

平成 26 年度戦略的基盤技術高度化支援事業

「光通信用光デバイス一括実装のための  
プラスチック成形基板の開発」

研究開発成果等報告書

平成 27 年 3 月

委託者 東北経済産業局

委託先 株式会社インテリジェント・コスモス研究機構



## 目 次

第 1 章	研究開発の概要	1
1.1	研究開発の概要	
1.2	研究開発の背景・目的・目標	
1.2.1	研究開発の背景	
1.2.2	研究開発の目的・目標	
1.3	研究体制	2
1.4	成果概要	4
1.4.1	脆性光学材料が圧壊しないインサート成形に関する研究開発	
1.4.1.1	射出圧力・金型温度および金型構造の最適化の検討	
1.4.2	光路へ樹脂の回り込みがなく光学面の損傷がない インサート成形の研究開発	
1.4.2.1	光学面保護用の挿抜ブロック設計に関する検討	5
1.4.2.2	光路をフィルムおよび膜で保護に関する検討	
1.4.2.3	フィラー混練樹脂の適用と金型設計に関する検討	6
1.4.3	光学評価と機械試験に関する研究	
1.4.3.1	機械試験	
1.4.3.2	光学評価	7
1.5	当該プロジェクトの連絡窓口	
第 2 章	本論	8
2.1	脆性光学材料が圧壊しないインサート成形に関する研究開発	
2.1.1	射出圧力・金型温度および金型構造の最適化の検討	
(1)	概要	
(2)	アナモルフィックプリズムの圧壊	
(3)	アナモルフィックプリズムの圧壊対策	9
(4)	後収縮による光学部品の破壊問題	10
(5)	後収縮による光学部品の破壊対策	
2.2	光路へ樹脂の回り込みがなく光学面の損傷がない インサート成形の研究開発	13
2.2.1	光学面保護用の挿抜ブロック設計に関する検討	
2.2.2	光路をフィルムおよび膜で保護に関する検討	15
2.2.3	フィラー混練樹脂の適用と金型設計に関する検討	
2.3	光学評価と機械試験に関する研究	16
2.3.1	機械試験	17
2.3.2	光学評価	19
(1)	電子回路設計製作	23
(2)	制御プログラム製作	

第3章	全体総括 .....	27
3.1	脆性光学材料が圧壊しないインサート成形に関する研究開発	
3.2	光路へ樹脂の回り込みがなく光学面の損傷がない インサート成形の研究開発	
3.3	光学評価と機械試験に関する研究	
3.4	事業化計画	

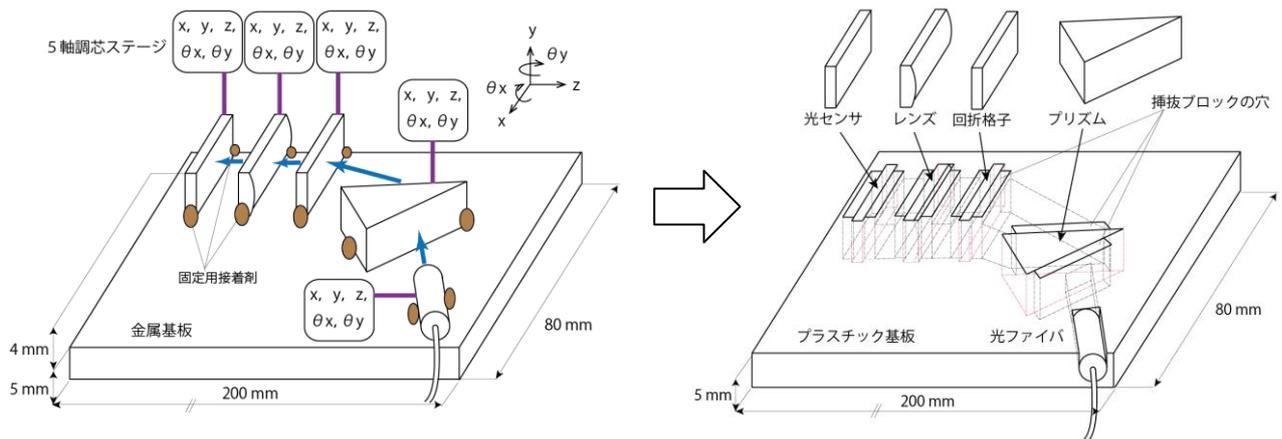
## 第1章 研究開発の概要

### 1.1 研究開発の概要

現在、光通信用光デバイス用に使用されている実装基板に光学部品がレーザ溶接および接着剤で固定されている。

本研究開発では、

- ① 固定のために用いる設備が一切不要。
- ② 光部品を金型に入れるだけでタクトタイムを 1/10 に短縮する。
- ③ これまで熟練者が調芯していた作業を単純作業で行えるようにすることができるとの一体成形技術を開発する。(1.1-1 図)



1.1-1 図 従来実装と提案する一括成形によるプラスチック光回路

### 1.2 研究開発の背景・目的・目標

#### 1.2.1 研究開発の背景

光通信用光デバイスの実装は、構成される光部品を調整しながら筐体となる基板に順番に接着している。高付加価値であるが熟練を必要とするまさに労働集約形のため、このような組立方法で生産される光デバイスは、更なるコストダウンのため生産工場が新興国に移っていった。同時に、知的財産権を無視する新興国の企業も多く、光デバイスを支える部品および計測器を供給する主要な日本企業は、2006年頃から徐々に事業撤退および事業再編を余儀なくされていった。例えば、株式会社応用光電研究室は廃業、安藤電気株式会社は横河電機株式会社を買収され光部門は関連会社に移管、日本航空電子株式会社は光デバイス事業から完全撤退、富士通株式会社は富士通オプティカルコンポーネンツ株式会社に改組、日本板硝子株式会社は株式会社ゴーフトンに事業売却などである。2010年頃には最先端研究の光通信システムはデジタルコヒーレントの時代が到来して伝送レートが 40Gbps から 100Gbps に比較的に進歩した。今後 10 年近くかけて商用にのせられて行くはずである。このように高機能になってくると、現状の部品では対応しきれなくなってきたり、波長選択光スイッチなど新しいデバイスが開発されて世の中に出てき始めている。これに伴って、安価だけでなく、より集積・複合化された技術による革新的なデバイスの出現が望まれている。

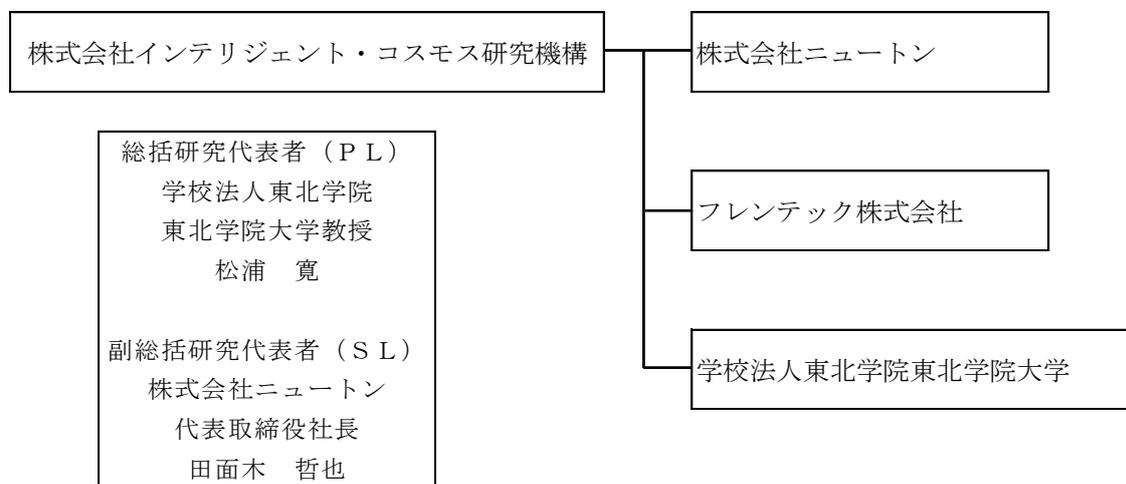
#### 1.2.2 研究開発の目的及び目標

提案するプラスチック成形基板は、これまで蓄積した光デバイス設計技術（光路解析、レーザ溶接、接着剤固定）とニュートンの成形技術（トランスファー成形、金型設計、離型技術）のノウハウと経験を融合させることで新たな付加価値を生み出すものである。光軸調整をおこなわなくてもよい精度に追い込みかつ、光路

に樹脂が回り込まない工夫をした金型に光部品を一括で実装した後、一気に樹脂を流し込み、これまでの組み立て方法と比較してタクトタイムを1/10にする超短時間で固定する新しい技術を開発する。

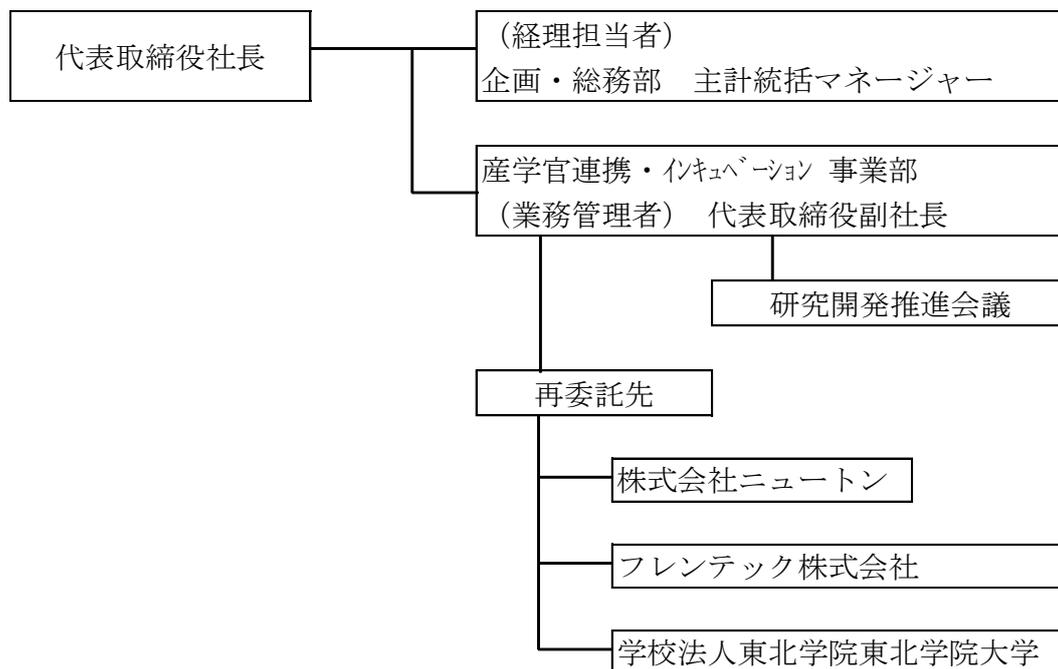
### 1.3 研究体制

#### 研究組織

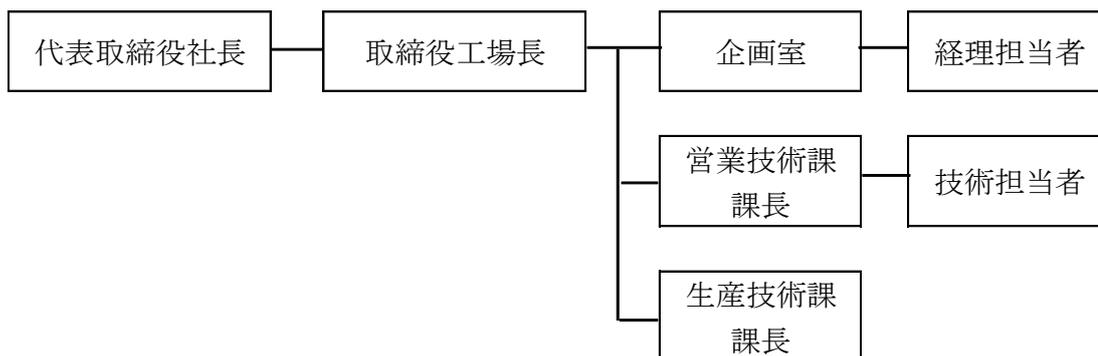


#### 管理体制

##### 事業管理者 [株式会社インテリジェント・コスモス研究機構]



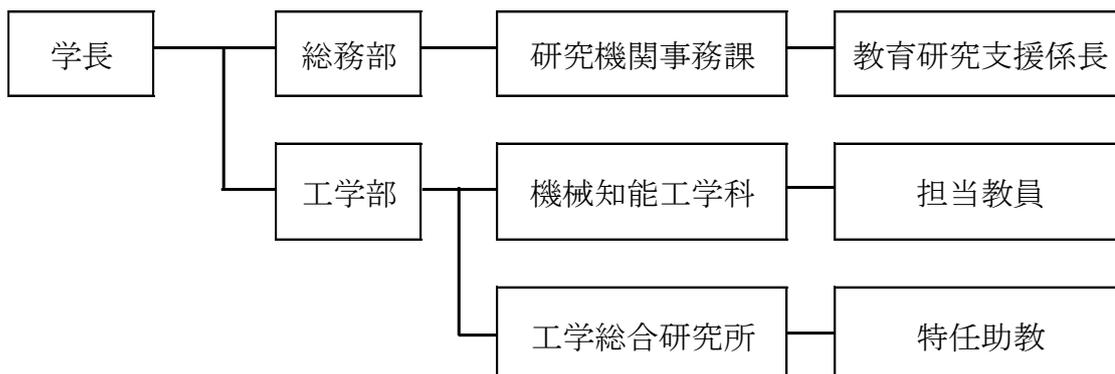
研究体制（再委託先）  
株式会社ニュートン



フレンテック株式会社



学校法人東北学院東北学院大学



研究者等氏名

株式会社ニュートン

氏名	所属・役職
田面木 哲也	代表取締役社長
桜場 良行	取締役工場長
坂本 英雄	営業技術課長
太布 竜央	生産技術課長
細田 稔	営業技術課技師
高橋 昂	営業技術課

フレンテック株式会社

氏名	役職・所属
宮坂 吉一	代表取締役社長
菊地 政雄	技術開発課長
春日 秀文	研究員

氏名	役職・所属
松浦 寛	機械知能工学科 教授
土井 康平	工学総合研究所 特任助教
池上 昌明	工学総合研究所 研究員

#### 協力者

氏名	所属・役職
小原 久志	株式会社アオバサイエンス 盛岡支店長
梅木 和博	リコー光学株式会社 開発室長
加木 信行	古河電気工業株式会社 ファイナルフォトリクス研究所 部長
渋谷 隆	日本電気株式会社 光ネットワーク事業部 エキスパート

## 1.4 成果概要

### 1.4.1 脆性光学材料が圧壊しないインサート成形の確立

グレーティングの溝本数が調達価格の問題により 1150 本から 966 本へと変更となり、それに伴い光学部品の数が増え、その配置が大幅に変わった。そり問題があると考えて、補強のために後付けで金属部品をインサート成形できる金型構造を考え実際に試作もおこなった。開発手順として、樹脂流動解析ソフト（3D TIMON）を駆使して解析をおこない、成形上がり光学部品については、画像装置を用いて三次元的な寸法ずれ、たわみ、角度を精密に計測して金型設計や成形条件の決定にフィードバックすることを基本とした。3DTIMON の追加仕様を購入して繊維入り樹脂の解析と熱硬化樹脂の解析が可能となっているためこれも活用した。そりの改善に関しては、金型改良前にゲート位置およびゲート径を入力して流動解析から最適な金型形状の設計をおこなった。コストアップに繋がるためインサート成形は極力さけるよう検討をおこなった。その結果、金型のゲート位置を最適化することで均等に樹脂が流れるようになり、そりが改善できた。また射出圧力も最適化することで挿抜ブロックから樹脂の回り込みを制御でき、射出速度も最適化することでも挿抜ブロックから樹脂の回り込みを制御可能となった。金型温度を変えて挿抜ブロックを抜く時に光部品との擦れで傷がつかない条件を探す実験でも圧壊問題は回避できた。具体的な内容を以下に示す。

#### 1.4.1.1 射出圧力・金型温度および金型構造の最適化の検討

平成 24 年 9 月からシンプルな光学部品構成で実験金型設計をおこなった。樹脂が光学部品に回り込んだときの状態を調べ、回り込みによる流れ方向をミクロで観察して金型設計にフィードバックした。金型のエッジおよび稜線部分の不良箇所を調べ、数  $\mu$  の傷の有無を調べた。金型と光学部品の隙間から抜け出たフィルターの粒径を調べ、フィルター径に金型圧力がどのように影響するか定性的に分析した。

平成 24 年に設計した金型の試作では、そり問題があり、補強のために後付けで金属部品をインサート成形できる金型構造をニュートンが試作した。成形上がり光学部品について、三次元的な寸法ずれ、たわみ、角度を精密に計測して金型設計や成形条件の決定にフィードバックした。平成 25 年度から設計した試作金型で問題となった部分の改良設計を実施し、次の実験をおこない有用な結果が得られた。

- 1) 金型のゲート位置を変えることで均等に樹脂が流れるようにできた。
- 2) 射出圧力を変え挿抜ブロックから樹脂の回り込みを制御できた。
- 3) 射出速度を変え挿抜ブロックから樹脂の回り込みを制御できた。
- 4) 金型温度を変えて挿抜ブロックを抜く時に光部品との擦れで傷がつかない条件が見出された。

平成 26 年度から量産金型の設計と試作をおこなった。日産 48 個（1 個取り金型で 1 個/10 分）とする量産金型の設計において、この量産金型が光学的に妥当かどうかの評価と流動解析を合わせながら、金型設計にフィードバックすることができた。

#### 1.4.2 光路へ樹脂の回り込みがなく光学面の損傷がないインサート成形の確立

平成 26 年度までに小型化を図るため、インサートする光学部品の光路に樹脂が回り込まないような条件および構造を見いだす研究をおこない、熱可塑性樹脂の熔融時に発生するアウトガスが光学部品の汚染する懸念を防ぐ知見も得た。プリズムのように光学面がフラットな部品の表面を基準とする表面基準の挿抜ブロックの設計は、本プロジェクトの成否を左右する重要な工程である。昨年決めた、光学部品の寸法公差と金型の寸法公差をそのまま新しい光学配置でも適用した。消耗品となるアナモルフィックプリズムは実績のある天草光学株式会社とした。回折格子に関しては、平成 26 年時の要求価格と合わないことから、アドバイザの紹介で海外メーカーのものを引き続き使用した。レンズのように光軸をもつ光学面が曲率な部品は、光軸基準で光部品の位置決めをおこなう可能性があった。光軸基準部品は外形を基準にすると光軸が一致しないため、光路が変わると思われたが、表面基準でも精度内に収まることが実証されたため、光軸基準の実験は平成 25 年度に終了としている。これ迄の成果により、新設計の光学配置においても光学面保護の必要性が無く実験が出来るようになった。

##### 1.4.2.1 光学面保護用の挿抜ブロック設計に関する検討

平成 24 年度 9 月下旬から表面基準の挿抜ブロックの設計をおこなった。表面基準の挿抜ブロックの設計は、本プロジェクトの成否を左右する重要な工程であった。そのため、構成メンバーの知見を持ち寄り、金型設計を行った。平成 24 年度 11 月下旬から表面基準の挿抜ブロックの製作をおこなった。知見に基づき本研究で必要となる光学部品の寸法公差と金型の寸法公差を決定後、挿抜ブロックをニュートンが設計製作した。消耗品となる光学部品の要求仕様に最適な製造先をアドバイザの提案に基づき決めた。グレーティングは、溝を掘るための微細加工装置とコーティング装置を保有しているリコー光学に製造を依頼した。

平成 25 年度 3 月下旬から光軸基準の挿抜ブロックの設計をおこなった。光軸基準部品は外形を基準にすると光軸が一致しないため光路が変わり技術的な難易度が高くなる。そのため両方法で成形が可能となる挿抜ブロックの設計検討も平行しておこなった。平成 25 年度 10 月下旬から光軸基準の挿抜ブロックの製作をおこなった。条件だしのために用いるレンズはリコー光学が製作した。

成果として、表面基準の挿抜ブロックで光学特性が十分得られたため、複雑になる光軸基準の挿抜ブロックでの成形は行わないことにした。

##### 1.4.2.2 光路をフィルムおよび膜で保護に関する検討

平成 24 年度 10 月下旬から保護膜の設計をおこなった。蒸着方式（スパッタ、イオンアシスト）と蒸着物質（ $Ta_2O_5/SiO_2$ 、 $TiO_2/SiO_2$ ）を変えて最も硬質表面と

なるものを探すため、保護膜の設計（材質選定、透過特性設計、蒸着方法選定）は東北学院大学で行なった。平成 25 年度 3 月下旬から保護膜を製作しての実験をおこなう。何れにしても実績のある膜質を選定し、イオン条件をより硬度になるよう蒸着実験を積み重ねた。

成果として、得られた光学部品を用いてニュートンで成形実験をおこない、10  $\mu\text{m}$  以下のスクラッチで光路に影響の無い状態が得られたかどうかをニュートンの設備および東北学院大学の SEM を用いて分析した。評価はスクラッチ痕でおこない表面粗さがはかれるレーザ顕微鏡で定量評価をおこなった。また損失 0.05 dB 以下であったため、平成 25 年度に実験成功と判断して、それ以上の実験は行わないという結論に至った。

#### 1.4.2.3 フィラー混練樹脂の適用と金型設計に関する検討

平成 24 年度 11 月下旬からフィラー混練樹脂金型設計をおこなった。平成 24 年度 12 月下旬から金型内部流動計算をおこなった。光部品の透過波面が乱れ無いよう金型内部で樹脂が均等に硬化して屈折率変化による歪みが発生しないことを確認した。解析ソフトは 3D TIMON を使用した。平成 24 年 12 月からソフトの操作トレーニングを実施した。フィラーに関してはプロジェクト成否の重要な工程であるため、11 月から材料調査を始めできる限り前倒しをするようにした。実験は平成 25 年 1 月からおこない、光コネクタ用樹脂として使用されているフィラー入りの熱可塑性樹脂を用いた。理由は、(1)フィラー充填率を調整する事でガラスと同等の線膨張係数が得られる事と、(2)フィラーを充填すると樹脂の流動性が悪くなり、光学面への樹脂回り込みが減少すると見込めたため、現象を逆に利用することで、最終的に光部品と金型のクリアランスの限界値を実験により求めた。フィラー入り樹脂はアドバイザーからいただき光コネクタ用の材料を購入した。数  $\mu\text{m}$  毎に隙間をあけて成形をおこない、漏れ込み長 100 $\mu\text{m}$  以下なるように、フィラー充填率、フィラー径の関係を、顕微鏡を使用して調べ、目標の漏れ込み長 100  $\mu\text{m}$  以下となった。これにより、金型および挿抜ブロックの精度を見極めることができた。本研究での大きな成果は、これまで経験的に条件を変えて試作をおこなっていたが、3D TIMON の活用で経験値とほぼ同じ結果が得られることである。これにより開発時間も半減できた。

#### 1.4.3 光学評価と機械試験に関する研究

事業化に向、プラスチック成型品が光学部品に適用できるかどうかについて開発研究と同時に評価ため、最終製品である波長モニタを製作しそれを試験に投入した。機械的および環境的な外乱を加えて、波長モニタを光学的な耐性を搭載した電子回路およびソフトで計測をおこない評価した結果、波長 80ch 以上を切り分ける性能を確認できた。

##### 1.4.3.1 機械試験

平成 25 年度から試作品の振動試験をおこなった。製品採用時に必ず求められるテレコーディア 1221 (Tlecordia GR-1221-CORE) 準拠した試験をおこなった。振動試験は宮城県産業技術総合センターの振動試験機で 20G 10 $\rightarrow$ 2000 $\rightarrow$ 10Hz/20min, XYZ 方向, 12 サイクルを条件とした。平成 25 年度 8 月下旬から試作品の衝撃試験をおこなった。同様にテレコーディア 1221 (Tlecordia GR-1221-CORE) 準拠した試験 (1.8m 落下相当, XYZ 方向, 各 8 回) をおこなった。また、試験前後に光学特性を測定するシステムを構築した。平成 26 年度に

波長センサで振動試験と衝撃試験をおこない特性劣化は確認されなかった。

#### 1.4.3.2 光学評価

平成24年度9月下旬から電子回路設計と自動制御プログラム製作を開始した。恒温槽、波長可変レーザ、試作品の電子回路を連携してデータを取得するプログラムシステムを構築して、波長可変レーザの波長を掃引して波長情報を取得できるようにした。平成26年度に回折格子の溝数変更により、新たに512素子電子回路と制御プログラムを開発して波長センサの動作確認をおこなった。その結果、80チャンネル分評価が出来た。平成25年度で電子回路の設計と製作を終了したが、平成26年度では回路の性能向上と、より使いやすい操作コマンドの開発を主としておこなった。また、長期信頼性試験のための恒温槽自動データ取得プログラムも完成した。デモ機を作成して通常使用する温度で問題ない事を確認した。また展示会にも動態展示をおこなった。

#### 1.5 当該プロジェクトの連絡窓口

株式会社インテリジェント・コスモス研究機構  
産学官連携・インキュベーション事業部  
プロジェクト・マネージャー 菊地 公博  
〒989-3204 宮城県仙台市青葉区南吉成六丁目6番地の3  
TEL: 022-279-8811, FAX: 022-279-8880

## 第2章 本論

### 2.1 脆性光学材料が圧壊しないインサート成形の確立

#### 2.1.1 射出圧力・金型温度および金型構造の最適化の検討

##### (1) 概要

グレーティングの溝数変更により、平成 26 年度より成形基板の形状が変更となった(2.1.1-1 図参照)。原因は、回折格子を特殊仕様→汎用仕様に変更を余儀なくされたことにある。回折格子を特殊仕様→汎用仕様変更する場合、1 枚使いであったものを 2 枚使いに変更しなければ、本開発品の性能が達せられないため、やむなく成形基板形状の変更に至った。成形基板形状の変更により、金型の新規起工したため、今までの検討済事項の再検証が必要となった。

2.1.1-1 図  
旧形状及び  
新形状モデル図



##### (2) アナモルフィックプリズムの圧壊

当初、形状強度的に弱い回折格子の圧壊を懸念していたが、実際に圧壊したのはアナモルフィックプリズムであった(2.1.1-2 図参照)。圧壊の状態としては光路面に干渉する圧壊が発生しているため、光学性能に影響を及ぼす可能性が高い。圧壊が発生している段階は保圧工程であることは判明しているが、保圧工程は成形品の安定性、ヒケやショート抑制に必須である。そのため、保圧をかけることを前提とした、アナモルフィックプリズムが圧壊しない改良が必要となった。

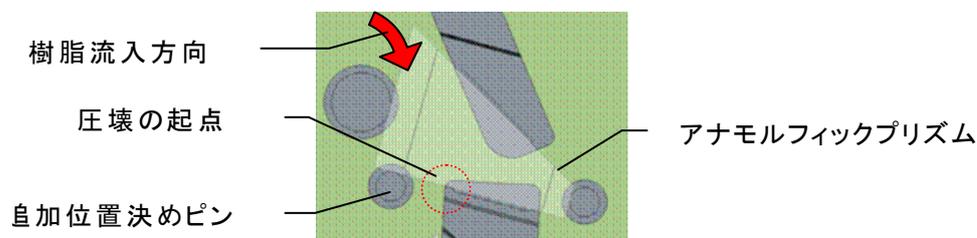
旧形状においても、同様の現象が発生しており、ゲート位置の変更と圧壊起点の移動

(2.1.1-3 図)での対策を実施し、光路面に干渉するアナモルフィックプリズムの圧壊問題は解消された。



2.1.1-2 図 プリズム圧壊(旧形状)

2.1.1-3 図  
圧壊起点  
変更対策図



作成した成形基板は 3 点ゲートだが、その中の一つがアナモルフィックプリズムと非常に近い位置にある。そのため、保圧時の樹脂圧力を大きく受けてしまうと予測し、ゲート位置をアナモルフィックプリズムから遠ざける対策を実施した。新形状成形基板試作の結果、2.1.1-4 図のようなアナモルフィックプリズムの圧壊

が確認された。今回新規に金型製作を実施したため、各パーツの位置関係等を見直し、対策を実施した。

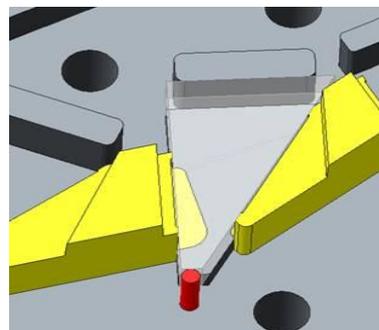
2.1.1-4 図 新形状成形基板のアナモルフィックプリズムの圧壊



### (3)アナモルフィックプリズムの圧壊対策

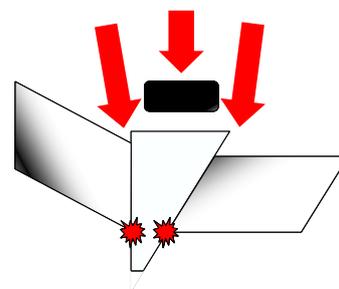
#### ・圧壊起点の移動

旧形状に関しては、前述したとおり圧壊の起点を移動することで対策を実施した。新形状の金型にも同様の機構を付与しているが2.1.1-5図を見る限り、圧壊の起点は表面基準部品的位置決め部となっている。このことから推測するに圧壊起点移動のためのパーツが機能していないため、今回の不具合が発生したと考える。



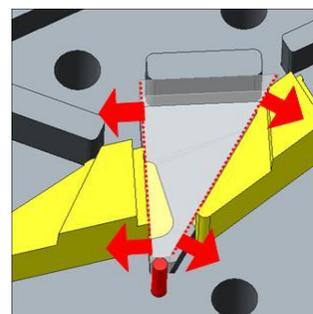
2.1.1-5 図 金型構造モデル図

2.1.1-5 図の赤いピンが圧壊起点移動のためのパーツに該当する。成形時、流入した樹脂に光学部品が押されるが、赤いピンがあることにより、表面基準部品の一面にしか当たらず、負荷は光学部品の鋭角部に集中する。しかし、赤いピンの位置もしくは表面基準部品のクリアランスが適正でない場合、2.1.1-6 図のような状態になり、光路に近い位置での圧壊が発生すると考えられる。以上のような現象と推測し、金型の入子の状態を確認した結果、光学部品と表面基準部品のクリアランスが適正でないため、光学部品と圧壊起点移動ピンが接触していないことが判明した。現在の金型は複数のパーツからできており各パーツの公差幅の影響で、現在の状況が発生したと考える。



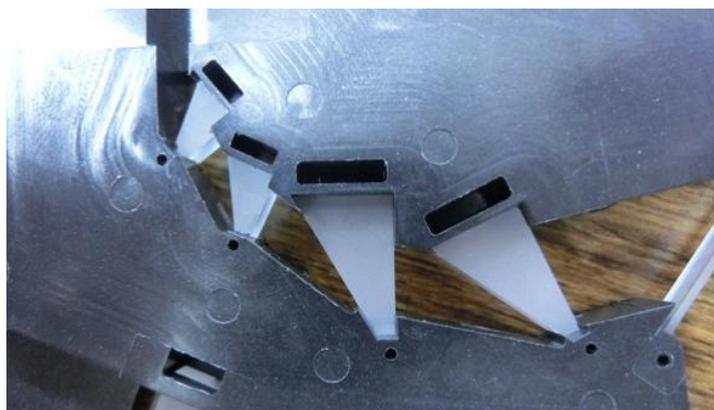
2.1.1-6 図 圧壊イメージ図

対策として、2.1.1-7 図に示すように表面基準部品(黄色パーツ)の位置決め面(赤点線部)をオフセットし、光学部品鋭角部が赤ピンに接触するように表面基準部品を追加加工する。追加加工を実施した金型での試作の結果、2.1.1-8 図に示すように成形時に発生するアナモルフィックプリズムの圧壊の低減、光路面への干渉抑制に成功した。



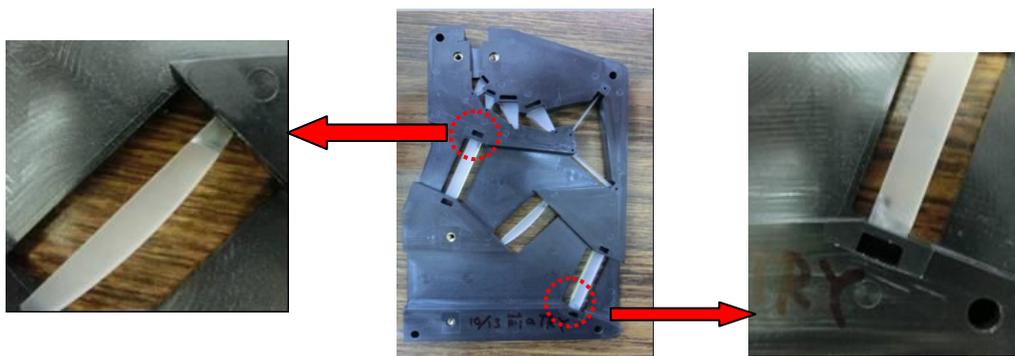
2.1.1-7 図 対策案イメージ図

2.1.1-8 図  
対策後の  
光学部品の状態



#### (4)後収縮による光学部品の破壊問題

前述した光学部品の圧壊とは異なり，成形直後には光学部品は破壊せず，時間経過により破壊に至る現象が発生した（2.1.1-9 図参照）。



2.1.1-9 図 経時により光学部品破壊に至った成形基板

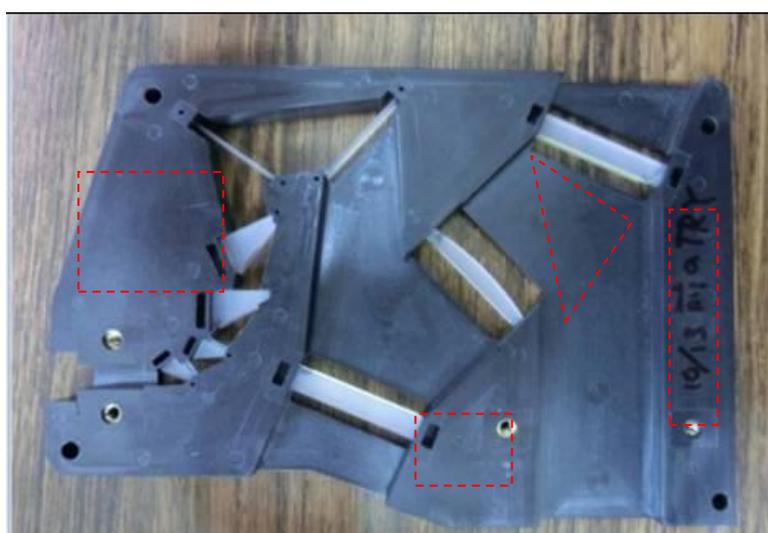
破壊している光学部品は平凸レンズ，全反射ミラーの2点である．現象から要因を推測すると，後収縮による成形基板ソリ増大のための光学部品の破壊が有力である．後収縮によるソリ増大は，成形時の残留応力が関係しており，以下のような対策方法を考えた．

- ① 成形品のソリ自体を低減させる
- ② 成形基板が反らないよう，矯正用の補強を付ける
- ③ 成形後の残留応力を緩和させる

#### (5)後収縮による光学部品の破壊対策

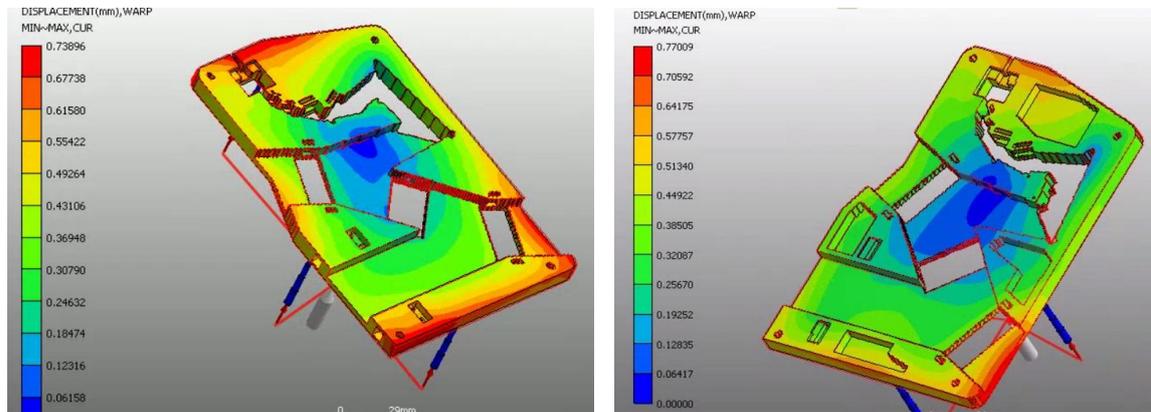
##### ①成形品ソリ量低減

ソリ量低減の効果が見込める内容として，成形条件の調整，材料の変更，製品形状の変更等が考えられるが，前者2件の内容については昨年実験し，効果無もしくはその他への悪影響有という内容にて検証が完了した．製品形状の変更については肉盗み形状付与という内容で3DTIMONにて流動解析し，計算上効果無という結果が得られたが，今回の形状にて再度検証を実施した．



2.1.1-10 図 肉盗み付与可能箇所

金型構造上，他パーツとの関係性もあるので，付与可能な箇所に肉盗みを追加，3DTIMONによる流動解析を実施した．結果を2.1.1-11 図に示す．

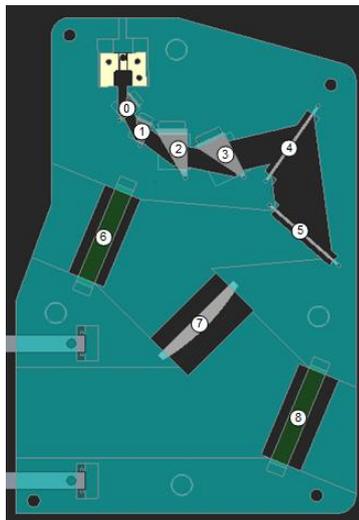


現行形状の変位量解析結果  
変位量 : 約 0.75mm

肉盗み形状の変位量解析結果  
変位量 : 約0.77mm  
可動側からの肉盗み形状付与

2.1.1-11 図 流動解析結果比較

現行形状と肉盗み形状付与品の流動解析を実施した。変位量に関しては、ほぼ変化が無い、もしくは増大するという解析結果が得られている。しかし、成形品のヒケの問題もあるので、ヒケ対策と並行して、ソリに対する効果検証のために、肉盗み付与の金型改造を実施した。試作後、成形品のソリ量を測定した。測定はハイトゲージによる高さ測定を実施し、2.1.1-12 図のように各光学部品の中心を測定した。



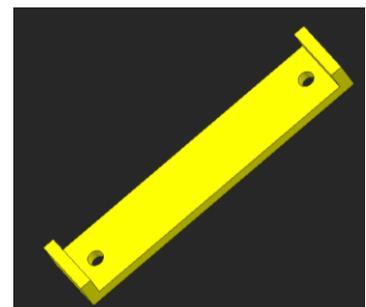
	現行形状	肉盗み形状品
0	0.00	0.00
1	0.01	0.02
2	0.04	0.03
3	0.05	0.06
4	0.08	0.07
5	0.25	0.23
6	0.36	0.34
7	0.55	0.50
8	0.10	0.10
MIN	0.55	0.50
MAX	0.00	0.00
ソリ量	0.55	0.50

2.1.1-12 図 対策①品ソリ量比較結果

いずれのサンプルのソリも同様の傾向を示しており、ソリ量も変わらない数値を示している。流動解析通りの結果が得られたという結論となった。

### ②矯正用補強板金の付与

肉盗み形状の付与対策にて、ソリに対する効果が薄かったため、2.1.1-13 図に示す補強用の板金をインサートする対策を検討した。コの字型形状で、板金両端の穴は、金型にインサートする際に位置決めするための形状である。板厚は 2mm で成形基板の薄肉部と寸法を合わせている。配置箇所に関しては、現在後収縮により破壊が発生している光学部品の近くに配置した。



2.1.1-13 図 板金形状

対策の結果、ソリの傾向に若干の変化が見られた。ソリ量の差は約 0.1mm しかないため、乏しい結果となったが、ソリの傾向に変化が見られたことから、後収縮による破壊への効果確認を実施した。確認方法としては、サンプルを増し、室温にて放置し、経時・経日による光学部品の破壊を観察した。

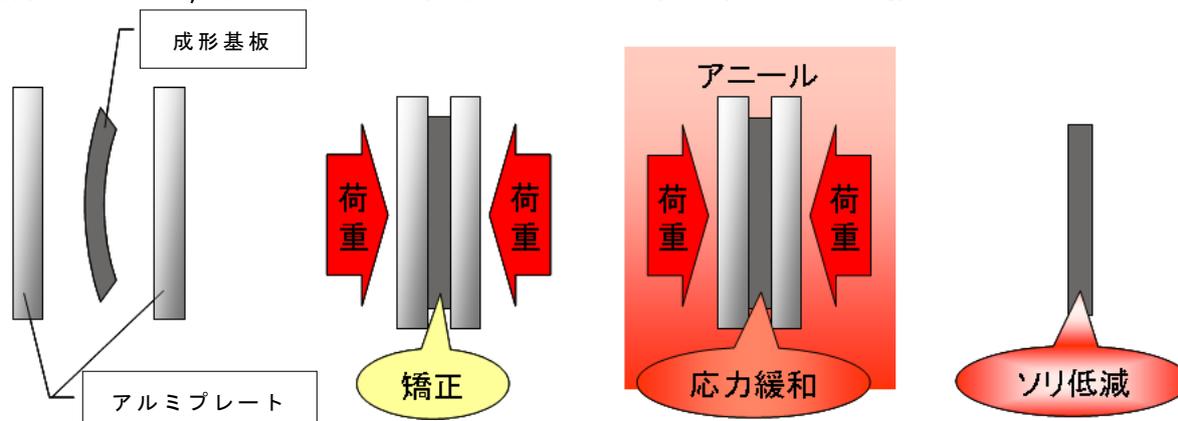
観察の結果、1/3 で平凸レンズに破壊が発生した。対策前の成形基板においては、全数破壊が発生していたため、対策の効果は有と判断するが、その効果は十分とは言えず、更なる対策が必要であることがわかった。

### ③成形後の残留応力の緩和

残留応力の緩和の手法としてアニールを選定した。アニールとは熱をかけることにより、残留応力を除去する方法を指す。成形後の成形基板にアニールを実施し、残留応力を緩和し、経時による光学部品の破壊を防ぐ方法を検討した。成形基板は今までのデータと比較するため、現状の成形条件と同等に設定した。

アニール結果は、ソリの傾向、量共にほぼ変化はないという結果であった。光学部品破壊への効果確認も同様に実施した。確認の結果、後収縮による光学部品の破壊は確認できなかった。アニール試験の結果より、成形後のアニール処理は後収縮による光学部品破壊に対し、効果があるという結果が得られた。

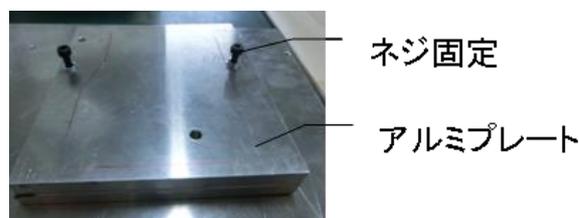
試験結果より、後収縮による光学部品の破壊を防ぐため、2.1.1-14 図に示す生産工程内にアニールを追加する。追加したアニール工程を改良し、更なるソリの低減を検討した。改良案としては、成形基板を 2 つのプレートで挟み込み加圧することにより、ソリを矯正する。その矯正状態でアニールすることにより、応力緩和がなされ、挟み込まれた状態での成形基板が得られると推測した。



2.1.1-14 図 アニールでの矯正イメージ図

矯正方法に関しては下記の通りである。

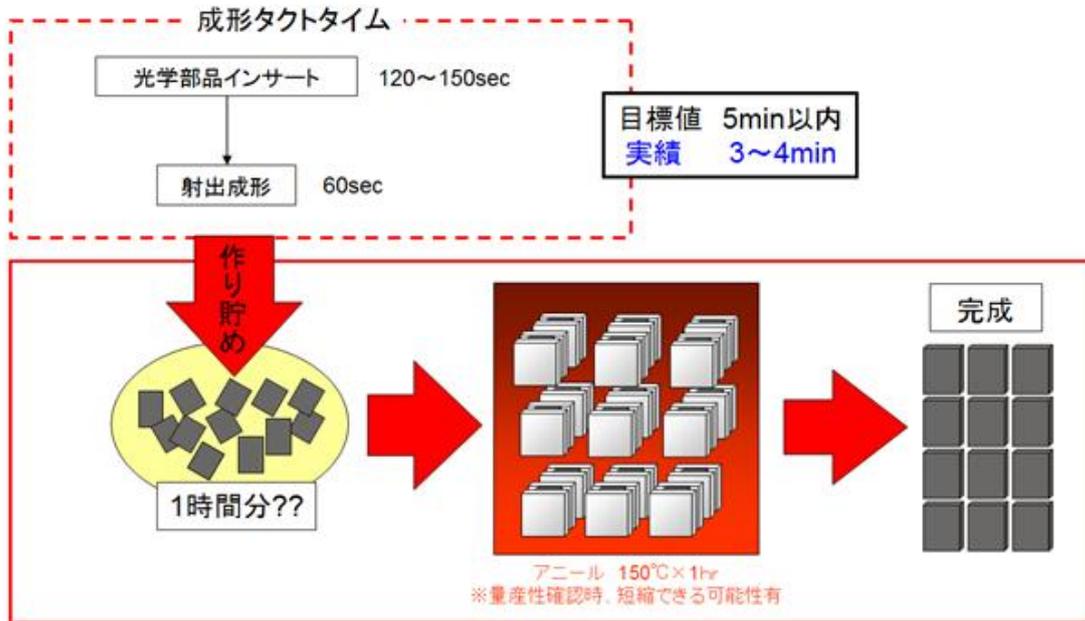
- ・ 2.1.1-15 図に示す矯正用プレート材質に関しては、熱伝導率もよいアルミ板を使用した。
- ・ 矯正(加圧)方式は、アルミ板にネジ穴を加工し、ネジ固定による加圧とした。



2.1.1-15 図 板金形状

アニール条件を変化させて実施した結果、2 時間もしくは 1 時間以内が好ましい。アニール条件は温度、アニール時間も、まだまだ検討の余地があるが、現状までで検証できている内容でアニール条件を選定した場合、時間 1 時間、温度 150℃ となった。アニール矯正品の現状のソリ量としては、0.1～0.15mm である。

現在まで検証できている内容での量産工程を 2.1.1-16 図に示す。



2.1.1-16 図 最終的な量産工程について

## 2.2 光路への樹脂の回り込みがなく光学面の損傷がないインサート成形の確立

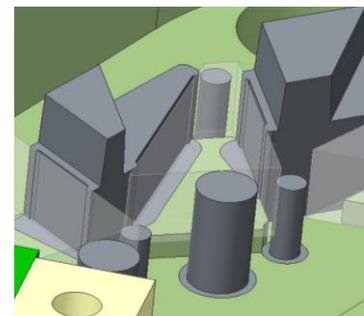
### 2.2.1 光学面保護用の挿抜ブロック設計に関する検討

成形基板にインサートしている光学部品は、光を通過させる関係上、光路面に傷や樹脂の回りこみ等があると、光学性能に悪影響を与えてしまう。13 年度に金型設計は完了し、光路面の傷対策として、表面基準部品の光路面を逃がすという対策は講じており、今期、実物の検証を進めた。また、傷や樹脂の回りこみの他にも、成形時に発生するガスの光学性能への影響を調査する必要がある。

#### ① 光路面傷の検証

金型構造上、インサート時、離型時に光学部品光路面に傷がつかないように光路面と表面基準部品が接触しない。光路逃し面の構造を 2.2.1-1 図に示す。目視での観察では、光路表面に傷の存在は確認できない。ミクロ的に観察するために、光路表面をレーザ顕微鏡により観察した。サンプルはインサート成形基板から取り出した光学部品を使用した。観察結果を 2.2.1-2 図に示す。

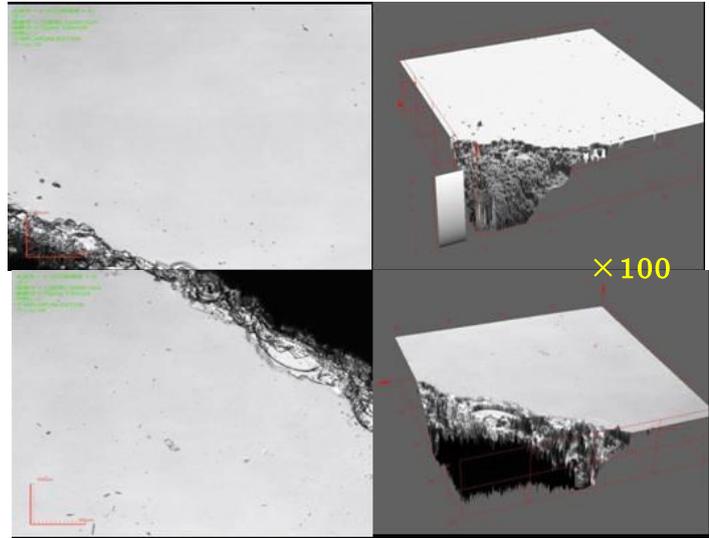
レーザ顕微鏡での観察の結果、光路表面に傷の存在は確認できなかった。表面基準部品の光路面との接触箇所に逃がしをつけることにより、光路面傷への対策は可能である。



2.2.1-1 図 光路逃し面構造

### ② 成形ガス影響の検証

成形基板はP P Sという樹脂で成形しており、成形時に多量のガスが発生する材料である。成形ガスは樹脂内に含まれる添加剤、未反応剤等の化学成分が気体化したものである。成形時は高温であるため、気体の状態にて金型内に流れ込むが、温度が下がるにつれて状態変化し、最終的には固体になる。気体状態で金型内部の隙間に入り込んでいくため、光学部品の光路表面にも成形ガスが付着していると推測している。その付着した成形ガスがレーザー光減衰の要因となりうる濃度であるか検証を実施した。検証方法は、成形前の全反射ミラーと成形基板から取り出した全反射ミラーをサンプルとして使用し、2種類のサンプルにレーザー光を当てる。その反射光のpowerを比較し、成形前後でのレーザー光減衰の有無を検証した結果、成形前後で反射光のpowerに低下が見られなかったことから、光学部品に付着したガスはレーザー光の減衰に影響しない、もしくは影響する程のガス付着ではないという結論が得られた。



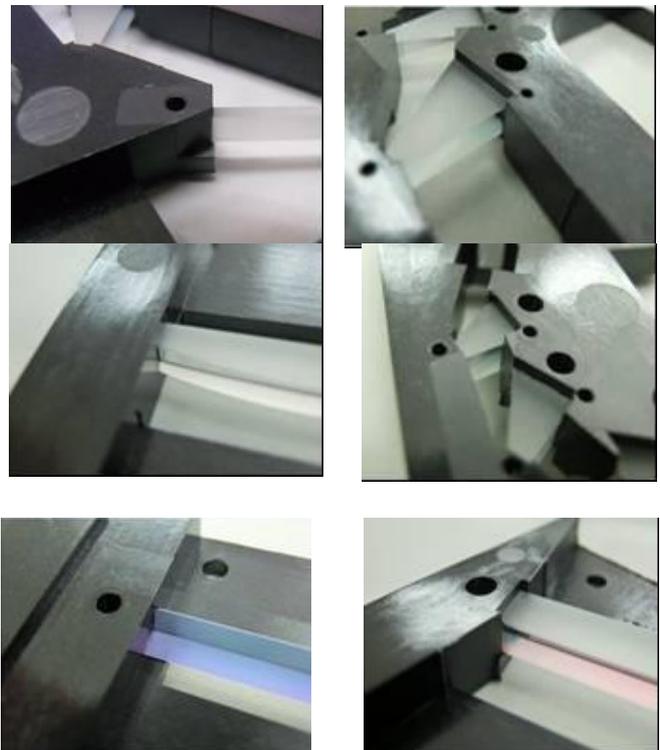
2.2.1-2 図 インサート成形後の光学部品の表面状態観察結果

### ③ 光路面への樹脂の回りこみ検証

初期成形基板の光学部品への樹脂回りこみ量は 0.1mm 以下と、ほぼ樹脂の入り込みが無い状態である。(2.2.1-3 図参照)

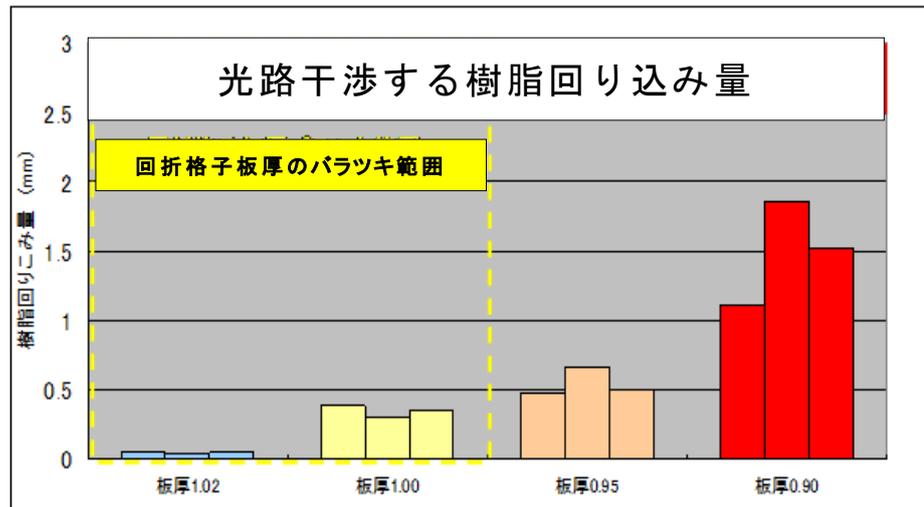
成形条件によっても変動するが、表面基準部品と光学部品とのクリアランスも大きな要因のひとつである。現状は問題となっていないが、光学部品の板厚が寸法公差範囲でバラついていた場合、もしくはそれ以上にクリアランスが増大した場合、光路面への樹脂回りこみの干渉がないか検証した。

検証方法は以下の通りで、回折格子と同形状(3×30×t1)金属板の厚みのみを振り分けたダミー回折格子をインサート成形することにより、クリアランスと樹脂回りこみ量の関係性を検証した。厚みは 1.02mm(回折格子と同等)、1.01mm、1.00mm、0.95mm、0.9mm の 5 種類を用意した。(2.2.1-5 図 ダミー回折格子厚み 1.01mm) 検証結果を 2.2.1-4 図に示す。

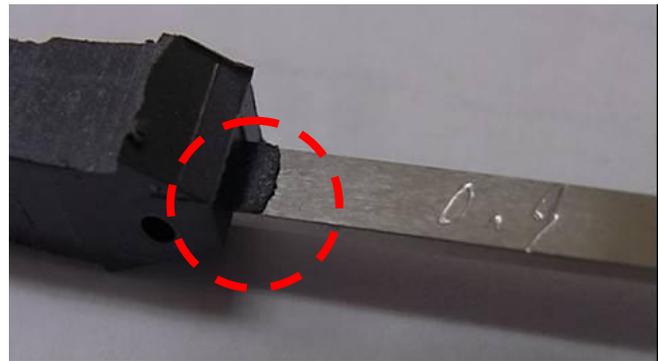


2.2.1-3 図 成形基板の光学部品光路面の状態

2.2.1-4 図  
クリアランスと  
樹脂回りこみ量  
検証結果



検証の結果より、板厚 0.9mm(クリアランス 0.13mm)の場合でも、光路に干渉するような樹脂の回りこみは発生しないという結果が得られた。2.2.1-5 図に板厚 0.9mm のダミー回折格子にて成形したサンプルの写真を示す。



2.2.1-5 図 板厚 0.9mm の樹脂回り込み写真

インサート成形において、クリアランス 0.13mm は樹脂の回りこみよりも、インサートの位置決めが問題になるレベルであり、通常は考えにくい数値である。よって、今回の金型においては、樹脂の回りこみを懸念する必要はない結果となった。

### 2.2.2 光路をフィルムおよび膜で保護に関する検討

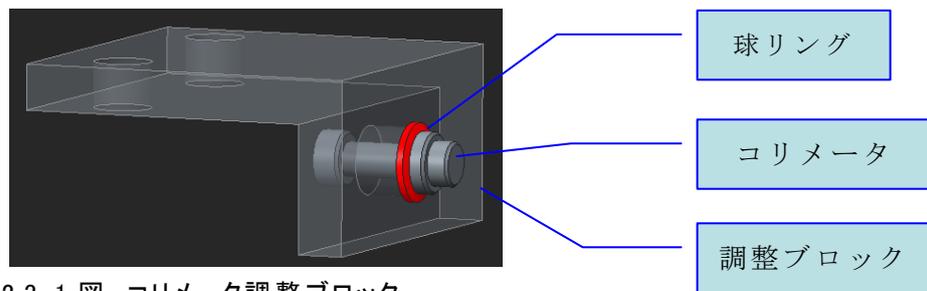
保護膜の設計は、蒸着方式(スパッタ, イオンアシスト), 蒸着物質 ( $Ta_2O_5/SiO_2$ ,  $TiO_2/SiO_2$ ) を変えて最も硬質表面となるものを探した。評価はスクラッチ痕でおこない表面粗さが測定できるレーザ顕微鏡で定量評価をおこなった。高スクラッチ耐性条件の反射防止膜をつけプリズムを製作し、ニュートンで試作金型に入れて実験をおこなった。保護膜の設計(材質選定, 透過特性設計, 蒸着方法選定)後、まず始めに製膜はイオンアシストによる方法で評価したところ良好な結果が得られた。この光学部品を用いて試作金型で実験をおこなったが特に大きな問題はなく、最も実績のある膜は  $Ta_2O_5$  で今後進めることにした。損失 0.05 dB 以下であったため、実験成功と判断して、それ以上の実験は行なわないという結論に至った。

### 2.2.3 フィラー混練樹脂の適用と金型設計に関する検討

フィラー材料を調査し、繊維状のフィラーと粒状フィラーを選択して、3D TIMON で解析をおこなった。一方、成形実験はプリズムの圧壊の懸念があるのでフィラー無しで数  $\mu m$  毎(暫定)に隙間をあけて成形をおこなった。成形実験結果では当初目標の漏れ込み長 100  $\mu m$  以下となった。また、3D TIMON で解析結果は成形結果および経験値とほぼ同じ結果が得られることがわかり、当初目的の開発時間半減も達成された。

### 2.3 光学評価と機械試験に関する研究

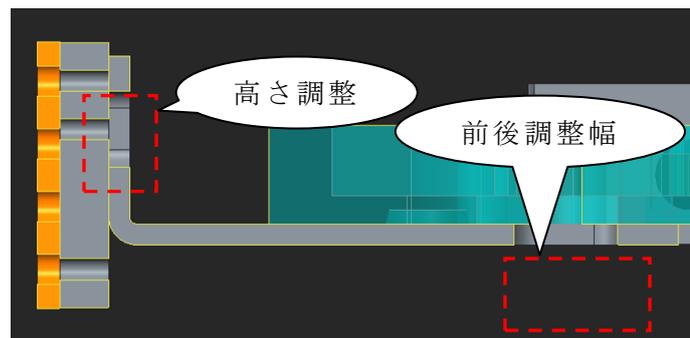
成形基板の光学性能の評価のため、コリメータに角度調整機構、リニアイメージセンサに位置調整機構として、2.3-1 図のような形状を設計した。球リングと調整ブロックにて構成とした。球リングは、球リングとコリメータの R 部分を合わせることで容易に角度調整の機能があり、調整ブロックに関しては、コリメータを通しての穴は、コリメータに対しクリアランスがあり、そのクリアランスで縦横方向の調整、及び成形基板への取り付け機能がある。最終的な固定は溶接にて実施し、完全固定する。



2.3-1 図 コリメータ調整ブロック

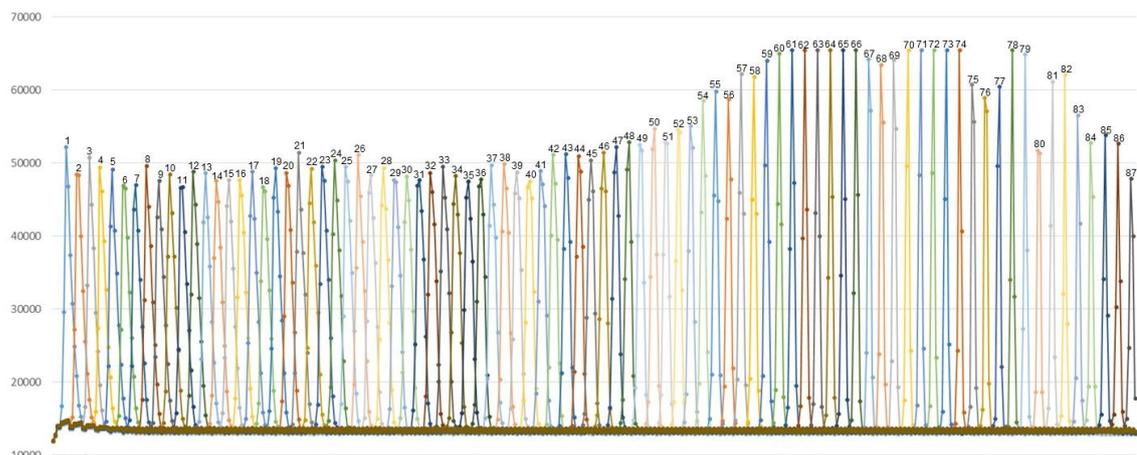
次にリニアイメージセンサの調整機構の検討を実施した。リニアイメージセンサの調整機構は、集光位置の調整と高さ方向の調整が必要となっている。集光位置の調整は、平凸レンズとの距離調整であるため、前後方向の調整である。

また、高さ調整に関しては、成形基板のソリの影響で光学部品が傾いてしまい、反射型の光学部品をレーザ光が経由した際に、レーザにも角度がついてしまうことに対する調整ができるようにした。



2.3-2 図 リニアイメージセンサ位置調整機構

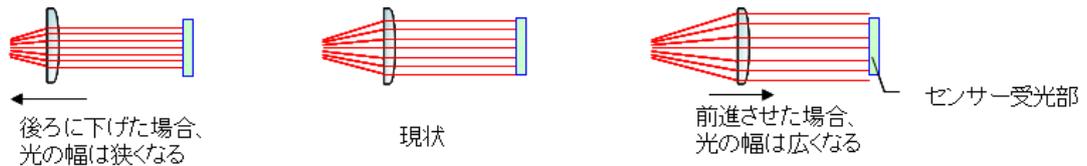
2.3-2 図が調整機構のイメージ図となる。調整用板金の長穴部分にて前後方向と上下方向の調整を行う。固定用プレートはリニアイメージセンサの基板と調整用板金を固定する機能を果たす。調整用板金の成形基板への固定は、成形基板にビットインサートをインサート成形し、そのネジ穴にネジ固定する。上記構想にて成形基板を作成して評価を実施した。



### 2.3-3 図 成形基板光学性能評価結果

成形基板への調整機構追加の結果，リニアイメージセンサのレーザ光の受光したことにより，前述した調整機構を成形基板に付与することにより，2.3-3 図に示す光学性能が得られた．光学部品位置調整の課題としては，現状の成形基板の光学性能評価において，リニアイメージセンサの受光範囲に対し，プリズムにより拡張された光の幅が大きいため，全波長を受光できない状態である．成形基板のソリが影響している可能性が高いが，アニール矯正品でも完全なソリ抑制は現実的に困難であるため，調整機構は必需となる．

光の幅を比較的容易に変更するには，平凸レンズの前後方向の調整が効果的であることがわかった．そのときのイメージを 2.3-4 図に示す．



2.3-4 図 光の幅調整イメージ

平凸レンズを回折格子側に移動することにより，光の幅を縮小し，全波長の光をセンサ受光部にて受光できるように調整する．設計検討の結果，約 1.5mm 位置調整して全波長を受光できるように改善した．

#### 2.3.1 機械試験

機械試験は，2.3-1 表に示す Telcordia が定める条件に従って実施した．

この試験によって，成形が均等になされているか，光部品の外れがないかなど確認した．

試験項目	試験条件
温度試験	0度～65度，保持時間10分，2週間連続
振動試験	5 to 100 to 5 Hz, 1G
衝撃試験	50G, 10ms

2.3-1 表 機械試験条件

光通信システム用光デバイスは，高信頼性が求められる．温度 65 度に保持した恒温槽に 2 週間（336 時間）投入して波長変動および損失変動の試験は必須である．また，最終的に Telcordia 長期試験に準拠して，最大使用温度 65 度で 8,000 時間投入しても特性劣化しないデバイスを目指している．平成 26 年度は試作したプラスチック成形基板について，2.3-5 図に示す温度試験装置を用いて温度試験を実施した．試験条件は Telcordia 規格よりも厳しい保持時間を含めた 1 時間で -10℃ と +85℃ 間を上下し，プラスチック成形基板を 72 時間，168 時間，および 336 時間経過するごとに観察し，クラック発生などの変化の有無を確認した．判定基準は顕微鏡で目視観察とした．



2.3-5 図 温度試験装置

### (1) 試作品の振動試験

新形状の光学部品をインサート成形したプラスチック基板を前述 2.3-1 表に示す機械試験条件で試験し、顕微鏡観察において変化は認められなかった。

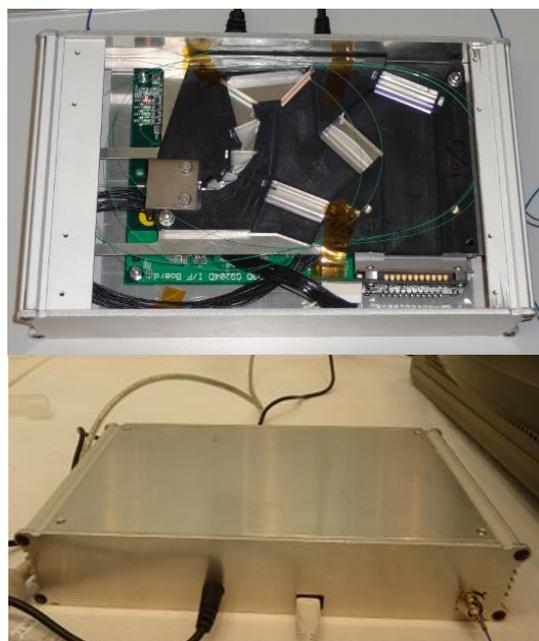
### (2) 試作品の衝撃試験

新形状プラスチック基板を前述 2.3-1 表に示す機械試験条件で試験し、顕微鏡で観察したが変化は認められなかった。

### (3) 波長センサ付きの振動試験

新形状プラスチック基板にコリメータと浜松フォトニクス社の 512 素子ラインセンサを付け、筐体に内蔵した製品を 2.3-6 図に示す。

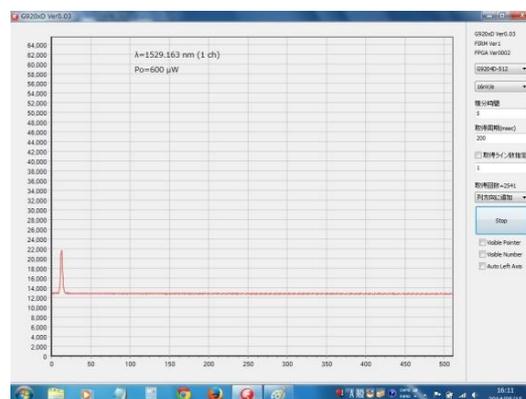
それを振動試験機に取り付け 2.3.1-1 表に示す振動試験条件で試験した。その結果 2.3-7 図に示すように 1529.163 nm の前後とも同じ表示で変化が認められなかった。パワーに関しては多少変動があったが、光源の出力変動レベルと同じであるため、振動による劣化ではないと判断した。同様に、方向を 3 方向変えても変動は認められなかった。また、波長 18ch (1535.822 nm) , 45ch (1546.518 nm) , 70ch (1556.555 nm) , 77ch (1559.389 nm) , 86ch (1563.047 nm)でも測定したが変化は認められなかった。



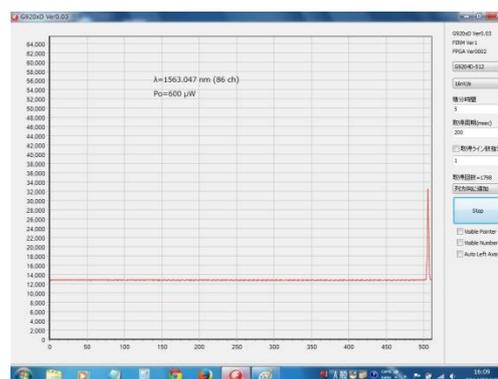
2.3-6 図 製品外観

### (4) 波長センサ付きの衝撃試験

(3) 同様に、2.3.1-1 表に示す衝撃試験条件で試験し、最初試験で光が不通となった。調査結果、512 素子の受光センサの固定ネジの緩みがあることが分かり、再調整後に固定ネジにネジロックを塗布して 1 日後再試験をおこない、2.3-8 図に示すように 1529.163 nm の前後とも同じ表示で変化が認められなかった。パワーに関しては多少変動があったが、光源の出力変動レベルと同じであるため、衝撃による劣化ではないと判断した。同様に、方向を 3 方向変えても変動は認められなかった。また、波長 18ch (1535.822 nm) , 45ch (1546.518 nm) , 70ch (1556.555 nm) , 77ch (1559.389 nm) , 86ch (1563.047 nm)でも測定したが変化は認められなかった。



2.3-7 図 振動試験後の波長(1ch)



2.3-8 図 衝撃試験後の波長  
(86ch の例)

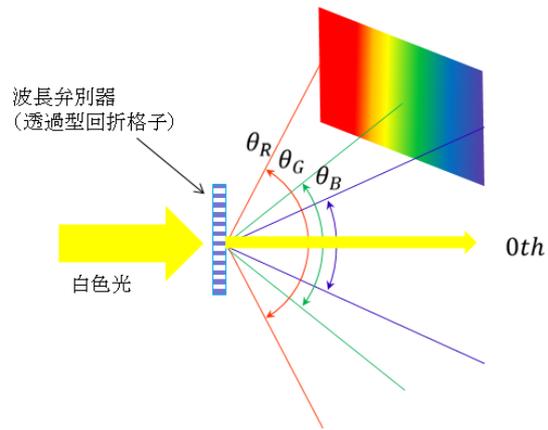
### 2.3.2 光学評価

波長センサの原理は 2.3-9 図 (a) に示すように回折格子に入射した光は、波長に応じた角度で回折する。2.3-9 図 (b) のように、光の進行方向に直線状に画素（受光素子）を配置すれば、画素の応答位置から光の波長を知ることができる。本研究開発の波長センサは、この原理を応用している。波長センサの分解能は以下の要素から影響を受ける。

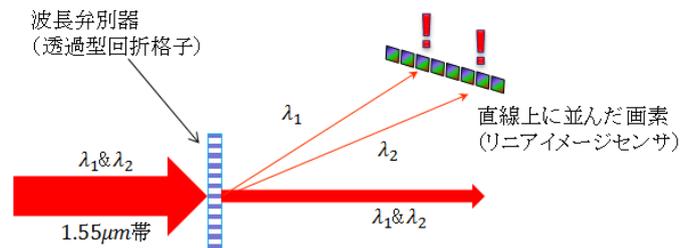
- ① 回折格子と画素の距離。
- ② 回折格子の溝本数。
- ③ 単位長当たりの画素数。

従って、波長センサの設計では、これらの要素を考慮する必要がある。

(a)透過型回折格子による分光の様子



(b)リニアイメージセンサと回折光



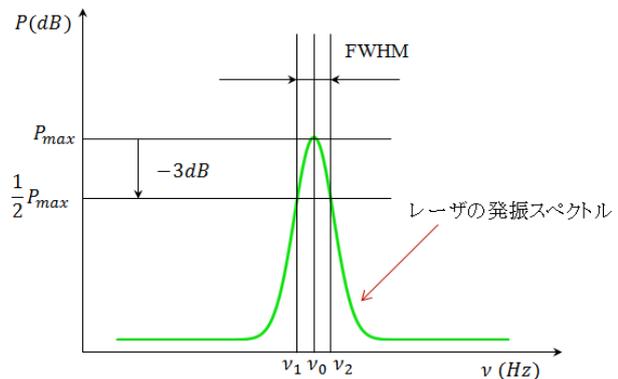
直線上に並んだ画素の位置から入射したレーザー光の波長を判断

2.3-9 図 波長センサの原理

リニアイメージセンサの応答につ

いては、チューナブルレーザを用いた実験では 256 画素のリニアイメージセンサを利用した。このリニアイメージセンサで ITU-T Grid C-Band の全波長を検出する場合、1 チャンネル当たりの画素数は最大で 2.9 画素となる。リニアイメージセンサの端にある画素まで利用した場合、画素が配置された直線方向に対して、画素サイズ以下の高い精度で取り付けなければならない。ロバストネスを確保するためには、有効画素数は低下するがリニアイメージセンサ両端にある数画素の利用を避けるべきである。リニアイメージセンサ両端の 10 画素、計 20 画素を利用しない場合であれば、波長センサとしての有効画素数は 236 画素となり、1 チャンネル当たりの画素数は 2.7 画素程度である。

レーザの発振幅：半値全幅 (Full Width at Half Maximum)で定義する



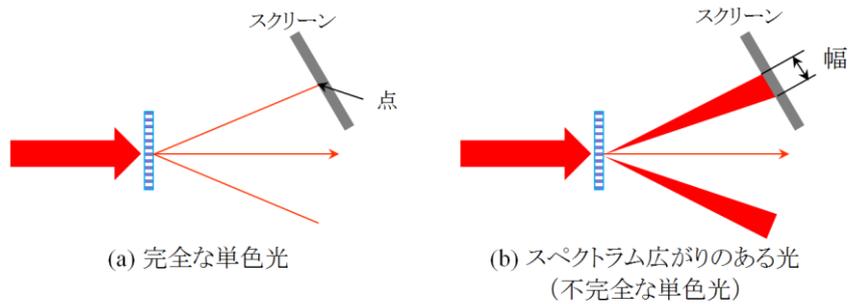
2.3-10 図 レーザのスペクトラム

レーザのスペクトラムは、2.3-10 図で示すように広がりを持つ。スペクトラムに広がりのある光を回折格子に入射させると、光は一点に収束するのではなく、直線状となって観測される。その様子を 2.3-11 図に示す。

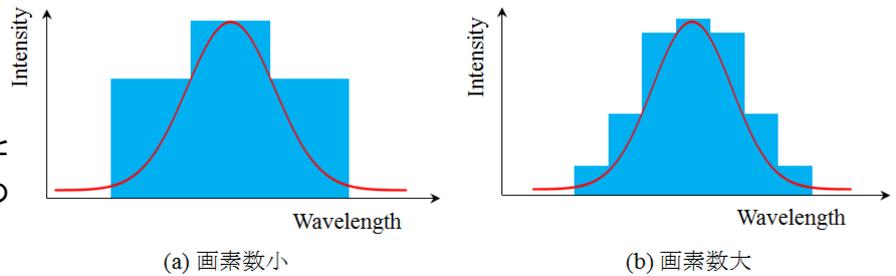
波長センサは 2.3-11 図のスクリーンの位置にリニアイメージセンサを配置している。2.3-12 図にスペクトラムに広がりのある光信号に応答するリニアイメージセンサの応答を示し、バーグラフがリニアイメージセンサの出力値である。等間隔に配置されたリニアイメージセンサの画素によって、光強度分

布は空間的に標本化される。

2.3-11 図 分光器と  
スペクトラムの広がり



2.3-12 図  
レーザのスペクトラムと  
リニアイメージセンサの  
画素数



2.3-12 図(b)は、2.3-12 図(a)よりも単位長当たりの画素数が多い（標本化間隔が狭い）リニアイメージセンサの応答を示している。リニアイメージセンサの画素サイズと ITU-T Grid は、リニアイメージセンサの画素が出力する電圧は以下の式に従う。

$$y = a x^r + b \cdots (1)$$

$y$  : 出力電圧

$x$  : 露光量

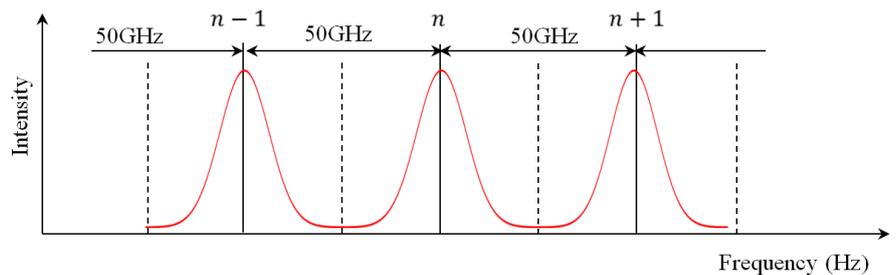
$a$  : 感度（露光量に対する出力比）

$b$  : 暗出力（露光量=0 のときの出力）

$r$  : 傾き係数

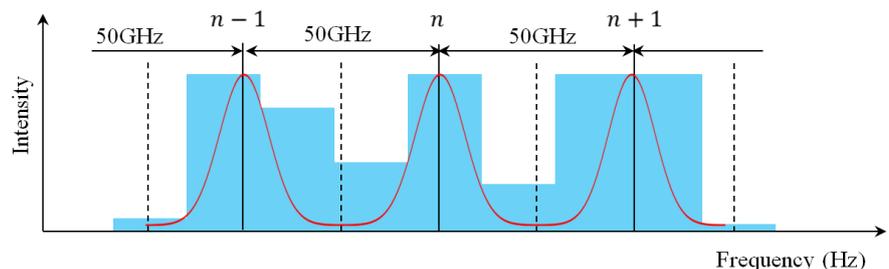
狭い波長範囲では、露光量  $x$  以外のパラメータは定数として扱うことができる。即ち、リニアイメージセンサの出力は、露光量  $x$  の 1 次関数である。さらに、露光量  $x$  は画素に入射する単位時間あたりのエネルギーと蓄積時間の積で定まるため、蓄積時間が一定ならば出力電圧は画素に入射するエネルギーに比例する。

2.3-13 図に示すように、ITU-T Grid C-Band はチャンネル間隔を 50GHz と定めて



2.3-13 図 ITU-T Grid C-Band のチャンネルの定義

さらに、露光量  $x$  は画素に入射する単位時間あたりのエネルギーと蓄積時間の積で定まるため、蓄積時間が一定ならば出力電圧は画素に入射するエネルギーに比例する。



2.3-14 図 リニアイメージセンサによる 50GHz Grid の観測例

いる。

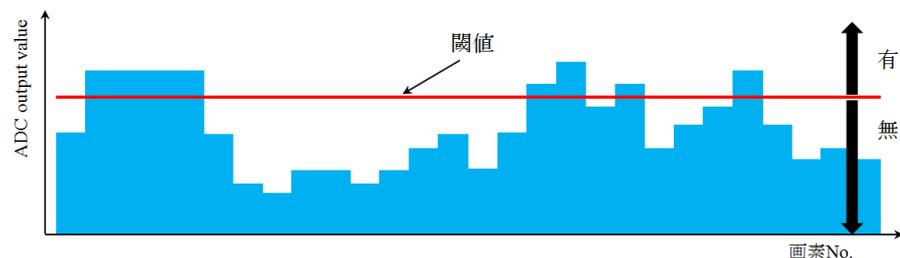
1.55 $\mu\text{m}$  帯における周波数間隔 50GHz はおよそ 0.4nm に相当する。2.3-14 図は、1 チャンネルの間隔に 2.7 画素を割り当てられるリニアイメージセンサを用いて、2.3.2-5 図のスペクトラムを観測した様子を示している。この場合、スペクトラムピーク間にある少なくとも 1 画素は、隣接するチャンネルのスペクトラムに分布するエネルギーの影響を受けている。

リニアイメージセンサを用いた波長センサでスペクトラムの形状を検出する場合、標本化定理の制約が生じる。2.3-14 図の棒グラフを曲線近似しても、赤線で描いたスペクトラムとは異なる形状になる。これは、スペクトラムの空間的な周波数が、リニアイメージセンサの空間的なナイキスト周波数を上回っているためである。標本化定理より、スペクトラムの形状を明らかにするためには、スペクトラム形状が持つ空間的な周波数の 2 倍以上の空間的な標本化周波数で観測する必要がある。しかし、波長センサの目的は信号光の有無を検出することである。従って、信号光の有無の判別は、信号光のスペクトラムに含まれる情報の一部が検出できれば十分であるため、空間的な標本化周波数がナイキスト周波数を下回っていても問題はない。

ITU-T Grind C-Band の全チャンネルのスペクトラムピークをリニアイメージセンサで観測するためには、スペクトラムピークの間隔は画素ピッチ（標本化間隔）の整数倍でなければならない。しかし、回折角は波長に対して非線形に定まるため、スペクトラム間隔も一定ではない。よって、画素ピッチとスペクトラムピークを一致させることは困難である。従って、複数の画素の情報からチャンネル占有の判別する必要がある。

チャンネル占有の誤判別原因と対処法については、リニアイメージセンサで取得したスペクトラム信号の強度が閾値を超えた場合、波長センサはチャンネルが占有されていると判断する。エラーを防ぐため、2.3-15 図に示すように閾値は隣接チャンネルの信号光や雑音よりも高く設定する必要がある。誤判別のモードには、雑音の原因となるものと、画素の位置のずれが原因となるものの 2 つがある。チャンネル誤判別の原因となる雑音には、リニアイメージセンサを含むシステム内部で発生する雑音と、隣接チャンネルの信号光が原因のものがある。

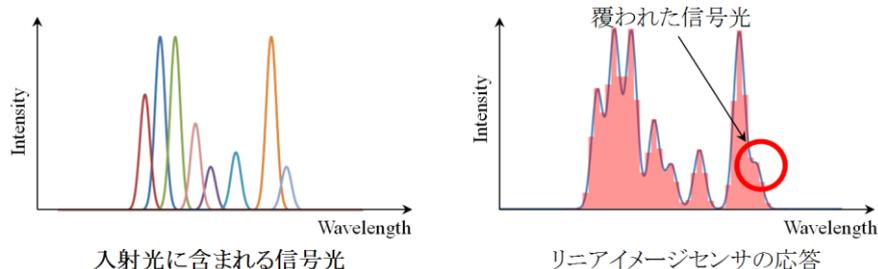
2.3-15 図  
閾値による  
チャンネル占有  
判別の概念図



システム内部で発生する雑音は、回路構成を工夫したりリニアイメージセンサを冷却したりすることによって低減させることができる。リニアイメージセンサのダイナミックレンジより、システム内部で発生する雑音が誤判別の原因となるのは信号光強度が-60dBm 程度の場合である。通常、信号光の強度は-60dBm になることはないので、システム内部で発生する雑音は本研究開発では問題にならない。

隣接チャンネルの信号光が雑音になるケースは、検出しようとするチャンネルの信号光が隣接チャンネルの信号光強度よりも弱い場合に生じる。リニアイメー

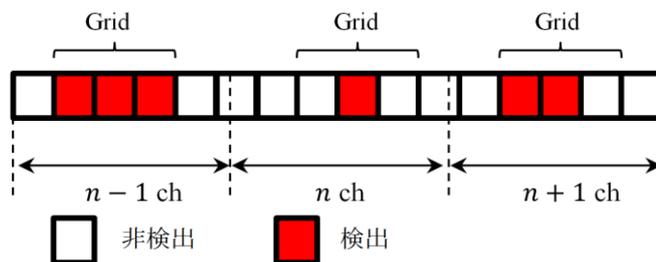
ジセンサの出力は入射する光のエネルギーに比例するため、2.3-16 図に示すように、弱い信号光が隣接チャンネルのスペクトラムに覆われて区別ができない場合が生じる。



波長センサを構築するためには、精密な機械的調整による方法か信号処理による方法で補正することができる。本研究開発では、時間と熟練を要する機械的調整ではなく、信号処理によって補正を行う。

チャンネル占有判別について、波長センサは、設定した閾値を超える値を出力した画素の位置から占有されているチャンネルを判別する。2.3-17 図に示すように、信号光のスペクトラムには広がりがあるため、複数の画素が閾値を超える値を出力する。2.3

-17 図は、1 チャンネル 2.3-16 図 強度差のある信号光に対するリニアイメージセンサの応答  
 ネルあたりに割り当てられる画素数が整数ではない場合を描いたもので、チャンネル境界に存在する画素も描いている。チャンネル境界の画素が検出する光は、信号光スペクトラムの裾に存在するエネルギーであるため、本来は小さな値を出力する。しかし、熱膨張や信号光波長のドリフトが生じると、閾値を超える大きな値を出力する場合があります、チャンネル占有誤判別の原因となる。従って、チャンネル占有判別には、チャンネル境界の画素からの情報は用いるべきではない。



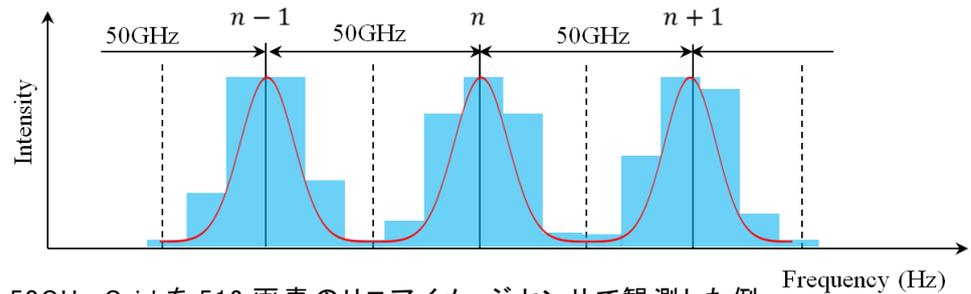
2.3-17 図 強度差のある信号光に対するリニアイメージセンサの応答

チャンネル占有判別には、スペクトラム中心付近に存在する数画素を Grid として選択して用いる。Grid の出力に対して、AND（論理積）または OR（論理和）のどちらかの論理演算を行い、最終的なチャンネル占有判別を行う。採用する論理演算によって、波長センサのエラーモードは異なる。AND を採用した場合は、全ての Grid に入力がない限りチャンネル占有と判別しない。従って、雑音による誤判別のリスクが少ないが、スペクトラムと画素の相対的な位置ずれに耐性がない。OR を採用した場合は、Grid の何れかに入力があればチャンネル占有と判別する。このため、画素の位置ずれに対して Grid 数に応じた耐性を示すが、雑音による誤判別のリスクがある。

分解能では、隣接チャンネルの影響や、画素位置とピークの不一致や隣接チャンネルからの影響を受ける原因は、画素が観測しようとするスペクトラムに対して大きいためである。従って、より分解能が高いリニアイメージセンサへの変更が必要である。

512 画素のリニアイメージセンサを用いたスペクトラムを観測したケースを

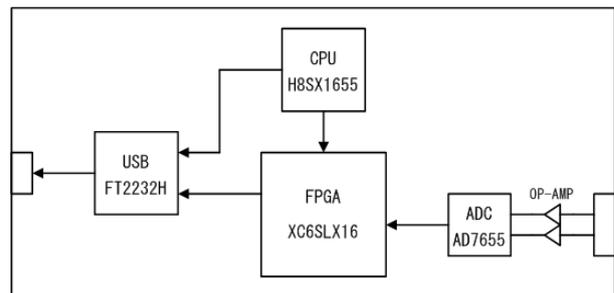
2.3-18 図に示す．512 画素のリニアイメージセンサの画素サイズは，256 画素の約半分であり，凹凸が明確になっている．情報量が増大したため，誤判定の低減が期待できるので，途中から 512 画素のものを採用して研究開発を進めてきた．



2.3-18 図 X20 50GHz Grid を 512 画素のリニアイメージセンサで観測した例

### (1) 電子回路設計製作

512 素子駆動用のブロックダイアグラムを 2.3-19 図に示す．2.3-20 図に回路の外観を示す．この基板を 2.4.1-4 図の製品製品筐体を実装する時にコネクタから何本もケーブルが出ていたため堅く筐体内部で配線の取り回しが厳しかったため改良を加えた．フレキシブルケーブルは高価なため unnecessary ケーブルは削除して本数を減らす事に対応したし，動作自体に問題はない．  
今回の対応で 256 素子と 512 素子どちらでも対応できるようにした．



2.3-19 図 512 素子駆動回路のブロックダイアグラムした例

2.3-20 図 512 素子駆動回路



### (2) 制御プログラム製作

平成 26 年度では制御プログラムを 512 素子対応することで大幅に変更した．加えて性能も見直してより高速処理できるようプログラムを作成した．大きな変更点および仕様は以下の通りである．大きく分けて，表示，演算，設定の 3 つのパートを改良した．

#### ① 表示

- 1) AD 値，相関関数の評価結果をグラフヘリアルタイムに表示
- 2) CH 検出結果を上部の一覧へ表示

#### ② 演算

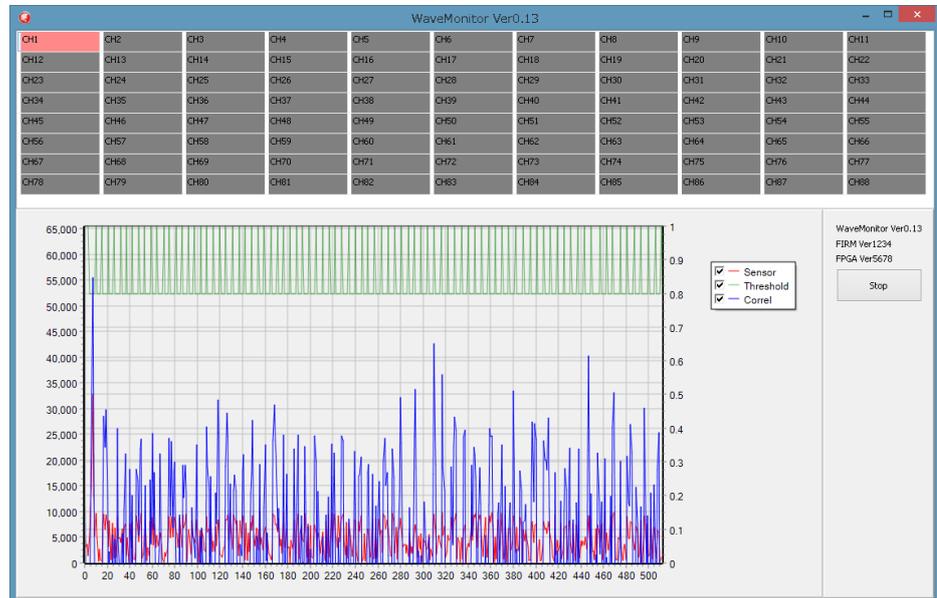
- 3) AD 値取得と相関関数の評価をスレッド化して演算効率向上

#### ③ 設定

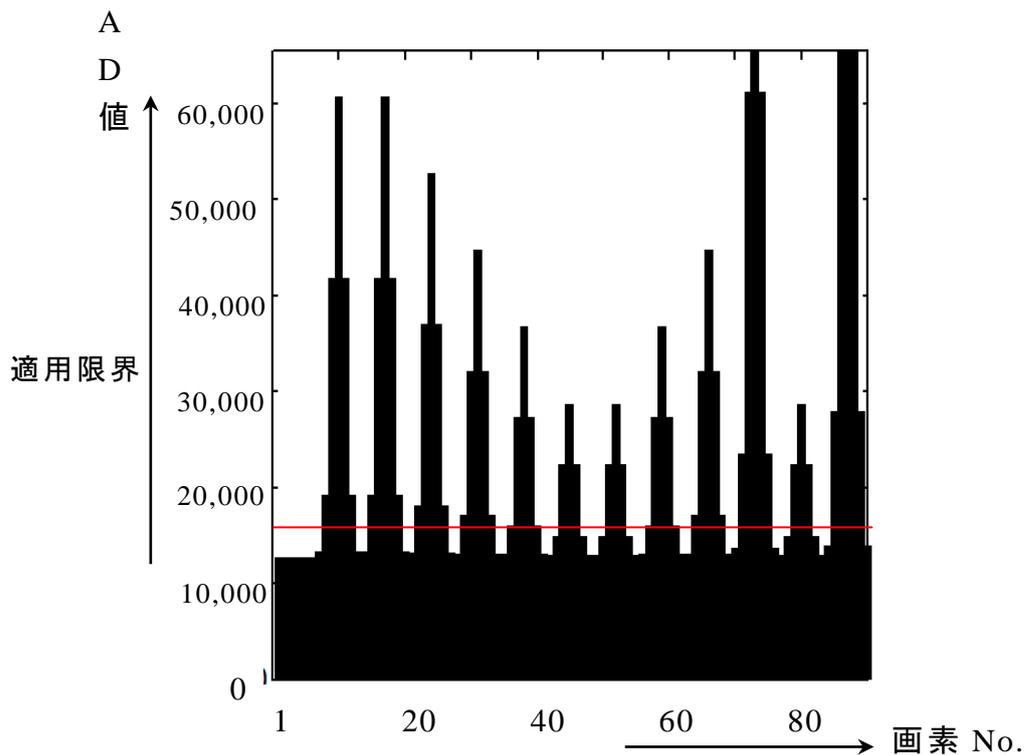
- 4) 相関関数の評価パラメータを別ファイル(correl\_xk.csv)から読み込み
- 5) チャンネル検出位置を別ファイル(pd\_wl.txt)から読み込み

- 6) 検出したチャンネルの番号(wl\_title(ch).txt)と波長(wl\_title(nm).txt)を別ファイルから読み込み
  - 7) 画面設定の初期設定を別ファイル(WaveMonitor.ini)から読み込み
- 2.3-21 図に新しく設計した表示画面を示す。全体のチャンネルを一目で理解できるように工夫した。その上で、下に AD 値、相関関数の評価結果をグラフハリアルタイムに表示できるようにした。

2.3-21 図 新しく設計した表示画面



2.3.-22 図 雑音除去

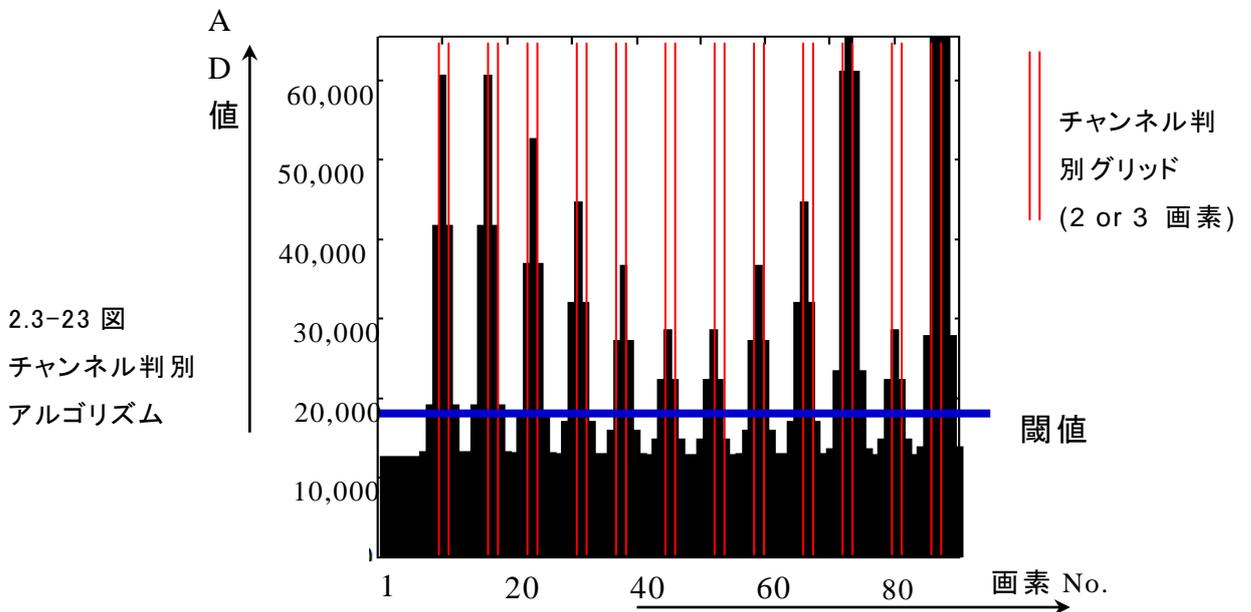


また、2.3-22 図に示すように演算において SNR 悪化時のみ相関関数を用いた雑音除去をおこなった。メリットは、雑音を除去して信号の有無の明瞭度を改善できる（※加算性雑音に限る）ことと、相関元の波形形状を自由に設定できる事である。欠点は計算機資源を大量に消費するところである。メモリを多く積み高速な CPU を用いる事で欠点はカバーできる。

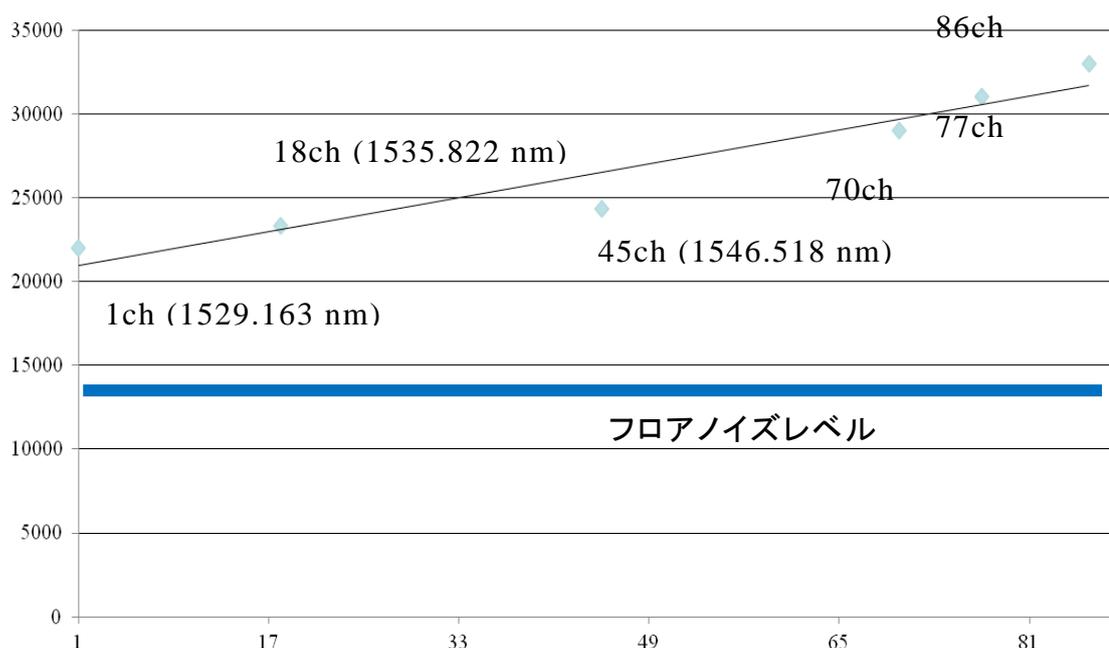
NIST (National Institute of Standards and Technology) が定める乱数品質を評価するアルゴリズムの乱数品質検定の理論を応用した技術を応用した。

2.3-23 図に示すように,チャンネル判別グリッドが 2 から 3 画素になっている。その中でまずしきい値を任意に決定する。これは通信状態や測定する対象によって使用者が決定するものである。このようにすると判別グリッドが見えてくるためよりプログラムが組みやすくなる。雑音まで考慮して自己相関処理をおこなう

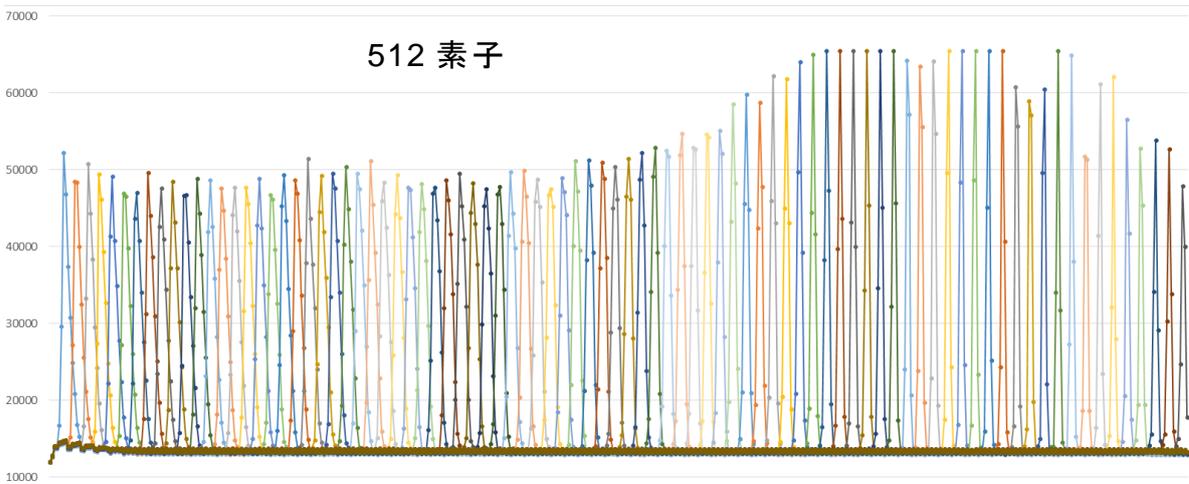
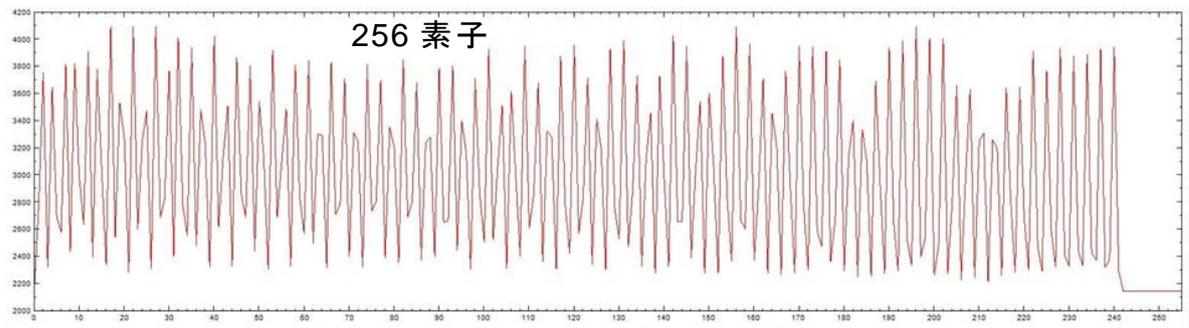
と無駄な処理をしなければならないため時間がかかるが、これを省く事で高速で処理できるうえに判別も更に容易になる。



現実的にはラインセンサおよび使用する光学部品のばらつき、光学素子の取り付け角度、プラスチック基板の精度エラーなどにより、2.3-24 図に示すように AD 出力が必ずしも安定しない。実際に組み立ててみると入射光パワー  $P_o=600\mu W$  で一定にして波長をスイープすると波長モニタの出力つまり 512 素子では本来一定になるところ、差が生じている。そのためこの傾斜を補正する処理がおこなえるよう改良した。



2.3-24 図 512 素子での AD 値



2.3-25 図 波長弁別

以上のような処理をおこない、プログラムを完成させた。テキストデータで保存されたものを表示したところ 2.3-25 図に示すような波長弁別性能も満足の行く結果となった。

## 第3章 全体総括

### 3.1 脆性光学材料が圧壊しないインサート成形に関する研究開発

小型化 (W100 x L200 x T10) を図り、実装基板を成形するための射出圧力、金型温度および金型構造の最適化により、脆性材料である光学部品が圧壊しない条件を見いだす研究をおこなった。実験金型による成形条件を詰めと成形後のアニール等の施策により、光デバイスを一括成形したプラスチック成形基板を完成させた。また、目標としていたタクトタイム 1/10 も余裕をもって実現できることが検証できた。

### 3.2 光路へ樹脂の回り込みがなく光学面の損傷がないインサート成形の研究開発

インサートする光学部品の光路に樹脂が回り込まないような条件および構造を見いだす研究をおこなうと同時に、熱可塑性樹脂の熔融時に発生するアウトガスが光学部品の汚染を防ぐ検討もおこない、プリズム・回折格子・レンズ全てにおいて、表面基準部品の設計製作で樹脂の回り込み無く成形する条件と金型構造を見いだした。合せて、3D TIMON による解析と試作金型による成形実験をおこない、相関性を見いだした。光学面の傷も保護膜を施すことなく金型の工夫により解決できた。

### 3.3 光学評価と機械試験に関する研究

実際に製品採用時に必ず求められるテレコーディア 1221 (Tlecordia GR-1221-CORE) 準拠した試験を新形状および 512 素子センサを使った試作品と全てを組み込んだパッケージでおこなった。旧基板を使って温度サイクル試験、衝撃試験、振動試験を実施した結果問題は無かったが、新しい基板でも試験をおこない問題ない事を確認できた。いずれの試験でも不具合の発生は確認できなく良好な結果であった。温度動作確認もおこなったが実用温度範囲内において問題は生じなかった。プロジェクト終了後は温度補正係数も加えられるように改良を加える。

### 3.4 事業化計画

試作機において C バンド領域 (1530~1565nm 間) の波長を 1ch 約 0.4nm 刻みの 88ch の WDM 波長モニターに成功し、昨年 12 月の産官学フェア (仙台国際センター) で動展示をした。また、国内ユーザーへの接触も始めている。WDM 用は初年度の動作確認からスタートして、3~5 年スパンでの事業化が予想される。

一方、国内有力メーカーから可視光領域での波長モニターの共同開発要請があり、本年 6 月にヨーロッパの展示会にてサンプルの動態展示を予定している。今後、PL が昨年 7 月に起業した (株)ファーストクラスライト (宮城県多賀城市) をリード役として、(株)ニュートンの成形加工とフレネック (株) の制御回路を強みに事業化を促進する。

