

令和 5 年 6 月 7 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2022

課題番号：19K04145

研究課題名（和文）人工知能を用いたLEDパッケージングの最適設計の研究

研究課題名（英文）Study of optimal design of LED packaging using artificial intelligence

研究代表者

柏尾 知明 (Kashiwao, Tomoaki)

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：10581910

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では人工知能（機械学習）を用いて、白色LEDパッケージングの設計パラメータと白色LEDの光学特性の関係を関係のモデリングを行った。白色LEDの主な設計パラメータ（青色発光素子の放射束、蛍光体量）から光学特性（全光束、色度）の予測を行うことに成功した。また、蛍光体層の形状から全光束を予測するモデルを獲得することにも成功した。

さらには、Convolutional Neural Network (CNN)を用いて、白色LEDパッケージングの断面画像からの明るさ（全光束）の予測に成功し、CNNが断面画像を学習する過程における特徴マップから、パッケージングの構造解析が可能であることを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

LEDパッケージング構造と構成部材の光学特性の組み合わせによる発光効率を調査し、設計・最適化手法を学術的に提案した研究例は数少ない。機械学習（人工知能）技術を用いて、LEDパッケージングをモデル化できたことは、理想的な構造と光学特性の関係を明らかにできる可能性を示しており、学術のみならず産業界においても、今後の構成部材開発とパッケージング設計のさらなる高効率化に大きく貢献するものと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, we used artificial intelligence (machine learning) for modeling the relationship between the design parameters of white LED packaging and the optical properties of white LEDs. The optical properties, namely, total luminous flux and chromaticity, were successfully predicted from the main design parameters of white LEDs, which were radiant flux of a blue chip and amount of phosphor. We also succeeded in obtaining the model that predicts the total luminous flux from the structure of the phosphor layer.

Furthermore, we succeeded in predicting the total luminous flux of white LEDs from cross-sectional images of the white LED packaging using a Convolutional Neural Network (CNN), and the results showed that CNN can analyze the packaging structure from the feature map in the process of learning the cross-sectional image by the CNN.

研究分野：光半導体

キーワード：白色LED パッケージング 最適設計 機械学習 ニューラルネットワーク CNN ディープラーニング  
人工知能

## 1. 研究開始当初の背景

近年、LEDは省電力性や長寿命から、家庭用の照明や自動車のヘッドライトなど、様々な用途として普及しており、世界中の企業・研究機関で発光効率の改善が行われている。LEDの発光効率は、発光素子の発光効率とパッケージング内での損失によって決まるが、求められる光学特性はその用途によって異なる。設計したパッケージングの光学特性を確認するための試作品を作製する場合、パッケージングの射出成形用金型やリードフレーム金型などを製作する必要があり、長い製作時間と高い費用がかかるため、企業や技術者の大きな負担となっている。また、試作品の種類の数も限られており、多くの条件を試すことはできない。LEDパッケージングは、主にリフレクタを構成するパッケージング樹脂とL/Fによって形成されたキャビティと、キャビティ内にボンディングされた発光素子と通電用ワイヤ、キャビティを封止するための封止樹脂で構成されている。パッケージングの発光効率には、キャビティ形状のみならず、樹脂やメッキなどの構成部材の光学特性が強く影響し、それらのパラメータの検討のために光線追跡シミュレーションが用いられている。しかしながら、設計上検討すべきパラメータが多く、シミュレーションには性能の高い計算機と長い時間が必要となるため、製品開発上の負担となっている。

## 2. 研究の目的

発光素子より発射された光線は、キャビティ内で何度も屈折と反射を繰り返し、反射面の反射率に従ってエネルギーを失っていく。したがって、パッケージングの取出し効率を高くするためには、光線の反射回数を少なくするようにパッケージングを設計する必要がある。すなわち、LEDパッケージングの設計は、学術上「構造・構成部材のパラメータの最適化問題」に帰着する。一方で、近年ディープラーニングなどの人工知能技術は自動車、画像処理など様々な分野の最適化問題で大きな成果を挙げており、現在その応用研究は、人工知能分野において大きな位置を占めている。本研究では「LEDパッケージングのパラメータの最適化問題」という学術的「問い」に対し、人工知能を用いて解決する方法を提案する。LEDの製品開発において、パッケージングの各構成部材に関する要素技術の開発は盛んに行われているものの、構成部材の組み合わせを学術的に研究した例は、申請者の研究グループ以外ではほとんど見られない。本研究では、人工知能技術を用いて構成部材のサイズや光学特性などの組み合わせから、LEDパッケージングの光学特性を最適化する設計方法を提案する。

## 3. 研究の方法

機械学習を用いて、LEDパッケージングの構成部材の設計パラメータと重要な光学特性の関係を表すことができる汎用性の高い数理モデルを獲得することを目指した。光線追跡シミュレーションのサロゲート（代理）モデルを機械学習によって獲得した。一度、学習済みモデルを得ることができれば、光線追跡シミュレーションを省くことができ、設計時間を大幅に短縮することができる。また、その学習過程で重要な設計パラメータの解析を行った。

## 4. 研究成果

### (1) 機械学習を用いた全光束の回帰予測

白色LEDの光学特性を決める主要な設計パラメータである青色発光素子の放射束と蛍光体量を説明変数、白色LEDの全光束を目的変数として、回帰分析を行った<sup>1-3)</sup>。Multi Layer Perceptron (MLP), Radial Basis Function Network (RBFN), Support Vector Regression (SVR), Random Forest (RF)などの代表的な機械学習モデルと、線形回帰 (Linear Regression: LR) モデルを用いた。予測値と実測値は強い正の相関関係を持ち、うまく予測できていることが確認できる (図1)。

### (2) CNNによるパッケージング構造の解析

高い画像認識性能を持つ畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network: CNN) を用いて、白色LEDパッケージングの構造解析を行った。実サンプルの断面画像 (図2) と全光束の組み合わせのデータセットをCNNに学習させることで、断面画像からパッケージング構造を認識させ、全光束を予測させた<sup>4-8)</sup>。白色LEDパッケージングの断面画像には、白色LEDの全光束に大きく影響する設計パラメータであるレンズ形状 (封止樹脂表面の形状) や、蛍光体量などを画像情報として含んでいる。CNNはConvolution層とMax-pooling層からそれらの情報を抽出し、特徴マップ (全光束に影響する特徴量の分布) として学習することができる。図3に、学習済みCNNに数百枚の断面画像から全光束を予測させた結果を示す。予測値は実測値と強い正の相関があることから、うまく学習できていることが確認できる。

図4は、断面画像を学習させた最新のモデルの特徴マップである。それぞれのモデルが、レンズ形状や蛍光体層などのパッケージング構造を認識していることがわかる (16)。

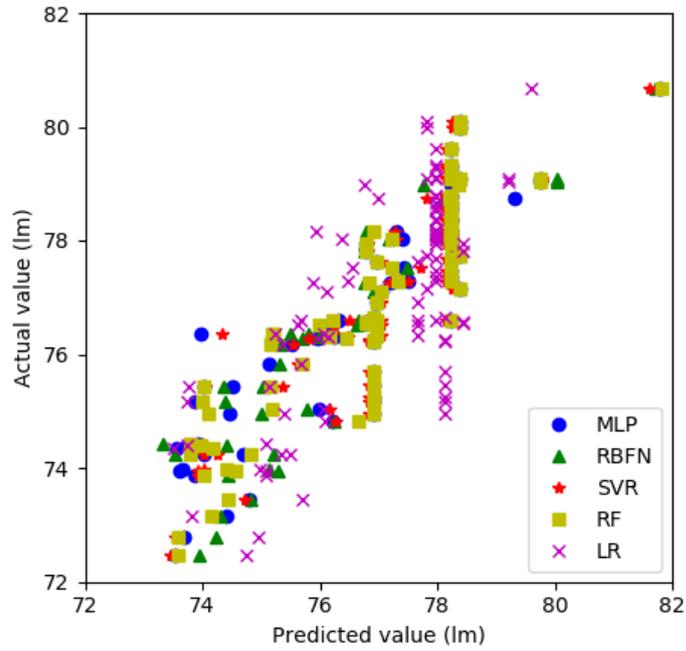


図1 各機械学習モデルによる回帰分析の結果<sup>8)</sup>

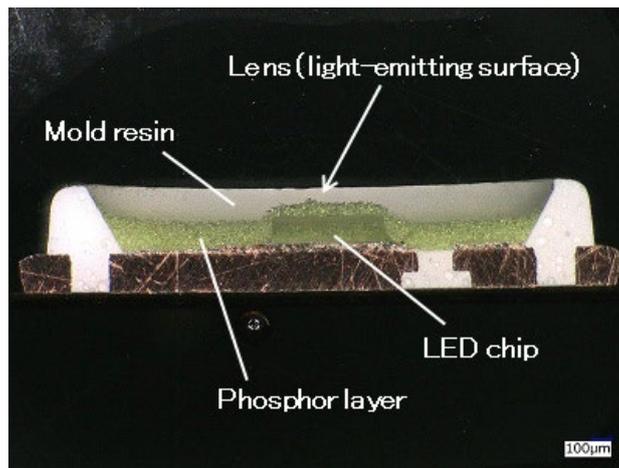


図2 白色LEDパッケージングの断面画像<sup>8)</sup>

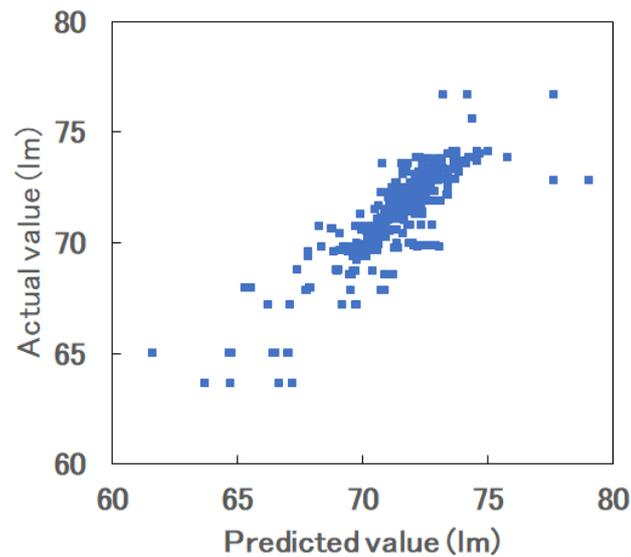


図3 CNNによる予測結果<sup>8)</sup>

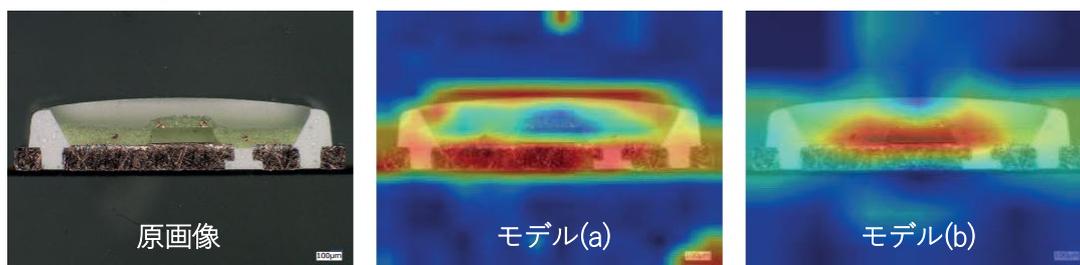


図4 最新のモデルによる特徴マップ<sup>9)</sup>

- 1) 柏尾知明, 塚本陸離, 日高翔, 林一生, 大西克弘, 高田和樹, 伊藤智海, 原田健司, 武田 怜: “ニューラルネットワークに基づいた白色 LED パッケージングのサロゲートモデリング”, LED 総合フォーラム 2020 in 徳島論文集, pp.167-168, 2020
- 2) 林一生, 柏尾知明, 大西克弘, 高田和樹, 伊藤智海, 原田健司, 武田 怜: “機械学習を用いた白色 LED の全光束の予測”, 第 7 回制御部門マルチシンポジウム論文集, PS1-5, pp.1-3, 2020
- 3) S. Fujimoto, T. Kashiwao, T. Ito, K. Harada, and R. Takeda, “Predicting Total Luminous Flux of a White LED Using Machine Learning”, Proceedings of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization 2021, SS1-5, pp. 276-277
- 4) 塚本陸離, 日高翔, 柏尾知明, 伊藤智海, 原田健司, 大塚剛史: “CNN を用いた白色 LED の光学特性の予測”, 2019 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会論文集, PS3-2, pp.1456-1457, 2019
- 5) 塚本陸離, 日高翔, 柏尾知明, 伊藤智海, 原田健司, 武田 怜: “CNN を用いた白色 LED の光学特性の予測性能向上”, 第 7 回制御部門マルチシンポジウム論文集, PS1-4, pp.1-4, 2020
- 6) 日高翔, 塚本陸離, 柏尾知明, 伊藤智海, 原田健司, 武田 怜: “CNN を用いた白色 LED の光学特性予測における特徴マップの解析”, 第 7 回制御部門マルチシンポジウム論文集, PS1-6, pp.1-7, 2020
- 7) K. Usui, T. Kashiwao, Y. Okuno, T. Ito, K. Harada, R. Takeda, and A. Kubota, “CNN-Based Regression Analysis for White LED Packaging Structure”, Proc. of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization 2022, pp.316-317, 2022
- 8) Y. Okuno, T. Kashiwao, K. Usui, T. Ito, K. Harada, R. Takeda, and A. Kubota, “Prediction of Total Luminous Flux from Cross-Sectional Images of White LED Packaging Using GhostNet”, Proc. of IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization 2022, pp.318-319, 2022
- 9) 清水健人, 柏尾知明, 臼井康輔, 奥野靖崇, 木本結都, 栗巢心, 伊藤智海, 武田 怜, 久保田 敦子: “Vision Transformer を用いた白色 LED パッケージング構造の回帰分析”, 2022 年 電気学会産業応用部門大会論文集, Y-48, 2022

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 柏尾知明	4. 巻 24
2. 論文標題 白色LEDパッケージングの最適設計 光線追跡シミュレーションと機械学習	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CAE懇和会News Letter 2019年秋・冬 特集：AIとシミュレーション	6. 最初と最後の頁 pp.6-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 栗巢 心, 柏尾知明, 奥野靖崇, 臼井康輔, 清水健人, 木本結都, 伊藤智海, 武田 怜, 久保田敦子
2. 発表標題 CNNを用いた白色LEDパッケージングの構造解析における開発環境の比較検討
3. 学会等名 2022年 電気学会 産業応用部門大会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 木本結都, 柏尾知明, 臼井康輔, 奥野靖崇, 栗巢 心, 清水健人, 伊藤智海, 武田 怜, 久保田敦子
2. 発表標題 EfficientNetV2を用いた白色LEDの光学特性の回帰予測
3. 学会等名 2022年 電気学会 産業応用部門大会論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 清水健人, 柏尾知明, 臼井康輔, 奥野靖崇, 木本結都, 栗巢 心, 伊藤智海, 武田 怜, 久保田敦子
2. 発表標題 Vision Transformerを用いた白色LEDパッケージング構造の回帰分析
3. 学会等名 2022年 電気学会 産業応用部門大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yasutaka Okuno, Tomoaki Kashiwao, Kosuke Usui, Tomomi Ito, Kenji Harada, Ryo Takeda, Atsuko Kubota
2. 発表標題 Prediction of Total Luminous Flux from Cross-Sectional Images of White LED Packaging Using GhostNet
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kosuke Usui, Tomoaki Kashiwao, Yasutaka Okuno, Tomomi Ito, Kenji Harada, Ryo Takeda, Atsuko Kubota
2. 発表標題 CNN-Based Regression Analysis for White LED Packaging Structure
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 白井 康輔, 奥野 靖崇, 柏尾 知明, 伊藤 智海, 原田 健司, 武田 怜
2. 発表標題 白色LEDパッケージング構造解析のためのCNNによる回帰分析
3. 学会等名 2021年 電気学会 産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 弘 真侑, 柏尾 知明, 伊藤 智海, 原田 健司, 武田 怜
2. 発表標題 機械学習による白色LEDパッケージングのサロゲートモデリング
3. 学会等名 2021年 電気学会 産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 奥野 靖崇, 白井 康輔, 柏尾 知明, 伊藤 智海, 原田 健司, 武田 怜
2. 発表標題 GhostNetを用いた白色LEDの光学特性予測
3. 学会等名 2021年 電気学会 産業応用部門大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Seiya Fujimoto, Tomoaki Kashiwao, Tomomi Ito, Kenji Harada, and Ryo Takeda
2. 発表標題 Predicting Total Luminous Flux of a White LED Using Machine Learning
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塚本陸離・日高翔・柏尾知明・伊藤智海・原田健司・大塚剛史
2. 発表標題 CNNを用いた白色LEDの光学特性の予測
3. 学会等名 2019年 電気学会 電子・情報・システム部門大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柏尾知明・塚本陸離・日高翔・林一生・大西克弘・高田和樹・伊藤智海・原田健司・武田怜
2. 発表標題 ニューラルネットワークに基づいた白色LEDパッケージングのサロゲートモデリング
3. 学会等名 LED総合フォーラム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 塚本陸離・日高翔・柏尾知明・伊藤智海・原田健司・武田怜
2. 発表標題 CNNを用いた白色LEDの光学特性の予測性能向上
3. 学会等名 計測自動制御学会 第7回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 林一生・柏尾知明・大西克弘・高田和樹・伊藤智海・原田健司・武田怜
2. 発表標題 機械学習を用いた白色LEDの全光束の予測
3. 学会等名 計測自動制御学会 第7回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 日高翔・塚本陸離・柏尾知明・伊藤智海・原田健司・武田怜
2. 発表標題 CNNを用いた白色LEDの光学特性予測における特徴マップの解析
3. 学会等名 計測自動制御学会 第7回制御部門マルチシンポジウム
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------