

# シンプルで人に優しい 電動4WDシステムの開発

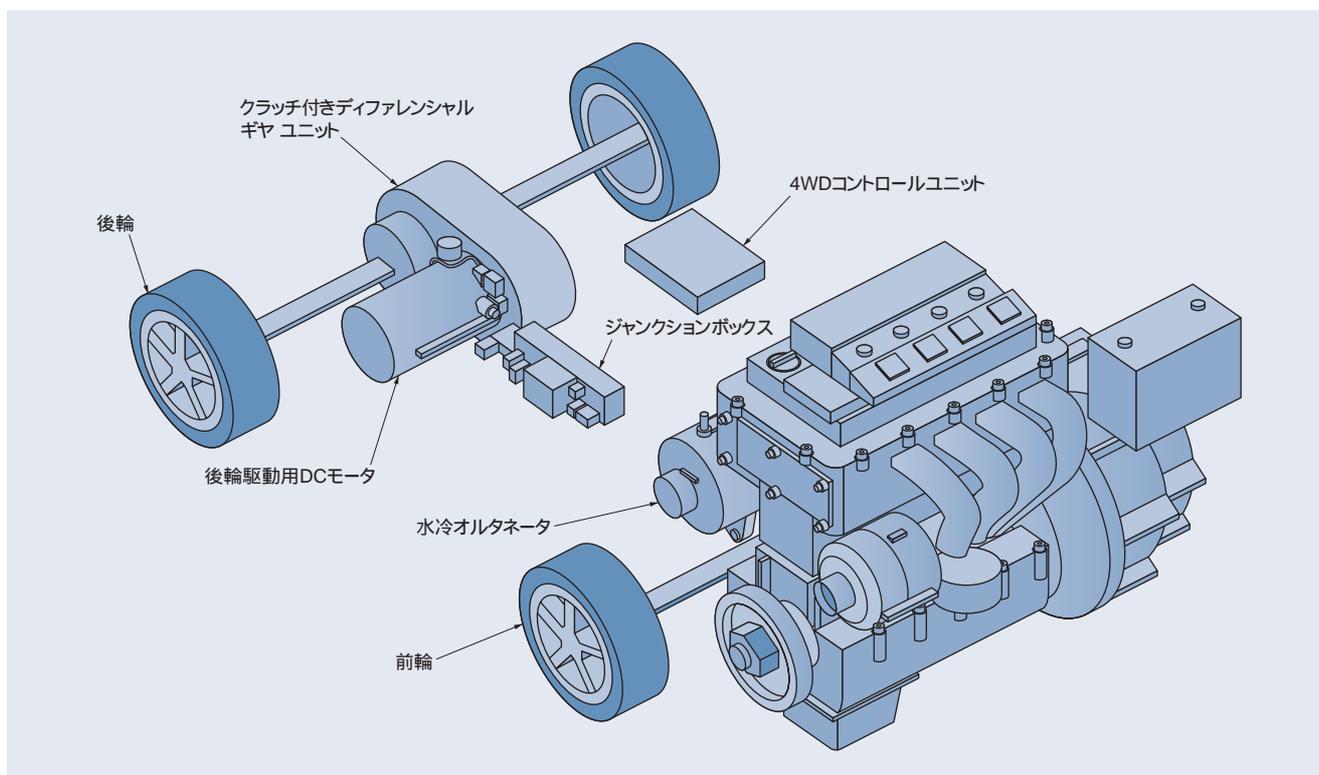
## Development of Motorized 4WD System

山本 立行 Tatsuyuki Yamamoto

清水 尚也 Hisaya Shimizu

伊藤 勝 Masaru Itô

高野 雅美 Masami Takano



注：略語説明 4WD(4-Wheel Drive)

### 電動4WDシステムの構成

水冷オルタネータがジャンクションボックスを介して後輪駆動用DCモータの主電源となっている。また、4WDコントロールユニットにより、走行状態に対応した水冷オルタネータの発電制御、モータの界磁制御などを行っている。

走行性と踏破性に優れた4WD(4-Wheel Drive：四輪駆動)車が、日常車として注目され始めている。しかし、機械式4WD車は高燃費であることや、車内空間や荷室(荷物搭載用スペース)が狭くなることなどが課題になっていた。

日立製作所は、四輪駆動の性能を満たしながら、機械式4WDシステムと同等以下の価格にすることを目的に、電動式4WDシステムを開発した。すでに、2002

年秋に日産自動車株式会社のマーチとキューブに、2003年秋にはマツダ株式会社のデミオに搭載されている。電動4WDシステムは水冷オルタネータ、DCモータ、クラッチ付きディファレンシャルギヤユニット、4WDコントロールユニットなどの部品で構成している。また、電力によって駆動力を発生させるので、きめ細かい制御が可能なおことから、その結果生まれるさまざまな利点が評価されている。

## 1 はじめに

日立製作所の電動4WD(4-Wheel Drive：四輪駆動)シ

ステムは、2002年9月に日産自動車株式会社のマーチを皮切りに、同社のキューブ、さらにマツダ株式会社のデミオにも採用されるなど、順調に普及してきている。

4WD車は、駆動力を四輪すべてから路面に伝えるので、

特に雪や凍った路面では2WD車と比較にならないほどの踏破性を発揮し、寒冷地では不可欠なシステムとなる。しかし、機械的駆動メカニズムが必要となる4WD車は、車内空間や荷物を搭載するトランク部が狭くなるほか、機械部品での摩擦損失や質量増により、2WD車と比べると一般的に燃費が低い。日立製作所は、これらの課題を解決するために、モータとオルタネータ同期発電機を用いた電動4WDシステムを開発した。

ここでは、日立製作所の電動4WDシステムの開発過程でのシステムユニットのニーズと設計コンセプトについて述べる。

## 2 電動4WDシステムのニーズ

電動4WDシステムでは、電動機でFF( Front Engine, Front Drive : フロントエンジン, 前輪駆動)車の後輪にトルクを発生させることから、まず、対象とする車両をリッターカークラスのマーチに設定し、検討を始めた。

マーチを対象車としたのは、小型車両であるため車内空間やトランク部についての要求が厳しいものの、車両質量が小さいため後輪に要求される駆動力が少なく済むことから、短期間での開発が可能なユニット群で対応できると判断したことによる。

このシステムの供給電力は、エンジンによって駆動された水冷オルタネータだけで賄うこととした。これにより、(1)専用バッテリーを積む必要がない、(2)DCモータを駆動用として用いるので、水冷オルタネータからの電圧・電流を直接入力電源として使用できるほか、(3)自動車メーカーは、床面をフラットにでき、2WDのプラットフォームと共通化できる、(4)ユーザーにとっては、燃費がよく、かつ雪道などでの運転が楽になるなどの利点が得られる。以上のような電動4WDシステムを機械式4WDと同等以下の価格で発売し、量販することを目指した。

## 3 各ユニットの特徴

電動4WDの各ユニットの開発にあたって基本とした技術、注力した開発内容、およびくふう点について以下に述べる。

### 3.1 DCモータ

(1) DCモータは、車両用として使用実績のある、界磁制御が可能な他励式DCモータを基本とした設計とし、アーマチュア、ポールコア、ヨークの材料、生産設備などでも同じものを採用した。

(2) ブラシや整流子の周辺は、新たに開発した。まず、4WD車としての使用を想定したうえで、廃車まで無交換であ

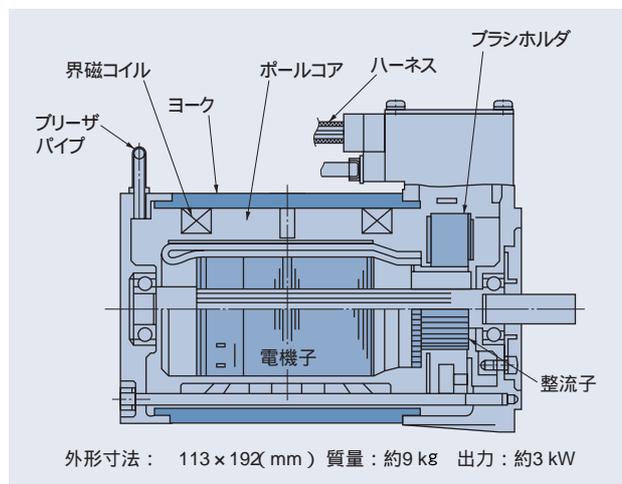


図1 後輪駆動用DCモータの構造

他励式DCモータの採用によって界磁制御を可能とし、高回転領域まで広範囲の出力領域を確保している。

ることを目指し、ブラシの材質・寸法の最適化による耐久性の向上を図った。放熱効果を向上するために、周辺部品を新たに設計した。例えば、後述する熱容量の大きいディファレンシャルギヤ(差動歯車)ユニットにブラシの発熱を逃がすように、ブラシとブラシ周辺部品の配置を、このユニットとの連結側(モータ出力軸側)とした。

(3) このモータは車両の後軸周辺に位置することから、密閉構造にして防水性を確保するとともに、フリーザパイプで内気を通気する構造とした。また、ブラシ部の温度上昇を検知するセンサを取り付け、4WDコントローラでブラシの温度上昇を常時検知し、ブラシ温度が規定値以上になると出力を徐々に絞る制御により、モータの耐久性を確保した(図1参照)。

### 3.2 水冷オルタネータ

(1) 以下の特徴を持つ14V用の高出力水冷オルタネータを基本とした。

(a) 低回転域出力を大幅に向上させるため、ルンデル形ロータの磁極間に永久磁石を配置した。

(b) 小型で大出力を得るために、樹脂モールド製のステータコイル、ダイオード、および制御基板を水冷方式で冷却する構造とした(図2参照)。

(2) DCモータで必要とされる電流・電圧を供給するために、磁気回路の最適化を図った。また、0~50Vの可変電圧をコントローラによって制御するために、オルタネータの界磁電流を制御する制御基板を新たに開発した。

(3) 先行開発が完了していた14V用の高出力水冷オルタネータを基本にし、部品と生産設備の共用化を図った。

### 3.3 クラッチ内蔵のディファレンシャルギヤユニット

(1) クラッチ部には、機械式4WDのセンタディファレンシャル

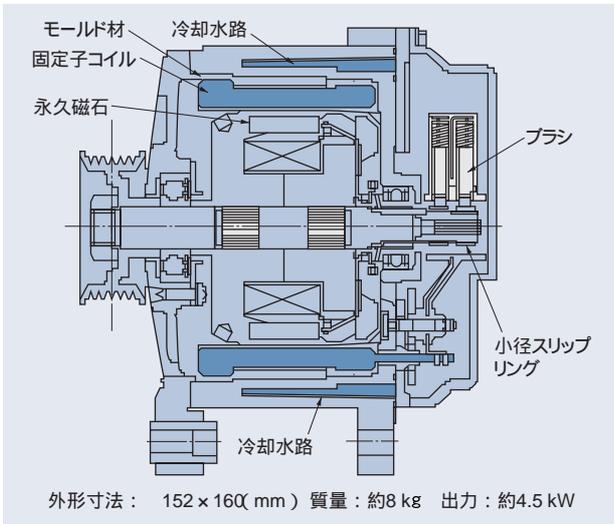


図2 発電用水冷オルタネータの構造

水冷オルタネータの採用により、小型で、かつ安定した高出力エネルギーの供給を可能とした。

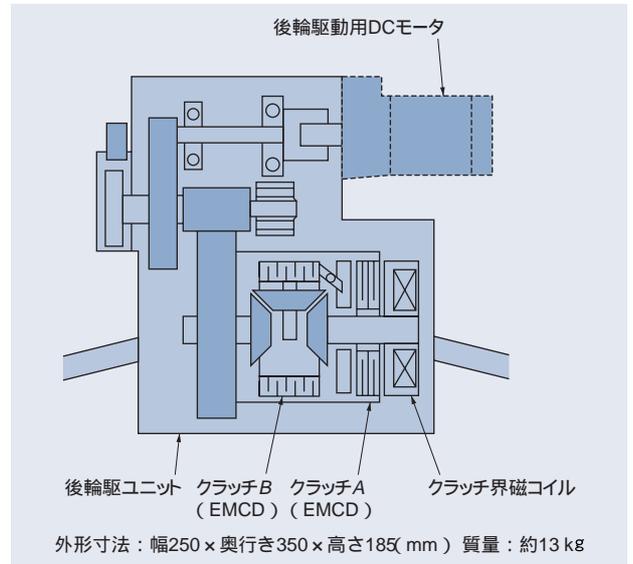


図3 ディファレンシャル ギヤ ユニットの構造

クラッチを最終段に設置することで、2WDに切り替えたときに同時に必要となる機構部品数を少なくした。

ギヤ ユニットに採用されているEMCD( Electromagnetic Control Device )方式を用いた。ディファレンシャル ギヤ ユニットも実績品を使用した。

(2) クラッチの特性を電動4WDとして修正した。全体のユニットをFF方式の車両に搭載できるように、小型・軽量化した。

(3) クラッチを減速機の最終段に設置した。栃木富士産業株式会社が開発した製品を採用することにより、2WDに切り替えたときに同時に必要となる機構部品数が少なくて済み、フリクションによる燃料の損失が少なくなる( 図3参照 )。

### 3.4 制御の概要

ECU( Engine Control Unit ), AT( Automatic Trans-

mission)コントロールユニット、およびABS( Anti-Lock Brake System )コントロールユニットのそれぞれからCAN ( Controller Area Network )を通じて、アクセル開度と、各車輪の速度などが出力される。4WDコントロールユニットでは、出力された信号に基づいてスリップ量などを算出し、車両が必要とするモータ目標トルクを算出する。次に、モータ目標トルクを出力するために必要な電機子電流目標値とモータ界磁電流目標値を算出し、電機子電流フィードバック制御とモータの界磁フィードバック制御を行って各指令値を出力する。モータの界磁電流については、モータの高速回転時に誘起される電圧を抑制するために、弱め界磁制御を行っている。また、比較的使用頻度の高い、低速かつ高トルク時には、少

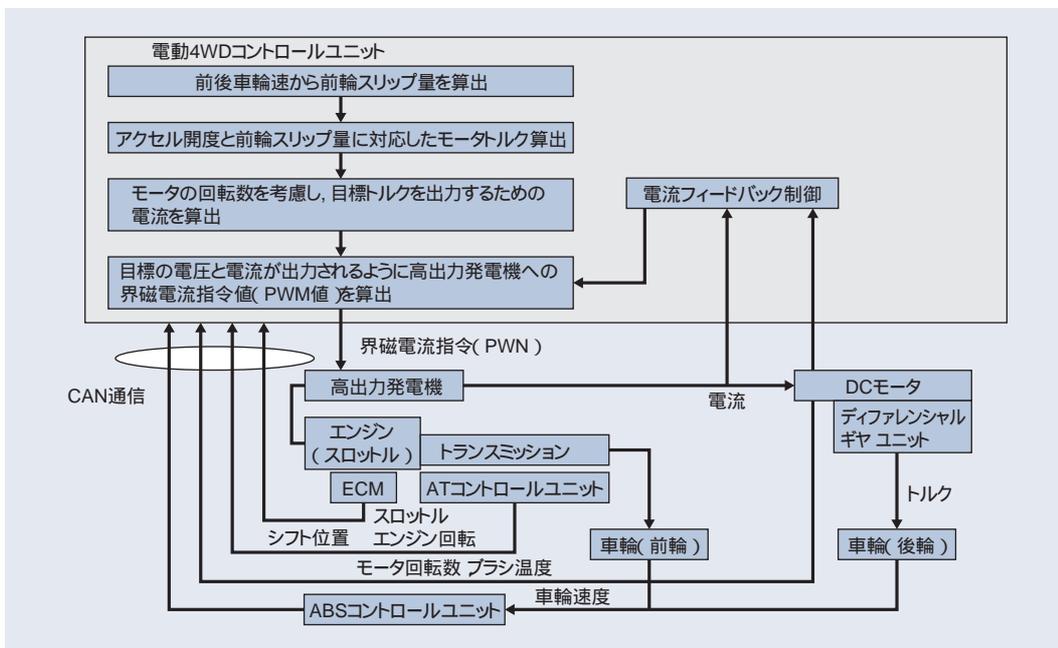


図4 制御システムの構成

算出したトルク目標値に発電機の界磁電流を制御することにより、モータをコントロールする。

注：略語説明  
PWM( Pulse Width Modulation )

ない電機子電流でトルクを最大限発生させるように、磁気飽和しない程度の一定電流を流している。このため、電動機トルクは、ほぼ電機子電流に比例する(図4参照)。

## 4 システムの特徴と開発成果

### 4.1 システムの特徴

電動4WDシステムでは、後輪駆動にモータを用いることにより、発進時に応答遅れが少ない状態で後輪駆動力を発生させることができる。さらに、エンジントルクが高出力オルタネータを経由して後輪に配分されるため、前輪の空転を抑制する効果もある。また、前後輪の空転を抑制するトラクションコントロール機能を付加することにより、凍結、雪など滑りやすい低 $\mu$ (ミュー)路でのラフなアクセル操作にも十分なトラクションが確保できる。これは、エンジンと後輪が切り離されていることにより、アクセル操作に伴わないモータのトルクコントロールができるので、エンジン(前輪)とは独立した後輪のトラクションコントロールが可能となるためである。

### 4.2 システムの開発成果

日常生活の中で求められる4WD車の性能を見極め、その際に必要とされる性能を達成した結果以下の利点を持った、世界初のバッテリーレス電動4WDシステムを実現した。

- (1) 従来の4WD車と同等の低 $\mu$ 路での発進性能
- (2) 凍結した坂道などでの、従来の4WD車を上回る容易な操作性( $\mu=0.1$ , 斜度が0~10%での発進と登坂時の車両安定性)
- (3) 従来の4WD車比で5%の燃費向上
- (4) 従来の4WDシステム比で15%軽量化し、トランク部の高さ40 mm減を達成して小型化
- (5) 自動車メーカーでの4WDの新規開発部品数を60%削減  
世界初の製品では、複雑で大がかりな先端技術が盛り込

まれていることが多い。しかし、電動4WDシステムは単純明快なユニットの組み合わせでできており、機能がだれにでもわかりやすく、運転者に安心感を与えることができる。

## 5 おわりに

ここでは、世界初のバッテリーレス電動4WDシステム開発過程におけるシステム、ユニットのニーズと設計コンセプトについて述べた。

電動4WDシステムは開発して間もないが、豊かな潜在能力を持っている。寒冷地用タイヤの長年にわたる研究開発の常識では走行不能な条件の登坂路などで、駆動力をきめ細かく制御することにより、トラクションを確保しながら登りきることができるのも、その一例である。アシスト車速の上限や、最大駆動トルクなどの仕様、各ユニットの搭載性の向上など改善すべき課題はあるが、ブレーキやステアリングなど他の車両システムと積極的に協調を図ることにより、運転者に優しく、力強く能力を発揮することができると思う。開発とは究極のサービスであるとの思想に基づいて、日立製作所は、これからも、ユーザーや自動車業界のさまざまなニーズに合わせ、安全で楽しい運転に貢献できる開発を進めていく考えである。

### 参考文献など

- 1) 中條, 外: e-4WDシステム, 電気学会誌, VT-02-26(2002.12)
- 2) 中村, 外: 小型FF車のモータ駆動アシスト型4WD車両の開発, 自動車技術会 学術講演会前刷集(2002.10)
- 3) <http://www.nissan.co.jp/MARCH/>
- 4) <http://www.demio.mazda.co.jp/e-4wd.html>

## 執筆者紹介



山本 立行

2001年日立製作所入社、オートモティブシステムグループ EP本部 所属  
現在、電動4WDシステムの開発に従事  
自動車技術会会員  
E-mail: t-yamamoto @ cm. jiji. hitachi. co. jp



清水 尚也

1997年日立製作所入社、オートモティブシステムグループ EP本部 エレクトリックパワートレイン開発センター 所属  
現在、電動4WDシステムの開発に従事  
電気学会会員  
E-mail: hisaya-s @ cm. jiji. hitachi. co. jp



伊藤 勝

1985年日立製作所入社、オートモティブシステムグループ EP本部 エレクトリックパワートレイン開発センター 所属  
現在、電動4WDシステムの開発に従事  
自動車技術会会員  
E-mail: m-ito @ cm. jiji. hitachi. co. jp



高野 雅美

1990年日立製作所入社、オートモティブシステムグループ EP本部 発電システム設計部 所属  
現在、水冷オルタネータの開発に従事  
E-mail: m-takano @ cm. jiji. hitachi. co. jp