

太陽光発電システムの消防活動時の危険性に関する検証 (その2)

加藤 達仁*, 中西 智宏*, 山内 一弘**, 田中 守人*, 石井 剛*,
渡邊 茂男*

概要

太陽光発電システムの消防活動時の危険性に関する検証(その1)の結果を踏まえ、本検証では、消防隊が現有又は比較的容易に入手し得るシート等の資器材を用いて太陽光パネル(以下「パネル」という)を遮光し、感電による危険を低減することの有効性について検証を行った。

その結果、パネルを遮光することにより、電圧値の変化、電流値の変化の特性を把握し、感電による危険の低減に対する効果を確認した。

1 はじめに

住宅用の太陽光発電システムはパネルを組み合わせたアレイにおいて光エネルギーを直流電流に変換し、接続箱にて幾つかのアレイからの直流電流が集約され、パワーコンディショナーにおいて直流電流を家庭で使う交流電流に変換し、分電盤を通して各家庭内の電気機器に送るしくみとなっている(図1参照)。

本検証では、パネル単体及びアレイをシート等で覆い、電圧及び電流の変化を測定することで感電による危険の検証を行った。

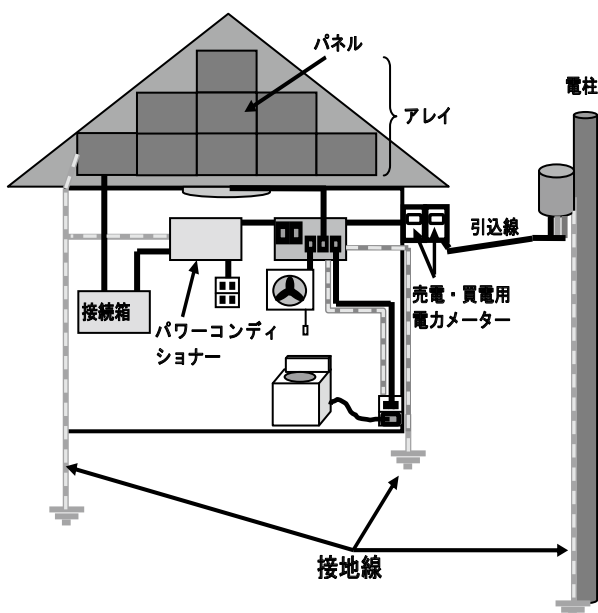


図1 太陽光発電システム概要図

なお、感電が人に及ぼす影響については、電流が直流であるか交流であるか、人体中を流れる電流値、電流が流れる経路及び電流が流れる時間等の要因が考えられるが、今回は表1¹⁾を参考に電流値により、感電による危険を検証した。

表1 電流が人体に及ぼす影響

人体を流れる電流値	人体の反応
1mA	ビリビリ感じる(最小感知電流)
5mA	手足に強く感じる。我慢できる限界の電流
10~20mA	筋肉が麻痺。自分の意志では動けない(離脱電流)
50mA	気絶、心臓や呼吸系に異常な興奮
5~6A	電流の部分にジュール熱が発生し、やけどの発生

また、人体の抵抗については、人体の部位、接触面積、肌の状態及び着衣等により大きく異なるが、人体の内部抵抗は 500Ω ²⁾という値が使用されていることから、この値を人体の抵抗値とした。

2 検証項目

(1) シート等による遮光時の電圧低下に関する検証
(検証1)

シート等によりパネル及びアレイを遮光した場合の電圧の低下割合を検証した。

(2) 電圧低下と感電による危険に関する検証(検証2)

パネル及びアレイを遮光したことによる電圧低下時の、 500Ω の抵抗に流れる電流を測定し、電圧の低下が感電による危険の軽減にどのように関与するかを検証した。

3 検証期間及び場所

平成 24 年 11 月から平成 25 年 3 月まで
東京消防庁 消防技術安全所 総合実験室前

4 検証対象としたパネル及びアレイ

パネルは A 社製多結晶シリコン型（公称開放電圧 26.2V 公称短絡電流 8.60A、写真 1 参照）を使用し、アレイはこのパネルを直列に 9 枚組み合わせ合わせたもの（写真 2 参照）を使用した。

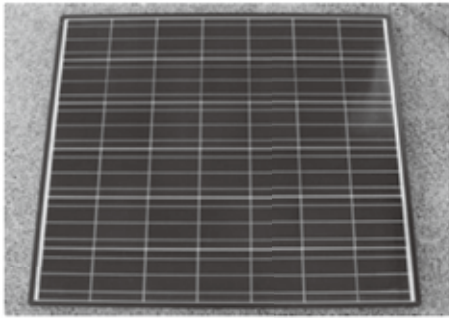


写真 1 A 社製多結晶シリコン型パネル

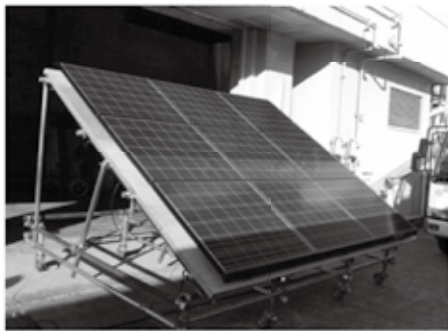


写真 2 アレイ

5 検証方法

(1) シート等による遮光時の電圧低下に関する検証
(検証 1)

ア パネル単体をシート等により遮光した時の電圧の測定

(イ) 電圧測定

地面に対して 30° 傾斜させて設置した 1 枚のパネルに対し、以下に示すシート等により遮光し、その際の開放電圧を測定した(図 2 及び写真 3 参照)。

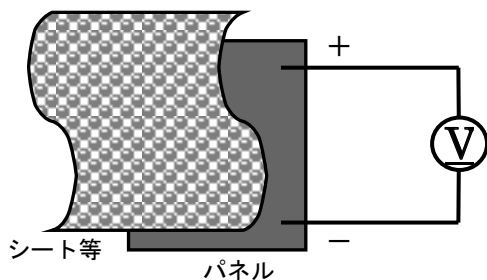


図 2 遮光時の電圧測定概要図

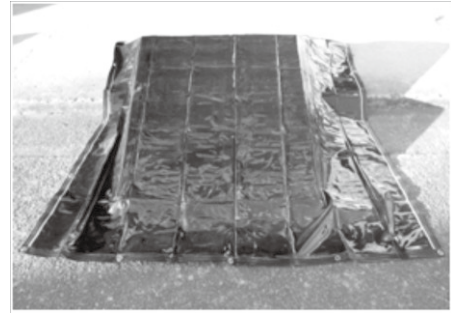


写真 3 パネル遮光状況 (溶接遮光シートで被覆)

(イ) 遮光に使用したシート等

以下の①～⑧により遮光を試みた。

- ①火花養生シート (写真 4)
耐炎化繊維製 厚さ 1.00mm
- ②溶接遮光シート (写真 5)
防炎軟質塩化ビニルフィルム製 厚さ 0.35mm
- ③防炎シート (写真 6)
ポリエステル製 厚さ 0.34mm (一般建築工事等用)
- ④防水シート (青色) (写真 7)
ポリエチレン製 厚さ 0.26mm (屋内外工事保護等用)
- ⑤メッシュシート (写真 8)
ポリプロピレン製 厚さ 0.46mm (建築工事等用)
- ⑥暗幕 (写真 9)
アクリル系繊維製 厚さ 0.56mm
- ⑦防水シート (緑色) (写真 10)
ポリエチレン製 厚さ 0.40mm (屋内外工事保護等用 東京消防庁消防隊配置資器材)
- ⑧黒色塗料 (写真 11)
水性黒色スプレー塗料



写真 4 (左) ①火花養生シート



写真 5 (右) ②溶接遮光シート

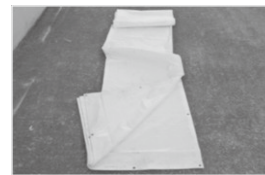


写真 6 (左) ③防炎シート



写真 7 (右) ④防水シート (青色)



写真 8 (左) ⑤メッシュシート



写真 9 (右) ⑥暗幕

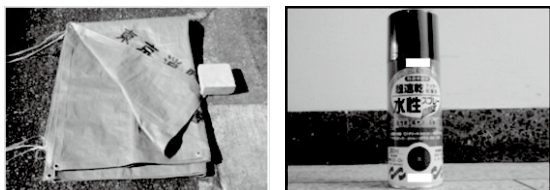


写真10 (左) ⑦防水シート (緑色)

写真11 (右) ⑧黒色塗料

イ アレイをシート等により遮光した時の電圧の測定
 前アで特に電圧低下が大きかった暗幕を使用し、図3に示す9枚のパネルを組み合わせたアレイを表2の方法で順次被覆した時の電圧を測定した。

また、前ア(イ)④の防水シート(青)を使用し、アレイ全体を被覆し電圧を測定した。

※ 図4はアレイの各パネルを1から9の番号で示したものである。表2は図4で示す番号のパネルを被覆したものである。この番号により被覆場所を示す。

ウ 消火泡圧縮吐出装置(以下「CAFS」という)からの泡放射での遮光による電圧の測定

CAFSを用い、太陽光発電システムのアレイ全体に泡薬剤(合成界面活性剤泡)混合率2.0%のドライ泡を付着させ電圧を測定した。

使用したアレイは前イと同じであり、実験状況を写真12から15に示す。

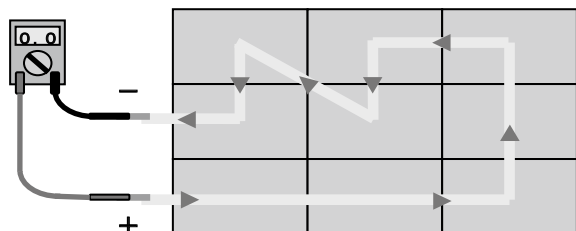


図3 パネル接続状況及び測定方法

		上	
	⑦	④	①
左	⑧	⑤	②
	⑨	⑥	③
		下	

図4 パネル番号図

表2 暗幕及び防水シート(青)による被覆の仕方
 (覆うパネルを図4の①から⑨で示す。)

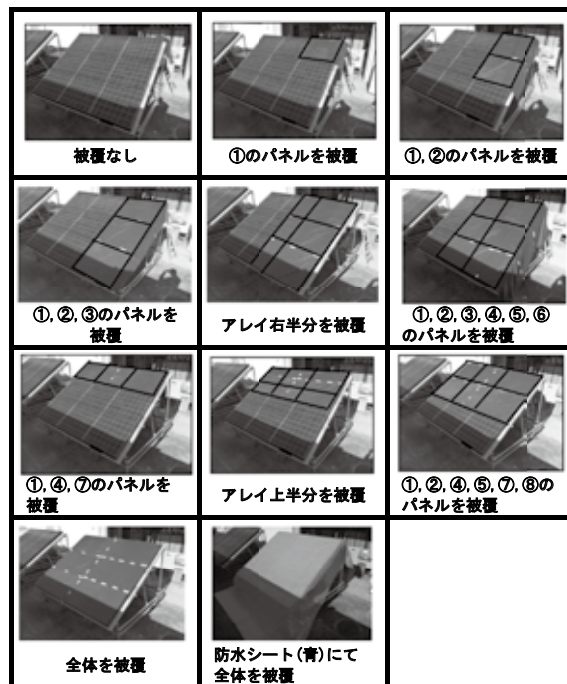


写真12 CAFS



写真13 CAFS設定状況



写真14 泡放射状況

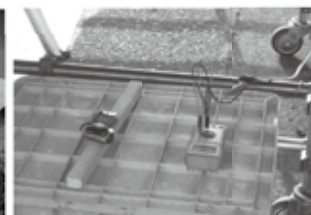


写真15 測定状況

(2) 電圧低下と感電による危険に関する検証(検証2)

遮光による電圧の低下が感電による危険の軽減にどのように関与するかを把握するため、次の実験を行った。

ア パネル単体による検証

5(1)ア(イ)で示したシート等をパネルに被覆することでパネルの起電圧を変化させた。また、回路中に人体の抵抗と同等である500Ωの外部抵抗(線径0.35mm及び0.5mmのニクロム線を組み合わせて作製)をかけ、流れる電流値を測定した。外部抵抗の値は、着衣の抵抗、肌の接触抵抗等を見出し、人体の内部抵抗のみに

着目した場合の値である。図5に電圧及び電流値の測定概要図を示す。

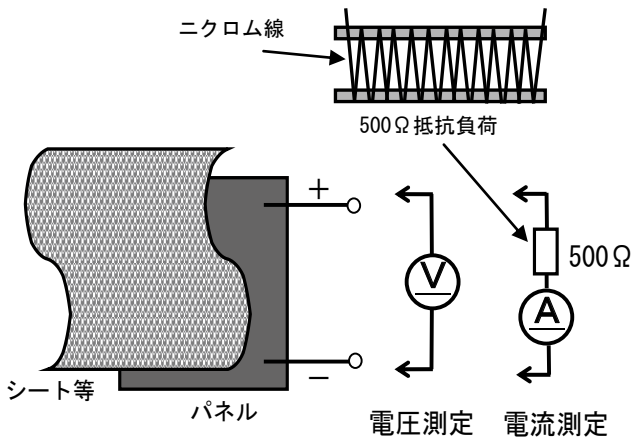


図5 パネル遮光時の電圧及び電流値の測定概要図

イ アレイによる検証

4枚のパネルを直列に接続したアレイについて、前アと同様の検証を行った(図6参照)。アレイ全体を被覆したほか、1枚または2枚のパネルのみを被覆した場合の電圧及び電流値を測定した。

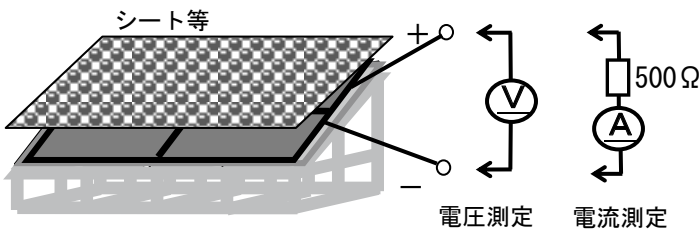


図6 アレイ遮光時の電圧及び電流値の測定概要図

6 実験結果

(1) シート等による遮光時の電圧低下に関する検証

(検証1)

ア パネル単体をシート等により遮光した場合の電圧を表3に示す。

イ アレイを暗幕で被覆した際の電圧を表4に、被覆パネル枚数に対する電圧低下割合を図7に示す。

ウ アレイへのCAFSの泡放射による泡の付着状況を写真16から31に示す。また、時間経過に伴う電圧変化を図8のグラフに示す。

表3 パネル単体を被覆または塗装した時の開放電圧等

シートの種類	厚さ (mm)	電圧 (V) (1枚被覆)	電圧低下割合 (%)	電圧 (V) (2枚被覆)	電圧低下割合 (%)
遮光なし	—	24.45 26.19*	—	—	—
遮炎シート	1.00	4.2	82.8	0.035	99.9
溶接遮光シート	0.35	19.95	18.4	15.77	35.5
防炎シート	0.34	22.21	9.2	21.35	12.7
青色防水シート	0.26	22.84	6.6	21.89	10.5
メッシュシート	0.46	23.74	2.9	22.85	6.5
暗幕	0.56	3.85	84.3	0.04	99.8
緑色防水シート	0.40	23.89*	8.8	21.91*	16.3
黒色塗料	—	18.58	24.0	12.75	47.9

※印及び無印はそれぞれ同一日に実施

表4 アレイを被覆した際の開放電圧等

被覆部分	被覆枚数(枚)	電圧 (V)	電圧低下割合 (%)
被覆なし	0	220.5	—
①	1	201.7	8.5%減
①,②	2	183.2	16.9%減
①,②,③	3	166.7	24.4%減
アレイ右半分	4.5	150.5	31.7%減
①,②,③ ④,⑤,⑥	6	113.0	48.8%減
①,④,⑦	3	171.5	22.2%減
アレイ上半分	4.5	154.9	29.8%減
①,②,④ ⑤,⑦,⑧	6	120.7	45.3%減
全体	9	68.6	68.8%減
防水シート(青)にて全体	9	205.5	6.8%減

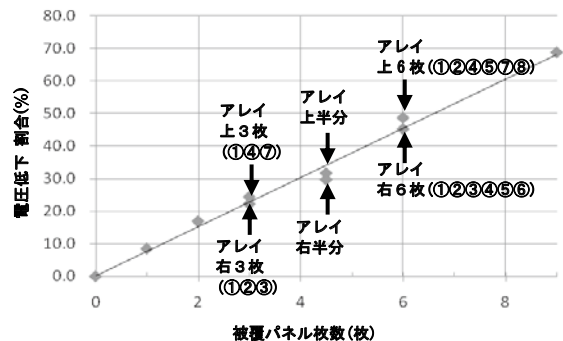


図7 アレイの暗幕遮光による電圧の低下割合

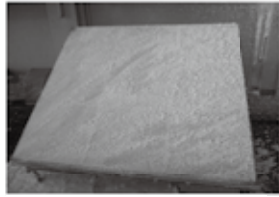


写真 16 泡放射停止時
(電圧 198.4V)



写真 17 1分後
(電圧 199.7V)

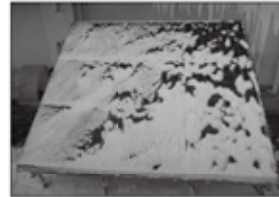


写真 30 14分後
(電圧 206.6V)



写真 31 15分後
(電圧 207.0V)



写真 18 2分後
(電圧 200.2V)



写真 19 3分後
(電圧 200.1V)



写真 20 4分後
(電圧 199.8V)



写真 21 5分後
(電圧 199.2V)

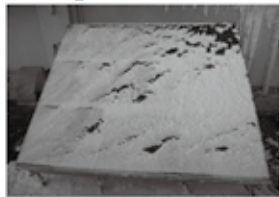


写真 22 6分後
(電圧 199.0V)

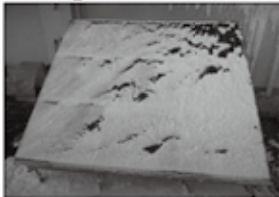


写真 23 7分後
(電圧 199.4V)

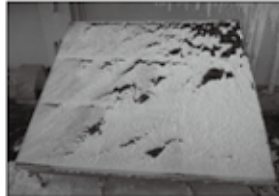


写真 24 8分後
(電圧 200.3V)

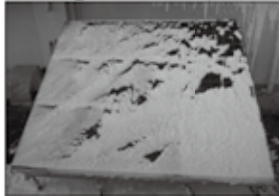


写真 25 9分後
(電圧 201.1V)



写真 26 10分後
(電圧 202.3V)

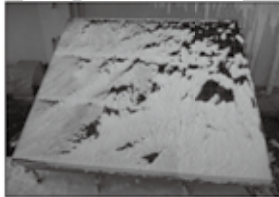


写真 27 11分後
(電圧 203.3V)

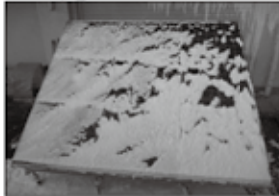


写真 28 12分後
(電圧 204.6V)



写真 29 13分後
(電圧 205.8V)

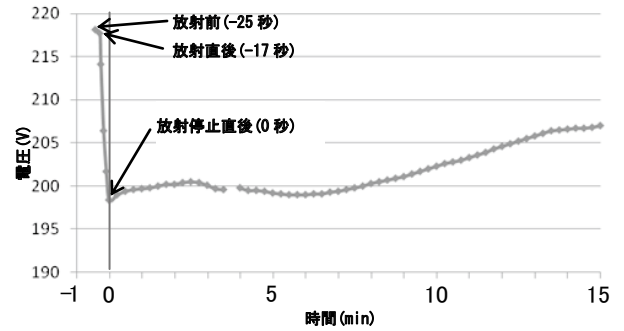


図 8 CAFS の泡放射による電圧の変化

(2) 電圧低下と感電による危険に関する検証 (検証 2)

ア パネル単体を被覆した時の電圧及び電流値を表 5 に示す。

イ アレイを被覆した時の電圧及び電流値を表 6 に示す。

表 5 パネル単体での測定結果

遮光物	開放電圧 (V)	電圧低下割合 (%)	短絡電流 (A)	500Ω 抵抗時電圧 (V)	500Ω 抵抗時電流 (mA)
なし	24.4	0.0	7.9	24.0	51
メッシュシート	23.7	2.9	3.1	23.5	49
防水シート1枚	22.3	8.6	1.7	21.9	47
防水シート2枚	21.0	13.9	0.61	20.8	44
防水シート3枚	20.0	18.0	0.24	19.7	42
防水シート4枚	19.0	22.1	0.14	18.4	39
防水シート5枚	18.0	26.2	0.06	19.7	42
防水シート8枚	15.9	34.8	0.017	7.2	15
防水シート12枚	12.5	48.8	0.0037	1.6	3.4
火花養生シート	6.9	71.7	0.0062	0.28	0.59
暗幕2枚重ね	3.4	86.1	0.0019	0.09	0.18

表 6 アレイでの測定結果

遮光物(遮光範囲)	開放電圧 (V)	電圧低下割合 (%)	短絡電流 (A)	500Ω 抵抗時電圧 (V)	500Ω 抵抗時電流 (mA)
なし	96.3	0.0	8.7	95.1	200
防水シート2枚(全体)	84.3	12.5	0.8	83.6	180
防水シート3枚(全体)	80	16.9	0.22	72.4	155
防水シート4枚(全体)	76	21.1	0.098	37.9	82
防水シート5枚(全体)	70	27.3	0.043	17.3	38
(記録なし)	54.5	43.4	0.0034	1.54	3.3
火花養生シート(パネル1枚)	70	27.3	0.8	42.6	91
火花養生シート(パネル2枚)	55	42.9	0.04	15.3	33

各測定のうち、電圧低下割合に対する500Ω抵抗負荷時の電流値をグラフに表したものを図9に示す。

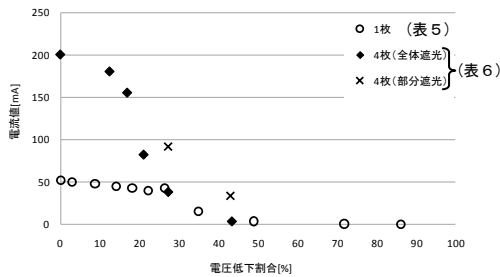


図9 電圧低下割合と500Ω抵抗負荷時の電流値

7 考察

(1) シート等による遮光時の電圧低下に関する検証

(検証1)

ア パネル単体に対する実験の結果から

(ア) 溶接遮光シートは遮光シートと言いつつも電圧低下は1枚重ねで約18.8%、2枚重ねでも35.5%であった。一方、火花養生シート、暗幕では1枚重ねで約80%の電圧低下がみられ、2枚重ねにすると100%近く電圧低下がみられたことから、パネルを遮光することの有効性は確認された。

(イ) 消防活動中に建物の屋根上のアレイをすべて遮光する労力や時間等を考慮すると、資器材の厚さや重量等も含めて検討する必要がある。

(ウ) 前(ア)で示した以外のシートについては消防隊の現有資器材の防水シート(緑)を含め、1枚重ねでは10%未満の電圧低下で、防水シート(緑)を2枚重ねにしても最大で16.3%の電圧低下であり、上記(ア)のシート等ほどの大きな電圧低下は認められなかった。

イ アレイに対する実験の結果から

(ア) 表3及び表4より、1枚重ねの防水シート(青)でパネル単体及び、アレイ全体を被覆した場合の電圧低下は6.6%及び6.8%とどちらにおいても同じ割合で低下したことから、パネルを被覆することによる電圧低下の割合はパネル1枚を対象にした場合も、複数のパネルを直列に接続したアレイを対象にした場合も、同様になることが分かった。暗幕においてはパネル単体を被覆した場合の電圧低下は84.3%、アレイ全体を被覆した場合の電圧低下は68.8%(1枚重ね時)と電圧低下に開きがでたが、これはアレイ全体を暗幕で被覆する際、複数の暗幕をつなぎ合わせて被覆したことからのつなぎ目の隙間からの光の侵入があり、パネル単体を覆った場合ほど低下が見られず、電圧低下に開きが出たと考えられる。

(イ) アレイ右側1/3のパネルを被覆した場合の電圧低下割合は24.4%、アレイ上側1/3のパネルを被覆した場合の電圧低下割合は22.2%、アレイ右半分被覆した場

合の電圧低下割合は31.7%、アレイ上半分被覆した場合の電圧低下割合は29.8%、アレイ右側1/2のパネルを被覆した場合の電圧低下割合は48.8%、アレイ上側2/3のパネルを被覆した場合の電圧低下割合は45.3%であった。このことから横側より被覆した場合、縦側から被覆した場合とそれぞれ同面積被覆した場合の電圧低下割合に大きな差は認められず、また図7から被覆したパネルの枚数と電圧の変化をグラフにすると比例的に電圧が減少することが分かった。これは、被覆したパネルの面積が電圧の低下に影響していることが考えられる。

ウ CAFSの泡によりアレイ全体を覆った場合

本検証で、アレイへの泡の定着性に優れると思われる方法としてCAFSを用い泡薬剤(合成界面活性剤)混合率2.0%のドライ泡をアレイに付着させ測定を行ったが、被覆直後でも電圧は9.0%の低下にとどまり、時間経過とともに消泡及び泡の落下により電圧は回復し、15分後には被覆前の95%にまで回復した。このことから、泡放射による遮光では、電圧の大きな低下は期待できず、また、泡放射や水ぬれはパネル上での作業危険を増大させる。これらのことから泡放射による遮光の有効性は認められない。

(2) 電圧低下と感電による危険に関する検証(検証2)

パネル単体での実験結果をみると、遮光により電圧を低下させた場合、電圧低下割合と500Ω負荷時の電流値は全ての範囲で比例関係にあるのではなく、開放電圧がある程度以下に低下すると電流値が急激に低下していることがわかる。これにより、遮光により電圧をある程度まで低下させれば感電による危険が急激に軽減する可能性があると考えられる。

4枚のパネルを接続したアレイについても同じ傾向が見られ、アレイの場合は電圧低下割合が小さい時から電流値が急激に低下し始めており、パネル単体でもアレイでも40~50%の電圧低下割合において電流が3mA程度となっている。このことから、パネル単体に比べて電圧の絶対値が高いアレイについても、電圧をある割合にまで低下させれば感電による危険が軽減することが予想される。ただし、これについては、更にパネルの枚数を増やしたアレイでの検証等が必要である。また、同じ電圧低下割合でも、一部のパネルのみを遮光した場合には電流値は高くなることがわかった。

8 まとめ

消防隊が現有もしくは容易に入手できる資器材を用いてパネルを遮光することで、感電による危険を軽減させることは可能である。

9 おわりに

(1) 太陽電池は、受ける光の強弱のみでなく光の波長や温度によっても影響を受ける。光にはスペクトル分布で

見られるようにいろいろな波長のものがあり、実際に太陽電池が光エネルギーを電気エネルギーに変換できるのは、ある特定の波長帯のみとなる³⁾。このことから光の強弱に加え、光の波長や温度による影響などをさらに検討した実験を行う必要がある。

(2) パネルは用途や設置環境によりそれぞれの特徴を活かした多種類のも存在する。したがって、本検証結果が全てのパネルに適用されるものではない。本検証では「遮光」が、安全対策の一つとして考えられたが、消防及び防災上のより効果的な安全対策として被災時に全パネルでの発電を停止させるシステム開発も同時に望まれる。

[参考文献]

- 1) 曾根悟ほか監修図解電気の大百科オーム社 p133
- 2) 財九州電気保安協会 HP
- 3) 山口真史監修太陽電池&太陽光発電の仕組みがよくわかる本