

建設機械に向けたワイヤレス給電システムと バッテリー給電のハイブリッド電源の開発

溝口 洗輔*, 木下 徹規, 日下 佳祐, 伊東 淳一 (長岡技術科学大学)

Hybrid Power Supply with Battery and Wireless Power Transfer System for Construction Machines
Kosuke Mizoguchi, Tetsunori Kinoshita, Keisuke Kusaka, Jun-ichi Itoh (Nagaoka University of University)

1. はじめに

これまで著者らは、レールに沿って移動する地下掘削機向けの 15kW ワイヤレス電力伝送(WPT)システムを開発してきた⁽¹⁾。本システムは、レールに沿って一定間隔で設置した WPT コイルから電力を供給しつつ、掘削作業を行う。しかしながら掘削機のアーム長の制限から、掘削可能範囲を広げるためには多くのコイルをレールに設置する必要があるため、高コスト化が避けられない。上記の問題を解決するため、掘削機にリチウムイオン電池を搭載し、WPT システムにより電力供給が困難な区間ではリチウムイオン電池から電力を供給するシステムを検討し、実験機による検証を行った。本稿では、リチウムイオン電池を回生可能な直流電源により模擬し、実証試験を実施したので報告する。

2. ワイヤレス電力伝送システム

〈2・1〉 システム構成

図 1 にワイヤレス電力伝送システム構成を示す。本システムは、1 次側が単相インバータ、2 次側が整流器で構成されており、非接触で電力伝送する。2 次側には、三相インバータがつながり、掘削機に搭載された電動油圧ポンプを駆動する。これらの負荷に定電圧を供給するため、1 次側直列-2 次側並列補償方式 (S/P 補償方式) を採用した。これにより 1 次側を定電圧で駆動した場合には、負荷の変動に関わらず、負荷電圧が一定となる。本システムでは、レールに沿って一定間隔に 1 次側コイルを設置し、その伝送コイル直下で掘削機は電力をうけながら掘削作業を行う。しかしながら、複数の 1 次側伝送コイルの中間部では電力供給で

きないため、掘削作業及びコイル間の移動ができない。

そこで本システムでは、掘削機側に 2 次側整流器の後段にチョップパを介してリチウムイオン電池を接続する。WPT システムから電力供給できない区間では、リチウムイオン電池から負荷側に電力を供給する。一方、電力伝送が可能であり、かつ負荷電力が小さい場合には、2 次側に供給される電力の一部をリチウムイオン電池に供給し、充電する。

〈2・2〉 伝送コイルの仕様

表 1 にシステムの仕様を示す。所望の出力を得るために必要な伝送コイルの 1 次側及び 2 次側の自己インダクタンスは、等価負荷抵抗とそれぞれの励磁インダクタンスのインピーダンスが等しくなるように設計する⁽²⁾。したがって (1)式及び(2)式で表される。共振コンデンサは、伝送周波数

Table 1. Parameters for wireless power transfer system.

	Symbol	Value
Primary DC voltage	$V_{1,DC}$	640 V
Secondary DC voltage	$V_{2,DC}$	640 V
Rated Output power	P_{out}	15 kW
Switching frequency	f	20 kHz
Coupling coefficient	k	0.4
Primary inductance	L_1	409 μ H
Secondary inductance	L_2	100 μ H
Primary capacitance	C_1	184 nF
Secondary capacitance	C_2	636 nF

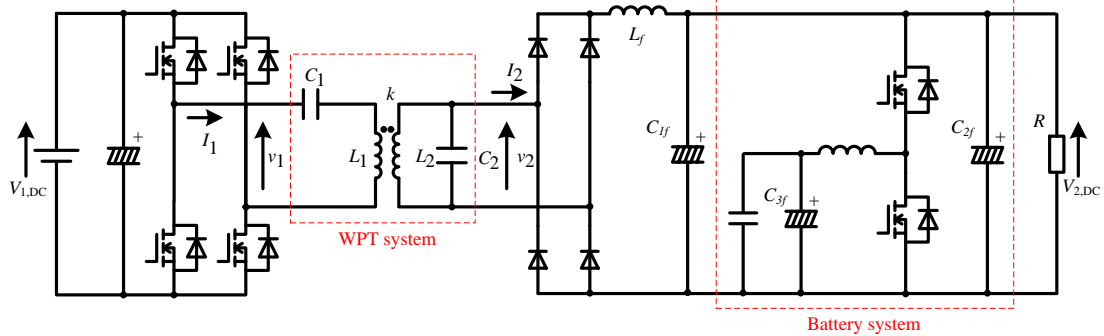


Fig. 1. Configuration of wireless power transfer system

において1次側からみた力率が1になるように設計する⁽²⁾。したがって、(3)式及び(4)式で表される。

$$L_2 = \frac{k\pi^2 V_{2,DC}^2}{8P_{out}\omega_0\sqrt{1+k^2}} \dots\dots\dots (1)$$

$$L_1 = L_2 \left(\frac{8}{\pi^2 k} \frac{V_{1,DC}}{V_{2,DC}} \right)^2 \dots\dots\dots (2)$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega_0^2 L_1 (1-k^2)} \dots\dots\dots (3)$$

$$C_2 = \frac{1}{\omega_0^2 L_2} \dots\dots\dots (4)$$

〈2・2〉 リチウムイオン電池の選定

本システムはリチウムイオン電池から、WPTシステム停止中に負荷側に電力を供給する。リチウムイオン電池の選定にあたっては、実際の建設作業の作業パターンを参考にコイル間の移動を行う場合を想定し、30分間のうち27分間はWPTから負荷に電力を供給し、残りの3分間はリチウムイオン電池から電力を供給することとした。この動作に必要となるリチウムイオン電池の条件を、エネルギー量から選定する。リチウムイオン電池に必要なとされるエネルギー量は、15kWを3分間動作させるため2.7MJである。これを踏まえ、現在市販されているリチウムイオン電池モジュールより公称電圧27.6V、最大充放電電流160Aのリチウムイオン電池のモジュールを適用することとした。ただし、公称電圧27.6Vから2次側直流中間電圧640Vまで昇圧すると、入力電流が充放電電流の許容値を超過する。そのため、充放電電流160A以下にするために、上記のリチウムイオン電池のモジュールを8直列×1並列構成とすると充放電電流の許容値以下の67.9Aにすることが可能である。

3. 実験結果

本実験では安全のためリチウムイオン電池の代替として、充放電電流を制限した回生可能な直流電圧源を使用して実験を行った。

〈3・1〉 ワイヤレス電力伝送が可能な場合

2次側コイルが1次側コイルの直下にあり、電力供給が可能な場合には、WPTシステムから直接掘削機に電力を供給する。図2にWPTシステムの動作波形を示す。2次側直流中間には所望の電圧が得られており、15kW給電可能であることを確認した。なお、本波形では示していないが、ワイヤレス電力伝送中、負荷電力が定格15kWより小さく、かつバッテリーのSOCが低下している場合には、2次側チョップの電流制御によりバッテリーを充電する。

〈3・2〉 ワイヤレス電力伝送が不可能な場合

掘削機が1次側コイル間にあり、電力をWPTにより供給できない場合には、リチウムイオン電池から電力を供給す

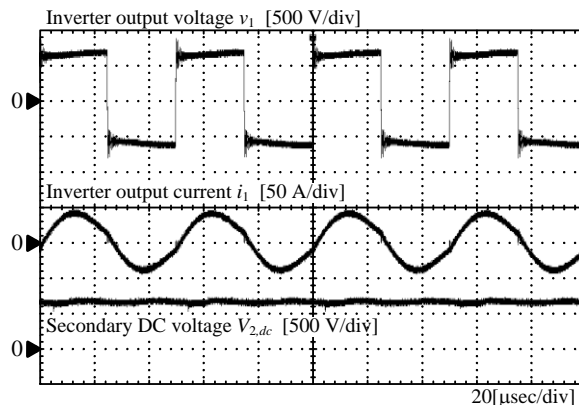


Fig. 2. Operation waveforms of the power supply with WPT.

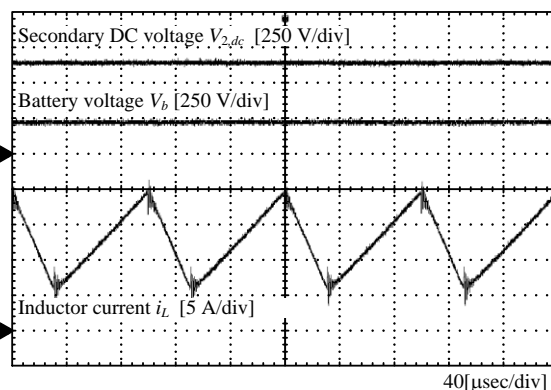


Fig. 3. Operation waveforms of the system without WPT.

る。図3にリチウムイオン電池から掘削機に電力を供給している場合の動作波形を示す。実験設備の都合から、本システムでは3kWを上限として電力を供給した。図3より、リチウムイオン電池から電力を供給することで、WPTにより電力伝送できない期間においても、電力を引き続き供給可能であることを確認した。

4. まとめ

本論文では、レールに沿って移動する建設機械向けWPTシステムに対して、1次側コイル数を削減することを目指し、WPT停止中にバッテリーから電力を供給することが可能な電源システムを開発し、実証試験を行った。その結果、ワイヤレス電力伝送より電力伝送できない期間においても電力供給可能であることを確認した。

文献

- (1) 日下佳祐, 伊東淳一: 「伝送周波数と伝送電力に着目した電磁誘導現象を用いた非接触給電システムの開発動向」, 電学論 D, Vol.137, No.5, pp.445-457, 2017
- (2) Roman Bosshard, Johann Walter Kolar, Jonas Muhlethaler, Ivica Stevanovic, Bernhard Wunsch, Francisco Canales, "Modeling and η - α -Perato Optimization of Inductive Power Transfer Coils for Electric Vehicles," IEEE J. Emerging and Selected Topics in Power Electron., vol. 3, no. 1, pp. 50-64, 2015.