研究報告書

太陽光パネルへの導水シート貼付による
発電効率向上効果に関する実測調査

2012 年 10 月

大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻

地域環境計画研究室

細川　佳輝

目次

1 研究の背景・目的 5
2 研究の新規性 5
3 人工気象室内における発電量実測調査 6
3.1 実測期間・場所 6
3.2 実測設備 6
3.2.1 人工気象室(テクノラマ) 6
3.2.2 太陽光発電モジュール 7
3.2.3 導水シート貼付概要 8
3.2.4 貯水タンク設置概要 8
3.3 実測方法 9
3.3.1 太陽光発電モジュール設置 9
3.3.2 人工気象室条件制御 10
3.3.3 日射量分布確認 10
3.3.4 モジュール発電量測定 11
3.3.5 実測手順 13
3.4 実測結果 14
3.4.1 人工気象室内温湿度 14
3.4.2 日射量分布 15
3.4.3 モジュール裏面温度分布 17
3.4.4 蒸発量 19
3.4.5 セル温度低下 21
3.4.6 セル温度低下と発電効率・出力比の関係 23
3.5 まとめ 27
4 屋外における発電量実測調査 28
4.1 実測期間・場所 28
4.2 実測設備 28
4.2.1 太陽光発電モジュール 28
4.2.2 導水シート貼付概要 29
4.2.3 導水シートサンプル貼付概要 29
4.2.4 貯水タンク設置概要 30
4.3 実測方法 30
4.3.1 太陽光発電モジュール設置 30
4.3.2 気象観測 31
4.3.3 導水シート性能確認 31
4.3.4 モジュール発電量測定 32

4.3.5 実測手順 33
4.4 実験結果 34
4.4.1 気象条件 34
4.4.2 導水シート性能 34
4.4.3 モジュール裏面温度分布 35
4.4.4 蒸発量 36
4.4.5 セル温度低下 37
4.4.6 セル温度低下と発電効率・出力比の関係 38
4.5 まとめ 41
5 今後の課題 42

1 研究の背景・目的

太陽光発電システムは，太陽の日射エネルギーを利用したクリーンなエネルギーとして普及が進んでいる一方，さらなる発電効率の上昇が望まれている．太陽光パネルは，セル温度の上昇とともに発電効率が低下するという特性を持つ．このため，セル温度の上昇を抑え，発電効率の低下を防ぐ方法を考える必要がある．そこで，本研究では，太陽光発電モジュール裏面へ導水シートを貼付し，その導水・保水効果を利用することにより，モジュール全面に水をいきわたらせ，セル温度を低下，発電効率を上昇させる方法を考える．

導水シートとは，優れた吸水・拡散性能を有し，動力装置なしで一定面積に水などの液体を運ぶものである．屋上緑化システムにおける植物への水分補給や，テニスコートにおける気化熱による蒸散作用を目的として使用されている．図 1-1 に導水シートを，図 1-2 に事前に示されている導水シート性能を示す．

図 1-1　導水シート

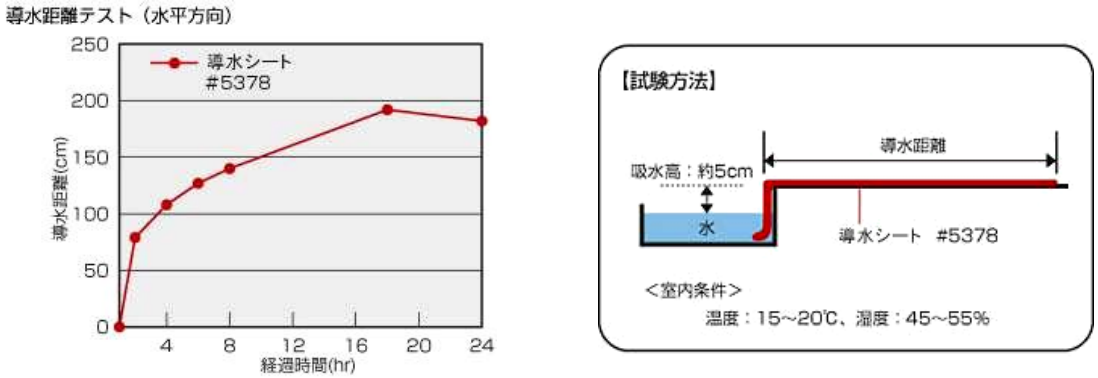


図 1-2　導水シート性能 [1)]

2 研究の新規性

太陽光発電モジュール表面・裏面にミスト噴霧を行った際，ミストがモジュール全面にいきわたらなかったため，温度の高い部分が残り，発電効率の上昇を妨げる原因となった．本研究の新規性は，太陽光発電モジュール裏面への導水シート貼付であり，これにより，モジュール全面に水をいきわたらせ，発電効率の上昇により高い効果を得ることができると考える．

3 人工気象室内における発電量実測調査

3.1 実測期間・場所

2012 年 6 月 26 日～29 日に，東レ株式会社瀬田工場の人工気象室(テクノラマ)にて，実測調査を行う．実測場所については以下のとおり．

東レ株式会社瀬田工場　人工気象室(テクノラマ)

住所：滋賀県大津市大江 1 丁目 1 番 1 号

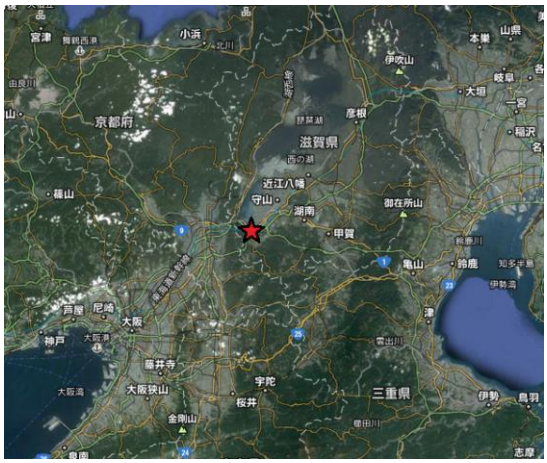


図 3-1　東レ株式会社瀬田工場　地図

3.2 実測設備

3.2.1 人工気象室(テクノラマ)

東レ株式会社瀬田工場が保有する人工気象室(テクノラマ)は，温度，湿度，降雨，風速，照度，降雪を制御することによって，ブリザードが吹き荒れる極地気候や，乾燥した砂漠，高湿度の熱帯ジャングルなど世界のあらゆる気象環境を再現することができる [2)]．図 3-2 に人工気象室概要を，図 3-3 に人工気象室内観を示す．

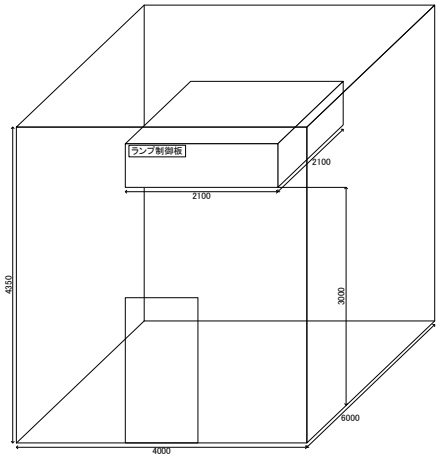


図 3-2　人工気象室概要

図 3-3　人工気象室内観

3.2.2 太陽光発電モジュール

太陽光発電モジュールは，156mm 四方の多結晶シリコンセル 54 枚で構成されており，最大出力は 195W である．2 つのモジュール(以下，モジュール A，モジュール B)を用意し，それぞれのモジュールのセルには熱電対を 3 か所(左下部，中央部，右上部)ずつ，モジュール裏面には熱電対を 5 か所(左下部，右下部，中央部，左上部，右上部)ずつ取り付けている．また，モジュール B の裏面には導水シートを貼付し，導水シート両端は貯水タンク内の水に常時浸している．表 3-1 に太陽光発電モジュール特性を，図 3-4，図 3-5 にモジュール A，B セル熱電対取付概要を，図 3-6，図 3-7 にモジュール A，B 裏面熱電対取付概要を，図 3-8，図 3-9 にモジュール A，B を示す．

表 3-1　太陽光発電モジュール特性

型式	FMC-195BS	太陽電池セル	多結晶シリコン 54 枚
フロントカバー	白板強化ガラス	最大出力(Pm)	195W
充填材	EVA	最大出力動作電圧(Vpm)	26.5V
バックカバー	耐候性 PET	最大出力動作電流(Ipm)	7.37A
サイズ	1482×985×35mm	開放電圧(Voc)	33.1V
重量	17.0kg	短絡電流(Isc)	7.90A

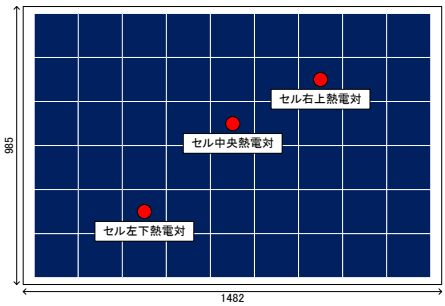


図 3-4　モジュール A セル熱電対取付概要

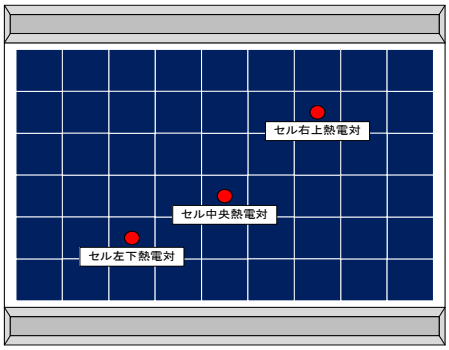


図 3-5　モジュール B セル熱電対取付概要

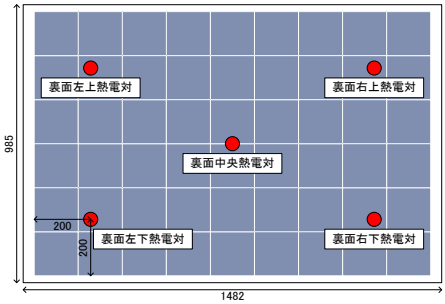


図 3-6　モジュール A 裏面熱電対取付概要

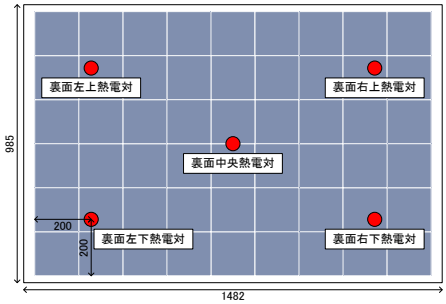


図 3-7　モジュール B 裏面熱電対取付概要

図 3-8　モジュール A

図 3-9　モジュール B

3.2.3 導水シート貼付概要

モジュール B の裏面に導水シートを隙間なく貼付する．本実測では，両面テープを使用して貼付する．図 3-10，図 3-11 に，導水シート貼付状況を示す．

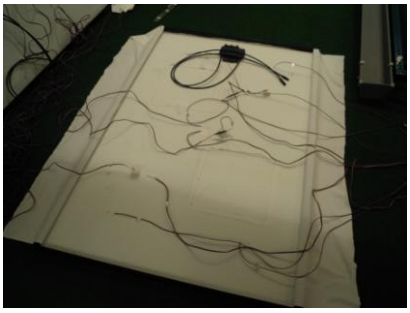


図 3-10　導水シート貼付状況(設置前)

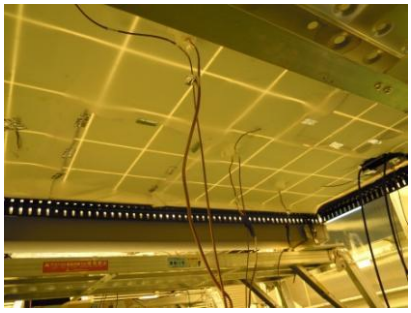


図 3-11　導水シート貼付状況(設置後)

3.2.4 貯水タンク設置概要

モジュール B の導水シート両端を貯水タンク内の水に浸す．本実測では，角型横引トイを使用し，モジュール架台に固定する．また，貯水タンク内の水の蒸発を防ぐため，貯水タンクを透明ラップで覆う．図 3-12 に貯水タンク設置状況を，図 3-13 に蒸発防止用ラップ設置概要を示す．

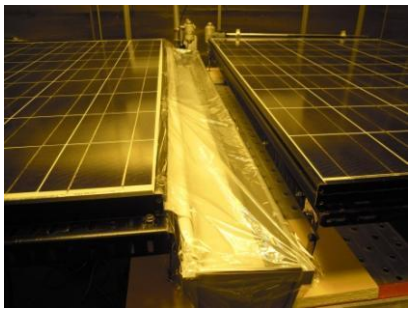


図 3-12　貯水タンク設置状況

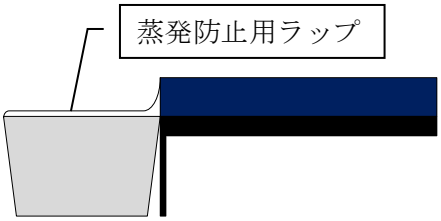


図 3-13　蒸発防止用ラップ設置概要

3.3 実測方法

3.3.1 太陽光発電モジュール設置

人工気象室に，太陽光発電モジュールを高さ 1.1m，傾斜角 0 度で 2 台並べて設置する．この際，ランプ影響範囲(2.1m×2.1m)に収まるように設置する．図 3-14，図 3-15 に太陽発電モジュール設置概要を，図 3-16 に太陽光発電モジュール設置状況を示す．

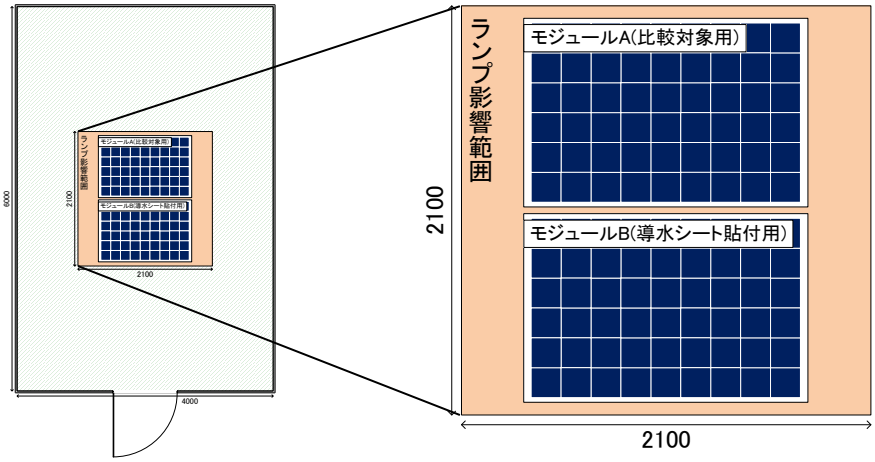


図 3-14　太陽光発電モジュール設置概要①

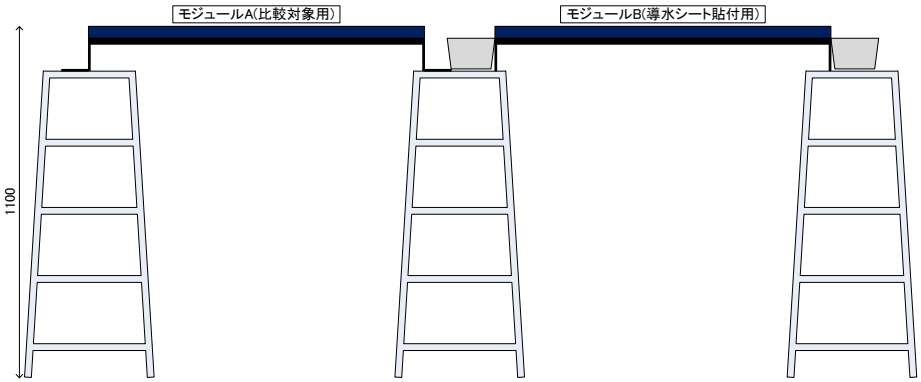


図 3-15　太陽光発電モジュール設置概要②

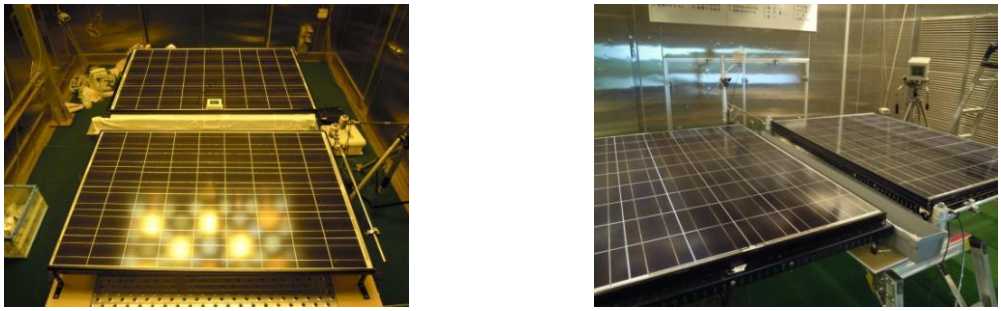


図 3-16　太陽光発電モジュール設置状況

3.3.2 人工気象室条件制御

人工気象室内の温度, 湿度の制御を行う. 制御内容は, 温度 3 パターン(20℃, 25℃, 35℃), 湿度 2 パターン(40%，55%)の組み合わせで，計 5 パターン(6 回)で行う．表 3-2 に，人工気象室制御条件を示す.

表 3-2　人工気象室制御条件

制御項目	制御①	制御②	制御③	制御④	制御①’	制御⑤
温度	25℃	35℃	25℃	35℃	25℃	20℃
湿度	40%	40%	55%	55%	40%	40%

実測を行う際に，人工気象室内の温湿度の測定を行う．表 3-3 に人工気象室測定条件を，図 3-17 に測定機器設置状況示す.

表 3-3　人工気象室測定条件

測定項目	測定機器	測定間隔
温度 湿度	温湿度センサーCS500 温度：Pt1000 湿度：INTERCAP	10 秒間隔

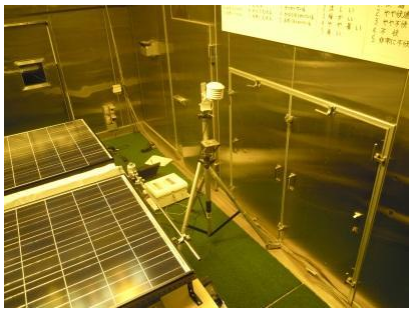


図 3-17　測定機器設置状況

3.3.3 日射量分布確認

日射量分布を確認するため，日射計を設置して，各モジュール 9 点ずつ，計 18 点における日射量を測定する．ただし，人工気象室内には 3 色のランプがランダムに多数配置されており，3 色すべてのランプを点灯する．この際，日射量はほぼ一定である.

人工気象室内の波長はランプで照射しているため，実環境の太陽の波長とは異なる可能性がある．実環境の太陽の波長は 300～3000nm であるが，日射計 PCR-02 は 305～2800nm (50%points)の波長を感知するのに対し，日射計 HT304N(多結晶シリコン型)，太陽電池セル(多結晶シリコン型)は主に 600～1100nm の波長を感知できる．本実測では，太陽電池セルの感知波長域に合わせるため，日射計 HT304N を用いる．しかし，日射計 HT304N では日射量の経時変化がみられないため，日射計 PCR-02 を用いて日射量の経時変化を確認する．表 3-4 に日射量測定条件を, 図 3-18 に日射計 PCR-02 を, 図 3-19 に日射計 HT304N を, 図 3-20 に日射量測定概要を，図 3-21 日射量測定状況を示す.

表 3-4　日射量測定条件

測定項目	測定機器	測定間隔
水平面日射量	日射計 HT304N 日射測定用リファレンスセル 単結晶・多結晶シリコン接続用端子あり	-

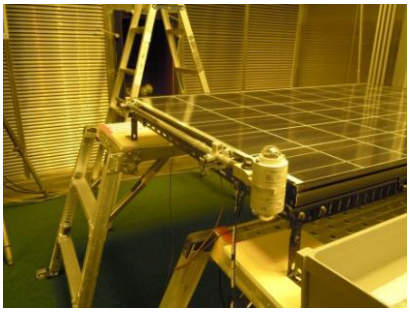


図 3-18　日射計 PCR-02

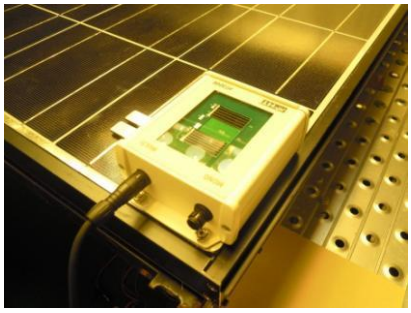


図 3-19　日射計 HT304N

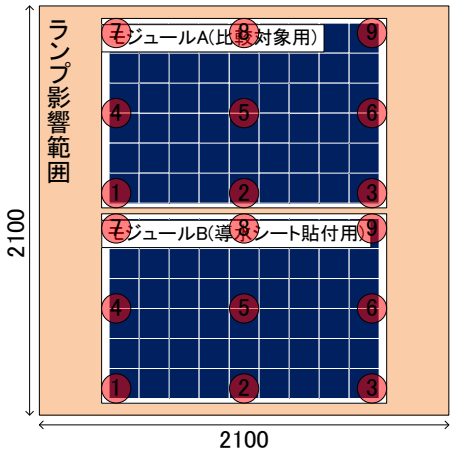


図 3-20　日射量測定概要

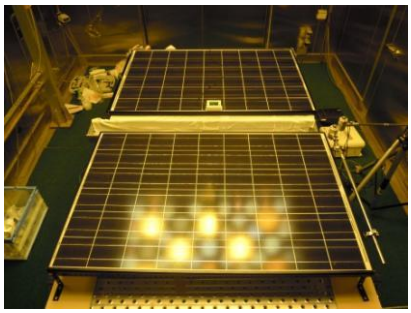


図 3-21　日射量測定状況

3.3.4 モジュール発電量測定

モジュール A(比較対象用)とモジュール B(導水シート貼付用)の発電量を測定する．この際，導水シートサンプルを切り取り，その重量変化と貯水タンク内水重量変化より，導水シートからの蒸発量を求める．表 3-5 に測定条件を，次に蒸発量算出の手順を示す．

表 3-5　測定条件

測定項目	測定機器	測定間隔
セル温度	T 型熱電対	10 秒間隔
モジュール裏面温度		
発電量	I-V カーブトレーサ I-V400	—
導水シートサンプル重量変化	電子天秤	—
貯水タンク内水重量変化	電子天秤	—

導水シートサンプル重量変化と貯水タンク内水重量変化により，導水シートからの蒸発量を求める．まず，導水シートに，霧吹きを用いて水 500g を吹きかけ湿潤状態にし，導水シートからの蒸発は貯水タンクからの給水で補えるとみなすと，蒸発量は貯水タンクの重量変化で求めることができる．この際，導水シートサンプルの重量変化はない．しかし，貯水タンクからの給水で補えない場合は，導水シートは徐々に乾燥していく．つまり，蒸発量は導水シートサンプル重量変化と貯水タンク内水重量変化の和で求めることができる．図 3-22 に導水シートサンプル取付概要を, 図 3-23 に導水シートサンプル取付状況を示す.

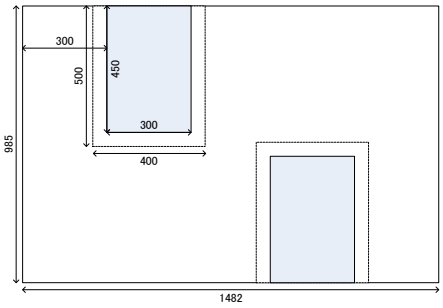


図 3-22　導水シートサンプル取付概要

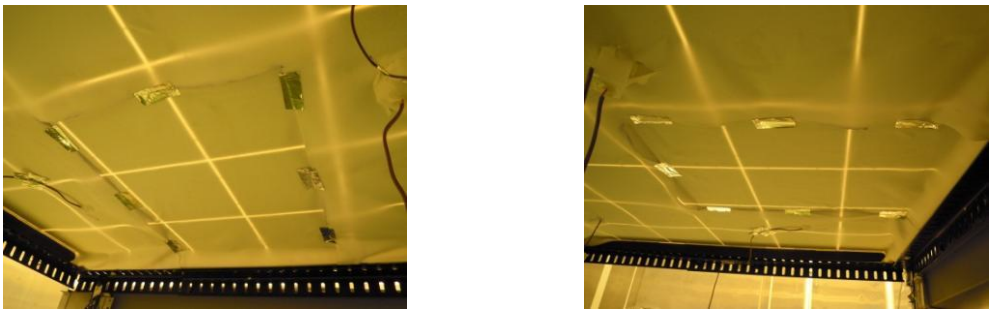
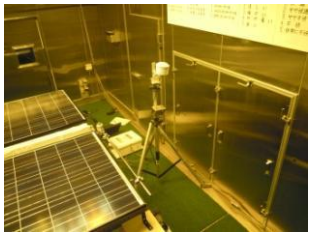


図 3-23　導水シートサンプル取付状況

3.3.5 実測手順

実測手順を，以下①～⑧に示す.

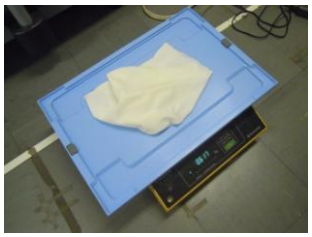
①人工気象室内の温度，湿度の制御を行う



②温湿度安定後，ランプを照射する

③セル温度安定後，導水シートに水を吹きかけ湿潤状態にする

④導水シートサンプルの重量を測定する



⑤貯水タンクの重量を測定する

⑥モジュール A(比較対象用)，モジュール B(導水シート貼付用)
の発電量を 5 回ずつ測定する

⑦貯水タンクの重量を測定する

⑧導水シートサンプルの重量を測定する

3.4 実測結果

3.4.1 人工気象室内温湿度

図 3-24～図 3-29 に人工気象室内温湿度の経時変化を，表 3-6 に人工気象室内の平均温度・平均湿度を示す．ただし，人工気象室内温湿度の経時変化は，温湿度制御，ランプ照射を行い，温湿度が安定してから制御を止めるまでの経時変化である．

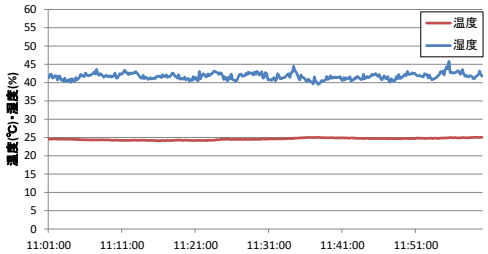


図 3-24　人工気象室内温湿度
制御①(25℃・40%)

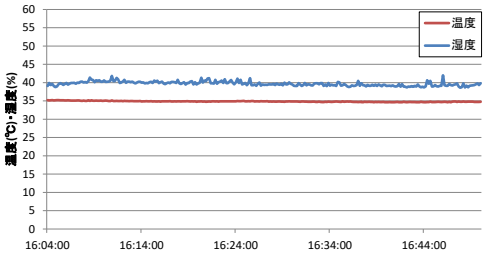


図 3-25　人工気象室内温湿度
制御②(35℃・40%)

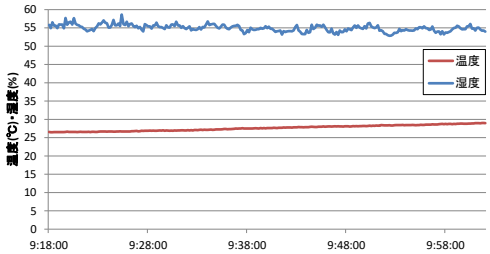


図 3-26　人工気象室内温湿度
制御③(25℃・55%)

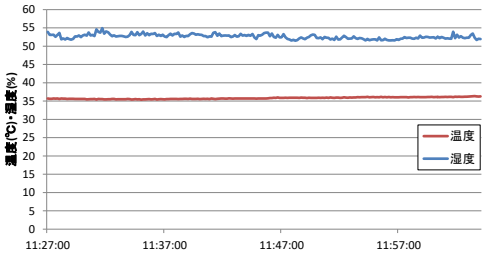


図 3-27　人工気象室内温湿度
制御④(35℃・55%)

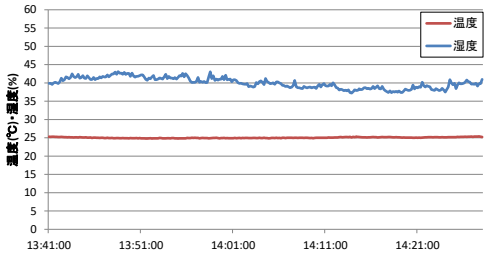


図 3-28　人工気象室内温湿度
制御①'(25℃・40%)

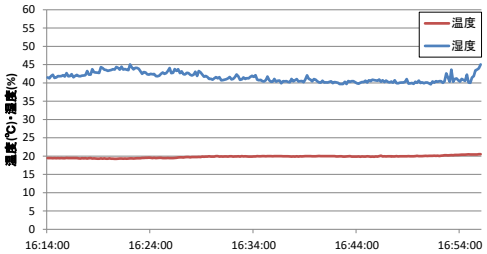


図 3-29　人工気象室内温湿度
制御⑤(20℃・40%)

表 3-6　人工気象室内　平均温度・平均湿度

	制御① 25℃・40%	制御② 35℃・40%	制御③ 25℃・55%	制御④ 35℃・55%	制御①' 25℃・40%	制御⑤ 20℃・40%
平均温度(℃)	24.6	34.9	27.6	35.8	25.0	19.8
平均湿度(%)	41.7	39.7	54.9	52.6	40.0	41.5

各制御において，温湿度をほぼ一定に保つことができることを確認できる．しかし，湿度 55%制御(制御③，制御④)では，温度が若干であるが上昇傾向にある．つまり，人工気象室は，高湿度では温度制御が難しいことが考えられる．

3.4.2 日射量分布

図 3-30，図 3-31 に，モジュール A とモジュール B の 9 点×2 における日射量を示す．ただし, 図 3-30 では日射計 PCR-02 の日射量測定値は 473.5W/m^2, 図 3-31 では日射計 PCR-02 の日射量測定値は 505.8W/m^2 である．

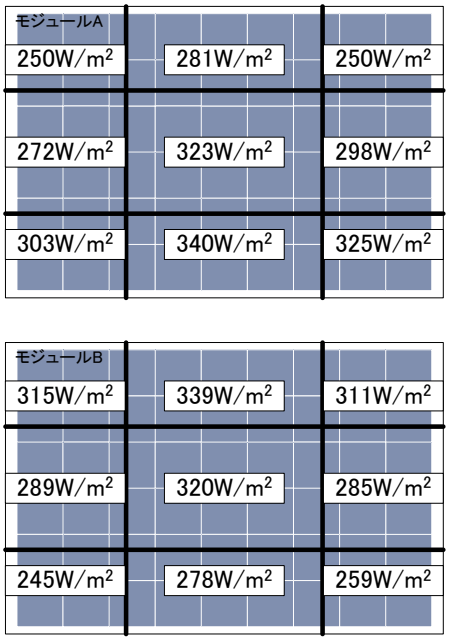


図 3-30　日射計 HT304N 日射量分布
(日射計 PCR-02 日射量 473.5W/m^2)

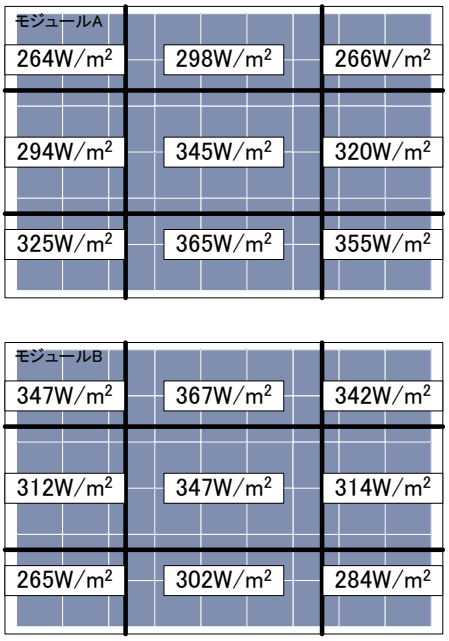
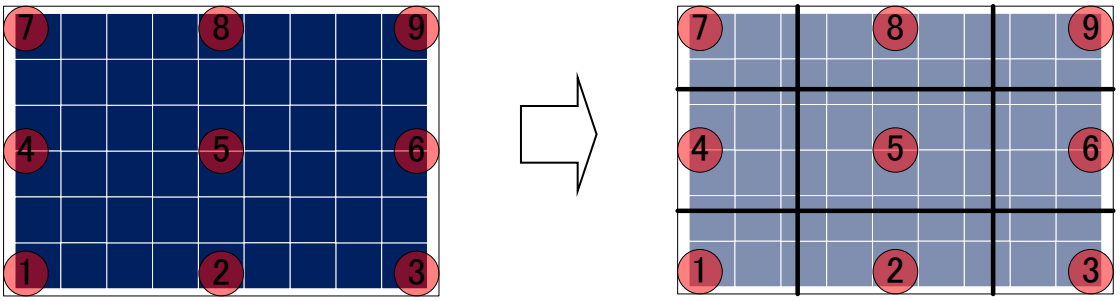


図 3-31　日射計 HT304N 日射量分布
(日射計 PCR-02 日射量 505.8W/m^2)

日射計 PCR-02 日射量は 500W/m^2 前後であるのに対し, 日射計 HT304N 日射量は 300W/m^2 前後である．これは，日射計 PCR-02 の感知波長域は 305～2800nm(50%points)であるのに対し，日射計 HT304N の感知波長域は 600～1100nm であり，人工気象室内のランプの波長は実環境よりも長い波長が多く，その波長を感知できなかったためであると考えられる．しかし，太陽電池セルの感知波長域が 600～1100nm のため，本実測では，日射計 HT304N 日射量を用いる．

また，モジュール A，モジュール B ともに，日射量のばらつきを確認できる．そのばらつきは，ランプ影響範囲の中央ほど日射量が大きく，端ほど日射量が小さくなることがわかる．そこで，モジュール全体に照射された日射量を求めるため，図 3-32 のように，モジュールを 9 分割し各領域の面積を重付することによって，モジュール面日射量を求める．表 3-7 に，日射計 PCR-02 日射量 473.5W/m^2，505.8W/m^2 の際の，モジュール A とモジュール B の面積重付平均日射量の算出結果を示す．また，図 3-33，図 3-34 に，モジュール A，モジュール B の，日射計 PCR-02 日射量と日射計 HT304N 日射量の関係を示す．これにより，各制御において測定された日射計 PCR-02 日射量より，モジュール面日射量を求めることができる．



$$\text{面積重付平均日射量}(\mathrm{W/m^2}) = \frac{①\times1+②\times2+③\times1+④\times2+⑤\times4+⑥\times2+⑦\times1+⑧\times2+⑨\times1}{16}$$

図 3-32　面積重付平均

表 3-7　面積重付平均日射量　算出結果

	面積重付平均日射量(W/m^2)	
	日射計 PCR-02 日射量 473.5W/m^2	日射計 PCR-02 日射量 505.8W/m^2
モジュール A	300.1	321.5
モジュール B	299.5	326.0

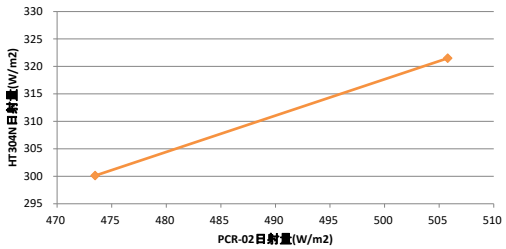


図 3-33　PCR-02・HT304N 日射量関係
モジュール A

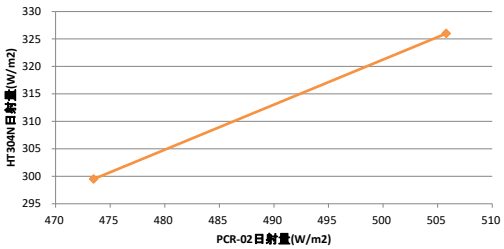


図 3-34　PCR-02・HT304N 日射量関係
モジュール B

3.4.3 モジュール裏面温度分布

図 3-35～図 3-40 に，モジュール A とモジュール B の 5 点(左下，右下，中央，左上，右上)における裏面温度を示す．ただし，モジュール裏面温度は，モジュール A とモジュール B の発電量を測定する間の平均温度である．また，モジュール裏面温度のばらつきを確認するため，図 3-41 に，モジュール裏面温度の標準偏差を示す．

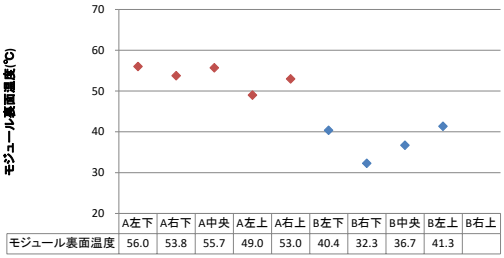


図 3-35　モジュール裏面温度
制御①(25℃・40%)

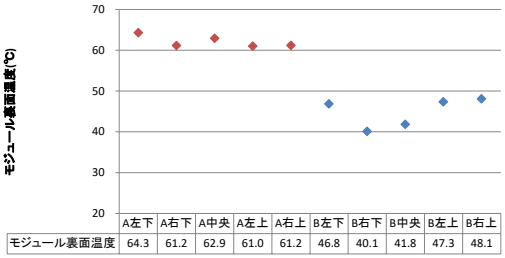


図 3-36　モジュール裏面温度
制御②(35℃・40%)

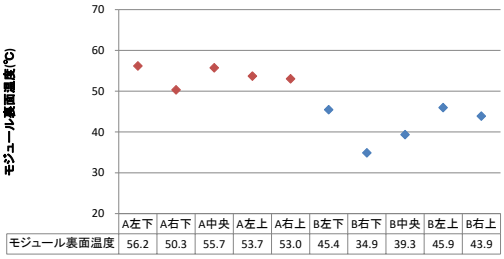


図 3-37　モジュール裏面温度
制御③(25℃・55%)

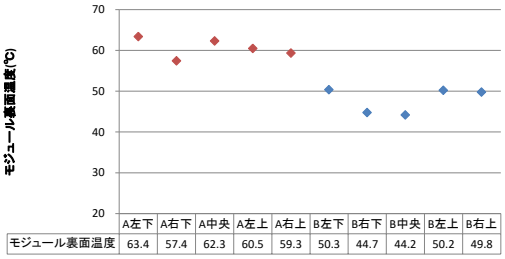


図 3-38　モジュール裏面温度
制御④(35℃・55%)

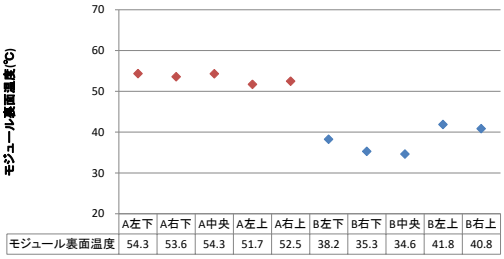


図 3-39　モジュール裏面温度
制御①'(25℃・40%)

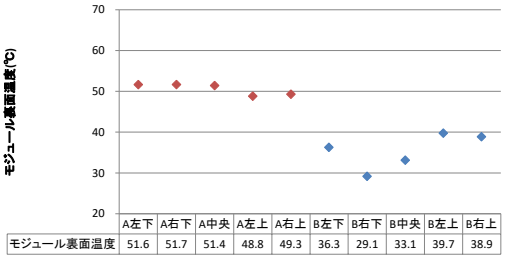


図 3-40　モジュール裏面温度
制御⑤(20℃・40%)

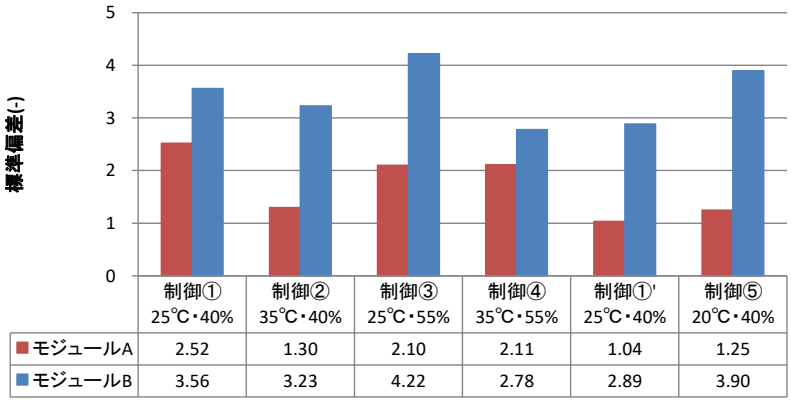


図 3-41　モジュール裏面温度　標準偏差

各制御において，モジュール A 裏面温度のばらつきは小さいのに対し，モジュール B 裏面温度のばらつきは大きく，右下，中央の温度が低いことを確認できる．また，モジュール A 裏面温度の標準偏差は 1.04～2.52 であるのに対し，モジュール B 裏面温度の標準偏差は 2.78～4.22 であることからも，モジュール B 裏面温度のばらつきが大きいことを確認できる．これは，モジュール B では，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらなかったためであると考えられる．モジュール温度分布を確認するため，図 3-42，図 3-43 に，モジュール A とモジュール B の熱画像を示す．

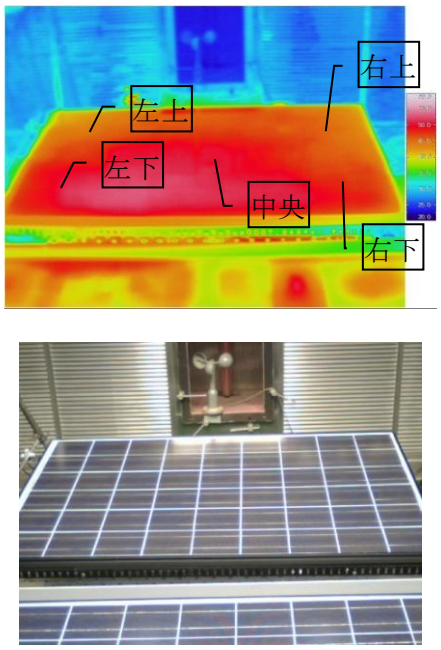


図 3-42　モジュール A 熱画像

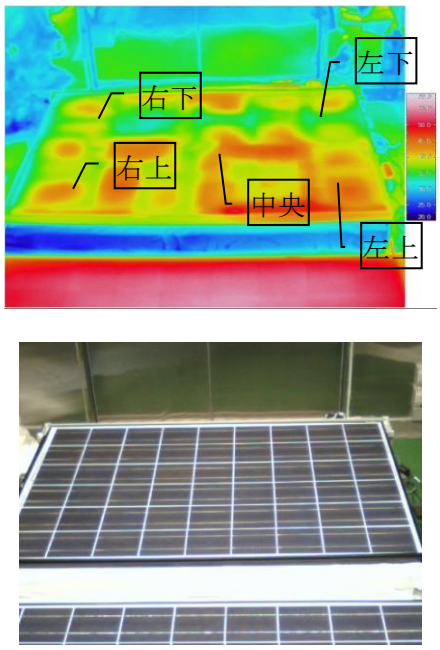


図 3-43　モジュール B 熱画像

3.4.4 蒸発量

表 3-8 に導水シート重量変化と貯水タンクからの給水量の算出結果を，図 3-44 に導水シートからの蒸発量を示す．ただし，蒸発量は，式 1 により算出する．

$$\text{蒸発量}(kg/m^2h) = \text{導水シート重量変化}(kg/m^2h) + \text{貯水タンク給水量}(kg/m^2h) \qquad \text{式 1}$$

表 3-8　導水シート重量変化・貯水タンク給水量　算出結果

	制御① 25℃・40%	制御② 35℃・40%	制御③ 25℃・55%	制御④ 35℃・55%	制御①' 25℃・40%	制御⑤ 20℃・40%
導水シート重量変化 (kg/m^2h)	0.06	0.17	0.13	0.16	0.10	0.07
貯水タンク給水量 (kg/m^2h)	0.36	0.37	0.29	0.34	0.30	0.25

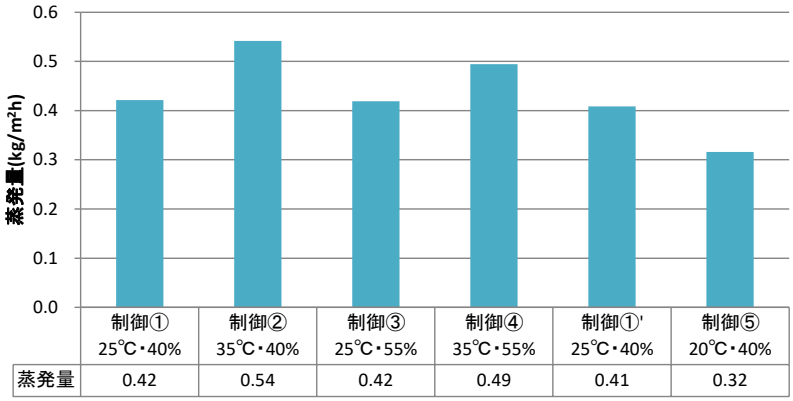


図 3-44　導水シートからの蒸発量

導水シートが常に湿潤状態で一定の場合，導水シート重量変化は 0 である．しかし，導水シート重量変化はあり，貯水タンクからの給水で補えていない．つまり，給水が追いついていないことを確認できる．このため，蒸発量を，式 1 により算出する．

各制御において，蒸発量は 0.32～0.54kg/m²h である．次に，同温度，同湿度における比較を行う．

・同温度(25℃，35℃)における比較

制御①(25℃・40%)と制御③(25℃・55%)を比較すると，制御①では蒸発量は 0.42kg/m²h であるのに対し，制御③では蒸発量は 0.42kg/m²h である．つまり，湿度によらず，蒸発量はほとんど変化しないことがわかる．また，制御②(35℃・40%)と制御④(35℃・55%)を比較すると，制御②では蒸発量は 0.54kg/m²h であるのに対し，制御④では蒸発量は 0.49kg/m²h である．これは，温度が高い状態では，湿度が高くなると蒸発が起こりにくくなるためであると考えられる．

・同湿度(40%，55%)における比較

制御①(25℃・40%)と制御②(35℃・40%)と制御⑤(20℃・40%)を比較すると，制御①では蒸発量は 0.42kg/m²h であるのに対し，制御②では蒸発量は 0.54kg/m²h，制御⑤では蒸発量は 0.32kg/m²h である．これは，温度が高い状態では，蒸発が起こりやすいためであると考えられる．また，制御③(25℃・55%)と制御④(35℃・55%)を比較すると，制御③では蒸発量は 0.42kg/m²h であるのに対し，制御④では蒸発量は 0.49kg/m²h である．つまり，湿度が高くなっても，温度が高い状態では蒸発が起こりやすいことを確認できる．

図 3-45 に，絶対湿度差と蒸発量の関係を示す．ただし，絶対湿度差は，モジュール裏面(飽和と仮定)と空気の絶対湿度差である．

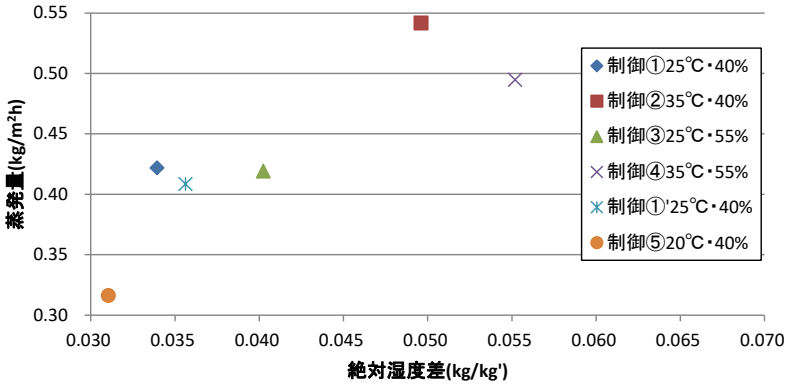


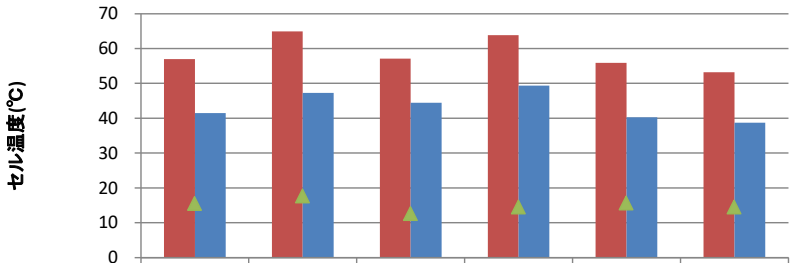
図 3-45　絶対湿度差と蒸発量の関係

絶対湿度差と蒸発量の関係より，モジュール裏面と空気の絶対湿度差が大きいほど，導水シートからの蒸発量が大きくなるという関係を確認できる．しかし，湿度 55%の時に，絶対湿度差に対する蒸発量が小さいことがわかる．絶対湿度差を蒸発可能量とみなすと，まだ蒸発できる余地がある．つまり，モジュール裏面を飽和と仮定したが，湿度 55%の時には，湿度 40%の時に比べ，モジュール裏面温度が高く，飽和の仮定が成り立たなかったと考えられる．

以上より，温湿度条件によってモジュール裏面と空気の絶対湿度差が大きい時に，導水シートからの蒸発が起こりやすいことがわかった．

3.4.5 セル温度低下

図 3-46 に，モジュール A とモジュール B のセル温度とセル温度低下を示す．ただし，セル温度は，モジュール A とモジュール B の発電量を測定する間の平均温度であり，また，3 点(左下，中央，右上)における平均値である．



	制御① 25℃・40%	制御② 35℃・40%	制御③ 25℃・55%	制御④ 35℃・55%	制御①' 25℃・40%	制御⑤ 20℃・40%
■モジュールA	56.9	64.9	57.1	63.9	55.9	53.2
■モジュールB	41.5	47.3	44.5	49.4	40.2	38.7
▲セル温度低下	15.5	17.6	12.6	14.5	15.6	14.5

図 3-46　モジュール A・B セル温度とセル温度低下

各制御において，モジュール A セル温度は 53.2～64.9℃であるのに対し，モジュール B セル温度は 38.7℃～49.4℃であり，セル温度低下は 12.6～17.6K である．これは，モジュール B では，導水シートからの蒸発冷却効果がセル温度低下に働いたためであると考えられる．次に，同温度，同湿度における比較を行う．

・同温度(25℃，35℃)における比較

制御①(25℃・40%)と制御③(25℃・55%)を比較すると，制御①ではセル温度低下は 15.5K であるのに対し，制御③ではセル温度低下は 12.6K である．これは，湿度が高い状態では，蒸発冷却効果が小さくなったためであると考えられる．また，制御②(35℃・40%)と制御④(35℃・55%)を比較すると，制御②ではセル温度低下は 17.6K であるのに対し，制御④ではセル温度低下は 14.5K である．つまり，温度が高くなっても，湿度が高い状態では蒸発冷却効果が小さいことを確認できる．

・同湿度(40%，55%)における比較

制御①(25℃・40%)と制御②(35℃・40%)と制御⑤(20℃・40%)を比較すると，制御①ではセル温度低下は 15.5K であるのに対し，制御②ではセル温度低下は 17.6K，制御⑤ではセル温度低下は 14.5K である．これは，温度が高い状態では，蒸発冷却効果が大きくなったためであると考えられる．また，制御③(25℃・55%)と制御④(35℃・55%)を比較すると，制御③ではセル温度低下は 12.6K であるのに対し，制御④ではセル温度低下は 14.5K である．つまり，湿度が高くなっても，温度が高い状態では蒸発冷却効果が大きいことを確認できる．

図 3-47 に，導水シートからの蒸発量とセル温度低下の関係を示す．

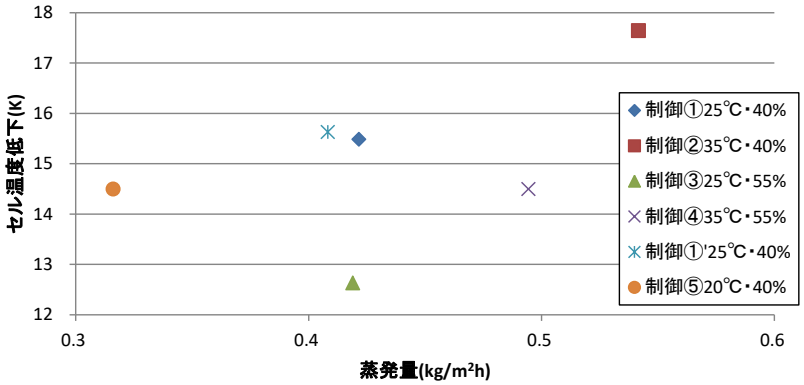


図 3-47　蒸発量とセル温度低下の関係

導水シートからの蒸発量とセル温度低下の関係より，導水シートからの蒸発量が大きいほど，セル温度低下が大きくなるという関係を確認できる．また，湿度が低い場合は蒸発量に対するセル温度低下の割合が大きいのに対し，湿度が高い場合は蒸発量に対するセル温度低下の割合が小さいことも確認できる．

以上より，導水シートからの蒸発量が大きい時に蒸発冷却効果が大きく，セル温度低下により大きく働き，低湿度の方が高湿度より蒸発冷却効果が大きく，セル温度低下により大きく働くことがわかった．

3.4.6 セル温度低下と発電効率・出力比の関係

図 3-48～図 3-53 に，セル温度と発電効率の関係を示す．ただし，発電効率は，式 2 により算出する．発電量は，5 回の測定の平均値を用いる．

$$\text{発電効率}(\%) = \frac{\text{発電量}(\mathrm{W})}{\text{モジュール面日射量}(\mathrm{W/m^2}) \times \text{モジュール面積}(\mathrm{m^2})} \times 100 \qquad \text{式 2}$$

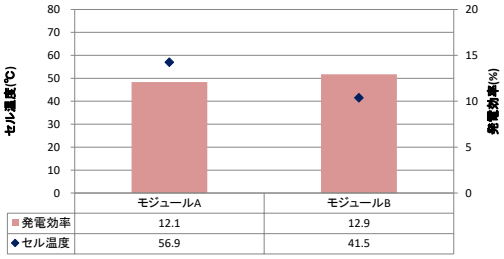


図 3-48　セル温度と発電効率
制御①(25℃・40%)

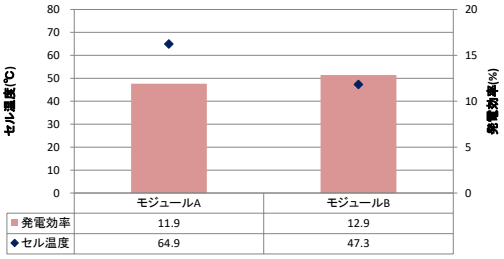


図 3-49　セル温度と発電効率
制御②(35℃・40%)

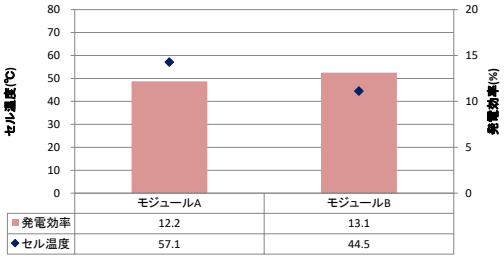


図 3-50　セル温度と発電効率
制御③(25℃・55%)

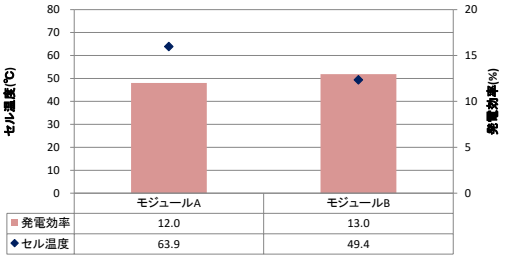


図 3-51　セル温度と発電効率
制御④(35℃・55%)

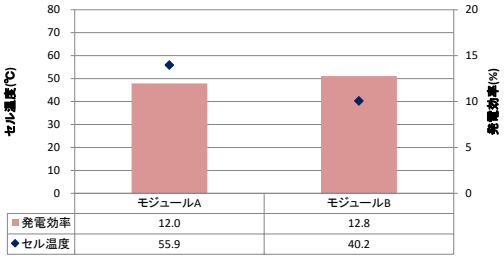


図 3-52　セル温度と発電効率
制御①'(25℃・40%)

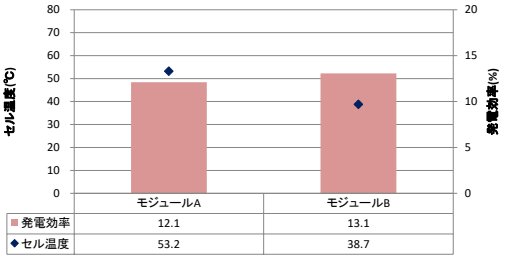


図 3-53　セル温度と発電効率
制御⑤(20℃・40%)

各制御において，セル温度が低下すると発電効率が上昇するという関係を確認できる．発電効率は, モジュール A では 11.9～12.2%であるのに対し, モジュール B では 12.8～13.1%であり，0.8～1.0P(ポイント)の発電効率上昇がみられる．

図 3-54 に，セル温度低下と出力比の関係を示す．ただし，出力比は，式 3 により算出する．

$$出力比(\%) = \frac{モジュールB発電効率(\%)}{モジュールA発電効率(\%)} \times 100 \qquad 式3$$

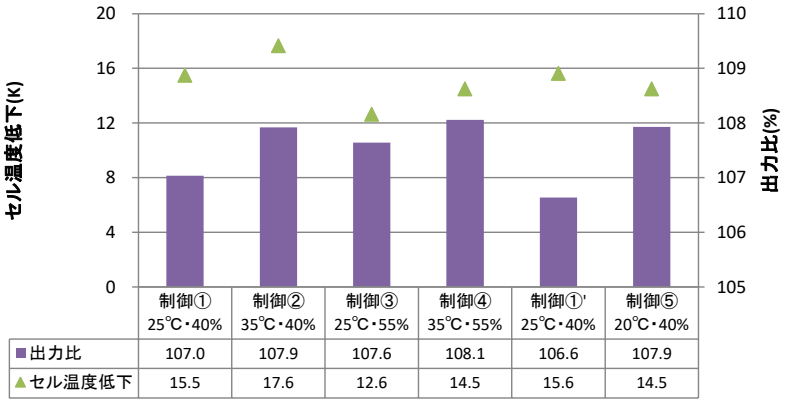


図 3-54　セル温度低下と出力比

各制御において，セル温度低下は 12.6K～17.6K であるのに対し，モジュール A に対するモジュール B の出力比は 106.6～108.1%である．また，制御④(35℃・55%)において出力比 108.1%で最も大きく，制御①において出力比 107.0%で最も小さいことを確認できる．これは，セル温度低下の割合が大きいほど，出力比上昇の割合が大きいという関係になっておらず，セル温度低下(セル温度 3 点における平均値)と出力比上昇は比例関係とはいえない．

図 3-55 に，セル温度低下 1K あたりの出力比上昇を示す．ただし，セル温度低下 1K あたりの出力比上昇は，式 4 により算出する．

$$セル温度低下1Kあたりの出力比上昇(\%/K) = \frac{出力比(\%)-100(\%)}{セル温度低下(K)} \times 100 \qquad 式4$$

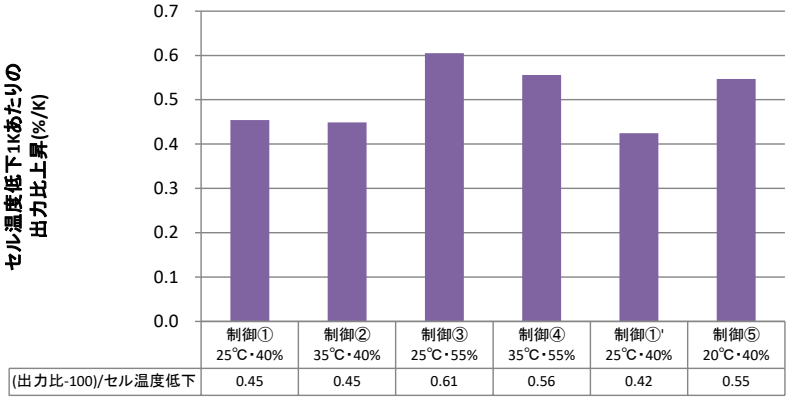


図 3-55　セル温度低下 1K あたりの出力比上昇

各制御において，セル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.42～0.61%/K である．また，同湿度(制御①と制御②，制御③と制御④)ではほとんど差がみられないが，同温度(制御①と制御③，制御②と制御④)では差がみられ，湿度が高くなるほどセル温度低下 1K あたり

の出力比上昇は大きくなることを確認できる．ただし，制御⑤において，同湿度である制御①と制御②に比べて差がみられるのは，モジュール B セル温度が低い(38.7℃)ため，想定以上に発電効率が上昇したためであると考えられる．次に，同温度における比較を行う．

・同温度(25℃，35℃)における比較

制御①(25℃・40%)と制御③(25℃・55%)を比較すると，制御①ではセル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.45%/K であるのに対し，制御③ではセル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.61%/K である．これは，湿度が低い状態では，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらず，モジュール中央付近への給水が追いついていないことにより，中央付近が乾燥してしまったためであると考えられる．これに対し，湿度が高い状態では，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたり，中央付近が乾燥しなかったと考えられる．セル温度のばらつきを確認するため，図 3-56 に，セル温度 3 点の標準偏差を示す．制御①ではセル温度の標準偏差は 5.18 であるのに対し，制御③ではセル温度の標準偏差は 4.27 である．つまり，湿度が高い状態では，セル温度のばらつきが小さいことを確認できる．

また，制御②(35℃・40%)と制御④(35℃・55%)を比較すると，制御②ではセル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.45%/K であるのに対し，制御④ではセル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.56%/K である．つまり，温度が高くなっても，湿度が低い状態ではモジュール中央付近が乾燥し，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらないのに対し，湿度が高い状態ではモジュール中央付近が乾燥せず，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたることを確認できる．図 3-56 より，制御②ではセル温度の標準偏差は 6.15 であるのに対し，制御④ではセル温度の標準偏差は 5.09 である．つまり，湿度が高い状態では，温度が高くなっても，セル温度のばらつきが小さいことを確認できる．

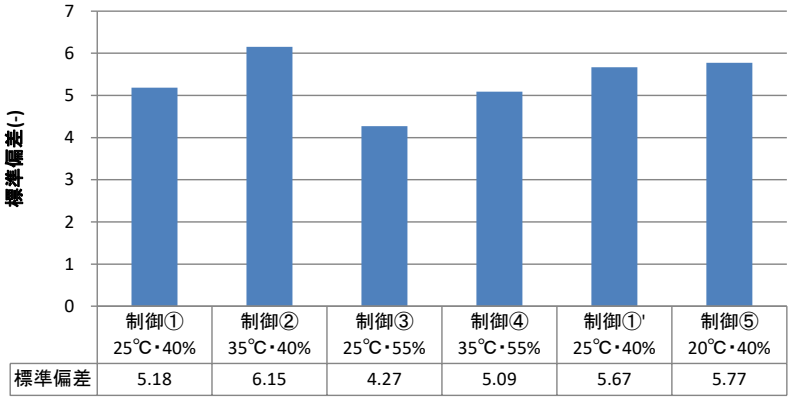


図 3-56　セル温度　標準偏差

図 3-57 に，導水シートからの蒸発量と出力比の関係を示す．

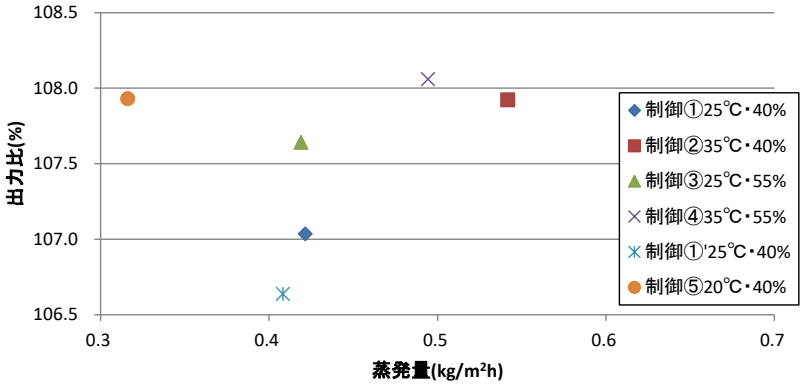


図 3-57　蒸発量と出力比の関係

導水シートからの蒸発量と出力比の関係より，導水シートからの蒸発量が大きいほど，出力比が大きくなるという関係を確認できる．また，湿度が低い場合は蒸発量に対する出力比の割合が小さいのに対し，湿度が高い場合は蒸発量に対する出力比の割合が大きいことも確認できる．ただし，制御⑤において，差がみられるのは，モジュール裏面が湿潤飽和状態になったためであり，湿潤飽和状態にならなかった他制御に比べ，発電効率上昇の割合が大きくなったと考えられる．導水シートからの蒸発量とセル温度低下の関係では，湿度が低い場合は蒸発量に対するセル温度低下の割合が大きいのに対し，湿度が高い場合は蒸発量に対するセル温度低下の割合が小さかったが，湿度が低い場合は導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらなかったため，セル温度低下の割合が大きくても出力比上昇へあまり影響を及ぼさなかったと考えられる．

以上より，導水シートからの蒸発量が大きい時に，出力比が大きくなることがわかった．ただし，湿度が低い状態ではモジュール中央付近が乾燥し，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらなかったため，給水方法の改善により，低湿度の方が高湿度より，出力比上昇により大きく働く可能性がある．

3.5 まとめ

(1)導水シートを貼付した太陽光発電モジュールは，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらなかったため，モジュール裏面温度のばらつきが大きくなった.

(2)導水シートからの蒸発量は 0.32～0.54kg/m^{2}h であり，温湿度条件によってモジュール裏面と空気の絶対湿度差が大きい時に，導水シートからの蒸発が起こりやすいことがわかった.

(3)導水シート貼付によるセル温度低下は 12.6～17.6K であり, 導水シートからの蒸発量が大きい時に蒸発冷却効果が大きく，セル温度低下により大きく働き，低湿度の方が高湿度より蒸発冷却効果が大きく，セル温度低下により大きく働くことがわかった.

(4)モジュール A(比較対象用)の発電効率は 11.9～12.2%であるのに対し，モジュール B(導水シート貼付用)の発電効率は 12.8～13.1%であり，0.8～1.0P の発電効率上昇がみられた.

(5)モジュール A(比較対象用)に対するモジュール B(導水シート貼付用)の出力比は 106.6～108.1%であった.

(6)セル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.42～0.61%/K であり，導水シートからの蒸発量が大きい時に，出力比が大きくなることがわかった．ただし，湿度が低い状態ではモジュール中央付近が乾燥し，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたらなかったため，給水方法の改善により，低湿度の方が高湿度より，出力比上昇により大きく働く可能性がある.

4 屋外における発電量実測調査

4.1 実測期間・場所

2012 年 8 月 29 日，30 日に，大阪市立大学の工学部棟芝生にて実測調査を行う．実測場所については以下のとおり．

大阪市立大学　工学部棟芝生

住所：大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138

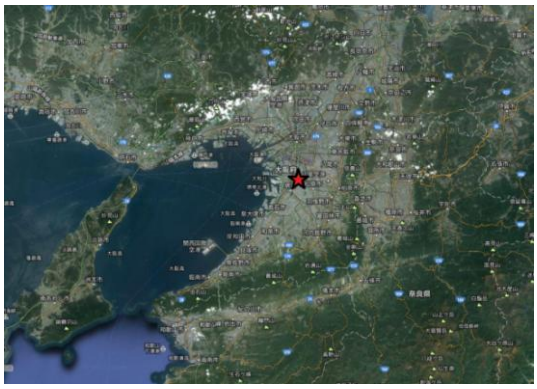


図 4-1　大阪市立大学　地図

4.2 実測設備

4.2.1 太陽光発電モジュール

太陽光発電モジュールは，人工気象室内実測調査と同様のものを用い，3 つのモジュール(以下，モジュール A，モジュール B，モジュール C)を用意し，モジュール A，モジュール B のセルには熱電対を 3 か所(左下部，中央部，右上部)ずつ，モジュール裏面には熱電対を 5 か所(左下部，右下部，中央部，左上部，右上部)ずつ取り付けている．なお，モジュール C は導水シートサンプル貼付用として用いる．また，モジュール B の裏面には導水シートを貼付し，導水シート上端は貯水タンク内の水に常時浸している．図 4-2，図 4-3 にモジュール A，B セル熱電対取付概要を，図 4-4，図 4-5 にモジュール A，B 裏面熱電対取付概要を，図 4-6，図 4-7 にモジュール A，B を示す．

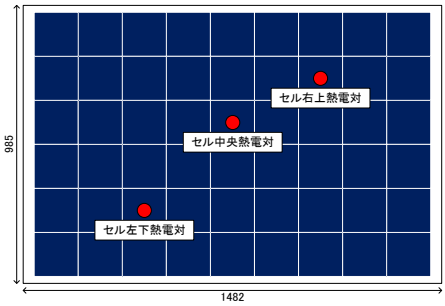


図 4-2　モジュール A セル熱電対取付概要

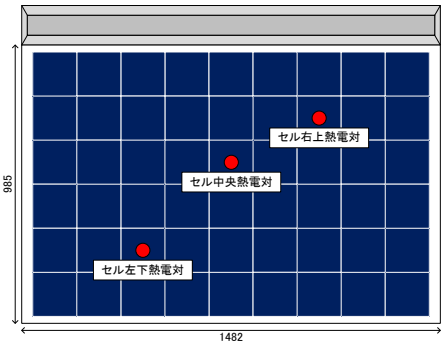


図 4-3　モジュール B セル熱電対取付概要

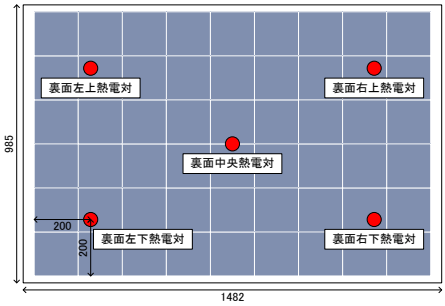


図 4-4　モジュール A 裏面熱電対取付概要

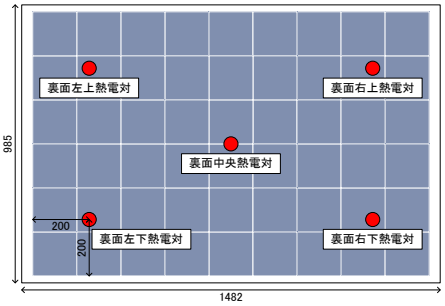


図 4-5　モジュール B 裏面熱電対取付概要

図 4-6　モジュール A

図 4-7　モジュール B

4.2.2 導水シート貼付概要

モジュール B の裏面に導水シートを隙間なく貼付する．本実測では，両面テープを使用して貼付する．

4.2.3 導水シートサンプル貼付概要

導水シートからの蒸発量を測定するため，モジュール C の裏面に導水シートサンプルを隙間なく貼付する．導水シートサンプルは 30cm×30cm の正方形に切り取り，モジュール裏面の中央に貼付する．図 4-8 に，導水シートサンプル貼付概要を示す．

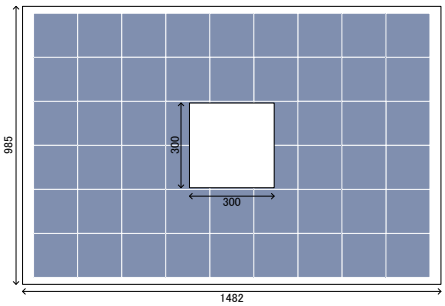


図 4-8　導水シートサンプル貼付概要

4.2.4 貯水タンク設置概要

モジュール B の導水シート上端を貯水タンク内の水に浸す．本実測では，角型横引トイを使用し，モジュール架台に固定する．また，貯水タンク内の水の蒸発を防ぐため，貯水タンクを透明ラップで覆う．図 4-9 に，貯水タンク設置状況を示す．

図 4-9　貯水タンク設置状況

4.3 実測方法

4.3.1 太陽光発電モジュール設置

太陽光発電モジュールを傾斜角 30 度，真南向きで 3 台並べて設置する．図 4-10，図 4-11 に太陽発電モジュール設置概要を，図 4-12 に太陽光発電モジュール設置状況を示す．

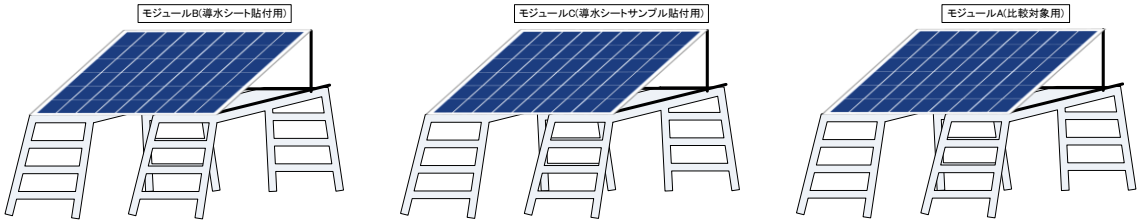


図 4-10　太陽光発電モジュール設置概要①

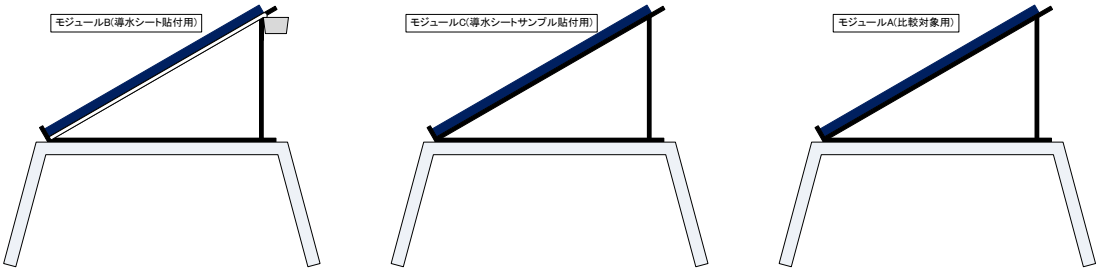


図 4-11　太陽光発電モジュール設置概要②

図 4-12　太陽光発電モジュール設置状況

4.3.2 気象観測

実測を行う際に，気温・湿度，風向・風速，水平面日射量の測定を行う．表 4-1 に気象観測条件を，図 4-13 に測定機器設置状況を示す．

表 4-1　気象観測条件

測定項目	測定機器	測定間隔
気温 湿度	温湿度センサーCS500 気温：Pt1000 湿度：INTERCAP	10 秒間隔
風向 風速	三杯矢羽式風向風速計 03001	
水平面日射量	アルベドメーターPCR-02	

図 4-13　測定機器設置状況

4.3.3 導水シート性能確認

導水シート性能を確認するため，導水シートをモジュール上面に設置し，導水シート上端を貯水タンク内の水に浸し，導水時間と導水距離の関係を把握する．この際，導水シートからの蒸発を防ぐため，導水シート上面を透明ラップで覆う．図 4-14 に導水シート設置概要を，図 4-15 に導水シート設置状況を示す．

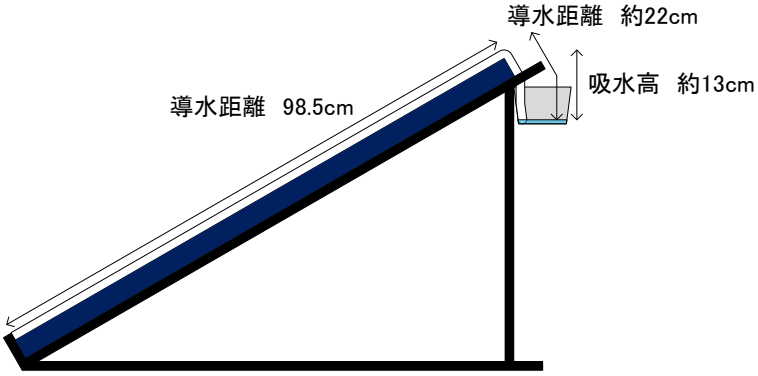


図 4-14　導水シート設置概要

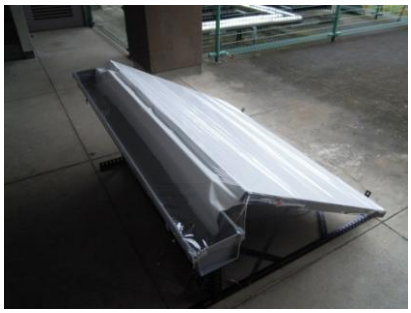


図 4-15　導水シート設置状況

4.3.4 モジュール発電量測定

モジュール A(比較対象用)とモジュール B(導水シート貼付用)の発電量を測定する．この際，導水シートサンプルをモジュール C 裏面に貼付し，その重量変化により，導水シートからの蒸発量を求める．表 4-2 に測定条件を，次に蒸発量算出の手順を示す．

表 4-2　測定条件

測定項目	測定機器	測定間隔
セル温度	T 型熱電対	10 秒間隔
モジュール裏面温度		
発電量	I-V カーブトレーサ I-V400	—
モジュール面日射量	日射計 HT304N 日射測定用リファレンスセル 単結晶・多結晶シリコン接続用端子あり	—
導水シートサンプル重量変化	電子天秤	—

導水シートサンプル重量変化により，導水シートからの蒸発量を求める．まず，導水シートと導水シートサンプルに，霧吹きを用いて水 500g を吹きかけ湿潤状態にする．導水シートと導水シートサンプルはモジュール裏面の同条件のため，一定時間放置した導水シートサンプルの重量変化により，導水シートからの蒸発量を求めることができる．図 4-16 に導水シートサンプル貼付概要を，図 4-17 に導水シートサンプル貼付状況を示す．

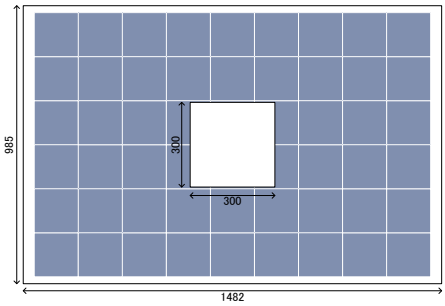


図 4-16　導水シートサンプル貼付概要

図 4-17　導水シートサンプル貼付状況

4.3.5 実測手順

実測手順を，以下①～④に示す.

①導水シートに水を吹きかけ湿潤状態にする

②導水シートサンプルの重量を測定する

③モジュール A(比較対象用)，モジュール B(導水シート貼付用)の発電量を 5 回ずつ測定する

④導水シートサンプルの重量を測定する

4.4 実験結果

4.4.1 気象条件

図 4-18 に気温・湿度の経時変化を，図 4-19 に風速の経時変化を示す．ただし，気温・湿度，風速の経時変化は，導水シートに水を吹きかけてから最後に導水シートサンプルの重量を測定するまでの経時変化である．

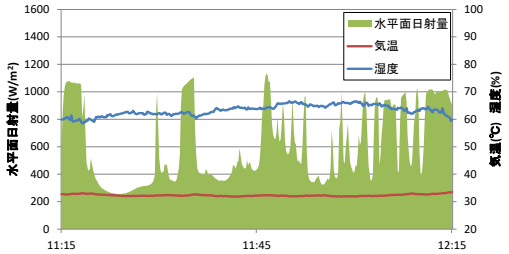


図 4-18　気温・湿度　経時変化

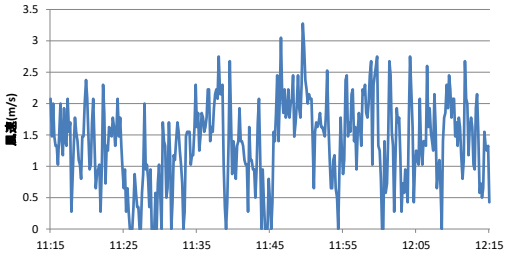


図 4-19　風速　経時変化

気温は 31.8℃から 33.5℃の間をほぼ一定に推移しており，湿度は 58.4%から 66.6%へとやや上昇傾向にある．水平面日射量は 400W/m^2 から 1000W/m^2 の間を主に変動している．本実測では，水平面日射量の大きい時間帯を選び，発電量測定を行う．また，風速は 0.5m/s から 2.5m/s の間を主に変動している．

4.4.2 導水シート性能

図 4-20 に導水シート性能を，図 4-21 に導水シート設置概要を示す．ただし，導水シート性能は導水時間と導水距離の関係であり，導水時間は貯水タンクに水を入れてからの経過時間，導水距離については導水シート左端，右端の導水状況を目視で確認する．

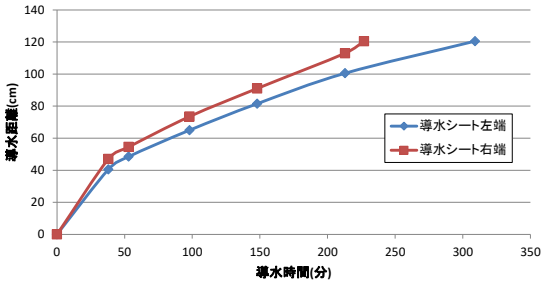


図 4-20　導水シート性能

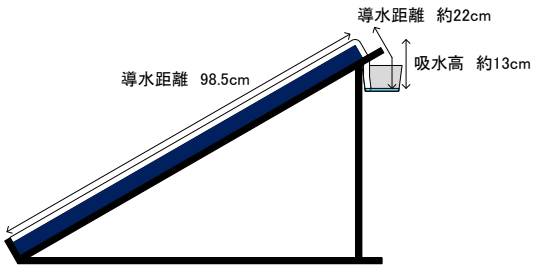


図 4-21　導水シート設置概要

導水時間と導水距離の関係より，導水シートからの蒸発を防いだ状況では，モジュール下端まで導水するのに，導水シート左端は 309 分，右端は 227 分かかった．また，初期段階では導水速度が大きいが，時間が経つにつれて導水速度が小さくなることも確認できる．

次に，モジュール上面に設置した導水シートとモジュール下面に設置した導水シートを比較する．ただし，モジュール上面に設置した導水シートは蒸発を防いでおり，モジュール下面に設置した導水シートは蒸発を防いでいない．また，導水シートの表面，裏面の特性も把握する．ただし，導水シートのざらざらした方を表面，なめらかの方を裏面とする．図 4-22 に，上面・下面導水シート設置概要を示す．

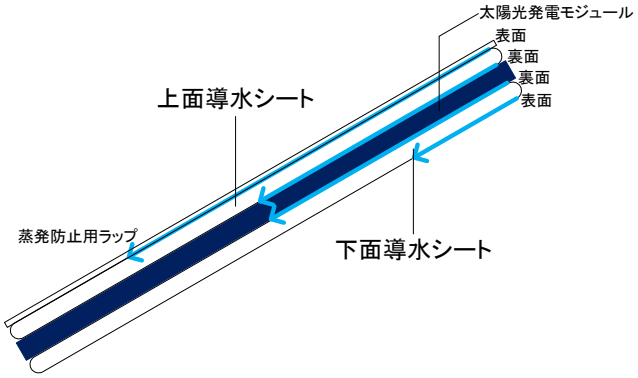
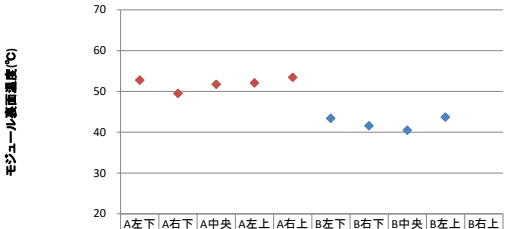


図 4-22　上面・下面導水シート設置概要

上面導水シートの表面，裏面，下面導水シートの表面，裏面の導水状況を目視で確認すると，図 4-23 のように，上面導水シート表面の導水が最も速く，次に上面導水シート裏面，下面導水シート裏面，最後に下面導水シート表面という結果となった．つまり，蒸発していない状況では表面の方が裏面より導水が速く，蒸発している状況では表面の方が裏面より導水が遅いことがわかった．

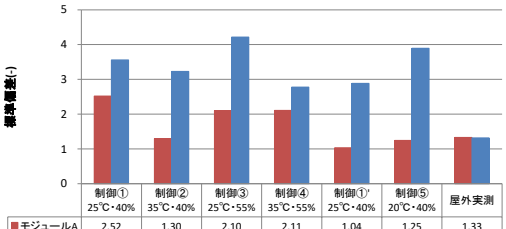
4.4.3 モジュール裏面温度分布

図 4-24 に，モジュール A とモジュール B の 5 点(左下，右下，中央，左上，右上)における裏面温度を示す．ただし，モジュール裏面温度は，モジュール A とモジュール B の発電量を測定する間の平均温度である．また，モジュール裏面温度のばらつきを確認するため，図 4-25 に，モジュール裏面温度の標準偏差を，人工気象室内の実測結果と合わせて示す．



	A左下	A右下	A中央	A左上	A右上	B左下	B右下	B中央	B左上	B右上
モジュール裏面温度	52.8	49.5	51.7	52.1	53.4	43.4	41.6	40.5	43.7	

図 4-24　モジュール裏面温度



	制御① 25℃・40%	制御② 35℃・40%	制御③ 25℃・55%	制御④ 35℃・55%	制御①' 25℃・40%	制御⑤ 20℃・40%	屋外実測
モジュールA	2.52	1.30	2.10	2.11	1.04	1.25	1.33
モジュールB	3.56	3.23	4.22	2.78	2.89	3.90	1.32

図 4-25　モジュール裏面温度　標準偏差

モジュール A 裏面温度の標準偏差は 1.33 であるのに対し，モジュール B 裏面温度の標準偏差は 1.32 であることから，モジュール A 裏面温度とモジュール B 裏面温度のばらつきはほぼ同じであることを確認できる．これは，モジュール B 裏面温度のばらつきが大きくなった人工気象室内の実測結果と反するが，屋外実測では，導水シートをたるみなく貼付することができ，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたったためであると考えられる．しかし，時間が経つにつれて，貯水タンクからの給水が追いつかなくなり，モジュール下端から徐々に乾いてきていることも確認できる．モジュール温度分布を確認するため，図 4-26，図 4-27 に，モジュール A とモジュール B の熱画像を示す．

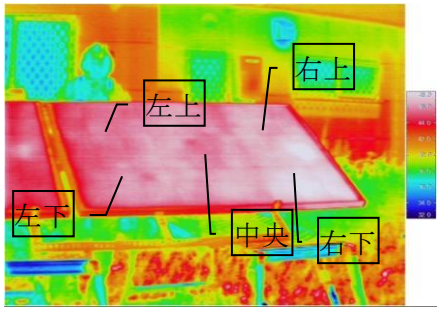


図 4-26　モジュール A 熱画像

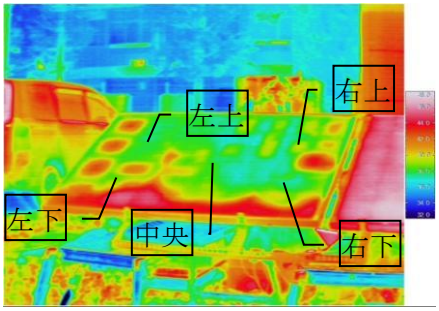


図 4-27　モジュール B 熱画像

4.4.4 蒸発量

図 4-28 に，導水シートからの蒸発量を，人工気象室内の実測結果と合わせて示す．ただし，蒸発量は，式 5 により算出する．

$$\text{蒸発量}(\mathrm{kg/m^2h}) = \text{導水シートサンプル重量変化}(\mathrm{kg/m^2h}) \qquad \text{式 5}$$

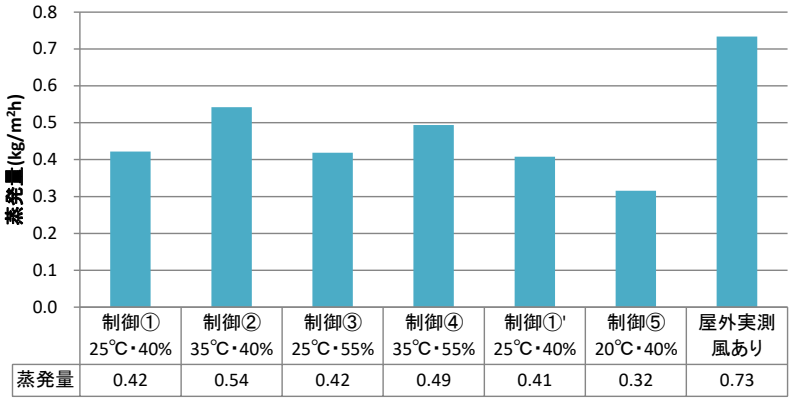


図 4-28　導水シートからの蒸発量

人工気象室内の実測結果では蒸発量は 0.32 kg/m²h～0.54 kg/m²h であるのに対し，屋外実測では蒸発量は 0.73kg/m²h であり，人工気象室内の実測結果より大きいことを確認できる．これは，屋外実測の方が風速が大きく，気温・湿度にかかわらず，風の影響により蒸発が起こりやすい環境になったためであると考えられる．

図 4-29 に，絶対湿度差と蒸発量の関係を示す．ただし，絶対湿度差は，モジュール裏面(飽和と仮定)と空気の絶対湿度差である．

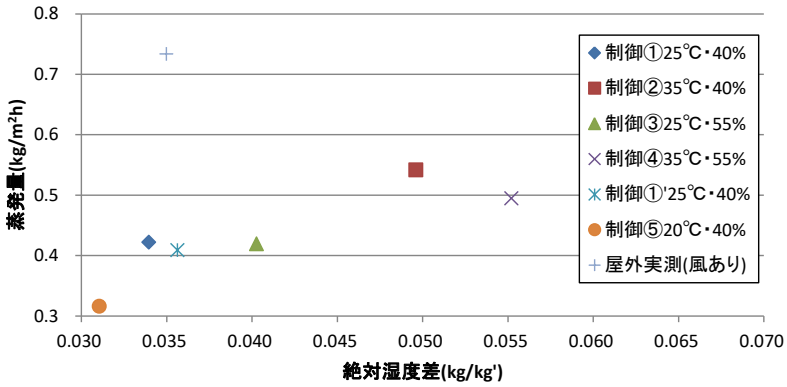


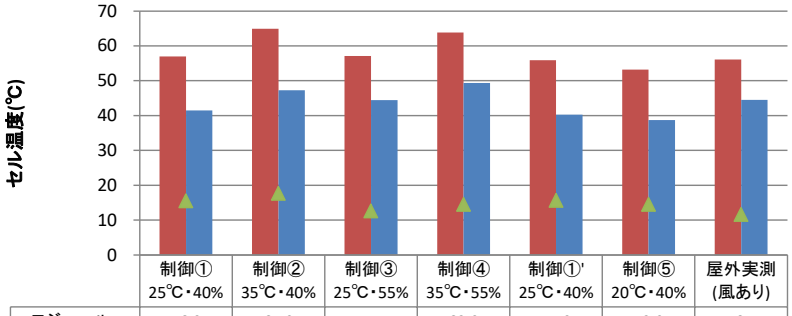
図 4-29　絶対湿度差と蒸発量の関係

絶対湿度差と蒸発量の関係より，人工気象室内の実測結果では絶対湿度差に対する蒸発量の割合が小さいのに対し，屋外実測では絶対湿度差に対する蒸発量の割合が大きいことを確認できる．

以上より，屋外実測では，モジュール裏面と空気の絶対湿度差にかかわらず，風の影響により蒸発が起こりやすい環境になることがわかった．

4.4.5 セル温度低下

図 4-30 に，モジュール A とモジュール B のセル温度とセル温度低下を，人工気象室内の実測結果と合わせて示す．ただし，セル温度は，モジュール A とモジュール B の発電量を測定する間の平均温度であり，また，3 点(左下，中央，右上)における平均値である．



	制御① 25℃・40%	制御② 35℃・40%	制御③ 25℃・55%	制御④ 35℃・55%	制御①' 25℃・40%	制御⑤ 20℃・40%	屋外実測 (風あり)
モジュールA	56.9	64.9	57.1	63.9	55.9	53.2	56.1
モジュールB	41.5	47.3	44.5	49.4	40.2	38.7	44.5
セル温度低下	15.5	17.6	12.6	14.5	15.6	14.5	11.6

図 4-30　モジュール A・B セル温度とセル温度低下

モジュール A セル温度は 56.1℃であるのに対し，モジュール B セル温度は 44.5℃であり，セル温度低下は 11.6K である．また，人工気象室内の実測結果ではセル温度低下は 12.6K～

17.6K であるのに対し，屋外実測ではセル温度低下は 11.6K であり，人工気象室内の実測結果より小さいことを確認できる．これは，屋外実測の方が風速が大きく，モジュール A は風の影響によりセル温度が低下したが，モジュール B は風の影響により蒸発量が大きくなったため，セル温度低下が小さくなったと考えられる．

図 4-31 に，導水シートからの蒸発量とセル温度低下の関係を示す．

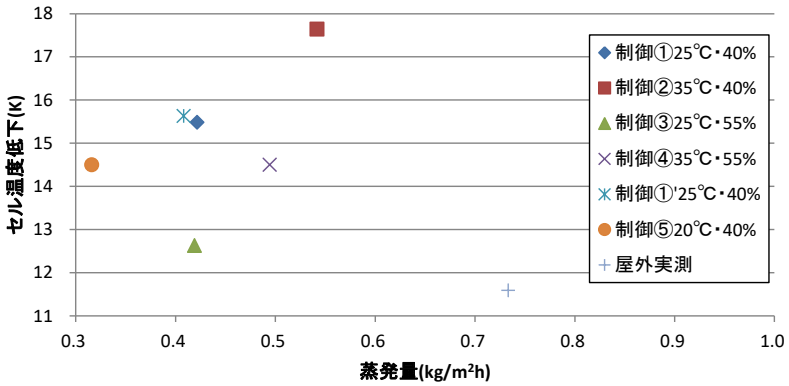


図 4-31　蒸発量とセル温度低下の関係

導水シートからの蒸発量とセル温度低下の関係より，屋外実測では，蒸発量に対するセル温度低下の割合が小さいことを確認できる．

以上より，屋外実測では，導水シートからの蒸発量にかかわらず，モジュール A は風の影響によりセル温度が低下し，モジュール B は風に影響により蒸発量が大きくなるため，セル温度低下が小さくなることがわかった．

4.4.6 セル温度低下と発電効率・出力比の関係

図 4-32 に，セル温度と発電効率の関係を示す．ただし，日射量が急激に変化している時間帯は除いたため，発電量は，モジュール A は 1 回の測定値，モジュール B は 2 回の測定の平均値を用いる．

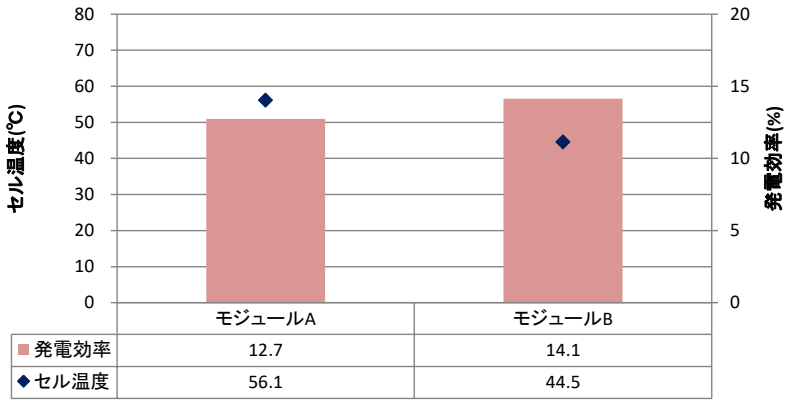


図 4-32　セル温度と発電効率

これにより，セル温度が低下すると発電効率が上昇するという関係を確認できる．発電効率は，モジュール A では 12.7%であるのに対し，モジュール B では 14.1%であり，1.4P の発電効率上昇がみられる．

図 4-33 に，セル温度低下と出力比の関係を，人工気象室内の実測結果と合わせて示す．

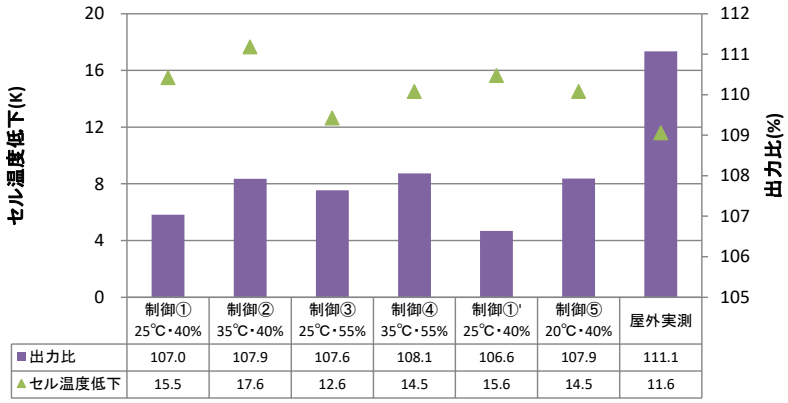


図 4-33　セル温度低下と出力比

セル温度低下は 11.6K であるのに対し，出力比は 111.1%である．つまり，屋外実測では，人工気象室内の実測結果と比較すると，セル温度低下が最も小さいのに対し，出力比が最も高いことを確認できる．

図 4-34 に，セル温度低下 1K あたりの出力比上昇を示す．

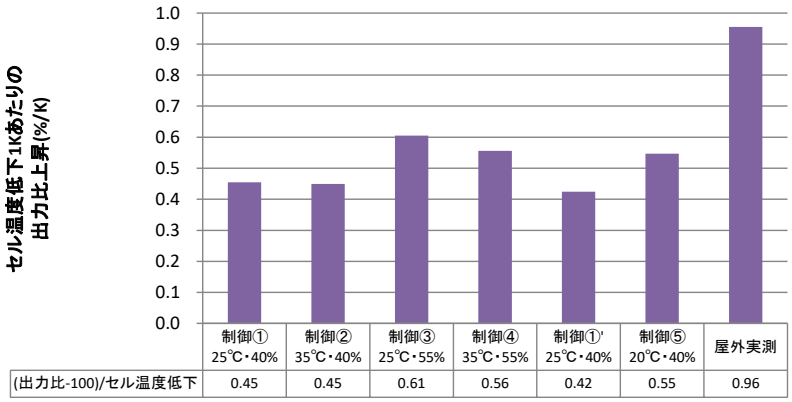
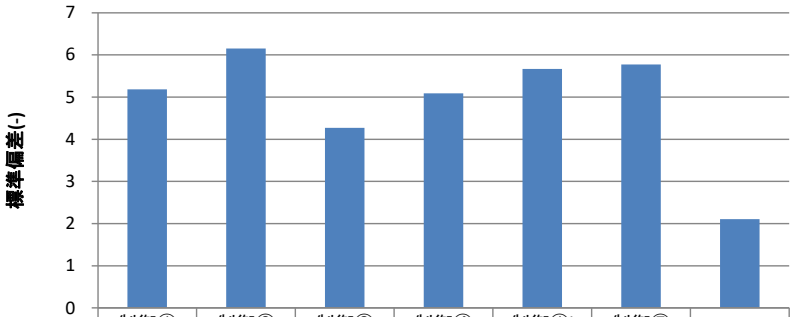


図 4-34　セル温度低下 1K あたりの出力比上昇

人工気象室内の実測結果ではセル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.42～0.61%/K であるのに対し，屋外実測ではセル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.96%/K であり，人工気象室内の実測結果より大きいことを確認できる．これは，屋外実測では，導水シートをたるみなく貼付することができ，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたったためであると考えられる．つまり，屋外実測では，モジュール A は風の影響によりセル温度が低下するが，モジュール B は風の影響により蒸発量が大きくなるため，

セル温度低下は小さい．しかし，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたったため，出力比上昇により大きく働くことがわかった．セル温度のばらつきを確認するため，図 4-35 に，セル温度 3 点の標準偏差を，人工気象室内の実測結果と合わせて示す. 人工気象室内の実測結果ではセル温度の標準偏差は 4.27～6.15 であるのに対し，屋外実測ではセル温度の標準偏差は 2.11 である．つまり，屋外実測では，セル温度のばらつきが小さいことを確認できる．



	制御① 25℃・40%	制御② 35℃・40%	制御③ 25℃・55%	制御④ 35℃・55%	制御①' 25℃・40%	制御⑤ 20℃・40%	屋外実測
標準偏差	5.18	6.15	4.27	5.09	5.67	5.77	2.11

図 4-35　セル温度　標準偏差

図 4-36 に，導水シートからの蒸発量と出力比の関係を示す．

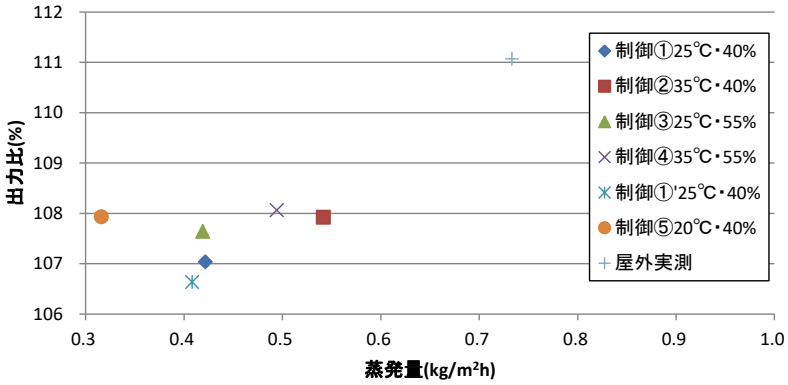


図 4-36　蒸発量と出力比の関係

導水シートからの蒸発量と出力比の関係より，人工気象室内の実測結果では蒸発量に対する出力比の割合が小さいのに対し，屋外実測で蒸発量に対する出力比の割合が大きいことを確認できる．

以上より，屋外実測では，導水シートからの蒸発量にかかわらず，導水シートをたるみなく貼付することができ，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたったため，出力比上昇により大きく働くことがわかった．

4.5 まとめ

(1)導水の初期段階では導水速度が大きいが，時間が経つにつれて導水速度が小さくなった．また，蒸発していない状況では表面の方が裏面より導水が速く，蒸発している状況では表面の方が裏面より導水が遅いことがわかった．

(2)導水シートを貼付した太陽光発電モジュールは，導水シートをたるみなく貼付すると，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたったため，モジュール裏面温度のばらつきが小さくなった．

(3)導水シートからの蒸発量は 0.73kg/m^{2}h であり，屋外実測では，モジュール裏面と空気の絶対湿度差にかかわらず，風の影響により蒸発が起こりやすい環境になることがわかった．

(4)導水シート貼付によるセル温度低下は 11.6K であり，屋外実測では，導水シートからの蒸発量にかかわらず，モジュール A(比較対象用)は風の影響によりセル温度が低下し，モジュール B(導水シート貼付用)は風に影響により蒸発量が大きくなるため，セル温度低下が小さくなることがわかった．

(5)モジュール A(比較対象用)の発電効率は 12.7%であるのに対し，モジュール B(導水シート貼付用)の発電効率は 14.1%であり，1.4P の発電効率上昇がみられた．

(6)モジュール A(比較対象用)に対するモジュール B(導水シート貼付用)の出力比は 111.1%であった．

(7)セル温度低下 1K あたりの出力比上昇は 0.96%/K であり，屋外実測では，導水シートからの蒸発量にかかわらず，導水シートをたるみなく貼付することができ，導水シートからの蒸発冷却効果がモジュール全面に均一にいきわたったため，出力比上昇により大きく働くことがわかった．

5 今後の課題

(1)導水シート設置方法

導水シートをたるみなく設置するための方法を考える必要がある．薄型強力両面テープを全面に貼付する方法や，フィルター，メッシュなどを用いて固定する方法が考えられる．

(2)導水シートへの給水方法

導水シートが乾燥するのを防ぐために，給水場所を工夫，また，導水速度を上げる必要がある．導水シートの端からだけではなく，点滴パイプなどを用いて中央付近からも給水できる方法や，また，導水シートの厚さを増すなどの工夫が考えられる．

(3)耐久性

導水シートが汚れるのを防ぐための工夫，また，長期間の使用に耐えるため，導水シートを定期的に乾燥させることが必要である．

【参考文献】

1)東レ株式会社産業資材事業部「導水シートのご紹介」

2)東レ株式会社HP人工気象室テクノラマURL：http://www.toray.co.jp/news/affil/nr080630.html