

複数の浮流無線センサノードを用いた下水管内検査システム のための下水管内無線リンク品質の調査

長島 大貴¹ 石原 進¹

概要: 近年, 日本では下水管の老朽化が深刻化し, 検査と整備が急務となっている. 下水管の検査は主に目視, ファイバースコープ, 有線接続された自走ロボットにより行われているが, 金銭的, 人的に高いコストを伴う. 近年開発された有線接続を必要としない自走ロボットや浮流式ビデオカメラは, 有線による周辺機器へのデータ伝送を利用せずに検査を行うため, 低コストで取り回しが容易であるが, 機器を回収した後に検査結果を確認しなければならないため, 再検査の必要性を判定するまでに時間がかかる. 管内映像のリアルタイムでの確認を可能とするため, 筆者らは複数の浮流無線センサノード群による下水管検査システムを提案している. 本システムの設計のため, 実運用中の下水管および実験用下水管路において, IEEE802.11g と IEEE802.15.4 (2.4GHz) の無線通信端末を用いた無線通信可能距離測定実験を行った. この結果, 2.4GHz 帯域, 出力 10mW における無線通信可能距離は 3.15m 未満であった.

Investigation of wireless link quality in sewer pipes for designing a sewer inspection system using drifting wireless sensor nodes

NAGASHIMA TAIKI¹ ISHIHARA SUSUMU¹

1. はじめに

現在日本では管路施設の老朽化が進み, 多くの道路陥没事故が発生している. 下水管の維持においては, 主に目視 [1], ファイバースコープ [2], 有線接続した自走ロボット [3] による検査が行われているが, いずれも高い金銭的, 人的コストを伴う. この欠点を改善するために, 近年考案された有線接続を必要としない自走ロボット (KANTARO) [4] や浮流式ビデオカメラ [5] は, 有線による周辺機器へのデータ伝送を利用せずに検査を行うことで, 低コストと機器の取り回しの容易さを実現している. しかしながら, 検査結果が確認できるのは機器を回収した後であることから, 再検査の必要性を判定するまでに時間がかかり, また機器が回収不能となった場合には検査結果を確認することができない. 安価な機器で無線によるリアルタイム映像伝送ができれば, 低コスト, 取り回しの容易さに関する利点を残したまま, 検査状況をリアルタイムで把握可能となる. これにより, 再検査の必要性の判定にかかる時間は短くな

り, 機器が回収不能となったとしてもその地点までの管内映像を確認可能となる.

筆者らは無線センサネットワークを利用した下水管検査システムとして流れるセンサネットワーク [6] を提案している. しかしながら, このシステムは無線センサノードとマンホール下のアクセスポイントが 1 ホップで通信するように設計されている. 下水管内は地上に比べて通信可能な距離が制限され, 通信機会も間欠的であるため, このシステムを用いて映像データのような大きなデータを伝送することは困難である.

筆者らは, 流れるセンサネットワークを改良したシステムとして, 無線センサノード間のマルチホップ通信を利用してリアルタイム映像伝送を実現する, 複数の浮流無線センサノード群による下水管検査システム [7] を提案している. 本システム実現のためには, 下水管内の十分な距離で無線通信を行わなければならない. 本稿では, 本システムの設計のために行った IEEE802.11g と IEEE802.15.4 の無線通信端末を用いた下水管内の無線通信実験について報告するとともに, この結果に基づいて利用周波数帯域に関す

¹ 静岡大学 大学院 工学研究科 数理システム工学専攻

る検討を行う。

2. 日本の下水道の現状と検査手法

日本の下水道管きよの総延長は平成 24 年度末時点で約 45 万 km, このうち配管から 30 年以上経過した管きよ延長は平成 23 年度末時点で約 10 万 km, 50 年以上が経過した管きよ延長は約 1 万 km で, また下水道管路施設に起因する道路陥没事故は平成 24 年度に約 3900 件発生している [8]. 下水道管きよの標準的な耐用年数は 50 年とされているが [9], 実際は配管後 30 年以上が経過すると老朽化に起因した道路陥没の割合が増加することがわかっており [10], 多数の老朽下水道管路の検査と整備が急務となっている。

日本の下水道維持においては, 主に目視やファイバースコープ, 有線接続した自走ロボットによる検査が行われており, 近年考案された検査手法としては, 有線接続されていない自走ロボット, 浮流式ビデオカメラによる検査がある。筆者らは, 無線センサネットワークを利用した検査手法として流れるセンサネットワークを提案している。以下に, これら検査手法の詳細を述べる。

2.1 目視

目視による検査では, 作業員が大口径の下水管に入り検査を行う。この検査手法は, 直接管内を調べることができるため, 検査の確実性に優れる。しかしながら, 配管されている下水管の大部分は人が入ることができない中口径, 小口径の管であるため, この検査手法では全ての下水管を検査することができない。また下水管内ではシアン化水素, 塩素, フッ化水素等人体に有害なガスが発生しており [11], 検査には常に中毒死の危険が伴う。

2.2 ファイバースコープ

ファイバースコープは, 光ファイバーケーブルの両端にカメラとモニターを取り付けたものである。これを用いた検査は人が管内に入る必要がないため, 目視に比べて検査の危険性が小さく, 中, 小口径の管を検査することができる。検査範囲はケーブルの長さに依存し, 手動によるカメラの操作が必要であるため, 長距離の検査は困難である。また, 得られる映像は汚水の透明度や堆積物の影響を受け

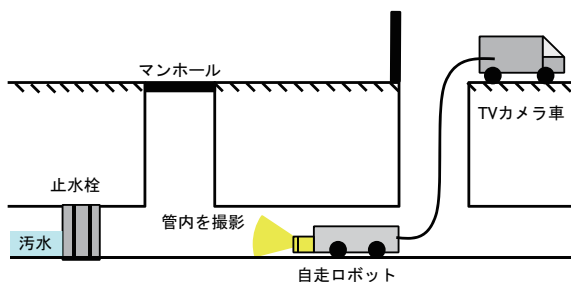


図 1 有線接続した自走ロボットによる検査

るため, 事前の管の止水や洗浄が必要となる場合がある。

2.3 有線接続した自走ロボット

図 1 に示すように, この検査手法ではモニターや映像処理の機材が積まれた TV カメラ車と有線接続された自走ロボットを下水管内に投入する。自走ロボットは, 管内を進みながら有線 LAN を通して撮影した管内映像を TV カメラ車へ伝送する。この検査手法も管内を事前に止水, 洗浄する必要があるが, 手動で機器を操作する必要がないためファイバースコープよりも長距離を検査することができる。自走ロボットは非常に高価であり, 高い金銭的成本を伴う。

2.4 浮流式ビデオカメラ

図 2 に示すように, 浮流式ビデオカメラは検査範囲の下水管の上流から投入される。その後, 取り付けられたロープによって流速を調整されながら流れていき, 管内の映像を録画する。作業員は, 観測領域の下流でカメラを回収し, 録画された管内映像を確認することで検査を行う。この検査手法は, 有線によるデータ伝送を行わず, 管内の録画のみを行うため, 機器の取り回しが容易である。また, 機器は有線接続された自走ロボットよりも安価であり, 事前に管内を止水, 洗浄する必要もない。しかしながら, 録画映像を確認できるのは機器を回収した後であるため, 再検査の必要性を判定するまでに長い時間を要する。また機器が回収不能となってしまった場合は, 管内の映像を確認することができない。

2.5 有線接続を必要としない自走ロボット

有線接続を必要としない自走ロボットとしては, KAN-TARO がある。この検査手法は, 浮流式ビデオカメラと同様, 検査に有線接続を利用しないため低コストで取り回しが容易であり, 管内の止水, 洗浄が必要ない。浮流式ビデオカメラとの違いは, 作業員の手による操作が必要ないということ, そして管内映像の録画以外にも様々なデータ収集システムが検討されていることである。例えば, 撮影と同時に洗浄を行うシステム [12] や, Haar-wavalet 変換を用いた画像処理による A ランク, B ランク [13] のひび割れを

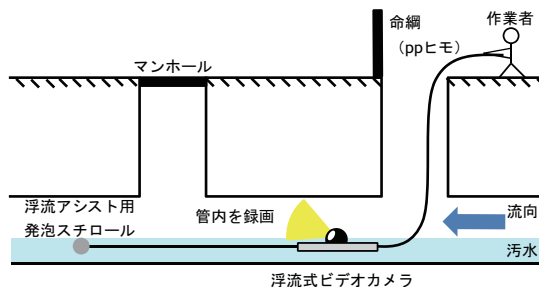


図 2 浮流式ビデオカメラによる検査

検出するシステム [14] などがある。しかしながら、浮流式ビデオカメラと同様に再検査の必要性判定にかかる時間の短縮が課題である。

2.6 流れるセンサネットワーク

前述したように、浮流式ビデオカメラ、有線接続を必要としない自走ロボットによる検査は再検査の必要性の判定に長い時間がかかり、機器が回収不能となると管内映像を確認できないという欠点がある。安価な機器で無線によるリアルタイム映像伝送ができれば、低コスト、取り回しの容易さに関する利点を残したまま、観測状況をリアルタイムで把握可能となる。これにより、再検査の必要性の判定にかかる時間は短くなり、機器が回収不能となったとしてもその地点までの管内映像を確認可能となる。

筆者らは、無線センサネットワークを利用した下水管検査システムとして流れるセンサネットワークを提案している [6]。図 3 に示すように、流れるセンサネットワークでは下水管内に投入された複数の浮流無線センサノードが管内のセンシングを行い、マンホール下に設置されたアクセスポイント (AP) と 1 ホップ通信することでセンシングデータを集積する。下水管内では、ノードと AP の接続性は間欠的であり、またノードと AP 間の通信可能な距離は管壁、汚水の影響を受けて短くなるため、1 度の通信機会に送信できるデータ量は少なくなる。これらのことから、流れるセンサネットワークで映像データのような大きなデータのリアルタイム伝送を実現することは困難である。

3. 複数の浮流無線センサノード群による下水管検査システム

前述したように、1 ホップの通信では下水管内における映像データのリアルタイム伝送は困難である。筆者らは、流れるセンサネットワークを改良したシステムとして、無線センサノード間のマルチホップ通信を利用してリアルタイム映像伝送を実現する、複数の浮流無線センサノード群による下水管検査システムを提案している [7]。図 4 に示すように、本システムは下水管内に投入されたカメラセンサノード (以下、単にカメラノードと書く)、中継ノード、そして一定間隔でマンホール下に設置されたアクセスポイ

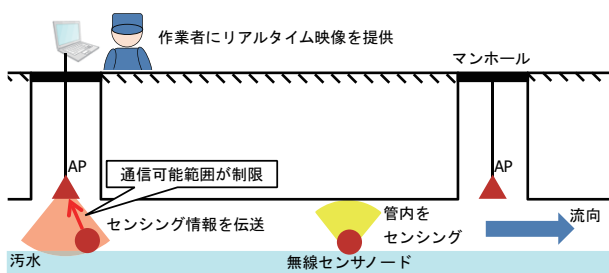


図 3 流れるセンサネットワーク

ント (AP) によって構成される。

カメラノードは下水管内を撮影し、映像データを AP へ伝送する。カメラノードの無線通信可能距離に AP が存在しない場合、カメラノードは中継ノードを介して AP へ映像データを伝送する。AP はカメラノード、中継ノードから伝送された映像データを受け取り、有線または無線による通信により作業員に対して管内のリアルタイム映像を提供する。

排水口から下水処理場までには様々な口径の下水管が存在しているが、本研究は常に一定以上の水量が流れている口径 200mm 以上の下水管を想定している。この口径の管は、日本の下水道の幹線によく用いられているものである。

4. 下水管内におけるリアルタイム映像伝送実現のための課題

通常、マンホールは鉄製の蓋によって閉じられているため、下水管内は閉鎖空間となっている。下水管外側には水分を含む土砂が存在しているため、マイクロ波が吸収されてしまう可能性が高い。また、下水管内には木根が侵入していることや、土砂、汚物などが堆積していることもある。このように、下水道環境には下水そのものに加えて、多くの電波減衰要因が存在しており、下水管内における無線通信可能距離は地上に比べて短くなると考えられる。このため、より無線通信可能距離を長くできるように、使用する周波数帯域やアンテナの種類等の選択を行わなければならない。

下水管内を流れる無線センサノードは、汚水によって非自律的に移動するためノード同士の間隔は常に変化し、また管壁や障害物に衝突することによりノードの故障も発生する。このため、ノード間隔の変化や故障が発生してもノードの通信可能範囲内に AP または中継ノードが存在する可能性の高いノード間隔を算出し、その間隔となるようにノードを管内に投入することが必要となる。加えて、一時的に送信先のノードとのリンクが瞬断してしまった場合にも対応できるように、経路中の中継ノードに映像データを蓄積しながら AP に届ける等の通信方式 [15] も必要となる。また、ノードの通信範囲内に多数のノードが密集してしまうことも考えられる。この場合、全てのノードが同じチャンネルや送信タイミングで映像データの伝送を行お

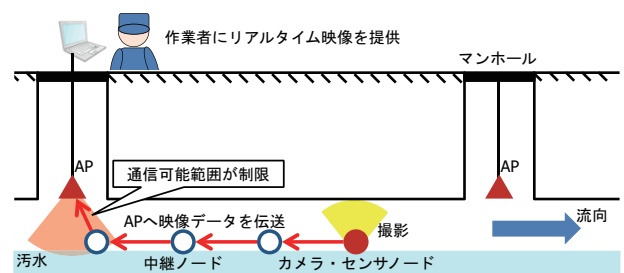


図 4 提案システムの構成

うとした時に送信信号同士の干渉が発生し、伝送効率が低下してしまう可能性がある。これに対応するためには、周囲のノードが使用しているチャンネルを把握し、より電波干渉の発生しにくいチャンネルを選択したり [16]、指向性アンテナを用いて特定の方向にのみ電波を送ることで電波干渉が起こる範囲を狭くする [17] 等の通信方式が必要である。

本稿ではこれら課題のうち無線通信可能距離の問題に注目し、下水管内における実際の無線通信可能距離を測定する実験を行った。

5. 無線通信実験

下水管内の無線通信可能距離を把握するために、大学構内の廊下、実際の下水道管きよ、畑の土中に埋めた VU 管 (薄肉塩ビ管) において、IEEE802.11g 無線 LAN を用いたデータパケットの送受信を行い、受信信号強度とパケット受信率の測定を行った。また使用する無線 LAN の違いによる測定結果の変化を調べるために、畑の土中に埋めた VU 管において IEEE802.15.4 (2.4GHz) 無線 LAN を用いたパケット伝送実験を行った。

5.1 ハードウェア

測定には、図 5 に示す Android 4.0.3 OS と IEEE802.11b/g/無線 LAN インターフェースを搭載したスマートフォン ARROWS Me F-11D[18] と図 6 に示す IEEE802.15.4 の 2.4GHz 帯域無線通信モジュール Xbee Pro[19] を接続した Arduino UNO[20] を使用した。また端末は、防水のため常にポリエチレン製のシール容器に密閉された状態とした。

5.2 ソフトウェア

実際の下水道管きよ、土中の VU 管の環境を用いた実験では、端末を直接操作できないため、一定時間待機した後にパケットの送受信を行い、受信信号強度、パケット受信率を自動的に計測する 2 種類のアプリケーションプログラムを作成した。

- 送信用アプリケーション

送信用アプリケーションは、通信プロトコル UDP ユニキャストを用いてパケットを送信する。

送信用アプリケーションは、起動後入力された待ち時間 T 秒間待機した後に動作を始める。受信端末へ UDP ユニキャストで入力されたデータサイズ X のパケットを 3 分間 1 秒間隔で送信する。

- 受信用アプリケーション

受信用アプリケーションは、送信端末からパケットを受信し、受信回数、受信信号強度の情報をログと

して出力する。

受信アプリケーションは起動後すぐにパケット待機状態となる。パケットを受信した場合、アプリケーションはログとして受信回数と受信信号強度を出力する。

5.3 大学構内の廊下における測定

大学構内の廊下に 2 台の端末を 4m, 8m, 12m, 16m, 20m の間隔で同一直線上に配置し、各端末間隔でパケット送受信を行った。測定には IEEE802.11g 無線 LAN のみを使用した。端末の設定は表 1 に示す通りである。また長さ 40cm, 口径 200mm の VU 管で送信端末を密閉した場合、

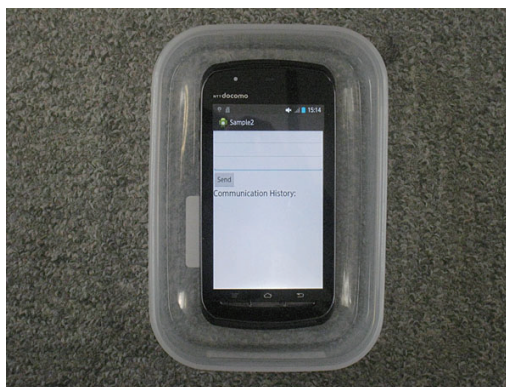


図 5 測定に使用した Android 端末 (シール容器に格納したもの)



図 6 測定に使用した Arduino UNO, Xbee Pro, バッテリー (シール容器に格納したもの)

表 1 実験パラメータ

	IEEE802.11g	IEEE802.15.4
使用機器	Android	Arduino UNO
送信電力	10mW	10mW
通信プロトコル	UDP (ユニキャスト)	UDP (ユニキャスト)
再送回数	7 回	0 回
データサイズ	100, 500bytes	100bytes
測定時間	180s	180s
送信間隔	1s	1s
ビットレート	6~54Mbps (自動設定)	250kbps

水を深さ 4cm まで入れた VU 管で密閉した場合、密閉しなかった場合の 3 パターンで測定した。

測定された平均受信信号強度を図 7 に示す。全ての条件においてパケットロス率は 1 % 未満だった。送信端末を密閉しなかった場合と VU 管で密閉した場合の結果を比較すると、2 つの平均受信信号強度に大きな差がない。このことから、VU 管による信号減衰は十分小さいと言える。また、送信端末を VU 管で密閉した場合と水入りの VU 管で密閉した場合の結果を比較すると、水入りの VU 管で密閉した場合の平均受信信号強度の方が約 5dBm 低い。これより、水による信号減衰は大きいと言える。

5.4 実際の下水道管きよにおける測定

下水道管きよ内の水だけではなく、管外側の水分を含む土砂等も電波減衰要因である。従って、前述した大学内の廊下における測定結果だけでは管内における無線通信可能距離を正確に推定することはできない。そこで、静岡大学浜松キャンパス内の下水道管きよで測定を行った。図 8 から図 10 に示すように、マンホール間隔 12.6m、深さ約 2m に口径 250mm の VU 管が配管されている場所で、端末をマンホール上部から下水管へナイロンロープを用いてマンホール下部へ下ろすことにより配置した。測定には、大学構内の廊下における測定と同様に IEEE802.11g のみを使用し、端末も同じ設定、製品を使用した。測定中は常にマンホールが閉じられた状態とした。

測定の結果、管内の受信端末は送信端末から送信されたデータパケット長 100, 500bytes いずれの場合も 1 つも受信することができなかった。このことから、IEEE802.11g を使用した場合の下水管内における無線通信可能距離は、12.6m 未満であることがわかった。また前述したように、VU 管による減衰は十分小さいため、下水道管きよ内外の電波減衰要因によって大幅に通信条件が悪化したと考えられる。

5.5 土中の VU 管における測定

より正確に下水管内での無線通信可能距離を推定するためには、下水道管きよにおいてさらに短い端末間距離で測定を行う必要がある。しかしながら、静岡大学浜松キャンパス内における口径 250mm、口径 200mm の下水管が配管されている場所では、12m よりも短いマンホール間隔の場所が存在しなかった。そこで、畑に VU 管を埋めることにより、下水道管きよの環境を模擬した環境を作り測定を行った。

図 11 から図 13 に示すように、畑の土を深さ 40cm まで掘り、長さ 4.2m、口径 200mm の VU 管を埋めた。送信端末を VU 管の一端に固定し、受信端末にビニールひもをつないで端末間距離が 1.05m, 2.1m, 3.15m, 4.2m となるように端末の位置を調整し、各端末間距離において測定を行った。

測定中は VU 管全体が土中に埋められた状態とし、投入口

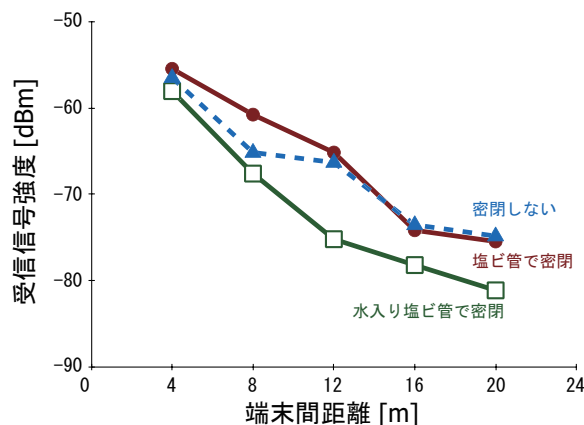


図 7 大学構内の廊下における平均受信信号強度 (IEEE802.11g)

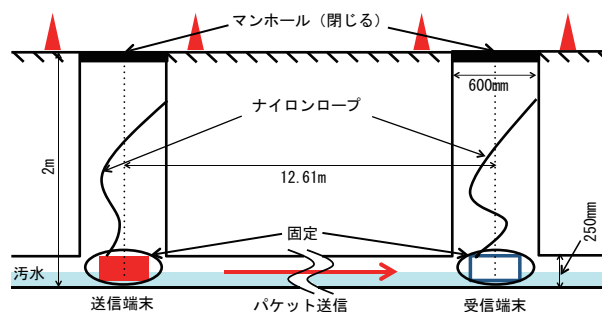


図 8 下水道管きよにおける実験



図 9 下水道管きよにおける実験風景：端末の配置作業



図 10 下水道管きよにおける実験風景：端末の配置

からの電波の出入りを防ぐために盛り土をした。この測定では、IEEE802.11g だけでなく IEEE802.15.4 も使用した。各端末の設定は表 1 に示す通りである。IEEE802.15.4 では、管内に水を入れた場合と入れなかった場合の 2 パターンで測定を行い、IEEE802.11g では、管内に水を入れた場合と入れなかった場合に加え、高さ 8cm のシール容器の上に端末を配置して管底からの端末の高さを高くした場合と管底に直に端末を配置した場合の合計 4 パターンで測定を行った。なお、IEEE802.11g と IEEE802.15.4 の測定は、実験場所確保の都合上それぞれ別の畑で測定を行った。

- 水と土砂の電波への影響

図 14 は、端末を管底に直に設置した場合の IEEE802.11g の平均受信信号強度の測定結果である。なお同図には、水と土砂のどちらの影響を受けていない測定結果として、大学構内の廊下における VU 管、水入り VU 管での密閉を行わなかった場合の平均受信信号強度を併記している。水ありと水なしの場合を比較すると、水ありの場合の平均受信信号強度の方が約 18dBm 低い。このことから、大学構内の廊下における測定結果と同様に、水による減衰が大きいと言える。また、大学構内の廊下における測定結果と水なしの場合を比較すると、水なしの場合の平均受信信号強度の方が約 11dBm 低い。このことから、水と同様に管外側に存在する土砂による減衰も大きいと言える。

- 使用する無線の違いによる測定結果の変化

図 15 は、端末を管底に直に配置した場合の IEEE802.11g, 802.15.4 の平均受信信号強度の測定結果である。水なしの場合におけるそれぞれの測定結果を比較すると、IEEE802.15.4 は端末間距離 3.15m でパケットを受信することができているが、IEEE802.11g では受信できていない。また、水ありの場合におけるそれぞれの平均受信信号強度を比較すると、IEEE802.11g の平均受信信号強度の方が約 23dBm 低くなった。これらから、IEEE802.15.4 の方が IEEE802.11g よりも無線通信可能距離が若干長いと言える。

- アンテナ高の調整による電波減衰量の変化

図 16 は、全ての測定パターンにおける IEEE802.11g の平均受信信号強度である。高さ 8cm のシール容器により端末の高さを調整した場合と調整しなかった場合を比較すると水あり、水なしの場合どちらにおいても高さ調整を行った方が平均受信信号強度が高くなっている。このことから、アンテナ高の調整により電波減衰を減らし、無線通信可能距離を改善可

能であることがわかる。

- アンテナ高の調整によるパケット受信率の変化
図 17 は、データサイズ 500Byte における

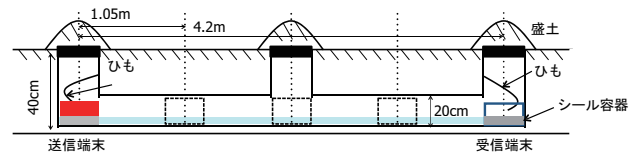


図 11 実験用下水管内の端末配置



図 12 土中の VU 管における実験風景：VU 管の設置



図 13 土中の VU 管における実験風景：測定中の様子

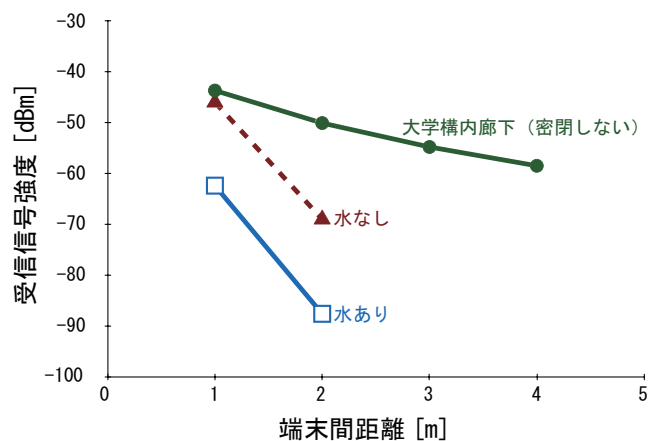


図 14 土中の VU 管における平均受信信号強度 (IEEE802.11g, 端末の高さ調整なし)

IEEE802.11g のパケット受信率である。水ありかつ端末高さ調整なしの端末間距離 2.1m におけるパケット受信率が 50 % であるのに対して、水ありかつ端末高さ調整ありの端末間距離 2.1m におけるパケット受信率は 100 % となっている。このことから、アンテナ高の調整によって電波減衰を減らすだけでなく、パケット受信率を向上させることが可能であることがわかる。しかしながら、水ありかつ端末高さ調整ありの端末間距離 3.15m におけるパケット受信率は 0 % となっている。このことから、このことから、2.4GHz 帯域、出力 10mW の設定での下水管内における無線通信可能距離は、3.15m 未満であると言える。

6. 考察

下水道管きよにおける IEEE802.11g を用いた測定で、受信端末は送信端末からパケットを 3 分間 1 つも受信することができず、大学構内の廊下、土中の VU 管では水、土砂による電波の減衰が見られた。これらのことから、下水道環境に存在する汚水、管外側の土砂の電波減衰により、ノードの通信可能距離は地上に比べて短くなると言える。また、下水道環境には汚水や土砂以外にも木の根や堆積物等の電波減衰要因が存在する。このことから、実際の下水道管きよにおける平均受信信号強度、パケット受信率は、今回土中の VU 管において測定されたものよりもさらに低い値となると考える。

土中の VU 管における IEEE802.11g, 802.15.4 を用いた測定では、IEEE802.15.4 の方が平均受信信号強度が高く無線通信可能距離が長くなった。同じ周波数帯域を使用しているにも関わらずこのような結果となった理由として、実験環境の違いを考える。前述したように、実験場所確保の都合上今回の IEEE802.11g, 802.15.4 を用いた測定はそれぞれ別の畑で行っている。このため、土壌に含まれる水分量に違いがあり、土砂による電波減衰に差が生じたものと考えられる。VU 管の中に入れる水の量も測定ごとに差がある。これによっても水による電波減衰に差が生じていると考える。

さらに、使用ビットレートの違いも測定結果の違いに影響していると考えられる。IEEE802.11g は、最小ビットレートが 6Mbps であるが、IEEE802.15.4 では 250kbps 固定である。このため、IEEE802.15.4 の方が無線通信可能距離が長くなったと考える。

本システムでは映像データのような大きなデータの伝送を想定しているため、実際には 250kbps よりも大きなビットレートが必要となる。また、IEEE802.11g, 802.15.4 の各端末のアンテナ高が異なっていることも測定結果の違いに影響していると考えられる。

IEEE802.11g を用いた土中の VU 管における測定で、

シール容器を用いて端末の高さを管の中央部に位置するようにしたところ、平均受信信号強度とパケット受信率が改善し、無線通信可能距離が長くなった。アンテナから水、土砂までの距離が長くなったことで電波減衰が緩和されたと考える。

今回の土中の VU 管における測定では、2.4GHz 帯域、送信電力 10mW における無線通信可能距離は 3.15m 未満であった。今回測定された無線通信可能距離では、提案システムを利用した長距離のリアルタイム映像伝送の実現に必要な中継ノードの数が多くなくなってしまい、またノード間隔

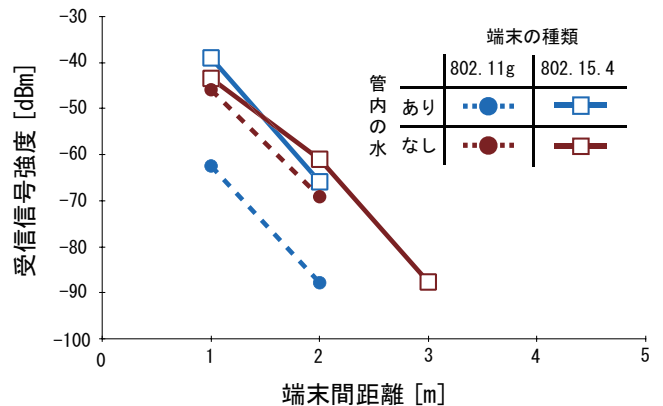


図 15 土中の VU 管における平均受信信号強度 (IEEE802.11g・802.15.4, 端末の高さ調整なし)

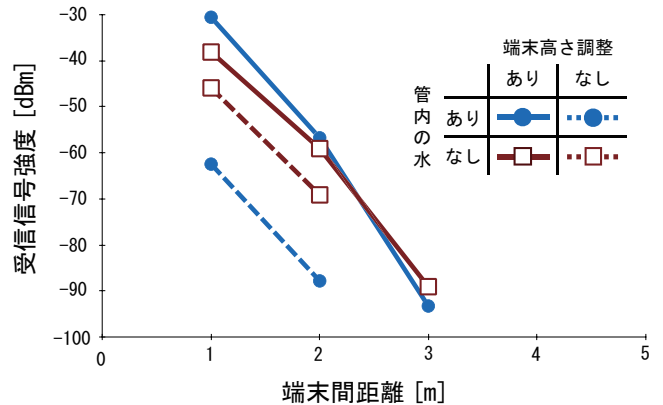


図 16 土中の VU 管における平均受信信号強度 (IEEE802.11g, 全ての測定パターン)

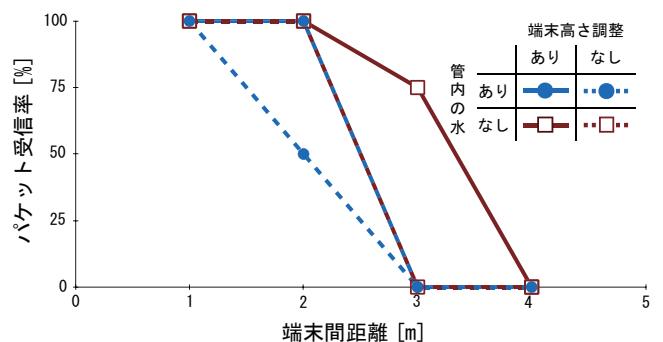


図 17 土中の VU 管におけるパケット受信率 (IEEE802.11g, 全ての測定パターン)

の変化, 故障にも弱くなってしまふ。このため, 今後は無線通信可能距離を長くすることが必要となる。

無線通信可能距離を長くするための手段として, 使用周波数帯域を変更することを考える。今回使用した 2.4GHz 帯域の電波は水に吸収されやすいため, 本システムに適していないと考える。そこで, より低い周波数帯域を使用することを考える。例としては, 920MHz 帯域があげられる。これは, 2012 年から新たに日本国内で使用可能となった周波数帯域であり, 2.4GHz 帯域よりも電波減衰の影響を受けにくい。920MHz 帯域を使用する無線規格としては, IEEE802.15.4g がある [21]。IEEE802.15.4g の最大ビットレートは 400kbps であり, IEEE802.11g よりも通信速度が遅いため, 大きなデータの伝送が困難であると考えられる。その場合には, 一つの通信複数のチャンネルや送受信アンテナを用いることで通信の高速化を図る必要がある。また無線通信可能距離を長くするための手段としては, 周波数帯域を変更する以外にも, 指向性アンテナを用いて一方向の送信信号が届く距離を長くすることや, 電波減衰要因の影響を受けない光メディア等の利用がある。

7. まとめ

複数の浮流無線センサノード群による下水管検査システムの基礎設計のため, 下水管の無線通信実験を行った。この結果, 2.4GHz 帯域, 出力 10mW の設定での下水管内における無線通信可能距離は 3.15m 未満であること, 土壌の水分量や VU 管の中に入れる水の量の違い, 使用するビットレートによって同じ周波数帯域でも通信品質が変化すること, アンテナ高の調整により通信品質の改善が可能であることを確認した。

今回確認できた無線通信可能距離では, 本システムを運用するために多くの中継ノードが必要となってしまう。今後は通信方式やアンテナの種類, 位置について検討する他, 使用する周波数帯域の変更, 光メディア等の利用の検討を行っていく予定である。

謝辞

実験にあたっては静岡大学財務施設部、浜松市浜北区松本様のご協力を頂いた。また本研究は浜松科学技術研究振興会科学技術試験助成金ならびに栢森情報科学振興財団の助成によるものである。ここに記して謝意を示す。

参考文献

- [1] 株式会社 東利：工事事例-目視調査, <http://www.tohri-net.co.jp> (2014/05/14 確認)。
- [2] 株式会社 ジェット：排水管洗浄, <http://kkjetweb2.nk-tech.jp/seisou/index.htm> (2014/05/14 確認)。
- [3] 小川和弘：水道管内点検ロボットの開発, 三井造船技報, Vol.2009, No.197, pp.1-7 (2009)。

- [4] Amir, A.F.N.: Concept and Design of A Fully Autonomous Sewer Pipe Inspection Mobile Robot “KAN-TARO”, 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.10-14, Roma, Italy (2007)。
- [5] 関野勇：ストリーム・カメラシステムによる幹線管きよの TV カメラ調査について, 月刊下水道, Vol.34, No.3, pp.55-58 (2011)。
- [6] 石原 進：間欠通信を行う流れるセンサ群からの情報収集に関する考察, 情報処理学会研究報告, モバイルコンピューティングとユビキタス通信, Vol.2010-MBL-56, No.22, pp.1-7 (2010)。
- [7] 長島大貴, 中島竜太郎, 石原進：複数の浮流無線センサノードを用いたマルチホップ無線映像伝送システムの提案, 第 76 回情報処理学会全国大会, 3W-4 (2014)。
- [8] 国土交通省：計画的な改築・維持管理, <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage> (2014/05/14 確認)。
- [9] 総務省：基本耐用年数表, http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/kenkyu/chikoujiken/pdf/070730.1.1.2.04.B02.pdf (2014/05/14 確認)。
- [10] 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：下水道施設のストックマネジメント手法に関する手引き(案)(2011), <http://www.mlit.go.jp/common/000167671.pdf> (2014/05/14 確認)。
- [11] 国土交通省都市・地域整備局下水道部：有害物質等流入事故対応マニュアル(2005), <http://www.mlit.go.jp/common/000109959.pdf> (2014/05/14 確認)。
- [12] 王 新峰：下水管内観察および掃除ロボット, 日本機械学会北陸信越支部総会・講演会講演論文集, Vol.2009, No.46, pp.439-440 (2009)。
- [13] 東京都下水道局：管路内調査工標準仕様書(2012), <http://www.gesui.metro.tokyo.jp/kanko/kankou/hyoujyum.shiyousyo/kanronai/kanronai.siyousyo.pdf> (2014/05/14 確認)。
- [14] 内田裕和：下水道調査ロボットのビジョンシステムを用いたひび割れ検出に関する基礎研究, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, Vol.2009, 1A1-C02, pp.1-4 (2009)。
- [15] 川上雄気：スカイメッシュにおける蓄積中継型映像配信方式の性能評価, 電子情報通信学会技術研究報告(CQ), Vol.110, No.455, pp.57-62 (2011)。
- [16] MUNIZ, A.: コグニティブ無線 V2V 通信における分散チャンネル調整手法, 電子情報通信学会技術研究報告(IA), Vol.108, No.409, pp.59-64 (2009)。
- [17] 光永圭：無線マルチホップネットワークにおける指向性周期的間欠送信法, 電子情報通信学会技術研究報告(RCS), Vol.108, No.445, pp.301-306 (2009)。
- [18] 富士通 ARROWS Me F-11D : <https://www.fmworld.net/product/phone/f-11d/> (2014/05/14 確認)。
- [19] Digi international XBee Pro 802.15.4 : <http://www.digi.com/products/wireless-wired-embedded-solutions/zigbee-rf-modules/point-multipoint-rfmodules/xbee-series1-module> (2014/05/14 確認)。
- [20] TechShare Arduino UNO : <http://techshare.co.jp/run-on-target/arduino> (2014/05/14 確認)。
- [21] IEEE Standards Association, IEEE Std 802.15.4g(2012): <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4g-2012.pdf> (2014/05/14 確認)。