

BCS-1-21

車両上部へのキロワット級マイクロ波無線給電システムの開発

Development of a kW Class Microwave Wireless Power Supply System to a Vehicle Roof

久保勇太
Yuta Kubo篠原真毅
Naoki Shinohara三谷友彦
Tomohiko Mitani京都大学生存圏研究所
Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University

1 まえがき

近年、非接触給電技術が脚光を浴びており、近距離送電に関しては電磁誘導や電磁共鳴の技術進展が目覚ましい。一方、比較的長距離以上になると無線の自由度を活かした無線電力伝送の利用が圧倒的に優遇される。本研究では、この長距離性と自由度を活かした無線電力伝送システムの開発として、車両上部への無線給電システムに取り組む。特に、図1に示すように駐停車中の大型冷却冷凍トラックの冷却機能維持を賄うための大電力無線給電システムに焦点を当てる。

高さ約5mの送電スタンドの先に取り付けられた送電アンテナから、車両上部の1m²のレクテナ(白色の四角)に対して10kWの大電力無線給電を行うことを想定する。図1において、緑色で示した円筒はアンテナからの理想的な放射イメージ(高指向性かつ低サイドローブ)で、赤色および黄色の半円はそれぞれアンテナ開口面から半径1mおよび3mを表している。本研究では安全性確保と高効率の両立を目標とした図1中の理想放射イメージのようなアンテナ開発にまず取り組む。電波防護指針の安全基準による制約として、アンテナから半径3mの位置(黄半円)、つまり車両外の身長2m強の人の頭部程度の位置において、10W/m²を下回るような送電アンテナの開発が要求される。

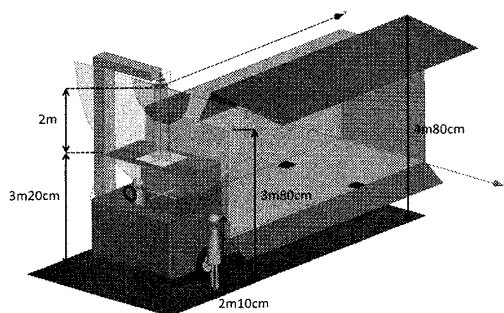


図1 仮眠時間帯などにおける駐停車中の車両上部へのマイクロ波無線給電システム

2 HFSSを用いた3種類の送電アンテナの近傍電界解析

大電力かつ安全な送電を行うためには、大電力許容かつ高指向性のアンテナが要求され、さらにインフラとして安価であるべきことを考慮し、送電アンテナとしてホーンアンテナを採択する。角錐ホーン、金属板レンズ装荷角錐ホーン、および誘電体レンズ装荷円錐ホーンのそれぞれについて、各送電アンテナから半径3mの位置

における近傍電界解析を行なった。

2.1 角錐ホーン単体の近傍電界解析

ホーンアンテナ単体と2.2節で説明する金属レンズを図2に示す。図2において、ホーンアンテナ開口面中心と電力投入部中心とを結ぶ直線(長さ L)と金属レンズ垂直方向とが成す角を α とし、角度 α における赤線の長さを R とする。この R は2.2節で説明するように、電力投入部を一つの焦点とする楕円を描いており、この楕円を x 軸まわりに360度回転させてできる楕円球面に沿うようにして金属レンズを設計する。尚、 x 軸方向を放射方向つまりアンテナから見たレクテナの方向とし、見易さのためアンテナを xz 平面で二つに分断した。

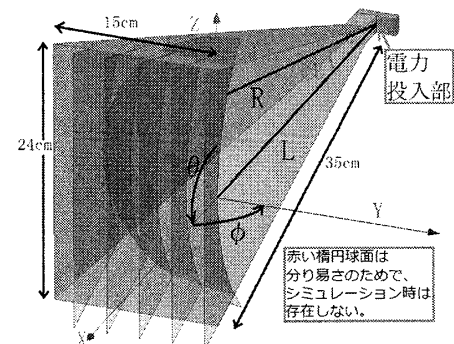


図2 ホーンアンテナ(灰色)と金属レンズ(水色)

ホーンアンテナ単体の解析結果を図3に示す。横軸 ϕ と縦軸 θ は図2の ϕ と θ に対応している。各送電アンテナへの投入電力はそれぞれ10kW、周波数5.8GHz(波長5.17cm)とする。図3中の赤四角は $x=3m$ における1m角のレクテナを示している(後の図4および図6も同様)。このレクテナ枠内に平均20dBi以上、かつ枠外に平均-10dBi以下という条件を満たせば防護指針の安全基準を満足することを見積もった。したがって、最大電界強度から境界の電界強度にかけて少なくとも30dBの差ができる高指向性かつ狭指向性ビームをつくる必要がある。図3の電界強度(dB表示)において最大値を20dBiに正規化し、スケールの上限を20dBi、下限を-10dBiとした(後の図4および図6も同様)。これらの図において、カラーグラデーションがレクテナ枠内に収まっていれば安全基準を満たしていることになる。

レクテナ枠外に電界がはみ出しているため安全基準を満たしていない。ホーンアンテナ単体では総受電システムに不適な指向性であると言える。したがって、レクテ

ナ枠内にビームが収まるためには、より狭指向性のアンテナ開発が要求される。

アンテナの指向性を高める手法として、レンズの収束作用を用いたレンズ装荷アンテナが一般的に知られている。これは球面波がレンズにより平面波に変換されるという性質を利用したアンテナである。これを用いれば、レクテナ枠内に電力が集中するような狭指向性が期待でき、同時に枠外への無駄な電力を抑制することで安全基準を満足できると考えられる。一般的なアンテナ装荷用レンズには誘電体レンズと金属レンズが挙げられる。

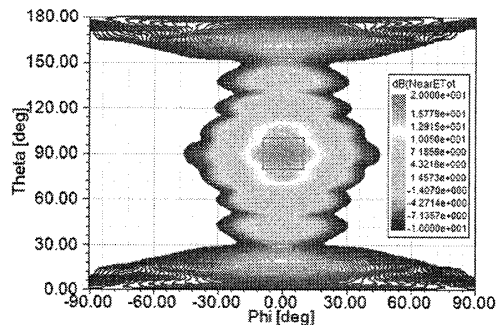


図3 角錐ホーン単体の近傍電界分布

2.2 金属レンズ装荷角錐ホーンの近傍電界解析

開口付近に金属板を配列する金属板レンズを用いた角錐ホーンの解析を行なった。金属板レンズでは、 z 軸方向と平行の電界をもつ電磁波が金属板間に進入すると位相速度が増加することを利用している。金属レンズの屈折率 n は、真空中波長 λ_0 と金属版間隔 b から $n = \sqrt{1 - (\lambda_0/2b)^2}$ により求められる。波長 5 cm が遮断波長とならないように $b = 3$ cm とする。屈折率 n 、長さ L および角度 α を楕円幾何から求められる式 $R = (1 - n) \cdot L / (1 - n \cos \alpha)$ に代入し楕円曲面形状を決定した [1]。解析結果を図4に示す。ホーン単体の電界分布に比べ狭指向性が得られた。しかし安全基準を満足しておらず、不要放射が ϕ 方向に拡散している。これは、金属レンズからの反射により内部に定在波ができ電磁界が乱れ、結果的に放射が乱れ得ることが拡散原因の一つとして挙げられる (アンテナ単体時 $|S_{11}| = -24$ dB、レンズ装荷時 $|S_{11}| = -10$ dB)。また、金属レンズは物理的不連続な近似レンズであり、フェーズドアレーの様な放射が生じている。

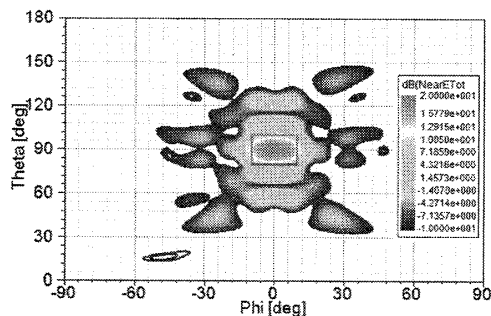


図4 金属レンズ装荷角錐ホーンの近傍電界分布

2.3 誘電体レンズ装荷円錐ホーンの近傍電界解析

図5に示すように開口付近に誘電体レンズを用いた円錐ホーンの解析を行なった。誘電体レンズを用いることで、金属レンズのような近似的要素を排除できると考えられる。また、レンズによる反射を抑えるため、内部レンズ (誘電率 3.4) を外部レンズ (誘電率 1.84、厚み $\lambda_{\text{outerlens}}/4$) で覆う形とした。内部レンズが主たるレンズで、外部レンズが整合層の役割である。なお、レンズの曲面は電力投入部を焦点とした双曲線曲面である。解析結果を図6に示す。レンズ効果により狭指向性が得られた。また、 $|S_{11}| = -29.1$ dB であることから整合層の効果で反射が抑制され、金属レンズ装荷時のような散乱が解消されている。しかし、ビームがレクテナ枠内に収まりきっていないため、更なる改良が必要である。

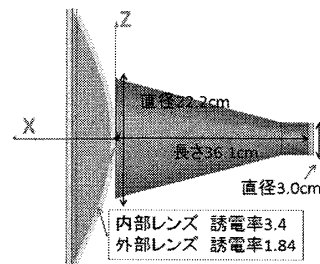


図5 円錐ホーンと誘電体レンズ

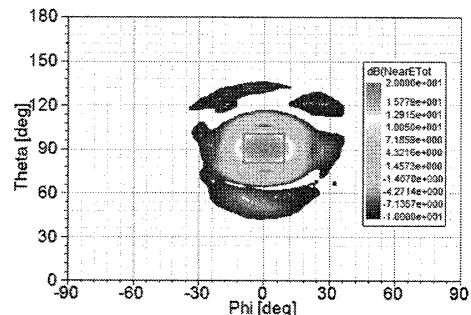


図6 誘電体レンズ装荷円錐ホーンの近傍電界分布

3 まとめと今後の取り組み

安価で高指向性かつ大電力を給電できるホーンアンテナを送電アンテナとして選択し、放射電力を 10 kW とした場合において、開口面から半径 3 m における電界分布の解析を行なった。しかしながら、狭指向性かつ電波防護指針規定の安全基準を満足するような電界分布が得られなかった。そこで、より狭指向性なアンテナを開発すべく金属レンズ装荷ホーンを解析した結果、ホーン単体に比べ狭指向性を得たが不要放射が拡散してしまった。誘電体レンズを導入することで、狭指向性に加えて金属レンズによる反射や拡散を抑制することができた。今回はアンテナ単体での工夫により 30 dB 以上の指向性を試みたが、レクテナ枠内に収まり切らなかった。今後は引き続きレンズアンテナの改良に加え、サイドローブの低いコルゲートホーンの開発、各種アンテナのアレイ化に取り組む予定である。

参考文献

- [1] 前田憲一、『電波工学』, 共立出版株式会社。