

HTTR1 次ヘリウム循環機フィルタの差圧上昇事象 (2)

－フィルタ付着物の調査と再発防止対策－

Differential Pressure Rise Event for Filters of HTTR Primary Helium Gas Circulators (2)

-Investigation of Filter Deposits and Recurrence Prevention Measures-

根本 隆弘 藤原 佑輔 荒川 了紀 長山 侑矢
長住 達 長谷川 俊成 横山 佳祐 渡部 雅
大西 貴士 川本 大樹 古澤 孝之 猪井 宏幸
野尻 直喜 飯垣 和彦 齋藤 賢司 堀 直彦

Takahiro NEMOTO, Yusuke FUJIWARA, Ryoki ARAKAWA, Yuya CHOYAMA
Satoru NAGASUMI, Toshinari HASEGAWA, Keisuke YOKOYAMA, Masashi WATANABE
Takashi ONISHI, Taiki KAWAMOTO, Takayuki FURUSAWA, Hiroyuki INOI
Naoki NOJIRI, Kazuhiko IIGAKI, Kenji SAITO and Naohiko HORI

高速炉・新型炉研究開発部門
大洗研究所
高温ガス炉研究開発センター
高温工学試験研究炉部

Department of HTTR
HTGR Research and Development Center
Oarai Research and Development Institute
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development

June 2024

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

JAEA-Technology

本レポートは国立研究開発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。本レポートはクリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 ライセンスの下に提供されています。本レポートの成果（データを含む）に著作権が発生しない場合でも、同ライセンスと同様の条件で利用してください。（<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.ja>）
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ウェブサイト（<https://www.jaea.go.jp>）より発信されています。本レポートに関しては下記までお問合せください。

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 研究開発推進部 科学技術情報課
〒319-1112 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.en>).
Even if the results of this report (including data) are not copyrighted, they must be used under the same terms and conditions as CC-BY.
For inquiries regarding this report, please contact Library, Institutional Repository and INIS Section, Research and Development Promotion Department, Japan Atomic Energy Agency.
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1112, Japan
E-mail: ird-support@jaea.go.jp

HTTR1 次ヘリウム循環機フィルタの差圧上昇事象(2)

- フィルタ付着物の調査と再発防止対策 -

日本原子力研究開発機構 高速炉・新型炉研究開発部門

大洗研究所 高温ガス炉研究開発センター

高温工学試験研究炉部

根本 隆弘、藤原 佑輔、荒川 了紀、長山 侑矢、長住 達、長谷川 俊成、

横山 佳祐⁺、渡部 雅⁺、大西 貴士⁺、

川本 大樹、古澤 孝之、猪井 宏幸、野尻 直喜、飯垣 和彦、齋藤 賢司、堀 直彦

(2024 年 3 月 19 日受理)

RS-14 サイクルに発生した 1 次ヘリウム循環機フィルタの差圧上昇の原因を調査するため、フィルタ付着物を調査した。調査の結果、フィルタエレメント表面にシリコンオイルに起因する付着物を確認した。この結果から、フィルタ差圧上昇の原因は、1 次ヘリウム純化設備ガス循環機のチャコールフィルタの性能劣化により、1 次系内にシリコンオイルが混入したためであることが明らかとなった。また、この再発防止対策として、従来の 1 次ヘリウム純化設備ガス循環機の運転時間による管理に加え、チャコールフィルタの交換頻度を 3 年毎とする定期交換計画を新たに策定した。

Differential Pressure Rise Event for Filters of HTTR Primary Helium Gas Circulators (2)
- Investigation of Filter Deposits and Recurrence Prevention Measures -

Takahiro NEMOTO, Yusuke FUJIWARA, Ryoki ARAKAWA, Yuya CHOYAMA,
Satoru NAGASUMI, Toshinari HASEGAWA,
Keisuke YOKOYAMA⁺, Masashi WATANABE⁺, Takashi ONISHI⁺,
Taiki KAWAMOTO, Takayuki FURUSAWA, Hiroyuki INOI,
Naoki NOJIRI, Kazuhiko IIGAKI, Kenji SAITO and Naohiko HORI

Department of HTTR, HTGR Research and Development Center,
Oarai Research and Development Institute,
Sector of Fast Reactor and Advanced Reactor Research and Development,
Japan Atomic Energy Agency
Oarai-machi, Higashiibaraki-gun, Ibaraki-ken

(Received March 19, 2024)

In order to investigate the cause of the increase in differential pressure in the primary helium circulator filter that occurred during the RS-14 cycle, a clogged filter was investigated. As a result of the investigation, deposits caused by silicone oil were confirmed on the surface of the filter element. These results revealed that the cause of filter clogging was silicone oil mixed into the primary system due to performance deterioration of the charcoal filter in the gas circulator of primary helium purification system. As a measure to prevent the recurrence of this event, in addition to the conventional management based on operating hours for replacing of charcoal filter in the gas circulator of primary helium purification system, we have established a new replacement plan for every three years.

Keywords: HTTR, Differential Pressure Rise Event of Filters, Primary Helium Purification System, Helium Gas Circulator, Analysis of Wear Debris, Oil Seals, Charcoal Filter

⁺ Fuels and Materials Department, Fast Reactor Cycle System Research and Development Center

目 次

1. 序論	1
2. フィルタの構造と試料採取	1
2.1 フィルタ構造	1
2.2 目詰まりしたフィルタからの試料採取	1
3. 目詰まりしたフィルタエレメントの調査	3
3.1 外観観察	3
3.2 付着物量の推定	3
3.3 表面分析	3
4. 目詰まりの原因	5
5. 再発防止対策	5
謝辞	6
参考文献	6

Contents

1. Introduction	1
2. Filter structure and sampling	1
2.1 Filter structure	1
2.2 Sampling from clogged filter	1
3. Investigation of clogged filter elements	3
3.1 Exterior observation	3
3.2 Estimation of deposits amount	3
3.3 Surface analysis	3
4. Causes of clogging	5
5. Recurrence prevention measures	5
Acknowledgements	6
References	6

This is a blank page.

1. 序論

HTTR(High Temperature engineering Test Reactor:高温工学試験研究炉)は、日本初の高温ガス炉として建設され、原子炉熱出力 30 MW、最高原子炉出口冷却材温度 950°Cのヘリウム冷却型の原子炉である¹⁾。HTTR は、2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震による東京電力福島第一原子力発電所の事故を契機に制定された試験研究用等原子炉施設を含む核燃料使用施設等の新規制基準(2013 年 12 月 18 日施行)対応のため運転を停止していたが、2020 年 6 月 3 日に原子炉設置変更許可(2014 年 11 月 26 日申請)²⁾を取得し、2021 年 7 月 30 日に運転再開を果たした³⁾。

運転再開後の RS-15 サイクルでは、OECD/NEA(経済協力開発機構/原子力機関)の国際共同研究プロジェクトである「炉心冷却喪失試験(2022 年 1 月 28 日)」⁴⁾を実施したが、RS-16 サイクルに予定していた安全性実証試験は 1 次ヘリウム循環機フィルタの差圧が運転基準を超える恐れが高くなったため延期することとした⁵⁾。

この原因を調査して再発防止対策を策定するため、HTTR 品質保証委員会のもとに本事象に係る「1 次ヘリウム循環機フィルタ差圧上昇対策ワーキンググループ」が設置された。これまでの調査では、RS-14、15 サイクルで発生したフィルタ差圧上昇は、1 次ヘリウム純化設備のガス循環機内で使用していたシリコンオイルがミスト化して 1 次冷却系統に混入し、1 次ヘリウム循環機フィルタに捕集されて発生したものと推定した。また、本事象の原因は、本来ならガス循環機内でミスト状となったシリコンオイルはガス循環機のチャコールフィルタにより捕集されるが、チャコールフィルタの性能劣化によりシリコンオイルのミストを捕集できなくなったためと推定した⁶⁾。この推定を更に補強する目的で 2023 年度に交換した目詰まりしたフィルタについて詳細な調査を実施した。

本報告書は、目詰まりしたフィルタの調査結果とその再発防止対策をまとめたものである。

2. フィルタの構造と試料採取

2.1 フィルタ構造

1 次ヘリウム循環機フィルタは、3 台の 1 次ヘリウム循環機(A、B、C 号機)の上部にそれぞれ設置されており、各フィルタは 60 本のフィルタエレメントから構成されている。フィルタエレメントは、オーステナイト系ステンレス鋼(SUS316L)製の焼結金網を円筒状に成形した濾過部とその上下にキャップとボスを溶接で取り付けられた構造となっている。1 次ヘリウム循環機とフィルタの概要及び仕様を図 2.1、図 2.2 及び表 2.1 に示す。フィルタエレメントは 5 層から構成されており、その各層の構造と主な機能を表 2.2 に示す。ヘリウムガスは、図 2.2 に示すように外側の第 1 層から内側の第 5 層に向かって流れ、主に 2 層目で微粒子(5 μ m)を捕獲する構造となっている。

2.2 目詰まりしたフィルタからの試料採取

使用済フィルタからの試料採取は、2023 年 4 月から実施した 1 次ヘリウム循環機フィルタ交換作業時に実施した。なお、フィルタ交換作業は 2002 年度及び 2007 年度に実施しており⁷⁾、今回が 3 回目となる。

今回の 1 次ヘリウム循環機フィルタ交換作業は、1 次ヘリウム循環機上部ケーシング保温材表面の線量当量率が $150 \mu\text{Sv/h}$ と高いこと、粉末状の放射化物の飛散の恐れがあることから、これまでと同様に局所排気装置を有するグリーンハウス内で実施した。また、作業に当たっては、被ばく及び汚染防止の観点から、遮へい体や塩化ビニル製バッグシール等を有効に活用し、十分に注意して作業を進め、当初の被ばく線量(3.2 mSv)の見積もりを 0.65 mSv に低減することができた。

分析に使用したフィルタエレメントと分析項目を図 2.3 及び表 2.3 に示す。外観及び走査電子顕微鏡(SEM : Scanning Electron Microscopy)観察には、付着物が最も多くなる可能性があるとして推定されるフィルタエレメントとして、1 次冷却材入口付近の⑤を選定した。

また、フィルタ全体の付着物量を推定するため①③④のフィルタエレメントを選定した。なお、フィルタエレメント②については、比較的線量が高かったことから、作業の安全も考慮して分析に用いないこととした。各フィルタエレメントに関しては、そのままのサイズでは分析装置や洗浄装置に入らないことから、表 2.3 及び表 3.1 に示す数量及び大きさに切出して分析した。フィルタエレメント⑤から切出した SEM 観察用の試料を図 2.4 に示す。

なお、表面付着物に関しては、切断すると付着物が落ちてしまうため、切断前に食品用ラップ(塩化ビニル樹脂)でフィルタエレメント⑤の表面を擦り付けることによって採取した。

3. 目詰まりしたフィルタエレメントの調査

3.1 外観観察

フィルタエレメント⑤から切出した試料をデジタルマイクロスコープ(Hirox 社製、KH-1300)で観察した。未使用のフィルタエレメントと比較した観察結果を図 3.1 に示す。使用済みのフィルタエレメントは、第1層及び第2層が変色していたが、デジタルマイクロスコープの倍率ではフィルタ目詰まりを生じさせた物質までは確認できなかった。

3.2 付着物量の推定

使用済フィルタの付着物重量を推定するため、フィルタエレメントから採取した試料を洗浄し、洗浄前後の重量差を測定した。洗浄には超音波洗浄機(アズワン社製、USD-3R)を使用し、洗浄時間は約10分、洗浄剤は有機溶剤(エチルベンゼン)を使用した。また、洗浄によって洗浄剤中に残った付着物は、約24時間自然乾燥させた後にSEM観察した。この乾燥後の残留物を、以後「洗浄後乾固物」と表記する。

洗浄前後の重量差から求めた付着物重量の測定結果を表 3.1 に示す。なお、本表における付着物重量は、フィルタエレメントからの部分的な採取であるため、試料長さの合計からフィルタエレメント長さ当たりの重量に換算した値である。この結果から、1次冷却材入口付近のフィルタエレメント①の付着物が最も多かったことが明らかとなった。また、これら3本のフィルタエレメント付着物の平均値を180倍(フィルタエレメント60本/台×3台)し、1次ヘリウム循環機フィルタの全付着物量を推定すると約22gとなった。しかし、洗浄後のフィルタエレメントの色は、洗浄前と比べてほとんど変化がなかったことから、今回実施した洗浄でも付着物を全て取りきれてない可能性が高い。なお、先の調査では、75 cm³のシリコンオイルが1次系内に混入したと推定⁶⁾しており、重量に換算すると約72gとなる(シリコンオイルの比重:0.96 g/cm³)。このシリコンオイルの重量をもとにすると回収できた全付着物量は3割程度に留まるが、シリコンオイル{主成分:ポリジメチルシロキサン(C₂H₆O₂Si)_n}が高温分解によって軽くなると考えられるため、全付着物量の回収率は3割より高くなると想定される。今後、洗浄による付着物の回収率測定やシリコンオイルの高温加熱試験等を行えば、フィルタ目詰まり事象について更に考察できるものと考えられる。

3.3 表面分析

付着物を同定するため、フィルタエレメント①③④から採取した試料の洗浄後乾固物、フィルタエレメント⑤切断前に採取した表面付着物及びフィルタエレメント①③④から採取した洗浄後の試料について、SEM(テクネクス工房社製、Tiny-SEM Mighty-8L)及びエネルギー分散型X線分析装置(EDX: Energy Dispersive X-ray Spectroscopy、テクネクス工房社製、Tiny-EDXS)による表面観察及び元素分析を実施した。

(1) 洗浄後乾固物

洗浄後乾固物の SEM 写真を図 3.2 に示す。洗浄後乾固物には、200 μm 以下の針状の物質と 50 μm 以下の固形物が観測された。針状の物質について EDX 分析した結果、Al と Si が観測されたことから、断熱材に起因するものと考えられる*1。また、固形物について EDX 分析した結果、シリコンオイルに起因する Si が観測されたが、固形物と断熱材が混合状態であったことから、断熱材に起因する Si との区別は困難であった。

(2) 表面付着物

フィルタエレメント⑤の上部、中部及び下部から採取した表面付着物の SEM 写真を図 3.3 に示す。SEM 観察結果から、1 次冷却材入口部に近い上部には 10~20 μm の多くの固形物が観察された。また、下部には針状のセラミックファイバーが若干観察された。これらの固形物に対して EDX 分析した結果を図 3.4 に示す。それぞれの固形物からは、Si、Cl、Ca 及び Fe が検出されており、シリコンオイルに起因する Si の波形が最も高かった。なお、Si の信号はセラミックファイバーからも検出されているが、SEM 写真からも確認できるように針状のものと完全に分離できていることからセラミックファイバーの影響はほとんどないものと考えられる。また、Cl 及び Ca に関しては表面付着物採取時に使用した食品ラップ(塩化ビニル樹脂)由来のもの、Fe に関してはフィルタエレメントの素材に由来するものと考えられる。

(3) フィルタエレメント

フィルタエレメント⑤の上部、中部及び下部から切断した試料の SEM 写真を図 3.5 に示す。固形物は、上部に僅かに観察されたが、その量は少量であることから、切断時に剥離・落下したと考えられる。また、セラミックファイバーは、図 3.3 と同様に下部に観察された。フィルタエレメントの EDX 分析結果を図 3.6~3.8 に示す。分析結果から、フィルタエレメント 1 層目及び 2 層目からは、Si の有意な信号が検出されなかった。これは、切断時に表面付着物がほとんど剥離したためと考えられる。

*1: HTTR の 2 重配管に使用している断熱材は、耐熱耐火性に優れたセラミックファイバーが使用されており、その主成分は Al_2O_3 (47%) 及び SiO_2 (52%) である。

4. 目詰まりの原因

今回のフィルタ調査で以下の項目が明らかとなった。

- (1) フィルタエレメントの表面付着物から、シリコンオイルに起因する Si が検出された。
- (2) 1次ヘリウム循環機フィルタの付着物推定量は約 22 g となった。
- (3) フィルタエレメントの付着物は、1次冷却材入口に近いほど多くなった。
- (4) フィルタエレメント下部から、断熱材に使用されているセラミックファイバーが観察された。

上記の通り、フィルタエレメントの表面付着物がシリコンオイルに起因することが明らかとなったことから、前回の調査で推定した「1次ヘリウム純化設備ガス循環機のチャコールフィルタが性能劣化し、シリコンオイルが1次系内に混入した」こと⁶⁾が立証できた。また、表面付着物の大きさが 20 μ m 程度であったことから、前回の調査で推定したフィルタ差圧も肯定できる結果となった。ここで、前回の調査では、75 cm³のシリコンオイルが 27.5kPa のフィルタ差圧を発生させる場合、シリコンオイルは同体積で 20 μ m の粉体になっていると推定しており、本事象で発生した差圧上昇分は約 20kPa である⁶⁾。

なお、1次ヘリウム純化設備ガス循環機 A 号機の分解点検を 2023 年 5 月に実施した結果、A 号機のチャコールフィルタ性能も劣化していたことも確認されている(B 号機は 2022 年 7 月に分解点検し、その結果は参考文献 6 に記載済)。

以上の結果から、1次ヘリウム循環機フィルタの目詰まり原因は、1次ヘリウム純化設備ガス循環機のチャコールフィルタの性能劣化により、シリコンオイルが1次系内に混入したためと断定できる。

5. 再発防止対策

現時点では、1次ヘリウム循環機フィルタの交換を完了していること、1次ヘリウム純化設備ガス循環機 A・B 号機のチャコールフィルタ交換及びメンテナンスも完了していることから、設備の機能上の問題はないと考える。今後の再発防止対策としては、1次ヘリウム純化設備ガス循環機 A・B 号機のチャコールフィルタ交換頻度を以下の様に改訂することにした。

<改訂前>

1次ヘリウム純化設備ガス循環機の運転時間で 6000 時間毎

<改訂後>

3 年毎(1次ヘリウム純化設備ガス循環機の運転時間に依存しない)又は 3 年以内であっても 1 次ヘリウム純化設備ガス循環機の運転時間が 6000 時間に達した場合はその都度

<改訂根拠>

- 1) RS-14 サイクルにおいて、1次ヘリウム純化設備ガス循環機 B 号機運転で 1次ヘリウム循環機フィルタの差圧が上昇したこと⁶⁾。

2) RS-14 サイクルにおいて、1次ヘリウム純化設備ガス循環機をB号機からA号機に切替えたことで1次ヘリウム循環機フィルタの差圧が低下したこと⁶⁾。

なお、1次ヘリウム純化設備ガス循環機A・B号機のチャコールフィルタ交換期間と運転時間は以下の通りであった。

- ・ A号機 前回交換:4年前、運転時間:152時間
- ・ B号機 前回交換:10年前、運転時間:522時間

また、今後の運転に関しては、1次ヘリウム循環機フィルタの差圧、温度、圧力を特に注視し、想定を超えるパラメータ変動がないことを確認しながら、再発防止対策の有効性を確認する予定である。

謝辞

本報告書をまとめるに当たり、高速炉・新型炉研究開発部門大洗研究所高温ガス炉研究開発センター高温工学試験研究炉部 HTTR 計画課 石塚悦男再雇用職員(特別専門職)に貴重なご意見を頂いた。また、走査電子顕微鏡(SEM)及びエネルギー分散型X線分析装置(EDX)を用いた分析では、検査開発株式会社 関崇行氏及び所大志郎氏に多大なるご協力を頂いた。以上、記して謝意を表します。

参考文献

- 1) Tetsuo Nishihara, Xing Yan, Yukio Tachibana, Taiju Shibata, Hirofumi Ohashi, Shinji Kubo, Yoshitomo Inaba, Shigeaki Nakagawa, Minoru Goto, Shohei Ueta, Noriaki Hirota, Yoshiyuki Inagaki, Kazuhiko Iigaki, Shimpei Hamamoto and Kazuhiko Kunitomi, Excellent Feature of Japanese HTGR Technologies, JAEA-Technology 2018-004, 2018, 182p.
- 2) 日本原子力研究開発機構, 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構大洗研究所(北地区)原子炉設置変更許可申請書, (2020).
- 3) 日本原子力研究開発機構, HTTR(高温工学試験研究炉)の運転再開について, 2021, <https://www.jaea.go.jp/02/press2021/p21073003/>, (参照 2023年12月8日).
- 4) 日本原子力研究開発機構, HTTR(高温工学試験研究炉)における国際共同試験について -炉心冷却喪失試験の実施-, 2022, <https://www.jaea.go.jp/02/press2021/p22013101/> (参照 2023年12月8日).
- 5) 日本原子力研究開発機構, HTTR(高温工学試験研究炉)の安全性実証試験の延期について, 2022, <https://www.jaea.go.jp/02/press2021/p22031802/> (参照 2023年12月8日).
- 6) 根本隆弘, 荒川了紀, 川上 悟, 長住 達, 横山佳祐, 渡部 雅, 大西貴士, 川本大樹, 古澤孝之, 猪井宏幸, 野尻直喜, 飯垣和彦, 齋藤賢司, 堀 直彦, HTTR1次ヘリウム循環機フィルタの差圧上昇事象(1) - 差圧上昇事象の原因調査 -, JAEA-Technology 2023-005, 2023, 33p.
- 7) 古澤孝之, 角田淳弥, 植田祥平, 根本隆弘, 小山直, 鎌田崇, HTTRの1次ヘリウム循環機フィルタ交換, JAERI-Tech 2004-024, 2004, 46p.

表 2.1 1次ヘリウム循環機フィルタの仕様

項目	仕様
エレメント	
- 本数	60 本
- 長さ	1012.5 mm
- 直径	50 mm
- 60 本分のフィルタ面積	約 9.5 m ²
- 耐差圧	100 kPa (@430°C)
編線材質	SUS316L
フィルタリングの機能	5 μm 95%以上

表 2.2 1次ヘリウム循環機フィルタの構造と各層の主な機能

層番号	構造	編線の直径 (mm)	主な機能
1 層目	100 メッシュ平織	0.1	保護・粗粒子捕獲
2 層目	200×1400 メッシュ綾畳織	0.07×0.04	微粒子捕獲
3 層目	100 メッシュ平織	0.1	保護・粗粒子捕獲
4 層目	12×64 メッシュ平畳織	0.6×0.42	補強
5 層目	12×64 メッシュ平畳織	0.6×0.42	補強

表 2.3 フィルタエレメントの分析項目

フィルタエレメント 番号	分析項目等
①	試料採取 (10 箇所)、洗浄による付着物量測定
②	線量が高いため不使用
③	試料採取 (10 箇所)、洗浄による付着物量測定
④	試料採取 (9 箇所)、洗浄による付着物量測定
⑤	切断前に表面付着物を採取、試料採取 (3 箇所)、外観・SEM 観察

表 3.1 付着物重量の測定結果

エレメント 番号	試料 番号	試料 長さ (mm)	試料重量 (g)		洗浄前後の 重量差 (g)	付着物 重量* (g)
			洗浄前	洗浄後		
①	①-1	44	60.9621	60.9578	0.0043	0.1979
	①-2	28	49.5680	49.5657	0.0023	
	①-3	23	32.6655	32.6640	0.0015	
	①-4	33	45.0772	45.0741	0.0031	
	①-5	27	43.4988	43.4973	0.0015	
	①-6	48	76.3453	76.3431	0.0022	
	①-7	47	71.5548	71.5300	0.0248	
	①-8	41	64.4316	64.4305	0.0011	
	①-9	77	123.7543	123.7323	0.0220	
	①-10	65	102.7589	102.7371	0.0218	
	計	433	670.6165	670.5319	0.0846	
③	③-1	93	141.5958	141.5863	0.0095	0.0906
	③-2	80	120.2824	120.2705	0.0119	
	③-3	88	136.5950	136.5881	0.0069	
	③-4	69	87.7066	87.7007	0.0059	
	③-5	68	88.7772	88.7716	0.0056	
	③-6	87	155.8648	155.8586	0.0062	
	③-7	93	146.3910	146.3833	0.0077	
	③-8	70	92.7719	92.7670	0.0049	
	③-9	75	97.2298	97.2257	0.0041	
	③-10	75	98.8754	98.8667	0.0087	
	計	798	1166.0899	1166.0185	0.0714	
④	④-1	50	81.0051	81.0023	0.0028	0.0742
	④-2	48	86.8304	86.8218	0.0086	
	④-3	55	87.3395	87.3383	0.0012	
	④-4	53	85.9012	85.9005	0.0007	
	④-5	34	84.6373	84.6328	0.0045	
	④-6	45	70.9315	70.9240	0.0075	
	④-7	58	89.5435	89.5395	0.0040	
	④-8	133	201.0033	200.9971	0.0062	
	④-9	115	179.3731	179.3653	0.0078	
	計	591	966.5649	966.5216	0.0433	

*: フィルタエレメントあたりに換算した値

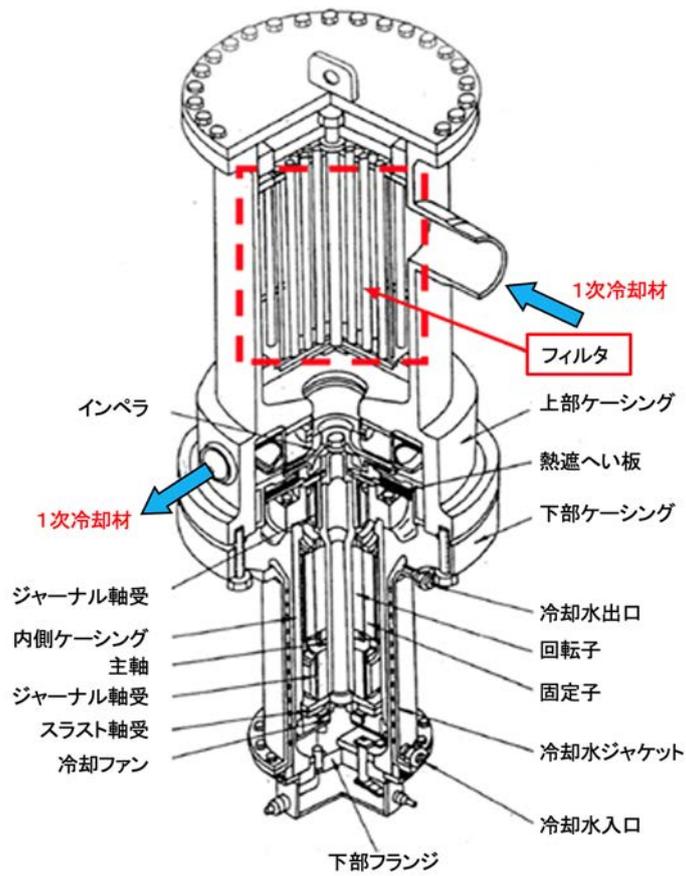


図 2.1 1次ヘリウム循環機とフィルタ

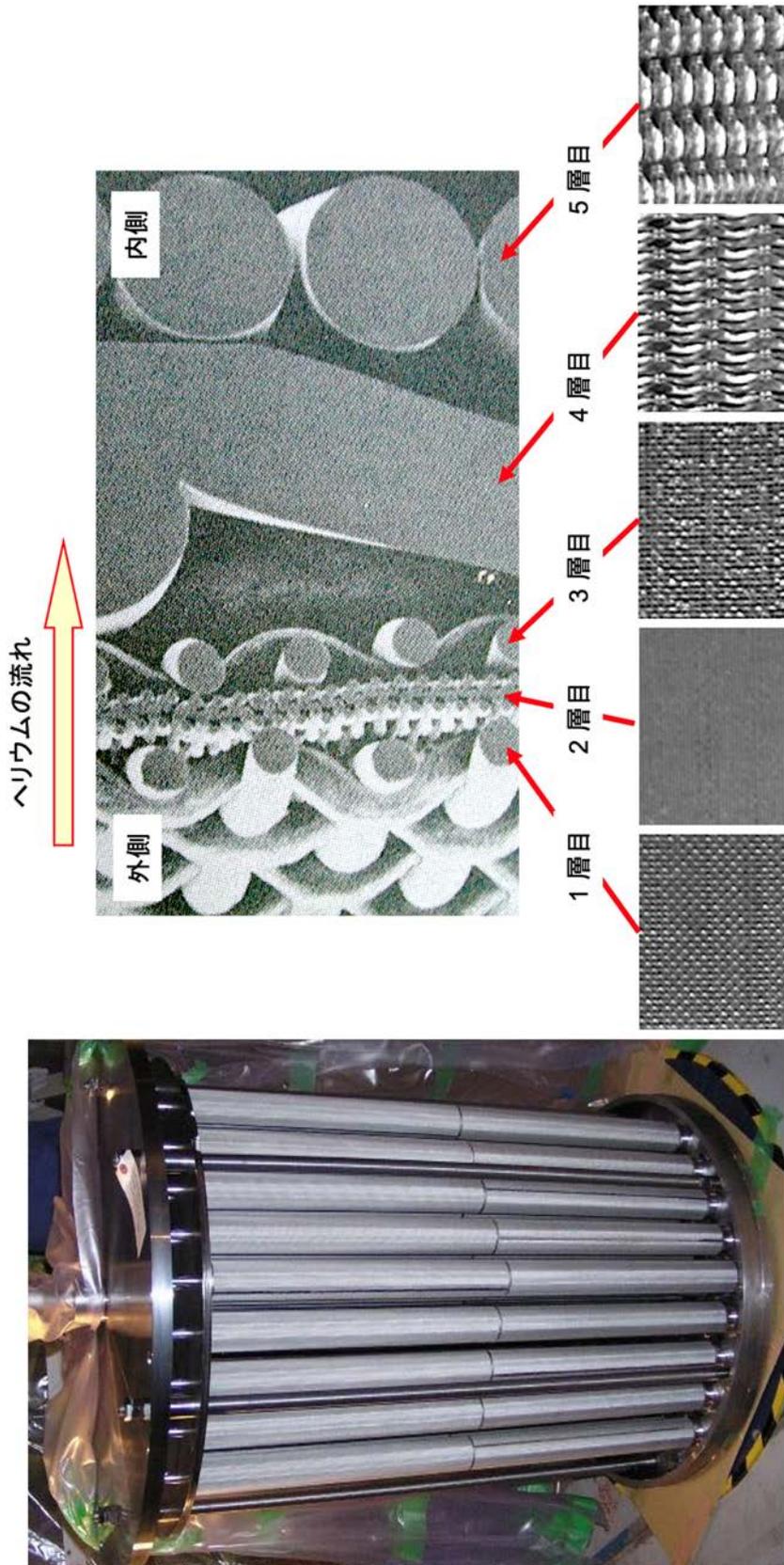


図 2.2 1次ヘリウム循環機フィルタの概要

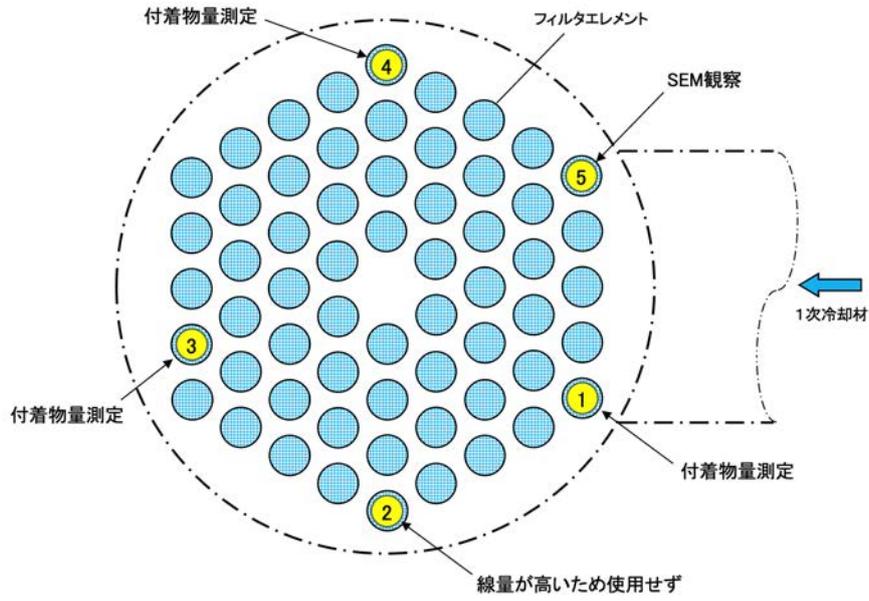


図 2.3 分析に使用したフィルタエレメント



図 2.4 フィルタエレメント⑤から採取した SEM 観察用試料

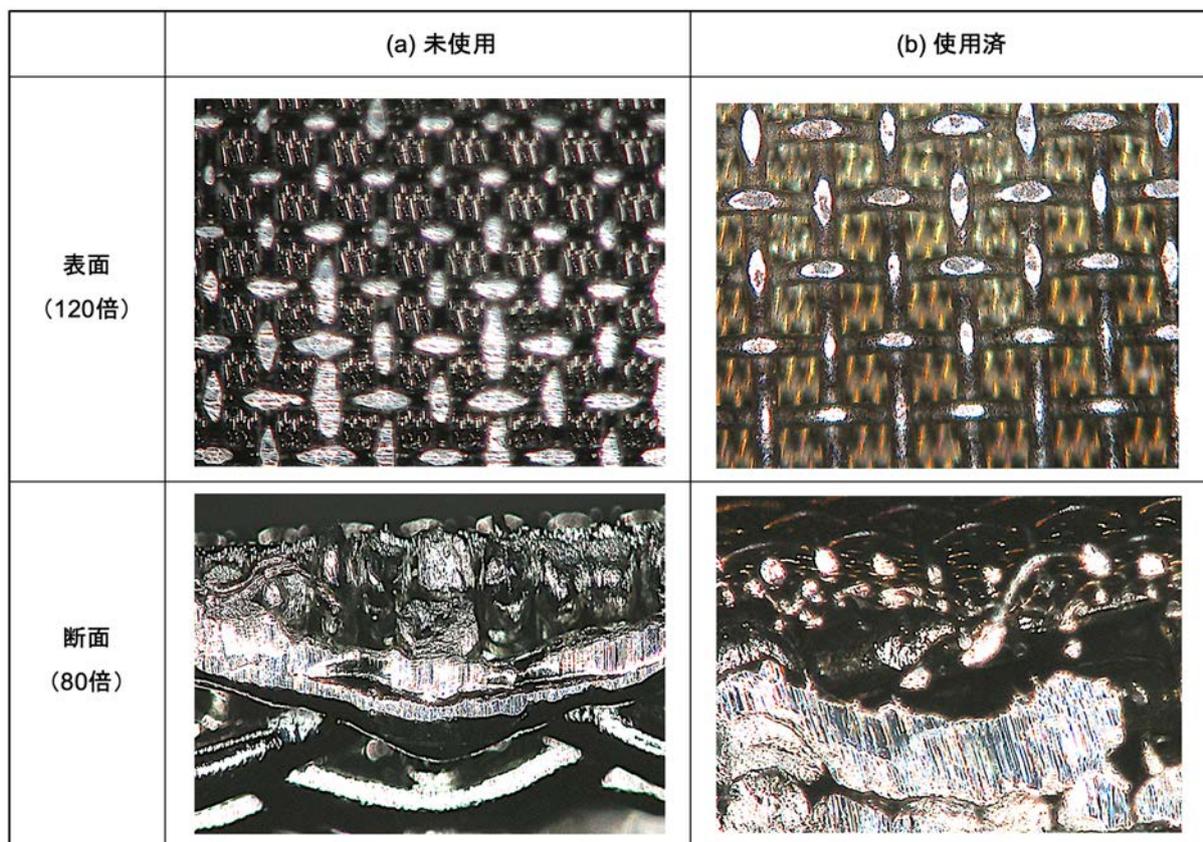


図 3.1 デジタルマイクロスコープ観察結果

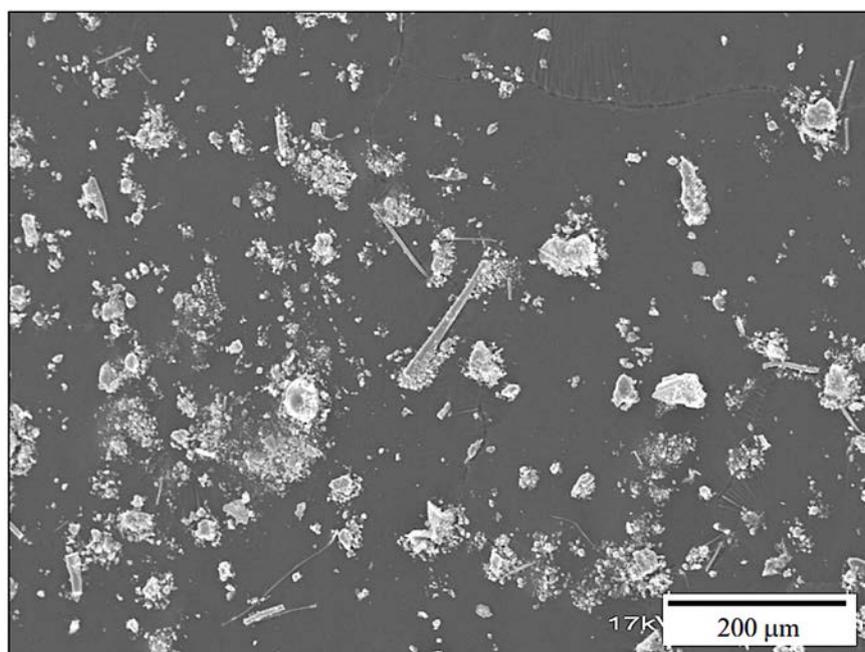


図 3.2 洗浄後乾固物のSEM写真

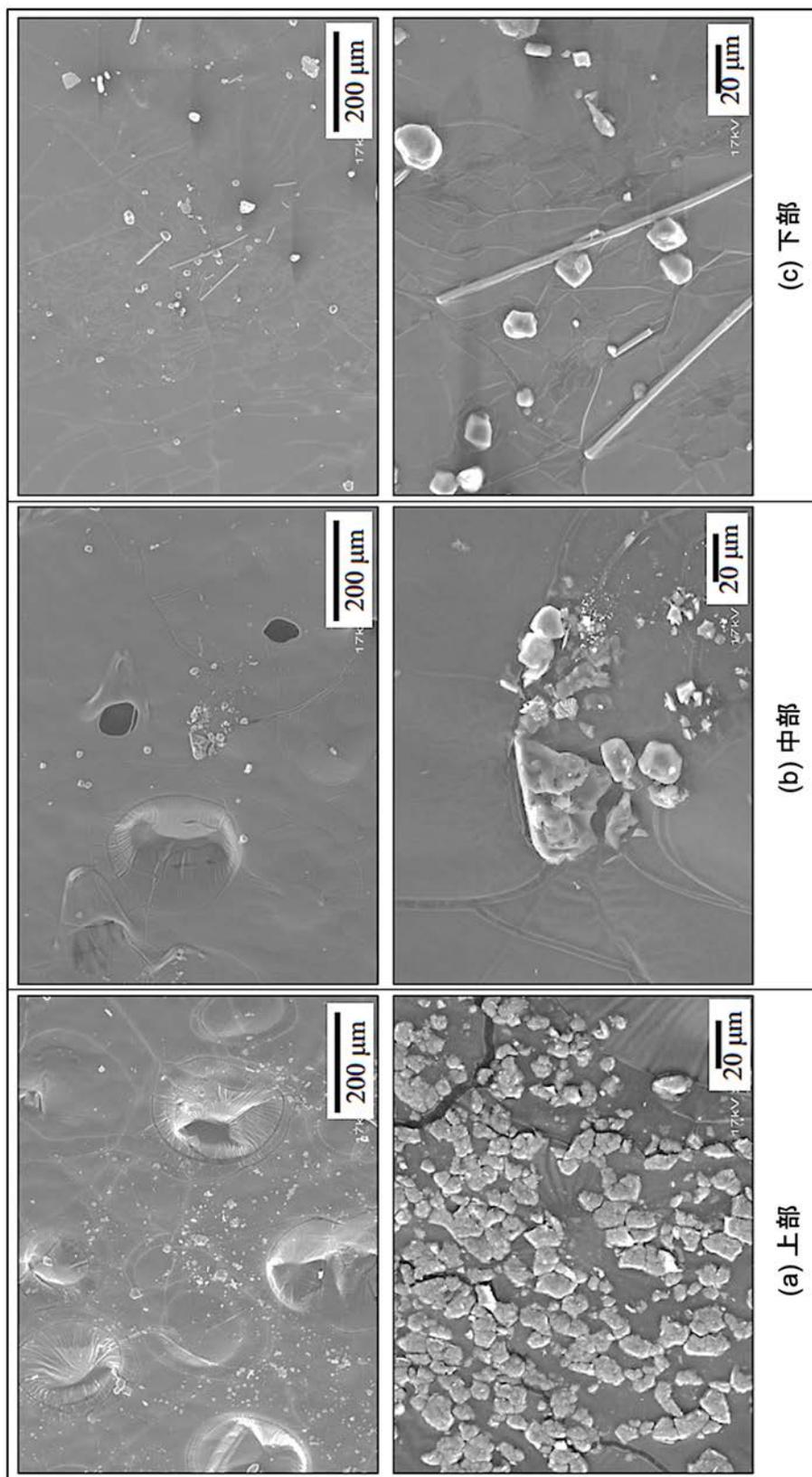


図 3.3 表面付着物の SEM 写真

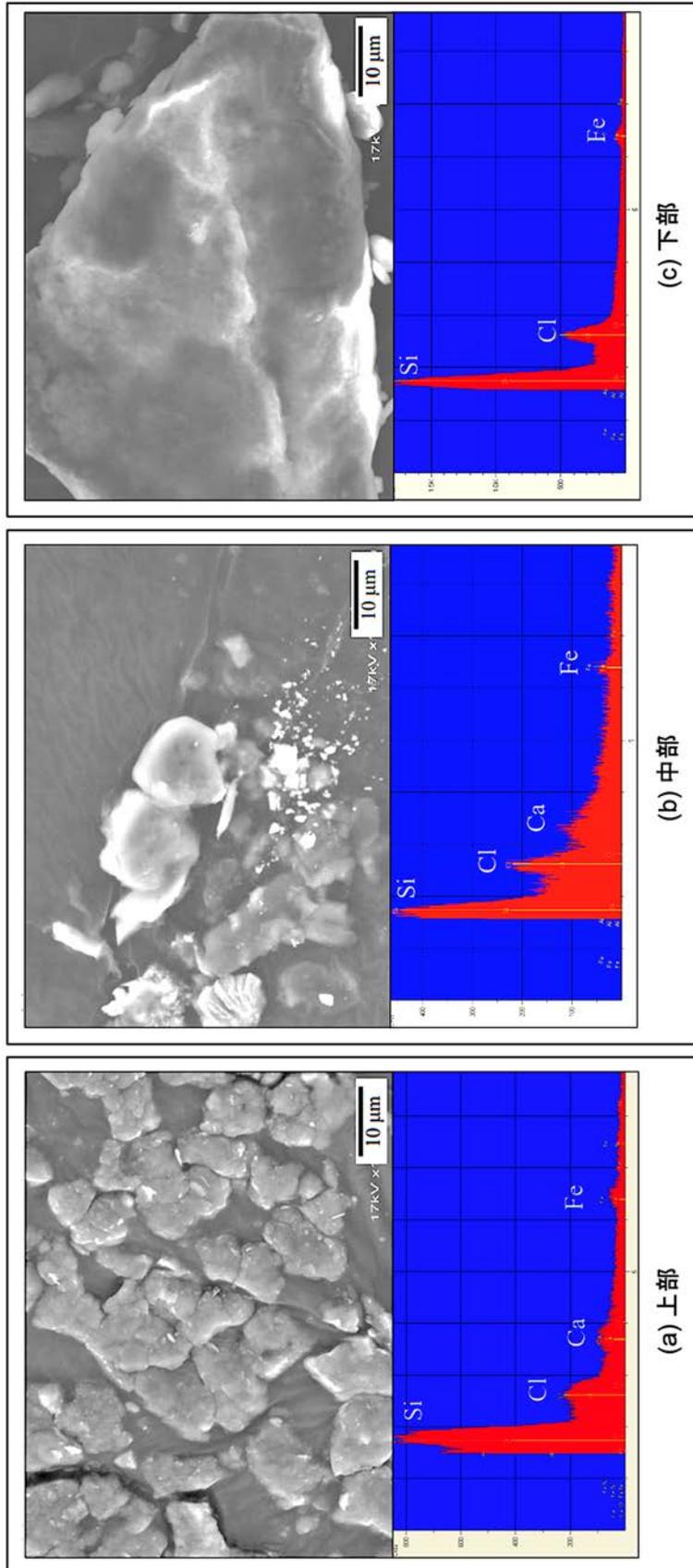


図 3.4 表面付着物の EDX 分析結果

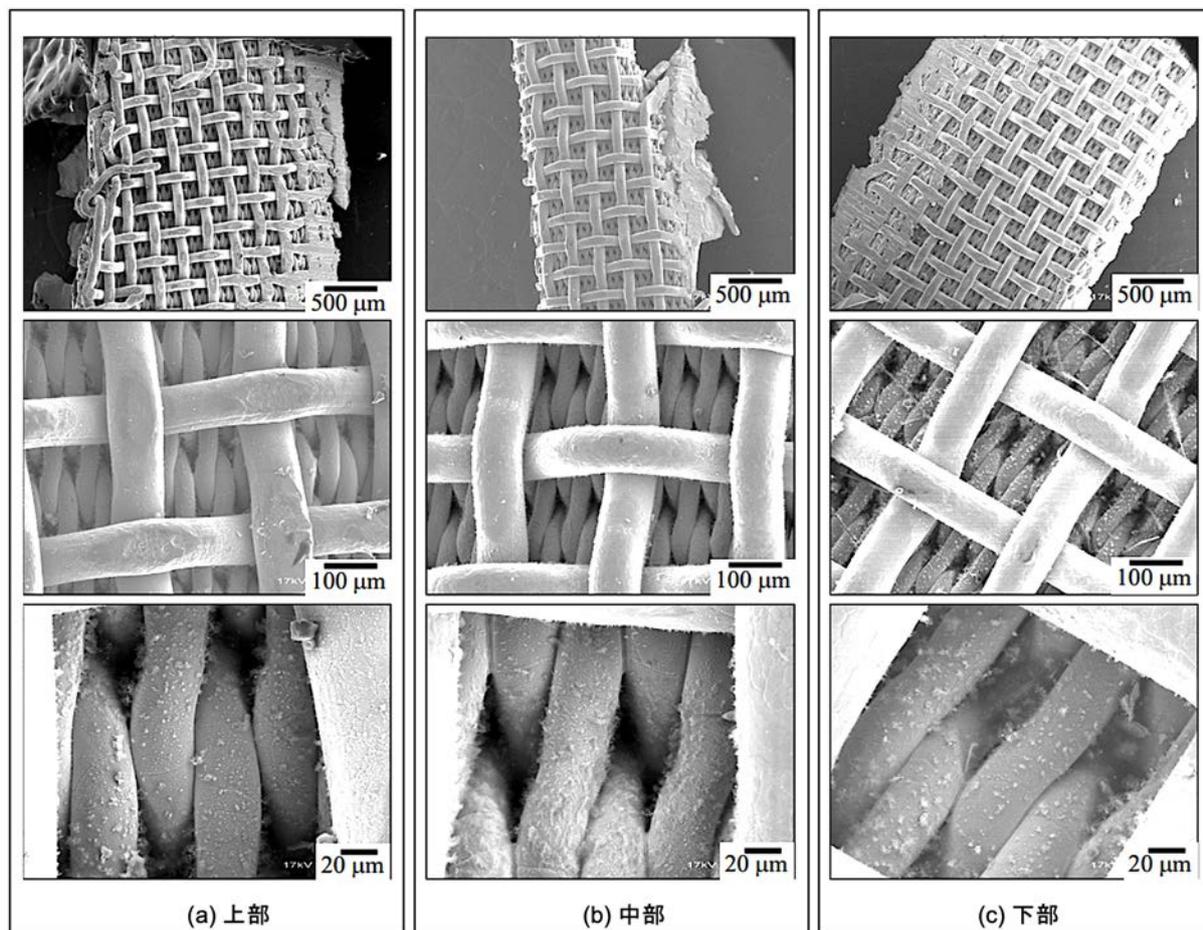


図 3.5 フィルタエレメント⑤の SEM 写真

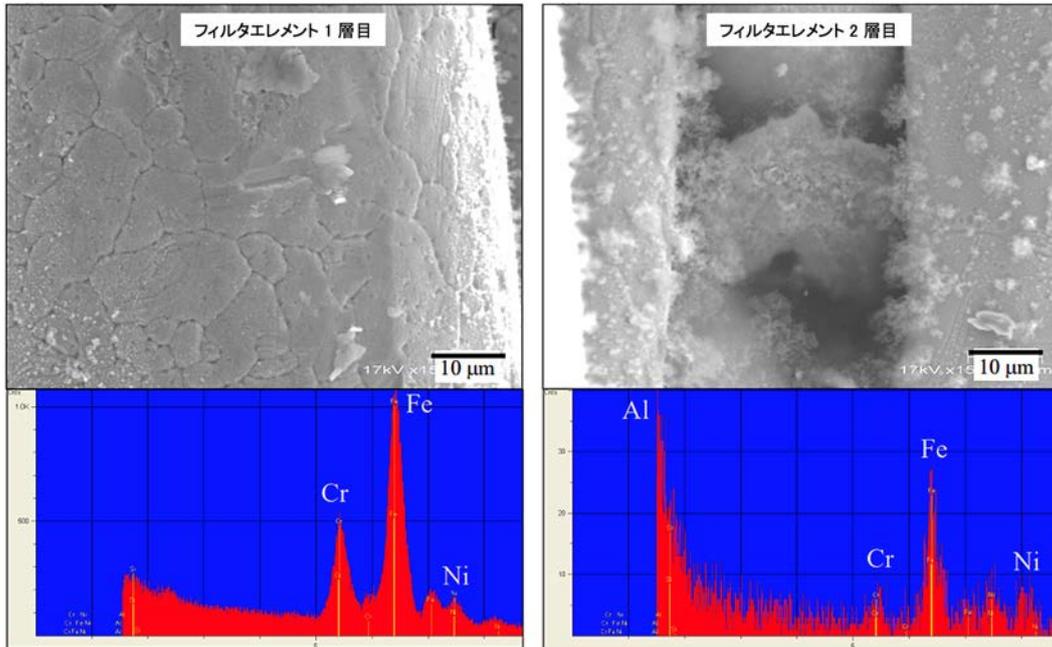


図 3.6 フィルタエレメント(上部)の EDX 分析結果

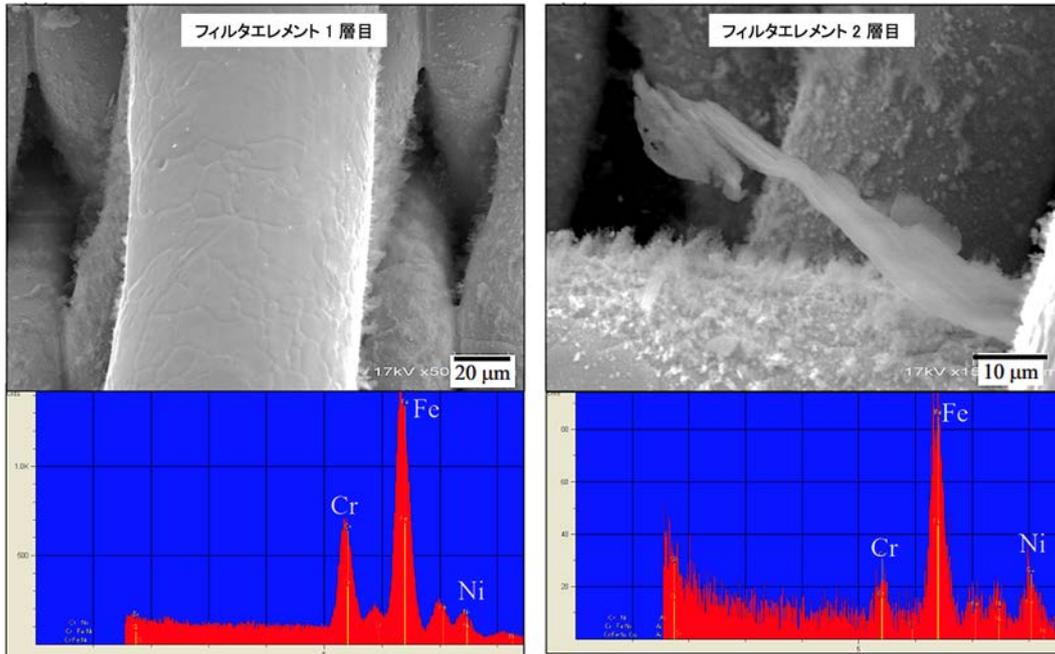


図 3.7 フィルタエレメント(中部)の EDX 分析結果

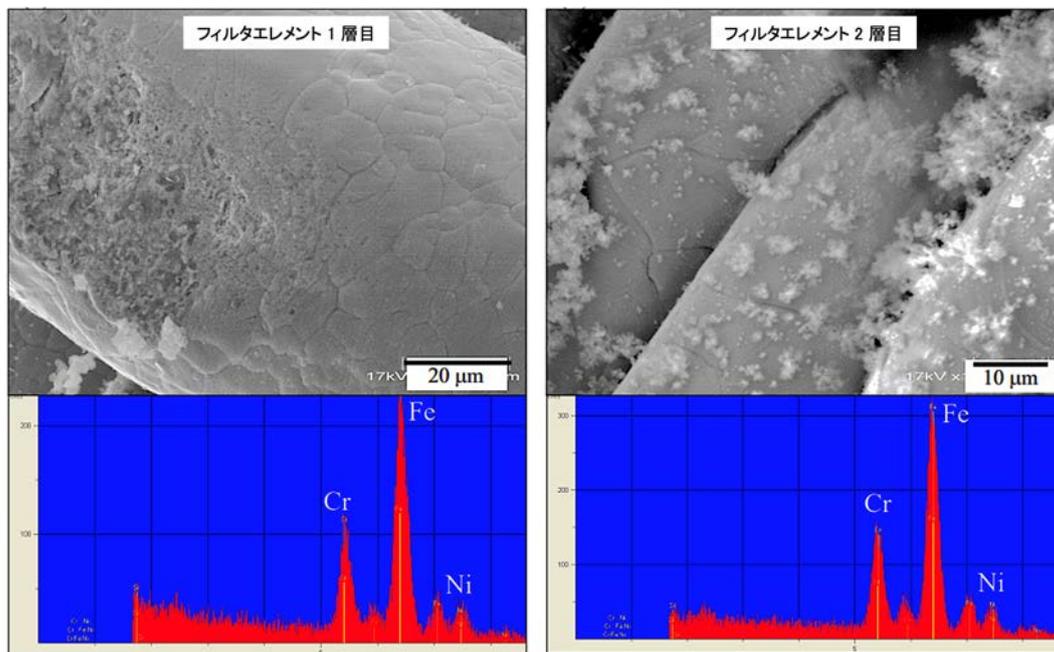


図 3.8 フィルタエレメント(下部)の EDX 分析結果

This is a blank page.

