

狭指向性を用いたマイクロ波無線電力伝送の受電電力分布に関する検討

日大生産工(院) ○鹿志村 亮介 日大生産工(学部) 水野 誓也 日大生産工 関 智弘
NTT ドコモ(株) 鈴木 恭宜 岡崎 浩司

1. まえがき

マイクロ波無線電力伝送システムは、マイクロ波を用いた無線電力伝送方式の1つである。主に「送電部」と「受電部」の2部から構成され、電力伝送には送電・受電アンテナを用いる。ここで「受電部」は一般的に、受電アンテナと整流回路を組み合わせた「レクテナ」と呼ばれる装置である。このシステムは、マイクロ波を用いて電力伝送ができるため、他の無線電力伝送システムと比較して電力伝送距離が長い特徴をもつ。だが、その反面送電距離が長くなるほど電磁波の拡散によるロスが増加し、伝送効率が劣化する傾向がある。さらには受電アンテナが収集できなかった送電電力の一部が、他の無線通信システムと干渉問題を引き起こすことが懸念されており、実用化には解決しなければならない課題も多い。そこで我々の研究室では、地上での無線電力伝送を実現するために、送電アンテナの指向性ビーム幅を受電アンテナ面にすべてが収束するような狭ビームによる伝送を考える。またこのようなシステムを「狭ビーム無線電力伝送システム」と呼び、上述の課題を解決しながら、システム総合効率を改善できるシステムとして提案し、これまでの先行研究で有効性を明らかにしている。しかし、その一方で、伝搬距離や受電アンテナの大きさ、送電時の指向特性によっては、受電アンテナ面でアンテナ素子位置による受電電力の偏りが起きるといった新たな課題がうまれる。具体的には、送電アンテナと受電アンテナが対向しているとき、受電面の中心は電力レベルが強く、アンテナ端にいくに連れて電力は弱くなる電力密度分布が生じる。ここでサブアレイ受電後の整流回路では、十分な電力が得られない箇所が発生し、受電アンテナの端では変換効率が劣化する。そこで本稿ではこのような諸問題を解決するために受電アンテナ面における不均一な電力分布を均一化する手法として、積層レクテナアレイアンテナを提案する。具体的には、サブアレイのアンテナ利得をアンテナの積層による利得の改善を目指し、システム総合効率の向上を目的とする。

2. 多層レクテナアレイアンテナ

2.1 レクテナアレイアンテナ

図1に、マイクロ波無線電力伝送で用いられる平面レクテナアレイアンテナの概略図を示す。一般的に、同アンテナはサブアレイアンテナをアレイ化することで、高利得化と開口面積の確保を実現し、高いビーム収集効率を得ている。また、アレイを構成するサブアレイアンテナは、複数のマイクロストリップアンテナ (Microstrip antenna : MSA) を束ね、整流回路を接続したもので、ブロックアレイとも呼ばれる(以後: ブロックと呼ぶ)。ここで従来システムでは、受電アンテナに到達するマイクロ波は、電磁拡散が進んだ平面波で伝搬されるため、各ブロック構成とブロック間距離が一定でも受電電力は均一に得ることができる。また総合効率は、整流回路のRF/DC変換特性に依存する。しかし、狭ビームによる無線電力伝送の場合、電力分布の均一性は、各ブロックのアンテナ利得を調整して送電電力分布とは逆の特性の受電パターンをブロック配置で再現する必要がある。ここで利得の調整には、ブロックの開口面積を拡大する方法と、MSAを積層する多層化が挙げられる。となると、電力強度の弱い箇所に対して広いブロックを設ければよいという考えとなるが、受電アンテナは有限長をもつため、アンテナ端で大きすぎるブロックはアンテナ中央のブロックの利得を急激に減少させる原因となるため避けなければならない。つまり、アンテナのブロック面積は、中央から端にかけて大きなブロックが配置される構成となる。また、このとき所望の利得が再現できなかった場合には、積層配置による利得の改善が必要になる。

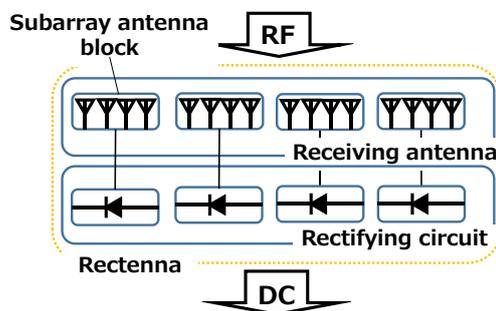


図1 平面レクテナアレイアンテナ

High Efficiency Improvement of Wireless Power Transmission System Using the Narrow Beam

Ryosuke KASHIMURA, Seiya MIZUNO, Tomohiro SEKI,
Yasunori SUZUKI and, Hiroshi OKAZAKI

2.2 ブロックの多層化

図2に本稿で提案する多層レクテナアレイアンテナモデルを示す。本検討では受電面内の電力均一化のために、レクテナアレイに対し、無給電素子を多層化して高利得化を狙い、受電面内の利得を積層数で制御できるようにする。また図2(b)のように最上層から下層にいくにつれて、MSAの配置数を減らし、アンテナ端に向かってアンテナ素子が疎になるような配置で実現する。ここで、積層数については送電アンテナの利得のピークを、提案レクテナの最端ブロックで再現できる層数としている。

一例として、本提案では受電アンテナを2×2、4×4、8×8、16×16素子ブロックで計4系統のブロックを組み合わせた構成について検討する。ただし、電力伝送システムのアンテナ間距離10mで送電アンテナのビームは受電面にほぼ収束し、アンテナ端での受電電力はアンテナ中心の受電電力の-10dBの電力を得るシステムを想定している。送受電アンテナ緒元は表1に示す。

表1 送電・受電アンテナ緒元

	送電アンテナ	受電アンテナ
設計周波数	24 GHz	24 GHz
アンテナ長	1 m×1 m	1 m ×1 m
素子間隔	$\lambda/2$	$\lambda/2$ (※1)
素子数	161×161	161×161 (※2)
積層数	1層	5層

※1 ブロックを構成するときの素子間が $\lambda/2$ とする。
 ※2 大きさの異なるブロックを合計した場合の総アンテナ素子数を意味する。

3. 解析結果

図3に送電アンテナと受電アンテナを構成する各ブロックの指向性パターンを示す。同図より、受電アンテナ端の16×16ブロックに対して、無給電素子の積層化による利得の制御を行なうと、送電アンテナの最大利得と同利得が得られるようになった。また同様にして他のブロックに対しても2, 3, 4, 5層の無給電素子を用いて利得の制御を行ない、同等の効果を確認できた。この無給電素子の多層化に利得の向上の効果が認められたため、図4に受電アンテナ面の受電電力分布の改善効果を示す。解析結果より、中央の受電電力は下がるものの、従来の平面レクテナアレイアンテナのときには改善できなかった、アンテナ端の電力が補償された。

「参考文献」

1) 石澤 禎弘, “マイクロ波無線電力伝送用アンテナ系の効率推定”, 信学論, vol. J81-B-II, no. 6, pp. 592-600, June 1998.

4. まとめ

狭ビーム無線電力伝送システムで想定される受電面内の電力分布差を均一化するために、送電アンテナの指向性パターンとは逆のパターンの受電パターンを再現する多層レクテナアレイアンテナを提案した。具体的には受電アンテナのアンテナブロックをアンテナ端に行くにつれて大きな開口面積となるように配置し、十分な利得が得られなかった場合に、無給電素子の多層化によって利得の改善を行なった。解析結果より、伝送距離が30mで送電アンテナのビーム幅が10deg.以下の狭ビーム伝送の場合、4系統のブロックを作成し有効に並べ、アンテナの積層数を5層にすることで受電アンテナの電力分布を均一化することが可能であることがわかった。

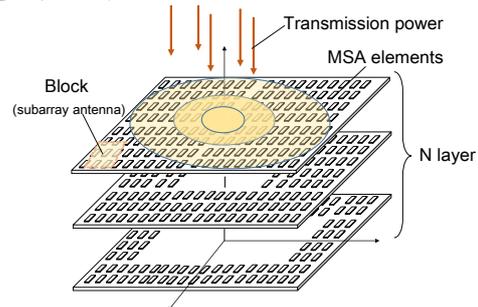


図2(a) 多層アレイアンテナのイメージモデル

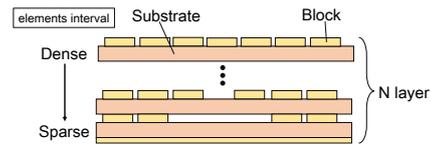


図2(b) 積層イメージ

図2 多層レクテナアレイアンテナ

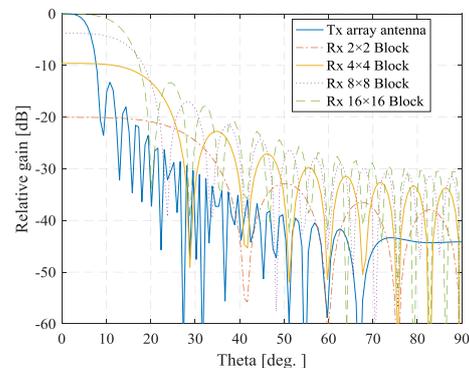


図3 送受電アンテナの指向性パターン

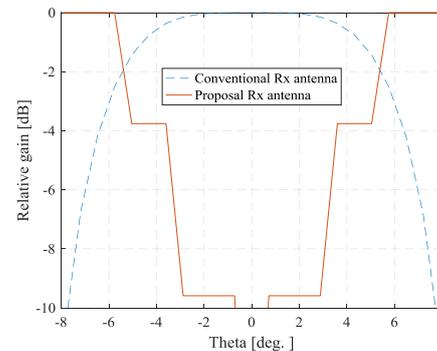


図4 従来構成の電力分布と提案構成の電力分布図