

平成23年度3次補正予算戦略的基盤技術高度化支援事業

「透明・高放熱コーティングを活用し、発光効率が増大し
ファッション性にも優れたLED製品の開発」

研究成果報告書

平成25年3月

委託者 近畿経済産業局

委託先 合同インキ株式会社

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	7
1-4	プロジェクト連絡窓口	8
第2章	放熱性透明コーティング材の性能の改善	9
2-1	研究の内容	9
2-2	高放熱性を維持したままで光透過率のさらなる増大やヘイズ値の低下	9
2-2-1	光学特性の向上のためのコーティング材に用いる樹脂の検討	9
2-2-2	光学特性が向上したコーティング材の熱放射率特性	10
2-2-3	超臨界処理による表面改質で分散性の向上	10
2-3	耐電圧特性など実用化に必要な他の物性の向上	11
2-4	コーティング材の薄膜時の高放熱化	14
2-5	本課題の達成評価	15
第3章	効果的な塗布方法（インクジェット式など）の試作及び改良	16
3-1	研究の内容	16
3-2	高放熱性透明コーティング材の組成の最適化	16
3-3	高放熱性透明コーティング材の塗布方法の最適化	16
3-4	本課題の達成評価	17
第4章	透明性放熱コーティング材のLED製品への効果的実装方法の検討	18
4-1	研究の内容	18
4-2	透明性放熱コーティング材のLEDパッケージへの塗布方法の検討	18
4-3	透明性放熱コーティング材を塗布したLEDパッケージの放熱挙動の評価	18
4-3-1	作製したLEDパッケージの構造	18
4-3-2	LEDパッケージへの電気印加方法と放熱評価方法	20
4-3-3	各種LEDパッケージにおける中央部及び端部の温度変化	20
4-3-4	各種LEDパッケージにおける中央部LED素子の中のLEDチップの温度変化	22
4-3-5	熱画像測定によって評価した各種LED基板における温度分布	24
4-4	本課題の達成評価	26
第5章	LED基板の寿命の評価	27
5-1	研究の内容	27
5-2	LEDパッケージの寿命評価	27

5-3	実製品での放熱評価	29
5-3-1	LED 照明器具での放熱性評価	29
5-3-2	CPU 基板用ヒートシンク部に塗布することでの放熱性の評価	30
5-4	本課題の達成評価	32
第6章	全体総括	33
6-1	研究開発成果	33
6-2	研究開発後の課題・事業化展開	33
6-2-1	研究開発後の課題	33
6-2-2	事業化展開	33

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

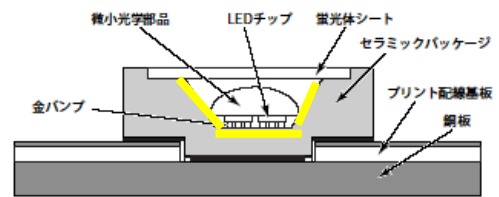
LED（発光ダイオード）は、1998年に白色タイプが発明され、表示材料だけでなく照明用材料としての利用が広がっている。さて「省エネルギー技術戦略」（平成20年4月、経済産業省・資源エネルギー庁、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構）の中でも、環境問題において二酸化炭素排出削減の目標達成のための省エネルギー技術の切り札の一つとして期待されている。特に、2012年までの白熱電球との代替や、微量の水銀を含む蛍光灯との置き換えが急ピッチに進んでいる。またLEDテレビなどの情報家電や自動車の照明においても不可欠な高度部材としても大きく利用されている。そして発光強度を大きくするため、200lm/Wまでの高発光効率が目標とされているが、発光効率はまだまだ不十分であり、出力の増大が求められている。しかしLED照明の場合は、白熱電球の場合と異なり発光とともに副次的に発生するのは大部分が熱（光へのエネルギー変換（数%から数十%）の残りのほぼすべて）であり、さらに出力が増大すると大電流が流れるため熱が大きく発生し、現状ではLEDチップの温度が200℃付近になり、封止材料の変質やチップとのジャンクション部やチップとワイヤーの接合部の劣化などでLEDの劣化が大きく進むと考えられる。その結果、高価なLEDの特徴であるLEDの長寿命が著しく低下することが予想される。そのため封止材料やLEDを支える高放熱性基板・放熱部品・放熱塗料などの周辺材料の高放熱化が急務となっている。さらに、LEDパッケージを組み合わせたLEDモジュール（右図例 LED電球）や照明器具全体の放熱構造化が望まれている。すなわち、LED製品（LEDパッケージやLEDモジュール、照明器具）全体で高放熱化による熱抵抗の低減が大きく望まれている。



ここで放熱プロセスは以下のようなものである。右図（LED電球断面）中のしゅ色の矢印で示すように、熱源（LEDチップ）から発生した熱は、パッケージの部材（セラミック、金属、プラスチックなど）の中を通過して、モジュールの外側表面で、対流、伝導、輻射によって外気に放散されている（LED照明ハンドブック（LED照明推進協議会 編））。成形性に優れるプラスチックの高熱伝導化が進んでいるが、現在、金属・セラミックがよく用いられる。そのときは、部材の熱伝導率は充分であり、モジュールやパッケージ表面からの放熱は系全体の放熱の律速段階となり、開発のキーテクノロジーとなっている。また、最近では電源部（右図拡大図の中央部）の発熱も問題となっていて、これもLEDモジュール表面からの放熱が重要な要素となっている。しかし、モジュールの周囲は他の部品も多く配置され混んでいる場合が多く、対流の効果が期待されない。さらに、空気の熱伝導率が極めて小さいため、輻射（熱放射）による放熱への期待が大きくなっている。そのため、放熱塗料に期待がかかるがこれまでは黒色がほとんどであり、意匠性にあまりに乏しかった。最近、白色の放熱塗料が開発されたが、白系でも意匠性にまだまだ不十分であり、LEDモジュールや照明器具のデザインが単調になりやす

く、光反射率は80%までに、限られていて、光反射部塗料（右図黄色部）としても不十分である。

そこで本事業参加者が開発した透明性放熱・電気絶縁性コーティング材を用い応用し、より高度化することで、これらの問題を大きく解決できる。



またこの放熱塗料を塗布した金属箔を LED 光の反射板として利用することで、高い光反射と放熱性を両立でき、LED パッケージの高放熱・高発光性能化が期待できる。このように高放熱透明電気絶縁コーティングの開発と実用化を行い LED 製品に応用展開することが、より高い放熱性を持つ LED 製品へのキーテクノロジーとして、強く望まれている（白色 LED の技術ロードマップ（2008 年 9 月、LED 照明推進協議会）や大阪府 LED 照明機器開発推進計画策定事業報告書（平成 16 年 3 月、大阪府））。

そこで、本事業では、これまでになかった透明であるが十分な放熱性をもつ、新しく開発したコーティング材製造技術を用い、金属鏡面との複合体化による高熱輻射・高光反射機能（光反射板）を応用することで、放熱性と意匠性に優れた LED 基板を開発する。そのため、放熱性透明コーティング材の性能（光線透過率、接着性、耐熱性など）の向上、生産性の高いインクジェット塗布法の完成、より高効率でより小さい LED パッケージ構造設計及びその評価を達成する手法を確立し、実用化に繋げる。

なお、特定ものづくり基盤技術高度化指針のうち、以下の項目に対応する。

（三）電子部品・デバイスの実装に係る技術に関する事項

1. 電子部品・デバイスの実装に係る技術において達成すべき高度化目標

（2）自動車に関する事項

・川下製造業者の抱える課題及び要請（ニーズ）

イ. 省エネルギー・環境対策

自動車は、ポスト京都議定書の問題など近年の環境問題への強い要請から、省エネルギー・環境対策が求められており、ハイブリッド車や電気自動車への移行がハイピッチで進んでいる。また、自動車用照明器具においては、さらに 2003 年 2 月に EU から出された WEEE 指令や RoHS 指令によって、微量の水銀を含む蛍光灯の使用の禁止などによって LED 照明の利用が強く求められ、置き換わってきている。しかし、LED 照明は発光とともに発生する熱（出力の 50%～90%）が使用する樹脂の劣化やチップ配線部の切断などを引き起こすことによって、求められる高寿命化・高発光効率化の達成を大きく阻害している。さらに、燃費の向上のための自動車ボンネット内部などのコンパクト化によって、放熱特性が大きく阻害されている。そのため、LED 基板表面やそれを組み込んだ部品表面からの放熱では対流の効果が小さくなり、熱輻射への期待が大きい。しかし、熱輻射が大きいコート材は黒色が多く、意匠性に乏しかった。そのため、最近では白色の熱輻射コート材が開発され、利用されているが、多種の色との組み合わせは鮮やかさに不十分である。また、LED 基板内の光反射部として金属

鏡面が理想的であるが、その熱輻射率が小さいため、白色の熱輻射コート材が用いられているが反射率が比較的低い（約 80%）ため、さらなる光の有効利用が期待されている。

さらに、上記を踏まえた高度化目標を以下に示す。

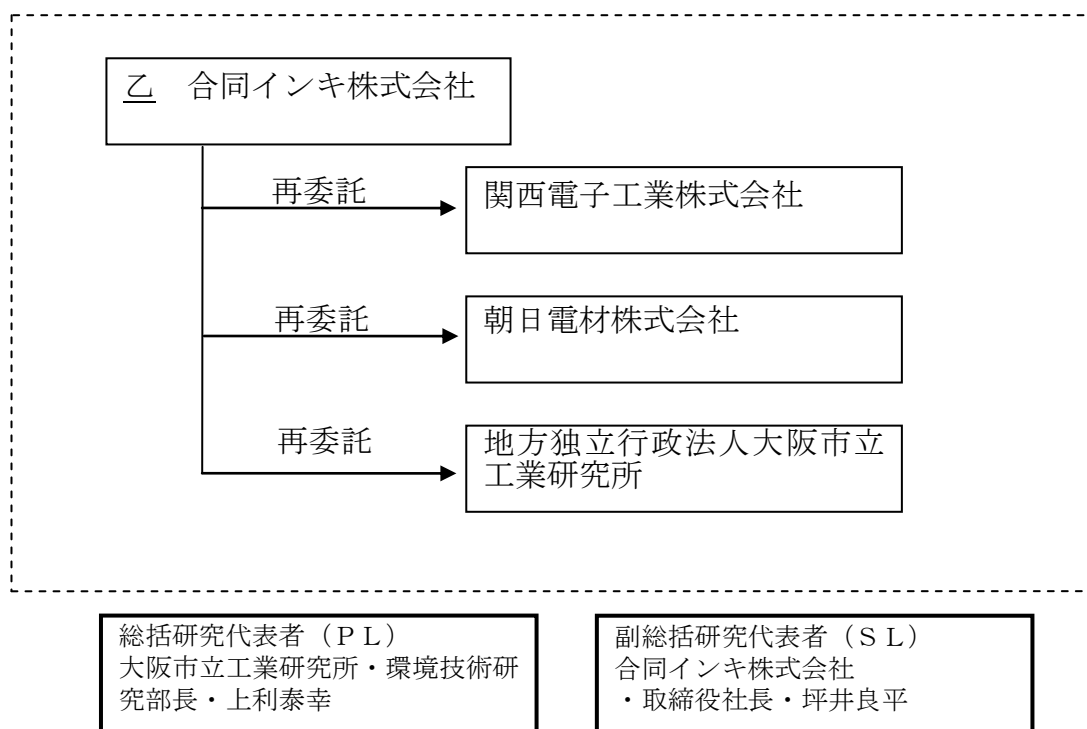
- イ. 高放熱コンポジット基板材料、高速・大電流基板の実現
- オ. 放熱・冷却構造、低抵抗配線化、高電圧化対応技術の実現

新しく開発した高放熱性透明電気絶縁性コート材の製造技術を用い、各種のカラフルな色の塗料の上にこのコーティング材を積層することで、LED 製品の意匠性を大きく増大させる。さらに、金属鏡面との複合体化することで相反関係にある高光反射性と高放熱性の両機能をもつ優れた LED 製品を開発する。そのために、異業種の企業が連携し、以下の 3 つの分野の研究開発を行うことで目標を達成する。①このコート材製造技術をさらに改善し、高い耐熱性と接着力を持つ高放熱・高透明コート材の製造技術を開発し、低コスト化へも繋げる。②試作したインクジェット式塗布機を改良しながら、透明性放熱コーティング材を、各種の場所に各種の厚みに正確にコーティングする、低コストでより生産性に優れた技術確立する。③開発した、またはさらに改善した放熱透明性コート材を用いて LED 基板（パッケージ）を試作する。そしてその放熱特性を評価し最適な放熱構造を見出し、このコーティング材を有効活用した LED パッケージの製造技術を開発する。

1－2 研究体制

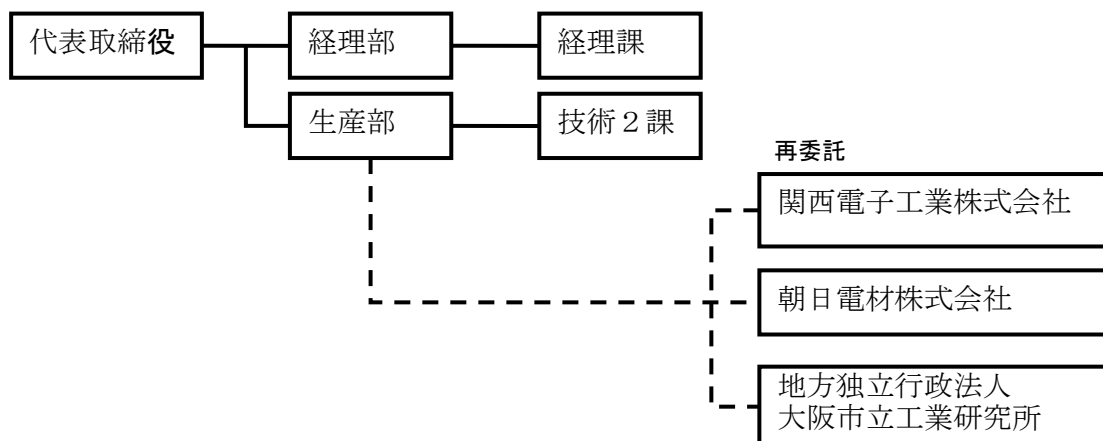
（1）研究組織及び管理体制

- 1) 研究組織（全体）
- 2) 管理体制



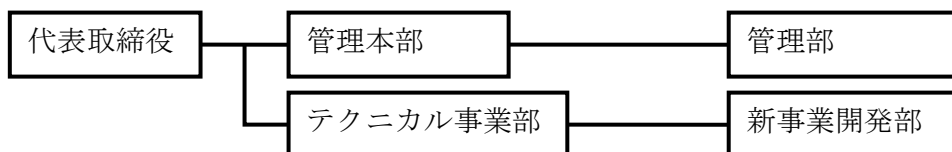
①事業管理機関

[合同インキ株式会社]

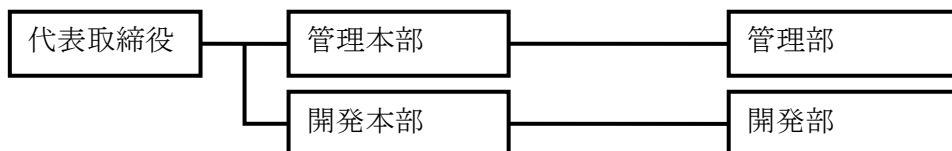


②（再委託先）

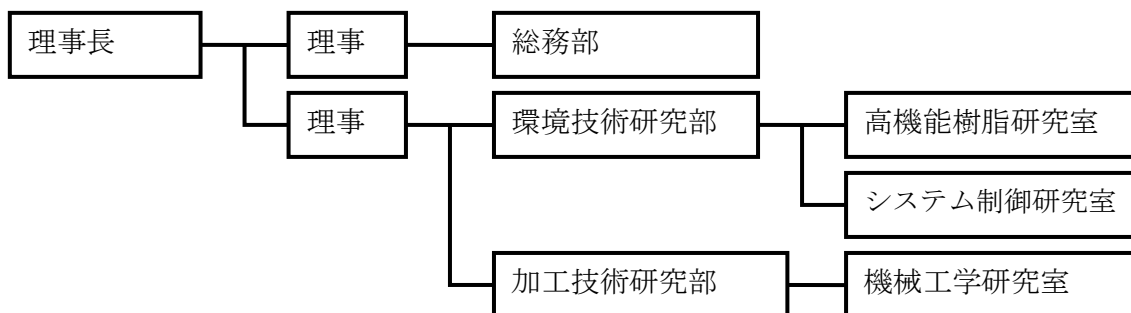
関西電子工業株式会社



朝日電材株式会社



地方独立行政法人大阪市立工業研究所



(2) 管理員及び研究員

【事業管理機関】 合同インキ株式会社

①管理員

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
山岸 光展	取締役経理部長	⑤
四柳 利浩	経理課 課員	⑤
三好 輝	技術2課 係長	⑤

②研究員

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
○坪井 良平	代表取締役	① ②、③
山野 正人	技術2課 課長	① ②、③
三好 輝(再)	技術2課 係長	① ②、③、④
志村 正樹	技術2課 研究員	② ②、③

【再委託先】

関西電子工業株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
菅原 弘	代表取締役	③
菅原 大介	工場長	③
谷川 和雅	テクニカル事業部新規事業開発部 部員	③

朝日電材株式会社

氏 名	所属・役職	実施内容 (番号)
山川 修一	開発部 部長	②
田井 好治	開発部 研究員	②
熊井 理隆	開発部 研究員	②

地方独立行政法人大阪市立工業研究所

氏 名	所属・役職	実施内容（番号）
◎上利 泰幸	環境技術研究部長	①、②、③、④
斎藤 守	環境技術研究部システム制御研究室 室長	④
山田 信司	加工技術研究部機械工学研究室 室長	③
武内 孝	加工技術研究部機械工学研究室 研究主任	④
平野 寛	環境技術研究部高機能樹脂研究室 研究主任	①、③
北口 勝久	環境技術研究部システム制御研究室研究主任	④
門多 丈治	環境技術研究部高機能樹脂研究室 研究主任	①、③

（３） 経理担当者及び業務管理者の所属、氏名

（事業管理機関）

合同インキ株式会社

（経理担当者） 取締役経理部長

山岸 光展

（業務管理者） 代表取締役

坪井 良平

（再委託先）

関西電子工業株式会社

（経理担当者） 管理部 経理課長

腰高 信男

（業務管理者） 代表取締役

菅原 宏

朝日電材株式会社

（経理担当者） 管理本部 総務課長

大西 康資

（業務管理者） 開発本部 開発部長

山川 修一

地方独立行政法人大阪市立工業研究所

（経理担当者） 総務部長

谷口 博

（業務管理者） 環境技術研究部長

上利 泰幸

（４） アドバイザー

パナソニック株式会社 エコソリューションズ社

コア技術開発センター 機能材料開発グループ 参事 余田 浩好

（指導内容：照明用 LED 基板に必要な特性や放熱性を生かした市場展開について
アドバイスを受ける。）

1－3 成果概要

これまでになかった透明であるが十分な放熱性をもつ、新しく開発したコーティング技術を改善・応用し、LED 製品の意匠性を大きく増大させ、また光反射率の高い金属鏡面との複合体化による相反機能解消効果で、優れた LED 基板を開発した。さらに、耐熱性や透明性、耐候性、耐塩水噴霧性、耐電圧にも優れるべく改善に成功した。この放熱コーティング材を用いた LED 基板は、LED 素子の数が 13 個、17 個、21 個、25 個と増やしていても、いずれもよい放熱性を示し、寿命評価においても、LED 素子が 20℃以上低下し、顕著な寿命増大効果が認められた。さらに、実製品（LED 照明と CPU ヒートシンク）にも開発した放熱コーティング材を塗布することで、大きな放熱効果を確認でき、これからの市場評価への基盤を確立することができた。

これらの研究成果を、下記の 4 つの研究項目に分けて、説明する。

①放熱性透明コーティング材の性能の改善

コーティング材をこの 3 年間、改善することで、目標とした光線透過率は 93% 以上にヘーズ値は 2 以下になり、十分な塗膜の接着力を保持する透明放熱性塗料を開発することができた。さらに、この系では 300℃以上の耐熱性を持ち、耐はんだ性にも優れていることもわかり、放熱性透明塗料として非常に優れていることがわかった。

また本年度は、屋外使用に不可欠な耐候性や海や海岸での使用の要求に応えるため耐塩水噴霧性にも優れるべく改善を行い、広範囲の利用に適したグレードを開発できた。また、各種用途用の放熱コーティング材の、いずれも絶縁破壊電圧も 40 KV/mm 以上であり、目標値を上回る結果となった。

さらに、コーティング材を改善し、4 μm の厚さの薄膜でも能力の 90% の放熱性を持つことができるようになった。

すなわち、3 年間の開発によって、開発したコーティング材を種々の場所で利用できる機能・性能を付与できた。今後は市場展開を進めていくことで、事業化に繋げることができると考えられる。

②効果的な塗布方法（インクジェット式など）の試作及び改良

前年度の研究成果を活用し、高放熱性透明コーティング材を改良したが、種々の条件を検討しても、液滴の飛翔状態はあまり良くなく飛び散ったような挙動を示した。1 年目で他のコーティング方法（スプレー法、スクリーン印刷など）では比較的塗布しやすく、それらの方法は確立できたが、やはり、粒子複合液のインクジェット印刷を行うには、まだまだハードルが高いことが分かった。

③ 透明性放熱コーティング材の LED 製品への効果的実装方法の検討

本事業で開発した放熱コーティング材について透明性と耐熱性をさらに高めることができ、多方面で利用できる性能を持たすことに成功した。また、一番問題となる LED チップの温度を測定し、熱画像データの相関性もあることを示すことができた。すなわち、3 年間でさまざまな LED 基板において、開発した放熱コーティング材が、大きな放熱性をもたらすことが確認できた。すなわち、通常の 13 個の LED 素子をもつ基板だけでなく、17 個、21 個、25 個と LED の数が大きくなっても、最高では 20℃ 以上の放熱効果を示すことや、LED 基板周りだけでなく、LED 素子自身の大きな温度低下ももたらすこともわかった。また、さまざまな放熱評価試験方法を確立でき、今後、この放熱コーティング材やそれを用いた LED 基板を販売拡大していく上で有用な手段となると考えられる。

④ LED 基板の寿命の評価

LED 基板での放熱効果が LED 基板の寿命に大きく影響することをよく示すことができた。特に、その効果は高光量の LED 基板の場合に大きく、これからさらに発展が期待される高性能な LED 照明に、開発した放熱コーティング材が大きく効果を発揮すると考えられる。また、実用的に用いられる LED 照明器具や CPU のヒートシンクにこの放熱コーティング材を用いることで、十分な放熱効果を得ることができることがわかった。これらの研究成果は、この放熱コーティング材の商品化や事業化をはかる上で宣伝効果として有用な知見であるといえ、本課題は充分達成できたと考えられる。

⑤ 事業の管理・運営

研究支援及び事業運営業務を円滑に行うことができた。

1-4 プロジェクト連絡窓口

〒544-0031 大阪府大阪市生野区鶴橋一丁目六番六号

合同インキ株式会社

管理部長 山岸 光展

Tel: 06-6716-2851

Fax: 06-6716-2856

E-mail: general-affairs@godoink.co.jp

第2章 放熱性透明コーティング材の性能の改善

担当：合同インキ株式会社、地方独立行政法人大阪市立工業研究所

2-1 研究の内容

用いるセラミック粒子径や分散剤・方法を工夫することで、透明度（光線透過率）をさらに大きく増大させ、通常の透明プラスチックと同様な95%以上にすることができた。また、前年まではヘイズは5%程度であったが、ヘイズ値を2%以下まで低下させることができた。さらに、開発したコーティング材の耐候性や耐塩水噴霧特性が充分大きいことを見出した。そして、コーティング材の薄膜でも、厚膜と同等な放熱性を持たすことに成功した。

2-2 高放熱性を維持したままで光透過率のさらなる増大やヘイズ値の低下

2-2-1 光学特性の向上のためのコーティング材に用いる樹脂の検討

前年度の研究で、高輻射が期待されるセラミック粒子の1次粒子は、サブミクロンオーダーであるので、まずそのセラミック粒子の分散性を向上し、透明性の向上を目指し、十分な透明性を得た。

そこで、塗料を分散機で分散させて目的の透明性を得るために、前年度で得た充填率、分散剤の添加量などの最適条件を基にして、樹脂の種類を検討して、全光線透過率の向上だけでなく、ヘイズ値の低下も目指した（表2-1）。

表2-1 各種コーティング材の光学特性

樹脂タイプ	膜厚（ μ ）	ヘイズ	全光線透過率（%）
ガラス	—	0.10	100.00
前年度の最適条件 （樹脂1）	20	4.67	99
樹脂1	5	5.83	99
	10	4.43	99
	20	4.06	99
	40	4.01	98
樹脂2	5	0.96	99
	10	1.51	99
	20	1.13	99
	40	1.79	98

全光線透過率はいずれも充分大きく問題がなかった。ヘイズ値は本年度の研究によって、4付近まで低下したが、さらに樹脂を変更することで、2以下となり問題ないレベルとなり、光学材料への利用が期待された。

2-2-2 光学特性が向上したコーティング材の熱放射率特性

光学特性、特にヘーズ値が大きく改善した樹脂 2 系コーティング材の熱放射率を各種の塗膜厚みについて測定し、樹脂 1 系コーティング材の熱放射率と比較し、同様に大きな値を持っていることを確認した。

表 2-2 各種コーティング材の熱放射率

樹脂タイプ	膜厚 (μ)	熱放射率
樹脂 1	5	0.80
	10	0.80
	20	0.86
	40	0.90
樹脂 2	5	0.78
	10	0.81
	20	0.88
	40	0.90

2-2-3 超臨界処理による表面改質で分散性の向上

透明性を向上させるため、また被表面積を増大することで放熱効果を増加させるためには、粒子の分散性を大きくすることが必要である。そこで、二次凝集性を防ぐため、超臨界水処理を行うことを試みた。表面処理剤として、エポキシ基末端カップリング剤（グリシジルエーテルエチレントリメトキシシラン；信越化学^(株)製）とアミン基末端カップリング剤（3-アミノプロピルトリメトキシシラン；信越化学^(株)製）を用いた。そして、処理剤と粒子を入れた水溶液を用いて、粒子の表面修飾を行った。そして、粒子の表面状態の評価を、対水接触角法（粒子を圧縮成形で固めた円板で測定）と粉体への液浸透法で行った。粉体への液浸透法で用いた溶媒は、エタノールとトルエンとの浸透速度との違いから、疎水度を算出した。その結果を表 2-3 に示す。

処理剤がない場合でも、超臨界処理をすることで接触角が増大し、疎水度が大きくなり、粒子表面の水酸基が少なくなっていたことが推察された。エポキシ基タイプの表面処理剤を用いると、超臨界水処理で、より疎水性にすることができ、表面処理ができていると考えられた。また、アミノ基タイプの表面処理剤を用いると、超臨界処理で親水性にすることができ、アミノ基タイプの表面処理剤で表面処理できたと考えられる。

表 2 - 3 各種の条件で処理した粒子の接触角

名称	カップリング剤	濃度 (%)	接触角	疎水度
無処理	無し	0	61.6	28
無処理	無し	0	93.4	46.1
珪素珪化 1	エポキシ系	2	64.5	19.8
珪素珪化 2	エポキシ系	2	69.3	68
珪素珪化 3	エポキシ系	2	87	109.7
珪素珪化 4	エポキシ系	5	67.2	9.9
珪素珪化 5	エポキシ系	5	69.8	62
アミノ化 1	アミン系	2	62.4	22.3
アミノ化 2	アミン系	2	67.8	77.8
アミノ化 3	アミン系	2	72	31.1
アミノ化 4	アミン系	5	57.6	14.8
アミノ化 5	アミン系	5	69.3	16.2
珪素珪化 6	エポキシ系	1	60.8	17.6
珪素珪化 7	エポキシ系	5	65.2	17.7
アミノ化 6	アミン系	1	62.1	10.1
アミノ化 7	アミン系	5	64.2	1.3

2 - 3 耐電圧特性など実用化に必要な他の物性の向上

95%の光透過率をもつコーティング材中の樹脂に含まれる官能基の数の増大や分散剤や添加剤の工夫によって、実用化に必要な耐電圧などの特性の向上を目指した。まず、戸外や海洋での使用の場合を想定して、必要な特性（耐候性、耐塩水噴霧性）を持つことを目指した。さらに、界面接着性の改善を行い実製品での絶縁破壊電圧が 40 kV/mm 以上になることを目指した。

まず、耐候性であるが、促進耐候性試験で評価した。試験は、JIS K 7350-2 プラスチックー実験室光源による暴露試験方法 第2部：キセノンアーク光源を参考にして実施した。ただし、耐候性試験装置及び試験条件を下記する。

- 試験装置：スガ試験機（株）製スーパーキセノンウェザーメーター（2槽独立型）SX2D-75
- 光源のフィルター（インナー／アウター）：石英／＃275
- 試験方法：照射＋降雨
- 試験片面への降雨サイクル：120分間照射中に18分間降雨
- 試験槽内温湿度：照射時 63±1℃（ブラックパネル温度計）、50±5%RH。照射＋降雨時 38±1℃
- 試験片面の放射照度：180W/m²（300～400nm）
- 試料：開発した候・耐熱タイプの塗料を各種の基材（アルミ板及び鋼板）に約 20 μmの厚さで塗装し試料としました。

表 2－4 各種試料の耐候性試験結果

		基材	
試験項目		アルミ (JIS H4000)	冷間圧延鋼板 (JIS G3141)
光沢保持率	1000 時間	93.2%	89.9%
	2000 時間	76.4%	55.1%
密着性	1000 時間	問題なし	問題なし
	2000 時間	問題なし	問題なし

密着性はいずれも問題なかったが、光沢保持率は少し減少した。すなわち、全体的に問題がないと考えられた。

次に、耐塩水噴霧性を調べた。試験は、JIS Z 2371-2000 に定める中性塩水噴霧試験方法を参考にして実施した。ただし、耐塩水噴霧性試験装置及び試験条件を下記する。

- 装置：スガ試験機製 STP-90
- 試験用塩溶液：塩化ナトリウム 50g/L、必要に応じて水酸化ナトリウム溶液を添加し、pH6.5～7.2 に調整した。
- 試験槽設定温度：35℃
- 試験期間：14 日間、4 日後、7 日後でも評価した。
- 試料：開発した候・耐熱タイプの塗料を各種の基材（アルミ板及び銅板、鋼板）に約 20 μ m の厚さで塗装し試料としました。

14 日後の付着性を JIS K5600-5-6 で評価すると次のようになる。

表 2－5 各種試料の付着性（14 日後）

基材	分類
アルミ	1
銅	0
鋼	5（全体に剥がれ）

また、4 日後、7 日後、14 日後での各試料の写真を次に示す。

写真左から

- ・アルミ（J I S H 4 0 0 0）
- ・銅（J I S H 3 1 0 0）
- ・鋼（J I S G 3 1 4 1）

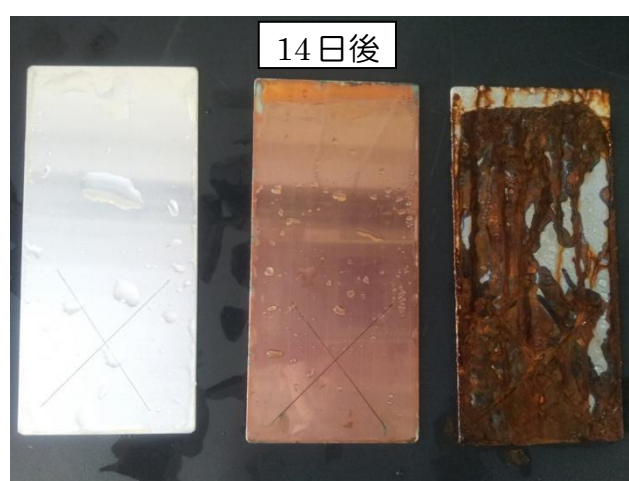
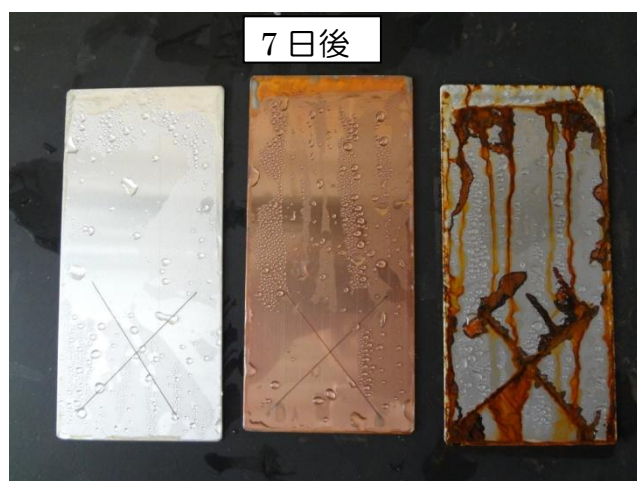
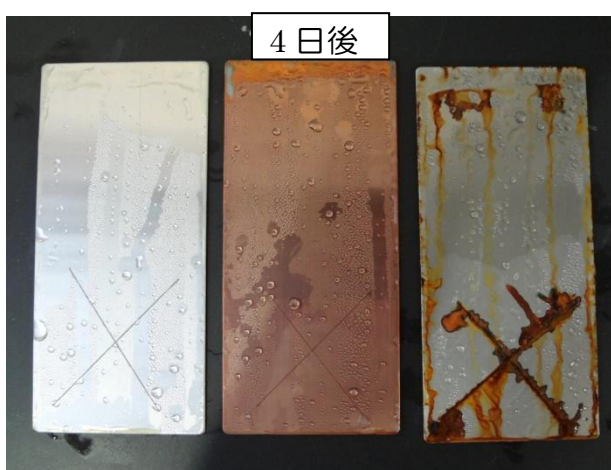


図 2 - 1 各種試料の塩水噴霧試験後の状態（4 日後、7 日後、14 日後）

鋼板では、さびが強く出て剥離を起こしたが、他の基材では問題は無かった。しかし、アルミ板では少しぬれが増し、輻射効果が落ちているかもしれない。

さらに、各種用途用の放熱コーティング材をアルミ基板上に塗布し、(株)安田精機製作所の耐電圧試験機（No.175）を用い、JIS C 2110-1 にしたがって測定を行った（表 2 - 6）。ここで、異径タイプ電極を用いて昇圧法で評価した。いずれも絶縁破壊電圧は 40 kV/mm 以上であり、目標値を上回る結果となった。

表 2 - 6 各種コーティング材の絶縁破壊電圧

塗布したコーティング材名	絶縁破壊電圧（kV/mm）
水系放熱コーティング材	55
溶剤系放熱コーティング材	83
シリコーン系放熱コーティング材	99

2-4 コーティング材の薄膜時の高放熱化

開発したコーティング材をさらに改良し、それを用いて、各種厚みに塗布したアルミ板の放熱効果を各種温度において調べた。ここでアルミ板の裏面にヒータを取り付け一定の量の熱を発生させ、裏面の温度の違いから、放熱性を評価した。その結果を図2-2から図2-4に示す。

飽和低下量は、無塗装の温度が87.4℃、108℃、132.8℃では、それぞれ12.3℃、15.5℃、18.6℃であり、十分に高い放熱性を持つことがわかる。ここで、いずれの場合も飽和した低下量の約90%であり、4μmの厚みがあれば、十分な放熱性があると考えられる。すなわち、非常に薄い膜においても十分に高い放熱性を有するコーティング材を開発できた。

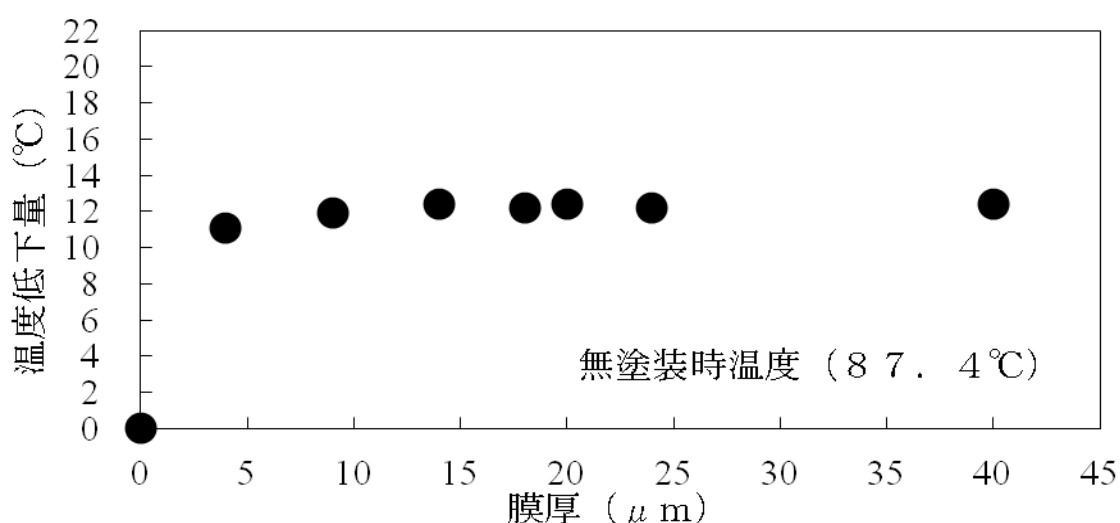


図2-2 各種厚みの放熱コーティング材を塗布したアルミ板の裏面温度の、塗布しないときの裏面温度に比較した低下量（無塗装時温度（87.4℃））

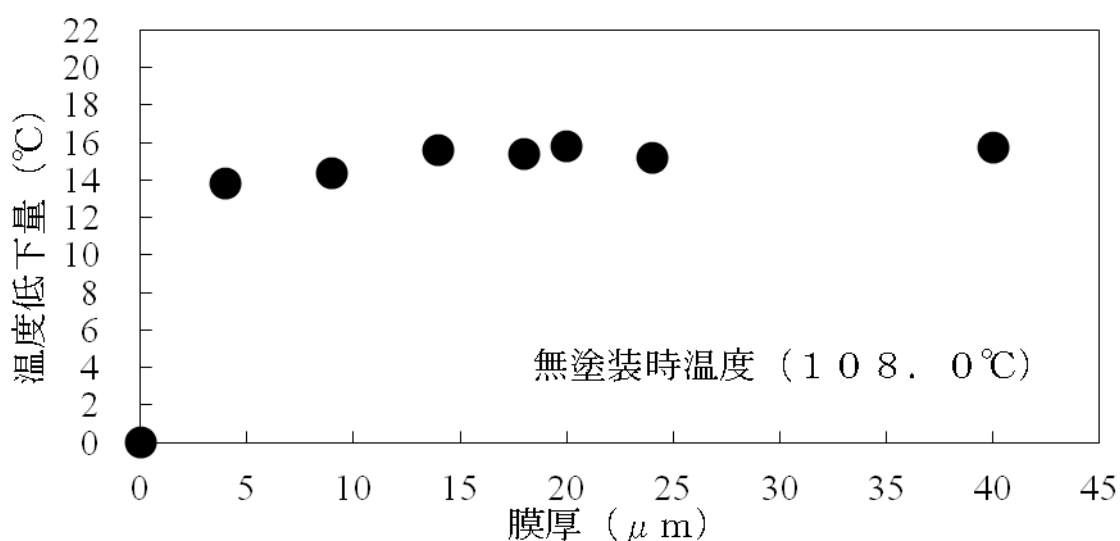


図2-3 各種厚みの放熱コーティング材を塗布したアルミ板の裏面温度の、塗布しないときの裏面温度に比較した低下量（無塗装時温度（108℃））

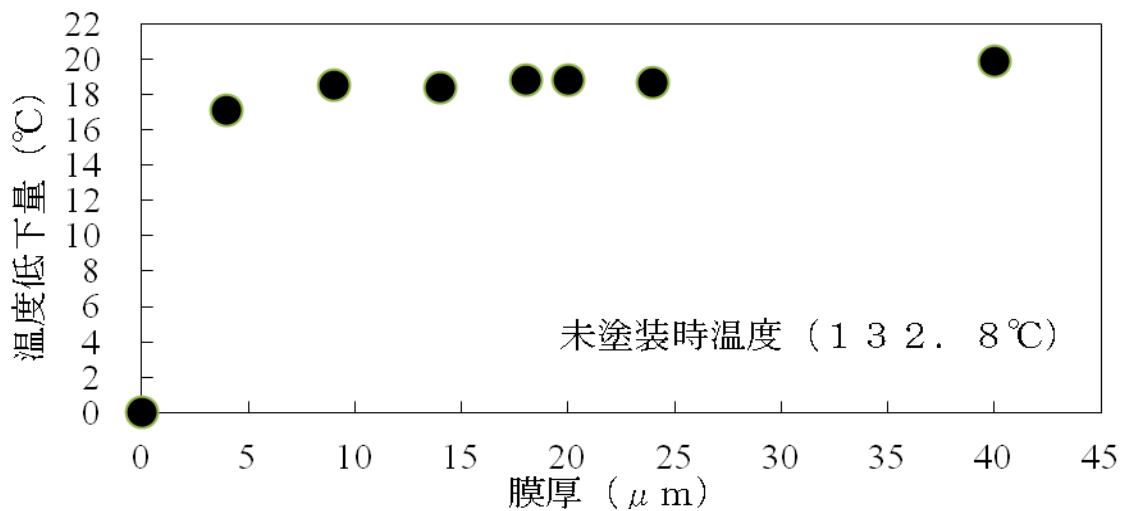


図2-4 各種厚みの放熱コーティング材を塗布したアルミ板の裏面温度の、塗布しないときの裏面温度に比較した低下量（無塗装時温度（132.8℃））

2-5 本課題の達成評価

コーティング材をこの3年間、改善することで、目標とした光線透過率は93%以上にヘーズ値は2以下になり、十分な塗膜の接着力を保持する透明放熱性塗料を開発することができた。さらに、この系では300℃以上の耐熱性を持ち、耐はんだ性にも優れていることもわかり、放熱性透明塗料として非常に優れていることがわかった。

また本年度は、屋外使用に不可欠な耐候性や海や海岸での使用の要求に応えるため耐塩水噴霧性にも優れるべく改善を行い、広範囲の利用に適したグレードを開発できた。また、各種用途用の放熱コーティング材の、いずれも絶縁破壊電圧も40 KV/mm以上であり、目標値を上回る結果となった。

さらに、コーティング材を改善し、4 μm の厚さの薄膜でも能力の90%の放熱性を持つことができるようになった。

すなわち、3年間の開発によって、開発したコーティング材を種々の場所で利用できる機能・性能を付与できた。今後は市場展開を進めていくことで、事業化に繋げることができると考えられる。

第 3 章 効果的な塗布方法（インクジェット式など）の試作及び改良

担当：合同インキ株式会社、朝日電材株式会社、地方独立行政法人大阪市立工業研究所

3-1 研究の内容

高放熱性透明コーティング材用の最適な構造をもつインクジェット印刷機を用いて、粘度などの物性を工夫し、被塗布材やコーティング材の違いに対応した、最適化方法を確認することを試みた。

3-2 高放熱性透明コーティング材の組成の最適化

まず、前年度の研究成果から、必要とされる粘度は充分達成できているが、インクジェットを用いた塗布を継続して行くと、少しずつ詰まってくることがわかった。そこで、同じ粒子径の粒子を分散した液に、水の蒸発性を押さえるためエチレングリコールを少し加え、粘度調節によって前年度と同じ放熱コーティング材を作製した。

表 3-1 試作したインクジェット印刷用塗料液の粘度

コーティング材の種類	粘度 (mPa・s)
	希釈後
前年度開発	10
今年度	15

3-3 高放熱性透明コーティング材の塗布方法の最適化

開発した透明放熱塗料液を用いて、インクジェット印刷法を検討した。インクだまりに開発した塗料液を注入し、インクジェット印刷試験を行った（図 3-1）。最初はうまく飛翔し印刷がうまく行えていたが（図 3-2 A）、120 秒後にはノズル詰まりを起こし、うまくいけなくなった。

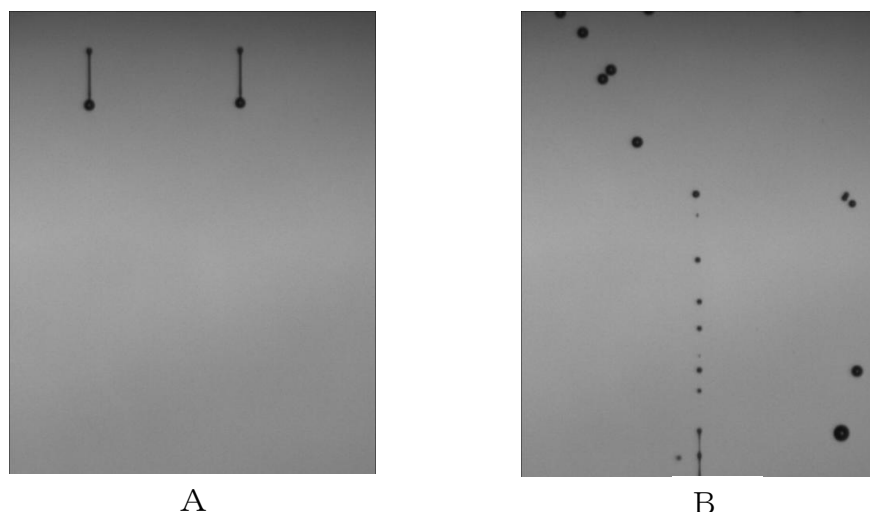


図 3-1 試作したインクジェット印刷用塗料液滴の飛翔状態（A：5 秒後、B 120 秒後）

3－4 本課題の達成評価

前年度の研究成果を活用し、高放熱性透明コーティング材を改良したが、種々の条件を検討しても、液滴の飛翔状態はあまり良くなく飛び散ったような挙動を示した。1年目で他のコーティング方法（スプレー法、スクリーン印刷など）では比較的塗布しやすく、それらの方法は確立できたが、やはり、粒子複合液のインクジェット印刷を行うには、まだまだハードルが高いことが分かった。

第4章 透明性放熱コーティング材のLED製品への効果的実装方法の検討

担当：合同インキ株式会社、関西電子工業株式会社、地方独立行政法人大阪市立工業研究所

4-1 研究の内容

前年度までに、透明性放熱コーティング材を塗布したLEDパッケージの使用時の各出力における放熱効果をサーモグラフィーなどで、測定・評価を行ってきた。さらに、放熱シミュレーションを用いて、LEDチップの温度変化を予測するだけでなく、チップ温度の実測を行い、LEDパッケージを総合的に評価する方法を見出した。本年度は、それらの結果を踏まえて、LED球の数を工夫し、前年度よりも精密にLED基板の放熱性を評価し、放熱塗料の利用の効率化に役立てる情報を得た。

4-2 透明性放熱コーティング材のLEDパッケージへの塗布方法の検討

インクジェット法用の塗布液の性能がまだまだ不十分であるので、本検討を行うことができなかった。しかし、実用的にはスプレー塗布やスクリーン印刷で充分であるので、本年度は、この塗布方法の検討には注力しなかった。

4-3 透明性放熱コーティング材を塗布したLEDパッケージの放熱挙動の評価

4-3-1 作製したLEDパッケージの構造

まず、8種類のLEDパッケージを作製した。基本的なパターンとしては、20個のLED素子を円状に配置し、さらに、中央部に1個を配置したパターン（図4-1）である。

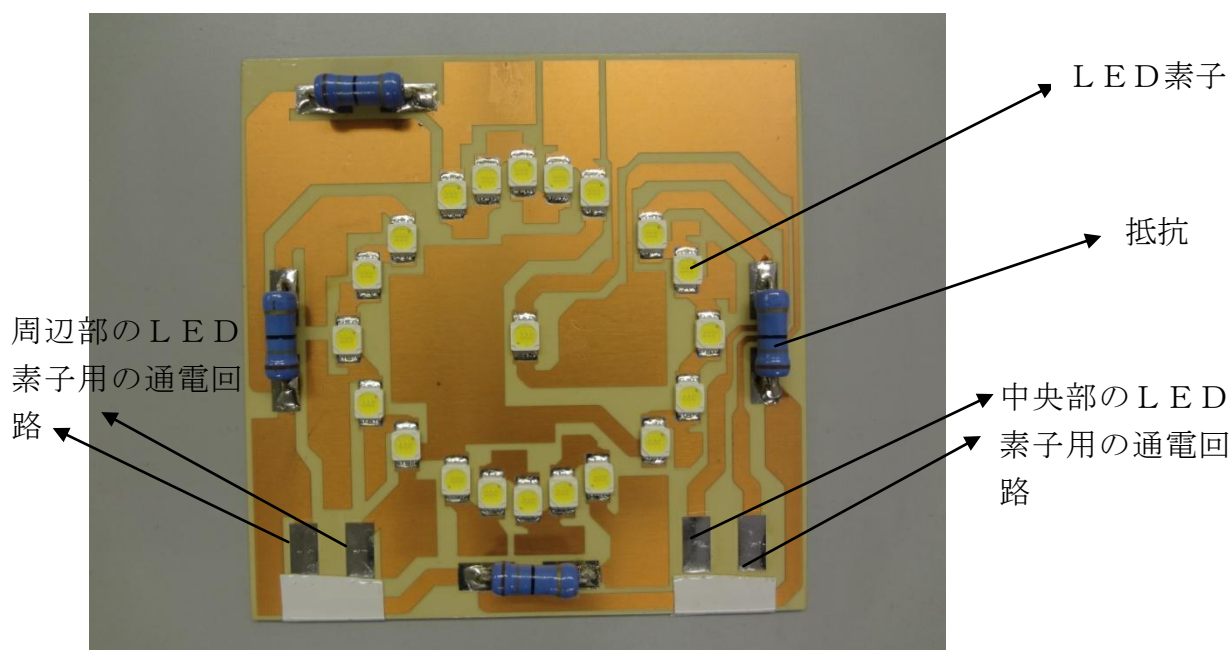


図4-1 銅回路がむき出しな、21個型のLEDパッケージ写真

ここで、中央部と周辺部の回路が別になっているのが特徴である。

図 4-1 に示したパターンでは、銅の回路面がむき出しになっているが、さらに銅の回路に放熱レジストが塗布されたパターンがある（図 4-2）。

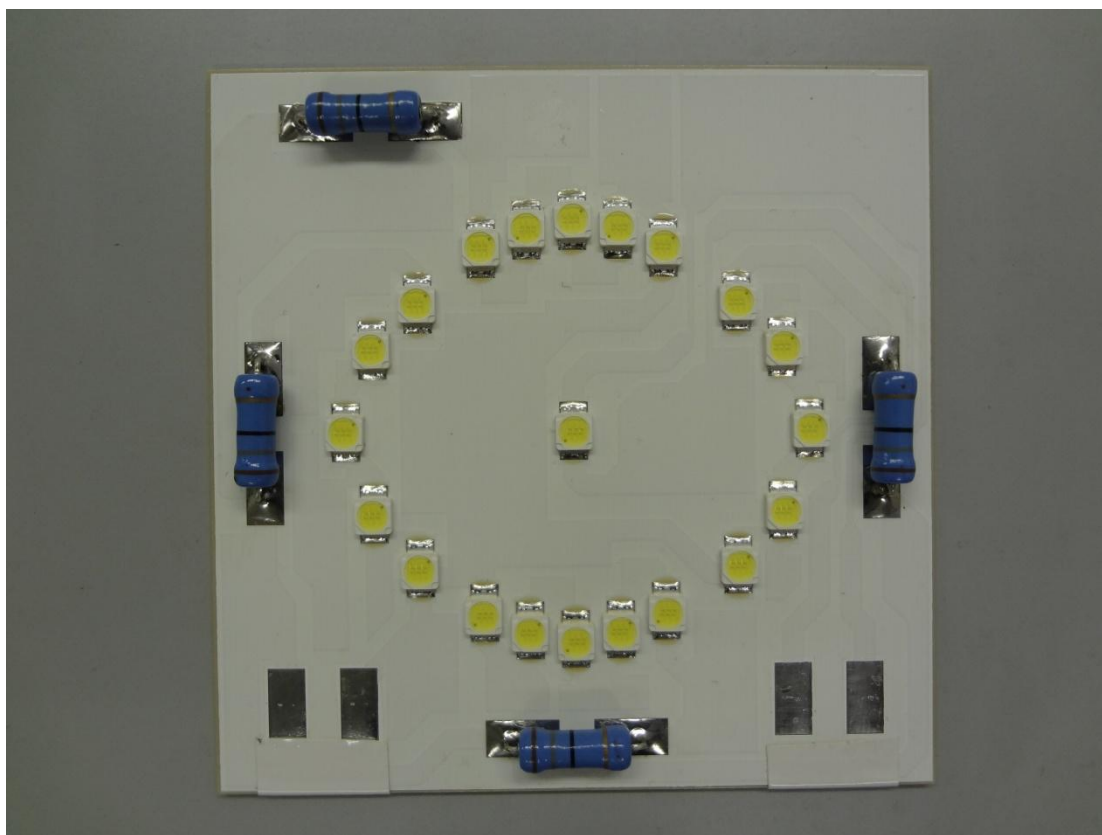


図 4-2 銅回路に放熱レジストが塗布された、21 個型の LED パッケージ写真

ここで、これらは裏面に銅箔が張ってあるが、さらに裏面がアルミ板でできているパターンもあり、すべて合わせると 4 種類の LED パッケージを作製した。そして、それぞれに回路面が裏面へ、開発した透明放熱塗料を塗布した場合と、全く塗布しない場合についての 3 種類のパターンを作製し、すべてのパターンを合わせると、12 種類のパターンの LED パッケージを作製した。

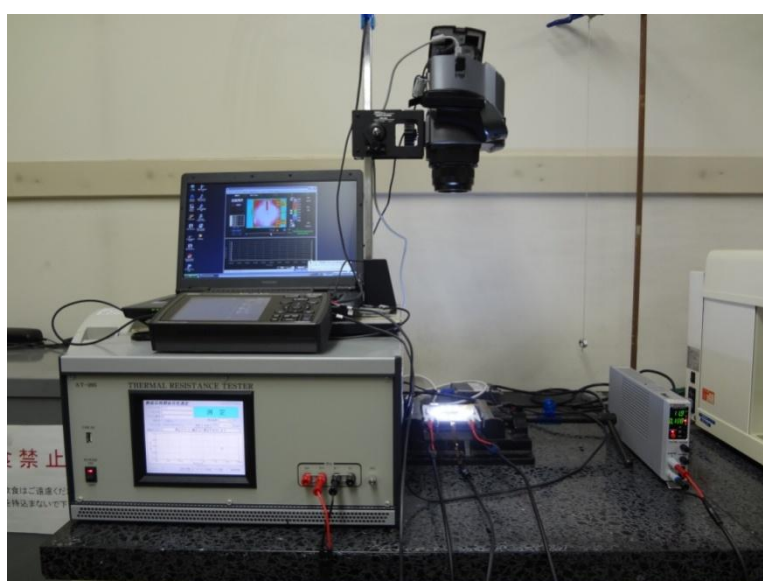


図 4-3 放熱性評価の様子

4-3-2 LEDパッケージへの電気印加方法と放熱評価方法

各電子回路に電気を印加し、中央部のLED素子周囲と端部に取り付けられた熱電対（図4-1の赤丸位置と青丸位置）で測定した温度変化を調べた。また、LED発光部側から、サーモグラフィーを用いて熱画像を測定した。測定の様子を図4-3に示す。ここで、21個のLEDを用いた場合に、800mAの一定電流を印加した。ここで、中央部のLED素子の回路を他のLED素子用の回路を分離し、中央部のLED素子にはいずれの場合には、200mAの電流を印加した。次に、一定時間後に、中央部のLED素子だけに一定電流を1秒間印加し、そのときの電圧を、熱抵抗機（福興システム㈱製）を用いて測定することで、中央部のLED素子の抵抗値を調べた。予め調べてあった温度VS抵抗値の直線関係を利用して、LED素子の温度を調べた。ここで、温度VS抵抗値の関係は、このLEDパッケージを一定温度の恒温槽に入れて、その温度での抵抗値を用いて作成した。

4-3-3 各種LEDパッケージにおける中央部及び端部の温度変化

作製した12種類のLEDパッケージの放熱挙動を、中央部と端部の熱電対で測定した温度変動で評価した。

21個のLED素子を用いたLEDパッケージを用いた場合について検討を行った。

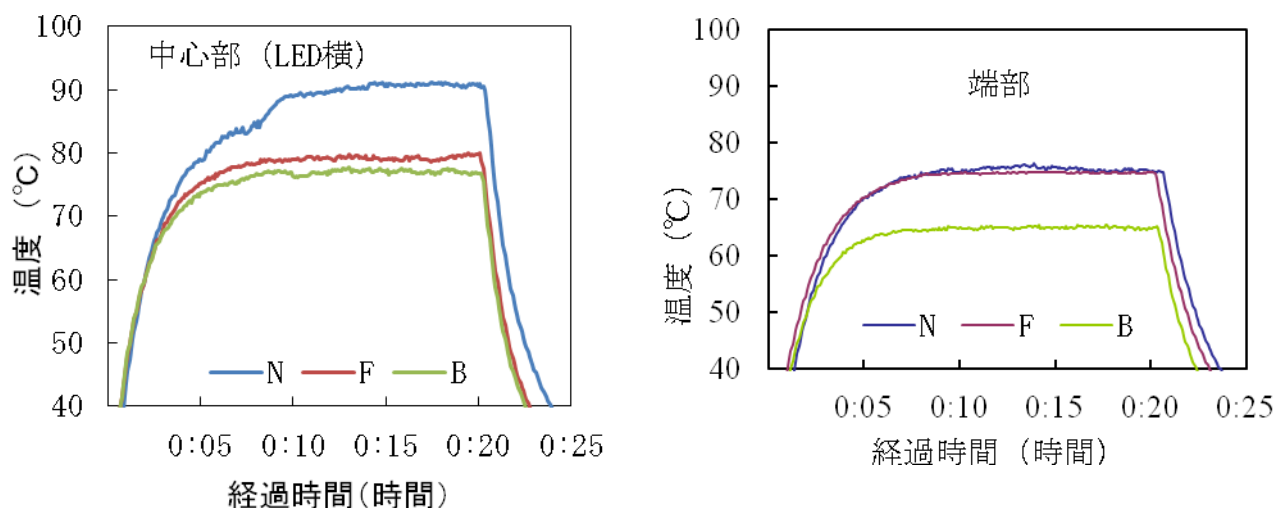


図4-4 銅回路がむき出しな、21個型のLEDパッケージの回路面（F）、回路裏面（B）への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布（N）の場合の回路中心部及び端部の温度の時間変化（裏面は銅箔）

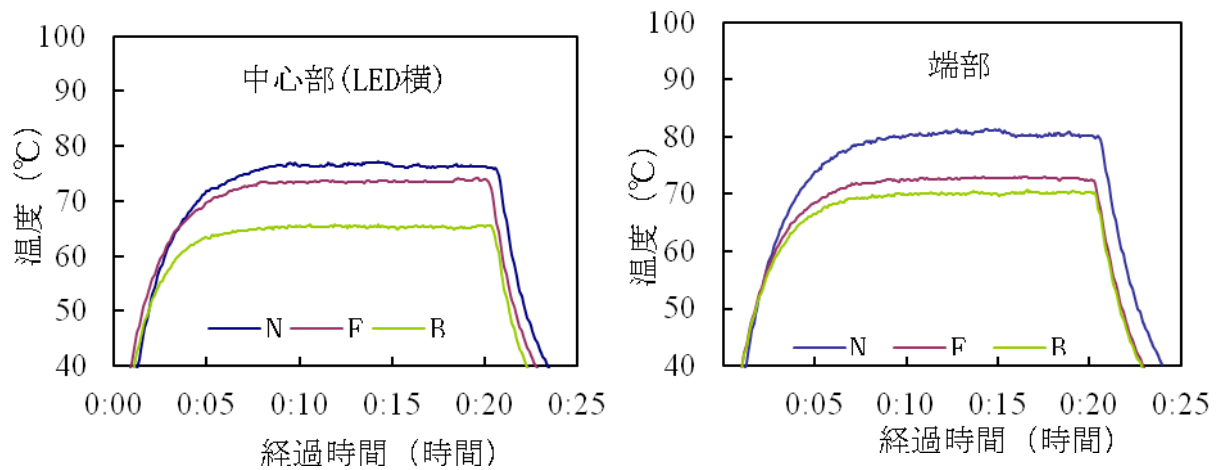


図4-5 銅回路にレジストが塗布された、21個型のLEDパッケージの回路面(F)、回路裏面(B)への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布(N)の場合の回路中心部及び端部の温度の時間変化(裏面は銅箔)

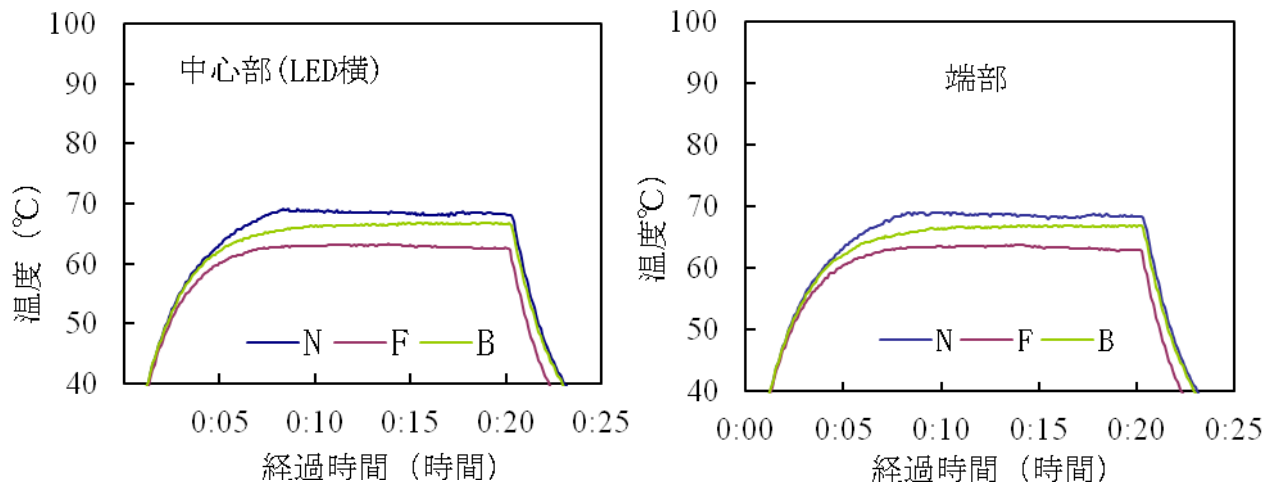


図4-6 銅回路がむき出しな、21個型のLEDパッケージの回路面(F)、回路裏面(B)への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布(N)の場合の回路中心部及び端部の温度の時間変化(裏面はアルミ板)

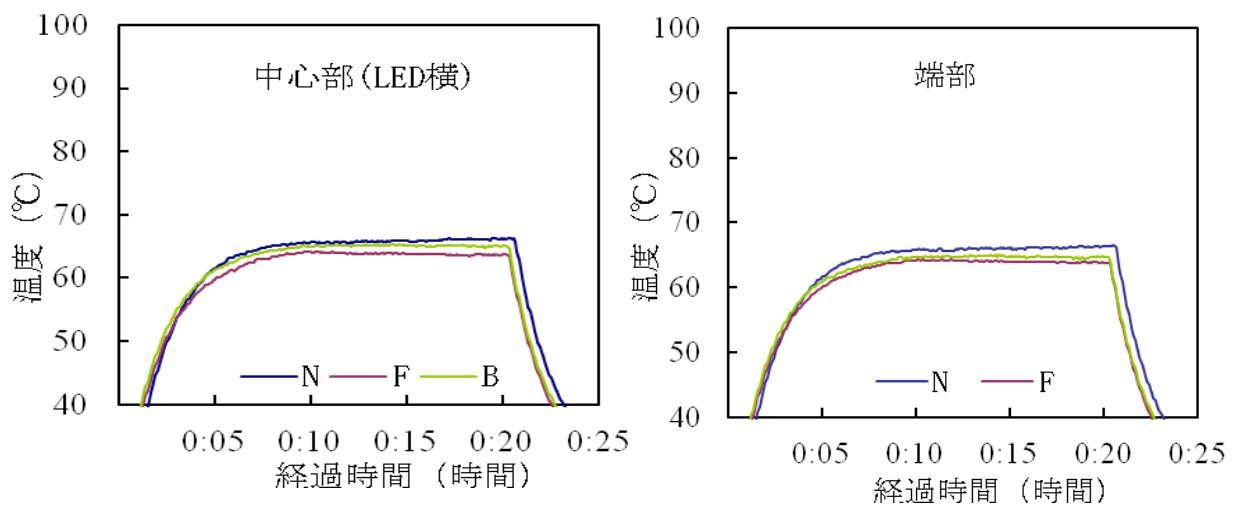


図4-7 銅回路にレジストが塗布された、21個型のLEDパッケージの回路面(F)、回路裏面(B)への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布(N)の場合の回路中心部及び端部の温度の時間変化(裏面はアルミ板)

銅回路がむき出しで裏面が銅箔の場合は、透明放熱コーティング材を塗布の効果は非常に大きく、20 分後には、裏面に塗布した場合に、無塗布の場合に比べ中心部がさらに 15℃以上低くなった。端部になるとその効果は、ヒートスプレッドの影響があるが同様であった。レジストが塗布された場合に、その輻射効果が小さくなるので、回路部に塗布しても中心部では無塗布の場合と同様であった。さらに、ヒートスプレッド効果が大きく期待される、アルミ板を裏面に使用した場合でも、透明放熱コーティング材の効果は少し認められた。しかし銅回路にレジストが塗布された場合には、透明放熱コーティング材の効果は全く認められなかった。これらの傾向は、17 個の LED 素子を持つ LED パッケージと同様であった。

4-3-4 各種 LED パッケージにおける中央部 LED 素子の中の LED チップの温度変化

作製した 12 種類の LED パッケージの中央部 LED 素子の中の LED チップの温度変化を、熱抵抗機での測定及び熱画像測定装置で測定した熱画像の 1 LED 素子内部の温度測定で評価した。ここで、熱画像測定装置で用いる輻射率は、0.856 とした。なお、IR は熱画像測定装置で求めた値であり、Rth は熱抵抗機を用いて測定した値である。

LED 素子の放射率を一定にすることで、赤外線温度測定である熱画像測定から得た LED 素子の温度は、実測の LED チップの温度とほぼ同じ値となる場合とならない場合があった。したがって、熱画像測定時の放射率設定をさらに検討すべきかもしれない。

21 個の LED 素子を用いた LED パッケージを用いた場合について検討を行った。

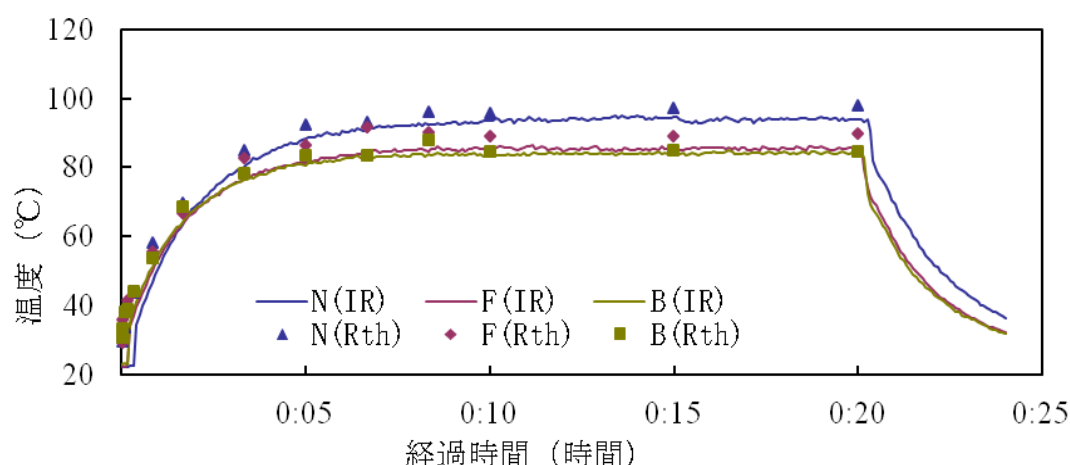


図 4-8 銅回路がむき出しな、21 個型の LED パッケージの回路面 (F)、回路裏面 (B) への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布 (N) の場合の LED チップの温度の時間変化 (裏面は銅箔)

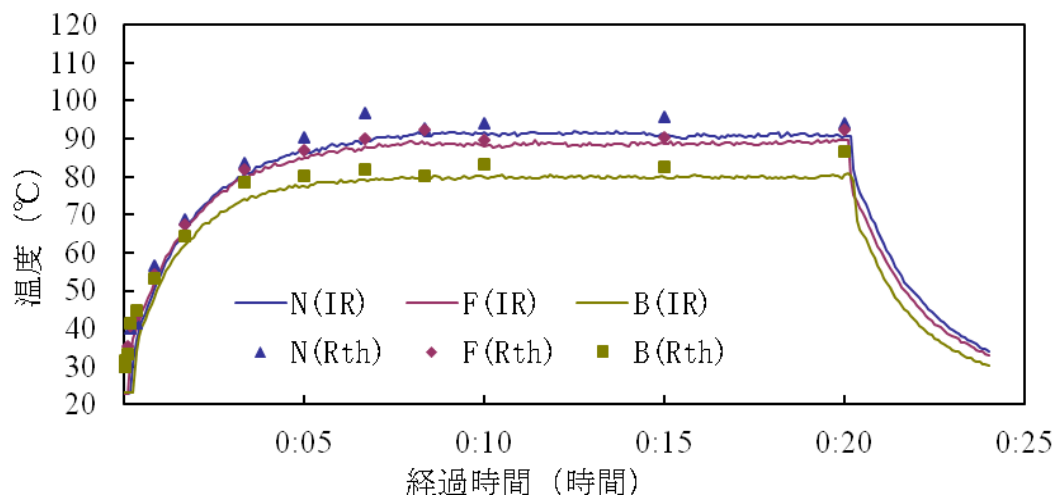


図 4－9 銅回路にレジストが塗布された、21 個型の L E D パッケージの回路面（F）、回路裏面（B）への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布（N）の場合の L E D チップの温度の時間変化（裏面は銅箔）

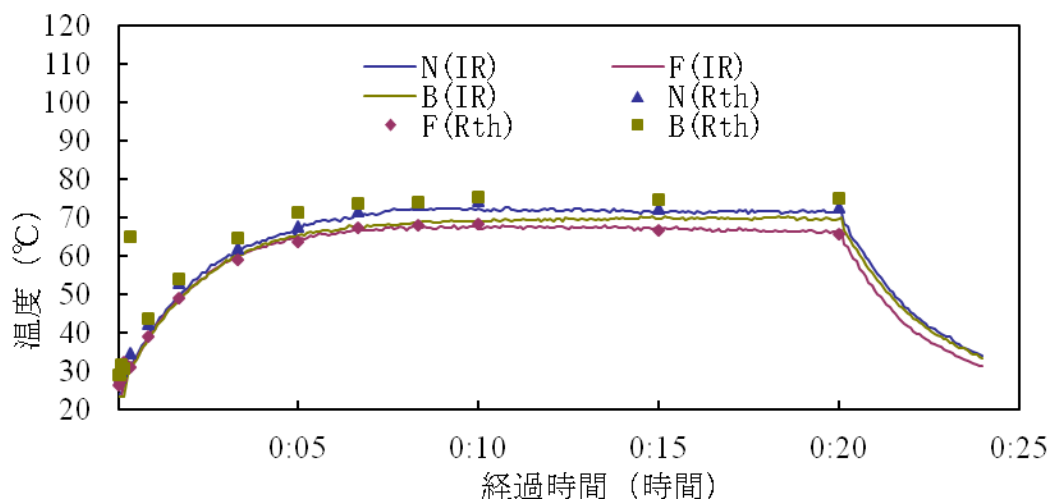


図 4－10 銅回路がむき出しな、21 個型の L E D パッケージの回路面（F）、回路裏面（B）への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布（N）の場合の L E D 素子の温度の時間変化（裏面はアルミ板）

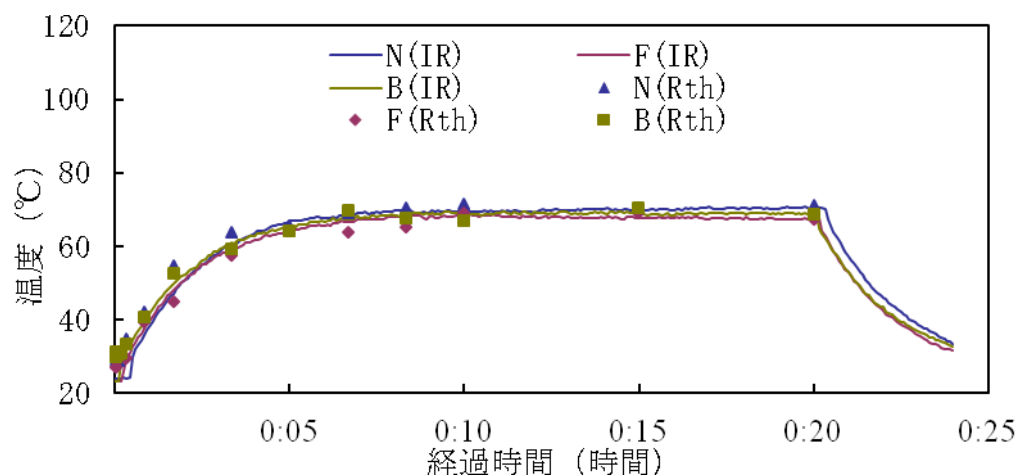


図 4－11 銅回路にレジストが塗布された、21 個型の L E D パッケージの回路面（F）、回路裏面（B）への透明放熱コーティング材の塗布及び無塗布（N）の場合の L E D 素子の温度の時間変化（裏面はアルミ板）

LED素子が21個の場合はLED素子の放射率を一定にすることで、赤外線温度測定である熱画像測定から得たLED素子の温度は、実測のLEDチップの温度とほぼ同じ値となった。したがってこの場合は、熱画像測定によって、LEDチップの温度測定が可能となると考えられた。

LED素子が21個の場合に、銅回路がむき出しで裏面が銅箔の場合は、透明放熱コーティング材を塗布の効果は非常に大きく、20分後には、放熱コーティングを塗布しない場合には90℃程度になり、LED素子の寿命が大きく低下していることが予測された。しかし、裏面に塗布した場合に、無塗布の場合に比べ中心部が15℃近く低くなり、限界付近ではあるが十分な寿命を有していると考えられた。レジストが塗布された場合に、その輻射率の向上が小さくなるので、回路部に塗布しても中心部では無塗布の場合と同様であった。さらに、ヒートスプレッド効果が大きく期待される、アルミ板を裏面に使用した場合に、さらに透明放熱コーティング材の効果は、より小さくなった。特に銅回路にレジストが塗布された場合には、透明放熱コーティング材の効果は全く認められなかった。

4-3-5 熱画像測定によって評価した各種LED基板における温度分布

作製した8種類のLEDパッケージについて、回路面だけ、または裏面のみ、開発した放熱透明コーティング材を塗布したものと全く塗布していないものの3種類について、それぞれ処理を行い試料とした。その内容を表4-1にまとめて示す。

表4-1 種々のLEDパッケージの仕様

番号	LEDの数	レジストの有無	裏面の構造	放熱コーティングの有無または場所
No. 1	21	なし	銅箔	なし
No. 2	21	なし	銅箔	回路面
No. 3	21	なし	銅箔	裏面
No. 4	21	あり	銅箔	なし
No. 5	21	あり	銅箔	回路面
No. 6	21	あり	銅箔	裏面
No. 7	21	なし	アルミ板	なし
No. 8	21	なし	アルミ板	回路面
No. 9	21	なし	アルミ板	裏面
No. 10	21	あり	アルミ板	なし
No. 11	21	あり	アルミ板	回路面
No. 12	21	あり	アルミ板	裏面

これらのLEDパッケージについて、通電発光時の表面温度分布を調べた。ここで、21個のLEDを用いた場合にも、800 mAの一定電流を印加した。

ここで、中央部のLED素子の回路を他のLED素子用の回路を分離し、中央部のLED素子には、200 mAの電流を印加した。そのときの温度分布の時間変化を測定した。

21個のLED素子を用い、裏面が銅箔であり、回路表面にレジストが塗布されていない場合には、放熱コーティング材がないとき、回路面からの放熱はあまり認められず、LED素子周りに熱が集中し、温度が高くなり90℃以上になっているのがわかった。すなわち、17個のLED素子を用いる場合よりもLEDパッケージの放熱性がより求められることが確認できた。しかし、回路面に放熱コーティング材を塗布したとき熱が回路面全体に広がり、最高の温度でも80℃ぐらいに抑えられていた。裏面に放熱コーティング材を塗布したとき、LED素子周りに熱が集中し、温度が高くなっているように見えるが、裏面からの放熱効果で最高の温度でも80℃ぐらいに抑えられていた。

21個のLED素子を用い、裏面が銅箔であり、回路表面にレジストが塗布されている場合には、放熱コーティング材がなくても、回路面からの放熱は認められるが、LED素子周りに熱が集中し、温度が高くなり85℃以上になっているのがわかった。しかし、回路面に放熱コーティング材を塗布したとき熱がより回路面全体に広がり、最高の温度でも75℃ぐらいに抑えられている。これは、放熱コーティング材の放熱効果がレジストよりも優れているためだと考えられる。裏面に放熱コーティング材を塗布したとき、裏面からの放熱効果でさらに放熱性が高くなり、最高の温度でも75℃以下に抑えられていた。

21個のLED素子を用い、裏面がアルミ板であり、回路表面にレジストが塗布されていない場合には、放熱コーティング材がないとき、回路面からの放熱はあまり認められず、LED素子周りに熱が集中しているが、アルミ板の放熱効果で温度が70℃以下になっているのがわかった。しかし、回路面に放熱コーティング材を塗布したとき熱が回路面全体に広がり、さらに温度が抑えられ、LED素子周りでも65℃ぐらいに抑えられていた。裏面に放熱コーティング材を塗布したとき、LED素子周りの熱が広げられ、温度が、裏面からの放熱効果で最高の温度でも60℃以下に抑えられていた。

21個のLED素子を用い、裏面がアルミ板であり、回路表面にレジストが塗布されている場合には、放熱コーティング材がなくても、回路面からの放熱は認められるが、LED素子周りに熱が少し集中し、温度が高くなり75℃以上になっているのがわかった。しかし、回路面に放熱コーティング材を塗布したとき熱がさらに回路面全体に広がり、最高の温度でも65℃ぐらいに抑えられている。これは、放熱コーティング材の放熱効果がレジストよりも優れているためだと考えられる。裏面に放熱コーティング材を塗布したとき、裏面からの放熱効果でさらに放熱性が高くなり、最高の温度でも60℃ぐらいに抑えられ、回路全体が等しく放熱していた。

すなわち、放熱コーティング材を用いることでLED素子周りの温度を非常に低くすることができた。その効果はレジストよりも大きかったが、レジストを用い裏面に塗布した場合にそれらの相乗効果で、最も放熱性が大きくなった。また、アルミ板を用いた場合にヒートシンク効果が大きく、放熱性は大きかつ

たが、まだまだ不十分であった。そのため、放熱コーティング材を用いることで、放熱性を高めることができた。そして、21個のLED素子を用いたときでも、アルミ板とレジスト、放熱コーティング材の相乗効果でLED素子周りの温度を60℃にまで低下させることができた。

4-4 本課題の達成評価

透明性放熱コーティング材を塗布したLEDパッケージの使用時の各出力における放熱効果を、LEDチップの温度を直接、測定するシステムを確立し、熱画像測定システムとの統合を行った。17個または21個のLED素子を搭載したLEDパッケージを作製し、その回路面や裏面に放熱透明コーティング材を塗布することで、放熱性の改善の効果を評価した。評価システムとして、上記のLEDチップの直接測定や熱電対によるパッケージ表面温度測定、熱画像測定を統合的に行った。そして、以下のことがわかった。

放熱コーティング材を用いることでLED素子周りの温度を非常に低くすることができた。その効果はレジストよりも大きかったが、レジストを用い裏面に塗布した場合にそれらの相乗効果で、最も放熱性が大きくなった。また、アルミ板を用いた場合にヒートシンク効果が大きく、放熱性は大きかったが、まだまだ不十分であった。そのため、放熱コーティング材を用いることで、放熱性を高めることができた。そして、21個のLED素子を用いたときでも、アルミ板とレジスト、放熱コーティング材の相乗効果でLED素子周りの温度を60℃にまで低下させることができた。そして、それらの結果を踏まえ、放熱コーティング材の放熱性の有効性を確認することに成功した。

このように、本事業で開発した放熱コーティング材について透明性と耐熱性をさらに高めることができ、多方面で利用できる性能を持たすことに成功した。また、一番問題となるLEDチップの温度を測定し、熱画像データの相関性もあることを示すことができた。すなわち、3年間でさまざまなLED基板において、開発した放熱コーティング材が、大きな放熱性をもたらすことが確認できた。すなわち、通常の13個のLED素子をもつ基板だけでなく、17個、21個、25個とLEDの数が大きくなっても、最高では20℃以上の放熱効果を示すことや、LED基板周りだけでなく、LED素子自身の大きな温度低下ももたらすこともわかった。また、さまざまな放熱評価試験方法を確立でき、今後、この放熱コーティング材やそれを用いたLED基板を販売拡大していく上で有用な手段となると考えられる。

第5章 LED基板の寿命の評価

担当：合同インキ株式会社、地方独立行政法人大阪市立工業研究所

5-1 研究の内容

LED 基板の各出力における発光挙動を調べ、寿命評価し、放熱性との関係を検討した。また、放熱透明塗料をユーザー企業に提供し、評価を受け、実製品での放熱効果を調べた。

5-2 LED パッケージの寿命評価

まず、作製した LED 基板（25 球）の寿命を評価するため、予めその発光効率（lm/W）を測定した LED 基板を下記のような場所に置き、一定期間（4 日間）点灯した後、その発光効率の低下量を調べた。このとき、発光効率は一般照明用光源の測光方法（JIS C7801）と照明用白色発光ダイオード(LED)の測光方法 第2部：LED モジュール及び LED ライトエンジン（JIS C8152-2）に基づき、全光束を測定し、それを入力電力で割って求めた。その発光効率で、その初期値で割った値を保持率とした。なお、保持率は安定化のために、30 分間点灯して調べた。ここで、用いた LED 基板の詳細を表 5-1 に示す。

表 5-1 用いた LED 基板の仕様

仕様	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
基板素材	アルミ	アルミ	CEM-3	CEM-3	アルミ	CEM-3
コーティングの位置	両面	LED 面	両面	LED 面	無	無

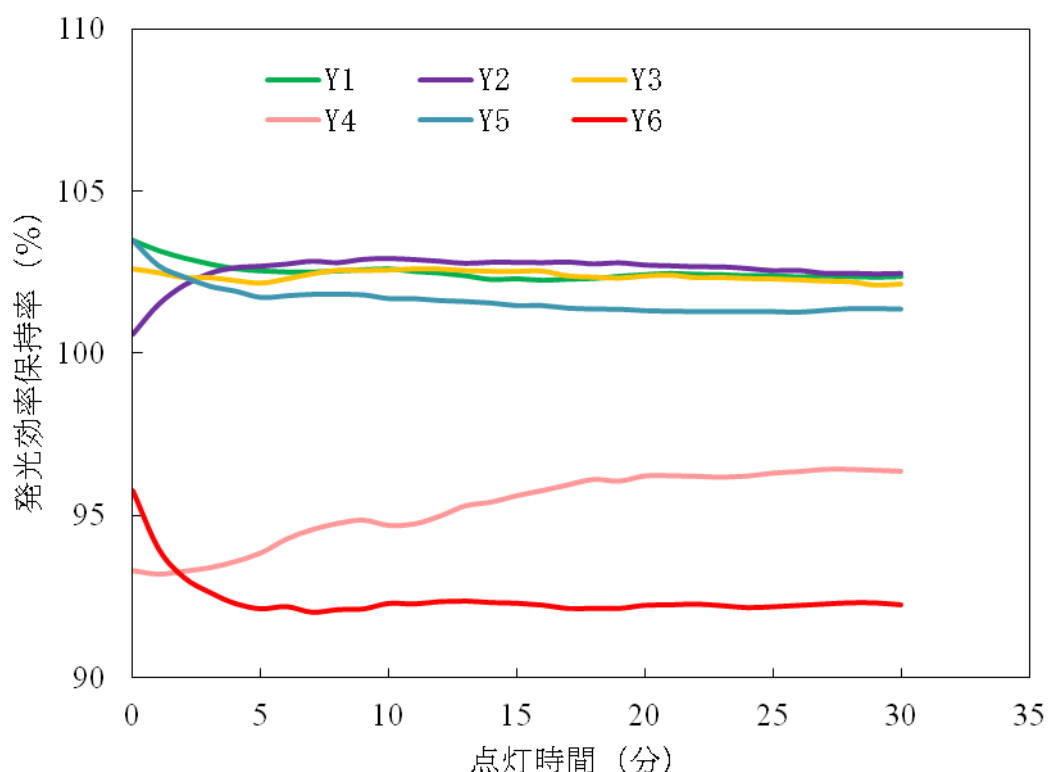


図 5-1 各種の LED 基板の発光効率 (lm/W) 保持率

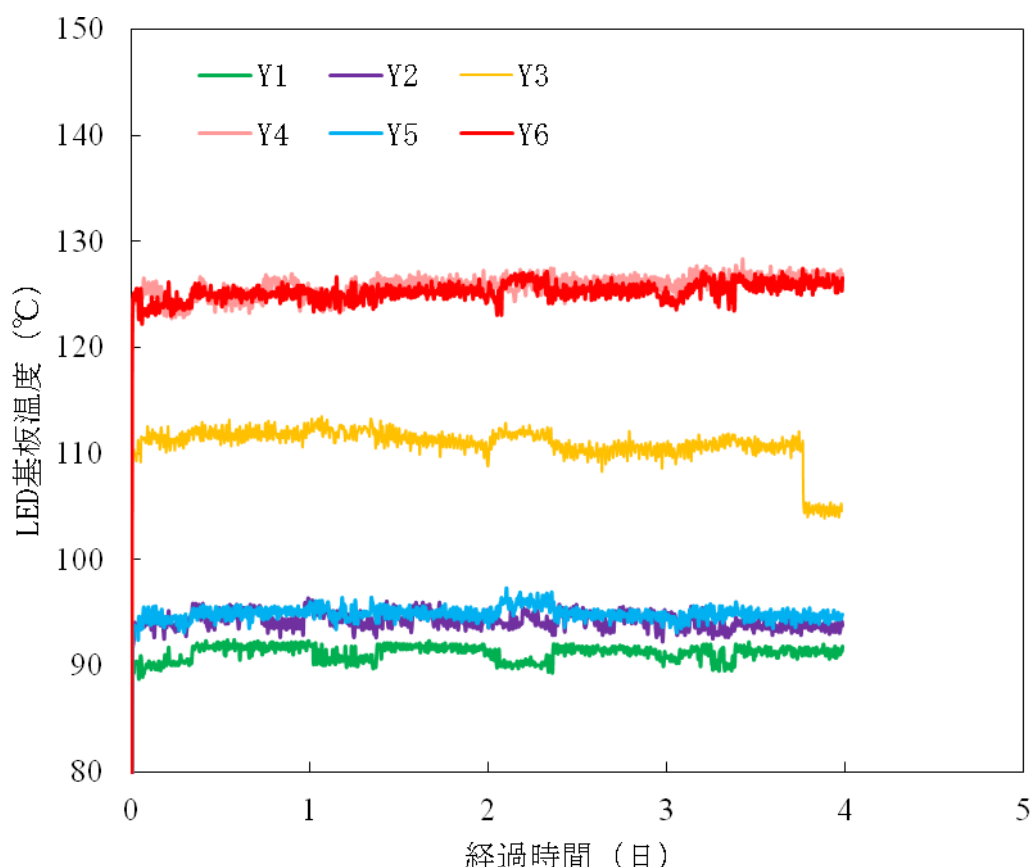


図 5－2 各種の LED 基板の点灯時の基板中央部付近の温度変化

通常の銅箔基板（CEM3）の場合は、放熱コーティングが塗布されていない場合だけでなく、LED 面に塗布された場合も、LED 基板中央部の温度は 125℃付近になり、その結果、発光効率は 4 日間の点灯だけで大きく減少した。特に、無塗布の場合は 10%程度減少した。これは、放熱塗料が有用であることを示している。しかし、アルミ基板を用いた場合には、いずれも発光効率の減少は少なかった。これはアルミ板では板厚が 1 mm 程度あり、周囲に充分熱伝導しているためと考えられる。ここで、保持率が 100%を超える場合があるのは、エージング効果であると考えられる。また、このとき、LED チップの温度は次表に示すとおり、最高では 150℃以上になっているものと考えられる。ただし、この測定結果は第 4 章での測定条件での結果であり、この章の結果とは、少し異なるかもしれない。

表 5－2 各種 LED 基板の基板中央部温度及び LED チップ温度

仕様	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5	Y6
基板素材	アルミ	アルミ	CEM-3	CEM-3	アルミ	CEM-3
コーティングの位置	両面	LED 面	両面	LED 面	無	無
基板中央部温度	90.7	94.2	112.1	124.1	94.5	123.8
LED チップ温度	91.6	90.1	122.7	143.9	105.1	151.6

5－3 実製品での放熱評価

5－3－1 LED 照明器具での放熱性評価

図 5－3 に示す通常の照明器具への放熱コーティング材の塗布によって、どの程度、放熱を促進し、LED 基板の温度低下につながるかを調べた。なお、放熱コーティング材は、表 5－3 に示す位置に塗布をした。すなわち、外気に触れる部分はすべて、放熱コーティング材を塗布した。

さらに、塗布の効果調べるために、図 5－4 や表 5－4 に示す位置に温度

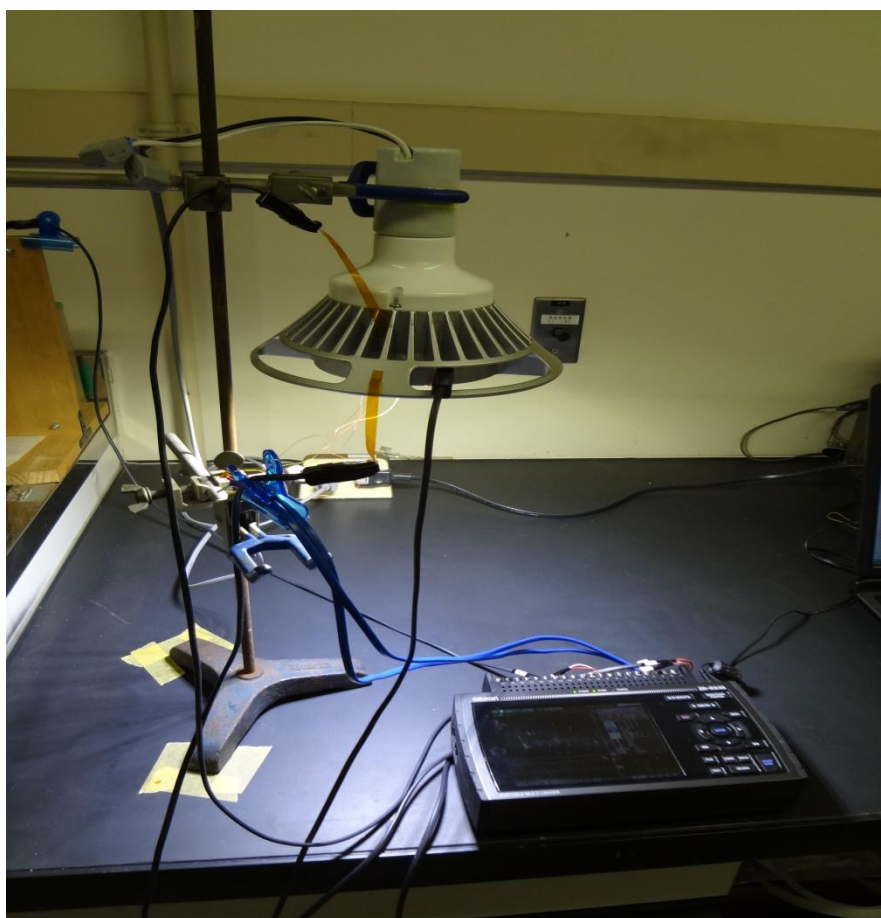


図 5－3 LED 照明器具の外観と温度測定の様子

表 5－3 各種 LED 基板の基板中央部温度及び LED チップ温度

アルミダイキャスト	外気と触れる面で LED 基板と接触する部分以外
LED 基板	白色レジストを施した部分 (LED チップはマスキングして塗装)
透明カバー	両面塗装

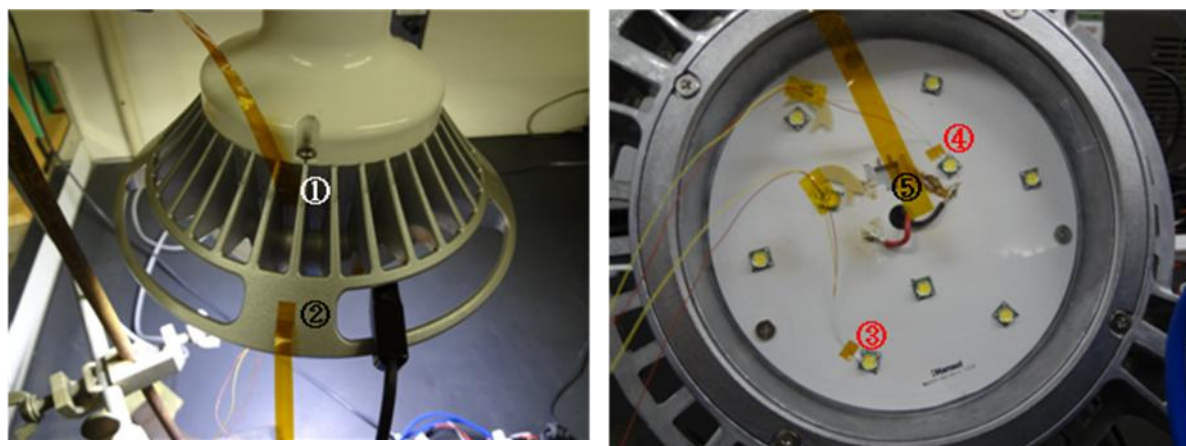


図 5－4 LED 照明器具の外観と内部構造、と温度センサーの取り付け位置

表 5－4 各種温度センサー（熱電対）の取り付け位置

センサー番号	取り付け場所	詳細
①	CASE1	筐体のフィン形状の底
②	CASE2	筐体の淵
③	LED 1	外側の LED チップ端子部分
④	LED 2	中心部の LED チップ端子部分
⑤	COVER	透明カバーの外表面中心部

センサーを取り付けて、データをデータロガーに取り込み、定常状態になる温度を調べた。ここで、定格の電力を負荷し、照明を 2 時間点灯時の温度（点灯後 1 時間 30 分後から 2 時間後まで平均）をデータロガーで各部に取り付けた温度センサー（熱電対）により取り込み計測した（表 5－5）。

表 5－5 放熱コーティング材を塗布または無塗布の場合の各部の計測温度

センサー番号	計測温度（℃）		温度差（℃） ΔT
	放熱コーティング材の 無塗布	放熱コーティング材の 塗布	
①	53.7	49.6	4.1
②	51.7	48.1	3.6
③	64.6	63.0	1.6
④	67.4	64.9	2.4
⑤	50.0	50.2	0

アルミ基材での放熱効果が大きいですが、LED チップ部周辺での放熱効果も認められた。したがって、放熱コーティング材を塗布することは、通常の LED ランプの放熱性を向上するために不可欠であると考えられた。

5－3－2 CPU 基板用ヒートシンク部に塗布することでの放熱性の評価

一般的に、高性能な CPU には、ファンの付いたヒートシンクが取り付けられている。すなわち、対流や熱伝導を駆使して放熱性を高めることが行われている。しかし通常は、熱輻射の効果を加味した構造になっていなく、金属部品がむき出しになっている。そこで、そのヒートシンクに、開発した放熱コーティング材を塗布する効果があるかどうかを調べた。ここでは、CPU の代わりに、相当するヒーターを取り付けたヒートシンク（図 5－5 に示す。）のヒータ部とヒートシンク部の温度を、定常状態になった後の 100 秒間の平均として測定した。

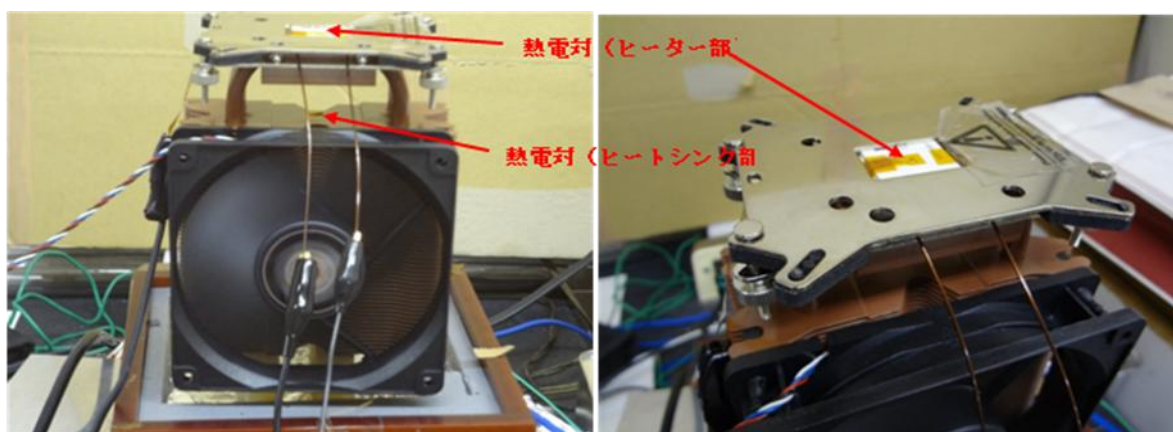


図5－5 CPU用ヒートシンクの外観と温度センサー（熱電対）の取り付け位置

また、測定条件は表5－6に示す8種類で行い、ヒータ電力（電圧）やファン出力（電圧）を変化させて、放熱コーティング材の塗布の有無による両位置の温度の違いを調べた。

表5－6 放熱コーティング材を塗布または無塗布の場合の種々の負荷条件での、ヒートシンクの計測温度

実験 番号	実験条件			計測温度	
	ヒータ電圧（V）	ファン電圧（V）	コーティング材塗布	ヒータ部（℃）	ヒートシンク部（℃）
1	100	12	無	196.7	26.4
2			有	140.6	27.3
3	100	8	無	203.5	37.2
4			有	149.0	39.3
5	100	7.4	無	214.0	55.2
6			有	161.3	56.0
7	60	0	無	134.2	55.9
8			有	97.3	51.6

ヒータ電圧高いとき十分なファン電圧を加えても、コーティング材の塗布によって、ヒータ部は56℃も低下できた。このときのヒートシンク部の温度は1℃程度の温度低下であった。また、ファン電圧が低下しても、ヒータ部の温度は上昇するが、コーティング材の塗布の効果は同様に50℃程度あり、ヒートシンク部の温度低下は1℃程度であった。すなわち、ヒートシンクのヒートスプレッド効果があるので、ヒートシンク部の約1℃の温度低下効果がヒータ部の大きな温度低下をもたらすものと考えられる。これは、ファンによる対流効果とコーティング材による輻射効果が相乗的に働き放熱効果をもたらすと考えられる。さらに、ファン電圧を0とし、対流の効果を極端に少なくすると、ヒートシンク部の温度は4℃以上上がり、熱輻射の効果がさらに大きくなることがわかった。

5－4 本課題の達成評価

LED 基板での放熱効果が LED 基板の寿命に大きく影響することをよく示すことができた。特に、その効果は高光量の LED 基板の場合に大きく、これからさらに発展が期待される高性能な LED 照明に、開発した放熱コーティング材が大きく効果を発揮すると考えられる。また、実用的に用いられる LED 照明器具や CPU のヒートシンクにこの放熱コーティング材を用いることで、十分な放熱効果を得ることができることがわかった。これらの研究成果は、この放熱コーティング材の商品化や事業化をはかる上で宣伝効果として有用な知見であるといえ、本課題は充分達成できたと考えられる。

第6章 全体総括

6-1 研究開発成果

これまではなかった透明であるが十分な放熱性をもつ、新しく開発したコーティング技術を改善・応用し、LED 製品の意匠性を大きく増大させ、また光反射率の高い金属鏡面との複合体化による相反機能解消効果で、優れた LED 基板を開発した。

さらに、耐熱性や透明性、耐候性、耐塩水噴霧性、耐電圧にも優れるべく改善に成功した。特に、光線透過率は 93%以上に、ヘーズ値は 2 以下にできたことによって、光学材料への利用が期待できる。また 300℃以上の耐熱性を持ち、耐はんだ性にも優れるだけでなく絶縁破壊電圧も 40 KV/mm 以上であり、耐候性や耐塩水噴霧性にも優れ、高耐熱が要求されるパワーデバイス部品周りや、屋外使用や、海や海岸での使用にも耐えるべく改善できた。さらに 4 μ m の厚さの薄膜でも能力の 90%の放熱性を持つことができるようになり、薄膜化にも成功した。

この放熱コーティング材を用いた LED 基板は、高発熱タイプであっても、いずれもよい放熱性を示し、寿命評価においても顕著な寿命増大効果が認められた。そして、開発した放熱コーティング材を実製品に塗布することで、大きな放熱効果を確認でき、これからの市場評価への基盤を確立することができた。

すなわち、3 年間の開発によって、開発したコーティング材を種々の場所で利用できる機能・性能を付与でき、それを用いた放熱性 LED 基板は、高発熱タイプであっても、寿命を非常に長くすることに成功した。

今後は市場展開を進めていくことで、事業化に繋げることができると考えられる。

6-2 研究開発後の課題・事業化展開

6-2-1 研究開発後の課題

ほとんどの研究課題は充分達成したが、インクジェット法での塗布方法を確立はできなかった。もちろん、スプレー法、スクリーン印刷などの一般的な塗布方法は確立しているので、事業展開には支障がないが、より付加価値を上げるために、インクジェット法による塗布方法の検討をさらに進めていく予定である。また、寿命試験などに関してさらに検討を進め、高信頼性を確保していく予定である。

6-2-2 事業化展開

開発したコーティング材は、これまで国内の展示会等を通じて広く情報提供を行ってきた。そして、興味をもった企業にサンプル提供を行ない、好評価を受けてきた。今後は、国内だけではなく海外においても展示会等を通じて情報提供を行なう予定である。また平成 25 年度には新たに機器を導入し生産能力を高めることにより、LED 照明用途以外にも、情報家電、自動車部品、建材等の幅広い分野にも展開できる能力を確保する予定である。