

平成30年度
戦略的基盤技術高度化・連携支援事業
戦略的基盤技術高度化支援事業

「外観検査装置の検査精度向上のための
曲面配線技術を用いたLEDリング照明の開発」

研究開発成果等報告書

令和元年5月

担当局 九州経済産業局
補助事業者 公益財団法人 北九州産業学術推進機構

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

1-1-1 研究開発の背景

1-1-2 研究の目的

1-1-3 研究の目標

1-2 研究体制

1-2-1 研究組織

1-2-2 管理員、研究員、協力者

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

1-3 成果概要

1-3-1 曲面配線の高度化技術確立

1-3-2 多層化技術の確立

1-3-3 高放熱伝導材料

1-3-4 放熱設計・シミュレーション・評価

1-3-5 照明設計・特性評価

1-3-6 曲面配線による画像処理用LED照明の試作・評価

1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 曲面配線の高度化技術確立

2-1 曲面配線の高精度化

2-2 PI/Cu 密着強度改善

第3章 多層化技術の確立

3-1 曲面配線の多層化

3-2 PI/Cu/PI/多層化プロセス改善

第4章 高放熱伝導材料

4-1 高熱伝導絶縁材料検討

第5章 放熱設計・シミュレーション・評価

5-1 LED 放熱性能評価

5-2 リング照明の熱流体解析

5-3 リング照明の放熱性能評価

第6章 照明設計・特性評価

6-1 市販LEDリング照明の照明特性評価

6-2 開発LEDリング照明の照明設計と照明特性評価

6-2-1 開発品Aの照明設計・特性評価

6-2-2 開発品Bの照明設計・特性評価

第7章 曲面配線による画像処理用LED照明の試作・評価

7-1 筐体設計・配線レイアウト設計

7-2 LED照明試作

7-3 信頼性評価

7-4 製品（試作品）評価

第8章 全体総括

8-1 複数年の研究開発成果

8-2 研究開発後の課題

8-3 事業化展開

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

特定ものづくり基盤技術の分類

主たる技術 (五) 接合・実装に係る技術に関する事項

1) 川下製造事業者の共通の課題及びニーズ

工. 製造の信頼性

プリント配線基板に実装された電子部品の外観検査装置では、リング照明でワークを照らした画像を処理して判定を行う。そのためには、ワークの広範囲を明るく照らすことで検査精度や作業効率を向上することができる。しかしながら従来のLEDリング照明は、シート状のフレキシブル基板に砲弾型LEDを実装して、円錐状に曲げて、筐体に貼り付ける構造であり、この組立方法では、熱伝導性グリースを接着剤として使用するため、界面での熱抵抗が大きくなり、LED照明を明るくするために、高密度にLEDを配置したり、LEDの出力を大きくしたりすると、発熱したLEDからの放熱性能が足りなくなることが問題となっている。

当社では、高輝度照明を開発するため、7年前から分子接合技術を用いた3次元配線技術の要素技術を開発してきた。平成25年度および平成26年度の取組で曲面配線基板の基本的な製造プロセスを確立し、平成27年には『医療福祉・社会システム分野対応型ロボット・システム関連製品開発支援事業』で、放熱性能と照明設計自由度の向上を目的に確立してきた分子接着技術を用いた曲面配線技術をLEDリング照明に適用して製品化するための可能性評価を行い、当該技術により試作したLEDリング照明の放熱性能、照明性能へ与える効果を実証した。

以上の背景の中で、本テーマにて、新しい接合技術（分子接合技術）を用いた曲面配線でLEDリング照明を作製し、放熱性能を格段に向上させた信頼性の高い高輝度LEDリング照明を実現するための研究開発を行っている。

1-1-2 研究の目的

外観検査装置などで使用される画像処理用LED照明では、検査精度向上の目的で検査部の高照度化や照度均一化に対する要求が極めて強い。本研究開発では、曲面配線技術を応用して金属曲面に絶縁膜と配線パターンを片面及び両面で行い、高精度で形成するプロセスを確立し、金属基材に直接LEDを実装させることで放熱性能を向上させた曲面光源を用いた

高い信頼性を有する高輝度画像処理用 LED リング照明を開発する。



図 1-1 絶縁膜形成

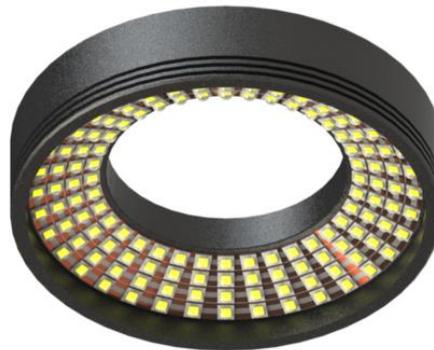


図 1-2 画像処理用リング照明

図 1-1 に絶縁膜形成の方法と図 1-2 に絶縁膜に配線形成し LED を実装した完成イメージを示す。

1-1-3 研究の目標

曲面基材に直接高精度の配線パターンを形成する曲面配線技術の高精度化、多層化により、曲面金属基材表面上への LED の直接実装を可能にし、曲面光源による検査部配光性能の向上と放熱性能向上による照明長寿命化を図る。以下に実施項目と技術的目標値を示す。

(1) 曲面配線の高度化技術確立

(1-1) 曲面配線の高精度化

立体配線における高精度化を行うために、立体物への絶縁膜の塗布方法（スピンコーター、スプレー）を確立し、立体マスクを使って $L/S=200/200\mu\text{m}$ を実現する。

(1-2) PI/Cu 密着強度改善

分子接合によるアルミ基材とPI（ポリイミド）絶縁膜、PIと銅メッキの密着力の向上を目指し、 1.3kN/m （常温）、 1.25kN/m （ 100°C ）を達成する。

(2) 多層化技術の確立

(2-1) 曲面配線の多層化

PI/Cu 平面 3 層化、曲面 3 層化を実現するためのプロセスを確立する。

(2-2) PI/Cu/PI/多層化プロセス改善

2 層、3 層における密着強度に着目し、表層の銅箔の密着強度 1kN/m を実現する。

(3) 高放熱伝導材料

(3-1) 高熱伝導絶縁材料検討

PIの熱伝導率 0.3W/mK に対し、熱伝導率 1.0W/mK、密着強度 1.0kN/m の高熱伝導材料を開発する。

(4) 放熱設計・シミュレーション・評価

(4-1) LED 放熱性能評価

多層配線における LED 放熱性能を評価するために、LED 接合部から基材、ヒートシンクまでの放熱経路による全熱抵抗と熱抵抗分布を測定し、平面及び曲面多層化の層構造を検討する。

(4-2) リング照明の熱流体解析

開発品 A、B の熱流体解析を行い、既存品に対し熱抵抗 30%低減の放熱筐体構造を設計する。

(4-3) リング照明の放熱性能評価

既存品、開発品 A 及び B の熱抵抗を測定し、既存品に対し熱抵抗が 30%以上低減していることを確認する。

(5) 照明設計・特性評価

(5-1) 市販 LED リング照明の照明特性評価

市販 LED リング照明の特性評価と測定条件の決定。

(5-2) 開発 LED リング照明の照明設計と照明特性評価

開発品 A、B の照明設計（シミュレーション）及び製作した開発品 A、B の照明特性を評価し、市販品に対し照度 2 倍、均一照度範囲 1.5 倍を確認する。

(6) 曲面配線による画像処理用 LED 照明の試作・評価

(6-1) 筐体設計・配線レイアウト設計

開発品 A、B について熱解析、照明シミュレーションの結果を元に筐体設計、LED 配線レイアウト設計を行う。

(6-2) LED 照明試作

分子接合技術を用いてアルミ筐体に立体配線を形成し、LED を実装し、点灯評価する。その際の製造プロセスを確立する。

(6-3) 信頼性評価

性能、信頼性評価 8 項目を実施し、信頼性を確認する。

(6-4) 製品（試作品）評価

川下ユーザーに評価して頂き、課題を明確化し実用化への参考にする。また、実機に

装着して実用化の課題を整理する。

1-2 研究体制

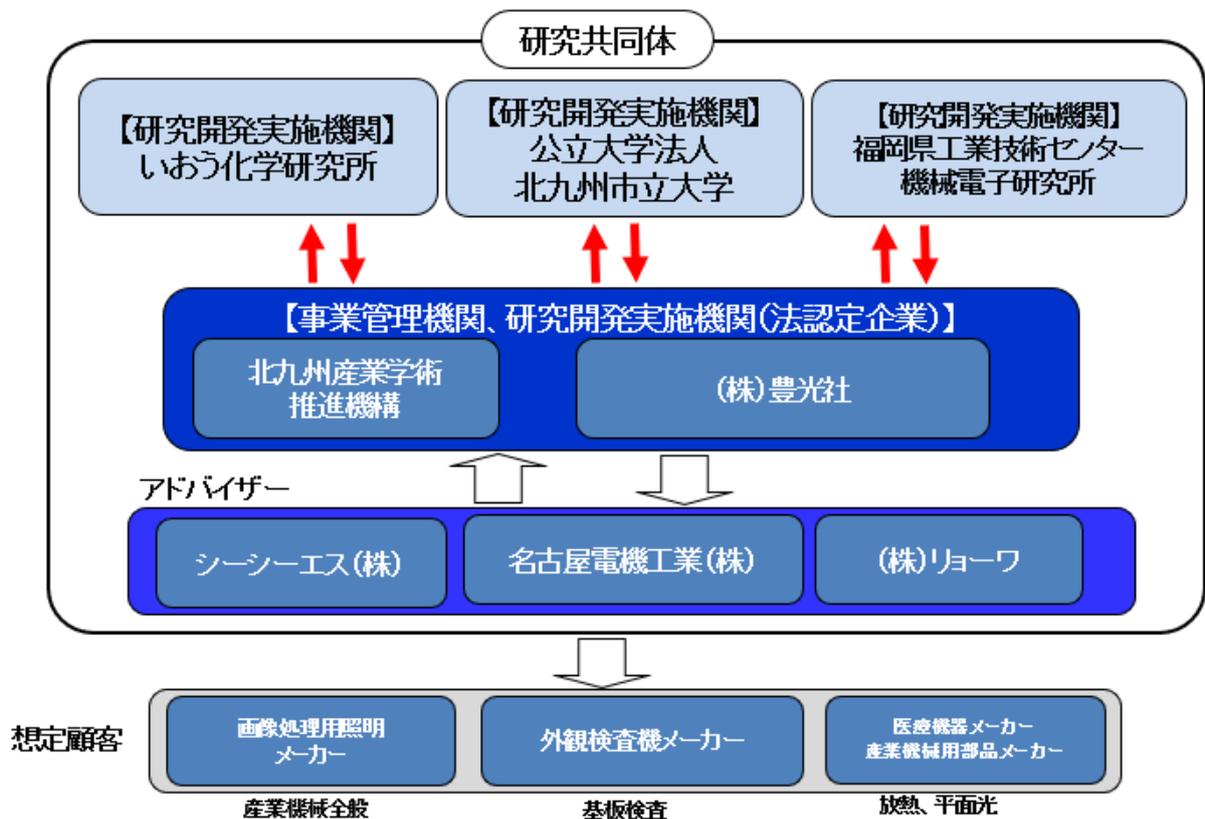
1-2-1 研究組織

補助事業者 公益財団法人北九州産業学術機構

間接補助事業者	株式会社 豊光社
間接補助事業者	株式会社 いおう化学研究所
間接補助事業者	公立大学法人 北九州市立大学
間接補助事業者	福岡県工業技術センター 機械電子研究所

総括研究代表者 (PL) 株式会社 豊光社 常務取締役 麓 政俊

副総括研究代表者 (SL) 公立大学法人 北九州市立大学 国際環境工学部 教授 井上 浩一



1-2-2 管理員、研究員、協力者

【補助事業者】

管理員

公益財団法人北九州産業学術機構

氏名	所属・役職	実施内容
五十嵐 政俊	ものづくり革新センター 産学連携担当部長	事業管理
熊高 宏之	事業推進担当センター 事業管理担当課長	事業管理
奥竹 孝介	事業推進担当センター 半導体事業担当課長	事業管理
村上 倫子	事業推進担当センター 事業管理担当	事業管理

【間接補助事業者】

研究員

株式会社 豊光社

氏名	所属・役職	実施内容
麓 政俊	常務取締役	全実施項目
木下 正明	開発部 部員	全実施項目
島崎 大充	開発部 部員	全実施項目

公立大学法人 北九州市立大学

氏名	所属・役職	実施内容
井上 浩一	国際環境工学部 教授	熱解析・評価

株式会社 いおう化学研究所

氏名	所属・役職	実施内容
橋本 隆	取締役副社長	分子接合・放熱材料
繁田 大我	応用研究部	分子接合・放熱材料
佐々木 信幸	応用研究部	分子接合・放熱材料
鄧 学良	応用研究部	分子接合・放熱材料

福岡県工業技術センター 機械電子研究所

氏名	役職・所属	実施内容
吉村 賢二	電子技術課 課長	光学設計
西村 圭一	電子技術課	光学設計
田中 雅敏	電子技術課	光学設計

補助員

株式会社 豊光社

氏名	所属・役職	実施内容
平田 ゆかり	開発部 部員	全実施項目

公立大学法人 北九州市立大学

氏名	所属・役職	実施内容
平田 ゆかり	国際環境工学部	熱解析・評価

【他から指導・協力者名】

氏名	所属・役職	備考
森 貴洋	シーシーエス株式会社 照明技術・商品開発部 商品技術開発課	アドバイザー
津田 貴史	株式会社 リョーフ R-vision 事業部 事業部長	アドバイザー
安井 廣美	名古屋電機工業株式会社 FA 検査装置カンパニー カンパニー長	アドバイザー

1-3 成果概要

LED 立体照明の立体配線技術、放熱技術、光学設計技術の高度化のために、下記項目を実施した。その成果を示す。

1-3-1 曲面配線の高度化技術確立

(1) 曲面配線の高精度化

平面、曲面への高精度化において、 $L/S=200/200\mu\text{m}$ の目標に対し、 $L/S=100/100\mu\text{m}$ を達成した。(L/S とは配線パターン幅と配線パターン間隔)

(2) PI/Cu 密着強度改善

PI/Cu 密着強度目標 1. 0kN/m(常温)、0. 8kN/m(100°C)に対し、1. 3kN/m(常温)、1. 25kN/m(100°C)を達成。

1-3-2 多層化技術の確立

(1) 曲面配線の多層化

AL 基材に Cu を置換メッキし、その上に PI/Cu の 2 層構造と PI/Cu/PI/Cu の 3 層構造をレーザーによるスルーホール形成で実現した。

(2) Cu/PI/Cu/PI 多層化プロセス改善

Cu メッキ膜と PI 膜の密着強度の改善で 1. 0kN/m 以上の密着強度を達成し、3 層構造の表層の Cu パターンの密着強度 1. 0kN/m を達成した。

1-3-3 高放熱伝導材料

(1) 高熱伝導絶縁材料検討

PI ワニスに分子接合処理をしたアルミナ粒子を添加し、熱伝導率：1. 0W/mK、PI/Cu 密着強度：1. 0kN/m を達成した。

1-3-4 放熱設計・シミュレーション・評価

(1) LED 放熱性能評価

LED 接合部から基板・ヒートシンクまでの放熱経路における全熱抵抗と熱抵抗分布を測定し、平面及び立体構造における許容曲率と最適な層構造を確立した。

(2) リング照明の熱流体解析

開発品 A、開発品 B とともに熱解析を行い、既存品に対し熱抵抗が 30%低減するためのリング照明構造（フィン枚数、レイアウト）を決定した。

(3) リング照明の放熱性能評価

開発品 A、開発品 B の放熱性能を測定し、熱解析通り熱抵抗 30%低減を確認した。

1-3-5 照明設計・特性評価

(1) 市販 LED リング照明の照明特性評価

市販品 LED リング照明の照明特性を評価し、その評価条件を決定した。

(2) 開発 LED リング照明の照明設計と照明特性評価

開発品 A、B について照明設計（シミュレーション）を実施し、照度 2 倍、均一照度範囲 1.5 倍の設計を行った。その設計値を元に開発品 A、B を試作し照明特性を評価した。その結果、開発品 A については、目標を達成した。開発品 B については当初計画の LED 照明をロボット搭載用 LED 照明に変更したため、照度は達成したが、均一照度範囲が 1.4 倍となった。

1-3-6 曲面配線による画像処理用 LED 照明の試作・評価

(1) 筐体設計・配線レイアウト設計

開発品 A 及び開発品 B とともに熱解析により放熱構造と光学シミュレーションの結果に基づいて、放熱構造の筐体設計及び配線レイアウト設計（LED 配置と配置姿勢）を行った。

(2) LED 照明試作

立体配線用の露光マスクの設計・試作、ポリイミド絶縁膜のアルミ筐体との分子接合、立体露光・現像、分子接合技術を用いたセミアディティブ法によるメッキ配線形成、LED 実装、半田付けを行い、開発品 A、B とともに試作完了した。

(3) 信頼性評価

3 種類の性能試験と 5 種類の信頼性試験を行った。冷熱衝撃試験で両面配線における、境界面での絶縁不良が発生し対策を計画中。

(4) 製品（試作品）評価

開発品 A は検査用リング照明のため、川下企業 3 社に評価をお願いし、好評を得た。

開発品 B はロボットに装着し実用性を確認した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

株式会社 豊光社

ひびきのオフィス

常務取締役 麓 政俊

TEL 093-482-5650

E-mail fumoto@hohkohsyA.co.jp

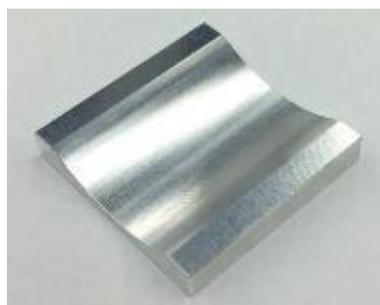
第2章 曲面配線の高度化技術確立

2-1 曲面配線の高精度化

曲面アルミ基材に絶縁用のPI（ポリイミド樹脂）を塗布し（ $10\mu\text{m}$ 厚）分子結合で密着させる。配線形成にはセミアディティブ法を使う。PI膜に銅の無電解メッキを行う。その際に、PI膜に事前に分子接合剤を化学結合させておき、無電解メッキを行うと銅とも分子結合する。この無電解銅メッキ面に感光剤を塗布し、平面マスクを曲面に沿って変形させ、そのマスクを感光剤塗布面に貼り付ける。その後、UV光で露光し、現像する。現像された部分に銅の電解メッキを行い、その後、エッチングして配線パターンを形成する。

当初目標は $L/S=500/500\mu\text{m}$ から始め $L/S=200\mu\text{m}/200\mu\text{m}$ まで高精度化する計画であったが、最終的に $L/S=100\mu\text{m}/100\mu\text{m}$ を達成した。

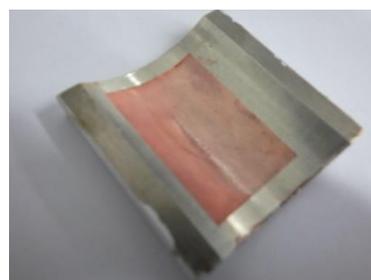
以下に実際のサンプルを図2-1に示す。



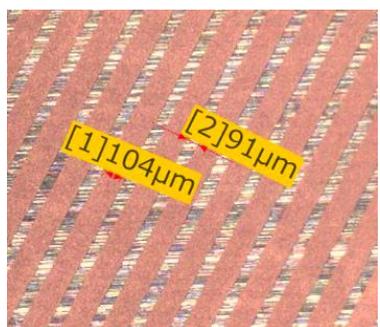
曲面アルミ基材



感光マスク $L/S=100/100\mu\text{m}$



曲面配線



$L/S=104/91\mu\text{m}$ を実現した。

図2-1 $L/S=100/100\mu\text{m}$ の写真

2-2 PI/Cu 密着強度改善

PIとCuの温度による密着強度の変化を確認するために、目標を

常温で 1.0 kN/m、

100℃ 0.8 kN/m に設定し評価を行った。

その結果、分子接合剤の処理を行うことによって常温にて1 kN/m 以上、100℃にて0.8 kN/m 以上の密着強度を確認した。

図2-2にその結果を示す。

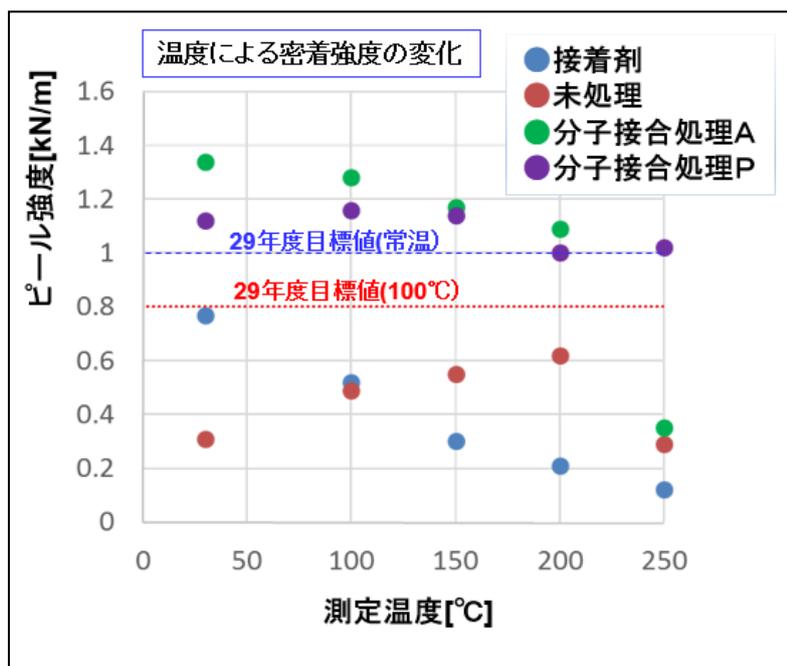


図2-2 温度によるピール強度の変化

第3章 多層化技術の確立

3-1 曲面配線の多層化

当初の計画では、絶縁層に感光性PI（ポリイミド）を使ってスルーホールを形成する計画であったが、入手が困難（少量の購入が不可能）で、寿命が短く小ロットの生産には使えないので、本テーマではレーザー方式に変更し多層化に取り組んだ。

本テーマにおいての多層化の目的は高密度化と放熱構造を両立するためのものである。そこでアルミ基材をダブルジンケート処理し、亜鉛置換によってNi皮膜を形成し、Cuメッキを行い第1層目の層とした。

①2層化

2層化の構成を図3-1に示す。

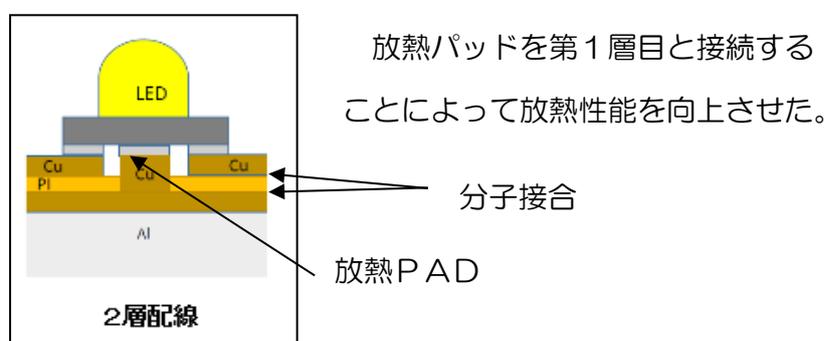


図3-1 2層配線による放熱構造

2層化の製作方法はアルミ基材にCu皮膜が形成された状態で、Cuに分子接合剤を塗布し熱反応によって分子接合し、その上にPIを塗布し乾燥（この時、PIと化学結合する）する。次に、PI膜に分子接合剤を塗布しUV光で化学結合させる。その上に無電解銅メッキを行い熱処理でCuと分子接合剤が化学結合する。

その後、感光レジストを塗布しLEDの配線パターンを露光・現像によって形成する。ここでLEDの放熱パッド（中央のPAD）部にレーザーで穴をあける。ここがスルーホールとなる。

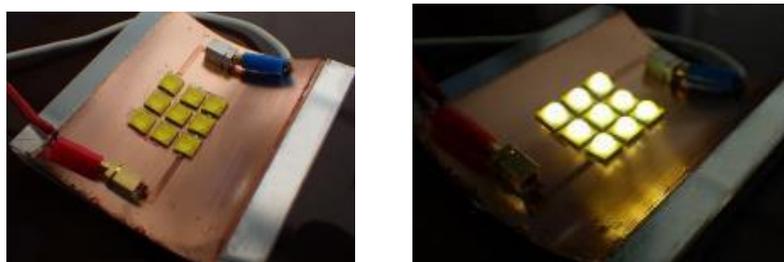


図3-2 曲面2層配線

図3-2に曲面での2層配線の実サンプル写真を示す。

②3層化

同様に3層化を行った。

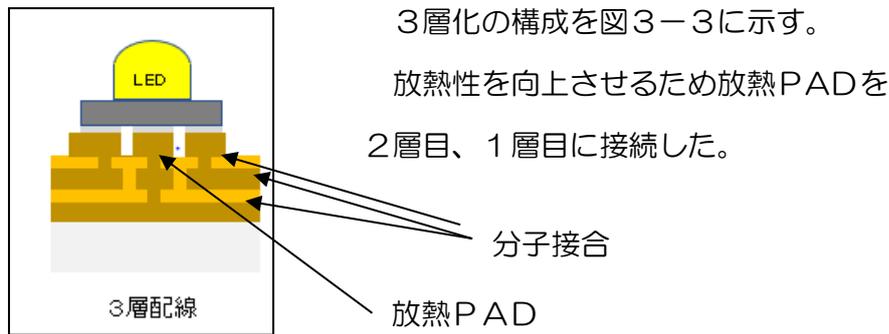
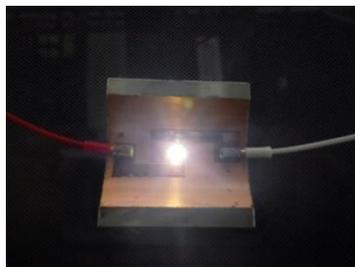


図3-3 3層配線による放熱構造

曲面のサンプルを図3-4に示す。



以上2層構造、3層構造のレーザーによる多層化の1つの方法を確立した。量産性を考えた場合、感光性PIの入手が問題となる。

図3-4 平面及び曲面3層サンプルの写真

3-2 PI/Cu/PI/多層化プロセス改善

多層化を実現するためには、各層の密着強度が必要になる。特に銅配線の上のPI層の密着強度は重要になる。そこで、いおう化学研究所において、ポリイミドワニスまたは熱可塑性ポリイミド(TPI)と銅箔の接合について検討を行った。分子接合処理した銅箔のXPS分析を行ったところ、図3-5に示すように高温(70°C)で処理した場合に分子接合剤(N1s)の導入量が増加していることが確認された。銅元素が検出されていることから、分子接合剤層の厚みは3nm以下であることが推定される。分子接合処理を行った後、ポリイミドワニスはスピンコートにより成膜後加熱、熱可塑性ポリイミドは熱プレスにより接合させたところ、どちらも1kN/mを超える密着強度(ピール強度)であった。図3-6に2層及び3層構造のサンプルに対し最上層の銅箔をピール強度試験した結果を示す。どちらも10N/cm(1kN/m)を超えており、目標を達成した。

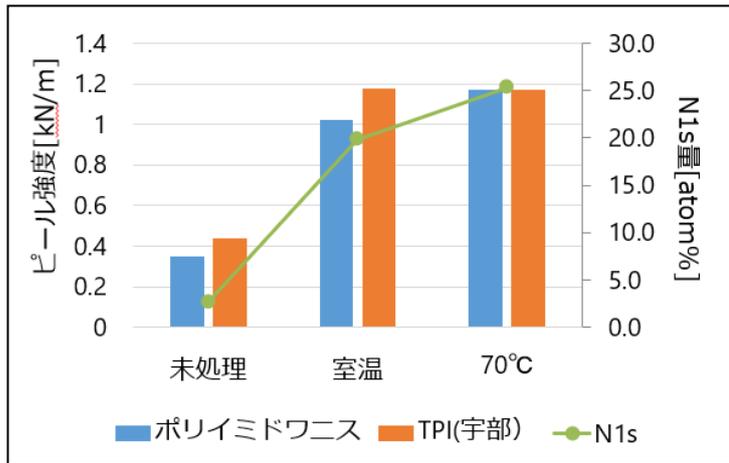


図3-5 分子接合剤の処理温度とピール強度及び分子接合剤の含有量
(TPI：熱可塑性PI、N1s：分子接合剤)

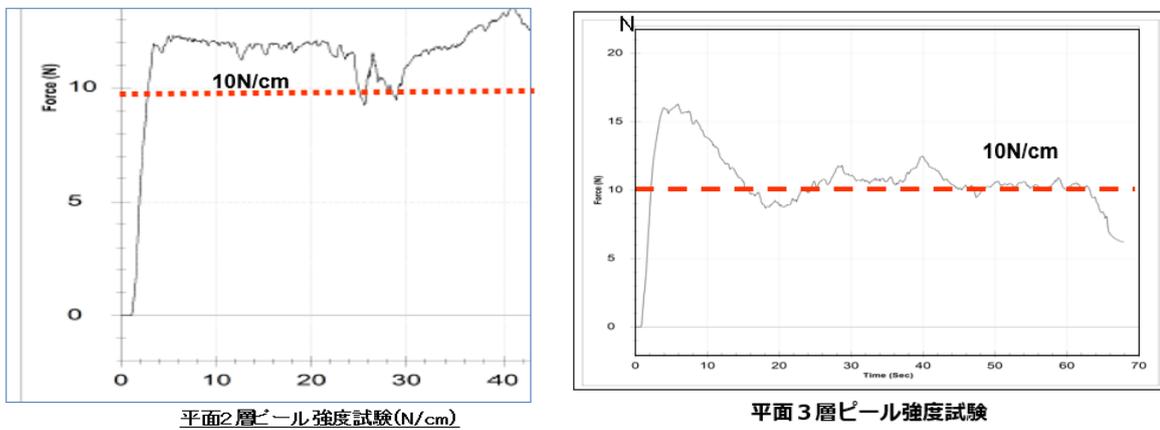


図3-6 2層、3層構造におけるピール強度試験結果

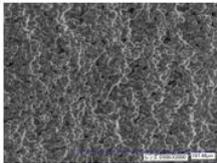
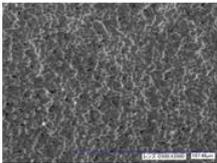
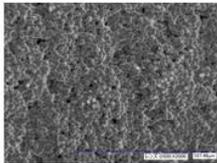
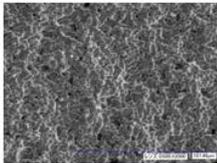
第4章 高放熱伝導材料

4-1 高熱伝導絶縁材料検討

現在使用しているPIの熱伝導率は0.3W/mKであり、さらに放熱特性を上げるためにPIワニスにアルミナをフィラーとして添加し、実用化の検討を行った。

その結果、アルミナ(AA-3)にて体積分率70vol%の時、高い熱伝導率が得られることが実験で予測された。そこで、実際に成膜(スピンコーター等)できるように粘度を調整し、PIワニスの濃度を9%にて試作を行った。その結果を表4-1に示す。

表4-1 密着強度及び熱伝導率に及ぼす膜厚の影響

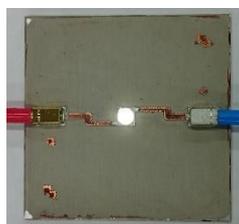
スピンコート回数	1	3	5	7
製膜後の表面 SEM×4000				
膜厚 (μm)	15	44	99	109
ピール強度※1 (kN/m)	1.14	1.38	1.49	1.41
熱伝導率 (W/mk)	0.83	1.42	1.5	1.57
熱抵抗 ($10^{-3} \times \text{m}^2 \times \text{C/W}$)	0.018139	0.030888	0.065795	0.069565

この表から膜厚44 μm でピール強度、熱伝導率ともに目標を達成できることが分かった。しかしながら、実際のLED照明で放熱効果を見る場合、熱抵抗が重要になる。膜厚15 μm の時、熱伝導率は1W/mKより小さいが、熱抵抗は膜厚44 μm の半分である。

そこで、膜厚15 μm で評価用LED照明を試作、評価を行った。図4-1にその外観を示す。



15 μm 膜



LED照明評価サンプル

図4-1 LED照明での評価

既存PIとの比較を表4-2に示す。

表4-2 既存PIとの比較

	熱抵抗[K/W]	
	実測値 (LED基板)	計算値 (PIのみ)
①高熱伝導絶縁材料PI	4.46	2.01
②既存PI	7.62	5.56
①-②	-3.16	-3.55

実測条件

PI膜厚15um Cu単層35um

計算値は

LED放熱PAD 3mmX3mm

PI膜厚 15μm

高熱伝導材料 図9より0.83W/mK (実測値)

既存PI 0.3W/mK として計算した。

この実験結果からPIのみの熱抵抗は約3K/W減少している。実測値から40%熱抵抗が減少したことがわかる。

以上の結果から、現在のLED照明の放熱効果をさらに上げる場合の一つの指針が得られた。

第5章 放熱設計・シミュレーション・評価

5-1 LED 放熱性能評価

本研究開発で確立する曲面配線技術を用いれば、LED を金属筐体に直接実装することが可能となるため、既存技術によるものに比べて大幅な放熱性能の向上が期待される。当該技術を用いた金属筐体面上 LED 実装部は、電流が流れる銅層、電気絶縁確保のためのポリイミド層、LED から金属筐体に放熱するための銅層、の3層から構成される。本項では、これらの実装部層配線構造の最適化を検討するために、図5-1に示す1層配線、2層配線、3層配線の3種類を製作し、その放熱性能について実験的に調査した。

LED 実装部の放熱性能は LED 内部と金属筐体間の熱抵抗で評価可能であるが、一般に LED 内部温度（ジャンクション温度）を測定することが極めて難しい。本研究では、当該測定の専用装置である T3Ster を用いるとともに新規考案した簡易ジャンクション温度測定方法を併用することで、高信頼かつ効率的な計測を実施した。

LED 実装部の放熱性能評価に用いた LED 実装基板（平面）の外観写真を図5-2に示す。アルミニウム平板の中心に照明用パワーLED を1個実装し、基板両端のコネクタから電流を流してLED を点灯させる。

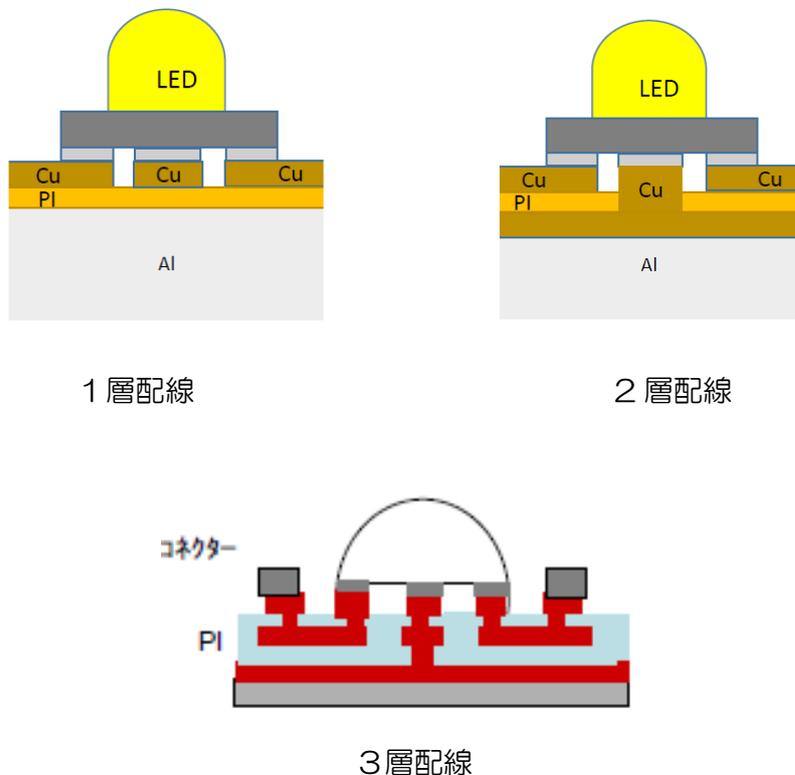


図5-1 LED 実装部断面層構成

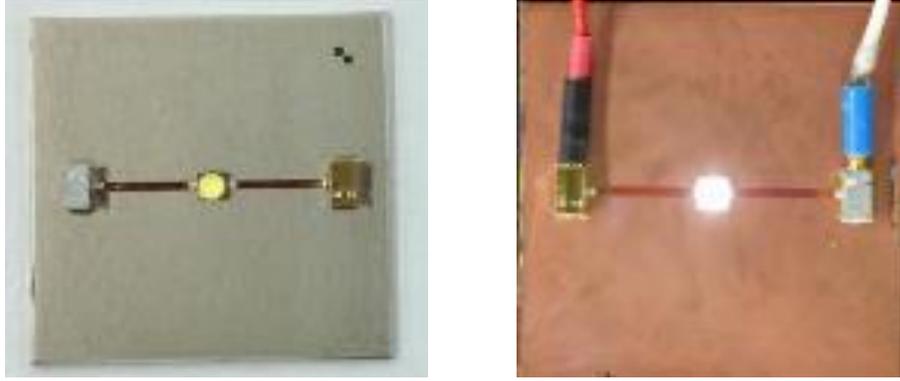


図5-2 LED実装部放熱性能評価用供試体

図5-3は、図5-1に示した層配線数とLED実装部熱抵抗の関係を示す。ポリイミド層の厚さは $10\mu\text{m}$ である。2層配線の熱抵抗が最も低くなっており、LED底面とアルミニウム板が銅層で直接接続されているのが放熱性能向上に効果的であることが分かる。同様な構造を有する3層配線は、放熱経路の銅層の途中に狭隘な部分が存在する構造であるため、熱抵抗はやや高くなった。図5-4は1層配線構造について、ポリイミド層の厚さとLED実装部熱抵抗の関係を示す。熱抵抗はポリイミド層厚さに比例して大きくなっている。これらの検討結果から、放熱性能を最大化するには2層配線構造を採用するのが最適であると判断された。ただし個別の製品化においては、これらに製作コストや信頼性などを考慮した検討が必要となる。

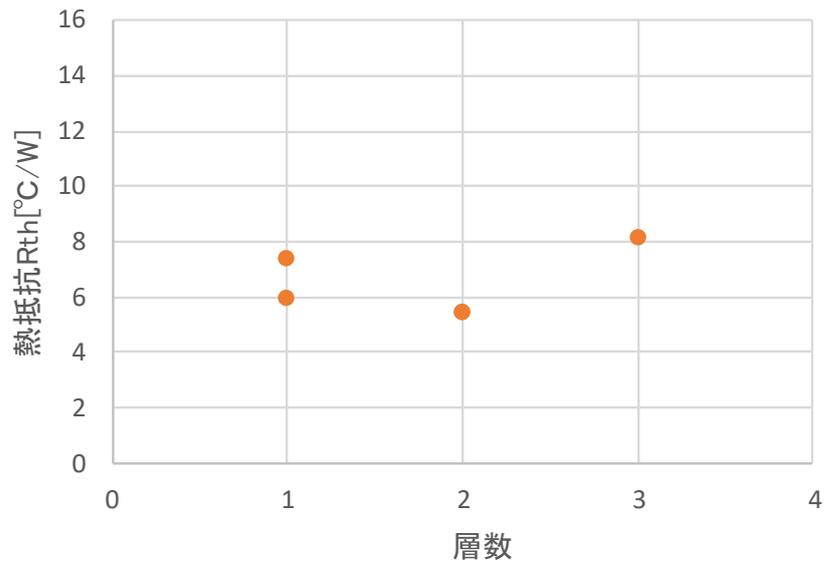


図5-3 LED実装部の熱抵抗（平面）

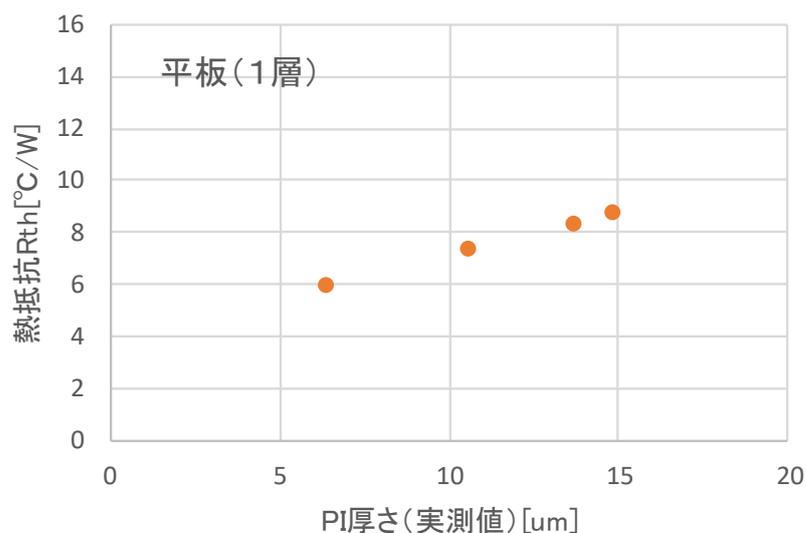


図5-4 LED実装部の熱抵抗(平面)

LED実装部が曲面である場合、幾何学的ミスマッチなどに起因した熱抵抗が追加される可能性があるため、その影響について実験的に調べた。実験で使用したLED実装基板(曲面)の外観写真と断面図を図5-5に示す。平面基板と同様にアルミニウム製基板の曲面上に配線層を構成し、中心にパワーLEDを1個実装した。LED実装部の層構成は平面の1層配線と同じである。なお曲面基板はアルミニウム製厚板から切削加工によって曲面を形成した。曲面としては図5-5中の寸法 R を3段階変化させ、その実装部熱抵抗への影響を評価した。

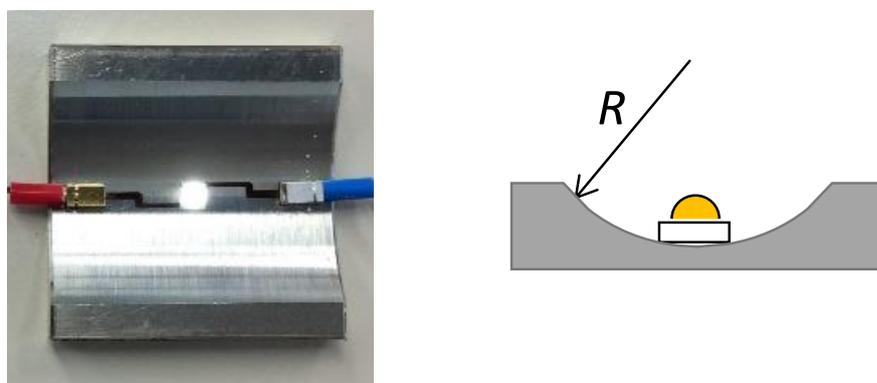


図5-5 実装部放熱性能評価用LED基板(曲面)

図5-6に曲面基板を用いた場合の LED 実装部熱抵抗の評価結果を示す。 R が小さくなるにしたがって LED 底面と曲面の幾何学的ミスマッチが大きくなるため、熱抵抗が大きくなる傾向を示す。 $R=25\text{mm}$ 以下の条件では、曲面による熱抵抗増加を考慮する必要が生じるが、その増加量は $R=12.5\text{mm}$ でも深刻なものにはならない。

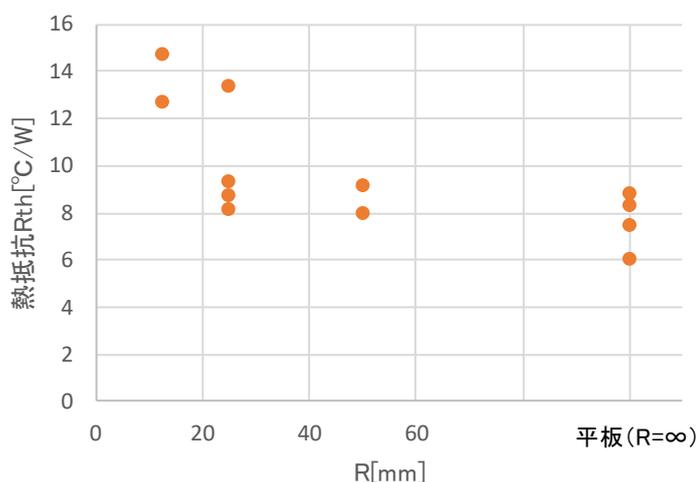


図5-6 LED 実装部の熱抵抗（曲面）

5-2 リング照明の熱流体解析

検査用リング照明の周囲空気への放熱性能は、LED 実装部から筐体外面までの熱伝導と筐体外面からの空気への自然対流および熱放射によって決定される。分子接合による金属筐体への LED 直接実装によって、筐体内部の熱伝導に伴う熱抵抗を低減できるため、照明全体を放熱面として活用することが可能となる。したがって適切な放熱フィンを付与することで、大幅な放熱性能向上が実現できる。

円柱形状のリング照明筐体に適用可能な放熱フィンとしては、ラジアルフィン、ピンフィン、環状フィンが候補となる。検査用リング照明は検査装置のアレンジメントによって、さまざまな姿勢（照明と重力方向の組み合わせ）や取り付け状態（固定治具や検査カメラ）が予想されるため、これらの状況によって放熱性能が大幅に低下することを回避するのが重要である。本研究では、予備検討・実験などからラジアルフィンを選択した。

ラジアルフィンはフィン枚数を増やすことで放熱面積が増大するため放熱性能が向上するが、フィン枚数が多くなりすぎると、フィン間隔が狭くなりすぎてフィン間の空気流動状況が悪くなって放熱性能が低下する可能性が予想される。ラジアルフィンの最適配置方法は、

まだ確立された方法が存在しないため、本研究では3次元熱流体解析を用いて最適化検討を実施した。

検討に用いた熱流体解析モデルを図5-7及び図5-8に示す。筐体はアルミニウム製でLED実装面の裏側全面にラジアルフィン等を等角度で配置している。熱流体解析による周囲空気の流れと温度分布の評価例を図5-9に示す。放熱フィン枚数を8枚から63枚まで変化させた場合の、LEDから周囲空気までの熱抵抗評価結果を図5-10に示す。熱抵抗は放熱フィンが32枚の時に極小値をとり最適となる。フィン枚数を32枚よりも多くした場合、予想通りフィン間の空気流れが悪くなって対流熱伝達率が低下した結果、放熱性能が劣化することとなった。本検討結果を基に点灯放熱実験などで用いる照明の各種供試体の放熱フィン枚数は32枚を基本とした。

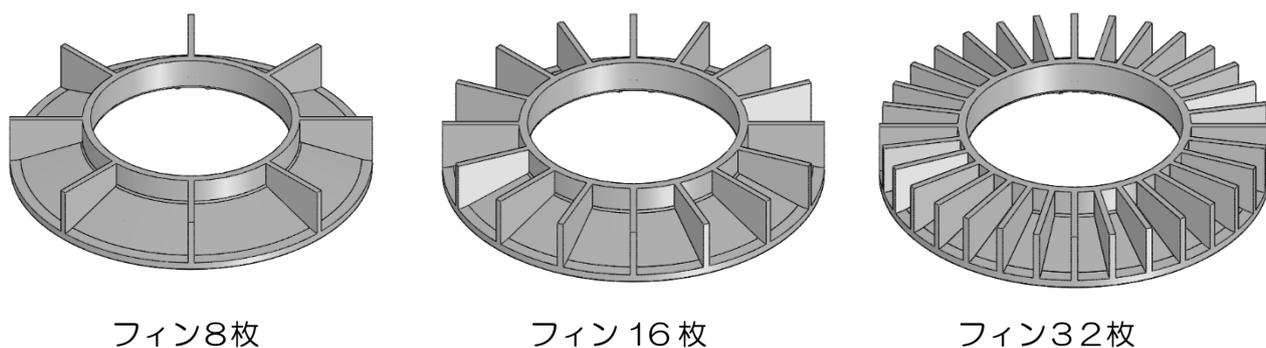


図5-7 開発品Aの解析モデル

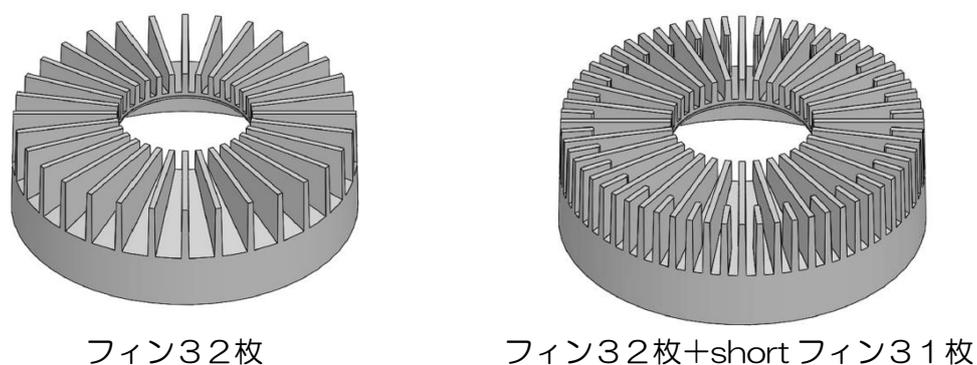
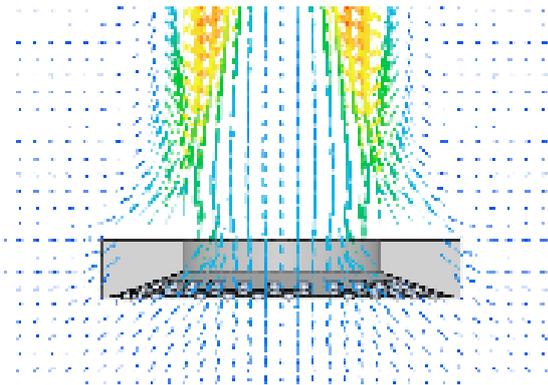
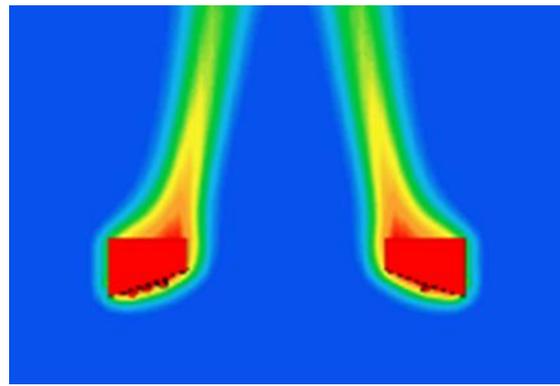


図5-8 開発品Bの解析モデル



速度分布



温度分布

図5-9 熱流体解析の例

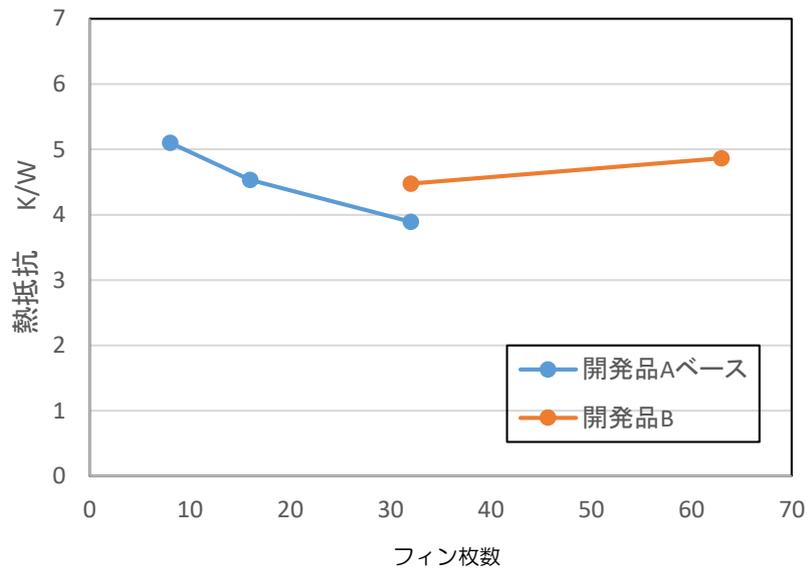


図5-10 熱流体解析によるフィン枚数最適化の検討結果

熱流体解析結果の妥当性を検証するため、熱流体解析モデルと同じ形状・寸法の供試体を製作して点灯放熱実験を実施した。結果を表5-1に示すが、熱流体解析と放熱実験で評価された熱抵抗値はよく一致しており、熱流体解析の放熱性能評価精度は十分高いことが確認される。したがって、本熱流体解析を用いたフィン最適化検討結果も妥当であることが確認できる。

表5-1 熱流体解析と放熱実験による放熱性能評価結果の比較

	放熱量 W	放熱面温度 ℃	LED 近傍温度 ℃	熱抵抗 K/W
放熱実験	10.6*	60.8	60.0-61.2	3.5-3.7
熱流体解析	10.6	64.8	64.8	3.8

※消費電力の60%が熱エネルギーになったと仮定

5-3 リング照明の放熱性能評価

本研究開発で検討した各種技術を活用して製作したリング照明（開発品Aと開発品B）の放熱性能を実験的に調べた。開発品Aと開発品Bの放熱フィン、熱流体解析から最適と判断された32枚のラジアルフィンである。

放熱実験の状況を図5-11に示す。リング照明の放熱性能は周囲空気の流れ（自然対流）によって影響されるため、エアコンなどの外乱の影響を回避するためにビニールブース内で実験を実施した。

図5-12に開発品Aの放熱実験結果を示す。同図には既存照明の放熱実験結果もプロットしている。開発品Aは測定したすべての箇所で様な温度になっており、筐体全体が有効な放熱面になっていることが分かる。一方、既存照明は低温の箇所が存在しており、筐体の一部しか放熱面として活用できていないことが分かる。この状況は赤外線熱画像装置（サーモグラフィ）でも確認した。

開発品Aと既存照明の放熱性能を比較した結果を表5-2に示す。放熱性能向上は、熱抵抗低下として解釈できるが、その低下割合は $(3.5 \sim 3.7) / 7.2 = 0.49 \sim 0.51$ となった。

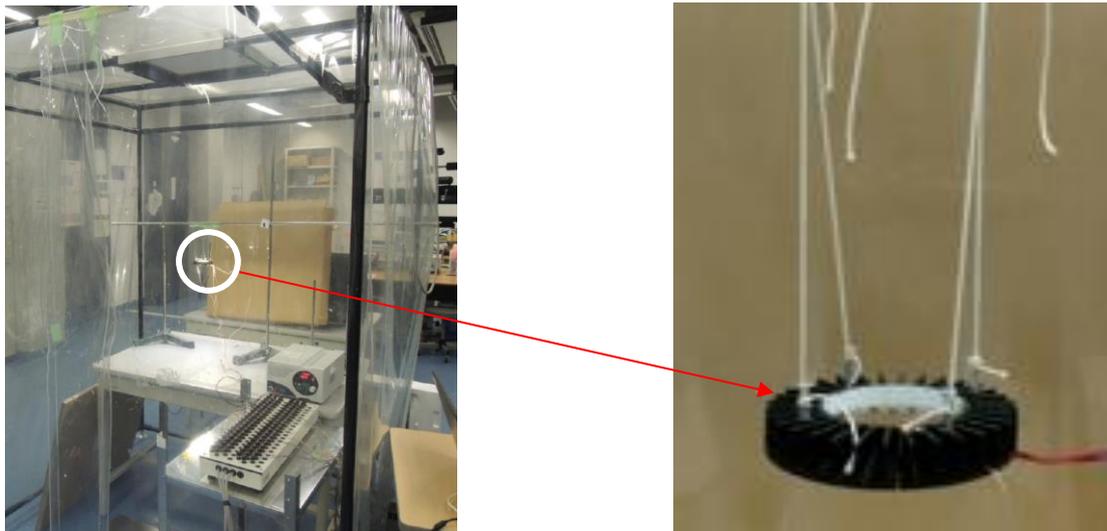


図5-1-1 リング照明の点灯放熱実験状況

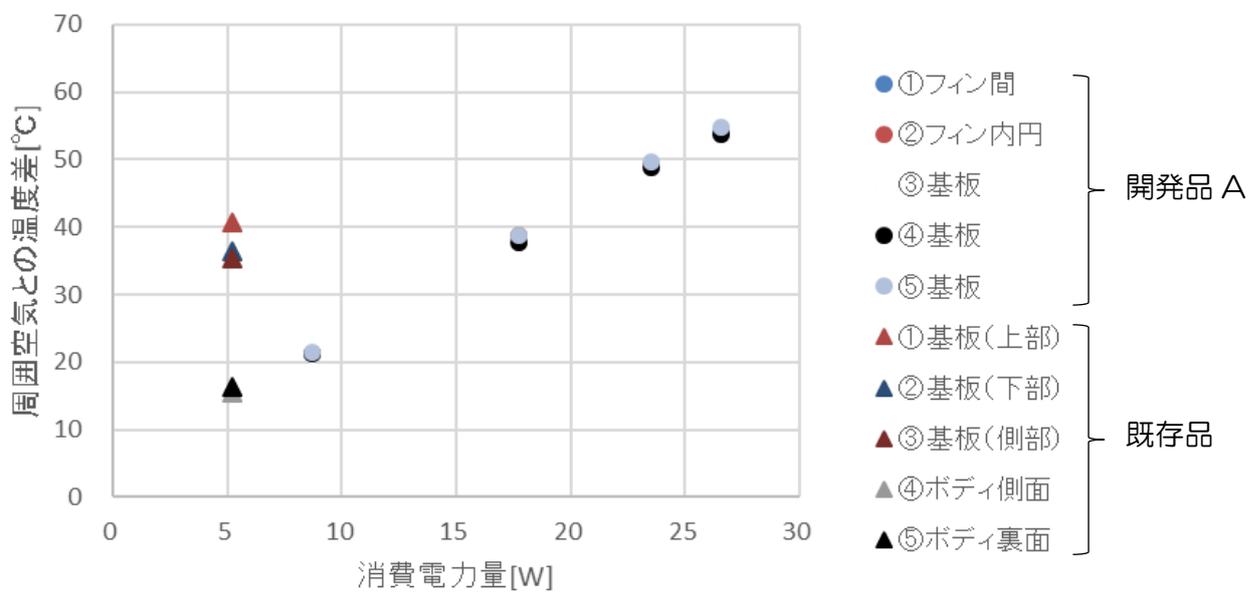


図5-1-2 開発品 A と点灯放熱実験結果（既存品との放熱性能比較）

表5-2 開発品 A と既存品の放熱性能比較

	消費電力 W	放熱量 W	LED 温度上昇 K	熱抵抗 K/W
開発品 A (If=540mA)	17.7	10.6 ^{※1}	38.8 ~37.6	3.5~3.7
既存品	5.2	5.2 ^{※2}	37.5	7.2

※1 消費電力の60%が熱エネルギーになったと仮定

※2 旧型 LED のため消費電力の100%が熱エネルギーになったと仮定

図5-13は開発品 A と開発品 B の放熱実験結果の一例で、垂直下方照射の姿勢で測定された LED 近傍温度の周囲空気温度からの上昇量を示す。周囲空気温度の上昇量は消費電力量に比例して増加するが、同一消費電力量条件で比較すれば、開発品 B の温度上昇量は開発品 A よりも小さく、開発品 B の放熱性能が開発品 A よりも高いことが分かる。これは試作した開発品 B の放熱フィン長さが開発品 A よりも長いこと、レンズ設置に伴って開発品 B の筐体サイズが大きくなったこと、により放熱面積が増加したことに起因すると考えられる。

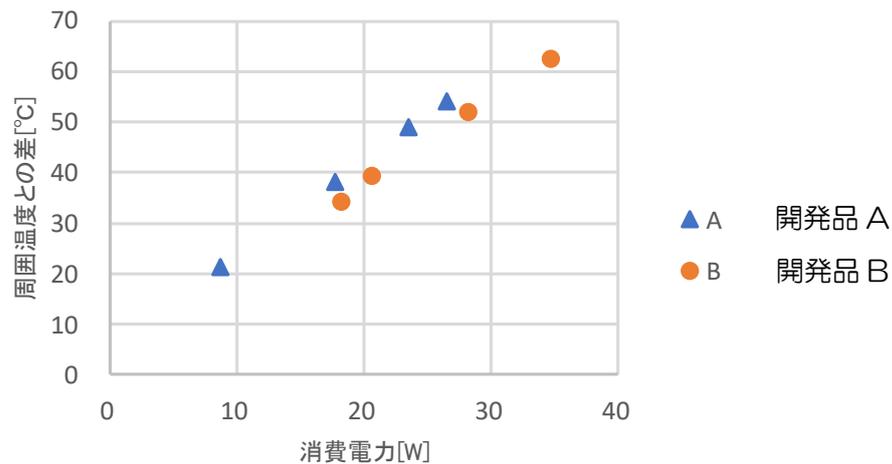
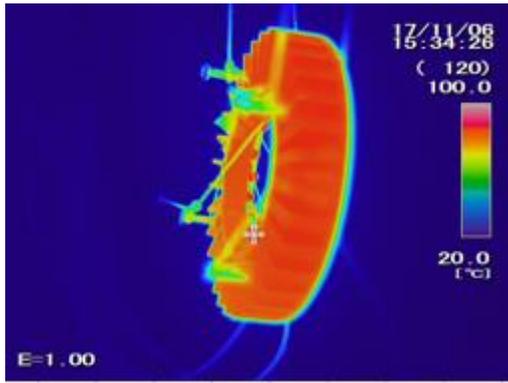


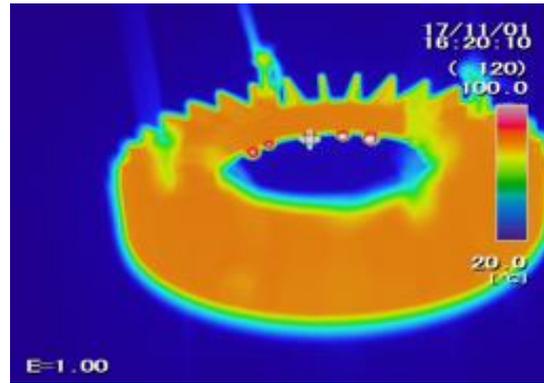
図5-13 開発品 A と開発品 B の放熱性能比較

検査用リング照明は、検査装置のアレンジメントによって、さまざまな設置姿勢や周囲物体の配置状況で使用されることが想定され、照明の放熱性能はそれらの影響を受けることとなる。本研究では、照明の姿勢（照射方向と重力方向の組み合わせ）や照明周囲のカメラ・取付治具配置状況によって、極端な放熱性能低下や局所高温部の発生などが生じないことを、主に赤外線熱画像装置と流れ可視化実験によって確認した。

図5-14は赤外線熱画像装置による照明全体の温度分布計測結果の例を示すが、照明の姿勢によって局所高温部は発生しておらず、筐体全体から適切に放熱できていることが確認できる。図5-15は実際の検査用カメラと取付治具を配置した状況を模擬した場合の照明周囲の空気流れの可視化例を示す。一般的な検査用カメラや取付治具が存在する場合でも空気流れに淀み部や渦は発生しておらず、スムーズな空気流動による理想的な放熱が生じていることが分かり、検査照明用として適切な放熱フィン配置となっていることが確認できる。



水平照射



鉛直下方照射

図5-14 赤外線熱画像装置による筐体温度分布の評価結果の例

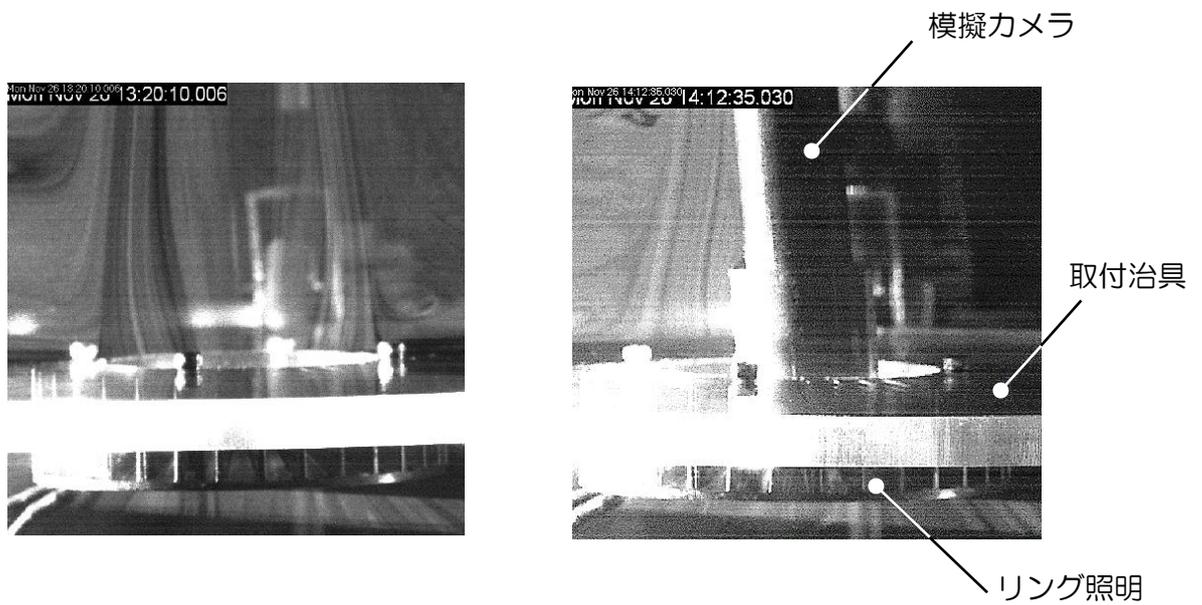


図5-15 空気可視化実験の例（取付治具とカメラ位置の影響）

第6章 照明設計・特性評価

6-1 市販LEDリング照明の照明特性評価

本事業で開発したLEDリング照明の照明特性を評価するための比較評価対象として、6-1の市販LEDリング照明を選定し、定格12Vで点灯した時の最大照度、均一照度範囲について測定・評価を行った。ここで、照度測定時の照射距離は70mm、均一照度範囲はこの照射距離における最大照度の80%以上の照度となる範囲と定め、開発LEDリング照明の評価は全てこれと同一条件で実施した。なお、本章における開発LEDリング照明（開発品A、開発品B）の照明設計および照明特性評価の比較評価対象は全て図6-1の市販LEDリング照明に対して実施した。

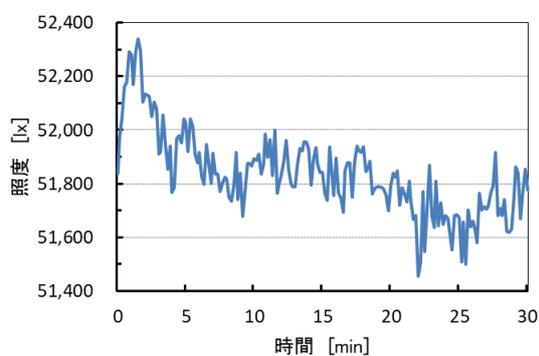
測定・評価の結果、最大照度は51,740 [lx]、均一照度範囲はφ46 [mm]であった。図6-2および図6-3にそれぞれの測定・評価で使用した機器と測定結果を示す。



図6-1 市販LEDリング照明

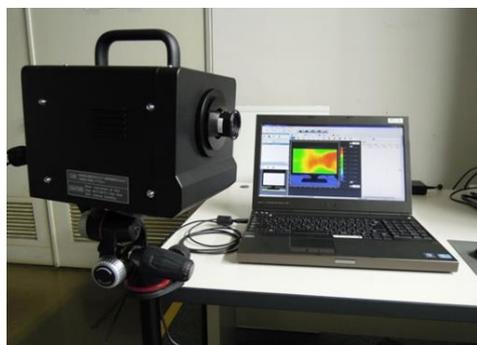


(A) 分光放射照度計

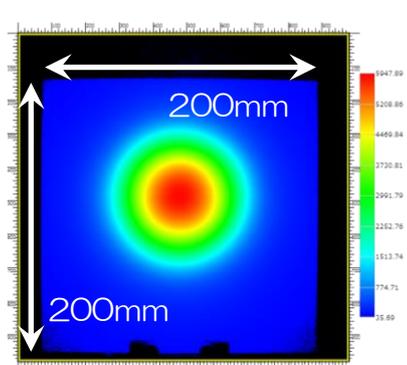


(B) 測定結果

図6-2 市販LEDリング照明の照度測定



(A) 二次元色彩輝度計



(B) 測定結果

図6-3 市販LEDリング照明の均一照度範囲評価

6-2 開発 LED リング照明の照明設計と照明特性評価

6-2-1 開発品 A の照明設計・特性評価

開発品 A の設計情報（筐体形状、回路設計、使用光源等）を基に、開発品 A の照明シミュレーションモデル（図 6-4）を構築し、6-1 節における市販 LED リング照明の測定結果に対し照度 2 倍以上、均一照度範囲 1.5 倍以上となるよう、開発品 A の照明設計を行った。その結果、1LED あたり 270mA 供給時の最大照度は 121,159 [lx]、均一照度範囲は $\phi 72$ [mm] であり、市販 LED リング照明に対して照度が 2.3 倍、均一照度範囲が 2.5 倍を達成する設計結果となった。

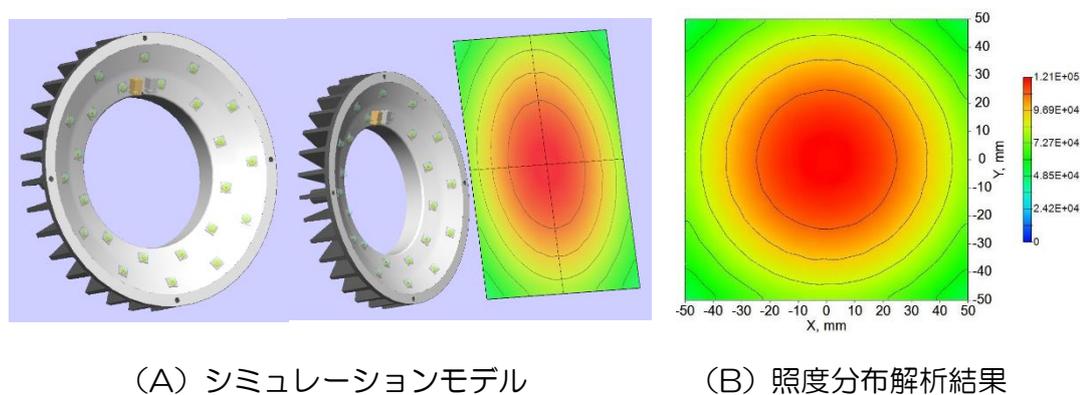


図 6-4 開発品 A の照明シミュレーションモデルと解析（設計）結果

次に、製作した開発品 A（図 6-5）に対し 6-1 節と同様の機器・測定条件で最大照度、均一照度範囲の測定・評価を行った。点灯条件は設計（照明シミュレーション）時と同様、1LED あたり 270mA の電流を流す設定で、その時の照明からの距離 70mm の位置における最大照度は 102,168 [lx]、均一照度範囲は $\phi 70$ [mm] であり、比較対象照明である図 6-1 の市販 LED リング照明に対する照



図 6-5 開発品 A

度は 2.0 倍、均一照度範囲は 2.3 倍といずれも開発目標の達成が確認できた。ここで、照度および均一照度範囲のいずれも設計より少し低めの結果となった要因としては、評価時に使用した照明固定用治具の材質が照明筐体からの放熱に影響したことや LED パッケージの実装状態が影響したこと等が考えられる。図 6-6 に照度および均一照度範囲それぞれの測定結果を示す。

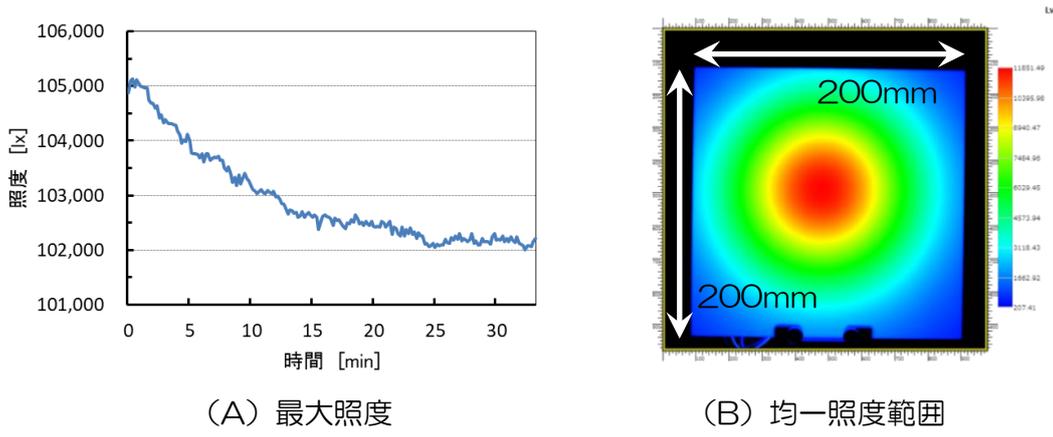


図 6-6 開発品 A の照明特性評価結果

6-2-2 開発品 B の照明設計・特性評価

6-2-1 項と同様に、開発品 B の設計情報（筐体形状、使用光源・光学部品等）を基に、開発品 B の照明シミュレーションモデル（図 6-7）を構築した。開発品 A の実装 LED は 24 個であったが、開発品 B の実装 LED は同型のものを 8 個としており、この個数で最大照度の開発目標を達成するため、開発品 B では光学レンズを検討し、6-1 節における市販 LED リング照明の測定結果に対し照度 2 倍以上、均一照度範囲 1.5 倍以上となるよう、適切な光学レンズの選定と供給電流値の検討を行うことで、開発品 B の照明設計を行った。その結果、1LED あたり 450mA 供給時の最大照度は 116,364 [lx]、均一照度範囲はφ60 [mm]であり、市販 LED リング照明に対して照度が 2.3 倍、均一照度範囲が 1.7 倍を達成する設計結果となった。

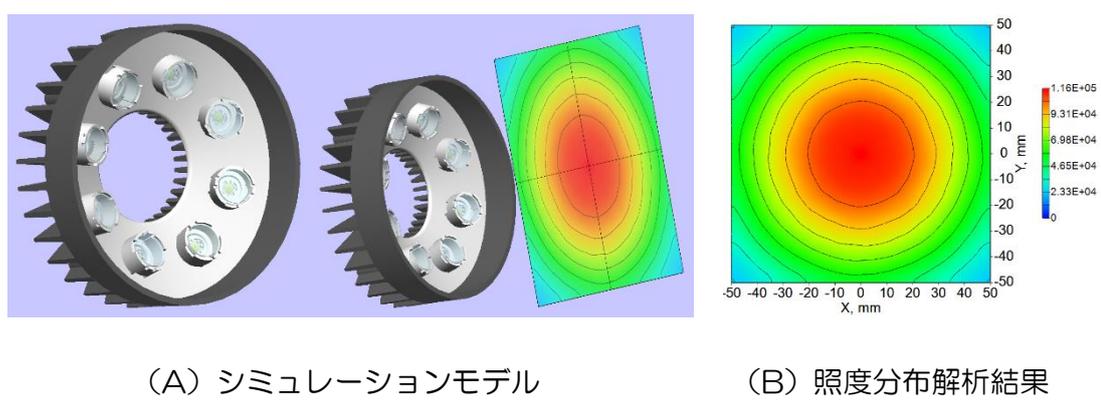


図 6-7 開発品 B の照明シミュレーションモデルと解析（設計）結果

次に、製作した開発品 B（図 6-8）に対し 6-1 節と同様の機器・測定条件で最大照度、均一照度範囲の測定・評価を行った。点灯条件は設計（照明シミュレーション）時と同様、

1LEDあたり450mAの電流を流す設定で、その時の照明からの距離70mmの位置における最大照度は124,024 [lx]、均一照度範囲は ϕ 54 [mm]であり、比較対象照明である図6-1の市販LEDリング照明に対する照度は2.4倍、均一照度範囲は1.4倍と最大照度は開発目標の2.0倍以上を達成したが、均一照度範囲は開発目標の1.5倍を下回った。ここで、設計結果である照度(2.3倍)と均一照度範囲(1.7倍)に対して照度が高くなり、かつ均一照度範囲が低くなったという結果から、解析と実測との間に生じた誤差の要因としては、レンズ実装位置の精度が影響した可能性が高いことが考えられる。このことから、製品化に向けてレンズ実装位置の精度を高めていく必要があることが分かった。図6-9に照度および均一照度範囲それぞれの測定結果を示す。

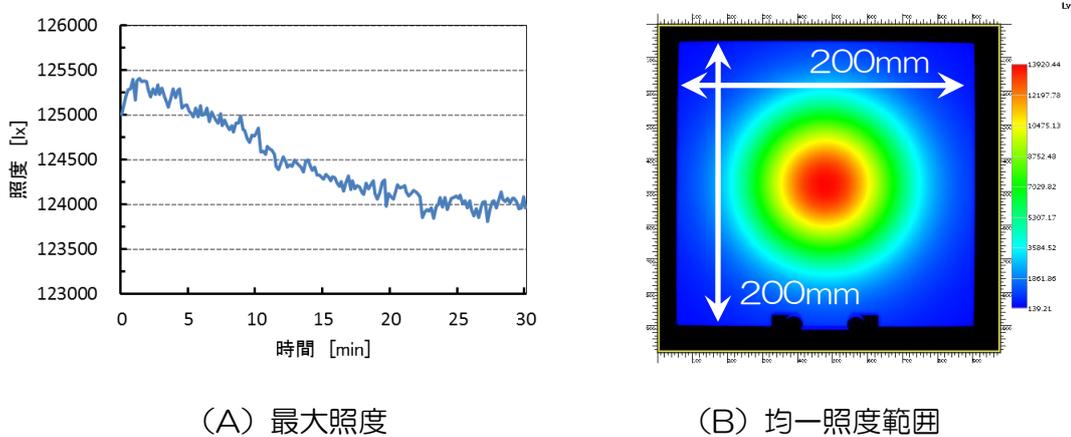


図6-9 開発品Bの照明特性評価結果

第7章 曲面配線による画像処理用LED照明の試作・評価

7-1 筐体設計・配線レイアウト設計

本テーマでは、開発品 A（検査用リング照明）、開発品 B（ロボット搭載用リング照明）を試作した。この試作を行うにあたり、サンプルとなる既存品を購入し、その特性を評価し、熱抵抗30%低減、照度2倍、均一照度範囲1.5倍の目標を定めた。

第5章、第6章にて熱解析、放熱構造、照度、均一照射範囲のシミュレーション結果を元に、筐体設計、配線レイアウト設計を行った。

既存品のLED照明を図7-1に示す。



図7-1 既存品LED照明

開発品 Aを試作するにあたり、筐体設計図、パターン図、露光用パターンマスク図、半田印刷マスクが必要になる。筐体設計図を図7-2に示す。



図7-2 筐体設計図面

開発品 Bについても同様に、放熱シミュレーション及び光学シミュレーションを行ったのち筐体設計、露光用パターンマスクの設計、半田印刷マスクの設計を行った。

既存品のロボット用LED照明を図7-3に示す。

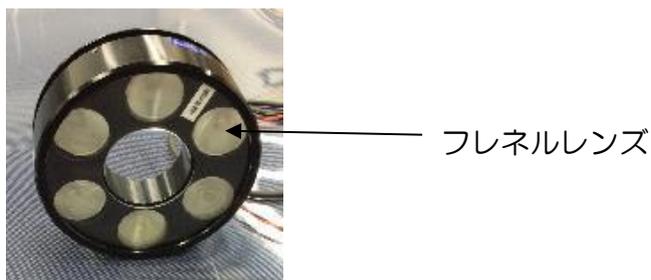


図7-3 既存品ロボット照明

開発品 B は図7-4に示すように抵抗、コネクタをフィン側に配置した立体両面配線設計を行った。



図7-4 開発品 B の筐体設計（完成図）

両面配線を実現するための立体両面マスクを同時に設計した。

既存品（図7-3）のロボット照明は平面基板に LED を実装し個々の LED にレンズをかぶせて、照明前面に拡散板の代わりにフレネルレンズで集光する構造になっている。開発品 B（図7-4）は集光させるために、LED の配置を傾斜面（シミュレーションより角度が計算されている。）に配置した。

7-2 LED 照明試作

設計図面を元に筐体、立体マスクを試作し、下記の手順で試作を行った。

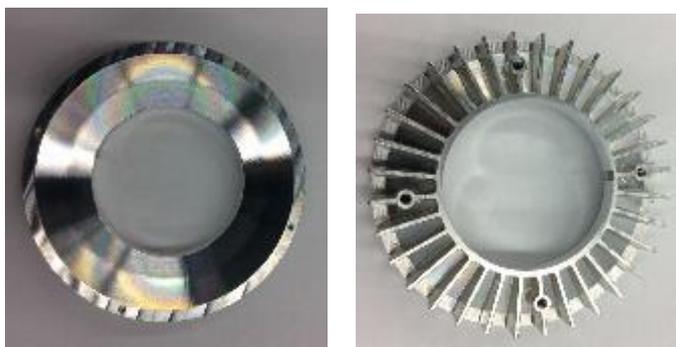


図7-5 試作した開発品 A の筐体

筐体は、試作のためアルミダイキャストではなく削りだして行った（図7-5）。露光マスクは光造形により制作した。露光に際し照射エリア200mmΦ均一性±5%の直進性のよい露光機を導入し、立体配線の露光を行った。

開発品Aの試作プロセスを示す。

- ①アルミ筐体を洗浄後、LED実装面に分子接合剤を塗布し熱処理でアルミと化学結合させる。その上にスピコーターでPI（ポリイミドワニス）を均一に塗布し（10μm～15μm）加熱処理でPIを硬化させると同時に分子接合剤とPIを化学結合させる。
- ②PI膜の上に分子結合剤を塗布しUV光で化学結合させる。この状態で無電解銅メッキ液につけ、無電解メッキを行う。その後熱処理で銅と分子接合剤が化学結合し強固なPIと銅の結合が完成する。
- ③無電解銅皮膜の上にスピコーターで感光剤を均一に塗布し乾燥後、露光用マスクをセットし露光・現像を行う。
- ④セミアディティブ法によって露光された部分のみ電解メッキを行う。銅の膜厚を35μmまで電解メッキを行う。
- ⑤感光剤を除去し、感光剤の下に存在する無電解銅皮膜を除去する。これで、筐体への配線が完了する。銅配線を保護するためソルダーレジストを塗布する。
- ⑥立体半田マスクを使いLED電極に半田を塗布し、LEDを実装する。実装後真空リフローにて半田付けを行う。

図7-6に開発品Aの筐体に配線パターンを形成しLEDを実装した写真を示す。



図7-6 開発品A完成品

次に開発品Bの試作した筐体を図7-7に示す。図7-8に完成した開発品BのLED実装（レンズ付き）面とコネクタ面を示す。開発品Aと異なる点は、両面配線を行うため、両面一体露光マスクを使った点とPI塗布にスプレーを導入した点である。

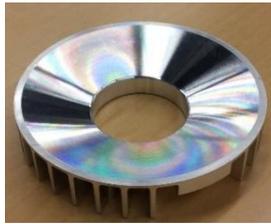


図7-7 試作した開発品Bの筐体

図7-8 開発品B完成品

開発品Bにおける課題は、両面配線における上下面の境界部における絶縁膜の膜厚不足がある。また、境界部分はUV光の照射が不足することも考えられ工夫が必要と分かった。

試作時の課題として、量産時には境界面の絶縁膜厚の管理と露光の工夫を追加研究として行っていく。

7-3 信頼性評価

信頼性評価に関し、3つの性能評価試験と5つの耐久試験を行った。

試験項目と試験結果について表7-1に示す。

表7-1 信頼性試験結果

	試験項目	試験結果
1	ピール強度	1kN/m以上 (Cu厚 35 μ m)
2	耐熱	260 $^{\circ}$ C 5分
3	耐電圧	1.5kV以上 (PI膜厚15 μ m)
4	温度・湿度サイクル	湿度90% 10 $^{\circ}$ C~50 $^{\circ}$ C 20サイクル 80H
5	高温放置	80 $^{\circ}$ C 48H
6	高温動作	50 $^{\circ}$ C 24H
7	冷熱衝撃	-40 $^{\circ}$ C \leftrightarrow 150 $^{\circ}$ C 20min 12サイクル
8	ヒートサイクル	-40 $^{\circ}$ C~150 $^{\circ}$ C 5H 500サイクル

試験項目1、2、3は平板アルミ板を用いた。

試験項目4、5、6、8はアルミ板と開発品Aを用いて行った。

試験項目7は開発品A（片面実装）、開発品B（両面実装）で行った。

この中で、試験項目7の冷熱衝撃試験において開発品BがNGとなった。開発品Bは表裏をつなぐコーナー部の絶縁膜に問題があった。コーナー部のため絶縁膜の厚さが薄いのが原因と思われる。今後絶縁膜の管理と間接的原因として両面立体露光用マスクも合わせて、

見直しを行い、両面配線対応の信頼性を確認する。

7-4 製品（試作品）評価

○開発品 A に対する評価

川下企業であるアドバイザー様に評価をしていただいた。

評価項目

- ・高輝度・均一照度、拡散板の可否。
- ・パルス点灯した場合の効果。

①名古屋電機工業様

基板検査装置に装着いただき実際に基板をカメラで見えていただき、拡散板の可否を確認いただいた。

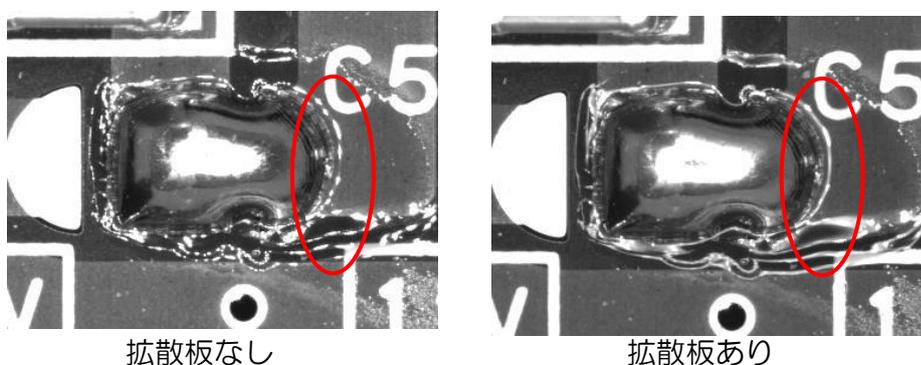


図7-9 開発品 A の拡散板の効果

図7-9で示すように映り込みが発生するので、拡散板が必要と分かった。発行輝度が市販品に比べ高いので、パルス点灯で使う場合デューティー比を低くできる（エネルギー効率が非常に高い）。

[要望] 分割点灯が必要。

②リョーワ様

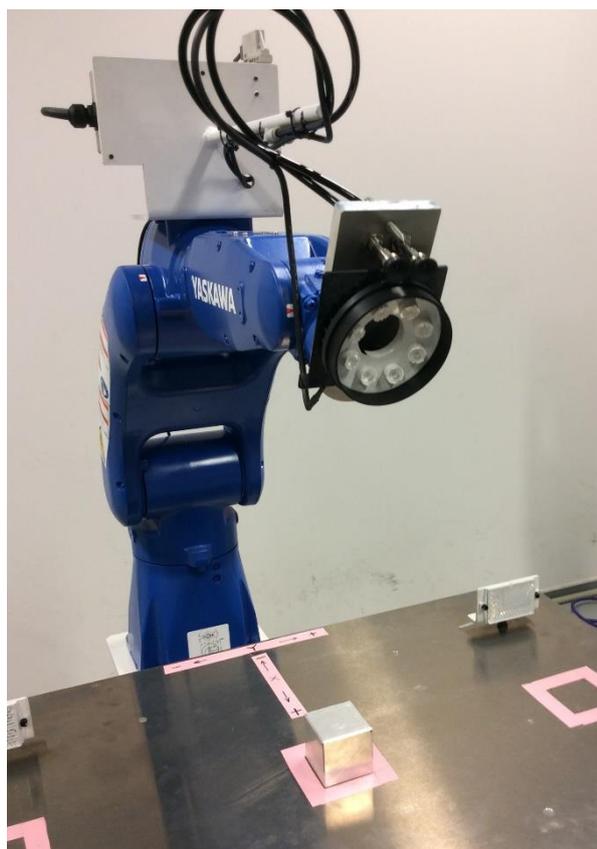
サンプル評価に対するコメント

- ・拡散板があったほうが検査精度の向上が望める。
- ・分割点灯・パルス点灯が必須である。
- ・軽量構造であるので装置に組み込みやすい。

○開発品 B の製品評価

ロボット用として開発したリング照明のため、（公財）北九州学術推進機構ロボット技術センターにお願いし、センター所有のロボットに実際に搭載し、簡単な実用性の確認を行った。

図7-10にその実験の様子を示す。



開発品 B の特徴

1. 軽量
2. 高放熱
3. 簡単な構造

図7-10 開発品 B をロボットに搭載

市販品との比較を表7-2に示す。(市販品は図7-3参照)

表7-2 市販品との性能比較

	開発品 B	市販品
重量(g)	94	180
熱抵抗(K/W)	1.6	4.0

開発品 B の実験はパルス点灯：電流500mA（周期100ms、ON 時間20ms）に行なった。（立体物への3方向パルス照射のデモを行なった。）

第8章 全体総括

8-1 複数年の研究開発成果

1) 曲面配線の高精度化技術確立

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
【1-1】 曲面配線の高精度化	L/S 200/200 μ m	100%	L/S 100/100 μ m	当初の1/2まで高精度化した。 仕上がり(104/91 μ m)達成
【1-2】 PI/Cu密着強度改善	常温 1.0kN/m 100 $^{\circ}$ C 0.8kN/m	100%	常温 1.3kN/m 100 $^{\circ}$ C 1.25kN/m	密着強度以外に 耐熱評価(260 $^{\circ}$ C5分)に耐える プロセスを同時に達成。

2) 多層化技術確立

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
【2-1】 曲面配線の多層化	平面3層化 曲面3層化	100%	既存PI/Cu/PI/Cuの多層化 レーザーによるスルーホール実現	Cu配線の1層目2層目3層目の間の PIをレーザーで穴開すことで実現
【2-2】 PI/Cu/PI多層化プロセス 改善	平面3層化 PI/Cu密着強度 1.0kN/m	100%	現行PIとCuを使って平面3層構造を形 成し表層のCu密着強度を1kN/m 達成	平面3層化の実現と合わせPI上のCuの 密着強度1.0kN/m以上を確認できた。

3) 高放熱伝導材料

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
【2-4】 高熱伝導絶縁材料検討	熱伝導率 1.0W/mK PI/Cu密着強度 1.0kN/m	100%	フィラー粒子径2.5 μ 以上48vol%達成で 熱伝導率1W/mK ピール強度1kN/mを達成。	LEDによる熱抵抗を既存PIと高熱伝導絶縁 材料で比較 \rightarrow 3k/Wの改善(ほぼ1/2の熱 抵抗)

4) 放熱設計・シミュレーション・評価

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント						
【3-1】 LED放熱性能評価	開発品Bの放熱性能評価 開発品Aと同程度の性能確認	100%	<table border="1"> <tr> <td>既存品</td> <td>開発品</td> </tr> <tr> <td>A 7.0K/W</td> <td>2.0K/W</td> </tr> <tr> <td>B 4.0K/W</td> <td>1.6K/W</td> </tr> </table>	既存品	開発品	A 7.0K/W	2.0K/W	B 4.0K/W	1.6K/W	開発品Bは開発品Aより放熱性能が高い
既存品	開発品									
A 7.0K/W	2.0K/W									
B 4.0K/W	1.6K/W									
【3-2】 リング照明の 熱流体解析	開発品A, Bの3次元熱流体解析	100%	開発品A, 開発品Bの 熱流体解析を完了した。	開発品Aより開発品Bの方が放熱特性 はよい。(放熱面積がBの方が大きい)						
【3-3】 リング照明の 放熱性能評価	開発品Bの放熱性能評価 開発品Aと同程度の性能確認	100%	<table border="1"> <tr> <td>既存品</td> <td>開発品</td> </tr> <tr> <td>A 7.0K/W</td> <td>2.0K/W</td> </tr> <tr> <td>B 4.0K/W</td> <td>1.6K/W</td> </tr> </table>	既存品	開発品	A 7.0K/W	2.0K/W	B 4.0K/W	1.6K/W	開発品Bは開発品Aより放熱性能が高い
既存品	開発品									
A 7.0K/W	2.0K/W									
B 4.0K/W	1.6K/W									

5) 照明設計・特性評価

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
【5-1】 市販LEDリング照明 の照明特性評価	市販LEDリング照明の 照明特性評価と評価条件決定	100%	評価条件 ・定格12V ・照射距離70mm 最大照度 51,740 [lx] 均一照度範囲 Φ 46 [mm] (最大照度の80%以上)	開発品A,Bの比較対象を決定した。
【5-2】 開発LEDリング照明 の照明設計と 照明特性評価	開発品A, B: 市販品に対し 照度 2倍 均一照度範囲 1.5倍	95%	開発品A: 達成 照度 2倍 均一照度範囲 2.3倍 開発品B: 一部未達 照度 2.40倍 均一照度範囲 1.4倍	開発品Aは目標に対しシミュレーション 通りの結果で目標を達成 開発品Bは均一照度範囲が未達 (レンズの高さ調整に課題を残した)

6) 曲面配線による画像処理用LED照明の試作・評価

サブテーマ	目標値	達成度	達成根拠	達成に係るコメント
【6-1】 筐体設計・配線 レイアウト設計	開発品Aの設計完了 開発品Bの設計完了	100%	開発品A、開発品Bの 3D設計完了	3D-CADを使い筐体形状、 配線レイアウト設計を完了 （【3-2】【3-3】の結果を元に設計）
【6-2】 LED照明試作	開発品Bの試作完了	100%	ロボット用照明試作完了 （PI膜形成にスプレーを活用）	立体配線形成から、3次元実装（半田付） までのプロセスを完成した。
【6-3】 信頼性評価	開発品A,Bの信頼性確認	95%	試験項目8項目中8項目完了	開発品Aはすべての試験に合格 開発品Bは両面配線構造で、冷熱衝撃試験 において表裏の境目でショート。絶縁不良。 境目の絶縁膜塗布条件見直し計画中。
【6-4】 製品（試作品）評価	開発品Bの実用性確認	100%	ロボットに搭載し実用性確認	パルス点灯にて実験確認 軽量（市販品 180g 開発品B 94g） 高放熱 1.6K/W 簡単構造

高放熱立体照明を実現するプロセスを確立でき、現在川下企業と具体的な案件で試作を始めている。実績を積むことで本工法が実用化、事業化に結びつくよう体制を作っている。

8-2 研究開発後の課題

未達成項目に対する補完研究について

【5-2】については、ロボット搭載用で具体的な顧客案件が出た際に検討することとした。

【6-3】を優先して補完研究を行う。

補完研究のテーマ：両面配線工法の見直し

補完研究の実施主体：豊光社

補完研究の資金供給元：豊光社

補完研究の概要

本サポインにおいて、信頼性試験において絶縁不良（冷熱衝撃試験）が発生した。故障発生部位は表裏の境目の絶縁膜の不良が原因であった。

実施事項

- 1) 絶縁膜の塗布方法の見直し（塗布後の膜厚管理）
- 2) 垂直面の露光方法の見直し
- 3) 立体マスクの見直し
- 4) 冷熱衝撃試験の追試

8-3 事業化展開

実施内容	2019年 5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	2020年 1月	2月	3月
【1】補完研究(両面配線工法見直し)	→										
【2】営業活動(市場調査、展示会含む)	→							シートック		ライティノグフェア	→
【3】フィールドテスト(顧客評価)		→									
【4】有償試作対応					→						
【4-1】V社様 試作対応	→										
【4-2】N社様 試作対応	→										
【4-3】J社様 試作対応(仮)			→								
【5】生産準備											
【5-1】ミニ製造ライン設計・見積	→										
【5-2】ミニ製造ライン投資検討			→								
【5-3】ミニ製造ライン導入・立ち上げ								→			

補完研究を進め、現段階では両面配線は使用しないが、今後の展開で必要になる技術であり先行して、プロセスを完成させる。

物づくり体制については、n数を増やした信頼性の確認、量産対応のプロセスの確立、生産ラインの検討・投資判断等、具体的に体制を作り上げていく必要がある。

販売計画は、現在の有償試作を発展させ、量産に結びつける活動を展開する。また展示会等で、川下企業の動向を把握しながら、先行した取り組みを行っていく。