

特 集 論 文

電力品質を改善する製品

Nissin's Products for Improving Power Quality

河 崎 吉 則\* 川 上 了 司\*  
Y. Kawasaki R. Kawakami  
佐 野 耕 市\*  
K. Sano

概要

当社はパワーエレクトロニクス技術を応用することによって、静止形無効電力補償装置、アクティブフィルタ、瞬低対策装置など多くの電源品質を改善する製品を開発・納入してきた。

本稿では、独自の技術で支えられた、これらの製品について紹介する。

Synopsis

By the application of power electronics technology, we have developed and delivered many products which include static var compensator, active filter, and voltage dip compensator in order to improve power quality.

In this paper, we describe these products supported by our original technique.

1. まえがき

当社は1945年以来、電力用コンデンサのトップメーカーとして、並列コンデンサによる力率改善や電圧維持、直列コンデンサや分路リアクトルによる電圧変動抑制や系統安定度の向上など、無効電力供給を適切に変化させることによって高圧系統から超高压系統に至るまで、電力の品質改善に貢献してきた。さらにモータ制御を中心に発展を遂げたパワーエレクトロニクス技術を電力の品質向上のために応用し、1973年、サイリスタを用いて無効電力を連続的に高速制御する静止形無効電力補償装置（以下SVC）を世界に先駆けて実用化したのを皮切りに、高調波対策用アクティブフィルタ（以下AF）、瞬時電圧低下（以下、瞬低）対策装置などの電力品質を改善する製品を開発・納入してきた。

本稿では、独自の技術に支えられた、これらの製品について紹介する。

2. 電力品質関連製品の展開

電気の品質には、①周波数 ②停電 ③電圧の3要素があり、周波数が一定であること、停電がないこと、電圧振幅が一定で3相がバランスし、波形が正弦波であることが究極的に求められる。これらを乱す要因を電力品質の評価項目として整理し、各々の電力品質を改善する当社の対策製品を表1に示す。

表1 電力品質の評価項目と対策製品

評価項目	対策製品
電圧変動・フリッカ	SVC (TQC <sup>(1)</sup> )、自励式SVC (STATCOM) 調相設備 (電力用コンデンサ、分路リアクトル)
周波数変動	電力安定化装置
高調波	高調波フィルタ、アクティブフィルタ
瞬低	ユニセーフ <sup>(1)</sup> 、メガセーフ <sup>(1)</sup>
停電	高速限流遮断装置 パワーセーフ <sup>(1)</sup> 、オールセーフ <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> は当社商品名

\*新エネルギー・環境事業本部

### 3. 電圧変動・フリッカの改善と電力安定化

#### 3.1 無効電力補償

電源系統の電圧変動は、電源側インピーダンス（主にリアクタンス成分）と負荷側の電力変動（主に無効電力）に起因している。比較的ゆっくりとした電源系統電圧の動揺に対しては、従来から、コンデンサやリアクトルの投入、引き外しによって対策がとられてきた。しかしながらアーク炉のような数サイクル～数十サイクルの短周期でランダムに変化する変動に対しては、応答性の面で対応できず、その解決策として当社は、TCR（Thyristor Controlled Reactor）方式のSVCをアーク炉用として開発し、フリッカ（照明のちらつきを引き起こす電圧変動）対策を実現した。

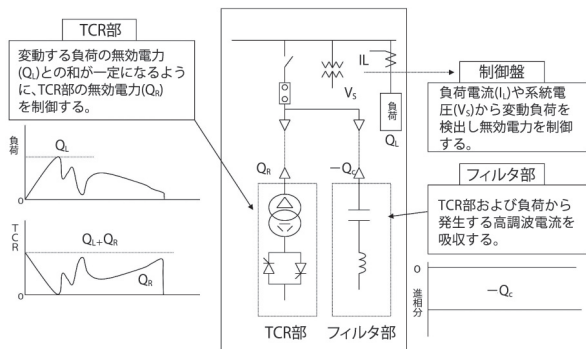


図1 TCR方式SVC構成

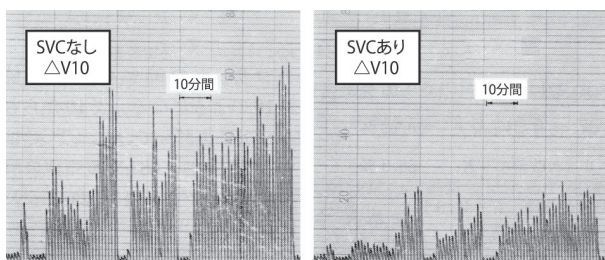


図2 SVC無/有 運転記録チャート例

図1にTCR方式SVCの構成を示す。SVCはTCR部とフィルタ部および制御盤から構成される。TCR部は変動する負荷の無効電力 $Q_L$ に対して、 $Q_L$ との和が一定になるようにサイリスタ通電電流を制御し、無効電力 $Q_C$ を出力する。フィルタ部は一定の無効電力（進相分） $Q_C$ を供給するとともに、TCR部および負荷から発生する高調波電流を吸収する。TCR部の可変遅相分とフィルタ部の進相分の組合せによって、遅れから進みまでの無効電力を高速に制御できる。

フリッカ許容値は、各電力会社、配電線の状況により異なるが、半数の人がちらつきを感じる $\Delta V10 = 0.45\%$ 以下が一般的である。図2にフリッカの改善例を示す。SVC無 $\Delta V10 = 0.53\%$ からSVC有 $0.23\%$ に改善している。

当社が開発したSVCは、アーク炉向けにとどまらず、溶接機や圧延設備の電圧変動・フリッカ対策、スキー

場のゴンドラやトンネル工事用掘削機の電圧変動対策など多種多様な用途に使用されている。また、電気鉄道の電圧変動対策や系統安定化用にも使用され、需要家設置だけでなく、電力会社の変電所にも数多くの実績をもつ。



図3 東北電力株式会社殿仙台港変電所納めSVC



図4 株式会社ユーラスエナジー宗谷殿宗谷岬ウインドファーム納めSVC

図3に当社納入品のうち最大容量である154kV系統向け、100MVAの納入例を示す。

図4は、大容量風力発電設備の導入増加にともない、系統電圧安定化の目的で設置された22kV、30MVAのSVCである。また、インバータを用いた自励式SVCも製品化し、配電系統末端での風力発電設備向けの電圧安定化装置として稼働している。

さらにSVCのグローバル展開のため、風力発電設備向けを中心に成長が著しい中国SVC市場をターゲットに、2010年より日新電機(無錫)有限公司においてSVC事業をスタートした。地方鉄路局などの鉄道分野を中心に拡販を進め、納入実績を着実に伸ばしてきている。

図5に、わんしゅうがん変電所（武漢鉄路局）に納入した27.5kV 3800kVA SVCを示す。



図5 武漢鉄路局向けSVC

### 3. 2 電力安定化と系統連系保護

#### 3. 2. 1 電力安定化（周波数変動抑制）

離島などにおいて、独立したディーゼル発電機系統に風力発電設備が導入された場合、風力発電設備の発電変動によって、系統電圧だけではなく、周波数変動が問題となる場合がある。図6に風力発電設備向け電力安定化装置の動作イメージを示す。風車出力（有効電力）の短周期の変動に対して、電池の充放電による有効電力の制御をインバータ出力によって行い、風車出力の変動を補うことによって、ディーゼル発電機がガバナ応答が追いつくまでの系統周波数変動を抑制する。

なお、離島グリッド用の電力安定化技術、電力安定化用パワーコンディショナ詳細に関しては、別論文で紹介しているので参照願いたい。

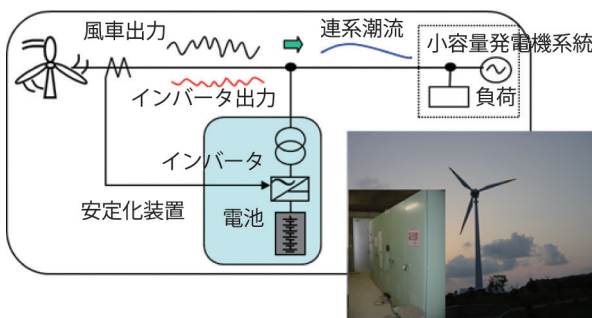


図6 風力発電設備向け電力安定化装置動作イメージ

#### 3. 2. 2 系統連系保護

風力発電設備などの分散電源においては、電源系統と連系する際の系統連系保護として、単独運転保護を行う必要がある。当社は能動式単独運転検出方式として「次数間高調波注入方式」を数多く採用している。

「次数間高調波注入方式」は、電源系統に存在しない次数間高調波電流を注入し、停電時（系統側の遮断器が開放された状態）の系統インピーダンス変化を系統電圧周波数に対する同期サンプリング計測によって検出する方式である。

- ・小さな注入量で高速に検出できる。
  - ・注入周波数を分離することによって、同方式のものが複数台設置された場合の相互干渉を防ぐことができる。また、他方式との干渉も防ぐことができる。
- という特長を持っており、電源系統への影響が小さく、確実な単独運転保護を実現できる。

## 4. 高調波の改善

電力変換装置（インバータ）が産業分野、家電分野などに幅広く導入されることによって、モータなどに代表される機器の制御性が格段に向上し、省エネなどに大きく貢献している反面、それらの機器の整流器入力部から発生する高調波電流によって、系統電圧にひずみが生じ、電力品質を悪化させる場合がある。

高調波を電力系統の中で論じる場合、発生源を電流源として取り扱うのが一般的であり、高調波を抑制する方法としては、

- 特定の高調波電流成分に対し、低インピーダンスとなって高調波電流を引込み、電源系統への流出を減らす
- 機器側で発生した高調波電流と逆位相の電流を発生させ、キャンセルする

方法がある。aはLCフィルタ（コンデンサとリアクトルの組合せ）、bはAFにて実現される。

図7にAFの動作原理を示す。

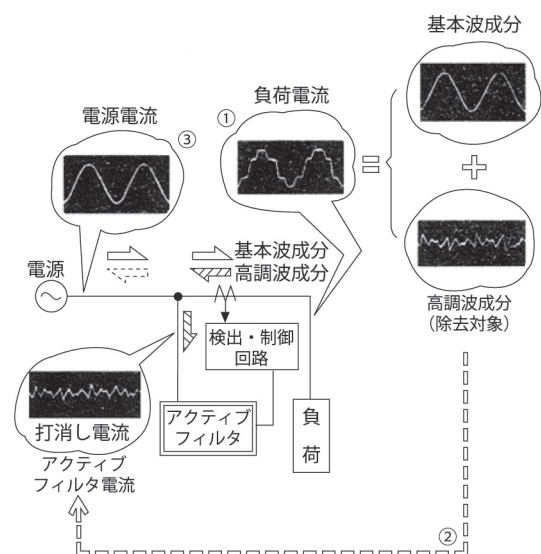


図7 AFの動作原理

- ①負荷電流は「基本波成分」と「高調波成分」とに分けられる。
- ②AFはCTを通して得られた負荷電流波形の中に含まれる「高調波成分」を検出し、これと逆位相の打ち消し電流を発生させる。
- ③電源側からみると、負荷側で発生した「高調波成分」がAFによって打ち消され、電源電流は「基本波成分」だけの正弦波となる。

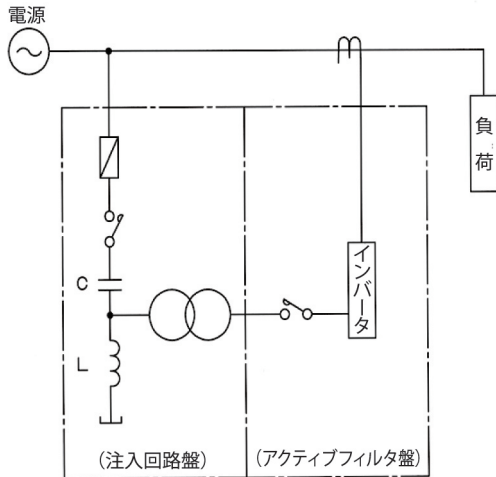


図8 注入回路方式AFの構成

図8に注入回路を用いたAFの構成を示す。

高調波打ち消し電流を発生するインバータは電源系統には直接つながらず、コンデンサとリアクトルで構成される注入回路を介して接続される。電源電圧の大部分はコンデンサが分担するため、インバータに加わる基本波電圧は大幅に低減され、インバータ容量は高調波補償定格容量の約1/4となり、小容量でコンパクトなAFを実現できた。また注入回路は並列コンデンサとして作用するので、固定容量の力率改善設備となる。

## 5. 瞬低・停電対策

### 5.1 瞬低の実態

国内の電力系統は、複数ルートによるループ送電などによって極めて高い電力供給信頼度が確保されており、停電の年間発生回数は0.13回/年（2009年電気事業連合会調べ）と非常に少ない。一方、瞬低はそのほとんどが雷などの自然現象が原因となっており、発生確率が高い。

図9は2011年電気協同研究第67巻第2号からの抜粋データであるが、20%以上の電圧低下（残存電圧80%以下）の年間平均発生回数は2.8回で、停電の発生回数に比べて10倍近い数値になっている。また、瞬低継続時間は100m秒付近に集中しており、落雷などの事故が発生した場合の保護システムが高速に機能しているためと考えられる。

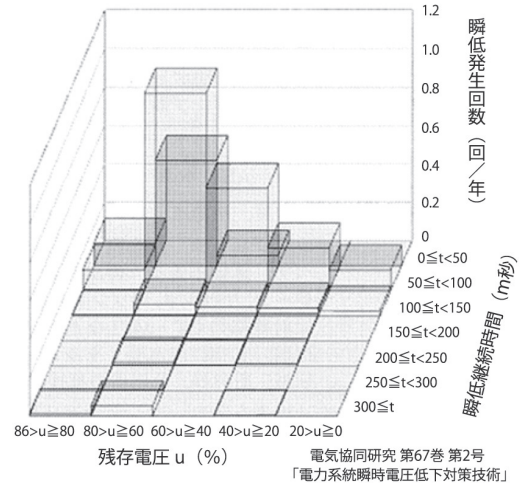


図9 瞬低の実態

### 5.2 瞬低専用対策装置

前項で述べたように、瞬低は、その発生原因から将来的にも避けられない現象であると考えられる。一方、半導体工場に代表される付加価値の高い製品の生産工場では、瞬低によって生産品の不良、生産設備の損傷、復旧までの生産ロス、納期遅れなどが発生し、被害額が莫大なものになる。

瞬低対策の検討の際には、瞬低あるいは停電の発生頻度を把握した上で、設備の重要度に応じて、費用対効果の観点から最適な対策を最小限の投資で行っていく必要がある。

当社は、工場の生産設備をターゲットとして、効果的な対策を実現するために、従来のバッテリー形UPSに代わるコンパクトで高効率を特長とした低圧用瞬低対策装置（ユニセーフ）を中部電力株式会社殿と1986年に共同開発した。また、高圧母線側に設置し、生産システム全体をカバーできる高圧・大容量瞬低対策装置（メガセーフ）を関西電力株式会社殿と2001年に共同開発した。現在までにユニセーフは累計107MVA、メガセーフは91MVAの納入実績がある。

図10に瞬低対策装置の動作原理を示す。

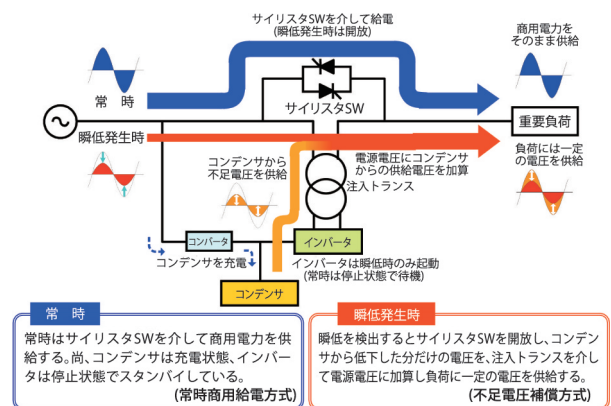


図10 瞬低対策装置の動作原理

本装置は直列形の対策装置であり、瞬低が発生するとコンデンサに蓄えたエネルギーを利用し、インバータを介して、低下した電圧分のみを出力し、電源電圧(残留電圧)に加算して負荷に定格電圧を供給する「不足電圧補償方式」を採用している。つまり、残留電圧を有効に活用し、蓄電部(コンデンサ)を最小限に抑えることによってコンパクト化を図っている。

また、通常時(瞬低が発生していない状態)サイリスタスイッチを介して負荷へ電源電圧をそのまま供給する「常時商用給電方式」を採用している。インバータは常時コールドスタンバイ状態であるため、装置の損失を最小限に抑えられ、高効率を実現している。

図11に瞬低対策装置の補償性能を示すとともに、某所における瞬低データを重ね合わせて表現している。

本装置は、電圧低下によって不足した電圧を補う方式を採用しているため、電圧低下幅が小さい場合はインバータから出力する電力も少なくすむため、長時間の補償が可能になる。従って、低下幅の小さい領域(瞬低多発領域)では補償時間が長く、広範囲をカバーできる。

また、瞬低の発生様相は、3線短絡や2線短絡、1線地絡など様々であり、3相各相の電圧低下幅が異なる場合が多い。本装置は各相の電圧低下幅に応じて補償するため、例えば1相のみ低下した場合には、3相とも低下した場合に比べ、補償時間が3倍に延びる。つまり、本装置は瞬低の発生様相に応じて、コンデンサに蓄えたエネルギーを有効に使うことにより補償時間を伸長できる効果的な対策装置であると言える。

図12に瞬低動作試験波形を示す。

図13に瞬低対策装置の外観を示す。

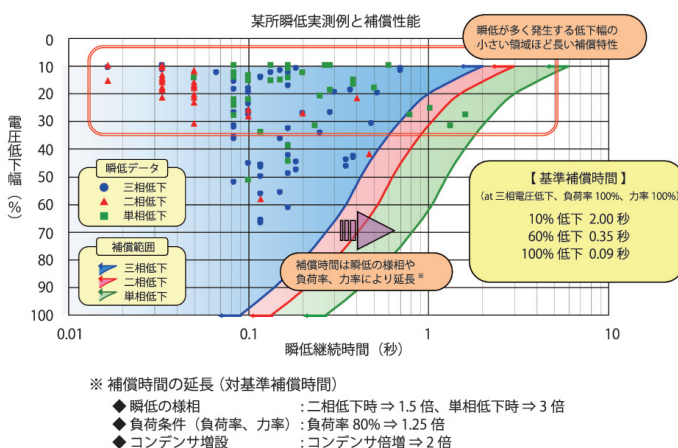


図11 瞬低対策装置の補償性能

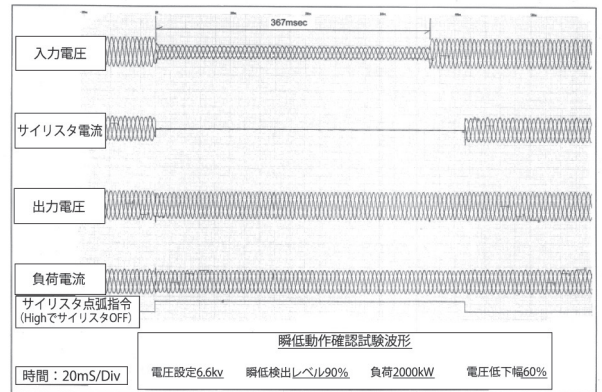


図12 瞬低動作試験波形

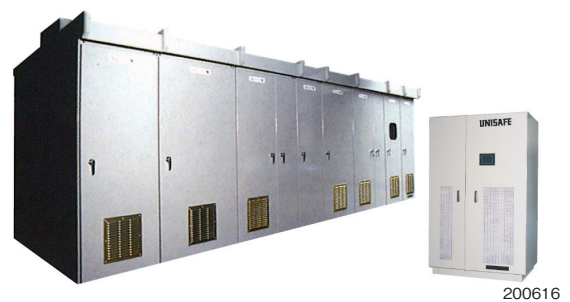


図13 メガセーフ2000kVA(左)、ユニセーフ200kVA(右)外観

### 5.3 停電への対応

高圧母線における一括補償を検討されるお客さまの中には、大型投資をするなら、事故停電などにも備えた万全な対策を希望される場合がある。このようなニーズにお応えするために当社では、停電にも対応可能な高圧用の瞬低・停電対策装置を製品化している。これらの製品を、発電機を使ったシステムに導入する例を紹介する。

#### 5.3.1 高速限流遮断装置

省エネや電気・熱の供給信頼度向上、二酸化炭素排出量の削減などのため、発電機を系統連系したコージェネレーションシステム(以下CGS)が運用されている。しかし、落雷などにより商用電源側で瞬低が発生すると、発電機を運転しているにも関わらず、負荷に瞬低の影響が及ぶ場合や発電機自身が脱落してしまう場合がある。従来からの対策として、雷警報により発電機を商用電源と切り離し、自立運転に切換える方法や、高速遮断器によって解列させる方法もあるが、十分な効果が得られない場合があった。

本装置は、直流リアクトルによる限流効果とサイリスタによる高速遮断を組み合わせることにより、発電機側

事故電流とそれともなう電圧低下を抑制し、発電機の過負荷による脱落防止と重要負荷設備の瞬低・停電対策を両立させる装置である。

図14に高速限流遮断装置の動作概要を示す。

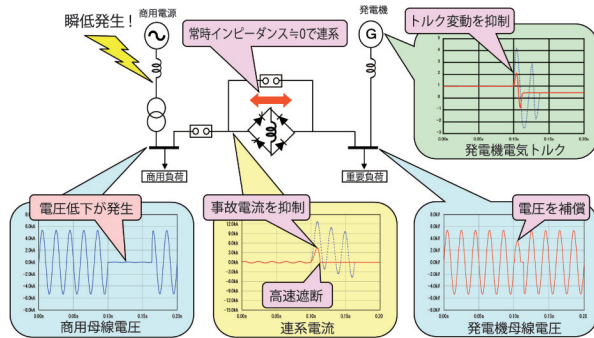


図14 高速限流遮断装置の動作概要

本装置の主要部は、サイリスタとダイオードのブリッジ回路と直流リアクトルにて構成された高速限流スイッチとなっている。



図15 高速限流遮断装置 (6.6kV 200A) 外観

①連系運転時

連系運転時、サイリスタは常時導通しており、母線連絡CBおよび高速限流スイッチを通して、商用電源と発電機が連系状態となっている。直流リアクトルの抵抗は小さいため、交流側からみたインピーダンスは等価的にゼロとなる。

②瞬低発生時

商用電源で瞬低が発生した場合、発電機から商用電源に向かって事故電流が流出するが、事故電流は直流リアクトルにより第1波から限流される。さらに瞬低を高速検出してサイリスタをオフするため、事故電流は高速遮断 (3/4サイクル未満) され、瞬低の影響は最小限に抑制される。

5. 3. 2 パワーセーフ

パワーセーフはエネルギー源にバッテリーを使用し、瞬低・停電発生時には商用電源からインバータに切換えて電力を供給する瞬低・停電対策装置である。補償時間はバッテリー容量によって決まり、標準60秒であるが、バッテリー残容量の限界まで補償可能である。また図16に示すように、非常用発電機と組合せることによって長時間停電にも対応できる。

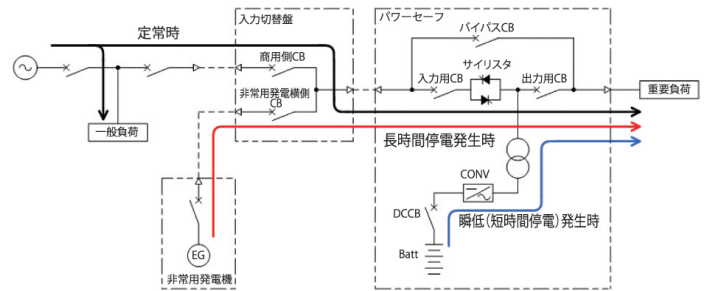


図16 パワーセーフと発電機の組合せ構成

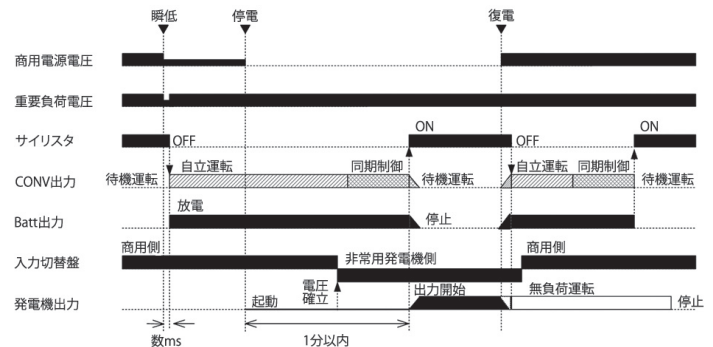


図17 長時間停電発生時タイムチャート

図17に長時間停電発生時の非常用発電機とバッテリー (Batt) 間の切替動作タイムチャートを示す。

- ①瞬低発生時、パワーセーフが商用電源の異常を検出し、サイリスタにより系統解列を行い、インバータ (CONV) 自立運転にてBattから重要負荷へ電力を供給する。
- ②瞬低から停電に移行した場合、停電検出により発電機を起動させ、発電機の電圧確立後、入力切替盤にて入力電源を発電機側へ切替える。
- ③発電機の電圧がパワーセーフに入力されると、CONV電圧を発電機電圧に同期させた後、サイリスタを投入、CONVと発電機を連系させる。
- ④CONV出力を徐々に下げて、発電機出力電圧・周波数に動揺が起らないように負荷を徐々に (数秒程度) 乗せ替えていく。
- ⑤発電機への負荷乗せ替えが完了し、CONVは待機運転となる。

- ⑥発電機給電の状態でも商用電源の復電を検出すると、CONV出力を徐々に上げて、発電機出力電圧・周波数に動揺が起こらないように負荷を徐々に（数秒程度）乗せ替えていく。（発電機出力は徐々に減少）
- ⑦CONVへの負荷乗せ替えが完了後、サイリスタを開放してCONV自立運転に切替える。CONV給電中に入力切替盤にて入力電源を商用電源側に切替える。
- ⑧CONV電圧を商用電源電圧に同期させた後、サイリスタを投入、商用電源から負荷給電を行う定常状態に復旧する。CONVは待機運転に戻る。
- ⑨定常状態に復旧後、発電機を停止させる。

## 6. あとがき

当社は、電源系統の電力品質改善にパワーエレクトロニクス技術を応用し、独自の技術をもって高効率、コンパクト性を指向した製品を市場に送り出してきた。

東日本大震災以降、電力供給形態に変化がみられ、エネルギー問題、環境問題の点から再生可能エネルギー、特に太陽光や風力発電に代表される自然エネルギーの有効活用が急速に進められているが、発電量が不安定な分散電源が多数つながるような状況において、今後ますます電力品質に関するニーズが高まることが予想される。

当社においても、これまで培ってきた技術をベースに、更なる製品開発に取り組み、電力品質問題の解決に向けて貢献していく所存である。

## 参考文献

- (1) 瞬時電圧低下対策専門委員会、「電力系統瞬時電圧低下対策技術」(2011.9)電気協同研究第67巻第2号、電気協同研究会
- (2) 明石菰原：「電力品質ソリューションをリードする当社のパワーエレクトロニクス応用製品」日新電機技報 Vol.52 P.2-10(2007.3)
- (3) 河崎、村井他：「高圧・大容量瞬低停電対策装置」日新電機技報 Vol.52 P.19-30(2007.3)
- (4) 忍海辺、箱田他：「大容量サイリスタ形無効電力補償装置 (TQC) について」日新電機技報 Vol.26 No.4 P.79-93(1981.10)

## 執筆者紹介



河崎 吉則 Yoshinori Kawasaki  
新エネルギー・環境事業本部  
新エネルギー事業部  
パワーオリティ機器部長



川上 了司 Ryoji Kawakami  
新エネルギー・環境事業本部  
新エネルギー事業部  
パワーオリティ機器部グループ長



佐野 耕市 Koichi Sano  
新エネルギー・環境事業本部  
新エネルギー事業部  
技師長