

磁気共振方式を用いた非接触給電における 複数端末に対する効率と公平性の検討

関 邦洋† 小花 貞夫‡ 湯 素華‡

電気通信大学 情報理工学部†/大学院情報理工学研究科‡

1. はじめに

携帯端末や自律可動型ロボットはいかなる環境下においても半永久的な稼働を実現するため、非接触給電/WPT(Wireless Power Transfer)を用いる方式が提案されている。しかし、現在主流の無線給電では有線給電に比べ効率が大幅に劣り[1]、実用には難しい。また、従来の電磁誘導と似た原理で動作する磁気共振方式は伝送可能な距離が比較的長くかつ効率が良いという特徴を持つが、これまで主に給電機に対し受電機1台の環境下における研究が主流である。同時に複数台に対して給電する場合、効率よく給電できる見込みであるが、端末間の受電量に格差が生じ公平性が悪くなるという問題がある。本稿では、磁気共振を用いた1対多のワイヤレス給電における複数端末間の公平かつ効率的な分散給電手法を検討しており、それについて報告する。

2. 関連研究と検討手法の概要

2.1. 関連研究

磁気共振の給電を取り扱った例として[2][3]がある。[2]では、複数端末への同時給電においては近くの端末が多く電力を取り、一方遠くの端末は少ししか電力を取れないという受電電力に格差が出る遠近問題があることを示した。その解決のために近くの端末の負荷を増やし、遠くの端末に電力を行き渡らせる方法を提案している。しかしここでは送電機側の送電限界が考慮されておらず、近くの端末を結果として犠牲するなどの問題点がある。[3]では効率が良くなるインピーダンスマッチングを扱っているが、あくまでも受電機1台での条件下である。

2.2. 検討手法

本稿では複数受電機に対する分割給電の手法を検討する。本手法は、給電対象の端末を1台のみあるいは複数台の形で相互インダクタンス

を参照してグループ化し、グループ単位でスケジューリングを行い給電することにより、限られた時間内及び送電電力で効率よく給電可能とすることを旨とする。

3. 理論計算

3.1. 計算概要

端末のグループ化を行うための基準を決めるための理論計算を行った。[2][3]を参考に以下のように定義した。

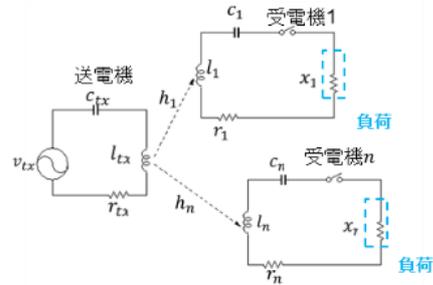


図 1: 給電回路

$$x_n = \sqrt{1 + \frac{(\omega h_n)^2}{r_{tx} r_n}} \quad (1)$$

$$p_{tx} = \frac{1}{2} \text{Re}\{v_{tx} i_{tx}^*\} = \frac{|v_{tx}|^2}{2} \frac{1}{r_{tx} + \omega^2 \sum_{k=1}^n h_k^2 (r_k + x_k)^{-1}} \quad (2)$$

$$p_{tx} = \frac{1}{2} \text{Re}\{v_{tx} i_{tx}^*\} = \frac{1}{2} v_{tx} i_{max} \quad (3)$$

$$p_n = \frac{1}{2} x_n |i_n|^2 = \frac{|v_{tx}|^2}{2} \frac{\omega^2 h_n^2 x_n (r_n + x_n)^{-2}}{(r_{tx} + \omega^2 \sum_{k=1}^n h_k^2 (r_k + x_k)^{-1})^2} \quad (4)$$

$$p_n = \frac{1}{2} x_n |i_n|^2 = \frac{1}{2} \frac{\omega^2 h_n^2 x_n}{(r_n + x_n)^2} (i_{max})^2 \quad (5)$$

表 1: 使用パラメータ

送電機の電圧(V)	25√2
受電機の内部抵抗r _n (Ω)	20
送電機の内部抵抗r _{tx} (Ω)	1.344
角周波数(電源周波数) ω _n = 1/√L _n C _n	42.6×10 ⁶ (6.78MHz)
送電限界i _{max} (A)	0.5
給電量目標(Wh)	10
グループ給電端末配置	25, 50, 75, 100cm
送受電機間の相互インダクタンスh _n (H)	
受電機の負荷インピーダンスx _n (Ω)	

(1)式は送受電機間のインピーダンスマッチングを行い効率の向上を見込む[3]、(2)及び(4)式は送電限界電流に達する前の送受電電力[2]、また(3)及び(5)式は送電限界電流に達した後の送受電電力を表す。

相互インダクタンスは送電機と受電機の距離及び角度により決定されるが、簡単化のため角

Studies on Efficiency and Fairness of Wireless Power Transfer to Multiple Terminals via Magnetic Resonant Coupling†

† Kunihiro Seki ‡ Sadao Obana ‡ Suhua Tang

† Faculty of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

‡ Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

度を0と固定し、距離のみに依存させる。

計算では、給電にかかる時間を様々な距離において端末を単独またはグループ単位で給電を行い給電に要する時間を算出し、それらを比較して、グループに適する距離の条件を求め、それを元にグループ化した。またその際の固定された給電時間に対する効率や公平性を算出した。

3.2. グループへの適正台数の算出

同一距離の複数端末に同時に給電し、それらの給電にかかる時間を端末台数で除したものを図2に示す。値が小さいほど、給電時間が相対的に短い。

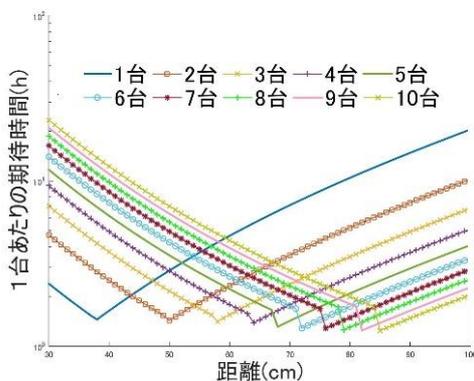


図 2：最適な台数の算出

図2より、送電機からの受電機の距離が遠くなるほど複数台を同時に給電する場合の端末ごとの給電時間が短くなる。逆に距離が近い時は端末数を減らすほうが給電時間が短くなるのがわかる。ただし、一定以上の距離を超えることで再び給電時間が延びることも確認できる。

以上の結果より検討手法を、①受電機からの距離が最短の端末をベースに端末を含めてグループ化と②グループに含まれない端末が出た場合一定以上の距離がある端末を近い端末のグループに含めると定義する。

3.3. 検討方式における公平性と効率の評価

総給電時間は1時間と仮定し、比較方式として1台ずつ給電を行い同等の量を給電したケースと同時に一斉給電した場合とで比較する。検討手法は暫定的にグループごとに半分ずつの時間とする。検討手法によるグループは、グループ1:25cm端末、グループ2:50, 75, 100cm端末となる。比較結果を表2に示す。

表2より、検討方式では、1台ずつのケースに比べ公平性がやや劣るが効率で大幅に勝り、一方同時給電に比べると、効率で少し劣るが公平性では大きく勝ることが分かる。

表 2：一定時間内の給電効率・公平性の比較

	効率 (%)	公平性
1台ずつ給電	21.4	1.00
同時給電	96.7	0.39
検討方式	85.3	0.73

3.4. スケジューリングによる影響

グループごとに給電スケジューリングを行う際の効率と公平性の関係を調べるために、3.3におけるものと同一の条件で、給電時間をグループ1とグループ2で全体時間に対して比で分割して、グループ1:グループ2の給電時間を100:1, 1:1, 1:100の範囲で変化させた。その結果を図3に示す。

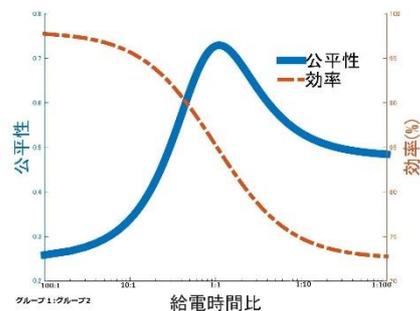


図 3：相対時間を変化させた時の公平性と効率

図3より公平性と効率の完全な両立は出来ないが、時間配分を調整することで、公平性と効率を調整できることが確認できる。

4. おわりに

本稿では、磁気共振を用いた無線給電における複数端末への給電を行う上で分割給電を行うための受電端末のグループ化の基準を明確にし、グループ単位の最適なスケジューリング方法を検討した。また、従来手法に比べて公平性と効率の犠牲が少ないことを確認した。今後、グループ化に必要なグループからあふれた端末の具体的な取り扱いについての策定や、現時点では限定的な条件のみであるためスケジューリングにおいて要求される公平性と効率の関係について実環境を想定したシミュレーションを行い求める。

参考文献

- [1] L Xie *et al.*, "Wireless power transfer and applications to sensor networks," IEEE Wireless Communications, vol.20, no.4, pp.140-145, 2013.
- [2] Mohammad R. Veday Moghadam, *et al.*, "Multiuser wireless power transfer via magnetic resonant coupling: Performance analysis, charging control, and power region characterization," CoRR abs/1504.08090, 2015.
- [3] M. Kesler, "Highly resonant wireless power transfer: Safe, efficient, and over distance," WiTricity Corporation, 2013.