

平成 21 年度
戦略的基盤技術高度化支援事業

電気光学材料から電子回路システム設計まで
垂直統合した光モジュール化技術の開発

研究開発成果等報告書

平成 22 年 7 月

委託者 経済産業省北海道経済産業局

委託先 株式会社 HVC 戦略研究所

「電気光学材料から電子回路システム設計まで垂直統合した光モジュール化技術の開発」

成果報告書

目次

第1章 研究開発の概要	1
1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標	1
1-2 研究体制	3
1-3 成果概要	6
1-4 当該研究開発の連絡窓口	7
第2章 本論	9
2-1 研究サブテーマ① 高速応答、かつ透明な電気光学材料（PLZT 以外）の検討.....	9
2-2 研究サブテーマ② 光デバイス素子実装方法（接着、溶接）の個別条件検討.....	22
2-3 研究サブテーマ③ 独自の高周波実装技術の確立	31
2-4 研究サブテーマ④ 光モジュールの実システム評価.....	37
2-5 研究サブテーマ⑤ 電子回路設計に際して必要となる材料の評価項目を抽出.....	42
2-6 プロジェクトの運営管理	46
第3章 全体総括	47
3-1 研究開発後の課題	47
3-2 研究開発成果の事業化に向けた取り組み	49

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

(1) 研究開発の背景

インターネットの拡大に伴い増大する情報伝送を支える光通信は、初期段階の point-to-point の単純形態から複雑なメッシュ状のネットワークへと進展している。ネットワークの複雑化に伴い、信号の渋滞区間の回避などルーティング処理が重要になってきているが、複雑な切替システムは一旦電気信号に変換してから行われているのが現状である。

このようなシステムには (a) 高速な光信号を電気信号に変換することによる信号の渋滞、(b) 大容量の信号を電気信号処理する際に生じる膨大な消費電力(2025年には全消費電力のうち25%を通信機器で消費すると言われていた)といった問題があり、次世代のネットワークを開発する川下産業からは、電気信号に変換せず光信号のままで切替(ナノ秒領域)が行われるようなシステムを実現することが求められている。光段での切替に伴い、光信号強度や分散を高速にコントロールすることが必須となることから、今後、光切替モジュールだけではなく様々な処理を行うための高速光モジュールが欠かせない部品となる。

光モジュールは、電気光学素子、液晶素子、MEMS素子等の「光学材料」を内蔵した「光デバイス」と光デバイスを制御する「制御・駆動回路」から構成される(図1-1参照)。従来の光モジュール開発においては、光デバイスの設計において、応答速度がミリ秒オーダーの遅い既存の光学材料を用いなければならず、また、既存の光学材料は、電子的な高速制御回路に最適な設計にはなっていないため、高速化には限界があった。

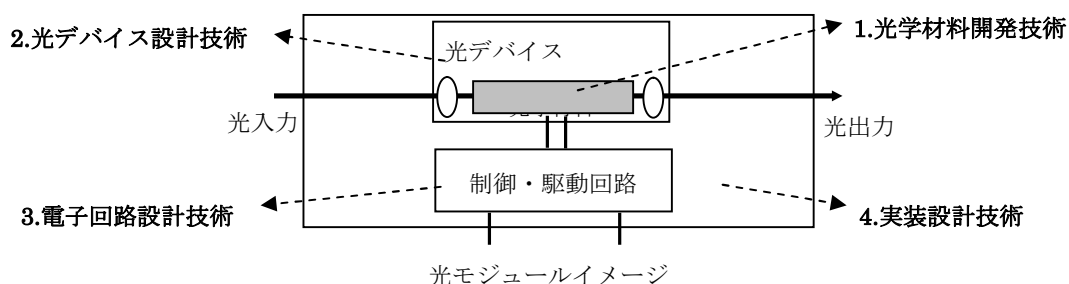


図1-1 光モジュール実現に必要な技術要素

上述のような川下産業の要請である高速光モジュールを実現するためには、「光学材料開発技術」「光デバイス設計技術」「電子回路設計技術」「(モジュール化するための)実装設計技術」といった幅広い技術全てを最大限向上し、「高速化」に向けた全体最適を図るマネジメントの下に組み合わせる総合技術(統合設計技術)が必要となる。

（２）研究開発の目的及び目標

本事業では、トリマティス社のコアコンピタンスである光デバイス設計技術と電子回路設計技術、実装設計技術に、光学材料開発技術（特に PLZT¹以外の電気光学材料²に関する設計技術）を新たに加え、より高速な駆動・制御を可能とする統合設計技術を開発する。

なお、今回開発する統合設計技術は、将来のネットワークに必要な大容量高速処理を可能とする高速光モジュール群（光スイッチモジュール、オートレベルコントローラ³（ALC）、偏波コントローラ、可変波長フィルタモジュール）の重要な基盤技術となるが、本事業では、開発した統合設計技術をトリマティス社保有の特許（可変光減衰器⁴：VOA）に適用することにより、上記に示した高速光モジュール群のうち、オートレベルコントローラを具現化する。

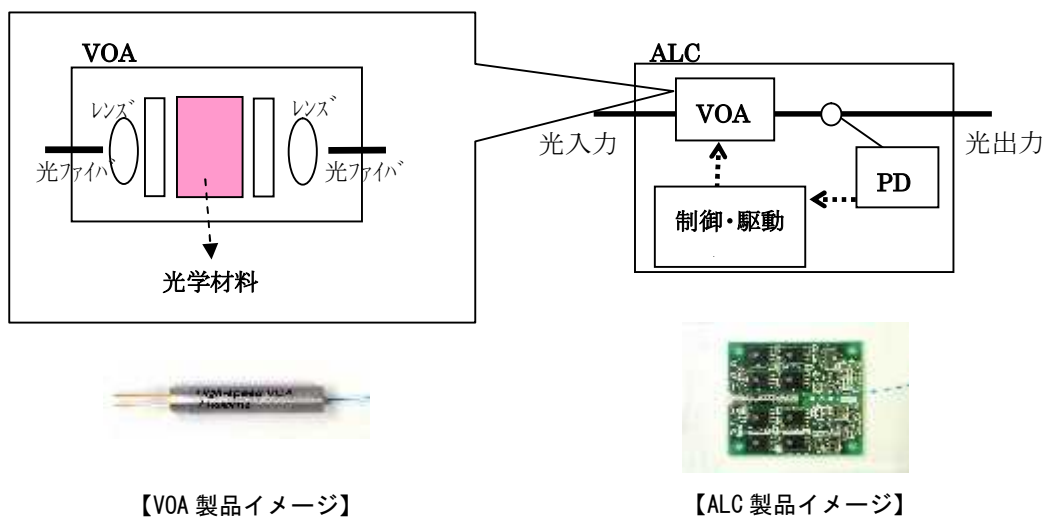


図 1－2 モジュール製品イメージ

¹ PLZT：Pb、Mg、Nb、Ti、O の化合物。電気光学効果が大きいことで有名。

² 電気光学材料：電圧をかけると屈折率が変わる材料

³ オートレベルコントローラ（ALC）：出力強度を自動的に一定にする制御システム。

⁴ 可変光減衰機（variable optical attenuator；VOA）：光信号の透過強度を自在に制御可能な光デバイス。

1－2 研究体制

(1) 研究組織（全体）

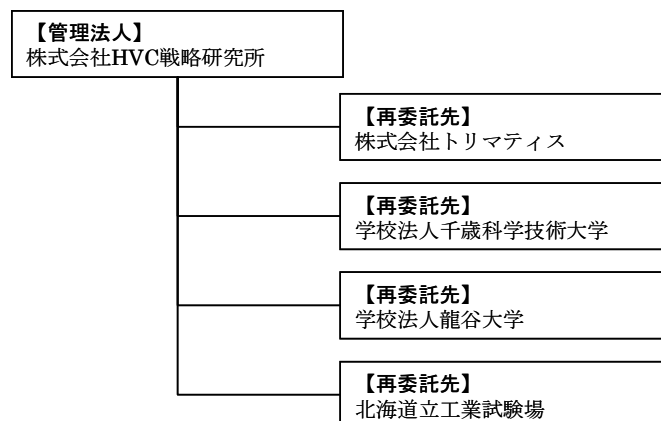


図 1－3 研究組織図

■総括研究代表者（PL）

株式会社トリマティス 取締役 R&D センター長 長枝 浩

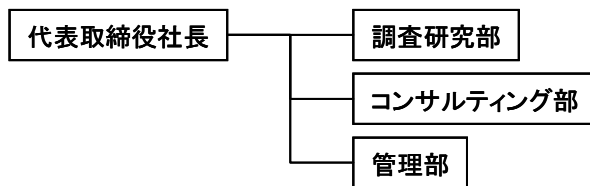
■副総括研究代表者（SL）

学校法人千歳科学技術大学総合光科学部

グローバルシステムデザイン学科 教授 山林 由明

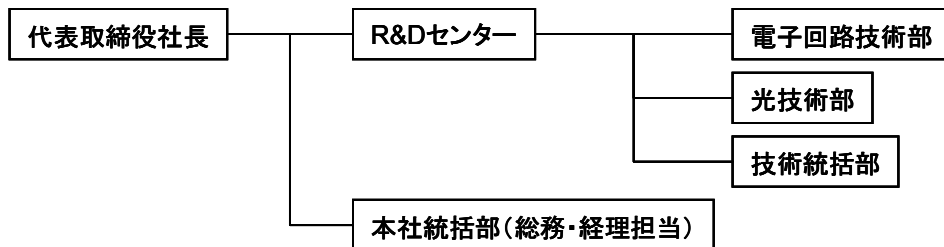
(2) 管理体制

①事業管理者 株式会社HVC戦略研究所

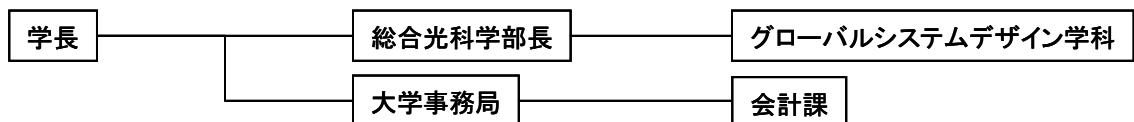


②再委託先

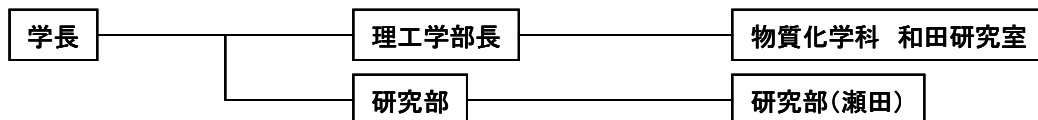
【株式会社トリマティス】



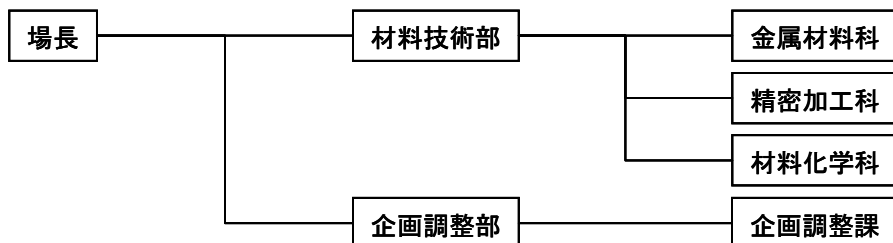
【学校法人千歳科学技術大学】



【学校法人龍谷大学】



【北海道立工業試験場】



(3) 研究者及び協力者・アドバイザー

【管理法人】株式会社 HVC 戦略研究所 (管理員のみ)

氏 名	所属・役職
清水 友康	取締役 調査研究部長
桶川 幸一	取締役 コンサルティング部長
依田 知則	調査研究部研究員
竹永 みどり	管理部

【再委託先】株式会社トリマティス

氏 名	所属・役職
長枝 浩	取締役 R&D センター長
志賀 代康	取締役 電子回路技術部長
及川 陽一	技術統括部長
佐藤 弘幸	光技術部
石田 弘生	技術統括部
佐藤 典彦	電子回路技術部
三島 直之	光技術部

【再委託先】学校法人千歳科学技術大学

氏 名	所属・役職
山林 由明	総合光科学部グローバルシステムデザイン学科 教授

【再委託先】学校法人龍谷大学

氏 名	所属・役職
和田 隆博	理工学部物質化学科 教授

【再委託先】北海道立工業試験場

氏 名	所属・役職
田中 大之	材料技術部金属材料科 科長
片山 直樹	材料技術部精密加工科 科長
中嶋 快雄	材料技術部金属材料科 研究職員
板橋 孝至	材料技術部材料化学科 研究職員

【協力者・アドバイザー】日本電信電話株式会社

氏 名	所属・役職
吉本 直人	アクセスサービスシステム研究所 主幹研究員

1-3 成果概要

各研究サブテーマ、実施概要及び技術目標とそれぞれの研究成果については、以下のとおりである。

本研究プロジェクトでは、材料開発からシステム検証までを垂直統合した研究開発を実施し、最終目標としていた高速光オートレベルコントローラの具現化に成功した。研究当初に掲げた各研究サブテーマの技術目標についても、すべて達成することができた。

また、開発品（オートレベルコントローラ）の最終的なシステム評価結果については、川下企業側が要求するビットエラーレート 10^{-9} 以下を実現する 10^{-10} 以下の結果を得ることができた。

研究サブテーマ① 高速応答、かつ透明な電気光学材料（PLZT 以外）の検討

項 目	内 容
実施概要	PLZT とは全く別の化合物により、高速応答、かつ光学的に使用可能（透明）な材料を開発する。ターゲットは圧電材料 PMN-PT である。
技術目標	透過率 80%以上、応答時間 300 ナノ秒以下
研究成果	透過率 94%、応答時間 210 ナノ秒を実現 【技術目標達成】

研究サブテーマ② 光デバイス素子実装方法（接着、溶接）の個別条件検討

項 目	内 容
実施概要	光デバイス素子実装方法（接着、溶接）の個別条件を調査、設計する
技術目標	駆動電圧範囲 20V 以下
研究成果	減衰量ダイナミックレンジ 50dB を駆動電圧範囲 15V で実現 【技術目標達成】

研究サブテーマ③ 独自の高周波実装技術の確立

項 目	内 容
実施概要	部品周波数特性の個別評価を行い、それらの評価結果を考慮した上で、高周波シミュレーションの再構築を行うことによる独自の高周波実装技術の確立
技術目標	光モジュールとしての応答時間 500 ナノ秒以下
研究成果	光モジュールとしての応答時間 210 ナノ秒を実現 【技術目標達成】

研究サブテーマ④ 光モジュールの実システム評価

項 目	内 容
実施概要	各光モジュールの実システム評価
技術目標	エミュレーション方法の確立とビットエラーレート 10^{-9} 以下
研究成果	エミュレーション方法を確立し、その方法による評価結果、オートレベルコントローラ挿入により、ビットエラーレートが 10^{-10} 以下 【技術目標達成】

研究サブテーマ⑤ 電子回路設計に際して必要となる材料の評価項目を抽出

項 目	内 容
実施概要	電子回路設計に際して必要となる材料の評価項目を抽出
技術目標	電子回路設計者から、材料設計者への仕様の提示
研究成果	設計手法を確立し、その有用性を実証した 【技術目標達成】

1－4 当該研究開発の連絡窓口

〔研究開発内容に関する連絡窓口〕

会社名	株式会社トリマティス
窓口担当者	取締役 志賀 代康
電話番号	047-379-4400
ファックス	047-370-0010
E-mail	shiga@trimatiz.com

〔事業全体に関する連絡窓口〕

会社名	株式会社 HVC 戦略研究所
窓口担当者	調査研究部 依田 知則
電話番号	011-738-7585
ファックス	011-738-7593
E-mail	hvc@hokkaido-vc.com

第2章 本論

2-1 研究サブテーマ① 高速応答、かつ透明な電気光学材料（PLZT 以外）の検討

本サブテーマでは、高速応答オートレベルコントローラのキーパーツである高速可変光減衰器に使用する電気光学素子を開発する。電気光学材料として高い電圧定数を有していることが明らかとなっている PMN-PT（Pr、Mg、Nb、Ti、O の化合物）をターゲットとし、3 種類の母体材料（①パラメータを変えて試作した PMN-PT セラミック、②既存の PMN-PT セラミック、③単結晶 PMN-PT）について検討、加工試作および透過率、応答性能等の評価を行った。

これらの検討により得られた電気光学素子のうち、ベストパフォーマンスの素子を用いて光デバイス製造、光モジュール製造を行う。本サブテーマで掲げた技術目標「透過率 80%以上、応答時間 300 ナノ秒以下」は、3 種類のいずれかの母体材料による素子により達成することを目指した。

【本サブテーマの実施内容と実施担当】

項 目	内 容	
内容説明	高速応答が可能なオートレベルコントローラを作成するためには、まず、キーパーツである高速可変光減衰器に使用する電気光学材料を選定する必要がある。電気光学材料として PMN-PT（Pr、Mg、Nb、Ti、O の化合物）をターゲットとしており、高い圧電定数を有していることがわかっていることから、電気光学効果に関しても高い値を有する可能性がある材料として考えられる。 そこで本サブテーマでは、①パラメータ（原料配合比と焼成温度等）を変えて試作した PMN-PT セラミック、②既製の PMN-PT セラミック、③単結晶 PMN-PT を母材料とした計 4 パターン以上の電気光学素子を作製した。 作製した素子については、バースト光波形測定器や光－電気信号ハイブリッド周波数特性測定器を用いた応答特性評価、さらにはレーザ光源や光パワーメータを用いた透過率評価を行い、技術目標を達成する素子を選択した。	
担 当	トリマティス	材料設計、材料試作、光学面の評価
	龍谷大学	材料設計、誘電率評価
	道立工業試験場	組成および結晶構造評価

【本サブテーマの技術目標と研究成果】

技術目標	透過率 80%以上、応答時間 300 ナノ秒以下	
研究成果	①試作した PMN-PT セラミック	透過率は最大 91.6%を確認したが、応答時間は測定不能。
	②既成の PMN-PT セラミック	透過率 94%、応答時間は少なくとも 210 ナノ秒。【目標達成】
	③単結晶 PMN-PT	予想外の現象が生じ、短期間で解析・改良は無理と判断し、検討中止。

2-1-1 個別研究内容および結果

(1) 試作した PMN-PT セラミックスの検討

①材料試作

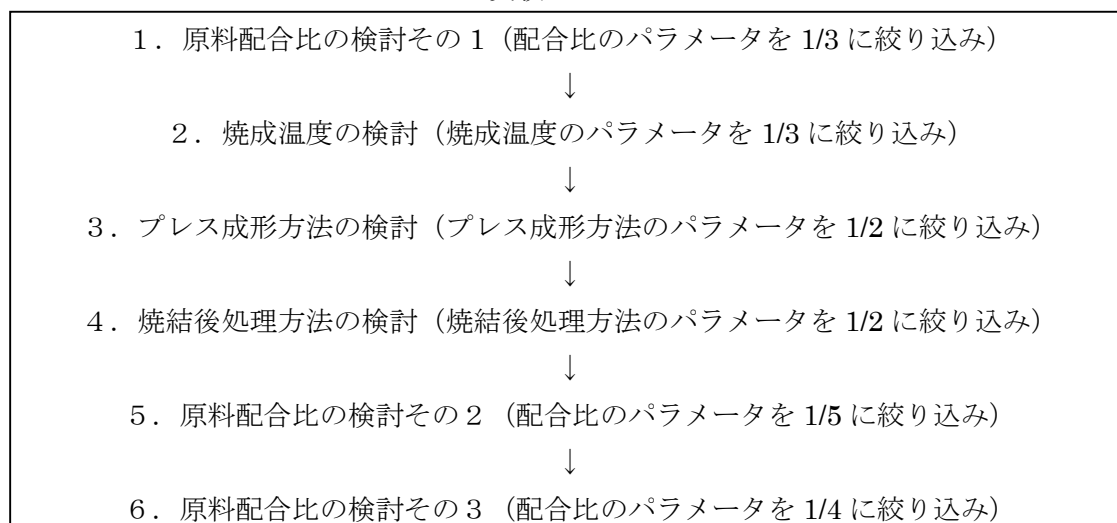
パラメータとして、当初想定をしていた原料配合比と焼成温度に加え、プレス成形方法、焼結後の追加処理方法も検討した。各パラメータの検討パターン数は下記の通り。

- ・原料配合比：60 パターン
- ・焼成温度：3 パターン
- ・プレス成形方法：2 パターン
- ・焼結後処理方法 2 パターン

合計 720 通りのパターンが存在するが、下記実験フローにて効率的に実験数を減らすことにより、最終的には 35 種類の試作を行った。

パラメータ設定の手順は下記の通り。

<実験フロー>



1～4 項に関しては、主にプロセス条件の検討であり、出来上がった結晶の結晶性評価 (XRD 分析) の結果を基に条件出しを進めた。また、5～6 項に関しては、透明性を向上させるための原料配合比の検討であり、透過率の測定結果を基に条件出しを進めた。最終的に、出来上がった試作サンプルに関しては、電気光学特性評価および不純物分析評価を行い、光デバイス材料 (可変光減衰器材料) としての適正を評価した。

②－１ 材料評価（透過率評価）

上記で試作した 35 サンプルに関して、可視光光源による透過率評価を行った。図 2－1 にその結果を示す。横軸は実験の時系列（上記①で示した実験フローの順番）で並んでおり、縦軸は透過率を表している。表面及び裏面におけるフレネル反射の影響は除去しており、純粹に光線が材料を透過する際に損失する光量（散乱、吸収等）を考慮している。

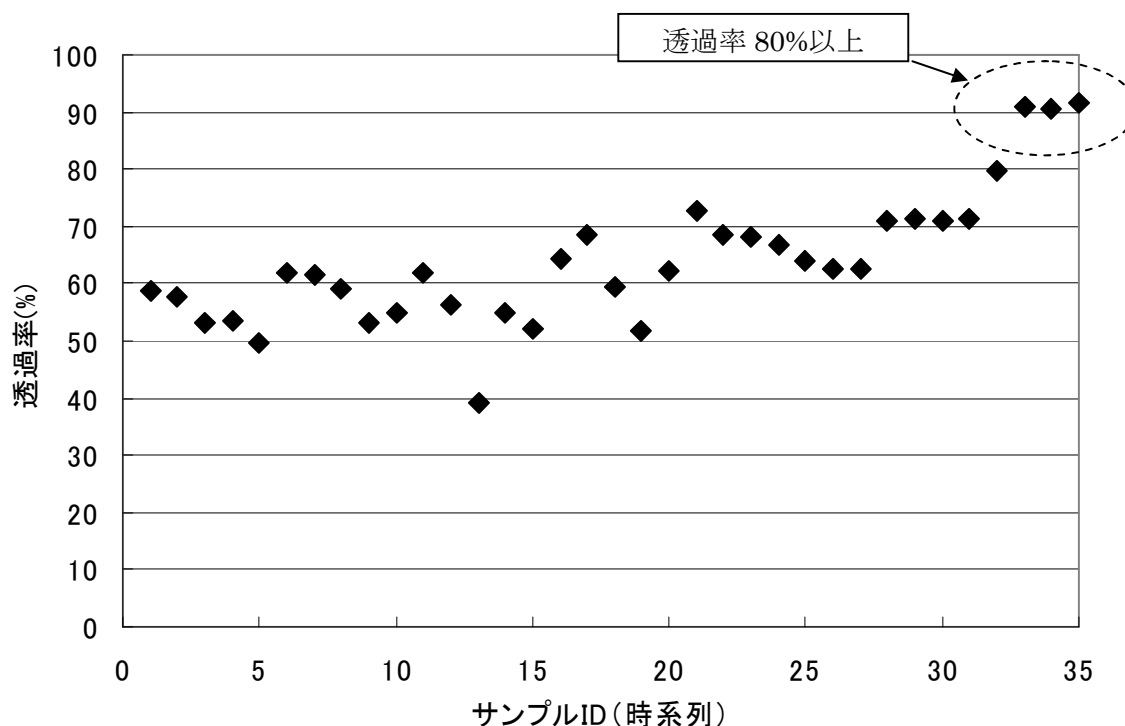


図 2－1 試作した PMN-PT の透過率

検討を重ねるに連れて透過率が上昇していることがわかる。最後の原料配合比のパラメータ 4 種類の検討により、透過率 90%以上（サンプル#35 において最大透過率 91.6%）となる条件を見いだすことができた。研究当初の目標は透過率 80%以上であったことから、試作した PMN-PT セラミックの透過率に関しては目標を達成したことが確認された。

②－２ 材料評価（電気光学特性評価）

【測定系概要】

実際の可変光減衰器と同様に、反射－２ 芯系で評価を行った。光源から光ファイバを通じて 2 芯コリメータに光を導入し、2 芯コリメータから出力されたコリメート光を、偏光子を通して電気光学素子（PMN-PT 素子）に入射する。電源により電圧を印加することにより、電気光学素子の屈折率が変化することから、出力光のパワーメータ値から電気光学特性を測定することができる。その測定系を図 2－2 に示す。

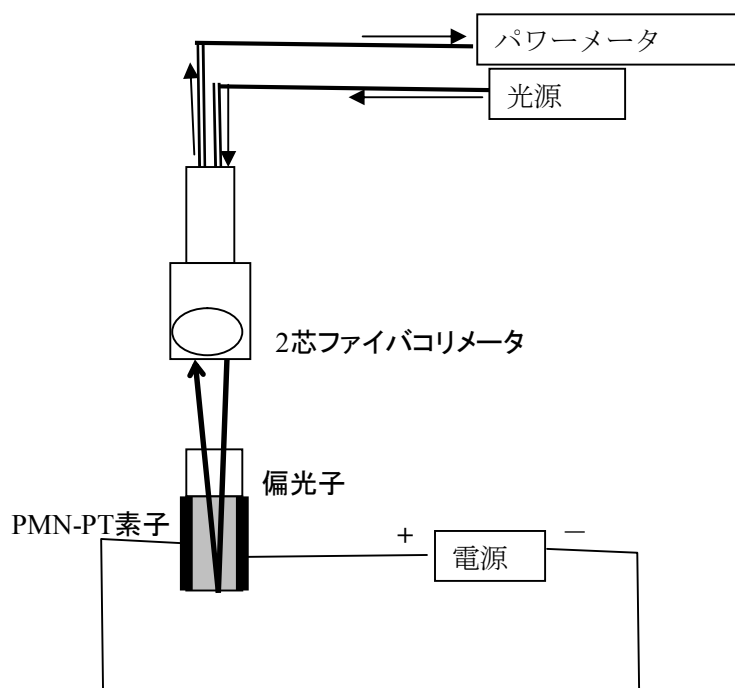


図 2－2 評価系

【測定結果】

最適透過率のサンプルに関して電圧－透過率特性の測定を行った。電圧印加により透過率の変化が起こるが、消光比が非常に悪い（3dB 程度）こと、調整箇所によりその特性が大きく異なることが影響し、測定データの取得が出来なかった。調整箇所による違いが見えていることから、電圧印加時に電極間における屈折率分布が生じていると推測される。透明性では判断できないグレインやドメインの移動に関して、理想状態にはなっていないことがわかった。

電気光学特性の測定ができなかったことから、応答速度の測定も行うことが出来なかった。（うまく応答しなかったため）

今後は、場所依存性をより詳細に解析することにより、試作品における電気光学効果の挙動を明らかにして、従来の PLZT と同様の理想応答を目指す。

②－3 材料評価（不純物分析（SEM/EDS 分析））

最適透過率のサンプルについて、SEM（走査型電子顕微鏡）による観察、および EDS(energy dispersive X-ray spectrometry) によるグレイン内部、グレイン境界における元素組成分析を行った。SEM 像を図 2－3 に、EDS 分析スペクトルを図 2－4、2－5 に、組成定量分析結果を表 1 に示す。

SEM 像からグレインサイズは概ね $5\sim 15\mu\text{m}$ 程度と推定される。これは設計段階で想定された範囲に入る。また、EDS 分析の結果（表 2－1）からわかることは、グレインの内部とグレイン境界で組成の違いが見られないということ、すなわち、グレイン境界部に不純物質の吸着や過剰元素の析出は無いということがわかった（EDS 分析では 2-3%程度の誤差が生じる。今回の 4 つの分析結果はこの範囲内に入る）。

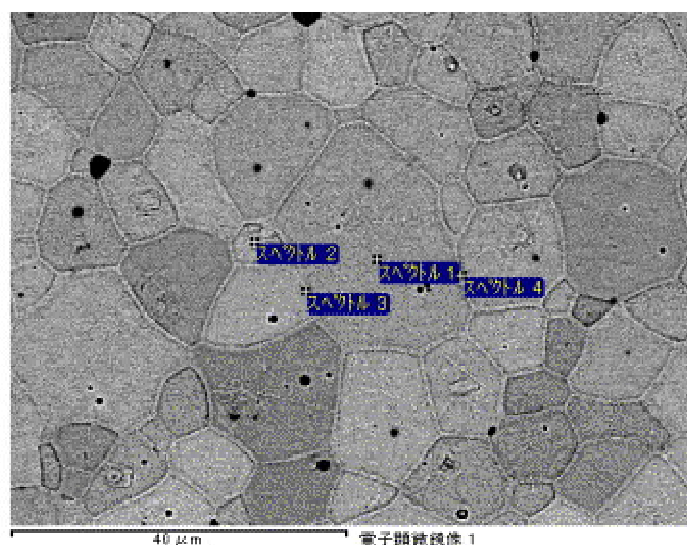


図 2－3 SEM 像（サンプル#35）

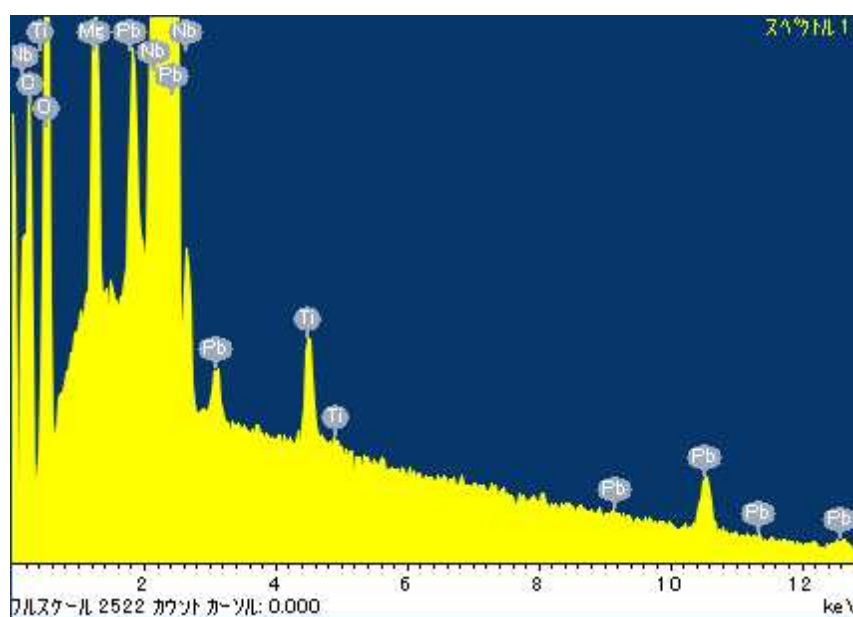


図 2－4 グレイン内部 EDS スペクトル（サンプル#35、スペクトル 1）

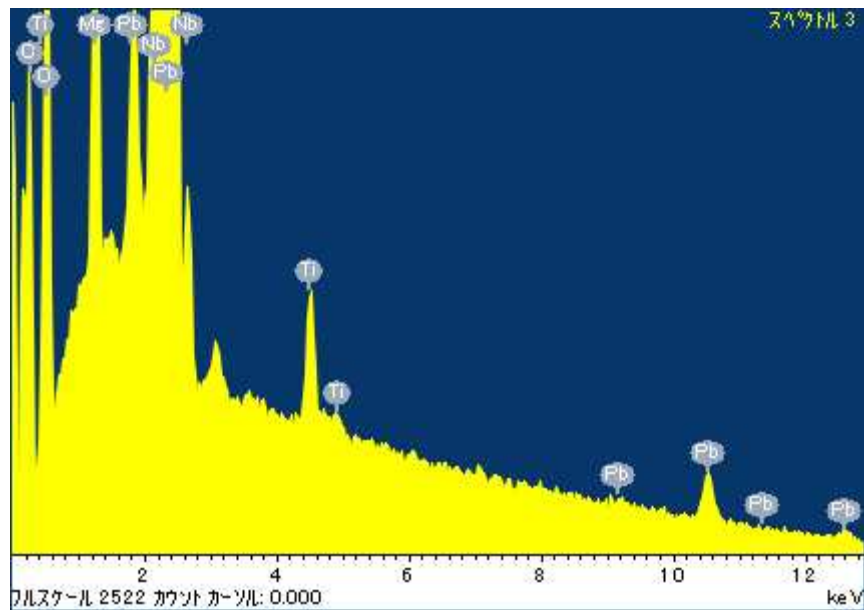


図 2 - 5 グ레인境界部 EDS スペクトル (サンプル#35、スペクトル 3)

表 2 - 1 組成定量結果 (サンプル#35)

元素	スペクトル1		スペクトル2		スペクトル3		スペクトル4	
	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]
Mg	2.8	15.3	2.7	14.8	3.0	16.0	2.9	15.4
Ti	1.9	5.3	1.9	5.3	2.1	5.8	2.0	5.4
Nb	24.5	34.7	24.5	34.8	24.4	34.2	24.6	34.7
Pb	70.7	44.8	70.8	45.1	70.4	44.1	70.6	44.6

②－４ 材料評価（結晶性評価（XRD 分析））

最適プロセス条件が確定したサンプル（#28）と確定前のサンプル（#3）に関して XRD スペクトルを測定し、比較した。Bragg 反射して強め合う結晶方位角度と一致すると、ピークが現れるが、図 2－6 の図中の「○」の位置が理想的な PMN-PT のペロブスカイト相のピーク、「×」の位置がパイロクロア相と呼ばれる不純相のピークとなっている。#3 ではパイロクロア相が大きく出ていることがわかるが、#28 では消えている。#28 以降は、製造プロセス条件を踏襲していることからパイロクロア相は確認されていない。

従って、結晶性に関しては良好なサンプルが出来ていることがわかった。

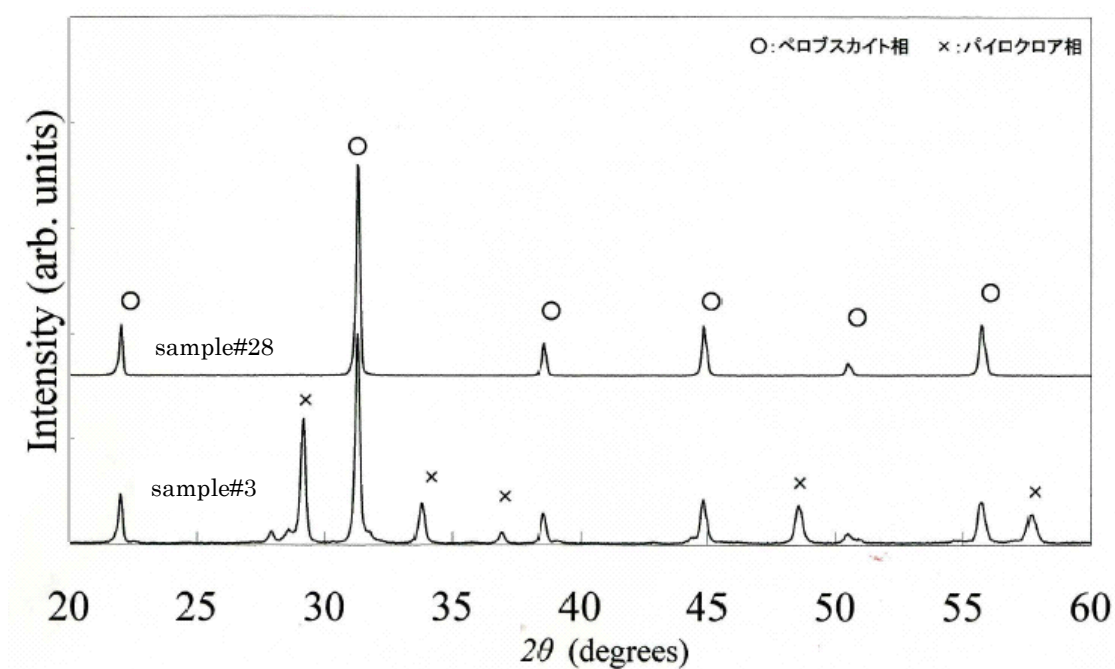


図 2－6 試作した PMN-PT セラミックスの XRD スペクトル

(2) 既成（市販品）の PMN-PT セラミックスの検討

①－1 材料評価（結晶性評価（XRD 分析））

購入した PMN-PT セラミックスに関して、まず結晶性の評価を行った。図 2－7 に XRD スペクトルを示す。図 2－6 のパイロクロア相にあたるピークが見えないことがわかる。

従って、結晶性としては良好な材料であることが確認された。

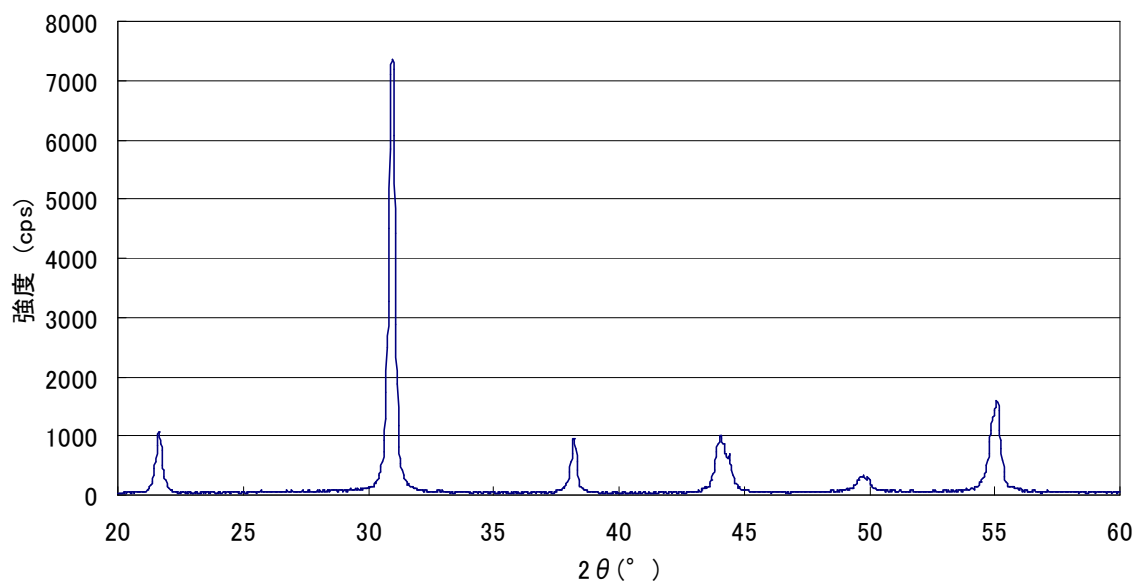


図 2－7 購入した PMN-PT セラミックスの XRD スペクトル

①－２ 材料評価（不純物分析（SEM/EDS 分析））

試作した PMN-PT と同様、購入した PMN-PT セラミックに関して SEM による観察、および EDS によるグレイン内部、グレイン境界における元素組成分析を行った。SEM 像を図 2－8 に、EDS 分析スペクトルを図 2－9, 2－10 に、組成定量分析結果を表 2－2 に示す。

試作した PMN-PT セラミックと同様、SEM 像からグレインサイズは概ね $5\sim 15\mu\text{m}$ 程度と推定される。また、EDS 分析の結果（表 2－2）からわかることは、試作した PMN-PT と同様、グレインの内部とグレイン境界で組成の違いが見られないこと、すなわち、グレイン境界部に不純物質の吸着や過剰元素の析出は無いということがわかった。

従って、購入した PMN-PT の組成やグレイン境界の析出に関しても問題が無いことが確認された。

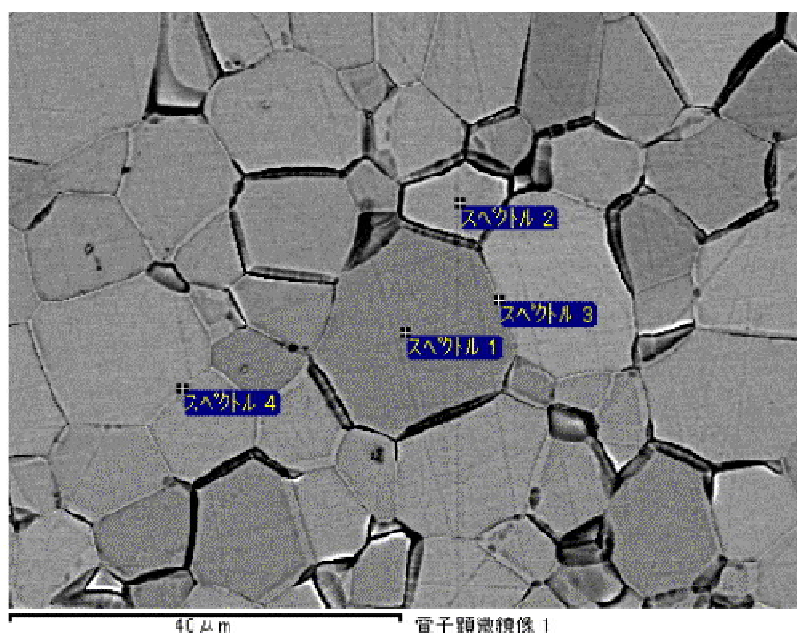


図 2－8 SEM 像（購入した PMN-PT 材料）

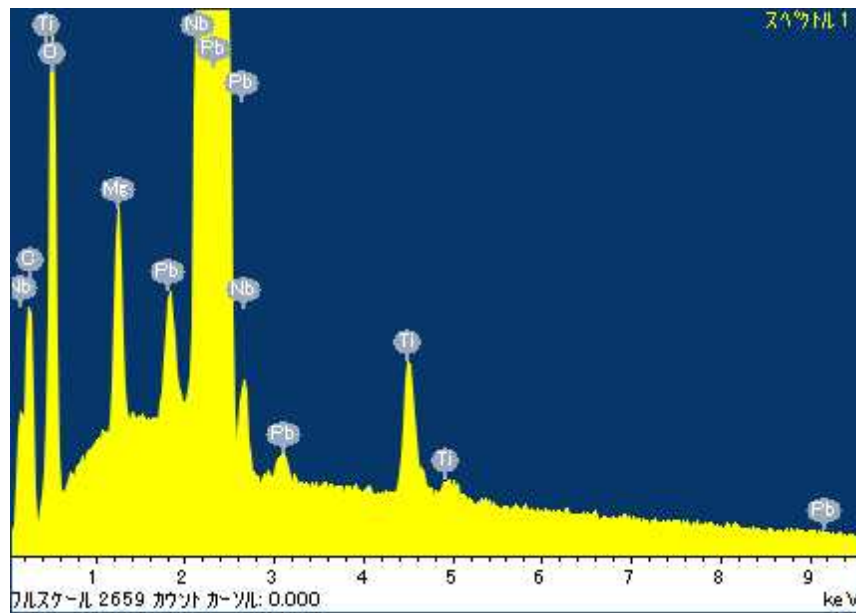


図 2－9 グ레인内部 EDS スペクトル（購入した PMN-PT 材料、スペクトル 1）

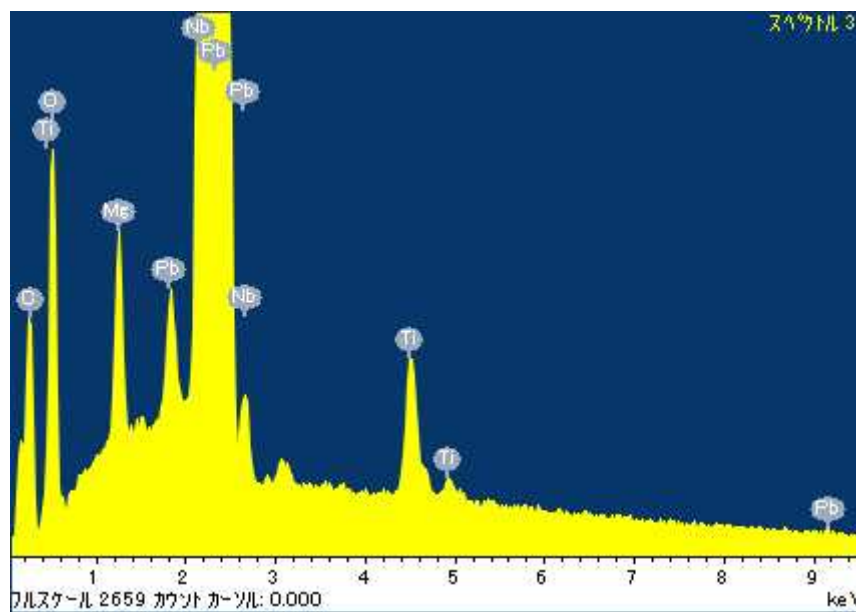


図 2－10 グ레인境界部 EDS スペクトル（購入した PMN-PT 材料、スペクトル 3）

表 2－2 組成定量結果（購入した PMN-PT 材料）

元素	スペクトル1		スペクトル2		スペクトル3		スペクトル4	
	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]	質量濃度 [%]	原子数 濃度[%]
Mg	2.5	13.4	2.6	13.7	2.4	12.7	2.4	13.1
Ti	4.2	11.3	4.3	11.6	4.3	11.8	4.2	11.5
Nb	21.9	30.6	21.9	30.4	21.6	30.4	21.2	29.9
Pb	71.4	44.7	71.2	44.3	71.7	45.2	72.2	45.6

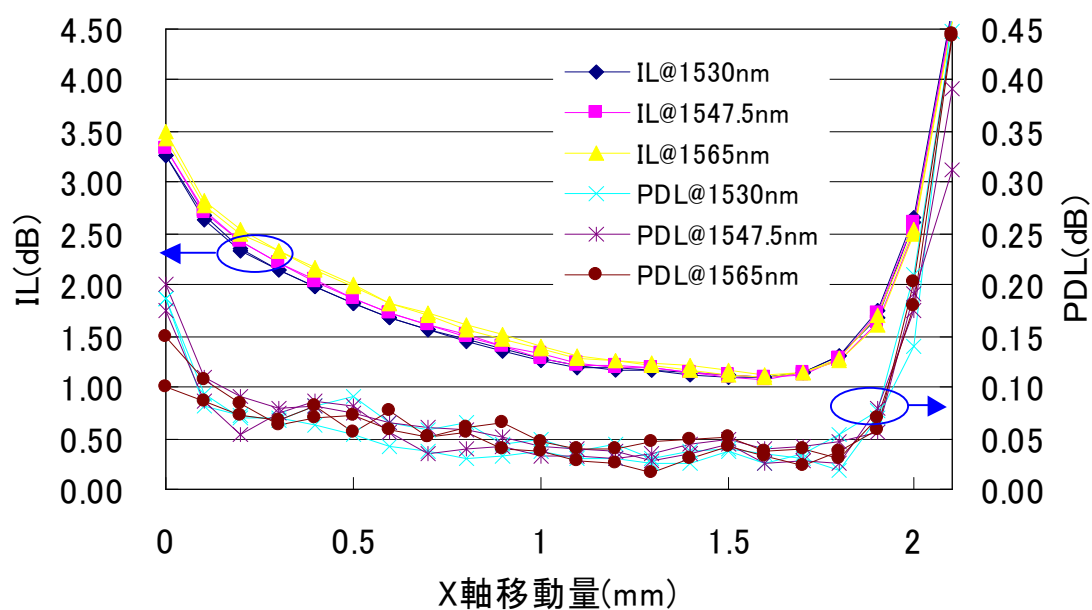
①－３ 材料評価（透過率評価）

透過率の評価は、前掲図 2－2 と同じ 2 芯コリメータ系で行った。電気光学素子の光学入射面には AR（反射防止）コーティング、反射面には HR（全反射）コーティングを施した。波長は 1550nm 帯の光源を使用している。素子幅を 2.5mm に設定し、幅方向における透過率の違いも同時に測定した。その結果を図 2－1 1 に示す。横軸は幅方向の位置、左縦軸は損失値の dB 表示、右縦軸は偏光依存性損失（PDL）について dB 表示している。

まずこの結果からわかることは、最小損失値が 1.1dB となっており、コリメータ損失 0.87dB を差し引くと、材料における損失は 0.27dB、すなわち損失が 6%（透過率 94%）となっていることである。試作した最適条件と同等の高い透過率であり、目標（80%以上）をクリアすると共に、実用上でも問題の無い範囲であることが判明した。

また、幅方向に比較的広い範囲（0.75mm 程度）で透過率の良い領域が存在することから良好な製造性（量産性）も期待できる。

偏光依存性損失（PDL）に関しても 0.05dB 程度と問題にならないことがわかった。



※IL値は二芯コリメータの損失を含む（-0.87dB）

図 2－1 1 購入した PMN-PT 素子の透過率測定結果

①－４ 材料評価（応答特性評価）

応答特性の評価も、前掲図 2－2 と同じ 2 芯コリメータ系で行った。透過率の測定と同様に、電気光学素子の光学入射面には AR（反射防止）コーティング、反射面には HR（全反射）コーティングを施した。波長は 1550nm 帯の光源を使用している。その結果を図 2－1 2 に示す。横軸は時間（ μsec ）、光信号出力値（V、リニア表示）を表している。

この結果からわかることは、駆動回路の応答を含んだモジュールの応答でも 210 ナノ秒の応答時間を実現しているということである。VOA 駆動電圧の応答時間も 200 ナノ秒近くとなっており、「モジュールの応答－駆動回路の応答」である電気光学材料としての応答時間は、100 ナノ秒以下であることが推定される。少なくとも、210 ナノ秒は実現していることから、目標の 300 ナノ秒以下は達成していることが確認された。

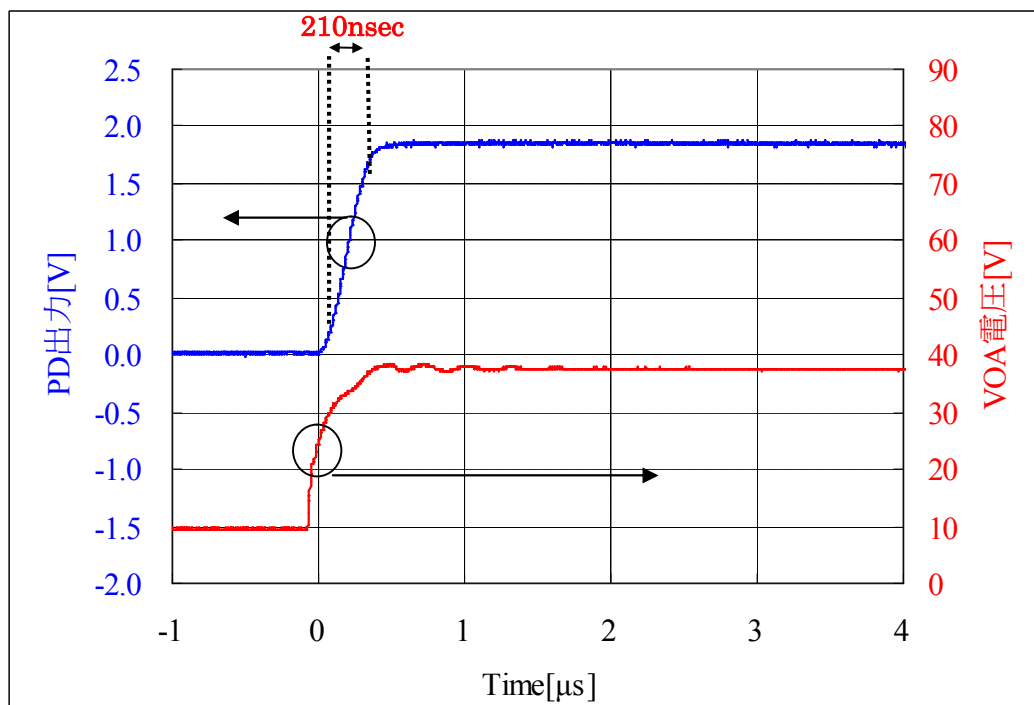


図 2－1 2 応答特性評価結果

(3) PMN-PT 単結晶の検討

① 粗検討結果

PMN-PT 単結晶を加工後、まず、前掲図 2-2 の測定系にて電気光学特性の測定を行った。その結果を図 2-13 に示す。横軸が印加電圧、縦軸が透過光量 (dB) を表している。

測定を行った際、以下のような予想外の現象が起きた。

- ・再現が全く取れない結果となったこと
- ・電圧印加後、恒常的に結晶が白濁する現象が発生
- ・白濁後は電圧-減衰量特性の計測不可となる
- ・白濁結晶を 100℃以上にアニールすることにより透明に戻る

上記のような予想外の現象が確認されたことから、短期間での解析、改良は無理と判断し、本研究の中での検討はこの段階で中止した。

ただし、わずか 10V の変化で 20dB ものダイナミックレンジが得られている (−20V〜−10V 付近) ことから、当初想定していたポテンシャルを有することが期待できることから、今後、基礎検討を行うことにより、PMN-PT 単結晶を使いこなす技術開発を行う予定。

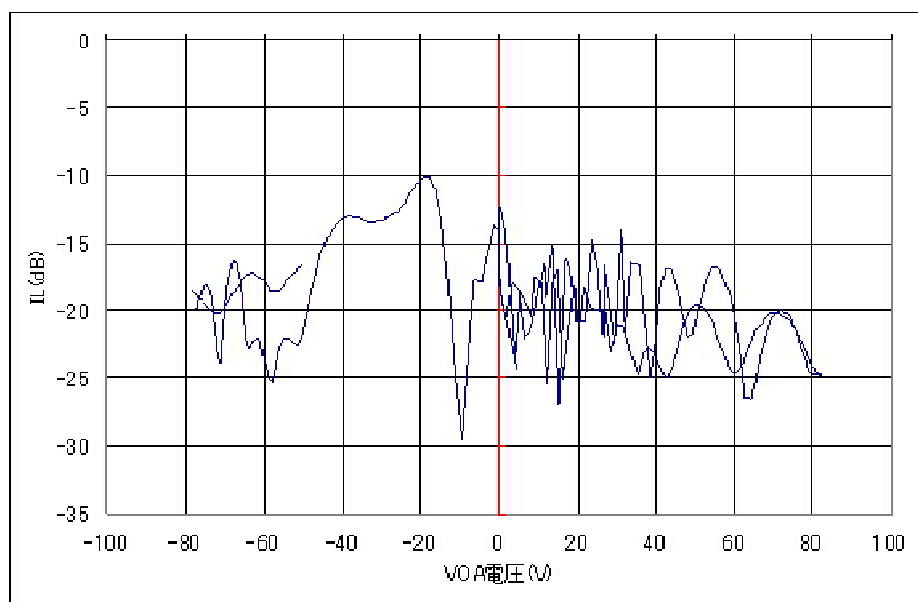


図 2-13 PMN-PT 単結晶素子の電気光学特性測定結果

2-2 研究サブテーマ② 光デバイス素子実装方法（接着、溶接）の個別条件検討

オートレベルコントローラのキーパーツである高速可変光減衰器に電気光学材料を実装する工程では、良好な特性を得るために出来るだけ素子に応力がかからないような実装が必要になる。

そこで本サブテーマでは、可変光減衰器として高性能を発揮するため、電気光学素子に出来るだけ応力与えない構造とすること、出来るだけ過剰損失が生じない構造とすることに主眼を置いて、①光学部材形状の検討、②機構部材形状の検討、③接着剤の選択、④組立手順の検討を行った。また上記①～④の検討で得られた結果、知見を利用して、実際に可変光減衰器を作製し、評価を行った。

【本サブテーマの実施内容と実施担当】

項 目	内 容	
内容説明	高速可変光減衰器（オートレベルコントローラのキーパーツ）に研究サブテーマ①で得られた高速応答を有する電気光学材料を実装する工程で、電気光学素子に応力が生じると、応答性能や電気光学効果に悪影響を与えることから、出来るだけ素子に応力がかからないような実装が必要になる。一般的には、光学部品のサイズを大きくすることで応力の集中を軽減することが可能となるが、光学部品サイズの拡大は駆動電圧の増大（電極間距離が大きくなるため）というデメリットにつながることから、光学部品のサイズを大きくせず（すなわち駆動電圧を大きくせずに）に応力を軽減できる実装方法を見いだす必要がある。 そこで本サブテーマでは、①光学部材形状の検討、②機構部材形状の検討、③接着剤の選択、④組立（溶接）手順の検討を行い、サブテーマ①実現した電気光学材料の応答特性を損なわずに駆動電圧 20V 以下となる可変光減衰器を作製し、評価を行なった。	
担 当	トリマティス	実装設計、プロセス設計、光学設計
	千歳科学技術大学	電気面の評価

【本サブテーマの技術目標と研究成果】

技術目標	駆動電圧範囲 20V 以下
研究成果	駆動電圧範囲 15V 以下 【目標達成】

2-2-1 個別研究内容および結果

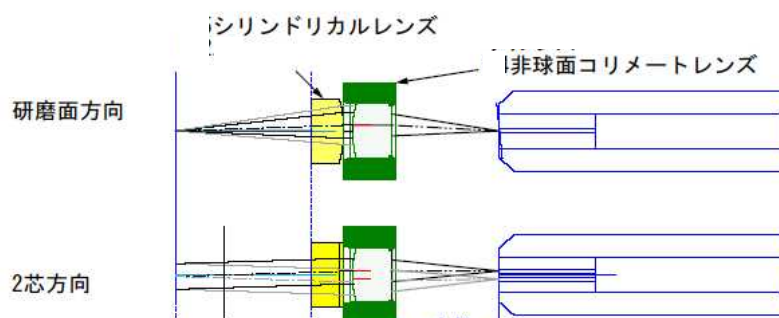
(1) 光学部材形状の検討

①検討内容

従来の構造では、コリメートレンズとして非球面レンズを使用し、集光レンズとしてシリンドリカルレンズを使用していた。これら個別のレンズをアセンブリすることにより、コリメータを構成していた。しかし、アセンブリ工程により、位置精度のバラツキにより結合損失が避けられなかった。また、組立時の応力のバラツキにより、電気光学特性にも影響が及んでいた。

今回、非球面レンズとシリンドリカルレンズの機能を一つのレンズで実現する新レンズを設計・試作することにより、透過損失の向上とともに、電気光学特性の向上（特に駆動電圧の低減）を目指した（図2-14参照）。

①現行タイプ（非球面・シリンドリカル別）



②新タイプ（非球面・シリンドリカル一体）

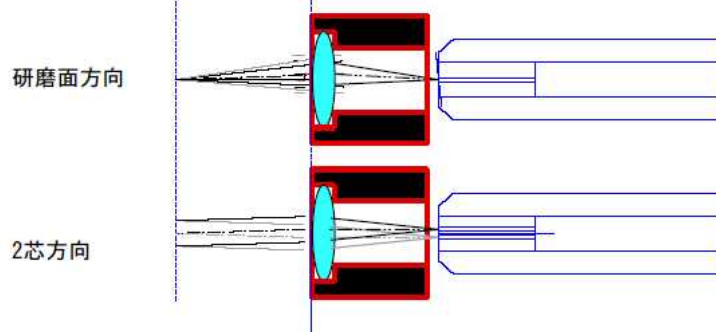


図2-14 新しいレンズ構成

②検証結果

コリメート結合損失が、従来構造であれば0.7dB程度（15%損失）であったが、新構造により0.4dB（9%損失）になり、6%改善した。

（２）機構部材形状の検討

①検討内容

今回試作する可変光減衰器では楔形ルチルを使用することから、すべての素子を直線上に並べることができない構造となっている。従来技術では、光路を曲げることで対応してきたが、光路を曲げることで、機構部材に余分な応力がかかり特性（特に電気光学特性）にバラツキが生じることに加え、アSEMBリのコストの増加の原因にもなっていた。

そこで今回、機構部材に工夫を加えることにより、光学部品自体を傾けて配置し、光路を直線化することを検討した。図 2-15 が従来の構造で、図 2-16 が改良後の構造となる。改良後には電気光学素子、ルチルを配した本体とコリメータが傾かず、面接合できることから余分な応力が掛からない構造とすることができる。同時に、面接合が可能になることから角度調整が比較的楽になり、組立時間の短縮にもつながる。

本検討の結果は可変光減衰器としての特性（駆動電圧）に現れることから、後述する光デバイスとしての評価結果に含まれる。

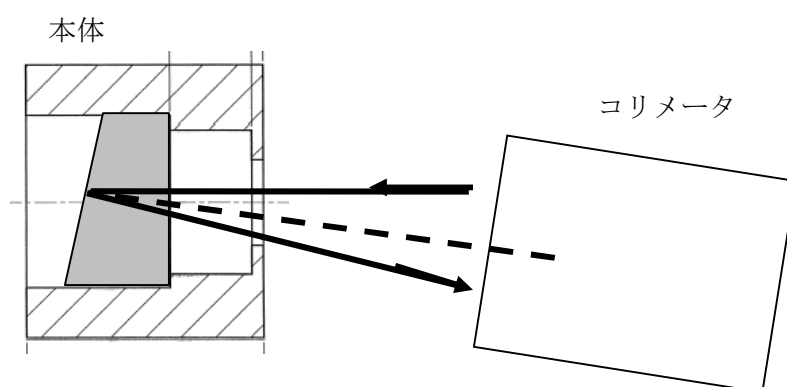


図 2-15 改良前の機構（コリメータと本体が傾いて接合してしまう）

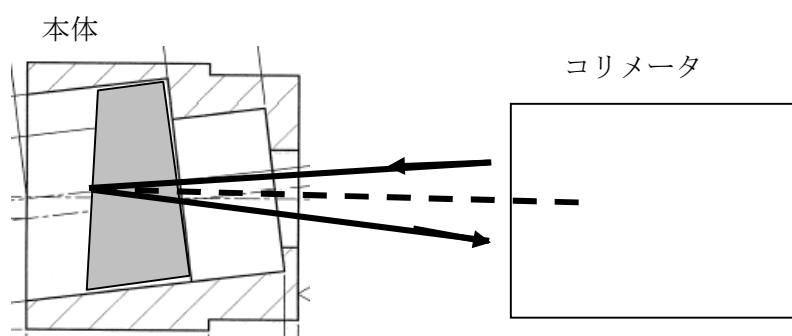


図 2-16 改良後の機構（コリメータと本体と本体が傾かずに接合できる）

(3) 接着剤の検討

①検討内容

電気光学素子、ルチルの一体化接着を採用することにより、電気光学素子と機構部材（金属）との直接接着箇所をなくし、熱応力の緩和を狙う。そこで、電気光学素子、ルチル（偏光子）を固定するための接着剤について検討を行った。電気光学素子とルチルの接着構造は図2-17に示す。光路中に接着剤を挿入することを避けるため、側面接着の構造を採用した。本構造を採用するにあたり、まず、必要な検討要素について抽出した。

○接着剤選定の際に考慮すべき要素

- ・粘度（毛細管現象が起こらない程度）
- ・UV＋熱効果併用であること
- ・硝子転位温度（100℃以上）
- ・入手が容易であること

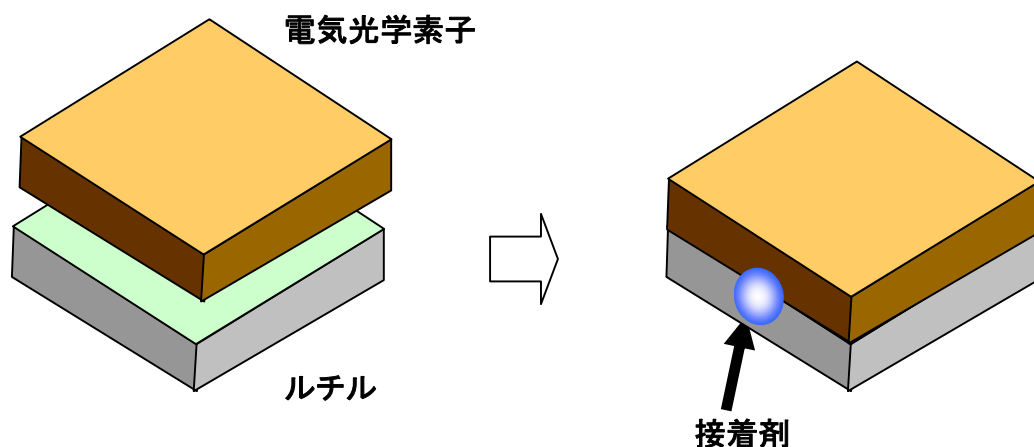


図2-17 電気光学素子とルチルの貼り合わせ

上記、考慮すべき要素のうち、毛細管現象の有無に関しては、カタログ上の粘度である程度スクリーニングできるが、最終的な判断はサンプルを入手して実証するより他無いことから、上記図2-17の素材を使用して、実証実験を行った。

②検証結果

抽出した要求仕様を満たす可能性のある接着剤を入手し、毛細管現象の有無に関して、実験検討を行った（表 2－3）。

できるだけ粘度の高い仕様の接着剤を選択し、実験を行ったが、結果として粘度が高い程、毛細管現象が起こりにくい、というわけでもないということがわかったことから、粘度仕様は参考程度に留めるべきとの知見を得た。

希望の仕様を満たすのは、D 社製の#1 のみということが判明したことから、この接着剤を採用することとした。

表 2－3 接着剤検証結果

		接着方法	粘度 (mPa・s)	ガラス 転移温度 (°C)	入手性	毛細管現象 検証
A 社	#1	UV+熱養生	70,000	135	○	×
	#2	UV	400,000	127	○	×
B 社	#1	UV	130,000	72	○	×
C 社	#1	熱硬化	5,000	100	○	×
	#2	UV	27,853	114	×	×
D 社	#1	UV+熱硬化	200,000	100	○	○

（４）組立手順の検討

①検討内容

従来との組立手順の変更箇所は下記の３箇所となる。

（a）素子固定の機構を変更することにより、光路を直線化、すなわち本体とコリメータを直線配置できるため、組立を容易にする（前述「（２）機構部材形状の検討」参照）。

- ・機構部材の設計、部材発注

- 設計した部材形状の加工は可能であることが判明

- 部材費用は大幅に上昇しないことが判明

- ・本体組立方法（機構＋電気光学素子＋ルチル）の設計

- 角度微動治具を活用することにより、素子固定方法に大幅な変更なく組み立てることが可能であることが判明

（b）電気光学素子、ルチルの一体化接着を採用することにより、電気光学素子と機構部材（金属）との直接接着箇所をなくし、熱応力の緩和を狙う。（前述「（３）接着剤の検討」参照）

- ・接着剤の検討

- 毛細管現象が起こらないことがキーポイントであることが判明。希望仕様を満たす接着剤を選択

（c）非球面レンズ機能とシリンドリカルレンズ機能の一体化レンズの採用により、レンズアセンブリ工程が丸ごと省かれることになる。

②検討結果

上記に示した、従来の組立手順とは異なる方法を採用した場合、増加または変更される工程が無いことから、組立工程を約 10 分程度短縮することができた。

（５）可変光減衰器の実装・組立・評価

①可変光減衰器の実装・組立（試作）

これまで（１）～（４）の検討結果を踏まえ、可変光減衰器の実装・組立を行った。試作品の外観を図２－１８に示す。

本試作における組立時間に関しては、従来の平均的な時間よりも 10 分程度短縮されたが、数量が少ないため効果を判定することはできなかった。

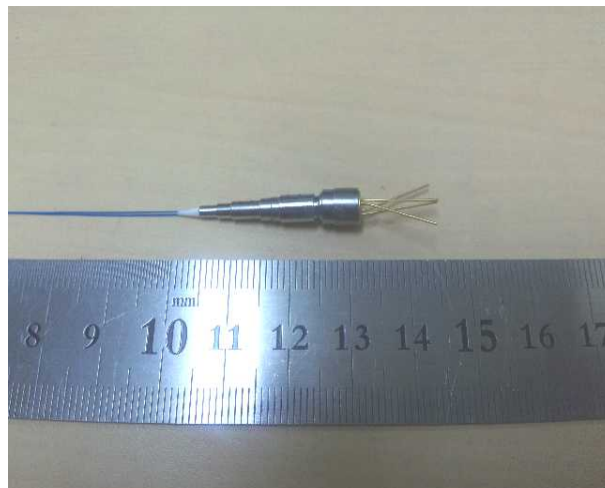
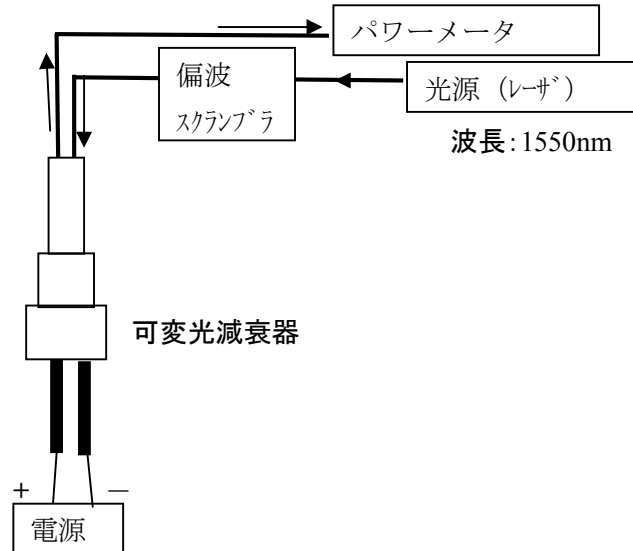


図２－１８ 試作した可変光減衰器

【評価系概要】

入力光として、チューナブルレーザ光源（1550nm 帯）を使用し、偏光状態をスクランブルした状態で可変光減衰器に入力した。出力された光をパワーメータにより読み取った。電源は 100V まで出力可能な DC 電源を使用し、0V から 40V 付近まで印加電圧を変えて、光量測定を行った。



②評価結果

電圧を 0V から 40V 付近まで可変して透過損失を測定した結果を図 2-20 に示す。横軸は印加電圧(V)、縦軸は損失値の dB 値を表している。

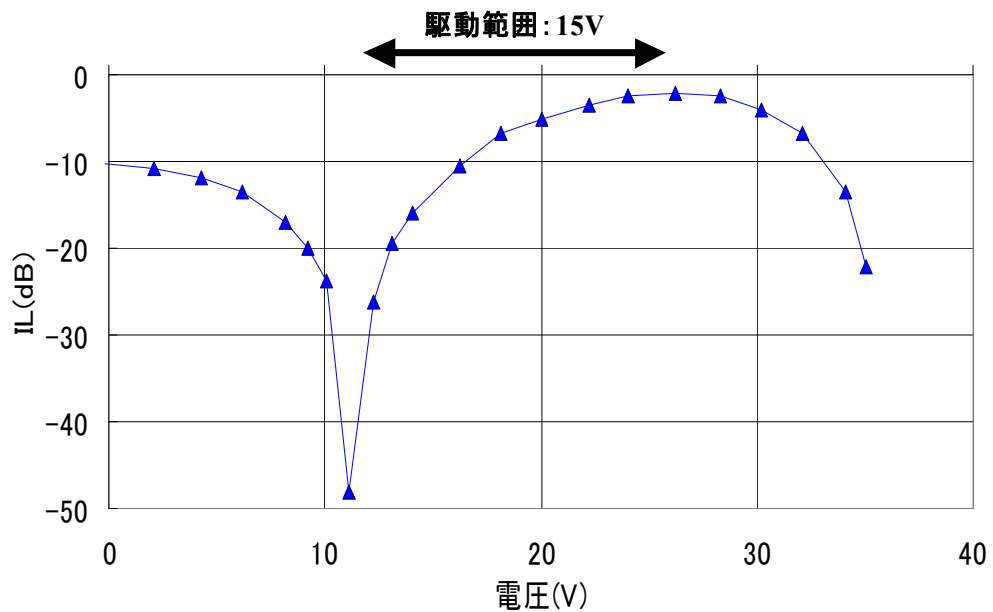


図 2-20 試作した可変光減衰器の電圧－減衰量特性

まず、この結果からわかることは、最大損失値から最小損失値まで 15V の印加電圧範囲で変化していることである。目標は駆動電圧範囲 20V であることから、目標が達成されたことが判明した。

また、最大の減衰量が 50dB 近く（10 万分の 1）まで達しており、非常に大きな消光比（実用上十分）が得られたことがわかった。このように良好な結果が得られた原因として、駆動電圧低減のために「応力の低減」をキーワードに様々な検討を行ってきたが、駆動電圧の低減だけでなく減衰量ダイナミックレンジの拡大という副産物も得られたと推測している。

2-3 研究サブテーマ③ 独自の高周波実装技術の確立

本サブテーマでは、オートレベルコントローラに必要な駆動回路と制御回路の設計を行った。また、上記設計された電子回路における主要な電子部品の周波数特性を個別測定し、回路の再設計を行う手法により、従来の設計手法よりも高速な光モジュール（技術目標：応答時間 500 ナノ秒以下）を設計・製造した。

回路設計手法として、今回、個別部品の周波数特性測定結果を設計にフィードバックする手法を試みた。最終的に、フィードバックを行った場合と行わなかった場合の比較検討も行い、本手法の効果を明確にすることを目的とした。

【本サブテーマの実施内容と実施担当】

項 目	内 容	
内容説明	光モジュール（オートレベルコントローラ）に必要な駆動回路と制御回路の設計を行い、サブテーマ②で得られた成果により作製する可変光減衰器と上記設計された電子回路における主要な電子部品の周波数特性を個別測定する（部品メーカーから提供される周波数特性データは代表特性であり、高速制御を突き詰めるためにはロット間分散まで考察できる詳細データが必要になるため）。 また、それらの測定結果をもとに回路の再設計、シミュレーションを行う。上記設計により得られた光モジュールが、従来の設計手法（部品毎の周波数特性測定無し、応答時間約 2 マイクロ秒）よりも高速制御が可能となる（応答時間 500 ナノ秒以下）ことを確認する。	
担 当	トリマティス	個別部品の周波数特性測定、最適設計、モジュール設計・製造
	千歳科学技術大学	個別部品の周波数特性測定、最適設計

【本サブテーマの技術目標と研究成果】

技術目標	光モジュールとしての応答時間が 500 ナノ秒以下
研究成果	光モジュールとしての応答時間が 210 ナノ秒を実現 【目標達成】

2-3-1 個別研究内容および結果

(1) 回路設計、シミュレーション

従来の可変光減衰器の駆動回路に改良を加え、シミュレーションを行った。改良点としては、駆動信号波形に工夫を加えることによりシミュレーション上では改良前の4倍の高速性が実現した。

また、統合設計手法の採用により、電気光学材料開発における評価結果をタイムリーに入手することができ、静電容量が従来よりも3倍程度大きいとの情報を得たことから大容量を考慮した設計変更を加えた。その他の改良も加味し、トータルで10倍程度の高速性をシミュレーション上で実現することができた（立ち上がり30ナノ秒程度、図2-21）。

従って、光モジュールとしての応答時間500ナノ秒以下が目標であることから、シミュレーションの段階では1桁以上の優位性を示していることがわかる。

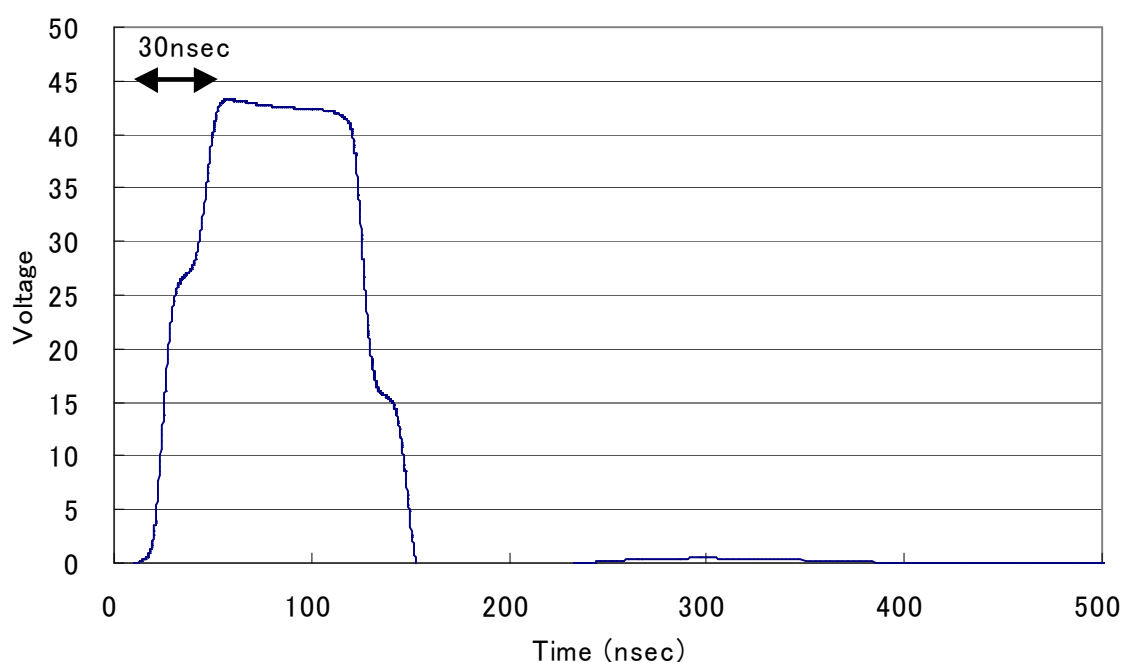


図2-21 設計した可変光減衰器駆動回路のシミュレーション結果

（２）主要な個別部品の周波数特性測定

部品メーカーから提供される周波数特性データは代表特性であり、高速制御を突き詰めるためにはロット間分散まで考察できる詳細データが必要になるため、主な個部部品の周波数特性を測定し、それらの測定結果をもとに回路の再設計、シミュレーションを行う。一例として主要電子部品である FET、オペアンプの周波数特性測定結果を図 2-22、図 2-23 に示す。ここで確認される周波数特性情報を設計データにフィードバックすることで、回路定数の再設定により回路を最適化し、その設計情報を元に実装を行った。

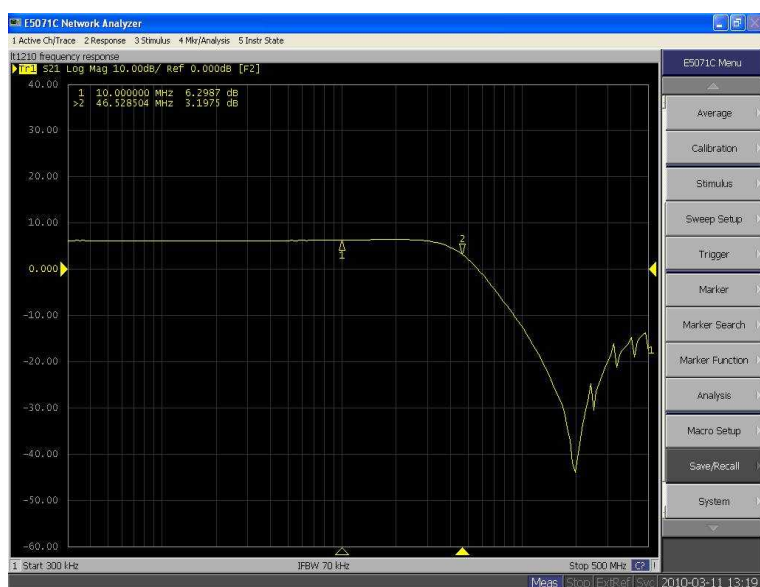


図 2-22 本駆動回路に使用したオペアンプの周波数特性

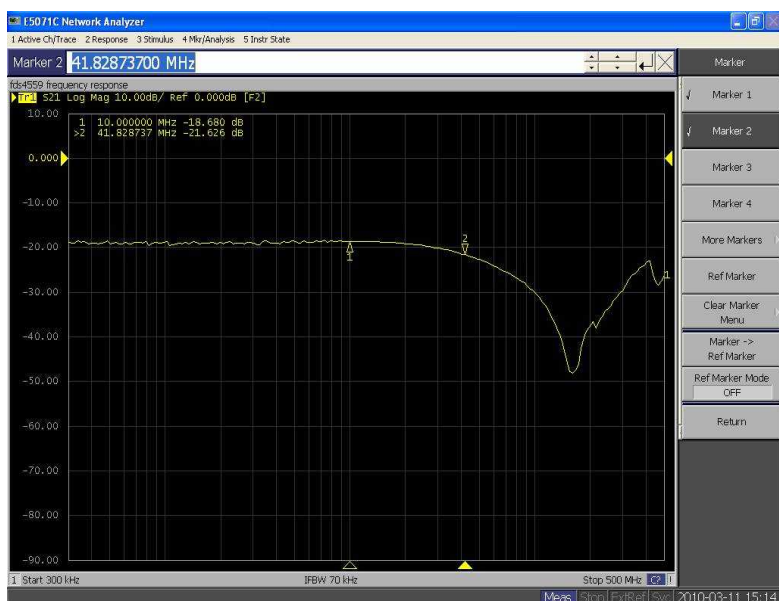


図 2-23 本駆動回路に使用した FET の周波数特性

（３）回路試作を行い、フィードバックの有無による高速応答性の比較検証

比較検証を行うにあたり測定系の構築を行った。構築した測定系を図 2－24 に示す。光源は波長 1550nm 帯のチューナブルレーザを使用し、オシロスコープは帯域が 300MHz 以上であることから、今回の測定には十分な帯域を確保している。また、可変光減衰器は、前述 2－2 項で製作した試作品を使用した。

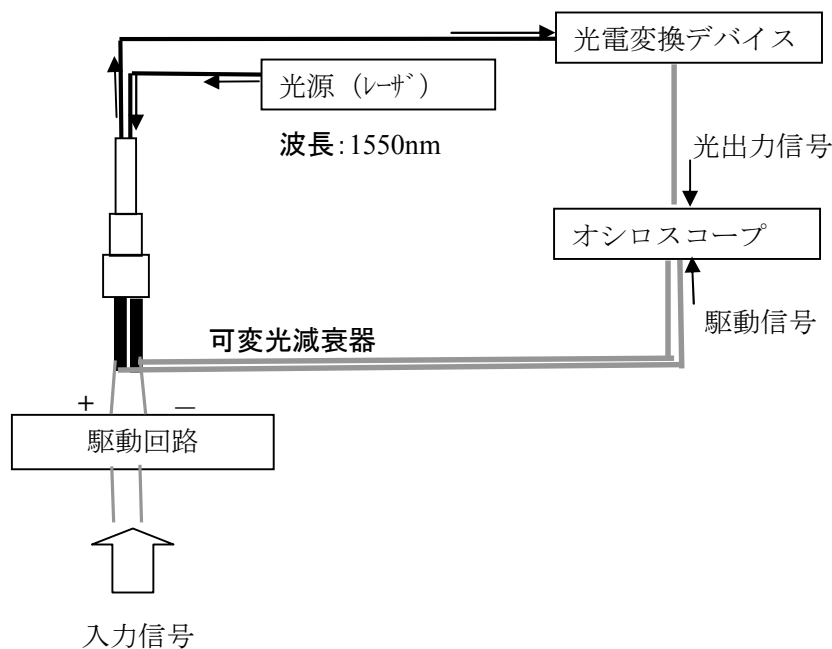


図 2－24 高速応答性測定系

前項（３）において個別部品の周波数特性測定結果をフィードバックしない設計のまま実装・回路試作を行った結果を図 2－25 に示す。横軸が時間、縦軸が規格化された信号強度を表している。

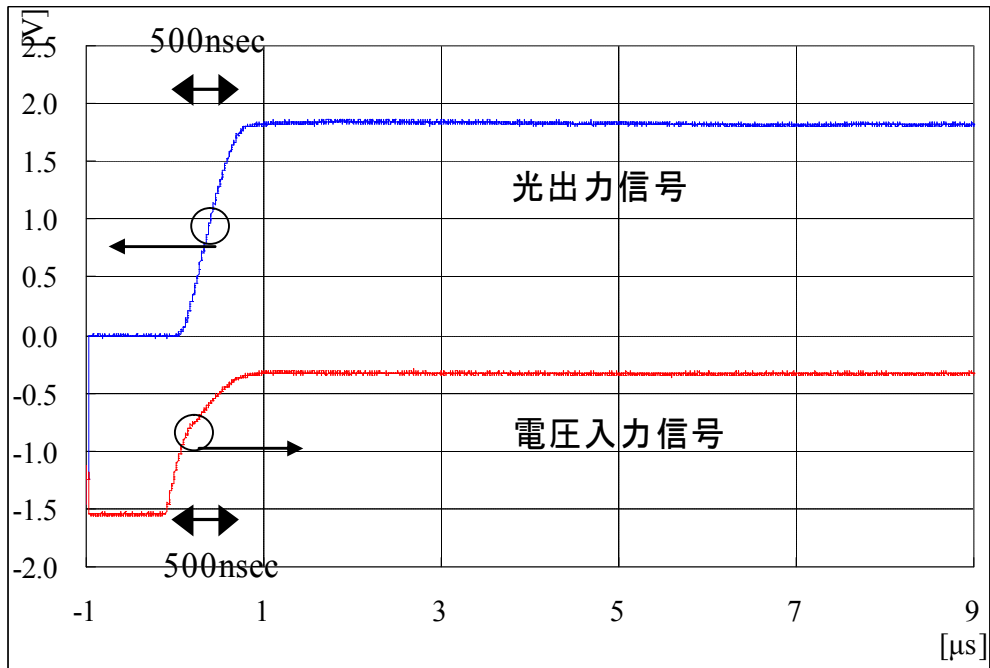


図 2－2 5 個別部品の周波数特性測定結果をフィードバックしない設計のまま実装・回路試作を行った応答特性結果

また、前項（3）において個別部品の周波数特性測定結果をフィードバックして再設計し、実装・回路試作に反映させた結果を図 2－2 6 に示す。横軸は時間（ μ 秒）、縦軸は光信号強度（V、リニア表示）を表す。

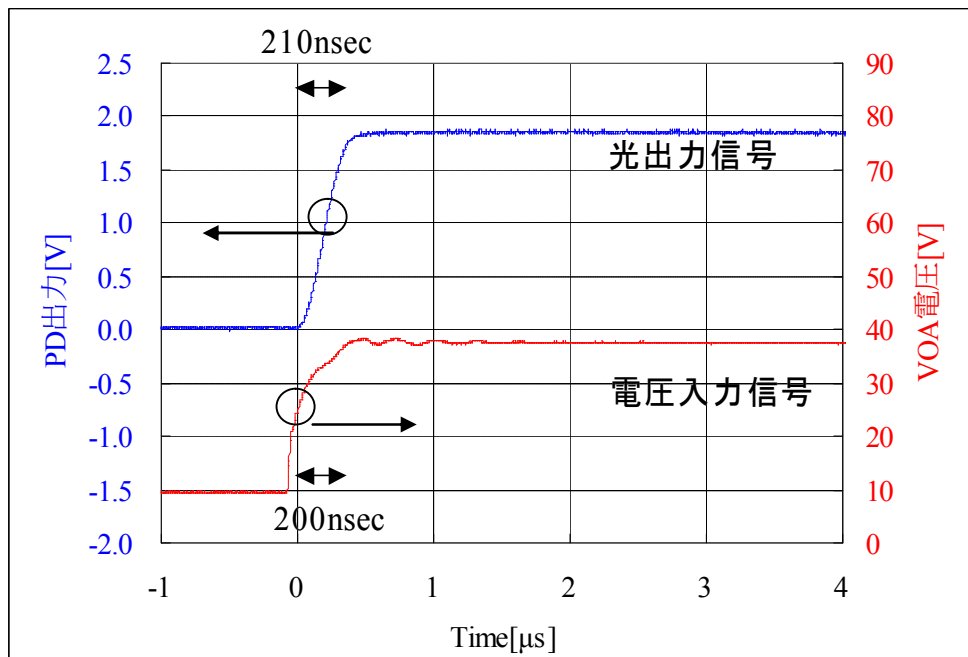


図 2－2 6 個別部品の周波数特性測定結果をフィードバックして再設計し、実装・回路試作に反映させた応答特性結果

個別部品の周波数特性測定結果をフィードバックしない場合、立ち上がりが 500 ナノ秒とシミュレーションと比較して、10 倍以上も特性劣化した。他方、フィードバックした場合は、良好な立ち上がり特性（200 ナノ秒）を示した。今回試みた新たな設計手法である、「個別部品の周波数特性測定結果を設計にフィードバックする手法」の採用により、2.5 倍もの応答特性向上の効果を確認することができた。

また、光モジュール（可変光減衰器＋回路）としての応答も 210 ナノ秒を実現しており、目標の 500 ナノ秒以下を達成することができた。

2-4 研究サブテーマ④ 光モジュールの実システム評価

本サブテーマでは、これまでの検討の集大成として、高速光オートレベルコントロールを作製した。評価系の構築・検討を行い、最後に作製したモジュールに関して、バーストモード信号入力時のビットエラーレートの測定を行った。評価項目はビットエラーレートの測定を想定しているが、トリマティス社には 10Gbps 光信号伝送システムの評価の経験がないことから、千歳科学技術大学の協力により測定システムおよび測定手順を確立し、評価を行う。

【本サブテーマの実施内容と実施担当】

項 目	内 容	
内容説明	本サブテーマでは、サブテーマ③で得られた成果により作製する光モジュールの実システム評価を行なう。評価項目はビットエラーレートの測定を想定しているが、トリマティス社には 10Gbps 光信号伝送システムの評価の経験がないことから、千歳科学技術大学の協力により測定システムおよび測定手順を確立し、上記技術目標をクリアする測定仕様としてまとめる。	
担 当	トリマティス	千歳科学技術大学の知見を利用してトリマティスがシステム評価

【本サブテーマの技術目標と研究成果】

技術目標	エミュレーション方法の確立とビットエラーレート 10^{-9} 以下の実現
研究成果	エミュレーション方法を確立し、その方法による評価結果、オートレベルコントローラ挿入により、ビットエラーレートが 10^{-10} 以下 【目標達成】

2-4-1 個別研究内容および結果

(1) モジュール作製

これまで検討してきた、光学材料、光学デバイス、電子回路を組み合わせ、モジュール試作を行った。試作したモジュールの外観写真を図2-27に示す。

なお、今回、初回試作ということで様々な検証を行う必要があることから、後々検証を行いやすいように大きなサイズで試作した。製品化に向けては、小型化が課題となる。

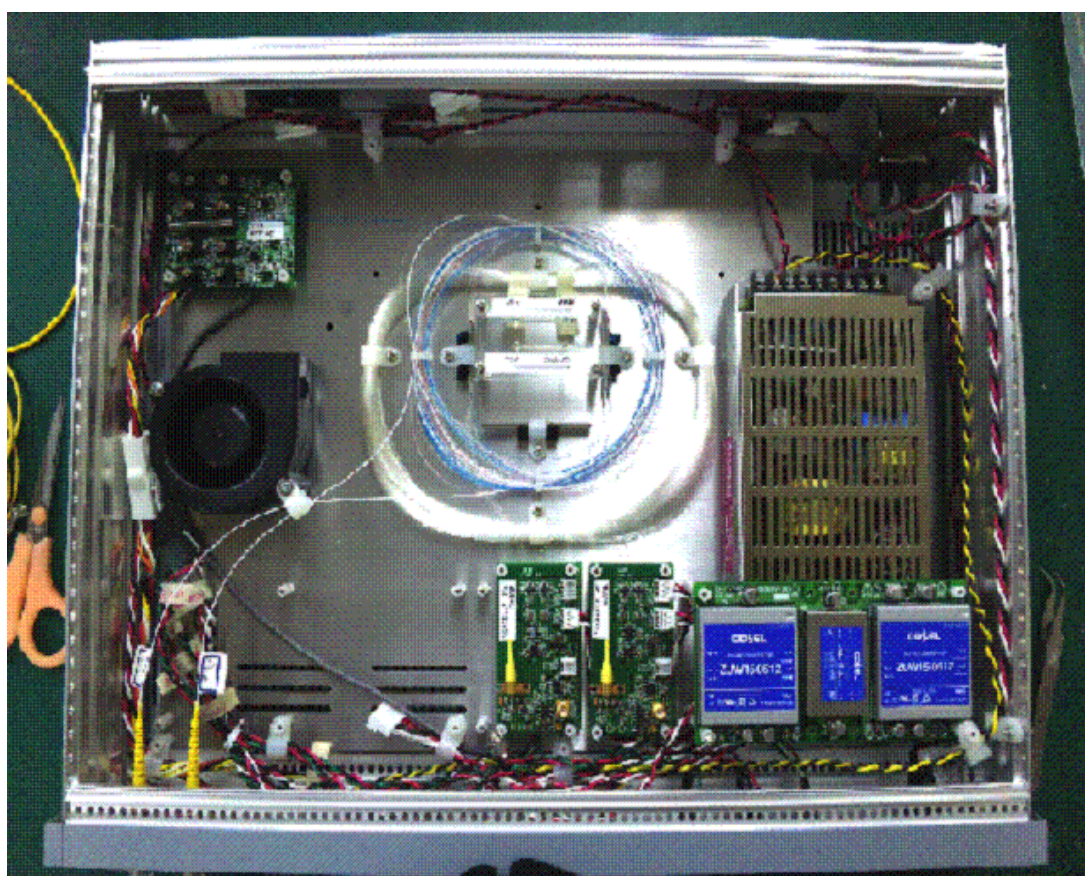


図2-27 試作したモジュール（外観）

(2) 測定方法の検討

バーストモード信号のビットエラーレート測定のエミュレーション方法を確立するため、オートレベルコントロール動作時の伝達特性を評価手法、測定条件について検討した。光信号が変動している場合におけるビット誤り率（BER）特性と、変動を抑圧するためにオートレベルコントローラを導入した際のビット誤り率特性を比較することで、オートレベルコントローラの影響が信号伝達特性に対して有効であることを検証することにした。バーストモード信号入力をエミュレートするための手段としては外部変調器を用いる方法を採用した。構成を図2-28に示す。

測定条件は、実際の環境変動を模擬するために、変動周波数としては数 HZ 程度を想定。伝送速度、信号波長は、各々 10 Gb/s、 $1.55\mu\text{m}$ とした。

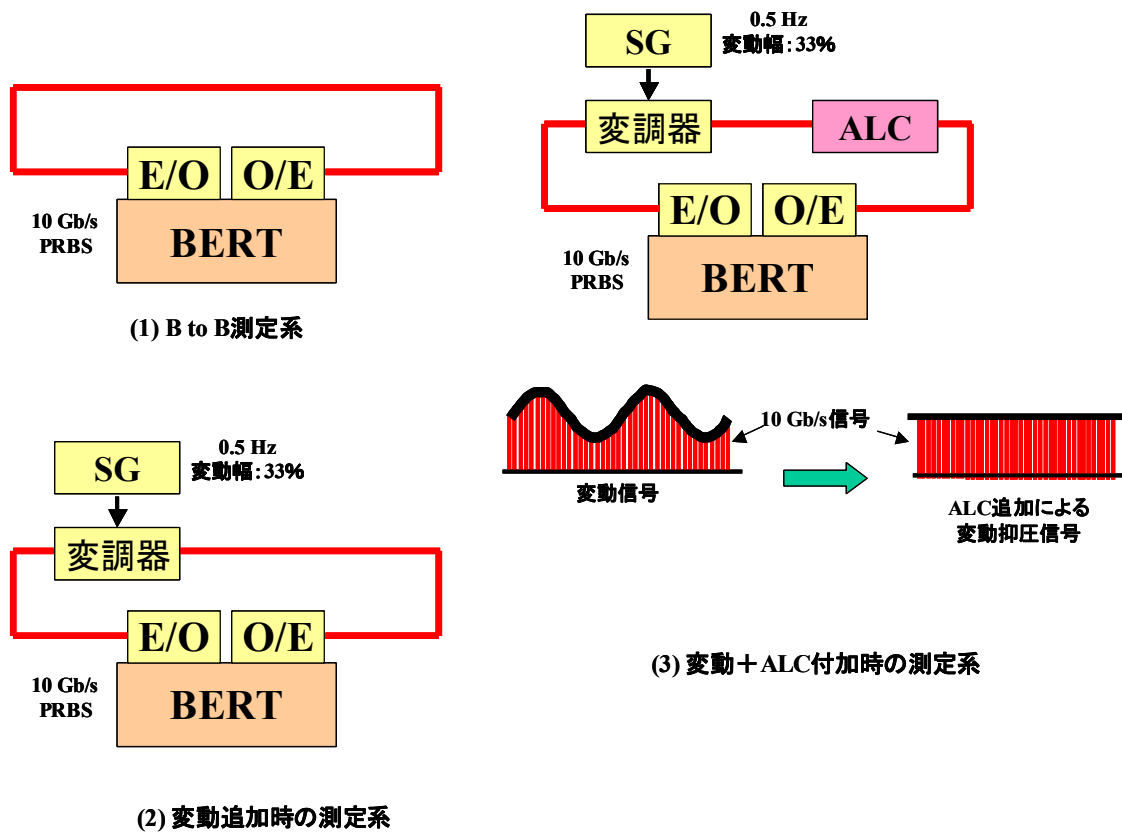


図2-28 オートレベルコントロールモジュールのビットエラーレート測定系

（３）モジュールのビットエラーレート評価

モジュールのビットエラーレート（BER）を測定するにあたり、まず手順の検討を行った。評価手順は下記の通りとした。

- ・基準特性として、BERT の E/O、O/E を直結した際の BER を測定する。
- ・次に、外部変調器により、変動追加を行い、BER を測定する。
- ・最後に、オートレベルコントローラを追加して、BER を測定する。図に示したように、10Gb/s の信号に対して、変動を加えた信号が、オートレベルコントローラにより、その変動成分が除去されることになる。

変動時の入力信号波形を図 2－29 に示す。この波形はオシロスコープで観測したものであり、変動のピークレベルを観測していることになる。

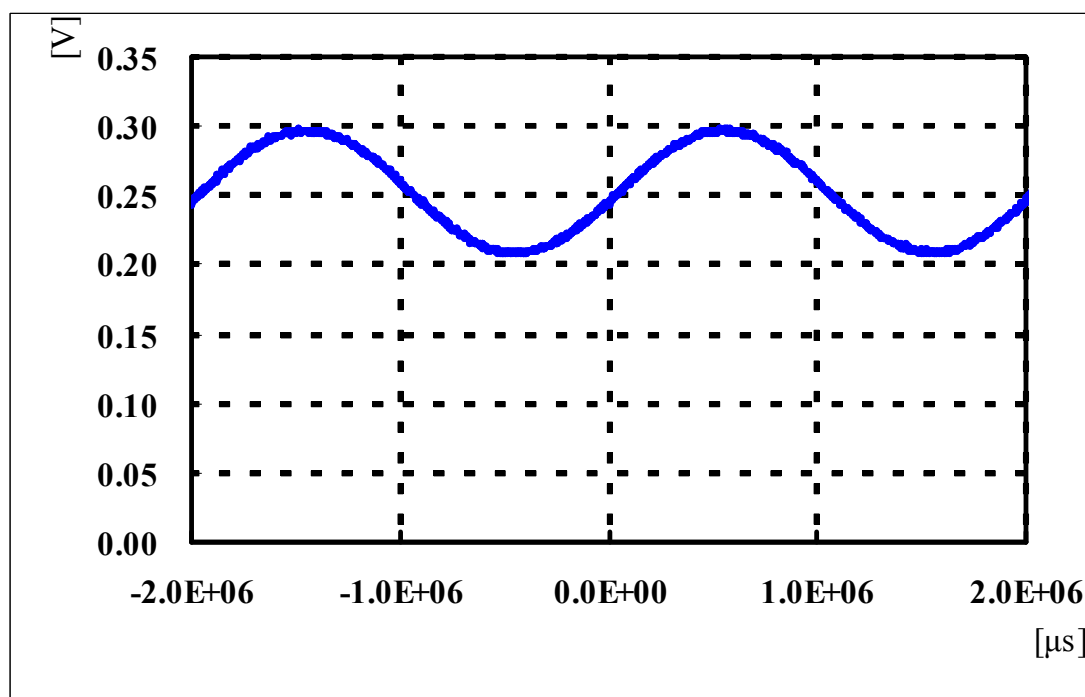


図 2－29 変動ピーク波形

図 2－30 に測定結果を示す。横軸は光強度（dBm）、縦軸はビットエラーレート（BER 値）を表している。B to B（Back to back）、B to B に変動追加した場合、B to B に変動追加＋オートレベルコントローラ挿入の 3 通りの測定を行った。

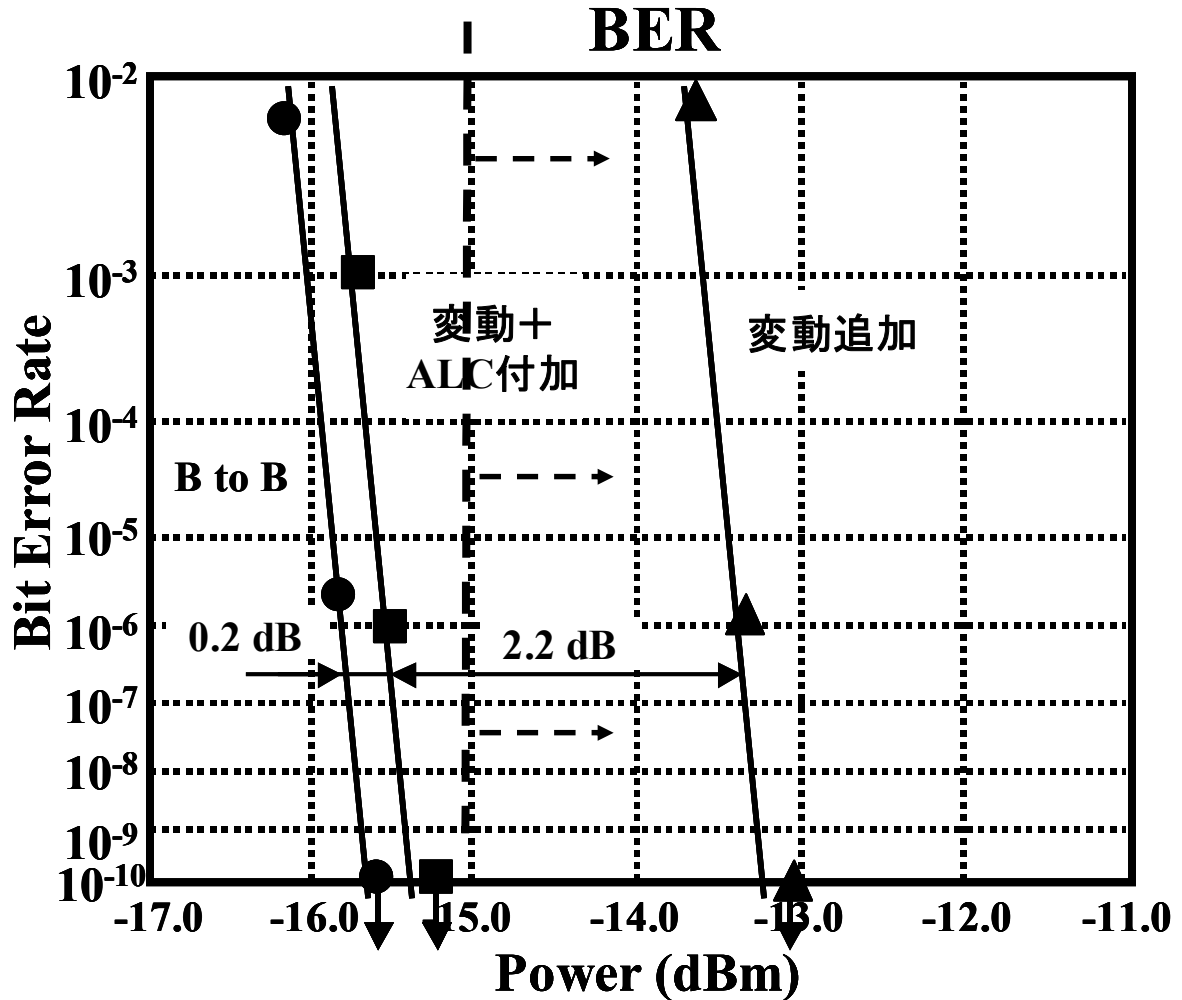


図 2－30 BER 測定結果

変動追加により、B to B（Back to back）と比較して BER が 2.4dB 劣化している。変動幅は 33%としているので、符号間干渉劣化となり、理論上は $10 \times \text{Log}(66\%) = 1.8\text{dB}$ の劣化となり、測定結果は、概ね妥当な値である。

この劣化が生じている状態でオートレベルコントローラを追加し、変動を抑圧することで、BER が 2.2dB 改善され、概ね B-to-B での BER 特性と同等の性能が得られた。XFP の最小入力パワーが IEEE で -14dBm 以上と規定されていることから、この範囲において、BER 値が 10^{-10} 以下となっている。

2-5 研究サブテーマ⑤ 電子回路設計に際して必要となる材料の評価項目を抽出

今回の技術的な方向性である「光モジュールの高速化」に際しては、技術分野の異なる光学材料開発、光デバイス設計、電子回路設計、実装設計の各技術のブラッシュアップだけでなく、各技術間の境界領域の最適化（トレードオフの最適化）も重要な課題となる。すなわち、各技術を融合するために、情報交換、要求提示を実効的に行う手法が必要となる。

これらの技術要素は技術バックグラウンドが異なることから、それぞれを融合させることは大きな困難を伴う。これだけの幅広い技術を保持すること自体は、規模の大きな企業では可能であるが、各技術要素が一つの組織を形成し、境界領域で本当に必要とされるべき情報が組織の外に流通しないため、統合設計技術として根付くことが難しい。一方で、規模の小さな企業では、このように幅広い技術を保有することが難しく、単体の技術要素のみの保有が殆どである。従って、統合設計技術を形成するためには、幅広い専門技術の保有に加え、それらを有機的に結びつける特殊なエッセンスが必要となる。

本サブテーマでは、特に技術分野の離れた電子回路設計技術と光学材料技術に関して、設計初期の情報を共有することにより両技術を結びつける手法を確立し、有効な統合設計技術を構築した。

【本サブテーマの実施内容と実施担当】

項 目	内 容	
内容説明	サブテーマ①から④の開発をもとに、分野の異なる光学材料開発、光デバイス設計、電子回路設計、実装設計の各段階において、独立の設計とせずに、各段階における設計初期の情報を共有する開発手法を確立する。通常、実装設計者→電子回路設計者→光デバイス設計者→光デバイス材料技術者と仕様を伝達するが、高速モジュールに大きく関わる、電子回路設計者→光デバイス材料設計者の仕様伝達ルートを確立し、新たな設計フローを作成する。	
担 当	トリマティス	設計情報の集約、設計の最適化・効率化の検討
	千歳科学技術大学	電子回路設計の設計サポート
	龍谷大学	材料設計の設計サポート

【本サブテーマの技術目標と研究成果】

技術目標	電子回路設計者から、材料設計者への仕様を提示する設計手法の確立
研究成果	材料開発と電子回路開発を融合するフローの作成および実行し、新たな設計手法を確立した。確立したことによって、バックグラウンドの異なる技術間の設計情報交換に関するノウハウを取得し、短期間で開発成果を出すことに成功した。 【目標達成】

2-5-1 個別研究内容および結果

通常、実装設計者→電子回路設計者→光デバイス設計者→光デバイス材料技術者と仕様を伝達するが、高速モジュールに大きく関わる、電子回路設計者→光デバイス材料設計者の仕様伝達ルートを確認し、新たな設計フローの作成、実行およびその効果の検証を行った。

以下では、電子回路設計者→光デバイス材料設計者の仕様伝達ルートを確認するために行った活動の一例と、設計フローの作成・実行により得られた効果の検証（実例による効果）について報告する。

（１）設計フローの作成・実行、その効果の検証（実例による効果）

まず、従来の設計フローと問題点を整理した。今回の軸となる、材料設計技術、光デバイス設計技術、光モジュール設計技術（電子回路設計技術）を必要とするものづくりに関してのフローを考えた。

従来の設計フローを図2-31に示す。従来の設計フローにおいては、各技術の中では設計→試作→評価→再設計・・・というようにフィードバックが行われるが、各技術間の情報交換がされる仕組みにはなっていない。

材料設計技術から光デバイス設計技術へは「材料」およびその仕様情報が伝えられる。同様に、光デバイス設計技術から光モジュール設計技術（電子回路設計技術）へは「光デバイス」およびその仕様情報が伝えられる。仕様情報は検討した結果であり、検討段階における情報交換（仕様の緩和など）による全体最適を行う考え一般的には薄い。特に各技術分野が違う組織（または違う会社）になると、組織の利益を優先することから全体最適化が図られることはない。

また、モノ（材料や光デバイス）の流れに沿ったフローとなっていることから、材料設計技術と光モジュール設計技術（電子回路設計技術）の間の直接的な情報のやりとりは行われない。

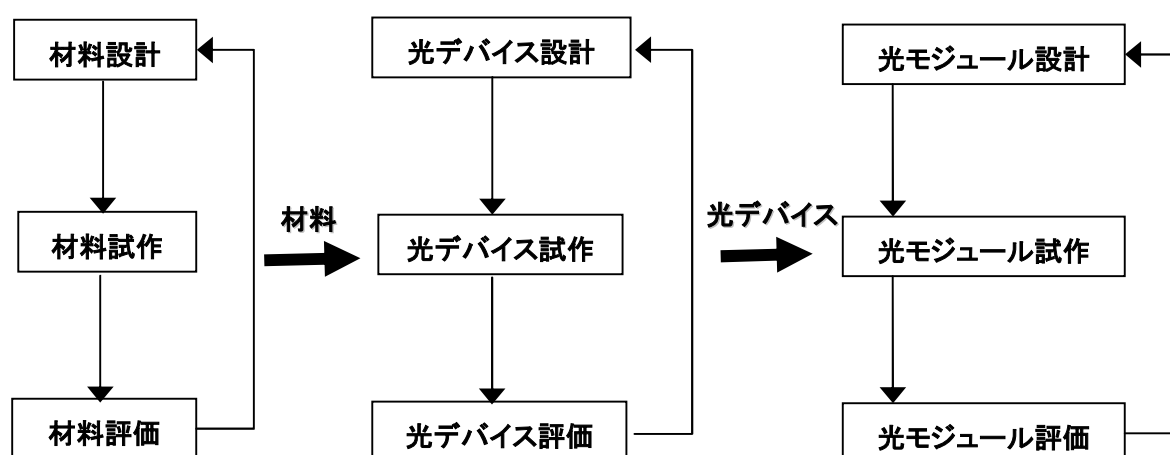
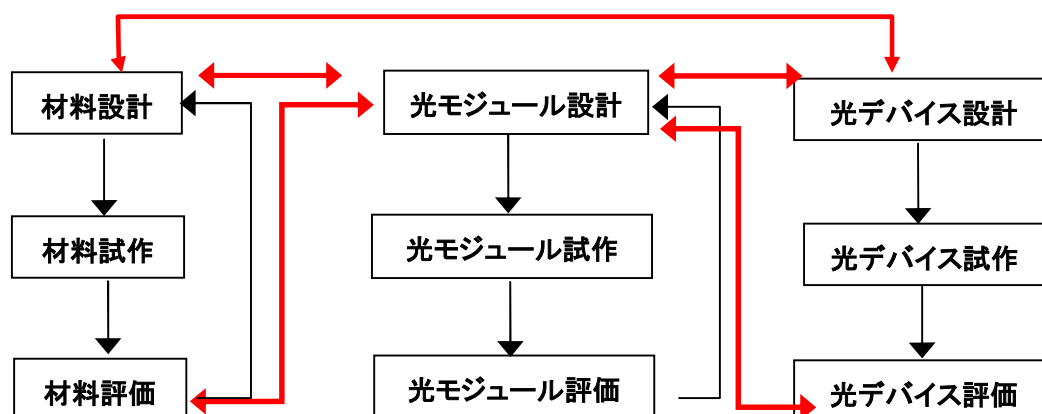


図2-31 従来の設計フロー

このような従来のフローの欠点を補い、各技術間の有機的な情報交換が行われ、全体最適化が自然となされるフローを考察した。

まず、モノの流れに縛られる限りは、材料設計技術と光モジュール設計技術（電子回路設計技術）は有機的に結びつくことができないことから、モノの流れと情報の流れを別にして考えることにした。そのフローの概略を図2-32に示す。

○設計情報の流れ



○モノ（と仕様情報）の流れ

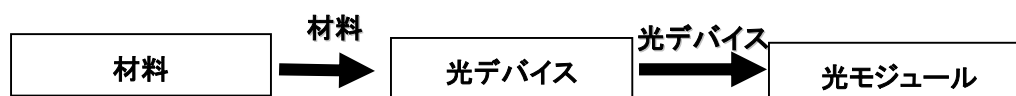


図2-32 今回試みた新しい設計フロー

各設計情報を共有するだけでなく、評価の情報もタイムリーに共有することが特徴となる。評価結果の提示や逆に評価項目の要求など交換すべき情報は多岐にわたる。有効な情報交換の方法は「打合せ」となる。各技術外の技術者にとっては常識的な情報が全く異なることから、同一技術内では当たり前の情報をその打合せで出し合うことが重要となる。また、打合せの進め方の中で重要なのは、各技術における検討結果（失敗、成功とも）や考察内容がどのように他の技術に影響を与えるか、に関して話し合うことである。従って、単純に結果報告で終わる打合せにしないことが重要となる。話の中で、ある情報（検討結果など）が自然と技術間を渡ることになることから、全体最適化のための解が出やすい環境となることが期待される。

また、モノと仕様情報の流れと設計情報の流れを分けることにより、情報の流れに自由度を与えることが可能となった。モノは、従来通り、材料設計技術から光デバイス設計技術へ材料が提供され、光デバイス設計技術から光モジュール設計技術（電子回路設計技術）へ光デバイスが提供されるという流れに乗るが、設計情報はモノに付随する仕様情報とは別、という考え方により、境界領域を仕様によりはっきりさせる必要がある「モノ」の流れにより硬直化されてきた設計情報の流れの自由度を上げることが試みられた。

●今回試みた新しい設計フローの効果があった具体的事例

材料設計チームと光モジュール設計（電子回路設計）チームにおいては、開発の初期から強制的に打合せを行うこととした。最初の合同ミーティングにて、光モジュール設計チームから電気光学材料の電気的な特性に関する評価項目が提示された。

その中の一つの項目である誘電率に関しては、初期の材料では従来の材料（PLZT）と変わらない結果となっていたことから、従来と同様の回路設計を進めていた。材料設計チームは、電気光学材料(PMN-PT)の透明化を検討していたが、大量の条件のサンプルにおいて、透明性や電気光学効果などの光学特性だけでなく、光モジュールチームから要請のあった電気特性に関しても評価項目に加えていた。透明性が上がるにつれて、誘電率も上昇することが判明し、結局最適な透明性を有する材料に関しては、従来材料（PLZT）の数倍もの誘電率となることが判明した。

光モジュールチームとしては、高い誘電率の光デバイスでも駆動できるような回路を検討したが、回路設計だけで高速化を図るのが難しかった。材料設計チームと回路設計チームの打合せの中で、高速化に向けた全体最適化が自然発生的に話し合われ、素子形状を変更（トレードオフとして電圧が増加）することにより静電容量をさげるという策が最適であることがわかってきた。今回採用した PMN-PT 材料は従来の PLZT よりも電気光学定数が高いことがわかってきたことから、殆ど従来と電圧を変えずに静電容量を下げるという電気光学素子の設計が可能であることも両技術の検討の中から生み出された成果となった。この結果、設計の出戻りもなく効率的に開発が進み、さらに、従来よりも 10 倍近くも高速な駆動回路を実現することができた。

従来のフローであれば、光デバイスの提供段階で初めて静電容量が大きいことに気づき、駆動回路の再設計により、4 ヶ月という短期間で開発成果を出すことができなくなると想像される。また、材料設計チームも「低電圧化」という限定的な仕様の重視により、静電容量の低減による高速化という全体最適化への方向には導かれなかったと考えられる。

試行錯誤で打合せを重ねた側面もあるが、ある一つの報告内容について技術間を渡らせることにより、自然発生的に全体最適化の思考になることが見えたことがこの試みで得たノウハウとなった。

2-6 プロジェクトの運営管理

本プロジェクトの推進にあたり、管理法人（株式会社 HVC 戦略研究所）は適宜、総括研究代表者（株式会社トリマティス 取締役 R&D センター長 長枝 浩 氏）、副総括研究代表者（学校法人千歳科学技術大学 総合光科学部 グローバルシステムデザイン学科 教授 山林 由明 氏）と情報交換を行い、研究開発活動の進捗状況の確認、研究開発活動を進める上での課題の抽出やその解決に向けた取り組みを行った。

また、本プロジェクトに関与する全員が一堂に会する「研究開発委員会」を事業期間中 2 回開催し、研究開発活動の進捗状況の確認、今後の活動方針等について検討を行い、プロジェクト全体の円滑な推進に努めた。

表 2-4 研究開発委員会の開催概要

開催日時・会場	項 目	内 容
[第 1 回] 2010 年 1 月 26 日（火） 10：00～12：00 ホワイトキューブ札幌	次 第	① 本年度の研究開発の進捗状況と年度末までの実施見込み ② アドバイザーからのコメント
	参 加 者 (敬称略)	株式会社トリマティス 長枝 浩 学校法人千歳科学技術大学 山林 由明 学校法人龍谷大学 和田 隆博 北海道立工業試験場 田中 大之 日本電信電話株式会社 吉本 直人 北海道経済産業局 木下 俊一 北海道経済産業局 小川 雄亮 株式会社 HVC 戦略研究所 依田 知則
[第 2 回] 2010 年 3 月 12 日（金） 10：00～12：00 ホワイトキューブ札幌	次 第	① 本年度の研究開発の報告 ② アドバイザーからのコメント
	参 加 者 (敬称略)	株式会社トリマティス 長枝 浩 学校法人千歳科学技術大学 山林 由明 学校法人龍谷大学 和田 隆博 北海道立工業試験場 田中 大之 日本電信電話株式会社 吉本 直人 北海道経済産業局 木下 俊一 株式会社 HVC 戦略研究所 依田 知則

第3章 全体総括

3-1 研究開発後の課題

(1) 技術的な課題

①詳細仕様の設定と評価

重要な仕様はクリアしているが、さらに詳細な仕様に関しての評価を進める必要がある。顧客からの要求仕様をさらに詳細にヒアリングしながら、それらの要求性能をすべて満たさなければならない。

②小型化の実現は必須

MSA サイズ以下への小型化が必要だが、顧客のニーズ情報の収集をタイムリーに行う必要がある。

③信頼度評価の実施は必須

光通信の標準的な信頼度試験基準に則った信頼度評価が必要である。また、開発コスト低減のためにも、信頼度に関する顧客要求も情報収集する必要がある。

(2) 製品化に際する課題

①量産性の確保（製造場所の選定）

製造を委託する外部工場（メーカ）の選定を行う必要がある。これまでの光モジュール製造経験、製造コスト、量産性を考慮して検討を進める。

②低コスト製造技術の実現（部材調達、製造方法の効率化などを含む）

将来、製品化された場合でも、コストの勝負になる可能性は高いことから、部材調達方法の精査、製造方法の効率化など様々な観点から低コスト製造技術を向上させる必要がある。

(3) 事業化に際する課題

①販売網の確立

当初は国内のみで事業展開するが、本研究成果は、海外での需要にも対応するものであり、海外展開を視野に入れた販売網の確立が急がれる。自社による販売網確立、商社による販売網確立、協力会社による販売網確立をバランス良く考慮する必要がある。

②製品管理に関する社内システムの整備

製品の、受注・部材調達・製造・在庫管理・販売という一連の流れを确实かつ効率的に管理する社内システムの整備が必要となる。

③資金調達

今後、製造、在庫などに係わる資金の調達は必須である。市場環境を見極めながら進める必要がある。

3-2 研究開発成果の事業化に向けた取り組み

①短期的な取り組み

本研究開発の川下企業として設定した NTT に向けての製品提供を進める。NTT においても、アクセスネットワークにおける光オートレベルコントロール技術の適用自体が先端の試みであることから、ニーズに関してはタイムリーにヒアリングする必要がある。当面は、NTT からの情報を元に開発を進め、NTT 向けの製品を最初の製品とすべく、今後の開発に取り組む。

②中長期的な取り組み

NTT 向けとして確立した製品を、中長期的には下記の 2 つの方向性で顧客獲得を目指す。

(a) アクセスネットワーク以外のメトロネットワークへの適用の推進

光バーストスイッチングシステム、光パケットネットワークシステムといった次世代のネットワークシステムが研究されており、アクセスネットワーク以外でも、バースト信号を取り扱うシステムが今後増加することが予想されている。このような情報を常に収集し、本製品が適用できる分野を広げるように取り組んでいく。

(b) 海外のアクセスネットワーク用途への拡販

現在、光アクセスネットワークは日本が世界的にもトップレベルにあることから、当面は NTT を重要顧客として設定することで問題はないが、いずれ米国や中国など国土の広い国々における光アクセスネットワークの重要性が大きくなると想定される。このような国土も大きく、人口も多い国における適用はさらなる拡販につながることから、海外展開も視野に入れた取り組みを行う。

この報告書には、委託業務の成果として、産業財産権等の対象となる技術情報（未出願又は未公開の産業財産権等又は未公開論文）、ノウハウ等の秘匿情報が含まれているので、通例の取扱いにおいて非公開とする。ただし、行政機関の保有する情報の公開に関する法律（平成 11 年法律第 42 号）に基づく情報開示請求の対象の文書となります。