

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 31 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630499

研究課題名(和文) 太陽追尾が不要で高効率な集光型太陽光発電のための要素技術の研究

研究課題名(英文) Research on fundamental technologies for a tracking-free, highly-efficient concentrator photovoltaic system

研究代表者

藤枝 一郎 (Fujieda, Ichiro)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：90367996

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：蛍光体を用いた集光型太陽光発電(LSC)では、小面積の太陽電池が用いられ、太陽追尾が不要なため、発電コストの大幅な低減が期待される。本研究では、LSCの発電効率を改善するために、ゲスト・ホスト技術をLSCに適用した。蛍光の放射方向を制御して、蛍光が太陽電池に到達する確率を増加させる。傾斜した電気双極子に基づくモデルを考案し、実験結果の再現に成功した。また、LSCにレーザー光を入力して画像を表示する「発電するディスプレイ」を発明し、その動作を実証した。

研究成果の概要(英文)：A Luminescent Solar Concentrator (LSC) is expected to reduce the cost of power generation drastically because its solar cells are much smaller and a sun-tracking system is not required. To improve its efficiency, I have applied the guest-host technology for an LSC. Control of its photoluminescence (PL) characteristics enables the PL photons to reach solar cells more efficiently. I have modeled this process based on a tilted electric dipole and reproduced the experiment successfully. Furthermore, I have invented an energy-harvesting device that displays an image by projecting a laser beam on an LSC and demonstrated its operation.

研究分野：電子・光デバイスと画像情報機器への応用

キーワード：蛍光 太陽光発電 ディスプレイ

1. 研究開始当初の背景

集光型太陽光発電 (Concentrator Photovoltaic, CPV) に関して、主要な学会 (SPIE, OSA) では次の 3 テーマが盛んに議論されていた。第一はレンズやミラーを用いた CPV で、集光倍率は数百と高い。メガソーラーシステムとして既に実用化されているが、太陽追尾が必須なため高コストである。第二は、波長分離による CPV の高効率化である。第三は Luminescent Solar Concentrator (LSC) で、蛍光体を透明基板の中に一様に分散させ、蛍光を基板の端の太陽電池へ導く。太陽追尾が不要だが光の損失が課題である。損失の主な原因は、蛍光の一部が透明基板の表面から外部に漏れ出る現象と、透明基板を伝搬中に蛍光体自身によって吸収される現象である。このため LSC は発明から 30 年以上が経過した現在も実用化されていない。

2. 研究の目的

LSC での蛍光の損失の 2 つの原因に対応して、蛍光材料の発光方向を制御する技術と、太陽光の入射方向の時間変化を勘案した光学系に関わる技術を創出する。これらの要素技術は、集光型でありながら太陽追尾が不要で高効率の CPV を実現するための鍵となる。これにより、太陽光発電の一般家庭への普及が促進される。更に、蛍光材料の発光方向を制御する技術は、レーザーを利用した表示素子や照明の分野へも応用できる。

3. 研究の方法

(1) 蛍光材料の発光方向を制御する技術

液晶と色素のゲスト・ホスト技術を LSC に適用する。細長い色素分子はその長軸方向に垂直な方向に強く蛍光を放射する。このような色素分子を液晶層に混入して電界を印加すると、液晶分子と共に色素分子の傾きが変化し、蛍光の放射方向が変化する。色素分子を透明基板に垂直に配向すると、透明基板から漏れ出る蛍光の割合が減少する。理論では色素分子を電気双極子と見なす。図 1 に示すように、傾斜した電気双極子を液晶/色素層に置き、励起光の吸収から蛍光の伝搬までの過程を解析する。実験では、液晶と色素を容器に封入したセルを試作する。これに励起光を入射し、放射される蛍光の角度分布が印加電圧に依存して変化する様子を観察する。

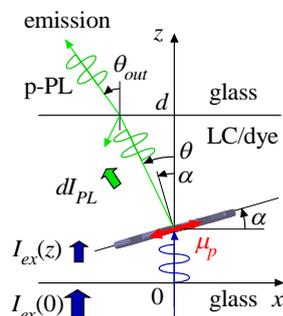


図 1 傾斜した電気双極子のモデル

(2) 太陽光の入射方向を勘案した光学系

太陽光の入射方向は季節と時刻と共に変化する。地面に垂直に立てた棒の先端の影の軌跡は日影曲線と呼ばれる。ここで、図 2 に示すように、日影曲線の上に蛍光体を配置し、レンズを用いて太陽光を蛍光体に集める構成とすると、太陽追尾が不要になる。蛍光が端面の太陽電池まで伝搬するとき、蛍光体に再び入射することはない。従って、自己吸収による蛍光の損失がなくなり、発電効率が向上する。実験ではこのような構成の LSC を試作し、日影曲線の 1 点に励起光を入射したときに端面に到達する蛍光の強度を測定する。対照実験として、一様に蛍光体を配置した通常の LSC も試作して特性を比較する。

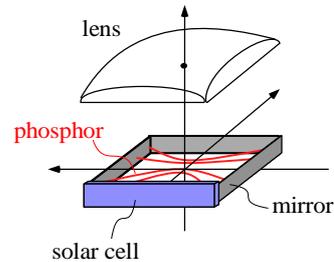


図 2 日影曲線の上の蛍光体に集光する LSC

(3) 表示素子への応用

LSC では、蛍光の一部は透明基板の表面から外部へ漏れ出る。外部へ漏れ出る蛍光は発電には寄与しないが、画像表示や照明に利用できる。例えば、図 3 に示すように、レーザー光の強度を変調して LSC の表面を走査すれば画像を表示できる。実験では、市販のプロジェクタの光源を取り除き、その光学系にレーザー光を入力することにより、単一波長の画像を LSC に投射する。これによりグレースケールの画像が表示される。同時に、LSC に投射するレーザー光と LSC の端部に到達する蛍光の強度の比 (パワー回収率) を求める。

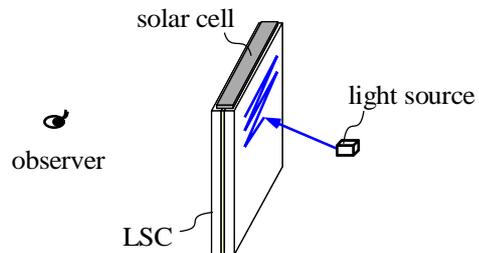


図 3 画像表示と発電の機能を備える装置

4. 研究成果

(1) 蛍光材料の発光方向を制御する技術

色素 (coumarin 6) を液晶に混入させたセルを試作した。波長 450nm のレーザー光を垂直に入射したときにセルの表面から放射される蛍光の角度分布を測定した。一例を図 4 に示す。印加電圧に応じて色素分子の傾きが変化し、蛍光の放射方向が変化する。色素分子の

傾きをパラメータとして計算した理論値は実験結果をほぼ再現している。

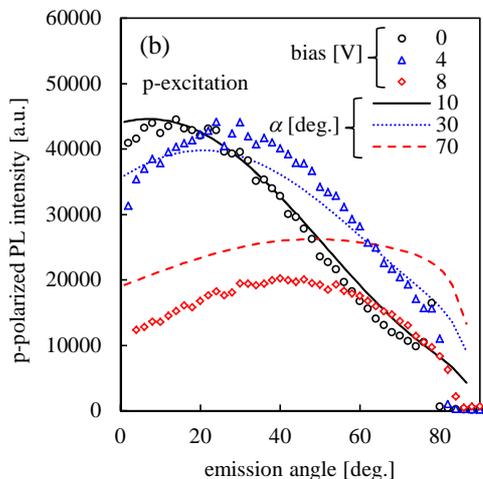


図4 液晶/色素セルが放射する蛍光強度

(2)太陽光の入射方向を勘案した光学系
透明基板(50×50×5mm)に日影曲線状の溝を形成して蛍光体(Lumogen Red F305)を埋め込み、無加工の透明基板を被せた。比較のために、蛍光体を一様に配置した従来のLSCの構成も試作した。これらの写真を図5に示す。

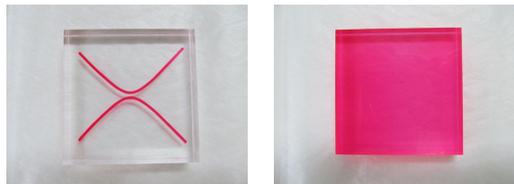


図5 試作品(左:新構成,右:従来構成)

それぞれの端面にフォトダイオードアレイを密着させ、蛍光体の1点に励起光を入射した。端面に到達する蛍光の強度分布から算出したパワー回収率(端面に到達する蛍光と入射した励起光の強度比)を図6に示す。横軸は励起光の入射点の水平方向の座標である。新構成の回収効率は従来構成のLSCの2倍以上である。LSCを大面積化すると、両者の差は更に大きくなる。

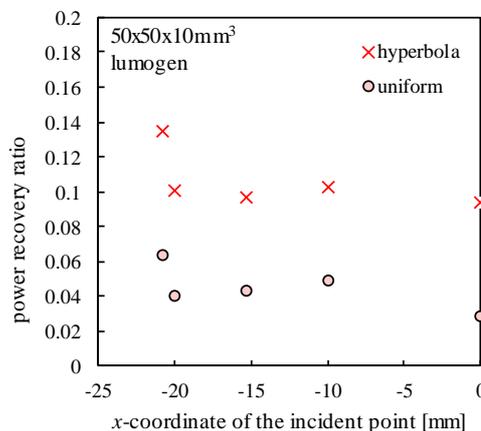


図6 試作したLSCのパワー回収効率

(3)表示素子への応用

蛍光体(coumarin 6)を含む薄い層を2枚の透明基板(各95×95×5mm)で挟んで蛍光スクリーンを試作した。波長450nm(青色)のレーザー光の強度を変調してこのスクリーンに入射し、動画を表示した。この様子を図7に示す。スクリーンの端面に設置したフォトダイオードの出力より、投入した光のパワーの約70%を回収できることを確認した。表示画像の分解能は、図8に示すように十分に高い。今回の実験で使用したプロジェクタの画素数で分解能が制限された。

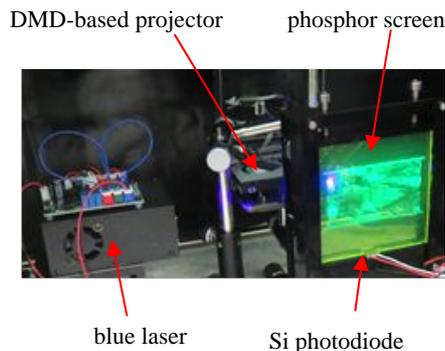


図7 画像表示と発電の実演

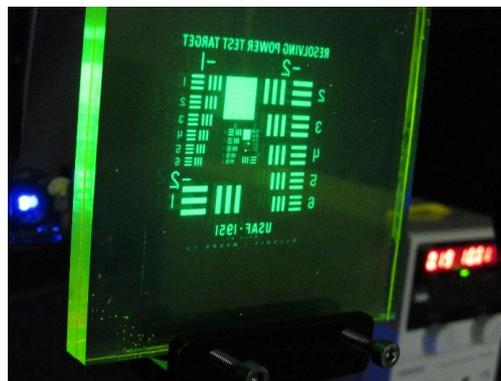


図8 表示画像の斜め観察

但し、2つの課題が明らかになった。まず、表示画像を斜めから観察すると、図8に示すようにかすかなゴースト像が現れる。また、小型のモジュールを併置して大面積化すると、モジュールの端部に太陽電池が存在するため、画像を表示できない。これらの課題を解決する新構成を考案して2件の特許を出願した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計10件)

Ichiro Fujieda, Shunsuke Itaya, Masamichi Ohta, Yuuki Hirai, Takamasa Kohmoto, Energy-harvesting laser phosphor display and its design considerations, J. Photon. Energy, 査読有, Vol. 7, 2017, 28001. DOI: 10.1117/1.JPE.7.028001.

Ichiro Fujieda, A model incorporating

self-absorption for a display-integrated photovoltaic system, Proc. of 23rd International Display Workshops, 査読無, Vol.23, 2016, 184-187.

Shintaro Ozawa, Masamichi Ohta, Shunsuke Itaya, and Ichiro Fujieda, Measurement of photoluminescence spreading in an LC/Dye Cell, Proc. of 23rd International Display Workshops, 査読無, Vol.23, 2016, 180-183.

Masamichi Ohta, Shunsuke Itaya, Shintaro Ozawa, Nada Dianah Binti M. Azmi, Ichiro Fujieda, Measurement of photoluminescence from a twisted-nematic liquid crystal/dye cell for an application in an energy-harvesting display, Proc. of SPIE, 査読無, Vol. 9937, 2016, 99370R, DOI: 10.1117/12.2237454.

Ichiro Fujieda, Shunsuke Itaya, Masamichi Ohta, Shintaro Ozawa, Nada Dianah Binti M Azmi, Characterization of a liquid crystal/dye cell for a future application in display-integrated photovoltaics, J. Photon. Energy, 査読有, Vol. 6, 2016, 28001. DOI: 10.1117/1.JPE.6.028001.

Shunsuke Itaya, Nada Dianah Binti M. Azmi, Masamichi Ohta, Shintaro Ozawa, Ichiro Fujieda, Feasibility study on the use of liquid crystal/dye cells for digital signage, Proc. of SPIE, 査読無, Vol. 9770, 2016, 977004, DOI: 10.1117/12.2212302.

Shunsuke Itaya, Nada Dianah Binti M Azmi, Masamichi Ohta, Shintaro Ozawa, and Ichiro Fujieda, Edge emission patterns from an LC/Dye cell, Proc. of 22nd International Display Workshops, 査読無, Vol.22, 2015, 136-139.

Ichiro Fujieda, Daisuke Suzuki, and Taishi Masuda, Tilted dipole model for bias-dependent photoluminescence pattern, J. Appl. Phys. 査読有, Vol. 116, 2014, 224507, doi: 10.1063/1.4904064.

Taishi Masuda, Takumi Kamimura, Shunsuke Itaya and Ichiro Fujieda, Anisotropic photoluminescence from an LC-dye system, Proc. of 21st International Display Workshops, 査読無, Vol.21, 2014, 36-39.

Ichiro Fujieda, Tilted dipole model for an LC-dye system, Proc. of 21st International Display Workshops, 査読無, Vol.21, 2014, 73-74.

[学会発表](計 10 件)

奥山真光, 太田正倫, Nada Dianah Binti M Azmi, 水野敬規, 藤枝一郎, 日影曲線

上に蛍光体を配置した集光型太陽光発電, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年 3 月 17 日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市西区)

高本享昌, 太田正倫, 藤枝一郎, 液晶/色素セル内での光の反射による複数の発光点の発生, 第 64 回応用物理学会春季学術講演会, 2017 年 3 月 17 日, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市西区)

小澤慎太郎, 板屋俊介, 太田正倫, Nada Dianah Binti M Azmi, 藤枝一郎, 液晶/色素セルの端面から放射される蛍光のスペクトルの変化, 第 63 回 応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 22 日, 東京工業大学(東京都目黒区)

太田正倫, 板屋俊介, 小澤慎太郎, Nada Dianah Binti M Azmi, 藤枝一郎, TN 配向の液晶/色素セルの蛍光の放射パターン, 第 63 回 応用物理学会春季学術講演会, 2016 年 3 月 22 日, 東京工業大学(東京都目黒区)

板屋俊介, Nada Dianah Binti M Azmi, 藤枝一郎, 色素分子の配向と V 字構造が蛍光の閉じ込めに与える影響, 第 76 回 応用物理学会秋季学術講演会, 2015 年 9 月 13 日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市熱田区)

[産業財産権]

出願状況(計 3 件)

名称: 発電モジュールおよび発電装置

発明者: 藤枝一郎

権利者: 学校法人 立命館

種類: 特許

番号: 特願 2017-064452 号

出願年月日: 平成 29 年 3 月 29 日

国内外の別: 国内

名称: 発電モジュールおよび発電装置

発明者: 藤枝一郎

権利者: 学校法人 立命館

種類: 特許

番号: 特願 2017-058006 号

出願年月日: 平成 29 年 3 月 23 日

国内外の別: 国内

名称: 発電装置および発電システム

発明者: 藤枝一郎

権利者: 学校法人 立命館

種類: 特許

番号: 特願 2016-064682 号

出願年月日: 平成 28 年 3 月 28 日

国内外の別: 国内

[その他]

インターネット報道

「発電するディスプレイ」, 日経テクノロジーオンライン, 2016 年 12 月 21 日報道。

<http://techon.nikkeibp.co.jp/atcl/news/16/122005567/?ST=device&P=5&rt=nocnt&d=1486017236408>

研究成果の社会還元活動

「発電するディスプレイ」, 立命館大学 新技術説明会, JST 東京本部別館ホール (東京・市ヶ谷), 2017年3月7日開催.

ホームページ情報

<http://www.ritsumei.ac.jp/se/re/fujieda/lab/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤枝 一郎 (FUJIEDA, Ichiro)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号: 90367996