

太陽光発電設備絶縁監視装置



特許第6644853号

目次

1. 開発の経緯
2. 太陽光発電設備の絶縁診断方法
3. 絶縁低下区間の判別と絶縁抵抗の算出
4. フィールド試験結果
5. まとめ

開発の経緯

(1) 太陽光発電設備の地絡事故による発熱・発火

太陽光発電設備の直流回路にて2点地絡が生ずれば、事故電流が流れ続けて発熱・発火の要因になり、火災発生した事例が報告されている。

(2) 地絡事故の未然防止に資する要件

地絡事故の未然防止に資する装置として、以下の要件が望まれる。

- 検出不感帯が無いこと
- 地絡検出と同時に地絡箇所を特定できること
- 頻繁に監視できること

出典；太陽光発電の直流電気安全のための手引きと技術情報
産業技術総合研究所

(3) 地絡事故の未然防止として

地絡事故の未然防止には、
絶縁低下の早期発見と絶縁低下カ所の特定が必要

- 検出不感帯が無いこと
- 地絡検出と同時に地絡箇所を特定できる 装置として、
「太陽光発電設備直流回路絶縁装診断置」を既に開発し、
 定期点検時 (**PCS停止**) の絶縁抵抗測定に用いている。



診断装置

地絡事故の早期発見に資するため

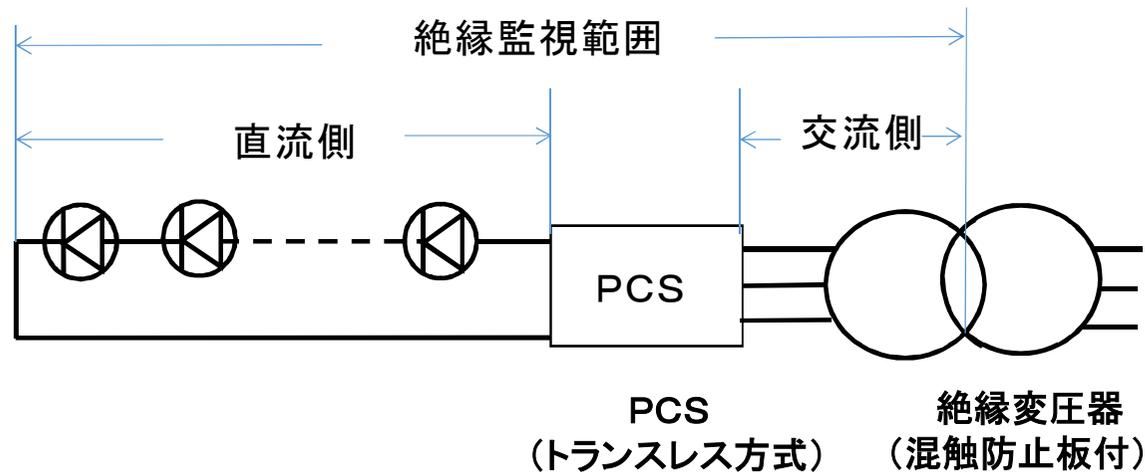
- 頻繁に監視できる 装置として、
「太陽光発電設備絶縁監視装置」を開発した。
PCS連系運転にて絶縁測定を行う。



監視装置

本装置による絶縁監視の範囲

パワーコンディショナがトランスレス式、絶縁変圧器が混触防止板付の設備において、太陽電池パネルから絶縁変圧器までが、本装置による絶縁監視範囲になる。



太陽光発電設備の絶縁測定方法

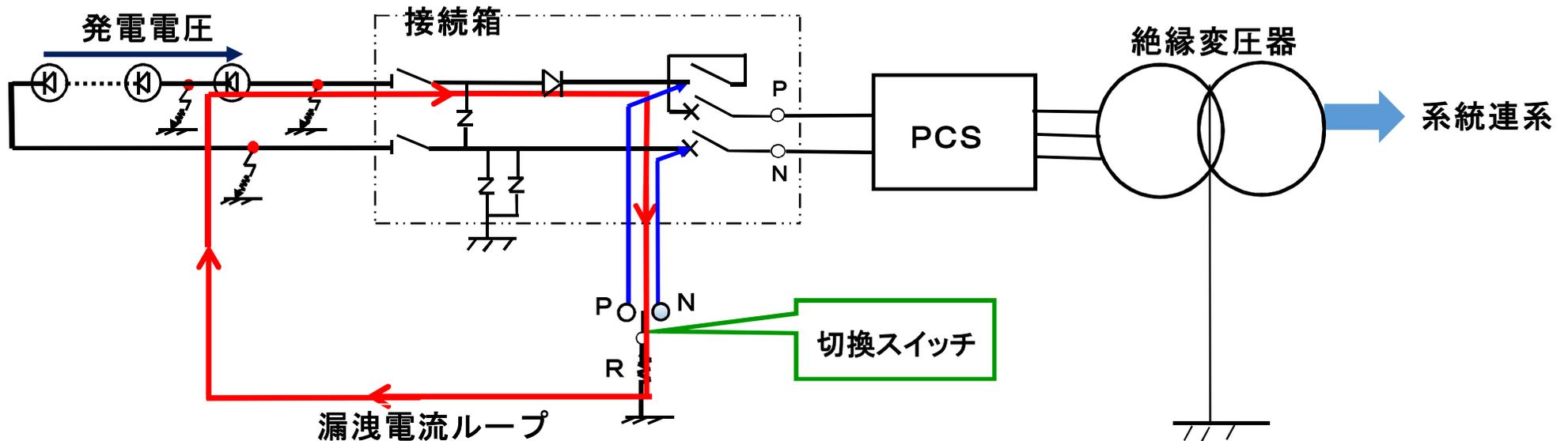
絶縁診断は **自己バイアス方式** による

直流電路と接地間に抵抗(R)を挿入することにより、日中の発電電圧を利用して、漏洩電流を検出し、抵抗間に生ずる電圧をパラメータに用いて、絶縁抵抗値を算出する。自己バイアス方式によれば、測定時に直流回路の短絡や避雷素子を外す必要がない。

パワーコンディショナ直流側の絶縁低下

直流電路にて、絶縁低下が生じた場合の漏洩電流ループを下図に示す。

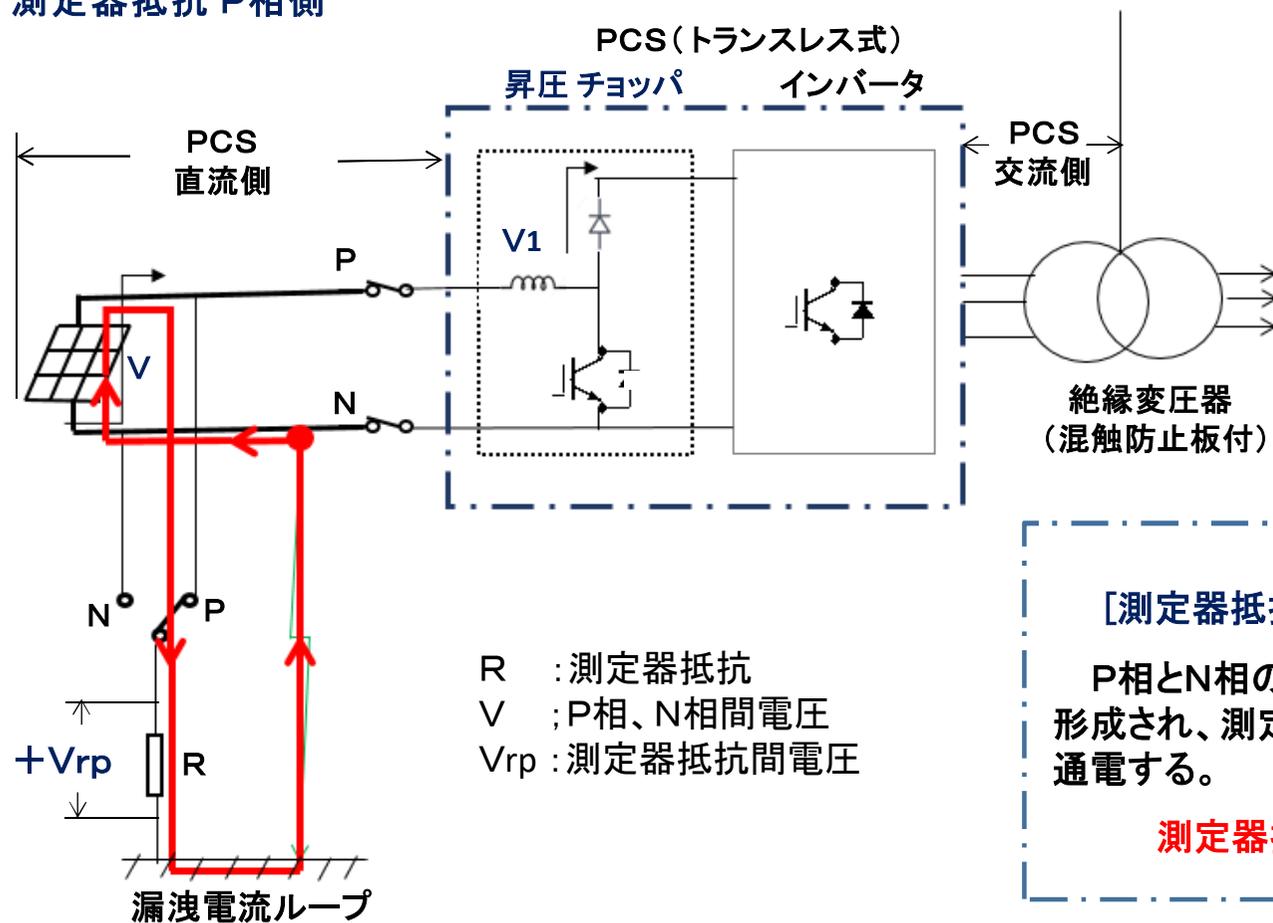
抵抗(R)間に生ずる電圧検出は、スイッチの切換えにより、P相、N相の双方にて行う。



(1) パワーコンデショナ直流側の絶縁低下

① N相にて絶縁低下が生じた場合

測定器抵抗 P相側



[測定器抵抗へ通電する電流方向と V_{rp} の極性符号]

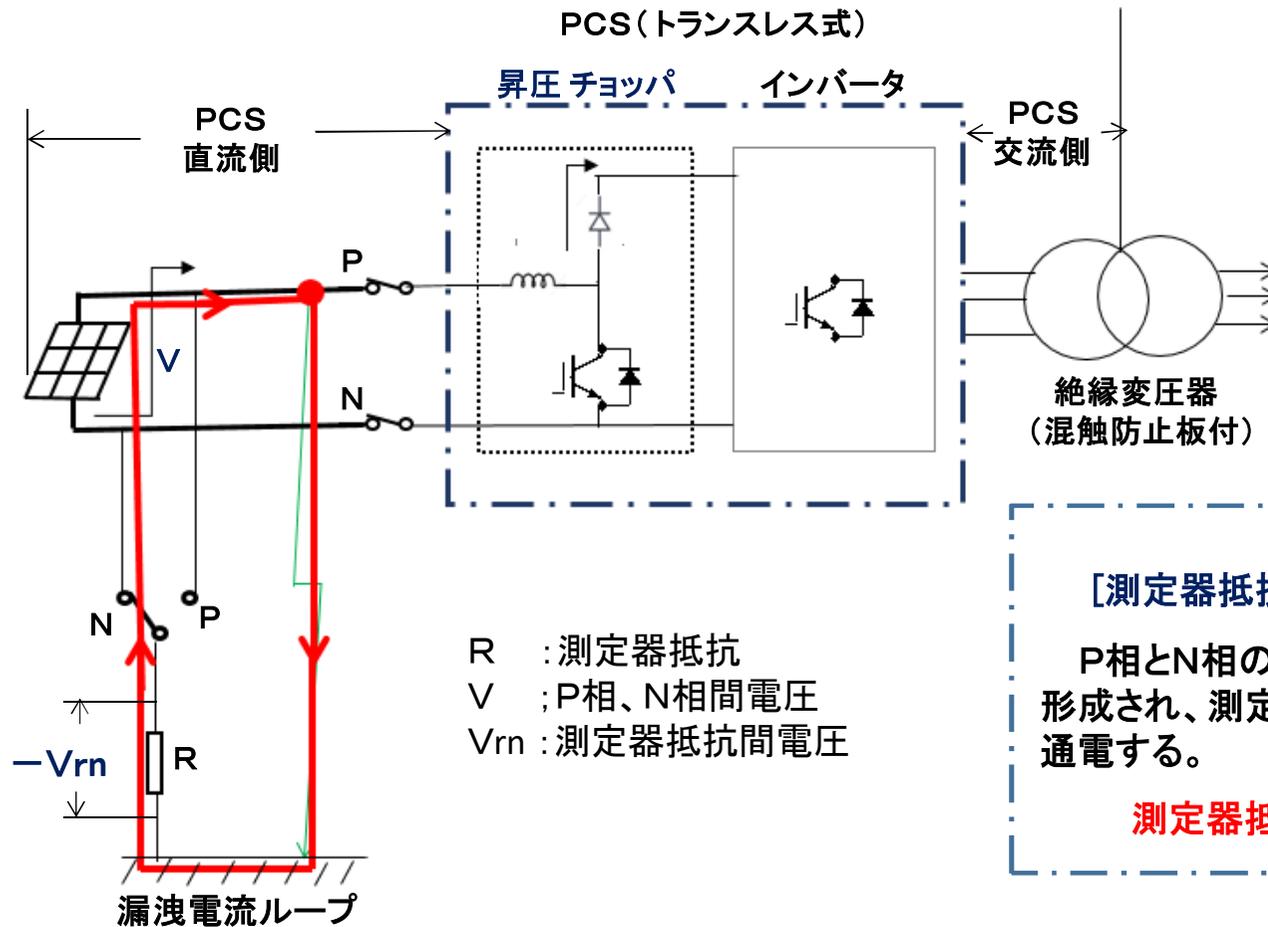
P相とN相の極間電圧(V)を起源とした漏洩電流ループが形成され、測定器抵抗(R)にはP相から接地へ向かう電流が通電する。

測定器抵抗間電圧 V_{rp} は、プラス符号が付く。

(1) パワーコンディショナ直流側の絶縁低下

② P相にて絶縁低下が生じた場合

測定器抵抗 N相側



[測定器抵抗へ通電する電流方向と V_{rp} の極性符号]

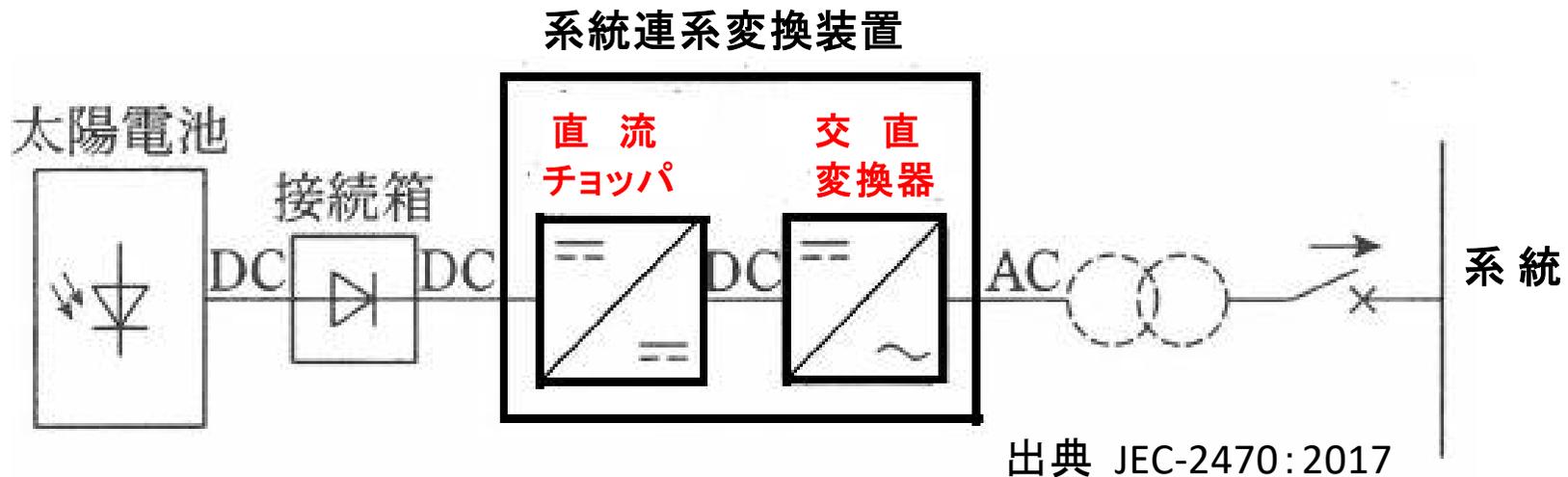
P相とN相の極間電圧(V)を起源とした漏洩電流ループが形成され、測定器抵抗(R)には接地からP相へ向かう電流が通電する。

測定器抵抗間電圧 V_{rn} は、マイナス符号が付く。

パワーコンディショナ 交流側の絶縁測定

パワーコンディショナの構成

パワーコンディショナ(系統連系変換装置)は、**直流チョッパ**と**インバータ(交直変換器)**にて構成される。

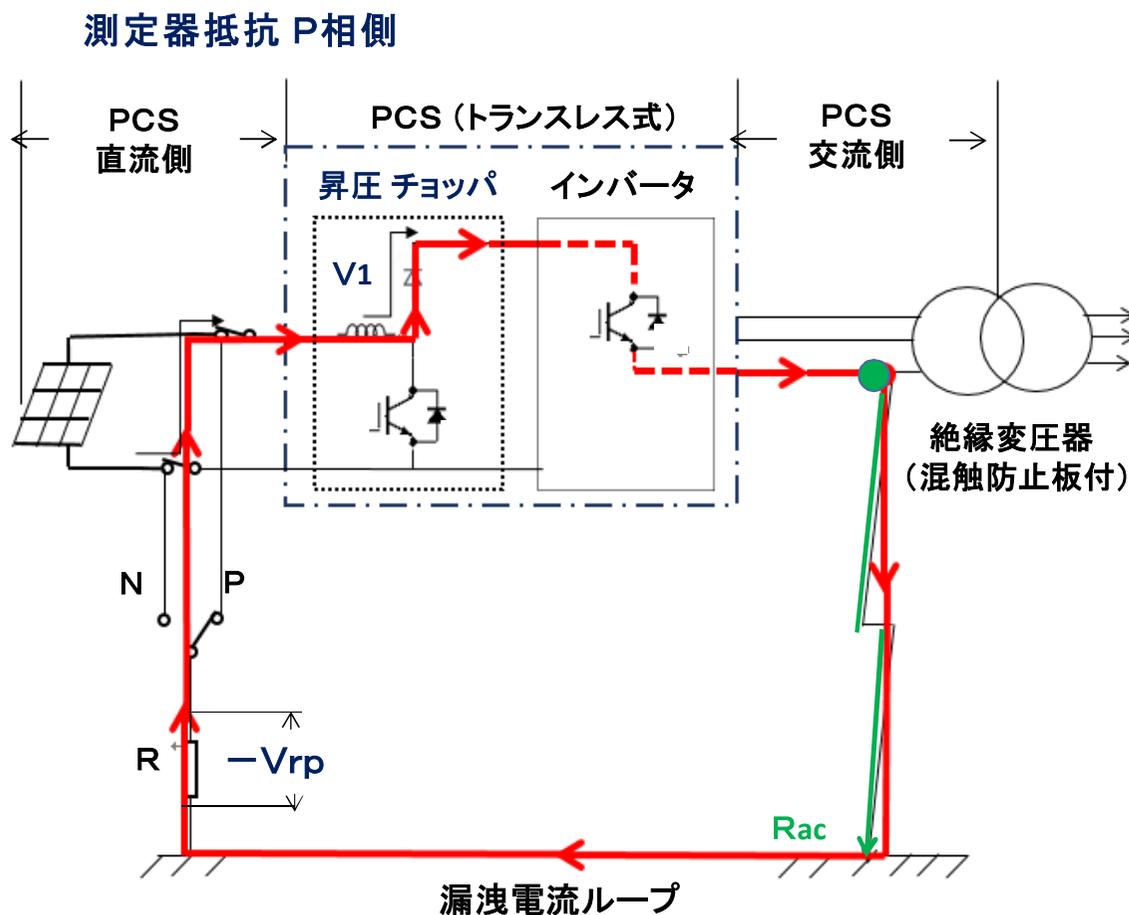


※ 直流チョッパは、太陽光電池モジュールの日照による電圧変動を、安定した直流電圧に昇圧変換する役目があり、昇圧チョッパとして用いられる。

パワーコンディショナ交流側の絶縁測定は、チョッパによる昇圧電圧を利用する。

(2) パワーコンディショナ交流側の絶縁測定

② 測定器抵抗間電圧 (V_{rp}) の検出



[測定器抵抗へ通電する電流方向と V_{rp} の極性]

P相とN相の極間電圧 (V) とチョッパによる昇圧電圧 (V_1) を起原とした電流ループが形成され、測定器抵抗間には接地からP相へ向かう電流が通電する。

測定器抵抗間電圧 V_{rp} は、マイナス符号が付く。

V_{rp} : 測定器抵抗間電圧

R : 測定器抵抗

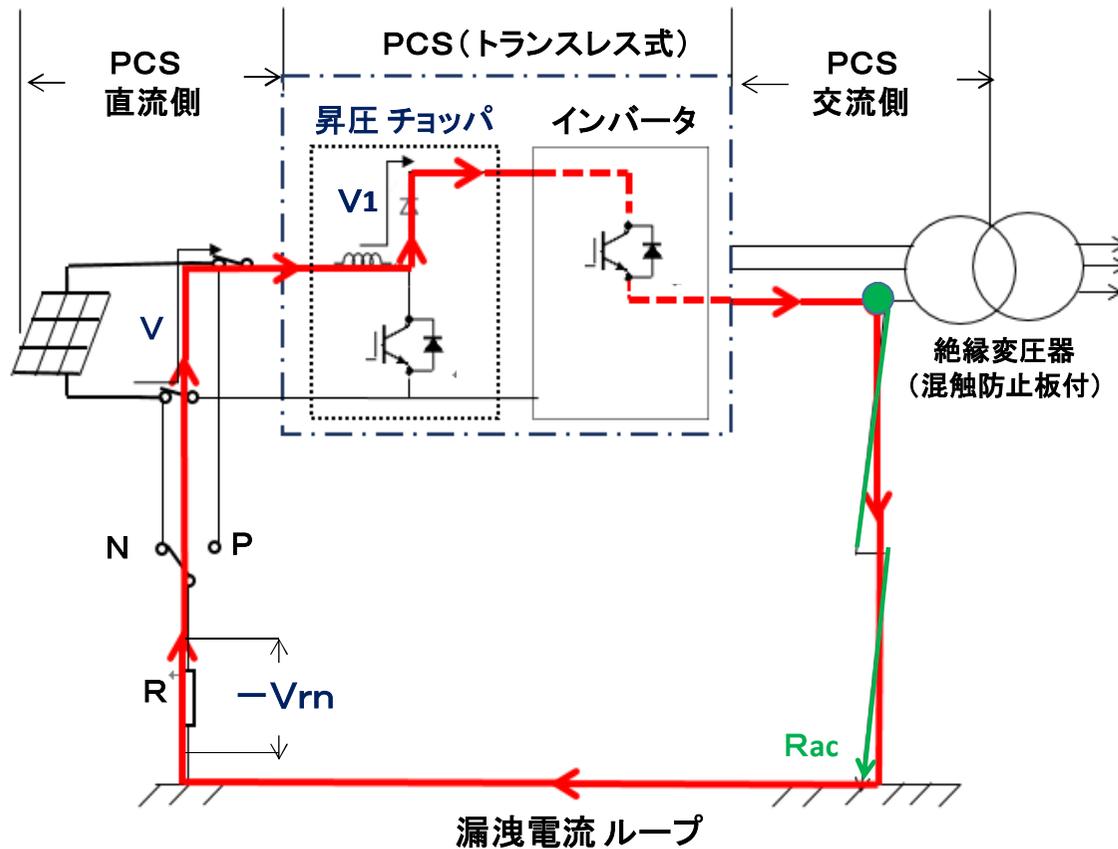
V_1 : 昇圧チョッパによる電圧

R_{ac} : 交流回路の絶縁抵抗

(2) パワーコンディショナ交流側の絶縁測定

③ 測定器抵抗間電圧 (V_{rn}) の検出

測定器抵抗 N相側



[測定器抵抗へ通電する電流方向と V_{rn} の極性]

P相とN相の極間電圧 (V) とチョッパによる昇圧電圧 ($V1$) の加算 ($V+V1$) を起源とした電流ループが形成され、測定器抵抗 (R) には接地からP相へ向かう電流が通電する。

測定器抵抗間電圧 V_{rn} は、マイナス符号が付く。

- V_{rn} : 測定器抵抗間電圧
- R : 測定器抵抗
- V : 極間電圧 (P・N相間)
- $V1$: 昇圧チョッパによる電圧
- R_{ac} : 交流電路の絶縁抵抗

3. 絶縁低下区間の判別と絶縁抵抗値の算出

(1) パワーコンデンサの直流側又は交流側のどちらかにて絶縁低下が生じた場合における絶縁低下区間の判別

測定器抵抗間電圧の符号

絶縁低下区間	Vrpの符号	Vrnの符号
パワーコンデンサ直流側 (直流回路)	プラス	マイナス
パワーコンデンサ交流側 (交流回路)	マイナス	マイナス

測定器抵抗(R)をP相側へ切換え後の抵抗間電圧(Vrp)の符号

「マイナス」の場合は「パワーコンデンサ交流側」の絶縁低下を示す。

「プラス」の場合は「パワーコンデンサ直流側」の絶縁低下を示す。

※Vrp符号の見分けにより、絶縁低下区間を判別できる。

(2) 絶縁抵抗値の算出式

Vrp符号がプラスの場合

$$R_{pn} = R \left(\frac{V}{V_{rp} + V_{rn}} - 1 \right) \dots \textcircled{1}$$

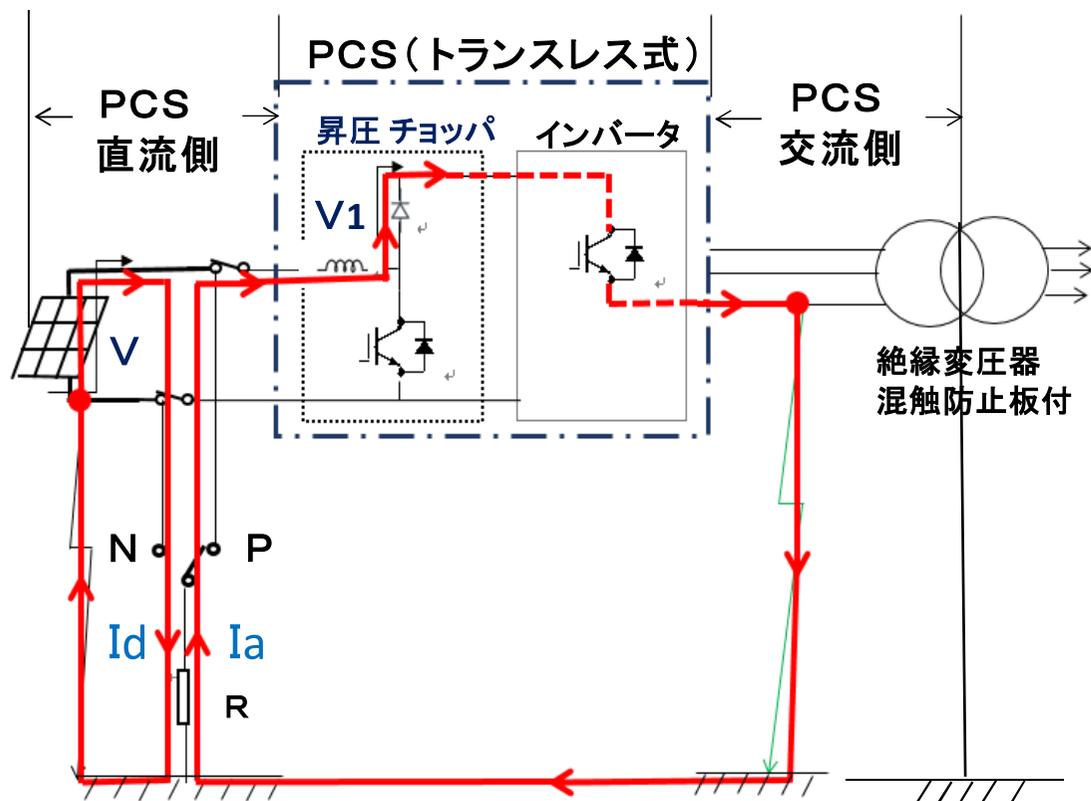
Vrp符号がマイナスの場合

$$R_{ac} = R \left(\frac{V + V_{rp} - V_{rn}}{V_{rn} - V_{rp}} \right) \dots \textcircled{2}$$

V; 極間電圧 R; 測定器抵抗 Vrp, Vrn; 測定器抵抗間電圧

パワーコンディショナ直流側と交流側にて絶縁低下が生じた場合

測定器抵抗 P相側



太陽電池パネルからパワーコンディショナを介した絶縁変圧器までの合成絶縁抵抗 (R_{pn} 、 R_{ac}) は、以下の式にて表される。

$I_d > I_a$ のとき

$$R_{pn} = R \left(\frac{V}{V_{rp} + V_{rn}} - 1 \right)$$

$I_d < I_a$ のとき

$$R_{ac} = R \left(\frac{V + V_{rp} - V_{rn}}{V_{rn} - V_{rp}} \right)$$

$I_d > I_a$ のとき V_{rp} はプラス符号

$I_d < I_a$ のとき V_{rp} はマイナス符号

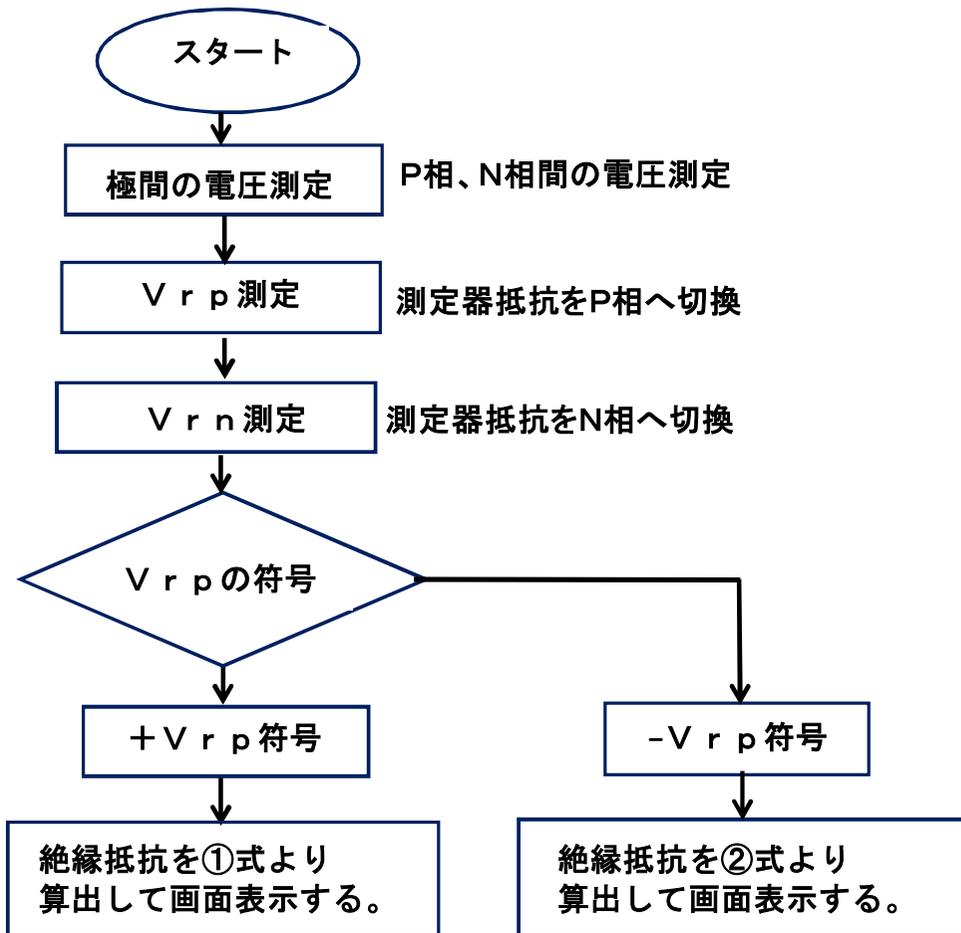
R : 測定器抵抗

V : 極間電圧 (P・N相間)

V_1 : 昇圧チョッパによる電圧

V_{rp} 、 V_{rn} : 測定器抵抗間電圧

(2) フロー図 絶縁抵抗値の算出と絶縁低下区間の判別



$$R_{pn} = R \left[\frac{V}{V_{rp} + V_{rn}} - 1 \right] \dots \textcircled{1}$$

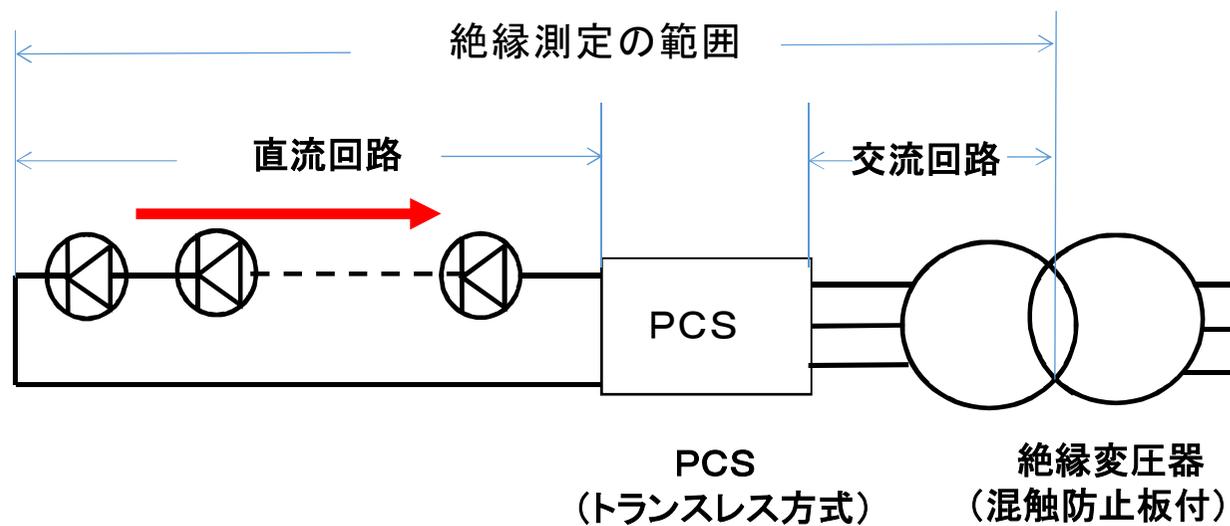
$$R_{ac} = R \left[\frac{V + V_{rp} - V_{rn}}{V_{rn} - V_{rp}} \right] \dots \textcircled{2}$$

①、②式による R_{pn} 及び R_{ac} は
 太陽電池パネルから、パワーコンディショナ(トランスレス方式)を
 介した絶縁変圧器(混触防止板付)までの合成絶縁抵抗を示す。

パワーコンディショナの種類と絶縁測定の種類

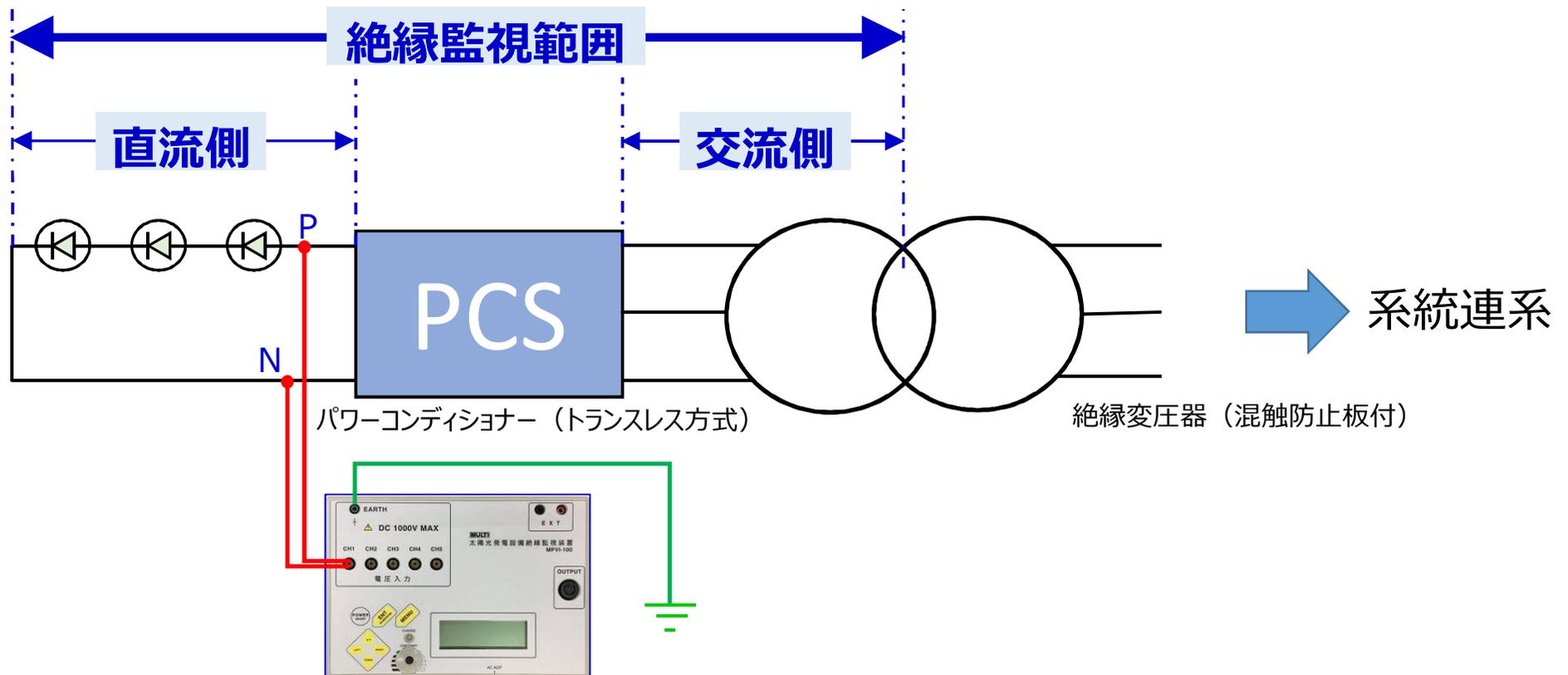
パワーコンディショナ	絶縁変圧器	絶縁診断の範囲
トランスレス式	混触防止板付	直流回路から交流回路まで
絶縁式(高周波・商用周波)		直流回路

- ※ 直流回路; 太陽電池パネルからパワーコンディショナ間
- ※ 交流回路; パワーコンディショナから絶縁変圧器間



(3) 本装置による絶縁監視

- 装置の方から1日に4回、任意設定した時間にて絶縁測定を行い、絶縁監視とする。
- 10MΩ未滿を検出した場合には、絶縁抵抗値及び検出日時を記憶する。
- 絶縁抵抗値が、絶縁不良域に至った場合は、情報配信する。



4. フィールド測定結果(その1)

絶縁測定結果(パワーコンディショナ連系運転時)

NO	絶縁低下力所	模擬抵抗値 (MΩ)	極間電圧(V)	Vrp (mV)	Vrn (mV)	Rpn (MΩ)	Rac (MΩ)
1	なし	/	176.3	23.6	-71.1	9.27	/
2	直流電路 P相	1.01	184.8	69.3	-969	0.88	/
3	直流電路 N相	1.01	184.5	923	-39.6	0.93	/
4	交流電路 U相	1.01	179.3	-824.1	-1715	/	0.99
5	交流電路 V相	1.01	175.0	-790.0	-1683	/	0.97
6	交流電路 W相	1.01	185.6	-740.9	-1669	/	0.98

※ 太陽光発電設備 発電出力;3kW PCS(トランスレス式);10kW 絶縁変圧器(混触防止板付)

- 太陽電池パネルからPCSまで、直流電路の絶縁抵抗値は、**9.27MΩ**(NO.1)
- 直流電路を模擬的に絶縁低下(1.01MΩ)して測定した結果は、**0.88MΩ**、**0.93MΩ**(NO.2,NO.3)
直流電路の絶縁抵抗値は9.27MΩであり、直流電路の模擬抵抗値(1.01MΩ)との合成絶縁抵抗を示した。
- 交流電路を模擬的に絶縁低下(1.01MΩ)して測定した結果は、**0.97MΩ~0.99MΩ**(NO.4,NO.5,NO.6)
直流電路の絶縁抵抗値は9.27MΩであり、交流電路の模擬抵抗値(1.01MΩ)との合成絶縁抵抗を示した。

4. フィールド測定結果(その2)

直流側と交流側の双方にて絶縁低下が生じた場合の絶縁測定

NO	絶縁低下力所	模擬抵抗値 (MΩ)	極間電圧 (V)	発電電力 (kW)	Vrp (mV)	Vrn (mV)	測定値 Rpn (MΩ)	測定値 Rac (MΩ)	測定値から逆算による 交流電路の絶縁抵抗 (MΩ)	測定条件
1	なし	∞	264.4	2.5	12.19	-43.72	OVER	/	/	系統連系
2	直流電路 P相 直流電路 N相 交流電路 U相	0.39 2.02 0.51	262.6	2.5	-138.6	-6619	/	0.20	0.53	系統連系
3	直流電路 P相 直流電路 N相 交流電路 U相	0.39 2.02 0.51	260.6	2.6	-197.7	-6670	/	0.19	0.47	系統連系
4	直流電路 P相 直流電路 N相 交流電路 U相	0.39 2.02 0.51	258.7	2.6	-106.1	-6557	/	0.19	0.47	系統連系
5	直流電路 P相 直流電路 N相	0.39 2.02	311.4	/	785.4	-3946	0.32	/	/	連系停止 (PCS内のMCCB OFF)

※ 太陽光発電設備 発電出力;10kW PCS(トランスレス式);10kW 絶縁変圧器(混触防止板付)

※ 絶縁測定は、太陽光発電設備絶縁監視装置(MPVI-100) Ver1.07 の計測モードによる。

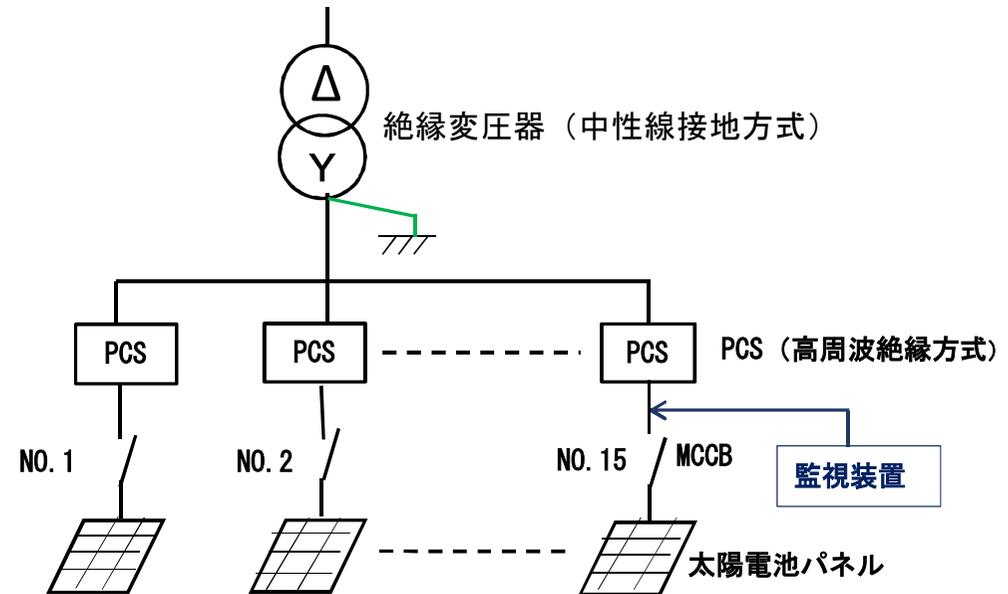
- 表示値のRpnは、太陽電池パネルからPCSまで直流電路の合成絶縁抵抗値を示す。
- 表示値のRacは、太陽電池パネルから絶縁変圧器までの合成絶縁抵抗値を示す。
- 交流電路の絶縁抵抗は、RpcとRacから逆算により算出した値を示す。

4. フィールド測定結果(その3)

多数のPCS(高周波絶縁式)にて構成する設備

【設備構成】

- ・発電出力 150 kW
- ・PCS(高周波絶縁式) 10kW×15台を並列運転
- ・絶縁変圧器(中性線接地式) 150 kVA



測定結果

NO	測定器	発電電圧(V)	発電出力(kW)	Rp(MΩ)	Rn(MΩ)	備考
1	監視装置	346.5~373.8	7.34~8.86	20<	20<	連系運転
2	診断装置	437~438		20<	20<	連系停止

※ 発電電圧及び発電出力はPCS(NO.1~NO.15)ごとに測定した測定結果の範囲を示す。

測定結果より

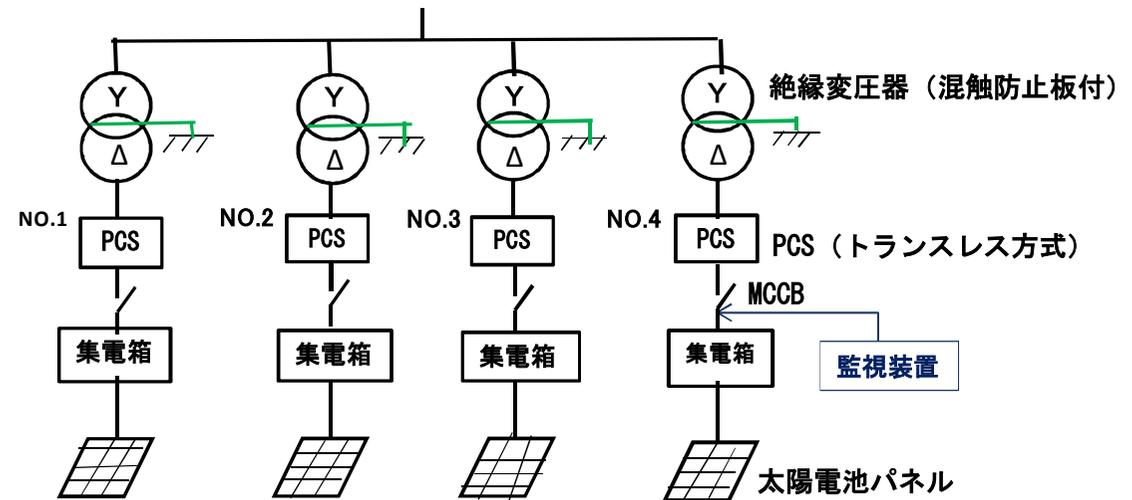
PCS連系運転時の測定においては、連系停止した診断装置による測定と同等であることを確認した。

4. フィールド測定結果(その4)

PCS(トランスレス式)ごとに絶縁変圧器(混触防止板付)を設置する設備

【設備構成】

- ・発電出力 1992kW
- ・PCS(トランスレス式) 498kW×4台
PCSごとに単独運転
- ・絶縁変圧器(混触防止板付) 500kVA×4台



測定結果

NO	測定器	測定対象	発電電圧 (V)	発電出力 (kW)	Rp (MΩ)	Rn (MΩ)	備考
1	監視装置	PCS4号機	367.8	287	0.05	0.05	連系運転
2	診断装置	PCS4号機	466.9		1.93	1.45	連系停止

測定結果より

PCS連系運転による測定結果は、0.05MΩであった。PCSには絶縁監視モニターが設置されており、PCS連系運転による測定では、絶縁監視用に施された高抵抗接地を検出した。

連系停止による測定結果は、太陽光電池パネルから集電箱までの絶縁抵抗値を示しており、診断装置による絶縁測定において、設備容量498kWの一括測定が可能であることを検証できた。

4. フィールド測定結果(その5)

PCSが並列運転する設備

【設備構成】

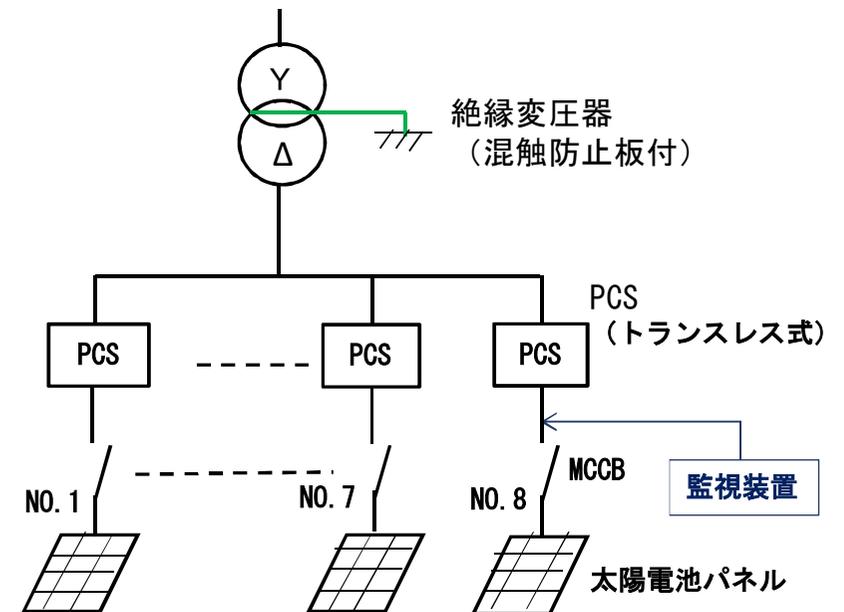
- ・発電出力 200 kW
- ・PCS(トランスレス式) 25 kW×8台
PCSが並列運転
- ・絶縁変圧器(混触防止板付) 200 kVA

測定結果

NO.	測定器	絶縁測定範囲	模擬絶縁低下力所と 模擬抵抗値	発電電圧 (V)	Rp (MΩ)	Rn (MΩ)	備考
1	監視装置	全電池パネル～ 絶縁Tr 低圧側	模擬絶縁低下なし	330.7	7.33	5.22	連系運転
2	監視装置	全電池パネル～ 絶縁Tr 低圧側	PCS7号機内 P相; 1MΩ	329.3	0.86	20<	連系運転
3	監視装置	全電池パネル～ 絶縁Tr 低圧側	PCS7号機内 N相; 1MΩ	325.0	7.53	0.84	連系運転
4	監視装置	全電池パネル～ 絶縁Tr 低圧側	PCS7号機内 U相; 1MΩ	329.0	0.87	20<	連系運転

測定結果より

当該の設備構成による測定では、何れか1台のPCSに監視装置を設置すれば太陽電池パネルの全域から、各パワーコンディショナを介した、絶縁変圧器低圧側までの絶縁測定が可能であることを確認した。



5. まとめ

パワーコンディショナがトランスレス式であり、絶縁変圧器（混触防止板付）を介して、系統連系する太陽光設備における絶縁監視では、太陽光電池パネルから絶縁変圧器までが、絶縁監視の範囲になる。

パワーコンディショナ交流側の絶縁診断方法を開発し、太陽電池パネルからパワーコンディショナを介した絶縁変圧器まで、一括の絶縁診断を可能にした。

本装置は、地絡の検出不感帯がない特長を有しており、フィールド試験により、絶縁診断の効果を確認できたことから、地絡事故の未然防止を図り、保守点検のスマート化に資する装置として、実用化を目指す。

監視装置と診断装置の併用により地絡事故を未然防止する

地絡の早期発見には、「太陽光発電設備絶縁監視装置」にて絶縁監視を行い、絶縁低下を検出した場合は、「太陽光発電設備直流回路絶縁診断装置」にて、地絡箇所を特定する。



太陽光発電設備絶縁監視装置

常時監視による地絡の早期発見



太陽光発電設備直流回路絶縁診断装置

絶縁低下区間の判別による地絡箇所の特定

○ P相 ○ N相 ○ 太陽電池パネルの接続箇所