

インバータ発電機「EU6500is」の低騒音・軽量化技術

Low Noise and Lightweight Technology of Inverter Generator EU6500is

田 中 良 男*

Yoshio TANAKA

小野寺 泰 洋*

Taiyo ONODERA

岡 部 格*

Kaku OKABE

伊 藤 隆 司*

Takashi ITO

要 旨

定格出力 4.5 - 5.5 kVA クラス世界トップレベルの静かさと軽量のポータブルエンジン発電機 EU6500is を開発した。

EU6500isは空冷式単気筒エンジンを搭載した既存の開放型インバータ発電機 EM6500is をベースにマフラの冷却方法にエアガイド付きマフラ冷却構造を投入することや、高剛性モノコックフレームの採用などで騒音の低減と軽量化を両立させた。その結果、定格出力 5.5 kVA で騒音値 L_{WA} 90 dB を達成した。これは出力がおよそ半分の防音型インバータ発電機のEUシリーズと同等以上の低騒音である。また、同出力帯の水冷式二気筒エンジンを搭載したポータブルエンジン発電機 EX5500 と同等以上の低騒音でありながら、重量は35%の低減、及び体積は33%のコンパクト化を図ることに成功した。

その結果 EU シリーズ最上位機種としてバックアップ電源やレジャーユース等幅広いニーズに対応できる商品とすることが出来た。

ABSTRACT

A lightweight, portable engine generator, EU6500is, which has a rated output of between 4.5 and 5.5 kVA and a world top-level quietness was developed.

The EU6500is, which is based on the existing EM6500is open frame type inverter generator, on which an air-cooled single cylinder engine is mounted, employs a muffler cooling system with an air guide for cooling the muffler and realizes low noise and reduced weight due to the use of a highly rigid monocoque frame, and the like. As a result, the noise value L_{WA} at the rated output of 5.5 kVA was 90 dB. This is at least as low as the EU series soundproof frame type inverter generator, which has an output of about half that of the EU6500is. Also, while the noise emitted from the new generator is at least as low as that of the EX5500 portable engine generator, on which a 2-cylinder water-cooled engine of comparable output is mounted, the weight has been successfully reduced by 35% and the volume by 33%.

As a result, the new generator can cope with a wide range of needs, such as an emergency backup power source or for leisure, as the top model in the EU series.

1. 背景

ポータブルエンジン発電機は、近年増加しつつある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のアウトドアでの電源など多くの現場で求められている。一方、急激な経済発展のため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、業務や生活面での電気・電子機器類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ともに電力需要が高まる中、この様にポータブル電源は益々ニーズが高まってきている。また、これら様々なニーズに対応するためには、従来以上に高品質な電気性

能、低騒音、軽量コンパクト、低燃費(CO₂削減)が求められている。

インバータ発電機は高品質な電気性能⁽¹⁾を有しているのに加え、環境への適合性能(低燃費、低騒音)にも有利である。このインバータ発電機に騒音低減技術を投入することで、これらの市場ニーズにも対応した発電機とすることが出来る。

従来、インバータ式発電システムを搭載した防音型発電機はキャンピング等のレジャーユースが主流であったため 3 kVA クラス以下の開発を行ってきた。一方バックアップ電源などの市場は 5 kVA 以上の高出力を求めてきている。また、近年の電子機器の用途拡大や騒音問題等の環境適合

*汎用開発センター

性への関心の高まりにより、高品質な電気性能や低騒音に対する要求が拡大している。これらの多様なニーズに応えるべく定格出力 5.5 kVA とし低騒音と軽量化技術を重点的に取り組んだ。

2. 開発目標と課題

ポータブルエンジン発電機は大きく分類すると、シンプルで軽量な開放型フレーム構造と、騒音の低減を目的とした防音型フレーム構造の二種類がある。また、発電システムも従来システムである二極または四極界磁回転型円筒オルタネータと、近年増加してきた多極オルタネータとインバータユニットを組み合わせたインバータ式多極オルタネータを搭載したものがある (Fig. 1)。

EU6500is の開発にあたり、騒音目標値を既存 EU シリーズ^{(1), (2)} (EU1000i, EU2000i, EU3000is) 同等騒音レベルとした。既存 EU シリーズは二重防音カバー構造に加え、軽負荷時のエンジン回転を低減させる負荷連動回転制御機能により、実用時に多用される負荷領域 (以下実用負荷領域、無負荷 - 1/2 負荷) での騒音低減を行っている (Fig. 2)。これにより EU6500is の騒音目標値は実用負荷領域で音響パワーレベル $L_{WA}80 - 85$ dB 以下、定格負荷時 90 dB 以下とした。この目標値は開放型インバータ発電機 EM6500is に対して約 10 dB 低い騒音値である。

		Generator type	
		Double-pole field rotary	Multi-pole field rotary & inverter unit
Frame type	Open frame type generator	EM6500 	EM6500is 
	Soundproof type generator	EX5500 	EU6500is 

Fig. 1 Type of generator

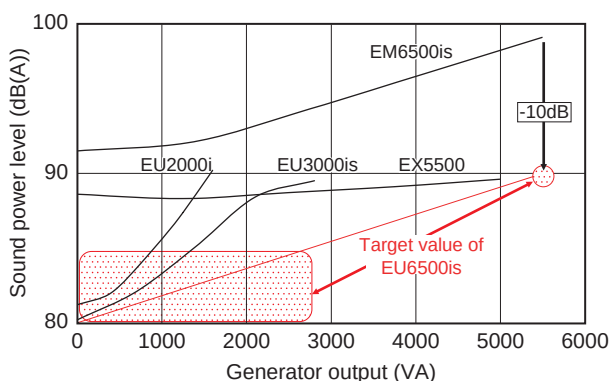


Fig. 2 EU series sound power level

Table 1 Sound pressure level in living area

Sound pressure level L_{PA} (dB)	Typical sound
100 – 110	Loud car horn
90 – 100	Noisy factory
80 – 90	Inside subway
70 – 80	Noisy office
60 – 70	Business office
50 – 60	Conversational speech
40 – 50	Living room
30 – 40	Library

実用負荷領域での音響パワーレベル $L_{WA}80 - 85$ dB を日常騒音レベル L_{PA} (Table 1) と比較した場合、発電機より 7m 離れた位置では普通の会話と同等レベル (50 - 60 dB) であり、低騒音を充分認識できるレベルとして目標設定した。

重量と騒音レベルに関する開放型発電機と防音型発電機の従来機種的位置付けと EU6500is の目標値設定の位置付けを Fig. 3 に示す。EX5500 は低騒音ではあるが重量が重い。また EM6500is は軽量ではあるが騒音面では EU シリーズには及ばない。そこで前述の騒音目標を EM6500is 同等の大きさと重量で実現することとした。

上記の騒音値、重量を達成するための課題を以下に示す。

- (1) きょう体の吸遮音性能と冷却性能、コンパクト化の両立。
- (2) 音漏れ防止のためのきょう体気密性の確保。
- (3) 低コストでの騒音の低減技術の開発。

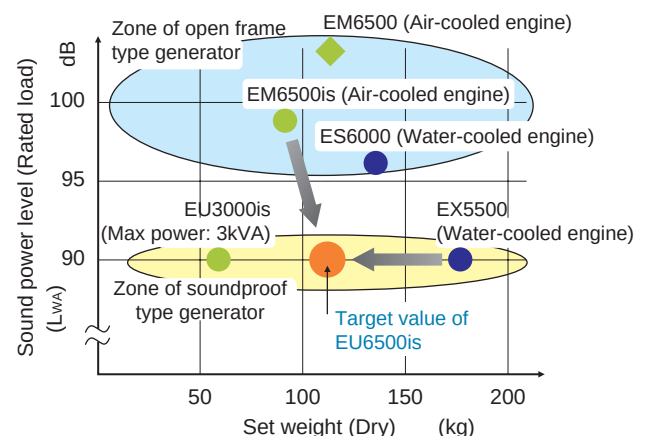


Fig. 3 Target positioning for sound power level and set weight



Fig. 4 External view of EM6500is and EX5500

Table 2 Comparison of specification with EM6500is and EX5500

Engine	Displacement (cm ³)	EM6500is	EX5500
	Speed (rpm)	* 2400 - 3600 ☆ 3300 - 3600	3600
Operating noise level (L _{WA} ; dB)		98	90
Generator	Type	Multi-pole field rotary	Double-pole field rotary
	AC voltage (V)	120/240	120/240
	AC frequency (Hz)	60	60
	Max. AC output	6500	5500
	Rated AC output	5500	5000
Dimensions	L × W × H (mm)	810 × 672 × 692	942 × 580 × 650
	Dry weight (kg)	97	177

*: Eco SW ON

☆: Eco SW OFF

これらの課題を解決するために実用負荷領域で回転数を下げることで燃費向上と騒音低減できる軽量コンパクトな開放型インバータ発電機 EM6500is⁽³⁾をベースとして発電部と基本構造を流用し開発を進めることとした。

従来型の円筒式オルタネータを搭載した防音型発電機 EX5500 と、ベース機としたインバータ発電機 EM6500is の外観を Fig. 4 に、主要諸元比較を Table 2 に示す。

3. 騒音低減技術

ベース機EM6500isの騒音をマスキング法により分析し、その寄与率を Fig. 5 に示す。EU6500is での騒音低減を行うにあたり、騒音要因の97%を占める下記四経路について、それぞれに改良を行うこととした。

- (1) エンジン放射系経路
- (2) 吸気系経路
- (3) 排気系経路
- (4) 冷却風排出系経路

各経路に対する騒音低減手法を以下に示す。

3.1. エンジン放射系経路騒音の低減

主としてエンジンより発生する機械系騒音(エンジン加振

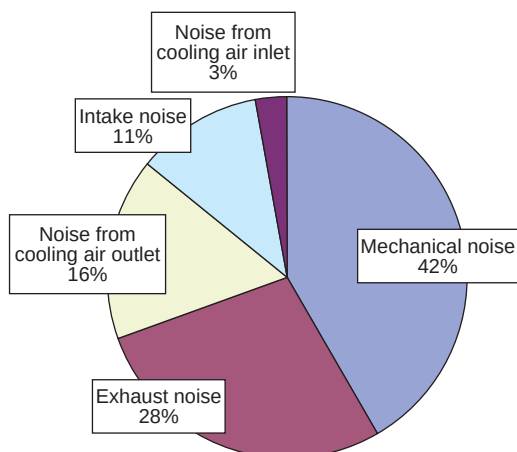


Fig. 5 Sound contribution ratio (EM6500is)

力による放射音・動弁系音・ピストン音・ファン音等)の放射を低減するため、エンジン全周を覆うシュラウドときょう体外板による二重防音カバー構造とした。また、シュラウドときょう体外板で構成される空間を密閉空間とすることにより遮音効果を持たせ、きょう体については隙間シール部材を用いて騒音の漏れ防止を行った。

以上の構成により、開放型フレーム構造の EM6500is に対し、エンジン放射系騒音をエネルギーレベルで95%低減させた。軽量かつ密閉性の高いきょう体構造の詳細については4章で述べる。

3.2. 吸気系騒音の低減

吸気系レイアウトを Fig. 6 に示す。

本吸気系は EM6500is にて発生していた主として 200 - 500 Hz の吸気騒音低減を目的に、高い伝達損失を得るために、EM6500is の吸気系を流用しつつ、吸気入り口部にラバーにて狭窄部と吸気経路の途中に膨張室を設けた。これによる伝達損失変化を Fig. 7 に示す。

吸気系変更により、EM6500is に対し吸気系騒音をエネルギーレベルで 70%低減させた。

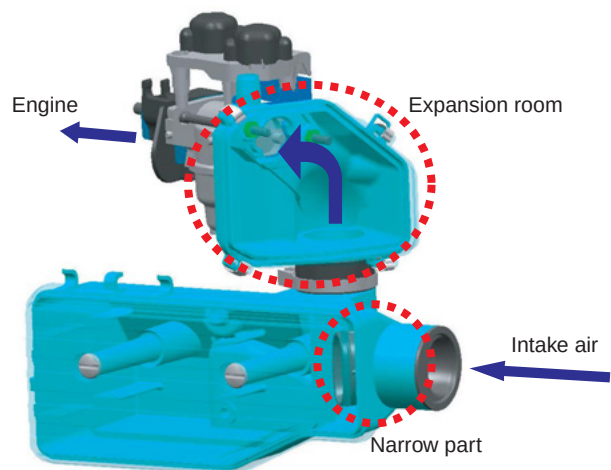


Fig. 6 Layout of intake system

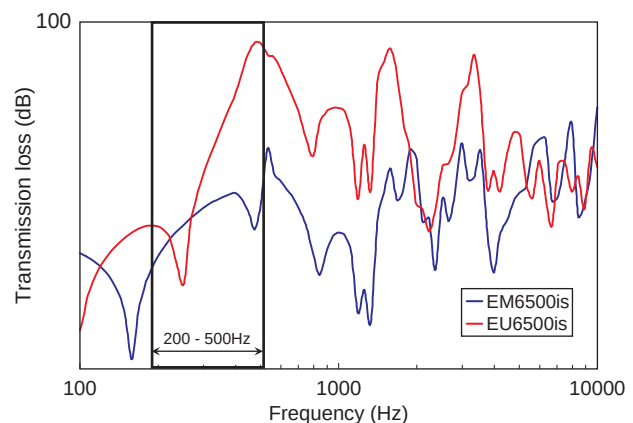


Fig. 7 Comparison of transmission loss (EU6500is, EM6500is)

3.3. 排気系騒音の低減

排気系騒音低減のため膨張室の一部に吸音材を配置した6.4リットル四室構造大型マフラを採用した。また内在するチャンバ接続管の入口側端部はフレア形状とし、気流音の低減と背圧低減を行った。

マフラの大型化及び内部構造変更により、排気口からの騒音をエネルギーレベルで95%低減させた。

3.4. 冷却風排出部騒音の低減

冷却風排出系の主な騒音源は冷却風排風開口部より放射されるエンジン機械系騒音である。このエンジン機械系騒音の低減を行うこととしたが、動力源に空冷エンジンを用いた場合、冷却風路の変更は冷却性能を低下させる恐れがあるため、冷却性能に重点を置きマフラ室構造変更による騒音の低減化を検討した。

開発目標値は EM6500is に対し以下の三点とした。

- (1) 排風開口部からの騒音エネルギーを80%以上低減
- (2) 冷却性能は運転中・停止後ともに既存機同等以上
- (3) 軽量かつコンパクトな構造であること

参考として EM6500is の冷却構造を Fig. 8 に示す。

EM6500is における冷却の考え方は運転中・停止後では以下の通りである。

運転中の冷却：発熱の低い順にエンジン直結の冷却ファンで強制対流により冷却を行う。

停止後の放熱：きょう体内構造に勾配を設け、最上端の排風開口部から自然対流により放熱を行う。

従来のポータブルエンジン発電機ではコンパクトさが要求されるため、Fig. 8 の様に排風開口部とエンジンが接近し、結果として排風開口部からのエンジン機械系騒音が増加する傾向にある。

この機械系騒音を低減させる手法としては、排風開口部付近に遮音または吸音材を設ける手法や、排風開口部面積の縮小、排風開口部以降に消音チャンバを追加する⁽⁴⁾等の手法があるが、冷却性能の悪化やサイズアップ等の問題が

発生する。このことから従来手法の組合せでは全ての目標値を達成することが困難であった。

今回、Fig. 9 に示すエアガイドをエンジンとマフラの間に設置することにより、これらトレードオフの関係にあった問題を解決した。

3.4.1. 騒音の低減

エアガイドの設置位置は以下三点の理由によりマフラとエンジンを仕切る位置と決定した。

- (1) 排風開口部から直接放出されるエンジン機械系騒音を低減することが出来る。
- (2) エンジンから排風開口部までの冷却風経路を、全長を伸ばさずに長くとることが出来るため、コンパクトで騒音を減衰させることができる。
- (3) 冷却性能の維持(3.4.3. で記述)

ここで、(1)の効果を上げるためにエアガイドの形状は、排風開口部からエンジンが直接見えない形状とし、また(2)の効果を上げるために冷却風経路内周に吸音材を施した。

測定の結果、エアガイドを採用することにより冷却風排出系の騒音エネルギー低減量は90%であり目標値を超える結果が出た。また、吸音材による高周波域非定常音の低減により騒音フィーリングの向上が認められた。

3.4.2. 運転中の冷却性能

エアガイドの装着による圧力損失から冷却風量減少による運転中のエンジンおよびマフラの冷却性能の悪化が懸念されたが、運転中のエンジンオイル温度、電装部品等の温度は既存機種同等レベルであった。

マフラの冷却性能については、マフラ内部の排気ガス温度の測定を行った。温度測定の結果、排気ガス温度は約30℃低下した。これはエアガイドにより冷却風が整流化され、マフラ表面を効率よく冷却していることを示している。マフラの冷却性向上は、エンジン停止後のアフタバーン発生リスクを抑えることができる。タフト法により可視化した運転中のマフラ周りの冷却風の流れ、及び冷却風全体の流れの模式図を Fig. 10 に示す。

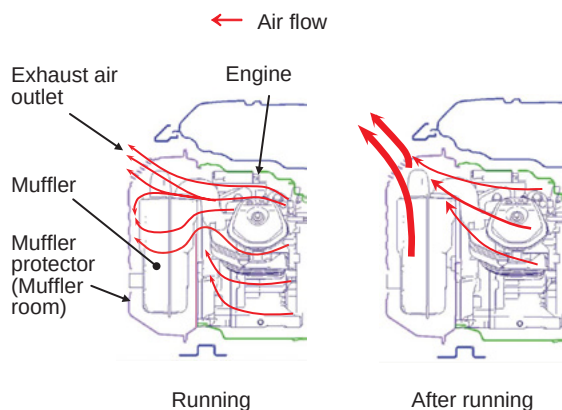


Fig. 8 Conventional cooling system (EM6500is)

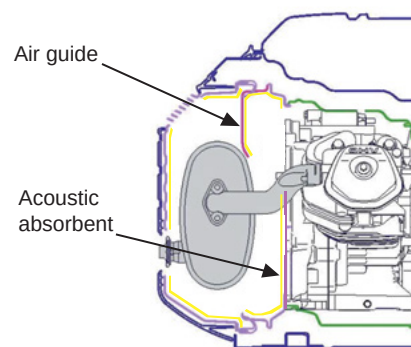


Fig. 9 Air guide

3.4.3. 停止後の熱対策

空冷の防音型発電機の冷却において、最も重要なことはエンジン停止後の熱対策である。空冷エンジンを用いた発電機の場合、冷却ファンがエンジンと直結されているため、エンジン停止とともに冷却風の供給が停止する。これにより、きょう体内で最高温部であるマフラ近傍の雰囲気温度はエンジン停止とともに急激に上昇する。この高温の空気がエンジン室や電装室に逆流した場合、電装部品や樹脂部品の機能低下や、キャブレタフロート室内のガソリン温度上昇による再始動性能の低下につながる場合がある。

EU6500isでは、従来の自然対流による放熱を進展させ停止後の熱問題を解決した。

エアガイドの設置はマフラとエンジンを仕切る位置としたが、これは停止後マフラの熱により発生した自然対流(上昇気流)を利用し、きょう体内の熱を積極的に吸出すことを狙いとして設定した。停止後の熱の流れを Fig. 11 に示す。

エンジン停止と同時にマフラ雰囲気温度(T_m)は急激に上昇する。温度上昇によりマフラ近傍の気体は上昇気流となり排風開口部より庫外へと排出される。

一方、エアガイドにより仕切られたエンジン雰囲気温度

(T_e)も上昇するが、マフラ近傍の上昇気流によりエンジン雰囲気空気はマフラ室下方へ引き込まれ、次にマフラにより加熱され上昇気流となって庫外へと排出される。

エンジン全体をシュラウドで覆うことにより、冷却風吸入口から排風開口部に至る冷却風路を閉鎖経路で構成することで、この熱の流れはエンジン停止直後より連続的に行われる。

エンジン停止後のマフラ雰囲気温度(T_m)とエンジン雰囲気温度(T_e)の関係を Fig. 12 に示す。

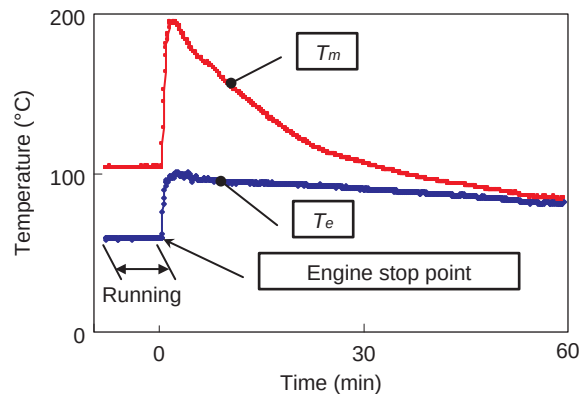
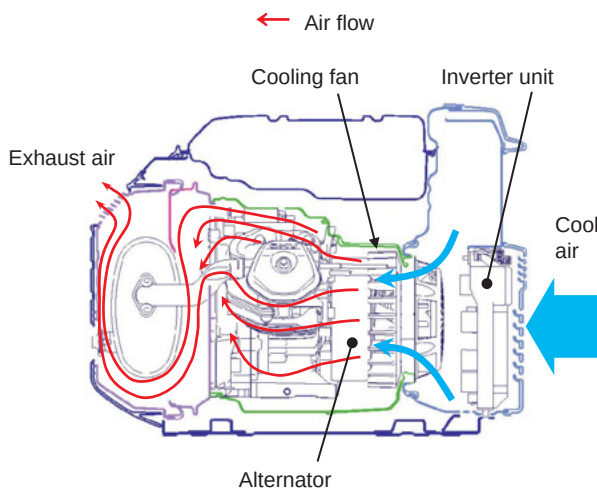
Fig. 12 Temperature of T_m , T_e 

Fig. 10 Ambient airflow of muffler (Running)

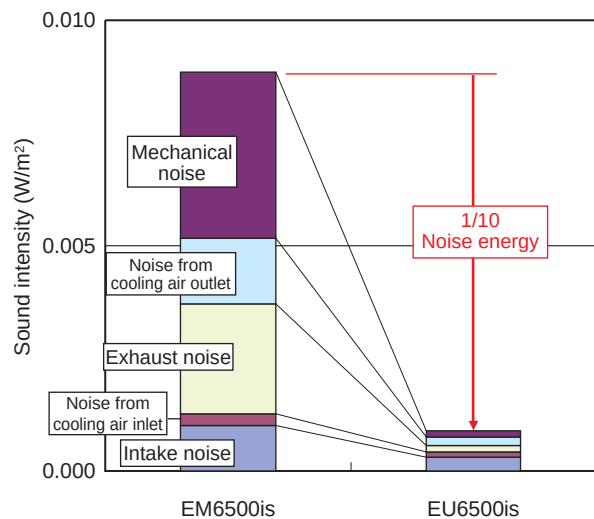


Fig. 13 Effective noise level

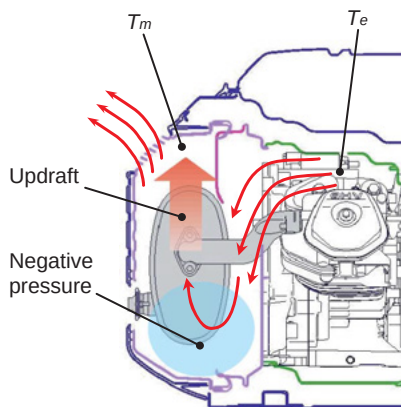


Fig. 11 Waste heat flow (After running)

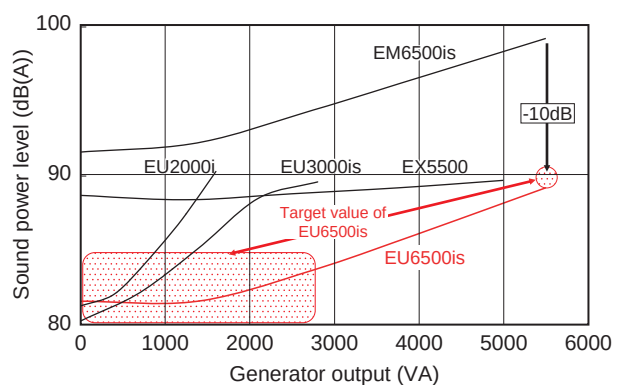


Fig. 14 Sound power level

エンジン停止直後、マフラ雰囲気温度は最大 200℃まで上昇するが、エンジン雰囲気温度は最大でも 100℃にとどまる。これは、マフラ近傍の高温空気が逆流することなくきょう体外へ放出されていることを示す。また連続的に放熱が行われるため、時間の経過とともにきょう体内温度は低下し、既存の防音型発電機と同等レベルの結果が得られた。

以上の四経路に対し対策をした EU6500is と、EM6500is の各騒音伝達経路の騒音寄与率を Fig. 13 に、目標値および他機種との騒音比較を Fig. 14 に示す。

EM6500is に対し、騒音エネルギーにて 1/10 に低減し、定格負荷で L_{WA} 90 dB を達成することができた。また、既存の EU シリーズ(定格 2.8 kVA 以下)と同等以上の騒音性能とすることができた。

4. 軽量フレーム技術

EU6500is は同出力帯の防音型発電機 EX5500 に対して大幅な重量、体積減を前述の騒音の低減化技術、冷却構造およびモノコックフレーム構造を用いることで達成した。本章ではその詳細について述べる。

防音型発電機のフレーム構造は軽量と低コストとの両立が課題である。防音型軽量フレームの課題を以下に示す。

(1) 防音性能を上げるために気密性の高い構造が必要。

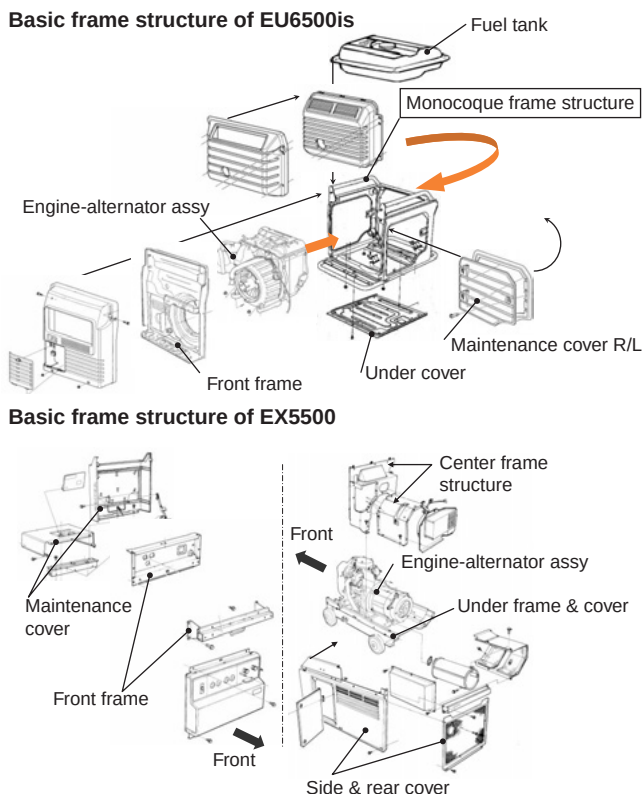


Fig. 15 Frame structure of EU6500is and EX5500

Table 3 Number of frame components and weight reduction effect

Type Item	EX5500	EU6500is	Reduction ratio
Number of principal constitute parts for frame	19	8	-58%
Weight of principal constitute parts for frame	81.0 kg	27.5 kg	-66%

(2) メンテナンス用の扉をつけても、重量を増加させることなく外板のみで剛性を確保できること。

(3) 部品点数を増加させることなく組立性を確保すること。
従来機種の EX5500 と EU6500is の基本フレーム構造を Fig. 15 に示す。

EX5500 を含む従来の大型の防音型発電機は剛性の高いラダーフレームに鉛直方向の強度部材を取付けて外板を止めるフレーム構造が主流である。この場合はパネルの交換などは容易である反面、部品点数が増加する傾向にあり、軽量化の面とコスト面でも不利である。また外板の合わせ面増加により気密性の確保が困難であった。

そこで EU6500is はエンジンやオルタネータなどのパネ上重量物を支えるアンダフレームをパイプとチャンネルを組み合わせたシンプルな構造とした。そして鉛直方向の強度部材を左右側面の外板と一体とし、アンダフレームと溶接結合させてモノコックフレームとした。これにより特別な縦方向の強度部材が無くても吊り上げが可能な強度が得られた。また、アンダカバーは騒音低減だけの機能に特化した設定が可能となり、薄板のメッキ鋼板とすることで軽量化と低コスト化が可能となった。

メンテナンス・カバーはサイドパネルプレス時に同時成型し、材料の無駄が発生しない様に工夫したことで大きくコストダウンにも寄与させた。またエンジンの搭載組み付け性の向上の為に前方を大きく開放させてフロントフレームで結合させる構造とした。

一方、モノコックフレーム構造で十分な剛性が得られたため、前後は形状の自由度の高い樹脂カバーにて覆う構造を採用し軽量化とシール性能を高めることができた。またフューエルタンクを上部カバーの役割とすることで軽量化に寄与させた。

この結果、従来機種 EX5500 に対して主要フレーム構成部品を 19 点から 8 点へ大幅に減らすとともに重量 81 kg から 27.5 kg へと大幅に軽量化を達成しつつ防音効果を高めることに成功した。

結果を Table 3 に示す。

5. まとめ

今回開発した EU6500is は EM6500is に対して約 10 dB 騒音低減し、既存の EU シリーズ(EU1000i, EU2000i, EU3000is)と同等の L_{WA} 90 dB を達成した。また同出力帯の

Table 4 Specification of EU6500is

		EU6500is
Engine	Displacement (cm ³)	389
	Speed (rpm)	* 2400 - 3600 ☆ 3300 - 3600
Operating noise level (L _{WA} ; dB)		90
Generator	Type	Multi-pole field rotary
	AC voltage (V)	120/240
	AC frequency (Hz)	60
	Max. AC output	6500
	Rated AC output	5500
Dimensions	L × W × H (mm)	850 × 672 × 699
	Dry weight (kg)	115

*: Eco SW ON

☆: Eco SW OFF

防音型発電機 EX5500 に対して実用負荷領域で約 5 dB の騒音低減(Fig. 14)と、重量 35%減、体積 33%減をそれぞれ達成した。

本開発での新規改良点を以下に示す。

- (1) 騒音発生、伝達経路を4つに分け(エンジン放射系、吸気系、排気系、冷却風排出系)、それぞれに対策することで EM6500is に対して約 10 dB の騒音を低減させた。
- (2) 冷却風経路にエアガイドを設置することでマフラ室の容量を大きくせず冷却風排出系騒音低減と冷却性能を両立させた。
- (3) 軽量かつ気密性の高い高剛性のモノコックフレーム構造を採用することで軽量コンパクトな防音型フレームとした。

これらの騒音の低減化と軽量化技術を EM6500is に投入することで目標値通りの結果が得られ、高い商品力を持つ発電機を開発することが出来た。

諸元と外観をそれぞれ Table 4 と Fig. 16 に示す。



Fig. 16 External view of EU6500is

参考文献

- (1) Kouchi, T., Ito, K., Nakamura, M.: Development of a Lightweight and Compact 1kVA-class Potable 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) 中村政史, 笠置将平, 広瀬忠文, 新川康浩, 浅井孝一, 上村健二: デュアルボルテージインバータ発電機 EM7000is の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.16, No.2, p.55-64
- (4) Fukuda, T., Maruyama, K., Takemura, K., Suzuki, S.: Study of Sound Isolation Structure for Engine Generators, SAE Paper, 2005-32-0070(2005)

■著 者■



田中良男



岡部 格



小野寺泰洋



伊藤隆司