

自動検針スマートメーターに搭載するアンテナの研究

堀口 和希, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科)

概要: ガスメーターへアンテナを実装し, 無線通信により検針情報を自動収集するような Smart Utility Network(SUN) が注目されている. ガスメーターは金属製パイプシャフト内に配置されたため伝搬特性の劣化が問題だが, その改善にはアンテナ選択ダイバーシティが有効である. しかし次世代型ガスメーターにおいて, ガスメーター本体の寸法や材質は従来のモノと大きな異なる可能性があり, 環境に適したアンテナの設計が必要である. 本稿では, パイプシャフト内のパイプを利用した小型化アンテナに関する検討を行う. 小型化アンテナのパラメータを様々に変えて数値シミュレーションを行い, インピーダンスの変化傾向から小型化アンテナを設計する上での指針に関して検討する.

キーワード: SUN, スマートガスメーター, メアンダアンテナ

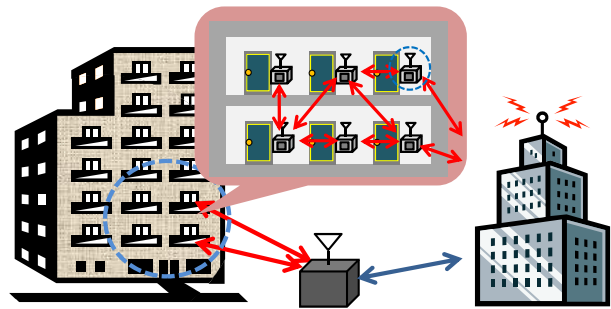


図 1: Smart Utility Network の活用

1. まえがき

近年, 様々な物をインターネットに接続する Internet of Things(IoT) の研究が盛んにおこなわれている [1][2][3]. その試みの 1 つである, 920MHz 帯を利用し電気・ガス・水道メーターの検針データを無線通信を用いて自動的に収集する Smart Utility Network(以下 SUN) が注目されている [4][5]. 図 1 に示すように SUN はマルチホップ通信により情報通信ネットワークを形成し, 従来は有線で行っていた検針作業を無線で自動化することで人件費や手間の削減など業務の合理化が可能である. また, リアルタイムでの情報共有が可能でありスマートグリッドサービスに有望とされている [6],[7]. だが SUN のサービスエリア内では伝搬距離や建造物の遮蔽などを原因とした電波減衰などの技術課題がある [8].

集合住宅向けガススマートメーターへの技術課題に関してはパイプシャフトの存在が挙げられる. ガスメーターはパイプシャフトと呼ばれる金属製の箱の中に設置されるためパイプシャフト内で電波が多重反射を起こし, 受信レベルの落ち込みが発生する. それに付随してパイプシャフトの構造差やガスメーターの設置位置が一意に決められないなどの問題もある. 一方, 一般的な手法として受信レベルの落ち込み改善にはダイバーシティ技術が有効であることが知られており [9], パイプシャフト内の落ち込み改善においても同様の効果が期待できる [10]. また, ガスメーター用ダイバーシティアンテナの設計に関する指針の検討も行われている [11].

しかし, 次世代型として考えられているスマートガスメーターは従来のモノと大きく異なる可能性がある. 寸法の変化, 絶縁体の使用, パイプ部に埋め込まれるなどである. 従来研究のようにガスメーター表面部にアンテナを設置出来ない可能性が考えられるため, ガスメーター以外の部分にアンテナを設置することが必要である

本報告では, パイプシャフト内におけるパイプ部をアンテナの一部として利用した小型アンテナ素子の設計に

関して検討する. まずアンテナ素子を設計し, それを基準としてアンテナの各種パラメータを変化させてインピーダンスを解析する. その結果を用いて新型ガスメーター用の小型アンテナ素子の設計に関する検討を行う

本報告の構成を以下に示す. まず 2 章では本報告における数値シミュレーションで用いた小型アンテナの解析モデルについて述べ, 実寸径パイプモデルとの比較について述べる. 3 章ではインピーダンスを用いた評価手法について述べる. 4 章では評価手法を用いるための解析モデルとその数値解析結果について述べ, 5 章にてまとめる.

2. 小型アンテナ

本報告では Feko6.2 を使用しモーメント法 (Method of Moment:MoM) による数値解析を行った. 周波数は $f = 920 \text{ MHz}$ での使用を目的とした.

2.1 メアンダラインアンテナ

本報告では小型アンテナとして, 小型化に優れ設計が容易であるとされるメアンダラインアンテナ (以下メアンダアンテナ) を用いた. メアンダアンテナの電氣的等価構造を図 2 に示す [12].

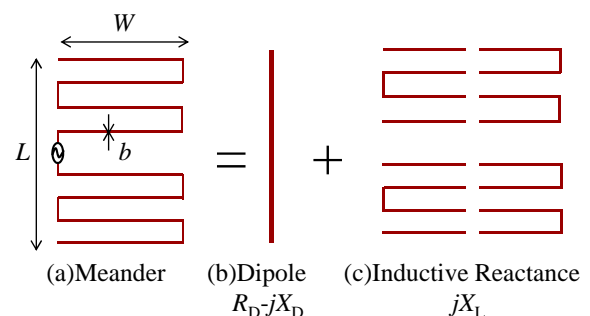


図 2: メアンダアンテナの電氣的等価構造

直線部は微小ダイポールとして働き放射抵抗と容量性リアクタンス ($R_D - jX_D$) を有する．屈曲部は誘導性リアクタンス (jX_L) を有する．また $X_D = X_L$ となる自己共振状態における構造条件を下式に示す． W はアンテナ幅， L はアンテナ長， $n(N = 2n)$ は折り曲げ段数， b は導線径を示す．

$$W_n \log \frac{L}{nb} = \frac{\lambda}{4.29} \left(\log \frac{2\lambda}{b} - 1 \right)$$

一般的に L を小さくし小型化すると容量性リアクタンスが増大する．そのため W 或いは N を大きくし誘導性リアクタンスを大きくする必要がある．またアンテナ設計においては，更なる小型化手法として給電部近くに回路を付与しリアクタンスを増加させるガンママッチを用いた．

2.2 メアンダアンテナの設計

メアンダアンテナとパイプを含めた数値シミュレーションモデルを図 10 に示す．また設計したメアンダアンテナの解析モデルを図 4 に示す．

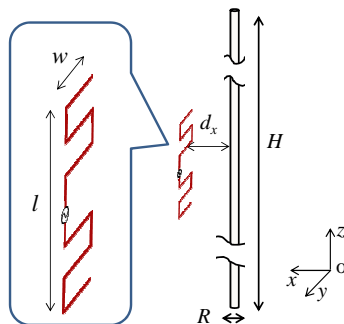


図 3: 数値解析モデル

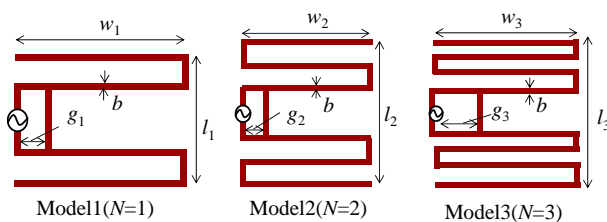


図 4: 設計したメアンダアンテナ

パイプはモデルの簡易化と解析の高速化のため，実寸径ではなく材質を鉄に設定した線を用い，高さを $H=1000$ mm，直径を $R=3$ mm とした．メアンダアンテナの各パラメータはそれぞれ $b=0.5$ mm, $d_1=4$ mm, $w_1=40$ mm, $l_1=32$ mm, $g_1=2$ mm, $d_2=4$ mm, $w_2=30$ mm, $l_2=30$ mm, $g_2=3$ mm, $d_3=4$ mm, $w_3=28$ mm, $l_3=32$ mm, $g_3=8$ mm である．また，メアンダアンテナはパイプの中央部と同じ高さに配置した．設計したメアンダアンテナの反射係数を図 5 に示し，パイプとメアンダアンテナの距離 d_x を変化させた

場合の反射係数を図 6 に示す．また， $N = 3$ の場合におけるパイプ部に励起された電流分布を図 7 に示す．

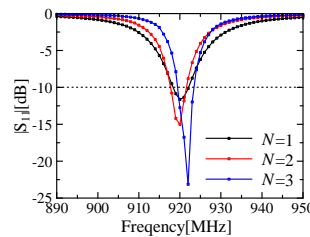


図 5: 反射係数

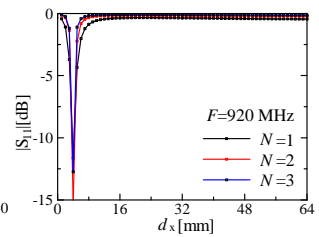


図 6: 反射係数の dx 特性

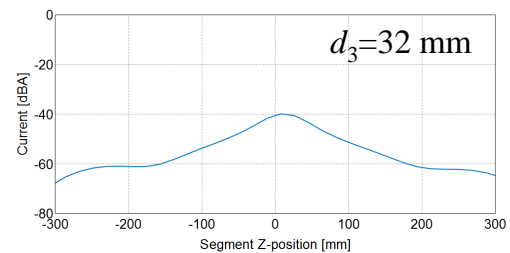
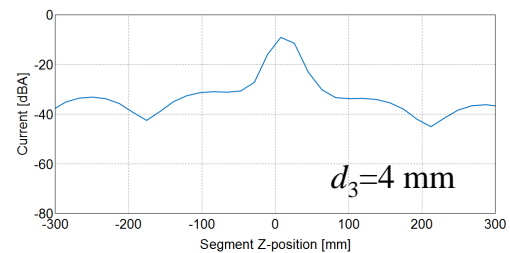


図 7: パイプ部の電流分布 ($N=3$)

図 5 より目的周波数で所望の特性を得られており，また，図 6 よりパイプ近傍でのみアンテナとして機能する事が確認出来た．図 7 より d_x を大きくすることでパイプ上での電流分布が減少している事が分かった．この電流分布の傾向は $N=1,2$ の場合も同様であり，パイプ部がアンテナの一部として機能していると考えられる．

3. 評価手法

本報告ではアンテナの小型化の検討においてインピーダンス解析による評価手法を用いた．パラメータを変えた 2 つのメアンダアンテナを用意し，それぞれのインピーダンスを解析した一例を図 8,9 に示す．

図より自己共振周波数が変わっている事が分かる．メアンダアンテナのインピーダンスについては 2 章でも記したが，これは図 9 では図 8 のモデルに比べ誘導性リアクタンスが高くなり自己共振周波数が小さくなったためである．そのためインピーダンスの変化をすることでアンテナが持つ性質を検討する事が可能である．本報告においても同様の手法を用い，小型化アンテナの設計に関する指針の検討を行った．

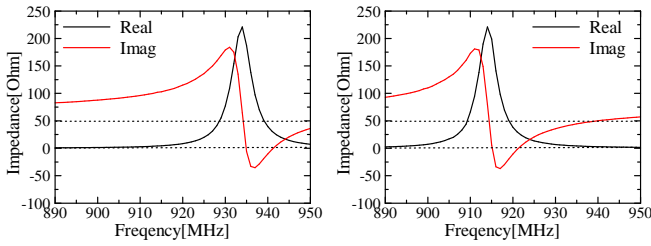


図 8: インピーダンス (a) 図 9: インピーダンス (b)

4. 構造パラメータによるインピーダンスの変化

ここでは2章にて設計したメアンダアンテナの各種構造パラメータを変化させ、それに伴うインピーダンスへの影響を解析した。以下の数値シミュレーションでは Feko6.2 を使用しモーメント法 (Method of Moment: MoM) による数値解析を行った。周波数は $f = 920$ MHz を使用した。

4.1 解析モデル

メアンダアンテナとパイプを含めた数値シミュレーションモデルを図 10 に示す。アンテナ素子としては2章で設計した3つを用いそれを基準とした。基準を元とし、アンテナ素子を構成するパラメータである d_x, l_x, W_x を変化させた。 d_x は 1 ~ 64 mm, l_x は 10 ~ 50 mm, W_x は 10 ~ 50 mm の範囲内で各々変化させインピーダンスを解析した。

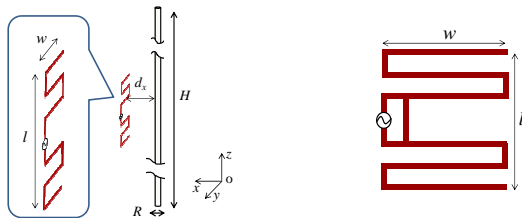


図 11: 構造パラメータ (例: $N=3$)

図 10: 数値解析モデル

4.2 数値解析におけるモデルの簡易化

実際のシチュエーションにおいてはアンテナは金属製のパイプシャフト内に置かれる。しかし今回はパイプシャフトは用いずアンテナ部のみを考慮した簡易化モデルで数値解析を行った。理由としてはパイプシャフトの内部環境は一意に決められないため、今回はアンテナ部のみを考慮した。また、パイプシャフト内部における受信レベルについては選択ダイバーシティを用いることで改善が望める事が既に従来研究で確認できている。そのため本報告では設計したアンテナ素子を用いた受信レベルの改善については検討していない。

4.3 解析結果

解析結果を図 12 ~ 17 に示す。

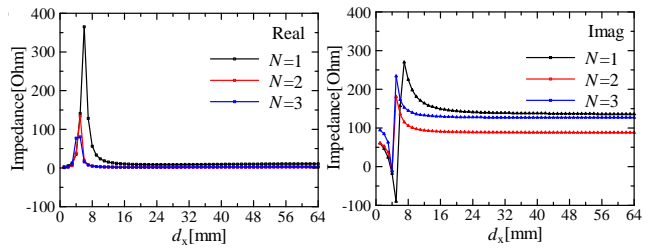


図 12: 抵抗 (d_x 特性) 図 13: リアクタンス (d_x 特性)

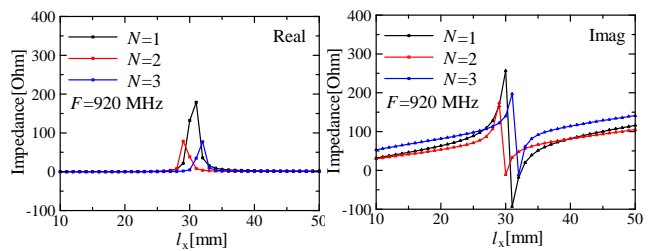


図 14: 抵抗 (l_x 特性) 図 15: リアクタンス (l_x 特性)

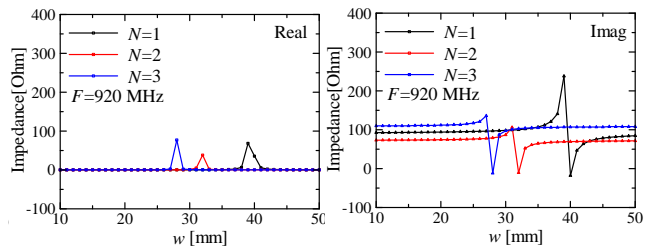


図 16: 抵抗 (w_x 特性) 図 17: リアクタンス (w_x 特性)

図 13 のリアクタンスの変化から、アンテナ-パイプ間距離の d_x が小さいほどアンテナの共振周波数は小さくなる傾向にあると思われる。アンテナがパイプの近傍にあるほどアンテナの電氣的寸法は大きくなり小型化に有利に働くと思われる。図 15 を見るとアンテナ長 l_x が大きいほど共振周波数は大きくなり、図 17 を見るとアンテナ幅 w_x が大きいほど共振周波数は大きくなる。これはメアンダアンテナの持つ構造特性に従っている。また、図 12 ~ 図 17 より、 d_x がインピーダンスに最も影響する事を確認した。以上より、パイプ部を素子の一部とみなした小型アンテナを設計する場合、アンテナを可能な限りパイプ近傍に置く事で小型化に優位に機能する事が確認出来た。

5. むすび

本報告では、パイプシャフト内におけるパイプ部をアンテナの一部として利用した小型アンテナ素子の設計に関して検討した。アンテナ素子を設計し、それを基準としてアンテナの各種パラメータを変化させた場合のインピーダンスを解析しアンテナ設計の指針について検討を行った。その結果、パイプ部をアンテナの一部として利用した小型アンテナ素子の設計が可能であることを確認した。また、アンテナとパイプ部の距離を詰めることで更なる小型化が望める事を確認した。

参考文献

- [1] A.Yachir et al., "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 ENGINERRING, VOL.13,NO.1, JANUARY 2016
- [2] Seyed Ali Rokni et al., "Plug-n-Learn:Automatic Learning of Computational Algorithms in Human-Centered Internet-of-Things Applications", IEEE TRANSACTIONS ON AUTOMATION SCIENCE AND ENGINERRING, VOL.13,NO.1, JANUARY 2016
- [3] Ming Zhao et al., "An Energy-efficient Region-based RPL Routing Protocol for Low-Power and Lossy Networks", IEEE Internet of ThingsJournal, Volume:PP,Issue:99, 19 July 2016
- [4] 原田博司他, "高度電波管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, SR2011-85, 2012 年 1 月
- [5] 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, 情報通信の未来を創る研究者たち pp.49-51,2012 年 9 月
- [6] 亀谷哲郎, "HEMS から見たスマートメータの標準化動向とデータ活用方法", 電気学会論文誌 C, Vol.133 No.3 pp.575-578, 2012 年 12 月
- [7] 伊藤慎介, "次世代のまちづくり構想「スマートコミュニティ」とは", OHM, vol.98,no.3,pp.26-28, 2015 年 3 月
- [8] 田村 尚志, 宮本 伸一, "電磁環境を考慮したマルチホップ無線ネットワークに関する一検討", 信学技法, 2005 年 9 月
- [9] 電子情報通信学会, "アンテナ工学ハンドブック", オーム社,1980 年 10 月
- [10] 堀口和希他, "ガスメーター搭載用アンテナの高性能化", 伝送工学研究会, Vol.2015,No.575-2, 2015 年 10 月
- [11] 堀口和希他, "ガスメーター無線検針システム用ダイバーシティアンテナ", 2015 年総合大会, B-1-97, 2015 年 3 月
- [12] 山田吉英, "メアンダライン・アンテナの制作と測定", RF/ワールド, No.14,pp.40-41, 2011 年