

TR-AC-0040

004

電力受電用円筒コンフォーマル
レクテナアレーの研究

藤野 義之

2000. 3.17

ATR環境適応通信研究所

目 次

1. まえがき	1
2. レクテナ素子の構成	1
3. レクテナアレー化の検討	3
4. マイクロ波送電実験	4
5. 出力電力増加法	5
6. まとめ	8
文献	9

電力受電用円筒コンフォーマルレクテナアレーの研究

A T R 環境適応通信研究所
藤野義之

1. まえがき

マイクロ波電力伝送は高々度無線中継システム[1,2]や、太陽発電衛星[3,4]に代表される宇宙空間でのエネルギー伝送や、ロボット応用などの分野で大変興味深い技術である。宇宙空間でのエネルギー伝送に関しては、1993年に行われた宇宙空間での親子ロケット間のマイクロ波送電実験であるMETS(Microwave Energy Transmission)実験[5,6]をはじめとして、近年では宇宙プラットフォーム上での実験も提案されるようになってきている[7,8]。また、ロボット応用に関しては、閉管路への応用を目指したマイクロ波無線電力伝送実験が行われている[9]。

これらの実験で使われてきたマイクロ波受電用レクテナは、全て平面形状であり、希望する受電装置の表面に沿って取り付けられるコンフォーマル形状をしているものは見あたらない。マイクロ波電力伝送においてはアンテナ正面方向での電力の送受電における効率の向上が最優先の課題であるため、それに有利な平面形状が大半であったと考えられる。しかしながら、当該技術の応用分野の拡大に伴って、平面レクテナアレーの取付けが不可能な場合も想定されるため、このようなコンフォーマル形状に対応した受電用レクテナアレーの実現可能性を検討することは、重要な課題である。

著者らはそのための第一歩として、円筒導体上に取り付けられたレクテナアレーに関して検討を行った。これは、レクテナ素子を円筒導体上に配置し、これを円筒径方向にアレー化することで、マイクロ波の入射角が円筒径方向で変動しても出力電力の変動を最小限に抑えられるレクテナアレーであり、円筒形をした装置に対して容易に取り付けることができる。このような円筒導体上にレクテナを構成した場合、平面レクテナアレーと比較してレクテナ素子ごとの入射電力の変動が大きくなるため、出力電力の低下は避けられないが、低下量の程度を計算することで、効率が実用的な範囲に入るかどうかに関して検討を行った。

また、実用的なレクテナアレーを構成するためには、レクテナ素子を直列または並列に接続して出力電力を増加しなければならない。入射電力の違うレクテナ素子を複数接続したときの出力電力低下に関しては、シミュレーション計算等の手法により以前から検討[10]が行われており、最近ではレクテナ素子の出力電流電圧特性を使ったモデル計算[11]が行われているが、両者とも、円筒形レクテナアレーに関しての結論は見あたらない。そこで、円筒形レクテナのアレー化において、負荷抵抗の接続を変化したときのレクテナアレーの出力電力の変化に関して主に実験的な検討を同時に行い、一部のレクテナ素子のみ並列に接続した場合の方が全素子を並列接続した場合より出力電力が大きくなることを示した。また、これを任意素子数のレクテナアレーに拡張することで、円筒形レクテナアレーに対し、出力電力が最大となる並列素子数を求め、当該レクテナアレー設計上の一指針を得た。

本レクテナアレーの応用分野の一例としては、円筒状をした宇宙用の多関節ロボット等へのマイクロ波電力伝送などが挙げられる。

本研究はコンフォーマルアクティブ集積アンテナとしてのレクテナアレーを目指した点において、空間適応インターコネクション技術の一環をなすものである。

2. レクテナ素子の構成

今回想定しているマイクロ波電力伝送の宇宙応用やロボット応用のためには送受電システムの小型化が必要になる。そのための手段として、送受電システムの高周波化を行った。今回のレクテナ素子は、従来主に使われていたS帯(2.45GHz)よりも周波数の高いC帯(5.8GHz)で動作する[12]。図1に提案するレクテナアレーの構成を示す。円筒の側面に円形マイクロストリップアンテナ(CMSA)を素子とするレクテナ[13]を張り付けた構造をしており、円筒半径を a 、CMSA 半径を b としている。また、偏波は構成上の都合により ϕ 方向(円筒径方向)の直線偏波としている。1素子の場合、CMSA は円筒上の $\phi=0^\circ$ を中心として取り付けられる。

次に図2にレクテナ素子[12]の詳細図を示す。マイクロ波は CMSA に入射し、結合ピンを通じて裏面の

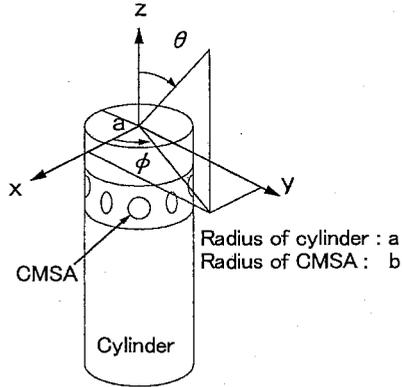


図1 円筒導体上のレクテナアレー

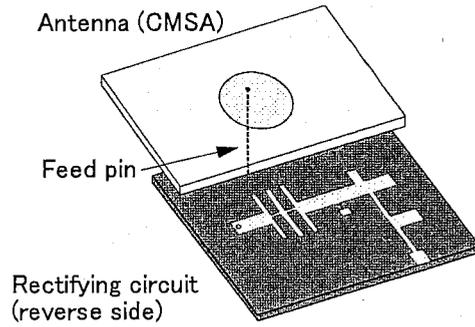


図2 レクテナ素子の構成図

整流回路に導かれる。整流回路は入出力フィルタとダイオードを組み合わせた構成としており、入力フィルタにはLPFを、ダイオードはメイコム社のMA46135-32を1レクテナ素子あたり1個使用した。

アンテナ部は円筒上に設置した1素子のCMSAであり、その指向性および利得は参考文献[14]により計算することができる。今回の周波数5.8GHzおよび基板比誘電率2.17およびパッチ半径 $b=9.6\text{mm}$ を代入すると、正面利得の円筒半径依存性の理論値は図3に示すとおりとなる。利得は円筒半径にほとんど依存せず一定であり、 $a=71\text{mm}$ のとき7.7dBiであった。このときの放射指向性の理論値と実験値と図4に示す。正面利得の実験値は8.0dBiと、やや理論値よりも大きくなった。また、半値幅の理論値と実験値はE面($\theta=90^\circ$ 面)でそれぞれ $69^\circ, 88^\circ$ 、H面($\phi=0^\circ$ 面)でそれぞれ $77^\circ, 80^\circ$ であった。半値幅はH面においてはほぼ一致しているものの、E面に違いがある。これは、アンテナ実装上の都合で円筒を多角形近似し、正9角柱の形状において実験を行ったためと考えられる。

レクテナの整流回路部の入力電力対効率(入力電力対出力電力の比)を図5に示す。最高レクテナ効率は負荷抵抗 200Ω で73%であったが、これは整流回路のダイオードの個体差により69~77%の間で変動しており、その中央値を示した素子について図示している。また、最適負荷抵抗は $100\sim 300\Omega$ の間で変動していた。次章においてレクテナをアレー化したときの特性を評価する際は、これらのばらつきに関わらず、図5の結果を代表値として使用した。

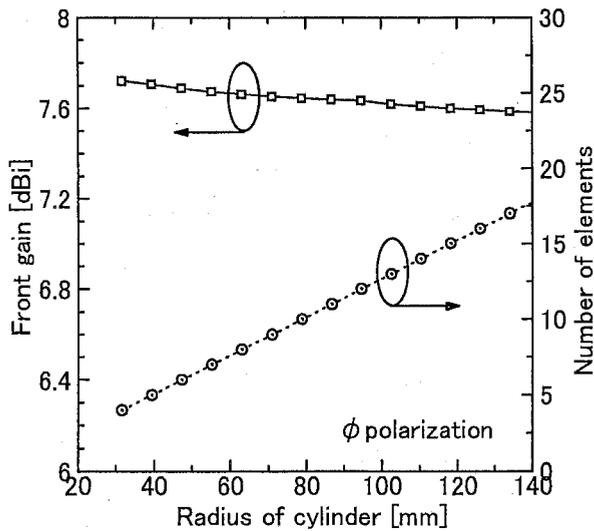


図3 円筒半径対正面利得および素子数の理論値

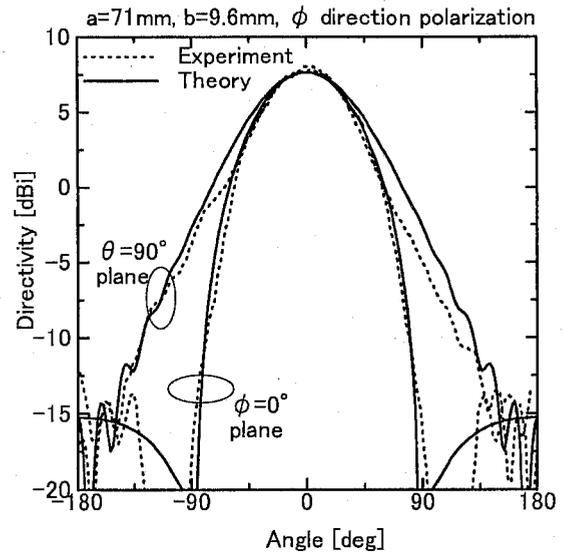


図4 円筒上のパッチアンテナの放射指向性の理論値と実験値

3. レクテナアレー化の検討

本章では、このレクテナをアレー化する。このとき、素子アンテナ間隔を固定し、素子数を円筒半径と同時に変化させることとした。今回、素子アンテナ間隔は作製可能な最小値である 0.91 波長を使用した。図3の点線に素子数とレクテナ半径の関係を示す。円筒上の $\phi = 0^\circ$ を中心として最初の素子を配置し、そこから円周上を素子アンテナ間隔だけ離れた位置に第2の素子を配置する。以下、これを繰り返すことで、円筒形レクテナアレーを完成させる。

アレー化時の特性は以下の手順で評価する。まず、円筒上の CMSA1素子の利得の理論値と入射電力束密度(P_{fd})から素子へ入力電力を計算する。次に、図5に示すレクテナの入力電力-効率特性の実験値から、各レクテナ素子の出力電力を算出する。これを素子数回繰り返して算術和を求めることでレクテナアレーの出力電力を求めている。以降、この出力電力を評価値と呼ぶこととする。なお、レクテナ素子は個別に最適負荷抵抗で終端することを仮定する。

円筒導体上レクテナアレーでは、平面レクテナアレーと比較し広角方向での効率の改善が望める反面、正面方向の効率に関しては平面レクテナアレーより悪くなる。そこで、円筒形レクテナアレーの電力(P_c)と同じ投影面積をもつ平面レクテナアレーの電力(P_p)から、電力比を次式で定義する。

$$r = \frac{P_c}{P_p} \quad (1)$$

なお、 P_c および P_p が入射電力を示すか、出力電力を示すかはその都度区別する。電力比の素子数依存性を入射電力束密度(P_{fd})をパラメータとして図6に示す。このとき、円筒への入射電力の方向は $\theta = 90^\circ$ 、 $\phi = 0^\circ$ としている。入射電力に関する電力比は素子数の増加に伴い、87%で一定値となっている。これに対して、出力電力に関する電力比は入射電力密度(P_{fd})に依存して変化し、 $P_{fd} = 2.1 \text{ kW/m}^2$ で 72%となる。小電力束密度で電力比が低下するのはレクテナの効率が入射電力によって変化するためである。入射および出力電力の電力比は9素子以上の場合ほぼ一定値になっているため、以降では主に9素子の円筒形レクテナアレーに関して検討を行うこととする。円筒半径 71 mm (9素子) のときの2次元の出力電力パターンの評価値を図7に示す。 ϕ 方向に対して一様なパターンが得られていることがわかる。

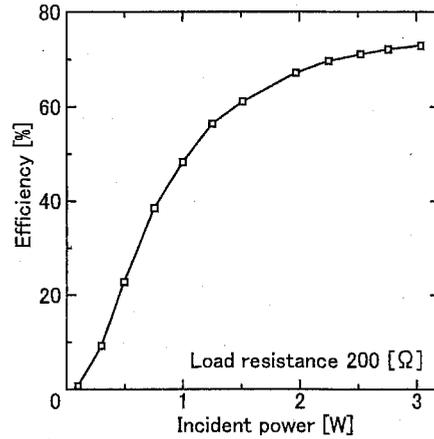


図5 レクテナ整流回路の入力電力対効率特性

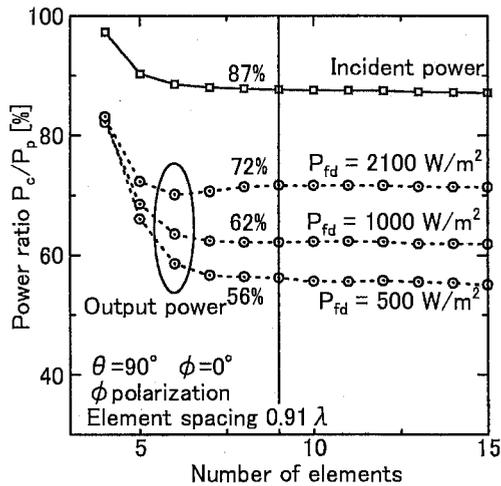


図6 素子数対アレー出力電力の評価値 (素子間隔 0.91λ 、 ϕ -方向偏波)

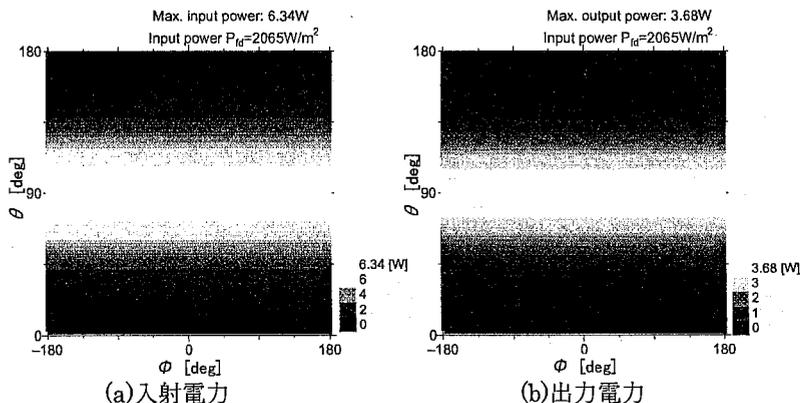


図7 2次元入出力電力パターンの評価値 (9素子、円筒半径 71 mm 、 ϕ -方向偏波)

4. マイクロ波送電実験

次に、電波暗室内でマイクロ波電力伝送実験を行って9素子円筒形レクテナアレーの出力電力パターンを取得した。測定系を図8に示す。送信アンテナから送電された5.8GHzの電磁波は、0.6m離れたレクテナに入射する。切り放し導波管は入射電力密度の測定用であり、レクテナと同じ位置に置き換える。入射電力束密度(P_{fd})が 2.1kW/m^2 のとき、レクテナ1素子への入力電力は 3.0W であった。レクテナ素子は、それぞれの最適負荷抵抗で終端されており、この負荷抵抗の接続方法を以降、独立負荷と呼ぶことにする。アレーの出力電力はそれぞれの素子の出力電力の算術和としている。

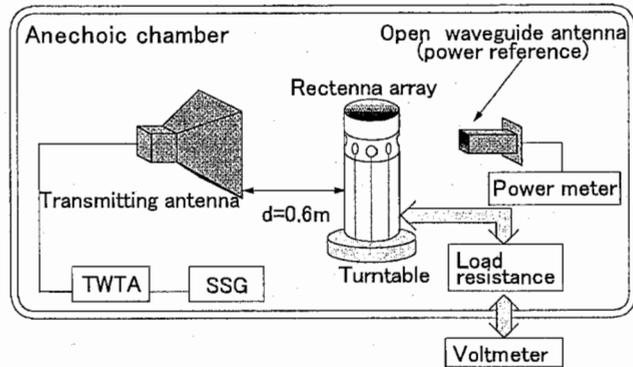


図8 マイクロ波送電実験系

図9に円筒導体上レクテナアレーの出力電力の指向性の評価値と実験値を示す。1素子の出力電力パターンについて、評価値と実験値を比較すると、実験値における最大値が評価値のそれと異なっていることが分かる。これは、2章で述べたアンテナの利得差および実験時のレクテナに使用されるダイオード特性のばらつきに起因すると考えられる。また、1素子出力電力パターンの広角特性の理論値と評価値も異なっており、これは、アンテナ素子パターンの

違いと、送電距離が0.6mと近傍であるため、円筒を照射するマイクロ波に強度分布があったためであると考えられる。これらの素子パターンから得られたアレー出力電力の角度特性も両者では異なっており、評価値では ϕ 方向でほぼ一定の出力電力が得られるのに対して、実験値では9個のレクテナ素子に対応したピークが観測される。 ϕ 方向1周にわたる角度平均の出力電力の平均値は評価値が 3.66W に対し、実験値は 3.21W であった。両者には 0.45W 程度の違いがあり、これは約12%の低下に相当し、実験値では $P_{fd}=2.1\text{kW/m}^2$ のもとで、電力比は63%となる。以降ではこの誤差に関しても考慮に入れることとする。

これまではレクテナ素子を独立負荷で終端してきたが、実用的なレクテナを構成するためにはレクテナ素子を何個か直並列に接続して出力電力を増加させる必要がある。ここでは、整流回路に共通の地板を使用しているため、並列に接続することを想定する。本レクテナアレーの負荷の全素子を並列に接続したときの出力電力の $\theta=90^\circ$ 面の角度特性を図9に点線で示す。負荷抵抗は個々の整流回路の最適負荷抵抗を全て並列接続しており、その抵抗値は約 19Ω であった。平均出力電力は 1.90W であり、個別の負荷抵抗で終端した場合と比較すると、 1.31W 、41%程度の出力電力低下がある。これは、正面方向のレクテナ素子ばかりでなく、広角方向で出力電力をほとんど発生しないレクテナ素子まで並列に接続しているための効率低下が原因と考えられる。

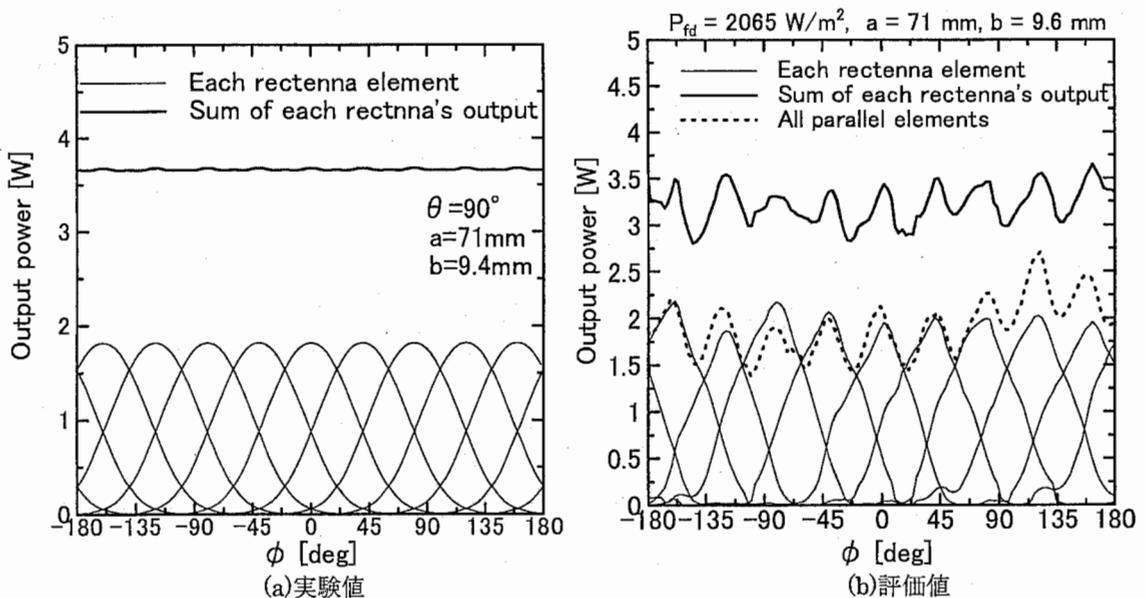


図9 9素子円筒形レクテナアレーの出力電力の角度特性

5. 出力電力増加法

全並列負荷時において、大きな出力電力低下が認められたため、これを改善する手段として、出力電力の大きな素子のみを選択して並列に接続することを試みた。図10にこの場合のレクテナ素子と負荷抵抗の配線図を示す。各レクテナ素子からの出力電力は各々独立負荷で終端されているが、その途中に並列接続のためのスイッチを設けている。このスイッチは独立負荷時の出力電力の値を検出して制御される。まず、独立負荷で最大電力を出力している素子を検知し、スイッチの制御回路を操作して出力電力の大きな順に何素子かの並列接続を試みる。図11に出力電力の大きな2素子および3素子を並列に接続した場合 $\theta = 90^\circ$ 面の出力電力の角度特性を、独立負荷時と全並列負荷時と共に示す。角度平均の出力電力は2素子、3素子共に 2.87W であり、全並列負荷時よりも 0.97W、53%の大幅な出力電力増加が認められた。このとき、独立負荷時を基準とすると出力電力の低下は 0.3W、10.4%に留まっている。

また、2素子並列の場合は各素子からの出力電力が最大となる角度において並列出力電力が極小値となり、その中間の角度すなわち、2素子の出力電力が同一となる角度で極大値となる。これはレクテナ素子において双方の動作点が一致する箇所では効率低下が零となることを示した文献[15]と同一の現象である。

一方で、3素子並列のときには各素子からの出力電力が最大となる角度において極大値となり、その中間の角度で極小値となることが図11よりわかる。2素子および3素子並列は極小値となる角度が異なっているため、図10における切替回路を工夫して、2素子および3素子並列のどちらの場合もより出力電力が大きいかを判断して最大となるように接続法を随時変更することで、より出力電力を増加させることができる。この結果、角度平均で 3.03W の出力電力を確認した。これは、全並列負荷時よりも 1.1W、59%の出力電力増加となり、独立負荷時を基準とすると出力電力の低下は 0.18W、5.6%となる。以上の結果を表1にまとめる。

図12に並列素子数を増加したときの $\theta = 90^\circ$ 面の平均出力電力の変化を示す。ここで、出力電力の大きい素子から順番に並列接続を行っている。出力電力の大きい2素子または3素子を選択的に並列に接続した場合の方がそれ以上の素子を並列に接続した場合より出力電力が大きくなっている。このことから、本レクテナアレーにおいては2素子または3素子の選択的な並列接続が最適であることがわかる。

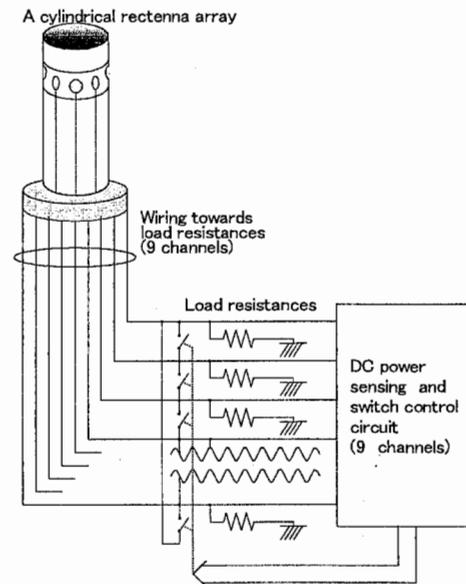


図10 レクテナ素子と負荷抵抗の配線図

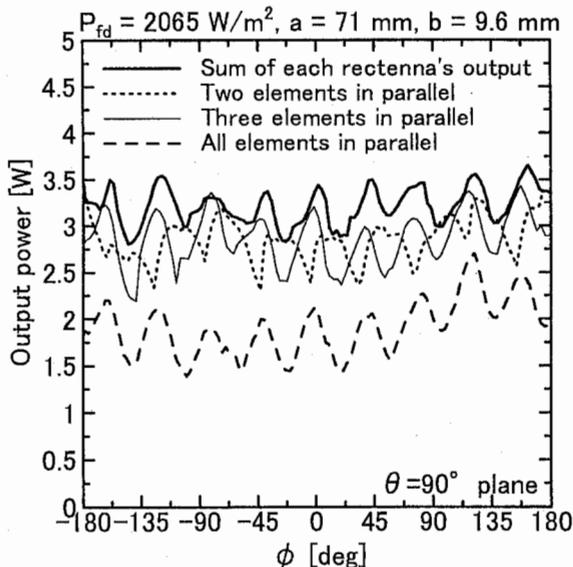


図11 並列接続時の出力電力の角度特性

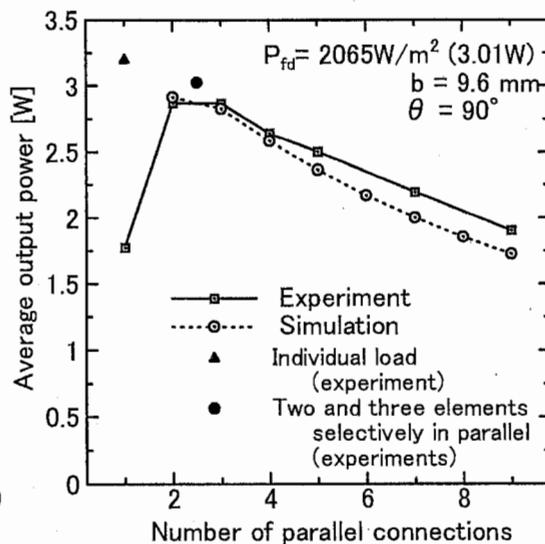


図12 並列素子数対平均出力電力の実験値と計算値

表1 並列接続法による出力電力の変化

		Independent load	All parallel load	Two elements in parallel	Three elements in parallel	Two and three elements selectively in parallel
Average output power [W]		3.21	1.90	2.87	2.87	3.03
Power variation compared with the all paralleled load case	[W]	+1.31	0	+0.97	+0.97	+1.1
	[%]	+69	0	+53	+53	+59
Power variation compared with the independent load case	[W]	0	-1.31	-0.34	-0.34	-0.18
	[%]	0	-41	-10.4	-10.4	-5.6

Upper column shows the power variation [W]

Lower column shows the power variation ratio [%]

最適接続法るとき、個別負荷時と比較して 5.6%の出力電力低下となるため、前章の円筒形レクテナアレーの効率低下量が平面レクテナアレーと比較して実験値で 63%であることから、並列接続により効率低下が生じた場合でも、独立負荷の平面レクテナアレーと比較して 59%程度 of 出力電力の受電が可能であることが分かる。

次に、本特性を理論的に確認する。入射電力の違うレクテナを接続したときの効率低下については、近年、三浦ら[11]がダイオードの電流電圧特性を関数近似する方法で2素子の直並列接続に関して報告を行っている。ここでは、これを N 素子の並列接続に拡張し、円筒形レクテナアレーに導入する。

まず、入射電力を固定して負荷抵抗を変化して j 番目のレクテナ素子の端子電流および電圧を測定する。この測定例を図 13 に示す。この測定値のそれぞれを次式で近似する。

$$I_j(V) = a_j V_j^3 + b_j V_j^2 + c_j V_j + d_j \quad (2)$$

ここで、 I_j は電流であり、 V_j は電圧である。また、 a_j, b_j, c_j, d_j は最小自乗近似における係数である。並列接続する素子数を N とすると、負荷抵抗 R_L は次式で表される。

$$R_L = \frac{V_0}{\sum_{j=1}^N I_{0j}(V_0)} \quad (3)$$

ここで、 I_{0j} および V_0 はそれぞれ、素子を並列接続したときの電流および電圧である。(2)および(3)から、並列時の共通電圧 V_0 は3次方程式を使って表され、これを解くことで V_0 を求めることができる。ここで、計算の結果、 $I_j(V_0) < 0$ となる素子があるときには、当該素子に対して、 $I_j = 0$ を仮定した。並列時の伝送電力は次式で示される。

$$(P_{DC})_P = \left(\sum_{j=1}^N I_{0j} \right)^2 R_L \quad (4)$$

式(2)から式(4)を用いることで、円筒形レクテナアレーの並列接続に関するシミュレーションが以下の手順で可能となる。

最初に、1素子の放射指向性の実験値を関数近似し、全ての素子でこれが同一であると仮定し、各素子で角度に対応する入射電力を求める。次に、各入射電力において負荷抵抗を変化させて各素子の電流電圧特性を求める。ここで、 a_j, b_j, c_j, d_j の各実験値は離散的であるから、任意の入射電力に対応させるためには補間計算が必要となる。また、電流電圧特性はダイオードごとに異なる値となるため、

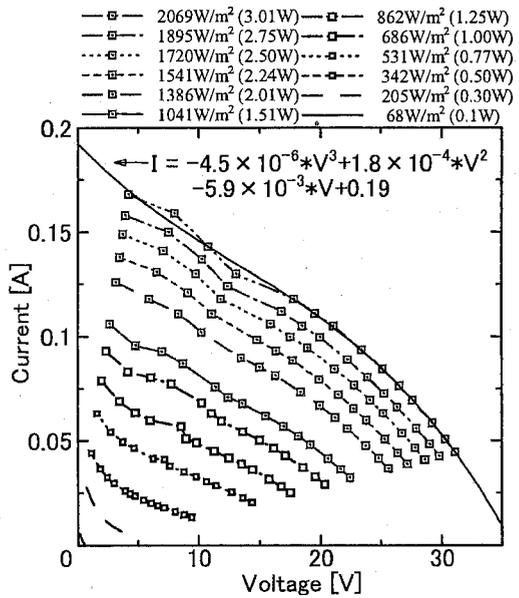


図13 レクテナ素子の出力電流対電圧特性の測定例

a_j, b_j, c_j, d_j の値は各レクテナ素子ごとに実験値を求める。このことで、素子の電流電圧特性のばらつきをシミュレーションに取り入れることが可能である。その後、(4)式を使用して並列時の伝送電力を計算する。

図 14 に2素子並列の場合の $\theta = 90^\circ$ 面の角度特性の計算値を実験値と共に示す。両者は良く一致している。次に、並列素子数対 $\theta = 90^\circ$ 面の平均出力電力の計算値を図 12 の点線に示す。実験値と計算値は最大で約 0.2W の誤差をもつが、ほぼ一致している。これらの結果から、本手法の有効性が示されたと考えられる。

円筒の素子数を増加させて、最適な並列素子数がどのように変化するかに関して上述の計算法を使用して検討を行った。図 15 に並列素子数対出力電力を全素子数をパラメータとして示す。全素子数は5素子から30素子まで1素子ずつ順次変化させ、図 15 では5素子ごとにキャプションを付けている。また、本計算においては、簡単化のため、アンテナの素子パターンは素子数および円筒径によらず9素子の場合の実験値を採用しており、また、実験において判明した9素子それぞれのダイオードのばらつきも計算に導入している。全素子数 M が一定のとき、出力電力が最大となる並列素子数 N があり、これを図 15 の黒四角で示した。出力電力が最大となる並列素子数 N について、表2にまとめる。 N は $0.2M$ から $0.4M$ の範囲に入っている。このため、円筒形レクテナアレーを構成する場合、並列素子数を $0.2M$ から $0.4M$ の範囲で選択することで、最大出力電力が得られることが分かる。

表2 出力電力が最大となる並列素子数

Range of the total element number (M)	Number of parallel connections for the maximum output power (N)
$5 \leq M \leq 9$	2
$10 \leq M \leq 13$	3
$14 \leq M \leq 17$	4
$18 \leq M \leq 21$	5
$22 \leq M \leq 25$	6
$26 \leq M \leq 28$	7

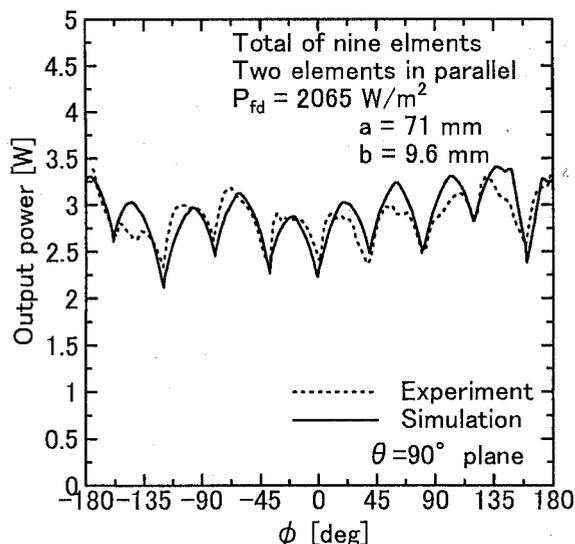


図 14 出力電力の角度特性の実験値と計算値

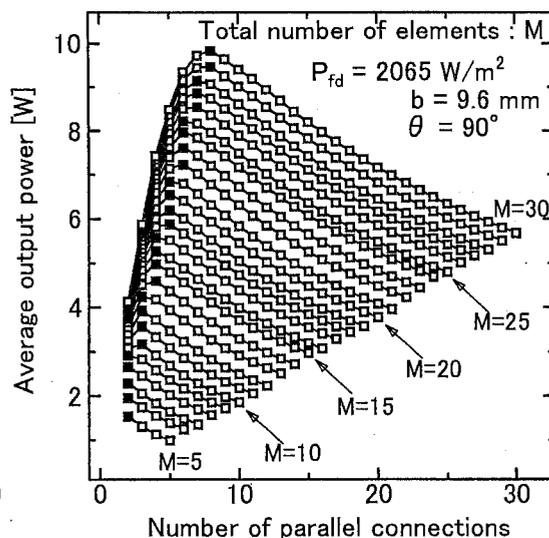


図 15 全素子数をパラメータとした並列素子数対平均出力電力

6. まとめ

円筒導体上のレクテナアレーの検討として、アンテナ素子のパターンの理論値と円筒導体上レクテナ素子のレクテナ効率の実験値から、平面レクテナと比較した出力電力比が最大で72%となることを示した。また、9素子円筒形レクテナアレーの実験値から、電力比の最大値として63%を確認した。

次に、円筒形9素子レクテナアレーの並列接続による効率低下に関して検討を行い、出力電力の大きな2素子または3素子を選択的に並列接続することで最大電力が得られ、このとき、全並列負荷時と比較して59%の大幅な出力電力の増加が得られ、独立負荷時と比較して5.6%の出力電力低下に留まることを示した。

以上の検討から、並列接続した9素子円筒形レクテナアレーの出力電力は独立負荷の平面レクテナアレーと比較して59%の出力電力を確保することが可能であり、実用的な範囲内に入っていることが示された。

さらに、円筒上 M 素子レクテナアレーの並列接続による出力電力特性をシミュレーションし、出力電力の大きな $0.2M$ から $0.4M$ 素子程度を並列接続することで最大出力電力を得ることができることを示した。

今後、より実用的なレクテナアレーの検討のためには、送電偏波の円偏波化することで、入射電力の偏波依存性を解決し、また円筒周方向ばかりでなく円筒軸方向にもアレー化を行うことで、受電電力を増加することなどが課題となる。

文献

- [1] 高澤金吾, 森弘隆, “成層圏無線中継システムについて-高高度無人航空機の移動通信への適用の検討-”, 信学誌, Vol.73, No.1, pp.69-71, 1990.
- [2] Y. Fujino, M. Fujita, N. Oghara, N. Kaya, S. Kunimi and M. Ishii, “A planar and dual polarization rectenna for HALROP microwave powered flight experiment”, Space Energy and Transportation, Vol.1, No.4, pp.246-257, Dec. 1996.
- [3] P. E. Glaser, “An overview of solar power satellite option”, IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol.MTT-40, No.6, pp.1230-1238, Jun., 1992.
- [4] 宇宙科学研究所太陽発電衛星ワーキンググループ SPS2000 タスクチーム編, “SPS2000 概念計画書 (暫定版)”, 宇宙科学研究所, 1993.
- [5] 松本紘, 賀谷信幸, 小嶋浩嗣, 藤田正晴, 藤野義之, “METS 実験の概要と観測結果の速報”, 第12回宇宙エネルギーシンポジウム, 宇宙科学研究所, pp.69-75, Mar., 1993
- [6] 沢田寿, 川端一彰, 賀谷信幸, 藤田正晴, 藤野義之, “METS 用レクテナ”, 第12回宇宙エネルギーシンポジウム, pp.80-84, Mar., 1993
- [7] J. O. McSpadeen, K. Chang, M. Duke and F. Little, “Study of ISS free-flyer power beaming”, Proc. Space Power Systems Conference (SPS '97), Montreal, Canada, pp.169-174, Aug., 1997.
- [8] H. Matsumoto, K. Hashimoto, N. Shinohara, M. Fujita, K. Itoh, S. Sasaki, T. Katagi, T. Itoh, J. G. Hawkins and F. E. Little, “Microwave power transmission experiment on JEM-EF of international space station”, Proc. Space Power Systems Conference (SPS '97), Montreal, Canada, pp.231-236, Aug., 1997.
- [9] T. Shibata, Y. Aoki, M. Otsuka, T. Idogaki and T. Hattori, “Microwave energy transmission system for microrobot”, IEICE Trans. on Electronics, Vol.E80-C, No.2, pp.303-308, Feb., 1997.
- [10] R. J. Gutmann and J. M. Borrego, “Power combining in an array of microwave power rectifiers”, IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol.MTT-27, No.12, pp.958-968, Dec., 1979.
- [11] 三浦健史, 篠原真毅, 松本紘, “マイクロ波電力伝送用レクテナ素子の接続法に関する実験的研究”, 信学論 B, Vol.J82-B, No.7, pp.1374-1383, Jul., 1999.
- [12] T. Saka, Y. Fujino, M. Fujita and N. Kaya, “An experiment of a C band rectenna”, Proc. of Space Power Systems Conference (SPS '97), Montreal, Canada, pp.251-253, Aug., 1997.
- [13] 伊藤精彦, “太陽発電衛星受電用地球局素子「レクテナ」に関する基礎的研究”, 昭和 58 年度文部省科学研究費補助金研究成果報告書, Mar., 1984.
- [14] K. M. Luk and K. F. Lee, “Characteristics of the cylindrical-circular patch antenna”, IEEE Trans. on Antenna and Propag., Vol. 38, No. 7, pp. 1119-1123, Jul. 1990
- [15] 藤野義之, 藤田正晴, 賀谷信幸, 日下規男, “2重偏波レクテナの偏波角特性に関する実験”, 信学論 B-II, Vol.J-80-B-II, No.11, pp.963-975, Nov.1997.