

修士学位論文要約（平成29年3月）

## パイプシャフト内に設置するスマートガスメーター用 ダイバーシチアンテナの研究

堀口 和希

指導教員：陳 強

### Study on Diversity Antenna for Smart Gas Meter Installed in Pipe Shaft

Kazuki Horiguchi

Supervisor: Qiang Chen

In recent years, research on Smart Utility Network(SUN) which automatically collects meter reading data of electricity are actively conducted. However, technical problems still remain in the use of SUN. In this paper, we assumed a smart gas meter for apartment houses and examined the technical issues. In gas smart meter for collective housing, there is a problem of propagation-loss caused in the metal box called "pipe shaft". In this report, it is clarified that improvement effect by antenna selection diversity using 2-element inverted F antenna array solve the problem of propagation-loss in pipe shaft. The purpose of this paper is to design and evaluate the antenna for use in communication by gas meter installed in pipe shaft, and to indicate the antenna selection diversity method to improve the performance of the antenna.

#### 1. はじめに

近年、様々な物をインターネットに接続する Internet of Things(IoT)の研究が盛んに行われている。その試みの一つである、920 MHz 帯を利用して各種インフラメーターの検針データを無線通信により自動的に収集する Wireless Smart Utility Network (Wi-SUN) が注目されている[1]。しかしながら Wi-SUN には多くの技術課題があり、特に集合住宅向けガスマーターにおいてはパイプシャフトと呼ばれる存在の問題がある。ガスマ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電波が多重反射を起こし、受信電圧の落ち込みが発生して安定した無線通信が望めない。一方、一般的な手法として受信電圧の落ち込み改善にはダイバーシチ技術が有効であること知られている。本報告では、ガスマーター用のアンテナ素子を設計・評価し、また、アンテナ選択ダイバーシチ手法を用いることによる受信電圧の落ち込みに対する向上効果を検討する。

#### 2. アンテナ選択ダイバーシチを用いたガスマーター用アンテナの設計と評価

ガスマーターモデルとパイプシャフトを含めたシミュレーションモデルを図1に示す。Tx 0 は $\lambda/2$  ダイポールアンテナで垂直・水平入射の2パターンの配置を取る。Rx は通常のアンテナと比較し低姿勢化が可能で実装が容易な線状逆Fアンテナであり、 $f=920\text{MHz}$  で所望の特性を達成するような寸法を設計して用いた。図に示した各パラメーターは  $W_1=800$ ,  $W_2=600$ ,  $H_1=2000$ ,  $D_1=500$ ,  $D_2=300$ ,  $D_3=10000$ ,  $S_2=100$  また、パ

イプシャフトは観音開きの形状を想定し、上下と中央に設けたスリットの幅は  $S_1=10$ 。各パラメーターの単位は mm である。アンテナ素子を装着したガスマーターモデルをパイプシャフト内の観測面上で 30 mm ( $\approx 0.1\lambda$ ) 間隔で移動させ、各点における受信電圧を解析した。

水平偏波入射に場合における受信電圧の分布図を図に示す。パイプシャフト内で受信電圧の落ち込む点が発生しており、通信の安定化を図る上で懸念となる事が分かる。また、Rx 1,2 で分布図が違う事が確認出来る。これに対し、アンテナ選択ダイバーシチを適応することで受信電圧の落ち込み部分の受信電圧が向上している事が確認出来た。これは垂直偏波入射時においても同様であった。図は受信電圧の累積分布関数(CDF)である。水平偏波入射の場合は CDF 10% 値で見た場合で 3.6 dB、垂直偏波入射の場合は CDF 10% 値で 3.6 dB の受信電圧の向上が確認され、いずれの偏波入射においても、本検討の環境下における通信の安定化にはアンテナ選択ダイバーシチ手法が有効である事が分かった。

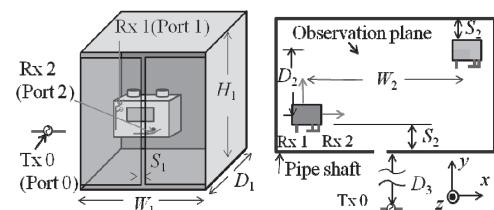


図1: 数値シミュレーションモデル

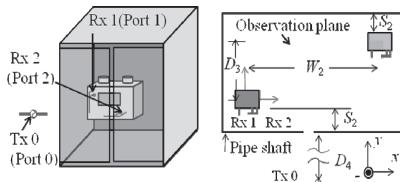


図2:受信電圧分布図(水平偏波入射)

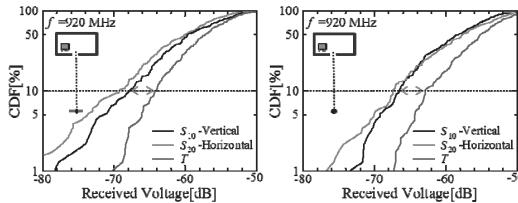


図3:受信電圧のCDF(左:垂直偏波, 右:水平偏波)

### 3. ガスパイプを利用したガスマーター用小形ループアンテナの設計と評価

多くの家庭に導入されている従来のガスマーターは本体が導体の素材で作成されており、2章で扱ったようにアンテナを実装するだけの大きさがある。だが、次世代型として考えられるガスマーターは従来のモノと異なり、大きな変更点としては本体の素材が絶縁体になり、またサイズが小型化される点がある。ガスマーター本体をグランドとして利用する事が出来ないため、新たに小型アンテナを設計する必要がある。また、小形アンテナを検討するうえでは、放射効率の低下が大きな課題として存在する。それらを踏まえ、ガスパイプ内に存在する導体であるガスパイプを用いたイメージ効果を利用し、小形アンテナの設計を検討する。

イメージ効果の説明と設計したアンテナ構成を図4に示す。アンテナ素子は包型ループアンテナを用いる。偏波ダイバーシチとして使うため2素子を垂直-水平偏波構成で用いる。ループアンテナをガスパイプ近傍に設置し、ガスパイプ-ループアンテナ間距離 $dx$ とループアンテナの寸法 $a$ を変化させ放射効率を解析した。各パラメータは $H_2=1000$ ,  $R=15$ で単位はmmである。放射効率の解析結果を図5に示す。ループ暗転が水平偏波構成の場合はガスパイプの影響は見られず、放射効率はアンテナの寸法に依存している。垂直偏波構成の場合は、ガスパイプ近傍にアンテナを近づければ放射効率の向上が望める事が確認され、ガスパイプを用いた放射効率の向上手法が有効であることが確認出来た。

次に、設計したアンテナを用いたアンテナ選択ダイバーシチの検討を行った。設計した小形アンテナをパイプシャフトモデル内部に配置し、2章と同様の構成を用いて観測面上の各点における受信電圧を

解析してアンテナ選択ダイバーシチの検討を行った。各パラメーターは $a=10, dx=2$ で単位はmmである。数値シミュレーション結果を元に作成したCDFを図6に示す。CDF10%値で、水平偏波入射時は4.2 dB、垂直偏波入射時は0.7 dB受信電圧が向上した。以上より、設計した小形ループアンテナにおいていずれの偏波入射時においてもアンテナ選択ダイバーシチによる受信電圧の向上が確認出来た。

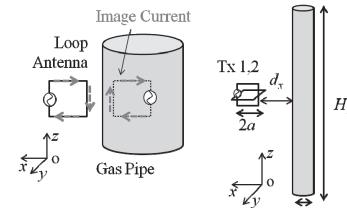


図4:イメージ電流(左)と設計したアンテナの構成(右)

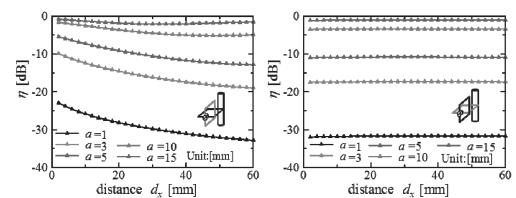


図5: 放射効率(左:垂直偏波, 右:水平偏波)

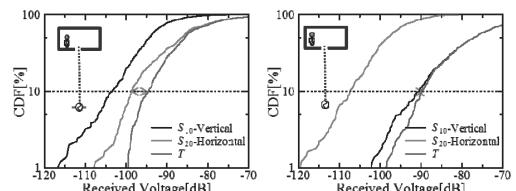


図6:受信電圧のCDF(左:垂直偏波, 右:水平偏波)

### 4. まとめ

集合住宅向けのガスマーターに設置するアンテナに関する研究を行い、またアンテナ選択ダイバーシチを用いた通信の安定化について検討を行った。その結果、ガスマーターの構造に適したアンテナ素子を設計し、2素子アンテナアレーを用いたアンテナ選択ダイバーシチを行うことで受信電圧の落ち込みを向上させ、通信の安定に効果を望めることを明らかにした。また、導体素材のガスパイプを利用したイメージ効果を用いることで、小形アンテナをガスパイプ近傍に設置することで放射効率を向上させられる事を示した。

### 文献

- 1) 原田博司, 小島史秀, 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, SR2011-86, January 2012.