

小口径鉄筋コンクリート製下水管内の 2.4GHz帯無線LAN通信特性 ～複数アンテナアクセスポイント利用の場合～

立花誠也[†] 安田智則[†] 石原進[§]

[†]静岡大学工学部 [§]静岡大学学術院工学領域

1 はじめに

日本の下水道管の耐用年数は50年であり、耐用年数が経過した下水管の総延長は10年後には約6万kmにもぼる。下水管の老朽化が原因である道路陥没事故は年間約3000件発生している[1]。このため老朽化した下水管の調査は急務であるが、既存の調査手法である目視やファイバースコープによる検査、有線のカメラ付きロボットを使用する調査などは、危険が伴い、高価な機械を使用するため人的・金銭的コストがかかるなどの問題点がある。そこで、筆者らは、下水管内に浮流させた無線端末で下水管内を撮影し、映像データを地上のデータ集約サーバに送信する下水管検査手法を提案している[2]。本稿では、学内に埋設されたφ250mm実験用鉄筋コンクリート製下水管（ヒューム管）内において、複数アンテナを搭載したアクセスポイント（AP）をと無線端末間における2.4GHz帯のIEEE 802.11n無線LAN通信のRSSI及びスループット測定実験の結果について報告する。

2 浮流型無線LAN端末を用いた 省力化下水管検査システム

図1に浮流型無線LAN端末を用いた省力化下水管検査システムを示す。このシステムは、地上にいる作業者が無線端末を下水管内に投入し、無線端末に搭載されたカメラで下水管内を撮影した後、端末がマンホール下に取り付けられたAPの通信範囲内に入った時、端末から撮影データをAPに送信する。APは撮影データを有線または無線により地上にあるデータ集約サーバに送信する。無線端末は検査終了後に検査区間の終端で回収する。無線端末はAPとの通信可能範囲にいる間に撮影データを全てAPに送信すべきであるが、下

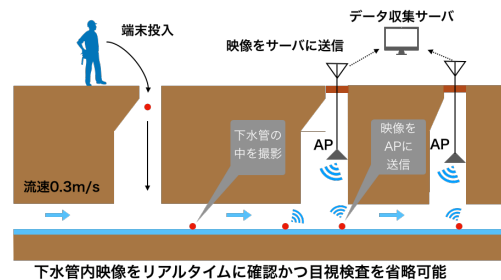


図1: 下水管検査システムの概要

水管内での通信可能距離は10m程度に制限されることがわかっている[3]。本稿では、複数アンテナを搭載するAPを使用し、ダイバーシティ利得による通信可能距離延長及びスループット向上を検証する。

3 ヒューム管における無線通信実験

3.1 測定環境と使用機材

測定実験は、大学キャンパス内に埋設された簡易実験管で実施した。この実験管は延長距離14m、φ250mmのヒューム管であり、管底が地上から450mmになるように埋設されている。実験管には5カ所の縦穴が開けられており、実験管の両端には貯水升がある。貯水升から5カ所の縦穴までの距離はそれぞれ1.5m、2.5m、4.5m、8.5m、9.5mである。

小型Linuxコンピュータ（Raspberry Pi Model B）にIEEE 802.11n対応のUSB無線LAN Dongle Planex社製GW-450Dを接続した端末を発信端末とした。受信端末には複数アンテナを搭載したAPをLANケーブルにより接続したコンピュータ（MacBook Air）を使用し、APには比較のために、ASUS社製RT-AC68UとYAMAHA社製WLX-313及び、発信端末と同構成のRaspberry Piの3台をそれぞれ用いた。表1に発信端末及び受信端末の設定を示す。

送信端末をアンテナの中心が管の中央と同じ高さになるように調節して管内に配置し、APを貯水升内にアンテナの先端が管の中央と同じ高さになるように設置した。両者のスループットはネットワーク測定ツ

Wireless LAN performance in a narrow reinforced concrete underground pipe – Case of using a multi-antenna access point

Seiya TACHIBANA[†], Tomonori YASUDA[†], and Susumu ISHIHARA[§]

[†]Faculty of Engineering, Shizuoka University

[§]College of Engineering, Academic Institute, Shizuoka University

表 1: 各機器の端末設定

	Planex GW-450D	YAMAHA WLX313	ASUS RT-AC68U
通信に使用するアンテナの数	1	2	3
中心周波数	2.412 GHz		
無線規格	IEEE 802.11n		
チャンネル幅	20 MHz		
送信電力	10 mW		
トランスポート層プロトコル	UDP		
送信データレート	65.0 Mbps (64-QAM 変調, 符号化率 5/6, MCS7) 39.0 Mbps (16-QAM 変調, 符号化率 3/4, MCS4)		

ル iPerf[4] を用いて測定した。各測定は以下の手順で行った。(1) 端末を設置し、縦穴の蓋と土嚢で縦穴を閉じる。(2) 12 秒間 UDP により通信。(3) (1) - (2) を 10 回行いスループットの平均を測定。RSSI の測定は、iwconfig[5] を用いて 10 回実施し、平均を測定した。これらの測定実験を 3 回実施した。本実験では管内に水は存在しない。

3.2 RSSI・スループット測定結果及びまとめ

RSSI 測定の結果を図 2a に示す。RT-AC68U は端末間距離が 1 m の時に RSSI が他の 2 機種よりも低い結果となったが、2 m 以降は他の 2 機種と遜色ない値となり、比較した 3 機種の RSSI には差が見られないことがわかった。

スループット測定の結果を図 2b と図 2c に示す。図 2b は、MCS7 の結果であり、図 2c は MCS4 の結果である。MCS7 の場合には、GW-450D は端末間距離が 1-5 m では 40 Mbps 以上を維持しており、6 m 以上ではスループットは急落した。対して、RT-AC68U は端末間距離が 1-5 m まで 50 Mbps を維持し、6 m ではスループットが 30 Mbps となった。WLX313 は端末間距離が 3m までは 50 Mbps を維持しているが、4 m 以上はスループットが急落した。MCS4 の場合、GW-450D は端末間距離が 4 m 以上では、わずかにスループットが減少し、6 m 以上でスループットが急落したのに対し、RT-AC68U は端末間距離が 1-6 m において、スループットは減少せず維持された。WLX313 は端末間距離が 2 m の時にスループットが突然低下し、端末間

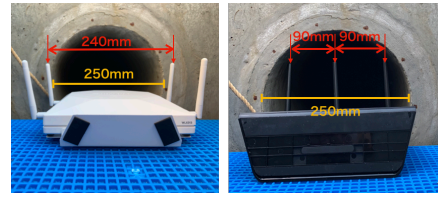


図 3: 管径に対するアンテナ位置

距離が 4 m 以上では、スループットが再び低下した。

これらの結果から、単一アンテナを搭載する GW-450D よりも、3 本のアンテナを搭載する RT-AC68U の方がスループットが良いことがわかる。これは、3 本のアンテナによるダイバーシティ利得により、スループットが最も高い信号が選択されたため。スループットが他の 2 機種よりも安定し、高いスループットを維持する距離が他の 2 機種よりも大きくなったと考えられる。図 3 のように、WLX313 は複数のアンテナを搭載しているが、RT-AC68U に比べ筐体が大型で、アンテナをヒューム管の中央に配置できないため、単一アンテナである GW-450D よりもスループットが低い結果となったと考えられる。

本稿の実験結果より、複数アンテナの端末は単一アンテナの端末よりも高いスループットを維持でき、通信可能距離の延長ができることがわかった。また、下水管検査で使用する AP はアンテナ配置に柔軟性のあるものが適していることもわかった。

謝辞 本研究は総務省戦略的情報通信開発推進事業 (SCOPE) の助成によるものである。

参考文献

- [1] 国土交通省, 下水道: 計画的な改築・維持管理, http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/crd_sewerage_tk_000135.html (2019/12/27 確認) .
- [2] 石原 他.: 下水管路検査用浮流型無線ネットワークカメラシステムの実現技術, 情報研報, Vol. 2017-DPS-172, No. 4, pp. 1-9 (2017).
- [3] T. Nagashima, et al.: Measurement of Wireless LAN Characteristics in Sewer Pipes for Sewer Inspection Systems Using Drifting Wireless Sensor Nodes, IEICE Trans. Commun., Vol. E99-B, No. 9, (2016).
- [4] iPerf, <https://iperf.fr>. (2019/12/27 確認).
- [5] iwconfig, https://www.hpl.hp.com/personal/Jean_Tourrilhes/Linux/Tools.html (2019/12/27 確認).

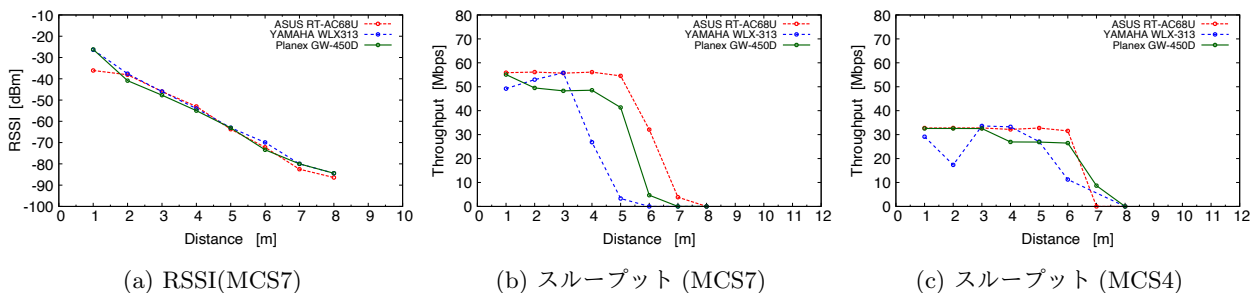


図 2: ヒューム管における各端末の RSSI 及びスループット