

2024 年度
技術職員報告書

2025 年 7 月
核融合科学研究所技術部

はじめに

技術部 部長 林浩己

技術職員報告書は 2023 年度に開始され、今回の発刊は 2 回目となります。業務における創意工夫から得られた知見や経験を文書化することで、技術伝承や従来技術の改善・革新に寄与する機会となるため、今後も継続的に発刊されることを期待されます。

世界の核融合実現に向けた開発競争は日々進展しています。フュージョンエネルギー産学連携室に技術部を中心とした共同技術開発グループが設置され、官民連携の業務に積極的に参加した結果、技術職員の活動経費が賄われました。技術部は、この経費を利用して、5 年を目途に採用された技術職員に対し、10 年先を見据えたスキルアップ計画を自ら立案し、研修会や講習会に参加することで新しい技術の習得にも投資してきました。本報告書も技術力向上に役に立てることができれば幸いです。

2024 年度には、25 サイクル LHD 実験が 2024 年 3 月から 6 月にかけて実施されました。実験スケジュールも順調に消化し、トラブルもなく、予算削減の制約の中でほぼ 100% の稼働率を達成し、技術部の活動の実績として高い評価を受けましたが、本報告書で、それ以外にも技術協力や技術支援活動を行っていることを知っていただければと思います。また、核融合研技術部における活動に対する理解の一助となれば幸いです。

最後に、これまで技術部が活発に活動できたのは、ひとえに研究部および管理部をはじめとする多くの方々から頂いた、ご指導ご鞭撻のおかげと感謝しております。この場を借りて御礼申し上げます。

参考文献

技術部ホームページ

<https://etwww.nifs.ac.jp/>

英文年報

<https://www.nifs.ac.jp/report/annrep.html>

2023 年度技術職員報告書

https://etwww.nifs.ac.jp/report/2023_technical_staff_report_202407.pdf

2024 年度技術職員報告書

https://etwww.nifs.ac.jp/report/2024_technical_staff_report_202507.pdf

目 次

1. 機械システム技術課	5
1.1. マシナブルセラミックス製ビームダンプの製作方法	5
1.2. ECH 入退管理システムの構築	8
2. 設計開発技術課	11
2.1. 吸湿材自動再生プログラム.....	11
2.2. 放電プラズマ焼結法を用いた活性炭の高性能化.....	13
2.3. 九州大学球状トカマク QUEST トロイダルコイルの電磁力解析	16
2.4. 液体窒素汲み出し装置の汎用・高機能化.....	18
2.5. 第 25 サイクル LHD 運転不具合記録のまとめ	19
2.6. 超伝導マグネット研究棟の温度可変冷凍設備等の維持・保守管理（2024）	23
3. 電気電子技術課	26
3.1. GaN-FET を用いたインバータ電源の製作	26
3.2. 2024 年度 LHD-ECH の運用と保守について	29
3.3. 2024 年度はずみ車付き電動発電機の運用と保守について.....	31
3.4. 多治見工業高校インターンシップ対応	33
4. 計測分析技術課	34
4.1. コールドトラップの形状の違いによる試料水回収率の比較.....	34
4.2. 開発実験棟冷却水設備の制御システムへの PLC 導入による自動凍結防止運転	37
4.3. 負イオン源からタンデム加速器入射までのビーム輸送の改善.....	39
5. 制御情報技術課	41
5.1. IoT 用ボードコンピュータ (SPRESENSE) による機械学習を用いた AI 故障検知システム開発....	41
5.2. 研究会開催支援システム Indico の運用	43
5.3. ITER 低温システムダイナミックシミュレーション (80K~4.5K).....	45
5.4. 文献データベースの API を活用した独自の論文データベースの構築と研究成果の可視化	48
5.5. 情報システム・セキュリティセンター 情報ネットワークグループの活動	53
5.6. 無線アクセスポイント (eduroam) の整備について	55
6. 海外出張	57
6.1. 中国成都市 西南交通大学／合肥市 Keye 社への出張.....	57
6.2. アイルランド 33rd Symposium on Fusion Technology (SOFT2024) での成果発表	60
6.3. イギリス UKAEA 出張.....	62
6.4. フランス ITER 見学	63
6.5. フランス CEA カダラッシュ原子力研究センター	65
6.6. 国際シンポジウム SMA2025 の参加および共同研究打合せ（タイ王国 ワライラック大学）	69
7. 研修.....	73
7.1. 企業を対象とした特別支援学校作業学習体験会.....	73
8. 採用 1 年～3 年を経過して	75

8.1. 採用 3 年を経過して【設計開発技術課 柳原悠人】	75
8.2. 採用 1 年を経過して【制御情報技術課 葛原孝広】	76
10. 学会発表リスト	77
11. 受賞記録	79

報告書の表題右上の（ ）は、技術部の業務の分類を示しています。

- ・ (技)：技術部又は所属課の業務
- ・ (安全衛生)：安全衛生推進センターの業務
- ・ (LHD)：LHD に関する業務
- ・ 技術部における運用班の業務
 - (装置開発運用班)
 - (情報システム運用班)
- ・ 工学系施設部門における運用班の業務
 - (総合工学実験棟運用班)
 - (開発・計測実験棟運用班)
 - (超伝導マグネット研究棟運用班)
 - (CHD 運用班)
 - (計算機部門運用班)

1. 機械システム技術課

(技)

1.1. マシナブルセラミックス製ビームダンプの製作方法

機械システム技術課 清水貴史

本報告は、マシナブルセラミックス製ビームダンプの製作方法についてまとめたものであり、文書として残すことで技術継承を目的としている。ビームダンプは、ミリ波散乱計に使用される部品のひとつで、製作したものは京都大学の装置ヘリオトロンJにて使用するものである。

材料は、マシナブルセラミックスの1種であるマコール（製品名）を使用し、形状は図1に示すように、長方形のブロック上部に四角錐（ピラミッド形状）を複数配列したものである。加工工程は主にマシニングセンターによる切削加工で、使用した工作機械は、MCV350[メーカー：OKK]（図2）である。

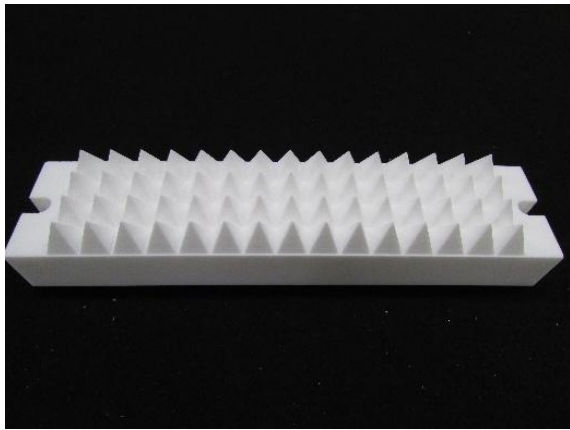


図1. 製作したビームダンプ



図2. MCV350

製品の素材であるマコールの特徴は金属に比べて硬く・脆いことで、切削加工を行うと工具の摩耗が激しいため加工が困難であるが、一般的なセラミックスに比べると加工性が改善され、ダイヤモンド工具だけでなく超硬工具による加工が可能と謳われている。しかし、実際に加工を行ってみると工具摩耗による切削面の欠けが発生することがわかった。このことから、工具は摩耗に強いダイヤモンド工具を選定した。しかし、ビームダンプの形状を削りだすためには、先端角45度のエンドミルが必要となるが、それに該当するダイヤモンド工具を見つけることができず、当該エンドミルに限り超硬工具を使用した。

・ビームダンプの加工工程について

完成形状は図3に示す図面のとおりで

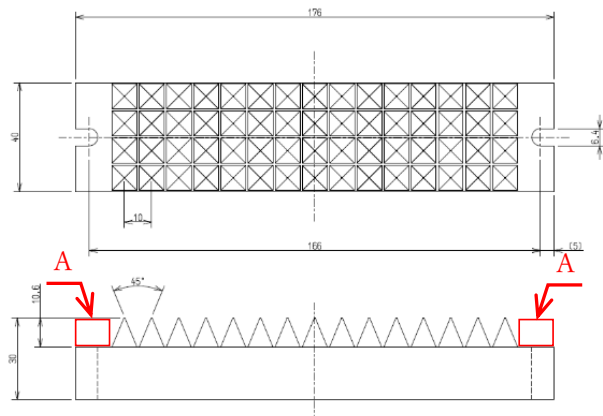


図3. 製作図面

る。材料サイズは、縦 40mm, 横 176mm, 厚さ 30mm を用意した。マコールは 6F 加工を行うと欠けが生じやすく時間も掛かるため、取り代はつけずに材料の手配を行った。

【工程①】

A (図 3 参照) 部の切削加工範囲を減らすために、ダイヤモンドソー[機種 V-22]を用いて不要部をカットする。

以降の工程はマシニングセンターを用いる。

A 部の仕上げ加工を行う。

使用工具：UDCRRS10060-020-150

切削条件：主軸回転数 [2500rpm]、テーブル送り [250mm/min]、切込み量 a_p [0.3mm]

【工程②】

取付け用の U 字切欠き部を切削する。

切欠き部はキリ穴でも機能上の問題はないが、深さ 20mm のドリル加工は加工物の割れなどに繋がる恐れがあったため、エンドミルで加工しやすい切欠き形状とした。

使用工具：DCLRS4060-05-300

切削条件：主軸回転数 [2650rpm]、テーブル送り [244 mm/min]、切込み量 a_p [0.3mm]

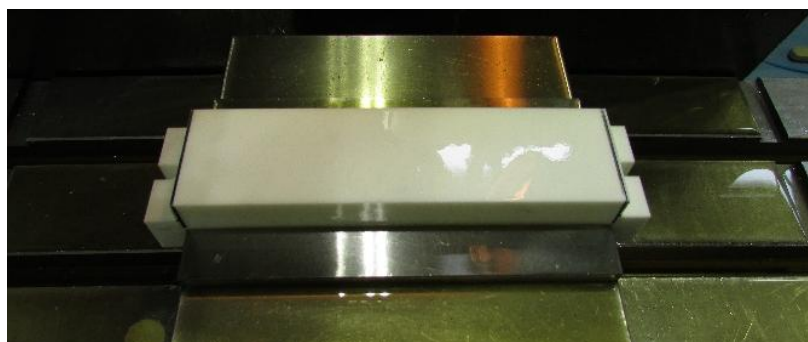


図 4. 工程①および②加工完了時

【工程③】

複数の四角錐部の荒加工を行う。荒加工は、X 方向と Y 方向に溝加工を行い、深さ 10.6mm まで切削することで階段状の形状を作る (図 5)。深さによってエンドミル径を変える必要があり、使用した工具や条件は下記のとおりである。

・溝幅： 8.0mm, 深さ：1.8mm, 使用工具：UDCRRS10060-020-150

切削条件：主軸回転数 [2500rpm]、テーブル送り [250mm/min]、切込み量 a_p [0.3mm]

・溝幅： 6.0mm, 深さ：4.2mm, 使用工具：UDCRRS10060-020-150

切削条件：主軸回転数 [2500rpm]、テーブル送り [250mm/min]、切込み量 a_p [0.3mm]

・溝幅： 4.0mm, 深さ：6.6mm, 使用工具：UDCRRS6040-020-100

切削条件：主軸回転数 [3000rpm]、テーブル送り [180mm/min]、切込み量 a_p [0.3mm]

・溝幅： 2.0mm, 深さ：9.0mm, 使用工具：UDCRRS6020-020-050

切削条件：主軸回転数 [3333rpm]、テーブル送り [200mm/min]、切込み量 a_p [0.2mm]

・溝幅： 0.8mm, 深さ：10.6mm, 使用工具：DCESY2008-0240

切削条件：エアスピンドル使用/圧力[0.4MPa]、テーブル送り [200mm/min]、
切込み量 a_p [0.1mm]

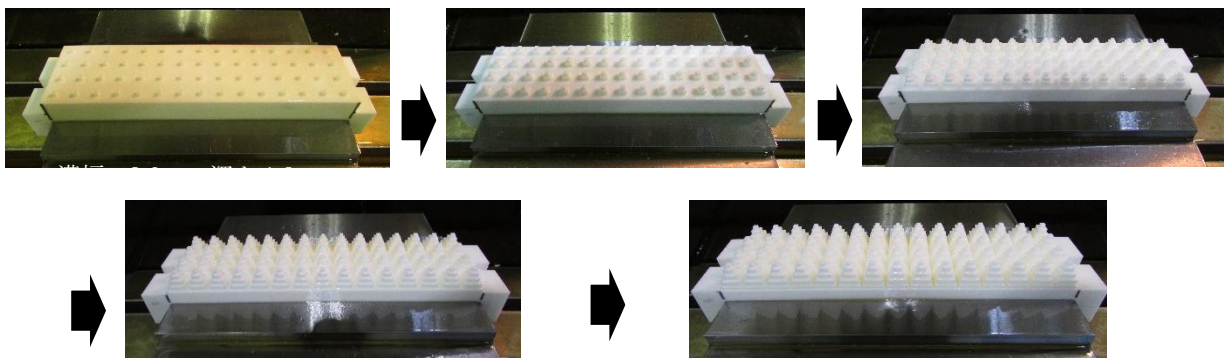


図 5. 工程③荒加工完了時

荒加工で使用するエンドミルはコーナーR付きを選定した。スクエアエンドミルでも加工可能であるが、ピン角部は、加工物の欠けに繋がる恐れがあると考えたことと工具摩耗に対してラジアスエンドミルの方が優位と考え、工具選定を行った。

【工程④(最終工程)】

四角錐部の仕上げ加工を行う。工具は、先端角 45 度の V 溝用エンドミルを使用した。荒加工で残した部分を切削するが、加工物の割れ防止のため深さ（Z 方向）4.2mm と 10.6mm の 2 回に分けて加工を行った。さらに、X および Y 軸方向の取り代も残った面積を半分に分けている。仕上げ加工において、深さ方向を分割するとツールマークが出てしまうが、本製品の性能に影響は小さいため割れ防止を優先して切削条件を決定した。

使用工具：SVEM12-12-0.4-45-15(ミスミによるオーダー工具)

切削条件：主軸回転数 [3000rpm]、テーブル送り [200mm/min]、切込み量 a_p [0.2mm]

以上の工程、条件によりマシナブルセラミックス製ビームダンブ（図 1）の製作を行った。

1.2. ECH 入退管理システムの構築

機械システム技術課 竹内俊貴

○竹内 俊貴 a)、横田 光弘 a)、野々村 美貴 a)、長原 一樹 a)、西浦 正樹 b)

a) 核融合科学研究所技術部、b) 核融合科学研究所位相空間乱流ユニット

1. はじめに

核融合科学研究所の大型ヘリカル実験棟内にある加熱装置室は、大型ヘリカル装置実験に使用する ECH システムを有している。ECH は使用時に高電圧が印加され、X 線が発生するため所内の規則として安全上フェンスで区画し入域を制限している。図 1 に加熱装置室の平面図を記す。

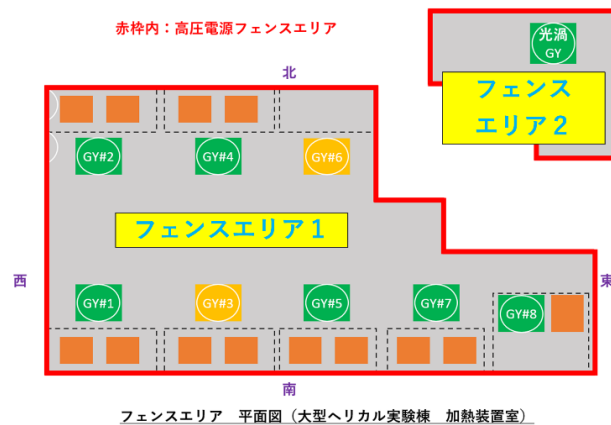


図 1. 加熱装置室 平面図

現状フェンスには扉が複数箇所設けられているが、扉は施錠管理されておらず、関係者以外でも入室可能である。また共同研究者や外部見学者などの立ち入りが多くなり入退管理の必要性が生じてきた。そこで今回、ECH 関係者と登録した外来者のみが入退室可能な、電気錠を使った入退管理システムの構築を行った。

2. 入退管理システムの構成

電気錠の解錠パターンは 3 種類とした。

- ①職員証をカードリーダーにかざし解錠(通常時)。
- ②GUI(LabVIEW)からの操作で解錠(非常時)。
- ③サムターンキーで解錠(非常時)。

通常、東芝フェンスエリアもしくは日新フェンスエリアへの入域は①での入域を原則として、非常時の際のみ②もしくは③を使用しての入域とする運用方針とした。①～③を図 2～図 4 に記す。



図 2. ①

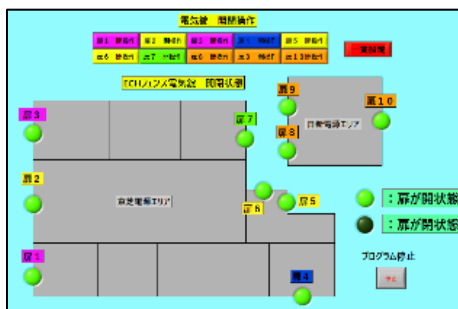


図 3. ②



図 4. ③

フェンスエリア 1 の写真を図 5 に、入退管理システムの全体構成図を図 6 に記した。

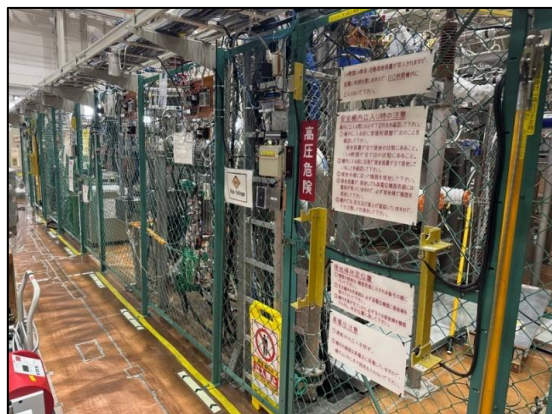
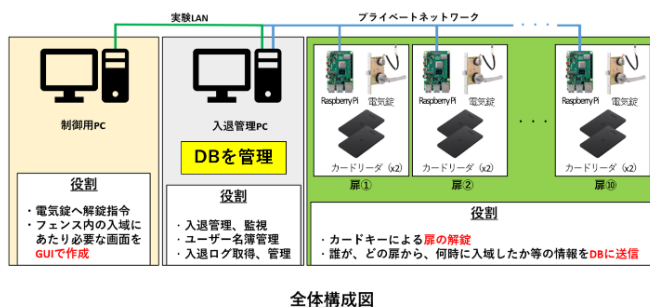


図 5. フェンスエリア 1



全体構成図

図 6. 入退管理システムの全体構成図

前述した通りフェンスには扉が複数箇所設けられており、各扉に各々電気錠を設置した(計 10 箇所)。各扉には電気錠の設置と併せてラズベリーパイが設置されており、職員証をかざすと職員証の情報を DB(入退管理 PC)に送信して所定の要件を満たすと制御用 PC が 10 箇所各々の電気錠へ解錠信号を送信し電気錠が解錠する仕組みとした。各ラズベリーパイは主に各入域者の情報(『誰が』、『どの扉から』など)を読み取り、DB(入退管理 PC)へ送信する役割を果たし、DB(入退管理 PC)は入域者の情報を管理している。制御用 PC は、各電気錠への解錠指令と加熱装置室での作業者もしくは作業予定者に必要な情報を GUI で表示している(ECH エリアの放射線業務従事者登録名簿、フェンス内入域者名簿、ログデータなど)。

3. 作成したプログラムの紹介

前述した制御用 PC にて作成したプログラムは①～⑤の通りである。図 7 に実際に GUI で作成した ECH エリアの放射線業務従事者名簿の表示を記した。

① ECH エリアの放射線業務従事者名簿の表示

目的：ECH エリアの放射線業務従事者の把握

② フェンス内入域者の表示

目的：誰が、どこに、何時に入ったかの確認

③ ログデータ(入室、退室など)の表示

目的：ログデータの把握

④ 仮入構証情報の表示

目的：仮入構証情報の把握

ユーザ登録のため

⑤ 所在表示との連携

目的：ECH エリアの入域者の把握

[illegible]

図 7. ECH エリアの放射線業務従事者名簿

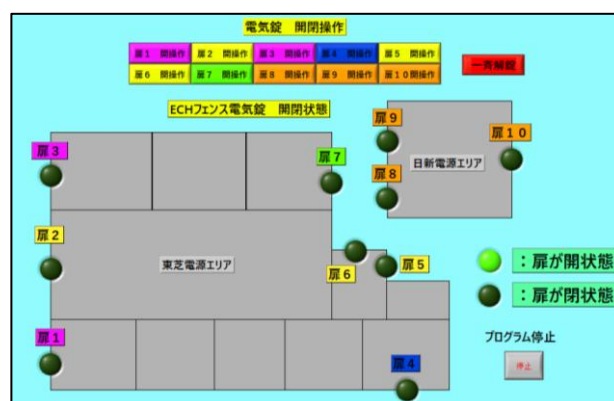


図 8. 電気錠オペレーション画面

図8は電気錠オペレーション画面である。この画面はLabVIEWで作成した。この画面を作成したことにより扉の開閉状態を視覚的に容易に把握することが可能となり、また各扉の電気錠を個別に、もしくは一斉に解錠操作が可能となった。

4. まとめ

現状は、システム構築と動作試験が完了した状態である。正式運用は4月からを予定しており、運用していくにあたり、どのようなバグがでるかは運用してみないと分からない部分もあるため運用しつつ都度不具合が発生したらブラッシュアップしていきたいと考えている。

2. 設計開発技術課

(技)

2.1. 吸湿材自動再生プログラム

設計開発技術課 千村大樹

1. 概要

福島大学平尾准教授から吸湿材を加熱し水分を取り出す過程を自動化し無人で運用できる機器の共同開発依頼があった。

1-1. 背景

昨年度までに共同開発で野外に持ち運び設置できる環境トリチウム捕集機器を作成した。捕集後に回収した吸湿材は水分を取り出すために手動で加熱を調整し人の監視下で再生作業を行っていた。この作業を自動で行えるようにし効率化を図る。

1-2. 報告概要

水分を吸収した吸湿材を加熱して水分を収集する。また、水分を添加して再度加熱することで使用前に近い状態まで再生する。加熱や水分の添加を自動で行い、吸湿材を再度使用可能な状態にするプログラムを作成した。

2. 内容（作業内容、試験内容など）

2-1. プログラム内容

IDEC 社製 PLC を用いて自動再生プログラムを作成した。主にマスフローで窒素の流量を制御し、ヒーターの加熱を PID 制御で行う。熱電対で温度管理を行い、インターロックを設定することで無人で安全に運用できるようにした。

2-2. 試験内容

PID 制御でのヒーター加熱の調整、温度上限や下限の確認、インターロックの設定と停止動作の確認などを行った。

2-3. 実地試験内容

福島大学で実際の機器を用いて試験を行った。ヒーターを用いた長時間の加熱試験や PID 制御の調整を行った。

3. 結果（まとめ、成果、今後の課題など）

3-1. まとめ

吸湿材の自動再生を行うプログラムを作成した。電磁弁やマスフローの制御や PID 制御による加熱を行い、インターロックによる警報や停止動作を設けることで安全に無人で運転できるようにした。

3-2. 課題

PID 制御の自動設定チューニングがうまく動作していない問題と周辺機器との物理的な干渉問題があるため、これらの改善に尽力する。また、使用者からの要望でログの管理など機能の追加にも対応する予定である。

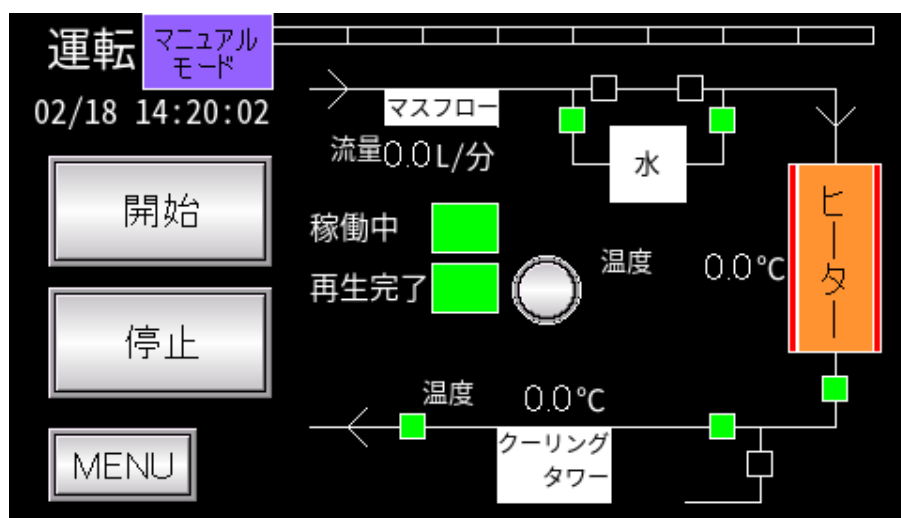


図 1. タッチパネル操作画面

2.2. 放電プラズマ焼結法を用いた活性炭の高性能化

設計開発技術課 柳原悠人 村瀬尊則 田上裕之 中川翔

計測分析技術課 長原一樹

1. 概要

LHD の真空排気中使用されるクライオポンプでは、排気パネルに吸着剤として活性炭が用いられている[1]。NIFS では、クライオポンプの研究開発を通じて蓄積された知見を活かし、バイオマス由来の高機能活性炭を創製・社会実装する研究開発を技術部主導で進めている。これまでに、高温真空加熱によるシリカ除去法、および放電プラズマ焼結 (SPS) 法を用いたバインダーフリーの焼結手法の開発が行われ、各々特許を取得している[2, 3, 4]。本年度は、SPS 法における更なる性能向上を目的として、活性炭の細孔形成を促進する賦活ガス雰囲気中での焼結を試みた。その結果、真空中よりも高い比表面積を維持・向上できる可能性を見出した。

2. 内容

本研究で用いた SPS 法は、型に充填した材料を機械的加圧とパルス通電加熱によって焼結する手法である。図 1, 2 にそれぞれ SPS 装置外観と構成の模式図を示す。通常、活性炭粉末を固形化するには活性炭粉末とバインダー樹脂を混合し加熱・加圧を行う。しかしながら、バインダーは吸着性能を持たないため、単位質量当たりの性能が低下するという課題があった。一方、SPS 法を用いて活性炭粉末を焼結する場合、バインダーフリーでかつ活性炭の特異な細孔構造を大きく崩すことなく焼結することが可能であり(図 3)、活性炭本来の性能を発揮しうる固形化法である。



図 1. SPS 装置外観

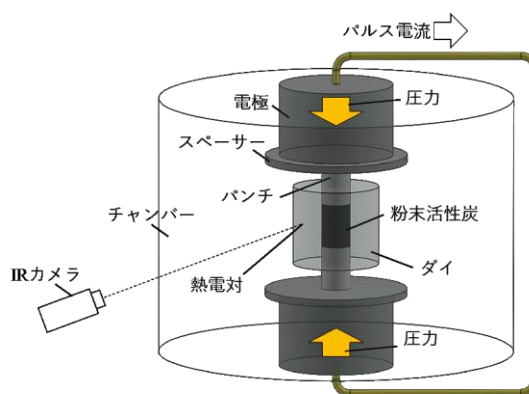


図 2. SPS 構成模式図

これまでの研究開発を通じて SPS 法による興味深い特性が明らかになった。まず、SPS 法を用いて活性炭粉末を焼結する際、800℃以上の高温焼結では単位体積当たりの表面積である比表面積(m^2/g)が減少するのに対し、750℃以下の低温焼結では比表面積がもとの粉末活性炭よりも増加することを発見した。ただし、低温焼結では固形化した活性炭の密度が低くなるため、用途によっては強度不足に陥る懸念が

あった(図4)。そこで今回、焼結した活性炭の性能の向上と焼結体の強度を両立させるため、賦活ガス中でSPS焼結を行えば、比較的高い温度条件での焼結でも細孔特性の劣化が抑制できるのではないかと考えた。ここで賦活ガスとは、炭化材料から活性炭を製造する際に用いられ、炭素中に微細な細孔を形成する働きを持つ。今回はCO₂を賦活ガスとして使用し、比較のために賦活ガスとして働かないN₂雰囲気および真空中での焼結も実施した。

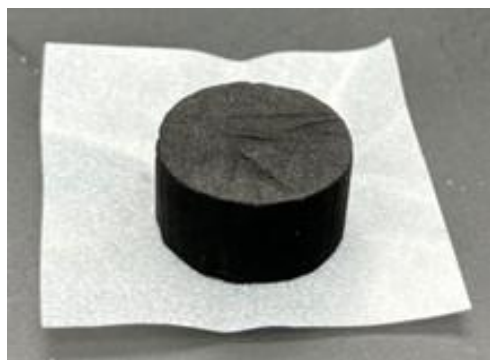


図 3. SPS 焼結した活性炭



図 4. SPS 焼結後に崩れた活性炭

各雰囲気中の焼結における焼結温度と比表面積の関係を測定した結果を図5に示す。図中の破線は原料の粉末活性炭の比表面積を示している。比較的高固に焼結できる800℃での焼結に着目すると、N₂雰囲気および真空中では比表面積が原料を下回ったのに対し、CO₂雰囲気では粉末活性炭を上回る比表面積が得られた。これは、CO₂が賦活反応を起こして細孔を形成し、加熱による比表面積の減少を打ち消したからであると考えられる。本研究は2024年度に、第15回核融合エネルギー連合講演会、第41回プラズマ・核融合学会年会、SMA2025(タイ・Walailak大学)にてポスター発表を行い、そのうち核融合エネルギー連合講演会にて柳原が若手優秀発表賞を受賞した。

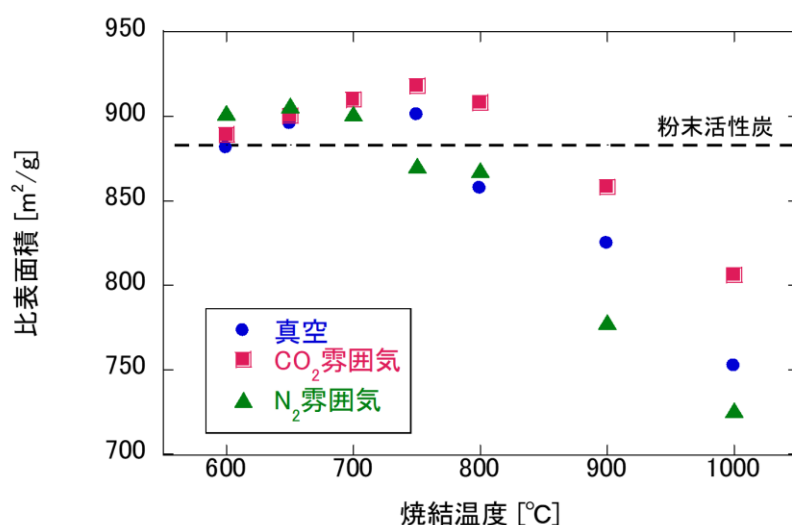


図 5. 雰囲気ごとの焼結温度と比表面積の関係

3. まとめ

本研究では、粉末活性炭の SPS 焼結において、CO₂などの賦活ガスを用いることで、従来の真空焼結に比べて比表面積が向上することを見出した。これは、加熱による比表面積の減少を賦活反応が補完する効果によると考えられる。本手法は、性能と強度の両立が求められる応用環境において有効な固形化技術となり得る。今後は焼結条件の最適化や実装試験を通じ、社会実装に向けた検討を進めていく。

参考文献

- [1] T. Murase *et al.*, Plasma Fusion Res. 11, 1205030 (2016).
- [2]特許第 7301300 号
- [3] Y. Yanagihara *et al.*, Plasma Fus. Res. 19, 1205012 (2024)
- [4]特許第 7501845 号

2.3. 九州大学球状トカマク QUEST トロイダルコイルの電磁力解析

設計開発技術課 田上裕之

1. 目的

磁場閉じ込め型核融合プラズマ実験装置である球状トカマク QUEST の磁場を強化した場合のトロイダルコイル(TFC)の電磁力、応力解析を行い、先方の研究者にて当該コイルの電磁力支持強化方法の検討を行うための材料とする。

2. 概要

九州大学応用力学研究所の大半径 1 m、高さ 2.8 m の球状トカマク QUEST では、真空容器内に生成されるトロイダル磁場を 0.25 T から 0.5 T へ増力すべく各種対応を行っている。増力にあたり TFC の電磁力増加に対する耐久性評価が必要となり、2022 年度に NIFS 技術部にて、有限要素解析ソフト ANSYS を用いた TFC の電磁力解析を実施し、当該コイルに生じる最大応力値を調べた。本件について 2024 年度に九州大学から追加の依頼があり、TFC の電磁力支持強化方法の検討のため、TFC に生じるフープ力と転倒力が QUEST 内のいずれのコイルから生じる磁場に由来するものかを切り分けるための追加解析を依頼された。本件について対応した内容と結果を報告する。

3. 内容

図 1 に、NIFS 技術部にて作成した QUEST の 3D-CAD モデルを示す。QUEST には 8 個の TFC の他に 11 個のポロイダルコイル(PFC)が設置されており、各部品に通電することで磁場が発生し、TFC の電磁力に寄与する。まず電磁力解析を行うソフトである ANSYS Maxwell に 3D-CAD モデルと通電条件を読み込ませ、計算を行った。その際、TFC がいずれのコイル、即ち TFC 自身もしくは PFC による磁場にてどのようなベクトルの電磁力が生じるのかを調べるために、各コイルの電流値を様々に変化させた状態で計算を行った。通電パターンは非常に多く存在し、すべてを網羅するのは合理性に欠けることから、最小の通電パターンで目的を達成するにはどのような条件にすべきかを検討する必要がある。その後、得られた TFC の電磁力データを静的構造解析ソフトである ANSYS Mechanical に転送し、コイルの通電条件毎に TFC の応力計算を行った。

4. 結果

図 2 に解析結果の一例を示す。本図の内、左側は TFC と PFC 共に電流を流した場合であり、右側は TFC のみに通電した場合の応力計算結果を示している。この結果より、TFC に生じるフープ力は TFC 自身に生じる磁場によるものであり、転倒力は PFC からのポロイダル磁場によるものであることが分かった。また、TFC に生じる最大応力はフープ力が支配的であることが分かり、今後の TFC の電磁力支持方法の検討に非常に参考になる結果を得ることができた。

なお、本解析結果を踏まえ、九州大学側より TFC の構造の一部を変更した場合で応力評価を行って欲しい旨の依頼を得たため、現在 3D モデルの変更作業を行っている。

2.4. 液体窒素汲み出し装置の汎用・高機能化

設計開発技術課 田上裕之 野口博基

1. 概要（目的）

3～5 L 程度の小型の低温容器を使用し、試験対象を液体窒素に浸漬させて長時間の実験をする際には、作業者が常に現場で液面を監視し、その都度シーベルより液体窒素を手作業で補充する必要がある。そこで、作業の効率化を目的に、ジェック東理社製のクライオトロール（液化窒素送液ポンプ）を購入した。しかしながら、購入当初の構成では、電源の手動入/切のみでしか制御できず、利便性が悪い状態であった。そこで、技術協力として当該装置について、低温容器内の液体窒素の液位を監視しつつ、都度自動で液体窒素をシーベルから供給する制御系の構築を行うこととなった。また、本システムに汎用性をもたせ、任意のサイズの小型低温容器に使用可能な構成とすることも併せて検討することになった。

2. 内容（設計・構築作業）

依頼者からは、なるべく安価な設計となるように希望された。それを踏まえ、製作したクライオトロール自動制御回路を図1(左図)に示す。本回路は、2つの温調器とリレーから構成され、それぞれの温調器にて测温抵抗体(PT100)を介して低温実験用容器内の液体窒素の液位を監視する。すなわち、2つの测温抵抗体を容器の任意の異なる高さにそれぞれ設置し、その位置まで液体窒素が到達/低下する際の計測温度上昇/下降を手掛かりに液位を検知する仕組みである。単純な制御系であることから安価に製作することができたが、配線が複雑となり旧来のアナログリレー制御での配線作業の難しさを体験した形となった。测温抵抗体は図1(中央図)に示すように板状のFRPに取り付け、スタンドとクランプを使用することで安価かつ設置する際の汎用性・安定性を確保した。

3. 結果（成果）

図1(右図)にクライオトロール自動制御動作試験時の様子を示す。クライオトロールにて液体窒素を低温容器に充填開始し、液位上限位置まで液体窒素が溜まった場合送液は停止し、ある一定の高さまで液位が低下したら送液運転を再開することを確認した。また、万一测温抵抗体による温度計測が不可と

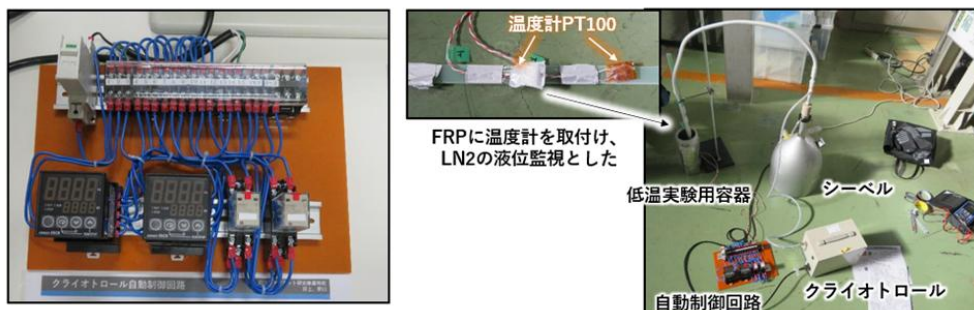


図1. 製作したクライオトロール自動制御回路(左図)と作動試験時の様子(中央及び右図)

なった場合などの不具合発生時は、直ちに送液を停止する機能も実装し、正しく動作していることを確認した。本試験結果により、技術協力完了となった。

2.5. 第 25 サイクル LHD 運転不具合記録のまとめ

設計開発技術課 野口博基 鈴木直之

1. 概要

技術部では LHD 運転期間中に発生した機器の不具合を実験サイクル毎に「不具合記録」としてまとめている。令和 5 年～6 年度に実施された第 25 サイクル LHD 運転の不具合記録は、設計開発技術課が取りまとめた。ここでは第 25 サイクル LHD 運転の不具合記録の紹介と、その傾向について報告する。

2. 不具合記録とは

不具合記録は、LHD の運転期間である真空排気開始から超伝導コイル昇温完了までを調査対象とし、以下の条件に当てはまるものを記録対象としている。

- ・ 各機器の運用に支障をきたし、「予定外の作業」が発生した事象
- ・ プラズマ実験に支障を与えた事象
- ・ その他、報告が必要と判断されるもの、記録として残す必要があると判断される事象

上記条件に当てはまるかどうかは、機器担当者の裁量に委ねられている。例えば、冷却水ポンプの異常停止、ブレーカーのトリップ、真空リークなどが不具合記録に掲載されている。機器担当者は実験サイクル終了後に不具合として認められる事象を不具合記録フォーマットに記入し、取りまとめ担当者に提出する。図 1 に第 25 サイクル不具合記録の一部を示す。

LHD関連装置の不具合の発生及びその原因と対策の記録(第25サイクル)											
装置分類	装置名	不具合発生日 年 月 日	不具合発生時のプラズマ実験状況 ※ ショートクランプ時等の場合 ※ 実験シーケンスへの影響	不具合内容	不具合の内容(具体的)	不具合発生場所	不具合の原因	原因分類	不具合発生から対策までの期間での経過 ※ プラズマ実験進行上の影響(具体的)	不具合の対策(具体的)	対策実施完了日 年 月 日
配線	4%圧縮機AL2	6/24 5	3	プラズマで実験未実施時	影響無し	真空シール部からの漏洩	真空シール部からの漏洩	真空シール部からの漏洩	プラズマで実験未実施時	影響無し	6/24 8 28
配線	4%圧縮機BL1	6/24 5	8	プラズマで実験未実施時	影響無し	真空シール部からの漏洩	真空シール部からの漏洩	真空シール部からの漏洩	プラズマで実験未実施時	影響無し	6/24 8 28
配線	真空分電盤1内F60	6/24 5	31	プラズマで実験未実施時	影響無し	ブレーカ故障	ブレーカ故障	ブレーカ故障	プラズマで実験未実施時	影響無し	6/24 9 4
本体	冷却水装置4系	6/24 5	14	プラズマで実験未実施時	影響無し	冷却水ポンプの過電圧トリップ	冷却水ポンプの過電圧トリップ	冷却水ポンプの過電圧トリップ	プラズマで実験未実施時	影響無し	6/24 3 28
加熱	BL3	6/24 5	15	プラズマで実験未実施時	影響無し	加熱電源の異常(加熱GTO入力の)	加熱電源の異常(加熱GTO入力の)	加熱電源の異常(加熱GTO入力の)	プラズマで実験未実施時	影響無し	6/24 1 22

図 1. 第 25 サイクル不具合記録の一部

3. 第 25 サイクル LHD 運転

第 25 サイクルの LHD 運転は令和 6 年 2 月 1 日のベルジャー排気により開始された。翌 2 日から真空容器の排気、14 日より超伝導コイルの予冷運転が始まった。3 月 13 日からプラズマ実験が開始され、6 月 20 日まで実施された。第 25 サイクルのプラズマ実験は重水素ではなく軽水素によるプラズマ生成実験が行われた。6 月 21 日より超伝導コイルの昇温が開始され、7 月 12 日に昇温運転が完了、ベルジャー、真空容器ともに大気開放が行われ、第 25 サイクルの運転が終了した。表 1 に重水素実験が開始された第 19 サイクルから第 25 サイクルまでのプラズマ実験稼働率、実験時間、トータルショット数を示す。プラズマ実験稼働率 99.9%は過去最高値であり、4 サイクル連続して過去最高値を更新している。

表 1 プラズマ実験稼働率

サイクル	プラズマ実験稼働率 (%)	実験時間 (h)	トータルショット数
19	88.9	753.1	13037
20	94.7	521.1	9262
21	81.5	440.7	7801
22	96.7	518.6	8849
23	98.6	540.7	9257
24	99.5	462.7	8091
25	99.9	343.6	6335

「プラズマ実験稼働率」とは以下の計算式から算出した値としている。

$$\text{プラズマ実験稼働率} = \text{SqT} \div (\text{SqT} + \text{SqL})$$

SqT：実験シーケンスの実稼働時間

SqL：トラブル対応により実験シーケンスを停止していた時間

4. 結果

4-1. 総不具合件数

第 25 サイクルの総不具合件数は 57 件、そのうち実験シーケンスが停止したものは 1 件だった。また図 2 に第 19～25 サイクルにおいて不具合記録に記載された総不具合件数と、実験シーケンスを停止させた不具合件数を示す。重水素実験初期の第 19～22 サイクルは不具合件数が多いが、第 23 サイクル以降

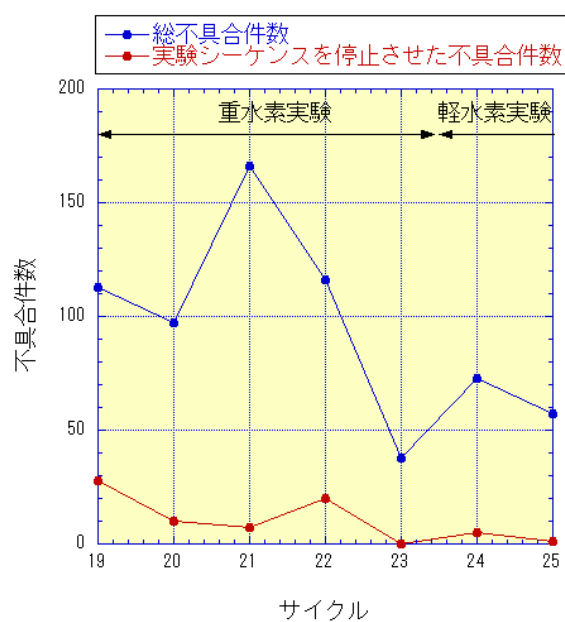


図 2. 第 19～25 サイクルにおける不具合件数

は激減している。なお、図 1 における第 23 サイクルの実験シーケンスを停止させた不具合件数が 0 であるのに対し、表 1 におけるプラズマ実験稼働率が 100%でないのは、火災報知機の誤動作や技術部所掌以外の計測器調整作業等によって実験シーケンスが停止したためである。

4-2. 要因別不具合件数と比率

次に要因別不具合件数と比率について述べる。不具合記録のフォーマットでは、不具合要因を選択肢から選択する方式を採用している。選択肢はいくつかあるが、ここでは簡素化のため要因を以下の 4 つに分類した。

機器不良	：機器の老朽化や不良による破損、故障によって生じた不具合
人為ミス	：運転操作ミスやソフトウェアバグによって生じた不具合
外的要因	：中性子、サージノイズ、その他外的要因による誤動作と思われる不具合
不明	：原因不明、上記理由に当てはまらない要因によって生じた不具合

図 3 に要因別不具合件数、図 4 に要因別不具合件数比率を示す。

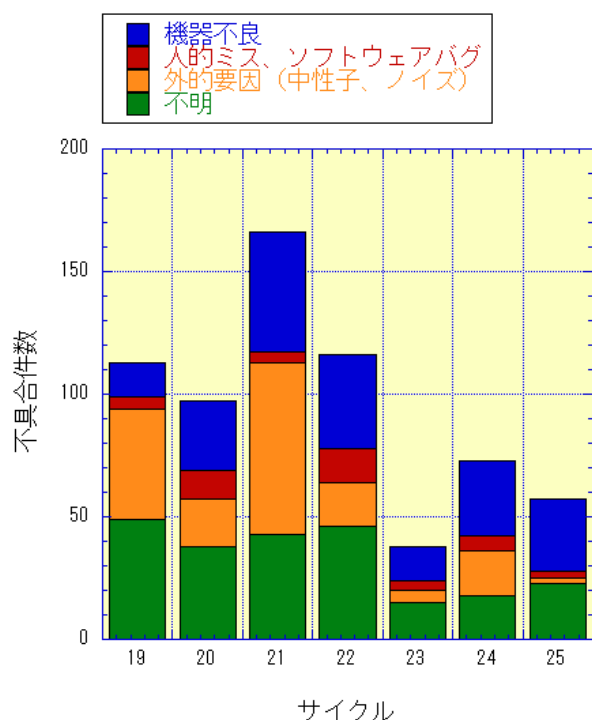


図 3. 第 19～25 サイクルにおける要因別不具合件数

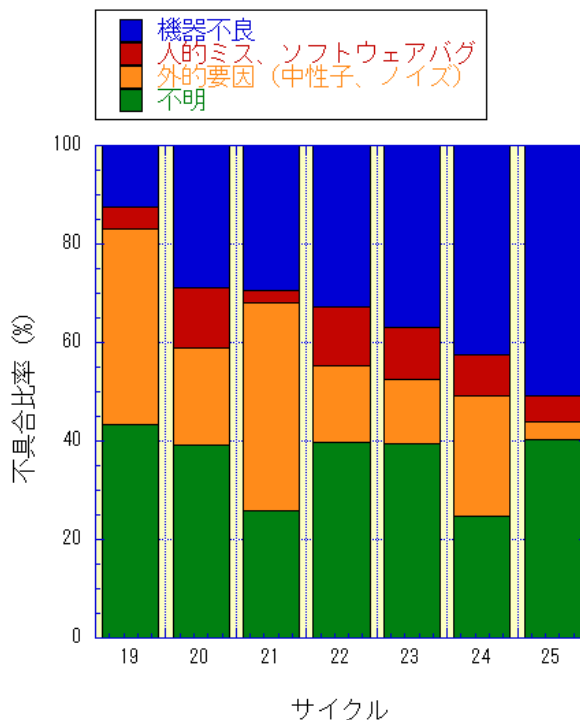


図 4. 第 19～25 サイクルにおける要因別不具合比率

5. 考察

第 25 サイクルプラズマ実験は軽水素によるプラズマ生成実験のみが行われたため、中性子の発生がなかった。よって図 2、3 から分かるように外的要因によると思われる不具合件数、比率が激減した。一方、図 1 から分かるように、不具合件数自体は第 23 サイクル以降下げ止まり感がある。これは図 3 から分かるように、不具合全体に占める機器不良の割合が増えてきたことによる。特に機器の老朽化が要因であ

る不具合が多く発生している。これを防ぐためには機器の更新が不可欠であるが、予算が削減される中で実施される厳選された点検整備作業だけでは対応が困難になってきている。

6. 不具合事例

第 25 サイクル不具合記録に記載された代表的な不具合事例を装置分類別に示す。なお、計測に関しては技術部所掌の不具合のみ記載している。

6-1. 本体（全 7 件）

- ・ 冷却水装置クーリングタワーに設置されている散布水ポンプの過電流トリップ
- ・ 試料駆動装置ゲートバルブのシートリーク

6-2. 低温（全 6 件）

- ・ ヘリウム圧縮機メカシールからの油漏洩量増加
- ・ 低圧分電盤内の NFB 故障

6-3. 加熱（全 41 件）

- ・ 操作ミスによる冷却水ポンプ用高圧動力盤のトリップ（唯一実験シーケンスが停止した不具合）
- ・ 冷却水ポンプ異常停止に伴うクライオポンプの停止、強制再生

6-4. 計測（全 2 件）

- ・ プラズマ監視カメラビデオレコーダーの不調
- ・ プラズマ監視カメラ画像輝度監視用パソコンのフリーズ

6-5. 制御（全 1 件）

- ・ 中央制御装置 LED 表示器の表示エラー

7. まとめ

第 25 サイクル LHD 運転期間中に発生した不具合事象を設計開発技術課がまとめた。総不具合件数は 57 件であり、実験シーケンスが停止した不具合は 1 件であった。重水素実験が終了し、中性子発生がなかったことから、外的要因による機器の不具合は減少したが、機器の老朽化に伴う不具合が増加し、結果として不具合件数は下げ止まっている。

2.6. 超伝導マグネット研究棟の温度可変冷凍設備等の維持・保守管理 (2024)

設計開発技術課 馬場 智澄

1. 概要

超伝導マグネット研究棟の温度可変低温設備や純水装置をはじめとする多くの設備は老朽化が進行しており、高圧ガス保安法の適用を受ける設備も含まれるため、整備は優先順位に基づき実施されている。前回の報告に引き続き、保守計画に沿って各装置担当者、保安係員、同代理等と連携し、平成6年度に実施したメンテナンス、及び今年度発生した不具合の対策について報告する。

2. 計画的維持整備 (メンテナンス)

中圧バッファタンク周辺の整備

屋外に設置されている中圧バッファタンク等のフランジ接続部は鉄製のボルト・ナットが使用されており、表面に防錆塗装が施されているが、部分的に腐食(錆)が確認された。腐食の原因は電食ではなく、屋外環境における風雨に起因する経年劣化(鉄が酸素及び水と反応し酸化鉄を生成)と推測された。

交換対象は、温度可変低温設備の屋外タンクヤード内に設置されている中圧バッファタンク5基と、中圧バッファタンク1基に使用されているボルト・ナットである。

過去には、中圧回収タンク及び中圧バッファタンクDのフランジ部ボルト・ナットの交換を実施済みである。現在の運転状況に影響はないが、状態が悪化するとヘリウムガスの漏洩等が懸念されるため、今年度、装置担当者が予算を確保し、SUS製ボルト・ナットへの交換を行うこととなった。今回は、残りのタンクフランジのボルト等の交換を実施した。ボルト等のサイズと必要個数は、六角ボルト M16、長さ 65mm、総数 96 組(3タンク、1タンクあたり4フランジ、1フランジあたり8組)であった。

(処理)

まず制御室の HITS (制御装置) で中圧バッファタンク内圧を 0.2MPa (通常 1.1MPa) まで減圧し、次に、制御室にて中圧バッファタンク内のヘリウムガス圧力を監視しながら、ボルト・ナットを1組ずつ鉄製から SUS 製に交換をした。全数交換終了後、スヌープ液等を用いて各交換箇所の気密試験(漏れがある場合はボルト等の増し締めを実施)を行い、タンク内圧力低下率を確認し、漏れのないことを確認した。またフランジ部等の塗料剥がれを補修した。

(維持整備)

これからの計画的な維持整備としては、ヘリウム循環圧縮機のメカニカルシール交換と純水冷却装置のイオン樹脂の交換が挙げられる。ヘリウム循環圧縮機は液体ヘリウムを製造における重要な装置であり、現在、ヘリウム循環圧縮機のメカニカルシールからのオイル漏洩量が、メーカーが規定する許容量(150ml/100h)を大幅に超過しているため(1000ml/100h)、メカニカルシールを交換とともにオイルを補充する必要がある。

純水冷却装置は超伝導マグネット研究棟内の各種直流電源およびブスバーの冷却に広く用いられている基盤装置であり、純水の純度を維持するため、イオン交換樹脂の定期的な交換が不可欠である。前回の交換から4年が経過しているため、交換が必要である。

次年度は、ヘリウム循環圧縮機のスライディングシール交換と純水冷却装置のイオン樹脂の交換を計

画し、それぞれの装置担当者が予算要求を行うこととなった。

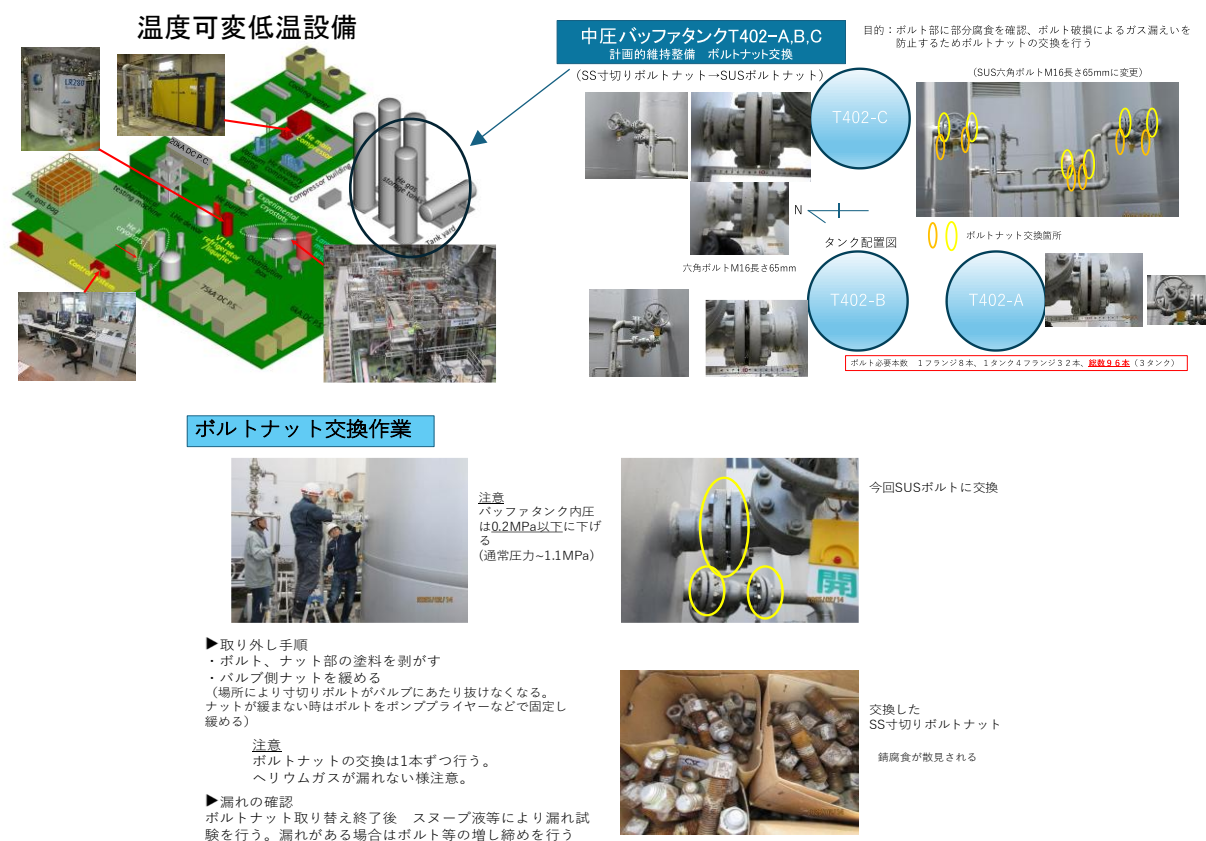


図 1. 計画的維持整備

3. 不具合と対応

今年度発生した主な不具合は以下の通りである。

(発生状況)

- ・ A ヘリウム循環圧縮機 アラーム（エアーエンド吐出温度高）が発生。
- ・ B 中圧回収圧縮機 フロースイッチの異音・動作不良、およびフラッパー式サイトグラスによる流量低下が発生。（冷却水流量低下は、1日3回実施している目視点検時（冷却水循環中）には正常値を示していたが、突発的に流量低下を示した。）
- ・ C 超流動試験装置用真空排気装置 MB(メカニカルブースター)用真空バルブが開閉不良。

(原因調査、処理対応)

- ・ A ヘリウム循環圧縮機

○推定原因 1 循環冷却水流量低下、2 循環油量の低下

○現状調査

1. 循環冷却水流量：フラッパー式サイトグラスにて冷却水の流量は正常範囲内を目視確認。
2. 循環油量：循環保有油量は正常範囲内を目視確認。メカニカルシールからの漏洩量を計測した結果、メーカーが規定する許容値（150ml/100h）に対し大幅な超過（1000ml/100h）を確認。

○処理対策

1. 循環冷却水流量：ストレーナの清掃を実施。圧縮機棟ピット内にあるストレーナを取り外し、目視点検を行ったところ、水垢・ゴミ等による目詰まりが確認された。ストレーナの目詰まりにより冷却水量が低下し、冷却水の温度が設定以上に上昇したため、アラームが発報したと考えられる。ストレーナをワイヤーブラシ等で清掃し再組み立て後、フランジ部の漏水確認を実施した。エアーエンド吐出温度は運転時基準値である 80～83℃の範囲内となり、不具合が解消したことでヘリウム循環圧縮機は簡易的に使用可能な状態となった。
2. メカニカルシール等の交換 交換部品等在庫がないため予算確保しメーカー点検時に交換を行うこととなった。

・ B 中圧回収圧縮機

○フローリレー：調査の結果、フローリレー内部の故障及び断線と判明したため、同等品(宮木電機製作所 FDC-12)に交換した。

○流量低下：調査の結果、冷却塔内のストレーナの目詰まりが確認されたため、冷却塔内のストレーナの清掃を行った。しかし、定格流量に達しなかったため、各機器への流量調整を実施した。

・ C 超流動試験装置用真空排気装置

○圧縮機室棟内に設置されている真空排気装置の空気圧用電磁弁からの空気漏れを確認したため、同等品(空気圧用 5 ポート電磁弁：CKD 社 4F310)に交換した。

4. まとめ

新たに各設備の専属担当者が決定し、各装置担当者等と計画的に維持整備を行うとともに、突発的な不具合にも迅速に対応した結果、計画していた液体ヘリウム供給や共同研究等の実験を全て予定通り実施することができた。現在、設備管理関係書類の整備等も順次進めている。

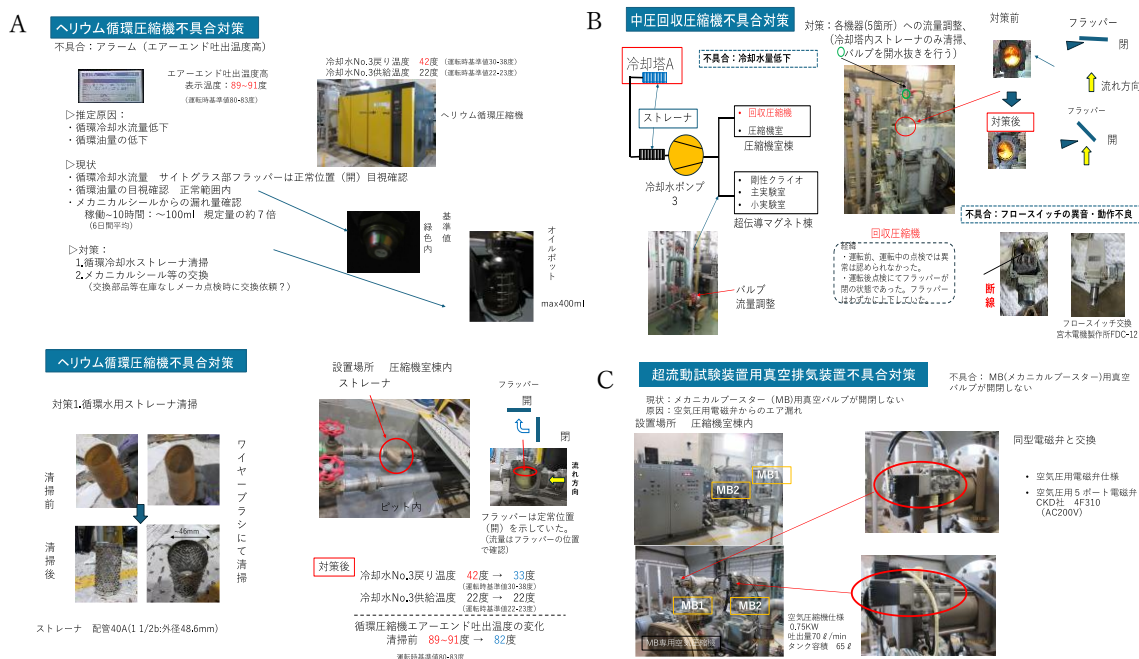


図 2. 不具合対処 事例

3. 電気電子技術課

(技：総合技術研究会 2025 筑波大学)

3.1. GaN-FET を用いたインバータ電源の製作

電気電子技術課 伊藤康彦

○伊藤 康彦^{ab)}、中野 治久^{ac)}、富里 哲夫^{d)}

a) 核融合科学研究所 b) 技術部、c) プラズマ装置学ユニット、d) (株)ユニオン電機

1. はじめに

国際熱核融合炉（ITER）にて実装が計画されている中性粒子ビーム入射加熱装置（NBI）があり、これに保守性に優れた高周波負イオン源を適用するための研究開発がおこなわれている。NBI 装置の模式図を図 1 に示す。

NBI の動作を簡単に述べると、イオン源では高周波放電により水素プラズマを発生させ、そこから水素負イオンを取り出し、それを加速した後、電氣的に中性化し、残留したイオンを除去して核融合プラズマに入射し加熱する装置である。

現在イオン源にて水素プラズマ放電を励起するためのアンテナコイルに、高周波電力を供給するインバータ電源（周波数 500k～4MHz、～60kW 目標）を製作中である。本稿ではインバータ電源のスイッチング素子に GaN-FET を用いた回路基板の設計製作過程においての途中経過を述べる。

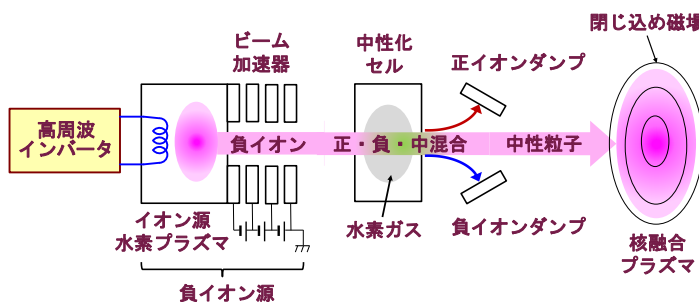


図 1. 中性粒子ビーム入射装置

2. インバータ電源回路

本回路及び周辺回路の構成を図 2 に示し、主要部の動作を説明する。

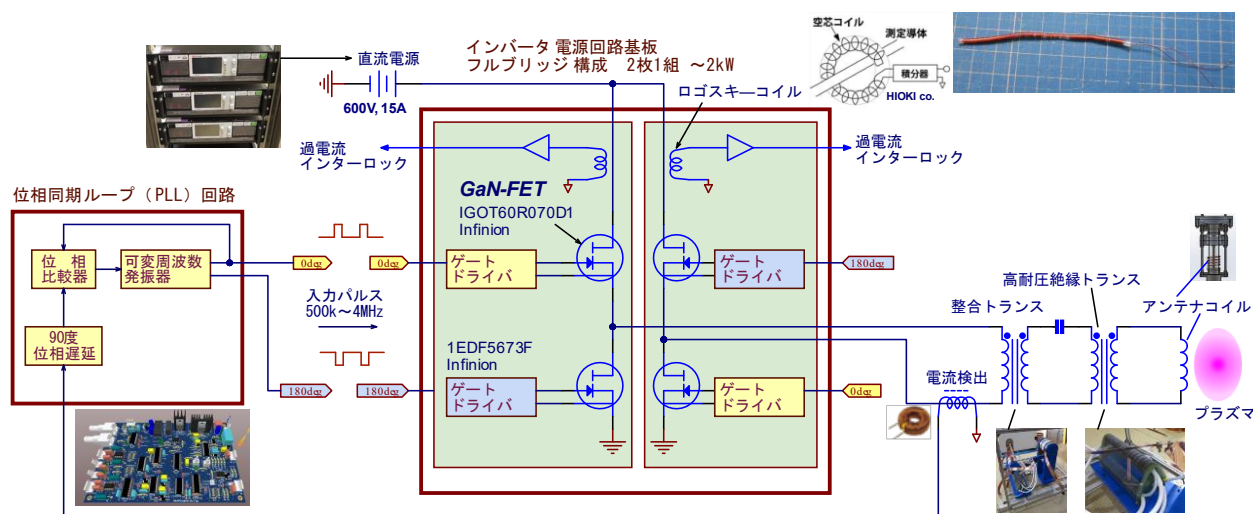


図 2. インバータ電源回路と周辺回路の構成

2.1 インバータ回路

フルブリッジ構成のインバータ回路基板は、直流電源（最大 600V, 15A）出力を最高 4MHz の高速スイッチングを行うことにより、アンテナコイルに高周波電流を供給する。スイッチング素子には GaN-FET (Infineon-IGOT60R070D1) を用いる。本素子は高耐圧 $V_{DS}=600V$ 、高電流 $I_{DS}=60A$ 、高速 $V_{DS_Slew-rate}=200V/ns$ の割に低 ON 抵抗 $70m\Omega$ である。

本基板は Infineon 社の評価基板を参考に改造したもので、変更点を述べる。

- 1) ハイサイド側ゲートドライバ電源の絶縁をトランスから DC-DC コンバータに変更した。
- 2) GaN-FET を過電流保護するため、ドレイン電流をログスキーコイル (1mm Φ チューブに 0.2mm Φ 線を 300 回巻き) にて検出し、しきい値以上で全基板の動作を停止させる。
- 3) 基板3層目が全面高電圧電源電位となっていたものを、GaN-FET と高圧電源部直下のみに縮小した。

2.2 位相同期ループ (PLL) 回路

プラズマ放電状態の変動により共振周波数が変化すると、負荷に供給する電圧と電流の位相がずれることになる。この時スイッチング素子がハードスイッチング状態となって過負荷で素子が破損に至る可能性が高い。PLL 回路は負荷供給電圧と電流の位相差に応じて内部発振器の周波数を制御し、適切な共振周波数に合わせる。

2.3 バランサー回路

本インバータ回路基板は 2 枚 1 組のフルブリッジ構成で出力 2kW 程度までの運用を予定しており、これを 8 並列で一つの筐体に収め、それを 4 並列して出力 60kW を目標としている。

しかし、この様な多チャンネル並列構成では、各基板特性のバラつきにより、チャンネル毎の出力電圧に差が生じ、低い出力電圧の基板に他の基板から電流がコモンモードとして流入し、過負荷状態となる可能性がある。

このアンバランス状態を回避するため、図 3 に示す様にフェライトコアを各チャンネル出力に挿入する。これで電流の偏りはフェライトコアで吸収されるが、その吸収分は電力損失となる。

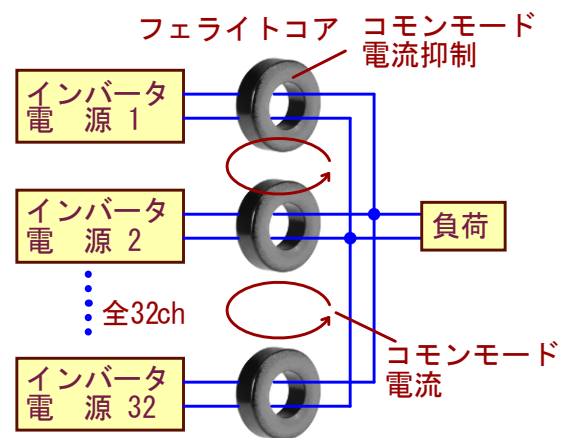


図 3. バランサー回路

3. 製作状況

本インバータ回路基板の外観を図 3、及び図 4 に示す。

基板裏側に実装する GaN-FET の放熱には、ヒートシンクとの間に厚さ 5mm の銅板をヒートスプレッタとして挟み、ハイサイド側素子の絶縁板として熱伝導率がアルミニウムに近い厚さ 1mm の窒化アルミニウム板を 30mm 角に切断して用いる^[1]。

ログスキーコイルは、基板上のパッドに幅 6mm の銅網線を、GaN-FET ハイサイド側のドレイン接続

をバイパスする様にはんだ付けし、その網線に通す。

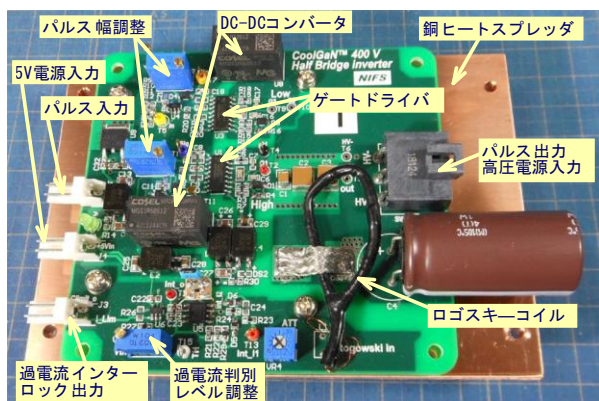


図 4.インバータ回路基板表側

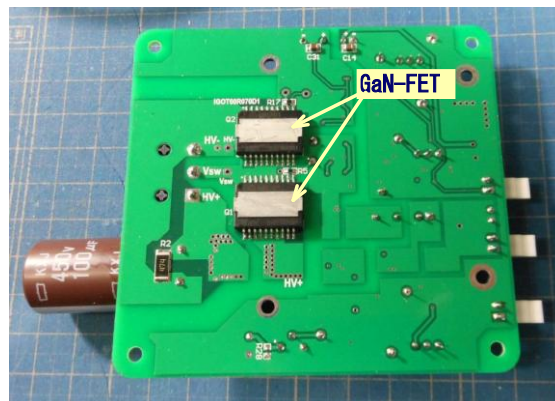


図 5.インバータ回路基板裏側

4. まとめ

ITER で実装が計画されている NBI の高周波負イオン源の開発研究で利用するインバータ電源回路を製作中である。最初は 1 組のフルブリッジ回路を製作し、出力 1.5kW、周波数 2MHz を目指す。最終的にはこれを 32 並列して 60kW、4MHz を目標とする。

参考文献

[1] MHz 周波数帯のワイヤレス電力伝送における高出力化・高効率化・伝送距離向上のための要素技術研究、大矢根 蒼、名古屋大学大学院工学研究科博士論文、2023 年 3 月

謝辞

インバータ電源設計製作において、株式会社ユニオン電気、富里哲夫氏から多大な技術的アドバイスを頂いたことに感謝する。

3.2. 2024 年度 LHD-ECH の運用と保守について

電気電子技術課 水野嘉識

1. 目的

LHD 実験を円滑に進めるため、ECH 機器の運用及び保守を適切に実施する。

2. 概要

2024 年 3 月から 6 月にかけて行われた第 25 サイクル LHD 実験では、77GHz ジャイロトロン 2 台、154GHz ジャイロトロン 3 台（内 1 台は 116GHz の 2 周波対応）、56GHz ジャイロトロン 1 台の計 6 台を運用した。研究者が実験の内容に応じて LHD 内への入射向きや入射幅などを決定し 3 分毎に運転指示を送って来るので、指示内容とジャイロトロンの状態を勘案し運転パラメータを端末に入力、入射後の異常有無確認、トラブル対応などを技術職員と外部委託業者が協力して対応した。実験終了後は、共同研究での運用や第 26 サイクル実験へ向けてのメンテナンスを行った。

3. 運転及び保守業務について

3-1. 第 25 サイクル LHD 実験

実験は 10 時 30 分に開始、16 時 45 分終了で進められた。点検、立上げ、準備運転などで 2 時間以上を要するため 8 時 15 分から業務を開始し、立下げには 1 時間ほどかかることから業務終了は 17 時 45 分ころとなった。昼休みも実験は継続し、交代で休憩をとる対応を行った。また、ECH は点火も担うため、ほぼすべての実験で利用された。図 1 に 25 サイクルでの入射実績を示す。25 サイクルの主なトラブル対応は、以下の 3 つが挙げられる。

1. 接地装置の故障
2. 高電圧電源の制御盤不調
3. 上記 1,2 の原因はスイッチング電源の故障であり、予備品との交換で対応した。

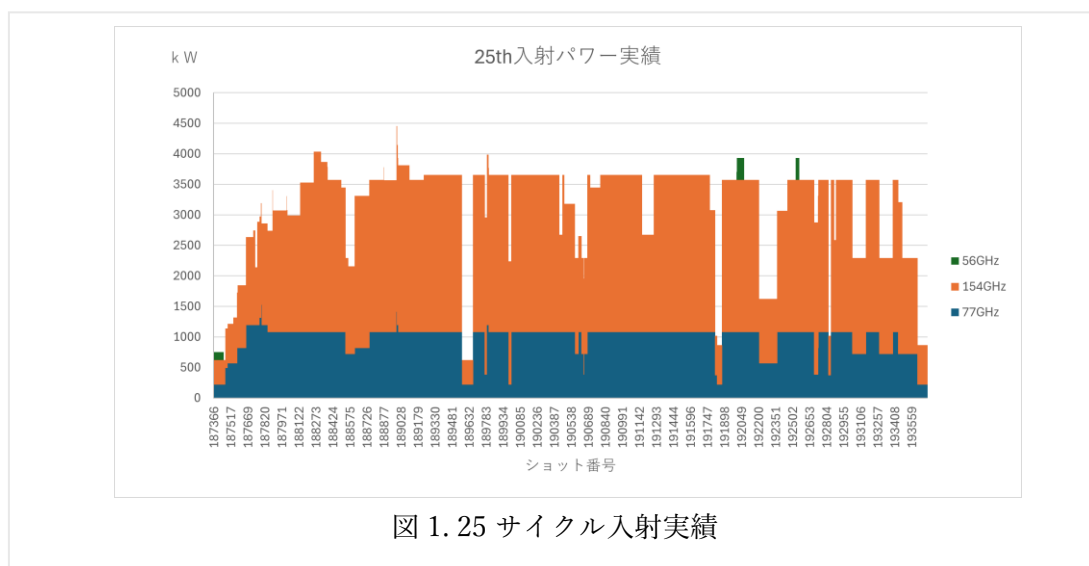


図 1. 25 サイクル入射実績

3-2. メンテナンス期間

LHD 実験は6月20日まで行われ、その後、年度末まではメンテナンスが行われた。メーカーによるジャイロトロン電源やジャイロトロン用超伝導マグネットの点検が実施されたほか、ジャイロトロンの運転領域確認や共同研究（照射試験）への対応も行われた。

また、低濃度 PCB 対象物の確認や制御端末の更新も実施された。これに伴う制御ソフトの移植及び動作確認が行われた。安全管理強化及び合理化のため、フェンスの電子錠化も実施された。その他、信号線（BNC）の導通確認や伝送路内部の目視点検、伝送路付随設備（アークセンサー、真空計、真空排気ポンプ）のメンテナンスや動作確認など外部委託者を中心に実施した。

4. クローバ盤（発振器保護装置）の不調

原因は、イグナイトロンの耐圧劣化。予備品が無いため、56GHz ジャイロトロン運転時以外は回路から切り離すことで対応した。

56GHz ジャイロトロン運転時は、運転電圧が低くイグナイトロンの耐圧範囲内での運転が可能であったため、問題は発生しなかった。

5. 今後の課題

LHD 実験は次の第26サイクルで終了となる。現在、次期実験装置整備計画が進行しており、機器の検討や設置予定場所の整理などに対応している。LHD 実験の準備と並行して進める必要があり、マンパワーの確保やスケジュール調整を行いながら実行していく必要がある。

3.3. 2024 年度はずみ車付き電動発電機の運用と保守について

電気電子技術課 水野嘉識

1. 目的

LHD 実験を円滑に進めるため、はずみ車付き電動発電機（以下 MG と記す）の運用と保守業務を確実に実施する。

2. 概要

2024 年 3 月に開始した第 25 サイクル LHD 実験では、4 月 1 日から 6 月 19 日までの期間、加熱機器（NBI 及び ECH）に電力を供給するため 1 日約 8 時間運転を実施した。実験終了後は、月 1 回、約 2 時間の保守運転を行った。また、12 月から翌年 2 月にかけてはメーカー点検を実施した。その他のトラブル対応についても報告する。

3. 運転及び保守業務等について

3-1. 第 25 サイクル LHD 実験期間中

日常的な運転及び保守業務は、通年で 2 名の外部委託業者により実施されている。8 時から、立上げ前の巡回および起動作業が行われ、9 時 12 分には負荷に対して通電が可能な状態となる。運転終了は 17 時で、立下げおよび巡回業務を行い 18 時頃に業務終了となる。運転中の業務としては、運転中巡回のほか、電極（ブラシ）の温度測定や振動測定を行っている。技術職員は常駐しておらず、週間スケジュールの作成やトラブル対応を担当している。2024 年 3 月末、大雨により地下室に地下水が染み出す事象が発生した（地下室には発電機の下部、速度制御盤、励磁制御盤、変圧器、高調波フィルターなどが設置されている）。以降、大雨のたびに染み出しの程度を確認し対応を行った。

3-2. 保守期間中の業務

保守期間中の保管運転は、以前は週 1 回行われていたが、現在では月 1 回、約 2 時間の運転となっている。今年度の保守業務において特筆すべき事項として、以下の 4 点が挙げられる。

- ・発電機駆動モータの電極（ブラシ）が短くなっていたため、全数を予備品に交換した。その後の運転時間は十分とは言えないが、現時点で問題はない。
- ・制御用バッテリー 12 個のうち 1 個の電圧が管理値下限程度となった。場所を入れ替えてみたが、改善は見られなかった。全体として問題はなく、耐用年数もまだ半分程度のため様子見としている。
- ・冷却水用ストレージタンクの凍結防止ヒーターが故障していたため、新品を購入し交換を行った。
- ・発電機室で火報が発報したが、調査の結果誤報と判明し、検知器の交換を実施した。

また、高調波フィルターなどに使用されているコンデンサに PCB が混入している可能性があることが判明した。このため、対象コンデンサ類の調査を実施し、更新の検討を行った。

4. まとめ

2025 年度も LHD 実験が予定されており、その後も継続して利用される見込みとなっている。MG は平成 4 年に設置されて以来、30 年以上運用されている。建屋を含む老朽化が目立ち始めているが、10 年

単位での継続利用が希望されている。資金や人員が減少する中、1日でも長く利用できるよう、引き続きメンテナンスを行っていきたいと考えている。

3.4. 多治見工業高校インターンシップ対応

電気電子技術課 安井 孝治

概要

多治見工業高校電気工学科2年生を2名受け入れ2日間にわたり実施した。実習内容は、PIC マイコンによりステッピングモーターを制御することを体験していただいた。

1日目は、ステッピングモーターとその駆動方式による動作の違いを説明し、実習回路(図1)のプリント基板(図2)に電子部品をハンダ付けしていただいた。

2日目は、PIC マイコンと開発環境の説明を行い、C 言語による初歩的なプログラミングから8段階で徐々にレベルアップしていき、最終的に2個の光センサで受光したそれぞれの光量に応じて2個のステッピングモーターの回転速度を制御するプログラミングを体験(図3, 4)して頂いた。先生、生徒共に大変喜んでいただけたようであった。

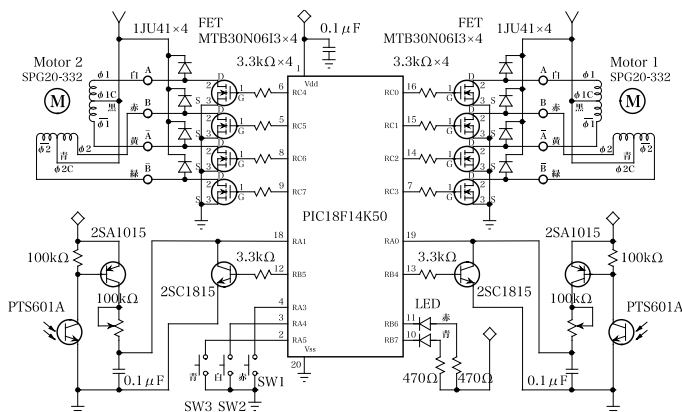


図1. 実習回路の回路図

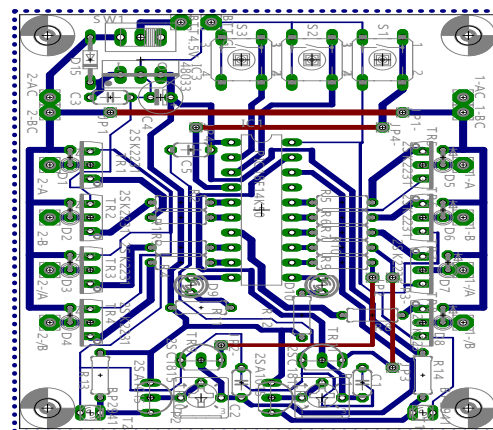


図2. プリント基板

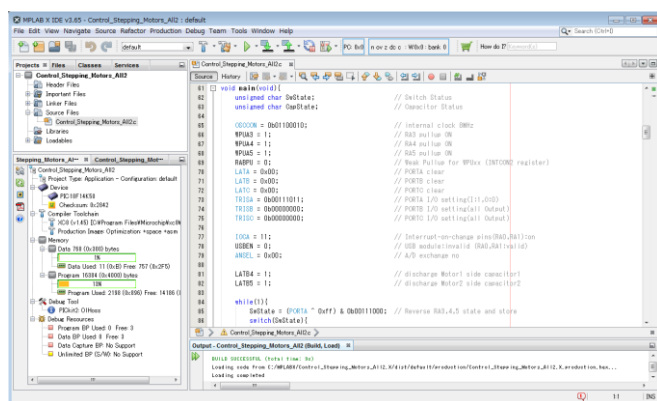


図3. 開発ツールによる C 言語プログラミング

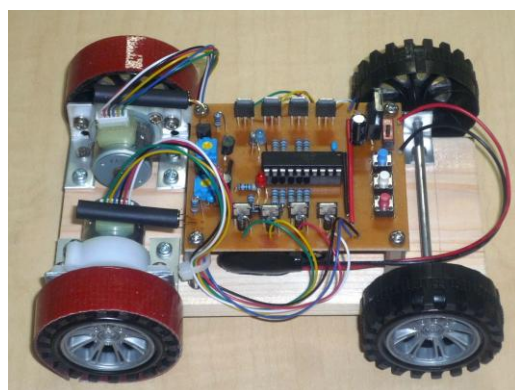


図4. ステッピングモーター制御体験

4. 計測分析技術課

(技)

4.1. コールドトラップの形状の違いによる試料水回収率の比較

計測分析技術課 中田実希、岩田智恵

1. 要旨

核融合科学研究所では、トリチウムの環境影響を評価するため、大気環境中のトリチウム濃度を測定している。トリチウムを回収するために、これまで使用してきた全ガラス製コールドトラップは、摺りガラスによる蓋が固着する場合があります、使用後の洗浄と乾燥に手間と時間が掛かるという問題点があった。そこで、ねじ口式のコールドトラップの導入を検討した。ねじ口式のコールドトラップは、従来品とは本体形状が異なるため、回収率に変化がないか検証を行った。その結果、ねじ口式のコールドトラップは従来のコールドトラップと同レベルの回収率を有することがわかった。また、作業性はねじ口式のコールドトラップの方が優れていた。

2. 目的

核融合科学研究所では、トリチウムの環境影響を評価するため、大気環境中の水蒸気状トリチウム濃度を測定している。水蒸気状トリチウム捕集には吸湿材を、吸湿材から捕集したトリチウムを含む水分を回収する際にはコールドトラップを使用している。コールドトラップは、これまで全ガラスの製品(図1左、Climbing・真空トラップ、以下「旧コールドトラップ」と呼ぶ)を使用しており、ガラス部品同士の接続部にすりガラスが使用されている。これにより、接続部の密閉性は向上するものの、使用後にすりガラス部分が固着して蓋が開かなくなる(固着する)ことがある。蓋が開かないと、コールドトラップの洗浄が困難かつ乾燥に時間がかかり、作業性が低下する。そこで、ねじ口式のコールドトラップ(図1右、SIMAX・ねじ口ガス洗浄瓶、以下「新コールドトラップ」と呼ぶ)の導入を検討した。本報告では、コールドトラップ形状の違いによる回収率とその作業性について比較・検討の結果をまとめる。



図1. 旧コールドトラップ
(左：赤枠内がすりガラス)と
新コールドトラップ(右)

3. 方法

回収装置の概要図を図2に示す。回収装置は、窒素供給ライン、吸湿材を充填したカラムとマントルヒーター、チラーとコールドトラップから構成される。なお、新コールドトラップの中管は、高さを最小にするとコールドトラップの底面に中管が触れていた。中管の位置は可動であるが、使用の際に位置がずれて中管内で試料水が氷結し、目詰まりを起こすことを避けるため、使用開始前に中管の下部から約2 cmを切断して使用した。

新コールドトラップと旧コールドトラップでは、容器形状(例えば、内径や高さなど)が異なるために容器内部の空気の流れに違いがあり、十分に冷却と水蒸気の凝固がおこらないまま空気がコールドトラッ

プから排出され、回収率が低くなると予想した。そこで、図3の通り、コールドトラップ内に 20 ml バイアルを加工して作成した、空気がコールドトラップの壁付近に沿って移動するよう空気の流れを変えるための治具を用意した。

回収率を比較するため、吸湿材約 600 g を金属バットに薄く広げて室内の水蒸気を吸着させる、または、スプレーで純水を添加することで、吸湿材に 35 g から 110 g の水分を添加した後、回収装置を用いて吸湿材から水分を回収した。吸着させる水分量は、これまでの捕集量を目安に決定した。水分添加前後の吸湿材の質量の差を吸着水分量 (m_{ab})、コールドトラップに回収した水分量を回収水分量 (m_{con}) とし、次式の通り回収率 (R) を求めた。

$$R(\%) = \frac{m_{con}}{m_{ab}} \times 100$$

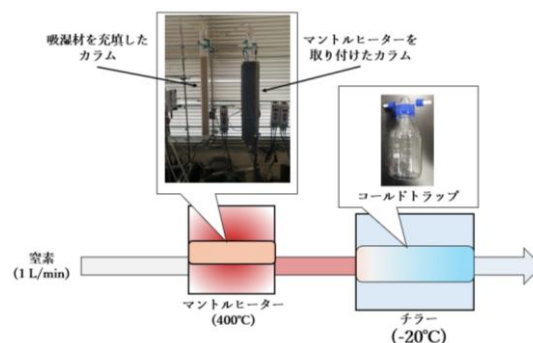


図2. 回収装置

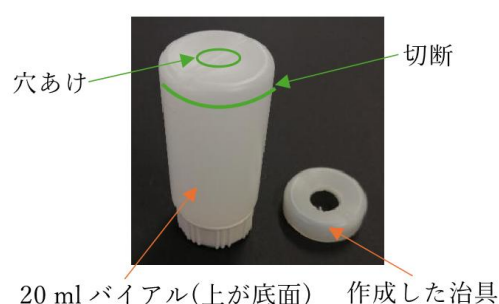


図3. 作成した治具

4. 結果

旧コールドトラップの回収率は、2024 年 9 月から 2025 年 3 月に実施した回収の結果から、94.9 ~ 100% ($n=31$) の範囲であった。新コールドトラップの回収率は、96.5 ~ 100% ($n=13$) であり、回収率は同じレベルであった。

本試験において、新コールドトラップの回収率はいずれも旧コールドトラップの回収率の範囲と一致しており、治具は必要ないが、治具を取り付けた試験も実施した。旧コールドトラップの回収率の範囲、新コールドトラップの回収率、及び治具の取り付け位置による回収率の変化の試験

結果をまとめたグラフを図4に示す。治具を取り付けた際のコールドトラップの回収率は、治具を使用していない時の回収率の範囲と一致した。本試験において、治具の距離が 1 cm の際に回収率のばらつきが最も小さかったが、この検証にはさらに試行回数を増やす必要がある。

また、旧コールドトラップでは、蓋が固着した場合、最低 1 日以上恒温槽内で乾燥する必要があった。しかし、新コールドトラップは、蓋をはじめとした部品が分解できるため、乾燥にかかる時間が 1 時間程度まで短縮できた。加えて、旧コールドトラップが丸底であるのに対して、新コールドトラップは平底

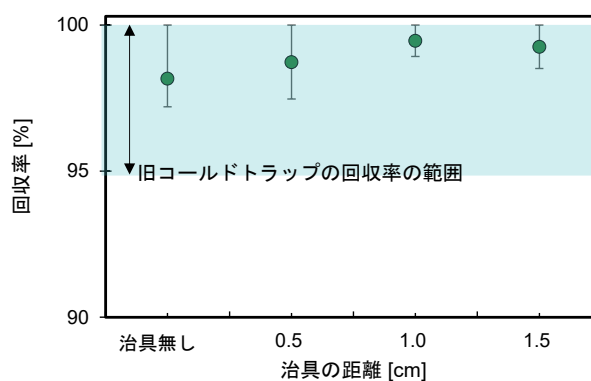


図4. 回収率

である。そのため、新コールドトラップは自立し、重量測定や試料水の室温解凍といった作業が容易であった。

表1に旧コールドトラップと新コールドトラップの比較結果をまとめる。これらの比較結果から、新コールドトラップは、旧コールドトラップと同様に使用可能であると判断した。ただし、耐久性について、旧コールドトラップはこれまで10年以上同一のものを使用し続けることができたという実績があり、新コールドトラップを今後長期間使用することで、長期間の使用に耐えうるか確認する必要がある。新コールドトラップは、交換部品として中管を購入できるため、引き続きランニングコストを含めた長期的な検証を行うこととする。

表1 旧コールドトラップと新コールドトラップの比較結果

	旧コールドトラップ	新コールドトラップ
回収率	94.9～100% (n=31)	96.5～100%(n=13)
作業性	△	○
費用	数万円	1万円以下

5. まとめ

コールドトラップの形状による回収率及び作業性の違いを評価した。その結果、本試験に使用した2つのコールドトラップは回収率に差はないことがわかった。全ガラスのコールドトラップは、安定して高い回収率を得られるというメリットがある一方で、接続部のすりガラスにより蓋が開きにくいために洗浄・乾燥に手間と時間がかかること、一方、ねじ口式のコールドトラップは、パーツを分解でき、蓋が固着することないため、洗浄・乾燥が楽かつ短時間で行えることに加え、価格も抑えられる点に特徴があった。これらの調査の結果、ねじ口式のコールドトラップは、全ガラスのコールドトラップと同様に運用可能であると判断した。

6. 謝辞

本検討及び執筆にご助言とご協力を頂いた田中将裕准教授と栗田紗緒里技術員に感謝申し上げます。

4.2. 開発実験棟冷却水設備の制御システムへの PLC 導入による自動凍結防止運転

計測分析技術課 神田基成

1. 目的

開発実験棟冷却水設備制御システムに PLC シーケンスを導入し、温度フィードバックによる自動凍結防止運転を可能として節電につなげる。

2. 概要

開発実験棟における冷却水設備の制御システムはリレーシーケンスでできており、ポンプ等の操作は屋外の現場盤或いは屋内の遠隔制御盤の押しボタンスイッチで行われていた。また、設備の凍結防止に関して CHD に関わる 8 台のポンプはタイマーリレーによる冬季夜間 8 時間/日、その他の 10 台は 24 時間連続という凍結防止が必要のない気温の時でも運転を行っていた。そのため、この制御に PLC シーケンスを導入することにより拡張性を持たせ、また新たに熱電対を設置することで外気温の情報を取り込み、温度フィードバックによる効率的な自動凍結防止運転を行えるようにした。



図 1. 開発棟冷却水設備の外観

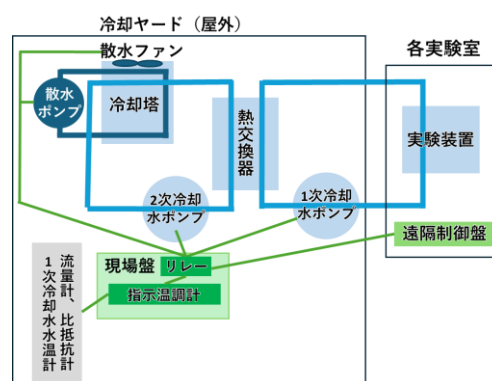


図 2. 改造前の冷却水設備の概要

3. 作業内容

まず、PLC の設置場所に関する検討を行った。PLC の CPU には熱に弱い半導体が使用されているため、当初は棟内の制御室とした。しかし、制御室と現場盤までは 120m あり、制御ケーブルを配線するのにかなりの費用が掛かることが分かった。そのため、リレーターミナルとその制御を行う PLC モジュールを現場盤内に、PLC の CPU 部を制御室に設置し、それらの通信にリモート I/O と光ケーブルを使用することとした。その制御システムの概要を図 3 に示す。これにより、必要な制御ケーブルの配線を現場盤内のみに抑えることもできた。また、PLC モジュールの保護のため、アナログ信号にはアイソレータを、デジタル信号にはリレーターミナルを介している。

自動凍結防止運転の温度フィードバック制御に使用する熱電対は、これまでに熱交換用銅パイプにおいて凍結が確認されている冷却塔に計 3 個取り付けた。その熱電対を PLC の AI (Analog Input) モジュールに接続し、まず 2℃以下になるとポンプに「運転 10 分」「停止 50 分」を繰り返させ、さらに一旦 0.5℃

以下となると 1℃を超えるまで連続運転を行うというシーケンスを構築した。

操作プログラムは LabVIEW で構築し、操作用 PC は制御室に設置したが、この PC は研究基盤 LAN に接続されており、所内の別の部屋からもリモートデスクトップ等により遠隔操作や監視をすることができる。また、タイマーによる自動運転やこれまで無かった運転操作や流量等のデータのログを取れるようにして利便性も向上させている。

4. 成果

2024 年度の 1～3 月は 3 台のポンプが故障により運転ができなかったことも考慮する必要があるが、自動凍結防止運転を運用することによって、先の期間の電気代は 2023 年度のそれと比較して 100 万円以上削減することができた。

今後は、インバータの遠隔操作によってポンプの周波数変更を行い、用途に応じて流量を変更できるようにする予定である。

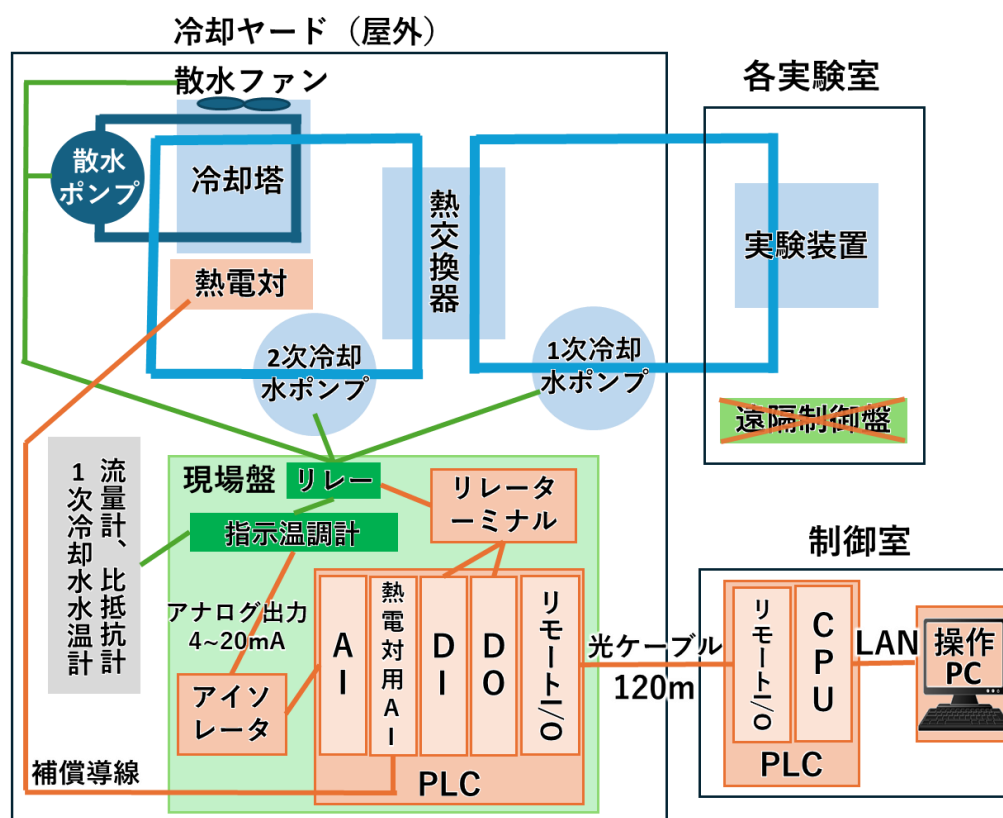


図3. 改造後の冷却水設備の概要（改造箇所をオレンジで示す）

4.3. 負イオン源からタンデム加速器入射までのビーム輸送の改善

計測分析技術課 田窪英法, 神田基成

1. 概要

重イオンビームプローブ(Heavy Ion Beam Probe, HIBP)は、プラズマの閉じ込め性能を研究する上で重要なパラメータとなるプラズマ電位を計測する装置である。

研究者からより高いプラズマ密度での電位を測定したいという要望があったため、ビーム電流量を増やすべく新しいイオン源を開発することとした。テストスタンドで新しいイオン源のビーム電流量を測定したところ、積分値で $94\mu\text{A}$ であった。このイオン源を HIBP 実機に装着し、イオン源から引き出された直後のビーム電流量を測定したところ、積分値では $65\mu\text{A}$ 、タンデム加速器直前の中心近傍で $25\mu\text{A}$ であり、どこかでビーム損失が発生している可能性が示された。テストスタンドと HIBP 実機のビーム電流量を図 1 に示す。

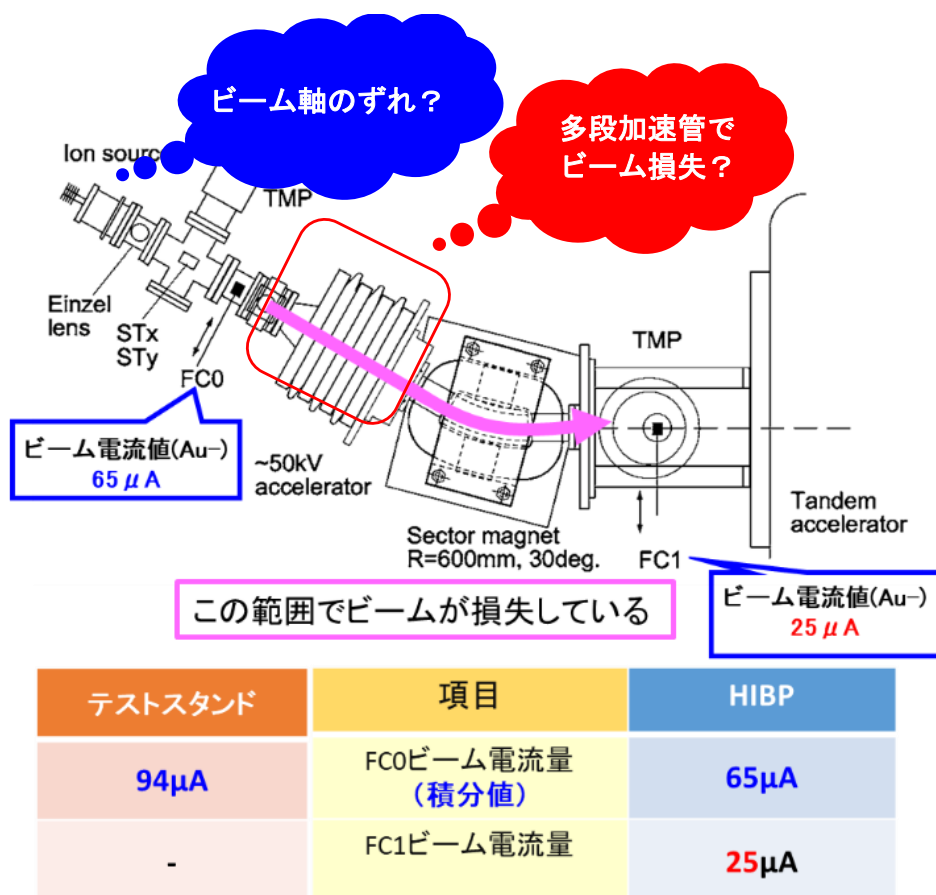


図 1. テストスタンドと実機のビーム電流量

2. 内容

イオン源から引き出され、アインシュテルレンズでビームが集束された直後に手動ファラデーカップを設置し、ビームプロファイルを測定した。図 2 はビームプロファイルの測定を示している。結果、ビーム軌道の中心から約 6mm 軸がずれていることが判明し、ビームが多段加速管に干渉していることで、ビー

ムが損失していると判断した。解消するために新規に静電偏向器を設置したが、約 10%程度しかビーム損失は改善されなかった。

多段加速管は $335\text{M}\Omega$ の抵抗器により電圧比を等分圧にしてビームを加速させている。抵抗分割を最適化することで、静電レンズによるビーム集束効果で図 3 の等電位面を変更してビーム輸送を改善することとした。

多段加速管によるビーム輸送最適化試験では、ビーム電流量が $19\mu\text{A}$ の時に抵抗の分圧比を最適化した結果、ビーム電流量が $28\mu\text{A}$ まで増加し、約 1.5 倍増加した。そのデータをもとに最適な分圧比になるように抵抗器を交換し、HIBP 実験によるプラズマ電位計測時のビーム電流量の改善状態を調べた。

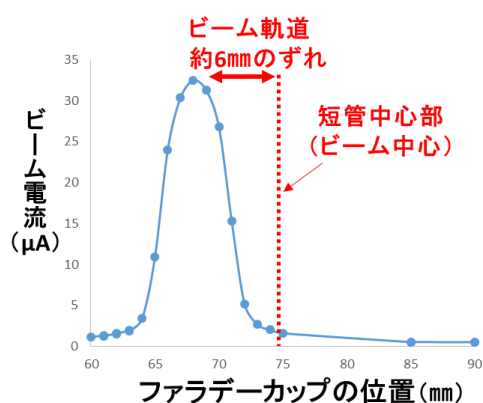


図 2. ビーム軌道調査用プロファイル測定

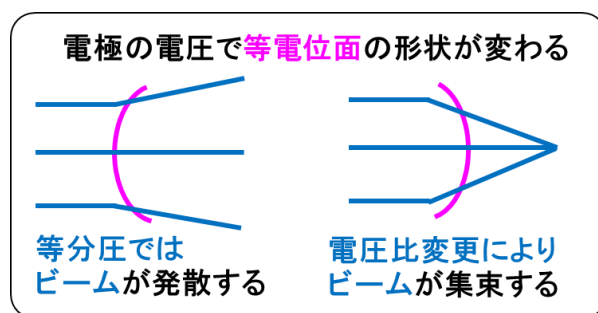


図 3. イオンビームの等電位面の概略図

3. 成果

多段加速管へのビーム輸送の最適化を実施した結果、約 2 倍のビーム電流量が増加した。

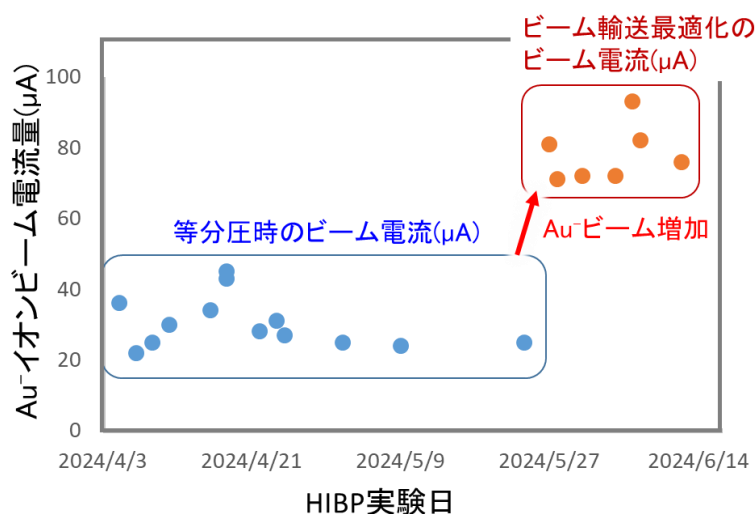


図 4. 多段加速管による Au-ビーム電流量(μA)

5. 制御情報技術課

(超伝導マグネット研究棟運用班)

5.1. IoT 用ボードコンピュータ (SPRESENSE) による機械学習を用いた AI 故障検知システム開発

制御情報技術課 大場恒揮

1. 目的

IoT 技術と機械学習を組み合わせることで、極低温システムの設備状態を現場でリアルタイムに収集・解析し、早期な故障検知を実現する AI 故障検知システムの開発を目指し、極低温システムにおける AI 検知に関するノウハウの蓄積を行う。

2. 概要

極低温システムの長期間安定稼働には、予期せぬ故障や微細な異常の早期発見が不可欠である。本開発では、広範囲な設備への適用と継続的な運用を目指し、低コストかつ省電力な IoT 用ボードコンピュータを活用した機械学習を用いた AI 故障検知システムを開発した。本システムは、極低温システムにおける多角的な機器状態診断の実現に向け、対象機器に対して画像、音、振動の 3 つの異なるデータソースを用いた故障検知手法を開発し、AI 検知に関するノウハウを蓄積している。

3. 作業内容

3-1. 画像による AI 故障検知

画像による AI 故障検知は、対象を He 圧縮機の電動機から滴下するグリスとした。滴下するグリスはシートで受けている。ボードコンピュータに接続したカメラより特徴量抽出のためにシート表面にあるグリス有無画像を 200 枚撮影し、機械学習の一つであるニューラルネットワークで学習させモデルを作成、そのモデルをボードコンピュータで動作させて、検知時はボードコンピュータのモニタにグリス滴下有無の判定結果を表示するようにプログラムした。

3-2. 音による AI 故障検知

音による AI 故障検知の対象は、He 圧縮機であったが機器の運転時期でないため扇風機とした。市販のピンマイクより特徴量抽出のために扇風機の動作音 200 サンプルデータを高速フーリエ変換して周波数成分に変換後オートエンコーダで学習させモデルを作成、そのモデルをボードコンピュータで動作させ、学習と異なる音の検知時は画面へアイコン表示するようにプログラムした。画像と音検知はボードコンピュータと Raspberry Pi を現場に設置して、遠隔地より VNC による監視が行えるようにした。

3-3. 振動による AI 故障検知

振動による AI 故障検知の対象も He 圧縮機であったが、上記と同様の理由により計装空気圧縮機とした。振動計より特徴量抽出のために振動波形 500 サンプルデータを高速フーリエ変換して周波数成分に変換後オートエンコーダで学習させモデルを作成、そのモデルをボードコンピュータで動作させ、学習と異なる振動の検知時は音と同様に画面へのアイコン表示するようにプログラムした。学習外波形検知時のアイコン表示画面を図 1 に示す。また、振動検知はボードコンピュータへの給電をモバイルバッテリーにして点検時に持ち運び測定位置でのリアルタイム診断を可能にした。機器構成を図 2 に示す。

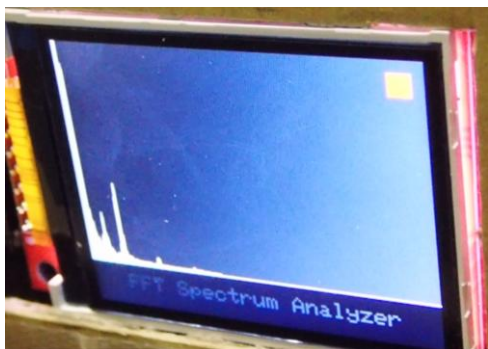


図 1. 学習外波形検知時のアイコン表示画面



図 2. 振動による AI 故障検知機器構成

4. 結果（成果）

開発を行った画像、音、振動の 3 パターンにおいて、機械学習モデルの作成、IoT 用ボードコンピュータ上での機械学習モデルの実装、動作、およびデータ収集から検知までの構築に関するノウハウが蓄積された。今後、これらのノウハウを活かし、LHD 低温システムの重要機器である He 圧縮機運転時に多角的な状態診断による早期異常検知を行う予定である。また、本開発で得られた知見を基に他の機器への適用範囲拡大も検討する。

5.2. 研究会開催支援システム Indico の運用

制御情報技術課 前野博也

1. 目的

情報システムグループは、当研究所の職員が研究会などを開催する際、その案内 Web サイトを簡易に作成できるようにすることを目的として、2018 年から独自の研究会開催支援 Web システムを開発し、運用してきた。これは、利用者がタイトルや説明文、登録フォームの項目を追加することで簡易的な Web サイトを作成し、参加者などを管理できるものだが、運用期間が長期化するにつれ、潜在的なバグの表面化や、機能追加に対する人的コストの増大が無視できないなど、抜本的な対処の必要に迫られた。そのため、新たな研究会開催支援システムを運用することとした。

2. 概要

欧州原子核研究機構 (CERN)¹で開発されている Indico²は、オープンソースのイベント管理システムであり、日本を含む世界中の多くの大学・研究機関等で採用されている。登録フォームや参加者管理・資料アップロードなどの基本機能に加え、タイムテーブルの作成やイベント担当者の追加、多言語対応など、柔軟なイベントサイトの運用を可能とする機能がある。QR コードの発行とそれによる参加受付機能などによって、大規模なカンファレンスなどにも対応することができる。導入と運用

3-1. インストール

Indico は GitHub でバージョン管理されており³、Python パッケージ管理ツールの pip を用いて容易にインストールできる。インストールガイドも充実しており⁴、バージョンアップも短いダウンタイムで容易にできる。ベースには Python フレームワークの Flask が使われているが、運用者がそれを気にすることはほぼない。

3-2. 日本語訳

Indico はスイスにある CERN で開発されている関係上、デフォルト言語はイギリス英語である。日本語はしばらく対応していなかったが、2024 年 12 月公開のバージョン 3.3.5 にて対応した。ただし、訳には粗が多くあるほか、トップページに当所独自の記述が必要なため、独自に修正して運用している。翻訳管理のプラットフォームは Transifex が使われており、訳を修正してビルドすれば適用されるが、変更はバージョンアップの際に上書きされてしまうので、都度適用し直す必要がある。翻訳プロジェクトに参加することで Indico の配布版に適用されるような貢献もできるが、現状では前述の通り独自に行なっている。

3-3. ログイン認証

Indico におけるアカウント作成及びログインには SSO が利用できる。当所では代表メールアドレスに Google を利用していることから、Google 認証でアカウント作成及びログインを行えるようにした。

3-4. 全体のカスタマイズ

Indico の各ページはあらかじめ決められたテンプレートに従って表示されるが、ある程度のカスタマイズをする機能も用意されている。これによりトップページの文面を当所での運用に沿う形に大きく変更しているほか、フッターに当所のロゴを表示させている。⁵

3-5. 使い方ガイドの作成

Indico はデフォルトではユーザが自由にイベントサイトを作成し公開できるが、当所では申請に対して承認されたもののみ公開する運用としている。そのような運用に沿う形の使い方ガイドも必要となるため、作成した。

基本的な手順に関しては公式にもガイドが存在するが、英語であり、また全体的・汎用的な説明も多いため、時間をかけずに研究会サイトを作成したいユーザの要望を満たせない可能性がある。それを考慮し、基本的な手順も含めたガイドを文書サイトとして所内限定で公開した。Indico の Web サーバーは通常の nginx（または Apache）であるため、リバースプロキシを設定して MkDocs⁶を用いた文書サイトにアクセスできるようにした。

3. 結果

4-1. 運用

Indico でイベントサイトを作成するにはアカウントを登録する必要があるが、前述の通り Google 認証によって、Indico のためのパスワードを設定せずに行えるようにした。以前はサイト作成の度に専用のパスワードを必要としたため、利便性が向上している。旧システムとの並行運用から 2025 年 4 月に本運用に移行し、約 6 ヶ月経過した時点で、20 件近くの利用がされている。

4-2. 成果

Indico の運用を通し、翻訳プラットフォームの Transifex、文書サイトジェネレーターの MkDocs など主に Web 開発で使われる技術を習得した。特に MkDocs は、技術文書の作成に大いに役立つため活用していきたい。

4-3. 課題

Indico で発表者が発表資料をアップロードする際には、その発表者が研究会への参加登録（既定では Indico アカウントなしでも可能）とは別に Indico アカウントを取得する必要があるという制約がある。これはセキュリティ上必要な機能だが、既に問い合わせが複数あり、特に旧システムでは参加登録さえすれば発表資料をアップロードできたことから、どうしてもわかりにくい部分となっている。これについてはなるべく理解してもらえるように使い方ガイドに記載したが、周知には時間を要する可能性もある。

¹ <https://home.cern/>

² <https://getindico.io/>

³ <https://github.com/indico/indico>

⁴ <https://docs.getindico.io/en/stable/installation/>

⁵ 当所の運用サイト。 <https://indico.nifs.ac.jp/>

⁶ ただし、今回は派生テーマの Material for MkDocs を使用した。

<https://squidfunk.github.io/mkdocs-material/>

5.3. ITER 低温システムダイナミックシミュレーション(80K~4.5K)

制御情報技術課 鷹見重幸

1. 概要

核融合科学研究所(NIFS)ではフランスの ITER 機構との間で技術契約を結び、NIFS にある極低温プロセス実時間シミュレータ(C-PREST)を用いて、国際熱核融合実験炉(ITER)の超伝導マグネットを含む低温システムのダイナミックシミュレーションを行ってきた。これまでにプラズマ実験時に発生するパルスの非常に大きな熱負荷変動の影響を調べるためのシミュレーションを実施してきた。

低温システムの運転においては、極低温状態を安定的に維持することの他に、常温から極低温へ冷却する予冷も重要な運転となる。そこで ITER において予冷運転がシナリオ通りに常温の 300K から極低温の 4.5K まで冷却できることをシミュレーションによって確認することとなった。2023 年度は 300K から液体窒素温度レベルの 80K までの冷却シミュレーションを実施した。このシミュレーションでは、超伝導マグネットのみのモデルを用い、冷却の進み具合に応じて、シナリオに従った流量、温度を与えてシミュレーションを実施してきたが、80K 以降は膨張タービンを用いた冷却となり、膨張タービンを含むヘリウム液化冷凍機を含めたモデルを用いてシミュレーションを実施した。

2. 実施内容

ITER 低温システムの概要

シミュレーション対象となる ITER 低温システムの概略図を図 1 に示す。冷凍能力 25kW の非常に大きな冷凍機 3 台を並列接続し、被冷却体は 4 つの超伝導マグネットシステム(ST, CS, TF, PF/CC)と 1 つのクライオポンプの 5 系統からなる。また He 液化冷凍機と被冷却体との間には補助コールドボックス(ACB)が配置され、プラズマ実験時の被冷却体で発生する熱負荷変動がダイレクトに He 液化冷凍機へ伝わらな

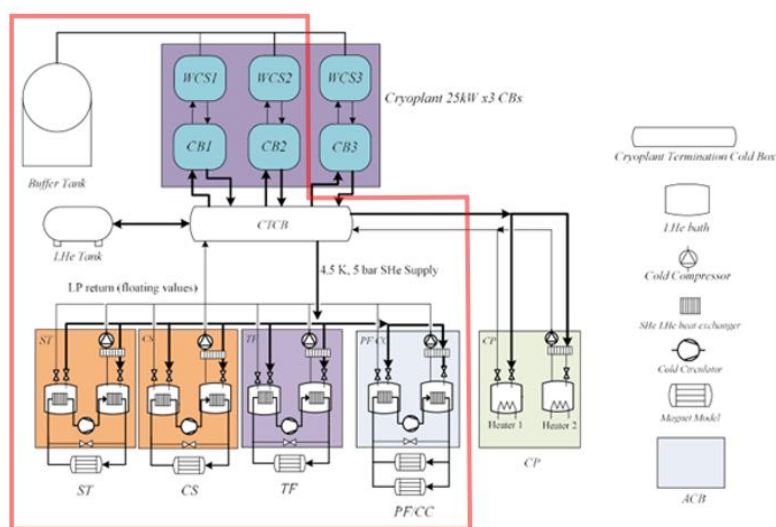


図 1. ITER 低温システム概略図

い構成となっている。予冷運転では 2 台の He 液化冷凍機が用いられ、もう一台は LHe タンクへの貯液に用いられる。

シミュレーションモデル

今回のシミュレーションでは図 1 の赤枠で示す部分をモデル化した。超伝導マグネットは 2023 年度実施した 300 K から 80 K の予冷シミュレーションで用いたモデルを用いた。He 液化冷凍機モデルは ITER 機構より提供されたモデルをベースに、ACB を追加し、予冷シナリオに則して動作するように超伝導マグネットの冷却状況に応じてバルブ等が動作するように制御を加えた。

Co-simulation について

He 液化冷凍機モデルと超伝導マグネットモデルは異なるシミュレーションソフト (EcosimPro と Visual Modeler) で作成されているため、お互いを接続する必要がある。またシミュレーションモデルが大きくなるため計算負荷軽減のため別々の PC で計算を実行する必要がある。そこで図 2 に示すように、2 台の PC を Ethernet で接続し、各シミュレーションソフトの外部接続用のインターフェイス (I/F) を利用し、TCP/IP ソケット通信により相互接続して、必要なデータの交換とお互いの同期を取りながら協調シミュレーション (Co-simulation) によって、80 K から 4.5 K までの予冷シミュレーションを実施した。

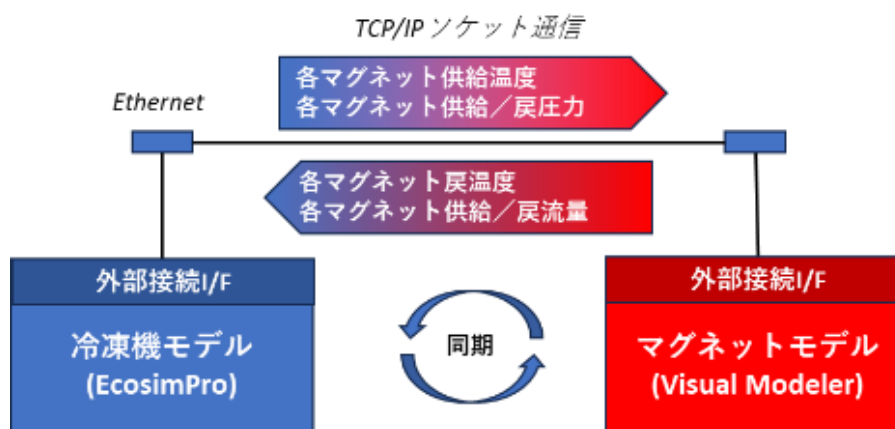


図 2. Co-simulation

3. シミュレーション結果

80 K から 4.5 K までの予冷シミュレーションの代表的な結果を図 3 に示す。80 K からの予冷開始 5 日後に、被冷却体である各超伝導マグネットの出口温度は 4.5 K に到達し、各 LHe 貯槽には目標値である 50% に貯液が完了するシミュレーション結果が得られ、シナリオ通りに冷却が実施できることを確認した。

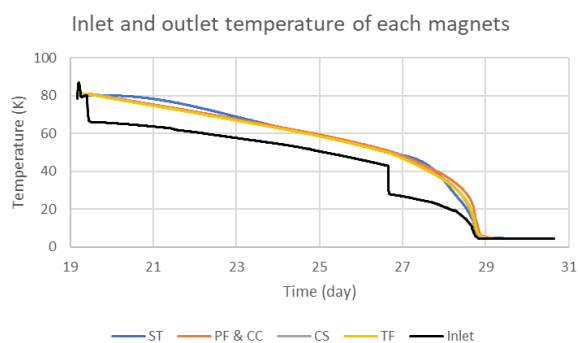


図 3-1. シミュレーション結果 温度波形

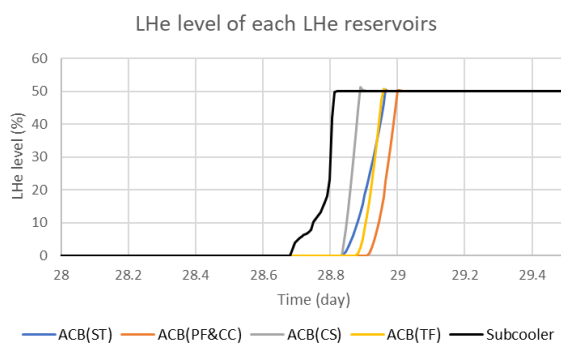


図 3-2. シミュレーション結果 LHe レベル

4. まとめ

超伝導マグネットモデルと He 液化冷凍機モデルとをネットワークを介して接続した Co-simulation により、80K から 4.5K までの予冷シミュレーションを実施した。シミュレーションの結果、シナリオに沿った予冷運転で各被冷却体が 4.5K まで冷却され、各貯槽には目標となる 50%の貯液が完了することを確認した。

5.4. 文献データベースの API を活用した独自の論文データベースの構築と研究成果の可視化

制御情報技術課 野々村美貴

○野々村 美貴 ^{A)}、甲斐 誉人 ^{B)}、高山 有道 ^{C)}、坂本 隆一 ^{C)}

自然科学研究機構 核融合科学研究所 技術部 ^{A)}

WDB 工学株式会社 ^{B)}

自然科学研究機構 核融合科学研究所 研究部 ^{C)}

1. はじめに

核融合科学研究所 (NIFS) では、論文情報システム NIFS Article Information System (NAIS) [1] という研究業績データベースを内製・運用している。NAIS では、論文情報の登録を研究者に委ねているため、登録状況にばらつきがある。このため、NAIS 単独ではすべての研究成果を網羅することができない。そこで外部文献データベース (Scopus[2]、Web of Science[3]、ORCID[4]) の API ^{*1)} を利用して、論文情報を集約し NAIS と統合することで、より多くの研究成果を可視化できるようにした。本稿では、論文情報の自動更新・検索機能を備えた独自の論文データベース NIFS Research Activity Database (NRAD) の構築とその活用方法について報告する。

^{*1)}Application Programming Interface の略称で、異なるアプリケーションの間でデータやプログラムの機能を共有できるようにしてくれる仕組み

2. NRAD システムの開発

外部文献データベースから論文情報を自動的に登録・更新し、研究者ごとに論文情報を可視化・検索する機能を有するシステムを構築した。本システムの全体概要を図 1 に示す。

2.1 文献データベースからの論文情報取得

文献データベースは、それぞれ独自の方法で構築されている。現状ではすべての論文情報を網羅した文献データベースは存在しないため、複数の文献データベースから論文情報を収集することとした。表 1 に示す理由により文献データベースを選定した。

論文情報は、各文献データベースの API を利用して取得している。API のしくみを図 2 に示す。

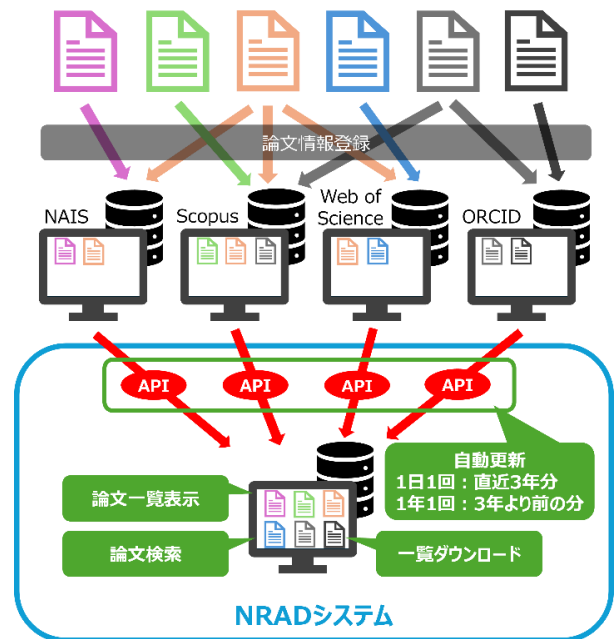


図 1. NRAD システム全体概要

表1 文献データベースの選定理由

DB 名	選定理由
Scopus	多くの文献が登録されている 詳細な情報を取得できる
Web of Science	Scopus で登録されていない文献 が登録されている
ORCID	研究者が独自で文献を登録して いる
NAIS	研究者が独自で文献を登録して いる 会議論文情報が登録されている

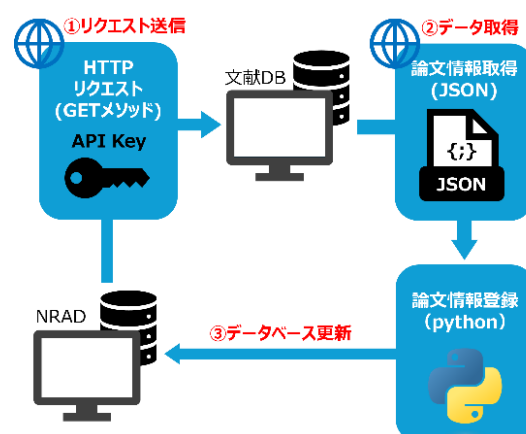


図2. API のしくみ

API にリクエストを送信する際に指定する項目は次の通りである。

1. ヘッダー
 - 応答フォーマット
2. クエリパラメータ
 - API Key (事前に取得する必要あり)
 - 個人 ID または 所属 ID
 - 出版年 等

表2に示す通り Scopus と Web of Science は、一定期間内での使用制限があるため、1日に1回行う自動更新は直近3年分とした。それ以前の論文は新規登録や更新があまりないため、1年に1回自動更新を行うこととした。

表2 各文献データベースの API

DB 名	API 名	リクエスト使用制限	クエリ パラメータ	応答 フォーマット
Scopus	Scopus Search API	20,000 件 / 週 9 件 / 秒	所属 ID 個人 ID 出版年 著者 ID 等	JSON
	Abstract Retrieval API	10,000 件 / 週 9 件 / 秒		
	Author Retrieval API	5,000 件 / 週 3 件 / 秒		
	Affiliation Retrieval API	5,000 件 / 週 9 件 / 秒		
Web of Science	Web of Science Starter API	5 件 / 秒 1,000 件 / 日 50 文献 / 件	所属 出版年 個人 ID 等	JSON
ORCID	Public API	12 件 / 秒	個人 ID	JSON

2.2 論文情報の登録・更新

API で取得した論文情報は、python スクリプトでデータベースに登録・更新を行っている。このスクリプトは処理負荷が高く、実行に時間がかかるため、他に影響の少ない夜間の時間帯に実行している。スクリプトを実行する際に注意する点は次の通りである。

- API の使用制限を超えないように、リクエストごとに間隔を空ける
- スクリプト実行時に CPU 使用率が 100% に達しないように、cpulimit コマンドを用いて制限している（現状は 60% 程度に抑えている）

毎日の自動更新にかかる時間は日によって違うが、ある日の例を表 3 に示す。

表 3 自動更新の所要時間と件数

DB 名	所要時間	件数（更新数 / 論文数）
Scopus	約 30 分	2023 年 0 / 228 件 2024 年 1 / 286 件 2025 年 1 / 52 件
Web of Science	約 4 分	2023 年 0 / 167 件 2024 年 1 / 259 件 2025 年 1 / 33 件
ORCID	約 4 分	2023 年 0 件 2024 年 0 件 2025 年 1 件
NAIS	約 11 分	1968～2023 年 0 / 16241 件 2024 年 4 / 285 件 2025 年 3 / 34 件

2.3 論文情報の同一判定

複数の文献データベースから論文情報を収集するため、同じ論文情報が登録されることがある。このため、論文情報を比較しデータを統合する必要がある。NRAD システムでは、次の条件が揃えば同一論文と判定することとした。

- DOI^{*2)} が一致
- タイトルの 90% 以上が一致
- ジャーナル名が一致

^{*2)}Digital Object Identifier の略称で、インターネット上にある電子化されたコンテンツに恒久的に付与される国際的な識別子

この方法だけでは論文情報の統合が不十分であるため、表 4 に示す通り追加の対応が必要となった。

表 4 システムでの自動同一判定の問題点

問題点	対応内容	対応件数
一つの論文に対して、複数の DOI が存在しており、その内の 1 つにリダイレクトされている	リダイレクトされている DOI の論文を同一判定から除外	8 件
一つの論文に対して、Paper と Proceedings がある	Proceedings を除外	15 件
一つの論文に対して、Erratum, Editorial 等があり複数の DOI が存在している	Erratum, Editorial 等の論文を除外	69 件
DOI が間違っている	各文献データベースに修正依頼	39 件
タイトルは同一だが別論文である	内容を確認し、別論文とする	14 件
同姓同名の人物の論文が混在している、プロフィールが複数ある	同一人物か、プロフィールの確認をする	61 名

研究者数：119 名、登録年数：58 年（1968～2025） 総論文登録数：31,300 件、集約後論文数：12,200 件
（2025/2/20 現在）

2.4 研究成果の可視化

NRAD システムで統合した論文情報を、研究者ごとに Web ブラウザ上で確認できるようにした。各研究者の Web ページでは、論文情報を 4 つのカテゴリ (Refereed Papers、Presentation、Book、Others) に分類し表示した。各カテゴリでは、検索・ソート・ダウンロード・ページ切り替え機能が利用できる。これらの機能は、JavaScript ライブラリ jQuery[5]のプラグイン tablesorter[6]で実装した。図 3 に各研究者の Web ページイメージを示す。

No.	AIN	Source	Article No.	Article Type	Accepted Date	Title	Author List	First Author	Year	DOI	Journal Name	Vol	Issue
1	31534	Scopus	114789	Paper	Select Date	"Plasma and Fusion Cloud" Data analysis...		false	2025	10.1016/j.fusengdes.2024.114789	Fusion Engineering and Design	211	
2	30514	Scopus	112022	Paper	202409	WEST full tungsten operation...		false	2024	10.1088/1741-4326/ad64e5	Nuclear Fusion	64	11
3	30236	Scopus	112009	Paper	202408	Overview of Large Helical Dev...		false	2024	10.1088/1741-4326/ad3a7a	Nuclear Fusion	64	11
4	29838	Scopus	056026	Paper	202403	Structure of pellet cloud em...		false	2024	10.1088/1741-4326/ad326c	Nuclear Fusion	64	5
5	22282	Scopus	1	Paper	202401	Better Understanding of Hydrogen Pellet Ablation Clo...		false	2024	10.3390/atoms12010001	Atoms	12	1
6	22269	Scopus	114144	Paper	202312	Potential impact of surface microstructure change on ...		true	2024	10.1016/j.fusengdes.2023.114144	Fusion Engineering and Design	199	
7	22258	Scopus	036008	Paper	202401	Impact of helium and hydrogen plasma exposure on s...		true	2024	10.1088/1741-4326/ad1fab	Nuclear Fusion	64	3
8	22181	Scopus	2501057	Paper	202307	Perspective of Meta-Hierarchy Dynamics		false	2023	10.1585/PFR.18.2501057	Plasma and Fusion Research	18	
9	22036	Scopus	955890601	Paper	202311	Using rational surfaces to improve pellet fuelling in st...		false	2023	10.1017/S00023778230001010	Journal of Plasma Physics	89	6
10	21997	Scopus	2402017	Paper	Select Date	Results of ITER DMS Pellet Material (Neon) Injection L...		false	2022	10.1585/pfr.17.2402017	Plasma and Fusion Research	17	

図 3. 各研究者の Web ページイメージ

3. NRAD システムの活用

NIFS では、NRAD システムで統合した論文情報を次の用途に活用している。

- 研究成果の公開
(研究者毎の論文情報を JSON 形式で研究者紹介ページに送信)
- 研究成果の報告等に活用
(研究者毎の Web ページより論文情報一覧をダウンロード)
- 研究者の業績評価に利用

4. まとめ

NAIS では、論文情報の登録を研究者に委ねていたため登録状況にばらつきがあったが、NRAD システムでは複数の文献データベースから論文情報を収集することで、より多くの研究成果を網羅できるようになった。これにより研究者の登録作業の負担を軽減することができた。また、研究成果を統合し可視化できるようになったことで、論文情報の公開や業績評価が公平に行えるようになった。

今後は、システム運用者の要望を受け、論文情報の検索機能の強化、分類作業の機能追加を行う予定である。

参考文献

- [1] NIFS Article Information System
<https://nais.nifs.ac.jp/article/center>

- [2] ELSEVIER Scopus
<https://www.elsevier.com/ja-jp/products/scopus>
- [3] Clarivate Web of Science
<https://www.webofscience.com/wos/>
- [4] ORCID
<https://orcid.org/>
- [5] jQuery
<https://jquery.com/>
- [6] tablesorter
<https://mottie.github.io/tablesorter/docs/>

5.5. 情報システム・セキュリティセンター 情報ネットワークグループの活動

制御情報技術課 井上知幸

1. 概要

情報ネットワークグループでは、研究活動の基盤となる研究所全体の情報ネットワーク環境を整備し運用している。技術部からは、常勤職員 4 名、短時間契約職員 2 名が、技術部の情報システム運用班の一員として、情報ネットワークグループの業務を遂行している。2024 年度の活動トピックスは以下の通りである。

2. システム更新

2-1. キャンパス無線 LAN 導入

これまで、共同研究者や来訪者が利用する会議室など、限られた場所にしか設置されていなかった無線アクセスポイントを、順次所内全域に広げていくこととなった。今年度は、研究 1 期棟、管理・福利棟、図書館の調達を行い、2025 年 3 月から運用を開始した。

2-2. CentOS 7 サポート終了対応

2024 年 6 月末でサポートが終了する CentOS 7 上で動作している各種ネットワーク運用サーバ、及び、広報室関連の Web サーバの更新を実施した。移行対象サーバは 17 台。移行するディストリビューションとして AlmaLinux 9 を選択した。作業効率化のため、インストールひな形を作成した上で、4 月上旬から作業を開始し、6 月末までに移行作業を完了した。サーバ群更新に合わせて、死活監視サーバ Xymon に替わり、Zabbix を導入した。

2-3. 開発実験棟情報コンセント更新

制御室近辺での無線利用希望や CHD 計画のため、棟内情報コンセントの整備を進めることとなった。利用者の要望を取りまとめ、コンセント設置個所を決定し、2025 年 3 月に更新工事を完了した。

3. 脆弱性対応

3-1. Ivanti Connect Secure：リモートアクセス、LHD アクセスゲートウェイ

2024 年 4 月：CVE-2024-21894 (Heap Overflow)、CVE-2024-22052 (Null Pointer Dereference)、CVE-2024-22053 (Heap Overflow)、CVE-2024-22023 (XML entity expansion or XXE)

2025 年 1 月：CVE-2025-0282 (スタックベースのバッファオーバーフローの脆弱性)、CVE-2025-0283 (認証された攻撃者が権限を昇格できる脆弱性)

ファームウェア不具合により対策バージョンへのバージョンアップが遅れたが、回避策を適用して運用を継続し、不具合解消後にバージョンアップ作業を実施。

3-2. VMware vCenter Server

2024 年 6 月：VMSA-2024-0012 (バッファオーバーフローの脆弱性など複数の脆弱性)

2024 年 10 月：VMSA-2024-0019 (バッファオーバーフローの脆弱性など複数の脆弱性)

対策バージョンへのバージョンアップ作業を実施。

3-3. PaloAlto (PanOS)

2024 年 11 月：CVE-2024-0012 / CVE-2024-9474 (PaloAlto 管理インターフェ이스の脆弱性対応)

回避策を適用した上で、対策バージョンへのバージョンアップ作業を実施。

3-4. Fortigate (FortiOS)：ゲストネットワーク、六ヶ所研究センター

2025 年 1 月：CVE-2024-55591 (認証回避の脆弱性)

回避策を適用した上で、対策バージョンへのバージョンアップ作業を実施。

3-5. ユーザ問い合わせ対応

2024 年度の問い合わせ対応は、前年度と比較して若干減少 (381 件→366 件) した。5 月のリモートアクセス不具合、7 月の SPC Leak Detection 導入、3 月の無線 LAN 導入にあたり、問い合わせが増加した。登録作業については、組織改編の影響を受け増加した前年度に比べると減少した (852 件→609 件)。

※問い合わせ対応：メール、検疫認証システム、ウィルス関連、無線 LAN、LHD-LAN、その他

※各種登録作業：DNS、SSL-VPN、メール、メーリングリスト、FW、UPKI 証明書発行

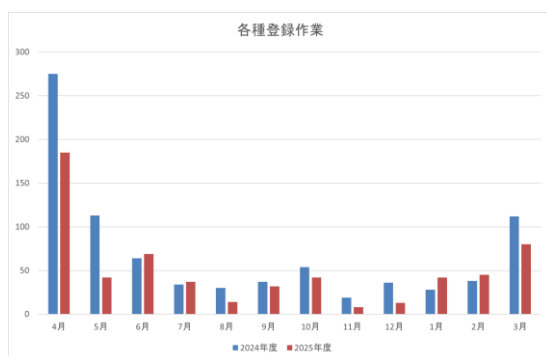


図 1. 各種登録作業

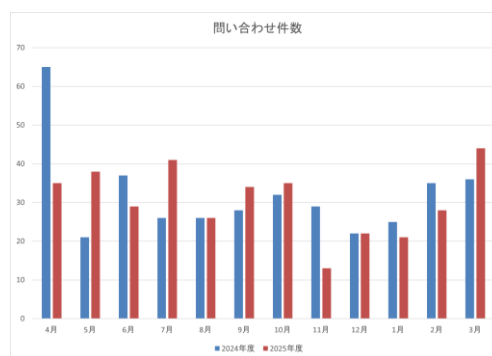


図 2. 問い合わせ件数

5.6. 無線アクセスポイント(eduroam)の整備について

制御情報技術課 中村修 葛原孝広 大西優子

1. 目的

無線アクセスポイントは会議等を行う会議室を基本として、情報システム・セキュリティセンター長が認めた場所へ申請ベースで設置してきた。最近のノート PC には有線 LAN のポートが未実装で無線のポートしか実装されていないものも多く、ユーザからは居室でも eduroam を使えるようにしてもらえないかとの相談が多数寄せられていた。そのため、保守期限を迎える機器を更新して新システムを導入する際、建物の大部分での無線接続が可能となるように無線アクセスポイントの設置場所を決め、ユーザの利便性を高めることを目的とした。

2. 概要

予算の都合で令和 6 年度は、研究棟 I、管理・福利棟、図書館棟の 3 棟を高い優先度と判断して新システムを導入した。政府調達での契約となるため、発注までに長い時間を要した。年度初めの 4 月に仕様策定委員会を立ち上げ 5 月には仕様を確定して公示したが、技術審査を経て契約が完了し発注したのは 9 月であり、機器が揃って作業等を行うのは年明けの 1～3 月に集中して導入することとなった。

3. 作業内容

3-1. 入札対応

政府調達での入札からの契約となるため機種選定を行う事は出来なかった。そのため、まずは運用までを想定した仕様を決めていく必要があった。無線コントローラはクラウドでの提供とし、各アクセスポイントの管理が行えるものとした。アクセスポイントは PoE スイッチから電源供給を受けるものとし、2.4GHz と 5GHz で同時に無線サービスを提供出来る機器とした。また運用後のランニングコストを考慮して、建物全域での無線提供を目指しながらも、導入台数はなるべく少なくなるように設置場所を設定した。入札の結果、無線コントローラとしては Aruba Central が採用され、アクセスポイントとしては Aruba の AP-615 を導入した。また PoE スイッチは Aruba 6000 の 12/24 ポートを導入した。

3-2. 旧システムから新システムへの切替え

サービスが不安定となる時間をなるべく少なくなるように切り替えを行うこととした。各無線領域の切替日までに UPS、PoE スイッチ、無線アクセスポイントの設置工事、及び LAN ケーブル配線工事を完了させ、切替日の当日は LAN ケーブルの接続替えと旧システムのシャットダウンのみを領域毎に行っていった。この様な手順で行う事で、無線の接続が不安定となった時間は 5 分程度で抑えることができた。

4. 結果

旧システムから新システムへの切り替えは非常にスムーズに進めることができた。新システムへの切替え後、旧システムでは入らなかった無線の電波が居室でも入るようになり、非常に利便性があがったと喜びの声が多数寄せられている。また、無線コントローラからの一元管理により、各無線アクセスポイントのトラフィックを一目で把握でき、接続出来ないというユーザからの問合せ対応においても、通信

ログを確認して原因を特定することも出来るため、便利になった事を実感できている。次年度では、別の建物の新システムへの更新を行っていくこととする。

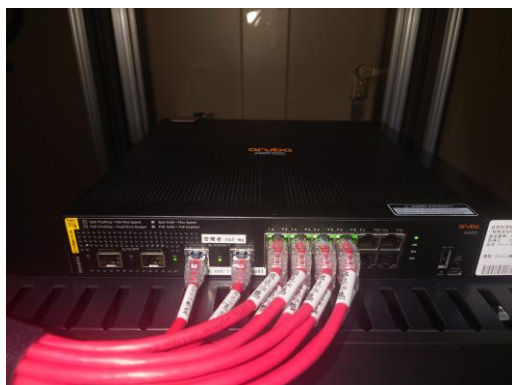


写真 1. PoE スイッチ



写真 2. 無線アクセスポイント

6. 海外出張

6.1. 中国成都市 西南交通大学／合肥市 Keye 社への出張

設計開発技術課 田上裕之 村瀬尊則 中川翔

計測分析技術課 長原一樹

1. 目的

NIFS と中国成都市にある西南交通大学(Southwest Jiaotong University、SWJTU)との国際共同プロジェクトである核融合プラズマ実験装置 CFQS-T の建設状況の確認、ならびに現地研究者・技術者との CFQS-T 建設に係る技術的な打ち合わせの実施を目的とした。本出張を通して技術職員自身の技術的知見、スキル向上を図っており、将来の NIFS における次期プラズマ実験装置の工学設計・建設ノウハウの獲得に資することも主要な目的の一つとなっている。

2. 概要

2017 年 7 月よりスタートした NIFS と中国 SWJTU との国際共同プロジェクトのもと、大半径 1 m、アスペクト比 4、磁場強度 0.1 T の先進的な核融合プラズマ実験装置 CFQS-T の建設が進んでいる。NIFS から研究者や技術職員が定期的に製作工場である中国合肥市の Keye 社や、建設現場である成都市の SWJTU を訪問し、製作中の装置の見学を行うとともに SWJTU や Keye 社の研究者・技術者との技術的な打ち合わせを行っている。技術部は 2018 年 12 月より本プロジェクトに参画しており、大型ヘリカル装置 (LHD) で培った真空容器や磁場コイルの組み立て・運転保守の技術・知識、並びに 3 次元 CAD や解析ソフトを用いた設計支援技術を駆使し、本プロジェクトを技術的に支援している。2024 年度は 2 度中国を訪問し、組立て・試運転段階に入った CFQS-T 本体の見学を通じた技術的な知見の収集を主に行った。

3. 内容

訪問先と現地滞在日程は以下の通りである。

- 1) 2024 年 5 月 26 日～29 日 訪問先：中国合肥 Keye 社
- 2) 2024 年 11 月 12 日～14 日 訪問先：中国 SWJTU

第一回目である 5 月の訪問時は、技術部からは田上と中川が参加し、Keye 社の工場内での CFQS-T 本体の組立ての様子を見学した。訪問時の写真を図 1 に示す。本装置は真空容器とそれを取り囲むように設置される複雑な 3 次元形状を有するモジュラーコイル(MC)にて主に構成される。真空容器を 4 分割の部品としてそれぞれ製作してから 1/4 セクションずつ MC と共に組み立てる手順となっており、訪問時は 3/4 セクション目の組立てが進んでいた。MC を真空容器に通して組み立てている様子を間近に見学することができた。組立て時の様子は図 1 右図にて確認できる。

見学後、装置本体組立て後の品質検査内容について技術部より提案を行い、現地技術者と議論を行った。CFQS-T は、真空容器内に準軸対称磁場と呼ばれる特殊なプラズマ閉じ込め用磁場配位を生成できる世界初の実験装置であり、本機器の設計に即した品質検査を検討する必要がある。検査項目自体は従来の核融合実験装置と同様であるが、例えば真空容器やモジュラーコイルなど、3 次元上に複雑かつ特殊な構造の部品に対する寸法検査方法などは独自に考案する必要がある。なお、本装置は数多くの部

品から成り、詳細な検査手順を検討するにはそれらの構造や製作、組み立て方法の詳細を熟知しなければならなかったため、本件を通じて技術的な知見を深めることができた。また、5月の訪問後、真空容器の溶接方法について議論が行われた。当初、真空容器のフランジ間は溶接によって接合する設計となっていたが、先方の判断により、再度分解しやすいようにフランジ間を厚さ 2 mm の薄板の溶接により接続する計画に変更されていた。これに対し、有限要素法 (FEM) を用いた応力解析により 2 mm では強度的に不十分であることや、真空リークの危険性があることを根拠として、当初のフランジ溶接案に戻すように要求した。本要求は先方に採用され、真空容器は当初の計画に従って溶接された。

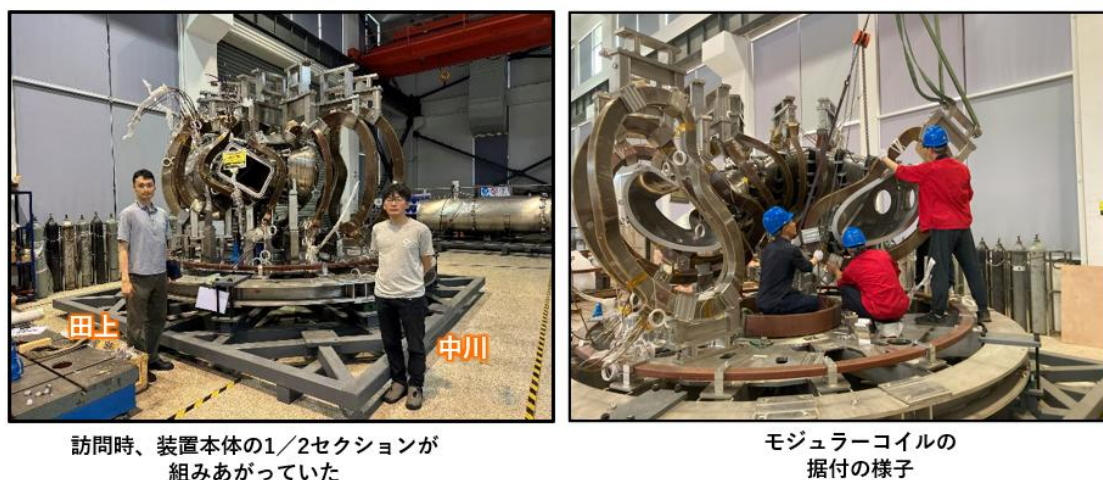


図 1. 中国合肥 Keye 社訪問時の様子

二回目である 12 月の訪問時では、技術部からは村瀬、長原、田上、中川が参加し、CFQS-T 完成に伴う今後の日中間の共同研究の進展、CFQS-T の特徴である準軸対称プラズマの理解の深化を図った第一回 CFQS-T ワークショップに出席した。本会に参加し、完成した CFQS-T の状態確認並びに試運転結果についての技術的な議論を行った。CFQS-T は第一回目の訪問時に技術部より提案した組み立て後の検査項目に合格していることを確認できた。ワークショップの様子を図 2 に、完成した CFQS-T の写真を図 3 に示す。

この時期に問題となっていたのは、ベーキング時の熱応力によって真空容器が破損する懸念があり、十分な温度まで加熱できない状況であった。設計段階では簡便のため、ベーキング時の温度分布が一様であると仮定して応力解析を行っていたが、実際には温度の不均一性により、より高い熱応力が生じる可能性が懸念されていた。そこで、FEM による定常熱解析を実施し、実際の温度分布およびそれに起因する熱応力分布を評価した。その結果、現実よりも温度勾配が大きくなるケースを想定しても、熱応力は許容応力である 138 MPa 以内に収まることを示した。これを根拠としてベーキングの温度を当初の値である 130 °C とするように要求した。

4. まとめ

2 回の渡航を通じて、CFQS-T の組立て過程を中心とした技術的な知見を得ることができた。なお、技術部にて本内容を含めた、これまでの CFQS-T の工学設計・建設について以下のように国内外にて発表

[1-4]や論文投稿[5]を行った。CFQS-T は今後磁場増強に伴う大規模なアップグレード(CFQS へのアップグレード)が予定されている。それに向けて、今後も継続的な技術支援を続けていく予定である。

- [1] 中川翔、第 15 回核融合エネルギー連合講演会、“準軸対称ステラレータ CFQS の真空容器製作および組み立て状況”
- [2] 田上裕之、プラズマ・核融合学会第 41 回年会、“準軸対称ステラレータ CFQS-T コイルシステムの製作・組立ておよび性能試験結果”
- [3] S. Nakagawa, 24th International Stellarator Heliotron Workshop, “Manufacturing and Assembling Status of CFQS Vacuum Vessel”
- [4] H. Tanoue, 33rd Symposium on Fusion Technology, “Establishment of the manufacturing method of modular coils for the quasi-axisymmetric stellarator CFQS”
- [5] H. Tanoue et al., “Engineering design and manufacturing of the modular coil system for the quasi-axisymmetric stellarator CFQS-T, Fus. Eng. Des. 212 (2025) 114853.



図 2. CFQS-T ワークショップの様子



図 3. 完成した CFQS-T 本体の写真

6.2. アイルランド 33rd Symposium on Fusion Technology(SOFT2024)での成果発表

計測分析技術課 長原一樹

設計開発技術課 田上裕之

1. 目的

報告者が各々取り組んだ成果について国際的に、現地で発表することで取り組んだ内容についての更なる理解を深める。また、他の関連する発表を聴講することで技術情報を収集する。さらに、異国の地を訪れることで現地の文化や言語を学び、国際的に活躍できる人材としての下地を身につける。

2. 概要

報告者である長原は LHD におけるガスパフによる密度制御に関する成果発表、核融合装置の耐震解析技術や燃料供給装置に関する情報収集、田上は中国西南交通大学との国際共同研究プロジェクトとして現在実験が進められている準軸対称ステラレータ CFQS-T の主要部品であるモジュラーコイルの工学設計・製作にかかる成果発表、ならびに核融合装置の磁場解析技術に関する情報収集のために、2024 年 9 月 23 日(月)から 9 月 27 日(金)にかけてアイルランドの首都ダブリンの Dublin City University にて開催された 33rd Symposium on Fusion Technology に参加した。会場の様子を図 1 に示す。発表形式は図 2 に示すとおり両者ともポスター。

3. 内容

本国際会議はヨーロッパの核融合工学分野において最も規模の大きい会議の一つであり、現地にて 700 名、オンラインにて 60 名程度の発表があった。ITER を中心に各国の代表的な核融合実験装置の設計、建設、試験、実験結果などが報告され、どの内容も大変興味深く、参考になった。

4. まとめ

長原は、主に中国の西南物理研究院(SWIP)、量子科学技術研究開発機構(QST)の研究者に内容をポスターにて説明し、学びや反省が多く得られた。また、QST でこれからガスパフを担当される方と知り合うこともできた。田上は、ドイツのマックスプランクプラズマ物理研究所(IPP)、米国プリンストン大学、チェコ科学アカデミー、ドイツの Proxima Fusion 社など、数多くの海外の研究者、技術者にポスター発



会場の写真(Dublin City University)



メイン会議室(Dublin City University)

図 1. シンポジウム会場の様子

表を行い、英語を介して非常に活発な議論を行うことができた。チェコ科学アカデミーの研究者とは後日連絡を取り、CFQS-T の ECH 加熱実験について共同研究する道筋を作ることができた。

9月25日(水)は学会主催の Excursion として、Glasnevin cemetery を訪問した。また、9月26日(木)は図3に示す通りギネスビールの製造元である GUINNESS STOREHOUSE にてバンケットに参加した。加えて、British English に戸惑いつつアイルランドの街を長原と田上それぞれ単独で自由に散策し、当該国の独自の文化を学ぶことができた。

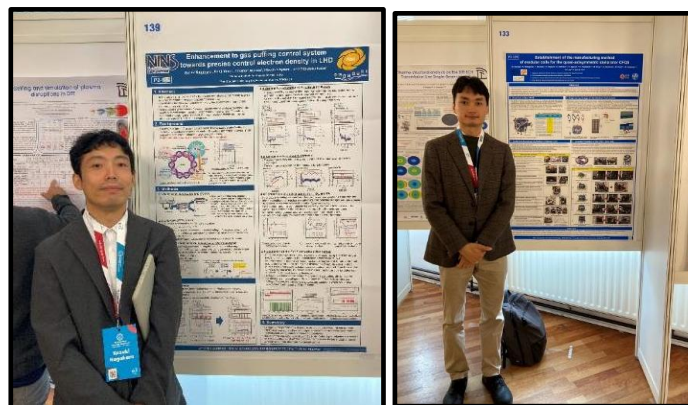


図2. ポスター発表時の写真(左：長原、右：田上)

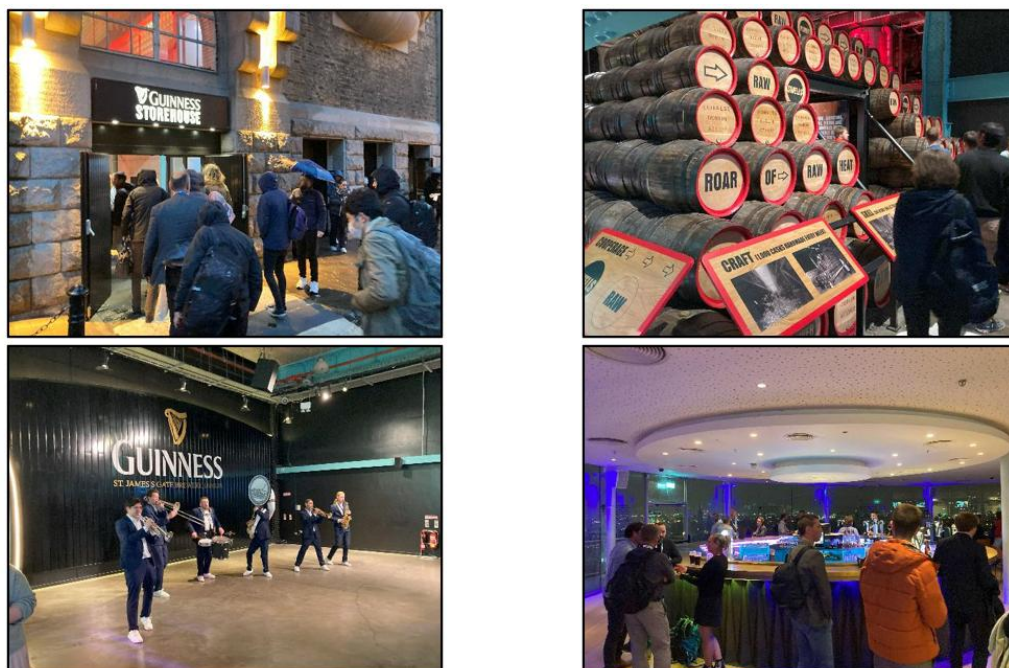


図3. GUINNESS STOREHOUSE でのバンケット

6.3. イギリス UKAEA 出張

機械システム技術課 竹内俊貴

1. 目的

一昨年度、京都フュージョニアリング（通称 KF）との共同研究を実施した。KF は UKAEA にジャイロトロンを納品する為、事前に発振試験の確認として NIFS の ECH 設備を利用した。このジャイロトロンは 2 周波数ジャイロトロンであり、UKAEA のカラムキャンパスに設置された球状トカマク装置 MAST Upgrade 用に使用される。本出張での目的は、KF が UKAEA に納めた 2 周波数ジャイロトロン(28GHz と 35GHz)のその後の状況確認と現場担当者との情報交換である。2025 年 1 月 11 日から 18 日にかけて UKAEA を訪問した。

2. 概要

UKAEA 構内を職員の方にご案内いただいた。工場内を見学させてもらったが、ECH 設備はまだ整備途中であった。建屋内に多くの従業員が見受けられ、プロジェクトに力を入れていることを十二分に感じた。

3. 内容

UKAEA における ECH 設備の整備状況を現場担当者へヒアリングし、建屋内見学もさせてもらった。現場担当者との打ち合わせでは、まず LHD 実験に使用している NIFS の ECH 設備について業務紹介を行った。その後先方の ECH 設備についての近況をヒアリングし、先方のジャイロトロンの電源はどこのメーカーを使用しているのか、また今後の NIFS との共同研究の可能性について議論した。

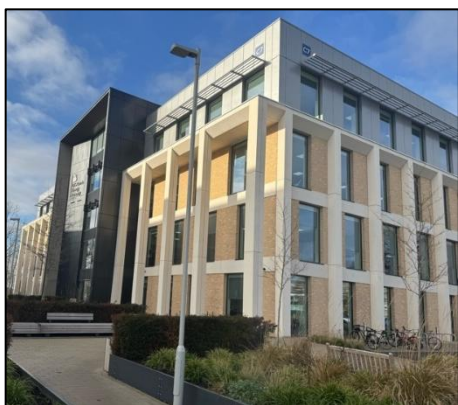


図 1. 建屋外観



図 2. ダミーロード

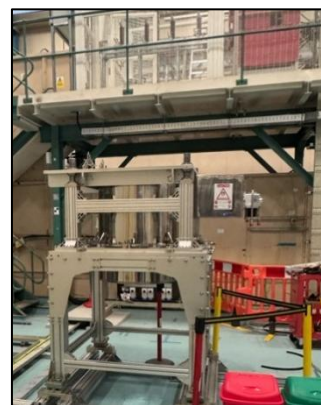


図 3. ジャイロトロン
スタンド

4. まとめ

UKAEA 構内での見学、現場担当者との意見交換によって、UKAEA の情報収集を実施した。核融合の科学的、技術的な実証のために、絶え間なく行われている研究・開発の一端に触れ、大いに刺激を受けた。

6.4. フランス ITER 見学

設計開発技術課 柳原悠人 村瀬尊則

計測分析技術課 長原一樹

1. 目的

ITER は核融合エネルギーの科学的・技術的な実証を目的として、実験炉の建設・運用を進める国際共同プロジェクトである。2025 年 2 月 4 日から 10 日にかけて、フランスのサン・ポール・レ・デュランスにある ITER 施設を訪問した。本出張の目的は、ITER の建設状況・現場の見学と、出張者が担当している実験装置の機械的構造および ITER に導入予定の機器に関する熱解析についての情報交換である。

2. ITER 見学

ITER 構内では、現地職員の案内のもと、トカマク複合建屋の組立ホールを見学した。現場では、真空容器の補修作業やセンターソレノイドコイルの組み立てが進められていた(図 1)。どの構造物も高さ 10m を超え、間近で見るとその規模感は圧倒的であり、ITER プロジェクトの巨大さを身体的にも実感することができた。また、高電圧受変電設備周辺を徒歩で移動した際には広大な敷地面積を改めて認識した。これにより、ITER 本体だけでなく、関連インフラも含めた大規模プロジェクトであることを実感した。

3. 情報交換

● ダイバータ技術について

ITER および LHD (大型ヘリカル装置) におけるダイバータ開発について相互に紹介を行った。特に、ITER のタングステンダイバータに関する高熱負荷試験の結果や、材料選定における課題について議論を行った。この議論を通じて、相互の技術的背景の理解を深めるとともに、今後の核融合研究におけるダイバータ技術開発の方向性について新たな視点を得ることができた。



図 1. 補修中の真空容器

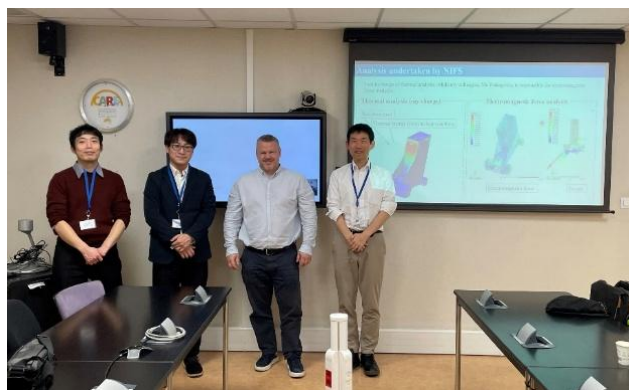


図 2. 現地担当者との情報交換

● ダイバータ不純物モニター (DIM) 熱解析について

出張者は DIM の設計を担当している量子科学技術研究開発機構 (QST) との技術協力により、下部ポートモジュールの熱解析に取り組んでいる。DIM の現地担当者であるベシェフ氏と議論の場を設けてい

ただき、熱解析の現状を紹介、設計の妥当性を議論した(図 2)。解析対象への理解を深めると共に、ITER 計画への貢献意識を新たにする貴重な機会となった。

4. まとめ

本出張を通じて、ITER の建設進捗状況を実地で確認するとともに、担当分野に関する技術的理解を深める有意義な出張となった。今後は、今回得られた知見を活かし、解析業務および関連機器開発に一層貢献していきたい。

1. 目的

JT-60SA 用ダイバータモックアップの冷却性能試験（SATIR 試験）に立ち会い、試験結果を評価するとともに、今後の熱負荷試験について議論する。

2. 概要

令和 6 年 1 月 20～24 日の日程で、フランスのプロバンス地方にある CEA カダラッシュ研究センターを訪問し、NIFS で設計・製作したダイバータモックアップ（DM）に対して、熱水・冷水を用いた冷却性能試験を実施するとともに、電子ビームによる熱負荷試験に向けた技術打合せを、CEA の担当者 RICHOU Marianne 氏と実施した。

3. 内容（作業内容、試験内容など）

3-1. はじめに

現在、JT-60SA ではタングステンダイバータの開発が急務となっており、NIFS、量子科学技術研究開発機構（QST）、および CEA（Commissariat à l'énergie atomique）カダラッシュ研究センターと共同開発中である。本開発において、評価用の DM は NIFS および QST が共同で設計し、NIFS の放電プラズマ焼結法を用いて製作する計画となっており、本 DM の熱負荷性能については、CEA で行う予定である。また、電子ビームによる熱負荷試験の前には DM の健全性を確認するための冷却性能試験（SATIR 試験）を実施することが求められる。本出張の目的は JT-60SA 用 DM の SATIR 試験に立ち会い、試験結果を評価するとともに、今後の熱負荷試験について議論することである。

3-2. DM の構造について

本開発にあたり NIFS の製造技術を用いた 2 種類の DM 構造を製作した。本 DM では、銅合金（CuCrZr）製のヒートシンクに厚さ 1mm および 5 mm のタングステンを放電プラズマ焼結（SPS）法により接合する（図 1）。またヒートシンク部に冷却水路を設け、水路内には純銅製のねじりテープが封入され、熱除去性能を高めている（図 2）。

DM の熱的健全性確認を行う前に、DM 内部の圧力損失について検証した。一般に DM の冷却性能は流速に比例する。そのため既定の流量においては冷却水路の断面積が小さいほど流速が大きくなることから、DM の設計においては断面積の小さい冷却水路が好ましい。ところが、断面積が小さいほど DM 内部の圧力損失が大きくなり、それに応じた冷却水ポンプの送水能力が必要となる。そのため、DM 内部の圧力損失を事前に把握しておく必要がある。

DM の圧力損失は、計測系全体（DM＋継手）の圧力損失から継ぎ手部の寄与を差し引くことで求まる。具体的には、図 3 のような計測系を構築し、まず計測系全体の流量－圧力損失の関係を計測し、次いで継手部のみの流量－圧力損失の関係を計測した。表 1 に結果を示す。

測定結果から、DM の圧力損失は流量が増えるにつれて劇的に増加し、例えば $2 \text{ m}^3/\text{h}$ の流量では圧力損失は 10 MPa 以上に達する。この高い圧力損失は、DM 内の冷却水路と外部パイプの間にある流路変換構造に起因していると考えられる。今後、JT-60SA の冷却システムを勘案した構造設計が必要であることが分かった。

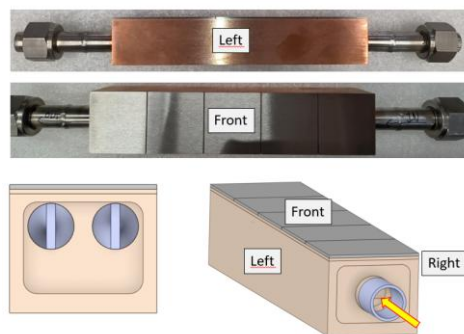


図 1. ダイバータモックアップの一例

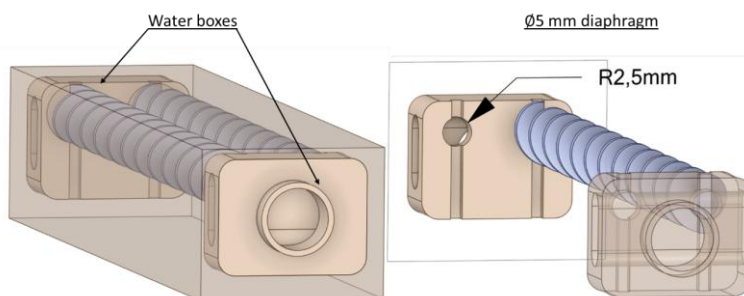


図 2. ダイバータモックアップ冷却水路の構造

次いで、SATIR 試験を実施した。図 4 に SATIR 試験のセットアップを示す。1mm 厚のタングステン DM が真ん中のラインに、5mm 厚のタングステン DM が一番下のラインに接続されている。残りの一番上のラインはシンプルな単管が接続されている。また、寄生放射による赤外線カメラの誤計測を避けるため、背面に白色の発泡スチロールを設置した。

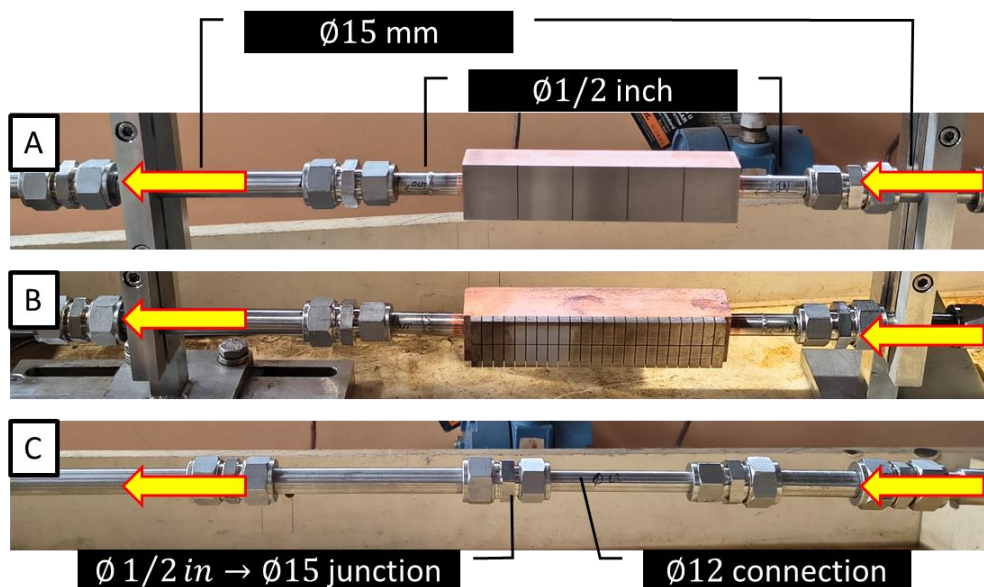


図 3. ダイバータモジュール冷却水路の圧力損失測定試験

表 1 ダイバータモジュール冷却水路の圧力損失

(a)	計測系全体	$\Delta P = 2.6118Q^2 + 0.0596Q - 0.0026$
(b)	継手部	$\Delta P = 0.057Q^2 + 0.0651Q - 0.0185$
(c) = (a) - (b)	ダイバータモックアップ	$\Delta P = 2.5548Q^2 + 0.0055Q - 0.0159$

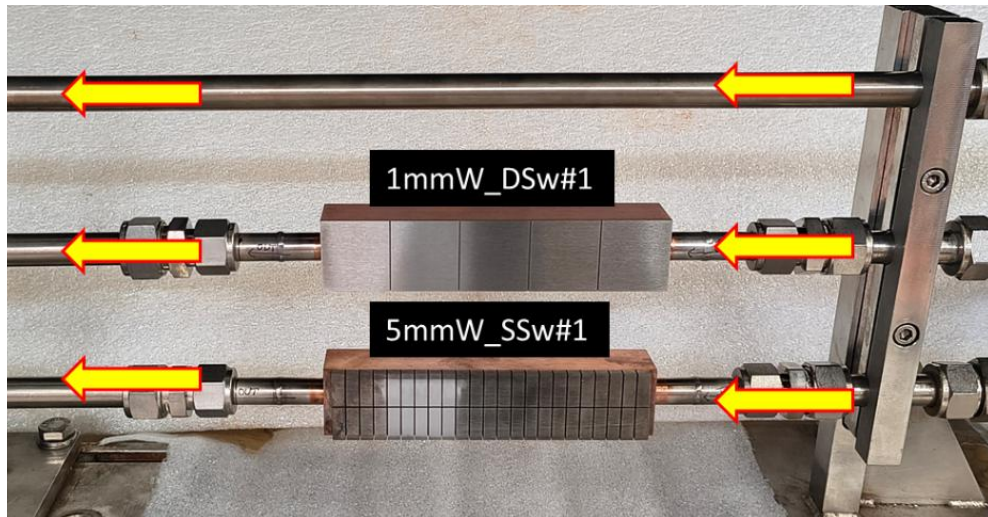


図 4. SATIR 試験のセットアップ

図 5 および図 6 に SATIR 試験の結果を示す。図 5 は赤外線カメラの計測データから算出した DM のタングステン表面における放射率を示している。図 5 上に示した 1mm 厚のタングステン DM ではほぼ均一の放射率であるが、5mm 厚のタングステン DM では、中央左付近に不均一な放射率エリアが認められた。これは NIFS における熱負荷試験によってタングステン表面の凹凸状態が変化し、周辺と異なる表面状態に起因したものと考えられた。一方、1mm 厚のタングステン DM は NIFS における熱負荷試験を実施しておらず、すべてのタングステントイルでほぼ均一の表面状態を有している。

図 6 にタイル表面温度の時間変化から計算した時定数を示す。時定数の値が小さいほど冷却能力が高いことを示している。図 5 と同様に 1mm 厚のタングステン DM ではほぼ均一の分布となっていることが確認できる。一方、5mm 厚のタングステン DM では DM の左側に時定数の 2-3 倍大きなエリアが確認できる。これは、タングステンと銅合金の間の接合界面が剥離、あるいは空隙が存在する可能性を示唆している。

今後、今回の SATIR 試験の結果を踏まえて、DM の製作を進める予定である。

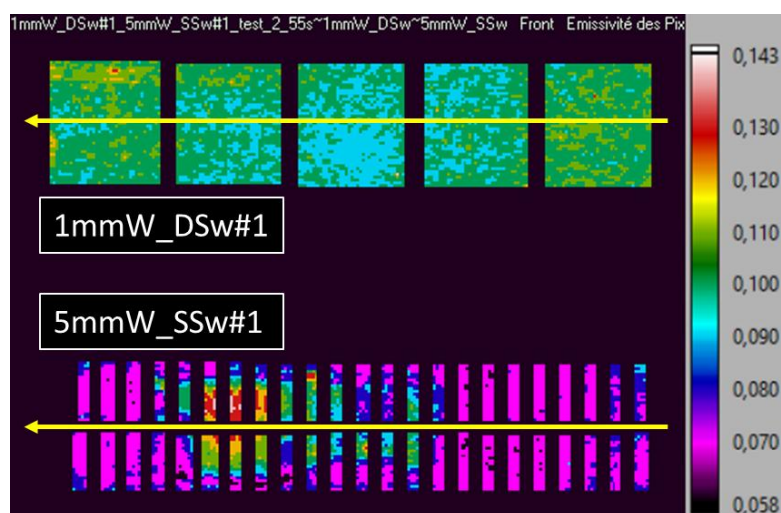


図 5. SATIR 試験における放射率マップ

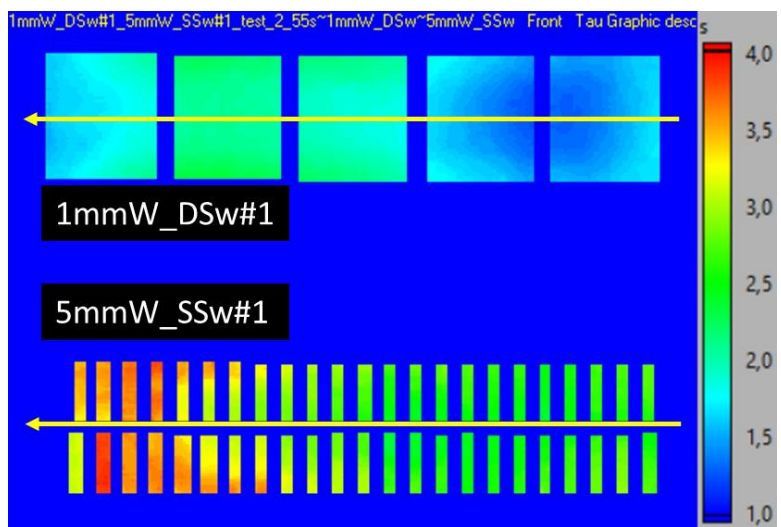


図 6. SATIR 試験における時定数マップ

結果（まとめ、成果、今後の課題など）

- ・ CEA カダラッシュ研究センターを訪問し、人脈を構築するとともに DM 試験設備を視察できた
- ・ NIFS で製作した DM の圧力損失測定および冷却性能試験（SATIR 試験）を実施した

6.6. 国際シンポジウム SMA2025 の参加および共同研究打合せ（タイ王国 ワライラック大学）

設計開発技術課 田上裕之 柳原悠人 中川翔 村瀬尊則

計測分析技術課 長原一樹

1. 目的

技術部が主体となって取り組んでいるプラズマ技術を用いた活性炭を中心とする高機能ナノ材料開発および開発したナノ材料の産業応用研究について、タイ王国ワライラック大学が主催する国際シンポジウムである The 2nd International Symposium on Sustainable Pathways: Green Synthesis for Functional Materials and Eco-Friendly Applications (SMA 2025)にて報告、議論することを主な目的として出張した。また、この機会を利用し、本研究の共同研究先であるワライラック大学 Functional Materials & Nanotechnology CoE (FuNTech)を訪問し、研究打ち合わせを行うことも目的とした。

2. 概要

2025年3月28日から29日にかけて、タイ王国のナコーンシータマラート県にあるワライラック大学にて開催された国際シンポジウムである SMA2025 において、技術部にて取り組んでいる高機能ナノ材料開発研究とその応用について1件の基調講演ならびに4件のポスター発表を行い、聴講者とそれぞれ議論を行った。本シンポジウムは、持続性があり環境に優しい様々な高機能ナノ材料の開発研究、応用研究について取り扱っており、環境改善、次世代エネルギー開発、医療応用など、多様な分野の研究者、技術者、学生が一堂に会する貴重な機会であった。

シンポジウムの前日には、共同研究として取り組んでいる高機能ナノ材料開発に係る研究内容について、共同研究先である FuNTech の研究チームと打ち合わせを行った。

3. 内容

3.1 SMA2025 の講演内容

本シンポジウムは、持続性があり環境に優しい様々な高機能ナノ材料の開発研究について取り扱っており、3月28日から29日にかけてアジア各国から研究者、技術者、学生が集まり1件のプラナリー講演、12件の基調講演、5件の招待講演、並びに23件のポスター発表が行われた。発表内容が環境、エネルギー、医療など非常に多様であり、材料開発研究の奥の深さと今後の発展性を伺うことができた。

プラナリー講演ではシンガポール Nanyang Technological University の Rajdeep Singh Rawat 氏より、低温プラズマを用いた水素製造用電極触媒ナノ材料への窒素ドーピングによる高機能化などが紹介された。基調講演ではタイ王国の Khon Kaen University の Rawiwan Charoensup 氏によるカーボン量子ドットを活用した癌の早期検出技術の開発が報告された。基調講演ではその他にもプラズマ触媒作用による污水处理、マイクロ波による生理活性物質の抽出、サトウキビ搾りかす由来の水素生成用触媒開発など、様々な最先端の研究開発事例が報告された。

3.2 技術部による SMA2025 での発表内容について

NIFS 技術部からは1件の基調講演、4件のポスター発表を行い、この内ポスター発表者の長原が Poster Presentation Award Third Place を受賞した。基調講演、ポスター発表の様子を図1に、Poster Presentation

Award 受賞式の様子を図 2 に示す。

柳原は未利用バイオマス由来の高機能活性炭の開発についてポスター発表を行った。発表では、NIFS が所有する活性炭開発用の機器や、本研究で取得した活性炭の性能を向上させる焼結方法に関する特許の内容を紹介した。聴講者からは実験の結果に対するメカニズムについての質問が多く寄せられたが、現時点では明確な答えが得られていない。そのため、今後さらに考察を深めていく必要があると感じた。本シンポジウムでの発表を通じて、高機能ナノ材料を専門とする研究者から多くの意見やアドバイスを得ることができ、大変貴重な機会となった。

中川は活性炭成形技術への 3D プリンターの応用についてポスター発表を行った。本研究は 2024 年度の科研費・奨励研究の枠組みで取り組んできた内容で、今回の発表が 1 年間の活動を締めくくる良い機会となった。発表では、3D プリンターを用いた活性炭成形技術の実証実験について紹介した。聴講者からは、キャッチーなタイトルから当然期待されるように、活性炭を混合した材料にて直接 3D プリントする技術であるのかという質問が目立った。実際は既存の粉末焼結技術を用いた間接的な造形法を行って

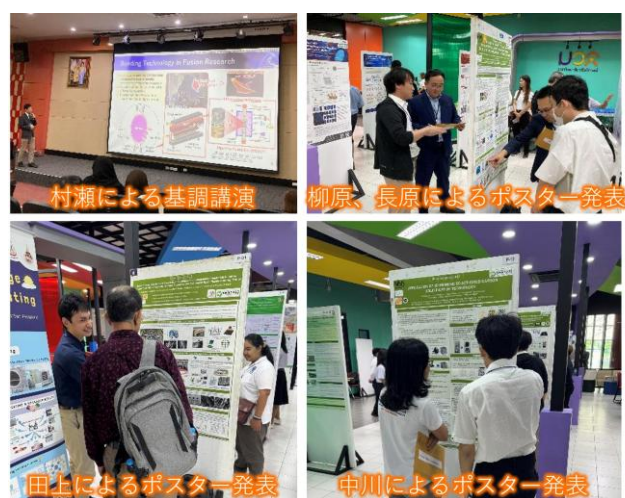


図 1. SMA2025 における基調講演、ポスター発表



図 2. 長原の Poster Presentation Award 受賞式

おり、その期待との大きな乖離があることを予想できたにもかかわらず、本研究の見せ方や説明の仕方に対して準備が不足していたと痛感した。

田上はワライラック大学 FuNTech との共同研究である、放電プラズマ焼結(SPS)技術を用いたグリーン水素製造用電極触媒およびスーパーキャパシタ用電極に適用する高機能ナノ材料開発についてポスター発表を行った。ポスター発表では聴講者より NIFS 技術部が有する SPS 装置とその技術に係る多くの質問を頂き、本技術の注目度の高さが伺えた。一方で、本研究で開発するナノ材料の電気化学的な性能評価方法の専門家と議論することができ、性能評価内容を見直す貴重な機会にもなった。田上にとって電気化学分野はこれまでなじみがない状態であり、本研究を円滑に進める上での大きな課題となっていたが、今回の発表を通じて理解を深めることができた。他のシンポジウムの講演でも、一見本研究と何の関係もなさそうな内容でも、電気化学的な研究・評価が行われており、新たな発見があった。

長原はバイオ燃料製造を指向した高機能活性炭触媒の創製およびセルロース加水分解技術の開発についてポスター発表を行った。本研究では、木材のバーク（樹皮）に含まれるセルロースを、活性炭触媒および希塩酸を用いて加水分解した結果、グルコースを最大 68% の収率で得られたため、ポスター発表では主にその成果について報告した。多くの方にご聴講いただき、実験結果を検証するうえで必要なデータが、ポスター中に不足しているとのこと指摘や、加水分解のプロセスの改善案をご提案いただくなど、発表は学びの多いものとなった。結果として賞を得られたことは、望外の喜びであった。なお本研究は、大学共同利用機関法人自然科学研究機構産学連携支援事業(課題番号 1512402)の助成を受けたものである。

村瀬は基調講演としてダイバータ受熱機器開発における SPS 技術や LHD 真空容器内のクライオポンプ開発における活性炭研究の知見など、これまでの核融合研究で培った技術や知見について解説した。その上で、これら核融合技術を応用した未利用バイオマス由来の高機能活性炭創製事業について紹介した。さらに、上述の柳原、田上、長原が担当している個別の研究開発活動の概要について紹介した。講演後の質疑応答では、高機能活性炭の特長や特性に関する質問、あるいはバイオマスに含まれる不純物の除去方法に関する質問など、これまで進めてきた本技術開発における課題が指摘された。また講演後にも個別に質問を受けた。本会議では核融合分野以外の聴講者が大半を占めていたが、講演後の個別質問では核融合研究に対する質問も多く、核融合研究のスピンオフ技術に対する想定以上の関心の高さが伺えた。その他、会議参加者と共同研究への展開について議論するなど、ネットワーキングの効果も感じられた。

3.3 SMA2025 のイベントについて

シンポジウム初日にはワライラック大学内にある植物園を見学、並びに植物園上部に敷設された吊り橋を渡るスカイウォーク（図 3 参照）を体験した。また、シンポジウム前日には同時期に開催された他のシンポジウムとの合同ウェルカムディナー、初日には SMA2025 のバンケットが大学内で開催され、図 4 で示すようにタイの伝統的な民族衣装をまとった演者による踊りがそれぞれ披露された。

3.3 ワライラック大学 FuNTech との研究打ち合わせ

NIFS の技術部では、LHD のクライオポンプ開発において、SPS 装置を用いて活性炭を、その特異な細孔特性を大きく崩すことなく任意の形状にバインダーレスで焼結する技術を確立した。この技術を活用して FuNTech が過去に開発した水の電気分解によるグリーン水素生成用の電極触媒材料や、次世代の蓄電設備であるスーパーキャパシタ用の電極材料をバインダーレス焼結し、バインダーによるナノ材料



図 3. SMA2025 初日に開催された植物園及び園上部の吊り橋スカイウォーク体験



図 4. シンポジウム前日および初日の夕食時に披露されたタイの伝統的な踊り



図 5. シンポジウム前日に行ったワライラック大学 FuNTech との研究打ち合わせの様子

の性能低下を抑制することを狙って、現在先方と国際共同研究を進めている。この共同研究の一環として、今回のように定期的にワライラック大学を訪問し議論を重ねている。

現在は様々な温度、圧力にて焼結後、焼結体を開発元であるワライラック大学にて性能評価するサイクルを繰り返し、最適な温度、圧力の焼結条件の調査を行っている。3月27日に行った打ち合わせではこれまでの焼結体の電気化学的な性能評価結果に基づき今後の研究方針の議論を行った。打ち合わせの様子を図5に示す。

本研究で取扱っているナノ材料はいわゆる電気化学分野のものであり、NIFS側にとってはほとんどなじみのないものであった。そのため焼結する際のナノ材料の取り扱いや電気化学的な性能評価内容の理解や、それに基づいたタイ側の共同研究者との研究方針の検討などを行う際には、事前に関連する論文や参考書などを用いた専門知識の予習が必須であった。このような状況ではあるが、少しずつ本事業への専門性を深めつつ研究を進めている。

4. 結果

SMA2025での研究発表、議論、他の講演者の聴講、質問により各技術職員が取り組んでいるそれぞれの研究内容及び関連技術について理解を深めることができた。また、共同研究先であるワライラック大学 FuNTech との打ち合わせを行い、今後の研究方針や計画を明確にすることができた。

7. 研修

7.1. 企業を対象とした特別支援学校作業学習体験会

電気電子技術課 近藤友紀

用 務：企業を対象とした特別支援学校作業学習体験会

（主催：東濃圏域障がい者総合支援会議 就労・雇用支援部会）

日 時：令和6年10月2日（水）9時30分～12時00分

場 所：岐阜県立東濃特別支援学校

1. 目的

多治見・土岐・瑞浪地域の企業を対象とした体験会に参加した。地元企業等から22名の参加があった。体験会の企画目的は、主催者の説明によりますと「学校の取り組みである作業学習を通じ、企業のみならず障がいのある生徒の働く力を見ていただく」、そして「在学生の実習の受け入れ、卒業後の雇用についてご検討いただける機会」とするとのこと。

2. 概要

教頭の挨拶に始まり主催者による事業説明と学校担当者からの学校概要説明の後に、3グループ（7～8名）に分かれての校内の視察（約1時間）と7班（各3名）に分かれての生徒との共同による作業体験（約1時間）があった。訪問校では卒業後の就業を意識して、窯業・清掃・木工・紙工・手工芸・印刷・クラフトといった職種で実践的な作業実習に力を入れているとのこと。

3. 実施体験

初めての特別支援学校への訪問ということで、何やら身構える自分であったが、懸命に引率や作業説明を担当する生徒の様子は「ごく普通の子」であり、その外見や振る舞いに拍子抜けする自分の心中に無自覚な偏見意識を見つけ恥じ入った。しかしながら一步踏み込んで考えますと、軽度の障害は一見の外見からは察しえないからこそ、当人への接し方や配慮の仕方に難しさがあると気づくとともに、これはメンタルヘルスの事情を抱えた職員への対応にも通ずると感じた。校内にはいたる所に大きな文字で「あいさつ」、「みだしなみ」、「かたづけ」などの諸注意事項が分かりよく貼られており、生徒は日々これを見ながら就学に励んでいる様子であった。生産工場はもとより研究所でもよく見かける安全衛生標語を想起しつつ校内は安全衛生上の配慮もよくなされていることに感心した。生徒との共同作業体験では手工芸（機織り）を体験した。生徒が作業指導役、私が教わる役となり、作業方法を教わり機織り機を操作した。生徒に対し背を低くし目線を合わせて聞き役に徹して話をよく聞くようにし、たまに失敗しつつ重ねて教えるを乞うと、嬉しそうな表情を見せてくれて心が温まった。

4. 感想

本企画の「卒業後の雇用についてご検討いただける機会」との企画目的についての技術職視点からの個人的な感想を述べますと、障害者に対しては根気よく繰り返し指導することの大切さを痛感した。研究所での障害者就業の可能性を考えるに、例えば「量産工場」のような「同じ内容の繰り返し作業の委託提

示」ですとか、専任の支援体制の構築が必要なのではと感じる。例えばですが専門のサポート体制を有する企業・団体等に軽作業の業務委託契約をするなどの形態はどうか。現行法規上、障害者の直接雇用に関係がないとなればサポートの方を業務委託契約するなどはどうか。肝心の「では、具体的な業務内容は？」となりますとすぐさま思い至らず心苦しいところですが、今回の経験を契機に時間をかけて研究所業務のなかに障害者雇用の可能性を見出す努力してきたく思う。

貴重な経験機会を与えていただきました管理部のご担当者に感謝する。なお、写真撮影は禁止されていなかったが、生徒のプライバシーを考慮して校内の撮影は自重したので、写真等による報告は省きますことご理解いただきたい。

8. 採用1年～3年を経過して

8.1. 採用3年を経過して【設計開発技術課 柳原悠人】

2021年12月に当時の装置開発技術課（現在の設計開発技術課）に配属され、早3年が経過しました。振り返ると、着任以降さまざまな業務に携わらせていただき、多くの貴重な経験を積むことができたと感じます。そのうち幾つかを紹介し、僭越ながら所感を述べさせていただきたいと思います。

● バイオマス活性炭開発研究プロジェクト

プラズマ実験装置に備えられているクライオポンプという真空ポンプに、ガス分子の吸着剤として活性炭が使用されています。このクライオポンプに関わる研究によってNIFSの蓄えた知見を活かし、バイオマスから高機能な活性炭を開発・社会実装することを目標としています。私は幸運なことに本プロジェクトの始動時から関わらせていただいております、実験装置の立ち上げや装置の運転、活性炭性能の測定と幅広く担当しています。これまでに、本プロジェクトについてポスター発表を6件、口頭発表を1件行い、報告論文を1報執筆させていただきました。うち一件のポスター発表では、若手優秀発表賞をいただくなど、未熟ながらこれほど多くの発表機会をいただけたことは貴重な経験となりました。

● 超高熱負荷試験装置 ACT2

ACT2は電子ビーム照射によって高温プラズマの熱負荷を模擬する装置です。これにより、プラズマの熱を受けるダイバータと呼ばれる機器の開発に用いられています。配属3か月後の頃より、所外の共同研究を含め不定期に実施される実験に参加し、ACT2を担当されている先生の助勢を行ってきました。実際に手を動かしながら装置の理解を深め、作業や実験を任せいただける機会も増えてきました。何よりも、技術部内では自分がACT2を担当しているという実感が、自信に繋がっています。本装置は、冷却性能の向上や作業性の改善を狙った改造が2025年度に計画されています。この改造の計画を担当させていただいておりますので、装置改善を通じて設計力や推進力を向上させたいと考えています。

● 有限要素法解析ソフトを用いた構造解析

実験装置等の設計にあたって、有限要素法解析ソフトを用いて応力・熱・電磁力等の荷重を加味した計算を行い、設計の妥当性を検証します。これには、3D CADを用いたモデリングを必要としますが、私はCADソフトは学生の時に触ったことがある程度の経験しかなく、有限要素法解析に至っては未経験からのスタートでした。当初は不安も大きかったですが、これまで先輩方が培ってきた経験を惜しげもなくご教授いただけるため、安心して取り組むことができました。これまでに、プラズマ実験装置の電力供給導体の電磁力解析などを経験させていただき、少しずつですが主軸業務の一つとして、自信をもって取り組めるようになってきました。

こうして3年間を振り返ってみると、改めて自分が恵まれた環境にいることを実感します。今後も技術者としての基盤をより確かなものとし、日々の業務に真摯に取り組んでまいります。そして、経験を積み重ねる中で、より信頼される技術者を目指して一步ずつ成長していきたいと考えています。

8.2. 採用1年を経過して【制御情報技術課 葛原孝広】

私は、2024年3月よりネットワークの運用・保守及び情報セキュリティ関連業務に従事しております。この一年間を振り返って、少々の雑感を述べさせていただきます。

まず、着任して最初に感じたことは、当研究所のネットワークの運用は、非常に「自由」であるということです。私にとって、これは、一種のカルチャーショックともいうべきものでした。前の職場では、ネットワークは、極めて「不自由」なものであり、私の中でそのような固定観念があったためです。

前の職場は、外部のネットワークからは完全に隔離されており、調べものをする際は、インターネット接続可能なわずかなPCを複数人で、交替で利用しておりました。支給されるPCもオフィスソフト等がインストールされているだけの最低限の構成で、無線LAN機能やスクリーンキャプチャ機能は無効化され、USBメモリを差せば画面ロックがかかる等、セキュリティ面では堅牢であっても、利便性の観点からは難がありました。

翻って、当研究所では、「自由」なネットワーク環境に恵まれており、日々その利便性に感謝している次第です。学術は、オープンであらねばならないという研究・教育機関としての気風が、そのままネットワークの運用方針にも反映されるということを実感しました。

そして、「不自由」と「自由」の二つのネットワークを経た者として、私は現在、組織の特性に合った、情報セキュリティという点を意識するようにしています。

情報セキュリティ分野には、以下のとおり「CIA」という概念があります。

- ・機密性（Confidentiality）：情報が許可された者だけにアクセス可能であること
- ・完全性（Integrity）：情報が正確であり、改ざんされていないこと
- ・可用性（Availability）：情報が必要なときにアクセス可能であること

私は、これまで、CIAの重要度を、機密性、完全性、可用性の順で杓子上記に捉えていましたが、実際のネットワーク運用に携わる中で、そのような解釈は、必ずしも、すべての組織に当てはまる最適解ではないということに気づかされました。往々にして机上では見過ごされがちな、可用性という要素が、学術研究をサポートするという視点においては、非常に重要であることを強く意識するようになりました。

ただし、学術機関において、享受されるべき自由は、一方で、セキュリティリスクにも直結する可能性を孕んだ諸刃の剣でもあります。ただ、盲目的に高可用性を追い求めるのではなく、可用性と他のセキュリティ要素（機密性及び完全性）との均衡をいかにバランスよく調整していくかという点が、ネットワークの運用の難点であり、同時に醍醐味でもあったと考えます。

今年度は、特に、ネットワーク技術のより根底に近い層（L2、L3）の技術力及び対応力の強化を図っていきたいと考えています。

また、昨今、クラウドや生成AI関連技術の目覚ましい進展に伴い、ウェブサービス経由での情報漏洩等を引き起こす隠れSaaS（Shadow SaaS）、隠れAI（Shadow AI）等、従来型のセキュリティ対策の網目をすり抜ける脅威が出現しております。それらの脅威に特化したセキュリティ対策等についても、知識を深めていきたいと考えております。

息をつく間もなく進歩するICT技術の波に乗り遅れないよう、日々の情報収集を怠らず、快適かつ安全なネットワーク環境の維持に努めてまいります。

10. 学会発表リスト

会議名	第15回核融合エネルギー連合講演会	
開催期間	2024/6/13～14	
開催場所	八戸市公民館	
発表者	中川翔	準軸対称ステラレータCFQSの真空容器製作および組み立て状況
発表題目	柳原悠人	稲わらを原料とした活性炭の高性能化

会議名	第36回タンデム加速器及びその周辺技術の研究會	
開催期間	2024/6/27～28	
開催場所	埼玉 理化学研究所和光キャンパス	
発表者	田窪英法	大型ヘリカル装置の重イオンビームプローブにおけるタンデム加速器の運転状況について
発表題目		

会議名	24th Internatinal Dteallarator Heliotron Workshop	
開催期間	2024/9/11	
開催場所	広島大学	
発表者	Sho Nakagawa	Manufacturing and assembling status of CFQS vacuum vessel
発表題目		

会議名	33rd Symposium on Fusion Technology(SOFT2024)	
開催期間	2024/9/22～27	
開催場所	アイルランド ダブリン	
発表者	Hiroyuki Tanoue	Establishment of the manufacturing method of modular coils for the quasi-axisymmetric stellarator CFQS
発表題目	Kazuki Nagahara	Enhancement to gas puffing control system towards precise control electron density in LHD

会議名	令和6年度放射線安全取扱部会年次大会	
開催期間	2024/10/17～18	
開催場所	あがたの森文化会館(松本市)	
発表者	中田実希	WWW技術を利用した放射線管理の事例紹介ー汚染検査を例としてー
発表題目		

会議名	第5回日本放射線安全管理学会・日本保健物理学会合同大会	
開催期間	2024/12/16～18	
開催場所	大阪大学コンベンションセンター	
発表者	栗田紗緒里	「大型核融合試験施設における放射線発生装置周辺の放射化評価」(口頭)
発表題目	「大気中分子状トリチウム観測のためのパッシブサンプラー開発」(ポスター)	

会議名	第41回プラズマ核融合学会年会	
開催期間	2024/11/18～20	
開催場所	東京 タワーホール船堀	
発表者	加藤ひろみ	LHD重水素プラズマ実験で使用されたプラズマ対向壁のトリチウム放出速度
発表者	村瀬尊則	放電プラズマ焼結法を用いたダイバータ試験体の開発
発表者	柳原悠人	未利用バイオマスをを用いた高機能活性炭の創製
発表者	中川翔	CHD-Uの工学設計に関する現状
発表者	田上裕之	準軸対称ステラレータCFQSコイルシステムの製作・組立ておよび性能試験結果

会議名	第25回 令和6年度 高エネルギー加速器研究機構技術職員シンポジウム	
開催期間	2025/3/4	
開催場所	つくば 高エネルギー加速器研究機構	
発表者	清水貴史	核融合科学研究所における若手技術職員のスキルアップ計画について
発表題目		

会議名	令和6年度 総合技術研究会2025筑波大学	
開催期間	2025/3/5～7	
開催場所	つくば 筑波大学	
発表者 発表題目	竹内俊貴	ECH 入退管理システムの構築
	田上裕之	大型ヘリカル装置用超伝導バスラインの運転・保守
	伊藤康彦	GaN-FETを用いたインバータ電源の製作
	田窪英法	負イオン源からタンデム加速器入射までのビーム輸送の改善について
	野々村美貴	文献データベースのAPIを活用した独自の論文データベースの構築と研究成果の可視化

会議名	SDGsに係る国際シンポジウムSMA2025	
開催期間	2025/3/28～29	
開催場所	タイ王国 ワライラック大学	
発表者 発表題目	Hiroyuki Tnoue	Japan-Thailand Collaborative Research on Development of Functional Nanomaterials for Green Hydrogen Production Electrocatalyst and A Supercapacitor Realized by Spark Plasma Sintering Method
	Takanori MURASE	Development of High Functional Activated Carbon Derived from Unused Agricultural Biomass
	Yuto Yanagihara	Development of High-Performance Activated Carbon from Unused Biomass
	Sho Nakagawa	Application of 3D Printing to Activated Carbon Solidification Technology
	Kazuki Nagahara	Research on Creation Technology of Highly Functional Activated Carbon Catalysts and Cellulose Hydrolysis Technology for Biofuel Production

11. 受賞記録

➤ 柳原悠人技術員

第 15 回核融合エネルギー連合講演会 若手優秀発表賞を受賞 (2024.6)

受賞対象

「稲わらを原料とした活性炭の高性能化」

➤ 水野嘉識主任技術員 長原一樹主任技術員

プラズマ・核融合学会賞 第 29 回技術進歩賞を受賞 (2024.11)

受賞対象

「データ同化手法を用いた核融合プラズマのデジタルツイン予測制御システムの開発」

➤ 小淵隆技師

プラズマ・核融合学会賞 第 29 回技術進歩賞を受賞 (2024.11)

受賞対象

「自己崩壊 α パルスを利用した核分裂検出器の新たな健全性確認方法の開発」

➤ 長原一樹主任技術員

SDGs に係る国際シンポジウム SMA2025 において、“Poster Presentation Award”を受賞 (2025.3)

受賞対象

「バイオ燃料製造に向けた高機能活性炭触媒の創製技術およびセルロース加水分解技術に関する研究」