

大規模 UPS システム

福田 英治(ふくだ えいじ)

青山 謙司(あおやま けんじ)

保坂 一喜(ほさか かずよし)

① まえがき

高度情報化社会の進展，経済の国際化・自由化，社会システムの高度化・多様化など21世紀に向けて情報を中心とした社会への変革が進行しており，情報の速度と正確さが強く要請されている。コンピュータなどの高度な電子メディアは一瞬たりとも電気の供給が断たれると，まったく用をなさなくなることはご承知のとおりである。

このため商用電源がどのようになろうとも，常に連続した交流電力を供給する無停電電源装置（UPS システム）が情報化社会では不可欠なものとなされ，情報化社会の進展とともにその需要は拡大を続けている。

膨大な情報ネットワークを構築している金融・市場情報業におけるオンラインシステムは，例えば都市銀行などではすでに第三次オンラインシステムを導入するなどして，ますますグローバル化を図っている。表1に，ある都市銀行のオンラインシステムの推移を示す。情報・通信システムのグローバル化に伴ってUPSの大容量化が進行して，数千kVAを超えるコンピュータセンタが首都圏を中心に続々誕生するすう勢にある。

富士電機は，定評ある半導体技術，品質管理技術ならびにUPS技術を背景に，ここ十数年間にわたリトップシェアを続けている。本稿では最近の大規模UPSシステムを紹介する。

② 富士大容量UPSシステム

図1は富士大容量UPSシステム（100kVA以上）の納入実績であるが，大容量も中小容量と同様順調に増加してきている。

富士大容量UPSシステムは三相出力として500-175シリーズ，単相出力として500-155シリーズがあり，需要は圧倒的に三相出力が多いので，ここでは500-175シリーズを中心に述べる。175シリーズは富士電機が誇る大容量パワートランジスタを用い，従来600kVAまでであったが，今回単機容量1,000kVAまで標準系列化を完了し大規模システム

図1 富士UPSシステムの納入実績推移(100kVA以上)

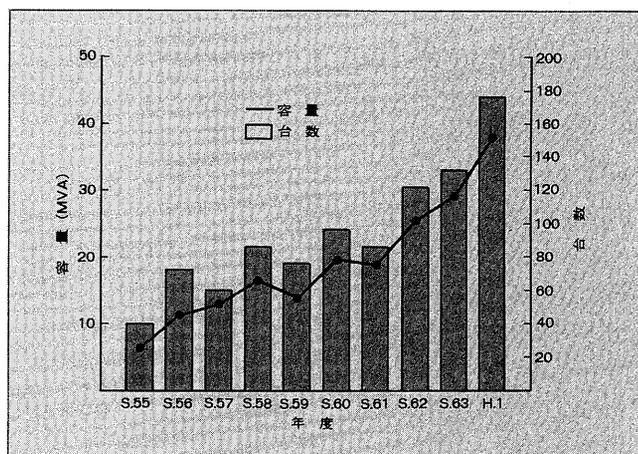


表1 銀行オンラインシステムの推移（ある都市銀行の例）

〔日本経済新聞（1989-8-8）による〕

項目	第一次オンライン	第二次オンライン	第三次オンライン
始動年度	1965	1975	1985
ホストCPUの処理能力(MIPS)	0.4	8	235
データ容量(バイト)	2億	180億	1兆4,000億
端末台数	1,500	2,600	8,700
プログラム開発量(ステップ)	50万	180万	800万
投資額(情報関連機器)	—	—	1千億~1千500億円(全国3兆円)
推定CVCF容量(事務センター用)	500kVA	2,500kVA	7,500~10,000kVA



福田 英治

昭和48年入社。施設用電源設備(主としてUPS)の技術企画に従事。現在，システム事業本部設備機器統括部技術部課長。



青山 謙司

昭和49年入社。施設用電源設備(主としてUPS)の技術企画に従事。現在，システム事業本部設備機器統括部技術部課長補佐。



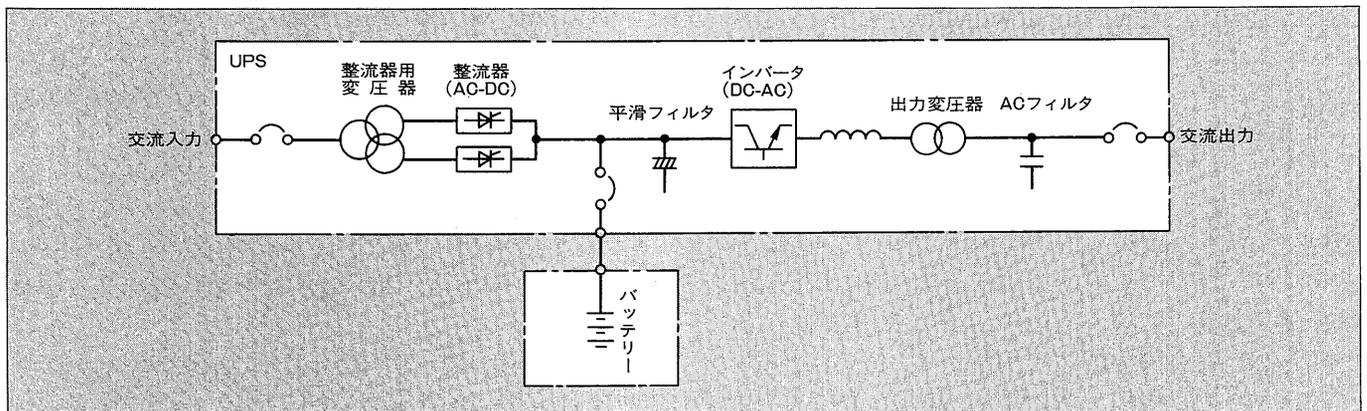
保坂 一喜

昭和49年入社。UPSの開発，設計に従事。現在，東京工場電源機器部課長補佐。

表2 175シリーズUPSの標準仕様

項目	モデル	175/100	175/150	175/200	175/250	175/300	175/400	175/500	175/600	175/750	175/1000	
入力条件	電圧	372V ± 10%										
	周波数	200V	200Vまたは415Vまたは6,600V							415Vまたは6,600V		
	相数および線数	三相三線式										
	定格容量 (kVA/kW)	100/80	150/120	200/160	250/200	300/240	400/320	500/400	600/480	750/600	1,000/800	
出力条件	電圧	200V, 210V, 220V (50Hzのみ), 230V (60Hzのみ), 415V								415V		
	周波数	50Hzまたは60Hz										
	相数および線数	三相三線または三相四線										
	負荷力率	0.7 (遅れ) ~ 1.0 定格 0.8~0.9 (遅れ)										
	電圧精度 (整定時)	± 1.5%										
	過渡電圧変動	± 8% 条件 ① 40%負荷急変時 ② 入力電圧 ± 10%急変時 ③ 商用電源停電・復電時 ④ 1台選択遮断時 ⑤ CVCF ⇄ 直送切換時 ただし、上記①~⑤は重複しないものとする。										
	応答時間	100ms										
	波形ひずみ率	5% (直線性負荷 100%時の全調波の2乗平均値) 3% (直線性負荷 100%時の単一調波最大値) 10% (整流器負荷 50%, 直線性負荷50%時の全調波の2乗平均値)										
	相間電圧アンバランス	± 3% (相間電流の比が1.3時)										
	周波数精度	± 0.1% (内部発振時)										
	外部同期範囲	± 1%										
	過負荷耐量	120%1分間, 150%10秒間 (動作保証値)										
	過電流制限値	150% (過電流が150%を超えると電流垂下特性が働き、過電流を150%以下に制限する)										
	出力位相差	120° ± 1° (平衡負荷時) 120° ± 3° (30%不平衡負荷時)										
電圧調整範囲	± 5% (定格負荷時)											
その他	周囲温度	-10 ~ +40°C (運転時), 推奨値 +18 ~ +27°C										
	相対湿度	30 ~ 90%										
	騒音	65 ~ 75dB										
	絶縁耐圧	2,000V 1分間 (主回路)										
絶縁抵抗	3MΩ以上 (500Vメガーにて)											

図2 主回路系統



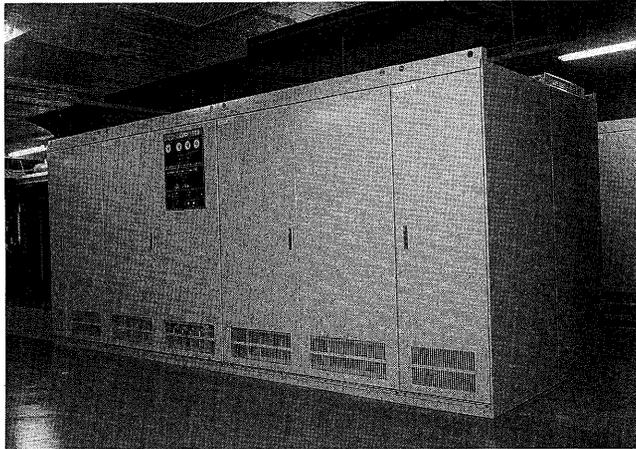
への対応を開始した。

表2に175シリーズの標準仕様を示す。特に200kVA以上では、6.6kVの高圧入力のものも標準化した。図2に175シリーズの主回路系統図を、図3に外観を、表3に外形寸法をそれぞれ示す。

インバータ部は、パワートランジスタの持つ自己消弧能力、高速性、高信頼性、低損失性などの特徴を十分に生かし、高周波PWM制御技術を駆使して高性能、高効率、高信頼度のCVCFインバータを形成している。

整流器部は、バッテリースイッチ(半導体スイッチ)や

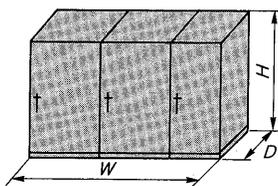
図3 175シリーズUPSの外観



N99-1623-11

表3 175シリーズUPSの外形寸法

モデル	容量 (kVA)	W (mm)		D (mm)	H (mm)
		6.6kV 入力	372V 入力		
175/100	100	—	1,600	800	1,850
175/150	150	—	2,000	800	1,850
175/200	200	3,400	2,200	800	1,850
175/250	250	4,000	2,400	1,000	1,950
175/300	300	4,000	2,400	1,000	1,950
175/400	400	5,200	3,200	1,000	1,950
175/500	500	5,600	3,600	1,000	1,950
175/600	600	6,400	4,200	1,000	1,950
175/750	750	6,800	4,600	1,300	2,350
175/1000	1,000	8,000	5,600	1,300	2,350



専用の充電器などが不要で、シンプルな回路構成であるフロート式サイリスタ整流器を採用している。バッテリースイッチ方式は停電・復電時に複雑な切換動作を伴い、無停電電源としての信頼度を低下させる要因をはらんでいるが、フロート方式では常時バッテリーはUPSシステムの直流中間回路に直結しているので、そのような要因がなく、高信頼度化が図れることは言うまでもない。

整流器から発生する入力高調波電流の低減について、このシリーズは、業界に先がけ12相整流方式を採用して好評を得てきているが、最近のエレクトロニクス機器のはんらんから高調波電流の低減を含む電力の高品質が強く叫ばれている今日、500kVAを数台並列運転するような大規模システムでは上述した12相整流方式でも問題となるケースも出始めつつある。この点は後述する。

③ 大規模電源システム

大容量のUPSを複数台並列運転し、コンピュータに電力を供給するシステムを、ここでは大規模システムと名づけ、このようなシステムで発生する問題とその解決策について解説する。

3.1 UPSのシステム構成

ここでUPSのシステム構成について簡単にふれておく。一般に大規模システムの場合、UPSシステム1台の単一システムでは負荷容量や信頼度の点から対応できず、複数台のUPSを並列運転させている。つまりUPSの並列運転の目的は、電源容量の増大と冗長運転による信頼度の向上の二点にあることは周知のとおりである。UPSのシステム構成は、基本となるUPSシステム(単一システムでバイパスを持たないもの)を中心にさまざまなシステム構成が実用化されており、その構成の代表例を表4に示す。これらのシステム構成は、インバータの運転方法、バイパス電源との切換方式、冗長方式、電源系統の数などから分類しており、大規模システムではバイパス付並列冗長運転方式(表4のNo.8)を採用することが多い。

一方、並列台数が増加すると、台数増加に伴う信頼度の低下が懸念されることから、巨大な電力を必要とするコンピュータセンターでは、電源システム、負荷システムを独立した複数の系統に分割し電力を供給している。これにより出力電圧が200Vであっても出力電流を数千A(200Vで2,500kVA)に抑えることができ、経済性、信頼性の点でも好ましい。

最近のオンラインコンピュータシステムは、保守時を含めてノンストップシステム化が進んでおり、ホストコンピュータのバックアップ機を設けることも多い。このようなケースでは電源も複数系統化して、システム全体として危険分散化を図った高信頼度システム化が重要である。これは電源システム自体の信頼度をうんぬんするのではなく、負荷システムや人間の操作ミス、作業ミスなどあらゆることを含めたシステム全体としての信頼度(部品および機能信頼度)まで広げて考えるべきである。

冗長機は保守上からも好ましく、365日24時間無停止システムでは、定期保守時でもシステムの停止が困難なことから、冗長機を使用して順次保守点検をすることができる。このように大規模システムでは、保守性についても十分評価すべきである。

並列冗長運転での冗長台数は通常、1台である。つまり並列台数をN台とすれば、(N-1)台で全負荷に給電が可能であり、N台中の1台が停止してもそのまま給電を継続し、その間に故障機を復旧させることができることから、電源システムとして高信頼度化が図れる。冗長台数を2台とすることは、保守のためUPS1台を停止させているとき、万一運転中のUPSが故障すると給電不能となることは救済できるが、個々のUPSの信頼度がきわめて高い現

表4 UPSのシステム構成

(JEC-2431-1985を参考にした)

No.	システム構成	バイパス	方式名	システム構成図	備考
1	単一	無	フロート方式		基本UPSシステムである。整流器はバッテリーの充電機能を備えた「充電器兼用形」の例である。
2			バッテリースイッチ方式		バッテリーはインバータから常時切り離されている。停電時バッテリースイッチがオンする。バッテリースイッチは半導体スイッチである。
3			インバータ常時給電方式		通常この方式の適用例が非常に多い。切換スイッチに半導体スイッチを適用すると「商用無瞬断切換方式」となる。
4			インバータ待機運転方式		別名「常時商用給電方式」と呼ばれており、パーソナルユースの小容量UPSに適用されている。
5	並列	無	並列UPSシステム		図はUPS2台の例であり、並列台数は特に制限なし。ただし、冗長性はない。
6			バイパス付並列UPSシステム		同上
7	並列冗長	無	並列冗長運転方式		並列台数3台の例を示す。
8			バイパス付並列冗長運転方式		切換スイッチに半導体スイッチを適用すると「並列冗長無瞬断バックアップ方式」と呼ばれ、大規模UPSシステムの基本方式である。
9			バイパス付並列冗長運転方式2系統		No.8を2系統としたものである。超大規模システムに適用される。この例は2系統であるが、負荷容量によっては3系統、4系統と増やしている。

状にあっては、短時間の保守点検時に他の1台が故障する確率はほとんど零に等しく、投資のわりには冗長台数2台の効果は少ない。

ここでバッテリーの構成について多少ふれておく。バッテリーは常時使用しないことから、UPSの並列冗長システムでも冗長構成とすることは少なく、共通に設けることが多い。しかしUPSシステムでは、バッテリーが必要時(停

電時)確実に機能する必要がある、単に常時使用しないことだけでは冗長を必要としないと言う議論には結びつかない。バッテリーは寿命が数年と短いことから(鉛蓄電池の場合)途中で更新の必要があることや、負荷増による増設も出てくる。

UPSの故障率と瞬断を含む商用システムのじょう乱の可能性を評価すると、後者の方がはるかに高いので、バッテリー

一の入れ替え工事中での商用電源の停電は意識せざるを得なく、このため共通バッテリーの場合には信頼度を低下させることになるし、工事の安全性にも不安が出てくる。

このように最近の大規模システムではバッテリーを含めて冗長構成とするケースが増えてきており、回路上は表4のようにUPS個々にバッテリーを設けている。

3.2 出力過電流対応策

一般に半導体を用いた電力機器は過電流耐量が小さい。この点はUPSシステムも同様である。これは半導体素子そのものの過電流耐量が小さいことに起因している。UPSシステムを使用するにあたっては、この点を十分認識してシステム計画をすべきである。

UPSシステムの過電流耐量は図4の特性で設計しており(メーカーによる差はほとんど無い)、特に注目点は150%を超えた電流がわずか0.01秒間でも流せないことにある。規定値を超えた電流が流れようとするときと高速(1ms以下)に電流制限保護動作が働き、電圧を急垂下させるので負荷システムが停止してしまうことも考えられる。

十分管理されたコンピュータシステムでも、始動突入電流で過電流耐量を超えたり、負荷機器の一部が短絡して過電流となることは起こり得るが、大規模システムの場合、突入電流を考慮する必要はない。しかし、負荷機器の数が増大になるが故にこれらの短絡事故はしばしば発生すると考えるべきである。

過電流保護機器の代表は配線用遮断器(MCCB)である

図4 UPSの過電流耐量

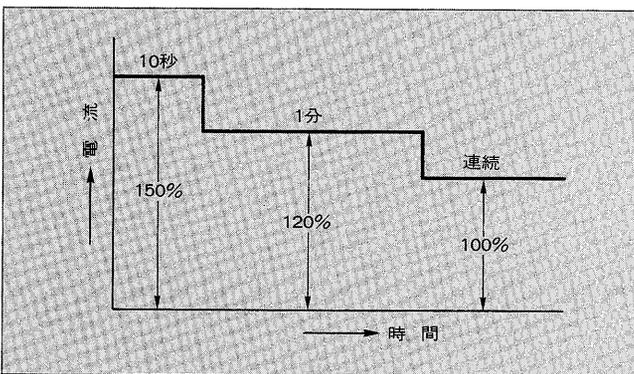
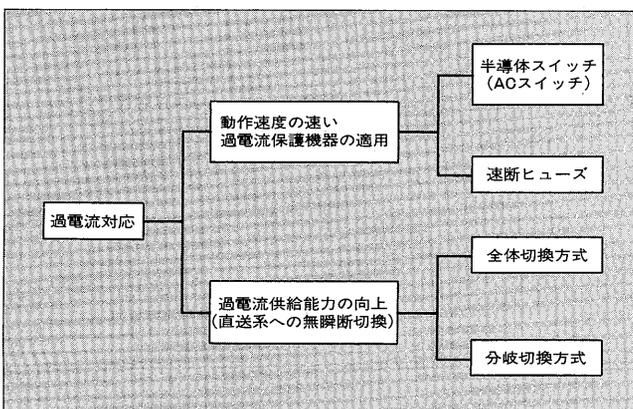


図5 UPSシステムの過電流協調



が、MCCBでは動作時間が遅いのでUPSシステムとの協調をとるのは困難である。したがって、協調をとるには図5のようにMCCBより速度の速い過電流保護機器の適用か、または電源システム全体として過電流供給能力の向上を図ったシステムの適用かのいずれかを採用する必要がある。

動作速度の面で過電流保護機器を見ると図6の概念図のように(注目点は10ms以下の領域)半導体スイッチ(以降、ACスイッチと呼ぶ)が理想的であるが、価格・寸法面に難点があり、負荷機器個々に設けることは不可能に近いのであまり用いられていない。その点、速断ヒューズは速度も比較的速く、経済的で小形である。適用にあたってヒューズ容量とUPS容量とに制約があるが、大規模システムではほとんど制約はない。しかし、ヒューズは動作後交換が必要な点など不利な面がある。

最近のUPSシステムでは、特殊な過電流保護機器を採用する方法ではなく、バイパスを利用して過電流供給能力の向上を図り、MCCBと協調が可能なシステムを採用することが多い。これは、電源間の同期無瞬断切換技術を駆使して、過電流発生と同時にバイパス系(商用電源)に同期無瞬断切換を行い(バイパス系は過電流供給能力が大きいので、MCCBとの保護協調がとりやすい)、過電流系統が遮断され電流が正常に復帰すれば、再びUPS電源に同期無瞬断切換を行う方法である。この切換は過電流発生時、瞬時に切換を行う必要があることからACスイッチを使用する。

図7にバイパス付同期無瞬断切換方式の代表的な二例を示す。

全体切換方式は並列運転しているUPSグループ全体を一括してバイパスとの切換スイッチを設ける方式で、負荷の一部の過電流発生で負荷システムすべてがバイパスに切

図6 各過電流保護機器の動作特性概念図

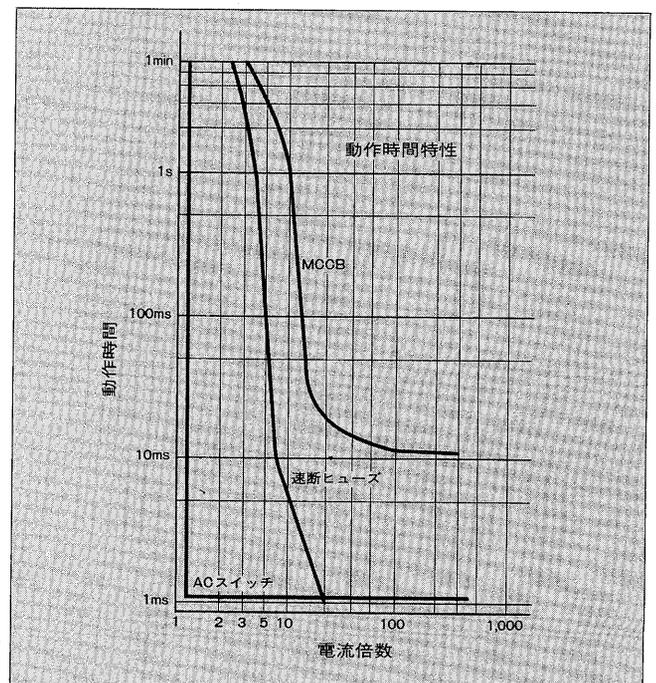
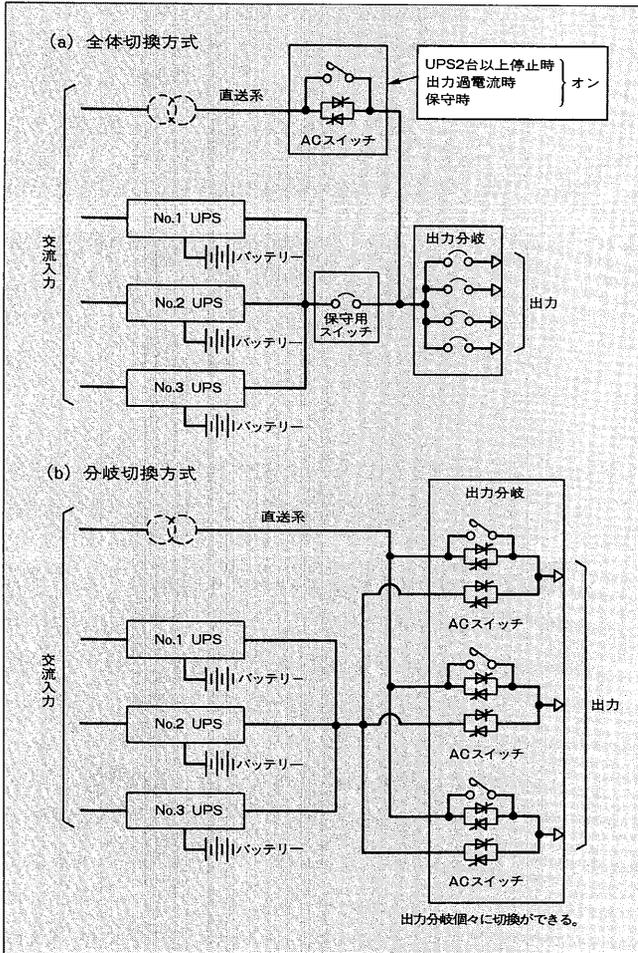


図7 バイパス付同期無瞬断切换方式



り換えられる。分岐切换方式はUPSシステムの出力分岐システムごとに切换スイッチを設け、事故システムだけを切り換え、他のシステムにはUPS電力を供給し続ける方式である。

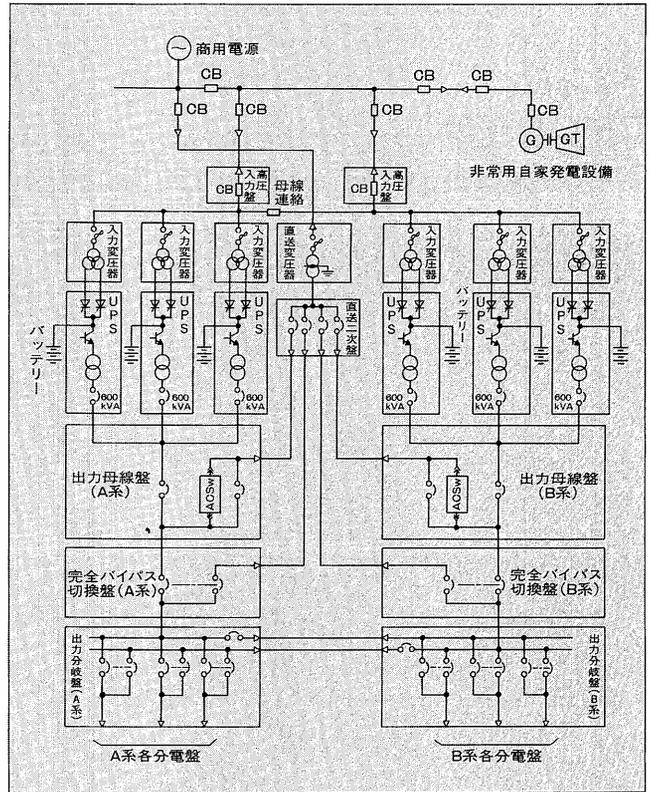
両切换方式には一長一短があり、ACスイッチ部に着目すると全体切换方式は電流量が大きくなるが、UPS全号機を一括して切り換え、その際インバータ素子を一齐に遮断させることができるので、UPS側にはACスイッチは不要である。分岐切换方式の場合、ACスイッチの電流量はあまり大きくならないが個数が増え、切换はスイッチ個々に行うのでUPS側のACスイッチは強制消弧付となる。このようなことから分岐切换方式は全体切换方式に比べ盤寸法が大きく高価となるが、分岐システム個々の対応でシステム全体へ波及することはほとんど無いので最近の大規模システムでは分岐切换方式が多い。

いずれにしてもバイパスを利用したシステムは、出力過電流対策ばかりでなく、同時に電源システムの信頼度対策上もきわめて重要であり、例えばUPSの同時複数台事故(共倒れ事故)対応や共通部の保守対応なども可能なので、今後とも主流となることは疑いない。

3.3 入力・出力系統

UPSシステムへ電力を供給する入力系統、負荷システムへ電力を給電する出力系統もUPSシステムにおいて重要な部分で、電源システム全体としてバランスのとれたもの

図8 事例1



とすることが肝要である。入力・出力系統の高信頼度化は二重化、冗長化が基本であり、UPSシステムの増改修や電源設備全体の定期保守などで給電がストップすることの無い配電システムを構築することである。その具体的回路は各コンピュータセンタ固有の条件が優先することも多いので、ここでは最近の二、三の事例を紹介する。

(1) 事例1

図8は600kVA UPS 3台の並列冗長システムを2系統構成とし、総計出力容量2,400kVAのUPSシステムである。

入力は6kV高圧電源をA系B系おのおのに給電し、母線連絡遮断器(CB)で片系が給電不能となっても健全な系統から両系UPSシステムに給電可能としている。変電所側の保守点検時でも最悪直送(バイパス)給電が可能となるよう、直送入力を別母線に接続している。また直送電源は、常時使用しないことから2系統共通としている。

UPSシステムの高信頼度化のため直送電源との無瞬断切换を行い、切换回路は回路構成がシンプルな全体切换方式を採用している。さらに切换回路を含めた保守点検のため、完全バイパス切换回路を設けており、この切换も直送電源どうしで行うことにより、負荷停止をすることなく手動無瞬断切换ができる。

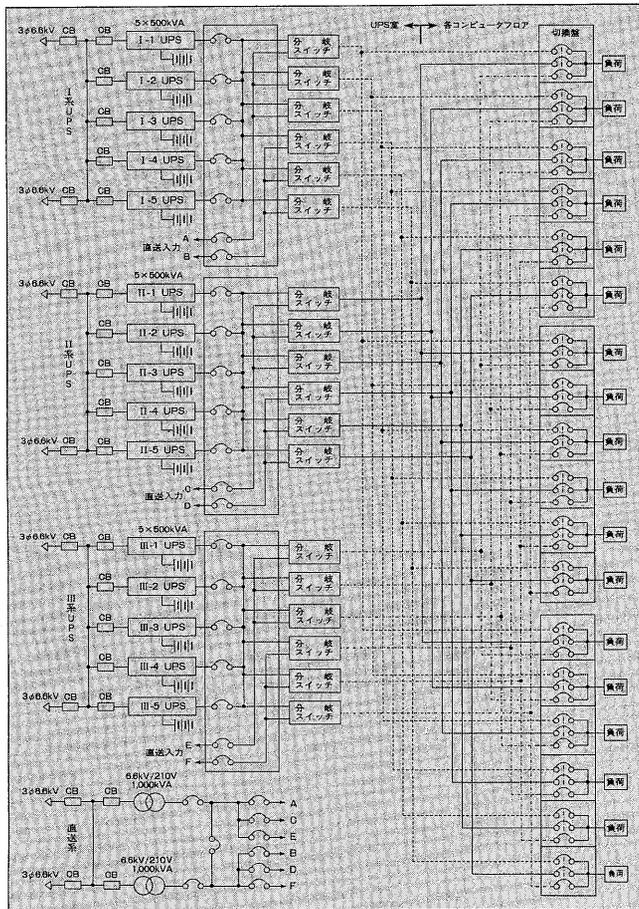
A系B系の最終出力は出力分岐盤で分岐され、各負荷システムに給電され、各分岐回路は両系の負荷バランスの調整や保守性に便利なよう、それぞれA系B系両電源のいずれかを選択できるようにしている。

(2) 事例2

図9は500kVA UPS 5台の並列冗長システムを3系統

構成とし、総計出力容量6,000kVAのUPSシステムである。

図9 事例2



入力は6kV高圧電源を各系統とも2回線(常用一予備切換)とし供給信頼度を高め、系統間の母線連絡は行っていない。直送電源は事例1と同様に共通とし、入力はUPSと別系統としている。

各系統の出力は、分岐切換方式を採用し、負荷システムの一部の短絡事故でも該当フィーダのみ直送電源へ無瞬断切換を行う方式としている。さらに分岐された各系統の出力は、負荷側(コンピュータフロア設置)の切換盤でI系, II系, III系のいずれかを選択できるように三重化している。これは出力系統の高信頼度化はもちろん、それに加えて負荷システムの将来予測しがたいあらゆることにフレキシブルに対応できるためでもある。

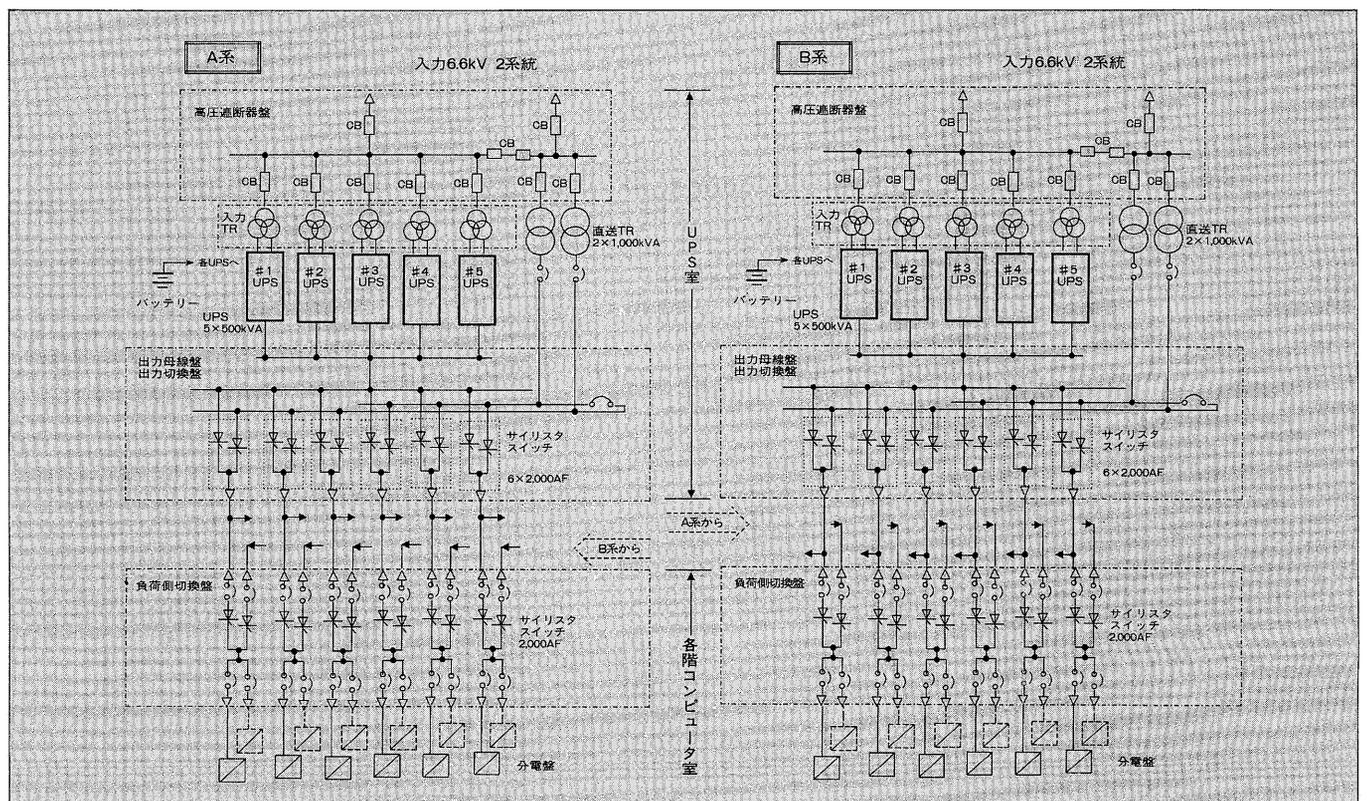
(3) 事例3

図10は500kVA UPS 5台の並列冗長システムを2系統構成とし、総計出力容量4,000kVAのUPSシステムである。

入力は6kV高圧電源を各系統とも2回線とし、母線連絡CBを設け供給信頼度を高めている。直送電源は各系統とも個別に設け、大容量変圧器のため2台に分け、万一変圧器に障害が出て直送電源が使用できるようにした(ただし容量制限が必要)。

各系統の出力は、分岐切換方式を採用し6回路に分岐し、各回路個々に直送との無瞬断切換を行っている。常時両系UPSは直送電源に同期して運転されているので、結果として両系UPSシステムは同期状態で運転されていることになる。さらに各負荷システムのフロアに負荷側切換盤を設け、両系電源の無瞬断切換をACスイッチ(サイリスタ式)にて行っている。電源側ACスイッチと負荷側ACス

図10 事例3



子を組み合わせ、負荷短絡、過負荷、電源機器の障害、保守点検などで四つの電源、すなわちA系UPS、B系UPS、A系直送、B系直送を各負荷システムに対して最適かつ無瞬断・無停電で給電させるシステムである。このようなシステムの運用は、電源状況、負荷状況を常に監視して的確に指示判断できることが大切であり、システムの複雑さの度合いによりかなりの部分をプログラマブルコントローラなどによる自動化も必要である。

この事例のようにかなり複雑なネットワークが、はたしてベストであるかどうかは議論の分かれるところであり、「シンプルイズベスト」の言葉もあるように、システム構築にあたっては瞬間的判断が容易なシンプルさも重要であることをあえて付記する。

4 入力系統の高調波電流対策

電力系統における高調波電流が電力利用基盤における電源環境の悪化として問題提起されており、最近では電気協同研究会の高調波対策専門委員会に取り上げられ、高調波電流抑制の目標レベルを、例えば受電点の電圧ひずみ率で、

6 kV 系では5%以下、特別高圧系では3%以下などと具体案が示されようとしている。

高調波電流が増大してきた理由の一つにエレクトロニクス応用機器の拡大が挙げられており、UPSシステムも他のエレクトロニクス応用機器と同様入力の整流器から高調波電流が発生する。高調波電流の抑制策の基本は発生源での対策であり、その点富士電機は業界に先がけてUPSシステムの整流方式を12相整流方式として高調波電流を抑制してきた。しかし超大規模UPSシステムの場合、容量が大きいため高調波電流の絶対量が増大し、12相整流方式でも完全とは言えないこともある。

整流器からの高調波電流を抑制するには、整流相数を増やすことや、PWM整流器を採用することなどがあり、また高調波電流を吸収するものとして、受動フィルタ（通常のLCフィルタ）やアクティブフィルタなどがある。大規模UPSシステムの場合UPSは並列運転となるので、図11

図11 UPSの組合せによる24相整流方式

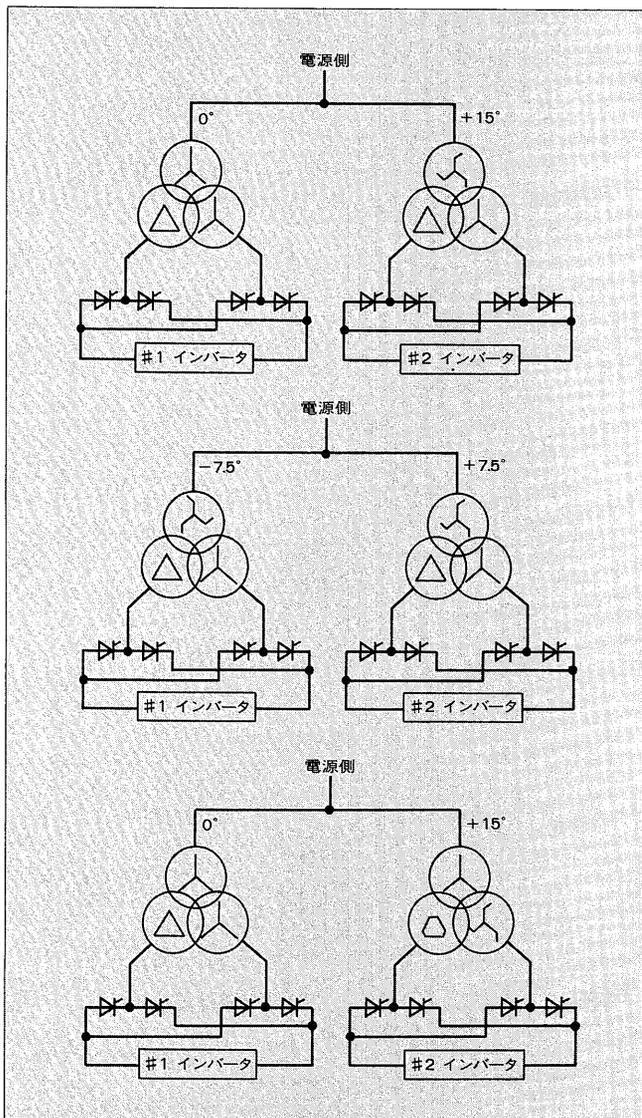
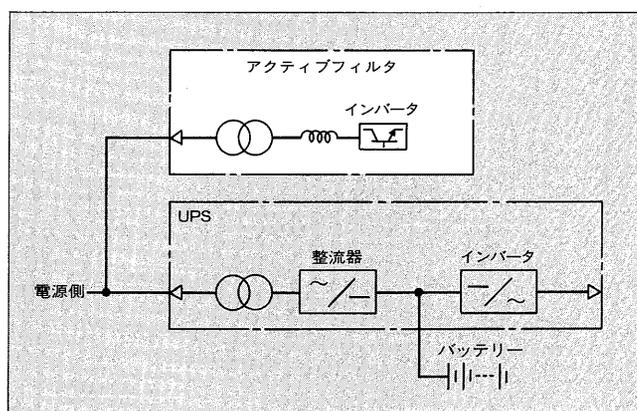


表5 整流方式による高調波電流含有率

高調波次数 (n)	高調波含有率 (%)		
	6相整流	12相整流	24相整流
5	20.00	—	—
7	14.29	—	—
11	9.09	9.09	—
13	7.69	7.69	—
17	5.88	—	—
19	5.26	—	—
23	4.35	4.35	4.35
25	4.00	4.00	4.00
29	3.45	—	—
31	3.22	—	—
35	2.86	2.86	—
37	2.70	2.70	—
41	2.44	—	—
43	2.33	—	—
47	2.13	2.13	2.13
49	2.04	2.04	2.04
総合電流ひずみ率 (%)	30.02	14.17	6.60

図12 アクティブフィルタ方式



のようにUPS 1台ごとに、入力の整流器用変圧器の位相を15度ずらし、12相整流器を並列運転することにより（多重化）、24相整流が実現できる。整流器用変圧器の組合せにより、いろいろな結線が考えられるが、本図ではその代表例を示すにとどめる。24相整流方式は表5からも分かるように、12相整流方式に比べ1/2以下に高調波電流を抑制できる。

また、最近の半導体および高周波PWM制御技術の進展により、アクティブフィルタが注目されてきた。アクティブフィルタはPWMインバータの動作で、整流器などから発生する高調波電流と同一の大きさで逆位相の電流を流すことにより、高調波電流が相殺されてしまい、系統に高調波電流が流出することを防止する装置である。UPSシステムに適用する場合は、図12のように入力系統に接続する。電力の高品質の要請から、アクティブフィルタは今後自己消弧形高速素子であるIGBTなどの進展に伴いさらに普及してゆくものと予測されており、特に大規模UPSシステムへの適用が増えるものと確信する。

5 あとがき

本稿では最近の大規模UPSシステムの技術動向について述べた。大形コンピュータセンターが首都圏を中心に速い速度で建設されていることからみても、わが国が情報化社会の真ただ中にあるということができると思う。

本稿で紹介した内容は、経済性と信頼性を両立させているため、これを操作する側からみると複雑なシステムとしてとらえられることもあり得る。このため、自動化、半自動化、ユーザーフレンドリー化などを実施して、総合的な信頼度をより一層高めることが必要である。また、単純なUPSシステムは、人間工学的に信頼度が高く、これもまた重要である。

富士電機は長年「UPSシステムの高信頼度化」を基本理念に取り組み、大規模UPSシステムも数多く納入させていただいている。これは、顧客各位の「富士UPS」に対する評価と信頼の賜物にほかならない。ここに顧客各位および関係各位に感謝の意を表する次第である。

参考文献

- (1) 星敏彦・定由征次：無停電電源装置（UPS）導入実戦ガイド，電気書院（1989）
- (2) 施設電源特集，富士時報，Vol.60，No.3（1987）



*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。