

# 走行中ワイヤレス給電における N-Legged converter を用いた 広範囲の受電回路検出システムの提案

岡崎 晃大\* 居村 岳広 堀 洋一 (東京理科大学)

Proposal of a Wide Range Receiving Circuit Detection System Using N-Legged Converter  
for Dynamic Wireless Power Transfer

Akihiro Okazaki\*, Takehiro Imura, Yoichi Hori, (Tokyo University of Science)

In recent years, research on electric vehicles has been active due to environmental issues, and dynamic wireless power transmission has been attracting attention because it can contribute to battery downsizing. A control method is important in terms of safety and efficiency. In this paper, we propose a system for detecting a wide range of receiving circuits in a dynamic wireless power transmission system using an N-Legged converter, which can be controlled arbitrarily for each circuit. The system is verified by simulation.

**キーワード** : 走行中ワイヤレス給電, ワイヤレス給電, 待機損失, コイル検出, 漏洩磁界

(Dynamic wireless power transfer, Wireless power transfer, Waiting loss, N-Legged converter, Coil detection, leakage magnetic field)

## 1. 序論

近年、環境問題の影響から、電気自動車(Electric Vehicle : EV)の研究が盛んになっている。そこで注目されているのが、ワイヤレス電力伝送を利用した、バッテリーの給電技術である。これを応用した EV の課題を解決するための手法として、走行中ワイヤレス給電(Dynamic Wireless Power Transfer : DWPT)が挙げられる。これは、走行中の自動車に道路に設置された給電用コイルから、自動車の受電コイルに向けてワイヤレスで給電しバッテリーを充電するというものであり、現在盛んに研究されている<sup>(1)(2)</sup>。DWPT は、航続距離の延長、バッテリーの小型化による車体の軽量化、低価格化が期待できるが、課題が多く残されている。特に、送電コイル上を短時間で通過する DWPT では、車両が接近してきたことを検出し、適切に切り替え制御を行う必要がある。先行研究では、検出用のコイルを用いた手法<sup>(3)</sup>がある。これは、追加の部品を必要とするシステムであるため、将来的にインフラとして期待されている DWPT には、コストの面から懸念点がある。送電セクションごとの切り替えシステム<sup>(4)</sup>は、車両の検出をセクションごとにしか行えない点やセクション内の電力伝送を行わない回路での損失が発生してしまう。道路からサーチパルスが発生させて車両を検出する方法<sup>(5)-(6)</sup>もあるが、道路からのサーチパルスはすべてのコイルから発生させれば損失や漏洩磁界の原因になる。

そこで本稿では、送電側の制御のみで広範囲の車両検出を行えるシステムを提案し、検出動作を必要とする箇所を低減させる手法を提案し、その有効性をシミュレーションにて検証する。

## 2. 走行中ワイヤレス給電

〈2・1〉 **DWPT のシステム構成** 現在提案され、研究が進められている DWPT は、Fig. 1 のような構成が想定されており、それぞれの送電コイルには、共振回路が接続されている。この共振回路の構成には、DWPT で多くの研究例がある<sup>(4)(7)</sup>、Fig. 2 のような LCC-LCC 方式を採用する。この回路の共振条件は角周波数 $\omega$ を用いて式(1)として表される。また、コイルの抵抗値を無視すると、回路の入力インピーダンス $Z_{in}$ は式(1)を基に、式(2)として表される。

$$\omega = \frac{1}{\sqrt{L_{T0}C_{Tp}}} = \sqrt{\frac{C_{Tp} + C_{Ts}}{L_T C_{Tp} C_{Ts}}} = \frac{1}{\sqrt{L_{R0}C_{Rp}}} = \sqrt{\frac{C_{Rp} + C_{Rs}}{L_R C_{Rp} C_{Rs}}} \quad (1)$$

$$Z_{in} = \frac{1}{k^2} \left( \frac{L_{R0}}{\omega^2 L_T L_R C_{Tp} C_{Rp} R_L} \right) \left( L_T - \frac{1}{\omega^2 C_{Ts}} \right) \quad (2)$$

式(2)より、 $Z_{in}$ は結合係数の二乗に反比例することが分かる。つまり、 $k = 0$ のときに、 $Z_{in} = \infty$ となるため、回路に電流が流れない。この特性は車両の誤検出によるシステムの誤動作が生じた場合であっても過大な電流が流れず、実用的であると言える。

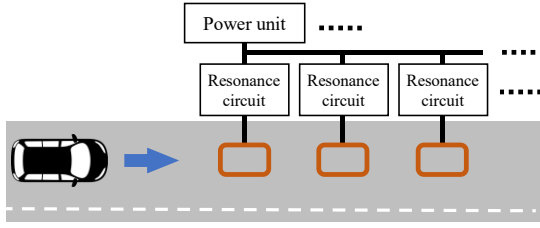


図1 DWPT システム

Fig. 1. DWPT system.

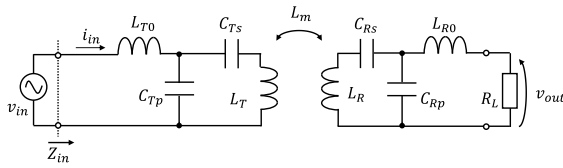


図2 LCC-LCC 回路

Fig. 2. LCC-LCC circuit.

### 3. コイルスキャンによる車両検出

#### 〈3・1〉 DWPT における車両検出

2 章で取り上げた LCC-LCC 回路は、式(2)より結合係数に対する  $I_{in}$  が Fig. 3 のように変動するため、切り替えの閾値  $I_{th}$  を設けることで、簡単に車両の検出や回路の切り替え制御を行いやすい。そのため、この特性を利用して切り替え制御を行う研究がいくつか挙げられている<sup>(4)(7)(9)(10)</sup>。これらの研究では、あらかじめ送電コイルに通電しておき、車両が接近した際  $I_{in}$  の変動を利用して送電側の制御を行っている。そのため、検出コイルでの損失や漏洩磁界が発生する。ここで、高速道路等の長距離の直線で DWPT を行うことを想定した場合、Fig. 4 のような給電レーンが考えられる。この場合、給電レーンに侵入してくる車両を検出できなかった場合、送電コイルの上を車両が通過しても給電が行えないといった給電漏れが発生するため、先行研究のような車両検出は一定の間隔おきに複数箇所で行う必要がある。これには、Fig. 5 のように検出動作を行うコイル(検出コイル)を一定の間隔で設置し、検出が行えたコイル以降から給電動作を開始する方法が考えられる。

ここで、1 つの検出コイルから次の検出コイルまでを 1 つの検出セグメントとして、検出セグメント内の送電コイルの数を  $N_{segment}$ 、検出セグメントの距離を  $l_{segment}$  とすると、これらは Fig. 6 のようになる。検出セグメント内の送電コイル個数は、車線変更が完了するまでに通りすぎる送電コイル個数以下とすれば、車線変更を完了するまでに検出コイル上を車両が通過することになり、給電レーンに侵入した直後から給電を開始することができる。そのため、 $N_{segment}$  は式(3)を満たすように決定すればよい。 $N_{segment}$  を基に検出セグメントの長さ  $l_{segment}$  は式(4)のように表す

ことができ、検出コイルはすべての検出セグメントに 1 つずつ存在するため、全給電レーンにおける検出コイルの総数  $N_{detect}$  は式(5)を満たす。なお、ここで車速を  $v_{vehicle}$ 、車線変更にかかる時間  $t_{change}$ 、給電レーンの総延長距離を  $l_{DWPT}$ 、送電コイルの進行方向の長さを  $l_{Tx}$ 、 $l_{Tx}$  に対する送電コイル間の距離の比率を  $\gamma$  とする。

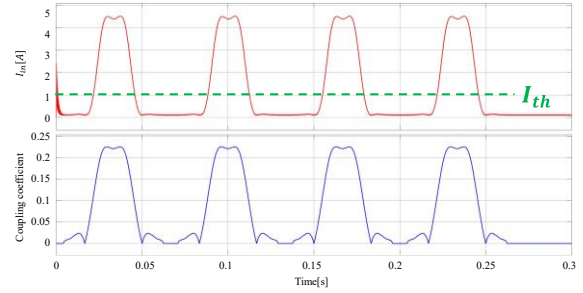


図3 LCC-LCC 回路における結合係数と  $I_{in}$  の関係

Fig. 3. Title.

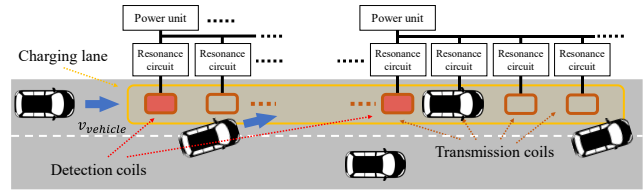


図4 想定される給電レーンの概要

Fig. 4. Overview of possible charging lanes.

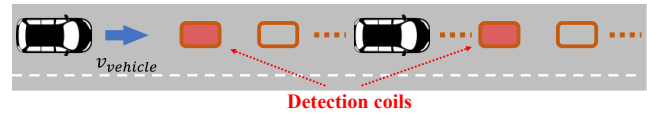


図5 検出コイルを考慮した DWPT システム

Fig. 5. DWPT system considering detection coils.

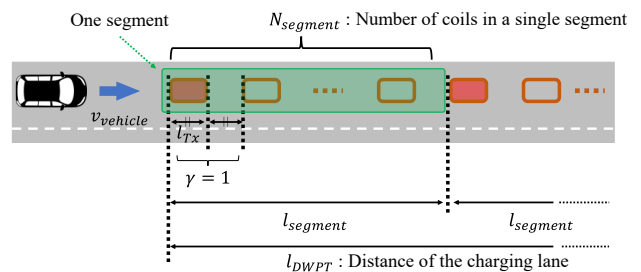


図6 検出コイルを基準とした検出セグメント

Fig. 6. Segment based on detection coil.

$$N_{segment} \leq \frac{v_{vehicle} t_{change}}{l_{Tx}(1 + \gamma)} \quad (3)$$

$$l_{segment} = N_{segment} \{l_{Tx}(1 + \gamma)\} \quad (4)$$

$$N_{detect} = \frac{l_{DWPT}}{l_{segment}} \quad (5)$$

〈3・2〉 コイルスキャン制御 前述した検出コイルによる車両検出では、検出コイルからの損失や漏洩磁界が発生してしまう。しかし、検出コイルは各検出セグメントに設置する必要があるため、検出セグメントを長くすることで検出コイルを減らすことができる。そこで、検出セグメントを延長する手法として、コイルスキャン制御を提案する。提案手法は、検出コイルを一定時間で移動させ、スキャンするような動作を行うことで、給電レーンに侵入してきた車両を広範囲にわたって検出する、という手法である。このスキャンによる車両の検出範囲を $l_{detect}$ とすると、スキャン動作は Fig. 7 のようになる。また、1 つの検出コイルがスキャンする送電コイルの数を $N_{scan}$ とすると、 $l_{detect}$ は式(6)のように表される。Fig. 7 より、スキャン動作中は送電コイル 1 つずつに通電して検出動作を行うため、コイル 1 つ分の消費電力で検出範囲を拡大できる。

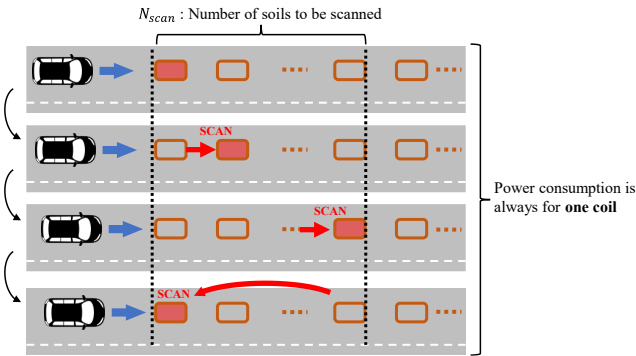


図 7 コイルスキャンの概要

Fig. 7. Coil scan Overview.

$$l_{detect} = N_{scan}l_{Tx}(1 + \gamma) - l_{Tx}\gamma \quad (6)$$

表 1 検出セグメント長さの決定に関するパラメータ

Table 1. Parameters for determining segment length.

|                                         |                      |       |
|-----------------------------------------|----------------------|-------|
| Vehicle speed                           | $v_{vehicle}$ [km/h] | 100   |
| Time to change lanes                    | $t_{change}$ [s]     | 3     |
| Transmission coil length                | $l_{Tx}$ [m]         | 1.6   |
| Ratio of coil length to spacing         | $\gamma$             | 1     |
| Number of coils to be scanned           | $N_{scan}$           | 12    |
| Length of detectable range              | $l_{detect}$ [m]     | 36.8  |
| Length of segment w/o coil scan         | $l_{segment}$ [m]    | 83.2  |
| Length of segment w/ coil scan          | $l'_{segment}$ [m]   | 118.4 |
| Length of charging lane                 | $l_{DWPT}$ [km]      | 500   |
| Number of detection coils w/o coil scan | $N_{detect}$         | 6010  |
| Number of detection coils w coil scan   | $N'_{detect}$        | 4223  |
| Reduction rate of detection coils       | [%]                  | 29.7  |

コイルスキャンによる検出を行うことで、広がった検出範囲の分だけ検出セグメントの長さ $l_{segment}$ を延長することができる。ここで、検出セグメント長さに関わるパラメータについて Table 1 のように、 $v_{vehicle} = 100\text{km}$ ,  $t_{change} = 3\text{s}$ ,  $l_{Tx} = 1.6\text{m}$ ,  $\gamma = 1$ ,  $N_{scan} = 12$  と設定すると、 $l_{detect} = 36.8\text{m}$ ,  $l_{segment} = 83.2\text{m}$ ,  $l'_{segment} = 118.4\text{m}$ となる。Fig. 8 に示すように検出セグメントを延長できると、次の検出コイルまでの距離が長くなるため、式(5)より給電レーン全体の検出コイルの数 $N_{detect}$ を減らすことができる。給電レーンの長さを東京-大阪間を基に、仮に $l_{DWPT} = 500\text{km}$ とすると、コイルスキャンをしない場合は $N_{detect} = 6010$ となる。コイルスキャンを行うと、検出セグメント延長の効果により、コイルスキャン適用時の検出コイル数 $N'_{detect}$ は 4223 となり、29.7%検出コイル数を削減することができる。つまり、コイルスキャンによる車両検出が達成できれば、検出コイルの数低減による、給電レーン全体の損失や漏洩磁界低減が期待できる。

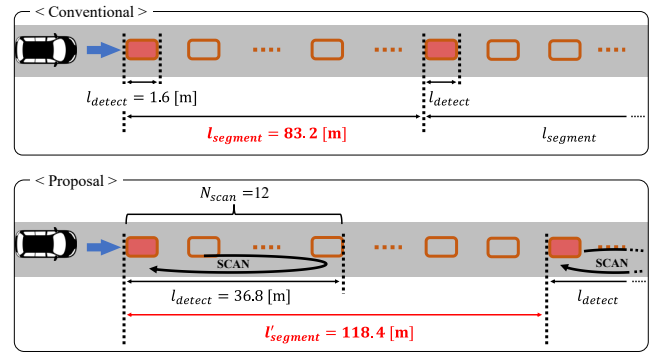


図 8 コイルスキャンによる検出セグメントの延長

Fig. 8. Segment extension by coil scan.

### 〈3・3〉 スキャン制御のパラメータ決定法

スキャン制御を行うにあたり、検出コイルをスキャンさせる間隔は、車両が送電コイル上を通過していく時間よりも十分に速くなければならない。これは、車両が送電コイル上を通過するまでの間に通過しようとしている送電コイルに通電する必要があるからである。そこで、受電コイルが送電コイル上に存在している時間を $t_{Tx}$ とすると、式(7)のように表せる。Table 2 に示すように $l_{Rx} = 0.6\text{m}$ とすると、コイル 1 つあたりのスキャン時間 $t_{scan}$ は式(8)より $3\text{ms}$ 以下の値とすればよい。今回は $t_{scan} = 3\text{ms}$ とする。また、 $t_{scan}$ とスキャン動作を行うコイルの数 $N_{scan}$ より、全てのコイルを一回ずつスキャンし終わるまでの時間 $T_{scan}$ は式(9)より $T_{scan} = 36\text{ms}$ となる。 $T_{scan}$ の間に車両が進む距離を $l_{Tscan}$ とすると、 $l_{Tscan} = v_{vehicle}T_{scan} = 1\text{m}$ となり、その様子は Fig. 9 のようになる。Fig. 9 より、Table 2 の条件の場合スキャン動作を一周させるまでに車両が進む距離は十分に短

く、送電コイル上を通過し終わるまでに車両の検出が可能であると言える。つまり、コイルスキャンによって車両検出範囲の拡大が可能であることを示している。また、 $N_{scan}$ を増やすことで検出範囲を広げることができるが、その代わりに $t_{scan}$ を短くしてスキャンの速さを上げなくてはならないため、制御負荷の上昇や、切り替えによる過渡電流の発生を考慮したうえで、スキャンの速さや区間を決定する必要がある。逆に、こういった制御機器の性能向上や、回路の過渡現象をより有効に抑制できれば、さらにスキャンする区間を広げることが可能である。

表2 スキャンに関するパラメータ

Table 2. Scan parameters.

|                                                |                 |     |
|------------------------------------------------|-----------------|-----|
| Time to pass over one transmission coil        | $t_{Tx}$ [ms]   | 36  |
| Receiving coil length                          | $l_{Rx}$ [m]    | 0.6 |
| Scan interval per transmission coil            | $t_{scan}$ [ms] | 3   |
| Time to finish scanning all transmission coils | $T_{scan}$ [ms] | 36  |
| Distance a vehicle travels during $T_{scan}$   | $l_{Tscan}$ [m] | 1   |

$$t_{tx} = \frac{l_{Tx} - l_{Rx}}{v_{vehicle}} \quad (7)$$

$$t_{scan} \leq \frac{t_{Tx}}{N_{scan}} \quad (8)$$

$$T_{scan} = t_{scan} N_{scan} \quad (9)$$

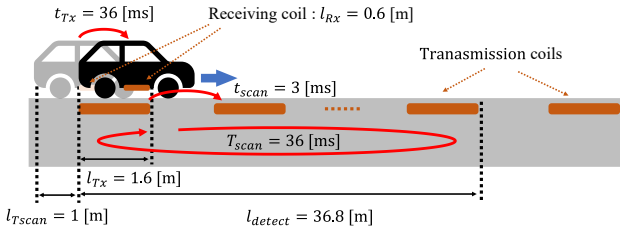


図9 車両が1つの送電コイル上に存在する間に行われるスキャン動作

Fig. 9. Scanning operation performed while the vehicle is on one transmission coil.

〈3・4〉 システム構成 提案手法では、2章で紹介したLCC-LCC回路を利用する。この回路構成は、Fig. 3に示すように、結合係数に依存して $I_{in}$ が変動するため、車両の検出に利用しやすい。また、コイルスキャンでは複数の送電回路に対して、車速よりも速い速度で切り替え制御を行う必要がある。そのため提案手法ではN-Legged converter(NLC)を用いたスキャン動作を行う。NLCはFig. 10に示すように複数のレグから構成されており、かつ隣り合うレグを共有しているためMOSFETの数を減らすことができる<sup>(8)</sup>。また、NLCにおける $j$ 番目の回路への出力電圧 $V_i$

は、Fig. 10に示すような各レグ間の位相差 $\alpha_i$ を変化させる位相シフト制御によって式(9)のように示すことができる。

$$V_i = \frac{2\sqrt{2}}{\pi} V_{dc} \sin\left(\frac{\alpha_i}{2}\right) \quad (10)$$

式(10)より、 $\alpha_j = 0\text{deg}$ とすることで出力を停止し、 $\alpha_j = 180\text{deg}$ とすることで最大出力での電力伝送が行える。この特性を利用して回路の出力を調整し、スキャン動作を行う。NLCを利用したスキャン制御は以下Fig. 11のようなフローで行う。

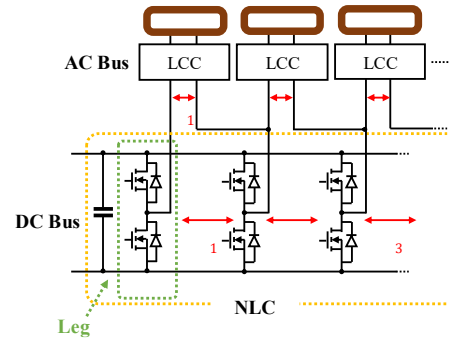


図10 NLCの構成

Fig. 10. NLC configuration.

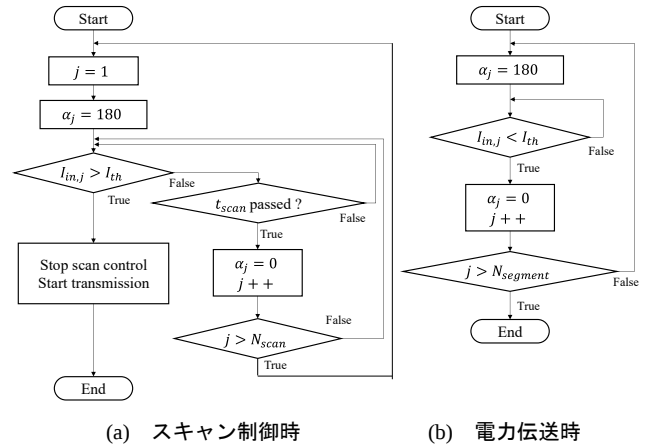


図11 制御フローチャート

Fig. 11. Flowchart of proposal system.

車両の検出が行えるまでは、Fig.11 (a)のようにスキャンによる車両検出を行う。この間は、1つ目のスキャン対象コイルに対し $\alpha_1 = 180\text{deg}$ としその際に流れる $I_{in,1}$ を監視する。 $I_{th}$ を超えない間は $t_{scan}$ 毎に通電する送電コイルを移動させる。 $I_{in,j}$ が検出用の閾値 $I_{th}$ を超えたら給電レーンに車両が侵入してきたと判断し、スキャン動作を停止して電力伝送フローに移行する。電力伝送フローは、Fig. 11 (b)のように行う。 $I_{in,j}$ が $I_{th}$ を下回るまでの間は $\alpha_j = 180\text{deg}$ として電力伝送を行い、 $I_{th}$ を下回ったら次の送電コイルに出力を切り替える。検出セグメントの最後まで電力伝送を行ったら、終了となる。

#### 4. シミュレーション

提案システムについて、車両が給電レーンに侵入してきた際にスキャン制御によって車両を検出して給電動作に移行できるかを確認するため、シミュレーションでの検証を行う。回路のパラメータに関しては Table 3 に示す。シミュレーションには MathWorks 社の MATLAB/Simulink を用いる。コイルスキャンに関わる条件は Table 1, 2 とし、全体のシステム構成は、送電回路を Tx1~Tx12 の 12 個に対して受電回路 1 つとし、Fig. 12 にしめす。また、Fig. 13 のように  $l_{detect}$  内に先頭と 2 番目のコイルから侵入した場合の 2 パターンを想定し、Case1, 2 として検証を行う。送電コイルはそれぞれ Tx1~12 とし、これらのコイルでスキャンを行う。各回路の電流値  $I_{in,1} \sim I_{in,12}$  のシミュレーションの結果を Fig. 14 に示す。

表 3 回路パラメータ

Table 3. Circuit parameters.

|                                   |                       |        |
|-----------------------------------|-----------------------|--------|
| Input DC Voltage                  | $V_{dc}$ [V]          | 300    |
| Operation frequency               | $f$ [kHz]             | 85     |
| Air gap                           | [mm]                  | 250    |
| Primary compensated inductance    | $L_{T0}$ [ $\mu$ H]   | 18     |
| Primary compensated resistance    | $r_{T0}$ [ $\Omega$ ] | 0.031  |
| Primary compensated capacitance   | $C_{Tp}$ [nF]         | 195    |
| Primary resonant capacitance      | $C_{Ts}$ [nF]         | 32.6   |
| Primary transmitter inductance    | $L_T$ [ $\mu$ H]      | 125.45 |
| Primary transmitter resistance    | $r_T$ [ $\Omega$ ]    | 0.1    |
| Secondary compensated inductance  | $L_{R0}$ [ $\mu$ H]   | 18     |
| Secondary compensated resistance  | $r_{R0}$ [ $\Omega$ ] | 0.031  |
| Secondary compensated capacitance | $C_{Rp}$ [nF]         | 195    |
| Secondary resonant capacitance    | $C_{Rs}$ [nF]         | 25.1   |
| Secondary receiver inductance     | $L_R$ [ $\mu$ H]      | 157.25 |
| Secondary receiver resistance     | $r_R$ [ $\Omega$ ]    | 0.1    |
| Load resistance                   | $R_L$ [ $\Omega$ ]    | 8.33   |
| Current threshold                 | $I_{th}$ [A]          | 6      |

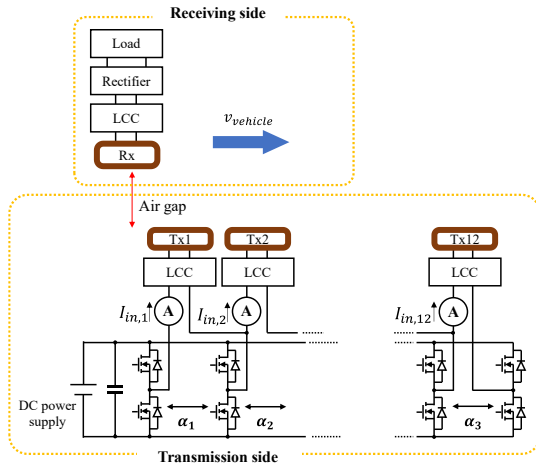


図 12 シミュレーションのシステム構成

Fig. 12. Simulation configuration.

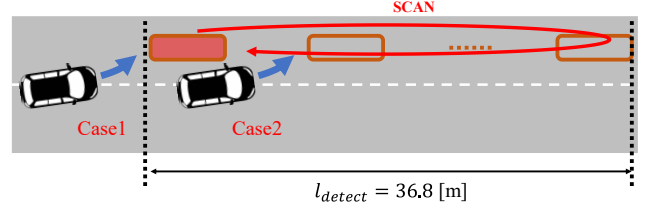
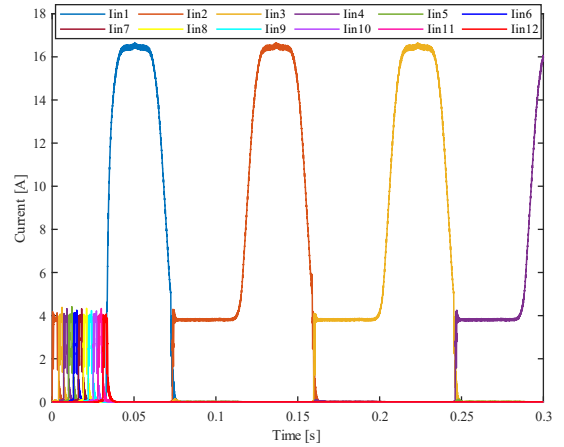
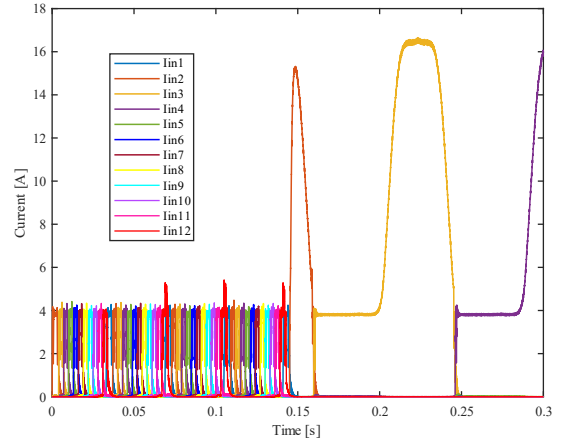


図 13 シミュレーションで想定する状況

Fig. 13. Situation assumed in the simulation.



(a) Case1の電流値  $I_{in,1} \sim I_{in,12}$



(b) Case2の電流値  $I_{in,1} \sim I_{in,12}$

Fig. 14. Simulation results.

図 14 シミュレーションの結果

Fig. 14 より、どちらの場合においても車両を検出して給電を開始することができていることが分かる。このことから、スキャン動作によって検出コイルの車両検出範囲の拡大が可能になっていることが分かる。さらに Case1 において、スキャン動作を行わずに Tx1 のみ検出コイルとして通電していた場合のシミュレーション結果を Fig. 15 に示す。この場合は、スキャン動作をせずに先頭のコイルが車両検出用に通電しているため、問題なく先頭の送電回路か

ら順に電力伝送を開始できる。この場合の効率と、Fig. 14(a)に示したコイルスキャンを行った場合の効率を Fig. 16 にて比較する。Fig. 16 よりスキャン動作を行った場合でも、効率の減少はないため、提案手法は損失の増加なく、広範囲の車両検出が可能になっていることを示している。また、広範囲の検出が可能になることにより、検出コイル数の削減ができるため、給電レーン全体の損失や漏洩磁界の低減が期待できることを示している。

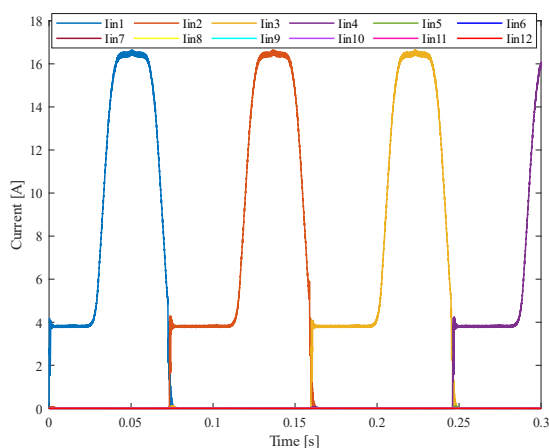


Fig. 15 Without scan control in Case1

図 15 Case1 におけるコイルスキャン制御なしの場合

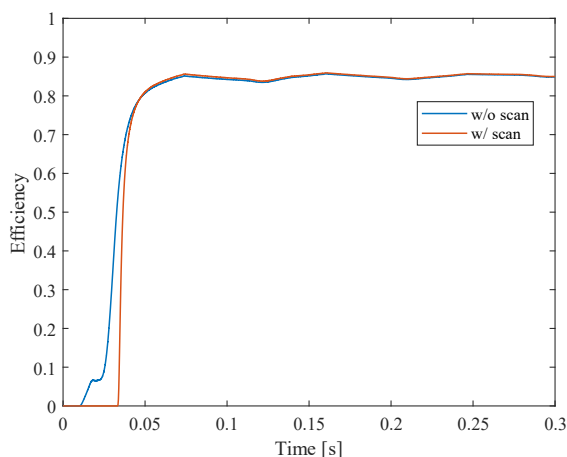


Fig. 16. Comparison of efficiency by coil scan.

図 16 コイルスキャン制御の有無による効率の比較

## 5. 結論

本稿では、1 つの検出コイルによる車両の検出範囲を拡大し、検出コイルの個数を低減させる、コイルスキャン法を提案した。この手法は NLC を用いて動作させ、LCC-LCC 回路の電流特性を利用することで、シンプルなシステム構成での検出システムを達成した。また、時速 100km

で走行する車両でのシミュレーションを行い、検出範囲を 1.6m から 36.8m に拡大できることを確認した。さらに、コイルスキャンによって検出範囲を拡大してもシステム全体の効率は低下しなかったため、検出コイル 1 つ分の電力で検出範囲を拡大できていることも確認できた。その結果、コイルスキャンによって検出セグメントの長さを長くすることができるため、給電レーンを 500km と仮定した場合に、給電レーン全体における検出コイル数を 29.7%削減でき、損失低減効果が期待できることを示した。

今後は実験での検証を行い、実際の制御機器のスペックとも照らし合わせて、コイルスキャンに関するパラメータを検討していく。

## 文 献

- (1) W. Li, H. Zhao, J. Deng, S. Li and C. C. Mi, "Comparison Study on SS and Double-Sided LCC Compensation Topologies for EV/PHEV Wireless Chargers," in IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 65, no. 6, pp. 4429-4439, June 2016
- (2) X. Zhang, J. Wang, M. Xue, Y. Li and Q. Yang, "Reserch on Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicle Based on Double LCC Compensation Mode," 2019 IEEE Wireless Power Transfer Conference (WPTC), London, UK, 2019, pp. 141-145
- (3) D. Patil, J. M. Miller, B. Fahimi, P. T. Balsara and V. Galigekere, "A Coil Detection System for Dynamic Wireless Charging of Electric Vehicle," in IEEE Transactions on Transportation Electrification, vol. 5, no. 4, pp. 988-1003, Dec. 2019
- (4) K. Sasaki and T. Imura, "Combination of Sensorless Energized Section Switching System and Double-LCC for DWPT," 2020 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), Seoul, Korea (South), 2020, pp. 62-67
- (5) K. Tokita, K. Hata, H. Fujimoto and Y. Hori, "Sensorless Vehicle Detection Using Voltage Pulses with Envelope Model for In-motion Wireless Power Transfer System," IECON 2019 - 45th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Lisbon, Portugal, 2019, pp. 4329-4334
- (6) K. Hata, T. Imura, H. Fujimoto, Y. Hori and D. Gunji, "Charging Infrastructure Design for In-motion WPT Based on Sensorless Vehicle Detection System," 2019 IEEE PELS Workshop on Emerging Technologies: Wireless Power Transfer (WoW), London, UK, 2019, pp. 205-208
- (7) 竹内琢磨, 小林大太, 居村岳広, 堀洋一, "Double-LCC を用いた走行中ワイヤレス電力伝送の基礎実験", 電子情報通信学会研究会 WPT 研究会, WPT2016-10, pp.5-10, 2016
- (8) F. Farajizadeh, D. M. Vilathgamuwa, D. Jovanovic, P. Jayathurathnage, G. Ledwich and U. Madawala, "Expandable N-Legged Converter to Drive Closely Spaced Multitransmitter Wireless Power Transfer Systems for Dynamic Charging," in IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 35, no. 4, pp. 3794-3806, April 2020
- (9) 岡崎晃大, 居村岳広, 堀洋一, "走行中ワイヤレス給電における速度推定を用いた送電回路切り替え制御システム", 2022 年電気学会産業応用部門大会, pp. 261-264, Aug-Sep.2022
- (10) Akihiro Okazaki, Takehiro Imura, Yoichi Hori, "Transmission Circuit Switching Control System Combining Speed Estimation and N-Legged Converter for Dynamic Wireless Power Transfer", 2022 Asian Wireless Power Transfer Workshop (AWPT2022), Hybrid, Dec. 2022.