

ガススマートメーター搭載用電磁結合給電型アンテナの設計

佐藤 シャチ¹ 佐藤 弘康¹ 陳 強¹ 土屋創太² 遠藤秀樹²

1 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

2 東京ガス株式会社

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

あらまし ガススマートメーター用アンテナに用いる 920 MHz 帯電磁結合給電型アンテナの設計を行っている。アンテナは、ガススマートメーター内部に置かれた小形給電素子が、樹脂カバー近傍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。本報告では、動作メカニズムを明らかにするため実験的に設計されたアンテナ構造を簡略化したモデルを用いて電磁界解析を行った結果を示すとともに、アンテナの設計法について検討した結果を述べる。

キーワード Wi-SUN, アンテナ, 電磁結合給電

A Design of Electromagnetically Coupled Patch Antennas For Small Gas-Meters

Shachi SATO¹ Hiroyasu SATO¹ Qiang CHEN¹ Sota Tsuchiya² Hideki Endo²

1 Graduate School of Engineering, Tohoku University

2 Tokyo Gas Co., Ltd.

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

Abstract The 920MHz band electromagnetic coupling feeding antenna is designed for the gas smart meter. The antenna is composed of a feeding patch and a parasitic patch which is electromagnetically coupled by the feeding patch. The parasitic patch is mounted on the resin cover of the gas meter for efficient use of space in the meter. In this report, simulation results are demonstrated to show how to design the feeding patch and the parasitic patch, and how to couple the parasitic path at the required frequency band.

Keywords Wi-SUN, Antenna, Electromagnetic coupling feed

1. まえがき

近年のIoT(Internet of Things)化の一環としてガスや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。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、検針メーター間の通信も行うことでデータ収集を行うことも検討されている。

ガススマートメーター内部にはガス流量を計測する部品やそれらを駆動する回路基板、液晶ディスプレイなどが配置されており、アンテナを配置するスペースには制約がある。筆者らはこれまで、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平面状無給電素子を電磁結合で励振する構造について実験的検討を行った[1]。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大きさを有効に利用した高効率なアンテナが期待できる。

電磁結合を用いたアンテナには、大別すると伝送線路を用いてアンテナを励振する方法、給電素子で無給電素子を励振する方法が挙げられる[2]。誘電体基板の両面を利用するマイクロストリップ線路—スロット電磁結合給電アンテナ、給電パッチ上部に無給電パッチを配置することで2共振あるいは広帯域を得るスタックパッチアンテナがよく知られている。無給電素子の励振方法としては、Lプローブ型給電パッチアンテナ[3-5]、近接配置線状アンテナ、広帯域化を目的とした近接配置八木・宇田アンテナ等も提案されている。

いずれの場合も単体で共振可能な $\lambda/4 \sim \lambda/2$ 程度の給電素子を用いて実現されることが多く、 $\lambda/4$ 以下の平面状

給電素子を用いて無給電素子を励振するといった例は報告されていない。平面状給電素子を用いることで、Lプローブなどの線状給電素子を用いる場合に比べて給電素子-無給電素子間における強結合が期待できる。また、波長に対して十分に小さい給電素子であっても50Ωへのインピーダンス整合が可能であれば、省スペースなアンテナが期待できる。

本報告では、長さが $\lambda/4$ 以下の小形平面状給電素子が、半波長程度の無給電素子を励振する構造を有する電磁結合給電型パッチアンテナを提案し、設計法について検討した結果を述べる。

2. 電磁結合給電型パッチアンテナの構造[1]

ガススマートメーター用電磁結合給電型パッチアンテナの構造を図1に示す。給電素子として幅 W_G 、長さ L_G のグランド板の端部に、幅 W_p 、長さ L_p 、高さ h_p の平面状給電素子を設け、その上部に長さ L_c 、幅 W_c 、高さ h_c の無給電素子を配置する。このアンテナは、波長に対して小形の給電素子で半波長程度の大きさを持つ無給電素子を励振する構造を有している。

本報告では、図2(a)~(c)のような簡略化したモデルについてFDTD法を用いた電磁界解析を行った。

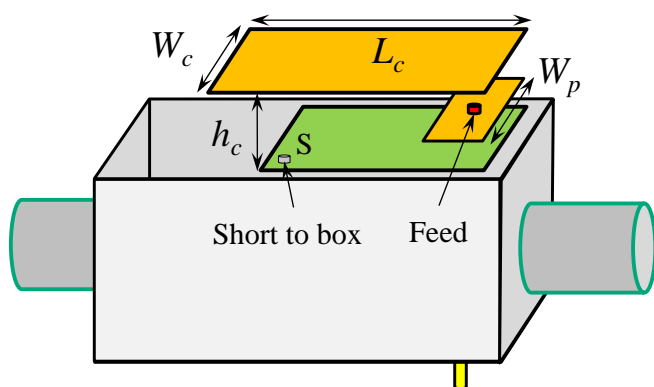
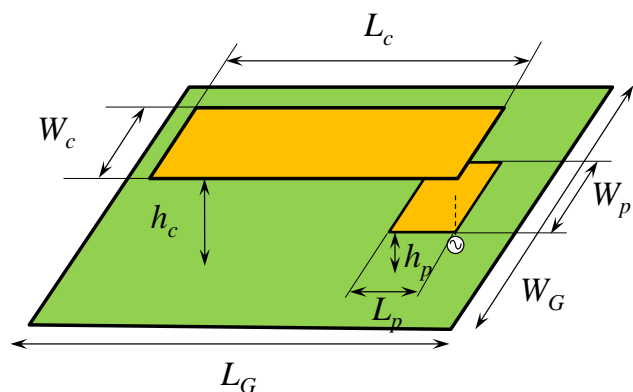
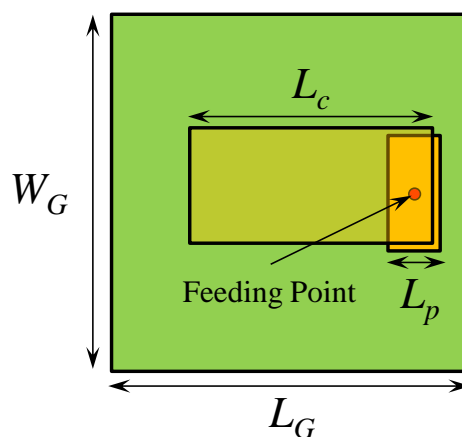


図1：ガススマートメーター用アンテナの模式図 (Birdview)



(a)簡略化したモデル(Birdview)



(b)簡略化したモデル(Topview)



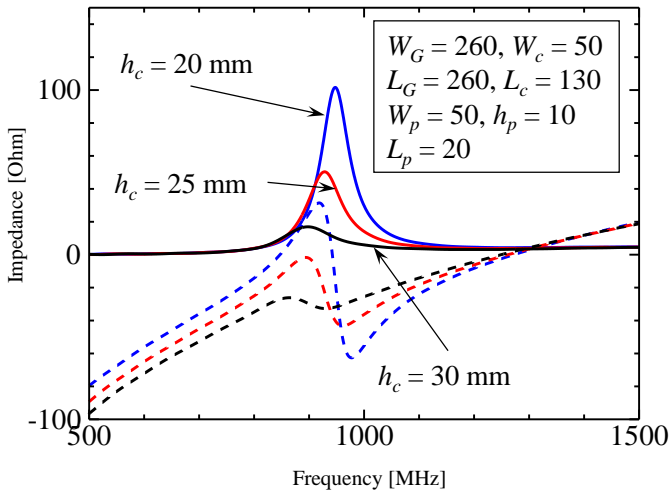
(c)簡略化したモデル(Sideview)

図2：電磁結合給電型パッチアンテナの構造

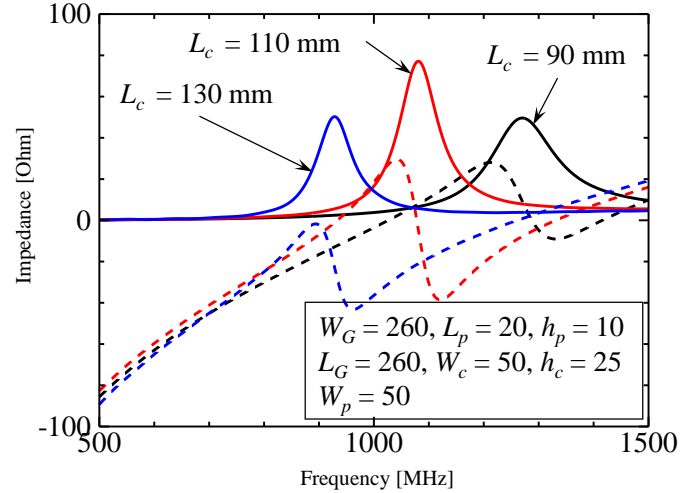
3. 解析結果

3.1 無給電素子の高さ h_c に対する変化

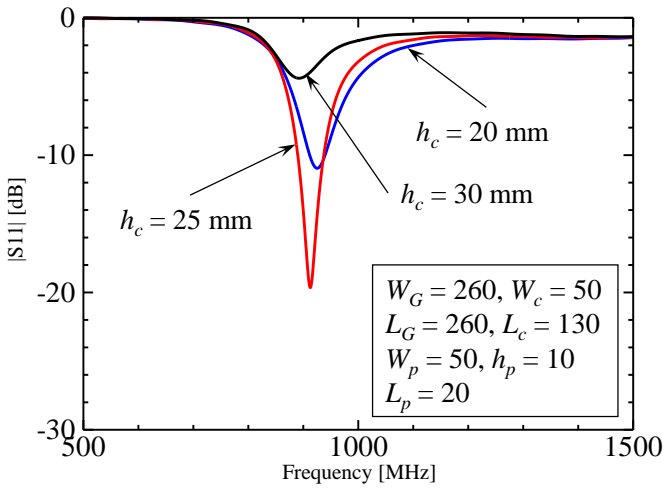
図2(a)中に示す寸法のうち、無給電素子の高さ h_c を変化させた場合について、入力インピーダンス Z_{in} および反射係数S11を図2(a), (b)にそれぞれ示す。ただし、寸法は図中に示しており単位はミリメートルである。



(a) 入力インピーダンス $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$

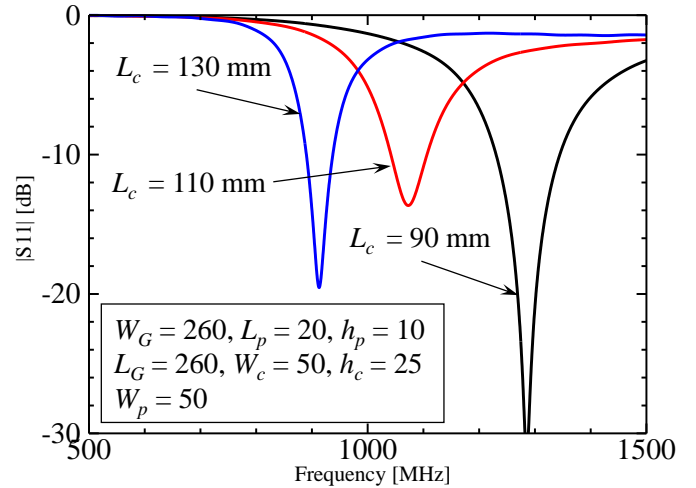


(a) 入力インピーダンス $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$



(b) 反射係数 S11

図 2: h_c を変化させたときのアンテナ特性



(b) 反射係数 S11

図 3: L_c を変化させたときのアンテナ特性

図 2(a)中の実線は入力抵抗 R_{in} 、破線は入力リアクタンス X_{in} をそれぞれ表したものである。 h_c が小さくなり給電素子に近づくにつれて入力インピーダンスの大きさ $|Z_{in}|$ が大きくなっていることがわかる。無給電素子の高さ h_c が小さくなり給電素子と無給電素子の結合が強くなるにつれ X_{in} はインダクティブに変化し、キャパシティブであった X_{in} に対して強い反共振が現れるとともに R_{in} も大きくなった。以上の結果から、無給電素子の高さ h_c を変化させて入力インピーダンスの大きさ $|Z_{in}|$ を調整できることがわかった。

3.2 無給電素子の長さ L_c に対する変化

図 1(b)中に示す寸法のうち、無給電素子の長さ L_c を変化させた場合について、入力インピーダンス Z_{in} および反射係数 S11 を図 3(a), (b)にそれぞれ示す。

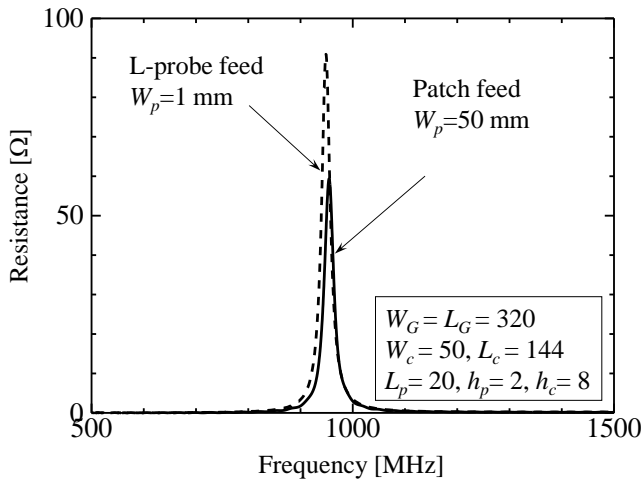
図 3(a)中の実線は入力抵抗 R_{in} 、破線は入力リアクタンス X_{in} をそれぞれ表したものである。 L_c が大きくなるにつれて共振周波数が低周波側にシフトした。この結果から、無給電素子の長さ L_c を変化させて共振周波数を調整できることがわかった。

以上の解析結果をもとにアンテナを設計するための指針を以下に列挙する。

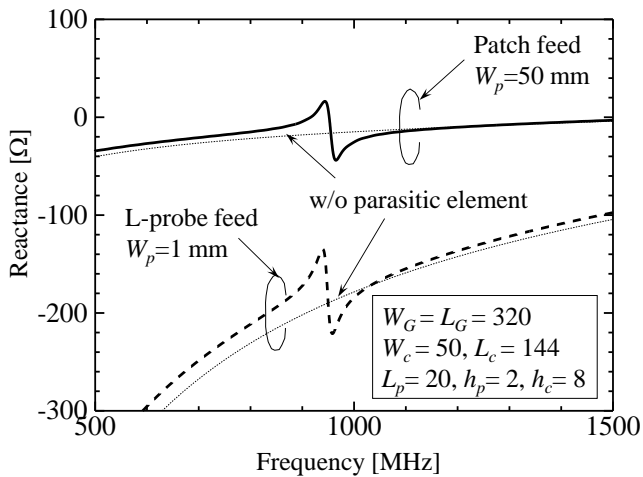
1. 無給電素子の高さ h_c を変化させて $|Z_{in}|$ を調整可能
2. 無給電素子の長さ L_c を変化させて共振周波数を調整可能

4. 給電素子の低姿勢化

ガススマートメーター内部のアンテナを含む回路基板には寸法の制約があり、基板上においてプリント化可



(a) 入力抵抗 R_{in}



(b) 入力リアクタンス X_{in}

図 4: 入力インピーダンス $Z_{in} = R_{in} + jX_{in}$

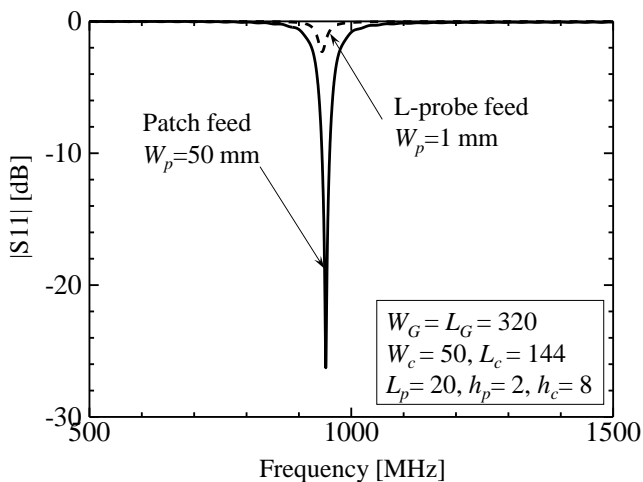


図 5: 反射係数 S11

能な低姿勢の給電素子が望ましく、給電素子の占有面積もできる限り小さくすることが望まれる。そこで、

給電素子の高さ h_p を 10 mm から 2 mm まで低姿勢化し、第 3 節で得た設計法を適用して再設計を行った。また、従来研究の L プロブ型給電[3-5]と比較する目的で、給電素子の幅 $W_p=50$ mm としたパッチ型給電の場合、及び $W_p=1$ mm とした L プロブ型給電の場合について解析した。ただし、L プロブの長さ L_p は通常 $\lambda/4$ の 80 mm 程度にされるが 20 mm にすることでパッチ型給電の場合と同じ長さにして比較を行った。

入力抵抗 R_{in} 、入力リアクタンス X_{in} を図 4(a), (b) に、反射係数 S11 を図 5 にそれぞれ示す。パッチ型給電、L プロブ型給電いずれの場合も入力抵抗 R_{in} に大きな差はないが、入力リアクタンス X_{in} は大きく異なっている。図 4(b)には無給電素子が無い場合の入力リアクタンス X_{in} も示している。L プロブ型給電ではプロブ単体の強いキャパシティブ性を有する入力リアクタンスが観測された。一方、パッチ型給電素子の場合は低い入力リアクタンスとともに反共振による $X_{in}=0$ が得られ、50Ωに対する整合できた。

以上の結果から、L プロブ型給電は L_p が $\lambda/4$ 確保できる場合で有効であるが、寸法の制約上 $\lambda/4$ 確保できない場合には不向きでありパッチ型給電が有効であると考えられる。

5. まとめ

ガススマートメーター用 920 MHz 帯電磁結合給電型アンテナの設計を解析的に行った。無給電素子の高さ h_c および長さ L_c を変化させたときの入力インピーダンスの変化を観察し、電磁結合給電型パッチアンテナを設計するための指針を得た。また、設計法をもとに給電素子としてパッチおよび L プロブを用いた低姿勢アンテナを設計し比較を行い、 $\lambda/4$ の給電素子長 L_p が確保できない場合にはパッチ型給電が有効であることを確認した。本報告では簡略化したアンテナモデルを用いて解析を行ったが、実際には金属製のガススマートメーター筐体による実質的なグランドサイズの増加や反射の影響などがあり、解析モデルを実物に近づけることが課題である。

文 献

- [1] 佐藤シャチ, 佐藤弘康, 陳強, 土屋創太, 横山睦人, "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," 信学技報, IEICE Technical Report, no.210, pp.73-78, March 2019.
- [2] 山本学, "プリントアンテナの基礎と実際," 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J97-B, no.9, pp.714-730, 2014.

- [3] Yong-Xin Guo, Kwai-Man Luk, Kai-Fong Lee, "L-Probe Fed Thick-Substrate Patch Antenna Mounted on a Finite Ground Plane," IEEE Trans. Antennas Propag., vol.51, no.8, Aug. 2003.
- [4] K.M. Luk, Y.X. Guo, K.F. Lee, Y.L. Chow, "L-probe proximity fed U-slot patch antenna," Electron. Lett. vol.34, no.19, September 1998.
- [5] 田口光雄, "不平衡給電超低姿勢逆 L アンテナで構成された高機能アンテナ," 電子情報通信学会論文誌 B, vol.J100-B, no.9, pp.738-747, 2017.