# 大容量パワーエレクトロニクス機器の品質向上と環境負荷軽減に寄与する試験装置

Testing Equipment Contributing to Quality Improvement and Environmental Impact Reduction of High-Capacity Power Electronics Equipment

梅沢　一喜 UMEZAWA, Kazuyoshi　　山田　歳也 YAMADA, Toshiya　　千田　幸弘 CHIDA, Yukihiro

昨今の電力変換装置の大容量化に伴い，要求性能や国内外の規格などの電源品質に準拠した適合試験を行う必要がある。さまざまな条件で効率的に試験するためには，1.5 MW の電力が必要になる場合もあるため，消費電力の低減が重要である。また，電力変動が発生する試験による電気設備への影響をなくす必要もある。これらの課題を解決するため，電力回生機能を持つ試験装置を開発し，導入した。これにより，適合試験の効率化と，試験時の消費電力低減を両立し，製品試験の期間短縮，品質向上および環境負荷軽減に寄与する。

The recent increase in capacity of power conversion systems has made it necessary to conduct conformity tests to meet the power supply quality stipulated by international and Japanese standards or required by customers. Efficiently performing testing under a variety of conditions can require a power as high as 1.5 MW, and power saving is needed. It is also necessary to completely protect electrical equipment from the impact of power fluctuations. To overcome these challenges, we have developed and deployed testing equipment capable of power regeneration to efficiently perform conformity testing and reduce power consumption during testing. The testing equipment helps shorten product testing periods, improve quality, and reduce environmental load.



## 1　まえがき

データセンターや半導体製造工場など，一瞬の停電も許容しない高い電源品質が要求される施設では，無停電電源装置（UPS：Uninterruptible Power System）などの電力変換装置が活用されている。また，メガソーラーシステムなどの再生可能エネルギーを安定した電力として電力系統に接続する際にも，パワーコンディショナ（PCS：Power Conditioning System）などの電力変換装置が活用されている。これらの電力変換装置は，データセンターサーバや太陽光発電の大容量化などに伴い，1 MW 級の装置容量が要求される。

このような大容量の電力変換装置の実用化を進める上で，国内外の無停電電源システム規格などの電源品質に準拠した適合試験を行う必要がある。そこで，大容量のパワーエレクトロニクス（パワエレ）機器の規格適合試験に対応した試験装置を開発した[(1),(2)]。これにより，1 MW 級の製品でも，さまざまな条件（交流入力，蓄電池入力，負荷）での試験が可能となり，製品の品質向上に大きく貢献する。

本稿では，試験対象に UPS を例にとり，大容量パワエレ試験装置について述べる。

## 2　試験装置の特徴

規格に準拠した試験条件（交流入力，蓄電池入力，負荷）で大容量の電力変換装置を効率的に試験するためには，被試験装置ごとに異なるさまざまな試験項目や電気仕様（電圧レベル，三相結線，周波数）に対応する必要がある。また，電気特性試験時には，一般家庭 400 軒分に相当するおよそ 1.5 MW の電力が必要である。地球温暖化対策および「エネルギーの使用の合理化等に関する法律」（省エネ法）に対応するため，試験時の消費電力を削減できるようにした。さらに，試験時に大電力が急変しても，受電系統へ影響を与えて他の電気設備の電源を擾乱（じょうらん）しない試験装置とする必要がある。

### 2.1　全体構成

**図 1** に大容量パワエレ試験装置の外観を，**図 2** に全体構成を示す。交流の受電系統から，交流直流変換装置（系統連系盤）にて直流電圧に変換し，その直流電圧を次に示す三つの模擬機能を持った盤に供給する。

(a)　系統電圧を模擬した電圧を発生する模擬系統盤
(b)　電力を制御して負荷特性を模擬する模擬負荷盤
(c)　蓄電池特性を模擬する模擬蓄電池盤

また，試験装置にはさまざまな試験モードの設定や，具体的な各試験状態を実現するために，電力変換装置に指令を出すなどの処理を行う統括制御盤がある。タッチパネルにて試験モードを選択し，その試験で必要な電圧，電

図 1　大容量パワエレ試験装置

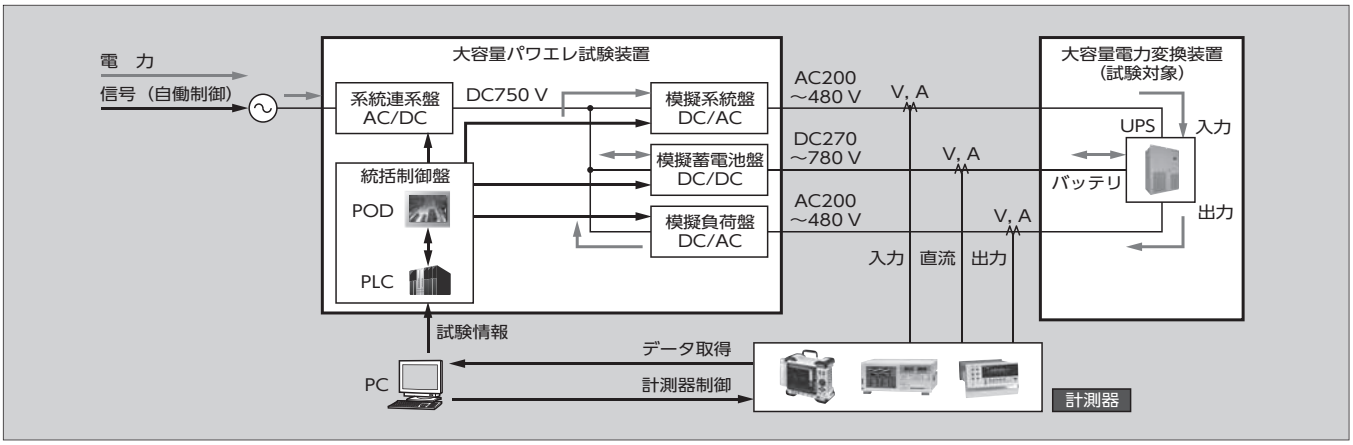


図 2　全体構成

表 1　大容量パワエレ試験装置の仕様

| 盤名称 | 仕　様 | |
|---|---|---|
| 模擬系統盤/模擬負荷盤 | 容　量 | 750 kVA×2並列 |
| | 電圧範囲 | AC200 ～ 480 V |
| | 結線方式 | 三相3線/三相4線，デルタ/スター |
| | 電圧精度 | ±0.1％以内 |
| | 電圧歪み率 | 1％以内 |
| | 周波数範囲 | 50 Hz/60 Hz±10％ |
| | 負荷調整単位 | 0.5 kW/0.5 kVar |
| | 負荷機能 | 遅れ負荷，進み負荷，能動負荷，整流器負荷，不平衡負荷 |
| 模擬蓄電池盤 | 容　量 | 500 kW×3並列 |
| | 電圧範囲 | DC270 ～ 780 V |
| | 電圧リプル | 1％以内 |
| | 電流応答時間 | 20 ms以下 |
| | 蓄電池機能 | 蓄電池の充放電 |

流，電力，周波数などの変動レベルや変動時間の設定を詳細に行うことができる。この統括制御盤に搭載したプログラマブルコントローラ（PLC：Programmable Logic Controller）は，その他の系統連系盤，模擬系統盤，模擬負荷盤，模擬蓄電池盤と連携した操作を行うことができる。

### 2.2　電気仕様

本試験装置の仕様を**表 1** に示す。最大 1.5 MW の容量に対応でき，電圧は交流 200 ～ 480 V，50/60 Hz を三相 3 線，三相 4 線の電源結線および負荷結線が構成できる。模擬蓄電池は，直流 270 ～ 780 V で最大容量 1.5 MW まで対応できる。交流電圧のレベル変更，三相 3 線，三相 4 線の結線変更は統括制御盤で行う。また，被試験装置の電気仕様に合わせてトランスのタップ選択切替えと，三相結線であるデルタ結線，スター結線の選択切替えもタッチパネルにおける操作だけで完了する。

### 2.3　小容量受電での大容量試験実現

一般に，1 MW の UPS を試験するためには過負荷試験を含めると，1.5 MW の受電電力が必要となってしまう。しかし，本試験装置では，**図 3** に示す電力変換装置を駆使

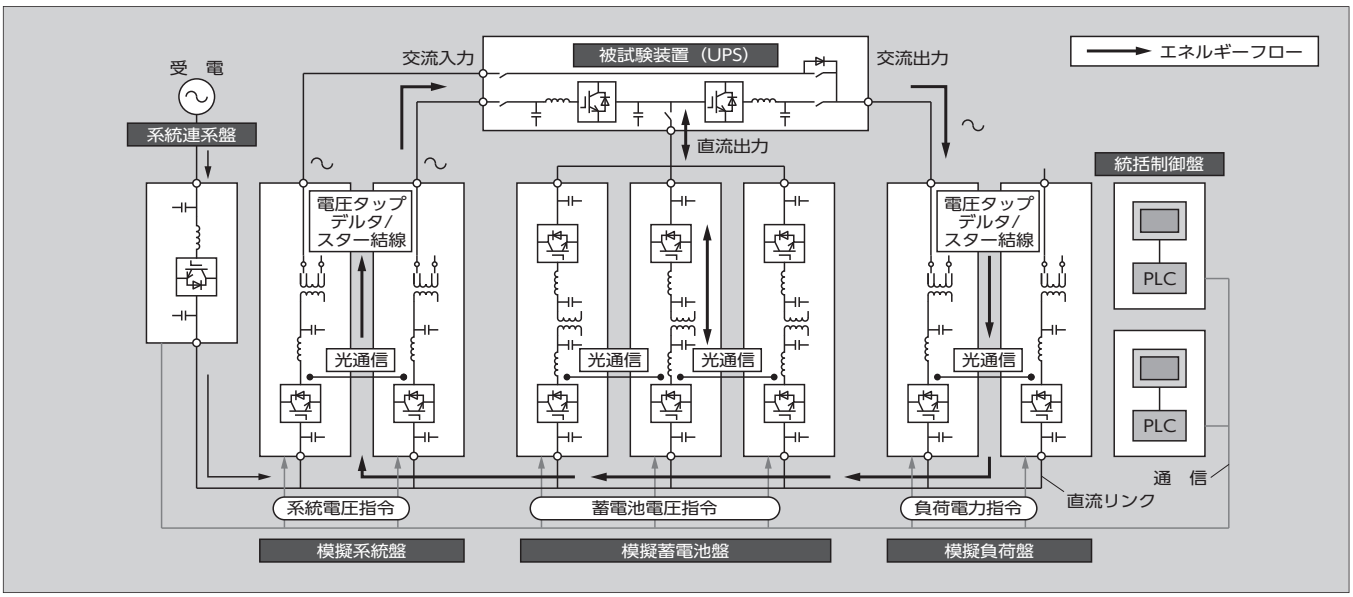


図 3　大容量パワエレ試験装置の構成

した電力変換フローにより，負荷消費の 1/6 に削減した 0.25 MW の受電電力に抑制して試験ができるようにした。

この電力変換フローは，受電した交流電圧を系統連系盤にて直流に変換し，その直流電源に試験機能を搭載した模擬系統盤，模擬蓄電池盤，模擬負荷盤を直流リンクすることで直流電力を循環するようにして，大幅な省エネルギー化を実現した。なお，各盤は次のような動作をする。

(a) 模擬系統盤では，直流リンクから DC/AC 変換装置によって交流に変換し，被試験装置の電気仕様に適合する電圧になるようにトランスの電圧タップを切り替える。

(b) 模擬蓄電池盤では，直流リンクから DC/AC 変換装置によって交流に変換し，トランスで変圧した後に AC/DC 変換装置で蓄電池を模擬した直流電圧を発生する。

(c) 模擬負荷盤では，直流リンクから DC/AC 変換装置にて，被試験装置の出力電圧に追従し連結するため交流電圧を発生する。

(d) 統括制御盤では，(a)から(c)の各変換装置を統括して各種試験モードに制御し，負荷電力指令によって UPS から出力される電力を設定する。

### 2.4 大電力変動時の系統安定化

1 MW 級の大電力試験において，電力変動が発生する負荷急変試験や停電復電試験などでは，電力回生装置がないと受電電力の変動により系統電圧が変動し，同じ受電側に接続されている他の電気設備や試験ラインに影響を与えるという問題がある。一方，交流配電での電力回生装置があると，受電電力の変動は誘発しないが，交流電流の位相が変動する影響で回生ルートを構成している交流配電系統で電圧変動が発生し，その回路系統にある電気設備に影響を与えるという問題がある。

そこで，電力回生ルートを本試験装置内の直流リンク回路にて循環させることにより他設備に影響を与える系統を電力が通過しないようにし，これらの問題を解決した。これにより，負荷急変や停電復電などの過渡特性試験を行っても受電および周辺電気設備への影響が出ないようにした。

### 2.5 フレキシブルな試験構成

試験モードを制御する統括制御盤には 2 台の PLC を搭載し，電力変換装置（0.75 MW）の単独動作で 0.75 MW の試験システムや，PLC の連携動作によって 2 台の電力変換装置 0.75 MW を並列運転させて 1.5 MW での試験システムが構成できる。なお，0.75 MW の試験システムでは，個別の 2 種類の被試験装置を対象にした試験を同時に行うことができ，効率化を図ることができる。

## 3 大容量電源シミュレータ技術

### 3.1 模擬系統シミュレータ機能

模擬系統盤は，DC/AC 変換装置にて系統を模擬する電圧を生成するため，単相インバータと単相トランスからなる組合せを 3 組持っている。電磁接触器を使ってトランス出力の二次側の接続方式を三相 3 線によるデルタ結線，または三相 4 線によるスター結線に切替えることができる。また，タップ切替えで，200 ～ 480 V までの各種電圧が出力できる。これにより国内外のさまざまな電圧や結線に適合した試験を行うことができる。

大容量パワエレ試験装置は，規格試験だけでなく，現地で発生した地絡や短絡のトラブルの再現試験においても，再現性の高い試験が可能である。例えば，雷害による 1 線地絡や 2 線短絡などの瞬時電圧低下を再現するためには，電圧急変動作時に不要な電流を発生させないことが必要である。このため，励磁突入電流が流れないトランスを採用し，試験特性に影響が出ない設計とした。再現する波形の電圧レベル，位相を試験設定パラメータとする。模擬系統盤の制御装置内のソフトウェアにて，系統回路モデルを用いて線路インピーダンス，各相の電圧低下特性を計算する。そこで決められた系統電圧指令によって，模擬系統盤の電力変換装置が電圧制御を行うことで，瞬時電圧低下の波形を再現することができる。

### 3.2 模擬負荷シミュレータ機能

模擬負荷盤の回路構成は模擬系統盤と全く同じであるが，制御対象が模擬系統盤は電圧であったのに対して，制御対象が模擬負荷盤は電力である点が異なる。

負荷特性には，受動負荷モードと能動負荷モードの 2 種類がある。受動負荷モードは，抵抗，リアクトル，コンデンサなどの受動負荷を再現する。受動負荷は電圧に比例した電力動作なので，被試験装置である UPS の出力電圧に比例した電流とする。能動負荷モードは，昨今のサーバ電源に採用されている高力率コンバータのスイッチング電源などの能動負荷を再現する。能動負荷は電力が一定となる電力動作なので，被試験装置である UPS の出力電圧が低下すると電力を一定に保つため，電流を増加させる。IEC 規格にある両負荷の混在モードも試験が可能である。

試験設定パラメータとして，負荷特性のモード，変動レベル，変動時間を設定することで，模擬負荷盤の制御装置内のソフトウェアにて，負荷回路モデルを用いて負荷特性を計算する。そこで決められた負荷電力指令によって，模擬負荷盤の電力変換装置が電力制御を行うことで，任意の負荷波形を再現する。

### 3.3 模擬蓄電池シミュレータ機能

模擬蓄電池盤は，DC/AC 変換装置にて交流電圧を生成する。トランスによって電圧を変換したのち，AC/DC 変換装置にて蓄電池を模擬した直流電圧を生成する。トランスのタップ切替えで，直流 270 ～ 780 V までの各種電圧が出力できる。これによりさまざまなセル数の蓄電池に対応した試験を行うことができる。

蓄電池の充放電特性は，電池残存量が多い場合は電池電圧が高く，電池残存量が少ない場合は電池電圧が低くなる。

UPS の試験では，充電動作にて蓄電池が満充電状態に到達した場合の動作や，蓄電池容量が低下して UPS の動作限界点に到達した場合の動作を確認する必要がある。実際の蓄電池を使った場合は，蓄電池容量が大きいため，この状態を準備するのに何時間も連続で充放電し続ける必要がある。一方，大容量パワエレ試験装置は，蓄電池電圧の初期値を設定するだけで，即座に電池状態を満充電付近や電池低下状態から試験を開始することができる。

## 4　具体的試験例

### 4.1　適用可能な試験項目

本試験装置で実施可能な試験例を**表 2** に示す。

被試験装置の電圧，容量などの基本情報を設定した上で，試験モードを選択するだけで，JEC や IEC 規格などの電力変換装置の電気試験が**3章**で説明したシミュレータ機能を使って行うことができる。

### 4.2　二線短絡の再現例

UPS の試験は JEC−2433 や IEC 規格を基に行う。現実には，現地に設置した後に規格には定義されていない外乱現象が発生することがある。例えば，UPS の全相電圧をすべて停電する試験が規格には定義されているが，実際には全相が落ちるパターンだけでなく，落雷などにより，線間で短絡するような現象がある。富士電機の UPS には，故障発生時の電圧や電流波形を保存する機能がある。この

表 2　試験項目の例

| 対象シミュレータ | 試験項目 |
|---|---|
| 模擬系統 | ○電圧：緩変，急変，瞬低<br>○周波数：緩変，急変，追従<br>○逆潮流，逆相 |
| 模擬負荷 | 能動負荷，受動負荷，整流負荷，<br>不平衡負荷，負荷変動，過負荷 |
| 模擬蓄電池 | ○バッテリ放電，充電<br>○バッテリテスト機能<br>○バッテリ異常 |

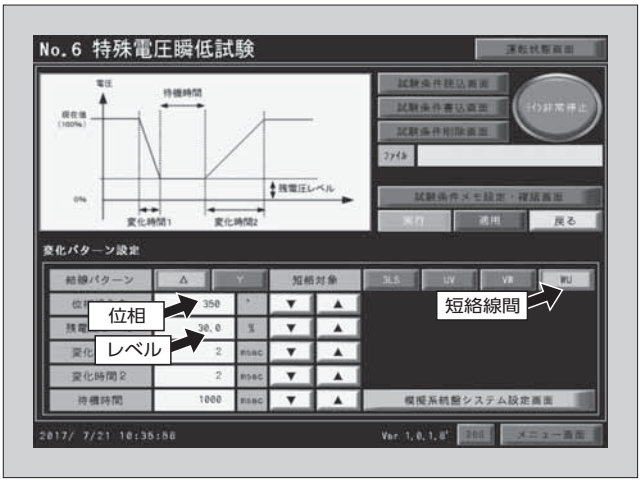


図 4　タッチパネル設定画面

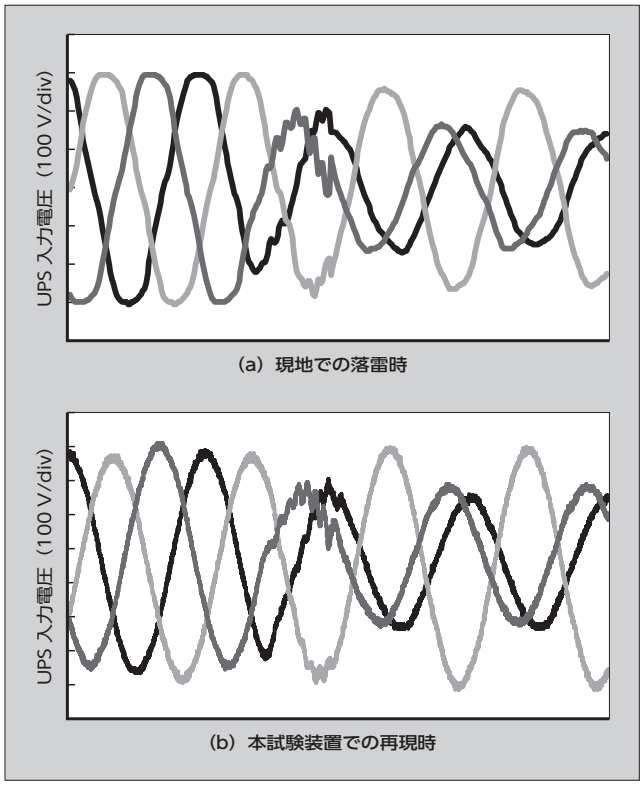


図 5　二線短絡波形

保存した波形から系統モデルシミュレーションにて，どの線間電圧で短絡が発生し，そのレベルはどの程度か，どのタイミング（位相）で発生しているのか，負荷量はどの程度だったかを解析する。この解析結果を基に，本試験装置の試験モード設定画面にて短絡線間の選択，レベルの選定，位相の選定の 3 項目を設定することで，実際に起きた短絡現象を再現することができる（**図 4**）。

本試験装置では，従来の遮断器で抵抗を投入する方式のように，抵抗の準備や組換え作業が必要ない。さらに，従来の方式では，短絡発生時の位相を精度よく再現できないのに対し，本試験装置は高精度に同じ位相で再現できる。このため，従来では再現および原因解析に 2 週間程度の時間を要する試験が，本試験装置を使うと UPS を接続し，タッチパネルにて条件を設定するだけなので，わずか 1 日で現象を再現した試験ができる。**図 5** に，実際に発生した短絡事故時の波形と本試験装置で再現した波形の比較を示す。各相の残電圧レベル，発生位相および短絡時の電圧の振動事象も再現できた。

## 5　あとがき

本稿では，大容量パワーエレクトロニクス機器の品質向上と環境負荷軽減に寄与する試験装置について述べた。本試験装置は，省エネルギーを図りながら，1 MW 級の大容量製品に対して高精度な再現試験と規格適合試験を行うことができる。また，試験期間短縮と品質向上に貢献する装置である。今後もパワエレ製品の技術発展および品質向上にまい進していく所存である。

**参考文献**

⑴　富士電機株式会社. 試験装置. 特許第5999281号. 2016−05−31（出願日）.

⑵　富士電機株式会社. 試験装置. 特開2018−48948. 2016−09−23（出願日）.

**梅沢　一喜**

パワーエレクトロニクス技術応用製品の開発に従事。現在，富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部開発統括部電源機器開発部マネージャー。技術士（電気電子部門）。電気学会会員。

**山田　歳也**

パワーエレクトロニクス技術応用製品の開発に従事。現在，富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部開発統括部電源機器開発部主任。

**千田　幸弘**

中大容量 UPS，PCS の品質保証業務に従事。現在，富士電機株式会社パワエレシステム エネルギー事業本部神戸工場品質保証部課長。

富士電機

Innovating Energy Technology

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。