

空港用静止形400Hz 電源装置

小端 伸二(こばた しんじ)

木田 和幸(きだ かずゆき)

安田 哲夫(やすだ てつお)

① まえがき

航空機内部で使用される電力は、電力機器の小型軽量化のためから、商用周波数の電力ではなく、ほとんどの場合400Hzの電力が用いられており、飛行中は航空機に搭載された発電機により給電されている。

空港の各スポットに駐機中の航空機は、エンジンを停止して地上から400Hzの電力を供給することが通常行われており、このため各空港には商用周波数の電力を400Hzの電力に変換する周波数変換装置が設置されている。この周波数変換装置として従来は電動機と発電機とを組み合わせたMGセット(回転形)が用いられていたが、最近の半導体の目ざましい発展により静止形化されてきていることは、コンピュータ用無停電電源装置(UPSシステム)の例を見ても明らかである。UPSシステムをはじめとしてこの種の電源装置が静止形化されてきていることには種々の理由があるが、図1に示すように、何と言っても半導体の利用技術の進展による装置の高信頼度化とエネルギーの変換を伴わないことによる高効率化、つまりライフサイクルコストの低減が大きい。

静止形400Hz電源装置は整流器とCVCFインバータで構成したバッテリーのない電源装置であり、欧米の空港で

はすでにかなり普及しているが、日本では実用されているものは少なく、今後普及が進むものと推測している。

富士電機はUPS技術を基に、日本空港動力(株)のご指導を賜り、空港用静止形400Hz電源装置を製品化したのでその概要を紹介する。

② 静止形400Hz 電源装置

富士空港用静止形400Hz電源装置は、交流入力形と直流入力形の2種類あり、本稿では交流入力を中心に述べ、直流入力形は簡単にふれるにとどめる。

2.1 動 作

静止形400Hz電源装置は、図2の単線結線図に示すように商用電力をダイオード整流器で直流電力に変換し、パワー・トランジスタ式CVCFインバータにて400Hzの交流電力に変換する。入力の整流器は高調波電流の抑制を目的として12相整流方式を採用している。インバータは三相ブリッジインバータ二組を用い絶縁変圧器にて多重化し、LCフィルタを通して波形ひずみの少ない正弦波の電圧を出力している。

出力周波数は制御装置内部の水晶発振器の分周により高精度の周波数を得ており、出力電圧は三相一括制御で一定

図1 静止形への移行理由

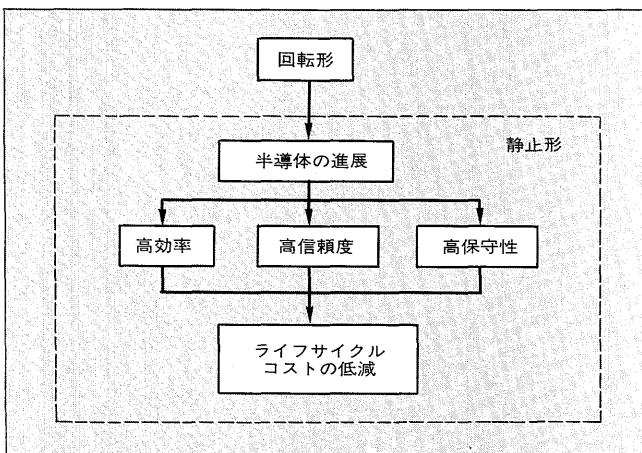
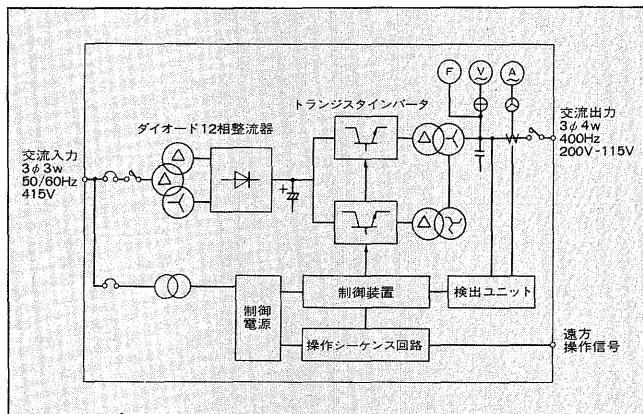


図2 単線結線図



小端 伸二



昭和56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。

木田 和幸



昭和55年入社。無停電電源装置の開発設計に従事。現在、東京工場電源機器部課長補佐。

安田 哲夫



昭和57年入社。無停電電源装置の開発・設計に従事。現在、東京工場電源機器部。

電圧となるようにインバータを PWM 制御している。

出力の過電流制御は富士電機独特の瞬時制限・瞬時復帰式であり、瞬間的で過大な始動突入電流でも停止することなく給電を継続できる。このことは PWM 制御のパルスごとに過電流制御を実行することにより、半サイクル内で処置ができ負荷には何ら影響しないことをねらっている。特に航空機負荷では始動突入電流が大きいものもあり、この過電流制御により実用上問題なく運用可能である。

2.2 仕様

標準仕様を表1に示す。基本性能は回転形の規格ではあるが MIL-STD-704 D (Aircraft Electric Power Characteristics) および JIS W 7001 (航空機の電源特性) に準拠

表1 標準仕様

項目		仕様
一般事項	適用規格	MIL-STD-704D JIS, JEM, JEC
	許容外周温度・湿度	-20~+40°C, 30~95%
	標高・設置場所	1,000m以下、屋外
定格	定格の種類	100%連続、125%5分、150%10秒
	効率	90%以上
	騒音	70dB (A) 以下
入力	電圧	AC415V±10%
	周波数	50Hzまたは60Hz±5%
	相数および線数	三相三線
	入力容量	100kVA以下
	高調波電流含有率	10%以下 (12相整流方式)
出力性能	定格容量	100kVA
	力率	0.7~1.0 (定格0.8遅れ)
	電圧	AC200/115V
	相数および線数	三相四線
	周波数	400Hz
	電圧調整範囲	±10% (100%負荷時)
	電圧精度 (整定時)	115V±1.0%以下
	周波数精度	±0.5Hz以下
	過渡電圧変動	±25%以下 (100%負荷急変時) ただし整定時間80ms以内
	電圧変調度	0.5%以下
相電圧不平衡	平衡負荷時	1.0%以下
	不平衡負荷時	4.0%以下
	電圧位相差	120°±1.5° 120°±4.0°
電圧波形ひずみ率	平衡負荷時	3%以下 (各次調波含有率2%以下)
	不平衡負荷時	4%以下 すべて直線性負荷にて
電圧波高率		1.41±0.14
高調波含有率	各次高調波	2%以下
	全高調波	3%以下
	平衡負荷時	5%以下
	不平衡負荷時	

図3 屋外キューピクルの外形寸法

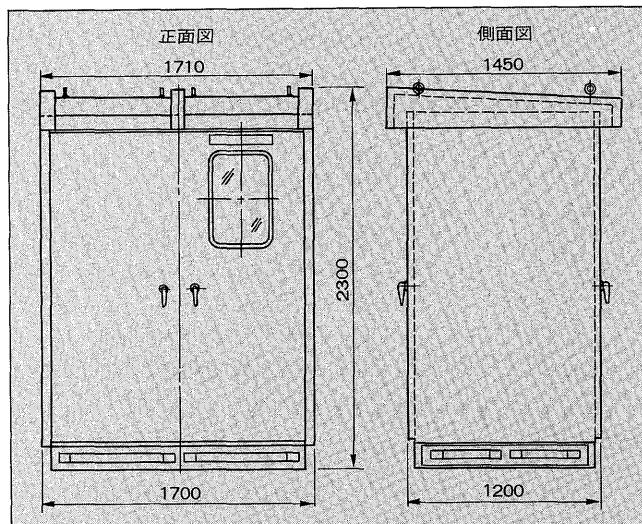
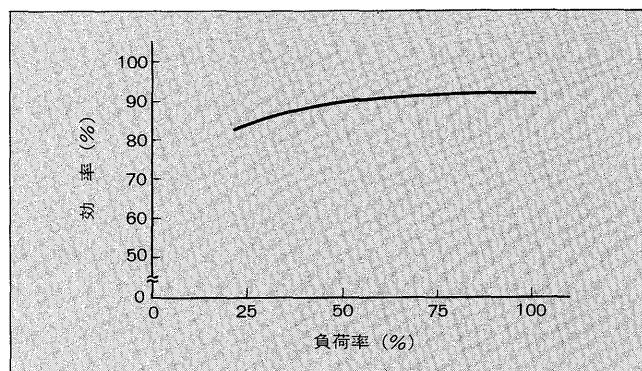


図4 効率曲線



している。

装置の構造は、JEM-1267 (配電盤・制御盤の保護構造の種別)-IPW53(IEC-529-IP53)に準拠した屋外キューピクルに収納しており、外形寸法を図3に示す。

2.3 特徴

(1) 高効率

本電源装置の効率は90%以上 (実測値91.5%) で、図4からも分かるように部分負荷でも効率の低下が少ない。したがって、従来のMGセットに比べ大幅にランニングコストが節約できる。

(2) 保守が容易

摩耗部品がほとんどないので短時間で保守ができ、MGセットに比べ保守が容易である。

(3) 高信頼度

空港設備は公共性が高く、より高い信頼度を要求されていることは言うまでもない。富士電機は長年培った半導体技術、デジタル制御技術、UPS技術などをベースに高度な製造管理技術を駆使して、高い信頼度の電源装置を提供している。

(4) ケーブルドロップ補償付

電源装置から航空機までのケーブルドロップを自動的に補償する制御機能が付いているので、負荷端で常に一定電

圧が得られる。周波数が400Hzのため、商用周波数に比べリアクタンスドロップが大きいのでこの機能は重要である。

(5) 入力高調波電流が少ない

高調波電流の発生源である整流器は12相整流方式を採用しているので、通常の6相整流方式に比べ1/3に高調波電流を抑制している。

(6) 屋外仕様

本電源装置は屋外キュービックに収納しており、内部で簡単な保守作業ができるスペースも設けている。したがって屋外に自由に設置できるが、海岸近くに設置する場合、塩害対策が必要となるので、その場合は特別対応となる。

(7) 瞬時停電保護付

電源装置内部の直流中間回路の電解コンデンサを巧みに利用して、入力が瞬時停電しても0.2秒間(実負荷にて)出力を保持する。

(8) 負荷の過電流に強い

過電流制御は瞬時制限・瞬時復帰式を採用しているので、過大な始動突入電流が流れても給電を継続できる。

③ 試験結果

表2に100kVA静止形400Hz電源装置の試験結果を示す。この試験は実際の空港で使用されているものと同一ケーブルを出力に接続して、ケーブルドロップを含めた出力特性を確認した。さらに空港で長期ランニングを含めた実負荷試験を実施し、十分実用に耐えることを確認した。

図5に本電源装置の外観を示す。

(1) 出力電圧波形

図6に出力電圧の波形を示す。PWMインバータの多重接続により負荷平衡時、不平衡時とも規定値を満足している。

(2) 効率

効率は、入力の3巻線変圧器を含めたAC-AC変換効率で91.5%と高い値が得られた。

(3) 過渡電圧変動

100%負荷オノンオフ時の過渡電圧変動は、図7のように±20%以下と好特性が得られた(出力ケーブルドロップを含む)。

(4) 実負荷試験

表2 試験結果

項目	単位	負荷50%	負荷100%	負荷不balance		
				A:○ B:× C:×	A:× B:○ C:×	A:× B:× C:○
入力交流電圧 A-B	V	415.6	415.2	415.2	415.6	414.4
入力交流電流	A	67.6	134.2	—	—	—
		66.4	134.5	—	—	—
		61.8	128.1	—	—	—
入力電力	kW	45.0	91.3	—	—	—
入力周波数	Hz	49.9	50.0	—	—	—
直流電圧	V	375.3	366.7	—	—	—
出力電圧	V	114.4	114.8	110.8	117.6	117.4
		115.8	115.8	118.4	111.0	117.8
		115.2	115.2	116.8	117.2	111.0
出力電流	A	144.5	286.8	—	—	—
		141.7	286.2	—	—	—
		146.1	290.8	—	—	—
出力電圧ひずみ率	%	0.82	1.39	2.02	2.02	3.70
		1.05	1.56	3.30	3.54	1.93
		0.98	1.54	1.87	3.95	3.76
出力電力	kW	—	83.5	—	—	—
		40.1	80.1	—	—	—
負荷力率	%	80.5	80.3	—	—	—
出力周波数	Hz	400.1	400.1	—	—	—
出力電圧位相角	°	AN-BN BN-CN CN-AN	120.8 119.8 120.2	121.0 118.9 120.8	121.2 118.5 120.8	120.5 120.5 119.2
						119.7 119.2 121.7
効率(電源端)	%	—	91.5	—	—	—
出力電圧変調率	%	A-N B-N C-N	— — —	0.25 0.25 0.30	— — —	— — —
出力電圧波高率	%	A-N B-N C-N	— — —	1.432 1.457 1.428	— — —	— — —

〈注〉出力のデータは負荷端(出力ケーブル端)の値である。

図5 電源装置の外観

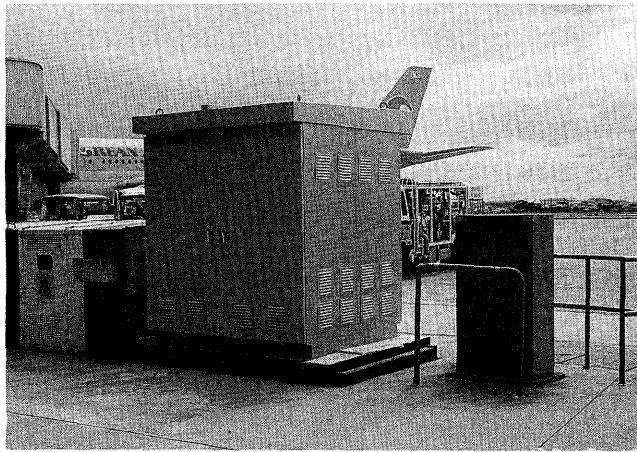


図6 出力電圧波形

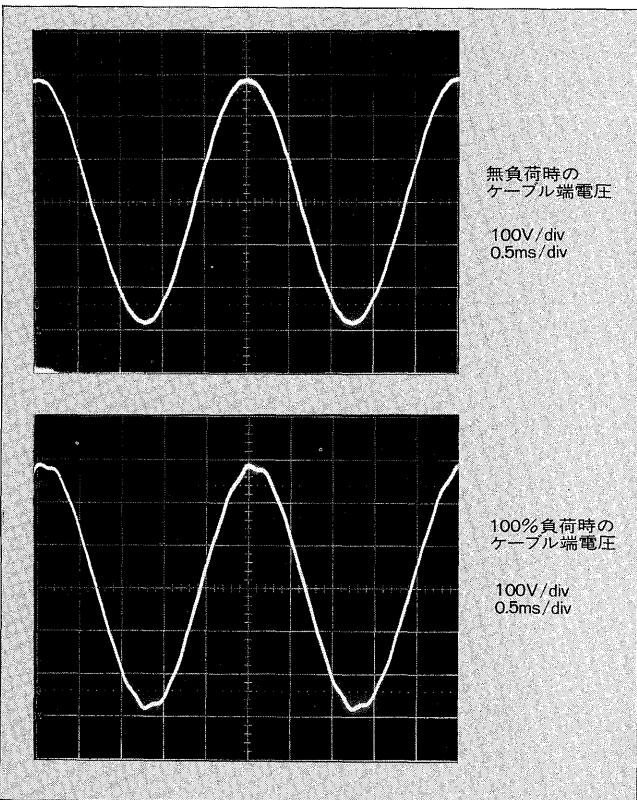


図7 過渡変動特性（負荷急変時）

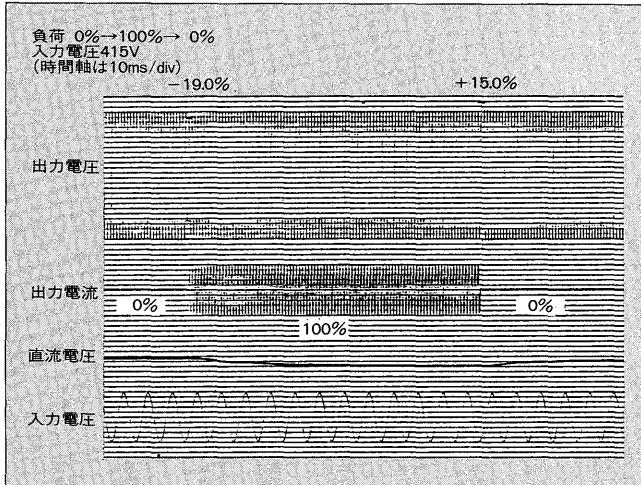


図8 実負荷の電圧電流波形

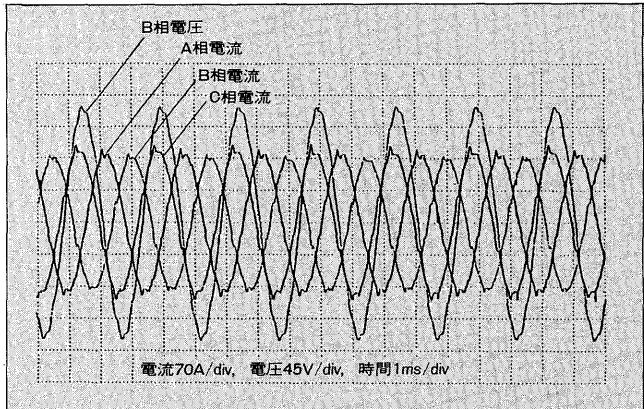


表3 入力高調波電流含有率

次数	高調波含有率 (%)
2	0.038
3	1.296
4	0.041
5	0.761
6	0.024
7	0.317
8	0.024
9	0.212
10	0.010
11	4.455
12	0.011
13	3.413
14	0.005
15	0.158
16	0.007
17	0.203
18	0.010
19	0.339
20	0.007
合計	5.838

実負荷の電流波形を図8に示す。高調波の少ない正弦波電流である。

また、空港における本電源装置の入力高調波電流の実測値(90kVA負荷時)を表3に示すが、含有率10%以下を十分満足した値となっている。

4 直流入力形400Hz電源装置

4.1 システムの概要

直流入力形400Hz電源装置は、図9のように交流入力形に対し整流器部とインバータ部を分離し、インバータ部を各スポットに分散設置し、整流器部は空港ビル内変電室に設置する。大空港の場合、航空機が駐機するスポット数は数十箇所を超えることも多く、400Hz電源装置を分散設置

図9 直流入力形400Hz電源装置システム図

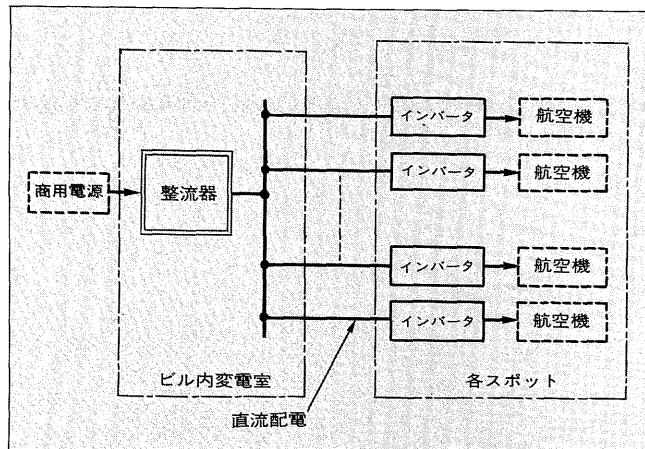
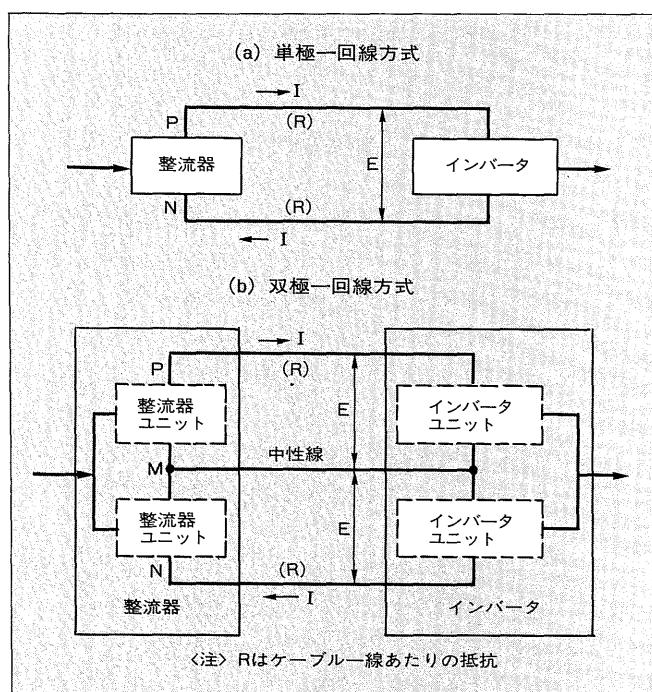


図10 直流配電方式



するよりは1か所に集中設置させる方がよいことも考えられる。しかし、400Hz電源を長距離配電するのはケーブルドロップの点で実用的ではないためこの案が生まれたわけで、整流器を一つにまとめて各400Hz電源装置（インバータ部のみ）には整流器からの直流電力を配電する。

空港における400Hz電源装置の稼働率、負荷率を考慮すると、整流器部のスケールメリットによる経済的効果は見逃せないし、瞬時停電保護のための電解コンデンサも軽減できる。

4.2 直流配電

広大な空港内で直流配電を実施する上で問題点は、長距離となるが故にケーブルドロップの軽減策である。基本的には配電電圧を高電圧化することにより解決できるが、400Hzインバータの高耐圧化には限度があるので、自ずと

表4 直流配電方式の比較

項目	方式	単極一回線方式	双極一回線方式
インバータ入力容量		$1 \times P$	$2 \times \frac{1}{2} P (P)$
電流 (I)		P/E	$P/2E$
%ケーブルドロップ		$2RP/E^2$	$RP/2E^2$
ケーブルドロップ比		1	1/4
ケーブル線数		2	2+ (小1)

配電電圧の高電圧化には限界がある。

一般に直流の配電方式は図10(a)に示すように単極一回線方式がほとんどであるが、同図(b)の双極一回線方式（中性線付）が空港用直流入力形400Hz電源装置には最適と考える。この方式は整流器、インバータとも同一容量のユニットを偶数構成することが条件であり、整流器部は12相整流のため6相整流器が二組から成り、インバータ部はこの程度の容量では二組のユニット構成が多いことから、特別な構成にすることなくかつ特別に高耐圧化を図ることなく実現可能である。つまりこの配電方式では、各変換器の耐圧を特別にアップさせることなく2倍の電圧で配電したこととなる（中性線の電流は零となるので中性線には電圧降下は発生しない）。

表4に両配電方式の比較を示す。これからも分かるように現状のインバータ構成では、双極一回線方式が有利であることが明らかである。

5 あとがき

本稿では、パワートランジスタを用いた空港用400Hz電源装置の概要を述べた。静止形電源装置が今回の実用化運転で十分運用可能であることが実証されたが、今後の改善・改良課題がないわけではない。

現状の航空機負荷はおおむね線形負荷でひずみ波電流は少ないが、航空機もエレクトロニクス化が進むことは明らかで、UPSシステムと同様非線形負荷に対応する電源の高性能化が今後は重要な課題となる。本特集号の中では、新しい半導体を適用し、新しい制御方式で電源装置の高性能化が進んでゆく現状のいくつかを紹介している。富士電機はこれらの新技術を本400Hz電源装置へも適用し、さらに高性能でコストパフォーマンスに富んだ電源装置の実現に向かって努力してゆく所存である。

最後に、本電源装置の製品化にあたりご指導いただいた日本空港動力（株）殿をはじめ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）



*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。