

<論文>

下水道施設における無線 LAN システムの検討

伊藤 英男¹, 倉持 昭人², 横山 幹夫³, 山崎 俊夫⁴

東京都下水道局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目 8 番 1 号 E-mail:Hideo_4_Ito@member.metro.tokyo.jp)
 東京都下水道局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目 8 番 1 号 E-mail:Akihito_Kuramochi@member.metro.tokyo.jp)
 東京都下水道局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目 8 番 1 号 E-mail:Mikio_Yokoyama@member.metro.tokyo.jp)
 日本電気株式会社 (〒108-8001 東京都港区芝五丁目 7 番 1 号 E-mail:t-yamazaki@df.jp.nec.com)

概 要

東京都区部の下水道は、平成 6 年度に 100% 普及概成以降、安全で快適な都市生活を目指した浸水対策、再構築、合流式下水道の改善などのさまざまな施策を展開している。今回、より効率的な事業運営を目指し、下水道施設への無線 LAN の適応性について調査を行った。調査の結果、下水道施設内での無線 LAN の適用についてはいくつかの課題はあるが、通常の環境下での通信の安定性等では問題はなかった。また、無線 LAN を導入することで、

- (1)監視場所からの配線経路の確保が困難な設備を監視する(放流口等)
- (2)無線監視端末の導入により、設備の詳細な監視情報を現場で見られる。
- (3)設備の監視機能と制御機能とを切り離すことにより手元操作盤の監視機能簡略化等の可能性を得ることができた。

キーワード: 下水道、無線 LAN、更新、監視、情報

1. 調査概要

東京都下水道局では、平成 15 年度、16 年度と下水道設備への無線 LAN 適用の検討を行った。このうち平成 15 年度は、主に机上での検討を行い、Table1 に示すような各通信方式の特徴をもつ無線 LAN 方式について検討している。

Table 1 Characteristics of wireless LAN

無線 LAN の種類	特徴
IEEE802.11a 5GHz 無線 LAN	屋外での使用は不可。 障害物に弱い。 通信速度が速い。(理論値: 54Mbps)
IEEE802.11g 2.4GHz 無線 LAN	屋内・屋外で使用可能。 電波干渉の可能性有り。 通信速度が速い。(理論値: 54Mbps)
STD-T67(400MHz) 特定小電力無線	屋内・屋外で使用可能。 障害物の影響を受けにくい。 通信速度が遅い。(設計値 2.4kbps)

屋外では 2.4GHz 無線 LAN と STD-T67 特定小電力無線 1)を、屋内では 2.4GHz/5GHz 無線 LAN と STD-T67 特定小電力無線を使用できることが判る。また、通信速度との関係から、2.4GHz/5GHz 無線 LAN は高速であるため情報量が多く即時性が求められる場合に適し、STD-T67 は通信速度が低速であるため比較的情報量は少なく、障害物等の見通しがきかない環境での用途に適している。

こうしたことから、平成 16 年度には無線 LAN システムの利用について、計装機器からの情報取得に IEEE802.11 方式と一部で STD-T67 特定小電力無線を併用し、監視および映像・音声信号の伝送については IEEE802.11 方式を採用する方法で、下水道施設の実環境において以下の検証・検討を行った。

- ・既存設備と無線 LAN 機器との間の電磁波の影響の検証

- ・無線 LAN 導入によるシステム応答性・安定性の検証
- ・映像・音声信号の伝送の検証
- ・無線 LAN システムの検討

2. 電磁波環境の調査

2.1 既存設備から放射される電磁波の測定

【目的】

本調査では、無線 LAN に与える影響を調査するため、既存設備から放射される電磁波の強度を測定する。

【結果】

下水道施設の各設備に測定機器を設置して、既存設備から放射される電磁波の強度を測定した。

なお、電界の影響の判定には、「IEC61000-4-3 放射無線周波電磁界イミュニティ試験」2)で規定されている試験レベルを用い、本実証実験では試験レベル 2 を採用した。

Table 2 Test levels of IEC61000-4-3

試験レベル	電界強度
1	1V/m (120dB μ V/m)
2	3V/m (129.5dB μ V/m)
3	10V/m (140dB μ V/m)

また、磁界の影響の判定には、「IEC61000-4-8 電源周波数磁界イミュニティ試験」3)で規定されている試験レベルを使用した。

(1) 既存設備から放射される電磁波

今回 6ヶ所の下水道施設で測定した結果、VVVF 制御器および電力貯蔵設備 (NaS 電池) から強い電磁波が放射されていることが確認された。これら設備から放射される電磁波の電界強度の周波数帯域毎の最大値を Table 3 に示す。

Table 3 Frequency band and Max. power levels

周波数帯域	電界強度の最大値
10kHz～80MHz	132dB μ V/m
200kHz～1MHz	108dB μ V/m
30MHz～300MHz	75dB μ V/m
300MHz 帯	50dB μ V/m
700MHz 帯	72dB μ V/m

Table 3 から、周波数帯域 10kHz～80MHz において、IEC61000-4-3 の試験レベル 2 (129.5dB μ V/m)を越える強度の電磁波が放射されていることがわかる。

(2) 磁界による影響

各設備で測定した磁界の最大値を Table 4 に示す。

Table 4 Max. power levels of magnetic field

設備名	磁界強度(A/m)
VVVF 制御器	0.0036
脱臭機モータ	0.0078
電力貯蔵設備(NaS 電池)	0.038
脱水機 8 号	0.0043
赤羽系汚水ポンプ 1 号変圧器	0.011
蒸気タービン発電機	0.0045

Table 4 より、「電力貯蔵設備(NaS 電池)」の 0.038A/m が、今回測定した中では最も大きな値である。

IEC61000-4-8 では、連続磁界に対する試験レベルとして、Table 5 に示すレベルが定められている。

Table 5 Test levels of IEC61000-4-8

試験レベル	磁界強度(A/m)
1	1
2	3
3	10
4	30
5	100

Table 5 において 0.038A/m は試験レベル 1 に満たない値であり、今回の調査の範囲では下水道施設に導入する無線 LAN 機器が IEC61000-4-8 の試験レベル 1 を満足していれば、既存設備から放射される磁界の影響を受けずに正常に動作するといえる。

2.2 無線LANの電磁波による影響

【目的】

本調査では、既存設備から放射される電磁波の電界強度の測定結果をもとに、無線 LAN が既存設備から受けける影響を調査する。

【結果】

(1) 下水道施設での測定

実際の下水道施設で稼働中の既存設備(ガスタービン発電機、VVVF 制御器)の直前に、2.4GHz/5GHz 無線 LAN を設置して、TCP/IP プロトコルによるスループットを測定した。

その結果、無線 LAN が既存設備の影響を受けず、スループットの低下、誤動作およびアラーム等を発生する事なく動作することを確認した。

(2) 電波暗室での測定

・ 2.4GHz 無線 LAN

電波暗室に無線 LAN 機器を設置し、擬似電磁波生成器から電磁波を照射して、無線 LAN の動作を確認した。

無線 LAN 機器は水平照射では性能劣化および誤動作を起こさなかったが、垂直照射では Table 6 の電磁波を照射した場合、電磁波の影響を受けて通信が途絶することを確認した。

Table 6 Frequency band and Min. power levels (2.4GHz wireless LAN)

周波数帯域	影響を受ける電界強度
85MHz 帯	140dB μ V/m 以上

・ 5GHz 無線 LAN

電波暗室に無線 LAN 機器を設置し、擬似電磁波生成器から電磁波を照射して、無線 LAN の動作を確認した。

無線 LAN 機器は水平照射では性能劣化および誤動作を起こさなかったが、垂直照射では Table 7 の電磁波を照射した場合、電磁波の影響を受けて通信が途絶することを確認した。

Table 7 Frequency band and Min. power levels (5GHz wireless LAN)

周波数帯域	影響を受ける電界強度
85MHz 帯	140dB μ V/m 以上
95MHz 帯	139.6dB μ V/m 以上
106MHz 帯	137.7dB μ V/m 以上
114MHz 帯	138.9dB μ V/m 以上

・ STD-T67 特定小電力無線

電波暗室に無線モジュールを設置し、疑似電磁波生成器から電磁波を照射して、無線モジュールの動作を確認した。

無線モジュールは水平照射では性能劣化および誤動作を起こさなかったが、垂直照射では Table 8 の電磁波を照射した場合、電磁波の影響を受けて通信が途絶することを確認した。

Table 8 Frequency band and Min. power levels (STD-T67)

周波数帯域	影響を受ける電界強度
142MHz 帯	130.9dB μ V/m 以上
1GHz 帯	139.1dB μ V/m 以上

(3) まとめ

Table 3 より、10kHz～80MHz 帯を除き既存設備から放射される電界強度は、試験レベル 2 以下である。従って、下水道施設に導入する無線 LAN 機器の基準として試験レベル 2 を採用することにより 10kHz～80MHz 帯以外の周波数帯では無線 LAN 機器が既存設備から放射される電磁波の影響を受けることはない。

Table 3 より、10kHz～80MHz の周波数帯で既存設備から試験レベル 2 を超える最大 132dB μ V/m の電磁波が放射されている。電波暗室での測定により、今回使用した無線 LAN 機器が 10kHz～80MHz の周波帯では 140dB μ V/m 以下の電磁波の影響を受けないことが確認できたため、今回使用した無線 LAN 機器は既存設備から放射される電磁波の影響を受けないことがわかる。

しかし、電波暗室での測定は無線 LAN 機器の実力の測定であり、規格により保障される値ではない。したがって、試験レベル 2 を保障する無線 LAN を導入する場合、設置場所の電界強度を測定して、試験レベル 2(129.5dB μV/m)未満であることを確認する必要がある。測定の結果、試験レベル 2 以上の電磁波が検出された場合、電界強度が試験レベル 2 未満になる位置まで遠ざけて無線 LAN 機器を設置する等の対策が必要である。

2.3 電波干渉による影響の調査

【目的】

本調査では、外來電波による電波干渉の影響、同一フロアで複数チャンネルを使用した場合の電波干渉の影響を調査する。

【結果】

(1) 2.4GHz 無線 LAN

2.4GHz 無線 LAN の使用する周波数帯域で、電界強度 0.1~0.82V/m の電磁波を照射した結果、スループットは低下したが通信断になる現象は発生しなかった。

同一フロアで複数のアクセスポイントを使用する場合、電波干渉によりスループットの低下が発生する場合がある。同一フロア内で複数のアクセスポイントを使用する場合、相互の周波数帯を干渉しないように配置する必要がある。

(2) 5GHz 無線 LAN

5GHz 無線 LAN の使用する周波数帯の電磁波を照射した結果、通信断が発生した。

同一フロアで複数のアクセスポイントを使用する場合、電波干渉により通信断が発生するので、同一フロア内で複数のアクセスポイントを使用する場合、相互の周波数帯域を重複しないように配置して使用する必要がある。

(3) STD-T67 特定小電力無線

STD-T67 特定小電力無線の使用する周波数帯の電磁波を照射した結果、通信断が発生した。

STD-T67 特定小電力無線で使用している周波数帯は送信電力が 10mW 以下であれば自由に使用できる。そのため、STD-T67 特定小電力無線モジュールを使用する場合、導入前後に周波数帯域の使用状況の調査を行う必要がある。

2.4 既存設備に与える影響の調査と分析

【目的】

本調査では、無線 LAN が放射する電磁波が、既存設備に与える影響について調査する。

【結果】

(1) 無線機器から放射される電磁波強度の測定

2.4GHz 無線 LAN、5GHz 無線 LAN、STD-T67 特定小電力無線が放射する電磁波の強度を測定した。その結果を Table 9、Table 10、Table 11 に示す。

また、平成 15 年度の事前調査で、既存設備に照射し影響

を受けなかった電磁波の強度を Table 12 に示す。

Table 9 Emission power levels (2.4GHz wireless LAN)

	水平	垂直
直前	114.0dB μV/m	117.4dB μV/m
1m	102.5dB μV/m	102.3dB μV/m
3m	94.7dB μV/m	97.7dB μV/m
5m	92.4dB μV/m	85.9dB μV/m

Table 10 Emission power levels (5GHz wireless LAN)

	水平	垂直
直前	116.3dB μV/m	115.6dB μV/m
1m	110.2dB μV/m	110.0dB μV/m
3m	102.1dB μV/m	101.6dB μV/m
5m	96.3dB μV/m	99.7dB μV/m

Table 11 Emission power levels (STD-T67)

	水平	垂直
直前	98.3dB μV/m	113.1dB μV/m
1m	98.5dB μV/m	109.0dB μV/m
3m	85.9dB μV/m	101.1dB μV/m
5m	93.9dB μV/m	98.5dB μV/m

Table 12 Immunity limits of existing equipments

	影響を受けない電界強度
2.4GHz 無線 LAN	119.82dB μV/m
5GHz 無線 LAN	110.89dB μV/m
STD-T67	120.15dB μV/m

この表より、2.4GHz 無線 LAN と STD-T67 特定小電力無線の場合、既存設備に与える影響はないと判断できる。

5GHz 無線 LAN の場合、直前での電界強度が事前調査の値を上回っているが、今回実際に 5GHz 無線 LAN の放射する電磁波を継電器に照射して、誤動作や遅延が発生しないことを確認しており、5GHz 無線 LAN についても既設設備に与える影響は無いと判断できる。

2.5 無線 LAN から発する電波の漏洩状況

【目的】

本調査では、無線 LAN の電波漏洩状況を調査し、無線 LAN を導入する際の漏洩防止の方策を検討する。

【結果】

下水道施設の実環境に無線 LAN を設置し、その施設から漏洩する電波の強度を測定した。

測定した漏洩電波の最大値は 2.4GHz 無線 LAN では -79dBm、STD-T67 特定小電力無線では -72.9dBm であった。

(1) 2.4GHz 無線 LAN の漏洩電波

2.4GHz 無線 LAN の一般的な最小受信感度は -72dBm である。測定結果から受信電界の最大値は -79dBm であるため、今回測定した施設の周辺では漏洩電波を正常に受信することは困難である。しかしながら、高利得のアンテナを用いることで受信可能となることや、今回調査を行わなかった見通し可能な近隣の建物や屋上では、高い電界強度の漏洩電波を傍受できる可能性があるため、無線 LAN を使用する場合には適切なセキュリティ対策を施す必要がある。

(2) STD-T67 特定小電力無線

今回使用した無線モジュールの最小受信感度は、 -100dBm であるため、今回測定した施設の周辺で容易に電波を受信することができる。

しかし、無線モジュールではデータがスクランブルされているため、データを解読するためには同等のハードウェアを用意する等の必要があるため、傍受は困難である。

2.6 無線LANの電波の到達性の調査

【目的】

本調査では、無線 LAN の電波の到達性を調査し、無線 LAN を導入する際の指針とする。

【結果】

(1) 2.4GHz無線LANの電波の到達性

下水道施設の屋上に 2.4GHz 無線 LAN を設置し、放射される電磁波の強度を測定した。測定結果を Fig. 1 に示す。

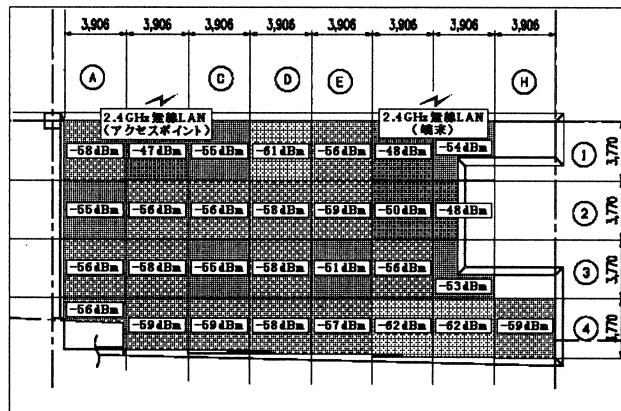


Fig. 1 Power levels on the roof top (2.4GHz wireless LAN)

屋上での受信レベルは約 -62dBm 以上であり、一般的な最小受信感度は -72dBm であることから、屋上の全域で良好に通信を行うことができる。

(2) 5GHz無線LANの電波の到達性

下水道施設の自家発電機室に 5GHz 無線 LAN を設置し、放射される電磁波の強度を測定した。測定結果を Fig. 2 に示す。

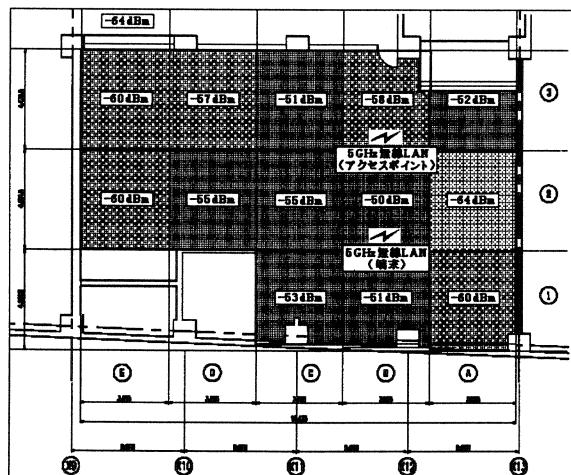


Fig. 2 Power levels in the independent power plant room (5GHz wireless LAN)

自家発電機およびガスタービンの周囲での受信レベルは -64dBm 以上であり、一般的な最小受信感度は -72dBm であることから、自家発電機室内で良好に通信を行うことができる。今回は、無線 LAN を見通しが良い所に設置して測定を行ったが、5GHz 無線 LAN は柱や既存設備等の障害物に遮られると受信レベルが低下するため、良好な通信を行う為のアクセスポイントの設置場所確保や設置台数の選定を行う必要がある。

(3) STD-T67特定小電力無線の電波の到達性

下水道施設の屋上に STD-T67 特定小電力無線を設置して放射される電磁波の強度を測定した。測定結果を Fig. 3 に示す。

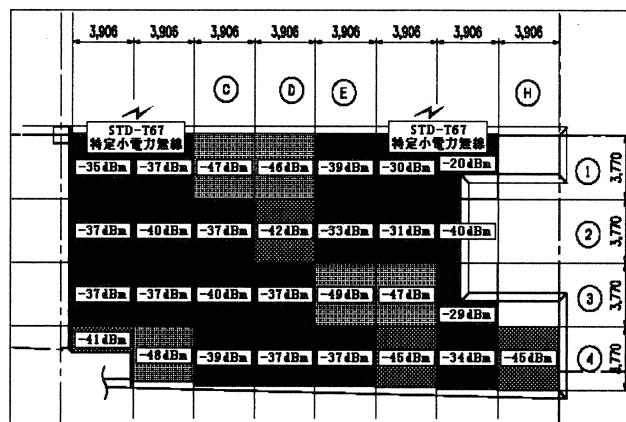


Fig. 3 Power levels on the roof top (STD-T67)

屋上での受信レベルは約 -49dBm 以上であり、無線モジュールの最小受信感度が -100dBm であることから、屋上の全域で良好に通信を行うことができる。

2.7 無線装置の安定性の調査

【目的】

本調査では、無線 LAN の受信電界強度を長期間測定し、安定性について調査する。

【結果】

約 6 週間、屋上(2.4GHz 無線 LAN、STD-T67 特定小電力無線)と自家発電機室(5GHz 無線 LAN)で受信電界強度を測定した。

(1) 2.4GHz無線LAN

受信電界レベルは最大で -47dBm 、最小で -64dBm の範囲で約 17dBm 変動した。一般的な最小受信感度は -72dBm であることから、観測された受信電界レベルの変動は、通信に影響のないレベルである。

(2) 5GHz無線LAN

受信電界レベルは最大 -47dBm 、最小 -58dBm の範囲で約 11dBm 変動した。一般的な最小受信感度は -72dBm であることから、観測された受信電界レベルの変動は、通信に影響のないレベルである。

5GHz 無線 LAN は 2.4GHz 無線 LAN と比較すると電波の

透過性が低いため、他のフロアからの干渉波が届きにくい。したがって、今回測定に使用した自家発電機室のようにコンクリートで囲まれた屋内では、外部からの干渉波の影響が少ないため、受信電界強度は安定するものと考えられる。

(3) STD-T67特定小電力無線

測定期間に、二回ほど受信電界強度の低下が見られたが、受信に影響のあるレベルではなかった。STD-T67 特定小電力無線の使用する周波数帯域はテレメータ等の機器でも使用されるため、それらの機器の放射する電波との干渉が発生したものと考えられる。

3. データ伝送調査および分析

本項では下水道施設の実環境に実証実験システムを構築し、システム応答性、システム安定性およびセキュリティ対策による影響について調査を行った。

3.1 システム応答性・安定性

【目的】

無線 LAN と有線 LAN でデータ伝送時間を測定し、応答時間の相異を調査する。

【結果】

下水道施設の降雨強度計、温度計、流量計、水位計、雨量計を用いて応答時間の計測を行った。測定結果を Table 13 に示す。

Table 13 Response time of systems

測定対象	有線	無線	備考
降雨強度計	<1ms	<1ms	2.4GHz 無線 LAN
温度計	<1ms	<1ms	5GHz 無線 LAN
流量計	<1ms	<1ms	5GHz 無線 LAN
水位計	<1ms	約 700ms	STD-T67
雨量計	<1ms	約 400ms	STD-T67

測定の結果、2.4GHz/5GHz 無線 LAN については、応答時間は 1ms 未満で殆ど遅延が無く、また、無線 LAN と有線 LAN との差も認められなかった。STD-T67 特定小電力無線については、雨量計で 400ms、水位計で 700ms と無線 LAN の応答時間が有線 LAN よりも長くなっているが、この応答時間の差は計測データを IP 化する際の処理時間に起因していることが判明している。

また、応答時間の計測は 24 時間・48 日間継続して行ったが、応答時間の著しい変化はなく安定して動作した。

3.2 セキュリティ対策による応答性、安定性

【目的】

無線 LAN に WPA-PSK (Wi-Fi Protected Access—Pre Shared Key: 無線 LAN アクセスポイントが PSK を用いてユーザ認証を行う。) 方式のセキュリティ対策を施した場合と施さない場合のシステム応答性、安定性を確認する。

【結果】

応答性・安定性の測定を、無線 LAN にセキュリティ対策を

施した状態で実施し、セキュリティ対策を施さない場合と比較した。

一定期間のデータ収集の結果、セキュリティ対策を施した場合とセキュリティ対策を施さない場合との応答時間差は 1ms 未満であり特に遅延は認められなかった。

3.3 制御・監視応答時間

システム応答性、システム安定性について検討した結果をもとに、無線 LAN システムを導入した場合の制御応答時間及び監視収集時間の増加について検討を行った。

(1) 制御応答時間の検証

【目的】

無線 LAN を導入した場合の制御応答時間の増加について検証する。

【結果】

既存の監視制御設備の処理時間を T_s 、制御指令のデータが監視制御側から制御対象に到達するまでの時間を T_a 、起動完了応答が制御対象から監視制御側に到達するまでの時間を T_f とすると、制御応答時間 T は次式で表すことができる。

$$T = T_s + T_a + T_f$$

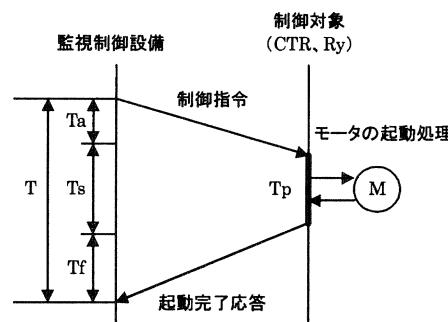


Fig. 4 Response time to control a system

ここで、 T_a は、次のように表される。

$$\begin{aligned} T_a &= (\text{システム側の無線 LAN 機器の遅延時間}) \\ &+ (\text{無線区間の伝搬時間}) \\ &+ (\text{制御対象側の無線 LAN 機器の遅延時間}) \\ &+ (\text{有線区間の伝搬時間}) \\ &+ (\text{スイッチによる遅延時間}) \\ &+ (\text{制御対象側の変換器の遅延時間}) \end{aligned}$$

理論上の計算結果から T_a は、次のようにになる。

$$T_a = 20.5\text{ms}$$

次に、 T_f は次のように表される。

$$\begin{aligned} T_f &= (\text{システム側の無線 LAN 機器の遅延時間}) \\ &+ (\text{無線区間の伝搬時間}) \\ &+ (\text{制御対象側の無線 LAN 機器の遅延時間}) \\ &+ (\text{有線区間の伝搬時間}) \\ &+ (\text{スイッチによる遅延時間}) \\ &+ (\text{制御対象側の変換器の遅延時間}) \end{aligned}$$

理論上の計算結果から T_f は次のようになる。

$$T_f = 170.5\text{ms}$$

以上より、無線 LAN を導入したことによる制御応答時間は、次のようになる。

$$T = 191.0 \text{ms} + T_s$$

このように、従来のシステム処理時間に約 200ms の遅延時間の増加で制御応答が可能となる。

(2) 監視収集時間の検証

【目的】

下水道施設に無線 LAN を導入した場合の監視収集時間の増加について検証する。

【結果】

被監視対象装置で変化を検出してシステムに通知するまでの時間を T_0 とし、システムの処理時間を T_s とすると監視収集時間 T は次式で表すことができる。

$$T = T_0 + T_s$$

1 パケットで通知する監視項目数を p 、アクセスポイントに同時接続する端末の数を q 、総監視項目数を S 、アクセスポイントの数を N とすると、理論上の計算結果から T_0 は次式で求めることができる。

$$T_0 = \{2(68+2p)q \times 10^{-3} \text{ms} + 6.4p \times 10^{-3} \text{ms} + 170.2 \text{ms}\} \times [(S/pq)/N+1]$$

注) [] はガウス記号

一例として、アクセスポイント数 $N=24$ 台、総監視項目数 $S=10,000$ 点、アクセスポイントに同時接続する端末数 $q=1$ 、1 パケットで通知できる監視項目数 $p=128$ とすると、 T_0 は次のようになる。

$$T_0 = \{0.648 \text{ms} + 0.8192 \text{ms} + 170.2 \text{ms}\} \times [(10,000/128)/24+1]$$

$$= 686.7 \text{ms}$$

総監視項目数が変わらないものとすると、1 パケットで通知できる監視項目数を多くし、アクセスポイントの数を増加させると T_0 を減少できることがわかる。

(3) STD-T67特定小電力無線の場合の考察

・ 制御応答時間の検証

2.4GHz/5GHz 無線 LAN の場合と同様に制御応答時間を探ると、制御応答時間 T は同様に次のようにになる。

$$T = T_s + T_a + T_f$$

理論上の計算結果、 $T_s=200\text{ms}$ 、 $T_f=205\text{ms}$ であったため操作応答時間 T は、

$$T = 405 \text{ms} + T_s$$

となり、従来のシステム処理時間に約 400ms の遅延時間の増加で制御応答が可能となる。

・ 監視収集時間の検証

2.4GHz/5GHz 無線 LAN の場合と同様に監視収集時間 T は次式で表すことができる。

$$T = T_0 + T_s$$

理論上の計算結果、計装機器のパルス信号を IP 化して収集する場合、1 項目の収集で $T_0=385\text{ms}$ であったため、

$$T = 385 \text{ms} + T_s$$

となり、従来のシステム処理時間に約 385ms の遅延時間の増加で監視収集が可能となる。

また、複数の監視項目を多重して収集する場合、1 項目当たりの計測処理と通信時間に約 15ms を要するために、多重する項目数を p とすると、

$$T_0 = 385 \text{ms} + p \times 15 \text{ms}$$

で監視収集の遅延時間が算出できる。

4. 映像・音声信号の伝送

本項では、下水道設備において ITV 監視を行う場合について、試験用画像の画質、実効速度、動画画質及び音声品質の確認を行った。

4.1 試験用画像の確認

【目的】

無線 LAN により画像伝送した場合の画質に与える影響の有無を確認する。

【結果】

試験用画像を用いて無線 LAN で伝送した場合としない場合の画質の比較を行い、無線 LAN による伝送の影響を確認した。

収集した画像を分析すると、全ての画像にモスキートノイズが見られる。512kbps では、線および平坦な部分にモザイク状態が見られるが、通信速度 1Mbps 以上では見られなかった。また、無線 LAN の有無による画質の差異も見られなかった。

4.2 スループットの確認

【目的】

下水道施設の実環境に無線 LAN を設置し、伝送区間のスループットを測定し、能力低下がないか確認する。

【結果】

桜橋第二ポンプ所の屋外にある放流口に設置した無線 LAN から同ポンプ所屋上に設置した無線 LAN へ、中継アンテナを経由した約 530m の距離を、FTP でデータ転送してスループットの測定を行った。今回の調査は、中継アンテナを川の対岸に設置して測定を行ったが、近隣にビルが建ち並び、電波障害を受けやすく、電波干渉を受ける環境で行ったため、スループットは約 1.8Mbps であった。

4.3 映像・音声の確認

【目的】

下水道施設の実環境で無線 LAN により、映像・音声の通信ができるることを確認する。

【結果】

伝送速度は 1Mbps に設定し、監視カメラで撮影した映像を監視用 PC で録画して適用性について検証した。

監視カメラで撮影した映像を監視用 PC で録画した結果を Fig. 5 に示す。

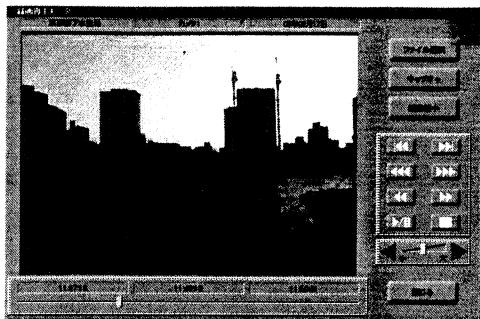


Fig. 5 Sample image

検証の結果、1Mbps の MPEG-4 でモザイク状のノイズも見られず、監視目的として利用可能であることがわかった。

5. 無線 LAN システムの検討

本項では、無線 LAN システムを下水道設備に適用する場合の構成について述べる。

5.1 無線 LAN システムの構築

これまでの検証結果をもとに、既設下水道施設に無線 LAN を導入する場合について検討する。

(1) システム概要

各フロアに L2 スイッチを設置し、L2 スイッチ間は光ファイバーで接続して LAN を構築する。L2 スイッチには、無線 LAN アクセスポイント、変換器、ITV 監視カメラ用端末装置などが接続される。

(2) アクセスポイントの配置

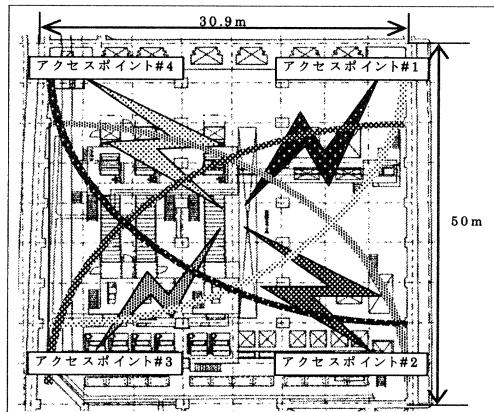


Fig. 6 Example of access point arrangement

アクセスポイントは、フロア全体をカバーできるように設置する必要があり、アクセスポイントの設置場所、台数は、フロアの広さ、設備の設置状況により異なる。既設下水道設備の一例として桜橋第二ポンプ所沈砂池室にアクセスポイントを設置する場合の考え方について述べる。

沈砂池室(広さ 30.9m × 50m)に 4 台、アクセスポイントを設置した場合の例を Fig. 6 に示す。今回使用したアクセスポイントの最大伝送距離は 30m であることから、フロア中央部分でアクセスポイント4台の電波が共存している。したがって、このエリアで電波干渉がおきないように、チャンネルを設定する必要がある。2.4GHz/5GHz 無線 LAN では最大で 4 チャン

ネルまでしか同時に利用することはできない。この例の場合、施設内の電波干渉を避けるためには最大の 4 チャンネルを使用する必要がある。

(3) 監視点数についての考察

桜橋第二ポンプ所を例に検討を行った。

プロアスペースが広く、監視項目数の多い沈砂池室に 4 台、ポンプ室に 2 台、残りのフロアには 1 台のアクセスポイントを設置して、無線 LAN 化による遅延時間を検証した。Table14 に各フロアの接点数と設置するアクセスポイントの数と接続する端末数(q)と遅延時間を示す。

Table 14 Numbers of access point per floor

設備名称	接点数	アクセス ポイント	q	遅延時間 (ms)
換気ファン室	120	1	1	171.7
自家発電機室	240	1	2	172.3
特高受変電室	350	1	3	173.0
京橋系沈砂池室	510	4	1	171.7
茅場町系沈砂池室	520	4	2	172.3
ポンプ室	440	2	2	172.3

今回の実験設備での無線 LAN 導入による監視収集時間の遅延は、3.3 項(2)から、

$$T_0 = \{2(68+2p)q \times 10^{-3} \text{ ms} + 6.4p \times 10^{-3} \text{ ms} + 170.2 \text{ ms}\}$$

× [(S/pq)/N+1] 注) [] はガウス記号

で算出できる。

1 パケットで収集する接点数を p=128、各フロアのアクセスポイントに接続する端末の数を Table 14 の q の値にすることにより、各施設の遅延時間は Table 14 のようになり、その中の最大値:173.0ms がシステムの遅延時間になる。

このように、実際に導入する場合は、各設備の監視項目数、変換器の処理時間を調査し、1 パケットで通知する接点数、アクセスポイントの設置台数より、全監視項目を収集できる時間を検討する必要がある。

(4) 屋内のITV監視

下水道施設の屋内の ITV 監視を無線 LAN 化する場合、監視映像を無線 LAN でアクセスポイントに送信するアクセスポイント構成を採用する。アクセスポイント構成を採用することにより、監視・制御情報の伝送と ITV 監視カメラでアクセスポイントを共用することができるという利点がある。

(5) 屋外のITV監視

放流口等の屋外設備を監視する場合、屋外設備と監視設備との間の通信に無線 LAN を使用することによりケーブルを敷設することなく ITV 監視を導入できるという利点がある。

都市部の下水道施設においては屋外設備と監視設備との間の見通しが取れない場合には、中継ポイントを介して映像を伝送する必要がある。

(6) 無線監視端末

下水道施設に無線 LAN システムを導入する場合の新規機能として無線監視端末の検討を行った。

無線監視端末は、中央監視制御設備の監視用端末装置

の機能を、無線 LAN 機能を用いることで場内の任意の場所において中央で得られると同等の監視を可能とするものであり、メンテナンス業務で行う中央との対向作業等の効率化を可能とするものである。今回の検討により、下水道施設内でも事前の既設環境調査や機器設置場所の考慮等により無線 LAN の利用が可能と確認されており、施設内をいわゆる無線 LAN ホットスポット化することで、こうした活用が図れることになる。

無線監視端末の画面イメージを Fig. 7 に示す。

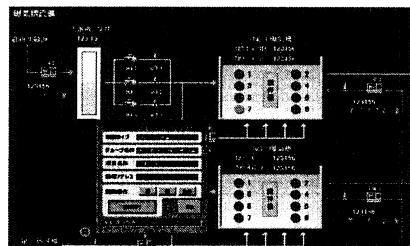


Fig. 7 Example of supervision display

また、無線監視端末を導入することにより、中央で得られると同等の監視が現場でも可能なことから、手元操作盤面にある設備の故障・状態表示等の監視機能簡略化が可能となる。

さらに、無線監視端末をネットワーク上の業務支援サーバ等と接続することで、点検時にサーバ内の支援情報を閲覧する、点検結果をその場で入力しサーバに保存するような業務改善も可能となる。

5.2 無線LANのセキュリティ

無線 LAN を下水道施設に導入する場合、悪意ある第三者者が漏洩電波を故意に傍受し、通信内容を盗聴したり下水道システムに不正侵入したりする危険性がある。これらの危険性を回避するために無線 LAN のセキュリティ機能の設定は不可欠である。

JEITA の無線 LAN のセキュリティに関するガイドライン⁴⁾では、下記の 2 種類のセキュリティ機能が記述されている。

(1) 接続関連機能

- SSID (Service Set Identifier)

接続先の無線 LAN アクセスポイントを指定する ID で、同じ SSID を設定した無線 LAN 機器だけを接続可能にする機能。

- MAC アドレスフィルタリング

個々の無線 LAN 機器が持つ機器固有番号 (MAC アドレス) を無線 LAN アクセスポイントにあらかじめ登録することで、登録されている無線 LAN 端末だけを接続可能にする機能。

(2) 暗号化機能

- WEP (Wired Equivalent Privacy)

共通の暗号化キー (WEP キー) で無線 LAN アクセスポイントと無線 LAN 端末間のデータを暗号化する機能。

- WPA (Wi-Fi Protected Access)

- IEEE802.11i (無線 LAN セキュリティの強化規格)

無線 LAN アクセスポイントが PSK (Pre-Shared Key) を用いてユーザ認証を行う。暗号化機能として、AES (Advanced Encryption Standard) が採用されている。

下水道施設に無線 LAN を導入する場合、接続関連機能と暗号化機能を組み合わせて設定する必要がある。今回の実験では、暗号化機能として WPA-PSK (暗号化機能: AES) を適用した。

万が一、違法接続によりネットワークに不正侵入された場合、ウイルス感染や不正アクセス等によるシステム停止が発生する可能性がある。そのため、セキュリティポリシー (基本方針、対策基準等) を策定し、不測の事態にはそのポリシーに則り対策を実施する必要がある。

6. まとめ

今回の調査結果により、下水道施設での無線 LAN の応用についてはいくつかの課題はあるが、応用例を Table 15 に示す。

Table 15 Application of wireless LAN to drainage sewage works

無線 LAN の種類	下水道施設への設置条件及び応用例
IEEE802.11a 5GHz 無線 LAN	・屋内で見通しのできる範囲で設置。 ・無線監視端末への応用。 ・ITV 監視等への応用。
IEEE802.11g 2.4GHz 無線 LAN	・屋内、外で見通しのできる範囲で設置。 ・無線監視端末への応用。 ・ITV 監視等への応用。
STD-T67(400MHz) 特定小電力無線	・通信速度、信頼性等を考慮し、下水道施設への応用については検討をする。

無線 LAN 導入に対しては、下水道施設の重要性を考慮すると、制御系への利用については応答速度の遅れや外部からのノイズ等の影響について、信頼性の面で更に検討する必要がある。

しかしながら、監視機能、映像・音声信号の伝達など情報系へ利用するにあたっては、若干の応答速度の遅れは大きな問題とはならないため、(1) 監視場所から配線経路の確保が困難な設備の監視をする(2) 無線監視端末を導入し、設備の詳細な監視情報を現場で見る(3) 設備の監視機能と制御機能とを切り離し、手元操作盤の監視機能を簡略化するなど、無線 LAN の特徴を生かした利用についての展望が開けたと考えられる。

[参考文献]

- 1) ARIB STD-T67 特定小電力無線局テレメータ用、テレコントロール用及びデータ伝送用無線設備標準規格 (2000年7月)
- 2) IEC61000-4-3 Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test (1995年2月)
- 3) IEC61000-4-8 Electromagnetic compatibility (EMC) . Part 4-8: Testing and measurement techniques . Power frequency magnetic field immunity test (1993年6月)
- 4) 社団法人 電子情報技術産業協会 (JEITA), 無線 LAN のセキュリティに関するガイドライン (改訂版) (2004 年 4 月)