

電子制御汎用エンジン i GX440 の開発

Development of Electronically Controlled Multi-purpose Engine iGX440

伊藤 慶太*
Keita ITO
倉田 真秀*
Mashu KURATA

本田 宗平*
Souhei HONDA
直江 学*
Gaku NAOE

斉藤 照幸*
Teruyuki SAITO

要 旨

電子制御技術を用いて、使いやすさの向上、低燃費、低騒音の機能をさらに追及した汎用エンジン“iGX440”を開発した。

多岐にわたる汎用エンジンの使い勝手に応じてエンジン回転数をきめ細かく調整可能とする Electronic Control Unit (ECU)を用いたエンジン制御機能を採用した。これにより出力特性、動作特性の観点で搭載作業機のユーザにとって使いやすいエンジンを実現することができた。

また環境によりやさしい汎用エンジンを実現するために、排気ガスエミッション規制のクリアおよび燃費の低減を達成し、騒音低減に関しては機械系騒音を中心に低減技術を盛り込むことにより、欧州騒音指令ステージ2規制のクリアを達成した。

また本エンジンでは、プレコート鋼板燃料タンク、冷間鍛造カムシャフト、熱可塑性樹脂モールド ECU 等新しい生産技術を採用している。

ABSTRACT

Honda's iGX440 general purpose engine utilizes electronic control technology to increase ease of use with high fuel economy and low noise performance.

The engine control system employs an electronic control unit (ECU) enabling more precise engine speed control in response to the numerous different operational requirements of a general purpose engine. This has resulted in an engine displaying power characteristics and operational performance meeting the requirements of users in a variety of different applications.

To increase the environmental friendliness of the engine, exhaust emissions have been reduced below regulation levels and fuel economy has been increased. In addition, the noise level of the engine has been reduced to meet Stage 2 requirements of the EU Directive on Noise Emission by Outdoor Equipment. This has been achieved mainly by reducing the noise generated by the mechanical system.

A precoated steel sheet fuel tank, a cold-forged camshaft, and a thermoplastic resin molded ECU have also been employed in the new engine.

1. まえがき

1980年代開発された GX 汎用エンジンシリーズは、これまで主流だった直立シリンダのサイドバルブ構成に対し、傾斜シリンダの OHV 構成を採用し、高出力、コンパクト、かつ高い耐久信頼性を併せもつことで、発売以来業務用途を中心に、業界のスタンダードモデルとしての評価を得てきた。しかし近年では、各社とも GX エンジンと搭載互換の可能な傾斜シリンダコンパクト構成で、同等レベルのエンジン性能を備えたラインアップをそろえつつある状況である。このような背景のなか、“進化と知能化”をコンセプトに、低燃費、低騒音の性能をさらに進化させたうえで、電子制御機能を装備し、今までユーザが経験や勘を

頼りに時間をかけておこなっていた作業が“**确实**”“**敏速**”“**簡単**”にできるという使いやすさを提供する、“iGX”エンジンシリーズの第一弾 iGX440 を開発したのでここに紹介する。

2. 開発のねらい

汎用エンジンに求められる性能機能として、作業負荷に対する十分な出力性能、始動および運転時の操作のしやすさ、経済性や静粛性などが挙げられる。iGX エンジンを開発するにあたり、上記の要求性能を考慮して、開発目標を“**使いやすさの向上**”、“**燃費と騒音の低減**”に設定した。

Fig. 1 に iGX440 外観を示す。

*朝霞東研究所



Fig. 1 External view of iGX440

2.1. 使いやすさの向上

ユーザに使いやすさを提供する汎用エンジンを具現化するために、下記の項目を具体的目標とした。

- (1) どのような作業機に搭載しても安定したガバナ特性を確保できること。
- (2) 作業機への搭載時、作業状況に応じて自動でエンジン回転数を切り替えることで、ユーザにとって操作しやすい運転状況を実現できるようにすること。

2.2. 燃費と騒音の低減

排気ガスや騒音の観点で環境によりやさしい汎用エンジンを具現化するために、下記の項目を具体的目標とした。

- (1) 排気エミッション規制(EPA Phase2)に適合させると同時に、EPA モード運転作業時での燃費の向上を達成すること。
- (2) 2006年1月より施行される欧州騒音指令ステージ2の発電機規制値 [LwA97 dB(運転条件: 3 000 min⁻¹, 定格出力の 3/4)] を達成すること。

3. 主要諸元

iGX440の主要諸元をTable 1に示す。排気量は438 cm³、油中タイミングベルト駆動 OHC、2バルブエンジンとした。作業機搭載時のエンジン互換性を考慮して、エアクリーナ、燃料タンク等の補器類の配置は、GXエンジンシリーズと同じ構成を採用した。さらに使いやすさを提供するためにガバナ機構として適応制御型電子ガバナシステム⁽¹⁾を採用し、ECUおよびスロットル制御機構をキャブレタ上部に配置した。主要断面図を Fig. 2 に示す。

4. 電子制御技術

GX シリーズでは遠心ガバナを用いたエンジン回転数制

Table 1 Engine specifications

Item	iGX440	GX390
Engine type	4-stroke, single-cylinder	4-stroke, single-cylinder
Displacement (cm ³)	438	389
Bore × Stroke (mm)	88.0 × 72.1	88.0 × 64.0
Compression ratio	8.1	8.0
Valve train	OHC 2-valve	OHV 2-valve
Valve inclination angle (deg)	22	0
Lubrication system	Splash	Splash
Ignition system	CDI	Transistorized magneto
Governor system	Electronic	Mechanical
Choke	Automatic/Manual	Manual
Fuel valve	Automatic/Manual	Manual
Starting system	Electric/Recoil	Electric/Recoil
Dimensions: L × W × H (mm)	407 × 505 × 454	380 × 450 × 443

御を採用しているのに対し、本エンジンでは、さまざまな動特性に対してロバスト(頑健)なガバナ特性が実現可能な適応制御型の電子ガバナを採用した。さらにこの電子ガバナの目標回転数を作業機要求に応じて切り替えることにより、ユーザに使いやすさを提供することが可能となった。

4.1. 電子ガバナ搭載による使いやすさ向上

機械式の遠心ガバナは負荷の増加に伴いエンジンの回転数が目標回転数に対して低下するという特性を持つ。しかし電子ガバナを採用することにより負荷の増加や減少にかかわらず目標回転数に対して一定の回転数で運転することを達成できる。遠心ガバナと電子ガバナの出力特性を Fig. 3 に示す。

さらに、電子ガバナの目標回転数を作業機要求に応じて切り替えることにより、Fig. 4に例を示すようなさまざまな運転モードが実現可能となる。

4.1.1. オートスロットルモード

本システムではスロットル開度と回転数の相関から、負荷の ON/OFF をエンジン側の ECU で認識することがで

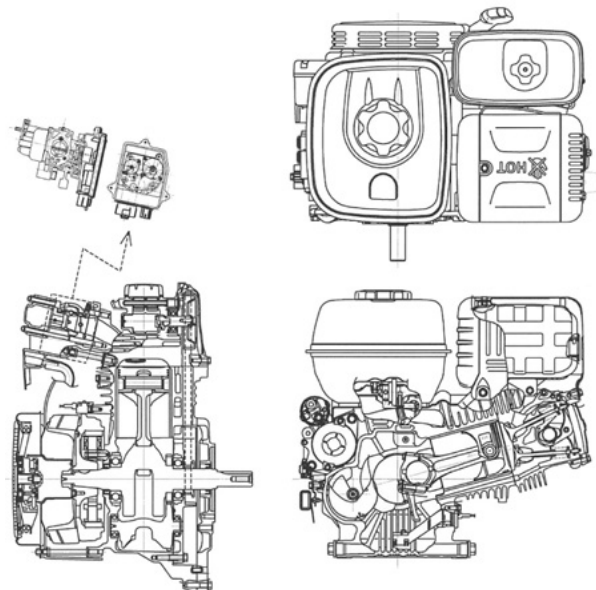


Fig. 2 Engine configuration

きるため、作業機負荷に応じたオートスロットル運転が可能となる。例えば溶接機や高圧洗浄機等の負荷のON/OFFを繰り返す作業機に搭載した場合、オートスロットルモードを使用することにより、負荷検出センサ等を完成機側に追加することなく、負荷OFF時のオートアイドリング運転が可能となる。

4.1.2. コミュニケーションモード

ECU等の電子制御システムを搭載した作業機に本エンジンを搭載し相互接続をすることで、作業機側 ECU からの指令により回転数を制御することが可能となる。この場合、作業機の負荷情報をエンジン側のスロットル開度だけでなく作業機側からも得ることで、精度の高い負荷検知が可能となり、細かなエンジン回転数制御が可能となる。

例えば、作業部分の動力をエンジン側で供給し、走行系の駆動システムを独立して搭載したような完成機の場合、エンジン側から得られる作業負荷情報と走行系から得られる作業負荷情報を作業機側の ECU が一括して認識し、エンジン回転数を制御することが可能となる。

さらにこれらの負荷情報を用いて走行速度等の作業機側駆動部の制御も連動させることで、例えば「作業時間効率を重視した運転モード」、「低燃費を重視した運転モード」、「過渡時のトルク特性を重視した運転モード」といったような作業機全体としてユーザの要求に見合った使いやすさを提供するシステムを構築することが可能となる。

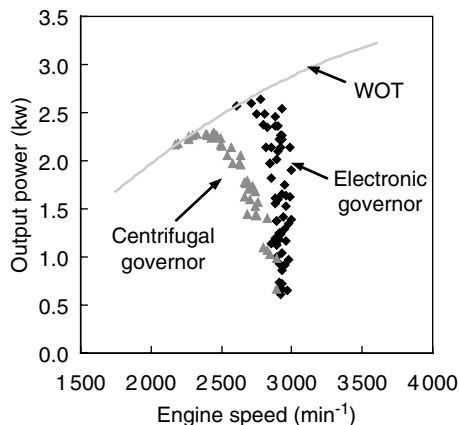


Fig. 3 Governor performance

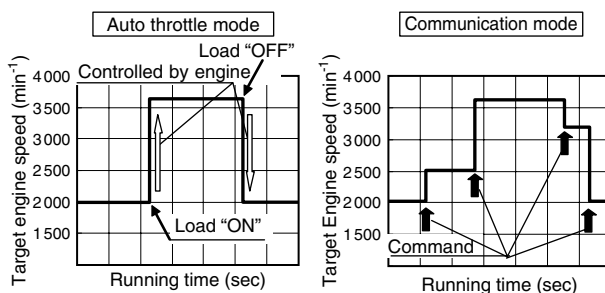


Fig. 4 Operation mode

4.2. バッテリーレス ECU 駆動システム

汎用エンジンを搭載する作業機によってはバッテリーが付いていない機種も多く、またバッテリーが付いていたとしても長期保管にてバッテリーが放電してしまう場合もある。このような場合でもエンジンが始動し、作業がおこなえるようにするために、バッテリーを必要としない ECU 駆動システムを採用した。

バッテリーレスで成立させるために、多極マグネットを装着したフライホイールの回転により ECU に電力を供給するパワーコイルを設定した。エンジンが始動して、回転数が 1000 min⁻¹ 以上になるとパワーコイルによる電力供給により ECU が起動し、目標の回転数になるようにスロットルを制御するようにした。また停止時にはエンジンスイッチをオフにすると同時に回転停止までの電力でスロットルバルブを全開ポジションに動かすことで、次のエンジン始動に備える動作を加えた。バッテリーレス ECU 駆動システムを Fig. 5 に示す。

4.3. ECU、スロットル駆動部の構成

汎用エンジンとして ECU や電装ハーネスを採用するうえで、全体寸法を大きくすることなく配置させることが必要となる。そのためにスロットル駆動モータやギア類を3段に重ね合わせる構成でコンパクトに構成し、キャブレタ上部に配置した。さらに ECU 基板内素子のコンデンサ等大型の素子を片側に集中して配置し、モータケース内の空いたスペースにモータを配置する構造を採用した。これにより、均一厚さの箱型の ECU を用いる場合に対して、全体の高さを 16mm 低く抑えることができた。またエアクリーナ下に配置した ECU からコントロールパネルまでの電装ハーネスの取り回しをファンカバ前面の操作しやすい位置にすることにより、後述する通信コネクタに結線しやすい構成とした。さらに、モータケースを密閉構造とすることでモータ等の内部部品の耐水、耐塵性を確保している。

Fig. 6 に ECU 断面図を示す。

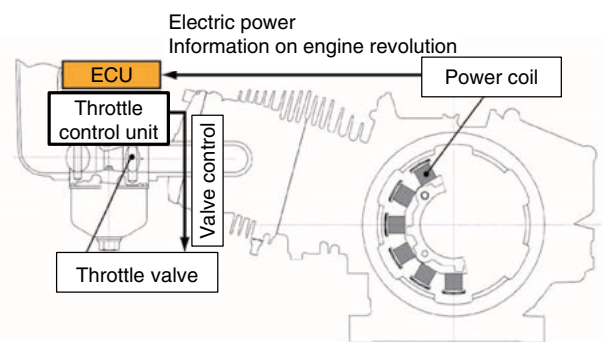


Fig. 5 Engine control system

4.4. ECU 通信システム

搭載する作業機に応じたエンジンの運転モードや回転数の設定を ECU に書き込み可能とし、またエンジンの運転状況や運転履歴を ECU から読み出し可能とした。具体的には、エレクトリックパネルを外すことにより通信コネクタに容易にアクセスできる構造とし、専用の通信ユニットを連結することにより ECU 内に書き込みおよび読み出しすることを可能としている。通信コネクタと ECU につながる電装ハーネスを Fig. 7 に示す。

組み立てラインでは常に基本モードの ECU を組み付け、組み立てライン最後で ECU にモードパラメータを書き込むことで、組み付け時の ECU 派生管理が不要となるよう配慮している。

また工場出荷時の完成機検査の際、あらかじめ設定した完成機検査用の運転モードで、検査機からの通信自動運転で完成機検査をすることを可能とし、同時に運転状況を履歴管理することで、より精度の高い品質管理をすることが可能となった。

市場における故障診断の際にも、このような管理情報を利用することで迅速な問題解決が可能となる。

さらに販売者側では多様な ECU 特性を要望する顧客に対して、過剰在庫を持つことや、ECU 組み換え作業の手間が不要となる。

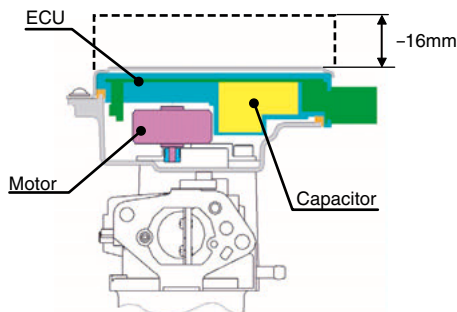


Fig. 6 Throttle motor and ECU

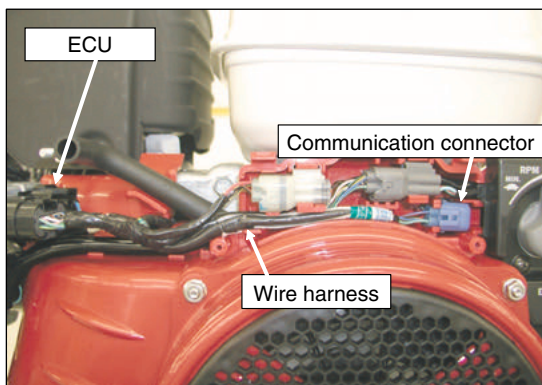


Fig. 7 ECU, wire harness and communication connector

5. エンジン出力、燃費エミッション向上技術

5.1. エンジン出力

Fig. 8 にエンジン出力特性を示す。

Fig. 9 に従来機種と本エンジンの吸気バルブ径の比較を示す。本エンジンは吸気バルブ径を従来機種の傾向から判断すると 40 mm であるところを 31 mm にすることで、吸入ガス流速を速めると同時に、ボアセンタに対する点火プラグ位置のオフセット量を GX390 の 23 mm に対し 9 mm まで小さくし、燃焼室内の火炎伝播距離が短くなるように配慮することで、ノッキング回避性能を向上させた。

吸気バルブ小径化に伴う充填効率の低下を防ぐために、吸気ポート形状およびバルブタイミングの見直しをおこなった。吸気ポートは断面形状を台形に近づけることで、円形断面に対し断面積を 10% 増加させた。バルブタイミングは GX390 に対し吸排気バルブリフトのオーバーラップ期間を小さくして、排気工程でのシリンダ内の残留燃焼ガス量を低減させた。

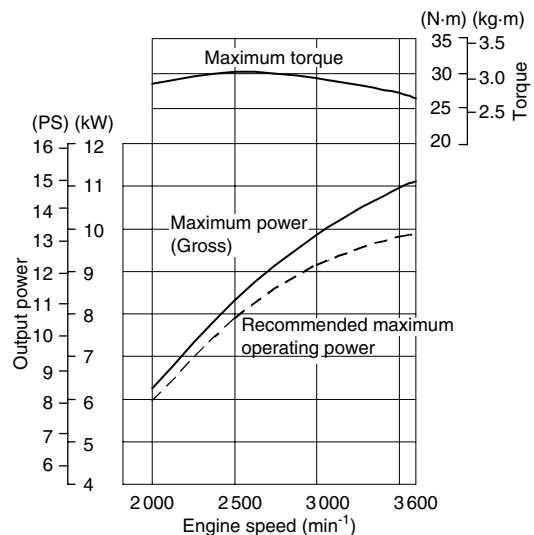


Fig. 8 Engine performance

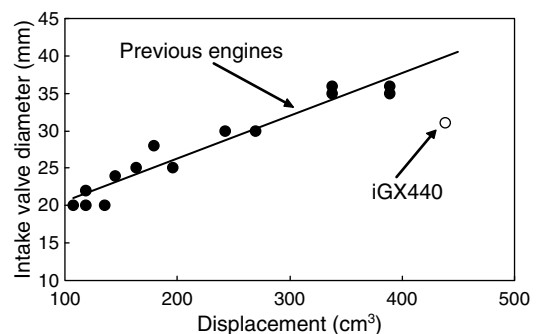


Fig. 9 iGX440 intake valve diameter

5.2. 燃費向上技術

Fig. 10に本エンジンの燃費、排気ガスエミッションの達成レベルを示す。以下に示す技術により、排気エミッション規制(EPA Phase2)に適合レベルであるエミッション値を悪化させることなく、EPAモード運転作業時での燃費15%向上を達成した。

5.2.1. 燃焼室形状

ウェッジタイプ燃焼室、ストロークボア比 0.73 である GX390 に対して、ストロークボア比 0.82, バルブ挟み角を 22 deg として燃焼室をより球形に近づけたコンパクトな形状にすることにより、燃焼室の表面積/容積比(S/V 比)を 6 %改善した。

5.2.2. オフセットシリンダとピストン仕様

ピストン側圧フリクションを低減するために、オフセットシリンダ構造を採用した。Fig. 11に示すように、シリンダ中心線をクランク軸に対しピストンの反スラスト方向にオフセットさせている。

オフセットシリンダ構造の採用に伴って、スラスト側のピストン側圧は減少するが、反スラスト側のピストン側圧は増加することから、フリクションの評価とともに、ピストンノイズの評価、ピストンスカートのあたり状況の評価をおこない、オフセット量を 7mm に設定した。

ピストンリングについては、シリンダへの追従性向上のためにリング幅寸法を小さくし、さらにフリクション低減のためにピストンリング張力の低減をおこなった。GX390

に対してトップリングおよびセカンドリング幅は 2 mm から 1.5 mm に、オイルリング幅は 2.8 mm から 2.5 mm に変更した。ピストンリングのトータル張力としては、GX390 に対して 45%低減した。リング幅寸法を小さくすることに伴うピストンリングからシリンダへの放熱量の減少に対しては、ピストン冷却のためにコンロッドに一体で形成されたオイルをかき上げるためのディップを大きくし、ピストン裏側へのオイルのはねかけ量を増加させた。またピストンリング張力の低減に対しては、シリンダ周方向の温度分布をより均等化させ、GX390と同等のオイル消費量、ブローパイガス量とすることができた。

5.2.3. 点火時期制御

本エンジンはエンジン回転数とスロットル開度に応じて点火時期を変化させている。エンジン回転数とスロットル開度の情報に対して、ECUにより点火時期が決定され、CDI 式点火される。

Fig. 12 に点火時期のマップを示す。高負荷域では主にノッキングの回避およびエミッション低減に、中負荷域では主に燃費低減に、軽負荷域では主にピストンノイズの低減に配慮した設定とした。

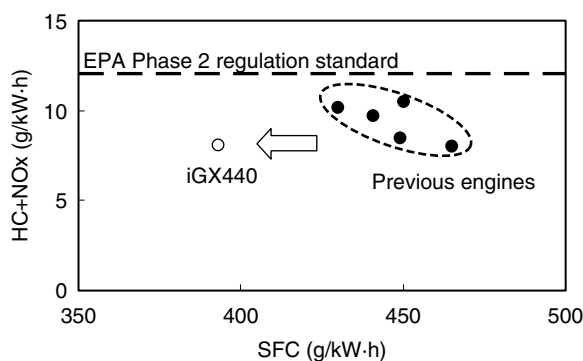


Fig. 10 Results for fuel economy and mass emissions in EPA Phase 2 emission mode

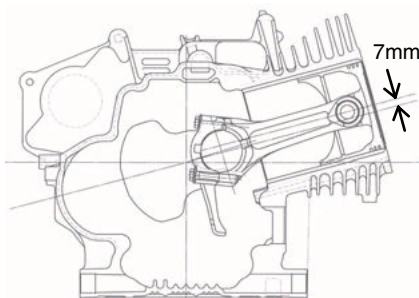


Fig. 11 Offset cylinder

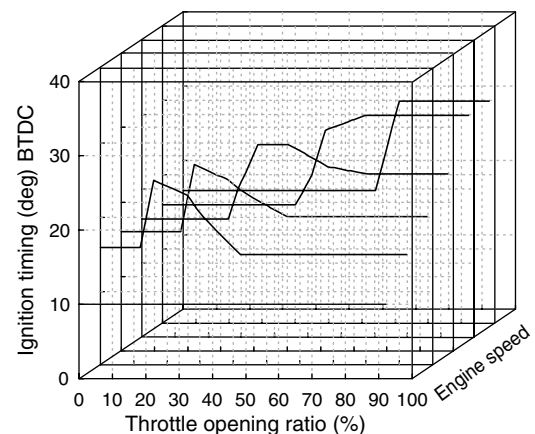


Fig. 12 Ignition timing map

6. 騒音振動性能

6.1. 騒音低減技術

本エンジンでは冷却性能を確保するため GX390 に対しファン騒音が増加したが、機械系騒音・タンク放射音・排気系騒音の低減を中心に取り組むことで、目標 LwA 値 97 dB 以下の 96 dB を達成した。Fig. 13 に iGX440 と GX390 の騒音寄与率を分析した結果を示す。

機械系騒音は、Fig. 14に示すようにベアリングホルダを採用することでクランク軸受け間距離を GX390 に対し 15 mm短縮させ、クランク軸においても各部軸径を増した。その結果、筒内の爆発圧に対するクランクピン剛性が GX390

に対して 10% 向上し、クランク系騒音が低減した。また 5.2.2 項で述べたように、オフセットシリンダの採用によるピストン側圧の減少効果と、ピストンピンオフセット量の見直し、および点火時期の変更によりピストン打音を低減した。その他、油中ベルト駆動式 OHC 構造の採用でカムギヤ騒音を低減した。結果的に、機械系の騒音エネルギー値を 47.5% 低減した。排気系騒音については、Fig. 15 にマフラのレイアウトを示すが、外板にリブを配置することにより放射音を低減させた。マフラ内部は 3 チャンバ構造とし、第 3 チャンバから排気口の間にディフューザパイプを採用したことで透過損失性能が向上した。さらに排気口にパツ

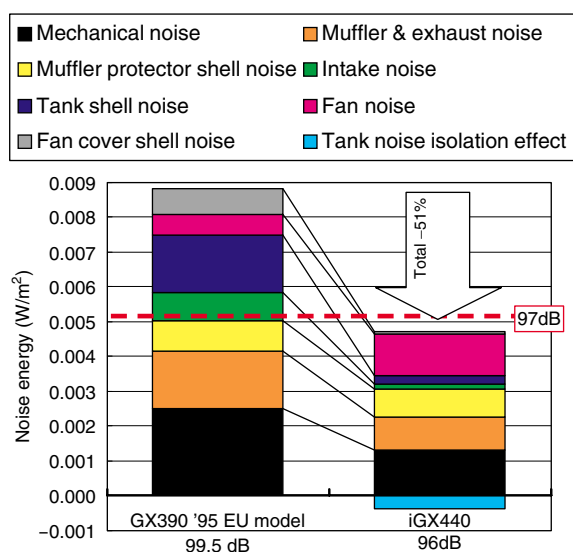


Fig. 13 Effective noise level

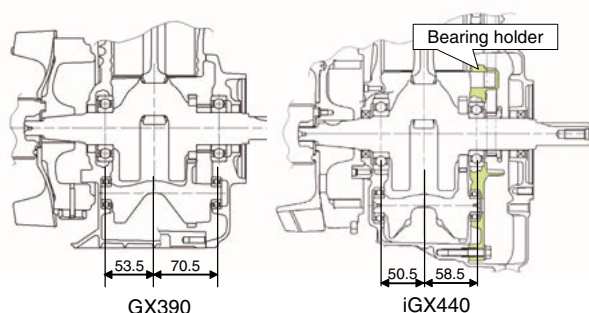


Fig. 14 Crankshaft and bearing layout

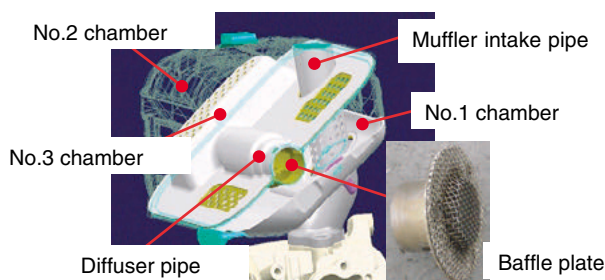


Fig. 15 Muffler structure

フルプレートを設置し、気流音を低減した。その結果、排気系の騒音エネルギー値を 43.8% 低減した。

燃料タンクはラバーマウント支持構造を採用することで、エンジンからの固体伝播音をしゃへいし、放射音を低減した結果、タンクの騒音エネルギー値を 84.2% 低減した。またタンクを設置した場合、ファン騒音と機械騒音に対して遮音効果があり全体の騒音エネルギー値で 7% 低減することができた。これらの効果により GX390 に対してエンジン全体で騒音エネルギー 51% の低減を達成した。

6.2. 振動低減技術

iGX440 では GX390 同様 1 軸 1 次回転バランサを採用した。クランク軸カウンタウェイトおよび回転バランサのバランス率は、エンジン足元のマウント締結部での 1, 2 次振動が最小になるように見直した。また、クランク軸の左右のカウンタウェイト配分を均等に近づけることで、エンジンに生じる偶力を抑制した。その結果、Fig. 16 に示すようにエンジンマウント締結部での振動加速度は GX390 に比べて低減した。なお Fig. 16 は、エンジンをラバーマウントした状態で回転数 3 600 min⁻¹、無負荷運転時の測定結果である。

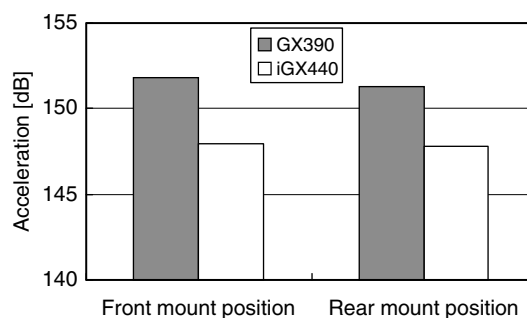


Fig. 16 Vibration performance

7. 新生産技術

7.1. プレコート鋼板燃料タンク

塗装工程廃止を目的に、燃料タンク部材としてプレコート鋼板を採用した。これまで家電製品等で一般的に使用されてきたプレコート鋼板は、ガソリン汚染性、深絞り後の外観の商品性、溶接性、鋼板端面に発生するさびの観点でさらなる性能向上が必要であった。そこで、鋼板メーカーと共同開発をし、耐ガソリン性に関しては、塗膜硬さの調整により色素が塗膜層に浸透し難くし、深絞り後の外観商品性に関しては、2 層ある塗膜層の適正な色調配分により光沢の低下を防いだ。また板伸びが 15% 以内におさまるようプレスシミュレーションにて検証し、光沢計を用い入射角 60° で計測し、光沢度 80 以上を確保した。スポット溶接箇所は機械カシメへと置き換えた。タンク外周のカシメは Fig. 17 のように変更し、鋼板端面が出ない構造とし、さびにくい構造とした。製品外観を Fig. 18 に示す。

7.2. 冷間鍛造カムシャフト

カムシャフト素材のニアネット成型による加工工程の簡略化をねらいとし、冷間鍛造カムシャフトを採用した。本カムシャフト成立のポイントは、吸気、排気のカム駒をすき間なく結合したことである。それにより丸棒素材からの成形が可能となり、Fig. 19に示すようにパーティングラインを挟んでパンチ側が吸気カム、ダイ側が排気カムの駒を形成することで、それぞれ別プロフィールのカム駒を一体で成形することを可能とした。カムプロフィールの形状は多段鍛造機で数工程かけて成形することで、研磨工程を廃止することができた。

7.3. 熱可塑性樹脂モルディング ECU

製造タクト低減による生産性向上、小型・軽量化を目的とし、熱可塑性樹脂モルディングで基板を保護したECUを採用した⁽²⁾。従来の基板保護の手法としては、熱硬化樹

脂を基板のケースに流し込む注型製法がある。熱硬化樹脂注型は、樹脂注入および硬化時間が長い、コンデンサ等の背が高い部品に合わせてケース深さが一律となってしまう材料・スペースの無駄が大きいという性質を持っている。熱可塑性樹脂モルディングは一般樹脂成形より低温、低圧でも成形可能な樹脂を選定することにより電子基板への損傷を与えることなくモルディングすることを可能とし、以下のようなメリットが得られた。部品形状にそって型を構成することにより、注型を採用した場合と比較して、ケース高さで20%の低減、重量で50%の低減が可能となった。また従来、形状によって約 1-12 時間かかっていた樹脂硬化時間を10秒程度とすることで、効率の良い生産を実現することができた。Fig. 20 に工程比較図を Fig. 21 に ECU 外観を示す。

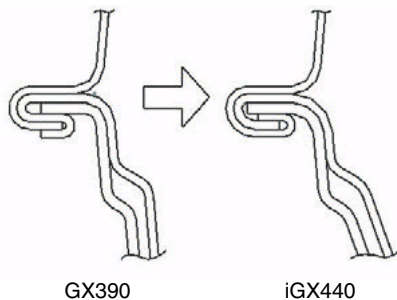


Fig. 17 Cross-section view of fuel tank



Fig. 18 View of fuel tank

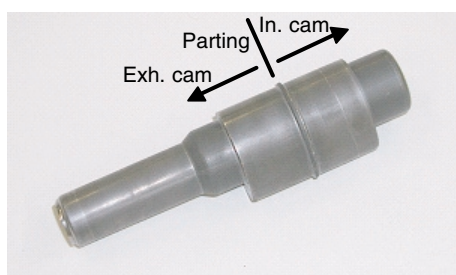


Fig. 19 View of camshaft

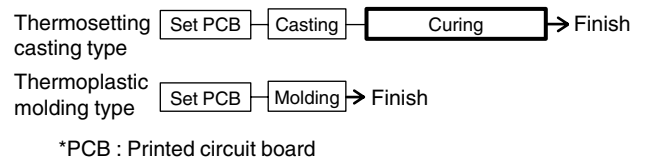


Fig. 20 Comparison of process between casting and molding



Fig. 21 View of ECU

8. まとめ

電子制御技術を用いて、使いやすさ、低燃費、低騒音の機能をさらに追及した汎用エンジン“iGX440”の開発をおこなった。

- (1) どのような作業機でも安定した回転安定を確保するために適応制御型電子ガバナを採用した。さらに運転モードを作業機の要求に応じて変更可能とし、ユーザーに使いやすさを提供できるシステムとした。
- (2) バッテリーレスで駆動する ECU システムを採用した。
- (3) ECU、スロットル駆動部をコンパクトに配置し、従来エンジンシリーズに対し、外観サイズの変更なく搭載可能とした。
- (4) 専用の通信ユニットを接続することで、エンジン出力

特性や運転状況など ECU 内の情報を容易に書き込み、書き出し可能なシステムとした。

- (5) 排気エミッション規制(EPA Phase2)に適合レベルであるエミッション値を悪化させることなく、EPA モード運転作業時での燃費 15%向上を達成した。
- (6) エンジン単体騒音で 96dB を達成し、欧州騒音指令ステージ2規制に適合可能とした。またエンジンに生じる偶力を抑制することで、エンジンマウントの完成機締結部での振動加速度を低減させた。
- (7) 以下の新生産技術の量産化を実現した。
 - ・プレコート鋼板燃料タンク
塗装工程を廃止することができた。
 - ・冷間鍛造カムシャフト
加工研磨工程を廃止することができた。
 - ・熱可塑性樹脂モールディング ECU
熱硬化性樹脂注型製法に対し重量で50%、ケース高さで 20%の小型化が可能となり、樹脂硬化工程の短縮により製造効率も向上した。

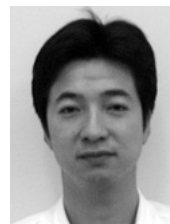
参考文献

- (1) 福嶋友樹, 松田迅人, 新萩義久, 谷口洋一: 汎用ガソリンエンジンの適応制御型電子ガバナシステム, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No. 2, p.58-64
- (2) 木全隆一, 前川佳則, 桑迫信一, 為近隆男: 熱可塑性樹脂モールド適用による汎用エンジン制御ユニットの小型軽量化, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.52-57

■著 者■



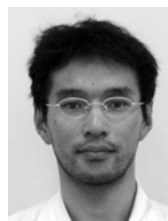
伊藤 慶太



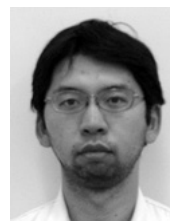
本田 宗平



斉藤 照幸



倉田 真秀



直江 学