

世界最高周波数で動作するマイクロ波ワイヤレス給電回路を開発  
～Beyond 5G時代のエネルギーハーベスティング技術実現へ向けた一歩～

研究成果のポイント

1. 既存研究において世界最高周波数である303GHzで動作するワイヤレス給電回路（レクテナ<sup>注1</sup>回路）を開発しました。
2. 100 GHz以上のマイクロ波を発振可能なジャイロトロン<sup>注2</sup>（福井大学遠赤外領域開発研究センター所有）を用いて、最高周波数でのワイヤレス給電実験に成功しました。
3. Beyond 5Gに向けたエネルギーハーベスティング<sup>注3</sup>技術への応用が期待されます。

国立大学法人筑波大学 システム情報系の嶋村耕平助教、同大学院システム情報工学研究科の溝尻征（博士前期課程1年生）、および福井大学遠赤外領域開発研究センターの研究グループは、世界最高周波数である303GHzで動作するレクテナ回路を開発し、ワイヤレス給電実験に成功しました。

電波によるワイヤレス給電方式は、置だけ充電などに用いられているワイヤレス給電方式に比べて、長距離のワイヤレス給電を行うことが可能です。この利点を活かし、ケータイ基地局からの電波を用いたエネルギーハーベスティングによるワイヤレス給電や、ワイヤレスセンサによるIoTへの応用などが期待されてきました。電波を用いたワイヤレス給電方式では、送電に用いる電波の周波数を高くするほど電波の直進性が強くなるため、長距離送電を高効率に行うことができます。さらにレクテナが小型化するため、複数個アレイ化することにより、大電力ワイヤレス給電を可能にします。そのため本研究室では、従来ワイヤレス給電に広く用いられているマイクロ波帯(300MHz～300GHz)の中でも、より高周波帯を用いたワイヤレス給電に注目しました。

さらには、100 GHz以上のマイクロ波を大出力で発振可能なジャイロトロン<sup>注2</sup>の開発実績がある福井大学遠赤外領域開発研究センターと協力し、最高周波数303GHzでのワイヤレス給電に成功しました。これにより高周波ワイヤレス給電の有用性を提示し、Beyond 5G(次世代高速移動通信システム)<sup>注4</sup>に向けたエネルギーハーベスティング技術の実現に大きく前進しました。

本研究の成果は、2018年12月17日付「applied sciences」で公開されました。

\* \* 本研究は、科学研究費研究助成金(16 K 18306)及び一般財団法人電子回路基板技術振興財団研究助成金により行われました。

## 研究の背景

2030年代を想定した総務省の電波利用戦略案によれば、超高速通信規格「5G」の次の世代にあたり、現在の携帯通信の1000倍以上の速度がある通信規格の実用化に向け、100GHzを超えた周波数帯域幅が新たに確保される見通しです。全自動運転や電力のワイヤレス給電といった新技術の開発の推進が盛り込まれ、電波関連の産業規模を40年に現在の3倍の112兆円に拡大させることが検討されています[1]。

これまでの電波によるエネルギーハーベスティング及びワイヤレス給電は、従来の通信マイクロ波帯(数100MHz～5.8GHz)における研究例がほとんどでした。5G、およびBeyond 5Gで想定されるより高い周波数帯(28GHz～数100GHz)では、レクテナの小型化が可能になり、レクテナ面積当たりの直流出力電力(レクテナ電力密度)を大きくすることが可能になります。これは、この値が大きいほど、限られた面積に送れる電力が大きくなることを示しています。また周波数を上げることにより、発振源から出力される電波の指向性を高くすることができます。すなわち電波の拡散を抑制し、長距離においてもレクテナの外に電波が散逸してしまう電力ロスを少なくすることができるため、より高効率に長距離ワイヤレス給電を行うことができます。これらのことから、より高い周波数の電波を用いることは、ワイヤレス給電を行うにあたって大きなメリットだと言えます。

しかし、周波数を上げるにつれてレクテナ回路の効率が低下することが知られており、100GHzを超える実験は難しいとされてきました。また、マイクロ波帯の中でも低周波数帯においては比較的簡単に手に入るマグネトロン(電子レンジの中身)、半導体素子などを用いた発振源が存在するのに対し、100GHz以上の高周波帯においてはワイヤレス給電の送電に必要な発振器が高価で手に入りづらく、また技術的に製作が難しいという問題がありました。これにより、今まで28～100GHzなど高周波帯でワイヤレス給電実験は日本では行われておらず、世界的に見てもまだ数例程度で、100GHzを超えた研究例はありませんでした。

## 研究内容と成果

本研究では、世界で初めてBeyond 5G、100GHzより高い周波数帯でワイヤレス給電可能なレクテナ回路を開発しました。また100GHz以上の大電力マイクロ波送電可能な「ジャイロトン」の開発実績がある福井大学遠赤外線領域開発研究センターと共同でワイヤレス給電実験を行いました。その結果、303GHzでのワイヤレス給電に成功し、整流効率2.17%、直流出力電力17.1mW、レクテナ電力密度3.43kW/m<sup>2</sup>(図1参照)を記録し、レクテナ電力密度に関しては既存研究における最大値を記録し、高周波ワイヤレス給電の有用性を示しました。

## 今後の展開

総務省による電波法と利用戦略により、「5G」「Beyond 5G」といった電波の周波数帯の拡大が大きな注目を集めており、今後、より高周波帯での通信、ワイヤレス給電のニーズが拡大すると予想されます。そのため、本研究成果はワイヤレス給電の高周波化の利点を提示し、エネルギーハーベスティング<sup>注3</sup>によるIoTへの応用や宇宙太陽光発電、ドローンへの無線給電の利用を拡大すると期待しています。より高周波帯を用いたワイヤレス給電は長距離大電力用途に適していますが、整流効率は低周波帯と比べて大きく劣るのが現状です。そのため、高周波対応かつ大電力出力可能な整流ダイオードの開発が求められており、先行研究で主に用いられているGaAsショットキーバリアダイオードの代わりとしてGaNダイオード<sup>注5</sup>、MIMダイオード<sup>注6</sup>を新たに開発することで課題解決に取り組んでいます。

参考図

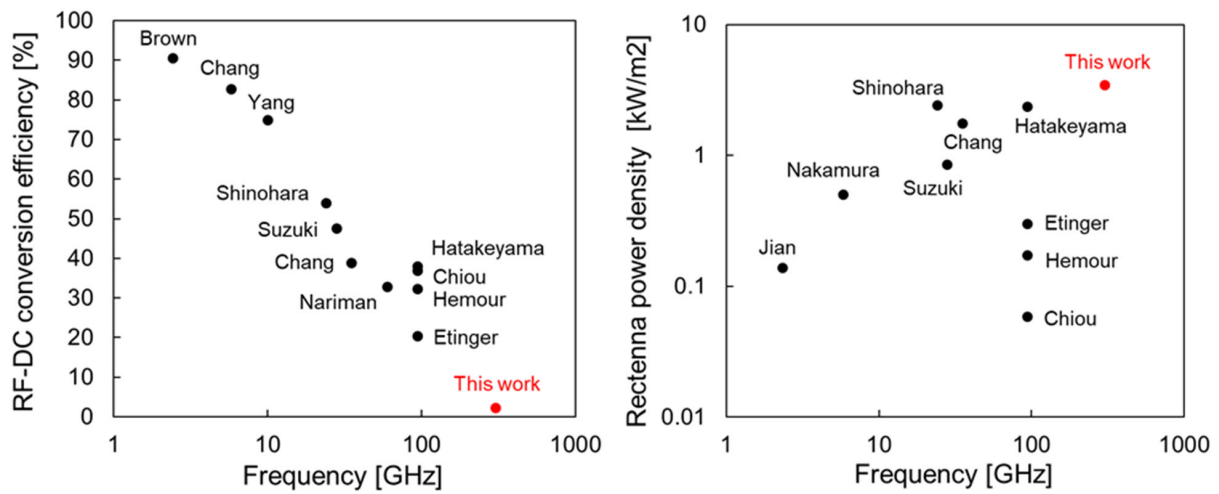


図 1 マイクロ波の周波数に対する直流への変換効率(左)とレクテナ電力密度(レクテナ面積に対する直流出力電力) (右)の先行研究と本研究の比較。レクテナ電力密度は本研究が最高値を記録し、高周波ワイヤレス給電の優位性を示した。

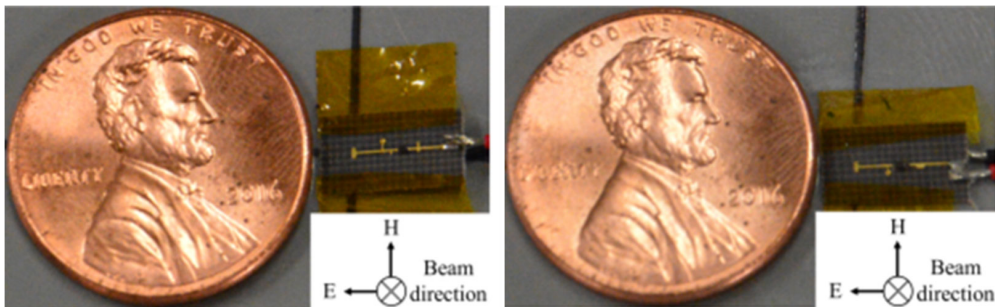


図 2 実際に製作したレクテナの写真。(左)出力部にノッチフィルタを搭載したレクテナ、(右)出力部にローパスフィルタを搭載したレクテナ。(比較用の米1セントコインの大きさはほぼ1円玉と同じで19 mm)

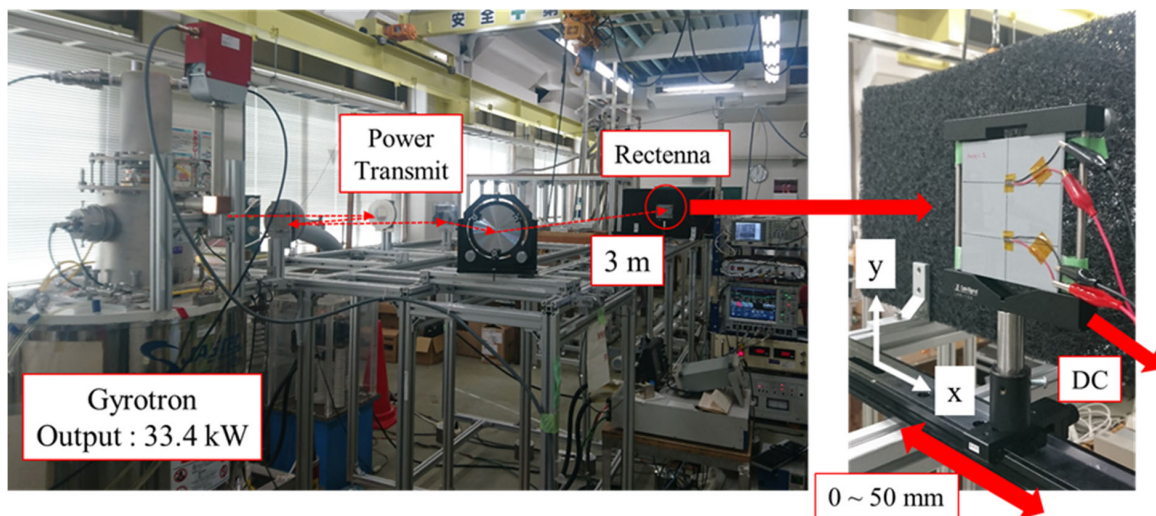


図 3 303GHz ジャイロトロンを発振源としたワイヤレス給電の実験系。3m 離れた地点にレクテナを設置し、レクテナを水平方向にビーム中心に動かすことにより入力電力を変化させた。

## 用語解説

### 注1) レクテナ

整流回路(Rectifier)とアンテナ(Antenna)が一体化したものであり、外部から入力された電波を直接 DC 電力として変換し使用することを可能にします。電波を用いるため長距離ワイヤレス給電を可能にし、比較的柔軟に取り付けることが可能なため、レクテナを用いた様々なアプリケーションへのワイヤレス給電が研究されています。

### 注2) ジャイロトロン

マイクロ波帯における大電力発振源の 1 つです。主にプラズマ核融合の研究で用いられています。

### 注3) エネルギーハーベスティング

身の回りのエネルギーを電気エネルギーなどの利用できる形のエネルギーに変換して再利用することを表します。ここでは、通信に用いられている Wifi などの電力を利用してワイヤレス給電を行うことを指しています。IoT(Internet of Things)と組み合わせた、バッテリーが必要ないワイヤレスセンサなどの開発も行われています。

### 注4) 5G、Beyond5G

第5世代移動通信システム、ならびにその次の世代の移動通信システムを指します。5G は 28GHz 帯、Beyond 5G は 110GHz 帯が割り当てられており、高速かつ大容量通信が期待されています。

### 注5) GaN ダイオード

ダイオードに使用する半導体材料として GaN(窒化ガリウム)を用いたダイオードです。GaN は Si や GaAs に比べて絶縁破壊電界が高いため、高耐圧で高周波対応に適した整流ダイオードを作製することが可能です。

### 注6) MIM ダイオード

異なる 2 つの金属電極間に極薄(<3nm)の絶縁層を挿入し、量子トンネル効果によって整流を行うダイオードです。単体の出力電力は小さいですが、小型化が容易で高周波帯の整流も可能なダイオードです。

## 参考文献

[1] SankeiBiz 「電波関連産業3倍112兆円 総務省懇談会 40年の市場規模試算」

## 掲載論文

【題名】 Wireless Power Transfer via Subterahertz-Wave  
(サブテラヘルツ波を介したワイヤレス給電)

【著者名】 Sei Mizojiri, Kohei Shimamura

【掲載誌】 Appl. Sci. 2018, 8(12), 2653.  
doi.org/10.3390/app8122653

## 問合わせ先

嶋村 耕平 (しまむら こうへい)

筑波大学 システム情報系 助教

〒305-8572 茨城県つくば市天王台 1-1-1