

電子ガバナ付エンジン搭載除雪機の制御システム開発

Development of Snow Thrower Control System with Engine Provided of Electronic Governor System

脇谷 勉*

Tsutomu WAKITANI

清水 則和*

Norikazu SHIMIZU

川上 俊明*

Toshiaki KAWAKAMI

山崎 信男*

Nobuo YAMAZAKI

要 旨

ABSTRACT

一般家庭向け中型ハイブリッド除雪機に電子ガバナ付エンジンを搭載し、除雪能力の向上、操作性の向上、さらに、燃費向上を目指した電気制御システムの開発をおこなった。効率よく、きれいに除雪をおこなうには、作業負荷を適切に制御し、エンジンの回転数を一定に保つことが必要である。本開発の負荷制御では、電子ガバナより得られるエンジンのスロットル開度を、エンジン負荷を検出するパラメータとして用いている。これにより、負荷制御に必要なリアルタイムでの車速制御が可能となった。実際の除雪作業を想定した同一面積の除雪作業において、従来のハイブリッド除雪機に比べ22%の燃費向上に寄与する結果を得た。さらに、使い勝手に応じたモード制御を設定し、従来の除雪機では手動でおこなっていたエンジン回転数調整や車速調整を自動化した。これにより、初心者でも簡単に使える除雪機を実現した。

An electronic control system has been developed to enhance snow removing performance, operability and fuel efficiency of medium-sized snow throwers mounting an engine provided with an electric governor. For efficient and perfect snow removal, proper control of working load and stable engine speed are required. The load control in this development uses engine throttle opening degree as a parameter of engine load detection, which enables real-time vehicle speed control which is required for load control. In a simulation of actual snow removal work, fuel economy of new system was enhanced 22% in the same area compared with that of existing hybrid snow thrower. In addition, mode control responding to usage is provided, which controls engine speed and vehicle speed automatically which was controlled manually in existing snow thrower. It has realized a user-friendly snow thrower for beginners.

1. まえがき

雪国で生活している人々にとっては、冬期の雪かき作業が負担となっている。このつらい作業を軽減するために、一般家庭向けエンジン搭載除雪機の開発をおこなってきた。

歩行型除雪機は、除雪をおこなう作業部と除雪作業部に雪に押し当てる走行部で構成され、主な構成要素として、動力源となるエンジン、雪を破断するオーガ、破断した雪を投雪するブローア、投雪する雪をガイドするシュータ、走行用のクローラが挙げられる。歩行型除雪機の構成を Fig. 1 に示す。作業者は除雪作業中、雪の高さに応じてオーガ高さのコントロール、投雪方向や距離を調整するためにシュータの向きをコントロール、走行スピードのコントロールとたく

*朝霞東研究所

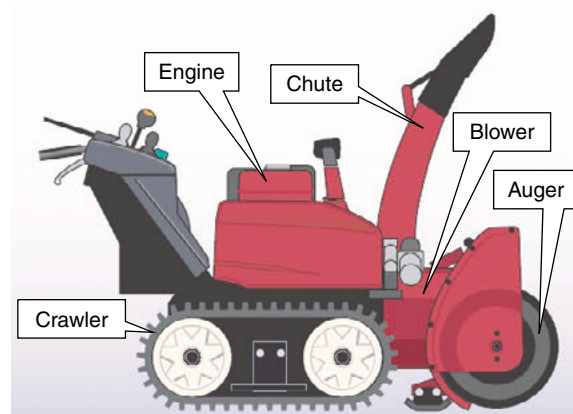


Fig. 1 Structure of walk behind snow thrower

さんの操作をする必要があり、操作に慣れを必要とする。

より速く、楽に、簡単に操作するといった目的において、Honda は 2000 年にハイブリッドシステムを導入した除雪機 HS1390i を市販化した。この除雪機のハイブリッドシステム⁽¹⁾は、除雪作業部の駆動と発電をエンジン出力でおこない、走行部の駆動は発電された電力を用いてモータのみでおこなうシリーズハイブリッド方式を採用している。電子制御化によって、なめらかな発進停止、スムーズな旋回を実現すると同時に、作業をおこなうエンジン回転数を検出し、作業負荷によって自動的に走行スピードを可変する負荷制御もおこなっている。これは作業負荷によりエンジン回転数が低下した時には、走行スピードを遅くすることで除雪する雪の量を減らし、エンジンへの負荷を軽減、回転数の低下を小さくする制御である。

本稿では、電子制御機能を装備した iGX440 エンジン⁽²⁾を搭載し、電子ガバナ⁽³⁾の特徴を生かした新たな負荷制御およびモード制御による制御システムを開発、除雪機 HSM1590i に導入したので報告する。

2. 除雪機の負荷制御

大量の雪が除雪部に入ると、エンジンの負荷が増加しエンジンの回転数が低下するだけでなく、エンジンが停止する場合がある。また、投雪しきれない雪の上に除雪部が乗り上げ車体が浮き上がってしまうと除雪部を雪に押し当てる事が出来なくなり一度下がってやり直さなければならない。さらに、作業後の路面仕上がりが悪く再度同一路面の除雪作業を必要とする場合もある。このような状況では作業効率が悪く、これを改善するためには除雪する雪の量を適切にコントロールする必要がある。走行用クローラの速度を遅くすることで除雪部に入ってくる単位時間あたりの雪の量を減らすことが出来る。すなわちエンジンの負荷に応じて走行スピードを制御することで効率のよい作業をおこなうことが出来る。

2.1. 作業による負荷調整

走行部の駆動をエンジン出力にてギア方式あるいは Hydro Static Transmission (HST) 方式による変速でおこなう除雪機の場合、エンジンの回転数に比例して走行スピードも低下する。この関係を Fig. 2 に示す。しかしながら、エンジンの回転低下に対して走行スピードの減速が十分ではないため、エンジンの回転低下や除雪部の浮き上がりを感じた場合には、作業者が自分で走行スピードを遅くする必要がある。

2.2. エンジン回転数による負荷制御

シリーズハイブリッド除雪機 HS1390i では、エンジンの回転数に関係なくモータにより走行スピードを自由にコン

トロール出来る。すなわちエンジンの負荷を検出することが出来れば、走行スピードを自動的に制御することが可能となる。

作業機に搭載されるエンジンには、キャブレタのスロットル開度を自動的に調整し、エンジン回転数を一定に保とうとする機構が装備されている。その多くは遠心ガバナ機構を応用した機械式フィードバック制御を採用しており、除雪機 HS1390i に搭載している GX390 エンジンも同様である。しかしながら、機構的に負荷によってエンジン回転数に差が生じる。GX390 エンジンの Wide Open Throttle (WOT) 出力特性および遠心ガバナの部分負荷における出力特性を Fig. 3 に示す。

除雪機 HS1390i では、遠心ガバナの特性を生かし、エンジン負荷を判断する手段としてエンジン回転数の変化を用いている。エンジン回転数に対する走行スピードの減速比率を Fig. 4 に示す。この制御によってエンジン回転数低下

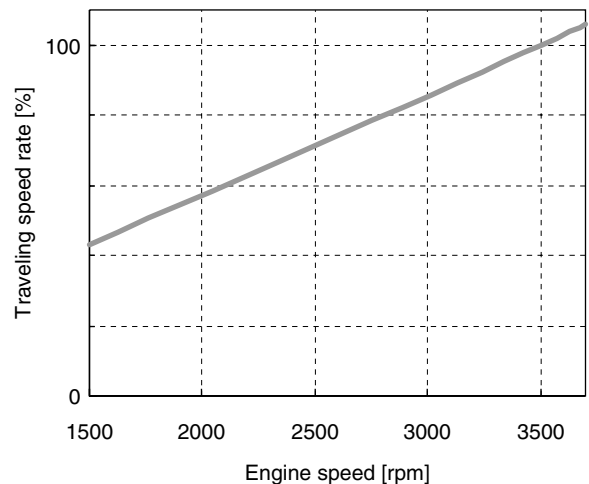


Fig. 2 Relationship between engine speed and traveling speed rate

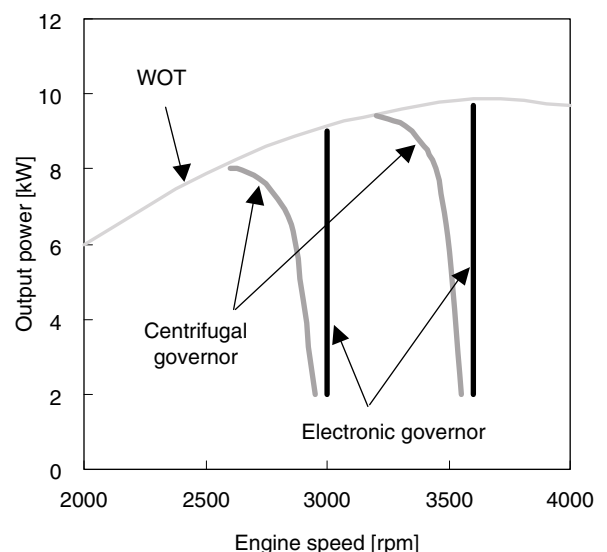


Fig. 3 GX390 engine performance

によるエンジン停止や作業部の浮き上がりは低減出来る。しかしながら、全開出力として 3200 rpm で 9.4 kW を得たい時には、遠心ガバナの調整を無負荷で 3600 rpm となるようにするため、部分負荷で作業する時は、3200 rpm より速い回転で回ってしまい、3200 rpm の回転数で十分な作業の場合、無駄に回転させていることにもなり、燃費の悪化はもとより騒音も大きくなる。また、エンジン回転数の変動によりプロアの回転数も変動し投雪距離への影響が出てしまう。

2.3. エンジンスロットル開度による負荷制御

電子ガバナシステムを採用したエンジンでは、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が出来る。

電子ガバナシステムを採用したエンジンを搭載することでスロットル開度情報をエンジンから得ることが出来る。この情報により、エンジンの負荷率を制御し、設定したエンジン回転数での作業が可能になる。このスロットル開度は、

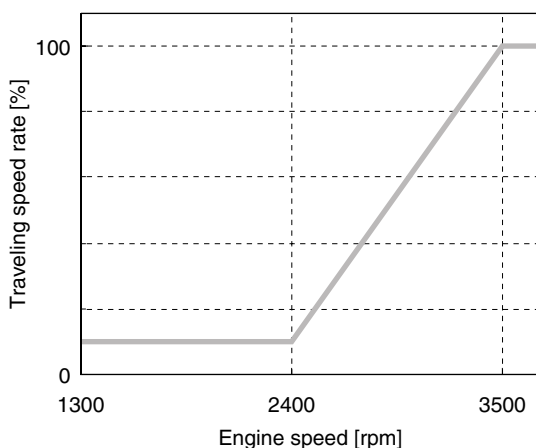


Fig. 4 Relationship between engine speed and traveling speed rate

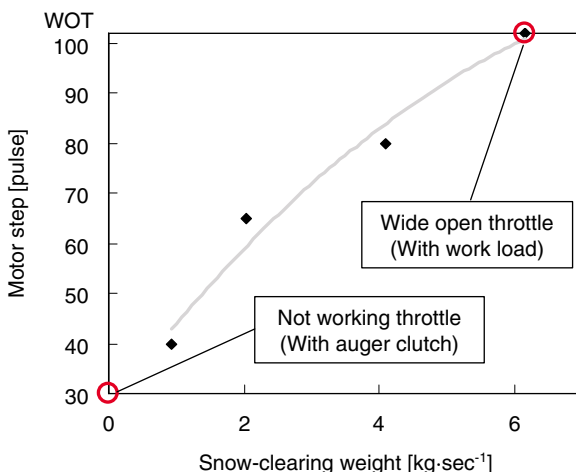


Fig. 5 Relationship between snow-clearing weight and motor step (Engine speed = 3600rpm)

電子ガバナにより制御されており、実際にはスロットルバルブをステッピングモータで駆動している。

実用テストで得られた、単位時間あたりの除雪量とスロットル開度を制御するステッピングモータのステップ数の関係を Fig. 5 に示す。ステッピングモータのステップ数が、102 パルスの時にスロットルが全開であり、エンジン回転数 3600 rpm の時に、作業部をクラッチで接続しただけの作業無負荷状態でのモータステップ数は 30 パルスである。この結果から、102 パルスはエンジン回転数変化が発生しない最大値であり、30 パルスは作業負荷のない状態を示すことになる。なお、3600 rpm では作業無負荷状態のモータステップ数は 30 パルスであるが、エンジン回転数によりこの値は変化するため、エンジン回転数毎の作業無負荷パルス数を考慮する必要がある。

負荷制御にこれを当てはめると、ステップ数 30 パルスから 102 パルスまでがスロットルによる負荷追従可能範囲となり、スロットル開度を 30 パルス以上、102 パルス以下となるように走行速度を制御すれば、エンジン回転数の変化は発生しないこととなる。また、作業負荷に変化が発生しても、エンジンに対する負荷、すなわちパルス数が常に一定となるように走行速度を可変すれば、定格運転と同等になる。エンジン負荷が安定していればエンジンスロットルの全開、全開動作がなくなり、安定した作業が可能となる。

このように、スロットル開度情報、すなわちステッピングモータステップ数を負荷制御に用いることで、エンジンの負荷状況がわかり、この負荷状況に基づき走行スピードを制御、エンジン回転数が低下する前に作業部への負荷をコントロールすることで効率のよい作業が出来るようになる。

3. モード制御

除雪作業をおこなう場合、通常搭載するエンジンの最大出力が得られる回転数 3000 rpm から 4000 rpm にエンジン回転数設定をする。除雪機は、このエンジン回転数でパフォーマンスを発揮出来るように設計されている。除雪機が除雪作業をしていない時、例えば、移動中で作業部であるオーガやプロアを回していない時、作業中であっても後進している時には、大きなエンジン出力を必要としない。

走行部の駆動にエンジン出力を用いて、ギア方式あるいは HST 方式によって機械式に変速をおこなう除雪機の場合、除雪作業をおこなっておらず、大きなエンジン出力を必要としない時でも走行スピードを上げるためにはエンジン回転数を高くする必要がある。

シリーズハイブリッド方式を採用した除雪機では走行を発電された電力を用いてモータのみでおこなうため、速い走行スピードを得るための高いエンジン回転数を必要としない。不必要にエンジンを高い回転数にしないようエンジン回転数設定を作業状況に応じて変えることで、燃費向上、

騒音低減が図れる。

GX390 エンジンを搭載した除雪機 HS1390i では、ワイヤを用いてガバナスプリング荷重を変化させることにより、エンジン目標回転数の設定をおこなっていたため、エンジン回転数設定を変えるには作業者がいちいち操作をおこなわなければならなかった。

開発した制御システムでは、電子ガバナシステムを採用し電子制御機能を装備した iGX440 エンジンを搭載することにより、目標回転数の設定を、除雪機システム全体を制御する Electronic Control Unit (ECU) からおこなえ、作業者の使い勝手を考慮した三つのモードを用意している。各モードは、作業者の操作が少なくなるように、走行速度、エンジン回転数を自動的に制御する Auto モード、作業時のエンジン回転数を任意に選べ、よりパワフルに除雪作業をおこなえる Power モード、そして自動制御をほとんどおこなわず作業者が任意に操作する Manual モードとしている。これらのモードでは目標回転数だけでなく、前述した負荷制御やその他の機能も切り替えている。

3.1. モード別エンジン回転数設定

開発した制御システムでは、ECU で作業の状態を判断し、エンジン目標回転数の調整を自動的におこなう方式を採用した。Table 1 に各モードと目標回転数の関係を示す。

3.2. モード別負荷制御

Auto モードと Power モードを選択した時の負荷制御はスロットル開度に基づき走行速度を減速させるが、Manual モードを選択している時には、作業者が設定している走行速度に対して、ECU が勝手に減速する感覚がないように Fig. 2 に示したエンジン回転数に対して比例した減速のみをおこなう。Auto モードを選択している時と Power モードを選択している時のエンジンスロットルバルブのステッピングモータステップ数に対する走行速度の減速割合を Fig. 6 に示す。

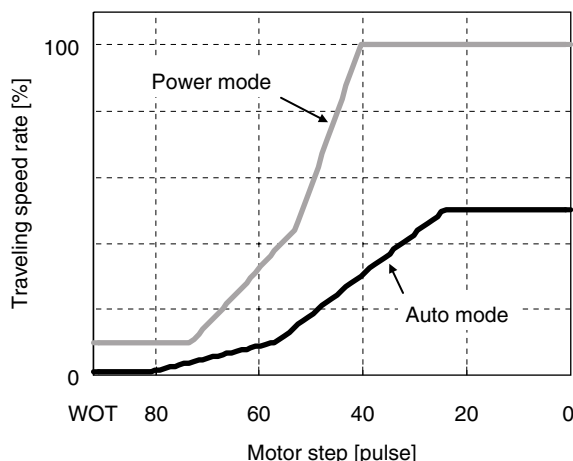


Fig. 6 Relationship between motor step and traveling speed rate

Table 1 Operation models

Mode		Auto	Power	Manual
On working	Forward and auger on	Auto set 3000 [rpm]	Speed set by user 2000 - 4000 [rpm]	Speed set by user 2000 - 4000 [rpm]
	Reverse and auger on	Auto set 2000 [rpm]	Speed set by user 2000 - 4000 [rpm]	Speed set by user 2000 - 4000 [rpm]
Off working	Forward and auger off	Auto set 2000 [rpm]	Auto set 2000 [rpm]	Speed set by user 2000 - 4000 [rpm]
	Reverse and auger off	Auto set 2000 [rpm]	Auto set 2000 [rpm]	Speed set by user 2000 - 4000 [rpm]

iGX440エンジンでは、ステッピングモータのステップ数が 92 ステップの時にスロットルが全開となる。

3.3. Auto モード

Autoモードでは、走行速度を減速することで作業部の浮き上がりを低減、エンジン回転数も Table 1 に示すように 3000 rpm とし、走行速度やエンジンの回転数の調整をせず静かに除雪出来る設定とした。

Fig. 7 に Auto モードを選択して除雪した際のエンジン回転数とモータステップ数、走行速度のデータを示す。エンジンの負荷状況を示すモータステップ数の上昇に伴い、走行速度を自動的に減速させることによりエンジン回転数を 3000 rpm 一定に保つ制御をおこなっている。

3.4. Power モード

Power モードでは、エンジンの最大出力付近を保つように走行速度を自動的に調整、エンジン回転数は最大投雪距離となる 4000 rpm、エンジンの最大出力が得られる 3600 rpm、また、静かに作業したい時には 2000 rpm など作業者が任意に選択出来る設定としている。

Fig. 8 に Power モードを選択、エンジン回転数を 4000 rpm にして除雪した際のエンジン回転数とモータステップ数、走行速度のデータを示す。Autoモード同様エンジンの負荷状況を示すモータステップ数の上昇に伴い、走行速度を自動的に減速させることによりエンジン回転数を 4000 rpm 一定に保つ制御をおこなっている。

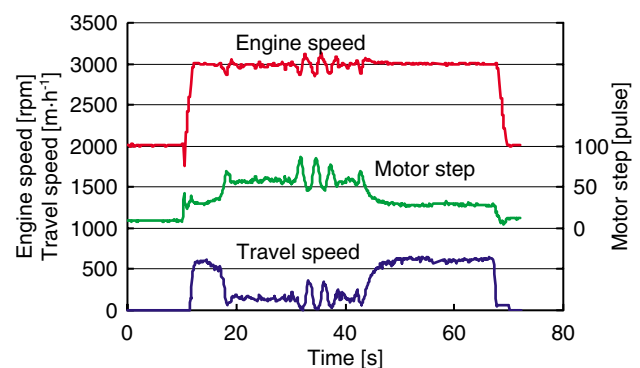


Fig. 7 Clearing snow in auto mode

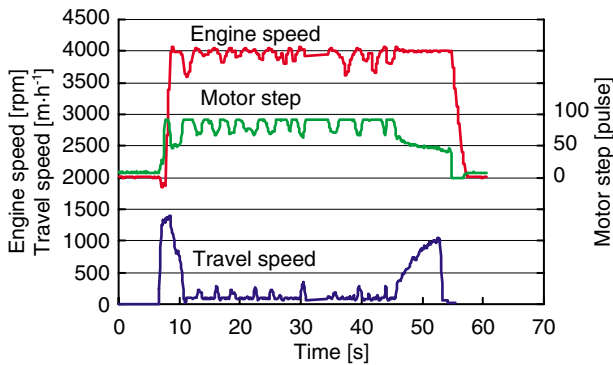


Fig. 8 Clearing snow in power mode

4. 燃費改善効果

システム構成は除雪機 HS1390i 同様、除雪をおこなうオーガ、プロペラ駆動はエンジン出力、走行をおこなうクローラ駆動はモータのみの動力とする、シリーズハイブリッド方式である。また、システム制御 ECU と iGX440 の電子ガバナとは相互データ通信をおこなっている。システム概略図を Fig. 9 に示す。

開発したシステム制御では、モード別エンジン回転数設定制御により、高いエンジン回転数が不要な時にはエンジン回転数を自動的に低くする Auto モードがあり、また、除雪機 HSM1590i は、除雪機 HS1390i と比較し最大除雪能力も向上しているため燃費が向上している。同じ面積を同じ負荷率で作業した場合の効果を以下に記す。

作業条件

- (1) 除雪面積 : 128 m²
- (2) 負荷率 : 80%
- (3) 積雪 : 0.4 m
- (4) 雪の比重 : 0.1
- (5) 実除雪幅 : 0.7 m
- (6) エンジン回転数(除雪機 HS1390i) : 3000 rpm
(除雪機 HSM1590i) : Auto モード

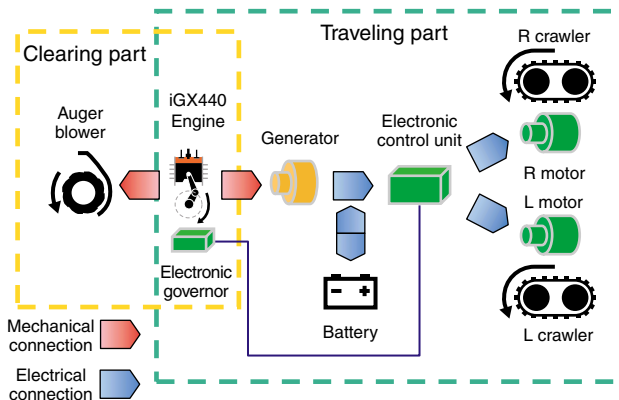


Fig. 9 System configuration

Table 2 Fuel used by HS1390i

Mode	Time required [min]	Engine speed [rpm]	Fuel efficiency [L·h ⁻¹]	Fuel [L]
Clearing snow	19.7	3000	3.30	1.08
Reverse	4.0	3000	1.32	0.09
Turning	9.3	3000	1.32	0.21
Total	33.0			1.37

Table 3 Fuel used by HSM1590i

Mode	Time required [min]	Engine speed [rpm]	Fuel efficiency [L·h ⁻¹]	Fuel [L]
Clearing snow	16.9	3000	3.20	0.90
Reverse	4.0	2000	1.16	0.08
Turning	4.7	2000	1.16	0.09
Total	25.6			1.07

エンジン回転数 3000 rpm での最大除雪能力は、それぞれ 79 ton/h, 92 ton/h であり負荷率 80%での除雪作業速度は 0.155 m/s, 0.18 m/s となる。

後進速度は共に 0.5 m/s, 方向修正回数は 56 回でそれぞれ旋回に要する時間が 10 s, 5 s であった場合の消費燃料を Table 2 および Table 3 に示す。

結果として、同一面積除雪時の燃費は除雪機 HS1390i に比べて 22%向上出来る。また、作業負荷が一定ではない実際の作業において、最大除雪能力を発揮出来る走行速度で作業するには熟練を要するが、開発した制御システムを搭載した除雪機 HSM1590i では、スロットル開度を用いた負荷制御をおこなうため、最大除雪能力を超える負荷がかからないように ECU が自動的に走行速度を減速し、初心者でも熟練者同等の除雪作業効率を得ることが出来る。

開発した制御システムを搭載した除雪機 HSM1590i の外観を Fig. 10 に示す。



Fig. 10 External view of HSM1590i

5. まとめ

電子ガバナの特徴を生かした制御システムを導入した除雪機において以下の効果を得られる。

- (1) 負荷の増減に対してもエンジン回転数を一定に保つことが出来るため、安定した投雪距離を得られる。
- (2) 負荷の増加をエンジン回転数低下前に検出することができ、除雪機の浮き上がりおよび作業者の走行スピード調整操作を減らすことが出来る。
- (3) エンジン回転数の設定が、自動的におこなえるため、高い回転数が不要な時には自動でエンジン回転数を低下させ、22%の燃費向上、騒音低減が得られる。

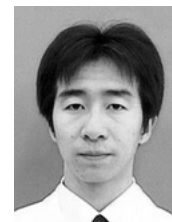
参考文献

- (1) 花房実美, 脇谷勉, 山本隆弘, 乾勉: ハイブリッド除雪機「HS1390i」の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.1, p.31-38
- (2) 伊藤慶太, 本田宗平, 斉藤照幸, 倉田真秀, 直江学: 電子制御汎用エンジン iGX440 の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.17, No.2, p.44-51
- (3) 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

■ 著 者 ■



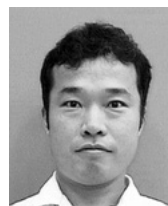
脇谷 勉



川上 俊明



清水 則和



山崎 信男