

太陽光発電システムにおける インテリジェント保護装置

Development of intelligent protection for photovoltaic systems

安藤 健志*¹

Kenji Ando

雪田和人*⁴

Kazuto Yukita

坂 齊典*³

Kiyonori Ban

依田正之*⁵

Masayuki Yoda

二宮 貴之*²

Takayuki Ninomiya

後藤泰之*⁵

Yasuyuki Goto

市川智彦*³

Tomohiko Ichikawa

一柳勝宏*⁵

Katsuhiro Ichiyangi

Abstract

Recently, renewable energy production methods, including photovoltaic generation, have been the subject of considerable worldwide interest. The amount of electricity produced by photovoltaic systems is currently increasing every year. Although such systems are believed to be relatively safe and maintenance-free, various failures and accidents have been reported.

This paper proposes an intelligent protection system that detects short-circuit faults in a photovoltaic generation system. It is composed of a power unit, a single-chip microcomputer and a relay. The voltage and the current in the system are monitored by the microcomputer, which can open the relay if short-circuit conditions are detected. Using ZigBee, which is a short distance wireless network, it is possible to perform real-time monitoring of the system from an indoor location. Using this method, it is possible to minimize trouble in photovoltaic generation systems. Its effectiveness has been confirmed by applying it to a real power generation system.

キーワード：太陽光発電システム，短絡保護装置，系統連系，経年劣化

Key Words : Photovoltaic generation system, Short-circuit breaker, Grid-interconnection, Aging deterioration

1. はじめに

近年，温室効果ガスなどによる地球温暖化現象が懸念されている。このことから，地球環境保全のために，自然エネルギーを用いた発電装置が注目され，電力系統への導入に関して多面的に多くの研究がなされている^{(1)~(3)}。特に，太陽光発電において，国内における導入目標量は2020年に2005年度の20倍，2030年に40倍としている⁽⁴⁾。それゆえ，一般

家庭においても，太陽光発電装置の導入が期待され始めている。太陽光発電装置が導入されるようになると，システムにおける経年劣化や雷などに起因した故障などが予想される。そして太陽光発電装置においては，風力発電装置などの発電方式と比較した場合，回転体などが無いため，定期的な保守管理などが軽減できるという特徴がある。

そのため，太陽光発電装置を導入した需要家では，保守・点検などの業務が軽視されている場合が多いと考えられる。

これらのことより太陽光発電は，太陽電池アレイでのモジュール単位やストリングス単位で故障をしても，発電量が若干低下しているだけで，需要家が装置の故障発生に気づかない現象があると考えられる。

特に，設置してから数年以上経過した太陽光発電

*¹ 日東工業株式会社 (〒480-1189 愛知県愛知郡長久手町蟹原2201番地) e-mail : ke.ando@nito.co.jp

*² 愛知工業大学 工学部 学部生

*³ 愛知工業大学大学院 工学研究科 大学院生

*⁴ 愛知工業大学 工学部 准教授

*⁵ 愛知工業大学 工学部 教授
(原稿受付：2011年5月25日)

装置においては、何らかの故障が発生している場合があるとの報告もある^{(5)~(9)}。

そこで著者らは、これまでに太陽光発電装置の短絡保護装置の開発を実施してきた^{(10)~(12)}。しかし、これまでの検討においては、太陽電池アレイでの検討が主であり、パワーコンディショナーを導入している発電システム全体での検討を行っていなかったことや離れた場所から短絡保護装置の動作状況をモニタリングする手段がなかった。

そこで本論文では、これまで開発してきた短絡保護装置に新たに近距離無線ネットワークである ZigBee を搭載することで、太陽光発電装置から離れた場所でも監視できるシステムを構築し、その装置をストリングス単位に導入することで、システム全体での評価を行ったので報告する。

2. 短絡保護装置

2.1 短絡保護装置の動作

著者らがこれまで開発してきた太陽光発電用短絡保護装置の外観を図1に示す。保護装置の大きさは、幅 150mm, 奥行き 100mm, 高さ 50mm としている。

また、本装置の検出対象は装置の2次側で判断しており、太陽電池アレイのストリングとインバータの間に接続する方式を採用している。

この装置の回路構成を図2に示す。同図に示すように、ワンチップマイコン、電源、直流リレー、検

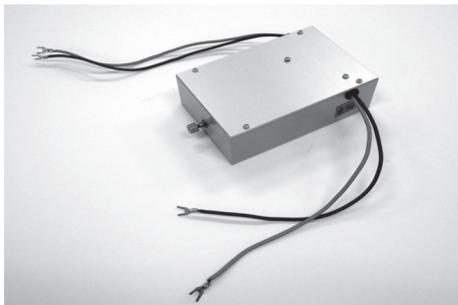


Fig.1 Exterior of short circuit protection device
図1 短絡保護装置の外観図

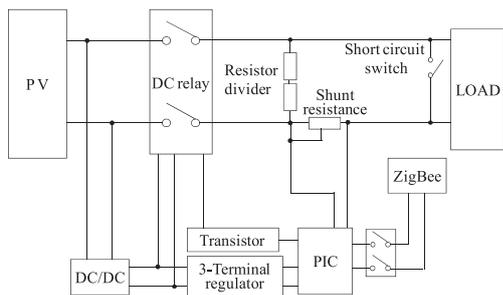


Fig.2 Circuit configuration diagram
図2 回路構成図

出回路、近距離無線通信である ZigBee での構成としている。

2.2 短絡保護装置の動作

短絡保護装置に関しては、太陽電池アレイの特性を考慮し、以下に示すように動作させている。

まず、本論文で用いた京セラ製の太陽電池モジュール1枚あたりの公称値を表1に示す。つぎに太陽電池の等価回路を図3に示す。この太陽電池の等価回路から、内部抵抗を無視すると、以下に示す手順にて太陽電池モジュールの出力電流を算出することができる⁽¹³⁾。

図3に示す太陽電池の等価回路は光起電力発生器、光で発生した自己バイアスにより順方向電流を通すダイオード及び接合欠陥による漏れ電流の通路を示す分路抵抗 (R_{sh}) で構成している。この回路の負荷に流れる電流を I_L 、光発生電流を I_{ph} 、pn 接合の順方向電流 I_D 、接合の漏れ電流を I_{sh} とする。同図に示す太陽電池の等価回路に基づく太陽電池の $I - V$ 特性は次式のようにになる。

$$I_L = I_{ph} - A \left\{ \exp \frac{q}{BkT} (V_L + I_L R_s) - 1 \right\} - \frac{V_L + I_L R_s}{R_{sh}} \quad (1)$$

ここで、 A : pn 接合の材料特性と温度特性によって決まる係数、 B : 材料によって決まる係数、 k : ボルツマン定数、 V_L : 負荷にかかる電圧、 R_s : 電池素子に接続される直列抵抗 T : 絶対温度、 q : 電荷量。そして文献 (14) と同様に、系の安定、太陽電池パラメータの設定の簡略化を考慮し、 $R_s \div 0$ 、 $R_{sh} \div \infty$ と近似すると式 (1) は次式に簡単化できる。

$$I_L = I_{ph} - A \left\{ \exp \left(\frac{q}{BkT} V_L \right) - 1 \right\} \quad \dots\dots\dots (2)$$

また、光発生電流を次式のように簡単化する。

$$I_{ph} = KW \quad \dots\dots\dots (3)$$

K は比例定数 [$A \cdot m^2/W$]、 W は日射強度 [W/m^2] を示す。

まず、太陽電池モジュールの短絡特性 ($V_L = 0$) を考慮すると、短絡電流 I_{SC} は次式となる。

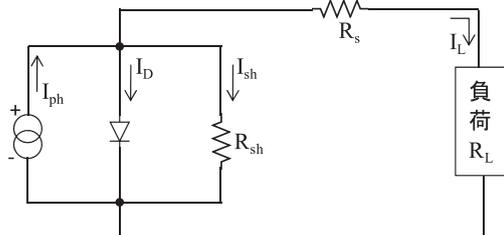


Fig.3 Equivalence circuit of photovoltaic
図3 太陽電池等価回路

$$I_{sc} = I_{ph} - A\{\exp(0) - 1\} \dots\dots\dots (4)$$

従って、式 (4) は次式となる。

$$I_{ph} = I_{sc} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、日射強度 $W = 1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ と短絡電流の公称値である 3.25 [A] を代入し、次式を算出する

$$I_{ph} = \frac{I_{sc}}{1000} \times W = \frac{3.25}{1000} \times W \dots\dots\dots (6)$$

つぎに、出力の開放特性 ($I_L = 0$) を考慮すると、次式を得る。

$$0 = I_{ph} - A\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{oc}\right) - 1\right\} \dots\dots\dots (7)$$

ここで、 V_{oc} : 開放電圧。

そして式 (5) から、

$$0 = I_{sc} = A\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{oc}\right) - 1\right\} \dots\dots\dots (8)$$

となる。そして、最大出力動作電圧を V_{pm} とし、最大出力動作電流を I_{pm} とすると、太陽電池アレイの最大出力動作点より次式を得る。

$$I_{pm} = I_{sc} - A\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{pm}\right) - 1\right\} \dots\dots\dots (9)$$

そして、式 (8) から次式を算出する。

$$I_{sc} = A\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{oc}\right) - 1\right\} \dots\dots\dots (10)$$

式 (9) から次式を得る。

$$I_{sc} - I_{pm} = A\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{pm}\right) - 1\right\} \dots\dots\dots (11)$$

式 (10) を式 (11) で割ると次式となる。

$$\frac{I_{sc}}{I_{sc} - I_{pm}} = \frac{\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{oc}\right) - 1\right\}}{\left\{\exp\left(\frac{q}{BkT}V_{pm}\right) - 1\right\}} \dots\dots\dots (12)$$

ここで表 1 に示す太陽電池モジュール一枚当たりの $I_{sc} = 3.25 \text{ [A]}$, $I_{pm} = 3.02 \text{ [A]}$, $V_{oc} = 42.5 \text{ [V]}$, $V_{pm} = 33.8 \text{ [V]}$ を各々代入すると、その結果、次式となる。

$$\frac{3.25}{3.25 - 3.02} = \frac{\{\exp(42.5\beta) - 1\}}{\{\exp(33.8\beta) - 1\}} \dots\dots\dots (13)$$

そこで、式 (13) の左辺と右辺が等しくなるよう β を算出した。このとき、 $\beta = 0.3044$ と求めることができる。

そして、係数 A は次式により算出できる。

$$A = \frac{I_{sc}}{\{\exp(BV_{oc}) - 1\}} \dots\dots\dots (14)$$

このとき、 A は、 7.824×10^{-6} となった。これは、

表 1 に示す太陽電池モジュール一枚についての値である。

ここで、このモジュールを 6 枚用いて、6 直列としたストリングスの場合は、短絡電流ならびに最大出力動作電流は一枚時と同様であるので、 $I_{sc} = 3.25 \text{ [A]}$, $I_{pm} = 3.02 \text{ [A]}$ である。しかし開放電圧と最大出力動作電圧は 6 直列であるので一枚時の 6 倍の値である $V_{oc} = 255.0 \text{ [V]}$, $V_{pm} = 202.8 \text{ [V]}$ となる。この値を用いて β と A を算出すると、 $\beta = 0.0507$, $A = 3.912 \times 10^{-5}$ となる。

以上により、太陽光発電装置における出力電流の近似式を求めると次式で表現できる。

$$I = 3.25/1000W - A\{\exp(\beta V) - 1\} \dots\dots\dots (15)$$

ただし、 A と β は係数。

そこで、式 (15) における各日射強度における太陽電池の出力電圧 V を変数、日射強度 W をパラメータとして、各日射強度での $I - V$ 特性を図 4 に示す。同図に示す特性は、本論文で実験にて使用したシステムと比較するために、表 1 のモジュールを 6 直列にしたストリングスの単位での特性である。ここで、日射強度は $200 \text{ [W/m}^2\text{]} \sim 1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ まで、 $200 \text{ [W/m}^2\text{]}$ の刻みにて算出している。

また、実験値での $I - V$ 特性を図 5 に各々示す。同図においての日射強度は $400 \text{ [W/m}^2\text{]} \sim 1000 \text{ [W/m}^2\text{]}$ まで、 $200 \text{ [W/m}^2\text{]}$ の刻みにて算出している。

図 4 と図 5 に示すように日射強度 $200 \text{ [W/m}^2\text{]}$ ごとの最大電力点を計算し、“ Δ ” は最大電力点を示している。ここで、図 5 に関しては日射強度 $200 \text{ [W/m}^2\text{]}$ の実験値を取得できなかった。また、図 4 と図 5 を比較すると、理論値と実験値では短絡電流

表 1 太陽電池モジュールの公称値
Table 1 Photovoltaic ratings value.

| | |
|-----------------------|----------|
| Open voltage | 42.5 [V] |
| Short-circuit current | 3.25 [A] |
| Maximum power voltage | 33.8 [V] |
| Maximum power current | 3.02 [A] |
| Maximum output power | 102 [W] |

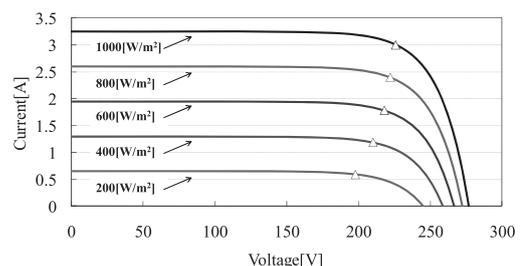


Fig4 I-V and Pmax characteristic (theoretical value)
図 4 I - V 特性と Pmax 特性 (理論値)

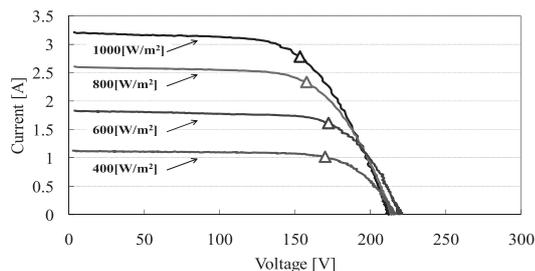


Fig.5 I-V and Pmax characteristic (experimental value)
図5 I - V 特性と Pmax 特性 (実験値)

が良く一致していることがわかった。但し、開放電圧と最大電力点については大きく異なった。これは、一般に高日射強度時ほど太陽電池の素子温度が上昇するとともに、最大出力動作電圧と開放電圧は減少する傾向があるためである。このため太陽電池の温度の変化も大きな原因であると想定される。さらに、太陽光発電装置が設置されて15年以上経過していることから一因であると考えられる。

次に図4と図5に示すように太陽光発電装置の動作点は、インバータの最大電力追従装置により同図の最大電力点を動くものと考えられる。そのため、この太陽光発電システムにおいて太陽電池が短絡した場合、短絡抵抗は動作時の見かけ上の抵抗より小さくなるため、動作点は同図に示す最大電力点より左側に移動することになる。

そこで、太陽電池の動作電流と動作電圧を逐次計測し、それぞれに閾値を設定し、これら電流と電圧が閾値を満たせば装置を動作させるものとしている。この閾値の設定は、

これまで計測してきたデータから太陽電池の電圧、電流特性を考慮し、日射が比較的一日中安定した日のデータから算出している。用いたデータは2005年6月13日の日射データであり、日射特性を図6に示す。同図において、正午に900 [W/m²]程度を示し、一日中ほぼ晴天であったことが分かる。この日におけるインバータの最大電力制御された太陽電池のI-V特性を図7に示す。前述の図4のPV近似式による解析と比較すると最大電力制御の動作点が、垂直になっており、170 [V]程度の定電圧制御特性に近いことがわかる。したがって、電圧閾値としては今回解析と実測データから150 [V]とした。

また、電流閾値は検出回路のシャント抵抗が100 [mΩ]と小さくノイズの影響が考えられたため1 [A]に設定した。従って、動作電流の閾値は1 [A]以上、かつ電圧の閾値は150 [V]以下の場合を短絡異常状態であると想定した。

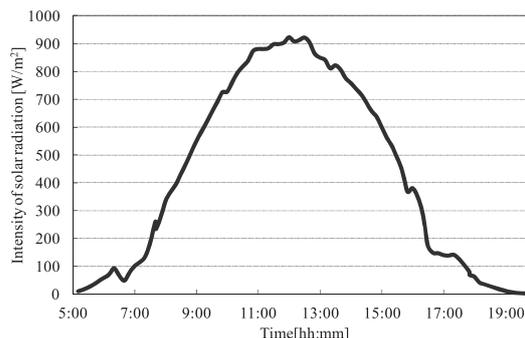


Fig.6 Characteristic of solar radiation.
図6 日射特性 (2005年6月31日)

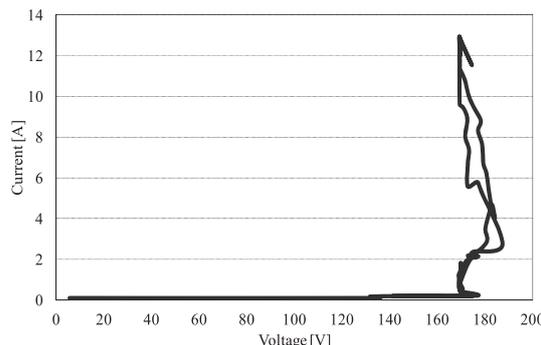


Fig.7 I-V characteristic of PCS output.
図7 PCSの出力端におけるI-V特性

そして、この状態になった場合、太陽電池の出力端子を開放状態とし系統連系を解列する装置とした。

2.3 保護装置単体での試験結果

図8は、開発した短絡保護装置と3 [kW]の太陽光発電装置および負荷側に各種短絡抵抗を、図2に示すように接続し、各種日射強度のときに短絡スイッチで短絡したときの動作点を求めた特性図である。ここで短絡抵抗は、5 [Ω]、10 [Ω]、20 [Ω]、および50 [Ω]とした場合である。また、1000 [W/m²]のときのI-V特性を実線で示している。

これらの計測値からI-V平面上に短絡動作特性をプロットしたものである。

“○”は保護装置が動作し、太陽電池を短絡から保護をしたことを示し、“×”は保護装置が動作しなかった場合を示す。太陽電池3 [kW]の実験により提案する装置の動作特性は、電流1 [A]以上、電圧150 [V]以下で動作し、1 [A]以下では動作していない。これらの結果から、製作した装置は設定値で正確に動作していることがわかる。

3. モデル系統

本論文で用いた太陽光発電システムのモデル系統

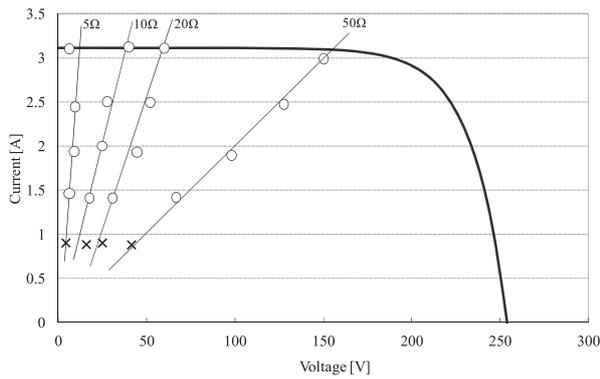


Fig.8 Operating characteristics of short-circuit protection device on I-V characteristics
 図8 I - V 特性における短絡保護装置の動作特性

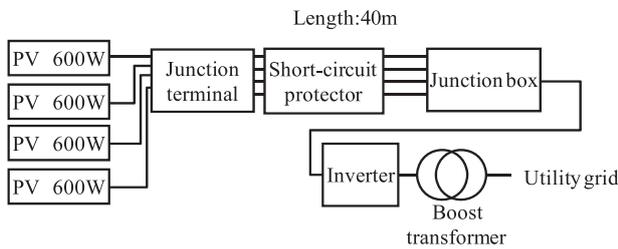


Fig.9 Model system
 図9 モデル系統

を 図 9 に 示 す。同 図 に お い て、太 陽 光 発 電 装 置 は、中 継 端 子、接 続 箱、イ ン バ ー タ、昇 圧 ト ラ ン ス を 介 し て 系 統 に 連 系 し て い る。な お、太 陽 光 発 電 用 イ ン バ ー タ は 京 セ ラ 製 の 定 格 出 力 3 [kW] を 使 用 し た。太 陽 光 発 電 装 置 の 中 継 端 子 か ら 3.5[mm²] の CV ケ ー ブ ル に よ り 全 長 約 40 [m] で 接 続 箱 に 接 続 さ れ て い る。太 陽 光 発 電 装 置 は、定 格 出 力 100 [W] の 太 陽 光 発 電 モ ジ ュ ー ル を 6 直 列 で 1 ス ト リ ン グ ス し て い る。こ の ス ト リ ン グ ス を 5 並 列 に し て、中 継 端 子 に 接 続 さ れ て い る。ま た、イ ン バ ー タ は 初 期 の ト ラ ン ス 別 置 き 型 で 出 力 は 60 [Hz]、100 [V]、昇 圧 ト ラ ン ス で 200 [V] に し、系 統 の 単 相 三 線 式 200 [V] に 連 系 し て い る。

こ の シ ス テ ム の 中 の 中 継 端 子 と 接 続 箱 の 間 に、図 10 に 示 す よ う に 提 案 し た 保 護 装 置 を 導 入 し た。ま た 同 図 に 示 す よ う に 点 A ~ H に お い て、電 流 と 電 圧 の 計 測 を 行 っ た。擬 似 的 な 故 障 に 関 し て は、破 線 で 示 し た 中 で 実 施 し、一 鎖 線 で 示 し た 中 は 接 続 箱 を 表 し て い る。図 11 に、太 陽 電 池 ア レ イ か ら の 接 続 箱 を 示 す。こ の 接 続 箱 の 中 に は、逆 流 防 止 リ レ ー、ダ イ オ ード 素 子 や 断 路 器 が 導 入 さ れ て い る。

4. 実験結果

本論文の保護装置は、電流値 1[A]、電圧値 150[V] と閾値を設定している。このため、検出できる短絡

抵抗は、0 [Ω] ~ 150 [Ω] となっている。提案した保護装置を、図 9 に示すモデル系統に示した実回路に図 10 のようにストリングス単位に各 1 台ずつ設置した。太陽光発電システム全体では 5 ストリングスあるが、1 ストリングス不良のため、合計 4 ストリングスに保護装置 4 台用いて実験を行った。

このときの装置の動作特性を図 12 と図 13 に、ZigBee のモニタリング画面を図 14 に各々示す。実験は、5 [Ω] から 90 [Ω] までの短絡抵抗で実施しており、本論文では代表例として 5 [Ω] と 60 [Ω] の実験結果を示す。ここで、図 12 と図 13 においては、各保護装置の電流および電圧値を各々示している。また図 12 は、日射強度 593 [W/m²]、短絡抵抗 5 [Ω] としたとき、図 13 は、日射強度 632 [W/m²]、短絡抵抗 60 [Ω] のときである。これらの短絡抵抗は、装置における設計値の約 3% (5 [Ω]) と 40% (60 [Ω]) である。ここで短絡抵抗値は、様々な要因が考えられるが、本論文では、屋外での配線における漏水なども考慮し、比較的大きい抵抗値としている。また、完全短絡が起こったときの抵抗値は 0 [Ω] となる。なお、図 12 と図 13 において故障発生ポイントは 1 秒であり、装置の動作は約 1 秒

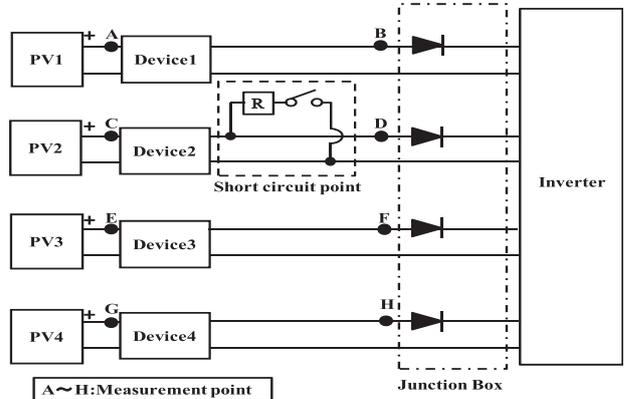


Fig.10 Installation diagram for protection devices
 図10 短絡保護装置の取り付け図

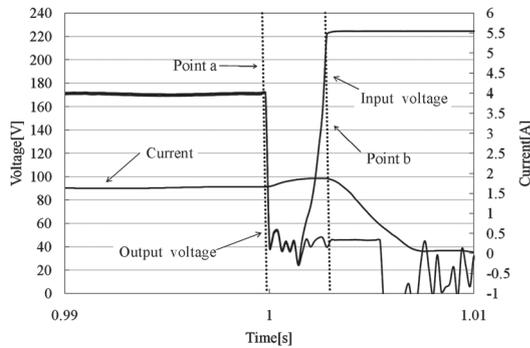


Fig.11 Junction box
 図11 接続箱

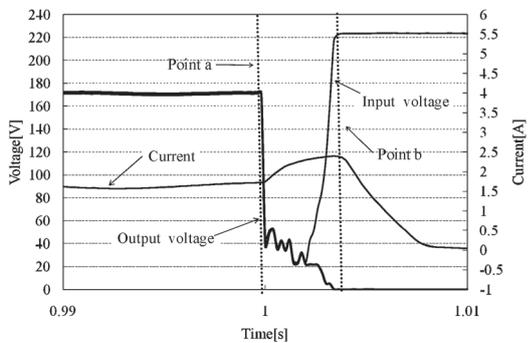
(図中 a 点) から太陽電池の入力電圧が開放電圧になった時点 (図中 b 点) までである。電流が瞬時に減少しなかった理由としては、太陽電池の出力が直流電力のため、直流アークが発生し、ステップ状に

減少しなかったと推測される。

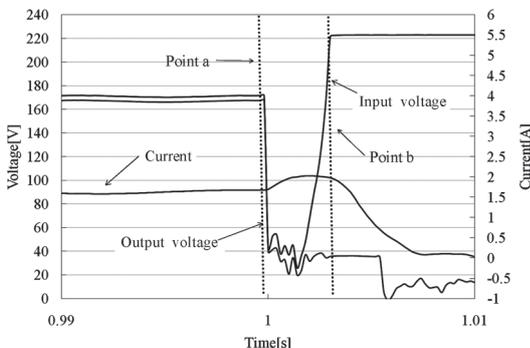
図 14 (a) は、この短絡保護装置が正常に動作し、



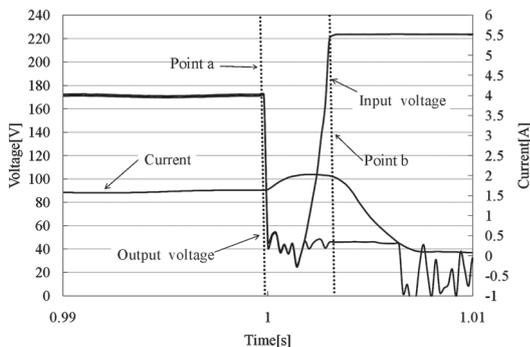
(a) Device 1



(b) Device 2



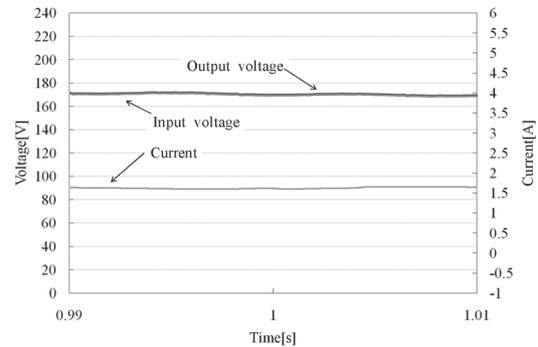
(c) Device 3



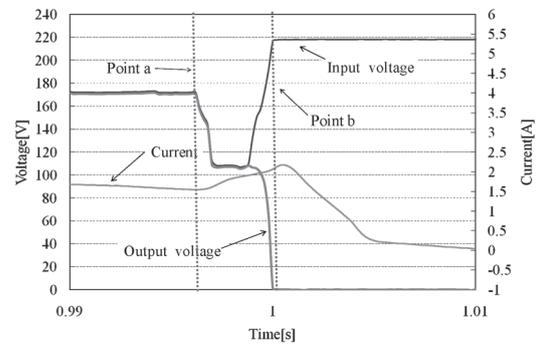
(d) Device 4

Fig.12 Operating characteristics of short-circuit protection device

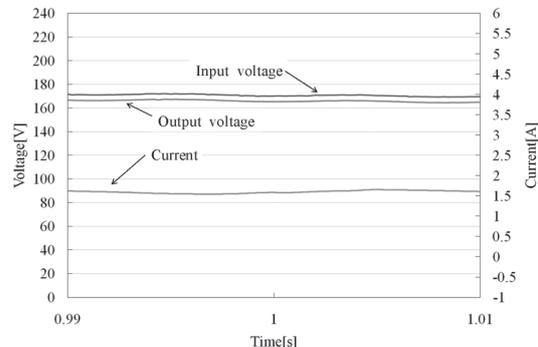
図 12 短絡保護装置の動作特性



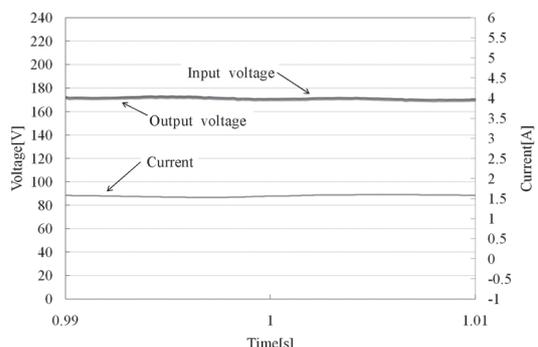
(a) Device 1



(b) Device 2



(c) Device 3



(d) Device 4

Fig.13 Operating characteristics of short-circuit protection device

図 13 短絡保護装置の動作特性

電流値と電圧値を観測している時の通信画面である。

図 12 における実験に関して注目すると、短絡故障（短絡抵抗 5 [Ω]）を発生させた場合、4 台全ての保護装置が動作した。これは、ZigBee のモニタリング画面である図 14 (b) でも 4 台すべて停止したことがわかる。このとき、太陽光発電用インバータの動作も同時に停止した。したがって、完全短絡値に近い短絡抵抗が少なくとも 5 [Ω] 以下ならば全台が動作することがわかった。

次に、図 13 における実験に関して注目する。この短絡故障を発生させた場合、短絡点の保護装置の

み閾値より電圧が下がったことにより保護装置が動作した。残りの 3 台の保護装置では、短絡時に若干の電圧降下と電流増大を確認できたが、電流値と電圧値が設定した閾値までには達しなかったため、保護動作までには至らなかった。さらに、太陽光発電用インバータの動作は停止しなかった。ここで、これまで報告されているような太陽光発電システムの故障においては、短絡抵抗値が比較的大きいものが、故障初期に発生し、大規模事故が発生している⁽¹⁵⁾。このことを考慮すると、提案した保護装置は、短絡抵抗が大きく、故障電流が小さい場合でも設計通りに動作していることがわかる。さらに、図 14 (c) に示す ZigBee のモニタリング画面で、1 台だけ停止したことがわかる。

以上により、提案している保護装置は、短絡抵抗値が小さな重故障ならびに、短絡抵抗値が比較的大きい軽故障でも保護動作ができることを示した。

さらに保護装置の動作状況に関しても、ZigBee を用いることで動作をよく把握できることがわかった。

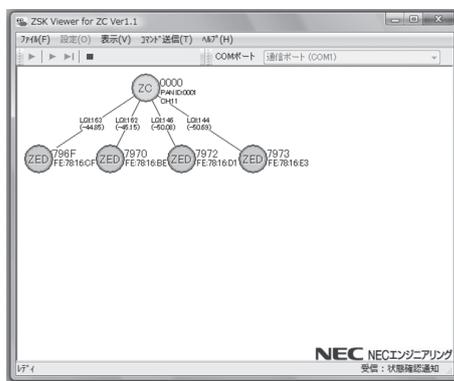
5. まとめ

これまで開発してきた短絡保護装置に新たに近距離無線ネットワークである ZigBee を搭載することで、太陽光発電装置から離れた場所でも監視できるシステムを構築し、その装置をストリング単位に導入することで、システム全体での評価を行った。

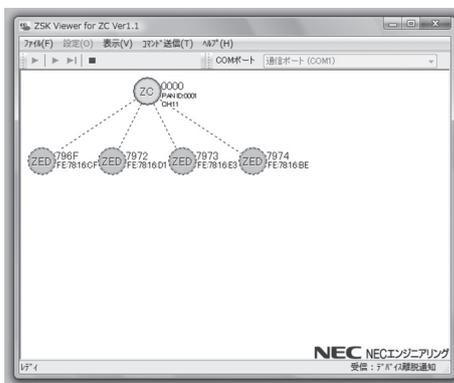
具体的には、3 [kW] 程度の太陽光発電システムの太陽電池アレイ 4 ストリングに保護装置を導入し、短絡抵抗値と日射強度の変化に関して動作評価をした。

日射強度 593 [W/m²]、短絡抵抗 5 [Ω] としたとき、短絡故障を発生すると、4 台全ての保護装置が電流値と電圧値の閾値を超えたため、動作し同時にインバータも停止した。このとき、ZigBee でのモニタリング画面でも 4 台とも停止していることを確認できた。また、日射強度 632 [W/m²]、短絡抵抗 60 [Ω] のときでは、短絡点のみの保護装置が動作し、他の保護装置では、電流値と電圧値が閾値に達しなかったため動作せず、インバータも停止しなかった。この場合も ZigBee のモニタリング画面で 1 台停止したことが見てわかる。

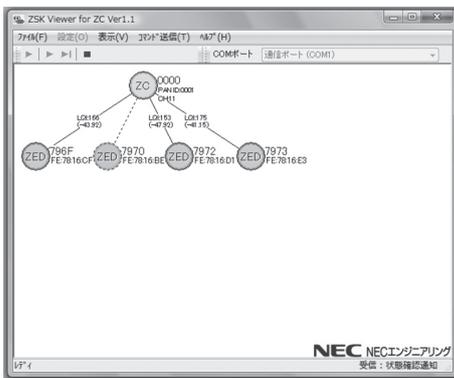
一般的には、短絡抵抗値が小さい場合は、太陽電池アレイの全てのストリングの出力が大きく低下するためインバータも停止すると考えられる。そのため、需要家側においても異常が認識できる。しかし、



(a) Monitoring display (Normal mode)



(b) Monitoring display (593 [W/m²], 5 [Ω])



(c) Monitoring display (632 [W/m²], 60 [Ω])

Fig.14 ZigBee monitoring display
図 14 ZigBee のモニタリング画面

短絡抵抗が大きい場合は、太陽電池アレイの全てのストリングの出力が若干低下するだけでインバータは停止しないため、異常を認識することはできないと考えられる。

したがって、太陽電池アレイでこのような状態に陥ると、将来の大規模故障や事故につながる可能性がある。そこで、本論文で開発した短絡保護装置の導入により、故障発生箇所を、システムから解列させることで、大規模な故障などを未然に防ぐことができる。

さらに、需要家が ZigBee のモニタリング画面を離れた位置からでも見ることができるため、事故や故障の確認が早急にできるものと考えている。特に、住宅などに導入された太陽光発電システムにおいての太陽電池の状態把握には、有効であるものと思われる。

以上により、近距離無線通信を用いた短絡保護装置の有効性を確認することができたと考えている。

今後の課題として、保護装置が故障と判断する電流値と電圧値の検出精度やノイズ対策および、装置の誤動作・誤不動作の低減があげられる。

謝辞

本研究を遂行するにあたり、平成 22 年度愛知工業大学 総合研究所 プロジェクト研究 B の援助を受け、直流リレーを富士通コンポーネンツより提供して頂いた。ここに関係者各位に感謝の意を表します。

参考文献

- (1) 荻本和彦, 関知道, 平口博丸, 林宏典:「再生可能エネルギー導入における電力システムの課題 - 需給計画・運用の高度化と再生可能エネルギー出力予測 -」, 電気学会メタボリズム社会・環境システム研究会資料, Vol.MES-11, No.1-14, Page.1-5, (2011.01.27)
- (2) 林 泰弘:「再生可能エネルギー電源との調和に向けた先進グリッド技術の国内動向」, 電学論 B, Vol.130, No.11, pp.928-931 (2010)
- (3) 工藤満, 島陰豊成:「太陽光発電システムに求められるもの太陽光発電のシステムインテグレーターとしての技術開発発電量の最大化と安定した運用の実現」, NTT ファシリティーズ ジャーナル, Vol.48, No.283, Page.14-15 (2011.01.15)
- (4) 経済産業省ホームページ, <http://www.meti.go.jp/>
- (5) 加藤和彦:「太陽光発電システムの不具合事例ファイル PVResQ! からの現地調査報告」, 日刊工業新聞社, pp.19
- (6) 加藤和彦:「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 vol.33, No.4 pp.69-74
- (7) 若林始, 五十嵐剛, 大谷謙仁, 高島工:「住宅用太陽光発電システムの不具合事例に関する設置者の意識調査」, 電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), Vol.2009, Page. ROMBUN NO.146 (2009.08.18)
- (8) 蒲谷昌生:「太陽光発電システムの施工 & メンテナンス実務太陽電池モジュールの不具合を見つける方法「PV ResQ」の第一次報告書より」, ソーラーシステム, No.116, Page.34-35 (2009.05.29)
- (9) 池田一昭, 金永模, 土井卓也:「等価回路モデルを用いた PV セル内の不具合解析」, 太陽/風力エネルギー講演論文集, Vol.2010, Page.543-546 (2010.11.04)
- (10) 藤本晃司, 香野圭佑, 市川智彦, 雪田和人, 依田正之, 後藤泰之, 一柳勝宏, 安藤健志:「太陽光発電システムにおける短絡保護装置の開発」, 電気学会論文誌 B, Vol.130, No.2pp.259-260
- (11) 香野圭佑, 藤本晃司, 依田正之, 雪田和人, 安藤健志:「太陽光発電システムのための短絡保護装置の開発」, 電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), Vol.2009 pp. ROMBUNNO.117
- (12) 坂齊典, 二宮貴之, 市川智彦, 雪田和人, 後藤泰之, 一柳勝宏, 安藤健志:「太陽光発電におけるインテリジェント保護装置の開発」, 電気学会電力・エネルギー部門大会論文集 (CD-ROM), Vol.2010 No.149
- (13) 辻 高輝:太陽電池 (Solar Cell), パワー社, pp.19 ~ 36, 1983
- (14) 勝田良雄, 菊原聡:太陽光発電インバータ試験用電源開発の意義, オーム 95年2月号, オーム社, p79 ~ 84, 1995
- (15) Photon International The Photovoltaic Magazine, PHOTON Europe GmbH, p102 ~ 115, August 2009, <http://www.photon-magazine.com/>