

# 22.5インチホイール組込形大形バス用 インホイールモータシステムの開発

## Development of In-wheel Motor System for Large-size Bus using 22.5inch Wheel Mounted Motor

This paper presents an in-wheel motor drive system for large-size bus using 22.5inch wheels, which system consists of in-wheel motors, water-cooled PWM inverters and water-cooled chopper. The in-wheel motor is a type of direct drive without reduction gear, mounted inside wheel. The bus is a special experimental model provided with 4-wheel drive and 4-wheel steering.

From test results, it is confirmed that the acceleration of experimental bus is a sufficient value and our system is useful for a pure EV buses.

今柳田 明夫      桐谷 知明      有村 教世      中村 雅憲  
Akio Imayanagita    Tomoaki Kiriya    Michiyo Arimura    Masanori Nakamura

### 1. まえがき

筆者らはギアなどを一切使用しないダイレクトドライブ方式のインホイールモータとその専用インバータ装置の研究・開発を実施してきた。乗用車用としては19~20インチホイール用の、1モータ当たり518Nm、25.5kWのものを開発し、報告した<sup>(1)</sup>。

今般、バス・トラック用として22.5インチサイズのホイール装着用の、1輪当たり2000Nm、75kWの駆動システムを開発したので、その概要を報告する。

### 2. システム構成

筆者らは、モータ全体がホイールの内部に収容できることを目指しており、今回もそれに沿ったものになっている。

今回開発した、インホイールモータシステムは、インホイールモータ、インバータ、チョッパ、リチウムイオン電池、キャパシタ（電気二重層コンデンサ）から構成されており、以下それぞれ説明する。

車載用システムは図1に示すとおり、アクセルペダルに相当するトルク指令はポテンショメータによるアナログ信号をデジタル信号に変換して、CANにて通信し、4台のインバータに同一のトルク指令を送っている。本システムでは、回生エネルギーの吸収はキャパシタが受け持ち、リチウムイオン電池には充電されないようにチョッパで制御を行っている。

#### 2.1 インホイールモータ

インホイールモータはあらかじめ準備したバスのアクス

ルに22.5インチホイール用として新たに開発したものであり、永久磁石形同期電動機でアウターロータ形構造、固定子巻線は集中巻を採用している。

今回の適用ではバスを4輪駆動、4輪操舵をすることから、車載用として4台製作した。

定格トルクは800Nm/台（以下、1台あたりの数値）で、最大トルクは2000Nm、定格出力は30kW、最大出力は75kWである。定格回転数は350min<sup>-1</sup>であり、最高回転数460min<sup>-1</sup>の設計である。最大定格時の時間定格は30秒間の計画である。

図2にインホイールモータの構造を示す。モータはフロントアクスル（バス用）に取り付け構造で、モータ自身には軸受を持っていない、ハブ軸受を兼用している。

モータの固定子はブレーキドラムを取り付けているバックプレートとナックルとの間に挟まれるように装着している。また、回転子はブレーキドラムを新製し、そのブレーキドラム外周部分に回転子を取り付け構造としている。

#### 2.2 インバータ

インバータは22.5インチ用として新たに開発した水冷式のものであり、前述のインホイールモータを2台駆動できるように1ケース内に2ユニットのインバータを搭載したものである。

直流入力電圧は600V級で、交流出力はAC400V級である。容量は1ユニット当たり50kW（最大75kW）で、永久磁石電動機を制御するPWMベクトル制御インバータである。

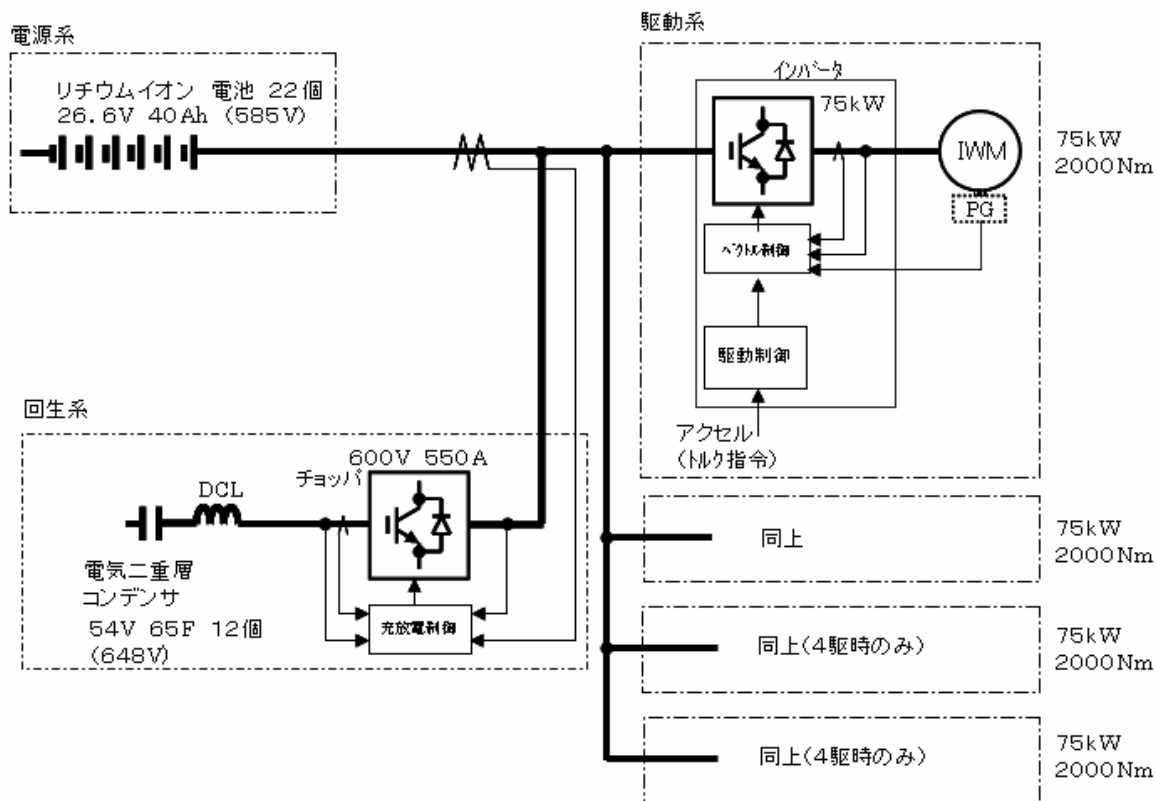


図1 インホイールモータのドライブシステム  
Fig. 1 Drive system of in-wheel motor

表1 インホイールモータの仕様

Table 1 Specification of in-wheel motor

	定格	最大	定格	最大
kW	30	75	30	75
トルク (Nm)	818	2046	622	1557
電圧 (V)	305	400	400	400
電流 (A)	67	155	53	134
効率 (%)	89	83	89	86
力率 (%)	95	83	91	93
回転速度 (min <sup>-1</sup> )	350		460	

基本は当社の永久磁石電動機であるEDモータ駆動用ベクトル制御インバータED64をベースに車載用とし、さらに水冷化したものである。上位コンピュータや、インバータ同士、また対チョップパとの通信は、車載標準のCANを採用し、最速で2ms 間隔での高速通信が可能である。

### 2.3 チョップパ

チョップパはキャパシタ（電気二重層コンデンサ）の充放電のために用意したもので、公称直流電圧600V、電流は550Aである。

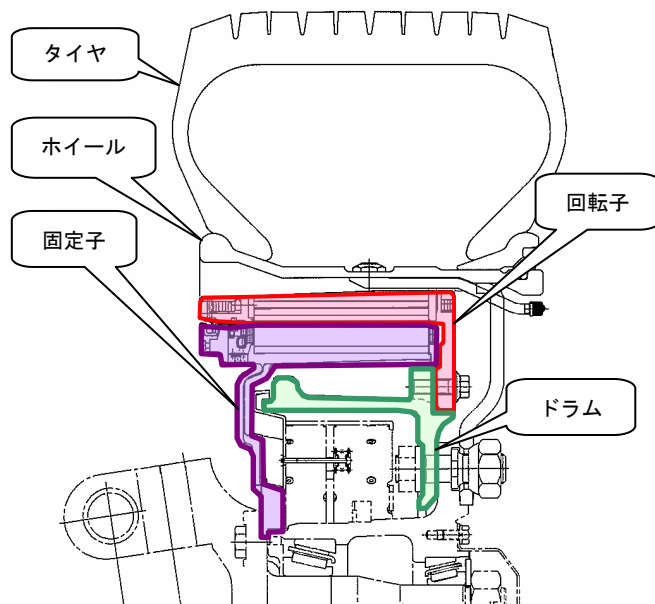


図2 インホイールモータの構造  
Fig.2 Structure of in-wheel motor

1台のチョップで車両1台分(インバータとしては4輪分)のエネルギーの充放電が制御可能である。

通常は、キャパシタ電圧は、最高電圧の約1/3の電圧を保つが、回生モードに入り、バッテリーを充電する方向に電流が流れると、それを検出してチョップ〜キャパシタ側に分流させるように制御し、回生エネルギーをキャパシタに吸収する。その後、力行モードに入り、バッテリーを放電する方向に電流が流れると、キャパシタに蓄えられたエネルギーを放出する方向に制御する。

## 2.4 リチウムイオン電池

主電源としてリチウムイオン電池を22個搭載し、すべて直列接続で使用する。公称容量は40Ahで、公称電圧は26.6Vである。これを22個直列にすることで585.2Vの電圧を得ている。単体の質量は17kgで全体では374kgとなる。

## 2.5 キャパシタ

回生エネルギーを回収するため、キャパシタ(電気二重層コンデンサ)を12個用意し、チョップ1台で回生エネルギーの制御を行っている。

1個あたりの静電容量は65Fで、定格電圧は54V(2.7V, 20個直列)、最大電流550Aであり、質量は6.7kg、12個では約80kgである。

## 3. 実験車への装着

### 3.1 インホイールモータ

磁気回路を形成する部分はケイ素鋼板を用い、その他の部分は軽量化のため、アルミのダイキャストを使用している。永久磁石はNd-Fe-B系の希土類磁石を用いており、コギングトルクを減少させるため、スキュー相当を回転子で実施している。

固定子は上述のように集中巻を採用しており、毎極毎相溝数をもっとも一般的な $q=0.5$ を採用している。なお、モータ単体での製品質量は約80kgである。

図3に固定子の外観、図4に回転子の外観、図5にフロントアクスル部の取り付け状況の写真を示す。

### 3.2 インバータ・チョップ

インバータおよびチョップの外箱はモータと同様アルミダイキャスト製で、冷却用の水路は箱の裏側に配置している。

図6はバスの車室内に搭載したインバータ2台とチョップの外観写真である。なお、インバータおよびチョップの質量はそれぞれ約20kgおよび約14kgであり、図7および図8にそれぞれの外観を示す。

### 3.3 リチウムイオン電池とキャパシタ

リチウムイオン電池は2個直列接続したものを1箱に収納し、配線のしやすさと安全上の配慮を行った。その状態を

図9に示す。

また、キャパシタは6個を1箱に収納し、電池と同様配線のしやすさと安全上の配慮を行った。その様子を図10に示す。

なお、モータ、インバータなどの高圧部分は自動車用に合わせて、すべてオレンジ色のシールド線を使用し、安全上の配慮とEMC対策を行った。

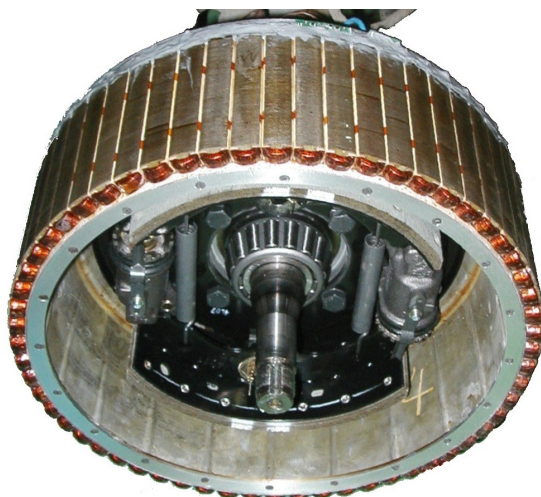


図3 固定子の外観

Fig.3 Outline view of motor stator



図4 回転子の外観

Fig.4 Outline view of motor rotor



図5 フロントアクスル部の写真  
Fig.5 Front axle with in-wheel motor

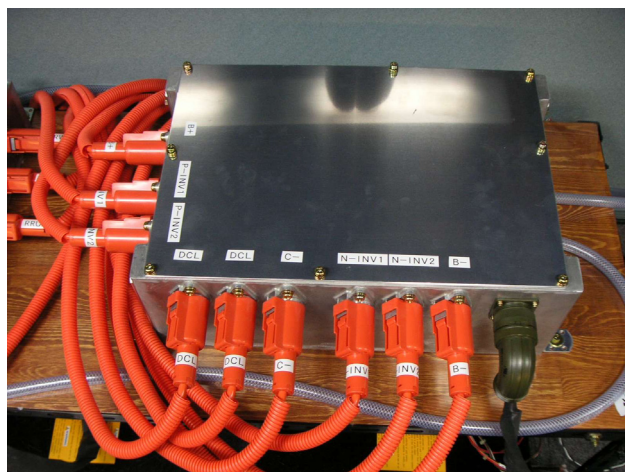


図8 チョップパの外観  
Fig. 8 External view of chopper

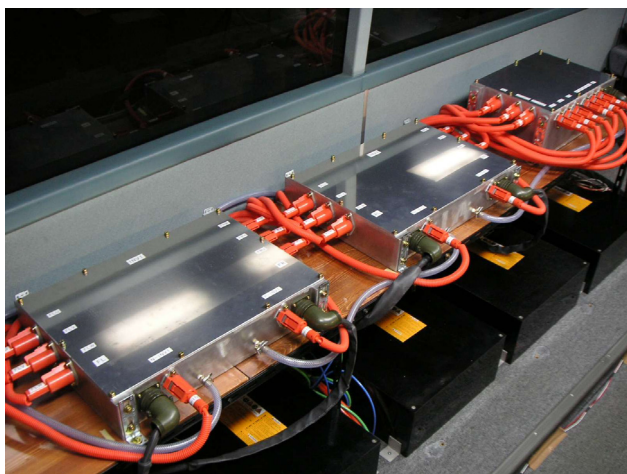


図6 インバータ, チョップパの搭載状況  
Fig. 6 Outline view of inverter and chopper

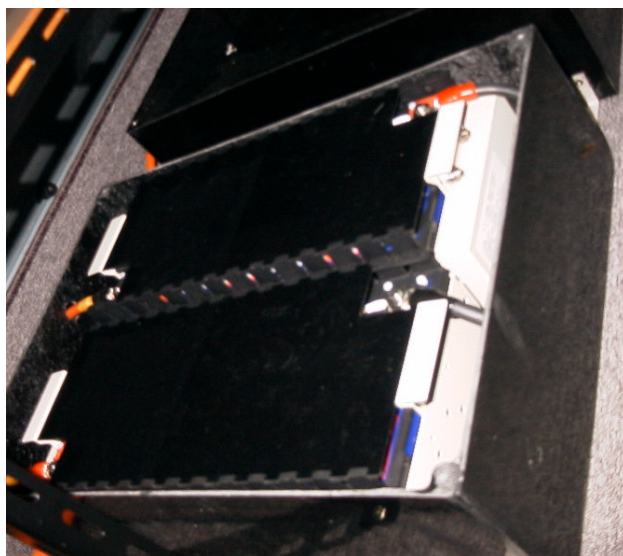


図9 電池箱内部  
Fig. 9 Internal view of battery box

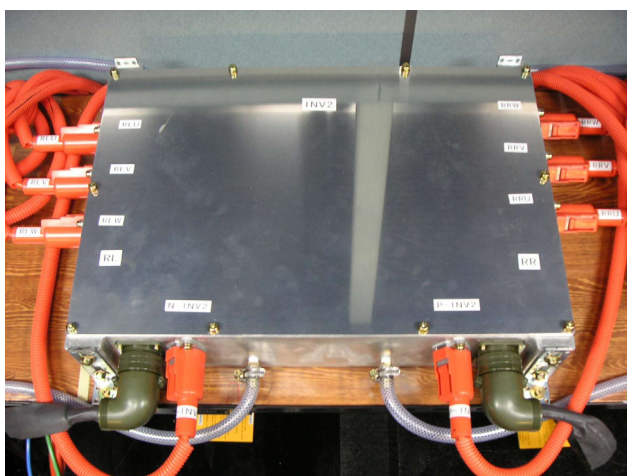


図7 インバータの外観写真  
Fig. 7 External view of inverter



図10 キャパシタの収納状態  
Fig. 10 Internal view of battery box

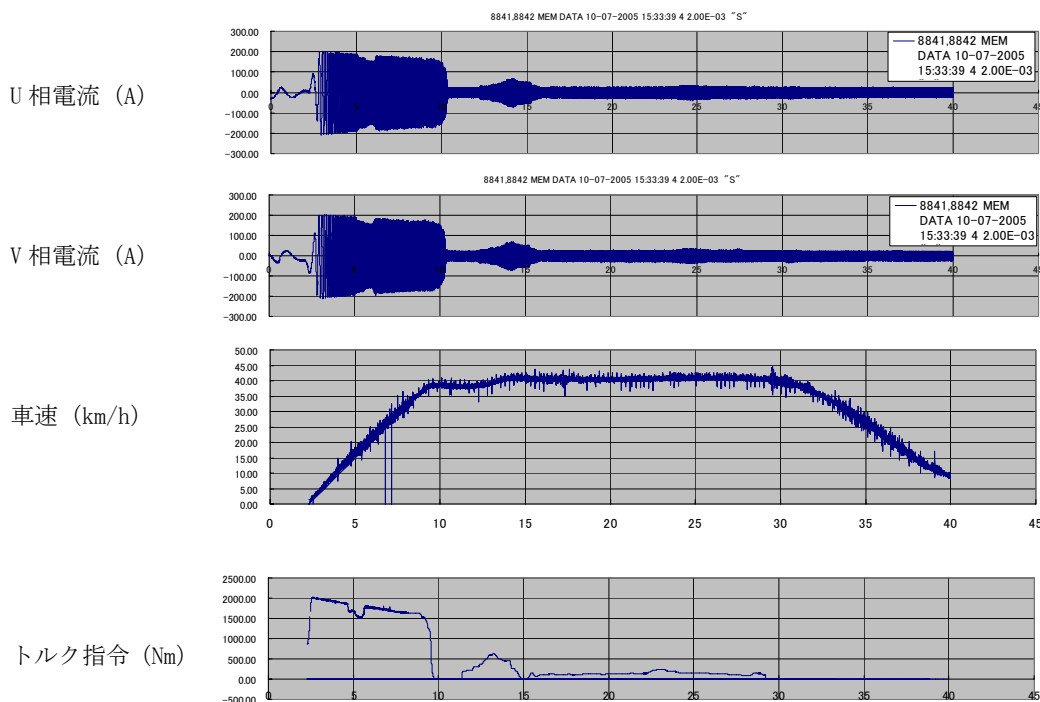


図 1 1 最大加速試験  
fig.11 Test result ( Max acceleration )

#### 4. 走行試験

以上の装備を施したバスにて、まず力行のみの試験準備が整ったので、某所で走行試験した。

バスの車重は、上記装備付き、空車で約8730kg、運転手他5人乗り組んで、最大加速試験を実施した。

搭載したバッテリーの容量制限から、約100kW 相当の電力しか期待できないので、実験可能であった平坦路での0~40km/h までの最大加速試験結果を図 1 1 に示す。5人乗り、約9030kg のバスが、約7.2秒で40km/h まで加速している。

これは走行抵抗等を見れば、約13,940N の牽引力で引っ張った事になり、タイヤ径(315/60R22.5)を0.96m とすれば、1輪あたり約1670Nm のトルクを発生していることになる。走行抵抗の正確な値は、まだ掴めていないが、モータ最大トルクが2000Nm であることから、これに近いトルクを発生しているものと予想している。

#### 5. まとめ

以上、22.5 インチリム用ダイレクトドライブ方式の最大75kW (1輪当たり) インホイールモータの開発とその試験結果について報告し、バス用として十分な加速トルクを発生していることを、実車試験によって明らかにした。

なお、本開発は、NEDO技術開発機構から平成16年度の「民生部門等地球温暖化対策実証モデル評価事業」に係わる補助金の交付を受けて実施したことを附記し、ご協力戴いた関係各位に深謝するものである。

---

#### 参考文献

---

- (1) 桐谷知明, 野田幸宏, 今柳田明夫, 中村雅憲, 永井秀憲: 「電気自動車用ダイレクトドライブインホイールモータシステムの開発」 電気学会自動車研究会 VT-04-20 2004

---

## 執筆者略歴



**今柳田 明夫**

1968年入社。相模工場設計部を経て現在 IWV 開発室所属。車載用制御装置開発に従事。電気学会会員。



**桐谷 知明**

1993年入社。技術研究所を経て現在 IWV 開発室所属。車載用制御装置開発に従事。電気学会会員。



**有村 教世**

2005年入社。IWV 開発室配属。現在、車載用制御装置開発に従事。電気学会会員。



**中村 雅憲**

1979年入社。技術研究所を経て現在 IWV 開発室。車載用回転機開発に従事。工学博士。電気学会上級会員。