

## 地下水中のコロイド調査手法の構築

Methodology Development for Colloid Investigation in Groundwater

大森 一秋 宗本 隆志 長谷川 隆 新宮 信也  
萩原 大樹 岩月 輝希

Kazuaki OHMORI, Takashi MUNEMOTO, Takashi HASEGAWA, Shinya SHINGU  
Hiroki HAGIWARA and Teruki IWATSUKI

バックエンド研究開発部門  
東濃地科学センター  
地層科学研究部

Geoscientific Research Department  
Tono Geoscience Center  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management

August 2014

本レポートは独立行政法人日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。  
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。  
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)  
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課  
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4  
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.  
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to  
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,  
Japan Atomic Energy Agency.  
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan  
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

© Japan Atomic Energy Agency, 2014

## 地下水中のコロイド調査手法の構築

日本原子力研究開発機構

バックエンド研究開発部門 東濃地科学センター 地層科学研究部

大森 一秋<sup>\*1</sup>, 宗本 隆志<sup>\*2</sup>, 長谷川 隆<sup>\*1</sup>, 新宮 信也<sup>\*1</sup>, 萩原 大樹<sup>+1</sup>, 岩月 輝希

(2014年6月2日受理)

本報告では、深部花崗岩中の地下水に含まれるコロイドに関する調査手法として、研究坑道から掘削したボーリング孔に設置している水圧・水質モニタリング装置にレギュレーターとフィルターホルダーを直結した限外ろ過システムと、深度 300m 研究アクセス坑道の壁面湧水をバッチ式気密容器に地下水を採取して限外ろ過を行うシステム、また、限外ろ過法に代わる方法としてクロスフローろ過法について検討・評価を行った。検討の結果、各手法について以下の長所・短所を整理することができた。

水圧・水質モニタリング装置を用いた限外ろ過法は原位置で気密状態を維持しながら限外ろ過操作が可能である。ただ、短ボーリング孔掘削時に生成した人為由来物質の影響による地下水の経時変化の可能性がある。

バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法は限外ろ過作業中における地下水の経時変化の影響を防ぐことができる。ただ、原位置で限外ろ過作業ができない。

バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過法は、水圧・水質モニタリング装置やバッチ式気密容器を用いた方法に比べてろ過機材の設置や操作手法が簡単である。ただ、ろ過膜の種類が少ないため、適用できるコロイドの大きさが限定される。

---

東濃地科学センター：〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64

+1 福島研究開発部門 福島環境安全センター 環境動態研究グループ

※1 技術開発協力員

※2 博士研究員

\*1 株式会社熊谷組 (2013年3月31日まで技術開発協力員)

## Methodology Development for Colloid Investigation in Groundwater

Kazuaki OHMORI<sup>\*1</sup>, Takashi MUNEMOTO<sup>\*2</sup>, Takashi HASEGAWA<sup>\*1</sup>,  
Shinya SHINGU<sup>\*1</sup>, Hiroki HAGIWARA<sup>+1</sup> and Teruki IWATSUKI

Geoscientific Research Department, Tono Geoscience Center  
Sector of Decommissioning and Radioactive Waste Management  
Japan Atomic Energy Agency  
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received June 2, 2014)

We examined ultrafiltration and cross flow filtration of groundwater by using an in-situ water monitoring system and a batch type airtight container to identify colloid in groundwater and spring water(at -300m access / research gallery). Additionally, the following know-hows were summarized.

Ultrafiltration method using in-situ water monitoring system is possible to ultrafiltrate groundwater maintaining airtight condition. On the other hand, groundwater is contaminated by artificial materials generated drilling borehole. So groundwater is changed with the passage of time.

Ultrafiltration method using batch type airtight container is possible to prevent temporal change of groundwater during ultrafiltration. But it is impossible to ultrafiltrate on site.

Cross flow filtration method using batch type airtight container is easy to operate, compared with ultrafiltration using an in-situ water monitoring system and a batch type airtight container. However, only a few kinds of filtration membrane are available for colloid size separation.

Keywords : Mizunami Underground Research Laboratory(MIU), Groundwater, Colloid,  
Ultrafiltration, Cross-flow Filtration

---

+1 Fukushima Environmental Research Group, Fukushima Environmental Safety Center,  
Sector of Fukushima Research and Development

※1 Collaborating Engineer

※2 Post-Doctoral Fellow

\* 1 KUMAGAI GUMI CO.,LTD (Collaborating Engineer until March 31, 2013)

目 次

1. はじめに.....	1
2. 調査対象箇所.....	2
3. 水圧・水質モニタリング装置を用いたコロイド調査手法の検討について.....	3
3.1 水圧・水質モニタリング装置を用いた原位置での限外ろ過法の概要.....	3
3.2 限外ろ過膜の前処理方法と分析結果.....	4
3.3 限外ろ過液の前処理方法と分析結果.....	6
3.4 分析結果に影響を及ぼす要因について.....	9
3.5 ボーリング孔壁の汚染について.....	10
4. バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法によるコロイド調査手法について.....	15
4.1 バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法の概要.....	15
4.2 バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法により得られたろ過液の分析結果.....	16
4.3 地下水中のコロイドのサイズ分布の算出と結果.....	19
5. クロスフローろ過法を用いた地下水中のコロイド調査手法について.....	22
5.1 クロスフローろ過法の概略.....	22
5.2 バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過法の操作について.....	22
5.3 分析結果とサイズ分布の算出.....	22
6. まとめ.....	28
参考文献.....	29

Contents

1. Introduction.....	1
2. Sampling location.....	2
3. Colloid investigation method using water monitoring system.....	3
3.1 Outline of ultrafiltration method on site using water monitoring system.....	3
3.2 Preprocessing and analytical results of filter.....	4
3.3 Preprocessing and analytical results of filtrate water.....	6
3.4 Influence factors on the analysis.....	9
3.5 Contamination on the borehole wall.....	10
4. Colloid investigation method using batch type airtight container.....	15
4.1 Outline of colloid investigation method using batch type airtight container.....	15
4.2 Results of filtrate water analysis.....	16
4.3 Size distribution of colloid in groundwater.....	19
5. Study of colloid using cross flow filtration method.....	22
5.1 Outline of cross flow filtration method.....	22
5.2 Operation of flow filtration system using batch type airtight container.....	22
5.3 Results of filtrate water analysis and size distribution.....	22
6. Summary.....	28
References.....	29

## 表リスト

表 3-1 限外ろ過分析結果：07MI07 号孔(区間 1)	7
表 3-2 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 1)	7
表 3-3 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)	7
表 3-4 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 3)	12
表 3-5 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)	12
表 4-1 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	17
表 4-2 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	17
表 4-3 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	20
表 4-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	20
表 5-1 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	24
表 5-2 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	24
表 5-3 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	26
表 5-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	26

## 図リスト

図 2-1 研究坑道内の調査位置図	2
図 2-2 深度 300m 研究アクセス坑道における壁面湧水の採水場所	3
図 3-1 水圧・水質モニタリング装置を用いた原位置での限外ろ過システム概略図	4
図 3-2 限外ろ過分析結果：07MI07 号孔(区間 1)	8
図 3-3 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 1)	8
図 3-4 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)	9
図 3-5 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 3)	13
図 3-6 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)	13
図 3-7 限外ろ過分析結果(鉄)：09MI20 号孔(区間 3)	14
図 3-8 限外ろ過分析結果(鉄)：10MI26 号孔(区間 1)	14
図 4-1 バッチ式気密容器を用いた限外ろ過システムの概略図	15
図 4-2 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	18
図 4-3 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	18
図 4-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	21
図 4-5 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	21
図 5-1 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	25
図 5-2 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	25

図 5-3 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)	27
図 5-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)	27

写真リスト

写真 3-1 SEM-EDX 分析結果：07MI07 号孔(区間 1)	5
写真 3-2 SEM-EDX 分析結果：09MI20 号孔(区間 1)	5
写真 3-3 SEM-EDX 分析結果：10MI26 号孔(区間 1)	6
写真 3-4 掘削直後(a)と掘削数週間後(b)のボーリング孔壁の状態(深度 400m 10MI26 号孔区間 1)	10
写真 5-1 バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過システムの外観	23

Table list

Table3-1 Results of filtrate water analysis (07MI07 borehole section1).....	7
Table3-2 Results of filtrate water analysis (09MI20 borehole section1).....	7
Table3-3 Results of filtrate water analysis (10MI26 borehole section1).....	7
Table3-4 Results of filtrate water analysis (09MI20 borehole section3).....	12
Table3-5 Results of filtrate water analysis (10MI26 borehole section1).....	12
Table4-1 Results of filtrate water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-198)...	17
Table4-2 Results of filtrate water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-199)...	17
Table4-3 Colloid size distribution (at-300m access / research galley_A-SP-198).....	20
Table4-4 Colloid size distribution (at-300m access / research galley_A-SP-199).....	20
Table5-1 Cross flow filtration water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-198).....	24
Table5-2 Cross flow filtration water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-199).....	24
Table5-3 Colloid size distribution (at-300m access / research galley_A-SP-198).....	26
Table5-4 Colloid size distribution (at-300m access / research galley_A-SP-199).....	26

Figure list

Figure2-1 Sampling location in research gallery.....	2
Figure2-2 Sampling location at -300m access / research gallery.....	3
Figure3-1 Ultrafiltration system on site using water monitoring system.....	4
Figure3-2 Results of filtrate water analysis (07MI07 borehole section1).....	8
Figure3-3 Results of filtrate water analysis (09MI20 borehole section1).....	8
Figure3-4 Results of filtrate water analysis (10MI26 borehole section1).....	9
Figure3-5 Results of filtrate water analysis (09MI20 borehole section3).....	13
Figure3-6 Results of filtrate water analysis (10MI26 borehole section1).....	13
Figure3-7 Results of iron analysis (09MI20 borehole section3).....	14
Figure3-8 Results of iron analysis (10MI26 borehole section1).....	14
Figure4-1 Ultrafiltration system using batch type airtight container.....	15
Figure4-2 Results of filtrate water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-198).....	18
Figure4-3 Results of filtrate water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-199).....	18
Figure4-4 Colloid particle size (at-300m access / research galley_A-SP-198).....	21
Figure4-5 Colloid particle size (at-300m access / research galley_A-SP-199).....	21
Figure5-1 Cross flow filtration water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-198).....	25
Figure5-2 Cross flow filtration water analysis (at-300m access / research galley_A-SP-199).....	25

Figure5-3 Colloid size distribution (at-300m access / research galley\_A-SP-198).....27  
Figure5-4 Colloid size distribution (at-300m access / research galley\_A-SP-199).....27

Photograph list

Photograph3-1 Results of SEM-EDX (07MI07 borehole section1).....5  
Photograph3-2 Results of SEM-EDX (09MI20 borehole section1).....5  
Photograph3-3 Results of SEM-EDX (10MI26 borehole section1).....6  
Photograph3-4 Borehole wall soon after drilling borehole(a) and several weeks after drilling  
borehole(b)(10MI26 borehole section1) .....10  
Photograph5-1 Cross flow filtration system using batch type airtight container.....23

## 1.はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては、地下深部(地下 300m 以深)に放射性核種を含むガラス固化体を人工的に設けられる障壁(人工バリア)と天然の地層(天然バリア)を組み合わせた多重バリアシステムにより、放射性核種を生物環境から長時間隔離することとしている。人工バリアではオーバーパックやベントナイトによりガラス固化体から放射性核種が地下水へ溶出しないようにすることが期待されている。天然バリアでは岩盤の持つ特性(緩慢な地下水の流速や岩盤への吸着等)により放射性核種が生物圏に達しない、あるいは遅延されることが期待されている。

一般的に地下深部は化学的に還元状態が分布しており、放射性核種は地下水の化学条件に依存した溶解度で地下水に溶出し、地下水の流れとともに移動すると想定される。また、地下水には大きさが  $1\mu\text{m}$  以下のコロイドが存在しており、放射性核種は溶存態での移動に加えて、加水分解反応により生成した真性コロイド、地下水に存在する天然コロイドに吸着した擬似コロイドなどの形で地下水を移動するメカニズムが想定されている。この移動メカニズムを解明するためには地下深部におけるコロイド態での放射性核種の移動に関する調査技術の開発が必要となる。

本研究では、高レベル放射性廃棄物に含まれるアクチノイドと化学的性質が類似している天然類似元素(希土類元素、特にランタノイドやウラン、トリウム)について、コロイド態での移動に関わる調査手法について検討を行った。

具体的には、瑞浪超深地層研究所の研究坑道のボーリング孔(深度 200~400m)に設置した水圧・水質モニタリング装置を用いたコロイド調査方法と、地下水の水みちとなる割れ目から湧出している地下水を対象としバッチ式気密容器を用いたコロイド調査手法についての検討を行った。

また、限外ろ過に要する時間の短縮や操作の利便性向上を目的として、ろ過膜面に対し地下水を平行に流すことにより、水流でろ過膜の目詰まりを防止しながらろ過を行うクロスフローろ過法について地下水中のコロイド調査に適用できるか検討を行った。

2.調査対象箇所

調査位置を図 2-1 および図 2-2 に示す。本研究では深度 200m 予備ステージ内から掘削されたボーリング孔(07MI07 号孔)、深度 300m 予備ステージ内から掘削されたボーリング孔(09MI20 号孔)および深度 400m 予備ステージ内から掘削されたボーリング孔(10MI26 号孔)より採取した地下水と深度 300m 研究アクセス坑道の壁面湧水 2 か所 (A-SP-198、A-SP-199)を調査対象とした。

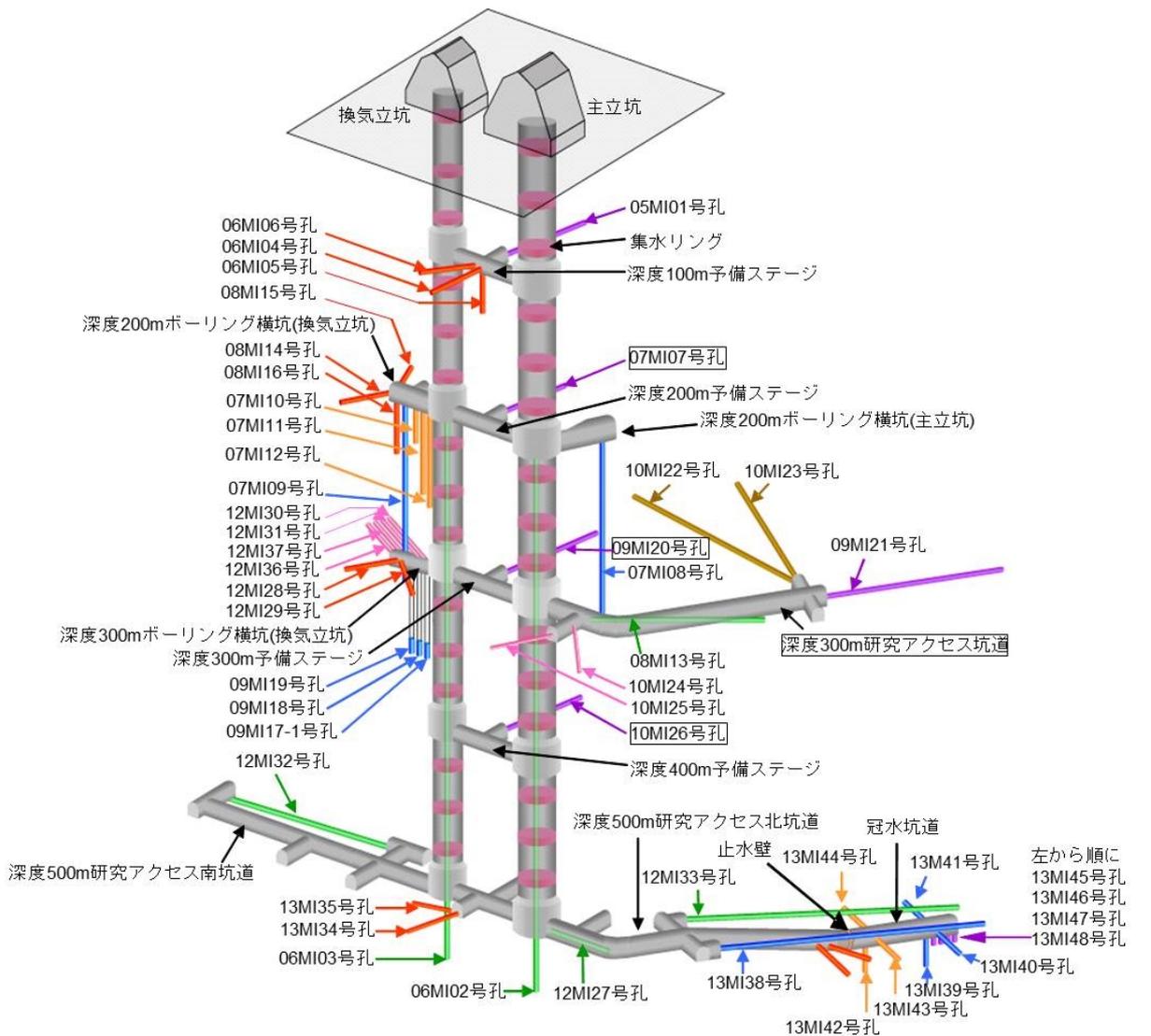


図 2-1 研究坑道内の調査位置図

□ : 調査対象箇所

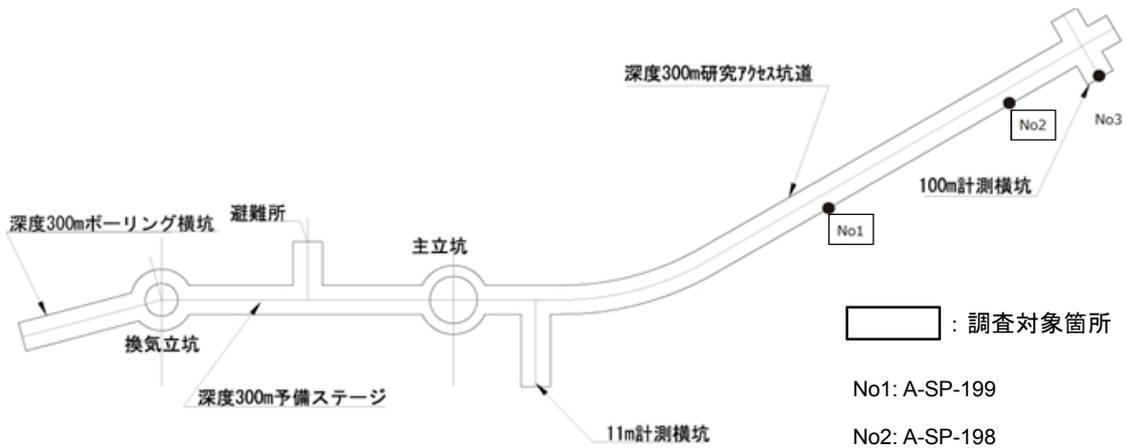


図 2-2 深度 300m 研究アクセス坑道における壁面湧水の採水場所

### 3.水圧・水質モニタリング装置を用いたコロイド調査手法の検討について

#### 3.1 水圧・水質モニタリング装置を用いた原位置での限外ろ過法の概要

水圧・水質モニタリング装置を用いた原位置での限外ろ過法は、地下水を大気に触れさせることなくろ過操作を行うことができる。この方法では、各深度の予備ステージに設置した水圧・水質モニタリング装置とステンレス製の三つの機材(減圧レギュレーター部、フィルターホルダー部、背圧レギュレーター部)をクイックコネクツを用いて、気密状態を維持した状態で接続させて限外ろ過を行う。図 3-1 に概略図を示す。

ろ過操作は、水圧・水質モニタリング装置の採水バルブを開放して地下水を減圧レギュレーター部からあらかじめろ過膜を装着したフィルターホルダー部、背圧レギュレーター部へと通過させることにより行う。装着するろ過膜孔径を変えることにより、各孔径での限外ろ過操作が可能となる。

減圧レギュレーター部では、水圧・水質モニタリング装置から流れる地下水の水圧を調整する。背圧レギュレーター部では、ろ過膜を通過する地下水の水圧を調整する。フィルターホルダー部を挟んで減圧レギュレーター部と背圧レギュレーター部の間に圧力差を発生させることにより、フィルターホルダー部に装着したろ過膜に地下水を通すことができる。背圧レギュレーター部の出口に設置したテフロン製の採水ボトルにろ過液を回収する。フィルターホルダー部を挟んだ減圧レギュレーター部と背圧レギュレーター部の圧力差は、ろ過膜の耐圧性を考えて 0.3MPa 以内とした。

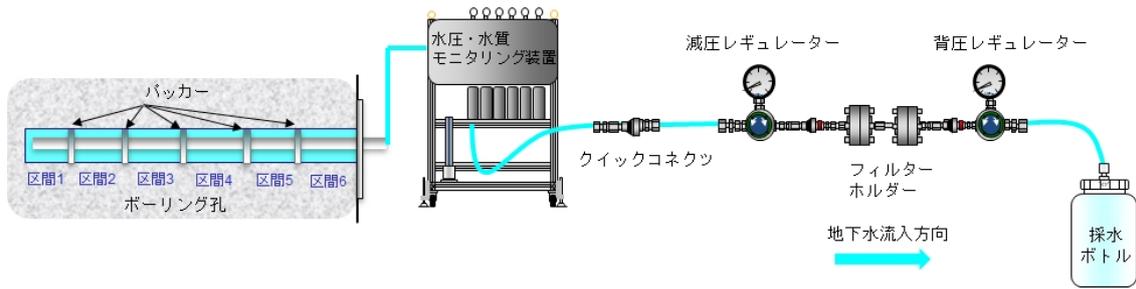


図 3-1 水圧・水質モニタリング装置を用いた原位置での限外ろ過システム概略図

### 3.2 限外ろ過膜の前処理方法と分析結果

3.1 に示した限外ろ過法により、深度 200～400m に設置している水圧・水質モニタリング装置を用いて原位置で限外ろ過を実施した。限外ろ過実施後、フィルターホルダー部内に装着したろ過膜について分析を行った。ろ過膜の構成材質は PSF(ポリサルフォン)である。

フィルターホルダー部内に装着したろ過膜は、アルゴンガス雰囲気にしたグローブボックス内で取り出し滅菌シャーレに入れて保存した。滅菌シャーレをクリーンルーム(クラス 10,000)内で開封し、取り出したフィルターをセラミック製のはさみで 10mm 角に切断した。切断したフィルターを分析用の支持台にカーボンテープで張り付けて固定した。フィルターに導電性を持たせるために、オスミウム(Os)蒸着を行い分析試料とした。得られた分析試料は SEM-EDX(SEM : FEI 社製 Quanta200FEG、EDX : OXFORD 社製 INCA Energy ver4.05、以下、SEM-EDX)で観察・分析を行った。

ろ過膜に捕集された粒子について SEM-EDX 分析を行った。SEM 観察の倍率は 10,000 倍とした。観察された粒子の内、任意の 5 個について EDX で元素分析を実施した。

SEM-EDX 分析結果を写真 3-1～3-3 に示す。分析結果については各ボーリング孔の一番奥側に相当する区間 1 について記載した。分析結果より、ろ過膜に捕集された粒子から炭素、酸素、硫黄、ケイ素、鉄が検出されたことにより地下水中のコロイドはケイ酸塩鉱物、炭酸塩鉱物、水酸化鉄などから構成されていることが分かった。写真 3-1～3-3 の分析に用いたろ過膜孔径は 10kDa(Da : 分画分子量)である。

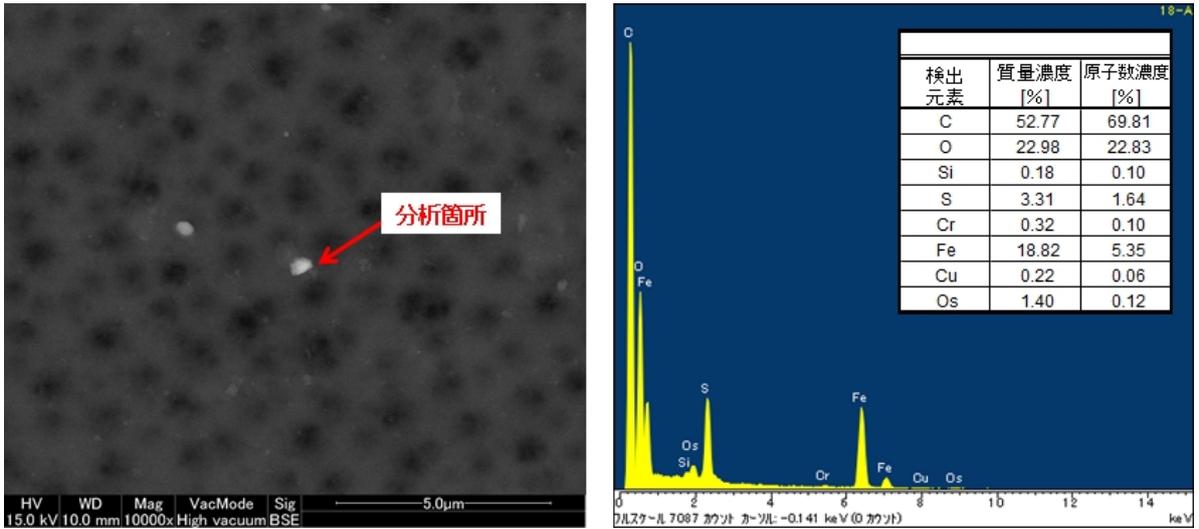


写真 3-1 SEM-EDX 分析結果 : 07MI07 号孔(区間 1)

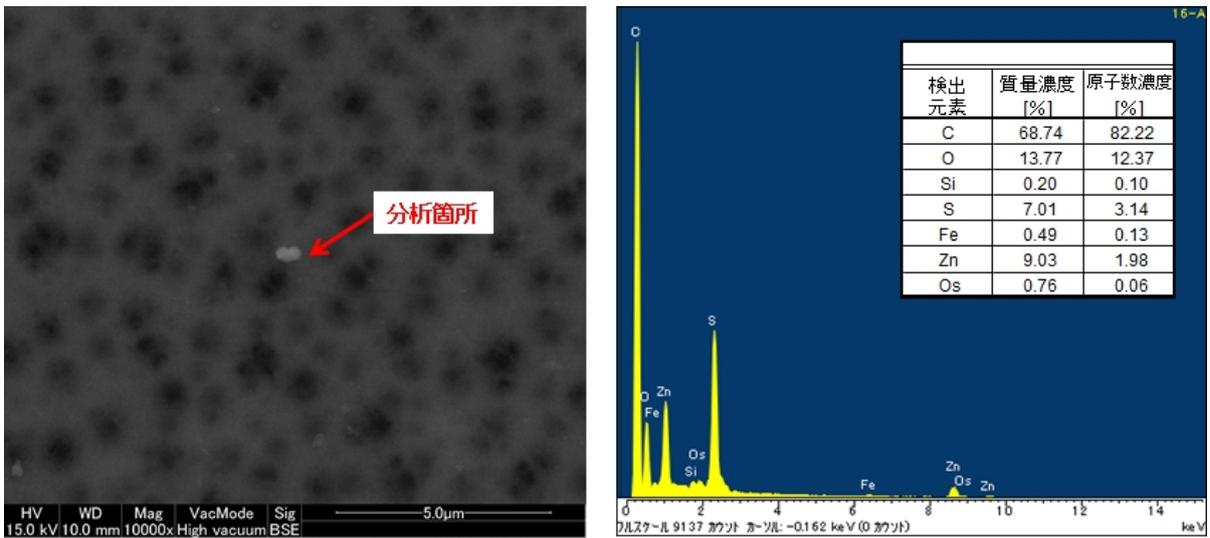


写真 3-2 SEM-EDX 分析結果 : 09MI20 号孔(区間 1)

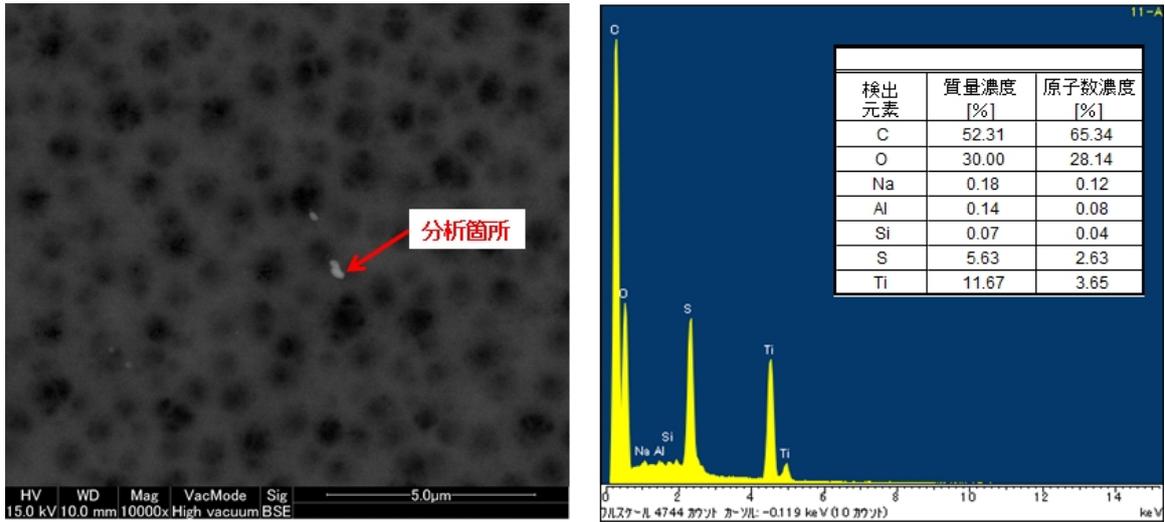


写真 3-3 SEM-EDX 分析結果：10MI26 号孔(区間 1)

### 3.3 限外ろ過液の前処理方法と分析結果

3.1 に示した限外ろ過法を用いて得られた限外ろ過液について ICP-質量分析装置(パーキンエルマ社製 ELANDRC II、以下、ICP-MS)を用いて分析を行った。

分析対象元素は、放射性核種の類似元素として用いられるウラン、トリウムおよび希土類元素(ランタノイド：La,Ce,Pr,Nd,Sm,Eu,Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm,Yb,Lu)とした。回収したろ過液は高純度硝酸を添加して pH6.2(ウラン分析用)、pH3.5(トリウム、ランタノイド分析用)に調整後、ディスクカートリッジキレート(3M 製 10mm/6ml：P/N4371)により濃縮作業を行い分析溶液とした。分析結果を表 3-1～3-3 と図 3-2～3-4 に示す。

理論上、限外ろ過法では、ろ過膜孔径が小さくなるほどろ過膜に捕集される粒子量が増える。そのため、ろ過膜を通過したろ過液中の元素濃度はろ過膜孔径が小さくなるほど減少あるいは一定になるサイズ依存性があると考えられる。しかし、今回得られた分析結果は、採水した区間による違いはあるものの一部の希土類元素については、ろ過膜孔径が小さくなるに従い、ろ過液中の元素濃度が高くなる結果が得られ、ろ過膜孔径が小さくなるほどろ過液中の元素濃度が減少あるいは一定となることと矛盾する結果となった<sup>2),3),4),5)</sup>。

表 3-1 限外ろ過分析結果：07MI07 号孔(区間 1)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
07MI07_区間1_原水	0.3	2.2	2.6	5.4	0.8	3.6	1.1	<0.1	1.8	0.5	4.2	1.3	5.2	0.8	5.5	1.1
07MI07_区間1_0.2µm	<0.1	4.1	1.2	2.5	0.3	1.5	0.5	<0.1	1.0	0.2	2.5	0.9	3.9	0.6	4.7	0.9
07MI07_区間1_10kDa	0.2	5.6	2.4	4.4	0.6	2.3	0.6	<0.1	1.2	0.3	2.7	0.9	3.9	0.6	4.9	1.0

表 3-2 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 1)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
09MI20_区間1_原水	1.5	2.5	5.2	11.0	1.5	5.5	1.8	<0.1	2.7	0.8	5.5	1.8	6.6	1.1	6.2	1.2
09MI20_区間1_0.2µm	0.9	2.8	1.8	4.2	0.6	3.0	0.9	<0.1	1.7	0.4	4.3	1.4	5.7	0.7	5.5	1.0
09MI20_区間1_10kDa	<0.1	3.2	1.9	3.6	0.5	2.0	0.6	<0.1	1.0	0.2	2.4	0.8	3.2	0.5	3.7	0.8
09MI20_区間1_1kDa	0.2	0.33	3.8	6.0	0.8	3.2	0.9	<0.1	1.2	0.3	3.1	0.9	3.5	0.6	4.0	0.8

表 3-3 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
10MI26_区間1_原水	1.9	9.1	6.6	15	2.1	9.0	2.9	0.2	4.6	1.1	9.4	2.7	9.6	1.4	7.7	1.2
10MI26_区間1_0.2µm	0.5	2.4	1.7	3.6	0.5	2.4	0.7	<0.1	1.5	0.3	3.8	1.3	4.7	0.7	4.4	0.8
10MI26_区間1_10kDa	0.5	8.2	1.5	3.4	0.5	2.4	0.8	<0.1	1.5	0.4	4.9	1.6	6.9	1.0	5.9	1.1
10MI26_区間1_1kDa	0.3	9.1	1.7	2.6	0.3	1.2	0.3	<0.1	0.3	<0.1	0.9	0.3	1.4	0.2	1.8	0.3

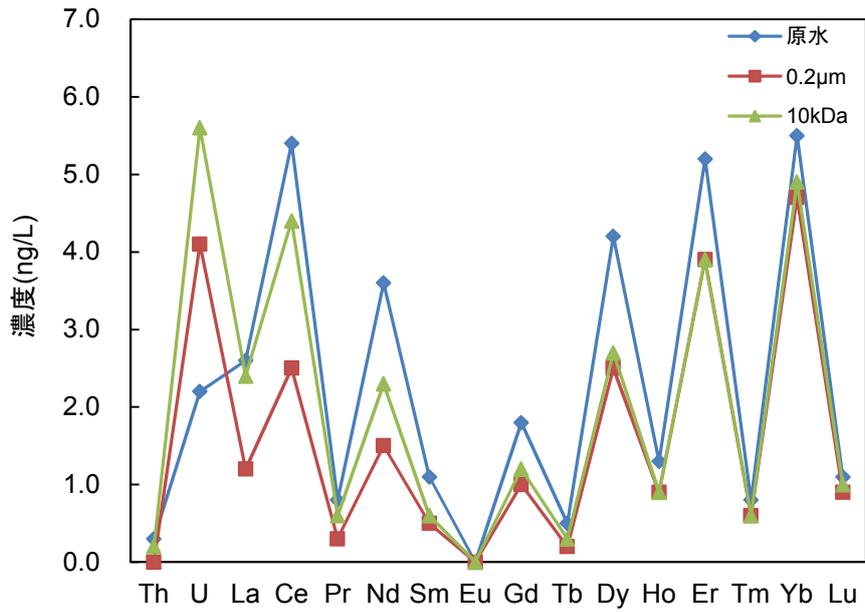


图 3-2 限外ろ過分析結果：07MI07 号孔(区間 1)

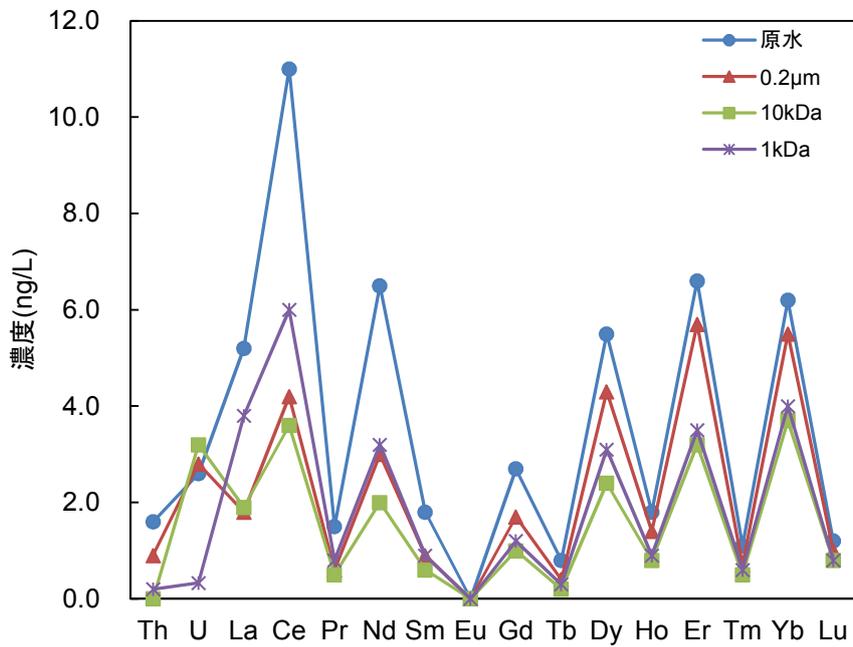


图 3-3 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 1)

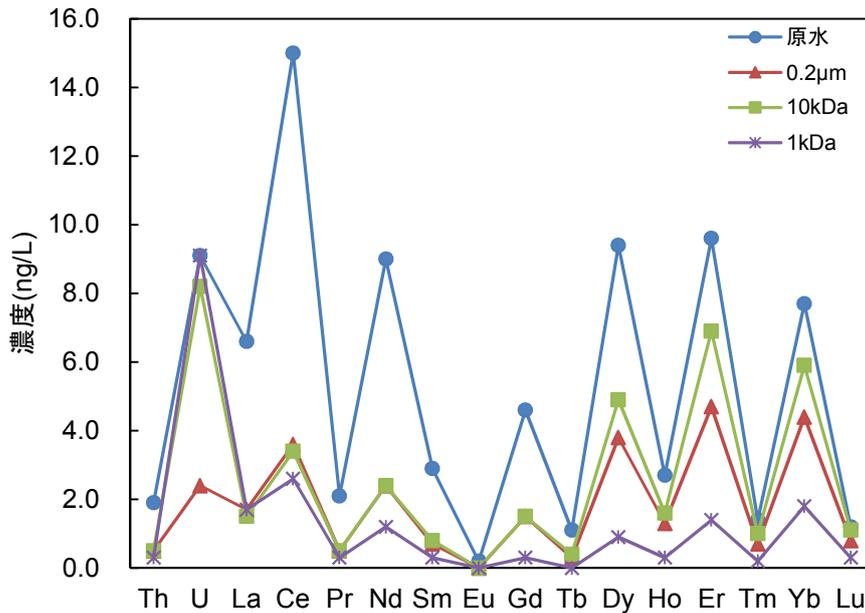


図 3-4 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)

### 3.4 分析結果に影響を及ぼす要因について

理論と矛盾する結果が得られた要因として、①限外ろ過作業中に地下水に汚染物質が混入、②分析作業中に地下水に汚染物質が混入、③調査対象区間の地下水の水質が採水中に変化した可能性などが考えられる。

限外ろ過作業は研究坑道内に設置した水圧・水質モニタリング装置にステンレス製の機材を直結させるシステムを使用している。そのため①の作業中に外部から機材を通して地下水中へ汚染物質が混入する可能性は低く、コロイドのサイズ依存性が得られなかった原因とは考えにくい。

また、②の分析作業中の汚染物質混入については、得られたろ過液の前処理は標準値が既知の標準試料と併行して作業を行うため、作業工程中に汚染物質が分析試料に混入すると、標準試料にも汚染の影響が及ぶと考えられる。そのため標準試料の分析結果から作業中に汚染があったかを確認することができる。今回、標準試料の分析結果には異常な値は確認されなかったため、分析作業工程中に汚染物質が地下水中に混入した可能性はないと考えられる。

以上のことから、原位置での限外ろ過作業よりも前工程、すなわち③調査対象区間の地下水の水質が採水中に変化した可能性について 3.5 で確認を行った。

### 3.5 ボーリング孔壁の汚染について

ボーリング孔の掘削には金属性のドリルビットが使用されている。ドリルビットはボーリング孔内を掘削するに伴い先端部が摩耗していく。摩耗粉は大半が掘削水と共に孔外に排出されるが、残留した摩耗粉がボーリング孔内部で人為由来のコロイドとなる可能性がある。写真3-4にボーリング孔掘削直後と掘削後数週間が経過した孔壁のBTV(borehole television)写真を示す。ボーリング孔掘削後、時間が経過するに従い孔壁が変色することが確認でき、ドリルビットなどの人工物による影響がボーリング孔壁に付着していることが分かる。そのため、水圧・水質モニタリング装置から地下水を採取するときに、付着した摩耗粉が地下水と共に流出して3.3の分析結果に影響を与えた可能性がある。この付着物の影響について調査を行った。

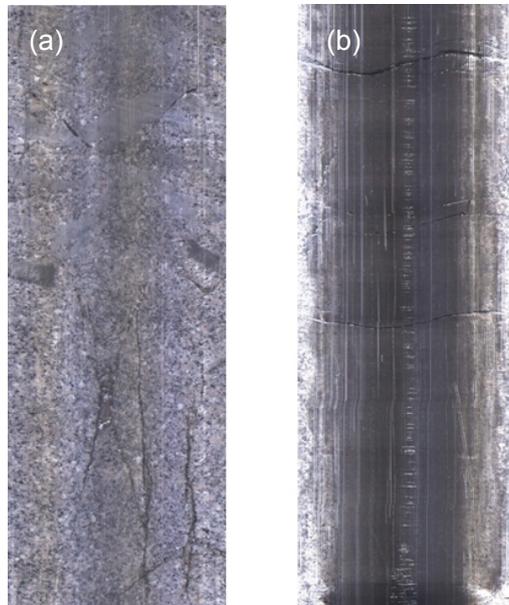


写真 3-4 掘削直後(a)と掘削数週間後(b)のボーリング孔壁の状態  
(深度 400m 10MI26 号孔区間 1)

ボーリング孔内の地下水が採水時間と共に変化していくのか調査を行った。ボーリング孔内の区間体積が大きいほど、摩耗粉が孔壁内に多く付着し地下水への影響が大きいと考えられる。そのため、区間体積が大きい深度 300m 予備ステージの 09MI20 号孔の区間 3(区間体積 : 31.1L)と深度 400m 予備ステージの 10MI26 号孔の区間 1(区間体積 : 24.0L)の地下水を対象に採水初期、区間体積の 5 倍量排水後(2.5 時間後)、10 倍量排水後(2 日後)、20 倍量排水後(3 日後)の地下水を採取して原位置で限外ろ過を行った。限外ろ過に使用するろ過膜孔径は 50kDa(Da : 分画分子量)とした。

回収した限外ろ過液を 3.3 の手順に従って分析した。分析対象元素はウラン、トリウムおよび希土類元素(ランタノイド : La,Ce,Pr,Nd,Sm,Eu,Gd,Tb,Dy,Ho,Er,Tm,Yb,Lu)と鉄と

した。分析結果を表 3-4 および表 3-5 と図 3-5～3-8 に示す。

元素にもよるが、開始時のろ過液中の希土類元素濃度に比べ、5 倍量排水、10 倍量排水、20 倍量排水と排水量が増加するに従い、ろ過液中の希土類元素濃度が増えることが確認された。鉄濃度については排水量が増加するに従い、開始時の鉄濃度に比べ減少する傾向が確認された。この結果から、区間体積の 5 倍以上の排水を実施すればドリルビットの摩耗粉が初期状態に比べて減少し、コロイドがドリルビットの摩耗粉に収着する割合が少なくなり、初期状態に比べて 5 倍以上の排水を実施した時の地下水中的コロイドは摩耗粉に収着しない分、サイズが小さくなる。そのため、ろ過時間が経過するに従い、コロイドの大きさが小さくなり、ろ過膜に捕集される量が少なくなる。その結果、ろ過膜を通過するろ過液側にコロイドが多く含有される。ただし、ドリルビットの摩耗粉の影響が地下水から完全に除去されたかは判別できない。従って、分析試料を採取するためには、あらかじめ区間体積の 5 倍程度の地下水を排水して人工物の影響を低減させておくことが必要と考えられる。

表 3-4 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 3)

試料名	Th [ng/L]	U [ng/L]	La [ng/L]	Ce [ng/L]	Pr [ng/L]	Nd [ng/L]	Sm [ng/L]	Eu [ng/L]	Gd [ng/L]	Tb [ng/L]	Dy [ng/L]	Ho [ng/L]	Er [ng/L]	Tm [ng/L]	Yb [ng/L]	Lu [ng/L]	Fe [μg/L]
09MI20_区間3_開始時	0.5	12	4.2	7.6	1.1	4.8	1.3	<0.1	2.1	0.6	4.8	1.6	6.2	0.9	5.6	1.0	11
09MI20_区間3_5倍量排水時	0.7	4.2	4.0	8.6	1.2	5.9	1.7	<0.1	2.3	0.8	6.9	2.2	8.5	1.2	7.5	1.4	4.0
09MI20_区間3_10倍量排水時	0.2	2.9	3.9	8.3	1.2	5.5	1.7	<0.1	2.5	0.6	5.9	1.8	7.2	0.9	6.4	1.1	3.6
09MI20_区間3_20倍量排水時	1.1	3.7	4.3	8.9	1.3	6.2	1.8	<0.1	2.7	0.7	6.2	1.9	7.8	1.1	7.0	1.3	3.4

表 3-5 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)

試料名	Th [ng/L]	U [ng/L]	La [ng/L]	Ce [ng/L]	Pr [ng/L]	Nd [ng/L]	Sm [ng/L]	Eu [ng/L]	Gd [ng/L]	Tb [ng/L]	Dy [ng/L]	Ho [ng/L]	Er [ng/L]	Tm [ng/L]	Yb [ng/L]	Lu [ng/L]	Fe [μg/L]
10MI26_区間1_開始時	0.4	11	3.5	6.3	0.9	4.2	1.1	<0.1	1.9	0.5	4.8	1.5	5.7	0.8	5.3	0.8	3.3
10MI26_区間1_5倍量排水時	0.3	4.0	3.7	6.6	1.0	4.6	1.4	<0.1	2.0	0.5	5.2	1.6	6.2	0.9	5.5	0.9	3.1
10MI26_区間1_10倍量排水時	0.2	4.2	4.0	7.6	1.1	5.2	1.4	<0.1	2.4	0.7	5.6	1.8	6.7	1.0	5.7	0.9	2.8
10MI26_区間1_20倍量排水時	0.3	5.3	3.8	7.9	1.2	5.0	1.5	<0.1	2.4	0.5	5.8	1.8	7.0	1.0	5.0	1.0	2.4

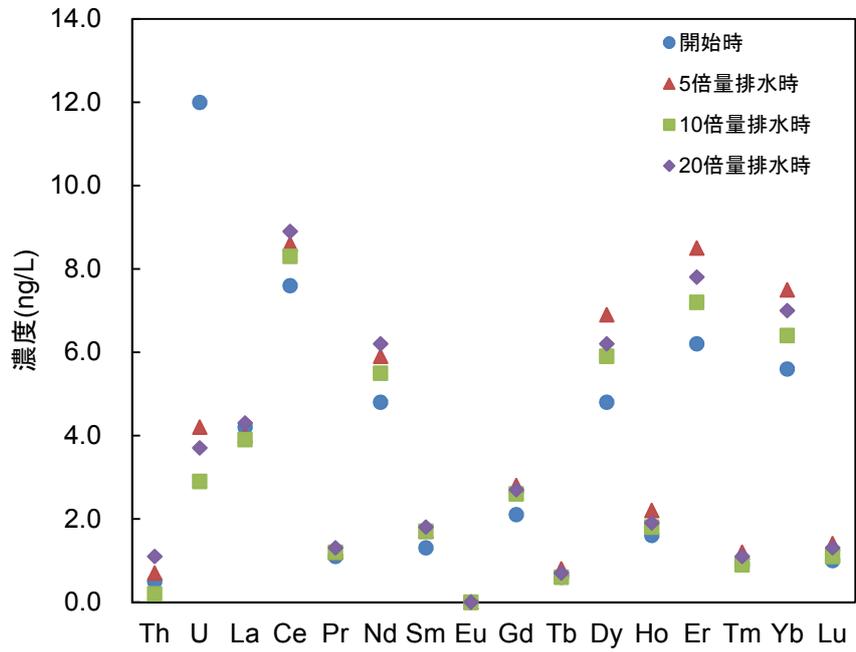


図 3-5 限外ろ過分析結果：09MI20 号孔(区間 3)

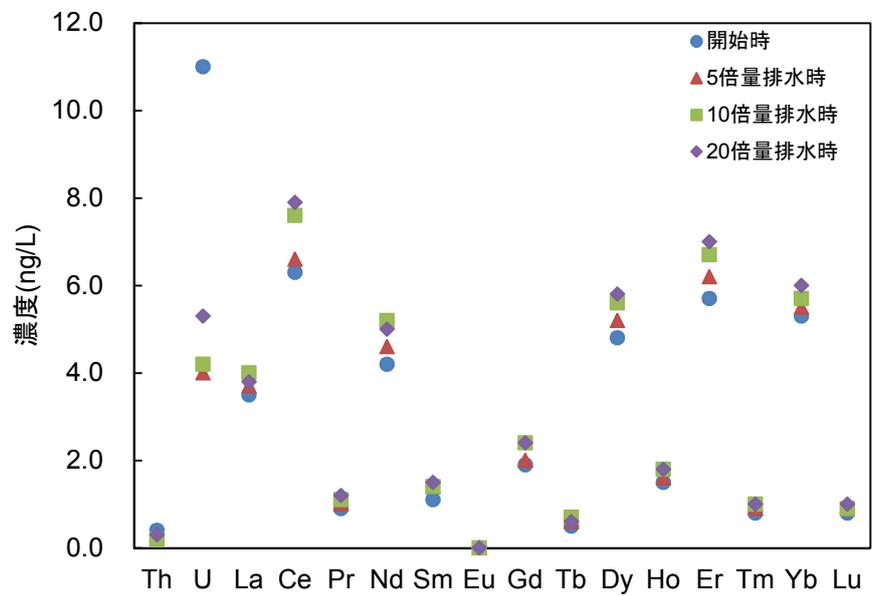


図 3-6 限外ろ過分析結果：10MI26 号孔(区間 1)

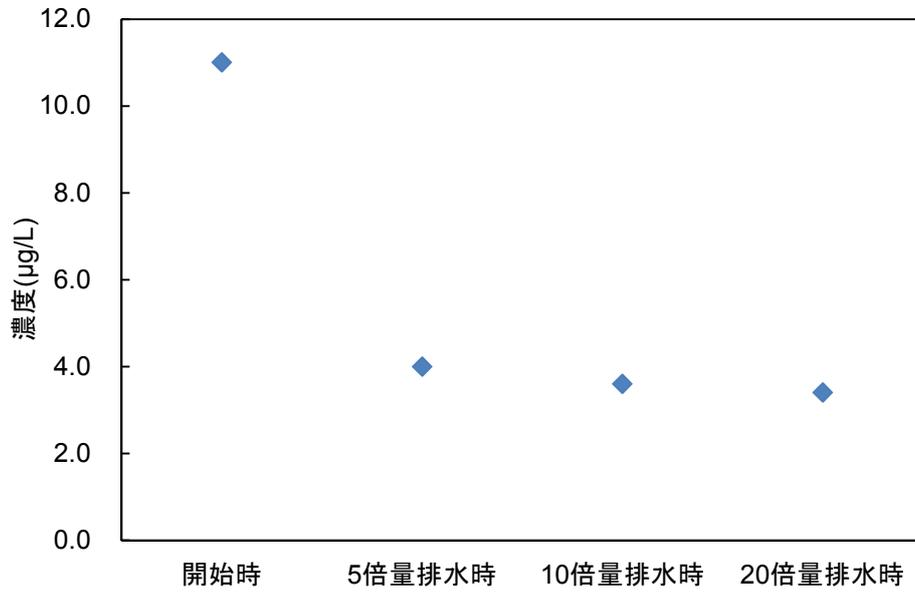


図 3-7 限外ろ過分析結果(鉄) : 09MI20 号孔(区間 3)

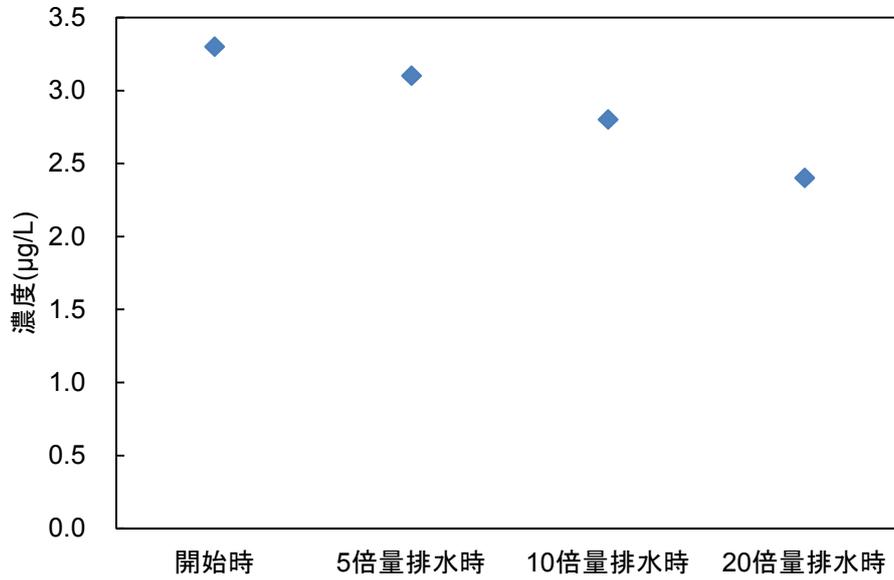


図 3-8 限外ろ過分析結果(鉄) : 10MI26 号孔(区間 1)

4. バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法によるコロイド調査手法について

4.1 バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法の概要

ボーリング孔掘削時に生成した人為由来物質の地下水への影響を確認するため、深度300m 研究アクセス坑道の壁面湧水2か所を調査対象にした。調査場所は、図2-2に示すNo.1地点(試料名:A-SP-199)とNo.2地点(試料名:A-SP-198)とした。

湧水を調査対象にするためボーリング孔に設置する水圧・水質モニタリング装置を用いた採水を行うことはできない。そのため採水現場にバッチ式気密容器(5L)を持ち運び、各ろ過膜孔径でろ過するのに必要な量をバッチ式気密容器に集約して回収し地上に持ち帰り限外ろ過を実施した。バッチ式気密容器を使用することにより、限外ろ過作業中に水質が変化することがなく、かつ作業中に汚染物質が混入することもない。バッチ式気密容器を用いた限外ろ過システムを図4-1に示す。

ろ過操作はバッチ式気密容器に採水した地下水をアルゴンガスのガス圧を利用して容器内から押し出し、フィルターホルダー部にあらかじめ装着したろ過膜に通水させることにより限外ろ過を行う。具体的にはアルゴンガスラインとバッチ式気密容器の間をステンレス製の配管を用いて接続し、バッチ式気密容器と減圧レギュレーター部、フィルターホルダー部、背圧レギュレーター部を直結させてろ過作業を行う。押し出された地下水は減圧レギュレーター部、フィルターホルダー部、背圧レギュレーター部を通り採水ボトルに回収される。使用するアルゴンガスのガス圧は、ろ過膜とバッチ式気密容器の耐圧性を考えて0.3MPa以内とする。使用する限外ろ過膜孔径は、0.2 $\mu$ m、200kDa、50kDa、10kDa(Da:分画分子量)とした。

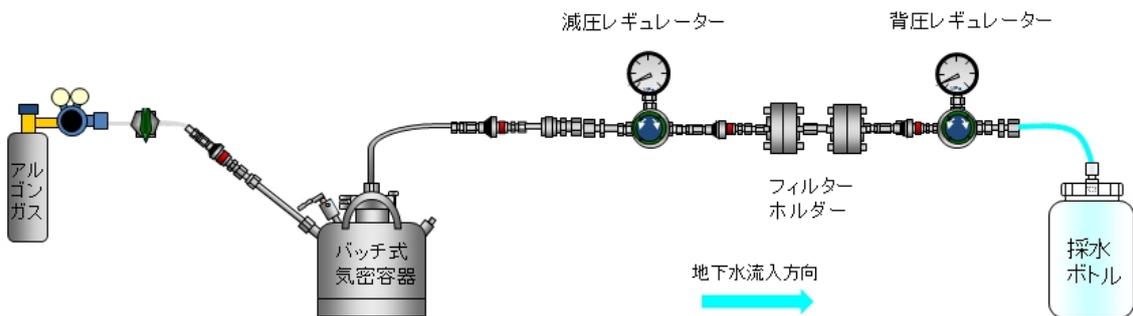


図4-1 バッチ式気密容器を用いた限外ろ過システムの概略図

#### 4.2 バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法により得られたろ過液の分析結果

4.1 に記載した限外ろ過法を用いて得られたろ過液について、3.3 で記載した前処理を行い ICP-MS で分析した。分析対象元素は 3.3 で記載した元素とした。分析結果を表 4-1 および表 4-2 と図 4-2 および図 4-3 に示す。ろ過液中の希土類元素について、一部の元素 (La,Ce,Nd) で濃度にバラツキが確認されたものの、概ね、ろ過膜孔径が小さくなるほど、ろ過液中の元素濃度が減少する傾向を確認することができ、地下水中の希土類元素についてコロイドのサイズ依存性を確認することができた。

このことから、坑道内で観察される湧水割れ目の地下水を対象として、バッチ式気密容器を使用した調査方法を用いることにより、ボーリング孔掘削による人為由来物質の影響のない地下水中のコロイドに関する評価ができると考えられた。

表 4-1 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
A-SP-198_原水	3.3	4.5	9.1	18	2.2	8.8	2.2	0.1	2.8	0.5	3.5	0.9	2.8	0.3	1.9	0.3
A-SP-198_0.2µm	0.3	1.5	3.7	6.2	0.9	3.7	1.0	0.1	1.4	0.3	2.2	0.7	2.0	0.3	1.5	0.3
A-SP-198_200kDa	3.8	2.8	1.7	3.3	0.5	1.8	0.6	<0.1	0.6	0.1	0.8	0.3	0.8	0.1	0.6	0.2
A-SP-198_50kDa	0.4	1.3	1.1	1.9	0.3	1.1	0.4	<0.1	0.5	0.1	0.8	0.3	0.9	0.2	0.6	0.2
A-SP-198_10kDa	0.2	4.9	1.1	1.7	0.3	1.1	0.3	<0.1	0.5	<0.1	0.8	0.3	0.8	0.2	0.6	0.2

表 4-2 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
A-SP-199_原水	<0.1	2.3	3.4	4.5	0.6	2.8	0.9	<0.1	1.5	0.3	2.4	0.6	2.1	0.2	1.3	0.2
A-SP-199_0.2µm	0.4	2.0	1.6	2.4	0.4	1.4	0.5	<0.1	0.6	0.2	1.1	0.4	1.1	0.2	0.7	0.2
A-SP-199_10kDa	0.2	0.92	0.7	1.0	0.2	0.7	0.2	<0.1	0.3	<0.1	0.6	0.2	0.6	0.1	0.5	0.2
A-SP-199_50kDa	0.4	1.1	1.5	2.3	0.4	1.4	0.4	<0.1	0.5	0.1	1.1	0.4	1.1	0.2	0.8	0.2
A-SP-199_200kDa	0.2	2.1	1.2	1.9	0.4	1.1	0.4	<0.1	0.5	0.1	0.9	0.3	1.0	0.2	0.7	0.2

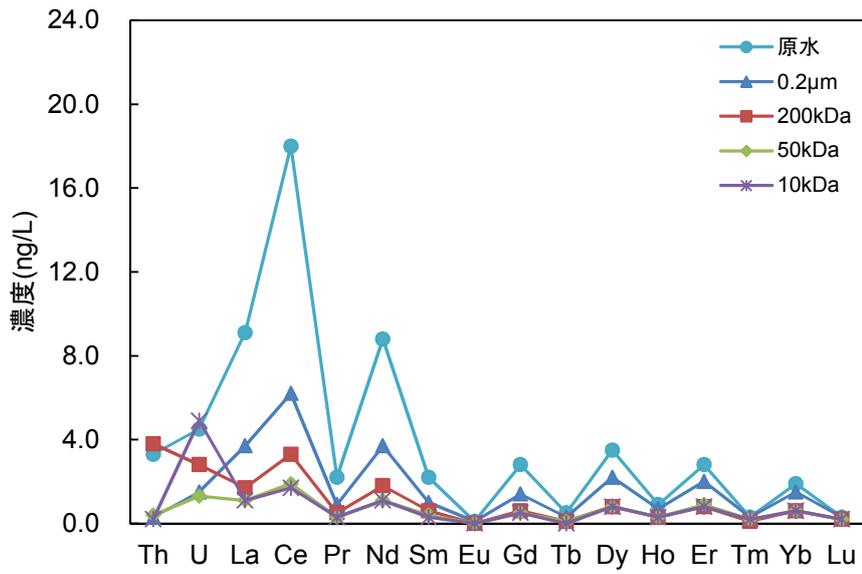


図 4-2 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

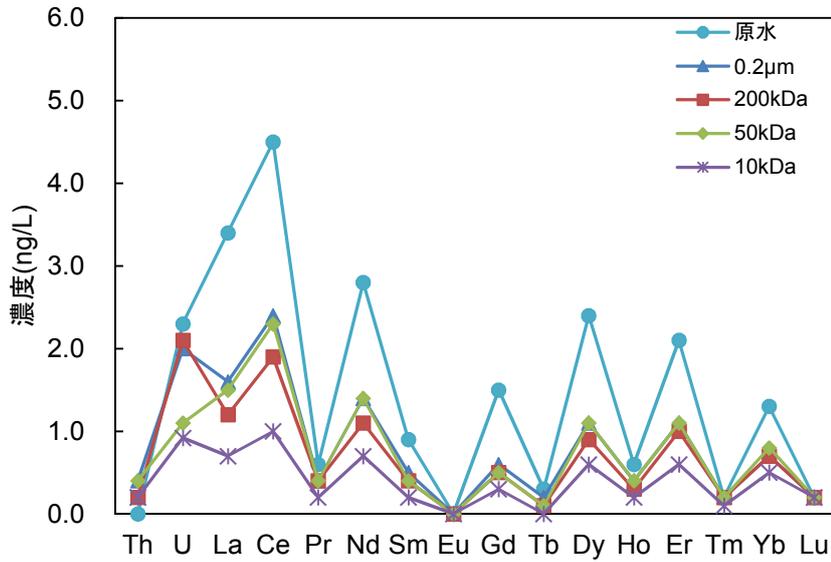


図 4-3 限外ろ過分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

#### 4.3.地下水中のコロイドのサイズ分布の算出と結果

4.2 で得られた分析結果を用いて、地下水に含まれるコロイドのサイズ分布について計算を行った。サイズ分布の計算は、ろ過膜孔径の大きいろ過液の元素濃度から、ろ過膜孔径の小さいろ過液の元素濃度を差し引くことにより算出した。今回計算したサイズ分布は  $0.2\ \mu\text{m}$  以上、 $0.2\ \mu\text{m}\sim 200\text{kDa}$ 、 $200\text{kDa}\sim 50\text{kDa}$ 、 $50\text{kDa}\sim 10\text{kDa}$ 、 $10\text{kDa}$  以下の範囲である。計算結果を表 4-3 および表 4-4 と図 4-4 および図 4-5 に示す。

計算結果より、深度 300m 壁面湧水に含まれているランタノイドのコロイドは  $0.2\ \mu\text{m}$  以上の粒子の割合が多いことが確認できた。ただし、 $10\text{kDa}$  以下のサイズについては溶存態の形で存在しているのか、コロイド態の形で存在しているのかは判別することはできない。

表 4-3 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
>0.2μm	3.0	3.0	5.4	11.8	1.3	5.1	1.2	0	1.4	0.2	1.3	0.2	0.8	0	0.4	0
0.2μm-200kDa	0	0	2.0	2.9	0.4	1.9	0.4	0.1	0.8	0.2	1.4	0.4	1.2	0.2	0.9	0.1
200kDa-50kDa	3.4	1.5	0.6	1.4	0.2	0.7	0.2	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
50kDa-10kDa	0.2	0	0	0.2	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0
<10kDa	0.2	4.9	1.1	1.7	0.3	1.1	0.3	0	0.5	0	0.8	0.3	0.8	0.2	0.6	0.2

表 4-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
>0.2μm	0	0.3	1.8	2.1	0.2	1.4	0.4	0	0.9	0.1	1.3	0.2	1.0	0	0.6	0
0.2μm-200kDa	0.2	0	0.4	0.5	0	0.3	0.1	0	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0	0	0
200kDa-50kDa	0	1.0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
50kDa-10kDa	0.2	0.18	0.8	1.3	0.2	0.7	0.2	0	0.2	0.1	0.5	0.2	0.5	0.1	0.3	0
<10kDa	0.2	0.92	0.7	1.0	0.2	0.7	0.2	0	0.3	0	0.6	0.2	0.6	0.1	0.5	0.2

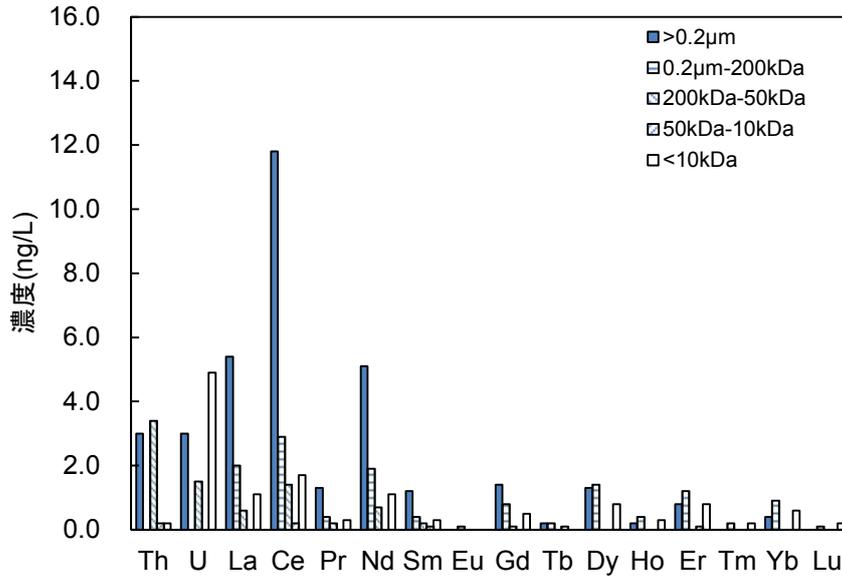


図 4-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

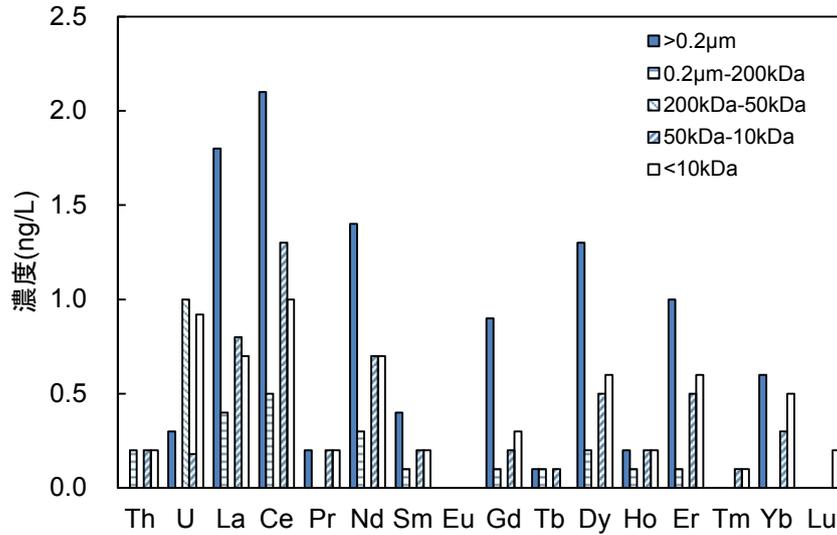


図 4-5 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

## 5. クロスフローろ過法を用いた地下水中のコロイド調査手法について

### 5.1 クロスフローろ過法の概略

限外ろ過法は、孔径が小さいろ過膜を用いて作業を行う場合、ろ過作業が終了するまでに時間を要する。また、使用前・使用後のろ過機材の洗浄にも時間を要する。そのため、ろ過作業の時間短縮を図るため、クロスフローろ過法の適用について検討することにした。

クロスフローろ過法とは、ろ過膜面に対し地下水を平行に流すことにより、水流でろ過膜の目詰まりを防止しながらろ過を行う方式である。そのため限外ろ過法と比べ、ろ過膜の目詰まりが発生しにくく、ろ過時間の短縮が図れる。また、事前準備は、洗浄液(超純水や硝酸)をろ過膜に通水させる操作のみである。そのため、限外ろ過法で実施してきた機材洗浄に必要な時間について短縮できる利点がある。

### 5.2 バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過法の操作について

バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過法システム概要を写真 5-1 に示す。クロスフローろ過法は、ろ過膜の入口とバッチ式気密容器の間をチューブで接続し、流量可変式ポンプにチューブをセットする。ろ過膜の出口とバッチ式気密容器の間についてもチューブで接続する。流量可変式ポンプを作動させ、バッチ式気密容器内に採取した地下水をろ過膜に通水させるろ過を行う。ろ過膜を通過したろ過液は採水容器にて回収する。ろ過膜孔径は、30kDa、10kDa、5kDa(Da:分画分子量)である。用いた試料は深度 300m 研究アクセス坑道の壁面湧水箇所から採取した地下水とした。

### 5.3 分析結果とサイズ分布の算出

5.2 で得られたろ過液を 3.3 で記載した前処理を行い、ICP-MS で分析を行った。分析結果を表 5-1 および表 5-2 と図 5-1 および図 5-2 に示す。希土類元素濃度は一部の元素を除いてろ過膜孔径が小さくなるほど濃度が低くなるコロイドのサイズ依存性が確認された。この結果よりバッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過法を用いた方法を用いることにより、地下水中のコロイドに関する評価をすることができると考えられた。

また、ろ過膜のサイズごとに分画した結果を表 5-3 および表 5-4 と図 5-3 および図 5-4 に示す。得られた結果より 30kDa 以上の大きさを持つコロイドが多数占めていることが分かった。なお、5kDa 以下のサイズについては溶存態の希土類元素も含まれているため、希土類元素がコロイドに担持されているのか、溶存態で存在しているのか判別することはできない。

クロスフローろ過法の課題として、ろ過膜孔径の種類が少ないため、地下水中のコロイドに関するサイズ分布を詳細に調査することができない課題がある。



写真 5-1 バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過システムの外観

表 5-1 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
A-SP-198_原水	1.2	2.7	8.0	14	1.8	7.2	2.0	0.2	3.0	0.6	3.8	1.0	3.0	0.4	2.1	0.3
A-SP-198_30kDa	<0.1	1.3	1.0	1.7	0.2	0.9	0.3	<0.1	0.4	0.1	0.5	0.2	0.5	<0.1	0.4	<0.1
A-SP-198_10kDa	0.2	0.91	0.6	1.1	0.2	0.7	0.2	<0.1	0.4	0.1	0.5	0.2	0.6	0.1	0.4	<0.1
A-SP-198_5kDa	0.3	1.7	1.0	1.8	0.2	1.0	0.2	<0.1	0.4	0.1	0.7	0.2	0.7	0.1	0.5	<0.1

表 5-2 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

試料名	Th	U	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	[ng/L]															
A-SP-199_原水	<0.1	2.3	3.4	4.5	0.6	2.8	0.9	<0.1	1.5	0.3	2.4	0.6	2.1	0.2	1.3	0.2
A-SP-199_30kDa	0.7	6.1	0.7	0.9	0.2	0.4	0.2	<0.1	0.2	<0.1	0.5	0.2	0.4	<0.1	0.3	<0.1
A-SP-199_10kDa	<0.1	6.8	0.2	0.4	<0.1	0.3	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1
A-SP-199_5kDa	0.1	5.1	0.7	1.6	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1

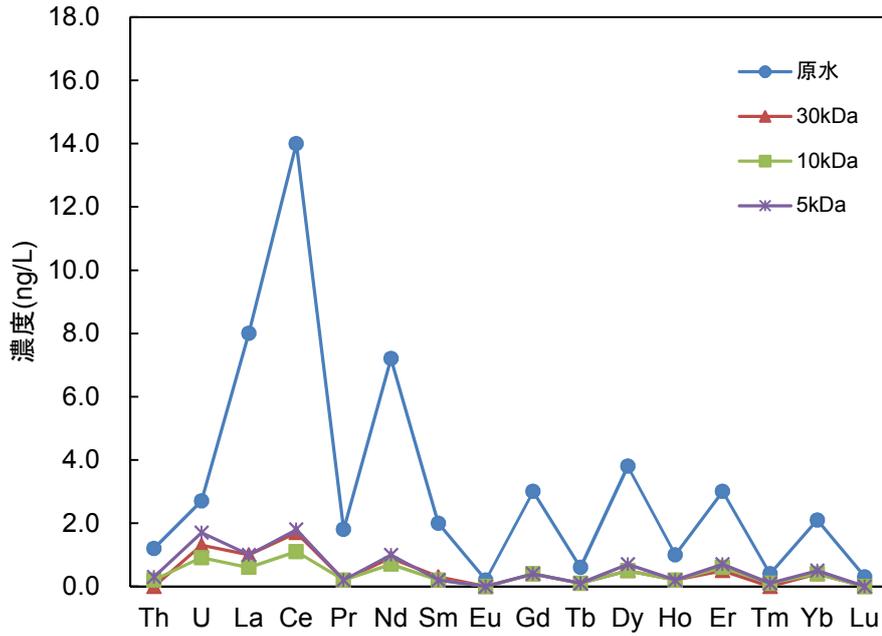


図 5-1 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

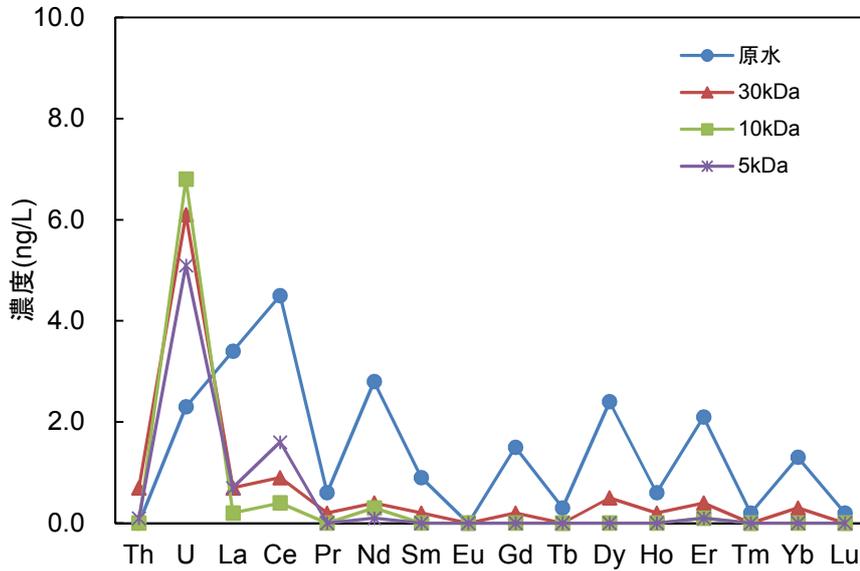


図 5-2 クロスフローろ過法による分析結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

表 5-3 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

	Th [ng/L]	U [ng/L]	La [ng/L]	Ce [ng/L]	Pr [ng/L]	Nd [ng/L]	Sm [ng/L]	Eu [ng/L]	Gd [ng/L]	Tb [ng/L]	Dy [ng/L]	Ho [ng/L]	Er [ng/L]	Tm [ng/L]	Yb [ng/L]	Lu [ng/L]
>30kDa	1.2	1.4	7	12.3	1.6	6.3	1.7	0.2	2.6	0.5	3.3	0.8	2.5	0.4	1.7	0.3
30kDa-10kDa	0	0.39	0.4	0.6	0	0.2	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10kDa-5kDa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<5kDa	0.3	1.7	1.0	1.8	1.8	1.0	0.2	0	0.4	0.1	0.7	0.2	0.7	0.1	0.5	0

表 5-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

	Th [ng/L]	U [ng/L]	La [ng/L]	Ce [ng/L]	Pr [ng/L]	Nd [ng/L]	Sm [ng/L]	Eu [ng/L]	Gd [ng/L]	Tb [ng/L]	Dy [ng/L]	Ho [ng/L]	Er [ng/L]	Tm [ng/L]	Yb [ng/L]	Lu [ng/L]
>30kDa	0	0	2.7	3.6	0.4	2.4	0.7	0	1.3	0.3	1.9	0.4	1.7	0.2	1.0	0.2
30kDa-10kDa	0.7	0	0.5	0.5	0.2	0.1	0.2	0	0.2	0	0.5	0.2	0.3	0	0.3	0
10kDa-5kDa	0.1	1.7	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<5kDa	0	5.1	0.7	1.6	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0

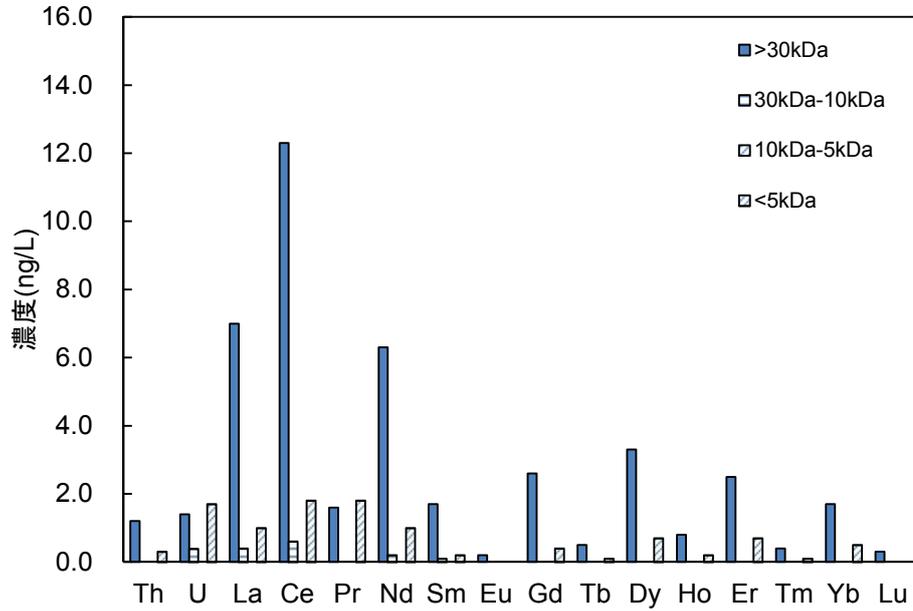


図 5-3 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-198)

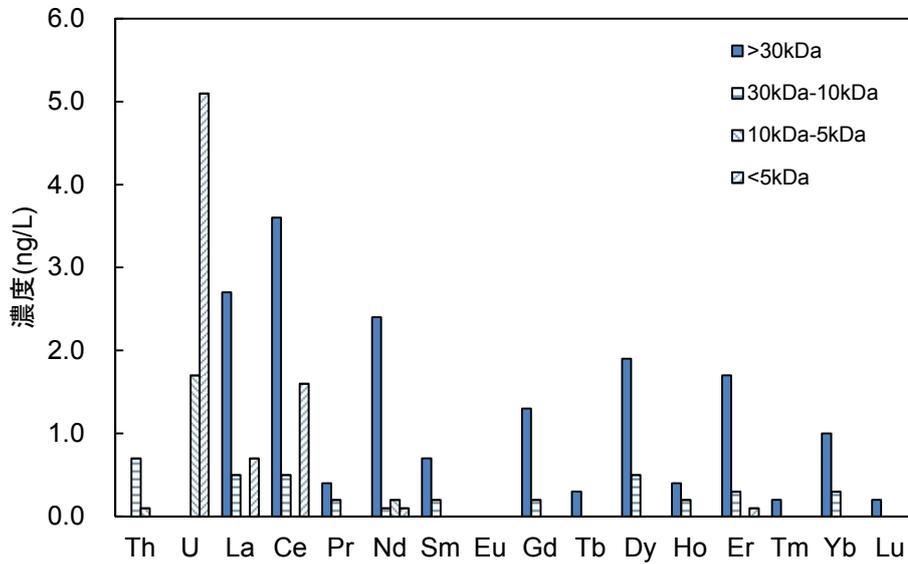


図 5-4 コロイドのサイズ分布結果：深度 300m 研究アクセス坑道(A-SP-199)

## 6.まとめ

ボーリング孔に設置した水圧・水質モニタリング装置に機材を直結させる限外ろ過法は、気密状態を保持でき、かつ原位置で操作ができる利点がある。ただし、ボーリング孔掘削時に使用したドリルビットの摩耗粉が孔壁内部に付着し、採水時に地下水と共に孔壁から摩耗粉が剥がれ、不均質に地下水の中に混在する可能性がある。そのため地下水の中に存在するコロイドがドリルビットの摩耗粉に吸着することにより、コロイドのサイズが変化すると考えられる。また、処理に長時間を要する限外ろ過作業においては、作業時間が経過するに従い、地下水の中に混在する摩耗粉が減少する。そのため摩耗粉に吸着するコロイドが少なくなり、時間が経過するに従い採水開始時に比べて摩耗粉の影響が少ないコロイドが増えていくと考えられる。その結果、コロイドのサイズは初期状態に比べ、摩耗粉に吸着されない小さくなり、ろ過膜に捕集されることなく通過する。そのため、ろ過膜孔径の小さいろ過液の分析値がろ過膜孔径の大きなろ過液の分析値よりも大きくなる結果が得られる場合があった。この対処法として、区間体積の5倍以上の地下水を排水することで、ドリルビットの摩耗粉による地下水への影響を少なくできる。

ボーリングビットの摩耗粉など人為由来物質による影響を避けるため、深度 300m 研究アクセス坑道の壁面湧水箇所を調査した。ろ過を行うタイミングにより地下水の水質が変化する影響を防ぐため、バッチ式気密容器に限外ろ過を行うために必要な量を一括して採水した。バッチ式気密容器に地下水を採取して地上にて限外ろ過を行った結果、バッチ式気密容器を用いた限外ろ過法は、地下水中のコロイドのサイズ依存性を確認することができ、調査手法として使用できることが分かった。

さらに、バッチ式気密容器を用いたクロスフローろ過法でも適用範囲は限られるが地下水中のコロイドのサイズ依存性について確認することができた。

参考文献

- 1) 青才大介, 吉田治生, 水野崇: “超深地層研究所における地下水の地球化学に関する調査研究－地下水の地球化学環境を保持したろ過手法に関する技術開発－”, JAEA-Testing 2009-003 (2009), 27p.
- 2) 新宮信也, 齋正貴, 萩原大樹, 水野崇: “超深地層研究所計画における地下水の地球化学に関する調査研究－瑞浪層群・土岐花崗岩の地下水の地球化学特性データ集－(2009年度)”, JAEA-Data/Code 2011-004 (2011), 49p.
- 3) 新宮信也, 萩原大樹, 増田薫, 飯塚正俊, 乾道春, 水野崇: “超深地層研究所計画における地下水の地球化学に関する調査研究－瑞浪層群・土岐花崗岩の地下水の地球化学特性データ集－(2010年度)”, JAEA-Data/Code 2012-003 (2012), 50p.
- 4) 大森一秋, 新宮信也, 萩原大樹, 増田薫, 飯塚正俊, 乾道春, 岩月輝希: “超深地層研究所計画における地下水の地球化学に関する調査研究－瑞浪層群・土岐花崗岩の地下水の地球化学特性データ集－(2011年度)”, JAEA-Data/Code 2013-001 (2013), 330p.
- 5) 大森一秋, 新宮信也, 増田薫, 青才大介, 乾道春, 岩月輝希: “超深地層研究所計画における地下水の地球化学に関する調査研究－瑞浪層群・土岐花崗岩の地下水の地球化学特性データ集－(2012年度)”, JAEA-Data/Code 2013-024 (2014).

This is a blank page.

# 国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位

基本量	SI基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質の量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例

組立量	SI基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m <sup>2</sup>
体積	立法メートル	m <sup>3</sup>
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s <sup>2</sup>
波数	毎メートル	m <sup>-1</sup>
密度, 質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m <sup>2</sup>
比体積	立方メートル毎キログラム	m <sup>3</sup> /kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m <sup>2</sup>
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 <sup>(a)</sup> , 濃度	モル毎立方メートル	mol/m <sup>3</sup>
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m <sup>3</sup>
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m <sup>2</sup>
屈折率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1
比透磁率 <sup>(b)</sup>	(数字の)	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。  
 (b) これらは無次元量あるいは次元1をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の1は通常は表記しない。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平面角	ラジアン <sup>(b)</sup>	rad	1 <sup>(b)</sup>	m/m
立体角	ステラジアン <sup>(b)</sup>	sr <sup>(c)</sup>	1 <sup>(b)</sup>	m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>
周波数	ヘルツ <sup>(d)</sup>	Hz		s <sup>-1</sup>
力	ニュートン	N		m kg s <sup>-2</sup>
圧力, 応力	パスカル	Pa	N/m <sup>2</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
エネルギー, 仕事, 熱量	ジュール	J	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
仕事率, 工率, 放射束	ワット	W	J/s	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
電荷, 電気量	クーロン	C		s A
電位差 (電圧), 起電力	ボルト	V	W/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
静電容量	ファラド	F	C/V	m <sup>2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup> A <sup>-2</sup>
コンダクタンス	ジーメン	S	A/V	m <sup>-2</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>3</sup> A <sup>2</sup>
磁束	ウェーバ	Wb	Vs	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
磁束密度	テスラ	T	Wb/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-2</sup> A <sup>-1</sup>
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
セルシウス温度	セルシウス度 <sup>(e)</sup>	°C		K
光線	ルーメン	lm	cd sr <sup>(c)</sup>	cd
放射線量	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
放射性核種の放射能 <sup>(f)</sup>	ベクレル <sup>(d)</sup>	Bq		s <sup>-1</sup>
吸収線量, 比エネルギー分与, カーマ	グレイ	Gy	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
線量当量, 周辺線量当量, 方向性線量当量, 個人線量当量	シーベルト <sup>(g)</sup>	Sv	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
酸素活性化	カタール	kat		s <sup>-1</sup> mol

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコヒーレントではない。  
 (b) ラジアンとステラジアンは数字の1に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号rad及びsrが用いられるが、習慣として組立単位としての記号である数字の1は明示されない。  
 (c) 測光学ではステラジアンという名称と記号srを単位の表し方の中に、そのまま維持している。  
 (d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。  
 (e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すために使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。  
 (f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で"radioactivity"と記される。  
 (g) 単位シーベルト (PV.2002.70,205) についてはCIPM勧告2 (CI-2002) を参照。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	SI基本単位による表し方
粘力のモーメント	パスカル秒	Pa s	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-1</sup>
表面張力	ニュートンメートル	N m	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup>
角速度	ニュートン毎メートル	N/m	kg s <sup>-2</sup>
角加速度	ラジアン毎秒	rad/s	m m <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> = s <sup>-1</sup>
熱流密度, 放射照度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s <sup>2</sup>	m m <sup>-1</sup> s <sup>-2</sup> = s <sup>-2</sup>
熱容量, エントロピー	ワット毎平方メートル	W/m <sup>2</sup>	kg s <sup>-3</sup>
比熱容量, 比エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
比エネルギー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup>
熱伝導率	ジュール毎キログラム	J/kg	m <sup>2</sup> s <sup>-2</sup>
体積エネルギー	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	m kg s <sup>-3</sup> K <sup>-1</sup>
電界の強さ	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m <sup>-1</sup> kg s <sup>-2</sup>
電荷密度	ジュール毎立方メートル	J/m <sup>3</sup>	m kg s <sup>-3</sup> A <sup>-1</sup>
電表面積	クーロン毎立方メートル	C/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s A
電束密度, 電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
誘電率	クーロン毎平方メートル	C/m <sup>2</sup>	m <sup>-2</sup> s A
透磁率	ファラド毎メートル	F/m	m <sup>-3</sup> kg <sup>-1</sup> s <sup>4</sup> A <sup>2</sup>
モルエネルギー	ヘンリー毎メートル	H/m	m kg s <sup>-2</sup> A <sup>-2</sup>
モルエントロピー, モル熱容量	ジュール毎モル	J/mol	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> mol <sup>-1</sup>
照射線量 (X線及びγ線)	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	m <sup>2</sup> kg s <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> mol <sup>-1</sup>
吸収線量率	クーロン毎キログラム	C/kg	kg <sup>-1</sup> s A
放射線強度	グレイ毎秒	Gy/s	m <sup>2</sup> s <sup>-3</sup>
放射輝度	ワット毎ステラジアン	W/sr	m <sup>4</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = m <sup>2</sup> kg s <sup>-3</sup>
酵素活性濃度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m <sup>2</sup> sr)	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> kg s <sup>-3</sup> = kg s <sup>-3</sup>
	カタール毎立方メートル	kat/m <sup>3</sup>	m <sup>-3</sup> s <sup>-1</sup> mol

表5. SI接頭語

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10 <sup>24</sup>	ヨタ	Y	10 <sup>1</sup>	デシ	d
10 <sup>21</sup>	ゼタ	Z	10 <sup>-2</sup>	センチ	c
10 <sup>18</sup>	エクサ	E	10 <sup>-3</sup>	ミリ	m
10 <sup>15</sup>	ペタ	P	10 <sup>-6</sup>	マイクロ	μ
10 <sup>12</sup>	テラ	T	10 <sup>-9</sup>	ナノ	n
10 <sup>9</sup>	ギガ	G	10 <sup>-12</sup>	ピコ	p
10 <sup>6</sup>	メガ	M	10 <sup>-15</sup>	フェムト	f
10 <sup>3</sup>	キロ	k	10 <sup>-18</sup>	アト	a
10 <sup>2</sup>	ヘクト	h	10 <sup>-21</sup>	ゼプト	z
10 <sup>1</sup>	デカ	da	10 <sup>-24</sup>	ヨクト	y

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

名称	記号	SI単位による値
分	min	1 min = 60s
時	h	1 h = 60 min = 3600 s
日	d	1 d = 24 h = 86 400 s
度	°	1° = (π/180) rad
分	'	1' = (1/60)° = (π/10800) rad
秒	"	1" = (1/60)' = (π/648000) rad
ヘクタール	ha	1 ha = 1 hm <sup>2</sup> = 10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup>
リットル	L, l	1 L = 1 dm <sup>3</sup> = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
トン	t	1 t = 10 <sup>3</sup> kg

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

名称	記号	SI単位で表される数値
電子ボルト	eV	1 eV = 1.602 176 53(14) × 10 <sup>-19</sup> J
ダルトン	Da	1 Da = 1.660 538 86(28) × 10 <sup>-27</sup> kg
統一原子質量単位	u	1 u = 1 Da
天文単位	ua	1 ua = 1.495 978 706 91(6) × 10 <sup>11</sup> m

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	bar	1 bar = 0.1 MPa = 100 kPa = 10 <sup>5</sup> Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1 mmHg = 133.322 Pa
オングストローム	Å	1 Å = 0.1 nm = 100 pm = 10 <sup>-10</sup> m
海里	M	1 M = 1852 m
バイン	b	1 b = 100 fm <sup>2</sup> = (10 <sup>12</sup> cm) <sup>2</sup> = 10 <sup>-28</sup> m <sup>2</sup>
ノット	kn	1 kn = (1852/3600) m/s
ネーパ	Np	SI単位との数値的関係は、 対数量の定義に依存。
ベレル	B	
デジベル	dB	

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エル	erg	1 erg = 10 <sup>-7</sup> J
ダイン	dyn	1 dyn = 10 <sup>-5</sup> N
ポアズ	P	1 P = 1 dyn s cm <sup>-2</sup> = 0.1 Pa s
ストークス	St	1 St = 1 cm <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> = 10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup>
スチルブ	sb	1 sb = 1 cd cm <sup>-2</sup> = 10 <sup>4</sup> cd m <sup>-2</sup>
フオト	ph	1 ph = 1 cd sr cm <sup>-2</sup> = 10 <sup>4</sup> lx
ガリ	Gal	1 Gal = 1 cm s <sup>-2</sup> = 10 <sup>-2</sup> ms <sup>-2</sup>
マクスウェル	Mx	1 Mx = 1 G cm <sup>2</sup> = 10 <sup>-8</sup> Wb
ガウス	G	1 G = 1 Mx cm <sup>-2</sup> = 10 <sup>-4</sup> T
エルステッド <sup>(c)</sup>	Oe	1 Oe ≡ (10 <sup>3</sup> /4π) A m <sup>-1</sup>

(c) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「≡」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

名称	記号	SI単位で表される数値
キュリー	Ci	1 Ci = 3.7 × 10 <sup>10</sup> Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58 × 10 <sup>-4</sup> C/kg
ラド	rad	1 rad = 1 cGy = 10 <sup>-2</sup> Gy
レム	rem	1 rem = 1 cSv = 10 <sup>-2</sup> Sv
ガンマ	γ	1 γ = 1 nT = 10 <sup>-9</sup> T
フェルミ	f	1 フェルミ = 1 fm = 10 <sup>-15</sup> m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2 × 10 <sup>-4</sup> kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリ	cal	1 cal = 4.1858 J (「15°C」カロリ), 4.1868 J (「IT」カロリ), 4.184 J (「熱化学」カロリ)
マイクロン	μ	1 μ = 1 μm = 10 <sup>-6</sup> m

