

# 新エネルギー技術研究開発 単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究

## プロジェクトの詳細説明資料 (公開)

**NEDO**  
**スマートコミュニティ部**  
(財)電気安全環境研究所  
(株)関電工

1

公開

## 研究の必要性と目的

太陽光発電システムの大量導入時には、高速で単独運転を検出できる機能に加え、系統擾乱時に運転を継続する性能が求められる。

また、これらの機能・性能を有した機器の円滑な導入には、認証によるこれらの機能・性能の試験が不可欠である。



「単独運転検出装置の複数台連系試験技術開発研究」では「集中系型太陽光発電システム実証研究」プロジェクト等の実験設備および成果を有効利用しながら、多数台連系時の単独運転検出装置の認証に資する試験技術の確立を目的に技術開発研究を行った。

## 複数台連系を対象とした単独運転検出装置の認証に資する試験方法の開発

群馬県太田市「城西の杜」にて  
553軒の太陽光発電システム  
を連系し、実証試験を実施



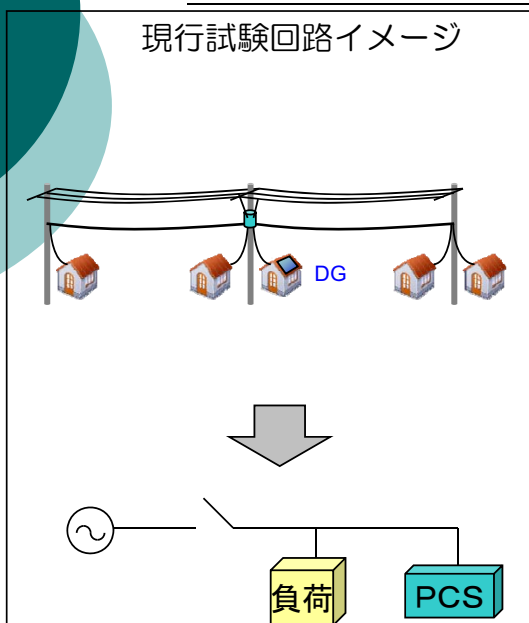
住宅用太陽光発電システムが複数  
台連系した場合を対象とした  
単独運転検出方式の新技术を開発



群馬県太田市 パルタウン「城西の杜」

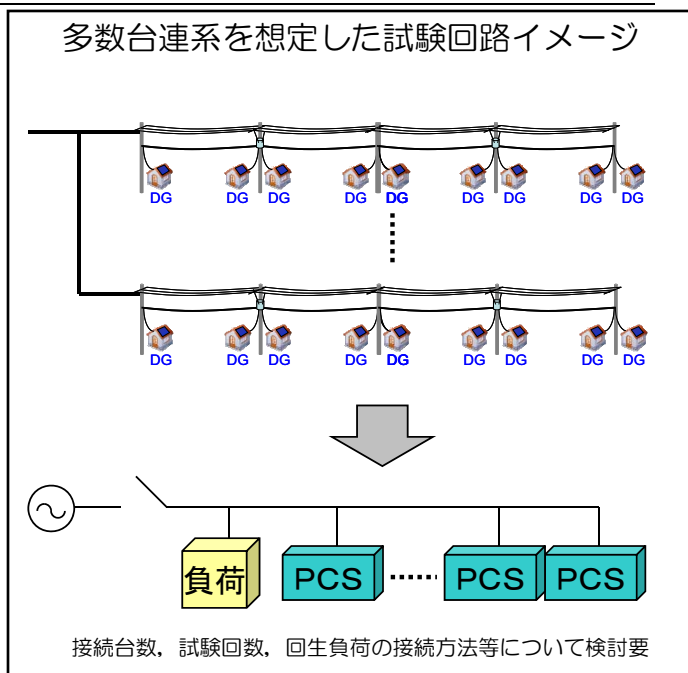
## 認証試験における単独運転防止試験

現行試験回路イメージ

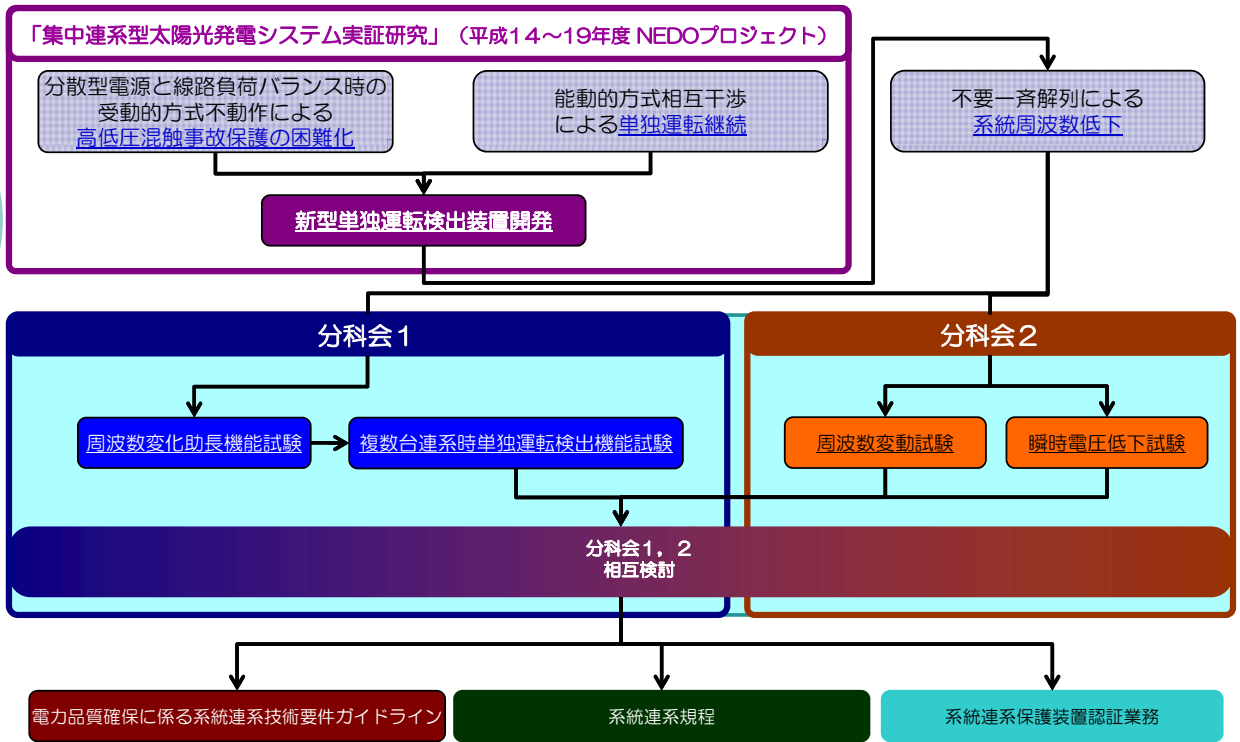


DG : Distributed Generator (分散型電源)  
PCS: Power Conditioning System  
(逆変換装置及び系統連系用保護装置が一体となった装置)

多数台連系を想定した試験回路イメージ



接続台数、試験回数、回生負荷の接続方法等について検討要



## 委員会、分科会の開催

	H20		H21											H22			合計	
	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
委員会	●				●					●				●			●	5
分科会1		●		●		●		●	●			●		●			●	8
分科会2			●		●		●		●		●	●			●			7

委員会：太陽光発電システムの複数台連系試験技術研究委員会

分科会1：複数台連系時単独運転検出装置の非干渉・高速化等機能試験課題対応分科会

分科会2：太陽光発電普及拡大への系統運用課題対応分科会

## 大量連系時の課題

### (1) 高低圧混触保護の困難化

太陽光発電システムの高低圧混触事故対策は、事故時に低圧電路の電圧が変化せず、太陽光発電システム側で事故を直接検出出来ないため、高圧電路が事故を検出し、電路を遮断した後の単独運転状態を高速に検出し停止する方法をとっており、受動的方式の単独運転検出機能や逆変換装置の制御などが用いられている。

現状においては、配電系統においては、**発電出力 < 負荷**であるため、上記の考え方で、保護が可能となっているが、連系軒数の増加に伴い、発電出力が増加すると **発電出力 ≒ 負荷**の状態が発生することになり、受動的方式等が不動作となることから高低圧混触事故の保護が困難となる。

このため、このような状態においても高速での単独運転状態を検出可能な新たな能動的方式単独運転検出機能を「集中連系型太陽光発電システム実証研究」プロジェクトで開発した。

高低圧混触事故：高圧(6600V)と低圧(100V)が雷等による変圧器の絶縁低下等により接触状態となった場合には、接地線に高圧電路の電流が流れ、電位が上昇することにより低圧機器が壊れる恐れがある。  
逆変換装置：電力用半導体素子のスイッチング作用を利用して、直流電力を交流電力に変換する装置(=インバータ)  
ゲートブロック：電力用半導体素子の動作を止めること。

## 大量連系時の課題

### (2) 単独運転継続(能動的方式相互干渉による単独運転検出感度低下)

従来の能動的方式は単独運転検出機能は、能動信号の動きが機器により異なるため、同一機種においても相互干渉による感度低下の恐れがある。

このため、新たな能動的方式単独運転検出機能では、周波数の変化を捉え、それを助長するように無効電力を注入することで、干渉の無い方式を実現。

さらに、単独運転と思われる状態において周波数の変化が少ない場合には、無効電力を注入し、周波数を変化させる機能を具備することで、高速検出を可能にしている。

本プロジェクトでは、台数を増やししながら単独運転検出時間を測定し、台数の増加と単独運転継続時間に相関がないことで、大量に連系した場合にもこの保護機能が動作することを確認する試験方法を確立している。

能動信号：単独運転検出のために変化させる発電設備出力などの変動分のこと。

# 大量連系時の課題

## (3) 系統周波数低下（系統擾乱時における太陽光発電システムの一斉解列）

太陽光発電システムの普及拡大が進み、総発電出力に占める割合が高くなった場合において、系統擾乱により太陽光発電システムが一斉に系統から解列すると、系統内の需給バランスが崩れ、広範囲に停電が及び可能性がある。

このため、大量に導入が想定される太陽光発電システムには、系統擾乱時に解列せず、運転を継続する等の性能（FRT）が求められる。

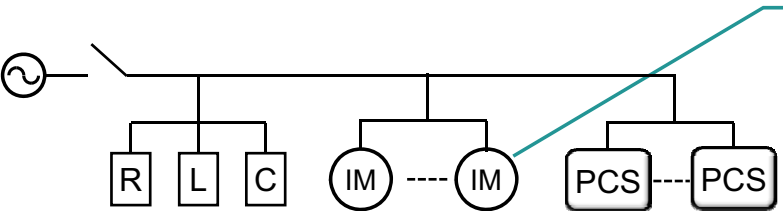
本プロジェクトでは、今後、大量に導入される発電設備として備える必要のある性能とその確認試験の方法を、系統運用面から求められる要件と技術的な改良、開発要素とを考慮し、確立している。

FRT: Fault Ride Through

# 試験方法の検討

## 複数台連系時単独運転防止試験

- 1. 誘導電動機負荷の接続方法
  - ・ 単独運転検出時間の比較に当たり、試験条件（誘導電動機負荷の影響）を同一にする必要があるため、PCS出力合計に応じた接続方法を検討
- 2. 回数
  - ・ 計測結果のばらつきによる影響を少なくするため、試験回数を検討
- 3. 台数
  - ・ 大量導入時の評価を行える接続台数を検討
- 4. 判定方法
  - ・ 閾値との比較だけでなく、接続台数ごとの相对比较を加えた判定方法を検討



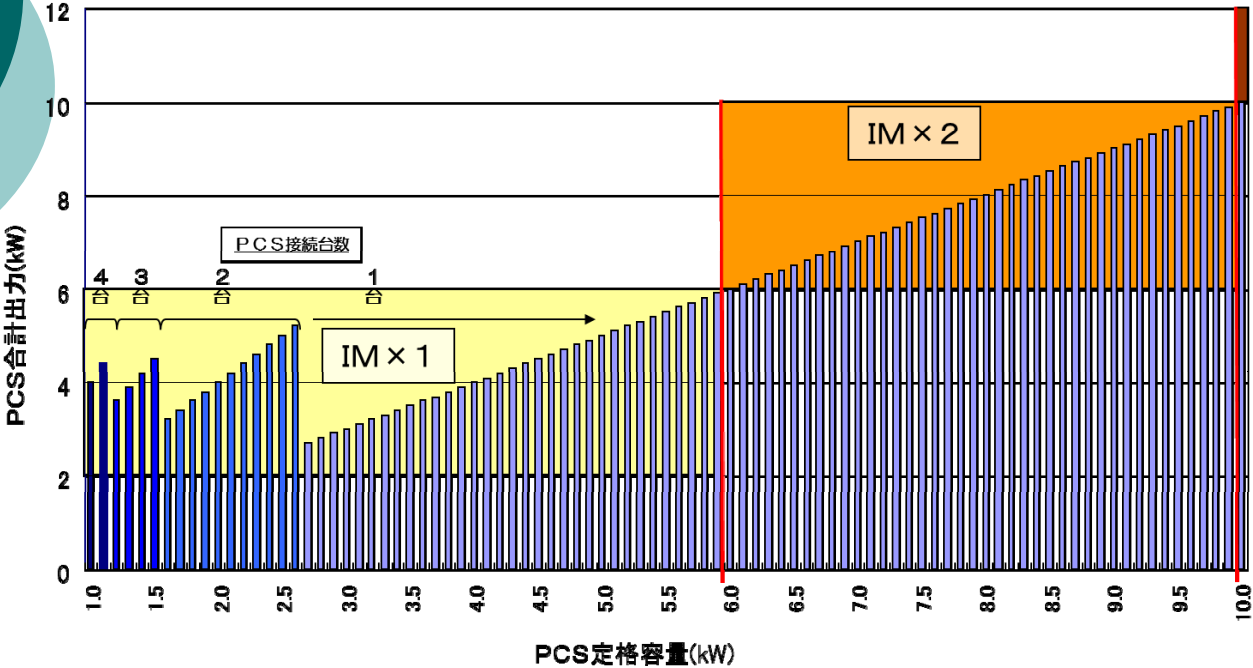
# 試験方法の検討

## FRT試験

- 1. 瞬時電圧低下時の運転継続性能
  - 太陽光発電システムの技術的限界を考慮し、運転の継続が求められる瞬時電圧低下の様相を検討。同期発電機とはことなり、電圧降下中は出力が電圧値に比例し減少するため、電圧復帰後の系統安定性を考慮し、出力の高速復帰についても検討。
- 2. 周波数変動時の運転継続性能
  - 系統で発生が想定される周波数変動の数値化を検討

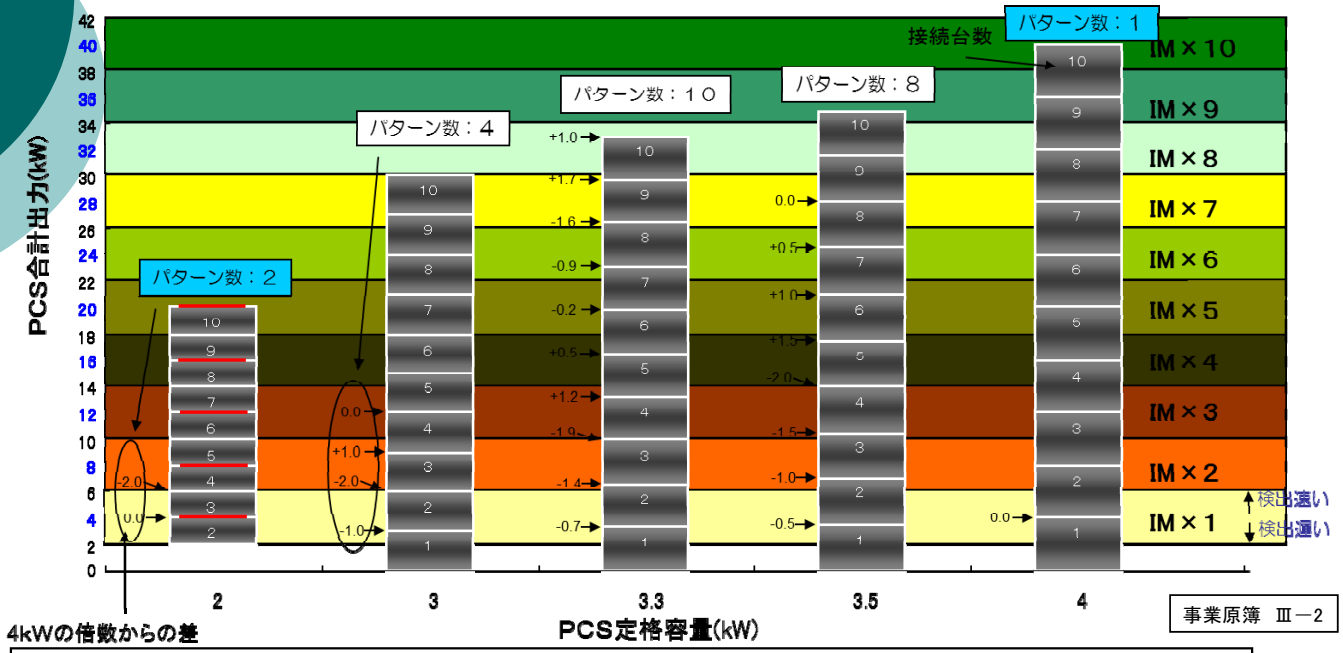
# 研究成果

単独運転防止試験におけるPCS定格出力別接続台数と誘導電動機負荷台数



# 研究成果

## 複数台連系時単独運転防止試験における接続台数と誘導電動機負荷台数

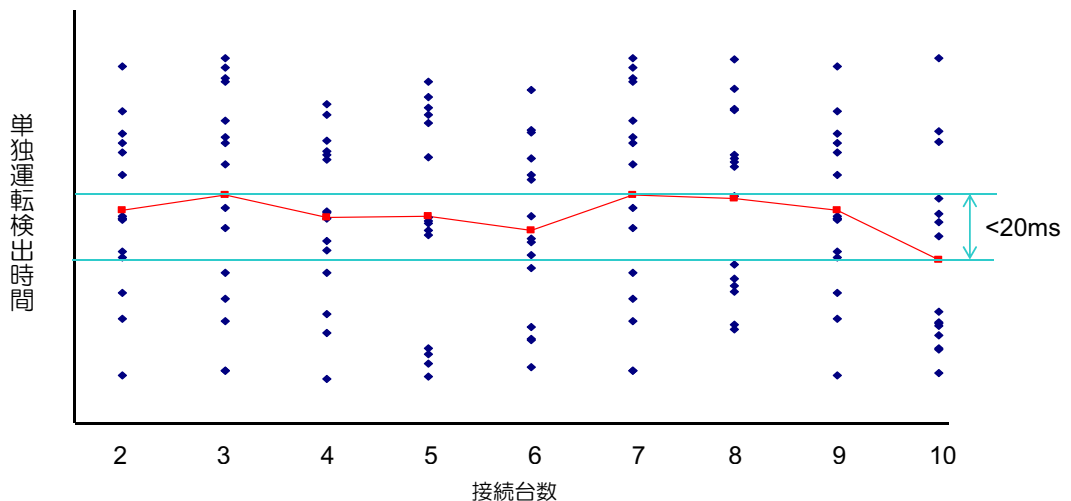


4kWの倍数からの差  
 PCS出力4kW毎に誘導電動機負荷が1台増加するため、PCSの定格容量によっては、接続台数により、誘導電動機負荷の影響に差が生じる。このため、接続台数が10台となるまでに3ポイント以上の負荷条件を設定できるように、出力が4kWの倍数となるよう調整し運転することが必要。この場合、注入する無効電力の上限値も出力に応じ変更する必要があるため、供試体には、この機能が求められる。

# 研究成果

## 複数台連系単独運転防止試験の判定イメージ

接続台数を増加させる中で、それぞれ単独運転検出時間を15回ずつ測定し、それらの平均値を比較し、等しいかまたは減少することが2回確認することで、接続台数と単独運転検出時間に相関がないと判断することとした。





## 研究成果 電圧低下耐量と出力復帰イメージ

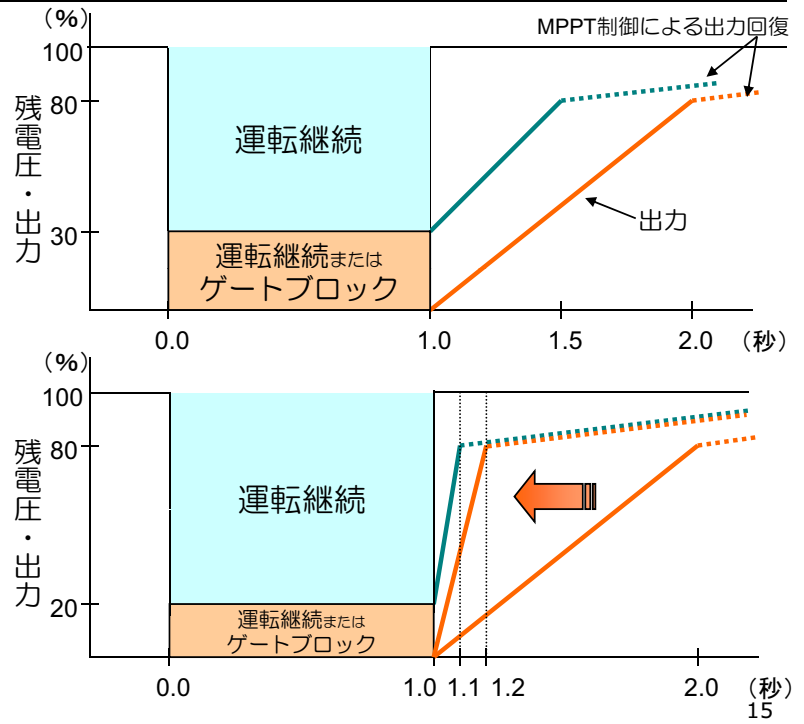
暫定要件

瞬時電圧低下復帰時の動作と電圧復帰後出力復帰特性については、現在流通している機器からの改良、開発が必要となることから、暫定的に用いられる基準を設定

最終要件

MPPT: Maximum Power Point Tracker (最大電力追従)

事業原簿 Ⅲ-4



## 研究成果 LVVRTレベルとPCS動作

	残電圧	継続時間	PCS動作	
			残電圧 $\geq$ LVVRTレベル	残電圧 $<$ LVVRTレベル
現状	70~30%	0.3~1秒	系統異常時は系統から解列する	
現状からの改良 (~2012年度) ※1	30%	1秒	継続時間1秒以下	
			ゲートブロックせず運転継続 ※2	運転継続またはゲートブロックする (位相検出停止)
			継続時間1秒以上	
			UVRにより解列する	UVRにより解列する
新規開発 (~2016年度)	20%	1秒	継続時間1秒以下	
			ゲートブロックせず運転継続 ※2 ※3	運転継続またはゲートブロックする (位相検出停止)
			継続時間1秒以上	
			UVRにより解列する	UVRにより解列する

※1:適用時期(開発完了)・・・単独運転検出方式の統一と系統連系規程の改定時期に合わせる

※2:単相系統に接続する機器で、位相投入角が0°の条件で行われる瞬時電圧低下試験を除き、電圧低下の発生した瞬間から2サイクル以内のゲートブロック(2サイクル以内に復帰するゲートブロック)は許容する。  
ただし、ゲートブロックからの復帰後は、電圧低下中において再度のゲートブロックを行わないものとする。

※3:ゲートブロックが動作しないよう運転を継続する機器の開発を2016年度までの目標とする

LVVRT: Low Voltage Ride Through  
UVR: Under Voltage Relay (不足電圧継電器)

事業原簿 Ⅲ-4



## 研究成果 瞬時電圧低下時の復帰特性とPCS動作

	残電圧 $\geq$ LVRTレベル	残電圧 $<$ LVRTレベル	PCS動作
現状	100%復帰 10~30秒	100%復帰 10~30秒	①系統が正常なことを確認してから再並列（10秒程度で再並列） ①出力はソフトスタートにより徐々に増加（MPPT動作により出力を増加）
現状からの改良 （～2012年度）	80%復帰 <sup>※1</sup> 0.5秒	80%復帰 <sup>※1</sup> 1.0秒	①電圧低下直前出力80%以上に高速復帰 ②最大電力点への到達はMPPT制御による
新規開発 （～2016年度）	80%復帰 <sup>※1</sup> 0.1秒	80%復帰 <sup>※1</sup> 1.0秒 <sup>※2</sup>	①電圧低下直前出力80%以上に高速復帰 ②最大電力点への到達はMPPT制御による

※1:復帰特性を80%とした理由  
一般的に応答特性を測定する場合は、80~90%の時間で定義されており、定量的な測定が困難になるため。  
また、制御の特性上、100%に近い領域は出力増加率が緩やかなるケースが一般的であり、復帰特性については、瞬時電圧低下発生前の有効電力出力80%以上となる時間で定義することとした。

※2:2016年度までの開発目標は0.2秒とする。

## 研究成果 周波数変化耐量

基幹系統における三相短絡事故を想定し、運転の継続が求められる周波数変動を、ステップ状変化とランプ状変化の2つの要素に分け整理

ステップ状変化	50Hz系統	+0.8Hz, 3サイクル継続
	60Hz系統	+1.0Hz, 3サイクル継続
ランプ状変化	50Hz系統	+2Hz/s, 上限51.5Hz
		-2Hz/s, 下限47.5Hz
	60Hz系統	+2Hz/s, 上限61.8Hz
		-2Hz/s, 下限57.0Hz

ランプ状の変化の上下限値は同期発電機に対して運転の継続が求められる 0.95~1.03p.u. と同値

現行試験方法

複数台連系試験方法

単独運転防止試験

単独運転防止機能が発電と負荷とのバランス領域近傍において動作することを確認する

複数台連系時単独運転防止試験1

現行認証における「単独運転防止試験」に相当する試験

周波数変化助長機能試験

高速動作を助長する目的で具備される機能の動作確認試験

複数台連系時単独運転防止試験2

複数台連系した場合においても、連系台数によらず、単独運転防止機能が動作することを確認

瞬時電圧低下試験

瞬時電圧低下発生時および電圧復帰時の動作を確認する

瞬時電圧低下試験 (FRT試験)

瞬時電圧低下発生時および電圧復帰時においてFRT要件を満足する動作を確認する。

周波数変動試験 (FRT試験)

系統擾乱を想定した周波数変動下におけるPCSの運転継続を確認

# 複数台連系時単独運転防止試験 1

【試験目的】

- ・ 単独運転検出機能の動作および復帰特性の確認を行う。

【負荷設定】

- ・ 負荷バランスはP、Q25ポイント。(現認証と同じ)
- ・ 回転機負荷は逆変換装置の出力値4kWに対し1台の割合で接続する。
- ・ 逆変換装置の定格出力が4kW未満の場合は、逆変換装置の出力合計が4kWに最も近くなるように逆変換装置の台数を増加させてもよい。この場合、回転機負荷は1台接続する。

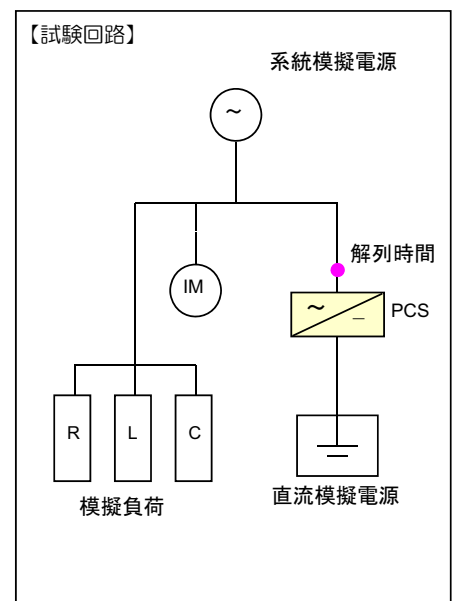
【測定方法】

- ・ 逆変換装置がゲートブロックおよび、開閉器が開放するまでの時間を測定する。
- ・ 「受動のみ」、「能動のみ」、「受動+能動」にて実施する。

【判定方法】

- ・ 受動的方式、能動的方式ともに、開閉器開放及びゲートブロック機能が所定の時間内(=判定値)に動作すること。
- ・ 系統電圧が復帰しても整定された時間は再並列しないこと。

【試験回路】



● 計測ポイント

# 周波数変化助長機能試験

### 【試験目的】

- ・ 高速動作を助長する目的で具備される機能が正常に動作するか確認を行う。
- ・ 「複数台連系時単独運転防止試験」をステップ注入の干渉性がない条件で試験を行うために、使用するPCSそれぞれについて以下の試験を行う。

### 【負荷設定】

逆変換装置の定格出力を消費するように負荷を設定する。

#### 〈1. 高調波電圧急増時〉

### 【測定方法】

- ・ 試験回路に連系したまま、定格周波数（偏差：±0.01Hz以内）に保ち、電圧に高調波成分を加え、その後急増させる。

### 【判定方法】

- ・ 周波数、高調波電圧の変化が動作条件を満たした場合に、定格出力の0.1p.u.（容量性）の無効電力を3サイクル間注入すること。

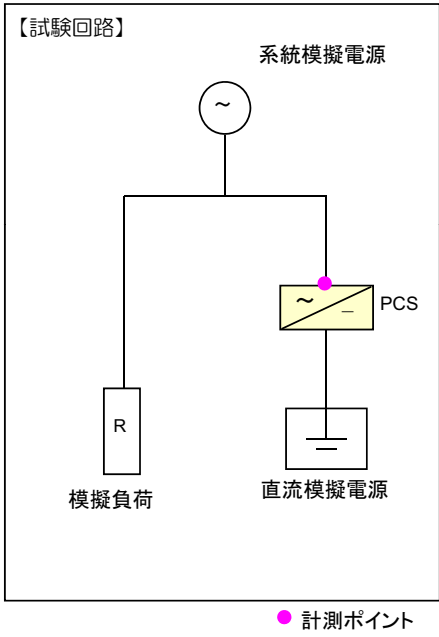
#### 〈2. 基本波電圧急増時〉

### 【測定方法】

- ・ 試験回路に連系したまま、定格周波数（偏差：±0.01Hz以内）に保ち、基本波電圧を急増させる。

### 【判定方法】

- ・ 周波数、基本波電圧の変化が動作条件を満たした場合に、定格出力の0.1p.u.（容量性）の無効電力を3サイクル間注入すること。



# 複数台連系時単独運転防止試験2

### 【試験目的】

- ・ 同一方式の単独運転検出機能が、多数台連系時においても高速で動作し、解列することを確認する。

### 【負荷・逆変換装置設定】

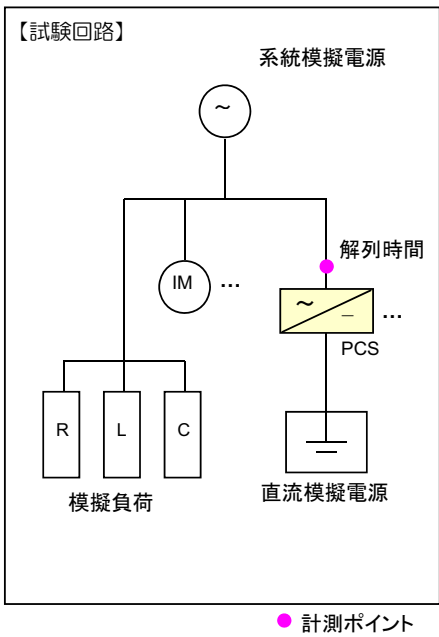
- ・ 複数台連系時単独運転防止試験1において、単独運転継続時間が最長となったPQポイントに設定する。
- ・ 回転機負荷は逆変換装置の出力値4kWに対し1台の割合で接続する。
- ・ 逆変換装置の定格出力が4kW未満の場合は、逆変換装置の出力合計が4kWに最も近くなるように逆変換装置の台数を増加させる。この場合、回転機負荷は1台接続する。
- ・ 逆変換装置の合計出力が4kWの倍数となるように接続台数と出力を調整する。
- ・ 出力を調整し、試験を行う場合は、その出力においても複数台連系時単独運転防止機能試験1を行うこと。この場合、出力に応じ無効電力も調整すること。（無効電力の最大値は定格出力4kWに対し1kvarの割合とする）

### 【測定方法】

- ・ 逆変換装置の台数を2台から上記条件を満たす様、接続台数を増加させ、それぞれの接続台数において開閉器開放及びゲートブロック機能が動作するまでの時間を15回測定する。接続台数を増加させた試験は9回を上限とする。

### 【判定方法】

- ・ 以下の全ての条件を満たしていること。
- ・ 接続台数毎に、単独運転を検出し開閉器開放及びゲートブロック機能が動作する時間を15回ずつ測定した値から、接続台数毎に平均値を算出し得られた平均値群の最大値から最小値を引いた値が20ms以内であること。
- ・ 逆変換装置を「n+1台を接続し測定した15回のデータ」と、「n台接続し測定した15回のデータ」との平均値との差が、減少もしくは同一となるケースを2回確認できること。
- ・ 接続した逆変換装置のいずれにおいても単独運転を検出し、開閉器開放及びゲートブロック機能が動作する時間が、複数台連系時単独運転防止試験1における判定値を超えないこと。



# 瞬時電圧低下試験（FRT試験）＜暫定＞

### 【試験目的】

- ・ 瞬時電圧低下時に逆変換装置が並列運転継続することを確認する。

### 【負荷設定】

- ・ 逆変換装置の定格出力を消費するように負荷を設定する。

### 【測定方法】

- ・ 残電圧30%と0%、1秒継続の瞬時電圧低下を発生させ保護装置等の動作を確認する。
- ・ 電圧を復帰させ、逆変換装置からの出力と復帰に要する時間を測定する
- ・ 瞬時電圧低下の位相投入角を0°、45°、90°とし、位相投入角の試験を実施する。

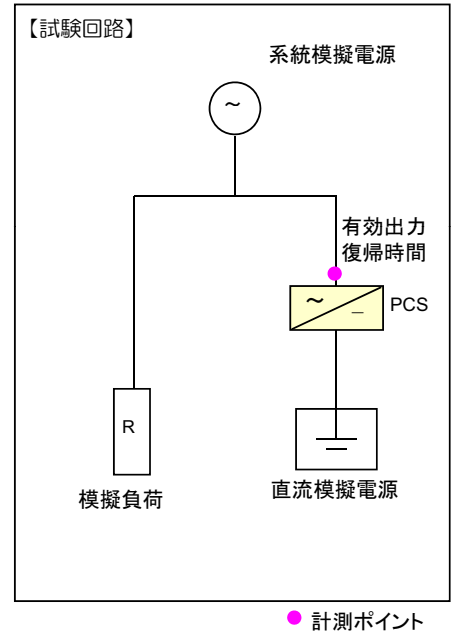
### 【判定方法】

#### 〈1. 残電圧30%時〉

- ・ 残電圧30%の瞬時電圧低下に対し並列運転を継続する。
- ・ 電圧低下の発生した瞬間にゲートブロックが動作した場合は、電圧低下の発生から2サイクル以内に復帰し、その後、電圧低下中は並列運転を継続する。但し単相系統に接続する機器で投入位相角が0°の場合は除く。
- ・ 電圧復帰後0.5秒以内に瞬時電圧低下発生前の有効電力出力の80%以上の出力を行う。
- ・ 系統電圧が復帰した時に過電流が定格電流の150%以下、かつ100%を超える時間が0.5秒以内であること。ゲートブロックが動作しないこと。

#### 〈2. 残電圧0%時〉

- ・ 残電圧0%の瞬時電圧低下に対し並列運転を継続するかまたは、ゲートブロックする。
- ・ 電圧復帰後1.0秒以内に瞬時電圧低下発生前の有効電力出力の80%以上の出力を行う。
- ・ 系統電圧が復帰した時に過電流が定格電流の150%以下、かつ100%を超える時間が0.5秒以内であること。ゲートブロックが動作しないこと。



# 瞬時電圧低下試験（FRT試験）

### 【試験目的】

- ・ 瞬時電圧低下時に逆変換装置が並列運転を継続することを確認する。

### 【負荷設定】

- ・ 逆変換装置の定格出力を消費するように負荷を設定する。

### 【測定方法】

- ・ 残電圧20%と0%、1秒継続の瞬時電圧低下を発生させ保護装置等の動作を確認する。
- ・ 電圧を復帰させ、逆変換装置からの出力と復帰に要する時間を測定する。
- ・ 瞬時電圧低下の位相投入角を0°、45°、90°とし、位相投入角の試験を実施する。

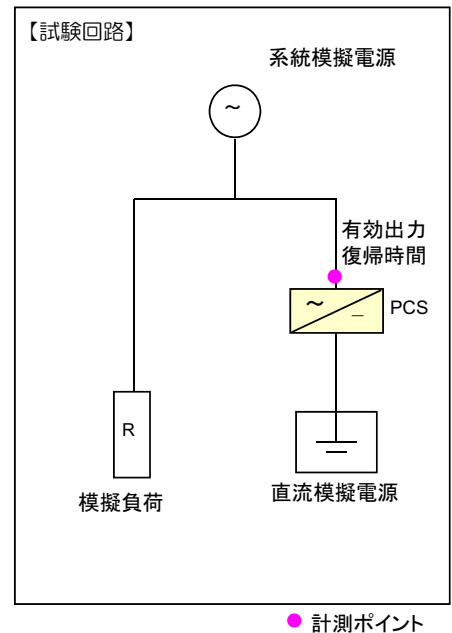
### 【判定方法】

#### 〈 1. 残電圧20%時 〉

- ・ 残電圧20%の瞬時電圧低下に対し並列運転を継続する。
- ・ 電圧低下の発生した瞬間にゲートブロックが動作した場合は、電圧低下の発生から2サイクル以内に復帰し、その後、電圧低下中は並列運転を継続する。但し単相系統に接続する機器で投入位相角が0°の場合は除く。（ゲートブロックが動作しないよう運転を継続する機器の開発を2016年度までの目標とする）
- ・ 電圧復帰後0.1秒以内に瞬時電圧低下発生前の有効電力出力の80%以上の出力を行う。
- ・ 系統電圧が復帰した時に過電流が定格電流の150%以下、かつ100%を超える時間が0.5秒以内であること。ゲートブロックが動作しないこと。

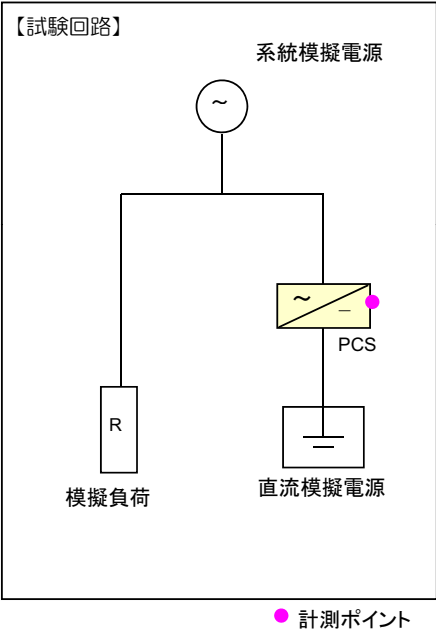
#### 〈 2. 残電圧0%時 〉

- ・ 残電圧0%の瞬時電圧低下に対し並列運転を継続するかまたは、ゲートブロックする。
- ・ 電圧復帰後1.0秒（2016年度までの開発目標は0.2秒とする）以内に瞬時電圧低下発生前の有効電力出力の80%以上の出力を行う
- ・ 系統電圧が復帰した時に過電流が定格電流の150%以下、かつ100%を超える時間が0.5秒以内であること。ゲートブロックが動作しないこと。



# 周波数変動試験（FRT試験）

- 【試験目的】
  - ・ 系統擾乱時に逆変換装置が並列運転を継続することを確認する。
- 【負荷設定】
  - ・ 逆変換装置の定格出力を消費するように負荷を設定する。
- 【測定方法】
  - ・ ステップ状に+0.8Hz（50Hzの場合）、+1.0Hz（60Hzの場合）、3サイクル継続の変動を与え、逆変換装置の動作を確認する。
  - ・ ランプ状の±2Hz/sの変動を与え、逆変換装置の動作を確認する。
    - 周波数の上限は50Hzの場合51.5Hz、60Hzの場合61.8Hz。
    - 周波数の下限は50Hzの場合47.5Hz、60Hzの場合57.0Hz。
- 【判定方法】
  - ・ 逆変換装置が並列運転を継続すること。



# 成果の普及

## 新たな機能に対応した認証に向けた準備の開始

本研究により複数の発電設備の連系を想定した保護機能の試験方法および、FRT要件への適合を判定する試験方法が確立。これらを用い、大量導入時までには備えるべき機能を有した機器に対する認証の開始に向け、準備を開始。



## （財）電気安全環境研究所における認証業務開始に向けた取り組み

- ・ 第19回系統連系装置認証制度検討委員会にて、多数台連系対応型系統連系保護装置等の試験方法の検討を行うWGの新設を承認。
- ・ 「第1回多数台連系WG」を9月15日に開催。
- ・ 本研究成果に、単独運転検出方式の同一性を確認する試験（JET内で独自に検討）を加え、実用性を考慮した認証業務を行う予定。

## 波及効果

---

本プロジェクトで実施した、PVシステムの単独運転検出装置の多数台連系試験技術は、他種分散型電源の多数台連系への展開が期待できる。

