

インバータ発電機「EU3000i Handi」の小型・軽量化技術

Innovative Technologies for Compactification of Inverter Generator, "EU3000i Handi"

平 沼 淳 二*
Junji HIRANUMA
田 中 豪*
Go TANAKA

広 瀬 忠 文*
Tadafumi HIROSE
室野井 和 文*
Kazufumi MURONOI

結 城 仁*
Hitoshi YUKI

要 旨

ABSTRACT

ポータブルエンジン発電機は停電時のバックアップ電源や工事用の電源だけでなくレジャーにも使用される。レジャーでは主にキャンピングカーのエアコン電源として使われており、低騒音で可搬性に優れる 3 kVA クラスの発電機が求められている。こうしたニーズにこたえるために「EU3000i Handi」を開発した。

EU3000i Handi は既販プロユース仕様の「EU3000is (3 kVA)」に対し、体積を 36%、質量を 42% 削減し、クラストップレベルの小型・軽量化を実現した。

エンジンは、高回転化やフルトランジスタ点火時期制御などにより、EU3000is に搭載されている排気量 196 cm³ のエンジンに対して排気量 163 cm³ にダウンサイジングした。また、マグネシウム合金で補強した樹脂モノコック構造のフレームを開発し、鋼板フレームに比べ大幅な軽量化を図った。さらに、ヘルムホルツ型レゾネータの装着により吸気音を低減し、きょう体構造の改良によりメカニカルノイズの吸音と遮音の効果を向上した。その結果、定格出力時の騒音値は既存のレジャーユース仕様の「EU2000i (2 kVA)」と同等の L_{WA} 91 dB を実現した。

In addition to their use as an emergency backup power source during power outages and as a power source for construction applications, portable engine generators are also used in leisure activities. In the latter category, their main application is a power source for the air conditioners used in camper vans and recreational vehicles, necessitating a quiet and highly portable 3 kVA-class generator. The EU3000i Handi was developed in response to this need.

The volume of the EU3000i Handi has been reduced by 36% and its weight by 42% from the professional-use EU3000is (3 kVA), realizing class-leading lightness and compactness.

The maximum speed of the engine used in the new generator has been increased and full transistor ignition timing control has been employed, helping to reduce engine displacement to 163 cm³ from the 196 cm³ engine used in the EU3000is. A plastic monocoque structure reinforced with magnesium alloy is used for the frame, further reducing overall weight in comparison with that of the steel frame. In addition, the use of a Hershel resonator has reduced air intake noise, and the modification of the housing configuration has increased the absorption and shielding of mechanical noise. This has resulted in the achievement of the noise level of L_{WA} 91 dB, when the unit is being operated at rated output, equivalent to that of the previous recreational use generator, the 2 kVA EU2000i.

1. まえがき

ポータブルエンジン発電機は、自然災害時の停電などのバックアップ電源や、工事現場での電気機器・工具などの電源、およびレジャーなどアウトドアでの電源として広く使われている。また、急激な経済発展に伴う電力需給のアンバランスにより停電が頻発する進展国では、業務や生活面でのバックアップ電源などにも多く使われている。世界中で生活が豊かになると共に電力需要が高まる中、ポータ

*汎用R&Dセンター

ブルエンジン発電機はますますニーズが高まってきている。また、これらさまざまなニーズに対応するためには、高品質な電気性能、軽量コンパクト、低騒音、低燃費が求められている。

インバータ発電機は従来の二極界磁回転型発電方式の発電機に比べ、高品質な電気性能⁽¹⁾を有していること、発電出力に応じてエンジン回転数を変化させることができるため低騒音、低燃費⁽²⁾などの特長がある。

これらインバータ発電機の特長から、Honda では市場

ニーズに対応するため防音型インバータ発電機 EU シリーズの第一弾として、発電出力 3 kVA の EU3000is を 1998 年に発売した。以来、発電出力 1 - 6.5 kVA までの商品をシリーズ化し、1 - 3 kVA クラスは主にキャンプやキャンピングカー用電源などのレジャーに、また、3 - 6.5 kVA クラスは主に自然災害時の停電のバックアップ電源や工事現場での電気機器・工具などの電源等として多くのお客様に受け入れられている。

Fig. 1 は EU シリーズと二極界磁回転型発電方式の開放型フレームタイプ EM3800SX、およびその他の防音型インバータ発電機の質量と出力の相関を示したものである。

開放型フレームタイプ EM3800SX に対し、インバータ発電機 EU3000is は、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⁽²⁾の採用等により軽量化が図られている。また、主にレジャーで使われる EU1000i や EU2000i に比べて、EU3000is の出力当たり質量が大きいことがわかる。

EU3000is は工事現場等でのプロユースや、事務所等のバックアップ電源を想定しているため、大容量の燃料タンクや、セルモータ+バッテリーを装備している。また、EU2000i に対して工事現場等での過酷な使用が考えられるために EU2000i のようなシンプルな樹脂製モノコックフレームの採用が強度・剛性の観点で困難であり、鋼板を多用したフレーム構造を採用している。これらが出力当たり質量差の大きな要因である。

しかしながら、北米レジャー市場での主用途であるキャンピングカー用エアコン(RV エアコン)の電源としては

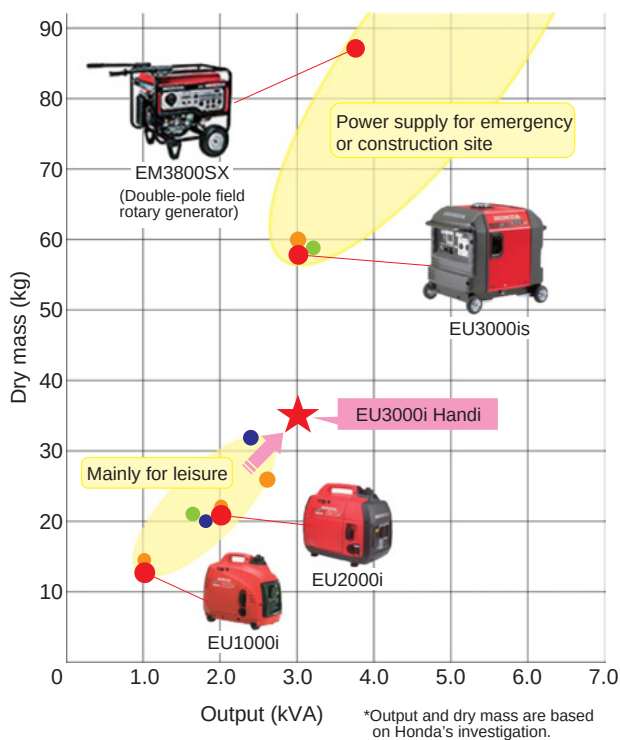


Fig. 1 Output and dry mass

EU2000i では出力が不足する場合が多く、使い方から見ると軽量コンパクトや移動しやすさが求められているにもかかわらず、プロユース仕様の EU3000is を使用しているのが実態である。また、レジャー用と家庭の非常電源用とを一台の発電機で兼用するためにも、軽量コンパクトで手軽に使える 3 kVA クラスの発電機が望まれている。

これらのニーズにこたえるべく、3 kVA クラス発電機「EU3000i Handi」を開発したので、投入した小型軽量化技術を紹介する。

2. 開発の目標

軽量コンパクトな 3 kVA クラスのインバータ発電機に対する市場ニーズにこたえるため、以下の目標を設定して EU3000i Handi を開発した。

(1) 優れた可搬性と取扱い性

レジャーユースでの発電機の運び方は、キャンプサイトまでキャンピングカーやトラックの荷台に積んで運び、キャンプサイトで発電機を荷台から人力で降ろして、設置場所まで運ぶのが一般的である。荷台からの積み降ろしを人力でおこなうため発電機の軽さと、設置場所まで一人で楽に移動できることをそれぞれ重視し、試作モデルを使った官能テストにて、ガソリンとエンジンオイルを除いた乾燥質量は 35 kg、ホイールとけん引ハンドルを装備した上でのけん引荷重は 80 N を目標値として設定した。

Fig. 2 に EU3000is をキャンピングカー用電源として使用している例を示す。

発電機は盗難防止のためにキャンピングカーのそばに置いて使われることが多い。発電機の排気口をキャンピングカーのボデー面に向けないように、また、排気口の反対面にコンセントやエンジンスイッチがあるので、電源ケーブルの差込やエンジンスイッチの操作がしやすいように発電機の全長方向をキャンピングカーのボデー面と平行にして置くのが一般的である。よって、全幅が狭いほど設置スペースを少なくすることができることから、EU3000is に対する小型化としては全幅 - 20% を目標とした。

(2) RV エアコンに適した発電出力性能

最大出力 3 kVA を確保しつつ、冷房能力 4 kW クラス



Fig. 2 Example of use as camper power source

RVエアコンの起動を可能とする瞬時出力を有することを目標とした。

(3)優れた静粛性

定格出力 1.6 kVA の EU2000i と同等の定格出力時音響パワーレベル L_{WA} 91 dB を目標とした。

3. 小型・軽量化技術

3.1. 小排気量エンジンの適用

発電機軽量化のため既存の EU3000is に搭載されている排気量 196 cm³ のエンジン GX200 に対し、17%小さい排気量 163 cm³ のエンジン GX160 を採用した。これにより約 500 g の軽量化を達成した。

エンジン排気量を小さくした上で既存の EU3000is 同等の最大発電出力 3 kVA を確保するため、標準仕様の GX160 に対して以下4項目の変更をおこなった。これにより、最大出力時の目標回転数である 4000 min⁻¹ においてスロットル全開出力を 11%向上させた。

(1)最大出力時のエンジン高回転化

EU3000i Handi はインバータ発電方式であることにより出力電圧の周波数はエンジンの回転数に依存しない⁽¹⁾。そこで、発電機最大出力発生時の目標エンジン回転数を既存 EU3000is の 3800 min⁻¹ から 4000 min⁻¹ へ変更した。

(2)バルブ作動角の拡大

高回転における出力を重視したセッティングとするため、標準仕様の GX160 に対してバルブ作動角を、吸気側 20 deg、排気側 10 deg それぞれ広げたバルブタイミングを採用した。

(3)キャブレタベンチュリボア拡大

始動性・アイドル安定性・負荷追従性も配慮しつつ、標準仕様の GX160 キャブレタベンチュリボアに対して面積比で 21%拡大し、高回転時の充てん効率向上を図った。

(4)点火時期制御

既存の EU3000is で採用されているトランジスタ式マグネット点火では回転数や負荷によらず点火時期一定となるため、主にトルクピーク回転数におけるノッキング限界や部品強度によって全域の点火時期が決まってしまう。そこで、EU3000i Handi ではフルトランジスタ点火によって回転数ごとに点火時期を制御できる仕様を採用し、回転数に応じて始動性や最大出力などそれぞれに適した点火時期を設定した。

Fig. 3 にエンジン性能曲線を示す。

3.2. 小型化のためのエンジン配置と冷却構造

キャンピングカー電源として使われる場合の設置スペースを少なくするため、全幅のスリム化に重点を置き、パッケージングを検討した。

Fig. 4 に従来の EU3000is と EU3000i Handi のエンジン

搭載方向と全幅サイズおよび冷却風通路を示す。

既存の EU3000is では、きょう体内の冷却風の圧力損失を小さくするため、冷却風通路が直線的で短くなるよう、クランクシャフトの直角方向を発電機の幅方向としている。これに対し、EU3000i ハンディではエンジン幅の最も小さい側であるクランクシャフト方向を発電機の幅方向とした。これにより、既存の EU3000is に比べて 21%小さくした全幅 379 mm のボデーを実現した。

エンジン配置の変更に伴い、冷却風の流れが直線的でなくなること、高密度な部品配置によるきょう体内空間の減少により、開発初期は EU3000is に比べ冷却風の圧力損失が増え冷却風が流れにくかったが、数値流体力学(Computational Fluid Dynamic: CFD)解析による冷却風通路形状の改良により、冷却性の良い冷却風通路を構成した。

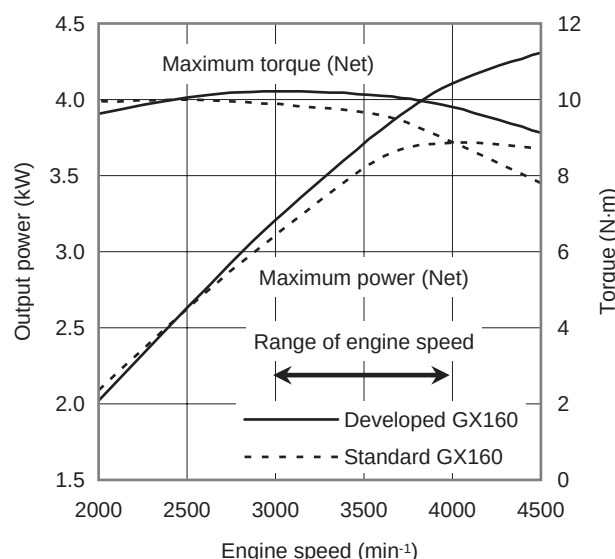


Fig. 3 Engine performance

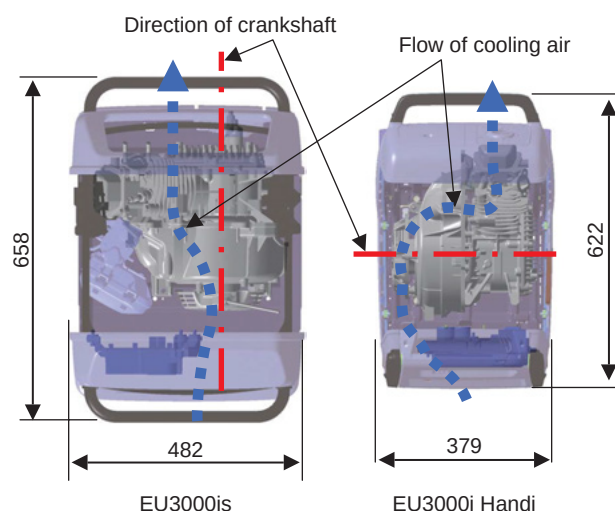


Fig. 4 Location of engine in relation to full width of generator

Fig. 5 に CFD 解析によるエンジンのシリンダヘッド回りの冷却風流れの改善例を示す。

開発初期に比べてシリンダヘッド下側の冷却風量不足を改善した。

また、Fig. 6 は発電機ボデー内の冷却風の流れ経路のイメージである。

主にインバータユニット等の発熱の少ない部品エリアとオルタネータやエンジン、マフラなど的高発熱部品エリアとをセンタフレームを利用した隔壁で仕切り、発熱の少ない部品エリアから高発熱部品エリアへと冷却風を流すことで効率良く冷却する構造とした。

3.3. シンプルなフレーム構造

フレーム構造に関する軽量化手法の一つは、既存の EU3000is の鋼板を多用した構造に対して、樹脂を多用したことである。

EU3000is のフレームとカバーの構成を Fig. 7 に、EU3000i Handi の構成を Fig. 8 と Fig. 9 に示す。

EU3000is は建設現場での使用等のプロユースを想定しているため、フロントカバーとリヤカバーを除き、フレームとカバーの材料に鋼板を使用し、ヘビーデューティな仕様になっている。

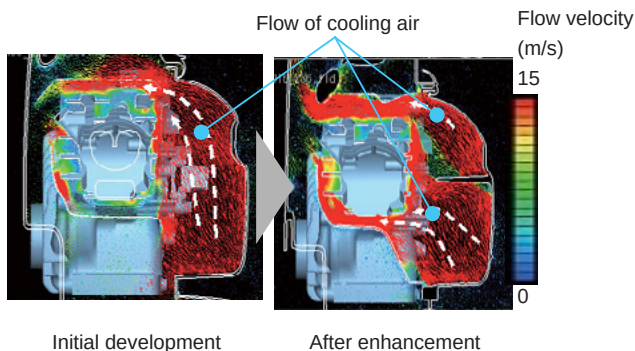


Fig. 5 Cooling air flow dynamics around cylinder head

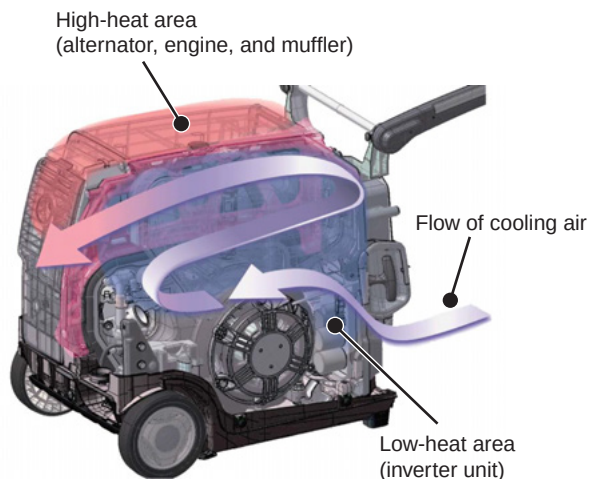


Fig. 6 Flow of cooling air

それに対して、レジャーユースを想定し、軽さを訴求する EU3000i Handi はセンタフレームで補強した樹脂モノコック構造とした。

けん引ハンドルとホイール間を結合する主骨格となるセンタフレームはマフラに近接しているため、冷却風が止まる運転停止直後にマフラからの熱ふく射による温度上昇が生じる。温度上昇時にフレーム剛性を確保するためには弾性率の温度依存が小さい金属材料の選択が必要であり、EU3000i Handi ではマグネシウム合金を採用した。

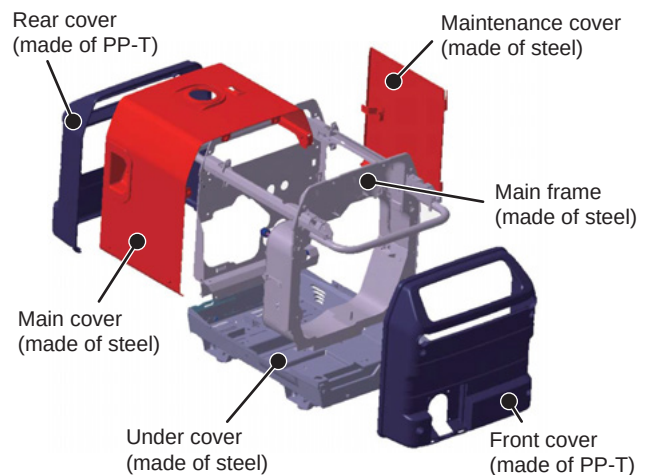


Fig. 7 Structure of frame and cover (EU3000is)

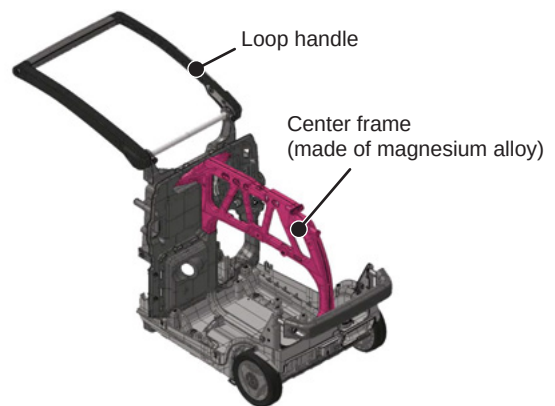


Fig. 8 Structure of frame (EU3000i Handi)

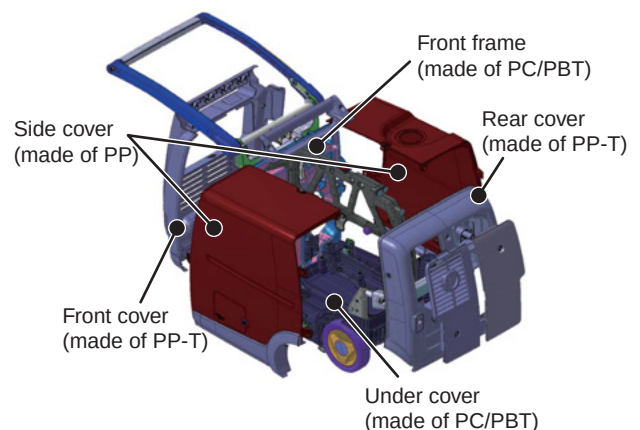


Fig. 9 Structure of cover (EU3000i Handi)

熱の影響を受けにくい高強度・高剛性の主骨格を得ること、その他のフレーム・カバーは汎用樹脂のみで構成した樹脂モノコック構造が可能となり、軽量化だけでなくコスト面でもメリットを得ることができた。

軽量化の効果としては、フレームとカバーの合計質量は EU3000is の 14 kg に対し EU3000i Handi では約 60% 削減し 6 kg を実現した。

3.4. インバータ ユニット

EU3000i Handi では、エンジンの最高回転数を EU3000is より引き上げたため、オルタネータのサブ巻線電圧範囲が広がり、幅広い入力電圧に対応する電源回路構成が必要になった。EU3000is と同等の電源回路構成では、エンジンの高回転域における電源回路の損失が増加し、ユニットが大型化してしまう。したがって、EU3000i Handi では、低回転から高回転までの幅広い入力電圧範囲で安定して動作でき、損失の少ないリングチョークコンバータ方式を採用した。

また、波形フィードバック制御をソフトウェア処理とすることで、部品点数の削減が可能となり、基板面積を削減した。既存の EU3000is のインバータユニットと EU3000i Handi のインバータユニットを Fig. 10 に示す。

EU3000is では別体だったノイズフィルタを内蔵しても、EU3000is のインバータユニットと同等の外形寸法維持と、質量を 13% 低減し 500 g の軽量化を実現した。

また、インバータユニットには新たに簡易アワーマータ機能を内蔵した。プロユースと異なりレジャーでは不定期に発電機を使用することが多いため、累積使用時間を把握しにくく、エンジンオイル交換等のタイミングがわかりにくい。EU3000i Handi ではメンテナンス時期の目安を使用者に知らせるために、インバータユニットに運転時間を記憶させ、エンジン始動時に累積運転時間に応じて出力表示灯を点滅させる機能を設けた。点滅パターンは、運転時間

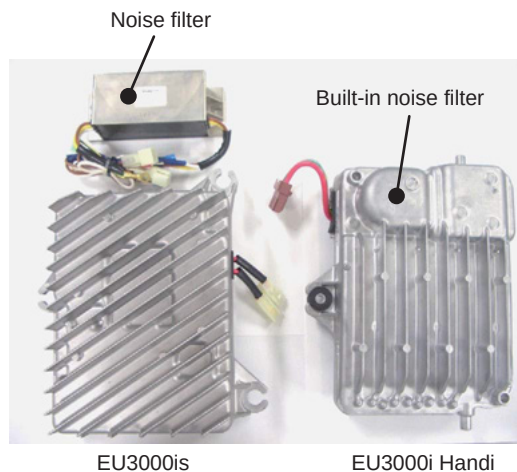


Fig. 10 Inverter unit

100時間までは点滅なし。以後、100時間ごとに1回ずつ点滅回数を増やし、500 時間以上は5回点滅する。

3.5. オルタネータ

EU3000is と EU3000i Handi のオルタネータを Fig. 11 に示す。

EU3000i Handiでは、高磁力マグネットの使用および、磁気回路のパーミアンス係数(磁気回路と磁石形状により決まる係数)をアップすることにより、マグネット厚を薄くし巻線スペースを確保した。また、Fig. 12に示す磁束密度分布シミュレーションより、ステータコアを流れる磁束密度を解析しステータコア設計をおこないEU3000isに対して、発電能力を従来同等としながら積厚を 5 mm 薄くし、質量を 14% 低減し 730 g の軽量化を実現した。

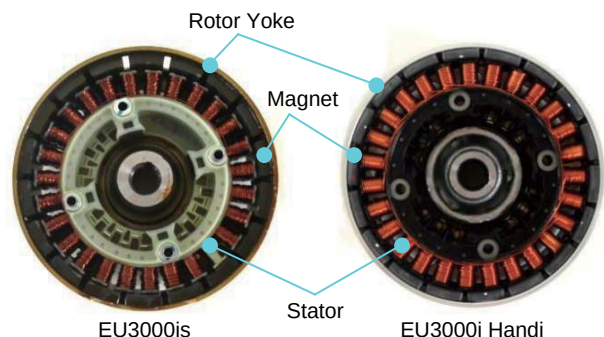


Fig. 11 Alternator

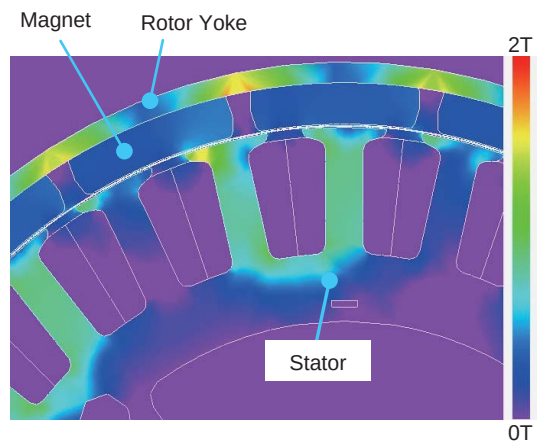


Fig. 12 Distribution of magnetic flux density of alternator

4. 発電性能

インバータ発電機は過負荷状態および出力短絡が発生した場合、負荷装置と発電機自身の保護を目的に過負荷保護機能を有している。過電流保護機能は出力電流の検出値が過電流しきい値を超過した時間をカウントし、設定された期間、過電流状態が継続したら発電停止させる。出力短絡時には上記過負荷保護機能に加えてハードリミット回路によ

りパワー素子のスイッチング動作を停止させ、短絡電流のピーク電流を抑制し発電機を保護する。この間、マイコンは過電流を検出し、設定時間経過後に発電停止させる。

レジャーユースにおけるRVエアコンは、冷房能力4kWクラスが主流となっており、発電出力3kVAの発電機で通常は運転できる。しかしながら、RVエアコンのスイッチ操作を素早く何度も繰り返すとRVエアコンのコンプレッサがロックしロック電流が流れるため、瞬時的に3kVA以上の発電出力が必要となる。このときの出力電流は過電流しきい値を超えるため、設定期間内にコンプレッサのロック状態が回復しないと保護機能が作動し、RVエアコンを作動できない。このため、冷房能力4kWクラスのRVエアコンの作動には、通常時は3kVAの発電機で使用できるにもかかわらず、3.5kVA以上の発電機が必要となる。

EU3000i Handi では、このコンプレッサロック状態から復帰するまでの期間において、ロック電流に耐えうる大容量パワー素子を採用すると共に、過負荷保護機能の作動時間を従来の5秒から10秒に延長することにより、発電出力3kVAの発電機で、冷房能力4kWクラスのRVエアコンに対応した。

しかし、上記設定時間を出力短絡時においても適用すると短絡電流の流れる時間が従来の倍になり、パワー素子の電流破壊の要因となることがある。そのため、新たに短絡電流検出をおこない、短絡電流が流れた場合は5秒間で出力を停止させ、発電機を保護する設定とした。

5. 騒音低減技術

(1) 吸気音の低減

EU3000i Handi はポータブルエンジン発電機として初めて吸気レゾネータを採用し、吸気音の低減を図った。Fig. 13 に吸気口、吸気レゾネータ、キャブレタの位置を示す。

キャブレタ下のスペースを利用し、ヘルムホルツ型レゾネータ⁽³⁾を設定した。

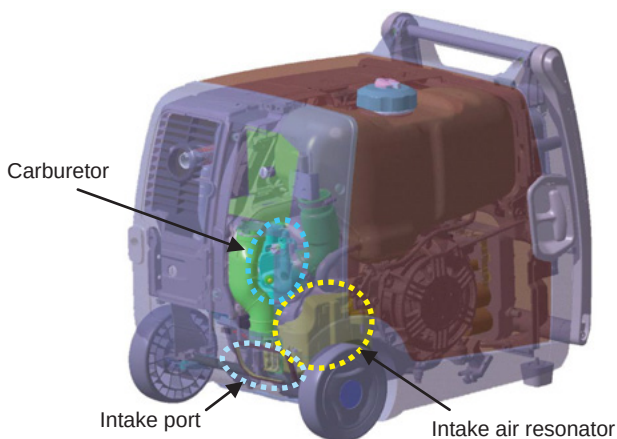


Fig. 13 Location of intake port, resonator and carburetor

Fig. 14に吸気レゾネータ有り無しでの、吸気口近接騒音特性を示す。

200 - 630 Hz の吸気音帯域の騒音抑制をねらい、CAE を利用した容積設定、形状設計の結果、吸気口から45度、500 mm 位置での近接騒音にて 5dB(A)以上の効果を得た。

(2) 放射音の低減

メカニカルノイズに対しては、樹脂カバー内側に溶着固定した吸音材による吸音や、きょう体開口部(冷却風の入口と出口)と、メカニカルノイズ源であるエンジンとの間の空間に大型部品(インバータユニット、マフラ)を配置し遮音効果を高めることで、きょう体外部への放射音を減少させている。

吸音材については、EU3000is にはウレタン発泡材やフェルトを使用しているが、自動車分野で使用されている吸音率に優れたポリプロピレン製の不織布⁽⁴⁾を採用した。同等の吸音率を維持しつつ吸音材の厚さを約 40%減らしたことで全幅の削減に寄与した。また、質量も約200 g削減した。

これらの騒音低減技術により、定格出力(2.6 kVA)時の騒音値は目標値の L_{WA} 91 dB を達成した。EU2000i の定格出力の 1.6 kVA での騒音値を 3.5 dB 低減し、ワンランク上の静粛性を実現した。

Fig. 15 に実用出力域における EU3000i Handi の騒音特性と EU2000i の定格出力時の騒音値を示す。

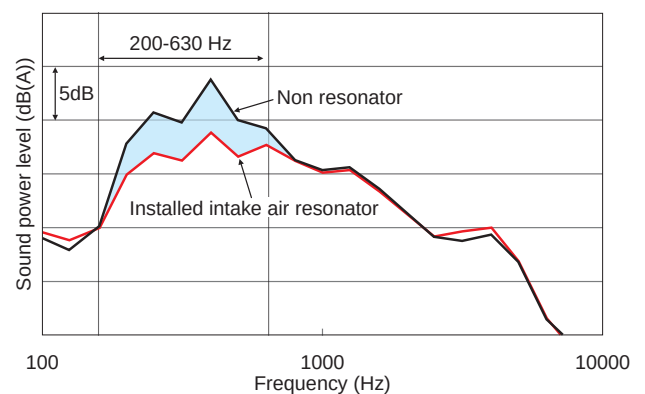


Fig. 14 Noise characteristics around inlet

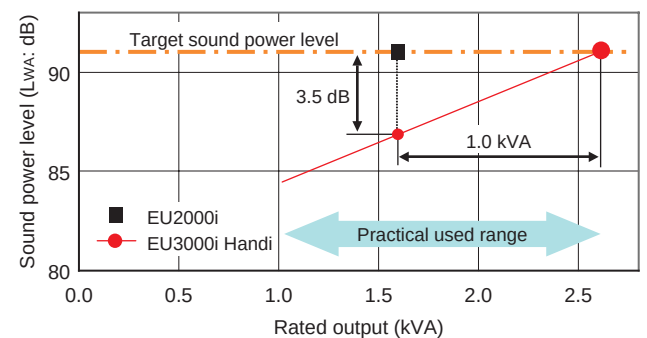


Fig. 15 Noise characteristics of EU3000i Handi

6. まとめ

各コンポーネントの小型・軽量化とシンプルなフレーム構造に加え、レジャーでの使い方に合わせて装備仕様と連続運転時間を見直した。プロユース仕様の EU3000is に対して、セルスタータを廃止しリコイルスタータのみとしたこと、レジャーユースで必要な定格出力時連続運転時間 3.5 h を確保しつつ燃料タンクを小型にすることにより、軽量コンパクトで手軽に使える 3 kVA クラス発電機を具現化した。

Fig. 16 に EU3000i Handi の外観、Fig. 17 にけん引ハンドルを使用した移動時のイメージ、主要諸元を Table 1 に示す。

以下に EU3000i Handi の小型・軽量化技術内容のまとめを示す。

(1) 各コンポーネントの小型軽量化とマグネシウム合金製センタフレームで補強した樹脂モノコック構造により、35.2 kg の乾燥質量を達成し、楽に扱える軽さを実現した。これは、同出力の従来機 EU3000is に対し 42% の軽量化に相当する。

また、二輪ホイールと折りたたみ式のけん引ハンドル装備により、けん引荷重を 80 N とし、一人で楽に運べる優れた可搬性を備えた。

全幅は 379 mm とし、EU3000is に対して 103 mm の



Fig. 16 Appearance of EU3000i Handi



Fig. 17 EU3000i Handi with handle

Table 1 EU3000i Handi specifications

		EU3000i Handi
Engine	Displacement (cm ³)	163
	Speed (min ⁻¹)	3000-4000
Generator	Max. AC output (kVA)	3.0
	Rated AC output (kVA)	2.6
Continuous operating hours (h)		3.5
Operating noise level (L _{WA} : dB)		91
Dimensions	L×W×H (mm)	622×379×489
	Dry mass (kg)	35.2
	Wet mass (kg)	40.1

スリム化を達成すると共に、体積では36%のコンパクト化を図った。

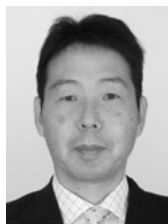
(2) 既存 EU3000is より排気量が 17% 小さいエンジンの使用による軽量化と共に、発電出力 3 kVA を確保しつつ、RV エアコンの使用に必要な瞬時出力も確保した。

(3) 定格出力時の騒音値 L_{WA} 91 dB を達成し、定格出力が約 40% 小さい EU2000i と同等の騒音レベルを達成した。

参考文献

- (1) Kouchi, T., Ito, K., Nakamura, M.: Development of a Lightweight and Compact 1kVA-class Portable Generator, SAE Paper, 1999-01-3304(1999)
- (2) 河内敏文, 清水元寿, 広瀬忠文, 杉本幸男: 軽量コンパクトな正弦波インバータ発電機「EU16i」の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.13, No.2, p.35-42
- (3) 福田基一, 奥田襄介: 騒音対策と消音設計, 共立出版, p.156(1974)
- (4) <http://www.mmm.co.jp/auto/acoustic/tai/index.html>, 2009/11/6

■著者■



平沼 淳二



広瀬 忠文



結城 仁



田中 豪



室野井和文