高レベル放射性廃棄物処分場における無線通信技術の遠隔定置装置への要求仕様例の提示

日揮株式会社　正会員　○高尾　肇
日揮株式会社　非会員　　松永　繁秋、　上坂　文哉
（公財）原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員　中島均，非会員　朝野英一

１．はじめに

わが国の高レベル放射性廃棄物の地層処分施設は地下 300m以深の安定した岩盤中に建設する。地下坑道の延長は立坑・斜坑を除いても約 250km におよぶ（図-1 参照）。人工バリアの搬送・定置作業にあたっては、その品質確保と作業効率及び作業安全確保のために、地下坑道を走行する装置の状態に関するデータを遠隔により精度よく、かつ、迅速に把握する必要がある。これらのデータは有線により送受信されることが想定されるが、狭隘な地下処分場内で有線設備の設置や除去は効率的な事業推進の支障となる。そこで、地下坑道での監視制御データ等の授受を有線ではなく無線によるメッシュ型 LAN 装置で行うことを提案した。無線方式は有線方式に比較するとケーブルなどの設備設置やメンテナンスの省力化などが図れる反面、電波の反射などの影響を受け、通信距離が大きく制限を受けることも考えられる。これに対してメッシュ型の通信網は無線機同士の通信回線が途絶えたときでも迂回経路を自動構築できることから回線途絶に対する冗長性が高いメリットがある。本研究では地層処分施設内でのその適用性について検討を行った。

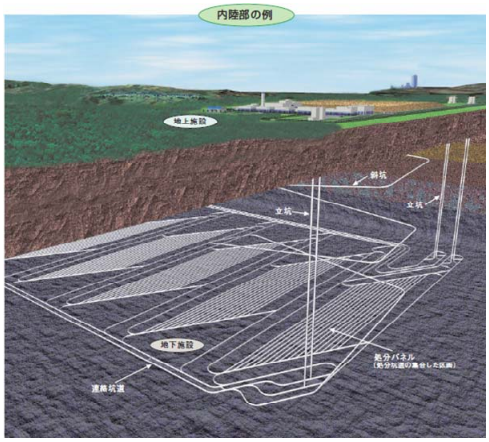

図-1　施設鳥瞰図 [1)]

表-1　試験種類と結果

試験名称	メッシュ型無線 LAN 実機	信号発生器（SG）	試験結果
①実機の遅延広がりの測定	60,120,180,240 m 地点の受信スペクトルの測定	－	遅延広がりを確認した結果、240m で通信に影響する遅延広がりは見られなかった
②実機切替時間測定	切替時間測定	－	応答時間の遅れは 30ms 以下であった
③実機マルチホップ時のデータ転送速度測定	0,1,2 ホップでデータ転送速度測定	－	データ転送速度の測定結果は 10Mbps 以上であった
④移動中の実機のデータ転送速度の測定	1m/s、2.8m/s（10km/h）で移動通信	－	速度 1m/s と 2.8m/s（10km/h)の通信品質に違いは無く、通信可能であった
⑤信号発生器を使用した伝搬利得距離特性測定	－	0m～240m（受信強度の連続測定）	伝搬利得を確認した結果、20m 以遠では電波の伝搬パターンが異なることが判った

２．トンネル内での無線通信特性

検討は高さ約 5m 幅約 6m 長さ約 240m の坑道で取得された試験結果（表-1）[2)]を参考にした。高レベル放射性廃棄物処分場におけるメッシュ型無線 LAN 通信システムの遠隔定置装置への要求仕様例を検討するに当たり、既存のトンネル内で実施した無線通信に関する研究[2)]概要を以下に示す。

・通信距離：処分坑道と同程度の坑道断面では中継なく 240m まで通信可能
・通信品質：壁面による多重反射の影響により通信速度が低下する場所が局所的に存在するが実用上問題ない
・データ転送速度：応答時間 30msec 以下、データ転送速度 10Mbps（測定値は使用した機材の性能に依存する）
・大量データ伝送：映像信号の送受信が可能（画素数 640×480、圧縮フォーマット MPEG4）
・移動体通信：10km/h で移動する搬送体に対して安定通信可能
・通信範囲：アンテナの追加・切り替えにより動的に通信範囲変更可能

３．無線通信技術の遠隔定置装置への要求仕様例の提示

上記知見等を踏まえて、処分場におけるメッシュ型無線 LAN 通信システムの適用性検討を行い搬送定置装置への要求仕様例を提示した（図-2 参照）。以下に搬送定置装置の通信に関わる主要な適用対象の検討結果を説明する。項目番号は図中の番号を示す。

①地上地下の通信

地上地下のアクセス坑道内の通信に関しては、地下処分場では複数の機器や装置が稼働しているので、地上と地

キーワード：高レベル放射性廃棄物処分場、坑道内電波伝搬、メッシュ型無線 LAN システム適用性
連絡先　　〒220-6001　横浜市西区みなとみらい 2-3-1　日揮株式会社
TEL 045-682-8385、FAX 045-682-8812、E-MAIL：takao.hajime@jgc.co.jp

下を結ぶ回線のデータ量は大きくなると考えられる。このことからアクセス坑道には、有線ケーブルを候補とした。この場合、光ファイバーケーブルを用いたイーサネットが候補として考えられる。

②メッシュ型無線 LAN の設置場所、アンテナ、電源

メッシュ型無線LANの設置場所は、操業作業の障害とならないように、壁面もしくは床面に本体を設置する。設置が容易なようにアンテナは本体と一体型とする。アンテナ位置は壁面 1mとする。電源は電線が不必要なバッテリ方式とする。バッテリは本体と切り離せるような構造として、放電しきる以前に満充電のバッテリと交換する。

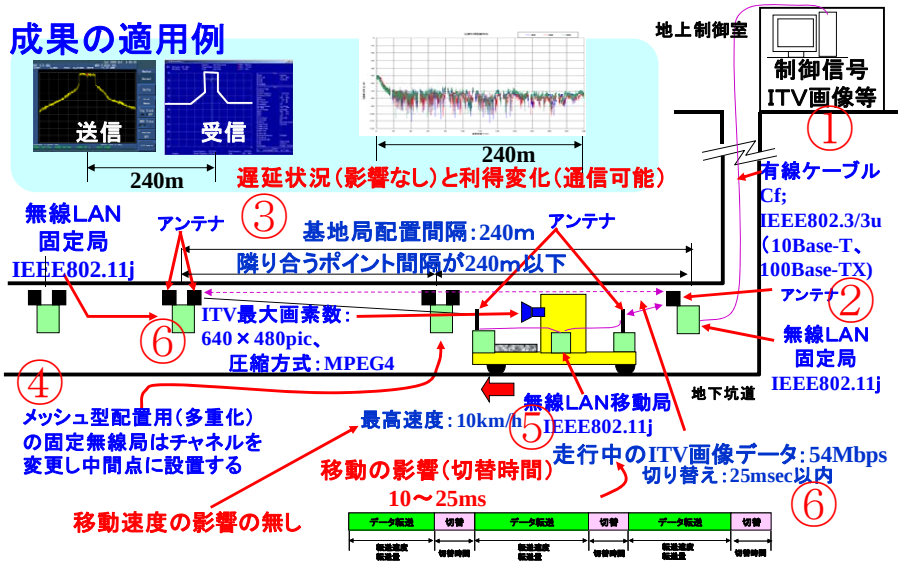

図-2　無線通信技術の処分場内での適用例

③設置間隔

メッシュ型無線 LAN 本体の設置間隔は地下坑道内で実測され、実用性が確認されている 240m 以下とする。240m 以上のさらに長い設置間隔とする場合には別途坑道内での電波伝搬状況を確認する必要がある。

④メッシュ型配置

回線の多重化としてメッシュ型とするために、240m 間隔の固定局の間に他の固定局を設ける配置方法とする。

⑤移動側のアンテナ

坑道内の装置は障害物となり得るので、移動する装置にはアンテナ装置前後に付ける必要がある。装置が処分坑道走行時には、装置自身が障害物となるからである。この場合、装置に取り付けた無線 LAN 自体もアドホック機能（データのバケツリレー機能）が要求される。

⑥伝送レート、切替時間、画像データ、監視制御データ

地下坑道内での実験により確認されたデータより、伝送レートは平均 15Mbps、切替え動作確認と切り替え時間は平均 20ms、画像データ 640×420 ピクセル、MPEG4 圧縮が可能、監視制御データの送受信が可能である。

４．まとめ

今回の検討条件においての坑道内の電波伝搬に関する特性把握と無線通信技術の遠隔定置装置への適用性が有望であることを確認した。今後は遠隔操作技術全体の制御系（※）の設計検討と遠隔制御されるオーバーパック、緩衝材、隙間充てん材搬送・定置装置の制御系の設計検討を行い、あわせて広範な試験条件における坑道内での電波伝搬特性の把握とシミュレーションモデルの精度向上（本報告では省略）などを行うことにより、メッシュ型無線 LAN システムの処分場地下坑道での通信技術としてさらなる利用効果が期待されるものと考えられる。(※処分場内で稼働している遠隔定置装置や全体の制御)

なお、本報告は経済産業省からの委託による「高レベル放射性廃棄物処分関連：処分システム工学要素技術高度化開発」の成果の一部である。

参考文献

1) 原子力発電環境整備機構：高レベル放射性廃棄物の最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募関係資料-2 処分場の概要、2002 年 12 月

2) 高田潤一ほか：トンネル内遠隔制御のための電波伝搬特性およびメッシュ無線 LAN 伝送特性、国際開発工学報告，TRIDE-2010-02，東京工業大学大学院理工学研究科国際開発工学専攻，ISSN 1880-8468．発行日：2010 年 2 月 17 日