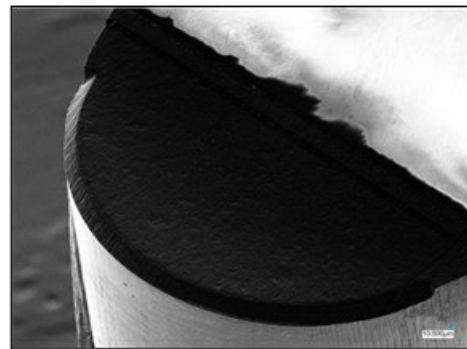
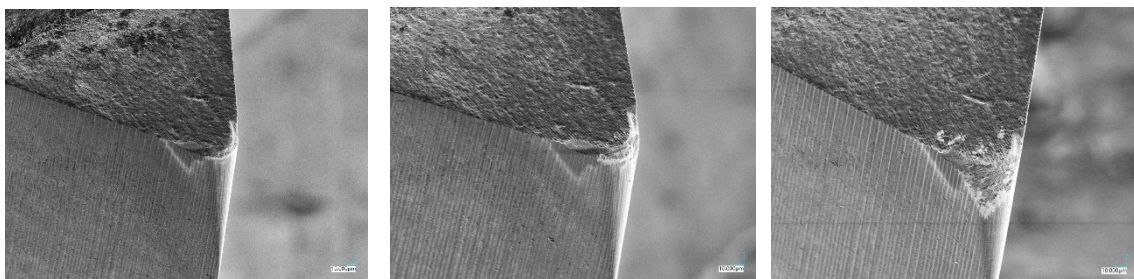


図 11 チャンファーのある刃先

### （2）成果

連続加工の結果、カケ等の発生については、4 時間後（切削距離 3,577.2m）までは摩耗もなかったため、単純軌道の外径切削では長時間の加工に問題がないことが分かった。5 時間後（切削距離 4,471.5m）には、約 10 $\mu$ m、6 時間後には約 30 $\mu$ m のカケが発生したものの、NPD 製特殊工具は長時間の加工に耐えうるということが分かった（図 12）。



<連続加工 2 時間後>

<連続加工 4 時間後>

<連続加工 6 時間後>

図 12 連続加工後の NPD 工具先端形状

角度の違うチャンファーをつけての加工では、チャンファー無しの場合に、刃先のダメージが一番大きく、チャンファー 35° の場合に、ダメージが一番少なかった。また、チャンファー 35° の場合に、加工精度が一番高かった。このことから、チャンファーの角度によって、工具の摩耗や加工精度に影響があることが判明した。

## 2-3-2 視野角度 150°、φ0.1mm 広角ガラスレンズ金型の開発（サブテーマ【2-2】）

### （1）研究内容

コア、スリーブ、非球面の各金型の品質評価をアドバイザー企業である株式会社住田光学ガラスが行い、金型の加工条件を確立した。株式会社ワークスと株式会社住田光学ガラスの測定装置について、ニュートン原器<sup>※12</sup>と相関用サンプル（株式会社住田光学ガラスが所持）を使用して、装置間の測定値の相関をとり、金型の品質評価を行った。

※12 「ニュートン原器」は、光学部品の表面精度、曲率精度の基準として用いられる。



＜ニュートン原器＞



＜相関用サンプル＞

図 13 ニュートン原器と相関用サンプルの外観

### （2）成果

相関をとった装置で非球面金型の形状精度を測定したところ、株式会社ワークスでは、PV が 0.063 $\mu\text{m}$ 、株式会社住田光学ガラスでは PV が 0.083 $\mu\text{m}$  となり、最終年度の目標値 PV0.3 $\mu\text{m}$  以下を達成していることを確認できた。

## 2-3-3 ガラスレンズ金型に対する最適切削加工条件のマクロ開発（サブテーマ【2-3】）

### （1）研究内容

ガラスレンズ用のコア、スリーブ、非球面の各金型の目標精度に応じた、加工に用いる工作機械用のマクロプログラムを開発した。開発方法は以下の手順で実施した。

- ① 外径寸法、内径寸法等の必要な寸法入力シートの作成
- ② 送り速度、回転速度等の必要な加工条件入力シートの作成
- ③ 1回の切込量、トータル切込量、補正量の入力シートの作成
- ④ MAIN G コード、M コードを入力したベースポストシートの作成
- ⑤ SUB G コード、M コードを入力したベースポストシートの作成
- ⑥ ①②③を演算させた MAIN SUB マクロ文シートの作成
- ⑦ ⑥について加工機械に合ったデータ処理を実施

開発したマクロプログラムでは、主軸回転数、進入 R（進入経路の曲線の半径）、進入 F（進入速度）をマクロ内の計算で算出できるようになっている。非球面金型のマクロプログラムについては、チッピングが起きにくくするため、ストレート進入から R 進入へ変更を

| 使用するマクロ変数と意味  |   |
|---|---|
| 加工開始前入力   | #510 1回の切り込み量(mm)<br>#511 初期開始位置指定(Zエアオフセットを入力する値)。<br>#512 指定切り込み最終深さ(mm)<br>#513 残り切り込み代(mm)・・・プログラム内計算値<br>#514 #513の整数化した数値で、小数点以下を切り捨てた値<br>(砥石半径値の入力も忘れずに行う事)   |
| 参考例   |   |
| メインプログラム  | サブプログラム   |
| <pre> % O0300(R4.002) M21 #2106=#2105      工具番号T10のW10値をW11へ代入。 #2105=#511      #511(初期開始位置)をW10へ入力。 G40T00 M113     ノスR補正。工具番号キャンセル。 G00X-8.004T05   第1アプロチ(X) Z30             第1アプロチ(Z) G04U1 M100      ドウェル砥石軸回転 G00Z18.502M03S500  第2アプロチ G01G99Z26.502F0.1M08  第3アプロチ M99P99Q0301     サブプログラム・・・繰り返し回数は99回固定。 G00G40Z100.T00M09M101  加工回避 砥石STOP G28U0.W0M05     原点復帰 M30             終了 % #511は、素材加工開始時は、0で、加工継続時は、それまで切り込んだ値(#2111:#2110は最終切り込み量)を加工開始前に入力する。 </pre> | <pre> % O0040(O39SUB) M21 G01G99G42X-8.004Z4.202T10F0.2  加工開始手前までアプロチと刃先R補正をON。 Z4.002F0.0025                 加工開始位置へ移動。 G02X0.Z0R4.002F0.0025        加工                                 2行以上空ける事。 Z5.F0.2                       加工逃げ G00G40X-8.004T00             初期位置までX移動。 Z5                             Z位置を正規位置へ。 #513=#512-#2110              #512は最終加工深さを入力しておく。Zオフセットとの差計算。 #514=ROUND[#513*10000]      #512と#2110が同一の場合、#513は計算誤差が残り0にはならない為 IF[#514EQ0]G0T01           #514がゼロになれば、N1へ飛ぶ。 IF[#513GT#510]G0T02        #513が1回の切り込み量よりも小さい場合、N2へ飛ぶ。(#513、#510はに注意) #2110=#2110+#510            #513が1回の切り込み量よりも大きい場合、#510の1回の切り込み量を継続的に加算して加工を繰り返す。 M01 M99 N1G00G40Z030.T00M09        加工逃げ及び原点復帰して加工完了。メインプログラム先頭へ戻る。 G28U0.W0M05 M30 N2#2110=#2110+#513         #513が1回の切り込み量よりも小さい場合、その差分を加算して再加工する。加工後は、#2110と#513は同じになるので M01 M99 #514=0になり、回避後原点復帰して加工完了する。 % </pre> |

を行い、進入抵抗を減らした。

図 14 マクロプログラムの参考例

## (2) 成果

初年度は、既存の数値演算ソフトを利用し、コア金型、スリーブ金型、非球面金型の各金型に対する切削加工の基本マクロプログラムを作成した。第二年度には、進入方向の変更を行い、各金型の第二年度の数値目標に応じたマクロプログラムに改良を行った。最終年度には、各金型の第3年度の数値目標精度に応じたマクロプログラムが完成した。

完成したマクロプログラムで、実際に、広角度、小径ガラスレンズ用の金型の切削加工を行い、問題なく加工できることを確認した。

## 2-4 性能・実証評価（サブテーマ【3-1】）

### (1) 研究内容

研究開発した金型を用いて、アドバイザー企業である株式会社住田光学ガラスで成形機を用いてガラスレンズの成形を行い、成形後にレンズの光学特性を評価した。成形の前には、金型に離型膜コーティングを行い、離型性<sup>\*13</sup>を高めた(図 15)。成形したレンズについて、CMOS 顕微鏡を利用して画角評価<sup>\*14</sup>を行った(図 16)。

※13 「離型性」とは、型離れ性のことであるが、金型で成形した部品は、金型と強い圧力で密着しているため、型から外れにくいことがある。

※14 「画角」とは、カメラで撮影した際に実際に移る範囲を角度で表したもので、広角レンズほど画角は広がる。



図 15 レンズおよびレンズ金型の評価の流れ

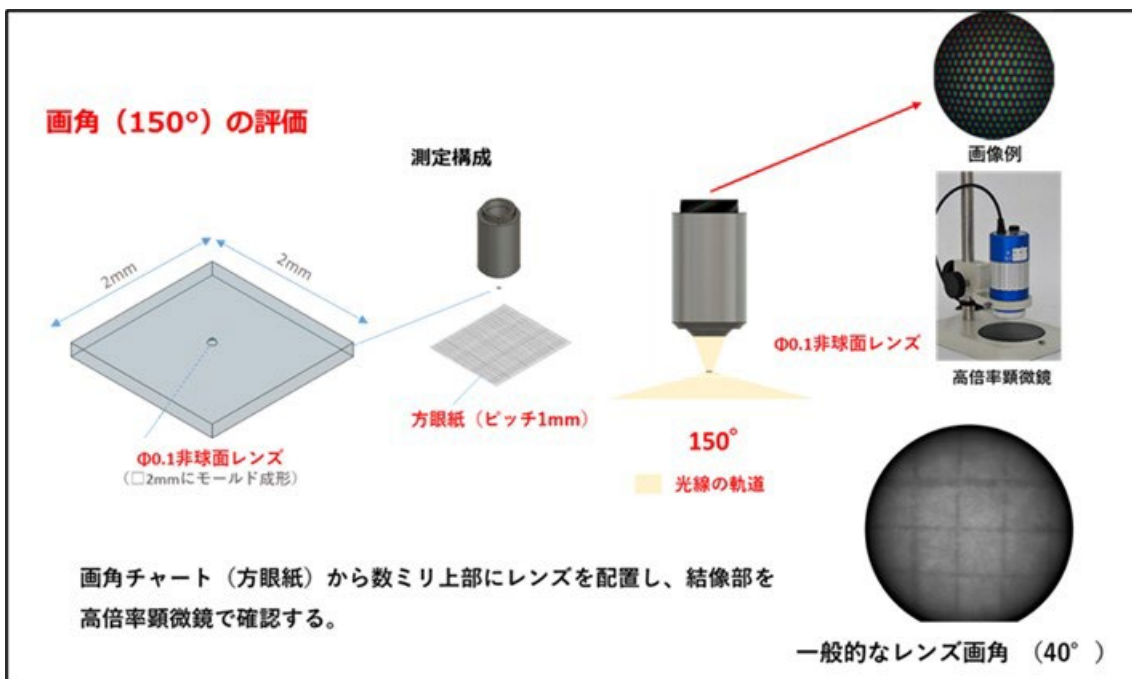


図 16 レンズの画角評価

## (2) 成果

画角評価の結果、試作したガラスレンズの画角は目標値 150° に対して、実際は 120° であることが分かった。試作したガラスレンズを高倍率顕微鏡で確認しながらマイクロメーターで目視確認したところ、設計値の高さ 110 $\mu$ m の形状には成形されていないことが分かった。原因は、エア抜きができていないためであった。そのため、プリフォーム<sup>※15</sup>に突起を形成して成形するという対策を考え、実施したところ、エア抜きはできたが、クラックが発生した。レンズ材料を変更して、クラックのないレンズ成形に成功した。

※15 ガラスレンズ用「プリフォーム」とは、レンズ材料のことで、形状は成形に適したものが要求される。

## 最終章 全体総括

### 3-1 総括

本研究開発の目標は、「安全な自動運転技術に貢献する車載ガラスレンズを製作するために、世界最高強度を持つナノ多結晶ダイヤモンド（NPD）製工具の高精度切削加工技術を活用した広角度・超合金製ガラスレンズ金型を開発する」ということであった。

その目標に向けて、まず、NPD 製工具（市販品）をレーザー加工機で加工し、NPD 製特殊工具の研究開発を行った。

次に、広角度で小径のガラスレンズを製造するためのガラスレンズ金型を構成する、コア、スリーブ、非球面の各金型部品について、NPD 製特殊工具による加工精度を高める取り組みを行った。同時に、加工時のNPD 製特殊工具の耐久性能等についても確認した。

最終的に、加工した金型でアドバイザー企業にガラスレンズ成形を行ってもらい、成形されたガラスレンズの光学特性評価を行ってもらうことで、将来的に実用化が可能な広角度で小径のガラスレンズの金型が開発できたことを確認した。

この金型を用いることで、将来的に視野角が  $150^\circ$  でレンズ径が  $\phi 0.1\text{mm}$  のガラスレンズの製作が可能になることを、本研究開発を通じて示すことができた。また、NPD 製特殊工具を用いた切削加工技術の有用性や今後の応用可能性についても確認することができた。今後は、今回試作開発したガラスレンズ金型の事業化に取り組み、自動車の安全運転支援、自動運転等の分野で広角度、小径のレンズが使われることで、社会に貢献する技術となることが期待される。

また、本研究開発で開発したNPD 製特殊工具による加工は、レンズ金型以外の分野でも応用できる技術であるため、今後、応用の可能性についても考えていきたい。

### 3-2 アドバイザーによる講評

本研究開発について発表や討議を行う推進委員会の会合では、アドバイザー等から次のような講評があった。

（アルプスアルパイン株式会社殿）

本研究は、必要なガラスレンズ形状である極小 R 加工を着眼点に特殊工具開発を進めてこられたテーマですが、超合金製の金型を製作するに際しては極小形状の加工はもとより他形状加工においても応用できる研究テーマであると捉えています。精密な超合金製の金型加工を安価で対応する為には、工具の摩耗をどう抑えるかが非常に重要なポイントであり、本テーマは極小加工、耐摩耗性の観点では素晴らしい開発であり、今後の超合金製の金型加工分野に大きな進歩を与えたものと考えています。本技術の更なる実用化と発展する事を祈念するとともに本研究開発に携わったワークス様、福岡工業大学の関係者の方々に敬意を表し、今後のご活躍を祈念致します。

(株式会社エヌジェーエス殿)

世界一レベルの実用製品づくりを目指した共同研究開発として、素材から新切削工具開発、金型設計、加工、レンズ成形まで一貫した好適なチーム編成と実行状況であったと思う。レーザー加工による新加工工具 NPD と超々精密研削加工技術に超高硬度 SPS 焼結体のナノ pure-タングステンカーバイド M78、WC100 素材への適用範囲と特性に関し合格レベルの知見が得られたことは極めて有益であった。レンズ金型材料性能とし焼結体微細組織・結晶粒度と面粗さ・精度、成形損耗度、レンズ転写性などの相関データも欲しいところであったが今後の課題であろう。開発期間 3 年間は設定テーマに対し不足気味の感あり、最終的な所望広角度レンズの特性について今後の更なる開発結果を待ちたい。

(株式会社住田光学ガラス殿)

3 年という短期間で、工具開発と金型加工への適応を達成されたことは、ワークス様の高度な加工技能であれば当然の結果なのではと驚くばかりです。本事業により、従来より高耐熱かつ広角な高精度微小レンズの量産化が期待でき、視覚センサが使用される用途が飛躍的に広がることと存じます。今までは微小レンズといえば化学反応による製法が主で、レンズの形状に限界が見えてましたが、本事業での工具開発により形状自由度が大幅に向上しました。そのため、車載用途に限らず工業用検査用途においては”高品質なモノづくり”に貢献できることを確信しております。

(福岡県工業技術センター 機械電子研究所殿)

NPD 製工具は高精度かつ超精密加工が要求される微細レンズ金型において、重要な技術になっていくものと考えます。この技術を他の精密金型の加工技術へと展開されることを期待します。また、今回の事業の成果である、車載カメラレンズの広角化については、今後の自動運転技術や衝突軽減・回避機能に大きく寄与するものであり、自動車分野だけでなく、今後の成長が見込まれる無人航空機や空飛ぶクルマの分野などでも応用展開できるものと思われます。引き続き NPD 製工具のさらなる長寿命化、高品質化等の技術開発をよろしくお願いします。

### 3-3 研究開発後の課題

本研究開発で明らかになった課題としては、次のようなことがある。

- ガラスレンズの成形時にエア抜きの技術が必要である。
- 金型製作のコストが、市場のニーズと合うかについては検討が必要である。
- 屈折率の高いガラス材料を開発する必要がある。

### 3-4 今後の事業化展開について

今後は、広角度（広視野角）で小径のガラスレンズ用の金型について、新聞・雑誌等での発表や、川下企業への金型サンプルの提供等に取り組み、研究開発成果の事業化を進めていきたい。金型サンプルを提供する川下企業としては、光学メーカー、光学ファウンドリー、レンズ成形メーカー等を考えている。更に、展示会等に金型やガラスレンズのサンプル品を出展し、来場者に評価を聞いて、その内容を今度の開発にも活かしていきたい。

これまでには、2022年4月に Medtec Japan に出展し、研究開発成果のPRを行っている。また、2022年4月に金型新聞にレンズ金型の開発について発表したことによって、多くの問い合わせをいただいた。その結果として、新たに内視鏡の開発案件を受注することができた。

本研究開発の内容は、広視野角で小径のガラスレンズの試作までにとどまっており、そのガラスレンズの大量生産のための準備はまだできていない。そのため、今後、アドバイザー企業とも連携し、大量生産のための成形技術に対応していく予定である。