

「次世代光波制御材料・素子化技術」  
(事後評価) 分科会  
資料 5 - 1

# 「次世代光波制御材料・素子化技術」

## 事業原簿 (公開版)

担当部

独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構  
電子・材料・ナノテクノロジー部

# —目次—

概要	0-1
プログラム基本計画	0-7
プロジェクト基本計画	0-17
プロジェクト用語集	0-28
I. 事業の目的・政策的位置付けについて	
I.1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性	I-1
I.1.1. NEDOが関与することの意義	I-1
I.1.2. 実施の効果（費用対効果）	I-1
I.2. 事業の背景・目的・位置づけ	I-5
I.2.1. 事業の背景	I-5
I.2.2. 事業の目的及び意義	I-6
I.2.3. 事業の位置づけ	I-9
II. 研究開発マネジメントについて	
II.1. 事業の計画と概要	II-1
II.1.1. 研究開発の内容	II-1
II.1.1.1. 事業全体の計画	II-1
II.1.1.2. 全体スケジュールと予算	II-3
II.2. 事業の目標	II-4
II.2.1. 全体目標	II-4
II.2.2. 最終目標	II-4
II.2.3. 中間目標	II-4
II.2.4. 中間目標の設定理由	II-9
II.2.5. 研究開発項目毎の詳細計画内容	II-13
II.2.6. 研究開発の実施体制	II-22
II.2.6.1. 実施体制	II-23
II.2.6.2. 参画研究機関、大学、企業のプロフィール	II-23
II.2.7. 研究の運営管理	II-25
II.3. 情勢変化への対応	II-26
II.4. 中間・事後評価の評価項目・評価基準、評価手法及び実施時期	II-27
III. 委託事業の研究開発成果について	
III.1. 事業全体の成果	III-1
VI. 成果資料	
VI.1. 各種展示会での成果の発表	VI-1
VI.2. シンポジウムの開催および単行本の出版	VI-2

VI. 3. 新聞、雑誌記事 .....	VI-3
VI. 4. 論文リスト .....	VI-4
VI. 5. 口頭発表リスト .....	VI-9
VI. 6. 受賞 .....	VI-27
VI. 7. 特許リスト .....	VI-29

概 要

作成日	平成 20 年 5 月 30 日
最終更新日	平成 23 年 5 月 30 日

プログラム(又は施策)名	ナノテク・部材イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム・ITイノベーションプログラム																											
プロジェクト名	次世代光波制御材料・素子化技術	プロジェクト番号				P06032(工高)																						
担当推進部/担当者	電子・材料・ナノテクノロジー部 坂井数馬																											
0. 事業の概要	<p>本事業では、光学部材関連産業の国際競争力強化のため、平成 22 年度までに、広い透過波長域、高屈折率、低屈伏点等の特性を兼ね備えた新規ガラス材料と、高温域でのガラス表面への微細構造の形成が可能な耐熱モールドおよび成型技術を、産学官を含む川上川下の垂直連携体制、および、材料創製と加工の水平連携体制の中で開発する。また、事業の後半では、材料メーカーとセットメーカーとが垂直連携体制の中で助成事業を立ち上げ、実用化を視野に入れた素子化技術の開発に取り組む。</p>																											
I. 事業の位置付け・必要性について	<p><b>【NEDOが関与する意義】</b> 我が国が得意とする高性能な情報家電製品および光通信システムを支える光学部材関連産業（材料、素子、装置）は川上川下の垂直連携の希薄化、アジア諸国の低コスト攻撃に直面している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携）を図ることで、従来のレンズ、ミラー、回折格子等の個々の光学部材では実現し得ない高度な機能を発現するための基盤技術を開発する必要がある。このような技術開発は、複数の研究機関及び企業の知見を結集する必要があり、民間の自主的取り組みでは難しい。したがって、NEDOの関与により、市場原理のみでは達成し得ない基盤技術の開発を重点的に実施することが必要である。</p> <p><b>【実施の効果（費用対効果）】</b> 費用：【開発予算】に記載。 効果：情報家電、情報通信だけでなく、医療・バイオ等、幅広い産業に応用可能な次世代光学部材の開発を目指しており、製造プロセスが極めてシンプルなモールドプロセスを用いるため、製造エネルギーやスループットを大幅削減できる。また、開発する光学部材をDVDプレーヤーや高輝度液晶プロジェクターなどに応用した場合、性能向上と省エネ効果の両方が期待される。次世代光学部材を搭載した製品の市場見通し、および省エネ効果は以下のとおり。</p> <table border="1" data-bbox="387 1126 1449 1227"> <tr> <td>2015 年時点市場創出効果：約 2,070 億円</td> <td colspan="6">省エネ効果（成功率 10%の場合の省エネ効果 石油換算）</td> </tr> <tr> <td></td> <td>①2010 年度</td> <td>②2020 年度</td> <td>③2030 年度</td> <td colspan="3"></td> </tr> <tr> <td></td> <td>7.4 万 kl</td> <td>13.8 万 kl</td> <td>37.1 万 kl</td> <td colspan="3"></td> </tr> </table> <p><b>【事業の背景・目的・位置付け】</b> 産学官を含む川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携を図り、次世代部材分野でのイノベーションを促進することが、我が国の喫緊の課題である。本プロジェクトでは、日本が世界をリードしているデジタルスチルカメラ等の撮像光学系、光メモリドライブのピックアップ光学系、液晶プロジェクション光学系など、高いシェアを維持してきた情報家電製品群の中核となる光学部材のための新規材料・精密成型の技術革新を目的としている。本研究開発は、H17 年度に策定されたロードマップにおいて、新産業創造戦略重点 7 分野の 1 つである「情報家電」の中で、日本が高いシェアを維持し今後の技術革新が切望されている光メモリ、撮像、ディスプレイ、光通信の「光学部材」に位置づけられる。</p>							2015 年時点市場創出効果：約 2,070 億円	省エネ効果（成功率 10%の場合の省エネ効果 石油換算）							①2010 年度	②2020 年度	③2030 年度					7.4 万 kl	13.8 万 kl	37.1 万 kl			
	2015 年時点市場創出効果：約 2,070 億円	省エネ効果（成功率 10%の場合の省エネ効果 石油換算）																										
	①2010 年度	②2020 年度	③2030 年度																									
	7.4 万 kl	13.8 万 kl	37.1 万 kl																									
II. 研究開発マネジメントについて																												
事業の目標	平成 22 年度までに、広い透過波長域、高屈折率、低屈伏点等、これまですべての条件を満足することが困難であった特性を兼ね備え、かつ、モールドによる成型に適した新規ガラス材料、高温域でのガラスへの微細構造の形成が可能な耐熱モールド、平面あるいは曲面ガラスの表面に形成された光の波長レベルあるいはそれ以下の微細構造等を活用した次世代光波制御素子のための基盤技術を開発する。また、本事業中期から、助成事業による実用化研究への取り組みを開始することを基本計画に定めた。																											
事業の計画内容	主な実施事項	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額																					
	高屈折・屈伏点ガラスの研究(委託)	150	120	50	40	10	370																					
	サブ波長微細構造成型技術の研究(委託)	412	278	233	107	25	1055																					
	偏光分離素子の開発(助成)				35	19	54																					

	屈折・回折複合素子の開発(助成)			74	27	16	117
	広帯域無反射素子の開発(助成)				55	28	83
開発予算 (会計・勘定別に事業費の実績額を記載) (単位:百万円)	会計・勘定	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
	一般会計	0	0	0	0	0	
	特別会計 (電源・需給の別)	360	320	271	264	98	1313
	加速予算 (成果普及費を含む)	202	78	86	0	0	366
	総予算額	562	398	357	264	98	1679
	(委託)	562	398	283	147	25	1415
	(助成) : 助成率 1/2 (共同研究) : 負担率△/□	-	-	74	117	73	264
契約種類: ○をつける (委託(○) 助成(○) 共同研究(負担率( )))							
開発体制	経産省担当原課	製造産業局住宅産業窯業建材課					
	プロジェクトリーダー	北海道大学 電子科学研究所 西井準治					
	委託先(*委託先が法人の場合は参加企業数および参加企業名も記載)	パナソニック(株) コニカミノルタオプト(株) 日本山村硝子(株) 五鈴精工硝子(株) (独)産業技術総合研究所					
情勢変化への対応	<p>H18年度には、研究開発項目①-4. 光学的・熱的物性の精密評価、②-1-2. モールド表面のエッチング技術、②-1-4. モールド表面処理技術、②-1-5. ガラス成型技術の4テーマに研究加速財源を充て、材料評価とモールド表面処理技術に関する研究の加速と成果の向上を図った。</p> <p>H19年度には、②-1-2. モールド表面のエッチング技術、②-1-4. モールド表面処理技術の2テーマに研究加速財源を充て、素子評価と高温物性評価に関する研究成果の向上を図った。</p> <p>H22年度には、研究予算の大幅削減のため、やむを得ず委託研究を大幅に縮小し、助成事業を中心に継続することとした。</p>						
中間評価結果への対応	<p>中間評価では高い評価を受けた一方で、実用化に向けて、材料の特性やコストなどを考慮した研究の推進を指摘された。そこで、委託事業と助成事業で分担して、ガラスの耐候性等の基礎物性、モールドの耐久性と光学特性との相関などを詳細に調べ、製品化のために必要なデータを蓄積した。</p>						
評価に関する事項	事前評価	17年度実施 担当部 ナノテクノロジー・材料部					
	中間評価	20年度 中間評価実施					
	事後評価	23年度 事後評価実施					

Ⅲ. 研究開発成果について

1. 共通基盤技術

以下の通り、平成 22 年度末までに最終目標を達成した。

【研究開発項目①高屈折・低屈伏点ガラスの研究】(最終目標達成：◎)

最終目標は、波長 589nm での屈折率が 1.8 以上、屈伏点 450℃以下で、透過波長下限 400nm 以下のガラス材料を開発することである。これらの目標値を達成するために、リン酸塩系とホウ酸塩系で組成開発に取り組み、微細構造の転写が可能なガラスを開発した。

①-1. リン酸塩系組成開発 (日本山村硝子株式会社)

平成 22 年度までに、ビスマスリン酸塩系ガラスにおいて、屈折率( $n_d$ )1.80、屈伏点(At)432℃、波長 400nm での内部透過率 80%以上(厚み 3mm)のガラスを開発し、最終目標を達成した。また、回折・屈折光学素子のために、求められる光学物性( $n_d$ 45 以上、 $n_d$ 1.65~1.70、波長 400 nm における内部透過率が 80%以上)を満足する分散を制御したニオブリン酸塩系ガラスの開発を行った。中間評価までに開発したガラス系でもこれらの数値を満足していたが、液相温度が 1000℃以上と高く、成型が困難であった。さらなる組成改良の結果、光学特性を維持したまま、液相温度 780℃、At455℃のガラスを開発した。得られたガラスをパナソニックに提供して、反射防止構造および鋸歯構造の良好な転写を実証した。

①-2. ホウ酸塩系組成開発 (五鈴精工硝子株式会社)

平成 22 年度までに、ビスマスホウ酸塩系ガラス系において、 $Bi_2O_3$ 含有量の増加に伴う紫外域の透過性低下を抑えるために電気陰性度の高い成分の添加が望ましいことを見出し、基本組成として  $Bi_2O_3$ - $GeO_2$ - $B_2O_3$ 系、 $Bi_2O_3$ - $Ga_2O_3$ - $Li_2O$ - $B_2O_3$ 系を選択した。前者では、 $n_d$ 1.82、At468℃、波長 400 nm における内部透過率 80%以上(厚み 3mm)、また後者では、屈折率  $n_d$ 1.80、At448℃、波長 400 nm における内部透過率 80%(厚み 3mm)のガラスをそれぞれ開発した。得られたガラスをコニカミノルタ オプトに提供して、1 次元周期構造の良好な転写を実証した。

①-3. ガラス表面改質技術 (産業技術総合研究所、一部を京都工繊大へ再委託)

イオン交換によって、 $Ag^+$ イオンをガラス表面に導入することにより、その領域の屈伏点を低下できること、ガラスの組成を選択することによってイオン交換後も着色しないこと、などがわかった。また、この技術は、モールド成型による微細構造転写が可能な低屈伏点ガラスの作製に有効であることが示された。

①-4. 光学的・熱的物性の精密評価 (産業技術総合研究所、一部を北海道大学へ再委託)

酸化ビスマス含有ホウ酸塩系ガラスの密度、ガラス転移温度、屈折率、吸収端波長の組成依存性を調べた。酸化ビスマス含有量の多いガラスには 350nm 付近に吸収ピークが存在し、ガラスの吸収端波長に影響を与えることを見出した。酸化ビスマス添加リン酸塩系ガラスにおいて、ガラス化範囲を系統的に調べるとともに、密度、屈折率、屈伏点温度、吸収端波長の組成依存性を調べた。また、ホウ酸塩系及びリン酸塩系ガラスにおいて、プレス時に問題となる着色現象について調査した。

屈伏点近傍での成型における離型特性について、離型力の直接測定及び表面張力の観点からの評価を実施した、種々の光学ガラスにおいて、その成型・離型性の定量的評価できることを示した。また、ガラスの屈伏点温度付近の変形、破壊特性を調査した。

【研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」】(最終目標達成：◎)

最終目標は、a)直径 10mm 以上の光学平面上に、周期  $5\mu m$  以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が 500nm 以上の鋸歯構造、b)直径 50mm 以上の光学平面上に、高さ 300nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 300nm 以下で 1 次元あるいは 2 次元的に配置される構造、c)直径 50mm 以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材のシミュレーションが短時間で可能な専用シミュレータ、および、微細加工による形状の制限条件を付加できる自動設計ソフト、d)低分子ガラスの成型にかかわる材料、プロセスの最適化が可能なマイクロレベルのシミュレーション技術、および、原子レベルの欠陥、モールド界面挙動の解明が可能なナノレベルのシミュレーション技術を開発することである。これらの目標値を達成するために、以下のような取り組みを実施した。

②-1. モールド作製・成型技術

②-1-1. モールド表面へのパターンニング技術

②-1-1-1. 電子線描画法 (産総研、パナソニック株式会社、コニカミノルタオプト株式会社)

中間評価までに、グラッシーカーボン(GC)や炭化ケイ素(SiC)等のモールド表面に、周期 200~500nm、面積 6mm 角以上の範囲に波長板のための 1 次元周期パターンを安定に描画できる条件を確立した。また、反射防止構造のための 2 次元周期パターン描画速度を、0.1cm<sup>2</sup>/日から 1.0cm<sup>2</sup>/日に高速化した。

中間評価以降は、装置メーカーと共同で、曲面描画のための装置改造を行い、周期 250nm の 2 次元周期パターンの描画に成功した。中間評価までに、周期 10 $\mu m$ 、高さ 557nm の鋸歯形状の描画にも成功したが、実用化を考慮して機械加工法に変更した。

Ⅲ. 研究開発成果について(続き)

②-1-1-2. 大面積平面干渉露光(産業技術総合研究所、一部、京都工繊大および北大に再委託)

中間評価までに、He-Cd レーザー(波長 325nm)を用いた干渉露光により、シリコン、石英および SiC 基板表面への周期 290nm、溝深さ 730nm の 1 次元レジストパターンおよび、周期 290nm、穴型 100~150nm の 2 次元周期構造を、平面および曲面に形成した。

京都工繊大では、周期 500nm 以下の 1 次元周期構造の格子周期微調精技術に加え、位相マスクを用いた干渉露光による鋸歯形状のレジストパターン作製法、および、円柱ミラーを利用した異周期グレーティング括作製技術を開発し、集中研での鋸歯構造モールドへの応用に関する検討を開始した。

中間評価以降に再委託した北大では、He-Cd レーザーの二光速干渉露光において、入射光の偏光状態がパターンに与える影響などを最適化し、これまでで最も狭い周期 230 nm の均一な 1 次元および 2 次元のレジストパターンを形成した。

②-1-1-3. 曲面上へのパターニング技術(産業技術総合研究所、大阪府立大学へ再委託)

YAG レーザー4 倍波(波長 266nm)の干渉露光で、直径 10mm、曲率半径 10mm の凹面レンズの表面に周期 250nm のパターンを形成した。さらに、二つの球面波が作る干渉縞を利用して曲面上に等周期のパターニングを行う方法を考案し、周期変化の少ないパターニングが行えることを示した。

②-1-2. モールド表面のエッチング技術(パナソニック株式会社、コニカミノルタオプト株式会社)

中間評価までに、GC、SiC、WC の平板のドライエッチングに成功し、周期 300~500nm で 1~2 次元の周期構造を作製した。特に、SiC のドライエッチングにおいては、エッチングガスの組成によって表面に形成される周期構造の溝側壁の傾斜角度を制御できることを見出し、企業と産総研が共同で特許出願した。さらに、切削加工装置を導入し、NiP メッキ膜の表面に、傾斜角 15~30° の鋸歯構造モールドを作製した。

中間評価以降は、偏光分離素子用の周期 200nm、250nm、300nm の SiC 平面 1 次元格子、および、反射防止レンズ用の周期 250nm の SiC 曲面 2 次元格子を形成した。さらに、切削加工装置の導入により、屈折回折複合レンズ用の NiP 曲面鋸歯状格子の形成に成功した。

②-1-3. 電鍍技術(パナソニック株式会社、コニカミノルタオプト株式会社)

中間評価までに、X線リソグラフィーで作製した 2 次元レジストパターンにニッケル電鍍を施し、レジストパターンの反転形状を有し、周期 300nm、構造深さ 350nm、面積 20mm 角のニッケル電鍍モールドの試作に成功した。中間評価以降は、同様な形状が SiC 表面に形成できる EB 描画法とドライエッチング法に集約した。

②-1-4. モールド表面処理技術(産業技術総合研究所)

中間評価までに、イオンビームスパッタ法および貴金属イオン注入法で種々の離型膜を形成し、その性能評価を行った。前者では、耐久性の高いカーボン離型膜を形成できた。後者では、数百ナノメートルオーダーの貴金属ドロレットがモールド表面に付着するため、装置の改良が必要であった。高温レオロジー解析装置を導入し、離型膜とガラスの相性を調べたところ、冷却の途中で離型する貴金属系よりも高温離型が可能なカーボン系の方が周期構造の成型には好ましかった。

②-1-5. ガラス成型技術(パナソニック株式会社、コニカミノルタオプト株式会社)

中間評価までに、GC モールドを用いた 1 次元周期構造の形成、石英モールドを用いた反射防止構造の形成に成功し、共にプレス発表を行った。また、SiC モールドを用いた周期 300nm の 1 次元周期構造によって位相差  $0.8\lambda$  (波長 400nm) を達成した。さらに、2 次元周期構造を形成した SiC モールドで、 $15 \times 15 \text{mm}^2$ 、周期 300nm、高さ 290nm の反射防止構造の成型に成功し、反射率 0.2% (波長 530 nm) を達成した。一方、干渉露光を用いた曲面 SiC モールドを作製し、周期 290nm の反射防止構造を有するガラスレンズの成型に成功した。

中間評価以降では、以下の成果を得た。

- (1) ビスマスホウ酸塩系ガラス( $n_d 1.82$ )の両面に、体積含有率 0.5、周期 300nm、構造高さ 170nm および 150nm の 1 次元周期構造を形成し、波長 400nm で 位相差  $0.23\lambda$  を達成した。
- (2) SiC 平板モールドを用いて、リン酸塩系ガラスに  $\phi 50 \text{mm}$ 、周期 300nm、反射率 0.2% の反射防止構造を形成した。
- (3) EB 描画による曲面モールドに反射防止構造を形成し、両面反射防止ガラスレンズ( $\phi 10 \text{mm}$ 、曲率半径 20mm、反射率 0.2%) の成型に成功した。
- (4) 耐熱 NiP レンズモールドに同心円状で周期  $100 \mu \text{m}$  の鋸歯構造を切削加工し、低分散ニオブリン酸塩系ガラスレンズを成型した。さらに、高分散樹脂とのハイブリッド化によって可視域での回折効率 95% 以上を達成した。
- (5) ロール法によるガラス成型に取り組み、周期  $2 \mu \text{m}$  の 1 次元格子を連続転写することに成功した。

②-2. シミュレーション技術（産業技術総合研究所）

②-2-1. 光波シミュレーション技術

②-2-1-1. 大面積光学部材対応光波解析シミュレータ（大阪府立大へ再委託）

平成 21 年度までに、サブ波長構造内の光線追跡として、RCWA 法を用いて構造内の電磁場分布を算出し、ポインティング・ベクトルからエネルギー流の方向を求める手法を考案し、大面積光学部材用の光波解析シミュレータに適用した。これにより、多層膜群速度法では精度が悪かった傾斜の大きい微細構造内での光線追跡が可能になり、集中研での曲面への反射防止構造形成の研究を加速した。また、作成したシミュレータを使って、モスアイ構造が付加されることによって発生する波面収差を補正するためのシステムを開発した。非球面レンズへの反射防止構造の付加によって発生する収差は、バックフォーカスの調整で低減できることを示した。

②-2-1-2. 微細加工による形状制限を組み込んだ光学部材の自動設計ソフトの開発（愛媛大へ再委託）

平成 21 年度までに、波長 405nm、650nm、780nm において 0.25λ の位相差を発現する 1 次元周期構造をガラス成型によって作製することを目的に、微細加工による形状制限を組み込んだ光学部材の自動設計ソフトの開発を行った。充填率と離型性の向上に必須の周期構造の側壁傾斜角度の減少に伴って透過率は増加するが、位相差が減少することがわかった。また、周期構造の先端形状は傾斜角度に比較すると無視できる程度であった。

2. 実用化技術（最終目標達成：◎）

【研究開発項目③「偏光分離素子の開発」】（コニカミノルタオプトと五鈴精工硝子の連携）

コニカミノルタオプトは、高屈折率ガラス表面に構造性複屈折を有する 1 次元周期構造成型技術を確認し、青色レーザーに対応した高密度光ディスクの高性能化を実現するガラスをベースとした偏光分離素子として光メモリディスクドライブのピックアップ素子等への搭載の有効性を検証した。五鈴精工硝子は、量産化に向けて、委託事業で開発したホウ酸塩系高屈折率ガラスプリフォームの自動形成技術を構築した。

【研究開発項目④「屈折・回折複合素子の開発」】（パナソニックと日本山村硝子との連携）

パナソニックは、託事業で構築した切削法による高耐熱メッキ膜加工の実績をベースに、実用レベルの鋸歯構造レンズモールドの加工技術を構築し、高屈折・低分散ガラスの成型、樹脂とのハイブリッド化、および実機搭載による評価を実施した。日本山村硝子は、委託事業で開発した高屈折・低分散ガラスの組成改良と脈理フリーガラスプリフォームの量産化に向けた連続溶融技術を構築した。

【研究開発項目⑤「広帯域無反射素子の開発」】（パナソニックと日本山村硝子との連携）

パナソニックは、委託事業で構築した曲面への電子ビーム描画による反射防止レンズモールドを用い、両面に反射防止構造が形成された青色レーザー用コリメートレンズを試作し、実機搭載による性能評価を実施した。日本山村硝子は、委託事業で開発した高屈折・低屈伏点ガラスの組成改良と量産化に向けた連続溶融技術を構築した。

投稿論文	「査読付き」44 件、「その他」9 件
特 許	「出願済」24 件、「登録」0 件、「実施」0 件（うち国際出願 5 件）
その他の外部発表 （プレス発表等）	口頭発表：147 件 新聞・雑誌記事：28 件、 受賞：5 件

IV. 実用化、事業化の見通しについて

本事業では、基本計画に基づいて、委託事業で構築した共通基盤技術を活用して、平成 20 年度以降にガラスメーカーとセットメーカーとの垂直連携による 3 つの助成事業を開始した。研究開発項目毎の実用化の見通しは以下の通りである。

【研究開発項目③「偏光分離素子の開発」】（コニカミノルタオプトと五鈴精工硝子の連携）

プロジェクト終了後、製品レベルでコスト対応できるように技術検討を行い、平成 24 年度に次世代光ディスクで使用される光学評価用光ピックアップユニットに搭載する予定である。また、平成 26 年度には、これらシステム販売に加え、精度を緩和した量産対応技術の構築を行うことで、コストダウンを図った素子のサンプル供給を開始し、平成 27 年度にサンプル供給から本格量産に移行できれば、150 億円の事業規模が期待できる。

【研究開発項目④「屈折・回折複合素子の開発」】（パナソニックと日本山村硝子との連携）

プロジェクト終了後、製品レベルでの機能開発、量産技術の開発、信頼性の確認、コスト力の検討などを実施し、平成 24 年度からのデジタルスチルカメラへの搭載を目指して開発を推進している。さらに、撮像光学系だけでなく青色レーザー対応の光ピックアップ等への展開を図る。ガラス回折レンズ技術をベースに樹脂とのハイブリッド化、さらには高屈折率ガラスと低屈折率ガラスのハイブリッド化を図り、その応用展開先をプロジェクター光学系、車載光学系などへの拡大も視野に入れる。

IV. 実用化、事業化の見通しについて(続き)	<p><b>【研究開発項目⑤「広帯域無反射素子の開発」(パナソニックと日本山村硝子との連携)</b></p> <p>プロジェクト終了後、製品レベルでの機能開発、量産技術の開発、信頼性の確認、コスト力の検討などを実施し、平成 25 年度より、デジタルスチルカメラなどの撮像光学系における無反射構造カバーガラスあるいはレンズとしての搭載を予定している。その後さらに硝種の拡大を図るとともに、光ピックアップなど他分野への展開も予定している。</p>	
V. 基本計画に関する事項	作成時期	18 年 2 月 作成
	変更履歴	<p>(1)平成 18 年 6 月、研究開発責任者(プロジェクトリーダー)決定に伴い改訂。  (2)平成 20 年 7 月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1)研究開発の目的」の記載を改訂。  (3)平成 21 年 7 月、研究開発責任者(プロジェクトリーダー)の所属変更に伴い改訂。</p>

## 革新的部材産業創出プログラム基本計画

### 1. 目的

今後の成長が期待される情報家電、燃料電池等の新産業分野や自動車等の基幹産業の最終製品の国際競争力の強化を図るためには、それら最終製品の競争力の鍵を握る重要部材（キーデバイス）の技術力が極めて重要である。したがって、部材分野の技術戦略マップを活用して将来の部材の基盤技術の方向性を見定めながら研究開発等を実施することで、材料関係者だけでなく多様な連携（川上川下の垂直連携、異業種間の水平連携等）による基盤技術開発を支援し、部材分野の技術革新を促進する。

### 2. 政策的位置付け

#### ○第3期科学技術基本計画（2006年3月閣議決定）

基本計画において、「ナノテクノロジー・材料分野」は国家的・社会的課題に対応した研究開発の中で特に重点を置き優先的に資源を配分することとされ、第3期基本計画においても引き続き、「特に重点的に研究開発を推進すべき分野（重点推進4分野）」として位置付けられている。

同計画中、「ナノテクノロジー・材料分野」の推進戦略では、部材産業の進展が国際競争力維持に必須であるとし、また「ものづくり技術分野」の推進戦略においても、部材を含むものづくり技術が日本の発展を支えており、今後、さらに維持、強化する必要があるとされている。

#### ○「経済成長戦略大綱」（2006年7月財政・経済一体改革会議）

「我が国の国際競争力の強化」の取り組みとして掲げられている「高度な部品・材料産業やモノ作り中小企業の強化」に位置付けられ、「技術戦略マップ」（平成17年3月）の活用等により、ユーザー企業との垂直連携による研究開発を推進することを通して、我が国経済発展の基盤である高品質、高性能な部品・材料産業の強化を図る。」ことが今後の取組として記載されている。

#### ○「新産業創造戦略2005」（2005年6月経済産業省）

部材分野は、新産業群の創出を支える共通基盤技術として位置づけられ、「高度部材・基盤産業」の集積を形成していることが、「ものづくり」に不可欠な基盤技術のネットワーク化を通じた現場レベルでの迅速かつ高度な摺り合わせを可能としており、我が国「ものづくり」の強みの源泉となっている。」と記載されている。

### 3. 目標

部材分野の技術戦略マップの活用等により、ユーザー企業との垂直連携による研究開発を推進することを通して、我が国経済発展の基盤である高品質、高性能な部材産業群の強化を図る。

#### 4. 研究開発内容

##### 【プロジェクト】

#### I. 世界トップレベルの材料技術と多様な連携による摺り合わせの連鎖という、我が国製造業固有の強みを促進する研究開発

##### (1) 希少金属代替材料開発プロジェクト

###### ①概要

希少金属は、特殊用途において希有な機能を発揮する一方で、その希少性・偏在性・代替困難性から、市場メカニズムが必ずしもうまく機能せず、その供給停止は川下の経済成長の制約要因となりうるリスクを伴っている。近年、「コンピュータによる材料設計」、「ナノテクによる微細構造制御」等が飛躍的に向上した結果、従来出来なかった、「コンピュータによる最適制御設計による候補元素系の探索」、「結晶粒界、界面の制御等マイクロ構造の制御」等が可能となりつつあることから、こうした最先端技術を用いることで、希少金属の新たな代替／使用量低減技術を開発する。

###### ②技術目標及び達成時期

2011年度までに、以下希少金属元素の使用原単位について現状と比較して以下の低減ができる製造技術を開発し、ユーザー企業、大学等の外部機関に対して機能評価のためにラボレベルで提供できる（試料提供）水準に至るまでの技術を確認することを目標とする。また、製品の機能や製造コストは現状と同等を少なくとも維持することを前提とする。

- ・透明電極向けインジウム (In) : 現状から50%以上低減
- ・希土類磁石向けディスプロシウム (Dy) : 現状から30%以上低減
- ・超硬工具向けタングステン (W) : 現状から30%以上低減

###### ③研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (2) 高機能複合化金属ガラスを用いた革新的部材技術開発（運営費交付金）

###### ①概要

複合化金属ガラス（金属ガラスマトリックス中に第二相として微結晶や微粒子または微小空隙等を分散させたもの）を創製して、次世代高密度記録媒体、超微小モータ用部材および高強度・高導電性電気接点部材を開発する。

###### ②技術目標及び達成時期

2011年度までに、複合化金属ガラス合金を創製し、従来の金属ガラス単層合金の持つ優れた特徴に加えて、塑性加工性、硬磁気特性、高電気伝導性等を付与する。この複合化金属ガラスの新規特性を用いて、従来の金属ガラス単層合金では為しえなかった革新的部材の開発を行い、さらに多様な工業製品に応用することで、我が国産業の優位性を確保する。

###### ③研究開発期間

2007年度～2011年度

##### (3) 循環社会構築型光触媒産業創成プロジェクト（運営費交付金）

###### ①概要

我が国で発見された光触媒技術の新産業分野開拓を目指し、サイエンスに遡ることにより、

紫外光のみならず、可視光レベルでの性能・機能の飛躍的な向上のための技術基盤を構築する。これにより、従来では困難とされてきた医療関連分野や土壌処理、PFC 処理／フッ素回収などの環境関連分野等に光触媒技術を導入し、光触媒の最大のメリットである自然エネルギーを利用した安心・安全な環境を提供できる技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、材料レベルで紫外光応答型2倍、可視光応答型10倍の感度向上を達成し、その高感度光触媒を適用した薄膜プロセス技術の基盤技術を確立する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(4) 超ハイブリッド部材技術開発

①概要

従来実現が不可能と考えられていた相反する複数機能（トレードオフ機能）を両立できる材料を、異種素材の組合せ（ハイブリッド化）により実現するための技術を開発する。要素技術として、異種材料間の界面挙動をシミュレーション技術等により解明し、ナノレベルよりもさらに微小な原子・分子レベルでのハイブリッド化構造・配列制御のための合成技術を開発する。従来の単一材料では実現困難であったトレードオフの性能を引き出すことで、自動車用構造材料、パワーデバイス用材料、光学材料等を出口イメージとした、高機能革新部材製造に必要な技術基盤を開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、電気・電子材料、光学材料、その他工業材料について従来材料では実現できなかった相反機能を解消するとともに、市場評価が可能な成果物を供試し、市場（ユーザー）から、客観的な実用化研究開発課題を抽出する。また、単なる相反機能の解消ではなく、相反機能を制御・実現する技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) マルチセラミックス膜新断熱材料の開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

住宅やビルなどの冷暖房における大幅な省エネを実現する画期的な断熱性能を示す壁および窓材料を、セラミックスのナノ多孔体構造やナノ羽毛状構造およびセラミックス・ポリマー複合化構造などからなるマルチセラミックス膜アセンブリ技術によって開発する。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、熱貫流率（熱の伝わりやすさ）が $0.3\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、壁厚さ10mm程度の超断熱壁材料および熱貫流率が $0.4\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ 以下、光（可視光）透過率が65%以上（Low-E ガラス使用）、ヘイズ率が1%以下の超断熱窓材料を実現する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(6) 新産業創造高度部材基盤技術開発

我が国製造業を支える高度な部材産業群の「すり合わせ力」を一層強化するため、ユーザー製造業等との連携（川上・川下連携）による研究開発を支援する。

(6-1) マグネシウム鍛造部材技術開発プロジェクト (運営費交付金)

①概要

マグネシウム合金部材について、製品歩留まりが高く、高耐疲労性を付与する鍛造技術の開発を行う。また、循環型素材としてのマグネシウム合金部材の特性を活かし、リサイクル材の鍛造用ビレット化に係る課題抽出を行う。当該技術開発により、マグネシウム鍛造部材製造技術の基盤を構築し、我が国の家電、自動車等の川下産業の競争力の強化に不可欠な高度部材を供給する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに高強度・高耐疲労・加工性に優れたマグネシウム鍛造技術を確立する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6-2) 高感度環境センサ部材開発

①概要

ダイオキシンをはじめとする微量有害有機物質を高感度・高選択・安価・迅速に計測するため、分子認識部位として生体分子を用い、有害有機物質の結合の有無・量を直接電気信号に変換するセラミックセンシング材料(電極材料)を用いたセンサ部材を開発する。

②技術目標及び達成時期

2010年度までに、ダイオキシン類、エストラジオール及びビスフェノールAについて、0.001ng/mlの濃度において有意な電気信号として検出しうる小型・携帯型計測器に挿入可能な寸法のセンサ部材の開発を目標とする。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6-3) 先端機能発現型新構造繊維部材基盤技術の開発 (運営費交付金)

①概要

電界紡糸や熔融紡糸等により創製される極微細な繊維状材料に対してナノオーダーの成形加工や微細な界面加工ならびに複合化することで材料を高機能化した革新的部材を創出する。高機能新材料を求めるユーザーの要望を満たす繊維の極微細加工と高次複合化を解決する基盤技術開発を行う。

②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、電界紡糸法による繊維高機能化、大型装置化技術およびナノ熔融分散紡糸法による超極細炭素繊維製造技術を開発し、これら基盤技術を活用して、高性能・高機能電池用部材、高性能・高機能フィルター用部材、高性能・高機能医療衛生用・産業用部材を開発する。

③研究開発期間

2006年度～2010年度

(6-4) 革新的マイクロ反応場利用部材技術開発 (運営費交付金) (再掲)

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、マイクロリアクター、ナノ空孔などの精密反応場を利用し、反応分子の自由な運動を活性種レベルで制御した革新的な化学反応プロセスと新機能材料創成技術の確立を目指す。さらに、マイクロリアクターとナノ空孔反応場の組み合わせ、各反応場とマイクロ波等のエネルギー供給手段との組み合わせにより協奏的反応場を構成し、さらなる高効率生産等を可能にする基盤技術を開発する。これらの技術の確立により、反応システムの小型化、多段プロセスの簡略化等を通じた化学産業の製造工程等の省エネルギー化を図る。

#### ②技術的目標及び達成時期

2010年度までに、マイクロリアクター技術、ナノ空孔技術を軸とし、これらに更にマイクロ波、超臨界流体等のエネルギー供給手段を組み合わせた協奏的反応場を構成することにより、これまでにない革新的な化学反応プロセスを確立し、新機能材料創成技術を実現する。さらに、これらの技術を用いて高性能・高機能電子材料、医薬中間体などの部材を開発する。

#### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

### (6-5) 次世代高度部材開発評価基盤の開発（運営費交付金）（再掲）

#### ①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。半導体産業分野で、集積回路の消費電力低減に必要な配線形成用各種材料等の開発のネックとなっているナノレベルでの材料間の相互影響を評価可能な統合部材開発支援ツールを開発する。これにより、集積回路の種類やデザインルールに応じて、配線形成用各種材料とプロセスの最適な組み合わせの提案技術（統合的材料ソリューション提案技術）を確立する。

#### ②技術的目標及び達成時期

2008年度までに、半導体材料開発に貢献する材料評価基盤を構築するとともに、上記の統合的材料ソリューション提案技術を確立する。また、本プロジェクトを通して得られた基礎データ等については、プロジェクト実施期間中にデータを体系的に整理し、幅広く社会に提供を図る。

#### ③研究開発期間

2006年度～2008年度

### (6-6) 超フレキシブルディスプレイ部材技術開発（運営費交付金）（再掲）

#### ①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から、製造工程等の省エネルギー化を実現するために行う。従来、表示デバイスの製造には、真空蒸着と高温下での焼成と、それに伴う排ガス排水処理が必須であった。これを、ロール to ロール方式に代替することで常圧、常温下での製造を実現し、フレキシブルな薄型ディスプレイを効率よく製造する。そのために、有機 TFT 材料およびコンタクトプリント技術等を開発する。

#### ②技術的目標及び達成時期

2009年度までに、実用化に向けた実証のための巻き取り方式ディスプレイのプロトタイプを試作する。またフレキシブルデバイス材料開発に貢献する部材ならびに薄膜複合化技術を開発し、これらをパネル化するための実用化技術を確立する。

### ③研究開発期間

2006年度～2009年度

#### (6-7) 低損失オプティカル新機能部材技術開発（運営費交付金）（再掲）

##### ①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、近接場光の原理・効果を応用した低損失オプティカル新機能部材技術を開発し、実用化の目処を得ることを目的とする。動作原理に近接場光を用いるオプティカル新機能部材は、従来の材料特性のみに依存した光学部品では不可能な機能・性能を発揮し、液晶プロジェクター・液晶ディスプレイなど情報家電の省エネルギー、高性能・高信頼化を図る上でのキーデバイスとなることが期待できる。

##### ②技術目標及び達成時期

2010年度までに、共通基盤技術として、ナノ構造部材の設計・作製・評価技術を開発するとともに、ナノ構造部材に発現する近接場光の機能を動作原理とする低損失オプティカル新機能部材を検討し機能を確認する。

### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (6-8) 次世代光波制御材料・素子化技術（運営費交付金）（再掲）

##### ①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものであり、ガラス材料に関する精密モールド技術を確立し、機能性の高い光波制御素子を低コストで生産できるプロセス技術を開発することで部材の小型化・高機能化を図りつつ、省エネを実現する。

##### ②技術目標及び達成時期

2010年度までにサブ波長レベルの微細構造をガラス表面にモールド成形する技術を実現し、実装可能な具体的なデバイスを作製する。

### ③研究開発期間

2006年度～2010年度

#### (6-9) 高度分析機器開発実用化プロジェクト（再掲）

##### ①概要

燃料電池・情報家電・ナノテクといった先端新産業において、材料解析・性能評価・品質管理等で必要とされる超微量・超低濃度試料の分析技術の開発を行う。これら産業化の各フェーズに適した分析技術を開発することにより、先端新産業の事業化や製品の高付加価値化を図る。

##### ②技術目標及び達成時期

2008年度までに希ガスイオン源を搭載した集束イオンビームの開発、低加速・高分解能・高感度の元素分析用顕微鏡の開発、超微量試料用分離・分析技術の開発を行う。

### ③研究開発期間

2006年度～2008年度

## II. 最適な工程で素材の特性を部材に創り込み、目的とする機能を実現するための材料創成と

成形加工を一体化した材料プロセス技術を構築するとともに、技術の体系化を図る研究開発

(1) 鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基盤研究開発 (運営費交付金) (再掲)

①概要

プラント、構造物や自動車等の革新的な高効率化、省エネルギー化、長寿命化、安全・安心化を図るため、最新の科学的知見を導入し、鉄鋼材料及び鋼構造体を超高機能化する基盤的研究開発を行う。具体的には、高強度鋼、高機能鋼の実用化拡大の基盤となる(1)高級鋼厚板(高強度、低温用)溶接部の信頼性・寿命を大幅に向上する溶接施工技術(高密度・清浄熱源溶接技術)、及び水素破壊の機構解明等を踏まえた金属組織制御技術を基本とする溶接材料技術、(2)部材の軽量化を図るために強度、加工性等の最適機能傾斜を付与する機械部品鍛造技術(駆動部材の信頼性確保のための耐疲労破壊特性の向上を踏まえた)の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、高級鋼(高強度鋼・低温用鋼・耐熱鋼)の溶接を予熱・後熱なしに可能とする溶接技術と材料技術を開発するとともに、傾斜機能部材の鍛造技術を開発する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) 高機能チタン合金創製プロセス技術開発プロジェクト

①概要

エネルギー需給構造の高度化を図る観点から行うものである。高比強度、高耐食性を有するチタン合金の低コスト化と加工技術の確立のため、現状のバッチ式クロール法に代替する、Ca還元を利用した一次インゴット造塊までの連続製錬プロセスを開発し、製造プロセスにおける省エネルギー化を図る。また、そのプロセスで生産される低濃度酸素純チタンの優れた加工性を利用した、革新的な成形プロセス技術を開発する。

②技術目標及び達成時期

2008年度までに、省エネ型チタン新製錬プロセスを開発し、現状の製錬法と比較して、30%程度の製造コスト低減効果を実証する。また、板厚0.3mmのチタン合金薄板において、引っ張り強度500MPa以上、かつエリクセン値7.5以上の高成形性を達成する。

③研究開発期間

2005年度～2008年度

(3) セラミックリアクター開発 (運営費交付金) (再掲)

①概要

電気化学的に物質やエネルギーを高効率で変換する次世代型セラミックリアクターの実現のため、低温作動と急速作動停止を可能とする材料の開発とマイクロセルの集積構造化技術等の開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2009年度までに、新電解質材料の適用や電極反応の高効率化等による、低温作動時(650℃以下)での出力性能を向上させる材料技術と共に、マイクロセルの集積構造化や精緻なインターフェース構築のための製造プロセス技術を開発。そして、これらの技術を統合することにより、次世代型セラミックリアクターとしてのプロトタイプモジュール実証(出力

性能  $2 \text{ kW/cm}^2$  等) を行う。

③研究開発期間

2005年度～2009年度

(4) 高温超電導電力ケーブル実証プロジェクト (運営費交付金) (再掲)

①概要

革新的な超電導送電技術を確立するため、工業生産プロセスで実用化レベルに達している高温超電導線材を活用し、実用化のための実証試験及び評価を行う。

②技術目標及び達成時期

2011年度までに、200MVA級の中間接続部を有した三心一括型高温超電導ケーブルを、冷却装置や保護装置などの付帯設備とともに66KV実系統に接続して、12ヶ月以上の長期連系試験を行うことによって総合的な安全性や信頼性を実証する。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(5) 超電導応用基盤技術研究開発 (運営費交付金) (再掲)

①概要

高電流密度・低コストが期待できる次世代イットリウム系超電導線材の事業化が見通せる基盤技術開発を行う。また、上記線材の特性(耐磁場性、臨界電流密度等)の向上を図るための、高温超電導材料の物理的性質に関する研究開発を行う。

更に、2006年度から、この線材の実用化を加速する観点から、機器応用(電力ケーブル、変圧器、限流器、モータ等)に向けた研究開発の初期段階としての機器要素技術開発を行う。

②技術目標及び達成時期

2007年度までに、実用化に繋げ得る技術レベルとして、以下の目標を達成する。

(i) 高性能長尺線材プロセス開発において、長さ $\geq 500\text{m}$ 、臨界電流 $\geq 300\text{A/cm}$ 幅(77K, 0T)、 $\geq 30\text{A/cm}$ 幅(77K, 3T)、作成速度5m/h以上を達成。

(ii) 低コスト長尺線材プロセス開発において、長さ $\geq 500\text{m}$ 、臨界電流 $\geq 300\text{A/cm}$ 幅(77K, 0T)、作成速度5m/h以上を達成。

(iii) 極低コスト線材プロセス開発において、長さ $\geq 50\text{m}$ 、 $I_c \geq 200\text{A}$ (77K, 0T)を達成。

③研究開発期間

2003年度～2007年度

### Ⅲ. 実用化事業

(1) 異分野異業種融合ナノテクチャレンジ (運営費交付金) (再掲)

①概要

革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種異分野の連携で行う部材開発に対して支援を行い、燃料電池、ロボット、情報家電、健康・福祉・機器・サービス、環境・エネルギー・機器・サービスの5分野に資するキーデバイスの実現を目指す。

②技術目標及び達成時期

マテリアル・プロセス研究、加工・計測技術研究、昨今の環境意識向上に対応した研究、社会課題を解決するための基盤技術研究に加え、異分野等の融合研究を推進することによ

り、2011年度までにナノテクノロジーの産業化のための基盤的技術を確立し、実用化を図る。

③研究開発期間

2007年度～2011年度

(2) ナノテク・先端部材実用化研究開発（運営費交付金）（再掲）

①概要

新産業創造戦略の趣旨に則り、革新的なナノテクノロジーを活用し、川上と川下の連携、異業種・異分野の連携で行うデバイス化開発の支援を行うため、  
○ナノテクノロジー活用による材料・部材の高度化を図る先導的研究開発（ステージⅠ）  
○ナノテクノロジー研究成果の部材等への課題設定型実用化により目指した開発支援（ステージⅡ）について提案公募を実施する。

②技術目標及び達成時期

2010年頃に想定される半導体微細加工の限界を克服するため、分子・原子を1つずつ制御し部品部材に組み上げる「ボトムアップ型」のナノテクノロジーなど革新的なナノテクノロジー等の活用により、情報家電・ロボット、燃料電池等新規産業5分野等において、従来の性能・効率を大幅に改善するナノテク・先端部材技術を開発し、我が国が優位にあるナノテクノロジーを基盤とした国際的な産業競争力を強化することを目標とする。

③研究開発期間

2005年度～2011年度

5. 政策目標の実現に向けた環境整備（成果の実用化、導入普及に向けた取組）

[標準化]

・各プロジェクトで得られた成果のうち、標準化すべきものについては、適切な標準化活動（国際規格（ISO/IEC）、日本工業規格（JIS）、その他国際的に認知された標準の提案等）を実施する。

[導入普及促進]

・毎年、プロジェクト毎に研究成果を公開するフォーラムを開催するとともに、プログラム全体として実用化に向けた調査・討論を実施する。  
・NEDO成果普及費を活用した新技術の実証・サンプル提供等を行う。

[関係機関との連携]

・基礎・基盤的領域であることから学協会との連携を確立するとともに、学協会の年会等でプロジェクト毎に公開討論を行う。

[人材育成]

・横断的・融合的技術領域でもあることから参加研究機関の研究者のネットワークを構築する。  
・技術経営人材育成プログラム導入促進事業を活用し、材料分野に関して、大学や民間企業における、企業のイノベーション促進のためのシステム改革を担う技術経営（MOT）人材の育成を図る。

## 6. 研究開発の実施に当たっての留意事項

事業の全部又は一部について独立行政法人の運営費交付金により実施されるもの（事業名に（運営費交付金）と記載したもの）は、中期目標、中期計画等に基づき、運営費交付金の総額の範囲内で、当該独立行政法人の裁量によって実施されるものである。

## 7. プログラムの期間

プログラムの期間は、2002年度から2011年度まで。

## 8. 改訂履歴

- (1) 平成14年2月28日付け制定。
- (2) 平成15年3月10日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成14・02・25産局第9号）は、廃止。
- (3) 平成16年3月7日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成15・03・07産局第5号）は、廃止。
- (4) 平成17年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成16・03・07産局第5号）は、廃止。
- (5) 平成18年3月31日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成17・03・25産局第3号）は、廃止。
- (6) 平成19年4月2日付け制定。革新的部材産業創出プログラム基本計画（平成18・03・31産局第14号）は、廃止。

(ナノテク・部材イノベーションプログラム・エネルギーイノベーションプログラム・ITイノベーションプログラム)

「次世代光波制御材料・素子化技術」基本計画

ナノテクノロジー・材料技術開発部

1. 研究開発の目的・目標・内容

(1) 研究開発の目的

我が国の材料産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な材料技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など）を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。

そこで本プロジェクトは、『部材分野の技術戦略マップを活用し、将来の部材の基盤技術の方向性を見定めるとともに、材料関係者だけでなく多様な連携（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携等）による基盤技術開発を支援することで、部材分野の技術革新を促進すること』を目的とした「ナノテク・部材イノベーションプログラム」の中で、特に『川上・川中・川下の各段階における[擦り合わせ]の連鎖こそが我が国の高度部材産業の強みとなっていることから、この擦り合わせ力の向上に資するようなプロジェクト体制（垂直連携）で実施することで、川下産業の競争力向上に貢献すること』を目的として実施するものである。また同時に、我が国エネルギー供給の効率化に資する「エネルギーイノベーションプログラム」及びITの利活用の深化・拡大を図り、より豊かな国民生活を実現するとともに、我が国の経済活力の向上を図ることを目的とする「ITイノベーションプログラム」の一環としても本プロジェクトを行う。

これまで日本の技術力が世界を牽引してきた高度情報家電用部材や高速光通信用部材の産業の優位性が今後も維持され、持続的に発展するためには、新規材料および精密成型等の加工プロセスに関する基盤技術をさらに高度なレベルにする必要がある。材料創成技術戦略マップにおいても、情報家電分野の中で、光ファイバー、光回路、フォトニック結晶等の開発の重要性が指摘されているとともに、その導入シナリオで、部材産業の基盤の確立の観点から、国がより短期間の効率的な投資で技術開発を進めていくこととされている。

情報家電や光通信分野で多用されている国産の光学部材の優位性の裏付けとして、例えば、デジタルスチルカメラ関連製品分野において日本企業が占める世界市場は80%以上、光メモリディスクドライブ等では65%以上、といった事例があげられる。また、光産業技術振興協会がまとめた光産業将来ビジョンによれば、2010年時点での国内生産額は約10兆円と予測されている。しかしながら、最近ではアジア諸国の低コスト攻勢に直面していることから日本の光学部材を取り巻く産業群が持続的に進展を遂げることを目的とする次世代の情報家電製品およびフォトニックネットワークに用いる革新的機能を発現する光波制御部材の研究開発の戦略的な推進が必要である。

一方、技術の詳細についての現状を見てみると、昨今のLDやLEDの高輝度化に伴い、種々の光学部品の無反射コートを省略してでも低コスト化が図られている中で、従来型の光学部材については

現状技術の延長線上での対策よりも速いペースで低廉化が進んでいる状況にある。このままでは国内の光学材料、光学部材に関連する産業の空洞化は避けられず、早急に新たな技術革新に取り組む必要がある。特に光学部材においては、従来の屈折や回折といった古典的機能だけでなく、光の波長レベルあるいはそれ以下の微細構造によって屈折率を人為的に制御し、無反射、位相制御、光閉じ込め等の、いわゆる光波制御機能を発現するための革新的光学部材に関する技術開発基盤の構築が必須である。

これまでの光学部材には、その透明性の高さからガラスと樹脂が使われてきたが、ガラスは、屈折率や分散値の選択範囲の広さや長期信頼性の観点で樹脂よりも圧倒的に有利であり、今後も多用されるものと期待される。そのガラス素材を使用してさらに高度な光波制御機能を発現するためには、新たな組成開発と樹脂並の容易さでの高速・大面積精密成型技術の開発が求められる。

このため、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（以下、「NEDO技術開発機構」という。）は、産学の科学的知見を結集して、我が国が得意とする高性能な情報家電製品および光通信システムを支える光学部材関連産業（材料、素子、装置）のさらなる国際競争力強化のため、従来のレンズ、ミラー、回折格子等の個々の光学部材では実現し得ない高度な機能を発現する次世代光波制御素子を創製するための基盤技術を開発し、これを産業技術へ繋げていくと共に、社会の共通基盤として情報の整備、提供を通じて、行政、産業界、地域住民等の間で科学的知見に基づいた正確かつ適切な認識の醸成を図る事業方針に基づき、以下のプロジェクトを実施する。

本プロジェクトはH17年度に策定されたロードマップにおいて新産業創造戦略重点7分野の一つである「情報家電」の中で「光学部材」に位置づけられている。光学部材ではこれまで日本が高いシェアを維持し今後の技術革新が切望されている光メモリ用、撮像用、ディスプレイ用、光通信用光学部材等に重点がおかれている。

本プロジェクトは情報家電産業・情報通信産業等の、日本が得意としてきた幅広い摺り合わせ型産業の競争力の一層強化に貢献できる基盤技術を構築するものである。そして日本が世界をリードしているデジタルスチルカメラ等の撮像光学系、光メモリディスクのピックアップ光学系、液晶プロジェクション光学系など、高いシェアを維持してきた情報家電製品群の中核となる光学部材のための新規材料・精密成型の技術革新を目的としている。材料では、広い透過波長域と高屈折率等、これまですべての条件を満足することが困難であった特性を兼ね備え、かつ、モールドによる成型に適した新規ガラス材料を開発する。また、高温域でのガラスへの微細構造の形成が可能な耐熱モールドの創製技術を開発する。さらには、平面あるいは曲面ガラスの表面に形成された光の波長レベルあるいはそれ以下の微細構造等を活用した次世代光波制御素子化技術を開発する。

## (2) 研究開発の目標

### 1) 共通基盤技術

中間目標（平成20年度末）

- ①高い屈折率と広い透過波長域を有する、モールドによる成型が可能な新規ガラス材料を開発する。
- ②高温に加熱されたガラス光学平面上へ、微細構造の形成が可能な耐熱モールドの創製技術を開発する。併せて、微細構造等を活用した次世代光波制御素子の実現のための要素技術を開発する。

最終目標（平成22年度末）

①より高い屈折率と広い透過波長域および低い屈伏点を有する、モールドによる成型に適した新規ガラス材料を開発する。

②高温に加熱されたガラス光学平面上へ、波長レベル以下の微細構造の大面積での形成が可能な耐熱モールドの創製技術を開発する。さらには、微細構造等を活用した次世代光波制御素子化技術を開発する。

## 2) 実用化技術（平成22年度末）

上記基盤技術を元に、従来にない新たな光学機能、あるいは複数の部材を組みあわせなければ実現できなかった光学機能を、高効率または複合的に発現する次世代光波制御素子として、

- ① サブ波長深溝周期構造によって発現する屈折率異方性を利用した偏光分離素子、
- ② 屈折機能と回折機能を同時に発現するレンズ、
- ③ 表面にサブ波長錘形が2次元的に形成された広帯域無反射レンズ、

を開発する。

## (3) 研究開発内容

上記目標を達成するために、以下の研究開発項目について、別紙の研究開発計画に基づき研究開発を実施する。

### [委託事業]

- ① 高屈折・低屈伏点ガラスの研究
- ② サブ波長微細構造成型技術の研究

### [助成事業（助成率1／2）]

- ③ 偏光分離素子の開発
- ④ 屈折・回折複合素子の開発
- ⑤ 広帯域無反射素子の開発

## 2. 研究開発の実施方式

### (1) 研究開発の実施体制

本研究開発は、NEDO技術開発機構が、単独ないし複数の原則、本邦の企業、研究組合、公益法人等の研究機関（原則、国内に研究開発拠点を有していること。ただし、国外企業の特別な研究開発能力、研究施設等の活用あるいは国際標準獲得の観点からの国外企業との連携が必要な場合はこの限りではない。）から公募によって研究開発実施者を選定し実施する。

研究開発に参加する各研究開発グループの有する研究開発ポテンシャルの最大限の活用により効率的な研究開発の推進を図る観点から、研究体にはNEDO技術開発機構が委託先決定後に指名する研究開発責任者（プロジェクトリーダー）国立大学法人北海道大学 電子科学研究所 電子機能素子研究部門 教授 西井 準治を置き、その下に研究者を可能な限り結集して効果的な研究開発を実施する。

本研究開発において、NEDO技術開発機構が主体となって行うべき基礎的・基盤的研究開発であると判断される研究開発内容に示した①、②の事業は委託により実施し、市場化に向けた産業界の具体的な取り組みが示されるべき実用化研究開発であると判断される研究開発内容に示した③④⑤の事業は助成（助成率1／2）により実施する。

## (2) 研究開発の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任を有する NEDO 技術開発機構は、経済産業省および研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的および目標、並びに、本研究開発の目的および目標に照らして適切な運営管理を実施する。具体的には、必要に応じて設置される技術検討委員会等における外部有識者の意見を運営管理に反映させる他、四半期に一回程度プロジェクトリーダー等を通じてプロジェクトの進捗について報告を受けること等を行う。

## 3. 研究開発の実施期間

本研究開発の期間は、平成18年度から平成22年度までの5年間とする。

## 4. 評価に関する事項

NEDO技術開発機構は、技術的及び政策的観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義ならびに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成20年度、事後評価を平成23年度に実施する。また、中間評価結果を踏まえ必要に応じプロジェクトの加速・縮小・中止等見直しを迅速に行う。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況等に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

## 5. その他の重要事項

### (1) 研究開発成果の取扱い

#### ① 共通基盤技術の形成に資する成果の普及

研究開発成果については、NEDO技術開発機構、実施者とも普及に努めるものとする。

#### ② 知的基盤整備事業又は標準化等との連携

得られた研究開発の成果については、知的基盤整備または標準化等との連携を図るため、データベースへのデータの提供、標準情報（TR）制度への提案等を積極的に行う。

#### ③ 知的財産権の帰属

委託研究開発の成果に関わる知的財産権については、「独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構新エネルギー・産業技術業務方法書」第26条の規定等に基づき、原則として、すべて委託先に帰属させることとする。

### (2) 基本計画の変更

NEDO技術開発機構は、研究開発内容の妥当性を確保するため、社会・経済的状況、内外の研究開発動向、政策動向、プログラム基本計画の変更、第三者の視点からの評価結果、研究開発費の確保状況、当該研究開発の進捗状況等を総合的に勘案し、達成目標、実施期間、研究開発体制等、基本計画の見直しを弾力的に行うものとする。

### (3) 根拠法

本プロジェクトは、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構法第15条第1項第2号及び3号に基づき実施する。

(4) その他

本研究によって得られたあらゆる知的財産、また本研究の過程または成果に基づき開発したプログラム、サンプルもしくは装置などの成果物について、本プロジェクト外（国内外）への供試・開示については、事前にプロジェクトリーダーとNEDO技術開発機構に連絡する。

その際に、NEDO技術開発機構が申請書の提出を求めた場合は、これに応じ速やかに提出する。

6. 基本計画の改訂履歴

- (1) 平成18年3月、制定。
- (2) 平成18年6月、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）決定に伴い改訂。
- (3) 平成20年7月、イノベーションプログラム基本計画の制定により、「(1) 研究開発の目的」の記載を改訂。
- (4) 平成21年7月、研究開発責任者（プロジェクトリーダー）の所属変更に伴い改訂。

## (別紙) 研究開発計画

### 研究開発項目①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」

#### 1. 研究開発の必要性

成型時のモールド表面を劣化させることなく、ガラス表面に微細構造を転写するためには、ガラスの成型温度、および成型時のガラスの粘度を低くする必要がある。また、微細構造のアスペクト比を小さくした方が成型の難易度が下がるため、一般的には、屈折率の高いガラスが好ましい。さらに、特に撮像光学系等で用いられる光学部材の場合、その透過波長域の下限は400nm以下、上限は800nm以上が好ましい。現時点では屈伏点315℃のガラスが報告されているが、屈折率が1.50と低いため、微細構造を用いた光波制御機能を発現するためには、極めて大きなアスペクト比(矩形形状の場合、その高さと溝幅の比)を確保する必要がある。したがって、屈折率が高く、かつ低い温度で成型が可能で、広い透過波長域を有するガラス組成を開発する必要がある。

#### 2. 研究開発の具体的内容

鉛等の法規制された有害物質を含まず、高屈折率で、低い温度で成型可能なガラス組成を開発し、モールドによる成型テストを実施することによって、微細構造の転写性、モールドに与える損傷、および発現する光学特性等との相関を体系的に調べる。

#### 3. 達成目標

モールドによる微細構造の形成に適した以下のガラス材料を開発する。

##### (1) 中間目標(平成20年度末)

波長589nmでの屈折率が1.7以上、屈伏点500℃以下で、透過波長下限400nm以下のガラス材料を開発する。

##### (2) 最終目標(平成22年度末)

波長589nmでの屈折率が1.8以上、屈伏点450℃以下で、透過波長下限400nm以下のガラス材料を開発する。

## 研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」

### 1. 研究開発の必要性

ガラス成型用モールド材料は、耐熱性、硬度、強度に優れ、ガラスとの反応性が無い材料でなければならない。現在までに報告されているモールド用材料としては、白金イリジウム、ニッケルタングステンなどの金属系と、炭化タングステン、窒化チタン、炭化シリコンなどのセラミック系が報告されている。非球面レンズ等の成型は600～700℃付近で行われるが、これらのモールド材料の表面に波長レベル以下の微細構造を形成し、ガラスにそれを転写した例はない。微細構造を形成した唯一のモールド材料としてグラッシーカーボンが知られているが、強度の点で実用化には至っていない。また、ダイヤモンド等のバイトを用いた機械加工も知られているが、現状では、その用途は回折格子に限定されている。一方、温度が200℃以下の樹脂の成型用に用いられる電鍍法で作られたNiモールドは、200～300℃の温度域でNiの結晶化が進行するために脆くなり、現状ではガラスの成型に使えない。したがって、可視域の波長レベル以下の1次元あるいは2次元の周期パターンを持つ微細構造をガラス表面に形成するためには、成型温度の低いガラス材料の開発研究と連携しながら、表面に微細構造が形成された耐熱性の高い平面形状あるいは曲面形状のモールドおよび成型プロセス技術の開発が必要である。

さらに、ガラス表面に光の波長以下の微細な構造をモールド法で正確に形成し、目的とする光波制御機能を発現させるためには、光波シミュレーションが重要である。

表面に微細周期構造をもつ光学部材の設計には、微細構造での光波の振る舞いを見積もるための光波シミュレータが必要になる。微小領域での光波シミュレーション技術は、時間領域差分法をはじめとする幾つかの電磁場解析法によってほぼ確立されている。しかし、本プロジェクトの重要課題である大面積および曲面への微細構造の場合、大規模な3次元解析が必要になるが、計算機の容量および時間の現実的な制限によって十分なシミュレーションができない状況である。よって、微細構造をもつ光学部材の光波解析を大規模領域で効率よく行うシミュレーション技術の開発が必要である。

一方、成型のシミュレータは市販品として多く存在するものの、波長レベル以下の微細構造には適用できない。よって、微細部部分でのガラスの流動現象、ガラス・モールド界面での分子挙動など、ガラスの微細構造成型に関わる重要な部分についてのシミュレーション技術の開発が必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

可視域の波長レベル以下の微細構造が形成されたガラス成型用モールドを作製するために、

- a) 可視域の波長レベル以下の1次元あるいは2次元の微細周期パターンを、干渉露光法等によって平面、曲面およびロール形状のモールド基材表面に均一かつ大面積で形成する技術、および微細構造の周期を微調できる干渉露光技術、さらには、構造単位が鋸歯や錘形等の複雑な形状の微細構造パターンを、電子線描画法等で1次元あるいは2次元に形成する技術を開発する。
- b) 干渉露光法や電子線描画法等で形成したパターンを、耐熱性等に優れた金属あるいはセラミック等のパターンに転写し、その後イオンビーム等でモールド表面に微細構造を形成する技術を開発する。

さらに、本プロジェクトで開発した低屈伏点ガラスの表面に熱プレス方式あるいはロールアウト方式で微細構造を転写し、その転写性や光学特性をシミュレーション結果と対比することで総合的に評価し、ガラス組成、モールドの微細構造の形状と表面保護膜の材質等にフィードバック

することで、微細構造を精密に再現性よく転写するための基盤技術を開発する。

一方、光波シミュレーション技術に関しては、大面積光学部材の特性の解析を目的として、大面積光学部材対応光波解析シミュレータ、および、微細加工による形状制限を組み込んだ光学部材の自動設計ソフトの開発を行う。成型プロセスに関しては、ガラス成型過程の流動現象を、実験結果と対応させながらマクロに解析するシミュレーション技術を開発する。また、ガラスやモールドの破壊メカニズムなど、従来の連続体力学では解析できない分子・原子レベルでのガラスの挙動をナノレベルで解析するシミュレーション技術を開発する。これらのシミュレーション技術を駆使すれば、モールド/ガラス界面の挙動、成型ならびに離型時のメカニズムを解明できると期待される。

### 3. 達成目標

微細構造が形成された平面、曲面、ロール形状等のモールドを用いて、以下のような表面構造を本プロジェクトで開発した低屈伏点ガラス表面に成型する技術、およびシミュレーション技術の開発を実施する。

#### (1) 中間目標（平成20年度末）

- a) 直径1 mm以上の光学平面上に、周期10  $\mu$  m以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が200 nm以上の鋸歯構造を実証する。
- b) 直径5 mm以上の光学平面上に、高さ250 nm以上の矩形または錘形の構造が周期500 nm以下で1次元あるいは2次的に配置される構造を実証する。
- c) 直径5 mm以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材の光波解析が短時間で可能なシミュレータの基本部分、および、光波解析シミュレータに探索機能を持たせた自動設計ソフトを開発する。
- d) 連続体力学をベースとしたマイクロ成型シミュレーション技術、および、ガラス、モールド材料の原子レベルでの欠陥やトライボロジーを解析、評価する分子シミュレーション技術を開発する。

#### (2) 最終目標（平成22年度末）

- a) 直径10 mm以上の光学平面上に、周期5  $\mu$  m以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が500 nm以上の鋸歯構造を実証する。
- b) 直径50 mm以上の光学平面上に、高さ300 nm以上の矩形または錘形の構造が周期300 nm以下で1次元あるいは2次的に配置される構造を実証する。
- c) 直径50 mm以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材のシミュレーションが短時間で可能な専用シミュレータ、および、微細加工による形状の制限条件を付加できる自動設計ソフトを開発する。
- d) 低分子ガラスの成型にかかわる材料、プロセスの最適化が可能なマイクロレベルのシミュレーション技術、および、原子レベルの欠陥、モールド界面挙動の解明が可能なナノレベルのシミュレーション技術を開発する。

## 研究開発項目③「偏光分離素子の開発」

### 1. 研究開発の必要性

高精細テレビの普及にともない高密度記録可能な次世代光ディスクや大画面のディスプレイが期待されている。これら機器において、光部品はより高効率、高耐久、低コストへの要求が厳しくなっておりガラス部品への期待は非常に高い。特に低消費エネルギーの観点から光の有効利用が必須であり、光の大きな特徴である偏光を巧みに利用することが必要となってくる。このため、光の偏光状態に応じてその進行方向を制御するための偏光分離素子はキーパーツとして重要性を増している。現在は樹脂を延伸させたフィルムなどが利用されているが耐熱温度は比較的低温で機器の高出力化に伴い熱の影響が無視できなくなっている。この高出力化に対応可能な耐熱性を有する偏光分離素子としては高価な結晶材料を使った偏光分離素子しかないのが現状である。これに対して、ガラスにサブ波長構造を形成し、必要な機能の実現可能性を検討されているが、半導体プロセスを利用した複雑な工程が必要であり低コスト要求が強い民生機器用途でもあるため、実用化には至っていない。このため安価、大量生産可能で耐熱、耐久性の高い加工技術および素子の実現が求められている。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高屈折率・低屈伏点ガラス、素子形状の作製誤差に対する性能劣化等のシミュレーション、加工プロセスの過渡現象を解明するためのプロセスシミュレーション、サブ波長微細構造が形成されたモールドおよびその表面処理、さらには、モールド技術等、本プロジェクトの委託事業の中間目標の達成によって得られた成果を総合して、最終目的である偏光分離素子を開発する。さらに、委託事業の最終目標の達成によって得られたガラス材料、モールド、シミュレーション技術を用いて、本プロジェクト終了後の製品化を加速する。

### 3. 達成目標

平成22年度末までに、サブ波長深溝周期構造によって発現する屈折率異方性を利用した偏光分離素子を開発し、光メモリディスクのピックアップ等への搭載の有効性を検証する。

## 研究開発項目④「屈折・回折複合素子の開発」

### 1. 研究開発の必要性

デジタルスチルカメラ、携帯電話用カメラモジュールなどの撮像光学系は市場が急成長している。これらに使用されるレンズは屈折率、分散特性の多様性、高信頼性の要求から、ガラスレンズが大きな割合を占めている。また青色レーザを用いた高密度光ディスクシステムも今後急成長が見込まれるが、このキーデバイスである対物レンズは、高い屈折率と青色耐光性の関係からガラス材料が有利である。しかしこれらの光学系は今後より一層の小型・薄型化、複合機能化、高性能化が求められており、ガラスレンズの高機能化が期待されている。レンズの高機能化として屈折・回折複合素子が注目されてきた。これはレンズ表面に微細な回折格子を形成し色収差補正や光ディスクの互換機能などを持たすものであり、レンズ枚数の削減などに大きな効果がある。これらのレンズを大量生産するためにはモールド技術での作製が必須となるが、耐熱性のある金型に微細加工を施すことが困難なため実際には成型温度が100℃台と低い樹脂レンズでの応用がほとんどであった。このため、全ガラス製屈折・回折複合素子に関する生産を意識した研究開発が必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高屈折率・低屈伏点ガラス、周期5～15 $\mu\text{m}$ 、段差500nm～2 $\mu\text{m}$ の回折形状を形成したモールドおよびその表面処理、モールド素子形状の作製誤差に対する性能劣化等のシミュレーション、加工プロセスの過渡現象を解明するためのプロセスシミュレーション技術等、本プロジェクトの委託事業の中間目標の達成によって得られた成果を総合して、最終目的である屈折・回折複合素子化技術を開発する。さらに、委託事業の最終目標の達成によって得られた材料、モールド、シミュレーション技術を用いて、本プロジェクト終了後の製品化を加速する。なお、本技術はガラスと樹脂のハイブリッド屈折・回折複合素子、さらにはガラスとガラスを組み合わせた屈折・回折複合素子などより高機能な光学デバイスへの応用展開も見込まれる。

### 3. 達成目標

平成22年度末までに、撮像光学系あるいはレーザ光学系に搭載可能な、屈折機能と回折機能を同時に発現するレンズを開発し、実機搭載により有効性を検証する。

## 研究開発項目⑤「広帯域無反射素子の開発」

### 1. 研究開発の必要性

デジタルスチルカメラなどの撮像光学系や、光メモリディスクのピックアップなどのレーザ光学系において、各種光学デバイスの表面反射に起因するコントラストの低下、フレアー・迷光発生の抑制は常に重要課題である。撮像光学系は屈折率、分散特性の多様性、高信頼性の要求から、ガラスレンズが大きな割合を占めている。今後より一層の小型・薄型化、複合機能化、高性能化が求められており、さらなるガラスレンズの高機能化が期待されている。しかも、可視光全域の光をすべて用いるため、広帯域の無反射ガラス素子の開発が望まれている。従来は薄膜コーティングなどにより光の反射率を低減するのが一般的であった。最近、光学デバイスの表面にサブ波長構造を形成することで、広い波長帯域、大きな入射角度に対して反射率を低減させる無反射構造が注目されており、薄膜では実現できない広帯域無反射素子が実現できると期待が高まっている。

しかしながら、現状では樹脂製の光学素子の表面にしか成型できていない。ガラス表面には、電子線リソグラフィとエッチングの組合せ等で作製しなければならず、まったく量産性が無い状態であり、実用化には至っていない。このため、サブ波長構造を形成した広帯域無反射ガラス光学素子を安価に、大量生産するためのガラス成型技術の確立が必要である。

### 2. 研究開発の具体的内容

本研究開発では、高屈折・低屈伏点ガラス、無反射構造を形成したモールドおよびその表面処理、モールド素子形状の作製誤差に対する性能劣化等のシミュレーション、加工プロセスの過渡現象を解明するためのプロセスシミュレーション技術等、本プロジェクトの委託事業の中間目標の達成によって成果を総合して、広帯域無反射構造を有する光学ガラス素子化技術を開発する。さらに、最終目標の達成によって得られた材料、モールド、シミュレーション技術を用いて、本プロジェクト終了後の製品化を加速する。

### 3. 達成目標

平成22年度末までに、撮像光学系に搭載可能な、表面にサブ波長周期の錘形が2次元的に形成された広帯域無反射レンズを開発し、実機搭載により有効性を検証する。

## 用語集

ICP パワー	誘導結合プラズマにかける電圧。
i 線	波長 365nm の光。
i 線レジスト	i 線の光で硬化するレジスト。「i 線」及び「レジスト」参照。
亜鉛-ビスマスリン酸塩ガラス	酸化亜鉛及び酸化ビスマスを含むリン酸塩ガラス。
アッペ屈折計	臨界角を利用した屈折計の一種。
アルカリ土類-ビスマスリン酸塩ガラス	アルカリ土類金属酸化物及び酸化ビスマスを含むリン酸塩ガラス。
アルカリービスマスリン酸塩ガラス	アルカリ金属酸化物及び酸化ビスマスを含むリン酸塩ガラス。
アルミノケイ酸塩ガラス	酸化アルミニウムと酸化ケイ素を主成分とするガラス。
イオン交換法	ガラス中のイオンが周囲の媒体（例えば溶融塩）中のイオンと置換する現象。この交換反応に関与する代表的なイオンは、アルカリ金属イオンのような 1 価の陽イオンである。
イオン注入	イオン発生器で発生させたイオンを加速して基板中に添加する方法。
イオンビームスパッタ (IBS)	イオン発生器で発生させたイオンを加速してターゲットに照射し、ターゲットから飛び出したスパッタ原子を基板上に堆積させる方法。高真空中でも可能であり、不純物が混ざらない。
イオンミリング	数 keV 程度のエネルギーのイオンが固体表面に入射すると、固体原子が散乱を受けてあるものは表面から飛び出す。これを利用して、固体表面をエッチングする方法。
位相マスク	回折現象を利用し、2 方向に光を分けるためのマスク。
位相差	光路差（光路長の差）を角度の単位であらわしたもの。 位相差 = $2\pi \lambda \times$ 光路差。λ は真空中における光の波長。
1 次元周期構造	例えば直線が等間隔で周期的に並んだ構造で、回折格子はその一例。
NCP 格子	不等周期回折格子のこと。Non-Constant Period 格子。
X 線リソグラフィ	光の解像度の限界を超えるために、波長 10~1nm の軟 X 線を光源として利用し、基板上などに微細な形状を加工する技術。
SCCM	ガスの流量の単位で、立法センチメートル毎分。
$n_d$	波長 587nm における屈折率。
$n_0$	波長 589nm における屈折率。
円錐定数	非球面レンズの曲面形状を定義するパラメータの一つ。円錐係数が 1 で非球面係数が 0 のときは、球面を表す。
オージェ電子分光	原子の内殻の電子が励起されてできた空孔に、外殻の電子が遷移する際にエネルギーが放出される。この放出されるエネルギーを、外殻電子が受け取って原子外へ放出される。この電子のエネルギーを測定する分光法。
開口数	光学系の明るさ及び解像力に関係する性能を表す量。
回転検光子法	複屈折の計測手法の一つ。検出器前に設置した偏光板を回転させて透過光の偏光状態を決定する。
格子周期微調技術	本プロジェクトでは、干渉露光の干渉縞周期を、ミラーの角度によって変化させ、目的の周期になるように微調することを意味する。
加成性	ガラス中の諸性質が、それを構成している酸化物に対応するその性質と、その酸化物の割合から近似的に算出できること。

ガラス転移温度	見掛け上固化した状態（ガラス状態）と過冷却液体状態との境目の温度。
干渉露光	2つ以上の光が強め合ったり、弱め合ったりする現象を利用し、露光する方法。
干渉ルーリング	干渉露光法とステージの移動を組み合わせた大面積露光法。
貴金属イオン注入	イオン注入法により貴金属イオンを注入すること。
吸収短波長	光を透過する材料の構成成分が、電子遷移によって光を吸収し始める波長。
空間的コヒーレンス	コヒーレンスとは波の干渉のしやすさを表す性質のこと。空間的に異なった部分を取り出しての干渉性を空間的コヒーレンスという。
屈伏点 (At)	ガラスの熱膨張曲線において、ガラスが軟化することにより見かけ上膨張が止まり、曲線が最大のピークを示す温度。
グラッシーカーボン	ガラス状炭素は、黒鉛とダイヤモンドの中間的構造を有するが、結晶学的には、アモルファス（無定形とも言う）な構造を示す炭素の一つである。
屈折・回折複合素子	屈折によって光の進行方向を変える作用と、回折によって変える作用を複合化して、色収差の少ない集光機能などを実現できる素子。
蛍光X線	原子の内殻の電子が励起されてできた空孔に、外殻の電子が遷移する際に放出されるX線。
結晶化温度	ガラスを加熱した際に、結晶を析出する温度。
結合波方程式	周期構造内の電磁波を平面波の集まりと考え、それぞれの平面波間のエネルギー移動を記述する微分方程式。
GeO <sub>2</sub> 異常現象 ゲルマン酸異常	ゲルマン酸塩ガラスにおいて、物性が組成に対して直線関係を示さず、極大または極小を示す現象。
原子間力顕微鏡	探針と試料とを近接させた際に、探針と試料との間に働く原子間力を検出して、試料の表面像をえる装置。
厳密結合波解析法	回折格子で発生する回折波の各次数における透過率・反射率を電磁場方程式にしたがって厳密に算出する方法。
群速度方向 $\Delta k / \Delta \omega$	周期構造中の光波エネルギーの伝搬速度を群速度といい、その伝搬方向のこと。
光学的塩基性度	プローブイオンを用いて測定した、媒質中の酸素の状態、もしくは電子供与能。
光学式球面形状測定装置	ルビーやダイヤモンドの探針に光を伝搬させながら物体に近づけ、反射してきた光量から物体の面形状を精密に測定する方法。
光線追跡	光学系を通る光線の経路を幾何光学的に決定すること。媒質の境界面におけるスネルの法則の適用による光線の屈折ないし反射、そして光線の次の媒質の境界面への転送を逐次繰り返して光線の経路を求める。
構造的複屈折	結晶の複屈折のように、結晶中の原子、分子の配列に起因するのではなく、物体の形状に起因する複屈折のこと。
ゴム弾性モデル	プラスチックやガラス等に見られる大きな伸びを表現する力学モデル。
コリメートレンズ	ビームの形状を調整するためのレンズ。
三角格子	ハニカム構造のように正三角形を基本として構成されている格子構造。
時間領域差分法	偏微分方程式であるマクスウェルの方程式を時間と空間に対して差分することにより電磁界の時間変化を解析する手法。
紫外線硬化樹脂	紫外線が当たると、硬化する樹脂。

紫外線三光束干渉露光装置	3つの光を用いて干渉露光を行うこと。干渉露光参照。
紫外透過限界波長	「吸収短波長」とほぼ同じ意味で、酸化物光学ガラスの場合、構成元素の電子遷移による光吸収が始まる波長位置が紫外線領域にあるものが大半。
GC モールド	グラッシーカーボン製のモールド。グラッシーカーボン参照
CW-YAGレーザー	イットリウムアルミニウムガーネット結晶を用いた連続発振するレーザー。
収差	光学系によって結像する場合、像の理想像からの幾何光学的なずれ。
収束イオンビーム (FIB) 法	レンズを用いて光を集光させるのと同じように、イオンビームを収束させ一点に集めて用いる方法。
靱性	破壊を起こすのに要する単位体積当たりの仕事の目安。
スカラー回折理論	電磁場ベクトルの3次元的な方向を考慮せずに回折現象を記述する理論。
スティック・スリップ現象	摩擦面の付着と滑りが繰り返されて、摩擦力が周期的に大きく変動する現象。
シンプレックス法	線形計画問題について最も広く使用されている方法。非線形最適化への適用も可能。
ソーダライム系ガラス	$\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{SiO}_2$ を主成分とするガラス。
成型シミュレーション	モールド中でガラスや樹脂などが粘性流動しながら目的とする形状になっていく様子を計算機上で再現するシミュレーター（一般的には有限要素法が使われる）。
ダイヤモンドバイト	人口ダイヤモンドあるいは天然ダイヤモンドを研磨して、超硬金属の先端に接着したバイト。ニッケルや銅などの金属を切削するために使用。
ダイヤモンドライクカーボン	炭素の同素体から成る非晶質（アモルファス）の硬質膜。
チャープ周期	一次元あるいは二次元等の周期構造で、その周期が等間隔ではなく、徐々に変化している周期構造（波長分散などを補償するために用いられることがある）。
デューティー比	周期的な関数において、関数がゼロでない期間を、関数の周期で割ったもの。
超急冷法	ガラスを著しく急冷する方法。これにより、通常の冷却法ではガラスが得られない組成でもガラスが得られることがある。
TE 偏光と TM 偏光	入射面に垂直な方向に電場が振動する偏光 (TE) と入射面内に電場が振動する偏光 (TM)。
電気陰性度	原子が化学結合を作るときに電子を引きつける能力。
電気鋳造 (電鋳)	メッキの原理を応用し、母型の表面に厚いメッキし、後で母型を溶かし出すことにより、母型の形状のレプリカを作る方法。
電子線描画法	電子ビームを用いてパターンを描く方法。
電磁場解析	マクスウェルの方程式から導出される偏微分方程式を解析する手法。
DIMITROV の塩基性度	酸化物のバンドギャップ、または屈折率から求めた塩基性度。
動的粘弾性特性	歪みまたは力を変化させ、その変化している過程での粘弾性特性。
ドーズ量	添加量または照射量。本プロジェクトでは電子線の照射量。
ドーズブランキング	照射を点滅させること。本プロジェクトでは電子線の点滅。
ドライエッチング	液体を用いないエッチング法。主にプラズマを用いる。被加工物と化学的に反応して揮発性のガスを発生することのできる反応性ラジカルや反応性イオンを利用して、減圧化の反応性プラズマで被加工物を徐窮する。

内部透過率	表面での反射と除いた、ガラス内部の吸収による光の損失のみを考慮した透過率。
ナノクラスター	ナノサイズのクラスター。クラスターとは原子または分子が数個から数十個集合した状態。
2 光束 2 回露光法	2 つの光を用いて干渉露光を X 方向と Y 方向の 2 回行うこと。干渉露光参照。
2 次元周期構造	基盤の目状に、穴やドットが縦方向および横方向に周期的に並んだ構造。
粘弾性	粘性と弾性の両方の性質を示すこと。
鋸歯構造	鋸の歯の形に似たギザギザの構造。
波数ベクトル	波数は単位長さに含まれる波の数で波長の逆数 ( $1/\lambda$ )。波数ベクトルは、これに波の進行方向を加えて表示するもの。
波長板	互いに垂直な方向に振動する直線偏光が板を通過したときに、これらの間に所用の光路長を与える複屈折板。
波面収差	光学系を通過した波面の理想像面からのずれ。
反射防止構造	物体表面における光の反射を低減するために、物体表面に円錐体を周期的に配列した構造。これにより、空気と物体との割合が連続的に変わることにより、屈折率も連続的に変化し、反射が防止される。
引き抜き圧力	充填されたガラスがモールドから離型される際にかかる圧力(単位面積あたりの負の力)
非球面レンズ	屈折面の片面または両面が球面でないレンズ。収差を補正したレンズなどとして用いられる。
非線形最適化アルゴリズム	非線形の最適化問題を解くための計算アルゴリズム。ニュートン法などが有名。
表面反射率	ある面に入射する光とその面で反射する光の強度の比率。
PMMA	メタクリルサ酸メチル樹脂。
フーリエモード法	厳密結合波解析法の一つ。同類ものに RCWA 法やフーリエ展開法などがある。
複屈折	結晶その他の異方性物質に入射する光が互いに垂直な振動方向を持つ 2 つの光波に分かれること。
不等周期回折格子	格子の周期が場所によって異なる回折格子
プラズマエッチング	「ドライエッチング」を参照。
プラズマイオン注入 (PBII)	プラズマ中に置かれた被加工物に負のパルス電圧を印加することにより、プラズマ中のイオンを引き出し、被加工物表面にイオンを添加する方法をプラズマイオン注入とよぶ。複雑形状の被加工物にイオンを添加することができる。
フルオロアルミノケイ酸塩ガラス	フッ素原子を含むアルミノケイ酸塩ガラス。
ブルフリッヒ屈折計	臨界角を利用した屈折計の一つ。
分子流動解析シミュレーター	モールド中で粘性流動しながら素子が成型される過程を、分子動力学に基づいて、原子・分子レベルでシミュレーションしようとする試み。
分子流動的現象	個々の分子の運動によって生じるナノスケールの流動現象。
分散 ( $\nu_d$ )	光の波長による屈折率の変化。 ( $\nu_d$ : 光の分散能の逆数で光学設計に用いられる数値。 $(n_d-1)/(n_F-n_C)$ の式で定義される。ここで $n_d$ , $n_F$ , $n_C$ はそれぞれヘリウムの 587.6 nm, 水素の 486.1 nm 及び 656.3 nm の輝線に対する屈折率である。 ) 。
ベーキング	表面に付着あるいは内部に進入した水分などを取り除くために加熱する作業。

偏光	横波である光波の振動方向が規則的なもの。
円偏光	光波の振幅ベクトルの先端が円運動(光の進行につれてつる巻き運動)するもの。
偏光分離素子	光波の振動面が互いに直角な2つの偏光ビームに分離する素子。
ホウケイ酸塩ガラス	酸化ホウ素と酸化ケイ素を主成分とするガラス。
B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 異常現象 (ホウ酸異常現象)	ホウ酸塩ガラスにおいて、物性が組成に対して直線関係を示さず、極大または極小を示す現象。
マスクパターン	電子線描画や干渉露光によってモールド表面に形成されたパターンで、エッチング工程では、そのパターンに応じてモールド材料がエッチングされる。
ミラウ干渉計	顕微鏡対物レンズの先端に微小鏡とハーフミラーを取り付けた光波干渉計。
無電解メッキ	外部から電気エネルギーを供給することなく金属塩水溶液中の金属イオンを酸化還元反応または置換反応によって表面に金属として析出させる方法。
モース硬度	基準となるものでひっかいた時の傷のつきにくさ。
モル屈折	$((n^2-1)/(n^2+2))V$ 、 $n$ は屈折率、 $V$ はモル体積。
有効屈折率法 (EMT)	微細周期構造を等価屈折率媒質に置き換えて、光波の透過率や位相遅れを近似的に算出する方法。
ラザフォード後方散乱 (RBS)	加速したHeイオンやHイオンを材料に衝突させ、跳ね返ってくるHe、Hイオンのエネルギーを測定することにより、材料表面層の組成分布を測定する方法。
離型膜	ガラス成形後の離型工程でガラスがモールドから剥がれやすいようにするための膜。通常は貴金属やダイヤモンドラークカーボン等が使われる。
レーザー顕微鏡	試料にレーザー光を均一に照射し、2次元像を観察できる顕微鏡。
レーザー干渉露光法	レーザー光の干渉を利用して、その干渉縞をレジストなどにパターンニングする方法で、得られる周期 $\Lambda$ と光の波長 $\lambda$ との関係は、 $\lambda = 2\Lambda \sin \theta$ ( $\theta$ はレーザー光の入射角度)。
レジスト	光や電子ビーム等の照射によって引き起こされる化学的・物理的な変化で現像液に溶解または不溶解となる性質を利用してマスクパターンを形成するための電子材料。
Levenberg-marquardt 法	非線形最適化法の一つで、ガウス・ニュートン法と最急降下法を組み合わせた数値計算法。
ロイドミラー光学系	光路中に鏡を置くことにより、鏡による反射光と直接光の重なり合う部分で干渉が起こる。これを利用した干渉装置。
ロイドミラー方式干渉露光	ロイドミラー光学系を利用した干渉露光法。ロイドミラー光学系及び干渉露光参照。
ローレンツ・ローレンツ式 (Lorentz-Lorenz 式)	物質を構成する分子あるいは原子の分極率 $a$ と物質の屈折率 $n$ を結びつける関係式： $((n^2-1)/(n^2+2)) = Na/(3\epsilon_0)$ 、 $N$ は単位体積当たりの分子または原子数、 $\epsilon_0$ は真空の誘電率)。

## I. 事業の目的・政策的位置づけについて

### I.1. NEDOの関与の必要性・制度への適合性

#### I.1.1. NEDOが関与することの意義

我が国が得意とする高性能な情報家電製品および光通信システムを支える光学部材関連産業（材料、素子、装置）は、取引のオープン化に伴い、川上川下の垂直連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な製品はアジア諸国の技術力向上による低コスト攻撃に直面している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など）を図ることで、従来のレンズ、ミラー、回折格子等の個々の光学部材では実現し得ない高度な機能を発現するための基盤技術を開発する必要がある。

本プログラムは、従来の施策・事業と違って、材料創成と成型加工技術の開発とを一体化した技術開発を実施することで、材料開発技術の高度化を図るとともに、開発リードタイムを短縮させる革新的材料プロセス技術の確立により、新材料等の迅速な産業利用を促進し、材料技術の構造的革新を実現することを目指している。このような技術開発は、基礎研究を基に生み出された新材料を成型加工へと展開する際の産業間のバリアを取り除くものであり、複数の研究機関及び企業の知見を結集する必要があるため、民間の自主的取り組みでは難しい。したがって、図 I-1 に示すように、NEDO の関与により、「産業化を視野に入れた基盤技術の開発といった、市場原理のみでは、戦略的・効果的に達成し得ない領域の研究開発を、重点的に推進する（科学技術基本計画）」ことが必要である。

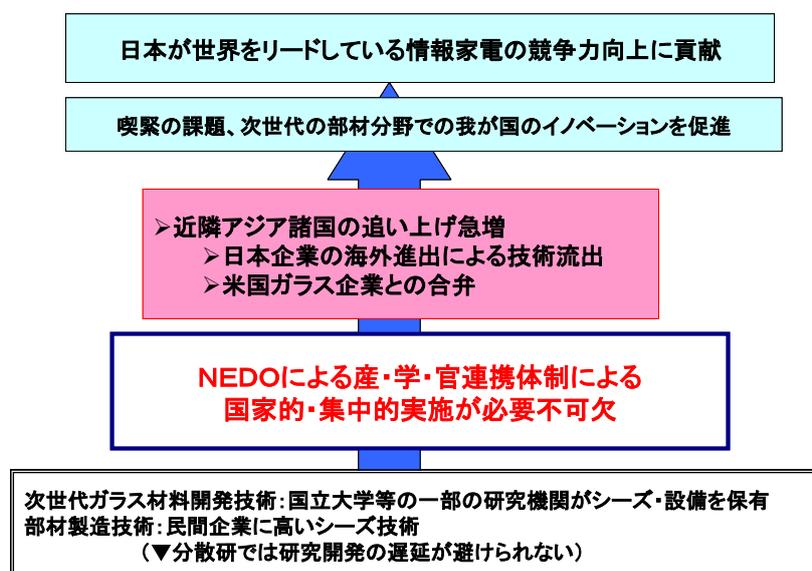


図 I-1 NEDOが関与することの意義

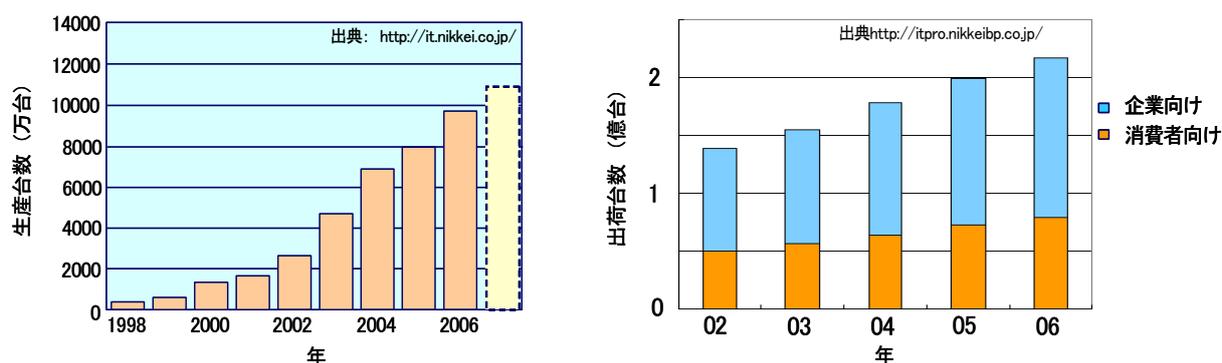
#### I.1.2. 実施の効果（費用対効果）

- (1) 費用：5年間で16.6億円（平成18年度～平成22年度）
- (2) 効果：情報家電、情報通信だけでなく、医療・バイオ等、幅広い産業に応用可能な次世代光学部材の開発を目指しており、製造プロセスが極めてシンプルなモールドプロセスを用いるため、製造エネルギーやスループットを大幅削減できる。また、開発する光学部材をDVD

プレーヤーや高輝度液晶プロジェクターなどに応用した場合、性能向上と省エネ効果の両方が期待される。次世代光学部材を搭載した製品の市場見通し、および省エネ効果は以下の様に予測される。

a) 市場創出効果：2015年時点市場創出効果：約2070億円

デジタルスチルカメラの年間生産台数は、ここ数年で約10倍に伸びて1億台を超えた。また、パーソナルコンピュータの出荷台数は2億台を超えている。さらにフラットパネルディスプレイの世界市場は2兆円に達した。図I-2はデジタルスチルカメラとパーソナルコンピュータに関する年次推移である。前者にはズームレンズ光学系、後者には光ディスクドライブの光学系、偏光素子など、数多くの光学部材が使われており、日本の技術力はこの分野で大きく世界をリードしている。光産業技術振興協会は、「光産業の将来ビジョン—ボーダーレス化の中での進化と展開」の中で、日本の技術の優位性が継続した場合の2015年のディスプレイ、デジカメ、光ディスク等の情報家電製品の出荷額を13.8兆円（2007年見込み8.1兆円）と予測している。これら情報家電の製品価格に占める光素子の原価率を3%と仮定すると、その市場規模は2015年で約4,140億円と推定され、本事業で開発される光素子の情報家電製品における代替率を50%と仮定すると、2015年における民需創出効果は約2070億円と見積もられる。



図I-2 デジタルスチルカメラの生産台数(左)とパーソナルコンピュータの出荷台数(右)の年次推移。パソコンには光ディスクドライブが搭載されており、本プロジェクトの成果に大きく関わる出口製品である。

b) 費用対効果:本プロジェクトの成功率を10%と想定した場合の省エネ効果は、石油換算で、2010年度で7.4万kl、2020年度で13.8万kl、2030年度で37.1万klと見積もられる。この積算値を導く過程では、出口製品として、DVDドライブ入出力光学系、液晶プロジェクション用出力光学系、デジタルカメラ光学系、携帯用ズーム光学系、ビデオカメラ光学系、さらには反射防止構造を備えたポリシリコン太陽電池を選定し、それらの製品の2030年度の生産規模を「光産業の将来ビジョン（(財)光産業技術振興協会）」のデータをもとに以下のように予測した。

①DVDドライブ入出力光学系	42,316万台
②液晶プロジェクション用出力光学系	1,950万台
③デジタルカメラ光学系	11,471万台

④携帯用ズームレンズ	17,290万台
⑤ビデオカメラ光学系	4,710万台
⑥ポリシリコン太陽電池基板ガラス	$38.5 \times 10^7 \text{m}^2$

次にこれらの製品に当該プロジェクトで開発される次世代光学部材を搭載する場合に想定される製造工程の省エネ効果および製品使用時に想定される省エネ効果を計算した。以下に、本プロジェクトで開発する技術が使われるDVDレコーダーに関わる省エネ効果の計算例を示す。

#### a) 製造時の省エネ効果

光産業技術振興協会の統計によれば、DVDレコーダーの年間生産台数は約600万台である。ここでは、レンズだけでなく波長選択ミラー、位相板、回折格子、プリズムなど、様々な形状の光学部品が計6個使われており、現状ではガラス製光学部品がその内5個である。残り1個はプラスチック製品であり、ガラス、プラスチック双方の研究開発が活発に行われると予想され、今後もその比率は変わらないと思われる。したがって、現状のDVDレコーダーに使われるガラス製部品の製造に要するエネルギーは以下のように見積もられる。

必要とされるガラス素子の個数： $6 \text{個} \times 5/6 \times 600 \text{万台/年} = 3.0 \times 10^7 \text{個/年}$

装置1台あたりの製造能力： $1 \text{個}/10 \text{分} \times 24 \text{hr} \times 365 \text{日} = 5.3 \times 10^4 \text{個/年}$

製造に必要な装置の数： $3.0 \times 10^7 / 5.3 \times 10^4 = 566 \text{台}$

装置1台あたりの稼働電力： $10 \text{kW/hr}$

製造に必要な1台あたりの装置床面積： $50 \text{m}^2$

クリーンルーム稼働電力： $0.2 \text{kW/m}^2$  (クラス10000のクリーン度を想定)

必要なエネルギー= $566 \text{台} \times 8,760 \text{hr} (10 \text{kW} + 0.2 \text{kW/m}^2 \times 50 \text{m}^2) = 9.92 \times 10^7 \text{kWh}$

$= 0.93 \text{万kl}$

したがって、今後技術革新が無い場合の原油消費量は、生産台数の伸びに比例し、2030年度には42,316万台→65.59万klと見積もられる。

本プロジェクトでは、ガラス材料の表面にモールド法によって周期構造を形成し、幅広い波長帯域で高い集光機能、偏光分離機能、反射防止機能を発現する光学部材を開発する。製造時の省エネ効果は、図I-3に示すように研削・研磨や反射防止のための成膜工程が不要になり、全製造時間が1/4になると期待される。さらに、ドライブ1台に波長板や波長選択フィルターおよび高機能レンズ等、5個のガラス製光波制御素子が使われているが、本プロジェクトの成果の普及によってそれらの集積化および高速生産が見込まれるので、部品数が3/5になると見込まれる。本技術開発が成功し、その成果に基づいた製品の市場占有率を2030年で60%以上あると想定した場合、原油消費抑制量は以下のように見積もられる。

$65.59 \text{万kl} \times (1 - 3/20) \times 0.6 = 33.45 \text{万kl}$

以上のような計算を、その他の光学部材についても実施した結果、2030年度の製造時の省エネ効果は以下のような値になった。

● 液晶プロジェクション用出力光学系	43.68万kl	
● デジタルカメラ光学系	49.70万kl	
● 携帯用ズームレンズ	38.91万kl	
● ビデオカメラ光学系	73.89万kl	
● ポリシリコン太陽電池基板ガラス	11.40万kl	<u>合計 251.03万kl</u>

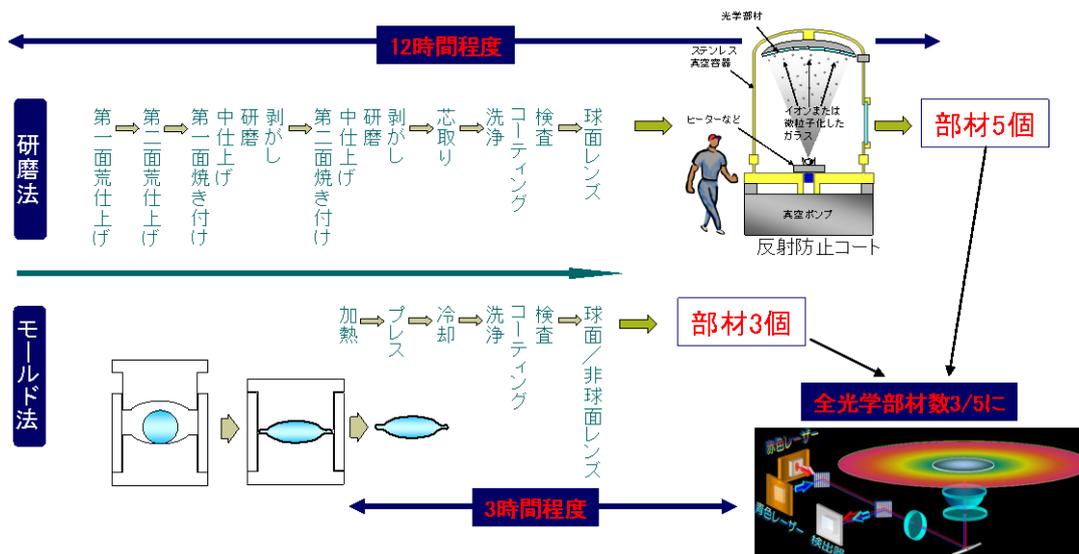


図 I-3 DVD レコーダーに関する省エネ計算時に想定した製造プロセス時間および部品数の削減。モールド法の開発により、研削・研磨や反射防止のための成膜工程が不要になり、全製造時間が 1/4 になると想定。さらに、1 つの部材が複数の機能を発現することが期待され、DVD レコーダー 1 台あたりの部材数が現状の 3/5 に削減できると想定。

#### b) 使用時の省エネ効果

ハイビジョン対応 DVD レコーダー 1 台あたりの消費電力は 50W であるが、その内の DVD ドライブに使われる電力は 20W、その他の電力は表示、制御系、ハードディスクなどに使われる。不在中のテレビ録画などを想定して、ディスク部分の年間稼働率を 20%（高速入出力化と情報量の増大がバランスし、稼働率不変）と仮定し、技術革新が無い場合のディスクドライブの消費エネルギーは 2030 年度では以下ようになる。

$$42,316 \text{ 万台} \times 20\text{W} \times 365 \text{ 日} \times 24\text{hr} \times 0.2 = 1.48 \times 10^{10} \text{ kWh} = 139.42 \text{ 万 kJ}$$

本研究開発で得られる成果を活用して入出力系のガラス製光波制御素子を製造すれば、レーザー光源の出力を効率的にディスク上に集光できるようになり、かつ、信号光を効率的に受光素子に入力することができるため、光源の出力（20W の消費電力の内の 1/4 と推定）が 1/2 に抑えられ、かつ、信号の入出力時間が 1/4 まで短縮できると期待される。本技術開発が成功すれば、その成果に基づいた製品の市場占有率を 2030 年で 60% 以上あると想定した場合、2030 年度の原油消費抑制量は以下のように見積もられる。

$$39.42 \times (1-1/8) \times (1-1/4) \times 0.6 = 54.90 \text{ 万 kJ}$$

以上のような計算を、その他の光学部材についても実施した結果、2030 年度の使用時の省エネ効果は以下のように見積もられた。

- 液晶プロジェクション用出力光学系 57.65 万 kJ
  - デジタルカメラ及びビデオカメラ光学系 0.45 万 kJ
  - 携帯用ズームレンズ 0.31 万 kJ
  - ポリシリコン太陽電池基板ガラス 6.67 万 kJ
- 合計 119.98 万 kJ

最後に一連の技術課題の成功率 10% を乗じて、2030 年度の原油消費抑制量は、 $0.1 \times (251.03 + 119.98) = 37.1 \text{ 万 kJ}$  と見積もられる。

## I.2. 事業の背景・目的・位置づけ

### I.2.1. 事業の背景

#### (1) 社会的背景

我が国の材料・部材産業は、国際的に高い技術力と競争力を有し、我が国の経済社会の発展を支えているが、川下産業との取引のオープン化に伴いユーザーとの連携の希薄化が進行する一方で、汎用的な技術はアジア諸国の技術向上によるキャッチアップが進行している。そのため我が国において産学官を含む連携の強化（川上川下の垂直連携、材料創成と加工の水平連携など）を図ることで、次世代の部材分野での我が国のイノベーションを促進することが喫緊の課題となっている。

次世代フォトニックネットワークや地上デジタル放送などの普及が間近に迫り、そこで必要とされる光学部材には、当初の予測を遥かに上回る性能が求められている。しかしながら、従来技術の延長線で要求性能を満たすためには、これまでの光学部材を多用した組み合わせで対応せざるを得ず、その結果、製造エネルギーの拡大や希少資源の大量消費を引き起こす結果となる。したがって、これまで日本の技術力が世界を牽引してきた高度情報家電用部材や高速光通信用部材の産業の優位性が今後も維持され、持続的に発展するためには、新規材料および精密成型等の加工プロセスに関する基盤技術をさらに高度なレベルにする必要がある。図 I-4 は、経済産業省が作成した部材産業の重要性を示す図である。素材企業が川下のユーザーや加工業者等との多様な連携を組むこと等により、設計段階からの「摺り合わせ力」を向上させるとともに、国内での強みを更に強化するために、多様な連携を形成しておこなう基盤技術開発の支援が肝要である。

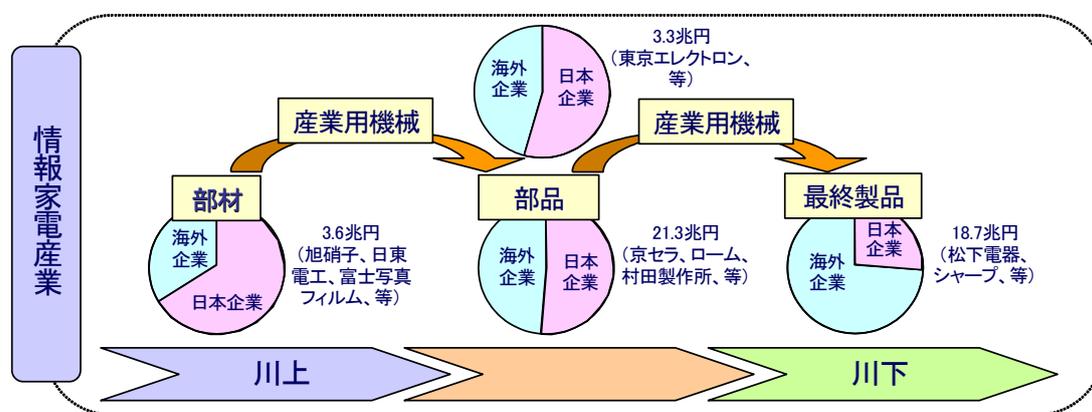


図 I-4 部材産業の現状認識とその重要性

#### (2) 技術的背景

材料・部材産業の国際競争力を維持・強化するためには、材料創成と成型加工を一体化した技術、および製品のリードタイムを短縮するプロセス革新技術、さらには、部材評価技術等の構築が求められる。特に、日本の素材産業の部材産業への拡大・転換を加速させ、ユーザーへのソリューション提案力（部品化、部材化）を強化することが重要である。このような背景の中で、材料創成技術戦略マップにおいて、情報家電分野の中で、光ファイバー、光回路、フォトニック結晶等の開発の重要性が指摘されているとともに、その導入シナリオで、部材産業の基盤の確立の観点から、国がより短期間の効率的な投資で技術開発を進めていく

こととされている。本プロジェクトに関連する情報家電や光通信分野では、国産の光学部材が多用されている。例えば、デジタルスチルカメラ関連製品分野において世界市場に占める日本の割合は80%以上、光メモリディスクドライブ等では65%以上であり、光学部材の占有率もほぼ同等である。しかしながら、最近ではアジア諸国の低コスト攻勢に直面していることから、日本の光学部材を取り巻く産業群が持続的に進展を遂げることを目的とする次世代の情報家電製品およびフォトニックネットワークに用いる革新的機能を発現する光波制御部材の研究開発の戦略的な推進が必要である。特に、従来の屈折や回折といった古典的機能だけでなく、光の波長レベルあるいはそれ以下の微細構造によって屈折率を人為的に制御し、無反射、位相制御等の、いわゆる光波制御機能を発現するための革新的光学部材に関する技術開発基盤の構築が必須である。

### 1.2.2. 事業の目的および意義

本プロジェクトは、日本が世界をリードしているデジタルスチルカメラ等の撮像光学系、光メモリドライブのピックアップ光学系、液晶プロジェクション光学系など、高いシェアを維持してきた情報家電製品群の中核となる光学部材のための新規材料・精密成型の技術革新を目的としている（図 I-5）。

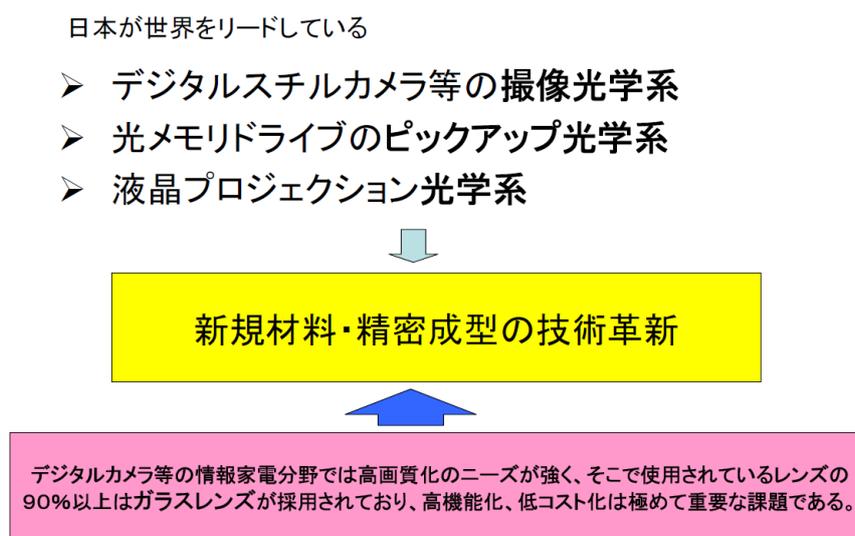


図 I-5 事業の目的および意義

図 I-6 はこれまでの光学部材に関係する学界および産業界の取り組みに関する模式図である。学界では1980頃から従来のレンズ、プリズム、回折格子では実現できない新たな機能を発現できる「共鳴・サブ波長光学部材」の研究に取り組んだが、今日までに実用化した事例は極めて少ない。その理由は、コストに見合った製造プロセスが存在しなかったからである。一方、産業界では、研削、研磨で製造されていたレンズやプリズムをモールド法や射出成型で大量生産することに成功したが、その先の新たな技術革新の見通しが十分には立っていない。表 I-1 は、これまでに企業が報告した微細構造素子の開発事例である。いずれの素子も幅広い応用先が見出されてはいない状況であり、特にガラス材料でのサブ波長構造の形成は未踏である。企業のこのような状況を克服するために、本プロジェクトでは、日本が得意と

するモールド法で共鳴・サブ波長構造を成型し、低コスト化と高機能化の両立を目指す。

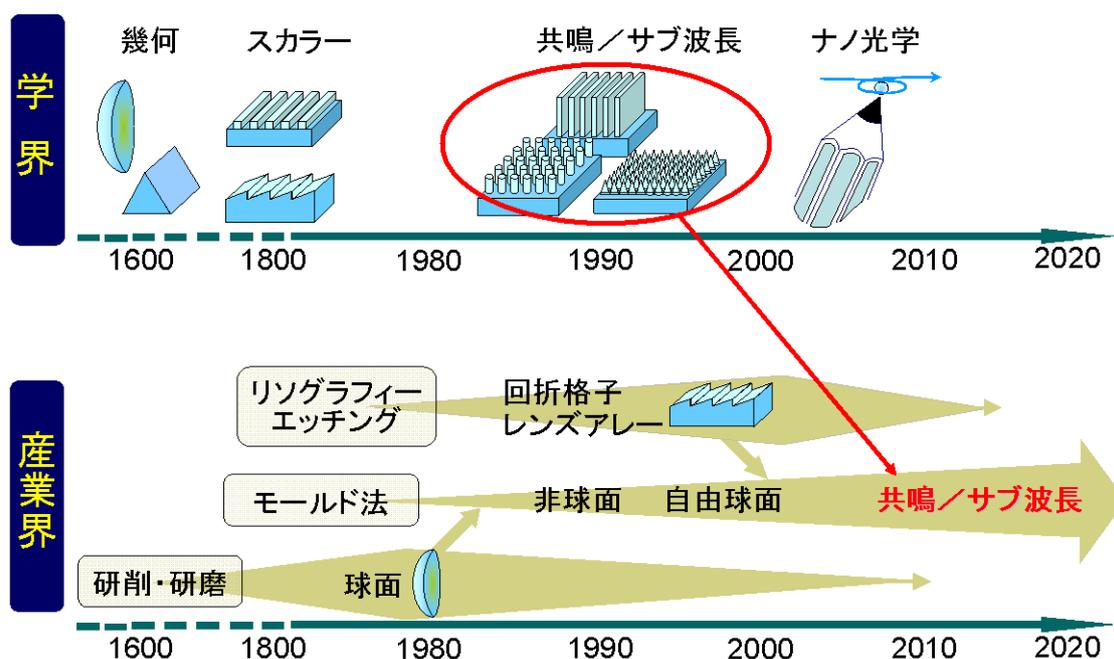


図 I-6 本プロジェクトの目的（共鳴・サブ波長構造を日本が得意とするモールド法で実現）

表 I-1 これまでに企業が取り組んだ微細構造素子の研究事例

周期	材質	モールド作製	成型法	用途	研究機関
1 $\mu$ m 以下	樹脂	アルミ陽極酸化	ロール法	反射防止	三菱レイヨン
		スパッタ(自己組織)	モールド法		伊藤光学
		フォトリソとNi電鍍			旧三洋マービック
		電子線描画とドライエッチング	波長板	コニカミノルタ	
1 $\mu$ m 以上	ガラス	機械加工	モールド法	回折素子	アルプス電気
				マイクロレンズ	ナルックス
				撮像用色収差補正レンズ	ニコン
				CD/DVD用2焦点レンズ	パナソニック

一方、これまでの光学部材には、その透明性の高さからガラスと樹脂が使われてきたが、ガラスの屈折率や分散値の選択範囲は樹脂よりも広く（図 I-7 参照）、優れた温度特性（屈折率、膨張率）を示すことが知られており（図 I-8 参照）、さらに、長期信頼性（耐熱性・耐候性・耐光性）の観点でも樹脂よりも圧倒的に有利である。したがって、ガラス素材を使用してさらに高度な光波制御機能を発現するために、新たな組成開発と樹脂並の容易さでの超精密で高速な成型技術の研究開発を実施する意義は大きい。

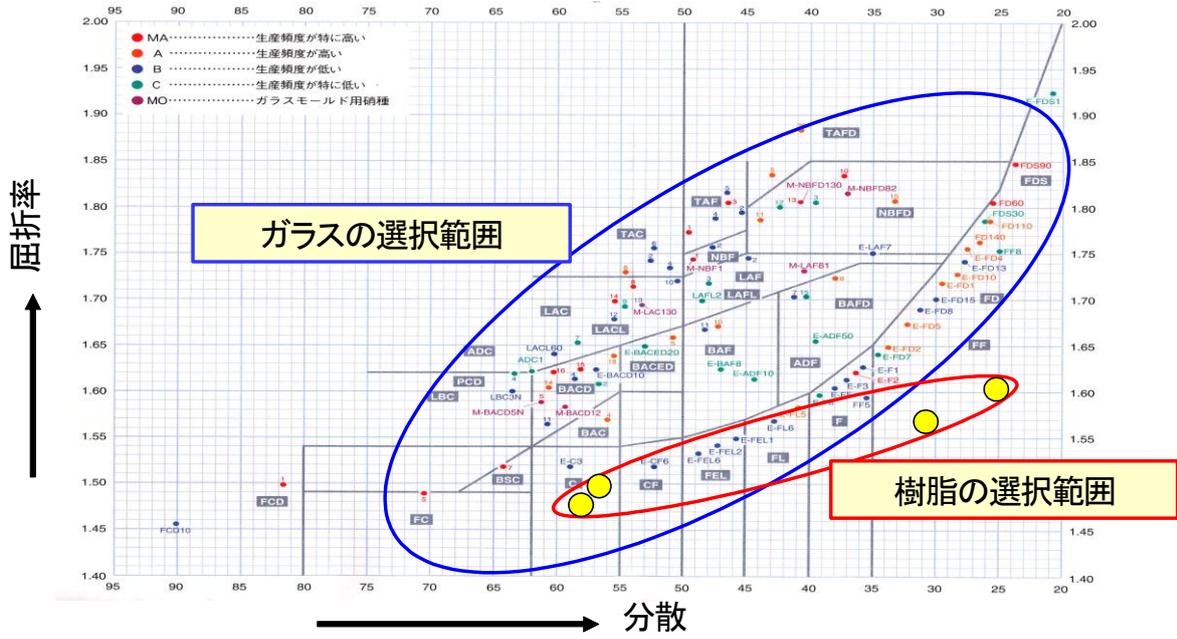


図 I-7 代表的なガラスおよび樹脂の屈折率と分散値の選択範囲  
(ガラスの分散と屈折率の関係は文献 1 による)

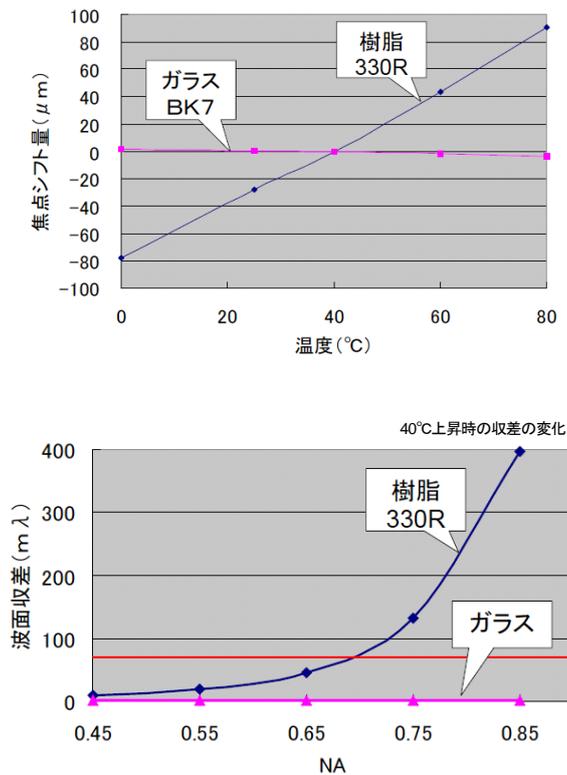


図 I-8 ガラスレンズおよび樹脂レンズの、(上) 焦点距離の温度依存性、(下) 気温が 40°C 上昇した際の波面収差のレンズ開口数 (NA) 依存性 (樹脂の屈折率の温度依存性は文献 2 による)

### I.2.3. 事業の位置づけ

#### (1) 国の政策における位置づけ

平成16年に経済産業省が策定した「新産業創造戦略」は、強い製造業の復活と、雇用を生み出す様々なサービス業の創出によるダイナミックな産業構造の転換を図ることを目的としている。本戦略は、情報家電をはじめとする日本のものづくりにおける技術的リードが世界レベルと比較して僅かであり、人材、文化も放っておけば衰えるという危機感から提案されたものである。その中の具体的な施策に「新産業創造高度部材基盤技術開発」がある。本プロジェクトは、上記「新産業創造高度部材基盤技術開発」の一環として実施するものである。本プロジェクトは、NEDOで実施されている「革新的部材産業創出プログラム」の中に位置づけられている。当該プログラムの中において、特に、川上・川中・川下の各段階における擦り合わせ力の向上、川下産業の競争力向上への貢献を目的とした「新産業創造高度部材基盤技術開発」(図I-9)と、我が国エネルギー供給の効率化に資する「省エネルギー技術開発プログラム」(図I-10)の一環として取り組むものである。

また、図I-11に示すように、本プロジェクトは、H17年度に策定されたロードマップにおいて新産業創造戦略重点7分野の1つである「情報家電」の中で「光学部材」に位置づけられており、特に、これまで日本が高いシェアを維持し今後の技術革新が切望されている光メモリ用、撮像用、ディスプレイ用、光通信用光学部材等の開発に重点がおかれている。

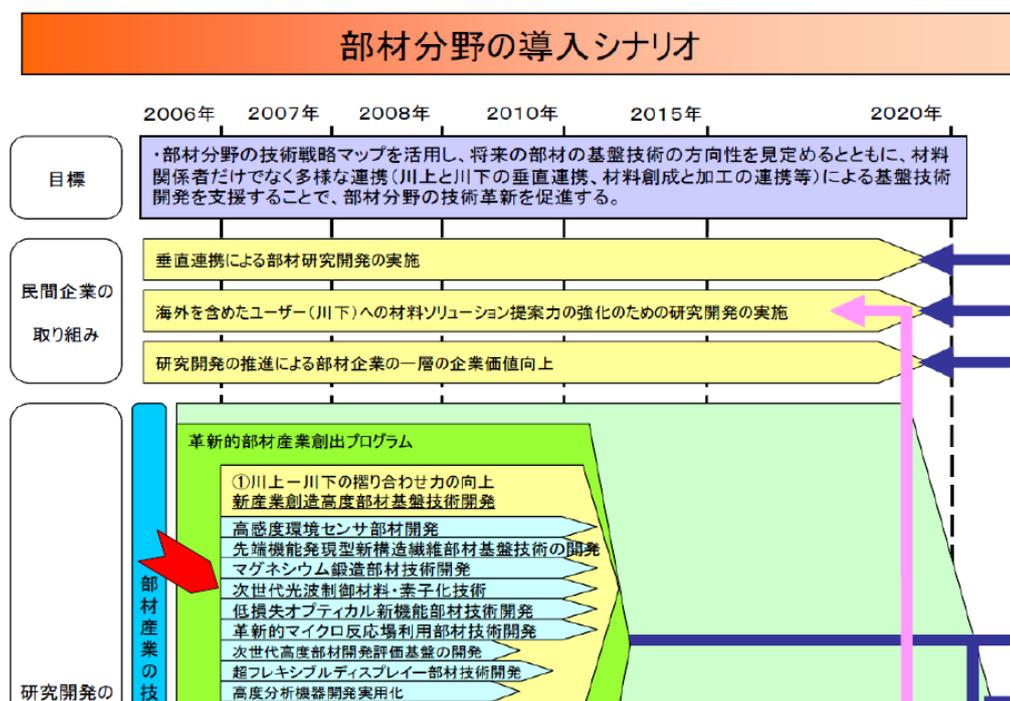


図 I-9 革新的部材産業創出プログラムにおける本プロジェクトの位置付け

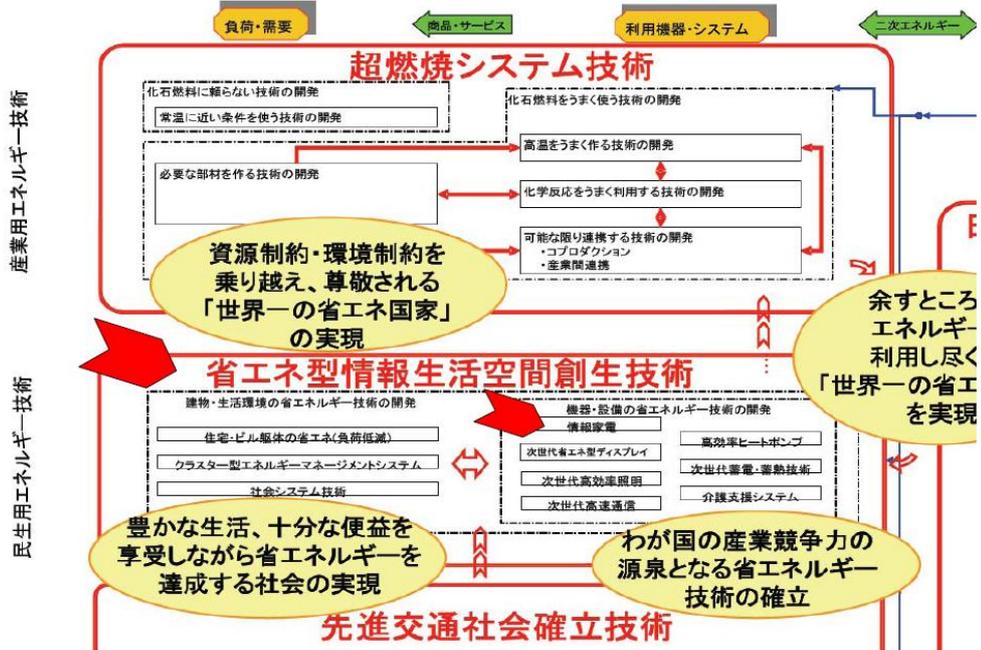


図 I-10 省エネプログラムにおける本プロジェクトの位置付け

		2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
光メモリ用	高効率化、高アスペクト比	1次元サブ波長構造体	2次元サブ波長構造体	3次元サブ波長構造体	4次元サブ波長構造体	5次元サブ波長構造体	6次元サブ波長構造体	7次元サブ波長構造体	8次元サブ波長構造体	9次元サブ波長構造体	10次元サブ波長構造体	11次元サブ波長構造体	12次元サブ波長構造体	13次元サブ波長構造体	14次元サブ波長構造体	15次元サブ波長構造体	16次元サブ波長構造体
撮像用	無収差	屈折率・低分散ガラス	希土類、重元素、ノボラ添加	高屈折率・低分散材料													
	無反射	2次元サブ波長構造体	3次元サブ波長構造体	4次元サブ波長構造体	5次元サブ波長構造体	6次元サブ波長構造体	7次元サブ波長構造体	8次元サブ波長構造体	9次元サブ波長構造体	10次元サブ波長構造体	11次元サブ波長構造体	12次元サブ波長構造体	13次元サブ波長構造体	14次元サブ波長構造体	15次元サブ波長構造体	16次元サブ波長構造体	17次元サブ波長構造体
FPD用	位相制御	1次元サブ波長構造体	2次元サブ波長構造体	3次元サブ波長構造体	4次元サブ波長構造体	5次元サブ波長構造体	6次元サブ波長構造体	7次元サブ波長構造体	8次元サブ波長構造体	9次元サブ波長構造体	10次元サブ波長構造体	11次元サブ波長構造体	12次元サブ波長構造体	13次元サブ波長構造体	14次元サブ波長構造体	15次元サブ波長構造体	16次元サブ波長構造体
	回折格子	高効率化、光学バンドギャップ															
光導用	回折格子	高効率化、光学バンドギャップ															

図 I-11 新産業創造戦略における本プロジェクトの位置付け

(2) 関連する国内外の技術動向と、その中での位置づけ

既に情報家電企業数社へのインタビューを実施し、2015年以降の光部材に求められる光波制御機能を実現するには、「新規ガラス材料組成」と「革新的モールド技術」が必須であることを確認済みである。また、日本が得意とするデジカメや光メモリ、ディスプレイ等の光入出力関連製品の市場は今後も堅調であり、特にガラス関連製品については、本事業の成功によって国内に留まる可能性が高いことも各社の共通の認識であった。

一方、近隣アジア諸国の追い上げが日増しに激しさを増している。要因の一つに、日本企業の海外進出がある。扱っているガラスの種類が限られており、多岐にわたるニーズへの対応は困難とはいえ、モールド法による球面あるいは非球面のガラスレンズを安価に製造し、そのノウハウの流出を阻止することはもはや困難な状況である。さらに、中国国立研究機関とその周辺企業や、韓国家電企業と米国ガラス企業との合併企業が新規組成開発に乗り出している点も注目すべきである。

ナノレベルの周期構造をモールド法で形成する研究も文献レベルで報告されている。現在のところ樹脂の成型のみで、シリコンあるいは石英のモールドを使用しており、ガラス成型用の耐熱材料の微細加工に関する研究事例は見られないが、研究に着手する可能性が高い。

以上のような動向を背景として、波長レベルの微細構造を活用した次世代光波制御素子を創成するための基盤技術を開発し、これを産業技術へ繋げていく施策としてプロジェクトを実施する。

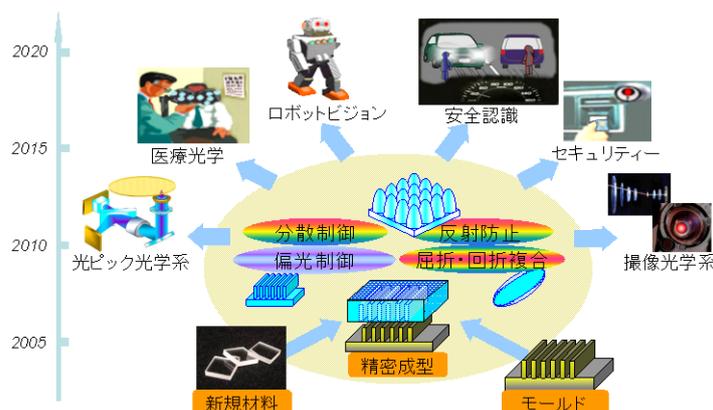
## Ⅱ. 研究開発マネジメントについて

### Ⅱ.1. 事業の計画と概要

#### Ⅱ.1.1. 研究開発の内容

##### Ⅱ.1.1.1. 事業全体の計画

本プロジェクトでは、光学部材の技術革新を目指して、ガラス表面に微細周期構造を形成し、光ディスクドライブや撮像光学系をはじめとした様々な光学機器に搭載するための基盤技術の構築を目的としている。プロジェクトの全体イメージを図Ⅱ-1に示す。



図Ⅱ-1 プロジェクトの全体イメージ

本プロジェクトでは、平成 18～22 年度の間以下 5 つの研究開発項目に取り組んだ。

- ① 「高屈折・低屈伏点ガラスの研究（委託事業）」：広い透過波長域、高屈折率、低屈伏点等、これまですべての条件を満足することが困難であった特性を兼ね備え、かつ、モールドによる成型に適した新規ガラス材料の開発
- ② 「サブ波長微細構造成型技術の研究（委託事業）」：耐熱モールドを用いて平面あるいは曲面ガラスの表面に微細構造等を成型する技術と、高度な成型を実現するためのシミュレーション技術の開発
- ③ 「偏光分離素子の開発（助成事業）」：次世代光ディスクドライブ等への応用を目的とした 1 次元構造的複屈折波長板の開発
- ④ 「屈折・回折複合素子の開発（助成事業）」：次世代撮像機器等への応用を目的として、屈折レンズの表面に回折格子を形成した低波長分散レンズの開発
- ⑤ 「広帯域無反射素子の開発（助成事業）」：次世代撮像機器等への応用を目的とした反射防止レンズおよび窓材の開発

研究開発項目①および②は基盤技術の構築が目的であり、委託事業として集中研方式で実施した。研究開発項目③～⑤は、将来の事業化を見据えた民間企業からの提案に基づくものであり、各企業が委託事業の成果を活用しつつ 1/2 助成事業として持ち帰って実施した。すなわち、本プロジェクトでは、5 年計画の前半でガラス材料および微細モールドに関わる基盤技術①、②の研究に全員で取り組み、後半は①、②の研究を継続しつつ、企業は 1/2 の研究資金を負担して集中研で得られた成果を活用しながら実用化研究を実施した。研究開発項目①～⑤は図Ⅱ-2 の様に構成されており、③～⑤は材料メーカーと家電メーカーの垂直連携体制で実施した。図Ⅱ-3 は、本プロジェクトの集中研および再委託先で実施している研究開発項目①および②に含まれる個々の研究課題の構成である。各研究課題は「②-1-5 ガラス成型

技術」に集約される形態になっているが、ガラス組成開発、モールド作製技術には時間を要するため、ガラス成型を実施できる時期が後年度にずれ込む可能性がある」と想定された。そこで、汎用的な手法として知られているニッケル電鍍技術を用いたモールド作製を初年度から実施して、市販ベースで入手可能なガラスを用いて成型実験を立ち上げ、微細構造の成型に関する知見を得ることとした。なお、ニッケル電鍍モールドの作製は外注で行った。

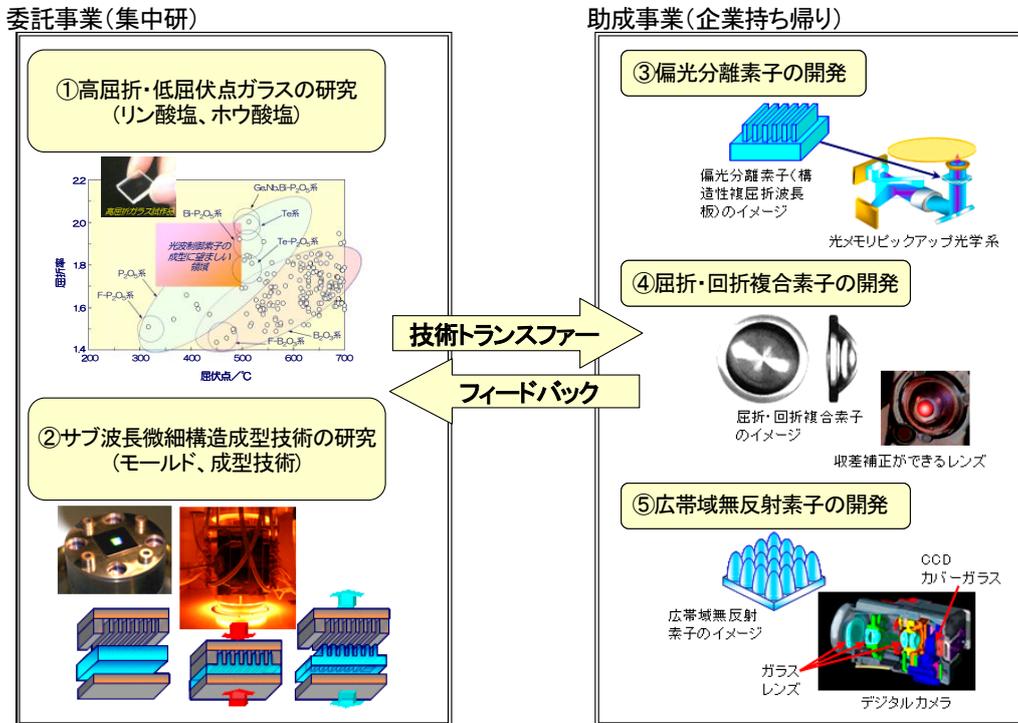


図 II-2 本プロジェクトで取り組む5つの研究開発項目の相互の関係

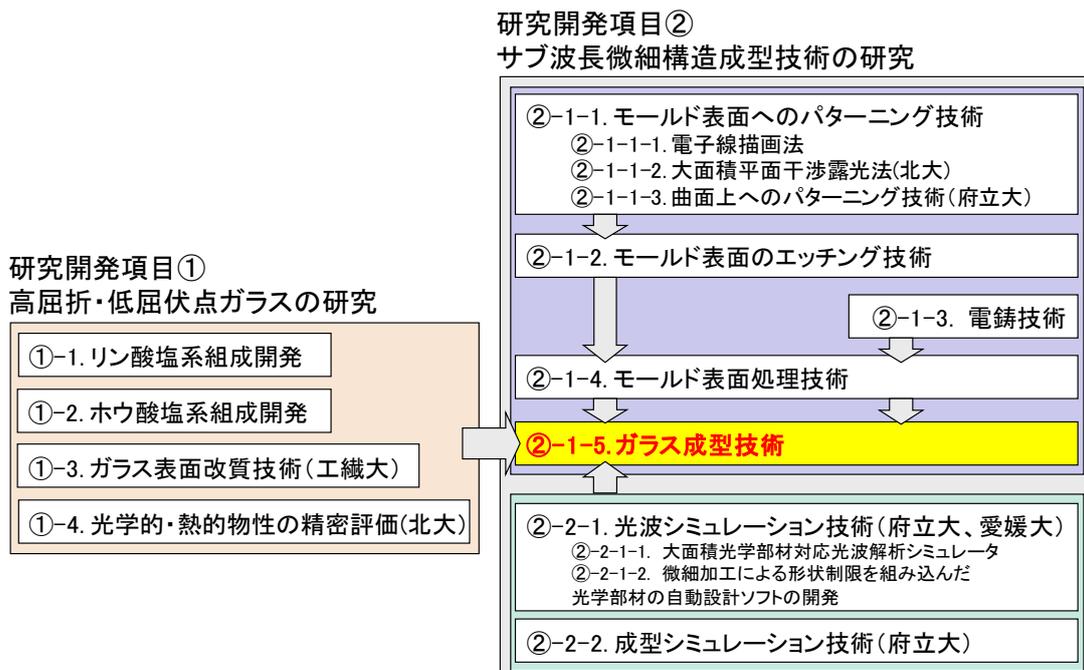


図 II-3 研究開発項目①、②に含まれる研究課題の相互の関係

## II.1.1.2. 全体スケジュールと予算

### 【事業の計画内容】

中間評価

研究開発項目	H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy
<b>①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」</b>					
①-1. リン酸塩系組成開発	→	→	→	→	→
①-2. ホウ酸塩系組成開発	→	→	→	→	→
①-3. ガラス表面改質技術	→	→	→	→	→
①-4. 光学的・熱的物性の精密評価	→	→	→	→	→
<b>②「サブ波長微細構造成型技術の研究」</b>					
②-1. モールド作製・成型技術					
②-1-1. モールド表面へのパターンニング技術	→	→	→	→	→
②-1-1-1. 電子線描画法	→	→	→	→	→
②-1-1-2. 大面積平面干渉露光法	→	→	→	→	→
②-1-1-3. 曲面上へのパターンニング技術	→	→	→	→	→
②-1-2. モールド表面のエッチング技術	→	→	→	→	→
②-1-3. 電鍍技術	→	→	→	→	→
②-1-4. モールド表面処理技術	→	→	→	→	→
②-1-5. ガラス成型技術	→	→	→	→	→
②-2. シミュレーション技術					
②-2-1. 光波シミュレーション技術					
②-2-1-1. 大面積光学部材対応光波解析シミュレータ	→	→	→	→	→
②-2-1-2. 微細加工による形状制限を組み込んだ光学部材の自動設計ソフトの開発	→	→	→	→	→
②-2-2. 成型シミュレーション技術	→	→	→	→	→
<b>③「偏光分離素子の開発」</b>				→	→
<b>④「屈折・回折複合素子の開発」</b>				→	→
<b>⑤「広帯域無反射素子の開発」</b>				→	→

### 【開発予算】

(単位：百万円)		H18fy	H19fy	H20fy	H21fy	H22fy	総額
特別会計	(当初)	400	400	400	300	250	1750
	(実績)	562	398	357	264	98	1679
①高屈折・低屈伏点ガラスの研究		150	120	50	40	10	420
②サブ波長微細構造成型技術の研究		412	278	233	107	25	1055
③偏光分離素子の開発		0	0	0	35	19	54
④屈折・回折複合素子の開発		0	0	74	27	16	117
⑤広帯域無反射素子の開発		0	0	0	55	28	83

## II.2. 事業の目標

### II.2.1. 全体目標

平成 22 年度までに、モールドによる微細構造の形成に適したガラス材料と、平面、曲面、ロール形状等の耐熱モールドを開発して、ガラス表面に微細構造を成型するための基盤技術、およびシミュレーション技術の開発を実施した。なお、以下の最終目標の設定においては、事前評価委員会・基本計画WGを開催し、有識者の意見を反映した。

### II.2.2. 最終目標

#### 研究開発項目①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」

波長 589nm での屈折率が 1.8 以上、屈伏点 450°C以下で、透過波長下限 400nm 以下のガラス材料を開発する。

#### 研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」

- a) 直径 10mm 以上の光学平面上に、周期 5 $\mu$ m 以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が 500nm 以上の鋸歯構造を実証する。
- b) 直径 50mm 以上の光学平面上に、高さ 300nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 300nm 以下で 1 次元あるいは 2 次的に配置される構造を実証する。
- c) 直径 50mm 以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材のシミュレーションが短時間で可能な専用シミュレータ、および、微細加工による形状の制限条件を付加できる自動設計ソフトを開発する。
- d) 低分子ガラスの成型にかかわる材料、プロセスの最適化が可能なマイクロレベルのシミュレーション技術、および、原子レベルの欠陥、モールド界面挙動の解明が可能なナノレベルのシミュレーション技術を開発する。

### II.2.3. 中間目標

電子・材料・ナノテクノロジー部（旧ナノテクノロジー・材料技術開発部）では、最終目標に対して平成 20 年度末における研究管理上のマイルストーンとして、下記のように中間目標を設定した（表 II-1 参照）。なお目標値の設定に際して、プロジェクトリーダーと協議するとともに、事前評価委員会・基本計画WGを開催し、有識者の意見を反映した。

#### 研究開発項目①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」

波長 589nm での屈折率が 1.7 以上、屈伏点 500°C以下で、透過波長下限 400nm 以下のガラス材料を開発する。

#### 研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」

- a) 直径 1mm 以上の光学平面上に、周期 10 $\mu$ m 以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が 200nm 以上の鋸歯構造を実証する。
- b) 直径 5mm 以上の光学平面上に、高さ 250nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 500nm 以下で 1 次元あるいは 2 次的に配置される構造を実証する。
- c) 直径 5mm 以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材の光波解析が短時間で可能なシミュレータの基本部分、および、光波解析シミュレータに探索機能を持たせた自動設計ソフトを開発する。
- d) 連続体力学をベースとしたマイクロ成型シミュレーション技術、および、ガラス、モ

ールド材料の原子レベルでの欠陥やトライボロジーを解析、評価する分子シミュレーション技術を開発する。

表 II-1 中間目標および最終目標

研究項目	目標項目	中間目標	最終目標	
①高屈折・低屈伏点ガラスの研究				
	屈折率(波長589nm)	1.7	1.8	
	屈伏点	500℃	450℃	
	透過下限波長	400 nm	400 nm	
②サブ波長微細構造成型技術の研究				
微細構造	同心円鋸歯構造	直径	1 mm	10 mm
		周期	10 μ m	5 μ m
		段差	200 nm	500 nm
	1~2次元周期構造(矩形、錘形)	直径	5 mm	50 mm
		周期	500 nm	300 nm
		構造高さ	250 nm	300 nm
シミュレーション	光波	計算面積、形状	直径5mm、曲面	直径50mm、曲面
	成型	マイクロレベル	基本ソフト	成型最適化
		ナノレベル	欠陥、トライボロジー解析	モールド界面挙動解明

### II. 2. 3. 1. 研究開発項目①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」の中間目標および最終目標の詳細説明

日本山村硝子株式会社と五鈴精工硝子株式会社は、それぞれ、リン酸塩系、ホウ酸塩系に重点をおいて垂直連携企業と協議しながら最適組成候補を絞り込んだ。一方、産業技術総合研究所（以降、産総研と省略）は、イオン交換によるガラス表面層の低屈伏点化（京都工芸繊維大学に再委託して実施）と、民間企業が作製するガラスの物性評価と組成設計に関する指針をフィードバックした。以下に中間目標および最終目標の詳細を説明する。

#### (1) 中間目標

リン酸塩系およびホウ酸塩系ガラスに重点をおき、高屈折率成分と低屈伏点成分を加えたガラスを溶融し、平成 20 年度中に、波長 589nm での屈折率 1.7 以上、屈伏点 500℃以下で、波長 400nm での透過率 80%以上の物性をもつガラス組成を開発し、研究開発項目②で検討中のモールドを用いた成型テストを実施して、結晶化傾向、転写性、離型性等を評価する。これらの数値目標の設定理由については「II. 1. 4 中間目標および最終目標の設定理由」に記載する。

#### (2) 最終目標

リン酸塩系およびホウ酸塩系ガラスの組成開発をさらに進め、平成 22 年度中に、波長 589nm での屈折率 1.8 以上、屈伏点 450℃以下で、波長 400nm での透過率 80%以上の物性をもつガラス組成を開発し、成型テストを実施して、結晶化傾向、転写性、離型性等を評価する。これらの数値目標の設定理由については「II. 1. 4 中間目標および最終目標の設定理由」に記載する。

また、産総研から京都工芸繊維大学に再委託して、イオン交換を使ってガラス表面層のみの屈伏点を低下させ、成型に適したガラス材料を作製することを検討する。ケイ酸塩、ホウ酸塩系、リン酸塩系ガラスを作製し、イオン交換によりガラスに銀イオンあるいは銅イオンを導入する。これによりガラスの熱的な性質（ガラス転移温度、屈伏点など）がどのように変化するかを調べ、イオン交換後も着色せず、成型が可能なガラスの作製を目指す。得られる成果を研究開発項目②に活用する。

産総研では、ガラス物性の評価、成型プロセスで発生する問題点などを企業、大学と連携しながら解決する。ガラス材料の熱物性として、ガラス転移温度、結晶化温度、屈伏点を精度 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 以内で測定できる体制を構築する。また、光学物性として、波長 589nm での屈折率値上限 2.00、精度  $10^{-5}$  で迅速に測定できる体制を構築する。また、ガラス成型時に重要となる屈伏点近傍での粘性を正確に評価できる手法について検討する。さらに、加熱時の着色現象の抑制、モールド材料とガラスの界面反応を調べ、得られる成果を研究開発項目①-1, 2, 3 および研究開発項目②に活用する。一方、成型時のガラスとモールドとの融着力あるいは離型力などを定量的に評価するための基礎研究を、北海道大学に再委託して実施する。

### Ⅱ.2.3.2. 研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」の中間目標および最終目標の詳細説明

以下の2つの研究課題に分かれ、それぞれに小課題を設けている。

研究課題②-1「モールド作製・成型技術」：耐熱性モールド材料の表面に微細構造を形成し、その表面に離型処理を施した後にガラス成型を実施することを想定して、パターンニング技術、エッチング技術（一部、機械加工技術を使用）、電鍍技術、表面処理技術、成型技術の5つの小課題から成っている。

研究課題②-2.「シミュレーション技術」：主に反射防止構造の最適形状の設計や性能解析を目的とした光波シミュレーション、離型に適した形状を考慮に入れた光学素子の自動設計、および成型中のガラスのレオロジーやモールド強度を予測するシミュレーションの3つの小課題から成っている。

以下に、小課題毎の中間目標および最終目標の詳細を説明する。

#### ②-1. モールド作製・成型技術

##### ②-1-1. モールド表面へのパターンニング技術

集中研に設置する電子線描画装置、干渉露光装置を用いて、ガラス成型に用いるモールド表面への微細パターンの形成を実施する。具体的には、光学研磨されたモールド基材表面に塗布したレジストにおいて、平成20年度末までに、直径1mm以上の領域に周期 $10\mu\text{m}$ 以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が200nm以上の鋸歯構造、および、直径5mm以上の領域に周期500nm以下の1次元あるいは2次元的に配置される構造を形成する。また、平成22年度末までに、直径10mm以上の光学平面上に、周期 $5\mu\text{m}$ 以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が500nm以上の鋸歯構造、および、直径50mm以上の光学平面上に、高さ300nm以上の矩形または錘形の構造が周期300nm以下で1次元あるいは2次元的に配置される構造を実証する。

電子線描画法の欠点は、描画に時間を要することと、レンズ等の曲面へのパターンニングが困難なことである。そこで本プロジェクトでは、紫外線干渉露光法によるパターンニング技術

を開発する。最終的には電子線描画法と同じ数値目標の達成を目指す。また、京都工芸繊維大学に再委託して、格子周期微調技術などの光学系の高度化に関する研究も実施する。

さらに、広帯域無反射素子への応用を目指して、曲率半径の小さなレンズ表面への 2 次元周期パターンの形成を、大阪府立大学にて実施する。ここでは、レンズの周囲と中央とで周期構造の周期が変わらない露光光学系を開発し、青色 DVD ピックアップレンズのような急勾配の曲面でも反射防止構造が形成できる技術を開発する。

#### ②-1-2. モールド表面のエッチング技術

集中研に設置するプラズマエッチング装置を用い、モールドのエッチングに最適なマスク材料を選定し、平成 20 年度末までに、直径 5mm 以上のモールド表面に、深さ 250nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 500nm 以下で 1 次元あるいは 2 次元的に配置された構造を形成する。また、平成 22 年度末までに、大口径レンズやその他の窓材への応用を視野に入れて、直径 50mm 以上の光学平面上に、高さ 300nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 300nm 以下で 1 次元あるいは 2 次元的に配置される構造を形成する。

一方、鋸歯構造に関しては超精密機械加工装置を用いて、平成 20 年度末までに、平面あるいは曲面モールド表面に、直径 1mm 以上、周期 10 $\mu$ m 以下、各円の直径方向の断面の段差が 200nm 以上の同心円状の鋸歯構造を、また、平成 22 年度末までに、直径 10mm 以上の光学平面上に、周期 5 $\mu$ m 以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が 500nm 以上の鋸歯構造を形成する。

#### ②-1-3. 電鍍技術

プロジェクト開始からできるだけ短期間の内にガラス成型の研究を立ち上げるために、外部企業への委託によって、電鍍モールドを作製する。X線リソグラフィー等で形成したレジストパターンから、深さ 300nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 300nm 以下で 1 次元あるいは 2 次元的に配置された直径 3mm 以上のニッケルモールドを試作し、ガラス成型に関する基盤的な研究に用いる。

#### ②-1-4. モールド表面処理技術

微細構造を形成したモールドをそのままガラス成型に用いると、ガラスが融着して離型ができないことが考えられる。したがって、集中研で離型のための表面処理を実施することとした。モールド基材に白金等の貴金属またはカーボンを成膜して、表面構造、組成分布、硬度など物理化学的特性と実用的評価結果を関連付けることによって処理条件の最適化の指針を得る。また、成型中にガラス粘性体がモールド表面の微細な周期構造に入り込みやすい成型条件や、モールドとガラスとの濡れ性、成型中のガラスの動的粘弾性特性、離型に要する力などを定量的に測定する実験を継続し、成型実験にフィードバックする。

#### ②-1-5. ガラス成型技術

研究開発項目②-1-1. ～②-1-4. ままで作製したモールドを用い、平成 20 年度末までに、直径 1mm 以上の光学平面上に、周期 10 $\mu$ m 以下、段差 200nm 以上の鋸歯構造、直径 5mm 以上の光学平面上に、高さ 250nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 500nm 以下で 1 次元あるいは 2 次元的に配置された構造を成型する。また、平成 22 年度末までに、直径 10mm 以上の光学平面上に、周期 5 $\mu$ m 以下、段差 500nm 以上の鋸歯構造、直径 50mm 以上の光学平面上に、高さ 300nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 300nm 以下で 1 次元あるいは 2 次元的に配置された構造を成型する。なお、プロジェクト内で新規に開発されるガラスだけでなく、市販ガ

ラスも入手して幅広く成型実験を行う。

## ②-2. シミュレーション技術

### ②-2-1. 光波シミュレーション技術

産総研から大阪府立大学へ再委託して、大規模空間光波シミュレーションに必要な電磁場解析のための形状設定プログラムの開発、および、基本的な光線追跡プログラムを作成し、それらを融合することで、平成 20 年度末までに直径 5mm 以上、平成 22 年度末までに直径 50mm 以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材の光波解析を可能とする。また、シミュレータにレンズ形状探索機能を付加することで波面収差を自動補正するレンズ設計ソフトを平成 22 年度末までに開発する。

また、愛媛大学へ再委託して、微細構造をもつ光学部材の自動設計ソフトウェアの開発し、電磁場解析に基づく素子形状の効率的な最適化により、モールド作製や成型プロセスで課される様々な形状制限を組み入れた自動設計ソフトウェアの基本部分を完成させる。開発したソフトウェアを用いて、光ディスクドライブ用波長板の設計を行い、集中研での試作に資する。

### ②-2-2. 成型シミュレーション技術

産総研から大阪府立大学へ再委託して、集中研での成型実験データとの整合性を取りつつ、ガラスの分子流動解析シミュレータを用いたナノ成型状態の可視化による界面現象の解明、および、成型シミュレータを用いたガラスの粘性データに基づく流動解析の 2 つの課題に取り組み、離型に適したモールド形状や成型条件の提案を行う。

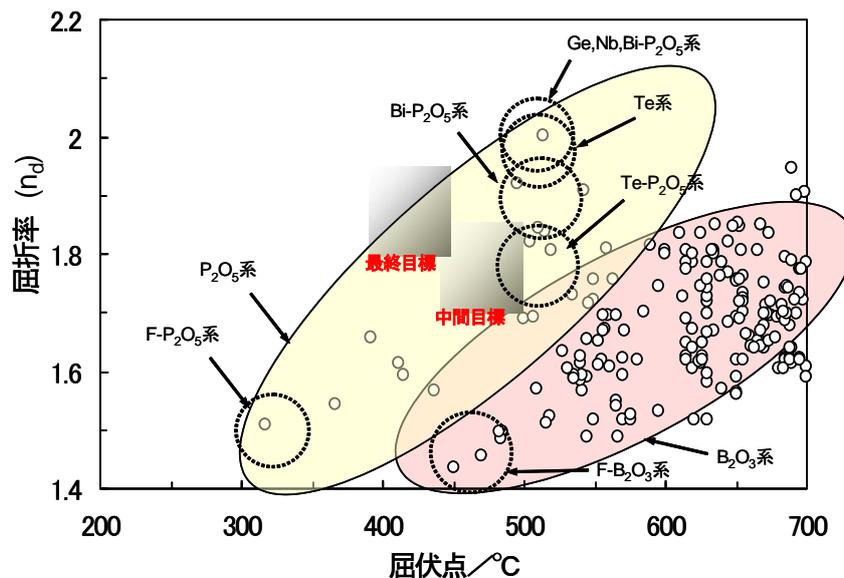
## II. 2. 4. 中間目標および最終目標の設定理由

電子・材料・ナノテクノロジー部では、参画企業4社全てが平成21年度から助成事業を立ち上げることができる基盤技術を構築することを想定して、最終目標に対しての平成20年度末における研究管理上マイルストーンである中間目標を設定した。また、H22年度での実機搭載を考慮して最終目標を設定した。以下にその設定理由を記す。

### II. 2. 4. 1. 研究開発項目①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」

微細構造が高い光学機能を発現するためには、「屈折率が高い」方が好ましく、また、モールドの寿命を延ばすためには成型の指標となるガラスの「屈伏点( $A_t$ )が低い」方が好ましい。さらに、青色DVDへの実装を考慮すると、「波長405nmで十分な透過率」を確保する必要がある。本研究を開始するにあたり、公開特許あるいは製品カタログ等から2500件以上のガラス組成を抽出し、それらの組成と屈折率-屈伏点の相関を詳細に解析した。その結果、図II-4に示すように、波長587nmでの屈折率( $n_d$ )あるいは波長589nmでの屈折率( $n_D$ )が1.7以上、 $A_t$ が500°C以下の領域には、モールド法での成型に適した組成が存在しない。また、最近では $n_d$ が2.0を超えるガラスが報告されつつあるが、405nmの透過率が著しく低く、用途が限定される。そこで本プロジェクトでは、中間目標として「波長589nmでの屈折率が1.7以上、屈伏点500°C以下で、透過波長下限400nm以下」という数値目標を設定した。また、最終目標として、「波長589nmでの屈折率が1.8以上、屈伏点450°C以下で、透過波長下限400nm以下」という数値目標を設定した。

低屈伏点化のための成分として $P_2O_5$ 、 $B_2O_3$ をベースにしたガラス系が有望であることから、これらの組成開発で実績のあるガラス企業2社が $P_2O_5$ 、 $B_2O_3$ の2つの系のそれぞれを分担し、高屈折率化のための成分として有望な $GeO_2$ 、 $TeO_2$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $Nb_2O_5$ 等が添加されたガラス系を出発点として組成開発を開始することとした。



図II-4 種々の光学ガラスの屈伏点と屈折率の関係

一方、イオン交換を用いたガラス表面の低屈伏点化は、モールド法で波長レベルの微細構

造を形成する上で有望である。そこで、イオン交換過程を利用したステイン法と呼ばれる手法でガラスの表面改質に取り組んでいる京都工芸繊維大学において、ガラスの表面から数 $\mu\text{m}$ 程度までの領域のガラス組成を変化させ、その領域の低屈伏点化と高屈折率化の検討を実施することにした。

また、産総研は、光学ガラスの物性評価に関する種々の設備と実績があり、経済産業省委託調査研究 知的基盤整備事業「ニューガラスの設計に資するガラスデータベース構築」などに貢献してきた。そこで、民間企業と共同で新規ガラス組成を開発しつつ、その物性を総合的に評価し、問題点を解決するための方針を提示することをミッションとして、本研究課題を実施することにした。

#### II.2.4.2. 研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」

本プロジェクトの後半で実施する助成事業において開発を予定している偏光分離素子には、周期 300nm 以下の 1 次元矩形構造が必要である。また、屈折・回折複合素子には、ミクロンオーダーの段差を有する鋸歯構造が必要である。さらに、広帯域無反射素子を屈折率 1.7 のガラス表面に形成するには、周期 300nm 以下、好ましくは 250nm 以下の 2 次元錘形構造が必要である。助成事業において、これらの構造をモールド法でガラス表面に形成するための基盤技術を集中研方式で構築することを目的として、開発項目を、「②-1. モールド作製・成型技術」と「②-2. シミュレーション技術」に分け、特殊設備を必要とする前者は集中研で実施し、後者においては、高い研究ポテンシャルを有する大学に再委託し、その成果を集中研にフィードバックすることにした。

以下に、研究課題毎の中間目標および最終目標の設定理由を示す。

##### II.2.4.2.1. モールド作製・成型技術

###### (1) モールド表面へのパターニング技術、モールド表面のエッチング技術、電鍍技術

目的とする形状に応じたパターニングプロセスおよび加工プロセスを図 II-5 に示す指針に添って選定した。すなわち、加工線幅と加工コストを指標として様々なプロセスを相対的に整理した結果、100nm 前後の微細な構造の場合には、電子線描画法と紫外干渉露光法によるパターニング、およびドライエッチングによる加工を選定した。また、1 $\mu\text{m}$  前後のやや大きなパターンの場合には、ダイヤモンドバイトを用いた精密機械加工が好ましいと判断した。

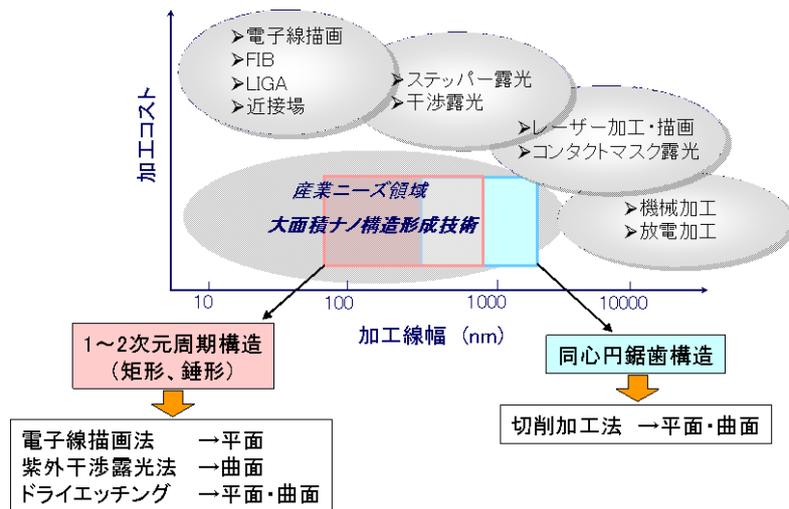


図 II-5 モールド作製プロセスの選定

電子線描画法と紫外線干渉露光法のいずれかで得られたレジストパターンをマスクとして、ドライエッチング等によって加工することを想定して詳細な目標を設定した。これら一連のプロセスに関しては、産総研に研究実績があったため、垂直的な研究の立ち上げが可能であった。産総研が保有する干渉露光装置の光源は波長 325nm の He-Cd レーザーで、これまで形成可能であった周期の下限は 300nm 付近であった。そこで、プロジェクト後半では、北海道大学にこの下限を下回る周期構造形成のための光学系の最適化に関する研究を再委託した。また、波長 244nm のアルゴンレーザーを保有する京都工芸繊維大学に、短周期構造の形成とその周期の微調整技術に関する研究を再委託した。さらに、レンズ等の曲面上への周期構造の形成を検討するために、波長 266nm の YAG レーザーで 3 方向干渉露光の実績を有する大阪府立大学に再委託をすることにした。

さらに、X線リソグラフィによるレジストのパターニングは、大面積の曲面上への微細パターン形成に有望であり、電鍍法によるニッケルモールドの作製とガラス成型に関する研究の早期立ち上げを目指して、本プロジェクトの初期にその可能性を確認しておくことにした。

以上のように、屈折・回折複合素子の実用化のためには、最終的にミクロンオーダーの段差を有する鋸歯構造の形成技術が必要である。このような大きな段差をドライエッチングで形成することは、不可能ではないが非常に長時間の加工が必要になる。そこで本研究では、ドライエッチング法と並行して超精密機械加工装置によるダイヤモンドバイトでの切削加工を実施し、大きな段差の鋸歯構造の形成を検討することにした。また、その加工領域の中間目標は、回折効率の測定を考慮して直径 1mm 以上、最終目標は実機搭載を考慮して 10mm とした。

## (2) モールド表面処理技術

集中研において、種々の方法で得られた微細構造モールドを用いてガラス成型を実施するためには、モールド表面への離型膜の形成が必須である。そこで、成型中のガラスの粘性流動や、モールドとガラスとの濡れ性、離型に要する力など、成型プロセスの基盤的なデータの収集を目的として、カーボン、白金等の貴金属等の成膜を実施する。

## (3) ガラス成型技術

本研究課題の中間目標は、ガラス組成開発からモールド作製の全ての成果を活用し、助

成事業の立ち上げを加速するために、偏光分離素子、屈折・回折複合素子、広帯域無反射素子のプロトタイプを作製することを念頭に設定した。すなわち、偏光分離素子や広帯域無反射素子においては、位相差や反射率を実測可能な大きさとして直径 5mm 以上の 1 次元あるいは 2 次元の周期構造を目標とした。また、屈折・回折複合素子においては、回折効率の測定が可能な直径 1mm 以上の鋸歯構造を作製することとした。

最終目標は実機搭載を想定して、屈折・回折複合素子については、直径 10mm 以上の光学平面上に、周期  $5\mu\text{m}$  以下の同心円で、各円の直径方向の断面の段差が 500nm 以上、偏光分離素子および広帯域無反射素子については、直径 50mm 以上の光学平面上に、高さ 300nm 以上の矩形または錘形の構造が周期 300nm 以下とした。

#### II.2.4.2.2. シミュレーション技術

本研究課題には、「光波シミュレーション」と「成型シミュレーション」の 2 つの課題が含まれ、それぞれを、高い研究ポテンシャルを有する大学に委託して実施することにした。

光波シミュレーションにおいては、反射防止構造をレンズ表面に形成する際の構造の最適化と得られる特性の予測ができるように中間目標を設定した。最終目標は、計算領域を直径 50mm 以上に拡張することとした。また、偏光分離素子に必要な 1 次元周期構造を成型する際に、離型性の高い素子形状を自動計算できるソフトの開発を同時進行させ、平成 22 年度までに微細加工による形状の制限条件を付加できる自動設計ソフトを開発することにした。

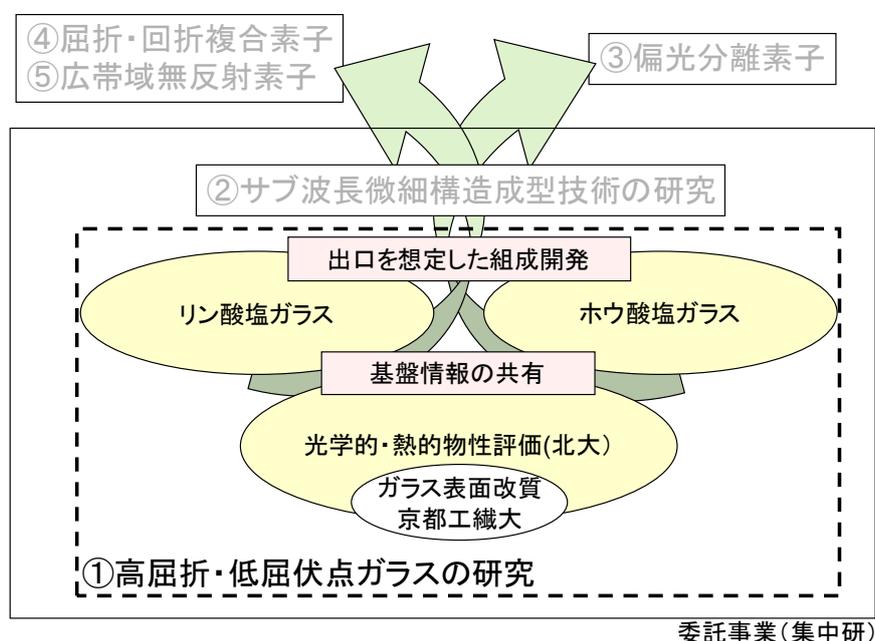
成型シミュレーションにおいては、微細構造モールドへのガラス粘性流体の充填率の向上に対して指針を与える流動解析と、成型中のモールドあるいはガラスにかかる応力を予測するための分子流動解析シミュレータの開発を中間目標として設定した。さらに、低分子ガラスの成型にかかわる材料、プロセスの最適化が可能なマイクロレベルのシミュレーション技術、および、原子レベルの欠陥、モールド界面挙動の解明が可能なナノレベルのシミュレーション技術を平成 22 年度までに開発することにした。

## II.2.5. 研究開発項目毎の詳細計画内容

以下に研究課題毎の詳細な計画内容を説明する。

### ①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」

図II-4に示したように、本プロジェクト発足時に2500件以上の特許あるいは製品カタログ等を調査し、それらの組成と物性との相関を詳細かつ定量的に解析した。その結果、サブ波長構造が高い機能を発現することが期待される領域、すなわち屈折率 $n_d$ が1.7以上、屈伏点 $A_t$ が500℃以下の領域には、モールド法での成型に適したガラスが存在せず、本研究開発項目の目標設定は極めて妥当であることがわかった。そこで、プロジェクト前半においては、図II-6に示すように、集中研メンバー同士が可能な限り基盤的な情報を共有しつつ、ガラス会社2社がそれぞれの垂直連携先と共同開発予定の出口デバイスを見据えた組成開発をすることとした。



図II-6 集中研における「①高屈折・低屈伏点ガラスの研究」の研究体制

以下に具体的な研究計画について記載する。

#### ①-1. リン酸塩系組成開発（ガラス企業、産総研が集中研で実施）

リン酸塩系ガラスは高屈折率化においても、また、低屈伏点化と中高温域での粘性の低さの点でも、モールドでの成型に適していると考えられる。本プロジェクトでは、目標とする物性を得るために、高屈折率化成分（複数）＋低屈伏点化成分（複数）を加えて熔融し、高屈折率かつ低屈伏点のガラス開発を試みる。高屈折率化成分としては、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Nb}_2\text{O}_5$ 、 $\text{TiO}_2$ 、 $\text{BaO}$ 、 $\text{WO}_3$ 、 $\text{GeO}_2$ 、 $\text{La}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Gd}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZrO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Sb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Ta}_2\text{O}_5$ 、 $\text{SrO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{Yb}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Y}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TeO}_2$ などを、また、低屈伏点化成分としては、 $\text{Li}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Bi}_2\text{O}_3$ 、 $\text{B}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ 、 $\text{TeO}_2$ 及びそれらのフッ化物などを用いる予定である。

研究開発速度を上げるために、多数の小型ルツボを用いて同時に熔融し、ガラス化領域をマッピングすると同時に、ホウ酸塩系組成開発チームおよび物性評価チームとの連携を取りながら、最適組成を短期間で絞り込むことにした。

## ①-2. ホウ酸塩系組成開発（ガラス企業、産業技術総合研究所が集中研で実施）

これまでに五鈴精工硝子は  $B_2O_3$  を主成分とするいくつかのモールド成形用ガラスを開発してきており、低屈伏点ガラス組成の開発は、今後の重要課題に位置づけている。特許等で調査した  $B_2O_3$  系ガラスにおいて、屈伏点 (At) と屈折率 ( $n_d$ ) が掲載されている事例を整理した結果、At が低い場合は  $n_d$  が 1.7 以下であり、 $n_d$  が 1.7 以上の場合は At が  $500^\circ\text{C}$  以上であった。すなわち、既存のホウ酸塩系ガラスには、リン酸塩系と同様に本事業の最終目標である「 $n_d$ 1.7 以上、At $500^\circ\text{C}$ 以下」を満足する組成は存在しない。そこで本研究項目では、従来のガラス系をさらに拡張して、モールドでの成型が容易なホウ酸塩系ガラスの候補として、

(1)  $B_2O_3$ - $SiO_2$ - $Nb_2O_5$ - $R_2O$ - $Ln_2O_3$  系、

(2)  $B_2O_3$ - $SiO_2$ - $Bi_2O_3$ - $R_2O$ - $Ln_2O_3$  系、

(3)  $B_2O_3$ - $SiO_2$ - $P_2O_5$ - $R_2O$ - $Ln_2O_3$  系、

の 3 種類を取り上げ、その組成の最適化を試みることにした。なお、リン酸塩系組成と同様に、高屈折率化成分としては、 $Bi_2O_3$ 、 $Nb_2O_5$ 、 $TiO_2$ 、 $BaO$ 、 $WO_3$ 、 $GeO_2$ 、 $La_2O_3$ 、 $Gd_2O_3$ 、 $ZrO_2$ 、 $Al_2O_3$ 、 $Sb_2O_3$ 、 $Ta_2O_5$ 、 $SrO$ 、 $CaO$ 、 $Yb_2O_3$ 、 $Y_2O_3$ 、 $TeO_2$  などを、また、低屈伏点化成分としては、 $Li_2O$ 、 $Na_2O$ 、 $K_2O$ 、 $Bi_2O_3$ 、 $B_2O_3$ 、 $ZnO$ 、 $TeO_2$  及びそれらのフッ化物などを用いることとした。さらに、リン酸塩系開発チームおよび物性評価チームとの連携を取りながら、最適組成を短時間で絞り込むことにした。

## ①-3. ガラス表面改質技術（京都工芸繊維大学と集中研が共同研究）

本研究では、ガラスの表面から数  $\mu\text{m}$  程度までの領域のガラス組成を変化させる（修飾することにより、この領域の屈伏点を低下させ、屈折率を上昇させたガラスの開発を目指すことにした。このようなガラスを用いることによって、ガラス表面にミクロン～サブミクロンオーダーの機能性微細構造を、モールド法で形成することができると期待される。

ガラス表面領域の組成を変化させる方法として、プロジェクト前半では主にイオン交換法、後半にはゾルーゲル法なども加えて検討することとした。

## ①-4. 光学的・熱的物性の精密評価（産総研、ガラス企業、北海道大学が共同研究）

本研究項目では、「高屈折率・低屈伏点ガラスの研究」のための組成開発に必要な、光学的物性及び熱的物性の精密評価を行う。

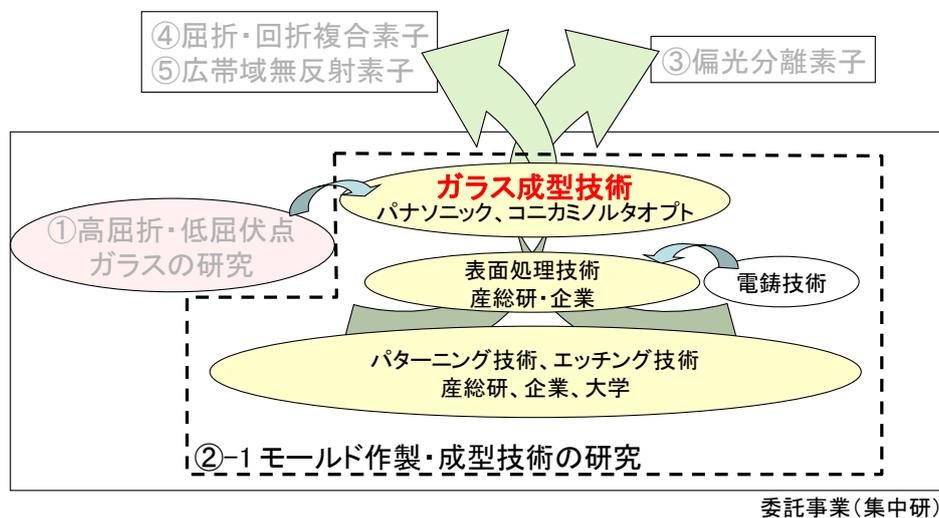
成型プロセスにおいては、ガラスの粘性の温度特性等の熱的物性の評価が不可欠である。本研究項目では、高粘度域での粘度の精密測定を行ない、実際の成型プロセスに反映させる。さらに、ガラスの比熱、熱伝導度、熱膨張係数、失透傾向、モールドとの融着現象なども重要になることから、これらを迅速に解析する体制を構築する。また、現在保有するプルフリッヒ屈折計、アッペ屈折計等の簡便な屈折率測定装置を用いて、屈折率及びその温度依存性を高精度 ( $10^{-5}$ ) に測定する。

光メモリピックアップ用光学部材では、短波長領域での透明性を必要とするため、吸収端を決めている要因の解明と、耐候性の評価が重要である。原料中に含まれる不純物は屈折率には大きな影響を及ぼさないものの、吸収端波長には大きな影響を及ぼす場合がある。そこで、X 線分光による原料中の不純物評価等により吸収端を決定している化学結合が原料固有のものか、不純物によるものかを明らかにし、組成探索にフィードバックする。上記知見と

分光学的構造決定手法を用い、透過率劣化の防止対策にフィードバックする。さらに、本プロジェクト後半では、光学部材成形用に用いるガラスとモールドとの相性を定量的に評価するために、高温レオロジー特性に関する研究を北海道大学に再委託することとした。

## ②-1. モールド作製・成型技術

本研究項目では、微細構造が形成されたモールドの作製とガラス成型に関する基盤技術の構築を目指しており、図Ⅱ-7のような構成で取り組むこととした。モールド材料表面へのパターンニングやエッチング、表面処理に関しては、産総研、企業、大学が共同で取り組む。また、電鍍技術に関しては、可能な限り早期にガラス成型技術の研究を立ち上げるために外注で実施する。しかしながら、成型に相応しいガラスを開発するには時間を要することが想定されるので、プロジェクト前半は市販の光学ガラスを使いながら、微細構造に関する基礎基盤の構築に注力することとした。



図Ⅱ-7 集中研における「②-1 モールド作製成型技術」の研究体制

### ②-1-1. モールド表面へのパターンニング技術

#### ②-1-1-1. 電子線描画法

電子線描画法は鋸歯形状やチャープ周期などの複雑なパターンニングの形成に適しているため、本研究で重要な方法である。本プロジェクトでは、繋ぎ精度の高い電子線描画装置を導入し、平成20年度末までに、少なくとも10mm角あるいは10mmφ以上の領域での描画が行える体制を整え、1~2次元のサブ波長微細周期構造と鋸歯構造を、基板にコートしたレジスト表面に形成する。ただし、鋸歯構造については超精密機械加工の結果と比較しながら後半の助成事業の研究方針を決める。平成22年度末までに、反射防止構造への応用を想定して、直径50mm以上の光学平面上に、高さ300nm以上で錘形構造が周期300nm以下で2次元的に配置された構造を形成する。

#### ②-1-1-2. 大面積平面干渉露光法

干渉露光法は、短時間に大面積のパターンニングができる点で優れている。これまで、産総

研では数年に渡って干渉露光装置の開発に取り組んできた。光源の波長は 325nm である。i 線レジスト上に周期 350nm 以下のパターンニングが可能である。本研究では、本露光装置で蓄積したノウハウを活かして、周期 300nm 以下の 1~2 次元のパターンニング技術を構築する。

また、京都工芸繊維大学では、ロイドミラー光学系において、複数の反射鏡が一体に固定された構成をとることで、干渉計のミラー角度の制御により格子周期微調精度 0.1nm の高精度な格子周期微調機構の基盤技術の構築を目的とする。また、その他の干渉露光技術の基盤的知見を集中研に提供し、本研究課題の進捗を加速する。

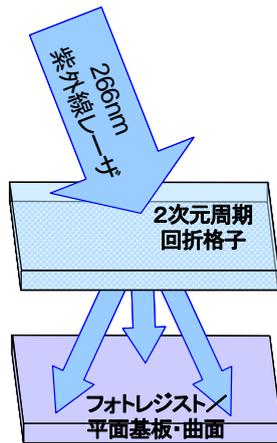
さらに、北海道大学において、実用上最も汎用的な二光束干渉露光法において、He-Cd レーザーで達成できる最小周期を見極めることとした。

### ②-1-1-3. 曲面上へのパターンニング技術

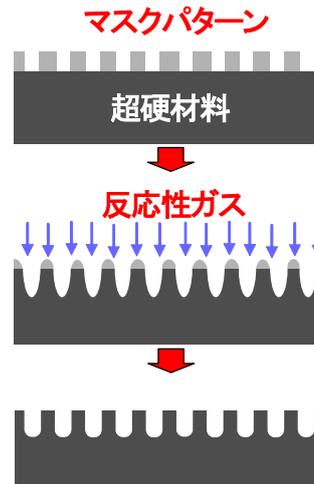
産総研からの再委託を受けて、大阪府立大学では、波長 266nm の cw-YAG レーザーと 2 次元周期回折格子を用いた干渉露光系によって、細密周期構造のレジストパターンを得る技術を構築する予定である。露光装置のイメージを図 II-8 に示す。この方法は、2 光束干渉による多重露光法よりもコントラストの高いレジストパターンの形成が可能であると言われている。また、集中研で使用予定の 325nm の He-Cd レーザーより短波長である波長 266nm の cw-YAG レーザーと KrF 用レジストの組み合わせは、線幅 100nm 以下のレジストパターンの形成も可能である。本研究では、反射防止構造のパターンニングを目的として、非球面を含む曲面上への一様なパターンニングを実現するために、格子周期が場所によって異なる 2 次元回折格子や格子/基板間に光学レンズまたは回折格子を挿入する装置を開発する。得られたレジストパターンは、集中研にてモールド作製の研究に供する。

### ②-1-2. モールド表面のエッチング技術

電子線描画法や紫外線干渉露光法等によって作製したレジストパターンをガラス成型用モールドの表面に転写するためのエッチング技術の開発に取り組む。開発予定のプロセス技術の例を図 II-9 に示す。開発のポイントは、ガラスとの反応性が低く、耐熱性がある超硬材料の表面に形成されたマスクパターンを介して、サブ波長構造を微細加工するドライエッチング技術の開発にある。また、これまでのサブ波長構造の形状は、理想的な矩形形状が想定される場合がほとんどであったが、離型性を考慮するとテーパ形状が望ましい。そこで、本研究では、モールド表面の微細構造にテーパを形成するためのエッチング条件の最適化を検討する。



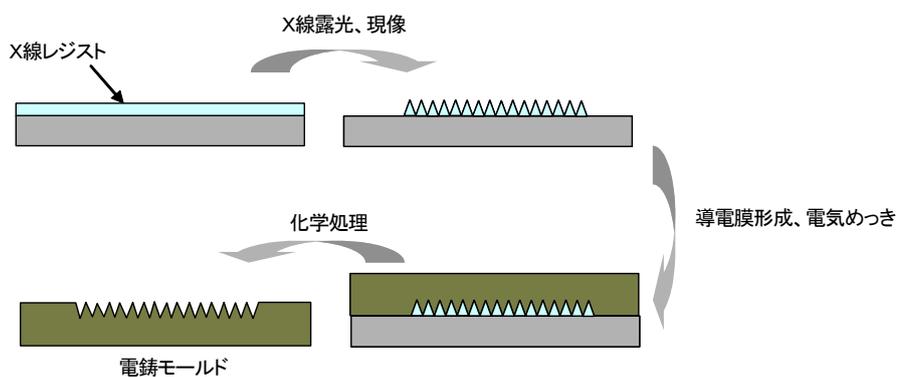
図Ⅱ-8 2次元周期回折格子を用いた細密周期構造の高コントラストパターンニング



図Ⅱ-9 超硬材料へのサブ波長構造物形成プロセス

### ②-1-3. 電鍍技術

本研究課題の位置づけは、外注で電鍍法でニッケルモールドを作製し、市販の光学ガラスを使った微細構造の成型テストを、プロジェクト発足後、可能な限り早期に実施することを目的としている。すなわち、プロジェクト中期には、微細構造が形成されたモールドとガラス企業からの高屈折・低屈伏点ガラスの提供があることを想定している。具体的には、外部機関を活用して、エクス線リソグラフィによるレジストのパターニングと電鍍法によるモールドの作製を実施する。図Ⅱ-10は作製工程のイメージ図である。



図Ⅱ-10 X線リソグラフィによるレジストのパターニングと電鍍法によるモールドプロセス

一方、機械加工（切削加工など）も有効なモールド作製技術であるため、本研究課題の中で、先端的な性能を有する加工機を導入し、ダイヤモンドバイトによる鋸歯構造モールドの作製を実施する他、サブミクロン領域の加工線幅の可能性を見極める。

#### ②-1-4. モールド表面処理技術

微細構造を形成したモールドでガラスを成型する場合、モールド表面に離型処理を施すことが必須である。本プロジェクトでは、イオンビームスパッタ (IBS) 法および金属プラズマイオン注入 (PBII) 法<sup>(1)</sup>を用いたモールドの表面処理技術を検討する。IBS 法はモールドに対して斜め方向からスパッタ粒子が飛来・堆積するため、微細構造が形成されたモールド表面処理に有利であると考えられる。一方、PBII 法は白金等の貴金属をモールド表面に注入できるので、モールドからの剥離を抑える効果が期待される。図 II-11 は PBII 法のイメージ図である。得られる表面処理効果の解析手法として、ラザフォード後方散乱 (RBS)、蛍光 X 線、オージェ電子分光、断面 TEM 観察などを用い、イオン注入量、注入分布、界面傾斜・薄膜組成と表層構造および それらのプレス前後の変化を評価する。評価結果とプレス成型特性との相関からプレス成型特性に対する表面処理効果の要因を明らかにする。得られた知見から表面処理方法・条件について改善を試みる予定である。

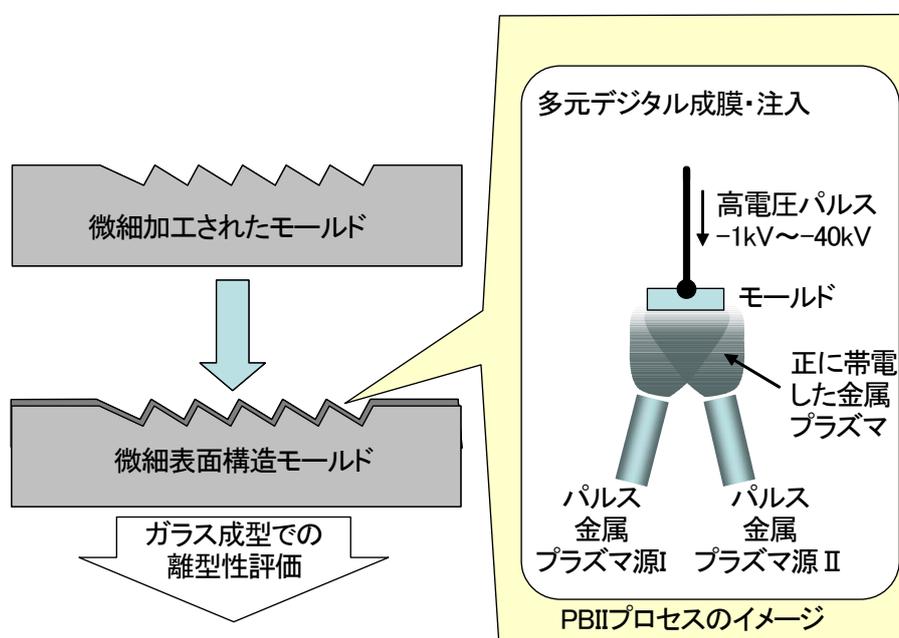


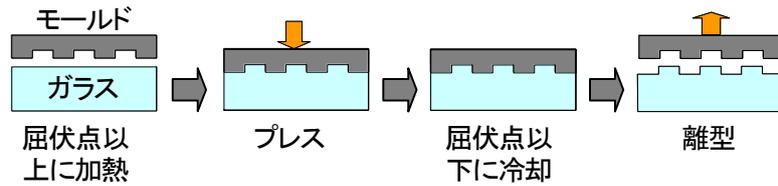
図 II-11 PBII 法のイメージ図

#### ②-1-5. ガラス成型技術

本事業で開発予定の低屈伏点ガラスの表面に、熱プレス方式で微細構造を転写する。プレス成型時に、ガラスがモールド表面の微細構造に充填されるメカニズムを基礎的に解明することを目標とする。ガラス表面への微細構造の成型プロセスを図 II-12 に示す。ガラスは樹脂に比べて高温での成型が必要であり、脆い性質をもっているため、その熱的特性を十分考慮した成型プロセスの開発が重要である。そこで、成型時の変形メカニズム、冷却過程での温度分布と得られるパターン形状との相関を詳細に調べる。

一方、本委託事業の後半では、実用化に際して素子の大面積化を試みる。直径 50mm 以上、周期 300nm 以下を目標とする。そのために、冷却時の熱応力によるモールドの破損防ぐ成型方法の開発や、面内均一性を高めるための装置についての基礎的研究開発を行う。さらに、

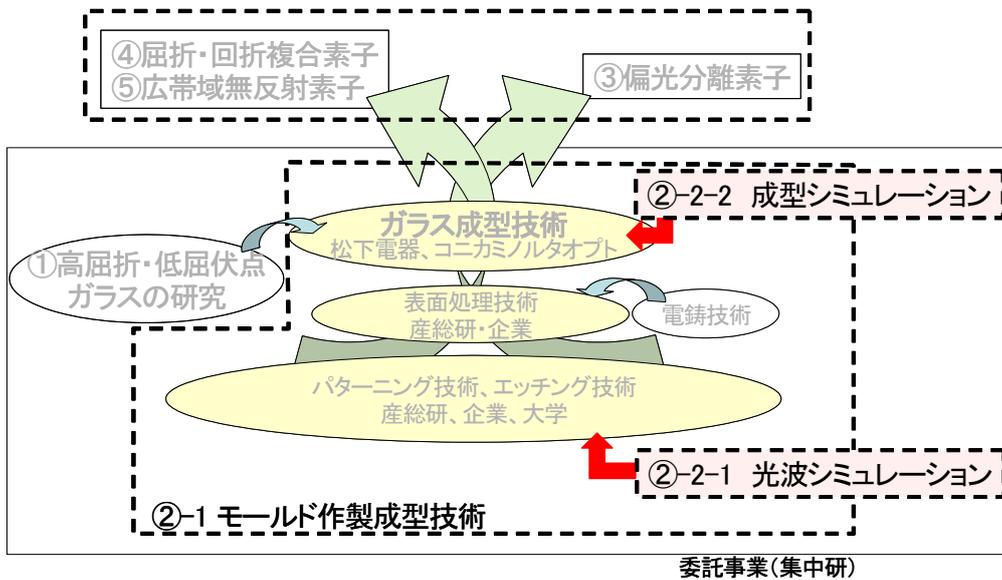
将来的に高効率な転写方法としてロールを用いたガラス成型法についても開発を進める。



図Ⅱ-12 ガラス成型プロセスの一例

## ②-2. シミュレーション技術

成型によって得られる光学部材の特性を予測することを目的として、大面積光学部材対応光波解析シミュレータ、および、微細加工による形状制限を組み込んだ光学部材の自動設計ソフトの開発を行う。さらに、微細な構造のガラス成型には、ガラス材料やモールド材料の物理的特性を十分に考慮した成型メカニズムの解明が必須であることから、有限要素法や分子動力学法による成型シミュレーションを実施する。これらのシミュレーション技術は本プロジェクトにおいて図Ⅱ-13の様に位置づけられる。



図Ⅱ-13 シミュレーション技術の位置づけ。光波シミュレーションはモールドの加工形状を決める際に必須であり、成型シミュレーションはガラス成型時の温度や圧力、離型条件を予測するために有効である。

### ②-2-1. 光波シミュレーション技術

#### ②-2-1-1. 大面積光学部材対応光波解析シミュレータ

厳密結合波解析 (RCWA)<sup>(2,3)</sup> 法などの電磁場解析によって微細構造の光波解析を行い、最適な構造を設計する。現行の計算機能力では数  $10\mu\text{m}$  の空間サイズの解析が限界であり、レンズのような大きいサイズの光学部材については直接的な電磁場解析は行えないという問題点が

ある。そこで本研究では、大阪府立大学において、非球面レンズや回折格子表面に微細構造をもつ大面積光学部材の光波解析シミュレータの開発を行う。ここで取り扱う光学部材の微細構造部は部材表面に限られているので、幾何光学的な手法と電磁場解析法を適切に組み合わせることで、光波解析が可能になる。具体的には、自由空間領域では光線追跡法またはスカラー回折理論<sup>(4)</sup>を適用し、微細構造部だけに電磁場解析を用いるハイブリッドな計算法を構築する。レンズ形状の設計には光線追跡法が利用されるが、開発するシミュレータにおいても、光線追跡の対象になる部分だけで電磁場解析を行う。これにより、光波解析の精度を低下させずに、計算時間を大幅に短縮することが可能になる。ここでは直径 10mm 以上の大面積光学部材の光波解析を行うシミュレータを開発し、光学部材の性能予測および設計に役立てる。なお、光線追跡と電磁場解析がシームレスに動作する市販ソフトウェアは存在しない。提案者らの開発した電磁場解析プログラムを光線追跡に適用することで、シミュレータを実現する。電磁場解析プログラムは、周期構造を対象とした RCWA 法および時間領域差分法 (FDTD 法)<sup>(5,6)</sup>を問題によって使い分ける。

### ②-2-1-2. 微細加工による形状制限を組み込んだ光学部材の自動設計ソフトの開発

微細構造をもつ光学部材の自動設計ソフトウェアの開発を行う。特に、光学特性だけでなく、金型作製やモールドプロセスで課される様々な形状制限を組み入れた自動設計ソフトウェアの開発を行う。例えば図 II-14 のような構造性複屈折波長板では、モールドの凹凸の大きさや抜き勾配などが制限となり、反射防止構造では格子周期や凹凸の高さ等が制限となる。また、金型加工やガラス成形における許容誤差も制限項目になる。FDTD 法をはじめとする光波解析シミュレータは広く普及しているものの、素子を自動設計するソフトウェアは存在しない。ここでは、愛媛大学で開発された FDTD 法や RCWA 法のプログラムをもとに上記の自動設計ソフトウェアの開発を行い、作製が容易な最適形状の設計に役立てる。なお、本研究では、金型作製やガラス成型の基礎実験の結果をソフトウェアに反映させる。

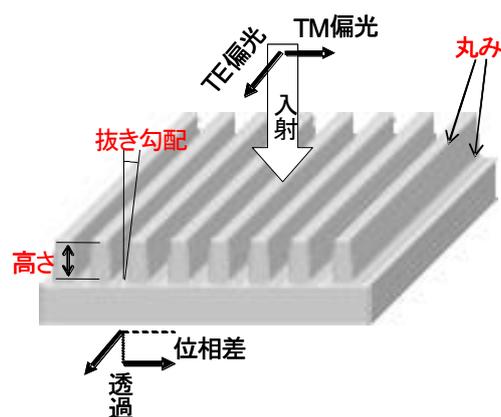


図 II-14 構造複屈折位相格子における形状制限の例

### ②-2-2. 成型シミュレーション技術

より効率的で高い生産性のあるガラス成型技術の開発には、ガラス材料やモールド材料の物理的特性を十分に考慮した成型メカニズムの解明が必須である。本プロジェクトでは、成

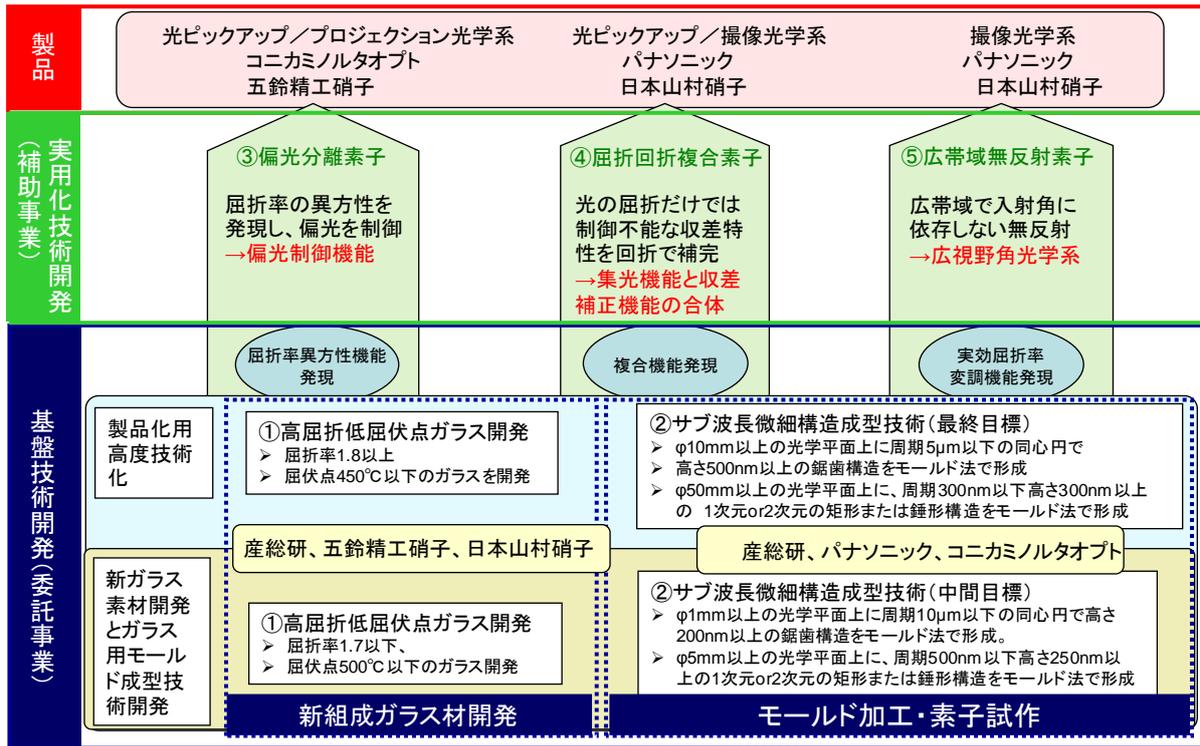
型実験と連携しながら、種々の物理現象をモデル化してシミュレーション解析を行うことにより、そのメカニズムの解明とそれに基づくプロセス・材料の最適化に関する基礎的研究を行う。大阪府立大学では、これまでに樹脂、ガラス材料の成型シミュレーションにより、高アスペクト比構造や曲面構造についての基本的なシミュレーション解析を行ない、樹脂による高アスペクト比構造の成型技術の開発に大きな役割をはたしてきた。特に高アスペクト比構造での応力集中と欠陥メカニズムを解析し、これに基づきプロセスを最適化して、高アスペクト比の樹脂パターン成型に世界で初めて成功している。また、ガラス成型についてもマイクロレンズ成型時に発生する不良と成型条件との関連を解析し、欠陥の発生を防止するためのプロセス条件を提示している。本研究ではこれらの技術実績を生かし、特に低屈伏点ガラス材料とモールド材料の実験的特性を考慮して、ガラス成型過程の諸現象を実験結果と対応させながら流動現象などをマクロに解析するシミュレーション技術を開発する。

一方、ガラス材料とモールド材料間の摩擦や、ガラスの破壊メカニズムなど、従来の連続体力学では解析できない分子・原子レベルでの分子流動的な挙動をナノレベルで解析することは、材料開発に対する指針を与えることが期待される。そこで、これらの分子流動的現象をシミュレーションする技術を、大阪府立大学にて開発する。これらをベースとして、ガラス材料系が扱える大規模なシミュレーション解析手法を開発する。このシミュレーション技術を駆使し、分子・原子レベルでの分子流動現象についての基礎的な現象の把握と、材料最適化に向けての知見を得ることにより、成型プロセスの最適化と、モールド/ガラス界面の挙動、欠陥発生メカニズムの解明により、成型プロセスと材料特性の最適化を図る。

## II. 2. 6. 研究開発の実施体制

### II. 2. 6. 1. 実施体制

本プロジェクトでは、その期間の前半に基盤技術の構築に全員で取り組み、その成果を使って期間の後半では助成事業による出口を明確にした実用化研究を開始することをミッションとしている。図II-15は、研究開発項目で整理した体制である。また、図II-16はNEDOと契約先との体制図である。平成20年度よりパナソニック株式会社が助成事業を開始し、平成21年度よりすべての参画企業が助成事業を開始した。



図II-15 研究開発項目①～⑤の位置づけ

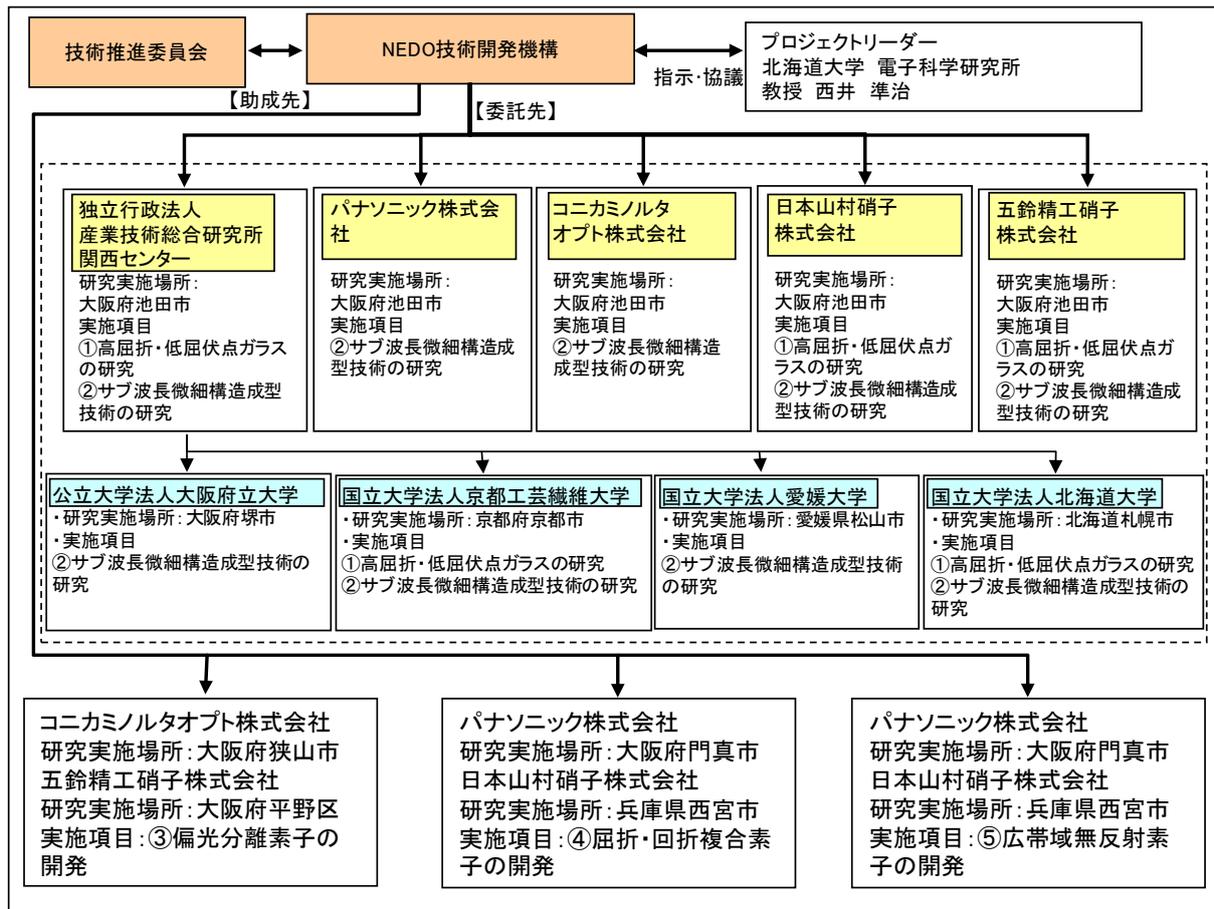


図 II-16 NEDO と契約先との体制図

## II.2.6.2. 参画研究機関、大学、企業のプロフィール

### 1) パナソニック株式会社

約 25 年前からガラス非球面レンズの開発に着手し、1985 年の CD プレーヤ用のガラス非球面対物レンズ、1995 年の世界初の回折型の DVD/CD 互換用 2 焦点ガラスレンズ、1996 年、同レンズを搭載した DVD プレーヤを量産した。最近では青色レーザー対応の光ディスク (Blu-ray) 用超高開口数 (NA=0.85) の対物レンズの量産化にも成功した。現在は、光ディスクやデジタルスチルカメラ用レンズ等を中心に月産数百万個のガラス非球面レンズの生産を行っている。

### 2) コニカミノルタオプト株式会社

光ピックアップやディスプレイ、プロジェクター、デジタルカメラユニット、携帯電話用レンズなど多くの光学部品、機器を開発、製造、販売しており技術力、販売網を有している。また、コニカミノルタグループでは、樹脂材料をベースにして微細構造を利用した光素子の研究を独自に実施しており多くのノウハウと特許を保有している。微細構造応用・加工の関連特許は公開 779 件登録 34 件であり、大きなアドバンテージを有する。

### 3) 日本山村硝子株式会社

光ファイバーのコア用フッ化物ガラスやクラッド用リン酸塩ガラス、電子材料用のリン酸

塩ガラス、光学材料用のフツリン酸塩ガラス、光一光制御用負性非線形光学リン酸塩ガラス、モールド法での成型用リン酸塩ガラスの研究開発を行ってきた。また、世界ではじめて、高濃度希土類含有リン酸塩ガラスにおける負性非線形吸収効果を見出し、全光インバータの可能性の発表を行っており、多成分ガラス材料の開発においては世界トップレベルの技術を有する。

#### 4) 五鈴精工硝子株式会社

光学ガラスの製造販売で 100 年以上の実績を有し、最近ではモールド法によって化学的耐久性に優れ且つ高精度のガラス製品を成型する技術を確立し、インテグレートレンズアレイ、非球面レンズ、型押レンズ及び光学吸収フィルタを製造している。

#### 5) 産業技術総合研究所 関西センター

電子線描画、レーザー描画等の手法によって、周期 300nm 以下で 1~2 次元の周期構造をガラスや  $Ta_2O_5$ 、PMMA の表面に形成する技術を有している。そのような構造を使った極微分波器やスーパープリズム、無反射構造などを試作した。さらに、光学ガラス溶融やその物性評価に関して、企業との共同研究や技術指導などを通して多くの研究実績がある。このような研究ポテンシャルを活かして、平成 13~平成 17 年度の間、NEDO 委託事業「ナノガラス技術プロジェクト」の集中研を運営し、6 社から常駐出向研究員を受け入れて指導した。

#### 6) 大阪府立大学

光波制御素子の設計および紫外干渉露光、インプリント法による素子の試作に関する高い研究ポテンシャルを有する研究者が集結し、本研究に必要な機械装置を有する。特に、平成 9 -平成 14 の間は科学技術振興事業団委託研究事業「大阪府地域結集型共同研究事業（テラ光情報基盤技術開発）」に参画し、光波制御素子に関する多くの成果を上げた。また、平成 17 年から始まった近畿経済産業局 地域新生コンソーシアム研究開発事業「血中薬物濃度モニタリング用ナノ構造バイオニクスデバイスの開発」では、ナノインプリント技術において先導的な研究を展開した。

#### 7) 京都工芸繊維大学

独自の干渉露光装置やエッチング装置を用いて回折素子や導波路素子の試作で多くの実績を上げている。また、ガラス材料やそのイオン交換技術について多くの研究実績がある。

#### 8) 愛媛大学

愛媛大学は光学素子のシミュレーションにおいて多くの論文、著書を発表しており、特に三次元的なシミュレーションを得意とする。

#### 9) 北海道大学

ガラス成形における離型特性評価および二光束干渉露光に関する知見を有し、口頭・論文発表等の実績がある。

## II.2.7. 研究の運営管理

研究開発全体の管理・執行に責任と決定権を持つ NEDO は、経済産業省及び研究開発責任者と密接な関係を維持しつつ、プログラムの目的及び目標、並びに、本プロジェクトの目的及び目標に照らして適切な運営管理を実施する。また、必要に応じて、外部有識者の意見を運営管理に反映させる。

NEDO が実施・管理を行う当該プロジェクトの効率的な研究開発の推進を図るため、研究開発の現場において指示・指導・調整の任にあたる研究者であり、実施者の一員として自ら研究開発に携わる他、研究開発計画原案の策定、研究成果のとりまとめ等の役割を担う研究開発責任者（プロジェクトリーダー）に、北海道大学 西井準治 教授を任命し、本プロジェクトを推進している。

また、本研究開発を効率的に実施するため、産総研、大阪府立大学、京都工芸繊維大学、愛媛大学、パナソニック株式会社、コニカミノルタオプト株式会社、日本山村硝子株式会社、五鈴精工硝子株式会社の間でそれぞれ包括的な「共同研究契約」を締結し、有機的に結合し研究を実施した。

表 II-2 にプロジェクトリーダーの役割をまとめた。

表 II-2 プロジェクトリーダーの役割

組織関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究体の研究室の設置、廃止等の組織構成の決定</li> <li>研究体のサブ研究リーダーの選任と解任</li> </ul>
研究体所属研究者関係	<ul style="list-style-type: none"> <li>大学、産総研、企業が提出する研究者候補リストの中からの研究体所属研究者の選任</li> <li>研究体所属研究者の任期の設定および変更に関する調整</li> <li>研究体所属研究者の担当研究項目の決定</li> <li>その他研究体所属研究者の総合的な統括</li> </ul>
予算、研究場所、研究設備および装置等	<ul style="list-style-type: none"> <li>実施時における予算の配分の調整</li> <li>研究体の活動に割り当てられた研究場所の配分、模様替え等の調整</li> <li>研究設備および装置等の使用範囲等の調整</li> </ul>
研究計画および報告	<ul style="list-style-type: none"> <li>年度毎の概算要求案（年間研究計画書案、実施計画書案の策定）</li> <li>研究計画の変更（実施計画書変更申請案の策定）</li> <li>軽微な研究計画の変更（実施計画書変更届出書の策定）</li> <li>研究経過の報告（成果報告書案、その他必要に応じた研究報告書案の策定）</li> <li>研究終了報告（研究終了報告書案の策定）</li> </ul>
研究評価	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究内容の研究体内での評価</li> <li>研究者の研究体内での評価</li> </ul>
研究成果	<ul style="list-style-type: none"> <li>別途定める研究体知的財産権取扱規程の施行およびその遵守に関する指導管理</li> <li>論文発表等による公開を、知的所有権による保護に優先させるか否かの判断</li> </ul>
第三者との共同研究、研究者等の招聘	<ul style="list-style-type: none"> <li>第三者との共同研究の実施と管理（①共同研究および共同研究契約に対する要望事項の取り纏め、②共同研究契約書案の策定、③各種報告書案の策定）</li> <li>外部研究者（産総研、大学、企業等）の調整および選任</li> </ul>
その他	<ul style="list-style-type: none"> <li>研究体の研究活動推進のための総合調整</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 経済産業省、NEDO、大学、企業に置かれた各種関係会議への対応、総括</li> <li>● ワークショップ、シンポジウム等、事業計画の策定および実施</li> </ul>
--	--

また、上述したプロジェクトリーダーのミッションの一部は、年間4回の業務委員会を開催することによって、大学、産総研、企業などと連携して遂行されている。すなわち、経済省原課およびNEDOの担当者、企業、大学、産総研の参画研究者および業務管理者などが集中研究室に集まり、プロジェクトの進捗状況を全員で確認し、意見交換している。その際、プロジェクトリーダーからプロジェクトの年間計画、予算配分、対外活動、成果の概要などが報告される。また、各研究者が担当分野の進捗状況を報告し、参画者全員でその内容を議論する。

プロジェクトリーダーは、必要に応じ適宜、電話、e-mailにて参画企業や大学からの要望等を受け、速やかにそれに対応している。また、特許出願に際しては、事前にその内容をチェックし、参画企業、大学、産総研の全員から同意を得てから、明細書の作成に取りかかり、出願終了後にその旨を全員に報告している。プロジェクトの執行予算は、プロジェクトリーダーと企業、大学の代表者とが連絡を取り合い、NEDOと協議の上、最終決定している。論文投稿、外部発表など、成果の外部発信の際には、プロジェクトリーダーがその内容を確認し、承認を出している。また、少なくとも1回／年の頻度で業務委員会に企業の幹部を招き、研究の進捗を正確に理解してもらうように努めた。

### II.3. 情勢変化への対応

表II-3に、これまでに充当した研究加速財源の状況を示す。

平成18年度には、研究開発項目①-4. 光学的・熱的物性の精密評価、②-1-2. モールド表面のエッチング技術、②-1-4. モールド表面処理技術、②-1-5. ガラス成型技術の4テーマに研究加速財源を充て、材料評価とモールド表面処理技術に関する研究の加速と成果の向上を図った。

平成19年度には、②-1-2. モールド表面のエッチング技術、②-1-4. モールド表面処理技術の2テーマに研究加速財源を充て、素子評価と高温物性評価に関する研究成果の向上を図った。

平成20年度には、全体予算を調整することで、パナソニック株式会社が開始する助成事業において、当初予定よりも高額の大型設備の導入を可能し、集中研の研究成果の実用化を加速した。

平成22年度には、研究予算の大幅削減のために委託研究を大幅に縮小し、助成事業を中心に継続することとした。

表Ⅱ-3 情勢変化への対応（平成18年度、19年度および20年度に加速財源を投入し、研究の加速を図った）

		H18	H19	H20	H21	H22
委託	①高屈折・低屈伏点ガラスの研究	加速				
	②サブ波長微細構造成型技術の研究	加速	加速	加速		
1 ／ 2 助成	③偏光分離素子の開発					
	④屈折・回折複合素子の開発					
	⑤広帯域無反射素子の開発					
予算(百万円)		562	398	271	264	98

#### Ⅱ.4. 中間・事後評価の評価項目・評価基準、評価手法及び実施時期

NEDOは、国の定める技術評価に係わる指針及びNEDOが定める技術評価実施要領に基づき、技術的及び実用化の観点から、研究開発の意義、目標達成度、成果の技術的意義並びに将来の産業への波及効果等について、外部有識者による研究開発の中間評価を平成20年度、事後評価を平成23年度に実施する。なお、評価の時期については、当該研究開発に係る技術動向、政策動向や当該研究開発の進捗状況に応じて、前倒しする等、適宜見直すものとする。

### Ⅲ. 委託事業の研究開発成果について

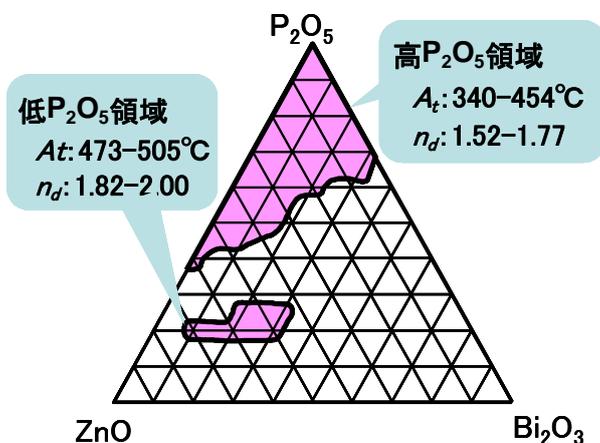
#### Ⅲ.1. 事業全体の成果

平成 18 年 7 月 28 日の発足式（兼第 1 回業務委員会）を実施して以来、各研究課題が順調に進捗している。特に、耐熱モールド材料の微細加工技術や成型技術に関する研究で顕著な成果が得られた。発足年度に得られた成果をプレス発表たところ、予想を上回る反響があり、雑誌の特集記事になった。また、本プロジェクトと最も関係のある微小光学素子の国際学会（第 13 回 MOC、平成 19 年 10 月、高松）にガラス成型に関する成果をまとめた論文を投稿し、論文賞に選ばれた。さらに、成果を nanotech 2008、nanotech 2009、nanotech 2010（平成 20、21、22 年 2 月、東京ビッグサイト）に展示し、関心を示した企業の分析を行い、研究の方向性を検討する際の参考にした。

全研究課題において最終目標を達成している。詳細は「Ⅲ.2. 研究開発項目毎の成果」で述べるが、その概要は以下の通りである。

#### 研究開発項目①高屈折・低屈伏点ガラスの研究

リン酸およびホウ酸に、低 At 化、高  $n_d$  化に有効な成分として酸化ビスマスを追加した系について、組成探索をおこなった。酸化ビスマスを含むガラスの組成と物性との関係を、リン酸塩系、ホウ酸塩系それぞれにおいて、数種類の組成系について調べた。リン酸塩系においては、ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系が、低 At 化、高  $n_d$  化に有望な系であることがわかった。この系のガラス化範囲を図Ⅲ-1 に示す。

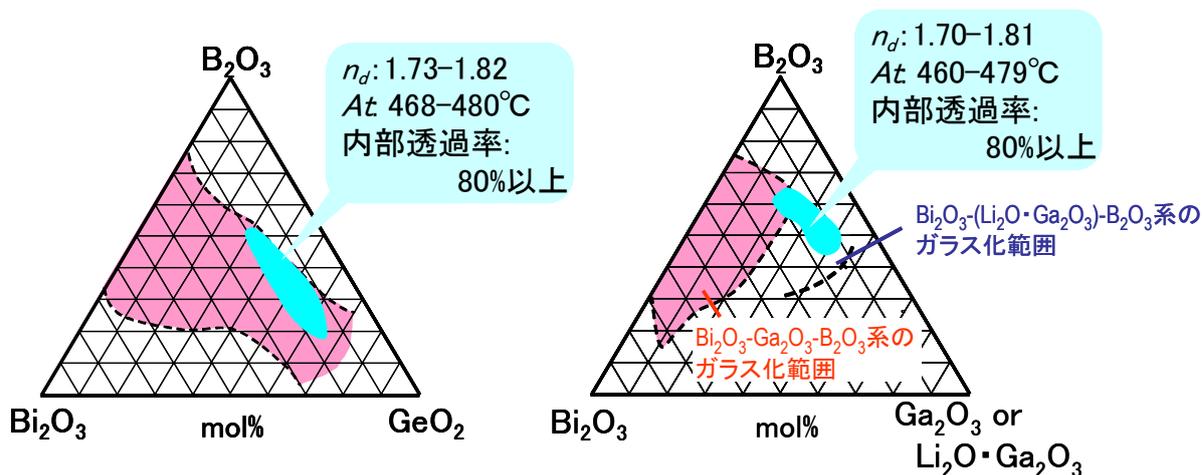


図Ⅲ-1 ZnO-Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>系（ガラス）のガラス化範囲

この系について更に詳細に検討した結果、高 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 含有領域において、At=446°C、 $n_d=1.71$ 、波長 400nm における内部透過率が 80%以上（厚み 3mm）のガラスを開発した（中間目標達成）<sup>(1)</sup>。更に、低 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 領域のガラスを基に、アルカリ成分の混合添加、Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub> の微量添加により、At=432°C、 $n_d=1.80$ 、波長 400nm における内部透過率が 80%以上のガラスを開発した（最終目標達成）。また、上記ガラスとは別に、屈折・回折複合素子への応用を目指して、高屈折、低屈伏点に加えて低分散のガラス開発を試みたところ、Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 等を含有するリン酸塩系において、At 約 460°C、 $n_d=1.66$ 、 $\nu_d$  約 49、波長 400 nm における内部透過率 80 %以上で、耐候性に優れたガラスを見出した。更に、低分散である La<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系ガラス ( $n_d=1.66$ 、 $\nu_d=55.4$ 、 $A_t=513$  °C) のガラ

スを開発した。

酸化ビスマス含有ホウ酸塩系ガラスにおいては、密度、屈折率、吸収端波長が組成に対して加成性を示すことを見出した。吸収端波長の加成性因子は、酸化ビスマスを除いて電気陰性度と良い相関を示すことが分かった。更に、紫外領域の吸収ピークと、吸収端波長の関係を調べた。この知見をもとに、 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラス及び $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(Li}_2\text{O}\cdot\text{Ga}_2\text{O}_3)\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスの開発を行った。図Ⅲ-2 に示すように、 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系及び $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(Li}_2\text{O}\cdot\text{Ga}_2\text{O}_3)\text{-B}_2\text{O}_3$ 系のガラス化範囲を実験で求め、得られたガラスの物性を評価した。



図Ⅲ-2  $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系及び $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(Li}_2\text{O}\cdot\text{Ga}_2\text{O}_3)\text{-B}_2\text{O}_3$ 系ガラスのガラス化範囲（赤）と物性、成型性。水色の領域は中間目標達成組成域。

その結果、 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-GeO}_2\text{-B}_2\text{O}_3$ 系において、 $n_d 1.75$ 以上、 $At 480^\circ\text{C}$ 以下、波長 400 nm の内部透過率（厚み 3mm）80%以上のガラスが、 $\text{Bi}_2\text{O}_3\text{-(Li}_2\text{O}\cdot\text{Ga}_2\text{O}_3)\text{-B}_2\text{O}_3$ 系において、 $n_d 1.80$ 以上、 $At 460^\circ\text{C}$ 、波長 400 nm の内部透過率 80%を示すガラス及びが得ることができた<sup>(2)</sup>（中間目標達成）。更に、フッ素イオンをドーピングすることにより、 $n_d 1.80$ 、 $At 450^\circ\text{C}$ 以下、波長 400 nm の内部透過率 80%以上のガラスを開発することができた（最終目標達成）。ホウ酸塩系及びリン酸塩系ガラスにおいて、プレス時に問題となる着色現象と組成との関係について調査し、着色の原因解明とその回避手段の提示を行った。屈伏点近傍での成型における離型特性について、離型力の直接測定及び表面張力の観点からの評価を実施した、種々の光学ガラスにおいて、その成型・離型性の定量的評価できることを示した。また、ガラスの屈伏点温度付近の変形、破壊特性を調査した。

ガラス表面層の組成を変化させ低屈伏点化させることを目的に、 $\text{SiO}_2$ を主成分とするガラスを硝酸銀系の熔融塩中でイオン交換した。その結果、表面層の屈伏点を約 20~160°C低下させることに成功した。また、ガラスの組成を選択することによってイオン交換後も着色しないことがわかった。さらに、モールド法によってその表面に 1次元周期構造を形成することに成功した<sup>(3)</sup>。

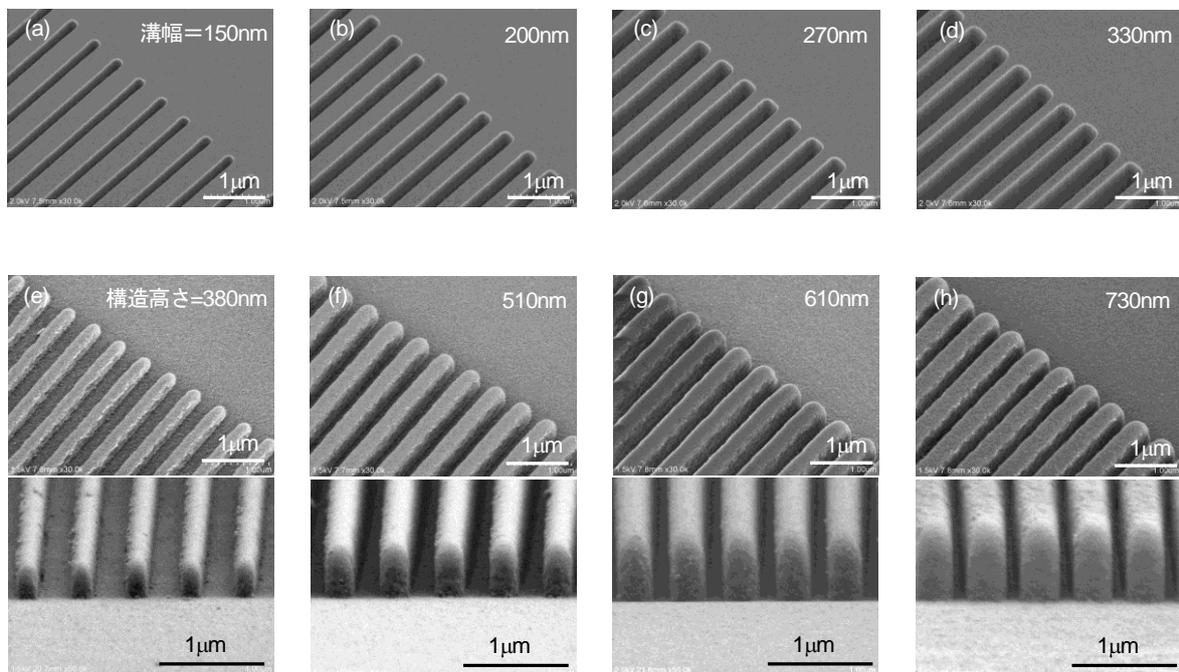
## 研究開発項目②「サブ波長微細構造成型技術の研究」

平成18年度後半から現在までの約1年半の間に以下の4つの研究成果を得た。

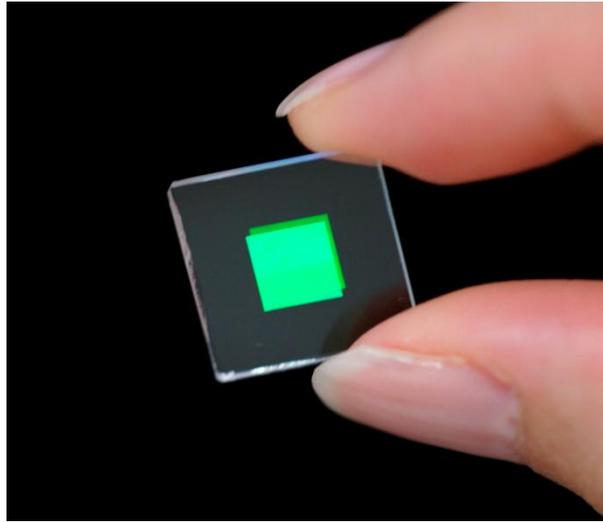
(1) 1次元周期構造に関する成果（平成19年4月にプレス発表）

平成18年度後半に、グラッシーカーボン(GC)モールドを開発した<sup>(4)</sup>。タングステンシリサイド(WSi)をマスク材として酸素ガスによるドライエッチングを行い、周期500nm、溝幅150~330nm、溝深さ約750nmの加工面が滑らかな1次元周期構造モールドを作製することができた。なお、微細構造の形状測定には、走査型電子顕微鏡と長針カーボンナノチューブプローブを用いた原子間力顕微鏡を用いた。本モールドを用いたリン酸塩ガラスの成型を行い、図Ⅲ-3に示すような周期構造を形成するに成功した。成型中はモールド周囲を真空にして、モールド内部へのガス溜まりを防いだ。このような高い構造高さの周期構造体のガラス成型は、公開された中では前例はない。平成19年4月にプレス発表を実施し、複数の新聞および雑誌に掲載された。その際に公表した大面積ガラス成型品の写真を図Ⅲ-4に示す。

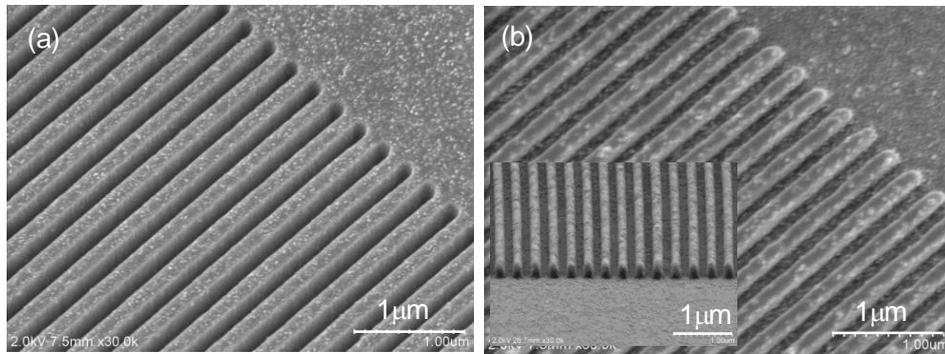
その後、同様なプロセスでさらに難易度の高い周期300nmのモールドも作製でき、ガラス成型にも成功した<sup>(5)</sup>。作製したGCモールドとガラス成型体のSEM写真を図Ⅲ-5に示す。周期500nmの構造体に比べると構造高さがやや低いが、このような微細な構造を大面積でガラス表面に形成したのは世界初であった。



図Ⅲ-3 異なる溝幅の GC モールド(a)~(d)で成型したリン酸塩ガラスの表面 SEM 像(e)~(h)。これらの周期構造は1枚のモールド基板およびガラス基板上に形成されている。

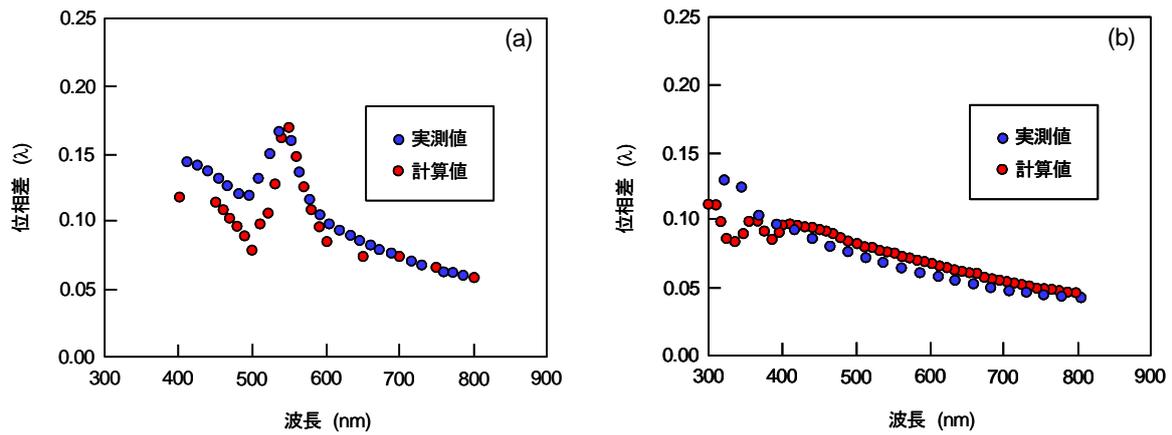


図Ⅲ-4 周期 500nm、面積 6x6mm の周期構造が形成されたリン酸塩ガラスの光学写真



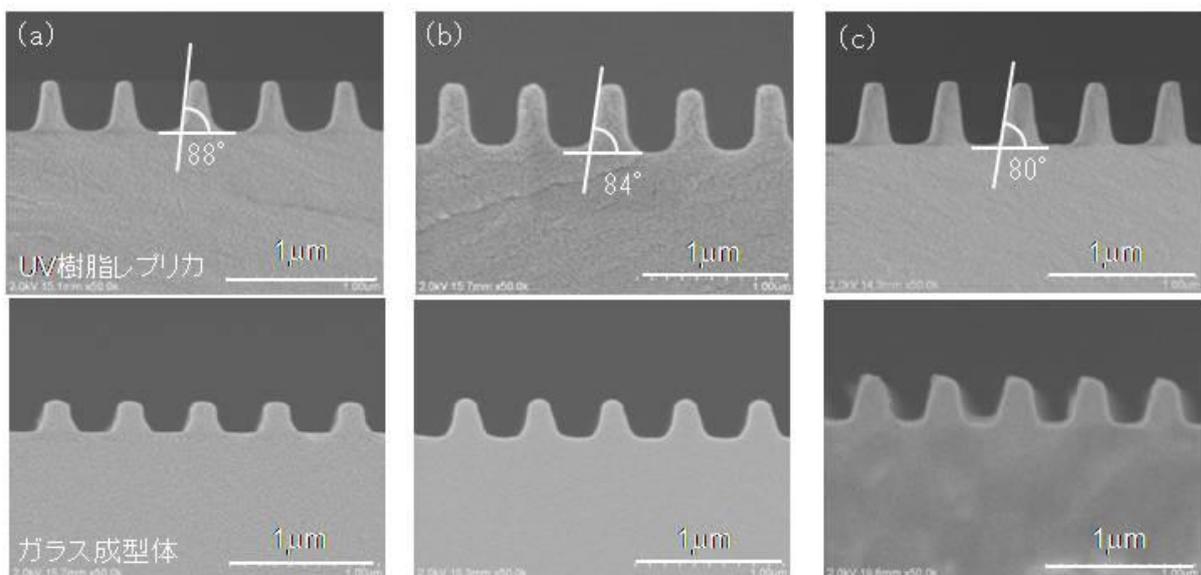
図Ⅲ-5 周期 300nm、面積 3x3mm の周期構造モールド (a) とガラス成型体 (b)

1次元周期構造は、その周期よりも長い波長域において「構造的複屈折」によって透過光に位相差が発生することが知られている<sup>(6)</sup>。今回得られた周期構造体によって発現する構造的複屈折の大きさを評価するために、回転検光子法でTE偏光とTM偏光の間に生じる位相差を測定した。結果を図Ⅲ-6に示す。周期500nmの成型体では、波長550nm付近に回折によるピークが発生するが、周期300nmではそのようなピークは見られなかった。両者の結果は共に厳密結合波解析(RCWA)を用いたシミュレーション結果と一致した。これらの成果をまとめて、平成19年10月に開催された第13回Microoptics Conferenceに論文投稿したところ、最優秀論文賞全2件の内の1件に選ばれた。

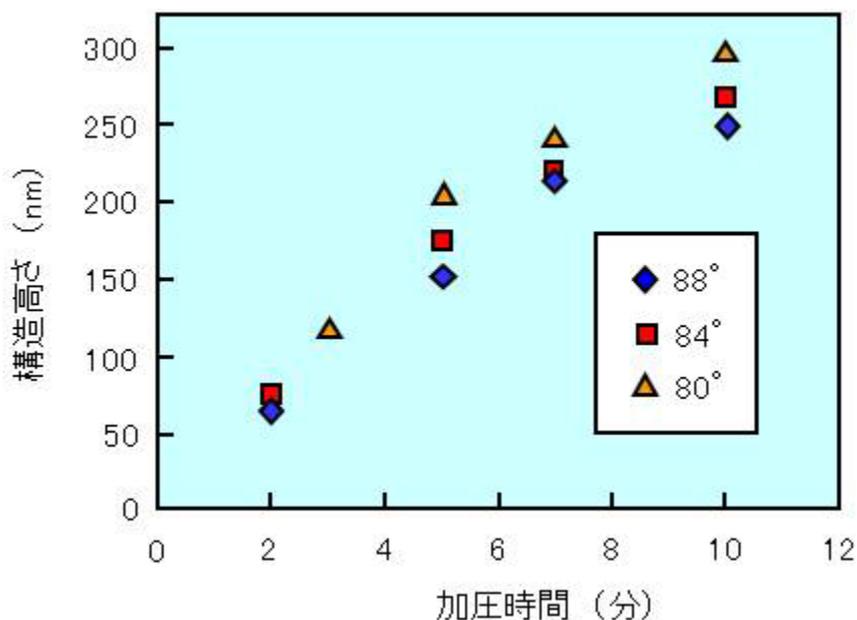


図Ⅲ-6 GCモードでリン酸塩ガラス ( $n_d 1.59$ ) の表面に形成した1次元周期構造体によって発生する位相差の測定結果とRCWAによる計算結果  
(a: 周期 500nm、構造高さ 350nm、: b: 周期 300nm、構造高さ 210nm)

平成19年度は、GCよりも機械的な強度が高いSiCモード表面の微細加工に取り組んだ<sup>(7)</sup>。WSiマスクを介したエッチング条件の最適化によって、モードに形成された微細構造の側壁の傾斜角度を制御できることを見出した。用いたSiCモードの溝側壁の傾斜角度 $80^\circ$ 、 $84^\circ$ 、 $88^\circ$ の3種類で、周期と溝深さは、各々500nm、450~500nmである。温度 $420^\circ\text{C}$ 、圧力0.5MPaの一定条件下でリン酸塩ガラス(住田光学PSK100)を成型し、その表面に形成された周期構造の断面SEM写真を図2-1-5(2)-7に示す。図Ⅲ-7に示したモードのレプリカの断面も図中に再掲する。傾斜角度が小さくなると構造高さが増大していることがわかる。また、成型中の加圧時間と構造高さの間には図Ⅲ-8の相関があった。すなわち、傾斜角度を小さくするとモードへのガラスの充填率が増すが、長時間加圧しても約300nm付近で構造高さが飽和することがわかった。



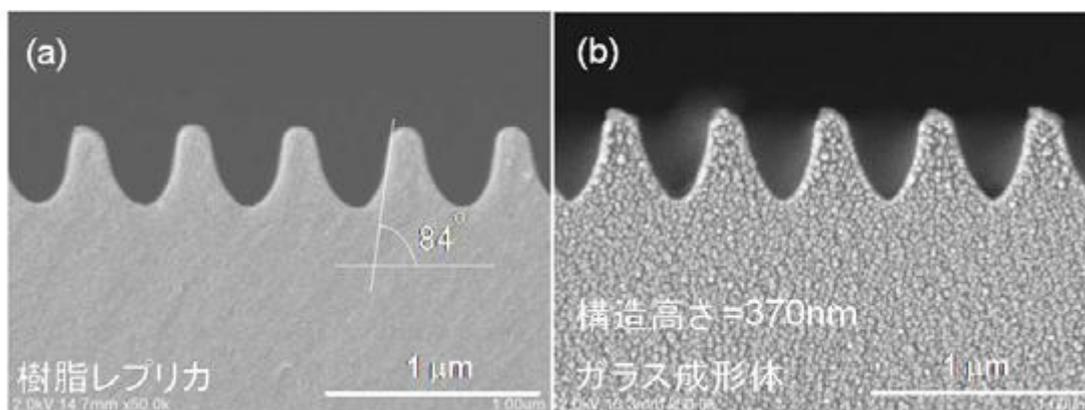
図Ⅲ-7 傾斜角の異なる1次元周期構造モードで成型したリン酸塩系ガラスの断面構造(上段: モードのUV樹脂レプリカ、下段: ガラス成型体)



図Ⅲ-8 成型中の加圧時間と構造高さの関係（温度420°C、圧力5MPa、ガラス：PSK100）

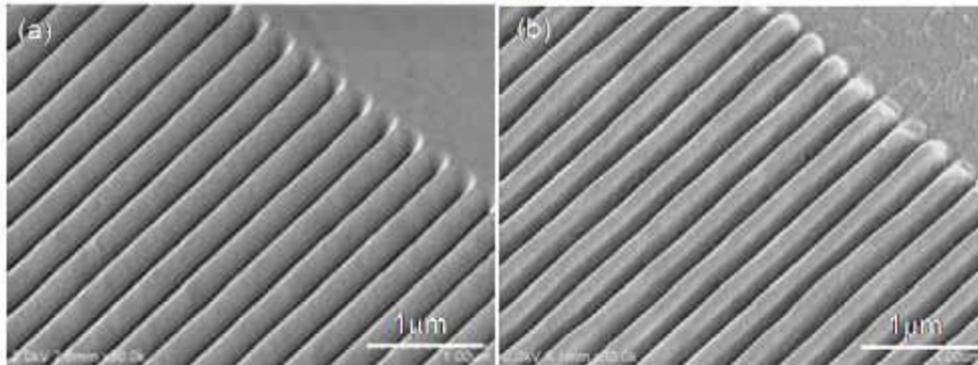
さらに、成型シミュレーションより、構造高さの高い1次元周期構造体を成型するためには、モールドの溝側壁の傾斜が緩やかで、周期構造の先端に平坦な領域がないモールドが好ましい事がわかった。そこで、更にドライエッチング条件を検討して、モールドの周期構造の凸部における先端形状の制御を試みた。微細加工プロセス条件は、「②-1-2. モールド表面のエッチング技術」に記載した条件とほぼ同じだが、WSiマスクの厚みおよびエッチング条件（特にバイアスパワーとチャンバー内圧力）を調整することで溝幅と先端形状の制御を行った。なお、周期は500nm、面積 $3 \times 3\text{mm}^2$ とした。

図Ⅲ-9 (a)は、EB描画の溝線幅を200nmとして作製したSiCモールドの樹脂レプリカ断面である。モールドの溝深さは380nm、溝傾斜角度は84°であった。WSiマスクが消失するまでエッチングを継続することで、先端が放物線状で、溝幅が異なるモールドが作製できた。また、PSK100ガラス成型体の断面SEM写真を図Ⅲ-9 (b)に示す。成型条件は、温度420°C、圧力5MPaで5分間加圧した。期待通り、図Ⅲ-7の場合に比べて成型体の構造高さが高くなった。



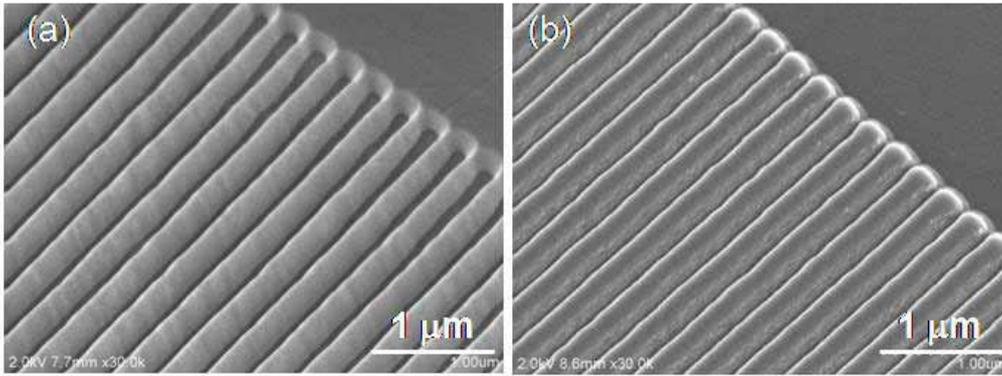
図Ⅲ-9 (a)先端が放物線形上のSiCモールドのレプリカ断面と、(b)成型体断面（成型温度420°C、圧力5MPa、加圧時間5分）

次に、GCモールドの場合と同様、狭ピッチのSiCモールド周期300nmの構造を成型することを試みた。SiCモールドの作製方法は周期500nmの場合と同様で、形状制御に関しても同様の傾向が見られた。作製したSiCモールド、および温度480°C、圧力7MPaで成型したガラスのSEM写真を図Ⅲ-10に示す。モールド表面に形成した周期構造の面積は6×6mm<sup>2</sup>、溝深さは370nmである。ガラス成型体は、構造高さ300nmの微細構造が全面転写でき、モールド深さに対してガラスの充填率が81%であることがわかった。



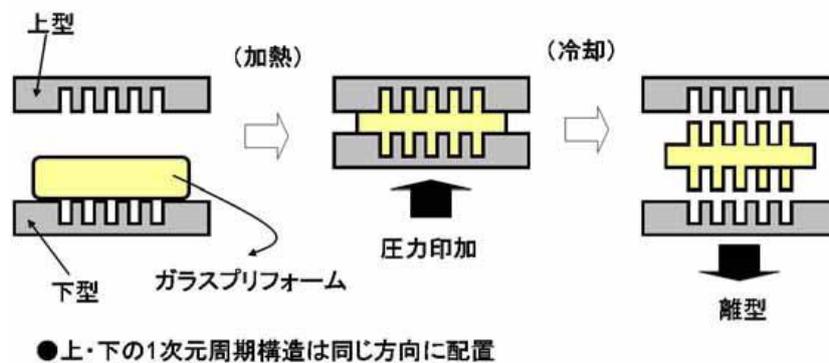
図Ⅲ-10 (a)周期300nmのSiCモールド(面積6×6mm<sup>2</sup>)と (b)ガラス成型体(PBZガラス)

高い位相差を達成するためには、構造高さの向上、あるいはガラスの高屈折率化が必要であった。そこで、次に、位相差向上のために新規開発した高屈折率ガラスを用いて、周期構造を成型することを試みた。用いたガラスは、高屈折率、低屈伏点、高透過率の3つの点で優れた特性を有する「17.5Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-50.0GeO<sub>2</sub>-32.5B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (以下、BGBガラスと略す)」である。このガラスのndは1.816、Atは468°Cである。周期300nm、描画溝幅150nm、深さ300nm、面積3×3mm<sup>2</sup>、溝側壁角度80°の周期構造が形成されたSiCモールドの表面にカーボン離型膜を成膜し、BGBガラスの成型を行った。成型温度はガラスの屈伏点より20°C高い488°Cとし、加圧時間は2分とした。使用したモールドおよびBGBガラス表面に形成された周期構造のSEM像を図2-1-5(2)-12に示す。印加圧力が8MPaの場合、構造体の高さは150nmであった。成型中の印加圧力を高くすると構造高さは徐々に高くなったが、目標とする370nmへの到達は困難で、印加圧力9.7Mpaの成型ではガラスとモールドとが融着した。また、成型温度が488°Cを越えた場合、あるいは成型時間が2分を越えた場合もガラスとモールドとが融着した。したがって、これ以上過酷な成型条件では、面積3×3mm<sup>2</sup>以上で高い構造高さの成型は困難であると考えられた。BGBガラスを用いて波長400nmにおける位相差0.25を達成するためには、構造高さ370nmが必要であるが、片面成型ではその約1/2が限界であった。そこで、ガラスの両面に周期構造を形成し、高い位相差を発現することを試みた。

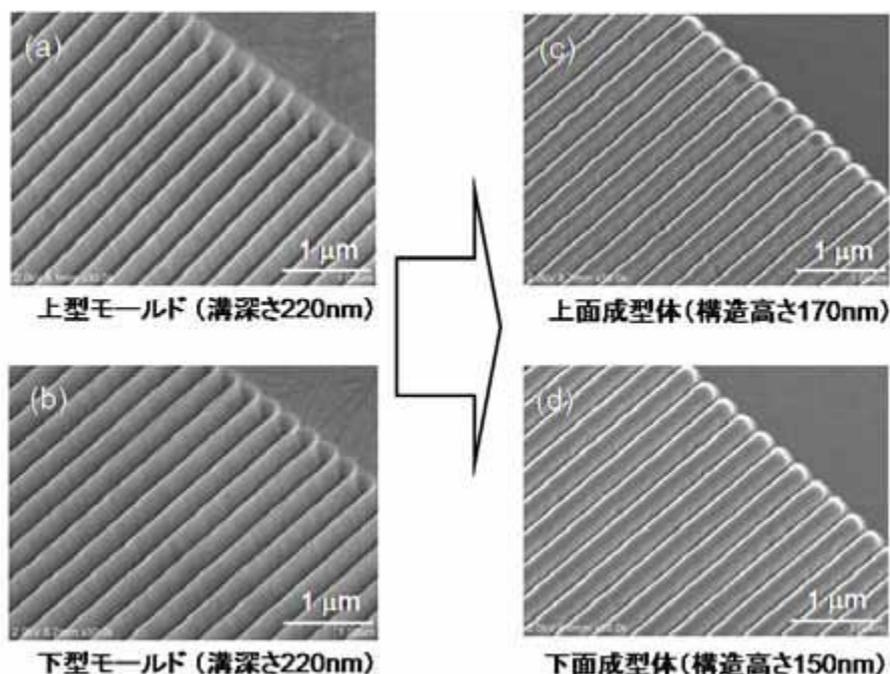


図Ⅲ-11 (a)周期300nmのSiCモールド(面積 $3 \times 3\text{mm}^2$ )と (b)BGBガラス成型体

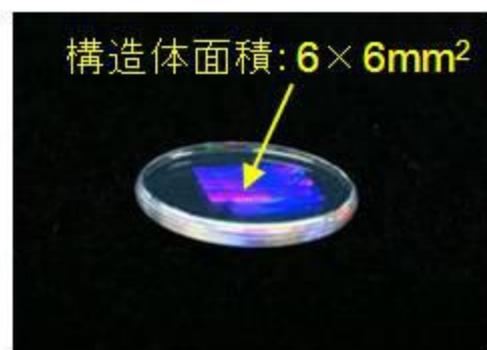
両面成型のイメージを図Ⅲ-12に示す。周期300nm、面積 $6 \times 6\text{mm}^2$ 、溝深さ220nmのモールドを2つ作製し、このモールドを用いて、BGBガラスの両面に1次元周期構造を成型することを試みた。結果を図Ⅲ-13に示す。成型には、直径12mm、厚み2mmのプリフォームを用いた。上・下モールドは、表面の1次元周期構造が同じ方向になるように正確に配置した。成型温度は、BGBガラスの屈伏点より $20^\circ\text{C}$ 高い $488^\circ\text{C}$ とし、成型中の加圧時間2分、印加圧力8MPaの条件下で成型した。その結果、周期構造が面積 $6 \times 6\text{mm}^2$ 領域全面に転写でき、その構造高さは上面が170nm、下面が150nmであった。図Ⅲ-14はその光学写真である。



図Ⅲ-12 両面成型のイメージ図



図Ⅲ-13 周期300nmの1次元周期構造が $6 \times 6\text{mm}^2$ の面積に形成されたSiCモールドとガラス成型体のSEM像：(a)、(b)はそれぞれ上下のモールド、(c)、(d)はそれぞれガラスの上下面に形成された周期構造



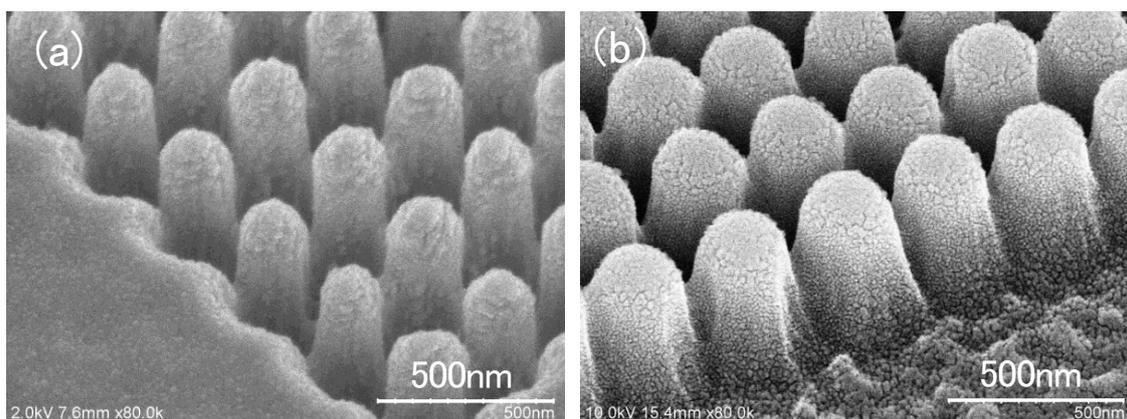
図Ⅲ-14 周期300nm、面積 $6 \times 6\text{mm}^2$ の両面成型体の光学写真

BGBガラスの両面に1次元周期構造を形成したサンプル(図Ⅲ-14)の位相差の測定結果を図Ⅲ-15に示す。RCWAによってシミュレーションを行った結果も合わせて示す。計算に用いた構造パラメータは $n = 1.82$ 、体積含有率 0.5、周期 300nm、構造高さ 170nmおよび 150nmである。計算で求めた位相差は波長 450nmより短波長域で実測とほぼ一致し、波長 400nm付近で  $0.23\lambda$  を達成した。

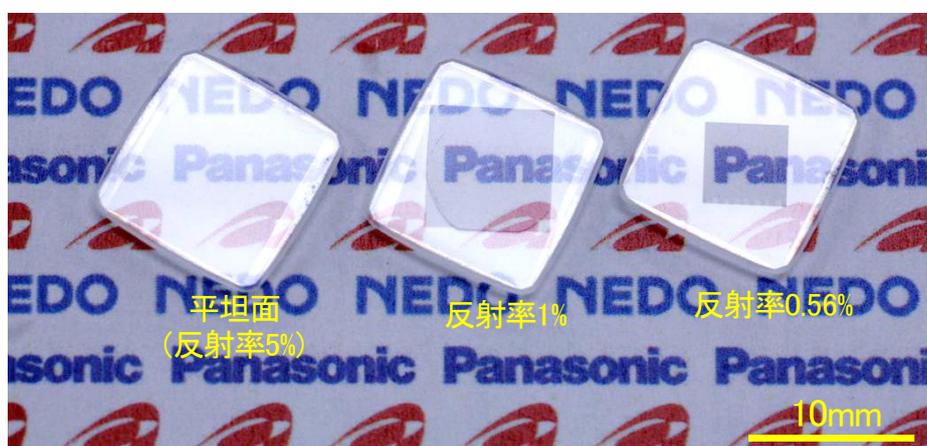
## (2)2次元周期構造に関する成果(平成19年6月に前半部分の成果をプレス発表)

平成18年度は、電子線描画とドライエッチングを用いて、石英ガラス表面に2次元周期構造を作製した。その表面にカーボン離型膜を成膜してモールドとして用い、リン酸塩ガラスの成型を行った結果、周期 300nm、高さ 480nm、面積  $5 \times 5\text{mm}^2$  の2次元微細構造を得ることに成功した。作製したモールドおよびガラス成型体のSEM写真を図Ⅲ-15に示す。モールド表

面に形成された柱状の構造がリン酸塩ガラスに押し込まれ、その反転形状が形成されている。また、ガラス成型体の光学写真を図Ⅲ-16 に示す。成型の際の加圧力を制御することで、構造の高さが異なる 2 種類の周期構造体を作製した。波長 462 nm のレーザー光を用いた垂直入射条件での表面反射率を測定したところ、各々1%と 0.56%であった。これまで、樹脂では類似の反射防止構造を作製した例が知られていたが<sup>(8,9)</sup>、ガラス材料表面に微細な周期構造をモールド法で形成し、可視域で低反射率を達成したのは世界初であることから、平成 19 年 6 月にプレス発表を行った。1 次元周期構造の場合と同様に複数の新聞および雑誌に掲載され、平成 19 年末の日経エレクトロニクス Tech On ニュースランキングの部材部門で 8 位になった<sup>(10)</sup>。



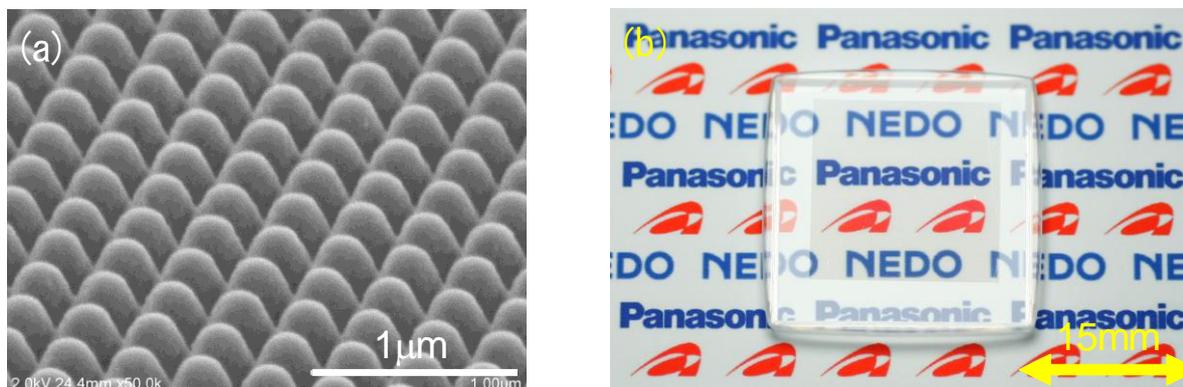
図Ⅲ-15 (a) 石英ガラス製 2 次元周期構造モールドと (b) リン酸塩ガラス成型体



図Ⅲ-16 リン酸塩ガラスの表面に形成した反射防止構造  
(形成される周期構造の構造高さが高い場合に低反射率になる)

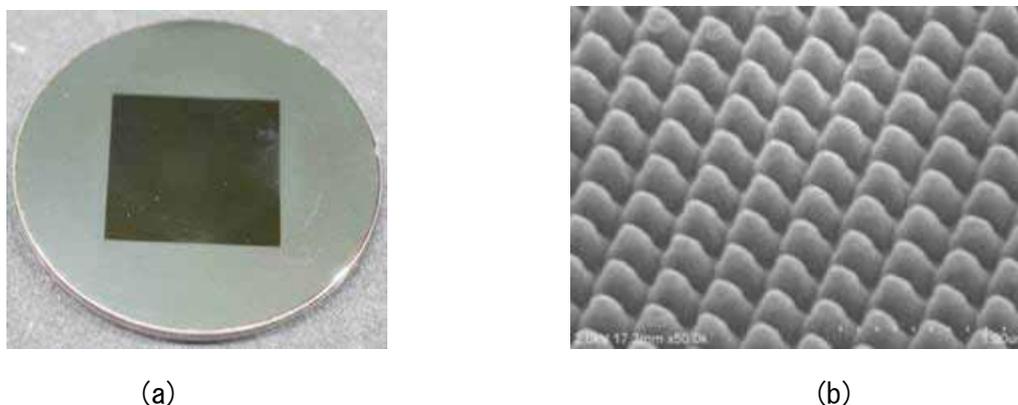
平成 19 年度には、SiC モールド表面に微細加工を施し、周期 300nm の 2 次元周期構造の成型に成功した。石英モールドの場合に頻繁に発生したモールドの破壊が抑えられ、面積  $15 \times 15 \text{mm}^2$  の成型に成功した。図Ⅲ-17 は、 $20 \times 20 \text{mm}^2$  のリン酸塩ガラス基板に形成された周期 300nm、高さ 290nm の周期構造の表面 SEM 写真と光学写真である。モールド形状の最適化によって、構造高さだけでなく側壁の傾斜角度なども厳密に制御した結果、波長 530 nm での垂直入射光に対する表面反射率は 0.2%にまで低減できた。本研究成果は、平成 20 年 2 月の展示

会「nanotech2008」に出展し、また春期応用物理学会の発表<sup>(11)</sup>でも大きな反響を得た。今後は、反射率の更なる低減に取り組む。



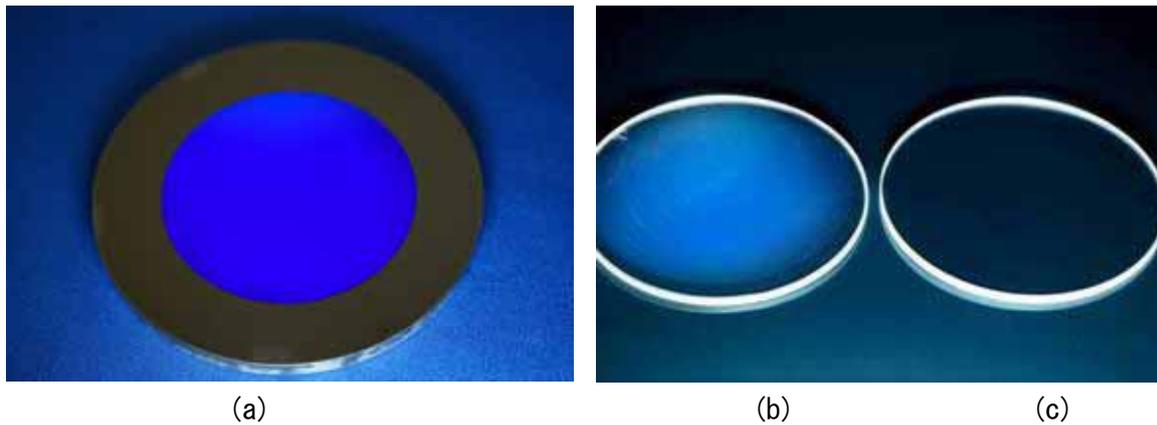
図Ⅲ-17 リン酸塩ガラス基板に形成した周期 300nm、高さ 290nm の 2 次元周期構造の (a) 表面 SEM 写真と (b) 光学写真

平成 20 年度より φ110mm の大面積用ダイプレートで更なる大面積化の実験を行った。まず、36mm 角大面積成型用 SiC モールド (図Ⅲ-18(a)) を用いて、PSK200 ガラスの成型を行った。その結果、図Ⅲ-18(b)に示すような反射防止構造を全面転写することに成功した。最低反射率は約 0.2% となり、15mm 角のものと同じレベルであった。



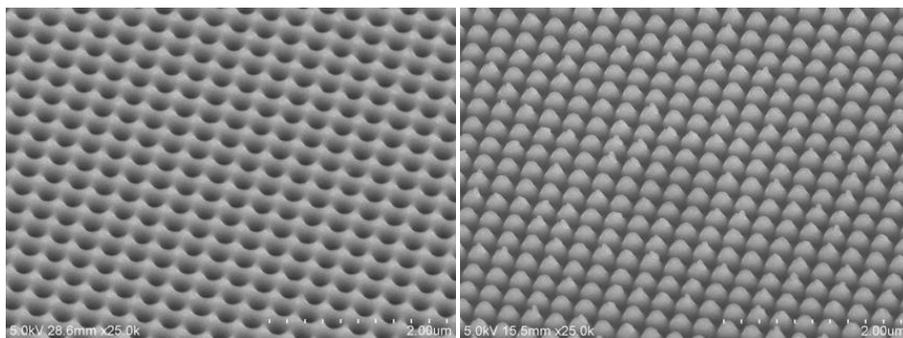
図Ⅲ-18 (a) 36mm 角大面積成型用 SiC モールド、 (b) 大面積反射防止構造を成型したガラス基板 (PSK200) の中央部分の SEM 写真

次に、最終目標である φ50mm の反射防止構造ガラス素子の成型を試みた。図Ⅲ-19(a)に示した反射防止構造形成領域 φ50mm の SiC モールドを用いて K-PSK200 の成型を行ったところ、図Ⅲ-19(b)に示すようにほぼ全面に反射防止構造が成型でき、最低反射率は 0.2% であった。



図Ⅲ-19 (a) 大面積 SiC モールド, (b) K-PSK-200 ガラス成型体(φ50mm), (c) 成形前の基板

次に、SiC 球面モールドの作製およびガラス成型を試みた。曲率半径 45mm の凹型 SiC 球面モールドに、干渉露光法によりレジストをパターニング後、WSi マスクを介したドライエッチングを行い、SiC 表面に周期 290nm、構造深さ 350nm の微細構造を形成した。モールド表面にカーボン離型膜を形成し、リン酸塩系ガラス(住田光学 PSK100)を温度 430°C、加圧力 5MPa、圧力印加時間 150 秒の条件で成型した。図Ⅲ-20 にモールドおよび成型レンズの表面 SEM 写真を示す。また、得られたレンズの光学写真を図Ⅲ-21 に示す。比較のため、表面に反射防止構造を形成していない同じ曲率半径のレンズも示す。カメラに装着した LED 照明の反射光の明るさに明確な差があり、反射防止の効果があることがわかる。図Ⅲ-22 に成型した凸レンズの球面形状を測定した結果を示す。モールドの曲率半径 22.92mm に対して、レンズの曲率半径は 22.908mm であった。また球面からの形状のずれ量 (RMS) は 0.13 $\mu$ m であり、いずれも十分な形状精度を保っていた。



図Ⅲ-20 凹面 SiC モールド (a) と成型レンズ (b) の表面 SEM 写真



図Ⅲ-21 反射防止構造を形成した凹面 SiC モールドで成型したリン酸塩系ガラスレンズ (a) と同じ曲率で反射防止構造のないレンズ (b) の光学写真

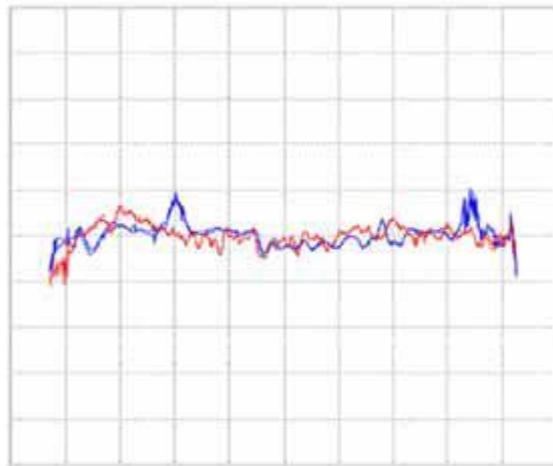


図 Ⅲ-22 成型した凸レンズの球面形状測定結果 (UA3P で測定)

本プロジェクトは、光学素子の高機能化を実現する最適なガラス材料の開発を行っているが、その中で日本山村硝子が開発中のリン酸塩系ガラス（組成系： $ZnO-Bi_2O_3-P_2O_5$ 系、At: 442°C、 $n_d$ : 1.714）において高屈折率の新規ガラスが開発できた。成型温度 447°C、圧力 5MPa、加圧時間 150 秒で反射防止構造を成型したところ、図 Ⅲ-23 に示すように PSK100 と同程度の微細構造の転写ができていたことが分かった。また、図 Ⅲ-24 に反射防止構造付きと反射防止構造なしのレンズを比較した外観写真を示す。反射防止構造が形成されていないガラスレンズでは表面反射光がはっきりと見えるが、反射防止構造付きガラスレンズでは、反射光が弱くなっている。(2008 年 5 月にプレス発表)

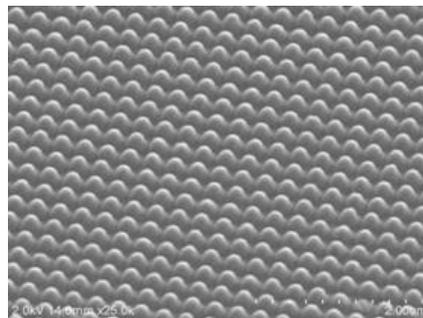
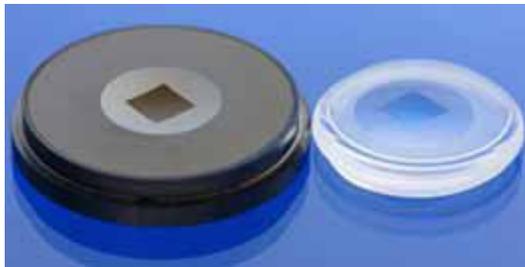


図 Ⅲ-23 新開発した  $ZnO-Bi_2O_3-P_2O_5$  系ガラスに形成した反射防止構造



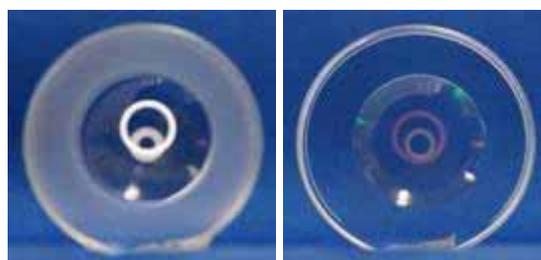
図Ⅲ-24  $ZnO-Bi_2O_3-P_2O_5$  系ガラスの成型品の外観写真 (a) 反射防止構造有り、(b) 無し

干渉露光法では、傾斜角度によって周期が変化するという課題がある。そこで、EB 描画による曲面モードへの反射防止構造形成技術の開発を検討した。その結果、曲面の傾斜に合わせて Z 軸を変化させるステップ移動をさせながら描画する方法を確立できた。図Ⅲ-25 (a)は得られた SiC レンズモールド、(b)は PSK100 ガラスゴブの成型体である。中央部分の反射率が低下していることがわかる。



図Ⅲ-25 EB 描画により作製した (a)SiC レンズモールド、(b)成型レンズ (PSK100)

さらにレンズの両面へ反射防止構造を成型した。得られたφ10mm、曲率半径 20mm のレンズを図Ⅲ-26 に示す。反射防止構造のない成型レンズは両面に照明の輪が 2 つはっきりと見られるが、両面に反射防止構造を成型したものは両方の輪が非常に薄くなっており、両面ともに反射防止構造になっていることを確認した。反射率は約 0.2%であった。また、このサンプルでは周期を 250nm と短くしたので、回折光による反射光もかなりの短波長まで除去できており、非常に良好な反射防止レンズであった。



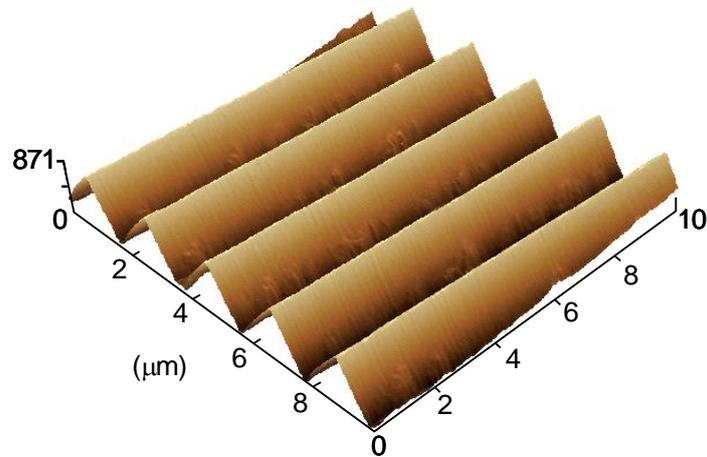
図Ⅲ-26 両面成型した反射防止レンズ(φ10mm)の反射防止効果

以上のように、平成 21 年度末までにφ50mm の平面で反射率 0.2%の達成と、球面レンズへの反射防止構造の形成を実現した。当初の最終目標のクリアに加えて、実用化研究を加速するために必要な曲面への微細形状の形成技術をも可能性見極めを完了した。これらの技術をトランスファーして、平成 21 年度より 1/2 助成研究により実用化開発を実施した。

### (3) 鋸歯構造に関する成果

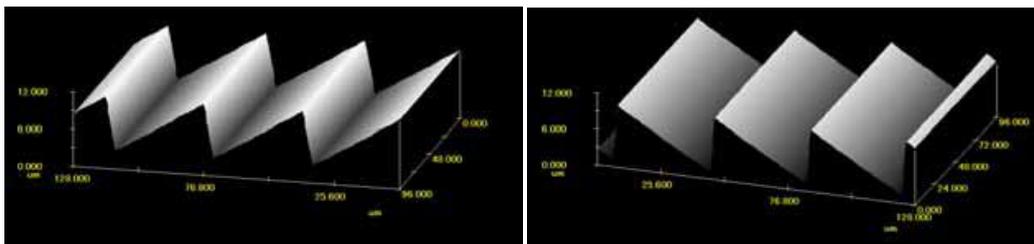
アモルファス状無電解 NiP めっき材に、ダイヤモンドバイトによる切削加工を施し、鋸歯構造を形成した。得られた NiP モールドを用いたリン酸塩ガラスの成型を実施し、周期 2μm、段差 0.8μm、面積 5mmφ の鋸歯構造の成型に成功した。原子間力顕微鏡による表面の観察結果を図Ⅲ-27 に示す。モールド形状が忠実に転写されている。しかしながら、数回のガラス成型を行うモールド表面に亀裂が発生した。亀裂の原因は NiP めっき層の結晶化である。NiP

めっき層はアモルファス状態であるが、400°C以上で進行する結晶化によって熱収縮し、ステンレス基材との間に応力が発生すると考えられる。



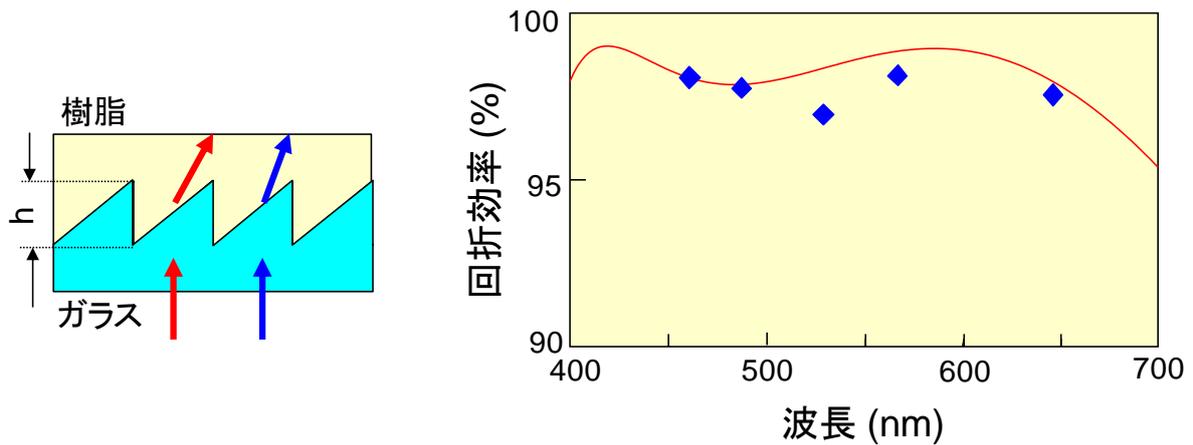
図Ⅲ-27 アモルファス状無電解 NiP モールドを用いてリン酸塩ガラス表面に形成した周期  $2\mu\text{m}$ 、段差  $0.8\mu\text{m}$ 、面積  $5\text{mm}\phi$  の鋸歯構造の原子間力顕微鏡像

平成 19 年度後半には、結晶性 NiP めっきモールドを用いたガラス成型を実施した。面積  $5\text{mm}\phi$ 、周期約  $40\mu\text{m}$ 、段差  $10\mu\text{m}$  の鋸歯構造の表面にカーボン離型膜を成膜し、住田光学 PSK200 (At:  $420^\circ\text{C}$ ) と PBK40 (At:  $549^\circ\text{C}$ ) を成型し、モールド形状を忠実に転写できた。モールドおよび成型した PBK40 の表面形状を図Ⅲ-28 に示す。結晶性 NiP めっき材は  $500^\circ\text{C}$  以上での成型でも高い耐久性を有することを確認した。



図Ⅲ-28 (a)結晶性 NiP モールドに形成した鋸歯構造、(b)PBK40 の表面に成型された構造

続いて、鋸歯上回折格子の表面に分散 ( $\nu d$ ) の大きく異なる樹脂をコーティングして、広い波長範囲で高い回折効率を実現することを試みた。周期  $100\mu\text{m}$  の鋸歯構造を精密加工した結晶性 NiP モールドを用いて、本プロジェクトで平成 19 年度に開発した  $\text{R}_2\text{O}-\text{Nb}_2\text{O}_5-\text{P}_2\text{O}_5$  系ガラス (R はアルカリ金属、 $nd:1.665$ 、 $\nu d:49$ 、At:  $465^\circ\text{C}$ ) を成型し、鋸歯状回折格子を成型したガラス基板の表面に、本ガラスと  $\nu d$  が大きく異なる紫外線硬化樹脂を塗布し、ハイブリッド回折素子を試作した。得られた素子の回折効率を測定したところ、図Ⅲ-29 に示すように、可視光領域で 95% 以上の高い回折効率を示すことが確認され、樹脂/ガラスハイブリッドレンズへの応用が可能であることを確認した。

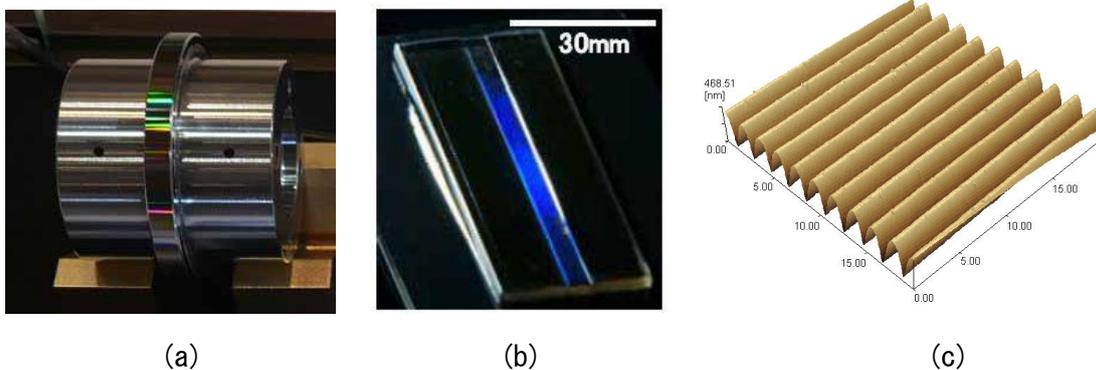


図Ⅲ-29 可視光領域で高い回折効率を示す樹脂/ガラスハイブリッド回折格子のイメージと回折効率の実測値（青）および計算値（赤）

さらにプロジェクト後半では、ロールを用いたガラス成型技術に取り組んだ。装置の構成、及び外観写真を図Ⅲ-30に示す。また、機械加工機で作製したロールおよびK-PSK200を用いた成形体の一例を図Ⅲ-31に示す。ロールに形成された周期構造は周期 $2\mu\text{m}$ 、構造深さ $1\mu\text{m}$ である。ロール温度、ステージ温度・移動速度及びロール線圧を最適化することで高さ約 $400\text{nm}$ の転写ができることを確認した。



図Ⅲ-30 (a) ロール成形機の構成、(b) 装置の外観

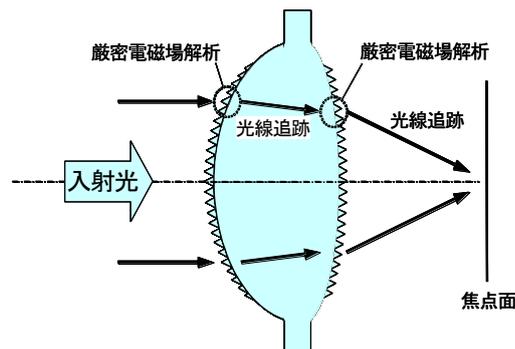


図Ⅲ-31 (a) 機械加工によって作製したロール (NiP)、(b) ガラス成形体 (K-PSK200)、および (c) 成形表面の AFM 像

#### (4) シミュレーションに関する成果

##### a) 大規模空間光波シミュレータの開発

表面に微細構造をもつ光学部材の光学特性を解析するシミュレータの開発を目的に、反射防止構造を持つレンズの透過率と波面収差を求めるシミュレータを作成した。大きな表面積をもつレンズの解析を短時間で行うために、光線追跡法と電磁場解析法を組み合わせた計算手法を考案した。概念図を図Ⅲ-32に示す。空気およびガラス部材の中は幾何光学に基づいた光線追跡を行い、レンズ表面では電磁場解析法の一つである厳密結合波解析理論(RCWA法)を用いて透過率および位相遅れを算出する。光線追跡法として、まず、光学異方性多層膜近似における群速度光線追跡法を検討した。ここで、RCWA法の計算途中で算出される結合波方程式の固有値から微細構造中の波数ベクトルを決定し、わずかに周波数の異なる二つの波数ベクトルの差から群速度方向 $\Delta k / |\Delta \omega|$ を決定し、多層構造に近似した各層における群速度方向をトレースすることで、微細構造中のエネルギー流を追跡する方法を考案した。計算時間は1光線につき7.6秒、21点の評価で約3分であった。また、直径5mmの場合、0.05mm間隔で光線を設定し、対称性を使うと6.3分で評価できた。しかしながら、多層膜群速度法では傾斜の大きい部分での光線追跡の計算精度が悪い。そこで、次に、光線追跡として、RCWA法を用いて構造内の電磁場分布を算出し、ポインティング・ベクトルからエネルギー流の方向を求める手法を考案し、大面積光学部材用の光波解析シミュレータに適用した。これにより、多層膜群速度法では精度の悪かった傾斜の大きい微細構造内での光線追跡が可能になり、開口数の大きなレンズの波面収差を正確に求めることができるようになった。光線追跡のための時間は光線1本あたり40秒であり、レンズ設計時の繰り返し計算に利用できる程度に短縮することができた。



図Ⅲ-32 光線追跡と厳密電磁場解析を組み合わせた大規模空間光波シミュレータの概念図

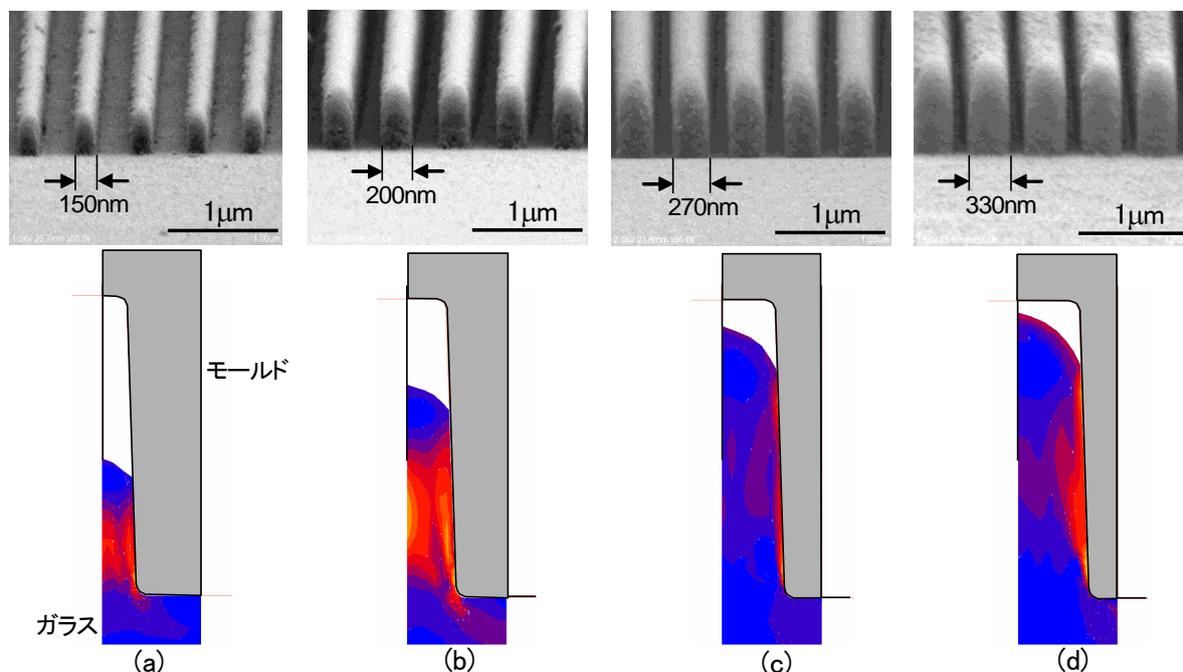
##### b) 電磁場解析に基づく表面微細構造の簡易型高速自動設計ソフトの基本プログラムの開発

曲面や傾斜を有する格子構造の最適設計を可能にした。開発した自動設計ソフトは光波解析と最適化の2つの部分から構成され、光波解析部では微細周期構造を均質な媒質と近似した有効屈折率法(EMT)<sup>(12)</sup>を、最適化部ではシンプレックス法<sup>(13)</sup>を採用した。3波長において同時に1/4波長板として動作する構造を、検討した。実際の作製を考慮し、構造の側壁の傾

斜及び角部の丸みの影響を検討した。

### c) 有限要素法によるガラス成型シミュレーション

ゴム弾性モデル<sup>(14)</sup>による有限要素法<sup>(15)</sup>を用い、ガラス成型時のプロセス条件を用いてマクロな流動解析を行うことで成型性のパターン形状依存性の予測を行った。図Ⅲ-33 はリン酸塩ガラスの流動解析結果である。結果は、集中研で得られた成型結果と傾向が一致しており、ガラス成型のシミュレーション予測が妥当であることが検証された。

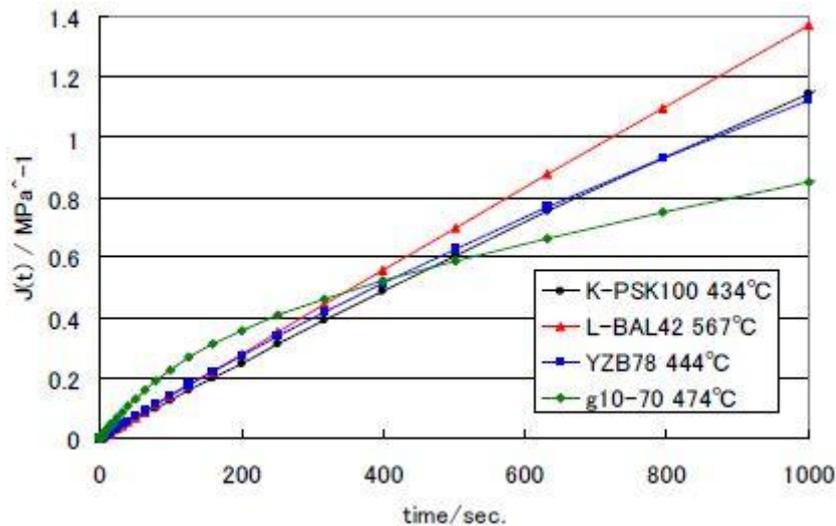


図Ⅲ-33 リン酸塩ガラスの成型プロセス条件を用いて、ゴム弾性モデルによる有限要素法で解析したマクロな流動解析結果（下段）と実際の成型ガラスのSEM写真（上段）

プロジェクトの後半では、モールド構造や圧力および圧力印加時間に対する転写率の応答を、有限要素法を用いたシミュレーションで予測し、成型条件へフィードバックすること、さらにはガラス組成による成型性の差異を検証することを目的とし、ガラスのクリープ特性の測定、及び得られたクリープ特性を用いた成型シミュレーションを検討した。

当初は、動的粘弾性パラメータを使用する予定であった。動的粘弾性の測定は、一度に様々な温度、周波数の情報が得られ、簡便ではあるが、成型条件より低い温度、短時間の条件でしか測定できず、成型シミュレーションにおいては得られた物性を補外して用いなければならない。それに対し、一軸圧縮クリープ試験では実際の成型温度域、成型時間域での測定であり、データの信頼性が高いと判断した。

市販ガラスである K-PSK100、L-BAL42、及び本プロジェクト開発したリン酸塩系およびホウ酸塩系ガラス YZB78、g10-70) の 4 種類について一軸圧縮クリープ試験を行った。φ10mm×H14mm の円柱形状ガラスを屈伏点付近まで加熱し、一定の荷重を印加しながら時間-変位のデータを取得した。得られたひずみと応力の時間変化を求め、クリープ関数  $J(t)$  を算出した。得られたクリープ関数  $J(t)$  を図Ⅲ-34 に示す。K-PSK100、L-BAL42、YZB78 の  $J(t)$  はほぼ直線的であるのに対し、g10-70 はこれら 3 種とは明らかに異なる上に凸な曲線傾向を示し、ガラス組成によってクリープ挙動が異なることが判明した。



図Ⅲ-34 市販ガラスおよび開発ガラスのクリープ関数

汎用 FEM ソルバー Marc を使用し、1次元周期構造の成型シミュレーションを行った。Marc ではクリープ関数を直接適用することができないため、応力緩和関数  $E(t)$  に変換して扱う必要がある。クリープ関数  $J(t)$  と応力緩和関数  $E(t)$  をラプラス変換した  $\overline{J}(s)$ 、 $\overline{E}(s)$  には次式のような関係がある。

$$J = \frac{1}{s^2 \overline{E}(s)}$$

上式より算出した  $E(t)$  を用いたシミュレーションの結果、ガラスの非圧縮性を満たそうとすると剛性が過大評価され、現実的な解が得られなかった。これは、Hooke 弾性体モデルで応力緩和を計算しているためであった。そこで NeoHooke 弾性体の応力緩和と見なすことにした。NeoHooke 弾性体の場合、応力緩和関数  $E(t)$  がひずみエネルギー関数の応力緩和形式  $\Psi(t)$  に相当し、次式に従うと近似した。

$$\Psi(t) = \frac{E(t)}{E(0)}$$

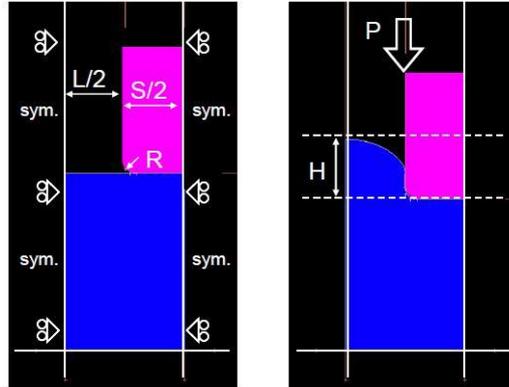
一次元周期構造の成型に図Ⅲ-35 のようなモデルを適用して計算した。パターン の 1/2 周期について対称条件を利用した。ガラスが充填される空隙の幅 (ライン幅) を  $L$ 、モールドの突起の幅 (スペース幅) を  $S$  とした。型のエッジ部と変形体との接触 計算をスムーズに進行させるために、エッジ部には  $R=20\text{nm}$  の曲率をつけた。圧力  $P$  を印加し、構造高さ  $H$  の経時変化を求めた。K-PSK100 についてシミュレーションで得られた構造高さ  $H$  をライン幅  $L$  で除したアスペクト比を時間に対して両対数プロットしたものを図Ⅲ-36に、また、圧力に対して両対数プロットしたものを図Ⅲ-37に示す。構造高さ  $H$  とライン幅  $L$  の比 ( $H/L$ ) と圧力  $P$ 、時間  $t$  の関係は、K-PSK100, L-BAL42, YZB78 の 3 種類のガラスについては、

$$\frac{H}{L} \propto P^{0.6} \cdot t^{0.7}$$

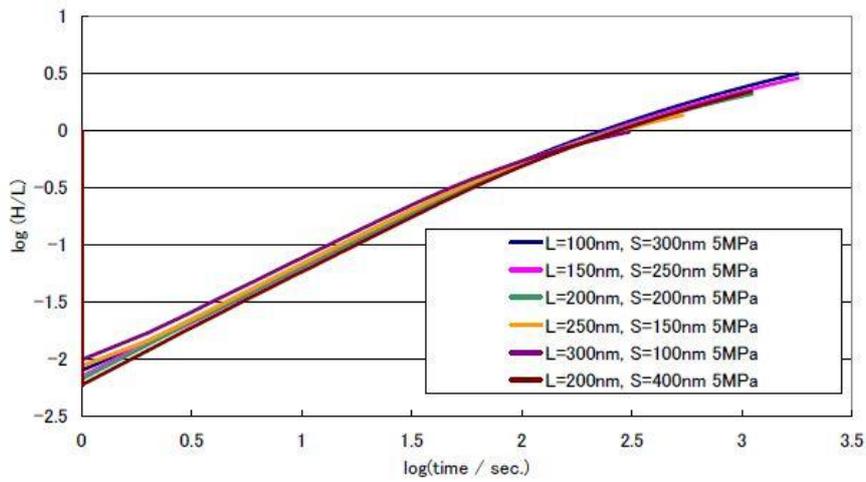
一方、g10-70 ガラスについては、

$$\frac{H}{L} \propto P^{0.6} \cdot t^{0.5}$$

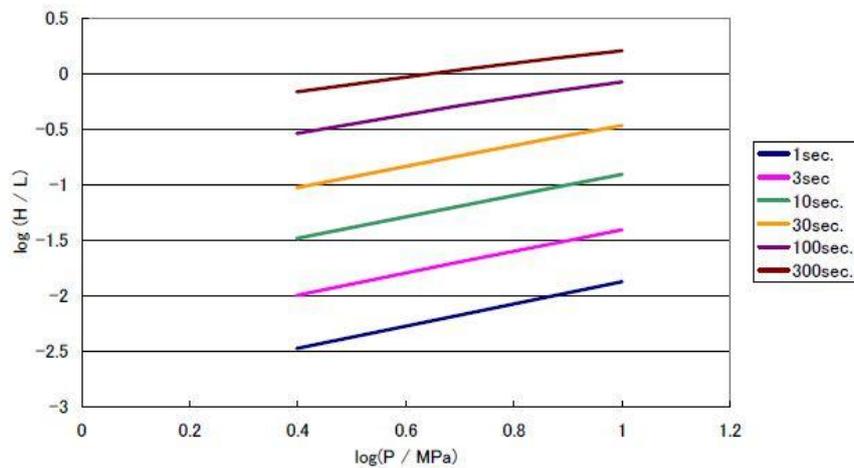
であった。



図III-35 一次元周期構造成型のFEMモデル

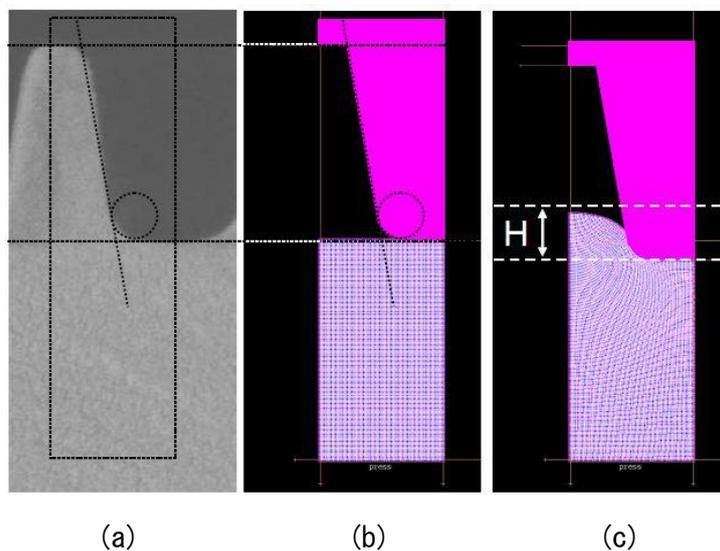


図III-36 構造高さのモールド形状依存性 (K-PSK100, 434 °C)

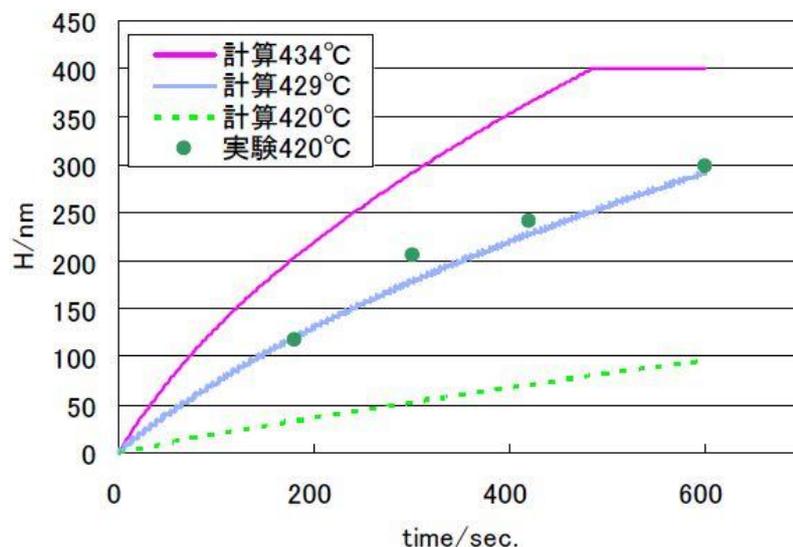


図III-37 構造高さの圧力依存性 (K-PSK100, 434 °C)

次に、実験とシミュレーションとの比較を行った。成型実験には図Ⅲ-38(a)のような形状のモールドを用い、K-PSK100 を実験用ガラスとして使用し、420°Cで 5MPa の圧力を印加し、180s、300s、600s の成型を行った。そして、成型後のガラスの断面を SEM 観察して構造高さを求めた。シミュレーションでは、図Ⅲ-38(b)および(c)のような、実際のモールドを模したモデルを設計し、実験と同様に 5MPa の圧力条件で計算を行った。図Ⅲ-39 に成型実験及びシミュレーションより得られた構造高さの経時変化を示す。シミュレーション結果 (420°C) と実験結果 (420°C) は定量的には一致しなかったが、定性的には一致が見られた。シミュレーション条件を 429°Cに設定したところ、429°Cの実験値との一致が見られた。この温度の差の原因の一つとして、成型実験を行ったプレス装置とクリープ関数を測定した装置との温度の機差が考えられる。以上より、装置による温度の機差補正などが必要になると予想されるが、実用的には構造高さが予測可能であると考えられる。



図Ⅲ-38 モールド断面 SEM 像とシミュレーションでの設計：(a)成型に用いたモールド、(b)(c)シミュレーションに用いたモデル



図Ⅲ-39 シミュレーションと実験の構造高さの比較

以上の成果をもとに最終目標の達成度をまとめると表Ⅲ-1 のようになる。

「高屈折率・低屈伏点ガラスの研究」では、平成 21 年度末までに、屈折率、屈伏点、透過率の点から最終目標に近いガラスを得ることができた。これらのガラス成型後に着表や表面欠陥の発生もなく、微細構造転写が可能であった。高い屈折率、低い屈伏点および紫外域の高い透過性を併せ持つガラス材料はこれまでになく、開発したガラス材料を使用することで光学デバイスの小型化、高機能化および低コスト化が期待できる。また、低分散・低屈伏ラスを開発し、鋸歯構造の転写が可能であることを実証し、樹脂/ガラスハイブリッド回折素子の実用化研究へのガラスの提供を行っている。

「サブ波長微細周期構造成型技術の研究」の中の一次元周期構造に関する研究では、平成 21 年度末までに、周期 300nm の両面成型体において、波長 405nm の位相差が約 0.25 $\lambda$ 、透過率は約 50%が得られており、高出力のレーザー光を使用するブレイディスクドライブへの搭載が期待される。今後、更なるガラスの高屈折率化、高い構造高さ、および最適な体積占有率を実現すれば、400nm~800nm の広い波長範囲で優れた位相差が発現すると期待できる。周期 200nm の両面成型体では構造高さ 240nm(位相差 0.11 $\lambda$ )が得られており、1/4 波長板以外の用途において、高性能な光学素子の実現が期待できる。

二次元周期構造に関する研究では、平成 21 年度末までに $\phi$ 50mm の平面で反射率 0.2%の達成と、球面レンズへの反射防止構造の形成を実現した。最終目標を達成するとともに実用化研究を加速するために必要な曲面への微細形状の形成技術をも可能性見極めを完了した。これらの技術をトランスファーして、平成 21 年度より 1/2 助成研究により実用化開発を実施している。また、高耐久切削加工モールドの開発、鋸歯状回折素子密成型、ハイブリッド化の検討を行い、鋸歯状回折素子のガラス成型については当初目標を早い段階で達成でき、平成 20 年度よりパナソニック(株)において、実用化研究駆けて取り組んでいる。さらに、平成 21 年度より、日本山村硝子の開発したガラ用いた実用化研究を共同で実施している。

本研究は委託費によって実施され、当初計画より 1 年早い平成 21 年度で予算が打ち切られたが、研究期間初期の加速財源の効果的な投入が功を奏し、いずれの課題においても最終目標を達成することができた。

表Ⅲ-1 研究開発項目毎の最終目標に対する達成度

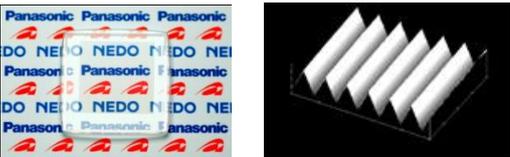
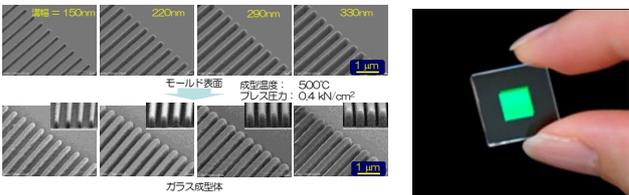
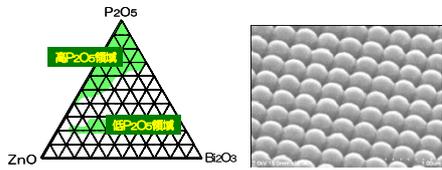
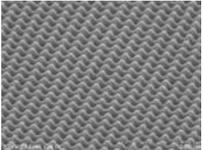
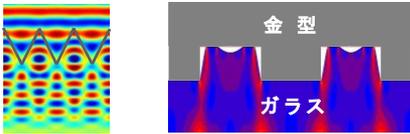
研究開発項目	小項目	最終目標		成果	助成事業へのトランスファー	
①「高屈折・低屈伏点ガラスの研究」		屈折率	1.8 以上	1.80	偏光分離素子、屈折・回折素子、反射防止レンズのそれぞれに対応した組成開発を実施済み	
		屈伏点	450℃以下	432℃		
		透過率	400nmで80%以上	400 nmで80%以上		
②「サブ波長微細構造成型技術の研究」	②-1. モールド作製・成型技術	鋸歯構造	面積	10mmφ以上	15 mm	屈折・回折レンズの実用化研究へ技術移転完了
			周期	5 μm 以下	2 μm	
			段差	500nm 以上	1000 nm	
			形状	同心円	同心円	
	1~2次元周期構造	面積	5mmφ以上	50 mm	偏光分離素子および反射防止レンズの実用化研究へ技術移転完了	
		周期	500nm 以下	250 nm		
		構造高さ	250nm 以上	300 nm		
	②-2. シミュレーション技術	②-2-1. 光波シミュレーション技術	直径 50mm 以上の曲面上に微細構造をもつ光学部材の光波解析	直径 50mm 以上の計算を実証	偏光分離素子、屈折・回折素子、反射防止レンズの実用化研究を加速	
			微細加工による形状の制限条件を付加できる自動設計ソフトの開発	曲面や傾斜を有する格子構造の最適設計ソフトを開発		
		②-2-2. 成型シミュレーション技術	成型シミュレータを用いたガラスの粘性データに基づく流動解析	一軸クリープ関数で粘性流動を解析		
			ガラスの分子流動解析シミュレータの開発	インプリント対応 MD 基本コード開発		

## VI. 成果資料

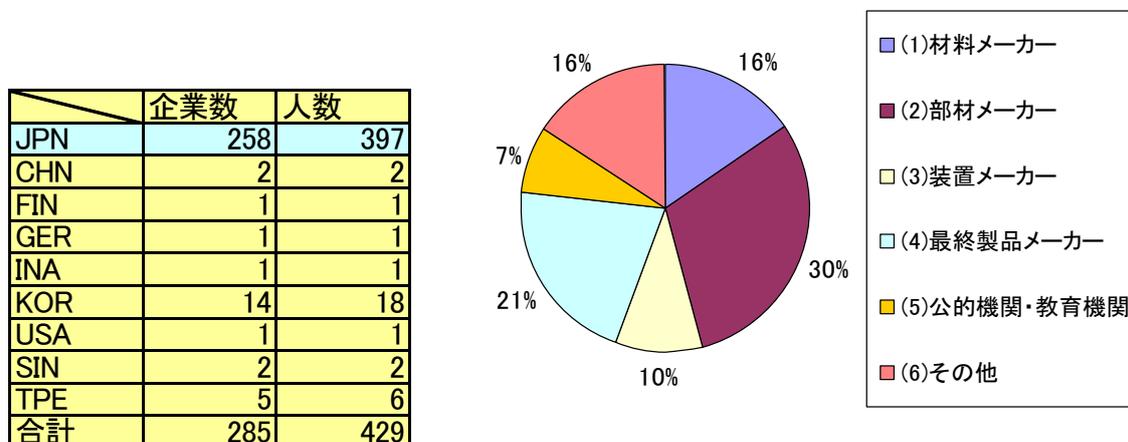
### VI.1. 各種展示会での成果の発表

本プロジェクトは、これまでにインターオプト(2007.7)、FOE(Fiber Optics Exhibition, 2007.1)、nanotech 2008~2010(各年2月)、に自主的に参画し、得られた成果を展示した。nanotech 2008では、全員参加による成果の展示を実施し、多くの反響を得た。表VI-1に2008年度の展示物の概要を示す。

表VI-1 nanotech2008に展示した成果の概要

	展示内容
パナソニック株式会社	 <p>反射防止構造と鋸歯構造の成型体の一例</p>
コニカミノルタオプト株式会社	 <p>1次元周期構造モールドと成型体の一例</p>
日本山村硝子株式会社	 <p>開発中のガラス組成と成型品の一例</p>
五鈴精工硝子株式会社	 <p>開発中のガラス組成と成型品の一例</p>
産業技術総合研究所	 <p>開発中の SiC モールドの一例</p>
大学(大阪府立大学、京都工芸繊維大学、愛媛大学)	 <p>光波シミュレーションと成型シミュレーションの成果</p>

また、プロジェクトの概要と成果をパンフレットにまとめ、来場者に配布した。その際に取得した名刺を集計した結果を図VI-1に示す。アルプス電気等の部材企業、キャノン等の最終製品企業および旭硝子等の材料企業から複数の見学者が訪れていた。



図VI-1 Nanotech2008 展示ブースで収集した名刺の集計結果

## VI. 2. シンポジウムの開催および単行本の出版

図VI-2は2000年以降の関連分野の論文数の推移である。回折格子、サブ波長構造、さらにはサブ波長構造をプラズモニックデバイスに応用する研究が盛んになっていることがわかる。このような動向を踏まえて、プロジェクト参画メンバーを中心としたシンポジウムを応用物理学会で2回開催し、本プロジェクトが関わる技術への注目度を調べた。

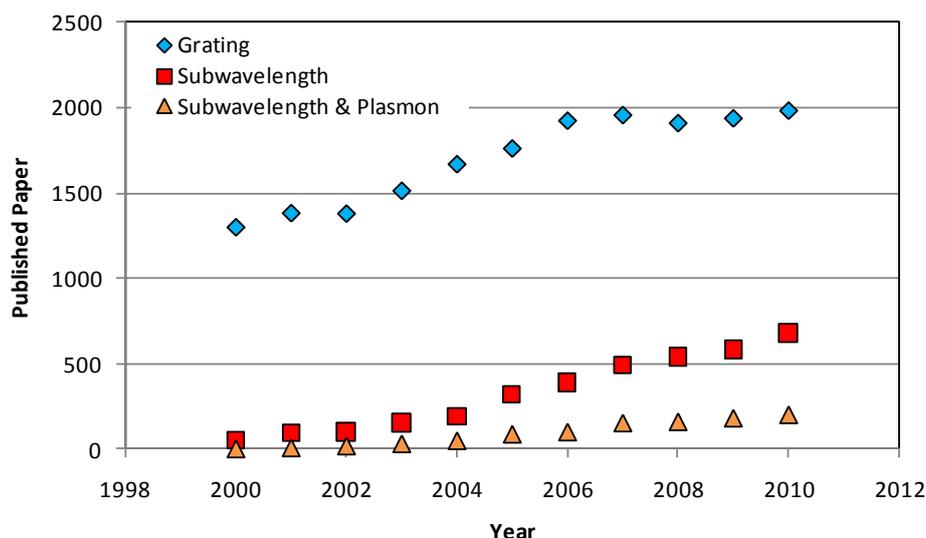
第1回 第68回応用物理学会学術講演会シンポジウム(2007年9月、北海道工業大学)

第2回 第71回応用物理学会学術講演会シンポジウム(2010年9月、長崎大学)

微細構造素子に焦点を絞ったシンポジウムで、いずれも参加者が100名を超え、特に企業の関心が高かった。

論文数やシンポジウム参加者数など、学術研究への関心の高まりの一方で、その成果を産業に結びつけようとする企業の実用化研究も着実に進んでいる。この流れは、デジタルスチルカメラ、ブルーレイディスクドライブ、フラットパネルディスプレイの分野で特に顕著であり、ここ数年の間に多くの実用化事例が急速に増加している。さらに、その流れは、各種光センサーやバイオ・分析機器、さらには太陽電池などにも波及しつつある。

そこで、プロジェクト終了を期に、学術研究と実用化研究が協調し合って新たな局面を迎えつつあるナノ構造を使った光学素子の領域を概観した『ナノ構造光学素子開発の最前線』と題した単行本を出版することにした。プロジェクト参画メンバーに加えて、カメラ、ディスプレイ、LED、光学センサー、樹脂・ガラス等に材料、さらにはインプリントプロセスに関わる合計21課題を、企業および関連分野の大学、公的研究機関の研究者が執筆を担当し、平成23年9月に発刊予定である。



図VI-2 2000年以降の周期構造素子に関する論文数の推移

### VI. 3. 新聞、雑誌記事

プロジェクト発足翌年の2007年4月と6月に、成果の一部をプレス発表し、産業界からの反響を伺った。表VI-2に示すように、発表記事は、新聞だけでなく、インターネットや雑誌などで広く取り上げられた。特に、インターネット上では、記事に対するアクセス回数が多いことから、日経エレクトロニクス社の8月号で技術の特集記事が掲載され、さらに、12月号では、1年間を通じたアクセスランキングが部材部門で8位であったことが報じられた。

表VI-2 新聞、雑誌記事（発足から2008年4月末まで）

NO.	掲載誌、掲載紙	年月日	内容
1	OplusE	2007.06	光の位相を制御できる微細構造（ガラスモールド法で）
2	OplusE	2007.07	ガラス表面に微細構造（波長レベルモールド形成技術を確認）
3	OplusE	2007.07	超精密モールド法で光学ガラスの表面反射率1%以下に低減
4	日刊工業(34面)	2007.04.26	ガラス表面に微細構造（モールド形成技術を確認）
5	日経産業(11面)	2007.04.26	光ディスクドライブ部品（光波長より微細に）
6	化学工業日報(9面)	2007.04.26	光位相制御微細構造（ガラスモールドで形成）
7	日刊工業（20面）	2007.06.07	ガラスの表面反射 1/10 に
8	日経産業	2007.06.07	光の反射率 1/10 に
9	パワフルかんさい(P.50)	2007.07	関西に発足した次世代光学素子のナショナルプロジェクト
10	レーザフォーカスワールド	2007.07	超精密モールド法で光学ガラスの反射率0.56%を実現
11	日経エレクトロニクス(P.77)	2007.08	機能性ガラス光学素子をインプリントで実現

12	New Breeze(P.24)	2007.10	Development of Anti-reflective Surface on Optical Glass
13	ITU ジャーナル(P.17)	2007.10	光の反射を防止できるガラス表面を開発
14	日経エレクトロニクス	2007.12	TechOn ニュースランキング 8 位 (レンズ反射率下げ デジカメ高画質化)
15	化学工業日報(5 面)	2007.8.29	モールド技術使い低反射光学ガラス (産学官連携で早期に成果)
16	知財プリズム	2008.06.1	次世代ガラスモールド技術
17	光技術コンタクト	2008.07.1	最新のモールド技術動向
18	精密工学会誌	2008.08.1	ガラスインプリント法による微細構造形成技術
19	工業材料	2009.01.	超精密ガラスインプリント
20	化学工業	2009.10.1	微細構造の創製と光学素子への応用
21	機能材料	2009.11.1	高強度プラズモン共鳴場創成のための周期構造とその応用
22	New Glass (24 巻 4 号 P.3-7)	2009.11.9	ガラス融体の表面張力と濡れ性
23	MATERIAL STAGE (P.60)	2009.12	反射防止コートが不要な、新しい曲面ガラスレンズ
24	応用物理	2009.7.1	ガラスインプリント法によるサブ波長光学素子の形成
25	工業材料	2010.3.1	サブ波長周期構造素子の開発ー現状と今後の展望
26	KEC 情報	2009.7	ガラス成形による反射防止構造の作製
27	電気硝子	2010.4	ガラスインプリント法によるサブ波長光学素子の形成
28	ニューガラス	2010.6	インプリント法による高機能ガラス光学素子の作製

#### VI. 4. 論文リスト

表VI-3 論文リスト (発足から 2011 年 3 月末まで)

No.	著者	所属	題名	雑誌等の名称	巻・号・ページ	発表日
1	N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nishii	産総研	Relationship between refractive index and density of synthetic silica glasses	J. Appl. Phys.	101, 123533-1-7	2007/06/00
2	K.Kintaka, J.Nishii, S.Yamaguchi, T.Kobayashi, and S.Ura	産総研, 京都工芸繊維大学	Vertically Y-Branched Mode Splitter/Combiner for Intraboard Chip-to-Chip Optical Interconnection with Wavelength-Division Multiplexing,	Jpn. J. Appl. Phys.	46(8B), 5499-5503	2007/08/00
3	森登史晴、長谷川研人、波多野卓史、笠晴也、金高健二、西井準治	コニカミノルタオプト, 産総研	Fabrication of sub-wavelength periodic structures upon high-refractive-index glasses by precision glass molding.	Technical Digest of 13th Microoptics Conference	36-37	2007/10/29
4	裏升吾, 金初潤, 西尾謙三, 粟辻安浩, 金高健二	京都工芸繊維大学、産総研	Design of phase-shifting mask generating sawtooth optical interference pattern	Technical Digest of 13th Microoptics Conference Oct. 2007 Takamatsu	280-281	2007/10/30

5	金高健二, 西井準治, 山口智史, 裏升吾	産総研 京都工芸繊維大学	チャンネル光導波路を用いたボード内チップ間波長多重光配線の提案	電子情報通信学会論文誌	vol. J90-C, no. 11, pp. 767-774, 2007	2007/11/00
6	西井準治	産総研	Nano-glass imprinting technology for next generation optical devices	Proc. SPIE Photonics Asia 2007 PA Optical Design and Testing Session (Invited)	Vol.683 4, 683404 -1~8	2007/11/12
7	菊田久雄	大阪府立大学	Technological strategy for advanced micro and nano-structured optical elements	Proc. SPIE Photonics Asia 2007 PA Optical Design and Testing Session (Invited)	Vol.683 4,68340 3-1~9	2007/11/12
8	森登史晴、長谷川研人、波多野卓史、笠晴也、金高健二、西井準治	コニカミノルタオプト、産総研	Fabrication of sub-wavelength periodic structures upon high-refractive-index glasses by glass-nanoimprinting	Proc. SPIE Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology 2007	6800, DOI:10.1117/12.758716	2007/12/6
9	山田和宏、梅谷誠、田村隆正、田中康弘、西井準治	パナソニック	Formation of anti-reflective structure on the surface of optical glass by molding	Proc. SPIE Photonics West	in press	2008/1/30
10	裏升吾、金高健二、粟津英行、西尾謙三、栗辻安浩、西井準治	京都工芸繊維大学 産総研	Generation of Periodic Sawtooth Optical Intensity by Phase-Shifting Mask	Appl. Phys. Exp.	1(2) 022005 -1-3	2008/02/00
11	Itsunari Yamada, Kenji Kintaka, Junji Nishii, Satoshi Akioka, Yutaka Yamagishi, Mitunori Saito	産総研 龍谷大学	Mid-infrared wire-grid polarizer with silicides,	Opt. Lett.	33(3), 258-260	2008/03/00
12	森登史晴、長谷川研人、波多野卓史、笠晴也、金高健二、西井準治	コニカミノルタオプト、産総研	Surface-relief gratings with high spatial frequency fabricated using direct glass imprinting process	Opt.Lett.	33(5), 428-430	2008/03/00
13	森登史晴、長谷川研人、波多野卓史、笠晴也、金高健二、西井準治	コニカミノルタオプト、産総研	Glass imprinting process for fabrication of sub-wavelength periodic structures	Jpn. J. Appl. Phys.	47, 4746-4750 2008	2008/6/13
14	裏升吾、村田駿介、栗辻安浩、金高健二	京都工芸繊維大学、産総研	Design of resonance grating coupler	Opt. Express	vol.16, no.16, pp.12207-12213	2008/08/00
15	裏升吾、篠田浩司、金高健二、伊藤宝、仁井大輔、西尾謙三、栗辻安浩	京都工芸繊維大学、産総研	Gigabits per second signal transmission from single-mode vertical-cavity surface-emitting laser via thin-film waveguide for wavelength-division-multiplexing optical interconnects board	Jpn. J. Appl. Phys.	vol.47, no.8, pp.6664-6666	2008/08/00

16	多田和広, 安田雅昭, 木元慶久, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study of Yield Stress of Si Mold for Nanoimprint Lithography	Jpn. J. Appl. Phys.	47,2320-2323	2008/4/18
17	多田和広, 安田雅昭, 藤井謙順, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study on Mold Fracture by Nano Scale Defects in Nanoimprint Lithography	Proc. of SPIE	7470, Art. No. 747012	2009/01/00
18	山下直人, 末次竜也, 栄西俊彦, 福味幸平, 北村直之, 西井準治	五鈴精工硝子, 産総研, 北大	THERMAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -GeO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> GLASSES	Eur. J. Glass Sci. Technol.	B, 50 (4), 257-261(2009) August	2009/01/00
19	森登史晴, 山下直人, 笠晴也, 福味幸平, 金高健二, 西井 準治	コニカミノルタオプト株式会社, 産総研	Periodic sub-wavelength structures with large phase retardation fabricated by glass nanoimprint	J. Ceramic Society of Japan	117[10], 1134-1137 (2009)	2009/01/00
20	森登史晴, 木元慶久, 笠晴也, 金高健二, 穂頭のりひと, 西井 準治, 平井義彦	コニカミノルタオプト, 産総研, 大阪府立大学	Mold design and fabrication for surface relief gratings by glass nanoimprint	Jpn. J. Appl. Phys.,	48, 06FH20-1~4(June 2009)	2009/01/00
21	山田和宏, 梅谷誠, 田村隆正, 田中康弘, 笠晴也, 西井準治	パナソニック, 産総研	Antireflective structure imprinted on the surface of optical glass by SiC mold	Appl. Surf. Sci.,	255, 4267-4270	2009/01/00
22	北村直之, 福味幸平, 西井準治	産総研	Optical properties of ZnO-SnO-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> glasses	Eur. J. Glass Sci. Technol.	B, 50 (1), 59-62 (2009)	2009/02/00
23	水谷彰夫, 小林優, 丸山顕, 菊田久雄	大阪府立大学	Ray tracing of an aspherical lens with antireflective subwavelength structured surfaces	J. Opt. Soc. Am., A	26 (2), 337-341 (2009)	2009/2/0
24	多田和広, 安田雅昭, 木元慶久, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study on Resolution in Nanoimprint Lithography for Glass Material	Mater. Res. Soc. Symp. Proc.	1179-B B06-11 (2009, Spring meeting)	2009/04/00
25	多田和広, 木元慶久, 安田雅昭, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study of Nanoimprint Lithography for Glass Materials	Jpn. J. Appl. Phys.	48, 06FH13 (June 2009)	2009/06/00
26	T. Mori, Y. Kimoto, H. Kasa, K. Kintaka, N. Hotou, J. Nishii, and Y. Hirai	コニカミノルタオプト, 産総研, 大阪府立大学	Mold Design and Fabrication for Surface Relief Gratings by Glass Nanoimprint	Jpn. J. Appl. Phys.	48, 06FH20	2009/6/0
27	N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nakamura, T. Hidaka, H. Hashima, Y. Mayumi and J. Nishii	産総研, 日本山村硝子	Optical Properties of Zinc Bismuth Phosphate Glass	MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING B	161, 91-95. (15 April 2009)	2009/06/00
28	T. Mori, N. Yamashita, H. Kasa, K.	コニカミノルタオプト, 五鈴精工硝子	Periodic sub-wavelength structures with large phase retardation fabricated by glass	Journal of the Ceramic Society of Japan.	117[10], 1134-1137	2009/10/0

	Fukumi, K. Kintaka, and J. Nishii	子、産総 研、大阪府 立大学	nanoimprint			
29	X. Cui, K. Tawa, H. Hori, J. Nishii	産総研、北 海道大学	Duty ratio-dependent fluorescence enhancement through surface Plasmon resonance in Ag-coated gratings	Appl. Phys. Lett.	95, 133117/ 1-1331 17/3	2009/ 10/1
30	N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nishii and N. Ohno	産総研、大 阪電気通信 大	Effect of hydroxyl impurity on temperature coefficient of refractive index of synthetic silica glass	J. Non-Cryst. Solids	355, 2216-2 219 (Novem ber 2009	2009/ 11/00
31	多田和広, 荒 木康誠, 安田 雅昭, 川田博 昭, 平井義彦	大阪府立大 学	Molecular Dynamics Study of Atomic-Scale Friction Phenomena on Si and SiO <sub>2</sub> Surface	Proc. of 7th Int. Symp. on Atomic Level Characterizations for New Materials and Devices '09	352-35 4	2009/ 12/00
32	裏升吾, 仁井 大輔, 伊藤宝, 小田信一郎, 西尾謙三, 粟 辻安浩, 金高 健二	京都工芸織 維大学、産 総研	Continuous emission-point shift in vertical-cavity surface-emitting laser controlled by optical feedback	Jpn. J. Appl. Phys.	vol. 49, 010206 No. 1 (2010)	2010/ 01/00
33	多田和広, 堀 本修平, 木元 慶久, 安田雅 昭, 川田博 昭, 平井義彦	大阪府立大 学	Molecular Dynamics Study on Compressive Strength of Monocrystalline, Nanocrystalline and Amorphous Si Mold for Nanoimprint Lithography	Microelectron. Eng.	87[10] (2010) 1816-1 820	2010/ 10/00
34	X.iaoqiang Cui Keiko Tawa Kenji Kintaka Junji Nishii	産総研、北 海道大学	Enhanced fluorescence microscopic imaging by plasmonic nanostructures: from a 1D grating to a 2D nanohole array	Adv. Func. Mat.,	20(6) : 945-95 0	2010/ 01/
35	X. Cui, K. Tawa, H. Hori and J. Nishii	産総研、北 大電子研	Tailored plasmonic gratings for enhanced fluorescence detection and microscopic imaging	Adv. Func. Mat	(20) : 546-55 3	2010/ 1/1
36	Kenji Kintaka, Junji Nishii, Shunsuke Murata, and Shogo Ura	京都工芸織 維大学、産 総研、北大	Eight-channel WDM intraboard optical interconnect device by integration of add/drop multiplexers in thin-film waveguide	Journal of Lightwave Technology	vol. 28, no. 9, pp. 1398-1 403 (2010)	2010/ 5/1
37	M. Saito, T. Yamamoto, I. Yamada, J. Nishii, S. Mihara and M. Urano	龍谷大、北 海道大学	Nickel Plating on Silicon for Fabricating an Infrared Wire-Grid Polarizer	Jpn. J. Appl. Phys.	49 : 052503 -1-0520 3-5	2010/ 5/
38	Kenji Kintaka, Yuki Kita, Katsuya Shimizu, Hitoshi Matsuoka, Shogo Ura, and Junji Nishii	京都工芸織 維大学、産 総研、北海 道大学	A cavity-resonator-integrated grating input/output coupler for high-efficiency vertical coupling with a small aperture	Optics Letters	vol. 35, no. 12, pp. 1989-1 991 (2010)	2010/ 6/15
39	H. Hori, K. Tawa, K. Kintaka, J. Nishii and Y. Tatsu	産総研、北 海道大学	Surface profile dependence of the photon coupling efficiency and enhanced fluorescence in the grating-coupled surface	J. Appl. Phys.	107 : 114702 -1-1147 02-6	2010/ 6/

			plasmon resonance			
40	K. kadono, Y. Hattori, T. Wakasugi, H. Shimoi and J. Nishii	京都工織大、北海道大学	Ion-exchange-induced Phase Separation and Preparation of Porous Glass	Chem. Lett.	39(8) : 824-825	2010/6/
41	野宮佑介、小林直人、若杉隆、西井準治、角野広平	京都工芸繊維大学、北海道大学	イオン交換による銀ドーブガラスの作製と熱特性の変化および着色挙動	材料	59(6), 423-429 (2010).	2010/06/
42	N. Kitamura, K. Ohno, K. Fukumi, J. Nakamura, T. Hidaka, T. Ikeda, H. Hashima, H. Kozuka and J. Nishii	産総研、北海道大学	Effect of Additives on Absorption Edge Energy in Bismuth Phosphate Glass	Jpn. J. Appl. Phys.	49(082601) : 082601-1-082601-4	2010/8/
43	I. Yamada, K. Fukumi, J. Nishii and M. Saito	産総研、北海道大学	Infrared wire-grid polarizer with Y2O3 ceramic substrate	Opt. Lett.	35(18) : 3111-3113	2010/9/
44	N. Yamashita, T. Suetsugu, N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nishii	五鈴精工硝子、産総研、北大	Fabrication of one-dimensional SWS on bismuth borate glass by glass-imprinting method	Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering	7598	
45	N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nakamura, T. Hidaka, T. Ikeda H. Hashima, J. Nishii	産総研、日本山村硝子、北海道大学	Optical properties of fluorine-substituted zinc bismuth phosphate glasses	J. Non-Crys. Solids	357 (2011) 1188-1192	2010/10/1
46	T. Tamura, M. Umetani, K. Yamada, Y. Tanaka, K. Kintaka, H. Kasa and J. Nishii	パナソニック、産総研、北大電子研	Fabrication of Antireflective Subwavelength Structure on Spherical Glass Surface Using Imprinting Process	Appl. Phys. Express	3(112501) : 112501-1-112501-3	2010/11/
47	K. Kintaka, K. Shimizu, K. Yuki, S. Kawanami, J. Inoue, S. Ura and J. Nishii	産総研、京都工織大、北大電子研	Potential characterization of free-space-wave drop demultiplexer using cavity-resonator-integrated grating input/output coupler	Opt. Express	24(18) : 25108-25115	2010/11/
48	水谷彰夫、高比良春平、菊田久雄	大阪府立大学	Two-spherical-wave ultraviolet interferometer for making an antireflective subwavelength periodic pattern on a curved surface	Appl. Opt..	49 (32), 6268-6275 (2010)	2010/11/
49	N. Kitamura, K. Fukumi and J. Nishii	産総研、北海道大学		Proc. 27th K-J Seminar on Ceramics		2010/11/24
50	Shogo Ura, Katsuya Shimizu, Yuki Kita, Kenji Kintaka, Junichi Inoue, and Yasuhiro Awatsuji	京都工芸繊維大学、産総研	Integrated-optic free-space-wave coupler for package-level optical interconnects	IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics	accepted for publication	

51	Shogo Ura, Kenji Kintaka, Hideyuki Awazu, Yasuhiro Awatsuji, and Junji Nishii	京都工芸織 維大学、産 総研、北海 道大学	Phase-shifting mask design for interference exposure of chirp blazed grating	Optical Review	accepte d for publicat ion	
52	N. Kitamura et al.	産総研、北 海道大学		J. Non-linear Opt. Phys. Mater.	in press	
53	N. Kitamura, K. Fukumi and J. Nishii	産総研、北 海道大学		Proc. SPIE 7934	in press	

## VI. 5. 口頭発表リスト

表VI-4 口頭発表リスト（発足から平成20年4月末まで）

No.	著者	所属	題名	学会等の名称	巻・号・ ページ	備考	備考	発表日
1	西井準 治	産総研	PHOTON INDUCED STRUCTURAL CHANGES IN SiO2 AND RELATED GLASSES BY PULSED LASERS	1st International Workshop on Multiphoton Processes in Glass and Glassy Materials (Invited)		Sydne y		2006/12 /00
2	菊田久 雄	大阪府立 大学	光学機能の発現原 理	精密工学会 (招待講演)				2007/3/ 00
3	福味幸 平、麻 田志 帆、北 村直 之、西 井準 治、幸 塚広光	産総研	ビスマス硼酸塩系 ガラスの熱的・光学 的特性への添加物 の影響	日本セラミックス協会 2007年年会			口頭 発表	2007/3/ 23
4	西井準 治	産総研	撮像・計測分野で 求められる次世代 光学部材	日本化学会第87春期年 会 (招待講演)				2007/3/ 26
5	菊田久 雄	大阪府立 大学	ガラス表面微細構 造をもつ光学素子 とその応用	日本化学会第87春期年 会 (依頼講演)				2007/3/ 26
6	菊田久 雄、丸 山頭	大阪府立 大学	サブ波長反射防止 構造をもつ高NA非 球面レンズの集光 特性	第54回応用物理学関係 連合講演会				2007/3/ 27
7	森登史 晴、波 多野卓 史、笠 晴也、 金高健 二、西 井準治	コニカミノ ルタオプ ト、産総 研	モールド法による高 屈折率ガラスへの サブ波長周期構造 作製	第54回応用物理学関係 連合講演会(相模原)	27a-K-6			2007/3/ 27

8	笠晴也, 金高健二, 西井準治, 森登史晴, 波多野卓史	産総研, コニカミノ ルタオプ ト	モールド法によるサブ波長周期構造の形成に適したガラス材料	第 54 回応用物理学関係 連合講演会(相模原)	29a-K-7			2007/3/ 29
9	西井準治	産総研	次世代ガラス材料 (ナノ加工・ナノ粒子・ナノ細孔)	国際セラミックス展ナノガラスシンポジウム(依頼講演)	予稿無し			2007/4/ 5
10	西井準治	産総研	Nanotechnology program of NEDO and its recent topic	2007 Korea/Romania Joint Workshop: Molecular Science and Engineering (Invited)	予稿作製中	Deagu, Korea		2007/4/ 27
11	笠 晴也	産総研	ガラスモールド法によるサブ波長周期構造の形成	日本セラミックス協会関西支部講演会				2007/7/ 13
12	小林優、菊田久雄	大阪府立大学	RCWA 法によるサブ波長構造内の光線追跡	第 68 回応用物理学会学術講演会		北海道工業大学		2007/9/ 00
13	菊田久雄	大阪府立大学	次世代微細構造光学素子の技術戦略	第 68 回応用物理学会学術講演会 (依頼講演)			口頭発表	2007/9/ 5
14	木元慶久、多田和広、安田雅昭、川田博昭、平井義彦	大阪府立大学	ナノインプリント法によるガラス材料成型プロセスの分子動力学シミュレーション	第 68 回応用物理学会学術講演会			口頭発表	2007/9/ 5
15	森登史晴	コニカミノルタオプト	ガラスモールド法による次世代光波制御素子の作製	第 68 回応用物理学会学術講演会 (依頼講演)	5p-R-8	北海道工業大学		2007/9/ 5
16	山田和宏、梅谷誠、田村隆正、田中康弘、西井準治	パナソニック、産総研	反射防止構造形成のためのガラス成形用耐熱モールドの作製	第 68 回応用物理学会学術講演会	6a-R-5	(札幌)北海道工業大学		2007/9/ 6
17	笠晴也、金高健二、西井準治、森登史晴、長谷川研人、波多野卓史	産総研、コニカミノルタオプト	ガラスモールド法によるサブ波長周期構造の形成	第 68 回応用物理学会学術講演会	6a-R-8	(札幌)北海道工業大学		2007/9/ 6

18	西井準治	産総研	次世代パッシブ光学素子とその創成技術	第 68 回応用物理学会学術講演会 (依頼講演)	7a-K-3	北海道工業大学		2007/9/7
19	金初潤, 西尾謙三, 粟辻安浩, 裏升吾 1, 金高健二	京都工芸繊維大学 産総研	鋸歯状光強度分布形成用位相シフトマスクの設計	第 68 回応用物理学会学術講演会	7a-R-10	北海道工業大学		2007/9/7
20	梅谷誠, 山田和宏, 田村隆正, 田中康弘, 西井準治	パナソニック, 産総研	超微細ガラス成形による反射防止構造ガラス素子の開発	精密工学会 2007 年度秋季大会学術講演会	L33	(旭川) 北海道旭川市ときわ市民ホール		2007/9/13
21	田中康弘	パナソニック	ガラス成形による反射防止構造の作製	第 3 回光ディスク懇談会		機械振興会館 (東京)		2007/9/21
22	堀本修平, 多田和広, 安田雅昭, 木元慶久, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular dynamics study on deformation of polycrystalline Si mold in nanoimprint	ポスター発表 (33rd International Conference on Micro- and Nano-Engineering (MNE2007))	pp.525-526	コペンハーゲン (デンマーク)		2007/9/24
23	西井準治	産総研	次世代光波制御デバイスの開発	産総研 in 京都 (次世代機能材料の開発を目指して)	p.71~p.76	京都リサーチパーク		2007/10/3
24	多田和広, 木元慶久, 安田雅昭, 堀本修平, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Simulation on Glass Deformation in Nanoimprint Lithography	6th International Conference on Nanoimprint and Nanoimprint Technology	P-P23	パリ (フランス)		2007/10/11
25	山田和宏	パナソニック	ガラス成形による反射防止構造の作製	第 10 回次世代フォトンクス情報技術フォーラム (大阪)		大阪科学技術センター		2007/10/19

26	西井準治	産総研	Nano-glass imprinting technology for next-generation optical devices	2007 Korea-Japan Joint Workshop		韓国 光州		2007/10/25
27	菊田久雄	大阪府立大学	Technological strategy for advanced micro and nano-structured optical elements	2007 Korea-Japan Joint Workshop		韓国 光州		2007/10/25
28	森登史晴, 長谷川研人, 波多野卓史, 笠晴也, 金高健二, 西井準治	コニカミノルタオプト 産総研	Fabrication of sub-wavelength periodic structures upon high-refractive-index glasses by precision glass molding.	13th Microoptics Conference	B2	高松		2007/10/29
29	裏升吾, 金初潤, 西尾謙三, 粟辻安浩, 金高健二	京都工芸繊維大学、産総研	Design of phase-shifting mask generating sawtooth optical interference pattern	13th Microoptics Conference		高松		2007/10/30
30	内田亮平、菊田久雄	大阪府立大学	曲面上に等周期サブ波長構造を形成するための紫外線干渉露光用回折格子	Optics & Photonics Japan 2007 日本光学会(応用物理学会)		大阪		2007/11/00
31	菊田久雄	大阪府立大学	ナノ周期表面構造による光制御とその応用	Optics & Photonics Japan 2007 日本光学会(応用物理学会) (依頼講演)		大阪		2007/11/00
32	小林直人、若杉隆、角野広平、森登史晴、末次竜也、西井準治	京都工芸繊維大学	Fabrication of glasses with low softening temperatures for mold-processing by ion-exchange	4th International Workshop on Flow and Fracture of Advanced Glasses			ポスター発表	2007/11/5
33	多田和広、木元慶久、安田雅昭、堀本修平、川田博昭、平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study of Nanoimprint Lithography for Glass Material	20th International Microprocesses and Nanotechnology Conference	pp. 322-323	京都国際会館	ポスター発表	2007/11/6

34	西井準治	産総研	Nano-glass imprinting technology for next generation optical devices	SPIE Photonics Asia 2007 PA Optical Design and Testing Session (Invited)	in press	中国 北京		2007/11/12
35	菊田久雄	大阪府立大学	Technological strategy for advanced micro and nano-structured optical elements	SPIE Photonics Asia 2007 PA Optical Design and Testing Session (Invited)	in press	中国 北京		2007/11/12
36	菊田久雄	大阪府立大学	サブ波長周期構造を持つ光学素子とその応用	光材料・応用技術研究会 第3回研究会				2007/11/16
37	菊田久雄 Y. Kobayashi A. Maruyama	大阪府立大学	Ray-tracing of an aspherical lens with antireflective subwavelength structured surfaces	Topical Meeting on Diffractive Optics (DO2007) 欧州光学学会		バルセロナ (スペイン)		2007/11/23
38	田中康弘	パナソニック	Recent Progress in Glass Molding	Joint Symposium by OSK and OSJ on Optics Design & Fabrication 日韓交流シンポジウム 日本光学会年次学術講演会(Optics & Photonics Japan 2007 スペシャルセッション) (大阪)		大阪大学コンベンションセンター		2007/11/27
39	多田和広, 木元慶久, 安田雅昭, 川田博昭, 平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Simulation of Glass Forming Process with Nanoimprint Lithography	2007 Material Research Society Fall Meeting		ポストン(米国)	ポスター発表	2007/11/28
40	笠晴也, 金高健二, 西井準治	産総研	ガラスモールド法によるサブ波長周期構造の形成	第48回ガラスおよびフォトリソ材料討論会		愛知・豊橋		2007/11/30
41	中村淳一, 日高達雄, 橋間英和, 真弓禎隆, 福味幸平, 北村直之, 西井準治	日本山村硝子, 産総研	P2O5-ZnO-Bi2O3系ガラスの光学的特性及び熱的特性	第48回ガラスおよびフォトリソ材料討論会(豊橋)		愛知・豊橋		2007/11/30
42	北村直之, 福味幸平, 西井準治, 中村淳一, 日高達	産総研, 日本山村硝子	ZnO-Bi2O3-P2O5系ガラスの構造と光学特性	第48回ガラスおよびフォトリソ材料討論会(豊橋)		愛知・豊橋		2007/11/30

	雄, 橋間英和, 真弓禎隆							
43	西井準治	産総研	次世代光波制御デバイスの開発	2007年度日本写真学会秋季研究報告会(基調講演)		キャンパスプラザ京都		2007/12/5
44	森登史晴, 長谷川研人, 波多野卓史, 笠晴也, 金高健二, 西井準治	コニカミノルタオプト, 産総研	Fabrication of sub-wavelength periodic structures upon high-refractive-index glasses by glass-nanoimprinting	Microelectronics, MEMS, and Nanotechnology 2007	6800 OM-1-10	Australia Canberra		2007/12/6
45	菊田久雄	大阪府立大学	サブ波長周期構造を持つ光学素子の作製と応用	Premeeting of International Topical Meeting on Information Photonics 2008 (IP2008) 日本光学会(応用物理学会)情報フォトニクス研究グループ(招待講演)		兵庫		2007/12/21
46	小林直人, 若杉隆, 角野広平, 森登史晴, 末次竜也, 西井準治	京都工芸繊維大学	イオン交換によるモールド成型に適した低軟化点ガラスの作製	第46回セラミックス基礎科学討論会			口頭発表	2008/1/11
47	森登史晴	コニカミノルタオプト	ガラスインプリント法によるサブ波長光学素子の作製	The 18th Meeting on Glasses for Photonics 2008	p9-10	東京		2008/1/28
48	Kazuhiro Yamada, Makoto Umetani, Takamasa Tamura, Yasuhiro Tanaka, and Junji Nishii	パナソニック, 産総研	Formation of anti-reflective structure on the surface of optical glass by molding	SPIE Photonics West 2008		サンノゼ		2008/1/30
49	梅谷誠	パナソニック	ガラス成形による微細構造光学ガラス素子の作製	電気学会 ユビキタス志向ナノマテリアル・プロセス技術調査専門委員会 第2回ユビナノ委員会研究会		大阪府立大学(堺)		2008/3/12

50	山下直人, 末次竜也, 栄西俊彦, 福味幸平, 北村直之, 西井準治	五鈴精工硝子産総研	B2O3-Bi2O3-GeO2系ガラスの光学的および熱的特性	日本セラミックス協会 2008年年会		長岡		2008/3/20
51	笠晴也, 金高健二, 西井準治	産総研	炭化珪素(SiC)モールドによるサブ波長周期構造の形成	第55回応用物理学関係 連合講演会	27p-ZV-5	千葉	口頭発表	2008/3/27
52	裏升吾, 金高健二, 粟津英行, 西尾謙三, 粟辻安浩, 西井準治	京都工芸繊維大学、産総研	位相マスクを用いた周期的鋸歯状光強度分布の形成	第55回応用物理学関係 連合講演会	28a-ZB-9	千葉	口頭発表	2008/3/28
53	市川裕之, 住吉朗	愛媛大	有効屈折率法を用いた3波長光ディスク用波長板の設計	第55回応用物理学関係 連合講演会	28a-ZB-10	千葉		2008/3/28
54	山田和宏, 梅谷誠, 田村隆正, 田中康弘, 笠晴也, 西井準治	パナソニック、産総研	SiCモールドを用いたガラス表面への反射防止構造体の形成	第55回応用物理学関係 連合講演会	28a-ZB-11	千葉		2008/3/28
55	森登史晴, 長谷川研人, 波多野卓史, 笠晴也, 金高健二, 西井準治	コニカミノルタオプト、産総研	SiCモールドを用いた1次元サブ波長構造のガラスインプリント	第55回応用物理学関係 連合講演会	28a-ZB-12	千葉		2008/3/28
56	北村直之, 福味幸平, 中村淳一, 日高達雄, 橋間英和, 真弓禎隆, 西井準治	産総研, 日本山村硝子	ビスマスリン酸ガラスの構造と屈折率	第55回応用物理学関係 連合講演会	29a-ZY-10	千葉		2008/3/29

57	北村直之, 福味幸平, 中村淳一, 日高達雄, 真弓禎隆, 橋間英和, 西井準治	産総研, 日本山村硝子	Optical Properties of Zinc Bismuth Phosphate Glass	2nd International Conference on Science and Technology of Advanced Ceramics		幕張		2008/5/31
58	裏升吾	京都工芸繊維大学	Generation of Periodic Sawtooth Optical Intensity by Phase-Shifting Mask	The 6th International Conference on Optic-photonic Design and Fabrication (ODF'08)				2008/6/00
59	H. Kikuta	大阪府立大学	Glass Molding for subwavelength structured surfaces	The 6th International Conference on Optic-photonic Design and Fabrication (ODF'08) 台湾光工学会、国立中央大学、日本光学会光設計研究グループ (招待講演)		台北(台湾)		2008/6/00
60	日高達雄, 中村淳一, 笠晴也, 北村直之, 福味幸平, 西井準治	日本山村硝子, 産総研	Glass-imprinting process using WC mold	The 6th International Conference on Optic-photonic Design and Fabrication (ODF'08)		台湾		2008/6/10
61	森登史晴, 長谷川研人, 波多野卓史, 笠晴也, 金高健二, 西井準治	コニカミノルタオプト, 産総研	Fabrication of sub-wavelength periodic structures on high-refractive-index glasses by direct glass imprinting method.	The 6th International Conference on Optic-photonic Design and Fabrication (ODF'08)	11S3-10	台湾	口頭発表	2008/6/11
62	北村直之, 福味幸平, 西井準治	産総研	Optical properties of ZnO-SnO-B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> glasses	The 6th International Conference on Borate Glasses, Crystals and Melts (Borate2008)		姫路		2008/8/20
63	山下直人, 末次竜也, 栄西俊彦, 福味幸平, 北村直之, 西井準治	五鈴精工硝子, 産総研	THERMAL AND OPTICAL PROPERTIES OF Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -GeO <sub>2</sub> -B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> GLASSES	The 6th International Conference on Borate Glasses, Crystals and Melts (BORATE2008)	予稿のページ数	姫路(兵庫)		2008/8/20

64	北村直之, 福味幸平, 中村淳一, 日高達雄, 真弓禎隆, 橋間英和, 西井準治	産総研, 日本山村硝子	フッ素添加亜鉛ビスマスリン酸塩ガラスの光学特性	日本セラミックス協会秋季シンポジウム(北九州)		北九州国際会議場		2008/9/18
65	裏升吾, 金高健二	京都工芸繊維大学, 産総研	鋸歯状光強度分布形成用位相マスクの設計	日本光学会 光設計研究グループ第39回研究会		板橋区立グリーンホール		2008/9/19
66	Hiroyuki Ichikawa, Akira Sumiyoshi	愛媛大学	Designing quarter-wave plates for 3-wavelength optical pickups with effective medium theory	European Optical Society Annual Meeting		パリ(フランス)		2008/9/30
67	北村直之	産総研	次世代回折光学素子用の光学ガラスとそのインプリント成形技術の開発	光加工技術発表会		京都商工会議所		2008/10/10
68	K.Kimoto, T.Mori, H.Kasa, T.Tanabe, J.Nishii, Y.Hirai	大阪府立大学, コニカミノルタオプト, 産総研	Mold design toward high-aspect-ratio glass imprint	22nd International Microprocesses and Nanotechnology Conference	29D-9-141	福岡		2008/10/29
69	福味幸平, 北村直之, 西井準治	産総研	ガラスインプリント法によるガラス表面への微細周期構造の形成	日本セラミックス協会関西支部平成20年度セミナー		京都大学		2008/11/21
70	中村淳一, 日高達雄, 北村直之	日本山村硝子, 産総研	WC モールドを用いたガラスインプリント	第4回ガラス技術シンポジウム	P.67 GA12	東北大学(仙台)	(ポスター)	2008/11/27
71	北村直之, 福味幸平, 中村淳一, 日高達雄, 真弓禎隆, 橋間英和, 西井準治	産総研, 日本山村硝子	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ガラスの構造と光学特性	第49回ガラスおよびフォトリソ材料材料討論会		東北大学(仙台)		2008/11/27
72	粟津英行, 金高健二, 西尾謙三, 粟辻安浩, 裏升吾	京都工芸繊維大学, 産総研	位相マスクを用いたブレイズグレーティングの作製	電子情報通信学会 レーザ・量子エレクトロニクス研究会	PN2008-51	京都工芸繊維大学		2009/1/29

	西井準治							
73	大野賢太郎, 北村直之, 福味幸平, 中村淳一, 日高達雄, 真弓禎隆, 橋間英和, 西井準治, 幸塚広光	産総研, 日本山村硝子, 関西大学	ビスマスリン酸塩系ガラスの吸収端エネルギーに及ぼす第三成分の影響	日本セラミックス協会 2009 年年会		東京理科大学 (野田)		2009/3/17
74	松本浩一, 北村直之, 福味幸平, 中村淳一, 日高達雄, 池田拓朗, 橋間英和, 西井準治, 幸塚広光	産総研, 日本山村硝子, 関西大学	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 系ガラスの熱処理による着色に関する研究	日本セラミックス協会 2009 年年会		東京理科大学 (野田)		2009/3/17
75	中村淳一, 北村直之, 西井準治	日本山村硝子, 産総研	反射防止レンズ向けガラスインプリント用光学ガラスの開発	日本化学会第 89 春季年会 アドバンステクノロジープログラム	1A4-50	日大理工学部 船橋 (船橋)		2009/3/27
76	栗津英行, 金高健二, 西尾謙三, 栗辻安浩, 裏升吾, 西井準治	京都工芸繊維大学, 産総研	位相マスクを用いたブレースグレーティングの作製	第 56 回応用物理学関係 連合講演会	2a-H-7	筑波大学		2009/4/2
77	清水克也, 村西智行, 井上純一, 西尾謙三, 金高健二, 栗辻安浩, 裏升吾	京都工芸繊維大学, 産総研	Embedded micromirror fabricated by using liquid immersion exposure for thin film optical interconnects	International Conference on Electronics Packaging	14B2-1-3	Kyoto		2009/4/14
78	多田和広, 安田雅昭, 川	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study on Fracture of Si Mold in	53rd Int. Conf. on Electron, Ion and Photon Beam Technology and	P-11-09	マルコアイランド (米)	ポスター発表	2009/05/

	田博 昭, 平 井義彦		Nanoimprint for Glass Thin Film	Nanofabrication		国)		
79	笠晴 也、西 井準治	産総研	反射防止ガラスレン ズの成型	2009 年度精密工学会関 西地方学術講演会	P-14	大阪		2009/5/ 13
80	中村淳 一, 日 高達雄, 北村直 之, 福 味幸平, 池田拓 朗, 橋 間英和, 西井準 治	日本山村 硝子, 産総研	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> glasses for fabrication of sub-wavelength periodic structure by glass-imprinting method	8th PacificRim Conference on Ceramics and Glass Technology		カナ ダ・バン クー パー		2009/6/ 2
81	北村直 之, 大 野賢太 郎, 福 味幸平, 中村淳 一, 日 高 達 雄, 池 田拓朗, 橋間英 和, 西 井準治	産総研 日本山村 硝子	Optical Properties of Fluorine-substitute d Zinc Bismuth Phosphate Glasses	8th PacificRim Conference on Ceramics and Glass Technology	PACRI M8-S25 -023-20 09	カナダ (バン クーバ ー)		2009/6/ 3
82	笠晴 也、西 井準治		)Anti-reflective structure formed by direct imprinting process on optical glass	8th PacificRim Conference on Ceramics and Glass Technology		カナダ (バン クーバ ー)		2009/6/ 3
83	金高健 二, 西 井準治, 村西智 行, 清 水克也, 井上純 一, 西 尾謙三, 裏升吾	産総研、 京都工芸 繊維大学	45° Micromirror Embedded in a Single-Mode Waveguide Fabricated by Using Liquid Immersion Exposure	14th Optoelectronics and Communications Conference	WA2	Hong Kong		2009/7/ 5
84	野宮佑 介、小 林直 人、若 杉隆、 角野広 平、西 井準治	京都工芸 繊維大 学、産総 研	種々のガラスへの イオン交換による銀 の導入と再熱処理 による着色挙動	セラミック材料部門委員 会学術講演会(131 回セ ラミック材料部門委員会)		京都 (京都 工芸 繊維 大学)		2009/7/ 15
85	野宮佑 介、若 杉隆、 西井準 治、角 野広平	京都工芸 繊維大 学、産総 研	イオン交換による銀 ドーパガラスの作製 と熱物性の変化及 び着色挙動	第 4 回日本セラミックス協 会関西支部学術講演会		吹田 (関西 大)		2009/7/ 23

86	平野竜彦、福味幸平、北村直之、西井準治、幸塚広光	産総研、関西大学、北海道大学	各種モールド材用上でのナノインプリント用ガラスの濡れ	日本セラミックス協会関西支部学術講演会		吹田(関西大)		2009/7/23
87	笠晴也、西井準治	産総研	モールド法による反射防止レンズの成型	日本セラミックス協会関西支部学術講演会	PA-30	吹田(関西大)		2009/7/23
88	大野賢太郎、北村直之、福味幸平、中村淳一、日高達雄、池田拓朗、橋間英和、西井準治、幸塚広光	産総研、日本山村硝子、関西大学、北海道大学	ビスマスリン酸塩系ガラスの吸収端エネルギーと添加成分の関係	日本セラミックス協会関西支部学術講演会		吹田(関西大)		2009/7/23
89	松本浩一、北村直之、福味幸平、中村淳一、日高達雄、池田拓朗、橋間英和、西井準治、幸塚広光	産総研、日本山村硝子、関西大学、北海道大学	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> 系ガラスの熱処理条件と着色の関係	日本セラミックス協会関西支部学術講演会		吹田(関西大)		2009/7/23
90	多田和広、安田雅昭、川田博昭、平井義彦	大阪府立大学	Molecular Dynamics Study on Stress Distribution of Mold and Glass in Nanoimprint Process	(35th Int. Conf. on Micro- and Nano-Engineering)	P-Lith-11	ゲント(ベルギー)	ポスター発表	2009/9/00
91	笠晴也、梅谷誠、田村隆正、山田和宏、田中康弘、西井準治	産総研、パナソニック、北海道大学	ガラスインプリント用反射防止構造モールドの形状の最適化	2009年秋季第70回応用物理学学会学術講演会	9a-D-8	富山		2009/9/9
92	北村直之、福味幸平、中村淳	産総研、日本山村硝子、北海道大学	ZnO-Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ガラスの熱処理による着色	2009年秋季第70回応用物理学学会学術講演会	10p-ZB-14	富山大学(富山)		2009/9/10

	一, 日 高 達 雄, 池 田 拓 朗, 橋 間英和, 西井 準 治							
93	田村隆 正, 梅 谷誠, 山田和 宏, 田 中康弘, 笠晴也, 西井準 治	パナソニ ック, 産 総研, 北海道大 学	ガラス成形による反 射防止構造レンズ の作製	精密工学会 2009 年度秋 季大会学術講演会	A09	神戸 大学 (神 戸)		2009/9/ 10
94	坂本太 地, 山 崎新, 西井 準 治	産総研, 五鈴精工 硝子, 北海道大 学	ガラスインプリント 法による周期構造 の形成	日本セラミックス協会 第 22 回秋季シンポジウム	予稿の ページ 数	(愛 媛)	ポス ター 発表	2009/9/ 17
95	笠晴也, 梅谷誠, 田村隆 正, 山 田和宏, 田中康 弘, 西 井準治	産総研, パナソニ ック, 北 海道大学	モールド法による反 射防止レンズの作 製	日本セラミックス協会 第 22 回秋季シンポジウム	2P58	(愛 媛)	ポス ター 発表	2009/9/ 17
96	北村直 之, 大 野 賢太 郎, 福 味幸平, 中村淳 一, 日 高 達 雄, 池 田拓朗, 橋間英 和, 西 井準治	産総研 日本山村 硝子 北海道大 学	ビスマスリン酸塩系 ガラスの吸収端へ の添加成分の効果	日本セラミックス協会 第 22 回秋季シンポジウム	2O18	(愛 媛)	愛媛 大学	2009/9/ 17
97	大向 啓 正, 茶 谷原 昭 義, 空 野 由 明, 西 井 準 治	産総研 北海道大 学電子科 学研究所	モールド法によるガ ラス成型における 離型特性の評価	日本セラミックス協会 第 22 回秋季シンポジウム	予稿の ページ 数	(愛 媛)	ポス ター 発表	2009/9/ 17
98	西井準 治	北海道大 学	Glass-imprinting for Optical Device Fabrication	Advances in Optical Materials (AIOM), Optical Society of America(Invited)			サン ノゼ (米 国)	2009/10 /15
99	西井準 治	北海道大 学	ガラスインプリント 法による サブ波長 光学素子の形成	電気硝子工業会技術セミ ナー (招待講演)	予稿無 し		東京	2009/10 /23

100	栗津英行, 金高健二, 西尾謙三, 栗辻安浩, 裏升吾, 西井準治	京都工芸繊維大学, 産総研	Fabrication of blazed grating by using phase-shifting mask	15th Microoptics Conference	J-34		Tokyo	2009/10/27
101	西井準治	北海道大学	ガラスインプリント法の現状とサブ波長光学素子への応用	ガラスおよびフォトニクス材料討論会(招待講演)	p.117-p.118		京都	2009/10/27
102	喜多由起, 金高健二, 清水克也, 栗辻安浩, 裏升吾	京都工芸繊維大学, 産総研	Aperture miniaturization of grating coupler by integrateion of cavity resonator	15th Microoptics Conference	L-3		Tokyo	2009/10/28
103	北村直之, 福味幸平, 西井準治	産総研, 北海道大学	スズほう酸塩系ガラスの光学特性	第50回ガラスおよびフォトニクス材料討論会	2B04		京都大学	2009/10/30
104	日高達雄, 中村淳一, 橋間英和	日本山村硝子	ガラスインプリント用光学ガラスの開発	日本セラミックス協会関西支部 支部セミナー	P.41-44		神戸大学(神戸)	2009/12/9
105	西井準治	北海道大学	ガラスインプリント法によるサブ波長光学素子の形成	応用物理学会ナノインプリント研究会(招待講演)	p.1-p.6		東京	2009/12/11
106	西井準治	北海道大学	ガラスナノインプリント技術の現状と課題	オプトメカトロニクス協会技術講座(招待講演)	予稿無し		東京	2009/12/11
107	西井準治	北海道大学	ナノ構造を金型で作る	日本光学会光設計グループ講演会	p.1-p.8			2009/12/11
108	西井準治	北海道大学	デジタルカメラやブルーレイに使われる最新光学レンズ	関学化学フォーラム(レーザーとナノ構造による光科学の最前線)(招待講演)	予稿無し		兵庫	2009/12/12
109	山下直人, 末次竜也, 福味幸平, 北村直之, 西井準治	五鈴精工硝子, 産総研	Fabrication of one-dimensional SWS on bismuth borate glass by glass-imprinting method	SPiE Photonics West2010			サンフランシスコ(米国)	2010/01/28
110	大向啓正, 茶谷原昭義, 空野由明, 西	産総研 北海道大学	モールド法を用いたガラス成型における離型性の評価	The 20th Meeting on Glasses for Photonics	予稿のページ数		口頭発表(予定)	2010/2/4

	井 準治							
111	Hiroyuki Ichikawa, Kensuke Katada	愛媛大学	Effects of surface relief structure on performance of subwavelength grating waveplates	European Optical Society Topical Meeting on Diffractive Optics 2010			コリ (フィンランド)	2010/2/16
112	田中康弘	パナソニック	ガラスインプリント法による反射防止構造の形成	第 5 回表面技術会議			(東京)	2010/2/18
113	北村直之、大野賢太郎、福味幸平、中村淳一、日高達雄、池田拓朗、橋間英和、西井準治	産総研、日本山村硝子、北海道大学	ハロゲン置換したビスマスりん酸塩ガラスの光学特性	日本セラミックス協会 2010 年年会			東京農工大	2010/3/00
114	田中康弘	パナソニック	ガラスインプリントによる微細構造光学デバイスの開発	AIST 関西懇話会			(池田)	2010/3/11
115	笠晴也、梅谷誠、田村隆正、山田和宏、田中康弘、西井準治	産総研、パナソニック 北海道大学	ガラスモールド法によるサブ波長周期構造の形成	2010 年度精密工学会春季大会学術講演会(埼玉)			埼玉	2010/3/16
116	北村直之、大野賢太郎、福味幸平、中村淳一、日高達雄、池田拓朗、橋間英和、西井準治	産総研、日本山村硝子、北海道大学	ハライド添加したビスマスりん酸塩ガラスの光学特性	第 57 回応用物理学関係 連合講演会	18a-TN-3		東海大学 (平塚)	2010/3/18
117	西井準治	北海道大学	Photonic functions fabricated by subwavelength optics	RIES International Symposium (招待講演)	未定		千歳	2010/3/25

118	西井準治	北海道大学	サブ波長光学素子の情報家電への応用	日本化学会 ATP セッション (招待講演)	未定		大阪	2010/3/27
119	T. Tamura*, Y. Tanaka and J. Nishii	パナソニック、北大	Molded glass lens with anti-reflective structure	International Conference on Optical Design and Fabrication			Yokohama	2010/4/1
120	金高健二, 喜多由起, 清水克也, 松岡均, 裏升吾, 西井準治	産総研、京都工芸繊維大学	Cavity-resonator-integrated grating input/output coupler with Au reflection layer	15th European Conference on Integrated Optics			Cambridge	2010/4/7
121	裏升吾, 金高健二, 粟津英行, 粟辻安浩, 西井準治	京都工芸繊維大学, 産総研	Phase-shifting mask design using phase-conjugate waves for interference exposure of chirp blazed grating	7th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication			Yokohama	2010/4/20
122	N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nakamura, T. Hidaka, T. Ikeda, H. Hashima and J. Nishii	産総研, 日本山村硝子、北海道大学	Low-Tg Bismuth Phosphate Glasses for Glass-imprinting and Fabrication of 2D Sub-wavelength Structure	The International Conference on Nanophotonics 2010			Tsukuba	2010/5/31
123	裏升吾, 清水克也, 喜多由起, 金高健二, 井上純一, 粟辻安浩	京都工芸繊維大学, 産総研	Cavity-resonator-integrated grating input/output couplers for WDM optical-interconnect system in package	The 60th Electronic Components and Technology Conference			Las Vegas	##### ####
124	西井準治	北海道大学	Glass-imprinting for Optical Device Fabrication	17th International Symposium on Non-Oxide and New Optical Glasses(XVII ISNOG) 招待講演			Ningbo, China	2010/6/14
125	Naoyuki Kitamura, Kohei Fukumi and Junji Nishii	産総研、北海道大学	Structural and Optical Investigation of Low-Tg Bismuth Phosphate System for Glass Nano-imprint	Fourth International Conference on Science and Technology of Advanced Ceramics (招待講演)	2p-C03		Yokohama	2010/6/22

126	裏升吾, 金高健二	京都工芸 繊維大 学, 産総 研	Research progress on free-space-wave add/drop multiplexing for WDM optical-interconne ct system in packaging	12th International Conference on Transparent Optical Networks			Mun ich	2010/6/ 28
127	西井 準 治	北海道大 学	Glass-imprinting for Optical Device Fabrication	The 1st Japan-China-Korea joint seminar on MEMS/NEMS			札幌	2010/7/ 1
128	西井 準 治	北海道大 学	Glass-imprinting for Optical Device Fabrication	The 3rd Asian Symposium on Nano Imprint Lithography (ASNIL 2010) 招待講演			つく ば	2010/7/ 2
129	野宮佑 介、若 杉隆、 西井準 治、角 野広平	京都工芸 繊維大 学、産総 研	Ag+/Na+イオン交 換ガラスにおける圧 子押し込み試験に よる機械的特性の 評価	第5回日本セラミックス協 会関西支部学術講演会			彦根	2010/7/ 16
130	Shogo Ura and Kenji Kintaka	京都工芸 繊維大 学, 産総 研	Potential of wavelength-divisio n-multiplexing optical-interconne cts for next-generation system in packaging	IEEE CPMT Symposium Japan (招待講演)	paper 8-1		Tok yo	2010/8/ 25
131	西井 準 治	北海道大 学	インプリント法によ る光学素子形成技 術	第71回応用物理学会学 術講演会シンポジウム (サブ波長表面構造をも つ光学素の最前線)			長崎	2010/9/ 15
132	北村直 之、福 味幸 平、中 村淳 一、日 高達 雄、池 田拓 朗、橋 間英 和、西 井準治	産総研, 日本山村 硝子、北 海道大学	低屈伏点銀ピスマ スリン酸塩ガラスの 熱および光学特性	第71回応用物理学会学 術講演会	16p -ZB-3		長崎	2010/9/ 16
133	J. Nishii*, K. Kintaka and K. Tawa	北海道大 学、産総 研	Plasmon Enhanced Fluorescence Microscopy using Silver Coated Grating	The 3rd International Congress on Ceramics (ICC3)		Oral	大阪	2010/11 /1
134	J. Nishii*, H. Hashim a and Y. Tanaka	北海道大 学、日本 山村硝 子、パナ ソニック	Glass Imrinting for Highly-functional Optical Devices	The 3 the 3rd International Congress on Ceramics (ICC3)		Oral	大阪	2010/11 /1

135	J. Nishii*, K. Kintaka and K. Tawa	北海道大学、産総研	Fluorescence Imaging by Two-Dimensional-Grating-Coupled Surface Plasmon Resonance	The 27th Korea-Japan International Seminar on Ceramics			Incheon, Korea	2010/11/1
136	片田健介、市川裕之	愛媛大学	2層型サブ波長格子を用いた波長板の設計	Optics & Photonics Japan 2010	9aD7		東京	2010/11/9
137	Kenji Kintaka, Katsuya Shimizu, Yuki Kita, Satoshi Kawana mi, Junichi Inoue, Shogo Ura, and Junji Nishii	京都工芸繊維大学、産総研、北海道大学	Free-space-wave drop demultiplexers using cavity-resonator-integrated grating couplers	IEEE Photonics Society Annual Meeting	WI2		Denver, Colorado	2010/11/10
138	Y. Nomiyama, T. Wakasugi, J. Nishii, K. Kadono	京都工芸繊維大学、産総研	Estimation of Mechanical Properties by the Vickers Indentation Test for Ag+/Na+ Ion-exchanged Glass	3rd International Congress on Ceramics, (ICC3)			Osa ka	2010/11/16
139	N. Kitamura, K. Fukumi, J. Nakamura, T. Hidaka, T. Ikeda, H. Hashima and J. Nishii	産総研、日本山村硝子、北海道大学	Optical and Thermal Properties of Silver Bismuth Phosphate Glasses	ICC3(3rd International Congress on Ceramics)	S8-22		Osa ka	2010/11/16
140	N. Kitamura, K. Fukumi and J. Nishii	産総研、北海道大学	Novel Low-Tg Glasses used in Nano-imprinting for Sub-wavelength Structure Optical Devices	The 27th Korea-Japan International Seminar on Ceramics (招待講演)	GO-I04		Incheon, Korea	2010/11/25
141	J. Nishii*, K. Kintaka and K. Tawa	北海道大学、産総研	Fabrication and integration of nano-structured optical devices for strong photons-molecules coupling fields	Pacificchem 2010 Congress			Honolulu, Hawaii, US	2010/12/1
142	北村直之、福味幸平、中村淳	産総研、日本山村硝子、北海道大学	銀ピスマスリン酸塩ガラスの熱および光学特性	第51回ガラス及びフォトニクス材料討論会討	2B-05		東京	2010/12/16

	一、日 高逵 雄、池 田拓 朗、橋 間英 和、西 井準治							
143	福味幸 平、北 村直 之、大 向啓 正、金 田恭 子、西 井準治	産総研、 北海道大 学	屈伏点温度付近に おける低融点ガラ スの変形挙動と強 度	第 51 回ガラス及びフォト ニクス材料討論会討	PS112		東京	2010/12 /16
144	野宮佑 介、若 杉隆、 西井準 治、角 野広平	京都工芸 繊維大 学、産総 研	Ag+/Na+イオン交 換ガラスにおける圧 子押し込み試験に よる機械的特性の 評価	第 49 回セラミックス基礎 科学討論会			岡山	2011/1/ 11
145	Shogo Ura and Kenji Kintaka	京都工芸 繊維大 学、産総 研	Free-space-wave add/drop multiplexing for WDM optical-interconne ct system in package	SPIE Photonics West 2011 (招待講演)	paper 7942-1		San Fra ncis co	2011/1/ 26
146	Naoyuki Kitamur a, Kohei Fukumi and Junji Nishii	産総研、 北海道大 学	Glass Imprint for Optical Device Fabrication	SPIE Photonics West 2011 (招待講演)	paper 7934-2 2		San Fra ncis co	2011/1/ 26
147	北村直 之、福 味幸 平、中 村淳 一、日 高逵 雄、池 田拓 朗、橋 間英 和、西 井準治	産総研、 日本山村 硝子、北 海道大学	3成分系ピスマスリ ン酸塩ガラスの光 学特性	21st Meeting on Glasses for Photonics			東京	2011/2/ 9

## VI. 6. 受賞

- 1) 平成 19 年 10 月 13th Microoptics Conference MOC 論文賞 (精密ガラス成型による高屈折率ガラス上へのサブ波長周期構造の形成)
- 2) 平成 20 年 6 月 6th International Conference on Optics-photonics Design & Fabrication ベストポスター賞 (WC モールドを使ったガラスインプリントプロセス : Glass-imprinting process using WC mold)

- 3) 平成 20 年 9 月 日本光学会 光設計優秀賞 (ガラスモールド法によるレンズへの反射防止構造体形成技術)
- 4) 平成 21 年 5 月 2009 年度精密工学会関西地方学術講演会 「ベストポスタープレゼンテーション賞」 受賞 (反射防止ガラスレンズの成型)
- 5) 平成 21 年 9 月 2009 年度精密工学会秋季大会学術講演会 「ベストプレゼンテーション賞」 受賞 (ガラス成形による反射防止構造レンズの作製)



平成 19 年度 第 13 回 Microoptics Conference 論文賞受賞



平成 20 年度 日本光学会 光設計優秀賞 受賞

## VI. 7. 特許リスト(非公開)

これまでに申請した特許を表VI-5 にまとめた。申請に際しては、関係者でその可否を慎重に議論した。

表VI-5 特許リスト (平成 18 年度から平成 22 年度)

NO.	出願日	受付番号	出願に係る特許等の標題	出願人
1	2007/1/9	特願 2007-010200	光学ガラス	五鈴精工硝子株式会社、産業技術総合研究所
2	2007/7/6	特願 2007-178432	光学ガラス	日本山村硝子株式会社、産業技術総合研究所
3	2007/10/29	特願 2007-280812	ガラス材料、光学素子及びその製造方法	コニカミノルタオプト株式会社、五鈴精工硝子株式会社、京都工芸繊維大学、産業技術総合研究所
4	2008/1/9	特願 2008-002117	微細周期構造を有する炭化ケイ素モールド及びその製造方法	産業技術総合研究所、松下電器産業株式会社、コニカミノルタオプト株式会社
5	2008/1/11	特願 2008-004280	反射防止構造体、反射防止構造体の製造方法、及び反射防止構造体を備えた光学装置	松下電器産業株式会社、産業技術総合研究所
6	2008/2/8	特願 2008-29537	光学ガラス	日本山村硝子株式会社、産業技術総合研究所
7	2008/2/8	特願 2008-29538	ガラスインプリント用光学ガラス	日本山村硝子株式会社、産業技術総合研究所
8	2008/3/14	特願 2008-66586	光学ガラス	五鈴精工硝子株式会社、産業技術総合研究所
9	2008/3/19	特願 2008-070598	光学ガラス	産業技術総合研究所、日本山村硝子株式会社
10	2008/5/21	特願 2008-132972	光学ガラス	五鈴精工硝子株式会社、産業技術総合研究所
11	2008/8/29	特願 2008-222532	モールド、その製造方法、及び、光学素子の製造方法	コニカミノルタオプト株式会社、公立大学法人大阪府立大学、産業技術総合研究所
12	2008/9/16	特願 2008-236757	光学ガラス	日本山村硝子(株)、産業技術総合研究所
13	2008/9/25	特願 2008-245569	光学ガラス	日本山村硝子(株)、産業技術総合研究所
14	2008/10/28	PCT/JP2008/069533	ガラス材料、光学素子及	国立大学法人京都工芸繊維大

			びその製造方法	学,コニカミノルタオプト株式会社,五鈴精工硝子株式会社、産業技術総合研究所
15	2009/1/9	特願 2009-003929	反射防止構造体、反射防止構造体の製造方法、及び反射防止構造体を備えた光学装置	パナソニック株式会社、産業技術総合研究所
16	2009/2/9	PCT/JP2009/052134	光学ガラス	日本山村硝子(株)、産業技術総合研究所
17	2009/2/17	特願 2009-033515	光学ガラス	日本山村硝子(株)、産業技術総合研究所
18	2009/3/13	特願 2009-061097	ビスマス含有ガラスのプレス成型方法	五鈴精工硝子株式会社、産業技術総合研究所
19	2009/9/25	PCT/JP2009/066597	光学ガラス	日本山村硝子株式会社、産業技術総合研究所
20	2009/11/26	特願 2009-268891	光学ガラス	五鈴精工硝子株式会社、産業技術総合研究所
21	2010/2/16	PCT/JP2010/052261	光学ガラス	日本山村硝子株式会社、産業技術総合研究所
22	2010/3/2	特願 2010-044896	光学ガラス	産業技術総合研究所、日本山村硝子株式会社
23	2010/8/27	特願 2010-191088	光学ガラス	産業技術総合研究所、日本山村硝子株式会社
24	2011/3/2	PCT/JP2011/054736	光学ガラス	産業技術総合研究所、日本山村硝子株式会社