

フューエルインジェクションエンジン搭載 インバータ発電機の開発

Development of Inverter Generator Equipped with Fuel Injection Engine

齋 藤 茂*

Shigeru SAITO

橋 爪 崇*

Takashi HASHIZUME

小野寺 泰 洋*

Taiyo ONODERA

布 川 剛 史*

Takeshi FUKAWA

要 旨

ABSTRACT

5.5 kVA クラス世界トップレベルのコンパクト性と静粛性で定評のある発電機 EU6500is をベースに、バックアップ電源としての価値をさらに高めた EU7000is を開発した。

外的要因によらず最適なエンジンの空燃比を制御可能なフューエルインジェクションシステムを採用し、現行モデルに対し 22% の燃費向上を達成した。

インジェクタとスロットルボデーの一体化により、コンパクト性を維持しつつ、大気圧センサおよび吸気温度センサをジェネレータコントロールユニットの基板上へ実装することや各種センサの削減およびシンプル化を実施することで、コストアップミニマムで発電機用フューエルインジェクションシステムを構築した。

このフューエルインジェクションシステムの採用により、無給油で 12 時間連続運転を可能とした。また、電源回路の変更とジェネレータコントロールユニットの最低動作電圧を下げることでバッテリーレスでのリコイルスタータ始動を可能とした。さらに、インバータの高効率化と点火時期の最適化により最大出力を 6500 VA から 7000 VA まで向上させた。これにより、起動時に大きな電力を必要とするエアコン等のモータ負荷に対応可能となり、さらなる発電機用途の拡大につながった。

The EU6500is generator, which has an established reputation for realizing the world's top level of compactness and quietness in the 5.5 kVA class, has been employed as the base model in the development of the EU7000is, further increasing the value of the unit as a home back-up generator.

The use of a fuel-injection system able to optimally control engine air-fuel ratio irrespective of external factors has increased fuel efficiency by 22% against the existing model.

The integration of the injector and the throttle body has made it possible to employ the developed generator fuel-injection system while maintaining compactness, and the mounting of the atmospheric pressure and intake air temperature sensors on the circuit board of the generator control unit and the removal or simplification of various other sensors have helped to enable the use of the fuel-injection system with minimal cost increase.

The use of the fuel-injection system has enabled continuous operation of the unit for up to 12 hours without refueling. Modification of the power supply circuit and reduction of the minimum operating voltage of the generator control unit allow starting of the unit using a battery-less recoil starter. The realization of increased inverter efficiency and the optimization of ignition timing have increased maximum output from 6,500 VA to 7,000 VA. This has made it possible to respond to the motor load represented by air conditioners and other pieces of equipment that draw large amounts of power at startup, expanding the range of applications of the unit as a generator.

1. まえがき

世界中でガソリン価格が高騰する中、新興国における電力不足による計画停電の増加や、ハリケーンなどの災害時の停電の長期化により、ポータブル発電機において

*汎用 R&D センター

はさらなる低燃費化および長時間連続運転化が求められている。

現行モデルである EU6500is は、燃費性能に加え、コンパクトなきょう体と静粛性や高品質な電気性能を評価され、停電時のバックアップ用途のみならず、撮影用電源や

精密機器を用いた工事用電源として幅広く信頼を得てきた⁽¹⁾。

しかし、近年世界的に高まる環境問題への対応も踏まえると、気温や標高（気圧）などの外的要因で性能が左右されるキャブレタシステムでは、低燃費化とエミッション低減の両立には限界があった。

このような背景により、今回のモデルチェンジにあたり、低燃費と低エミッションのさらなる高次元な両立をねらい Honda 発電機として初のフューエルインジェクション（FI）システムを開発した。

FI システムはキャブレタシステムに対し、燃料ポンプや多数のセンサが必要でありコストアップにつながる。また、災害停電時における使用を考慮すると、これらのデバイスをバッテリー上がりの状態でも起動させなければならない。また、発電機特有の使われ方として燃料タンク内への塵埃の侵入や長期保管対応も考慮しなければならない。

本稿では、上記に対応した独自の FI システムを搭載した新型発電機 EU7000is について紹介する。

2. 開発目標値

5.5 kVA クラス世界トップレベルのコンパクト性と静粛性を維持したまま、バックアップ電源としての価値（長時間連続運転、長期保管性）をさらに高めた発電機を開発する。EU7000is の外観図を Fig. 1 に、現行モデルとの諸元比較を Table 1 に示す。

市場調査によれば、停電時の要求電力は一般家庭（アメリカ）の場合 2000 から 3000 VA（定格負荷の 50% 相当）である。その負荷で 12 時間連続運転可能であれば、夜間給油なしで朝まで連続運転可能となり、バックアップ電源として大きな訴求力を有する。

これを実現するには、現行モデルに対しコンパクト性を維持したまま可能な限りタンク容量を増やし、さらに燃費を 20% 向上させる必要がある。



Fig. 1 Appearance of EU7000is

Table 1 Comparison of specifications

	EU7000is (New model)	EU6500is (Current model)
Engine displacement (cm ³)	389	389
Fuel system	Fuel Injection	Carburetor
Max. AC output (VA)	7000	6500
Rated AC output (VA)	5500	5500
Fuel tank capacity (L)	19.2	16.0
Rated operating noise level (L _{WA} : dB)	91	91
Dimensions (L × W × H: mm)	848 × 700 × 721	850 × 666 × 699
Dry mass (kg)	118.6	118.2

開発目標値を以下に示す。

1. 発電機用 FI システムの開発目標値

- (1) 燃費 20% 向上
- (2) センサの削減とデバイスの最適化
- (3) バッテリーレスリコイルスタータ始動
- (4) ガス欠停止時の排出ガス触媒保護

2. バックアップ発電機としての開発目標値

- (1) 無給油で 12 時間連続運転
- (2) 最大出力の向上
- (3) 長期保管性およびメンテナンス性向上
- (4) 始動操作性の向上

3. 達成手法と達成値

3.1. 発電機用 FI システム

3.1.1. 燃費 20% 向上

エンジンの空燃比（A/F）を薄くする（燃料を少なくすること）ことで燃費は向上するが、キャブレタシステムのままで燃料を薄くすると吸気密度の高い低温ではさらに薄くなり、燃焼が不安定になる。

そこで、各種センサにより気温、標高（気圧）などの外的要因によらず最適な A/F を制御可能な FI システムを採用し、排出ガス触媒と組み合わせることで、燃費向上とエミッションの低減を高次元で両立させた。

燃料消費量を現行モデルと比較し Fig. 2 に示す。現行モデルに対し 22% の燃費向上（定格負荷の 50% 時）を達成した。

3.1.2. センサの削減とデバイスの最適化

現行モデルのコンパクト性はそのままでコストアップミニマムとなるよう、FI システムのセンサの削減およびシンプル化を実施した。システム構成図を Fig. 3 および Fig. 4⁽²⁾ に示す。

(1) インジェクタおよびスロットルボデー インジェクタおよびスロットルモータをスロットルボデーと一体化する構成により、コンパクトな現行モデルからレイアウト変更することなくインジェクタとスロットルモータを搭載した (Fig. 5)。

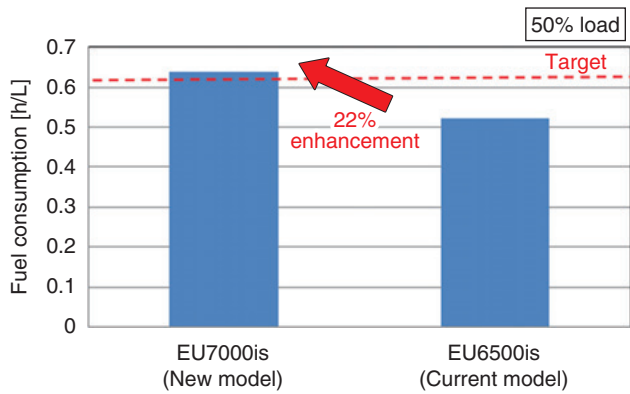


Fig. 2 Fuel consumption

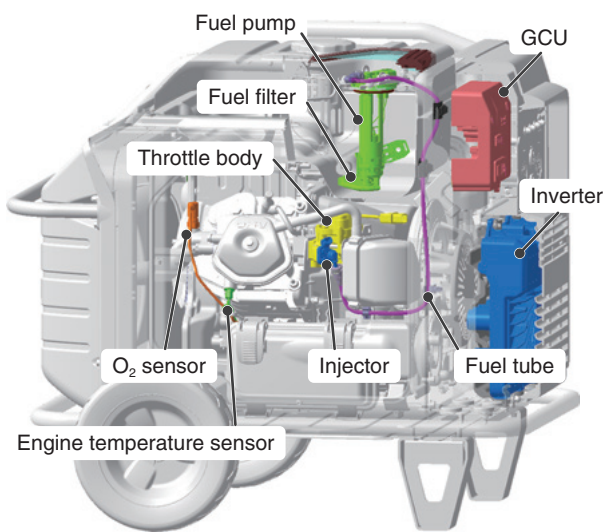


Fig. 3 Fuel injection system

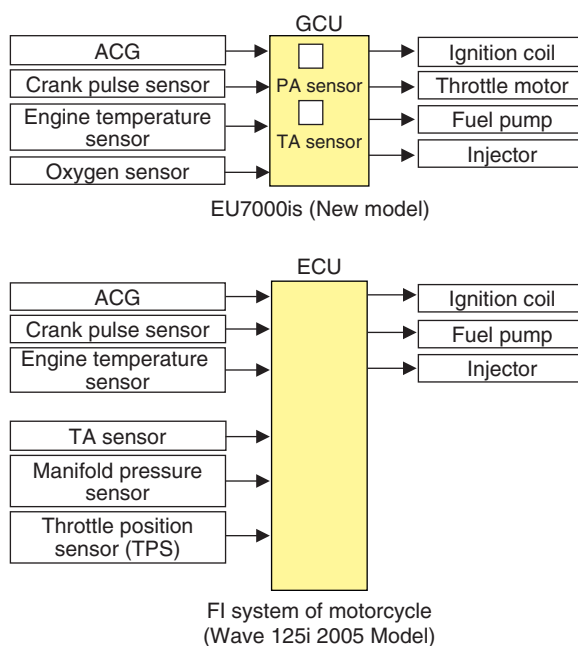


Fig. 4 Schematic diagram of fuel injection system

(2) ジェネレータコントロールユニット (GCU) FI の制御は、ジェネレータを制御するためのユニットである GCU に FI 制御機能を追加し、新たに FI 制御ユニットを追加することなく FI 制御を可能とした。

FI 化に伴う消費電力の増加と部品点数増加に対応するため、基板を 2 階建て構造とすることで、現行モデルからサイズアップすることなく搭載可能とした。

(3) 大気圧センサ、吸気温度センサ 大気圧センサ (PA センサ) および吸気温度センサ (TA センサ) は、GCU の基板上に直接実装することによりセンサのコストダウンおよびハーネスの削減を図った (Fig. 6)。

TA センサは他部品の発熱等で、エンジンの実吸気温と乖離することがある。そこで、回路部品を高温度と低温部に分けてレイアウトし、センサは低温部に配置することで発熱の影響を受けないようにした (Fig. 7)。

さらに、コントロールパネル上部に通気口を設け、センサ近傍に外気を導き入れることで、実吸気温との相関性が確保できるようにした。

(4) スロットル開度センサ 本システムは、GCU がステッピングモータを用いてスロットル開度を制御してい

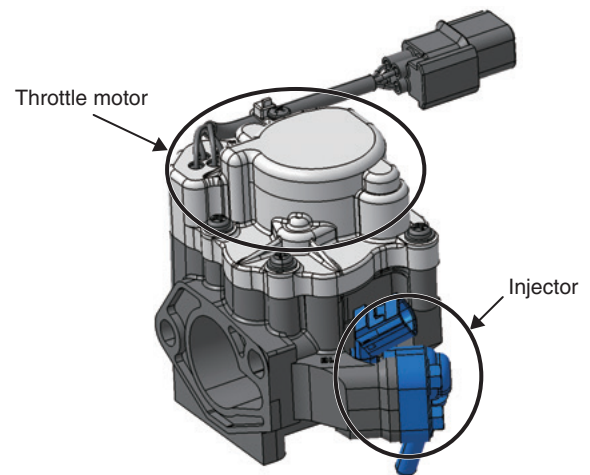


Fig. 5 Throttle body

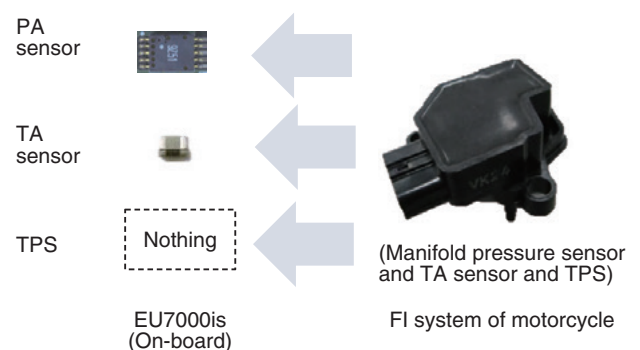


Fig. 6 PA sensor and TA sensor and throttle position sensor

るため、モータへの出力パルスをカウントすることにより GCU が常時開度を認識可能である。この認識値を用いることにより、スロットルスピード方式でありながらスロットル開度センサを削減することができた。

(5) 回転検出用リラクタ 一般的な FI システムは、回転数やクランク角度を検出するために、1 回転で多くの基準位置 (例えば 13 パルス) を検出可能なリラクタをフライホイール (F/W) 等に取り付けて制御している。

本開発では現行モデルの点火用の基準信号 (1 パルス / 1 回転) とオルタネータの出力信号 (10 パルス / 1 回転) を組み合わせることにより、回転数やクランク角度を検出する方法を採用した。

その結果、新たにリラクタを追加することなく現行モデルの F/W をそのままに、回転数やクランク角度を検出可能とした。本モデルのリラクタと一般的な FI システム用リラクタを比較したものを Fig. 8 に示す。

3.1.3. バッテリレスリコイルスタータ始動

本モデルは、通常はセルモータで始動するが、バッテリ上がり時でも始動可能なことが要求される。仮に、バッテリが取り外された状態でも、リコイルスタータを用いて手動で始動可能なシステムの構築をおこなった。

FI システムはキャブレタシステムに比べ、始動時に燃

料ポンプ、インジェクタを駆動するため多くの電力が必要とされる。従来の電源システムのままではバッテリレスリコイルスタータ始動時には電力不足が発生する。そこで電源回路を変更することで現行モデル同等のリコイルスタータ始動性を確保した。

本モデルは点火開始回転数が 200 rpm であり、それ以下の回転数でシステムが起動している必要がある。そこで、GCU の最低動作電圧を下げることで対応した。

Fig. 9 にバッテリレスリコイルスタータ始動時の電源立ち上がり特性を示す。発電コイル (ACG) からの電力を元に 100 rpm から十分な電源を確保できる。

3.1.4. ガス欠停止時の排出ガス触媒保護

発電機の使われ方として、ガス欠まで運転される場合がある。ガス欠間隙では間欠的にインジェクタに燃料が供給され、さらに回転数を一定に保つように自動でスロットルを制御するガバナ制御も加わり、A/F および回転数が大きく変動する。その際、未燃ガスが排出ガス触媒に流れ込み異常高温となるため、排出ガス触媒の性能劣化が懸念される。

そこで、既存のエンジン回転数制御機能を利用したガス欠検出制御を構築し、燃料残量センサ等を追加することなく対応した。この制御は、スロットル開度が全開付近にも関わらず、回転数が極低回転のまま上昇しない事象が続いた場合をガス欠と判断し、エンジンを速やかに停止させる。

これによりコストアップすることなく排出ガス触媒の保護を可能とした。

3.2. バックアップ発電機

3.2.1. 無給油で 12 時間連続運転

タンク容量の 20% 増量と上記 FI システム技術の採用により、定格負荷の 50% でタンク満タンからガス欠までの連続運転時間は現行に対し 1.5 倍となり無給油で 12 時

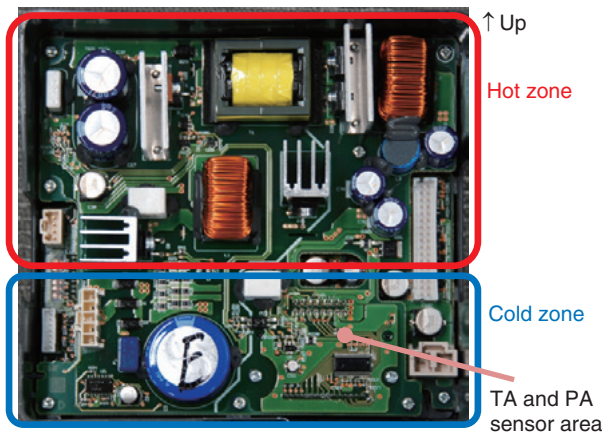


Fig. 7 GCU circuit board

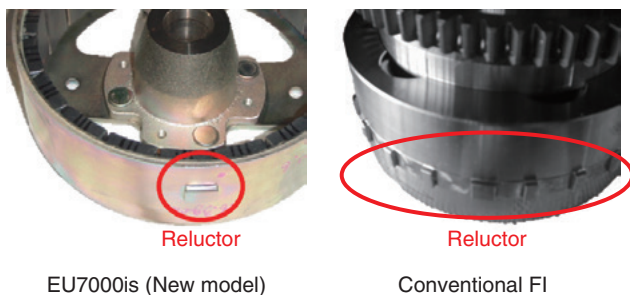


Fig. 8 Reluctor

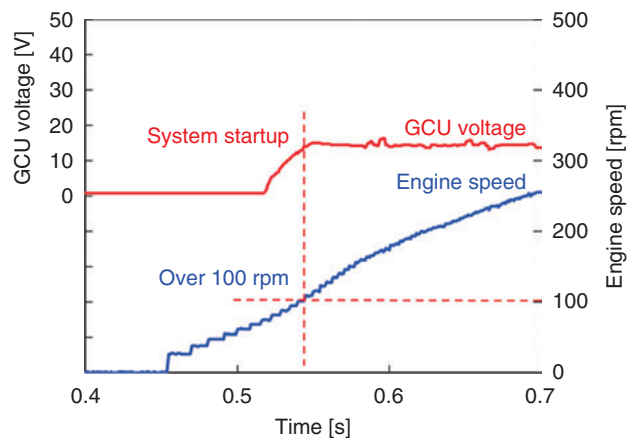


Fig. 9 Power supply at startup

間連続運転を可能とした。現行モデルとの比較を Fig. 10 に示す。

3.2.2. 最大出力の向上

発電機用 FI システム採用でキャブレタシステムでは必要不可欠なベンチュリをなくすことができ、エンジン最大出力が現行モデルに対し 3% 向上した。さらにインバータの高効率化と点火時期の最適化により現行モデルでは 6500 VA であった最大出力を 7000 VA まで向上させた。起動時の電力特性を Fig. 11 に示す。

これにより、起動時に大きな電力を必要とするエアコン等のモータ負荷に対応可能となり、さらなる発電機用途の拡大につながった。

発電コイルは、出力アップのためマグネットの材質変更による磁力強化をおこない、インバータはパワーモジュールの見直しによる効率向上を実施した。

しかし、最大出力増加に伴いインバータの最大発熱量も増加するため、シミュレーションにより冷却フィン形状を最適化し冷却性能を向上させた。

インバータの発熱シミュレーション結果の温度分布を Fig. 12 に示す。フィン形状を放射形状にすることで、風の流を分散し、冷却性能を向上させた。

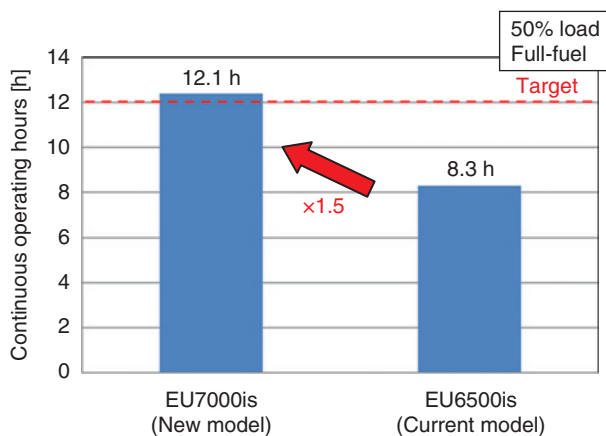


Fig. 10 Continuous operating hours

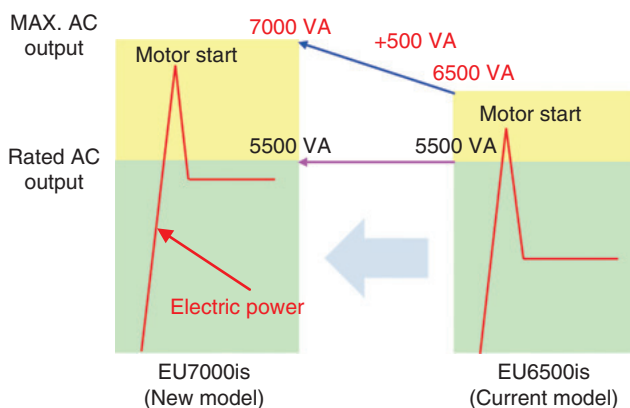


Fig. 11 Maximum power

3.2.3. 長期保管性およびメンテナンス性向上

バックアップ発電機は長期保管されることが頻繁にある。キャブレタシステムの場合、構造上ガソリンが外気と接触するため、長期保管時にはキャブレタチャンバ内のガソリンを抜く必要がある。しかし、FIシステムの構造上、ガソリンは外気との接触が少なく劣化しにくいいため、FIシステム（インジェクタ、燃料ホース等）からガソリンを抜く必要はなく、保管前のメンテナンス性が向上した。

また、発電機は二輪車や四輪車と違いガソリンスタンドから直接給油できないため、携行缶等に汲み置いたガソリンを使用することが多い。これにより燃料タンク内への塵埃の侵入が多くなるため、燃料ポンプはタンク上面へ配置し（Fig. 3）、タンク上から燃料ポンプを着脱可能とすることで、燃料フィルタのメンテナンスを容易にした。

3.2.4. 始動操作性の向上

FIシステム搭載に伴い、キャブレタシステムでは必要とされた燃料コックとチョーク機構が不要となり、始動操作が簡略化された。

このメリットをさらに訴求するために、プッシュスタート方式を採用した。現行モデルはイグニッションキーをまわしクラッキングをおこなっていたが、本モデルではプッシュスタートボタンを押しクラッキングする方法を採用し始動操作を一新した（Fig. 13）。

始動操作は、プッシュスタートボタンを短押しすると自動的にセルモータが最大5秒作動するシステムとした。エンジンが始動すると速やかにセルモータは停止する。この操作方法により、現行モデルと比較し、より使い勝手が向上し、さらに先進性を高める操作性となった。

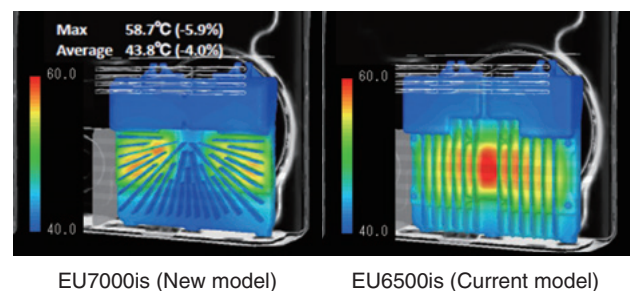


Fig. 12 Simulation result

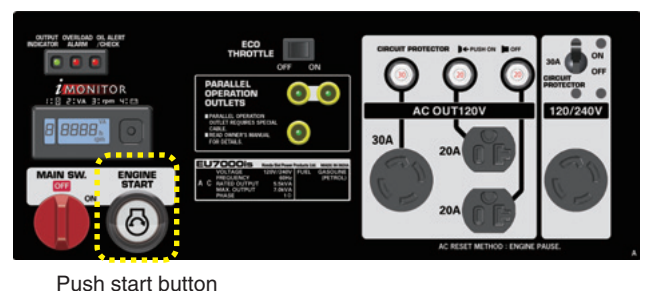


Fig. 13 Control panel

4. まとめ

コンパクト性を維持したまま、バックアップ電源としての訴求力を高めた FI システム搭載発電機を開発した。

(1) 発電機用 FI システムの開発

- ・ 発電機用 FI システムを開発し燃費を 22% 向上した。
- ・ インジェクタとスロットルボデーを一体化することで、コンパクト性はそのままに FI システムをレイアウトした。また、PA, TA センサの基板実装化およびスロットル開度センサの削減により、コストアップミニマムでシステムを構築した。
- ・ 電源回路の最適化および GCU の最低動作電圧を下げることでバッテリーレスリコイルスタータ始動を可能とした。
- ・ ガス欠制御を構築し、排出ガス触媒の保護をした。

(2) バックアップ発電機としての開発

- ・ 発電機用 FI システム採用により無給油で 12 時間連続運転可能とした。
- ・ インバータの高効率化およびエンジン諸元の最適化により最大出力を 6500 VA から 7000 VA まで向上した。
- ・ FI システム搭載により長期保管性を向上し、また燃料ポンプをタンク上から着脱できる構造とし燃料フィルタのメンテナンス性を向上した。
- ・ プッシュスタート方式採用による始動操作性を向上した。

参考文献

- (1) 田中良男, 小野寺泰洋, 岡部格, 伊藤隆司: インバータ発電機「EU6500is」の低騒音・軽量化技術, Honda R&D Technical Review, Vol.19, No.2, p.37-43
- (2) 赤松俊二, 上田稔, 林徹, 大内勝博: 小型二輪車用統合型フューエルインジェクションシステムの開発, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.1-7

■ 著 者 ■



齋藤 茂



小野寺泰洋



橋爪 崇



布川剛史