# 走行中ワイヤレス電力伝送に対応した第2世代ワイヤレスインホイールモータの開発

藤本 博志<sup>1)</sup> 竹内 琢磨<sup>2)</sup> 畑 勝裕<sup>3)</sup> 居村 岳広<sup>4)</sup> 佐藤 基<sup>5)</sup> 郡司 大輔<sup>6)</sup>

Development of Second Generation Wireless In-Wheel Motor with Dynamic Wireless Power Transfer

Hiroshi Fujimoto Takuma Takeuchi Katsuhiro Hata Takehiro Imura Motoki Sato Daisuke Gunji

The authors have developed Wireless In-Wheel Motor (W-IWM) to solve power-lines disconnection problem of In-Wheel Motor (IWM) radically. In this paper, the advanced system of W-IWM (W-IWM2) is proposed. This system has capability of Dynamic Wireless Power Transfer (D-WPT) on its wheel-side. D-WPT technology can drastically extend driving range of electric vehicles. In addition, Lithium-ion Capacitor (LiC) is installed in wheel-side of the W-IWM2. LiC can effectively charge regenerative breaking energy. This paper discussed the development of the W-IWM2. The experimental results show the effectiveness of W-IWM2.

KEY WORDS: EV and HEV systems, Energy control system, Dynamic wireless power transfer (A3)

# 1. 序 論

電気自動車 (EV) は環境性能の高さから近年注目を集めてい る. EV の駆動装置にはオンボード方式とインホイールモータ (In-Wheel Motor: IWM) 方式がある. IWM はモータを車 輪内部に配置するものであり,各輪独立制御による運動制御性 能や航続距離の向上,駆動系部品の削減による軽量化などのメ リットが得られる<sup>(1)</sup>.しかし,IWM はモータと車体をつなぐ 電力線が走行中の連続的屈曲などにより断線してしまう耐久性 の問題から現在も乗用車での実用化はされていない.

この問題を解決するため,著者らは車体-ホイール間の配線 をワイヤレス化したインホイールモータ (W-IWM: Wireless In-Wheel Motor)を開発した<sup>(2)</sup>.開発した W-IWM は一輪あ たり最大出力 3.3 kW,電力変換回路を含む伝送効率で 94.3%を 達成し<sup>(3)</sup>,実車走行に成功した.

ところで、EV は従来のガソリン車等に比べて充電1回あた りの航続距離が短いことが課題となっている.バッテリー容量 を増やす以外の方法でこの課題を解決するため、モータを効率 的に駆動させる研究<sup>(4)</sup> や IWM 各輪の駆動力配分最適化によ る航続距離延長の研究<sup>(5)</sup> などが報告されている.航続距離の 課題を根本的に解決する手段として、道路に設置した設備から ワイヤレスで走行中の車両に電力を送る走行中給電の実現が期 待されている.しかし、従来検討されてきた走行中給電は、オ ンボード方式の EV を想定し、車体底面に設置したコイルに走 行中給電して車載バッテリを充電するものであった.

そこで、本研究では IWM に適した新しい走行中給電のかた ちを提案する. すなわち、道路のコイルから車体のコイルへの 給電ではなく、道路のコイルから IWM に直接、走行中ワイヤ レス給電をする. このコンセプトを実車で検証するため、走行 中給電機能を有する第2世代ワイヤレスインホイールモータ (以下 W-IWM2)を開発した.

1)2)3)4) 東京大学 (277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5)
5) 東洋電機製造 (株) (236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦 3-8)
6) 日本精工 (株) (251-8501 神奈川県藤沢市鵠沼神明 1-5-50)



Fig. 1 Test vehicle with W-IWM2.

# 2. IWM ならではの新しい走行中給電のかたち 2.1. コンセプト

多くの先行研究において検討されてきた走行中給電では、オ ンボード方式の EV において、路面に設置したコイルから車体 底面に設置したコイルにワイヤレス給電して車載バッテリを充 電する、という構成が想定されていた.

本研究では、IWM ならではの新しい走行中給電のかたちと して、路面のコイルから IWM に直接走行中給電を行なう方法 を提案する.これにより、従来検討されてきた走行中給電に比 べ以下のメリットが得られる.

1) 車載バッテリを介さないため高効率化が可能

2) 受電コイルが IWM に配置されており, サスペンション が変位しても路面コイルとの距離 (ギャップ) が一定に保た れるため, ギャップの余裕を小さくできる

3) 各輪それぞれに給電するため,路面コイル1つあたりの 出力を小さくできる

開発した W-IWM2 の諸元を Table 1 に示す. 現在は実験車 両の前輪 2 輪にのみ搭載しているが, 4 輪に搭載すると実験車 両のベースとなっている市販 EV と同等の駆動性能が実現される.

Table 1 Specification of the test vehicle

Max. motor power	12  kW
Max. motor torque	$76.4 \ \mathrm{Nm}$
Reduction ratio	4.407
Number of motors	2(4)
Total power	24  kW (48  kW)
Total wheel torque	672 Nm (1344 Nm)



Fig. 2 Configuration of the W-IWM2.

#### 2.2. W-IWM2 の構成

開発した W-IWM2 を前輪に装着した実験車両を Fig. 1 に 示す. また, W-IWM2 の構成図を Fig. 2 に示す. 本開発品 は機電一体構造のインホイールモータであり,ホイール近傍に モータ,電力変換回路,および 2 つのワイヤレス給電コイルが 配置されている. 各コイルは操舵時,およびサスペンションの ストローク時にサスペンションアームと干渉しないよう配置さ れている. 車体と IWM 間のコイル間ギャップは 100 mm,路 面と IWM 間のコイルギャップは 100 mm である. モータの出 力はハブ軸受ユニットに内蔵されたオフセット軸減速機を介し てホイールに出力される.

W-IWM2 は機能において以下の3つの特徴を有している.

1) 路面から IWM への直接走行中ワイヤレス給電

IWM に内蔵した蓄電デバイスを用いたエネルギーマネジメント制御

3) 車体と IWM 間での双方向ワイヤレス給電

このうち,3) については文献(2) で報告した第1世代ワイヤレ スインホイールモータ(以降 W-IWM1) で既に実現されてい るため,本稿では前者2つの機能について述べる.

W-IWM2の回路構成図を Fig. 3 に示す.W-IWM2ではワ イヤレス給電方式として磁界共振結合方式<sup>(6)</sup>を用いている.共 振回路としては送電側・受電側ともにコイルと共振コンデンサ を直列接続とする SS(Series-Series)方式を採用している.動 作周波数は自動車分野でのワイヤレス給電で標準的である 85 kHz を用いた.W-IWM2には車体側 - IWM 間と,路面側 -IWM 間の2つのワイヤレス給電経路が存在する.このうち前 者は文献(2)で報告したW-IWM1と同様の構成となっており, 車体側 - IWM 間で双方向にワイヤレス電力伝送が可能であ る.後者が走行中ワイヤレス給電(Dynamic Wireless Power Transfer,以降 D-WPT)を実現するためのものであり,路面 コイルからの送電電力を受電するためのコイルおよび共振回路 と,受電した電力を直流に変換するための AC/DC コンバー タが IWM 内に設けられている.AC/DC コンバータは IWM



Fig. 3 Circuit configuration of the W-IWM2.

 Table 2
 Target specification of the W-IWM2 circuit (designed value).

WPT power from Road to IWM	9 kW
WPT power between Chassis and IWM	> 12  kW
Number of LiCs	12 series
Total capacitance of LiCs	$125 \mathrm{F}$
Operation voltage of LiCs	28.8 - 43.2  V

の直流リンクに接続されている.

さらに W-IWM2 の特徴として, IWM に蓄電デバイスであ るリチウムイオンキャパシタ (Lithium-ion Capacitor, 以降 LiC)を内蔵している. LiC は DC/DC コンバータを介して IWM の直流リンクに接続されている. したがって, IWM の 直流リンクには 1)車体側との双方向でのエネルギー授受, 2) 路面からの走行中給電によるエネルギー, 3) LiC へのエネル ギーの出し入れ, 4) モータの駆動・回生, という 4 つのエネ ルギー源が接続されており, これらの間のエネルギーの流れを 適切に制御しつつ, 直流リンク電圧を所望の値に制御する必要 がある. エネルギーマネジメント制御の詳細については後述 する. W-IWM2 の回路諸元 (設計値)を Table 2 に示す.

# 3. 走行中給電の路面側設備

本章では走行中給電の路面側設備の概要について述べる.

#### 3.1. 回路構成

走行中給電の先行研究では,路面側設備において様々な回路 構成が提案されている<sup>(7)</sup>.それらを大まかに分類すると,以下 の2つに分けられる.

1) 進行方向に長い路面コイルを設置し、大容量のインバー タで駆動する

2) 進行方向に短い路面コイルを多数設置し、各コイルを小 容量のインバータで駆動する

1)の構成の特徴としては、必要なインバータの数は少ないが、 1つのコイル区間上に複数のEVが存在する可能性があり、大 容量のインバータが必要となる.また、高周波交流が流れる線 路長が長くなるため、配線・コイルの損失低減に工夫が必要で ある.一方、2)の構成ではインバータの個数は多くなるが、各 コイル上に1台のEVしか存在し得ないようなコイル長とした 場合、各インバータの容量は小さくてよい.また、各インバー



Fig. 4 Configuration of dynamic WPT.



Fig. 5 Vehicle detection operation.

タをコイルの近くに設置することで、高周波交流の流れる線路 長を短くできるので配線・コイルの損失が少ない.

本研究では 2) の構成を採用した. すなわち, Fig. 4 に示す ように,系統電源から AC/DC コンバータを用いて直流に変 換し, DC バスに各インバータを接続する. 各インバータはそ れぞれ 1 つのコイルを駆動する.

3.2. 車両検出手法<sup>(8)</sup>

SS 方式の磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送では、受 電側コイルが存在しない場合(すなわち車両が路面コイル上に 存在しない場合)、送電側コイルに大電流が流れてしまうこと が知られている<sup>(8)</sup>.そこで、何らかの手段で路面コイルの上に 車両が存在するか検出し、車両が存在するときのみ送電をする ような制御が必要である.

本研究では、路面側コイルに流れる電流値の変化から車両の 有無を検出して給電を ON/OFF する制御手法<sup>(8)</sup> を用いた.こ の方法では車両を検知する専用のセンサが不要である.車両検 出モード時は路面コイルのインバータは一定間隔で短時間の3 レベルパルス波を出力する.3レベルパルス波の周波数はコイ ルの共振周波数と一致させる.路面コイル上に受電コイルがな い場合,路面側回路からみたインピーダンスが小さいため路面 コイルに流れる電流振幅が徐々に増す.一方,路面コイル上に 受電コイルを持った EV が存在すると路面側回路から見たイン ピーダンスが大きくなり,路面コイルに流れる電流振幅は小さ くなる. そこで、3 レベルパルス波の出力後に路面コイルに流 れる電流がある閾値を越えなかった場合、車両が存在すると判 断して連続給電を開始する.車両が路面コイル上を通り去ると 路面コイルに流れる電流が増え、ある閾値を上回ったときに車 両が通過したと判断して給電を停止する.その後,再び前述の 車両検出モードに戻る.以上の車両検出動作のイメージを Fig.



Fig. 6 Road coil.



Fig. 7 Arrangement of the road coils.

5 に示す.

車両検出用の矩形波を出力する時間は1回あたり1ms以下 とごく短時間であるため、これによる損失は十分に小さく、本 実験の場合でも数10W程度であることを確認している.矩形 波の出力頻度を車両の速度に対して最適化することで損失をさ らに小さくできる.

3.3. 製作した走行中給電レーン

製作した路面コイルを Fig. 6 に示す. コイルケースは樹脂 で形成されており外形寸法は 1.5 m x 0.5 m である. コイルの 背面には結合係数を高めるためフェライト板を配置した. コイ ルの中央部分には共振コンデンサ基板を内蔵している. なお, 今回の試作では動作検証のため樹脂ケースを用いた構造とした が,将来的には道路下に埋設する構造を検討している.

Fig. 7 に走行中給電レーンにおける路面コイルの配置を示 す. 各路面コイルは進行方向に 1.6m 間隔とし,左右両輪で合 計 6 個のコイル設置した.

4. エネルギーマネジメント制御

W-IWM2 では先述の通り IWM において複数の電力源から エネルギーが出入りするため、これらのエネルギーの流れを適 切に制御する必要がある.本章では、W-IWM2 において開発 したエネルギーマネジメント制御の概要について述べる.

4.1. 制御の概要

IWM 内の回路におけるエネルギーマネジメント制御の目的 は、複数の電力源から出入りするエネルギーを適切にコント ロールすることで、直流リンク電圧を所望の値に保つことと、 IWM に内蔵した LiC の蓄電量(State of Charge: SOC)を 所望の値に制御することである.

電力変換回路における損失を無視すると、ある瞬間において IWM 内の電力のバランスがとられており、直流リンク電圧が 変化しないための条件は次式で表される.

$$P_{\rm L} = P_{\rm WPT} + P_{\rm LiC} + P_{\rm DWPT} \tag{1}$$

ここで  $P_{\rm L}$  は負荷電力(モータ出力+モータ損失),  $P_{\rm WPT}$  は車体-IWM 間でワイヤレスで送受電される電力,  $P_{\rm LiC}$  は DC/DC コンバータを介して LiC に充放電される電力,  $P_{\rm DWPT}$  は走行中給電で受電している電力である.ここで,  $P_{\rm WPT} > 0$ であれば車体側(すなわち車載バッテリ)から IWM に送電されてい



Fig. 8 Block diagram of W-IWM2.

ることを,  $P_{WPT} < 0$  であれば反対に IWM から車体側に電 力を戻していることを表す.また,  $P_{LiC} > 0$  は LiC が放電し ていることを,  $P_{LiC} < 0$  は LiC を充電していることを表す. ここで,右辺の3つのパワーは電力変換回路によって能動的に 制御可能であるため,パワーのバランスを保ちつつ右辺の3つ のパワーの比率を変えることができる.これにより,直流リン ク電圧を所望の値にフィードバック制御するとともに,同時に LiC の SOC (すなわち,  $v_{LiC}$ ) も所望の値に制御できる.

4.2. 直流リンク電圧制御<sup>(10)</sup>

LiCと接続された DC/DC コンバータを用いて, 直流リンク 電圧  $v_{DC}$ をフィードバック制御する. すなわち, 短時間のパ ワーバランスを LiC に蓄えられたエネルギーによって補償する. 例として, 車両の加速時など負荷が瞬時的に増した場合, LiC からエネルギーを供給することで直流リンク電圧を所望の値に 保つ. 反対に,回生ブレーキ時には回生エネルギーを LiC を充 電することでエネルギーのバランスをとり, 直流リンク電圧を 所望の値に保つ. このように, 直流リンク電圧  $v_{DC}$ のフィー ドバック制御を行うのみで, LiC が充放電する電力  $P_{LiC}$  が調 整され, (1) 式のパワーバランスが保たれる.

4.3. LiC の SOC 制御<sup>(10)</sup>

車体側と IWM 間の伝送電力は AC/DC コンバータによって 整流される.このとき,AC/DC コンバータを能動的に動作さ せることで受電電力  $P_{WPT}$ を制御できる.すなわち,AC/DC コンバータの duty 比と位相を制御することで,車体側からの 受電電力を制御するだけでなく,IWM 側から車体側に電力を 送ることも可能である.(1) 式で示されるように,負荷電力  $P_L$ と走行中給電による電力  $P_{DWPT}$  が一定であるとき, $P_{WPT}$  を 変えることで間接的に LiC に充放電される電力  $P_{LiC}$  を操作で きる.すなわち,LiC の SOC を所望の値に制御することが可 能である.直流リンク電圧制御が短時間のパワーバランスをと る制御であるのに対して,LiC の SOC 制御は LiC の充電量を 走行状況等に応じて調整する制御である.すなわち,加減速時 や高応答性が要求されるときは LiC を,航続走行時は車載バッ テリを積極的に使うことができる.

以上の IWM 側回路のブロック線図を Fig. 8 に示す.制御 器設計の詳細は文献(10)を参照されたい.

## 4.4. 走行における動作状態例

本節では Fig. 9 に示す具体的な 3 つの動作状態におけるエ ネルギーマネジメント制御の例を示す.



(c) Braking.Fig. 9 Typical operation of the W-IWM2.

# (1) 走行中給電レーンでの走行

Fig. 9(a) に示すように、走行に必要な負荷電力よりも走行中 給電による受電電力が大きい場合、余剰の電力によって IWM の LiC,または車載バッテリ、もしくはその両方を充電しなが ら走行できる. IWM と車体間でのワイヤレス電力伝送の効率 等を考慮すると、LiC を積極的に利用した方が有利であり、走 行状況に応じて前述の LiC の SOC 制御の目標値 ( $v_{\text{LiC}}^*$ )を適 切に設定することでこれが実現される.

(2) 通常の道路での走行

走行中給電のない道路では, Fig. 9(b) に示すように走行に 必要なエネルギーを LiC と車載バッテリから供給する.上述 の SOC 制御を行なうことで, LiC の SOC が目標値となるよ う車載バッテリから供給される電力が制御される.

#### (3) 回生ブレーキ時

減速時の回生ブレーキによるエネルギーはLiC,または車載 バッテリ,もしくはその両方に充電される.ここでもLiCと車 載バッテリの電力の配分はLiCのSOC制御によってなされる.



(a) Bench test setup.



(b) IWM-side coil position Fig. 10 Bench test setup.

以上のように W-IWM2 では IWM に内蔵した LiC を有効 に使うことで、複雑なエネルギー配分の変化をシンプルな制御 系によって実現している.

### 5. 実 験

本章ではベンチでの効率測定結果と,実験車両での走行中給 電実験の結果について述べる.

5.1. 伝送効率測定

(1) 実験方法

路面コイルから IWM への走行中給電の伝送効率を走行状態 で測定するのは困難であるため、ベンチ上で両コイルを静止さ せた状態で伝送効率を測定した.ベンチ試験装置の外観を Fig. 10(a) に示す.路面コイル用インバータは直流電源(松定プレ シジョン製 PRK600-25)から電源供給されており、この直流 電圧値を変えることで伝送電力を調整した.インバータの動作 周波数は共振周波数である 89 kHz とした.IWM 側回路にお いて任意の負荷電力を与えるため、IWM 回路の直流リンク部 にモータ駆動用インバータの代わりに回生型直流電源(Myway plus 製 pCUBE)を接続し、定電圧モードで動作させた.路面 側の直流部入力電力と IWM の直流リンク電力をそれぞれパ ワーメータ(Nwetons4th 製 PPA5520)で測定し、DC to DC の伝送効率を求めた.すなわち、測定した伝送効率は路面側イ ンバータと IWM 側コンバータの変換器効率を含んでいる.

IWM 側の受電コイルを Fig. 10(b) に示す 1, 2, 3 の位置 としてそれぞれ測定した. コイル間のギャップはおよそ 100mm である. 図中, 1 の位置が最もコイル間の結合が強く, 2, 3 の 順に結合が弱くなる. 公平な比較を行なうため, 負荷電圧値を 路面側直流電圧に応じて調整し, 各伝送電力点で伝送効率が最 大となるようにした.

#### (2) 実験結果

実験結果を Fig. 11 に示す. 横軸は路面側での伝送電力,縦 軸は伝送効率である. コイル間の結合が強い1,2,3の順に伝 送効率が良いことが分かる. 最も位置ずれの大きい3の位置に おいても86%以上の伝送効率が得られており,実際の走行中給 電においても多少の位置ずれは許容できると言える.また,最



Fig. 11 Efficiency measurement results.

Table 3 Efficiency measurement result on the test bench (from Road to IWM).

IWM-side coil position	Position 1
Operation frequency	$89  \mathrm{kHz}$
Estimated mutual inductance	$37.0 \ \mu H$
Road-side DC input voltage	$448.7 \mathrm{V}$
IWM-side DC-link voltage	$451.6~\mathrm{V}$
Road-side DC input	$8.196  \mathrm{kW}$
IWM-side DC-link input	$7.396~\mathrm{kW}$
DC to DC transmission efficiency	90.24~%

適な路面側電圧・IWM 側電圧の組み合わせで動作させた場合, 伝送電力によらず最高効率はほぼ変わらないことが分かる.最 も大電力・高効率が得られた条件での測定結果を Table 3 に示 す.路面側の直流入力電力 8.196 kW 時に効率 90.24 % であり, 高い伝送効率が実現されていることを確認した.

- 5.2. 実車での走行中給電実験
- (1) 実験方法

製作した走行中給電レーン上を W-IWM を前輪2輪に装着 した実験車両で走行し,走行中給電実験を行なった. IWM の トルク指令値は運転者のアクセルペダル操作により生成し,左 右輪ともに同じトルク指令値を与えた.

路面コイルは走行方向に 1.6 m の間隔で右輪のみ 3 つのコイ ルを設置した.路面側コイルは 3.2 節で述べた方法で車両検出 を行なった.車両検出のための 3 レベルパルス波は出力電圧実 効値を小さくするため duty 比を絞っている.1 回検出でのパ ルス出力時間は 400 $\mu$ s,出力の間隔は 10 ms とした.実験では 12 km/h 以下の走行速度であったため,10 ms 間隔であれば 3.33 cm よりも短い車両移動量毎に路面コイル上での車両の有 無を判定していることとなる.路面コイルのインバータには回 生型直流電源(Myway plus 製 pCUBE)から DC200V を供 給した.直流電源の表示値から路面側の直流入力電力の概算値 を読み取った.直流リンク電圧制御の目標値は 500 V,SOC 制御の目標値は 38 V で一定値とした.

# (2) 実験結果

実験結果を Fig. 12 に示す. なお, 測定に用いた各電流セン サが未校正であるため伝送効率は評価しなかった. また, ノイ ズ除去のため移動平均フィルタを適用した. Fig. 12(a)(b)よ り W-IWM2 によって車両が加速していることが分かる. Fig. 12(d)は IWM 側の走行中給電受電コイル電流であり, 時刻 5.5



秒頃より3つの路面コイルから順次走行中給電されていること が確認できる. Fig. 12(c)は IWM 側の直流リンク電圧であ り、走行中給電の前後で変動が生じているものの、開発した制 御手法により目標値に制御されていることが分かる.

Fig. 12(e) は LiC の電流値であり、負の電流は LiC が充電 されていることを表す.本実験では簡単のため  $v_{LiC}^* = -定と$ しているが、Fig. 12(e) より走行中給電中に LiC が充電され、 路面コイル間の走行中に LiC のエネルギーを使用しているこ とが分かる.

Fig. 12(f) は 2 つ目の路面コイルの電流であり,路面イン バータで計測しているため他のデータとは時系列が異なる.時 刻 0 から 0.5 秒間程度,走行中給電していることが分かる.給 電前後のスパイク的な電流は車両検出のためのものであり,開 発した検出方法によって正しく車両を検出できていることが分 かる.直流電源装置の表示値より,車両検出時の消費電力は1 つのコイルあたりおよそ 70 W,走行中給電時の電力はおよそ 3.8 kW であった.

以上の実車実験の結果より、開発した W-IWM2 において走 行中給電が実現されていることを確認した.

#### 6. まとめと今後の展望

本研究では、IWM ならではの新しい走行中給電のかたちを 実現する、第2世代ワイヤレスインホイールモータの開発につ いて述べた. W-IWM2 を搭載する実験車両と走行中給電レー ンを製作し、路面から IWM への走行中給電による実車走行に 成功した. 今後は走行状況に応じた LiC の SOC 目標値生成法 や、動作点最適化による伝送効率のさらなる向上など、実用化 に向けた研究を進める.

### 謝 辞

本研究の一部は文科省科研費補助金(基盤研究 A:26249061) および JST CREST (JPMJCR15K3)の支援を受けたことを 付記する.積層セラミックコンデンサをご供給頂きました株 式会社村田製作所様に感謝申し上げます.また,本研究に対し 多くのアドバイスを頂きました SINTEF Energy Research の Giuseppe Guidi 様に深く感謝申し上げます.

#### 参考文献

- S. Murata: "Innovation by in-wheel-motor drive unit, Vehicle System Dynamics", International; journal of Vehicle Mechanics and Mobility, 50:6, pp.807–830 (2012)
- (2) 藤本博志・山本岳・佐藤基・郡司大輔・居村岳広:「ワイヤレス インホイールモータを搭載した電気自動車の実車評価」,自動車技 術会 2015 年春季大会, S268, pp. 1395–1398 (2015)
- (3) 佐藤基・Giuseppe Guidi・居村岳広・藤本博志: 「ワイヤレス インホイールモータの高効率化および高応答回生の実現に関する 研究」,電気学会論文誌 D, Vol. 137, No.1, pp. 36-43 (2017)
- (4) A. Kawamura, G. Guidi, Y. Watanabe, Y. Tsuruta, N. Motoi, and T. W. Kim: "Driving Performance Experimental Analysis of Series Chopper Based EV Power Train", *Jour*nal of Power Electronics, Vol.12, No.6, pp.992–1002 (2013)
- (5) H. Fujimoto and S. Harada: "Model-based Range Extension Control System for Electric Vehicles with Front and Rear Driving-Braking Force Distributions", *IEEE Transaction on Industrial Electronics*, pp.3245–3254 (2015)
- (6) A.Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J.D. Jonnopoulos, P. Fisher, and M.Soljacic: "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", Science Expression on 7 June 2007, Vol.317, No.5834, pp.83–86 (2007)
- (7) C. C. Mi, G. Buja, S. Y. Choi, and C. T. Rim, "Modern Advances in Wireless Power Transfer Systems for Roadway Powered Electric Vehicles", *IEEE Transaction Industrial Electronics.*, vol. 63, no. 10, pp. 6533–6545 (2016)
- (8) D. Kobayashi, T. Imura, H. Fujimoto and Y. Hori: "Sensorless Vehicle Detection Using Voltage Pulses in Dynamic Wireless Power Transfer system", *Electric Vehicle Symposium & Exhibition 29 EVS29* (2016)
- (9) 郡司大輔・居村岳広・藤本博志:「磁界共振結合によるワイヤレ スインホイールモータの電力変換回路の制御に関する基礎研究」, 電気学会論文誌 D, Vol. 134, No5, pp. 564–574 (2014)
- (10) 竹内琢磨・居村岳広・藤本博志・堀洋一:「走行中ワイヤレス電力伝送を適用したワイヤレスインホイールモータのシステム制御に関する基礎研究」,電気学会産業応用部門半導体電力変換/モータドライブ合同研究会, SPC-17-017, MD-17-017, pp.33-38 (2017)