

地下環境における長距離無線伝送技術の適用性の検討

鹿島建設(株) 正会員 ○須山泰宏 升元一彦 栗原啓丞
原子力環境整備促進・資金管理センター 川久保政洋 正会員 蓮井昭則

1. はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分事業では、サイト選定段階から、処分場の建設、操業、地下施設の閉鎖までの各段階の中で、安全性の確保や環境保全の観点からモニタリングの必要性が指摘されている¹⁾。一方、坑道の埋め戻しやプラグ設置は操業中から順次実施されるが、操業中のモニタリングによりそれらの閉じ込め機能が損なわれることは避ける必要がある。地中無線伝送技術を用いたモニタリング手法は、有線ケーブルを用いる場合と比較して、①ケーブル沿いに閉じ込め機能が低下する可能性の防止、②ケーブル敷設に伴う計測場の擾乱が避けられることによる取得データの信頼性の向上、③設置作業が簡易なため作業の安全性の向上、といった利点があると考えられる。

これまでに幌延深地層研究センターや瑞浪超深地層研究所（以下、瑞浪 URL と称す）において地中無線伝送システムの実証試験を実施しており、プラグを介した無線伝送が継続的に実施できていることを確認している²⁾。ただし、処分坑道は数百 m～1km 程度の延長となることが想定され（図-1）、長距離の通信についても検討しておく必要があるが、長距離の無線通信に関しては十分な実績があるとはいえない。そこで、これまでの開発成果を踏まえながら、信頼性・実現性・コスト等の検討を行った結果を報告する。

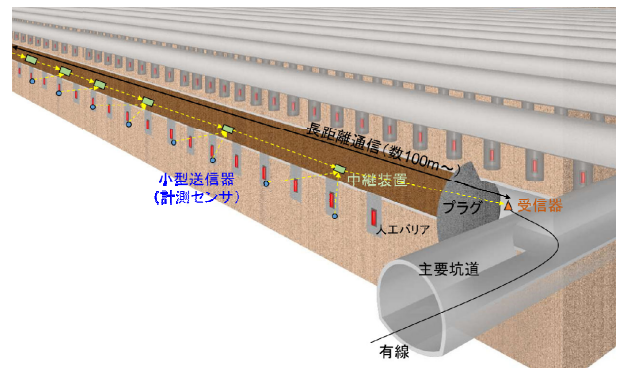


図-1 処分坑道での長距離無線通信イメージ²⁾

2. 地中無線伝送システムの検討ケースの選定

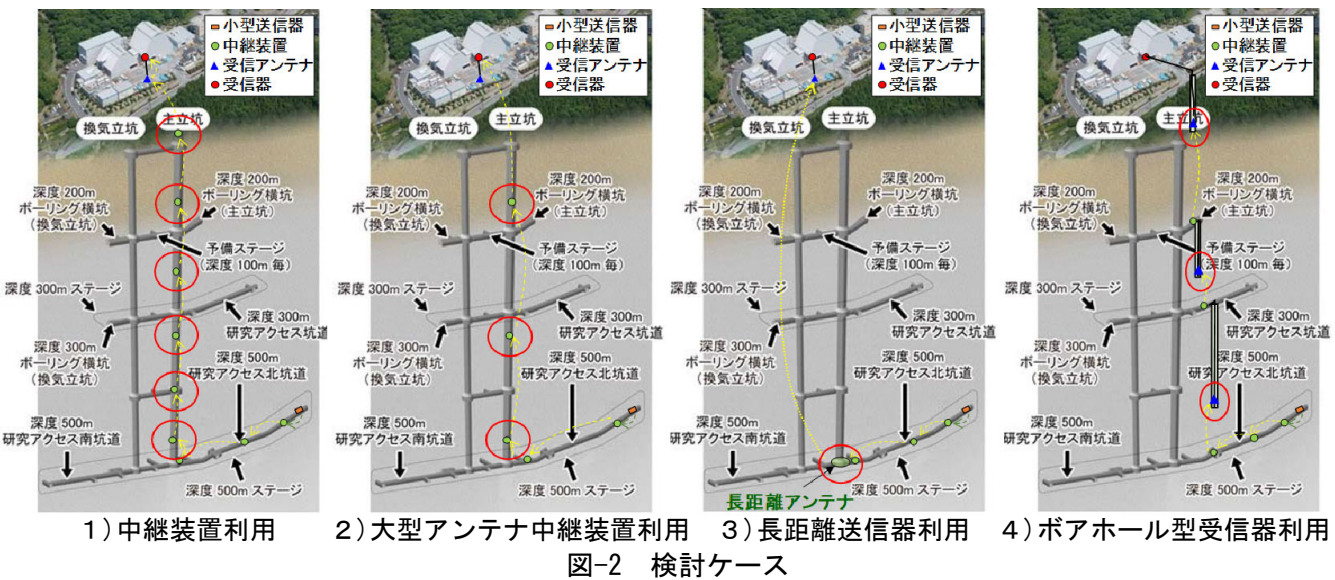
長距離での無線伝送システムを具体化するにあたっては、岩盤内の坑道において 500 m 以上の長距離かつ地中での無線伝送の適用性を検証する必要がある。今回は、瑞浪 URL の深度 500 m アクセス北坑道端部から地上までの地中無線伝送システムを構築することを適用事例として、具体的なシステム構成の検討を行った（図-2）。無線伝送を行うシステムは、小型送信器、中継装置、受信装置から構成される。小型送信器は測定対象近傍に配置されたセンサに接続され、測定データを無線で送信する。配置に自由度を持たせるために小さな形状となっており、通信可能距離は短い。中継装置は小型送信器から送られてきた測定データを長距離伝送し、地上へ中継する役割を持つ。受信装置は地上付近に配置され、送られてきた測定データを受信して上位のシステムへ受け渡す役割を持つ。また、中継装置に対する時刻同期の機能に加え、通信不具合時に中継装置に対して経路変更や内部に一時保存されたデータを再送させるなどの指令を送る機能を持つ。

今回の検討の前提条件として、アクセス北坑道内に設置した 5 台のセンサ各々に小型送信器を接続し、間隙水圧/土圧、内部温度、電池電圧を中継装置に送信することとした。測定頻度は週 2 回、通信頻度は週 1 回、電源は内蔵、システムの運用年数 10 年間以上とした。瑞浪 URL 坑道内のノイズ測定結果よりノイズレベルは 2.0mVrms とした。この場合、これまでの実績から小型送信器の通信距離は 20 m、中継装置の通信距離は 80 m となる。また、耐圧性は水深 500 m 相当の 5MPa として装置の設計を行った。

これまで開発した小型送信器、長距離送信器、ボアホール型受信器、中継装置等を組み合わせて、図-2 に示す、ケース 1:中継装置を用いた伝送、ケース 2:大型アンテナ中継装置を用いた伝送、ケース 3:長距離送信器を用いた伝送、ケース 4:ボアホール型受信器を用いた伝送、の 4 ケースについて検討を行った。

キーワード：地中無線、高レベル放射性廃棄物、地層処分、モニタリング

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設(株)原子力部 TEL 03-5544-1273



3. 各検討ケースの比較結果

各々のケースで、信頼性、実現性、コスト等に着目して整理した結果を表-1 に示す。ケース1は主立坑に中継装置を80m毎に6段設けるケースである。段数が多くなると故障のリスクにより信頼性は低下するため、複数系統にして冗長性を向上させることが考えられる。信頼性向上には、ケース2のように大型アンテナ中継装置により中継段数を3段に減らす方策がある。ケース3は中継を無くし地表まで一度に伝送する方法であるが、高水压下で大容量電源の確保が必要でありコストだけでなく技術的な課題がある。ケース4はボーリングで有線距離を長くすることで段数を減らす方法である。有線区間の埋め戻しを確実に行う必要があるといった閉じ込め機能への影響を検討する必要がある。現状、ケース2が最も可能性のある方法と考えられる。

表-1 長距離無線伝送方法の比較結果

	ケース1：中継装置を用いた伝送	ケース2：大型アンテナ中継装置を用いた伝送	ケース3：長距離送信器を用いた伝送	ケース4：ボアホール型受信器を用いた伝送
立坑部の中継段数	6段	3段	1段	3段
信頼性 ◎：信頼性が高い ○：中程度 △：信頼性が低い	【△】 3系統以上なら【○】	【○】 事前の検証試験が必要	【○】 事前の検証試験が必要	【○】 事前の検証試験が必要
実現性 ◎：開発要素少ない ○：中程度 △：開発要素大きい	【◎】 多段中継の実証 中継装置の設置方法の検討	【○】 大型送信アンテナの開発 電源の強化 中継装置用受信アンテナおよび アンテナ切り替え装置の開発	【△】 立坑構造部材の影響検証 長距離伝送用アンテナの開発 電源の強化と長期運用性検証 必要受信レベルの検証	【△】 ボーリング孔内配置用の アンテナの開発 中継装置の系統数増加のための 検討
コスト ◎：コストが低い ○：中程度 △：コストが高い	【○】 新規開発要素は少ないが、中継 装置の台数が多いのでコスト大	【◎】 大型送信アンテナや電源の開発 費が必要だが、中継段数が少 なく、コスト面で優位	【△】 長距離伝送用アンテナや電源の 開発費が非常に高額	【○】 ボーリング孔内配置用の アンテナ開発費が発生
備考	信頼性を上げるには3系統以上 必要 中継段数の多さに起因するシ ステムの複雑性が懸念	信頼性、コストの面で優位 実現性に関しても大きな開発 要素は含まれない 複数系統化が困難	長距離伝送用アンテナに、 5MPaの耐水性と標準比32倍 程度の電源容量の増加の開発が 必要なため、実現性とコストに 問題あり	複数系統化が困難 ボーリングのシーリングまで 考慮した計画・検討が必要

4. おわりに

瑞浪 URL を事例に、地中無線による長距離伝送システム構成を検討し、各ケースの検討条件、信頼性、実現性、コストについて比較・整理した。これにより長距離通信実現の可能性が示され、それに向けた課題が明確になった。本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業である「平成 30 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業（地層処分施設閉鎖技術確証試験）」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：包括的技術報告書：わが国における安全な地層処分の実現，NUMO-TR-18-03，2018。
2) 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構、公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター：平成 30 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業（地層処分施設閉鎖技術確証試験）報告書，2019。