

# ユニバーサルインバータドライバ

Universal Inverter Driver

吉田 誠  
Makoto Yoshida

小迎 聡  
Satoshi Komukai

星野 広行  
Hiroyuki Hoshino

山口 修  
Osamu Yamaguchi

河原 定夫  
Sadao Kawahara

## 要 旨

ユニバーサルインバータドライバは、モータの種類を問わず、広いアプリケーションへの対応をねらいとするモータドライバである。本ドライバでは、位置センサや制御方式ごとに、分散・専用化されていた各組み込みソフトウェアモジュールのタスク分析を行い、従来異なっていた位置、速度制御などの各モジュール間のインターフェース整合と再配置化を行った。これにより、本ドライバの中心的役割を果たすモータ制御ソフトの共用化・汎用化を実現した。また、電源電圧や容量に応じたハードウェアのユニット化構成により、DC12VからAC400V、容量で数十kWまでのモータ駆動をカバーしている。さらに、外部から簡単にパラメータの設定が可能なユーザーインターフェースソフトと合わせることで、広範囲なアプリケーション、およびモータ駆動環境に適合するインバータモータドライバを実現した。

## Abstract

A universal inverter driver is a motor driver which aims to be applicable to a wide range of applications with any type of motor. In this driver, we have performed interface matching and relocation of the different position and speed control software modules that were previously separately located and specialized for each position sensor and control system by analyzing each task. Thus, the driver realized commoditization and universalization of the motor control software which is the main core element of this driver. Also, the driver covers a wide range of voltages from DC12 V to AC400 V, and a capacity range for driving motors up to several dozen kW by making separated unit hardware structures depending on the supply voltage and capacity. The universal inverter driver will become an essential inverter motor driver applicable to a wide range of applications and motor-driving conditions by adding user interface software which helps to simplify setting the parameters externally.

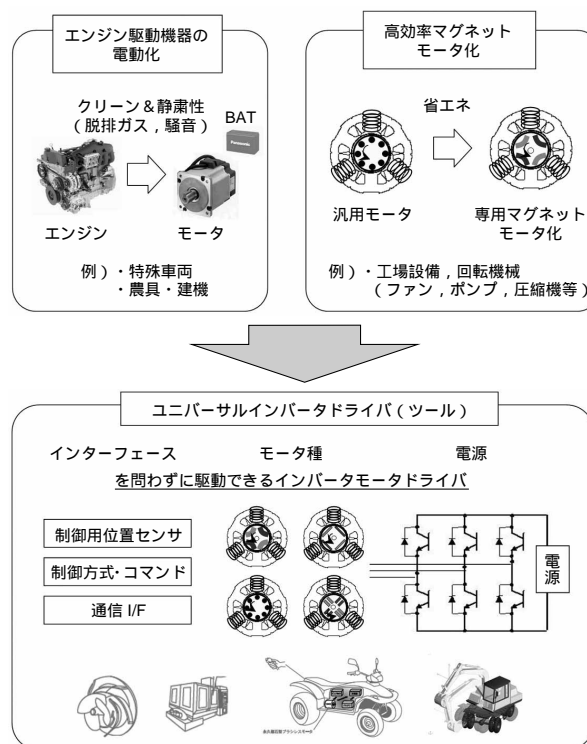
## 1. はじめに

地球環境問題の高まりにより、省エネや脱排ガス・低騒音に対するニーズが飛躍的に拡大している。とくに、回転機械やモータ応用機器分野においては、より効率の良いマグネットモータ化、あるいはエンジン駆動機器の電動化が進み、その応用分野も家電、自動車機器といったいわゆる大規模市場から、ニッチな産業・特殊機器に至るまでその裾野を急速に拡げつつある。

一方、マグネットモータを効率良く機能的に駆動するためには、同期モータの制御、インバータ、パワー回路などのモータドライブ技術が必要不可欠であり、それらドライブ技術をもたない機器メーカーにとっては、マグネットモータ化や電動化を簡単に推進できないという側面もある。

ユニバーサルインバータドライバは、それらのユーザーにおける電動モータ化、高効率なマグネットモータ化機器の開発に必要な、モータ制御ハードウェア、ソフトウェア（ファームウェア形式）、および機器やユーザーとのインターフェース機能を提供し、機器メーカーにおける開発ツールとして、省エネや脱排ガス・低騒音化などの環境対応を支援、推進するものである。

第1図には、これらの環境背景とコンセプトについて図



第1図 環境背景とコンセプト

Fig. 1 Concept and environmental back ground

式化した。以下、その技術と応用展開について説明をする。

## 2. ユニバーサルインバータドライバの概要

本ドライバは、開発ツールとして異なる駆動環境下で広範囲なアプリケーションに対応するために、次のような観点でシステムを構成した。

第一に、アプリケーションやモータに応じた、適切な制御方式（モータ制御ソフトウェア）の提供である。たとえば、初期のマグネットモータ化において、最も一般的である低分解能なホールセンサを用いた「矩形波通電制御」や、より省エネ効果の高い高分解能な位置センサを用いた「正弦波ベクトル制御」、およびそれらの位置センサレス制御までの広範囲な制御であり、これらを実現した。

また、アプリケーションにマッチした制御コマンド（回転数、トルク（電流）、電圧デューティ比または変調率）への対応も可能とした。

第二に、駆動対象モータの入出力環境に合わせたハードウェアの提供である。たとえば、DC12 VからAC400 Vまでの電源電圧や、制御用位置センサ（含むセンサレス）、および制御コマンド・レスポンスの入出力を行う通信インターフェースに対応するハードウェアがそれである。

第三に、前述したソフトウェア、ハードウェアを開発ツールとして“だれでも簡単に”操作することができるユーザーインターフェースの提供である。本ドライバを扱うユーザー層は、モータ制御に関して専門的な知識を有するスキルド（Skilled）ユーザーに限らず、比較的知識の少ない一般（General）ユーザーまで幅広い。その幅広いユーザー層を満足すべく適切なパラメータを抽出し、外部からパソコンを通じて、モータ定数や制御定数を設定できるパラメータインターフェース機能をもつGUI（Graphic User Interface）ソフトを開発した。

以下、これら制御ソフトウェア、ハードウェア、ユーザーインターフェースの3つについて説明をする。

## 3. モータ制御ソフトウェア

ユニバーサルインバータドライバの汎用性、機能性を高めるために、中心的な役割を果たしているのが、モータ制御ソフトウェアであり、次にその内容について説明をする。

### 3.1 位置センサと制御方法

ユニバーサルインバータドライバの対象とする回転機械用のモータは、永久磁石同期モータから誘導モータまで幅が広い。また、アプリケーションも広範囲に渡るのでその制御方法もさまざまである。第1表に、永久磁石同期モータに使用される主な位置センサと制御方法の一例を示す。

位置センサは、大別してホールセンサなどの低分解能センサ（電気角60°ごとの検出）と、エンコーダなどの高分解能センサ（機械角360°を数百～数千に分割）に分かれる。

まず、低分解能センサでは、60°ごとに位置を検出して転流制御を行う矩形波駆動が主流であったが、最近では性能向上のために、この60°ごとの位置信号から正弦波駆動をすることも増えてきている。また、これら低分解能センサからの位置情報ではdq軸上での電流ベクトル量の制御はできないので、制御モードとしては印加電圧（変調率）の可変による速度制御か、擬似的にトルクを制御するには電圧制御となる。

次に、高分解能センサでは、位置をおおむね連続的にきめ細かく検出できるのでdq軸での電流ベクトル制御が可能になり、この電流ベクトルによる速度制御か、トルク（電流）制御が主となる。

第1表 主な位置センサと制御方法

Table 1 Major position sensor and control way

位置センサ		駆動制御		制御方法	
		電圧波形	制御モード	電圧波形	制御モード
低分解能センサ	ホールセンサ	矩形波	速度制御	正弦波	電圧制御
	センサレス	矩形波	(変調率制御)		
高分解能センサ	エンコーダ	正弦波 (ベクトル制御)	速度制御		トルク制御
	レゾルバ				
	センサレス				

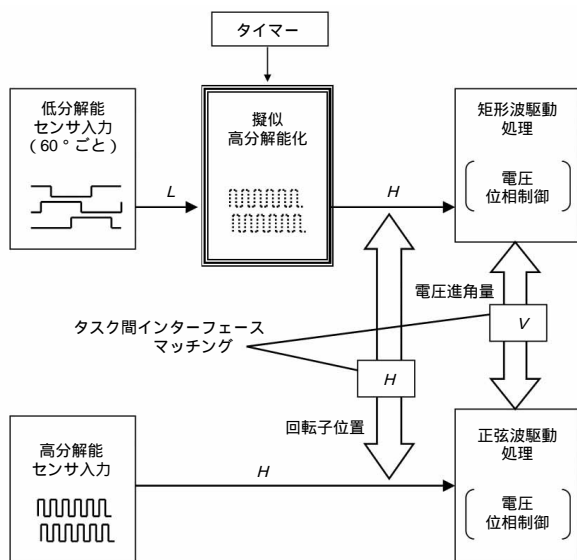
### 3.2 組み込みソフトウェアの統合化

これら第1表に示された制御方法を実現する場合、従来は個別に組み込みソフトウェアを設計し実装していた（分散型組み込みソフト）。たとえば、ホールセンサ用の矩形波駆動、ホールセンサ用の正弦波駆動、センサレスの矩形波駆動、また高分解能センサ用のベクトル制御という分散型の組み込みソフトである。本ドライバでは、開発ツールとして多種多様なモータや制御方法に迅速に対応することが目的であるため、位置センサや制御方法に対して完全に依存するファームウェアとしての分散型の組み込みソフトウェアでは、その都度プログラムの書き換えが必要となり、ドライバとして汎用性（Universal）を

もたない。

そこで、本ドライバのモータ制御組み込みソフトウェアでは、従来、分散型であった組み込みソフトウェア内の各制御モジュールを、モータ制御の観点から、位置、速度、電流（電圧）位相の各情報の扱いと、制御ループについてのタスク分析を行い、異なる制御方法のモジュール間におけるインターフェースのマッチングと最適な配置を行い、統合化を図った。第2図に、その一例として統合化した電圧位相制御部分のブロック図を示す。

センサ入力信号は、前述したように、大別して低分解能と高分解能センサに分けられる。低分解能センサ（たとえば、ホールセンサ）の場合には、電気角で60°ごとに0 60 120・・・のように位置信号（ $L$ ）が入力され、従来はそのタイミングごとに印加電圧位相を切り替えていた。



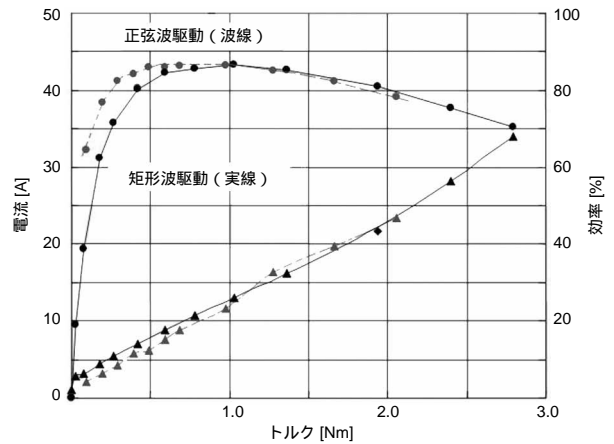
第2図 電圧位相制御のブロック図  
Fig. 2 Block diagram of voltage phase control

統合化においては、まず、この60°ごとの信号周期から単位時間あたりの移動角度量を算出する。そして60°経過する間にも位置情報をインクリメントするという擬似高分解能化処理を行う。次に、その高分解能化した  $H$  を位置情報として出力し、それに基づいて印加電圧位相を切り替えるようにした。

これにより、ホールセンサ信号からの位置情報を、高分解能センサからの位置情報と共通化ができ、いずれのセンサからも矩形波駆動と正弦波駆動が可能となる。また、各駆動方式間で、電圧位相の制御量  $V$  も共通のパラメータとすることができ、センサの分解能により個別に分散していた矩形波駆動と正弦波駆動の組み込みソフト

ウェアを統合することができた。これらは、駆動方法の違いによるモータ性能（効率、振動、騒音）の差異を精度よく計測するのに役立っている。

第3図は、本ドライバを開発ツールとして使用し、ホールセンサによる正弦波駆動と矩形波駆動とのモータ効率を比較した結果であり、アプリケーション側で低トルク時のモータ効率改善を図った一例である。

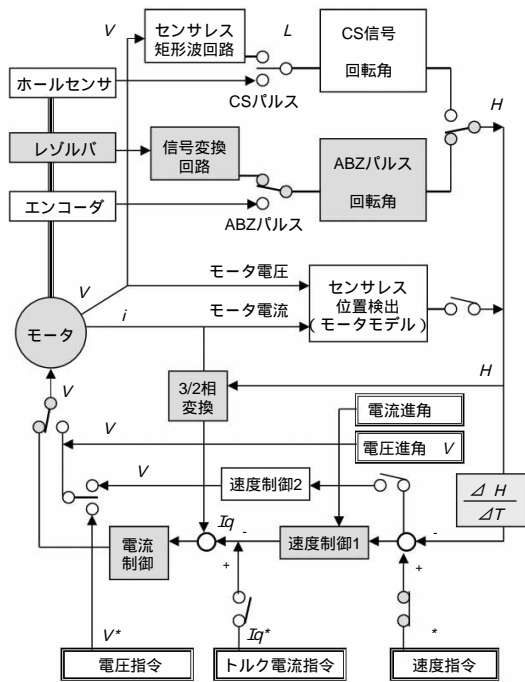


第3図 駆動方法によるモータ効率の比較（一例）  
Fig. 3 Comparison of motor efficiency

### 3.3 ユニバーサルインバータドライブシステム

3.2節において、高分解能 / 低分解能センサによる、矩形波 / 正弦波駆動（電圧位相制御）部分の組み込みソフトウェアの統合化について述べたが、これらは全体での制御方法の中の一部である。さらに、高分解能センサによる正弦波駆動（ベクトル制御）、位置センサを使用しないセンサレスでの矩形波 / 正弦波駆動（ベクトル制御）、また制御モードとして、速度制御 / トルク制御、およびこれらの組み合わせもある。ユニバーサルインバータドライブシステムは、これらを含むモータ駆動制御システムであり、第4図にその全体構成を示す。

ユニバーサルインバータドライブシステムにおいては、各駆動モジュール間のインターフェースマッチングを、いかに多く取るかが合理的なシステム構成に重要である。たとえば、位置センサ信号処理においては、ホールセンサのCS（Commutation Sensor）信号とセンサレス矩形波回路からの出力が、同様のCS信号としてマッチングが可能なので、それらを入力とする共通の回転角計算モジュールを置いた。また、レゾルバの源信号はアナログ信号であるが、信号変換回路によりデジタル変換をして、ABZ信号に変換をすることで、ABZエンコーダ出力とのインターフェースマッチングがとれる。そして、先ほど説明したCS信号から高分解能化して出力した回転角  $H$  と、



第4図 ユニバーサルインバータドライブシステム  
Fig. 4 Universal inverter driving system

ABZパルスから回転角度計算をした  $H$ ともマッチングがとれる。これにモータモデルによるセンサレス位置検出モジュールからの出力と合わせて、本システム内で扱う回転角  $H$ 系と、角速度 ( $\Delta H / \Delta T$ ) は、共通化が図れていることがわかる。

次に、その角速度を入力とする速度制御モジュールは、電流ベクトル制御用の速度制御モジュール1と、ベクトル制御のできないCS信号系の速度制御モジュール2から構成される。これらの選択は、第4図中のスイッチを外部から切り替えることで可能である。速度制御モジュール1は、指令速度との速度偏差と、外部で設定される電流進角から電流制御への出力  $Iq^*$  (q軸電流指令) を生成し、電流ベクトル制御による速度制御が可能となる。

速度制御モジュール2は、CS信号系の速度制御用であり、指令速度との速度偏差からモータへの印加電圧指令を生成する。この制御では、ホールセンサやセンサレス矩形波駆動における変調率可変による速度制御が可能となる。

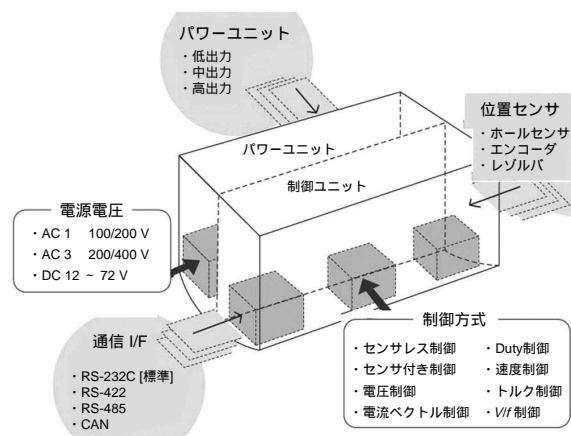
次に、トルク制御の場合について説明する。電流マイナ制御のあるベクトル制御については、制御ループから明らかのように、速度制御1を使用せずに、外部から直接トルク電流指令  $Iq^*$  を入力すればよい。また、低分解能センサによる電圧制御の場合には、速度制御2の出力の代わりに電圧指令 (変調率) を直接入力することで電圧制御を実現することができる。

なお、第4図中のスイッチ表示および二重線のブロックは、後述する外部からのユーザーインターフェースで、切り替えや設定が可能なことを示している。また、濃く塗られているブロックやスイッチ表示は、アクティブな駆動モジュールを示しており、この例では、レゾルバからの電流ベクトル制御による速度制御モードの状態を示している。

#### 4. ハードウェア

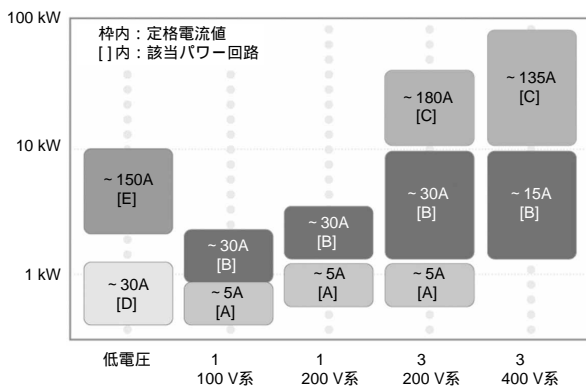
ユニバーサルインバータドライバでは、できるだけ多くのモータ駆動環境を、共通のハードウェアでカバーすることが望ましい。ただ、電源電圧 (DC12 V ~ AC400 V) やモータ容量 (0.1 kW ~ 数十kW)、位置センサ、通信などをすべて同一のハードウェアでカバーすることは、体格やコストの面で非現実的であることは自明である。そこで、本ドライバでは、モータドライバのハードウェアを、複数の機能部位に分類し、異なる駆動環境の中でも共通に使用できる回路やインターフェース部を見いだした。そして、それらを共通の機能としてくり、効率的なカスタマイズができるようハードウェアを複数のユニット化構成とした。第5図に、そのユニット化構成を示す。

まず、ユニット化するにあたっては、モータ容量や電源電圧に対して比較的依存度が少ない制御信号系のユニット (制御ユニット) と、依存度の大きい、電力変換系のパワーユニットに分割し、電源やモータ容量に応じてパワーユニットを交換する構成とした。一方、制御ユニットは、モータ制御、通信インターフェース、位置センサインターフェースという3つの機能部位に分類し、それぞれを通信方式や位置センサに応じて交換する構成とした。



第5図 ハードウェアのユニット化構成  
Fig. 5 Structure of hardware unit

これらの構成により、電源電圧でDC12 VからAC400 V、モータ容量で0.1 kWから数十kWまでのモータに対応した。また、位置センサとしては、ホールセンサ、レゾルバ、エンコーダ、およびセンサレスに対応可能となっている。さらに、通信方式では、車載機器に多く使われるCAN通信から産業機器で一般的に使用されるRS-422、RS-485、RS-232Cへの接続が可能となっている。第6図には、本ユニバーサルインバータドライバでカバー可能な電源電圧と容量域を示す。横軸の低電圧というのはDC12 Vまでの電圧を示している。

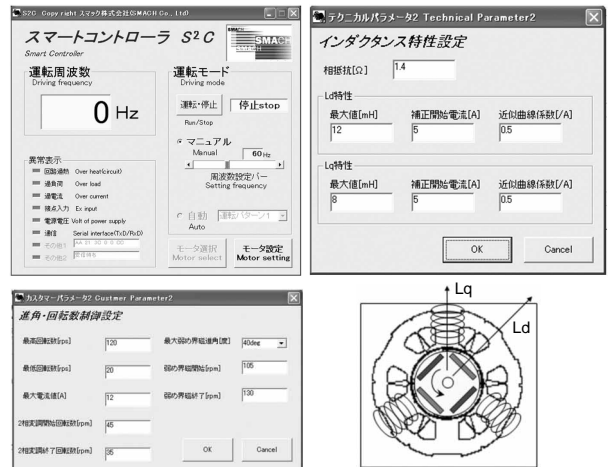


第6図 本ドライバでの電源、容量のカバレッジ  
Fig. 6 Cover area of power source and capacity

### 5. ユーザーインターフェース

冒頭述べたように、ユニバーサルインバータドライバを扱うユーザー層は、モータ制御に関して専門的な知識を有するスキルドユーザーに限らず、比較的知識の少ない一般ユーザーまで幅広い。そして、それらのユーザー層に幅広く対応し、前述した組み込みソフトウェアとハードウェアを、開発ツールとして“だれでも簡単に扱える”ようにすることが重要である。それらの目的のために、外部からパソコンを通じて、制御方法、モータ定数、制御定数といったパラメータを簡単に設定できるようにしたWindows<sup>®</sup>(注) GUI (Graphic User Interface) ソフト(第7図)を開発した。

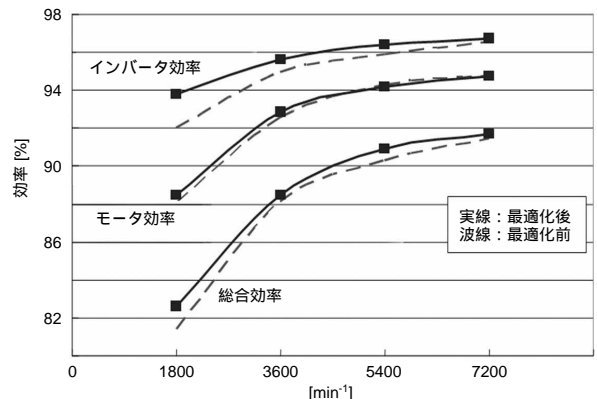
このGUIソフトでは、“だれでも簡単に使える”という一般ユーザーに対する操作性と、専門的な知識のあるスキルドユーザーに対しては、細かなパラメータ設定ができるように工夫をした。まず、ソフトを立ち上げるとメインウィンドが立ち上がり、この画面では、簡単な操作性を重視し、回転周波数(電流)と、進角の設定と表示、およびエラーのインジケータのみとした。そして、このウィンドから“モータ設定”ボタンを選択することで



第7図 グラフィックユーザーインターフェース  
Fig. 7 Graphic user interface

さまざまなパラメータが設定できる。パラメータは大別すると、主に、一般ユーザーが設定しアプリケーションにかかわるカスタムパラメータ、および主にスキルドユーザーが設定可能なテクニカルパラメータに大別される。スキルドユーザーに対しては、ベクトル制御の弱め界磁制御やPWM (Pulse Width Modulation) 変調方法などについても設定できるようにしている。

第8図には、本ユニバーサルインバータドライバを用いて、電流進角や弱め界磁制御などの制御定数を可変してモータ、インバータの各効率を分析し、それらを最適化することで、流体機器用モータでの効率改善を図った一例を示す。



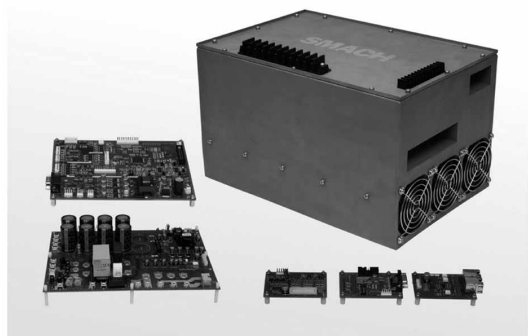
第8図 流体機器用モータでの効率改善例  
Fig. 8 Example of efficiency improvement of motor

(注) 米国Microsoft Corporationの米国およびその他の国における登録商標

## 6. まとめ

以上説明してきたユニバーサルインバータドライバは、その機能を活用して、家電・民生、自動車、産業・特殊機器に至るさまざまな分野で、製品開発を支援するツールとしての用途（機器のプロトタイプ作成，他社ベンチマーク），試験装置・設備としての用途（モータ性能評価装置，設備機器への組込み），本ドライバをベースにした製品カスタマイズ（量産カスタマイズドライバ）等々の用途で活躍しつつある。

本ドライバは、今後さらにその機能を充実し、省エネやエンジン駆動機器の電動化といった環境対応の支援ツールとして、環境社会の実現に貢献して行くものである。



第9図 ユニバーサルインバータドライバ  
Fig. 9 Universal inverter driver

### 参考文献

- 1) 吉田 誠：ユニバーサルモータドライバとその応用展開  
PEAF2008技術報告予稿
- 2) M. Yoshida, et al.：電気自動車用空調用インバータ・コンプレッサー Matsushita Tech. Journal 47, No.2, pp.70-74 (2001).

### 著者紹介



吉田 誠 Makoto Yoshida  
スマック（株）  
SMACH Co., Ltd.



小迎 聡 Satoshi Komukai  
スマック（株）  
SMACH Co., Ltd.



星野広行 Hiroyuki Hoshino  
スマック（株）  
SMACH Co., Ltd.



山口 修 Osamu Yamaguchi  
スマック（株）  
SMACH Co., Ltd.



河原定夫 Sadao Kawahara  
スマック（株）  
SMACH Co., Ltd.

### 会社紹介

#### スマック株式会社

設立：2003年 社長：河原定夫

事業内容：パワーエレクトロニクス機器の開発・販売および技術コンサルティング

ビジョン：モータ駆動や電力変換などのパワーエレクトロニクス技術で省エネ社会実現に貢献する。

URL：http://www.smach.jp/