

平成22年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「高精細な3Dモニタ用高速可変焦点レンズを実現するための
電気光学材料の超精密切削加工技術の開発」

研究開発成果等報告書

平成23年 9月

委託者 近畿経済産業局

委託先 財団法人 京都高度技術研究所

目 次

第1章 研究開発の概要

1-1	研究開発の背景・研究目的及び目標	3
1-1-1	研究開発の背景	3
1-1-2	研究目的及び目標	4
1-2	研究体制	6
1-2-1	研究組織	6
1-2-2	管理体制	7
1-2-3	管理員及び研究員	9
1-2-4	経理担当者及び業務管理者の所属、氏名	9
1-3	成果概要	10
1-4	当該研究開発の連絡窓口	11

第2章 本論

2-1	電気光学材料と熱膨張率が等しい材料からなる 加工吸着テーブルの開発（サブテーマ①）	12
2-1-1	緒論	12
2-1-2	研究内容	12
2-1-3	研究成果のまとめ	13
2-2	最適な温度係数を有するガラス基板材料の開発（サブテーマ②）	13
2-2-1	緒論	13
2-2-2	研究内容	14
2-2-3	研究成果のまとめ	15
2-3	ガラス基板と電気光学材料の接合技術の開発（サブテーマ③）	15
2-3-1	緒論	15
2-3-2	研究内容	16
2-3-3	研究成果のまとめ	16
2-4	加工歪みが発生しにくい電気光学材料の研究（サブテーマ④）	16
2-4-1	緒論	16
2-4-2	研究内容	17

2-4-3 研究成果のまとめ	17
----------------	----

第3章 全体総括

3-1 全体総括	19
3-2 今後の開発計画	20
3-3 事業化に向けた取り組み	20

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

1-1-1 研究開発の背景

昨今、3D 映画の登場により3D 対応の劇場も増加しており、さらに国内外の家電メーカーから3D テレビが発売され始めた。一方で、医療現場において活用が期待されている3D モニタは、よりリアリティのある画像が求められており、一般的な3D テレビなどと比較して、大画面で多くの視点から立体視が可能、高い解像度、深い奥行き表現が要求されている。このような高精細な3D モニタの用途としては、医療用途以外にも、屋外広告板や会議システムなど特殊用途が直近のニーズとされているが、将来的には、大規模市場であるエンターテインメント用途についても、「リアリティのある表現力」が求められると推測される。

高精細な3Dモニタを適用するために必要な具体的な要件としては、

【奥行きの画像も表示するため、従来の10倍以上の情報量を表示できること】

であると言われている。

このようなニーズを満たすために、現在各所で3D モニタ方式の研究開発が活発に行われている。医療現場では、裸眼で作業したいという要望が強く、また複数の医師が作業するため広い視野角が求められている。専用メガネを必要としない裸眼立体視の主な方式を下に示す。

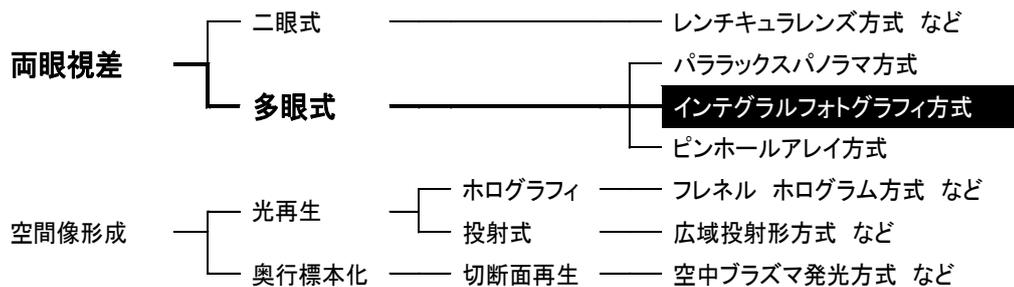


図1 裸眼3Dディスプレイの分類

人間が立体感を知覚するための要因には、水晶体の焦点距離を変えるための水晶体の厚さの調節、両眼視差、両眼の輻輳角、単眼運動視差などがある。これらの要因の中で、両眼視差がもっとも重要な立体感の要因であり、運動視差も次に重要な要因である。即ち、この二つの条件を満たすことは、立体表示装置としてとても重要である。両眼視差による立体表示方式では、液晶などの表示装置の前面にレンズやバリアなどの光学部品を配して

右目と左目に入る映像を分割し立体視する。自然な立体感を得るためには、頭を動かしても回り込んで（運動視差）、どこから見ても立体に見える映像つまり自由視点の映像が必要になるため、特にインテグラルフォトグラフィ方式が（図1を参照）リアリティのある立体表現が可能な方式として注目されている。

1-1-2 研究目的及び目標

これらの方式では、光学部品のみが1素子が包含する画素数が立体像を閲覧できる視点となる。そのため画素ピッチの細かい立体像を表示しようとするれば、閲覧できる視点数は減少し正確な立体像を観察できる範囲は狭くなる。逆に、視点数を増やそうとすると、今度は画素ピッチの粗い立体像しか表示できなくなる。（図2を参照）2Dのモニタと比較すると3Dモニタでは精細度が落ちるのが一般的な仕様とされ、特に医療用途の3Dモニタにおいては、視点数を減らすことなく高精細化することが課題とされている。

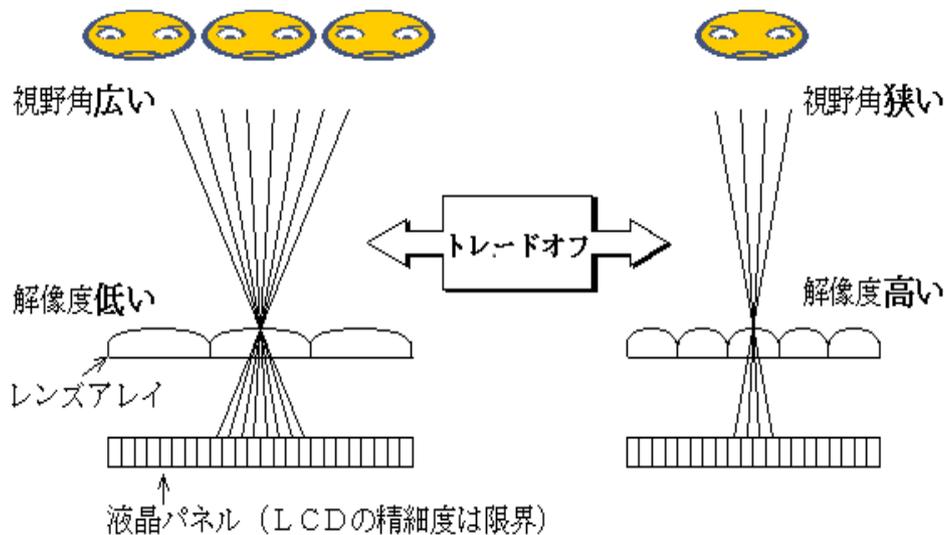


図2 3Dモニタの課題

このトレードオフを解決するため、目の残像を利用した高速時分割方式が提案されている。（図2）即ち、DMDやプラズマディスプレイなどの高速表示装置と焦点可変レンズを同期させ、同一画素で異なる深さ方向の画像を時間的に切り替えて表示させることにより、画素数を粗くせず広い範囲で正確な立体像を閲覧することができる。可変焦点レンズにより高速時分割を行う方式は、3D表示方式の原理的な欠点であった高精細化と広視域化のトレードオフ関係を断ち切り、元々の2Dモニタの持つ高精細性を維持したまま、広い範囲で立体視を可能とする有望な方式である。

川下側のニーズである、【奥行き画像も表示するため、従来の10倍以上の情報量を表示できること】を実現するためには、複数の奥行き画像情報を表示する必要がある。従来の高精細動画においても、数百 Hz 程度であることから、その10倍の数kHz以上の焦点可変速度が要求される。材料の応答性能がマイクロ秒以下とされている電気光学材料は、可変焦点レンズの母材として有望な材料である。

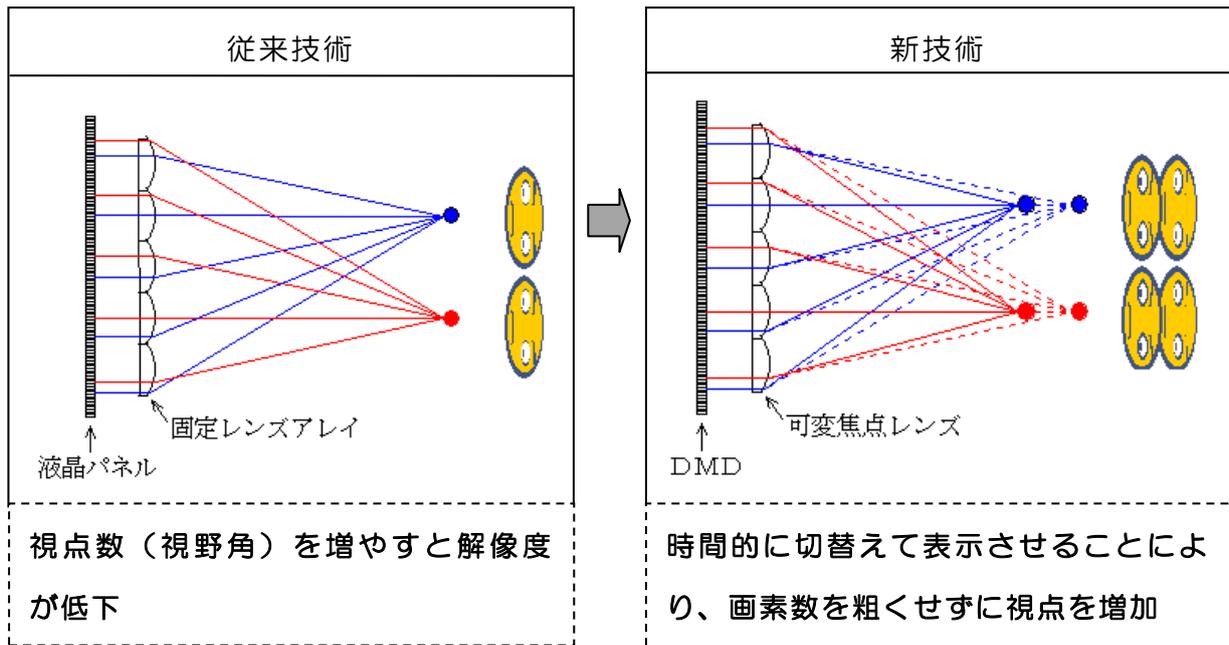


図3 従来技術の課題と新技術の特徴

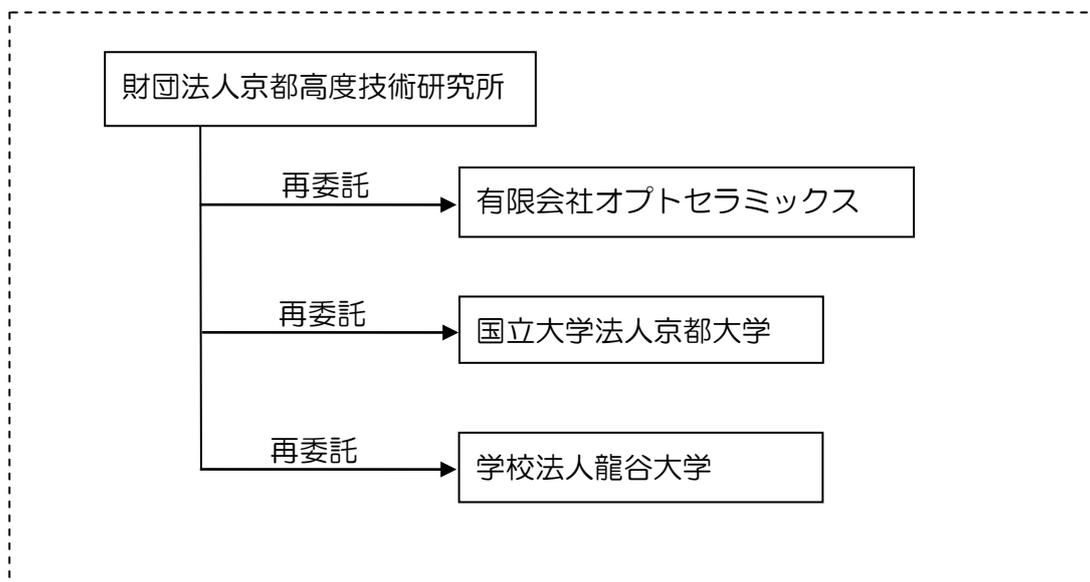
上記で示したように川下産業側からは、可変焦点レンズの焦点可変の応答速度として数kHz以上が要求されることから、電気光学材料を用いたレンズ素子のみが要求を満足することができる。その可変焦点レンズの目標値は下記のとおりとなる。

【焦点可変応答速度 500 マイクロ秒以下 (2.4 kHz)】

可変焦点レンズに関する上記要求に応えるため、電気光学材料からなる焦点レンズに高電圧を印加し屈折率を変化させ、焦点を高速に可変させる。電気光学材料の応答速度は、数ナノ秒であることが光通信部品で実証されている。電気光学材料を用いて可変焦点レンズが実現できれば、川下から求められている応答速度に関する要求を十分満足することができる。

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織

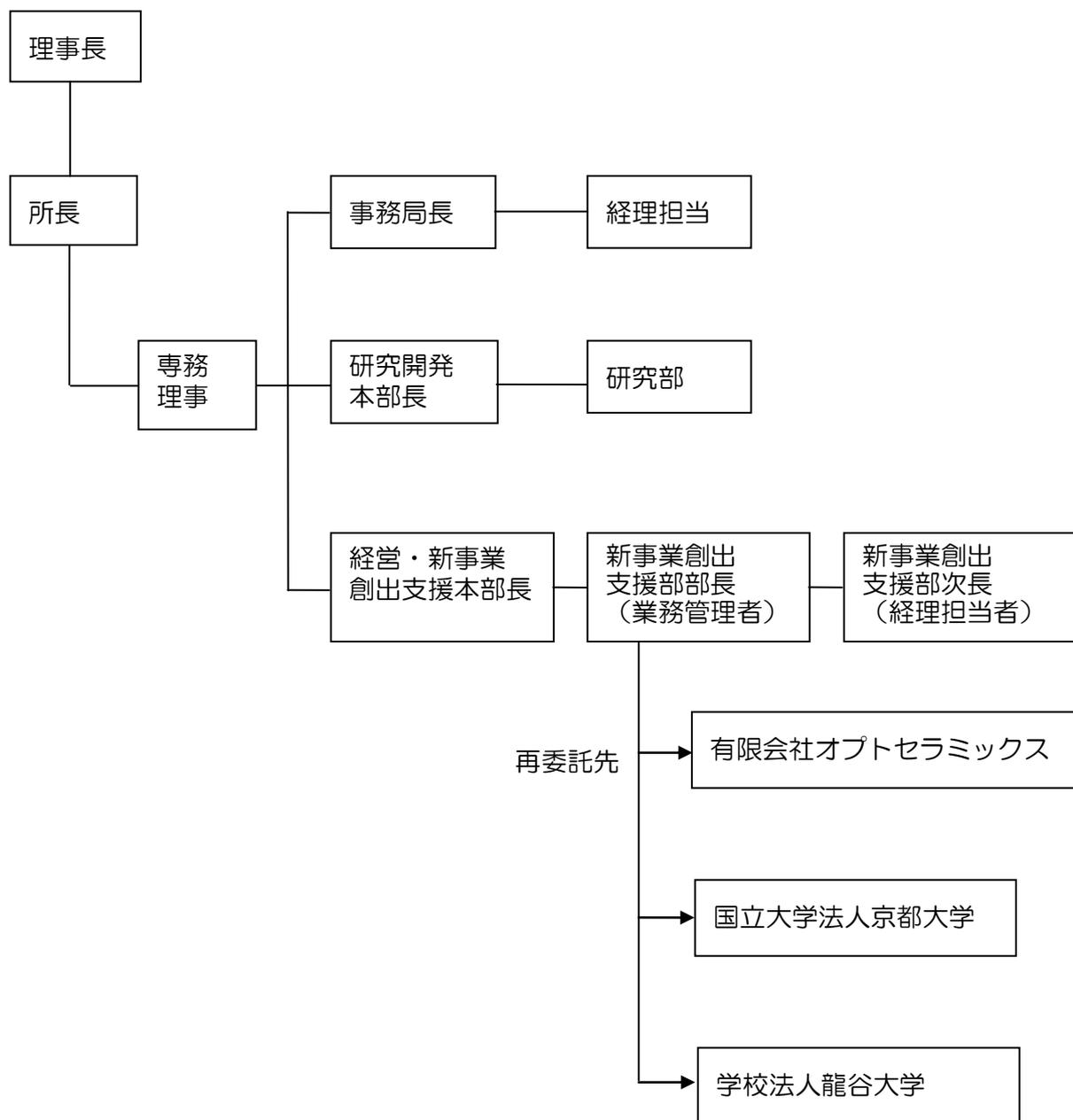


総括研究代表者（PL）
有限会社オプトセラミックス
代表取締役・大西康司

副総括研究代表者（SL）
国立大学法人京都大学
教授・三浦清貴

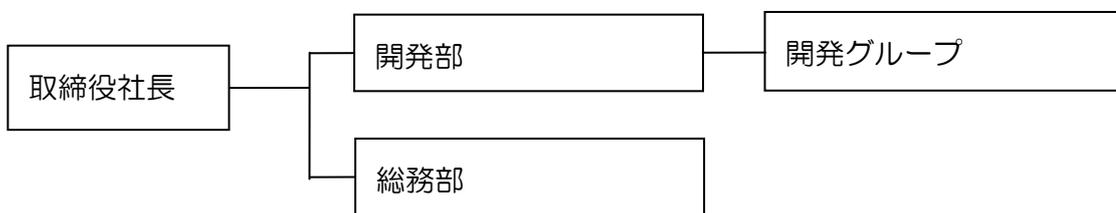
1-2-2 管理体制

① 事業管理機関：財団法人京都高度技術研究所

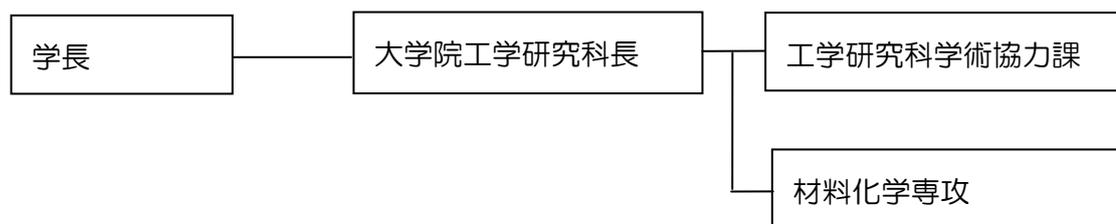


② 再委託先

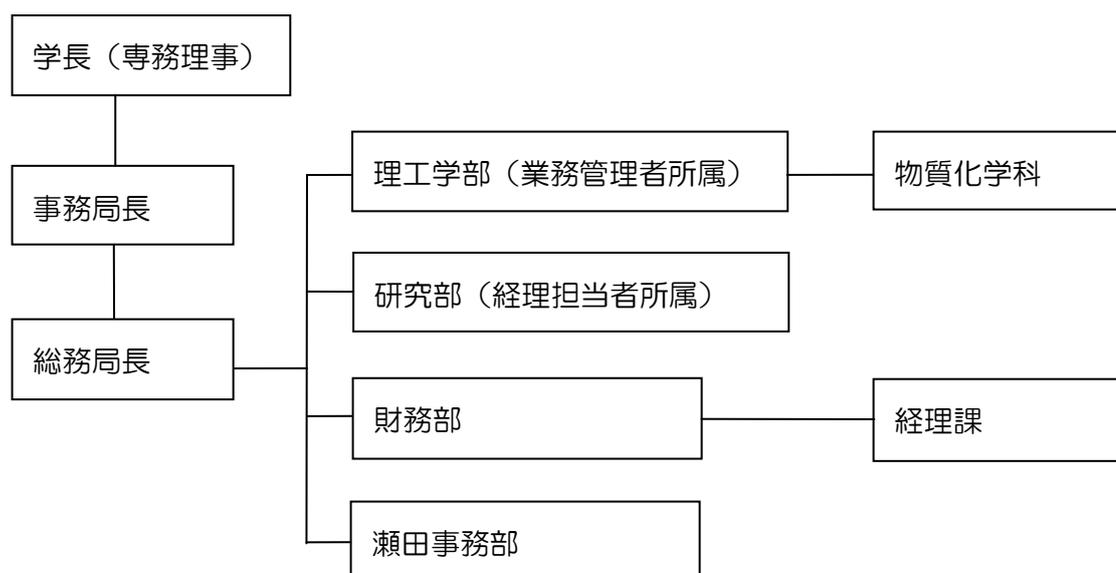
有限会社オプトセラミックス



国立大学法人京都大学



学校法人 龍谷大学



1-2-3 管理員及び研究員

【事業管理機関】財団法人京都高度技術研究所

管理員

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
孝本 浩基	経営・新事業創出支援本部長	⑤
山本 麻起子	新事業創出支援部・次長	⑤
湯浅 直子	新事業創出支援部・主任	⑤
上田 真由美	新事業創出支援部	⑤

【再委託先】※研究員のみ

有限会社オプトセラミックス

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
大西 康司	取締役	①②③④
早野 修二	開発部・研究員	①②③④
堀切 忠彦	開発部・研究員	②③
古川 政史	開発部・研究員	①②③④
御堂島 大介	開発部・研究員	①②③④
大田 新一	開発部・研究員	①②③④

国立大学法人 京都大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
三浦 清貴	工学研究科・教授	②③

学校法人龍谷大学

氏名	所属・役職	実施内容(番号)
和田 隆博	理工学部・教授	④
山添 誠司	理工学部・助教	④

1-2-4 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

(事業管理機関)

財団法人京都高度技術研究所

(経理担当者) 新事業創出支援部 山本 麻起子

(業務管理者) 経営・新事業創出支援本部長 孝本 浩基

(再委託先)

有限会社オプトセラミックス

(経理担当者)	総務部	岩附 勉
(業務管理者)	取締役	大西 康司

国立大学法人 京都大学

(経理担当者)	工学研究科学術協力課産学連携掛長	當麻 公子
(業務管理者)	工学研究科長	小森 悟

学校法人 龍谷大学

(経理担当者)	研究部 課長	志水 章人
(業務管理者)	理工学部長	大柳 満之

1-3 成果概要

(1) 電気光学材料と熱膨張率が等しい材料からなる加工吸着テーブルの開発

(サブテーマ①)

電気光学材料をアレイ状に配置するためには、加工形状精度を向上させる必要がある。切削加工中の周囲温度の変化で生じる反りや位置ズレを防止するため、電気光学材料と熱膨張率が等しい加工吸着テーブルを設計・製作した。また電気光学材料に対する加工条件の最適化を図った。これらを適用して、電気光学材料に溝加工を行い、加工ダメージ層も考慮した加工形状精度を向上することができた。

(2) 最適な温度係数を有するガラス基板材料の開発 (サブテーマ②)

電気光学材料は内部吸収による透過率の低下を防ぐため、厚みを薄くして使用する必要がある。しかし厚みを薄くすると強度的な問題が生じるため、透明なガラス基板と接合し強靱な複合基板を形成する必要がある。そのため熱膨張率が電気光学材料と等しく、透明でかつ均質なガラス基板を開発する必要がある。京都大学にあるデータベースで調査したガラス組成の合成および調達で、目的に合致したガラス材料を開発した。これをウエハ状に研磨加工して、電気光学材料と複合化が可能なガラス基板が得られた。

(3) ガラス基板と電気光学材料の接合技術の開発 (サブテーマ③)

上記（２）で得られたガラス基板を電気光学材料と複合化するため、接合界面で光の吸収や散乱が生じないように接合技術を開発する必要がある。接合に用いる材料は、製造プロセスにおける制約を少なくするため、接合強度、耐熱性、耐薬品性を考慮してUV硬化性樹脂を選定した。選定したUV硬化性樹脂を用いて、ガラス基板と電気光学材料を接合し、透過光の損失が少ない複合基板を開発した。

（４） 加工歪みが発生しにくい電気光学材料の研究（サブテーマ④）

セラミックスの電気光学材料に切削加工をした場合、加工表面は脆性破壊され加工歪みが残留する。この表面の歪みが材料内部へ伝搬されにくい結晶構造を見いだすことを目的とする。龍谷大学が保有するセラミックス焼成技術を用いて、種々の結晶粒径からなる電気光学材料を作製し、透明性と加工歪みの伝搬（広がり）を評価して結晶粒径の最適化を図った。原料粉末を成形、焼成するセラミックスの製造手法においては、透明性が高く、加工歪みの伝搬されにくい条件として、5～6 μm径が最適であることが見出され、それを実現するためのプロセスおよびプロセス条件を決定することができた。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

有限会社 オプトセラミックス 代表取締役 大西 康司

〒601-8213 京都府京都市南区久世中久世町5丁目35

TEL：075-922-0756 FAX：075-922-0756

E-mail：onishi@optceramics.name

財団法人 京都高度技術研究所

経営・新事業創出支援本部長 孝本浩基

〒600-8813 京都市下京区中堂寺南町134番地

Tel：075-315-3625（代表） Fax：075-315-3614

E-mail：komo@astem.or.jp

第2章 本論

2-1 電気光学材料と熱膨張率が等しい材料からなる加工吸着テーブルの開発

(サブテーマ①) (有限会社オプトセラミックス)

2-1-1 緒論

電気光学材料を用いた光学デバイスにおいて、ワーク（被加工物）の加工寸法精度や加工歪みの残留は、そのまま光学デバイスとしての精度に直結する。従って、ワークへの加工寸法の精度向上、加工歪みの低減と共にそのバラツキを少なくすることで精度の高いデバイスを実現することができる。

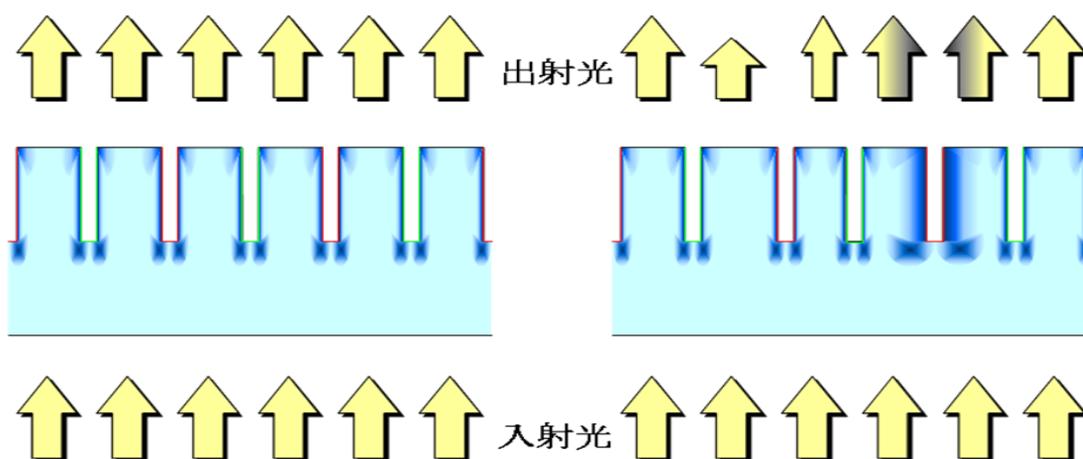


図1 加工寸法と加工歪みによる透過光量の光量変動

指 標	目 標 値
加工ダメージ層（漏れ光量、透過光量のバラツキ）も考慮した加工形状精度を向上させる。	コントラスト 1：100以上 透過光量のバラツキ10%以内

2-1-2 研究内容

ワークとなる電気光学材料は、脆性破壊を起こしやすい材料であるため、電気光学材料に対する最適な加工方法（手段、加工ジグ、加工条件など）を選定する。また高精度な加工を行うための加工吸着テーブルを製作し、加工精度を評価する。

加工精度の評価は、電気光学材料に76本の溝加工を行い、75本の柱部の透過光量のバラツキを測定した。加工歪みの低減およびバラツキについては、コントラストを測定することで評価した。

2-1-3 研究成果のまとめ

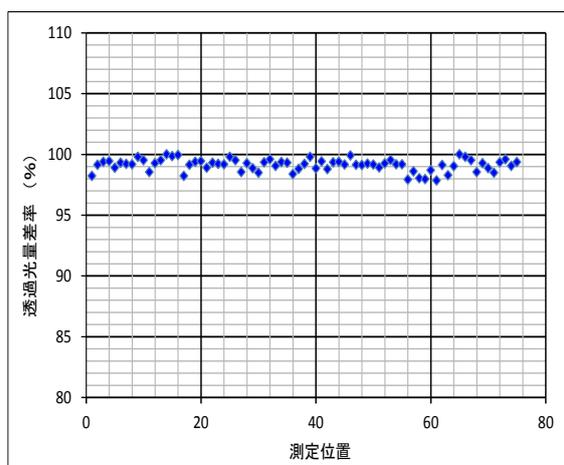


図2 透過光量のバラツキ

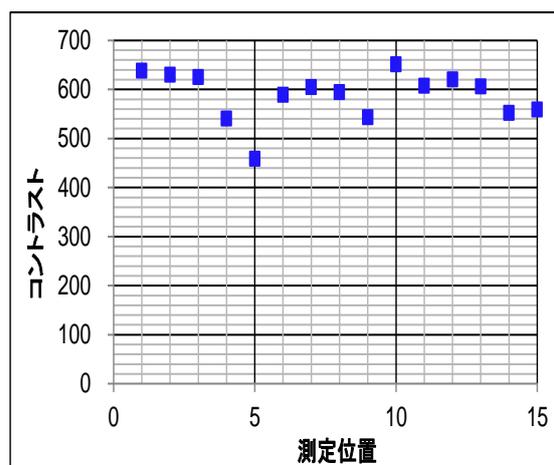


図3 コントラストの測定結果

- (1) 電気光学材料に研削加工する砥石として、2種類の加工歪みが少ない砥石を選定することができた。
- (2) 電気光学材料への溝加工時の切込み量は、1回で所定の深さまで切り込む方が加工歪みが少ないことが分かった。
- (3) 溝加工時の加工速度は0.5mm/sのときが最も①加工歪み、②作業効率のバランスが良いことが分かった。
- (4) 吸着加工テーブルはサブテーマ②で得られたガラスを材料とすることで、温度変化の影響を受けない高精度の加工テーブルを作成することができた。また、その透明性を生かしてLED照明を埋め込み、バックライト方式により高精度の位置決めができるようになった。
- (5) 作製した加工テーブルを使用し最適加工条件で溝加工した結果、透過光量バラツキ3%未満であった。またコントラストは、1:450以上あり、加工歪みが低減されている。

2-2 最適な温度係数を有するガラス基板材料の開発 (サブテーマ②)

(有限会社オプトセラミックス、国立大学法人京都大学)

2-2-1 緒論

一般に電気光学材料の板厚が増すとその透明度が下がることが知られている。素材の厚みを薄くし透過率を上げるためには、電気光学材料と透明な基板を接合し、強靱な複合基板と

しなければデバイス設計に支障をきたす。一方、焼成法で作製されるセラミックスの電気光学材料は、数cm単位の大きさであるため、ディスプレイのような大面積のデバイスを構成する場合には、透明な基板の上にタイリングする必要がある。従って、光学デバイスとして高い精度を維持するためには、透過率が高い平行平面の理想的な形状の複合基板が求められる。そのためには、透明で電気光学材料と熱膨張率が等しいガラス基板が必要となる。

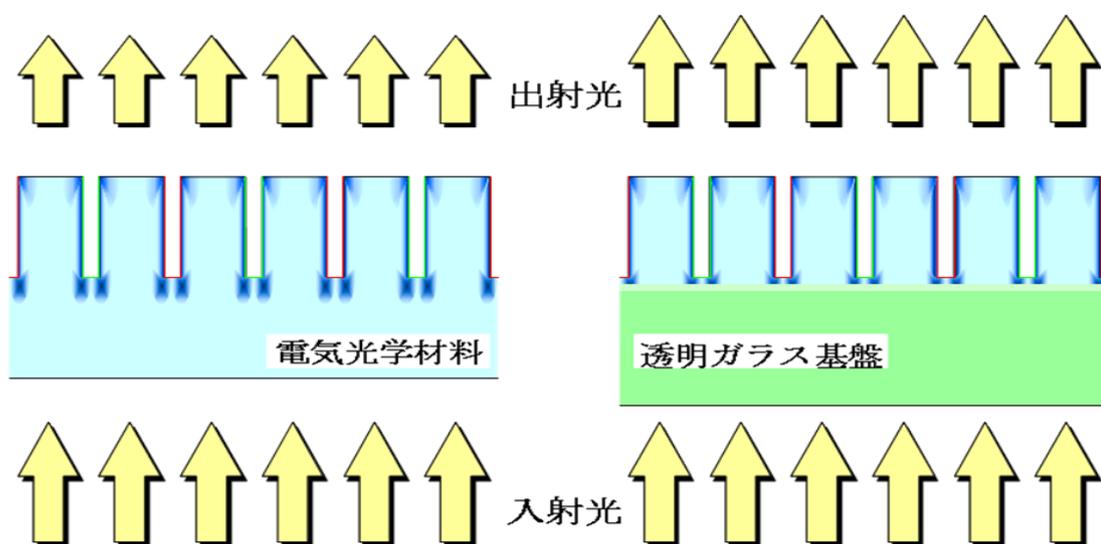


図4 電気光学材料とガラスの複合基板

指 標	目 標 値
透明で、かつ熱的安定性、耐候性に優れたガラス材料で、熱膨張率を電気光学材料に近づける。	熱膨張率差10%以内 透過率85%以上 透過光面内バラツキ5%以内

2-2-2 研究内容

まず、電気光学材料の熱膨張率を測定しガラスのデータベースから熱膨張測定結果と合致する組成のガラス材の合成を試みた。一方で、量産性を考慮し市販ガラスの最新動向を調査し、合致する条件に近い市販ガラスを評価した。

ガラス材の評価は、光学特性、熱膨張率、耐薬品性、耐熱温度を指標に評価した。特に光学特性については、60×40×0.5mmのサイズに鏡面研磨加工したガラス基板に40×40μm口の開口マスクをスキャンして透過光量を測定し、均質性を評価した。

2-2-3 研究成果のまとめ

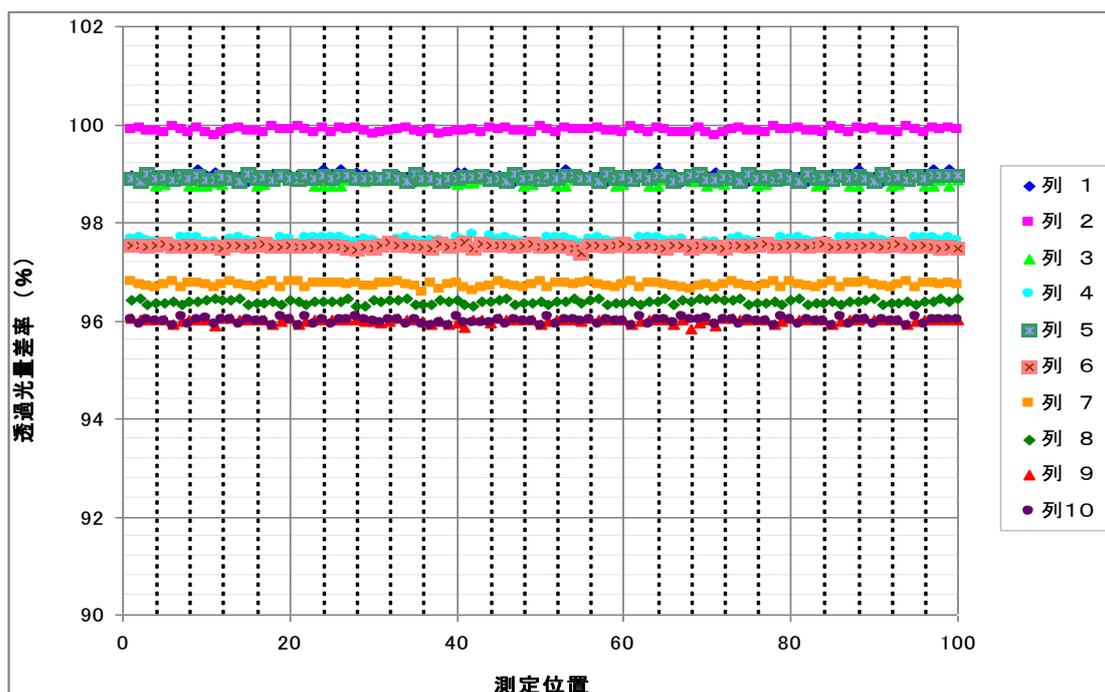


図5 ガラス基板の透過光量の面内バラツキ

- (1) 熱膨張率差10%以内の目標値を達成できた。
- (2) 透過率85%以上の目標値に対し88%以上と達成できた。
- (3) 透過光量面内バラツキ5%以内の目標値を達成することができた。

以上の目標値を達成し、電気光学材料と複合化が可能なガラス基板が得られた。

2-3 ガラス基板と電気光学材料の接合技術の開発 (サブテーマ③)

(有限会社オプトセラミックス、国立大学法人京都大学)

2-3-1 緒論

本サブテーマではサブテーマ②で得られたガラス材料との接合界面で破損することが無く光学的に阻害(反射や吸収)しない接合技術を開発することを目的とする。

指 標	目 標 値
電気光学材料とガラス基板材料を接合し、反射や吸収を小さくする。	透過光の損失1%以内

2-3-2 研究内容

電気光学材料とガラス基板の複合化のため、次の3通りの接合方法の検討を行う。

- (1) 光学接着剤により接合する方法を検討する。
- (2) UV硬化性樹脂により接合する方法を検討する。
- (3) ガラス材料と電気光学材料を熱圧着させる方法を検討する。

接合方法の評価は、透過率、せん断強度、接合材の耐薬品性、耐熱温度、接合後の平面度を指標に評価した。

2-3-3 研究成果のまとめ

- (1) 電気光学材料とガラス基板を光学接着剤により接合する方法は、耐塩酸性に問題が認められ部分的に剥がれが発生した。
- (2) UV硬化性樹脂を使用して電気光学材料とガラス基板を接合した試料において、耐薬品性、せん断強度、透過率、平面度、溝加工後の接着強度すべて良好な試料を作製することができた。
- (3) この試料の透過率は接合前よりも増加したので、目標であった透過光の損失1%以内を満足した。
- (4) 熱圧着による接合に関しては、透明度、接着強度の改善が今後の課題となった。

2-4 加工歪みが発生しにくい電気光学材料の研究（サブテーマ④）

（有限会社オプトセラミックス、学校法人龍谷大学）

2-4-1 緒論

セラミックスの電気光学材料は、数十ミクロンの結晶が緻密に焼結した多結晶体である。セラミックスを切削加工した場合、加工表面は脆性破壊されマイクロクラックや加工変質層が形成され加工歪みが残留する。切削条件による加工歪みの抑制や歪み除去プロセスの開発に長年取り組んできたが、本事業では材料からのアプローチを狙う。加工表面に残留する加工歪みは、表面から材料内部へ伝搬されるが、結晶の粒界では吸収、解放されることから、結晶粒の微細化によりセラミックス全体の加工歪みは小さくなる。一方セラミックスの透明性は、光の吸収や屈折が粒界に依存することから結晶粒が大きいほど優れている。また焼結体の空洞も結晶粒の成長とともに減少するため、光が遮光されなくなり見掛

けの透過率が向上する。加工歪みと透過率の2つの観点から、最適な結晶粒径を持つ電気光学材料を開発する。

指 標	目 標 値
電気光学材料において、透過率が高く、加工歪みが伝搬しにくい結晶粒径を、見出す。	最適粒径を見出す。

2-4-2 研究内容

まず、成形圧力、仮焼温度・時間、焼成温度・時間・雰囲気などセラミックス焼成に關与するパラメータを検討して、種々の結晶粒径からなる透明な電気光学材料を作成する。次にこの材料に溝形状を切削加工により形成した。材料内部への加工歪みの伝搬（広がり）は、溝加工した試料断面の漏れ光を観察し、画像解析により加工歪みの広がりを数値化した。



図6 溝加工した試料の漏れ光の観察例

2-4-3 研究成果のまとめ

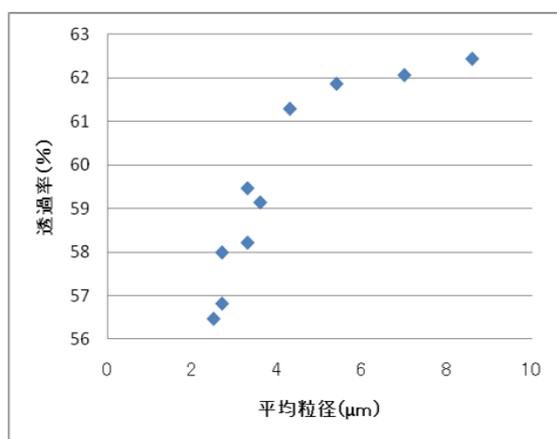


図7 平均粒径と透過率の関係

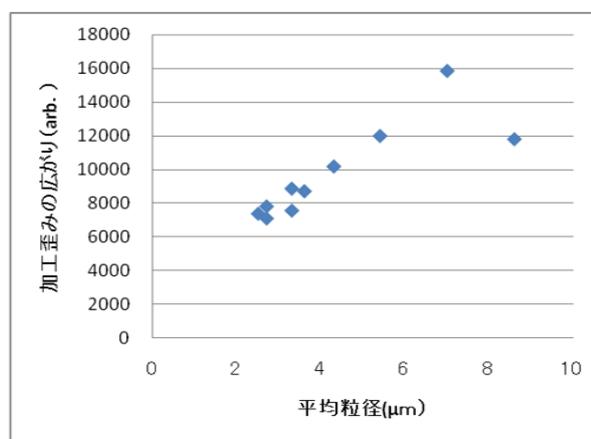


図8 平均粒径と加工歪みの広がりの関係

- (1) 焼結体の平均粒径が 2.3 から 8.6 μm までの透明な電気光学材料が作製できた。
- (2) この焼結体に溝加工した試料断面の漏れ光を観察し加工歪みの広がりを評価した結果、平均粒径が 7 μm 程度で一番歪みが広がり、粒径が小さい、または大きい条件で歪みの広がりが小さいことが分かった。
- (3) 図 7 の透過率と合わせて考慮すると、平均粒径が 5~6 μm 程度が最適であると判断できる。

第3章 全体総括

3-1 全体総括

裸眼3Dディスプレイにおいて、複数の奥行き画像情報を表示するため、応答速度の速い可変焦点レンズの開発が求められている。電気光学材料を用いて可変焦点レンズが実現できれば、川下から求められている応答速度に関する要求を十分満足することができる。

本研究開発では、高速可変焦点レンズの実現に向けて、

- 【1】形状精度向上のための切削加工高精度化への対応
- 【2】ガラス基板と電気光学材料の接合技術高精度化への対応
- 【3】面内歪み分布低減のための切削加工高精度化への対応

の研究テーマを掲げ、以下のサブテーマに従って研究開発を実施した。

サブテーマ	完了時の技術的目標	
	目標値	実績値
①電気光学材料と熱膨張率が等しい材料からなる加工吸着テーブルの開発	コントラスト 1:100 以上 透過光量バラツキ 10%以内	コントラスト 1:450 以上 透過光量バラツキ 3%以内
②最適な温度係数を有するガラス基板材料の開発	熱膨張率差 10%以内 透過率 85%以上 透過光面内バラツキ 5%以内	熱膨張率差 3%以内 透過率 88%以上 透過光面内バラツキ 4%以内
③ガラス基板と電気光学材料の接合技術の開発	透過光の損失 1%以内 接合強度 1N/mm ² 以上	透過光の損失 1%以内 (接合で単体より5%向上) 接合強度 200N/mm ² 以上
④加工歪みが発生しにくい電気光学材料の研究	最適粒径を見いだす。	現行の製造プロセスでは、 5~6 μmが最適。

4つのサブテーマについて、技術的目標値を総てクリアできた。但し、サブテーマ③については、樹脂による接手法で目標値を達成できたが、熱圧着による手法では十分な強度と透明性が得られなかった。デバイス設計における制約を少なくするため、引き続き検討を行う。

3-2 今後の開発計画

(1) 本研究開発では、高速可変焦点レンズを実現するための電気光学材料を用いた複合基板とその最適な切削加工技術を開発した。これらの技術を適用して、シリンドリカル形状の高速可変焦点レンズを作製し、光学デバイスとしての機能を評価する。

(2) サブテーマ③については、樹脂による接手法で目標値を達成できた。しかし樹脂の存在は、デバイス設計、製造プロセス設計において設計の自由度を高めることができない。ガラス粉末による熱圧着、ガラスと電気光学材料を直接熱圧着する接合方法を引き続き検討する。

(3) 立体電極構造を形成するための溝は、立体知覚要因の上下方向の運動視差に対して弊害要素となるため、溝幅は狭い方がよい。電極膜の構成方法について更に改善を行い、開口率の向上を目的とする技術開発を行う。

(4) ディスプレイとして配列する場合、電極部などの非開口部の面積は少なければ少ないほど良い。立体電極構造を形成し、一層飛びに電極を短絡させる方法、及び短絡した電極の取り出す方法によって非開口部の面積が決まる。電極膜の形成方法、レンズアレイのタイリングの精度向上など大面積化、集積化に対する課題を整理し、顧客のニーズにあった開発を行う。

3-3 事業化に向けた取り組み

(1) 前項の技術課題の解決するためには、半導体製造プロセスの設備導入など大掛かりな設備投資が不可欠であり、製造に係わる資金調達は必須である。3D 市場の動向を見極めながら精力的に進めていく。

(2) 光学部品として拡販：裸眼3D ディスプレイの光学系として高速可変焦点レンズの開発を進めてきたが、光通信分野、測定計測分野などへ単体の光学部品として拡販に取り組んでいく。

(3) バリア方式への転用：バリア方式は、レンチキュラレンズ方式に比べ暗くなるというデメリットがあるが、光シャッタ（本研究開発成果である光学デバイスと偏光板との組み合わせ）を、高速時分割駆動させることで解決できる。また固定バリアでは不可能な2Dと3Dの変換も容易にできる。携帯端末機器を対象としたデバイスであれば、高速可変焦点レンズ方式の課題である集積化のハードルが低く早期の製品開発が可能と考えられる。