

小型スクータハイブリッド車の研究

Study of Small-sized Scooter Hybrid Vehicle

小 島 浩 孝*

Hiroyuki KOJIMA

岡 野 則 明*

Noriaki OKANO

大 関 孝*

Takashi OZEKI

塚 田 善 昭*

Yoshiaki TSUKADA

要 旨

ハイブリッド技術の軽量小型な二輪車への適用には減速回生可能なエネルギー量が少ない、ハイブリッドシステムの搭載スペースが限られているなどの課題がある。それらの課題を解決し最大限の燃費改善効果を得るため、二輪車としては既に市販技術であるスタータ AC ジェネレータによるアイドリングストップシステム、電子制御燃料噴射システム、電子制御ベルト式 Continuously Variable Transmission(CVT)、後輪直接駆動式モータを採用したシリーズ・パラレル式ハイブリッドシステムを製作した。

本システムを搭載した実験車両は排気量50 cm³のスクータをベースに用いた。シート下のユーティリティスペースを確保し、かつ、ハイブリッドシステムを小型化し、排気量 50 cm³ エンジンの量産車と同等の車体サイズを実現した。また、燃費はECE40 モードで60%の向上を実現した。

ABSTRACT

In the application of hybrid technology to motorcycles, some issues including limited space for mounting a hybrid system and small regenerative energy available during deceleration are present. In order to get the maximum effect of improving fuel economy by solving these issues, we have developed a series-parallel hybrid system. This system uses a direct rear wheel driving motor that can absorb the regeneration energy during deceleration more efficiently. Additionally an idle stopping system by use of a starter AC generator, an electronically controlled fuel injection system, and an electronically controlled belt CVT (continuously variable transmission) system were adopted. Utilizing this small-sized hybrid system the experimental scooter of 50 cm³ displacement achieved an equivalent body size as the mass produced scooter with 50 cm³ engine. Furthermore, this equivalent body size was achieved while keeping a utility space under the seat. Moreover, an improvement of 60 % in fuel economy under ECE 40 mode was realized.

1. はじめに

近年、地球温暖化や石油減耗の懸念を受け環境対応技術や省燃費技術の研究が広くおこなわれている。二輪車では三元触媒や燃料噴射装置の採用拡大を進めている。筆者らは、低燃費化に対して従来にない高い目標を掲げて取り組んだ。四輪車で普及が始まったハイブリッドシステム⁽¹⁾の二輪車への適用である。今回、量販二輪車の最小排気量である排気量50 cm³スクータに後輪直接駆動式モータを採用したシリーズ・パラレル式ハイブリッドシステムを開発し、ECE40 モードにおいて燃費 60%向上を実現したので報告する。

2. 課題と目標

軽量小型を特徴とする二輪車へのハイブリッド技術の適用には以下のような主要課題がある。

- ・減速回生可能なエネルギー量が少ない。
- ・ハイブリッドシステムの搭載スペースが限られている。

これらの課題に対し、車体が小さく、車重も軽いため課題解決が最も困難と思われる排気量 50 cm³ のスクータを用い、ECE40モード燃費において50%以上の燃費向上を目標とした。

研究に際しての主要な目標は以下のとおりである。

- (1) 排気量 50 cm³ のエンジンを搭載しベルト式 Continuously Variable Transmission(CVT：無段変速機)を使用した車両として世界最高の低燃費性能

*二輪開発センター

- (2) ベース車両と同等の動力性能
- (3) ベース車両と同等のシート下ユーティリティスペースの確保
- (4) ベース車両と同等の車体サイズ

3. ハイブリッドシステムの検討

ハイブリッドシステムには、以下の三つの方式がある。

- (1) シリーズハイブリッド方式
エンジンを発電機の動力としてのみ使用し、モータで走行する方式
- (2) パラレルハイブリッド方式
エンジンによる走行が主体であり、モータを補助動力として発進、加速時のアシストに使用する方式
- (3) シリーズ・パラレルハイブリッド方式
シリーズハイブリッド方式とパラレルハイブリッド方式を組み合わせ、状況に応じて最も効率の良いエンジン、モータの運転をおこなう方式

目標として設定した燃費向上を達成するために、ベース車である排気量 50 cm³ のスクータのエネルギー消費についての分析をおこない、ハイブリッドシステムの検討をおこなった。ECE40 モード走行におけるエネルギー収支の計算結果を Fig. 1 に示す。Fig. 1 の上段は ECE40 モードの车速、中段はベース車両のエネルギー収支、下段はハイブリッド車両

のエネルギー収支である。Fig. 1 では減速に必要な出力を負の出力としている。また、減速に必要なエネルギーから走行抵抗とエンジンおよび駆動系損失による減速エネルギーを差し引いたものが回収可能な減速エネルギーとなる。ベース車では走行に必要な総エネルギーに対し、エンジンおよび駆動系損失の比率が高く、この損失低減が燃費改善に効果的なことがわかった。また、減速に必要な抵抗出力に対し、エンジンフリクションによる減速抵抗が大きく、減速時にエンジンと駆動系を切り離すことで回収可能な減速エネルギーを増やせることがわかった。これらのことから Fig. 1 のハイブリッド車両のエネルギー収支に示すように、車両停止時には無駄な燃料を使わないアイドリングストップ、低負荷走行領域ではエンジンおよび駆動系損失の低減をねらったシリーズハイブリッド走行、高負荷走行領域ではパラレルハイブリッド走行、減速時にはエンジンと駆動系の接続を切り離して効率良く減速エネルギーの回収をおこなうことで、各走行状態での燃費改善が可能なシリーズ・パラレル式ハイブリッドシステムが適していると考えた。

4. ハイブリッドシステム構成

4.1. システム構成

ハイブリッドシステム構成を Fig. 2 に示す。クランク軸上にスタータACジェネレータ、ベルトコンバータドリブン軸上に駆動モータを配置する 2 モータハイブリッドシステムとした。駆動モータ軸上にワンウェイクラッチを配置することで、減速時にエンジンと駆動系の接続を切離し、より多くの減速エネルギー回収を可能とした。遠心式発進クラッチの作動回転数は 4 200 r/min に設定されており、エンジン回転数が 4 200 r/min 以下でエンジンと駆動系の接続を切り離してエンジンを発電機として使用するシリーズハイブリッド走行を可能にしている。また、エンジン出力と回転数を自由に制御するために Drive by wire (DBW) を用いている。バッテリーは、充電状態によらず出力特性が安定しているという特徴を有し、四輪ハイブ

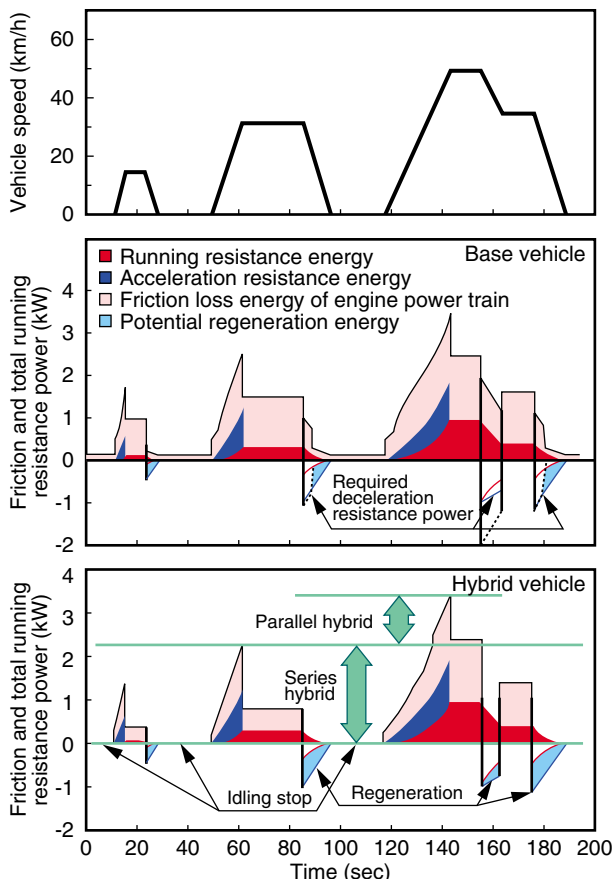


Fig. 1 Energy balance in ECE 40 mode

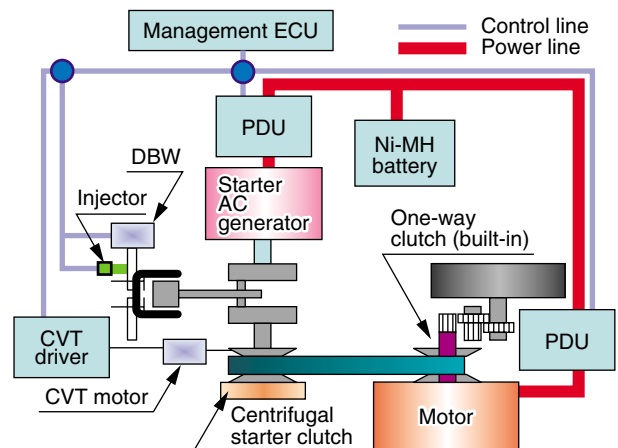


Fig. 2 Series-Parallel hybrid system

リッド車でも実績のあるニッケル水素バッテリーを採用した。スタータACジェネレータ、駆動モータは最大1.2 kWの出力をもつ Interior Permanent Magnet(IPM)型 DC ブラシレスモータを試作した。

4.2. 制御システム

ハイブリッドシステムは、走行状態およびバッテリーの状態に応じてエンジン出力、発電量、モータ出力、CVT レシオなどを協調した制御をおこなう必要がある。このためFig. 2 に示すように、マネージメント ECU、スタータ AC ジェネレータ用 Power Drive Unit(PDU)、駆動モータ用 PDU、CVT ドライバの構成とし、マネージメント ECU による統合制御をおこなった。マネージメント ECU には FI および DBW のドライバを内蔵している。マネージメント ECU はエネルギーマネジメントおよび駆動力制御の演算結果に基づき、FI駆動、DBW駆動をおこない、エンジン出力を制御すると同時に、CVT ドライバと各 PDU にそれぞれ目標レシオとトルク指令を与え、電子制御 CVT のレシオ、スタータ AC ジェネレータおよび駆動モータの出力を制御する。

4.3. システム搭載

ハイブリッドシステムの車載レイアウトを Fig. 3 に示す。バッテリーをフロントカウル内両サイド、PDUをシート下両サイドに配置し、走行安定性を損なわないように、前後および左右の重量バランスを考慮したレイアウトとした。PDUをフレームに直付けして放熱することで、PDUの放熱フィンを廃止し、小型化を図った。また、マネージメント ECU に FI、DBW 制御部を内蔵化し ECU の小型化をおこないシート後方に配置した。これらにより、ベース車両と同等の車体サイズおよびシート下のユーティリティスペースの確保を実現した。

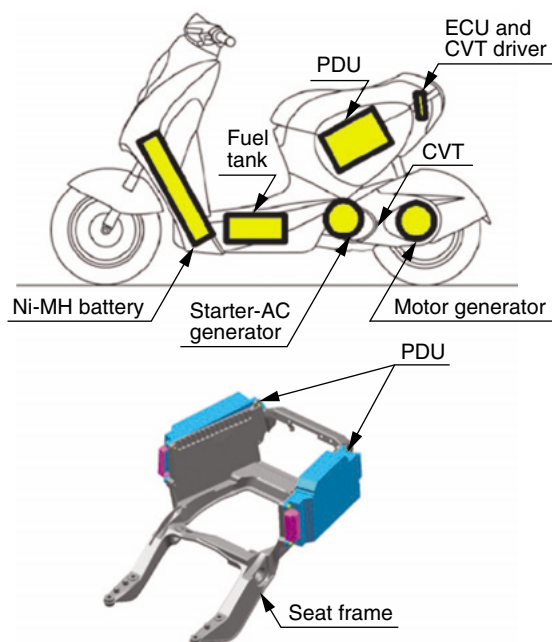


Fig. 3 Hybrid system layout

4.4. 主要諸元

ハイブリッドシステム搭載車両の外観を Fig. 4 に、主要諸元を Table 1 に示す。また、シート下ユーティリティスペースを Fig. 5 に示す。

5. 燃費向上技術

5.1. シリーズ・パラレル式ハイブリッド

従来のエンジン車における 30 km/h および 50 km/h の定速走行時のエンジン運転条件を Fig. 6 に示す。30 km/h 走行時の正味燃料消費率(BSFC)は50 km/h 走行時のBSFC に対し大きく、エンジン出力当たりの燃料消費量が多いことがわかる。従来のエンジン車では走行中にエンジンと後輪は変速機を介してつながっているため、車速と変速比によりエンジン回転数が決定されエンジン運転領域を大きく変えることは困難である。これに対し、30 km/h 走行条件に代表される低負荷走行領域ではエンジンと駆動系の接続を切り離してシリーズハイブリッド走行をおこなうことで、Fig. 6 に示すようにエンジン回転数が低く高負荷なエンジン運転条件を使用可能とし低燃費化を図ることが可能である。

一方、50 km/h のような高負荷走行領域では比較的エンジン運転効率の良い領域で走行しているため、シリーズハイブリッドによる改善余地が少ない。また、シリーズハイブリッドをおこなうにはモータおよび発電機の出力を大きくする必要がある等、重量およびサイズ面の制約もある。これらのことから、シリーズハイブリッド走行とエンジンを主動力源とするパラレルハイブリッド走行を切り替えるシリーズ・パラレル式ハイブリッドが低燃費化に効果があるだけでなく、システムの軽量、小型化にも有利であると考えた。さらに、高負荷走行時にはパラレルハイブリッド走行時の電子制御CVTの変速特性をハイレシオ側に設定し、より低回転で走行することで Fig. 6 に示すようにエンジン運転領域の改善を図った。

5.1.1. シリーズハイブリッドとパラレルハイブリッドの切替領域

シリーズハイブリッド走行、パラレルハイブリッド走行の



Fig. 4 Developed scooter equipped with hybrid system

Table 1 Major specifications

Items		Modified	Base
Vehicle	Overall width (mm)	630	630
	Overall height (mm)	1 010	1 010
	Wheelbase (mm)	1 190	1 190
	Seat height (mm)	710	710
	Luggage space capacity (Litter)	22	22
	Mass (kg)	93	81
	Maximum velocity (km/h)	60	60
Motor	Type	DC brushless	-
	Maximum power (kW)	1.2	-
	Maximum torque (Nm)	6	-
Starter AC generator	Type	DC brushless	-
	Maximum power (kW)	1.2	-
	Maximum torque (Nm)	6	-
Engine	Type	Water-cooled gasoline engine	Water-cooled gasoline engine
	Displacement (cm ³)	49	49
	Valve train	SOHC 4-valve	SOHC 4-valve
	Maximum power (kW/r/min)	3.5 / 8 000	3.5 / 8 000
	Maximum torque (Nm/r/min)	4.2 / 7 000	4.2 / 6 000
Battery	Type	Ni-MH	Pb
	Energy capacity (Ah)	5	6
	Voltage (V)	36	12



Fig. 5 Luggage space

領域を Fig. 7 に示す。シリーズハイブリッド走行領域は遠心式発進クラッチの作動回転数以下での最大発電量および駆動モータの最大出力の範囲内であり、かつパラレルハイブリッド走行した場合より燃料消費率が低くなる領域とした。

5.1.2. シリーズハイブリッドの効率改善

シリーズハイブリッド走行時のエネルギー伝達効率を改善するためにリアルタイム発電制御と BSFC ボトムトレース制御をおこなった⁽²⁾。

リアルタイム発電制御とは、走行に必要な電力をリアルタイムに過不足なく発電しバッテリーの充放電を極力おこなわないようにすることで、充放電損失の低減をおこなう制御である。

BSFC ボトムトレース制御とは、リアルタイム発電制御で決定した発電をおこなう際に Fig. 8 に示す要求発電量に対して最も BSFC が小さくなるエンジン運転ポイントを結んだ発電 BSFC ボトムライン(以下、エンジンコントロールラインと称する)で発電をおこない、発電量に対する燃料消費を最小化する制御である。

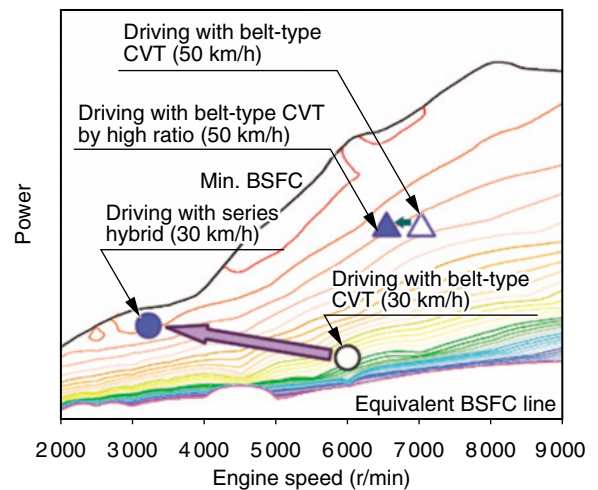


Fig. 6 Changes of engine operation conditions with series and parallel hybrid

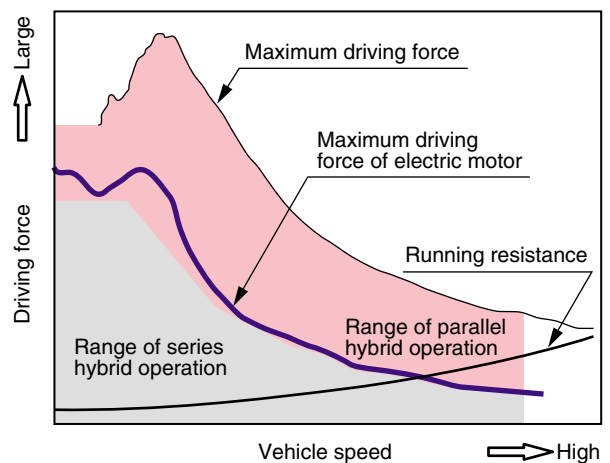


Fig. 7 Range of series or parallel hybrid driving

5.2. 減速エネルギー回収

減速時にワンウェイクラッチによりエンジンと駆動系の接続を切り離し、従来のエンジン車ではエンジンプレーキとして消費されていた減速エネルギーを回収可能とした。減速エネルギー回収特性を Fig. 9 に示す。スロットルを閉じたときに減速回生量のエネルギー回収をおこなった。

さらに、減速エネルギーをより多く回収するために、リヤブレーキストロークに応じたモータブレーキ回生によりブレーキ回生量のエネルギー回収をおこなった。

減速回生量は ECE40 モードの要求減速度に合わせた設定としている。また、ブレーキ回生量はモータの最大回生量を上限とした設定としている。

5.3. その他の燃費改善技術

5.3.1. アイドリングストップ

車両停止時にエンジンを停止することは燃料の消費を抑制する有効な手段である。本研究では既に量産技術であるスタータ AC ジェネレータを採用することでアイドリングストップをおこない燃費の改善を図った。

5.3.2. エンジンの低燃費化技術

次の二点に主眼を置いてエンジン改良をおこない、車両としての低燃費化を図った。

(1) 理論空燃比域の拡大

加速時にモータアシストをおこなうことで加速補正燃料噴射量を低減した。また、アルミスリーブシリンダの採用による冷却性能の改善を図った。これらにより、

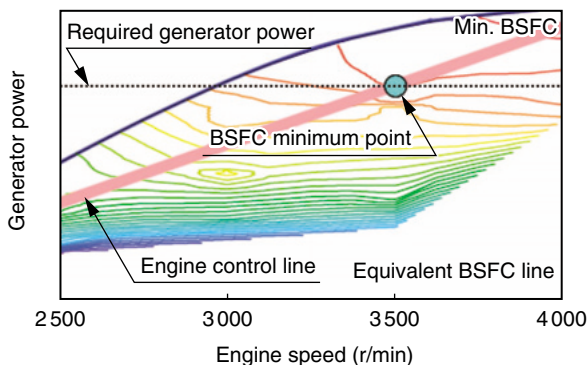


Fig. 8 Engine control line

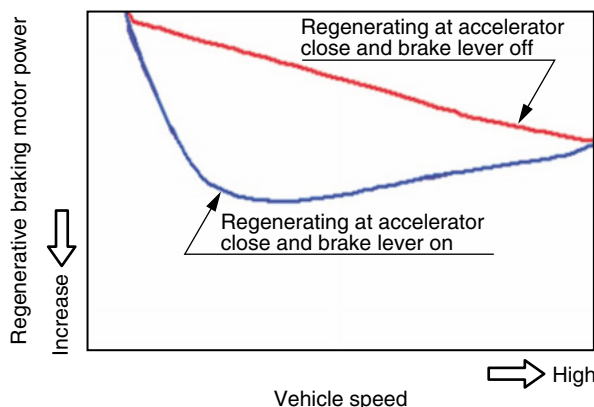


Fig. 9 Regeneration characteristics

理論空燃比域を広げ、排出ガス性能ポテンシャルを保持したまま燃料消費量を削減することができた。

(2) 機械損失の低減

燃焼の改善とともに機械損失の低減も燃費性能の向上には重要である。フリクション低減のために以下の技術を採用した。

- ・イオンプレーティング低張力ピストンリング
- ・ピストン二硫化モリブデンショット⁽³⁾
- ・低フリクションオイルシール
- ・低粘度オイル

低張力ピストンリングは機械損失低減に有効な手段であるが、オイル消費やブローバイガス吐出とトレードオフの関係にある。本研究ではオイルリング溝に戻し穴を設けるとともに寸法を見直すことで低張力化を図った。

二硫化モリブデンショットは Wonder Process Craft (WPC) 処理技術を応用し、ピストンしゅう動面に高純度二硫化モリブデンを付与することで十分な効果持続性を有しつつ、大幅なしゅう動抵抗低減を図るものである。

これらの技術により Fig. 10 に示すようにエンジン全体として従来の排気量 50 cm³ のエンジンと比較して 25% 以上のフリクション低減を得た。さらに、出力特性の見直しにより低中速トルクを改善し、シリーズハイブリッド走行時の要求エンジン回転数低減による摩擦損失動力低減と余裕駆動力確保の両立を図った。

6. 実機による検証

6.1. システム作動状態

Fig. 11 に ECE40 モード走行におけるシステム作動モード、モータ駆動電力、発電量、バッテリー充電状態(State Of Charge, 以下SOCという)、エンジン回転数の推移を示す。車両停止時にはアイドリングストップ、発進時には EV 走行をおこなっている。シリーズハイブリッド走行時には、リアルタイム発電制御によりモータ駆動電力に応じた発電がおこなわれている。また、Fig. 12 に示すように、シリーズハイブリッド走行時のエンジン運転領域はエンジンコントロールライン上にあることがわかる。

アイドリングストップ、EV 走行時に SOC は減少するが減速エネルギーの回収およびリアルタイム発電制御時の SOC フィードバックにより、モード走行終了時には開始時の SOC に復帰している。

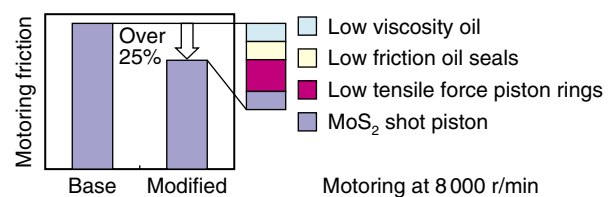


Fig. 10 Effects of engine friction reduction

6.2. ECE40 モード燃費

ECE40 モード走行における燃費向上効果と効果内訳を Fig. 13に示す。図中のパラレルハイブリッドとはエンジンフリクション低減、理論空燃比化、アイドリングストップをおこない、低負荷走行領域においてもパラレルハイブリッドで走行した場合の燃費であり、ベース車に対し 46%の燃費向上効果が確認できた。シリーズ・パラレルハイブリッドとは上記パラレルハイブリッドに対し、低負荷走行領域でシリーズハイブリッド走行をおこなったものである。シリーズ・パラレルハイブリッドによるモード燃費は 84 km/L を達成し、ベース車両に対して 60%の燃費向上効果が確認できた。

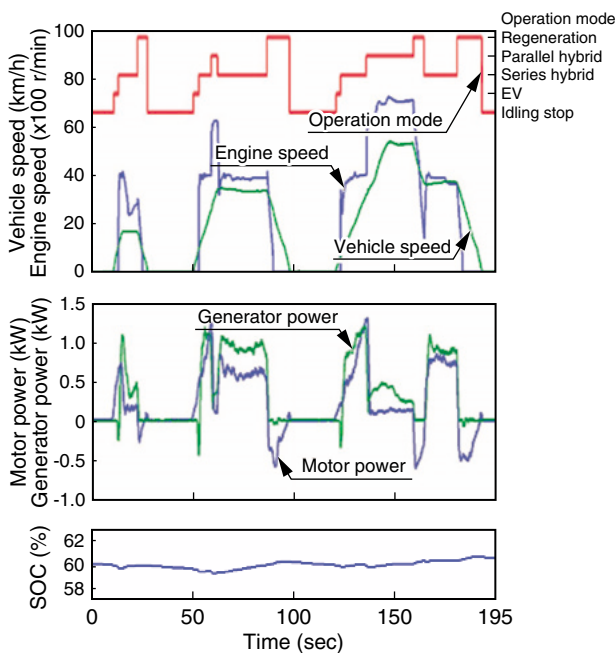


Fig. 11 System operation diagram (ECE40 mode)

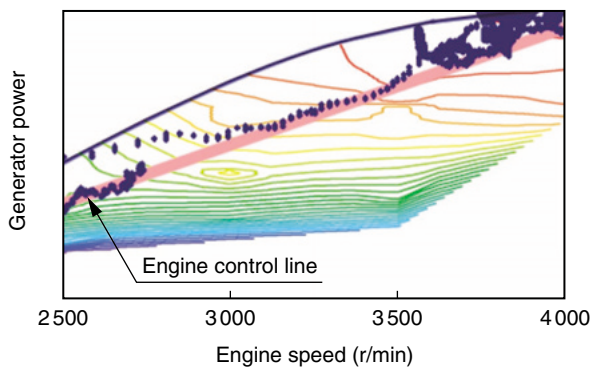


Fig. 12 ECE40 series hybrid operation region

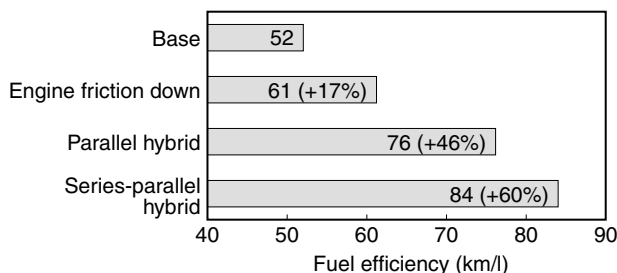


Fig. 13 ECE40 mode fuel efficiency

7. まとめ

車両停止、低負荷および高負荷走行、減速の各走行状態で燃費改善をねらったシリーズ・パラレル式ハイブリッドシステムを搭載した試作車にてテストをおこない、以下の成果を得た。

- (1) エンジンフリクション低減、理論空燃比化、アイドリングストップ、電子制御CVTによる最適レシオ制御をおこなったパラレルハイブリッド走行により、ECE40 モードでベース車に対し 46%の燃費向上効果を得た。
- (2) 低負荷走行領域でシリーズハイブリッド走行をおこない、リアルタイム発電制御と BSFC ボトムトレース制御をおこなうことで上記(1)に対してさらに 10.5%の燃費を向上し、84 km/L を達成した。これはベース車に対して 60%の燃費向上効果となる。
- (3) ハイブリッドシステムの小型化および搭載位置の最適化をおこない、ベース車両と同等の車体サイズおよびシート下のユーティリティスペースの確保を実現した。

参考文献

- (1) 福尾幸一, 藤村章, 斉藤政昭, 角田和彦, 瀧口士郎: 超低燃費ハイブリッドカー「インサイト」の開発, HONDA R&D Technical Review, Vol.11, No.2, p.1-8
- (2) 長谷川祐介, 青柳暁, 米倉尚弘, 阿部浩之: シリーズハイブリッド車におけるエネルギー効率の改善, HONDA R&D Technical Review, Vol.12, No.1, p.79-84
- (3) 荻原秀実: 内燃機関用ピストンスカート部への固体潤滑剤付与技術とその効果, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.85-92

■著者■



小島 浩孝



大関 孝



岡野 則明



塚田 善昭