

# 電磁波エネルギー回収技術の研究開発

## Research and Development of Radio Wave Energy Harvesting

### 研究代表者

小林 聖 株式会社国際電気通信基礎技術研究所

Kiyoshi Kobayashi Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR)

### 研究分担者

久々津 直哉† 北沢 祥一† 鴨田 浩和† 阿野 進† 野瀬 浩一†† 池永 佳史†† 野口 宏一朗†† 吉田 洋一††  
Naoya Kukutsu† Shoichi Kitazawa† Hirokazu Kamoda† Susumu Ano† Koichi Nose†† Yoshifumi Ikenaga†† Koichiro Noguchi†† Yoichi Yoshida††

†株式会社国際電気通信基礎技術研究所 ††ルネサスエレクトロニクス株式会社

†Advanced Telecommunications Research Institute International (ATR) ††Renesas Electronics

研究期間 平成 24 年度～平成 25 年度

### 概要

生活空間に存在する放送・通信用に送信されている電磁波からの高効率な電力回収を目指し、電磁波エネルギー回収の研究開発を行った。複数周波数に対応した電力回収用のアンテナ、受信した電磁波を直流に変換する RF-DC 変換回路、回収した直流電圧を 1.5V に変換する DC/DC 回路を開発し、評価環境として定めた各周波数での電力束密度  $286\mu\text{W}/\text{m}^2$  の環境において 1.5V、 $100\mu\text{W}$  以上の電力が得られることを確認した。

### 1. まえがき

東日本大震災では、停電が長時間・広範囲に及んだため、自家用発電機の燃料やバッテリーの枯渇により電力供給が困難となり、被災者に大きな不安と不便を与えた。非常時における電源の多様化、冗長性確保は急務であり、このような問題を解決するため、本研究開発では、生活空間に存在し、昼夜・天候を問わず回収が可能な電磁波エネルギーを捕捉・回収し、電気エネルギーとして再利用することで、非常時にも活用可能な電源確保を実現するための技術の確立を目的とした。この目的を実現するために、本研究開発では、技術目標として、複数の周波数帯域に対応し高効率の電力回収を可能とする技術の開発を行うこととした。具体的には、入力信号レベル $-20\text{dBm}$ 以下の環境下において、 $1.5\text{V}$ 程度の電圧で、単層アンテナ  $1\text{m}^2$ 当たり  $100\mu\text{W}$ 以上の電力が継続的に出力可能なシステムを構築するためのアンテナ技術、回路技術およびそれらのシステム化技術の研究開発を実施し、さらに、実証実験により性能を検証し、実利用の可能性を示すこととした。

### 2. 研究開発内容及び成果

本研究開発のイメージを図 1 に示す。今回開発する面積  $1\text{m}^2$ の電磁波エネルギー回収 (RPH) パネルは、生活空間に存在する放送や通信用の電磁波から電力を回収するものである。電磁波を DC に変換する RF-DC 変換回路については $-20\text{dBm}$ 入力時に 30%の電力変換効率、回収した DC を  $1.5\text{V}$ に変換する電源管理回路については出力電圧  $1.5\text{V}$ ・負荷  $100\mu\text{W}$ 時に効率 70%を目標とした。

開発課題は、アンテナ、RF-DC 変換回路、電源管理回路 (DC/DC 回路)、および総合的な実験の 4つの大項目に分けて研究開発を行った。

課題ア) 複数帯域対応高効率アンテナ技術の研究開発

課題イ) 高順電流ダイオード検波回路技術の研究開発

課題ウ) 電源回路構成技術の研究開発

課題エ) システム設計及び実証実験

以下に各研究開発の詳細を説明する。

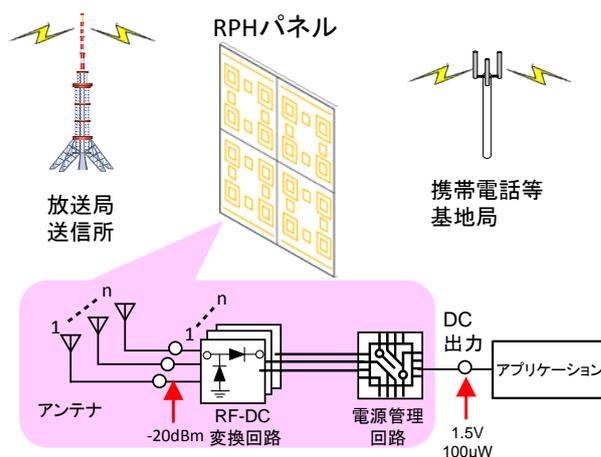


図 1 システムのイメージ

### 2. 1 複数帯域対応高効率アンテナ技術の研究開発

本節では、課題ア「複数帯域対応高効率アンテナ技術」について述べる。

電磁波エネルギー回収対象の複数周波数を決定するために、東北、関東、関西地域の全 20 か所余りの地点において  $76\text{MHz}$ ～ $2170\text{MHz}$ の中の放送や、携帯電話の通信に使用されている帯域での電力束密度の測定を行った。その結果、送信局の見通し状況や距離によっても大きく異なるが、 $207.5\text{--}222\text{MHz}$ の V-High マルチメディア放送 (以降 V-High)、 $470\text{--}566\text{MHz}$ の地上デジタルテレビ放送 (以降 DTV)、 $860\text{--}890\text{MHz}$ の携帯電話ダウンリンク波 (以降 800M)の平均電力束密度が大きいことが明らかとなった。以上の実測結果より、これらの 3 周波数の電磁波を回収対象として検討を進めることとした。

### RPH パネル評価環境

基本計画書では、RPH パネルを評価するための環境は「入力信号レベル-20dBmの環境下」としていた。しかしこの環境下では、アンテナの性能如何に関わらず-20dBmを受信した状況での評価となり、RF-DC 変換回路およびDC/DC 回路の評価は可能であるが、アンテナを含んだRPH パネル全体の評価指標とはならない。また、各周波数で一律に-20dBmとし、アンテナ利得も変わらないとすると、高い周波数で非常に高い電力束密度環境となり、評価環境に課題が残る。

具体的には、受信電力Pと電力束密度p、アンテナ利得G、波長λの関係は、下式で表される。

$$P = p \frac{\lambda^2}{4\pi} G$$

従って、アンテナの性能が標準ダイポールアンテナ相当の性能(利得2.1dBi)を仮定すると、215MHz帯のV-Highでは40μW/m<sup>2</sup>程度であるが、800MHz帯では660μW/m<sup>2</sup>と極めて高い電力束密度の評価環境となる。

以上のように当初の評価環境では二つの課題があるため、研究開発の過程での議論を経て、アンテナを配置する空間での電力束密度を評価環境の指標とすること、また、周波数によらず一律の電力束密度を用いることとし、以下に示す評価環境を追加設定した。

「基準周波数にてダイポールアンテナで受信した時のアンテナ出力端電力が-20dBmとなる電力束密度の環境」

ここで、基準周波数(波長)は、回収対象として定めた3周波数の中間にあたる地上デジタルテレビ放送の中央の周波数518MHzとした。また、アンテナ効率80%が当初のアンテナに対する目標であったため、ダイポールアンテナの効率を80%とした。

以上より、評価環境となる電力束密度は286μW/m<sup>2</sup>と算出される。現実的な送信側パラメータを仮定して、この電力束密度が観測される送信所からの距離を算出した値を、表1に示す。これらの値は、それぞれの周波数帯における利用用途として現実的な値であることから、本電力束密度をもつ評価環境を以下の検討において用いることとした。

表1 電力束密度286μW/m<sup>2</sup>の観測される送信所からの距離(自由空間を仮定した計算)

周波数帯	送信条件	送信所からの距離
V-High	ERP:220kW (生駒送信所)	10 km
DTV	ERP:25kW×5ch (生駒送信所)	7.5 km
800M	ERP:300W	300 m

### アンテナ性能評価指数

アンテナ性能の性能指標について、プロジェクト全体の到達目標「100μWの電力回収」の関係を明確にするために検討を進め、次のように整理した。100μWのDC電力を得るためには、RF-DC 変換回路の電力変換効率、DC/DC 回路の電力変換効率の目標値(2.2項に記載)がそれぞれ30%と70%であることから、

$$\frac{100\mu W}{0.3 \times 0.7} = 476\mu W$$

のRF電力を受信する必要がある。上述の通り、評価環境となる電力束密度は各周波数で286μW/m<sup>2</sup>である。したがって、各周波数の所要のアンテナ開口効率η<sub>a</sub>は、

$$286\mu W/m^2 \times 1m^2 \times 3(\text{周波数}) \times \eta_a = 476\mu W$$

の関係式から、η<sub>a</sub>=55.5%となる。

すなわち、3周波数の平均で55.5%のアンテナ開口効率が必要となるため、これをアンテナ性能の目安とすることにした。

### アンテナ設計

アンテナ基板材料としては、様々な設置シナリオを考慮して、リジッド基板(基板厚0.8mm)、フレキシブル基板(基板厚0.1mm)の2種類を用いて設計することにした。各アンテナ間の相互結合が開口効率に大きく影響するため、これを考慮した設計を行った。また、開口効率の最大化のみを追求しても、RF-DC 電力変換効率の非線形性により、最終的に得られるDC電力が最大化されるとは限らないため、この非線形性も考慮した。さらに、RF-DC 変換回路から出力されたDC電力を集約するためのDC配線がアンテナ性能を劣化させることも明らかとなったが、チョークインダクタを配線上に配置するなどにより、性能劣化の低減を図った。

最終的に得られたリジッド基板でのアンテナの構成を図2に示す。基板サイズは50cm角であり、これを2×2に配列しておよそ1m角となるようにした。V-Highはベントダイポール(50Ω平衡給電)、DTVと800Mは方形ループアンテナ(100Ω平衡給電)であり、それぞれの給電点にRF-DC 変換回路用のサブ基板が実装される構造とした。DC配線上には、RF特性劣化を低減するため、適宜チョーク用のチップインダクタを挿入した。

以上により、開口効率は表2に示すように3周波数の平均で55.5%を超え目標を達成した。

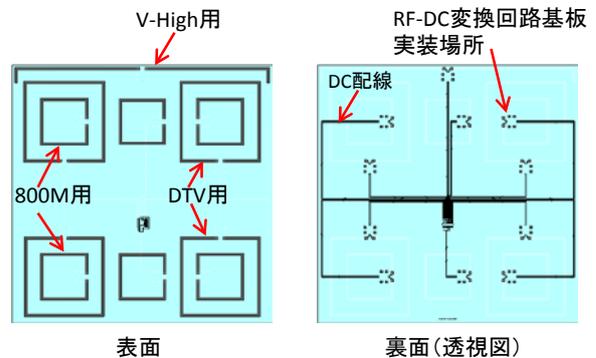


図2 複数帯域対応高効率アンテナ(リジッド基板)の構成

表2 アンテナ開口効率(リジッド基板)

	効率 (%)			
	V-High	DTV	800M	平均
シミュレーション	85.2	51	39.8	58.7
実測	99	46	44	63

またフレキシブル基板は、単体または1×2に配置して使用することを目的に設計を行った。アンテナの概形を図3に示す。本アンテナは、V-Highはベントダイポール(50Ω平衡給電)、DTVはツイーンループアンテナ(100Ω平衡給電)、800Mは方形ループアンテナ(100Ω平衡給電)とした。開口効率は表3に示すように3周波数の平均でシミュレーションでは55.5%を超え、測定ではわずかに下回る52%を達成した。

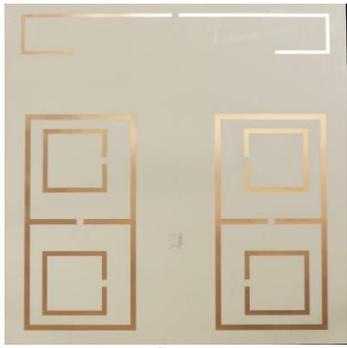


図 3 フレキシブル基板でのアンテナ

表 3 アンテナ開口効率 (フレキシブル基板)

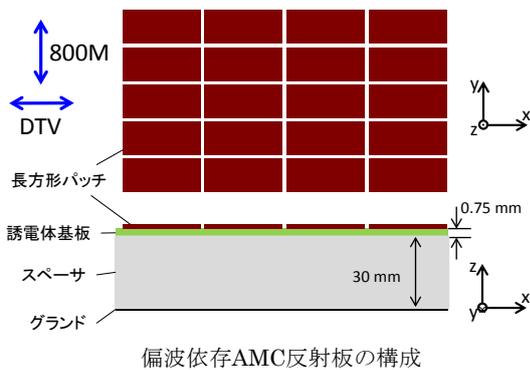
	効率 (%)			
	V-High	DTV	800M	平均
シミュレーション	95.6	42.0	32.0	56.5
実測	86	42	29	52

### AMC(Artificial Magnetic Conductor)反射板の検討

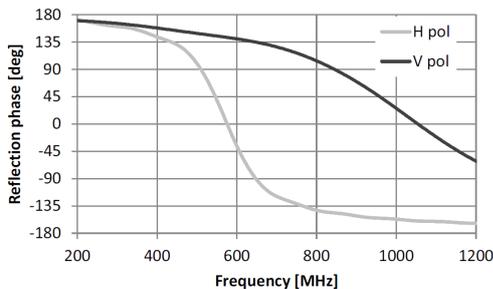
ここでは、回収電力を最大化するためのインピーダンス整合などを含む周波数選択技術について述べる。

その一つとして、アンテナを設置する際の壁等の影響を低減するとともに、利得向上が可能な複数帯域 AMC 反射板を検討した (到達目標を超える先進的成果)。

AMC 反射板は、グラウンド板とその上に周期的に配置された金属片で構成され、ある特定の周波数で反射位相が  $0^\circ$  となることが特徴である。このため、線状アンテナをこの反射板に近接して配置することができ、なおかつ利得向上を図ることができる。本研究開発では、金属片を長方形パッチとして、反射位相が  $0^\circ$  となる周波数を直交する偏波で別々に調整できる偏波依存 AMC 反射板の 2 周波数アンテナへの適用を提案した。



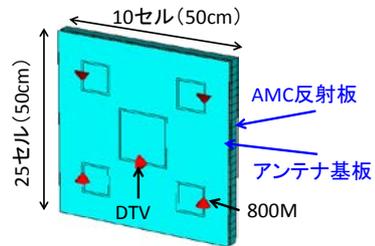
偏波依存 AMC 反射板の構成



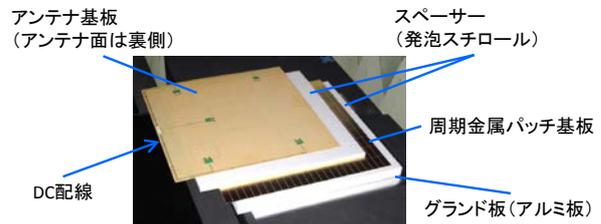
偏波毎の反射位相

図 4 偏波依存 AMC 反射板

2 周波数として、DTV (主に水平偏波)、800M (主に垂直偏波) に対応した偏波依存 AMC 反射板 (図 4) を設計・評価した。さらに、これら 2 周波数で最も高い効率の得られるアンテナ配置を検討し、このアンテナ基板を組み合わせ、試作によりアンテナ性能を評価した (図 5)。その結果、アンテナ正面方向と背面方向の利得の比が 14dB 以上となり、設置壁等の影響を低減できることを確認した。さらに正面方向利得も 6.7~8.2dBi と高効率なアンテナを実現した。



AMC 反射板上のループアンテナ (2 周波数)



DC 配線を含む試作品

図 5 偏波依存 AMC 反射板を用いた 2 周波数アンテナ

## 2. 2 高順電流ダイオード検波回路技術の研究開発

本節では、課題イ「高順電流ダイオード検波回路技術」について述べる。本研究開発においては、開発した RF-DC 変換回路への入力信号レベル  $-20\text{dBm}$  の環境下において、 $1.5\text{V}$  程度の電圧で、単層アンテナ  $1\text{m}^2$  当たり  $100\mu\text{W}$  以上の電力が継続的に出力可能となるようシステム設計を行うことが最終目標である。ここで、 $1\text{m}^2$  当たり約 50 個のアンテナが実装されると想定すると、RF-DC 変換回路と DC/DC 回路に要求されるトータル電力変換効率  $\eta$  は  $\eta = 100\mu\text{W}/(-20\text{dBm} \times 50) = 0.2$  となる。過去に発表されている RF-DC 変換回路と DC/DC 回路の性能を図 6 に示す。本研究開発での各回路に対する入力電力の設定状況を考慮し、RF-DC 変換回路に関しては入力電力が  $-20\text{dBm}$  時、DC/DC 回路に関しては入力電力が数  $\mu\text{W}$  時と、各々の条件での電力変換効率に着目して目標設定を行った。具体的には両者とも世界トップレベルの性能をめざし、RF-DC 変換回路の目標電力変換効率を 0.3、DC/DC 回路の目標電力変換効率を 0.7 として、トータルの電力変換効率  $0.3 \times 0.7 = 0.21 > 0.2$  を実現できるよう目標値を導出した。次に、電力束密度測定結果から RF-DC 変換回路へ到達する電圧を推定したところ、mV オーダであることが判明したので、本研究開発においては、mV オーダの極低電圧下での目標達成に向けて研究開発を推進することとした。

高効率な RF-DC 変換回路を開発するためには、シミュレーション結果が実測結果と合うように整備された RF 基板パターンのシミュレーション環境が必要である。そこで、まずは本研究開発で用いるリジッド基板材料について、特性評価パターン等を搭載した評価基板を試作し測定を

行った。結果をシミュレーション環境に反映することで、高効率 RF-DC 変換回路開発に向けた設計環境・手法を確立した。RF-DC 変換回路の高効率化に対しては、

- (1)ダイオードデバイスの改良による方法  
(個別部品使用 RF-DC)
- (2)ダイオード構成の工夫による方法  
(オンチップトランジスタ使用 RF-DC)

の 2 つの切り口から並行して検討を行い、最も RF-DC 変換回路の高効率化に有効な方式を決定する方針とした。

(1)の方法では、ダイオードデバイスのどこを改良すると RF-DC 変換回路の電力変換効率を改善できそうか検討するため、個別部品のショットキダイオードについてフィーダビリティスタディを行った。その結果、パッケージ寄生容量を除去した場合に電力変換効率改善効果の可能性があると知見を得た。そこで、パッケージ無しのショットキダイオードデバイスを実装した RF-DC 変換回路を試作し、パッケージ品を実装した RF-DC 変換回路との比較評価を行った。その結果、基板実装時の寄生容量成分を完全に除去することは難しく、電力変換効率改善効果は 3%以下程度にとどまることが分かった。

(2)の方法では、IC チップ内の高周波特性が RF-DC 変換回路の特性に影響を与えるため、IC チップ設計と基板設計を同時に精度よく取り扱えるシミュレーション環境が必要である。そのため、RF-DC 変換回路のチップ試作を行い、評価結果を用いて実測とシミュレーションの合せ込みを行った。またチップ試作の際、半波整流タイプや全波整流タイプ等の複数の RF-DC 変換回路方式を実装し電力変換効率の相対的な比較評価を同時に行った。この試作評価により、IC チップ設計と基板設計を同時に精度良く扱えるシミュレーション環境構築と、オンチップトランジスタ使用 RF-DC として最も高効率なダイオード構成の明確化を達成した。

次に(1)と(2)の検討結果を比較したところ、(2)のチップを用いる方法の方が、(1)の方法よりも大きな電力変換効率改善効果の可能性を示した。そこで、各回路パラメータの最適化を含め再度チップ試作を行い、RPH パネルに搭載する形状で RF-DC 変換回路基板を対象となる 3 周波数帯それぞれについて製造した(図 7)。評価実験の結果、高い電力変換効率を示し、目標値である 30%を超えることを実機確認し、目標を達成した(図 8)。

また電力変換効率改善に向けた追加検討として、複数のアンテナからの入力電力を RF 合成して RF-DC 変換回路へ入力する方法と、RF-DC 変換回路を通った後 DC 合成してから後段の DC/DC 回路に入力する方法についても検討を行った。シミュレーションで検討を行った結果、RF 合成は信号の位相に関する感度が高く、各アンテナに到達する電波の位相が変動しやすい環境においては実運用が難しいことが分かった。一方、DC 合成は出力が位相に左右されないため、RF-DC 変換回路が出力する小さな電力を全て足し合わせた後に DC/DC 回路に入力することが全体の電力変換効率改善につながるような配置においては、有効な方法であることが分かった。しかしながら、今回の RPH パネルに関しては、各 RF-DC 変換回路と DC/DC 回路間の配線がアンテナ特性にもたらす影響を考慮すると採用が難しく、この方法での実装は行わなかった。

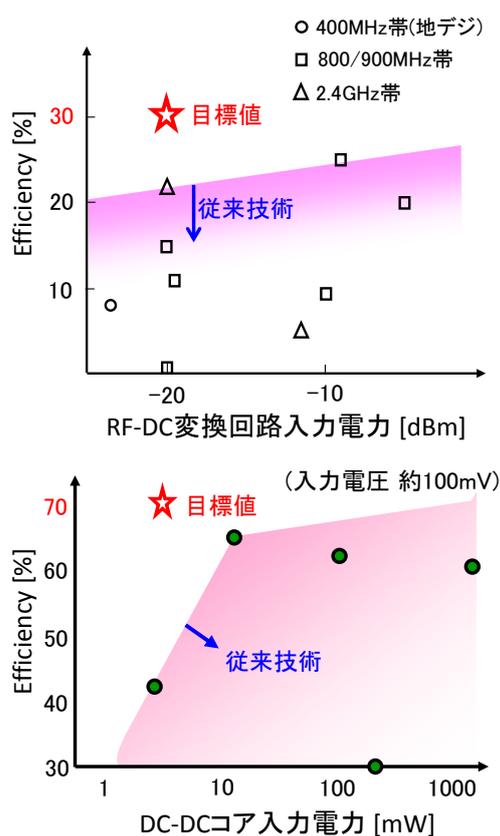


図 6 RF-DC 変換回路と DC-DC 回路の従来報告との性能比較

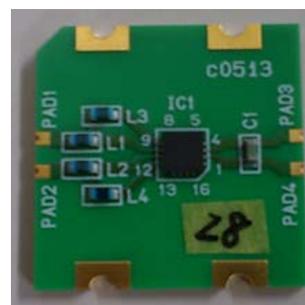


図 7 RF-DC 変換回路基板

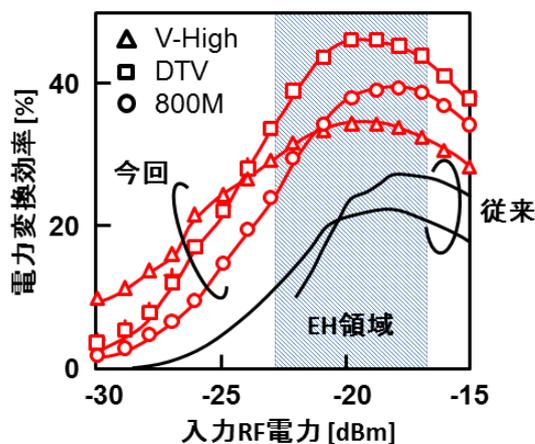


図 8 RF-DC 変換回路の電力変換効率

### 2. 3 電源回路構成技術の研究開発

本節では、課題ウ「電源回路構成技術」について述べる。まず、要素技術を確立するため、複数個のアンテナ (およ

び RF-DC 変換回路)からの電力入力に対応し、電力変換効率の向上に向けた DC/DC 回路の設計および評価を行った。その結果、入力電圧 100mV、出力電圧 1.5V・負荷 100 $\mu$ W で電力変換効率 70%が得られた。続いて、自己消費電流の低減技術を導入して電力変換効率を向上させるとともに、図 9 に示す RPH パネルに搭載するためのインタフェースを備えた DC/DC 回路の設計を行い、その DC/DC 回路を実装した電源 IC を開発した。なお、1m 角の RPH パネルは 50cm 角の子パネル 4 枚で構成され、各子パネルに電源 IC を 1 個ずつ搭載している。

上述の DC/DC 回路を評価した結果、100 $\mu$ W の負荷時に電力変換効率 78%が得られた。また、自己消費電流の評価の結果、無負荷時の自己消費電流は 1m 角の RPH パネルに搭載する電源 IC (DC/DC 回路) 4 個を合わせて 2.8 $\mu$ A であることを確認した。

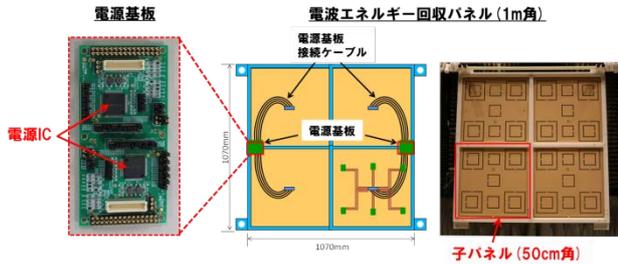


図 9 RPH パネルの構成

## 2. 4 システム設計及び実証実験

本節では、課題エ「システム設計及び実証実験」について述べる。

本研究開発の各課題で開発したアンテナ、RF-DC 変換回路、DC/DC 回路を組み合わせて、回収電力を最大化するシステム設計を行い、それに基づいて RPH パネルを試作した。また、前述の評価環境を構築するため、電波暗室内に信号発生器、送信機等を設置し、RPH パネル配置場所の電力束密度を V-High、DTV、800M の各周波数帯域で 286 $\mu$ W/m<sup>2</sup>に設定した (図 10)。RPH パネルでの回収電力の評価は CW と、実環境での送信波をキャプチャなどして再生した変調波の 2 種類の電波形式で評価を行った。

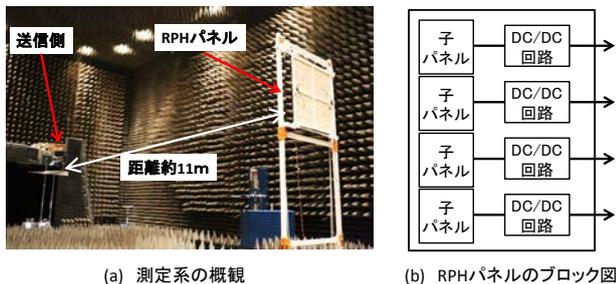


図 10 電波暗室の評価系

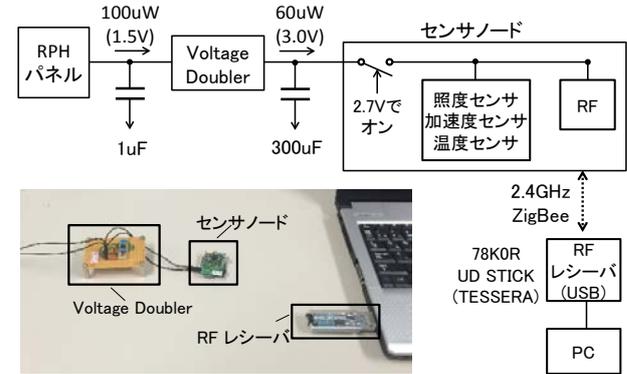
表 4 出力電力

送信号形式	負荷抵抗 [k $\Omega$ ]	出力電圧 [V]	出力電力 [ $\mu$ W]
CW	11	1.22	136
	18	1.47	120
変調	13	1.26	124
	20	1.46	106

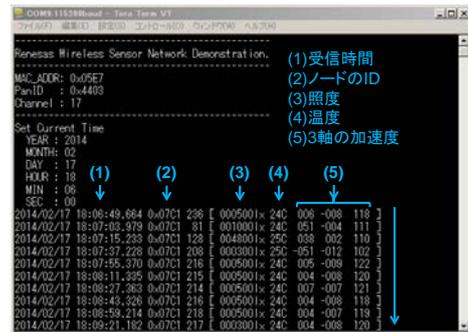
その結果、表 4 に示すように、出力電圧が約 1.5V で 120 $\mu$ W の出力が継続的に得られ、到達目標である 100 $\mu$ W 以上の DC 電力回収が可能であることを実証した。

## RPH パネルによるセンサノード駆動実験

実際のセンサノードアプリケーションへの適用性を検証するため、RPH パネル評価系に図 11 に示すような ZigBee インタフェースを持ったセンサ (照度、加速度、温度) を接続し、無線センサノードの駆動実験を行った。その結果、20 秒に 1 回程度センサ情報の送出手続きを確認した。



(a) ブロック図



(b) 受信画面

図 11 無線センサノードの動作実験

## 実環境における RPH パネル実測評価

実環境における電力回収実験として、50cm 角のフレキシブル基板 2 枚を用い、株式会社 国際電気通信基礎技術研究所の社屋において、約 11km 離れた生駒山から送信されている V-High、DTV の 2 周波の電力回収実験を行った。このとき標準ダイポールアンテナでの受信電力はそれぞれ、-14dBm、-25dBm であった。この環境下で、約 1.5V 出力で 12 $\mu$ W の電力回収に成功した。さらに、この回収電力を利用し、平均消費電力 15 $\mu$ W の LCD 温度計を連続的に駆動させることに成功した (図 12)。

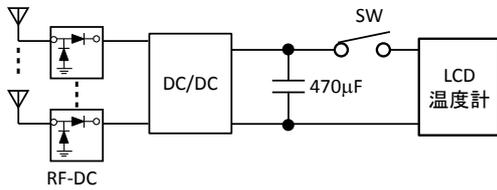


図 12 実環境での電力回収実験の様子

### 3. 今後の研究開発成果の展開及び波及効果創出への取り組み

本研究開発では、人々が暮らしている生活環境に広く存在し、通信、放送等で情報伝達に使われている送信電磁波から、無駄になっているエネルギーを回収する技術について検討を行った。単位面積当たりの回収電力としては微小であるが、施設の壁面等への設置により受電面積を広げることで、起電力を増大することができる。起電力においては、太陽電池が勝るが、夜間や屋内でも電磁波が届くところであれば、発電できることがメリットである。また、振動や圧電の発電と異なり、施設等の静的な環境で発電することもメリットである。

本研究開発の技術の派生的な展開として、周波数の動的制御が可能な電磁波シールドや、壁等への埋め込み型センサの電力源としての可能性がある（図 13）。また、要素技術である高順電流ダイオードや低リークで高効率な電源回路構成技術は、一般的に電磁波よりも起電力が大きいと言われている振動等の他のエネルギーハーベスタの基幹部品としても利用可能である。さらに、無線電力伝送の受電機能等の効率向上への応用も期待できる。従って、本研究開発成果との複合的なハーベスティング技術への展開も十分に期待できる。さらにまた、エネルギーハーベスティングは、センサネットワークの課題の一つである電池交換の問題を解決しうる技術であり、インフラ維持管理・更新マネジメント技術等への応用が有望である。例えば、喫緊の社会的課題である、高度成長期に構築され、耐用年数を越え始めているコンクリート構造物の点検メンテナンス用のセンサネットワークを実現するためのセンサ電源への貢献が期待できる。

本研究開発の成果については、引き続き国内主要フォーラムでの発表(Techno Frontier 2014、CEATEC 併催の研究会、マイクロウェーブ展 2014)などでその成果の普及に努め、本研究開発の成果である電磁波エネルギー回収の要素技術の社会展開を推進し、社会ニーズを見極め、技術普及を目指す。

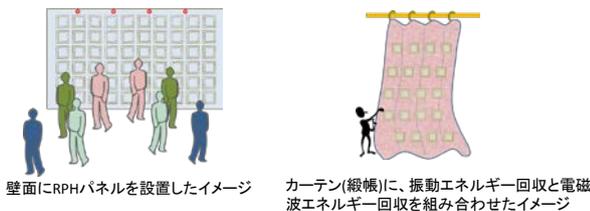


図 13 成果の展開イメージ

### 4. むすび

生活空間に存在する放送・通信用の電磁波からの高効率な電力回収を目指し、複数周波数帯域を受信するアンテナパネル、RF-DC 変換回路、DC/DC 回路の開発を進めた。アンテナについては、同一面内に入射する 3 周波数を高効率に受信する技術を確立し、3 周波数の平均で 63%のアンテナ開口効率を実現した。受信した RF 信号を DC 電力に変換する RF-DC 変換回路は、製造パラツキを考慮しつつ -20dBm の RF 信号入力において各周波数とも 30%以上、最大 46%の電力変換効率を達成した。複数の RF-DC 変換回路からの DC 電力を集約し、1.5V に昇圧する DC/DC 回路は 100µW 出力時の電力変換効率 78%を達成し、また無負荷時の消費電力を 2.8µA と極めて小さく抑えることができた。さらに RF-DC 変換回路と DC/DC 回路のトータルの電力変換効率は 27%を達成した。実証実験においては出力電圧が約 1.5V で 120µW の出力が継続的に得られ、到達目標である 100µW 以上の DC 電力回収が可能であることを確認し、開発目標を達成した。

#### 【査読付発表論文リスト】

- [1] S. Kitazawa, M. Hanazawa, S. Ano, H. Kamoda, H. Ban, and K. Kobayashi, "Field test results of rf energy harvesting from cellular base station", 6th Global Symposium on Millimeter Wave (2013年4月23日)
- [2] H. Kamoda, M. Hanazawa, S. Kitazawa, H. Ban, and K. Kobayashi, "Mutual coupling effect on rectenna array for RF energy harvesting", 43rd European Microwave Conference, pp.503-506(2013年10月9日)
- [3] H. Kamoda, M. Hanazawa, S. Kitazawa, H. Ban, N. Kukutsu, and K. Kobayashi, "Design of rectenna array panel taking into account mutual coupling for RF energy harvesting", 2014 IEEE Radio and Wireless Symposium, pp.61-63 (2014年1月20日)

#### 【受賞リスト】

- [1] 北沢祥一、電子情報通信学会 無線電力伝送研究会 特別講演功労感謝状受賞、「[招待講演] 放送、通信に用いる 3 周波数帯からの電磁波エネルギーの回収」2013年11月22日

#### 【報道掲載リスト】

- [1] "地デジとスマホの電波同時に効率発電"、日経産業新聞、2013年11月8日
- [2] "TV 電波を電力に"、京都新聞、2013年11月19日

#### 【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- <http://www.atr.jp/expo2012/poster.html>  
<http://www.atr.jp/expo2013/poster.html>