

太陽光発電システムが導入された交流配電システムにおける漏電遮断器の動作整定

Operation Settling of Ground Fault Circuit Interruption in AC Distribution System Including PV Systems.

酒井 重嘉*¹
Kazuyoshi SAKAI

三木 一郎*²
Ichiro MIKI

PV (Photovoltaic) system attracts attention as eco-friendly energy. Consumers installing the PV system increase for eco-friendly energy, easy installation, and etc. and the unnecessary fault operations of the ground fault circuit interrupter are reported from some consumers. Therefore, the fault operations are examined, and it is found that the earth capacitance of the PV module causes the fault operation. This capacitance of the PV module is measured, and these results make it clear that the earth capacitance is affected by the back sheet material of the PV module. The authors present that the equation for the parallel plate capacitor can be applied to the calculation of the earth capacitance by using these measurements. Furthermore, the optimum design method for the ground protection of the PV system is obtained using this equation. This method is applied the practical PV system of consumer, and the result verifies the validity of this design method.

キーワード：太陽電池モジュール，対地静電容量，漏電遮断器，動作整定

Key word：Photovoltaic module, Earth capacitance, Ground fault interrupter, Operation settling

1. はじめに

太陽光発電システムは絶縁低下などによる地絡事故時に流れる事故電流を検出するため、パワーコンディショナ（以下、PCS）の直流回路に直流地絡継電器、交流回路に交流地絡継電器や漏電遮断器が設置される。この漏電遮断器は動作協調が図られているため、地絡事故点よりも電源側の直近上位の漏電遮断器が最も早く動作し、速やかに地絡事故点を電路から切り離す。これを地絡保護協調と呼んでいる。近年、太陽電池モジュールの絶縁劣化による地絡事故や⁽¹⁾⁽²⁾、太陽光発電システム以外の電路での絶縁劣化による地絡事故により PCS の交流配電システム側に設置される漏電遮断器の不要動作事例⁽³⁾が報告されている。漏電遮断器の不要動作は需要家内の停電範囲の拡大を招くため深刻な問題である。今後、太陽光発電システムは、社会的な背景もあり更に増加すると予想され、同種の事故の増加が想定される。

太陽光発電システムにおける絶縁劣化に関する研究として、太陽電池アレイやモジュールの絶縁劣化箇所を特定する方法に関する研究がある^{(4)~(7)}。しかしながら、絶縁劣化箇所を速やかに遮断するための地絡保護協調に関して検討された事例は少ない。地絡保護協調の設計手法には二つの問題点があると考えられる。一つは、地絡継電器や漏電遮断器の動作整定が電気設備管理者の経

験則に基づいているため、整定された値が最適であるかの判断ができないこと、もう一つは、漏電遮断器の不要動作を防止する対策は絶縁変圧器を設置することであるが、絶縁変圧器の要否を判断する基準がないことである。

二つの課題を解決するためには、交流電路と直流電路を構成する機器や材料のインピーダンスを明らかにしなければならない。機器や材料のインピーダンスが明らかになれば需要家全体の回路モデルを想定でき、事故電流を計算で求めることが可能になる。地絡保護協調を検討する場合の回路モデルにおいて必要な要素は、電路の対地インピーダンスである。電路には変圧器、電線・ケーブル、太陽電池モジュールや PCS などの各種電気機器が接続されている。この中で、対地インピーダンスを構成する要素は、B 種接地工事の接地抵抗、電気機器に内蔵されているノイズフィルタの静電容量および対地静電容量である。

電線・ケーブルは数 pF/m から数十 pF/m の対地静電容量であるが、一つの需要家において電線・ケーブルの総延長距離が数十 km に及ぶこともある。このため電線・ケーブルの対地静電容量は地絡電流の計算において考慮しなければならない。太陽電池モジュールは太陽電池セルを絶縁体で封止しているため静電容量をもつ。太陽電池モジュール単体の静電容量は地絡電流の計算に大きく影響を与えるものではないと想定できるが、太陽電池アレイとしてモジュールの集合体を構成する場合は考慮する必要がある。これらの対地静電容量を考慮せず漏電遮断器の整定値を整定すると漏電遮断器の不要動作を招く恐れがある。

筆者らは単結晶や多結晶などの太陽電池セルの種類に注目し、

* 1 明治大学大学院理工学研究科電気工学専攻（〒214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1） e-mail:sakai-k06@kandenko.co.jp

* 2 明治大学大学院 教授

（原稿受付：2012年5月15日）

その対地静電容量を実測した。その結果、太陽電池モジュールの種類には無関係で、裏面保護材の違いによる差が確認できた。裏面保護材にはアルミシートとポリエチレンテレフタレート(以下、PET) が用いられているが、アルミシートを用いた太陽電池モジュールの対地静電容量は PET を用いたものと比較し大きくなる傾向があり、その面積と断面高さの関係がある一定値以上であれば、従来の平行板の静電容量を求める式が有効であることを明らかにした。

さらに、裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールの静電容量を算出する式を用いて、対地静電容量を考慮した漏電遮断器の適切な動作整定条件を算出する方法を明らかにし、実際の需要家設備に適用し有効な結果が得られた。

2. 太陽電池モジュールにおける対地静電容量算出式

2.1 太陽電池モジュールの対地静電容量測定および測定結果

太陽電池モジュールの仕様は出力動作電圧や出力動作電流などが明らかにされているが、内部インピーダンスや対地静電容量は公表されていない場合が多い。太陽電池モジュールの対地静電容量が公表されている例として松野氏⁽⁸⁾の報告がある。しかしながら、測定方法が明らかにされていない。桜井氏ら⁽⁹⁾は単結晶の太陽電池モジュールに直流電圧を印加し、電圧・電流の時間的変化から静電容量を求めている。

筆者らは、太陽電池セルの種類と地絡事故時の事故電流の周波数範囲に着目し、静電容量を実測した。太陽電池モジュールは国内で市販されている単結晶・多結晶・薄膜結晶・アモルファス・CIGS(Copper Indium Gallium Diselenide)を対象とした。選定した国内 8 メーカー・18 機種を表 1 に示す。

図 1(a)に測定の概要、同図(b)に測定部分の拡大を示す。測定器はアジレントテクノロジー社製インピーダンスアナライザ 4284A を用いた。本測定器は測定方法に自動平衡ブリッジ法を採用している⁽¹⁰⁾。自動平衡ブリッジ法は広い周波数範囲を精度良く測定できること、測定対象が片側接地されていても測定可能なことから回路素子のインピーダンス測定に広く採用されている。測定周波数範囲は 10 Hz～500 kHz としたが、これは地絡事故時に発生する事故電流が、商用周波数から半導体電力変換装置のスイッチングに伴う高周波電流まで含む場合があるためであり、需要家全体の回路モデルを想定する際に必要であると判断した。太陽電池モジュールは、発電面を暗幕シートで覆い発電電圧を数 mV 程度に抑えた。高さ 0.9 m の木製の机の上にゴムシートを敷き、ゴムシートの上に高さ 0.6 m のプラスチック製のケースを置き、のケースの上に太陽電池モジュールを配置した。図 1(b)に示すように、測定対象回路は正極側とフレーム間および負極側とフレーム間とした。図 1(b)の左側は結晶系、右側は CIGS 系の断面図を示すが、どちらも基本的な構造は変わらず、セルとフレーム、もしくは裏面保護材との間に平行板コンデンサが形成される。図 2

は太陽電池モジュールの接続箱の一例である。太陽電池モジュールの正極と負極間にはダイオードが接続されているが、測定する際はこれを外した状態とした。これは、地絡事故が発生しても、線間電圧は変化せず、地絡電流の計算において線間のインピーダ

表 1 太陽電池モジュールの仕様

Table 1 Specifications of PV module

Maker	PV types	Power[W]	Width×Depth×Height[mm]
A	Polycrystal	70	778*660*57
	Polycrystal	43	526*652*54
	Polycrystal	100	1300*540*36
B	Monocrystal	84	1200*530*35
	Monocrystal	130	1180*710*36
	Microcrystalline	128	1009*1419*46
C	Monocrystal	210	1580*812*35
	Polycrystal	208.4	1480*985*46
D	Polycrystal	230	1658*994*46
	Polycrystal	134	1230*790*36
	Polycrystal	134	1250*800*36
E	Microcrystalline	110	1240*1008*40
	Amorphous	60	960*990*40
F	CIGS	115	1417*791*37
	CIGS	125	1417*791*37
G	CIGS	85	1235*671*35
	Monocrystal	52.5	1290*330*36
H	Polycrystal	125	1160*800*36

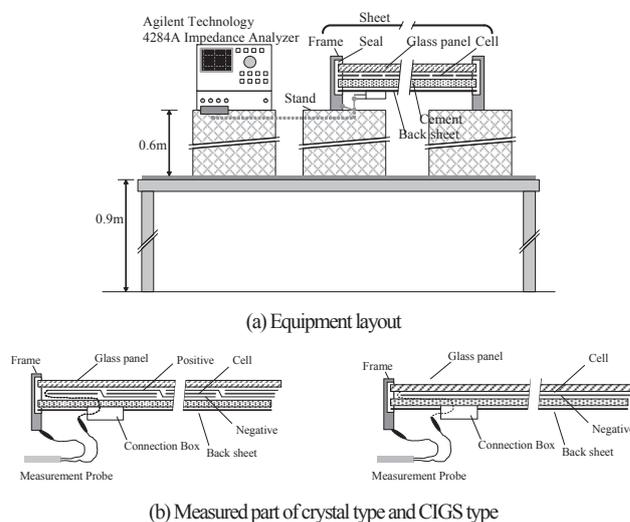


図 1 静電容量の測定

(a) 機器の配置, (b) 結晶系と CIGS 系の測定箇所

Fig. 1 Measurement of earth capacitance



図 2 太陽電池モジュールの接続箱の例

Fig. 2 Connection box

ンスは無視できるためである。

表2に測定周波数50 Hzにおける太陽電池モジュールの静電容量の測定結果を示す。今回の測定周波数範囲である10 Hz~500 kHzの測定結果に違いは見られなかった。そのため、以降は50 Hzに限定し議論する。また、正極側と負極側の測定結果についても当初の想定どおり違いが無かったため、ここでは負極側とフレーム間の測定結果を示している。

測定値は0.2 nF~1.9 nF にばらついた。最大値はB社の薄膜結晶で1.9 nF、最小値はA社の多結晶で0.2 nFとなった。

CIGSはF社、G社ともにはほぼ同程度の値となった。多結晶はA社の一部の機種が1.5 nFとなり、A社の他機種や他メーカーの多結晶と比較し大きい傾向がある。単結晶はC社の機種が1.6 nFとなり、B社とG社の機種と比較し大きい傾向がある。E社の2機種はそれぞれセルの種類が異なっているが、静電容量の測定値はほぼ同じ結果となった。

2.2 太陽電池モジュールの構造と対地静電容量

静電容量は電極面積と電極間の距離に関係する。従って太陽電池モジュールの構造と対地静電容量にはある一定の関係があると想定できる。太陽電池モジュールの構造は、セルをEVA（エチレン酢酸ビニル）で封止しガラスパネルと裏面保護材で挟み込んでいる⁽¹⁾。太陽電池モジュールは対地間に着目すると、配線とセルおよびフレームが電極となり、封止材・ガラスパネル・裏面保護材が誘電体となるコンデンサ構造を有していると考えられる。

裏面保護材は2種類あり、PET（ポリエチレンテレフタレート）をPVF（ポリフッ化ビニル）とEVAで挟み込んだもの、PETの替りにアルミシートを用いた2種類がある。このため、裏面保護材にPETとアルミシートを用いている太陽電池モジュールの静電容量は、違いがあると推定できる。

裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールの静電容量 C_{alm} は、配線とセルおよびアルミシートが電極となる平行板コンデンサ構造となると考えられる。モジュール面積を S [m²]、モジュール断面高さを d [m]、真空の誘電率 $\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12}$ 、エチレン系の比誘電率 $\epsilon_s = 2.3$ とすると、裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールの対地静電容量 C_{alm} は(1)式となる。ここでモジュール断面高さとは、図2に示すセルから裏面保護材まで含めた厚さのことである。

$$C_{alm} = 20.36 \times 10^{-12} \frac{S}{d} \quad (1)$$

表3は裏面保護材にアルミシートを用いた6機種の太陽電池モジュールの対地静電容量の測定値と(1)式で求められる計算値を比較したものである。誤差の最大値はA社の多結晶で39.6%、最小値はB社の薄膜結晶で0.5%になる。

図3は横軸にモジュール面積と断面高さの比となる S/d をとり縦軸に対地静電容量の測定値と計算値の関係を示したもので

ある。今回、選定した太陽電池モジュールにおいてモジュール面積と断面高さの比が1500以上の場合、よく一致している。 S/d が小さくなると誤差が大きくなる傾向がある。これは太陽電池モジュールの面積が小さくなるか断面高さが高くなると誤差が大きくなることを示している。これは、次のように考えることがで

表2 太陽電池モジュールの静電容量

Table 2 Earth capacitance of PV module

Maker	PV types	Capacitance[nF]
A	Polycrystal	0.2
	Polycrystal	0.3
	Polycrystal	1.5
B	Monocrystal	0.4
	Monocrystal	0.7
	Microcrystalline	1.9
C	Monocrystal	1.6
	Polycrystal	0.4
D	Polycrystal	0.5
	Polycrystal	0.5
	Polycrystal	0.4
E	Microcrystalline	0.7
	Amorphous	0.6
F	CIGS	1.6
	CIGS	1.6
G	CIGS	1.5
	Monocrystal	0.7
H	Polycrystal	0.5

表3 対地静電容量の測定値と計算値の誤差

Table 3 Error between measured and calculated values

Maker	PV types	Capacitance[nF]		Error [%]
		Measurement	Calculation	
A	Polycrystal	1.5	0.9	39.6
B	Microcrystalline	1.9	1.9	0.5
C	Monocrystal	1.6	1.4	18.2
F	CIGS	1.6	1.5	2.9
	CIGS	1.6	1.5	4.1
G	CIGS	1.5	1.2	24.4

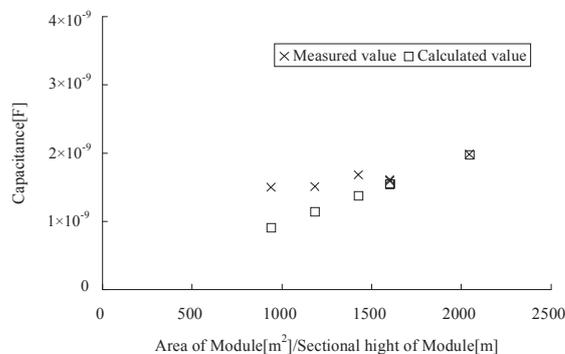


図3 対地静電容量の測定値と計算値

Fig. 3 Earth capacitance

きる。モジュール面積が大きい場合、大部分は一樣の電界となるため平行板コンデンサの静電容量を求める式が成立する。しかし

ながら、モジュール面積が小さい場合、フレーム近傍の電気力線の影響が大きくなる。このため平行板コンデンサの静電容量を求める式では誤差が大きくなると考えられる。

以上より、裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールは、面積と断面高さの関係が一定値以上において(1)式を用いて対地静電容量を求めることが可能であると考えられる。

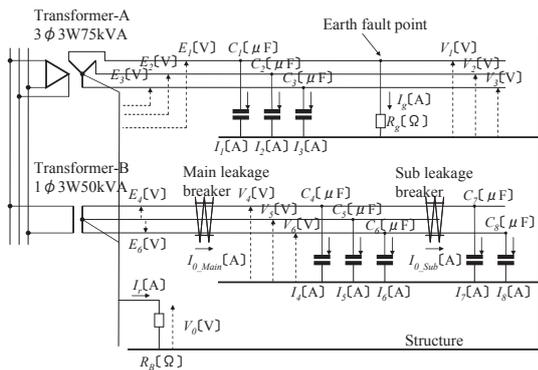
また、図3において太陽電池モジュール面積と断面高さの比が小さくなると誤差は大きくなっているが、対地静電容量の値が1.5 nFに収束する傾向が見られる。このため、フレーム近傍の様ではない電界の影響を考慮できるような補正係数を設定すれば平行板コンデンサの静電容量を求める式を用いて裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールの対地静電容量を求めることは可能であると考えられる。

裏面保護材にPETを用いた太陽電池モジュールの対地静電容量はすべて1 nF以下である。対地静電容量が小さいと、地絡時に発生する事故電流も小さく地絡保護協調への影響は少ない。従って、同規模の太陽電池アレイと比較すると地絡保護協調の検討には、対地静電容量が大きく、地絡時の事故電流が大きいと考えられる裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールを想定すればよいと考えられる。

3. 漏電遮断器の動作整定

3.1 需要家モデルの設定

図4に漏電遮断器の動作整定の条件を検討するための需要家



- $E_1, E_2, E_3, E_4, E_5, E_6$: 線間電圧
- $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6, V_0$: 各相対地間電圧
- $I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8$: 各相電流
- I_g : B種接地線電流
- I_g : 地絡電流
- I_{0_Main} : 主幹零相電流
- I_{0_Sub} : 分岐零相電流
- R_b : B種接地地抵抗
- R_g : 地絡地抵抗
- $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8$: 各相対地静電容量

図4 電気設備モデル

Fig. 4 Electrical installation model

モデルを示す。当該モデルは需要家の設備構成を単純化したものである⁽¹¹⁾。地絡電流の計算のために単純化できるのは、対地間イ

ンピーダンスがすべて並列回路となるからである。このため、変圧器群が増えても変圧器毎に対地静電容量を介して流れる電流を計算すればよく、それぞれを独立して計算した後に合成することができる。なお、太陽光発電システムは10 kWでパワーコンディショナ(PCS)は電圧制御型⁽¹²⁾としてトランスレスとする。⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾

3.2 漏電遮断器の適切な動作整定値を決定する方法

これまで漏電遮断器の動作整定を決定する方法は明確に示されていない。漏電遮断器が多段構成されると、一般的に上位側の動作整定が優先され下位側は上位側の動作整定を下回るように設定されている。また、漏電遮断器の動作整定は経験的に決定されているため、不要動作する事故が後を絶たない。漏電遮断器の不要動作の要因は、漏電遮断器2次側の対地静電容量の大きさが関係する。適切な動作整定値を決定するためには、漏電遮断器2次側に接続されるケーブルや機器の対地静電容量が考慮されなければならない。対地静電容量が大きい場合、漏電遮断器は不要動作しやすくなる。太陽光発電システムは交流電路との連系点に漏電遮断器が設置されている。この漏電遮断器の動作整定も太陽電池アレイの設備容量等により対地静電容量を考慮しなければ不要動作が発生する恐れがある。このことから、漏電遮断器の動作整定は、まず下位側に設置される漏電遮断器に流れる零相電流を想定しなければならない。

図4に示す需要家モデルにおいて、三相3線配線方式の回路のある地点で抵抗 R_g [Ω]を通して対地と接続されたものとする。このとき主漏電遮断器に流れる零相電流 I_{0_Main} 、分岐漏電遮断器に流れる零相電流 I_{0_Sub} はキルヒホッフの第二法則を用いると下式となる。

$$I_{0_Main} = - \frac{j\omega(3C' + 2C'') \cdot \dot{E}_1}{\frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_b} + j\omega(3C + 3C' + 2C'')} \cdot \dot{E}_1 \quad (2)$$

$$I_{0_Sub} = - \frac{j\omega 2C''}{\frac{1}{R_g} + \frac{1}{R_b} + j\omega R_b R_g (3C + 3C' + 2C'')} \cdot \dot{E}_1 \quad (3)$$

ただし、 $C = C_1 = C_2 = C_3$, $C' = C_4 = C_5 = C_6$, $C'' = C_7 = C_8$

地絡電流 I_g は、対地電圧を地絡抵抗で除したものであるが、漏電遮断器に流れる電流は、その漏電遮断器の2次側にある対地静電容量によって決まる。健全な系統に設置されている漏電遮断器に不要動作を発生させない条件は(2)式、(3)式で求められる電流値が漏電遮断器の動作整定を下回ればよい。このことから主漏電遮断器の動作整定 I_{g_Main} とそこに流れる零相電流 I_{0_Main} 、分岐漏電遮断器の動作整定 I_{g_Sub} とそこに流れる零相電流 I_{0_Sub} との関係は(4)式となる。

$$I_{g_Main} > I_{0_Main} > I_{g_Sub} > I_{0_Sub} \quad (4)$$

表4に規格で示されている漏電遮断器の動作整定値を示す。(4)式と不動作領域を考慮した直近上位の値が動作整定の適正

値となる。

また、漏電遮断器の動作整定は必ず下位側を優先する。上位側の動作整定はこれを上回るように設定されるが、(4)式が成立しない場合、つまり主漏電遮断器の動作電流 $I_{g, Main}$ が整定値として存在しない場合、絶縁変圧器を主漏電遮断器の2次側の電路上に設置しなければならない。

表4 漏電遮断器の動作整定

Standard No.	Current value [A]
IEC 60947-2	0.006, 0.01, 0.03, 0.1, 0.3, 0.5, 1.3, 10, 30
JIS C 8201-2-2	0.005, 0.006, 0.01, 0.015, 0.03, 0.05, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 3, 5, 10, 20, 30

4. 実系統における検証

4.1 検証に用いた需要家設備

検証は、太陽光発電システムとは無関係の設備において発生した地絡事故(以下、他系統)により太陽光発電システムの漏電遮断器が不要動作した需要家において行った。需要家設備のうち、

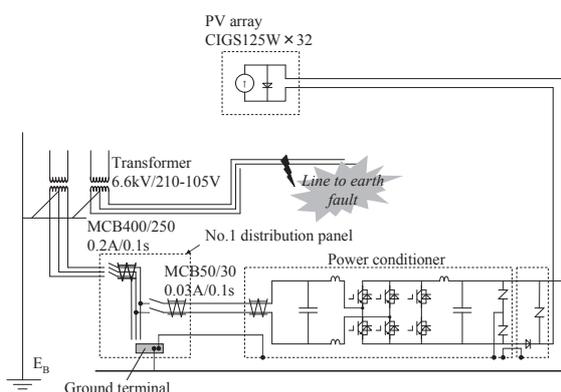


図5 電気設備モデル

Fig. 5 Electrical installation model

表5 太陽光発電システム機器

Table 5 Equipments of PV system

Equip/JISment	Outline
Main leakage breaker 400AF/250AT	Operational of zero phase current : 0.1 A Operational of time : 0.1 sec
Sub leakage breaker 50AF/30AT	Operational of zero phase current : 0.03 A Operational of time : 0.1 sec
Power conditioner (PCS)	Input voltage : DC 240 V Output capacity : 4 kW Output voltage : AC 202 V ± 12 V
Zero phase current transformer of DC	Operational of zero phase current : 0.1 A Operational of time : 0.2 sec
PV array	CIGS 125 W × 32 W 1417 mm × D 791 mm × H 37 mm

検証に必要な系統を示したものが図5、また、機器の概要を表5に示す。当該需要家は三相3線 6.6kV 60Hz 高圧受電、三相3線 210V300kVA が2台、単相3線 210-105 V 150 kVA 変圧器が3台

あり、単相変圧器のうち1台が太陽光発電システム専用である。B種接地極はすべての変圧器で共用されている。図5は、すべての変圧器のうち、地絡が発生した他系統の単相変圧器と、太陽光発電システム専用の単相変圧器の2台を示している。

太陽光発電システムの定格出力は120kWであり、No.1とNo.2の二つの分電盤にそれぞれ60kW接続されている(図5ではNo.1のみ記載)。分電盤には分岐が15回路あり、1回路あたり4kWのPCSと4kWの太陽電池アレイが接続されている。(図5では1系統のみ記載)。太陽電池アレイはCIGS系でモジュール出力125Wが32枚から構成されている。分電盤は、主幹漏電遮断器400AF/250AT、分岐回路漏電遮断器50AF/20ATから構成されている。動作整定はそれぞれ主幹漏電遮断器が0.1A・0.1s、分岐回路漏電遮断器が0.03A・0.1sである。

4.2 漏電遮断器の適切な動作整定値および絶縁変圧器の要否

図5に示す需要家において発生した、太陽光発電システムの主幹漏電遮断器の不要動作について調査を行った。調査の結果、他系統において地絡が発生していたことが確認できた。そこで、3章に示す漏電遮断器の動作整定の導出過程を用い、適切な動作整定値の算出、絶縁変圧器の要否を判定した。

図6は、他系統地絡が発生したときに測定された電圧・電流波形である。測定器は日置電機社製電源ラインモニタ 4284Aを用いた。図6(a)にN-G(中性相一対地: Voltage of neutral to earth)間電圧、図6(b)にNo.1主幹零相電流波形、表6にそれぞれの数値を示す。図6(a)および(b)の8ms付近において電圧波形と電流波形が過渡的に変化している箇所があるが、この部分で地絡が発生したことを示している。No.1主幹零相電流は、地絡発生時において瞬時値の最大値が0.285Aであるが、その後、減衰する。地絡発生時を基準として実効値を求めると最大で0.084Aになる。N-G間電圧の波高値の最大値は123Vである。完全地絡時(地絡抵抗がほぼ零)においてN-G間電圧の瞬時値の最大値は140V程度となることから、この測定波形が得られたときの状況は、完全地絡ではなく十数Ω程度の抵抗を介した地絡であると考えられる。従って完全地絡事故が発生すると更に大きな零相電流が流れることが考えられる。PCSの交流側零相電流、直流側零相電流、接地線電流は、それぞれ表6に示す通りである。

ここで完全地絡事故を想定した零相電流を算出する。はじめに、太陽電池アレイの対地静電容量を算出する。採用されている太陽電池モジュールは裏面保護材にアルミシートを用いたCIGSで、1枚当たりの対地静電容量は(1)式より1.5nFとなる。1回路当たり太陽電池モジュールが32枚なので、(2)式や(3)式より明らかであるが分岐回路単位の対地静電容量は32枚分を合計するため48nFとなる。分岐は15回路あるので主幹回路単位では合計0.72μFとなる。

PCSから太陽電池アレイまではCV8sq-2C(0.29nF/m)が1系統あたり200m布設されているのでケーブルの対地静電容量

は 0.87 μF となる。

次に、各所の零相電流を算出する。三相 210V 系統で地絡事故が発生した場合、太陽電池アレイの分岐漏電遮断器に流れる零相電流 I_{0_sub} は (3) 式を用いて 0.008 A となる。分岐漏電遮断器の動作整定 I_{g_sub} は 0.03 A である。これは (5) 式が成立するので問題ないと判断できる。

$$I_{g_sub} > I_{0_sub} \tag{5}$$

太陽電池アレイの主幹漏電遮断器に流れる零相電流 I_{0_Main} は (2) 式を用いて 0.125 A となる。主幹漏電遮断器の動作整定 I_{g_Main} は 0.1 A である。これは (6) 式を満足するが、(7) 式は成立しないので不要動作に至る。

$$I_{0_Main} > I_{g_sub} \tag{6}$$

$$I_{g_Main} > I_{0_Main} \tag{7}$$

(7) 式を満足させるために主幹漏電遮断器の動作整定を見直す必要がある。完全地絡時に主幹漏電遮断器に流れる零相電流 0.125 A よりも大きくするため、直近上位で且つ漏電遮断器の仕

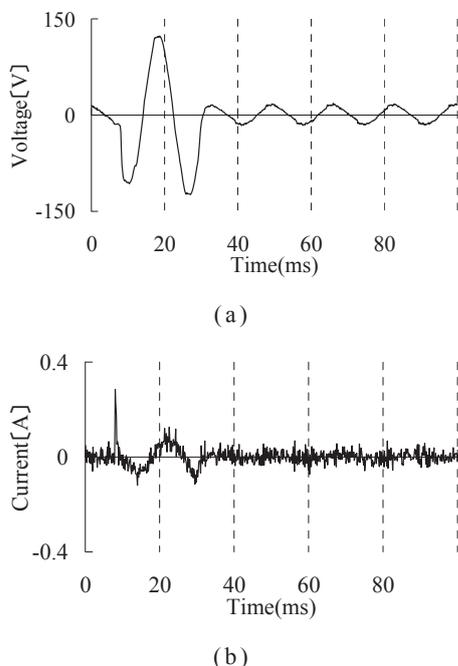


Fig. 6 Measured results (a) Voltage of neutral to earth. (b) Zero phase current of main leakage breaker No.1.

図6 測定結果 (a)中性相と対地間電圧 (b)主幹零相電流

様から、動作整定を 0.2 A とした。以上の処置を施した後、1 年程度、継続して調査を行っているが、月に数回程度、他系統での地絡事故は発生しているものの波及事故がなく、最適値の決定方

法の有効性と対策の効果が確認された。

表6 測定値

Table 6 Measured values

Measured point	Maximum value of instantaneous [A]	R.M.S. [A]
Zero phase current of Main leakage breaker	0.285	0.084
Zero phase current of AC at PCSNo1-1	0.018	0.006
Zero phase current of DC at PCSNo1-1	0.007	0.003
Earth current at PCSNo1-1	0.007	0.003

5. おわりに

本論文では以下のことを明らかにした。太陽電池モジュールは裏面保護材に PET を用いているもの、アルミシートを用いているものの2種類がある。アルミシートを用いているものは、一部、太陽電池モジュールの面積と断面高さの条件によっては誤差が大きくなる場合があるが、平行板コンデンサの静電容量を算出する一般的な式を用いて対地静電容量を求めることが可能である。また、算出された式を用いて太陽電池モジュールの対地静電容量などを考慮した地絡保護協調の適切な設計方法を明らかにした。この設計方法を用いて、地絡波及事故が発生している実際の需要家において漏電遮断器の動作整定が条件を満足していないことを明らかにし、条件を満足するように動作協調の見直しを行った。その結果、波及事故は発生せず良好な結果を得た。

今後の課題は、裏面保護材にアルミシートを用いた太陽電池モジュールの対地静電容量を算出する式において、その面積と断面高さとの誤差の関係について明らかにすることである。

参考文献

- (1) 加藤, 太陽光発電システムの不具合事例の分析・評価(1), 太陽エネルギー, Vol33-No4(2007), p69-p74
- (2) 加藤, 太陽光発電システムの不具合事例の分析・評価(2), 太陽エネルギー, Vol35-No4(2009), p61-p66
- (3) 酒井・千葉他, 太陽電池アレイの対地静電容量が地絡保護協調に及ぼす影響, 太陽・風力エネルギー講演論文(2010), p273-p274
- (4) 高島・山口他, 対地静電容量計測を用いた太陽電池モジュール間の断線箇所検出手法の実験的検討, 太陽エネルギー, Vol33-No5(2007), p69-p74
- (5) 高島・山口他, 信号応答による太陽電池ストリング故障検出手法の実験的検討, 太陽・風力エネルギー講演論文(2007), p145-p148
- (6) 山口・高島他, 太陽電池アレイにおける地絡箇所の検出に関する実験的検討, 太陽/風力エネルギー講演論文(2007), p141-p144
- (7) 矢元・三輪他, 稚内メガソーラプロジェクト(4)直流回路人工故障試験結果, 平成21年度電気学会全国大会, p71-p72

- (8) 松野, 稚内メガソーラプロジェクト(2)太陽電池静電容量による漏れ電流検証結果, 平成21年度電気学会全国大会, p67-p68
- (9) 桜井・黒川, 太陽光発電アレイ分布定数回路シミュレーション, 太陽風力エネルギー講演論文 (2000), p307
- (10) アジレントテクノロジー, インピーダンス測定ハンドブック 2003年版, p2.5-p2.7
- (11) 電気協同研究, 配電系統における力率問題とその対応, 第66巻-第1号, p83-p87
- (12) 太陽光発電協会, 太陽光発電システムの設計と施工, p34-p47
- (13) (独) 新エネルギー・産業技術総合開発機構, 産業用太陽光発電フィールドテスト事業, 平成11-平成14年
- (14) 町田, 直流送電工学, p244-p248, 東京電機大学