

# 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

正員 佐藤 基<sup>\*,\*\*</sup> 非会員 Giuseppe Guidi<sup>\*\*\*</sup>  
正員 居村 岳広<sup>\*\*\*\*</sup> 上級会員 藤本 博志<sup>\*</sup>

## Study on High Efficiency and High Response of Regeneration for Wireless In-wheel Motor

Motoki Sato<sup>\*,\*\*</sup>, Member, Giuseppe Guidi<sup>\*\*\*</sup>, Non-member, Takehiro Imura<sup>\*\*\*\*</sup>, Member, Hiroshi Fujimoto<sup>\*</sup>, Senior Member

A new type of in-wheel motor, which receives electric power by wireless power transfer using magnetic resonant coupling and control signals by wireless communication, thus eliminating completely the need for power and signal cables, has been developed. This system is called the Wireless In-wheel Motor (W-IWM). The overall efficiency of the W-IWM system has been considerably improved. In particular, burst fire control was applied to the previous generation W-IWM to keep the DC-link voltage stable in wheel side. This control made use of asynchronous rectification, resulting in glitches in the controlled variables when the system commutates between motoring and regeneration, due to wireless signal delay. To achieve more efficient control and smooth energy reversal, this paper proposes a novel control method for W-IWM driving that employs an application of synchronous rectification. The experimental results of the test bench confirm the effectiveness of the proposed method.

キーワード：電気自動車, インホイールモータ, ワイヤレス電力伝送

**Keywords:** Electric Vehicle, In Wheel Motor, Wireless Power Transfer.

### 1. 前書き

18世紀半ばから19世紀初頭にかけて産業革命が起こり、以降、世界の工業化は凄まじい。しかし、世の中の生産性が向上していく中、地球環境保護の問題も同時に取り沙汰されるようになってきた。自動車はその利便性からまさに人類になくてはならない存在になったが、ガソリン資源は限りがあるといわれている。脱ガソリン、脱公害物質の観点から、低公害車が注目を浴びている。低公害車とは、狭義に、電気自動車、メタノール自動車、圧縮天然ガス(CNG)

自動車、圧縮空気車及びハイブリッド自動車の5車種を指す。中でも電気自動車は内燃機関を用いた自動車と比較してトルク応答が二桁速く、制御性能に優れるという利点がある<sup>(1)</sup>。特に、インホイールモータは各輪独立して制御することが可能であるため、各輪の駆動力を最適に配分して航続距離を従来の電気自動車よりも数%延長できたり、近年の交通死亡事故の原因の4割といわれている横滑りを防止するような、ヨー運動が可能となる制御ができたりと、制御性能が優れており、様々な研究がなされている。<sup>(2)~(5)</sup>。インホイールモータとは車輪内部にモータが配置されたり、車輪内部のハブ軸受けと同軸にモータが配置されたりするという構造を指す。インホイールモータはその構造上、モータの動力線やモータ速度を検出する信号線が自動車内に配備されたインバータへ配線する際に、外部環境に晒されるといった問題がある<sup>(6)</sup>。インホイールモータは、車輪が操舵を繰り返したり、サスペンションの相対変位が繰り返し屈曲を受けたりして配線が疲労して断線したり、飛び石などの飛散物が当たったりして断線したり、寒冷地での凍結などの影響を受けて断線したり等、非常に厳しい環境に耐えねばならない。これはインホイールモータが優れた運動性能を持ちながら普及が進まない原因の一つである。

そこで本研究が着目した技術が、磁界共振結合を用いた

\* 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 〒277-8561 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 5-1-5, Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-8561

\*\* 東洋電機製造株式会社 〒236-0004 神奈川県横浜市金沢区福浦 3-8

3-8, Fukuura, Kanazawa-ku, Yokohama, Japan

\*\*\* Electric Power System Department, Sintef Energy, PO Box 4761 Sluppen, No-7465 Trondheim Sem Sæland vei 11, Trondheim, Norway.

\*\*\*\* 東京大学大学院 工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

Department of Electrical Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1, Hongo, Bunkyo-ku

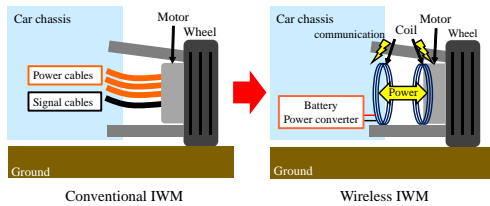


Fig. 1. Concept diagram of wireless in-wheel motor

ワイヤレス電力伝送である。磁界共振結合によるワイヤレス電力伝送は 2006 年 11 月にマサチューセッツ工科大学 (MIT) が実用化の可能性を発表した<sup>(7)</sup>。従来のワイヤレス電力伝送には電磁誘導方式および放射型のマイクロ波レーザー方式があったが、前者は高効率であるが電力伝送距離が数 mm~数 cm であったり、後者は大きな電力伝送距離が取れるが効率が悪いという問題があった。しかし、磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送は、数 10 cm~数 m と比較的大きな伝送距離を高効率で行なうことができる画期的な技術であった<sup>(8)~(11)</sup>。本研究は上述したインホイールモータの配線の断線に関する問題に関する根本的な解決策として、磁界共振結合を用いたワイヤレス電力伝送を用いて車両からインホイールモータに配線されている動力線や信号線をなくし、ワイヤレス電力伝送により直接インホイールモータを制御し駆動させることを目的とする。これをワイヤレスインホイールモータと呼称する。

ワイヤレス伝送電力の受電側において、先行研究では、ワイヤレス電力伝送された電力によってモータを制御するためには 2-mode 制御と定義される制御法が有効であることが、小容量のミニモデルによって検証された<sup>(12)</sup>。さらに実機にてベンチ試験を行い、実車にこのワイヤレスインホイールモータを搭載して走行試験し評価した<sup>(13)(14)</sup>。

本稿では、新たに間欠同期整流制御と定義する受電側の電力変換器の制御法を提案し、その有効性について明らかにする。間欠同期整流制御では、従来法の 2-mode 制御が目的としていた定電力負荷を安定に制御しながら、効率の向上や 2-mode 制御では不可能であったシームレスな回生が可能であることを示す。

また、ワイヤレス電力伝送の送電側ではチョップ方式および位相シフト方式と定義される 2 種類の送電制御法式について論じる。本稿ではこの 2 種類の制御法における各利点、欠点について述べて比較検討をし、まとめとする。

## 2. 磁界共振結合を用いたワイヤレスインホイールモータのシステム構成

**〈2・1〉 ワイヤレスインホイールモータのコンセプトおよび回路構成** 図 1 にワイヤレスインホイールモータの無線化のコンセプトを示す。従来はインホイールモータに電力を供給する動力線や、レゾルバやエンコーダなどの速度センサの信号線が外部環境に晒されていたが、ワイヤレスインホイールモータでは車両に設置されたコイルと車輪に

Table 1. Target value of the vehicle performance and first prototype specification

	Next target	First target
Number of in-wheel motor	4	2
Rated output power	48 kW	6.6 kW
On-board battery voltage (nom.): $V_{batt}$	-	325 V
Wheel-side dc voltage: $V_{dc}$	-	350 V
H-bridge devices: SiC mosfets	-	BSM180D12P2
Rated wheel torque	1300 Nm	475 Nm

設置されたコイルの間をワイヤレスで電力伝送し、信号線も無線通信を行なうことにより完全なワイヤレス化を実現する。これには、車両には送電コイルを制御するインバータが必要であり、車輪には受電コイルを制御するコンバータとインホイールモータを制御するためのインバータの搭載が必要である。

図 2 に本稿で検証したテストベンチの回路図を示す。本システムに要求される入力電圧の変範囲は 0 からピーク値 400 V までである。

送電側回路の昇降圧チョップのスイッチング素子には IGBT を用いている。一方、送電インバータである単相 H ブリッジ回路はワイヤレス電力伝送における共振周波数である 85 kHz 付近でスイッチングするため、高速なスイッチング制御が求められる<sup>(15)</sup>。よって、本回路には SiC-MOSFET を用いている。

受電側は、H ブリッジ回路によるコンバータ回路、モータ駆動用三相インバータと永久磁石同期モータをすべてホイール内に搭載する機電一体構造としている。受電側のフルブリッジ回路も送電側と同じく共振周波数 85 kHz でスイッチングするため、SiC MOSFET を用いている。モータ駆動用インバータには IGBT を用いており、そのスイッチング周波数は 6 kHz である。

**〈2・2〉 試作したワイヤレスインホイールモータ** ワイヤレスインホイールモータを採用する車両として、図 3 に示す一般電気自動車を改造した FPEV4-Sawyer を示す<sup>(16)</sup>。当車両は前後輪がそれぞれ交換可能なサブユニット構成を採用しており、様々な駆動ユニットを同一のプラットフォーム上で実験・比較できる。第一試作でのサブユニットを図 4 に示す。表 1 に示すように、ワイヤレスインホイールモータの性能としては四輪で 48 kW の出力を当面の最終目標とするが、第一試作として後輪二輪で 6.6 kW の出力、すなわち一輪当たり 3.3 kW の連続定格出力を目標とし、制御の検討や大電力伝送、コイル設計の技術を確認する。モータ出力はハブ軸受に内蔵された減速機 (減速比 4.2) により減速され、ホイールに出力される。送電側では送電側回路と送電側コイルが車両サブフレーム内に配置される。製作した受電側装置を図 5 に示す。

## 3. 送電側の高効率制御: チョップ制御と位相シフト制御の比較

共振器のコイルインダクタンスおよびキャパシタのキャパシタンスを表 2 に示す。図 2 において送電回路の出力電

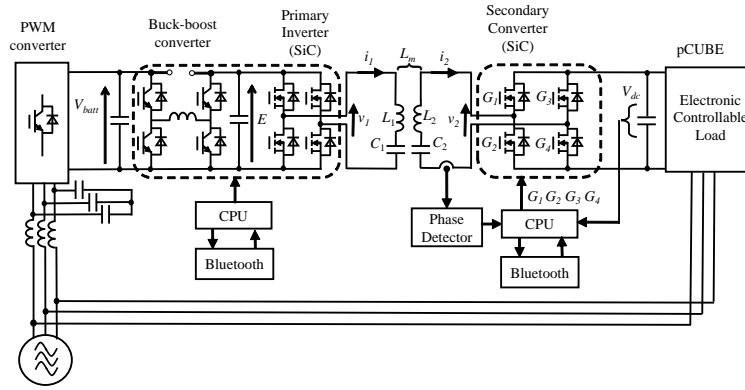


Fig. 2. Schematic of bench test by using electrical load



Fig. 3. FPEV4-Sawyer

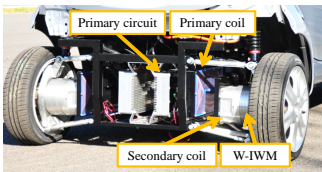


Fig. 4. First prototype unit

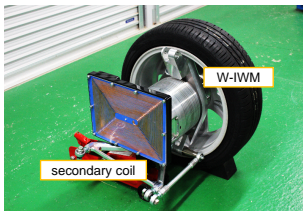


Fig. 5. Receiving side (in-wheel motor side)

Table 2. Each parameter of resonator

Parameter	Primary	Secondary
Coil resistance $R_{1,2}$	0.411 [ $\Omega$ ]	0.382 $\Omega$
Coil inductance $L_{1,2}$	260 [ $\mu\text{H}$ ]	223 $\mu\text{H}$
Capacitance $C_{1,2}$	13.5 nF	15.7 nF
Size	218 x 350 mm	218 x 300 mm
Resonance frequency	85.0 kHz	

力 (つまり共振器の入力電力)  $P$  は以下のように表すことができる<sup>(17)</sup>。

$$P = V_1 I_2 = \frac{V_1 V_2}{2\pi f_0 L_m} \quad (1)$$

ここで,  $f_0$  は送電側単相インバータの動作周波数である。また,  $V_1$  は送電側インバータの出力電圧基本波実効値であり,  $V_2$  は受電側コンバータの入力電圧実効値であり,  $L_m$  は二つの共振器の相互インダクタンスである。 $V_1$  は車載

バッテリー電圧から生成されなければならない。ここでは2段電力変換システムを採用する。即ち, 送電側回路における DC/DC チョップアの出力電圧として可変 DC-link 電圧  $E$  を生成し, 後段の単相 H ブリッジインバータの DC-link 電圧として用い, 出力は可変振幅方形波として動作させるシステムである。これをチョップア方式と定義する。なお, 図2では, 送電側回路における DC/DC チョップアの入力電圧を  $V_{batt}$  とし, PWM コンバータで車載バッテリー電圧を模擬する。受電側 (車輪側) には単相 H ブリッジコンバータが搭載されてインホイールモータを駆動するために使用されるインバータの DC-link 電圧  $V_{dc}$  を生成する。

もうひとつの  $V_{batt}$  から可変交流電圧  $V_1$  を生成するために使用される電力変換システムは位相シフト方式である。位相シフト方式は, ワイヤレス電力伝送される送電側の交流電圧の振幅と周波数を変化させずに, パルス幅を制御して受電側へ送電する電力を制御する方式である。この場合, 前段の DC/DC チョップアはバイパスされてこの変換器の損失はないものとする。

これらの二つの電力変換システムの基本的な動作を, 図6と図7に示す。各システムは長所と短所がある。チョップア方式は H ブリッジインバータのスイッチング損が最小であるが,  $E$  を可変にするための DC/DC チョップアの各種スイッチのスイッチング損失および導通損失と銅損が増えてしまう。

位相シフト方式の損失モデルについて説明する。図7は H ブリッジインバータの位相シフトされた出力電圧基本波実効値  $V_1$  を示している。 $V_1$  は以下のように表現できる。 $\varphi$  はゼロ電圧を出力する区間である。

$$V_1 = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{batt} \cdot \cos\varphi \quad (2)$$

本システムが共振状態で動作される場合, 共振器の電流はほぼ正弦波電圧の基本波成分と同相である。その結果, スイッチング電流瞬時値  $I_{1,1}$ ,  $I_{1,2}$  は次のように計算される。

$$I_{1,1} = I_{1,2} \approx \sqrt{2} \frac{P}{V_1} \sin\varphi = \frac{\sqrt{2} V_2}{2\pi f_0 L_m} \sin\varphi \quad (3)$$

これにより, スイッチング損失は次のように評価される。

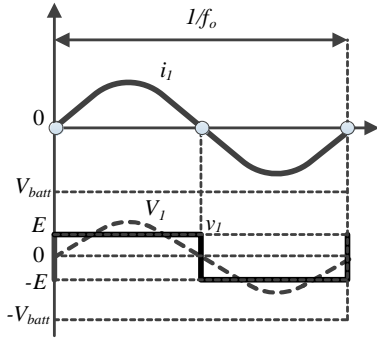


Fig. 6. Concept of chopper mode

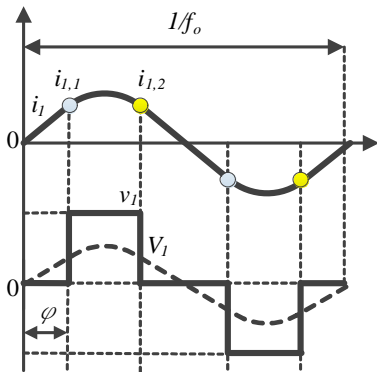


Fig. 7. Concept of phase shift mode

$$P_{sw,HB}(P, V_{batt}, V_2) = 2f_0 (E_{on}(I_{l,1}, V_{batt}) + E_{off}(I_{l,1}, V_{batt})) \quad (4)$$

チョップ方式及び位相シフト方式の電力変換システムとの間の効率を比較した結果を図8に示す。損失モデルを検証するために、効率の測定値は実際のワイヤレスインホイールモータで取得されている。位相シフト方式の損失モデルは概ね効率計算値と測定値は一致している。チョップ方式の効率の計算値と測定値は、最大1.08ポイントの誤差がある。この誤差はインダクタ損失の不正確なモデリングに主に起因すると考えられている。チョップ方式と位相シフト方式の比較は予想通り、位相シフト方式が、 $V_l$ が最大でHブリッジコンバータがほぼ方形波モードで動作される場合にはより効率的であることを示している。これは位相シフト方式がチョップ方式に近づき、Hブリッジコンバータのスイッチング損が減り、前段のDC/DCチョップの損失がない分効率が良くなる。チョップ方式は通常のワイヤレスインホイールモータのほとんどの走行パターン時に用いられることが期待されるので、チョップ方式は通常走行時は適切なものと考えられる。

#### 4. 受電側の高効率制御：間欠同期整流制御

ワイヤレスインホイールモータでは、車輪側での安定したモータ制御を実現するために前述したような2-mode制御が受電側コンバータに用いていた<sup>(12)</sup>。ここで、受電側共振器を短絡するように受電側コンバータをスイッチングす

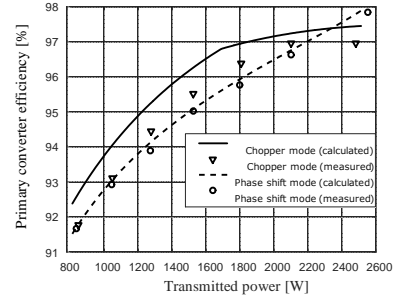


Fig. 8. The experimental results and the calculated result of power-transmitting-side converter loss.

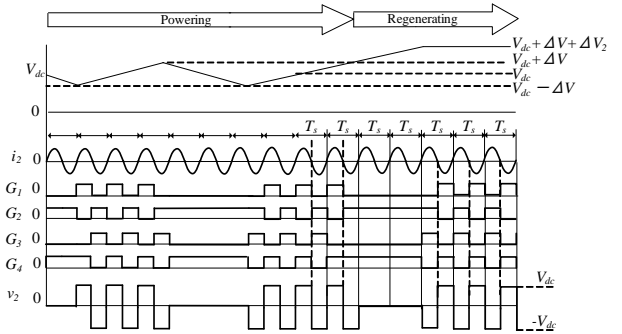


Fig. 9. During regeneration of intermittent synchronous rectification control concept

るモードのことをショートモードと定義する。また、受電側コンバータのすべてのスイッチをオフするモードを整流モードと定義する。2-mode制御では、いくつかの欠点と利点を挙げることができる。利点は以下である。

- 単純な実装である。
- 一方、欠点は以下である。
- 受電側コンバータの導通損は比較的大きく問題である。
- 回生時に信号通信のハンドシェイクが必要である。これによりシームレスな電力回生ができない。

これらの問題を解決するために、本論文では間欠同期整流制御を提案する。図9は間欠同期整流制御の概念動作を示している。2-mode制御との主な相違点はMOSFETの導通損失を同期整流により低減することである。間欠同期整流制御の整流モードの間は同期整流として動作される。回路のショートモードと整流モード間の遷移は、電流のゼロ交差と同期している。 $T_s$ は85kHzに対応した、サンプリング時間である。間欠同期整流制御では次のような利点がある。

- 整流中のSiC MOSFETの両端の電圧降下は、逆並列ダイオードよりも低いため、損失が低減され、効率が改善される。
- 間欠同期整流制御では、高速に受電電流と受電電圧の位相の反転操作を行うことができる。つまりシームレスな電力回生が可能である。

図9では、力行から回生に電力の流れが遷移するシーケンスを示している。 $V_{dc}$ がショートモードであるにもかかわらず、上昇し、正常な閾値レベルの $V_{dc} + \Delta V$ よりも高い



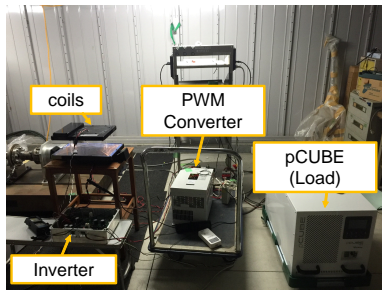


Fig. 10. Overview of experimental machine

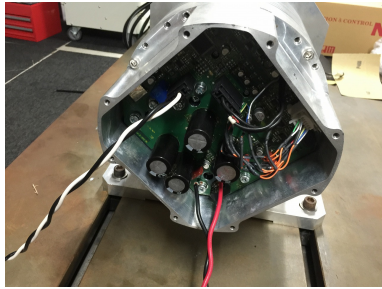


Fig. 11. Overview of powered motor

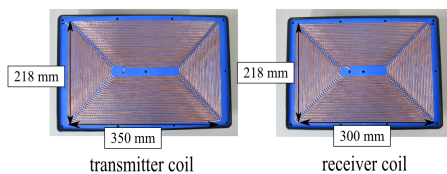


Fig. 12. Coil used in resonator

新たな電圧限界に達すると、制御器は受電側電流と逆の位相の電圧を受電側共振器に印加することができ、電力潮流を高速に反転させることができる。その結果、間欠同期整流制御は車両側インバータからの通信情報を待つことなく、円滑にエネルギーの流れを逆転させることができる。ただし、この制御を実現するために制御器は2-mode制御の実装に必要とされなかったコイル電流の $i_2$ の位相を追加情報として必要とする。

## 5. 間欠同期整流実験結果

図10に実験機外観を示す。この場合、電力システムの三相200 Vrmsによって供給される双方向PWMコンバータがオンボードバッテリーをエミュレートするために用いられている。図11は、機電一体に搭載されたコンバータおよびインバータ回路を含むインホイールモータの構成を示す。図中のモータは、試験車両で使用される実際のインホイールモータである。本実験では、車輪側コンバータの負荷として電子負荷を用いる。これは一定の抵抗負荷、定電流負荷、定電力負荷をエミュレートすることができる双方向電子制御負荷である。図12は共振器に用いられるコイルを示しており、コイル間のギャップは、ここでは50 mmとしている。図13に2-mode制御におけるショートモードから整流モードに切り替わる時の送電側電流および電圧と、受電

側電流および電圧の過渡現象を示す。また、図14に電流同期に基づいて提案した間欠同期制御におけるショートモードから整流モードに切り替わる時の送電側電流および電圧と、受電側電流および電圧の過渡現象を示す。0.1 ms時にショートモードから整流モードに切り替わっている。提案法と従来法では、受電側の負荷の大きさを等しく揃えた条件で実験したため、入力電圧 $v_1$ は提案法と従来法とで異なっている。従来法である2-mode制御では、ショートモードから整流モードに切り替わる際に $v_2$ が $i_2$ に同期せず歪んだ波形となっているが、提案法である間欠同期整流方式ではショートモードから整流モードに切り替わる際に $v_2$ が $i_2$ に同期した波形となっている。車輪側の電流 $i_2$ がショート状態(車輪に電力伝送なし)の間には、車両側の電流(共振器の入力電流) $i_1$ はピーク値で1 A程度であり、整流時の電流値と比較して十分小さい。図13(c)、図13(d)、図14(c)および図14(d)は従来法および提案法の定常状態での実験結果を示している。提案法では送電側単相インバータおよび受電側コンバータの動作周波数 $f_0$ は共振器の共振周波数85 kHzではなく84 kHzで動作させている。これは、電圧 $v_2$ と電流 $i_2$ が完全に同期した状態では電圧 $v_2$ に歪みが生じることが知られているため、これを避けるために共振器の共振周波数と動作周波数 $f_0$ は故意にずらしている。比較のため従来法でも動作周波数 $f_0$ は84 kHzとしている。故に、図13(d)に示すように動作周波数 $f_0$ と共振器の共振周波数が完全に一致していないため、電流 $i_2$ に歪みが生じている。

図15は間欠同期整流制御によって力行と回生の状態遷移をシームレスに行なっている実験結果である。図15(a)は回生から力行へ電力を遷移させている場合の実験結果であり、図15(b)はその逆で力行から回生に電力潮流が遷移している状態を表している。その場合、 $V_{dc}$ は指令値である352.5 V点を維持している。

対照的に2-mode制御で図15に示すほどの速度で電力潮流を遷移させた場合、システムの送電側と受電側の通信遅れにより、電子負荷が過電圧で保護状態になってしまうため、比較になる実験結果は取得できなかった。

次に、図16に定格運転時の効率比較実験結果を示す。これは送電側変換器から受電側変換器までの効率である。送電側はDC/DCチョップをバイパスしてチョップモードで制御し、受電側コンバータは同期整流による制御を用いている場合と、受電側コンバータのスイッチをすべてオフにしたダイオード整流となるモードでの効率測定実験結果を示している。提案法の効率は94.33%を達成している。これにより同期整流が効率向上に寄与している事がわかる。

## 6. まとめ

ワイヤレスインホイールモータについて高効率化について述べた。送電側はチョップ方式と位相シフト方式を切り替えることで高効率運転を実現できる。しかしながら、本システムは自動車の走行を想定しており、常に定格で運転

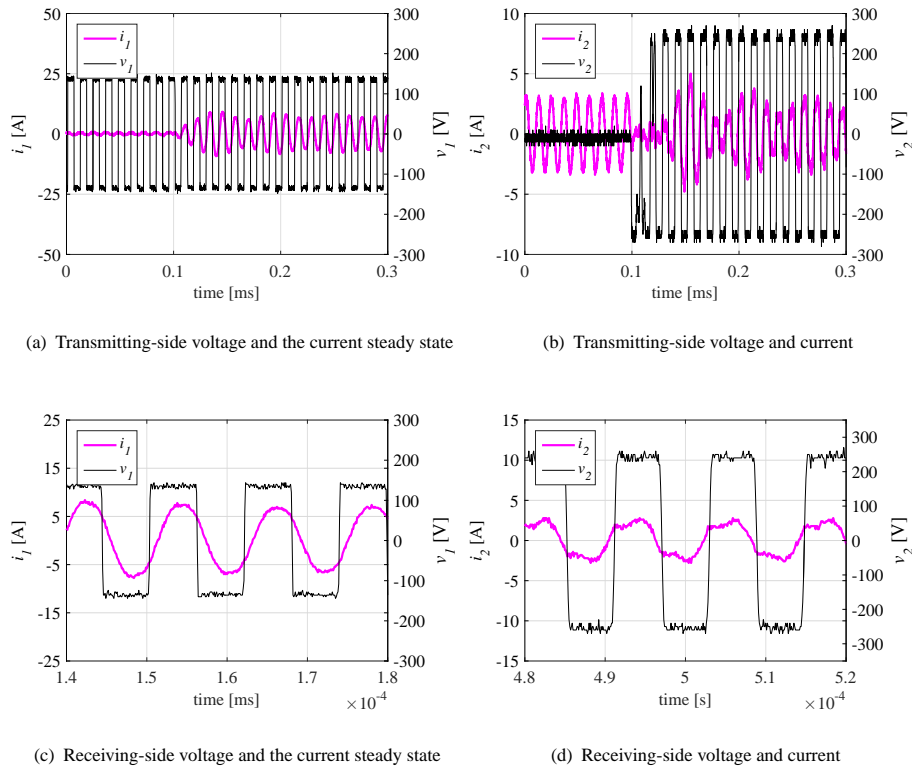


Fig. 13. Experimental results of the 2-mode control

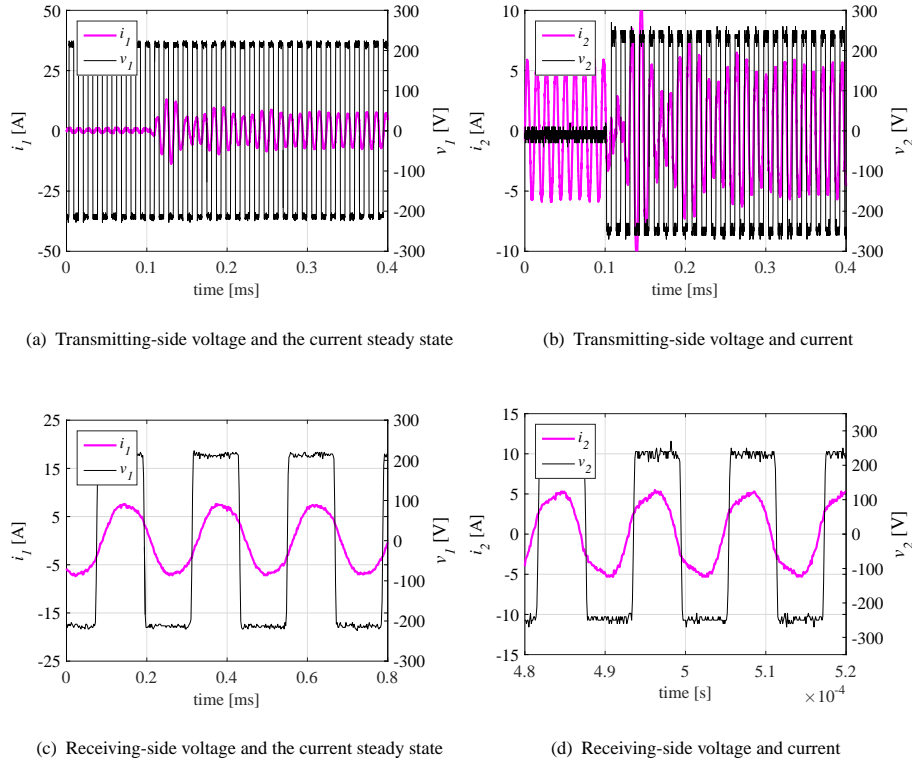


Fig. 14. Experimental results of intermittent synchronous rectification control

されることを想定しているのではなく、低出力から定格出力までを頻りに往復する運転を想定している。高負荷にな

ると、それに比例して受電回路に要求される入力電圧は大きくなる。よって、負荷に比例して要求される入力電圧を

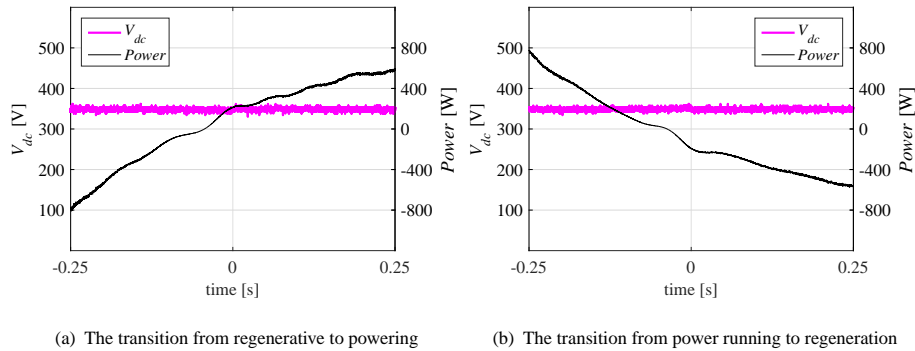


Fig. 15. Power regeneration experimental results of intermittent synchronous rectification control

昇降圧しなければならず、ほとんどの出力領域で位相シフト方式よりも高効率なチョップ方式が有効であるといえる。受電側は間欠同期整流を用いて高効率化が実現できることを示した。

## 7. 謝 辞

最後に本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究 A 課題番号: 26249061)によって行われたことを付記する。また、積層セラミックコンデンサ(U2J 特性)を支給して頂いた株式会社村田製作所に対しここに記して深く感謝申し上げます。

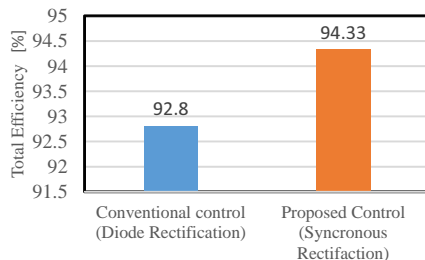


Fig. 16. Loss comparison experimental results at the time of rated operation

## 文 献

- (1) Y. Hori: "Future Vehicle Driven by Electricity and Control Research on Four Wheel Motored "UOT Electric March II"", IEEE Trans. IE, Vol. 51, No. 5, pp. 954-962 (2004)
- (2) S. Harada, H. Fujimoto: "Range extension control system for electric vehicles during acceleration and deceleration based on front and rear driving-braking force distribution considering slip ratio and motor loss", 39th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society (IECON), pp. 6626-6631 (2013)
- (3) S. Murata: "Vehicle Dynamics Innovation with In-Wheel Motor", Proc. JSAE EVTeC'11, 20117204, Yokohama, (2011).
- (4) Naoya Ochi, Hiroshi Fujimoto and Yoichi Hori: "Proposal of Roll Angle Control Method Using Positive and Negative Anti-dive Force for Electric Vehicle with Four In-wheel Motors", IEEE International Conference on Mechatronics, Vicenza, Italy, pp.815-820, (2013)
- (5) 安藤直樹, 藤本博志: "電気自動車の後輪独立制駆動力配分とアクティブ前後輪操舵を用いたヨーレート制御", 電気学会論文誌 D, Vol.131, No.4, pp.616-623, (2011)
- (6) Toyota Motor Corporation, P2012-223041A 2012. (in Japanese)
- (7) A. Kurs, A. Karalis, R. Moffatt, J. D. Joannopoulos, P. Fiske, and M. Soljacic: "Wireless Power Transfer via Strongly Coupled Magnetic Resonances", in Science Express on 7 June 2007, Vol. 317, No. 5834, pp. 83-86 (2007)
- (8) T. Imura, H. Okabe, T. Uchida, and Y. Hori: "Flexibility of Contactless Power Transfer using Magnetic Resonance Coupling to Air Gap and Misalignment for EV", IEEE Electric Vehicle driven on Electric Vehicle Symposium 24, (2009).
- (9) T. Imura and H. Yoichi, "Unified Theory of Electromagnetic Induction and Magnetic Resonant Coupling," IEEE Trans. Sensors Micromachines, vol. 135, no. 6, pp. 697710, 2015.
- (10) D. Kobayashi, T. Imura, and Y. Hori, "Real-time Coupling Coefficient Estimation and Maximum Efficiency Control on Dynamic Wireless Power Transfer for Electric Vehicles," Wireless Power (WoW), 2015 IEEE PELS Workshop on, 2015.
- (11) M. Kato, T. Imura, and Y. Hori: "The Characteristics when Changing Transmission Distance and Load Value in Wireless Power Transfer via Magnetic Resonance Coupling", IEEE Telecommunications Energy Conference INTELEC (2012)
- (12) D. Gunji, T. Imura, H. Fujimoto, "Fundamental Research on Control Method for Power Conversion Circuit of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling", IEEEJ Transaction on Industry Applications, Vol. 135, No. 3 pp.182-191 (2015)
- (13) M. Sato, G. Yamamoto, D. Gunji, T. Imura, and H. Fujimoto, "Development of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling," Transactions on Power Electronics, IEEE 2015 9, Vol. 31, No. 7
- (14) M. Sato, G. Yamamoto, T. Imura and H. Fujimoto: "Experimental Verification of Wireless In-Wheel Motor using Magnetic Resonance Coupling", The 9th International Conference on Power Electronics - ECCE Asia, Seoul, Korea, pp.1-6, (2015)
- (15) SAE International: "Wireless charging advances with selection of 85-kHz charging frequency", <http://articles.sae.org/12647/> (2013)
- (16) H. Fujimoto, T. Miyajima, and J. Amada: "Development of Electric Vehicle with Variable Drive Unit System", International Electric Vehicle Technology Conference & Automotive Power Electronics Japan 2014 (2014)
- (17) G. Guidi, "Minimization of Converter Ratings for MW-scale Inductive Charger Operated under Widely Variable Coupling Conditions," Wireless Power (WoW), 2015 IEEE PELS Workshop on, 2015.