

軽量，コンパクトな「GENE21シリーズ」 ポータブル発電機の開発

Development of the Lightweight and Compact Portable Generators – GENE21 Series

田 中 良 男*	河 内 敏 文*
Yoshio TANAKA	Toshifumi KOUCHI
伊 藤 慶 太*	中 村 政 史*
Keita ITO	Masashi NAKAMURA

要 旨

ABSTRACT

環境に優しく，高品質な電力を供給する小型軽量の GENE21シリーズ発電機「EU9i」および「EU24i/28is」を開発した。この開発に当たって取り組んだ技術要素としては，高速多極アウターローター式オルタネータの設計，クラス初のマイコン制御式正弦波インバーターシステム，電子制御ガバナ付き高回転4ストローク軽量コンパクトエンジンおよび防音構造軽量化フレームがあげられる。これらの技術の組合せにより，これまでの同出力発電機に比べ，「EU9i/28is」では重量約1/2を，さらに「28is」では容積で1/2以下を達成した。また，運搬，移動が楽な軽量小型化と同時に，従来機種に対して25～30%の省燃費化や実用域で7～9dB(A)の低騒音化を実現した。エミッション性能に関しては，「EU9i」において2000年CARB排気エミッション規制値に対して，CO濃度で30%，NO_x+HCで65%下まわるレベルでクリアしている。

Lightweight and compact GENE21 series generators were developed. The technology applied to achieve the required levels of exhaust emission, fuel consumption and noise, and to provide a stable electrical power supply with low waveform distortion comprises of four elements: a high-speed, multi-pole, external rotor type alternator, a microcomputer-controlled sine wave inverter, a compact high-speed 4-stroke engine with electronic speed governing, and a lightweight frame with a two-level noise-damping system. Combination of these four elements of technology has achieved 50% less weight, 25-30% lower fuel consumption, and 7-9dB(A) less noise than the previous model. The emission levels of CO and of NO_x + HC are also 30% and 65% lower than the 2000 CARB regulations.

1. まえがき

可搬型携帯発電機は，レジャーを始め，業務用，非常用，災害現場さらに警察，病院，銀行など世界中のさまざまな現場で活躍している。全世界でおよそ年間100万台以上の市場を有し，手軽にどこでも電気が取り出せる便利さから移動電源として改良，普及が進んできた。とくに照明，無線機，パソコン，バッテリー充電用など多くの使用機器に適合する電気性能と，軽さ，低騒音化，及び低エミッション化が求められてきた。

従来の発電機は，二極界磁回転型発電システムを採用していたため，周波数の制約からエンジン回転数は3 000rpm/50Hzおよび3 600rpm/60Hzと固定され，容積も大きく重量も重いのが一般的であった。この容積と重量の課題を克服するため，基本構造を見直し，基本性能を保ち

つつさらなる軽量化，小型化を達成する必要があった。

そこで，顧客ニーズに応えるべく正弦波インバータ搭載の最大出力が1kVAの軽量ポータブル発電機EU9iおよび出力2.6および3kVAのEU24i/28isを開発した。これらの小型化および軽量化に関する技術を主としてEU9iにおける従来機種との比較などを交えて具体的に紹介する。

2. 開発の狙い

このポータブル発電機を開発するにあたり，基本性能を損なうことなく，顧客ニーズの調査に基づいた従来機種の不満点である重量をどこまで軽くできるかがポイントであった。そこで以下に示す目標を設定した。

- ・手軽に持って運べる重量とするため，完成機重量の目標値を従来機種の約1/2の13kgとする。

- ・最近、ますます増加してきたパーソナルコンピュータなどの電子機器にも対応できる電気性能を確保する。
- ・燃費、エミッションを低減できるエンジンの開発とその最適システムの構築。
- ・使用環境拡大のために、さらなる低騒音化を実現する。

3. 主要諸元と基本構造

EU9iの全体構造は、従来のフライホイールの位置に、フライホイール兼用の高速多極アウトロータ式オルタネータと冷却ファンをエンジンに取り付け、樹脂製ファンカバーと鋼板製のシュラウドで囲い、冷却性能と遮音性の向上を図った。これを左右のアウトカバーに、緩衝用のマウントを介し上側1個所、下側2個所の3点支持で固定した。

また、コンセント、インバータ、オルタネータ、エンジン、マフラーを放熱量と温度の低いものから順に縦配置し、効率よく冷却できる構造とすると共に携帯性の向上を図った。

従来型発電機であるEX900との主要諸元の比較をTable 1に示し、基本構造をFig.1に示す。

従来機EX900に比べ、1/2以下の重量を達成するために、下記構造を採用した。

- ・フライホイール兼用の高速多極アウトロータ式オルタネータ+インバータ
- ・薄肉軽量ヘッド一体型シリンダブロック採用の高回転・高出力OHVエンジン
- ・冷却通路と強度部材を兼用したエンジンシュラウドとその外側をカバーした二重防音構造の樹脂製軽量フレーム

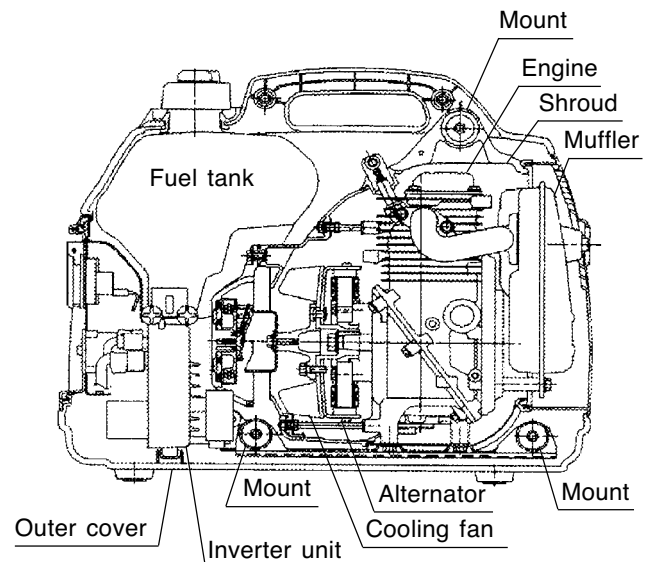


Fig.1 Layout of EU9i

さらにEU28isでは、従来機種に対して、容積で1/2を達成するため、EU9iと同じフライホイール兼用の多極アウトロータ式オルタネータと、従来ではオルタネータおよびエンジンのそれぞれに冷却ファンを装備していたものをあわせて一つとし、効率の良い冷却システムと高効率発電および高回転化により、エンジンをGX240から排気量の少ないGX200とした。これらにより、コンパクトなパッケージが可能となった。また、エンジンの騒音源を鋼板のキュービック型フレームで遮音し、さらに樹脂カバーで前後を覆う二重防音構造の採用により防音性能の向上を図った。

Table 1 Comparison of specifications with EX900

Model			EU9i	EX900	
Engine	Engine displacement (cm ³)		4-stroke OHV	4-stroke SV	
	Type		* 4 000 - 6 000	3 000	3 600
	Engine RPM		☆ 5 500 - 6 000		
	Operating noise level (at 7m)		* 52 - 57	61	64
			☆ 58		
Generator	AC frequency		50/60Hz	50Hz	60Hz
	Max. AC output		1 000VA	850VA	1 000VA
	Rated AC output		900VA	750VA	900VA
	Voltage variation rate	Momentary	10% max.	15% max.	
		Stability	6% max.	10% max.	
	Frequency variation rate	Momentary	1% max.	10% max.	
		Stability	1% max.	5% max.	
	Wave-form distortion	Linear load	5% max.	25% max.	
Dimensions	Dimensions L × W × H (mm)		450 × 240 × 380	430 × 285 × 390	
	Dry weight (kg)		13	26	

* : ECO-THROTTLE ON

☆ : ECO-THROTTLE OFF

4. コンポーネント技術

4. 1. 高速多極アウトロータ式オルタネータ

EU9iに採用しているオルタネータはFig.2に示すように三相多極のステータを持つアウトロータ式のマグネットオルタネータで、三相の高周波の交流を発生し、整流器とインバータを経て正弦波を出力する。インバータ発電方式(後述するインバータユニット+オルタネータ)の重量と、従来の発電方式(オルタネータ+フライホイール)の重量との比較をFig.3に示す。同図から分かるように、従来の発電方式と比較して約1/3の軽量化を達成している。ロータはエンジンのフライホイールも兼ねていて、軽量化に寄与している¹⁾。



Fig.2 Alternator

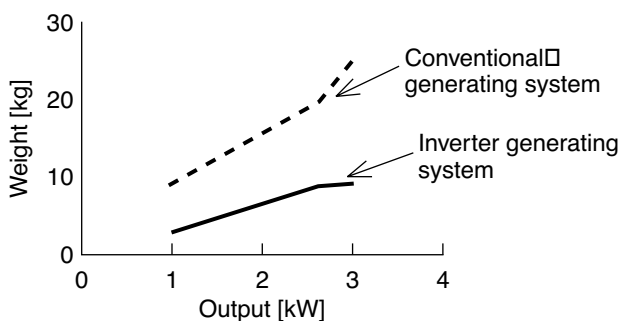


Fig.3 Output and weight of the power-generating system

4. 2. マイコン制御式インバータユニット

EU9iに搭載しているインバータユニットは、マイコン制御式を採用している。写真をFig.4に示す。CPUは16ビットで、インバータ部の制御と、負荷連動回転制御式電子ガバナ部の制御を行っている。本システムのブロック図をFig.5に示す。



Fig.4 Microcomputer-controlled Inverter

4. 2. 1. インバータ部の制御

インバータ部では、オルタネータからの高周波交流をいったん整流し、正弦波の交流を出力している。

制御部は、大きく次の4つに分けることができる¹⁾。

(1) 基準波形信号形成部

出力波形の基となる50または60Hzの正確な正弦波をつくる。そして約20kHzの搬送波でPWM変調(Pulse Width Modulation)しインバータをドライブする。さらに出力された波形をフィードバックし、負荷の機器の影響による波形歪みを抑制して正確な正弦波を保つように制御する。

(2) 保護回路部

過電流と過電圧の2つの保護回路がある。過電流保護は所定値以上の電流が出力されるとタイマがスタートし、所定時間後出力を停止するブレーカ機能である。リセットするには、いったんエンジンを停止させた後、再始動させる。負荷の機器の影響や並列運転の同期ずれによって内部電圧が上昇することがあるので、この場合にも電圧が所定値以上となると出力を停止する。

(3) 位相検出部

出力している電流の位相が電圧に対して遅れているか進んでいるかを検出する。並列運転を行う場合や、負荷による電圧変動を抑制するための検出である。詳細は後述する。

(4) 周波数制御部

出力の周波数は水晶発振を原振として正確に分周されているが、並列運転のためわずかに変化させることができる。並列運転時の制御に使用する。

4. 2. 2. 電子ガバナ部の制御

電子ガバナは負荷連動回転制御式で、使用負荷に見合ったエンジン回転数に自動制御する。この電子ガバナの搭載によって、実用負荷領域での低燃費化と合わせ、低騒音化を図ることができた。従来の発電方式に対する効果度合をFig.6に示す。

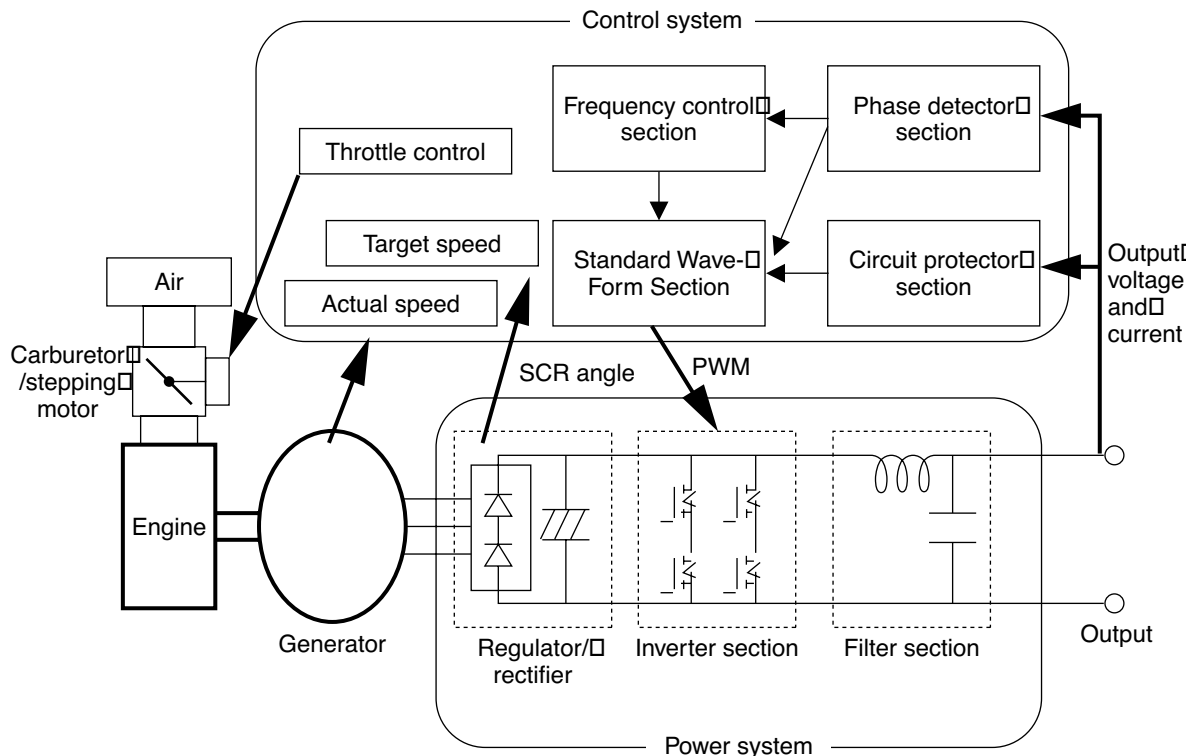


Fig.5 Block diagram of inverter and speed-control system

電子ガバナは、スロットルの制御を行うインバータユニットと、スロットルを動かすステッピングモータから構成されている。

(1) 回転数の決定

EU9iのエンジン回転数と発電出力との関係は、ほぼFig.7のようになる。パラメータとしてSCRの導通角を用いている。このSCRの導通角をCPUが取り込み目標回転数として決定する。

SCRはオルタネータからの高周波交流を一定の直流電圧に整流するために使用している素子である。すなわち、負荷が大きいとオルタネータの電圧が低下してくるためSCR

の導通角が開き、逆に負荷が少ないとSCRの導通角は閉じる。これは、言い換えればオルタネータの出力の余裕度を測定していることになる。すなわち、オルタネータの出力に余裕が無くなると、エンジンの回転数を上げ、オルタネータにゆとりを持たせる。逆にオルタネータの出力に余裕がありすぎると、エンジンの回転数を下げる。このようにオルタネータの余裕度を一定に保つ制御をすることによって、最適エンジン回転数を決定している。

(2) 回転数制御

エンジンの回転数はオルタネータのサブ巻線から検出している。オルタネータのマグネットは14極なので、エンジン1回転につき7パルス発生する。通常のエンジン回転数の検出では1回転につき1パルス(点火系から)が多く、エンジンの回転脈動で正確な回転数検出がしにくい。EU9iでは1回転につき7パルス発生するので、より正確な検出が

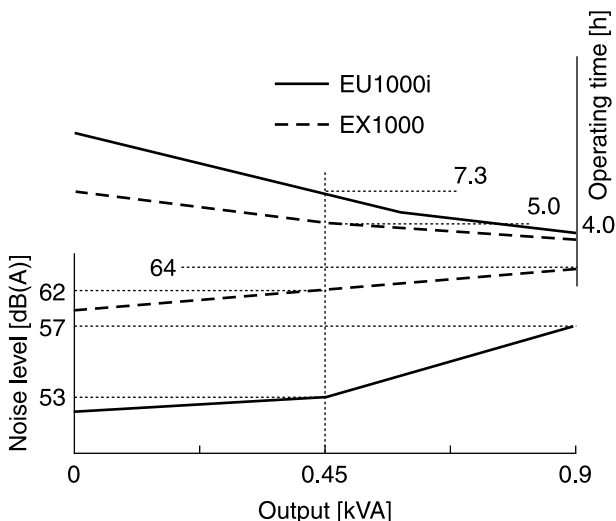


Fig.6 Output, noise level, and operating hour

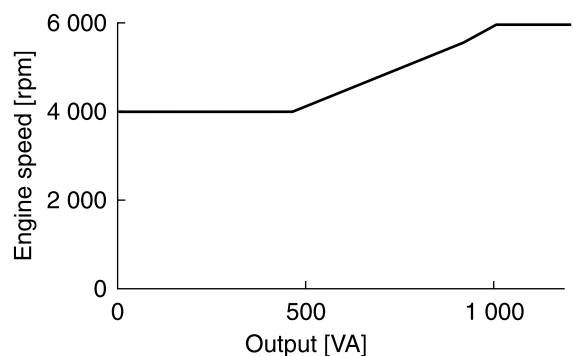


Fig.7 Engine revolution and output

できる。検出したエンジン回転数はCPUに取り込み、実回転数として扱う。

回転数の取り込みは所定の周期ごとに行われ、その回転数と前回の回転数との変化量も計算する。取り込んだ実回転数と目標回転数に差がある場合、後述するステッピングモータにより回転数を調整する。すなわち、実回転数が目標回転数よりも高い場合、スロットルを閉じ、目標回転数に近づける。逆に実回転数が目標回転数よりも低い場合、スロットルを開ける。スロットルの制御は所定の周期ごとに行われ、その開閉量は目標回転数、実回転数、回転数変化量をパラメータとして計算で導き出される。これらの制御は全てCPU内で行われる。

(3) ステッピングモータ

EU9iで使用しているステッピングモータとキャブレタを、Fig.8に示す。ステッピングモータはキャブレタと一体構成で、樹脂のリンクを介して結合されている。駆動はCPUからモータドライバを介して2相励磁で行っている。位置検出は無く、始動初期にキャブレタを全開にセット後、CPU内での保持数値を使用している。



Fig.8 Stepping motor and carburetor

4. 2. EU9i搭載エンジンの開発

EU9i専用エンジン(以下GXH50)を開発するにあたり、以下の点を主眼とした。

- ・ポータブル発電機の可搬性を考慮した、軽量コンパクト性
- ・高回転インバータ発電機に適合する出力特性
- ・2000年CARB排気エミッション規制に適合できるエミッション特性

4. 2. 1. 軽量化技術

発電機全体重量13kg達成のために、以下のような軽量化技術を採用し、エンジン単体重量従来比40%減の3kgを達成した。

- ・薄肉ユニブロックシリンダ

GXH50ではユニブロック構造を採用して、通常の分割に対し、結合部の肉厚増加やヘッドボルトパッキン類を不要

とし、軽量化と部品点数を削減している。また、ヘッドボルト締め付け軸力によるシリンダひずみへの悪影響がなくなるため、オイル消費低減およびエミッション耐久劣化に対しても効果をもたらしている。Fig.9に示すような複雑な形状のシリンダブロックを、減圧ダイカスト製法を採用することにより、一般肉厚1.5mm、冷却フィン先端R0.6と薄肉軽量化し、従来のエンジンに対し、シリンダブロック重量2/3を達成している。

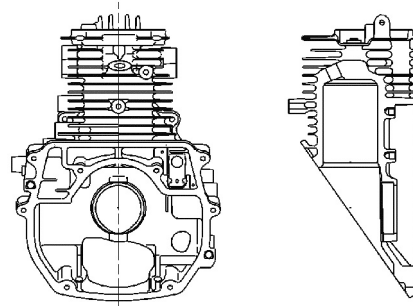


Fig.9 Cylinder block section

(1) アルミニウム焼結合金コネクティングロッド

従来の汎用エンジンではアルミニウムダイカスト製コネクティングロッドが主流であるのに対し、GXH50ではアルミニウム焼結合金コネクティングロッドを採用し、さらなる軽量化と高品質化を達成している。アルミニウム焼結合金化により従来品と比較して以下のように改良された。

- ①疲労強度が約2倍に向上した。
- ②初晶Siを分散させ、かつ粒径の最適化を図ることにより、耐摩耗性が限界面圧において約2倍に向上した。
- ③鉄系焼結製品と同様の高い素材寸法精度となった。

①、②の性質を利用し、Fig.10に示すコネクティングロッド単体で27%の軽量化を達成している。またこれによりクランクカウンターウェイト部の軽量化、クランクケースの小型化だけでなく、エンジンから発生する一次起振力

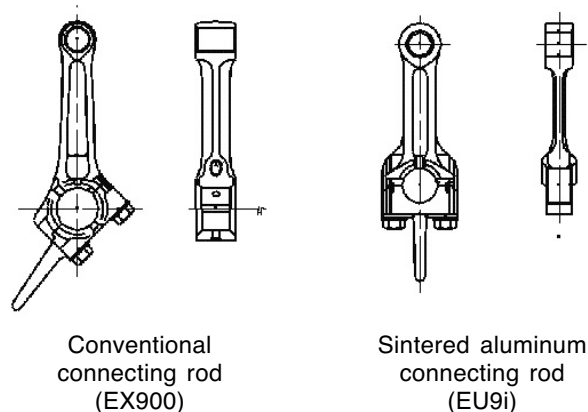


Fig.10 Comparison of aluminum connecting rods

を17%低減している。さらに③の性質から、素材での機械加工代が少なくすむため、機械加工時間が短縮でき、低コスト化にも貢献している。

(2)一駒樹脂カム構造

GXH50ではFig.11に示す1駒樹脂カム小型OHV構造を採用している。カムシャフトはカム駒、ギヤと一体のメカニカルデコンプ内蔵の構成とし、樹脂材の採用により従来比75%減の軽量化を達成した。また他の動弁系部品(バルブ、ロッカアーム、プッシュロッド、バルブリフト)も軽量化を図るとともに、高回転エンジンとして必要な剛性を有する最適な構成とし、最高回転数8 500rpmに対しバウンス回転数10 000rpmというエンジン特性に見合った動弁系とした。

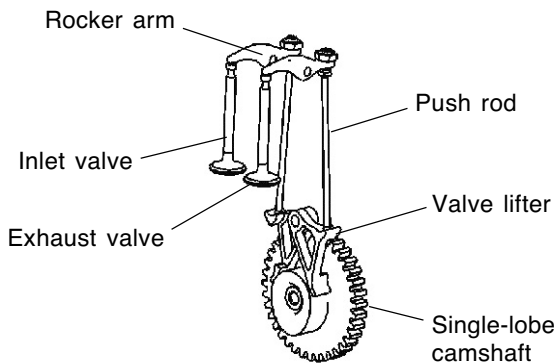


Fig.11 Single-lobe camshaft with OHV configuration

4. 2. 2. エンジン構成

本エンジンは従来の汎用エンジンでの定格回転数3 600rpmに対し、トルクピーク4 500rpm、出力ピーク7 000rpmとした高回転型のエンジンとしている。高回転化に伴い、クランク軸にかかるモーメントによるクランクの曲げ応力、ねじり共振を抑えるために、Fig.12に示すように動弁系をベアリングの外側に配置してクランク軸を支えるベアリングをシリンダセンタに近づけ、クランク室とカム室とを分離した3ケース構造を採用している。それにより従来の汎用

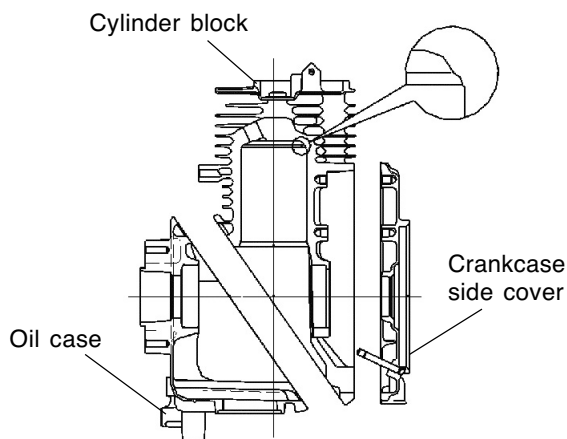


Fig.12 Crankcase construction

エンジン構造と比較して、クランクピンフィレットにかかる曲げ応力の50%低減、およびねじり共振周波数の50Hz上昇を達成している。

4. 2. 3. 低エミッション化技術

GXH50ではOHVシステムのほか、以下のような構成を採用してFig.13に示す低エミッション特性により、2000年CARB排気エミッション規制の認可取得を実現している。

- ・小径スパークプラグの採用によるセンタプラグ化
- ・ユニブロックシリンダのシリンダ隅部分を機械加工で燃焼室と滑らかにつなぐことによるクエンチングエリアの排除

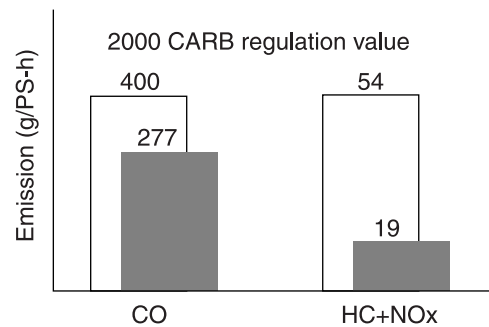


Fig.13 Emissions performance

4. 3. フレームの軽量化

従来の発電機はエンジン、ジェネレータ等の重量を支える鋼板(またはアルミニウムダイキャスト)製のアンダフレームとガソリタンク及び携帯時の本機重量を支える鋼板(またはアルミニウムダイキャスト)製のアウトカバーで構成されていた。本機種を開発するに当たり、フレーム部品の軽量化を行うために、従来の発電機とはまったく異なる二重防音軽量フレーム構造を採用した。フレームの構成上の主な特徴を以下に記す。

- ①エンジン全体を2分割冷却通風用のシュラウドで囲い、エンジンのヘッド部だけではなくオイルケースにも冷却風を流す構造とした。
- ②このシュラウドを強度部材としてエンジンに固定し、シュラウドの上部接合部1か所をアウトカバーの携帯ハンドル部にマウントを介して取り付け、下部2か所を同様にマウントを介してアウトカバーに取り付けた3点マウント支持の二重防音構造とした。
- ③アウトカバーは左右2分割とし、インバータユニットとフューエルタンクは緩衝用ラバーを介してアウトカバーで挟み込んで固定するサンドイッチ構造とした。

上記構造により、本機上部のキャリングハンドルを持ち上げて発電機を携帯する時は、エンジン及びジェネレータの重量がシュラウドを介してカバー上部のハンドルにかかる。このため、アウトカバー全体の剛性をそれほど高める

必要がなくなり、アウトカバーの全樹脂化が可能になった。

また、エンジン、ジェネレータ等の重量物を支えるための鋼板製のアンダカバーが不要になったため、樹脂製のアウトカバーを下側に回り込ませる事ができた。

これにより、エンジン等の騒音源をシュラウドとアウトカバーで囲った二重防音構造となり、大幅な軽量化と低騒音化を達成した。更に、消音ノーズ付き大型エアクリーナ、大型マフラ、負荷連動スロットル、ターボ型冷却ファン等の採用により、従来機に比べ7～9 (dB/7m)の騒音低減を達成した。カバー構造による騒音低減効果度を、Fig.14に示す。

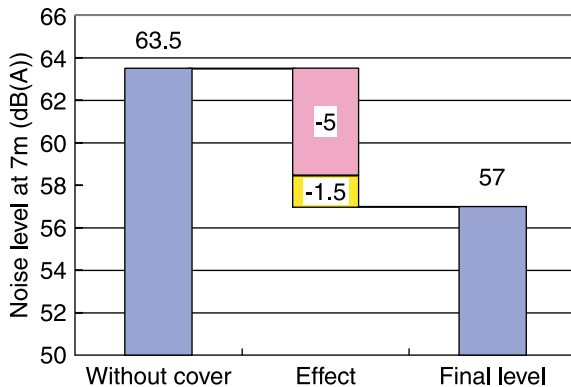


Fig.14 Noise level reduction with two-level noise-isolation construction

そのほか、エアクリーナはファンカバーと一体構造とし、フュエルタンク、リコイル等多くの部品に樹脂材を採用して軽量化を行った。

さらに、高速多極アウトロータ式インバータジェネレータシステムの採用により、フライホイール機能を兼用でき、また従来機では二つのファンでエンジンとジェネレータを冷却していたものを、一つのファンで冷却するシングルファン構造として重量を低減した。

EU9iのEX900からの重量の比較をFig.15に示す。

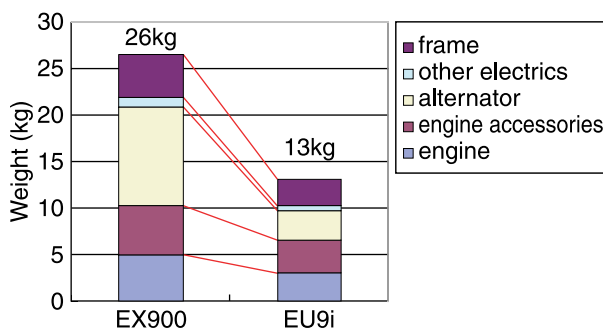


Fig.15 Weight comparison between EU9i and conventional model

5. まとめ

EU9i発電機の開発においては、フライホイールを兼用した高速多極アウトロータ式オルタネータおよび高速回転型小型4ストロークエンジンの採用により、小型化と軽量化を達成した。さらに、正弦波インバータ方式を採用し、波形ひずみ率2.5%以下、周波数変動率0.1%以下の良質な電気を供給できるようになった。

このように各コンポーネントを見直した開発の成果として、EU9iにおいて

- ・従来機種の約1/2の乾燥重量である13kg
- ・実用領域で従来比25～30%の燃費改善
- ・従来比7～9 dB(A)の騒音低減化
- ・2000年CARB排気エミッション規制値に対して、COで30%、NOx+HCで65%を下まわる低エミッション化を達成した。

この技術は同時に開発された2.6kVA、3kVAの発電機にも生かされ、従来の発電機の約1/2の重量と大きさの防音型発電機「EU24i/28is」でも同様の成果を得た。その外観をFig.16に示す。

今後ますます市場からの要求が高まるであろう軽量化と低騒音化、および低燃費と低エミッション化にこたえる商品として世の中に送り出していきたい。



EU9i



EU28is

Fig.16 GENE 21 series portable generators

参考文献

- 1) 藤井茂, 清水元寿, 中村政史: 正弦波インバータ発電システムの構築, HONDA R&D Technical Review, Vol. 8, p.70-76 (1996)

■著 者■



田中良男



河内敏文



伊藤慶太



中村政史