

パワコン地絡検知機能の ブラインド(不感帯) ー火災防止の観点からー

日本太陽エネルギー学会 太陽光発電部会 第8回セミナー
平成26年3月26日(水) 秋葉原コンベンションホール
JX日鉱日石エネルギー(株) 石井



エネルギー・資源・素材の^{みらい}Xを。
JX日鉱日石エネルギー株式会社

1. なぜ太陽光発電の安全性なのか？
2. 地絡検出に不感帯があるとどうなるか？
ー米国の火災事例ー
3. 日本でも地絡検出不感帯はあるのか？
4. では、どうすればよいのか？

①原理的に危険を孕んでいるから

★日射がある限り発電し続ける

事故になる前に、故障の段階で
取り除くことが必要

★直射日光、屋外の温湿度に曝され続ける

★薄い有機物だけで覆われた電路が屋外に広がっている

②事故が起きていて、関心も高いから

ドイツにおけるPV関連火災統計

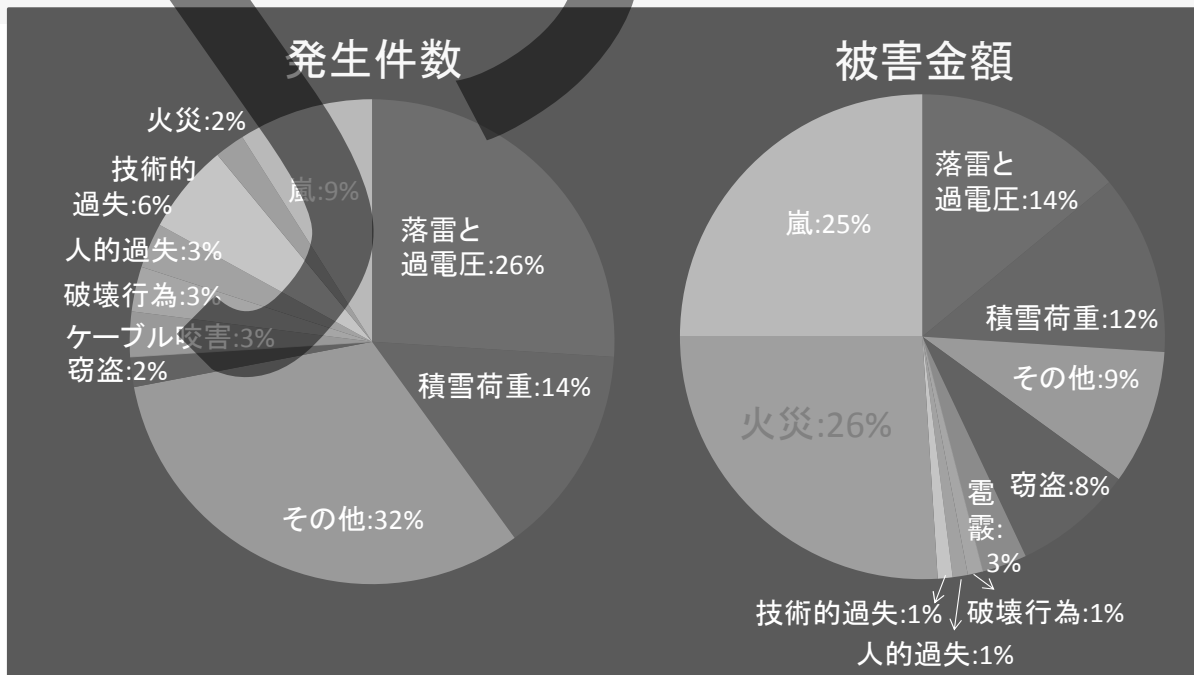
ドイツ全体の導入量	30GW
PV付建物の火災でPVの損壊を確認した件数	約220
建物火災要因がPVにあると推測された件数	約170
火災原因がPVであると断定できた件数	75

太陽エネルギー 39(4)p91 (2013)より

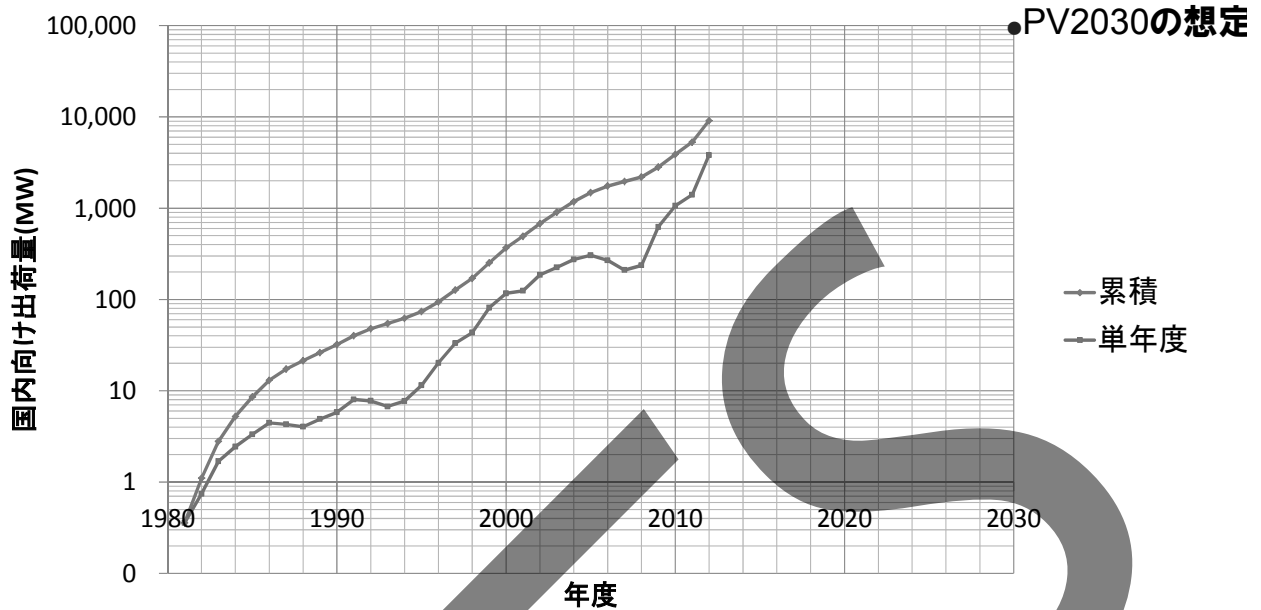
太陽光発電のリスク(原因と影響度)

German Research Project: Fire Safety Risks at PV Systems and Risk Minimization,
TUV Rheinland 4th PV Safety Conference, Photon, Berlin 27.Mar. 2012.

Photovoltaik – Auf die Qualität kommt es an! – Rainer Kohlenberg, Mannheimer Versicherung, 2010.
Dehn- und Söhne Fachforum Photovoltaik 2010.



③ 今後ますます広く導入されるから



<http://www.jpea.gr.jp/pdf/qlg2010.pdf> JPEAホームページのデータをグラフ化

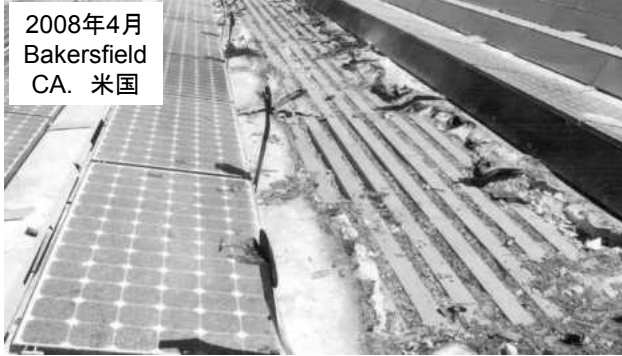
1. なぜ太陽光発電の安全性なのか？

**2. 地絡検出に不感帯があるとどうなるか？
—米国の火災事例—**

3. 日本でも地絡検出不感帯はあるのか？

4. では、どうすればよいのか？

PV地絡火災の状態



2008年4月
Bakersfield
CA. 米国

The Bakersfield Fire, Bill Brooks, SolarPro 2011(Mar.).



2011年4月
Mount Holly
NC. 米国



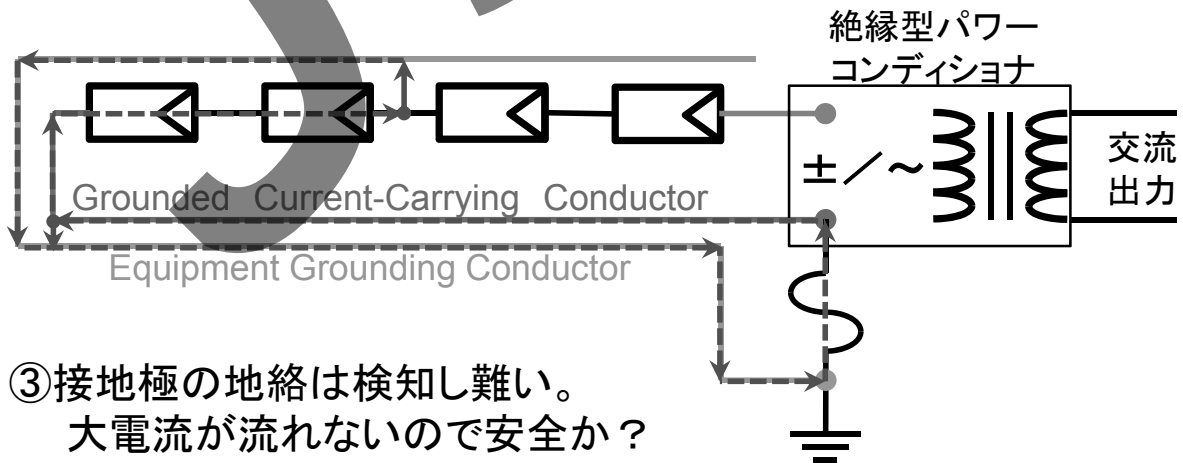
2009年6月
Bürstadt
Hessen ドイツ

http://photonicsforenergy.spiedigitallibrary.org/data/Journals/PHOTOE/24222/JPE_2_1_022006_f011.png

http://energy.sandia.gov/wp/wp-content/gallery/uploads/WREF_Arc-Fault_Forum_Johnson_SAND2012-3097C.pdf
より

背景 (USAにおける地絡保護)

- ① DC/AC間は絶縁、片極をヒューズを介して接地
- ② 地絡すると、ヒューズが溶断して地絡電流を遮断

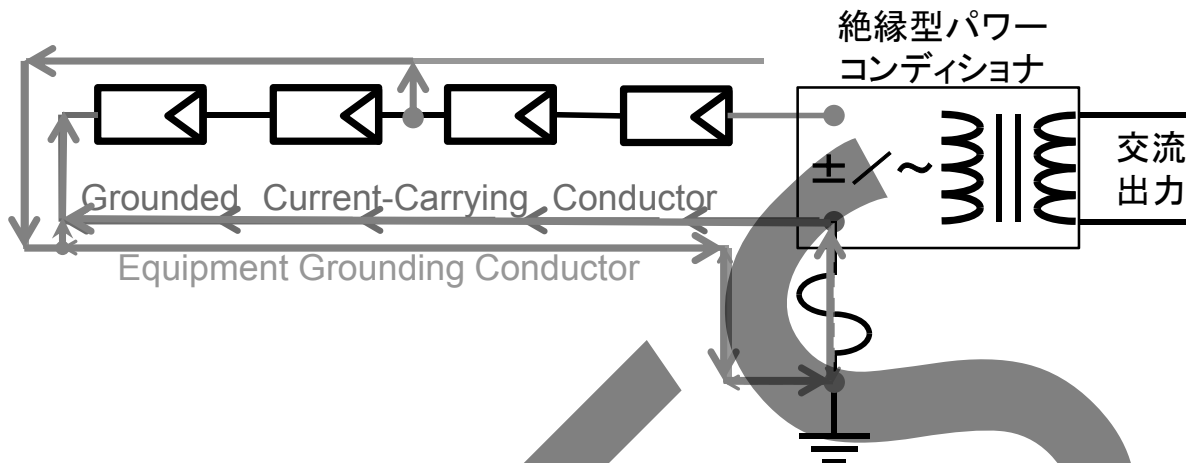


SolarABCsによる火災原因解析

The Bakersfield Fire, Bill Brooks, Solar Pro (March 2011).

The Ground-Fault Protection Blind Spot: Safety Concern for Larger PV Systems in the U.S. (January 2012).

Step1: 接地極が地絡すると、太陽電池－パワーコン間の電流がヒューズに分流。ヒューズを切れるほどではない。



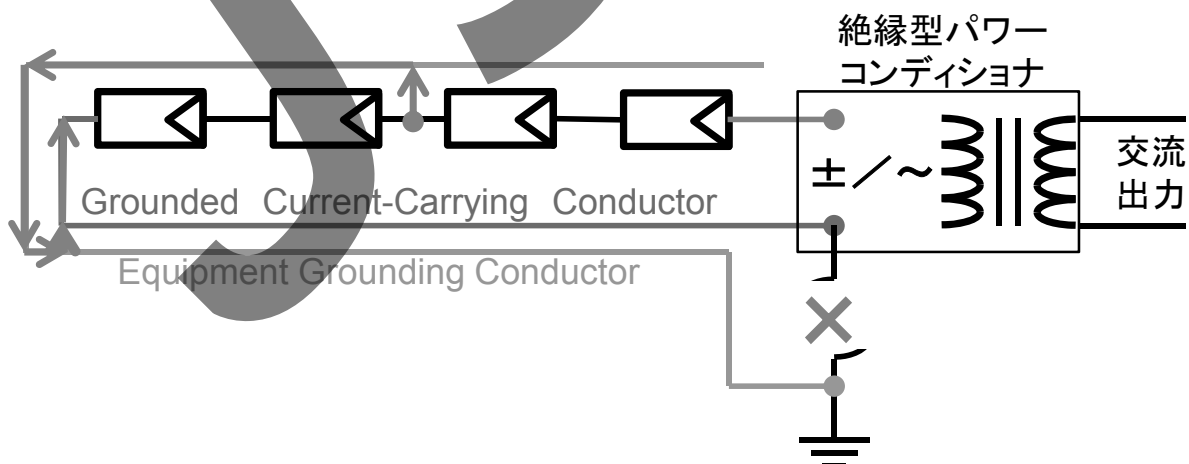
Step2: もう1カ所地絡すると、地絡電流発生

SolarABCsによる火災原因解析

The Bakersfield Fire, Bill Brooks, Solar Pro (March 2011).

The Ground-Fault Protection Blind Spot: Safety Concern for Larger PV Systems in the U.S. (January 2012).

Step1: 接地極が地絡すると、太陽電池－パワーコン間の電流がヒューズに分流。ヒューズを切れるほどではない。

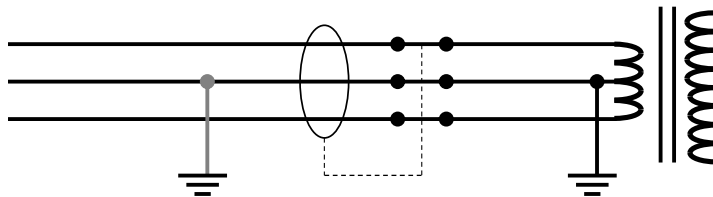


Step2: もう1カ所地絡すると、地絡電流発生

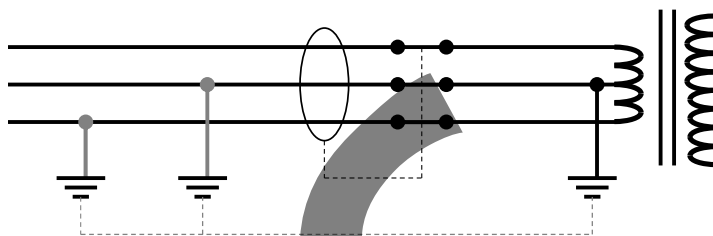
Step3: ヒューズが 溶断しても遮断不可能

比較: ACシステムのELBによる保護

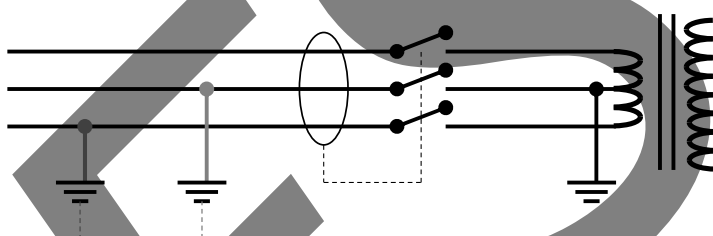
Step1:
N相地絡には鈍感
(かも知れない)。



Step2:
L1またはL2の地絡
で地絡電流発生。



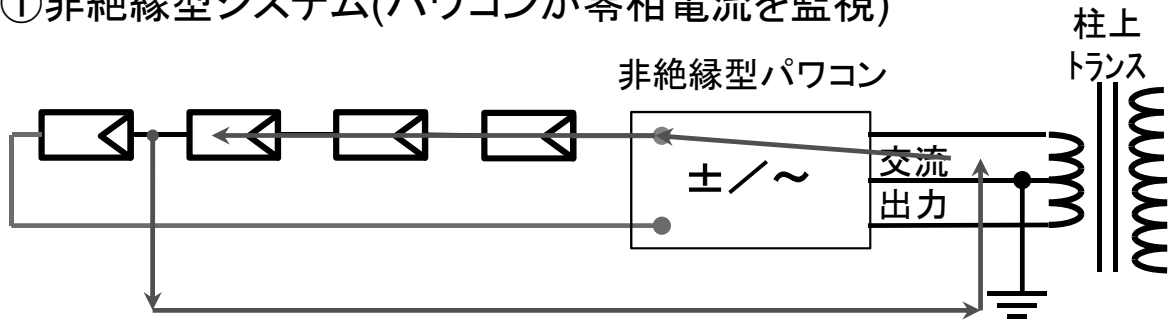
Step3:
ELB開放で
電流遮断可能



1. なぜ太陽光発電の安全性なのか？
2. 地絡検出に不感帯があるとどうなるか？
—米国の火災事例—
3. 日本でも地絡検出不感帯はあるのか？
4. では、どうすればよいのか？

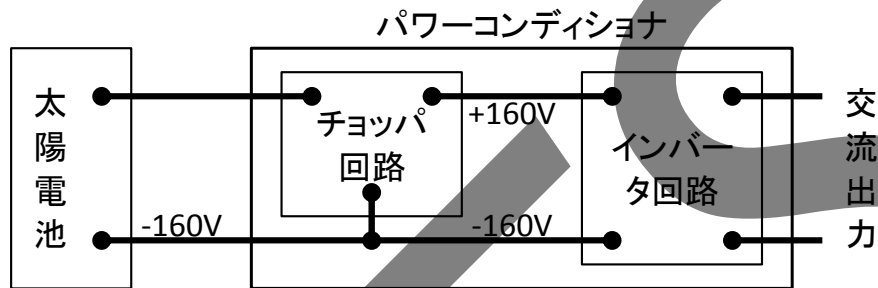
日本の家庭用PVシステム

①非絶縁型システム(パワコンが零相電流を監視)



★大地と等電位箇所は、検出不感帯

★第2故障によって事故発生後は、検知/パワコン停止しても、事故は止まらない。

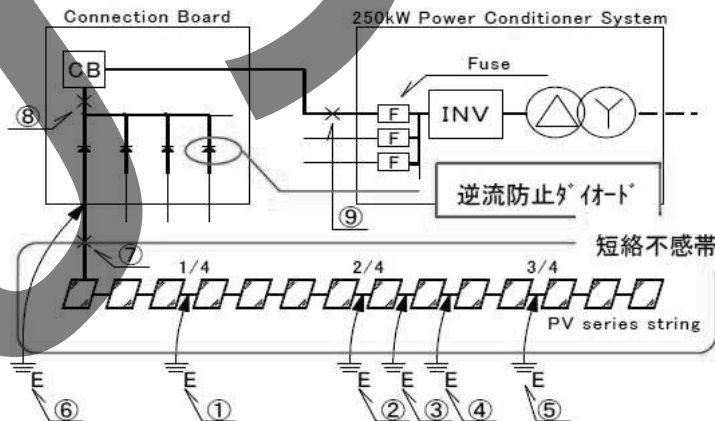


②絶縁型システムは、全箇所が検出不感帯

大型PCSの地絡検出不感帯観測例

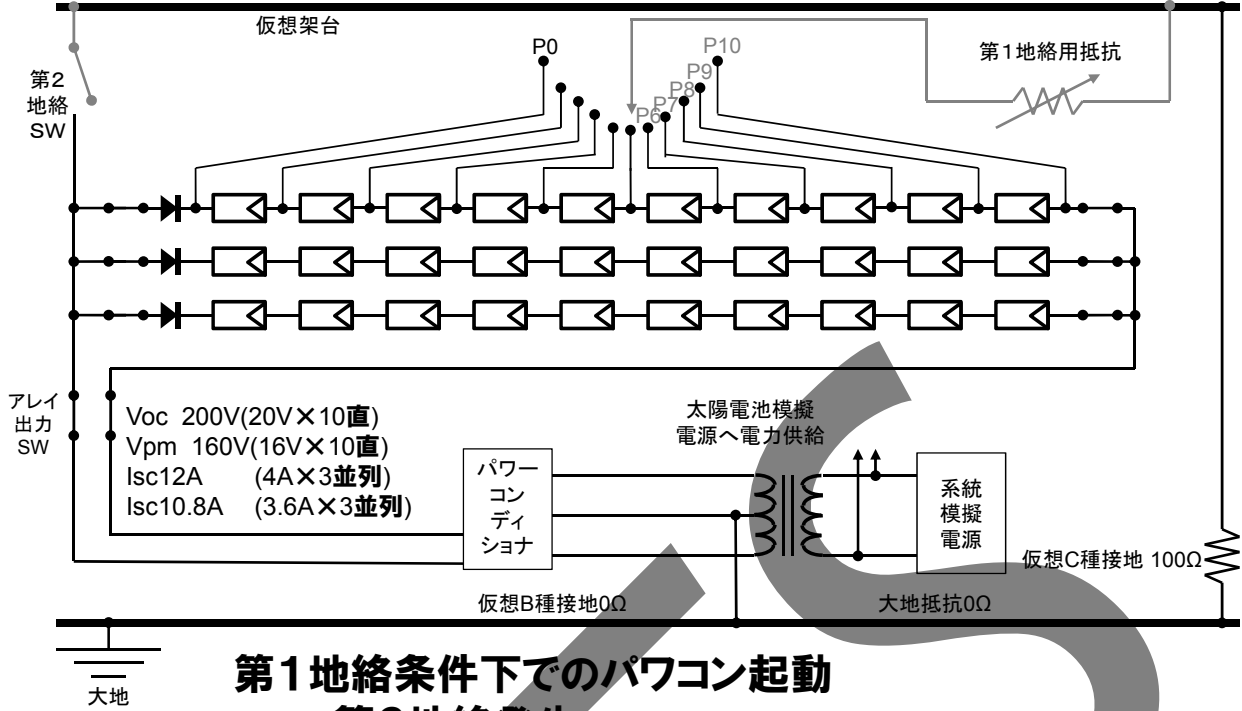
メガソーラー用PCSについては、地絡検出不感帯が報告済み

稚内メガソーラープロジェクト(4) -1MW-PCS導入等に伴う最適な設備構成について -
矢元 修 北海道電力 2009年度研究年報Vol 41 (2009).



PCS メーカー	地絡箇所と検出の可否(○:検出可 ×:検出不可)					
	①	②	③	④	⑤	⑥
X社	○	×	×	○	○	○
Y社	×	×	—	—	×	○

家庭用PCS地絡検出不感帯の観測



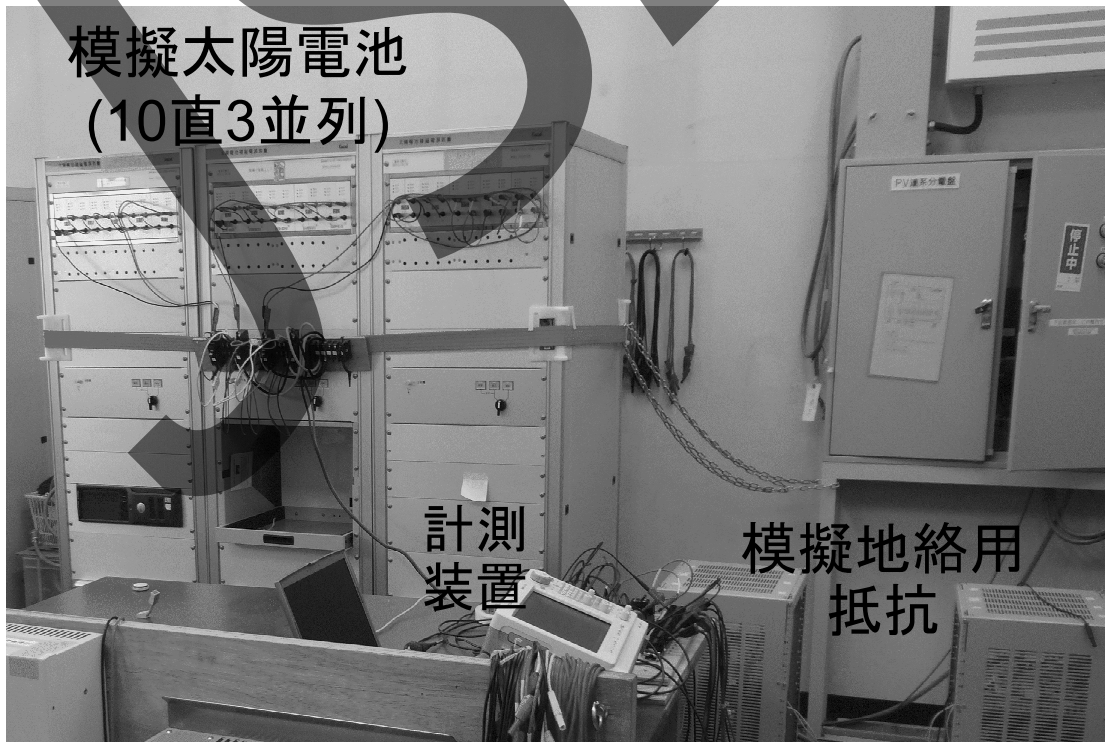
第1地絡条件下でのパワーコン起動
→ 第2地絡発生
→ パワーコン停止、事故電流継続

JX 日産日石エネルギー

本検討は資源エネルギー庁一三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

実験装置

模擬太陽電池
(10直3並列)



JX 日産日石エネルギー

本検討は資源エネルギー庁一三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

実験結果: 不感帯はある。

★いずれのパワーコンディショナも、地絡を検出できず起動する場合があります。

★第2地絡が発生すると、パワーコンディショナは停止するが、事故電流は継続する。

→Bakersfield火災と同様の危険性

A社製パワーコンディショナ

地絡位置	p6	p7	p8	p9	p10
抵抗値					
300Ω	○	×	○	○	○
280Ω	○	×	○	○	○
260Ω	○	×	○	○	○
240Ω	○	×	○	○	○
220Ω	○	○	○	○	○
200Ω	○	○	○	○	○
180Ω	○	○	○	○	○
160Ω	○	○	○	○	○
140Ω	○	○	○	○	○
120Ω	○	○	○	○	○
100Ω	○	○	○	○	○

B社製パワーコンディショナ

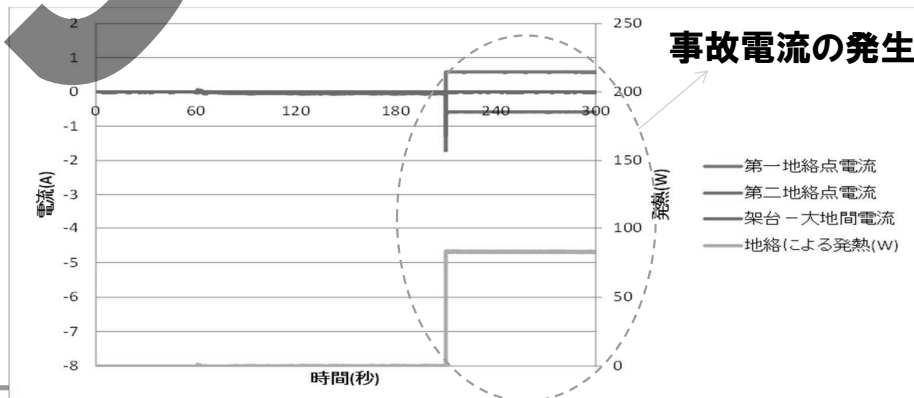
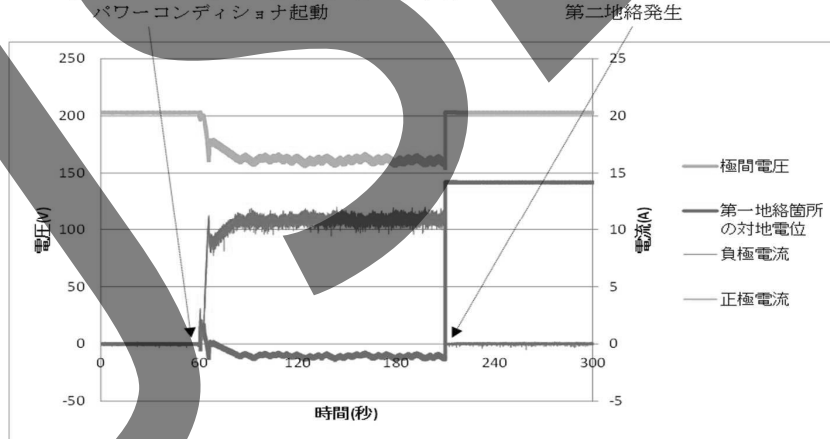
地絡位置	p6	p7	p8	p9	p10
抵抗値					
300Ω	○	○	×	×	○
280Ω	○	○	×	×	○
260Ω	○	○	○	×	○
240Ω	○	○	○	×	○
220Ω	○	○	○	×	○
200Ω	○	○	○	×	○
180Ω	○	○	○	×	○
160Ω	○	○	○	×	○
140Ω	○	○	○	○	○
120Ω	○	○	○	○	○
100Ω	○	○	○	○	○

C社製パワーコンディショナ

地絡位置	p6	p7	p8	p9	p10
抵抗値					
300Ω	○	○	×	×	○
280Ω	○	○	○	×	○
260Ω	○	○	○	×	○
240Ω	○	○	○	×	○
220Ω	○	○	○	×	○
200Ω	○	○	○	○	○
180Ω	○	○	○	○	○
160Ω	○	○	○	○	○
140Ω	○	○	○	○	○
120Ω	○	○	○	○	○
100Ω	○	○	○	○	○

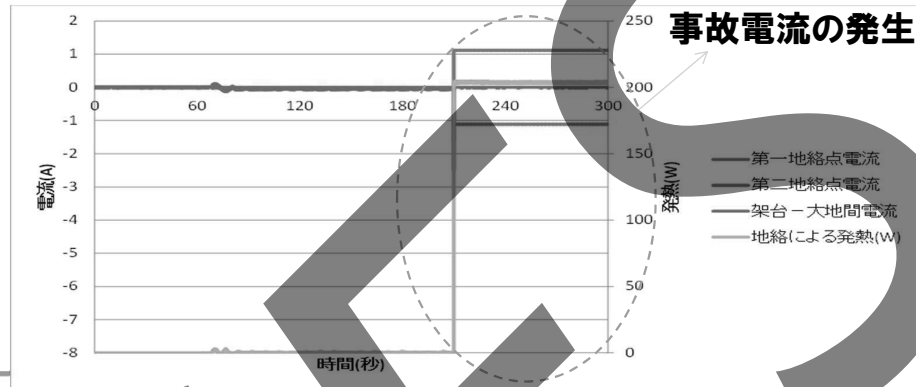
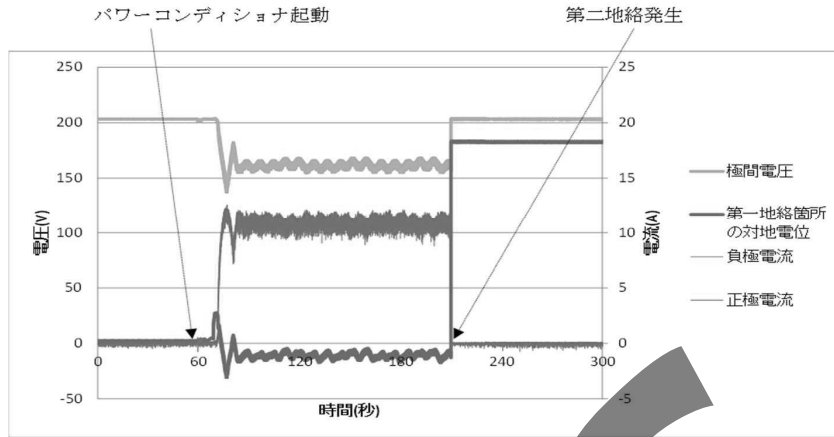
JX JX日鉱日石エネルギー
本検討は資源エネルギー庁-三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

A社製パワーコンディショナ



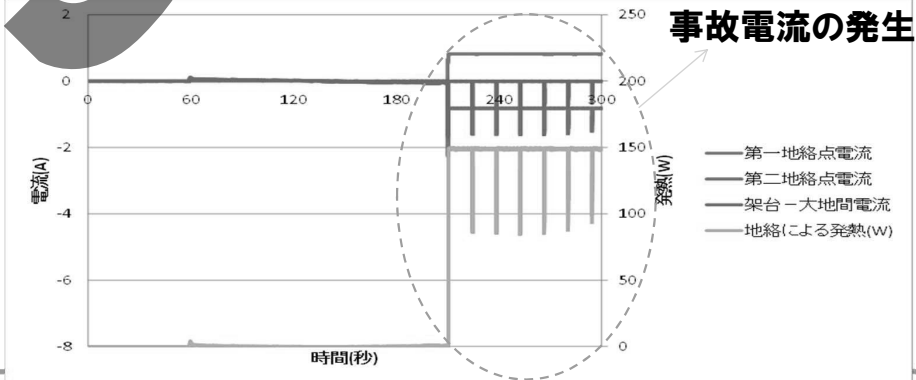
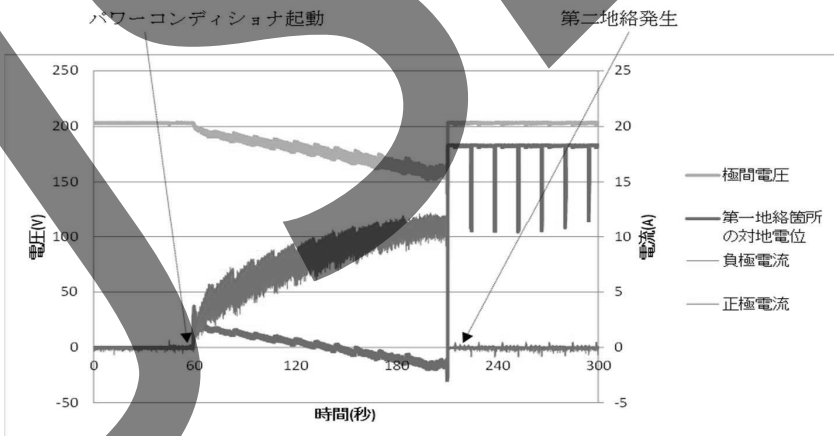
JX JX日鉱日石エネルギー
本検討は資源エネルギー庁-三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

B社製パワーコンディショナ



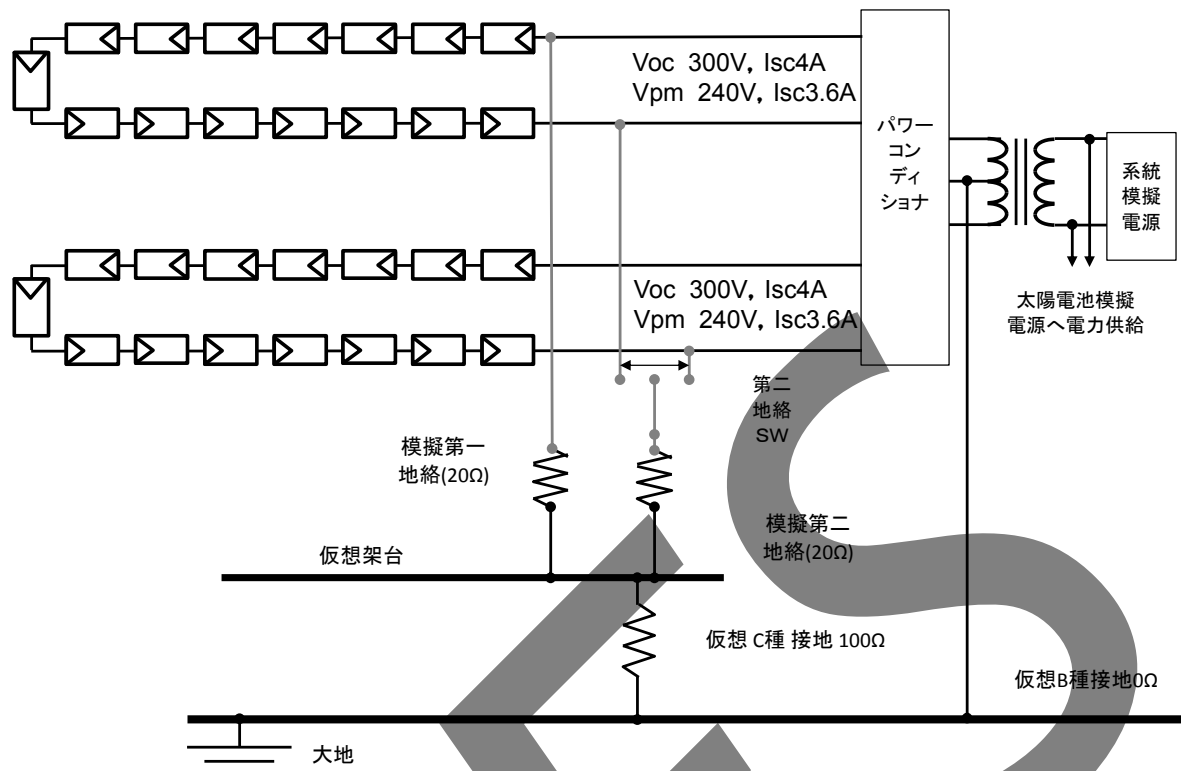
JX日鉱日石エネルギー
本検討は資源エネルギー庁-三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

C社製パワーコンディショナ



JX日鉱日石エネルギー
本検討は資源エネルギー庁-三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

D社絶縁型パワコン 2点地絡実験

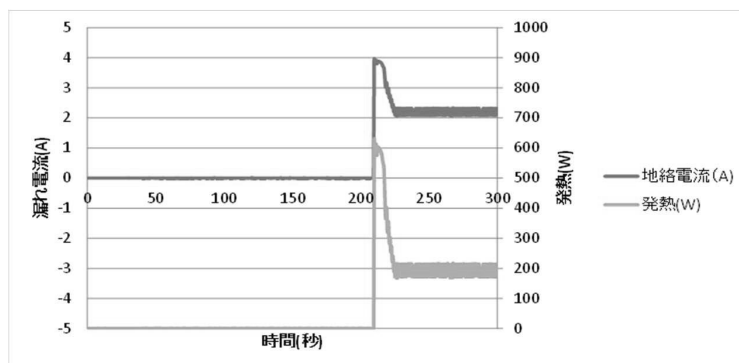
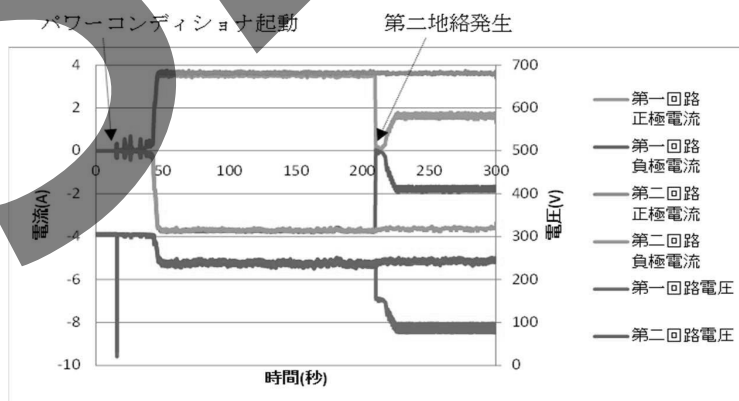


JX JX日鉱日石エネルギー

本検討は資源エネルギー庁—三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

結果(istring内)

- ①パワコンは動き続ける。
- ②正負両極が地絡すると、直後には地絡箇所で大発熱する。
- ③その後パワーコンディショナがDC電圧を下げるため、発熱は抑制されるが、継続する。
- ④地絡していない回路の電流、電圧は変化しない。

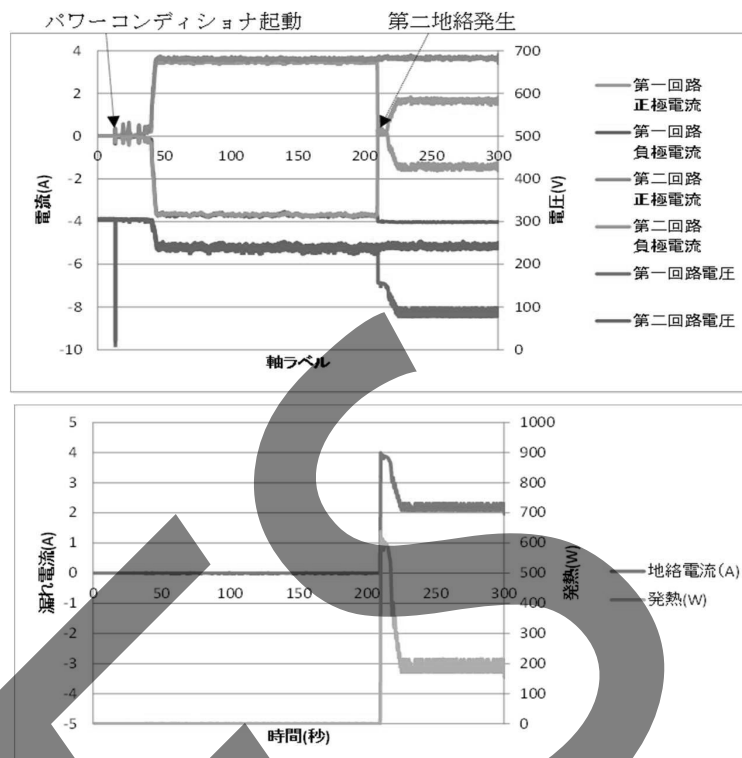


JX JX日鉱日石エネルギー

本検討は資源エネルギー庁—三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

結果(istring間)

- ①パワコンは動き続ける。
- ②stringを跨ぐ2点地絡でも、string内2点地絡と同様の地絡電流、発熱が見られる。
- ③回路電圧が変化しない回路と変化する回路がある。



JX JX日鉱日石エネルギー

本検討は資源エネルギー庁-三菱総研委託事業の委託により、平成25年度新エネルギー等共通基盤整備促進事業(太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備)の一部として実施した。

1. なぜ太陽光発電の安全性なのか？

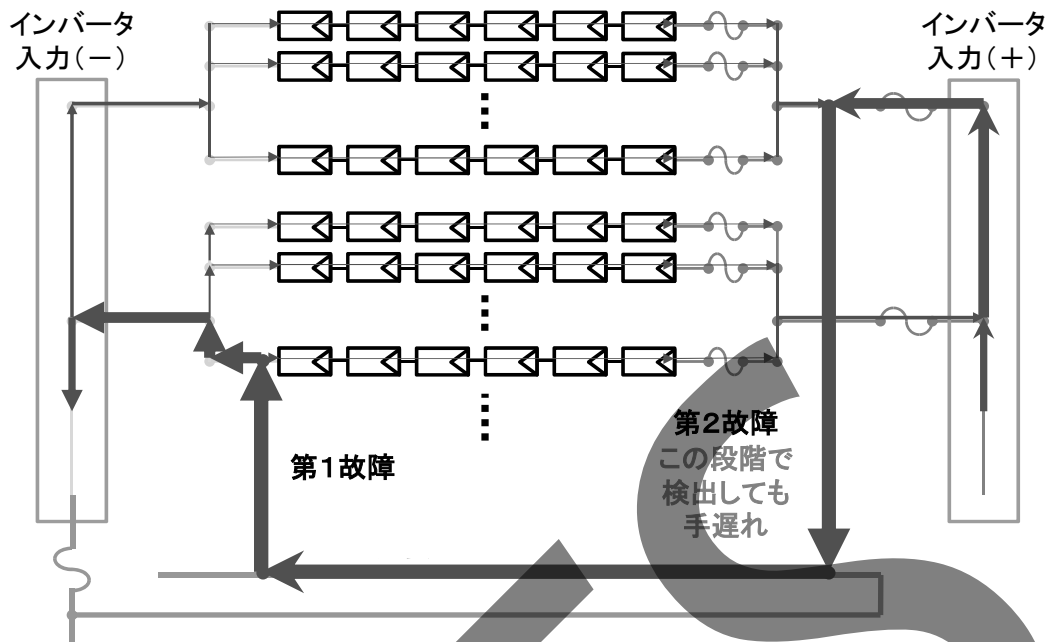
2. 地絡検出に不感帯があるとどうなるか？ —米国の火災事例—

3. 日本でも地絡検出不感帯はあるのか？

4. では、どうすればよいのか？

JX JX日鉱日石エネルギー

Bakersfield火災の様相



- ★第1故障の確実な検出(検出不感帯の排除、高頻度の検出)
- ★検出した第1故障を取り除く(地絡位置の把握)

地絡火災防止の要件

- ★第1故障の確実な検出
 - 検出不感帯の排除
 - 高頻度の検出
- ★検出した第1故障を取り除く
 - 地絡位置の把握

SolarABCsの対策案(第1故障の検出)

Analysis of Fuses for “Blind Spot” Ground Fault Detection in Photovoltaic Power Systems (2013).
Inverter Ground-Fault Detection “Blind Spot” and Mitigation Methods (2013).

第一故障
発見の努力。
決定的でない。

- ①検出用ヒューズを1Aにする。
- ②電流検知リレー
- ③定期的な絶縁チェック
- ④定期メンテナンス
- ⑤零相電流監視＋アラーム
- ⑥零相電流監視＋PCS停止

事故発生後対応。
Bakersfield火災
に対しては無力。

- ⑦アーク検出 ……NEC2011で義務化

欧州の規格

DIN V VDE0126-1-1

Automatic disconnection device between a generator
and the public low-voltage grid

- 4.7.1 ★接続前に最大入力電圧に対して、
絶縁抵抗 $\geq 1\text{k}\Omega/\text{V}$ が必要。(おそらく、 $V_{\text{max PCS}}/1\text{mA}$)
ただし、最低でも $500\text{k}\Omega$ 。

検出不感帯
の無い方法を
求めている！

- ★漏れ電流(零相電流)300mA以上では、
0.3秒以内に解列しなければならない

- ★急な零相電流では、以下のとおり解列しなければならない。

急な零相 電流値	パワコン 停止時間
30mA	0.3s以内
60mA	0.15s以内
150mA	0.04s以内

国内の法令、規格、製品仕様

電気設備に関する技術基準を定める省令(第58条)
 絶縁抵抗は、開閉器又は過電流遮断器で区切れる
 電路ごとに100~400kΩ以上(電圧による)

電技も検出
 不感帯を
 許していない

しかし、

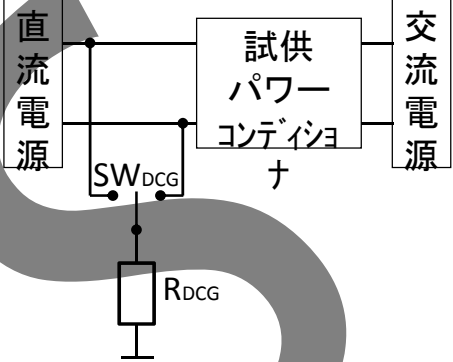
①パワーコンディショナの仕様

パワーコンディショナの仕様書には、地絡検出に関する仕様記載が無い。

②パワーコンディショナの規格(JIS C 8962)

スイッチSW_{DCG}を閉じて地絡状態を発生させ、
 パワーコンディショナの遮断又は停止時間を
 測定する。

- 疑問点:
- ・正極と負極しか試験しない。
 - ・抵抗値の基準が無い。
 - ・停止時間の合否判定基準が無い。



パワコンにはその規定が無い...

地絡検出
 方法の
 比較

	①零相電流の監視	②接地箇所の監視(USA)	③減極性DC印加	④加極性DC印加	⑤無電圧化、DC印加
不感帯が無い	-	-	-	☆	☆
対地過電位	☆	☆	☆	-	☆
kΩ値の算出	-	-	-	-	☆
容量の影響、計算容易性	☆	☆	☆	☆	☆
事故電流発生前の検知	-	☆	☆	-	☆
PID対策(P-セル)	-	-	☆	☆	☆
地絡位置情報	-	-	-	-	☆

	⑥中点接地	⑦抵抗接地極を切替	⑧アレイ電位をシフトして監視	⑨対地電位を切替	⑩ACまたはパルス電圧印加
不感帯が無い	-	-	-	-	-
対地過電位	☆	☆	☆	☆	☆
kΩ値の算出	-	-	-	-	☆
容量の影響、計算容易性	☆	☆	☆	☆	☆
事故電流発生前の検知	-	☆	☆	-	☆
PID対策(P-セル)	-	-	☆	☆	☆
地絡位置情報	-	-	-	-	☆

まとめ

(1) 地絡火災防止の方針を提案した

ア. 第1故障の確実な検出

① 不感帯が無い

② 高頻度の検出 …… 監視装置の常設が理想

イ. 検出した第1故障を取り除くこと

③ 地絡位置の把握

①②③を満たす製品は無い。

しかし

①②を満たす(と期待される)製品はある。

①③を満たす製品はある。

(2) 地絡に限らず、PVの直流事故に全般に対して、 上記方針は有効と考える。

本研究の一部は、経済産業省/三菱総合研究所受託研究
「新エネルギー等共通基盤整備促進事業」における
「太陽光発電システムの直流電気安全性に関する基盤整備」
の一環で行った