

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 5 月 12 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560234

研究課題名(和文) 色素増感太陽電池の変換効率低下を防ぐ金属繊維材と蓄熱材による温度制御技術の開発

研究課題名(英文) A Temperature Control Development for Maintaining the Conversion Efficiency of Dye-Sensitized Solar Cells by Latent Heat Storage Material and Metal Fiber Materials

研究代表者

春木 直人 (Haruki, Naoto)

岡山大学・自然科学研究科・准教授

研究者番号：10311797

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：次世代の太陽電池である色素増感太陽電池の光電変換効率の低下防止と耐久性向上を目指して、金属繊維材を混入した潜熱蓄熱材による色素増感太陽電池の温度制御技術を開発した。この結果、潜熱蓄熱材によって色素増感太陽電池の温度を一定温度に制御することで光電変換効率の低下防止と耐久性向上になることを確認した。さらに、潜熱蓄熱材の蓄放熱特性が金属繊維材の混入による有効熱伝導率の増加と自然対流の抑制効果に影響されることも確認した。

研究成果の概要(英文)：Dye-sensitized solar cell (DSSC), which has lower manufacturing cost, its plentiful resources for DSSC production, has received considerable attention as an alternative to silicon solar cell. But, actual conversion efficiency of DSSC is not high enough (11%) and its durability is poor. In this study, it is confirmed that durability and conversion efficiency of DSSC was kept high performance by maintaining the temperature of DSSC 35 using the latent heat storage material. And mixing metal fiber materials to latent heat storage material have been investigated in order to enhance the latent heat storage and release processes of the latent heat storage material. As a result, it was found that the effective thermal conductivity of the latent heat storage material was enhanced, and the latent heat release process of the latent heat storage material with metal fiber materials was improved.

研究分野：伝熱工学

キーワード：潜熱蓄熱材 色素増感太陽電池 金属繊維材 光電変換効率

1. 研究開始当初の背景

近年、化石エネルギーの使用に伴う様々な問題（価格高騰、資源の枯渇、CO₂の排出に伴う地球温暖化の促進等）の解決や、原子力発電所の停止に起因した電力供給不足の解消のため、太陽光発電が注目されている。現在、発電に必要な太陽電池には光電変換効率が高いシリコン系太陽電池が使用されているが、高純度シリコンの枯渇化と価格高騰、製造手順が複雑であり、かつ製造コストが高いことが問題である。このため、シリコンを使用しない次世代の太陽電池として色素増感太陽電池が注目されている。

色素増感太陽電池は、低コストで製造可、室内灯でも安定発電、構造が簡単、色や形状の自由度が高い、資源的な制約が少ない等の利点を有するが、光電変換効率がシリコン系よりも低い、耐久性が低い、使用温度により光電変換効率が低下、色素の過度の凝集で光電変換効率が低下する等の欠点を有している。特に、太陽電池が設置される屋上等では、真夏の直射日光下において太陽電池セル自体が50以上の温度になるため、使用温度による光電変換効率の低下と耐久性の低下は非常に大きな問題である。

色素増感太陽電池の欠点（特に光電変換効率の低下と耐久性の低下）改善のため、従来、新たな色素や電解質溶液の探索や、電解質溶液の封入方法の改良（例：ゲル化）等の研究が行われてきた。研究代表者は、色素増感太陽電池の光電変換効率改善のために何か必要であるのかを検討した。その結果、増感色素が光触媒上で過度に凝集しても光電変換効率が低下しない増感色素の開発と、増感色素の光電変換効率の温度依存性の解消のため、色素増感太陽電池への温度制御技術に着目した。

2. 研究の目的

次世代の太陽電池である色素増感太陽電池は、光入射による発電時、増感色素の過度の凝集や増感色素の励起状態への遷移における温度特性により、一定条件以外では光電変換効率が低下することが普及の妨げとなっている。本研究では、色素増感太陽電池の光電変換効率の低下防止を目指して、凝集しても光電変換効率を低下させない新たな増感色素を見出すとともに、蓄熱材と金属繊維材を用いた熱伝導促進効果による色素増感太陽電池の温度制御技術を開発する。この結果、いかなる条件下でも色素増感太陽電池の性能が最大限発揮できることで、色素増感太陽電池の普及に貢献することが期待される。

3. 研究の方法

過度の凝集下でも光電変換効率が低下しない新たな増感色素を見出し、かつ色素増感太陽電池に金属繊維材を用いた温度制御技術を組み込むために、以下に示す研究方法によ

て課題の解明を行った。

1. 凝集による光電変換効率の低下がない新たな増感色素の開発
2. 潜熱蓄熱材を冷熱源とし、金属繊維材による色素増感太陽電池の温度制御技術の開発

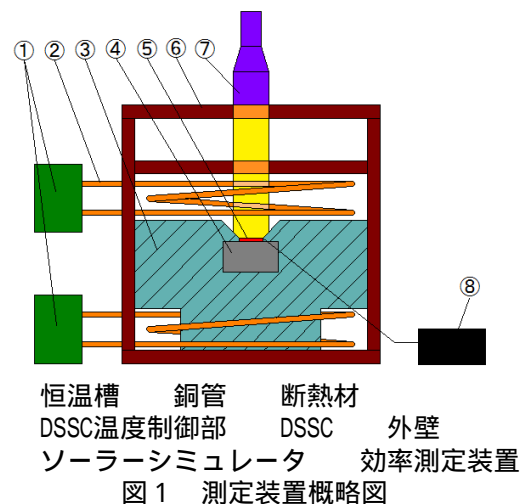
特に2に関しては、

- ・ 使用条件と目標に満足する相変化温度と十分な潜熱量を有する潜熱蓄熱材の選定
- ・ 目標を満足する冷却性能とするため、金属繊維材の種類や形状（繊維径・長さ・絡み）、および潜熱蓄熱材への金属繊維材の充填量、充填方法（均一・偏在）等が冷却効果に与える影響の把握
- ・ 放射による潜熱蓄熱材への蓄冷方法を明らかにする。

4. 研究成果

次世代の太陽電池である色素増感太陽電池は、光入射による発電時、増感色素の過度の凝集や増感色素の励起状態への遷移における温度特性により、一定条件以外では光電変換効率や耐久性が低下することが普及の妨げとなっている。本研究は、この色素増感太陽電池の光電変換効率の低下防止を目的とし、増感色素の光電変換効率の温度依存性の解消のための色素増感太陽電池に組み込まれる温度制御技術の開発を行った。

(1) まず色素増感太陽電池の光電変換効率の温度特性を調べる測定装置の製作を行った。測定装置の概略を図1に示す。製作した測定装置では、ソーラーシミュレータを用いてJISC8912で規定されている光電変換効率での測定が可能である。この測定装置では、さらに恒温水槽を使用して、高温環境下での太陽電池セルへの温度制御を想定した色素増感太陽電池セル自体とセルが設置された周囲環境の温度条件をそれぞれ個別に設定可能である。



(2) さらに、製作した光電変換効率の温度特性測定装置を用いて、色素増感太陽電池の光電変換効率の温度特性と耐久性に関する測定

を行った。なお、測定に使用した色素増感太陽電池は自作したものである。測定の結果、得られた色素増感太陽電池の保持温度と光電変換効率の耐久性の関係を図2に、保持温度と光電変換効率の関係を図3に示す。その結果、図2に示すように、色素増感太陽電池の保持温度を25 ~ 35 程度に維持することによって光電変換効率を高い状態に保持できることを見いだした。さらに図3より、色素増感太陽電池の光電変換効率を最も高く発揮する具体的な温度条件を明確に特定した。この結果、色素増感太陽電池に対して温度制御を施すという本研究の基盤技術が、実際に色素増感太陽電池の光電変換効率の低下の防止に有効であることが実験的に確認された。

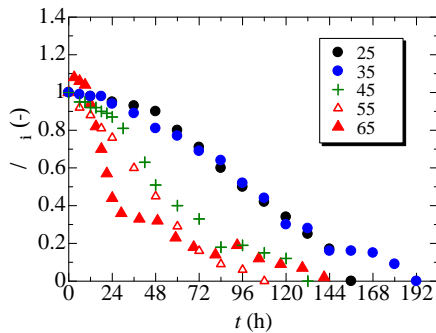


図2 色素増感太陽電池の光電変換効率の耐久性と保持温度

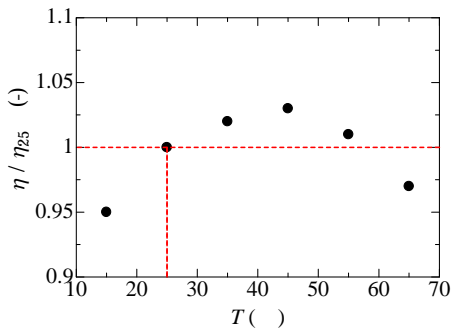


図3 色素増感太陽電池の光電変換効率と保持温度

(3) 上記の結果、色素増感太陽電池の温度制御技術が、色素増感太陽電池の性能向上に寄与することが確認されたため、潜熱蓄熱材を用いた色素増感太陽電池の温度制御技術の開発を行った。具体的には、日射条件を考慮した条件下でも温度制御が可能な色素増感太陽電池の潜熱蓄熱材による温度制御試験部を製作するとともに、潜熱蓄熱材の持つ低熱伝導性による蓄放熱特性の低下を改善するために金属繊維材を潜熱蓄熱材に混合した場合の蓄放熱特性の測定を行った。その結果、完成した温度制御装置(図4)では温度測定と熱量測定が極めて高い精度で測定可能であることが確認された。

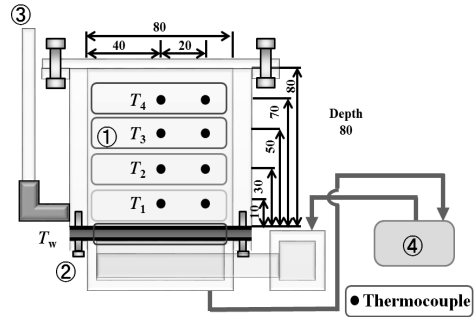


図4 金属繊維材混入潜熱蓄熱材による色素増感太陽電池の温度制御実験装置

(4) 金属繊維材を用いた潜熱蓄熱材の蓄放熱特性改善についての実験結果を図5(放熱)と図6(蓄熱)に示す。図5に示すように、放熱課程では、金属繊維材の混入によって、放熱量(Q)の経時変化が理論値(Q_{th})により短時間で漸近することが確認された。さらに、この原因が、図7に示すように、金属繊維材混入による潜熱蓄熱材の有効熱伝導率の向上であることも明らかにした。一方、図6の蓄熱課程では、金属繊維材混合による有効熱伝導率の向上に対して、液相潜熱蓄熱材で発生する自然対流を金属繊維材が抑制するため、全体として、金属繊維材を潜熱蓄熱材に混入しても、蓄熱課程の促進効果を得ることは出来なかった。さらに、金属繊維材を用いた潜熱蓄熱材の蓄放熱実験において、金属繊維材の繊維径や混入割合等の各種パラメータが蓄放熱特性に与える影響について定性的に明らかにした。その結果、蓄熱課程においては、図8に示すように金属繊維材混入潜熱蓄熱材の有効熱伝導率を用いたレイレー数とヌセルト数を用いた無次元整理が出来ることを確認した。

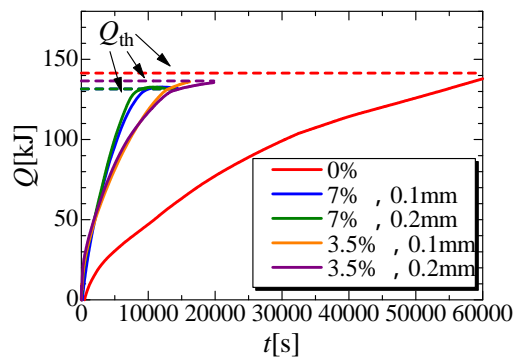


図5 放熱課程における金属繊維材混入潜熱蓄熱材の放熱量の経時変化

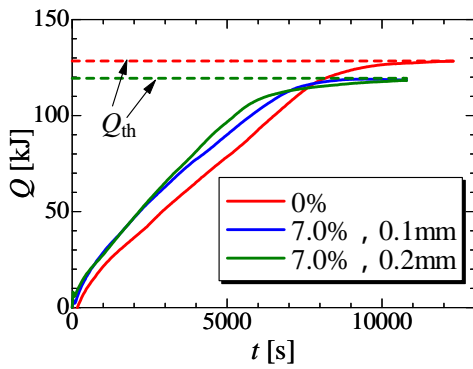


図6 蓄熱課程における金属繊維材混入潜熱蓄熱材の放熱量の経時変化

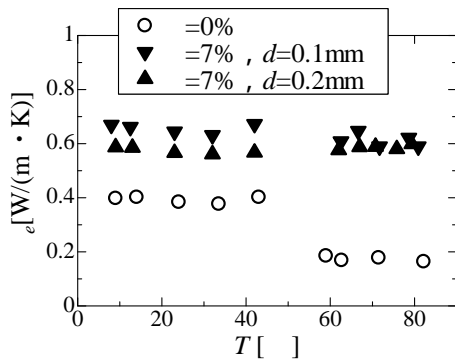


図7 各温度における金属繊維材混入潜熱蓄熱材の有効熱伝導率（繊維径d毎）

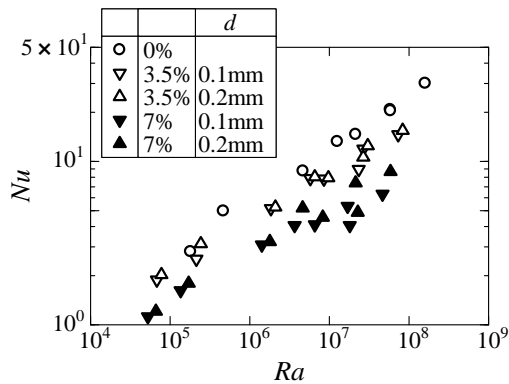


図8 各温度における金属繊維材混入潜熱蓄熱材の有効熱伝導率（繊維径d毎）

(5) さらに、図1の測定装置を用いて、潜熱蓄熱材を用いた色素増感太陽電池の温度制御実験を行い、その結果を図9に示す。図9に示すように、潜熱蓄熱材による温度制御を施すことによって、色素増感太陽電池の光電変換効率の向上と性能が長期間維持されることを確認した。

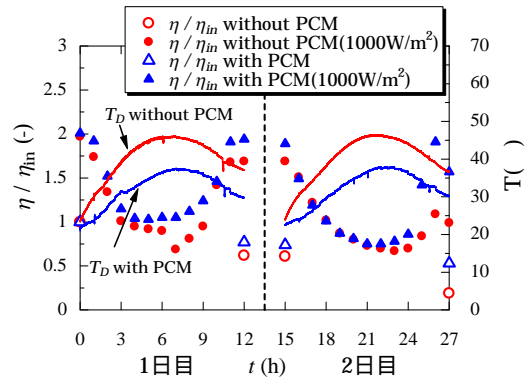


図9 色素増感太陽電池の潜熱蓄熱材による温度制御時の温度と光電変換効率の経時変化

(6) 今後の展望としては、まず図7に示した潜熱蓄熱材を用いた色素増感太陽電池の温度制御実験では、金属繊維材の混入が実際の色素増感太陽電池の性能にどのような影響を与えるのかを測定できていないため、この点を明らかにする必要がある。さらに、潜熱蓄熱材の蓄放熱特性に対する金属繊維材の持つ各種パラメータ（繊維径、混入割合等）の影響を定量的に明らかにするため、蓄放熱特性に関する実験を継続する必要がある。

また、新たな増感色素の探索に関しては、連携研究者の他大学転出のため、十分な成果を得ることが出来なかった。このため、今後も継続して探索を行う必要がある。

5. 主な発表論文等

（研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線）

〔学会発表〕（計 9 件）

春木直人, 堀部明彦, 佐野吉彦, 蜂谷晃平, 金属繊維材混合パラフィン系潜熱蓄熱材の蓄放熱挙動に及ぼす繊維径の効果, 第4回潜熱工学シンポジウム, 2014年12月11日-12日, 東京

春木直人, 堀部明彦, 佐野吉彦, 田口友章, 潜熱蓄熱材による色素増感太陽電池の温度制御技術に関する研究, 第35回日本熱物性シンポジウム, 2014年11月22日-24日, 東京

Naoto Haruki, Akihiko Horibe, Yoshihiko Sano, Kohei Hachiya, Influence of Several Parameters on Heat Storage and Release Enhancement Behavior of Latent Heat Storage Paraffin with Aluminum Fiber Materials, The 15th International Heat Transfer Conference (IHTC-15), 2014.8.10-15, Kyoto, Japan

春木直人, 堀部明彦, 佐野吉彦, 蜂谷晃平, 金属繊維材混入パラフィン系潜熱蓄熱材の蓄熱挙動における加熱面温度の効果, 第3回潜熱工学シンポジウム, 2013年11月26日-27日, 神戸

Naoto Haruki, Akihiko Horibe, Heat

Storage and Release Enhancement Effect of Latent Heat Storage Paraffin by Mixing Metal Fiber Materials, 10th Asian Thermophysical Properties Conference

(ATPC 2013), 2013.9.28-10.3, Jeju, Korea

春木直人, 堀部明彦, 澤真弘, 潜熱蓄熱パラフィンの蓄放熱挙動における金属繊維材の効果, 第50回日本伝熱シンポジウム, 2013年5月29日-31日, 仙台

田口友章, 春木直人, 堀部明彦, 須々木達也, 色素増感太陽電池の効率維持に及ぼす諸因子の検討, 日本機械学会中国四国学生会第43回学生員卒業研究発表講演会, 2013年3月7日, 高知

春木直人, 堀部明彦, 須々木達也, 色素増感太陽電池の光変換効率の熱的特性に関する研究, 第33回日本熱物性シンポジウム, 2012年10月3日-5日, 大阪

春木直人, 堀部明彦, 澤真弘, 金属繊維材を混入したパラフィン系潜熱蓄熱材の蓄放熱挙動, 2012年度日本冷凍空調学会年次大会, 2012年9月12日-14日, 札幌

6. 研究組織

(1) 研究代表者

春木 直人 (HARUKI NAOTO)

岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授

研究者番号: 10311797