

# 特 集 論 文

## 当社パワーエレクトロニクス製品の検証技術

Inspection Techniques of Nissin's Power Electronics Products

遠州泰洋\* 片山敏宏\*  
Y. Enshu T. Katayama

### 概要

当社パワーエレクトロニクス事業を支えるパワーコンディショナに関する製品検証技術を紹介する。

### Synopsis

In this paper, we describe our inspection techniques of power conditioners which supported progress of Nissin's power electronics business.

### 1. まえがき

これまで、当社のパワーエレクトロニクス製品の主力はメガセーフ・ユニセーフ（当社商標）に代表される瞬低対策装置や無効電力補償装置など電力品質改善製品が大部分であった。一方パワーコンディショナ（以下、PCS）に代表される新エネルギー関連製品の割合は2010年頃まで、市場の低迷から10%程度と、非常に少ないものであった。

このような背景から、検証技術として瞬低・停電事故時の製品補償性能を検証できる下記設備と技術を保有していた。

- ・システム事故や電圧変動を模擬できる短絡発電機
- ・停電対策用大型蓄電池の模擬ができる直流電源
- ・装置定格相当で力率調整可能な実規模負荷装置

しかし、2012年7月日本版FIT（再生可能エネルギーの固定価格買取制度）の制度化以降、PCSの出荷量が飛躍的に伸び、現在では当社パワーエレクトロニクス事業の主力製品のひとつとなった。

これに伴い、PCSの電流品質、効率測定、系統連系保護機能、系統品質維持機能等に関わる検証技術が必要となった。本論文では、これらに関する検証技術の一例を紹介する。

### 2. 検証設備概要と変貌

当社は、100kW、250kW、500kW定格のPCSをラインナップしているが、検証に使用する検査設備は節電と大容量化を考慮した構成としている。

特に、2010年のPCS量産開始前後で、大きく改良したので、以下に概要を紹介する。

#### 2.1 量産開始前

2010年までは図1に示す検証回路により検証を行ってきた。インバータ方式交流電源（約300kW）は周波

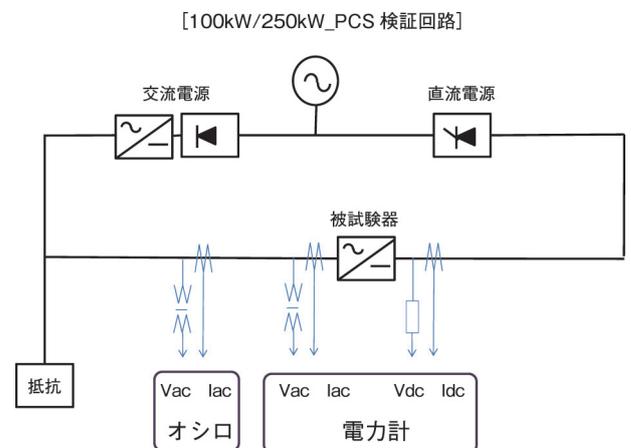


図1 量産開始前の検査設備構成

\*新エネルギー・環境事業本部

数切替 (50/60Hz) ができ、交流出力電圧は付属の高精度三相交流信号発生器の出力信号を入力することで、過渡的な変動を含めて自由に可変できるアンプとして動作する。

交流電圧はTRタップにより200/440V切換え可能で海外仕様の特殊電圧 (ex:AC380V) にも対応できる。また、負荷設備は抵抗負荷を有しており所望の容量に調整可能な構成となっている。

## 2. 2 量産開始後

2011年の量産開始後は、増産時の出荷検査に対応できるように、250kWまで検査可能な検査ラインを2ライン構築した。図2に回路構成を示す。その後、さらなる増産対応のため、追加で2ライン増設しており、合計4ラインの検査ラインで月産200~300台の生産に対応した。図3にラインの一部を紹介する。

[100kW/250kW\_PCS 検証回路]

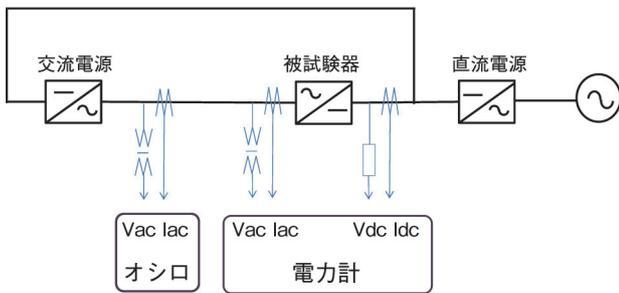


図2 量産開始後の検査設備回路構成



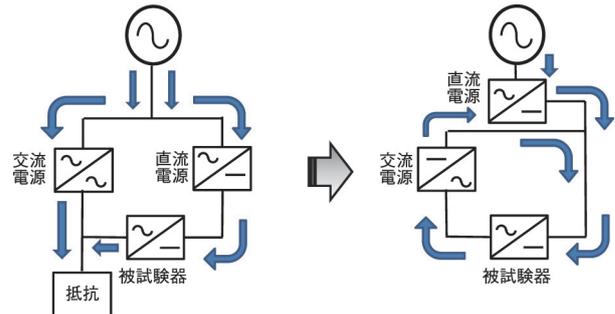
図3 量産開始後の検査ライン

## 2. 3 節電への対応

東日本大震災以降の関西地区節電要請に応えるべく検証設備は従来の抵抗負荷にて有効電力を消費させる方式から、電力回生できる設備へと改良した。図4にその原理説明図を示す。一般に、回生方式には、交流

回生と直流回生がある。量産開始後の設備は直流回生を採用している。

これは、回生機能をもつ交流電源の構成がシンプルになるためである。この方式により、これまで抵抗負荷で消費していた被試験器 (PCS) の出力 (負荷) 電力は、再び被試験器の入力へと回生されるため負荷抵抗設備が省略でき、結果として検査時に消費する電力は被試験器 (PCS) と検査設備の消費電力のみとなり、検証に消費する電力を従来の1/5に低減することができた。



負荷電力消費

電力回生

図4 電力回生型節電対策検査ラインの概念

## 2. 4 検査設備の大容量化

当社は2014年から500kW器を市場投入した。それに伴い500kW器に対応できる大容量器電源設備の構築を行った。図5に設備回路構成を図6に電源設備の設置状況を示す。本回路は、前項で説明した直流回生方式を採用、交流電源として構築したAC/DC電源 (回生機能付) は、被試験器であるPCSのハードをそのまま流用し、大容量化のため並列運転させる方式とした。検証設備専用装置を構築するのではなく、量産中のPCSのソフトウェアだけ変更して実現しているため、経済的に構築できた。参考までに、500kWPCSの試験状況を図7に示す。

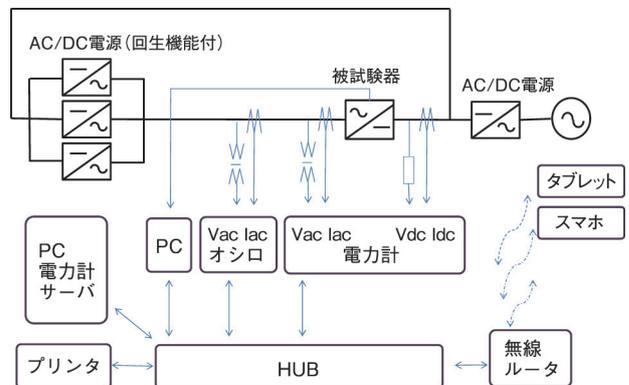


図5 500kW器対応検査設備構成



図6 500kW器対応検査設備用再生電源盤



図7 500kW器検査ライン

### 3. 準用規格と検証例

本項では、当社が標準に採用しているPCSの準用・準拠規格と、その中の特殊試験項目に関する検証方法およびその実施例について概略を述べる。

#### 3. 1 JIS C 8980

PCSは主にJIS C 8980に準拠して検証している。表1に当該規格に示されている検証項目を示す。この中で、

表1 JIS C 8980の検証項目

JIS C 8980			
受渡検査	形式検査		
構造	絶縁抵抗	直流入力電流リップル	系統位相急変特性
絶縁抵抗	耐電圧	出力力率	負荷遮断特性
耐電圧	雷インパルス耐電圧	交流出力電流ひずみ率	騒音
手動起動・手動停止	最大許容入力電圧	電圧及び周波数追従範囲	高周波雑音
効率	過負荷耐量	待機損失	温度上昇
交流出力電流ひずみ	最大突入入力電流	起動特性・停止特性	温湿度サイクル
出力力率	入力運転電圧範囲	系統電圧ひずみ特性	ノイズ耐量
保護機能	効率	系統不平衡特性	保護機能
—	無負荷損失	入力電力急変特性	—
—	入力電圧一定制御特性	系統電圧急変特性	—

特に検証ノウハウの必要な特殊試験に関して、当社の対応状況を述べる。

#### 3. 1. 1 負荷遮断特性

本試験は、PCS運転中に、系統側が開放（遮断）された場合を想定し、この時に発生する交流側の瞬間的な過電圧の発生様相を観測し、PCS内部機器に過度なストレスが印加されていないかを確認する試験である。図8に試験回路を示す。検証方法としては、装置交流出力側に電磁接触器等の開閉器を設置し、開閉器を開放する。この時交流出力側に発生する急峻な跳ね上り電圧を波形観測し評価する。定格負荷の25%-50%-75%-100%にて確認を行っている。図9に100%負荷時の観測波形を示す。

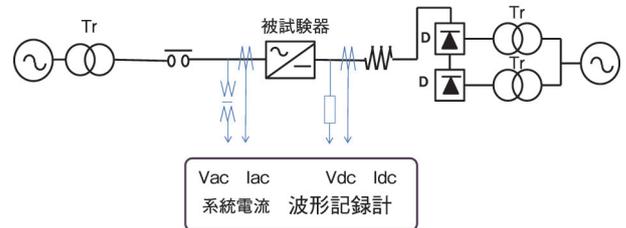


図8 負荷遮断特性試験回路図

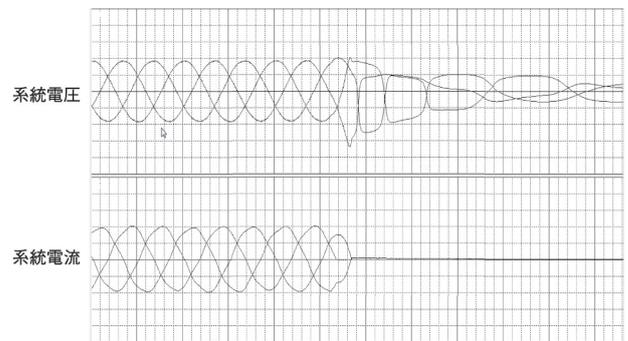


図9 負荷遮断検証 測定波形

#### 3. 1. 2 単独運転防止試験

PCS出力電力と系統側負荷消費電力がバランスされた状態において、系統側が何らかの理由により開放された場合、PCSは単独運転継続状態となる。この場合、感電事故のリスクや、復電時の電圧位相差による短絡事故のリスクも考えられる。これらのリスクを除去する機能として単独運転防止機能がある。検証方法は、次のとおりである。交流側に設置した負荷設備の有効電力 (P) と無効電力 (Q) を調整しながら、系統へ流出する逆潮流電力を調整する。この状態で、解列点の開閉器を開放し、運転継続の有無及び、運転継続時

間を測定、単独運転防止機能の有効性を評価する。図10に試験回路を図11に観測波形を示す。

本試験の信頼性を高めるためには、逆潮流電力の高精度の調整、すなわち負荷電力の微妙な調整がポイントであり、当社では細分化された負荷の直並列接続を柔軟に変更することで精度良く調整している。

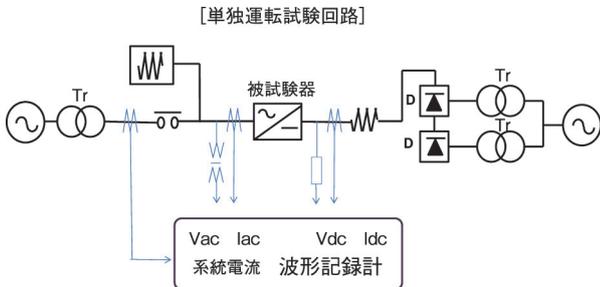


図10 単独運転検出機能試験回路

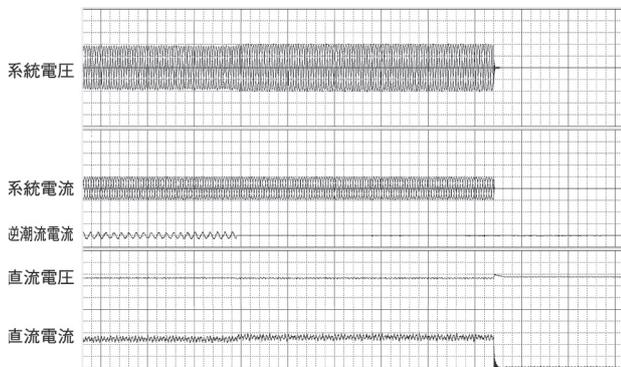


図11 単独運転検出動作確認波形

### 3.2 JET認証試験

近年、電力会社への連系申請時に要求される資料として、JET認証相当の試験項目に対応した試験結果の提出を求められる場合が多い。表2にその検証項目を示す。

表2 JET認証試験の検証項目

外部事故試験 (JET 認証)	耐電気環境試験 (JET 認証)
交流短絡試験	系統電圧歪耐量試験
瞬時電圧低下試験	系統電圧不平衡試験
瞬時電圧低下試験(FRT試験)	サージイミュニティ試験
周波数変動試験(FRT試験)	ノイズ耐量試験
負荷遮断試験	静電気放電イミュニティ試験
実運転試験 (JET 認証)	放射無線周波電磁界イミュニティ試験
交流過電圧及び不足電圧試験	電氣的ファストランジェント/バーストイミュニティ試験
周波数上昇及び低下試験	無線周波電磁界によって誘導する伝導妨害に対するイミュニティ試験
単独運転防止試験	電源周波数磁界イミュニティ試験
復電後の一定時間投入阻止試験1	
復電後の一定時間投入阻止試験2	
環境適合性試験 (JET 認証)	
電波障害試験	
伝導障害試験	

大容量器においては、JET認証のような第三者認証の制度も機関もないため、自社保有の検証設備と評価基準で対応することとなる。中でも特に系統事故を想定した検証については、実系統を模擬した検証設備の構築が難しく、一般的にはミニモデルでの評価に止めているケースが多い。当社では、できる限り短絡発電機を使用した実規模に近い検証を行うことにこだわり、被試験器のもつ真の特性を確認できるように努めている。

### 3.3 特殊試験

#### 3.3.1 FRT性能検証

FRT (Fault-Ride-Through) 性能とは、系統瞬時停電発生時に、PCSが停止せず運転継続する機能である。電圧低下幅と運転継続時間が厳密に決められており、一般的には、定格の数%~10%程度の低出力にて検証されているケースが多い。当社は、自社保有する短絡発電機と組合せて、実際に定格運転状態で本試験を行っている。図12に試験回路構成を図13に500kW PCSの測定波形を示す。短絡発電機と、瞬低発生用系統模擬負荷設備を用いて、実際の系統事故と同等の瞬低を発生させることができる。被試験器の特性評価は、FRT期間およびその前後の電圧、電流波形を測定し評価している。また測定されたデータは演算機能をもつ解析装置に取り込み無効電力 (Q) と有効電力 (P)

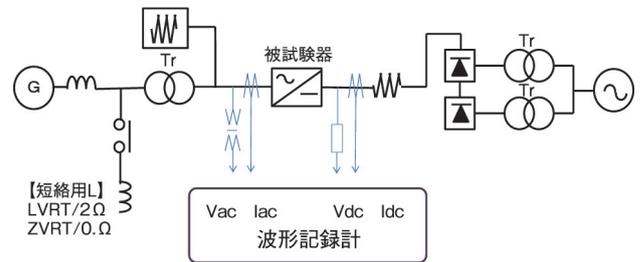


図12 FRT試験回路

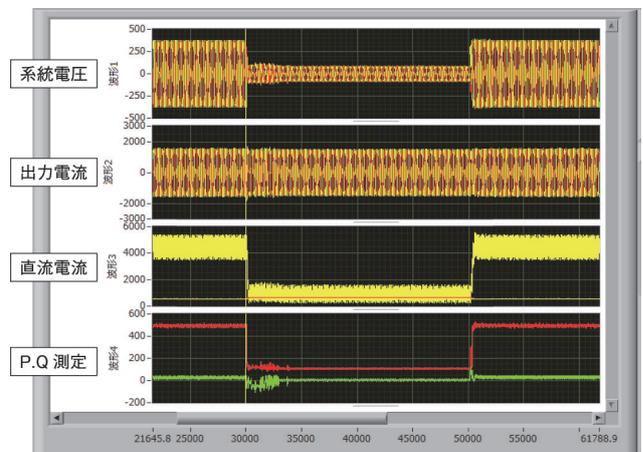


図13 FRT試験時の解析装置による解析波形例

の演算、FRT期間中の波形歪など、規格に規定されていない当社独自の評価指標にも照らし合わせ、設計通りの動作を実現しているか評価している。図14に解析画面例を示す。

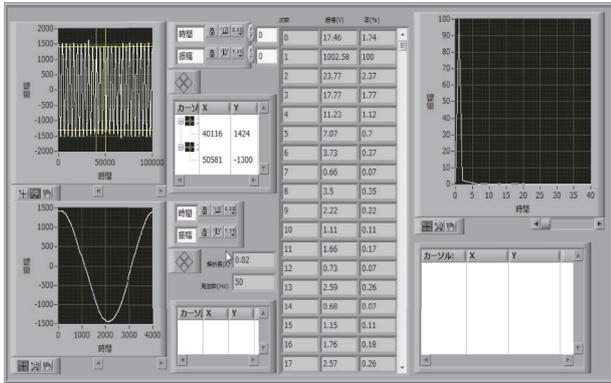


図14 FRT期間中の波形評価画面

### 3. 3. 2 ZVRT性能検証

海外ではすでにZVRT (Zero-Voltage-Ride-Through) が規格化されているところもあり、当社も早くからZVRT対応を進めている。それに伴い検証技術も確立した。FRT性能確認と同様に短絡発電機と組合せて行う試験で、短絡発電機出力すなわち交流側電圧で実際の系統事故の瞬低(残存電圧0%)を発生させ、PCSの各条件での運転継続可否状態を確認する。図15に500kW PCSのZVRT試験波形を示す。この検証も、定格運転状態で実施可能であるとともに、ZVRT期間中の運転特性も評価できるようにしている。



図15 ZVRT試験波形

### 3. 3. 3 短絡発電機について

FRT、ZVRT検証になくならない短絡発電機について、少し説明をしたい。実系統で発生する事故にPCSがどんな動作をするのかについては、シミュレーション確認やミニモデルでの検証では限界がある。当社パワエレ製品開発において、最大の強みは短絡発電

機を使用した実規模に近い系統事故を実際に模擬して検証できることである。特徴は以下の通り。

- ・二線短絡および三線短絡の事故を模擬できる
- ・事故時の電圧低下幅を可変できる
- ・事故発生、解除の位相をmS単位で制御できる

表3に短絡発電機の設備能力を示す。

表3 短絡発電機的能力

短絡発電機設備能力	
短絡発電機	3相 60Hz 6.6kV
最大短絡容量	400MVA(瞬時・対称分)
適用電圧	3.6kV~7.2kV
遮断容量	4kA~20kA

## 4. 測定技術

PCSの性能・特性を判定する場合の測定例と新たに取り組み運用している大容量器での測定技術を紹介する。

### 4. 1 量産ラインにおける特性確認

先に述べた準用規格(JIS C 8980) 受渡検査での特性項目は波形測定器とパワーアナライザを組合せた各検証ライン専用の測定器台車で操作および測定を行っている。製品の入出力仕様はラインナップやお客様の要望により変わることも多く、検査では、それに応じた入出力電圧を印加しなければならない。試験設備の交流電源と直流電源は、安全のため被試験器から離れて配置しているため、各電源出力を遠方操作できるようにし、1人で作業できるようにするとともに、お客様お立会い試験や見学者への対応においても、担当者1人で実施できるようにした。図16に測定台車概観を示す。



図16 測定台車概観

#### 4. 2 検証環境の改善と業務効率化

当社のPCSや瞬低対策装置は大容量器が主体であるため、装置が大型である。ゆえに、組み立てエリアと検査エリアは同じ工場内になっており、精密機器を扱う検査環境に配慮が必要である。

また、インバータから発生する騒音やノイズなどが作業員や計測器に影響を及ぼすことも考えられる。そこで可能な限り、安全でかつ集中して作業できる環境の構築と、精度の高い測定を行えるように大容量器専用の測定室を設けた。ここでは、計測器の測定値や被試験器の入出力値をパソコンやタブレット端末で集中監視し、検査成績書作成端末へのデータ転送および成績書の即時作成ができるようにシステムの独自開発を行った。その他、安全対策として、作業員の誤操作時の警報発報機能も装備した。

図17、にその状況を示す。



図17 大容量試験場操作室での解析状況

#### 5. あとがき

当社PCS製品の品質を担保する最後の関所である我々検査部門の取り組みについて、PCS検証試験を中心に紹介した。

また短絡発電機を利用し、より実規模に近い検証を行い、お客様にわかりやすくデータを解析して提供できる仕組みも紹介した。

今後、PCS普及に伴い、系統電圧・周波数安定化対策装置のニーズも高くなってくると予想され、蓄電池を用いた大型変換器の検証も効率的に進めなければならない。その時にも、今回紹介した検証設備と技術は有効になると考える。お客様に安心して長くお使いいただけるよう、検査と品質評価に携わる関係者一同、切磋琢磨して行く所存である。

#### 執筆者紹介



遠州 泰洋 Yasuhiro Enshu  
新エネルギー・環境事業本部  
新エネルギー事業部  
製造部 検査・検証グループ長



片山 敏宏 Toshihiro Katayama  
新エネルギー・環境事業本部  
新エネルギー事業部  
製造部 検査・検証グループ  
工手