

ワイヤレス給電システムの建物実装および 走行中ロボットへの給電実証実験

崎原 孫周^{*1}・石島 透^{*1}・遠藤 哲夫^{*1}

Keywords : dynamic wireless power transfer, capacitive coupling, robot

走行中ワイヤレス給電, 電界結合, ロボット

1. はじめに

有線によるエネルギー供給からの飛躍として、ワイヤレス給電が注目されている。2007年にMITによる長距離ワイヤレス給電が実証され世界中で研究が活性化し、今日ではモバイル機器のような小電力機器からEVのような大電力機器まで、幅広くワイヤレス給電技術の適用が検討されている。

現在、物流量の増加や人手不足の解消を目的に、工場や物流施設へのAGVやAMRといったロボットの導入が加速することが予想されており、バッテリーに起因する課題、すなわち(1)充電スペースの確保、(2)充電中に稼働する待機ロボット台数、(3)バッテリー交換の

コスト、(4)バッテリー重量による積載量低下、の解決手段のひとつとしてワイヤレス給電に期待が集まっている。筆者らはワイヤレス給電によるロボットやEVへの電力供給インフラの開発を進めており、EVへ連続的に給電する道路の実証実験を実施し、道路から走行中のEVへワイヤレスに電力を供給することに成功している^{[1][2]}。また筆者らは、図-1に示すように建物に導入されるロボットのバッテリーに起因する課題を解決するワイヤレス給電システムの開発も進めている^[3]。

本稿では、技術センターに導入したサービスロボットへワイヤレスに電力を共有可能な床および壁システムを試作し、実証実験を実施した結果を報告する。

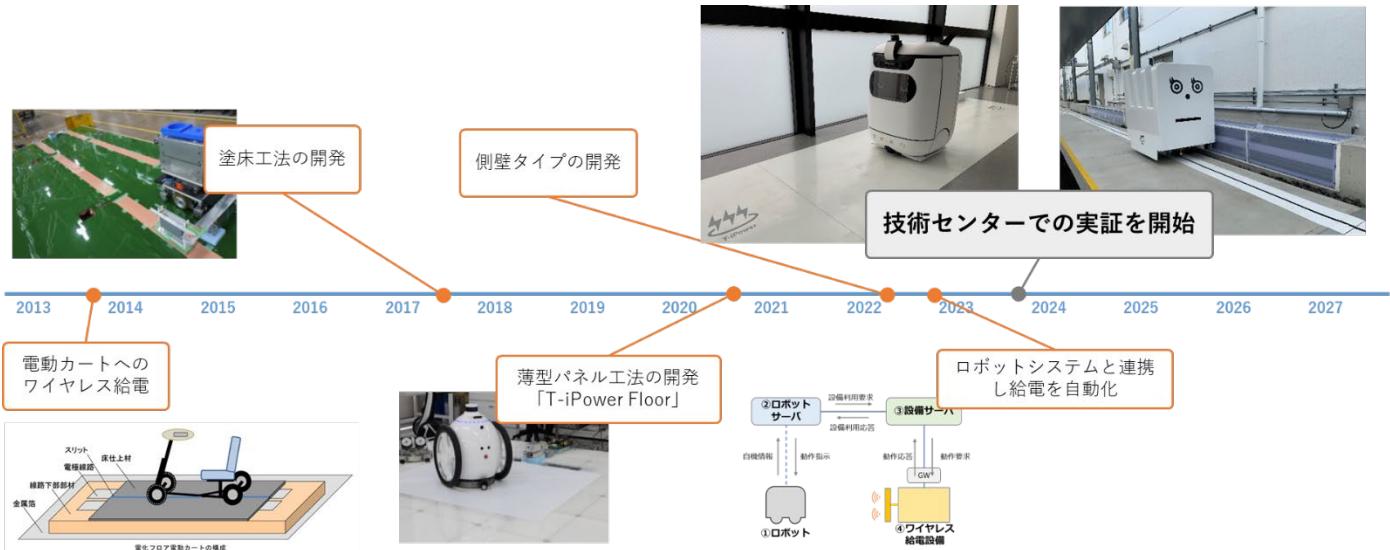


図-1 これまでに開発したワイヤレス給電システム（ロボット関係）

Fig. 1 Wireless power transfer systems we developed.

* 1 技術センター 先進技術研究部 次世代建設技術開発室

2. 屋外走行ロボット用ワイヤレス給電壁システムの試作

2.1 システム構成

図-2 に試作したワイヤレス給電壁の外観図を、図-3 にロボットに取り付けた受電電極の配置イメージ図を、図-4 にワイヤレス給電壁システムの構成図を示す。ひとつの一高周波電源装置は、2 組の送電電極（片側 4550mm 長）に整合回路を介し接続される。ロボットは自身の側面に受電電極を有しており、受電した高周波電力を受電装置（整合回路、整流回路、バッテリーチャージャーなど）により直流電力に変換しバッテリーに供給する。送電電極と受電電極までの離隔距離は 60mm であり、±20mm の位置ずれに対応可能なシステムとして設計している。



図-2 ワイヤレス給電壁外観図

Fig. 2 View of wireless power transfer wall

2.2 ロボットと建物の連携

従来のロボットの多くは接触型充電ドックが用意されており、自動で駐機し充電することができるが、機種固有であるため異なるロボット同士で共有することができない。また、同メーカー製の同型ロボットであ

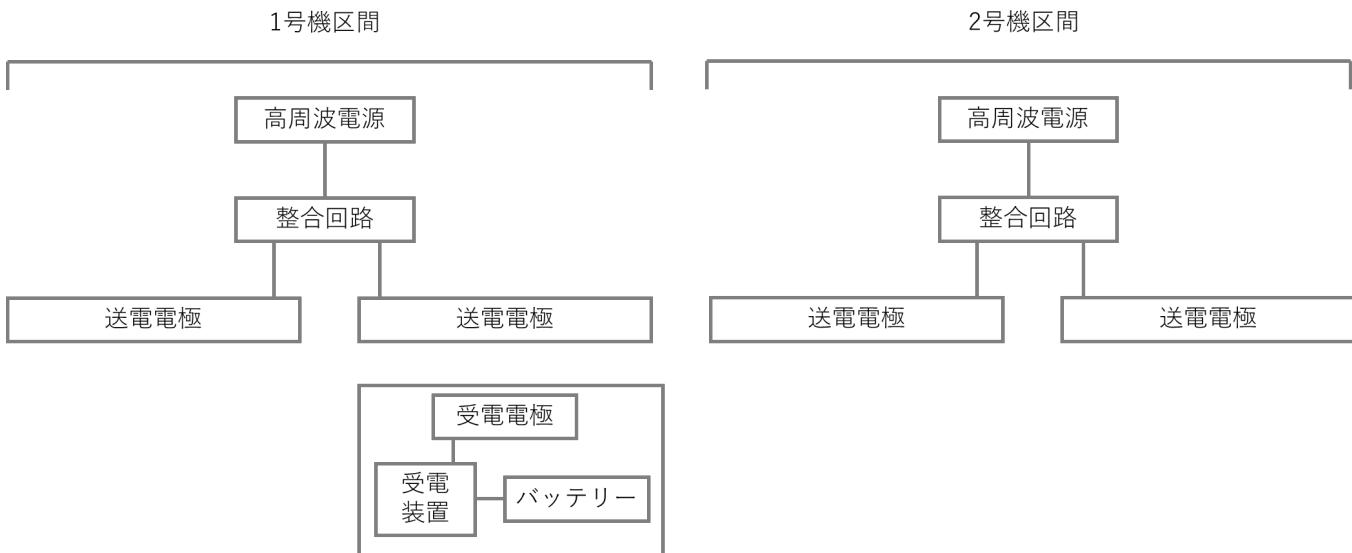


図-4 ワイヤレス給電壁システム構成図

Fig. 4 Wireless power transfer wall system configuration

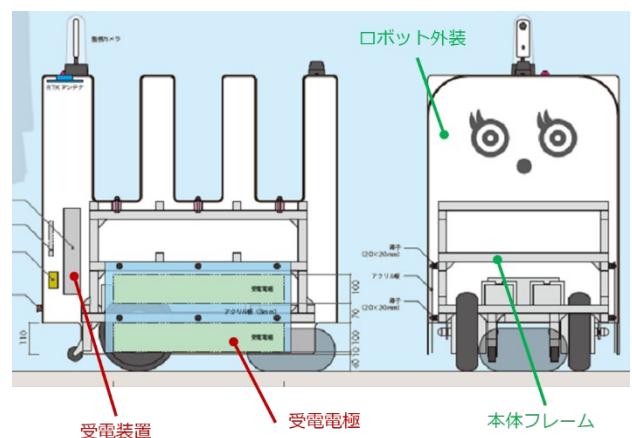


図-3 ロボットへの受電電極取り付けイメージ

Fig. 3 Robot with power receiving electrodes attached

っても、充電器を設置した位置がそのロボットの駐機位置として紐づけられていることが多く、基本的にはロボット 1 台につき 1 基の充電器が必要となる。他方で、エレベーターや自動扉等の建築設備を例にすると、ロボットが連携するための共通プラットフォームによる建物連携システムの整備が進んでおり、異種ロボットが共通のルールで設備と連携できるようにする動きがある。

そこで今回の実証では、ワイヤレス給電システムを新たな建築設備として捉え、複数のロボットが1つの充電システムを共有することを想定したシステム構成および動作シナリオを設定した。

図-5 にブロック図を示す。本システムは主に、①ロボット本体・②ロボットサーバ・③設備サーバ・④無

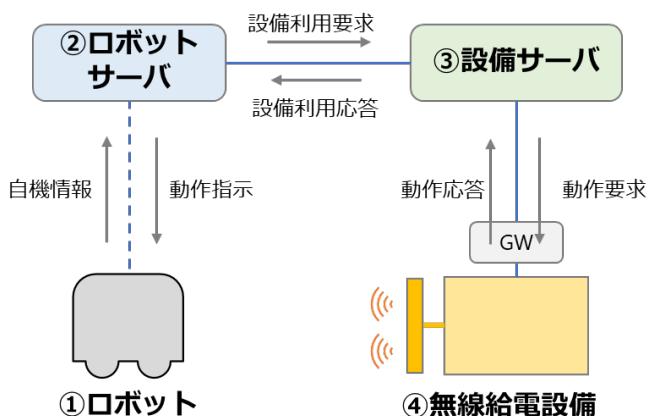


図-5 建物連携システムブロック図

Fig. 5 Building information linkage system

線給電設備の4つ要素で構成される。②および③はロボットプラットフォームとして同一パッケージで構成されることもある。図-6は、①～④の役割を説明するための充電開始時を例にしたシーケンス図である。

2.3 信号レベルでの伝送効率実験

システムの検証として、送電側の整合回路入力口から、受電側の整合回路出力口までの効率 ($|S_{dd21}|^2$) をベクトルネットワークアナライザ(VNA)により測定した。送受電電極の対向面積が最大とならない柱付近においては進行方向に250mm刻みで測定し、給電壁区間内においては1000mm刻みで測定した。またロボットが横ずれした際安定した電力供給が可能か評価する

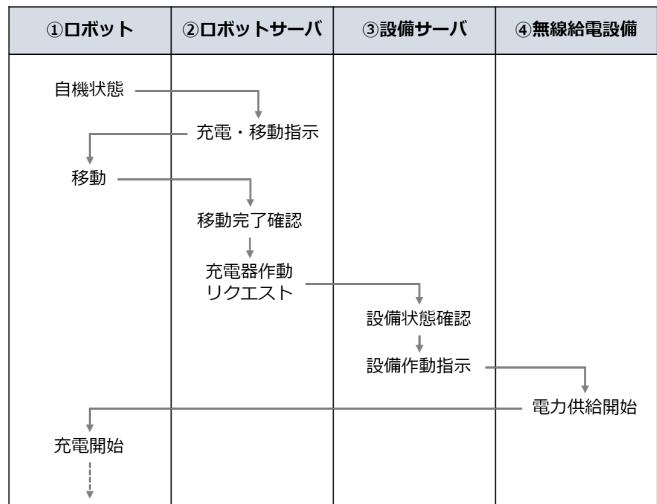


図-6 連携シーケンス図（充電開始時）

Fig. 6 Linkage sequence

ため、進行方向から見て左右に20mmずらした場合の測定も実施した。紙面の都合上図-4における1号機区間で測定した結果のみを図-7に示す。給電壁区間（対抗面積が最大となる区間）においては安定した効率が保たれていることに対し、柱区間においては効率が低下していることがわかる。これは送受電電極の対抗面積が最大とならないことにより整合がずれることが原因である。

さらに、路面の不陸やタイヤの空気圧などの影響による高さ方法の位置ずれの影響も評価した。評価結果

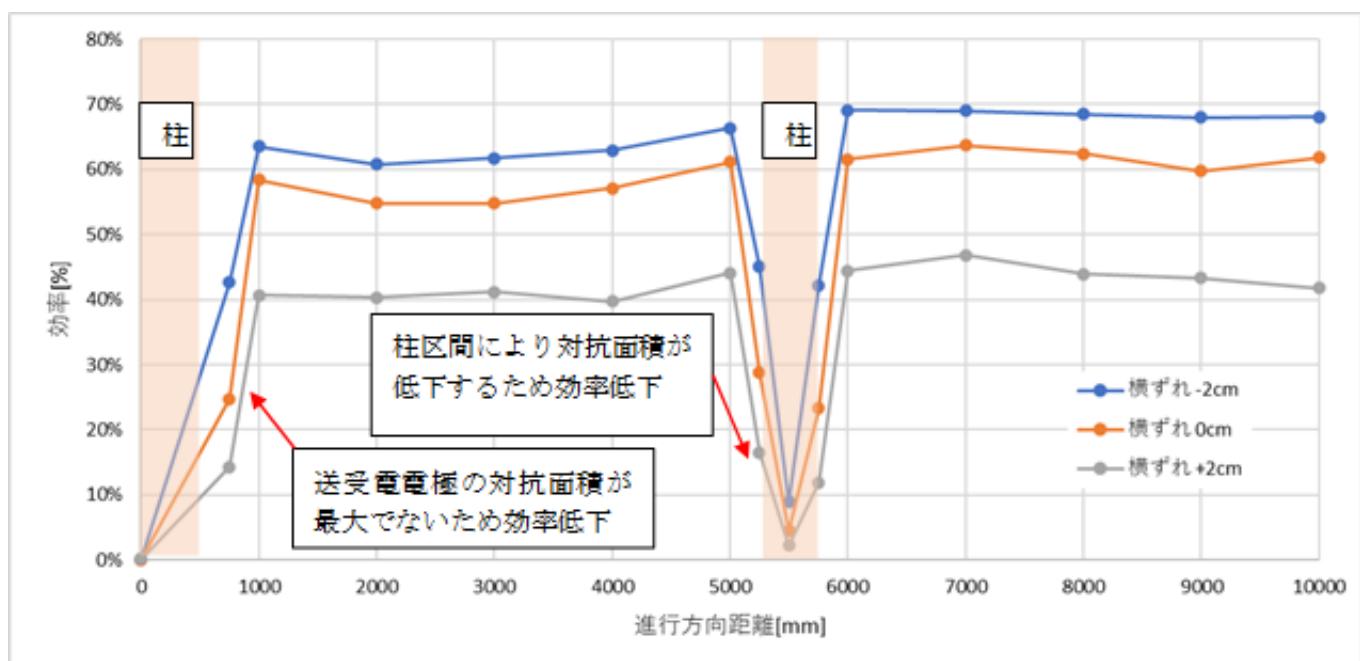
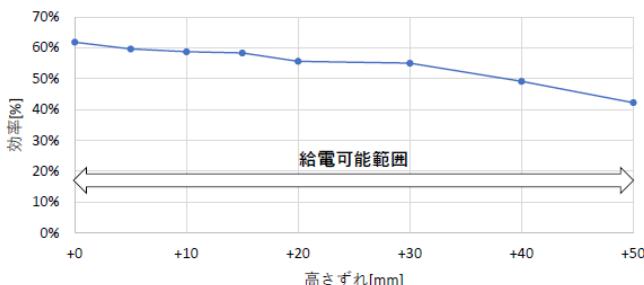


図-7 進行方向における小信号特性結果

Fig. 7 Small signal characteristics



を図-8に示す。測定位置は進行方向 1000mm の位置と

図-8 高さずれの評価結果

Fig. 8 Results of height shift impact assessment

した。図-8より、高さ方向に最大 50mm ずれた場合においても給電可能となることが分かった。これらの結果より、ロボットが走行状態にあっても安定的に電力を供給可能となることと判断した。

2.3 給電実験

図-9に、ロボットおよび送電装置の動作順序を示す。対象ロボットは、ワイヤレス給電システムのデモンス

トレーションだけではなく、施設見学者への帯同や荷物搬送を行う役割がある。そこで、ワイヤレス給電による充電を一つのジョブとして定義し、他のジョブと合わせて一連の動作として実行するようにした。また、対象ロボットは LiDAR を用いた自律走行が可能であるが、送電電極との間隔を安定させるため、給電区間のみライントレースによる走行制御を行っている。

本構成により実際に充電タスク実行中の送電側電力およびロボットの充電電力を計測した結果を図-10に示す。また実験風景を図-11に示す。送電側は約 220～245W で送電しており、対象ロボットの走行中の横ずれによって整合条件が変動することから、わずかに出力電力の変動が見られた。ロボット側は約 93.5W で充電しており、バッテリーチャージャーを介することで、変動を吸収し安定した充電電力が得られた。対象ロボットは走行時に約 67.6W の電力を消費するため、電力収支としては約 26W 充電しながら走行が可能であった。

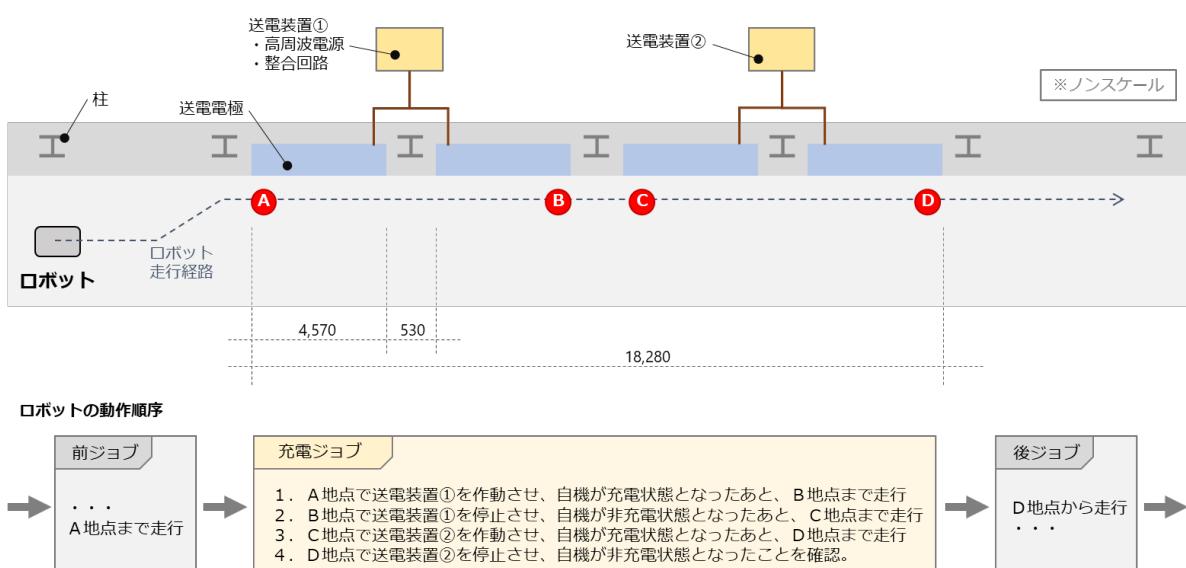


図-9 ロボットおよび送電装置の動作

Fig. 9 Operation of robot and power transfer device

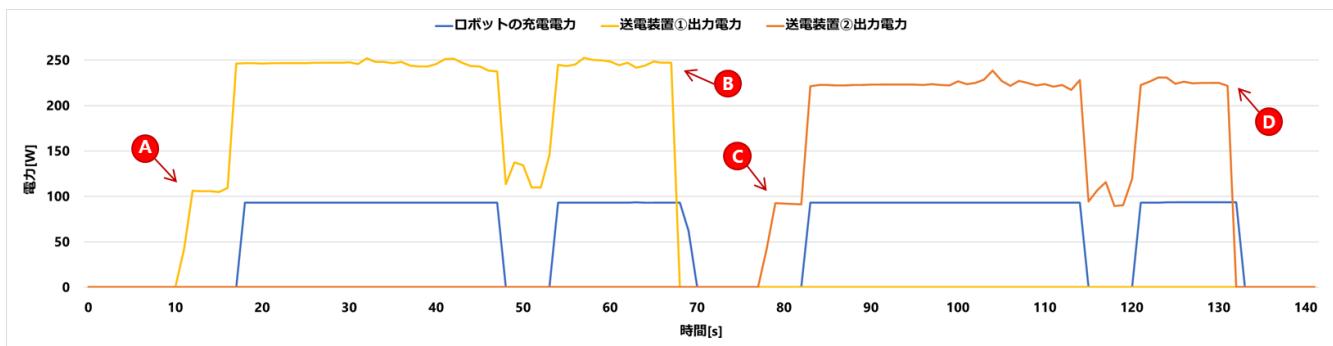


図-10 ロボットの充電電力と送電装置の出力電力

Fig. 10 Charging power of robot and output power of power transfer device

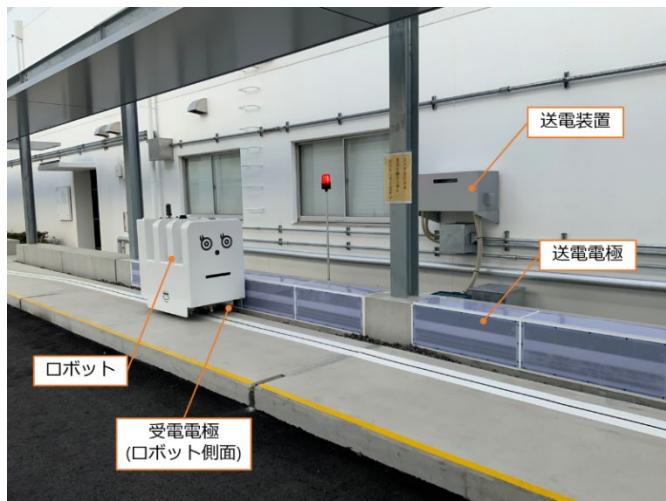


図-11 ワイヤレス給電壁を用いた
走行中ワイヤレス給電実験風景

Fig.11 Experimental scene of wireless power transfer to running robot

3. まとめ

本稿では屋外を走行するロボットに壁面から電力を供給可能なワイヤレス給電壁システムについて報告した。ロボットが給電壁に沿って移動する場合の効率をVNAを用いて評価し、横ずれ20mmの範囲内において

は40%以上の効率となることを確認した。また、高さ方向のずれに関しては最大50mmのずれまで許容可能であることを確認した。

またワイヤレス給電装置を設備サーバなどを介し送電ON/OFF制御することが可能なシステムを構築した。本システムを用いて走行中のロボットに対する給電実験を実施し、結果自動的に走行中のロボットへ給電が可能であることを確認した。

今後、技術センターにおける実証実験を継続し、走行中給電に関する課題の抽出と解決を行う。また、バッテリーの充電時間の短縮やバッテリー搭載上の削減など、走行中ワイヤレス給電によるユーザメリットを整理し、実用化検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 崎原孫周, 遠藤哲夫, 大黒雅之: ワイヤレス給電技術の建設分野への適用, 大成建設技術センター報, 第57号, 52, 2019.
- 2) S.Sakihara, et al.: A Demonstration of Wireless Power Transfer Roadway System based on Electric Field Coupling, EVTeC2023, Yokohama, 2023.
- 3) 崎原孫周, 遠藤哲夫: ワイヤレス給電内装床の開発, 2021年度日本建築学会大会, 40252, 2021.