



JAEA-Technology

2025-005

DOI:10.11484/jaea-technology-2025-005

## MLF低温水素システムの運転・保守及び技術開発 (2018～2022年度)

Operation, Maintenance and Technical Development of Cryogenic Hydrogen System at MLF  
(JFY2018–2022)

麻生 智一 有吉 玄 武藤 秀生 田中 茂人

Tomokazu ASO, Gen ARIYOSHI, Hideki MUTO and Shigeto TANAKA

J-PARCセンター

物質・生命科学ディビジョン

Materials and Life Science Division

J-PARC Center

October 2025

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](mailto: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](mailto:ird-support@jaea.go.jp)

## MLF 低温水素システムの運転・保守及び技術開発 (2018～2022 年度)

日本原子力研究開発機構 J-PARC センター 物質・生命科学ディビジョン

麻生 智一、有吉 玄、武藤 秀生\*、田中 茂人\*

(2025 年 6 月 30 日受理)

J-PARC センターの低温水素システムは、国内外からの多くのユーザーが利用する物質・生命科学実験施設 (MLF) の核破砕中性子源において、発生した高エネルギー中性子を中性子散乱実験に適した冷中性子に減速 (冷却) するために必要な冷凍設備で、非常に重要な設備の一つである。2008 年に初めて中性子利用のための MLF 施設を稼動して以来、低温水素システムも運転と保守を継続的に続けているとともに、関連する技術開発を行っている。本報告書は、近年 5 年間のこれらの活動をまとめたものである。

**Operation, Maintenance and Technical Development  
of Cryogenic Hydrogen System at MLF  
(JFY2018 - 2022)**

Tomokazu ASO, Gen ARIYOSHI, Hideki MUTO\* and Shigeto TANAKA\*

Materials and Life Science Division, J-PARC Center  
Japan Atomic Energy Agency  
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received June 30, 2025)

The cryogenic hydrogen system of the J-PARC center is one of the most important pieces equipment, which is a refrigeration system for moderating (cooling) the high energy neutrons generated the spallation neutron source of the Material and Life Science Experimental Facility (MLF) that is used by many users from Japan and abroad. Since the first operation of the MLF for neutron use in 2008, the cryogenic hydrogen system has been continuously operated and maintained, and related technology development has been carried out. This report summarized these activities over the past five years.

**Keywords:** Cryogenic Hydrogen System, J-PARC, MLF

---

\* NAT Corporation

## 目 次

|                      |    |
|----------------------|----|
| 1. はじめに.....         | 1  |
| 2. 概要 .....          | 3  |
| 3. 運転管理.....         | 4  |
| 4. 保守管理.....         | 12 |
| 5. 高圧ガス製造施設の管理 ..... | 26 |
| 6. 主な改善と技術開発 .....   | 29 |
| 7. 主な不具合事象と対策 .....  | 38 |
| 8. あとがき .....        | 46 |
| 謝辞.....              | 47 |
| 参考文献 .....           | 47 |

## Contents

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 1. Introduction .....                                        | 1  |
| 2. Overview .....                                            | 3  |
| 3. Operation management .....                                | 4  |
| 4. Maintenance management .....                              | 12 |
| 5. Management for high pressure gas production facility..... | 26 |
| 6. Improvements and technical development.....               | 29 |
| 7. Multifunctions and countermeasures.....                   | 38 |
| 8. Afterword .....                                           | 46 |
| Acknowledgements .....                                       | 47 |
| References.....                                              | 47 |

## 表リスト

|           |                                  |    |
|-----------|----------------------------------|----|
| Table 4.1 | 低温水素システムのヘリウム圧縮機 メンテナンス計画表 ..... | 48 |
| Table 4.2 | 低温水素システムの冷却塔の保守計画表 .....         | 49 |
| Table 4.3 | 低温水素システムの定検、水素系、真空計等の保守計画表 ..... | 50 |
| Table 4.4 | 冷却塔水質分析測定項目と基準値 .....            | 51 |

## 図リスト

|         |                                   |    |
|---------|-----------------------------------|----|
| Fig.1.1 | 低温水素システムの概要.....                  | 1  |
| Fig.1.2 | MLFにおける低温水素システムの配置.....           | 2  |
| Fig.3.1 | 2018 年度運転概要.....                  | 5  |
| Fig.3.2 | 2019 年度運転概要.....                  | 6  |
| Fig.3.3 | 2020 年度運転概要.....                  | 8  |
| Fig.3.4 | 2021 年度運転概要.....                  | 9  |
| Fig.3.5 | 2022 年度運転概要.....                  | 11 |
| Fig.4.1 | 圧縮機と油分離ユニットの構成.....               | 12 |
| Fig.4.2 | 水素循環ポンプの概略図.....                  | 17 |
| Fig.4.3 | 圧力伝送器の校正作業概要図 .....               | 19 |
| Fig.4.4 | 異常診断システム（FFT）の構成図 .....           | 23 |
| Fig.4.5 | 制御システムの構成図 .....                  | 24 |
| Fig.6.1 | ヘリウム圧縮機用冷却塔の概略系統図.....            | 29 |
| Fig.6.2 | 冷却塔ファンの切り替え回路 .....               | 29 |
| Fig.6.3 | 繰り返し変位に対するアキュムレータのベローズ寿命曲線.....   | 30 |
| Fig.6.4 | 水素ガス充圧パージの圧力動向.....               | 31 |
| Fig.6.5 | 水素ガス最終充圧の圧力動向 .....               | 32 |
| Fig.6.6 | 水素循環系の圧力制御の概要 .....               | 33 |
| Fig.6.7 | 「受入ビーム不一致」のフローチャート .....          | 35 |
| Fig.6.8 | 「受入ビーム不一致」のシーケンス回路.....           | 35 |
| Fig.7.1 | コールドボックスとセーフティボックスの真空排気系の構成 ..... | 38 |
| Fig.7.2 | クールダウン時の冷凍機温度とヘリウム流量の変化.....      | 43 |
| Fig.7.3 | バルブ開度とストロークの関係.....               | 44 |

## 写真リスト

|            |                                                    |    |
|------------|----------------------------------------------------|----|
| Photo 4.1  | 圧縮機本体の分解点検 .....                                   | 13 |
| Photo 4.2  | 油分離器のエレメント交換と油吸着器の活性炭交換.....                       | 14 |
| Photo 4.3  | ガス冷却器の開放点検 .....                                   | 14 |
| Photo 4.4  | 潤滑油の交換.....                                        | 14 |
| Photo 4.5  | 散水ポンプの開放点検 .....                                   | 15 |
| Photo 4.6  | 水ポンプの開放点検.....                                     | 15 |
| Photo 4.7  | 安全弁検査のための取外し.....                                  | 16 |
| Photo 4.8  | 気密検査（液体窒素貯槽） .....                                 | 16 |
| Photo 4.9  | 水素循環ポンプの取外し .....                                  | 17 |
| Photo 4.10 | 油回転ポンプの更新.....                                     | 18 |
| Photo 4.11 | ターボ分子ポンプ .....                                     | 18 |
| Photo 4.12 | 屋外高所配管保守点検作業の様子.....                               | 22 |
| Photo 5.1  | ADS3 号機の実外し（SI 取外し）（左）と ADS4 号機の実置（SI 復旧）（右） ..... | 27 |
| Photo 5.2  | V207 の気密検査（左）と V107 の気密検査（右） .....                 | 27 |
| Photo 6.1  | ヘリウム置換用真空ポンプと運転操作盤.....                            | 36 |
| Photo 6.2  | ターボ分子ポンプと振動計.....                                  | 37 |
| Photo 6.3  | コールドボックス真空度測定用コンパクト真空計追加.....                      | 37 |
| Photo 7.1  | C1 チャンバ全景とリーク箇所 .....                              | 40 |
| Photo 7.2  | タービンの交換作業.....                                     | 41 |

This is a blank page.

水素供給系

窒素ブランケット層

ヘリウム供給系

コールドボックス

Heパッファタンク

タービン

圧縮機

熱交換器

内部吸着器 (ADS)

油分離器

液体窒素貯槽

液体窒素

真空層

水素循環ユニット

ヘリウムブランケット層

水素循環ポンプ

OP変換器

熱交換器

アキュムレータ

ヒータ

水素1.5MPa, 18K

真空層

水素輸送配管

接続カプラ

非結合型モデレータ

ポイズン型モデレータ

水銀ターゲット

陽子ビーム

結合型モデレータ

ヘリウム冷凍システム

水素循環システム

- 1 -

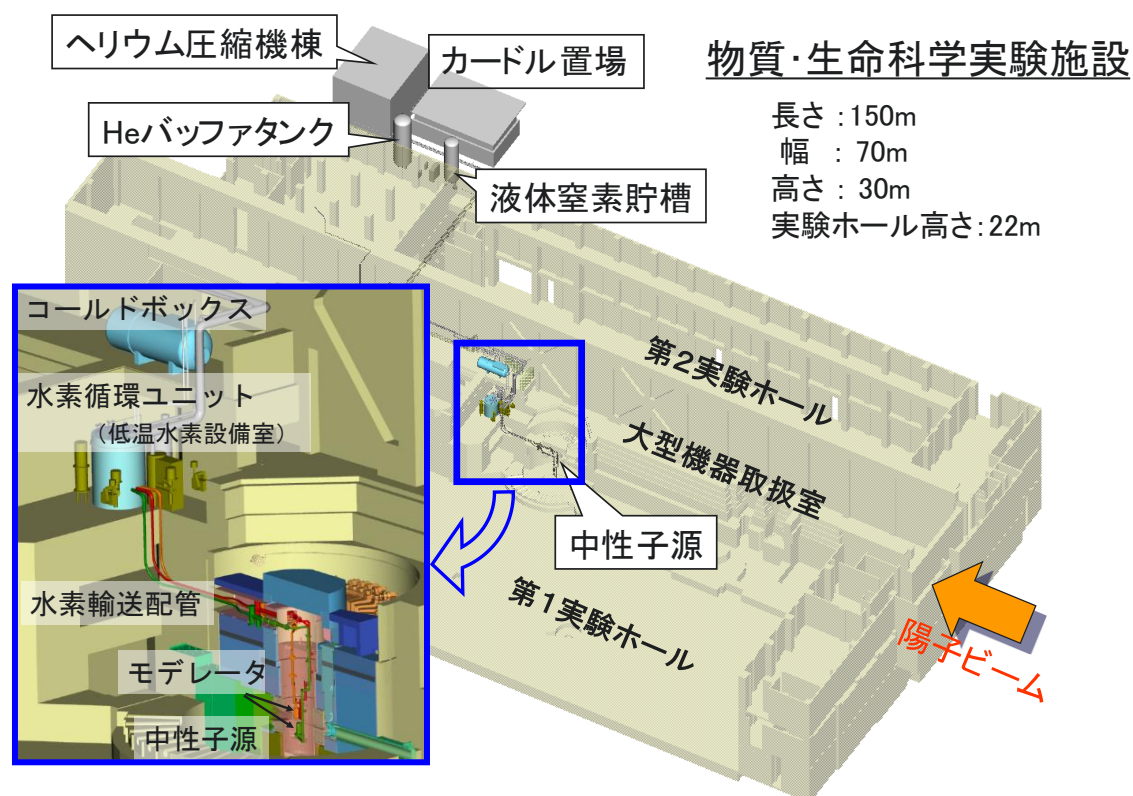


Fig.1.2 MLF における低温水素システムの配置

Fig.1.2 は低温水素システムの MLF における配置である。MLF 建屋中央に中性子源があり、中心である水銀ターゲットの上下に 3 基のモデレータを配置し、水素、真空、水素（戻り）、真空、He ブランケット、冷却水の多重管である水素輸送配管で液体水素を循環し、ヒータ、アキュムレータ、水素循環ポンプ、オルソパラ変換器、熱交換器からなる水素循環ユニットを低温水素設備室に置いた。液体水素は、ヘリウム冷凍システムとの熱交換で冷却し、冷凍機のコールドボックスは大型機器取扱室に置いて、MLF 屋外のヘリウム圧縮機棟の圧縮機や油分離器と配管で接続している。屋外にはその他に、圧縮機用の He バッファタンク、冷凍機予冷用の液体窒素貯槽、水素、ヘリウム冷媒用の水素カードル、ヘリウムカードル置場がある。

低温水素システムは、2004 年度から設計製作が始まり、2006 年から据付工事が行われて、2008 年 3 月に高圧ガス製造施設（冷凍）第一種製事業所として完成検査証を受理した。その後、2008 年 5 月に陽子ビームを受け入れて初めて中性子生成に成功して以来、加速器の運転に合わせて中性子実験ユーザーに冷中性子を供給するために、低温水素システムの運転とそのための保守・点検や技術開発を継続している。本報告書では、2018 年度から 2022 年度までの運転・保守等の業務をまとめた。

## 2. 概要

2018 年度から 2022 年度まで行った低温水素システムの運転・保守管理、高圧ガス製造施設としての取り組み、技術的な改善事項、主な不具合事象の概要は以下のとおりである。

### (1) 運転・保守管理

低温水素システムの運転・保守管理については、ビーム利用運転の計画に合わせて低温水素システムの運転を行い、夏季保守期間に必要な保守を行った。夏季保守に入る直前に、1 MW ビーム受入試験として 2018 年度に初めて定格の 1 MW 相当のビームを受け入れてから 2022 年度まで毎年試験を実施し、各設備で異常がないことを確認した。

MLF の利用運転に関しては、2020 年度は COVID-19 による自粛要請、気体廃棄物処理設備に関わる作業の遅れ、2021 年度はターゲット交換に関わる作業の遅れにより、当初計画より期間が短縮された。

### (2) 高圧ガス製造施設としての管理

高圧ガス製造施設として法令に基づいた管理として、日常点検、月例点検、定期自主検査、夏季保守における各機器の保守を通して技術上の基準を維持した。毎年施設検査を行い、茨城県冷凍設備保安協会の立会の下、定期自主検査等の書類検査と現場確認で問題がないことを確認し、冷凍空調施設検査証を受理した。2022 年度には茨城県の立ち入り検査を受検し、同様に書類検査と現場確認で冷凍施設の管理状況が適合していることを確認した。

申請関係として、2019 年度に冷凍機コールドボックス内の内部吸着器 (ADS) 更新のための高圧ガス製造施設等変更許可申請、2021 年度にヘリウム圧縮機のパルプ交換のための高圧ガス製造施設軽微変更届の手続きを行った。

### (3) 技術的な改善事項、高度化

2021 年度の夏季保守において、建設当初から運用していた制御システム (VME) を更新した。VME の基板等の生産が中止されて、その予備品も消耗していた。新たに EzMPICS を導入し、運用に入った。また、低温水素システムの高度化のために、作業の自動化等を進めた。

### (4) 主な不具合事象

2018 年度から 2022 年度にかけていくつかの不具合が生じたが、利用運転には支障はなかった。具体的には、2020 年 6 月の計画停止時にセイフティボックス及びコールドボックスの真空度劣化事象、定期自主検査後に C1 チャンバのリーク事象、10 月の試運転時に回転センサー不具合によるタービントリップ、12 月の運転中にサブ CPU の不具合事象があった。2021 年の保守後には、ポジショナー更新の調整不足による冷却速度異常があった。各々の不具合事象に対して対策を行い、運転を維持した。

### 3. 運転管理

#### 3.1 2018 年度

Fig.3.1 に 2018 年度の低温水素システムの運転概要を示す。積算運転日数は 242 日であった。冷媒ガスとしての水素ガスカードル (300 m<sup>3</sup>) を 3 基、冷媒ガスだけでなく水素安全のためのブランケットガスやパージ用ガス、その他の施設の用途としてのヘリウムガスカードル (225 m<sup>3</sup>) を 7 基消費した。また、主にヘリウム冷凍機の第 1、第 2 熱交換器の予冷に使用する液体窒素を 527,700 kg 消費した。

本システムの運転は前年度から継続し、4/5 から 6/29 9 時までの期間を計画どおりビーム利用運転に供した。その後、7/3 13 時 30 分から 14 時 30 分まで 1 時間、定格出力である 1 MW 相当 (930kW) のビームの受け入れを MLF で初めて行った。このビーム受入試験の際、モデレータの出入口温度差が 2.5 K で設計値の 3 K 以下に収まり、水素循環系の圧力上昇が 65 kPa で設計値の 80 kPa 以下となってアキュムレータ及びヒータによる圧力制御機能が設計どおりに動作したことを確認した。1 MW ビーム受入試験の終了後、7/4 から 7/5 にかけてウォームアップを行い、夏季保守期間に入った。

夏季保守期間の後、10/21 のビーム利用運転開始に備えて、10/1 から精製運転を開始した。10/15 から水素系の準備 (水素カードル準備、水素供給系統準備、水素充圧パージ開始) を行い、10/18 14 時頃からクールダウンを開始して、翌日 10/19 17 時頃に定格運転とした。

10/21 からビーム利用運転が始まり、12/16 9 時に終了、この後 12/17 にオルソパラ変換器バイパス試験を行った。水素はオルソ水素とパラ水素の 2 種類の磁性体があり、それぞれで中性子断面積が大きく異なる。通常、低温 18 K では約 1 週間かけて 99%以上のパラ水素比となり、モデレータにおける中性子強度 (中性子の数) の設計はこの条件で計算される。僅かでもオルソ水素が増えると中性子断面積の違いで中性子強度が低下するので、パラ水素比を常に 99%以上に維持するために触媒 (Fe(OH)<sub>3</sub>) を入れたオルソパラ変換器を導入した<sup>2)</sup>。これによって、クールダウン後の液体水素 18 K で直ちにパラ水素比は 99%以上になり、陽子ビーム入射時に生じると言われている逆変換によるオルソ水素比の増加も抑えることができる。オルソパラ変換器バイパス試験は、次年度に計画したオルソパラ変換器の性能試験のために、運転中にオルソパラ変換器をバイパスして準備にかかる時間や水素循環系機器の状況を事前に確認したものである。約 90 分をかけてバイパスが完了し、一時的にバイパス内の温かいガスによって 19 K まで温度上昇したが、アキュムレータ及びヒータ制御によって直ちに 18 K 安定となることを確認して、次年度の試験計画の目途を得た。

試験後、12/18 10 時頃からウォームアップを開始し、12/19 に運転を終了した。12/23 から 12/24 にかけて停電があったためその処置を行い、12/25、26 の両日にタービン入口フィルタを点検して、12/27、28 で後処理 (真空置換) を行った。タービン入口フィルタの点検は、10/18 のクールダウン時にタービン出入口圧力差が従来より大きい傾向にあったので開放点検したもので、活性炭による汚れが確認できたためフィルタ交換を行った。翌年のクールダウンではタービン出入口圧力差はこれまでどおりに復旧した。年末年始期間は、冷却塔は凍結防止のため運転

を継続とした。

年始の運転は、1/7 から精製運転を開始し、1/11 から水素系の準備、1/17 14 時頃からクールダウンを開始して、翌日 1/18 16 時頃に定格運転に到達した。1/23 から 3/25 9 時まで計画どおりビーム利用運転に供した。

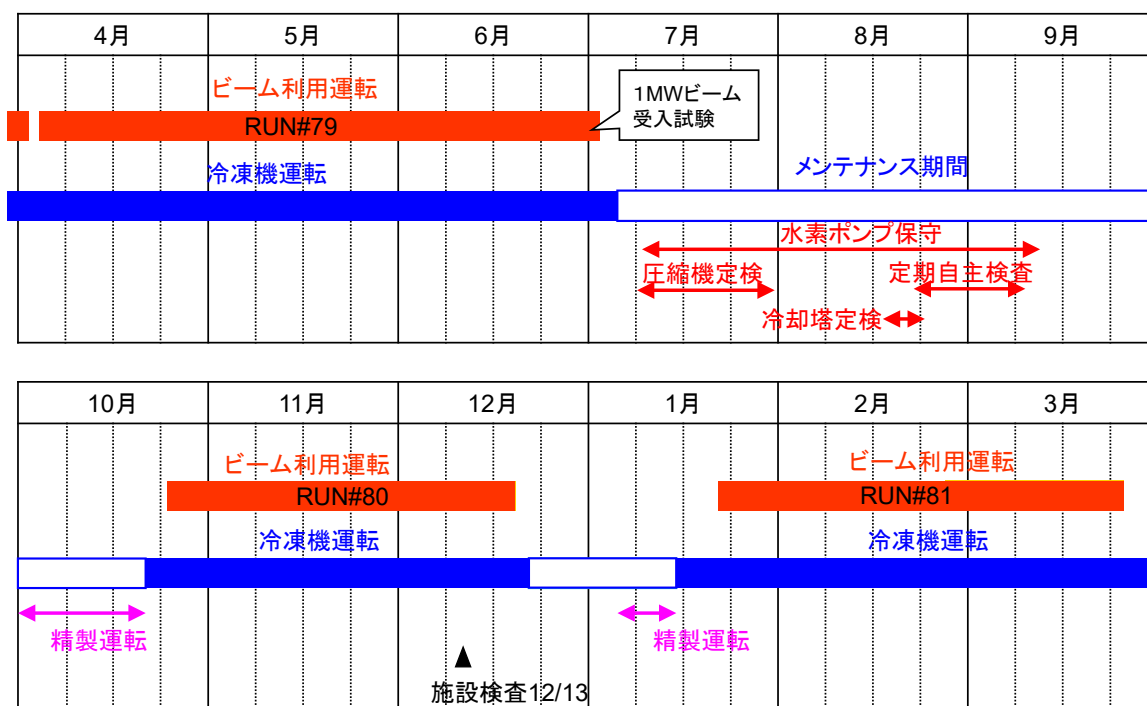


Fig.3.1 2018 年度運転概要（枠から外れた運転の線は継続を意味する）

### 3.2 2019 年度

Fig.3.2 に 2019 年度の低温水素システムの運転概要を示す。積算運転日数は 201 日であった。水素ガスカードル（300 m<sup>3</sup>）を 4 基、ヘリウムガスカードル（225 m<sup>3</sup>）を 7 基、液体窒素を 520,500 kg 消費した。

本システムの運転は前年度から継続し、4/2 から 5/1 までと 5/8 から 7/3 9 時までの期間を計画どおりビーム利用運転に供した。その後、7/3 から 7/4 まで 1 MW ビーム受入試験を約 10 時間行い、3 つのモデレータ入口弁開度によって水素流量を調節して、モデレータ出入口温度差を均一にできることを確認した。また、オルソパラ変換器をバイパスして、500 kW 出力のビームを受けながら、水素循環系内の水素をサンプリングしてオルソパラ水素比測定試験を行った。これは陽子ビーム照射によるパラ水素の逆変換（オルソ化）を確認する試験で、結果、オルソ水素の増加は認められたが、バイパスした変換器からの流出したオルソ水素も含まれていると評価された<sup>2)</sup>。試験終了後、7/4 から 7/5 にかけてウォームアップを行い、昇温中の温度に対する基礎データ取得のためにオルソパラ水素比測定を行い、夏季保守期間に入った。

夏季保守では、活性炭吸着器（OS-5）の活性炭交換を計画し、活性炭再生作業の工程を加えた。また、2015 年から冷凍機の性能劣化を起こした油の蓄積の対策<sup>3)</sup>として、2016 年に交換し

た内部吸着器（ADS）（3号機）を調査及び改良のため、4号機と交換した。交換後、高圧ガス製造施設変更許可に基づく完成検査のために10月に試運転を行った。試運転に際して9/25から精製運転を開始し、10/14 14時頃からクールダウンを始めて、10/15 15時過ぎに定格運転に到達した。10/17 9時まで定格運転を維持した後、ウォームアップを行って、10/18に運転停止した。冷却、定格、昇温の一連の試運転で異常はなく、10/21に茨城県の完成検査を受検して完成検査証を受理した。冷凍機運転を再開するために11/25から精製運転を開始した。11/28から水素系の準備を行って、12/2 14時過ぎからクールダウンを開始して12/3 15時過ぎに定格運転に到達した。

12/7から12/19 9時までビーム利用運転に供した後、オルソパラ水素比測定試験（ビーム受入れ時、オルソパラ変換器バイパス時）を12/21まで実施した。12/22 17時過ぎからウォームアップ及び精製システムの再生を開始し、オルソパラ水素比測定のサンプリングを200 K、290 Kの温度で行って、次回の準備のためのHeバッファタンクへの充圧を行いつつ、12/24にウォームアップを終了した。年末年始期間は、冷却塔は凍結防止のため運転を継続とした。

年始の運転は、1/6から精製運転を開始し、1/8から水素系の準備、1/11 14時頃からクールダウンを開始して、翌日1/12 16時頃に定格運転に到達した。1/14から3/31まで計画どおりビーム利用運転に供した。

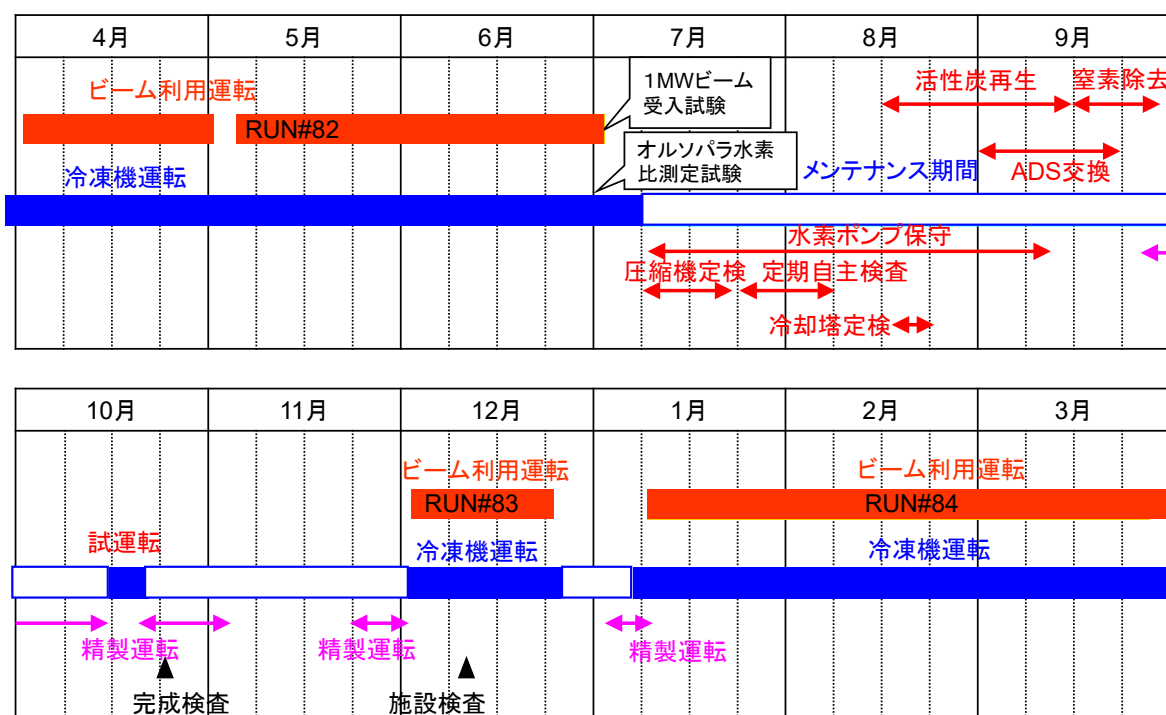


Fig.3.2 2019年度運転概要

### 3.3 2020年度

Fig.3.3 に 2020 年度の低温水素システムの運転概要を示す。積算運転日数は 204 日であった。水素ガスカードル（300 m<sup>3</sup>）を 5 基、ヘリウムガスカードル（225 m<sup>3</sup>）を 5 基、液体窒素

を 475,800 kg 消費した。

本システムの運転は前年度から継続し、4/1 から 4/22 までの期間を計画どおりビーム利用運転に供した。このあと COVID-19 感染拡大に伴う茨城県からの行動自粛要請を受けて、ビーム利用運転が中断した後、5/15 から再開した。本システムは、運転中アクリル板によるソーシャルディスタンスの確保やマスク着用の義務、シフト引き継ぎ時の 1.5m 以上距離をとった引き継ぎ、定期的な換気・アルコール拭き、蓋無し飲料禁止などの独自ルールを作って感染対策を徹底し、ビーム利用運転の中断中でも運転を継続した。これは、本システムを運転停止して再度定格運転の状態とするまでに最低 5 日間を必要とするため、行動自粛要請が解除された際、いつでもビーム利用運転を再開できるようにするためである。

ビーム利用運転が再開後、6/24 まで 600 kW のビーム利用運転に供し、6/25 から 6/27 までは定格出力である 1 MW のビーム利用運転が 2 日間連続で実施され、これに供した。このとき、容積が非結合型及びポイズン型モデレータの 1.5 倍の結合型モデレータの出入口温度差を 3 K 以内とするため、モデレータ入口弁開度と水素循環流量の調整を行った。その結果、水素循環流量を 10% 上げることで結合型モデレータの出入口温度差を 3 K から 2.7 K に下げることができた。冷凍機の運転はその後 6/27 13 時過ぎからウォームアップを開始して、6/29 8 時にウォームアップを終了した。通常より時間がかかった理由は、ウォームアップ開始時にコールドボックスのターボ分子ポンプが停止し、セーフティボックスの真空度劣化があったため、真空ブレイクを行いながら手で昇温を行ったことによるものである。詳細は第 7 章に記述する。停止後、夏季保守期間に入った。

11 月からビーム利用運転の計画であったが、気体廃棄物処理設備及び水銀標的交換の作業の遅れによって延期された。このため、低温水素システムでは試運転を行って、夏季保守で行った真空度劣化事象の対策を確認することとした。10/12 から精製運転を行い、10/22 15 時過ぎからクールダウンを開始したところ、10 時間後にタービントリップにより運転が停止した。詳細は後述するが、回転センサーの断線によって回転数の信号が設定値 (2,600 rps) を超えたためであった。回転センサーをタービンと一体で予備品と交換し、11/9 14 時からクールダウンを再開した。11/10 15 時過ぎに定格運転に到達して、11/12 10 時頃まで定格運転維持に異常がないことを確認後、ウォームアップを行って、11/13 に運転停止した。試運転の結果、タービン及び真空度劣化に異常はなかった。この時、計装チャンバ C1 において、約 20 Pa/h の He ブラケットの圧力降下を確認し、リーク箇所を接着剤で応急措置を行ってリークを止めた。

その後、12/1 からのビーム利用運転に供するために運転準備を実施して、11/26 14 時過ぎからクールダウンを開始し、翌日 11/27 15 時過ぎに定格運転に到達させた。

12/1 から 12/22 9 時まで計画どおりビーム利用運転に供し、同日 10 時過ぎからウォームアップを開始して、12/23 15 時過ぎにウォームアップを終了した。年末年始期間は、冷却塔は凍結防止のため運転を継続とした。

年始の運転は、1/4 から精製運転を開始し、1/5 から水素系の準備、1/8 14 時頃からクールダウンを開始して、翌日 1/9 16 時頃に定格運転に到達させた。1/12 から 3/31 まで計画どおりビーム利用運転に供した。

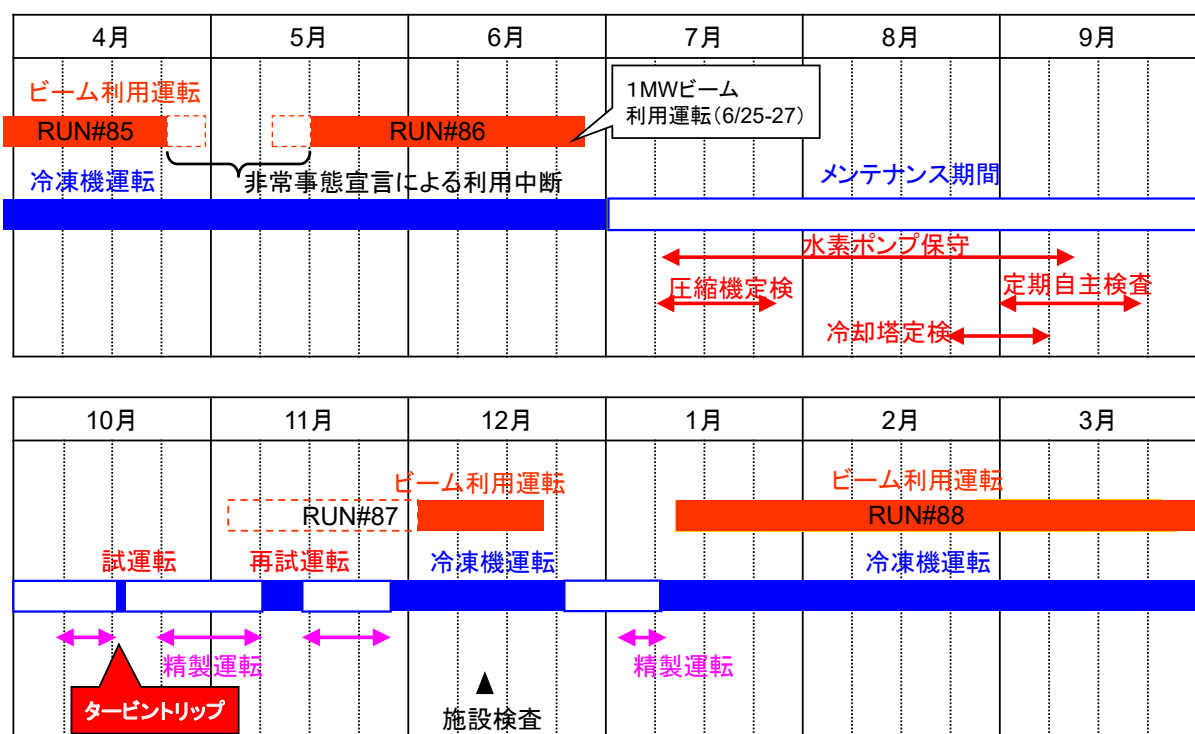


Fig.3.3 2020 年度運転概要

### 3.4 2021 年度

Fig.3.4 に 2021 年度の低温水素システムの運転概要を示す。積算運転日数は 188 日であった。水素ガスカードル (300 m<sup>3</sup>) を 7 基、ヘリウムガスカードル (225 m<sup>3</sup>) を 6 基、液体窒素を 471,400 kg 消費した。

本システムの運転は前年度から継続し、4/2 から 4/30 までと 5/10 から 7/15 9 時までの期間を計画どおりビーム利用運転に供した。4/30 から 5/10 まではビーム利用運転休止期間であったので、本システムも一時休止して制御システムの電源ユニット交換を行った。これは、前年度の夏季保守停電の復旧時に 2 重化していた電源ユニットが一時不具合を生じたことがあったので、予防保全のために準備したものと交換した。

4/30 9 時にビーム利用運転が停止した後、パラ水素比測定用サンプリングを行い、10 時過ぎからウォームアップを開始した。ウォームアップ中、精製システムの再生を並行して行い、5/1 16 時にウォームアップ終了して運転を停止した。その後、制御システムの電源ユニットの交換を行って、運転準備を開始した。5/7 14 時過ぎからクールダウンを開始し、翌日 5/8 18 時頃に定格運転に到達させ、5/10 17 時半からのビーム利用運転に供した。

7/15 9 時まで計画どおりビーム利用運転に供した後、1 MW ビーム受入試験が 7/17 9 時まで行われた。本システムとしては定常どおりの運転維持を確認した。1 MW ビーム受入試験が終了後、7/17 9 時過ぎからウォームアップを開始し、翌日 7/18 14 時に終了して、夏季保守期間に入った。

夏季保守において、圧縮機の活性炭吸着器（OS-5）入口弁を交換したことに伴い、一時的に OS-5 が開放されて大気が混入したので、加熱室素パージによる水分除去として 8/19～9/11 に活性炭再生作業を実施した。また、制御システムの更新を行ったため、10/4 から精製運転を開始して、低温水素システムの試運転を行った。試運転は、10/18 からクールダウン開始して 10/19 に定格運転到達、10/21 からウォームアップを開始して 10/22 に運転停止した。制御システムの更新については試運転の結果に異常はなかったが、夏季保守で行った冷凍機自動弁のポジショナーの交換における調整不足によって、ヘリウム流量が多くなり、クールダウンの冷却速度が速すぎることが判明した。具体的には、クールダウン時の初期のヘリウム流量が通常 40 g/s のところが 80 g/s と 2 倍になり、9 時間で 40K ホールドポイントに達するところが 6 時間で到達した。熱交換器の高温端と低温端の温度差が広がることによる機器の損傷を危惧し、ポジショナーの再調整を行ってバルブ開度とストロークを正常な比例関係に整えた。12 月に再度試運転を行った結果、バルブ開度に対する実際の流量の誤差により、クールダウン初期のヘリウム流量は通常 40 g/s に対して 30 g/s と少なくなった。このためクールダウンの冷却速度が多少遅くなって、定格到達までに約 3 時間長くかかった。時間をかけた冷却は、機器にとって安全側で問題ないが、プログラムシーケンス上のバルブ開度を修正することで調整が可能であることが分かったので、次年度の夏季保守期間で原状復帰を行うこととした。年末年始期間は、冷却塔は凍結防止のため運転継続とした。

年始の運転は、1/5 から精製運転を開始し、1/6 から水素系の準備、1/12 14 時頃からクールダウンを開始して、翌日 1/13 18 時頃に定格運転に到達させた。1/15 から 3/31 まで計画どおりビーム利用運転に供した。

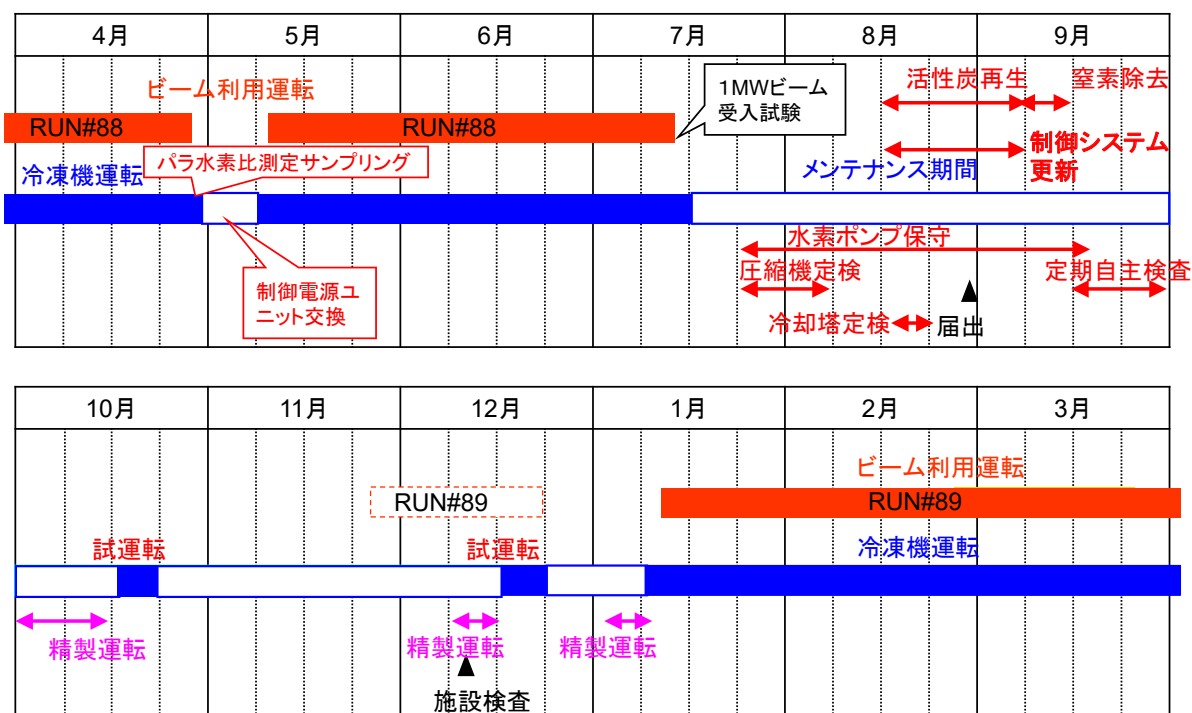


Fig.3.4 2021 年度運転概要

### 3.5 2022 年度

Fig.3.5 に 2022 年度の低温水素システムの運転概要を示す。積算運転日数は 177 日であった。水素ガスカードル (300 m<sup>3</sup>) を 5 基、ヘリウムガスカードル (225 m<sup>3</sup>) を 4 基、液体窒素を 444,800 kg 消費した。

本システムの運転は前年度から継続し、4/1 から 4/28 までと 5/11 から 6/24 9 時までの期間を計画どおりビーム利用運転に供した。4/28 から 5/11 まではビーム利用運転休止期間であったので、本システムも一時休止して制御システムの CPU の不具合を復旧した。これは、前年度の夏季保守期間に更新した制御システムの 2 重化 CPU のうち、サブ側の CPU が通信異常を起こしたので、メーカーの予備 CPU と交換して原因調査を行った後、原因のプログラムを修正した CPU に交換、復旧した。

4/28 9 時にビーム利用運転が停止した後、10 時頃からウォームアップを開始した。ウォームアップ中、精製システムの再生を並行して行い、4/29 14 時にはウォームアップ終了して運転を停止した。5/2 に CPU の交換を行った後、5/4 から精製運転を行い、5/6 から水素系の準備を行った。5/9 14 時過ぎからクールダウンを開始し、翌日 5/10 18 時頃に定格運転に到達させ、5/11 21 時からのビーム利用運転に供した。

6/24 9 時まで計画どおりビーム利用運転に供した後、1 MW ビーム試験が 6/26 9 時まで行われた。本システムとしては定常どおりの運転維持を確認した。1 MW ビーム試験が終了後、9 時過ぎからウォームアップを開始し、翌日 6/27 16 時に終了して、夏季保守期間に入った。

夏季保守期間において圧縮機などの開放保守があった場合は、冷凍機運転前の精製運転は 24 時間シフトで約 3 週間の期間を費やす。一方、今年度は活性炭吸着器 (OS-5) の活性炭交換を行ったため、活性炭再生作業と窒素除去に約 1 ヶ月強の期間に加えて、約 1.5 ヶ月の精製運転期間を費やした。これは、世界的なヘリウムガス不足の対策で、圧縮機定検後の気密検査に窒素ガスを使用したことにより、系内の窒素成分の除去に時間がかかったためである。

その後、11/19 からビーム利用運転に供するために、11/17 14 時過ぎからクールダウンを開始し、翌日 11/18 17 時過ぎに定格運転に到達させ、12/21 9 時までビーム利用運転に供した。ビーム利用運転終了後、11 時過ぎにウォームアップを開始し、翌日 12/22 14 時過ぎにはウォームアップを終了した。年末年始期間は、冷却塔は凍結防止のため運転継続とした。

年始の運転は、1/4 から精製運転を開始し、1/6 から水素系の準備、1/10 14 時頃からクールダウンを開始して、翌日 1/11 17 時頃に定格運転に到達させた。1/12 から 3/15 まで計画どおりビーム利用運転に供した。その後、ウォームアップを開始して、翌日 3/16 に停止した。

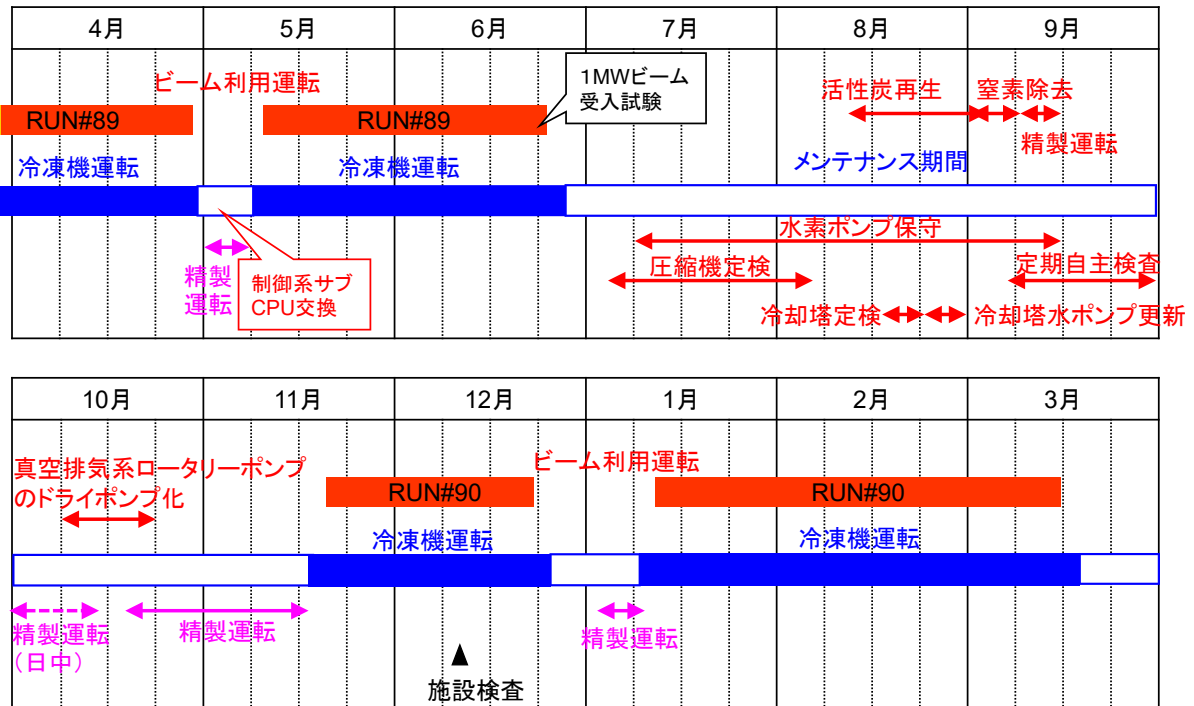


Fig.3.5 2022 年度運転概要

## 4. 保守管理

低温水素システムの大部分の保守は、MLFの夏季保守期間である7月から10月の期間に実施する。毎年必ず実施する定常的な保守のほかに、定期的に数年に一度の頻度で実施する保守や急遽必要となった非定常的な保守を行うこととしている。

### 4.1 定常的な保守

毎年必要な定期的な主な保守作業は、ヘリウム圧縮機保守点検、ヘリウム圧縮機用冷却塔保守点検、低温水素システム定期自主検査、水素循環ポンプ保守点検、真空排気装置のターボ分子ポンプ保守点検、圧力伝送器の校正、その他計測機器類の保守点検である。

#### 4.1.1 ヘリウム圧縮機保守点検作業

低温水素システムは高圧ガス製造施設として、高圧ガス保安法冷凍保安規則に則って毎年の定期自主検査を行う必要がある。ヘリウム圧縮機についても定期自主検査の一部として保守点検作業を実施している。この法令に基づく検査項目は、外観検査と気密検査、計装機器の検査としてインターロック試験である。その他、次の1年間の運転を異常なく安定に維持するための消耗品の交換や機器保守を行う。

ヘリウム圧縮機は、Fig.4.1のように圧縮機本体、油回収器、油冷却器、油ポンプ、油ろ過器、ガス冷却器、1次油分離器、2次油分離器、3次油分離器、活性炭吸着器などの様々な機器や高圧電源、その他計装機器から構成されている。Table 4.1にヘリウム圧縮機の保守計画表を示す。消耗品等の交換保守や機器の更新時期については、メーカーの推奨時期を基に運転及び保守を経験しながら消耗品や機器の観察を行い、計装類のデータを参考に決定した。

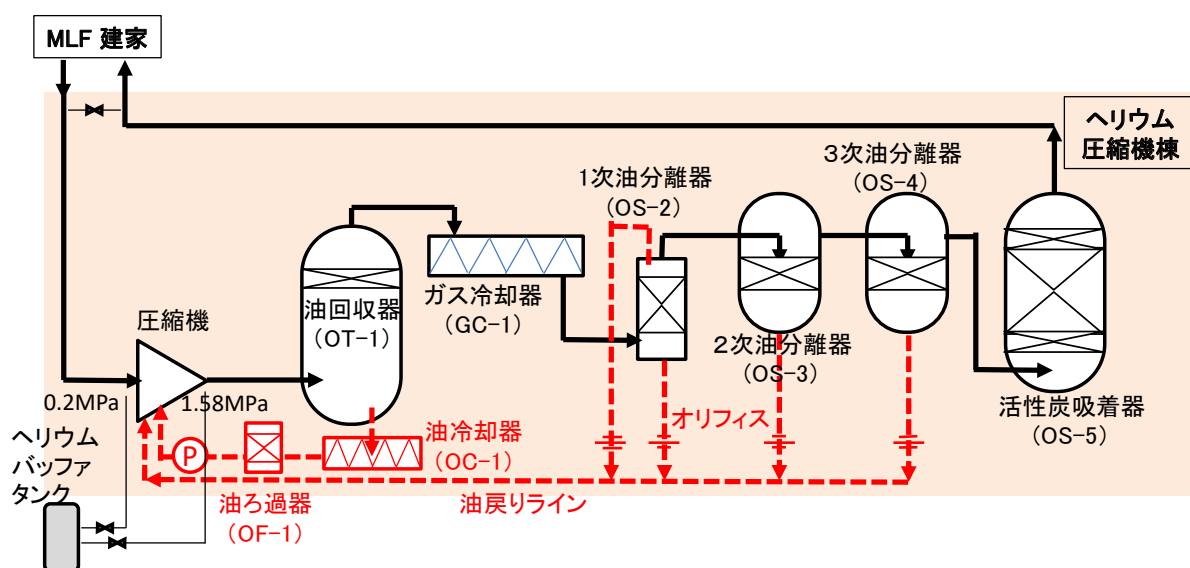


Fig.4.1 圧縮機と油分離ユニットの構成

保守計画表どおりに、毎年、構成機器の外観・目視点検を実施した。また、それぞれの機器は定期的に分解点検を実施した。圧縮機本体の分解点検は4年毎にベアリングとメーカーシールの交換を含めて行う計画に基づき、2018年度と2022年度に工場に持ち出して分解点検を実施した（Photo 4.1）。2次油分離器と3次油分離器についてはエレメントの交換を含めた分解点検を、活性炭吸着器については活性炭及びモレキュラーシーブスの交換を含めた分解点検を3年毎に2019年度と2022年度に実施した（Photo 4.2）。ガス冷却器と油冷却器の分解点検は4年毎に行っており、2020年度に実施した（Photo 4.3）。圧縮機電動機の分解点検は8年毎に行うが、そのうち消耗品である電動機ベアリングは4年毎に交換を行う計画になっており、2021年度に交換した。油ポンプの分解点検は4年毎に行っているが、油ろ過器の4年毎の分解点検と時期がずれていたため、2020年度から点検時期を合わせた。これは、2019年に油ろ過器の入口圧力が異物の詰まりによって上昇したことと、2020年の油ポンプ更新で製作時の粉塵を考慮したことで油ろ過器のフィルタを連続で交換したため、2020年度を起点に両者の分解点検の時期を合わせるように保守計画を修正した。

当初の保守計画になかった保守として、圧縮機の入口弁、出口弁、その他バルブのシートリークなどを補修するため、2019年度、2022年度にバルブの保守を行った。また、上述したように、2020年度に初めて油ポンプとその電動機を予防保全のため一式更新した。圧縮機の潤滑油については、分解点検で不足した100リットルを2018年度に補充した。これまで潤滑油はダフニーエースバック VG-46 を使用していたが、販売終了のため、2020年度にヘリウム圧縮機メーカーである株式会社神戸製鋼所で精製した KB-181-46H に変更し、全ての潤滑油を交換した（Photo 4.4）。2022年度の圧縮機分解点検時でも100リットルの潤滑油を補充した。

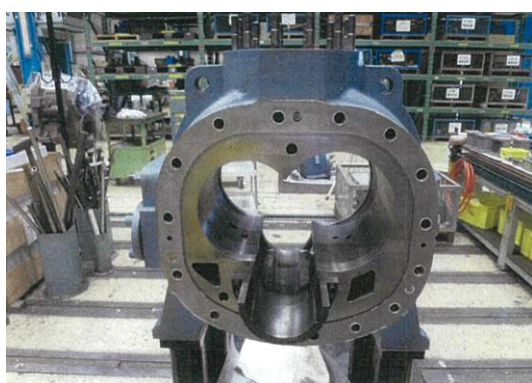


Photo 4.1 圧縮機本体の分解点検



Photo 4.2 油分離器のエレメント交換と油吸着器の活性炭交換



Photo 4.3 ガス冷却器の開放点検



Photo 4.4 潤滑油の交換

#### 4.1.2 ヘリウム圧縮機用冷却塔保守点検作業

ヘリウム圧縮機の除熱は冷却塔で行っている。したがって、ヘリウム圧縮機の運転維持のためには冷却塔の定期的な保守が必要である。本作業も圧縮機保守点検作業と同様に保守計画表を作成し（Table 4.2）、保守点検を行って性能維持に努めている。

毎年行っている外観・目視点検では、冷却塔のファン、オイルシール、プーリー、電動機、熱交換器、散水ポンプ、水ポンプ本体及び電動機、計装機器である温調器やヒータートレース、スペースヒーターの外観、目視、ボルト・ナットのゆるみなどを点検した。さらに、冷却塔内部の清掃を実施した。

開放点検については、ファン電動機は2年毎に2018年度と2020年度に実施し、2021年度に設置後初めて更新した。散水ポンプの開放点検は適時行っていたが、工水の水質が悪いことから、2017年度に新しくポンプを更新して以降、毎年実施している（Photo 4.5）。水ポンプ及び電動機の開放点検は2年毎に行っており、2022年度に設置後初めての更新を行った（Photo 4.6）。

交換保守については、ファンベルトは毎年交換している。ファンのベアリングボックスは、従来は点検で異常な兆候があった場合に交換としていたが、2020年度から3年毎に交換することとした。ファンのプーリーでは前年度に腐食が見つかったため、2018年度にNo.1のみを交換したが、管理と工数の合理化でベアリングボックスとプーリーの交換を2台とも同

時に 3 年毎とした。上述したように、ファンの電動機は 2021 年度に交換し、散水ポンプは 2023 年度に交換した。吸水フィルタは毎年交換している。その他、2018 年度に温度計とストレーナ、2019 年度に圧力計、2020 年度に排水用手動弁の交換を実施した。

本作業の終了時には、ヘリウム圧縮機を起動しての試運転により、冷却塔の機器が正常に稼働することを確認した。また、仕様どおりの除熱性能が維持されていること、即ち、冷却水側排出熱量  $Q1$  (kW) よりファン No.1 及び No.2 それぞれの冷却風側排出熱量  $Q2$ 、 $Q3$  (kW) の方が大きいことを確認した。

$$Q1 \text{ (kW)} = \Delta t \text{ (}^{\circ}\text{C)} \cdot L \text{ (L/h)} / 860 \text{ (kcal/h)}$$

$\Delta t$  : 冷却水出入口温度差

$L$  : 循環水量

$$Q2 \text{ (kW)} = \Delta h2 \text{ (kcal/kg)} \cdot G \text{ (kg/min)} \cdot t \text{ (min)} / 860 \text{ (kcal/h)}$$

$$Q3 \text{ (kW)} = \Delta h3 \text{ (kcal/kg)} \cdot G \text{ (kg/min)} \cdot t \text{ (min)} / 860 \text{ (kcal/h)}$$

$\Delta h$  : 出入口乾球温度と出入口湿球温度から湿り空気線図で求めるエンタルピー差

$G$  : 通過風量



Photo 4.5 散水ポンプの開放点検



Photo 4.6 水ポンプの開放点検

#### 4.1.3 低温水素システム定期自主検査作業

前述のとおり、低温水素システムは、高圧ガス製造施設として高圧ガス保安法冷凍保安規則に則って毎年の定期自主検査を行う必要がある。詳しくは、高圧ガス保安法の冷凍保安規則（冷凍則）（圧縮機を含むヘリウム冷凍機システムと水素循環システム）及び同法一般高圧ガス保安規則（一般則）（ヘリウム冷凍機の予備冷却に用いる液体窒素貯槽）が適用され、高圧ガス保安法第 35 条の 2 に義務づけられた定期自主検査を実施するとともに、本設備を維持できるように消耗品の交換や保守、調整等を実施した。

冷凍則の検査として、以下の検査を毎年行った。

- ・ 外観検査
- ・ 不同沈下測定
- ・ 気密検査

- ・圧力計比較検査
- ・安全弁作動検査 (Photo 4.7 参照)
- ・水素ガス漏洩検知器作動検査

一般則の検査としては、以下の検査を実施した。

- ・外観検査
- ・不同沈下測定
- ・気密検査 (Photo 4.8 参照)
- ・圧力計比較検査
- ・安全弁作動検査
- ・肉厚測定
- ・真空断熱測定
- ・接地抵抗測定
- ・電源盤の絶縁抵抗

水素ガス漏洩検知器のバッテリー交換は 2 年毎に行っており、2019 年度、2021 年度に交換した。また検知器センサー交換は 4～5 年毎として、2021 年度に低温水素設備室設置の検知器 (6532QI6100、6532QI6200) 2 台のセンサー交換を行い、2022 年度には残りの検知器 (6532QI6300、6532QI6400、6532QI6500、6534AI3000) 4 台のセンサー交換を行った。

その他保守として、2018 年度には液体窒素層圧力計 (6536PI1) と膨張タービン出口圧力計 (6533PI1007) を交換した。



Photo 4.7 安全弁検査のための取外し



Photo 4.8 気密検査 (液体窒素貯槽)

#### 4.1.4 水素循環ポンプ保守点検作業

液体水素を強制循環するための水素循環ポンプは、2 台で並列運転を行うことにより、万が一 1 台のポンプが故障したとしても残りの 1 台で運転が継続できるように冗長性を持たせている。

1 章で述べたように実験ユーザーに安定な冷中性子を供給するため、モデレータで約 3.8 kW の熱負荷に対して出入口温度差を 3 K 以内に抑えるべく、安定に約 8 m<sup>3</sup>/h の水素流量を循環する水素循環ポンプの性能を維持させることが重要で、夏季保守期間で保守点検作業を

行っている。水素循環ポンプは3台(A,B,C)所有しており、運転に使用した2台のポンプのうち1台を夏季保守期間にメーカー工場に持ち出して保守を行っている。水素循環ポンプの構造概略をFig.4.2に示す。インペラと断熱材G10は運転中に放射性核種が付着するので、水素循環ポンプを設置位置から取り外して(Photo 4.9)、筆者ら自身が現場で分解し、インペラとG10以外を工場へ搬出した。取り外したポンプの代わりに予備機を設置して運転に使用し、保守後のポンプは予備機となる。即ち、ポンプの分解保守周期は3年であり、2018年度からポンプC、A、Bの順番に分解保守を行った。保守計画表を表4.3に示す。

工場での保守作業の内容は、軸受けの分解・交換、ロータシャフト・インペラ点検・洗浄、軸受けフランジの点検、駆動部ケーシングの点検・洗浄、Oリング・インジウムシールの点検・交換、シャフトとインペラのバランス調整などを行い、組み立てた後に検査を行って出荷となる。検査は、外観検査、寸法検査、バランス検査、Heリーク検査、試運転での回転方向、振動値、騒音値、回転数を確認した。主な検査の合格基準は、Heリーク検査が $10^{-7}$  Pa m<sup>3</sup>/s 以下、試運転では振動値が20  $\mu$ m 以下、最高回転数が62,370 rpm 以上である。

また、ポンプ本体だけでなく、インバータ2台も工場にて保守点検を行い、外観検査、パワーモジュールのチェックにより抵抗値など異常がないことを確認した。

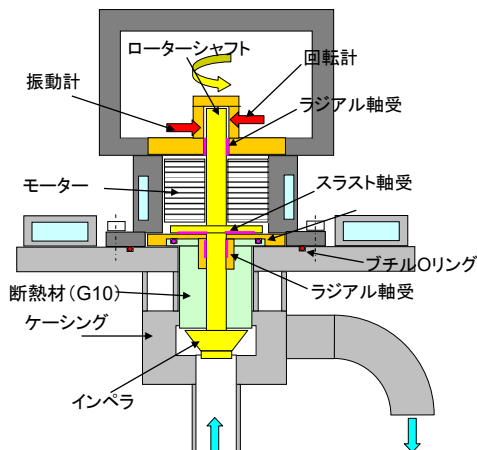


Fig.4.2 水素循環ポンプの概略図



Photo 4.9 水素循環ポンプの取外し

#### 4.1.5 真空排気装置のターボ分子ポンプ保守点検作業

低温水素システムでは、真空断熱による低温維持のために真空排気装置を使用して、セーフティボックス及びモデレータの真空層を常時真空排気している。セーフティボックス用及びモデレータ用真空排気装置は、粗引き用の油回転ポンプ(排気速度 1,500L/min)と高真空用のターボ分子ポンプ(排気速度 820L/s)によって構成していた。しかし、2020年に油回転ポンプの潤滑油にトリチウムが検知されてMLF施設外での保守が困難になったため、2022年度に油回転ポンプはドライポンプ(排気速度 1,670L/min)に更新した(Photo 4.10)。油回転ポンプの保守は3年毎に行っていたが、ドライポンプの保守はメーカー推奨時期がないので、予防保全を考慮して5年毎に保守することとした。ターボ分子ポンプについては、

これまでの経験から 1 年連続運転で潤滑油の劣化が見られたので、毎年、メーカー工場に持ち出して保守している。常時高回転稼働のターボ分子ポンプは、万が一運転中に不具合が生じてでも交換できるように、セイフティボックス用及びモデレータ用のポンプで予備機を所有している。夏季保守時期に予備機と交換し、取り外したターボ分子ポンプの保守点検を行って、点検から戻ってきたものは予備機となる。Photo 4.11 にモデレータ用ターボ分子ポンプを示す。保守計画表を Table 4.3 に示す。

工場での保守は、分解点検、超音波洗浄、部品整備点検、バランス調整、消耗品交換、再組立てを行う。消耗品として、ベアリング、O リング・ボルト類、精密皿バネ、センターボルト・ワッシャー、潤滑グリス等の交換を実施した。検査は、外観検査、He リーク試験、動作試験で振動、騒音、到達圧力を確認した。



Photo 4.10 油回転ポンプの更新



Photo 4.11 ターボ分子ポンプ

#### 4.1.6 圧力伝送器の校正作業

上述のように、低温水素システムは高压ガス保安法に則り毎年定期自主検査を外注して行い、その中で圧力ゲージについては、圧力計比較検査で法令の技術上の基準を満たしていることを確認している。圧力伝送器についても法に準拠し、筆者ら自身で毎年圧力計比較検査による校正を行っている。

圧力伝送器は、運転準備作業等での脱充圧作業、また設備及び機器の異常の有無を見分ける上で非常に重要な役割を担っており、低温水素システムでは現場圧力伝送器の精度を確認するため、圧力伝送器の表示圧力である運転操作監視システム「HITS」の値と、事前に校正済みのキャリブレータ（圧力調整器）の値を比較検査した。全 29 箇所のそれぞれ圧力伝送器には許容誤差があり、誤差が外れている場合は比較結果を参照し、信号変換器にてゼロ・スパン調整を行った。Fig.4.3 に校正作業の概要図を示す。

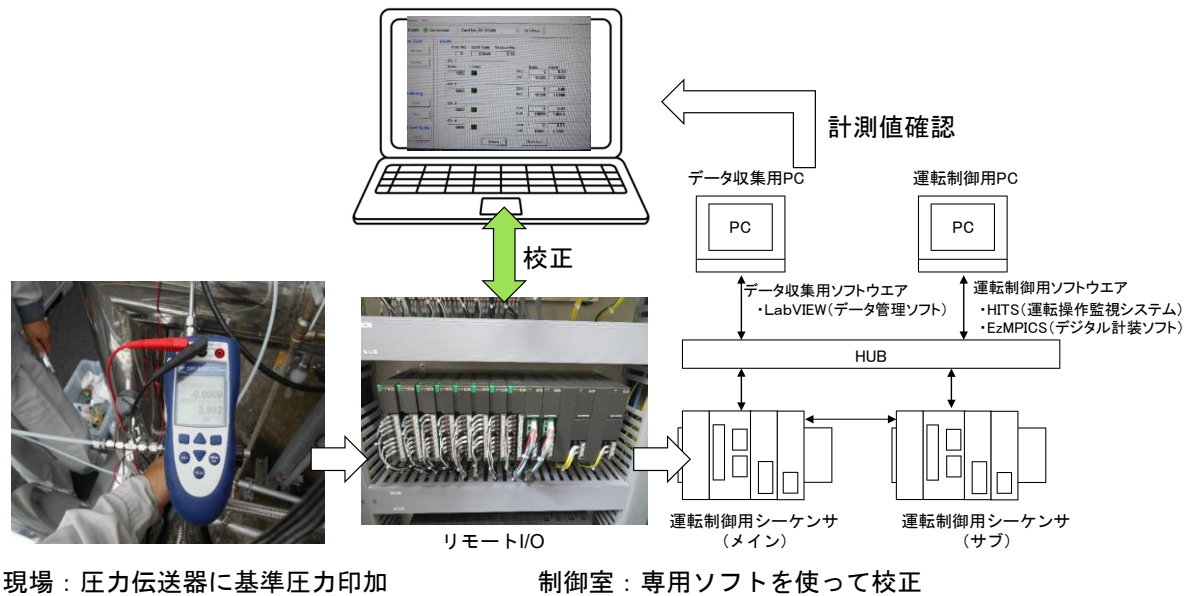


Fig.4.3 圧力伝送器の校正作業概要図

#### 4.1.7 計測機器類の保守点検作業

低温水素システムの運転・保守に必要な主な計測機器類を以下に記す。運転に必要なものは夏季保守期間内に、保守に必要なものは可能な限り運転中に保守点検を実施した。保守計画表を Table 4.3 に示す。

##### (1) 基準計器（キャリブレータ、デジタルマルチメータ）の点検校正

毎年実施。低温水素システムの定期自主検査における圧力伝送器や温度指示計の比較検査時の基準計測器として使用。

##### (2) ポータブル水素検知器、酸素検知器の校正点検

毎年実施。水素防爆や酸欠防止などの安全対策のために該当するエリアへの入域時に常時携帯する検知器。

##### (3) 圧縮機室酸素濃度計校正作業

毎年実施。ヘリウムガスを大量に使用している圧縮機室の酸欠防止のために設置。

##### (4) 水晶発振式水分計（露点計）校正点検

5 年毎実施（2021 年度実施）。ヘリウム冷凍機の冷媒ガスであるヘリウムガスの純度を管理するため圧縮機室に設置。

##### (5) 水素分析計（露点計、酸素濃度計）校正点検

毎年実施。水素循環系に導入した水素ガスの純度管理のために、運転前に水素ガスの露点及び酸素濃度を測定して、規定値を満足していることを確認する分析計。

##### (6) ヘリウムリークディテクタ保守点検作業

2～3 年毎実施。水素循環系の安全対策としてヘリウムブランケットで真空層を覆っているが、ヘリウムブランケットから真空層への漏れを検知するために、真空層にヘリウムリークディテクタを設置している。水素循環系のセイフティボックス及びモデレータの真空層にそ

れぞれ 1 台ずつ設置して、適時保守点検を行っていた。近年、真空ポンプの油漏れなどで毎年保守に出していたが、2019 年度に予備機をそれぞれで装備して、運転中の不具合時にも交換できるように備えた。しかし、2021 年頃からモデレータ用ヘリウムリークディテクタの油にトリチウムが検知され、管理区域内でできる消耗品の交換などの保守を行って、使用することとした。

#### (7) 四重極質量分析計保守点検作業

3 年毎実施。水素循環系の安全対策として水素循環系から真空層への漏れを検知するために、真空層に四重極質量分析計を設置している。水素循環系のセイフティボックス及びモデレータの真空層にそれぞれ 1 台ずつ設置して、適時保守点検を行っていた。近年、予防保全のために定期的に校正を実施している。

#### 4.1.8 その他

定常的に行っている保守として以下の作業も挙げる。詳細は Table 4.2、Table 4.3 に記載する。

##### (1) ヘリウム圧縮機用冷却塔水質分析作業

ヘリウム圧縮機の冷却塔の水質管理のため、四半期に 1 回、水質分析作業を行っている。

冷却塔の冷水、開放水、補給水の水質検査を実施して、Table 4.4 の測定項目に対して規定値以下であることを確認した。

##### (2) 制御システム保守点検作業

低温水素システムの制御システムについて、ハードウェア及びソフトウェアの健全性の確認やシーケンスプログラムの改良、改修、メモリの増設などの保守点検を毎年実施している。通常の保守点検の他には、2018 年度はアキュムレータレベル計を交換したので、この交換に合わせて、モニタ用の 2 次元テーブルの更新を実施、2019 年度は停止シーケンス上のバルブ開度の修正、2020 年度、2021 年度は MPS 信号に係る「ビーム不一致」警報のシーケンサーラダーの改良、2022 年度は操作画面の改良を実施した。

##### (3) 膨張タービン保守点検作業

ヘリウム冷凍機の心臓部ともいえる膨張タービンは、これまで 1 号機を使用して適時保守を行い、約 10 年間使用していた。2019 年度にそれまで予備として保有していた 2 号機に交換して、1 号機をメーカー保守に出した。しかし、2020 年度に 2 号機の回転センサーが不良となったため、1 号機と交換し、2021 年度に 2 号機を保守に出した。定期的な使用と保守を断続的に行って、結果的に機器を継続して使用するためにタービン保守点検は 5 年毎に実施することとした。

##### (4) ヘリウム圧縮機保護継電器定期点検作業

原子力科学研究所内電気工作物保安規程第 3 節第 28 条に基づき、高圧負荷設備であるヘリウム圧縮機リアクトル起動器盤内の 3 台の保護継電器の定期点検を行った。この点検は 4 年毎に実施するもので、模擬信号等を用いた保護継電器の機能試験及び表示器の異常、過熱痕、腐食、塵埃、ねじの緩みなどの外観点検を 2017 年度、2021 年度に実施して、異常がな

いことを確認した。

#### (5) 液体窒素容器再検査

低温水素システムの運転準備であるヘリウムガスの精製運転時や、水素ガスの精製、油分確認のために定期的に行っているコールドトラップによるヘリウムガスサンプリングに使用する液体窒素は、液体窒素容器（エルフ）で液体窒素貯槽からくみ出して、精製器などに供給している。この液体窒素容器は、高圧ガス保安法 容器保安規則に基づいて 5 年毎に容器再検査を行う必要がある。検査時期が異なる 3 台の液体窒素容器を所有しており、1 台は 2018 年度及び 2022 年度に実施した。他の 2 台は 2018 年度に購入したので 2023 年度に検査を実施する予定である。

## 4.2 非定常的な保守

前節の定常的な保守以外に、急遽必要となった作業や経年劣化、機種変更による保守品生産停止、または計画外の不具合によって修理や交換が必要となった作業を行った。主な作業を以下に列記する。

#### (1) アキュムレータ用レベル計交換作業

低温水素システムでは、アキュムレータを使用して、加速器からの入射ビームの ON・OFF によってモデレータに生じる圧力変動を、伸縮するベローズによって抑制する。アキュムレータの伸縮度合いはレベル計（レーザー変位計）で計測し、運転監視及び状態判定に使用している。施設稼働当初から使用していたレベル計で指示値に不調が現れたため、2018 年度に更新した。

#### (2) 膨張タービン用ブレーキ自動弁保守作業

2017 年度の定期自主検査において、膨張タービン用ブレーキ自動弁のシール材の交換を推奨されたため、2018 年度にシール材を交換して保守作業を行った。

#### (3) 自動弁用ポジショナー交換作業

低温水素システムには多くの自動弁が使用されており、その自動弁の開度を制御するためのポジショナーは重要な機器の一つである。建設以来これまで 10 年を超えて更新していなかったため、予防保全のために順次交換するとともに、弁シートを含めたシールキットの交換も行った。以下、実施した年度と実施箇所を記す。

2019 年度：

水素循環系放出弁（PCV520、PCV610）（PCV610 はポジショナー交換のみ実施）

2021 年度：

水素循環系自動弁（水素ポンプ入口弁 V110、V120、モデレータ入口弁・バイパス弁 V200、V300、V400、V500）、ヘリウム冷凍系自動弁（V101、V103、V105、V110、V112、V113、TCV111、タービンブレーキ弁 SCV1500）（ヘリウム冷凍系手動弁 V102、V104 はシールキットの交換実施）、液体窒素供給弁 TCV1002

2022 年度：

ヘリウム冷凍系自動弁（V105、V113）のアンサーバック信号が確認できるように、アンサーバック付きのポジショナーに更新して、制御システムで信号表示した。

#### （４）屋外高所配管保守点検作業

低温水素システムでは、MLF 棟屋内に設置されるヘリウム冷凍機及び水素循環系と、屋外のヘリウム圧縮機やガス供給系とを配管で繋いでおり、屋外配管は道路を跨ぐように地上約 5m の高さに敷設している。他施設にて塩害による配管腐食事例があったため、当該屋外高所配管の保守点検を 2021 年度に実施した。Photo 4.12 に作業の様子を示す。

保守点検は、外観検査、He リーク検査を行って異常がないことを確認し、錆防止の錆転換剤、塩害仕様の塗装と、伸縮チューブ加工していた配管には自己融着テープによる防水対策を行った。対象とした配管は以下のとおりである。

- ・ヘリウム移送配管高圧配管 125A
- ・ヘリウム移送配管低圧配管 300A
- ・ヘリウムガス供給配管 25A
- ・水素ガス供給配管 15A
- ・液化窒素供給配管 50A
- ・窒素ガス供給配管 25A
- ・真空フレキ配管 50A

今後も 5 年毎に点検を実施することとした。



Photo 4.12 屋外高所配管保守点検作業の様子

#### （５）水素循環ポンプ用異常診断システム（FFT）の更新作業

水素循環ポンプでは、ガス軸受け特有の軸振動の変動を監視するために異常診断システム（FFT 解析システム）を導入している。Fig.4.4 に本システムの構成を示す。この使用を開始してから 10 年を経過しており、予防保全と後継機への更新のために 2021 年度に交換を行った。FFT 解析システムメインユニット及びデータレコーダの機器を交換して、FFT 解析ソフトウェア（DS-0321L）、時系列データ解析ソフトウェア（Oscope2）、コントロールプログラムソフトウェア（LX Navi）を最新版に更新した。

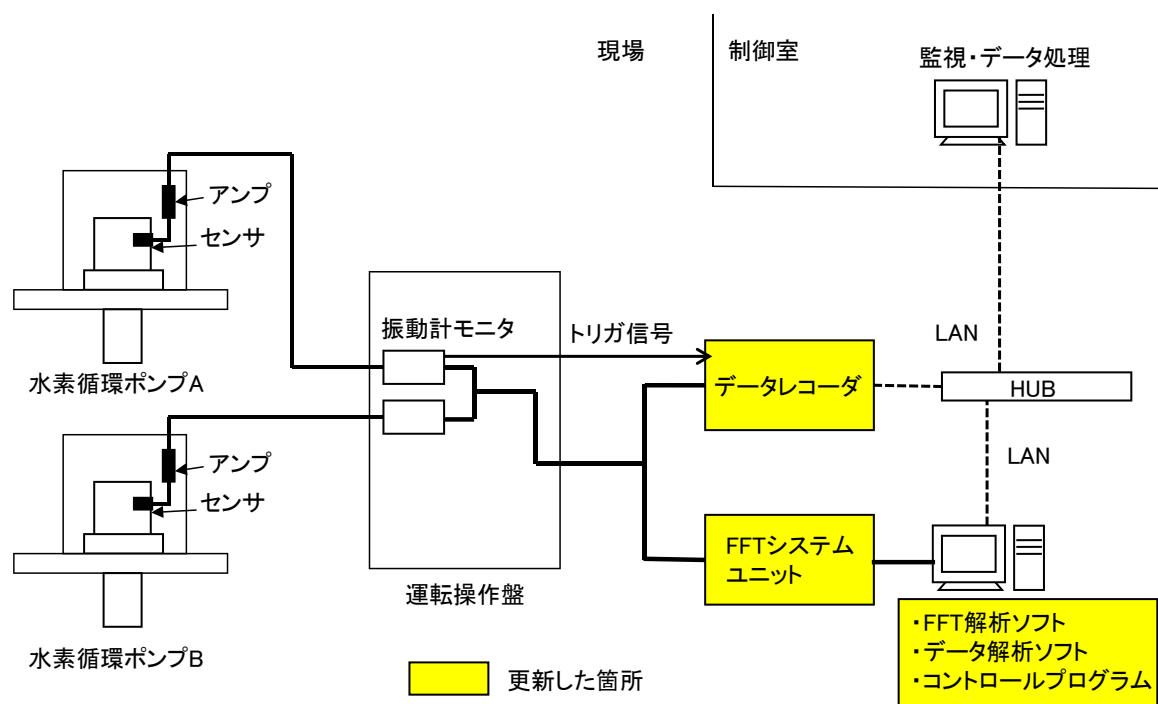


Fig.4.4 異常診断システム（FFT）の構成図

#### （6）制御システムの更新作業

低温水素システムの制御システムに使用されている VME（プログラムに従って計装類のアナログ・デジタル入出力信号を CPU で演算処理を行う装置）が、本設備の運用を開始してから 10 年以上を経過した。VME に実装する CPU や PIO などの各種基板は既に生産中止となって今後の持続性に支障があるため、2021 年度にこの VME をリアルタイム OS コントローラに更新した。また、中性子源施設を制御・統括する統括監視操作装置との通信に用いる三菱電機製シーケンサーも更新した。制御コントローラの更新に伴い、制御プログラムを DeMPICS から EzMPICS へ更新した。さらに、運転監視及びデータ保存用 LabVIEW と EzMPICS の通信を可能にして、運転操作監視システム「HITS」を更新した。Fig.4.5 に制御システムの構成を示す。

作業終了後、統括監視操作装置と三菱電機製シーケンサー間の通信が正常に行われていることを確認し、低温水素システムの試運転を行って、冷却運転、定格運転、昇温運転の一連の運転に異常がないことを確認した。

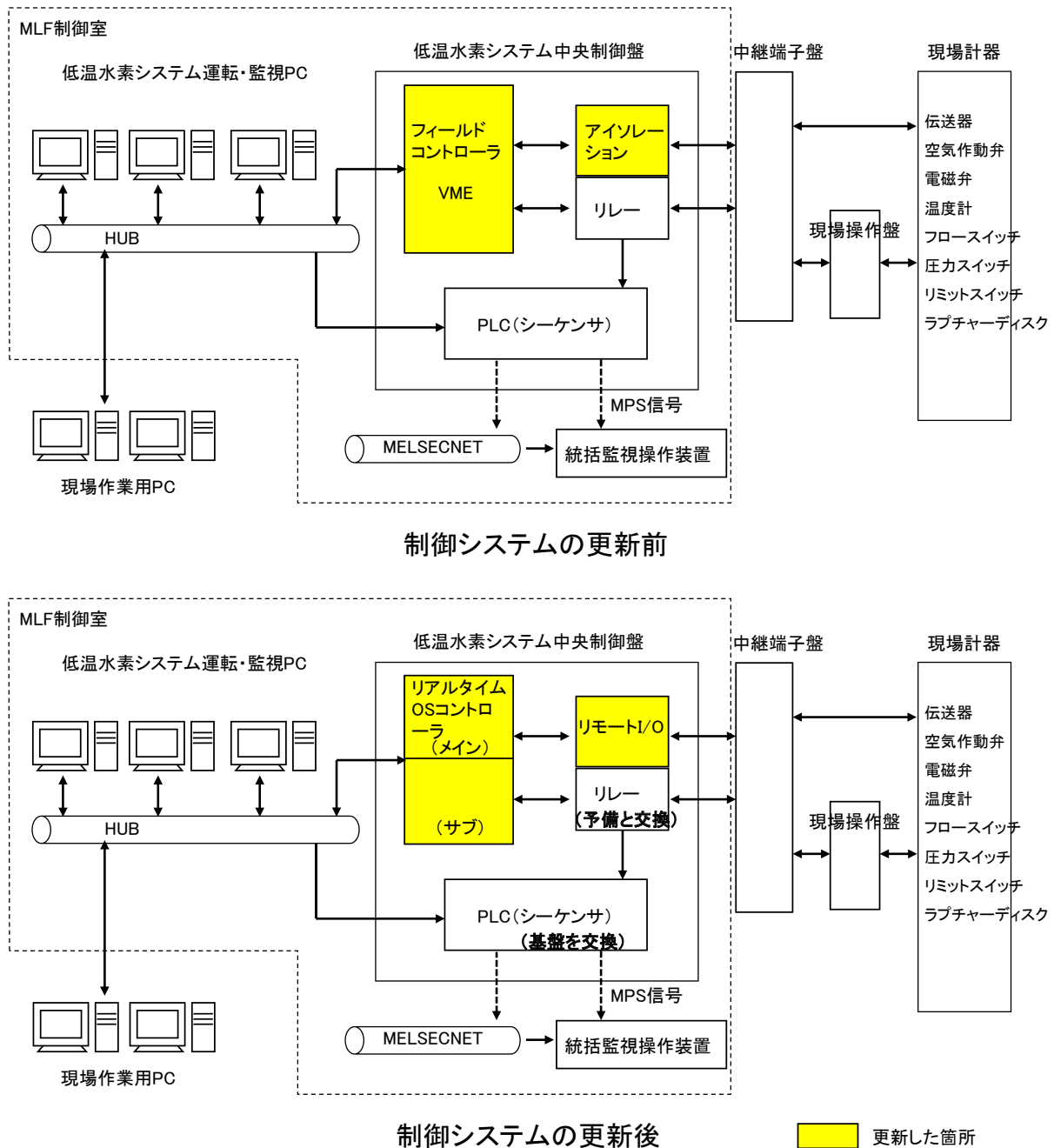


Fig.4.5 制御システムの構成図

## (7) 計装チャンバの補修作業

水素循環系の安全弁や放出弁を集約した計装チャンバ C1 は、運転中は微加圧のヘリウム雰囲気としており、水素循環系を包括する真空容器の外側に設けたヘリウムブランケットと合わせて、水素を冷媒に持つ本冷凍システムのための独自の安全対策の一つである。設備設置後 12 年を経過し、計装チャンバ C1 の保守用マンホールの溶接部分が劣化してきたため、2021 年度に溶接による補修を行った。

計装チャンバ C2、C3 は、セーフティボックス用及びモデレータ用真空排気装置のバルブ

類を集約したチャンバで、上記同様、ヘリウムブランケットの一部として機能している。経年によりガスケットが劣化してきたため、予防保全のためにガスケットの交換とバルブ O リングの交換を 2022 年度に実施した。

(8) その他

その他の非定常的な保守として以下の作業も行ったが、詳細は省略し、項目のみを列記する。

- ・ヘリウム置換用ポンプの電流値モニタ追加 (2019 年度)
- ・ヘリウム減圧操作パネル用バルブの O リング及びガスケット交換 (2020 年度)
- ・四重極質量分析計用スクロールポンプ保守点検 (2020 年度、2022 年度)
- ・ヘリウム精製システム用乾燥器の HV103、HV104 バルブシート交換 (2021 年度)
- ・モデレータ用ターボ分子ポンプの冷却水配管継手交換 (2021 年度)
- ・膨張タービン用周波数変換器の交換 (2021 年度)
- ・セイフティボックス用油回転真空ポンプ保守点検 (2021 年度)
- ・水素循環ポンプ用振動計の GAP SENSOR (アンプ) の更新 (2022 年度)
- ・冷凍機用圧空レギュレータと水素置換用ポンプの圧力スイッチ交換 (2022 年度)
- ・水素循環系放出弁 (PCV520、PCV610) のフィルタ付レギュレータの交換 (2022 年度)
- ・液体窒素貯槽の液体窒素汲み取り用バルブの弁体交換 (2022 年度)

## 5. 高圧ガス製造施設の管理

### 5.1 施設検査

低温水素システムでは、各県の自治体で実施を推奨されている施設検査を受検している。茨城県では県から委託を受けて茨城県冷凍設備保安協会が施設検査を行っている。原子力機構は、従来から冷凍設備保安協会に加入しており、保安の促進と維持のために冷凍高圧ガス製造施設（第1種製造事業所）に対して毎年1回の本施設検査を実施している。

検査は書類検査と現場検査があり、書類検査では日常・月例点検、保安教育訓練、定期自主検査で実施した安全装置検査、安全弁動作検査、圧力計検査等の結果を書類にて確認した。また、現場検査では第1ヘリウム圧縮機室内を確認し、外観検査や流体表示、バルブ開閉表示、標識及び応急措置等の掲示物を確認した。MLF 建屋内の管理区域の設備機器は、写真によって確認した。2018年度から2022年度の施設検査において、指摘はなかった。

### 5.2 ADS交換に伴う高圧ガス製造施設等変更許可申請及び完成検査

2019年度の夏季保守期間において、ADS3号機から4号機への更新工事を行うため、8月5日に茨城県に高圧ガス製造施設等変更許可申請を行い、許可証を受理し、9月に更新工事を実施した。ADS4号機の設置後、完成検査申請を行い、冷凍機の試運転を実施後、10月21日に県の完成検査を受検して完成検査証を受理した。

- ・ 8/5 変更許可申請
- ・ 8/15 付け変更許可証受理
- ・ 9/2～26 現地工事（太陽日酸株式会社受注、設置後は活性炭再生作業を実施）
- ・ 9/12 完成検査申請
- ・ 10/14～18 冷凍機の試運転
- ・ 10/21 完成検査
- ・ 10/28 付け完成検査証受理

Photo 5.1 に ADS3 号機の取外し（断熱材（SI, Super Insulation）取外し）状況と ADS4 号機の設置（SI 復旧）状況を示す。

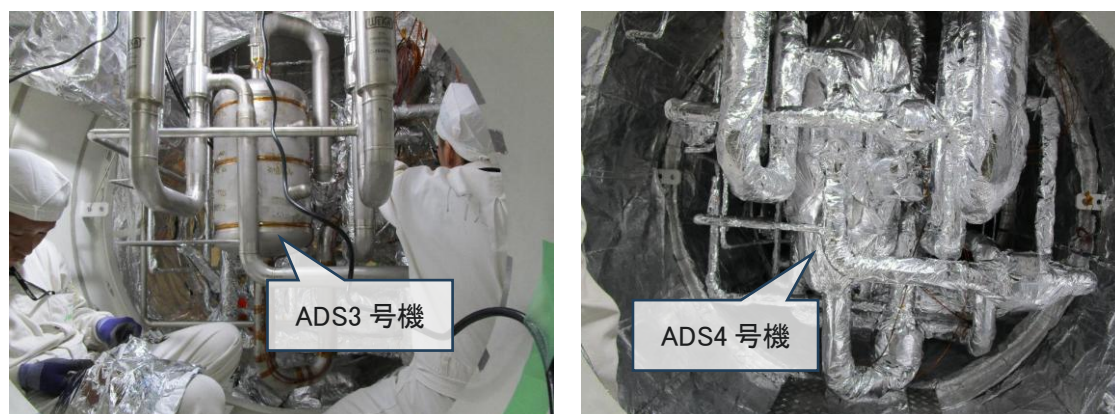


Photo 5.1 ADS3 号機の取外し（SI 取外し）（左）と ADS4 号機の設置（SI 復旧）（右）

### 5.3 バルブ交換に伴う高圧ガス製造施設軽微変更届

2021 年度の夏季保守期間において、シートリークを生じていたヘリウム圧縮機の活性炭吸着器入口弁 V207 及び安全弁元弁 V107 を同型のバルブと交換した。8 月 24 日に茨城県に高圧ガス製造施設軽微変更届を届け出た。

- ・ 4～5 月 県庁と届出についてメールで協議（コロナ禍のため対面のヒアリングなし）
- ・ 7/28 バルブ交換、気密検査実施
- ・ 8/24 付け届出

Photo 5.2 に V207 と V107 の気密検査時の写真を示す。

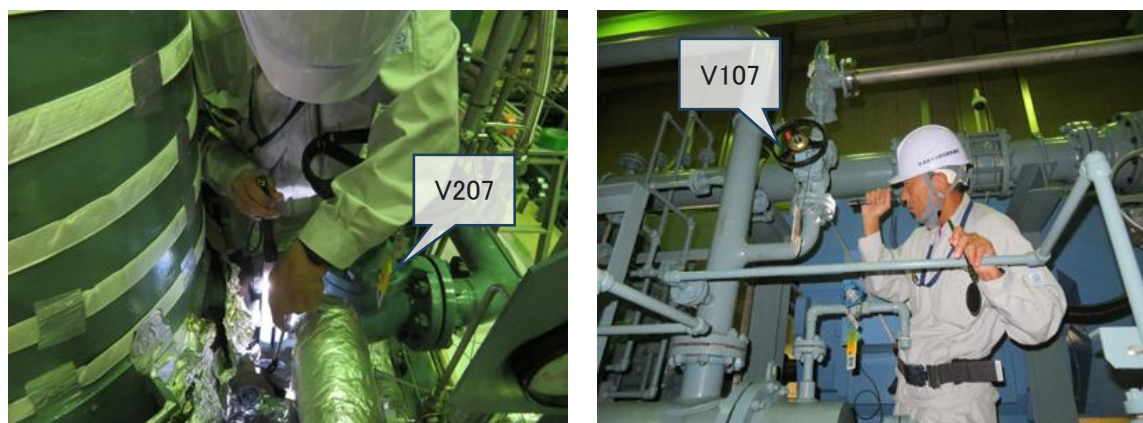


Photo 5.2 V207 の気密検査（左）と V107 の気密検査（右）

#### 5.4 茨城県の高圧ガス製造事業所（冷凍）立入検査

2023 年 1 月 27 日に茨城県の立入検査を受検した。これは約 5 年間で日本原子力研究開発機構内の全ての冷凍機を対象に実施される検査である。書類検査として、日常・月例点検、保安教育訓練、定期自主検査で実施した安全装置検査、安全弁動作検査、圧力計検査等の結果の確認を受け、検査官からの指摘はなかった。現場検査は、第 1 ヘリウム圧縮機室内を確認し、MLF 建屋内の管理区域については写真によって確認した。検査において流体方向の表示の追加を推奨されたので、直ちに追加した。

## 6. 主な改善と技術開発

### 6.1 冷却塔ファンの優先起動切り替え自動化

ヘリウム圧縮機用の冷却塔において、2 台の冷却ファン（No.1、No.2）は、通常、冷却塔出口温度の上昇に伴って No.1 が優先的に起動し、それでも水温が上がれば No.2 が起動して圧縮機の冷却水を冷却していた。定期的に優先順位を交換することは、機器の経年使用にとって望ましいとのメーカーの推奨で、これまでは 1 週間毎に各 2 台の温調器の設定を手動で変更して優先起動を切り替えていた。操作ミスの防止や作業の利便性を考えて、スイッチ一つでこの切り替えができるように改良を行った。ヘリウム圧縮機用冷却塔の概略系統図を Fig.6.1 に示す。改良は、Fig.6.2 のように温調器とリレーを追加して、これまで冷却塔の出口温度が 25℃以上でファン No.1 が起動して、温度が下がらずに 26℃以上となるとファン No.2 も起動する回路であったが、切り替えスイッチによって優先順位を変えて、出口温度が 25℃以上でファン No.2 が起動して、温度が下がらないと 26℃以上でファン No.1 が起動するように回路を組んだ。これによって、冷却ファンの使用頻度の平均化を図った。

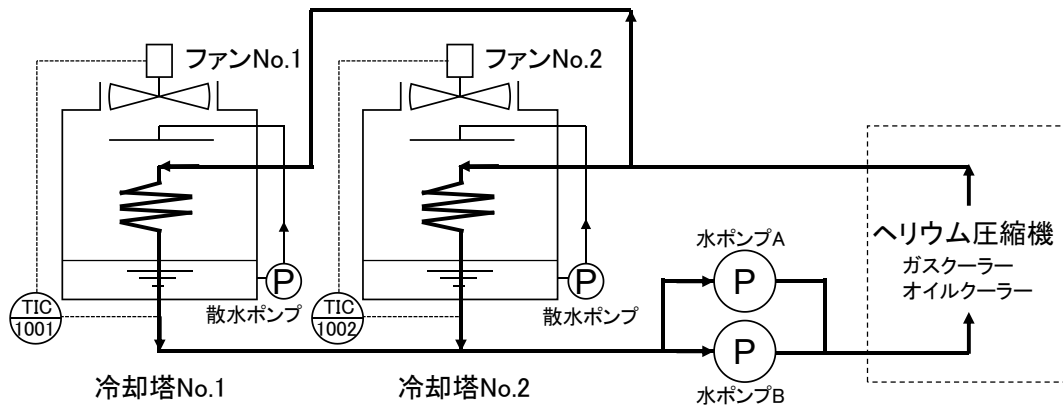


Fig.6.1 ヘリウム圧縮機用冷却塔の概略系統図

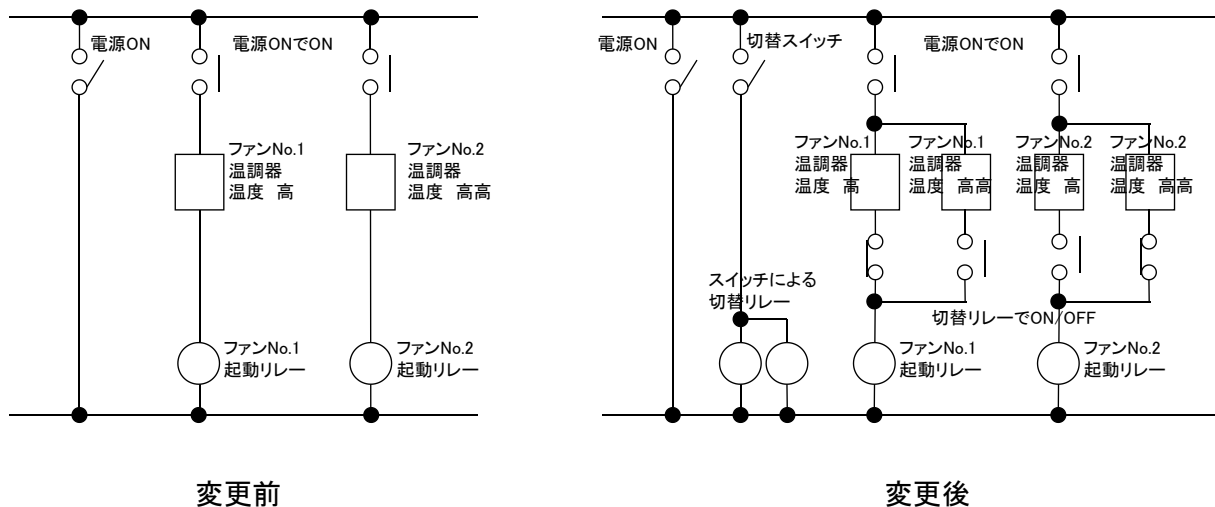


Fig.6.2 冷却塔ファンの切り替え回路

## 6.2 アキュムレータ動作回数積算の自動化

水素循環系の圧力変動を吸収するアキュムレータのベローズの動きは、レーザー変位計によってその位置を測定しており、運転中及び保守中も常にモニタしてデータを記録している。ベローズの繰り返し寿命は、ビーム入射時の動作を想定した場合、駆動差圧 0.08MPa において 40mm の繰り返し伸縮した場合で 50 万回以上、フルストローク 80mm の伸縮の場合は 5 万回以上を設計仕様とした。この仕様を満たすように Fig.6.3 の寿命曲線を持つベローズを設計、製作した。実際は、繰り返し動作回数のほとんどが運転中のビーム入射の ON/OFF による 20～30mm の繰り返し変位を占めており、ビーム利用運転を年間 5,000 時間として 1 時間当たり 5 回ビーム ON/OFF（トリップ）が起きると仮定すると 1 年間で 25,000 回、30 年で 750,000 回の繰り返し動作回数となる予測である。この図から 30 年以上の使用が可能と推測でき、現行のアキュムレータは 2013 年に更新したので 2043 年まで使用できる見込みである。

実際のアキュムレータの動作回数を把握して予防保全を考慮した交換保守の指標とするために、これまでは記録した運転ログから手作業で適時集計していた。これを自動化して作業の効率化を図るために、動作回数の積算シーケンステーブルを作成して、可視化画面を作って制御システムに導入して動作回数を見える化した。

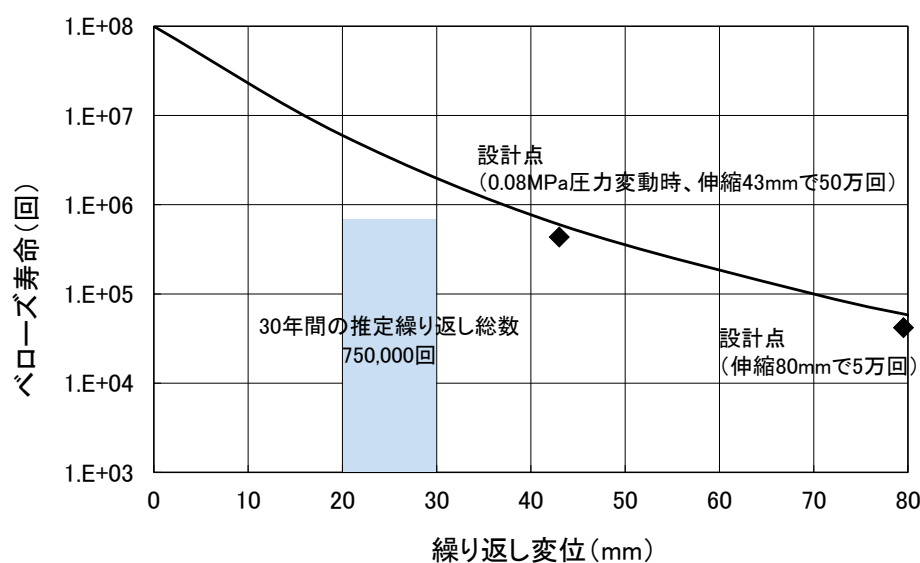


Fig.6.3 繰り返し変位に対するアキュムレータのベローズ寿命曲線

### 6.3 水素循環系のガス置換のための水素ガス充圧パージの自動化

水素循環系に充填する水素ガスは、水素循環系を真空引きした後、低温精製器を通して不純物を除去しながら充圧して冷却運転を行っていた。ところが、水素循環ポンプの不安定な振動現象が見られ、その原因の一つとして不純物の残留が考えられた。水素循環系の末端部、つまりは水素循環ポンプ内部まで十分にガス置換ができるように、水素ガスによる複数回の充圧パージ（圧振り）を行うことにした。この結果、水素循環ポンプの不安定な振動現象は解消した。

水素ガスによる充圧パージは、①アキュムレータのベローズの寿命を考慮してベローズが動作しないようにベローズ内部のヘリウム圧力（ヘリウムストレージタンク圧力）をまず  $0.4\text{MPa}$  まで昇圧した。②次に水素ガスを水素循環系に  $0.3\text{MPa}$  まで充圧し、③2～3 時間保持した後、④水素循環ポンプの逆回転防止のためにポンプ入口弁を閉とし、⑤水素循環系放出弁を開として水素ガスを  $0.1\text{MPa}$  まで放出、⑥ヘリウムストレージタンクのヘリウム置換を兼ねて  $0.2\text{MPa}$  まで降圧、という手順をこれまで 10 回以上手動で繰り返し操作していた。この作業は、低温水素システムの運転準備において、運転員が 24 時間シフト体制で 2～3 日間をかけて実施していた。この作業の操作ミスを防いで効率的に行うために、上記充圧パージ手順の自動シーケンステーブルを作成して、制御システムに導入した。また、充圧パージ状況の可視化画面を作成して見える化した。

Fig.6.4 に水素ガス充圧パージ時のヘリウム側圧力と水素側圧力の動向を示す。

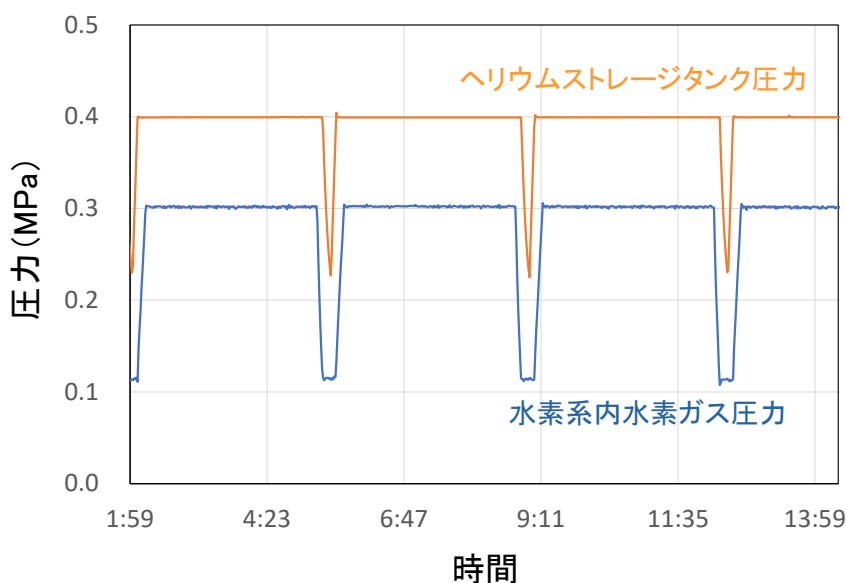


Fig.6.4 水素ガス充圧パージの圧力動向

#### 6.4 水素循環系の運転前水素ガス最終充圧の自動化

冷却運転開始前に、最終的に水素ガスを水素循環系に充填する際、前述したようにアキュムレータのベローズを動作させないようにヘリウムストレージタンク圧力を先に上げて、その後に水素系内水素ガス圧力を上げていく操作を繰り返して、最終的にヘリウム圧力 1.5MPa、水素ガス圧力 1.4MPa まで充圧する。これまでは、この操作を運転員が手動で行ってきたが、操作ミスを防ぐために自動化を図った。

自動化は、上記の最終充圧の手順の自動シーケンステーブルを作成して、制御システムに導入し、さらに、運転員が充圧の状況が分かるように可視化画面を作成して見える化した。Fig.6.5 に水素ガス最終充圧時のヘリウム側圧力と水素側圧力の推移を示す。

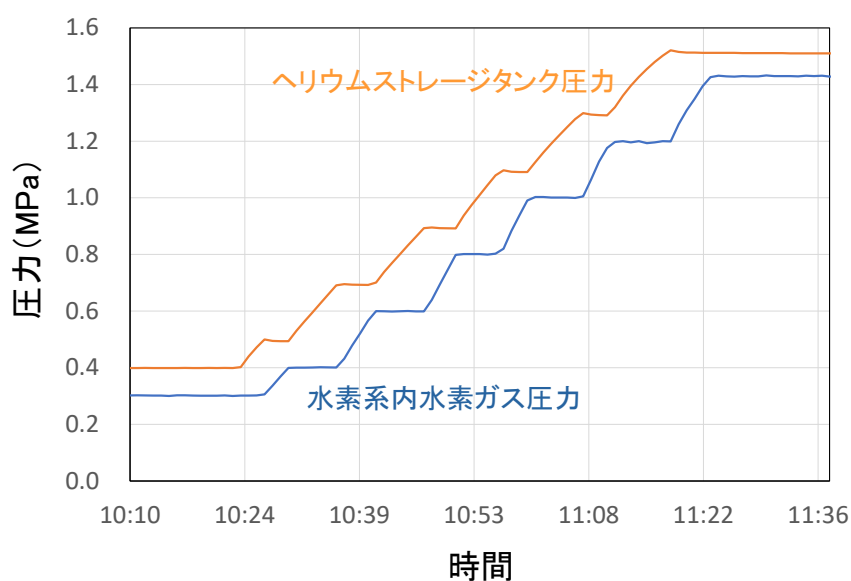


Fig.6.5 水素ガス最終充圧の圧力動向

## 6.5 ビーム入射に係る低温水素システム保護の MPS 出力回路の追加

(ビーム入射・停止時の低温システムの制御)

低温水素システムでは、加速器からの陽子ビームの入射と停止による水素循環系の温度変化に伴う水素密度の変化及び圧力の変化を抑えるために、ビーム停止時の水素温度低下を補償するヒータと受動的に水素循環系の圧力変化を吸収するアキュムレータを備えている。Fig.6.6 に水素循環系の圧力制御のしくみを示す。1章で述べたように陽子ビームが水銀ターゲットに入射すると、核破砕反応で高エネルギー中性子を発生し、液体水素が循環しているモデレータで冷やして(エネルギーを落として)中性子散乱実験のユーザーに供給する。この時、①モデレータで液体水素に熱負荷が加わって温度上昇し、②18Kの液体水素温度が上昇すると、③ヒータ出口温度が21Kとなるように制御して、②での温度上昇分の圧力をアキュムレータで吸収して系内の圧力上昇を抑える。反対に、陽子ビームが停止すると、モデレータの温度が下がり、ヒータ出口温度を21Kとするためにヒータを制御して、下がった温度分の圧力をアキュムレータが調整する。これら一連の動作をシーケンスプログラムで制御しており、液体水素温度の変化に対してフィードフォワード制御でヒータ出力の調整を行い、圧力の変動を定格 1MW ビーム受入時に 80kPa 以内に抑えている。

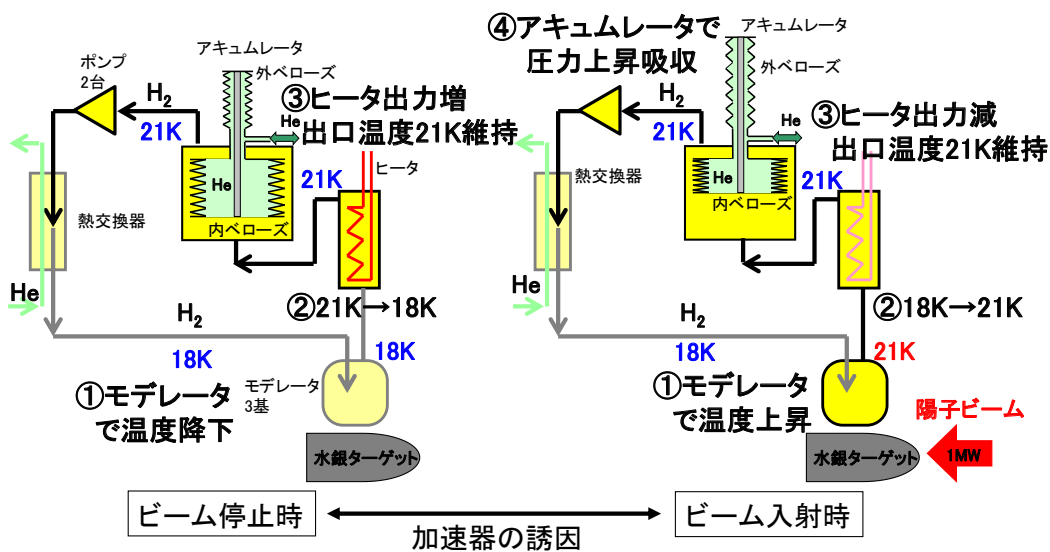


Fig.6.6 水素循環系の圧力制御の概要

このシーケンスプログラムは MLF 中性子源のターゲット上流の陽子ビームモニタの信号を受けて、ビームの入射や停止を判定するよう動作している。ビームの停止に関しては、MLF 制御システムでは現行ビーム出力が 100kW 低下して 3 秒経過すると、ビームは停止したと見なして「Inhibit」という信号による MLF からの MPS (Machine Protection System) 信号を加速器側に発信してビームを止めていた。このとき、低温水素システムもプログラム内部で同様にビーム出力が 100kW 低下して 3 秒経過すると、ビームは停止したと判断して停止シーケンスが働くようになっていた。

(改良に至る事象)

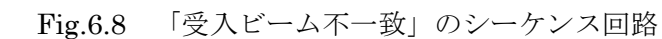
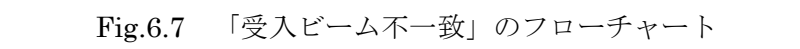
2019年2月の500kW ビーム利用運転中、ビーム出力が400kWを3秒以上下回り、低温水素システムの停止シーケンスが働いて Fig.6.6 の①温度が下がるのを待つ状態となったが、MLF 制御システムでは Inhibit 信号が出ないため MPS 信号は発信されず、ビーム利用運転は継続されたことがあった。原因は、MLF 制御システムと低温水素システムのビーム出力値のデータ採取間隔の僅かな差と各システムが持つタイマーの僅かな差と考えられた。

また、同じ時期に陽子ビームが入射された際、ビームモニタ信号の機器の不具合でビーム出力が500kWのところを0kWで発信されたことがあった。低温水素システムでは、ビーム入射していない判定だったがモデレータ出口温度が上昇していることから、運転員が異常に気づいてビーム停止を加速器に依頼した。

いずれも低温水素システムの制御システムの判定と、ビームモニタ信号及び MLF 制御システムの判定との違い（受入ビーム不一致）による不具合が原因と判断し、低温水素システム側で機器を保護するために改良を行った。

(改良)

改良は、上記の事象が発生した場合、本制御システムから直接 MPS を発信してビームを停止させる対策を講じた。Fig.6.7 に受入ビーム不一致のフローチャートを示す。低温水素システムで判定したビーム出力と MLF 制御システムで指示しているビーム出力が異なる場合に MPS 信号を発信する。上段は、ビーム停止フラグが ON のとき、低温水素システムではビーム停止判定値を3秒以上下回るとき、同時に MLF 制御システムでのビーム出力が100kW以上の場合は、MPS 信号を発信してビームを停止させる。下段は、ビーム受入状態のとき、昇温している状態でないときに、低温水素システムのビーム出力入射判定値以下、つまりビームが入射されていないと判断しているのに、モデレータ出口圧力が1.6MPa以上となった場合は、MPS 信号を発信してビームを停止させる。このフローチャートを基に制御システム内のシーケンスプログラムを追加した。さらにハード的に制御盤内の配線やリレーを追加して Fig.6.8 のシーケンス回路を組んで本フローチャートどおりの動きができるように改良した。これによって同事象における低温水素システムの運転停止リスクを減らして、計画外の停止を防ぐようにした。



## 6.6 ヘリウム置換用真空ポンプの電流値モニタの追加

ヘリウム置換用真空ポンプは、MLF 屋外のヘリウム圧縮機棟の機器及び配管の真空置換や、MLF3 階の大型機器取扱室にあるヘリウム冷凍機のコールドボックス内の機器及び配管の真空置換などに用いる真空ポンプである。Photo 6.1 にヘリウム圧縮機棟内に設置してあるヘリウム置換用真空ポンプとその運転操作盤を示す。これまで MLF3 階のコールドボックス内の配管や機器を真空置換する場合、ヘリウム圧縮機棟のヘリウム置換用真空ポンプ運転操作盤と大型機器取扱室のコールドボックスに人員を配置し、運転操作盤の真空ポンプ電流値（負荷）の確認とコールドボックス周りのバルブ開度の調整を両者で連絡を取り合いながら行い、真空置換作業を実施していた（Fig.1.2 の配置図を参照）。そこで、真空ポンプの電流値を本低温水素システムの制御システムの「HITS」に表示できるようにし、大型機器取扱室のコールドボックス周りで監視用のノート PC によって真空度を確認できるように改良した。これによって、作業時の人員を減らすことができ、作業効率が向上した。



Photo 6.1 ヘリウム置換用真空ポンプと運転操作盤

## 6.7 ターボ分子ポンプの振動モニタの追加

低温水素システムの水素循環ユニットを包括した真空容器及びモデレータまでの真空配管は、ロータリーポンプとターボ分子ポンプで構成した 2 式の真空排気装置によって、運転中は真空断熱のために常時高真空を維持している。ターボ分子ポンプは動翼が高速回転で稼働しており、高周波数音が少なからず生じている。近年、その異音を確認して予備機と交換していたが、周囲の騒音や聴覚の個人差によって異音の判定が遅れることもあった。そこで、ターボ分子ポンプに振動計を取付けて、振動計の波形でも異常の有無を判断できるように改造した（Photo 6.2）。また、振動計の波形モニタを本低温水素システムの制御システムの「HITS」で表示できるように改良した。これによって、異常診断の監視の目を増やし、定量的な判断が可能となった。

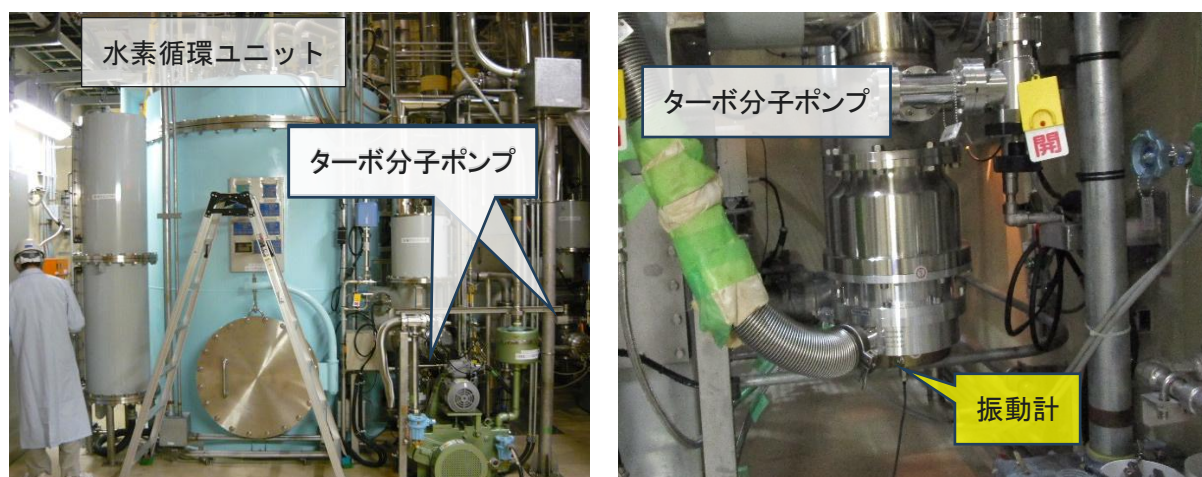


Photo 6.2 ターボ分子ポンプと振動計

#### 6.8 コールドボックスの真空度モニタの追加

2020年1月31日に「コールドボックス断熱真空層圧力高」の警報によって、ビーム利用運転を一時停止させたことがあった。調査の結果、コールドボックスの真空断熱層を維持するための真空ポンプ（ドライポンプ、ターボ分子ポンプ）が停止して真空度が劣化したことが原因と判明した。真空ポンプが停止した原因は電源の接触不良だったため、コールドボックスと真空ポンプの間のバルブを閉じて真空度の劣化を抑え、その間に電源接触不良を解消してビーム利用運転を再開した。これまでコールドボックス真空度は現場盤でしか確認できなかったのので、制御室で運転員がコールドボックスの真空度を監視できるように、コンベクトロン真空計を追加設置した（Photo 6.3）。追加した真空度を本低温水素システムの制御システムの「HITS」の画面で表示できるように改良した。これによって、制御室で異常を察知することができ、直ちに対応することが可能となった。

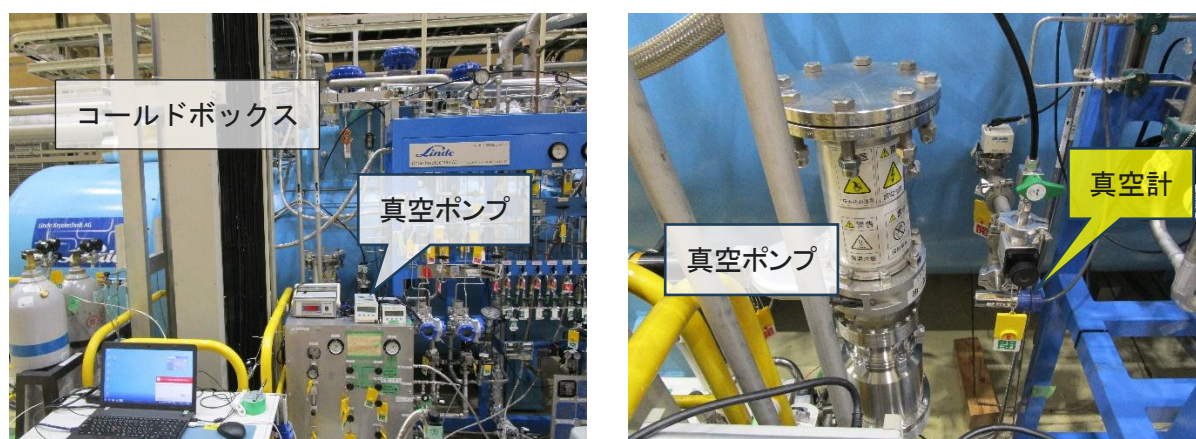


Photo 6.3 コールドボックス真空度測定用コンベクトロン真空計追加

## 7. 主な不具合事象と対策

2018年度から2022年度の間で起きた主な不具合等の事象について、その経緯や調査、対策について以下に記す。

### 7.1 計画停止時のコールドボックス及びセーフティボックスの真空度劣化事象

#### (1) 経緯

2020年6月27日、MLFにおける1MWビーム試験が終了後、昇温するために計画停止を行った。手順どおりに冷凍機の内部吸着器であるADSをバルブで封じ切って、昇温中にADSから不純物が流出しないようにした。この時、ヘリウム冷凍機を包括する真空容器であるコールドボックスの真空排気用ターボ分子ポンプが停止していることに気づき、真空度が劣化していく変化を真空計で確認した。真空排気系をバルブで仕切ったが、徐々に真空度が劣化したため、コールドボックスの出入口弁を閉じて封じ切り、コールドボックス内部を手動で昇温した。Fig.7.1に真空排気系の構成を示す。

また、計画停止実施後、水素循環系を包括する真空容器であるセーフティボックスの真空度も徐々に劣化し、真空計であるBAゲージのフィラメントが切れる恐れが生じたため、真空排気系をバルブで切り離した。この段階で真空度は回復した。

手動にて昇温後、再度真空排気系を稼働したところ、コールドボックス及びセーフティボックスとも正常な真空度に到達した。

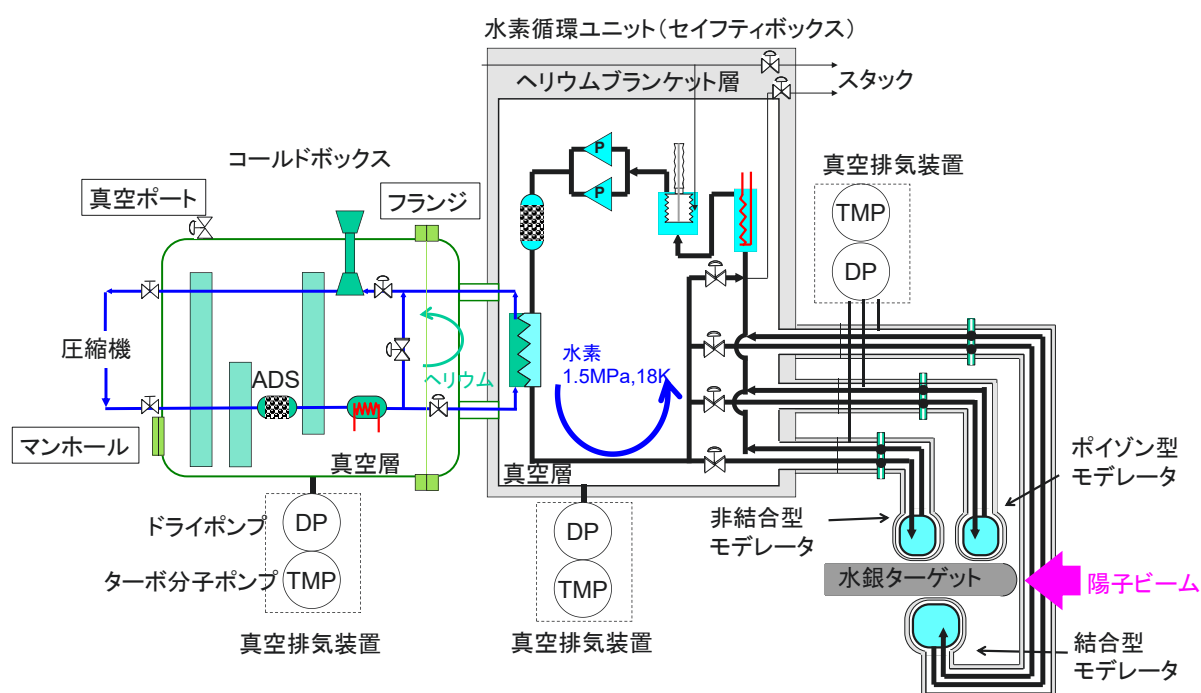


Fig. 7.1 コールドボックスとセーフティボックスの真空排気系の構成

## (2) 原因調査

### コールドボックス；

- ・コールドボックスのリークを疑い、He リークディテクタで真空法によるリークチェックを行った。リークチェックの対象は、マンホール、フランジ、真空ポートとしてビニルによるマスキングを行った。その結果、2 箇所の真空ポートで  $10^{-5}\text{Pa}\cdot\text{m}^3/\text{s}$  台のリークを確認した。
- ・2019 年に交換作業した ADS のフランジ部、タービン入口フィルタハウジングの取り付け部のリークを疑い、コールドボックスを開放して He リークチェックを実施した。その結果、リークは確認できなかった。

以上の観測結果から、真空ポートのリーク箇所から運転中に大気がコールドボックス内に侵入し、配管等の表面に凍った大気成分が、昇温によって温度が上がった際に気化して真空度を劣化したと判断した。

### セイフティボックス；

- ・質量分析計のデータを確認したところ、大気成分を検知した。真空排気系とセイフティボックスの間は He ブランケットで囲まれているので、リークがある場合は He を検知するはずである。
- ・真空排気系側の継ぎ手類のリークを疑い、He リークディテクタで真空法によるリークチェックを行った。リークチェックの対象は、真空排気系のバルブ、BA ゲージ、継手としてビニルによるマスキングを行った。その結果、BA ゲージに触れると真空度が不安定であったが、連続的に劣化しなかった。
- ・過去に He リークディテクタを保守のために交換する際、大気を一瞬入れてしまい、その後数時間に 1 回程度スパイク状の真空度の変動が生じたことがあった。これは作業手順が不十分でバルブを閉じずに開放したためで、以降手順を熟考して理解を深めることとした。

以上の調査結果から、過去にセイフティボックス内に侵入した大気が、配管等の表面に凍りつき、昇温によって温度が上がった際に気化して真空度を劣化したと判断した。

## (3) 対策

- ・コールドボックスの真空ポートの O リングを交換して、リークを解消した。
- ・セイフティボックスの BA ゲージを O リング含めて交換した（毎年実施）。
- ・定期自主検査後、試運転を行い、定格時及び昇温時も異常がないことを確認した。

この事象はその後は再発していない。使用頻度によるが、O リング等のガスケット類は定期的に更新が必要である。また、作業手順が不十分な点はマニュアルを整備して周知を図った。

## 7.2 ヘリウムブランケット（C1 チャンバ）のリーク事象

### （１）経緯

2020 年度夏季保守期間で定期自主検査が終了後、試運転準備を行っている際、セイフティボックスのヘリウムブランケットにおいて 1 週間で約 0.02 MPa の圧力降下を確認した。

### （２）原因調査

調査の結果、C1 チャンバの保守点検用角形フランジの溶接部からのリークを発泡検査で確認した（Photo 7.1）。溶接時の溶接不良、もしくは経年によって薄い溶接部に割れが生じて進展したと思われる。

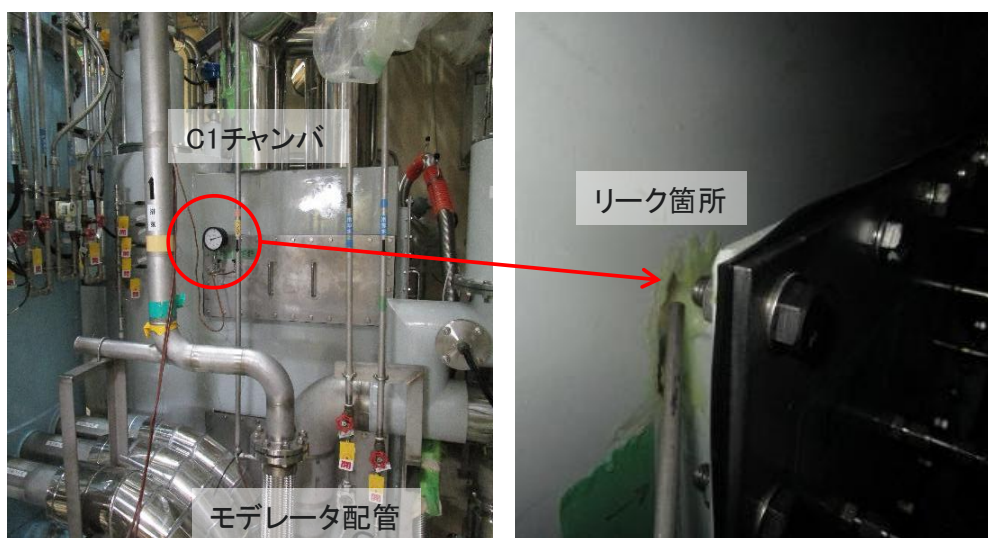


Photo 7.1 C1 チャンバ全景とリーク箇所

### （３）対策

- ・アララダイト（接着剤）による応急処置を行うことでリークは収まった。
- ・2021 年 1 月からの運転で再度圧力降下を確認した。毎週の加速器のメンテナンス日にヘリウムガス約 0.02 MPa の補充を行い、運転を維持した。
- ・2021 年度の夏季保守期間で再溶接の修理を行い、気密検査で異常がないことを確認した。

## 7.3 試運転時のタービントリップ事象

### （１）経緯

7.1 のコールドボックスの真空度劣化事象でコールドボックスを開放したため、加えて事象の対策後の確認のために 2020 年 10 月 22 日から試運転を実施した。クールダウン開始後、約 8 時間経過した後、40K ホールドに到達する直前でタービントリップが発生してクールダウンのシーケンスが停止した。タービン回転数が通常の 2,470rps から急激に 3,000rps に上昇し、「回転数 HH (2,600rps 以上)」でインターロックにより停止した。その後、タービンの健全性を確認する

ため、再起動を試みたが、起動後 30 分で同様にタービンがトリップした。

## (2) 原因調査

J-PARC センター低温セクションの協力を得て、直ちに以下の調査を行った。

- ・タービンプレーキ弁動作確認：異常なし
- ・タービン入口フィルタの開放点検：異常なし
- ・タービン変換機の確認：
  - －模擬周波数に対して指示値の異常なし。
  - －電圧不足で指示値が不安定となった（回転数としては減少方向）。
  - －ノイズの可能性があるため模擬信号を入力継続して昼夜観察したが異常はなかった。

メーカーによるタービン開放点検及び予備機との交換作業を行った（Photo 7.2）。

- ・タービン開放点検：異常なし
- ・回転センサーの抵抗値が初めに一瞬値が出たが、オーバーレンジとなった。
- ・予備タービンの取り付け実施、回転センサーの抵抗値は  $957\Omega$  で異常なし。

以上の調査結果から、回転センサーの故障が原因と分かり、予備のタービンと同時に交換した。

また、念のためタービン変換機とタービンプレーキ弁ポジションナーを交換した。

試運転再開のために以下の準備を行った。

- ・低温セクションから予備のタービン変換機を準備、設定値を調整した。
  - －模擬周波数による回転数を確認して異常なし。
- ・低温セクションからタービンプレーキ弁ポジションナーを準備して、アンサーバックによる動作の監視ができるように交換した。
  - －動作確認して異常なし。



Photo 7.2 タービンの交換作業

## (3) 対策

- ・予備タービンと交換した（回転センサーを含む）。
- ・タービン変換機とタービンプレーキ弁ポジションナーを交換した。

再度試運転を行い、異常なく運転できることを確認した。その後、異常なく運転を継続した。

#### (4) 備考

2006年に冷凍機を設置した当初から2019年夏季までタービン1号機を10年以上使用しており、2号機は異常時に交換する予備機としていた。2号機は約10年保管していたので、適時使用の方が良いと考え、2019年夏季から1年使用したところで今回の不具合が生じた。このため保守を行って予備機となっていた1号機に交換して、運転を維持した。今後は、2台のタービンを5年毎に交換しつつ、保守点検を行うことで不具合の発生を抑えるように運用することとした。

### 7.4 制御系サブCPUの通信異常事象

#### (1) 経緯

4.2(6)で示したように、2021年度夏季保守期間で制御システムVMEをEzMPICSに更新した。更新後の試運転では異常はなかったが、運転停止中の12/27に二重化のサブCPUが動作を停止した。通信不良を疑って再起動により復旧したが、原因が不明のため、1/4にメーカーがメイン・サブの両方のCPU基盤及びベースを自社予備品と交換し、ローディングして正常復旧した。交換したCPUはメーカー側で持ち帰り、原因調査を行った。

この後交換したCPUも同様に、3/19にサブCPUが通信異常で動作を停止して、再現した。この当時冷凍機は運転中で、運転中の再ローディングは運転停止の恐れがあるため、ビーム利用運転が休止する5月までメインCPUのみで運転継続した。

#### (2) 原因調査

原因調査の結果、二重化の機能としてCPUの切り替えがあった場合、データ移行に支障がないように、メインCPUからサブCPUに定期的に「データ転写とリセット」が繰り返し行われているが、その「リセット」が働かずメモリがオーバーフローしたことが分かった。

#### (3) 対策

- ・5月のビーム利用運転が休止する期間で、低温水素システムの運転も停止して、改修したソフトをCPUに入れて復旧した。
- ・その後の運転において異常はなくなった。

定期的（運転時は加速器のメンテナンス日）にCPUのメモリ量を確認しており、異常な増加は見られていない。

### 7.5 冷凍機自動弁用ポジショナー更新時の調整不良による冷却速度異常事象

#### (1) 経緯

2021年の夏季保守期間で冷凍機の自動弁用ポジショナーを更新した。その後、試運転を行って冷却（クールダウン）を始めた際、過去の運転時よりもヘリウム量が40 g/sだったところが80 g/sと2倍となった。このため冷却速度が早まり、これまでクールダウンの1日目に温度を一旦保持

する 50K 付近に到達するまで約 9 時間かけていたが、約 3 時間短縮した。このとき冷却速度を緩めるための内部ヒータが、最大出力を超えていたので、熱補償が追いつかず熱交換器出入口温度差が自動的に制限していた 50℃以上を超えてしまった。直ちに手動操作によるクールダウンを行い、50K 付近で保持させた。このあと通常の再冷却を行って、18K 定格運転に到達した。Fig.7.2 に過去のクールダウンと比較したヘリウム冷凍機温度とヘリウム流量の変化を示す。

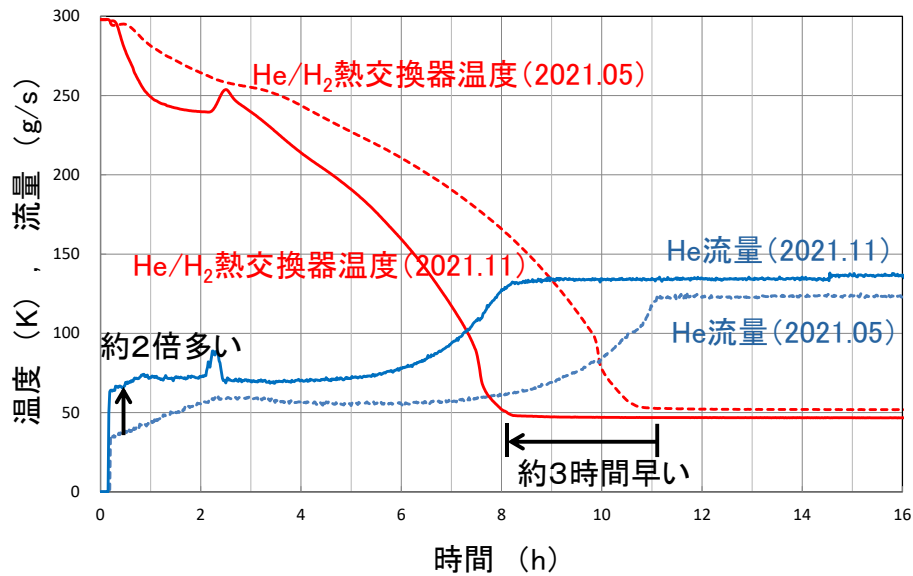


Fig.7.2 クールダウン時の冷凍機温度とヘリウム流量の変化

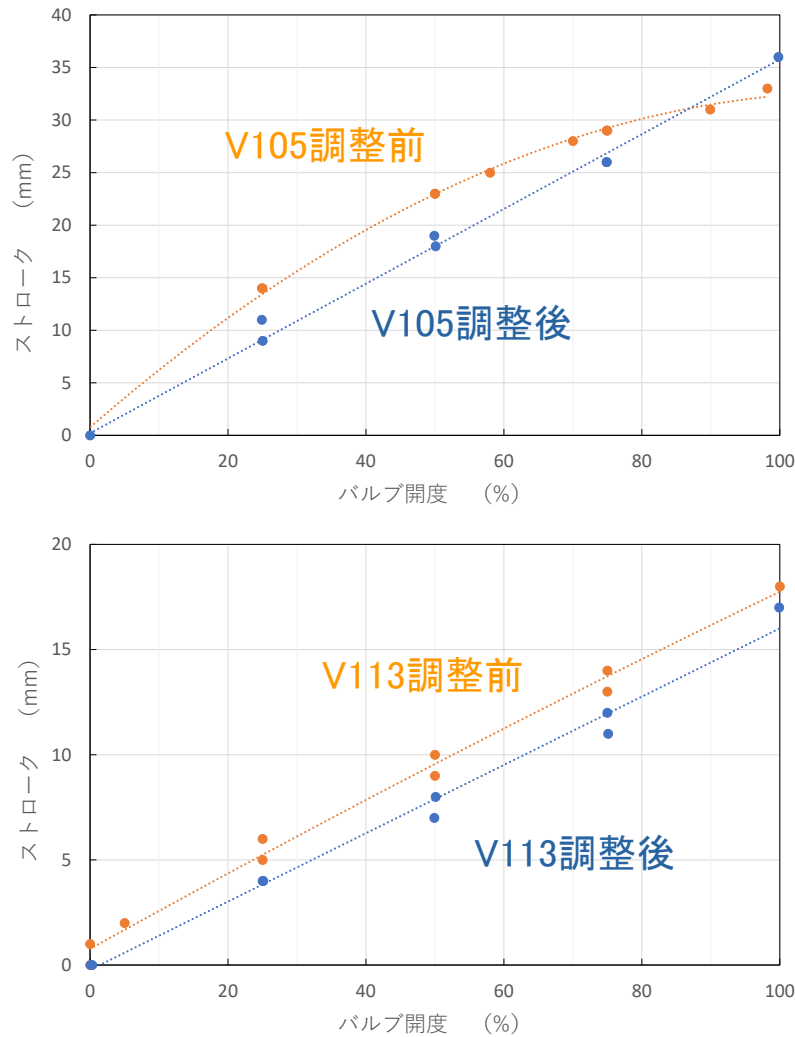


Fig.7.3 バルブ開度とストロークの関係

## (2) 原因調査

自動弁のポジショナーは、遠隔操作によるバルブの開度指示を受け、設定した開閉速度やレンジなどのパラメータに従って開閉操作を制御する機器である。制御システムの運転操作画面から開度指示値を与え、ポジショナーにもその開度表示値が示され、圧空を供給したアクチュエータとスプリングによってレバーを動かしてバルブシャフトを上下作動させる。以下を確認した。

- ・開度指示値とポジショナーの表示値の比較：同値を示して異常なし
- ・バルブの全開と全閉でのストロークの確認：図面どおりで異常なし
- ・ポジショナーのパラメータ設定値の確認：設定表どおりで異常なし
- ・バルブの 0、25、50、75、100%開度時のストロークの確認：
  - ータービン入口弁 V105 で開度とストロークの関係が比例関係ではなかった (Fig.7.3)。
  - ータービンバイパス弁 V113 で開度に対するストロークが 2mm 開方向にずれていた (Fig.7.3)。
  - ータービン入口弁 V105 のポジショナー内のバルブを駆動させるレバーに緩みがあった。

以上の調査結果から、V105 についてはポジショナー内のレバーの固定不良によって開度とストロークが正常な比例関係でなかったことと、V113 についてはポジショナーの調整不足が原因であることが分かった。

### (3) 対策

- ・ V105 のポジショナーのレバーを確実に固定して再設置、V105 と V113 ポジショナーのイニシャライズを行い、開度とストロークの関係は改善した (Fig.7.3)。
- ・ ポジショナー内部のレバーについては開放しないと確認できないため、メーカー出荷時での確認を要請するとともに、設置前にも予め確認することとした。
- ・ このあと V105 と V113 ポジショナー更新に伴う再調整を行って再度試運転を行ったが、バルブ開度に対する実際の流量に誤差があったため、クールダウン初期のヘリウム流量は通常 40 g/s に対して 30 g/s と少なくなった。これによりクールダウンの冷却速度が多少遅くなって、定格到達までに約 3 時間長くなり、機器にとっては安全側のクールダウンを行うことになる。効率的な運用には以前の準備時間が適していることから原状復帰を行うために、プログラムシーケンス上の開度設定値を計算で求め、クールダウン時のヘリウム流量を 2022 年度の夏季保守期間で調整した。
- ・ 2022 年度の夏季保守期間で V105 と V113 ポジショナーをアンサーバック付きに変更し、開度指示に対する実開度を監視できるようにした。

その後はこれまでどおりの時間でクールダウンができて、運転を継続している。今後、ポジショナーを更新する際には、事前に機器の点検を行い、動作確認としてバルブ開度とストロークの関係に異常がないことを確認する。

## 8. あとがき

低温水素システムの運転・保守管理については、ビーム利用運転に合わせてほぼ計画どおりの運転・保守を行うことができた。2018年度から短時間であるが、目標加速器定格出力の1MW相当の930kWのビームを無事に受け入れて、設計どおりの運転特性を確認した。低温水素システムは、高圧ガス製造施設であり、法令に基づいた管理を遂行して、施設検査や茨城県の立ち入り検査にも対応した。

経年劣化対策や予防保全として、ハードウェア及びソフトウェアの計画的な更新や改良、改善を行うとともに、作業効率向上のための自動化なども実施した。運転中や保守中にいくつかの不具合があったが、ビーム利用運転には大きな影響は与えずに適宜対策を施した。それぞれの事象の原因を把握しており、対策を施すとともに得られた教訓を今後に生かしていく必要がある。

今後も、低温水素システムを長期的な安定かつ安全運転も継続に努めるとともに、性能向上及び高度化を進め、多種多様な最先端の研究開発を行っているJ-PARC センターMLF 施設の利用に貢献していく。

## 謝 辞

本報告書をまとめるにあたり、物質・生命科学ディビジョンの高田弘氏に懇切丁寧なご指導とご助言をいただきました。また、中性子源セクションの原田正英氏には貴重なご助言をいただきました。J-PARC センター低温セクションの榎田康博氏をはじめ、セクション員の方には不具合対応時には多くのご助言とご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 参考文献

- 1) H. Takada, et al., Materials and Life Science Experimental Facility at the Japan Proton Accelerator Research Complex I: Pulsed Spallation Neutron Source, Quantum Beam Sci. 2017, 1(2), 8; <https://doi.org/10.3390/qubs1020008>
- 2) M. Teshigawara, et al., In-situ measurement of radiation driven back-conversion from para to ortho liquid hydrogen state in cold moderators at J-PARC, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B, Vol. 557, p.165534\_1 - 165534\_10, 2024.
- 3) 麻生智一他, 極低温水素システムヘリウム冷凍機の不具合調査と対策, JAEA-Technology-2017-021, 2017, 75p.

Table 4.1 低温水素システムのヘリウム圧縮機 メンテナンス計画表

| 年度<br>実施年月<br>運転時間 | 検査                            | 周期      | H30年度                 | R元年度     | R2年度     | R3年度    | R4年度    |
|--------------------|-------------------------------|---------|-----------------------|----------|----------|---------|---------|
|                    |                               |         | 2018.7                | 2019.7   | 2020.7   | 2021.7  | 2022.7  |
|                    |                               |         | 51,004h               | 57,247h  | 63,039h  | 69,481h | 74,227h |
| 点検                 | 外観・目視点検                       | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 圧縮機点検                         | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 圧縮機分解点検                       | 4年毎     | ●                     |          |          |         | ●       |
|                    | 油ポンプ点検                        | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 油ポンプ分解点検                      | 4年毎→3年毎 |                       |          | 交換       |         |         |
|                    | ガス冷却器点検                       | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | ガス冷却器分解点検                     | 4年毎     |                       |          | ●        |         |         |
|                    | 油冷却器点検                        | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 油冷却器点検分解点検                    | 4年毎     |                       |          | ●        |         |         |
|                    | 1次油分離器点検                      | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 1次油分離器分解点検                    | 4年毎     |                       |          | ●        |         |         |
|                    | 2次油分離器点検                      | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 2次油分離器分解点検                    | 3年毎     |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 3次油分離器点検                      | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 3次油分離器分解点検                    | 3年毎     |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 活性炭吸着器点検                      | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 活性炭吸着器分解点検                    | 3年毎     |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 入口ガスフィルター開放点検                 | 8年毎     | ●                     |          |          |         |         |
|                    | 油ろ過器点検                        | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 油ろ過器分解点検                      | 4年毎     | ●                     | (フィルタ清掃) | (フィルタ清掃) |         | ●       |
|                    | 電動機ベアリング交換                    | 4年毎     |                       |          |          | ●       |         |
|                    | 圧縮機ベアリング交換                    | 4年毎     | ●                     |          |          |         | ●       |
|                    | 電動機分解点検                       | 8年毎     |                       |          |          |         |         |
|                    | 計器類点検                         | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | 法定検査(気密検査、インターロック検査)          | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
|                    | ガス中の油分析                       | 毎年→別発注  | →コールドトラップ法による高精度測定に変更 |          |          |         |         |
|                    | 潤滑油の分析                        | 毎年      | ●                     | ●        | ●        | ●       | ●       |
| 消耗品の<br>交換         | 圧縮機メカシール交換                    | 4年毎     | ●A                    |          |          |         | ●B      |
|                    | メカシール(A)研磨                    | 交換前年    |                       |          |          |         |         |
|                    | メカシール(B)研磨                    | 交換前年    |                       |          |          | ●(1回)   |         |
|                    | 油ポンプメカシール交換                   | 3年毎     |                       |          | ●        |         |         |
|                    | 1次分離器エレメント交換                  | 4年毎     |                       |          | ●        |         |         |
|                    | 2次分離器エレメント交換                  | 3年毎     |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 3次分離器エレメント交換                  | 3年毎     |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 吸着器の活性炭交換                     | 3年毎     |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 入口ガスフィルター交換                   | 8年毎     | ●                     |          |          |         |         |
|                    | 油ろ過器フィルター交換                   | 4年毎     | ●                     |          |          |         | ●       |
| その他補<br>修、交換       | 潤滑油交換・補充                      | 適時      | 100L補充                |          | 交換       |         | 100L補充  |
|                    | 圧縮機入口弁点検                      | 適時      |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | 圧縮機出口弁点検                      | 適時      |                       | ●        |          |         | ●       |
|                    | オリフィス点検                       | 適時      |                       |          | ●        |         | ●       |
|                    | バイパス弁V102整備                   | 適時      |                       |          |          |         | ●       |
|                    | 油ポンプ及び電動機新規交換                 | 適時      |                       |          | ●        |         |         |
|                    | V210修理                        | 適時      |                       |          |          |         |         |
|                    | 電装部品交換                        | 8年毎     |                       |          |          |         |         |
|                    | CV139修理                       | 適時      |                       |          |          |         |         |
|                    | V103修理                        | 適時      |                       |          |          |         |         |
|                    | 主要弁整備(V100・107・207・210・NV200) | 適時      |                       | ●        |          | ●       | ●       |

Table 4.2 低温水素システムの冷却塔の保守計画表

| 年度   | 検査                    |                       |                                                                                       | 周期       | H30年度     | R元年度   | R2年年度  | R3年度   | R4年度   |
|------|-----------------------|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------|--------|--------|--------|
| 実施年月 |                       |                       |                                                                                       |          | 2018.9    | 2019.8 | 2020.8 | 2021.8 | 2022.8 |
| 点検   | 冷却塔関係                 | 翼                     | 年次点検(外観・目視、ボルト・ナットゆるみ、クリアランス測定など)                                                     | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       | オイルシール                | 年次点検(外観検査(磨耗、劣化)、グリスの漏れ)                                                              | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       | ベアリングボックス             | 新規品に交換                                                                                | 適時→3年毎   |           |        | ●      |        |        |
|      |                       | ブーリー                  | 年次点検(外観検査(溝の磨耗、錆の有無、その他)、ボルトナットゆるみ)                                                   | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       | 電動機                   | 年次点検(外観・目視、ボルト・ナットゆるみ、絶縁抵抗測定など)                                                       | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       |                       | 開放点検(ベアリング、水切りカラー、ガスケットなどの消耗部品全ての交換含む)                                                | 適時→2年毎   | ●         |        | ●      | 更新     |        |
|      |                       | 熱交換器                  | 外観検査                                                                                  | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       |                       | 清掃                                                                                    | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      | 冷却水ポンプ                | 散水ポンプ                 | 年次点検(外観・目視、ボルト・ナットゆるみ絶縁抵抗測定など)                                                        | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       |                       | 開放点検(ベアリング、水切りカラー、ガスケットなどの消耗部品全ての交換含む)                                                | 適時→毎年    | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       | 水ポンプ本体                | 年次点検(外観・目視、ボルト・ナットゆるみ絶縁抵抗測定など)                                                        | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       |                       | 開放点検(メカニカルシール、ベアリング、軸継手ゴム、Oリング、パッキンなどの消耗部品全ての交換含む)                                    | 適時→2年毎   | ●         | ●      | ●      | ●      | 更新     |
|      |                       | 電動機                   | 年次点検(外観・目視、ボルト・ナットゆるみ絶縁抵抗測定など)                                                        | 毎年       | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      |                       |                       | 開放点検(ベアリング、水切りカラー、ガスケットなどの消耗部品全ての交換含む)、芯調整                                            | 適時→2年毎   | ●         |        | ●      | ●      | 更新     |
|      | 計装                    | 温調器、ヒータートレース、スペースヒーター | 年次点検(外観・目視、絶縁抵抗測定など)                                                                  | 適時→毎年    | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      | 冷却塔清掃                 | 清掃                    |                                                                                       | 適時→毎年    | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      | 補修塗装                  | 塗装作業                  |                                                                                       | 適時→毎年    | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
| 分析   | 水質分析                  |                       | PH、電気伝導度、濁度、酸消費量、全硬度、カルシウム硬度、塩化物イオン、イオン状シリカ、鉄、硫酸イオン、アンモニウムイオン、亜鉛、銅、オルガド濃度、一般細菌、レジオネラ菌 | 年2回(別発注) | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
| 消耗品  | ファンベルト(2本)、予備2本       | 交換                    |                                                                                       | 適宜→毎年    | ●         | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      | オルガード®602C (水交換毎1.6L) | 注入                    |                                                                                       | 適宜       |           | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      | 温度計                   | 交換                    |                                                                                       | 適宜       | ●         |        |        |        |        |
|      | 圧力計                   | 交換                    |                                                                                       | 適宜       |           | ●      |        |        |        |
|      | kits製手動弁交換            | 交換                    |                                                                                       | 適宜       |           |        | ●      |        |        |
| その他  | 保温材                   | 交換、補修                 |                                                                                       | 適時       |           |        |        |        |        |
|      | 熱交換器交換破裂対応            | 補修                    |                                                                                       | 適時       |           |        |        |        |        |
|      | 冷却ファン電動機2台交換          | 交換                    |                                                                                       | 適時       |           |        |        | ●      |        |
|      | 散水ポンプ更新               | 交換                    |                                                                                       | 適時       |           |        |        |        |        |
|      | 電流計、変流器交換             | 交換                    |                                                                                       | 適時       |           |        |        | ●      |        |
|      | 熱交換器交換                | 交換                    |                                                                                       | 適時       | ●<br>分解清掃 |        |        |        |        |
|      | スペースヒータ用温度ヒューズ交換      | 交換                    |                                                                                       | 適時       |           |        |        |        |        |
|      | 補給水フィルターハウジング フィルタ交換  | 交換                    |                                                                                       | 適時       |           | ●      | ●      | ●      |        |
|      | 震災復旧作業                | 補修                    |                                                                                       |          |           |        |        |        |        |
|      | ストレーナ交換               | 交換                    |                                                                                       | 適時       | ●         |        |        |        |        |
|      | 冷却塔入出配管交換             | 交換                    |                                                                                       | 適時       |           |        |        |        |        |
|      | 給水フィルター交換             | 交換                    |                                                                                       | 毎年       |           | ●      | ●      | ●      | ●      |
|      | ブーリー交換                | 交換                    |                                                                                       | 3年毎      | ●(No.1)   |        | ●      |        |        |

Table 4.3 低温水素システムの定検、水素系、真空計等の保守計画表

| 年度             | 検査                                      |                           |                                | 周期                           | H30年度      | R元年度    | R2年度          | R3年度    | R4年度    |
|----------------|-----------------------------------------|---------------------------|--------------------------------|------------------------------|------------|---------|---------------|---------|---------|
| 実施年月           |                                         |                           |                                |                              | 2018.9     | 2019.8  | 2020.8        | 2021.8  | 2022.8  |
| 点検             | 定期自主検査                                  |                           |                                | 毎年                           | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | 水素検知器                                   |                           | バッテリー交換 2年毎<br>センサー交換 4年毎or5年毎 | 2年毎<br>4年毎or5年毎              |            | ●       |               | ●       | ●       |
| 保守             | 制御システム                                  |                           | 保守<br>EzMPICS電池交換              | 毎年                           | ●          | ●       | ●             | ●更新     | ●       |
|                | 水素循環ポンプ                                 |                           | A号機<br>B号機<br>C号機              | 毎年→3年毎<br>毎年→3年毎<br>3年毎      | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | 予備                                      |                           |                                | インペラー、G10の購入<br>上下部軸受フランジの購入 | 2年毎<br>適時  | ●       | ●             |         | ●       |
| 校正             |                                         | 圧力伝送器                     | 水素ループ用(7台)                     | 比較検査                         | 適時→毎年      | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | 供給架台用(2台)                               |                           | 比較検査                           | 適時→毎年                        | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | コールドボックス用(8台)                           |                           | 比較検査                           | 適時→毎年                        | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | ヘリウム系用(4台)                              |                           | 比較検査                           | 適時→毎年                        | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | ブラケット用(4台)                              |                           | 比較検査                           | 適時→毎年                        | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | CE用(2台)                                 |                           | 比較検査                           | 適時→毎年                        | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | ヘッダ用(2台)                                |                           | 比較検査                           | 適時→毎年                        | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | ポータブル水素検知器(ドレーゲル)                       | 点検及び校正                    | 毎年                             |                              | ●          | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | ポータブル水素検知器(新コスモス)                       | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | 取扱終了       | 更新      | ●新コスモス        | ●       |         |
|                | ポータブル酸素濃度計(新コスモス)                       | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            |            | 更新      | ●             | ●       |         |
|                | 定置式酸素濃度計(新コスモス)                         | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | ●          | ●       | ●             | ●       |         |
|                | ポータブル露点計(ミッセル)                          | 点検及び校正                    | 適時                             |                              | ●2台        | ●2台     | ●1台           |         |         |
|                | ミラー式→水晶発振式水分計                           | 点検及び校正                    | 適時                             |                              |            |         | ●             |         |         |
|                | 水素分析計(露点計、酸素濃度計)                        | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | 更新         | ●       | ●             | ●       |         |
|                | ループキャリブレータ(GE)                          | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | ●          | ●       | ●             | ●       |         |
|                | 基準圧力計(長野計器)                             | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | ●          | ●       | ●             | ●       |         |
|                | デジタルマルチメータ(横河)                          | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | ●          | ●       | ●             | ●       |         |
|                | 水素分析計(H <sub>2</sub> O、O <sub>2</sub> ) | 点検及び校正                    | 毎年                             | ●                            | ●          | ●       | ●             | ●       |         |
| 検査             | LN2容器                                   |                           | 容器再検査                          | 製造20年以上2年毎、20年未満5年毎          | 2台購入       |         |               |         | ●(1/3)  |
| 保守             | 真空排気系真空ポンプ                              | (#509)ターボ分子ポンプ(SB)        | 点検及び保守                         | 30,000時間毎→2年毎                | ●7月(9月～SB) | ●7月     |               | (9月～SB) | ●       |
|                |                                         | (#495)ターボ分子ポンプ(モデレータ)     | 点検及び保守                         | 30,000時間毎→2年毎                | (9月～モデ)    | (モデ)    | ●7月           | (9月～モデ) | ●       |
|                |                                         | (#3806)ターボ分子ポンプ(予備機)      | 点検及び保守                         | 30,000時間毎→2年毎                | ●7月        | (9月～SB) | (SB)          | ●       | (9月～SB) |
|                |                                         | (#4648)ターボ分子ポンプ(予備機)      | 点検及び保守                         | 30,000時間毎→2年毎                |            |         | (9月～モデ)       | ●       | (9月～モデ) |
|                |                                         | (SB)ロータリーポンプ              | 点検及び保守                         | 8,000時間毎→2-3年毎               |            | ●       |               | ●       | ↓       |
|                |                                         | (モデレータ)ロータリーポンプ           | 点検及び保守                         | 8,000時間毎→2-3年毎               |            | ●       |               |         | ↓       |
|                |                                         | →(SB)ドライポンプに更新(R4～)       | 点検及び保守                         | 適時                           |            |         |               |         | 更新      |
|                |                                         | →(モデレータ)ドライポンプに更新(R4～)    | 点検及び保守                         | 適時                           |            |         |               |         | 更新      |
|                |                                         | 消耗品                       | BAゲージ                          | 交換                           | 毎年         | ●       | ●             | ●       | ●       |
|                | QMASS                                   | (SB)四重極質量分析計              | 修理                             | 適時                           |            | ●(校正)   |               |         | ●(校正)   |
|                |                                         | (モデレータ)四重極質量分析計           | 修理                             | 適時                           |            | ●(校正)   |               |         | ●(校正)   |
|                | Heリークディテクタ                              | (SB)リークディテクタ HELIOT700    | 点検及び保守                         | 8,000時間毎→2-3年毎               |            | ●       | ●             |         |         |
|                |                                         | (SB)リークディテクタ HELIOT900    | 点検及び保守                         | 2-3年毎                        |            | 購入      |               |         | ●       |
|                |                                         | (モデレータ)リークディテクタ HELIOT700 | 点検及び保守                         | 8,000時間毎→2-3年毎               |            | ●       | ●             |         |         |
|                |                                         | (モデレータ)リークディテクタ HELIOT900 | 点検及び保守                         | 2-3年毎                        | ●          | 購入      |               |         |         |
|                |                                         | (検査用)リークディテクタ HELIOT900   | 点検及び保守                         | 2-3年毎                        |            |         |               | ●       | ●       |
|                | その他真空ポンプ                                | CB用ロータリーポンプ               | 点検及び保守                         | 15,000時間毎                    | ドライに交換     |         |               |         |         |
|                |                                         | CB用油拡散ポンプ                 | 点検及び保守                         | 適時                           |            |         |               |         |         |
|                |                                         | 水素置換用真空ポンプ                | 点検及び保守                         | 適時                           |            |         |               |         |         |
|                |                                         | ヘリウム系統置換用真空ポンプ            | 点検及び保守                         | 適時                           |            |         |               |         |         |
|                |                                         | 水素配管置換用真空ポンプ              | 点検及び保守                         | 適時                           |            |         |               |         |         |
| 四重極質量分析計用真空ポンプ |                                         | 点検及び保守                    | 適時                             |                              |            | ●       |               | ●       |         |
| 校正             | ヘリウム圧縮機リアクトル制御盤 保護継電器校正<br>(消耗品)継電器購入   |                           | 点検及び校正<br>交換                   | 4年毎<br>15年程度                 |            |         |               | ●       |         |
| 保守             | 膨張タービン保守                                | 1号機<br>2号機                | 点検及び保守<br>点検及び保守               | 5年毎<br>5年毎                   |            | ●<br>交換 | 交換<br>センサー不具合 | ●       |         |
| 点検             | 液体窒素貯槽塗装作業<br>屋外配管                      |                           | 塗装作業<br>点検及び保守                 | 適時<br>5年毎                    |            |         |               | ●       |         |

Table 4.4 冷却塔水質分析測定項目と基準値

|         | 冷却水、補給水     | 開放水          |          | 冷却水、補給水      | 開放水                    |
|---------|-------------|--------------|----------|--------------|------------------------|
| pH(25℃) | 7～8         | 6.5～8        | 鉄        | < 1 (mg/L)   | < 1 (mg/L)             |
| 電気伝導率   | <40 (mS/m)  | <80 (mS/m)   | 硫酸イオン    | < 50 (mg/L)  | < 200 (mg/L)           |
| 濁度      | <20 (度)     | <20 (度)      | アンモニアイオン | < 1 (mg/L)   | < 1 (mg/L)             |
| 酸消費量    | < 50 (mg/L) | < 100 (mg/L) | 亜鉛       | —            | —                      |
| 全硬度     | < 70 (mg/L) | < 200 (mg/L) | 銅        | < 0.3 (mg/L) | < 0.3 (mg/L)           |
| カルシウム硬度 | < 50 (mg/L) | < 150 (mg/L) | オルガード濃度* | >800 (mg/L)  | —                      |
| 酸化物イオン  | < 50 (mg/L) | < 200 (mg/L) | 一般細菌     | —            | <10 <sup>5</sup> (/mL) |
| シリカ     | < 50 (mg/L) | < 30 (mg/L)  | レジオネラ菌   | —            | <10(cfu/100mL)         |

\*オルガード濃度：腐食防止用薬品の濃度

This is a blank page.



