

希塩酸を用いた機能分離型 ドリフトチューブリニアック内面の洗浄

Cleaning of the Inner Surface for Separated-type Drift Tube Linac
with Dilute Hydrochloric Acid

新井 宇宙 小坂 知史 根本 康雄 北村 遼

Sora ARAI, Satoshi KOSAKA, Yasuo NEMOTO and Ryo KITAMURA

原子力科学研究部門
J-PARCセンター
加速器ディビジョン

Accelerator Division
J-PARC Center
Sector of Nuclear Science Research

May 2023

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 JAEA イノベーションハブ 研究成果利活用課
〒 319-1195 茨城県那珂郡東海村大字白方 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.

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 Institutional Repository and Utilization Section, JAEA Innovation Hub, Japan Atomic Energy Agency.

2-4 Shirakata, 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

希塩酸を用いた機能分離型ドリフトチューブリニアック内面の洗浄

日本原子力研究開発機構
原子力科学研究部門 J-PARC センター
加速器ディビジョン

新井 宇宙、小坂 知史*、根本 康雄*、北村 遼

(2023年4月3日受理)

J-PARC 加速器群の初段に位置するリニアックでは、安定かつ高品質のビーム供給をすることが求められている。リニアックを構成する加速空洞の一つに機能分離型ドリフトチューブリニアック (SDTL) が設置されている。安定したビーム加速をするためには、SDTL 空洞へ 324MHz の高周波電力を安定に投入できることが重要となる。しかし、2011 年の東日本大震災の復旧以降、複数の SDTL 空洞にて、設計時の定格運転電力付近で電圧定在波比が増加して、空洞内へ安定に電力を投入できない不具合が発生した。調査の結果、震災後に空洞内表面が長時間にわたり高湿度の大気にさらされたことや、当時まで粗引き用ポンプとして使用していたロータリーポンプからのオイルの逆流などで、空洞内表面に汚れが付着したことが不具合の原因である可能性が示唆された。有機溶剤や酸を用いた空洞内表面の洗浄を行った結果、この不具合は解消された。本報告書では、2021 年に SDTL 空洞に対して行った希塩酸洗浄の手法と結果について報告する。

**Cleaning of the Inner Surface for Separated-type Drift Tube Linac
with Dilute Hydrochloric Acid**

Sora ARAI, Satoshi KOSAKA*, Yasuo NEMOTO* and Ryo KITAMURA

Accelerator Division
J-PARC Center, Sector of Nuclear Science Research
Japan Atomic Energy Agency
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received April 3, 2023)

The linac located at the head of the J-PARC accelerators and required to provide the stable and high-quality beam. One of the accelerating cavities in the linac is the Separated-type Drift Tube Linac (SDTL). It is important to appropriately apply the RF power into the cavity for the stable operation. However, after the recovery from the Great East Japan Earthquake, the RF power could not be applied into the cavities for several SDTL cavities because the voltage standing wave ratio increased around the designed operating power. The investigation revealed that the inner surface of the cavity was exposed to high humidity and the backflow of oil from the rotary pump for a long period of time after the earthquake. It was suggested that the residue on the inner surface caused the multipactor resulted in the failure when the power was applied. The residue was wiped out with organic solvents and acids, resulted in solving the failure.

This report describes the method and results of the cleaning for the cavity in 2021.

Keywords: J-PARC, Accelerator, Linac, SDTL, Multipactor, Acid, Cleaning

*NAT Corporation

目 次

1. はじめに	1
2. SDTL 加速空洞の概要と洗浄までの経緯	3
2.1 SDTL 加速空洞の概要	3
2.2 洗浄までの経緯	5
3. 空洞洗浄に用いる薬品	7
3.1 空洞洗浄に用いる薬品の概要	7
3.2 安全対策と洗浄作業備品	8
4. 空洞洗浄作業	10
4.1 空洞洗浄作業前後の工程	10
4.2 簡易クリーンブース	11
4.3 空洞洗浄作業の工程	12
5. 結果	13
6. 考察	17
7. まとめ	18
謝辞	18
参考文献	18

Contents

1. Introduction	1
2. Overview of SDTL cavity and background of cleaning	3
2.1 Overview of SDTL cavity	3
2.2 Background of cleaning	5
3. Chemicals used for cavity cleaning	7
3.1 Overview of chemicals	7
3.2 Safety measures and cleaning equipment	8
4. Cleaning cavity	10
4.1 Procedure before and after cleaning	10
4.2 Clean booth	11
4.3 Procedure of cleaning	12
5. Result	13
6. Discussion	17
7. Summary	18
Acknowledgement	18
References	18

1. はじめに

大強度陽子加速器施設 J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex)¹⁾は、素粒子物理、原子核物理、物質科学、生命科学および原子力など幅広い分野の最先端研究を行うための加速器施設であり、日本原子力研究開発機構 (JAEA) と高エネルギー加速器研究機構 (KEK) で共同運用している。J-PARC の概要図を図 1 に示す。加速器は、初段加速部に相当する 400MeV リニアック、次に 3GeV まで加速するラピッドサイクリングシンクロトロン (RCS) 、さらにそのビームの一部を 30GeV まで加速するメインリングシンクロトロン (MR) で構成され、現在、世界最高クラスの大強度陽子ビーム生成 (RCS で 1MW、MR で 0.75MW) を目指している。リニアックは上流から、イオン源 (IS)、高周波四重極線形加速器 (RFQ)、ドリフトチューブ型線形加速器 (DTL)、機能分離型 DTL (SDTL) 及び環状結合型線形加速器 (ACS) で構成され、図 2 に示すとおり地下の加速器トンネル内に設置されている。

2011 年の東日本大震災後の復旧以降、複数の SDTL 空洞において、設計時の定格運転電力付近で電圧定在波比 (VSWR : Voltage Standing Wave Ratio) が増加して、適切な電力を空洞内へ投入できない不具合が発生した。この不具合の原因は、空洞内表面に汚れが付着によるものと考えられたため、不具合解消のためにこれまで空洞内表面の洗浄を行ってきた。本報告書では、2021 年に実施した希塩酸による空洞洗浄を報告する。

以下に各章について示す。第 2 章では SDTL 空洞の概要と空洞洗浄の経緯について述べる。第 3 章では空洞洗浄に用いた薬品と薬品使用時の安全対策について紹介し、第 4 章では洗浄作業について述べる。第 5 章では結果について述べ、第 6 章は考察を行い、最後の第 7 章で全体のまとめを行う。

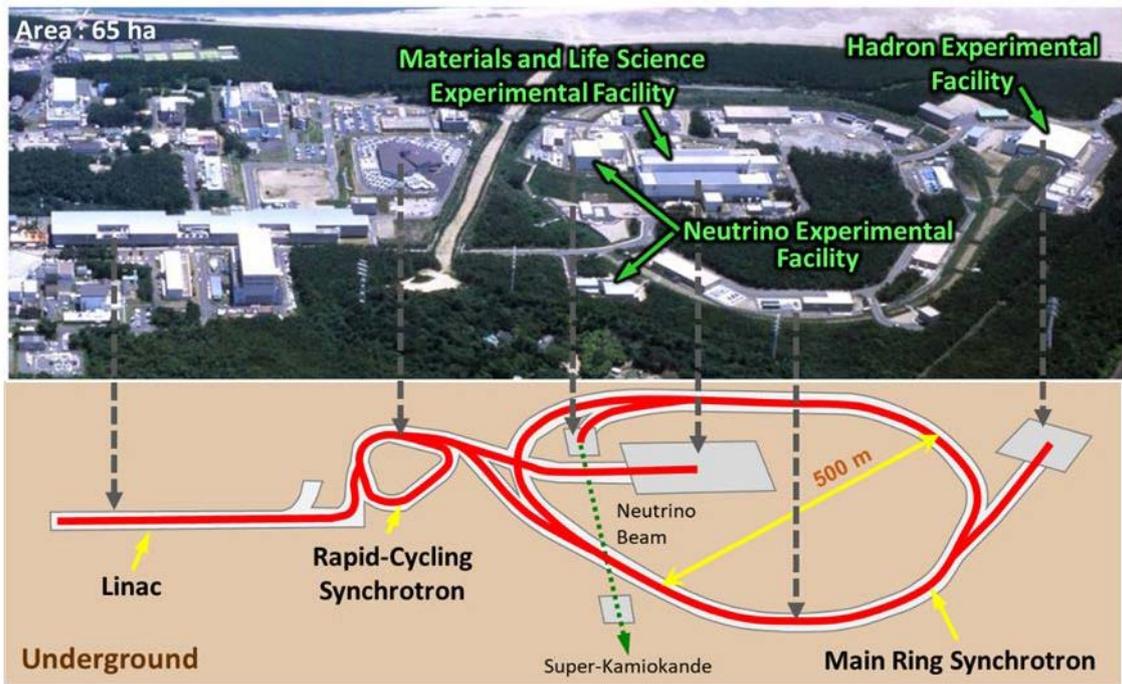


図 1 J-PARC の概要図

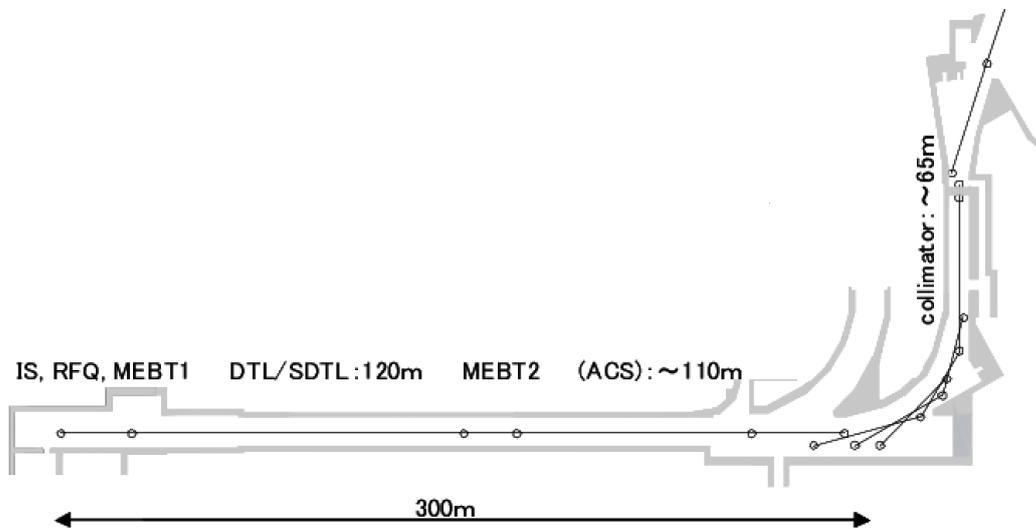


図 2 リニアック加速器トンネル内配置図

2. SDTL 加速空洞の概要と洗浄までの経緯

2.1 SDTL 加速空洞の概要

SDTL 加速空洞の概略図を図 3 に示す。DTL ではドリフトチューブ内に収束用電磁石を内蔵しているのに対し、SDTL では 2 台 1 組のビーム収束用四重極電磁石 (Q-Doublet) を空洞の外部に配置し、ビーム加速とビーム収束の機能を分離している。

SDTL の全体配置図を図 4 に示す。SDTL は全数 32 台の加速空洞で構成され、ビームを 50MeV から 191MeV まで加速する (表 1)。SDTL 空洞 2 台を 1 本のクライストロンでドライブしているため、SDTL は便宜上、上流から SDTL01A、SDTL01B、・・・SDTL16A、SDTL16B と 2 台一組で呼称している。空洞 1 台当たりの投入電力は約 180kW~800kW であるため、クライストロン 1 本あたりの出力電力は 360kW~1,600kW 程度である。

SDTL の主要構成部品を図 5 に示す。SDTL は空洞両端の端板、高周波電力を空洞に入力するための RF カプラー、及び共振周波数を調整するための固定およびオートチューナー等から構成される。今回の洗浄では、空洞内表面のほかに、これらの主要構成部品についても実施した。

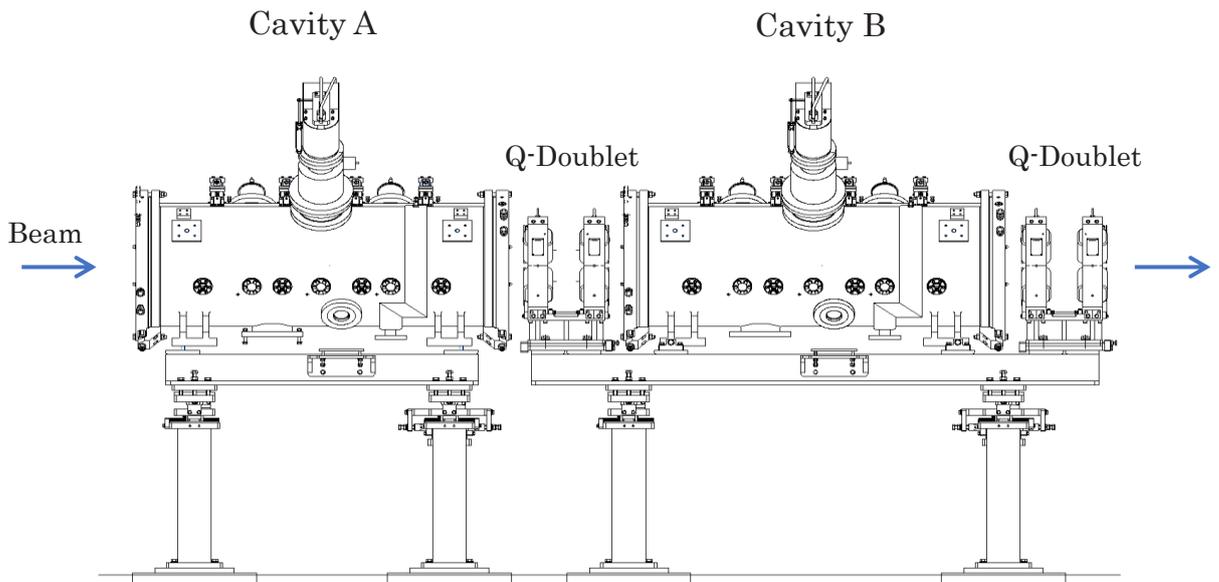


図 3 SDTL 概略図 【参考文献 2) より改変】

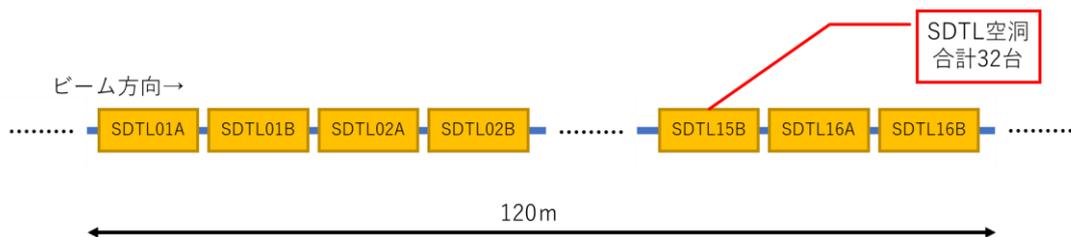


図 4 SDTL 全体配置図

表 1 SDTL 主要パラメータ 2)

Number of cavities	32
Diameter	520 mm
Length	1.5 m(S01A) ~ 2.5 m(S16B)
Drift tube diameter	92 mm
Bore diameter	36 mm
Number of cells	5
Operating frequency	324 MHz
Operating power	180 kW~800 kW
Repetition	25 Hz
Rf macro-pulse width	600 μ s
Energy	50 MeV~191 MeV

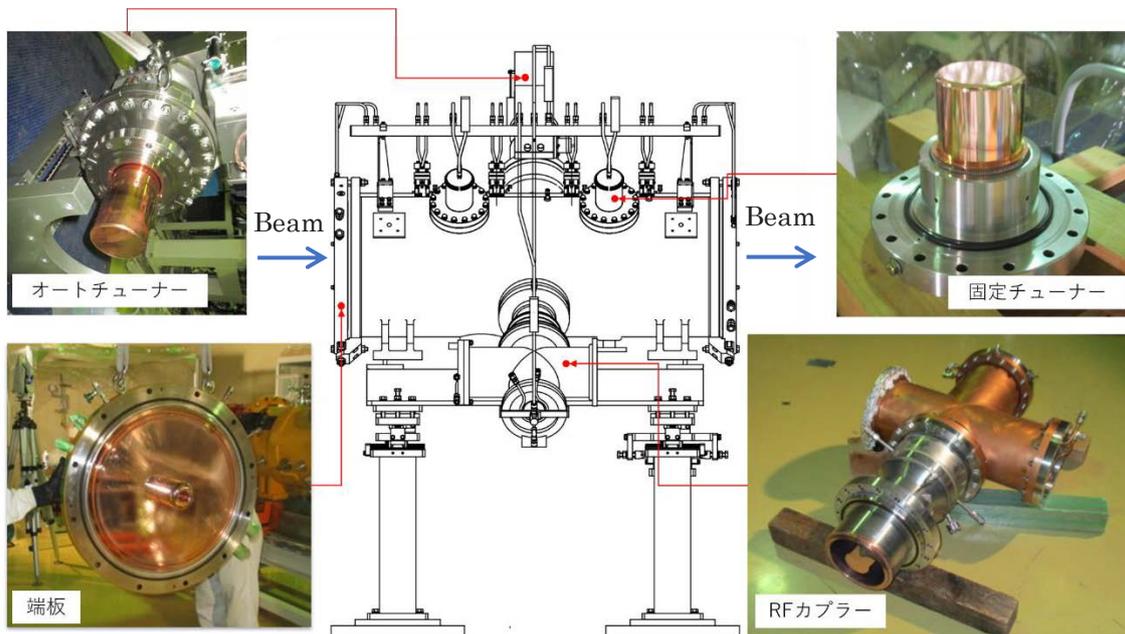


図 5 SDTL の主要構成部品

2.2 洗浄までの経緯

2011年の東日本大震災後の復旧以降、複数のSDTL空洞にて設計時の定格運転電力付近でVSWRが増加して、空洞内へ適切な電力を投入できない事象が発生した。本報告書では、この反射及びVSWRが増加する電力領域を不安定領域と呼ぶ。調査の結果、震災後に空洞内表面が長時間にわたり高湿度の大气にさらされたことや、粗引き用ポンプとして使用していたロータリーポンプからのオイル（油分）などが空洞内表面に付着し汚れたことにより、電力を投入した際にマルチパクタが発生して不安定領域が発生・拡大した原因となっている可能性が示唆された。

不安定領域の拡大はSDTL05A、SDTL05B、SDTL06Aの3空洞で顕著に見られ、そのほかにSDTL04A、SDTL04B、SDTL06Bなどでも同様の不具合が確認された。真空ポンプ増強、真空配管交換および真空ポンプのオイルフリー化（ロータリーポンプからスクロールポンプへ交換）等の対策を行った結果、一時的に不具合症状の改善（不安定領域の縮小）がみられたが、時間経過とともに再拡大するなど根本的な解決には至らなかった。そこで空洞内表面に付着していると思われるオイルを除去できれば不具合症状が改善するのではないか、との検討から空洞洗浄を実施することとなった²⁾。

これまでに SDTL で行った空洞洗浄の履歴を表 2 に示す。2015 年と 2016 年に実施した SDTL05B、SDTL06A、SDTL06B 空洞のアセトン洗浄では、不安定領域が消失し不具合が解消した。2016 年から 2019 年までに実施した SDTL04A、SDTL 04B および SDTL05A 空洞のアセトン洗浄では、一時的に不安定領域が消失したが、約 2 か月後に不安定領域が再拡大した。そのため 2020 年に SDTL05A 空洞について希硫酸による酸洗浄を行った結果、一時的に不安定領域が消失した。しかし、約 6 か月をかけ徐々に不安定領域が再拡大したため、2021 年に SDTL05A 空洞について希塩酸による酸洗浄を実施した。

表 2 空洞洗浄履歴

空洞 年	SDTL04A	SDTL04B	SDTL05A	SDTL05B	SDTL06A	SDTL06B
2015				アセトン 不安定領域消失		
2016			アセトン 一時的に消失した が2か月で再拡大		アセトン 不安定領域消失	アセトン 不安定領域消失
2017	アセトン 一時的に消失した が2か月で再拡大	アセトン 一時的に消失した が2か月で再拡大	アセトン 一時的に消失した が2か月で再拡大			
2018						
2019			アセトン 一時的に消失した が2か月で再拡大			
2020			希硫酸 一時的に消失した が6か月で再拡大			
2021			希塩酸 不安定領域消失			

3. 空洞洗浄に用いる薬品

3.1 空洞洗浄に用いる薬品の概要

これまで空洞洗浄には、有機溶剤（アセトン）、希硫酸および希塩酸を使用した。各薬品の特徴について以下に記すとともに、表 3 にまとめる。

- ・有機溶剤（アセトン）

有機溶剤には、皮脂などの動物性油、樹脂などの植物性油、潤滑油や加工油などの鉱物性油に対して融解性があり、脱脂や有機物による汚れの洗浄に効果がある。

- ・希硫酸と希塩酸

酸洗浄において頻繁に用いられている。希硫酸と希塩酸は、純銅に対してはイオン化傾向が水素よりも小さいため反応することはないが、酸化銅に対しては反応して溶かすことができる。洗浄能力の点では大きな違いはない。希硫酸は揮発性がないため残留しやすいが、希塩酸は揮発性があるため残留しにくい、といった違いがある。

- ・エタノール

有機溶剤に分類され、有害性は低い。洗浄能力はあまり期待できないが、水分をエタノールで置換することで、素早く乾燥させることができる。無水エタノールは、アルコール濃度 99.5vol%以上の水分をほぼ含まない純度の高いエタノールであり、より置換乾燥の効果がある。

表 3 空洞洗浄により期待される効果

薬品名	空洞洗浄で期待される効果
アセトン	有機汚れや油分に対して洗浄力が高いため、ロータリーポンプから逆流した油分や、空洞内表面に付着した不純物と汚れを除去することができる。
希硫酸	空洞内表面の酸化銅を除去することができる。 (揮発性がなく残留しやすい)
希塩酸	空洞内表面の酸化銅を除去することができる。 (揮発性があり残留しにくい)
エタノール	空洞内表面に残留した水分をエタノールに置換し、素早く乾燥させることができる。

3.2 安全対策と洗浄作業備品

今回の洗浄作業の際に使用した各種防護具と備品、使用薬品の安全データシート (SDS) について説明する。

○安全対策

安全対策として、作業に使用する防護具と説明を下記に示す。

防護具

- 安全メガネ
- ポリエチレン手袋
- ポリエチレンエプロン (長袖)
- 防毒マスク
- ヘルメット
- 安全靴

安全メガネは薬品の飛来から眼を保護するために必ず着用する。手袋とエプロンの材質は希塩酸に対する耐薬品性からポリエチレンを採用する。防毒マスクは直結式小型防毒マスクに酸性・有機ガス用の吸収缶を取り付け使用する。

空洞洗浄用ウエス

使用するウエスを図 6 に示す。空洞洗浄においては、目に見えない微細な埃や塵を的確にふき取り、空洞内表面への異物の混入と付着を極力抑えることが重要である。水や油分に対して高い吸収性があること、摩擦強度が高いこと、使い込みよる毛羽立ちがないこと、などの選定条件から微細構造繊維のワイピングクロス (帝人フロンティア製マイクロスター) を使用した。



○クリーンルーム作業に適した
ワイピングクロス

- ・製品名 : ミクロスター
- ・メーカー : 帝人フロンティア
- ・サイズ : 24cm×24cm
- ・素材 : ポリエステル 50%
ナイロン 50%

図 6 ふき取りに使用したウエス

安全データシート

今回の空洞洗浄で使用した、希塩酸及びエタノールに関する注意事項を安全データシートから抜粋し、下記に示す。

○10%塩酸取扱いに関する注意事項³⁾

- すべての安全注意を読み理解するまで取り扱わないこと。
- 使用前に取扱説明書を入手すること。
- この製品を使用する時に、飲食又は喫煙をしないこと。
- 炎及び高温のものから遠ざけること。
- 熱、火花、裸火、高温のもののような着火源から遠ざけること。
- 換気が十分でない場合には呼吸用保護具を着用すること。
- 個人用保護具や換気装置を使用し、ばく露を避けること。
- 呼吸用保護具、保護手袋、保護衣、保護眼鏡、保護面を着用すること。
- 屋外又は換気の良い区域でのみ使用すること。
- ガス、ミスト、蒸気、スプレーを吸入しないこと。
- 取扱い後はよく手を洗うこと。
- 汚染された作業衣を作業場から出さないこと。
- 環境への放出を避けること。
- アルカリ性物質との接触を避けること。

○エタノール取扱いに関する注意事項⁴⁾

- 使用前に取扱説明書を入手すること。
- 全ての安全注意を読み理解するまで取り扱わないこと。
- 熱／火花／裸火／高温のもののような着火源から遠ざけること。
- 容器を密閉しておくこと。
- 容器を接地すること／アースをとること。
- 防爆型の電気機器／換気装置／照明機器を使用すること。
- 火花を発生させない工具を使用すること。
- 静電気放電に対する予防措置を講ずること。
- 粉じん／煙／ガス／ミスト／蒸気／スプレーを吸入しないこと。
- 粉じん／煙／ガス／ミスト／蒸気／スプレーの吸入を避けること。
- 取扱後はよく手を洗うこと。
- この製品を使用するときに、飲食又は喫煙をしないこと。
- 屋外又は換気の良い場所でのみ使用すること。
- 保護手袋／保護衣／保護眼鏡／保護面を着用すること。

4. 空洞洗浄作業

4.1 空洞洗浄作業前後の工程

空洞洗浄作業を行うにあたり、物品の搬入/搬出、作業エリアへの簡易クリーンブースの設置撤去、高周波特性測定、空洞付属機器の取付け/取外し、などの各工程が必要となる。本報告書では詳細な説明は省略するが、作業全体の主な工程を図7に示す。

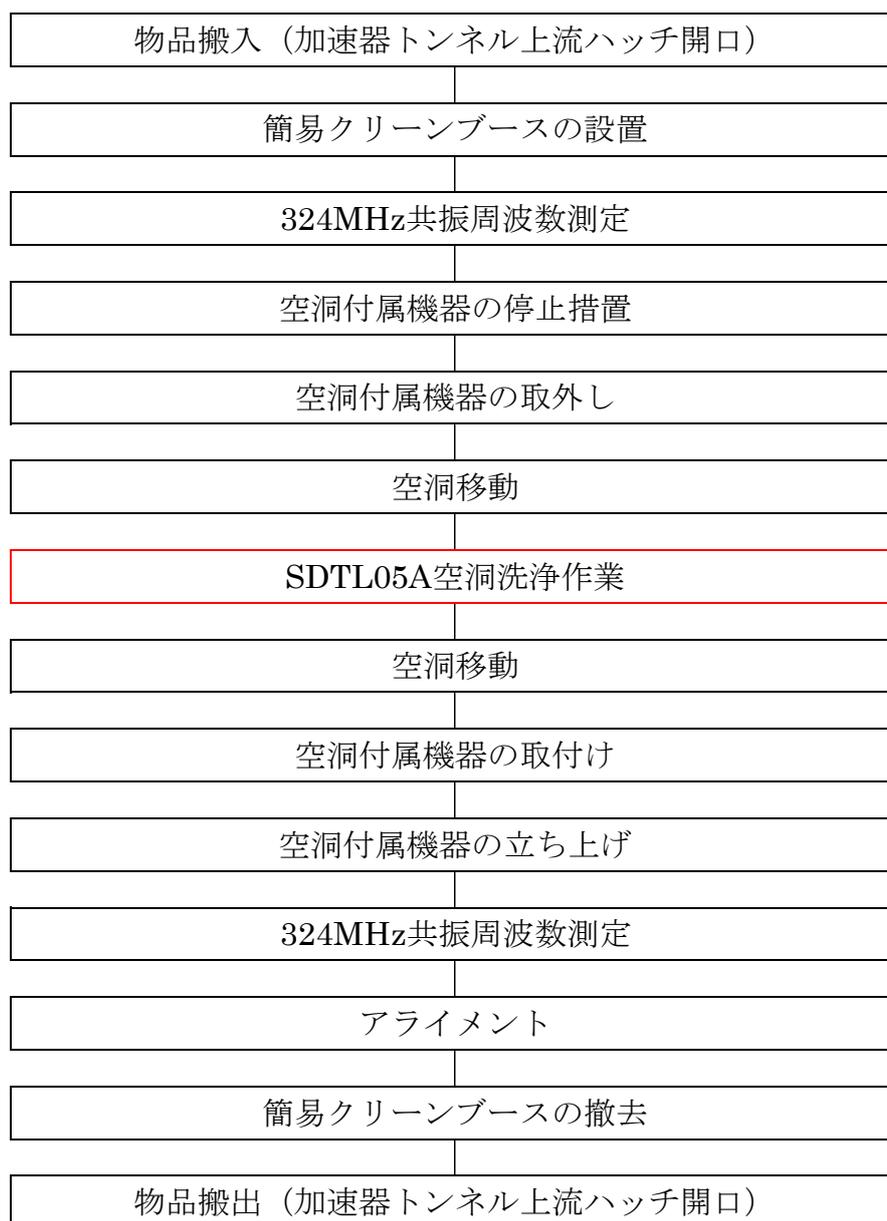


図7 空洞洗浄作業の主な工程

4.2 簡易クリーンブース

空洞洗浄作業は、空洞内への埃や塵の流入や、揮発した洗浄剤が作業外エリアに拡散するのを防ぐために簡易クリーンブース内で実施した。図 8 に簡易ブース、表 4 に HEPA ファンフィルターの仕様、表 5 に吸煙器の仕様をそれぞれ示す。簡易クリーンブースは、作業環境をビニールカーテンで仕切り、高性能の HEPA ファンフィルターを通して埃や塵、異物を除去したクリーンな空気を送り込むことで、局所的にクリーンな環境を作る設備である。また、吸煙器は活性炭フィルタで有機溶剤や酸のガスを吸着する。空洞洗浄作業を行うにあたり、適切な換気を行うことで、使用薬品から発生するガスを人体へ吸入しないこと、空洞内表面に埃や塵、異物の混入と付着を極力抑えることが重要である。



図 8 簡易クリーンブース

表 4 HEPA ファンフィルター仕様

型名	NSF-10AH
処理風量	約10m ³ /min
集塵効率	0.3μm粒子にて 99.97%以上
メインフィルタ	HEPAフィルタ

表 5 吸煙器仕様

型名	Q302
フィルタ	プレフィルタ 活性炭フィルタ エレクトレット不織布フィルタ
処理風量	約4.5m ³ (50Hz) 約5.4m ³ (60Hz)
捕集効率	90%(JIS比色法)
ダクト径	φ65mm(内径)×2
ダクト長	約1.5m×2

4.3 空洞洗浄作業の工程

今回の空洞洗浄作業では希塩酸とエタノールを使用した。図 9 に示すとおり、洗浄作業は主に 2 つの工程で実施する。

○工程 1

希塩酸（今回は入手が容易な濃度約 8% のものを使用した）を用いて洗浄面の酸化銅と思われる変色部分がなくなるまで、酸拭き⇒水拭き⇒乾拭きの工程を繰り返し行う。水拭き工程では、希塩酸は揮発性があるため、薬液が乾燥する前に速やかに水拭きを行う。乾拭き工程は、水拭きで残った水分を乾燥したウエスで拭き取る（図 10 参照）。

○工程 2

酸拭き後は、エタノールを用いて置換乾燥により洗浄面の水分を除去し乾燥させる。仕上げの工程となるため、洗浄面への異物の混入や付着がないように、微細な埃や塵を確実に拭き取ることが重要である。

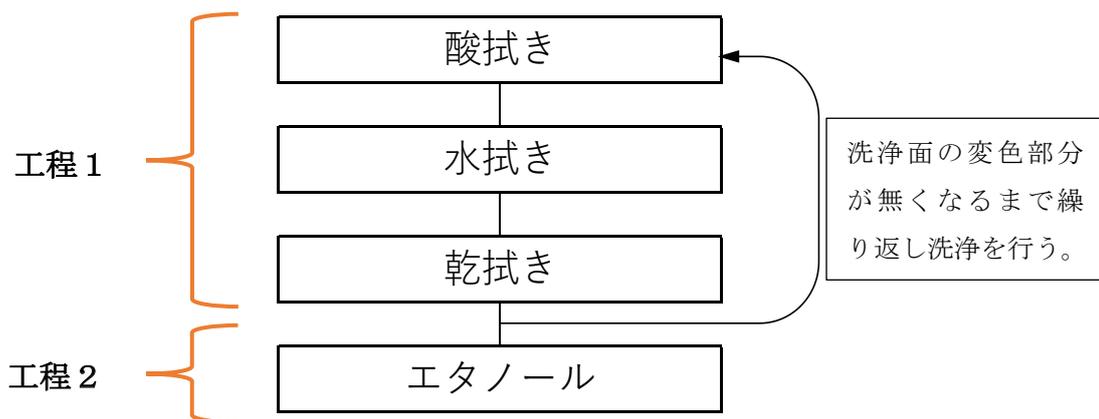


図 9 空洞洗浄作業の工程



図 10 空洞内表面洗浄の様子

5. 結果

空洞洗浄作業前後の空洞内表面の状態を示す。洗浄前（図 11）には黒褐色の酸化銅と思われる跡がみられたが、洗浄後（図 12）には黒褐色の跡は除去された。

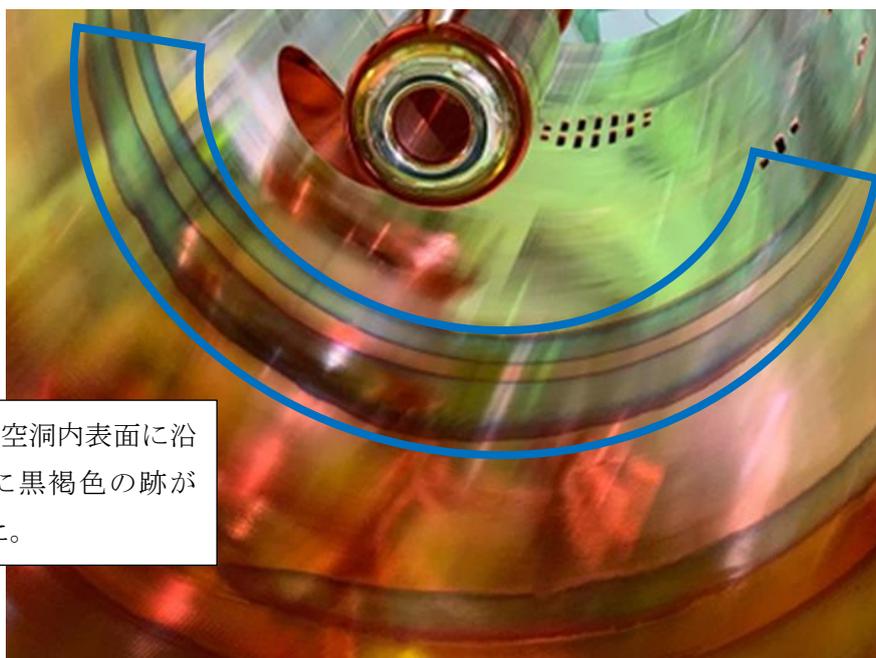


図 11 空洞洗浄作業前

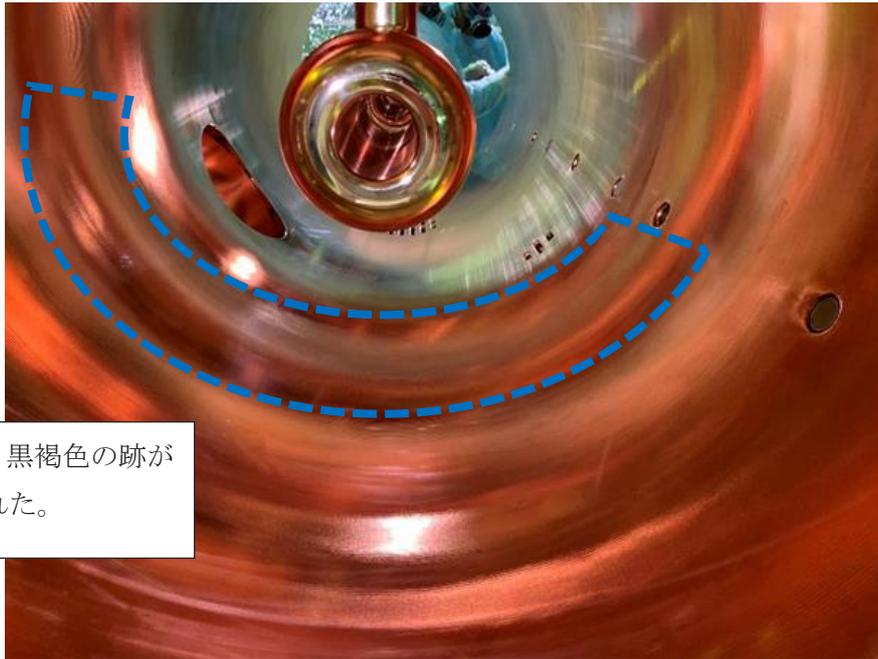


図 12 空洞洗浄作業後

今回の空洞洗浄前の不安定領域測定結果を図 13 に示す。図 13 より 2020 年の空洞洗浄以降、324MHz クライストロン出力電力（約 500kW~900kW）の範囲で、VSWR が時間経過とともに増大していることがわかる。今回の空洞洗浄後の不安定領域測定結果を図 14 に示す。図 14 より VSWR が約 1.6 と一定であり、時間経過による増加傾向がみられないことから不安定領域が消失したことが確認できる。

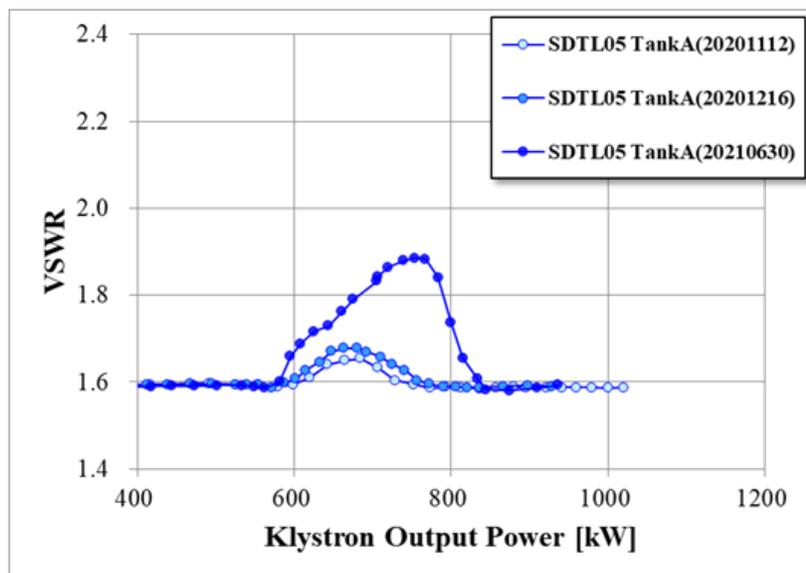


図 13 洗浄前の不安定領域測定 【参考文献 2）より改変】

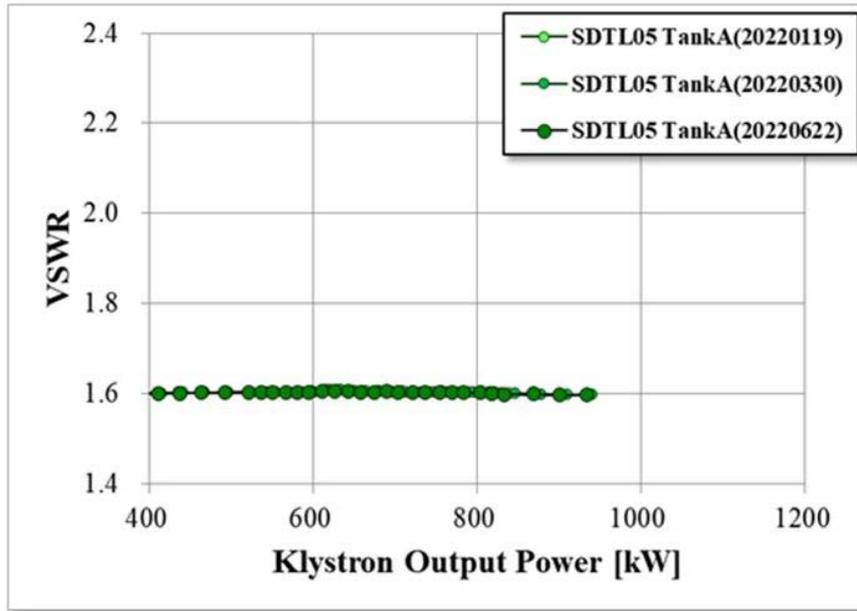


図 14 空洞洗浄後の不安定領域測定 2)

空洞洗浄前後での高周波電力投入時の空洞ピックアップ波形と反射波形を示す。洗浄前（図 15）は波形の乱れが見られたが、洗浄後（図 16）では波形に乱れは無くなり、安定した電力の投入が可能となった 2)。

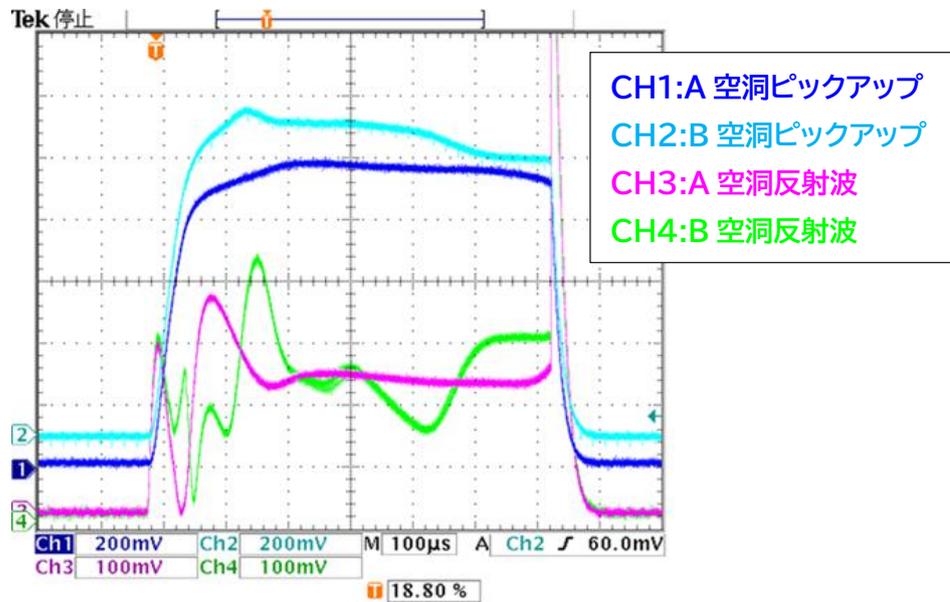


図 15 洗浄前にオシロスコープで測定した波形 2)

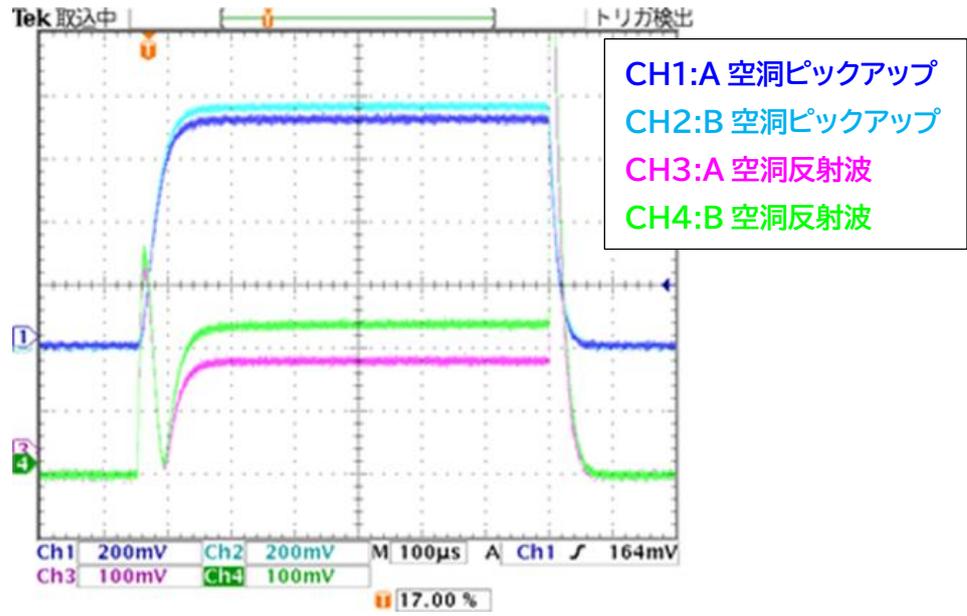


図 16 洗浄後にオシロスコープで測定した波形²⁾

6. 考察

SDTL05A 空洞においては今回で 5 回目の空洞洗浄を実施し、不安定領域が消失したことを確認した。1～3 回目までのアセトン洗浄では、一時的に不安定領域が消失したが、再拡大した。これは微細な粒子や油分はアセトン洗浄で除去することができたが、油分や粉塵などが混ざり合あった汚れは空洞内表面に強固に固着していたため、完全には除去できなかったと考えられる（図 17）。

4 回目、5 回目の希硫酸、希塩酸による酸洗浄では、空洞内表面の酸化銅被膜を融解させると共に、強固に固着した汚れが剥離し、除去されたことで不安定領域が消失したと考えられる（図 18）。酸洗浄が 2 回必要だったのは、2020 年の希硫酸洗浄では作業時に汚れの拭き残しがあり、洗浄が不十分だったからと推測している。2021 年の希塩酸洗浄では、作業時に汚れの拭き残しがないことを丁寧に確認するとともに、揮発性の高い希塩酸を使用することで洗浄効果を高め、汚れを完全に除去できたと考えられる。

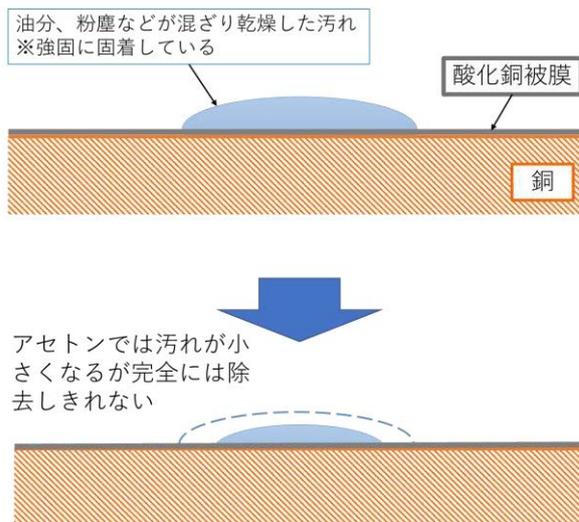


図 17 アセトン洗浄で推測される効果

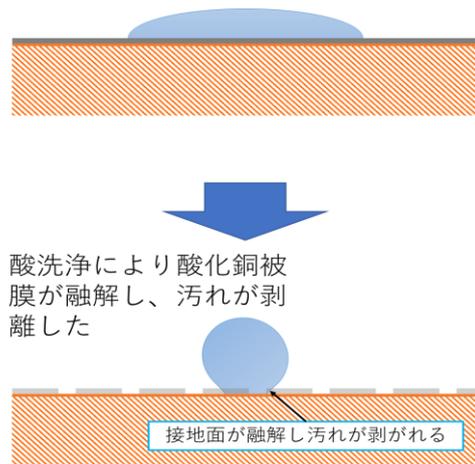


図 18 酸洗浄で推測される効果

7. まとめ

今回、希塩酸による洗浄を行った結果、空洞内表面の変色部分が除去され、不安定領域は消失した。不安定領域が消失したことから、希塩酸による酸洗浄では、酸化銅被膜の融解と共に残留していた汚れが剥離し、完全に除去できたと考えられる。希塩酸洗浄後、経過観察として不安定領域測定を継続したが、16 か月間経過した現在でも不安定領域が出現していないことを確認している。安定した電力を加速空洞に投入するためには、空洞内表面を清浄な状態に保つことが重要である。今後は油分や粒子が混在した汚れに対して、より効果的な薬品及び洗浄方法の模索を行う。

謝辞

本文を執筆するにあたり、作業に協力いただいた三菱電機システムサービス株式会社の皆様や、助言や意見、ご指摘を頂きました多数の方々に深く感謝を申し上げます。

参考文献

- 1) J-PARC センター, J-PARC | 大強度陽子加速器施設 | J-PARC | 大強度陽子加速器施設 | J-PARC の加速器群, <https://www.j-parc.jp/c/facilities/accelerators/index.html>, (accessed 2023-3-30).
- 2) 伊藤崇, ほか, “J-PARC SDTL で発生したマルチパクタ抑制のための空洞内洗浄について”, PASJ2022FROA10, 2022, https://ibic12.kek.jp/mirror/www.pasj.jp/web_publish/pasj2022/proceedings/PDF/FROA/FROA10_oral.pdf, (accessed 2023-3-30).
- 3) 武藤化学株式会社 | SDS 一覧 | 塩酸 10%, https://www.mutokagaku.com/dcms_media/other/%E5%A1%A9%E9%85%B8%2010%25%20SDS.pdf, (accessed 2023-3-30).
- 4) 厚生労働省 | 職場の安全サイト | GHS 対応モデルラベル・モデル SDS 情報 | エタノール, <https://anzeninfo.mhlw.go.jp/anzen/gmsds/64-17-5.html>, (accessed 2023-3-30).

