

JNC TJ7440 2005-076

1
図書室

多区間水質連続モニタリング 装置の設計

報告書

平成16年3月

大成基礎設計株式会社

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
Tel: 029-282-1122 (代表)
Fax: 029-282-7980
e-mail: jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction 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) 2005

2004年3月

多区間水質連続モニタリング装置の設計

平田 洋一*、小川 賢*

要 旨

本業務では、地下水の地球化学特性の変化を観察するために各深度の予備坑道から掘削された水平ボーリング孔に設置可能な地下水採水装置および物理化学パラメータ連続測定装置の設計を行った。主な設計条件を以下に示す。

- ・使用耐久年数 : 20年
- ・適応ボーリング孔径 : $\phi 100\text{mm}$
- ・孔内部最大挿入長 : 250m
- ・採水区間最小調整長さ : 50cm
- ・最大使用環境圧力 : 10MPa
- ・最大パッカー連装数 : 10連装
- ・最大モニタリング区間数 : 10区間
- ・測定項目 : 間隙水圧、排水量、
pH、Eh/ORP、EC、DO、Temp、pS
[オブション-Cl、Na、F等]

本報告書は、大成基礎設計株式会社が核燃料サイクル開発機構との契約により実施した業務の成果である。

契約番号:

核燃料サイクル開発機構担当部課室および担当者: 東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所

岩月 輝希

*大成基礎設計株式会社 技術研究所

The design of continuous monitoring equipment for multi-interval water quality

Youichi HIRATA*, Ken OGAWA*

Abstract

In this work we designed the equipment for sampling ground water and continuous measurement of the physical science parameters. The equipment can be set in a horizontal boring hole drilling from the preparatory tunnels at various depths. The main specifications are as follows.

Durability terms: 20 years

Available bore hole diameter: 100mm

Maximum insertion length: 250m

Minimum sampling length: 50cm

Pressure proof for environmental pressure: 10MPa

Maximum number of settable packers: 10

Maximum number of monitoring sections: 10

Measurement items: Pore water pressure, Drainage discharge, pH, Eh, Do,
Temperature, pS

Optional measurement items: Cl, Na, F,etc

This work was performed by Taisei Kiso Sekkei Co.,LTD under contract with Japan Nuclear Cycle Development Institute.

JNC Liaison: Teruki Iwatsuki

Underground Research Group Mizunami Underground Research Laboratory (MIU)

Tono Geoscience Centre (TGC)

*Taisei Kiso Sekkei Co.,LTD Technical Laboratory

目次

1. まえがき	-----	1
2. 設計条件	-----	2
3. 各部の機能	-----	3
3. 1 ボーリング孔内パッカーシステム部	-----	3
3. 2 坑道モニタリング部	-----	7
4. ボーリング孔内パッカーシステム部の設計	-----	11
4. 1 モニタリングポート付きパッカーマンドレル	-----	11
4. 2 ケーシングパイプ部	-----	13
4. 3 内部配管部	-----	14
5. 坑道モニタリング部の設計	-----	16
5. 1 地上配管ユニット	-----	16
5. 2 水分析ユニット	-----	18
5. 3 データ収録ユニット	-----	19
6. 謝辞	-----	21

目 次

図-4.1.1	パッカーマンドレル部概念図	-----	11
図-4.1.2	モニタリングポート部概念図	-----	12
図-4.2.1	ケーシングパイプ部概念図	-----	13
図-4.3.1	内部配管部概念図	-----	14
図-5.1.1	地上配管ユニット概念図	-----	16
図-5.2.1	水分析ユニット概念図	-----	18
図-5.3.1	データ収録ユニット概念図	-----	19

表 目 次

表-2.1 設計条件	-----29
------------	---------

1. まえがき

本業務では、超深地層研究所の建設過程および建設後における施設周辺での地下水の地球化学特性の変化を観察するために、各深度の予備坑道から掘削された水平ボーリングにより、想定される地質構造（健岩部、断層・割れ目帯等）にアクセスし、健岩部や割れ目帯といった地質の不均質性に対する地球化学環境の不均質性・地下施設が与える影響の不均質性等を評価する。そのため、ボーリング孔に設置可能な地下水採水装置および物理化学パラメータ連続測定装置の設計を行った。

本報告書では、今回設計した装置の基本仕様等について述べる。

2. 設計条件

本試験装置の設計に当たり、仕様書等で与えられた条件を表-2.1 設計条件表に示す。

表-2.1 設計条件表

項 目	設 計 条 件
基本構成	①ボーリング孔内パッカーシステム部 ②坑道モニタリング部
最大適応孔径	φ100mm
最大使用環境圧力	10MPa
モニタリング区間最小調整長さ	50cm
ボーリング孔内パッカーシステム部最大外径	φ90mm
最大パッカー連装数	10 連装
最大モニタリング区間数	10 区間
測定項目	各モニタリング区間の間隙水圧および排水量、 各パッカー拡張圧、 1 区間の pH,Eh/ORP,EC,DO,Temp,pS,
パッカー最大遮水差圧	10MPa
パッカー拡張・収縮	個別拡張・収縮
パッカー拡張方式	水圧式
データ収録項目	各モニタリング区間の間隙水圧、 1 区間の pH,Eh/ORP,EC,DO,Temp,pS, イオン4項目
配管切り替え	プログラム連動型 (一部手動式)

3. 各部の機能

本装置は大きくボーリング孔内パッカーシステム部および坑道モニタリング部で構成されている。以下に各部の機能を示す。

3. 1 ボーリング孔内パッカーシステム部

ボーリング孔内パッカーシステム部はパッカー部、ケーシングパイプ部および内部配管部で構成されている。

パッカー部の機能について以下に示す。

① パッカーラバー

- ・材質：天然ゴム（ただし、ラバー引き留め部はステンレス鋼）
- ・拡張方式：片端スライド式
- ・拡張方法：水圧式
- ・拡張差圧：間隙水圧に対し+1~3MPa
- ・最大耐差圧：10MPa
- ・収縮時外径：φ90mm（ラバー引き留め金具部）
- ・全長：1000mm（パッカーラバー部分）

② モニタリングポート付きパッカーマンドレル

- ・材質：ステンレス
- ・耐圧性能：15MPa
- ・内外径：外径φ60mm、内径φ49.5mm
- ・モニタリング用配管材質：ステンレス鋼
- ・モニタリング用配管材径：外径6mm、内径4mm
- ・モニタリング用配管接続方法：ステンレスチューブ継手
- ・注入用配管材質：ステンレス鋼
- ・注入用配管径：外径4mm、内径3mm
- ・注入用配管接続方法：ステンレスチューブ継手
- ・パッカー拡張・収縮配管材質：ステンレス鋼
- ・パッカー拡張・収縮配管材径：外径φ4mm、内径φ3mm
- ・パッカー拡張・収縮配管接続方法：ステンレスチューブ継手
- ・全長：2045mm

ケーシングパイプ部について以下に示す。

- ① ケーシングパイプ
 - ・材質：ステンレス鋼
 - ・最大外径：φ90mm
 - ・最小内径：φ60mm
 - ・接続方法：ネジ式
 - ・シール方法：Oリングシール
 - ・長さ：0.5m、1m、2m、3m

内部配管部について以下に示す。

- ① モニタリング用配管
 - a. 低圧用（深度0～500m）
 - ・材質：ナイロンチューブ
 - ・チューブ径：外径φ6mm、内径φ4mm
 - ・破壊圧力：15.2MPa（23℃）
 - ・最小曲げ半径：17mm
 - ・1巻き全長：100m
 - ・接続方法：ユニオン継手
 - b. 高圧用（深度500～1000m）
 - ・材質：ステンレスパイプ
 - ・チューブ径：外径φ6mm、内径φ4mm
 - ・最大使用圧力：42MPa
 - ・1本全長：2m
 - ・接続方法：ユニオン継手
- ② パッカー用配管、注入用配管
 - a. 低圧用（深度0～500m）
 - ・材質：ナイロンチューブ
 - ・チューブ径：外径φ4mm、内径φ2.5mm
 - ・破壊圧力：17.6MPa（23℃）
 - ・最小曲げ半径：10mm
 - ・1巻き全長：100m
 - ・接続方法：ユニオン継手
 - b. 高圧用（深度500～1000m）
 - ・材質：PEEK材
 - ・チューブ径：外径φ4mm、内径φ3mm
 - ・破壊圧力：
 - ・1巻き全長：100m

・接続方法：ユニオン継手

③ ユニオン継手

a. モニタリング用配管

i. ステンレス管とナイロンチューブ用継手（低圧用）

- ・材質：ステンレス鋼
- ・耐圧：15MPa
- ・全長：55mm
- ・最大外径：φ18mm

ii. ナイロンチューブとナイロンチューブ用継手（低圧用）

- ・材質：ステンレス鋼
- ・耐圧：15MPa
- ・全長：31mm
- ・最大外径：φ16mm

iii. ステンレス管とステンレス管用継手（高圧用）

- ・材質：ステンレス鋼
- ・耐圧：15MPa
- ・全長：41mm
- ・最大外径：φ18mm

iv. PEEK チューブと PEEK チューブ用継手（高圧用）

- ・材質：ステンレス鋼
- ・耐圧：15MPa
- ・全長：41mm
- ・最大外径：φ18mm

b. パッカー用配管、注入用配管

i. ステンレス管とナイロンチューブ用継手（低圧用）

- ・材質：ステンレス鋼
- ・耐圧：15MPa
- ・全長：50mm
- ・最大外径：φ18mm

ii. ナイロンチューブとナイロンチューブ用継手（低圧用）

- ・材質：ステンレス鋼
- ・耐圧：15MPa
- ・全長：29mm
- ・最大外径：φ14mm

iii. ステンレス管と PEEK チューブ用継手（高圧用）

- ・材質：ステンレス鋼

- ・ 耐圧：15MPa
 - ・ 全長：38mm
 - ・ 最大外径：φ14mm
- iv. PEEK チューブと PEEK チューブ用継手（高圧用）
- ・ 材質：ステンレス鋼
 - ・ 耐圧：15MPa
 - ・ 全長：38mm
 - ・ 最大外径：φ14mm

3. 2 坑道モニタリング部

坑道モニタリング部は、地上配管ユニット、水分析ユニット、データ収録ユニットで構成される。

地上配管ユニットについて以下に示す。

① 配管

- ・材質：ステンレス鋼
- ・配管径：外径 $\phi 6\text{mm}$ 、内径 $\phi 4\text{mm}$
- ・耐圧：15MPa

② 低圧用絶対圧力計（深度 0～500m）

- ・測定形式：ひずみゲージ式
- ・定格容量：5MPa
- ・限界過負荷：117.7MPa
- ・精度： $\pm 0.1\%$ F.S.以内
- ・材質：ステンレス鋼（接液部）

③ 高圧用絶対圧力計（深度 500～1000m）

- ・測定形式：ひずみゲージ式
- ・定格容量：10MPa
- ・限界過負荷：196.1MPa
- ・精度： $\pm 0.1\%$ F.S.以内
- ・材質：ステンレス鋼（接液部）

④ パッカー用圧力計

- ・測定形式：ブルドン管ゲージ式
- ・定格容量：7MPa（低圧用）
16MPa（高圧用）
- ・精度等級：1.6 級

⑤ フィルター

- ・材質：ステンレス鋼
- ・オリフィス： $\phi 4.4\text{mm}$
- ・ポア・サイズ：440 μm
- ・フィルターエリア：1090 mm^2
- ・流量：22.87L/min（差圧 0.1MPa）
50.55L/min（差圧 0.3MPa）
69.13L/min（差圧 0.6MPa）

⑥ 流量計

- ・総流量積算表示：8 桁
- ・積算流量（リセット付）：8 桁

- ・瞬時流量値：6桁
- ・積算表示最小単位：0.01・0.1・1L（選択）
- ・瞬時表示最小単位：0.001・0.01・0.1・1L/min（選択）
- ・最大積算量：99999.99L
- ・最小目盛：0.002L
- ⑦ アキュムレータータンク
 - ・材質：ステンレス鋼
 - ・使用限度圧力：12MPa
 - ・内容量：1000cm³±5%
- ⑧ 手動弁
 - ・材質：ステンレス鋼（ボディ部）
 - ・使用限度圧力：20MPa（40℃）
 - ・オリフィス：φ4.4mm
 - ・Cv値：1.4
- ⑨ 手動弁（アキュムレータータンク用）
 - ・材質：ステンレス鋼（ボディ部9
 - ・使用限度圧力：20MPa（40℃）
 - ・オリフィス：4.0mm
 - ・Cv値：0.27
- ⑩ 電磁弁
 - ・材質：ステンレス鋼
 - ・使用電圧：AC100V
 - ・オリフィス：1/4インチ
 - ・Cv値：0.76
 - ・最大遮水差圧：10.3MPa
- ⑪ 流量制御弁
 - ・材質：ステンレス鋼（ボディ部）
 - ・使用限度圧力：34MPa
 - ・オリフィス：4.4mm
 - ・Cv値：0.37

水分析ユニットについて以下に示す。

- ① 手動弁
 - ・材質：ステンレス鋼（ボディ部）
 - ・使用限度圧力：20MPa（40℃）
 - ・オリフィス：φ4.4mm
 - ・Cv値：1.4

② 電磁弁

- ・材質：ステンレス鋼
- ・使用電圧：AC100V
- ・オリフィス：1/4 インチ
- ・Cv 値：0.76
- ・最大遮水差圧：10.3MPa

③ 定圧弁

- ・材質：ステンレス鋼
- ・使用限度圧力：41.3MPa
- ・開放圧力：0.34～10.3MPa（範囲内で任意に調整）
- ・オリフィス：6.4mm

④ 水質分析計

a. pH 複合電極

- ・測定方式：ガラス電極
- ・参照電極：銀-塩化銀電極（ダブルジャンクション型）
- ・測定範囲：0～14pH
- ・測定精度：±0.2pH
- ・使用限度圧力：15MPa

b. 参照電極

- ・電極：銀/塩化銀電極（ダブルジャンクション型）
(Ag/AgCl/KCl/試料溶液)
- ・内部液：内部電極—飽和塩化銀 (AgCl) 溶液
外部電極—飽和塩化カリウム (KCl) 溶液（ゲル化処理）
キレート剤入ペースト状 KCl 添加
内部容量—6.8mL

- ・ジャンクション：イオン交換膜、ポーラス状テフロン樹脂
- ・使用限度圧力：15MPa

c. ORP 作用電極

- ・測定方法：金属電極法 (Pt)
- ・参照電極：銀/塩化銀電極（ダブルジャンクション型）
- ・測定範囲：-1,000～1,000mV
- ・測定精度：±10mV
- ・使用限度圧力：15MPa

d. pS 作用電極

- ・測定方法：イオン電極法、硫化銀電極
- ・参照電極：銀/塩化銀電極

- ・測定範囲：0～1,000mV
- ・測定精度：±5mV
- ・使用限度圧力：15MPa

e. DO 電極

- ・測定範囲：0～20mg/L
- ・測定飽和率範囲：0～200%
- ・測定温度範囲：0～50℃

f 1. EC/Temp 計（一般用）

- ・測定範囲：100 μ S/m～10S/m
- ・測定温度範囲：0～100℃

f 2. EC/Temp 計（低電気伝導率用）

- ・測定範囲：5 μ S/m～1S/m
- ・測定温度範囲：0～100℃

データ収録ユニットについて以下に示す。

- ① 電磁弁制御装置
 - ・制御数：20 台
 - ・機能：オート／マニュアル切り替え
- ② 圧力計データ変換器
 - ・入力端子数：20ch
 - ・電源：AC100V
 - ・インターフェース：RS-232C
- ③ データ収録器
- ④ データ収録・バルブ制御プログラムソフト
 - ・機能：配管回路図の表示
現在測定値の表示

4. ボーリング孔内パッカーシステム部の設計

以下に、ボーリング孔内パッカーシステム部の設計についての詳細を示す。

4. 1 モニタリングポート付きパッカーマンドレル

モニタリングポート付きパッカーマンドレルは、パッカーラバー、パッカーマンドレル部およびモニタリングポート部で構成している。

図-4.1.1 にパッカーマンドレル部概念図を示す。

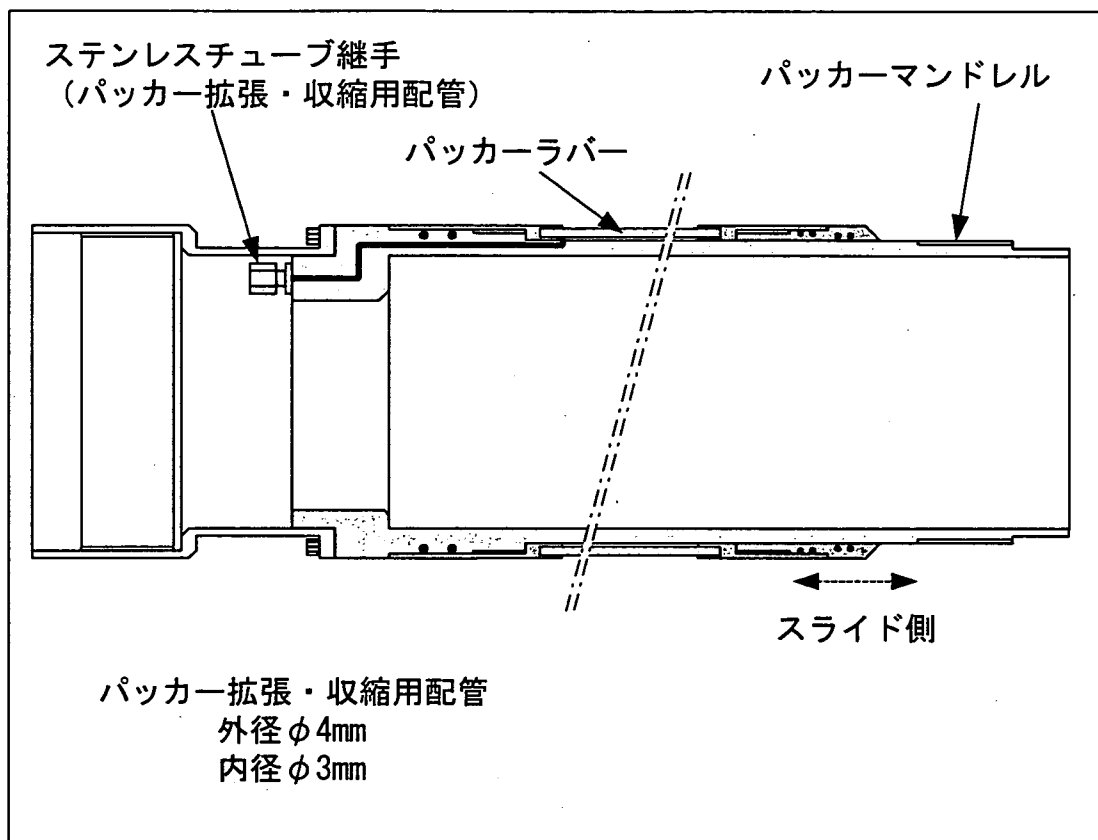


図-4.1.1 パッカーマンドレル部概念図

パッカーラバーは、孔口側をパッカーマンドレルにネジで固定し、孔底側はスライドして拡張する構造である。パッカーは、孔口よりパッカー拡張・収縮ラインに水を送り込むことによりパッカーを拡張することができる。

パッカー拡張・収縮用配管はステンレスチューブ継手にて接続される構造としている。

図-4.1.2 にモニタリングポート部概念図を示す。

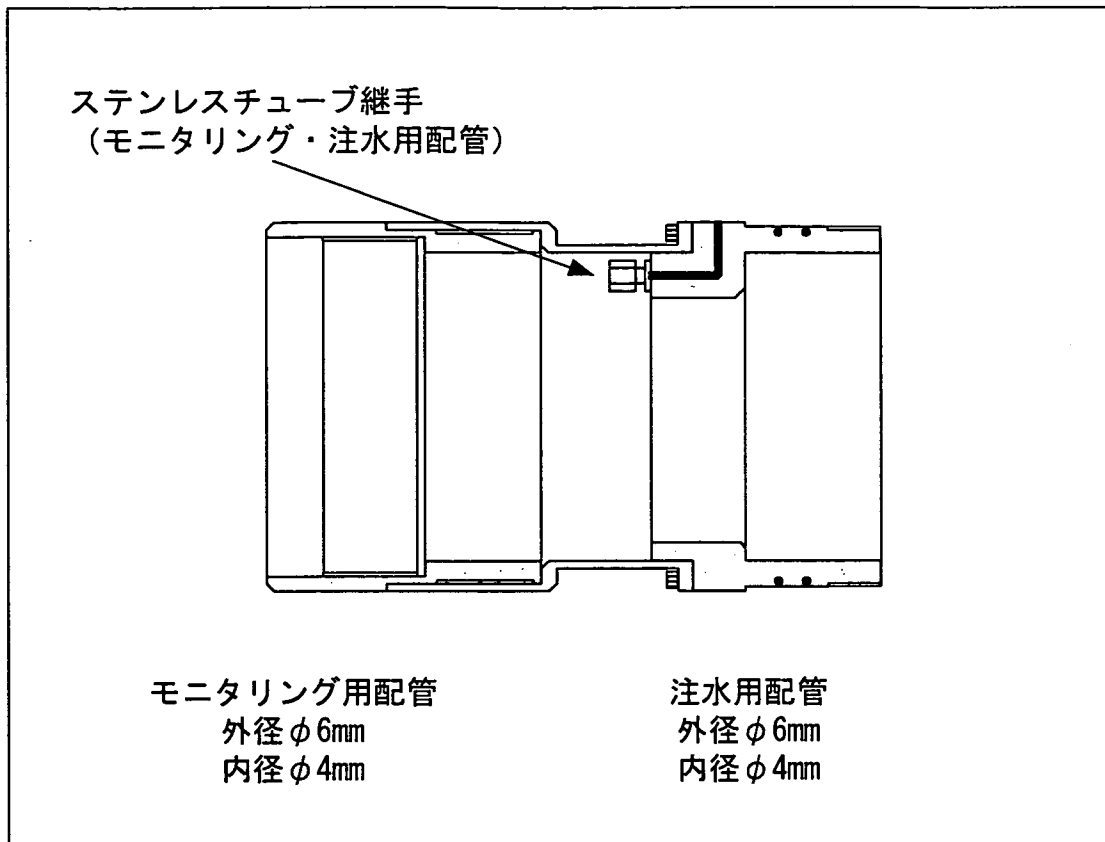


図-4.1.2 モニタリングポート部概念図

モニタリング用配管および注水用配管はステンレスチューブ継手にて接続される構造としている。

4. 2 ケーシングパイプ部

ケーシングパイプ部は、ケーシングパイプおよびケーシングソケットで構成している。図-4.2.1にケーシングパイプ部概念図を示す。

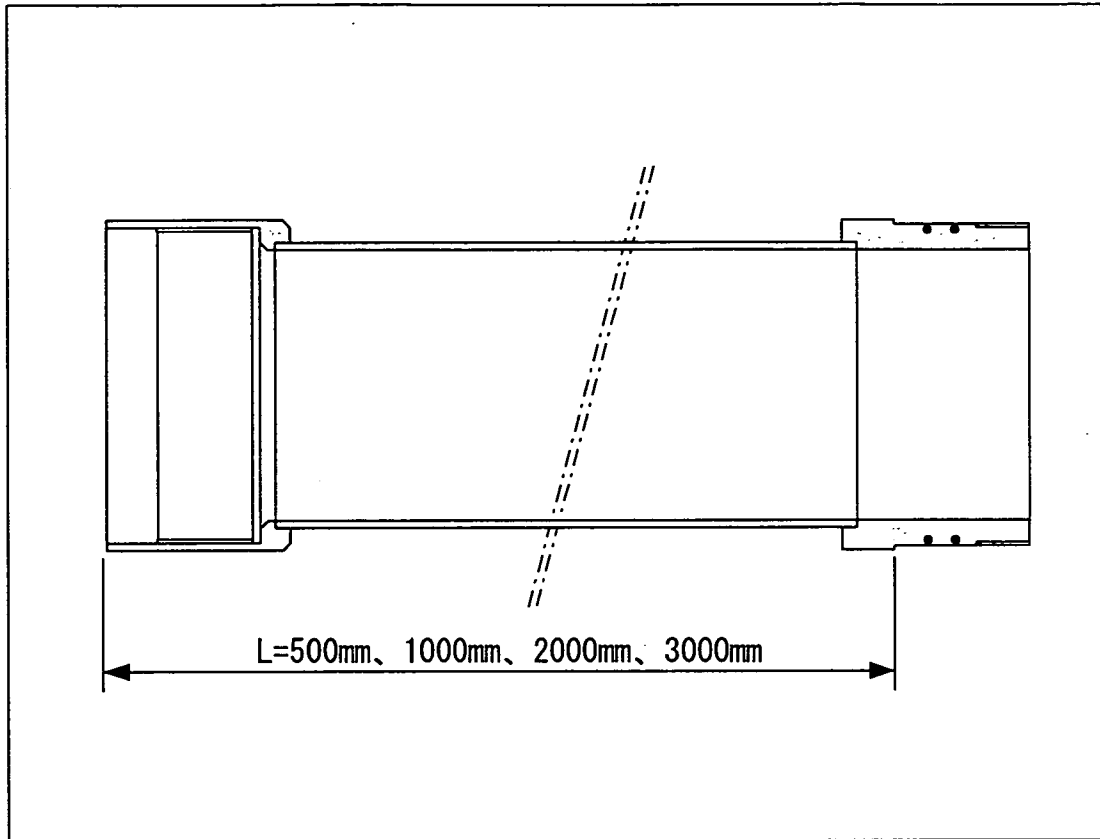


図-4.2.1 ケーシングパイプ部概念図

孔内部装置の挿入距離は、このケーシングパイプの接続本数により決定することができる。また、ケーシングパイプはパッカーとパッカーとの間にも取り付けることができ、この接続本数によりモニタリングの区間長を設定することができる。また、ケーシングパイプの外径を $\phi 90\text{mm}$ とパッカー外径の $\phi 85\text{mm}$ よりも若干太くすることで装置挿入・回収時になるべくパッカーが孔壁を擦らないようにしている。

4. 3 内部配管部

内部配管は、パッカー部に設置されているモニタリング配管、パッカー配管および注入配管であるステンレスパイプに接続しパッカー部およびケーシングパイプ部の内部を通り孔口の坑道モニタリング部に接続される。

図-4.3.1 に内部配管部概念図を示す。

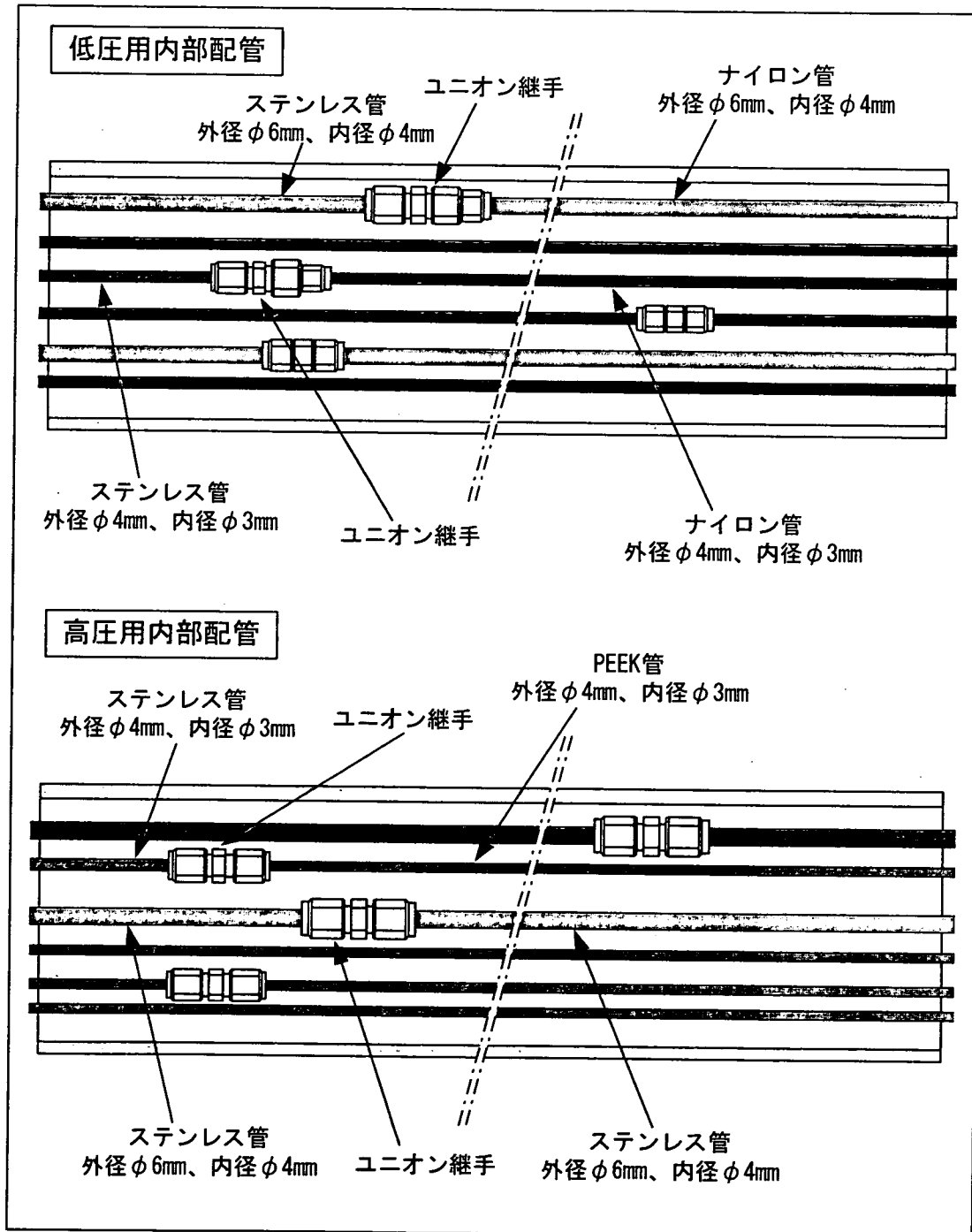


図-4.3.1 内部配管部概念図

内部配管には、低圧用のナイロン製のチューブ、高圧用の PEEK 材のチューブとの 2 種類有る。耐圧性能より低圧用は適応深度 0~500m まで、高圧用は適応深度 500~1,000m までとする。

ナイロンチューブおよび PEEK チューブは、ステンレス製のパイプに比べ、容易に切断することができる。また、いずれのチューブもドラム等に巻けることにより 1 本あたり 100m とすることで装置設置時の接続箇所を減らすことができる。

5. 坑道モニタリング部の設計

5.1 地上配管ユニット

図-5.1.1 に地上配管ユニット概念図を示す。

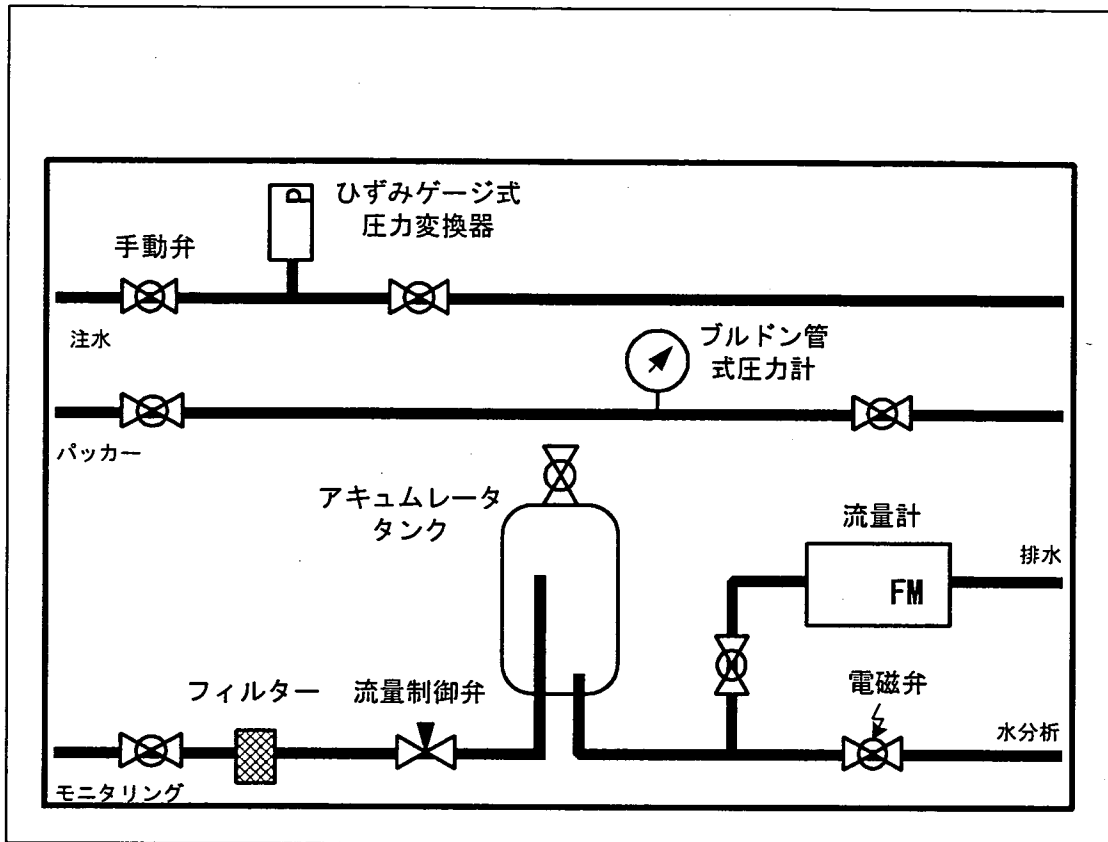


図-5.1.1 地上配管ユニット概念図

地上配管ユニットは、モニタリング1区間およびパッカー1本に対し1ユニットを使用する構造としており、モニタリング区間数およびパッカー本数に応じて必要個数の地上配管ユニットを増やす構造である。

モニタリング区間の配管部分には、フィルターが取り付けられており地下水中に混入している砂分を除去できるようにしている。また、アキュムレータタンクを介すことにより地下水中のガスをこの中に於いて分離できる構造としている。さらにアキュムレータタンク上部に取り付けられている手動弁を開放することによりアキュムレータタンクに溜まったガスを再起することができる。電磁弁はデータ収録ユニット内の制御プログラムで制御でき、このバルブを開放することによりモニタリング区間の地下水を水分析ユニットに接続し、水質分析することができる構造となっている。

パッカー拡張・収縮用配管部分には、ブルドン管式圧力計が取り付けられておりパッカーの拡張圧を監視することができる。

注水配管部分には、ひずみゲージ式圧力変換器が取り付けられておりモニタリング区間の間隙水圧を監視することができる構造としている。

また、いずれの配管もステンレス管とし、取り付けられているフィルター、流量制御弁、流量計、電磁弁、ブルドン管式圧力計およびひずみゲージ式圧力変換器も容易に交換できるような継手を介す配管組とすることでメンテナンスを容易にする構造としている。

5. 2 水分析ユニット

図-5.2.1 に水分析ユニット概念図を示す。

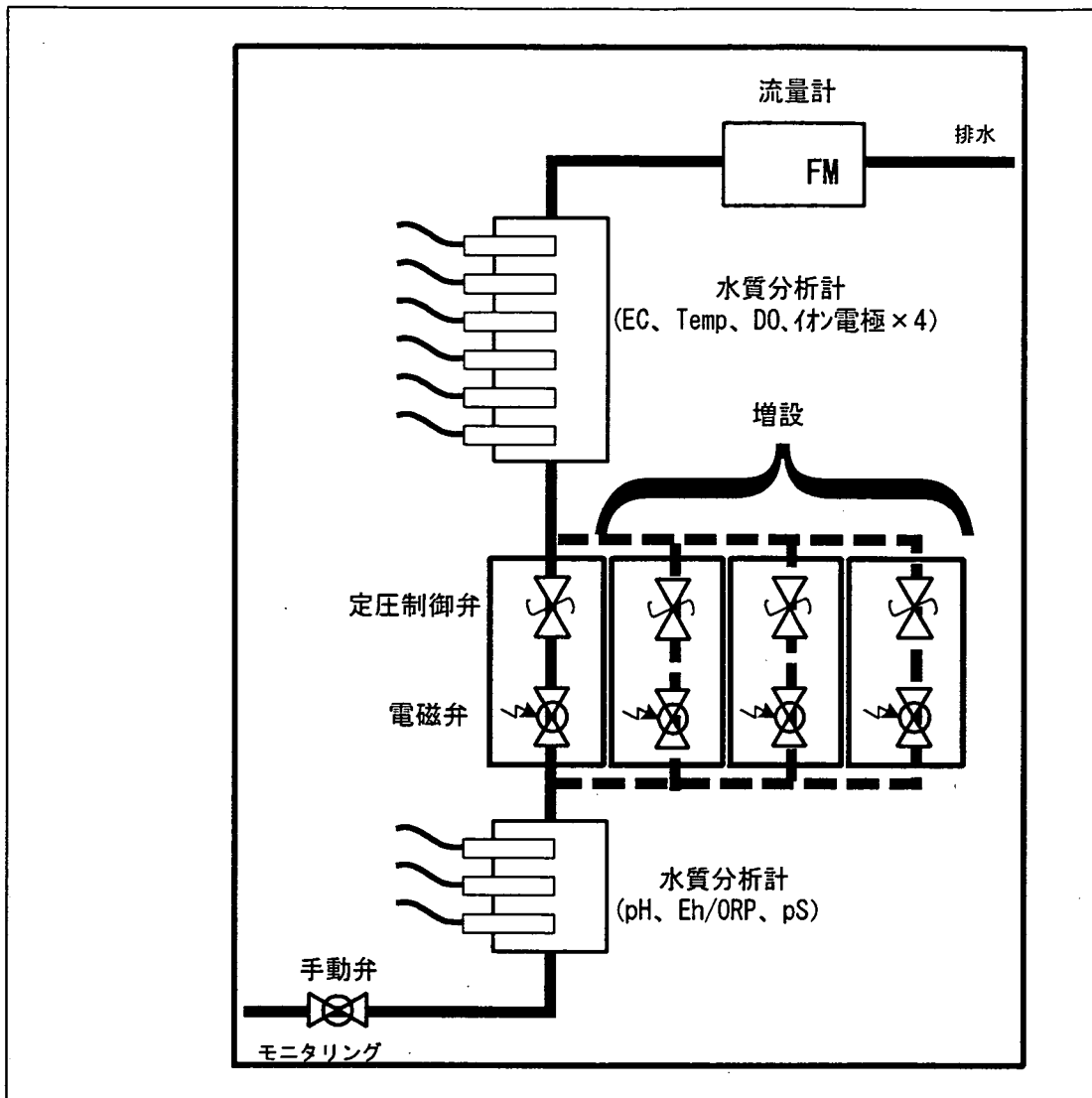


図-5.2.1 水分析ユニット概念図

水分析ユニットには、電磁弁および定圧制御弁が取り付けられており pH、Eh/ORP、pS 電極部分にモニタリング区間圧に比べあまり減圧することなく計測できる構造としている。また、この電磁弁および定圧制御弁の組み合わせは最大 10 組まで増設することができ、各モニタリング区間の間隙水圧により任意に増やすことが可能な構造としている。

下流側の水質分析部分には、EC-Temp、DO のほか任意のイオン電極を最大 4 電極まで取り付け可能な構造としている。

5. 3 データ収録ユニット

図-5.3.1 にデータ収録ユニット概念図を示す。

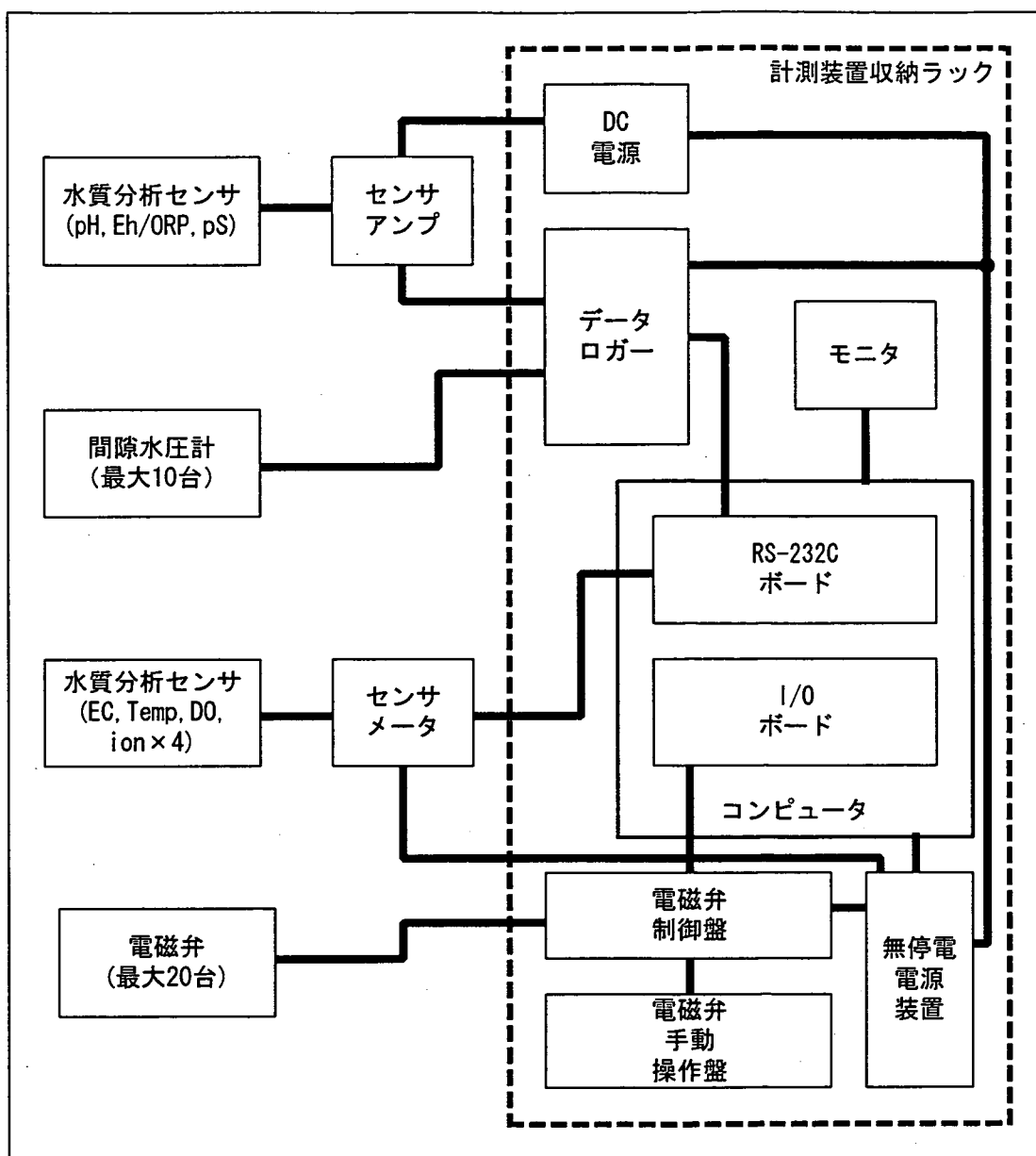


図-5.3.1 データ収録ユニット概念図

データ収録ユニットは、水質分析センサおよび間隙水圧計のデータ収録、および電磁弁の制御を行う。

pH、Eh/ORP、pS の水質分析計については、センサアンプ部への電源供給をすると共にデータロガーを介しコンピュータ内にデータを収録する。EC-Temp、DO イオン4電極については、センサメータを介し電源供給をすると共にコンピュータ内にデータを収録する。間隙水圧計については、データロガーを介し電源供給をすると共にコンピュータ内にデータを収録する。電磁弁については電磁弁制御盤を介し、電源供

給すると共に電磁弁の制御をコンピュータ上で行うことができる。また、電磁弁制御盤と接続されている電磁弁手動操作盤を使用することにより手動で個々の電磁弁の制御をすることができる。ただし、この場合は、プログラムに連動した電磁弁制御はできなくなる。

6. 謝辞

本業務に際して、核燃料サイクル開発機構の関係者各位に多くの助言および便宜を蒙っていただいた。

ここに、感謝の意を表す次第である。