

# 人工バリア性能確認に関する基盤情報 取得方法の調査研究

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

2004年2月

株式会社 間 組

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

電話：029-282-1122（代表）  
ファックス：029-282-7980  
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and protection should be addressed to:  
Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184, Japan

核燃料サイクル開発機構

(Japan Nuclear Cycle Development Institute)

2004

# 人工バリア性能確認に関する基盤情報取得方法の調査研究

(核燃料サイクル開発機構 業務委託報告書)

千々松 正和\*

今井 久\*

佐々木 肇\*

茂呂 吉司\*

## 要 旨

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、処分場の閉鎖の判断情報を与えるものとして、人工バリアが所期の性能を確保し、処分場が要件を満たして機能しており、安全が担保されていることを示す必要がある。この安全担保を示す一つの手法として、人工バリアにおける実現性が予測される挙動範囲内にあることを示すことが考えられる。そこで、安全担保の観点から人工バリアおよびその周辺環境の変遷に関する情報取得方法について技術情報の調査研究および実現性の高い計測方法の提案を行うことを目的に本研究を行った。最初に安全担保のあり方およびロジックを考慮し、本研究で対象とする計測項目と部位を設定した。そして、それに基づき、現状の情報取得技術の調査を行うとともに、現状情報取得技術の地層処分環境への適用性について整理を行い、実現性の可否、研究課題等について取りまとめた。最後に、幌延深地層研究所における原位置試験への適用を鑑み、実現性の高い情報取得技術の開発計画案の策定を行った。

---

本報告書は、株式会社間組が、核燃料サイクル開発機構との委託研究契約により実施した研究成果に関するものである。

サイクル機構担当部課室：環境保全・研究開発センター 処分研究部 処分バリア性能研究グループ

\*：株式会社間組

## Study on the Monitoring Methods for Engineered Barriers Performance Confirmation

(Document Prepared by Other Organization, Based on the Trust Contract)

Masakazu Chijimatsu\*

Hisashi Imai\*

Hajime Sasaki\*

Yoshiji Moro\*

### Abstract

This study investigates the methodology for the engineered barriers performance confirmation. First of all the investigation about the monitoring concept in foreign countries were performed and the monitoring aiming was fixed at the performance confirmation of the engineered barriers. The monitoring item and the element of engineered barriers were set as followings, namely temperature, hydraulic pressure, water contents, pH, Eh and the chemistry of solutions. The indirect measuring method of items both providing the engineered barriers performance and varying with exhibition of performance from the rock around the engineered barriers is proposed for the engineered barriers performance confirmation monitoring.

Finally the problems to be solved for the future monitoring program are clarified, and the plan of R&D for sensing methods in the performance assessment, and the in-situ experimental plan in the Horonobe deep underground research center are proposed.

---

Work performed by Hazama Corporation under contact with Japan Nuclear Cycle Development Institute (JNC).  
JNC Liaison: Barrier Performance Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center

\*: Hazama Corporation

## 目 次

|   |     |
|---|-----|
| 1. はじめに .....                             | 1   |
| 1.1 研究の目的及び概要 .....                       | 1   |
| 1.2 実施行程 .....                            | 1   |
| 2. 計測項目の抽出 .....                          | 2   |
| 3. 情報取得技術の調査 .....                        | 12  |
| 3.1 情報取得技術調査表の作成 .....                    | 12  |
| 3.2 現状技術の適用性に関するまとめ .....                 | 12  |
| 4. 情報取得技術の高度化の可能性検討 .....                 | 88  |
| 4.1 無線による取得データの送信 .....                   | 88  |
| 4.1.1 超長波を用いたデータ通信 .....                  | 88  |
| 4.1.2 人工バリアへの適用性と今後の課題 .....              | 89  |
| 4.1.3 超長波を用いたデータ通信の人工バリアへの適用性と今後の課題 ..... | 90  |
| 4.2 ジオトモグラフィーによる THMC 情報の取得 .....         | 91  |
| 4.2.1 ジオトモグラフィーの概要 .....                  | 91  |
| 4.2.2 THMC 情報取得の可能性 .....                 | 93  |
| 4.3 間隙水とガスのサンプリング .....                   | 96  |
| 4.3.1 間隙水の採取技術 .....                      | 96  |
| 4.3.2 ガスの採取技術 .....                       | 101 |
| 4.4 まとめ .....                             | 102 |
| 5. 幌延に適用する情報取得技術の開発計画立案 .....             | 104 |
| 5.1 幌延人工バリア性能確認試験の検討 .....                | 104 |
| 5.2 開発計画の立案 .....                         | 107 |
| 5.2.1 情報取得技術の性能確認試験計画 .....               | 107 |
| 5.2.2 モックアップ試験の計画 .....                   | 116 |
| 5.2.3 開発スケジュール .....                      | 119 |
| 6. おわりに .....                             | 121 |

## 目 次

|                                       |     |
|---------------------------------------|-----|
| 2. 計測項目の抽出                            |     |
| 図 2-1 情報取得に関する代表的パラメータ                | 4   |
| 図 2-2 熱-水-応力-化学連成現象のモデル化概念            | 9   |
| 図 2-3 本研究で対象とする情報取得パラメータ              | 9   |
| 4. 情報取得技術の高度化の可能性検討                   |     |
| 図 4-1 ワイヤレス間隙水圧計の構造                   | 88  |
| 図 4-2 ワイヤレス間隙水圧計を用いたデータの送受信           | 89  |
| 図 4-3 ジオトモグラフィーにおける探査側線の取り方           | 90  |
| 図 4-4 弾性波トモグラフィーによる弾性波速度分布の構成例        | 91  |
| 図 4-5 比抵抗トモグラフィー結果と地質解釈図の例            | 92  |
| 図 4-6 透析法による間隙水採取装置（ピーパー）の例           | 97  |
| 図 4-7 遠心法による間隙水採取装置の例（固定式水平ローター）      | 98  |
| 図 4-8 圧搾法による間隙水採取装置の例                 | 99  |
| 5. 幌延に適用する情報取得技術の開発計画立案               |     |
| 図 5-1 緩衝材とニアフィールド岩盤の温度、水理、化学連成解析      | 105 |
| 図 5-2 緩衝材とニアフィールド岩盤の温度、水理、化学環境の変化の事例  | 105 |
| 図 5-3 誘電率測定技術（TDR、FDR 等）による緩衝材水分量測定概要 | 108 |
| 図 5-4 比側測定 pH プローブの基本構造               | 108 |
| 図 5-5 FBG（ファイバ・ブラッグ・グレーティング）の原理       | 111 |
| 図 5-6 超小型機械加工例（センサータイプ）               | 111 |
| 図 5-7 センサータイプ の概要図                    | 112 |
| 図 5-8 交流インピーダンス法の原理                   | 113 |
| 図 5-9 交流インピーダンス法の概念図                  | 113 |
| 図 5-10 電気化学ノイズの発生測定系と被測定系の信号源         | 115 |
| 図 5-11 実験室におけるノイズ計測システム               | 115 |
| 図 5-12 オーバーパック表面への光ファイバ設置例            | 116 |
| 図 5-13 工学的規模の人工バリア試験装置の概念図            | 117 |

## 表 目 次

|              |  |
|--------------|--|
| 1. はじめに      |  |
| 表 1-1        | 全体工程表..... 1                             |
| 2. 計測項目の抽出   |  |
| 表 2-1        | 情報取得の目的..... 4                           |
| 表 2-2        | 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス（全体）..... 5        |
| 表 2-3        | 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス（ニアフィールド岩盤）..... 6 |
| 表 2-4        | 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス（緩衝材）..... 7       |
| 表 2-5        | 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス（オーバーパック）..... 8   |
| 表 2-6        | 本研究で対象とする計測項目と部位..... 10                 |
| 3. 情報取得技術の調査 |  |
| 表 3-1        | 情報取得技術調査表（緩衝材、水分量）..... 14               |
| 表 3-2        | 情報取得技術調査表（緩衝材、水分量）..... 15               |
| 表 3-3        | 情報取得技術調査表（緩衝材、水分量）..... 16               |
| 表 3-4        | 情報取得技術調査表（緩衝材、水分量）..... 17               |
| 表 3-5        | 情報取得技術調査表（緩衝材、水分量）..... 18               |
| 表 3-6        | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 19            |
| 表 3-7        | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 20            |
| 表 3-8        | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 21            |
| 表 3-9        | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 22            |
| 表 3-10       | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 23            |
| 表 3-11       | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 24            |
| 表 3-12       | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 25            |
| 表 3-13       | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 26            |
| 表 3-14       | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 27            |
| 表 3-15       | 情報取得技術調査表（緩衝材、応力・ひずみ）..... 28            |
| 表 3-16       | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水圧）..... 29              |
| 表 3-17       | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水圧）..... 30              |
| 表 3-18       | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水圧）..... 31              |
| 表 3-19       | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水圧）..... 32              |
| 表 3-20       | 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）..... 33                |
| 表 3-21       | 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）..... 34                |
| 表 3-22       | 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）..... 35                |
| 表 3-23       | 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）..... 36                |
| 表 3-24       | 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）..... 37                |

|        |                             |    |
|--------|-----------------------------|----|
| 表 3-25 | 情報取得技術調査表（緩衝材、変位）           | 38 |
| 表 3-26 | 情報取得技術調査表（緩衝材、変位）           | 39 |
| 表 3-27 | 情報取得技術調査表（緩衝材、密度）           | 40 |
| 表 3-28 | 情報取得技術調査表（緩衝材、密度）           | 41 |
| 表 3-29 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 42 |
| 表 3-30 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 43 |
| 表 3-31 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 44 |
| 表 3-32 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 45 |
| 表 3-33 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 46 |
| 表 3-34 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 47 |
| 表 3-35 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 48 |
| 表 3-36 | 情報取得技術調査表（緩衝材、pH）           | 49 |
| 表 3-37 | 情報取得技術調査表（緩衝材、Eh）           | 50 |
| 表 3-38 | 情報取得技術調査表（緩衝材、Eh）           | 51 |
| 表 3-39 | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水組成）        | 52 |
| 表 3-40 | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水組成）        | 53 |
| 表 3-41 | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水組成）        | 54 |
| 表 3-42 | 情報取得技術調査表（緩衝材、間隙水組成）        | 55 |
| 表 3-43 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 56 |
| 表 3-44 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 57 |
| 表 3-45 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 58 |
| 表 3-46 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 59 |
| 表 3-47 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 60 |
| 表 3-48 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 61 |
| 表 3-49 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 62 |
| 表 3-50 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、pH）     | 63 |
| 表 3-51 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、Eh）     | 64 |
| 表 3-52 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、Eh）     | 65 |
| 表 3-53 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、地下水組成）  | 66 |
| 表 3-54 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、地下水組成）  | 67 |
| 表 3-55 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、地下水組成）  | 68 |
| 表 3-56 | 情報取得技術調査表（ニアフィールド岩盤、地下水組成）  | 69 |
| 表 3-57 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、水分量）    | 70 |
| 表 3-58 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、応力・ひずみ） | 72 |
| 表 3-59 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、間隙水圧）   | 74 |
| 表 3-60 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、温度）     | 76 |
| 表 3-61 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、変位）     | 78 |
| 表 3-62 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、密度）     | 79 |
| 表 3-63 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、pH）     | 80 |



|        |                                  |     |
|--------|----------------------------------|-----|
| 表 3-64 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、Eh）          | 82  |
| 表 3-65 | 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、間隙水組成）       | 83  |
| 表 3-66 | 測定技術の適用性に関するまとめ（ニアフィールド岩盤、pH）    | 84  |
| 表 3-67 | 測定技術の適用性に関するまとめ（ニアフィールド岩盤、Eh）    | 85  |
| 表 3-68 | 測定技術の適用性に関するまとめ（ニアフィールド岩盤、地下水組成） | 86  |
|        |                                  |     |
| 4.     | 情報取得技術の高度化の可能性検討                 |     |
| 表 4-1  | THMC 情報とジオトモグラフィーの適用可能性          | 93  |
|        |                                  |     |
| 5.     | 幌延に適用する情報取得技術の開発計画立案             |     |
| 表 5-1  | 粘土充填・熱負荷試験において観察された連成現象          | 106 |
| 表 5-2  | 粘土充填・熱負荷試験での計測値の変化の傾向            | 106 |
| 表 5-3  | 誘電率測定法基礎性能試験におけるパラメータ            | 108 |
| 表 5-4  | 緩衝材および周辺岩盤の pH 測定技術の検討範囲         | 108 |
| 表 5-5  | pH センサーに使用される色素および pH 範囲         | 109 |
| 表 5-6  | 交流インピーダンス法基礎試験におけるパラメータ          | 114 |
| 表 5-7  | 工学的規模の確証試験における試験条件               | 117 |
| 表 5-8  | 工学的規模の確証試験における測定項目および測定方法        | 118 |
| 表 5-9  | 開発スケジュール案                        | 119 |

1. はじめに

1.1 研究の目的及び概要

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、処分場の閉鎖の判断情報を与えるものとして、人工バリアが所期の性能を確保し、処分場が要件を満たして機能しており、安全が担保されていることを示す必要がある。この安全担保を示す一つの手法として、人工バリアにおける実現象が予測される挙動範囲内にあることを示すことが考えられる。そこで、安全担保の観点から人工バリアおよびその周辺環境の変遷に関する情報取得方法について技術情報の調査研究および実現性の高い計測方法の提案を行う。

1.2 実施工程

本研究の実施工程は表 1-1 の通りである。

表 1-1 全体工程表

|                  | 平成 15 年 |     |      |      |      | 16 年 |     |
|------------------|---------|-----|------|------|------|------|-----|
|                  | 8 月     | 9 月 | 10 月 | 11 月 | 12 月 | 1 月  | 2 月 |
| 計測項目の抽出          | —       |     |      |      |      |      |     |
| 情報取得技術の調査        |         | —   | —    | —    | —    | —    |     |
| 情報取得技術の高度化の可能性検討 |         |     | —    | —    | —    | —    |     |
| 情報取得技術の開発計画立案    |         |     |      |      | —    | —    |     |
| 報告書の作成           |         |     |      |      |      |      | —   |

## 2. 計測項目の抽出

本章では、安全担保のあり方およびロジックを考慮し、本研究で対象とする計測項目と部位を設定した。

検討に先立ち、本報告書で用いる用語を統一する。《 》内は、用語に対応、あるいは説明する英語である。

- ・ 情報取得《monitoring》
- ・ 情報取得技術《measurement methods》
- ・ 計測項目《parameters》；定置前/定置後に取得の対象となる情報
- ・ 計測データ《measurement data》
- ・ センサ《sensor》
- ・ 計測データの送信《remote signaling. transmitting information via radio signals, earth current, etc.》

本研究の目的は、定置後に、「人工バリアが所期の性能を確保している」、「処分場が要件を満たして機能している」、そしてそれによって「安全が担保されている」という仮説を立証する論拠となるデータを取得するところにある。具体的な計測データを示す前に、既往の研究における「人工バリア性能確認における情報取得」に関わる記載を整理する。

原子力環境整備促進・資金管理センターの研究<sup>2-1)</sup>では、情報取得の目的として、表 2-1 の 16 項目を示している。一方、サイクル機構の研究<sup>2-2)</sup>では、人工バリア性能確認における情報取得のロジックとして、「人工バリア性能確認モニタリングは、長期安全性を直接的に保証するものではなく、人工バリア定置直後から操業終了時までの期間に得られたデータによって、安全評価の結果の一部を実証するものと位置づけられる。」と述べている。そして留意点として、「オーバーパックについては、定置直後から閉じ込め性能が発揮され（定置直後から機能の劣化が始まっており）、その意味で性能に直結した、たとえば、腐食電流などのデータの測定が考えられる。一方、緩衝材については、定置直後から閉鎖までの期間は、性能が発揮されるまで（前）のトランジェントな状態にあり、性能確認という点でモニタリングの難しさがある。」としている。

本研究の「人工バリア定置直後から操業終了時までの期間に得られたデータによって、安全評価の結果の一部を実証する」という視点から、表 2-1 を見直すと、「目的」は以下のように限定し示すことができる。

- 処分システムの構成要素の機能が予定通りかの確認
- 設計上の仮定の確認
- 施工上の仮定の確認
- 環境の現状（ベースライン）の確認
- 補修の判断

一方で、IAEA-TECDOC-1208<sup>2-3)</sup>では、情報取得《monitoring》に関する代表的なパラメータを

処分システムの部位に対応し、図 2-1 のように示している。ここでは、地圏、人工バリア、処分場の構造物、ニアフィールド岩盤についての情報取得項目と、環境データベースとセーフガードの観点から取得すべきデータが、広く示されている。

また、熱 - 水 - 応力 - 化学連成研究<sup>2-4)</sup>では、定置直後からニアフィールドに生じる熱 - 水 - 応力 - 化学の現象を、それらの相関関係とあわせ表 2-2 のように列挙し、さらにこれを整理して、図 2-2 のような熱 - 水 - 応力 - 化学連成モデル開発のための構図を示している。ここで、処分後のニアフィールドに生じる重要な現象に関わるパラメータとしては、次のものが抽出されている。

熱的現象；温度分布

力学的現象；応力、ひずみ、変形

水理的現象；水分量、間隙水圧、間隙率

化学的現象；間隙水の化学（pH, Eh, 組成）

表 2-2 を参考に、本研究で対象となる処分システムの構成要素（ニアフィールド岩盤、緩衝材、オーバーパック）ごとの、「人工バリア性能確認で重要な事象と測定項目」を抽出すると表 2-3~5 のようになる。表中に示された項目は、処分後の熱 - 水 - 応力 - 化学連成現象のモデル化と確認という観点から、取得されるべき計測データである。そして、この結果から、IAEA-TECDOC-1208 に示された項目を見直すと図 2-2 のようになる。

以上を総合して、本研究で対象とする計測項目を部位ごとに整理すると表 2-6 となる。第 3 章以降では、同表の「定置後計測項目」に関して、現状と開発課題を調査、検討する。

表 2-1 情報取得の目的<sup>2-1)</sup>

|                             |
|-----------------------------|
| 処分システム構成要素の機能が予定通りかどうかの確認   |
| 設計上の仮定の確認                   |
| 施工上の仮定の確認                   |
| 安全評価モデルの検証                  |
| 環境の現況(ベースライン)把握             |
| 意思決定への情報提供                  |
| プロジェクト改善へのフィードバック           |
| 補修の判断                       |
| 一般公衆への信頼性の向上                |
| 回収可能性(Retrievability)の説明    |
| 将来世代のためのデータベース蓄積            |
| 念のため                        |
| 許認可のため                      |
| 技術的な規制への適合性の確認              |
| 作業員及び周辺住民に対する安全上の規制への適合性の確認 |
| 環境影響評価上の規制への適合性の確認          |

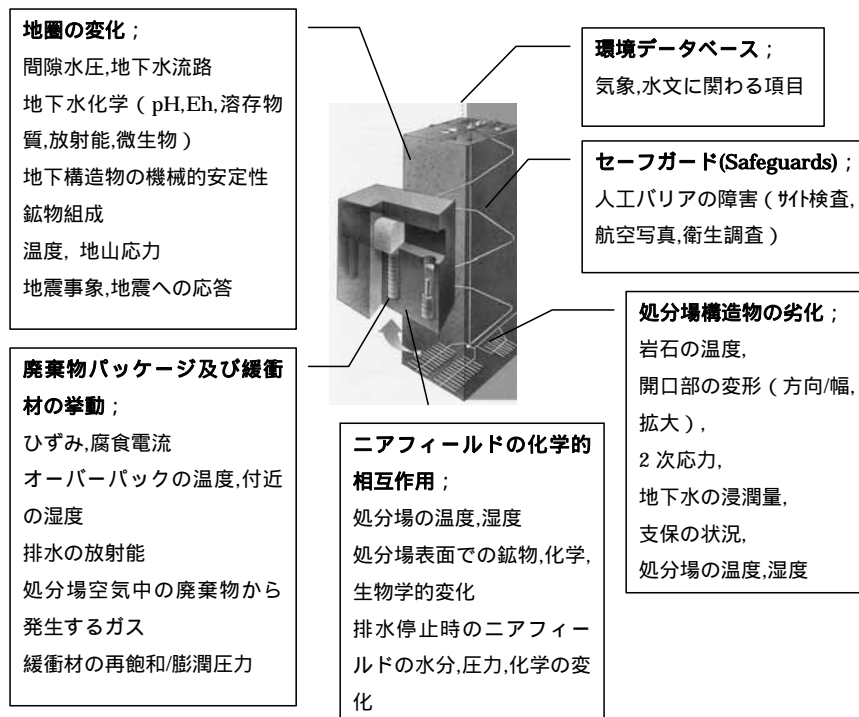


図 2-1 情報取得に関する代表的パラメータ<sup>2-3)</sup>

(IAEA-TECDOC-1208 和訳を S K B の概念図に転記)

表 2-2 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス (全体)<sup>2,4)</sup>

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p>T (thermal)</p> <p><b>温度、熱流量</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>エネルギー保存則、フーリエ則 T</li> <li>定数: 熱伝導率、比熱、密度 T</li> <li>熱定数の温度依存性 T</li> <li>温度勾配と熱流 (定常、非定常) T</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水理定数の温度依存性 T</li> <li>密度変化、浮力、熱対流</li> <li>温度勾配による水移動 (気、液) T</li> <li>液状水の水蒸気化 (緩衝材を浸透)</li> </ul> <p style="text-align: center;">T H</p>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>力学定数の温度依存性 T</li> <li>熱の膨潤への影響 (温度上昇による膨潤圧力のわずかな減少 (Pusch1980))</li> <li>熱膨張、熱応力; <math>\times [1], T [2]</math></li> <li>熱による、間隙変化、き裂変化 [2]</li> <li>ベントナイトの力学的安定性への熱の影響</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>化学定数の温度依存性 TR G</li> <li>間隙水化学モデルへの影響、溶解速度・沈殿現象への影響 (現在 25 のデータまで取得、OP 破損時には温度は低下している) TR G</li> <li>腐食速度に対する影響</li> <li>熱拡散 (温度勾配による物質移動)</li> <li>微生物活動への影響</li> <li><math>\times</math> スクタイトの熱変質、ライト/モンモリロナイト混合層</li> <li><math>\times</math> シリカの溶脱 (セメント化) 130 超 TR G</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>熱の移流: 気、液 T</li> <li>(不飽和) 相変化による熱の発生、吸収: 潜熱</li> <li>熱定数の含水比依存性 T</li> </ul> <p style="text-align: center;">H T</p>   | <p>H (fluid flow, gas flow)</p> <p><b>流量、流速、流向、ポテンシャル、水圧、蒸気圧</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>地下水の連続の式、ダルシー則、Philip &amp; de Vrise</li> <li>定数: 飽和、不飽和透水係数、水分拡散係数、水分特性曲線 T</li> <li>ポテンシャルによる水移動 (定常、非定常) T</li> <li>2相流 (水蒸気、腐食ガス)、水蒸気拡散 [2]</li> <li>き裂の流れ (3乗則、チャンネル) T</li> <li>き裂性 tuff の matrix imbibition (吸引) [2]</li> <li>ベントナイトの乾燥と冠水、ニアフィールドの不飽和領域の発生と再飽和 T</li> <li>ベントナイト流出リフトゲル化と侵食</li> <li><math>\times</math> ガス状の放射性核種 (ヨウ素、クリプトン) の移動</li> </ul>                         | <ul style="list-style-type: none"> <li>力学定数の含水比依存性 T</li> <li>浸潤による膨潤圧力の発生 (化学ポテンシャルの低下量と等価) [1] T</li> <li>全応力、有効応力の発生 T</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>流れの間隙水化学モデルへの影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</li> <li>流れの2次鉱物生成、消滅への影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</li> <li>移流/分散 (飽和) TR G</li> <li>不飽和岩盤中での地下水、蒸気移動と核種の移動 [2; FEHM, SZ-CONVOLUTE]</li> <li>マトリクス拡散 (き裂から岩体)、後方拡散 (岩体からき裂)</li> <li>地下水中でのコロイドの生成と移動、それによる核種移行 [2]</li> <li>OP に供給される、酸素、水の量 (空気、水蒸気、液水の移動)</li> <li>腐食モデルと速度へのベントナイトの飽和度、場所による不均質性への影響</li> <li>流れの微生物活動への影響</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>熱定数の応力依存性 T</li> <li>緩衝材密度の応力依存 T</li> <li>ひずみエネルギーの熱への変化</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>水理定数の応力依存性 T</li> <li>空隙率、有効空隙率の変化 T</li> <li>き裂の変化</li> <li>水理的掘削影響領域の発生 T</li> <li>ベントナイトの膨潤によるき裂の充填</li> </ul>  | <p>M (mechanical)</p> <p><b>応力、ひずみ、変位</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>応力-ひずみの関係 (つりあいの式、フックの法則) T</li> <li>定数: 弾性係数、ポアソン比、<math>c</math>、空隙率 T</li> <li>掘削による2次応力、膨潤応力の発生とつりあい T</li> <li>2次応力、膨潤圧力による空隙率、き裂の変化 T</li> <li>OP の応力、OP 沈下、EDZ の発生 T</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>化学定数の圧力依存性 (あるか調査中)</li> <li>応力の腐食モデルへの影響</li> <li><math>\times</math> OP 応力腐食割れ (炭酸塩が濃厚な地下水で)</li> <li>応力の微生物活動への影響</li> <li>ベントナイトの実効空隙径の変化によるフィルトレーション効果の変化</li> <li>応力のベントナイト変質への影響</li> </ul>   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>化学反応による熱定数の変化 T</li> <li>化学反応による熱の発生、吸収</li> <li>微生物による熱の発生</li> </ul>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>化学反応による水理定数の変化 T</li> <li>結晶化・2次鉱物の生成 [2] G、溶解 G、沈殿、コロイド目詰まり、微生物の移動による、空隙と水理定数の変化</li> <li>間隙水組成の変化による、水理定数の変化</li> <li>間隙水組成の変化による、自己シール性の変化</li> <li>緩衝材中の塩の蓄積 <math>\times [1]</math></li> <li>水の放射線分解による水素ガス <math>\times [1]</math></li> <li>腐食ガスによる間隙水の排出</li> <li>微生物からのガスの生成 <math>\times [1]</math></li> <li>密度流 (塩淡境界付近の流れ) [1]</li> <li>ベントナイトの変質 (Ca, Fe, トライト, セオライト) の影響 <math>\times [1]</math></li> <li>溶質濃度勾配による水分移動 (Thomas, COMPASS)</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>化学反応による力学定数の変化 T</li> <li>鉱物学的変化、化学反応による降伏限界、弾性係数、化学的膨潤/収縮ひずみの変化 (Huekel and Pellegrini)</li> <li>腐食生成物による応力・ひずみ変化</li> <li>腐食ガスによる応力の変化、き裂発生 <math>\times [1]</math></li> <li>間隙水組成の変化による膨潤圧力の変化</li> <li>緩衝材の変質、セメント化 (130 以上) <math>\times [1]</math> による膨潤性の低下</li> <li>溶質濃度変化によるひずみ (膨潤圧の発生) (Thomas, COMPASS)</li> <li>ベントナイトの変質による幾何学的形状の変化、き裂の発生</li> </ul> | <p>C (chemical)</p> <p><b>間隙水組成 pH、Eh、固相の組成、鉱物組成</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>定数: 溶解速度、平衡定数、腐食速度 TR G E</li> <li>物質: ガラス、OP、腐食生成物、緩衝材、岩盤、コンクリート</li> <li>拡散、濃度勾配による移動 (フィックの法則) TR G</li> <li>収着、脱着、見かけの拡散係数、実効拡散係数 TR G</li> <li>溶解、沈殿/再溶解 (反応速度と平衡定数で規定される)、結晶化・2次鉱物の生成 TR G E</li> <li>ガラスが溶解、難溶性元素の溶解度制限、コングルエント溶解、間隙水中の溶解度、Si-鉄イオンの共沈によって浸出量増加</li> <li>ガラスの一次反応溶解と溶性ケイ酸の緩衝材中への拡散散逸との連成 [1]</li> <li>OP 腐食: 地下水 (水、水蒸気)、空気と接触して</li> <li>空気の消費 (ベントナイト黄鉄鉱の酸化、OP の酸化) TR G E</li> <li>腐食ガス (水素) の発生</li> <li>全面腐食モデル、</li> <li>局部腐食、孔食、飽和したベントナイトでは停止</li> <li>地下水、ベントナイト、腐食生成物の相互作用 (油井 1992) TR G E</li> <li>腐食生成物による還元環境、鉱物-水反応</li> <li>微生物の影響 [2]; 錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速</li> <li>有機物の影響; 溶解度への影響、微生物の栄養</li> <li><math>\times [1]</math> ベントナイトの変質、ライト/モンモリロナイト混合層</li> <li>コンクリートの溶解、変質</li> <li>コンクリートとベントナイトとの相互作用</li> <li>コロイドに対するベントナイトのフィルトレーション効果 (実効空隙径不明)</li> <li><math>\times [1]</math> 水の放射線分解、ラジカル <math>\times [1]</math> 放射線による人工バリア、岩盤の損傷</li> <li><math>\times</math> 微生物の代謝による腐食促進</li> <li><math>\times</math> OP 腐食生成物部分での核種移行</li> </ul> |
| <p>(注) 表中の記号の説明</p> <p>[1] 『第2次取りまとめ』<sup>2,5)</sup>を参考。</p> <p>[2] Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain (1998)<sup>2,6)</sup>を参考。</p> <p><math>\times</math> 印は、文献で重要でないと記述されている。</p> <p>計算コード名</p> <p>T THAMES、TR TRACE、G GIMRT、E EQ3/6</p> |   |  |   |

表 2-3 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス (ニアフィールド岩盤)<sup>2-4)</sup>

二重消し線と薄文字は人工バリア性能確認の情報取得で対象外 赤字はTHAMES-C扱い

|  |   |   |   |
|--|---|---|---|
| <p>T (thermal)</p> <p><b>温度 熱流量</b></p> <p>・エネルギー保存則、フーリエ則 T</p> <p>・定数: 熱伝導率、比熱、密度 T</p> <p>・熱定数の温度依存性</p> <p>・温度勾配と熱流 (定常、非定常) T</p> | <p>・『水理定数の温度依存性』 T</p> <p>・密度変化、浮力、熱対流</p> <p>・温度勾配による水移動 (気、液) T</p> <p>・液状水の水蒸気化 (緩衝材を浸透)</p>   | <p>・『力学定数の温度依存性』</p> <p>・熱の膨潤への影響 (温度上昇による膨潤圧力のわずかな減少 (Pusch1980))</p> <p>・熱膨張、熱応力; × [1], T [2]</p> <p>・熱による、間隙変化、き裂変化[2]</p> <p>・ベントナイトの力学的安定性への熱の影響</p>  | <p>・『化学定数の温度依存性』 TR G</p> <p>・間隙水化学モデルへの影響、溶解速度・沈殿現象への影響 (現在 25 のデータまで取得、OP 破損時には温度は低下している) TR G</p> <p>・腐食速度に対する影響</p> <p>・熱拡散 (温度勾配による物質移動)</p> <p>・微生物活動への影響</p> <p>× スメクタイトの熱変質、イライト/モンモリロナイト混合層</p> <p>× シリカの溶脱 (セメント化) 130 超 TR G</p>   |
| <p>・熱の移流、気、液 T</p> <p>・ (不飽和) 相変化による熱の発生、吸収: 潜熱</p> <p>・熱定数の含水比依存性 T</p>   | <p>H (fluid flow, gas flow)</p> <p><b>流量、流速、流向、ポテンシャル、水圧、蒸気圧</b></p> <p>・地下水の連続の式、ダルシー則、Philip &amp; de Vriese</p> <p>・定数: 飽和、不飽和透水係数、水分拡散係数、水分特性曲線 T</p> <p>・ポテンシャルによる水移動 (定常、非定常) T</p> <p>・2相流 (水蒸気、腐食ガス)、水蒸気拡散[2]</p> <p>・き裂の流れ (3乗則、チャンネル) T</p> <p>・き裂性 tuff の matrix imbibition (吸引)[2]</p> <p>・ベントナイトの乾燥と冠水、ニアフィールドの不飽和領域の発生と再飽和 T</p> <p>・ベントナイト流出リフトゲル化と侵食</p> <p>× ガス状の放射性核種 (ヨウ素、クリプトン) の移動</p> | <p>・『力学定数の含水比依存性』 T</p> <p>・浸潤による膨潤圧力の発生 (化学ポテンシャルの低下量と等価)[1] T</p> <p>・全応力、有効応力の発生 T</p>   | <p>・流れの間隙水化学モデルへの影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</p> <p>・流れの2次鉱物生成、消滅への影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</p> <p>・移流/分散 (飽和) TR G</p> <p>・不飽和岩盤中での地下水、蒸気移動と核種の移動 [2; FEHM, SZ-CONVOLUTE]</p> <p>・マトリックス拡散 (き裂から岩体)、後方拡散 (岩体からき裂)</p> <p>・地下水中でのコロイドの生成と移動、それによる核種移行 [2]</p> <p>・OP に供給される、酸素、水の量 (空気、水蒸気、液水の移動)</p> <p>・腐食モデルと速度へのベントナイトの飽和度、場所による不均質性への影響</p> <p>・流れの微生物活動への影響</p>  |
| <p>・熱定数の応力依存性</p> <p>・緩衝材密度の応力依存 T</p> <p>・ひずみエネルギーの熱への変化</p>  | <p>・『水理定数の応力依存性』 T</p> <p>・空隙率、有効空隙率の変化</p> <p>・き裂の変化</p> <p>・水理学的掘削影響領域の発生 T</p> <p>・ベントナイトの膨潤によるき裂、隙間の充填</p>  | <p>M (mechanical)</p> <p><b>応力 ひずみ 変位</b></p> <p>・応力-ひずみの関係 (つりあいの式、フックの法則) T</p> <p>・定数: 弾性係数、ポアソン比、<b>空隙率</b></p> <p>・掘削による2次応力、膨潤応力の発生とつりあい T</p> <p>・2次応力、膨潤圧力による空隙率、き裂の変化 T</p> <p>・OP の応力、OP 沈下、EDZ の発生 T</p>   | <p>・『化学定数の圧力依存性』 (あるか調査中)</p> <p>・応力の腐食モデルへの影響</p> <p>× OP 応力腐食割れ (炭酸塩が濃厚な地下水で)</p> <p>・応力の微生物活動への影響</p> <p>・ベントナイトの実効空隙径の変化によるフィルトレーション効果の変化</p> <p>・応力のベントナイト変質への影響</p>   |
| <p>・『化学反応による熱定数の変化』</p> <p>・化学反応による熱の発生、吸収</p> <p>・微生物による熱の発生</p>  | <p>・『化学反応による水理定数の変化』</p> <p>・結晶化、2次鉱物の生成 [2]; G、溶解 G、沈殿、コロイド目詰まり、微生物の移動による、空隙と水理定数の変化</p> <p>・間隙水組成の変化による、水理定数の変化</p> <p>・間隙水組成の変化による、自己浄化性の変化</p> <p>・緩衝材中の塩の蓄積 × [1]</p> <p>・水の放射線分解による水素ガス × [1]</p> <p>・腐食ガスによる間隙水の排出</p> <p>・微生物からのガスの生成 × [1]</p> <p>・密度流 (塩濃境界付近の流れ) [1]</p> <p>・ベントナイトの変質 (Ca, Fe, イライト, オライト) の影響 × [1]</p> <p>・溶質濃度勾配による水分移動 (Thomas, COMPASS)</p>                                | <p>・『化学反応による力学定数の変化』</p> <p>・鉱物学的変化、化学反応による降伏限界、弾性係数、化学的膨潤/収縮ひずみの変化 (Huekel and Pellegrini)</p> <p>・腐食生成物による応力・ひずみ変化</p> <p>・腐食ガスによる応力の変化、き裂発生 × [1]</p> <p>・間隙水組成の変化による膨潤圧力の変化</p> <p>・緩衝材の変質、セメント化 (130 以上) × [1] による膨潤性の低下</p> <p>・溶質濃度変化によるひずみ (膨潤圧の発生) (Thomas, COMPASS)</p> <p>・ベントナイトの変質による幾何学的形状の変化、き裂の発生</p> | <p>C (chemical)</p> <p><b>間隙水組成 pH, Eh, 固相の組成、鉱物組成</b></p> <p>・定数: 溶解速度、平衡定数、腐食速度 TR G E</p> <p>・物質: ガラス、OP、腐食生成物、緩衝材、岩盤、コンクリート</p> <p>・<del>拡散-濃度勾配による移動 (フックの法則)</del> TR G</p> <p>・<del>収着-脱着、見かけの拡散係数、実効拡散係数</del> TR G</p> <p>・溶解、沈殿/再溶解 (反応速度と平衡定数で規定される)、結晶化、2次鉱物の生成 TR G E</p> <p>・ガラスが溶解、難溶性元素の溶解度制限、コングリュエント溶解、間隙水中の溶解度、Si-鉄イオンの共沈によって浸出量増加</p> <p>・ガラスの一次反応溶解と溶性ケイ酸の緩衝材中への拡散散逸との連成 [1]</p> <p>・OP 腐食: 地下水 (水、水蒸気)、空気と接触して</p> <p>・空気の消費 (ベントナイト黄鉄鉱の酸化、OP の酸化) TR G E</p> <p>・腐食ガス (水素) の発生</p> <p>・全面腐食モデル、</p> <p>・局部腐食、孔食、飽和したベントナイトでは停止</p> <p>・地下水、ベントナイト、腐食生成物の相互作用 (油井 1992) TR G E</p> <p>・腐食生成物による還元環境、鉱物-水反応</p> <p>・微生物の影響 [2]; 錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速</p> <p>・有機物の影響; 溶解度への影響、微生物の栄養</p> <p>・× [1] ベントナイトの変質、イライト/モンモリロナイト混合層</p> <p>・コンクリートの溶解、変質</p> <p>・コンクリートとベントナイトとの相互作用</p> <p>・コロイドに対するベントナイトのフィルトレーション効果 (実効空隙径不明)</p> <p>× [1] 水の放射線分解、ラジカル × [1] 放射線による人工バリア、岩盤の損傷</p> <p>× 微生物の代謝による腐食促進</p> <p>× OP 腐食生成物部分での核種移行</p> |

(注) 表中の記号の説明  
 [1] 『第2次取りまとめ』<sup>2-5)</sup>を参考。  
 [2] Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain (1998)<sup>2-6)</sup>を参考。  
 ×印は、文献で重要でないと記述されている。  
 計算コード名  
 T THAMES、TR TRACE、G GIMRT、E EQ3/6

人工バリア性能確認で重要  
 実線は測定項目

表 2-4 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス (緩衝材)

二重消し線と薄文字は人工バリア性能確認の情報取得で対象外 赤字は THAMES - C 扱い

|  |  |   |  |
|--|--|---|--|
| <p>T (thermal)</p> <p><b>温度 熱流量</b></p> <p>エネルギー保存則、フーリエ則 T</p> <p>定数: 熱伝導率、比熱、密度 T</p> <p>熱定数の温度依存性</p> <p>温度勾配と熱流 (定常、非定常) T</p> | <p>『水理定数の温度依存性』 T</p> <p>密度変化、浮力、熱対流</p> <p>温度勾配による水移動 (気、液) T</p> <p>液状水の水蒸気化 (緩衝材を浸透)</p>  | <p>『力学定数の温度依存性』</p> <p>熱の膨潤への影響 (温度上昇による膨潤圧力のわずかな減少 (Pusch1980))</p> <p>熱膨張、熱応力; × [1], T [2]</p> <p>熱による、間隙変化、き裂変化 [2]</p> <p>ベントナイトの力学的安定性への熱の影響</p>  | <p>『化学定数の温度依存性』 TR G</p> <p>間隙水化学モデルへの影響、溶解速度、沈殿現象への影響 (現在 25 のデータまで取得、OP 破損時には温度は低下している) TR G</p> <p>腐食速度に対する影響</p> <p>熱拡散 (温度勾配による物質移動)</p> <p>微生物活動への影響</p> <p>× スクタイトの熱変質、イライト/モンモリロナイト混合層</p> <p>× シリカの溶脱 (セメント化) 130 超 TR G</p>  |
| <p>熱の移流: 気、液 T</p> <p>(不飽和) 相変化による熱の発生、吸収: 潜熱</p> <p>熱定数の含水比依存性 T</p>  | <p>H (fluid flow, gas flow)</p> <p>流量、流速、流向、<b>ポテンシャル、水圧、蒸気圧</b></p> <p>地下水の連続の式、ダルシー則、Philip &amp; de Vries</p> <p>定数: 飽和、不飽和透水係数、水分拡散係数、水分特性曲線 T</p> <p>ポテンシャルによる水移動 (定常、非定常) T</p> <p>2相流 (水蒸気、腐食ガス)、水蒸気拡散 [2]</p> <p>き裂の流れ (3乗則、チャンネルング) T</p> <p>き裂性 matrix の matrix imbibition (吸引) [2]</p> <p><b>ベントナイトの乾燥と冠水、ニオブフィールドの不飽和領域の発生と再飽和</b></p> <p>ベントナイト流出リフト化と侵食</p> <p>× ガス状の放射性核種 (ヨウ素、クリプトン) の移動</p> | <p>『力学定数の含水比依存性』 T</p> <p>浸潤による膨潤圧力の発生 (化学ポテンシャルの低下量と等価) [1] T</p> <p>全応力、有効応力の発生 T</p>   | <p>流れの間隙水化学モデルへの影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</p> <p>流れの2次鉱物生成、消滅への影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</p> <p>移流/分散 (飽和) TR G</p> <p>不飽和岩盤中での地下水、蒸気移動と核種の移動 [2; FEHM, SZ-CONVOLUTE]</p> <p>マトリクス拡散 (き裂から岩体)、後方拡散 (岩体からき裂)</p> <p>地下水中でのコロイドの生成と移動、それによる核種移行 [2]</p> <p><b>OP に供給される、酸素、水の量 (空気、水蒸気、液水の移動)</b></p> <p>腐食モデルと速度へのベントナイトの飽和度、場所による不均質性の影響</p> <p>流れの微生物活動への影響</p>   |
| <p>熱定数の応力依存性</p> <p>緩衝材密度の応力依存 T</p> <p>ひずみエネルギーの熱への変化</p>   | <p>『水理定数の応力依存性』 T</p> <p><b>空隙率、有効空隙率の変化</b></p> <p>き裂の変化</p> <p>水理学的掘削影響領域の発生 T</p> <p>ベントナイトの膨潤によるき裂、隙間の充填</p>   | <p>M (mechanical)</p> <p><b>応力 ひずみ 変位</b></p> <p>応力-ひずみの関係 (つりあいの式、フックの法則) T</p> <p>定数: 弾性係数、ポアソン比、<b>空隙率</b> T</p> <p>掘削による2次応力、膨潤応力の発生とつりあい T</p> <p>2次応力、膨潤圧力による空隙率、き裂の変化 T</p> <p>OP の応力、OP 沈下、EDZ の発生 T</p>  | <p>『化学定数の圧力依存性』 (あるか調査中)</p> <p>応力の腐食モデルへの影響</p> <p>× OP 応力腐食割れ (炭酸塩が濃厚な地下水で)</p> <p>応力の微生物活動への影響</p> <p>ベントナイトの実効空隙径の変化によるフィルトレーション効果の変化</p> <p>応力のベントナイト変質への影響</p>   |
| <p>『化学反応による熱定数の変化』</p> <p>化学反応による熱の発生、吸収</p> <p>微生物による熱の発生</p>   | <p>『化学反応による水理定数の変化』</p> <p><b>結晶化・2次鉱物の生成 [2] G、溶解 G、沈殿、目詰まり、微生物の移動による、空隙と水理定数の変化</b></p> <p>間隙水組成の変化による、水理定数の変化</p> <p>間隙水組成の変化による、自己シール性の変化</p> <p><b>緩衝材中の塩の蓄積 × [1]</b></p> <p>水の放射線分解による水素ガス × [1]</p> <p>腐食ガスによる間隙水の排出</p> <p>微生物からのガスの生成 × [1]</p> <p>密度流 (塩境界付近の流れ) [1]</p> <p>ベントナイトの変質 (Ca, Fe, イライト、セオライト) の影響 × [1]</p> <p>溶質濃度勾配による水分移動 (Thomas, COMPASS)</p>                                   | <p>『化学反応による力学定数の変化』</p> <p>鉱物学的変化、化学反応による降伏限界、弾性係数、化学的膨潤/収縮ひずみの変化 (Huekel and Pellegrini)</p> <p>腐食生成物による応力-ひずみ変化</p> <p>腐食ガスによる応力の変化、き裂発生 × [1]</p> <p>間隙水組成の変化による膨潤圧力の変化</p> <p>緩衝材の変質、セメント化 (130 以上) × [1] による膨潤性の低下</p> <p>溶質濃度変化によるひずみ (膨潤圧の発生) (Thomas, COMPASS)</p> <p>ベントナイトの変質による幾何学的形状の変化、き裂の発生</p> | <p>C (chemical)</p> <p><b>間隙水組成 pH, Eh 固相の組成、鉱物組成</b></p> <p>定数: 溶解速度、平衡定数、腐食速度 TR G E</p> <p>物質: ガラス、OP、腐食生成物、緩衝材、岩盤、コンクリート</p> <p><b>拡散-濃度勾配による移動 (フックの法則) TR G</b></p> <p><b>収着-脱着、見かけの拡散係数、実効拡散係数 TR G</b></p> <p>溶解、沈殿/再溶解 (反応速度と平衡定数で規定される)、結晶化・2次鉱物の生成 TR G E</p> <p>ガラスが溶解、難溶性元素の溶解度制限、コンクリート溶解、間隙水中の溶解度、Si-鉄イオンの共沈によって浸出量増加</p> <p><b>ガラスの一次反応溶解と溶性ケイ酸の緩衝材中への拡散散逸との連成 [1]</b></p> <p>OP 腐食: 地下水 (水、水蒸気)、空気と接触して</p> <p><b>空気の消費 (ベントナイト黄鉄鉱の酸化、OP の酸化) TR G E</b></p> <p>腐食ガス (水素) の発生</p> <p>全面腐食モデル</p> <p>局部腐食、孔食、飽和したベントナイトでは停止</p> <p><b>地下水、ベントナイト、腐食生成物の相互作用 (油井 1992) TR G E</b></p> <p><b>腐食生成物による遠隔環境-鉱物-水長応</b></p> <p>微生物の影響 [2]; 錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速</p> <p>有機物の影響; 溶解度への影響、微生物の栄養</p> <p>× [1] ベントナイトの変質、イライト/モンモリロナイト混合層</p> <p>コンクリートの溶解、変質</p> <p><b>コンクリートとベントナイトとの相互作用</b></p> <p>コロイドに対するベントナイトのフィルトレーション効果 (実効空隙径不明)</p> <p>× [1] 水の放射線分解、ラジカル × [1] 放射線による人工バリア、岩盤の損傷</p> <p>× 微生物の代謝による腐食促進</p> <p>× OP 腐食生成物部分での核種移行</p> |

(注) 表中の記号の説明  
 [1] 『第2次取りまとめ』<sup>2-5)</sup>を参考。  
 [2] Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain (1998)<sup>2-6)</sup>を参考。  
 ×印は、文献で重要でないとして記述されている。  
 計算コード名  
 T THAMES、TR TRACE、G GIMRT、E EQ3/6

人工バリア性能確認で重要  
 実線は測定項目



表 2-5 熱-水-応力-化学現象の相関関係マトリックス (オーバーパック)

二重消し線と薄文字は人工バリア性能確認の情報取得で対象外 赤字はTHAMES - C扱い

|   |   |  |   |
|---|---|--|---|
| <p>T (thermal)</p> <p><b>温度・熱流量</b></p> <p>・エネルギー保存則、フーリエ則 T</p> <p>・定数: 熱伝導率、比熱、密度 T</p> <p>・熱定数の温度依存性</p> <p>・温度勾配と熱流(定常、非定常) T</p> | <p>・『水理定数の温度依存性』 T</p> <p>・密度変化、浮力、熱対流</p> <p>・温度勾配による水移動(気、液) T</p> <p>・液状水の水蒸気化(緩衝材を浸透)</p>   | <p>・『力学定数の温度依存性』</p> <p>・熱の膨潤への影響(温度上昇による膨潤圧力のわずかな減少(Pusch1980))</p> <p>・熱膨張、熱応力; × [1], T [2]</p> <p>・熱による、間隙変化、き裂変化[2]</p> <p>・ベントナイトの力学的安定性への熱の影響</p>   | <p>・『化学定数の温度依存性』 TR G</p> <p>・間隙水化学モデルへの影響、溶解速度・沈殿現象への影響(現在 25 のデータまで取得、OP 破損時には温度は低下している) TR G</p> <p>・腐食速度に対する影響</p> <p>・熱拡散(温度勾配による物質移動)</p> <p>・微生物活動への影響</p> <p>× スクタイトの熱変質、イライト/モンモリロナイト混合層</p> <p>× シリカの溶脱(セメント化) 130 超 TR G</p>   |
| <p>・熱の移流: 気、液 T</p> <p>・(不飽和)相変化による熱の発生、吸収: 潜熱</p> <p>・熱定数の含水比依存性 T</p>   | <p>H (fluid flow, gas flow)</p> <p><b>流量、流速、流向、ポテンシャル、水圧、蒸気圧</b></p> <p>・地下水の連続の式、ダルシー則、Philip &amp; de Vriese</p> <p>・定数: 飽和、不飽和透水係数、水分拡散係数、水分特性曲線 T</p> <p>・ポテンシャルによる水移動(定常、非定常) T</p> <p>・2相流(水蒸気、腐食ガス)、水蒸気拡散[2]</p> <p>・き裂の流れ(3乗則、チャンネル) T</p> <p>・き裂性 tuff の matrix imbibition(吸引)[2]</p> <p>・ベントナイトの乾燥と冠水、ニアフィールドの不飽和領域の発生と再飽和 T</p> <p>・ベントナイト流出リフトゲル化と侵食</p> <p>× ガス状の放射性核種(ヨウ素、クリプトン)の移動</p> | <p>・『力学定数の含水比依存性』 T</p> <p>・浸潤による膨潤圧力の発生(化学ポテンシャルの低下量と等価)[1] T</p> <p>・全応力、有効応力の発生 T</p>   | <p>・流れの間隙水化学モデルへの影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</p> <p>・流れの2次鉱物生成、消滅への影響 TR (瞬時平衡) G (速度論)</p> <p>・移流/分散(飽和) TR G</p> <p>・不飽和岩盤中での地下水、蒸気移動と核種の移動[2; FEHM, SZ-CONVOLUTE]</p> <p>・マトリックス拡散(き裂から岩体)、後方拡散(岩体からき裂)</p> <p>・地下水中でのコロイドの生成と移動、それによる核種移行[2]</p> <p>・OP に供給される、酸素、水の量(空気、水蒸気、液水の移動)</p> <p>・腐食モデルと速度へのベントナイトの飽和度、場所による不均質性の影響</p> <p>・流れの微生物活動への影響</p>   |
| <p>・熱定数の応力依存性</p> <p>・緩衝材密度の応力依存 T</p> <p>・ひずみエネルギーの熱への変化</p>   | <p>・『水理定数の応力依存性』 T</p> <p>・空隙率、有効空隙率の変化 T</p> <p>・き裂の変化</p> <p>・水理学的掘削影響領域の発生 T</p> <p>・ベントナイトの膨潤によるき裂、隙間の充填</p>  | <p>M (mechanical)</p> <p><b>応力、ひずみ、変位</b></p> <p>・応力-ひずみの関係(つりあいの式、フックの法則) T</p> <p>・定数: 弾性係数、ポアソン比、<math>\nu</math>、空隙率 T</p> <p>・掘削による2次応力、膨潤応力の発生とつりあい T</p> <p>・2次応力、膨潤圧力による空隙率、き裂の変化 T</p> <p>・OP の応力、OP 沈下、OP の発生 T</p>  | <p>・『化学定数の圧力依存性』(あるか調査中)</p> <p>・応力の腐食モデルへの影響</p> <p>× OP 応力腐食割れ(炭酸塩が濃厚な地下水で)</p> <p>・応力の微生物活動への影響</p> <p>・ベントナイトの実効空隙径の変化によるフィルトレーション効果の変化</p> <p>・応力のベントナイト変質への影響</p>   |
| <p>・『化学反応による熱定数の変化』</p> <p>・化学反応による熱の発生、吸収</p> <p>・微生物による熱の発生</p>   | <p>・『化学反応による水理定数の変化』</p> <p>・結晶化・2次鉱物の生成[2] G、溶解 G、沈殿、コロイド目詰まり、微生物の移動による、空隙と水理定数の変化</p> <p>・間隙水組成の変化による、水理定数の変化</p> <p>・間隙水組成の変化による、自己シール性の変化</p> <p>・緩衝材中の塩の蓄積 × [1]</p> <p>・水の放射線分解による水素ガス × [1]</p> <p>・腐食ガスによる間隙水の排出</p> <p>・微生物からのガスの生成 × [1]</p> <p>・密度流(塩境界付近の流れ)[1]</p> <p>・ベントナイトの変質(Ca, Fe, イライト, モノイライト)の影響 × [1]</p> <p>・溶質濃度勾配による水分移動(Thomas, COMPASS)</p>                               | <p>・『化学反応による力学定数の変化』</p> <p>・鉱物学的変化、化学反応による降伏限界、弾性係数、化学的膨潤/収縮ひずみの変化(Huekel and Pellegrini)</p> <p>・腐食生成物による応力-ひずみ変化</p> <p>・腐食ガスによる応力の変化、き裂発生 × [1]</p> <p>・間隙水組成の変化による膨潤圧力の変化</p> <p>・緩衝材の変質、セメント化(130 以上) × [1]による膨潤性の低下</p> <p>・溶質濃度変化によるひずみ(膨潤圧の発生)(Thomas, COMPASS)</p> <p>・ベントナイトの変質による幾何学的形状の変化、き裂の発生</p> | <p>C (chemical)</p> <p><b>間隙水組成 pH, Eh, 固相の組成, 鉱物組成</b></p> <p>・定数: 溶解速度、平衡定数、腐食速度 TR G E</p> <p>・物質: ガラス, OP, 腐食生成物, 緩衝材, 岩盤, コンクリート</p> <p>・拡散: 濃度勾配による移動(フックの法則) TR G</p> <p>・収着/脱着、見かけの拡散係数、実効拡散係数 TR G</p> <p>・溶解、沈殿/再溶解(反応速度と平衡定数で規定される)、結晶化・2次鉱物の生成 TR G E</p> <p>・ガラスが溶解、難溶性元素の溶解度制限、コングルエント溶解、間隙水中の溶解度、Si-鉄イオンの共沈によって浸出量増加</p> <p>・ガラスの一次反応溶解と溶性ケイ酸の緩衝材中への拡散散逸との連成[1]</p> <p>・OP 腐食: 地下水(水、水蒸気)、空気と接触して</p> <p>・空気の消費(ベントナイト黄鉄鉱の酸化、OP の酸化) TR G E</p> <p>・腐食ガス(水素)の発生</p> <p>・全面腐食モデル</p> <p>・局部腐食、孔食、飽和したベントナイトでは停止</p> <p>・地下水、ベントナイト、腐食生成物の相互作用(油井 1992) TR G E</p> <p>・腐食生成物による還元環境、鉱物-水反応</p> <p>・微生物の影響[2]; 錯形成配位子の供給、酸化還元反応の加速</p> <p>・有機物の影響; 溶解度への影響、微生物の栄養</p> <p>・× [1]ベントナイトの変質、イライト/モンモリロナイト混合層</p> <p>・コンクリートの溶解、変質</p> <p>・コンクリートとベントナイトとの相互作用</p> <p>・コロイドに対するベントナイトのフィルトレーション効果(実効空隙径不明)</p> <p>× [1]水の放射線分解、ラジカル × [1]放射線による人工バリア、岩盤の損傷</p> <p>× 微生物の代謝による腐食促進</p> <p>× OP 腐食生成物部分での核種移行</p> |

(注) 表中の記号の説明  
 [1] 『第2次取りまとめ』<sup>2-5)</sup>を参考。  
 [2] Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain (1998)<sup>2-6)</sup>を参考。  
 ×印は、文献で重要でないとして記述されている。  
 計算コード名  
 T THAMES、TR TRACE、G GIMRT、E EQ3/6

人工バリア性能確認で重要  
 実線は測定項目

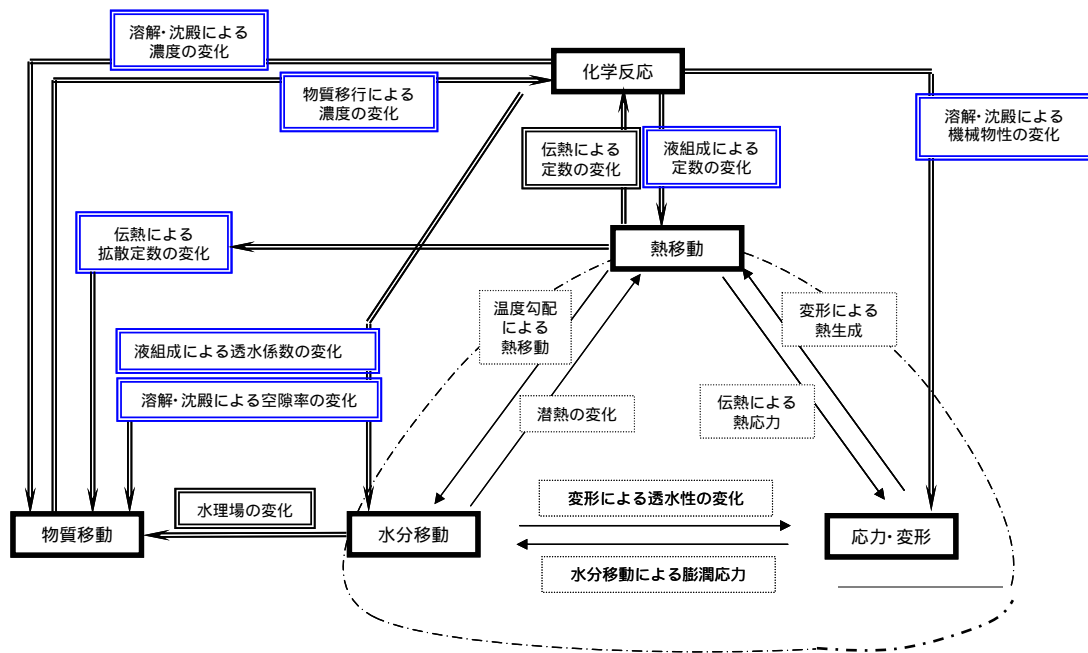


図 2-2 熱 - 水 - 応力 - 化学連成現象のモデル化概念<sup>2-4)</sup>

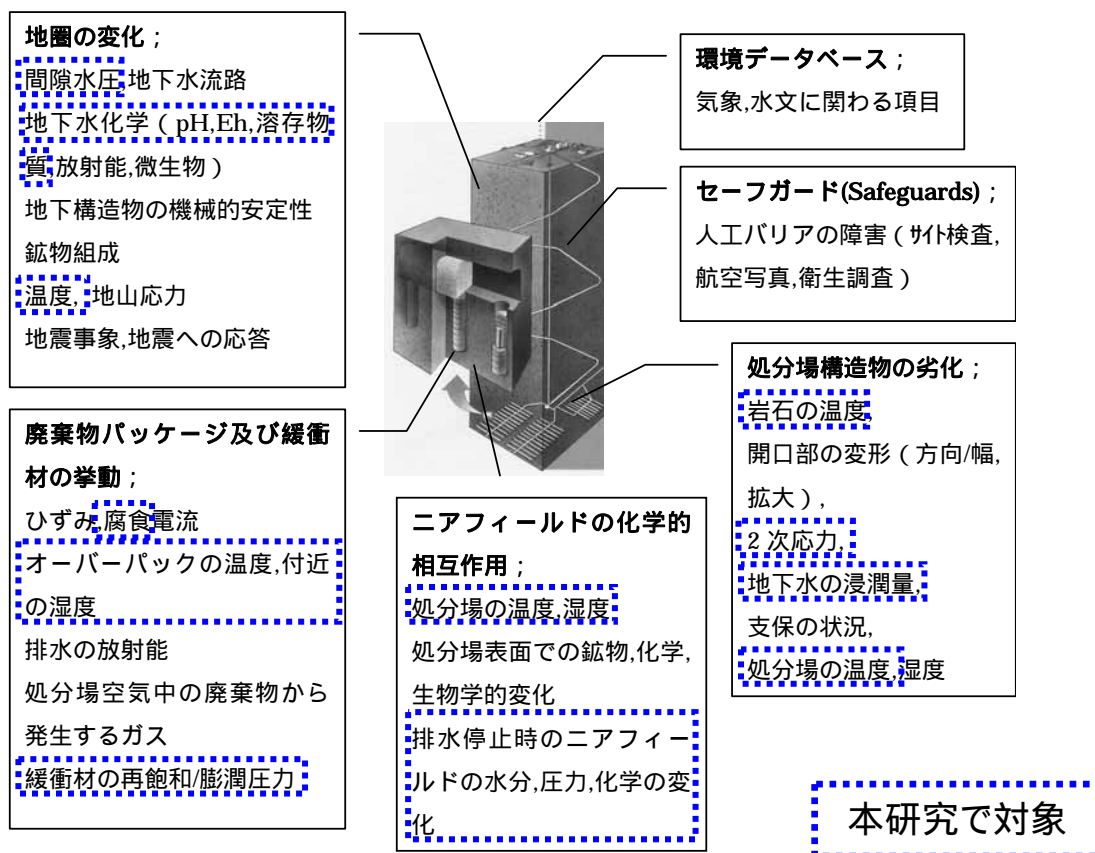


図 2-3 本研究で対象とする情報取得パラメータ (IAEA-TECDOC-1208 に加筆)

表 2-6 本研究で対象とする計測項目と部位

| ファーフールド                     | ニアフィールド (処分施設) |                             |                             |               |                             |                             |
|-----------------------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------|-----------------------------|-----------------------------|
|                             | オーバーパッ<br>ク    | 緩衝材                         | 埋め戻し材                       | 支保工           | 周辺岩盤<br>(坑道近傍)              | プラグ                         |
| 温度                          | 温度             | 温度                          | 温度                          | 応力・ひず<br>み・変形 | 温度                          | 応力・ひず<br>み・変形               |
| 応力・ひずみ                      | 位置<br>変位・沈下    | 応力・ひず<br>み・変形               | 応力・ひず<br>み・変形               | 背面空隙          | 応力・ひず<br>み・変形               | 変位                          |
| 間隙水圧                        | 腐食量 (鉄酸<br>化物) | 間隙水圧                        | 間隙水圧                        |               | 湧水量                         | 水分量                         |
| 地下水流向・<br>流速                | 放射線量           | 水分量                         | 水分量                         |               | 間隙水圧                        | 間隙水の地球<br>化学 (pH、<br>Eh、組成) |
| 地下水位                        |                | 間隙水の地球<br>化学 (pH、<br>Eh、組成) | 間隙水の地球<br>化学 (pH、<br>Eh、組成) |               | 地下水流向・<br>流速                |                             |
| 地下水の地球<br>化学 (pH、<br>Eh、組成) |                | 放射線量                        | 放射線量                        |               | 緩み領域の特<br>性 (幅、透水<br>係数)    |                             |
| 放射線量                        |                | 隙間                          | 天端部空隙                       |               | 地下水の地球<br>化学 (pH、<br>Eh、組成) |                             |
| 有機物、微生物                     |                | 密度/間隙率                      | 密度/間隙率                      |               | 放射線量                        |                             |
| 隆起侵食                        |                | ガス圧力H2O                     |                             |               | 有機物、微生物、<br>コケ              |                             |
| 岩盤変位、移<br>動                 |                |                             |                             |               |                             |                             |

人工バリア性能確認のための  
「定置後計測項目」  
予測との比較のための計測項目

人工バリア性能確認のための  
「定置前計測項目」  
初期条件、初期環境として操業  
終了までに測定しておく項目

JNC TJ8400 2003-090

## 2章 参考文献

- 2-1) 原子力環境整備促進・資金管理センター：“平成12年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査報告書(第3分冊), モニタリング技術高度化調査(1/2)地層処分モニタリングシステム技術の開発”, (2001)
- 2-2) 長谷川 宏、他：“人工バリア性能確認モニタリングに関する研究”, 核燃料サイクル開発機構業務委託報告書、JNC TJ8400 2002-048、5.3.2 節、(2002)
- 2-3) IAEA：“Monitoring of geological repositories for high level radioactive waste”, IAEA-TECDOC-1208、(2001)
- 2-4) 核燃料サイクル開発機構：“熱-水-応力-化学連成モデルの開発に関する調査研究”, JNC TJ8400 2000-058、(2000)
- 2-5) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性”, JNC TN1400 99-022, 023、(1999)
- 2-6) USDOE：“Viability Assessment of a Repository at Yucca Mountain”, DOE/RW-0508/ Vol.1-5、(1998)

### 3. 情報取得技術の調査

#### 3.1 情報取得技術調査表の作成

表 3-1～表 3-56 に情報取得技術調査表を示す。対象とした測定項目は、緩衝材の水分量、緩衝材の応力・ひずみ、緩衝材の間隙水圧、緩衝材の温度、オーバーパックの位置・沈下、間隙水（緩衝材およびニアフィールド岩盤）の pH、間隙水（緩衝材およびニアフィールド岩盤）の Eh、間隙水組成（緩衝材およびニアフィールド岩盤）であり、調査項目は以下の通りである。

- 1) 測定項目
- 2) 測定技術
- 3) 目的及び用途
- 4) 測定原理
- 5) 機器名称
- 6) 適用範囲
- 7) 精度
- 8) 適用雰囲気
- 9) 主要材質
- 10) 機器イメージ図
- 11) その他仕様
- 12) 概略費用
- 13) 処分場環境での適用
  - ・ 処分場環境での実績
  - ・ 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題
- 14) システム想定図
- 15) 連絡先
- 16) 情報ソース / 文献

表 2-6 に示した調査対象項目のうち、「オーバーパックの温度、位置/沈下」、および「ニアフィールド岩盤の温度、応力・ひずみ、間隙水圧」については、緩衝材に対する計測がそのまま適用できるため、情報取得技術調査表を作成していない。「オーバーパックの腐食」については、完成したセンサ類はなく、5章においてその開発計画を示す。「緩衝材と岩盤の隙間の閉塞」の計測については、変位や膨潤圧力の計測によって代用される。また、埋戻し材に対する情報取得技術は緩衝材と同様と考えた。

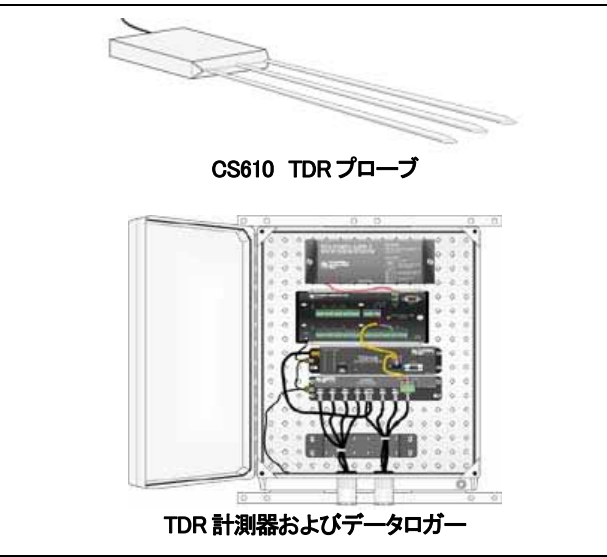
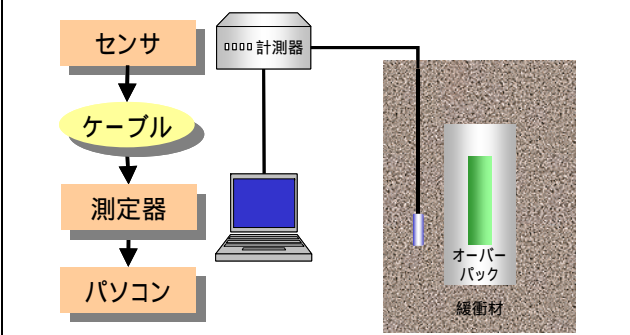
#### 3.2 現状技術の適用性に関するまとめ

前節で作成した情報取得技術調査表を測定項目ごとに整理し、それぞれの測定技術の適用性に

関するまとめを行なった。表 3-49 は緩衝材の水分量、表 3-50 は緩衝材の応力・ひずみ、表 3-51 は緩衝材の間隙水圧、表 3-52 は緩衝材の温度、表 3-53 はオーバーパックスの位置・沈下、表 3-54 は緩衝材の密度、表 3-55 は緩衝材の pH、表 3-56 は緩衝材の Eh、表 3-57 は緩衝材の間隙水組成、表 3-58 はニアフィールド岩盤の pH、表 3-59 はニアフィールド岩盤の Eh、表 3-60 はニアフィールド岩盤の地下水組成の測定技術の適用性に関するまとめ表である。それぞれの測定項目に対して、想定される計測環境（温度、圧力、酸化還元性、放射線、飽和度等）での現状技術の測定可能性や保守性、伝送、小型化について記載し、地層処分環境への適用性に関して、現時点での優劣の判断を行なった。各表において、“ ” は「ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い」と判断した計測技術、“ ” は「原理的に克服すべき課題のレベルが高い」と判断した計測技術、“ × ” は「原理的に計測可能性は低い」と判断した計測技術である。本研究の中心となる緩衝材に対する計測項目において、適用性が高いと判断した計測技術は以下の通りである。

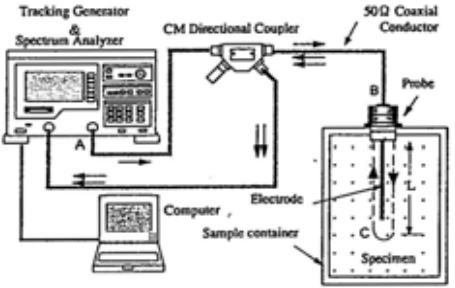
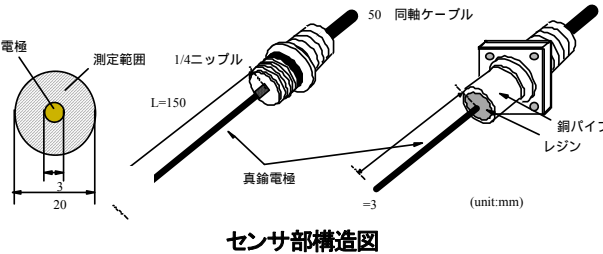
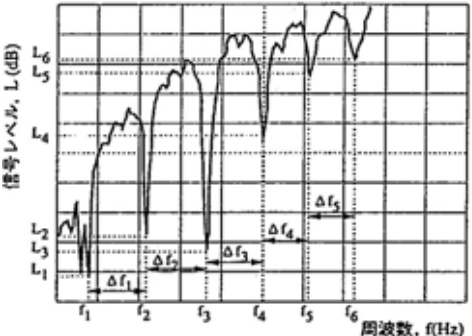
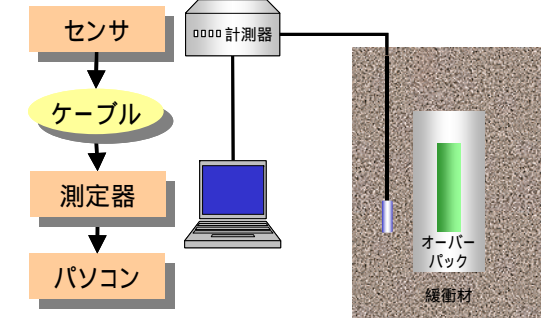
- ・緩衝材の水分量 : TDR 式、FDR 式
- ・緩衝材の応力・ひずみ : OSMOS、BOTDR、FBG、  
弦振動式、ファブリ・ペロ型干渉計式
- ・緩衝材の間隙水圧 : 差動トランス型、弦振動式、ファブリ・ペロ型干渉計式
- ・緩衝材の温度 : 全技術とも適用可能
- ・緩衝材の変位 : FBG 変位計
- ・緩衝材の密度 : FDR 式
- ・緩衝材および岩盤の pH : 光ファイバ式

表 3-1 情報取得技術調査表 (緩衝材、水分量)

|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の水分量  | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>   |
| 測定技術: TDR (Time Domain Reflectometry)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:<br>定置後の緩衝材中の水分量の計測  | ・ TDR 測定システム (Campbell Scientific 社)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 測定原理:   | 適用範囲: 水分飽和度 0%~100%   |  |
| 誘電率測定法による水分量計測<br>水の比誘電率は 81 であり、乾燥した土の比誘電率は 4~5 程度であるので、土の比誘電率はわずかな含水量の違いにより大きく変化する。したがって、含水量と誘電率の関係をあらかじめ求めておけば、測定された比誘電率から含水率を決定できる。<br>TDR (Time Domain Reflectometry: 時間領域反射法) は、測定対象物にプローブを挿入して電磁波パルスを発信し、パルスがプローブを往復する時間から、電磁波の伝播速度を測定することにより誘電率を求める方法である。   | 適用精度(再現性): 精度 水分飽和度で±2% 程度  |  |
|   | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
|   | ・ 温度範囲: -25°C~+50°C, その他記載なし  | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 良好   |
|   | 主要材質:   | ・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要  |
|   | ・ プローブ電極部: ステンレス バラン部: プラスチック   | ・ 耐放射線性: 不明  |
|   | 機器イメージ図:  | ・ 酸化還元性: 問題なし  |
|   |  | ・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線化が必要。   |
|   |   | ・ 小型化: 測定部加工可能であるが小型化には限界あり  |
|   |   | ・ その他: 低比抵抗性試料の計測限界について、検討が必要  |
| $\epsilon_r$ : 測定対象物の比誘電率<br>$c_0$ : 真空中の光の速度<br>$l$ : プローブの長さ、 $t$ : パルスの往復時間<br>$\epsilon_r = \left( \frac{c_0 t}{2l} \right)^2$<br>$\epsilon_r$ と含水率 $\theta$ の関係式として、Topp ら(1980)のユニバーサル式が最も広く用いられている。<br>$\theta = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \epsilon_r - 5.5 \times 10^{-4} \epsilon_r^2 + 4.3 \times 10^{-6} \epsilon_r^3$ |   | システム想定図:<br>   |
|   | その他仕様:  | 連絡先等:  |
|   | ・ プローブ直径 4.8mm, 長さ 300mm, プローブ間隔 45mm<br>・ 同軸ケーブル RG8                               | 太陽計器株式会社 (日本総代理店)<br>〒160-0004 東京都新宿区四谷 1-2-6 アーバンビルサカス 5, 3-B 電話: 03-3226-6682, FAX: 03-5363-6230   |
|   | 概略費用:   | 情報ソース/文献:  |
|   | ・ システム一式 140 万円程度(プローブ 8 本構成の場合)  | CampbellScientifi 社 Web ページ <a href="http://www.campbellsci.com/">http://www.campbellsci.com/</a><br>太陽計器(株) Web ページ <a href="http://www.taiyokeiki.co.jp/">http://www.taiyokeiki.co.jp/</a> |

モニタリング機器技術高度化調査(その 2) 地層処分モニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

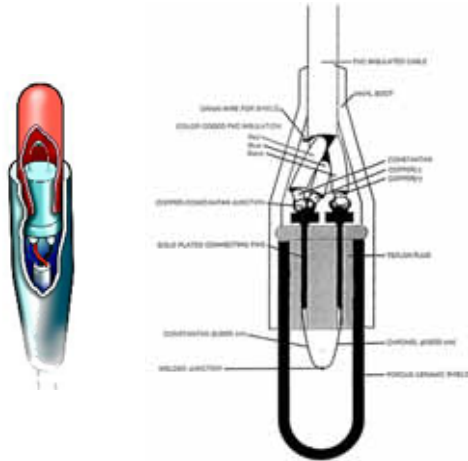
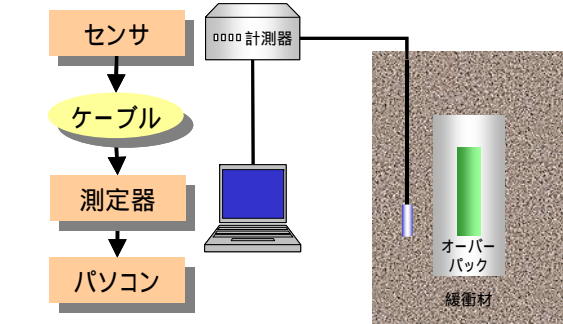
表 3-2 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、水分量 )

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の水分量  | <b>機器の具体例</b>  | <b>処分場環境への適用</b>   |
| <b>測定技術:</b> FDR (Frequency Domain Reflectometry)   | <b>機器名称(メーカー名):</b> センサ部: 市販製品なし   | <b>処分場環境での実績:</b>  |
| <b>目的及び用途:</b>  | ・ スペクトラムアナライザー(アンリツ株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 定置後の緩衝材中の水分量の計測   | <b>適用範囲:</b> 水分飽和度 0%~100%   |  |
| <b>測定原理:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b> 特に記載なし   |  |
| 誘電率測定法による水分量計測  | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>   | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>   |
| 水の比誘電率は 81 であり、乾燥した土の比誘電率は 4~5 程度であるので、土の比誘電率はわずかな含水量の違いにより大きく変化する。したがって、含水量と誘電率の関係をあらかじめ求めておけば、測定された比誘電率から含水率を決定できる。                       | ・ 特に記載はないが、常温、常圧程度と考えられる。  | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 耐圧仕様ではないため、センサ部の強度向上が必要。   |
| FDR(Frequency Domain Reflectometry)は、センサ部での高周波の干渉を周波数領域で測定することにより、測定対象の誘電率を求める。   | <b>主要材質:</b>   | ・ 耐久性/保守: 良好/不要  |
| センサ部の根本で反射した電磁波と先端で反射した電磁波の干渉波は、センサ部周囲の水分量によって周波数スペクトルに一定間隔のピークを生ずる。この周波数間隔 $\Delta f$ から、次式により誘電率を算定する。                                    | ・ センサ部 真鍮および銅、レジン  | ・ 耐放射線性: 不明だが、レジン部分の耐放射線性は低い可能性が高い。  |
| $\varepsilon = k\varepsilon_m = k\left(\frac{c_0}{2l\Delta f}\right)^2$   | <b>機器イメージ図:</b>  | ・ 酸化還元性: 金属をステンレスに変更すれば、問題ない。  |
| $\varepsilon$ : 測定対象物の誘電率   |  <p style="text-align: center;"><b>FDR 計測システム模式図</b></p> | ・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。無線化が必要。  |
| $\varepsilon_m$ : 誘電率測定値  |  | ・ 小型化: センサ部加工可能であるが小型化には限界あり   |
| $k$ : 補正係数, $c_0$ : 真空中の光の速度  |  <p style="text-align: center;"><b>センサ部構造図</b></p>      | ・ その他: センサ部は市販製品がなく、研究ベース。計測範囲は直径 20mm 程度と小さい。スペクトラムアナライザーが高価。                       |
| $l$ : プローブの長さ、 $\Delta f$ : ピークの周波数間隔   |  | ・ システム想定図:   |
|  <p style="text-align: center;"><b>FDRによるスペクトル測定例</b></p> | <b>その他仕様:</b>  |  |
| 概略寸法: センサ部 $\phi 3\text{mm} \times L 150\text{mm}$ , スペクトラムアナライザ $H177\text{mm} \times W320\text{mm} \times D351\text{mm}$                  | 概略費用:  | <b>連絡先等:</b>   |
| ・ スペクトラムアナライザ 約 400 万円  | 情報ソース/文献:  | アンリツ株式会社<br>〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 1800 番地<br>電話: 046-223-1111                          |
|   | ・ スペクトラムアナライザ 約 400 万円   | アンリツ株式会社Webページ <a href="http://www.anritsu.co.jp/">http://www.anritsu.co.jp/</a>     |

モニタリング機器技術高度化調査(その2) 地層処分モニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考


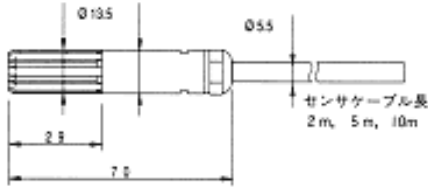
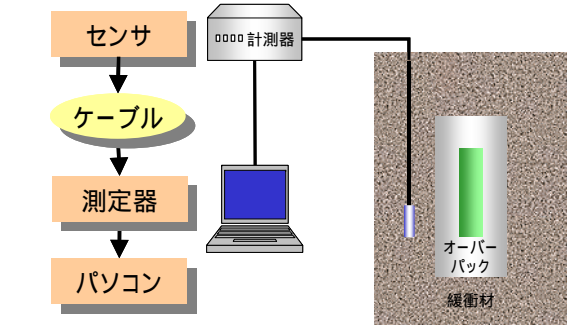


表 3-3 情報取得技術調査表 (緩衝材、水分量)

| 項目: 緩衝材の水分量  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |
|--|--|---|
| 測定技術: サイクロメトリック法・露点法   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:<br>定置後の緩衝材中の水分量の計測   | ・ 土壌サイクロメータ PCT-55, PST-55(Wescor 社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。<br>同種のセンサが、釜石における原位置試験で使用された。   |
| 測定原理:  | 適用範囲: 最小約 $-(\Pi v / 0.75 \mu V)$ bar  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |
| サイクロメトリック法, および露点法<br>高精度の熱電対をセンサに用い, センサ周囲の湿度, すなわち水ポテンシャルを測定する。<br>緩衝材の水分量と水ポテンシャルの関係を予め求めておくことにより, 水ポテンシャルの測定データから, 緩衝材の水分量を求めることができる。  | 適用精度(再現性): $\pm 0.02\%$ FS, 分解能 $0.05 \mu V$   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |
| サイクロメトリック法: 熱電対の接合部に水を凝縮させ、この水の蒸発速度が周囲の湿度と温度によって決まることを利用し、蒸発による温度低下速度と、周囲から熱電対への熱の流入速度が釣りあったときの温度低下量を測定する。<br>相対湿度と水ポテンシャルとの関係は、次式で表される。   | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明<br>・ 耐久性/保守: 常温以下で約 10,000 時間/寿命により交換する必要がある(熱電対と同様)<br>・ 耐放射線性: 不明だが、テフロン耐放射線性は高い。<br>・ 酸化還元性: 問題なし<br>・ データ伝送: 配線による擾乱と、配線長による精度への影響が考えられる。無線化が必要。<br>・ 小型化: 十分小型であり、これ以上の小型化は困難。<br>・ その他: 湿潤側の測定精度はあまり高くない。試料とセンサ一との間に温度差があると、大きな誤差を生じる。 |
|  | 主要材質:  |   |
|  | ・ フィルター: セラミックもしくはステンレス, 熱電対: 銅-コンスタンタン, その他: ビニール, テフロン                             |   |
|  | 機器イメージ図:   |   |
|  |   |   |
|  | <b>PCT-55 内部構造</b>   |   |
|  | システム想定図:   |   |
|  |  |   |
| ここで、RH: 相対湿度, $M_w$ : 水の分子量, $\psi_w$ : 水ポテンシャル, $\rho_w$ : 水の密度, R: 気体定数, T: (乾球) 温度である。  | その他仕様:   | 連絡先等:   |
| 露点法: センサの温度を急速に露点以下に下げて、熱電対の接合部に水を凝縮させた後、温度勾配による周囲からの熱の流入と同じ速度でセンサを冷却するように制御し、露点温度を測定する。水ポテンシャルは露点温度の関数であるため、露点温度から水ポテンシャルを求めることができる。<br>この方法によると、水分の凝縮熱のみの影響によってセンサが露点温度に達するため、露点温度を正確に求めることが可能になる。 | センサ概略寸法: $\phi 7\text{mm} \times \text{L}30\text{mm}$ (ケーブル部分除く)                     | 旭光通商株式会社(Wescor 社製品日本総代理店)<br>〒151-0063 東京都渋谷区富ヶ谷 2-21-10 木島ビル<br>電話: 03-5453-6501(代), FAX: 03-5453-6506  |
|  | 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |
|  | ・ センサ PST-55-SF @4.2 万円  | Wescor 社 Web ページ <a href="http://www.wescor.com/">http://www.wescor.com/</a><br>旭光通商株式会社 Web ページ <a href="http://www.kyokko.com/">http://www.kyokko.com/</a>  |


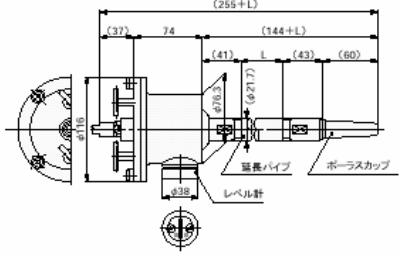
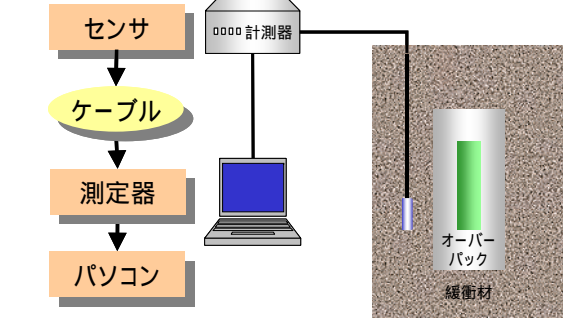
モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-4 情報取得技術調査表 (緩衝材、水分量)

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の水分量  | <b>機器の具体例</b>  | <b>処分場環境への適用</b>   |  |
| <b>測定技術:</b> 露点式湿度計   | <b>機器名称(メーカー名):</b>  | <b>処分場環境での実績:</b>  |  |
| <b>目的及び用途:</b><br>定置後の緩衝材中の水分量の計測   | ・ 露点温度変換器 HMP240 (ヴァイスラ株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。<br>センサは釜石における粘土充填・熱負荷試験で使用した。  |  |
| <b>測定原理:</b><br>高分子静電容量型湿度センサ(高分子膜に電圧を印加した際の出力が、膜に含まれる水分子の量により変化することを利用したセンサ)により露点温度を計測し、これと乾球温度からセンサ周囲の湿度、すなわち水ポテンシャルを測定する。  | <b>適用範囲:</b> 湿度:0~100%RH 温度:-40°C~180°C  |  |  |
| <p>高分子静電容量型湿度センサ(高分子膜に電圧を印加した際の出力が、膜に含まれる水分子の量により変化することを利用したセンサ)により露点温度を計測し、これと乾球温度からセンサ周囲の湿度、すなわち水ポテンシャルを測定する。</p> <p>相対湿度と水ポテンシャルとの関係は、次式で表される。</p> $RH = \exp\left(\frac{M_w \psi_w}{\rho_w RT}\right)$ <p>ここで、RH:相対湿度, M<sub>w</sub>:水の分子量, ψ<sub>w</sub>:水ポテンシャル, ρ<sub>w</sub>:水の密度, R:気体定数, T:(乾球)温度である。</p> | <b>適用精度(再現性):</b> ±(0.5+読み値の2.5%)%RH   | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/年1回程度の校正が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: センサ部は、現状で十分小型である。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |  |
|   | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>   |  | ・ 温度: -40°C~180°C, その他記述なし   |
|   | <b>主要材質:</b>   |  | ・ハウジング部 G-AlSi <sub>12</sub> , フィルター:ステンレス   |
|   | <b>機器イメージ図:</b>  |  |  <p>露点温度変換器外観</p>  <p>HMP243 RH センサヘッド寸法</p> |
|   | <b>その他仕様:</b>  |  | 変換器部: 120×145×65mm<br>露点センサ部: φ13.5mm,長さ70mm<br>温度センサ部: φ6mm,長さ83mm(ケーブル部分除く)  |
| <b>概略費用:</b>  | 変換器及びセンサ @40万円   | <b>システム想定図:</b>    |  |
|   | <b>連絡先等:</b>   |  |  |
|   | ヴァイスラ株式会社<br>東京都新宿区神楽坂 6-42 神楽坂喜多川ビル 2F<br>電話:03-3266-9611(代), FAX:03-3266-9610  |  |  |
|   | <b>情報ソース/文献:</b>   |  |  |
|   | ヴァイスラ社 Web ページ <a href="http://www.vaisala.co.jp/">http://www.vaisala.co.jp/</a> |  |  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-5 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、水分量 )

|   |   |  |
|---|---|--|
| 項目: 緩衝材の水分量, 間隙水圧   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: テンシオメータ   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | ・ 土壌水分計(共和電業株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 緩衝材の間隙水圧(正圧, 負圧)の測定   | 適用範囲: 定格圧力 -80k~200kPa, 許容過負荷 100%  |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 非直線性 ±0.5%RO 以内  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| テンシオメータ<br>ポラスカップをもつ容器に圧力計を気密に連結し、内部に水を満たすと、管内の水と土壌水とが磁管の多孔質壁を通して水理的に連結される。<br>土壌水と管内の水とが平衡状態になっているときの圧力を圧力計で読みとることにより、サクシオン(水分吸引圧)を測定することが可能となる。<br>緩衝材の水分量と水分吸引圧の関係を予め求めておくことにより、水分吸引圧の測定データから、緩衝材の水分量を求めることができる。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):<br>・ 0℃~80℃(凍結しないこと), その他記述なし   |  |
|   | 主要材質:<br>・ 本体: ステンレス, ポラスカップ: セラミック   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 定格圧力程度</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/負圧環境下では、定期的な脱気水の補充が必要。</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、問題ないと予想される。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: 小型化の必要性は低い。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
|   | 機器イメージ図:<br>                  |  |
|   | <p>センサ部外観</p>  <p>センサ部寸法</p> | システム想定図:<br>   |
| その他仕様:  | 連絡先等:   |  |
| センサ部: φ116mm×L111mm+φ22mm×L244~2144mm(ケーブル部除く)  | 共和電業株式会社(本社・工場・計測エンジニアリング本部)<br>〒182-8520 東京都調布市調布ヶ丘 3-5-1<br>電話:0424-85-6623(計測), FAX:0424-86-1436             |  |
| 概略費用:   | 情報ソース/文献:   |  |
|   | 共和電業株式会社 Web ページ <a href="http://www.kyowa-ei.co.jp/">http://www.kyowa-ei.co.jp/</a>                            |  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-6 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

| 項目：緩衝材の応力・ひずみ   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |   |          |
|---|--|---|---|----------|
| 測定技術：OSMOS  | 機器名称(メーカー名)：   | 処分場環境での実績：  |   |          |
| 目的及び用途：   | ・ OSMOS (OSMOS 技術協会)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、構造物や地山表面の他、コンクリート内部、グラウンドアンカーなどの実績がある。  |   |          |
| 緩衝材の応力・ひずみの測定   | 適用範囲：1m～10m, 最大ひずみ±0.5%RO(最大 50mm)   |   |   |          |
| 測定原理：   | 適用精度(再現性)：±20μm～±100μm   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題：   |   |          |
| <p>光学ストランド観測システム<br/>(Optical Strand Monitoring System: オスモス)</p> <p>建築構造物、自然構造(地盤、岩盤)等に、光ファイバーを撚った光学ストランドを取り付け、測定対象物の変形量をリアルタイムでモニタリングするシステムである。原理的には、従来のひずみゲージの働きをするものが光ファイバーになったものと考えてよい。</p> <p>マイクロベンディング<br/>光ファイバが曲がることにより、ファイバの内部から漏洩する光の量が変化する現象。これを利用し、変位を測定する。</p>  <p>マイクロベンディングによる赤外線の漏洩</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等)：  |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧)：良好</li> <li>・ 耐久性/保守：良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性：不明だが、一般にガラスは耐放射線性が低い。被覆による遮蔽効果は期待できる。</li> <li>・ 酸化還元性：問題なし</li> <li>・ データ伝送：配線による擾乱の影響が少ない。ケーブル総延長を長くできるため、無線化の必要性は低い。</li> <li>・ 小型化：光ファイバの小型化は困難。</li> <li>・ その他：</li> </ul> |          |
|   | ・ センサ部 -20℃～60℃, その他記載なし   | 主要材質：   |   |          |
|   | ・ 4芯 GI モード光ファイバ, 外部被覆 スパイラルスチール   |   |   |          |
|   | 機器イメージ図：   |  <p>赤外線戻り<br/>赤外線入力</p> <p>固定具<br/>ファイバ撚り線</p> <p>センサ部(光学ストランド)の模式図</p> |   |          |
|   |  |  <p>オプトボックス(光学変換部)の外観</p>  |   | システム想定図： |
|   |  |   |   |          |
| その他仕様：  | 連絡先等：  |   |   |          |
| センサ部の長さ：2, 5, 10m<br>光ファイバケーブルの最大長：8～10km   | OSMOS 技術協会<br>〒220-6001 神奈川県横浜市西区みなとみらい 2-3-1<br>(日揮株式会社内) TEL:045-682-1124 FAX:045-682-1125 |   |   |          |
| 概略費用：   | 情報ソース/文献：  |   |   |          |
| ・ 基本システム 300～400 万(4ch)   | 日揮株式会社 Web ページ<br><a href="http://www.jgc.co.jp/">http://www.jgc.co.jp/</a>                  |   |   |          |

表 3-7 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の応力・ひずみ  | <b>機器の具体例</b>                                 | <b>処分場環境への適用</b>   |
| <b>測定技術:</b> BOTDR   | <b>機器名称(メーカー名):</b>                           | <b>処分場環境での実績:</b>  |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・ 光センシング計測システム(NTT インフラネット)                   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、道路トンネルの変状計測に用いられた実績がある。  |
| <b>緩衝材の応力・ひずみの測定</b>   | <b>適用範囲:</b> 測定区間長最大 20km, 最小ひずみ 1 $\mu$      |  |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> $\pm 100\mu$ , 距離分解能 1m     | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>   |
| ブリルアン散乱光時間領域反射測定法<br>(BOTDR: Brillouin Optical Time Domain Reflectometer)<br>レーザーのように単色性の高い入射光が光ファイバを通過すると、後方散乱光が発生する。このうち、ブリルアン散乱光は、入射光から媒質固有の周波数だけ変化する特徴をもつ。光ファイバにひずみがかわると、この変化量がリニアに変化するため、ブリルアン散乱光の周波数と、散乱光が戻ってくるまでの時間を計測することにより、生じているひずみとその位置を光ファイバ全体にわたって特定することが可能になる。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>                | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、一般にガラスは耐放射線性が低い。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。測定区間を長くできるため、無線化の必要性は低い。</li> <li>・ 小型化: ファイバの総延長を長くできるため、測定器を小型化する必要性は低い。</li> <li>・ その他: 計測に数分の時間を要する。計測に専門技術者が必要。</li> </ul> |
| <p style="text-align: center;"><b>ひずみセンシング用光ファイバ模式図</b></p>  | <b>主要材質:</b>                                  | <b>システム想定図:</b>  |
|  | <b>機器イメージ図:</b>                               |  |
| <b>その他仕様:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b> $\pm 100\mu$ , 距離分解能 1m     | <b>連絡先等:</b>   |
| ・ 光ファイバは、温度計測にも利用可能。   | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>                | エヌ・ティ・ティ・インフラネット株式会社<br>〒103-0007 東京都中央区日本橋浜町 2-31-1 浜町センタービル<br>電話:03-5643-5733   |
| <b>概略費用:</b>   | ・ 温度-20 $^{\circ}$ C~80 $^{\circ}$ C, その他記載なし | <b>情報ソース/文献:</b>   |
| ・ 不明   | <b>機器イメージ図:</b>                               | NTT インフラネット株式会社 Web ページ<br><a href="http://www.nttifn.co.jp/">http://www.nttifn.co.jp/</a>   |

表 3-8 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

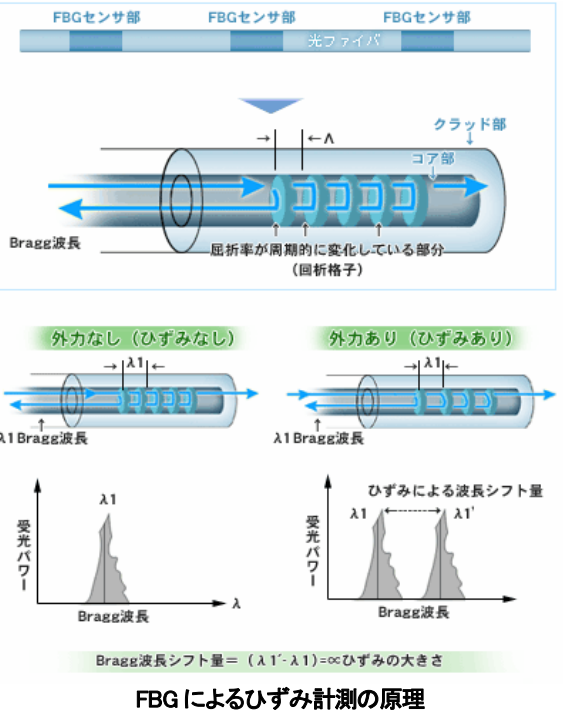
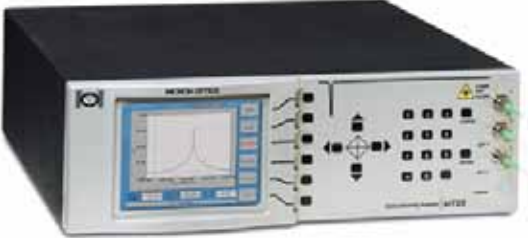
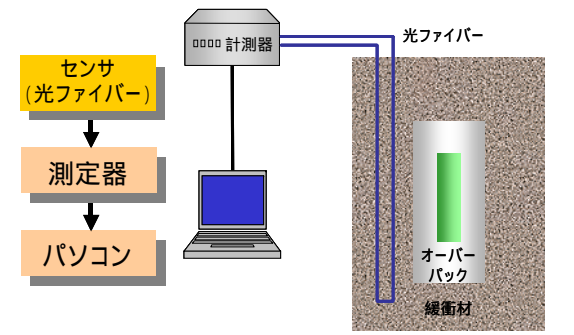
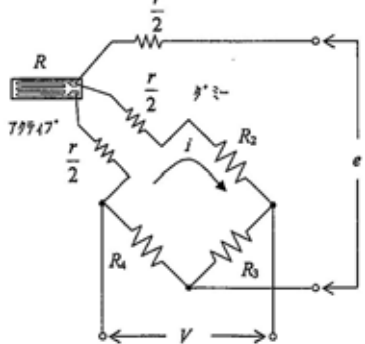

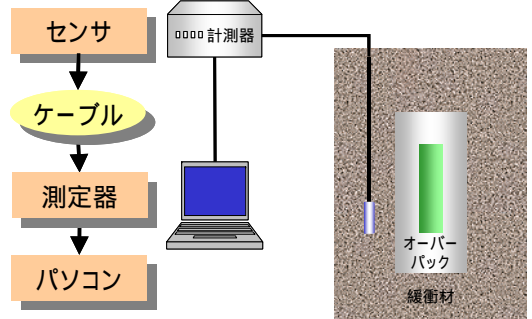

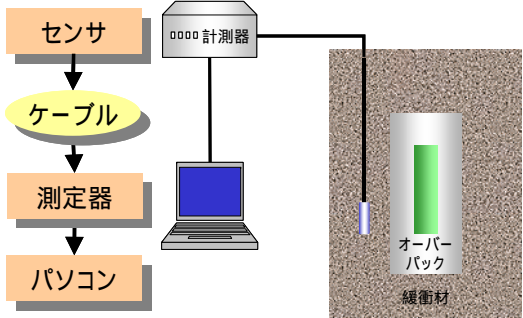
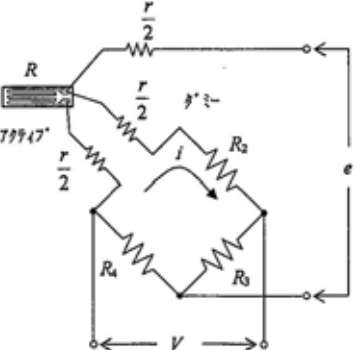
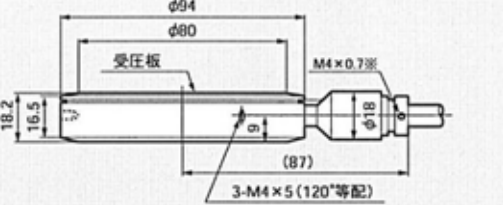
|   |   |  |
|---|---|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の応力・ひずみ   | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>   |
| <b>測定技術:</b> FBG ( Fiber Bragg Grating )  | <b>機器名称(メーカー名):</b>   | <b>処分場環境での実績:</b>  |
| <b>目的及び用途:</b>  | ・ファイバグレーティング型歪み測定システム(NTT アドバンステクノロジ)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、道路トンネルの変状計測に用いられた実績がある。  |
| <b>緩衝材の応力・ひずみの測定</b>  | <b>適用範囲:</b> 区間長 1cm~10km, 最小ひずみ 1μ   |  |
| <b>測定原理:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b> ±4μ, 距離分解能 1m   |  |
| 光ファイバブラッグ回折格子 (FBG: Fiber Bragg Grating)<br>FBG は、光ファイバのコア部の屈折率を一定の周期で変化させたもので、特定の波長(Bragg 波長)の光のみ選択的に反射する特徴をもつ。FBG にひずみ等の外乱が加えられると Bragg 波長がシフトするため、そのシフト量を検出することにより、ひずみを算出することができる。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b><br>・ 温度-30℃~80℃, その他記載なし<br><b>主要材質:</b><br>・ 石英系シングルモード光ファイバ, 外部被覆: 不明<br><b>機器イメージ図:</b>                         | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、一般にガラスは耐放射線性が低い。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。測定区間を長くできるため、無線化の必要性は低い。</li> <li>・ 小型化: ファイバの総延長を長くできるため、測定器を小型化する必要性は低い。</li> <li>・ その他: 測定値の温度補正が必要。</li> </ul> |
|  <p style="text-align: center;"><b>FBG によるひずみ計測の原理</b></p>  |  <p style="text-align: center;"><b>ひずみセンシング測定器 si720 外観</b></p> | <b>システム想定図:</b>    |
| <b>その他仕様:</b>   | ・ 光ファイバは、温度計測にも利用可能。  | <b>連絡先等:</b>   |
| <b>概略費用:</b>  | ・ 不明  | NTT アドバンステクノロジ株式会社 先端技術事業本部<br>〒181-0013 東京都三鷹市下連雀 3-35-1 ネオシティ三鷹ビル<br>電話:0422-47-8029   |
|   |   | <b>情報ソース/文献:</b>   |
|   |   | NTT アドバンステクノロジ株式会社 Web ページ<br><a href="http://www.keytech.ntt-at.co.jp/">http://www.keytech.ntt-at.co.jp/</a>  |

表 3-9 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

|  |  |  |
|--|--|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の応力・ひずみ  | <b>機器の具体例</b>  | <b>処分場環境への適用</b>   |
| <b>測定技術:</b> ひずみゲージ式ひずみ計   | <b>機器名称(メーカー名):</b>  | <b>処分場環境での実績:</b>  |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・埋込型ひずみ計(株式会社東京測器研究所)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。本センサは、釜石における粘土充填・熱負荷試験で使用した。  |
| <b>緩衝材のひずみの測定</b>  | <b>適用範囲:</b> 評点距離 31mm~200mm, 容量 $\pm 5000 \times 10^{-6} \mu$   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。本センサは、釜石における粘土充填・熱負荷試験で使用した。  |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> 非直線性 $\pm 1\%$ RO  | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>   |
| ひずみゲージ式ひずみ計<br>測定装置の中心軸上にひずみゲージを装着し、装置が応力により変形したときのブリッジ抵抗変化を電気信号として取り出し、ひずみを測定する。<br>1ゲージ3線法における、見かけひずみは次式で求められる。<br>$\epsilon_r$ : 見かけひずみ<br>$K_0$ : 補正後のゲージ率<br>$R$ : ゲージ抵抗<br>$r$ : リード線の往復抵抗<br>$\alpha$ : リード線の抵抗温度係数 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b><br>・ $-20^{\circ}\text{C} \sim +80^{\circ}\text{C}$ ( $+180^{\circ}\text{C}$ までのタイプあり), その他記載なし<br><b>主要材質:</b><br>・記載なし<br><b>機器イメージ図:</b> | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:<br>・耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 良好<br>・耐久性/保守: 良好/基本的に不要<br>・耐放射線性: 不明だが、カバーゴムの耐性は低い可能性がある。<br>・酸化還元性: 問題なし<br>・データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。<br>・小型化: 余地はあると考えられる。<br>・その他: |
| $\epsilon_r = \frac{1}{K_0} \frac{\frac{r}{2} \cdot \alpha}{R + \frac{r}{2}}$  <p>1ゲージ3線法によるブリッジ抵抗の構成</p>                                |  <p>センサ部外観</p>   | <b>システム想定図:</b>    |
| <b>その他仕様:</b>  | <b>連絡先等:</b>   |  |
| センサ部: $\Phi 20 \text{ mm} \sim 28 \text{ mm} \times \text{L}34 \text{ mm} \sim 205 \text{ mm}$ (ケーブル除く)<br>ひずみと温度を同時に測定可能なものもある  | 株式会社東京測器研究所<br>〒140-8560 東京都品川区南大井 6-8-2<br>電話: 03-3763-5611, FAX: 03-3763-6128  |  |
| <b>概略費用:</b>   | <b>情報ソース/文献:</b>   |  |
| ひずみ計 @ 4万円   | 株式会社東京測器研究所 Web ページ <a href="http://www.tokyosokki.co.jp/">http://www.tokyosokki.co.jp/</a>  |  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-10 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>項目:</b> 緩衝材の応力・ひずみ  | <b>機器の具体例</b>  | <b>処分場環境への適用</b>  |
| <b>測定技術:</b> ひずみゲージ式圧力変換器  | <b>機器名称(メーカー名):</b>  | <b>処分場環境での実績:</b>   |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・ 土圧計(共和電業株式会社) BE-M   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。本センサは、釜石における粘土充填・熱負荷試験で使用した。   |
| 緩衝材の応力(土圧)の測定  | <b>適用範囲:</b> 定格容量: 50k~1Mpa, 許容過負荷 120%  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。本センサは、釜石における粘土充填・熱負荷試験で使用した。   |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> 非直線性 ±2%RO   | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>  |
| ひずみゲージ式圧力変換器<br>感受部である薄い円盤容器と、ひずみゲージ式圧力変換器が高耐圧管を介して接続されており、円盤容器に加わった応力が、圧力媒体を通じてダイアフラムに伝達される。ダイアフラム上にはひずみゲージがあり、ダイアフラムが応力により変形したときのブリッジ抵抗変化を電気信号として取り出し、ひずみを測定する。                              | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b><br>・温度 -30℃~80℃, その他記載なし<br><b>主要材質:</b><br>・ステンレス<br><b>機器イメージ図:</b>                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 定格容量程度</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的な校正が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、問題ないと予想される。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化: 土圧計としては比較的小型である。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
| 1ゲージ3線法における、見かけひずみは次式で求められる。<br>$\varepsilon_r = \frac{1}{K_0} \frac{r}{R + \frac{r}{2}}$ ε <sub>r</sub> : 見かけひずみ<br>K <sub>0</sub> : 補正後のゲージ率<br>R : ゲージ抵抗<br>r : リード線の往復抵抗<br>α: リード線の抵抗温度係数 |  <p style="text-align: center;"><b>センサ部外観</b></p>  | <b>システム想定図:</b>   |
|  <p style="text-align: center;"><b>1ゲージ3線法によるブリッジ抵抗の構成</b></p>   |  <p style="text-align: center;"><b>センサ部寸法</b></p> | その他仕様:<br>受圧部: φ94mm×H18mm<br>センサ部: φ18mm×L40mm(ケーブル部除く)<br>質量: 約 1kg   |
| <b>概略費用:</b>   | <b>連絡先等:</b>   | 共和電業株式会社(本社・工場・計測エンジニアリング本部)<br>〒182-8520 東京都調布市調布ヶ丘 3-5-1<br>電話: 0424-85-6623(計測), FAX: 0424-86-1436   |
| 共和電業株式会社 Web ページ <a href="http://www.kyowa-ei.co.jp/">http://www.kyowa-ei.co.jp/</a>   | 情報ソース/文献:  | 共和電業株式会社 Web ページ <a href="http://www.kyowa-ei.co.jp/">http://www.kyowa-ei.co.jp/</a>  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考



表 3-11 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )


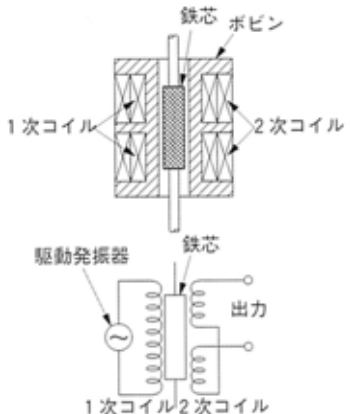
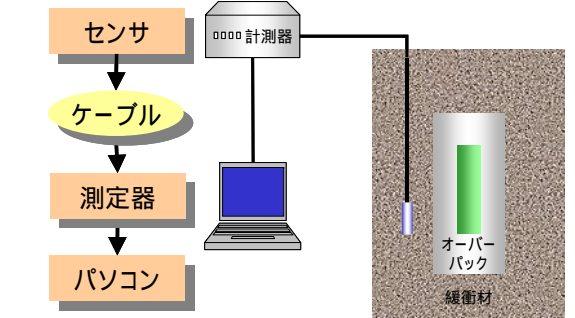
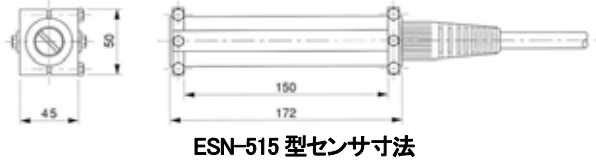
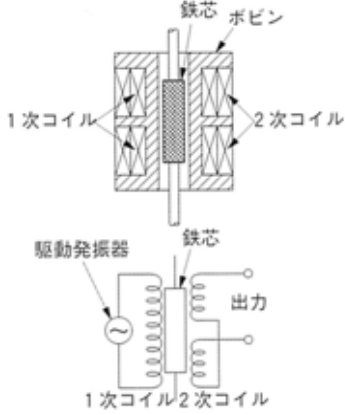

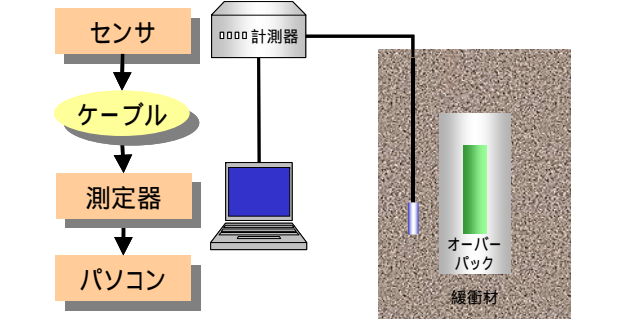
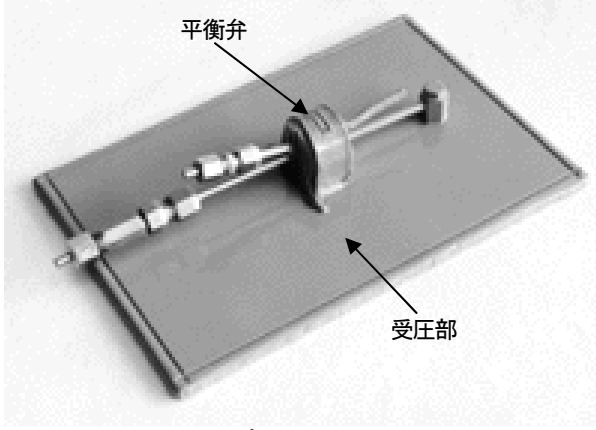
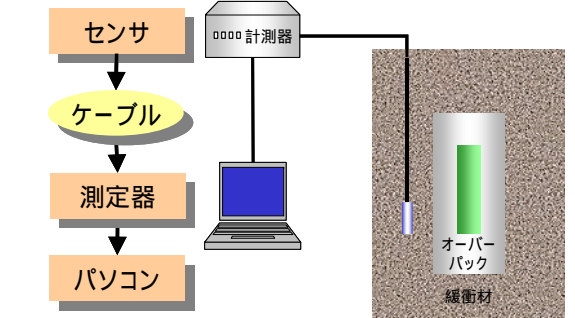
| 項目：緩衝材の応力・ひずみ   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |
|---|--|---|
| 測定技術：差動トランス型ひずみ計  | 機器名称(メーカー名)：   | 処分場環境での実績：  |
| 目的及び用途：   | ・ コンクリートひずみ計 ESN-515 型(坂田電機株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |
| 緩衝材のひずみの測定  | 適用範囲：定格容量：±1000μ，または±2000μ(測定レンジによる)   |   |
| 測定原理：   | 適用精度(再現性)：非直線性 ±0.5%FS 以内  |   |
| 差動トランス型ひずみ計<br>測定装置の中心軸と、それを囲むボビンとで差動トランスを構成し、装置が応力により変形したときの量を電気信号として取り出し、ひずみを測定する。<br>差動トランスは、機械的な変位を相互インダクタンスの変化に変換する素子で、ボビンに巻かれたコイルと、非接触状態の鉄芯との相対変位が出力となる。<br>鉄芯がコイルの中心にあるときには、上下の 2 次コイルの出力電圧は等しく、位相は 180 度異なるので、出力電圧は 0 となる。鉄芯がコイルの中心からずれると、2 次コイルの 1 次コイルに対する相互インダクタンスは、片側では増加し、片側では減少するため、両者の誘起電圧の差に相当する電圧が出力される。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等)：<br>・ 温度 -30℃～80℃、その他記載なし   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題：   |
|   | 主要材質：<br>・ ボディ：SUS、ケーブル：クロロプレン   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧)：不明</li> <li>・ 耐久性/保守：良好/定期的な校正が必要</li> <li>・ 耐放射線性：不明だが、問題ないと予想される。</li> <li>・ 酸化還元性：問題なし</li> <li>・ データ伝送：配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化：余地はあると考えられる。</li> <li>・ その他：ケーブル径がφ10mm 強と大きいため、引き回しが困難になる場合がある。</li> </ul> |
|   | 機器イメージ図：<br>         |   |
|   | <br>差動トランスの動作原理      | システム想定図：<br>  |
|   | <br>ESN-515 型センサー寸法 |   |
|   | その他仕様：<br>センサー本体：W45mm×H50mm×L172mm(ケーブル部除く)<br>重量：1.2kg<br>小型熱電対を内蔵し、温度の計測が可能なものもある。                  | 連絡先等：<br>坂田電機株式会社(営業部)<br>〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町 1-20-8<br>電話：0422-20-5522, FAX:0422-20-9444  |
|   | 概略費用：  | 情報ソース/文献：<br>坂田電機株式会社 Web ページ <a href="http://www.sakatadenki.co.jp/">http://www.sakatadenki.co.jp/</a>   |

表 3-12 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の応力・ひずみ   | <b>機器の具体例</b>  | 処分場環境への適用  |
| <b>測定技術:</b> 差動トランス型圧力変換器   | <b>機器名称(メーカー名):</b>  | 処分場環境での実績:   |
| <b>目的及び用途:</b>  | ・ 土圧計 EEP-5300D 型(坂田電機株式会社)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 緩衝材の応力(土圧)の測定   | <b>適用範囲:</b> 定格容量: 100k~3MPa(測定レンジによる)   |  |
| <b>測定原理:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b> 非直線性 ±0.5%FS 以内  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| 差動トランス型圧力変換器<br>感受部である薄い円盤容器と、差動トランス型圧力変換器が高耐圧管を介して接続されており、円盤容器に加わった応力が、圧力媒体を通じてダイアフラムに伝達される。圧力変換器では、ダイアフラムに差動トランスが接続されており、圧力媒体によるダイアフラムの変形量を電気信号として取り出し、ひずみを測定する。<br>差動トランスは、機械的な変位を相互インダクタンスの変化に変換する素子で、ボビンに巻かれたコイルと、非接触状態の鉄芯との相対変位が出力となる。<br>鉄芯がコイルの中心にあるときには、上下の 2 次コイルの出力電圧は等しく、位相は 180 度異なるので、出力電圧は 0 となる。鉄芯がコイルの中心からずれると、2 次コイルの 1 次コイルに対する相互インダクタンスは、片側では増加し、片側では減少するため、両者の誘起電圧の差に相当する電圧が出力される。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b><br>・温度 -30℃~80℃, その他記載なし  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的な校正が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、問題ないと予想される。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。ひずみゲージ式程ではないが、配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化: 余地はあると考えられる。</li> <li>・ その他: ケーブル径がφ10mm 強と大きいため、引き回しが困難になる場合がある。</li> </ul> |
|   | <b>主要材質:</b><br>・ ボディ: ステンレス, フィルター: ガラス, ケーブル: クロロプレン   |  |
|  <p style="text-align: center;">差動トランスの動作原理</p>   |  <p style="text-align: center;">EEP-5300D 型 センサ外観</p> | <b>システム想定図:</b>  |
|   |  |  |
| <b>その他仕様:</b>   | 受圧面: φ300mm × t 4mm<br>センサ本体: φ35mm × L185mm~203mm(ケーブル部除く)<br>小型熱電対を内蔵し、温度の計測が可能なものもある。   | <b>連絡先等:</b>   |
| <b>概略費用:</b>  | 坂田電機株式会社(営業部)<br>〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町 1-20-8<br>電話: 0422-20-5522, FAX: 0422-20-9444  | 情報ソース/文献:  |
|   |  | 坂田電機株式会社 Web ページ <a href="http://www.sakatadenki.co.jp/">http://www.sakatadenki.co.jp/</a>   |



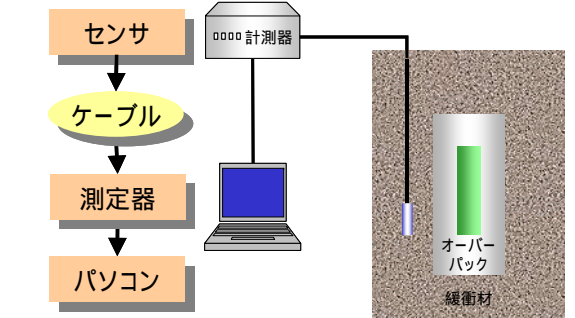
モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-13 情報取得技術調査表 (緩衝材、応力・ひずみ)

| 項目: 緩衝材の応力・ひずみ  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |
|---|--|---|
| 測定技術: 油圧式圧力計  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:   | ・土圧用プレッシャーセル(Glötzel 社)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、土圧の測定には広く用いられている。   |
| 緩衝材の応力(土圧)の測定   | 適用範囲: 定格容量: 0~20MPa, 許容動的過負荷 400%  |   |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性):   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |
| 油圧式圧力計<br>受圧部である薄い容器(円形もしくは角形)と、ダイヤフラムの入った平衡弁が高耐圧管を介して接続されている。受圧部の容器と高耐圧管、および平衡弁の空隙には油(灯油に潤滑油を添加したもの)が封入されており、円盤容器に加わった応力が油を通して平衡弁のダイヤフラムに伝達される。<br>平衡弁には、測定部側からの加圧管と戻り管が接続されており、受圧部側の流体とはダイヤフラムにより隔てられている。測定部側から圧力流体(空気もしくは油)により加圧し、圧力が平衡したときの測定機側の圧力を読み取る。<br>圧力を機械的に伝達して測定するため、電気的なノイズの影響を受けないが、圧力配管に温度勾配があると誤差が生じる。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):<br>・<br>主要材質:<br>・<br>機器イメージ図:<br><br>土圧用プレッシャーセル外観 | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的に圧力流体の補充が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、圧力流体の耐放射線性が課題となる。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による緩衝材の擾乱や、配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化: 受圧面を小さくすることはできるが、精度が低下する。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
|   |  | システム想定図:<br>  |
|   | その他仕様:   | 連絡先等:   |
|   | 受圧部最小 L70mm × W140mm × H4.5mm (この他数種の寸法あり)   | 新技術計画株式会社(Glötzel 社日本総代理店)<br>〒140-0013 東京都品川区南大井 6-1-12<br>電話:03-3766-3211(代), FAX:03-3765-9700  |
|   | 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |
|   |  | Glötzel 社 Web ページ <a href="http://www.gloetzel.de/">http://www.gloetzel.de/</a>   |

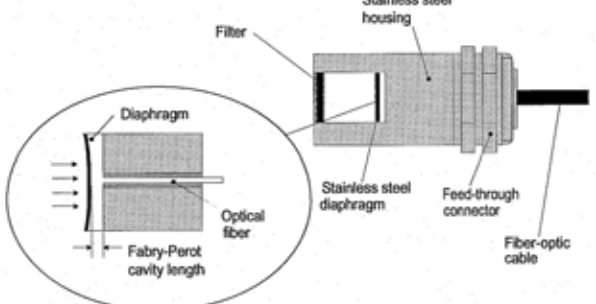

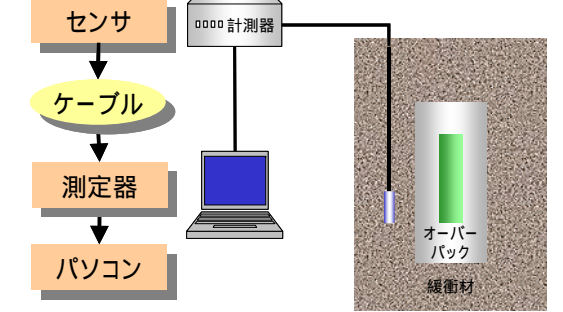
モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-14 情報取得技術調査表 (緩衝材、応力・ひずみ)

|  |   |  |        |
|--|---|--|--------|
| 項目: 緩衝材の応力・ひずみ   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |        |
| 測定技術: 弦振動式圧力計  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |        |
| 目的及び用途:  | ・ 土圧計(Geokon 社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。<br>SKB の Prototype Repository Project で採用された。  |        |
| 緩衝材の応力(土圧)の測定  | 適用範囲: 定格容量: 350kPa~3.5Mpa, 許容過負荷 150%   |  |        |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性):  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |        |
| <p>感受部である薄い円盤容器と、弦振動式圧力変換器(Model 4500H)が高耐圧管を介して接続されている。円盤容器と高耐圧管、および圧力変換器の空隙には不凍液が封入されており、円盤容器に加わった応力が不凍液を通して圧力変換器のダイアフラムに伝達される。</p> <p>圧力変換器では、ダイアフラムの変位の大きさを、ダイアフラムに接続している弦の基本周波数の変化に変換して測定する。伝達される信号は周波数であるため、伝送線の温度変化の影響を受けにくい。</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的に不凍液の補充が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、不凍液の耐放射線性が課題となる。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による緩衝材の擾乱の影響有り。無線化が望ましい。</li> <li>・ 小型化: 受圧面を小さくすることはできるが、精度が低下する。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |        |
|  | 主要材質:   |  |        |
|  | 機器イメージ図:  |  |        |
|  |   |  | センサ部外観 |
|  |  |  | センサ部寸法 |
| システム想定図:   |   |    |        |
| その他仕様:   | 連絡先等:   |  |        |
| 感受部: φ 230mm × H 6mm<br>圧力変換器: φ 25mm × L 140mm<br>伝送線は、3km 程度まで延長可能。  | 株式会社光電製作所(国内代理店)<br>〒146-0095 東京都目黒区目黒 4-6-33<br>電話:03-5724-5885, FAX:03-3719-2068  |  |        |
| 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |  |        |
|  | Geokon 社 Web ページ <a href="http://www.geokon.com/">http://www.geokon.com/</a>        |  |        |

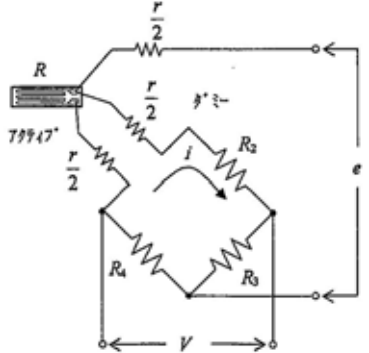
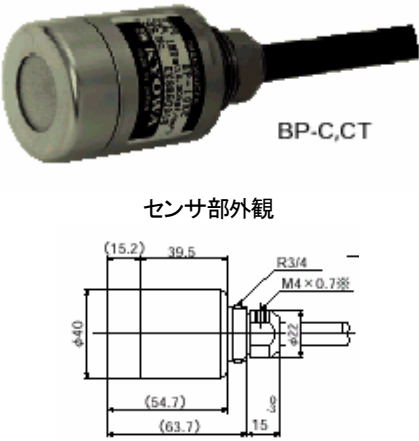
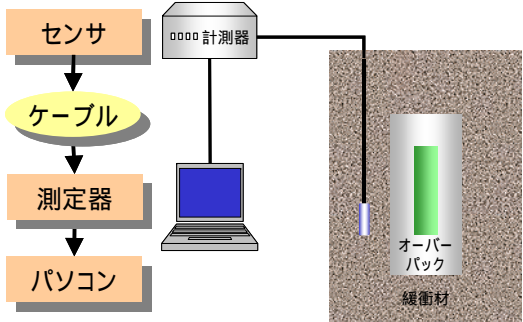
モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-15 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、応力・ひずみ )

|   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の応力・ひずみ   | <b>機器の具体例</b>  | 処分場環境への適用   |  |
| <b>測定技術:</b> ファブリ・ペロ型干渉計  | <b>機器名称(メーカー名):</b>  | 処分場環境での実績:  |  |
| <b>目的及び用途:</b>  | ・ 土圧計(Roctest 社), 光ファイバセンサシグナルコンディショナ(FISO 社)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |  |
| 緩衝材の応力(土圧)の測定   | <b>適用範囲:</b> 定格容量: 200kPa~2Mpa, 許容過負荷 200%   |   |  |
| <b>測定原理:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b>  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |  |
| 感受部である薄い円盤容器と、光ファイバ式圧力変換器が高耐圧管を介して接続されている。円盤容器と高耐圧管、および圧力変換器の空隙には油が封入されており、円盤容器に加わった応力が油を通して圧力変換器のダイヤフラムに伝達される。<br>圧力変換器は、感圧盤となるダイヤフラムがファブリ・ペロの空洞と一体となった干渉計を内蔵しており、ダイヤフラムの変位の大きさによって、ファブリ・ペロ型干渉計からの干渉波が変化することを利用して圧力を測定する。<br>伝達される信号は光であるため、様々なノイズの影響を受けにくい。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的に圧力流体の補充が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 原理的には影響を受けない。但し、圧力流体の耐放射線性が課題となる。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による緩衝材の擾乱の影響有り。無線化が望ましい。</li> <li>・ 小型化: 受圧面を小さくすると、精度が低下する。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |  |
|   | ・  |   |  |
|   | <b>主要材質:</b>   |   |  |
|   | ・ 本体: ステンレス  |   |  |
|   | <b>機器イメージ図:</b>  |   |  |
|  <p style="text-align: center;">ファブリ・ペロ型干渉計の原理を用いた圧力計の模式図</p>   |  <p style="text-align: center;">センサ部外観</p> | <b>システム想定図:</b>   |  |
|   |  |   |  |
|   |  | <b>その他仕様:</b>   | <b>連絡先等:</b>   |
|   |  | 感受部: φ230mm × H 9.9mm<br>シグナルコンディショナ: H400mm × W400mm × H210mm  | 株式会社東横エルメス (Roctest 社日本代理店)<br>〒146-0095 東京都千代田区神田淡路町 2-4-6 F&F ロイヤルビル 電話:03-3256-7788, FAX:03-3256-7798 |
|   |  | <b>概略費用:</b>  | <b>情報ソース/文献:</b>   |
|   | Roctest 社 Web ページ<br><a href="http://www.roctest.com/roctelemac/index.html">http://www.roctest.com/roctelemac/index.html</a> |   |  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-16 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水圧 )

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>項目:</b> 緩衝材の間隙水圧  | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>  |
| <b>測定技術:</b> ひずみゲージ式圧力変換器  | <b>機器名称(メーカー名):</b>   | <b>処分場環境での実績:</b>   |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・ 間隙水圧計(共和電業株式会社) BP-CT   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。本センサは、釜石における粘土充填・熱負荷試験で使用した。   |
| 緩衝材の間隙水圧(正圧)の測定  | <b>適用範囲:</b> 定格容量: 200k~2Mpa, 許容過負荷 150%  | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>  |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> 非直線性 ±1%RO  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的な校正が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、問題ないと予想される。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化: 現状で十分小型である。</li> <li>・ その他: ケーブル径がφ10mm 強と大きいため、引き回しが困難になる場合がある。</li> </ul> |
| ひずみゲージ式圧力変換器<br>感圧盤となるダイヤフラム上にひずみゲージを装着し、ダイヤフラムが間隙水圧により変形したときのブリッジ抵抗変化を電気信号として取り出し、ひずみを測定する。<br>1ゲージ3線法における、見かけひずみは次式で求められる。<br>$\varepsilon_r = \frac{1}{K_0} \frac{r}{R + \frac{r}{2}}$ ε <sub>r</sub> : 見かけひずみ<br>K <sub>0</sub> : 補正後のゲージ率<br>R : ゲージ抵抗<br>r : リード線の往復抵抗<br>α: リード線の抵抗温度係数 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b><br>・ 温度 0℃~60℃, その他記載なし<br><b>主要材質:</b><br>・ ステンレス(ボディ、フィルター)<br><b>機器イメージ図:</b>                           | <b>システム想定図:</b>   |
|  <p style="text-align: center;">1ゲージ3線法によるブリッジ抵抗の構成</p>  |  <p style="text-align: center;">BP-C,CT<br/>センサ部寸法</p> |   |
| ダイアフラムの受ける圧力とひずみには線形関係があるので、ひずみから圧力を求めることができる。   | <b>その他仕様:</b>   | <b>連絡先等:</b>  |
| センサ部: φ30mm×L80mm(ケーブル部除く)<br>小型熱電対を内蔵し、温度の計測が可能なものもある。  | 共和電業株式会社(本社・工場・計測エンジニアリング本部)<br>〒182-8520 東京都調布市調布ヶ丘 3-5-1<br>電話:0424-85-6623(計測), FAX:0424-86-1436                                       | 情報ソース/文献:<br>共和電業株式会社 Web ページ <a href="http://www.kyowa-ei.co.jp/">http://www.kyowa-ei.co.jp/</a>   |
| <b>概略費用:</b><br>間隙水圧計 @ 9万円  | 共和電業株式会社 Web ページ <a href="http://www.kyowa-ei.co.jp/">http://www.kyowa-ei.co.jp/</a>  |   |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-17 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水圧 )

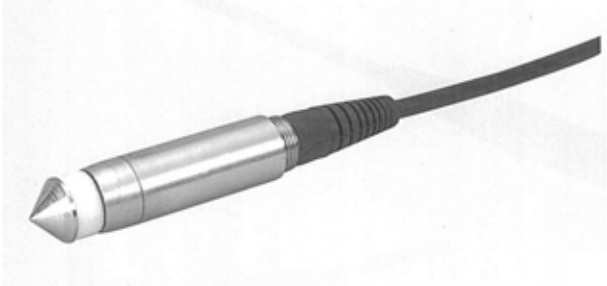
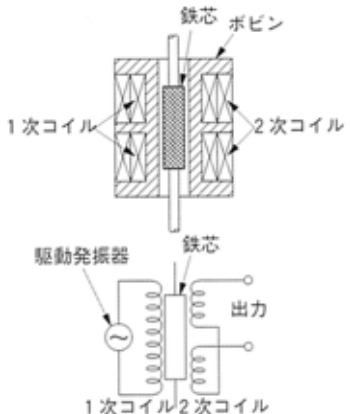
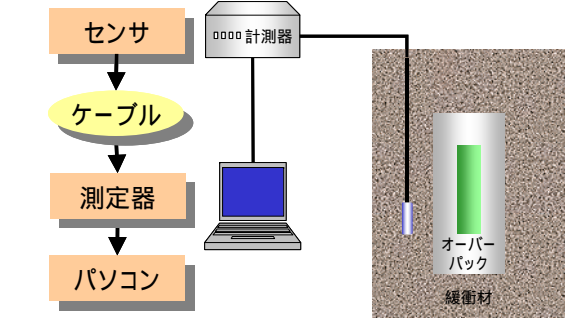
|  |  |  |
|--|--|--|
| 項目: 緩衝材の間隙水圧   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: 差動トランス型圧力変換器   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:  | ・ 間隙水圧計 EPP-5800 型(坂田電機株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 緩衝材の間隙水圧(正圧)の測定  | 適用範囲: 定格容量: 100k~1Mpa(測定レンジによる)  |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 非直線性 ±0.5%FS 以内   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| 差動トランス型圧力変換器<br>感圧盤となるダイヤフラムに差動トランスを接続し、間隙水圧によるダイヤフラムの変形量を電気信号として取り出し、ひずみを測定する。<br>差動トランスは、機械的な変位を相互インダクタンスの変化に変換する素子で、ボビンに巻かれたコイルと、非接触状態の鉄芯との相対変位が出力となる。<br>鉄芯がコイルの中心にあるときには、上下の 2 次コイルの出力電圧は等しく、位相は180度異なるので、出力電圧は0となる。鉄芯がコイルの中心からずれると、2 次コイルの 1 次コイルに対する相互インダクタンスは、片側では増加し、片側では減少するため、両者の誘起電圧の差に相当する電圧が出力される。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):<br>・温度 -30℃~80℃, その他記載なし                                   |  |
|  | 主要材質:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/定期的な校正が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、問題ないと予想される。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。ひずみゲージ式程ではないが、配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化: 余地はあると考えられる。</li> <li>・ その他: ケーブル径がφ10mm 強と大きいため、引き回しが困難になる場合がある。</li> </ul> |
|  | 機器イメージ図:   |  |
|  |  | システム想定図:   |
|  |  |    |
|  | その他仕様:   | 連絡先等:  |
|  | センサー本体: φ35mm×L151mm(ケーブル部除く)<br>重量: 1kg<br>小型熱電対を内蔵し、温度の計測が可能なものもある。              | 坂田電機株式会社(営業部)<br>〒180-0004 東京都武蔵野市吉祥寺本町 1-20-8<br>電話:0422-20-5522, FAX:0422-20-9444  |
|  | 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |
|  | 間隙水圧計 @ 9 万円   | 坂田電機株式会社 Web ページ <a href="http://www.sakatadenki.co.jp/">http://www.sakatadenki.co.jp/</a>   |

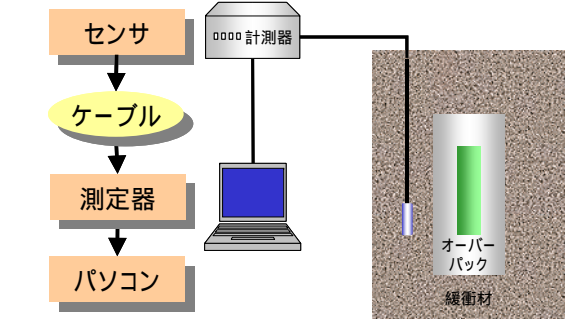
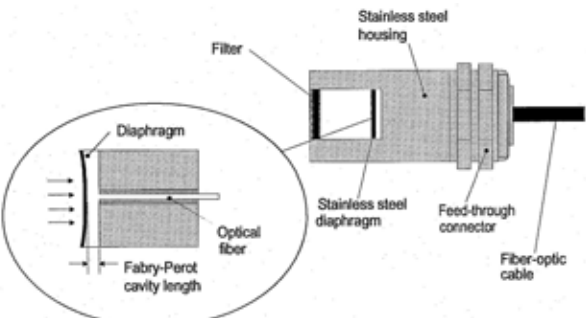

表 3-18 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水圧 )

|  |   |  |
|--|---|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の間隙水圧  | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>   |
| <b>測定技術:</b> 弦振動式圧力計   | <b>機器名称(メーカー名):</b>   | <b>処分場環境での実績:</b>  |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・ 水圧計 4500HD (Geokon 社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。同種のセンサーは、GRIMSELでのFEBEXプロジェクト、およびSKBのPrototype Repository Projectで使用されている。  |
| 緩衝材の間隙水圧(正圧)の測定  | <b>適用範囲:</b> 定格容量: 3.5~75bar, 許容過負荷 200%  |  |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> 精度 ±0.1%FS, 非直線性 0.5%FS 未満  | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>   |
| 弦振動式圧力計<br>受圧面であるダイアフラムと、本体の反対側との間に張力をかけて弦を張り、これをパルス信号により基本周波数 $f_0$ で振動させておく。ダイアフラムが圧力を受けて変形すると、弦の張力が変化し、これによって弦の基本周波数が変化する。したがって、弦の基本周波数を調べることにより、ダイアフラムに加わる圧力を知ることが可能になる。   | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>  |  |
|  | ・ -20°C~80°C  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 定格容量程度まで</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、耐性は高いと推測される。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: 余地はあると考えられる。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
|  | <b>主要材質:</b>  |  |
|  | ・ SUS 316   |  |
|  | <b>機器イメージ図:</b>   |  |
|  |  <p style="text-align: center;">センサ部外観</p>    |  |
| <p>弦の基本周波数 <math>f_0</math> は次式で定められる。</p> <p><math>l</math>: 弦の長さ<br/> <math>\rho</math>: 単位長さあたりの弦の質量<br/> <math>T</math>: 弦の張力<br/> <math>n = 1, 2, 3, \dots</math></p> $f_0 = \frac{1}{2l} \sqrt{\frac{T}{\rho}}$ <p>ひずみゲージ式に比べて、伝送線の抵抗の変化や、温度変化の影響を受けにくい。</p> |  <p style="text-align: center;">センサ部内部構造</p> |  |
|  | <b>システム想定図:</b>   |    |
| <b>その他仕様:</b>  | <b>連絡先等:</b>  |  |
| センサ部: $\phi 19\text{mm} \times \text{L}133\text{mm}$ (ケーブル部除く)   | 株式会社光電製作所(国内代理店)<br>〒146-0095 東京都目黒区目黒 4-6-33<br>電話: 03-5724-5885, FAX: 03-3719-2068  |  |
| <b>概略費用:</b>   | <b>情報ソース/文献:</b>  |  |
|  | Geokon 社 Web ページ <a href="http://www.geokon.com/">http://www.geokon.com/</a>  |  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考



表 3-19 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水圧 )

|  |  |  |
|--|--|--|
| 項目: 緩衝材の間隙水圧   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: ファブリ・ペロ型干渉計  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:  | ・水圧計(Roctest 社), 光ファイバセンサシグナルコンディショナ(FISO 社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 緩衝材の間隙水圧(正圧)の測定  | 適用範囲: 定格容量: 200kPa~7MPa 許容過負荷 150%   |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 精度±0.1%FS   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| <p>感圧盤となるダイアフラムが、ファブリ・ペロの空洞と一体となって干渉計を構成しており、ダイアフラムの変位の大きさによって、ファブリ・ペロ型干渉計からの干渉波が変化することを利用して測定する。</p> <p>伝達される信号は光であるため、様々なノイズの影響を受けにくい。</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  |
|  | ・記述なし  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 定格容量程度</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性:</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: 余地はあると考えられる。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
|  | 主要材質:  |  |
|  | ・ 本体: ステンレス  | <p>システム想定図:</p>    |
|  | 機器イメージ図:   |  |
|  <p>ファブリ・ペロ型干渉計の原理を用いた圧力計の模式図</p>                           |  <p>センサ部外観</p>   |  |
| その他仕様:   | 連絡先等:  |  |
| センサ部: φ33mm×L210mm(ケーブル部除く)<br>シグナルコンディショナ: H400mm×W400mm×H210mm   | 株式会社東横エルメス (Roctest 社日本代理店)<br>〒146-0095 東京都千代田区神田淡路町 2-4-6 F&F ロイヤルビル<br>電話: 03-3256-7788, FAX: 03-3256-7798  |  |
| 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |  |
| 間隙水圧計 @20 万円<br>32ch.シグナルコンディショナ @385 万円   | Roctest 社 Web ページ <a href="http://www.roctest.com/fr/roctelemac/">http://www.roctest.com/fr/roctelemac/</a><br>FISO Technologies 社 Web ページ <a href="http://www.fiso.com/">http://www.fiso.com/</a> |  |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-20 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、温度 )


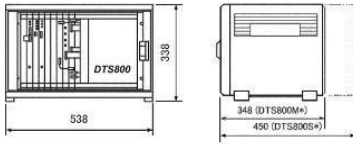
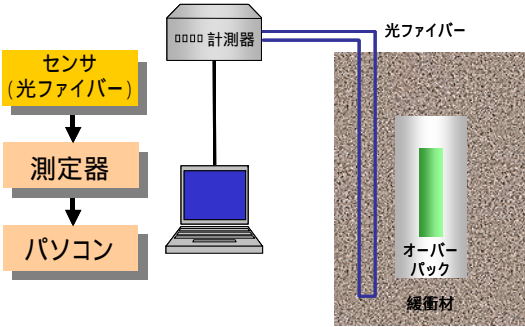
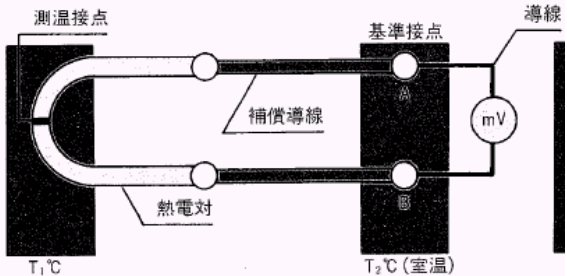
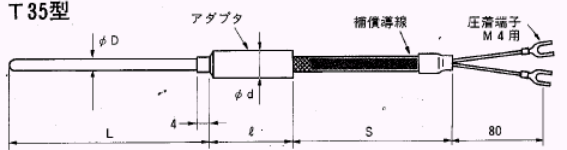
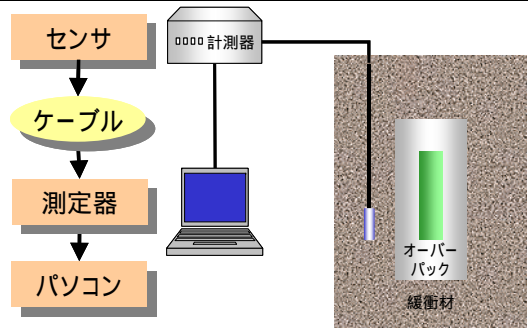
|   |   |   |
|---|---|---|
| 項目: 緩衝材の温度  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |
| 測定技術: FOTM  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:   | ・ DTS800M (Sensor Highway 社)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。同種のセンサが、SKB の  |
| 緩衝材の温度の測定   | 適用範囲: $-200^{\circ}\text{C}\sim+300^{\circ}\text{C}$ (使用する光ファイバに依存)                 | Prototype Repository Project で採用された。  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ , 距離分解能 0.25m                                  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |
| FOTM(Fiber Optic Temperature Measurement/Monitoring: フォトム)  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明  |
| FOTM は、光ファイバを利用した温度計測モニタリングシステムであり、その根幹技術は DTS (Distributed Temperature Sensor: 分布型温度センサ) にある。  | ・   | ・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要   |
| DTS は、光ファイバへ入射した光の散乱光のうち、温度の影響を受けて強度が変化するラマン散乱光を測定することにより、ファイバの特定の位置での温度を計測するものである(下図)。ラマン散乱光は、温度感受性の高い反ストークス側(短波長側)と、低いストークス側(長波長側)の両方から発生し、これらの強度比から温度が計測される。 | 主要材質:   | ・ 耐放射線性: 不明だが、一般にガラス素材は放射線影響を受けやすいと言われている。  |
| FOTMでは、ループ方式のDTSを用いることにより、光ファイバの減衰率を正確に求めることができ、高い精度での測定が可能である。   | ・ 4 芯 GI 光ファイバ, 外部被覆 SUS  | ・ 酸化還元性: 問題なし   |
| レーザーパルス   | 機器イメージ図:  | ・ データ伝送: 光ファイバ自体がセンサであり、配線長を長くできるため、無線化の必要性は低い。   |
| 光ファイバ   |   | ・ 小型化: センサ自体の小型化は困難。  |
| レーザーパルス   | DTS800M 外観  | ・ その他:  |
| 光ファイバ   |  | システム想定図:  |
| レーザーパルス   | 寸法  |               |
| レーザーパルス   | DTS800M 外観  | センサ (光ファイバ)   |
| レーザーパルス   | 寸法  | 測定器   |
| レーザーパルス   | 寸法  | パソコン  |
| レーザーパルス   | 寸法  | オーバーバック<br>緩衝材  |
| レーザーパルス   | 寸法  | その他の仕様:   |
| レーザーパルス   | 寸法  | 光ファイバ部分の寸法は任意に加工可能  |
| レーザーパルス   | 寸法  | 連絡先等:   |
| レーザーパルス   | 寸法  | 株式会社ダイヤコンサルタント(本社)<br>〒101-0032 東京都千代田区岩本町1-7-4 東急岩本町ビル<br>電話:03-5835-1711 FAX:03-5835-1712       |
| レーザーパルス   | 寸法  | 情報ソース/文献:   |
| レーザーパルス   | 寸法  | 株式会社ダイヤコンサルタント Web ページ<br><a href="http://www.diaconsult.co.jp/">http://www.diaconsult.co.jp/</a> |
| レーザーパルス   | 寸法  | 株式会社オーシーシー Web ページ <a href="http://www.occ-dts.com/">http://www.occ-dts.com/</a>                  |
| レーザーパルス   | 寸法  | 概略費用:   |
| レーザーパルス   | 寸法  | SUS 被覆光ファイバ 1000 円/m, DTS 装置 1500 万円  |
| レーザーパルス   | 寸法  | DTS の測定原理   |
| レーザーパルス   | 寸法  | 散乱光強度   |
| レーザーパルス   | 寸法  | 反ストークス光   |
| レーザーパルス   | 寸法  | ストークス光  |
| レーザーパルス   | 寸法  | ラマン散乱光  |
| レーザーパルス   | 寸法  | 波長  |

表 3-21 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）

|   |  |   |
|---|--|---|
| <b>項目:</b> 緩衝材の温度   | <b>機器の具体例</b>  | <b>処分場環境への適用</b>  |
| <b>測定技術:</b> 抵抗測温体  | <b>機器名称(メーカー名):</b>  | <b>処分場環境での実績:</b>   |
| <b>目的及び用途:</b>  | ・ シース測温抵抗体(助川電気工業株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、精度の高いものは標準温度計として広く用いられている。  |
| 緩衝材の温度の測定   | <b>適用範囲:</b> 0°C~+350°C程度。   |   |
| <b>測定原理:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b> A級の場合、 $\pm(0.15 + 0.002 T )$  | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>  |
| <b>抵抗測温体</b><br>金属の温度が上がると、結晶格子の熱振動が活発となり、電流の担い手である自由電子が散乱されるため、電気抵抗値が増加する。測温抵抗体は、この現象を利用して温度を測るものである。<br>測温体の電気抵抗は、ブリッジ抵抗回路(下図)を構成することにより測定する。測温抵抗体に最も適した材料は白金であり、これが一般に用いられている。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 一般に、熱電対よりも耐圧性に劣るとされている。</li> <li>・ 耐久性/保守: 一般に、耐久性に優れるとされており、保守も少なくて済む。</li> <li>・ 耐放射線性: センサ部の耐放射線性は問題ない。付帯部品のエポキシ樹脂の耐放射線性は、一般に低い。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: 現状で十分小型である。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
|   | <b>主要材質:</b>   |   |
|   | ・ シース(鞘): SUS, MgO ・アダプタ:エポキシ樹脂  |   |
|   | <b>機器イメージ図:</b>  |   |
|   |  | <b>システム想定図:</b>   |
| 1ゲージ3線法によるブリッジ抵抗の構成   | シース測温抵抗体センサ部概要   |   |
| <b>その他仕様:</b>   | <b>連絡先等:</b>   | 助川電気工業株式会社(本社・高萩工場)<br>〒318-0004 茨城県高萩市上手綱 3333-23<br>電話:0293-23-6411, FAX:0293-22-2909   |
| <b>概略費用:</b>  | <b>情報ソース/文献:</b>   |   |
| シース部分 150mm, 補償導線 30m の場合、@10 万円程度  | 助川電気工業(株)Web ページ <a href="http://www.sukegawadenki.co.jp/">http://www.sukegawadenki.co.jp/</a> |   |

モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-22 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）


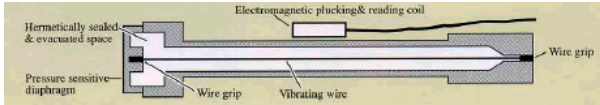
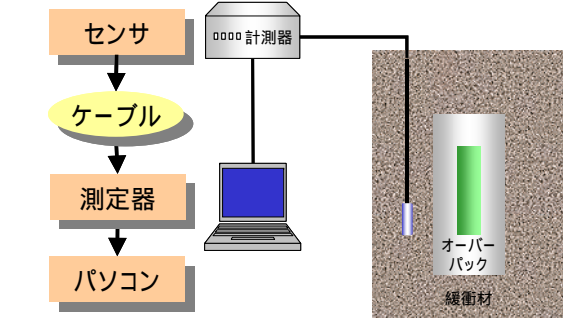
|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>項目:</b> 緩衝材の温度  | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>  |
| <b>測定技術:</b> 熱電対   | <b>機器名称(メーカー名):</b>   | <b>処分場環境での実績:</b>   |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・ シース熱電対(助川電気工業株式会社)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、各国の処分場の研究プロジェクトにおいて、温度測定用に広く用いられている。  |
| <b>緩衝材の温度の測定</b>   | <b>適用範囲:</b> T(銅-コンスタンタン)の場合 $-200^{\circ}\text{C}\sim+300^{\circ}\text{C}$   | 温度測定用に広く用いられている。  |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> $\pm 1$ または測定温度の $\pm 0.75\%$   | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>  |
| 熱電対(ゼーベック効果を利用)<br>ゼーベック効果とは、2種類の異なる金属で閉回路をつくり、その両接続点間に温度差を与えると、それぞれの金属の仕事関数の差によって起電力が発生する現象である。熱電対はこれを利用して、基準点と測定点との温度差を測定する。<br>使用する金属の組み合わせにより、様々な測定温度範囲、使用可能雰囲気用の熱電対がある。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b><br>・ 適用温度範囲内、その他の項目については記載なし。<br><b>主要材質:</b><br>・ シース(鞘): SUS, アダプタ: エポキシ樹脂                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明であるが問題ないと考えられる。</li> <li>・ 耐久性/保守: 銅-コンスタンタンの場合、常温以下で約10,000時間/寿命により交換する必要がある</li> <li>・ 耐放射線性: センサ部の耐放射線性は問題ない。付帯部品のエポキシ樹脂の耐放射線性は、一般に低い。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: 現状で十分小型である。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |
|  <p style="text-align: center;">熱電対の模式図</p>   |  <p style="text-align: center;">T 35型<br/>シース熱電対センサー部概要</p> | <b>システム想定図:</b><br>   |
| <b>その他仕様:</b>  | <b>連絡先等:</b>  | 助川電気工業株式会社(本社・高萩工場)<br>〒318-0004 茨城県高萩市上手綱 3333-23<br>電話: 0293-23-6411, FAX: 0293-22-2909   |
| <b>概略費用:</b>   | <b>情報ソース/文献:</b>  | 助川電気工業(株) Web ページ <a href="http://www.sukegawadenki.co.jp/">http://www.sukegawadenki.co.jp/</a>   |
| シース部分 6.0m, 補償導線 30m の場合、@ 3 万円  | 助川電気工業(株) Web ページ <a href="http://www.sukegawadenki.co.jp/">http://www.sukegawadenki.co.jp/</a>   |   |

□ モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-23 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）

|   |   |   |                 |
|---|---|---|-----------------|
| <b>項目:</b> 緩衝材の温度   | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>  |                 |
| <b>測定技術:</b> サーミスタ(NTC サーミスタ)   | <b>機器名称(メーカー名):</b>   | <b>処分場環境での実績:</b>   |                 |
| <b>目的及び用途:</b>  | ・ B 型標準センサ(株式会社タカラ・サーミスタ)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はないが、各種産業で温度測定用に広く用いられている。   |                 |
| <b>緩衝材の温度の測定</b>  | <b>適用範囲:</b> -50℃～+200℃(合成抵抗型の場合)                                   |   |                 |
| <b>測定原理:</b>  | <b>適用精度(再現性):</b> JIS 0.3 級の場合、-50 ~+100 で±0.3 , +100 ~+200 で、±0.3% | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>  |                 |
| サーミスタ(NTC サーミスタ, 負特性サーミスタ)<br>サーミスタは Mn、Ni、Co、Fe、Cr 等の遷移金属酸化物の焼成体であり、温度変化に対して敏感に抵抗値が変化する抵抗体である。測温抵抗体が導体であるのに対し、サーミスタは半導体であり、温度が上昇すると電気抵抗が大きく低下する特徴を持つ(NTC サーミスタの場合)。<br>サーミスタは、様々な形状のものが入手可能であること、熱電対や白金測温抵抗体と比較して極めて安価であること、また温度に対する感度が高いといった利点があることから、温度検出用素子として広く用いられている。また、補償導線や2～3線式の結線が不要で、オペアンプ・レベルの出力を直接取り出せる利点がある。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明であるが問題ないと考えられる。</li> <li>・ 耐久性/保守:</li> <li>・ 耐放射線性: 半導体であるため、影響を受けやすい。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化: 現状で十分小型である。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |                 |
|   | ・ 適用温度範囲内、その他の項目については記載なし。  |   | <b>システム想定図:</b> |
|   | <b>主要材質:</b>  |   |                 |
|   | ・ 保護管、およびグリップ: SUS  |   |                 |
|   | <b>機器イメージ図:</b>   |   |                 |
| <p style="text-align: center;">B 型標準センサ BXA-46 図面</p>   |   |   |                 |
| <b>その他仕様:</b>   | <b>連絡先等:</b>  | 株式会社タカラ・サーミスタ<br>〒222-0033 横浜市港北区新横浜 1-28-8<br>電話:045-477-2611, FAX:045-476-3153  |                 |
| <b>概略費用:</b>  | @数千円～1万円程度  | <b>情報ソース/文献:</b>  |                 |
| @数千円～1万円程度  |   | (株)タカラ・サーミスタ Web ページ<br><a href="http://www.techno7.co.jp/tt/index.htm">http://www.techno7.co.jp/tt/index.htm</a>   |                 |

表 3-24 情報取得技術調査表（緩衝材、温度）

| 項目：緩衝材の温度   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
|---|---|--|
| 測定技術：弦振動式温度計  | 機器名称(メーカー名)：  | 処分場環境での実績：   |
| 目的及び用途：   | ・ 温度計 4700 (Geokon 社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。<br>SKB の Prototype Repository Project で採用された。  |
| 緩衝材の温度の測定   | 適用範囲：-20℃～80℃(オプションで 0℃～200℃)   |  |
| 測定原理：   | 適用精度(再現性)：精度 ±0.5℃  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題：  |
| 弦振動式温度計<br>本体内の両端に張力をかけて弦を張り、これをパルス信号により基本周波数 $f_0$ で振動させておく。本体が温度変化により膨張変形すると、弦の張力が変化し、これによって弦の基本周波数が変化する。したがって、弦の基本周波数を調べることで、本体の温度を知ることが可能になる。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等)：<br>・ -20℃～80℃(オプションで 0℃～200℃)，その他記述なし   |  |
| 弦の基本周波数 $f_0$ は次式で定められる。<br>$l$ : 弦の長さ<br>$\rho$ : 単位長さあたりの弦の質量<br>$T$ : 弦の張力<br>$n = 1, 2, 3, \dots$   | 主要材質：<br>・ SUS 316  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧)：不明だが、耐圧性は高いと推測される。</li> <li>・ 耐久性/保守：良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性：不明だが、耐性は高いと推測される。</li> <li>・ 酸化還元性：問題なし</li> <li>・ データ伝送：配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線技術が必要。</li> <li>・ 小型化：現状で十分小型である</li> <li>・ その他：</li> </ul> |
| この方式には、伝送線の抵抗の変化の影響を受けにくく、測定値が長期にわたり安定であるという利点がある。  | 機器イメージ図：<br><br>センサ部外観<br><br>センサ部内部構造 |  |
|   | システム想定図：<br>  |  |
| その他仕様：  | 連絡先等：   |  |
| 温度平衡に要する最大時間：15分<br>センサ部：φ19mm×L127mm(ケーブル部除く)<br>弦振動式の間隙水圧計に組み込むことが可能。   | 株式会社光電製作所(国内代理店)<br>〒146-0095 東京都目黒区目黒 4-6-33<br>電話：03-5724-5885, FAX:03-3719-2068  |  |
| 概略費用：   | 情報ソース/文献：   |  |
|   | Geokon 社 Web ページ <a href="http://www.geokon.com/">http://www.geokon.com/</a>  |  |

□ モニタリング機器技術高度化調査(その2)地層処分におけるモニタリング関連技術の開発(RWMC, 2002)<sup>3-1)</sup>を参考

表 3-25 情報取得技術調査表（緩衝材、変位）

|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| <b>項目:</b> 緩衝材の変位  | <b>機器の具体例</b>   | <b>処分場環境への適用</b>  |  |
| <b>測定技術:</b> ひずみゲージ式変位計  | <b>機器名称(メーカー名):</b>   | <b>処分場環境での実績:</b>   |  |
| <b>目的及び用途:</b>   | ・ 沈下計(株式会社東京測器研究所)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |  |
| 定置後の緩衝材の沈下量の測定   | <b>適用範囲:</b> 容量 100mm   |   |  |
| <b>測定原理:</b>   | <b>適用精度(再現性):</b> 非直線性±1%RO   | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</b>  |  |
| ひずみゲージ式変位計<br>ボーリング孔内の目的の位置にアンカを取付け、アンカと地表面の変位をひずみゲージ式変位計を用いて測定することにより、地盤内の各層の沈下量を測定する。<br>ひずみゲージから沈下量(変位量)への変換方法には、カンチレバー型、摺動抵抗線型、静電容量型の3種類がある。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</b>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 良好</li> <li>・ 耐久性/保守: 良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明だが、ケーブルカバーのビニールは、耐性が低い可能性がある。</li> <li>・ 酸化還元性: 問題なし</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱の影響は小さいが、配線長による精度への影響有り。無線化が望ましい。</li> <li>・ 小型化: 比較的大きい装置であり、小型化が望ましい。</li> <li>・ その他:</li> </ul> |  |
|  | --10°C~+60°C(結露しないこと)、その他記載なし   |   | <b>システム想定図:</b>  |
|  | <b>主要材質:</b>  |   |  |
|  | ・ 記載なし  |   |  |
| <b>機器イメージ図:</b>  |   |   |  |
|    |           | 沈下計外観   |  |
| <b>層別沈下計の設置例</b>   | <b>その他仕様:</b>   | <b>連絡先等:</b>  |  |
| センサ部: Φ220 mm×L 190mm(ケーブル除く)<br>質量: 5kg   | 株式会社東京測器研究所<br>〒140-8560 東京都品川区南大井 6-8-2<br>電話:03-3763-5611, FAX:03-3763-6128               |   |  |
| <b>概略費用:</b>   | <b>情報ソース/文献:</b>  |   |  |
|  | 株式会社東京測器研究所 Web ページ <a href="http://www.tokyosokki.co.jp/">http://www.tokyosokki.co.jp/</a> |   |  |

表 3-26 情報取得技術調査表（緩衝材、変位）

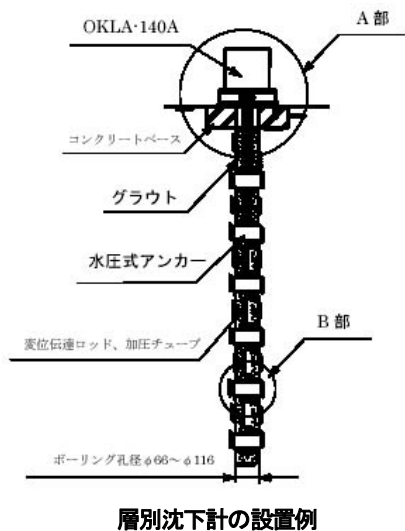

|  |  |   |
|--|--|---|
| <b>項目：緩衝材の変位</b>   | <b>機器の具体例</b>  | <b>処分場環境への適用</b>  |
| <b>測定技術：FBG 変位計</b>  | <b>機器名称(メーカー名)：</b>  | <b>処分場環境での実績：</b>   |
| <b>目的及び用途：</b>   | ・ FBG 沈下計(NTT アドバンステクノロジー株式会社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |
| 定置後の緩衝材の沈下量の測定   | <b>適用範囲：容量 140mm</b>   |   |
| <b>測定原理：</b>   | <b>適用精度(再現性)：非直線性±2%RO</b>   | <b>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題：</b>  |
| FBG 変位計<br>ボーリング孔内の目的の位置にアンカを取付け、アンカと地表面の変位を FBG 変位計を用いて測定することにより、地盤内の各層の沈下量を測定する。 | <b>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等)：</b>   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧)：良好</li> <li>・ 耐久性/保守：良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性：不明だが、一般に一般にガラス素材は放射線影響を受けやすいと言われている。</li> <li>・ 酸化還元性：問題なし</li> <li>・ データ伝送：配線による擾乱、配線長による精度への影響ともに小さい。</li> <li>・ 小型化：緩衝材への設置体積が大きいため、小型化が望ましい。</li> <li>・ その他：</li> </ul> |
|  | <b>記載なし</b>  |   |
|  | <b>主要材質：</b>   |   |
|  | ・ 記載なし   |   |
|  | <b>機器イメージ図：</b>  |   |
|  |                             | <b>システム想定図：</b>   |
| <b>その他仕様：</b>  | <b>連絡先等：</b>   |   |
| センサ部：Φ320 mm×L 370mm(ケーブル除く)<br>質量：20 kg   | NTT アドバンステクノロジー株式会社 先端技術事業本部<br>〒181-0013 東京都三鷹市下連雀 3-35-1 ネオシティ三鷹ビル<br>電話：0422-47-8029                        |   |
| <b>概略費用：</b>   | <b>情報ソース/文献：</b>   |   |
|  | NTT アドバンステクノロジー株式会社 Web ページ<br><a href="http://www.keytech.ntt-at.co.jp/">http://www.keytech.ntt-at.co.jp/</a> |   |



表 3-27 情報取得技術調査表（緩衝材、密度）

|  |  |  |
|--|--|--|
| 項目：緩衝材の密度  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術：RI法(γ線)   | 機器名称(メーカー名)：   | 処分場環境での実績：   |
| 目的及び用途：<br>定置後の緩衝材の密度の計測   | ・ RI水分・密度計 FT-102 (株式会社フィールドテック)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 測定原理：  | 適用範囲：湿潤密度 1.1～2.5 g/cm <sup>3</sup><br>適用精度(再現性)：記述なし  |  |
| <p>RI法による土の湿潤密度の計測</p> <p>RI法は、放射性同位元素を利用して、土の湿潤密度および含水量を測定する方法である。このうち、湿潤密度の測定には、コンプトン効果によるγ線の散乱を利用する。</p> <p>X線、γ線のように波長が非常に短い電磁波は、粒子としての性質を強く示す。X線やγ線は、物質に入射すると、原子の軌道電子と衝突してそれをはね飛ばし、はね飛ばした分のエネルギーを失って(波長が長くなって)散乱する。これをコンプトン効果と呼ぶ。</p> <p>RI法では、下図に示すような装置で土中を通過、もしくは散乱してきたγ線を計測する。γ線は、土中を通過する際にコンプトン効果によって散乱し、散乱が大きいほど計測されるγ線は少なくなる。γ線の散乱は、土の湿潤密度が大きいほど大きくなるため、γ線の計測数と土の湿潤密度を関連付けることが可能になる。</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等)：  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題：  |
|  | ・ 記載なし   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧)：不明</li> <li>・ 耐久性/保守：良好/半減期ごとに線源を交換</li> <li>・ 耐放射線性：バックグラウンドのγ線密度が高いと、測定精度に影響が出る。</li> <li>・ 酸化還元性：問題なし</li> <li>・ データ伝送：配線による擾乱の影響あり。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化：局所測定専用とすれば、小型化は容易と考えられる</li> <li>・ その他：</li> </ul> |
|  | 主要材質：  |  |
|  | ・ 本体：鉄、プラスチック  |  |
|  | 機器イメージ図：   |  |
|  <p>RI水分計・密度計外観</p>  | システム想定図：   |    |
| その他仕様：   | 連絡先等：  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 計器寸法：D365mm×W310mm×H160mm</li> <li>・ 線源埋設深度：200mm、線源の半減期：5.2年</li> <li>・ 現場での測定時間：1分</li> </ul>   | 株式会社フィールドテック<br>〒578-0984 大阪市東大阪市菱江3-1-19<br>電話：0729-65-4188 FAX：0729-65-4530  |  |
| 概略費用：  | 情報ソース/文献：  |  |
| 一式 320万円   | (株)フィールドテック <a href="http://www.fieldtech.co.jp/p/index.html">http://www.fieldtech.co.jp/p/index.html</a><br>地盤工学会(編)：地盤調査法、pp.420～432 |  |

表 3-28 情報取得技術調査表（緩衝材、密度）



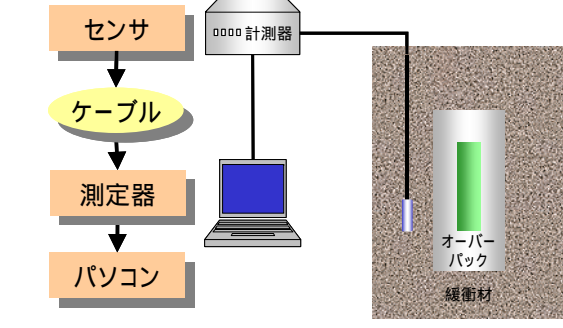
| 項目：緩衝材の密度   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |  |
|---|---|--|--|
| 測定技術：Purdue TDR Method  | 機器名称(メーカー名)：  | 処分場環境での実績：   |  |
| 目的及び用途：<br>定置後の緩衝材の密度の計測  | ・ TDR 100 (Campbell Scientific 社)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 測定原理：   | 適用範囲：水分飽和度 0%~100%  |  |  |
| Purdue TDR Method による乾燥密度の計測<br>TDR (Time Domain Reflectometry: 時間領域反射法) は、測定対象物にプローブを挿入して電磁波パルスを発信し、パルスがプローブを往復する時間から、電磁波の伝播速度を測定することにより比誘電率を求める方法である。<br><br>$\epsilon_r = \left( \frac{c_0 t}{2l} \right)^2$ $\rho_{d, field} = \frac{\sqrt{K_{a, field}}}{\sqrt{K_{a, mold}}} \frac{\rho_{t, mold}}{1 + w_{field}}$ また、TDR の入出力信号の比から、測定対象物の電気伝導度を知ることも可能である。<br><br>Purdue TDR Method は、原位置での TDR 計測結果と、原位置から採取した土壌をモールドに入れて測定した結果から、Siddiqui-Drnevich 式(下記)に基づいて原位置での乾燥密度を求める。<br><br>ここに、 $\rho_{d, field}$ は原位置の乾燥密度、 $\sqrt{K_{a, field}}$ は、原位置での比誘電率値、 $\sqrt{K_{a, mold}}$ は、モールド内で測定した比誘電率値、 $\rho_{d, mold}$ はモールド内の試料の湿潤密度、 $w_{field}$ は、原位置での含水比である。 | 適用精度(再現性)：精度については記述なし<br>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等)：<br>・ 温度範囲：-25°C~+50°C, その他記載なし<br>主要材質：<br>・ プローブ、バラン：ステンレス<br>機器イメージ図：<br><br><b>原位置 TDR プロブ (プローブ頭部とロッド)</b><br><br><b>計測用ソフトウェア PMTDR-SM</b> | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題：<br><ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧)：不明</li> <li>・ 耐久性/保守：良好/基本的に不要</li> <li>・ 耐放射線性：問題ないと予想される</li> <li>・ 酸化還元性：問題なし</li> <li>・ データ伝送：配線による擾乱の影響あり。配線長による精度への影響有り。無線化が必要。</li> <li>・ 小型化：測定部加工可能であるが、小型化には限界あり</li> <li>・ その他：膨潤性試料の計測限界について、検討が必要</li> </ul> |  |
|   |   |  | システム想定図：<br>                       |
|   |   | その他仕様：   | 連絡先等：  |
|   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ プロブ直径 9.5mm, 長さ 229mm, プロブ間隔 45mm</li> <li>・ 同軸ケーブル RG8</li> </ul>  | Dr. Vincent P. Drnevich<br>School of Civil Engr., 1284 Civil Eng. Bldg., Purdue University<br>West Lafayette, IN 47907 |
|   |   | 概略費用：  | 情報ソース/文献：  |
|   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ システム一式 100 万円程度(試作品)</li> </ul>   | Dr. Drnevich ページ <a href="http://bridge.ecn.purdue.edu/~drnevich/">http://bridge.ecn.purdue.edu/~drnevich/</a>         |

表 3-29 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、pH )



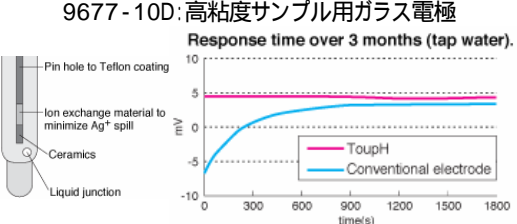
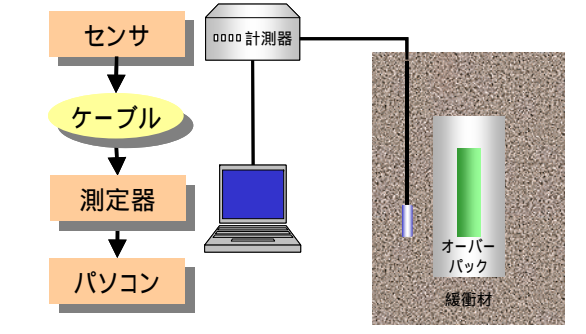
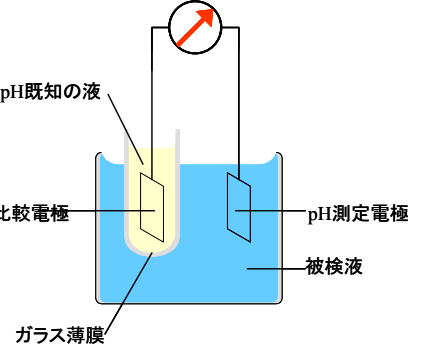
|  |   |   |
|--|---|---|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |
| 測定技術: ガラス電極式(一般計測用)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:  | ・ pH 複合ガラス電極(HORIBA)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測   | 適用範囲: pH 0-14   |   |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 記載なし   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |
| 電極式 pH センサの原理は、膜電位 $\Delta E$ が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。<br>$\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$<br>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。<br>ガラス電極式は、水溶液の pH に比例した起電力を発生するガラス電極と電位測定のための基準電位を与える比較電極を一对にして試料水に浸した場合に、両電極間に発生する pH に対応する起電力を出力する pH 電極と、目盛り付けするための機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせる測定方法である。比較電極には内部液(主に KCl 溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |   |
|  | 主要材質:   | ・ 計測温度範囲: 0-80(°C)(9611-10D)  |
| 機器イメージ図:   | 主要部分: ガラス(液絡部: セラミック)   | システム想定図:  |
| <br>9611-10D: pH 防水厚膜ガラス電極   | 機器イメージ図:  |   |
| <br>9677-10D: 高粘度サンプル用ガラス電極  | <br>Response time over 3 months (tap water).<br>測定部及び3ヶ月間の水道水応答  |             |
|    | その他仕様:  |   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 寸法: センサ全長 150mm; 直径 12mm</li> <li>・ 内液部: KCl</li> <li>・ 圧膜ガラス採用(特許 3321572 号)</li> <li>・ 9677-10D は液絡部面積が大きいため①高粘土、②高塩濃度、③低イオン強度サンプルに適している。</li> </ul> | 株式会社堀場製作所<br>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,<br>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648 |
|  | 概略費用:   | 情報ソース/文献:   |
|  | ・ ¥28,000(9611-10D)/¥45,000(9677-10D)   | 株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a>                |

表 3-30 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、pH )


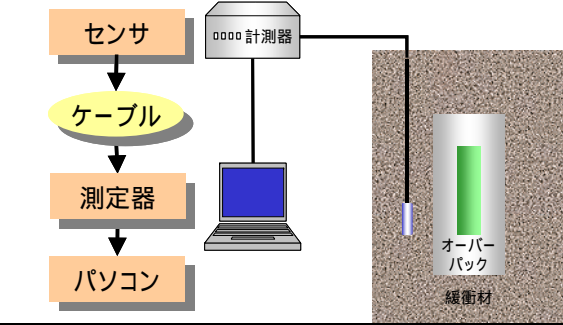
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: ガラス電極式(専用計測)   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:  | (1) 化学プロセス用 pH 電極(DPA405) (YOKOGAWA)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測   | (2) 発酵用 pH 電極(Y/465) (YOKOGAWA)  |  |  |
| 測定原理:  | 適用範囲: pH 0-14(1)/pH 0~12(2)  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |  |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>ガラス電極式は、水溶液の pH に比例した起電力を発生するガラス電極と電位測定のための基準電位を与える比較電極を一对にして試料水に浸した場合に、両電極間に発生する pH に対応する起電力を出力する pH 電極と、目盛り付けするための機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせる測定する方法である。比較電極には内部液(主に KCl 溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p> | 適用精度(再現性): 記載なし(1)/分解能 0.01pH(2)   |  |  |
|  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>計測温度範囲: 0-100(°C)(1)/0~130(°C)(2)</li> <li>計測圧力範囲: 大気圧~250kPa(1)/記載なし(2)</li> </ul> |
|  | 主要材質:  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>主要部分: ガラス</li> </ul>  |
|  | 機器イメージ図:   |  <p>DPA405: 化学プロセス用 pH 電極</p> <p>Y/465: 発酵用 pH 電極</p> |  |
|  | システム想定図:   |    |  |
|  | その他仕様:   | 連絡先等:  |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>内液部: 高粘度ゲル(1)/記載なし(2)</li> </ul> <p>DPA405(1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>高アルカリ対応のガラス感應膜を使用</li> <li>有機溶媒、ソーダ電解、硫化物を含む溶液の pH 測定可能</li> </ul> <p>Y/465(2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>接液部材質 SUS316L 相当フッ素ゴム</li> </ul> | <p>横河電機株式会社</p> <p>〒108-8750, 東京都武蔵野市中町2-9-32</p> <p>TEL: (0422)52-5530/FAX: (0422) 55-6492</p>  |  |
|  | 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |  |
|  | 記載なし   | 横河電機株式会社ホームページ: <a href="http://www.yokogawa.co.jp">http://www.yokogawa.co.jp</a>  |  |

表 3-31 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、pH )

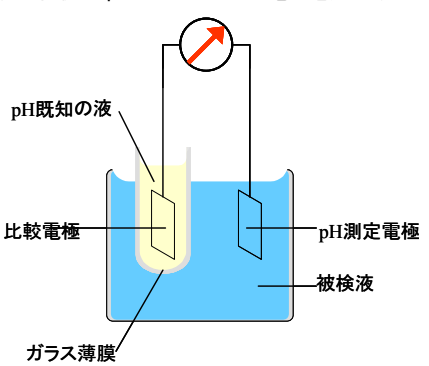
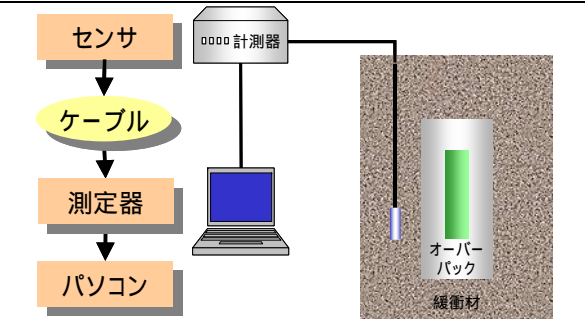
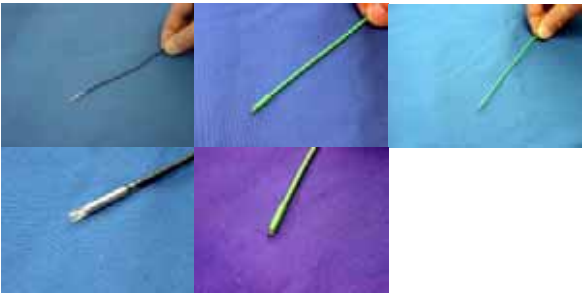
|   |   |   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|---|---|---|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| 測定技術: ガラス電極式(専用計測)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| 目的及び用途:   | <ul style="list-style-type: none"> <li>CM-101: 医療用 2.4φ 微小 pH ガラス電極(1)</li> <li>CM-151: 医療用 2.8φ 微小 pH ガラス電極(2)</li> <li>CM-181: 医療用 3.0φ 微小 pH ガラス電極(3)</li> </ul>                                       | 本技術は医療用であり、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測  | (ケミカル機器株式会社)  |   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| 測定原理:   | 適用範囲: pH0-12(1-3)   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nernst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ | 適用精度(再現性): 記載なし(1-3)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 影響を受けない</li> <li>データ伝送: 小型ではあるが、配線による擾乱影響あり。無線技術必要。</li> </ul> |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>ガラス電極式は、水溶液の pH に比例した起電力を発生するガラス電極と電位測定のための基準電位を与える比較電極を一对にして試料水に浸した場合に、両電極間に発生する pH に対応する起電力を出力する pH 電極と、目盛り付けするための機能をもつ pH 指示変換器とを組み合わせる方法である。比較電極には内部液(主に KCl 溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p>        | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | <ul style="list-style-type: none"> <li>小型化: 直径数 mm 程度である。</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul>  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | 主要材質:   | システム想定図:  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | 機器イメージ図:  |   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>主要部分: ガラス</li> </ul>   |   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   |   |   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | <table border="0"> <tr> <td>CM-101</td> <td>CM-151</td> <td>CM-181</td> </tr> <tr> <td>2.4 微小</td> <td>2.8 微小</td> <td>3.0 微小</td> </tr> <tr> <td>ガラス電極</td> <td>ガラス電極</td> <td>ガラス電極</td> </tr> </table> | CM-101  | CM-151 | CM-181 | 2.4 微小 | 2.8 微小 | 3.0 微小 | ガラス電極 | ガラス電極 | ガラス電極 |  |
| CM-101  | CM-151  | CM-181  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| 2.4 微小  | 2.8 微小  | 3.0 微小  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
| ガラス電極   | ガラス電極   | ガラス電極   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | その他仕様:  | 連絡先等:   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>最大直径: 2.4φ(1)/2.8φ(2)/3.0φ(3)</li> <li>ケーブル長: 3m(テフロン)(1,3)/3m(ポリプロピレン)(2)</li> <li>特徴: 内視鏡挿入可(1)/ステンレス被覆(2)</li> <li>比較電極必要</li> </ul>                            | ケミカル機器株式会社  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | 概略費用:   | 〒192-0045 東京都八王子市大和田町 5-31-24   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | 電極: ¥85,000(1)/¥85,000(2)/¥85,000(3)  | TEL:0426-48-5350(代)/FAX:0426-48-5332  |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   | 測定器: ¥220,000(デジタル pH 計)  | 情報ソース/文献:   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   |   | ケミカル機器株式会社ホームページ:   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |
|   |   | <a href="http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html">http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html</a>   |        |        |        |        |        |       |       |       |  |

表 3-32 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、pH )


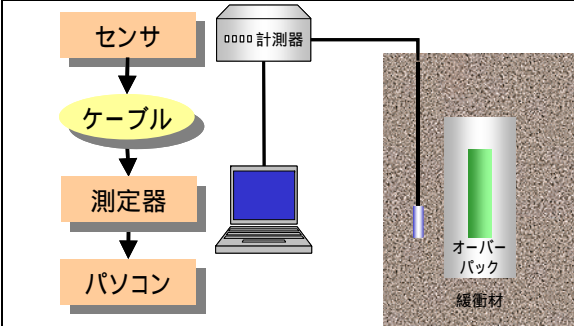
|   |   |  |
|---|---|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: 金属酸化膜電極式(一般計測用)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | ・ 食品用ポータブル pH 計(東亜ディーケーケー(株))   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測  | 適用範囲: pH 0-14   |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 記載なし   |  |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F'} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F'} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F'} (pH^{II} - pH^I)$ <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>金属酸化膜式のうち、例えば、アンチモン電極式は、ガラス電極の代わりに、アンチモンの棒の先端を磨き、比較電極とともに被検液に浸し、双方の間の電位差から pH を検出する手法である。</p> <p>アンチモン電極の特徴としては、丈夫で、取扱いやすく、ガラスが侵される試料の場合には有用であるが、電極の磨き方や計測環境(酸化還元状態、陽イオンの存在下)による指示値のずれや、再現性が悪いことなどから、現在ではそれほど精度を要求されない場合(食品の pH 等)以外に利用されていない。</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
|   | ・ 計測温度範囲: -5~100(°C)  | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): ガラス電極よりは耐圧性に優れる  |
|   | 主要材質:   | ・ 耐久性/保守: 不明   |
|   | ・ センサ部: 非ガラス材質  | ・ 耐放射線性: 不明  |
|   | 機器イメージ図:  | ・ 酸化還元性: 影響を受ける  |
|   | ・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要   |  |
|   | ・ 小型化: 測定部加工可能、小型化も可能   |  |
|   | ・ その他: 低含水試料の計測限界は不明  |  |
|   | システム想定図:  |  |
|   |  <p>HM-17MX 食品用ポータブル pH 計</p> |  |
| その他仕様:  | 連絡先等:   |  |
| ・ 電極は用途に応じてフラット型とつきさし型  | 東亜ディーケーケー株式会社<br>〒169-8648 東京都新宿区高田馬場一丁目 29 番 10 号<br>TEL: 03-3202-0211/FAX: 03-3202-0220                       |  |
| 概略費用:   | 情報ソース/文献:   |  |
| ・ ¥170,000  | 東亜ディーケーケー株式会社ホームページ:<br><a href="http://www.2tknet.co.jp">http://www.2tknet.co.jp</a>                           |  |

表 3-33 情報取得技術調査表 (緩衝材、pH )

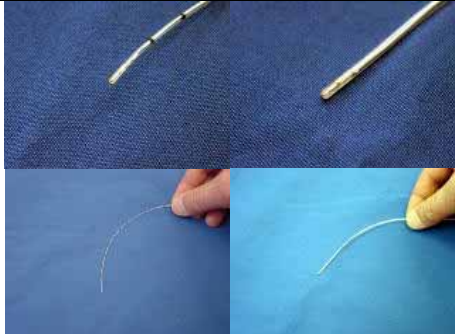
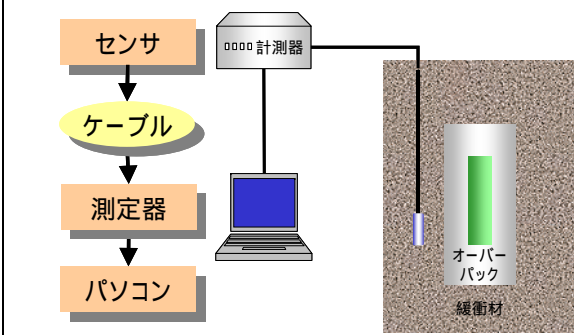
|  |  |   |
|--|--|---|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |
| 測定技術: 金属酸化膜電極式(一般計測用)  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:  | ・ CMS-191: 1.0φ 微小アンチモンpH 電極(1)<br>・ CMS-161: 1.5φ 微小アンチモンpH 電極(2)<br>(ケミカル機器株式会社)   | 本技術は医療用であり、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測   |  |   |
| 測定原理:  | 適用範囲: pH4~pH9(1)/pH4~pH8(2)  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |
| 電極式 pH センサの原理は、膜電位 $\Delta E$ が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。<br>$\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$                   | 適用精度(再現性): 記載なし(1,2)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 影響を受ける。</li> <li>・ データ伝送: 小型ではあるが、配線による擾乱影響あり。無線技術必要。</li> <li>・ 小型化: 直径数 mm 程度である。</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> |
|  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |   |
|  | 主要材質:  |   |
|  | ・ 主要部分: アンチモン  |   |
|  | 機器イメージ図:   | システム想定図:  |
|  |    |   |
| よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。<br>金属酸化膜式のうち、例えば、アンチモン電極式は、ガラス電極の代わりに、アンチモンの棒の先端を磨き、比較電極とともに被検液に浸し、双方の間の電位差から pH を検出する手法である。<br>アンチモン電極の特徴としては、丈夫で、取扱いやすく、ガラスが侵される試料の場合には有用であるが、電極の磨き方や計測環境(酸化還元状態、陽イオンの存在下)による指示値のずれや、再現性が悪いことなどから、現在ではそれほど精度を要求されない場合(食品の pH 等)以外に利用されていない。 |  |   |
|  | その他仕様:   | 連絡先等:   |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最大直径: 1.0φ(1)/1.5φ(2)</li> <li>・ ケーブル長: 2m(塩化ビニール)(1)/2m(ポリプロピレン)(2)</li> <li>・ 比較電極必要</li> </ul> | ケミカル機器株式会社<br>〒192-0045 東京都八王子市大和田町 5-31-24<br>TEL:0426-48-5350(代)/FAX:0426-48-5332   |
|  | 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |
|  | 電極: ¥30,000(1)/¥28,000(2)<br>測定器: ¥220,000(デジタル pH 計)  | ケミカル機器株式会社ホームページ:<br><a href="http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html">http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html</a>  |

表 3-34 情報取得技術調査表 (緩衝材、pH )



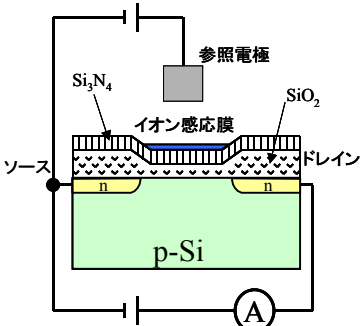
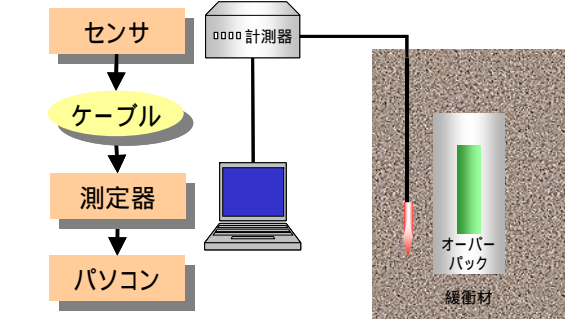
|  |   |   |
|--|---|---|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |
| 測定技術: ISFET式(一般計測用)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:  | ・ ISFET電極InLab490(メラー・トレド(株))   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測   | 適用範囲: pH 0-14   |   |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 0.01(分解能)  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:<br>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): ガラス電極よりは耐圧性に優れる<br>・ 耐久性/保守: 比較電極の内部液はゲル状で封入されており、測定時は被検液がゲル状の内部液に触れて測定される。この際、内部液は僅かながら消耗して行くため、消耗し尽くした場合は電極部分の更新が必要である。<br>・ 耐放射線性: 不明<br>・ 酸化還元性: 影響は受けない<br>・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要<br>・ 小型化: 測定部加工可能、小型化も可能<br>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明 |
| 電極式 pH センサの原理は、膜電位 $\Delta E$ が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。<br>$\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。<br>ISFET (Ion Sensitive Field-Effect Transistor: イオン感応型電界トランジスタ) センサは、溶液と感応膜との界面電位の分だけゲート閾値電圧が変化することを利用したイオンセンサで、水素イオン感応膜として、絶縁体である SiO <sub>2</sub> 、Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> あるいは Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> などを用いることによって pH センサとして作動する。ガラス電極と比較すると、半導体技術の利用によって小型化が可能である。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |   |
|  | ・ 計測温度範囲: 0~60(°C)  |   |
|  | 主要材質:   |   |
|  | ・ センサ部: 樹脂  |   |
| 機器イメージ図:   | 機器イメージ図:<br><br>InLab 490 ISFET 電極<br><br>ISFET センサ先端計測部 |   |
|    | その他仕様:  | システム想定図:<br>  |
| 概略費用:  | ・ ¥205,000  | 連絡先等:<br>メトラー・トレド株式会社: 東京都大田区平和島6-1-1/東京流通センターアネックス5階<br>TEL: 03-5762-0606/FAX: 03-5762-0756  |
|  |   | 情報ソース/文献:<br>メトラー・トレド株式会社ホームページ: <a href="http://www.jp.mt.com">http://www.jp.mt.com</a>  |



表 3-35 情報取得技術調査表 (緩衝材、pH )


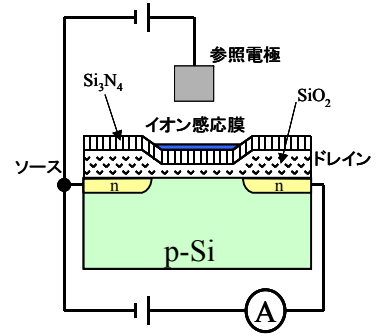
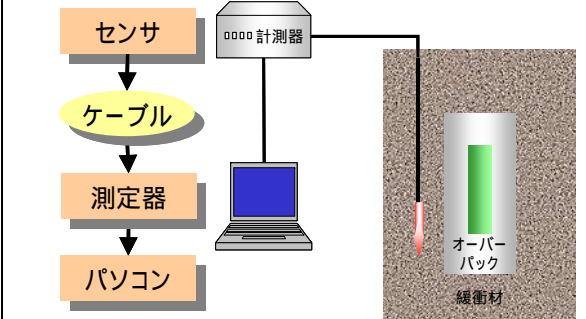
|  |   |   |          |
|--|---|---|----------|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |          |
| 測定技術: ISFET式(専用計測用)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |          |
| 目的及び用途:  | ・ ジルコニア製の外筒搭載の改良型電極(不明)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |          |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測   | 適用範囲: 不明  |   |          |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 不明   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:<br>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 海底下での計測実績より計測可能性は高い<br>・ 耐久性/保守: 比較電極の内部液はゲル状で封入されており、測定時は被検液がゲル状の内部液に触れて測定される。この際、内部液は僅かながら消耗して行くため、消耗し尽くした場合は電極部分の更新が必要である。<br>・ 耐放射線性: 不明<br>・ 酸化還元性: 影響は受けない<br>・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要<br>・ 小型化: 測定部加工可能、小型化の可能性も高い<br>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明 |          |
| 電極式 pH センサの原理は、膜電位 $\Delta E$ が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。<br>$\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。<br>ISFET (Ion Sensitive Field-Effect Transistor: イオン感応型電界トランジスタ) センサは、溶液と感応膜との界面電位の分だけゲート閾値電圧が変化することを利用したイオンセンサで、水素イオン感応膜として、絶縁体である SiO <sub>2</sub> 、Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> あるいは Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> などを用いることによって pH センサとして作動する。ガラス電極と比較すると、半導体技術の利用によって小型化が可能である。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |   |          |
|  | ・ 温度: 不明だが海底の温水計測可能<br>・ 圧力: 海底下 1000~3000m 程度の圧力   |   | 主要材質:    |
|  | ・ センサ部: 不明  |   | 機器イメージ図: |
|  |  <p>ISFET 式による深海用 pH センサ(下島ら, 1998)</p> |   |          |
|    | その他仕様:<br>・ ジルコニア製の外筒搭載<br>・ 寸法: 55(mm) × 400(mm)   | システム想定図:<br>  |          |
| 不明   | 概略費用:   | 連絡先等:   |          |
|  | 不明  | 不明  |          |
|  | 不明  | 情報ソース/文献:   |          |
|  |   | 下島 公紀、許 正憲、化学センサの海洋学への適用 - ISFET を用いた深海用 pH センサの開発 - , 地球化学, 32, 1-11 (1998).   |          |

表 3-36 情報取得技術調査表 (緩衝材、pH)

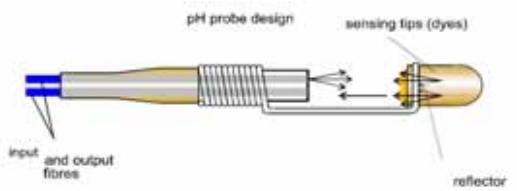
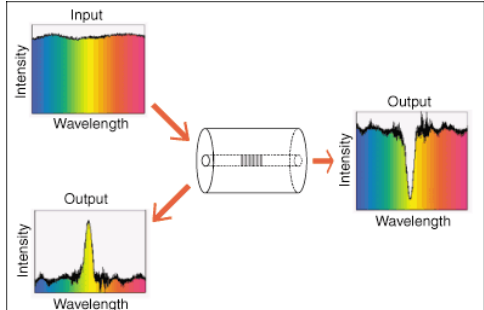
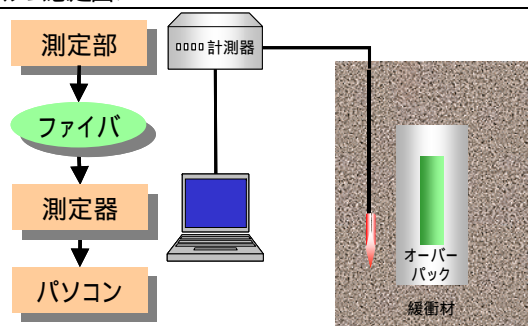
|   |  |  |
|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: 光ファイバ式(光ファイバグレーティング)  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | ・ FBG 式センサ(DBE TECHNOLOGY GmbH)  | ドイツの Koningstein ウラン鉱床の排水溝において 90 日間の原位置試験により、性能が確認されている。  |
| 原位置での緩衝材中の経時的な pH 計測  | 適用範囲: pH2-10   |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 3ヶ月以上で 0.1pH  |  |
| 光ファイバグレーティング(FBG:Fiber Bragg Grating)とは、光ファイバのコア部の屈折率を周期的に変化させたものでグレーティング長、周期、屈折率増加量を変化させることにより特定の波長(ブラッグ波長)の光を任意に反射させることができる。FBG はその特性により波長選択素子、狭帯域フィルタ及び分散補償素子など光学素子として広範に応用できる。また、光学素子だけでなく温度、歪み、圧力及び磁界等の種々の物理量センサとしても使用されている。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 応答時間: 約 1 分</li> <li>・ イオン強度: 40~1500 <math>\mu</math> S/cm</li> <li>・ 温度範囲: -10~50°C</li> <li>・ 校正頻度: 6ヶ月</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 90 日間の試験では、経過時間とともに、pH 値が徐々に増加する。温度依存性がある。発色液の劣化も考慮すべき課題である。</li> <li>・ 耐放射線性: 不明であるが一般的にガラスは放射線に弱く失透する可能性があるため、被覆材が検討課題である。</li> <li>・ 酸化還元性: 影響は受けない</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 測定部加工可能、小型化も可能</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> |
|   | 主要材質:  |  |
|   | ・ 微細孔ガラス(CPG: Controlled pore glass)   |  |
|   | 機器イメージ図:   |  |
|   |  <p>FBR を利用した pH センサの概念図</p>   |  |
|   |  <p>光ファイバグレーティング(FBR)の原理</p>  |  |
| その他仕様:  | システム想定図:   | 連絡先等:  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発色液は CPG に固定され、プラスチック光ファイバ端に取り付けられている。</li> <li>・ ファイバ端は加熱され、CPG が検出チップ上に非常に薄い pH 検知層を形成する。</li> <li>・ 鋼製ワイヤでファイバ前面に取り付けられたテフロンレフレクタは、変調光のカップリングを向上させる目的である。</li> </ul>                  |    | DBE TECHNOLOGY GmbH: <a href="http://www.dbetec.de">http://www.dbetec.de</a>   |
| 概略費用:   |  | 情報ソース/文献:  |
| ・ 不明  |  | DBE TECHNOLOGY GmbH: <a href="http://www.dbetec.de">http://www.dbetec.de</a>   |

表 3-37 情報取得技術調査表 (緩衝材、Eh )

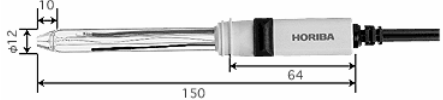
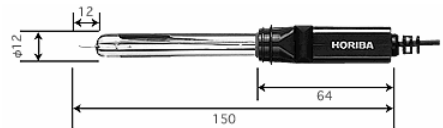
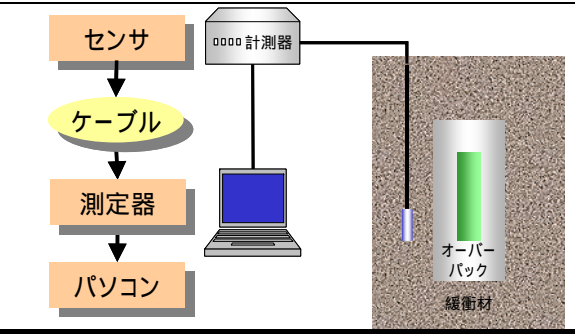
|  |  |  |  |
|--|--|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(Eh)   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: ORP 電極式(一般計測用)   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:  | ・ 白金複合形 ORP 電極(HORIBA)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置での緩衝材中の経時的な Eh 計測   | 適用範囲: -1999 ~ 1999mV   |  |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 1mV(分解能)  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |  |
| <p>酸化物と還元物の混合溶液に、この酸化還元系によって浸されることのない電極(一般に白金または金を用いる)と比較電極を浸すと、一定の電位差が現れる。この酸化還元電位差を、Oxidation Reduction Potential(ORP)と呼ぶ。ORPは、酸化物と還元物の濃度(活量)の比に関係する。</p> <p>ORP 物質が化学変化する場合には必ず起電力の増減がある。その増加の場合は酸化反応が進み、減少の場合は還元反応が進む。その原理を応用して汚水が酸化状態にあるか、還元状態にあるかを、その際の起電力を測定することによって判断することができる。その測定値を酸化還元電位といい、Eh または rH という表現をとる。</p> <p>ORP 電極の測定原理は、ガラス電極の代わりに白金あるいは金の電極を利用すること以外は同様であり、ORP 測定は、試料水中で金属電極と比較電極の間に次式に示す電位差を生じるので、これを電位差計で測定する。</p> $E = E_0 + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[Ox]}{[Red]}$ <p>n: 価数, [Ox]: 酸化体の活量濃度<br/>[Red]: 還元体の活量濃度<br/>E<sub>0</sub>: [Ox]=[Red] のときの単極電位</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  |  |
|  | 主要材質:  | ・ 計測温度範囲: 0~60(°C)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 影響は受けない</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 小型化必要</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> |
|  | 機器イメージ図:   | ・ センサ部: 白金   |  |
|  |    | 機器イメージ図:   |  |
|  |    |  |  |
|  | システム想定図:   |    |  |
|  | その他仕様:   | 連絡先等:  |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 寸法: センサ全長 150mm; 直径 12mm</li> <li>・ 内液部: KCl</li> <li>・ 金属電極、比較電極、温度センサを一体化</li> <li>・ 防水型(9300-10D)</li> </ul> | <p>株式会社堀場製作所<br/>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,<br/>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648</p>   |  |
|  | 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |  |
|  | ・ ¥20,000  | <p>株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br/>MandC 計測と制御のポータルサイト: <a href="http://www.mandc.org">http://www.mandc.org</a></p> |  |

表 3-38 情報取得技術調査表 (緩衝材、Eh )


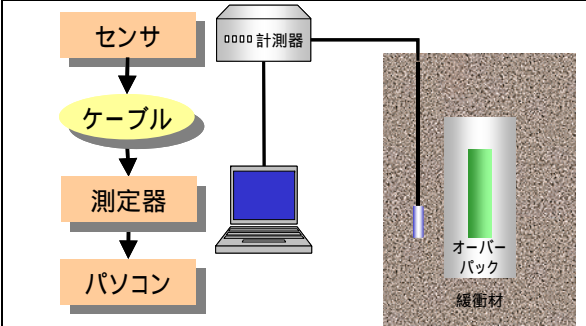
|  |  |   |                        |
|--|--|---|------------------------|
| 項目: 間隙水の地球化学(Eh)   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |                        |
| 測定技術: ORP 電極式(専用計測)  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:  |                        |
| 目的及び用途:  | ・ 化学プロセス用 ORP 電極(DPA485)(YOKOGAWA)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |                        |
| 原位置での緩衝材中の経時的な Eh 計測   | 適用範囲: -1500~1500mV   |   |                        |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 記載なし  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |                        |
| <p>酸化物と還元物の混合溶液に、この酸化還元系によって浸されることのない電極(一般に白金または金を用いる)と比較電極を浸すと、一定の電位差が現れる。この酸化還元電位差を、Oxidation Reduction Potential(ORP)と呼ぶ。ORPIは、酸化物と還元物の濃度(活量)の比に関係する。</p> <p>ORP 物質が化学変化する場合には必ず起電力の増減がある。その増加の場合は酸化反応が進み、減少の場合は還元反応が進む。その原理を応用して汚水が酸化状態にあるか、還元状態にあるかを、その際の起電力を測定することによって判断することができる。その測定値を酸化還元電位といい、Eh または rH という表現をとる。</p> <p>ORP 電極の測定原理は、ガラス電極の代わりに白金あるいは金の電極を利用すること以外は同様であり、ORP 測定は、試料水中で金属電極と比較電極の間に次式に示す電位差を生じるので、これを電位差計で測定する。</p> $E = E_0 + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[Ox]}{[Red]}$ <p>n: 価数, [Ox]: 酸化体の活量濃度<br/>[Red]: 還元体の活量濃度<br/>E<sub>0</sub>: [Ox]=[Red]のときの単極電位</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |   |                        |
|  | ・ 計測温度範囲: 0-100(°C)  | 主要材質:   | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明 |
|  | ・ 計測圧力範囲: 大気圧~250kPa   |   | ・ 耐久性/保守: 不明/内部液の補充が必要 |
|  | 機器イメージ図:   | ・ 主要部分: ガラス   | ・ 耐放射線性: 不明            |
|  |  <p>DPA405: 化学プロセス用 ORP 電極</p> | 機器イメージ図:  | ・ 酸化還元性: 影響を受けない       |
| システム想定図:   |  | ・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要。  |                        |
|  |  | ・ 小型化: 不明   |                        |
|  |  | ・ その他: 低含水試料の計測限界は不明  |                        |
|  |  | システム想定図:<br>  |                        |
|  | その他仕様:   | 連絡先等:   |                        |
|  | ・ 内液部: 高粘度ゲル   | 横河電機株式会社  |                        |
|  | ・ ボディ材質: 白金-ガラス, シリコンゴムまたはダイエルパーフロム  | 〒108-8750, 東京都武蔵野市中町2-9-32  |                        |
|  | ・ 有機溶媒、ソーダ電解、硫化物を含む溶液のpH測定可能   | TEL: (0422)52-5530/FAX: (0422) 55-6492  |                        |
|  | 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |                        |
|  | 記載なし   | 横河電機株式会社ホームページ: <a href="http://www.yokogawa.co.jp">http://www.yokogawa.co.jp</a><br>MandC 計測と制御のポータルサイト: <a href="http://www.mandc.org">http://www.mandc.org</a> |                        |

表 3-39 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水組成 )


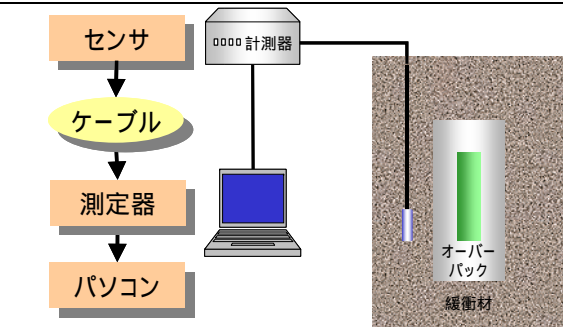
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
|--|---|--|
| 測定技術: イオン電極式(一般計測用:カルシウム/カリウム)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合カルシウムイオン電極 6583-10C (HORIBA)</li> <li>複合カリウムイオン電極 6582-10C (HORIBA)</li> </ul> | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置での緩衝材中の経時的なイオン計測  | 適用範囲: 0.4~40,080mg/L Ca <sup>+</sup> /0.04~39,000mg/L K <sup>+</sup>  |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 不明   |  |
| <p>イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受けられる場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。</p> $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$ <p>ここで、<math>E_0</math>: 基準電位、<math>R</math>: 気体定数、<math>F</math>: ファラデー定数、<math>n</math>: 測定イオンの可数、<math>T</math>: 測定時の絶対温度、<math>a</math>: イオンの活量</p>  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
|  | 計測温度範囲: 0~50(°C)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 不明</li> <li>データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要</li> <li>小型化: 小型化必要</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明、妨害イオンの影響あり</li> </ul> |
|  | 主要材質:   |  |
|  | センサ部: 不明  |  |
|  | 機器イメージ図:  |  |
|    | システム想定図:  |  |
| その他仕様:   |                                     |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法: センサ全長 150mm; 直径 16mm</li> <li>共存許容限界値:<br/>6583-10C: Fe<sup>3+</sup>=0.1 Fe<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>=1 Sr<sup>2+</sup>=50 Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>=70 Co<sup>2+</sup>=350 Mn<sup>2+</sup>=500 Mg<sup>2+</sup>=1,000 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=1,000 以上<br/>8202-10C: Rb<sup>+</sup>=0.4 Cs<sup>+</sup>=3 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>=70 Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>=1000 以上</li> <li>pH 範囲: pH5~11</li> </ul> | <p>連絡先等:</p> <p>株式会社堀場製作所<br/>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2.<br/>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648</p>   |  |
| 概略費用:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>¥100,000</li> </ul>  | <p>情報ソース/文献:</p> <p>株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br/>エム・システム技研ホームページ: <a href="http://www.m-system.co.jp">http://www.m-system.co.jp</a></p>                                |

表 3-40 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水組成 )

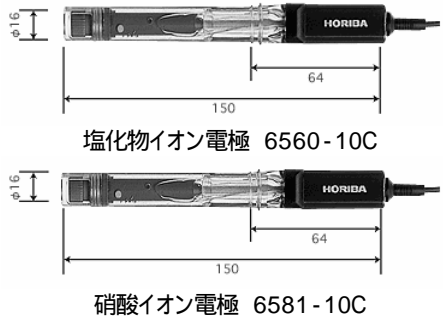
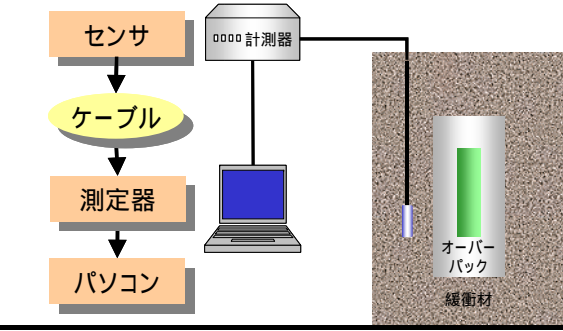
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
|--|---|--|
| 測定技術: イオン電極式(一般計測用: 塩化物/硝酸イオン)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合塩化物イオン電極 6560-10C (HORIBA)</li> <li>複合硝酸イオン電極 6581-10C (HORIBA)</li> </ul>   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置での緩衝材中の経時的なイオン計測  | 適用範囲: 0.35~35,000mg/L Cl <sup>-</sup> / 0.62~62,000mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                                  |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 不明   |  |
| <p>イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受けられる場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。</p> $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$ <p>ここで、<math>E_0</math>: 基準電位、<math>R</math>: 気体定数、<math>F</math>: ファラデー定数、<math>n</math>: 測定イオンの可数、<math>T</math>: 測定時の絶対温度、<math>a</math>: イオンの活量</p>  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
|  | 計測温度範囲: 0~50(°C)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 不明</li> <li>データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要</li> <li>小型化: 小型化必要</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明、妨害イオンの影響あり</li> </ul> |
|  | 主要材質:   |  |
|  | センサ部: 不明  |  |
|  | 機器イメージ図:  |  |
|    | システム想定図:  |  |
| その他仕様:   |                                   |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法: センサ全長 150mm; 直径 16mm</li> <li>共存許容限界値:<br/>6560-10C: S<sub>2</sub>O<sub>3</sub><sup>2-</sup>、S<sub>2</sub><sup>-</sup>、I<sup>-</sup>、Ag<sup>+</sup>、Hg<sup>2+</sup>=不可 SCN<sup>-</sup>=0.3<br/>MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>=0.1 Br<sup>-</sup>=0.03 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、F<sup>-</sup>、HC<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=1,000<br/>6581-10C: ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>=0.03 I<sup>-</sup>=0.1 Br<sup>-</sup>=2 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>=3 Cl<sup>-</sup>=40<br/>F<sup>-</sup>=200 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>=300 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=1000 以上</li> <li>pH 範囲: pH<sub>3</sub>~11 / pH<sub>3</sub>~7</li> </ul> | <p>連絡先等:</p> <p>株式会社堀場製作所<br/>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2.<br/>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648</p> |  |
| 概略費用:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>¥100,000</li> </ul>  | <p>情報ソース/文献:</p> <p>株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br/>エム・システム技研ホームページ: <a href="http://www.m-system.co.jp">http://www.m-system.co.jp</a></p>                                |

表 3-41 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水組成 )

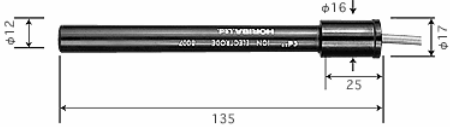
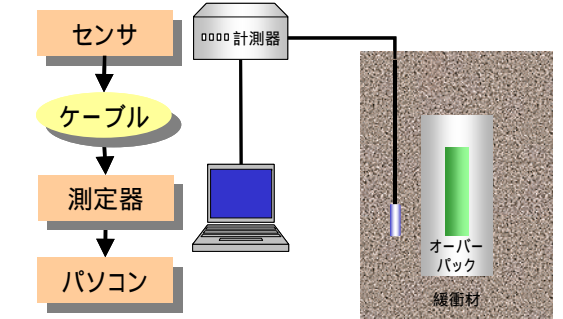
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
|--|---|--|
| 測定技術: イオン電極式(一般計測用: Cu, Cd, Pb, Ag)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>銅イオン電極 8006-10C (HORIBA)</li> <li>カドミウムイオン電極 8007-10C (HORIBA)</li> <li>鉛イオン電極 8008-10C (HORIBA)</li> <li>銀イオン電極 8011-10C (HORIBA)</li> </ul>  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置での緩衝材中の経時的なイオン計測  |   |  |
| 測定原理:  |   |  |
| イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受ける場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。 | 適用範囲: 0.06~6,350mg/L Cu <sup>2+</sup> / 0.1~11,240mg/L Cd <sup>2+</sup> / 2~20,000mg/L Pb <sup>2+</sup> / 0.01~110,000mg/L Ag <sup>+</sup>  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$  | 適用精度(再現性): 不明   | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 不明</li> <li>データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要</li> <li>小型化: 小型化必要</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明、妨害イオンの影響あり</li> </ul> |
| ここで、 $E_0$ : 基準電位、 $R$ : 気体定数、 $F$ : ファラデー定数、 $n$ : 測定イオンの可数、 $T$ : 測定時の絶対温度、 $a$ : イオンの活量   | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |  |
|  | 計測温度範囲: 0~50(°C)  |  |
|  | 主要材質:   |  |
|  | センサ部: 不明  |  |
|  | 機器イメージ図:  |  |
|  |  <p>例: カドミウムイオン電極 8007-10C</p>  | システム想定図:   |
|  | その他仕様:  |    |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法: センサ全長 150mm; 直径 16mm</li> <li>共存許容限界値:</li> </ul>  | 連絡先等:  |
|  | 8006-10C : Fe <sup>2+</sup> =0.1 Ni <sup>2+</sup> 、Na <sup>+</sup> =1,000   | 株式会社堀場製作所  |
|  | 8007-10C : Cu <sup>2+</sup> 、Hg <sup>2+</sup> 、Ag <sup>+</sup> =不可 Pb <sup>2+</sup> =1 Fe <sup>3+</sup> =1 Cr <sup>3+</sup> 、Fe <sup>2+</sup> =100 Ni <sup>2+</sup> =1,000  | 〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,  |
|  | 8008-10C : Cu <sup>2+</sup> 、Hg <sup>2+</sup> 、S <sup>2-</sup> 、Ag <sup>+</sup> =不可 Fe <sup>3+</sup> =0.01 Cr <sup>3+</sup> =1 Cd <sup>2+</sup> =10 Ni <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Zn <sup>2+</sup> =100 NH <sup>4+</sup> 、K <sup>+</sup> =1,000 | TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648  |
|  | 8011-10C : Hg <sup>2+</sup> =不可 Cu <sup>2+</sup> 、Cd <sup>2+</sup> 、Pb <sup>2+</sup> 、Zn <sup>2+</sup> 、Mg <sup>2+</sup> 、Ca <sup>2+</sup> 、Na <sup>2+</sup> 、K <sup>+</sup> =1000 以上   | 情報ソース/文献:  |
|  | pH 範囲: pH2~6/ pH3~8 / pH4.5~6.5 / pH2~10  | 株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a>   |
| 概略費用:  |   | エム・システム技研ホームページ: <a href="http://www.m-system.co.jp">http://www.m-system.co.jp</a>   |
|  | ¥52,000   |  |

表 3-42 情報取得技術調査表 ( 緩衝材、間隙水組成 )


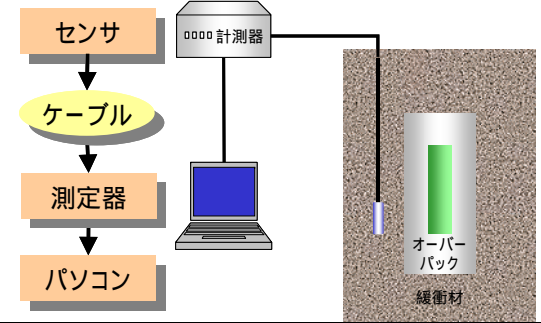
|   |  |  |
|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)   | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: イオン電極式(専用計測: Na, NH <sub>4</sub> )  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2.4φ 微小ナトリウムイオン電極(ケミカル機器株式会社)(1)</li> <li>・ 2.4φ 微小アンモニウムイオン電極(ケミカル機器株式会社)(2)</li> </ul>  | <p>本技術は医療用であり、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。</p>   |
| 原位置での緩衝材中の経時的なイオン計測   |  |  |
| 測定原理:   |  |  |
| <p>イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受けられる場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。</p> $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$ <p>ここで、<math>E_0</math>: 基準電位、<math>R</math>: 気体定数、<math>F</math>: ファラデー定数、<math>n</math>: 測定イオンの可数、<math>T</math>: 測定時の絶対温度、<math>a</math>: イオンの活量</p> |  |  |
|   |  |  |
|   | 適用範囲: 不明   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
|   | 適用精度(再現性): 不明  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 不明</li> <li>・ データ伝送: 配線による擾乱影響あり。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 小型化必要</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明、1価の妨害陽イオンの影響あり</li> </ul> |
|   | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  |
|   | 計測温度範囲: 10-50(°C)  |  |
|   | 主要材質:  |  |
|   | センサ部: 不明   |  |
|   | <p>機器イメージ図:</p> <div style="text-align: center;">  <p>2.4 微小ナトリウムイオン電極</p> <p>2.4 微小アンモニウムイオン電極</p> </div> | システム想定図:   |
|   |  |    |
|   |  |  |
|   |  |  |
|   |  |  |
|   |  |  |
| その他仕様:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最大直径: 2.4φ</li> <li>・ ケーブル長: 3m(テフロン)</li> <li>・ 特徴: 内視鏡挿入可(1)</li> <li>・ 特殊比較電極必要</li> </ul>   | <p>連絡先等:</p> <p>ケミカル機器株式会社<br/>〒192-0045 東京都八王子市大和田町 5-31-24<br/>TEL:0426-48-5350(代)/FAX:0426-48-5332</p>  |
| 概略費用:   |  | 情報ソース/文献:  |
| 記載なし  |  | <p>ケミカル機器株式会社ホームページ:<br/><a href="http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html">http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html</a></p>   |



表 3-43 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )



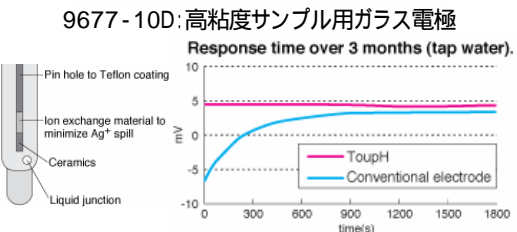
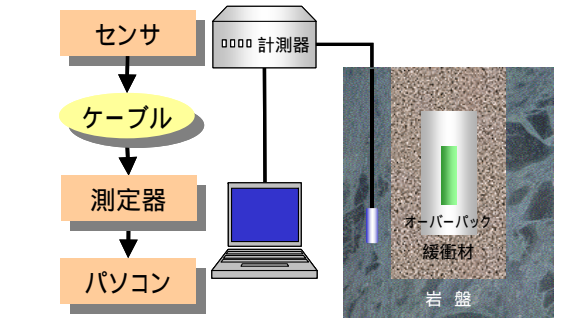
|   |   |  |
|---|---|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)  | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: ガラス電極式(一般計測用)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | ・ pH 複合ガラス電極(HORIBA)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置周辺岩盤内での経時的な pH 計測  | 適用範囲: pH 0-14   |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 記載なし   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>ガラス電極式は、水溶液の pH に比例した起電力を発生するガラス電極と電位測定のための基準電位を与える比較電極を一对にして試料水に浸した場合に、両電極間に発生する pH に対応する起電力を出力する pH 電極と、目盛り付けするための機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせ測定する方法である。比較電極には内部液(主に KCl 溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |  |
|   | 主要材質:   | ・ 主要部分: ガラス(液絡部: セラミック)  |
|   | 機器イメージ図:  | システム想定図:   |
|   |  <p>9611-10D: pH 防水厚膜ガラス電極</p>  <p>9677-10D: 高粘度サンプル用ガラス電極</p>  <p>Response time over 3 months (tap water).</p> <p>測定部及び3ヶ月間の水道水応答</p> |                            |
|   | その他仕様:  | 連絡先等:  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 寸法: センサ全長 150mm; 直径 12mm</li> <li>・ 内液部: KCl</li> <li>・ 圧膜ガラス採用(特許 3321572 号)</li> <li>・ 9677-10D は液絡部面積が大きいため①高粘土、②高塩濃度、③低イオン強度サンプルに適している。</li> </ul>   | <p>株式会社堀場製作所</p> <p>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,</p> <p>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648</p> |
|   | 概略費用:   | 情報ソース/文献:  |
|   | ・ ¥28,000(9611-10D)/¥45,000(9677-10D)   | 株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a>                               |

表 3-44 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )


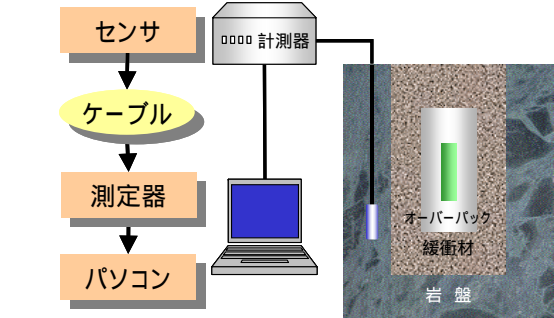
|  |   |   |  |
|--|---|---|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |  |
| 測定技術: ガラス電極式(専用計測)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |  |
| 目的及び用途:  | (1) 化学プロセス用 pH 電極(DPA405) (YOKOGAWA)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |  |
| 原位置周辺岩盤内での経時的な pH 計測   | (2) 発酵用 pH 電極(Y/465) (YOKOGAWA)   |   |  |
| 測定原理:  | 適用範囲: pH 0-14(1)/pH 0~12(2)   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |  |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>ガラス電極式は、水溶液の pH に比例した起電力を発生するガラス電極と電位測定のための基準電位を与える比較電極を一对にして試料水に浸した場合に、両電極間に発生する pH に対応する起電力を出力する pH 電極と、目盛り付けするための pH 指示変換器とを組み合わせる測定する方法である。比較電極には内部液(主に KCl 溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p> | 適用精度(再現性): 記載なし(1)/分解能 0.01pH(2)  |   |  |
|  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>計測温度範囲: 0-100(°C)(1)/0~130(°C)(2)</li> <li>計測圧力範囲: 大気圧~250kPa(1)/記載なし(2)</li> </ul> |
|  | 主要材質:   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>主要部分: ガラス</li> </ul>  |
|  | 機器イメージ図:  |   |   |
|  | システム想定図:  |                       |  |
| その他仕様:   | <p>DPA405(1):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>内液部: 高粘度ゲル(1)/記載なし(2)</li> <li>高アルカリ対応のガラス感応膜を使用</li> <li>有機溶媒、ソーダ電解、硫化物を含む溶液の pH 測定可能</li> </ul> <p>Y/465(2):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>接液部材質 SUS316L 相当フッ素ゴム</li> </ul> | 連絡先等:   |  |
| 概略費用:  | 記載なし  | <p>横河電機株式会社</p> <p>〒108-8750, 東京都武蔵野市中町2-9-32</p> <p>TEL: (0422)52-5530/FAX: (0422) 55-6492</p>           |  |
| 記載なし   |   | <p>情報ソース/文献:</p> <p>横河電機株式会社ホームページ: <a href="http://www.yokogawa.co.jp">http://www.yokogawa.co.jp</a></p> |  |

表 3-45 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )

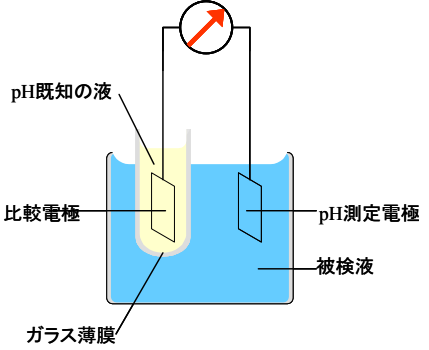
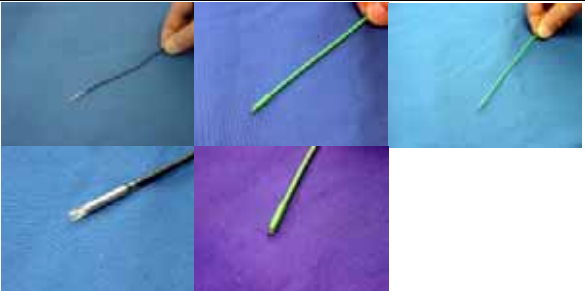
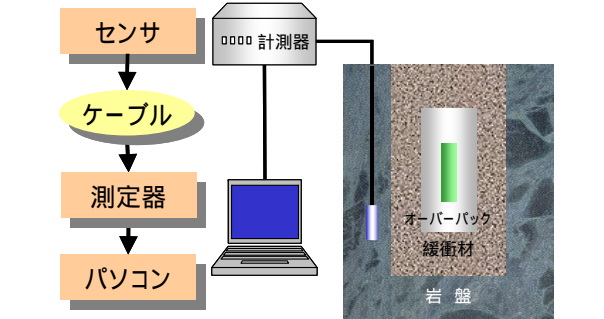
|  |   |  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
|--|---|--|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| 測定技術: ガラス電極式(専用計測)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| 目的及び用途:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>CM-101: 医療用 2.4φ 微小 pH ガラス電極(1)</li> <li>CM-151: 医療用 2.8φ 微小 pH ガラス電極(2)</li> <li>CM-181: 医療用 3.0φ 微小 pH ガラス電極(3)</li> </ul>                                       | 本技術は医療用であり、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| 原位置岩盤内での経時的な pH 計測   | (ケミカル機器株式会社)  |  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| 測定原理:  | 適用範囲: pH0-12(1-3)   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p>  | 適用精度(再現性): 記載なし(1-3)  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 影響を受けない</li> <li>データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>小型化: 直径数 mm 程度である。</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p>  | 計測温度範囲: 10-50(°C)(1-3)  |  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>ガラス電極式は、水溶液の pH に比例した起電力を発生するガラス電極と電位測定のための基準電位を与える比較電極を</p>  | 主要材質:   |  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>対にして試料水に浸した場合に、両電極間に発生する pH に対応する起電力を出力する pH 電極と、目盛り付けするための</p>   | 機器イメージ図:  | システム想定図:   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
|    |   |    |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>ガラス電極と、目盛り付けするための</p>   | <table border="1"> <tr> <td>CM-101</td> <td>CM-151</td> <td>CM-181</td> </tr> <tr> <td>2.4 微小</td> <td>2.8 微小</td> <td>3.0 微小</td> </tr> <tr> <td>ガラス電極</td> <td>ガラス電極</td> <td>ガラス電極</td> </tr> </table> | CM-101   | CM-151 | CM-181 | 2.4 微小 | 2.8 微小 | 3.0 微小 | ガラス電極 | ガラス電極 | ガラス電極 | 連絡先等: |
| CM-101   | CM-151  | CM-181   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| 2.4 微小   | 2.8 微小  | 3.0 微小   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| ガラス電極  | ガラス電極   | ガラス電極  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>の機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせ測定する方法である。比較電極には内部液(主にKCl溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p>  | その他仕様:  | <p>ケミカル機器株式会社<br/>〒192-0045 東京都八王子市大和田町 5-31-24<br/>TEL:0426-48-5350(代)/FAX:0426-48-5332</p>   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>の機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせ測定する方法である。比較電極には内部液(主にKCl溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>最大直径: 2.4φ(1)/2.8φ(2)/3.0φ(3)</li> <li>ケーブル長: 3m(テフロン)(1,3)/3m(ポリプロピレン)(2)</li> <li>特徴: 内視鏡挿入可(1)/ステンレス被覆(2)</li> <li>比較電極必要</li> </ul>                            | 情報ソース/文献:  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>の機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせ測定する方法である。比較電極には内部液(主にKCl溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p>  | 概略費用:   | <p>ケミカル機器株式会社ホームページ:<br/><a href="http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html">http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html</a></p>   |        |        |        |        |        |       |       |       |       |
| <p>の機能を有する pH 指示変換器とを組み合わせ測定する方法である。比較電極には内部液(主にKCl溶液)が入っており、液絡部より少量ずつ流出させる構造を取っているため、内部液の定期的な補充が必要である。</p>  | 記載なし  |  |        |        |        |        |        |       |       |       |       |

表 3-46 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )

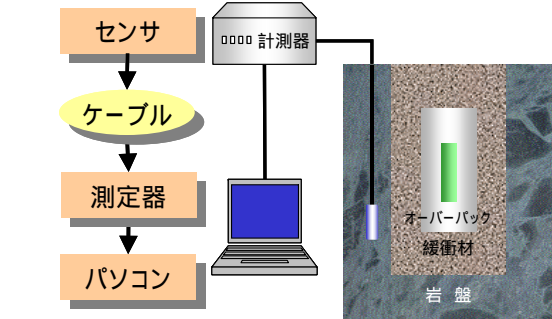
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |                |
|--|---|--|----------------|
| 測定技術: 金属酸化膜電極式(一般計測用)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |                |
| 目的及び用途:  | ・ 食品用ポータブル pH 計(東亜ディーケーケー(株))   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |                |
| 原位置岩盤内での経時的な pH 計測   | 適用範囲: pH 0-14   |  |                |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 記載なし   |  |                |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>金属酸化膜式のうち、例えば、アンチモン電極式は、ガラス電極の代わりに、アンチモンの棒の先端を磨き、比較電極とともに被検液に浸し、双方の間の電位差から pH を検出する手法である。</p> <p>アンチモン電極の特徴としては、丈夫で、取扱いやすく、ガラスが侵される試料の場合には有用であるが、電極の磨き方や計測環境(酸化還元状態、陽イオンの存在下)による指示値のずれや、再現性が悪いことなどから、現在ではそれほど精度を要求されない場合(食品の pH 等)以外に利用されていない。</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | <p>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): ガラス電極よりは耐圧性に優れる</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 影響を受ける</li> <li>・ データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 測定部加工可能、小型化も可能</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> |                |
|  | 主要材質:   |  | ・ センサ部: 非ガラス材質 |
|  | 機器イメージ図:  |  |                |
|  |        |  |                |
|  | HM-17MX 食品用ポータブル pH 計   |  |                |
| システム想定図:   |   |    |                |
| その他仕様:   | 連絡先等:   |  |                |
| ・ 電極は用途に応じてフラット型とつきさし型   | 東亜ディーケーケー株式会社<br>〒169-8648 東京都新宿区高田馬場一丁目 29 番 10 号<br>TEL: 03-3202-0211/FAX: 03-3202-0220 |  |                |
| 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |  |                |
| ・ ¥170,000   | 東亜ディーケーケー株式会社ホームページ:<br><a href="http://www.2tknet.co.jp">http://www.2tknet.co.jp</a>     |  |                |

表 3-47 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )

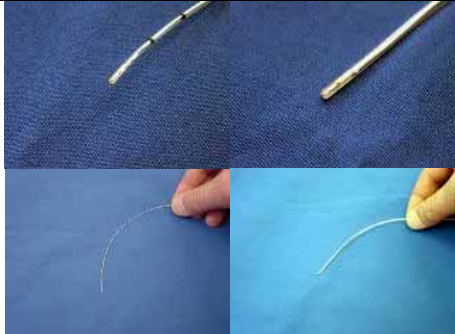
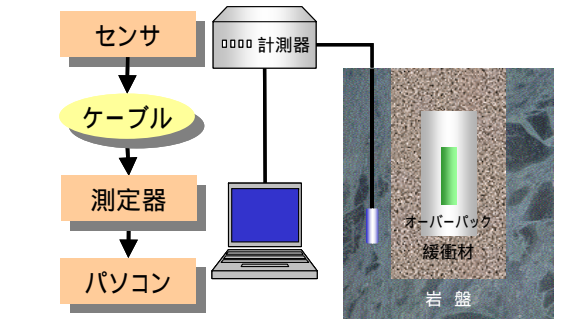
|   |  |  |
|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: 金属酸化膜電極式(一般計測用)   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | ・ CMS-191: 1.0φ 微小アンチモンpH 電極(1)<br>・ CMS-161: 1.5φ 微小アンチモンpH 電極(2)<br>(ケミカル機器株式会社) | 本技術は医療用であり、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置岩盤内での経時的な pH 計測  |  |  |
| 測定原理:   | 適用範囲: pH4~pH9(1)/pH4~pH8(2)  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| 電極式 pH センサの原理は、膜電位 $\Delta E$ が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。  | 適用精度(再現性): 記載なし(1,2)   | ・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明   |
| $\Delta E = \frac{RT}{F'} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F'} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$                      | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  | ・ 耐久性/保守: 不明   |
| $= 2.303 \frac{RT}{F'} (pH^{II} - pH^I)$  | ・ 計測温度範囲: 10-50(°C)(1,2)   | ・ 耐放射線性: 不明  |
| よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。  | 主要材質:  | ・ 酸化還元性: 影響を受ける。   |
| 金属酸化膜式のうち、例えば、アンチモン電極式は、ガラス電極の代わりに、アンチモンの棒の先端を磨き、比較電極とともに被検液に浸し、双方の間の電位差から pH を検出する手法である。   | ・ 主要部分: アンチモン  | ・ データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要  |
| アンチモン電極の特徴としては、丈夫で、取扱いやすく、ガラスが侵される試料の場合には有用であるが、電極の磨き方や計測環境(酸化還元状態、陽イオンの存在下)による指示値のずれや、再現性が悪いことなどから、現在ではそれほど精度を要求されない場合(食品の pH 等)以外に利用されていない。 | 機器イメージ図:   | ・ 小型化: 直径数 mm 程度である。<br>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明   |
|   |  | システム想定図:   |
|   | CMS-191<br>1.0 微小<br>アンチモン電極   |    |
|   | CMS-161<br>1.5 微小<br>アンチモン電極   |  |
|   | その他仕様:   | 連絡先等:  |
|   | ・ 最大直径: 1.0φ(1)/1.5φ(2)<br>・ ケーブル長: 2m(塩化ビニール)(1)/2m(ポリプロピレン)(2)<br>・ 比較電極必要       | ケミカル機器株式会社<br>〒192-0045 東京都八王子市大和田町 5-31-24<br>TEL:0426-48-5350(代)/FAX:0426-48-5332  |
|   | 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |
|   | 記載なし   | ケミカル機器株式会社ホームページ:<br><a href="http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html">http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html</a> |

表 3-48 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )

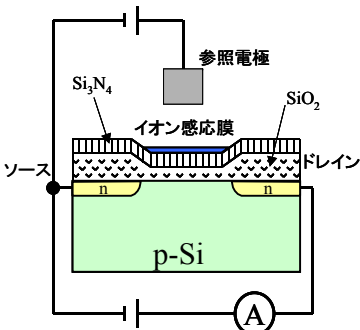

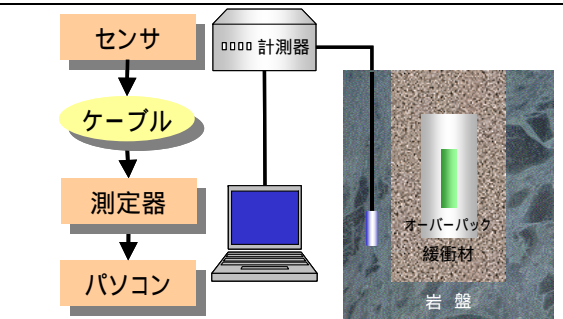
|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: ISFET式(一般計測用)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:  | ・ ISFET電極InLab490(メラー・トレド(株))   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置岩盤内での経時的な pH 計測   | 適用範囲: pH 0-14   |  |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 0.01(分解能)  |  |  |
| <p>電極式 pH センサの原理は、膜電位<math>\Delta E</math> が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。</p> $\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$ <p>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。</p> <p>ISFET (Ion Sensitive Field-Effect Transistor: イオン感応型電界トランジスタ) センサは、溶液と感応膜との界面電位の分だけゲート閾値電圧が変化することを利用したイオンセンサで、水素イオン感応膜として、絶縁体である SiO<sub>2</sub>、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> あるいは Ta<sub>2</sub>O<sub>5</sub> などを用いることによって pH センサとして作動する。ガラス電極と比較すると、半導体技術の利用によって小型化が可能である。</p>  | <p>適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>計測温度範囲: 0~60(°C)</li> </ul> <p>主要材質:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>センサ部: 樹脂</li> </ul> <p>機器イメージ図:</p>  | <p>処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): ガラス電極よりは耐圧性に優れる</li> <li>耐久性/保守: 比較電極の内部液はゲル状で封入されており、測定時は被検液がゲル状の内部液に触れて測定される。この際、内部液は僅かながら消耗して行くため、消耗し尽くした場合は電極部分の更新が必要である。</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 影響は受けない</li> <li>データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>小型化: 測定部加工可能、小型化も可能</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> <p>システム想定図:</p>  |  |
|  |   | その他仕様:   | 連絡先等:  |
|  |   | ・ 形状は用途に応じて変更可能である。  | メラー・トレド株式会社: 東京都大田区平和島6-1-1/東京流通センターアネックス5階<br>TEL: 03-5762-0606/FAX: 03-5762-0756 |
|  |   | 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |
|  |   | ・ ¥205,000   | メラー・トレド株式会社ホームページ: <a href="http://www.jp.mt.com">http://www.jp.mt.com</a>         |

表 3-49 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )


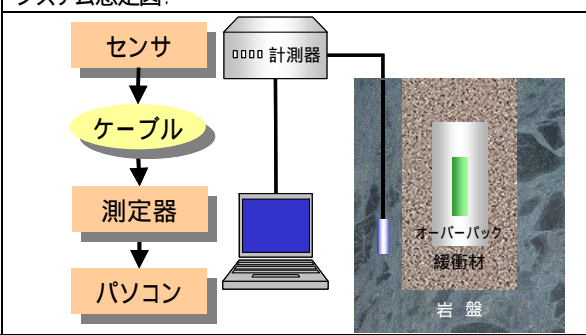
|   |  |  |
|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
| 測定技術: ISFET式(専用計測用)   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:   | ・ ジルコニア製の外筒搭載の改良型電極(不明)  | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。ただし処分環境より高圧化の深海底での計測実績がある。                  |
| 原位置岩盤内での経時的な pH 計測  | 適用範囲: 不明   |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 不明  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| 電極式 pH センサの原理は、膜電位 $\Delta E$ が、膜間のイオン拡散における輸率の差に起因しているとした Nemst の式について、常温における水素イオン濃度に対して次式が成り立つことによる。<br>$\Delta E = \frac{RT}{F} \ln \frac{a_{H^+}^I}{a_{H^+}^{II}} = 2.303 \frac{RT}{F} (\log a_{H^+}^I - \log a_{H^+}^{II})$ $= 2.303 \frac{RT}{F} (pH^{II} - pH^I)$<br>よって、一方の pH が既知であれば、電位測定によって他方の pH を知ることができる。<br>ISFET (Ion Sensitive Field-Effect Transistor: イオン感応型電界トランジスタ) センサは、溶液と感応膜との界面電位の分だけゲート閾値電圧が変化することを利用したイオンセンサで、水素イオン感応膜として、絶縁体である SiO <sub>2</sub> 、Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> 、Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> あるいは Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub> などを用いることによって pH センサとして作動する。ガラス電極と比較すると、半導体技術の利用によって小型化が可能である。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  |
|   |  | ・ 温度: 不明だが海底の温水計測可能<br>・ 圧力: 海底下 1000~3000m 程度の圧力                                    |
|   | 主要材質:  |  |
|   | ・ センサ部: 不明   |  |
|   | 機器イメージ図:   | システム想定図:   |
|   |  <p>Deep sea pH sensor (400L x 55φ)<br/>ISFET 式による深海用 pH センサ (下島ら, 1998)</p> |  |
|   | その他仕様:   | 連絡先等:  |
|   | ・ ジルコニア製の外筒搭載<br>・ 寸法: 55(mm) × 400(mm)  | 不明   |
|   | 概略費用:  | 情報ソース/文献:  |
|   | 不明   | 下島 公紀、許 正憲、化学センサの海洋学への適用 - ISFET を用いた深海用 pH センサの開発 -、地球化学、32、1-11 (1998)。            |

表 3-50 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、pH )


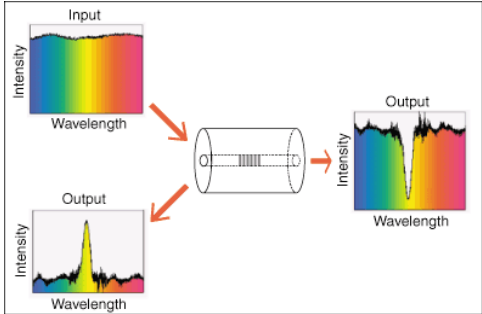
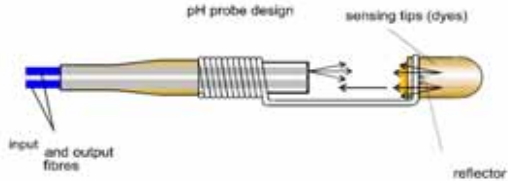
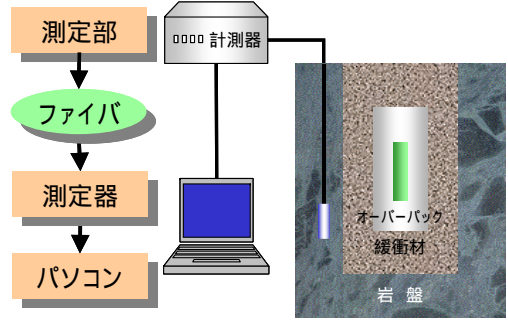
|  |   |   |
|--|---|---|
| 項目: 間隙水の地球化学(pH)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用   |
| 測定技術: 光ファイバ式(光ファイバグレーティング)   | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:  |
| 目的及び用途:  | ・ FBG 式センサ(DBE TECHNOLOGY GmbH)   | ドイツの Koningstein ウラン鉱床の排水項溝において 90 日間の<br>原位置試験により、性能が確認されている。                            |
| 原位置岩盤内での経時的な pH 計測   | 適用範囲: pH2-10  |        |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 3ヶ月以上で 0.1pH   |   |
| 光ファイバグレーティング(FBG: Fiber Bragg Grating)とは、光ファイバのコア部の屈折率を周期的に変化させたものでグレーティング長、周期、屈折率増加量を変化させることにより特定の波長(ブラッグ波長)の光を任意に反射させることができる。FBG はその特性により波長選択素子、狭帯域フィルタ及び分散補償素子など光学素子として広範に応用できる。また、光学素子だけでなく温度、歪み、圧力及び磁界等の種々の物理量センサとしても使用されている。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):<br>・ 応答時間: 約 1 分<br>・ イオン強度: 40~1500 $\mu$ S/cm<br>・ 温度範囲: -10~50°C<br>・ 校正頻度: 6ヶ月                    |   |
|  | 主要材質:<br>・ 微細孔ガラス(CPG: Controlled pore glass)   |   |
|  <p>光ファイバグレーティング(FBR)の原理</p>  | <p>機器イメージ図:</p>  <p>FBRを利用した pH センサの概念図</p> |   |
| その他仕様:   | システム想定図:  | 連絡先等:   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 発色液は CPG に固定され、プラスチック光ファイバ端に取り付けられている。</li> <li>・ ファイバ端は加熱され、CPG が検出チップ上に非常に薄い pH 検知層を形成する。</li> <li>・ 鋼製ワイヤでファイバ前面に取り付けられたテフロンレフレクタは、変調光のカップリングを向上させる目的である。</li> </ul>                   |   | DBE TECHNOLOGY GmbH: <a href="http://www.dbetec.de">http://www.dbetec.de</a>              |
| 概略費用:<br>・ 不明  |   | 情報ソース/文献:<br>DBE TECHNOLOGY GmbH: <a href="http://www.dbetec.de">http://www.dbetec.de</a> |



表 3-51 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、Eh )

|   |  |  |  |
|---|--|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(Eh)  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: ORP 電極式(一般計測用)  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:   | ・ 白金複合形 ORP 電極(HORIBA)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置岩盤内での経時的な Eh 計測  | 適用範囲: - 1999 ~ 1999mV  |  |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 1mV(分解能)  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |  |
| <p>酸化物と還元物の混合溶液に、この酸化還元系によって浸されることのない電極(一般に白金または金を用いる)と比較電極を浸すと、一定の電位差が現れる。この酸化還元電位差を、Oxidation Reduction Potential(ORP)と呼ぶ。ORPIは、酸化物と還元物の濃度(活量)の比に関係する。</p> <p>ORP 物質が化学変化する場合には必ず起電力の増減がある。その増加の場合は酸化反応が進み、減少の場合は還元反応が進む。その原理を応用して汚水が酸化状態にあるか、還元状態にあるかを、その際の起電力を測定することによって判断することができる。その測定値を酸化還元電位といい、Eh または rH という表現をとる。</p> <p>ORP 電極の測定原理は、ガラス電極の代わりに白金あるいは金の電極を利用すること以外は同様であり、ORP 測定は、試料水中で金属電極と比較電極の間に次式に示す電位差を生じるので、これを電位差計で測定する。</p> $E = E_0 + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[Ox]}{[Red]}$ <p>n : 価数, [Ox]: 酸化体の活量濃度<br/>[Red]: 還元体の活量濃度<br/>E<sub>0</sub>: [Ox]=[Red]のときの単極電位</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 影響は受けない</li> <li>・ データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 小型化必要</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> |
|   | 主要材質:  | ・ センサ部: 白金   |  |
|   | 機器イメージ図:   |  |  |
|   | システム想定図:   |  |  |
| その他仕様:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 寸法: センサ全長 150mm; 直径 12mm</li> <li>・ 内液部: KCl</li> <li>・ 金属電極、比較電極、温度センサを一体化</li> <li>・ 防水型(9300-10D)</li> </ul> | 連絡先等:  |  |
| 概略費用:   | ・ ¥20,000  | 情報ソース/文献:  |  |
|   |  | 株式会社堀場製作所<br>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,<br>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648  |  |
|   |  | 株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br>MandC 計測と制御のポータルサイト: <a href="http://www.mandc.org">http://www.mandc.org</a> |  |

表 3-52 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、Eh )


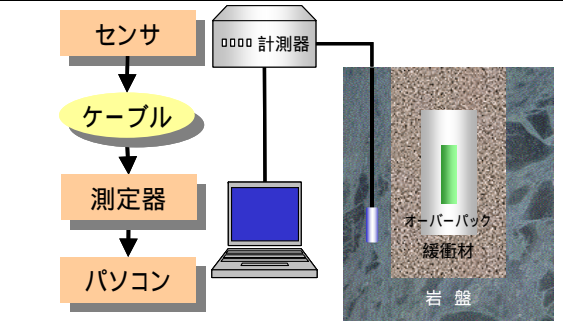
|  |   |  |  |
|--|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(Eh)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: ORP 電極式(専用計測)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:  | ・ 化学プロセス用 ORP 電極(DPA485) (YOKOGAWA)   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置岩盤内での経時的な Eh 計測   | 適用範囲: -1500~1500mV  |  |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 記載なし   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |  |
| <p>酸化物と還元物の混合溶液に、この酸化還元系によって浸されることのない電極(一般に白金または金を用いる)と比較電極を浸すと、一定の電位差が現れる。この酸化還元電位差を、Oxidation Reduction Potential(ORP)と呼ぶ。ORPIは、酸化物と還元物の濃度(活量)の比に関係する。</p> <p>ORP 物質が化学変化する場合には必ず起電力の増減がある。その増加の場合は酸化反応が進み、減少の場合は還元反応が進む。その原理を応用して汚水が酸化状態にあるか、還元状態にあるかを、その際の起電力を測定することによって判断することができる。その測定値を酸化還元電位といい、Eh または pH という表現をとる。</p> <p>ORP 電極の測定原理は、ガラス電極の代わりに白金あるいは金の電極を利用すること以外は同様であり、ORP 測定は、試料水中で金属電極と比較電極の間に次式に示す電位差を生じるので、これを電位差計で測定する。</p> $E = E_0 + \frac{2.303RT}{nF} \log \frac{[Ox]}{[Red]}$ <p>n: 価数, [Ox]: 酸化体の活量濃度<br/>[Red]: 還元体の活量濃度<br/>E<sub>0</sub>: [Ox]=[Red]のときの単極電位</p> | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |  |  |
|  | ・ 計測温度範囲: 0-100(°C)   | <p>主要材質:</p> <p>・ 主要部分: ガラス</p> <p>機器イメージ図:</p>  <p>DPA405: 化学プロセス用 ORP 電極</p> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明/内部液の補充が必要</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 影響を受けない</li> <li>・ データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 不明</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明</li> </ul> <p>システム想定図:</p>  |
|  | ・ 計測圧力範囲: 大気圧~250kPa  |  |  |
|  | その他仕様:  | 連絡先等:  |  |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 内液部: 高粘度ゲル</li> <li>・ ボディ材質: 白金-ガラス, シリコンゴムまたはダイエールパーフロム</li> <li>・ 有機溶媒、ソーダ電解、硫化物を含む溶液のpH測定可能</li> </ul>                | <p>横河電機株式会社</p> <p>〒108-8750, 東京都武蔵野市中町2-9-32</p> <p>TEL: (0422)52-5530/FAX: (0422) 55-6492</p>  |  |
| 概略費用:  | 情報ソース/文献:   |  |  |
| 記載なし   | 横河電機株式会社ホームページ: <a href="http://www.yokogawa.co.jp">http://www.yokogawa.co.jp</a><br>MandC 計測と制御のポータルサイト: <a href="http://www.mandc.org">http://www.mandc.org</a> |  |  |

表 3-53 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、地下水組成)

|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: イオン電極式(一般計測用:カルシウム/カリウム)  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:   | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合カルシウムイオン電極 6583-10C (HORIBA)</li> <li>複合カリウムイオン電極 6582-10C (HORIBA)</li> </ul> | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置岩盤内での経時的なイオン計測   | 適用範囲: 0.4~40,080mg/L Ca <sup>+</sup> /0.04~39,000mg/L K <sup>+</sup>  |  |  |
| 測定原理:   | 適用精度(再現性): 不明   |  |  |
| <p>イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受けられる場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。</p> $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$ <p>ここで、<math>E_0</math>: 基準電位、<math>R</math>: 気体定数、<math>F</math>: ファラデー定数、<math>n</math>: 測定イオンの可数、<math>T</math>: 測定時の絶対温度、<math>a</math>: イオンの活量</p>   | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |  |
|   | 計測温度範囲: 0~50(°C)  |  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 不明</li> <li>データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>小型化: 小型化必要</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明、妨害イオンの影響あり</li> </ul> |
|   | 主要材質:   |  |  |
|   | センサ部: 不明  |  |  |
|   | 機器イメージ図:  |  |  |
|   | その他仕様:  |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法: センサ全長 150mm; 直径 16mm</li> <li>共存許容限界値:</li> </ul> <p>6583-10C: Fe<sup>3+</sup>=0.1 Fe<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>=1 Sr<sup>2+</sup>=50 Ni<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>=70 Co<sup>2+</sup>=350 Mn<sup>2+</sup>=500 Mg<sup>2+</sup>=1,000 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ba<sup>2+</sup>, NH<sup>4+</sup>=1,000 以上</p> <p>8202-10C: Rb<sup>+</sup>=0.4 Cs<sup>+</sup>=3 NH<sup>4+</sup>=70 Li<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Sr<sup>2+</sup>, Ba<sup>2+</sup>=1000 以上</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH 範囲: pH5~11</li> </ul> |   | システム想定図:   |  |
|   |   |  |  |
|   |   | 連絡先等:  |  |
|   |   | 株式会社堀場製作所<br>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,<br>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648  |  |
|   |   | 情報ソース/文献:  |  |
|   |   | 株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br>エム・システム技研ホームページ: <a href="http://www.m-system.co.jp">http://www.m-system.co.jp</a> |  |
|   | 概略費用:   |  |  |
|   | <ul style="list-style-type: none"> <li>¥100,000</li> </ul>  |  |  |

表 3-54 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、地下水組成)

| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用   |  |
|--|--|---|--|
| 測定技術: イオン電極式(一般計測用: 塩化物/硝酸イオン)   | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:  |  |
| 目的及び用途:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>複合塩化物イオン電極 6560-10C(HORIBA)</li> <li>複合硝酸イオン電極 6581-10C (HORIBA)</li> </ul> | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。   |  |
| 原位置岩盤内での経時的なイオン計測  | 適用範囲: 0.35~35,000mg/L Cl <sup>-</sup> / 0.62~62,000mg/L NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>                               |   |  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 不明  |   |  |
| <p>イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受ける場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。</p> $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$ <p>ここで、<math>E_0</math>: 基準電位、<math>R</math>: 気体定数、<math>F</math>: ファラデー定数、<math>n</math>: 測定イオンの可数、<math>T</math>: 測定時の絶対温度、<math>a</math>: イオンの活量</p>  | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:   |  |
|  | 計測温度範囲: 0~50(°C)   |   | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 不明</li> <li>データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>小型化: 小型化必要</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明、妨害イオンの影響あり</li> </ul> |
|  | 主要材質:  |   |  |
|  | センサ部: 不明   |   |  |
|  | 機器イメージ図:   |   |  |
| その他仕様:   |  | システム想定図:  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法: センサ全長 150mm; 直径 16mm</li> <li>共存許容限界値:</li> </ul> <p>6560-10C: S<sup>2+</sup>0.32-, S<sup>2-</sup>, I-, Ag<sup>+</sup>, Hg<sup>2+</sup>=不可 SCN<sup>-</sup>=0.3<br/>MnO<sub>4</sub><sup>-</sup>=0.1 Br<sup>-</sup>=0.03 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>、F<sup>-</sup>、HC<sub>3</sub><sup>-</sup>、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>、PO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=1,000<br/>6581-10C: ClO<sub>4</sub><sup>-</sup>=0.03 I<sup>-</sup>=0.1 Br<sup>-</sup>=2 NO<sub>2</sub><sup>-</sup>=3 Cl<sup>-</sup>=40<br/>F<sup>-</sup>=200 CH<sub>3</sub>COO<sup>-</sup>=300 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>=1000 以上</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>pH 範囲: pH3~11 / pH3~7</li> </ul> |  |   |  |
| 概略費用:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>¥100,000</li> </ul>   | <p>連絡先等:</p> <p>株式会社堀場製作所<br/>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,<br/>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648</p> <p>情報ソース/文献:</p> <p>株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br/>エム・システム技研ホームページ: <a href="http://www.m-system.co.jp">http://www.m-system.co.jp</a></p> |  |

表 3-55 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、地下水組成)

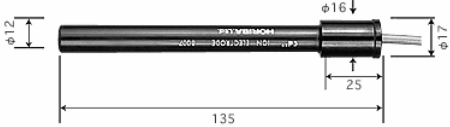
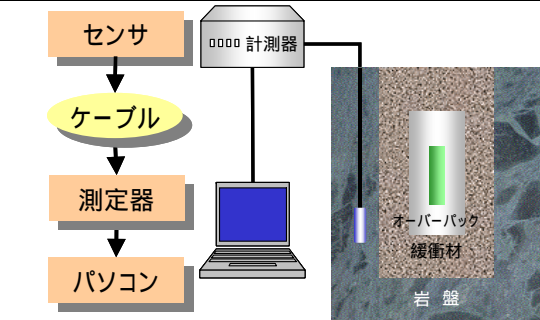
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)  | 機器の具体例   | 処分場環境への適用  |
|--|--|--|
| 測定技術: イオン電極式(一般計測用: Cu, Cd, Pb, Ag)  | 機器名称(メーカー名):   | 処分場環境での実績:   |
| 目的及び用途:  | <ul style="list-style-type: none"> <li>銅イオン電極 8006-10C (HORIBA)</li> <li>カドミウムイオン電極 8007-10C (HORIBA)</li> <li>鉛イオン電極 8008-10C (HORIBA)</li> <li>銀イオン電極 8011-10C (HORIBA)</li> </ul>   | 本技術が、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |
| 原位置岩盤内での経時的なイオン計測  | 適用範囲: 0.06~6,350mg/L Cu <sup>2+</sup> / 0.1~11,240mg/L Cd <sup>2+</sup> / 2~20,000mg/L Pb <sup>2+</sup> / 0.01~110,000mg/L Ag <sup>+</sup>   | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |
| 測定原理:  | 適用精度(再現性): 不明  | <ul style="list-style-type: none"> <li>耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>耐久性/保守: 不明</li> <li>耐放射線性: 不明</li> <li>酸化還元性: 不明</li> <li>データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>小型化: 小型化必要</li> <li>その他: 低含水試料の計測限界は不明、妨害イオンの影響あり</li> </ul> |
| イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受ける場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。 | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):  |  |
|  | 計測温度範囲: 0~50(°C)   |  |
|  | 主要材質:  |  |
|  | センサ部: 不明   |  |
|  | 機器イメージ図:   |  |
|  |  <p>例:カドミウムイオン電極 8007-10C</p>  | システム想定図:   |
|  | その他仕様:   |    |
|  | <ul style="list-style-type: none"> <li>寸法: センサ全長 150mm; 直径 16mm</li> <li>共存許容限界値:</li> <li>8006-10C : Fe<sup>2+</sup>=0.1 Ni<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>=1,000</li> <li>8007-10C : Cu<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, Ag<sup>+</sup>=不可 Pb<sup>2+</sup>=1 Fe<sup>3+</sup>=1 Cr<sup>3+</sup>, Fe<sup>2+</sup>=100 Ni<sup>2+</sup>=1,000</li> <li>8008-10C : Cu<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, S<sup>2-</sup>, Ag<sup>+</sup>=不可 Fe<sup>3+</sup>=0.01 Cr<sup>3+</sup>=1 Cd<sup>2+</sup>=10 Ni<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>=100 NH<sup>4+</sup>, K<sup>+</sup>=1,000</li> <li>8011-10C : Hg<sup>2+</sup>=不可 Cu<sup>2+</sup>, Cd<sup>2+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>=1000 以上</li> <li>pH 範囲: pH2~6/ pH3~8 / pH4.5~6.5 / pH2~10</li> </ul> | 連絡先等:  |
|  | 概略費用:  | 株式会社堀場製作所<br>〒601-8510, 京都市南区吉祥院宮の東町2,<br>TEL: (075) 313-8121, 0120-37-6045/FAX: (075) 321-5648  |
|  | ¥52,000  | 情報ソース/文献:<br>株式会社堀場製作所ホームページ: <a href="http://global.horiba.com">http://global.horiba.com</a><br>エム・システム技研ホームページ: <a href="http://www.m-system.co.jp">http://www.m-system.co.jp</a>  |

表 3-56 情報取得技術調査表 (ニアフィールド岩盤、地下水組成)


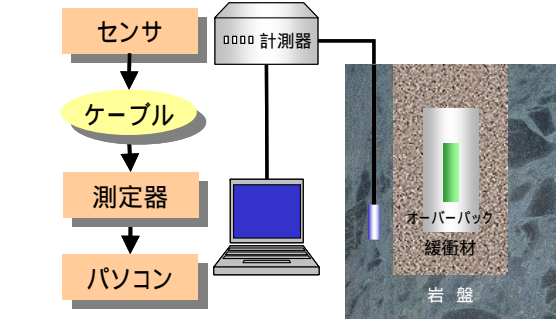
|   |   |  |  |
|---|---|--|--|
| 項目: 間隙水の地球化学(地下水組成)   | 機器の具体例  | 処分場環境への適用  |  |
| 測定技術: イオン電極式(専用計測: Na, NH <sub>4</sub> )  | 機器名称(メーカー名):  | 処分場環境での実績:   |  |
| 目的及び用途:   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 2.4φ 微小ナトリウムイオン電極(ケミカル機器株式会社)(1)</li> <li>・ 2.4φ 微小アンモニウムイオン電極(ケミカル機器株式会社)(2)</li> </ul> | 本技術は医療用であり、国内外の処分場環境において、本目的及び用途のために利用された事例はない。  |  |
| 原位置岩盤内での経時的なイオン計測   |   |  |  |
| 測定原理:   | 適用範囲: 不明  | 処分場環境への適用の際に要求される技術レベル及び課題:  |  |
| <p>イオン電極は、水素イオン濃度による電位差を計測する pH 計と同様の原理で、特定イオンの濃度を測定するもので、その構造からガラス膜型、固体膜型、液膜型、隔膜型に分類される。イオン電極は選択的に特定のイオンだけに応答して、そのイオンの濃度を測定可能であるが、共存するほかのイオンの影響を受けられる場合(妨害イオン)がある。原理式は次の通りである。</p> $E = E_0 + (2.303RT/nF) \log a$ <p>ここで、<math>E_0</math>: 基準電位、<math>R</math>: 気体定数、<math>F</math>: ファラデー定数、<math>n</math>: 測定イオンの可数、<math>T</math>: 測定時の絶対温度、<math>a</math>: イオンの活量</p> | 適用精度(再現性): 不明   | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 耐圧性(緩衝材の膨潤圧及び地圧): 不明</li> <li>・ 耐久性/保守: 不明</li> <li>・ 耐放射線性: 不明</li> <li>・ 酸化還元性: 不明</li> <li>・ データ伝送: 坑道閉鎖前であれば問題なし。閉鎖後は配線による岩盤への擾乱影響の可能性。無線技術必要</li> <li>・ 小型化: 直径数 mm 程度である。</li> <li>・ その他: 低含水試料の計測限界は不明、1価の妨害陽イオンの影響あり</li> </ul> |  |
|   | 適用雰囲気(温度、圧力、酸化還元、放射線等):   |  | 計測温度範囲: 10-50(°C)  |
|   | 主要材質:   |  | センサ部: 不明   |
|   | 機器イメージ図:  |  |  |
|   |   |  |   |
|   |   |  |  |
| その他仕様:  | 連絡先等:   |  |  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 最大直径: 2.4φ</li> <li>・ ケーブル長: 3m(テフロン)</li> <li>・ 特徴: 内視鏡挿入可(1)</li> <li>・ 特殊比較電極必要</li> </ul>  | ケミカル機器株式会社<br>〒192-0045 東京都八王子市大和田町 5-31-24<br>TEL:0426-48-5350(代)/FAX:0426-48-5332   |  |  |
| 概略費用:   | 情報ソース/文献:   |  |  |
| 記載なし  | ケミカル機器株式会社ホームページ:<br><a href="http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html">http://www.h3.dion.ne.jp/~cic.ins/index.html</a>      |  |  |

表 3-57 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、水分量）

| 測定技術           | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>       |                                      |   |  |   |  |   |   | 適用性 <sup>※2</sup>            | 今後の技術課題・克服レベル  |   |  |
|----------------|--|--------------------------------------|---|--|---|--|---|---|------------------------------|--|---|--|
|                | 温度   | 圧力                                   | 酸化還元性                                       | 放射線  | 飽和度   | 保守<br>(長期計測)                                 | 伝送  | 小型化   |                              |  |   |  |
| TDR 式          | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は、温度センサを併用することにより補正可能である。 | 測定可能であると考えられる。                       | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | 本調査範囲では実績がなかったが、耐放射線技術を参考に改良を行うことは可能であると考えられる。 | 計測可能な範囲にあるが、 <u>緩衝材が低比抵抗性であるため、電磁波の減衰による測定精度の低下を防ぐ工夫が必要である。</u> | 電極材料に腐食のない物質を用いれば、長期測定可能と考えられる。実績は5~10年程度である | 測定対象部(緩衝材)にはセンサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | 計測部の小型化には限界があるものの、プローブ改良によって擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。 | ○                            | 調査結果より、長期計測の観点から有望であると考えられる。今後の技術課題として、電磁波の減衰による測定精度の低下を防ぐ工夫が挙げられる。また、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |   |  |
| FDR 式          |  | 測定可能性は高いが、現状では、十分な強度を持つセンサが開発されていない。 |   |  |   | 実績はないが、電極材料に腐食のない物質を用いれば、長期測定可能と考えられる。       |   |   |                              | ○  | 調査結果より、長期計測の観点から有望であると考えられるが、実績がほとんどないという問題がある。今後の技術課題として、測定部の強度向上と、電磁波の減衰による測定精度の低下を防ぐ工夫が必要である。また、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |  |
| サイクロメトリック式     | 想定範囲内であれば測定可能であるが、 <u>温度勾配下では誤差が大きくなる。</u>       | 測定可能であると考えられる。                       | <u>酸化・還元状態には影響されないが、電解質濃度により誤差が大きくなる。</u>   |  |   | <u>連続測定の場合の寿命は約10,000時間であり、長期連続測定は困難である。</u> |   |   |                              | 現状で十分小型であり、擾乱影響の少ない計測が可能である。   | △   | 本測定技術の課題は、温度勾配下での測定精度の確保、電解質濃度の影響の補正、およびセンサの長寿命化である。温度勾配の影響は、センサ自体が小型であれば影響は小さいと見なせる。また、電解質濃度の影響は、電気伝導度センサとの組み合わせにより、ある程度補正できる。センサの寿命が問題となるが、測定間隔を広げることである程度対応できる。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |
| 露点式<br>(静電容量型) | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は、温度センサを併用することにより補正可能である。 |                                      |   |  |   |  |   | 基本的に不飽和状態でのみ計測可能である。                                | 正確な測定のためには、定期的な校正を要するとされている。 |  | 計測部の小型化には限界があるものの、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。   | △  |

| 測定技術         | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |                |   |  |   |                                      |   |                 | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|--------------|--|----------------|---|--|---|--------------------------------------|---|-----------------|-------------------|---|
|              | 温度   | 圧力             | 酸化還元性                                       | 放射線  | 飽和度                                     | 保守<br>(長期計測)                         | 伝送  | 小型化             |                   |   |
| テンシオ<br>メータ式 | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は温度センサとの併用により補正可能である。 | 測定可能であると考えられる。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | 本調査範囲では実績がなかったが、耐放射線技術を参考に改良を行うことは可能であると考えられる。 | <u>乾燥状態の緩衝材に対しては、計測可能な範囲を超え、機能しなくなる</u> | <u>定期的な校正と水の補充が必要であり、長期計測は困難である。</u> | 測定対象部(緩衝材)にはセンサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | 計測部の小型化には限界がある。 | ×                 | 本測定技術の課題は、飽和度の低い領域での測定可能性と、長期的な連続計測技術の向上であるが、解決の見込みはきわめて低い。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

○: ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い

△: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い

×: 原理的に計測可能性は低い。



表 3-58 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、応力・ひずみ）

| 測定技術    | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>*1</sup> |                         |   |   |                           |   |   |   | 適用性 <sup>*2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|---------|--|-------------------------|---|---|---------------------------|---|---|---|-------------------|---|
|         | 温度   | 圧力                      | 酸化還元性                                       | 放射線   | 飽和度                       | 保守<br>(長期計測)                                  | 伝送  | 小型化   |                   |   |
| OSMOS   | センサに温度依存性がないため、想定範囲内であれば計測は可能である。          | 想定範囲内であれば測定可能であると考えられる。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | 本調査範囲では実績がなかったが、一般に、ガラス素材は放射線影響を受けやすいと言われている。適当な被覆を選択することにより、解決できる可能性がある。 | 飽和度には影響されず、測定可能であると考えられる。 | 長期計測の実績は少ないが、測定原理から、センサ自体の保守はほとんど不要であると考えられる。 | 配線により赤外線を送る必要があり、伝送を無線化することはできない。                                 | 計測部の小型化には限界があるものの、設置方法の改良により、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。  | ○                 | 総合的に見て、有望な技術であると考えられる。計測原理の面での課題は少ないが、ひずみが大きい場合の破損対策が課題となる。また、擾乱影響の少ない設置方法の検討が必要である。長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないため、今後検討が必要であると思われる。  |
| BOTDR   | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響を受けるため、補正が必要である。    |                         |   |   |                           |   |   | 計測部の小型化は困難であるが、設置方法の改良により、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。   | ○                 | 総合的に見て、有望な技術であると考えられる。計測に専門技術者が必要であることが普及を妨げており、実績が OSMOS よりも少ない。計測原理の面での課題は少ないが、ひずみが大きい場合の破損対策が課題となる。また、擾乱影響の少ない設置方法の検討が必要である。長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないため、今後検討が必要であると思われる。 |
| FBG     | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響を受けやすく、補正が必須である。    |                         |   |   |                           |   |   | 総合的に見て、有望な技術であると考えられるが、比較的新しい技術であり、実績が少ない。計測原理の面での課題は少ないが、温度変化の補正と、ひずみが大きい場合の破損対策が課題となる。また、擾乱影響の少ない設置方法の検討が必要である。長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないため、今後検討が必要であると思われる。 | ○                 | 総合的に見て、有望な技術であると考えられるが、比較的新しい技術であり、実績が少ない。計測原理の面での課題は少ないが、温度変化の補正と、ひずみが大きい場合の破損対策が課題となる。また、擾乱影響の少ない設置方法の検討が必要である。長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないため、今後検討が必要であると思われる。               |
| ひずみゲージ式 | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は補正することが可能である。      | 想定範囲内であれば測定可能であると考えられる。 |   | <u>半導体ひずみゲージを用いる場合は、耐久性が問題となる可能性がある。</u> 抵抗線の場合は、原理的に影響を受けないと考えられる。       |                           | <u>定期的な校正を要するため、長期計測は困難である。</u>               | センサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | 小型のセンサが開発されており、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。  | △                 | 土木計測での実績が極めて豊富であるが、調査結果より、長期計測の観点からあまり適していないと考えられる。技術課題として、センサの長期安定性が挙げられる。また、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。  |

| 測定技術         | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup> |                |   |   |                           |   |   |   | 適用性 <sup>※2</sup>  | 今後の技術課題・克服レベル  |
|--------------|--|----------------|---|---|---------------------------|---|---|---|--|--|
|              | 温度   | 圧力             | 酸化還元性                                       | 放射線   | 飽和度                       | 保守<br>(長期計測)                                | 伝送  | 小型化                                       |  |  |
| 油圧式          | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響を受けやすく、補正が必須である。    | 測定可能であると考えられる。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | 本調査範囲では実績がなかったが、原理的に影響を受けないため、測定に問題はないと考えられる。                             | 飽和度には影響されず、測定可能であると考えられる。 | <u>定期的に圧力流体を補充する必要がある。保守無しでの長期計測は困難である。</u> | センサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | <u>計測器は比較的大型である。精度を保つために小型化は困難である。</u>    | △  | 土木計測での実績は極めて豊富であるが、調査結果より、保守の観点からはあまり適していないと考えられる。技術課題として、センサの長期計測が挙げられる。また、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |
| 弦振動式         | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は、補正することが可能である。     |                |   | 本調査範囲では実績がなかったが、原理的に影響を受けないため、測定に問題はないと考えられる。                             |                           | 長期計測に向けているとされており、保守は少なくて済むと考えられる。           |   | 計測部の小型化には限界があるものの、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。 | ○  | 調査結果より、長期計測の観点から有望であると考えられる。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。   |
| ファブリ・ペロ型干渉計式 | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響を受ける可能性がある。         |                |   | 本調査範囲では実績がなかったが、一般に、ガラス素材は放射線影響を受けやすいと言われている。適当な被覆を選択することにより、解決できる可能性がある。 |                           | 計測部の小型化には限界があるものの、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。   |   | ○   | 調査結果より、長期計測の観点から有望であると考えられる。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |  |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-59 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、間隙水圧）

| 測定技術        | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>                           |   |   |   |                                 |  |  |  | 適用性 <sup>※2</sup>   | 今後の技術課題・克服レベル  |
|-------------|--|---|---|---|---------------------------------|--|--|--|---|--|
|             | 温度   | 圧力  | 酸化還元性   | 放射線   | 飽和度                             | 保守<br>(長期計測)   | 伝送   | 小型化                                      |   |  |
| ひずみ<br>ゲージ式 | 想定範囲内<br>であれば計測<br>は可能である。温度の<br>影響は温度<br>センサとの併<br>用により補正<br>可能である。 | 緩衝材が飽<br>和し、間隙水<br>圧が正圧に<br>なった後に測<br>定可能となる。 | 原理的に影<br>響を受けない<br>ため、センサ<br>に腐食のない<br>材料を用い<br>れば測定可<br>能であると考<br>えられる | 半導体ひず<br>みゲージを<br>用いる場合<br>は、耐久性が<br>問題となる可<br>能性がある。<br>抵抗線の場合<br>は、原理的<br>に影響を受<br>けないと考え<br>られる。 | 基本的に飽<br>和状態での<br>み測定可能<br>である。 | <u>定期的な校正を要するため、長期計測は困難である。</u>                                    | センサおよび配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | 小型のセンサが入手でき、擾乱影響の少ない計測が可能であるとえられる。       | △   | 土木計測での実績が極めて豊富であるが、調査結果より、長期計測の観点からあまり適していないと考えられる。技術課題として、センサの長期安定性が挙げられる。また、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |
| 差動<br>トランス型 |  |   |   | 本調査範囲では実績がなかったが、原理的に影響を受けないため、測定に問題はないと考えられる。   |                                 | ひずみゲージ式よりも長期安定性に優れているとされている。                                       | センサおよび配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましい。無線通信ユニットと一体化した製品が市販されている。           | 比較的小型のセンサが入手可能である。擾乱影響の少ない計測が可能であるとえられる。 | ○   | 調査結果より、ひずみゲージ式よりも長期安定性に優れる点で、有望な技術であると考えられる。現時点で、無線通信ユニットと一体化した製品が得られる唯一の方法であるが、現状では無線化ユニットが比較的大きいため、小型化が課題である。                      |
| 弦振動式        |  |   |   | 長期計測に向いているとされており、保守は少なく済むと考えられる。  |                                 | センサおよび配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | センサ部の小型化には限界があるものの、擾乱影響の少ない計測が可能であるとえられる。                          | ○  | 調査結果より、長期安定性に優れる点で、有望な技術であると考えられる。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化について検討が必要となる。 |  |

| 測定技術            | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |   |   |   |                     |                                  |   |   | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル  |
|-----------------|--|---|---|---|---------------------|----------------------------------|---|---|-------------------|--|
|                 | 温度   | 圧力                                      | 酸化還元性                                       | 放射線   | 飽和度                 | 保守<br>(長期計測)                     | 伝送  | 小型化                                       |                   |  |
| ファブリペロ型<br>干渉計式 | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は温度センサとの併用により補正可能である。 | 緩衝材が飽和し、間隙水圧が正圧になった後であれば、測定可能であると考えられる。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | 本調査範囲では実績がなかったが、一般に、ガラス素材は放射線影響を受けやすいと言われている。適当な被覆を選択することにより、解決できる可能性がある。 | 基本的に飽和状態でのみ測定可能である。 | 長期計測に向いているとされており、保守は少なく済むと考えられる。 | センサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | 計測部の小型化には限界があるものの、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。 | ○                 | 調査結果より、長期安定性に優れる点で、有望な技術であると考えられる。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討が必要となる。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

○: ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い

△: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い

×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-60 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、温度）

| 測定技術          | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup> |   |  |   |  |  |   |  | 適用性 <sup>※2</sup>  | 今後の技術課題・克服レベル  |
|---------------|--|---|--|---|--|--|---|--|--|--|
|               | 温度   | 圧力  | 酸化還元性  | 放射線   | 飽和度  | 保守<br>(長期計測)   | 伝送  | 小型化  |  |  |
| FOTM<br>(DTS) | 想定範囲内<br>であれば計測<br>は可能である。                 | 想定範囲内<br>であれば測定<br>可能であると考<br>えられる。                                 | 原理的に影<br>響を受けない<br>ため、光ファイ<br>バ保護管<br>に腐食のない<br>材料を用い<br>れば測定可<br>能であると考<br>えられる | 本調査範囲<br>では実績が<br>なかったが、<br>原理的に影<br>響を受けない<br>ため、測定に<br>問題はないと<br>考えられる。 | 原理的に影<br>響を受けない<br>ため、測定可<br>能であると思<br>えられる。 | 長期計測の<br>実績は少ない<br>が、測定原理<br>から推定する<br>と、保守はほと<br>んど不要である<br>と考えられる。 | 配線そのもの<br>がセンサであり<br>、伝送を無線化<br>することはでき<br>ない。  | センサ部の<br>小型化は困難<br>であるが、設置<br>方法の工夫によ<br>り、擾乱影響の<br>少ない計測が可<br>能であると思<br>えられる。 | ○  | 総合的に見て、有望な技術であると考えられる。計測原理の面での課題はほとんどないが、ひずみが大きい場合にファイバの破壊への対策が課題となる。また、擾乱影響の少ない設置方法の検討が必要である。長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないため、今後検討が必要であると思われる。 |
| 測温抵抗体<br>(白金) |  | 熱電対よりも<br>耐圧性に劣る<br>とされている<br>が、想定範囲<br>内であれば測<br>定可能である<br>と考えられる。 | 原理的に影<br>響を受けない<br>ため、センサ<br>に腐食のない<br>材料を用い<br>れば測定可<br>能であると思<br>えられる          |   |  | 長期計測の<br>実績が豊富で<br>、保守はほと<br>んど不要であ<br>る。                            | センサ及び<br>配線が挿入さ<br>れることとな<br>るため、無線<br>化が望ましい<br>が、本調査範<br>囲では、無線<br>技術のような<br>配線の影響を<br>考慮した実績<br>はなかった。 | 現状で十分<br>小型であり、<br>擾乱影響の<br>少ない計測が<br>可能である。                                   | ○  | 確実に高精度の測定結果が得られる技術であると言える。センサ価格が高いのが難点である。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についての検討が必要となる。   |
| 熱電対           |  | 想定範囲内<br>であれば測定<br>可能であると考<br>えられる。                                 | 原理的に影<br>響を受けない<br>ため、センサ<br>に腐食のない<br>材料を用い<br>れば測定可<br>能であると思<br>えられる          |   |  | <u>連続測定の場合の寿命は約10,000時間であり、長期連続測定は困難である。</u>                         | 現状で十分<br>小型であり、<br>擾乱影響の<br>少ない計測が<br>可能である。  | ○  | 確実に信頼性の高い測定結果が得られる技術であると言える。長期測定の場合は、センサの寿命が問題となるが、測定間隔を広げることである程度対応できる。測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についての検討が必要となる。 |  |

| 測定技術  | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup> |                         |   |   |                              |                                  |   |                              | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|-------|--|-------------------------|---|---|------------------------------|----------------------------------|---|------------------------------|-------------------|---|
|       | 温度   | 圧力                      | 酸化還元性                                       | 放射線   | 飽和度                          | 保守<br>(長期計測)                     | 伝送  | 小型化                          |                   |   |
| サーミスタ | 想定範囲内であれば計測は可能である。                         | 想定範囲内であれば測定可能であると考えられる。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | <u>半導体であるため、耐性が問題となる可能性がある。</u>               | 原理的に影響を受けないため、測定可能であると考えられる。 | 比較的長寿命で、保守はほとんど不要である。            | センサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | 現状で十分小型であり、擾乱影響の少ない計測が可能である。 | ○                 | 測定精度は高くないが、センサは安価である。ケーブル長を長くすると、誤差が大きくなる問題がある。これに加え、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についての検討が必要となる。 |
| 弦振動式  |  |                         |   | 本調査範囲では実績がなかったが、原理的に影響を受けないため、測定に問題はないと考えられる。 |                              | 長期計測に向いているとされており、保守は少なく済むと考えられる。 |   |                              |                   |   |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

○:ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い

△:原理的に克服すべき課題のレベルが高い

×:原理的に計測可能性は低い。

表 3-61 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、変位）

| 測定技術               | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |                         |   |   |                              |   |                               |  | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|--------------------|--|-------------------------|---|---|------------------------------|---|-------------------------------|--|-------------------|---|
|                    | 温度   | 圧力                      | 酸化還元性                                       | 放射線   | 飽和度                          | 保守<br>(長期計測)                                  | 伝送                            | 小型化  |                   |   |
| ひずみ<br>ゲージ式<br>変位計 | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は温度センサとの併用により補正可能である。 | 想定範囲内であれば測定可能であると考えられる。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | <u>半導体ひずみゲージを用いる場合は、耐久性が問題となる可能性がある。</u> 抵抗線の場合は、原理的に影響を受けないと考えられる。       | 原理的に影響を受けないため、測定可能であると考えられる。 | <u>定期的な校正を要するため、長期計測は困難である。</u>               | データ伝送用の配線は挿入されないため、伝送上の問題はない。 | <u>緩衝材に設置される体積が大きい</u> ため、 <u>小型化を検討する必要がある。</u> | △                 | 土木計測での実績が極めて豊富であるが、調査結果より、長期計測の観点からあまり適していないと考えられる。技術課題として、センサの長期安定性の向上と、擾乱影響を少なくするための装置全体の小型化が上げられる。 |
| FBG<br>変位計         | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響を受けやすく、補正が必須である。      |                         |   | 本調査範囲では実績がなかったが、一般に、ガラス素材は放射線影響を受けやすいと言われている。適当な被覆を選択することにより、解決できる可能性がある。 |                              | 長期計測の実績は少ないが、測定原理から、センサ自体の保守はほとんど不要であると考えられる。 |                               |  | ○                 | 総合的に見て、有望な技術であると考えられるが、比較的新しい技術であり、実績が少ない。計測原理の面での課題として、温度変化の補正と、擾乱影響を少なくするための装置全体の小型化が上げられる。         |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

○: ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い

△: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い

×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-62 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、密度）

| 測定技術   | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |  |   |   |   |  |   |   | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|--------|--|--|---|---|---|--|---|---|-------------------|---|
|        | 温度   | 圧力   | 酸化還元性                                       | 放射線   | 飽和度   | 保守<br>(長期計測)                                   | 伝送  | 小型化   |                   |   |
| RI 密度計 | 原理的に影響を受けないため、想定範囲内であれば計測は可能である。             | 想定範囲内であれば測定可能であると考えられるが、破壊による線源の漏洩に対しては注意を要する。 | 原理的に影響を受けないため、センサに腐食のない材料を用いれば測定可能であると考えられる | <u>バックグラウンドのγ線密度が高いと、測定精度に大きな影響が出る。</u>       | 想定範囲内であれば計測は可能である。  | <u>半減期(約5年)ごとに線源を交換する必要があるため、長期連続計測は困難である。</u> | センサ及び配線が挿入されることとなるため、無線化が望ましいが、本調査範囲では、無線技術のような配線の影響を考慮した実績はなかった。 | ある程度までは可能であるが、測定に必要な線源の強度により制約を受ける。                 | ×                 | 非破壊測定方法として実績の多い方法であるが、線源の寿命は延ばすことができないため、無交換での長期計測は不可能である。<br>ごく初期の測定には適用可能と考えられるが、バックグラウンドのγ線の影響を取り除く必要がある。  |
| TDR    | 想定範囲内であれば計測は可能である。温度の影響は温度センサとの併用により補正可能である。 | 想定範囲内であれば測定可能であると考えられる。                        |   | 本調査範囲では実績がなかったが、原理的に影響を受けないため、測定に問題はないと考えられる。 | 計測可能な範囲にあるが、 <u>緩衝材が低比抵抗性であるため、電磁波の減衰による測定精度の低下を防ぐ工夫が必要である。</u> | 電極材料に腐食のない物質を用いれば、長期測定可能と考えられる。                |   | 計測部の小型化には限界があるものの、プローブ改良によって擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。 | △                 | 比較的新しい方法である上、粘質土への適用事例がほとんどないため、現状で適用性は不明である。今後の技術課題として、適用性の確認と、電磁波の減衰による測定精度の低下を防ぐ工夫が挙げられる。<br>また、測定系および伝送系の配線による処分環境への影響が懸念されることから、伝送の無線化についても検討が必要となる。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。



表 3-63 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、pH）

| 測定技術    | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |  |   |  |                          |   |   |   | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|---------|--|--|---|--|--------------------------|---|---|---|-------------------|---|
|         | 温度   | 圧力   | 酸化還元性   | 放射線  | 飽和度                      | 保守<br>(長期計測)  | 伝送  | 小型化   |                   |   |
| ガラス電極式  | 同様測定技術でも仕様は若干異なるが、想定範囲内(100℃未満)であれば計測は可能である。<br>また温度依存性による指示値の影響については、温度センサを併用することで補正が可能である。 | 衝撃性に強いガラス電極も開発されているが、原理的に耐圧性はそれほど高いとはいえない。                 | 原理的に影響は受けないため測定可能であると考えられる。                         | 本調査範囲では実績が不明であるが、他の原子力分野や宇宙開発分野の知見から材質面を考慮すれば計測は可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるため判断できない。 | <u>原理的に参照電極の内<br/>部液の交換<br/>が必要となり、<br/>長期継続<br/>計測は困難<br/>である。</u> | 本計測技術はセンサ部、配線、計測器で構成され、測定対象部(緩衝材)に挿入された配線による伝送が行われる。なお、本調査範囲では無線技術を利用した実績はなかった。 | 医療分野では小型センサ(直径約1mm)も開発・利用されており、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。    | △                 | 圧力については、衝撃性に強いガラス電極の開発が行われているところであり、今後一般の産業分野でも技術レベルの向上が期待できる。ただし、原理的に電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。 |
| 金属酸化膜式  |  | 測定可能であると考えられる。   | <u>原理的に酸化還元雰囲気<br/>に影響を受けるため<br/>計測は困難<br/>である。</u> |  |                          |   |   |   | ×                 |   |
| ISFET 式 |  | 半導体部分を保護する構造にすることで深海底での計測実績を有しており、想定環境においても計測は可能であると考えられる。 | 原理的に影響は受けないため測定可能であると考えられる。                         |  |                          |   |   | 本調査範囲では小型化の実績はないが、原理的には、計測部の小型化は可能であり擾乱影響の少ない計測が可能と考えられる。 | △                 | 計測原理からは課題は少ないが、水分量が少ない場合の計測は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。ただし、原理的に電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。さらに、水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。         |

| 測定技術   | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup> |   |                                 |  |     |                                      |  |     | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル  |
|--------|--|---|---------------------------------|--|-----|--------------------------------------|--|-----|-------------------|--|
|        | 温度   | 圧力  | 酸化還元性                           | 放射線  | 飽和度 | 保守<br>(長期計測)                         | 伝送   | 小型化 |                   |  |
| 光ファイバ式 |  | 海底ケーブルなど、他の用途実績から判断すれば、原理的に測定可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、測定可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績がなかったが、一般にガラス素材は放射線影響を受けやすい(失透)と言われている。 |     | 本調査における計測手法では、計測部に含浸させる指示薬の劣化が懸念される。 | 本計測技術は小型計測部、ファイバ部、計測器で構成される。小型計測部及びファイバ部は緩衝材中に挿入されるが、影響は少ないと考えられる。 |     | ○                 | 計測原理からは課題は少ないが、水分量が少ない場合の計測は実績がなく、今後、計測方法の検討が必要であると思われる。また、長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないないが、例えば、含浸させる指示薬の劣化に対する検討は必要であると考えられる。さらに、水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-64 測定技術の適用性に関するまとめ (緩衝材、Eh)

| 測定技術  | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |                                       |                |  |                          |  |   |  | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル  |
|-------|--|---------------------------------------|----------------|--|--------------------------|--|---|--|-------------------|--|
|       | 温度   | 圧力                                    | 酸化還元性          | 放射線  | 飽和度                      | 保守<br>(長期計測)                               | 伝送  | 小型化  |                   |  |
| ORP 式 | 同様測定技術でも仕様は若干異なるが、想定範囲内(100℃未満)であれば計測は可能である。<br>また温度依存性による指示値の影響については、温度センサを併用することで補正が可能である。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、材質(金属)的には問題ないと考えられる。 | 測定可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、他の原子力分野や宇宙開発分野の知見から材質面を考慮すれば計測は可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるため判断できない。 | <u>原理的に参照電極の内部液の交換が必要となり、長期継続計測は困難である。</u> | 本計測技術はセンサ部、配線、計測器で構成され、測定対象部(緩衝材)に挿入された配線による伝送が行われる。なお、本調査範囲では無線技術を利用した実績はなかった。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、原理的には pH 計測用電極と同様であり、小型化は可能であると考えられる。 | △                 | 原理的に電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。なお、本調査範囲では代替となる計測技術はない。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-65 測定技術の適用性に関するまとめ（緩衝材、間隙水組成）

| 測定技術   | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |                                       |                          |  |                          |  |   |  | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|--------|--|---------------------------------------|--------------------------|--|--------------------------|--|---|--|-------------------|---|
|        | 温度   | 圧力                                    | 酸化還元性                    | 放射線  | 飽和度                      | 保守<br>(長期計測)                               | 伝送  | 小型化  |                   |   |
| イオン電極式 | 同様測定技術でも仕様は若干異なるが、想定範囲内(100℃未満)であれば計測は可能である。<br>また温度依存性による指示値の影響については、温度センサを併用することで補正が可能である。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、材質(金属)的には問題ないと考えられる。 | <u>他のイオンの妨害による影響がある。</u> | 本調査範囲では実績が不明であるが、他の原子力分野や宇宙開発分野の知見から材質面を考慮すれば計測は可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるため判断できない。 | <u>原理的に参照電極の内部液の交換が必要となり、長期継続計測は困難である。</u> | 本計測技術はセンサ部、配線、計測器で構成され、測定対象部(緩衝材)に挿入された配線による伝送が行われる。<br>なお、本調査範囲では無線技術を利用した実績はなかった。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、原理的にはpH計測用電極と同様であり、小型化は可能であると考えられる。 | △                 | 原理的に他のイオン妨害による影響があるため、環境条件の把握が必要である。また、電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。<br>なお、本調査範囲では代替となる計測技術はない。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-66 測定技術の適用性に関するまとめ (ニアフィールド岩盤、pH)

| 測定技術    | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>            |  |                                      |  |  |  |  |   | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|---------|---|--|--------------------------------------|--|--|--|--|---|-------------------|---|
|         | 温度  | 圧力   | 酸化還元性                                | 放射線  | 飽和度  | 保守<br>(長期計測)   | 伝送   | 小型化   |                   |   |
| ガラス電極式  | 同様測定技術でも仕様は若干異なるが、想定範囲内(100℃未満)であれば計測は可能である。          | 地圧程度であれば計測は可能であると考えられる。                                    | 原理的に影響は受けなため測定可能であると考えられる。           | 本調査範囲では実績が不明であるが、他の原子力分野や宇宙開発分野の知見から材質面を考慮すれば計測は可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるため判断できないが、飽和度の高い岩盤であれば計測は可能である。 | <u>原理的に参照電極の内部液の交換が必要となり、メンテナンスフリーの長期継続計測は困難である。</u> | 本計測技術はセンサ部、配線、計測器で構成され、測定対象部(岩盤)に挿入された配線による伝送が行われるが問題は少ないと考えられる。 | 医療分野では小型センサ(直径約1mm)も開発・利用されており、より擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。        | △                 | 原理的に電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。   |
| 金属酸化膜式  | 計測は可能である。また温度依存性による指示値の影響については、温度センサを併用することで補正が可能である。 | 測定可能であると考えられる。   | <u>原理的に酸化還元雰囲気の影響を受けるため計測は困難である。</u> |  |  |  | なお、本調査範囲では無線技術を利用した実績はなかった。                                      | 本調査範囲では小型化の実績はなかったが、原理的には、計測部の小型化が可能であり、擾乱影響の少ない計測が可能であると考えられる。 | ×                 |   |
| ISFET 式 |   | 半導体部分を保護する構造にすることで深海底での計測実績を有しており、想定環境においても計測は可能であると考えられる。 | 原理的に影響は受けなため測定可能であると考えられる。           |  |  |  |  |   | △                 | 計測原理からは課題は少ないが、水分量が少ない場合の計測は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。ただし、原理的に電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。さらに、水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。 |
| 光ファイバ式  |   | 海底ケーブルなど、他の用途実績から判断すれば、原理的に測定可能であると考えられる。                  | 測定可能であると考えられる。                       | 本調査範囲では実績がなかったが、一般にガラス素材は放射線影響を受けやすい(失透)と言われている。             |  | 本調査における計測手法では、計測部に含浸させる指示薬の劣化が懸念される。                 |  |   | ○                 | 計測原理からは課題は少ないが、水分量が少ない場合の計測は実績がなく、今後、計測方法の検討が必要であると思われる。また、長期的なメンテナンスフリーの連続計測の実績は少ないないが、例えば、含浸させる指示薬の劣化に対する検討は必要であると考えられる。さらに、水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。  |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

○: ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い

△: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い

×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-67 測定技術の適用性に関するまとめ（ニアフィールド岩盤、Eh）

| 測定技術  | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |                         |                             |  |  |  |   |   | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|-------|--|-------------------------|-----------------------------|--|--|--|---|---|-------------------|---|
|       | 温度   | 圧力                      | 酸化還元性                       | 放射線  | 飽和度  | 保守<br>(長期計測)   | 伝送  | 小型化   |                   |   |
| ORP 式 | 同様測定技術でも仕様は若干異なるが、想定範囲内(100℃未満)であれば計測は可能である。<br>また温度依存性による指示値の影響については、温度センサを併用することで補正が可能である。 | 地圧程度であれば計測は可能であると考えられる。 | 原理的に影響は受けないため測定可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、他の原子力分野や宇宙開発分野の知見から材質面を考慮すれば計測は可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるため判断できないが、飽和度の高い岩盤であれば計測は可能である。 | <u>原理的に参照電極の内部液の交換が必要となり、メンテナンスフリーの長期継続計測は困難である。</u> | 本計測技術はセンサ部、配線、計測器で構成され、測定対象部(岩盤)に挿入された配線による伝送が行われるが問題は少ないと考えられる。<br>なお、本調査範囲では無線技術を利用した実績はなかった。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、原理的には pH 計測用電極と同様であるとすれば小型化は可能であると考えられる。 | △                 | 原理的に電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。

表 3-68 測定技術の適用性に関するまとめ（ニアフィールド岩盤、地下水組成）

| 測定技術   | 想定される計測環境での現状技術の測定可能性(技術レベル) <sup>※1</sup>   |                                       |                          |  |  |  |   |  | 適用性 <sup>※2</sup> | 今後の技術課題・克服レベル   |
|--------|--|---------------------------------------|--------------------------|--|--|--|---|--|-------------------|---|
|        | 温度   | 圧力                                    | 酸化還元性                    | 放射線  | 飽和度  | 保守<br>(長期計測)   | 伝送  | 小型化  |                   |   |
| イオン電極式 | 同様測定技術でも仕様は若干異なるが、想定範囲内(100℃未満)であれば計測は可能である。<br>また温度依存性による指示値の影響については、温度センサを併用することで補正が可能である。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、材質(金属)的には問題ないと考えられる。 | <u>他のイオンの妨害による影響がある。</u> | 本調査範囲では実績が不明であるが、他の原子力分野や宇宙開発分野の知見から材質面を考慮すれば計測は可能であると考えられる。 | 本調査範囲では実績が不明であるため判断できないが、飽和度の高い岩盤であれば計測は可能である。 | <u>原理的に参照電極の内部液の交換が必要となり、メンテナンスフリーの長期継続計測は困難である。</u> | 本計測技術はセンサ部、配線、計測器で構成され、測定対象部(岩盤)に挿入された配線による伝送が行われるが問題は少ないと考えられる。<br>なお、本調査範囲では無線技術を利用した実績はなかった。 | 本調査範囲では実績が不明であるが、原理的にはpH計測用電極と同様であり、小型化は可能であると考えられる。 | △                 | 原理的に他のイオン妨害による影響があるため、環境条件の把握が必要である。また、電極への内部液交換が必須であり、長期的なメンテナンスフリーの連続計測を行うには、克服すべき技術レベルは高い。水分量が少ない場合の計測可能性は実績がなく、今後検討が必要であると思われる。また、伝送系等配線による処分環境への影響が懸念されることから、無線技術についても検討も必要となる。<br>なお、本調査範囲では代替となる計測技術はない。 |

※1 下線は原理的に計測が困難であることが予想される内容

※2 個々の技術について次の判断による。

- : ある程度の技術課題を克服すれば計測可能性が高い
- △: 原理的に克服すべき課題のレベルが高い
- ×: 原理的に計測可能性は低い。

### 3章 参考文献

- 3-1)原子力環境整備促進・資金管理センター：“平成12年度高レベル放射性廃棄物処分事業推進調査報告書（第3分冊）、モニタリング技術高度化調査（1/2）地層処分モニタリングシステム技術の開発”、(2001)



#### 4. 情報取得技術高度化の可能性の検討

##### 4.1 無線通信による計測データの取得

人工バリアにさまざまな計測用のセンサを設置する場合、センサと計測機器をつなぐケーブルの敷設が、技術的に困難であったり、人工バリアの性能保全の観点から問題となったりする可能性がある。このため、計測データの取得においては、無線による遠隔通信技術を使用することが望ましい。

そこで、本節では、無線通信技術の概要を述べた後、これを地盤内外のデータ通信に適用する場合の技術的な課題を挙げる。そして、現状で実現されている技術として、近年開発された超長波によるデータ通信装置を示し、この装置の人工バリアへの適用性と今後の課題について述べる。

なお、「無線」という言葉は、狭義の「電信の (Radio)」という意味で用いられることが多いが、本節では「有線」の反対語として、すなわち「ケーブルを使わない (Wireless)」という意味で用いる。

##### 4.1.1 無線通信技術の概要

先に述べたとおり、本節で扱う「無線」は「電信」に限るものではないが、一般に無線といえは電波通信 (radio transmission) のことである。電波通信は 19 世紀末に始まり、電気工学の発展と共に技術的進歩を遂げて今日に到っている。コンピュータが発明されてからは、デジタル信号を利用した通信技術が大きく進歩しており、これを応用した製品やサービスが多く提供されるようになった。例えば、現代の携帯電話の爆発的な普及は、デジタル通信技術の進歩によるところが大きい。

電波通信は、送信側で信号を変調して搬送波に載せ、これを受信側で復調して信号を取り出す変調・復調方式により行うのが一般的である。電波通信の性質のひとつとして、同じ電界強度であれば、搬送波の周波数が低いほど伝達距離は長くなり、単位時間に伝達できるデータ量は少なくなることが挙げられる。

日本の電波法は、電波を、周波数が 3000GHz (GHz=10<sup>9</sup> Hz) 以下の電磁波と定めている。3000GHz を超える搬送波を用いた通信は、電波通信ではなく、光通信と呼ばれる。光通信は、基本的に電波通信をより高い周波数領域に適用したもので、商用のものは、搬送波に THz 領域 (オーダーは 10<sup>0</sup> THz ~ 10<sup>2</sup> THz) の赤外線を用いる方法が主流である。近年では、可視光を用いた通信技術も開発されつつある。

電磁波を用いない無線通信に、音響通信がある。これは、信号を弾性体や流体中の粗密波 (縦波) として伝達する通信方法である。音響通信は、海中のように電波がすぐに減衰してしまう環境において、遠隔通信の主流となっている。

以上のような、各種の無線通信技術を、地盤の内外のデータ通信に利用することを考える。まず、赤外線は地盤に完全に遮へいされてしまうため、用いることができない。次に音響通信は、地盤が飽和している状態では利用できる可能性があるが、不飽和帯では気相によって粗密波のエネルギーが大きく減衰するため、通信が困難になると考えられる。また、電波通信については、

地盤の間隙水に電波を減衰させる働きがあり、かつその減衰は周波数が高いほど大きくなるため、高い周波数の搬送波を用いた通信は適用困難であるが、低い周波数の搬送波を用いれば通信できる可能性があり、最も有望である。但し、通信速度が遅くなることと、送受信のアンテナが大きくなるという問題があり、これらを解決する必要がある。

#### 4.1.2 超長波を用いた地盤内外のデータ通信

地盤中でのデータ計測と、無線によるデータ通信を行うシステムに、独立行政法人農業工学研究所、坂田電機株式会社、および東京電力株式会社が共同開発した、ワイヤレス間隙水圧計がある。ワイヤレス間隙水圧計の構造は、図 4-1 に示すように、直径 12cm、高さ 20cm の FRP (Fiber Reinforced Plastic : ガラス繊維強化プラスチック) ケースの中に、送受信のコイル、間隙水圧計、リチウム電池 (単 1 型 3 本) および回路基盤を収めたものとなっている。

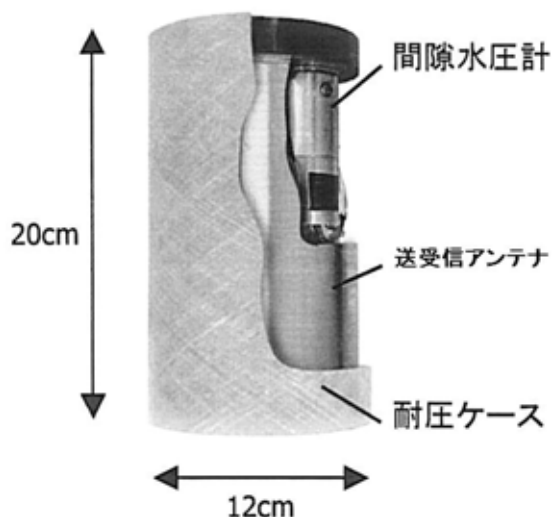


図 4-1 ワイヤレス間隙水圧計の構造 <sup>4-1)</sup>

この装置は、地上部に設置した送受信制御器からの指令を受信し、センサで計測したデータを電波で送信することが可能である。ワイヤレス間隙水圧計を用いたデータの送受信の概念を図 4-2 に示す。データは、デジタル信号に変換された後に、位相変調 (PSK : Phase Shift Keying) を施され、8.5kHz の超長波 (VLF : Very Long Frequency) の搬送波を用いて送信される。搬送波に VLF を用いることにより、地盤の間隙水による電波の減衰を防いでいる。伝送距離は最大 100m で、鉄骨の支保を有するダムを観測坑道との通信も、60m 程度までは可能であるとされている。また、日本の電波法では 10kHz 以下の周波数の電波に強度の規制がないため、法規制の対象から外れるという利点もある。

この装置で、間隙水圧計が占める体積は単 1 型乾電池 2 本分弱であり、この大きさまでであれば、間隙水圧計以外のセンサを組み込むことも可能である。電池の寿命は、週 2 回の計測と、月 1 回のデータ収録を行う場合に約 20 年であり、搭載電池の変更により延長可能であるとされている。

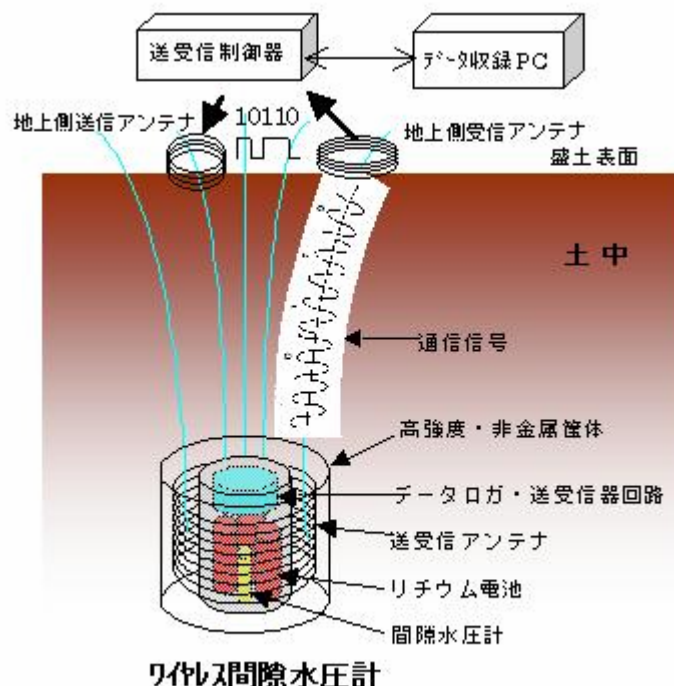


図 4-2 ワイヤレス間隙水圧計を用いたデータの送受信<sup>4-2)</sup>

#### 4.1.3 超長波を用いたデータ通信の人工バリアへの適用性と今後の課題

前項で示したワイヤレス間隙水圧計の直径は 12cm であり、これを地層処分研究開発の第 2 次取りまとめで設定された緩衝材の厚さ 70cm と比較すると、同一半径上に複数設置するには大きいと考えられる。したがって、装置を小型化することが必要である。現状の装置の通信可能距離は、最大で 100m となっているが、データの送受信を坑道に設置した制御器とセンサとの間で行うこととすれば、通信距離は 10～20m 程度でよく、これにより装置を小さくできる可能性がある。また、一次的に坑道に集められたデータの収集には、音響通信のような信号の減衰の影響を受けにくい方法を適用する必要がある。

また、ワイヤレス間隙水圧計の内臓電池の寿命は、週 2 回の計測を行う場合で 20 年程度とされるが、確実な長期の無線計測のためには電池の耐久性向上や無線によるエネルギー供給技術の開発がなされることが必要となる。

## 4.2 ジオトモグラフィによる THMC 情報の取得

本節では、ジオトモグラフィにより、人工バリア、周辺岩盤、および坑道の埋め戻し材の THMC (Thermal、Hydrological、Mechanical and Chemical : 温度、水分、力学、化学性) 情報を取得する方法について検討する。まず、ジオトモグラフィの概要とその一般的な適用性について述べ、次にジオトモグラフィによる THMC 情報の取得可能性を検討する。

### 4.2.1 ジオトモグラフィの概要

ジオトモグラフィとは、地盤に設置した密な観測網を用いて得られた計測データから、地盤の物性値の空間 (2 次元、あるいは 3 次元) 分布を逆問題として数値計算によって求め、それを視覚的に分かりやすい形で示す一連の手法である。

探査測線は、2 次元の場合、計測対象とする地盤の断面領域を取り囲むように設ける。例えば鉛直断面を対象とする場合、2 つ以上の試錐孔と地表面、および観測用の横孔を用いて、図 4-3 のように領域を取り囲む。

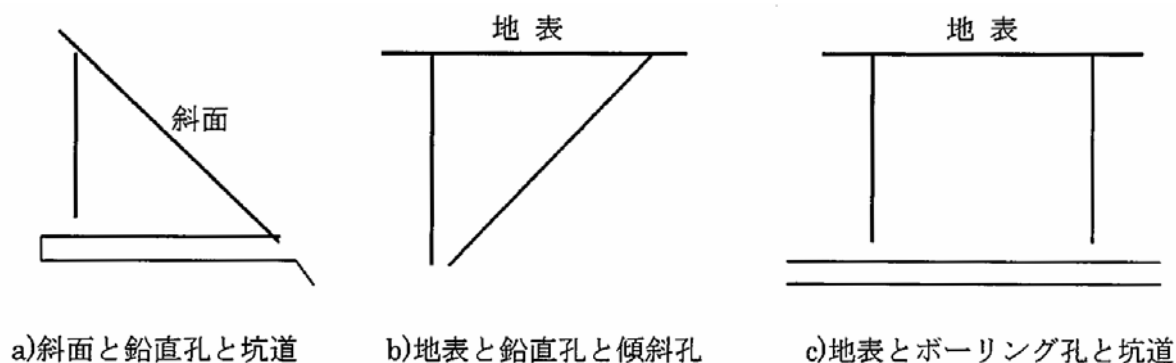


図 4-3 ジオトモグラフィにおける探査測線の取り方<sup>4-3)</sup>

ジオトモグラフィで計測対象とする物性値には、主に地盤の弾性波速度、比抵抗、電磁波速度の 3 つがあり、それぞれの空間分布を求める方法は、弾性波トモグラフィ、比抵抗トモグラフィ、電磁波トモグラフィ (レーダトモグラフィ) と呼ばれる。以下に、これら 3 種類のジオトモグラフィの一般的な適用性について述べる。

#### (1) 弾性波トモグラフィ

弾性波とは、弾性体中を伝わる波動のことで、体積弾性によって伝わる縦波と、ずれ弾性によって伝わる横波に大別される。縦波と横波は、地震波の成分でもあり、その伝達において、縦波が最初に、横波がそれに続いて到達することから、それぞれ P 波 (Primary Wave)、S 波 (Secondary Wave) とも呼ばれる。以下の説明では、物理探査の分野で一般的に用いられる P 波、S 波を用いる。

P 波、および S 波の地盤中における伝搬速度は、地盤の力学的性質および変形特性と関連している。P 波速度は、地盤のマクロな弾性率および密度に依存しており、主に岩盤区分の調査に適用される。また、P 波は不飽和層でエネルギーを大きく減衰させる性質があるため、その速度を

調べることは、地下水の有無やガス層の検出にも有効である。

一方、S 波は地盤中の流体（水、空気）を伝わらないため、その速度は岩石（固相）部分のみのずれ弾性率と密度に依存する。このことから、S 波速度は主に未固結地盤の土質区分や、地盤強度の調査に利用される。

図 4-4 に、トモグラフィによって求めた弾性波速度分布図の構成例を示す。

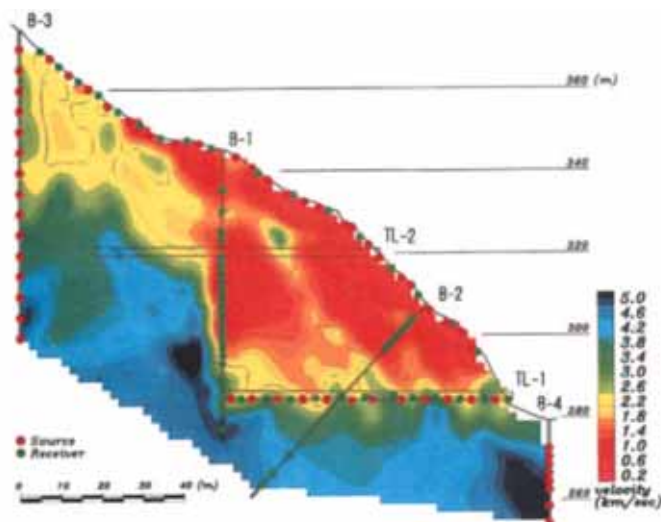


図 4-4 弾性波トモグラフィによる弾性波速度分布の構成例 4-4)

また、弾性波トモグラフィの一種として、約 10 年前に小出力の高周波震源（ピエゾ震源）を用いる音響トモグラフィ<sup>4-5)</sup>という技術が考案され、現在実用化に到っている。この方法は、震源の振幅と周波数の正確な制御を行うことにより、弾性波の速度のみならず、その減衰率や周波数特性をも解析可能としたものである。高周波震源を用いる場合、高周波弾性波の地盤中での減衰が大きいため計測距離が短くなるという問題が生じるが、この方法では、高周波出力をソナー技術でデジタル信号に変換することにより、長距離の伝播を可能にしている。また、この方法は、従来の弾性波トモグラフィに比べて、地盤のより多くの情報を、より高い分解能で得ることができるという特徴がある。

音響トモグラフィによれば、弾性波の速度と減衰率を高い解像度で得ることができるため、緩衝材の飽和度と密度の分布の推定に利用できる可能性があると考えられる。2001 年頃から、人工砂地盤を対象として空隙率と透水係数の分布を可視化する研究がなされており<sup>4-6)</sup>、進展が待たれる。

なお、他の計測分野にも音響トモグラフィと呼ばれる方法があり、そのひとつに海洋で広域の水温分布の計測を行うための方法があるが、これとここで述べた方法は別物である。

## (2) 比抵抗トモグラフィ

地盤の比抵抗は、岩石や空隙中の流体（水、空気）の電気的な特性を反映しており、その値は、岩石の種類、粘土鉱物の含有量、空隙率と飽和度、空隙水の比抵抗、温度などの影響を受ける。比抵抗がこのような様々な因子に影響されることから、比抵抗トモグラフィは、地盤の構造、岩石の風化および変質の程度、地下水の存在状態、水みちの形態、グラウトの効果など、様々な調

査に適用される。ただし、比抵抗分布がそれぞれ単独で解釈されることは少なく、他の地質情報を加味した解釈がなされるのが普通である。

また、この方法は、予備調査、概略調査から本調査、維持管理に至るまで、様々な段階に適用できるという特徴がある。

比抵抗トモグラフィの結果と地質解釈の例を図 4-5 に示す。

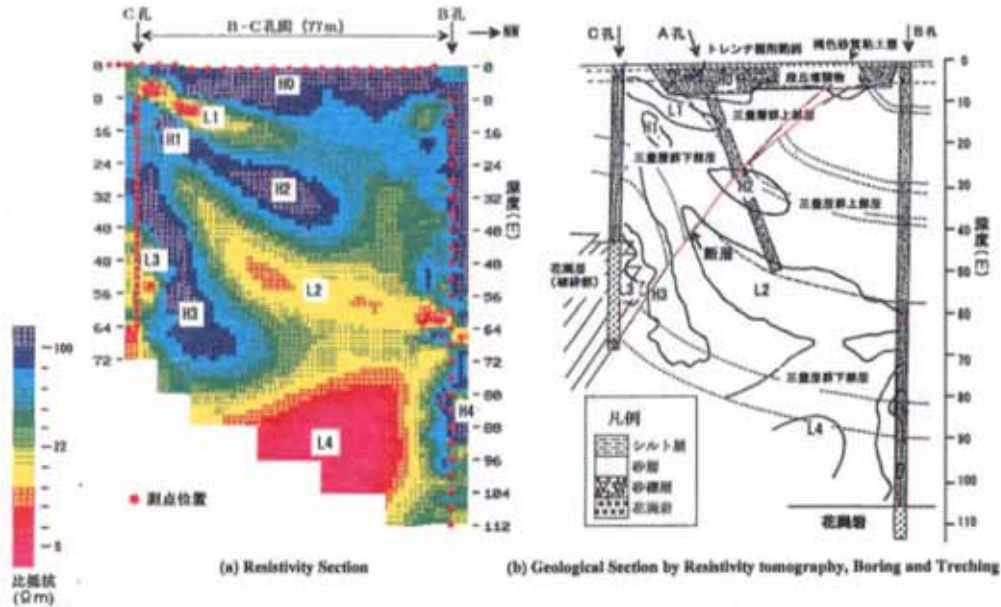


図 4-5 比抵抗トモグラフィ結果と地質解釈の例<sup>4-7)</sup>

### (3) 電磁波トモグラフィ

電磁波トモグラフィでは、地盤の電磁波速度と電磁波減衰率の分布が得られる。電磁波速度  $v$  は、光速  $c$ 、比誘電率  $\epsilon$  および比透磁率  $\mu$  と  $v = c / \sqrt{\epsilon \mu}$  という関係にある。地盤は一般に非磁性物質からなるので、 $\mu = 1$  であり、これより  $v = c / \sqrt{\epsilon}$  となる。すなわち、電磁波速度は比誘電率（もしくは誘電率）と対応付けられ、地盤を構成する材料のマクロな電気的な性質を示すことになる。一方、電磁波減衰率は比抵抗と関係しており、岩石の種類、粘土鉱物の含有量、間隙率と飽和度、間隙水の比抵抗、温度などの影響を受ける。

地盤の誘電率は含水率に非常に敏感であるため、電磁波速度は、地盤の含水状態や空洞および亀裂の有無を調べるのに有効である。また、電磁波減衰率を用いて、岩盤の風化の程度を検出することも可能である。

電磁波トモグラフィでは、通常、数 MHz 以上の高周波を使用するため、弾性波トモグラフィおよび比抵抗トモグラフィよりも高い空間分解能を有するが、粘土を多く含む比抵抗が低い地盤に対しては、電磁波の減衰が大きいため適用が難しくなる場合がある。

#### 4.2.2 THMC 情報取得の可能性

人工バリアの緩衝材は、自然地盤よりも均質性が高いと考えられるため、ジオトモグラフィで得られる特性の空間的、および時間的な変化から、緩衝材の THMC 情報が得られる可能性がある。前節で述べたジオトモグラフィの特徴を踏まえると、緩衝材の THMC 情報の中で得られる可能性

があるのは、温度、含水率、密度、オーバーパックの変位、隙間、間隙水の電解質濃度であると  
考えられる。表 4-1 に、それぞれの計測項目に対するジオトモグラフィの適用可能性を示す。

表 4-1 THMC 情報とジオトモグラフィの適用可能性

| 項目               | 適用可能性 |     |                   | 備考           |
|------------------|-------|-----|-------------------|--------------|
|                  | 弾性波   | 比抵抗 | 電磁波 <sup>*1</sup> |              |
| 温度               |       |     |                   | 含水率の影響を強く受ける |
| 含水率              |       |     |                   |              |
| 密度               |       |     |                   |              |
| 変位 <sup>*2</sup> |       |     |                   |              |
| 隙間               |       |     |                   |              |
| 電解質濃度            | ×     |     |                   |              |

凡例 : 比較的適用可能性が高い : 適用可能性が低い  
: 適用可能 × : 適用不可  
\*1 湿潤状態においては、適用できない可能性がある。  
\*2 オーバーパックの変位

現時点で想定されている人工バリアの大きさは、縦置きの場合で直径が 2.2m、高さが 4.1m であり、ジオトモグラフィの適用対象としては小さい。このため、空間と値に関して十分な分解能を有するデータを得るためには、観測網を 3 次的に密に設ける必要があり、計測効率の面から見ると、あまり良い方法ではない。

また、廃棄体のオーバーパックが金属製であるため、これを通る 2 次元断面に対して比抵抗および電磁波トモグラフィを適用することは困難である。したがって、これらのトモグラフィを適用する場合は、オーバーパックを避けて観測断面を取る必要があり、その結果、計測効率が低くなると予想される。

以上のことから、直接計測が可能である項目については可能な限りそれを行い、ジオトモグラフィは直接計測データが得られない地点のデータの推定に使用するのが望ましいと考えられる。あるいは、ジオトモグラフィ用の設備が、直接計測用のセンサの寿命よりも長い場合には、センサが使用できなくなった後のデータの推定に用いることも考えられる。

以下に、表 4-1 に挙げたそれぞれの計測項目について、ジオトモグラフィの適用性と問題点を述べる。

(1) 温度

緩衝材を構成する鉱物粒子と水の比抵抗、および水の電磁波速度は、温度と高い相関性を持つ。したがって、緩衝材内部の比抵抗や電磁波速度の分布が得られれば、それらから温度分布を推定できる可能性がある。しかし、比抵抗と電磁波速度は、温度よりも含水率に大きく依存するため、比抵抗、あるいは電磁波の分布から温度を求めようとする場合は、含水率分布を別の方法で求め

ておき、その影響を差し引いておく必要がある。なお、緩衝材が飽和していく過程においては、含水率の変化が大きいため、温度分布の推定が困難になると予想される。

## (2) 含水率

P 波速度、比抵抗および電磁波速度は、いずれも地盤の含水率と関連性がある。このうち、電磁波速度は水分量の変化に対して最も感応性が高い。したがって、電磁波速度分布が得られれば水分量分布を推定できる可能性がある。しかし、緩衝材が湿潤状態にある場合は、比抵抗が小さく、電磁波を大きく減衰させる性質があるため、電磁波トモグラフィが適用できない可能性が高いと考えられる。

また、弾性波トモグラフィに関しては、通常用いる震源の周波数が低いため、距離について十分な解像度が得られない可能性がある。距離解像度を向上させる方法としては、音響トモグラフィが挙げられる。

岩盤を対象とする場合、弾性波速度と比抵抗から含水率（飽和度）を求める試みは多くなされており、地下空洞のモニタリングに応用されているが、定量的な評価は今後の課題である。

## (3) 密度

弾性波速度は地盤の密度と強い相関があり、これを用いることにより、地盤の密度を求められる可能性がある。ただし、緩衝材を計測対象にする場合、計測値の解像度が出にくいという問題を解決する必要がある。

## (4) 変位

オーバーパックの変位については、その大きさが小さいと予想されることから、ジオトモグラフィの適用性は全般的に低いと考えられる。あえて選ぶとすれば、距離解像度の高い電磁波トモグラフィが適用できる可能性がある。ただし、緩衝材が湿潤状態にある場合は、電磁波トモグラフィが適用できない可能性が高いと考えられる。

## (5) 隙間

隙間の検出には、弾性波速度トモグラフィ、比抵抗トモグラフィ、電磁波トモグラフィのいずれもある程度の適用性がある。この中で、距離解像度の高い電磁波トモグラフィが最も適用性が高いと想定されるが、湿潤状態にある緩衝材については適用できない可能性が高い。このため、他の手法を補助的に用いることを検討する必要がある。

## (6) 電解質濃度

緩衝材の比抵抗は、間隙水の電解質濃度に大きく影響されるため、比抵抗トモグラフィにより間隙水の電解質濃度を求められる可能性がある。一方、比抵抗は含水率により大きく依存するため、比抵抗から電解質濃度を求めようとする場合は、含水率分布を別の方法で求めておき、その影響を取り除く必要がある。



### 4.3 間隙水とガスのサンプリング

3.2 節に示されているように、間隙水化学、すなわち pH、酸化還元電位 (ORP もしくは Eh)、化学組成のような項目を計測する場合には、センサの校正とメンテナンスを頻繁に行う必要があり、このことが長期計測を困難にしている。現時点では、間隙水化学について、長期にわたってメンテナンスの不要なセンサはない。もし、人工バリアの性能に影響を及ぼすことなく、間隙水とガスを採取することができれば、間隙水化学の計測に一般的なセンサを適用できる可能性が高まる。そうすれば、メンテナンス周期の制約が低減されるとともに、耐久性を高めた特殊な計測機器を使用する必要がなくなるため、モニタリングコストの低減に寄与すると考えられる。

そこで本節では、人工バリア、周辺岩盤、および坑道の埋め戻し材から、間隙水とガスを採取する技術について現状の技術を整理し、今後の課題について述べる。なお、この節では、間隙水を「地盤の間隙や亀裂の中に存在する水」と定義する。また、ガスを「地盤の間隙や亀裂の中に存在する気体、もしくは間隙水に溶解している気体」と定義する。

#### 4.3.1 間隙水の採取技術

間隙水は、地下水面以下の水と、地下水面よりも上にある水とに大別できる。前者は通常、地下水と呼ばれる。後者は、土壌の間隙中に保持されている場合には土壌水と呼ばれるが、本節では岩盤を含む一般的な地盤、あるいは緩衝材を対象とするため、不飽和帯 (vadose zone) の間隙水と呼ぶことにする。

間隙水の採取方法は、原位置採取法と、コアから採取する室内採取法とに大別できる。前者には、直接吸引法 (direct suction) と透析法 (dialysis) が、後者には遠心法 (centrifugation) と圧搾法 (squeeze) がある<sup>4-8)</sup>。室内採取法はコアの採取を前提としているため、継続的なモニタリングに対しては、コアの採取がバリア性能を損なう可能性があるために適用困難であるが、初期の間隙水化学を調べるのには適用できると考えられる。

以下に、4 つの採取技術と、その適用性について解説する。

##### (1) 直接吸引法

直接吸引法は、間隙水を採取しようとする位置に、採取容器への導管の一端を配置し、導管内部の圧力、もしくは導管に接続した採取容器内部の圧力を間隙水圧よりも低くして、間隙水を導管から容器へと導くことにより採取する方法である。ここで、間隙水圧と採取容器内の圧力との差を吸引圧 (サクション: suction) と呼ぶ。採取容器が間隙水の採取位置よりも上方に位置する場合は、吸引圧に容器の位置と採取位置との位置ポテンシャル差を加える必要がある。

地下水は地盤の骨格に拘束されておらず、その水圧は大気圧よりも高い (ゲージ圧が正)。したがって、地下水を採取する場合は、採取しようとする位置に応力に耐えうるような適当な空間を設けておき、この空間の圧力を周囲の間隙水圧よりも小さくして、周囲からこの空間へ流入してくる水を採取すれば良い。

このとき問題となり得るのは、周辺地盤の透水係数が非常に小さい場合に、採取に時間がかかること、採取予定位置とは別の位置から地下水が流入して混合すること、である。を解決

することは困難であるが、 $\theta$ については、ゴムパッカーにより採取予定位置の上下を遮断することで、他の位置からの地下水の流入を防ぐことが可能である。

一方、不飽和帯の間隙水は、マトリックサクシオン ( matric suction ) により地盤の骨格に保持されている。したがって、これを直接吸引により採取するには、マトリックサクシオンを上回るサクシオンをかければよいことになるが、地盤の透水係数は、飽和度の低下とともに急激に低下するため、飽和度が低い場合には間隙水の採取に極めて長い時間がかかる。また、マトリックサクシオンの大きさが大気圧を上回る場合には、これを上回るサクシオンをかけることは出来ないため、間隙水を採取することは出来ない。よって、不飽和帯の間隙水を採取できるのは、マトリックサクシオンが小さく、飽和度が 100%に近い条件に限られると考えられる。

## (2) 透析法

透析法とは、容器に入れた水を透析膜を介して間隙水と接触させ、容器内の水と間隙水を化学平衡させることにより、元の間隙水とほぼ同一の化学組成の水を得る方法である。ここで、透析膜とは、水や低分子を通過させる細孔を有する膜のことである。具体的には、脱イオン処理、および脱酸素処理を行った水を透析膜のついた容器に入れ、これを地盤中に設置して間隙水と接触させて、十分な時間が経過した後に容器内の水を採取する。間隙水中の低分子は透析膜を通過し、容器内の水へと拡散する。したがって、十分な時間が経過した後は、容器内の水と間隙水は化学平衡に達し、このとき、容器内の水を採取すれば、間隙水とほぼ同一の化学組成の水が得られる。

ここで「ほぼ同一」の化学組成としたのは、 $\theta$ の間隙水から容器内の水への溶質の拡散、あるいは、 $\theta$ の間隙水と容器内の水とのポテンシャル差に起因する水移動、によって、間隙水の化学種の濃度が変化する可能性があるためである。このうち、 $\theta$ による濃度変化は、容器内の水の量が間隙水の量よりも十分に小さい場合には無視できると考えられる。一方、 $\theta$ による濃度変化の例として、不飽和帯の間隙水を採取する場合、間隙水のポテンシャルが容器内の水よりも低いために、容器内から間隙への水の移動が起こり、間隙水の濃度が低下する現象が考えられる。これについては、透析膜を間隙水のマトリックサクシオンに耐えられるような多孔質体とし、かつ容器の体積変化を小さくするようすれば、その影響を低減させることが可能である。

図 4-6 に、透析法による間隙水採取装置の例を 2 つ示す。これらの装置は、ピーパー ( peeper : 覗き窓、の意味 ) と呼ばれており、主に底質の間隙水の採取に用いられる。ピーパーは、間隙水と平衡させるための水を入れる窪みが設けられた本体と、これを覆う透析膜、およびカバーからなる構造である。

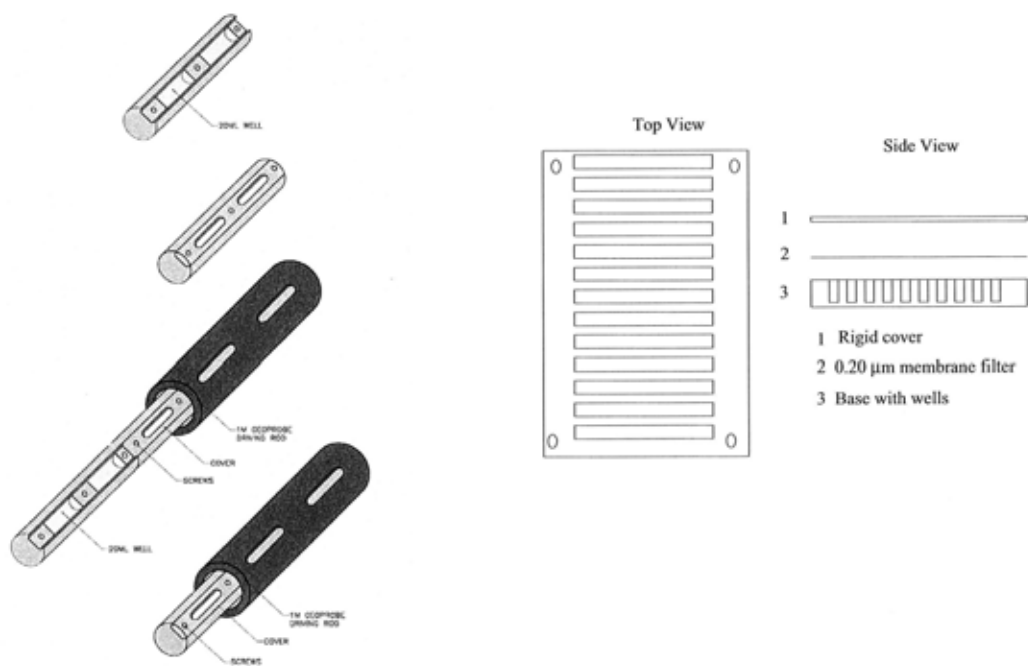


図 4-6 透析法による間隙水採取装置（ペーパー）の例<sup>4-9)</sup>

(3) 遠心法

遠心法は、試料の間隙水を遠心力により抽出する方法である。土壌を対象とした、遠心法による間隙水採取装置の例を図 4-7 に示す。

遠心法で抽出できる間隙水のポテンシャルは、最小で-16MPa ( pF 4.2 ) 程度であり、これより小さいポテンシャルの水は抽出できない。『第 2 次取りまとめ』<sup>4-10)</sup> では、人工バリアの緩衝材として、ベントナイト 70% : ケイ砂 30%の混合体が設定されており、この材料の-16MPa における含水比は約 8%である。また、緩衝材は最適含水比付近で締固めることが想定されており、動的締固めの場合は、最適含水比は 17%であるとされている。したがって、締固め後の緩衝材の水ポテンシャルは、遠心分離法の適用範囲内にあり、この方法により間隙水を採取することが可能であると考えられる。

なお、遠心法により間隙水を採取する場合は、試験中に間隙水が空気と常に接触するため、もともと還元的雰囲気にあった間隙水については、その化学組成が変化する可能性が高いことに注意する必要がある。

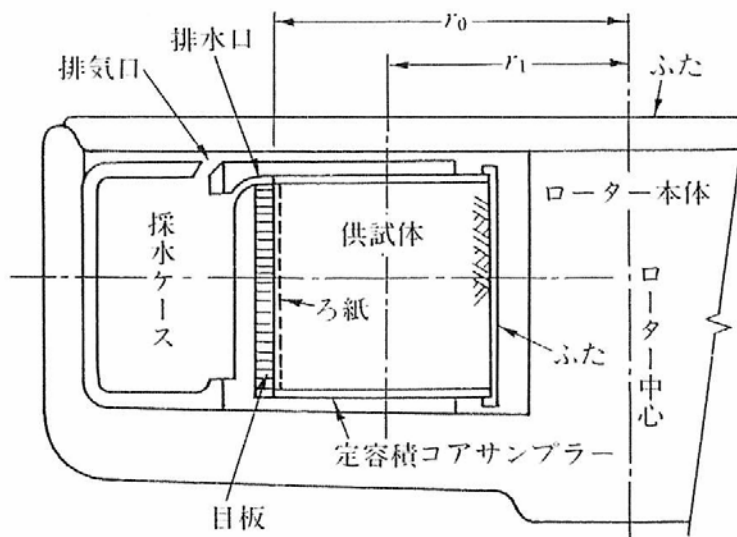


図 4-7 遠心法による間隙水採取装置の例 (固定式水平ローター) <sup>4-11)</sup>

(4) 圧搾法

圧搾法は、試料を機械的に圧縮して間隙水を抽出する方法である。図 4-8 に、圧搾法の装置の例を示す。この装置は、試料容器と、試料を圧縮する空圧ダイヤフラムからなり、試料を上方から圧縮して、下方からフィルターを通じて間隙水を抽出させる仕組みである。圧搾法が有効なのは、試料の空隙率が圧縮によって小さくなり、かつ圧縮前の間隙水の体積が、圧縮後の試料の間隙体積を上回る場合に限られる。

「第 2 次取りまとめ」では、緩衝材を最適含水比付近で締固めて施工することが想定されている。したがって、緩衝材については、体積膨張が小さい不飽和の範囲では、圧縮による空隙率の低下はほとんど期待できず、圧搾法により間隙水を抽出することは困難であると考えられる。圧搾法の適用が可能になるのは、緩衝材の飽和度が 100%に達して、緩衝材の体積が膨張するようになった後であると予想される。

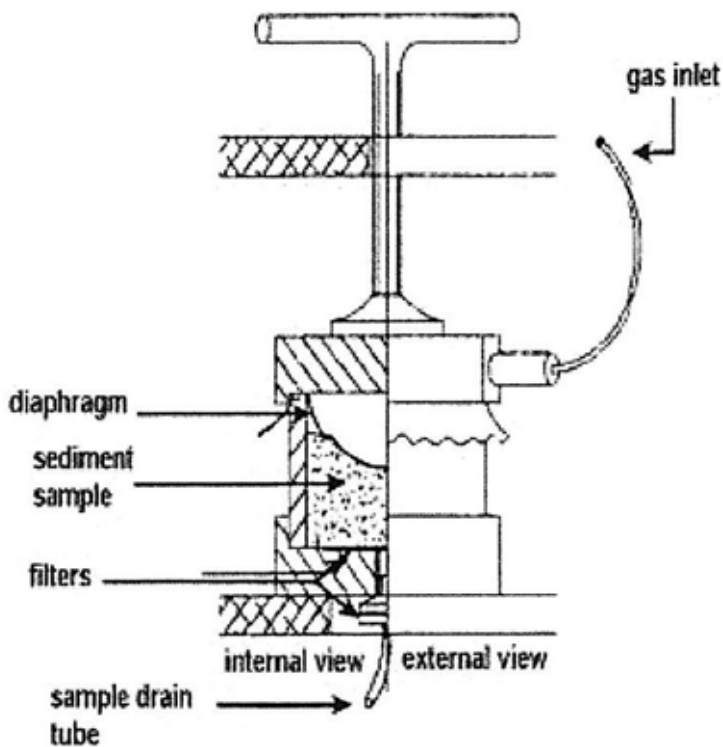


図 4-8 圧搾法による間隙水採取装置の例 <sup>4-11)</sup>

#### 4.3.2 ガスの採取技術

ガスは、地盤の間隙に存在する流体という点では間隙水と同様であるが、密度が低く、圧縮性を有する点で異なる。また、ガスを採取する場合の技術的な難易度は、間隙水の場合とは全く反対に、地盤が飽和に近づくほど困難になる。

ガスの採取方法としては、間隙水の採取技術のうち、透析法（ただし、ガスの場合は透析膜は不要であるため、拡散法と呼ぶのが適切である）と直接吸引法の組み合わせが有効となる場合がある。すなわち、地盤が不飽和で、かつ空隙が連続している場合は、応力に耐えうるような適当な空間を設けておき、ここからガスを吸引するとともに、別の位置から化学的雰囲気大きな影響を及ぼさないガスを供給することにより採取できると考えられる。

一方、地盤が一部不飽和で、空隙が独立している場合には、ガスだけを採取するのは極めて困難である。この場合は、間隙水に溶解しているガスを取り出すことにより、間隙水と平衡しているガスの組成を推定することが可能である。ただし、ガスの抽出には大量のサンプルが必要となるため、同手法の適用は、間隙水が容易に、かつ大量に採取できる場合に限られる。

#### 4.4 まとめ

人工バリアとその周辺のモニタリングにおける、情報取得技術の高度化を図るため、無線通信による計測データの取得、ジオトモグラフィによる熱、水、応力、化学情報の取得、および間隙水とガスのサンプリングについて、適用可能性と課題を検討した。

無線通信による計測データの取得に関しては、超長波を用いたデータ通信システムの適用性が高いと考えられる。今後の課題として、電池の高寿命化、もしくは無線によるエネルギー供給技術の開発、および音響通信による一次収集データの長距離通信の開発が挙げられる。

ジオトモグラフィに関しては、弾性波トモグラフィが含水比、密度、隙間の計測に、比抵抗トモグラフィが、温度、含水率、隙間、電解質濃度の計測に、電磁波トモグラフィが温度、含水率、オーバパックの変位、隙間、電解質濃度の計測にそれぞれ適用できる可能性がある。また、弾性波トモグラフィで距離解像度を向上させる方法として、近年開発が進んでいる音響トモグラフィが挙げられる。ただし、温度については含水率の変化に大きく影響されること、電磁波トモグラフィは湿潤状態の緩衝材には適用困難であることが予想される。人工バリアを対象とする場合は、ジオトモグラフィは計測効率が悪くなるため、直接計測データが得られない地点のデータの推定に補助的に使用するのが望ましいと考えられる。

間隙水のサンプリングについては、モニタリング期間中の原位置採取法としては、直接吸引法と透析法の適用が考えられ、初期の間隙水化学を調べる目的には、室内採取法である遠心法が適用できると考えられる。ただし、不飽和帯の間隙水の原位置採取は困難であり、現状では透析法によるほかないが、平衡用の水の交換をどのようにして行うかが課題である。

ガスのサンプリングについては、地盤が不飽和で、かつ空隙が連続している場合には、拡散法と直接吸引法の組み合わせが適用できる可能性がある。また、地盤が一部不飽和で、空隙が独立している場合には、間隙水から溶存ガスを抽出する手法の適用が考えられるが、これは間隙水が容易に、かつ大量に採取できる場合に限られる。

#### 4章 参考文献

- 4-1) 坂田電機株式会社：地中通信システム，製品カタログ（2004）
- 4-2) 独立行政法人農業工学研究所，坂田電機株式会社，東京電力株式会社：ケーブルのいらぬい土中埋設計器の開発 - 土壌造物のモニタリングに新時代を拓く - ，2003年7月18日付記者発表資料（2003）
- 4-3) 物理探査学会：比抵抗トモグラフィ，物理探査適用の手引き（とくに土木分野への利用），pp.218-225（2000）
- 4-4) 小島圭二，他：“ジオトモグラフィによる岩盤の画像化（その1） - 岩盤の物性分布の画像化 - ”，応用地質，30，pp.121-130（1989）
- 4-5) Yamamoto, T. et al.：“Porosity, permeability, shear strength: Crosswell tomography below an iron foundary”，Geophysics, 59, pp.1530-1541（1994）
- 4-6) 榊原淳一，他：“音響透水トモグラフィによる大型模型地盤の均一性の可視化”，第37回地盤工学研究会発表会講演集，pp.85-86（2002）
- 4-7) 鈴木浩一：“物理探査法の地質工学への適用（その1） - 第四紀活断層調査地点での適用例 - ”，物理探査，Vol.50，pp.309-320（1997）
- 4-8) Environment Canada：Sediment Sampling Guide for Dredging and Marine Engineering Projects in the St. Lawrence River. Volume 2: Field Operations manual., Environmental Protection Bransh, Quebec, 90p.（2002）
- 4-9) Jackson, W. A and J. H. Pardue：“High Resolution Sampling Using Peepers or Dialysis Samplers”，Presentation at ITRC Fall 2003 Conference in Monterey, CA.（2003）
- 4-10) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性”、JNC TN1400 99-022、(1999)
- 4-11) 地盤工学会：土の保水性試験，土質試験の方法と解説 - 第一回改訂版 - ，（社）地盤工学会，pp.118-135（2001）



## 5 幌延に適用する情報取得技術の開発計画立案

### 5.1 幌延人工バリア性能確認試験の検討

本節では、人工バリア性能確認試験において計測システムが置かれる環境を整理し、計測機器の仕様設定の基礎情報とする。ここで、人工バリアおよびその周辺における計測では、解析評価技術とリンクして検討を進めていく必要がある。

図 5-1、2 は、1次元熱-水-応力-化学連成解析を、緩衝材とニアフィールド岩盤領域に対して実施した結果である<sup>5-1)</sup>。岩盤の外側境界条件として全水頭 50m を与えたとき、本解析条件では 10 年で緩衝材は飽和となることがわかる。そして、飽和によって pH、溶存イオン濃度、温度などはほぼ一定の値を示している。実際の人工バリア性能確認試験はこの解析より大きな地下水圧を持つ場で行われると考えられるので、現状で目標とする計測期間は緩衝材飽和後の計測も含め 20 年程度が妥当であると考えられる。

一方、釜石原位置試験<sup>5-1)</sup>において観察された現象と計測値の変化の傾向は表 5-1、表 5-2 のように報告されている。表 5-1 に示されるように、緩衝材と岩盤境界付近では、発熱と地下水の浸潤に伴い過渡的で複雑な現象が発生していることが推察されている。これには、加熱による水分の外側への移動と水圧による地下水の浸潤という反対方向の水の動きの同時発生、熱による岩盤のひずみやき裂のずれ、それに伴う間隙水圧の変化、模擬オーバーパックの熱膨張による緩衝材のひずみ、加熱中の膨潤圧力計測データの複雑さ（計測センサの精度の問題か、実際の現象であるか不明）などである。このような原位置試験の経験は、緩衝材およびニアフィールドの温度と水理の計測の重要性を示している。また、間隙水化学とオーバーパックの腐食の計測は人工バリアの性能評価上重要な項目であるが、従来の原位置試験では十分に実施されていない。

以上の検討結果から、本研究で重要な計測項目と計測範囲（開発目標）を整理すると以下のようになる。

- 緩衝材の水分量（含水比）：0～30%
- 緩衝材の応力：0～5MPa
- 緩衝材のひずみ：-1～+1%
- 緩衝材の間隙水圧：0～5MPa（初期の不飽和環境にセットされても、飽和後の圧力上昇を測定できること）
- 緩衝材の温度：20～110
- 緩衝材の密度（湿潤）：1.5～2.2 g/cm<sup>3</sup>
- オーバーパックの位置・沈下：0～10mm
- 間隙水（緩衝材およびニアフィールド岩盤）の pH：7～12、および Eh、組成
- オーバーパックの腐食速度：0.1mm/yr 以下のゆるやかな腐食現象を確認する

間隙水の pH、Eh と組成の計測範囲は、幌延の地下水データおよびセメントとの反応の可能性に応じ、今後検討を加える必要がある。

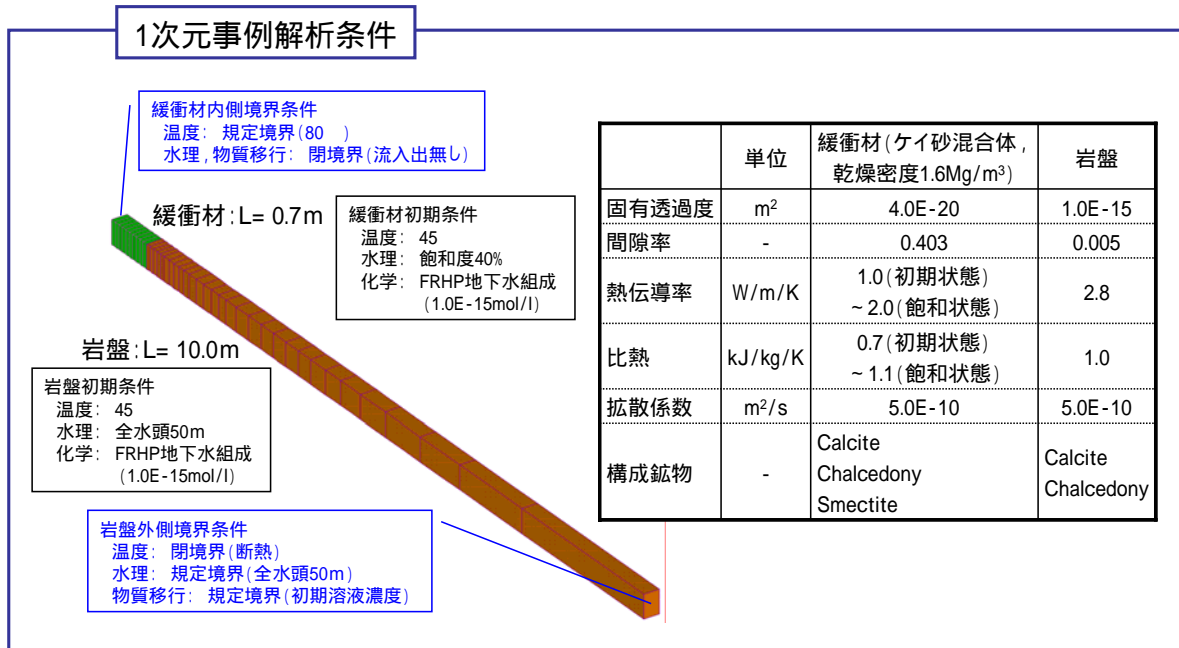


図 5-1 緩衝材とニアフィールド岩盤の温度、水理、化学連成解析<sup>5-1)</sup>

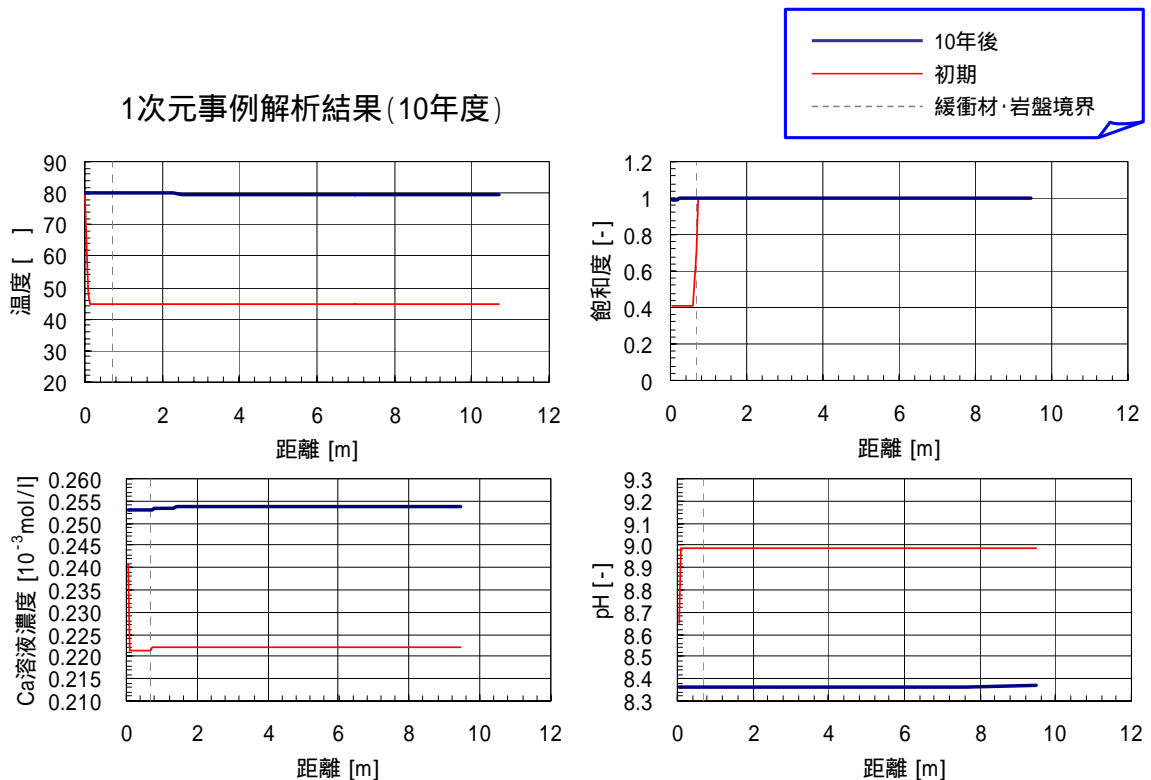


図 5-2 緩衝材とニアフィールド岩盤の温度、水理、化学環境の変化の事例<sup>5-1)</sup>

表 5-1 粘土充填・熱負荷試験において観察された連成現象<sup>5-2)</sup>

|        | 温度   | 水理  | 応力・ひずみ                                 |
|--------|--|---|--|
| 温度     |  | 水→熱   | 応力→熱                                   |
|        |  | ・[加熱初期, 緩衝材内側の高温の水の移動による熱の移流].<br>・き裂帯での水みちの変化による温度の低下. | 観察されず                                  |
| 水理     | 熱→水  |   | 応力→水                                   |
|        | ・加熱初期の緩衝材内側温度の上昇による, 水分の速やかな岩盤側への移動.<br>・それによる緩衝材-岩盤境界部分の飽和と間隙水圧の増加(負圧から正へ).<br>・加熱中の緩衝材-岩盤境界部分の間隙水圧の増加.<br>・き裂帯岩盤での間隙水圧の瞬時に急激な増大(加熱中複数回).<br>・減熱時の緩衝材内側での温度低下による緩やかな水分の増加(回復).    |   | ・岩盤の[ひずみとき裂性状の変化による]間隙水圧の静水圧までの段階的な回復. |
| 応力・ひずみ | 熱→応力   | 水→応力  |  |
|        | ・加熱によるヒーター表面土圧の上昇と減熱による回復.<br>・加熱による緩衝材半径方向の圧縮と鉛直方向の伸び.<br>・[ヒーターの熱膨張とそれによる緩衝材の圧縮].<br>・岩盤の熱膨張,半径および円周方向の膨張の拘束と鉛直方向のほぼ自由な膨張.<br>・[半径および円周方向での熱応力の発生].<br>・加熱, 減熱によるき裂性状の変化, 閉塞と開口. | ・減熱時, [岩盤からの浸潤,緩衝材の膨潤による] 緩衝材-岩盤境界での圧縮応力の緩やかな増加.        |  |

[ ]: 直接の計測データは無いが, 計測結果から推察される現象

表 5-2 粘土充填・熱負荷試験での計測値の変化の傾向

|        | 含水比               | 間隙水圧                                  |        |   | 全応力                             | ひずみ   |   |   | き裂変位   |
|--------|-------------------|---------------------------------------|--------|---|---------------------------------|---|---|---|--|
|        |                   | 緩衝材                                   | 緩衝材-岩盤 | 岩盤  |                                 | 緩衝材   | 緩衝材   | 岩盤(ヒーター深度)  |  |
| 加熱フェーズ | 初期フェーズ(加熱開始～約50日) | ヒーター深度*<br>内側: 乾燥<br>中間: 湿潤<br>外側: 湿潤 | 計測点なし  | ヒーター深度*:<br>-(加熱直後)<br>→一定<br>その他:<br>一定                  | 初期変動あり<br>(その傾向は<br>一様でない)      | $\sigma_r$ :<br>内側(ヒーター深度): +<br>外側: + or -<br>$\sigma_z$ :<br>GL-5.0m: 一定<br>GL-0.5m: 一定 or +                      | $\epsilon_r$ :<br>ヒーター深度: +→-<br>その他: - or 一定<br>$\epsilon_z$ :<br>ヒーター深度: 一定→+<br>その他: +                 | $\epsilon_r$ :<br>+ or<br>+→-<br>$\epsilon_\theta$ :<br>+→-<br>$\epsilon_z$ : + | $\Delta z$ :<br>(方向は<br>図 2-3 参照)<br>き裂 1: -<br>き裂 2: 一定 |
|        | 加熱定常フェーズ          | ヒーター深度*<br>内側: 一定<br>中間: 乾燥<br>外側: 一定 | 計測点なし  | ヒーター深度*:<br>+<br>その他:<br>一定                               | 一定 or<br>わずかに+<br>(瞬時の急激な増加が観察) | $\sigma_r$ :<br>内側(ヒーター深度): +<br>外側: + or -<br>$\sigma_z$ :<br>GL-5.0m: -<br>GL-0.5m: 一定                            | $\epsilon_r$ :<br>ヒーター深度: 一定<br>その他: -, 一定 or +<br>$\epsilon_z$ :<br>ヒーター深度: 一定,<br>その他: 一定→-, +<br>or 一定 | $\epsilon_r$ : 一定<br>$\epsilon_\theta$ : 一定<br>$\epsilon_z$ : 一定                | $\Delta z$ :<br>き裂 1: 一定<br>き裂 2: 一定                     |
|        | 減熱フェーズ            | ヒーター深度*<br>内側: 湿潤<br>中間: 湿潤<br>外側: 一定 | 計測点なし  | ヒーター深度*:<br>-(減熱直後)<br>→一定<br>その他:<br>わずかに-<br>→一定, or 一定 | わずかに-                           | $\sigma_r$ :<br>内側(ヒーター深度):<br>-(減熱直後)→一定<br>外側: 一定 or わずかに+<br>$\sigma_z$ :<br>GL-5.0m: わずかに+<br>GL-0.5m: 一定 or →+ | $\epsilon_r$ :<br>ヒーター深度: +<br>その他: +<br>$\epsilon_z$ :<br>ヒーター深度: -<br>その他: -                            | $\epsilon_r$ : -<br>$\epsilon_\theta$ : -<br>$\epsilon_z$ : -                   | $\Delta z$ :<br>き裂 1: +<br>き裂 2: +                       |
|        |                   | -: 減少<br>+: 増大                        |        |   | -: 圧縮<br>+: 伸び                  |   |   | -: 閉じる<br>+: 開く   |  |

\*ヒーター深度とは, ヒーター中心高さにおける深度での挙動を示す。

## 5.2 開発計画の立案

ここでは、3章で調査された結果を基に情報取得技術の開発計画を作成する。開発は基本性能試験（要素試験）モックアップ試験の順に実施する。基本性能試験においては、対象とする情報取得技術の対象材料への適用性の確認、他因子の影響確認等を行う。その後、工学規模の試験装置を用い、実環境に近い状況での情報取得技術の適用性の確認を行う。

### 5.2.1 情報取得技術の性能確認試験計画

対象とする情報取得技術は以下の通りである。

- 緩衝材内の水分量の測定技術
- 緩衝材および周辺岩盤の pH 測定技術
- オーバーパックスの腐食速度測定技術
- 光ファイバシステム

#### (1) 緩衝材内の水分量の測定技術

##### (a) 目標

地層処分において、人工バリア定置後の緩衝材の挙動（熱-水-応力-化学連成現象）の測定は、人工バリアが適切に施工されていることの確認や連成現象の評価モデルの確証のために重要である。連成現象の内、緩衝材内の水分量の変化を測定することは、再冠水現象の評価やオーバーパックスの腐食挙動の評価のために重要となる。したがって、ここでは緩衝材内の水分量の測定の高高度化を目指す。開発対象技術は誘電率測定法による測定技術（TDR あるいは FDR）とする。

##### (b) 性能確認試験方法

誘電率測定法による緩衝材水分測定の概要を図 5-3 に示す。試験としては、所定の仕様（ケイ砂混合率、乾燥密度、水分量）で作製したベントナイト供試体内に測定装置の測定プローブを挿入し、誘電率を測定する。TDR（Time Domain Reflectometry：時間領域反射法）は、測定対象物にプローブを挿入して電磁波パルスを送信し、パルスがプローブを往復する時間から、電磁波の伝播速度を測定することにより誘電率を求める方法である。一方、FDR（Frequency Domain Reflectometry）は、センサ部での高周波の干渉を周波数領域で測定することにより、測定対象の誘電率を求める。そして、誘電率と体積含水率との関係を求める。そして、表 5-3 に示すように、緩衝材の仕様（ケイ砂混合率、乾燥密度、水分量）や環境温度を変化させた場合の測定技術の適用性の確認を行う。

表 5-3 誘電率測定法基礎性能試験におけるパラメータ

| パラメータ                        | 試験条件             |
|------------------------------|------------------|
| 環境温度 ( )                     | 20、40、60、80      |
| 緩衝材ケイ砂混合率                    | B:S=10:0、7:3、5:5 |
| 緩衝材乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.0、1.3、1.6      |
| 水分量                          | 乾燥～飽和            |
| 塩素濃度 (mol/L)                 | 純水、海水 (0.5mol/L) |

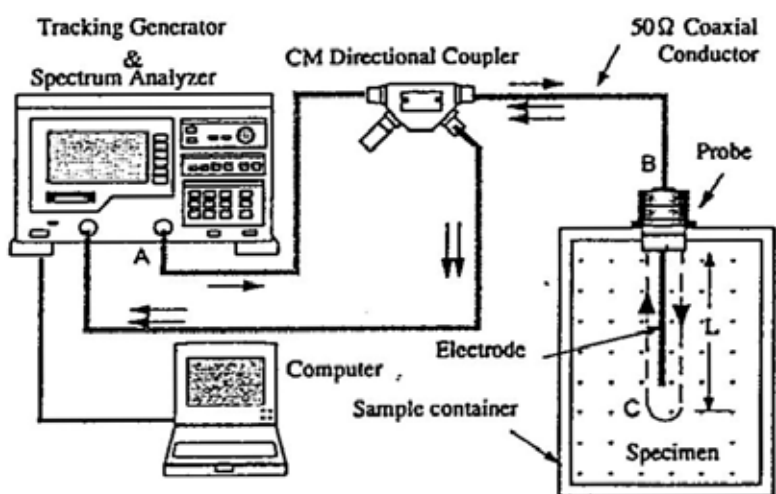


図 5-3 誘電率測定技術 (TDR、FDR 等) による緩衝材水分量測定概要

(2) 緩衝材および周辺岩盤の pH 測定技術

(a) 目標

地層処分において、地質環境の pH は Eh(酸化還元電位)と並んで、放射性核種の存在形態、緩衝材の長期的な変質およびオーバーパックの腐食形態に密接に関係すると考えられていることから、処分環境において pH を把握することは処分の安全性を示す観点から非常に重要である。

したがって、緩衝材および周辺岩盤における pH の測定技術の確立を目指す。ここでは、すでに海外で開発され、一部実証が行われている「比色測定法を利用した直接的に pH を測定する技術」と、現在のところ実績はないものの、有効性が高いと考えられる「FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング)を利用した間接的な pH 測定技術」について記す。なお、2 種類の技術の適用範囲は表 5-4 の通りである。

表 5-4 緩衝材および周辺岩盤の pH 測定技術の検討範囲

|   | 緩衝材 | 周辺岩盤 |
|---|-----|------|
| 比色測定法を利用した直接的に pH を測定する技術               | -   |      |
| FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング)を利用した間接的な pH 測定技術 |     |      |

(b) 性能確認試験方法

1) 比色測定法を利用した測定技術

比色測定法に基づく光ファイバ pH センサ（以下、「比色測定 pH センサ」という。）の基本構造図は図 5-4 に示すとおりであり、2本の光ファイバーと反射体から構成されている。pH を感知する色素は、反射体表面にコーティングされており、プローブ周辺溶液の pH に依存して色素の光吸収変化を光ファイバにより測定する。

なお、比色測定 pH センサの色素として使用できる試薬としては、表 5-5 のものがあげられる。

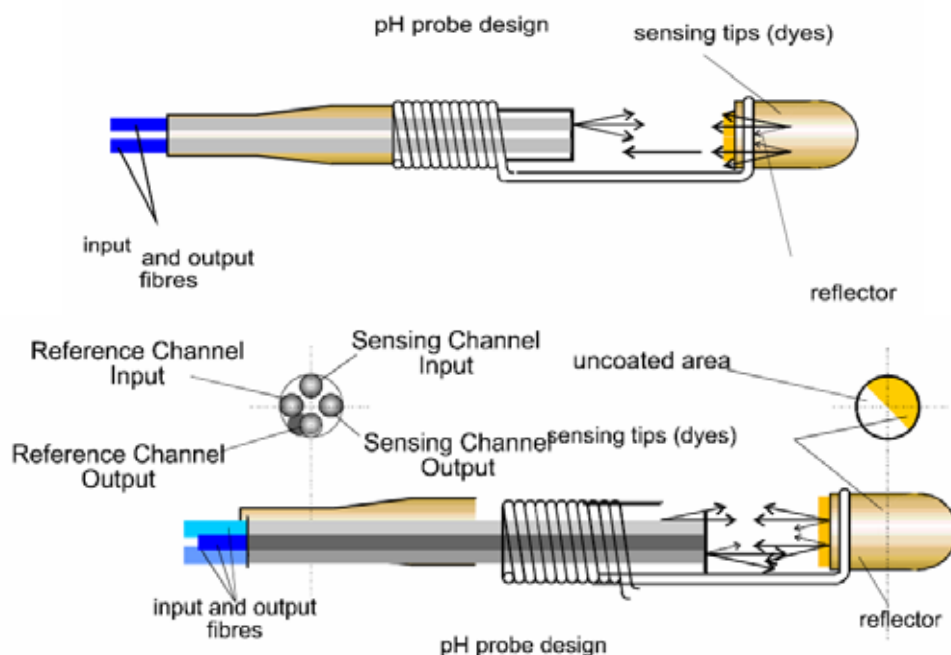


図 5-4 比色測定 pH プローブの基本構造<sup>5-3)</sup>

表 5-5 pH センサに使用される色素および pH 範囲

| 色 素                | pH 範囲  |
|--------------------|--------|
| プロモフェノール・ブルー（BPB）  | 3 ~ 8  |
| N,N-ジメチル・アニリン（DMA） | 1 ~ 4  |
| メチル・レッド（MR）        | 2 ~ 10 |

ドイツにおける原位置試験によれば、比色測定 pH センサ指示値は温度依存性があるとともに、経過時間とともに徐々に増加（ドリフト）することが確認されている。ドリフトの原因としては、光分解による色素の劣化あるいは発光ダイオード性能の低下が主要な原因であると考えられる。

比色測定 pH センサを使用して周辺母岩の pH を測定するためには、下記の試験・評価を実施する必要があると考えられる。

#### pH センサの基本性能確認試験

メチル・レッド (MR) の pH 適用範囲は 2~10 であるため、さらにアルカリ側にシフトした色素を選定する必要がある。また、光分解による色素の劣化および発色の変化 (ヒステリシスを含む。) と発光強度またはサンプリング頻度との関係を基礎試験により確認する必要がある。

また、原位置試験において指摘されている pH センサのドリフトについて基礎試験を実施し、その原因を究明するとともに対応策を検討し、当該センサが実用上適用できる期間の見通しを得る必要がある。

#### pH 測定値の補正システムの構築

比色測定 pH センサの指示値は、環境温度の影響を受けるとともに地下水中のイオン強度の影響も受けるため、これらの影響を補正するための補助システムを構築する必要がある。

#### 地下深部の周辺母岩を対象とした pH 測定システムの適用性検討

上記の試験評価により、周辺岩盤中の pH 測定に対する見通しは得られると考えられるが、ハード上の問題として地下深部の低透水性岩盤中の pH を測定するための対策として、pH センサを静水圧等から保護し、フィルタ等を使用して清浄な地下水を pH センサに導入するための保護容器等の設計製作および全体システムの検討が必要である。

## 2) FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) を利用した pH 測定技術

本項では、前項のように色素を使用して直接 pH 計測を行うのではなく、光ファイバ内部で発生する各種の散乱光を応用した FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) 技術を利用し、間接的に pH 測定を行う手法について検討する。FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) 技術を利用した様々な計測は、近年、多くの分野で利用が行われつつあり、さらに温度やひずみに関しては、処分の分野においても諸外国 (例えばフランス ANDRA) で利用が検討されているものである。

この手法は、断面方向に一定間隔でガラス屈折率が異なる部分 (グレーティング部) を設置した光ファイバにより計測を行う。このグレーティング部は、入射パルス光のうち、グレーティング部間隔の 2 倍の波長成分のみを共振反射させる特性があり、この反射光の波長はグレーティング部の伸びひずみ量に比例してシフトするため、反射光のシフト量を測定することにより、温度および伸びひずみ等の計測が可能となる。

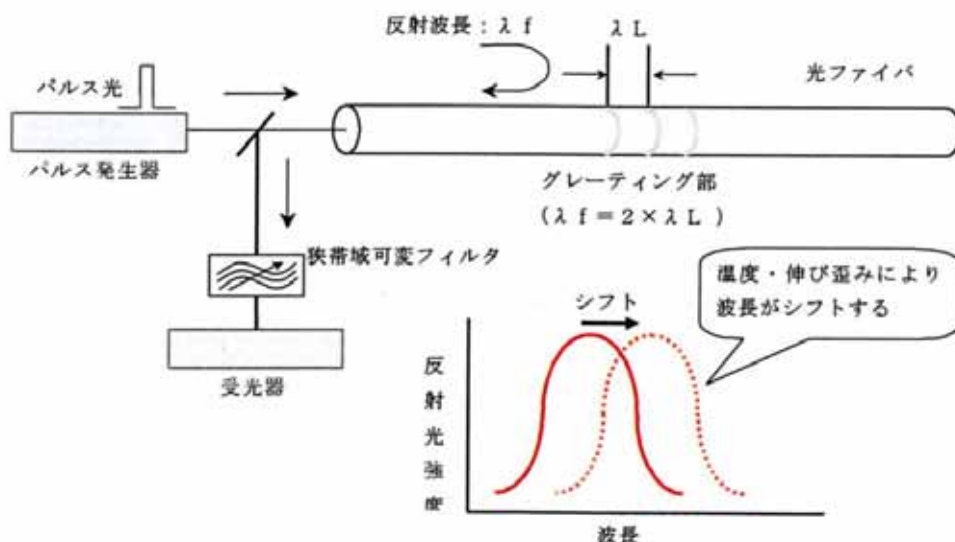


図 5-5 FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) の原理<sup>5-4)</sup>

この FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) 手法を利用した実用可能な pH センサとしては、例えば、以下のようなセンサを開発する必要がある。

センサタイプ : 加工 FBG 屈折計

センサタイプ では、FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング)を施した部分の被覆を、真空 UV レーザー超小型機械加工技術により長方形に除去する。さらに除去部分には、FBG(ファイバ・ブラッグ・グレーティング) 応答を利用して屈折率が測定可能な pH 感応検体を充填し、計測を行うものである。超小型機械加工ファイバ例を図 5-6 に示す。

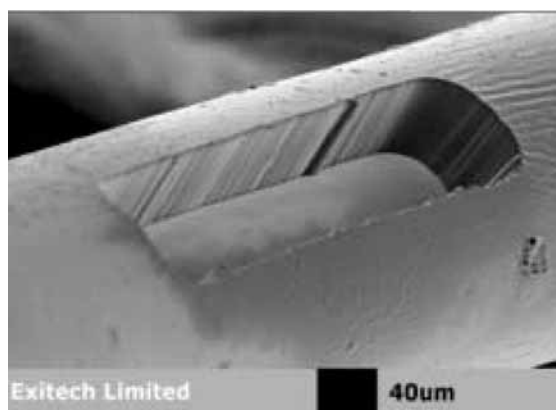


図 5-6 超小型機械加工例 (センサタイプ )<sup>5-4)</sup>

センサタイプ : ひずみ FBG pH センサ

センサタイプ は、FBG を施した光ファイバの被覆部分をエッチングし、その表面に pH に感応して膨潤する化学膜をコーティングするものである。膨潤によるひずみを測定することにより、pH を測定することができる。センサタイプ の概要図を図 5-7 に示す。



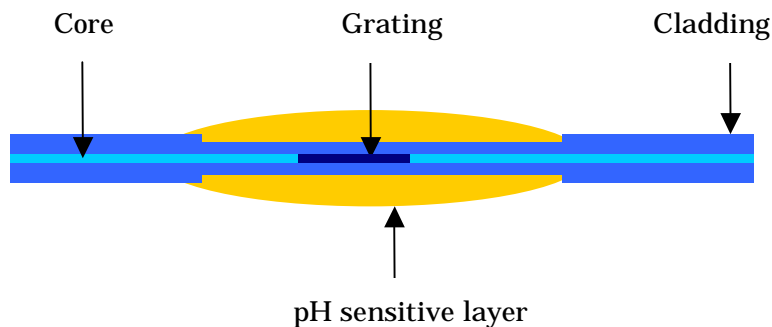


図 5-7 センサタイプ の概要図<sup>5-4)</sup>

FBG (ファイバ・ブラッグ・グレーティング) 技術を利用した pH センサでは、ガラス電極あるいは前記の比色測定法のような溶液中の pH を直接計測するのではなく、pH による媒体の変化をひずみ等に変換し計測するものである。このため、例えば緩衝材のような透水性の低い媒体中での計測の可能性が高いと考えられる。

本技術により、周辺母岩および緩衝材の pH を測定する場合には、下記の開発試験および評価を実施する必要があると考えられる。

#### 要求性能の確認

計測環境に応じた開発すべき pH センサの要求性能 (寿命、感度、ダイナミックレンジ等) を検討する。

#### プロトタイプセンサの設計・開発

検討結果に基づき、文献調査等を参考にして、pH 官能媒体を複数選定し、室内試験を実施する。さらに実際に官能媒体を施したセンサを開発し、室内レベルでの小規模試験を実施し、利用可能なセンサ候補あるいは pH 官能媒体の絞込みを行う。

#### システム設計およびレイアウト検討

原位置試験を行うにあたり、全体システムやセンサの配置に関する検討を行う。

#### 原位置試験の実施

計測可能性の最終確認および計測値の評価を目的とした原位置での予備試験を実施する。予備試験結果を踏まえて、必要であればさらに改良等を加え本試験を実施する。

### (3) オーバーパックの腐食速度測定技術

#### (a) 目標

オーバーパック腐食状況を直接確認するために、交流インピーダンス法および電気化学ノイズ解析法を利用した連続腐食モニタリングシステムの開発を目指す。

#### (b) 性能確認試験方法

オーバーパックの腐食速度を連続測定するために、交流インピーダンス法および電気化学ノイズ解析法を適用したモニタリングシステムを開発し、その性能を以下に示す基本性能確認試験で確認する。

1) 交流インピーダンス法の基本性能確認試験

媒質に接した金属の電気的等価回路は、電気化学では図 5-8(A)のように表され、図 5-8(B)のインピーダンスの周波数特性が得られる。すなわち、低周波数の平坦部に腐食抵抗 ( $R_c'$ ) と媒質抵抗 ( $R_s$ ) の和、高周波数の平坦部に媒質抵抗 ( $R_s$ ) が表れる。この二つの周波数のインピーダンスの差から腐食抵抗が求められる。この腐食抵抗は金属腐食速度と反比例の関係にあり、腐食抵抗から腐食速度を単位時間あたりの溶解量として算出することができる。

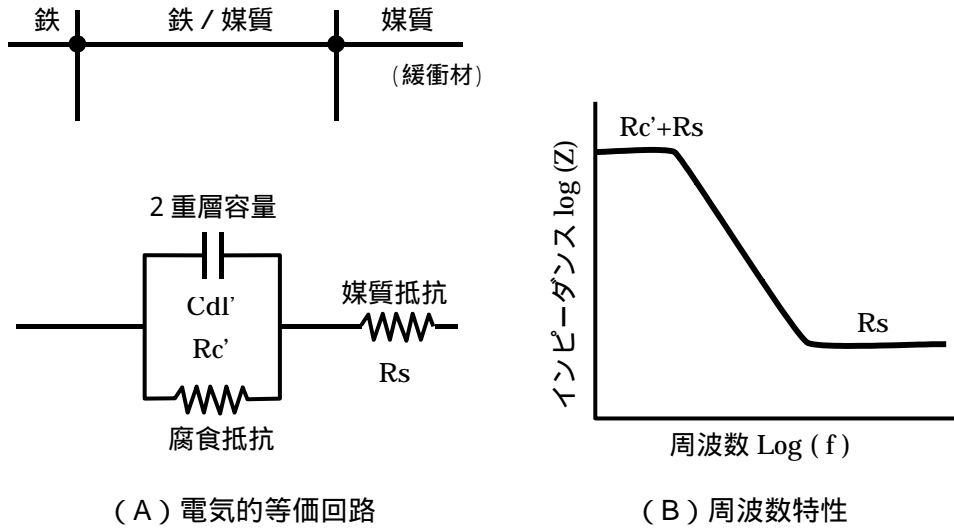


図 5-8 交流インピーダンス法の原理

オーバーパックの腐食速度を測定するためには、図 5-9 に示すようにオーバーパックの近傍に片面を露出させたプローブを設置し、このプローブ間に 2 種類（高周波数、低周波数）の交流電圧を印加し、インピーダンスを計測することになる。

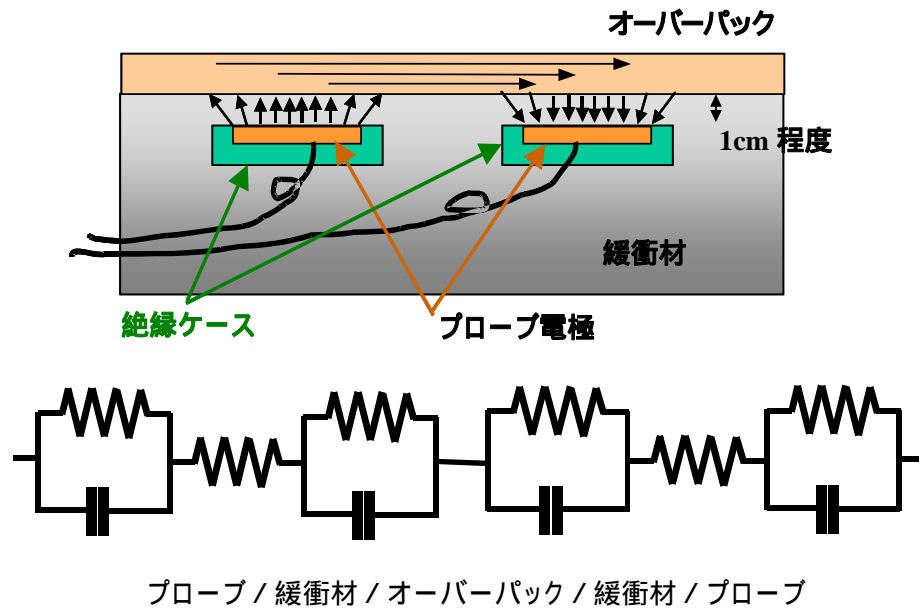


図 5-9 交流インピーダンス法の概念図

既往の研究により、オーバーパックの腐食速度は、その環境条件（温度、水分、pH および Eh 等）により変化するため、地層処分環境を包括できる範囲の実験室試験を実施し、腐食挙動に関する基礎データを蓄積・整備するとともに、工学的規模の確証試験に先立ち、交流インピーダンス法の基本性能（モニタリングのための周波数の選定、腐食減量と測定結果の比較および局部腐食の有無）を確認する。現時点において想定している試験パラメータは表 5-6 に示すとおりである。

表 5-6 交流インピーダンス法基礎試験におけるパラメータ

| パラメータ                           | 試験条件                    |
|---------------------------------|-------------------------|
| 環境温度 ( )                        | 室温、90                   |
| 水分                              | 初期：飽和条件<br>初期：乾燥条件 吸水過程 |
| 塩素濃度 (mol/L)                    | 純水、海水 (0.5mol/L)        |
| ベントナイト乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> ) | 1.0、1.3、1.6             |

## 2) 電気化学ノイズ解析法の基本性能確認試験

電気化学ノイズ解析法についても、実験室において小型試験装置を使用して基礎データを取得するとともに解析方法の検討および適用性について検討する。

一般の電気化学システムにおいて、電極反応は小さな揺らぎを伴って進行しており、電極電位や電流には不規則な振動（雑音）が含まれている。通常の電気化学測定では、図 5-10 に示すように測定系の信号源（Source A）から強制的に電位または電流の信号を与えその応答を測定している。この場合には、被測定系からの雑音信号（Source B）はできるだけ小さくするか無視している。電気化学ノイズ解析では測定システムの Source A をなくし、Source B の信号により試料電極の特性（主にインピーダンス）を測定しようとするものである。

本解析法の特徴と利点は、測定対象に外乱を一切加えることなく、被測定系からの信号を計測し腐食速度を求めようとする点にある。これによって、外乱に敏感な極めて遅い腐食速度を正確に測定することが可能となる。

電気化学ノイズ解析は、均一腐食系について多くの研究者の解析法が提案されているが、実際の腐食速度と相関する場合と相関しない場合があることが報告されてきた。最近、水流らは被測定系の信号源からのノイズと被測定系とは無関係のノイズを時間領域データの相関係数と周波数領域のコヒーレンス（相関度係数）によって分離できることを報告しており、この方法を適用することでより信頼性の高い電気化学ノイズ解析ができると期待される。

基礎試験では図 5-11 に示すように、オーバーパックと同材質の 2 枚のプローブ電極と参照電極を緩衝材に埋め込み、電位と電流ノイズを収集し、周波数解析およびインピーダンス解析を行い、腐食による実際の質量減少との対応を調べる。さらに、極めて小さい腐食速度に対応して計測されるノイズの時定数が大きくなることが予想されるため、解析プログラムの工夫により実時間に

近い周波数解析の可能性を検討する。また、参照電極を第3のプローブ電極で代替した場合の誤差を調べる。

実験室での基礎試験に基づいて、工学的規模の試験についても計測する。基礎的な解析法が確立している交流インピーダンス法による試験と同様のプローブ電極でデータの採取が可能であることから、交流インピーダンス法によるモニタリングに割り込む形での試験の継続が可能となる。これにより、腐食速度を異なる計測システムでチェックすることが可能となる。

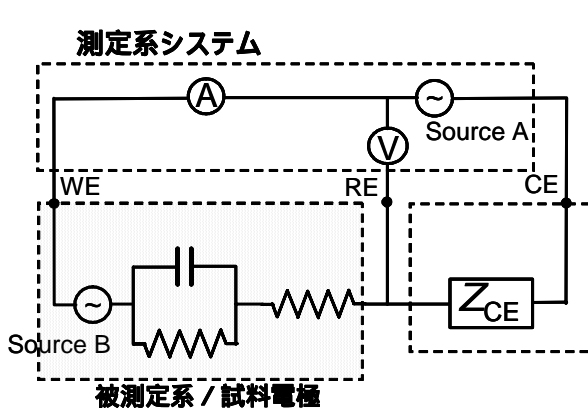


図 5-10 電気化学ノイズの発生測定系と被測定系の信号源

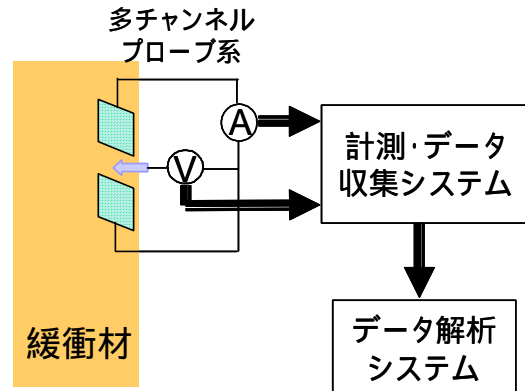


図 5-11 実験室におけるノイズ計測システム

(4) 光ファイバ計測システム

(a) 目標

光ファイバは、従来用いられてきたデータ通信だけでなく、温度とひずみの測定にも応用できる。人工バリアのオーバーパックや緩衝材の温度を測定することは、廃棄体からの放射線の減衰をモニタリングする補助的な手段となるとともに、緩衝材内の物質輸送、および各種の化学反応速度を推定する上での基本的な情報となるため、極めて重要である。また、オーバーパックや緩衝材のひずみを測定することは、これらの力学的な安定性を確認する目的から重要である。

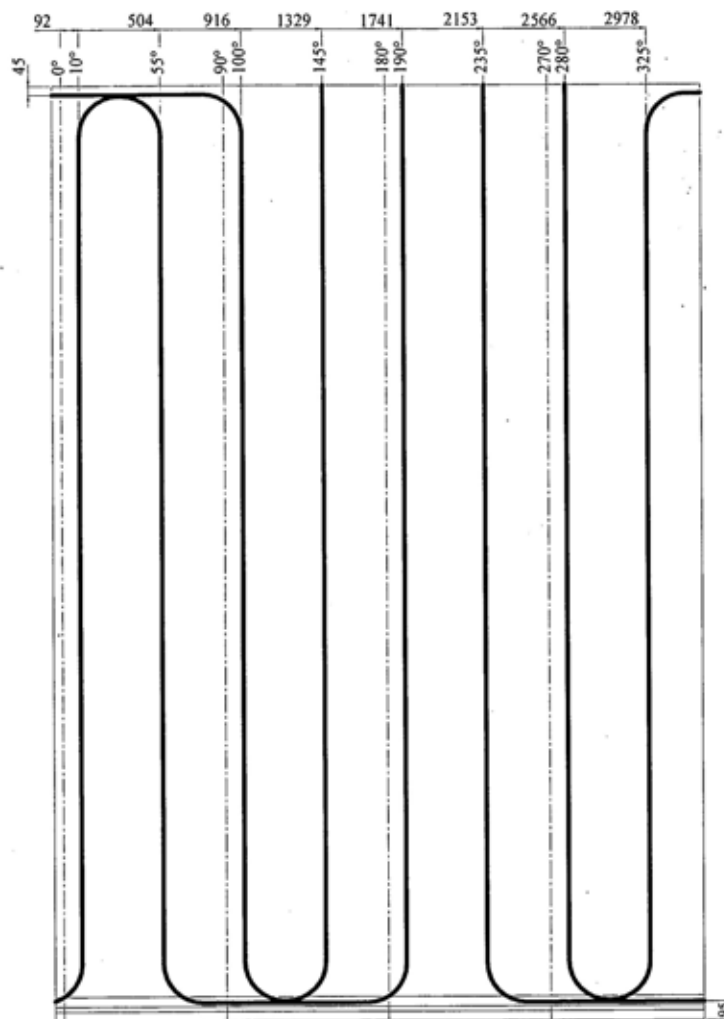
そこで、光ファイバを温度とひずみの測定に用いるとともに、これ以外の計測手法と統合した計測手段とすること、また、光ファイバを用いて計測データを統合して送受信するシステムを構築することを目指す。温度の測定には FOTM を、ひずみの測定には BOTDR か、pH 測定と統合することを目指して、FBG を用いることとする。

(b) 性能確認試験方法

オーバーパックの表面の温度、およびひずみの測定を行うための光ファイバの敷設例<sup>5-5)</sup>を図 5-12 に示す。ここでは、合計 2 系統の光ファイバをオーバーパックの中心軸方向に沿って敷設し、オーバーパックの全周の計測を行う。

緩衝材表面の温度、およびひずみの測定は、オーバーパックへの敷設例と同様に、2 系統の光ファイバをオーバーパックの中心軸方向に沿って敷設し、全周の計測を行う。ただし、緩衝材内部については、表面と異なりループでの敷設が困難であるため、緩衝材のブロックごとに 2 本程

度の設置孔をあらかじめ空けておき、緩衝材の設置後にこの孔へ光ファイバを挿入することにより敷設する。



オーバーパックの展開伏せ図（光ファイバ位置・角度[°]距離[mm]表示）

図 5-12 オーバーパック表面への光ファイバ設置例<sup>5-5)</sup>

### 5.2.2 モックアップ試験の計画

情報取得技術の適用性を確認するための工学的規模の人工バリア試験装置を設計・製作する。本試験装置を用いて基本性能確認試験を実施した情報取得技術に関して、実環境に近い状態での適用性の確認を行う。試験装置の概要図は図 5-13 に示すとおりであり、試験装置サイズは『第 2 次取りまとめ』<sup>5-6)</sup>の人工バリア仕様例の 1/3 程度とする。

オーバーパック内部にはヒータを内蔵し、ガラス固化体からの発熱を模擬するとともに、緩衝材中の温度分布および水分分布は熱電対および誘電率測定法により測定する。図では熱電対を半径方向に 2 方向、軸方向に 4 箇所設置している。また、水分測定用のプローブ（誘電率測定法）は半径方向に 2 方向、軸方向に 3 箇所設置する。緩衝材内の圧力の測定は、オーバーパック表面

および緩衝材外側の容器に設置した圧力計で行なう。腐食速度を測定するプローブは、オーバーパックの周囲方向に4箇所(90°)および軸方向に3箇所(上部、中心、下部)程度設置し、各箇所における腐食状況を確認できる配置とする。さらに、オーバーパック表面近傍のpHおよびEhを測定し、緩衝材中の地球化学特性の時空間的変遷を観察する。またこれ以外にも、光ファイバ等のセンサ開発の成果を反映させる。確認試験装置の概略仕様は表5-7に示すとおりである。

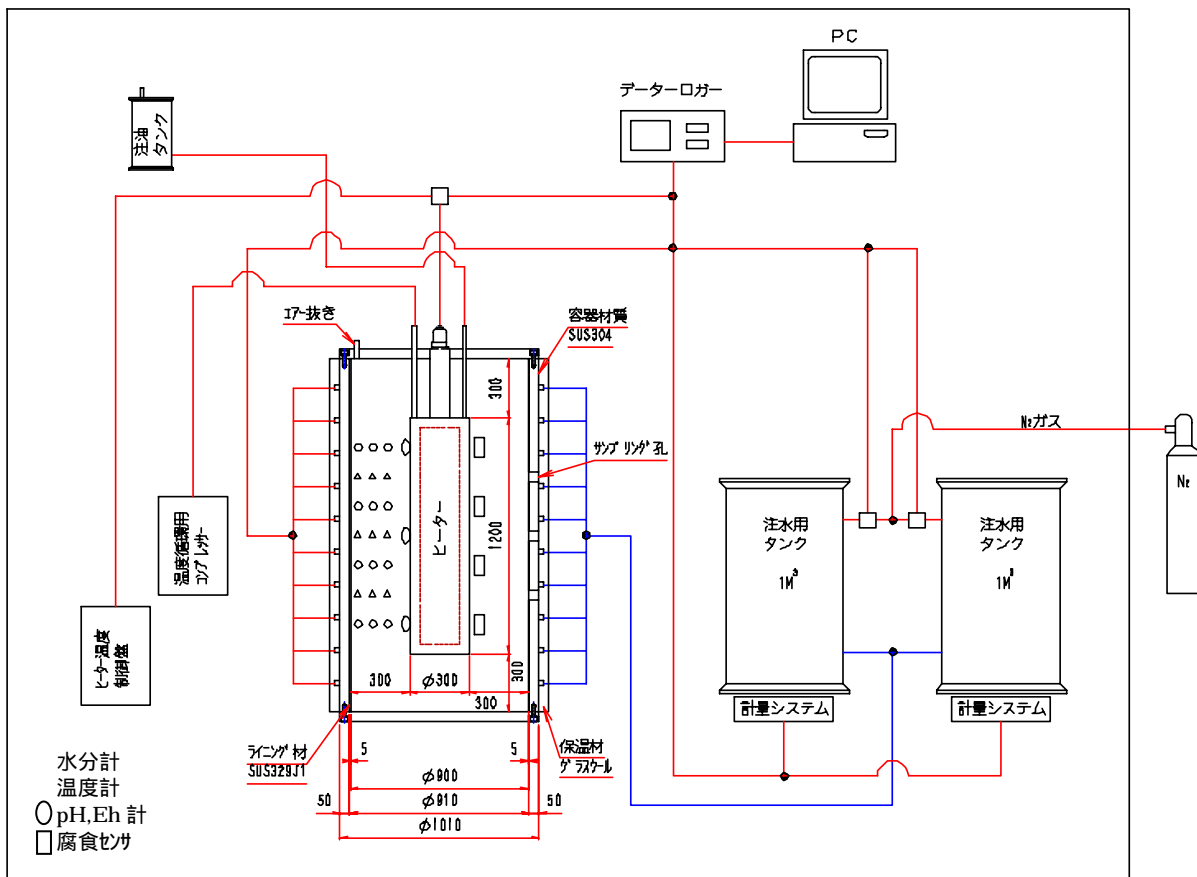


図 5-13 工学的規模の人工バリア試験装置の概念図

表 5-7 工学的規模の確認試験における試験条件

| 対象       | 仕様   |
|----------|--|
| オーバーパック  | 外径 300mm × 高さ 1200mmH<br>SM400B 肉厚：50mm<br>ヒーター内臓              |
| 緩衝材      | 外径：900mm × 高さ 1,800mmH<br>ベントナイト厚さ：300mm<br>ベントナイト：ケイ砂 = 70：30 |
| 緩衝材の乾燥密度 | 1.3g/cm <sup>3</sup>   |
| 地下水種類    | 海水系地下水または降水系地下水  |

上記の工学的規模の試験装置を使用してモックアップ試験を実施する。測定はベントナイトが再冠水するまでの過渡的現象と再冠水後の飽和時の両者に対して行なう。

測定項目は表 5-8 に示すとおりであり、緩衝材内の温度、水分、圧力、オーバーパックの腐食速度、オーバーパック近傍の緩衝材内の pH と Eh である。腐食速度は検出器（片側露出プローブ：図 5-9 参照）を複数設置することにより測定する。交流インピーダンス法と電気化学ノイズ解析法の検出器は共通である。緩衝材中の温度分布および水分分布は熱電対および誘電率計により測定する。また、オーバーパック近傍の緩衝材内の pH は ISFET またはガラス電極で測定し、Eh は白金電極等で測定する。

また、注水試験中および試験終了後に緩衝材をサンプリングし、緩衝材の性状変化やモニタリングの正確さをチェックする。さらに、試験終了後にオーバーパックを取り出し、その表面を観察するとともに腐食深さ等を測定し、モニタリングによる評価結果と比較する。

表 5-8 工学的規模の確証試験における測定項目および測定方法

| 測定項目          | 測定方法                             |
|---------------|----------------------------------|
| 緩衝材内の温度分布     | 熱電対                              |
| 緩衝材内の水分分布     | 誘電率測定法                           |
| 緩衝材内の圧力       | 圧力計                              |
| オーバーパックの腐食速度  | 片側露出プローブ                         |
| オーバーパック近傍の pH | ISFET またはガラス電極                   |
| オーバーパック近傍の Eh | 白金電極                             |
| 測定期間          | ベントナイトが再冠水するまでの過渡的現象<br>再冠水後の飽和時 |

(注) 光ファイバの適用も含めモックアップ試験にはセンサ開発の成果を適宜反映する。

5.2.3 開発スケジュール

開発スケジュール案を表 5-9 に示す。

表 5-9 開発スケジュール案

| 試験                          | 年 |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|--|
|                             | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |  |
| <b>基本性能確認試験</b>             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・緩衝材内の水分量の測定技術              |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・緩衝材内および周辺岩盤における<br>pH 測定技術 |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・オーバーパックの腐食速度測定技術           |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・光ファイバ計測システム                |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| <b>モックアップ試験</b>             |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・試験装置設計、製作                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・試験                         |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |
| ・解体、サンプリング                  |   |   |   |   |   |   |   |   |   |    |  |



## 5章 参考文献

- 5-1) 伊藤彰他、“熱-水-応力-化学連成挙動に関する数値解析の取り組み”、第58回年次学術講演会講演概要集、共通セッションCS7-041、pp359-360、(2003)
- 5-2) 千々松正和、杉田裕他、“釜石原位置試験場における粘土充填・熱負荷試験結果”、JNC TN 8400 99-024、(1999)
- 5-3) DBE TECHNOLOGY GmbH: <http://www.dbetec.de>
- 5-4) 原子力環境整備促進・資金管理センター：“平成14年度 地層処分技術調査等報告書 - モニタリング機器技術高度化調査 - (その1) 地層処分におけるモニタリングシステムの検討”、(2003)
- 5-5) Goudarzi, R. and L. Börgesson: Äspö HRL - Prototype repository. Sensors data report (Period: 010917-030301), Report 5, 203pp., SKB IPR-03-23 (2003)
- 5-6) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性”、JNC TN1400 99-022、(1999)

## 6. おわりに

安全担保の観点から人工バリアおよびその周辺環境の変遷に関する情報取得方法について技術情報の調査研究および実現性の高い計測方法の提案を行なうことを目的に研究を行なった。高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、処分場の閉鎖の判断情報を与えるものとして、人工バリアが所期の性能を確保し、処分場が要件を満たして機能しており、安全が担保されていることを示す必要がある。この安全担保を示す一つの手法として、人工バリアにおける実現象が予測される挙動範囲内にあることを示すことが考えられる。最初に、安全担保のあり方およびロジックを考慮し、本研究で対象とする計測項目と部位を設定した。そして、それに基づき、現状情報取得技術の調査を行うとともに、現状情報取得技術の地層処分環境への適用性についての整理を行ない、実現性の可否、研究課題等について取りまとめた。最後に、幌延深地層研究所における原位置試験への適用を鑑み、実現性の高い情報取得技術の開発計画案の策定を行なった。今後は、幌延での原位置試験の試験スケジュールを見据え、今回、調査あるいは開発提案した情報取得技術に関して、より詳細な開発計画の策定あるいは開発の実施をしていく必要があるものと考えられる。