

# 小形ガスメーター搭載用電磁結合給電型アンテナの検討

佐藤 シャチ<sup>1</sup> 佐藤 弘康<sup>2</sup> 陳 強<sup>2</sup> 土屋 創太<sup>3</sup> 横山 睦人<sup>3</sup>

1 東北大学電気情報物理工学科 電気工学コース 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

2 東北大学大学院工学研究科 通信工学専攻 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-05

3 東京ガス株式会社

E-mail: 1 sato-s@ecei.tohoku.ac.jp

**あらまし** 本報告では、ガススマートメーター用 920 MHz 帯アンテナとして電磁結合給電アンテナの設計を実験的に行っている。アンテナは、ガススマートメーター内部に置かれた給電素子が金属製筐体のカバーに装着された平面状無給電素子を電磁結合により励振する構造を有している。給電素子として、パッチ型の場合と逆 F 型の場合について検討し、反射特性と放射特性を測定した。その結果、放射効率について、パッチ型電磁結合給電アンテナは-0.9 dB、逆 F 型電磁結合給電アンテナは-1.8 dB が得られ、パッチ型給電の方が高効率との結果が得られた。

**キーワード** Wi-SUN, アンテナ, 電磁結合給電

## A Study of Antennas For Small Gas-Meter With Electromagnetic-Coupling Feed

Shachi SATO<sup>1</sup> Hiroyasu SATO<sup>2</sup> Qiang CHEN<sup>2</sup> Sota Tsuchiya<sup>3</sup> Chikato Yokoyama<sup>3</sup>

1 Department of Electrical, Information and Physics Engineering, Tohoku University

6-6-05 Aramaki Aza Aoba, Sendai, Miyagi, 980-8579 Japan

2 Graduate School of Engineering, Tohoku University

3 Tokyo Gas Co., Ltd.

E-mail: 1 sato-s@ecei.tohoku.ac.jp

**Abstract** In this report, experimental study of the electromagnetic-coupling antennas for Small Gas-Meter at 920 MHz band is performed. The EM-coupling antennas are with a planar parasitic element located on the dielectric cover of a Gas-Meter, and is excited by a feeding element installed in the Gas-Meter box. As the feeding element, the patch-feed and Inverted-F feed are considered and the reflection characteristics and the radiation characteristics are evaluated. As a result, the radiation efficiency of -0.9 dB in the case of a patch-feed EM-coupling antenna and -1.8 dB in the case of an Inverted-F feed EM-coupling antenna are obtained and it is shown that high efficiency is realized in the case of EM-coupling antenna with a patch-feeding element.

**Keywords** Wi-SUN, Antenna, Electromagnetic coupling feed

### 1. まえがき

近年の IoT(Internet of Things)化の一環として電気、ガス、水道などの検針データを 920 MHz 帯の無線通信で収集する技術(Wi-SUN)が注目されている[1-4]。通常マンションなどの集合住宅にはパイプシャフトと呼ばれるガス管などを上下階に通すためのスペースがあり、パイプシャフト内のガス管に装着して検針を行うガススマートメーターの開発が検討されている。マンションなどの集合住宅に設置された検針メーターとデータ収集端末間で無線通信を行うだけでなく、検針メーターが近接する他の検針メーターを介してデータ収集を行うことも検討されている。

マンションの通路における無線通信を考えた場合、

各階における通路はマルチパス伝搬路であり、複数の伝搬経路によって生じる干渉により受信電力が大幅に低下するなどのマルチパスフェージングが発生する。

そのため、ガススマートメーター用アンテナには、マルチパス伝搬路において通信が途切れない、高い通信品質を維持できる高効率のアンテナ特性が望まれる。

本報告ではガススマートメーターに搭載する小形アンテナについて検討する。小形ガススマートメーターとして樹脂製カバーをかぶせた金属製筐体を検討しており、筐体内部にガス流量計や電子回路基板等の導体を含む部品が内蔵される。高効率のためにはこの体積を有効に利用したアンテナが望まれる。そこで本報告では、ガススマートメーターの筐体内部に設置した

給電素子が、近接した平面状無給電素子を電磁結合で励振する構造を検討する。電磁結合給電を用いることで樹脂製カバーに無給電素子を装着できるため、ガススマートメーターの筐体の体積を有効に利用したアンテナの設計が期待できる。

## 2. 電磁結合給電アンテナの構造

逆 F 型電磁結合給電アンテナの構造を図 1 に示す。ガススマートメーターは金属製筐体部、誘電体カバー部から構成され、ガスメーターの電子回路基板を想定した給電素子として幅  $W_G$ 、長さ  $L_G$  のグラウンド板の端部に、幅  $W_p$ 、長さ  $L_p$ 、高さ  $h_p$  の板状給電素子を設ける。ここで、グラウンド板は固定金具(点 S)によって金属製筐体と短絡している。グラウンド板と板状給電素子をショートピンで短絡した場合を逆 F 型給電素子、短絡しない場合をパッチ型給電素子と呼称することにする。給電素子の上部には長さ  $L_c$ 、幅  $W_c$ 、高さ  $h_c$  の無給電素子を配置し、樹脂製カバーに装着する。

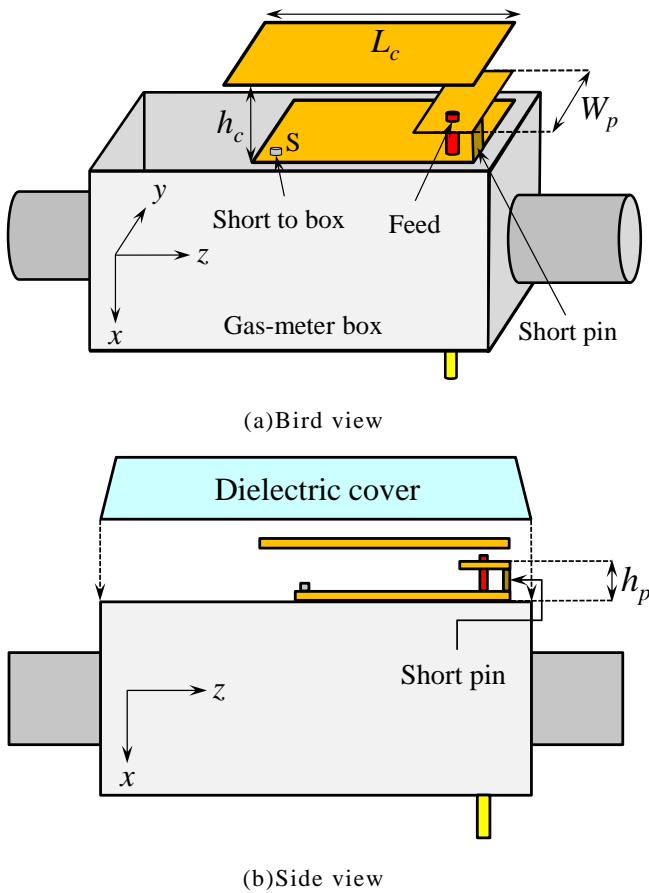


図 1: 逆 F 型電磁結合給電アンテナの構造

測定の際、アンテナの給電用 SMA コネクタに接続されたセミリジッドケーブルは筐体の底部に設けた貫通穴を通して接続した。

給電素子のコーナーを点 O とし、点 O から y 軸方向に  $d_y$ 、-z 軸方向に  $d_z$  をとる。逆 F 型給電素子の給電位置の座標は  $(d_y, d_z) = (10 \text{ mm}, 11 \text{ mm})$  とする。一方、パッチ型給電素子の場合、給電位置は  $(d_y, d_z) = (26 \text{ mm}, 11 \text{ mm})$  とする。

アンテナの性能を実験的に評価する際のケーブルの影響の問題がある。アンテナの給電はセミリジッドケーブルで行うが、不平衡電流によるセミリジッドケーブルからの不要放射がある。不要放射によって放射パターンや放射効率測定などの電波暗室で行われる実験値に影響する。この問題を解決するため、セミリジッドケーブルにフェライトコアを装荷し、不平衡電流を抑制して実験を行った。

また、セミリジッドケーブルが金属製筐体底部の穴で接触してしまうことによるアンテナ特性の変化も測定上の問題である。セミリジッドケーブルの外導体が金属製筐体と接触し短絡してしまうと、不平衡電流が金属製筐体に強く流れ、アンテナ特性が大幅に変化してしまう。そこで、セミリジッドケーブルと金属製筐体の間にテフロンを挿入して絶縁することにより使用時の状態を考慮して実験的に設計を行った。

## 3. 実験結果

### 3.1 反射特性

図 1 中に示す寸法のうち、無給電素子の長さ  $L_c$  と高さ  $h_c$  を変化させた場合について入力インピーダンスおよび反射特性を測定した。ただし、 $L_c$  と  $h_c$  以外の寸法は表 1 に示した固定値とする。

表 1:アンテナの構造パラメータ

	[mm]
Width of Ground $W_G$	50
Length of Ground $L_G$	90
Width of feeding patch $W_p$	53
Length of feeding patch $L_p$	22
Height of feeding patch $h_p$	10

パッチ型給電素子の場合について、 $L_c$  と  $h_c$  をそれぞれ  $L_c=80, 90, 100, 110, 115, 120$  mm,  $h_c=12, 15, 20, 25, 30$  mm と変化させたときの 920 MHz における反射係数  $|S_{11}|$  及び入力インピーダンスについて、縦軸に  $L_c$ , 横軸に  $h_c$  をとり濃淡で表示したものを図 2, 3 にそれぞれ示す。反射係数  $|S_{11}|$  の値は 2 dB 間隔で示してある。図 3 (a) は入力抵抗  $R_{in}$ , 図 3(b) は入力リアクタンス  $X_{in}$  をそれぞれ表したものであり、等抵抗線, 等リアクタンス線を 10  $\Omega$  間隔で示してある。図 3 中の○点は、図 2 において反射係数が最小となった ( $L_c, h_c$ ) の値と同じ位置にプロットしたものである。この○点では入力抵抗が  $R_{in}=50 \Omega$  に近く、入力リアクタンス  $X_{in}$  は  $X_{in}=0 \Omega$  となっていることが読み取れる。以上の結果から、 $L_c, h_c$  の値には反射係数を最小にする最適値が存在し、( $L_c, h_c$ )=(115 mm, 15 mm) の組み合わせのときに反射が最小となることがわかった。

一方、逆 F 型給電素子の場合について、 $L_c$  と  $h_c$  をそれぞれ  $L_c=80, 90, 100, 110, 120$  mm,  $h_c=13, 15, 17, 19$  mm と変化させたときの 920 MHz における反射係数  $|S_{11}|$  及び入力インピーダンスを図 4, 5 にそれぞれ示す。パッチ型給電素子の場合と同様に、 $L_c, h_c$  の値には反射係数を最小にする最適値が存在し、( $L_c, h_c$ )=(90 mm, 13 mm) の組み合わせのときに反射が最小となることがわかった。

インピーダンス整合のための設計指針を得るために考察を加える。パッチ型, 逆 F 型いずれの給電素子についても無給電素子の高さ  $h_c$  を低くすることで入力抵抗  $R_{in}$  を大きくすることができる。一方、リアクタンス  $X_{in}$  については無給電素子が給電素子から離れるにつれて、パッチ型給電素子ではインダクティブ, 逆 F 型給電素子ではキャパシティブとなっている。無給電素子を近づけ、 $h_c$  が 14 mm ( $0.043\lambda_0$ ) 以下になると電磁結合が強まり、無給電素子の長さ  $L_c$  に対する依存性が現れる。高さ  $h_c$  が低く一定の場合、無給電素子の長さ  $L_c$  がグラウンドの長さ  $L_G=90$  mm に等しくなると  $X_{in}=0$  の共振が現れている。パッチ型給電素子において、 $h_c=12$  mm から  $X_{in}=0 \Omega$  の等リアクタンス線上を移動すると入力抵抗  $R_{in}$  が小さくなり、○点で  $R_{in}=50 \Omega$  を得ることが可能となる。一方、逆 F 型給電素子の場合

○点で  $X_{in}$  が最も小さく、構造を変化させた場合は整合を得ることが困難になると考えられる。以上の考察から、高さ  $h_c$  の自由度はパッチ型給電素子の方が高く、無給電素子の長さ  $L_c$  はパッチ型給電素子の方が大きくできることがわかった。

920 MHz において、パッチ型給電素子は ( $L_c, h_c$ )=(115 mm, 15 mm), 逆 F 型の場合の場合は ( $L_c, h_c$ )=(90 mm, 13 mm) のときの反射係数の周波数特性を図 6, 図 7 にそれぞれ示す。反射係数が -10 dB 以下となる帯域はパッチ型給電素子, 逆 F 型給電素子それぞれ 810 MHz-1 GHz, 860-960 MHz であり、比帯域としてそれぞれ 20.6 %, 10.9 % が得られ、パッチ型給電素子の場合が広い帯域であった。

### 3.2 放射特性

3.1 節で得られた構造のアンテナを用いて、放射パターン, 利得および放射効率の測定を行った。使用したアンテナ構造を表 2 に示す。ただし、パッチ型電磁結合給電アンテナの  $h_c$  については、構造の制約上 12 mm として測定を行った。

表 2: 放射特性を評価したアンテナ構造

	Patch-feed antenna		Inverted-F-feed antenna	
	[mm]	$[\lambda_0]$	[mm]	$[\lambda_0]$
$W_G$	50	0.15	50	0.15
$L_G$	90	0.28	90	0.28
$W_p$	53	0.16	53	0.16
$L_p$	22	0.07	22	0.07
$h_p$	10	0.03	10	0.03
$L_c$	115	0.35	90	0.28
$h_c$	12	0.04	13	0.04

放射特性の測定システムを図 10 に示す。図 10 の座標系は図 1 の座標系に対応している。測定は電波暗室で行った。920 MHz 帯標準ダイポールアンテナを基準アンテナとして使用し、表 2 に示したアンテナを被測定アンテナとして 3 次元放射パターン, 相対利得をネットワークアナライザ (Agilent E8362B) を用いて測定した。

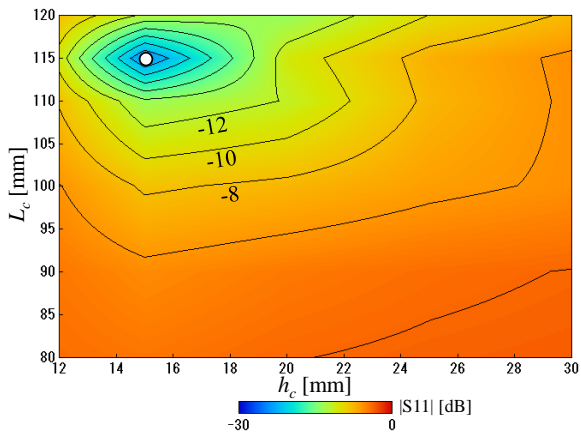


図 2: パッチ型電磁結合給電アンテナの反射係数|S11|

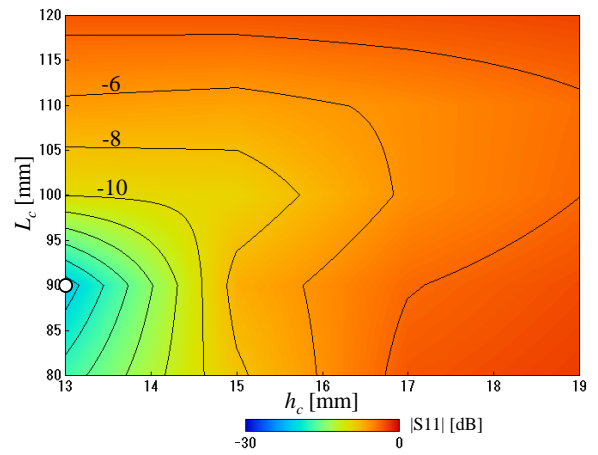
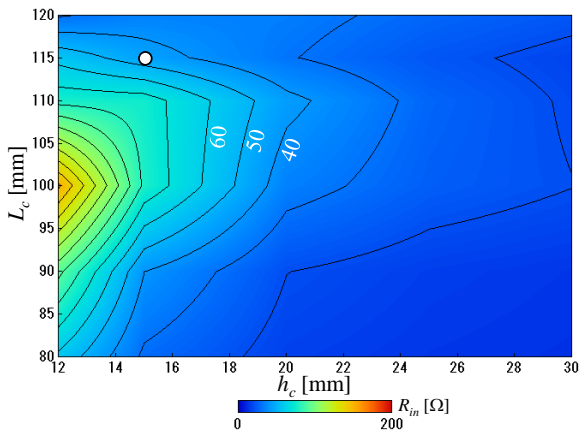
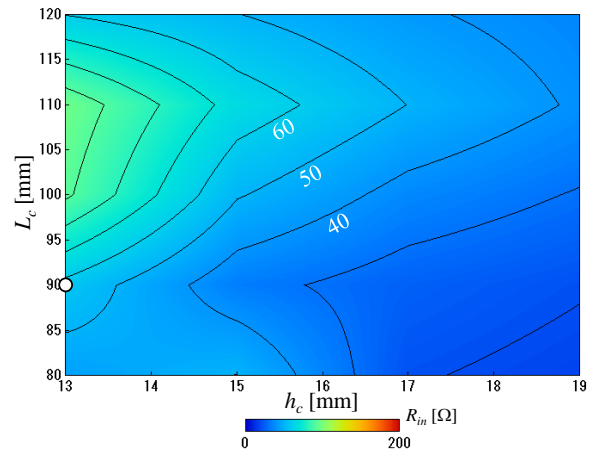


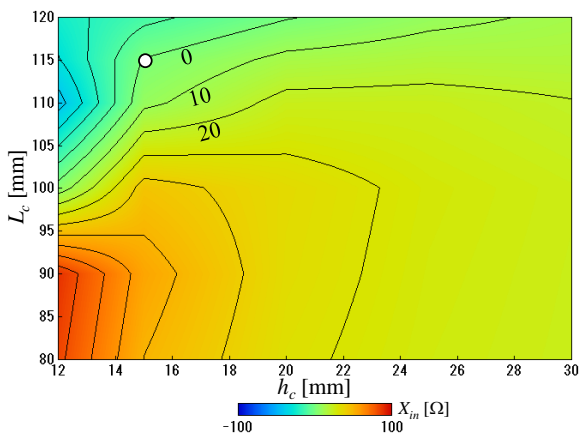
図 4: 逆 F 型電磁結合給電アンテナの反射係数|S11|



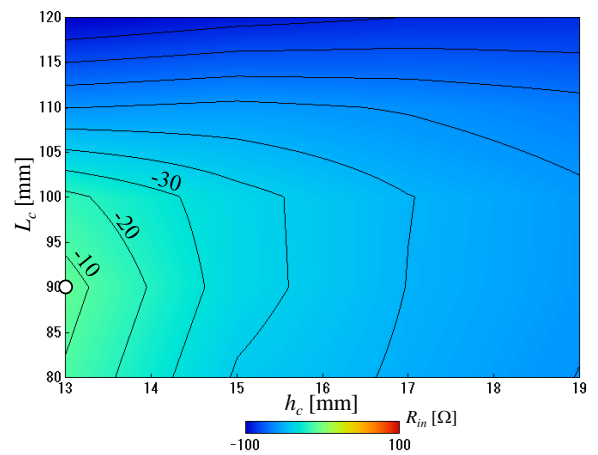
(a) 入力抵抗  $R_{in}$



(a) 入力抵抗  $R_{in}$



(b) 入力リアクタンス  $X_{in}$



(b) 入力リアクタンス  $X_{in}$

図 3: パッチ型電磁結合給電アンテナの入力インピーダンス ( $Z_{in}=R_{in}+jX_{in}$ )

図 5: 逆 F 型電磁結合給電アンテナの入力インピーダンス ( $Z_{in}=R_{in}+jX_{in}$ )

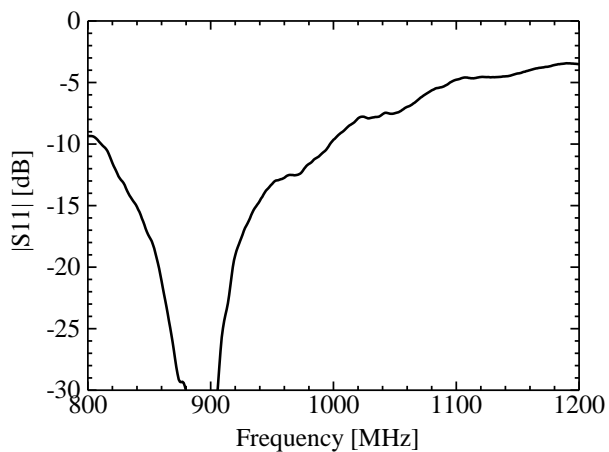


図 6: パッチ型電磁結合給電アンテナの反射係数 $|S_{11}|$ の周波数特性

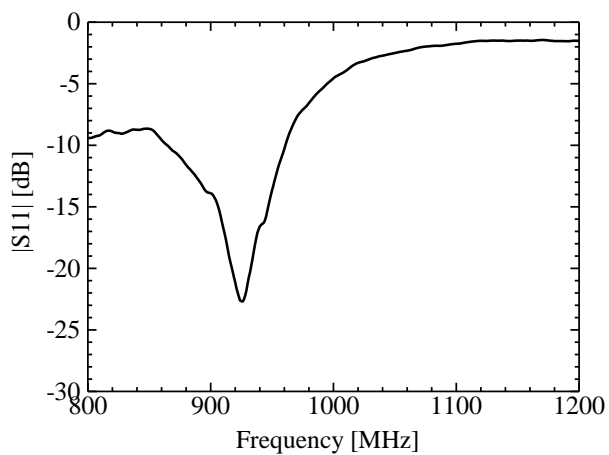
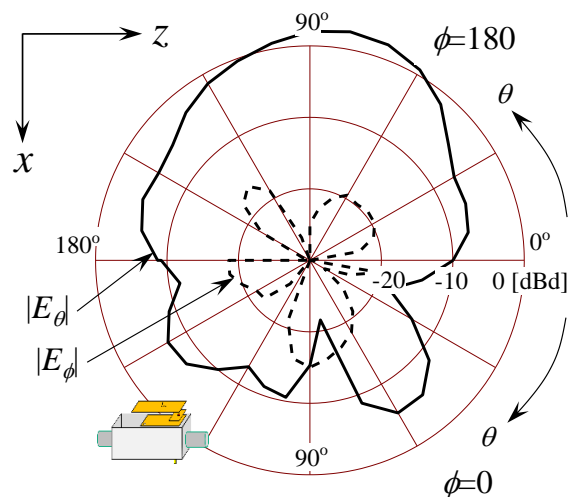
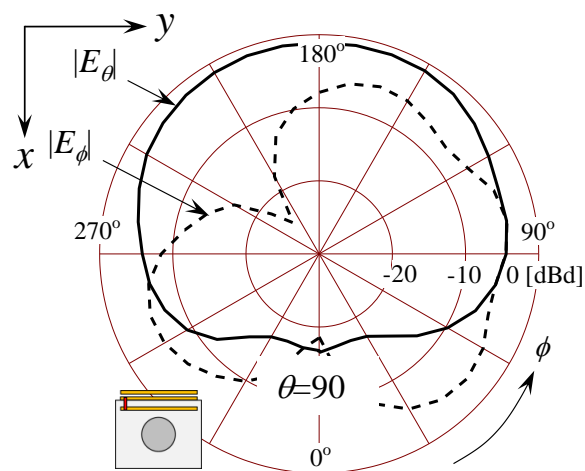


図 7: 逆 F 型電磁結合給電アンテナの反射係数 $|S_{11}|$ の周波数特性

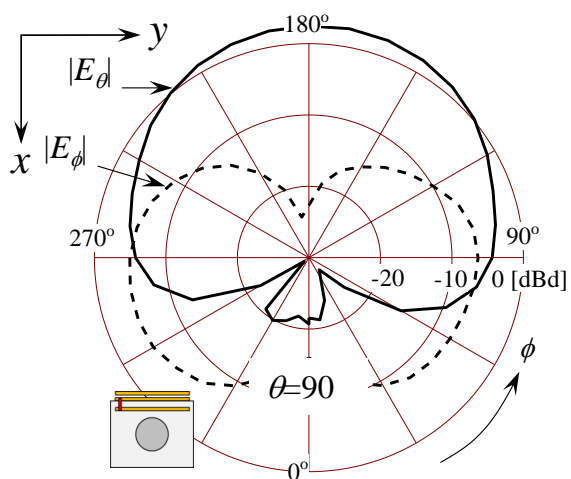


(b)zx 面

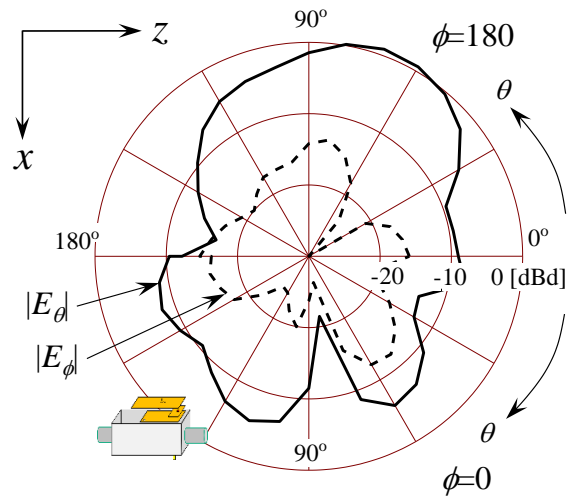
図 8: パッチ型電磁結合給電アンテナの放射パターン



(a)xy 面



(a)xy 面



(b)zx 面

図 9: 逆 F 型電磁結合給電アンテナの放射パターン

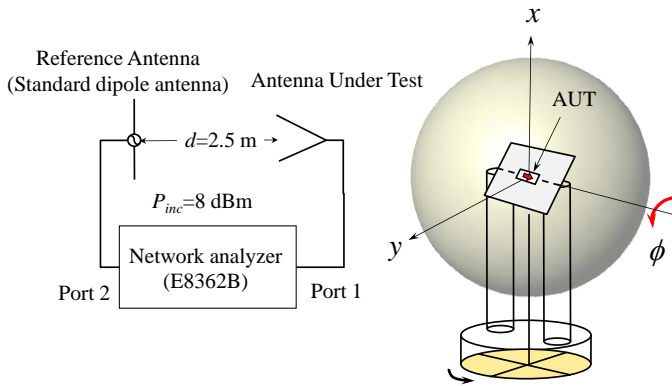


図 10:測定系および座標系

放射効率の算出には以下の式を用いた.

$$P_{AUT} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \{P_{AUT,\theta}(\theta, \phi) + P_{AUT,\phi}(\theta, \phi)\} \sin\theta d\theta d\phi \quad (1)$$

$$P_{REF} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} \{P_{REF,\theta}(\theta, \phi) + P_{REF,\phi}(\theta, \phi)\} \sin\theta d\theta d\phi \quad (2)$$

$$\eta = \frac{P_{AUT}}{P_{REF}} \times 100 \quad (3)$$

ただし,  $P_{REF}$  は送受標準ダイポールアンテナにおける全放射電力,  $P_{AUT}$  は被測定アンテナの全放射電力,  $P_{i,\theta}$  は受信ダイポールアンテナにおける受信電力の  $\theta$  偏波成分,  $P_{i,\phi}$  は受信ダイポールアンテナにおける受信電力の  $\phi$  偏波成分であり,  $i$  は  $AUT$  もしくは  $REF$  である.

パッチ型電磁結合給電アンテナ及び逆 F 型電磁結合給電アンテナの放射パターンを図 8, 9 にそれぞれ示す. パッチ型給電素子の場合は 2.5 dBd, 逆 F 型給電素子の場合は 1 dBd の最大相対利得が得られた. 放射方向は共に概ね無給電素子の法線方向(正面,  $\theta=90$  deg,  $\phi=180$  deg)であった.

2つのアンテナの放射パターンを比較すると,  $xy$  面における  $|E_\theta|$  成分のパターン形状は概ね等しいが,  $|E_\phi|$  成分については逆 F 型給電素子の方が大きい. 一方,  $zx$  面についてはパッチ型給電素子の  $|E_\theta|$  成分がほぼ正面( $\theta=90$  deg,  $\phi=180$  deg)方向に放射しているのに対し, 逆 F 型給電素子では  $\theta=30$  deg 方向にややチルトしている. これは, パッチ型給電素子と逆 F 型給電素子の給電方法の違いにより電流分布が異なるためと考えられる.

放射効率について, パッチ型電磁結合給電アンテナは -0.9 dB(80.5%), 逆 F 型電磁結合給電アンテナは -1.8 dB(65.9%) が得られ, パッチ型給電の方が高効率であった. 以上の結果をまとめて表 3 に示す. 無給電素子の長さはパッチ型給電の方が長いため, アンテナサイズが大きくなり高効率を得られたものと考えられる.

表 3: 給電素子構造に対するアンテナ特性の比較

	Patch-feed antenna	Inverted-F-feed antenna
Input reactance	Inductive/ Capacitive	Capacitive
Bandwidth	20.6 %	10.9 %
Radiation efficiency	-0.9 dB (80.5%)	-1.8 dB (65.9%)

#### 4. まとめ

ガススマートメーター用 920 MHz 帯電磁結合給電アンテナの設計を実験的に行った. 給電素子として, パッチ型の場合と逆 F 型の場合について比較し, 反射特性と放射特性を評価した. その結果, 放射効率について, パッチ型電磁結合給電アンテナは -0.9 dB, 逆 F 型電磁結合給電アンテナは -1.8 dB が得られ, パッチ型給電の方が高効率との結果が得られた. また, 無給電素子の構造と入力インピーダンスの関係を詳細に評価することによりアンテナのインピーダンス整合を図るための設計指針を得た.

#### 文 献

- [1] A.Yachir, Y.Amirat, A.Chibani, "Event-Aware Framework for Dynamic Services Discovery and Selection in the Context of Ambient Intelligence and Internet of Things," IEEE Transactions on Automation Science and Engineering, Vol.13, No.1, pp.85-102, January 2016.
- [2] Ming Zhao, LvanWang-Hei Ho, Peter Han Joo Chong, "An Energy-efficient Region-based RPL Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks," IEEE Internet of Things Journal, Volume:3, Issue:6, pp.1319-1333, 19 July 2016.
- [3] 原田博司, 児島史秀, SUM Chin-Sean, LU Alina Liru, "高度電波監理技術を用いたスマートユーティリティネットワーク," 信学技報, IEICE Technical Report, SR2011-85, January 2012.
- [4] 児島史秀, "新しい無線システムを生み出すワイヤレスグリッド技術," 情報通信研究機構, 情報通信の未来をつくる研究者たち, pp.49-51, 2012年9月.
- [5] 野口啓介, "複合モード励振による小形・平面アンテナの広帯域化," 信学論(B), Vol.J99-B, No.9, pp.655-664, Sept. 2016.