

瞬時電圧低下補償技術

近年、情報化の進展によるIT関連機器(サーバー用コンピュータ、パソコン等)あるいは、半導体や精密機器に代表される高品質・高付加価値製品の製造ラインを有する多くのお客さまにおいて、瞬間的な電圧低下および短時間停電への対策ニーズが高まっています。

当社では、このような高い電力品質を望まれるお客さまのニーズにお応えするため、2種類の高効率・長寿命の補償装置(SMES、電気二重層キャパシタ式UPS)を開発しています。以下に、これらの補償装置も含め、瞬時電圧低下の補償技術について紹介します。

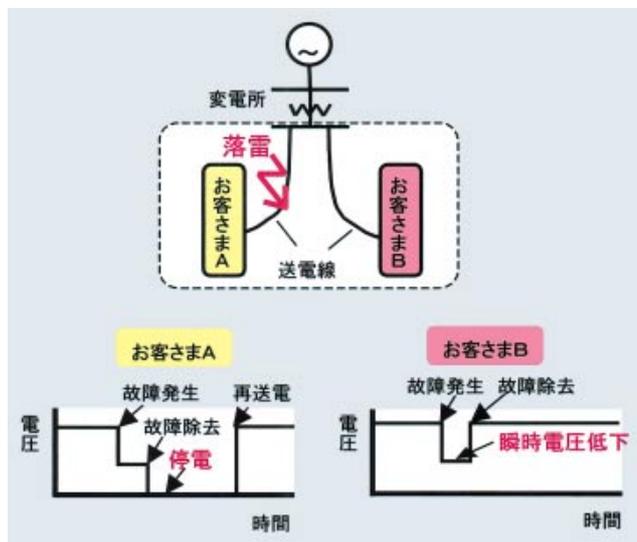
1 瞬時電圧低下の実態と対策技術

(1) 瞬時電圧低下の実態

瞬時電圧低下(瞬低)とは、電力系統を構成する送電線等の電力設備で故障が発生した場合、保護リレーにより故障検出し、故障箇所を系統から切離すまでの間(ほとんどが1秒以下の非常に短い時間)故障点を中心に電圧が低下する現象のことです。この現象は、第1図に示すように故障が発生した送電線に直接接続されていないお客さまに発生します。

特別高圧系統の故障は、その発生原因の7割程度が、雷等の自然災害によるものであり、電力系統における瞬低防止対策には限界があります。

瞬低が発生すると、コンピュータの大切なデータが消えたり、工場の設備によっては、製造ラインが停止あるいは誤作動する等の悪影響が出る恐れがあります。影響を受ける代表的な電気設備としては、可変速モータや電磁開閉器、放電ランプ等があります。



第1図 瞬時電圧低下と停電

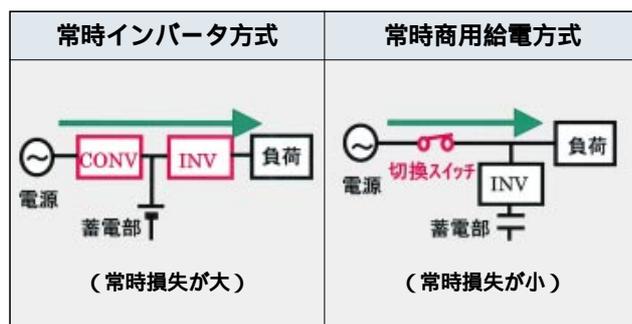
(2) 瞬低対策技術

瞬低対策には、第1表のように種々の方策があります。選定にあたっては、お客さまの負荷の種類や設備状況、効果等により総合的に判断することになりますが、一般的な方策として、瞬低補償装置が多く導入されています。

第1表 瞬時電圧低下の対策方法

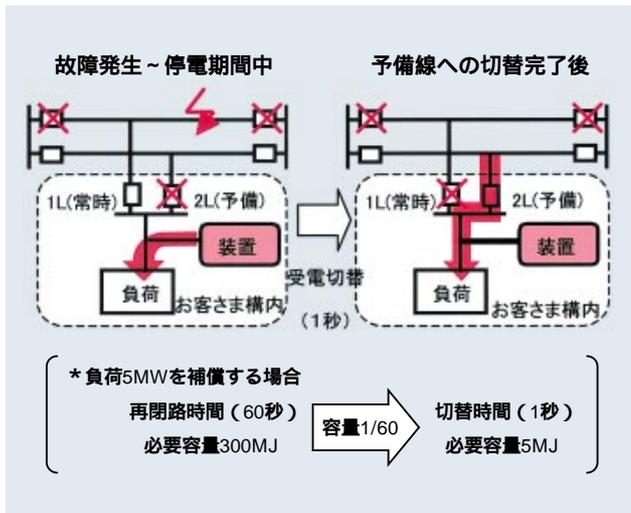
分類	原理	対策例
正常運転継続	変化に追従させない	遅延釈放型電磁開閉器
	変化を補償する	瞬低補償装置
	自家発 + 系統分離	自家発 + 高速遮断器
自動再起動	機器自動停止・再起動	可変速モータの再起動 瞬時再点灯型放電ランプ
ソフト的対策	製品へのマーキング 事前操業停止	異常時データ判定設備 雷情報活用

瞬低補償装置の導入にあたっては、経済性も重要視されます。装置のシステム構成を第2図に示します。従来、ほとんどのUPSに採用されている常時インバータ方式は、常時変換器を介して給電されるため損失が大きくなります。一方、常時商用給電方式は、切換スイッチを介して給電されるため、常時の損失は小さく、ランニングコスト低減が可能となり、補償容量が大きい装置に適した方式です。



第2図 システム構成

また、既設の受電設備との整合や、補償装置導入にあわせた設備改造により、定格補償時間を短縮し経済性を高めつつ停電をも補償することが可能となります。一例として、受電自動切替装置と瞬低補償装置を組み合わせた対策例を第3図に示します。



第3図 受電切替装置と瞬低補償装置との組合せ例

当社では現在、2種類の補償装置を開発しており、以下に各装置の概要を紹介します。

2 瞬時電圧低下補償用SMES

(1) 開発の背景

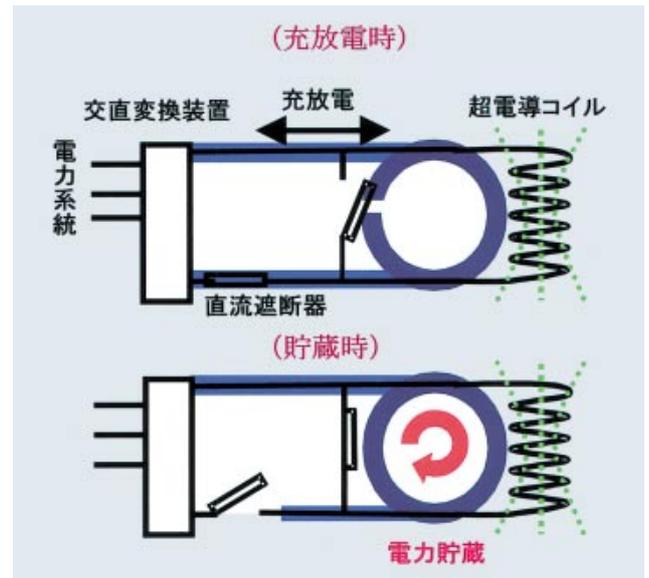
超電導を利用した電力貯蔵システムであるSMES (Superconducting Magnetic Energy Storage system) は、電気エネルギーを磁気エネルギーとして貯蔵することから、大電力を秒単位で放出することができる、高出力でコンパクトな瞬低補償システムです。また、電池等のような充放電の繰り返しによる劣化もありません。

当社は瞬低補償装置に最適であるこの特長を活かし、世界最大規模となる出力5,000kVAの瞬低補償SMESを(株)東芝と共同で開発し、シャープ(株)亀山工場殿にてフィールド試験を開始しました。

(2) SMESとは

SMESは、超電導コイルに通電しても電流が減衰することなく、一定の磁場を発生し続けられる電気抵抗ゼロの超電導の特長を活かし、電気エネルギーを磁気エネルギーとして貯蔵する装置です。貯蔵エネルギーは、超電導コイルのインダクタンス(L)と通電電流(I)で決まり、 $\frac{1}{2}LI^2$ のエネルギーを貯蔵することができます。SMESの原理を第4図に示します。

電力系統と超電導コイルの間に交流電流と直流電流を変換する装置や遮断器を持ち、超電導コイル充電時には超電導コイルで閉回路を構成し、コイルに直流電流を流し続けることでエネルギーを貯蔵します。放電時には超電導コイルと変換器の回路を閉じ、コイルの直流電流を外部にエネルギーとして取り出します。



第4図 SMESの原理

(3) 開発した瞬低補償用SMESの概要

設計思想

SMESは、従来の鉛電池やNaS電池、レドックスフロー電池等の二次電池を用いた他の電力貯蔵装置に比べ、電力貯蔵効率が高い

短時間に大電力の入出力が可能
という特長を持っています。

このことからSMESは、瞬低を補償する用途に適した電力貯蔵装置であると言えます。特に、工場一括で瞬低を補償するといった大電力の場合、SMESでは他の補償装置に比べ貯蔵部がコンパクトとなり、設置面積を小さくできる長所があります。

このため、大規模な半導体工場等の受電設備に設置することを前提に、以下の設計思想に基づいてSMES開発を行いました。

工場一括の瞬低補償

待機時の低損失化

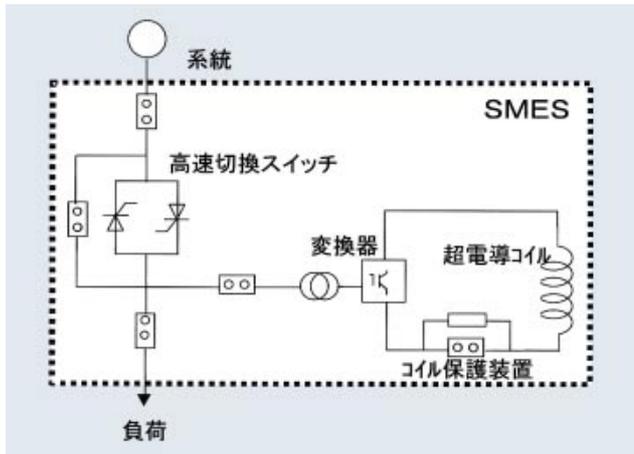
システムの簡素化、メンテナンス性の向上

漏洩磁場の低減

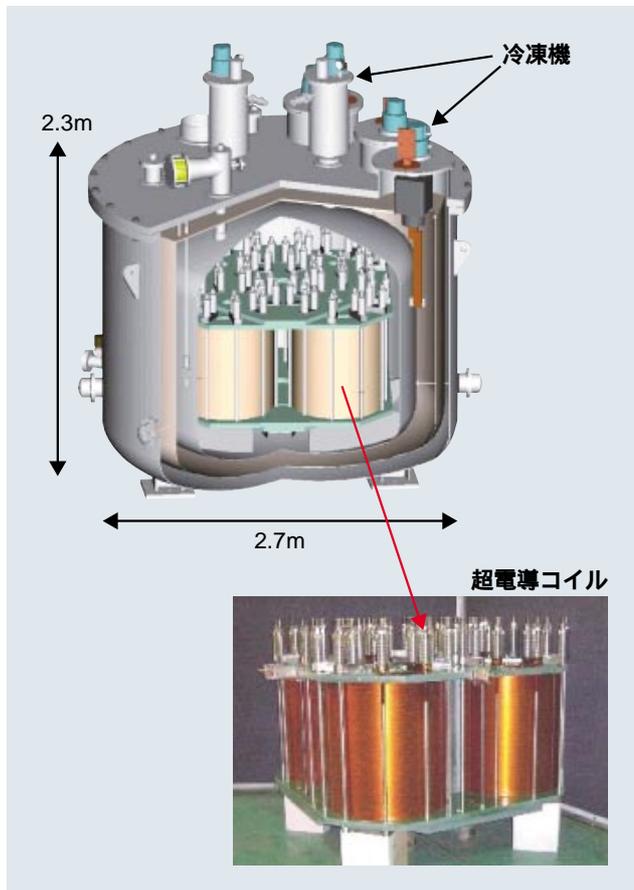
システム概要

瞬低補償装置に求められる待機時の高効率を実現するため、瞬低補償SMESは常時商用給電方式を採用しました。常時は電力系統から負荷に対して高速切換スイッチのみを介して給電されます。SMESシステムは、瞬低を速やかに検出する高速検出器、電力系統から超電導コイル側に高速(約 $\frac{1}{2}$ サイクル)で切換えて負荷へ給電する高速切換スイッチと変換器、エネルギー貯蔵部である超電導コイル、コイル冷却用の冷凍機、コイルの保護装置等から構成されています。

また、ほとんどの瞬低は、1秒以内の現象であることから、システムの補償時間は最大1秒間とし、貯蔵部である超電導コイルをコンパクトにする設計としました。なお、コイルは漏洩磁場を低減させるために4個のソレノイドコイルを4重極に配置し、その冷却には小型冷凍機による浸漬冷却方式を採用しました。この冷却方式により、従来の大型冷凍機冷却では必要であった高圧ガス保安法に基づく法定管理者の選任が不要となり、設置者の負担を大幅に低減できるシステムを実現しました。瞬低補償SMES結線図を第5図に、コイルシステムを第6図に、主な諸元を第2表にそれぞれ示します。



第5図 瞬低補償用SMESの回路構成



第6図 SMESコイルシステム

第2表 瞬低補償用SMESの主な諸元

項目	定格・仕様
瞬低補償時間	1秒
定格出力容量	5,000 kVA
定格電圧	三相 6,600 V
運転方式	常時商用給電方式
切換時間	$\frac{1}{2}$ サイクル+
システム収納建物寸法	14.5m × 18m
エネルギー貯蔵部	NbTi 超電導コイル
運転効率	96%

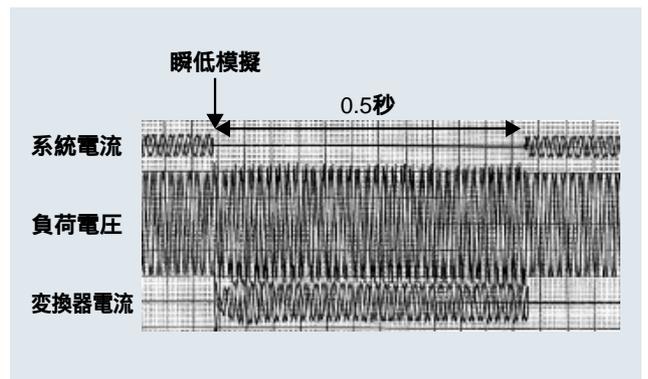
(4) フィールド試験の実施

開発した瞬低補償用SMESを三重県内の最新鋭液晶工場に設置し、平成15年7月からフィールド試験を開始しました。工場内の専用建物内に設置したSMESの写真を第7図に示します。

フィールド試験開始にあたり、実負荷に接続した状態で瞬低模擬信号により、液晶工場の重要負荷への電力供給を電力系統からSMES側に切換え、0.5秒後に電力系統からの給電に戻す瞬低補償動作試験を実施しました。試験結果の実波形を第8図に示します。この試



第7図 SMES設置状況



第8図 実負荷による瞬低補償動作試験波形

験時の負荷容量は3,200kVAであり、液晶工場内の重要負荷が停止したり誤作動するといった不具合は発生せず、問題なく補償動作したことを確認しました。

なお、瞬低補償動作時の挙動については、シミュレーションと模擬負荷を用いた試験で確認し、システム定格5,000kVAの負荷についても、補償できることを確認しています。

(5)まとめ

瞬低補償用SMESとしては世界最大規模となる出力5,000kVA - 1秒のシステムを開発しました。このSMESを国内の新鋭液晶工場に設置し、実負荷による瞬低補償動作試験を行い、正常に機能することを確認しました。現在、瞬低補償実動作の検証や待機特性の評価等を目的としたフィールド実証試験を実施中です。

(6)今後の展開

開発した5,000kVA瞬低補償SMESのフィールド試験結果を基に、さらに性能向上と低コストを目指した10,000kVA級瞬低補償SMESの開発を進める計画です。

3 電気二重層キャパシタ式無停電電源装置

(1)開発の背景

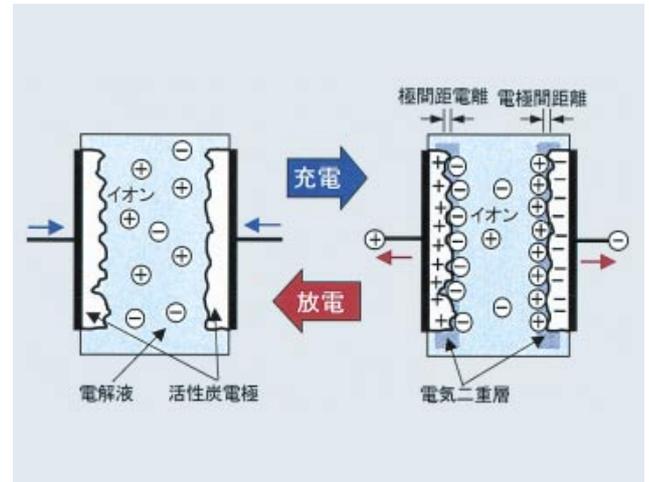
電気二重層キャパシタは、従来の鉛蓄電池等に比べて充放電寿命が長くメンテナンスが不要、高速・高効率な充放電が可能、環境に優しい等の優れた特長を持っています。当社は、この特長を活かした200V、50kVAの2秒補償と60秒補償の電気二重層キャパシタ式無停電電源装置(UPS)を(株)明電舎、(株)指月電機製作所とそれぞれ共同で開発し、約1年間のフィールド試験を実施することにより、実用性能の検証を完了しました。

(2)電気二重層キャパシタとは

電気二重層キャパシタの原理を第9図に示します。電解液の中に電極を入れると、両電極の表面に電解液の分子が並んだ薄い層を形成します。これが電気二重層と呼ばれるもので、コンデンサの絶縁物と同じ働きをすることで電極間距離を数十nmと極めて小さくでき、また、電極に多孔質の活性炭を用いることで電極表面積を数千 m^2/g と広くできます。そのため、従来の電解コンデンサの約100倍もの電気エネルギーを蓄えることが可能となります。

電気二重層キャパシタは鉛蓄電池等のような化学反

応を伴わず、コンデンサと同じように電荷の吸着・脱離により充放電を行うため、繰り返し充放電による劣化が非常に少なく、15年間メンテナンスも交換も不要という優れた特長を持っています。また、高速・高効率な充放電特性を有しているとともに、環境に有害な重金属等を使用していないため、廃棄処理も容易です。



第9図 電気二重層キャパシタの原理

(3)開発した電気二重層キャパシタ式UPSの概要

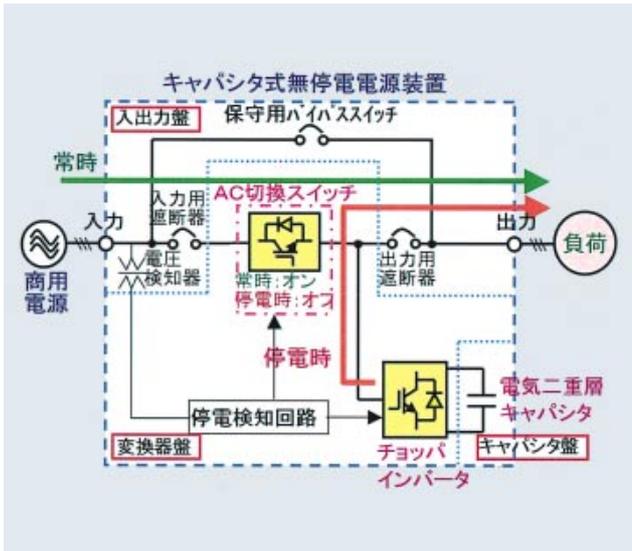
開発した電気二重層キャパシタ式UPSの基本回路構成を第10図に、外観を第11図に示します。本装置は、電気二重層キャパシタモジュールを収納したキャパシタ盤、常時の商用給電と停電発生時の商用電源の高速遮断を行う切換スイッチや停電時にキャパシタの蓄電エネルギーを負荷に供給するチョッパ・インバータを収納した変換器盤、入出力端子や装置の点検時等に給電を継続するためのバイパススイッチを収納した入出力盤から構成されています。

また、今回の開発では、瞬低補償に特化した2秒補償器だけでなく、非常用発電機と組み合わせて長時間停電にも対応可能な60秒補償器も開発しました。

本装置の主な特徴は以下の通りです。

蓄電部への電気二重層キャパシタの適用

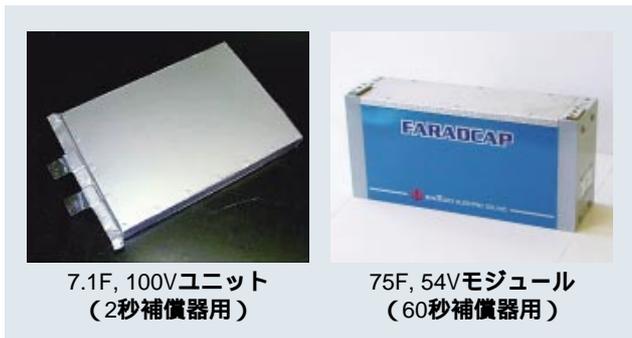
本装置の2秒補償器では7.1F、100Vのキャパシタユニットを5並列4直列とし、60秒補償器では75F、54Vのキャパシタモジュールを6並列8直列として蓄電部を構成しました。使用した電気二重層キャパシタの外観を第12図に示します。



第10図 電気二重層キャパシタ式UPSの回路構成



第11図 電気二重層キャパシタ式UPSの外観



第12図 電気二重層キャパシタの外観

常時商用給電方式

常時は商用電源から切換スイッチのみを介して負荷に電力を供給する常時商用給電方式を採用することにより、常時の運転効率97%以上を実現しました。

並列補償方式

瞬低発生時に商用電源側を切換スイッチにより高速に切り離し、電気二重層キャパシタからチョップパ・イ

ンバータを介して負荷に電力を供給する並列補償方式を採用することで、瞬低だけでなく瞬断・停電発生時の補償をも可能としました。切換スイッチは2msの高速切換を実現し、誘導電動機の始動電流等への過負荷耐量を持たせるために、IGBTにサイリスタ、電磁開閉器を並列接続した構成としています。

また、電気二重層キャパシタは高速充電特性を有しており、放電後の再充電も高速に行うことができるため、多重雷等による瞬低の繰り返しにも対応可能としました。

(4)基本機能検証試験の実施

本装置に200V商用電源と力率80%定格負荷を接続し、以下の運転特性の検証試験を実施しました。

停電復電試験

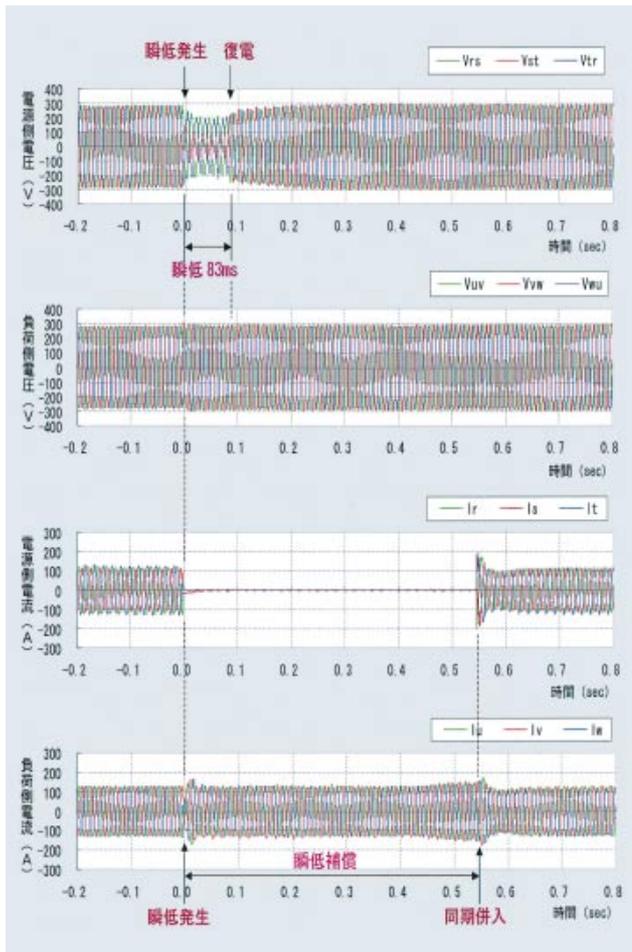
商用電源を模擬停電させ、UPS各部の電圧・電流波形を測定して、停電時の切換スイッチの高速切換や電気二重層キャパシタからの負荷に見合った電力の供給、復電時のインバータによる同期併入が適切に行われていることを確認しました。

その他の基本性能検証試験

上記の試験以外に、絶縁抵抗試験、絶縁耐圧試験、定常特性試験、効率測定試験、過渡特性試験、騒音試験、温度上昇試験、過負荷試験、キャパシタ連続放電試験、高調波測定、不平衡負荷試験、保護連動試験、出力短絡試験等を行い、UPSとしての基本性能を十分満足していることを確認しました。

(5)フィールド試験の実施

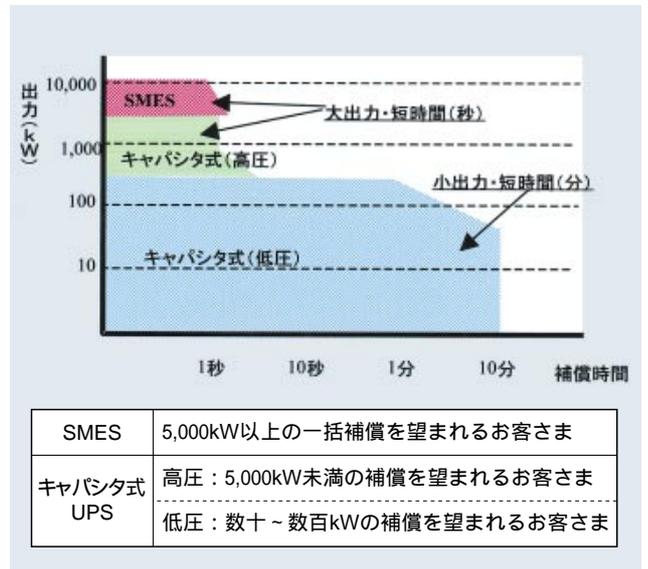
本装置の60秒補償器を平成15年1月から12月まで、2秒補償器を平成15年6月から平成16年2月まで愛知県内および長野県内のお客さまの工場にそれぞれ設置してフィールド試験を行い、実稼動状態での瞬低・停電補償動作の確認や連続運転による長期信頼性の検証等を実施しました。フィールド試験の間に、60秒補償器で6回、2秒補償器で4回瞬低が発生しましたが、いずれも問題なく補償できたことを確認しています。2秒補償器のフィールド試験において、実際に瞬低が発生した時の補償動作波形の一例を第13図に示します。2線地絡故障により83ms(5サイクル)の間、最大電圧低下幅73%(S-T間)の瞬低が発生しましたが、本装置により瞬低補償を行うことで、お客さまの負荷は運転を問題なく継続できました。



第13図 フィールド試験における瞬低補償波形

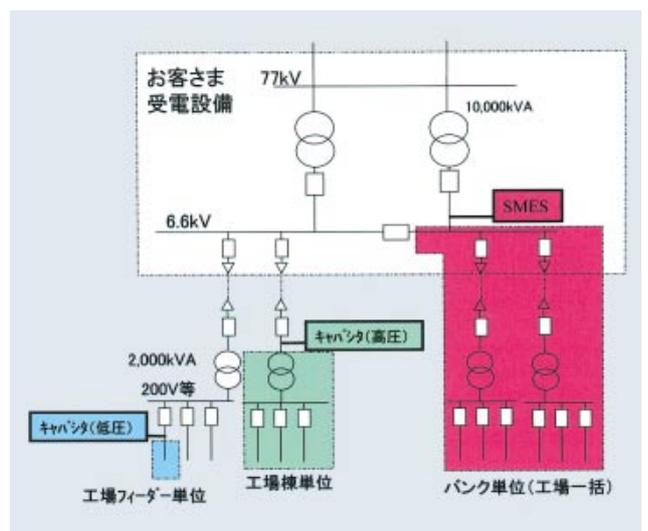
4 各種補償装置の適用範囲

これまでご紹介した補償装置のそれぞれの特長を活かした適用領域を第14図に示します。



第14図 各種装置の適用領域

また、第15図は、各種補償装置を実際にお客さまの設備に導入いただく場合、どのような箇所に設置するかをイメージしたものです。例えば、大規模な工場において工場内の一部設備を補償する場合はキャパシタ式(低圧)をご使用いただき、工場棟単位ではキャパシタ式(高圧)工場一括あるいは特高バンク単位の補償ではSMESを適用する等、様々なお客さまのニーズに対応ができるものと考えています。



第15図 瞬低補償装置の設置イメージ

当社は、今後とも総合エネルギーサービス企業として、お客さまニーズにお応えするよう、技術開発に積極的に取り組んでまいります。

(6)まとめ

省メンテナンス、低運転コストな低圧電気二重層キャパシタ式UPSを開発し、工場での基本機能検証試験とお客さまの実負荷によるフィールド試験を行いました。これにより、UPSとしての実用性能を検証できたため、現在、第3表に示す仕様の製品販売を行っています。

第3表 電気二重層キャパシタ式UPSの概略仕様

項目	定格・仕様	備考
瞬低・停電補償時間	2秒 / 60秒	10 ~ 100% 電圧低下時
定格出力容量	50, 100, 200kVA	定格力率0.8 (遅れ)
定格電圧	三相200V	200 ~ 220V指定可能
運転方式	常時商用給電方式	
切換方式	無瞬断切換	切換時間2ms以下
蓄電方式	電気二重層キャパシタ	
運転効率	97%以上	商用運転時

また、お客さまニーズの高い工場一括補償を可能とする6.6kV、数千kVA級の高圧電気二重層キャパシタ式瞬低補償装置についても現在開発を進めています。