

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	建材一体型太陽光発電モジュールの加飾に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	足立零生
Author(English)	Leo Adachi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京科学大学, 報告番号:甲第350号, 授与年月日:2025年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:和田 裕之,荒井 創,平山 雅章,稲木 信介,鈴木 耕太,近藤 道雄
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Institute of Science Tokyo, Report number:甲第350号, Conferred date:2025/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学系 エネルギー	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	足立 零生		審査員主査： Chief Examiner	和田 裕之 准教授	

### 要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters )

本論文は「建材一体型太陽光発電モジュールの加飾に関する研究」と題し、日本語で書かれ、6章で構成されている。

第1章「背景」では、再生可能エネルギーの中でも特に太陽光発電が注目されており、持続可能な社会の実現に向けた重要な技術であると説明されている。建材一体型太陽光発電 (BIPV) モジュールは、土地利用の効率化や美観との調和といった利点を有する一方、デザイン性と発電効率の両立が課題として挙げられている。本章では、BIPV の概念とその課題、ならびに既存の太陽電池モジュールにおける色調制御技術の現状と課題が整理されており、本研究の目的である高効率な加飾技術の開発の必要性について述べられている。

第2章「光学薄膜による加飾技術」では、光学薄膜を用いた加飾技術の有効性が検討されており、光学シミュレーションを活用した設計と真空蒸着による試作について説明されている。特に、先行研究では注目されていない白色化の加飾による発電効率低下を抑えるための新たな設計手法が提案されている。通常、白色太陽光発電モジュールのためには、カバーガラスにおいて可視光領域全体の反射光が必要であるが、本提案ではある反射光とその補色関係にある反射光を利用することで、太陽電池に届く可視光の低下を最小限に抑え、更に、光入射角の変化によりブルーシフトする2つの反射光の色相変化を相殺することにより角度依存性を低減した加飾が実現可能であることを示している。併せて、反射ピーク数、色相、膜層数などが異なる場合においてもこの設計手法の有効性が示されている。

第3章「マイカ顔料による加飾技術」では、マイカ顔料を活用した加飾技術が検討されている。白色系マイカ顔料を用い、加飾を目的とした設計が行われたほか、テクスチャ加工との組み合わせが提案されている。マイカ顔料の粒子サイズや濃度、テクスチャの粗さが白色度と発電効率に与える影響が明らかにされている。マイカ顔料とテクスチャ加工を組み合わせることで、面内における色相の均一性や高実度を実現できることが示され、これらは BIPV の普及に向けた設計の柔軟性を高めるものであるとしている。

第4章「木材成分の光学特性」では、持続可能な材料であるセルロースナノファイバー (CNFs)、および、リグノセルロースナノファイバー (LCNFs) の光学特性が検討され、特に、レーザー照射を利用した CNFs 製造の可能性が示されており、環境負荷を抑えた製造プロセスの構築に向けた基礎的な結果が説明されている。波長 355 nm のレーザー照射が特定成分 (キシラン、リグニン) に選択的に作用することや、これにより CNFs が生成される新たなプロセスが明らかにされている。

第5章「ナノセルロース材料による加飾技術」では、CNFs およびマイクロフィブリル化セルロース (MFCs) を活用した太陽光発電モジュールの加飾技術について詳細に説明されている。ナノセルロース材料の膜厚や物理的特性が明度、および、発電効率に与える影響が示されている。併せて、太陽光発電モジュールを作製するための封止による材料の変色や劣化に関する評価が行われ、MFCs が優れた耐久性を持つことが示されている。これらにより、ナノセルロース材料が、第3章で使用されたテクスチャ加工の代替として機能し得ることや、BIPV モジュールに対する高いデザイン性と効率性を兼ね備えた加飾の可能性が示唆されている。

第6章「結論と展望」では、本研究で得られた知見をまとめ、本論文の結論と共に今後の研究の展望を述べている。

以上を要するに、本論文は光学薄膜、マイカ顔料、テクスチャ構造、セルロースナノファイバーを用いて白色太陽光発電モジュールを作製と評価を行い、建材一体型太陽光発電モジュールの可能性を提案したものであり、工学上貢献するところが大きい。よって、本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)  
Doctoral Program

## 論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	応用化学 エネルギー	系 コース	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	足立 零生		審査員主査： Chief Examiner	和田 裕之 准教授	

### 要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

The title of this thesis is “建材一体型太陽光発電モジュールの加飾に関する研究,” written in Japanese and composed of six chapters. This study aims to develop efficient and sustainable decorative techniques for Building Integrated Photovoltaics (BIPV), evaluating three approaches—optical thin films, mica pigments, and cellulose nanofibers (CNFs)—to determine their characteristics and potential applications.

In Chapter 1, BIPV offers benefits like efficient land use and aesthetic integration but faces challenges in balancing design and energy efficiency. The chapter reviews BIPV concepts, challenges, and existing color control techniques, highlighting the need for advanced decorative methods.

Chapter 2 evaluates decorative techniques using optical thin films. Optical simulations guided the design, and prototypes were made via vacuum deposition. A new method for white decoration is proposed, minimizing efficiency loss by using complementary reflective peaks. The approach is effective under various conditions, such as reflectivity and layer configurations.

Chapter 3 focuses on mica pigments for decoration. Titanium dioxide-coated mica pigments were tested, with higher whiteness achieved through texture processing. Parameters like particle size, concentration, and texture roughness were found to influence whiteness and efficiency. Combining mica pigments with texture processing reduces issues like non-uniformity and improves brightness.

Chapter 4 examines nanocellulose materials as alternatives to texture processing. Texture processing struggles to achieve high brightness and cannot be placed on the cell side due to encapsulation filling the texture's grooves, negating its effects. Chapter 4 clarifies the optical properties of nanocellulose materials and aims to establish a sustainable production method for their application in solar cell decoration.

Chapter 5 discusses practical applications of nanocellulose materials in decoration. It demonstrates that nanocellulose materials achieve higher brightness than texture processing. Encapsulation tests reveal that placing nanocellulose materials on the cell side maintains decorative effects, overcoming the limitations of texture processing.

Chapter 6 General conclusions and perspectives: The results were summarized and perspectives for future research were described.

This thesis makes significant academic and practical contributions to promoting BIPV adoption through advanced decorative technologies. The findings deepen knowledge in the field of engineering and contribute to the development of practical technologies. Thus, this thesis holds sufficient value as a doctoral dissertation.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東京科学大学リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Science Tokyo Research Repository Website (T2R2).