

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

「水銀法規制対応の為の低温プラズマ技術を活用した
高効率・高演色性が実現可能な水銀レス無電極ランプ装置の開発」

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 一般財団法人 九州産業技術センター

目 次

第1章 研究開発の概要

1－1 研究開発の背景・研究目的及び目標	3
----------------------	---

1－2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)	4
-----------------------	---

1－3 成果概要	4
----------	---

1－4 当該研究開発の連絡窓口	4
-----------------	---

第2章 本論一（1）

・【1】水銀レス低温プラズマ発生技術開発	6
----------------------	---

・【2】蛍光体技術、量子ドット技術開発	10
---------------------	----

・【3－1】水銀レス無電極ランプ管開発	12
---------------------	----

・【3－2】電源開発	16
------------	----

・【3－3】樹脂反射板開発	16
---------------	----

・【4】製品評価	17
----------	----

・【5】顧客評価	17
----------	----

最終章 全体総括

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

無電極ランプは高天井（例えば、工場や体育館等）で使用される照明装置の一種であり、LEDより眩しさや影の発生が少なく目に優しい発光をする特長があり、さらに長寿命で水銀灯などと比べると電気代も非常に安く、LEDと比べてもライフサイクルコストでは一番安いといった特徴がある。

無電極ランプ装置は、ランプ内部に微量の水銀を含有しており、水俣条約に代表されるように世界的な水銀規制が強化されてきていることから、無電極ランプにおいても水銀不使用化が求められている。一方で、高天井用照明装置に求められる電気代削減の為の「高い省エネ性能」、特に塗装工場などで求められる色が鮮やかに見られる特性である「高演色性」とともに、低成本照明装置を求める川下（高天井用の照明を使用する工場や体育館）ニーズが豊富に存在しており、水銀レス化と併せて性能向上およびコストダウン技術の開発を本研究にて実施する。

1－2 研究体制

(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)

- ① 法認定事業者：天草池田電機株式会社 松本 勇、西浦由成、清島庸典
- ② 大学施設：上智大学理工学部物質生命理工学課准教授 堀越 智
- ③ 協力企業：有限会社松島化成 久保栄二
- ④ 事業管理機関：九州産業技術センター 技術振興部 平島 浩、杉野弘毅
- ⑤ アドバイザー：
 - ・熊本大学工学部 物質生命化学科教授 木田徹也
 - ・熊本高等専門学校 情報通信エレクトロニクス工学科准教授 高倉健一郎
 - ・(公財)くまもと産業支援財団 中小企業支援センター 萩原宗明
 - ・熊本県産業技術センター 前田和輝
 - ・ツバコー九州株式会社 石倉賢志
 - ・株式会社カシワ 鈴木由宇
 - ・上天草市体育協会 下村さやか
 - ・BM コンサルティング 加藤敏明
 - ・九州大学芸術工学研究院教授 大井尚行

1－3 成果概要

- ①水銀レス無電極ランプの基礎技術を確立することができた

発光効率等、水銀含有品に対して不足（8割程度の性能）する点があり、補完研究の継続の必要はあるが、本研究において、これまでにない水銀を全く含有しない世界初の無電極ランプが実現した。

- ②水銀レス無電極ランプを市販化できる量産技術開発ができた。

ガラス管の製造組立技術、蛍光体や量子ドットの塗布技術、樹脂反射板の生産技術等、水銀を含有しない無電極ランプを低コストに生産できる量産技術開発ができた。

1－4 当該研究開発の連絡窓口

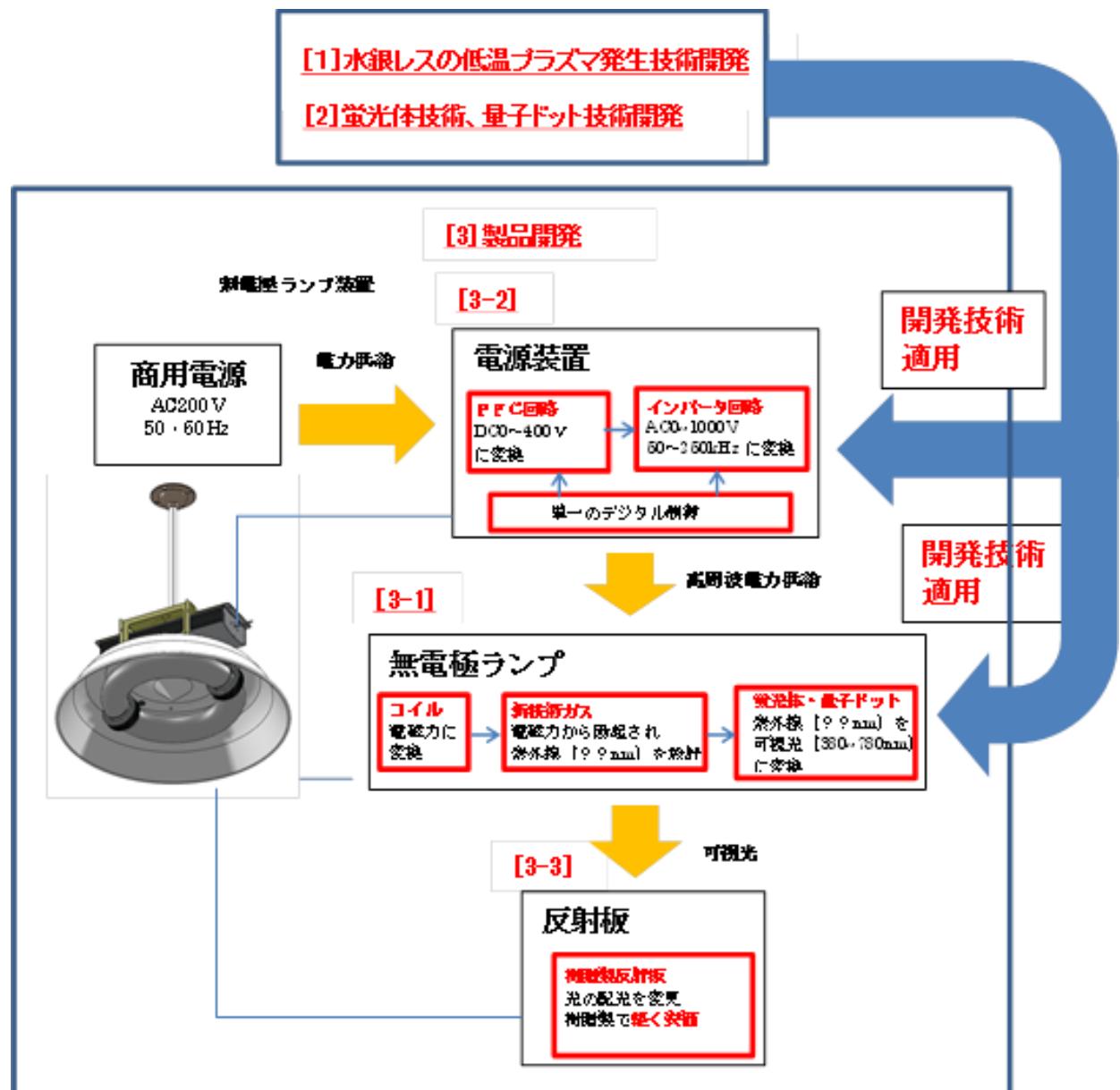
天草池田電機株式会社 商品事業部 松本 勇

TEL : 0969 - 56 - 1121 FAX : 0969 - 56 - 2559

E-mail : i-matsumoto@ikeda-aid.jp

第2章 本論一（1）

具体的な研究開発は下記の表内のサブテーマ毎に実施した。



【4】 製品評価

【5】 顧客評価

・【1】水銀レス低温プラズマ発光源技術開発

水銀を含有しないプラズマ発光源となりうる、ガス種および複数ガス種の配合割合の探索を実施した。

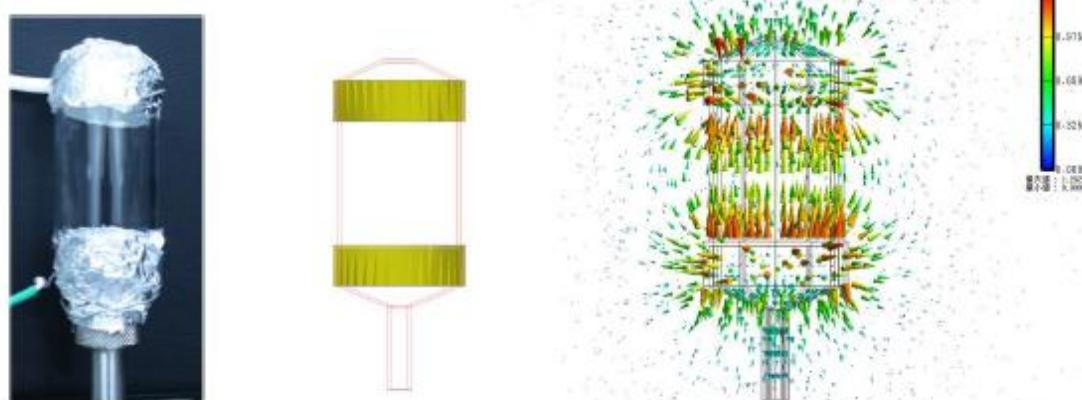
実験については、下記の実験装置を導入することで、効率的にガス種の探索を実施した。

なお、本研究開発は主として上智大学が実施した。

実験装置



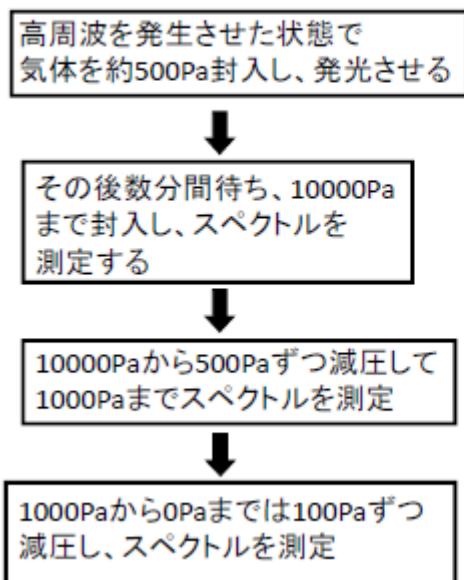
水銀レス最適ガス探索用実験装置 各部写真



水銀レス最適ガス探索用実験装置用 専用型ガラス管

実験については、下記のように実施した。

実験手順



下の値の方が正確。

図6:実験に用いる圧力計(3000Paの時)
(10000Paから1000Paまでは500Paずつ測定。)



1000Pa付近を境に見る圧力を変えている。

図7:実験に用いる圧力計(3.4Paの時)
(1000Paから0Paまでは100Paずつ測定)



N₂ランプの発光の写真



Heランプの発光の写真



Arランプの発光の写真



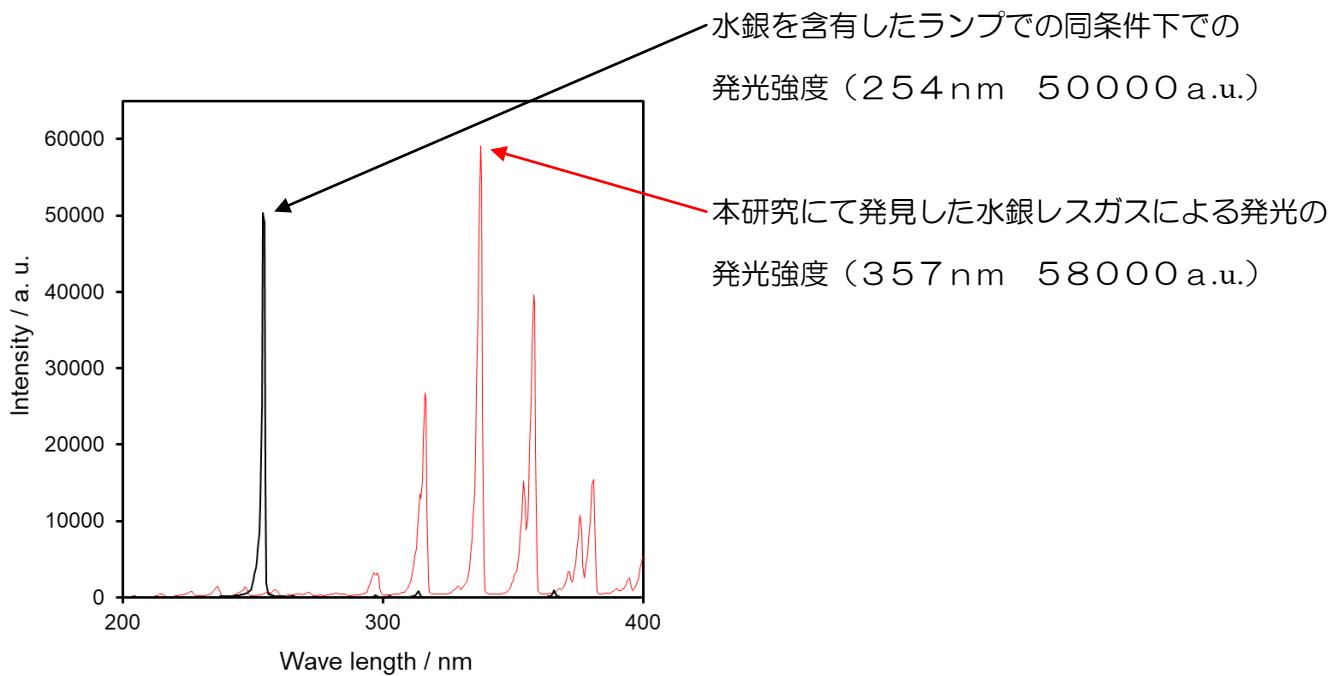
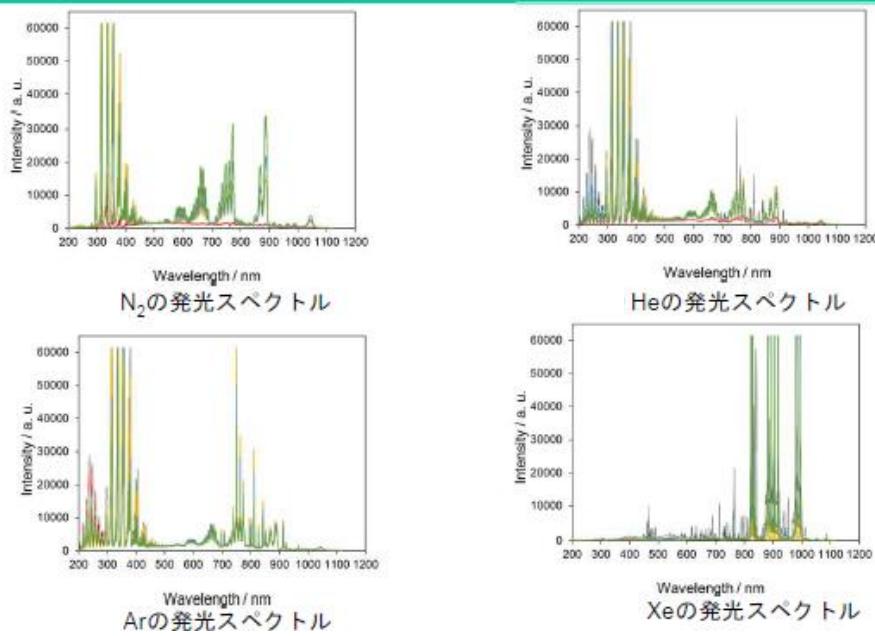
Xeランプの発光の写真



SF₆ランプの発光の写真

実験時の各ガスの発光写真

純ガスの発光スペクトル

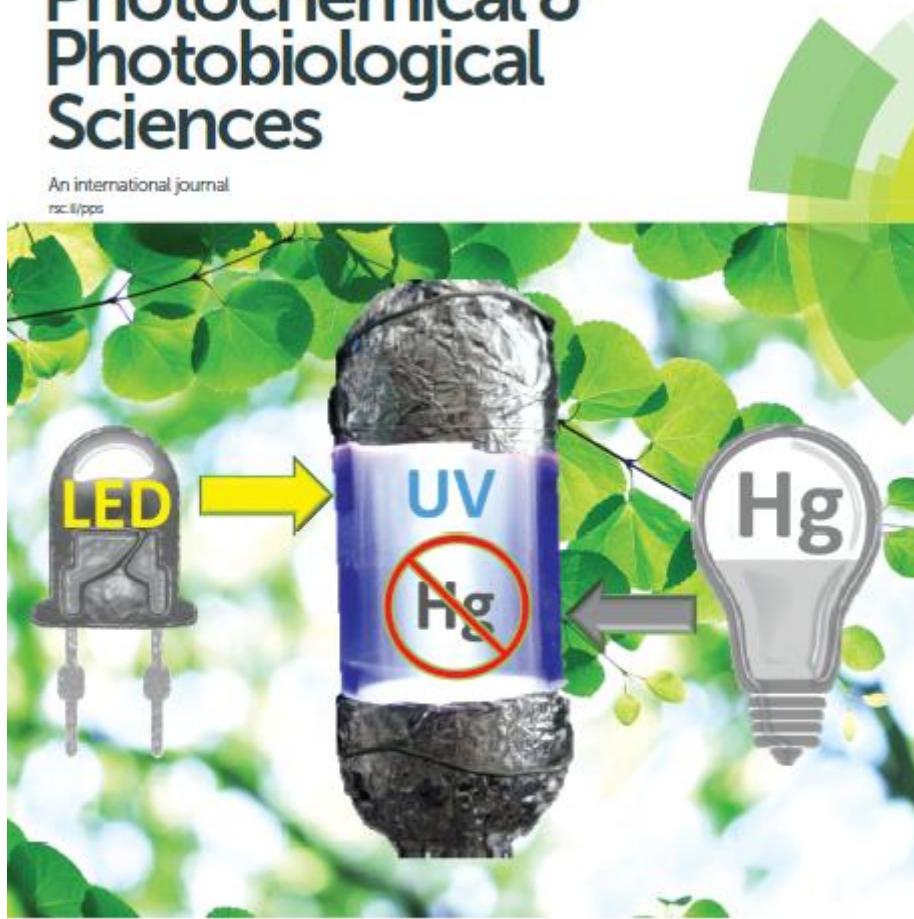


探索したガス由来の紫外線発生量としては、水銀由来の紫外線発生量と同等程度が確認できており、研究当初の目標を達成できた。

市販化製品に同様の成果が実装できるよう補完研究を実施する。

Photochemical & Photobiological Sciences

An international journal
rsc.li/pps



ISSN 1474-905X

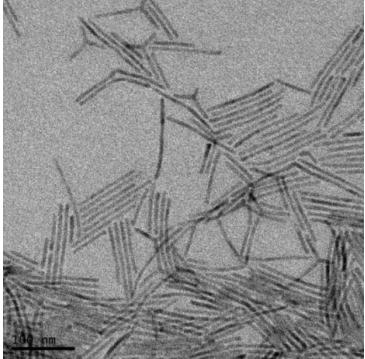


なお、本研究成果は、イギリスの科学雑誌である「Photochemical & Photobiological Sciences 2019年2月号」に大きく取り上げられ、表紙を飾った。同紙により、本研究の取組や成果は高く評価されており、また、世界の専門家に認知される結果を得ることができた。

・【2】蛍光体技術、量子ドット技術開発

水銀レスガス由来による、紫外線光源から可視光源に高効率に変換する蛍光体の探索 および、蛍光体の代替えとなりうる量子ドットの開発を実施した。

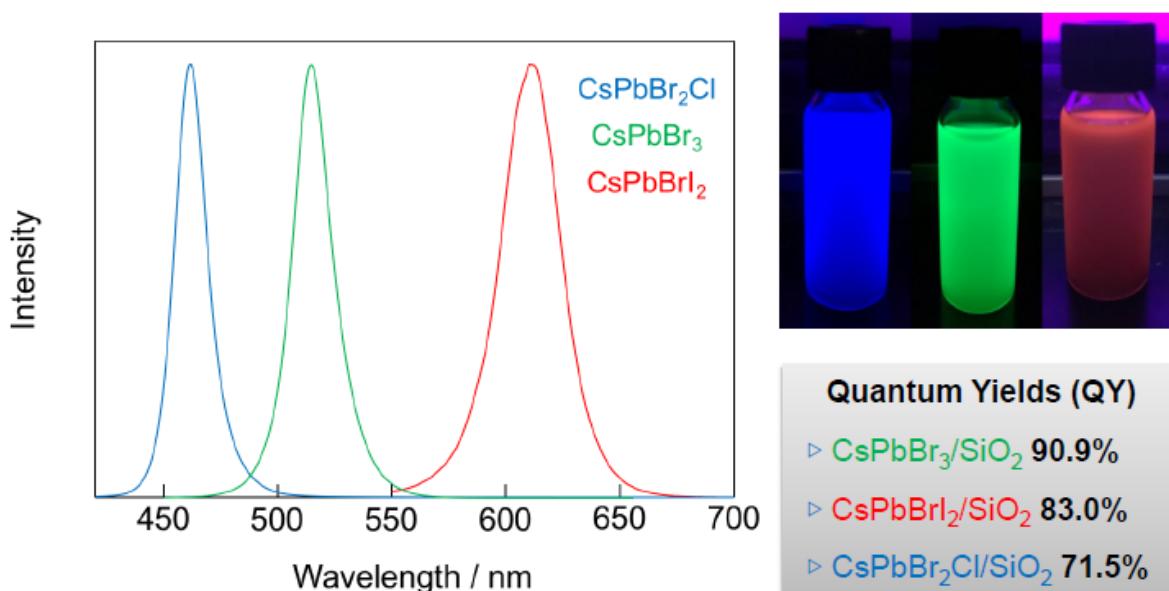
蛍光体と量子ドットの発光原理および、特性の違いは下表となる。

蛍光体	量子ドット
 $\text{SrAl}_2\text{O}_3 : \text{Eu}^{2+}$ 	 CdSe 
<ul style="list-style-type: none"> • ドーパントの内部準位遷移による発光 • 1000°C以上での固相合成 • マイクロサイズの粉末(溶媒への分散性は不良) • コーティング性は不良 • 耐久性が高い • 安価 	<ul style="list-style-type: none"> • バンドギャップ励起による発光 • 湿式化学合成 • 微細粉末(溶媒に容易に分散) • コーティング性に優れる • 硫化物、セレン化物、リン化物など • 耐久性が低い(水、酸素により劣化) • 高価、希少元素、有毒元素を含む

蛍光体については、水銀レス低温プラズマに最適な 250nm～360nm の紫外線にて励起される 13 種類の蛍光体を選定した。

量子ドットについては、耐久性の低さ、価格の高さがネックであったが、熊本大学と天草池田電機の共同研究による、量子ドットへのコーティング技術開発による耐久性の向上と室温での液相法での生成による低成本化技術開発により問題解決を図った。

また、同技術開発に関連して、特願 2019-015152、特願 2018-110215などの特許も出願した。



本研究にて開発した量子ドット

本項の研究目標としては、紫外線からの可視光への変換効率（80%以上）と高演色性（Ra 90以上）としており、紫外線変換効率としては目標値を上回る90%を達成できたが、演色性については、目標（Ra 90以上）に対して、実績（Ra 79）となっており、補完研究を実施し目標達成する。

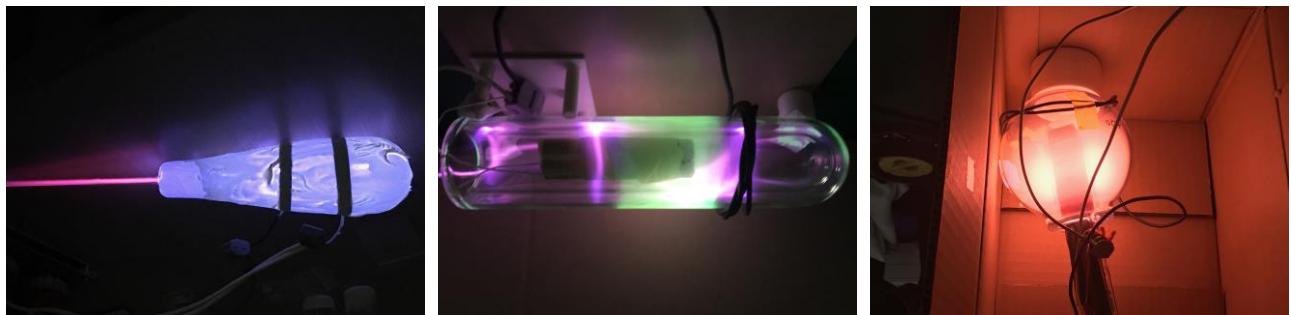
・【3－1】水銀レス無電極ランプ管開発

水銀レスガスに対応した水銀レス無電極ランプ（ガラス管）の開発を実施した。

実施内容としては、水銀レス無電極ランプ用に最適化したガラス管形状の探求および設計、ガラス管への蛍光体・量子ドットの塗布方法の検討を実施した。



ガラス管形状検討用の試作ガラス管



各種検討用ガラス管による、水銀レスガスプラズマ点灯試験

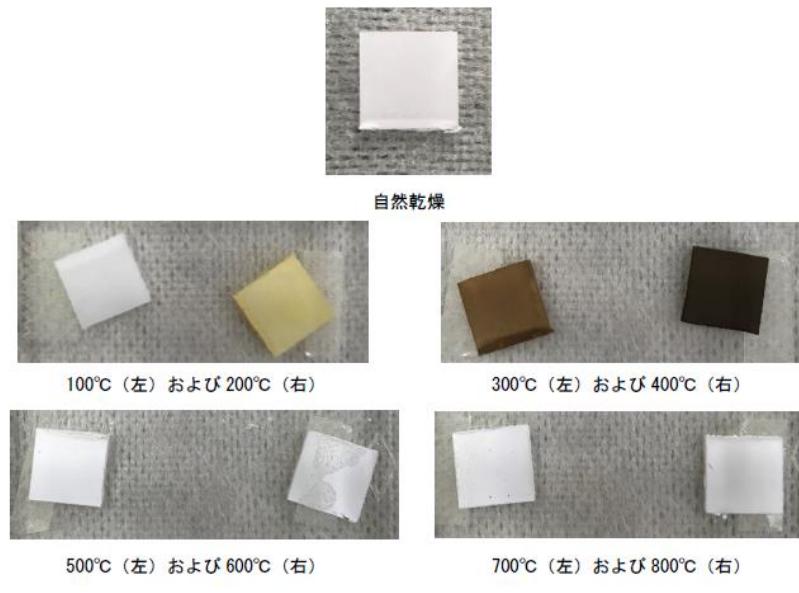
試作ガラス管でのプラズマ発光性能評価にて、プラズマの点灯性・発光効率・配光などの諸特性から、ガラス管の形状および最適な寸法値を決定し追加の試作ランプを製作した。

初期の試作ランプの評価結果から、当初想定以上に水銀を含有しないガスの点灯が困難であることが判明しており、ガラス管も点灯性確保の特性確保を第一として設計を実施した。

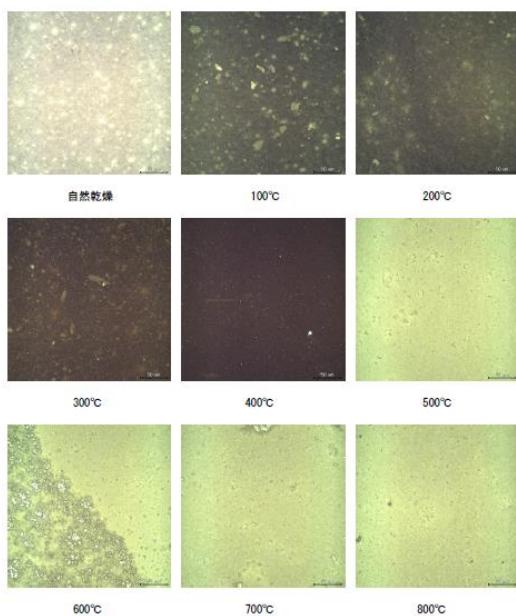


本研究開発にて設計・試作を実施した水銀レス無電極ランプガラス管

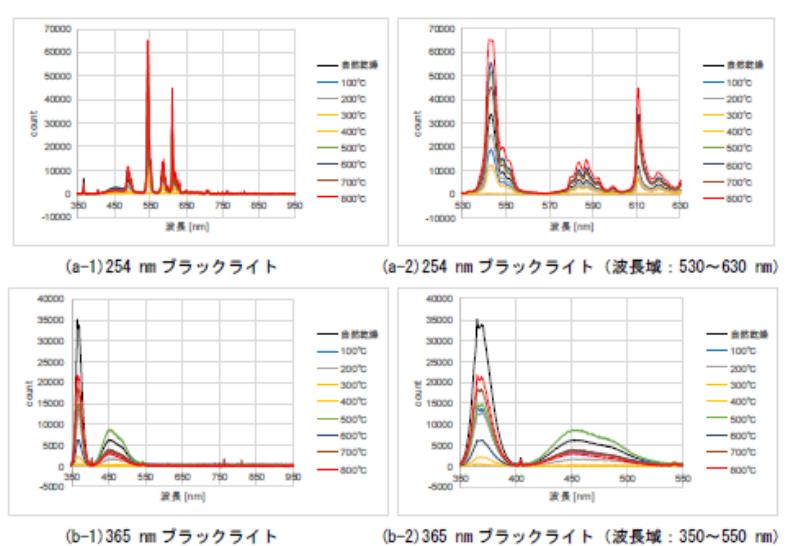
ガラス管への蛍光体、量子ドットの塗布に関しては、水銀レス無電極ランプの性能を最大化するためのプロセス開発を実施しており、蛍光体については、塗布後の熱処理に関する研究を実施した。



蛍光体塗布後の熱処理を行ったサンプル



加熱サンプルの電子顕微鏡での評価



紫外線に対しての、可視光反応評価結果



試作品への最適条件な蛍光体塗布の実施

評価の結果より、水銀レス無電極ランプに最適な蛍光体塗布条件を確認することができた。また、量産時のばらつきについても実用上問題ない製造プロセスが確立できた。

量子ドットの塗布については、蛍光体とは異なるプロセスが必要であり、アクリル樹脂と複合化することにより、作業性が極めて良好なスプレー印刷方法を確立した。



スプレー印刷法により量子ドットを塗布したガラス管（右側 点灯時）

本項の開発目標として、管内に充填するガス圧誤差（1%以下）、複数のガスを混合する際の割合誤差（1%以下）、蛍光体・量子ドットの塗布膜厚誤差（10%以下）とし取組を行った結果、目標を達成した。

・【3-2】電源開発

水銀レス無電極ランプを駆動させる専用電源の開発を実施した。

開発目標として、水銀レス無電極ランプを点灯させることができること、電気特性（入力電圧・出力電圧・出力周波数）の確保としており、全ての特性を満たした試作品を完成させることができ目標を達成した。



試作した水銀レス無電極ランプ用電源基板

・【3-3】樹脂反射板開発

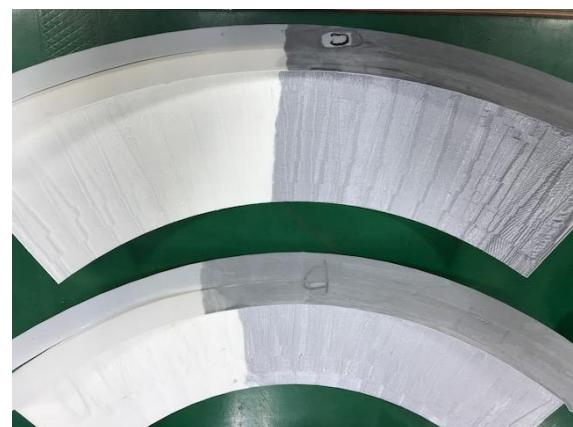
水銀レス無電極ランプ用の反射板として樹脂を用いることで、低コストで軽量な反射板の開発を実施した。

開発目標として、反射効率85%以上として開発に取り組んだ結果、試作品にて反射効率87%の性能確認ができ目標を達成した。

なお、本研究開発は松島化成が実施した。



試作した樹脂反射板



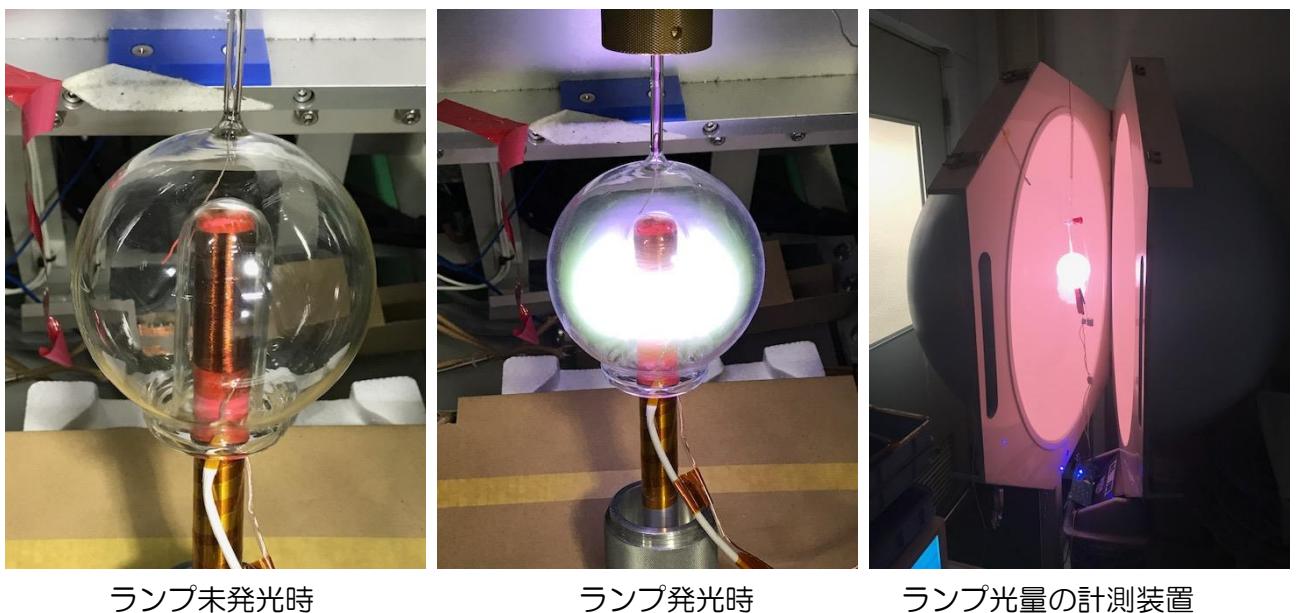
樹脂への反射コートの試作品

・【4】製品評価

各開発要素を組み合わせた、市販化可能な製品の試作品評価試験を実施した。

開発目標として、発光効率 $100\text{lm}/\text{w}$ 以上、Ra 90 以上としたが、実績としては、発光効率 $66\text{lm}/\text{w}$ Ra 79 であり、目標未達となった。

原因としては、水銀レスガスのプラズマ化条件が、量産形状と単要素開発時の条件の違いによるもので、補完研究を実施することで目標達成させる。



ランプ未発光時

ランプ発光時

ランプ光量の計測装置

・【5】顧客評価

試作実施したランプを顧客（ユーザー）による評価を実施した。

最終的な市販化製品での評価ではないが、評価項目である「眩しさ」や「影のできにくさ」「色味」については、良好な評価を得ている。

補完研究にて完成した試作品においても、同様な評価を実施する。

最終章 全体総括

本研究開発において、水銀レス無電極ランプの実用化に関して水銀を含有しないガス由来により発光できる、一定程度の性能を確保できたが、一般市販化にあたっては、さらなる性能向上が必要であり、補完研究の実施により市販化できるレベル（現状の水銀含有無電極ランプと同等以上の性能）の実現を目指す。

また、その他の課題を下記に記す。

①技術面

本事業において達成できた水銀レス無電極ランプの性能は、水銀含有ランプの8割程度であり、市販化の為には最低限の性能として、水銀含有品と同程度の性能が必要であり、同性能達成の為の補完研究を実施する。

②生産面

- ・現在、保有しているガス注入装置が量産対応不可の為、設備改造等の対応を実施する。
- ・量産に対応した安定器生産～出荷体制までの量産体制の構築が必須である。

③資金確保

- ・購入型クラウドファンディングを活用し、先行受注の確保及び資金調達を行う。
- ・購入型クラウドファンディングにて市場調査を実施し最適在庫（機種、数量等）を明確化し最適生産体制を構築する。

④事業化

- ・既に水銀入り無電極ランプの販売体制があるので、その体制で進めていく。
- ・販促方法としては、新規の販売チャネル等の開拓も含めて計画達成を目指す。
- ・購入型クラウドファンディングを活用し不特定多数のユーザーへの商品PR及びメディア関係者、バイヤーへのPRを行い水銀レスランプの認知度を向上させる。

