

エンジン発電機の系統連系技術

Interconnection Technology for Engine Generators

小 谷 善 明*

Yoshiaki KOTANI

中 田 泰 弘*

Yasuhiro NAKADA

新 荻 義 久*

Yoshihisa SHINOBI

中 川 義 徳*

Yoshinori NAKAGAWA

要 旨

「系統連系技術要件ガイドライン」に適合した電気出力 1 kW クラスのインバータユニットの開発に成功した。系統連系とは、コージェネレーションや太陽光発電・風力発電などの分散型電源を電力会社の電力線と接続することであり、そのためには分散型電源における需要家内事故(短絡, 地絡, 発電した電圧や周波数などの異常)や電力線側事故(停電, 電圧や周波数の異常など)を検知し, 電力系統側と分散型電源側, および電気負荷を保護する必要があるが, 本ユニットは単独運転検出方式に受動, 能動の 2 方式を併用するなどして, 要件を満足している。電源ユニットの入力を 2 系統とすることにより, 高調波総ひずみ率を 1 % 以下に抑え, 良質な電気出力を実現している。また, 系統連系インバータの効率は 91%, コージェネレーションユニットとしての発電効率は 20% を達成している。

ABSTRACT

Development of the 1kW-class inverter unit with a small engine generator that conforms to “Guideline of the interconnection technology requirements” has succeeded. To connect distributed sources such as wind power generation, photovoltaic generation, or cogeneration to the utility grid, it is necessary to detect demand-side problems including the distributed sources (short circuit, ground fault, troubles in generated voltage or frequency) and to detect problems in the grid (power failure and troubles of voltage or frequency). It is also necessary to protect both electric power systems and distributed sources and electrical appliances. The inverter unit uses two types of islanding detection method that is passive one and active one. Total distortion factor is reduced to less than 1% by applying two kinds of input current to the power supply unit. Efficiency of the interconnection inverter unit has been achieved 91% and total efficiency of power generation of the cogeneration unit has been achieved 20%.

1. まえがき

一般のポータブル発電機と異なり, 本報の小型コージェネレーションユニットは電力会社の電力線と接続し(系統連系と称す), 電力会社の電気と, 小型コージェネレーションユニットからの電気の両方が電気負荷に供給される。そのために, 家庭の配電線の電力品質を損なわず, 家庭内の電気負荷設備や内外の配電設備, 人身の安全を守るため, 連系運転についての合理的な技術要件を設ける必要がある。

資源エネルギー庁から示された「系統連系技術要件ガイドライン」には, 停電の検出方法, 太陽光発電・風力発電などの分散型電源の事故や電力線側事故を検知するための手段など, 分散型電源と系統を連系するために必要な技術要件が記載されている⁽¹⁾。

しかし, これらの要件は回転機型発電設備が低圧配電線に接続されることを想定しておらず, 適合しているかどうかの試験基準詳細が整備されていなかった。そこで系統連系技術委員会の「ガスエンジンコージェネシステム用系統連系保護装置等の試験方法」の整備を進めた上で, これを満足

する必要があった。

「系統連系技術要件ガイドライン」に適合した電気出力 1 kW クラスの系統連系インバータ技術について紹介する。

2. 開発コンセプト

小型コージェネレーションユニットに搭載するインバータは, 系統連系させるためにポータブル発電機用インバータと異なる技術課題が多い。また, コージェネレーションユニットが系統連系ガイドラインに適合しているかの試験基準が整備されていない状況で, 独自技術の確立を目標に開発が始まった。

家庭用コージェネレーションユニットの系統連系インバータを商品化するために,

- (1) 2 方式による停電検出機能をもつことなど, 系統連系ガイドラインに適合すること
- (2) 低ノイズの優れた電気品質であること
- (3) 高効率であること
- (4) コージェネレーションユニット本体との一体型であることを開発の目標においた。

3. 主要諸元と特徴

3.1. 系統連系インバータユニット諸元

系統連系インバータユニットは、32ビットマイコンを採用し、電力会社から供給される系統側電力の監視部と、発電機から出力される電力を高品質な電力に変換するインバータ制御部で構成されている。本ユニットの諸元を Table 1 に、ブロック図を Fig. 1 に示す。

Table 1 Specifications

Type of inverter	Self-exciting and voltage type power current control system
Type of switch control	PWM
Type of insulation	Non-insulating non-transformer type
Rated capacity	1.0kW
Type of interconnection	Single-phase three-line
Rated voltage	AC 202V (AC101V two-phase)
Rated frequency	50/60Hz
Output power factor	Over 0.95
Total output current distortion	Under 5 %
Type of electric power controlling system	Regulating output electric power
Protective measures	Over voltage protection
	Under voltage protection
	Over frequency protection
	Under frequency protection
	DC injection protection
Type of anti-islanding protection	Passive: Detecting saltatorial drift of voltage phase
	Active: Phase shifting system
Type of Restraining power output	Effective power controlling system

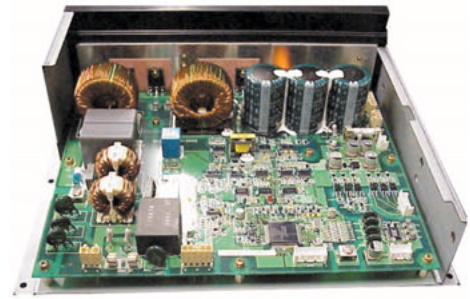


Fig. 2 Inverter unit

4. コンポーネント技術

4.1. 系統連系インバータ部の制御

系統連系インバータに要求される機能として

1) 系統電源に連系し出力する。

系統電源に連系するには、昭和 61 年に通商産業省資源エネルギー庁から発せられた「系統連系技術要件ガイドライン」に適合した仕様である必要がある。

この「系統連系技術要件ガイドライン」の概要については、Table 2 に示す。

2) 地域性の考慮

地域により系統電圧は多少の変化があり、また系統電源自体も瞬時停電や瞬時電圧低下、位相の急変等が発生する。このようにさまざまな電源環境の差に対して追従動作可能とするため、7種類の保護機能の閾値を5段階に設定可能とした。設定する手段としてパソコンでの専用通信ソフトを同時開発し、地域性に対応可能とした。

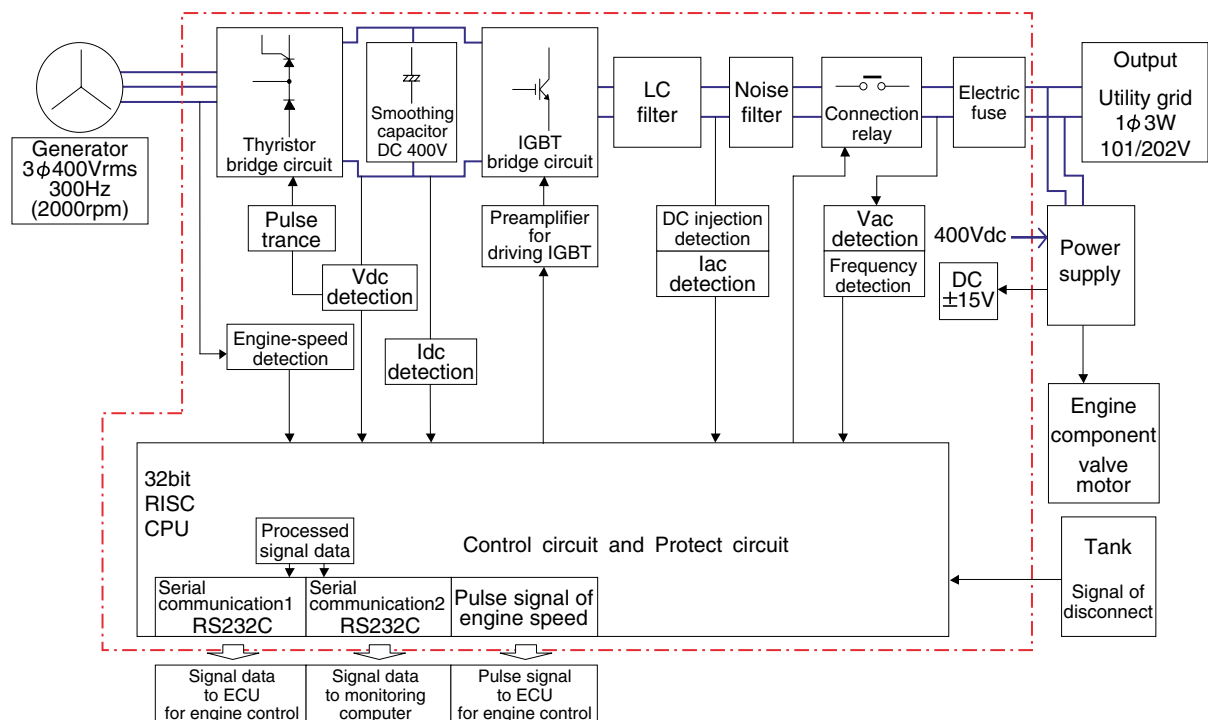


Fig. 1 Control system diagram

Table 2 Guideline for utility-interconnection

Test term	Benchmark			
	Action	Protect level	Operating time	Action after a utility disturbance
Over current protection.	Disconnect from a utility grid.	Setting level $\pm 0.2\%$ Max. Setting level is below 150% of rated current	0.5 sec Max.	—
Over/Under DC current protection.	Disconnect from a utility grid.	-5% Min. $+5\%$ Max. against working voltage.	0.5 sec Max.	—
Detecting DC injection.	Disconnect from a utility grid.	1% Max. against rated AC current.	0.5 sec Max.	—
Over/Under AC voltage protection.	Disconnect from a utility grid.	Setting level -0.2% Min. $+0.2\%$ Max.	Setting time -0.1sec Min. $+0.1\text{sec}$ Max.	Do not reconnect after a period.
Over/Under frequency protection.	Disconnect from a utility grid.	Setting level -0.1Hz Min. $+0.1\text{Hz}$ Max.	Setting time -0.1sec Min. $+0.1\text{sec}$ Max.	Do not reconnect after a period.
Active detecting islanding.	Disconnect from a utility grid.	—	0.5sec Min. 1sec Max.	Do not reconnect after a period.
Passive detecting islanding.	Disconnect from a utility grid.	—	0.5 sec Max.	Do not reconnect after a period.
Blocking after a utility disturbance in a period.	—	—	—	Do not reconnect after a period.
Detecting instantaneous over voltage.	Disconnect from a utility grid.	Setting level -5% Min. $+5\%$ Max. Only 135V Max.	1 sec Max.	—
Restraining rising output voltage	Restraining power output under 107V when working voltage is 100V.	—	—	—

3) 環境問題に対しての優位性

コージェネレーションはエネルギーの有効活用を目的としたものであり、高効率である事が必然となる。一定の出力電力で運転し続ける事で、インバータ効率の最適設計を行い、エンジン効率と合わせてユニットとしての高効率を達成した。

4.2. 単独運転検出方式

コージェネレーションユニットの発電装置の故障や、系統側電力の異常を検出した場合、発電装置を停止させるとともに連系を速やかに遮断することが系統連系のポイントである。このため漏電、過電流などによる発電装置内部の故障の有無を監視するだけでなく、配電線の電圧や周波数の異常検出機能を有する必要がある。

系統側異常の場合には、自律的に発電装置を停止させるとともに、連系を速やかに遮断したのち、系統側が正常に復帰するまで決して連系運転してはならない。

配電線が作業停電、事故、その他、何等かの要因で主系統から切り離されたとき、コージェネレーションユニットの電気出力と配電線負荷の消費電力が釣り合っていると、コージェネレーションユニットが配電線負荷を背負い、配

電線に充電した状態で運転を継続してしまう。この現象を単独運転という。この状態では、配電線の電圧、周波数がほとんど変化しないので、通常の保護リレーでは単独運転を検出することができない。

単独運転は配電線作業者に危険を及ぼすだけでなく、主系統との再閉路時に単独運転中の線路と主系統の電圧位相差による大きな過電流を発生するなど、配電線機器や負荷機器に対して悪影響を与える。従って、配電線が主系統から切り離された際に自律的に発電装置を停止する能力を持つ必要がある。

4.2.1. 単独運転受動検出方式

受動方式は単独運転状態における発電量と負荷量の揺らぎによる線路電圧の周波数、位相、または高調波電圧等の微小な変動を検出する方式である。この方式は検出速度が早いという特徴を持つが、発電量と負荷量が完全に平衡している場合などには検出感度が低下する欠点を有している。本系統連系インバータで採用した、単独運転受動方式の検出原理について述べる。検出方式は、電圧位相跳躍検出(周波数変化率検出)方式を採用している。

家庭内の電気負荷状態はさまざまな状態で変化するが、無効電力を必要とする負荷が接続されている状態(力率≠

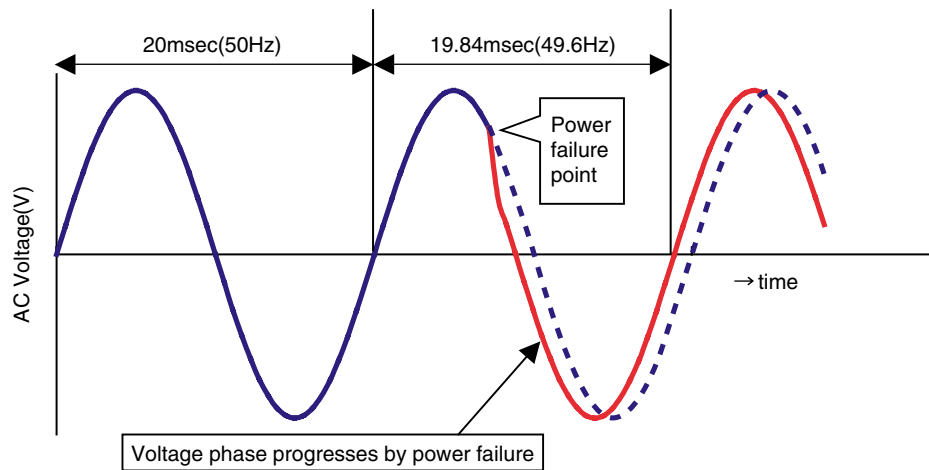


Fig. 3 Voltage wave pattern in power failure with connected inductance load

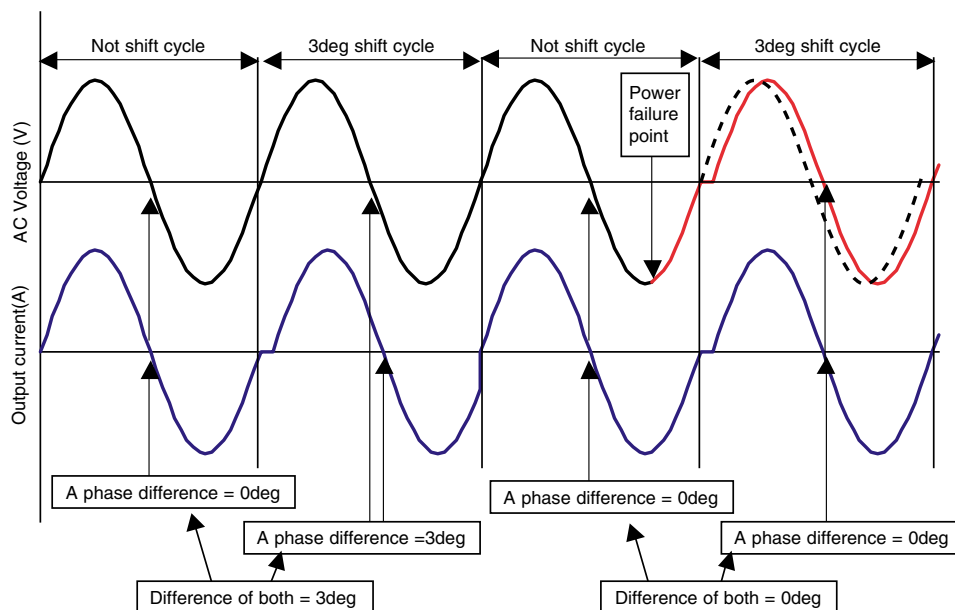


Fig. 4 Control method of active islanding

1)の時、通常、電圧周波数は系統の周波数(50/60Hz)で安定している。停電が発生すると、系統連系インバータからは一定電力になる交流電流を出力するため、力率≠1の電気負荷接続時は、負荷の無効電力に見合った値で電圧位相が進んだり遅れたりする。この時、停電発生前と停電発生後では、電圧周波数は、停電点を境に大きく変化する。この現象に着目し、電圧周波数の変化が0.8%以上となった時を、停電発生とみなし、出力を停止させる。(閾値は、5段階(0.2%～1.0%)で設定変更可能となっている)

本方式においては、大容量の電気負荷のON/OFF時などのノイズ等の影響で周波数変化が発生し、受動検知が動作する場合が想定される。そこで、受動検知した場合は、系統連系リレーはOFFさせず、インバータの半導体を5秒間OFF(ゲートブロック動作)させる。停電が実際に発生していれば、この後、交流電圧不足保護(UVR)が動作し系統連系リレーはOFFされる。停電ではなかった場合には自動的に5秒後、再連系させる。

単独運転受動方式の原理について述べたが、本方式では、理論的に停電の検知不可能な状態がある。

家庭内の電気負荷が1kwかつ力率=1の負荷が接続された状態では、電圧の変化や位相跳躍による周波数の変化も発生しないので、検知不可能となる。この状態を補うために単独運転能動検知方式機能を有している。

4.2.2. 単独運転能動検出方式

能動方式は発電装置出力の電圧、周波数または位相を微小変動させ、単独運転状態における発電量と負荷量の平衡状態を崩すように積極的に働きかける方式である。結果的に、電圧異常または、周波数異常に持ち込んで停止する。従って、能動方式は発電量と負荷量が完全に平衡している場合にも有効である。

次に本系統連系インバータで採用した単独運転能動方式の概要について述べる。検出方式は、位相シフト検出方式を採用している。

Fig. 4 に示すように、ある一定サイクル毎に電流と電圧

の位相を 0° と 3° (遅れ側) で交互に出力させ故意に位相の変動を与える。通常時は、位相 0° 時と 3° 時の差は位相差が 3° 存在する。停電時には、力率1の負荷が接続されていると、コージェネレーションユニットの出力電流=電圧波形となるため、 3° 変位させても位相差は、存在せず 0° となる。

本検出方式では、位相差が 3° 以下となった場合、停電と判断する。

能動機能動作時は、ゲートブロック及び連系リレーが OFF となり、復電後にある一定時間電圧、周波数が正常範囲内である事を確認した後、再連系動作となる。この時の一定時間とは、ガイドラインで 120 秒～ 300 秒の間とされ、5 段階で設定可能としている。

4.3. 電力品質

発電装置からの無効電力を極力おさえ、配電線に電圧変動を引起こさないようにし、また高調波電流を抑制し、他の電気機器あるいは配電設備に悪影響を与えないこと、および電波障害を発生しないことが電力品質に関するポイントである。

4.3.1. 高調波電流

本系統連系インバータをコージェネレーションユニットに搭載するにあたっては以下の方式を採用した。コージェネレーションユニットの電源ユニットや補機類、制御機器類は、系統連系インバータとしては、家庭の電気機器と同様な電気負荷になりうる。系統連系インバータからの出力が電源ユニット及び補機類等の負荷を経由した場合、コージェネレーションユニットからの出力は、力率が低下し電流のひずみが発生する。これを避けるために、電源ユニットの入力を、商用電力に加えて、インバータ内部での DC 変換後からも取り入れ2系統入力電源とする。Fig. 5に示すよ

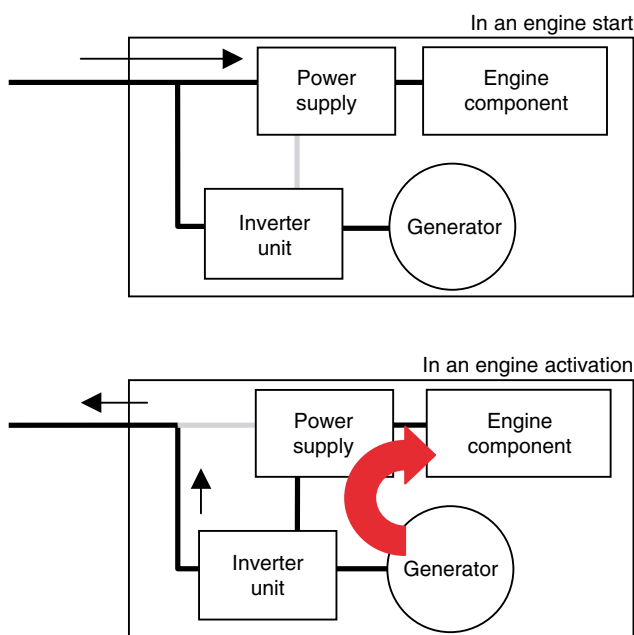


Fig. 5 Explanation of this technique

うに、起動時には商用電力を消費し、コージェネレーションユニットの発電中は電源ユニット及び補機類を発電機からの DC 電源のみで動作させる。DC/AC 変換後のインバータ出口の良質な電力は、電源ユニット及び補機類を経由しないで、そのまま商用電力の配電線に送り出している。

また、本手法を採用したことにより、商用電力側で瞬断等が発生した場合でも、エンジンが始動されていれば、制御電源が確保される利点も有する。

2系統入力とした場合と電源、補機類を経由する1系統とした場合の比較を行なった。結果は、Fig. 6に示すように1系統のみでの高調波総含みずみ率は 3.86% に対し、2系統とした本手法は 0.89% に改善されている。

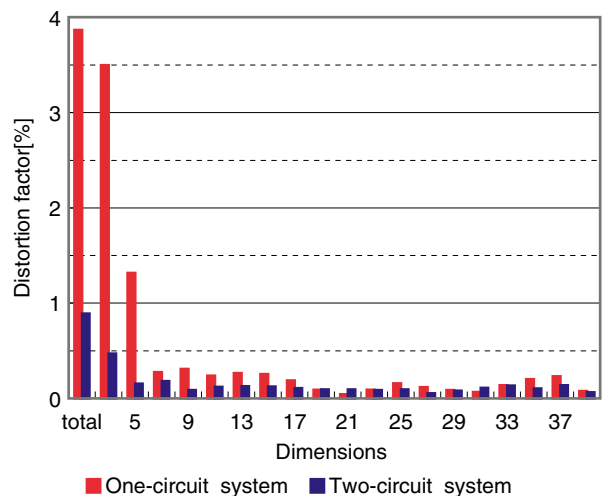


Fig. 6 Test results of distortions factor

5. コージェネレーションユニットへの適用

本系統連系インバータを搭載したコージェネユニットについては、高石らの報告⁽²⁾を参照されたい。

電気出力は一般家庭に適した毎時 1 kW とし、Fig. 7 に示すように系統連系インバータの効率を 91% に高めることにより、発電効率は 20% を達成した。設置のイメージを Fig. 8 に示す。本ユニットにより発電された電力は、系統連系で家庭内の電気機器に送られる。熱出力とあわせた総合効率を 85% ま

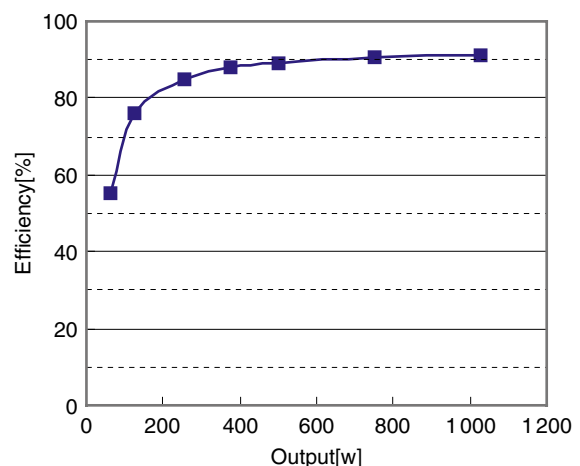


Fig. 7 Test results of inverter efficiency

でに高め、家庭での一次エネルギーの消費量を抑えた。

系統連系インバータは、コージェネレーションユニット本体に搭載し一体型とした。発電機からの高電圧配線を系統連系インバータに最短で接続し、部品点数を大幅に減少することに貢献した。(Fig. 9)

今回開発した家庭用小型コージェネレーションユニットの概観を Fig. 10 に示す。

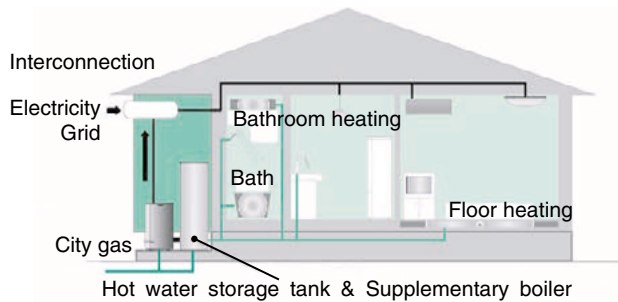


Fig. 8 General view of micro cogeneration system

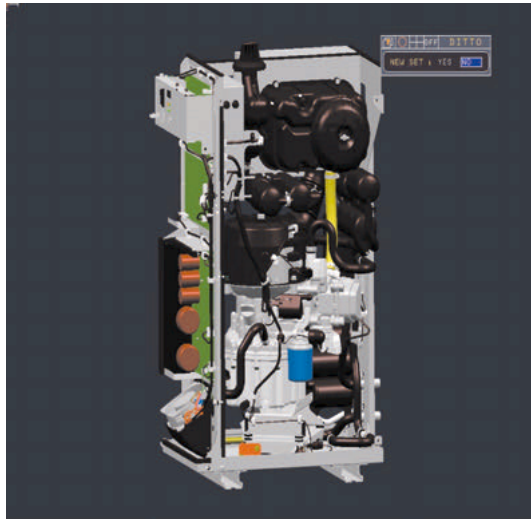


Fig. 9 Inverter unit for interconnection



Fig. 10 General view of micro cogeneration unit

6. まとめ

「系統連系技術要件ガイドライン」に適合した、系統連系正弦波インバータを商品化した。

- (1)「ガスエンジンコージェネシステム用系統連系保護装置等の試験方法」の技術基準をすべて満足した。
- (2)高調波電流を抑制する技術手法として電源ユニットの入力を2系統とすることにより、電流ひずみ率 0.89%を達成し、高品質の電力を家庭用電気負荷に供給することを可能とした。
- (3)インバータユニットの最適設計を行い、インバータ効率 91%を達成した。

既に、本設計思想に基づく系統連系インバータは、フィールド試験、モニタ試験を通じて一般家庭に設置され、系統連系の実績を築いた。

最後に、本ユニットを開発するにあたり多大なご協力を頂いた関係者の方々に深く感謝の意を表する。

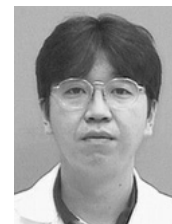
参考文献

- (1) 電気基準調査委員会：分散型電源系統連系技術指針，JEAG 9701(1993)
- (2) 高石敏充，荒真人，戸川一宏：家庭用小型ジェネレーションユニットの紹介：Honda R&D Technical Review, Vol. 15, No. 1, p.53-58(2003)

■ 著 者 ■



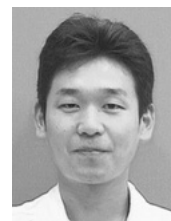
小谷 善明



新 萩 義 久



中田 泰 弘



中 川 義 徳