

## 関西電力(株)との共同研究による発電プラント

## 燃料電池発電用直流・交流変換システム

## DC-AC Inverter System for Fuel Cell Generation

横川純男 \* Sumio Yokokawa · 井村輝夫 \*\* Teruo Imura · 畔上栄輔 \*\*\* Eisuke Azegami · 池内 進 \*\*\*\* Susumu Ikeuchi

## I. 直流・交流変換装置 (インバータ)

## の適用条件

燃料電池発電システムが電力系統と並列運転用、又は単独系統の電源用として採用される場合、電池出力は直流なので、一般に、直流・交流変換装置 (インバータ) が用いられる。インバータにはトランジスタ形、サイリスタ形などがあるが、大容量発電システム用としてはサイリスタ形が適用される。更に、サイリスタ形インバータには、他励式インバータ、自励式電圧形 (又は電流形) インバータがある。他励式インバータは電力系統に接続して初めて運転が可能で、独立電源になり得ない。自励式インバータは電力系統の周波数と同期して、連系運転できると同時に、独立電源として、その系統の電圧・周波数を自由に制御し得る。また他励式と自励式インバータの原理的な差は次のとおりである。サイリスタを介して、直流を交流に変換する場合、各相のサイリスタは交流系統の電圧位相に関連して、R、S、T 順次に転流させる必要がある。この時、各相の電流は所要通流期間後に

遮断されなければならない。この遮断のためのエネルギーを交流電源に頼るか、コンデンサ充電電荷と消弧用のサイリスタによるかによって、他励式か自励式かに分類される。両者はそれぞれ幾つの特徴を有する。主な点は第1表に示されるとおりであり、インバータの利用目的に従って、いずれかの方式が選定される。

## II. 基本構成と動作原理

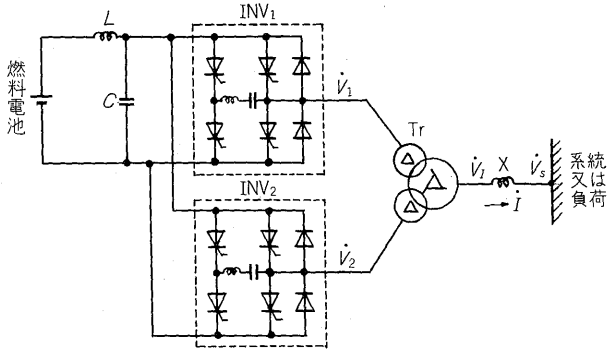
30kW 燃料電池発電システムのインバータとしては、定力率制御を行うために自励式電圧形インバータが採用された。本インバータの基本構成は、第1図に示すように2台の6パルス自励式電圧形を用いている。各インバータの出力は出力変圧器により合成される。その動作原理は次のとおりである。すなわち、2台の単位インバータ (INV<sub>1</sub>, INV<sub>2</sub>) の出力電圧  $V_1$ ,  $V_2$  はそれぞれ系統電圧  $V_s$  に対して位相  $\varphi_1$ ,  $\varphi_2$  に位相制御されて、出力変圧器によりベクトル  $V_I$  に合成される。更に、この  $V_I$  は系統及び出力変圧器のリアクタンスと直列リアクタンスの

第1表 直流・交流変換装置の方式比較  
Table 1. Comparison of inverter types

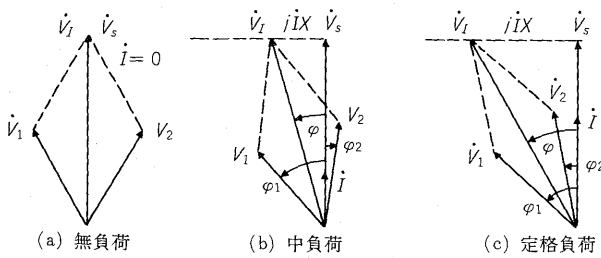
比較項目	他励式インバータ	自励式インバータ
主回路構成		
独立運転	不可	可
$E_d$ 変化対応	変圧器の負荷時タップ切換による。	インバータ出力電圧調整による。
$V_s$ 変化対応	同上	同上
無効電力調整 (力率制御)	変圧器タップ切換により一部可 無効電力補償装置の外付要	インバータ出力電圧調整による。 力率一定制御 (遅, 進) 可
高調波対策	インバータ交流出力の多相化フィルタによる。	同左
転流失敗対応	直流遮断器	消弧サイリスタによる高速遮断可
経済性	コスト小	コスト大

\* 電子・制御技術センター 電力系統開発部 \*\* 電子・制御技術センター 強電電子開発部 \*\*\* 東京工場 設計部

\*\*\*\* 富士電機エンジニアリング(株)試験部



第 1 図 インバータの基本構成  
Fig. 1. Skeleton diagram of inverter



$\dot{V}_1, \dot{V}_2$  : INV1, INV2 出力電圧  
 $\dot{V}_t$  : インバータ合成出力電圧  
 $\dot{I}$  : インバータ合成出力電流  
 $\dot{V}_s$  : 系統電圧  
 $X$  : インバータ系統母線電圧間の  
 総合リアクタンス

第 2 図 インバータ出力のベクトル図  
Fig. 2. Vector diagram of inverter output

総合値  $X$  を介して系統電圧  $\dot{V}_s$  に結合される。第 2 図は力率 1.0 でインバータが系統と並列運転している時のベクトル図である。すなわち、第 2 図(a)は無負荷時のベクトル図であり、単位インバータの出力電圧  $V_1, V_2$  は系統電圧  $V_s$  に対して左右対象になるように位相制御され、かつ合成電圧  $\dot{V}_t$  の大きさが  $\dot{V}_s$  のそれに一致するように制御される。第 2 図(b), (c)は力率 1.0 におけるインバータの出力状態を示す。出力の増加に従って、 $V_1$  ベクトルが  $V_s$  に対して直角方向に移動し、出力電流  $I$  が  $V_s$  と同相になるように制御される。このほか本システムによれば、系統電圧及び電池出力電圧が変化しても、インバータの出力電圧の大きさ及び位相制御によって力率一定制御が容易に実行し得る。

この特性は同期発電機の動作と類似しており、インバータの合成出力電圧  $\dot{V}_t$  及びその位相角  $\phi$  はそれぞれ同期発電機の内部誘起電圧及び無限大母線電圧との相差角に相当し、第 2 図の総合リアクタンスは同期リアクタンス、変圧器リアクタンス、系統リアクタンスの合計値に相当する。

燃料電池発電システムの大容量化に際し、第 1 図の基本構成単位を合成変圧器によって、電圧位相面で多相化し、インバータ出力電圧に含まれる高調波成分は低減できる。

### III. インバータ仕様

30kW 燃料電池発電システムのインバータ関係の仕様は第 2 表のとおりである。

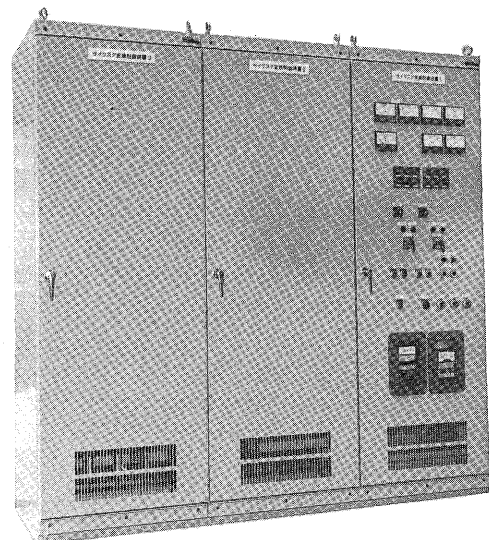
本装置の基本構成は 2 台の 6 パルス自励式電圧形インバータを主体とし、合成変圧器によって、2 台のインバータ出力をベクトル合成する方式とした。合成変圧器は  $\Delta-\Delta$  結線と  $\Delta-Y$  結線の組合せ方式とし、その交流側は見掛け上 12 相結線とした。

また、本装置の制御システムには次のような仕様条件が加味された。

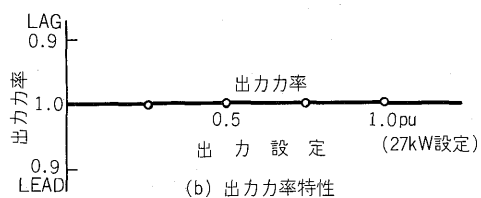
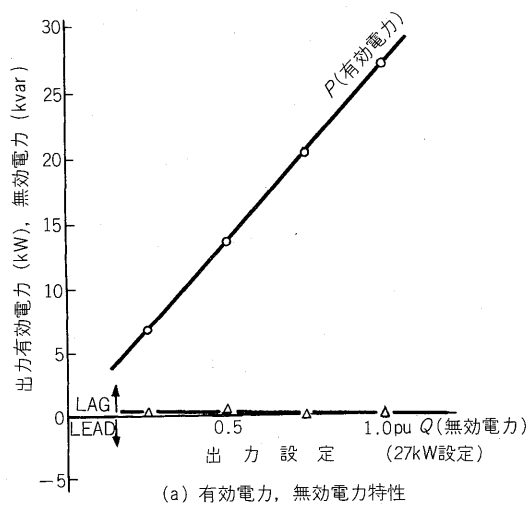
- (1) 燃料電池、改質装置制御システムと連系して、起動、停止、非常停止、補機運転制御が全自動で行えること。
- (2) インバータ出力は一定力率制御 (1.0) とする。

第 2 表 インバータ仕様  
Table 2. Inverter specifications

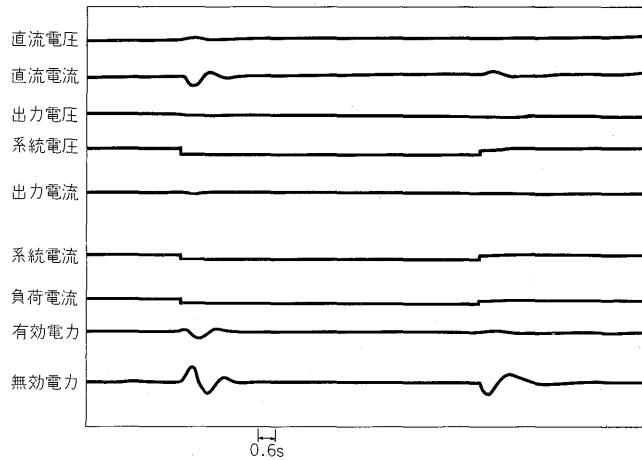
項 目	仕 様
定 格 出 力	27kVA
出 力 電 圧	440V
出 力 周 波 数	60Hz
相 数	3 $\phi$
電 圧 波 形 ひ ず み 率	5%
力 率	1.0
合 成 変 圧 器	Tr1 20kVA $\Delta-\Delta$ 250/330
	Tr2 20kVA $\Delta-Y$ 250/ $\frac{330}{\sqrt{3}}$



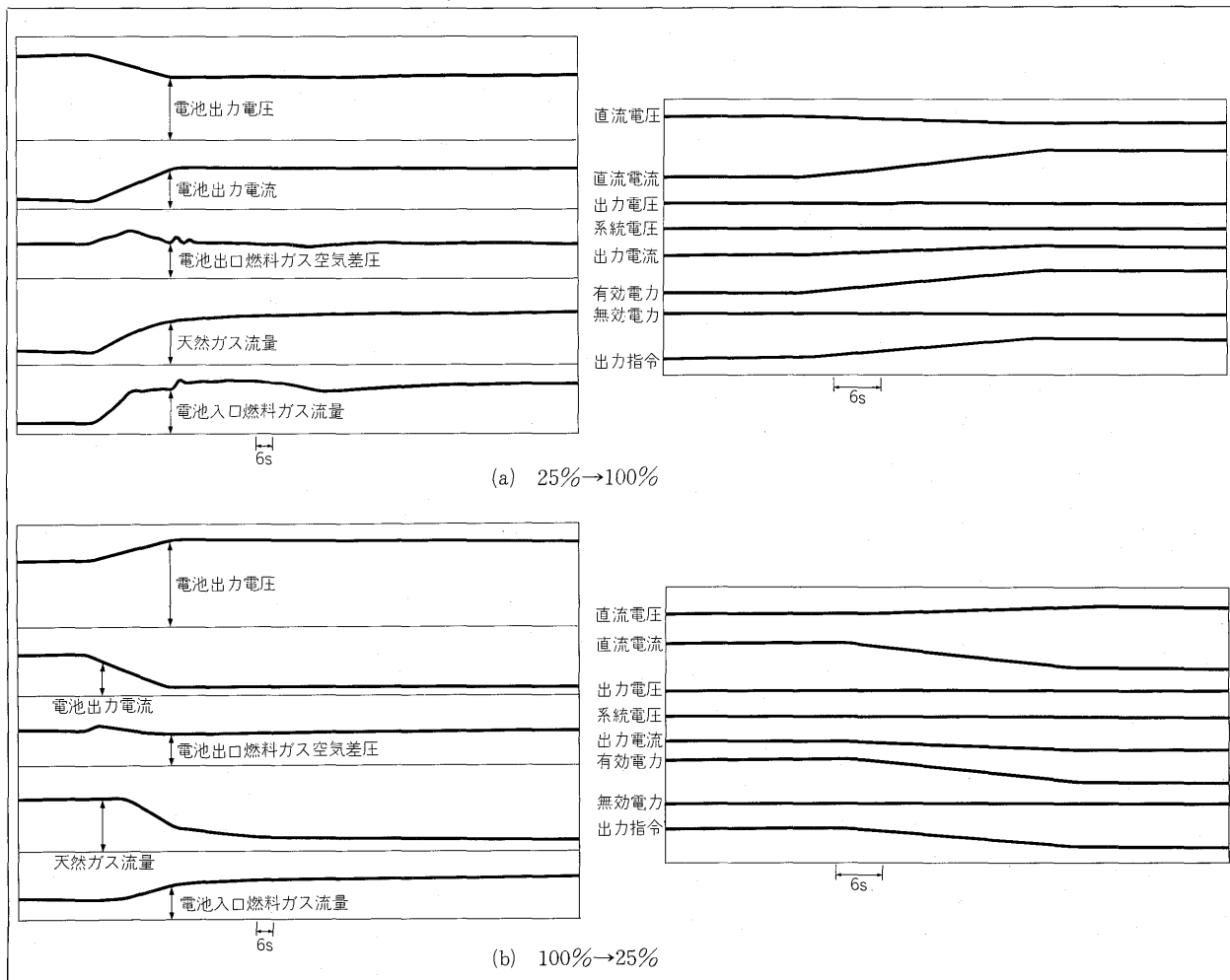
第 3 図 インバータシステム外観図  
Fig. 3. Inverter system



第4図 インバータ出力静特性  
Fig. 4. Static characteristics of inverter system



第5図 系統電圧急変時動特性  
Fig. 5. Dynamic response at line-voltage change



第6図 負荷急変試験  
Fig. 6. Dynamic response to load change

- (3) 普通の起動・停止時には電力系統への無効電力ショックを極力抑制すること。
  - (4) 燃料電池発電システムの調整用に抵抗負荷を対象とした単独運転が可能なこと。
- 第 3 図はインバータの外観図である。

#### IV. 工場試験結果

本装置の工場試験は燃料電池を模擬したサイリスタ整流器と実系統を模擬した MG 電源を用いた単体試験, 更に 30kW 燃料電池本体を用いた組合試験の 2 段階で実施された。主な試験項目は次のとおりである。

##### 1) 無負荷試験

AVR, AFC, APR, ACR (マイナー) などのインディシャル応答

##### 2) 負荷静特性

出力設定, 力率一定制御, 直流・交流変換部の効率

##### 3) 負荷時動特性

系統並入試験, 系統電圧急変試験, 負荷急変試験, 負荷遮断試験, 系統三相・二相短絡試験, 系統地絡試験

これら試験ではいずれも所期の目標を達成する結果を得た。第 4 図はインバータの出力静特性, 第 5 図は系統電圧急変時のインバータ出力応答特性を示す。また第 6 図は燃料電池, 改質装置の制御システムとの組合せによ

るインバータの負荷急変試験 (25%→100%→25%) 結果である。

#### V. あとがき

本稿では電力用燃料電池システムを考える場合, インバータの方式選定条件, 力率一定制御が可能である自励式電圧形インバータの組合せ方式などについて述べたが, 今後期待される新エネルギー源の直流・交流変換装置の企画・設計の一助となれば幸いである。

本装置の開発に際し, 御指導・御協力を頂いた関西電力(株)殿ほか関係各位に心から感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- (1) 上之園博ほか: 燃料電池発電システムの電力系統との並列運転特性, 電気学会研究会, PE-80-13, (1980)
- (2) 電力中央研究所報告: 燃料電池発電システムの検討, 178076 (1979)
- (3) 大下郁人ほか: 燃料電池発電のシステム設計, 電気学会研究会, EDD-81-51 (1981)
- (4) 三好信雄ほか: 30kW 燃料電池発電システム用サイリスタ変換装置の特性試験, 電気学会全国大会, No. 1087 (1982)

### 技 術 論 文 社 外 公 表 一 覧

題 目	所 属	氏 名	発 表 機 関
太陽電池の開発(1)	富士電機総合研究所	酒 井 博	エレクトロニク・セラミクス 13, 夏号 (1982) 学献社
太陽電池の開発(2)	富士電機総合研究所	酒 井 博	エレクトロニク・セラミクス 13, 夏号 (1982) 学献社
ガラス基板形 a-Si 太陽電池の開発と応用	富士電機総合研究所 " " "	西 浦 真 治 丸 山 和 美 酒 井 博 内 田 喜 之	} 電気学会研究会 (1982-7)
リン酸型大面積積層電池の研究	富士電機総合研究所 "	小 林 喬 渡 辺 敦 夫	
コンパクトコントローラのシリーズ化	東 京 工 場 " " "	瀧 川 智 博 沖 本 一 機 篠 田 正 紀	} 計測自動制御学会 (1982-8)
富士コンパクトブレンドの機能	東 京 工 場 " " "	瀧 川 智 博 沖 本 一 機 垣 塚 健	
Rapid Measurement of Urea Nitrogen in Blood Using the Enzyme Electrode	富士電機総合研究所 "	大 沢 久 男 原 田 健 治	} American Association for Clinical Chemistry 34th National Meeting (1982-8)
Rapid Determination of Uric Acid Concentration in Blood Using the Enzyme Electrode —Evaluation of the UA-300A Analyzer—	富士電機総合研究所	大 沢 久 男	
Comparison of Normalized Breaking Capability by Mayr's and Thermal Arc Models	富士電機総合研究所	森 田 公	IEE 第 7 回 Gas Discharge (1982-8)



\*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。