

中空セラミックビーズを含む遮熱断熱塗料の性能評価と太陽電池の発電効率改善効果に関する研究

正会員 ○長井宏憲¹⁾
同 北垣亮馬²⁾
同 野口貴文³⁾

遮熱塗料 断熱性能 セラミックビーズ
太陽電池 発電効率 温度依存性

1. 研究の背景と目的

我が国の消費エネルギーの約 3 割を占める民生部門における省エネ対策は、持続可能な社会を構築する上で重要な課題である。特に快適な建築空間を実現するために消費されるエネルギーを合理的に低減し、効率のよい生活環境を実現するための新しい技術開発が求められている。本論文では、高い遮熱・断熱性能をもつ中空セラミックビーズを含む塗料（以下、遮熱断熱塗料）の性能評価試験を行うとともに、省エネ技術として近年市場競争が激しい太陽電池の発電効率改善に遮熱断熱塗料を適用するための確認実験をおこなった。

2. 実験概要

2.1 遮熱断熱塗料の断熱性能試験

遮熱断熱塗料の熱の伝達抑制効果を明らかにすることを目的として、鉄板（100×100mm、厚さ 1.2mm）上に遮熱断熱塗料を塗布した試験体片面を加熱しその裏面の表面温度を測定した。試験体は、塗布無し、遮熱断熱塗料を塗布（0.6mm 厚）、市販の遮熱塗料を塗布（0.24mm 厚）した鉄板とし、塗布面の向きを高温側・低温側に変えて温度変化を測定した。また、鉄板端部が熱橋となって高温側の熱が低温側に回り込む影響を考慮して、端部と塗布面の裏面外縁部の幅 10mm を塗料で覆った試験体を用意した。

試験体片面の加熱には電気炉を使用し、電気炉内を高温環境（60℃、100℃）とすることで常温環境（約 20℃）側の試験体表面と炉内側の試験体表面の温度差および温度変化を測定した。試験体表面温度は、炉内側を熱伝対、炉外側を接触式表面温度計により測定し、放射の影響を考慮して赤外線サーモグラフィによる測定もおこなった。実験概要を図 1 に示す。測定時間は試験体温度変化が平衡状態に達するまで（30 分）とした。

2.2 太陽電池の発電効率試験

太陽電池モジュールは主に建築物や構造物の屋上に設置されることから、日射による直接加熱と同時に、高温となった屋根面や屋上スラブによって、太陽電池の裏面の温度は 70℃ 近くまで上昇することがある。太陽電池モジュールは、その発電効率に温度依存性があり、温度が上がると発電効率は低下する。したがって、受光面だけでなく、モジュールの裏面からの温度上昇を低減することができれば太陽電池の発電効率の低下を防ぐことが可能となる。そこで、太陽電池の裏面

に遮熱断熱塗料を 0.6mm 厚で塗ったアルミ板（厚さ 1.2mm）を、塗布面の向きを変えて設置し、発電効率低下の改善効果を確認した。この実験では遮熱断熱塗料をアルミ板の両面に塗布した試験体を加えた。

太陽電池の裏面を乾燥機により高温環境（40℃、100℃）とし、発電効率の低下率を確認した。使用した太陽電池モジュールの仕様を表 1 に示す。発電効率は開放電圧 V_{oc} (Open circuit voltage) の測定によって確認し、加熱時間は太陽電池試験体の温度が平衡状態に達するまで（60 分）とした。実験概要を図 2 に示す。なお、今回の実験では試験体間の発電効率の相対比較を目的とするため、受光面の照度条件を一定とし、照射光の強度やスペクトルについては考慮していない。

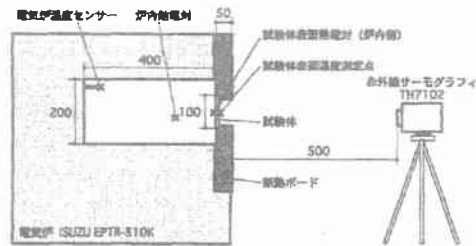


図1 断熱性試験方法の概要

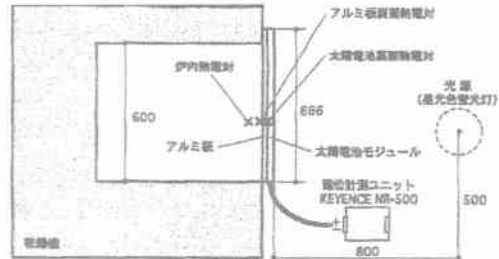


図2 断熱性試験方法の概要

表1 太陽電池モジュールの仕様

最大出力 (Pm)	30W
最大出力 動作電圧 (Vpm)	17.0V
短絡電流 (Isc)	1.88A
開放電圧 (Voc)	21.6V
寸法 (mm)	412×666×35

Research on effect of power generation efficiency improvement of solar cell module using by thermal barrier and insulation coating including midair ceramic beads

Hironori NAGAI,
Ryoma KITAGAKI, Takafumi NOGUCHI

表2 加熱後の試験体表面温度

試験体 (鉄板)	表面温度 測定部位	炉内温度 60℃		炉内温度 100℃	
		塗料塗布面		塗料塗布面	
		高温側	常温側	高温側	常温側
塗料なし	高温側	43.2		69.5	
	常温側	41.0		64.7	
市販の遮熱塗料を片面塗布	高温側	43.6	44.3	66.6	68.9
	常温側	41.2	40.0	62.5	62.9
遮熱断熱塗料を片面塗布	高温側	44.0	44.6	68.6	68.9
	常温側	41.8	38.9	64.6	64.6
遮熱断熱塗料を片面塗布(端部処理)	高温側	44.1	40.7	76.6	62.4
	常温側	42.9	36.9	70.3	59.4

3. 実験結果

3.1 断熱性能試験の結果

試験体片面加熱 30 分経過後の高温側および外部環境側の試験体表面温度を表 2 に示す。鉄板の両表面温度差は炉内 60℃設定では 2.2℃, 100℃設定では 4.8℃であった。塗料を塗った試験体については、塗布面を高温側に向けた場合、鉄板のみの温度差とほぼ同じであったが、塗布面を外部環境側に向けた場合、遮熱断熱塗料の場合には鉄板の両表面温度差は炉内 60℃設定で 5.8℃, 100℃設定で 12.2℃の温度差となり、加熱面の裏面温度の低減効果が非常に高いことが確認された。

3.2 太陽電池の発電効率試験の結果

太陽電池裏面加熱 60 分経過後の裏面温度と開放電圧 V_{oc} の変化を図 5, 図 6 に示す。3.1 で確認されたように、遮熱断熱塗料の塗布面を低温側に向けた場合、断熱効果が最も高く、炉内 100℃設定では太陽電池のみよりも 15.3℃低い温度となった。なお、塗布面を高温側に向けた場合は、アルミ板のみの場合より太陽電池の裏面温度が高くなったことから、遮熱断熱塗料によりアルミ板からの熱の放射が阻害されたと考えられる。開放電圧 V_{oc} は図 5 の温度上昇に追従して低下し、最も低下率を低く抑えたのは遮熱断熱塗料を太陽電池側に塗布した試験体で、太陽電池のみの場合と比較して 12.5%の効率改善となった。図 7 に各試験体の開放電圧の低下率を示す。

4. まとめ

塗布面の向きによって加熱面と裏面との温度差に違いが生じ、遮熱断熱塗料を高温環境の反対側の面に塗布することで、熱の伝達が大きく抑制された。これらの遮熱・断熱効果は、試験体物質の輻射率の影響が大きいことから、今後は塗布面からの熱の放射による効果に関して検証を進める。

また、遮熱断熱塗料の適用事例として、太陽電池モジュール発電効率の温度依存性に着目し、モジュールの裏面に遮熱断熱塗料を塗った金属板を設置することで太陽電池の裏面の温度上昇を防ぎ、開放電圧の低下率が 10%程度改善することを確認した。今後、実使用条件下における検証実験等を行い、遮熱断熱塗料による環境負荷低減効果を確認する。

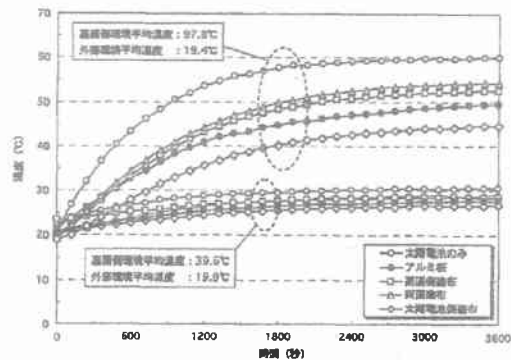


図5 太陽電池モジュール表面温度の変化

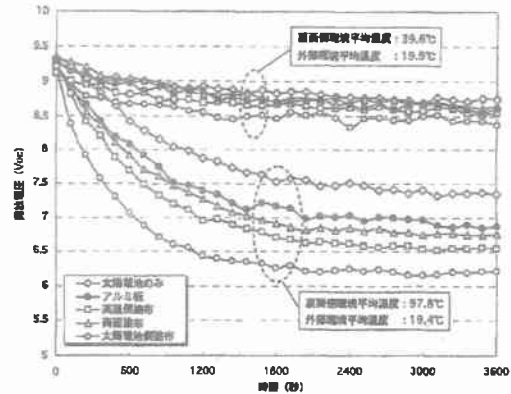


図6 太陽電池モジュールの開放電圧 V_{oc} の変化

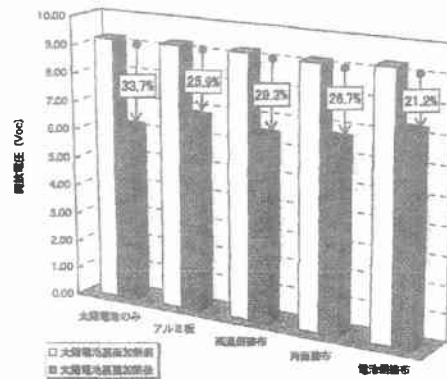


図7 太陽電池裏面加熱による開放電圧 V_{oc} 低下率

*1 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 助教 博士 (工学)

*2 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 特任研究員 博士 (工学)

*3 東京大学大学院工学系研究科建築学専攻 准教授 博士 (工学)