### 令和元年度

### 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

# 「低温高密度プラズマ改質技術を用いた赤外用レンズ量産製造用金型の 開発」

研究開発成果等報告書

### 令和2年3月

担当局 近畿経済産業局

### 補助事業者

公益財団法人 京都高度技術研究所

# 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)研究開発の背景及び研究目的	1
(2)研究目標	3
<ul><li>(3)当初目標に対する実施結果</li></ul>	4
1-2 研究体制(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
1-3 成果概要	8
【1】 金型材料改質に関する研究開発	8
【2】 新材料の金型加工に関する研究開発	8
【3】 新材料を用いたカルコゲナイドガラスの成形技術に関する研究開発	9
1-4 当該研究開発の連絡窓口	9
第2章 本論	9
サブテーマ【1】金型材料改質に関する研究開発	9
サブテーマ【2】新材料の金型加工に関する研究開発	14
サブテーマ【2-1】窒化面に対する鏡面化技術の開発	14
サブテーマ【2-2】ダイヤモンド工具寿命の延長に関する技術開発	21
サブテーマ【3】新素材を用いたカルコゲナイドガラスの成形技術に関する研究	開発30
サブテーマ【3-1】モールド成形による赤外レンズの成形および耐久性評価	
サブテーマ【3-2】シミュレーションによる新素材金型の成形条件最適化	31
サブテーマ【3-3】赤外レンズの試作成形およびその性能評価	34
最終章 全体総括	

#### 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)研究開発の背景及び研究目的

#### 〇研究開発の背景(これまでの取組など)

#### <赤外線カメラ市場が急速に拡大。が、赤外レンズのコストダウンが課題>

赤外線イメージセンサーの市場が拡大している。フランスの調査会社 Yole Developpement 社が 2015年6月に発表したデータによると、非冷却型サーマルカメラ(赤外線カメラ)の2014年におけ る市場規模は、台数ベースで対前年比30%増だった。今後も2020年にかけて台数ベースの年間平均 で23%の成長を見込む。 Yole 社は、さらに、2020年に赤外線カメラの出荷台数は1000万台を超 えると予測。同様の調査結果は、テクノリサーチシステム社からも発表されており、ここでも、ここ 5年ほどの間に、10倍規模の市場成長が予想されている。(図1)



### 遠赤外線カメラ市場予測

#### 図1 赤外線カメラ世界市場予想

この背景には、世界的に安全・安心社会の実現上、各分野での赤外線カメラ導入が必須になってき ている事情がある。(図2)



図2 安心・安全社会実現のため必須である赤外線カメラ

市場成長を牽引する一つが、車載用と考えられている。実際、2016 年、欧州自動車安全試験である Euro NCAP において、歩行者検知の機能が試験項目に加わった。これは保険の割引と連動した制度でもあるために、ナイトビジョンが、一気にほぼすべての車種に拡大すると考えられている。

ナイトビジョン普及のカギは、コストである。現在、車載向け赤外カメラの価格は、30 万円以上 であるが、普及のためのターゲット価格は10万円(以下)とされている。(株式会社 Vision Sensing 「ナイトビジョンカメラの現状と将来技術」2015 より) 量産効果の期待できるセンサーと異なり、 レンズは、素材や工法を抜本的に見直す必要がある。現在、赤外カメラユニットの 20%以上の減価 を構成するレンズのコストダウンは、喫緊の課題である。(表1および図2参照)



図3 ナイトビジョンカメラ(車載赤外カメラ)の予想

表1 ナイトビジョンの原価構成(Vision Sensing 社レポートより)

構成要素	原価構成比
センサー(パッケージ等含む)	29%
レンズ	22%
その他	49%

一方、安全性能向上に対応し、レンズの性能向上も同時に達成する必要がある。特に、使用波長領 域の広い赤外線分野では、特開 2012-103461 示されるように、下図2に示すような複雑なDOE構 造を非球面に重畳することで、色収差を取り除き、レンズの性能を向上させたレンズの作成が必要と なる。

すなわち、低価格で高精度複雑形状を持つレンズの製造を行うことが求められている。



図4 DOE構造を有する赤外線レンズ

(2)研究目標

低温窒化技術で改質した表面に、精密微細な加工をほどこすことで、光学レンズ成形に使用できる 品位の金型を製作する。新素材に対応した加工方法の開発が目標となる。 具体的目標値は以下となる。

【1】 金型材料改質に関する研究開発

1-1、形状転写面部分に100μm以上の窒化層を形成。

<u>1-2、表層の化合物層厚さを2μm以下。</u>

1-3、上記を達成する処理時間を8時間以内。

【2】新材料の金型加工に関する研究開発

2-1、ダイヤモンド切削による加工で面粗度算術平均粗さ10nm以下。

<u>2-2、ダイヤモンド工具の摩耗を、切削距離1,250mで、欠損なく摩耗量1 µm以下。</u>

<u>2-3、DOE形状を有する金型の加工精度を、設計値からの形状誤差 0.2 μm 以下、段差</u> <u>底部のRを3 μm 以下。</u>

【3】新素材を用いたカルコゲナイドガラスの成形技術に関する研究開発

3-1、400℃での使用で、金型の変形が1µm以下(事実上の無変形)であり、面粗度

<u>変化も算術平均粗さで 1nm 以下。</u>

3-2、成形したレンズに関し設計値からの形状誤差 0.5 μm 以下、段差部充填率 90%以上

#### <u>3-3、成形レンズを組み、MTF値を赤外線イメージ・センサーのナイキスト周波数の半</u> 分の空間周波数のところで、50%以上。(@fN/2=20.8lp/mm)

(3) 当初目標に対する実施結果

技術目標値	関連サブ	現状
	テーマ	
形状転写面部分に 100μm 以上の窒	1-1	表面からの項荷重硬さ試験、切断した断
化層を形成		面酵素測定いずれの方法でも達成を確認
		した。
表層の化合物層厚さを2μm以下	1-1	切断断面観察法により、厚み1μm程度で
		あることを確認、達成した。
上記を達成する処理時間を 8 時間以	1-3	処理時間 6 時間で上記深さ及び加工物厚
内		さの目標を達成した。
ダイヤモンド切削による加工で面粗	2-1	達成した。また、切削条件と達成面粗度
度算術平均粗さ1 Onm 以下		の関係を明らかにした。
ダイヤモンド工具の摩耗を、切削距	2-2	達成した。
離 1,250mで、欠損なく摩耗量1μ		
m 以下		
DOE形状を有する金型の加工精度	2-3	達成した。
を、設計値からの形状誤差 0.2μm		
以下、段差底部のRを3µm以下		
400℃での使用で、金型の変形が	3 - 1	す法変化、面粗度変化とも、変化量は測
1μm 以下(事実上の無変形)であ		定誤差程度であり、達成した。
り、面粗度変化も算術平均粗さで		
1nm 以下		
成形したレンズに関し設計値からの	3-3	形状誤差、段差部充填率ともに達成し
形状誤差 0.5 µm 以下、段差部充		た。
填率 90%以上		
成形レンズを組み、MTF値を赤外	3-3	12μm センサー用に設計したユニットを
線イメージ・センサーのナイキスト		開発し、評価を行い、ナイキスト周波数
周波数の半分の空間周波数のところ		版分位置で、50%以上を達成した。
で、50%以上。(@fN/2 =		
20.8lp/mm)		

1-2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

- PL: 福田達也(株式会社東海エンジニアリングサービス)
- SL: 相澤龍彦(表面機能デザイン研究所合同会社)

#### (1) 履行体制図

補助事業者、公益財団法人、京都高度技術研究所



(2) 管理員、研究員及び補助員

【補助事業者】公益財団法人 京都高度技術研究所

#### 管理員

氏	;名	所属・役職			実施内容	(番号)
蒲田	知明	地域産業活性化本部	企業成長支援部長		事業進捗	管理
岡本	知子	地域産業活性化本部	企業成長支援部	次長	事業進捗	管理
山口	敏	地域産業活性化本部	企業成長支援部	次長	事業進捗	管理

#### 【間接補助事業者】

研究員

#### 株式会社東海エンジニアリングサービス

	氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
福田	達也(PL)	代表取締役社長	[1-1], [1-3]
蓮見	俊吾	営業技術部部長	[3-1], [3-2]
横山	尚夫	営業技術部主任	[3-1], $[3-3]$
小川	香	管理部部員	【3-3】 経理・帳票管理業務

### 株式会社光技術サービス

氏名の所属・役職			実施内容(番号)
大津	雅信	代表取締役	[2-3]
竹中	大地	製造技術部(加工チームリーダー)	[2-3]
初田	恵	製造技術部(研磨チームリーダー)	[2-3]
福井	聖人	製造技術部(研磨チーム員)	[2—3]

### 地方独立行政法人大阪産業技術研究所

	氏名	所	実施内容(番号)	
本田	索郎	加工成形研究部 主任研究員	精密・成形加工研究室	[2—1]、[2—2]
足立	和俊	加工成形研究部 室長	精密・成形加工研究室	[2-1]、[2-2]

### 表面機能デザイン研究所合同会社

氏	名	所属・役職	実施内容(番号)
相澤	龍彦(SL)	業務執行社員	[1-3]、[3-2]

### 学校法人 芝浦工業大学

	氏 名	所属・役職	実施内容(番号)
吉原	正一郎	芝浦工業大学デザイン工学部・教授	[1–1]、[1–2]、 [3–2]
黒住	修一	芝浦工業大学デザイン工学部・研究員	[1–1]、[1–2]、 [3–2]
鈴木	健一	芝浦工業大学研究推進課・課長	事業管理

(3)研究協力者(アドバイザー)

機関名(個人として参画し た場合は氏名)	代表者 役職氏名	アドバイザー	具体的な協力内容
東昌貿易	代表取締役	①アドバイザー役職・氏名	元トプコン中央研究所研究員と
株式会社	唐沢安泰	営業第2部次長 堀信男	して、長年赤外光学系ンお開発
		②所在地	に携わってきたご経験から、成
		東京都渋谷区恵比寿南 2-7-15	形したレンズのスペック評価に
		③電話番号	関するご助言をいただいた。
		03-3760-8018	また、現在の光学材料・素子商
			社のお立場より、市場動向やレ
			ンズに対する技術ニーズをレク
			チャーしていただく。技術完成の
			暁には、海外への販売窓口とし
			て行動していただいた。
日本電気硝子	代表取締役社長	①アドバイザー役職・氏名	カルコゲナイドガラス材料を開発
株式会社	松本元春	技術本部技術統括部技術企画部	している立場から、その成形特
		主任研究員 佐藤史雄	性に関する助言をいただくととも
		②所在地	に、マーケット動向に関する助言
		滋賀県大津市晴嵐二丁目7番1号	もいただいた。
		③電話番号	
		077-537-1312	
パナソニック	代表取締役社長	①アドバイザー役職・氏名	金型を加工する立場から、本プ
株式会社	津賀一宏	コネクテッドソリューションズ社生産技	ロジェクトの新材料が実際の事
		術センターエ機部光学工法課課長	業に使用できるかどうかを判定
		田中主税	していただいた。
		②所在地	
		大阪府門真市松生町 1-15	
		③電話番号	
		06-6906-2898	
株式会社	代表取締役社長	①アドバイザー役職・氏名	金型を用いて成型をする立場か
ニコン	牛田一雄	コアテクノロジー本 部 研 究 開 発 統	ら、本事業で開発する金型材料
		括 部 材 料 · 要 素 技 術 研 究 所 第 一	と加工により創生された製品面
		材料研究課主任研究員仲井龍志	の品位が、量産成形に耐えうる
		②所在地	か否かを判断し、コメントをいた
		神奈川県相模原市南区麻溝台	だいた。
		1-10-1	
		③電話番号	
		042-740-6491	
学校法人	学長	①アドバイザー役職・氏名	超精密切削と、ダイヤモンド摩
大阪電気通信大学		名誉教授 島田尚一	耗に関するご知見を踏まえ、新
		②所在地	材料の鏡面切削技術の開発に
		大阪府寝屋川市初町 18-8	ご助言いただいた。
		(3)電話番号	
		072-824-1131(代表)	

同上	同上	①アドバイザー役職・氏名	同上
		工学部機械工学科 教授 宇田豊	
		②所在地	
		大阪府寝屋川市初町 18-8	
		③電話番号	
		072-824-1131(代表)	

1-3 成果概要

#### 【1】 金型材料改質に関する研究開発

通常の窒化処理では 500℃を超える温度でなされており、表面の化合物層の形成により、ダイヤモンドバイトでの切削時の欠損や、窒化処理による寸法変化が生じ、狙いとする易加工性と寸法変化のごく少ないことなどの要求を満足することはできない。

そこで本研究開発では、400℃台前半の低い温度で十分な窒化深さを達成できる手法を 開発した。このことにより、易切削性(ダイヤモンド工具での鏡面実現と十分な工具寿命 の実現)と寸法変化のなさを実現することができた。

具体的には、工具欠損の原因となる表層の化合物層をほとんどない(2µm 以下)状態 で、100µmの窒化深さを、8時間以内で実現した。

事業化につなげるために、フォローアップ研究で取り組む課題は、形状やサイズにより、 同じ窒化条件でも十分な深さを達成できない場合があるので、炉内プラズマの分布譲許の 分析と、それを踏まえた試料設置方法の改良である。

#### 【2】新材料の金型加工に関する研究開発

サブテーマ1で実施・作成した試料にたいし、単結晶ダイヤモンドバイトを用いた旋削 加工を行い、鏡面実現性を確かめた。その結果、当初予定の算術平均粗さ 10nm を安定 的に実現することができた。また、切削条件(主としてワーク回転数)と実現面粗度はほ とんど関係がないことも分かった。さらには、鏡面を達成するための窒素含有量も同定す ることができた。

また、実用性を判断するために、バイトの寿命(摩耗量が一定値以下である切削距離) を判定する試験を行い、目標であった 1250mの切削距離に対し、摩耗量を 1 µ m以下に 抑制することができた。

上記基礎実験に基づいて、DOE形状加工を行い、形状精度 0.1 µm を達成した。

#### 【3】新素材を用いたカルコゲナイドガラスの成形技術に関する研究開発

開発した新素材が、カルコゲナイドガラス成形に適しているかを調べるために、加熱サ イクルを実行した前後での寸法変化と面粗度変化を確かめ、いずれも、問題なく使用でき る水準であることを確認した。

自動車搭載用レンズを想定したアサーマル性に優れた光学系を設計した。この設計では、 第二レンズにDOE形状を有するものを用いるが、凸のDOE(金型側は凹)という難易 度の高い形状であるにもかかわらず、レンズ成形が問題なくでき、所望の精度を持った成 形品を製作できた。ちなみに比較のために実施した従来技術であるNiP非晶質メッキを 用いた金型での成形を行ったところ、結晶化による表面割れが原因で、レンズもクラック が生じ、良品が生産できないことが分かった。このことにより、本技術の優位性を確認で きた。

事業化につなげるために、フォローアップ研究で取り組む課題は以下の二点である。

第一は、最終的なレンズユニットの評価に関して、実写による比較を行う計画で進めて いたが、像を取ることはできるが、優位性の比較が難しく、専門家にアドバイスを受けな がら、比較検討していくことである。第二は、この素材と工法が十分に生産に耐えうるこ とを、比較的大きな生産数で、形状等の変化を確認することである。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

(研究等実施機関)

株式会社東海エンジニアリングサービス

代表取締役社長 福田 達也 E-mail:t-fukuda@tes2001.com 電話番号:075-963-6307

第2章 本論

サブテーマ【1】金型材料改質に関する研究開発

このサブテーマでは、ガラスモールドプレス成形用金型として、本技術の実用性を確認するために、切削・研磨・研削代として、窒化層厚さ 100 µ mを保持温度 450 C以下、保持

時間8時間以内に達成することを目標に、生産用窒化プロセスの検討を行った。

これまでの研究開発において、SUS420-J2 材の試験片では、研究開発用に準備したホ ローカソード冶具を用いた窒化実験において、図1の結果を得ている。



図 2.1.1 SUS42O-J2 材の 420℃プラズマ窒化結果。a)8 時間窒化後の断面 SEM 像、 b)2 時間、4 時間、8 時間保持での断面の窒素濃度分布。

すなわち、図 2.1. 1a)に示す試験片断面SEM像より、420℃8 時間で 95 $\mu$ mの窒化 層が得られ、また断面方向の窒素濃度分布でも、90 $\mu$ m深さまで 2-3 mass%の高濃度を 保持している。この結果より、450℃8 時間で 100 $\mu$ m窒化層達成は、かなり高度な目標 値であるが、開発した高密度低温プラズマ窒化により実現可能であると判断した。



図 2.1. 2 各種実験系における RF 電圧の時刻歴変化。

次に、生産用窒化プロセス因子の影響評価を行った。最初に、当該低温プラズマ窒化プロ セスでキーとなる RF 電圧の時間推移に注目し、代表的な実験系にたいして、その結果をま とめて図 2 に示す。上記の RF 電圧の時刻歴より、2つの条件に分けてプロセス条件を考え ることができる。すなわち、RF 電圧が 560V 一定のプロセス条件と 510V 一定の条件で ある。負荷荷重を変化させた表面硬さ試験では、押し込み深さにより表面硬さに大きな変化 がなければ、その深さまでは窒化層であると判断することができる。特に基材が溶製材の場 合、押込み深さの 6 倍にあたる塑性域深さも窒化層厚さを推定する根拠になる。

表 2.1.1	RF 電圧 560V	一定の低温プラス	マ窒化条件	での表面かたさ試験デー	タ
---------	------------	----------	-------	-------------	---

処理番号		NRM	434	試料番号		A2
	負荷gr					
測定点	500	OD1	OD2	1000	OD1	OD2
1	1539	23.9	25.2	1418	33.82	38.51
2	1487	25.39	24.55	1601	38.64	29.43
3	1480	26.02	24.05	1715	32.96	32.81
4	1428	25.35	25.61	1491	37.42	33.12
5	1566	25.32	23.34	1501	36.18	34.13
6	1520	25.36	24.03	1307	38.99	36.34
7	1489	24.83	25.03	2258	29.89	27.43
8	1602	24.44	23.67	1433	35.66	36.3
9	1752	24.24	21.77	1653	36.72	30.26
平均	1540	24.983	24.139	1597	35.587	33.148
平均	推定深さ	149.9	144.83	推定深さ	213.52	198.89

なお、推定深さは、硬さ試験に伴う塑性影響層を示している。

表 2.1. 2 RF 電圧 51 OV 一定の低温プラズマ窒化条件での表面硬さ試験データ

処理番号		NRM	437	試料番号		A1
	負荷gr					
測定点	500	OD1	OD2	1000	OD1	OD2
1	1501	23.65	26.07	1188	39.86	39.17
2	1629	24.85	22.87	1219	40.45	37.56
3	1734	24.08	22.17	1255	42.42	34.45
4	1466	26.02	24.28	1150	40.98	39.32
5	1350	30.17	22.24	1081	42.35	40.5
6	1494	25.52	24.31	1284	37.71	38.28
7	1626	23.55	24.21	1300	39.09	36.44
8	1450	25.88	24.7	1338	38.24	36.21
9	1520	25.44	23.96	1167	39.94	39.77
平均	1530	25.46	23.87	1220	40.12	37.97
平均	推定深さ	152.8	143.2	推定深さ	240.7	227.8

最初に、生産プロセス用冶具として、試験片と冶具基準面の距離を 12mmとし、RF 電 圧が 560V 一定のプロセス条件の場合の試験片表面硬さデータを表1に示す。負荷荷重を 変化させても測定される表面硬さは 1500HVを超えており、押し込み深さまでの窒化層が 得られていることがわかった。次に、510V 一定の条件の場合の硬さデータを表2に示す。 この場合には、1kg 負荷で表面硬さが低下しており、窒化層は30 μm程度であることが わかる。このように、生産プロセス用の冶具形状およびプラズマ条件としてRF電圧を変化 させることで、表面硬さが 1500HVを超える窒化層厚さが変化すること、および試験片材 質(合金種)によりRF電圧も変化することから、以下では、表 2.1.1 を参照にして、試 験片材質による窒化層変化を実験的に検討することとした。



図 2.1.3 400℃・4 時間でプラズマ窒化した NAK80 型材表面に形成したマイクロテ クスチュアパターン。

次に、当該低温プラズマ窒化が、ガラス成形用金型に利用できることを実証するために、 NAK80 材を用いた窒化実験、型へのマイクロテクスチュア形成およびモデルガラス(リン 酸塩ガラス)への転写実験を行った。

研究開発用のホローカソード冶具を用いて、NAK8O 型材を 400℃・4 時間窒化し、窒化 後、レーザー加工装置にて、図 2.1.3 に示すマイクロテクスチュアを表面に形成し、モー ルド成形性評価の指標とした。すなわち、窒化金型がモールド成形温度(450℃)で十分な 強度・硬度を有していれば、図 3 のテクスチュアが高精度で転写されることから、モデル ガラスへのマイクロテクスチュアのプレス成形性から、ガラス成形型材としての高効率窒化 特性を証明できる。

実際、モールドプレス成形したモデルガラス材を図 2.1.4 に示す。特に成形したモデルガラス表面のマイクロテクスチュアを測定すると、図 2.1.3 に示すマイクロテクチュアが

高精度で転写されている。このことから、機能性ガラス光学素子の成形用型材として、 NAK80 材への 400℃・4 時間のプラズマ窒化プロセスは有用であることが実証された。 次に、上記のマイクロテクスチャアの機能性ガラス表面への高精度転写性を、ガラス表面特 性の視点から検討してみよう。一般に光学レンズガラス表面は、車載用カメラレンズが雨天 では水滴がガラス表面を濡らすように、親水性であり、水滴のガラスへの接触角度は、40 -60°程度である。この親水性を、光学特性を大きく損なわずに、撥水性に変換できれば、 実用的にも有用であると同時に、上記の窒化型材表面性状の機能性ガラスへの転写性の評価 にも利用できる。転写面の接触角度は、図 2.1.5 に示すように、平均で 136°であり、 きわめて高い撥水性を示している。このことからも、窒化型材をガラスモールド成形に利用 することが、DOEなどのより複雑な機能形状転写に有効であることがわかった。



図 2.1.4 図 2.1.3のマイクロテクスチュアを転写成形したモデルガラス試験片および 測定したマイクロテクスチュア。



図 2.1.5 マイクロテクスチュアを転写成形したモデルガラス上の水滴形状。 静的接触角度が左右平均で 136°となり、撥水性が達成されている。

サブテーマ【2】新材料の金型加工に関する研究開発

大阪産業技術研究所においては、保有する超精密加工機(豊田工機製AHN6O)を用いて、 プラズマ窒化処理した精細金型用鋼(SUS42OJ2改良鋼)の鏡面切削実験と工具寿命試験 を実施し、仕上げ面粗さと工具寿命の観点から、赤外光用金型加工の実用化に必要な目標値 の達成を試みた。仕上げ面粗さの目標値は「算術平均粗さ10nm以下」とし、工具寿命の目 標値は「切削距離1250mで刃先に欠損なく、摩耗量が1μm以下」とした。

サブテーマ【2-1】窒化面に対する鏡面化技術の開発

(1)窒素濃度が仕上げ面性状と工具摩耗に及ぼす影響

第一年度から第二年度にかけては、赤外光用レンズ金型に最適な鋼種を選定するため、マ ルテンサイト系ステンレス鋼の SUS42OJ2 改良鋼から、三つの鋼種(ウッデホルム社製 STAVAX、日立金属製 HPM38S、大同特殊鋼製 D-STAR)を選び、低温高密度プラズマ 窒化処理を施した上で、超精密切削実験を行った。しかしその過程において、加工面の窒素 濃度むらによる加工不良という問題が発生した。以下に、その概要を述べる。

被削材の形状は、直径 36 mm、長さ 15 mm の円柱であり、端面を切削面とした。中心 には直径 10 mm の非貫通穴を設けてある。被削材の低温高密度プラズマ窒化処理は、芝浦 工業大学において、表 2.2.1 に示した条件で実施された。

保持温度	400°C (673 K)
処理時間	4 時間
圧力	70 Pa
ガス比	N2 : H2 = 4 : 1
RF 電圧	250 V
DC バイアス	-500 V

表 2.2.1 被削材の低温高密度プラズマ窒化処理条件

窒化処理の後、前加工で端面の傾きや凹凸を取り除いた後、超精密切削実験を行った。切 削条件を表2に示す。切削方法は端面旋削であり、切削速度が仕上げ面粗さに及ぼす影響 を調査するため、三通りの主軸回転数(150 rpm、500 rpm、1000 rpm)で実験を 行った。工具の送り方向は、試料の外周から内周へ向かう方向である。切削力は水晶圧電式 動力計(Kistler 製 9256A1)で測定した。切削後、走査型電子顕微鏡(日立ハイテクノロ ジーズ製 S-3400N)と白色干渉型粗さ計(Zygo 製 New View 100)によって、工具損 耗と仕上げ面性状を評価した。

	表 2.2.1 切削条件
な広光川キオ	SUS420J2 改良鋼
11X FJ 11Z	(STAVAX、HPM38S、D-STAR)
工具	単結晶ダイヤモンド工具
	円弧切れ刃
工具形状	(ノーズ半径 0.5mm、すくい角 0°、逃げ角
	7°)
切削方法	端面旋削
主軸回転数	150 rpm、500 rpm、1000 rpm
切込み	3μm
送り	10 μm/rev(外周→内周)
切削距離	93.9 m
潤滑油	不水溶性切削液(JIS N1 種 3 号ミスト噴射)

実験の詳細な結果については、第二年度の研究成果報告書に記載したので、ここでは加工 面の窒素濃度の違いが加工結果に及ぼす影響を簡潔に述べる。図 2.2.1 は、被削材 HPM38S に関して、加工面の窒素濃度が異なる 3 通りの場合(①2.5 wt%以上、②1.0~ 2.5 wt%、③1.0 wt%以下)における、切削後の仕上げ面と工具刃先の SEM 像を示した ものである。窒素濃度は、エネルギー分散型 X 線分析により測定した。工具刃先の SEM 像 には、逃げ面摩耗幅 VB を付記している。



図 2.2.1 窒素濃度による仕上げ面性状と工具摩耗の違い(被削材:HPM38S)

①窒素濃度 2.5 wt%以上の場合、仕上げ面は非常に良好である。工具摩耗は 1.6 µm 生 じているが、これは同一加工面内の低窒素濃度領域を工具が通過した際に生じたものであり、 窒素濃度 2.5 wt%以上の領域のみならば、工具摩耗はほぼゼロである。一方、②窒素濃度 1.0~2.5 wt%の場合、工具摩耗は 5 µm 以上となり、仕上げ面にはその影響と思われる 条痕が見られる。そして、③窒素濃度 1.0 wt%以下の場合、仕上げ面には大きなむしれが 発生し、工具摩耗も 20 µm 近くに達している。

つまり、窒素濃度が2.5 wt%以上なら加工は良好であり、2.5 wt%以下になると工具摩 耗が増大する。さらに、窒素濃度が1.0 wt%以下になると工具摩耗が激しくなり、仕上げ 面には大きなむしれが発生することが明らかとなった。なお、被削材がSTAVAXやD-STARの場合においても、加工面の窒素濃度が仕上げ面性状と工具摩耗に及ぼす影響は、 HPM38Sの場合とほぼ同様であった。

加工面に窒素濃度むらが存在した原因を明らかにするため、表 2.2.1 と同条件で低温高 密度プラズマ窒化処理を施した別の STAVAX、HPM38S、D-STAR 試料において、深さ 方向の窒素濃度分布を、グロー放電発光分析(GDS)で測定した結果を図 2.2.2 に示 す。

いずれの被削材でも、深さ方向に沿って窒素濃度はほぼ単調に減少する傾向が見られる。 そこで、各鋼種における有効な窒化層深さを知るため、2.5 wt%以上の窒素が存在する深 さを d2.5、また 1.0 wt%以上の窒素が存在する深さを d1.0 と表記し、図 2.2.2 におけ る d2.5 と d1.0 をまとめたのが表 2.2.3 である。

表 2.2.3 より、本研究の被削材における有効な窒化層深さは、最大でも 15 µm 程度 である。これは、レンズ金型加工のための削り代としては十分ではない。また、鏡面切削実 験や工具寿命試験を実施する際は、十分な窒素濃度を確保する手段を講じる必要があること が分かった。

16



(c) D-STAR

図 2.2.2 各鋼種における深さ方向の窒素濃度分布の測定結果

-		
	d2.5	d1.0
STAVAX	9.7 μm	15.7 μm
HPM38S	5.2 μm	<b>7</b> .5 μm
D-STAR	6.5 µm	9.7 μm

表3 各鋼種における有効な窒化層深さ

(2) 鏡面切削実験

第二年度までは、被削材の窒化処理後に、加工面の傾きや凹凸を取り除くための前加工 (面出し)を行い、その後で本実験を行っていた。しかしこの方法では、前加工の段階で窒 化層の一部を犠牲にしていることになる。そこで最終年度においては、先に前加工(面出 し)を行ってから窒化処理を施すよう実験手順を変更し、形成された窒化層を全て本実験に 使用できるようにした。これにより、試料表面の高濃度窒化層を有効に利用した切削実験が 可能になった。

第二年度までの実験において、SUS42OJ2 改良鋼の三つの鋼種(STAVAX、 HPM38S、D-STAR)の間には、仕上げ面性状と工具寿命のいずれにも有意な差は見られ なかった。最終年度の鏡面切削実験では、HPM38S を被削材とし、当研究所で前加工(面 出し)を行った後、表面機能デザイン研究所で低温高密度プラズマ窒化処理(400℃、4 時 間)を施して頂いた。被削材の形状は、第二年度までと同一である。

被削材以外の切削条件は、表2と同じである。切削速度が仕上げ面粗さに及ぼす影響を 調査するため、三通りの主軸回転数(150rpm、500rpm、1000rpm)で実験を行った。 いずれの回転数でも試料表面の高濃度窒化層を切削できるよう、回転数ごとに異なる切削試 料(試料1、試料2、試料3)を用いた。

加工後、白色干渉型粗さ計(Zygo 製 New View 100)によって、仕上げ面粗さを測定 した。切削速度の異なる外周部、中央部、内周部の3箇所(図3に示す)で測定すること により、計9通りの切削速度(表4に示す)における仕上げ面粗さを評価した。各測定箇 所(1:外周部、2:中央部、3:内周部)においては、近在する7点で粗さを測定し、そ れらの平均値を求めた。



#### 図3 仕上げ面粗さの測定位置

主軸回転数	1(外周部)	2(中央部)	3(内周部)			
150 rpm	16.96	10.84	4.71			
500 rpm	56.55	36.13	15.71			
1000 rpm	113.1	72.26	31.42			

表 2.2.4 仕上げ面粗さの測定位置における切削速度(単位:m/min)

測定した仕上げ面粗さと切削速度の関係を図4に示す。グラフの各点は、各切削速度に おける仕上げ面粗さの平均値であり、エラーバーは各切削速度における粗さの最大値と最小 値を示す。



図 2.2.4 仕上げ面粗さと切削速度の関係

図 2.2. 4 の 9 点のうち 7 点が 10 nm 以下であり、回帰直線も 10 nm 以下の位置に ある。また、各切削速度における粗さの最小値は全て 10 nm 未満である。このことから、 加工層の窒素濃度が十分であれば、仕上げ面粗さは切削速度にほとんど依存せず、安定的に 本研究の目標値である 10 nm 以下の算術平均粗さが得られることが分かった。またこの実 験では、工具損耗もほとんど生じなかった。

図 2.2. 5 は、主軸回転数 1000 rpm で切削した SUS420J2 改良鋼 (HPM38S) の 外観写真である。他の主軸回転数 (150 rpm、500 rpm)の場合にも、この写真と同様の 滑らかな鏡面が得られた。



図 2.2.5 SUS420J2 改良鋼(HPM38S)の仕上げ面の外観写真(主軸回転数: 1000 rpm)

窒化層の厚さを検討するため、本章の実験における、切削前と切削後の加工面の窒素濃度 を、エネルギー分散型X線分析(EDX)で測定した結果を表 2.2.5~表 2.2.6に示す。

表 2.2.5 より、切削前の加工面の窒素濃度は、いずれも約7 wt%と高く、そのため、 鏡面切削実験においてダイヤモンド工具はほとんど損耗せず、仕上げ面全体が均一な鏡面と なったと考えられる。

しかし表 2.2. 6より、切削後は、窒化層が3 µ m 削り取られたことにより、ほとんどの位置で、窒素濃度が大きく低下している。このことから、この実験で用いた被削材も、第二年度の被削材同様(図 2.2. 2、表 2.2. 3を参照)、窒化層の厚さはかなり小さく、多数回の切削実験は行えないと考えられる。

•			
	外周部(wt%)	中央部(wt%)	内周部(wt%)
試料1(150 rpm)	6.97	6.84	6.82
試料2(500 rpm)	6.94	6.95	6.84
試料3(1000 rpm)	6.88	6.88	6.90

表 2.2.5 加工面の窒素濃度(切削前)

衣 Z.Z. O 加工田の主茶辰及(切別及)						
	外周部(wt%)	中央部(wt%)	内周部(wt%)			
試料 1(150 rpm)	5.34	4.35	4.24			
試料2(500 rpm)	3.11	2.99	3.35			
試料3(1000 rpm)	6.33	3.99	4.00			

表 2.2.6 加工面の窒素濃度(切削後)

サブテーマ【2-2】ダイヤモンド工具寿命の延長に関する技術開発

本節では、プラズマ窒化処理を施した精細金型用鋼の長距離切削による工具寿命試験の結果について述べる。前節の鏡面切削実験とほぼ同じ条件で長距離切削を行い、工具寿命を調 査した。

工具寿命の目標値として、実用的な切削距離 1250 m において刃先にチッピングが生じ ず、摩耗量が1 µm以下であることを設定した。この切削距離の算定根拠は、以下の通り である。

50 × 50 mm の加工領域を、ノーズ半径 0.05 mm の工具で、仕上げ面の理論粗さ 10 nm の条件で切削する場合の切削距離を求める。計算式を以下に示す。

ノーズ半径 R、工具の送りピッチf で切削した場合の理論粗さ Rth は、

#### Rth = f 2/(8R)

で表される。上式に、Rth = 0.01  $\mu$ m、R = 50  $\mu$ m を代入してfを求めると、 f = 2  $\mu$ m すなわち 0.002 mm となる。よって、

切削距離 = 一辺の距離(50mm)×加エライン数(50mm/0.002mm)

= 50mm×25000本

= 1250 m

と求められる。

被削材は、光学部品金型用ステンレス鋼のSUS420J2改良鋼(STAVAX)であり、形 状はこれまでの実験と同一である。

長距離切削による工具寿命試験を行うには、一つの被削材で多数回の切削を行わなければ ならず、それには厚い窒化層が必要である。しかし前述の通り、低温高密度プラズマ窒化処 理では、厚い窒化層の形成は困難である。また、前節のEDX分析の結果(表 2.2.5~表 2.2.6)からも、切削を重ねるごとに加工面の窒素濃度が急速に減少して行く傾向が見て

とれる。窒化層が薄いこと、および切削ごとに加工面の窒素濃度が変化して行く状況は、い ずれも工具寿命試験には好ましくない。

よって、本研究における工具寿命試験では、低温ではない通常のプラズマ窒化処理 (550℃で10時間)によって厚い窒化層を形成した STAVAX を被削材とした。大阪産 業技術研究所におけるこれまでの研究から、形成された窒化層の深さは130μm 程度と推 定される。

切削条件を表 7 に示す。工具の損耗状態を詳細に観察するには、刃先への切りくずの凝 着をなるべく減らす必要がある。そのため、主軸回転数は 150 rpm と低めに設定し、切削 温度の上昇を抑えることで、凝着の抑制を試みた。

その他の切削条件は、前節の鏡面切削と同一である(表 2.2.2参照)。1回当たりの切 削距離は 93.9 m であり、14回の加工によって 1315 m の距離を切削した。14回の切 削のうち7回(1回目、4回目、7回目、9回目、11回目、13回目、14回目)につい ては、切削後に工具を取り外し、走査型電子顕微鏡(SEM)で刃先観察と摩耗量測定を 行った。またその際、被削材も取り外し、触針式表面粗さ計で仕上げ面粗さの測定を行った。

被削材	SUS420J2 改良鋼(STAVAX)
	通常のプラズマ窒化処理済み
	(550℃、10時間)
工具	単結晶ダイヤモンド
工具形状	円弧切れ刃
	(ノーズ半径 0.5mm、すくい角 0°、逃げ角 7°)
切削方法	端面旋削
主軸回転数	150rpm
切込み	3 µ m
送り	10μm/rev(外周→内周)
総切削距離	93.9m×14 回=1315m
切削液	不水溶性切削油(JIS N1種3号、ミスト噴射)

表 2.2.7 工具寿命試験における切削条件

図 2.2. 6 は、14 回切削後(切削距離 1315 m)における、工具すくい面の SEM 像で ある。図中に示した 2 箇所に顕著な摩耗が生じている。これらの摩耗の深さ  $\delta$  と切削距離 Lの関係を図 7 に示す。 $\delta$  はLの増加に伴って増加している。最終的な摩耗深さは、工具 摩耗 1 で 0.40  $\mu$  m、工具摩耗 2 で 0.24  $\mu$  m であった。いずれも 1  $\mu$  m には達していな

い。また、刃先には突発的なチッピングも発生しなかった。よって、本節冒頭に記載した工 具寿命の目標値を達成できた。



図 2.2. 6 14 回切削後の工具すくい面の SEM 像(切削距離 1315m)



図 2.2.7 工具摩耗と切削距離の関係

工具寿命に関する目標値は達成できたが、被削材の仕上げ面粗さの点では問題が残った。 そのことを以下に述べる。

図 2.2.8は、算術平均粗さ Ra と切削距離 L の関係を示したものである。切削距離の増加に伴い、算術平均粗さは顕著に増加している。

図 2.2.9は、4回目と14回目の切削後(それぞれ切削距離 376 m、1315 m)における、仕上げ面の SEM 画像、および送り方向の粗さ曲線である。切削距離の増加に伴い、 隣接する切削痕同士の境界線が鋭くなっている。また、粗さ曲線においては、切削距離の増加に伴って切削痕の境界におけるピークの高さが増し、波形が左右非対称の鋸歯状に変化している。それにより、算術平均粗さ Ra も増加している。





切削距離の増加に伴う仕上げ面粗さの顕著な増加は、工具摩耗の直接的な影響であり、粗 さ曲線が鋸歯状になった理由は、以下のように考えられる。14回目切削後の工具すくい面 のSEM画像(図2.2.6)の、摩耗部分の拡大図を図10に示す。工具摩耗1と工具摩耗 2の横方向の距離は、切削の送りピッチ(10 µm)にほぼ相当する。したがって二つの摩 耗は、単位切削痕の両端のピークでえぐられることで拡大して行ったと考えられえる。摩耗 が生じていない初期の段階では、刃先の円弧形状が仕上げ面に転写されて単位切削痕を形成 するが(図2.2.9(a))、摩耗が進むと、図2.2.10において破線で示したような非対称な 三角形状が仕上げ面に転写されて単位切削痕を形成するため、仕上げ面の粗さ曲線は鋸歯状 になったと考えられる(図2.2.9(b))。



図 2.2. 10 14 回切削後の工具すくい面の拡大画像(切削距離 1315 m)

本節の工具寿命試験においては、必要な切削距離の達成という観点からは目標値を達成で きた。しかし、工具摩耗の進行により、仕上げ面粗さは顕著に増加した。これは、工具摩耗 が局所的で鋭い形状であったため、その深さが浅くとも、仕上げ面に及ぼす影響が大きかっ たためである。このことは、本技術を赤外光用レンズ金型の加工技術として実用化する際、 解決すべき課題である。

サブテーマ【2-1】、【2-2】のまとめ

精細金型用鋼(SUS42OJ2改良鋼)に、プラズマ窒化処理によってダイヤモンド工具の 摩耗抑制効果を付与し、超精密旋削実験を行った。まず、低温高密度プラズマ窒化処理を施 した被削材で鏡面加工の可否を検証した。その後、通常のプラズマ窒化処理を施した被削材 で、長距離切削による工具寿命試験を実施した。得られた結果は、以下の通りである。

- ・精細金型用鋼(SUS420J2 改良鋼)の低温高密度プラズマ窒化処理で形成される窒化層の深さは、現状では最大で 15 µm 程度であり、レンズ金型加工のための削り代としては
  +分ではない。しかし、加工層の窒素濃度が十分な場合、良好な鏡面を創成できる。
- ・鏡面切削された仕上げ面の粗さは、切削速度にほとんど依存せず、赤外光用レンズ金型に 要求される 10 nm 以下の算術平均粗さを安定的に達成できた。

- ・長距離切削による工具寿命試験では、切削距離 1250 m において刃先にチッピングは生じず、摩耗量も1 µ m 以下であり、実用的な工具寿命を達成できた。
- ・長距離切削では、工具摩耗の進行に伴い、仕上げ面粗さは顕著に増加した。これは、摩耗 が局所的で鋭い形状であったため、仕上げ面に及ぼす影響が大きかったためと考えられる。

サブテーマ【2-3】新素材へのDOE形状加工技術の開発

まず計測装置 UA3P を用いた DOE 形状計測に関する検討に関しては、通常の非球面式に、 MOD 関数で多項式を重畳するプログラムを C 言語で作成した。これにより、下図に 示すような形状の設計式を得、DOE 形状の計測が可能となった。



図 2.2. 11 作成したDOE計測プログラム

次に、段差を把握するための計測方法について検討した。図 2.2. 12 は、UA3Pで 計測したものであるが、この場合はスタイラスの型部分が段に接触し、段差の底部に相当す る部分がうまく測れない。



図 2.2. 12 UA3Pによる段差の計測

そこで、白色干渉計(東京精密OPTSCOPE-Z)を用い、45 度傾斜させた状態 での段差底部計測を試みた。ここでは図 2.2. 13 のように、きれいに断面形状を計測で きている。UA3Pユーザー定義ソフトによる形状評価と白色干渉計による段差評価で、 加工物のスペック評価ができることが分かった。



図 2.2. 13 白色干渉計による段差部評価

加工プログラム、及び加工用工具の開発を行った。加工プログラムでは、工具先端の軌跡 をもって、各段差間のエリア内を一つの非球面とみなし、その連続体であるとの定義を行っ た。



図 2.2. 14 加工プログラムの概念図

ここで用いる工具は、先端軌跡で形状を加工しつつ、連続部分に関しては比較的ピッチ を大きくとってもカスプが大きくならない工夫を行い、図 2.2. 15 のような半割形状の 単結晶ダイヤモンド工具とした。



図 2.2.15 開発した半割城単結晶ダイヤモンド工具

これらの準備をもって、対象形状の加工を行った。対象形状は次節で詳説するように、 アドバイザーである堀氏に設計をしていただいた形状で、図 2.2. 16 はそのレンズ形状を 表す。金型はこの反転形状ゆえ、凸面に段差を重畳した難易度の高いものを設定した。

図 2.2. 16 は加工した形状を計測し、段差部を除いて評価した結果であり、形状誤差P VO.1 µm を達成したことがわかる。また、段差部分も既出の図 2.2. 13 に示すように、 白色干渉計による評価で、3 µm 以下のごく小さいRとなっていることがわかる。



図 22.16 加工した金型の形状誤差測定結果

サブテーマ【3】新素材を用いたカルコゲナイドガラスの成形技術に関する研究開発

ここでは主に、材料特性として、カルコゲナイド成形に耐えうるか、を物性測定・シ ミュレーションの点から検討調査し、最終的に、この新しい方法でレンズを成形し、その 性能評価を行うことを目指した。

サブテーマ【3-1】モールド成形による赤外レンズの成形および耐久性評価

出発材料としてのマルテンサイト材料として、STAVAX(ウッデホルム製) HPM38S(日立金属)、D-STAR(大同特殊鋼)とした試料を用意、円筒形状の片側に 半径 50 mmの球面を加工し、窒化前、窒化後、電気炉内で、400℃に 4 時間放置した後 の三回、各寸法を計測した。

なお、寸法計測時、球面半径の計測も試みたが、初期状態が悪かったため、計測位置に よるばらつきが大きく、その他の部分についての計測にとどめた。



図 2.3.1 寸法変化を計測した試料サイズ

	外形寸法(30)			高さ(15)		
	窒化前	窒化後	熱処理後	窒化前	窒化後	熱処理後
STAVAX	29.998	29.999	29.999	15.000	15.000	15.000
HPM38S	30.001	30.003	30.002	14.998	14.999	15.000
D-STAR	29.999	30.000	30.001	14.999	14.999	14.999

表 2.3.1 計測した窒化前後での寸法変化結果

窒化前後、熱処理前後での材料による著しい寸法変化の特徴は見られなかった。ただ し、いずれの寸法も、窒化により小さくなることはなかったので、サブミクロンレベル の精度を求めるなら、窒化後、最終仕上げ加工を入れる手順がよいと考えられる。

一方、電気炉処理は、大気下状態としたので、酸化膜形成による青みがかった変色が あったが、大きな寸法変化はとらえられなかった。

サブテーマ【3-2】シミュレーションによる新素材金型の成形条件最適化

現在、理化学研究所と共同で開発を進めている、3次元有限要素解析シミュレーションシステムの機能概要を表 2.3.2に示す。

	表 2.3. 2	2 3	次元モール	ドプレ	/ス成形シ	ミュレー	-タの機能概要
--	----------	-----	-------	-----	-------	------	---------

	解析モデル
構造解析	大変形対応弾塑性解析(塑性:関連流れ則)
熱伝達解析	非定常熱伝導解析、接触面熱伝達モデル
熱・構造連成	熱ひずみを「不釣合い力」として構造側に反映
ガラス物性	構造緩和:Schererモデル、クリープ:Norton則、熱膨張、物性値(熱伝導度、比熱、密度)の温度依存性の導入
	解法
離散化	有限要素法
時間積分	構造:静的陽解法 熱:Crank-Nicolson法
時間刻みの制御	構造:r <sub>min</sub> 法、熱:区間一定値(両者を同期)
要素形状	(四面体)、六面体、縮退六面体
数値解析ライブラリ	マス・カーネル・ライブラリ(Intel)を利用(行列解法)



図 2.3. 2 3 次元成形シミュレーションシステムの体制図

このプログラムを実際の成形プロセス解析に利するためには、入力データの作製、シミュ レーション機能の選択、出力データ管理などが必要である。これに関しても、図 2.3.2 に あるように、実用的な入出力管理・データ作成補助機能が整備されている。

ここでは、図 2.3.3 に示す直径 *φ*50 のメニスカスレンズのモールド成形シミュレーションを行い、3 次元成形解析を行った。



図 2.3.3 φ50 mmの非球面メニスカスレンズの3次元成形シミュレーションデータ。

この非球面メニスカスレンズの成形では、初期のガラス素材形状(プリフォーム)の最適 化を進める上でも、ガラスと金型との接触、接触面を介しての熱伝導など、シミュレーショ ンでしか得られない情報が多く、ガラスのモールド成形を行う上で、キーとなる課題の 1 つである。当該シミュレーションシステムでは、変形形状に加えて、成形中・冷却中の実温 度履歴およびガラス物性(緩和を含む)の指標となる仮想温度歴々を計算することができる。 それぞれを図 2.3.4 および図 2.3.5 に示す。ガラスのレンズ面となる表面が型表面によ り形成されていること、均一な温度分布が冷却過程に向けて温度差が生じていること、仮想 温度が成形中に変化し、冷却過程にかけて一定化することなど、実験結果を再現できている ことを確認した。



図 2.3. 4 モールド成形に伴う金型およびガラス素材の変形履歴。



図 2.3.5 モールド成形に伴う金型・ガラス素材の実温度分布履歴 およびガラス素材における仮想温度分布履歴。

【3-1】及び、ベース素材の物性値を入力したシミュレーション【3-2】の結果から、 カルコゲナイド成形に十分使用できるうえ、既存成型システムの大きな変更なしにこの素材 を適用できることが判明した。

サブテーマ【3-3】赤外レンズの試作成形およびその性能評価

カルコゲナイドガラスを用い、アサーマル性の優れたレンズユニットを設計した。そのイ メージを図 2.3.6 に示す。ここでは、三枚の構成とし、第二レンズを凸のDOE形状とす ることで、アサーマル性の改善を行った。第一、第三レンズはメニスカス形状とした。また、 それらレンズには、アドバイザーから提供いただいた材料を使用し、第二レンズは比較的成 形温度の高いGASIAIを用い、プレス成型にて作成することとした。

また、レンズ系は、12μmのQVGA(最新の遠赤外線センサー)に対応する規格とし、 図 2.3. 7のカメラユニットへの接続が可能な仕様とした。



図 2.3. 6 設計した三枚構成のレンズ系



図 2.3.7 12μmQVGA カメラ

図 2, 3, 8 に示すDOE形状を有する凹面金型を用いた成形を行い、図 2.3. 9 の形状、 および図 2.3. 10 に示す段差の結果を得た。形状はUA3Pユーザー定義式で計測を行い、 段差部のスタイラスの跳ね上がり個所を除去して評価した。また、段差底部(金型では上 部)の重点に関しては、金型評価を行った方法である白色干渉計を用いて行った。

形状誤差で、PVO.24 µm程度、段差底部へは約 9 割の重点であることがわかる。ただ



し充填率に関しては、破壊検査などを行い、精査することが必要である。









最後に、MTF計測結果を表 2.3.3 に記載する。

表	2.3.	3	空間周波数 21 lp/mm	でのMI	F

Center	65%
Vertical edge	6%
Horizontal edge	66%
Diagonal edge	64%

以上から、開発した新しいプロセスは、遠赤外線光学素子成形に適したものであり、今 まで実現しえなかった高精度かつ微細構造を有する素子をプレスで量産することを可能にす る、画期的方法であることが分かった。

最終章 全体総括

以上総括するに、当初目標とした、複雑形状を持つ遠赤外線光学素子をカルコゲナイド ガラス成形という極めて量産性とコストメリットに優れた方法で生産する新しい手法を確 立した。このことは、自動運転やセキュリティでますます必要となる遠赤外光学系を、よ り高精度に安く提供できることにつながるので、光学産業、自動車産業の発展に寄与する

ことになると確信する。

さらには、この波及効果として、従来、プラスチックの射出成形に用いられてきたNi P非晶質メッキの代替となることがあげられる。従来技術である非晶質メッキでは、 200℃台後半の温度にさらすと結晶化が生じ、寿命が短いことが課題であった。さらには、 表面硬度が低いために、ふき取り作業や洗浄時に、傷を生じてしまい、扱いが難しいこと も問題であった。ところがここで開発した技術を用いることで、高硬度で傷がつかず、か つ比較的高い温度(400℃など)でも安定な金型材料を用いることになり、こうした従来 の問題点を一挙に解消できるようになる。プラスチック製品は、自動車部品(特に光学部 品)を中心に、鏡面性、構造微細化がますます問われてくるので、この分野を支える新し い技術になる可能性は大である。

また、この過程で得た様々な知見は、科学技術の横展開に大きな影響を与える。低温で の窒素の固溶の仕方やその性質は、鉄系以外の素材への適用可能性を示している。また、 鏡面切削が可能で、かつ工具損耗のない窒素含有量の同定、さらには、切削条件と鏡面実 現性の関係などの知見は、窒素をドーピングする先の技術と合わせ、他の(ベースとな る)素材や形状への展開を行う上で、大きなステップとなった。

このように、産業展開、技術展開双方で、波及効果を展望できる結果を得た。

今後の課題は、充填率のより厳密な評価、MTFに関する従来品との比較検討などを行 い、この技術を用いる優位性の確認を行うこと、実像を取ることで、実際の機能をより広 い川下ユーザーに分かってもらえるようにすることなど、この事業に直結したフォロー アップ研究をできるだけ迅速に行うことである。また、先述の波及効果可能性に関連して、 他のベース材料への適用や、エンドミル加工での検証など、応用展開可能性を検討するこ とである。

以上