

ガスメーター搭載用アンテナの高性能化

堀口 和希, 陳 強 (東北大学大学院工学研究科)
土屋 創太, 川田 拓也 (東京ガス株式会社)

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. しかしガスメーター用ダイバーシティアンテナの性能を評価するシステムの構築には多くの検討が必要である. 本稿では, パイプシャフト内における受信電圧分布を解析し, その相関について検討を行う. 受信アンテナの配置を様々変えて数値シミュレーションを行い, ガスメーター用ダイバーシティアンテナを評価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, ダイバーシティ

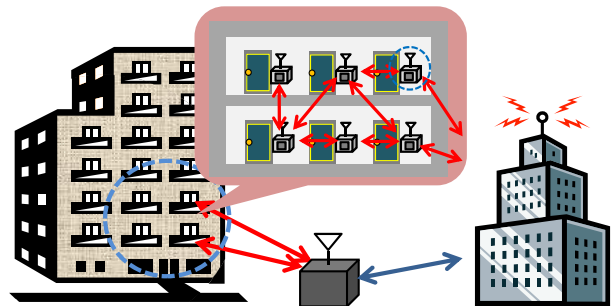


図 1: Smart Utility Network の活用

1. まえがき

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 [1][2]. 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 [3],[4]. 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 [5].

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気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 [6], 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 [7].

本報告では, 受信アンテナとして $\lambda/4$ モノポールアンテナを 2 素子用いて受信アンテナ 2 素子間の距離と受信電圧の改善効果の関係を検討する. パイプシャフト外部に送信アンテナを配置し, 内部に受信アンテナを 2 素子設置したガスメーターモデルを配置する. 受信アンテナ間の距離を変化させて受信電圧を解析し, その結果を相関係数を用いて評価することで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を行う.

本報告の構成を以下に示す. まず 2 章では評価手法を示し, 本報告で用いた選択ダイバーシティの原理, 並びに評価方法について述べる. 3 章では数値シミュレーションで用いた解析モデル, T_x -パイプシャフト間のチャネル,

数値解析結果について述べ, 4 章にてまとめる.

2. 評価手法

2.1 アンテナ選択ダイバーシティ

パイプシャフト外部に送信アンテナ T_x を配置し, 受信アンテナ R_{x1}, R_{x2} を設置したガスメーターモデルをパイプシャフト内で移動させた場合の受信電圧分布の一例を図 2, 3 に示す. パイプシャフト内で受信電圧の落ち込み点が発生し, R_{x1} と R_{x2} で分布が異なる事が確認出来る. この結果よりアンテナ選択ダイバーシティが落ち込みの改善に有効であると考えられる. また, 実際にアンテナ選択ダイバーシティを行った結果を図 4 に示す. 図 4 よりパイプシャフト内の受信電圧の落ち込み改善にアンテナ選択ダイバーシティが有効であることが確認出来る.

アンテナ選択ダイバーシティの基本的な原理は図 5 に示す. 受信素子のうち受信電圧の絶対値が大きい素子を選択する方式である. 本研究においても同様の手法を用いて検討を行った. ダイバーシティの手法としては他にも偏波ダイバーシティや最大比合成方式などがあるが, 設置するガスメーターが小型であることや安価で行える事などを考慮しアンテナ選択方式を用いた.

2.2 相関係数

本研究で相関係数 ρ を用いた評価を行った. 各素子における受信電圧の絶対値を利用し共分散と標準偏差を算出し相関係数を求めた. 導出式を以下に示す.

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n (|S_{10i}| - |\bar{S}_{10}|) \cdot (|S_{20i}| - |\bar{S}_{20}|)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (|S_{10i}| - |\bar{S}_{10}|)^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (|S_{20i}| - |\bar{S}_{20}|)^2}} \quad (1)$$

S_{10i} は観測面上の各点における T_x R_{x1} の受信電圧, $|\bar{S}_{10}|$ は観測面全体における T_x R_{x1} の受信電圧の平均

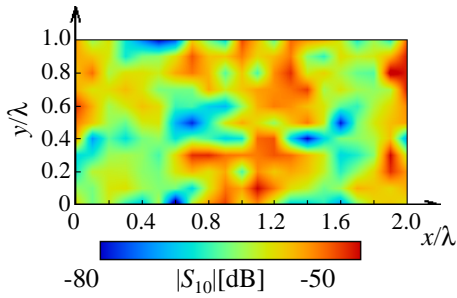


図 2: Tx Rx1 の受信電圧分布

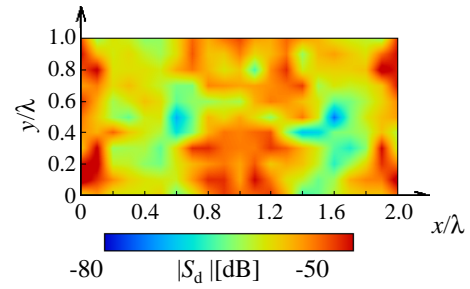


図 4: 選択ダイバーシティを行った受信電圧分布

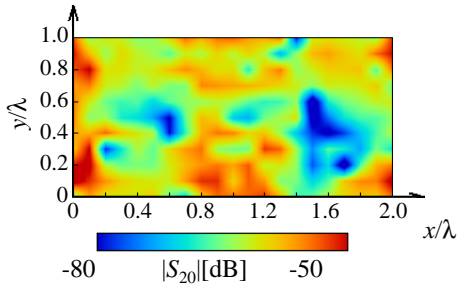


図 3: Tx Rx2 の受信電圧分布

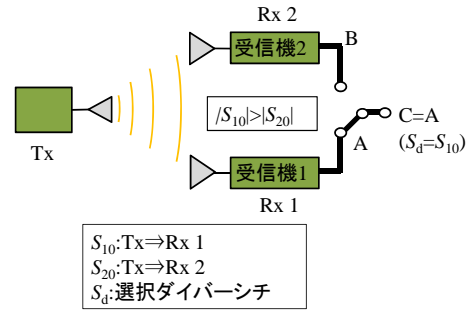


図 5: アンテナ選択ダイバーシティ

値, S_{20i} は観測面上の各点における Tx Rx2 の受信電圧, $|S_{20}|$ は観測面全体における Tx Rx2 の受信電圧の平均値である. アンテナ選択ダイバーシティを用いて受信電圧の改善を図る場合, Rx1 が落ち込む場合 Rx2 が, Rx2 が落ち込む場合 Rx1 が補うというように 2 素子の受信電圧の傾向は異なるほうが好ましい. 各受信素子間の受信電圧の相関を見ることでアンテナ選択方式が有効に働くかを検討する.

3. 数値解析

本研究では 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.

3.1 解析モデル

本研究で用いたガスメーターモデルとパイプシャフトを含めた数値シミュレーションモデルを図 6,7 に示す. Tx は $\lambda/2$ ダイポールアンテナ, Rx は $\lambda/4$ モノポールアンテナである. ガスメーターモデルとパイプシャフトモデルの寸法は $w_1 = 175$ mm, $w_2 = 70$ mm, $l_1 = 100$ mm, $h_1 = 125$ mm, $h_2 = 50$ mm, $W = 1100$ mm, $L = 500$ mm, $H_1 = 2000$ mm である. パイプシャフトのスリット幅は $S = 10$ mm. Tx は $H_2 = 800$ mm の高さに配置した.

ガスメーターモデルに関しては図 8 に示すように受信素子の配置, 並びに受信素子間隔 d を変えて解析を行った.

受信電圧分布の観測面を図 9 に示す. $l_3 = 50$ mm, $L_2 = 10$ m である. 受信素子を設置した各ガスメーターモデルを

$w_3 = 600$ mm, $l_2 = 300$ mm の観測面上で 30 mm (0.1λ) 間隔で移動させ各点における受信電圧を解析した.

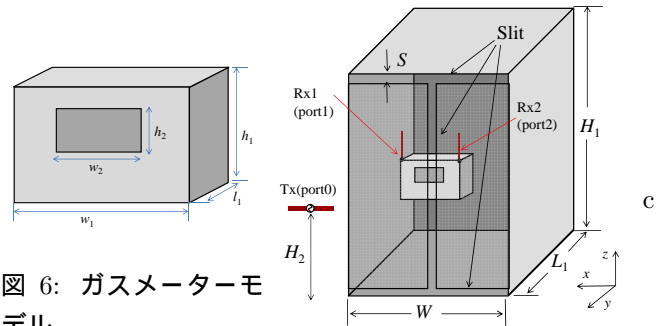


図 6: ガスメーターモデル

図 7: 数値解析モデル

3.2 Tx-パイプシャフト間のチャネル

実際のシチュエーションにおいてはマルチホップ通信を行うためガスメーター間で通信を行う. そのためパイプシャフト-パイプシャフト間の通信となるが, 本研究では簡易化した環境での数値解析を行った. 理由としては図 6,7 のようにパイプシャフトが前面部が観音開きの形状をしており, 中央と上下に縦と横のスリットが存在するためである. 扉部分にはギャップが存在し, スロットの役割を果たすことで一種のスロットアンテナのようになり, パイプシャフト内部には定在波が立っていると考えられる. そのため送信アンテナ-パイプシャフト間のチャネルはランダムなものと仮定し, 実際の環境との

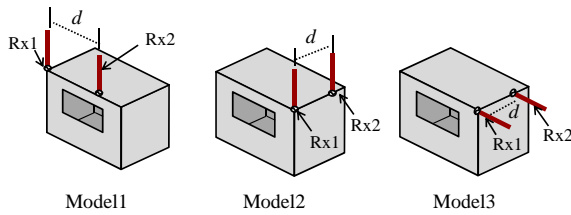


図 8: 受信素子の配置

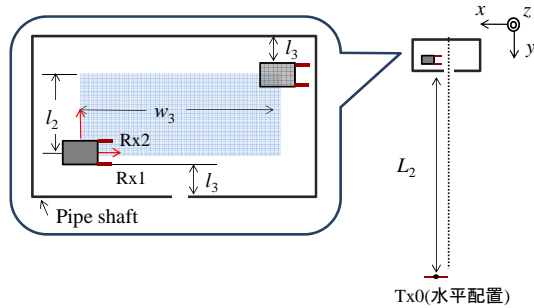


図 9: 受信電圧分布の観測面

差異はあるがダイバーシティによる改善効果は検討できるものと考えられる。

3.3 解析結果

解析モデルの数値解析結果より S パラメータを導出し式 (1) を用いることで相関係数 ρ を計算した。Model1-3 の場合における相関係数と受信素子間距離 d を図 10,11 に示す。

図 10,11 を見ると受信素子間距離 d が小さくなると ρ が大きくなっていくことが分かる。一般的に相関が弱いと言われる $\rho \leq 0.4$ を一つの基準とすると、Model1 においては $0.45\lambda > d > 0.15\lambda$ 、Model2,3 においては $d > 0.15\lambda$ で $\rho \leq 0.4$ を満たすことが確認出来た。

次に、各 Model においてアンテナ選択ダイバーシティを行った場合の受信電圧と受信素子間距離 d の関係を図 12-14 に示す。各受信電圧における累積分布関数 (CDF) を作成し、その 10% 値をプロットした。

図を見るとどの Model においても d が小さくなるとおおよそ受信電圧が減少していく傾向にあることが確認出来た。また図 13,14 の結果を見ると $\rho \leq 0.4$ となる $d > 0.15\lambda$ において受信電圧が大きく落ち込み始める事が確認出来た。 S_{10} , S_{20} の減少に関しては素子間が近づくことで相互結合が強まったことが影響したと原因だと考えられる。また S_d の減少は上記の理由、並びに受信素子間の相関が高まる事によってアンテナ選択ダイバーシティによる改善効果が減少したからだと考えられる。

以上の結果より、パイプシャフト内での受信レベル落ち込み改善のためにガスメーター用ダイバーシティアンテナを用いる際は、受信アンテナ間の距離は少なくとも $d > 0.15\lambda$ にすることが一つの目安であることが確認出来た。

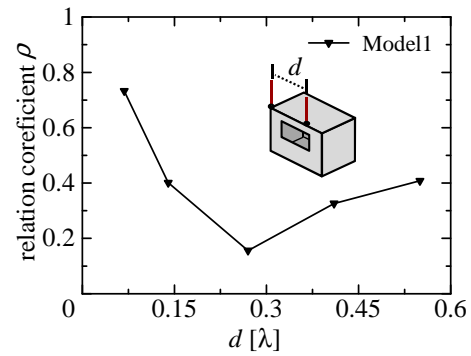


図 10: 相関係数の受信素子間距離特性 (Model1)

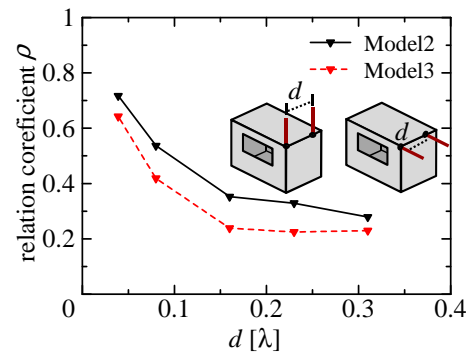


図 11: 相関係数の受信素子間距離特性 (Model2,3)

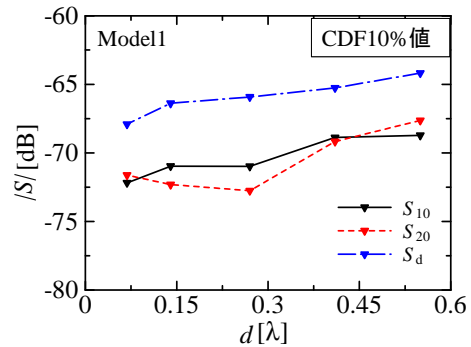


図 12: 受信電圧の受信素子間距離特性 (Model1)

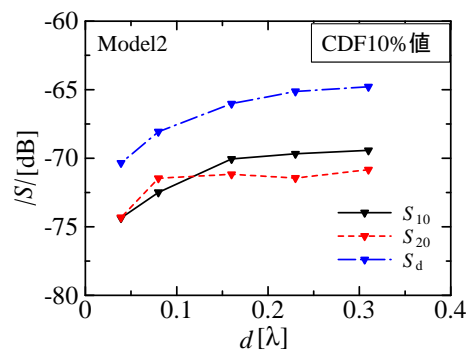


図 13: 受信電圧の受信素子間距離特性 (Model2)

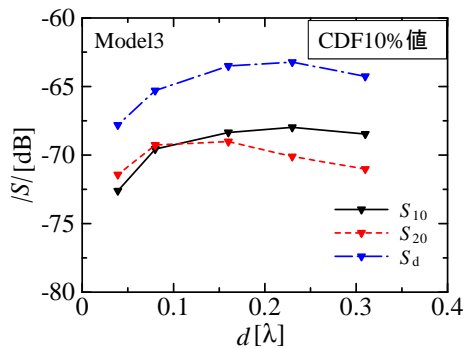


図 14: 受信電圧の受信素子間距離特性 (Model3)

4. むすび

本報告では、受信アンテナ 2 素子間の距離と受信電圧の改善効果の関係を検討した。様々な受信アンテナの配置において 2 素子間の距離を変化させて解析を行い、相関係数と受信電圧を用いてアンテナ選択ダイバーシティによる改善効果の検討を行った。その結果、受信アンテナの素子間距離を $d > 0.15\lambda$ にすることでダイバーシティによる受信電圧の落ち込みの改善効果が望め、ガスメーター用ダイバーシティアンテナを設計するうえでの一つの指針となることを確認した。

参考文献

- [1] 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
- [2] 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
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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
- [6] 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
- [7] 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