

二次エアを用いた発電機用エンジンの排気ガス浄化技術

Emission Reduction Technology Using Secondary Air for Generator Engine

齊 藤 嶺*

Ryo SAITO

八十科 紗耶佳*

Sayaka YASOSHINA

佐 藤 貴 紀*

Takanori SATO

二ノ宮 雄 介*

Yusuke NINOMIYA

要 旨

2014年に施行されたインド国内ガソリン発電機の排気ガスエミッション規制に対応するため、二次エア導入と触媒を用いた排気ガス浄化システムを開発した。

小型で可搬性の高いことが求められるガソリンエンジン発電機は、排気系レイアウトの制約が多いため、排気脈動効果を利用した二次エアの導入が困難であった。

本開発では二次エア導入管の脈動効果を高める適正な排気管長と二次エア導入管長を見出し、排気ガスエミッション規制及び発電機騒音規制に適合させ、量産発電機のきょう体内に収まるコンパクトシステムを実現した。

また、排気ガスエミッション測定法については、Raw gas 測定法と Dilute gas 測定法を比較検証し、二次エア流量に影響を与えない測定法を見出した。

ABSTRACT

An emission reduction system that uses secondary air injection and a catalyst was developed to meet emission standards for domestic gasoline engine generators enacted by India in 2014.

Gasoline engine generators require a compact size and high portability, so there are many restrictions on the exhaust system layout, and it has been a challenge to realize secondary air injection using the exhaust pulsation effect.

This development discovered the proper exhaust pipe and secondary air pipe lengths that increase the pulsation effect of the secondary air pipe, and realized a compact system that complies with both emission and generator noise standards and fits within the mass-production generator chassis.

In addition, regarding emission measurement methods, the raw gas measurement method and dilute gas measurement method were compared and verified, and a measurement method that does not influence the secondary air quantity was found.

1. まえがき

世界的に深刻化する大気汚染などの環境問題を背景に、汎用エンジンにおいても排気ガスエミッション規制は年々厳しさを増している。

ガソリンエンジン発電機はレジャー、商業、家庭、非常用等、多岐に渡り使用されている。特にインド国内における発電機については、停電が多い電力事情から非常用電源として使われている。

代表的な使われ勝手として住宅や商店の近くで運転されるケースが多く (Fig. 1)、都市部で停電が発生すると各家庭、商店でいっせいに発電機を動かすため排気ガスエミッション、騒音が社会問題となっている。このため、インド国内で販売されている発電機に対しては排気ガスエミ

ッション、および騒音共に厳しく規制されている。

本技術紹介にて2014年に強化された排気ガスエミッション規制に対応するために搭載された二次エア導入と触媒を用いた排気ガス浄化システムと、その検証方法について紹介する。



Fig. 1 Example of generator usage in India

* 汎用 R&D センター

2. 開発のねらいと目標値

2.1. 排気ガスエミッション規制値

ガソリンエンジン発電機に対する排気ガスエミッション規制は、米国カリフォルニア州の Air Resources Board (ARB) の Small Off-Road Engines およびインドの Ministry of Environment の Indian emission standards for generator sets on petrol and kerosene⁽¹⁾ がけん引している。2014 年インドで施行された排気ガスエミッション規制は、一酸化炭素 (CO) が ARB の 1/2 以下、排気量 99 cm³ 以下クラスの HC+NO_x が ARB の 1/6 であり、現在世界で最も厳しい (Fig. 2, Fig. 3)。

次に、CO と HC+NO_x のインド排気ガスエミッション規制値に対する量産発電機の排出量を Fig. 4 と Fig. 5 に示す。

2.2. 開発のねらい

インド国内向けに販売している 1, 2, 3 kVA クラスのガソリンエンジン発電機を対象とし、以下の 3 項目を達成することをねらいとした

- (1) 排気ガスエミッション規制 (Table 1, Table 2) に適合すること
- (2) 発電機騒音規制 (Table 3) に適合すること
- (3) 現行量産のきょう体内に収まるレイアウトとすること

対象とするガソリンエンジン発電機の SPEC 一覧を Table 4 に示す。

Table 1 Indian emission standards for generator sets on petrol and kerosene

Emission class	Displacement [cm ³]	CO [g/(kW·h)]	HC+NO _x [g/(kW·h)]
1	≤ 99	≤ 250	≤ 12
2	> 99 ≤ 225	≤ 250	≤ 10
3	> 225	≤ 250	≤ 8

Table 2 Test cycle for emission testing

Mode no.	1	2	3
Load percent	100	75	50
Weighting factor	0.3	0.5	0.2

Table 3 Indian noise standard for generators

Output	3/4 of rated power
Sound power level (L _{WA}) [dB]	86

Table 4 Specifications of each model

Generator output class		1 kVA	2 kVA	3 kVA
Model name		EP1000	EX2400	EU30i
Engine displacement	cm ³	80	163	197
Fuel system		Carburetor	Carburetor	Carburetor
Air fuel ratio (Average)		12.5	12.6	12.4
Max AC output	VA	850	2100	3000
Dimensions (L × W × H)	mm	404 × 352 × 431	965 × 470 × 327	710 × 422 × 570
Emission class		1	2	2
Sound power level 3/4 load (L _{WA})	dB	85	85	85

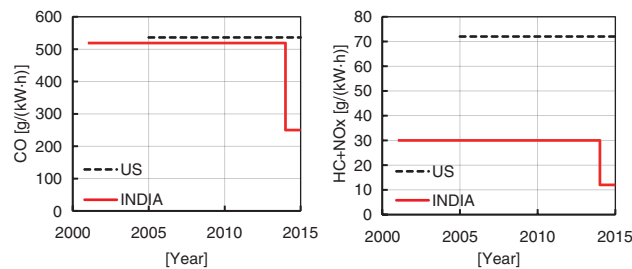


Fig. 2 Emission standard values for displacement of 50 to 80 cm³ in CARB and up to 99 cm³ in India

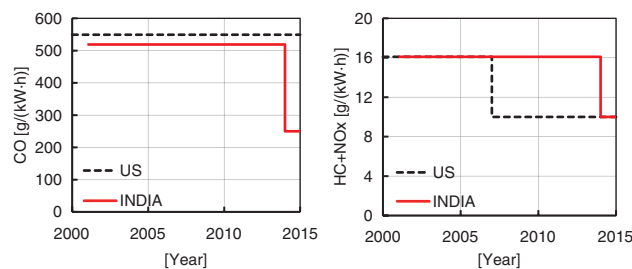


Fig. 3 Emission standard values for displacement of 80 to 225 cm³ in CARB and 99 to 225 cm³ in India

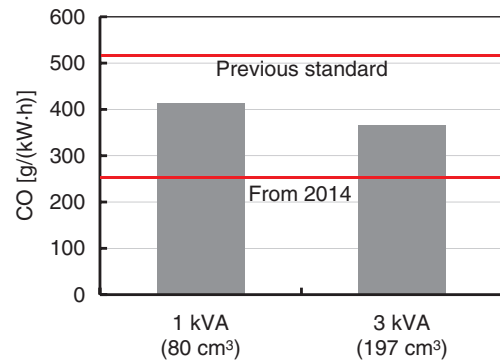


Fig. 4 CO values of conventional models

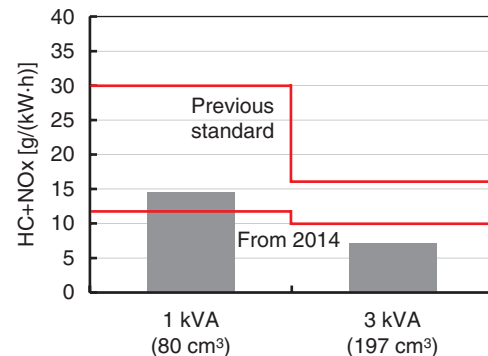


Fig. 5 HC+NO_x values of conventional models

3. 規制対応手法の検討

ガソリンエンジン発電機の燃料供給は安価で簡易な構成であるキャブレタを採用している。運転時にエンジンへ供給される混合気の空燃比は 12.5 近傍であり、旧排気ガスエミッション規制には適合するが新規制には適合できない。ここで考えられる CO 排出量低減手法は、以下の二点である。

(1) 混合気の理論空燃比化

(2) 排気管への二次エア導入と触媒による CO 浄化

ガソリンエンジン発電機に使用しているキャブレタで理論空燃比に近づけた場合、燃焼が不安定になり回転安定や負荷変動追従の性能低下、周波数変動幅の増大等が生じる。よってガソリンエンジン発電機の CO 低減技術として混合気の理論空燃比化の適用は難しい。そこで、排気管の脈動効果を利用した二次エア導入システムを採用し、加えて酸化効果をも高めるための触媒をマフラーに内蔵する構成を採用した。

4. 達成技術

4.1. 二次エア導入システム

4.1.1. 二次エア流量の要求値

二次エア流量要求値は、排気ガスエミッション規制値、騒音規制値、触媒温度を満足する流量から設定した。設定事例として、1 kVA と 3 kVA の二次エア流量に対する CO 排出量、HC+NO_x 排出量、触媒温度、騒音値の特性を Fig. 6 に示す。

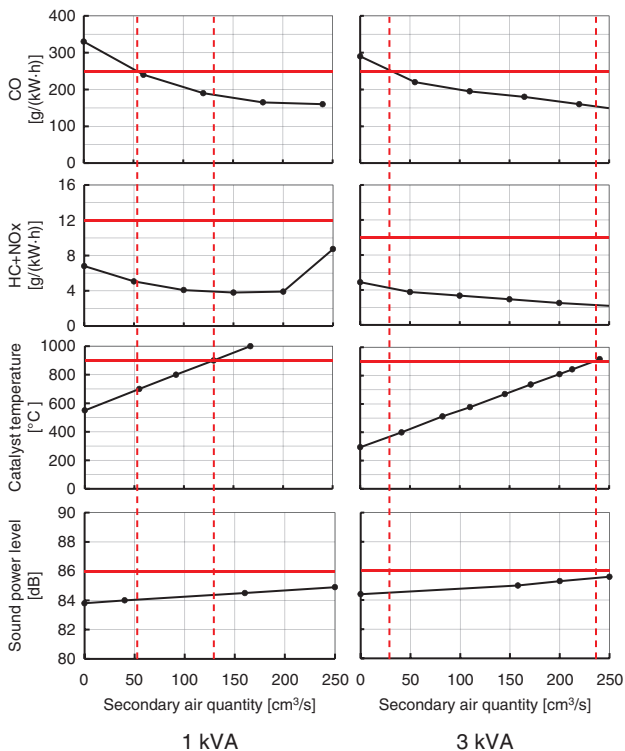


Fig. 6 Relationship between secondary air quantity and performances

Fig. 6 の特性から二次エア流量要求値は以下に設定した。

1 kVA 55 cm³/s から 130 cm³/s

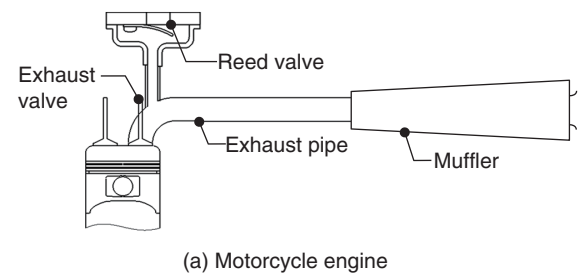
3 kVA 30 cm³/s から 230 cm³/s

以降は、1, 3 kVA の開発事例について記述する。

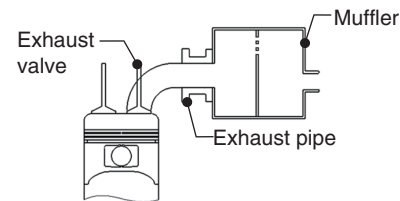
4.1.2. 排気管と二次エア導入管の最適化

二次エアの導入は、二輪車用エンジンと同様にリードバルブを用いて排気管の負圧成分を利用し外気を取り入れるシステムを採用した。二輪車用エンジンでは、排気バルブから排気管出口までの管長(排気管長)が長く排気管圧力の負圧成分を得やすい。一方、ガソリンエンジン発電機ではコンパクト性の要求から、排気管長を極力短くするため、排気管内の負圧成分を得にくいことが二次エア導入に対する構造上の課題となっている。二輪車と発電機の排気系概略図の比較を Fig. 7 に示す。ガソリンエンジン発電機でも排気管長を延長し排気圧力脈動を測定した結果、負圧成分の増幅が確認できた (Fig. 8)。

しかし、現行量産のきょう体内に収まるレイアウトとすることを制約条件とした本開発では、排気管長以外の要素



(a) Motorcycle engine



(b) Generator engine

Fig. 7 Comparison of exhaust layouts

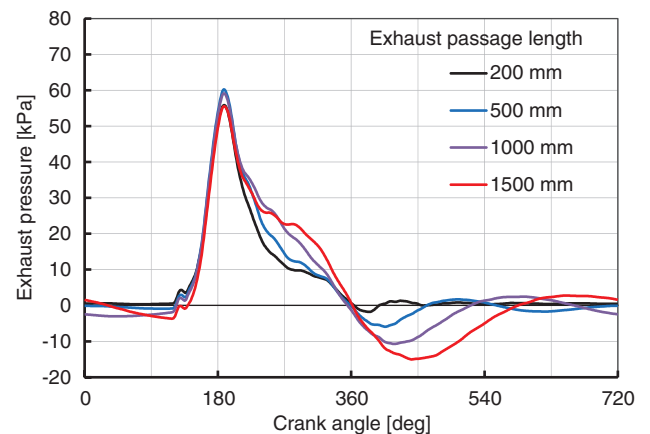


Fig. 8 Relationship between length of exhaust passage and pressure at rated load

で要求二次エア流量を確保することが課題となる。

そこで、二次エア流量を決定する排気管および二次エア導入管の設計計算をおこない、二次エア導入管の脈動効果を利用して排気管の負圧成分を導入管内で増幅させた⁽²⁾。

二次エア導入と触媒を用いた排気ガス浄化システムの概念図を Fig. 9 に示す。

以下に 3 kVA と 1 kVA での二次エア導入管長に対する流量特性を Fig. 10, Fig. 11 に示す。

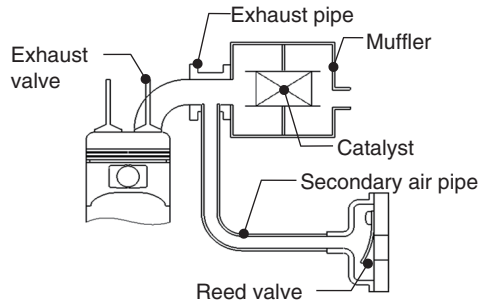


Fig. 9 Secondary air system

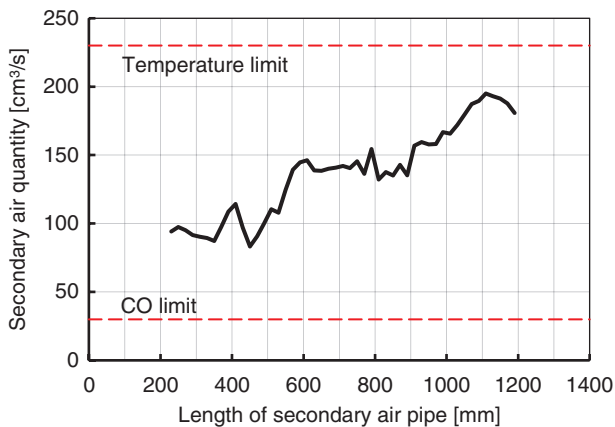


Fig. 10 Relationship between length of secondary air pipe and secondary air quantity at rated load (3 kVA)

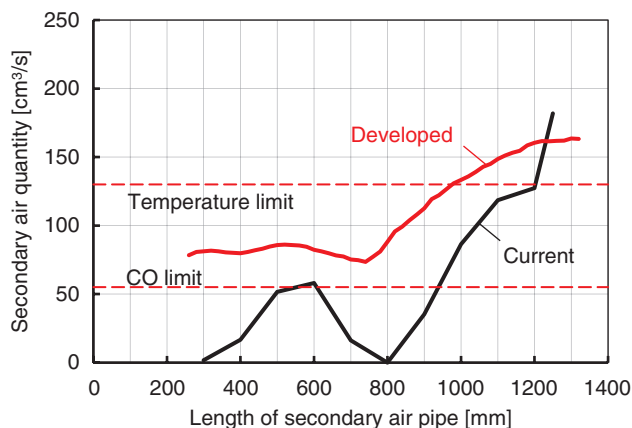


Fig. 11 Relationship between length of secondary air pipe and secondary air quantity at rated load (1 kVA)

Table 5 Exhaust system length

Length [mm]	1 kVA		3 kVA
	Current	Developed	Developed
Exhaust passage	550	750	1050
Secondary air pipe	900 or more	400	850

Fig. 10 に示す通り、3 kVA は要求流量を満たす二次エア導入管の長さには幅があるので、きょう体内に収まる条件で 850 mm を選択した。一方、1 kVA は現行量産マフラの排気管長で要求流量を満たすには二次エア導入管長が 900 mm 以上必要となり (Fig. 11)、きょう体内に収まるレイアウトとすることができない。要求流量を満たし、排気管と二次エア導入管をきょう体内に収めるために、排気管を 200 mm 延長し、導入管長さを 400 mm とした (Table 5)。

4.2. 触媒

排気ガス中の HC および CO を浄化させるために使用する触媒は、二輪車で広く流通しているメタルハニカム担体触媒を流用することを前提とし、以下の点を考慮しマフラ内に配置した。

- (1) 触媒の活性温度以上で、劣化に至る温度以下のこと。
- (2) 浄化率の低下を防ぐため、エンジンの排気ガスと二次エアの全量が触媒を通過する構造とする。

以上を踏襲したマフラの概念図を Fig. 12 に示す。

4.3. パッケージング

要求二次エア流量目標値と外観寸法内に収まるレイアウトを達成したシステムについて 1 kVA クラスを Fig. 13、3 kVA クラスを Fig. 14 に示す。1 kVA は、量産品に対して排気管を延長し、二次エア導入管を追加するために、これらを立体交差するように U 字に曲げて配置し、現行量産のきょう体内に収まるコンパクトレイアウトとした。

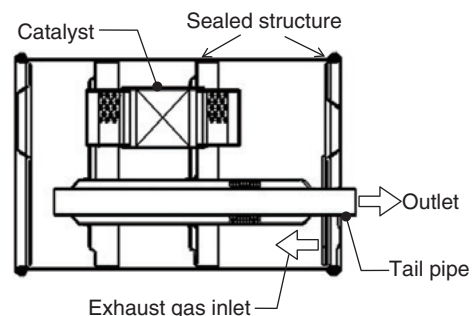


Fig. 12 Schematic of muffler

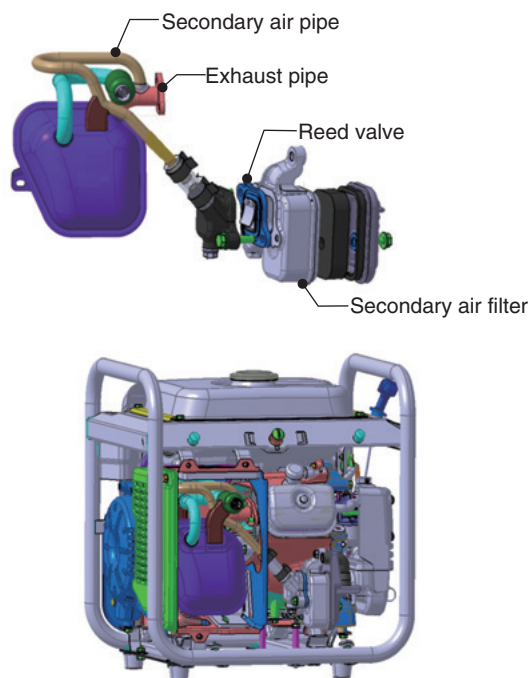


Fig. 13 1 kVA (EP1000)

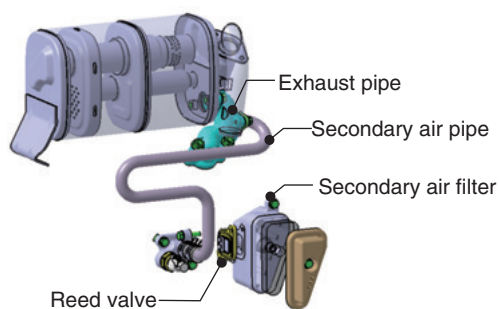


Fig. 14 3 kVA (EU30i)

5. 検証方法

5.1. 排気ガスエミッション排出量測定方法

排気ガスエミッション測定法⁽³⁾は主に二つの手法がある。

- (1) Raw gas 測定法
- (2) Dilute gas 測定法

本開発過程において両測定手法を検証した結果、排気脈動を利用した二次エア導入システムではRaw Gas測定法とDilute gas測定法で二次エア流量に差が生じることが判った。両手法による流量測定値の差をFig. 15に示す。

両手法の測定環境の概念図をFig. 16, Fig. 17に示し、排気ガスエミッション測定値の差をFig. 18に示す。排気管を延長しなければならないRaw gas測定法は前述の通り二次エア流量を増加する効果により真の値を測定する手法に適さない。よって、Dilute gas測定法を採用した。

なお、本検証結果を基に、規制当局へ働きかけ、従来認められていなかったDilute gas測定法を法規文に記載することが認められた。

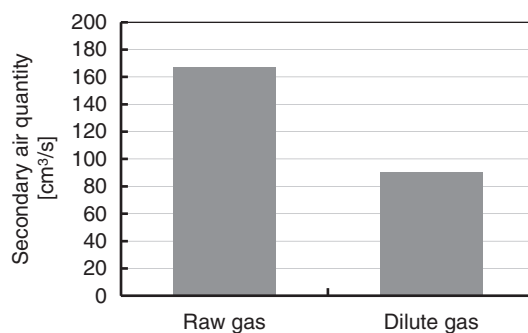


Fig. 15 Comparison of raw gas sampling and dilute gas sampling (1 kVA)

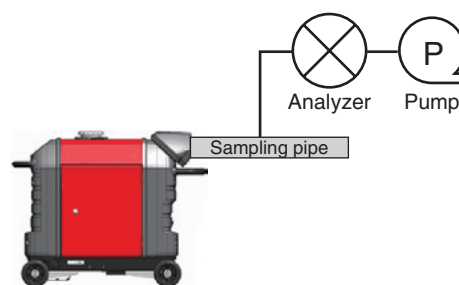


Fig. 16 Raw gas emission analysis method

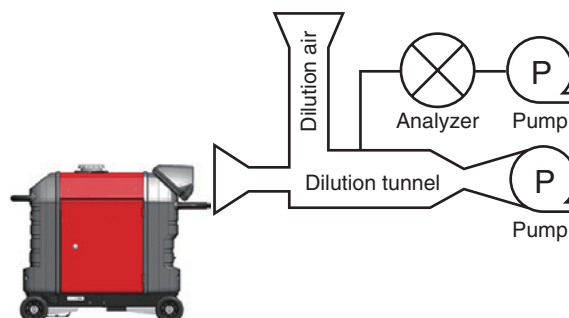


Fig. 17 Dilute gas emission analysis method

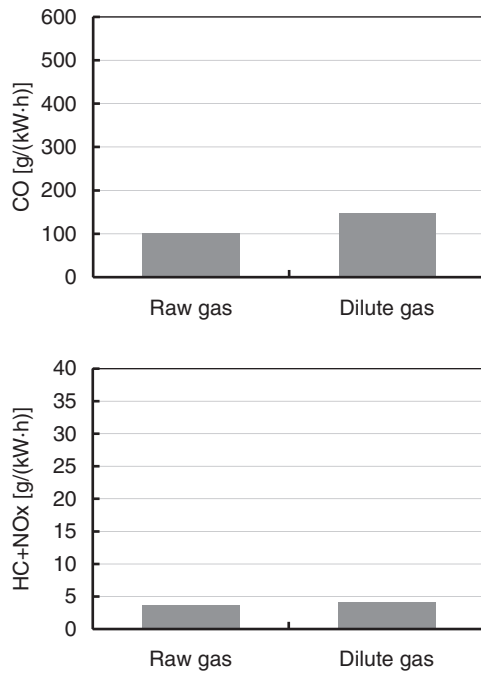


Fig. 18 Comparison of raw gas sampling and dilute gas sampling (1 kVA)

6. 達成値

6.1. 排気エミッションと騒音達成値

1 kVA, 2 kVA, 3 kVA 共にインド国内ガソリン発電機の排気ガスエミッション規制をクリアしつつ騒音規制値内に収めることができた。排気ガスエミッションの達成値を Fig. 19 に示す。

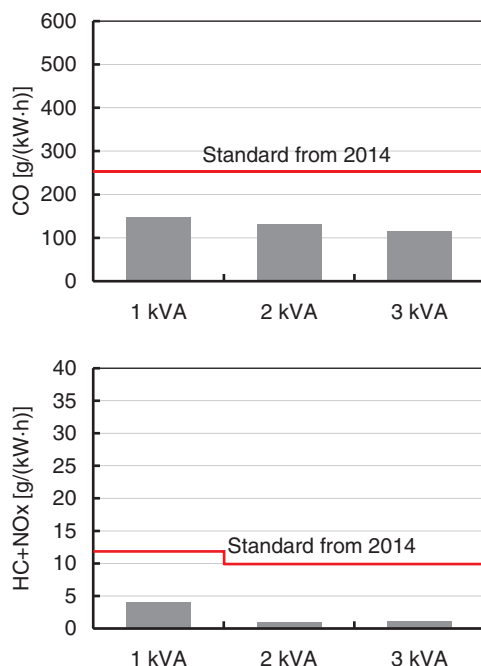


Fig. 19 Emission results of new models

7. まとめ

Honda 汎用製品初となる二次エア導入および触媒内蔵マフラによる発電機用エンジンの排気ガス浄化システムを構築し以下を達成した。

- (1) 排気量の異なる発電機エンジンにおいてもインド排気ガスエミッション規制と発電機騒音規制に適合することができた。
- (2) 汎用独自の二次エア導入管と排気管の最適化により量産のきょう体内に収まるコンパクトレイアウト化とすることができた。
- (3) 本システムにおいて排気管長が二次エア流量に及ぼす影響を明確にすることができたことにより、正確な排気ガスエミッション測定手法を確立した。

参考文献

- (1) Indian emission standards for generator sets on petrol and kerosene
- (2) Yasoshina, S., Saito, R.: Pulsed Secondary Air Injection System for Emission Reduction in Small Generator Sets, SAE Technical Paper, 2014-32-0035 (2014)
- (3) ISO 8178-1:2006 2nd edition: Exhaust emission measurement

■ 著 者 ■



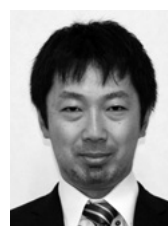
齊藤 嶺



佐藤 貴紀



八十科紗耶佳



二ノ宮雄介