

遮光による太陽光発電システムの発電抑制手法 についての研究

北九州市消防局（福岡） 松本 龍一
高倉 誠二

1 はじめに

太陽光発電システムは、太陽光エネルギーを「光起電力」で直接電気に変換する発電方式である。

太陽光という、無尽蔵のエネルギーを活用する「太陽光発電」は、エネルギー資源問題の有力な解決策の一つと言われている。また、「クリーンエネルギー」であることも大きな特長で、発電の際に地球温暖化の原因とされている二酸化炭素（ CO_2 ）も排出されない。

日本は、世界でもトップクラスの太陽光発電技術を有しており、国の普及政策もあわせて、太陽光発電の普及は、今後も進んでいくことが予想される。

平成24年4月に、住宅用の太陽光発電システムだけでも、国内設置件数は既に100万台を超えており、（一般社団法人 太陽光発電協会 ホームページより）、平成24年度には28万台、平成25年度には29万台と現在、国内の設置件数は150万件を越えている。

また、近年、日当たりのよい「山林」や「空き地」に建設されている商用発電目的のものを加えると更に膨大な設置数となっているはずである。

通常、消防隊は火災現場の建物等において、電気が通電状態である場合、電力会社に依頼し、電源供給を遮断することにより、消防隊員の感電危険を排除するが、太陽光発電システムは、パネルに太陽光が照射されれば発電し続けることから、たとえ接続箱やパワーコンディショナー（以下「接続箱等」という。）で遮断措置を行っても、「太陽光パネルから遮断した接続箱等までの間」は、通電状態と

なり、消防活動に支障が生じる。また、「夜間の火災であっても火災の炎で発電する場合」や「翌日、太陽光が照射されれば再び発電を開始」し、配線等に異状があれば新たな火災が発生する危険もある。

(No.1を参照)

現在、様々な機関が、火災発生時に太陽光パネルを遮光するなど安全で効果的に発電を抑制させるための手法を開発すべく研究や実験を始めている。

本市消防局予防課火災調査係では、市内で平成25年6月に事業所の屋上に設置していた太陽光発電設備からの火災が発生したことから、消防活動時における消防隊員の感電防止・安全確保を検討するため、太陽光発電システムの直列回路及び並列回路での部分的な遮光を行い開放電圧・短絡電流を測定し、その特性を確かめた上で、遮光手法について検証実験を行うこととした。

2 太陽光発電システムの遮光特性について

発電抑制をする遮光手法について検討を行う前に、太陽光発電システムの遮光による電圧及び電流の変化特性について検証することとした。

そこで注目したのが、本来、発電する上では問題となっている「部分影」という現象である。これは、太陽光発電システムの太陽光パネル付近の電柱などの工作物が、パネルの一部分に「太陽の影を作り」遮光され、発電出力を減少させるものである。

この「部分影」による電圧及び電流の減少の特性を確認するため、ミニ実験用太陽光発電システムを作成し、直列回路及び並列回路で部分的な遮光を行い遮光前と遮光後の開放電圧及び短絡電流の低下を測定する。

(1) ミニ実験用太陽光発電システムの概要

屋外の太陽下において太陽電池パネル（株式会社島津理化製開放電圧1.7V 短絡電流450mA）を10枚組み合わせ（直列

2×並列5) ミニ実験用太陽光発電システムを作成し、地盤面に対して30℃に傾斜させ設置(以下、「太陽光実験セット」という。)する。(No2を参照)

(2) 直列回路の遮光

太陽光実験セットの直列回路にあたる太陽電池パネルの1枚(「A-1」全体の10%)を遮光することから始め、遮光するパネルを2枚「A-1、A-2」、3枚「A-1～A-3」と増やしていき、最終的には5枚(「A-1～A-5」全体の50%)まで遮光、それぞれの遮光前と遮光後の開放電圧及び短絡電流を測定し、低下率を算出する。(No3を参照)

(3) 並列回路の遮光

太陽光実験セットの並列回路にあたる太陽電池パネルの2枚(「A-1、B-1」全体の20%)を遮光することから始め、遮光するパネルを4枚「A-1、A-2、B-1、B-2」、6枚「A-1～A-3、B-1～B-3」と増やしていき、最終的には10枚(全体の100%)まで全てを遮光、それぞれの遮光前と遮光後の開放電圧及び短絡電流を測定し、低下率を算出する。(No3を参照)

(4) 実験結果

① 直列回路の遮光について

ア 開放電圧の低下率

太陽電池パネル1枚(全体の10%遮光)	→ 低下率	0.8%
太陽電池パネル2枚(全体の20%遮光)	→ 低下率	2.2%
太陽電池パネル3枚(全体の30%遮光)	→ 低下率	3.8%
太陽電池パネル4枚(全体の40%遮光)	→ 低下率	44.4%
太陽電池パネル5枚(全体の50%遮光)	→ 低下率	53.4%

測定結果より、開放電圧の低下率は、全体の 30 % 遮光するまで、徐々にしか上昇しなかったが、40 % 超えると遮光したパネルの割合とほぼ同率となった。

イ 短絡電流の低下率

太陽電池パネル 1 枚（全体の 10 % 遮光）	→ 低下率 18.4 %
太陽電池パネル 2 枚（全体の 20 % 遮光）	→ 低下率 38.5 %
太陽電池パネル 3 枚（全体の 30 % 遮光）	→ 低下率 58.5 %
太陽電池パネル 4 枚（全体の 40 % 遮光）	→ 低下率 79.6 %
太陽電池パネル 5 枚（全体の 50 % 遮光）	→ 低下率 99.3 %

測定結果より、短絡電流の低下率は、パネルを遮光した割合の約 2 倍となり、全体の 50 % 遮光すれば、ほぼ 100 % の発生する電流を抑制することができた。

なお、直列回路の遮光の測定データ等については、No 4 を参照

② 並列回路の遮光について

ア 開放電圧の低下率

太陽電池パネル 2 枚（全体の 20 % 遮光）	→ 低下率 1.0 %
太陽電池パネル 4 枚（全体の 40 % 遮光）	→ 低下率 3.0 %
太陽電池パネル 6 枚（全体の 60 % 遮光）	→ 低下率 6.0 %
太陽電池パネル 8 枚（全体の 80 % 遮光）	→ 低下率 12.1 %
太陽電池パネル 10 枚（全体の 100 % 遮光）	→ 低下率 74.6 %

測定結果より、開放電圧の低下率は、パネルを 80 % 遮光するまで、徐々にしか上昇しなかったが 80 % 超えると急激に上昇した。

イ 短絡電流の低下率

太陽電池パネル 2 枚（全体の 20 % 遮光）	→ 低下率 17.8 %
--------------------------	--------------

太陽電池パネル4枚（全体の40%遮光） → 低下率 38.8%
太陽電池パネル6枚（全体の60%遮光） → 低下率 58.5%
太陽電池パネル8枚（全体の80%遮光） → 低下率 78.2%
太陽電池パネル10枚（全体の100%遮光） → 低下率 99.3%

測定結果より、短絡電流の低下率は、遮光したパネルの割合とほぼ同率の割合で上昇した。なお、並列回路の遮光の測定データ等についてはN o 5を参照

（5）遮光について

遮光による発電量の低下は、開放電圧より短絡電流に及ぼす影響が大きい。また、直列回路と並列回路の遮光比較したものをN o 6及びN o 7に示す。結果、開放電圧及び短絡電流ともに、直列回路を遮光した方が有効な遮光ができる。

実際の住宅用太陽光発電システムの太陽光パネルの直列・並列の組み合わせは様々だが、通常、パネル一枚当たり約40Vでパワーコンディショナーへは300V程度でシステム設計されるので設置枚数が少なければ直列が多くなる。また、全体を遮光できない場合など設計書等入手できればその対策が立てられる。活動の参考としていただきたい。

今回、遮光については、遮へい物を太陽光パネルの前に置いて行ったが、パネル全部を遮へいしても発生電圧を0にすることはできなかった。横や隙間から太陽光が入ってくるので全遮光するには、パネル全体を隙間なく覆う必要がある。

3 着色したブルーシートを使用した遮光手法について

太陽光パネルを何かで覆いパネル全体を遮光しようとする場合、消防の保有する資機材で思いつくのがブルーシートである。

一般的に消防車両に積載しているし安価である。しかし、本市消

防局で使用しているブルーシートをそのまま使用しても殆ど遮光効果が確認できなかったため、ここでは、ブルーシートを黒く着色することで、遮光率を上昇できるかを検証していきたい。

(1) ブルーシート及び着色したブルーシートの遮光比較

太陽光実験セットを使用して、通常の「ブルーシート」及び「ブルーシート両面に耐熱ラッカースプレー（黒）吹き付けたもの」で覆い、それぞれの遮光前と遮光後の開放電圧及び短絡電流を測定、低下率を算出し比較する。

（N o 8 及び N o 9 を参照）

(2) 開放電圧及び短絡電流の低下率

ブルーシート（一枚）	→	開放電圧低下率	5.7%
		短絡電流低下率	67.8%
着色ブルーシート（一枚）	→	開放電圧低下率	75.8%
		短絡電流低下率	99.3%

以上、結果からブルーシートを黒く着色することにより、開放電圧低下率では約1.3倍、75%以上の低下率とすることができた。

また、短絡電流低下率ではブルーシートの約1.5倍、ほぼ100%の割合で発生する電流を抑制することができた。なお、遮光の測定データ等については、N o 10 を参照

(3) 実際の遮光作業

発電している可能性のある屋根上の太陽光パネルをシートで覆う作業を、安全で効率的に行うため、次のような手法を提案する。

- ① 樹脂巻きの物干し竿にシートをロール状に巻きつけ準備しておく。
- ② それを携帯し、太陽光パネルの設置していない側の屋根に三

連梯子で登る。

- ③ 屋根頂上から転がすようにシートを展開し、太陽光パネルを覆う。

複数用意しておけば、比較的安全に遮光作業が短時間で終了する。

(N o 1 1 及びN o 1 2 を参照)

4 着色した剥離可能な遮光塗料を使用した遮光手法について

遮光作業の究極の安全性を考えれば、屋根上に上がらずに作業を完結することである。そこで高所作業車塔上や三連梯子上から「背負式消火水のう」を用い太陽光パネルへ塗料を吹き付けることで遮光する手法について考案したので紹介する。

また、延焼のおそれのある建物に設置された太陽光パネルを、予防的に遮光することを考慮し、延焼危険がなくなり安全が確保された後の復旧ができるよう、剥離可能な塗料を使用することとした。

(1) 遮光塗料

メーカー

～アキレス株式会社 ファインシェード (標準タイプ)

用 途

～ビニールハウスに吹き付け、ハウス内の温度を下げ、暑さによる作業負担の軽減やイチゴ等の軟弱野菜の焼けを防止することを目的に開発・販売されているもので、通常、水で8倍に希釈して使用する。遮光率は20～30%とされており、効果は、標準タイプで約3ヶ月である。他にも短期タイプ(1ヶ月)、長期タイプ(6ヶ月)もある。(N o 1 3 を参照)

なお、塗膜完成後、雨などで少しずつはがれることにより効果が薄れ、最終的には塗膜はなくなる。今回は、検証実験の趣旨を説明し無償で提供を受けた。

(2) 遮光塗料条件

メーカーの推奨する配合（水 8 : 塗料 1）では、予定する太陽光を遮光する能力が望めないため下記の条件で実施することとした。

- ① 遮光塗料原液（原液 50 ml）
- ② 遮光塗料（原液 10 ml + 水 40 ml + 水性絵具(黒) 5 g）
- ③ 遮光塗料（原液 40 ml + 水性絵具(黒) 5 g）

(3) 各遮光塗料の遮光比較

太陽光実験セットを使用して、透明の亚克力板を上部に設置後、各塗料を吹き付け、それぞれの遮光前と遮光後の開放電圧及び短絡電流を測定、低下率を算出し比較する。（No 14、No 15 及び No 16 を参照）

(4) 開放電圧及び短絡電流の低下率

遮光塗料原液	→	開放電圧低下率	10.6%
		短絡電流低下率	76.8%
原液・水・絵具	→	開放電圧低下率	17.5%
		短絡電流低下率	95.2%
原液・絵具	→	開放電圧低下率	71.7%
		短絡電流低下率	98.9%

以上、結果から遮光塗料は、黒く着色することにより、開放電圧低下率は、水に希釈した場合は約 2 倍、希釈をしなかった場合では約 7 倍上昇した。また、短絡電流低下率では、水に希釈した場合は約 1.2 倍、希釈をしなかった場合では約 1.3 倍上昇した。

遮光塗料は、黒く着色することにより、開放電圧を約 70%、

短絡電流では、ほぼ100%抑制することができた。

なお、遮光の測定データ等については、No17を参照

(5) 実際の遮光作業

感電危険のある屋根に上らず、遮光作業を完結するため、次のような手法を提案する。(No18、No19及びNo20を参照)

- ① 遮光塗料を入れた背負式消火水のうを準備する。
- ② 三連梯子又は高所作業車の搭上から、太陽光パネルに遮光塗料を散布する。

(6) メーカーへの要望

遮光塗料を黒く着色することで遮光効果を高めることが確認できた。しかし、塗膜完成後、スプレーで水を噴射して剥離を試みたが、早急の復旧については、難しく今後の課題となった。

そこで、実験結果を塗料の提供メーカーへ提供し、これまでの遮光塗料の遮光効果を高め、かつ、簡単に剥離可能なものとするよう要望、現在、メーカーが「新たな剥離可能な遮光塗料の開発」を始めている。

5 まとめ

今回、太陽光発電システムの遮光特性及び遮光手法として、「着色したブルーシート」と「剥離可能な遮光塗料」について、ミニ実験レベルではあるが、検証実験報告・提案をさせていただいた。

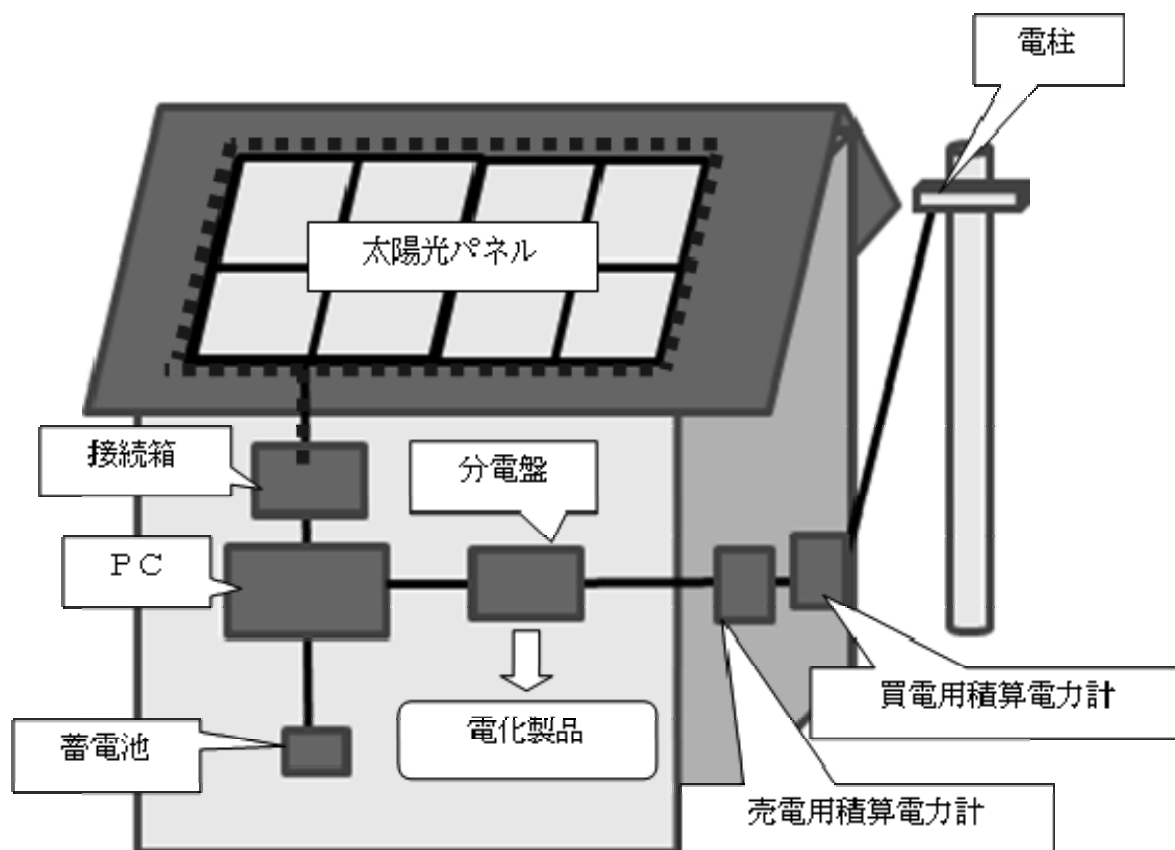
提案した手法は、コストパフォーマンスを重視し、簡易なものではあるが、「太陽光発電システムの災害時の活動」について、少しでも参考となれば幸いである。

消防は、救助・救出の必要があればそこへ向かわなければならない。消防職員の知識や経験だけでは解決できないこともあると思う。学識者やメーカーの専門的知識や開発力が必ず必要となる。今後も

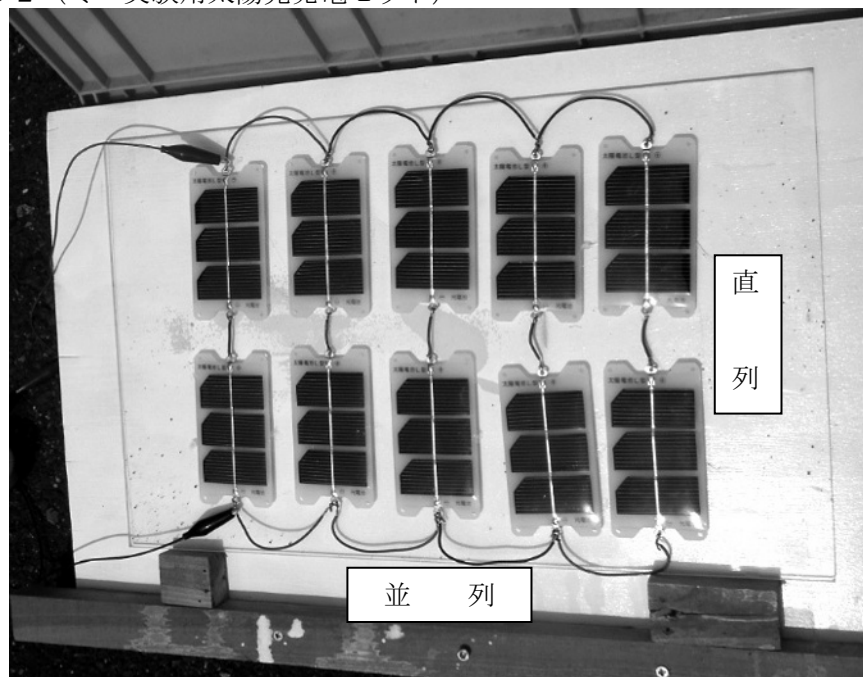
様々な課題に産学官の連携を図り、乗り越える努力を続けていきたい。

№ 1 (一般的太陽光発電システム構成)

※赤破線部分内が接続箱等遮断後も発電時通電する部分

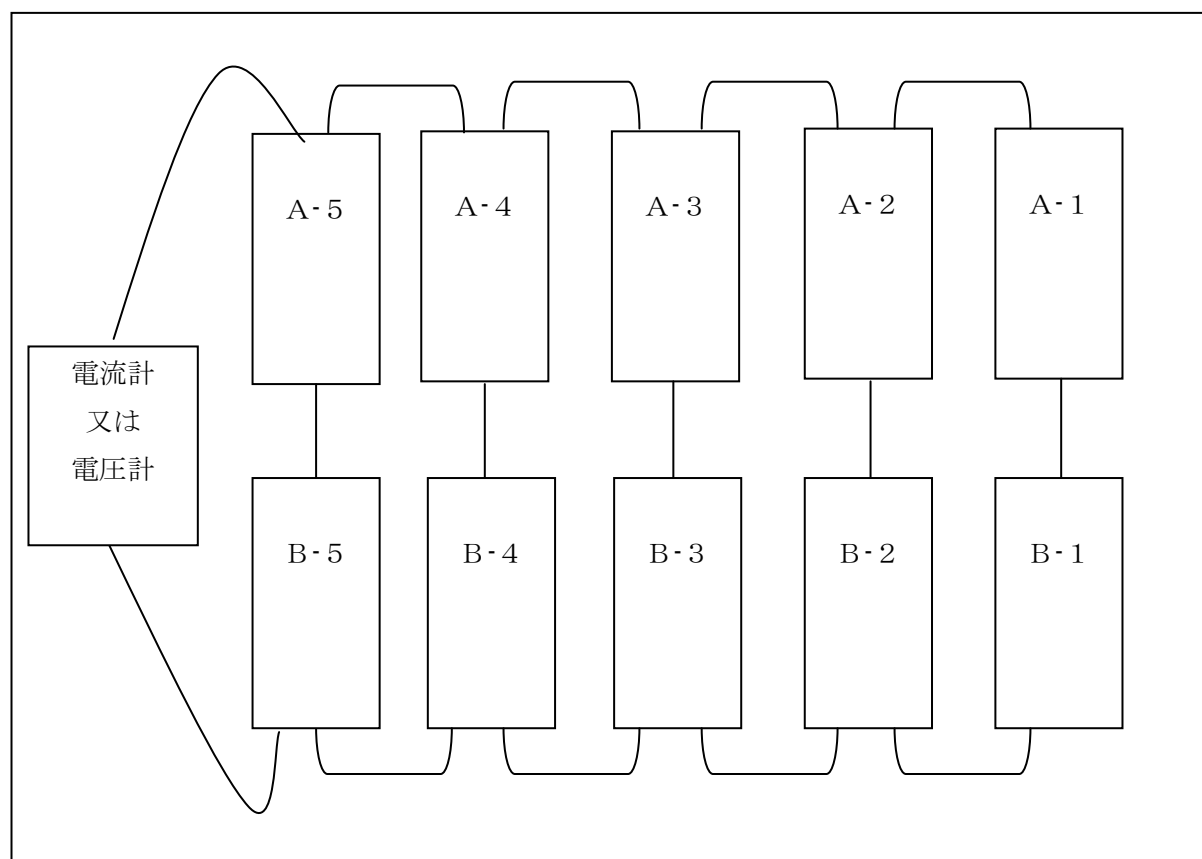


№ 2 (ミニ実験用太陽光発電セット)



太陽光パネル (1枚当たり1.7V) を直列2 = 最大3.40V
(1枚当たり450mA) を並列5 = 最大2.25A

№ 3 (ミニ実験用太陽光発電セット配線図)



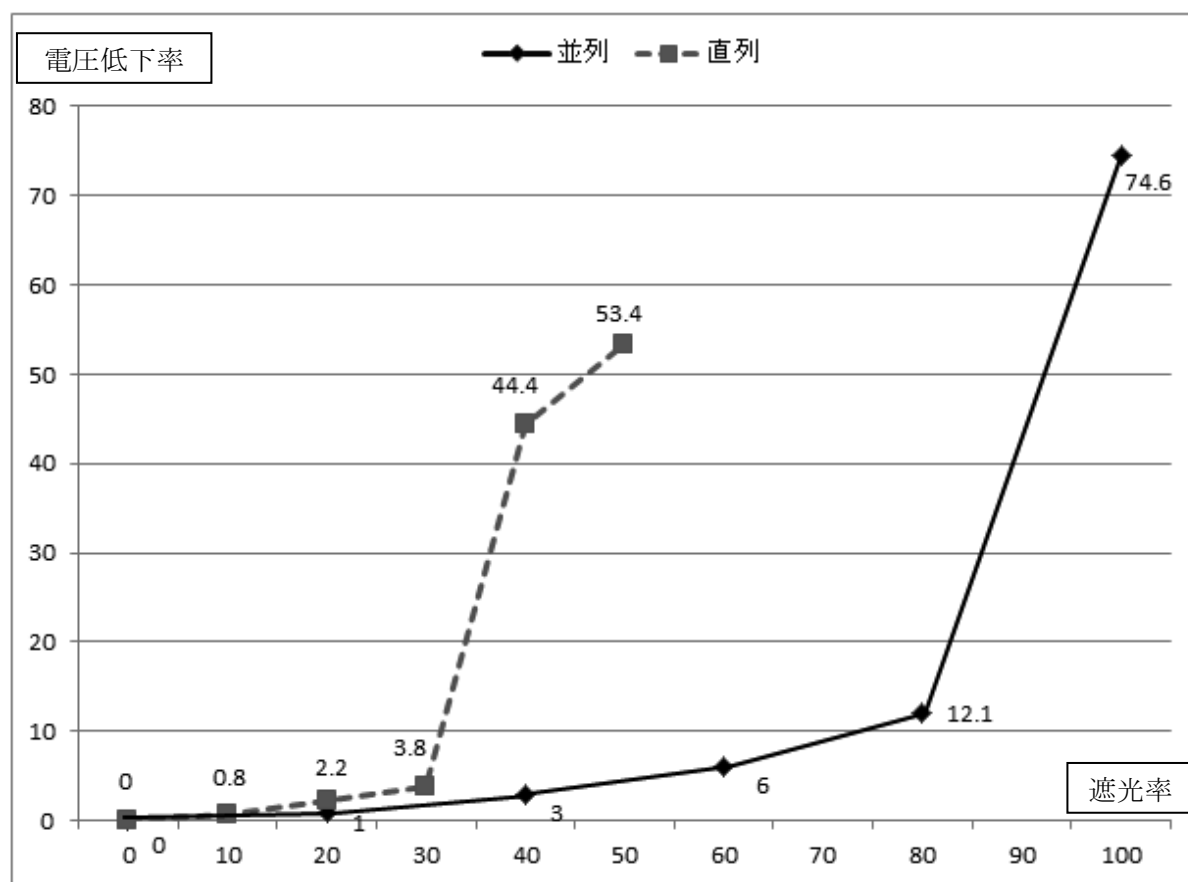
№ 4 (各直列回路遮光時の開放電圧・短絡電流測定結果及び低下率)

遮光パネル (割合)	開放電圧 (V)		低下率 (%)	短絡電流 (A)		低下率 (%)
A1 (全体の10%遮光)	直前	3. 1 2 6	0. 8	直前	1. 4 7	1 8. 4
	直後	3. 1 0 0		直後	1. 2 0	
A1、A2 (全体の20%遮光)	直前	3. 1 1 6	2. 2	直前	1. 4 8	3 8. 5
	直後	3. 0 4 6		直後	0. 9 1	
A1、A2、A3 (全体の30%遮光)	直前	3. 1 1 3	3. 8	直前	1. 4 7	5 8. 5
	直後	2. 9 9 5		直後	0. 6 1	
A1、A2、A3、A4 (全体の40%遮光)	直前	3. 1 1 1	4 4. 4	直前	1. 4 7	7 9. 6
	直後	1. 7 3 1		直後	0. 3 0	
A1、A2、A3、A4、A5 (全体の50%遮光)	直前	3. 1 1 1	5 3. 4	直前	1. 4 7	9 9. 3
	直後	1. 4 5 0		直後	0. 0 1	

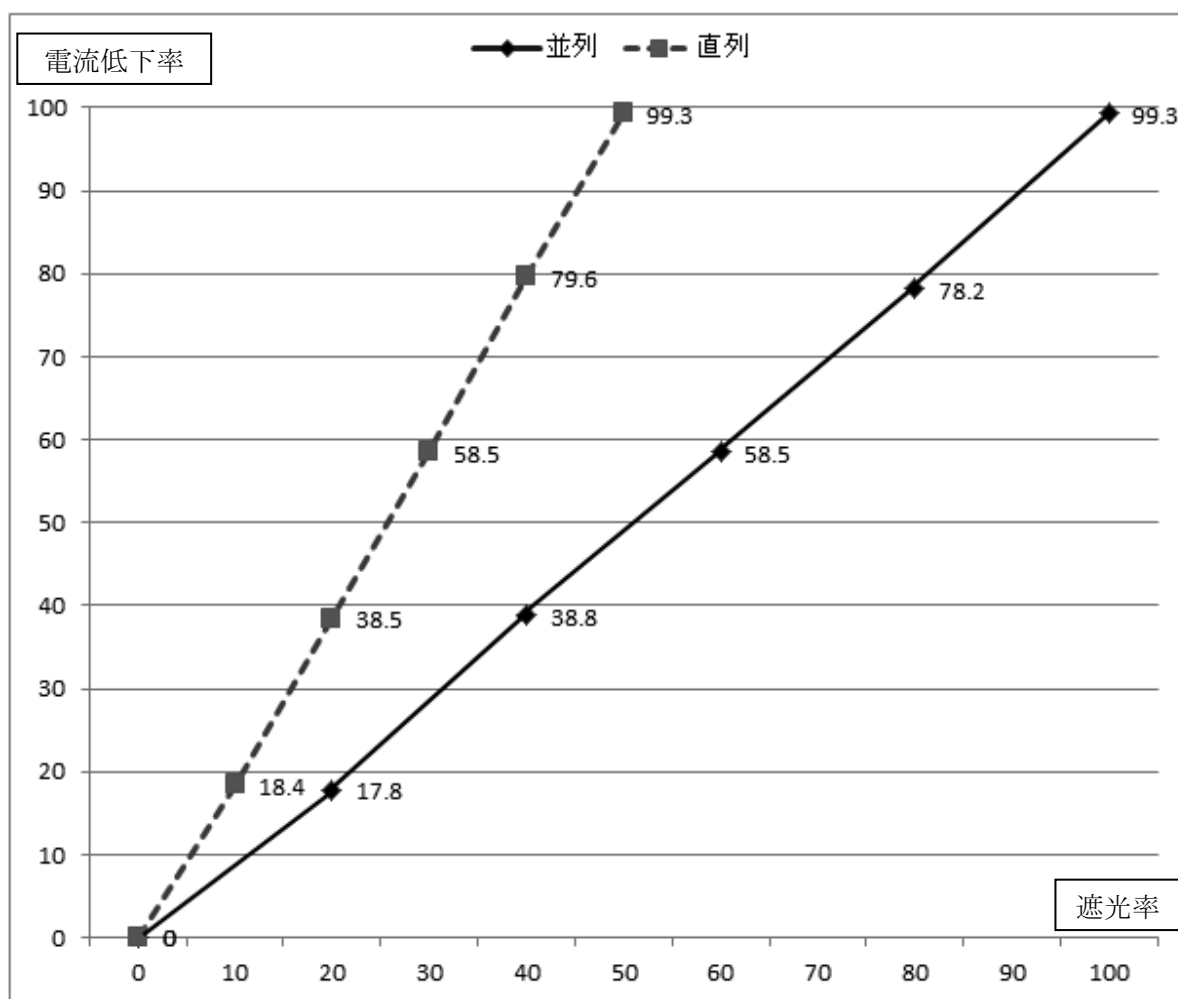
N o 5 (各並列回路遮光時の開放電圧・短絡電流測定結果及び低下率)

遮光パネル (割合)	開放電圧 (V)		低下率 (%)	短絡電流 (A)		低下率 (%)
A1、B1 (全体の20%遮光)	直前	3.107	1.0	直前	1.46	17.8
	直後	3.076		直後	1.20	
A1、B1、A2、B2 (全体の40%遮光)	直前	3.104	3.0	直前	1.47	38.8
	直後	3.011		直後	0.90	
A1、B1、A2、B2 A3、B3 (全体の60%遮光)	直前	3.103	6.0	直前	1.47	58.5
	直後	2.919		直後	0.61	
A1、B1、A2、B2 A3、B3、A4、B4 (全体の80%遮光)	直前	3.103	12.1	直前	1.47	78.2
	直後	2.727		直後	0.32	
全遮光 (全体の100%)	直前	3.107	74.6	直前	1.47	99.3
	直後	0.789		直後	0.01	

N o 6 (各遮光率に伴う開放電圧の低下率)



N o 7 (各遮光率に伴う短絡電流の低下率)



N o 8 (ブルーシートでの遮光)



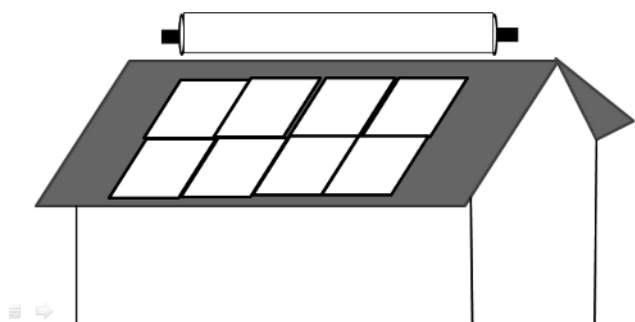
N o 9 (着色したブルーシートでの遮光)



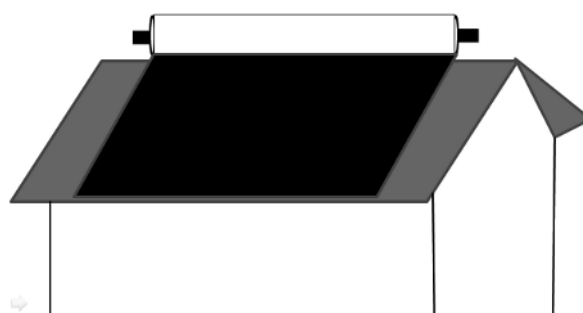
N o 1 0 (各シートでの遮光時の開放電圧・短絡電流測定結果及び低下率)

遮光シートの種類	開放電圧 (V)		低下率 (%)	短絡電流 (A)		低下率 (%)
ブルーシート	直前	3. 1 2 8	5. 7	直前	1. 4 6	6 7. 8
	直後	2. 9 5 0		直後	0. 4 7	
着色したブルーシート	直前	3. 1 4 0	7 5. 8	直前	1. 4 6	9 9. 3
	直後	0. 7 6 1		直後	0. 0 1	

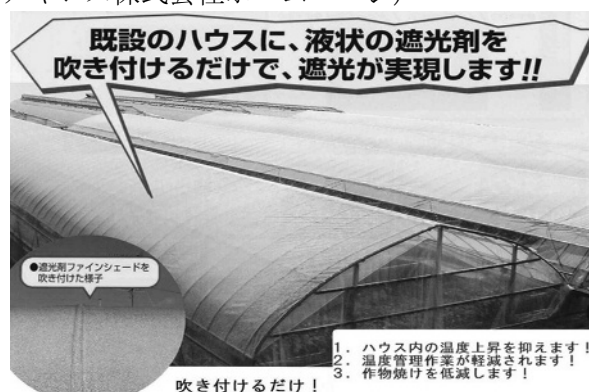
N o 1 1 (遮光シート展開前)



N o 1 2 (遮光シート展開後)



N o 1 3 (アキレス株式会社ホームページ)



アキレス株式会社
ホームページより

アキレス ファインシールド (遮光塗料・遮光剤) 12.5kg缶 (標準タイプ 約3ヶ月)
販売価格 : 12,000円 (税別)

- 吹き付けるだけ！
1. ハウス内の温度上昇を抑えます！
 2. 温度管理作業が軽減されます！
 3. 作物焼けを低減します！

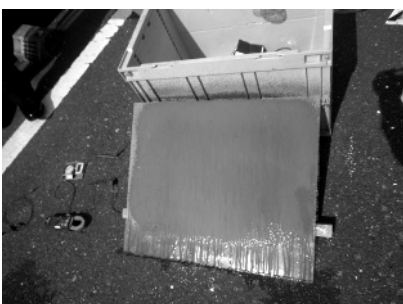
標準タイプ (約3ヶ月)	短期タイプ (約1ヶ月)	長期タイプ (約6ヶ月)
 内容量 8.4リットル 8.4リットルに対して約60リットル (59リットル) (原液:水=8.4リットル:59リットル)	 内容量 8.0リットル 8.0リットルに対して約56リットル (56リットル) (原液:水=8.0リットル:56リットル)	 内容量 7.5リットル 7.5リットルに対して約53リットル (53リットル) (原液:水=7.5リットル:53リットル)
1缶での塗布可能面積 (㎡) 800~1,000	1缶での塗布可能面積 (㎡) 800~1,000	1缶での塗布可能面積 (㎡) 700~900
遮光率 (%) 20~30	遮光率 (%) 20~30	遮光率 (%) 20~30

※噴霧器の種類、フィルム基材によって吹き付け状態が異なります。 ■内容物 (12.5kg/缶) : 水、界面活性剤、炭酸カルシウム、アクリル系樹脂

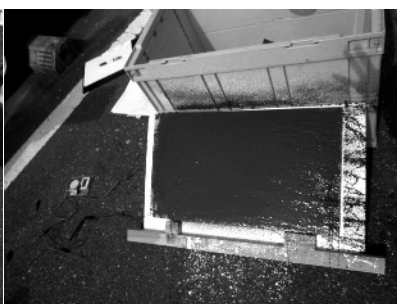
N o 1 4 (原液)



N o 1 5 (原液+水+絵具)



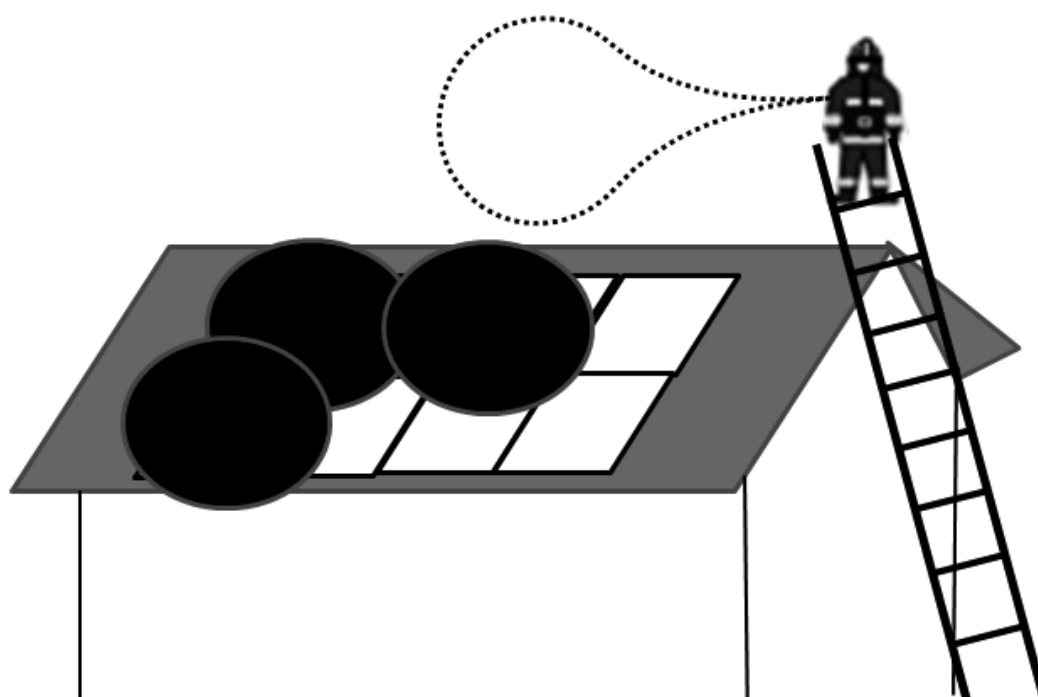
N o 1 6 (原液+絵具)



N o 1 7 （各遮光塗料での遮光時の開放電圧・短絡電流測定結果及び低下率）

塗料の種類	開放電圧（V）		低下率（％）	短絡電流（A）		低下率（％）
原液 5 0 m l	直前	3 . 3 0	1 0 . 6	直前	1 . 5 5	7 6 . 8
	直後	2 . 9 5		直後	0 . 3 6	
原液＋水 4 0 ＋絵具（黒）	直前	3 . 2 6	1 7 . 5	直前	1 . 6 8	9 5 . 2
	直後	2 . 6 9		直後	0 . 0 8	
原液＋絵具（黒）	直前	3 . 1 8	7 1 . 7	直前	0 . 8 5	9 8 . 9
	直後	0 . 9 0		直後	0 . 0 1	

N o 1 8 （遮光塗料での遮光）



N o 1 9 （背負式消火水のう）



N o 2 0 （散布状況）



放射距離約 1 0 ～ 1 5 m、容積約 1 8 L