

ICVS「ステップデッキ」用ハイブリッドシステム

Development of a Hybrid System for the ICVS Step Deck

林 徹* 鈴木 修*
Akira HAYASHI Osamu SUZUKI

要 旨

4サイクル49cm³ガソリンエンジンと電動モータを組み合わせたハイブリッドシステムを開発した。このハイブリッドシステム(Modulated Hybrid System: MHS)は、駆動力源を電動モータかエンジンか切り替えて走行するパラレル型と呼ばれるハイブリッドシステムである。MHSでは電動モータとエンジンの切り替えは自動的に行なわれ、電動モータの電力源となるバッテリーの充電は外部電源とエンジン走行中にエンジン動力を用いて行われる。駆動力源の切り替え制御パラメータは、必要駆動力、速度とバッテリー残量である。駆動力源切り替えは、エンジンの駆動力伝達経路に配置したワンウェイクラッチを用いて行い、スムーズな切り替えを実現するために、後輪駆動力トルクをフィードバックして電動モータを制御している。MHSは、動力源の切り替えにおいて良好な加速フィーリングと、スロットル操作に対し安定した出力特性を達成した。

ABSTRACT

A hybrid system that combined 49cm³ four-stroke cycle gasoline engines with an electric motor was developed. This hybrid system (Modulated Hybrid System: MHS) is called a parallel type and switches the electric motor or the engine as a power source during running. In the MHS, the electric motor and the engine are automatically switched, and an external power supply and the engine power under running charge the battery that is the power source of the electric motor. Required driving force, a vehicle speed, and a battery remaining energy are for the switching control parameters of power source. A one-way clutch arranged on a transmission path of engine power switches the source of driving force. The MHS achieved an excellent acceleration feeling to a power source switching and a steady output characteristic to a throttle operation.

1. まえがき

ハイブリッド車は、近年、電気自動車と並び低公害車として注目され、試作研究車段階から、市販車開発段階に移行してきており、市販車も登場している。ハイブリッドシステムは、シリーズ型、パラレル型、多くの形式が研究、発表されている。シリーズ型ハイブリッドシステムは、電動モータのみで走行し、エンジンは発電動力源としてのみ用いられる。一般的にパラレル型は、シリーズ型に比べ、バッテリー搭載量が少なくできるメリットがある。今回、開発したハイブリッドシステム(Modulated Hybrid System: 以下MHSという)MHSのハイブリッド基本動作は、ある車速以下、スロットル開度以下では電動モータで走行、それ以上ではエンジンで走行となる駆動力源切り替え方式である。MHSは、ホンダが提案している地域交通システム「ICVS(Intelligent community vehicle system)」用の車両の一つである「一人乗り4輪コミュータ(ICVS-Step Deck)用として開発された。

Fig.1にその車両の外観写真を示す。ICVSは、多数のユーザーが低公害車両を数km範囲の地域内で共同利用することを基本とした地域交通システムである。その車両には、静粛性、クリーン、簡単な操作で快適に走行できることが求められ、また、小さな駐車スペースと、混合交通走行を可能とするため、小型、軽量も重要である。MHSは、このような目標を達成するため、低速、低負荷時に電動モータで走行できるパラレル型ハイブリッドシステムとした。

Fig.2にそのハイブリッドユニットのカットモデル写真を示す。パラレル型ハイブリッドの場合、走行駆動力源の切り替えにおいて、駆動力変化の抑制、電動モータからエンジンへの切り替え時間の短縮、エンジン走行中充電においてスロットル操作に対する走行出力特性の変化の抑制などの課題がある。本稿では、開発したMHSの構造と制御システム、及び実車性能について述べる。



Fig.1 ICVS Step Deck

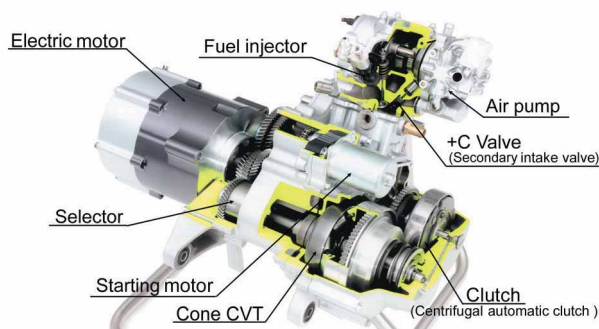


Fig.2 MHS unit

2. 開発目標

2.1. 動力性能

車両最高速度は60km/h、電動モータの最高速度は30km/h以上と設定した。

2.2. 操作性

駆動力源切り替え操作、シフト操作を不要とし、スロットル操作のみで走行できるシステムとする。

2.3. 加速フィーリング、及びスロットル操作に対する走行出力特性

駆動力源の切り替えにおいて駆動力の変化、電動モータからエンジンへの切り替えに要する時間、及びエンジン走行中充電時に充電のために必要なスロットル操作を最小に抑える。

3. MHS概要

3.1. ハイブリッド方式

ハイブリッド方式は、走行負荷の低い領域は電動モータ走行、走行負荷の高い領域はエンジン走行となるパラレル

型とした。スロットル操作のみで走行できるように動力切り替えはバッテリー残量、車速、スロットル開度をパラメータとする自動制御とした。

3.2. 電動モータユニット

電動モータの出力は速度30km/hを満足するため2.5kWとし、軽量、高効率なDCブラシレスモータを採用した。ハイブリッドシステムを小型、軽量にするため、専用発電機をもたず、一つの電動モータで走行と発電を行うシステムとした。

3.3. エンジンユニット

エンジンは、49cm³4サイクルガソリンエンジンとした。坂道発進など高負荷時に車速ゼロから、エンジン走行が可能で、かつ、シフト操作を不要とするために自動発進クラッチ、無段変速機、スタータモータを装備した。

3.4. その他

リバースギヤを無くしてシンプルな構造とするため、リバース時の動力は電動モータとした。バッテリー充電は、主として外部電源による充電とし、リバース機能を保持できるようにエンジンによる内部充電を可能とした。

Fig.3にMHSの構成図を示す。電動モータ駆動系にエンジン駆動系がワンウェイクラッチで接続された構成となっている。主要構成は、以下のように4つに分類される。

- (1) 電動モータ系：発電と走行を兼用する電動モータとリダクションギヤ
- (2) エンジン系：4サイクル水冷49cm³エンジン、発進クラッチ、無段変速機、スタータモータ
- (3) ハイブリッド駆動系：エンジンからの駆動力のみを伝達するワンウェイクラッチと、エンジンと電動モータの駆動力を検出する駆動トルクセンサを内蔵したカウンタギヤ、デファレンシャル
- (4) 制御系：バッテリー、モータコントローラ、スロットルアクチュエータ

設定したハイブリッド動作モードをFig.4に示す。

低速低負荷時は電動モータ走行、高速高負荷時はエンジン走行する。減速時は電動モータにより回生制動を行い、バッテリーを充電する。これにより、エンジンを効率の良い高負荷域で使用でき、電動モータ出力を小さくできた。バッテリー残量が一定値以下になった場合は、電動モータ走行領域を低速に制限し、エンジンで発電しながら走行する領域を設定している。これにより、バッテリー残量が少なくなった場合でも、リバース走行などに必要な電力を確保することができる。また、Fig.4に示すように電動モータ走行とエンジン走行の境界では動力切り替えを自動で行う。こ

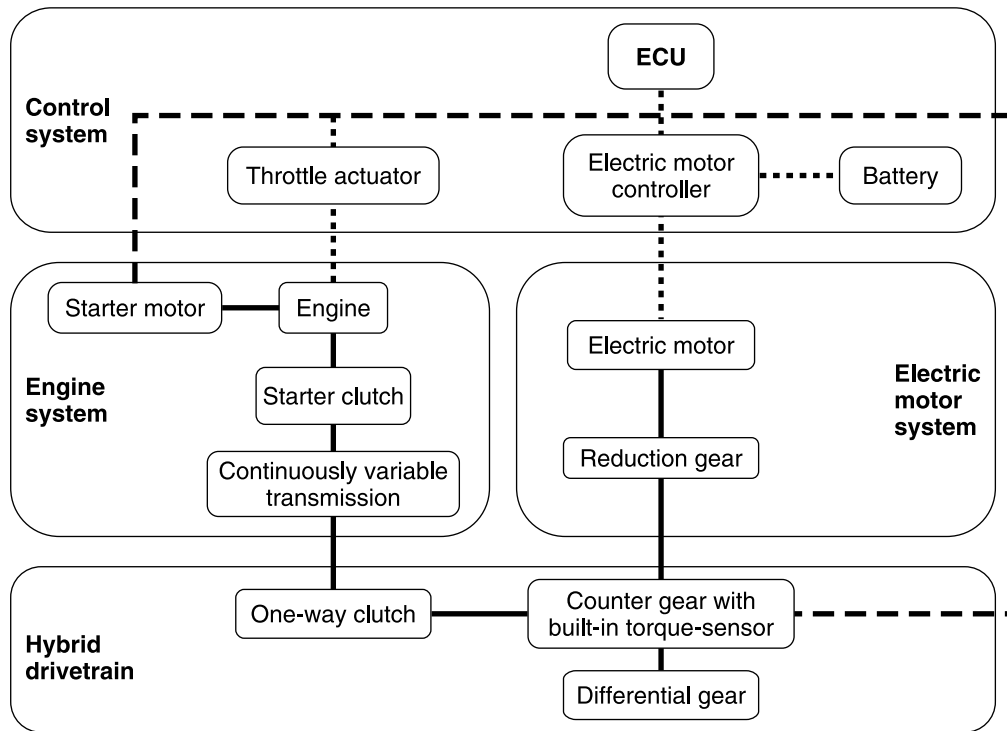


Fig.3 System diagram of MHS

の駆動力源自動切り替えでは、例えば、電動モータ走行からエンジン走行に切り替わる場合、エンジン始動、その後のエンジン出力(回転、駆動力)の増加、駆動系の接続、電動モータ出力減少と一連の動作が、スムーズかつ、違和感のない応答性をもつように制御している。

エンジンで走行しているときにバッテリーを充電する場合は、エンジン出力を必要走行出力以上に上げて得られた余剰出力により、電動モータを発電機として、バッテリーを充電している。このとき、スロットル操作に関係なく車両が加減速しないように制御している。

MHSを搭載した車両の基本性能をTable 1、車体諸元をTable 2、ハイブリッドユニット諸元をTable 3に示す。

Table 1 Vehicle performance

Motor Drive	Maximum velocity (km/h)	35
	Battery charging distance (km)	20
Hybrid Drive	Maximum velocity (km/h)	61
	Battery charging distance (km)	40
	Time of 0-200m (sec)	18.4

Table 2 Vehicle specifications

Maximum length (mm)	2 400
Maximum width (mm)	1 185
Maximum height (mm)	1 690
Wheelbase (mm)	1 580
Tracks (Front/Rear) (mm)	1 010/1 040
Weight (kg)	370
Tire size	125-80R10

Table 3 Hybrid unit specifications

Engine	Type	4 cycle, Water-cooled
	Displacement (cm ³)	49
	Maximum power (kW/rpm)	3.9/8 500
	Maximum torque (Nm/rpm)	5.2/5 500
Motor	Type	DC brush-less
	Maximum power (kW)	2.5
	Maximum torque (Nm)	16
Battery	Type	Pb-acid
	Maximum energy (kWh)	1.2
	Weight (kg)	41

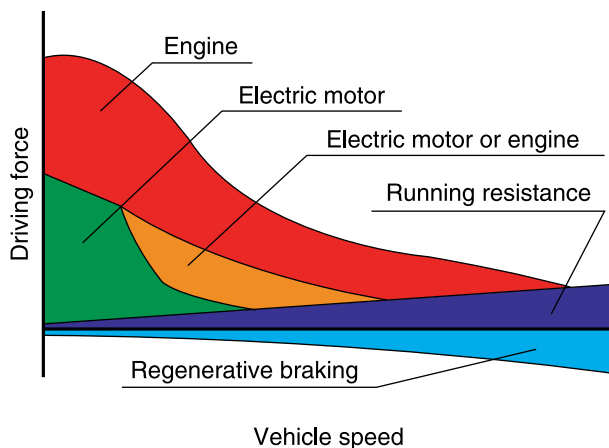


Fig.4 Operation mode of MHS

4. MHS動作

Fig.5にそれぞれの動作モードにおける動力の伝達経路を示す。

4. 1. 電動モータ走行

リダクションギヤを介し、電動モータ出力がカウンタシャフトに伝達され、さらに、減速されデファレンシャルギヤに伝わる。このとき、ワンウェイクラッチにより、エンジン側とは切り離されている。

4. 2. エンジン始動

モータで走行していて、エンジンに切り替わる時に、スタータモータを用いて始動を行うが、始動直後は、発進クラッチが接続していないアイドル状態である。

4. 3. 電動モータ走行からエンジン走行への切り替わり

電動モータで走行しているときに、ドライバがさらにスロットルペダルを踏み込むとエンジンが始動し、エンジン走行に切り替わる。エンジンのスロットル開度は、ドライブパイワイヤ(以下DBWという)で制御されている。エンジン始動時は、ドライバによるスロットル操作に関係なく、スロットル開度はエンジンのアイドル回転数にあったスロットル開度に強制的に制御されている。エンジン始動後のスロットル開度はドライバの操作により制御される。したがって、ドライバがさらにスロットルペダルを踏むと、エンジン回転が上昇し、発進クラッチが接続し、無段変速機に駆動力が伝達される。さらにエンジン回転数が上昇すると、ワンウェイクラッチが接続し、アイドルギヤ、カウンタギヤを介しデファレンシャルギヤにエンジン駆動力が伝達される。この状態になっても、電動モータは回転しているが、走行に要する駆動力は発生していない。その後、モータは無負荷回転を続ける。

4. 4. エンジン走行から電動モータ走行への切り替わり

エンジンで走行しているときに、ドライバがスロットルを戻すとエンジンがアイドル回転数になり、点火と燃料供給を停止し、エンジンを停止させる。エンジンが停止したとき、すでにワンウェイクラッチは切り離された状態にあり、モータ出力は、車速、スロットル開度をパラメータとして制御され、電動モータによる走行状態になる。

4. 5. エンジン走行時の減速回生

ドライバがスロットルペダルを戻すことにより、エンジン回転数はアイドル状態となる。車体は慣性により、惰行走行状態となっている。このとき、エンジン駆動力を伝達するワンウェイクラッチは切り離された状態にあり、エンジンプレーキは作用しない。そのため、エンジンプレーキ

フィーリングは電動モータを回生制御することにより、違和感がないものとなっている

4. 6. エンジン走行時のバッテリー充電

バッテリー残量が一定値以下になったときに、ドライバのスロットル操作に関係なく走行に必要な出力と充電に必要な出力を合わせたエンジン出力を発生させ、その余剰出力を電動モータが発電機として吸収することで充電を行っている。

5. MHS制御概要

Fig.6にMHSの制御システムのブロックダイアグラムを示す。システムは、目標後輪出力演算、エンジン出力、始動、停止を制御するエンジン制御部、電動モータ出力制御部の3ブロックで構成される。

5. 1. 目標後輪出力演算

エンジン回転数、バッテリー残量、スロットル開度、車速等の入力信号により、エンジンもしくは電動モータの動作、目標後輪出力などを決定する。

5. 2. エンジン制御部

エンジン制御部は、目標後輪出力により、エンジンの始動、あるいは停止信号とエンジンの目標出力を受けとる。目標スロットル開度は目標出力をパラメータに決定され、エンジンのスロットルは目標スロットル開度にアクチュエータによりフィードバック制御(DBW)される。エンジンの始動信号を受けとった場合は、点火、燃料供給を作動させてから、スタータモータを作動させ、エンジン回転数が一定値以上になったら、スタータモータを停止する。スロットル開度はエンジンのアイドル回転数にあったスロットル開度に強制的に制御されており、エンジン始動後のスロットル開度は、ドライバの操作により制御される。エンジン停止情報を受けとった場合は、ただちにスロットル開度をアイドル開度に制御し、エンジン回転がアイドル回転になってから、点火、燃料供給を停止する。

5. 3. 電動モータ制御部

電動モータ制御部は、目標後輪出力より、目標後輪出力信号を受けとり、電動モータ出力を、電動モータ回転数がある値以下では、電流フィードバック制御、それ以上では駆動トルクフィードバック制御により出力を制御している。電流フィードバック制御は、目標後輪出力をパラメータに演算された目標電動モータ電流と検出された電動モータ電流を一致させるように電動モータの駆動信号を出力する。駆動トルクフィードバック制御は、目標後輪出力をパラメータに演算された目標駆動トルクとカウンタギヤに内

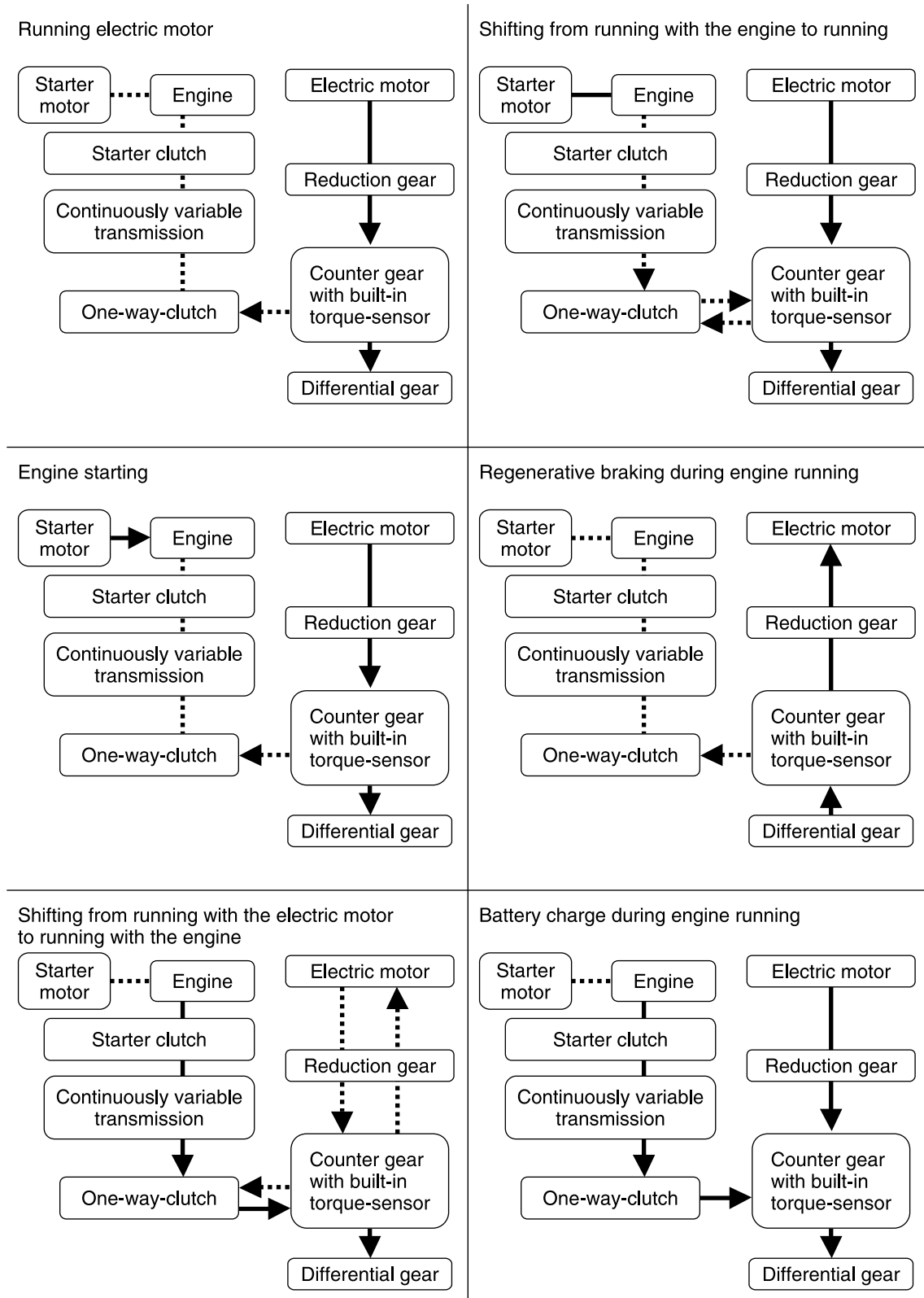


Fig.5 System diagram of drive power

蔵された駆動トルクセンサの信号から演算された実後輪トルクを一致させるように電動モータの駆動信号を出力する。エンジンでバッテリー充電を行う場合、電動モータは、走行に必要な出力以上のエンジン出力を駆動トルクフィードバック制御で電動モータを発電機として回生充電する。

減速回生では、車速とスロットル開度をパラメータとした電動モータ回生マップにより、回生量を決定し、電動モータのマイナス駆動信号(回生量)を出力する。

6. MHS性能評価

スロットル操作に対する駆動力のリニアリティが平行型ハイブリッドの課題であり、これは加速時において特に重要である。

MHS性能評価は、次の3項目について実施した。

- (1)スロットル急開時における後輪出力応答性
 - (2)スロットル全開時におけるエンジン走行への移行時の後輪出力特性
 - (3)エンジン走行における充電・非充電時のスロットル開度に対する後輪出力特性
- (1)(2)は過渡的条件、(3)は過負荷条件である。

6. 1. スロットル急開時における後輪出力の応答性

Fig.7に車両が停止しているときにスロットルを急開したときのスロットル開度、後輪出力およびエンジン回転数の

時系列データを示す。スロットル開度が40%になるとエンジンを始動するように設定されている。スロットル開度が40%になった時点からエンジン出力によって後輪が駆動されるまでの時間は1.32secである。ECUがエンジンの始動可否を判定して、スタータモータを作動させ、エンジンのクランキングが始まるまでの時間は0.34secである。その後、エンジンが始動したと判定されるまでの時間は0.28secである。DBWにより、スロットルが全開され、エンジンによる後輪駆動力が発生するまでの時間は0.7secである。

エンジン出力によって後輪が駆動されるまでの1.32secの間、モータ出力により、車両は加速されて約10km/hの車速になっている。その後、エンジン出力のみによる走行に切り替わる。この間の車体平均加速度は約 2.5m/s^2 であり、排気量600ccクラスの小型乗用車と比較して同等なレベルである。エンジンの始動開始から後輪が駆動されるまでの時間を短縮するため、エンジンを始動しやすくするために、スタータモータの出力は、4ストローク50ccクラスのエンジンに一般に使われているスタータモータの出力の2倍とした。また、エンジンフライホイールの慣性モーメントを4ストローク50ccクラスのエンジンの約 $1/3$ とした。

6. 2. スロットル全開時にエンジン走行に切り替わったときの後輪出力変化

Fig.7に示すように、エンジン出力が後輪に伝達される直前のモータによる後輪出力は2kWである。スロットル全開

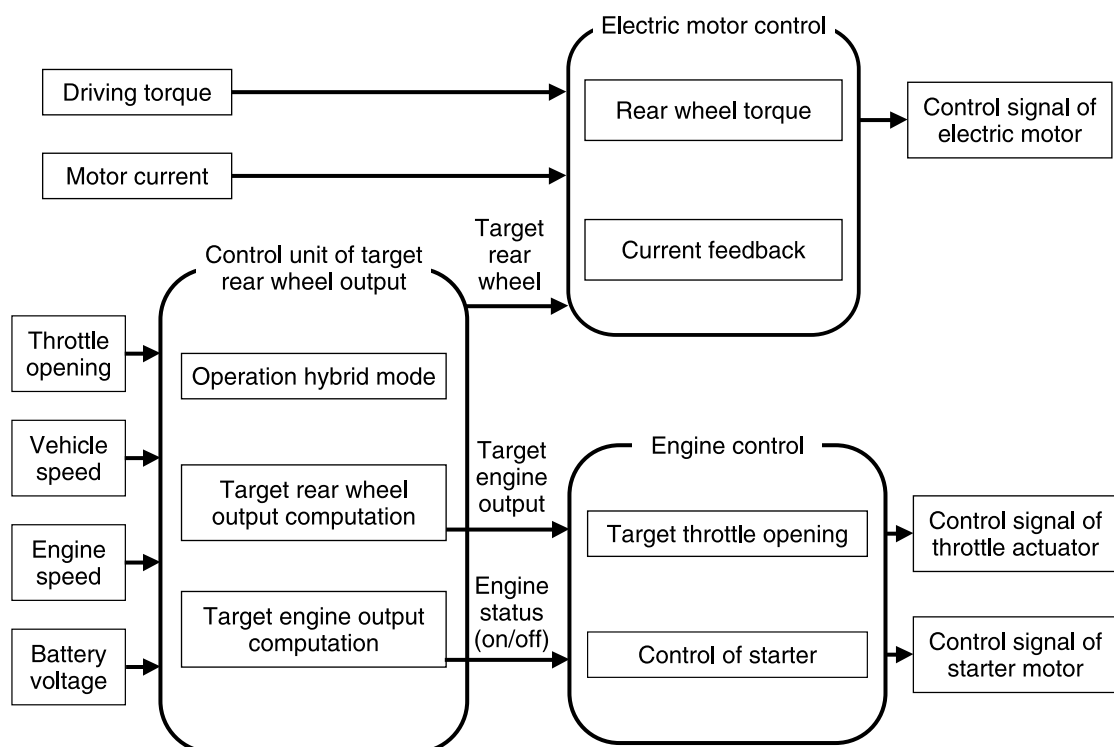


Fig.6 Block diagram of MHS control system

でエンジン回転4200rpmのときの出力は2.2kWである。ここで、モータの出力を減少させない場合は、後輪出力の総和は4.2kWとなるが、トルクフィードバック制御により、瞬時に電動モータ出力を減少させ、後輪出力は緩やかな上

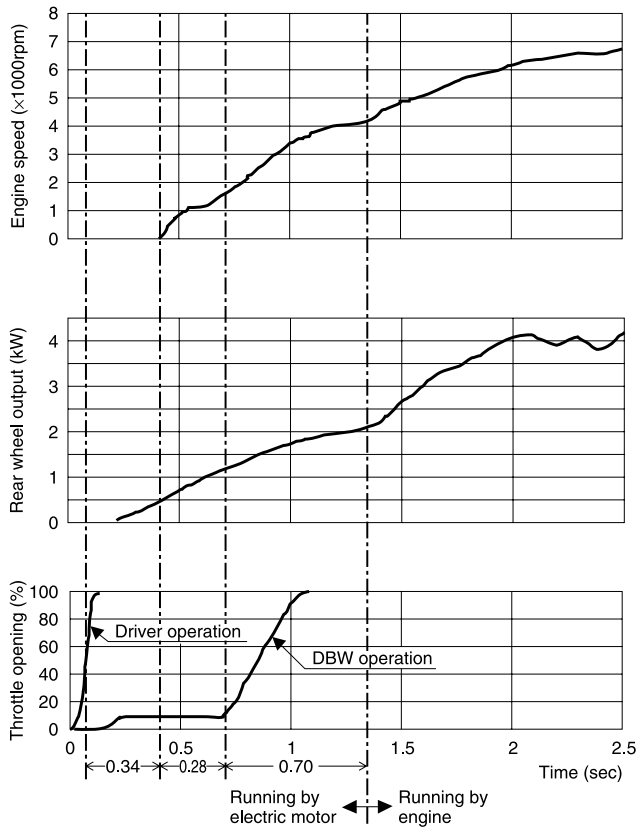


Fig.7 Driving example of rapid throttle operation

昇となっている。このとき、ドライバの加速フィーリングは、非常に良好であった。

6. 3. エンジン走行時にバッテリーを充電する場合と充電しない場合のスロットル開度に対する後輪出力の特性変化

Fig.8に示すように、エンジン走行時にバッテリーを充電するとき、DBWで制御されるスロットル開度は、バッテリーの充電、非充電で大きく異なるが、ドライバが操作するスロットル開度に対し、後輪出力は一定に制御されている。この結果、ドライバはスロットル操作に違和感を感じない。

7. 結論

パラレル型ハイブリッドの課題である動力源の切り替えにおいて、ワンウェイクラッチを用いた切り替え構造と駆動トルクフィードバック制御の効果が確認された。

- (1) 電動モータ走行時にスロットルを全開してエンジン走行に移行するとき、ドライバに加速遅れ感を与えない後輪出力の応答性を達成した。
- (2) 後輪駆動トルクのフィードバック制御による電動モータ制御によりスムーズな動力源切り替えを実現した。
- (3) 駆動トルクフィードバック制御は、スロットルに対する後輪出力を一定に制御し、スロットルに対し安定した走行出力が得られた。

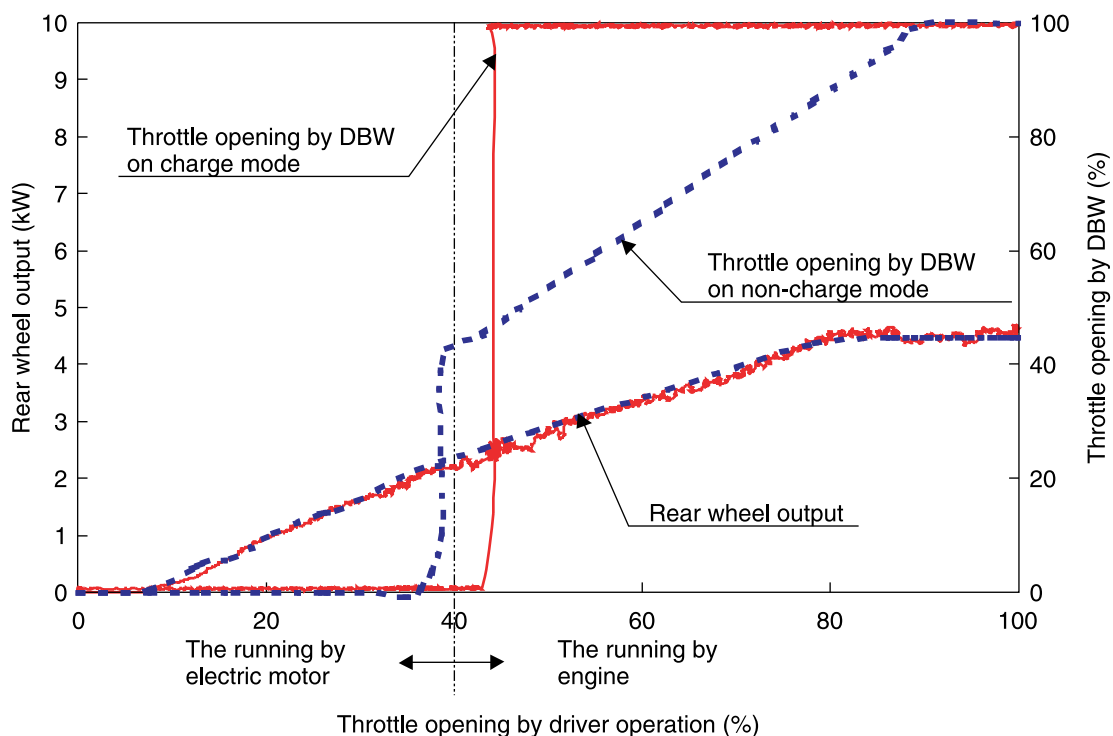


Fig.8 Comparison of rear wheel output on charge and non-charge mode

このMHSを搭載したICVS-Step Deckは栃木県茂木町のツインリンクもてぎにおいて1998年10月より実稼働している。ハイブリッド化することでEV専用に設計した車両に比べて約4分の1のバッテリー搭載量となっており、車体重量の低減と電動システムのコスト低減に大きく寄与している。平坦地では、スロットル操作により車速約36km/hまでは、モータのみでの走行することができるため、駅前などの渋滞路や細い路地、アーケード内、住宅街等の歩行者の比較的多い地域では、低公害、低騒音の効果を発揮する。社会環境負荷低減が求められる昨今、このMHSにより廉価で軽量、コンパクトなコミュータの実現への一歩を踏み出したといえよう。

参考文献

- 1) Yamaguchi, K., Moroto, S., Kobayashi, K., Kawamoto, M., Miyashi, Y.: Development of Hybrid System-Dual System, SAE Paper 960231
- 2) 今井裕道, 鈴木茂, 長谷川修, 松本謙次: 電気自動車“CUV-4”紹介, HONDA R&D Technical Review, Vol.7, p.1-8 (1995)

■ 著 者 ■



林 徹



鈴木 修