

# 20インチホイール組込形高効率 インホイールモータシステムの開発

## Development of High Efficiency In-wheel Motor System for using 20inch Wheel Mounted Motor

This paper presents a high efficiency in-wheel motor drive system for using 20inch wheels, which system consists of in-wheel motors, water-cooled PWM inverters. The in-wheel motor is a type of direct drive without reduction gear, mounted inside wheel.

岡本 吉弘      桐谷 知明      野田 幸宏  
Yoshihiro Okamoto      Tomoaki Kiriya      Yukihiro Noda

### 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>。

今回さらなる高効率化と、最大出力時での運転時間を大幅に延ばした改良型のインホイールモータを開発したので、制御インバータと共にその概要を報告する。

### 2. システム構成

図1はインホイールモータシステムの制御イメージを示したもので、インホイールモータ、インバータ、メインバッテリー、電気二重層コンデンサで構成された例である。

トルク指令は、アクセルペダルの踏込み量をポテンショメータによりアナログ信号としてコントローラに入力しており、4台のインバータに車両状況に応じたトルク指令を送っている。

#### 2.1 インホイールモータ

インホイールモータは20インチ用として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構造、固定子巻線は集中巻を採用している。

図2にインホイールモータの構造を示す。モータ自身には軸受を持たないタイプで、既存の車軸ハブに取付ける構造となっている。ハブの回転側に設けられたブラケット①に回転子が、ハブ固定側に設けられたブラケット②に固定子が取付けられている。

モータはホイールとブレーキディスクの間に収容されており、

既存のブレーキシステムがそのまま使用できる設計としている。以上からハブ、ブレーキまわりの部品を大幅に改造することなく使用できるため、特に耐久試験を必要とする部品の変更を最小限に留めたことが特徴である。図3に車軸ハブにモータを取付けた状態の概観写真を示す。

#### 2.2 インバータ

インバータは19~20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 DC300V 級で、交流出力は AC200V 級である。容量は1ユニット当たり 50kW 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。

制御の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をベースにしており、車載用として改良し更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。図4にインバータの概観写真を示す。

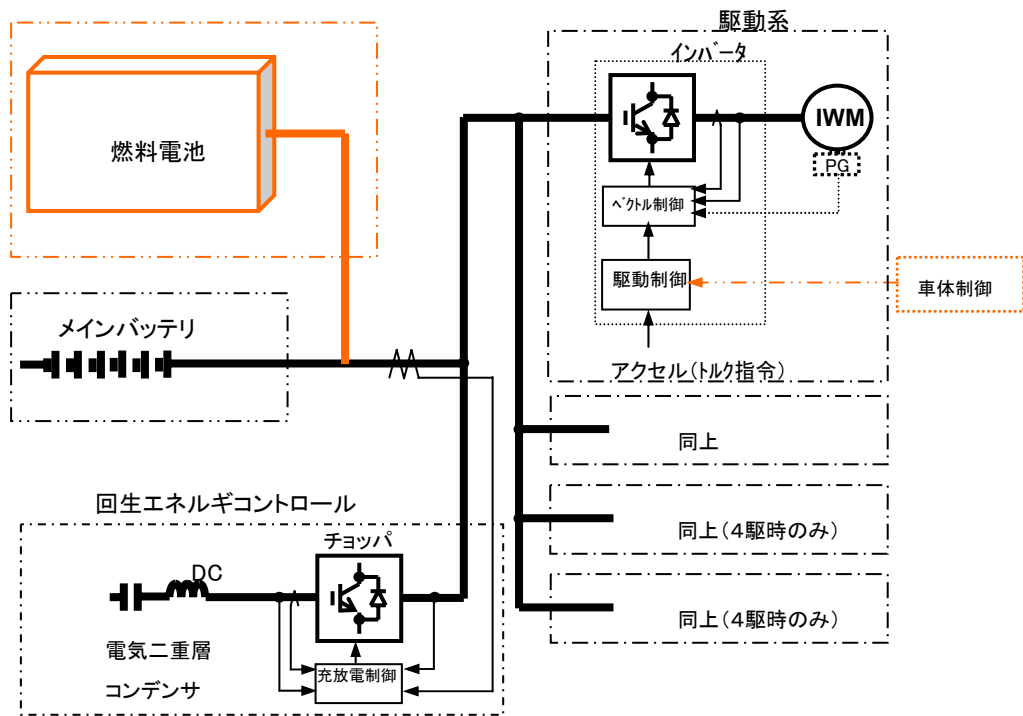


図1 インホイールモータシステムの制御イメージ  
Fig.1 The control image of an in wheel motor system

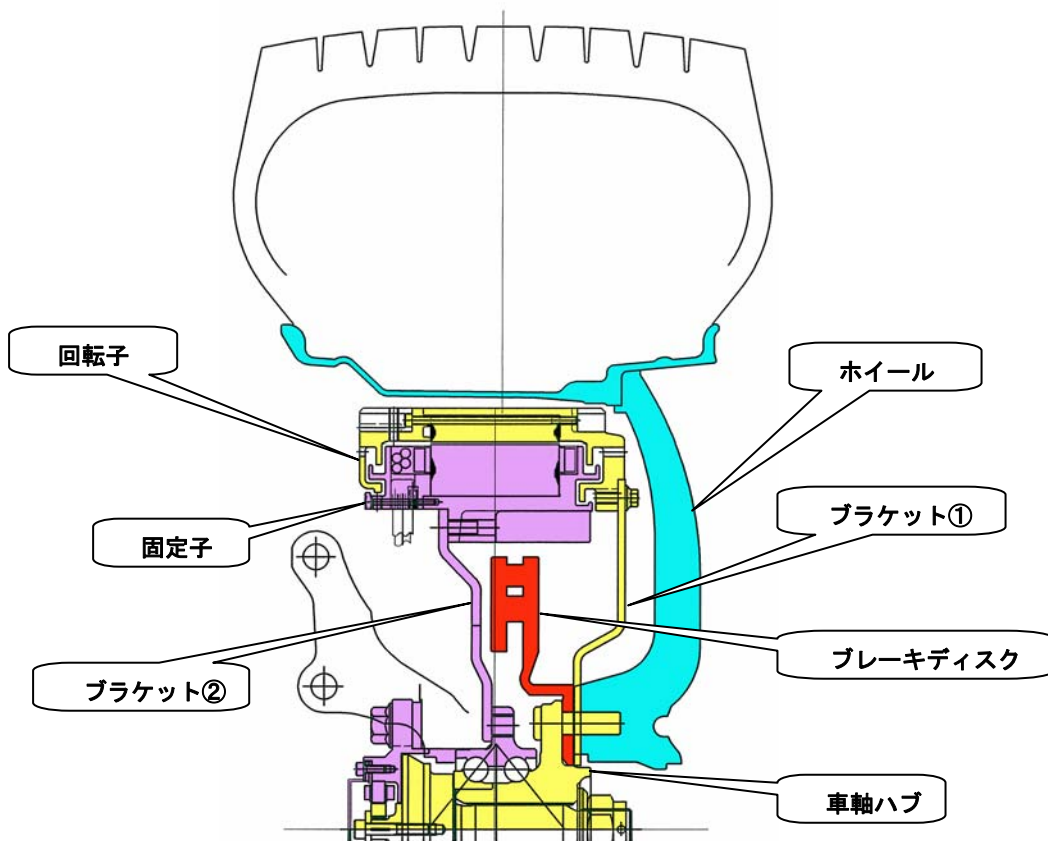


図2 インホイールモータの構造  
Fig.2 Structure of in-wheel motor



図3 インホイールモータの概観  
Fig.3 Outline view of in-wheel motor



図4 インバータの概観  
Fig.4 Outline view of inverter

### 3. インホイールモータの設計

今回開発した改良型のインホイールモータは、従来型に対し電気設計を含め大幅な変更を行い、次に示す3項目を重視して設計を行った。

- ① 最大トルク，最大出力における運転時間の向上
- ② モータ効率の改善
- ③ コギングトルクの低減

以下にその改善内容について記述する。

#### 3.1 インホイールモータの仕様

表1に従来型と改良型のインホイールモータ仕様を示す。最大出力，最大トルクは従来型と変更していないが，最大トルク時の運転可能時間を大幅に向上させた設計としている。

表1 インホイールモータの仕様

Table 1 Specification of in-wheel motor

	従来型	改良型
モータ定格	18kW/186Nm 921~1500min <sup>-1</sup>	18kW/186Nm 921~1500min <sup>-1</sup>
モータ最大出力	50kW	50kW
モータ最大トルク	518Nm (20sec)	518Nm (150sec)
モータ冷却方式	空冷式	空冷式
質量	30Kg	36kg

#### 3.2 電気設計

このモータは直接ドライブであるため，低速大トルクモータであることが要求される。前述したように，固定子全長を短縮するため集中巻を採用している。モータを小型化するために，鉄心のティース部及びコアバック部の磁束密度は通常機よりも高めの設計となっているが，最大トルク時は短時間定格仕様であるため，鉄損よりも銅損がかなりの部分を占める。したがって連続運転時間を延ばすには銅損を低減させることが課題となる。

#### 3.3 コギングトルクの低減

コギングトルクを低減させる方法としては，鉄心形状を工夫するかスロットスキューを行なうのが一般的である。前者の場合，直軸インダクタンス  $L_d$  と横軸インダクタンス  $L_q$  の差がなくなり，リラクタンストルクを有効に使えなくなる。後者では，集中巻で適用することが難しい。また回転子側のスキューは磁石を3次元形状にする必要があるため，現段階では採用困難である。

今回の改良では，固定子鉄心の構成を工夫することにより，3次的に積層しながらスキューすることに成功した。図5に固定子の概観写真を示す。

したがって，集中巻でありながら固定子スロットスキューを実現することができたので，理論上と同じくコギングトルクを大幅に低減させることができた。図6にコギングトルクの解析結果を示す。



図5 モータ固定子の概観  
Fig.5 Outline view of skewed stator

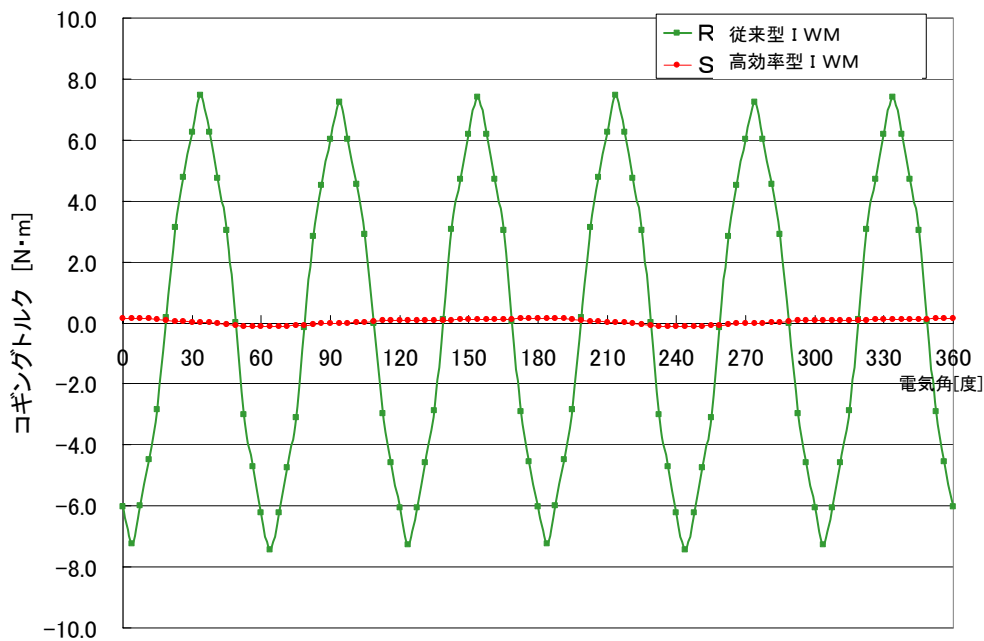


図6 コギングトルク解析結果

Fig.6 Analysis of cogging torque

#### 4. 評価試験結果

改良型のインホイールモータを前述のインバータと組合せて評価試験を実施した。以下にその結果を示す。

##### 4.1 モータ効率

従来型と改良型のモータ効率マップを図7, 図8に示す。従来型では85%以上の領域が高速側の一部であるのに対し、改良型では500min<sup>-1</sup>/120Nm以上の領域でほぼ90%以上を達成している。

##### 4.2 総合効率

従来型と改良型のモータ, インバータ総合効率マップを図9, 図10に示す。改良型では500min<sup>-1</sup>/120Nm以上の領域でほぼ85%以上を達成している。

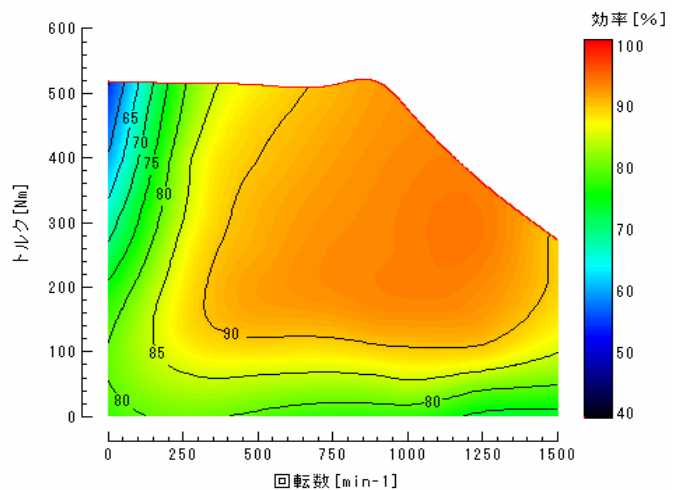


図8 改良型のモータ効率

Fig.8 Efficiency of the motor (improved type)

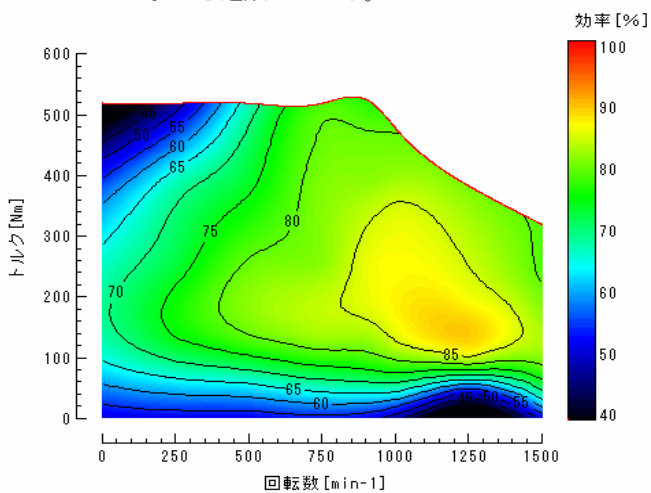


図7 従来型のモータ効率

Fig.7 Efficiency of the motor (original type)

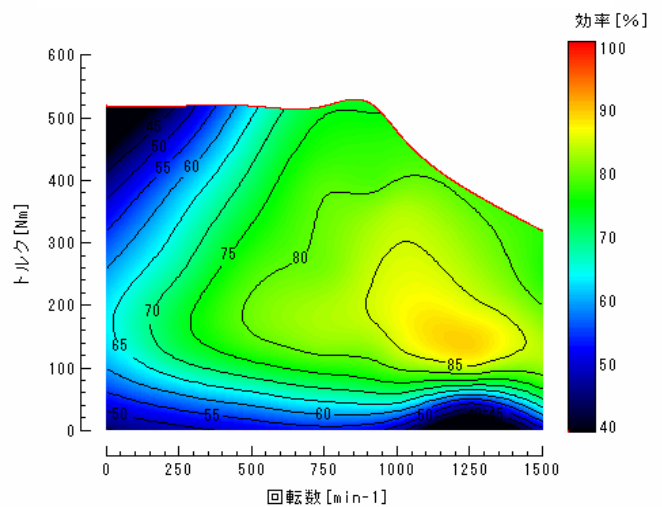


図9 従来型の総合効率

Fig.9 Total efficiency (original type)

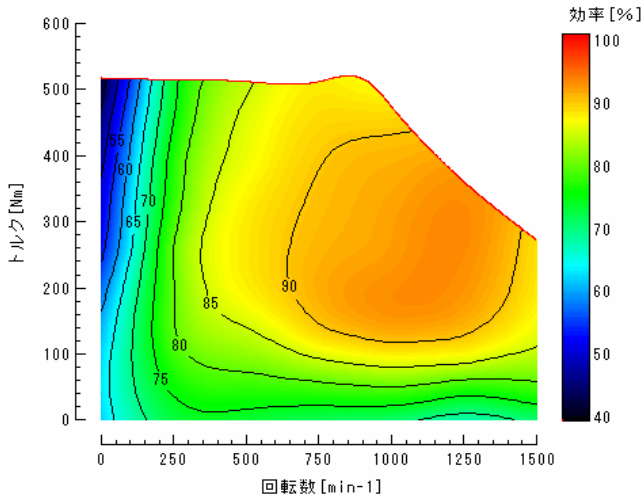


図 10 改良型の総合効率

Fig.10 Total efficiency (improved type)

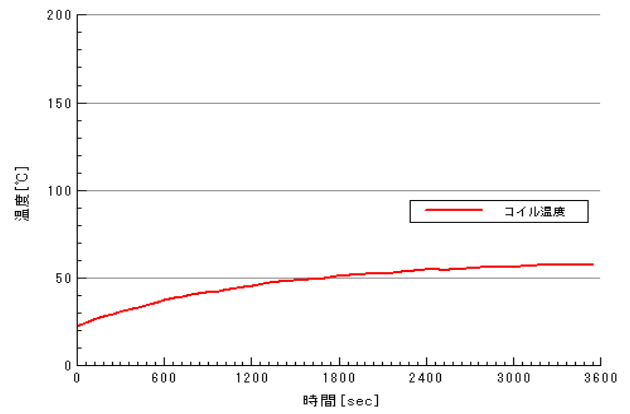


図 12 固定子コイル温度上昇試験結果

Fig.12 Temperature rise test data of stator coil

### 4.3 温度上昇

最大出力、最大トルク時 (50kW/518Nm) における固定子コイル温度上昇試験結果を図 11 に示す。コイル温度が100°C 上昇するまでの時間は、従来型が20sec であるのに対し改良型は221sec となり大幅に向上した。

図 12 は実車を想定した温度上昇試験結果で、速度100km/h で3%上りこう配での走行を仮定したものである。コイル温度の上昇値は約35°Cである。

### 4.3 トルク特性

図 13 に改良型の回転速度—トルク特性を示す。

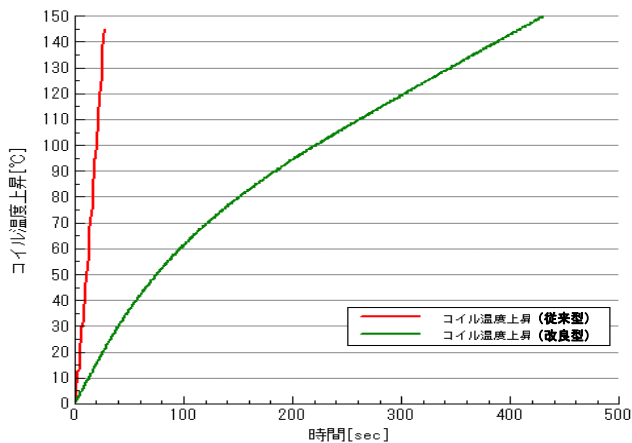


図 11 固定子コイル温度上昇試験結果

Fig.11 Temperature rise test data of stator coil

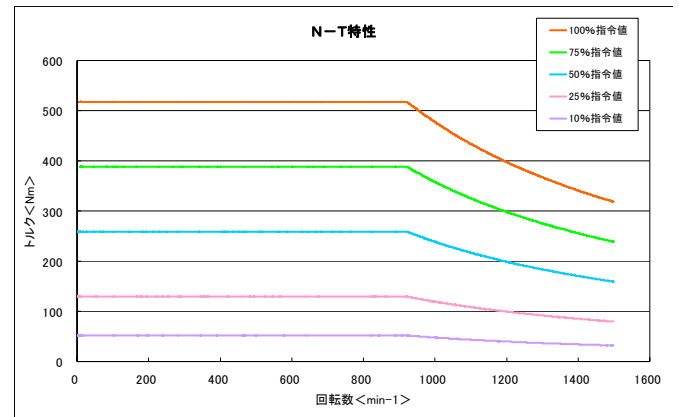


図 13 改良型の回転速度—トルク特性

Fig.13 Rotation speed-torque curve (improved type)

## 5. まとめ

以上、改良型のインホイールモータの開発の概要を記述したが、評価試験結果は設計目標を達成できたと考える。今後は実車での評価試験を行う予定である。

## 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



**岡本 吉弘**

1985年入社。横浜製作所産業設計部を経て現在 IWV 開発グループ所属。車載用回転機開発に従事。



**桐谷 知明**

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



**野田 幸宏**

1996年入社。技術研究所を経て現在 IWV 開発グループ所属。車載用回転機開発に従事。電気学会会員