令和 4 年度

技術部活動報告書

令和 4 年 11 月

自然科学研究機構 核融合科学研究所

目　　次

1. はじめに.....1
2. 技術部の概要.....3
2.1. 技術部組織の運営について.....4
2.2. 技術部の業務内容.....5

（1） LHD における重水素実験（プラズマの高性能化）の準備及び実施に貢献できたか。
3. 重水素実験への取り組み.....7
3.1. 技術部が中心となり整備を進めてきた装置.....7
3.1.1. 放射線総合監視システム.....7
3.1.2. 中性子計測の較正.....8
3.1.3. LHD 実験による中性子対策について.....9
3.1.4. 室外排気系の整備.....10
3.1.5. 入退管理システム.....11
3.1.6. 真空容器の入退管理について.....12
3.1.7. ITV システム.....13
3.2. トリチウム安全取扱い研修.....13
3.3. 放射線業務の人材育成.....14

（2） NIFS の研究プラットフォームの維持管理と活用に貢献しているか。
4. NIFS の研究プラットフォームの維持管理と活用.....16
4.1　LHD 研究プラットフォームの維持管理と活用.....17
4.1.1　LHD の運転体制.....17
4.1.2.　LHD の年間運転スケジュール.....19
4.1.3. 製作技術課.....21
4.1.3.1. 機械工作.....22
4.1.3.2. 回路工作.....24
4.1.3.3. 中央部品室の運用.....25
4.1.4. 装置技術課.....26
4.1.4.1. 装置の運転保守及び施工管理.....27
4.1.4.2. 真空管理.....27
4.1.4.3 真空容器、ダイバータ受熱機器の維持管理および機器開発.....29
4.1.4.4. デマンドリアルタイム監視システム.....30
4.1.4.5. ガス供給システム.....31
4.1.5. 加熱技術課.....33
4.1.5.1. 電子サイクロトロン共鳴加熱装置（ECH）.....34

4.1.5.2. イオンサイクロトロン周波数帯加熱装置（ICRF）.....35
4.1.5.3. 中性粒子入射加熱装置（NBI）.....36
4.1.5.4. はずみ車付き電動発電機（MG）250 MVA と加熱機器用冷却水設備.....37
4.1.6. 計測技術課.....38
4.1.6.1. 計測装置への技術支援及び運転支援.....38
4.1.6.2. 放射線管理.....40
4.1.7. 制御技術課.....41
4.1.7.1. 中央制御装置の運転保守と改修.....42
4.1.7.2. LHD 低温システム.....43
4.1.7.3. 超伝導コイル励磁用電源の保守管理と改善.....46
4.2. 工学試験装置への技術支援.....48
4.3. プラズマシミュレータへの技術支援.....48
4.4 情報通信システム部への貢献.....50
4.4.1. NIFS 情報ネットワーク.....50
4.4.1.1. NIFS-LAN.....51
4.4.1.2. LHD-LAN.....52
4.4.2. LHD 実験データ処理システム.....53
4.4.3. 基幹情報システム.....54
4.4.4. 制御システム開発.....55

（３） 安全衛生への取組は十分にできているか。
5. 安全衛生への取組.....57
5.1. 安全衛生推進部への取り組み.....57
5.2. 安全衛生への取り組み.....59
5.3. LHD における自衛消防隊地区隊活動について.....60
5.4. LHD メンテナンス時の安全対策について.....61

（４） 大学共同利用機関として、大学及び研究機関との技術連携・技術交流・技術協力
6. 他機関との技術交流及び技術研究会.....63
6.1. 大学及び研究機関との技術交流プログラムの実施.....63
6.2. 技術研究会.....66
6.3. 自然科学研究機構技術研究会.....68
6.4. 自然科学研究機構代表者会議.....70
6.5. 技術協力・共同研究.....71
6.5.1. 所内における装置開発.....71
6.5.2. 他大学・研究機関への技術協力・共同研究.....74

6.5.3. 他大学・研究機関の学部生・大学院生への教育活動 75
6.5.4. 国際共同研究及び国際技術協力 76
6.5.5. 計測機器等共同利用について 79

（５） これまでに培った技術的な経験・知見を産学連携活動に活用できているか。
7. 産学連携及び受託研究 80
7.1. 産学連携 80
7.2. 受託研究 81

（６） 技術の継承及び発展と向上に組織的に取り組むとともに、技術職員個人の自主性を支援する環境が整っているか。
8. 技術の継承・技術職員の技術の発展と向上 83
8.1. 新人研修 83
8.2. 研修、講習 84
8.3. 技術の継承について 85
8.4. プログラムマネージャー（PM）研修（図 8.4.） 87
8.5. 自然科学研究機構：ミッション実現戦略事業 88
8.6. 技術部を題材にしたインタビュー記事 89
9. おわりに 91
参考資料 93
表 s1. NIFS の研究プラットフォーム一覧 93
表 s2. 技術部の資格者リスト（2022 年 4 月 1 日現在） 94
表 s3. 技術交流プログラム実績リスト（2012～2021 年度） 96
表 s4. 技術研究会発表発表者リスト（過去 10 年） 97
表 s5. 自然科学研究機構技術研究会発表者リスト 100
表 s6. 大学、研究機関への技術協力実施リスト（国内）（共同研究含む） 103
表 s7. 研修・講習受講者数　（2018 年 4 月 1 日～2022 年 4 月 1 日） 105
表 s8. 国内の学会等の発表者リスト（過去 5 年） 106
表 s9. 国外の学会等の発表者リスト（過去 5 年） 106
表 s10. 学会賞等の受賞記録（過去 10 年） 106

1. はじめに

2006 年度（平成 18 年度）に実施された「技術部」の外部評価において、大型ヘリカル装置「以下、LHD」の建設期から 2006 年度の第 10 サイクル LHD プラズマ実験「以下、LHD 実験」までの期間、先進的技術あるいは基盤的業務の遂行・実施に対し、技術部の設置目的・役割・業務分担に関して、十分にこれを果たしてきたと評価された。その際、熟練職員退職等に伴う技術伝承の課題に対し、具体的な検討が必要との提言がなされた。平成 18 年度の外部評価以降、安定・安全な LHD 実験の遂行はもちろんのこと、高度な運転技術を要する緻密な実験要求にも対応してきた。また同時に、技術伝承の課題にも積極的に取り組み、技術職員が各々プロ意識を持ち連携し、LHD の安定稼働を目標に業務に取り組んだ。これまで技術部は、技術集団として以下の基本方針のもと組織を運営してきた。

- 基本技術を身につけ、先端技術を取り入れる。
- 将来を見越して技術を会得し新技術の開拓と継承につとめる。
- 研究を支える技術は高い信頼を保証する。
- 技術部の業務に対し組織で責任を持つ。
- 個々の専門技術を確立するとともに、組織の業務に対して有機的に対応できる柔軟性をもつ。

研究部と協働しつつ実験を遂行する上で、質的・量的ともに広範な技術領域をサポートできるよう有機的に組織化された技術部は、これまで極めて重要な役割を果たしてきた。大学・研究機関における研究活動を円滑に推進するためには、研究者、事務職員、技術職員が分担し職務を遂行することが有効であり、そのために独立した組織である。従って技術組織の目的は研究目的達成のための技術業務を体系的に行い、そのために必要な技術の習得、蓄積、継承を行ってきた。研究部の体制が LHD プロジェクト研究を主体とする形態であったため、技術部においても、研究所創設時からライン制（部課長制）を維持し幅広く業務を遂行してきた。

2017 年度から開始した重水素プラズマ実験「以下、重水素実験」は、LHD 建設以降、最も大きな事業のひとつであり、研究部、技術部及び管理部が一致協力してはじめて実現できた事業である。技術部にとっても、重水素実験に係る設計開発を経験できたことは、今後の核融合科学研究に資する技術力向上に繋がるとともに、数多くの有用な工学的知見を得る貴重な経験であった。また安全衛生への積極的な参加や大学共同利用機関としての国内外への技術協力も共同研究の一員という形で積極的に参加し研究者の信頼を得てきた。これまで技術部が携わった業務は、極めて広範かつ多岐に渡るため全てを記述することはできないが、本資料をご確認していただき、技術部の活動実績についてご評価いただきたい。

評価の観点

（１） LHD における重水素実験（プラズマの高性能化）の準備及び実施に貢献できたか。
（２） NIFS の研究プラットフォームの維持管理と活用に貢献しているか。
（３） 安全衛生への取組は十分にできているか。
（４） 大学共同利用機関として、大学及び研究機関との技術連携・技術交流・技術協力は行われているか。また共同研究に貢献できているか。
（５） これまでに培った技術的な経験・知見を産学連携活動に活用できているか。
（６） 技術の継承及び発展と向上に組織的に取り組むとともに、技術職員個人の自主性を支援する環境が整っているか。

【平成１８年度外部評価「技術部」における提言】

（１） 技術部の所掌範囲は、学術研究の進展に伴う実験内容の変化や研究環境の電子化等社会の要請や変化によって拡大し、他方で熟練職員退職等に伴う技術伝承の問題が表面化しつつある。現在のところ組織的・個人的努力により大型ヘリカル装置 LHD 研究に対する広範な業務に対応し得ると判断されるが、近未来において人的対策を講ずる必要があると判断される。

（２）技術部専門部会は、先端技術・特殊技術・熟練技術・ノウハウ等、育成と伝承に時間を要する基盤技術の存在と必要性を指摘するとともに、人員配置に関しては、今後、研究所の全体方針や計画策定の中で、長期的なビジョンを持ってそれを最適化し、具体的に措置していくことを要望・提言する。

2. 技術部の概要

技術部は研究部、管理部と共に大型プロジェクトを推進するため技術的側面から研究支援を行う極めて重要な役割を担っている。LHDを代表とする実験設備全般、ネットワークなどの情報設備、装置の開発製作や安全衛生推進業務に責任ある立場で係わっている。また、共同研究へ技術協力を行うことで大学共同利用機関としての機能も果たしている。2022年4月現在、技術職員58名（常勤44名、非常勤14名）で構成されている。

1989年(平成元年)の研究所発足時に核融合科学研究所技術部として設置され、1996年(平成8年)には、5課（製作技術課、装置技術課、、加熱技術課、計測技術課、制御技術課）20係体制の基盤が組織され現在に至っている。2004年(平成16年)の法人化に伴い安全管理を統括する所内横断的な安全衛生推進部が設立され、技術部からも多くの技術職員が従事している。LHDの実験が軌道に乗ると、当初のLHD設計及び建設に伴う業務から周辺機器開発や実験に伴う運転業務が増加し職員と運転員による実験支援体制へと移っていった。2017年（平成29年）から始まった重水素実験実施に対応するため、業務内容も徐々に変容する必要があることから、2014年度（平成26年度）プラズマ計測に関わる計測技術課を環境放射線及びLHD高性能化実験時の放射線の計測と計測結果を総合的に監視・評価できる組織に改組し現在に至る。(図2.)。核融合研究で要求される技術は、超伝導や高熱負荷の第一壁材料、超高真空等の装置関連の技術、電子サイクロトロン加熱、中性粒子入射加熱等、プラズマ加熱に関連する技術、プラズマ計測技術、および実験装置系全体としての運転制御技術等があり、いずれも開発を必要とする最先端技術を数多く含んでいる。したがって、種々の装置の運転・保守を確実に行うとともに、研究の進展に伴い、装置改良等における様々な技術的課題にも柔軟に対応してきた。このように、技術部はLHD実験を迅速かつ円滑に遂行すべく、関連技術に習熟した高い専門性を有する技術者集団である。

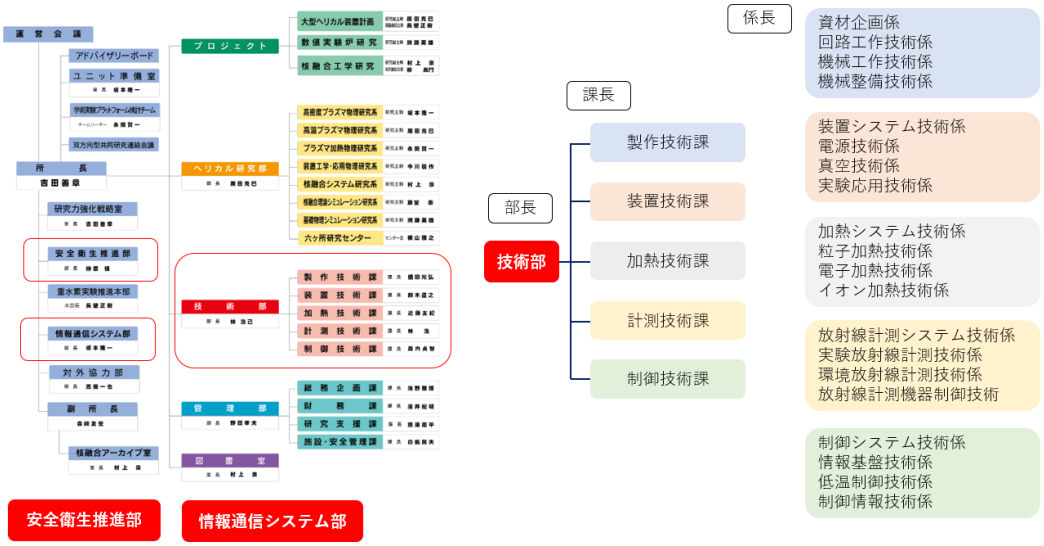


図 2. 技術部の組織図

2.1. 技術部組織の運営について

技術部組織は、図2.1. に示すような幾つかの会議で議論され運営される。技術部としての定例会議は、技術部長、課長、課長代理が参加する部課長会議と技術職員全員が参加する技術部全体ミーティングがある。部課長会議の開催頻度は、月2回で1〜2時間程度行われ、人事・予算・業務改善・研修・研究会等・組織運営に関することが議論される。技術部全体ミーティングの開催頻度は、月1回、2時間程度開催され、各課の業務報告・委員会報告・出張報告・技術報告・意見交換等が行われる。技術部の部課長が参加する研究主幹等・研究力強化推進会議、部課長と放射線管理室長及び危険物質管理室長である技術職員が参加する重水素実験推進本部会合、技術職員の代表が参加する各種委員会の報告内容は、各課内の打ち合わせで技術職員全体に展開されることになっている。大学・研究機関への技術協力、共同研究への参画、受託研究の受け入れについては、随時部課長会議で報告・議論される。また技術部から多くの技術職員を送り出している安全衛生推進部会合や情報通信システム部会合では、それぞれの室長や班長が業務実績や業務タスクの進捗状況を各部長に報告する。さらに安全衛生委員会をはじめとする各種委員会（オープンキャンパス実行委員会、知的財産戦略委員会、安全衛生委員会、等）へ参加し、技術職員としての立場、あるいは技術的見地から発言・提案を行っている。

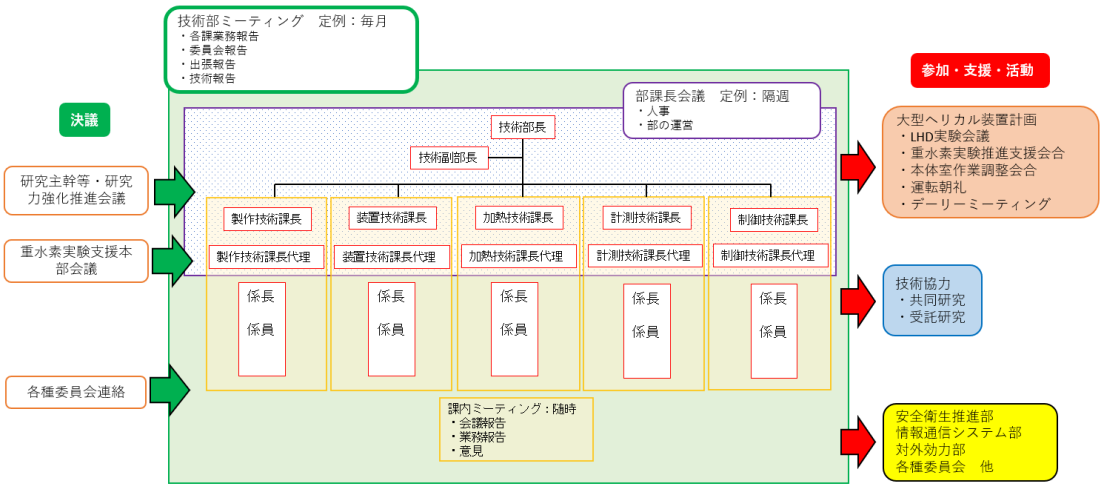


図 2.1. 技術部の運営体制

2.2. 技術部の業務内容

技術部は、LHD計画プロジェクトに大きく寄与している。LHDの心臓部には超伝導コイルがあり、これに大電流を流すことでプラズマを閉じ込めるのに必要な磁力線の「かご」（中心磁場：最大約2.9 T）を作る。冷却重量約820トン（支持構造物を含む）の超伝導コイルを摂氏マイナス269度の液体ヘリウムで冷却し、この極低温状態を約半年間維持する。プラズマに燃料である水素以外の物質が混入するとプラズマ性能が低下するため、先ず約250m^{3}のプラズマ真空容器（以下「真空容器」）を1×10^{-6} Pa以下の高真空状態にし、その後、燃料として真空容器に導入した水素を大電力の電磁波や高エネルギー中性粒子ビームを用いて加熱することで、最大約１億2000万度の高温プラズマを生成させる。実験中は、プラズマの温度や密度など、膨大な計測データをリアルタイムで収集する。2017年3月からは、重水素ガスを用いたプラズマ実験（重水素実験）を開始した。重水素実験に伴い、本体室は法令に基づく管理区域となり、人・モノの出入りが厳格に管理される環境となった。このように核融合研究で必要な技術は、普段の生活とかけ離れた「非日常」環境下の技術群で成り立っている。具体的には、技術部の業務内容は、LHDの運転・保守をはじめ、機械工作、電子回路工作、装置設計、構造解析、計測データ処理、制御ソフト開発、放射線管理、ネットワーク管理など幅広く展開している(図3.)。

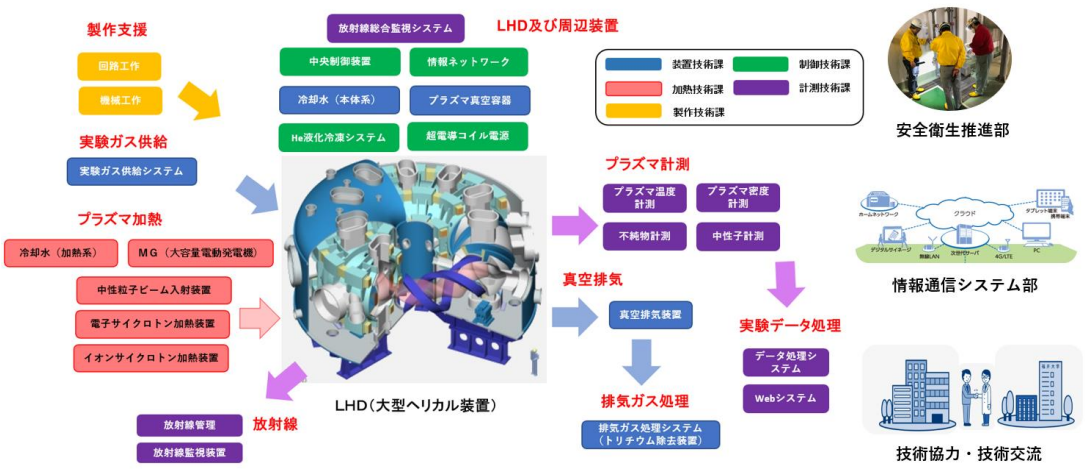


図 2.2. 技術部の主な業務

特に、軸となるLHD実験では、2021年度末に23回目の実験サイクルを終えたが、これまで大きなトラブル無く実験を遂行してきたことについて、国内外から高い評価を得ている。また核融合科学研究所の研究プラットフォームにおいても研究者から技術支援を依頼された場合には、技術部から必要な技能を持った技術職員を選出し、個々の能力を活かして最良の解決策を提案することで迅速に対応している。安全衛生にも積極的に取り組んでおり、「安全衛生推進部」への参加（延べ57人）の他、LHDに関する自衛消防隊地区隊に

は、全ての技術職員が地区隊員となって活動している。また、高度化された情報通信技術、最先端の通信インフラ、情報セキュリティに対応すべく、「情報通信システム部」が2014年度（平成26年度）に組織化され、技術部から運用班員として10名従事している。大学共同利用機関である核融合科学研究所は、大学にはない技術者集団として核融合科学研究所の研究者だけでなく、大学・研究機関等との共同研究にも貢献し、また、他機関とのつながりを深めるために全国規模の技術研究会や機構内連携を重視した自然科学研究機構技術研究会を開催するなど、技術の向上を目的とした「技術交流」や「技術協力」を行い、連携範囲を広げ大学間連携活動にも努めている。

（1）LHDにおける重水素実験（プラズマの高性能化）の準備及び実施に貢献できたか

3. 重水素実験への取り組み

技術部は、2017（平成 29）年 3 月に開始された LHD における重水素実験に向け、人材の育成と組織の検討を行うとともに、研究所が重水素実験の準備と実施のために策定した「大型ヘリカル装置における重水素実験の安全管理計画」(以下、安全管理計画)の遂行に向けた技術的支援を実施した。

技術部では、重水素実験の開始に向けた機器の整備、安全管理体制の確立、マニュアル等の整備を検討・推進してきた重水素実験準備支援会合に立ち上げ段階から複数名参画した(会合立上げ時、研究部２０名、技術部８名)。また、この会合での検討内容を決定する重水素実験推進本部会合にも複数名参画してきた。技術部は、これらの会合での決定に従って、設備の整備、仕様書作成を含めた機器の導入、設置、性能確認等を中心となり進め、重水素実験準備に貢献してきた。さらに重水素実験の開始後も、導入した機器及び装置の運転・点検、メンテナンスまで一貫して支援してきた。

重水素実験準備のための上記会合が、実験開始によりそれぞれ、重水素実験推進支援会合、重水素実験推進本部会合へと移行したが、引き続き技術部から多数が参加し、重水素実験を確実に進めるための議論にも参加してきた。以下に、技術部が中心となり整備を進めてきた装置等の概要を記載する。

3.1. 技術部が中心となり整備を進めてきた装置

3.1.1. 放射線総合監視システム

重水素実験開始に向け様々な放射線管理機器が設置されたが、その機器の計測データ及び運転状況を制御室において一元的に監視できる放射線総合監視システム（図 3.1.1.）を構築した。また、放射線管理機器の数値の上昇や装置の異常が生じた場合は、インターロックにより LHD の実験を自動的に停止する。

放射線総合監視システムの特徴や具体的なインターロックの内容をいくつか挙げる。管理区域の入退情報を制御室にて一括監視することができ、放射線量をモニタリングする放射線モニタリングシステム（RMSAFE）からの管理区域境界及び敷地内の放射線量をリアルタイムに監視することができる。管理値を超えるとインターロックにより LHD 実験が停止する。管理値は、敷地境界 50 μSv/年、管理区域境界 1.3 mSv/3 月であり、その 60 %に達すると警告が発せられ、80 %に達すると実験は自動的に停止するシステムとした。重水素実験では、安全管理計画により中性子発生量が決められており、この値を超えないように 1 ショットずつ中性子発生量を確認して実験を進めるが、規定された年間の発生量に近づくとインターロックによって実験を進めることができなくなる。また、排気中放射能濃度がリアルタイムで監視できる通気型電離箱（ガスモニタ）を設置し、停止、もしくは測定値が規定値を超えるとインターロックにより LHD 実験が停止する。その他、空調設備の稼働

状況、排風量、火災報知器や地震計・緊急地震速報の信号も放射線総合監視システムに取り込み、いずれかに異常があった場合にはインターロックにより LHD 実験が停止するよう構築した。放射線総合監視システムに集約した情報は、制御棟制御室に設置されている PC によって確認することができる他、制御室前方に設置された 46 インチ大型ディスプレイ 3 台と、主な機器の運転表示盤により、測定値及び機器の稼働状況が確認できるように整備した。放射線総合監視システム及び本システムに管理されているサブシステムを全て把握しないと管理運用できないことから、これらを把握している技術職員の知識と経験が重水素実験の遂行の一翼を担った。

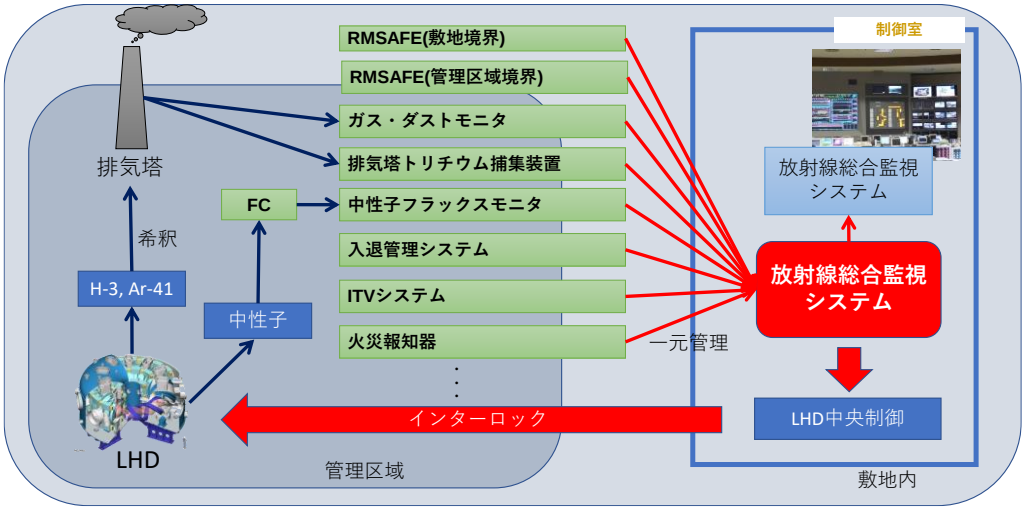


図 3.1.1 放射線総合監視システム概略図

3.1.2. 中性子計測の較正

重水素実験における中性子発生量の管理及び発生特性に係る研究を遂行するために、核分裂計数管（FC）を 3 系統設置した（図 3.1.2. 右）。中性子計測器は、その計測データからプラズマの性能評価を行うためには、計測器が設置された位置における計測系の高い検出感度が要求された。技術部は、この中性子計測の較正の準備と実施に大きく貢献した。2017 年からの重水素実験開始前、中性子計測の較正を実施した。プラズマを模擬するため、較正用線源をプラズマが発生する真空容器内のトーラス方向に連続的に周回させる必要があった。また、この方法で有意義なデータを取得するには 72 時間以上の連続周回が必要であることがモンテカルロシミュレーションにより算出された。そこで技術部では、72 時間以上の連続周回による感度較正を可能とする線源搭載用周回移動体、トーラス周回用軌道の設計・製作、及び真空容器内設置作業の工程立案及び実施を行った（図 3.1.2. 左）。周回移動体の軌道（走行レール）は、真空容器内で精度よく設置する（$R = 3.744$ m）必要があるため専用の基準治具を製作した。また周回移動体が軌道から脱線した場合、線源や部品の紛失、真空容器への損傷を避けるため、軌道側面に塩化ビニール板で落

下防止用ガイドを設けた。さらに、重量約 100 g の円筒形（Φ25 ㎜×H50 ㎜）較正用線源格納容器を搭載し走行試験を実施したところ、駆動部ギアシャフトの摩耗が確認されたため、摩耗抑制のためにグリースを封入したギアボックスを導入した。周回軌道の高い設置精度の実現、及び試験走行による不具合の洗い出しを行うことにより、100 時間の走行が可能となり重水素実験前の中性子計測器の検出感度取得に大きく貢献した。

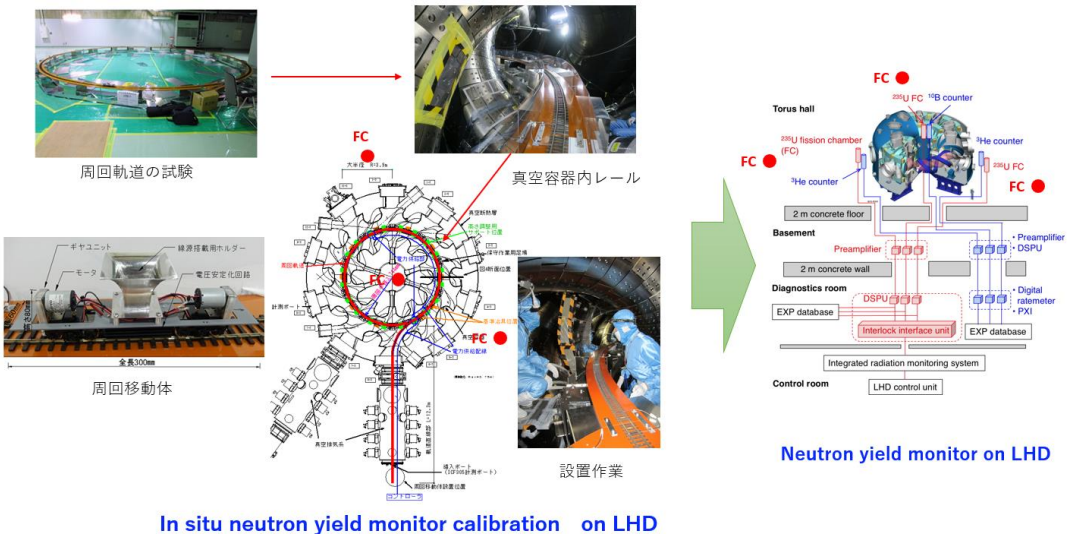


図 3.1.2. 中性子計測器較正

3.1.3. LHD 実験による中性子対策について

LHD の重水素実験では微量ではあるが、核融合反応により中性子が発生する。大型ヘリカル実験棟本体室は厚み 2 m のコンクリート壁で囲まれており、中性子はこの壁で遮蔽される。一方、本体室地下の壁は、重水素実験開始以前では、配管・ケーブル等の為の貫通口が多数空いており中性子を完全に遮蔽することができない。また中性子は、実験装置の電子機器に損傷を与えることから、技術部が主体となってその対策を実施した。

重水素実験を実施する前の整備として貫通口の遮蔽（閉止）処理を実施した。東西南北それぞれの方向に対して、まず 2 次元 Sn 法輸送計算コード DORT で本体室地下の内壁面の実効線量を計算し、管理区域に関する線量限度に問題がないことを確認した後、貫通口の閉止処理を行った。本体室地下の壁貫通口の閉止処理の一例を図 3.1.3.示す。また、本体室には多数の電子機器が設置されているが、電子機器は中性子により誤動作や故障する可能性があることから、移設可能な電子機器は配線を延長して中性子の影響が無い場所、あるいは少ない本体室地下に移設した。移設ができない電子機器については、厚さ 5 cm の高密度ポリエチレン板の囲いを設置して中性子を遮蔽した。大型ヘリカル実験棟全体では、1 枚 25 kg のポリエチレン板を約 2000 枚、総重量約 50 t のポリエチレン遮蔽板を使用した。この

遮蔽工事は、技術部が主導し行った作業である。2017 年から開始された重水素実験において、管理区域境界における環境放射線量の値は基準値以下であり、電子機器の不具合も初期の重水素実験では発生したが、その後にさらにポリエチレン板の厚みを増やすなどの対策が施され LHD 実験の安定運転に貢献した。

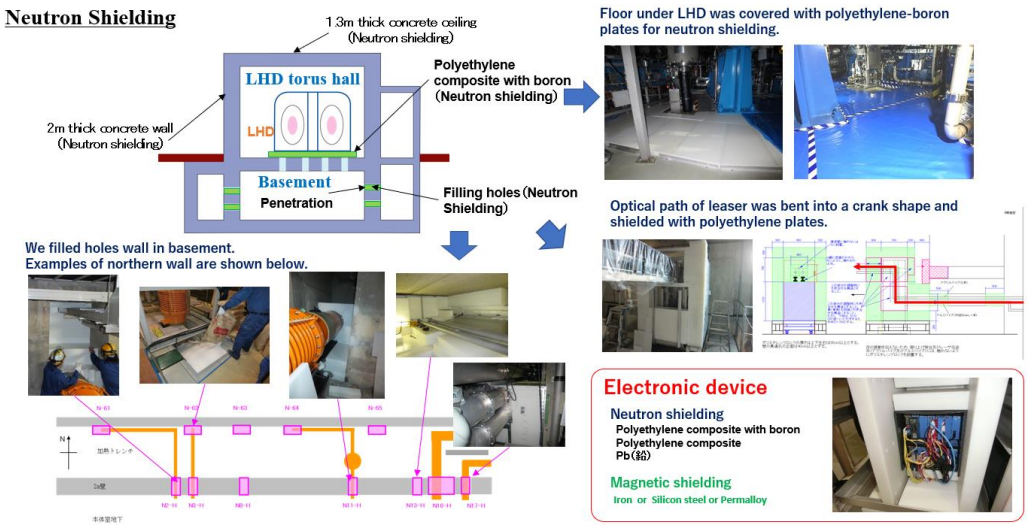


図 3.1.3. 中性子遮蔽の事例

3.1.4. 室外排気系の整備

重水素実験では放射性同位体であるトリチウムが発生する。技術部では、LHD から排出されるトリチウムを含んだ排気ガスの取扱いが安全管理計画に沿うように、室外排気系の整備作業（図 3.1.4）を行った。ここでは主な作業を 2 つ挙げる。

第一の整備作業は、排気ガス中のトリチウムを回収する排気ガス処理システムの設置である。排気ガス処理システムは、トリチウムを酸化して水の化学形態とし、トリチウム水として回収する装置である。定格処理流量は 10 Nm^3/h で気体状、もしくは炭化水素状の水素を主に処理する装置（MS 型装置）と、定格処理流量は 300 Nm^3/h だが水蒸気状のトリチウムを主に処理する装置（PM 型装置）の 2 種類を設置した。MS 型装置はプラズマ実験時のガスを、PM 型装置はメンテナンス時の真空容器パージガスを処理するのが目的である。設計や R&D は研究者によって行われたが、技術部では設計に必要な排気ガスの量や成分の予想及び実測、設置作業の助勢、トリチウム濃度測定装置の整備などを行った。また設置後は研究者とともに運転やトリチウム濃度測定を行っている。

第二の整備作業は、排気ガス処理システムを通さない、トリチウムが含まれない排気ガスのための排気配管を設置した。LHD では多くの周辺装置が排気ガスを排出しており、その排気ガスの流量や水素濃度を調査した上で、排気ガス処理システムが効率的に運用できるよう排気配管を設計した。排気ガス処理システムの後段には冗長化された送風機を設置し、フィルターを介して排気塔から屋外へ排気している。

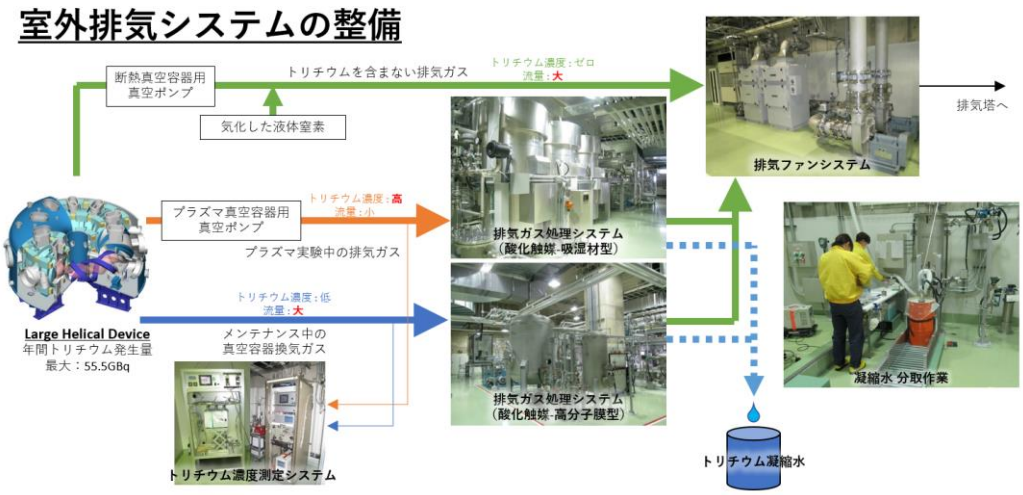


図 3.1.4. 室外排気システムの整備

3.1.5. 入退管理システム

2017 年からの重水素実験を始めるに当たり、大型ヘリカル実験棟の入退管理室の改修が行われ、LHD が設置されている本体室及びその周辺の部屋は、法令に係わる管理区域となった。管理区域に設定されると、エリア内への立入を厳格に行う必要があることから、入退管理システム(図 3.1.5.)の更新を行った。入退管理システムの更新を行うに当たり、個人線量計の携帯を確実に行う方法として、当時発売されたばかりのセキュリティ機能搭載 QR コードシール（SQRC）を線量計に貼り、SQRC で個人認証と出入り管理を行うことにした。特に管理区域入口と実験時に立入が制限される本体室及び本体室地下入口は、厳格な出入管理が可能な入退ゲートを設置

図 3.1.5.　SQRC（セキュリティ機能搭載 QR コード）を用いた認証システム

すると共に、各エリアにアンチパスバック設定（入室時の ID 認証の記録がないと、退室時に認証を許可しない仕組み）を行うことにより、安全な実験の実施ができるよう配慮している。重水素実験が始まる前の軽水素プラズマ実験では、入退管理システムは LHD 中央制御装置に接続され実験機器として一緒に管理されていたが、重水素実験開始に伴い放射線管理機器等の状況を一元的に監視できる放射線総合監視システムに接続変更した。

3.1.6. 真空容器の入退管理について

LHD の真空容器では、重水素実験により中性子が発生する。したがって真空容器内は中性子による放射化物（装置及びダスト）が最も生成される場所であり、放射性物質であるトリチウムで最も汚染される場所である。そのため、最も厳格な入退管理が求められる。重水素実験開始以降の入退管理の概要を図 3.1.6.に示す。

図 3.1.6. 真空容器内の入退管理について（重水素実験後～）

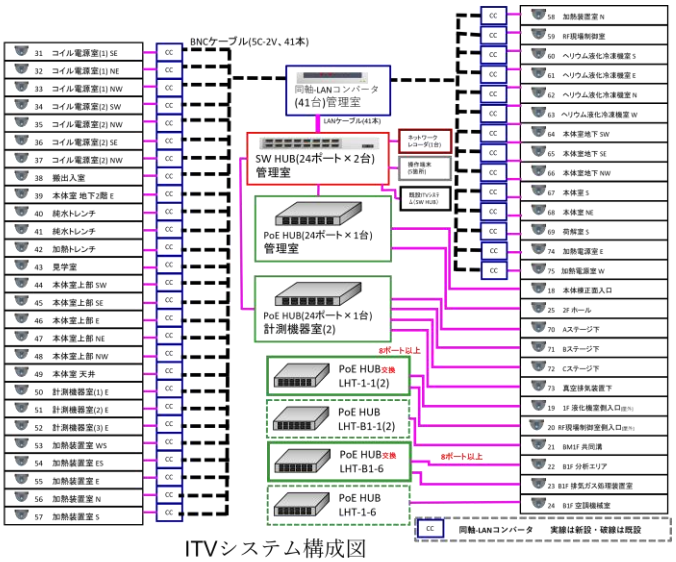
LHD の真空容器内における保護板及びダイバータ受熱板は、プラズマ実験により高い熱負荷に曝され、場合によって損傷する。そのため、実験サイクル毎の点検ならびに損傷箇所の対策が必要不可欠であり、毎年、プラズマ実験終了後に点検を実施している。真空容器の作業管理として、油・樹脂・水等を真空容器内に持ち込まないこと、放射線による健康被害や放射性物質を拡散させないことが挙げられる。また酸欠、熱中症、災害時の対策（管理）も必要である。さらに作業に伴う廃棄物の選別、特別な作業服の準備、毎月の放射線量率測定・残留トリチウム濃度検査、作業者の放射線量率管理など行っている。重水素実験開始前に真空容器管理出入り口（着替え室）の設置、真空容器内作業教育を受講者のみ入退できる入退管理装置（作業人数把握）の整備、及び換気流量・酸素濃度・放射能濃度等を表示する真空容器内環境監視システムの開発と設置を行った。技術部は、真空容器内作業の安全管理に大きく貢献し安全に真空容器内で作業できる環境を維持してい

る。

3.1.7. ITV システム

大型ヘリカル実験棟には、重水素実験開始以前にも ITV(Industrial Television)が設置されていたが、TV カメラ等の老朽化による故障が頻発していたこと、監視システム自体が古くカメラの増設や記録容量が少ない等の問題があった。加えて、重水素実験開始後は、管理区域で故障した装置は放射化物となり一般廃棄物できないこと、各装置の監視の重要性が増したことから TV カメラの増設が必要となり、ITV システム全体の更新に至った。図 3.1.7.に大型ヘリカル実験棟の ITV 機器とシステム構成図を示す。TV カメラの設置位置の最適化の検討や TV カメラの設置や増設のし易さから PoE（Power over Ethernet）対応のネットワーク TV カメラを選択した。TV カメラ映像は、この専用ネットワークに接続したレコーダで録画すると共に遠隔操作で監視することができる。

大型ヘリカル実験棟のITV機器



ITVシステム構成図

図 3.1.7. 大型ヘリカル実験棟の ITV 機器とシステム構成図

3.2. トリチウム安全取扱い研修

重水素実験が始まると微量ではあるがトリチウムが発生する。そのためトリチウムの取扱いに習熟しておく必要があるが、重水素実験開始までの核融合科学研究所ではトリチウムの取扱いは許可されておらず、ほとんどの職員はトリチウム取扱いの経験が全くなかった。そこで、トリチウムの研究を行っている富山大学水素同位体科学研究センターとの研究連携の一環として、トリチウム安全取扱い研修（図 3.2.）を実施した。第 1 回は 2014 年の 3 月に実施し、トリチウムに関する知識、放射線予防規定に関する講義、実際にトリチウムを取り扱っている装置を用いたトリチウム計測、トリチウム除染、フランジ作業の実習を行った。2 回目以降は、実習に関しては、すでに研修を修了した技術職員が講師となり、トリ

チウム汚染のある状況でのフランジ作業の研修を進めた。2020 年 2 月まで、計 17 回研修を行い、計 92 名の職員が研修を終了した。

図 3.2. 研修の様子

3.3. 放射線業務の人材育成

重水素実験開始により、LHD は法律に基づく放射線発生装置となり、さらに放射性同位元素を取扱うことになるが、当時、技術部職員にはこれらの経験がある者がほとんどいなかった。そこで、放射線と放射性同位元素について知識を深める目的で第 1 種放射線取扱主任者の資格取得を目的として放射線管理に関わる勉強会を始めた。技術部職員では、重水素実験開始前からこれまでに１１名（退職者 2 名を含む）が有資格者となっている。

また、国内外（表 3.3.）の放射線発生装置や放射性同位元素を使用する施設へも積極的に赴き、どのような機器の整備が必要かを調査してきた。20 年以上前にすでに重水素実験を経験している量子科学技術開発研究機構那珂研究所の JT60-U の施設を始め、放射性同位元素使用施設である量子科学技術開発研究機構六ヶ所研究所や富山大学水素同位体科学研究センター（現：富山大学研究推進機構水素同位体科学研究所）等に行き、放射線の管理区域がどのように設置されているか、放射性同位元素の取扱いをどのように行っているかを調査に赴いた。富山大学水素同位体科学研究センターでは、次節に示すように実際にトリチウムを取扱いフランジ作業の実習を中心に研修を行った。これらの人材育成の活動により、技術部では放射線管理の知識を持ち放射線従事者に安全指導することのできる人材を増やして、重水素実験における放射線安全管理に大きく貢献することができている。

2008/3/1	2	スペイン	エネルギー環境科学技術センター
2008/6/1	3	イギリス	カラム研究所
2010/2/1	2	ドイツ	カールスルーエ工科大学、他
2011/3/1	2	スペイン、他	エネルギー環境科学技術センター、他
2011/3/1	2	アメリカ	アイダホ国立研究所、他
2012/3/1	2	ドイツ、他	マックスプランクプラズマ物理研究所、他
2013/11/1	1	イギリス	カラム研究所

表 3.3. 技術部の海外技術調査等一覧

（２） NIFS の研究プラットフォームの維持管理と活用に貢献しているか。

4. NIFS の研究プラットフォームの維持管理と活用

研究プラットフォームとは、研究活動を展開するための既存設備であるLHDをはじめとする各実験棟の実験装置等である。参考資料（表s1.）にNIFSの研究プラットフォームの一覧を示す。技術部は、LHDの運転を中心とした活動をしているが、図5.に示す「工学試験装置」及び「数値計算・データベース・データ解析装置」等の研究プラットフォームにも技術協力や技術支援を行っている。それを情報通信システム部、製作技術課の機械・回路工作、中央部品室の部品管理システムは多くの研究プラットフォームを支えている。以下、これまでのLHDの業務実績と代表的な研究プラットフォームにおける業務実績及びそれらを支える情報通信システム部（章4.4.項）、製作技術課の機械・回路工作・中央部品室（章4.1.3.項）の業務実績を記載する。

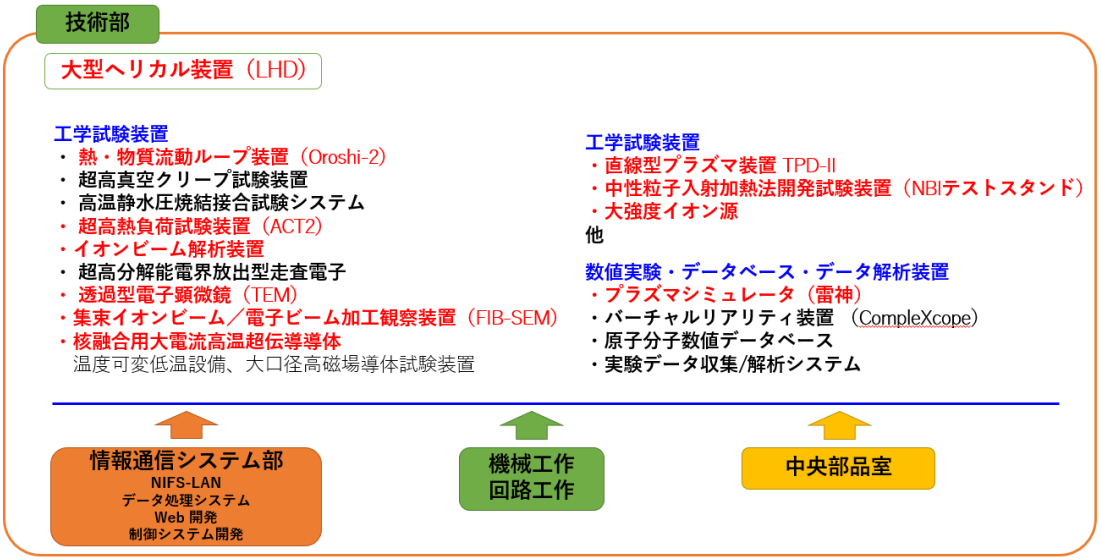


図 4. 研究プラットフォーム（赤：技術部の技術支援対象の装置）

4.1　LHD 研究プラットフォームの維持管理と活用

LHDは、NIFSの研究プラットフォームでは装置としての規模が大きく、技術部は、その維持管理（運転）と活用に高いエフォートをおいて業務を遂行してきた。LHDにおける運転体制と運転スケジュール及び技術部各課の業務を通して業務実績を記述する。

4.1.1 LHD の運転体制

LHD計画プロジェクトにおける運転体制は、図4.1.1に示す大型ヘリカル装置計画実験統括主幹の下、研究部と技術部及び運転員で構成されている。LHDの実験期は、多くの装置が24時間連続運転し、メンテナンス期においても、一部装置は24時間連続運転及び監視が必要である。技術部は、LHD及びその周辺機器の運転や点検をする運転員と協力しながら、LHDの運転を維持している。2022年4月1日現在、技術職員（58名）及び運転員（61名）の計119名で運転体制を構築している。

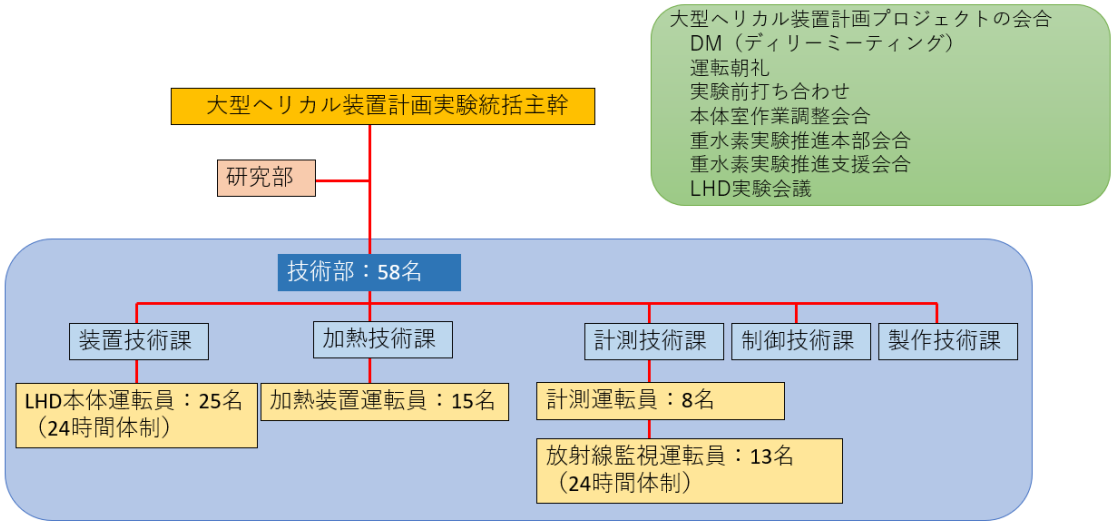


図 4.1.1.　LHD の運転体制

技術部では、LHD及びその周辺装置の点検や整備から、高性能化に関わる設計や技術開発に至るまで、極めて広範な業務を担当する必要がある。そこで、日常業務を分担あるいは助勢する目的で、運転開始から毎年度、各装置に習熟する業者と運転及び保守の業務に係る請負契約を締結し、LHDの適正な運転及び保守に必要な運転体制を維持してきた。LHD本体や加熱装置等主要機器の運転・保守は、これまで製造業者に一部委託し、技術職員の指導・監督の下で運転を請負うなどして、LHDの高い運転稼働率（表4.1.1）を実現してきた。LHDの運転から20 年以上経過し、種々のノウハウも運転員に蓄積されてきたこともその高い稼働率の要因の一つである。運転員の業務について、年間スジュールに基づいて必要な保守運転や点検項目等を洗出し、技術職員監修の下、運転員が作成する各装置の運転・保守マニュアルに従って業務を遂行する。ここ20数年間、改善を繰り返しながら

運転・保守マニュアルが整備された結果、たとえ特定の運転員が入れ替わっても運転・保守業務に影響は無く、LHDの安定的な装置運転に大きく貢献している。2017年は重水素実験の開始に伴い、放射線に関する安全管理のために24時間の監視業務が必要となったため、放射線監視を専門とする運転員を雇うことで対応している。

【LHD運転・保守（LHD本体運転員）：25名】

ＬＨＤは、断熱真空容器・超伝導コイル・真空容器等で構成される主たる装置、およびその周辺にある基幹装置である真空排気装置・排気ガス処理システム・ヘリウム液化冷凍システム（バルブボックスを含む）・コイル用各電源装置・壁コンディショニング装置・冷却水装置及び各種ユーティリティ装置などにより構成され、これらの装置を複合運転することにより所定のプラズマ実験が可能となる条件が維持される。また、各装置の運転状態は中央制御装置と放射線総合監視システムにより一括監視制御される。これら装置の運転・保守を年間通じて24時間体制で請け負っている。

【加熱装置運転・保守（加熱装置運転員）：15 名】

プラズマ実験の成果は加熱装置に大きく依存するため、加熱装置の的確な運転保守業務の遂行に対する要求は極めて大きい。加熱装置は、多数の機器から構成された大規模な総合システムであることから、加熱装置は、プラズマ実験中の運転だけでなく、長時間に亘るコンディショニング又はエージングを含む調整運転を必要とする。ＬＨＤ実験に供される加熱装置であるＥＣＨ、ＮＢＩ、ＩＣＨ及びはずみ車付き電動発電機（MG）の運転・保守を請け負っている。

【計測運転員：8名】

プラズマ実験において、実験を円滑に進行させるためには、FIR、トムソン散乱装置、CO2レーザ干渉計、計測データ収集システム等のプラズマ計測装置等の運転・監視を行う運転員が必要である。実験日にはレーザ等の機器の立ち上げと立ち下げを含むプラズマ計測装置の始業点検及び終業点検も請け負っている。また、プラズマ計測装置等の安定運用のために、各装置の日常的な点検、保守、記録の業務を行っている。

【放射線運転員：13名】

核融合科学研究所における放射線安全を確保するため、核融合科学研究所に設置された放射線総合監視システムの運転監視、運転保守、点検、記録、非常時の対応、並びに施設周辺の環境放射線測定等の業務を行っている。また、放射線業務従事者の登録、被ばく管理、教育、作業管理等の放射線管理業務の支援を行い、法令で定められた記録を確実に作成し、保存している。

年	実験サイクル	プラズマ実験稼働率	放電回数	
1998	1	75.50%	1888	
1998	2	75.80%	5244	
1999	3	90.00%	10179	
2000	4	88.00%	8896	
2001	5	75.10%	9024	
2002	6	61.50%	6081	
2003	7	86.30%	7510	
2004	8	85.10%	7398	
2005	9	95.40%	9833	
2006	10	95.10%	9598	
2007	11	93.00%	9217	
2008	12	95.40%	6933	
2009	13	86.80%	6229	
2010	14	84.60%	6793	
2011	15	91.10%	7284	
2012	16	67.20%	5135	
2013	17	96.40%	7384	
2014	18	83.70%	6441	
2017	19	88.90%	13037	重水素実験開始
2018	20	94.70%	9262	
2019	21	81.50%	7801	
2020	22	96.70%	8849	
2021	23	98.60%	9257	

表 4.1.1. LHD 運転実績

4.1.2.　LHD の年間運転スケジュール

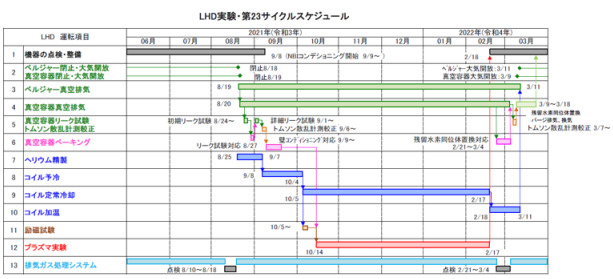
LHDの実験計画は、研究部から実験週の数や実験期間が提示され、技術部がLHD及びLHD周辺装置の運転について把握していることから、1年間のスケジュールを立案し研究部に提案・報告する。またこれまで突然のトラブルがあった場合においても、即座にスケジュールを修正して対応してきた。技術部だけでなく各研究者も、計画されたスケジュールに沿って個々の実験装置（計測装置）のメンテナンスを行い実験準備に対応している。

LHDの年間スケジュールの基本は、夏場の天候不順における突然の停電を考慮して、1年で天候が安定する10月頃からLHD実験がスタートし年度内で終わる計画が策定される。図4.1.2.に実績例として第23サイクル実験スケジュールを示す。LHDの年間運転スケジュールは、大きく5つのイベントに分かれる。

① 実験前メンテナンス（4月～7月）
② 実験前準備期間（8月～9月）
③ 実験期間（10月～1月）
④ 実験後の停止処理（2月）
⑤ 実験後のメンテナンス（3月）

①実験前メンテナンス（4月～7月）では、次のLHD実験開始前までにLHDに関係する全ての機器の定期点検を終えるべく、運転・保守スケジュールが組まれる。メンテナンス中には、所内電気工作物年次点検の為、実験ゾーンの計画停電が行われる。全所停電となるため全ての実験装置を事前に停止する手順は綿密に計画され、安全に実施できるよう調整に努めている。②実験前準備期間（8月～10月）は、まず真空容器の真空排気を実施し、次いでHeリーク試験、低温システムの冷却、真空容器の壁コンディショニング及び加

熱装置のコンディショニングへと実験準備を進める。最後に実験開始直前では、ボロナイゼーション、超伝導コイルの通電試験を行い実験準備完了となる。③実験期間（10月～1月）は全17週間である。また実験開始直後には、LHDの安全性を担保する上で重要なLHD消火訓練も実施される。④実験後の停止処理（2月）には、全ての加熱、計測装置を停止し、低温システムの昇温、真空排気速度試験などの基礎データを取得する。⑤実験後のメンテナンス（3月）では、真空容器を大気開放して点検の準備を行う。



23サイクルLHD実験年間スケジュール詳細

計画停電スケジュール

年	2021										2022		
月	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
メンテナンス													
真空排気													
コイル冷却													
プラズマ実験													
周辺機器のコンディショニング													
イベント	①				②			③			④	⑤	

図 4.1.2　LHD の年間運転スケジュール

（技術部各課の業務実績）

4.1.3. 製作技術課

製作技術課は、NIFS における LHD を含む全てのプラットフォームのみならず、管理部からの製作依頼、さらに大学との双方向型共同研究の一環としてコミュニティーからの製作依頼にも対応している。機械加工、電子回路に係る技術相談から、資材調達、部品製作、実験機器の製作など、ものづくりを主体とした専門的な技術支援を行っている。近年の工作件数を表 4.1.3.に示す。

機械工作は、工務棟（図 4.1.3.）にある機械工作室に設置された数値制御工作機械（マシニングセンター、NC 旋盤）や汎用工作機械（汎用旋盤、ボール盤)、溶接機等を使って実験装置や実験で使用される部品を製作している。回路工作は、研究者の要求仕様に応じた電子回路の設計製作、開発、修理、改造等を行っている。近年は、回路製作に必要な計測機器、プリント基板加工機の充実を図り、高度な製作依頼にも対応できる。製作依頼される機械部品や回路機器の製作手順は、研究者等からの依頼を受けて仕様の打合せを行い、設計と材料や部品手配・入手後に製作が開始され、完成・動作確認・調整を終えて納品となる。また実験でよく使用される真空・配管部品や回路工作で使う電気・電子部品などを一括購入・保管し、簡単な手続きで入手することができるシステム（中央部品室）の運営も行っている。在庫保管することで実験装置の故障時の修理・復旧等に素早く対応することができる。最近では、新型コロナウイルス感染拡大防止対策で所内における個々の異なった机の形状に合わ

		2020（R2）年度		2021（R3）年度	
		件数	製作数	件数	製作数
機械	LHD関係	74	279	43	121
	LHD以外	18	70	21	53
	共同研究	9	112	5	24
	その他	15	21	7	7
	合計	116	482	76	205
回路	LHD関係	13	23	14	23
	LHD以外	0	0	0	0
	共同研究	4	23	0	0
	その他	0	0	1	1
	合計	17	46	15	24
合計		133	528	91	229

表 4.1.3.　製作依頼件数（2020,2021 年度）

せて飛沫拡散防止シート枠の設計・製作・設置等も行った。特殊加工技術を求められる技術職員の育成は非常に重要であり、製作事例から On the Job Training 形式、さらに最新の技術を習得するための教育にも力を注いでいる。

図 4.1.3. 物つくりの拠点工務棟

4.1.3.1. 機械工作

LHD におけるプラズマ実験や共同研究で他大学（京都大学、九州大学、新潟大学、福井大学等）において使用される実験装置や実験で使用される部品の機械設計及び製作も行っている。実験装置やその部品は、場合によって非常に複雑な形状をしており、加工に当たっては±0.001 mm と高い加工精度が求められることがある。数値制御工作機械（マシニングセンター、NC 旋盤）や汎用工作機械（汎用旋盤、ボール盤）を使用し研究者から求められる高い加工精度を実現している。また溶接においては、TIG 溶接を基本とする技術を要し、現場で機器を取付けるための溶接から超高真空チャンバーの溶接、さらにアルミ、銅といった金属の溶接も行っている。

【機械工作製作事例】

・マイクロ波伝送用マイターベンド（図 4.1.3.1. 左上）

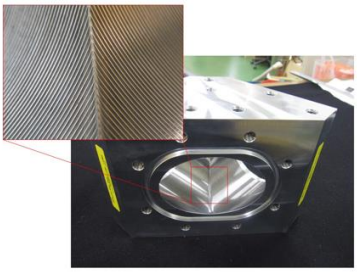
LHD の加熱装置である ECH においてマイクロ波伝送路を構成する伝送路の曲がり部分に設置される要素部品であるマイターベンドを製作した。ミリ波を低損失で伝送するためマイターベンド内壁部に幅 0.6 mm、深さ 0.6 mm、ピッチ 0.8 mm の連続した溝加工を行った。これまでに 100 個ほど製作した。外注メーカで製作すると 1 個当たり百数十万円と高価である。研究所内で製作を行うことができれば、安価で高性能の部品が調達でき、実験スケジュールに間に合うように対応できるなどのメリットがある。

・フォーカスミラー（図 4.1.3.1. 右下）

LHD 真空容器内に設置する ECE フォーカスミラーを製作した。フォーカスミラーの反射面は半径 1200 mm の球面形状である。材質はアルミニウム合金で、大きさは 350 mm×500 mm である。10 年程前まではマシニングセンターによる切削加工に 1 週間以上の時間を要していたが、加工方法の最適化と CAM を導入したことで作業効率があがり 26 時間で切削加工ができ大幅なコストカットが実現できた。また、今後の実験での成果が期待されるスパイラルミラーなどの試作も行っている。

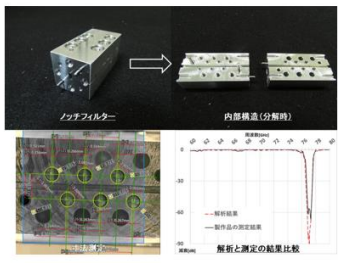
・ノッチフィルターの解析と製作（図 4.1.3.1. 左下）

ノッチフィルターとは、マイクロ波を特定の周波数のみ減衰させるフィルターである。技術部では、様々な種類のノッチフィルターの製作依頼を受け、56 GHz・77 GHz・154 GHz といった周波数を減衰させるノッチフィルターを製作した。減衰する周波数によりそれぞれ形状が異なっているが、通過させる周波数帯によっても形状を変える必要があり、現在、6 種類 49 個の製作実績がある。製作工程は、通過するマイクロ波の解析（有限要素法）を用いた最適な形状の設計から機械加工、性能測定までを一貫して行っている。ノッチフィルターは、外注メーカにて購入可能であるが、数十万円～数百万円と高価であるのと、性能仕様によっては購入不可な物があるため、開発とコストの両面から所内で製作する必要性があった。

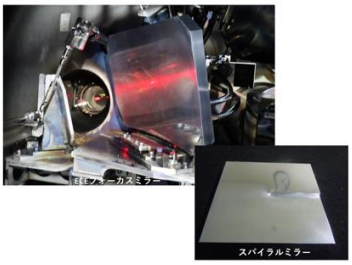


マイクロ波伝送用マイターベンド

トロイダル磁場コイルの追加工
（京都工芸繊維大学）



ノッチフィルター



フォーカスミラー

図 4.1.3.1. 機械工作事例

・トロイダル磁場コイルの追加工（京都工芸繊維大学）（図 4.1.3.1. 右上）

共同研究の技術サポートのひとつとして、京都工芸繊維大学が有する球状 RELAX 装置の改良に伴いトロイダル磁場コイルが真空容器の脚と干渉するため、構造解析（有限要素法）で強度的に問題ないことを確認し干渉部を削る加工を行った。

4.1.3.2. 回路工作

LHD における実験や共同研究で他大学（京都大学、筑波大学等）において使用される実験装置の回路設計、組立及び改良等を行っている。計測回路においては数百 MHz を超える高速パルス回路や μ Vの低雑音微小信号アンプなどの特性が要求される。これに対応するため広帯域ネットワーク・アナライザ及びオシロスコープ、高速パルス発生器、超低雑音電源等の計測機器を利用して高度な回路工作を実現している。またメーカ修理不可能な回路の修復や同等品の製作などにも対応し、LHD 実験におけるプラズマパラメータの測定に貢献している。

【回路工作製作事例】

・PN 光ダイオードアンプ（図 4.1.3.2. 左上）

固体水素ペレットがプラズマで溶発した際の発光スペクトル測定を行うための多波長計測高速モニタ分光器用 35 チャンネル、DD〜1 MHz 低雑音トランス・インピーダンス・アンプである。本回路は 4 セット製作され、各々バルマー系列光の内 Hα、Hβ、Hγ 線及び背景光を 35 チャンネル 1 次元 PN 光ダイオードアレイ検出器（S4114-35Q :浜松フォトニクス社製）信号を増幅する。現在は 5 nA と微弱な Hγ 計測信号の S/N 比を改善するため、更に低雑音化したアンプの製作を行っている。

・200 W マイクロ波発振器制御回路（図 4.1.3.2. 右上）

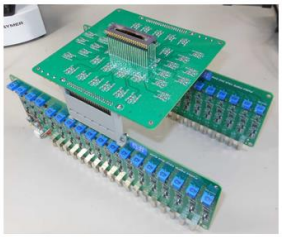
植物やセラミック等を精密に加熱するためのマイクロ波照射炉用の制御回路である。周辺回路がワンチップ化された Arduino Mega 2560 マイクロコントローラを使用し、DA 変換回路でアナログ信号を出力して発振器の電力制御を行っている。

・F-V 変換回路（図 4.1.3.2. 左下）

双子型遠赤外レーザ干渉計から出力されるビート信号周波数を常時 1 MHz に制御するための周波数 - 電圧変換回路である。変換 IC には長年の実績のある TI 社製 VFC110 を利用し、ビートを 1 MHz±2 kHz で安定的に制御できている。

・DC オフセット・キャンセル回路（図 4.1.3.2. 右下）

遠赤外レーザ干渉計からの位相検出信号に重畳される直流オフセット電圧をキャンセルする回路である。プラズマ放電直前のオフセット電圧を AD 変換して記憶し、位相検出信号から減算して DA 変換出力する。演算部は FPGA（Xilinx 社 Spartan6）で構成している。プラズマ電子密度信号による ECR 加熱装置の実時間制御に利用している。



PN光ダイオードアンプ基板

マイクロ波発振器制御回路

F-V変換回路

DCオフセット・キャンセラ

図 4.1.3.2.　回路工作

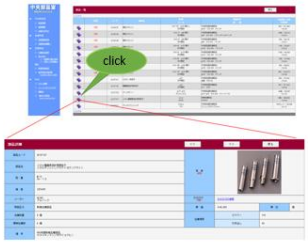
4.1.3.3. 中央部品室の運用

中央部品室は、研究・実験の円滑な遂行に必要とされる物品を選定して取り扱うこととし、研究・実験の場での即時性に対応する効率よい運用を図ることを目的としている。中央部品室で取り扱う部品は約 1400 種類にも及ぶが、利用者の意見を取り入れ汎用的に扱われる物品と判断したときは新規に常備し、機能や型式が古くなったものは更新して入れ替えを行い、使用されることがなくなってきたものは除外するなど常備品の適時適正化を随時行っている。最近は、回路工作や部品製作に必要とされる利用が減少傾向にある。既製品が入手しやすくなったことにより自前製作をあまり行わなくなったことや、それぞれ必要性の高いものがインターネットで入手しやすくなったことがその要因とされる。しかしながら 24 時間利用が行えることにより、実験装置や計測器など各種機器の運転保守においては利用頻度も高く、今後も利用状況に応じた運用を行う必要がある。中央部品室は所員、共同研究者などの利用者が必要部品を出庫し、その出庫額を利用者の予算から中央部品室へ移算するシステムとなっている。中央部品室は、運用実績として毎年一万点程の出庫があり有効に活用されている。近年の変化としては、大型ヘリカル装置が重水素実験を開始したことによる管理区域（放射線）となったことで作業時に必要となる使い捨ての手袋や拭き取りペーパーの需要、及び研究所内で複数導入された 3D プリンターの印刷試料台に予め貼っておく養生テープの需要が多くなり取り扱いを開始したことである。また在庫品データブックの電子化を行った（図 4.1.3.3）。中央部品室のホームページから必要な部品を検索しクリックす

るとその製品の仕様とメーカの最新カタログ（取扱説明書）が参照できるようデータベース化したことで利便性が向上した。

Central Parts Shop

Parts data book



Electronic data book

年度 F.Y	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
出庫点数	23620	19928	21314	12711	19888	12321	13660	10541	13526	8813

図 4.1.3.3. 中央部品室

4.1.4. 装置技術課

装置技術課は、研究所創設から約 10 年間に渡り LHD の設計活動および建設を支援し、LHD 実験開始後は安全で確実な実験の遂行に尽力している。装置技術課の主な役割は(1)LHD 実験を遂行する上で必須となる装置、例えばプラズマ真空容器や真空排気装置、燃料ガス供給システム、冷却水装置、排気ガス処理システムなどの運転維持管理を技術面で支援すること、(2)LHD 実験が円滑に行われるように全体の機器配置や工程調整、使用電力のモニタリングと調整を行うこと、(3)研究者の要望に応じて装置設計開発を行うことである。

2012 年頃から始まった重水素実験対応においては、排気ガス処理システムの設置、新たな冷却水システムの設置、室外排気システムの改造、真空ポンプのドライポンプ化、ガス供給システムの更新に携わってきた。またトリチウム取扱研修の講師として職員に対し教育も行った。ほぼ同時期に始まった閉構造ダイバータシステム開発業務においては開発、設計、設置を支援し、その流れから新たなダイバータ板の設計開発を行っている。

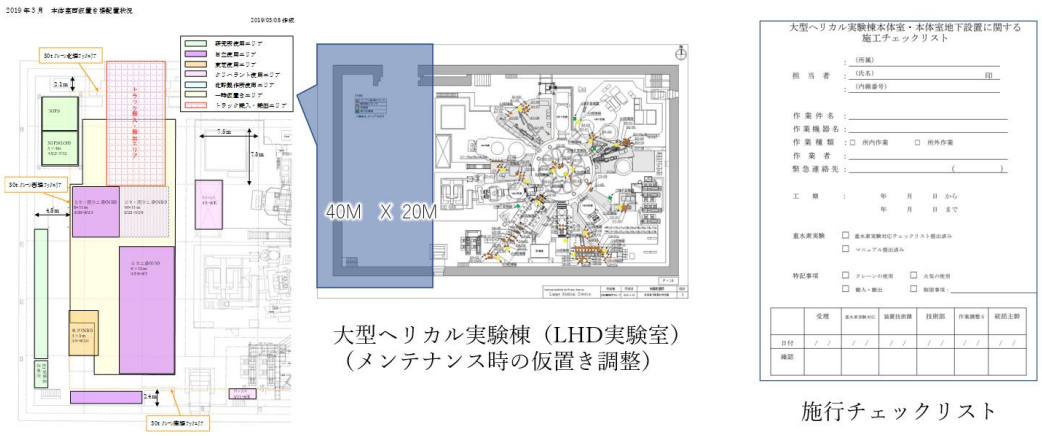
装置設計開発業務としては、有限要素法解析ソフトや 3DCAD を用いた各種実験装置の設計サポートの他、ガス供給システムにおけるピエゾバルブの設計及び高性能フィードバックシステムの構築、試料駆動装置の設計設置、TESPEL 装置の設計設置、漏水検知システムの拡大、トリチウム濃度測定用水バブラ装置の開発など、多岐にわたって業務を行っている。また、これらの装置設計開発業務で培った技術を生かして、他大学や企業との共同研究

や受託研究、技術協力にも積極的に参画している。以下業務の具体的な例をいくつか挙げて報告する。

4.1.4.1. 装置の運転保守及び施工管理

装置技術課では、LHD 実験のために本体室や本体室地下に設置される装置の施工管理を行っている。ユーザーから提出された施工チェックリストを元に、作業の安全性、装置の健全性の確認、メンテナンス時の配置調整等を行い、必要があれば立会・指導も行っている（図 4.1.4.1.）。これにより現場作業における安全性と効率化が保てている。

また、LHD 実験で必須なユーティリティ装置の運転保守管理も行っている。ユーティリティ装置とは圧縮空気や乾燥窒素、冷却水を供給する装置の総称である。これは 24 時間連続運転を行っているため、一部外部委託業者（運転員）の力を借りながら、運転保守を行っている。異常時に出来るだけ早く情報を把握するため、冷却水装置においては、2016 年に運転監視システムをメーカ製から所内で作成したシステムに変更した。これにより外部からの遠隔監視が可能となり、運転データ収集だけでなく、管理プログラムによる警報メール送信や監視対象の詳細設定を可能にするなどの機能の拡張性を持たせ、さらに保守性の向上も実装することができた。



大型ヘリカル実験棟（LHD実験室）
（メンテナンス時の仮置き調整）

施行チェックリスト

図 4.1.4.1.　メンテナンス時の配置調整及び施工チェックリスト

4.1.4.2. 真空管理

LHD においてプラズマ実験を行うためには、約 250 m^3 の容積を持つプラズマ真空容器内を 10^{-6} Pa 台まで真空排気しなければならない。この超高真空状態を達成するために装置技術課では、真空排気装置を維持管理し、放出ガスを抑え、リーク量を許容以下とし、実際に真空排気を行う業務を行っている。

真空ポンプは運転時間や日常点検結果に応じてメンテナンスを行っている。例えばターボ分子ポンプの補助排気として使用されるスクロールポンプは、運転時間や運転中の挙動を考慮して、分解清掃のみ、消耗品交換を行う、ポンプを更新するなどの対応を行っている（図 4.1.4.2.1.)。またプラズマ実験期間中におけるポンプの点検が一週間に 1 回しかできないため、遠隔で負荷電流を監視できるシステムを構築し、異常時に早期対応ができるようにしている。

図 4.1.4.2.1. スクロールポンプメンテナンス作業

放出ガスやリーク量を抑えるために、プラズマ真空容器に設置される機器の設計情報を確認、審査している。使用される材料の放出ガスが適切であるか確認をし、使用実績がない材料においては放出ガス測定試験を行っている。また実際に取り付けが可能か、リークが起こりにくい構造であるか、機器のインターロックは適切であるか等、真空装置として適切であるかどうかも確認、審査している。これらの機器を設置するときは装置技術課が立ち合う、もしくは実際に作業を行っており、適切なフランジ接続作業が実施できるようにしている。

プラズマ真空容器を大気圧から超高真空状態へ真空排気する作業は、装置技術課が指揮を執って行っており、リーク試験も装置技術課の業務となっている。リーク試験は実験サイクル間のメンテナンス期間中に脱着作業が行われたフランジを行う。プラズマ真空容器のフランジの約 400 個を全て番号で管理し、フランジ作業は、必ず管理者が立ち合い確認していることもあり、フランジ部分でのリーク個所は多くても全作業フランジ数の 3%程度となっている（図 4.1.4.2.2.)。

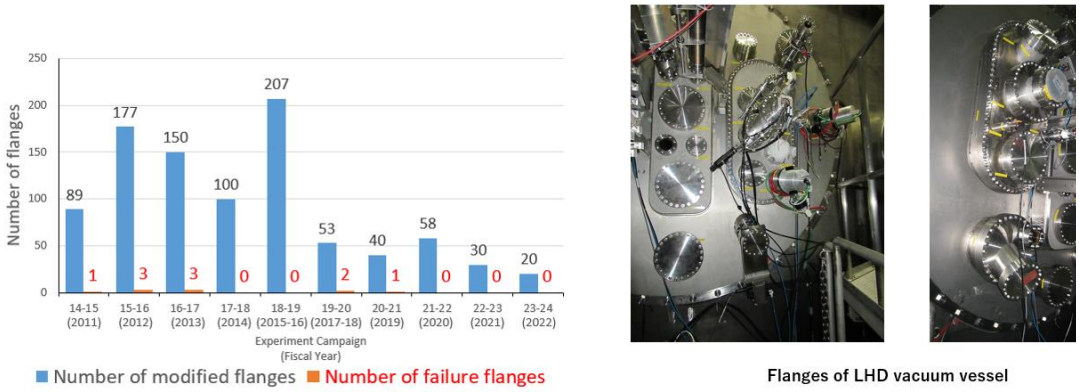


図 4.1.4.2.2 過去 10 年のフランジ作業数とリークフランジ数

4.1.4.3 真空容器、ダイバータ受熱機器の維持管理および機器開発

LHD のプラズマ真空容器内における保護板およびダイバータ受熱板は、プラズマ実験により高い熱負荷に曝され、場合によって損傷する。そのため、実験サイクル毎の点検ならびに損傷箇所の対策が必要不可欠である。そこで毎年、プラズマ実験終了後にメーカとともに真空容器内の合同点検を実施している。

保護板の損傷では、マイクロ波加熱装置による溶損が多数確認された。対策として従前のステンレスと無酸素銅の熱間等方圧加圧(HIP)接合材から、高融点材料のモリブデン(Mo)製保護板に置き換えた。Mo は難加工材料であり、複雑な 3 次元曲面加工が困難であったため、金属メーカとともに加工技術開発を行った（図 4.1.4.3.左上)。現在、約 200 枚の保護板が Mo 保護板に置き換えられ、その後大きな損傷無くプラズマ実験に供されている。

一方、ダイバータ受熱板の損傷は、主にダイバータレッグによる黒鉛（等方性黒鉛：IG-430U）の昇華および熱負荷による亀裂である。対策として、ダイバータ受熱板の材質を耐熱性、耐熱衝撃性の高い炭素繊維複合材（CFC 材：CX-2002U）に置き換えた。しかしながら受熱板に対するダイバータレッグの侵入角が直角に近く、CFC 材に置き換えた後も損傷する箇所があった。そこでダイバータレッグの 3 次元データを CAD に取り込み、受熱板への侵入角を出来るだけ浅くするよう 3D-CAD を用いて受熱板形状を新たに設計した（図 4.1.4.3.左下)。

LHD プラズマ実験の進展に伴い、ダイバータ受熱板の冷却機能をさらに高めるため、従来の間接冷却から直接冷却方式に変更し、プラズマ対向材料を黒鉛からタングステンに変更する計画が進められた。技術部では、タングステンと銅合金の接合に必要となる異種金属接合技術を金属メーカとともに共同開発し、高強度・高信頼性を有するダイバータ受熱機器の製作に成功した（図 4.1.4.3.右)。本受熱機器は 2022 年度に行われる第 24 サイクル実験

に供され、LHD プラズマ環境における材料損傷等を検証する予定である。

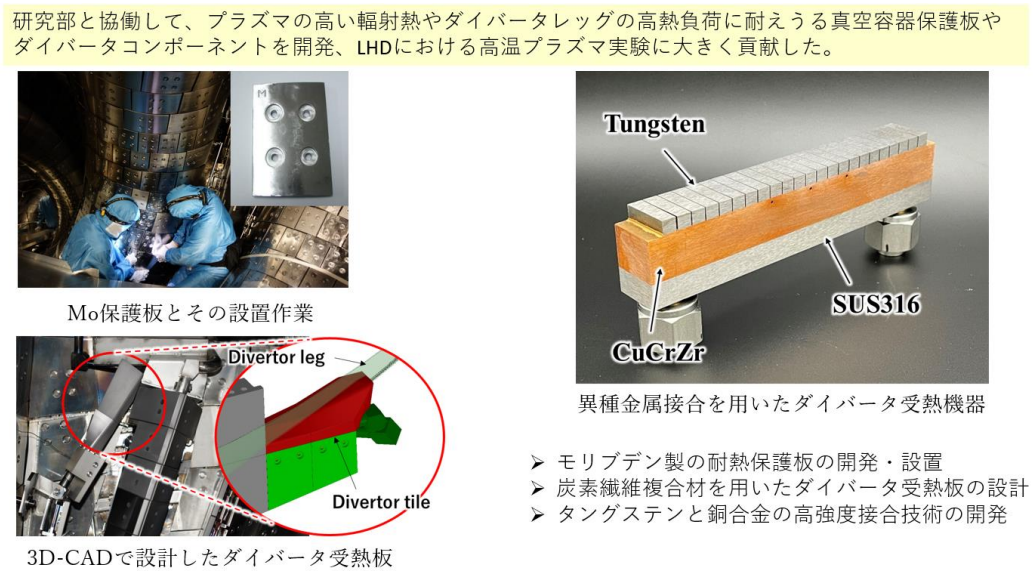


図 4.1.4.3. 真空容器、ダイバータ受熱機器の維持管理および機器開発

4.1.4.4. デマンドリアルタイム監視システム

LHD 実験では大きな電力を使用する装置が数多く使われている。実験中はデマンドが契約電力を超えないよう、技術職員が監視を行っている。従来はデマンドデータを 1 分ごとに配信する web サーバのみを使用して監視していたが、LHD を契約電力以内で最大限に活用するため、1 秒周期でデマンドを監視可能なデマンドリアルタイム監視システム（以下、リアルタイムシステム）を開発した。リアルタイムシステムは、使用電力計測用の電力量計・パルス検出器が一定電力ごとに出力するパルスを、自作のパルス受信ユニットで受信し、カウンタボード内蔵の PC でカウント・表示する（図 4.1.4.4.）。デマンドの画面表示は Visual Basic.NET で作成したプログラムで行った。リアルタイムシステムによって、従来はデマンドの誤差が数百 kW であったのに対し、リアルタイムシステムは 37 kW 程度の誤差となり、デマンド監視の性能が向上した。

図 4.1.4.4. リアルタイム監視システムの構成と画面

4.1.4.5. ガス供給システム

LHD にガスを入射する装置として、実験開始当初から使用してきたガスパフ装置は、重水素実験のために改造すると同時に、LHD 関連機器に高圧・低圧のガスを供給する機能を追加し、ガス供給システムとして整備した（図 4.1.4.5.1. 左)。ガス供給システムが供給するガス種は水素、重水素、ヘリウム、窒素、ネオン、アルゴン、その他（クリプトン、キセノンなど交換可。低圧のみ）である。NBI、HIBP、ジボラン設備、E//B NPA、本体ペレット、TESPEL、不純物ペレットにガスを供給している。

重水素実験を開始するにあたり、ガスパフ装置用のボンベを実験室内から撤去し、ガス種ごとに専用配管を敷設した。LHD へのガス入射ポートは、3 か所（図 5.1.4.5.1. 右の赤丸）とし、ピエゾバルブなどガス入射に関する機器は、各ポートに前述の 7 種のガス毎に設置することとした。

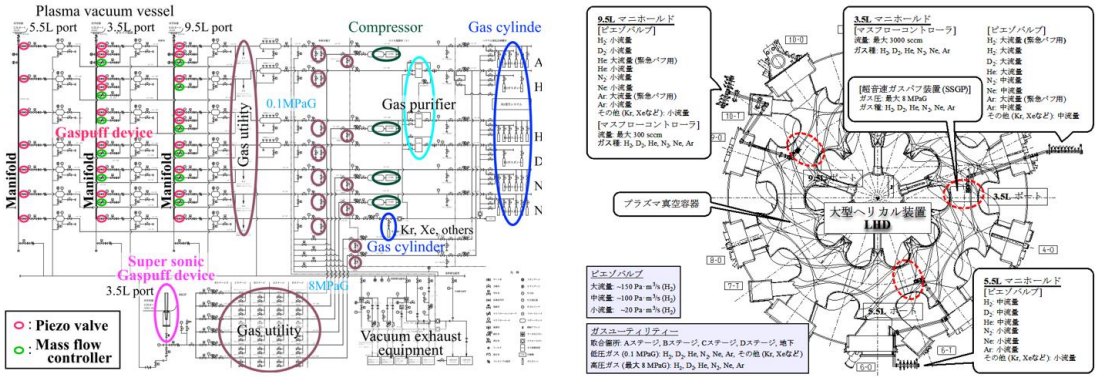


図 4.1.4.5.1. ガス供給システムの系統図

波形出力システムは、ガス供給システムを構成するシステムのうちの一つで、ピエゾバルブに印加する電圧波形を制御することで、入射ガスの制御を行う。制御方式には手動で作成した電圧波形を出力するプリプログラム、制御量が一定になるように電圧を自動制御するフィードバック制御がある。従来のフィードバック制御は比例制御で、制御量が目標値と一致しない課題があり、National Instruments 社の CompactRIO を使用した新システムに更新した。制御プログラムは LabVIEW で作成した（図 4.1.4.5.2.)。フィードバック制御は PI 制御に変更し、プラズマ実験中にパラメータ調整を行うことで、制御量と目標値が一致するようにした(図 4.1.4.5.3.)。また FPGA 内蔵の CompactRIO を採用したことにより、研究者の要望に応じた機能の追加・変更が比較的容易に行えるようになった。

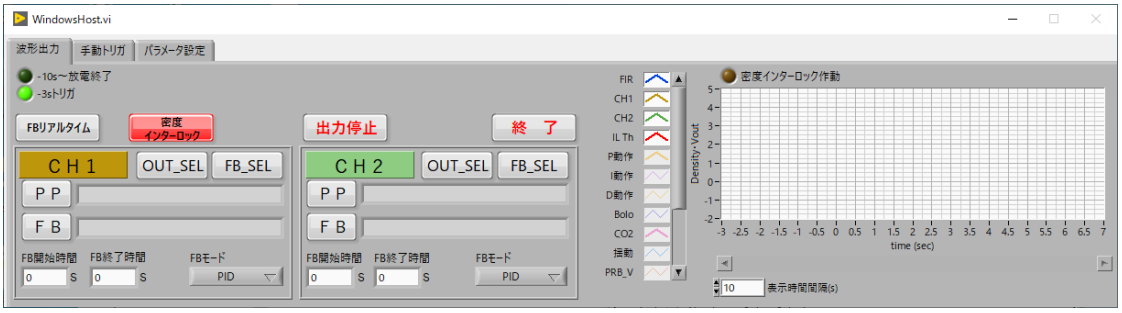


図 4.1.4.5.2. 波形出力システム制御プログラム

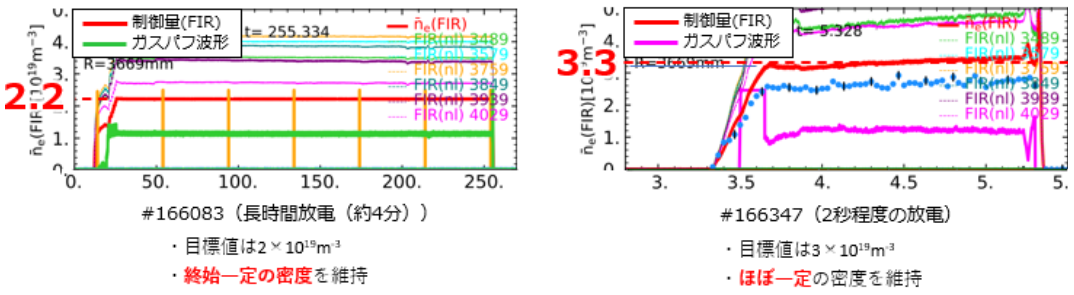


図 4.1.4.5.3. フィードバック制御されたプラズマ密度波形

本更新に伴いピエゾバルブを大幅に増設する必要が生じたが、既存ピエゾバルブのメーカは既に製造販売を終了していた。検討した結果、増設分のピエゾバルブ 23 台は新しく技術部で設計・開発を行うこととした。ピエゾバルブは、ピエゾアクチュエータに印加する直流電圧を変化させノズル開度を制御することでガス流量を制御するバルブである。ソレノイドバルブに比べ、LHD の超伝導コイルによる磁場の影響を受けず、制御電圧に対するガスの流量特性に直線性があり、応答性が 5 ミリ秒と高速であることが特徴である。開発に当たり、真空中での使用材料のガス透過性やガス放出性、LHD のベーキングに対する耐熱性、ガス供給圧に対する耐圧性、重水素実験に対する耐放射線性など、LHD 実験により適した性能となるよう材料や部品を選定し改良を加えた。様々な LHD 実験において制御しやすいよう、大流量、中流量、小流量バルブを開発した。ガス流量設計においては、流量特性が直線性に対するダイナミックレンジを超えるよう機械的設計を行った上で、外部回路により流量特性が最適となるよう調整する方針とした。図 4.1.4.5.4.に、開発したピエゾバルブに流調範囲調整回路を組み合わせ流量特性の直線性を最適化した例を示す。

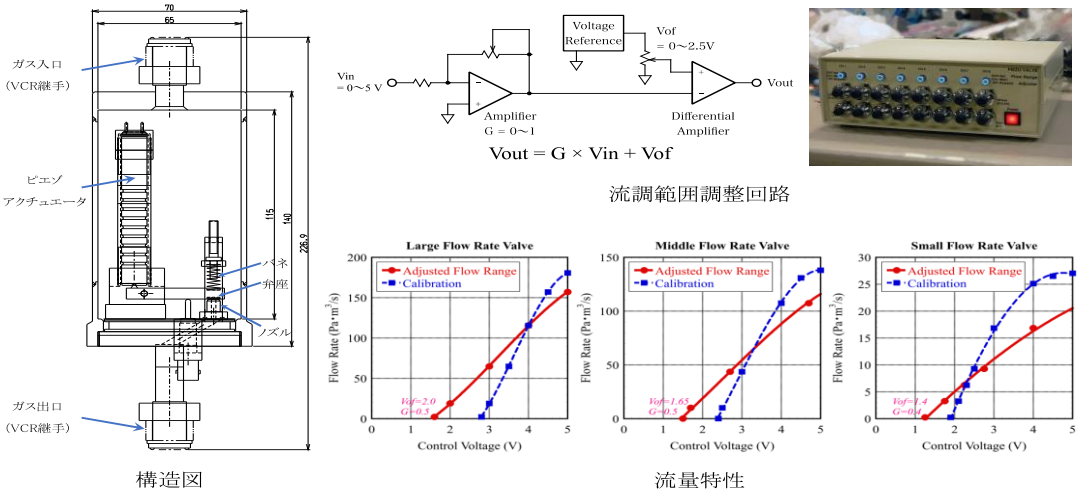


図 4.1.4.5.4. ピエゾバルブの開発

4.1.5. 加熱技術課

加熱技術課は、電子サイクロトロン共鳴加熱装置（ECH）、イオンサイクロトロン周波数帯加熱装置（ICRF）、中性粒子入射加熱装置（NBI）、および共通設備としてのはずみ車付き電動発電機（MG）と加熱機器用冷却水設備を所掌し、これら各装置の運転・保守や試験開発などに関する技術業務を担当している。また、運転保守業務に関しては技術職員のみですべての対応が困難なため一部運転委託（運転員）を行い、その業務管理も担当している。1998 年の LHD プラズマ実験開始以降は、日常の技術業務を通じてこれら加熱装置の運用実績を積み上げるとともに加熱装置の高度化にも意欲的に取り組み、LHD プラズマ実験への支援責務に真摯に応えている。2005 年にはプラズマ計測を目的とした NBI4 号機の増設、2010 年にはプラズマ制御を目的としたプラズマ生成制御装置（NBI5 号機）の増設、2015 年には NBI4 号機加速電源の昇圧化改造、2016 年からは LHD 重水素実験に向けた NBI 電源等の放射線遮蔽や管理区域内における保守整備環境の構築にも取り組んだ。ECH においては 77 GHz および 154 GHz ジャイロトロンの増設、導波管およびマイクロ波入射ミラーの改良、ICRF においては定常運転対応発振器の増設、アンテナや同軸管の改良などに継続的に取り組むとともに運転にも携わり、それぞれ世界最高の性能実績をあげた。MG においては 10 年周期の大規模オーバーホールに課として主体的に取り組んだ。これら加熱技術課の業務成果は、2017 年から開始された LHD 重水素プラズマ実験でのイオン温度 10keV 達成に結実している。年間を通しての技術職員の業務を挙げると次の通りである。実験期間の約半年間は、主に各装置の運転及び日常点検の業務に就き、運転にかかるデータ計測やログ管理等を含め、加熱装置の安定で安全な運用に努めている。特に NBI の運転では装置能力を最大限に発揮させるために、連日、実験開始前と終了後に数時間のコンディショニング運

転を実施している。他の加熱装置についても同様にコンディショニングや調整運転を実施しているため実験期間中はシフト勤務態勢で対応している。実験期間以外の期間は、装置の年次点検や改造・改修及び開発や調整試験に関する技術業務に就き、年間を通じて切れ目のない業務の内容と量をこなしている。以下に業務の一例を示す。

4.1.5.1. 電子サイクロトロン共鳴加熱装置（ECH）

2007 年度から MW ジャイロトロン（1 MW 以上の発振管）の導入が始まり、伝送路の真空化と冷却強化に取り組んだ。大気仕様の伝送路の真空化にあたり関連部品（パワーモニター、切替器、その他）を技術部が設計・製作し 10^{-2} Pa 程度の伝送路内真空度を得た。これにより、500 kW 程度のマイクロ波伝送が限界だったところ 1 MW の伝送に耐えられるようになった。MW ジャイロトロンの導入にあたり、旧ジャイロトロンの保管、新ジャイロトロンの設置、調整運転、LHD 実験でのオペレーションまで、研究部の協力を得ながら技術職員が中心となって行った。調整運転時に使用するダミーロードも、従来品は MW 級やロングパルスのパワーに非対応であったため、研究部と協力しながら MW 用ダミーロードを開発し実用化した。真空容器への入射アンテナの移設に伴い、アンテナと伝送路の設計から設置まで担当した。プラズマに吸収されなかったパワーが LHD 真空容器の内壁を損傷させる、あるいはジャイロトロンの動作に悪影響を与えるといった問題に対し、パワー吸収が悪い時にジャイロトロンの動作を停止させる入射インターロックを作成した。当初、停止条件が確立しておらず条件設定に柔軟性が求められたため、マイコンを用いたプログラマブル回路を導入し、現在では FPGA とリアルタイム OS 端末を内包した CompactRIO に置き換え、ショット毎に検証して条件を変更することが可能になった。CompactRIO は入出力の構成も柔軟に変更することができるため、多種多様な信号を利用したブースト実験（必要時に ECH を入射してプラズマ制御を行う実験）に利用できることが分かり、研究者からの要請に合わせ、適宜プログラム等を変更している。これらのオペレーションスタッフとして技術職員が機器の運用を行っている。

LHD 実験ではジャイロトロン運転に対する様々な要求があるため、操作ミスを防ぐためのセミオート式パラメータ入力支援システムを開発した。制御室にいる研究者が次のショットで希望するパラメータを入力すると RF 現場制御室にある端末にパラメータが表示され、それを RF 現場制御室にいるオペレータがチェックし、機器の調子を勘案のうえ適切なパラメータに修正を加えることで各機器にパラメータが伝送される仕組みとなっている。これに加えて、研究者の要請に応じてデータ収集、表示、制御等の各種ソフトを作成し運用している。また入射位置を決める偏波器やアンテナにおける駆動速度を高速化してほしいとの要望を受けた。そこで、サーボモータを導入した結果、実時間制御実験も可能となるほどに駆動速度が改善した。その他、真空容器内の対向壁溶損対策として、対向壁の設計、設置も行った。これまで手動であったジャイロトロンと高圧電源間のケーブル結線切り替えを自動で行うための遠隔切替器の設計・製作・設置を行った。このほかに、光渦実験、岩石

破砕実験といったECH設備を利用した共同研究等が行われるようになり、これらに必要な装置、設備等の設計・製作・設置・オペレーション等にも携わっている。図4.1.5.1.は運転監視画面と入射インターロックの開発事例を示す。

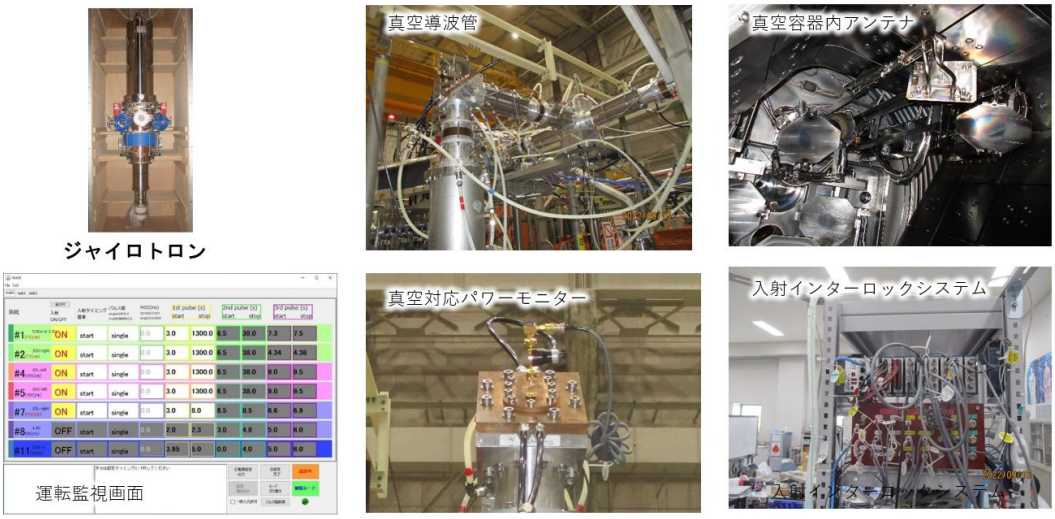


図4.1.5.1. 運転監視画面（左）と入射インタロックシステムの開発例（右）

4.1.5.2. イオンサイクロトロン周波数帯加熱装置（ICRF）

ICRFでは2007年度から発振器が2台増設され、伝送路も2系統が新たに整備された。真空容器内のアンテナ（図4.1.5.2. 右）は新しく2ペア（4台）交換し、最大で6台のアンテナからの入射が可能となった。重水素実験ではこの新しいアンテナ（4台）からのみの入射となっているが、短パルスでは1台当たり約1 MWの入射を行っている。その中で、これまでのアンテナでは設計から設置までメーカが主体で行っていたが、新アンテナの内導体ではメーカによる製作だけでなく、技術部が中心となって設計から製作までを、そして設置においても行った。また、各装置の制御システムにおいてもメーカによって作られたシステムなどから技術部で製作したシステムに変更した。その一例としてはスタブチューナーの制御がある。重水素実験への対応では、中性子による機器の損傷をさけるため本体室に設置されていた制御機器を安全な場所に移設した。また移設することが不可能なアンテナ監視カメラは、真空容器内を直視しないようミラーで写した像を取込み、そしてレンズ前には、透明なアクリルブロックを置くという遮蔽対策を行った。次に新アンテナの内導体の設計・製作について紹介する。新アンテナでは、その同軸部より発振器側の伝送路、特にセラミックフィードスルー部での電界及び電流を下げるため（放電によるセラミック損傷を防ぐ）にアンテナの内導体に最適インピーダンストランスフォーマー形状を採用した。図5.1.5.2.は

新アンテナのインピーダンストランスフォーマーとその断面図を示している。このインピーダンストランスフォーマーは、それまでの内導体（同一径のパイプ）と異なり非常に複雑な形状をしている。そのため、製作費の増加が考えられることから一部を除きその内導体を技術部で製作した。製作にあたっては研究者からの解析図を基に製作図を作成するためのデータ化や製作図の作成も技術部が担った。ただし、内導体は約 3 m もあることから、複数のパーツに分けて製作し、そのパーツの結合は外注した。そして、それをアンテナ製作メーカに支給した。このインピーダンストランスフォーマーの導入以後、セラミックフィードスルー部はもちろん、大気側の伝送路でのブレイクダウンが発生しておらず、計画通りの実験遂行につながっている。

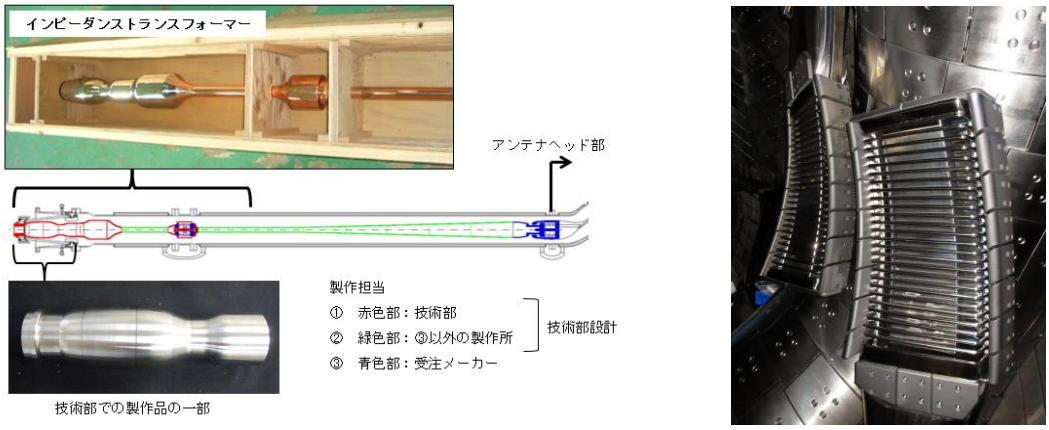


図 4.1.5.2.　ICRF アンテナ（右）のインピーダンストランスフォーマーとその断面図

4.1.5.3. 中性粒子入射加熱装置（NBI）

NBI では、第 14 サイクル実験(2010 年)から垂直入射の正イオン源ビームライン（NBI5 号機）が増設された。現在 5 台の NBI（1～5 号）の運転・保守・メンテナンスを行っている。重水素実験（第 19 サイクル実験（2017 年））が開始される前の第 17 サイクル実験終了後に、NBI4 号機を重水素ビームに対応するため、加速電源を 40 kV から 60 kV に増強する改造が行われた。重水素実験に合わせて、全ての NBI で重水素ビームの入射を行っている。

【NBI5 号機の運用】

NBI5 号機の増設に伴い、データ計測システムの開発を行った。そのシステムでは、各種電源の電圧・電流、受熱機器及び冷却水の温度、真空度、クライオポンプの温度等 200 点以上を計測している。また、ショットごとにビームのプロファイルを表示し、コンディショニングに役立てている。LHD への入射としては、軽水素で 6 MW、重水素で 10 MW の入射を実現している。第 22 サイクル実験からは、新たにヘリウムビームの入射を開始した。ヘリウムアーク放電後のフィラメント損傷のリカバリー方法を確立し、安定してビームを

入射することに成功している。このことは、研究の幅を広げることに大きく貢献した。

【イオン源のメンテナンス（1～5 号機)】

各実験サイクルの終了後のメンテナンス期間には、イオン源は簡易点検後、メーカに持ち帰り整備を行っていたが、重水素実験開始より管理区域外へ持ち出すことができなくなったため、管理区域内に作業を行う場所として保守作業室を準備した。保守作業室内には集塵機を備えたグリーンハウスを設置し、その中で電極や絶縁管の研磨を行う。また、現在整備作業は、14 台あるイオン源のうち半分ほどは所内作業として技術部員を中心に行っており、コスト削減に貢献している。整備の技術も向上してきており、今後はすべて所内作業で行うことを検討している。図 4.1.5.3. はイオン源整備作業の様子を示す。

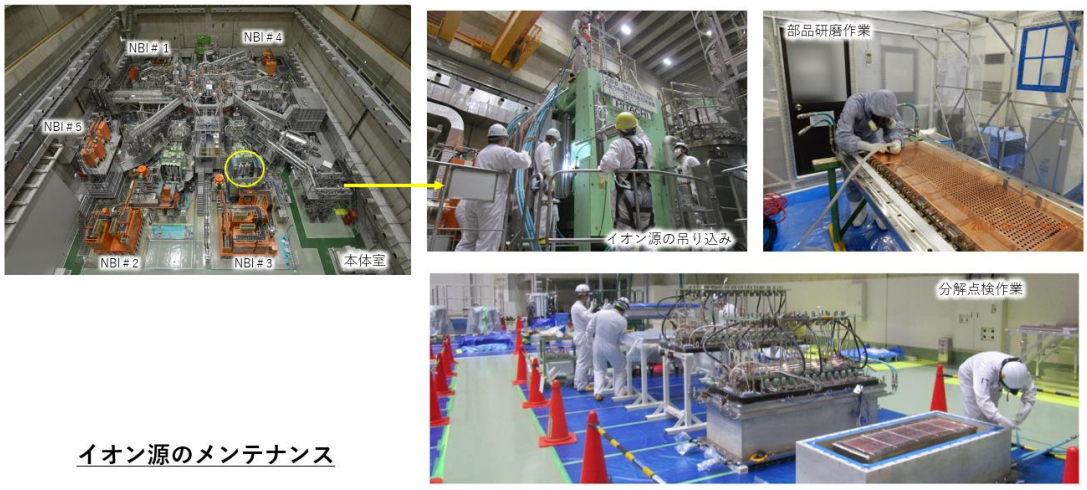


図 4.1.5.3.イオン源の分解点検作業

4.1.5.4. はずみ車付き電動発電機（MG）250 MVA と加熱機器用冷却水設備

MG は、NBI、ECH にパルス大電力を供給している。MG は、これまで 19,991 ショット、32,307 時間の運転を行った（2021 年度末現在)。実験期は、午前 7 時から巡回の後起動、午後 8 時半ころ停止、終業巡回の業務を 2 人シフトで対応している。2008 年-2022 年の間にオーバーホールを 2 回、絶縁診断を 2 回、制御計算機を 2 回更新している。近年、各種制御盤、減圧水槽などを更新している。大きなトラブルとしては、2012 年の上部油冷管の漏水（水と油が混ざった現象）があった。2013 年にはコレクタリングとブラシ間での火花放電によるコレクタリングが溶損した。対策としてブラシを振動に強いラバー付きに交換した。現在は、定期的にブラシ清掃や固着の確認、長さの点検を行っている。

加熱機器用冷却水設備は、ECH、ICH、NBI の加熱装置を冷却する装置である。流路は管理区域を循環する系統 2 と管理区域外を循環する系統 3 に分かれている。系統 2 は 2.73 Mcal/h、系統 3 は 6.1 Mcal/h の能力を持つ大規模設備である。放射化区域に指定される前に、放射化域内の廃棄物を削減する目的で純水製造装置（フィルター、イオン交換樹脂類）

を放射化区域外に移設した。2019 年度には老朽化のため PLC の更新、2020 年度には故障発生時にメールで自動連絡が送られるシステムを導入し故障時に迅速に復旧対応を可能とした。

4.1.6. 計測技術課

計測技術課は、LHD 計測装置、計測データ収集システム、放射線監視機器の担当をしている。また、他の課や研究職員と協力し、放射線管理に関わる役割も担っている。

LHD 計測装置としては遠赤外レーザ干渉計（FIR)、トムソン散乱計測装置、重イオンビームプローブ（HIBP）の主要計測を中心に開発、運転、保守業務等を行ってきた。その他の計測機器についても、計測運転員の支援を受けながら運転、点検、保守の支援を行い、LHD 実験の遂行に貢献してきた。

計測データ収集システムに関しては、大幅に増加したデータ量に対応すべく、各ストレージの増強を行い、LHD プラズマ実験の安定稼働に貢献してきた。このことは情報通信システム部の業務でもあり、章 6 項で詳細を紹介する。また、LHD 重水素実験開始により生じる放射化試料を対象にした管理システムの開発も行い、重水素実験の放射線安全管理の支援も行ってきた。

重水素実験に向けた準備が始まると、章 4 項でも紹介したように、他の課の協力を得ながら準備作業を支援してきた。まず、中性子線・ガンマ線対策として貫通口処理を遮蔽計算から始め閉止処理の施工までを行った。また、放射線管理上重要な中性子検出器の設置、その場較正実験の支援を主体的に行うとともに、放射線管理機器であるガス・ダストモニタシステム、排気塔トリチウム捕集装置、排水モニタ等の放射線計測装置の整備を行ってきた。また、それらの放射線管理機器等の情報を集約して一元的に管理し、異常時には LHD 実験を自動停止させるインターロック機能を有する放射線総合監視システムの整備も行った。さらに、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置、高純度ゲルマニウム半導体検出器等の放射線測定機器の導入も行い、放射線測定の環境を整備してきた。重水素実験開始後は、これらの機器の点検や定期的な保守を行い、安定運用に貢献すると共に、放射線測定機器による汚染検査及び環境放射線の測定業務、管理区域内の作業管理をはじめとする放射線管理の業務も行い重水素実験の安定的な遂行に貢献してきた。

4.1.6.1. 計測装置への技術支援及び運転支援

計測技術課は、LHD の FIR、トムソン散乱計測装置、HIBP を中心に計測装置の運転、保守、開発、改良を支援してきた。例として、FIR 及びトムソン散乱計測装置のレーザ室の入退管理システムの開発・設置と HIBP の新イオン源の開発を研究者と協力して行ったので報告する。これら以外の計測器に対しても、計測運転員の支援を受けて、実験開始前のレーザ等の計測装置の立上げ、実験中の稼働状況の監視、実験終了後の装置の立下げ、メンテナンス期間の日常点検、保守、改良作業の支援も行ってきた。

【レーザ室の入退管理システム】

FIR、トムソン散乱計測装置では強力なレーザが使われているため、安全のために不用意に人がレーザ室に入らないように制限する必要がある。そのため、職員証による入退管理システム(図 4.1.6.1.1.)を技術部で開発しレーザ室に設置した。また、レーザが発振中であると認識しやすいように、入口付近に表示を付けるなどの整備を行い、レーザの安全運用に貢献してきた。

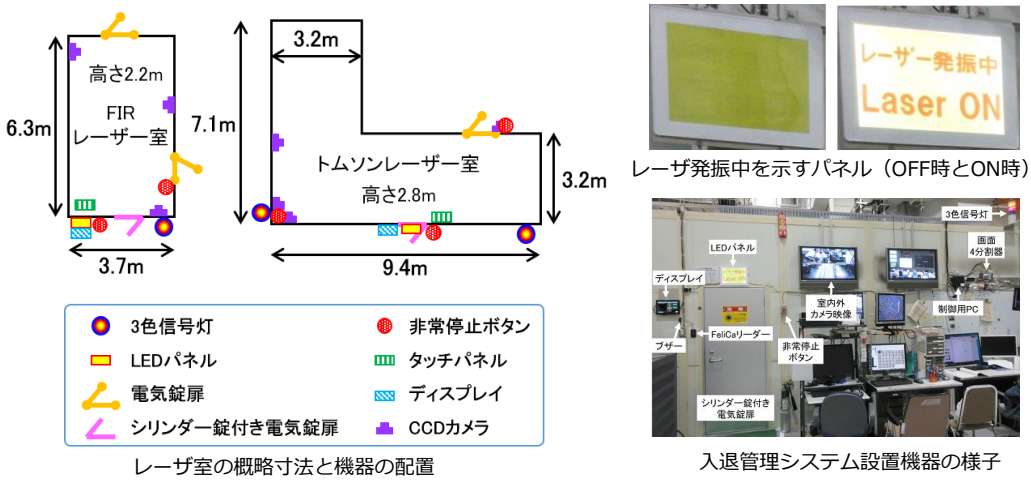


図 4.1.6.1.1. レーザ室の入退管理システム概要

【HIBP 新イオン源の開発支援（図 4.1.6.1.2.)】

重イオンビームプローブ：HIBP (Heavy Ion Beam Probe)は、プラズマの閉じ込め性能を研究する上で重要なプラズマ電位を計測する装置であり、LHD において重要な計測機器の一つとして位置づけられている。HIBP は、 6 MeV に加速された Au イオンビームを使って LHD のプラズマ電位を計測する。HIBP による計測では、LHD のプラズマの密度が高くなるにつれて、イオンビームの減衰が大きくなり計測精度が悪くなることが知られている。そこで 2021 年度の第 23 サイクル実験からビーム電流をより引き出すことができる新イオン源を設置することになりその技術支援を行った。HIBP ではタンデム加速器を使用するため、負イオン源を採用している。負イオンビームを安定に高出力で引き出すために、テストスタンドに於いて負イオン源へのセシウム導入量や負イオン源運転パラメータの最適化を行った後、LHD 本体室に負イオン源を移設した。さらに、ビーム輸送系の最適化、冷却水の管理、遠隔運転制御系の整備、漏水センサーの設置など総合的に技術支援が必要であった。研究者と共に R&D を繰り返した結果、導入セシウム量や加速電圧などの調整により旧イオン源の 2 倍にあたる 40 μA の負イオンビームを安定にタンデム加速器に入射でき HIBP によるプラズマ電位計測の計測精度と稼働率の向上に貢献することができた。今後は更にビーム形状や位置の調整とともに、ビーム引き出し条件の最適化に貢献したい。

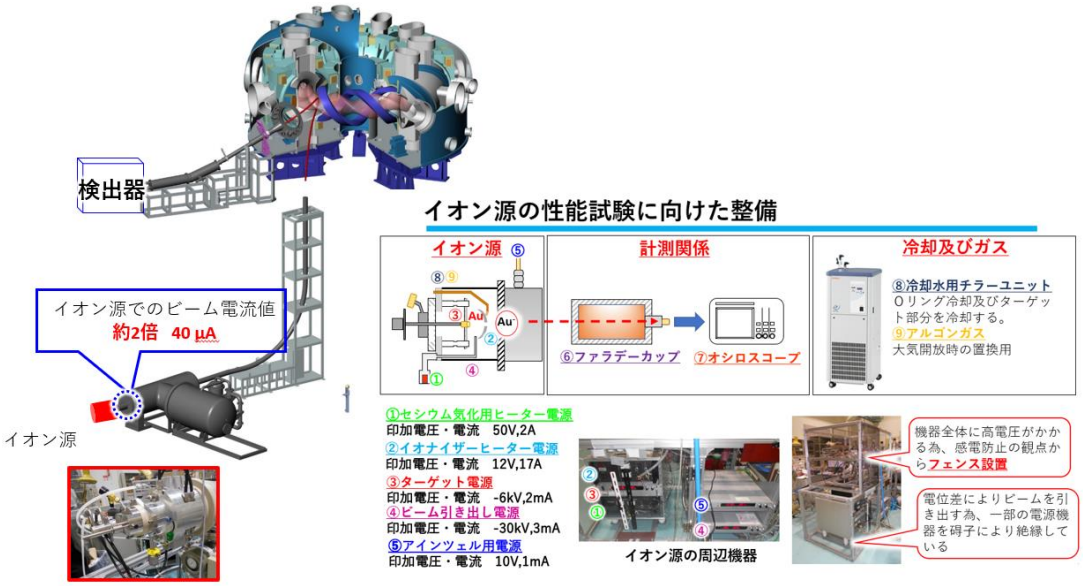


図 4.1.6.1.2. HIBP 新イオン源の開発支援

4.1.6.2. 放射線管理

重水素実験に向けて、計測技術課は放射線対策として、管理区域入退管理システム、ITV システム更新、貫通穴処理等の施設整備を他の課と協力して実施してきた。また、放射線監視装置（RMSAFE）の更新、本体室ガス・ダストモニタ、排気塔ガス・ダストモニタ、排気塔トリチウム捕集装置、排水モニタ、排水タンク、ハンドフットクロズモニタ、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置や高純度ゲルマニュウム検出器等の放射線監視機器及び放射線測定機器の仕様書作成から設置といった多様な業務を行った(図 4.1.6.2.)。

重水素実験開始後は、これらの機器の日常的な点検を行い、不具合等あれば対応を行うことにより安定運用に貢献している。また、メーカによる年次点検も実施している。排気塔トリチウム捕集装置を例にとると、この装置は排気中のトリチウム濃度を最終的に決める重要な機器であるため、装置の故障等で計測が途切れることがないようにバックアップも含めて 3 台を運用している。日常的に異常がないことを点検すると共に、ポンプのダイヤフラムの定期交換等の保守作業を確実に行っている。この装置は、触媒酸化法を用いており定期的にカラムの交換が必要である。カラム内に捕集されたトリチウムは焼き出し作業によって抽出され、捕集されたトリチウムを含む試料とされる。作成された試料は、低バックグラウンド液体シンチレーション計数装置で測定することにより、詳細な排気中のトリチウム濃度（下限値は～10^{-9} Bq/cm^3）を導き出すことができる。これらの一連の作業を技術部で毎週行っている。

また、計測技術課には、放射線取扱主任者、放射線管理室長、複数の放射線管理室員が所属していることもあり、放射線管理業務も行っている。放射線作業管理、汚染測定、排水業務、RI 廃棄物の処理等を行い、研究所の放射線管理に貢献している。

図 4.1.6.2. 更新、及び新規に設置した放射線測定機器

4.1.7. 制御技術課

制御技術課は、LHD の基幹設備である中央制御、超伝導低温システム、コイル電源制御、及び情報基盤ネットワークの技術開発と運転管理を担当する。また、高度な制御技術を活用して研究に必要な各種装置等の制御システム開発支援にも対応し、研究活動に大きく貢献している。

LHD に関わる各種実験装置を協調的に統括制御する中央制御装置は、建設期から設計、構築に携わり、LHD の真空排気や超伝導コイル冷却等の運転工程の調整、NBI・ECH・ICH 等の加熱機器や計測機器のプラズマ実験のプラズマショットタイミング調整、及び各機器の安全運転のためのインターロック管理等を安定に遂行するため尽力してきた。中央制御装置の製造業者の保守対応終了に伴って、中央制御システムのハード・ソフトの全面更新にも対応してきた。パラメータ設定、データ収集・表示、データ配信などのマンマシンインターフェース機能については、プログラミングから試験・運用までを一貫して担当しており、必要に応じて改良・更新作業も行っている。さらに重水素実験に向けた大幅なロジック改造と設備の移設にも対応した。また、中央制御室や LHD の各制御装置を集約している制御棟の制御電源を保証する無停電源装置の管理やユーティリティ機器の維持運用も担当している。

LHD 低温システムは、超伝導コイル等を超伝導状態に冷却・維持する大型超伝導冷凍システムであり、ヘリカルコイル系・ポロイダルコイル系・超伝導バスライン系・ヘリウム液化冷凍機系及び低温制御系の各装置で構成されるが、各系統に担当を当て責任を持って業

務に当たっている。低温システムの業務は多岐にわたり、計測機器開発からシステムを長期間安全安定に運転継続するための運転・保守管理、さらには高圧ガス保安法に基づく運用も担当してきた。低温制御システムは、建設当初から業者と共同で技術開発したシステムの安定性を高めるため、実機と同システムに構築したテスト環境で確認を繰り返しながら運用してきた。また低温制御システム各機器の保守性の低下に伴い、大幅な機器及びプログラム更新を行うことでシステムの簡略化と共に信頼性が向上した。大型超伝導冷凍システムの複雑な運転に対応するため、独自に構築した自動運転制御シーケンスプログラムと併せて、長期連続運転を実現し安定な LHD プラズマ実験環境の提供に貢献してきた。超伝導コイルの励磁電源であるコイル電源装置では、電源装置の保守管理を担当するとともに、オペレータの設定ミスを防止するための電流値自動計算プログラムを構築し、実験磁場を精度良く安全に制御することを可能としている。

制御技術課では、これまでの多方面で様々な制御開発や大型計算機の管理を含むネットワークシステムの運用等に携わってきた。LHD 実験が進行し高度化する中で要求される業務内容の多様化に伴い、学術情報通信システムの開発・運用を集約し、効率的に作業を進めることを目的とした、情報通信システム部が発足し、運用班として、拡充する業務を分担してあたることとなった。情報通信システム部では、制御システム開発・運用、基幹情報システム開発・運用、及び情報基盤ネットワークの保守管理・セキュリティ管理を担当する。情報通信システム部運用班で依頼を受けた制御開発業務として、真空容器加熱冷却システム、HIBP、ペレット入射装置制御系の更新、さらには新規整備機器の制御系構築として、TESPEL 入射装置、閉構造ダイバータ冷凍機真空層排気装置、非蒸発型ポンプ等、より高度化した研究開発課題に貢献するため研究者と協力しながら進めてきた。また、ネットワーク関連として、所内 LAN 、LHD 実験 LAN や Web システムを担当しており、キャンパス情報ネットワーク機器の更新、標的型攻撃検知システムの導入、ワンタイムパスワード認証を利用したメールシステムの導入に対応した。制御システム開発及び情報基盤ネットワークの業務紹介については、章 6 項の情報通信システム部で紹介する。

4.1.7.1. 中央制御装置の運転保守と改修

中央制御装置は、LHD を構成する 40 以上の機器を協調的に運転するための基幹設備である（図 4.1.7.1.）。プラズマ実験においては、柔軟で正確な「シーケンス制御」および「タイミング制御」が求められるため、専用のコントローラが用いられている。さらに LHD では、大電力、高磁場の装置を扱うため、約 1000 点のセンサーによる「本体監視」と、リレーロジックによる「保護インターロック」を組み合わせることで、高い安全性を確保している。

技術部は、LHD 建設当初から、中央制御装置の仕様策定および運転保守に主体的に取り組んできた。特に、柔軟性が求められるパラメータ設定、データ収集・表示、データ配信などのマンマシンインターフェース機能については、プログラミングからテスト、運用までを

一貫して担当している。LHD の実験開始から 15 年が経過した 2012 年度には中央制御装置を構成するハードウェアの全面更新を複数年計画で実施した。また 2015 年度には、重水素実験に向けて大幅なロジックの改造と、設備の移設を行った。重水素化については、従来中央制御装置が担っていた放射線安全管理機能を放射線総合監視システムと協調する形へ変更した他、インターロックに関係する計装機器を放射線の影響が少ない本体室地下へ移設している。

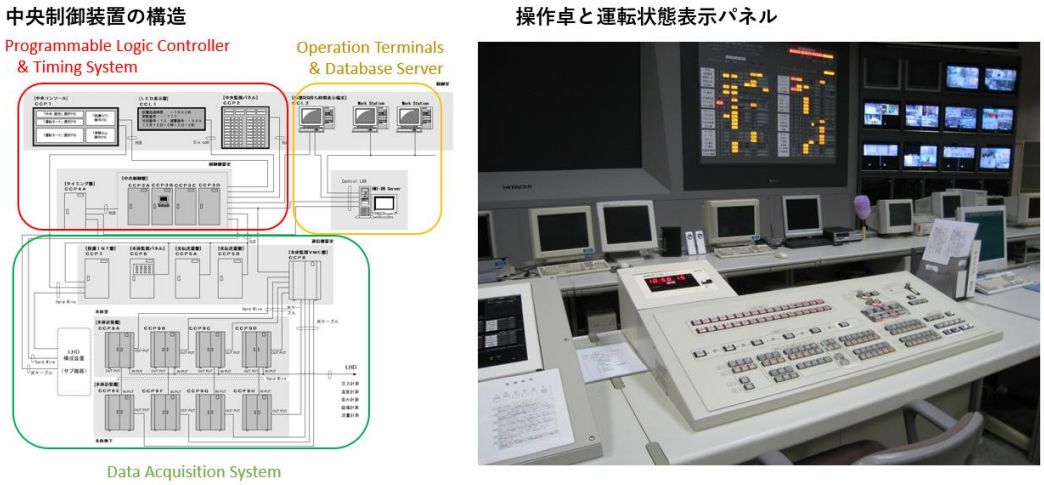


図 4.1.7.1.　LHD 中央制御装置

4.1.7.2. LHD 低温システム

制御技術課では、低温機器に関する業務全般を担当し、主に LHD の基幹設備である LHD 低温システムの運転・保守・改造から高圧ガス保安法の対応を含む運用維持管理、及び運転プログラム開発や低温制御システムの大幅な更新の対応を行っている。運転中には 24 時間の状態監視体制を取り、不具合の早期発見・対応や異常発生時の早期復旧のための迅速な修理・改善及び適切な改造を行うとともに、さらなる高信頼化や効率化も図ってきた。

LHD 低温システムは、冷却重量 820 ton の大型超伝導システムを、9 kW@4.5 K の冷凍能力を有するヘリウム液化冷凍機で冷却する国内最大級の極低温冷凍システムである。実験計画に基づいたプラズマ実験期間中に超伝導状態を数ヶ月間維持する長期間連続運転を行うため、高い信頼性が必要とされる。LHD 低温システムの運転は、ヘリウムガス系統内の不純物残存量を 100 万分の 1 以下まで除去する精製運転、超伝導コイルや支持構造物が熱ひずみにより変形しないよう寒冷との温度差を 50 K 以内に管理しつつ寒冷流量分配を制御しながら 1 ヶ月かけて 4.4 K まで冷却する予冷運転、3〜5 ヶ月間のプラズマ実験が行われる定常運転を経て、加温運転により室温に戻し、メンテナンスのため停止する（図 4.1.7.2.1.）。

1998 年の LHD 低温システム運転開始からこれまで 22 年で 23 回の約半年間に及ぶ長期連

続運転と 10 万時間の積算運転を達成し、99%を超える高い稼働率で安定なプラズマ実験環境の提供に貢献してきた（図 4.1.7.2.2.)。

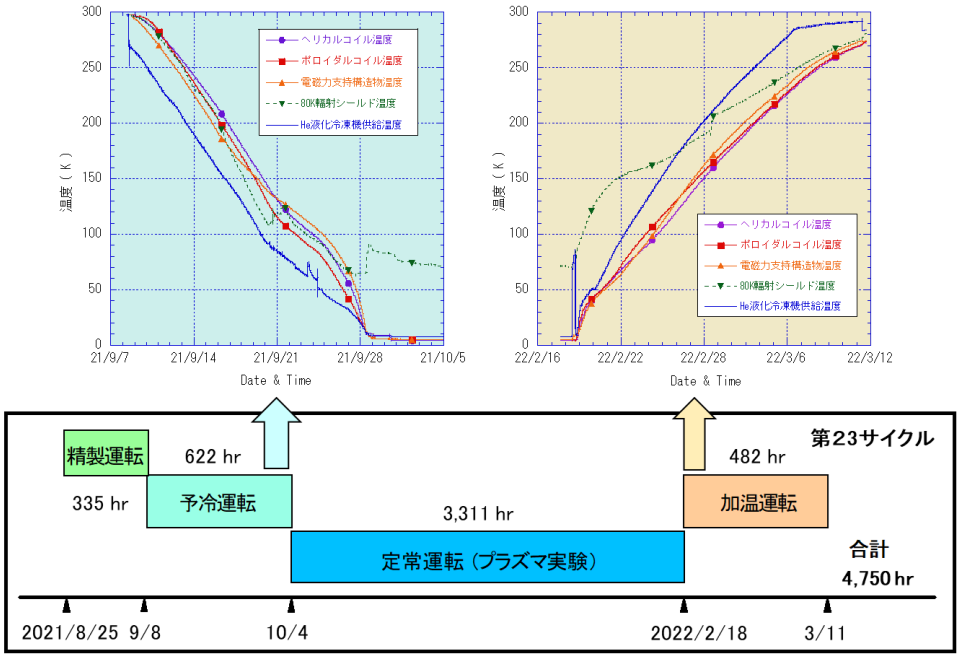


図 4.1.7.2.1. 第 23 サイクル LHD 低温システム運転経過

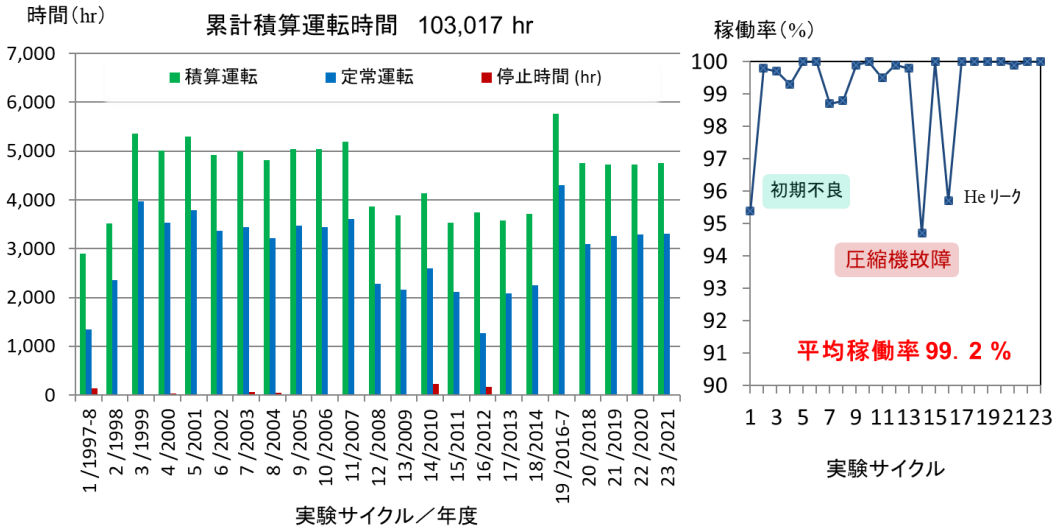


図 4.1.7.2.2.　LHD 低温システム運転実績

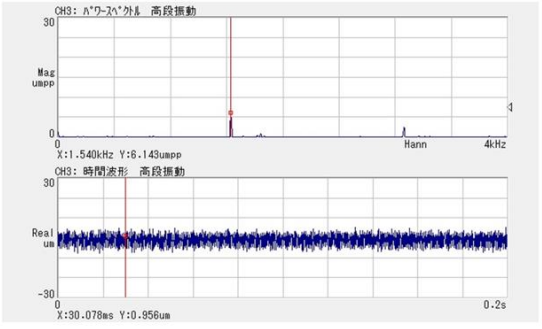
LHD 低温システムは、高圧ガス保安法冷凍則に基づき運用される閉サイクルのヘリウム冷凍システムであり、大風量の大型低温システムである．予冷及び加温運転に 1 ヶ月を要するため、年に 1 回約半年間の安定な長期連続運転を達成することが要求される。このためにはシステムの高い信頼性を維持する必要があり、定期的な保守管理が重要となる。高圧ガス保安法に基づく定期自主点検に加え、保守点検としてメーカ推奨及び故障履歴に基づいた計画を立て実施している。運転中に起こった故障等の箇所は故障記録を基に点検・交換の周期及び可能な限りの改善内容の見直しを行っている。また、現場の日常点検を重視し、約 400 点の日常点検を行い、点検データを数値化することで運転状態の傾向や分析を行っている。低温システムの心臓部であるヘリウム圧縮機をはじめとする多くの回転機器については、振動測定による振動解析を行い、機器の重大な故障を未然に防ぐ事前診断により、異常の早期発見を可能なものとしている。例えば、第 14 サイクルの精製運転中に定期振動測定でヘリウム圧縮機の異常振動を認め、振動解析によりベアリングに異常があるものと判断されたため、停止して緊急点検を行った。その結果、振動解析で予測された通りスラストベアリングの損傷が見つかり、部品交換・補修を行うことで、無事、早期復旧・運転再開に至った。さらに次年度のメンテナンス期間で原因調査に基づきベアリングの強化や点検周期の見直し等の恒久対策を実施した。これらのデータはメンテナンス期間における改造・対策の可否判断にも利用し、適切で効率的な保守管理に努めている。

低温制御システムでは老朽化による機器故障の増加や構成機器の保守性が低下してきたため、制御システムの簡略化と高信頼化を目指して低温制御システムを改造した。従来の分散化した VME コントローラ主体のシステムからリモート I/O を用いたコンパクト PCI コントローラ主体の最新システムに更新した。CPU、LAN、リモート I/O をそれぞれ 2 重化し、故障診断機能による自動切替を行うシステムとした。システムの大幅な更新により、LHD の実験計画に影響を与えないよう、これまでの運転で実績のある制御ソフトウエアは継承し、さらに 2 年かけて 1 系統ずつ慎重に動作・互換性を検証しながら更新する対応を行った。これまで、低温制御システムに起因する大きなトラブルは発生していない。LHD 低温システムは、寒冷を発生・回収するヘリウム液化冷凍機、被冷却体である超伝導ヘリカルコイル、超伝導ポロイダルコイル、電磁力支持構造物、80 K 輻射シールド、超伝導バスラインおよび電流リード、各熱負荷体への寒冷配分を制御するバルブボックス、及び低温制御システムで構成される。ヘリカルコイルは過冷却ヘリウムの流動冷却、ポロイダルコイルは超臨界圧ヘリウムの強制冷却、電磁力支持構造物と超伝導バスラインは液体ヘリウムの 2 相流強制冷却によって冷却される。これらの寒冷に加え、80 K 輻射シールドへの冷却ヘリウムガスも同時に 1 台のヘリウム液化冷凍装機から供給および回収される。このように、ヘリウム液化冷凍装機と被冷却体が密接に結びついた一筆書きの系統となっており、各装置間の連携をとった統合した操作が必要な複雑なシステムとなっている。この運転操作は、基本動作及び非常時の処理動作は低温制御システムのプログラムにより自動で行われるが、タービン起動時やヘリウム液化開始時等のモード移行時は状態変化が大きく複雑な圧力及

び温度変化を伴うため、個々の自動弁操作等は都度適切な判断をしつつ、手動で調整する必要がある。このため運転要員の負担軽減、誤操作防止、及び安定且つ継続的な運転を可能とする自動化運転プログラムを構築した。精製運転 25 個、予冷運転 50 個、加温運転 25 個の個別シーケンスプログラムを新たに作成し、時間・温度・液面の条件で制御する。これにより、モード移行タイミングが明確となり、運転操作が容易となった。また、自動化運転が確立したことで、各サイクルの運転データと現在値との相違の監視により、故障箇所の早期発見にも寄与した。

プラズマ実験の高度化に伴い、さらなる高磁場励磁を可能とするため、ヘリカルコイルの冷媒温度を下げることで冷却安定性を改善する改造が行われた。サブクールヘリウム発生装置をヘリカルバルブボックスに追加し、ヘリカルコイル温度を 4.4 K から 3.8 K まで低下させる。この装置の主要機器であるコールドコンプレッサは、高精度で製作された回転機器であり、分解点検によりローターと軸受部の緻密な交換作業が不可欠である。このメンテナンス作業は放射線管理区域内で行うため、技術職員が特殊技術を習得し、作業に必要な工具や精密測定器を整備して自ら行うこととした。分解点検で運転後の摩耗や変形状況を 1 μm 単位で計測し、必要に応じて部品交換を行う。仮組みによる単体試運転で組み付け精度を確認後に真空脱気工程を経て、実機に組付けする。このように、毎年のメンテナンスを実行し、構築した振動計測システムによる振動測定値に異常はなく、設計流量・温度のサブクールヘリウムを安定に供給している(図 4.1.7.2.3.)。

コールドコンプレッサ分解点検時の計測作業



コールドコンプレッサの振動測定

図 4.1.7.2.3. コールドコンプレッサ分解点検と振動測定

4.1.7.3. 超伝導コイル励磁用電源の保守管理と改善

LHD 超伝導コイル励磁用電源(以下、コイル電源とする)は、超伝導ポロイダルコイル用に 3 台、超伝導ヘリカルコイル用に 3 台の低電圧大電流直流電源とこれらを統括制御するための計算機システムから構成されている。LHD 実験においてはプラズマを閉じ込めるための磁場を作り出し、超伝導コイルが常伝導伝播（クエンチ）した場合には、速やかに安全に減磁するための保護回路を有する重要な装置である。技術部ではコイル電源の保守管理

を担当するとともに、オペレーションに必要なマニュアルの整備を進めてきた。またオペレーションにおいては、通電電流値や電流変化率の設定を誤ると超伝導コイルがクエンチを起こし、発生する熱負荷による低温システムへの影響や最悪の場合コイルを損傷する危険がある。そこで、オペレータの設定ミスを防ぐ為、実験磁場条件から各電源の目標電流値・到達時間を自動で計算し、コイル電源へ設定するプログラム(以下、電流値自動計算プログラム)を開発してきた。

LHD 実験の進捗に伴い、実験磁場領域が拡大することによってクエンチを起こさないよう通電ルールも複雑化した。また 2008 年にはプラズマ放電中に磁場を急変できるようにパルス電源が新たに追加された（図 4.1.7.3.)。これらに対応するため、マニュアル類の改訂と共に電流値自動計算プログラムについても、通電ルールの組み込みやパルス電源用計算設定プログラムを追加するなどのアップデートを行うことで、より精度の高い安定な実験磁場環境を提供してきた。

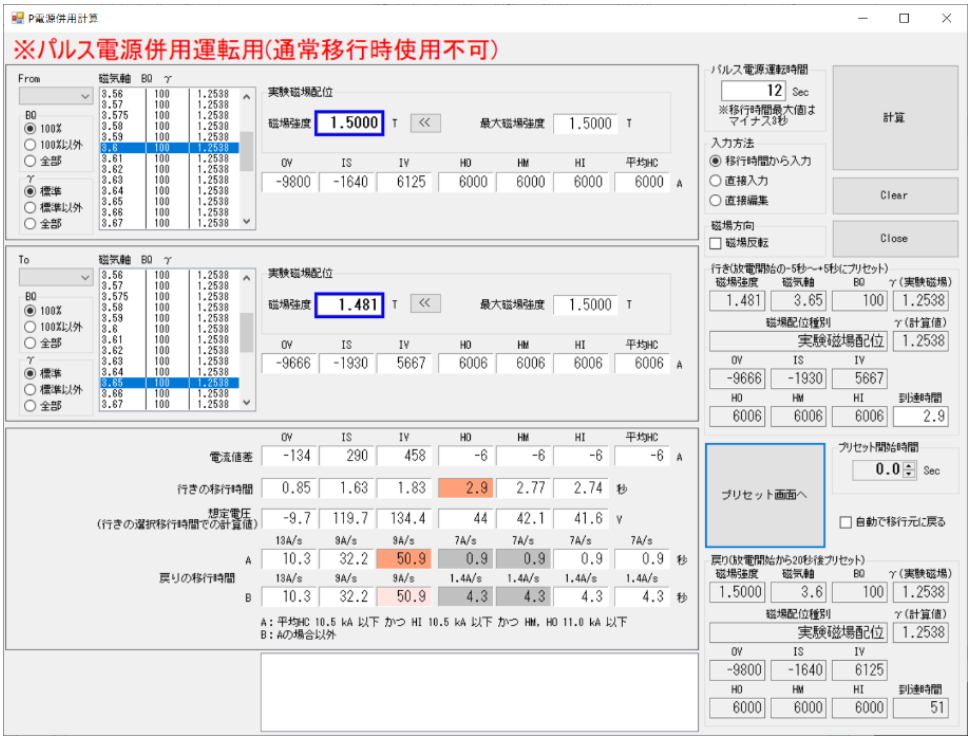


図 4.1.7.3. パルス電源用電流値計算設定画面

4.2. 工学試験装置への技術支援

図4.2.に技術部が主に技術支援を行っている研究プラットフォームを示す。図4.2.（左上）に示すのが、【核融合用大電流高温超伝導導体開発装置】である。超伝導コイル導体の組付け、通電試験、Heリーク試験、冷却水の調整など導体試験に係る技術支援を行っている。【超高熱負荷試験装置】（図4.2. 中上）は、LHDで使用するダイバータ試験体等の高熱負荷試験を技術部も使用している。それに伴い装置の運転・保守、研究者による熱負荷試験の助勢を行っている。【透過型電子顕微鏡（ＴＥＭ）・集束イオンビーム／電子ビーム加工観察装置（FIB-SEM)】（図4.2 左下、中下）では、放射化材料の管理や超薄断面試料片を加工するための試料の供給を行っている。【イオンビーム解析装置】（図4.2 右上）では、イオン源の内部点検・清掃作業や加速器のメンテナンス作業、コンディショニング等の技術支援を行っている。図4.2 右下は、【熱・物質流動ループ装置（Oroshi-２)】の運転操作画面である。情報通信システム部の運用班で、制御システムの更新や遠隔操作ができるシステムを構築した。

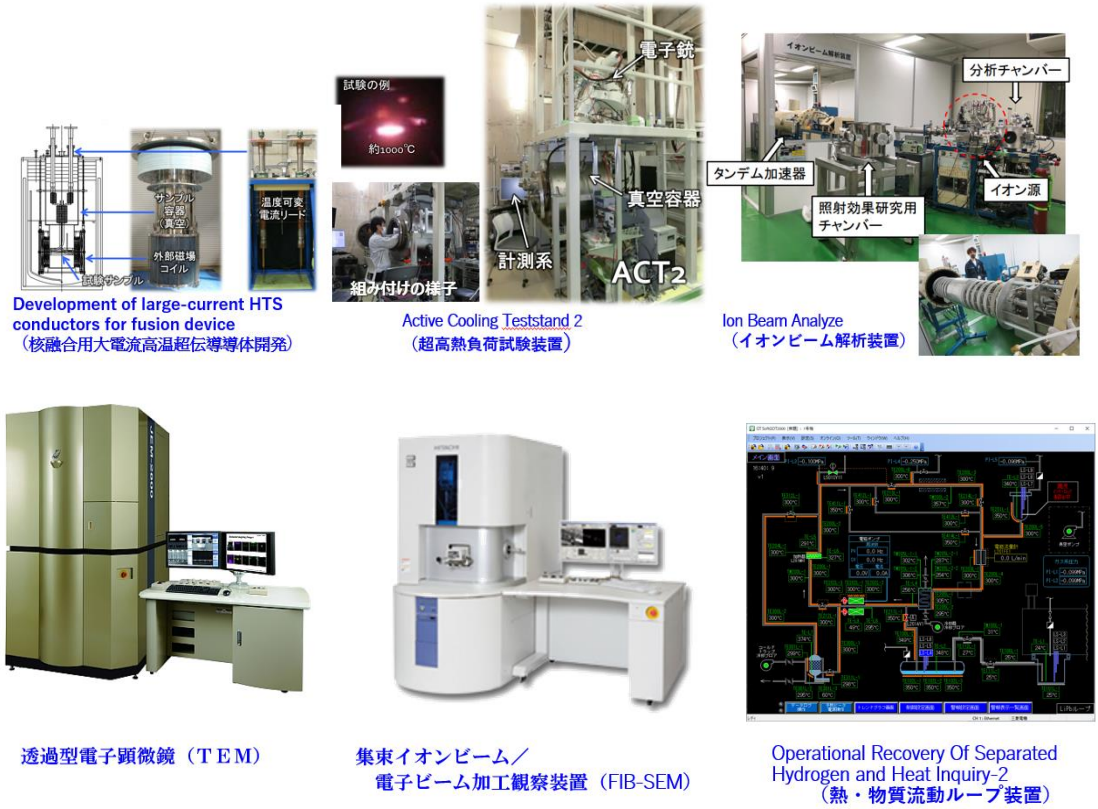


図 4.2. 研究プラットフォーム

4.3. プラズマシミュレータへの技術支援

図4.3.に示すスーパーコンピュータ「プラズマシミュレータ雷神」（図4.3.）のユーザー管理等を行っている。具体的には、新規課題追加、研究協力者追加、計算機使用時間追加

など登録手配や利用者講習会参加申し込み受付対応である。また参加者リスト作成ログインに関する問い合わせ対応やプラズマシミュレータWebページ改訂に関する内容検討を行っている。

図 4.3. プラズマシュミレーター—雷神

4.4 情報通信システム部への貢献

情報通信システム部は、核融合科学研究所の情報システム及び情報ネットワークの構築並びに運用を行う組織（図 4.4.）として、独立に活動していた研究所の情報関連の組織を整理統合して、2013 年(平成 25 年）4 月に設立された。2022 年度に改組された情報通信システム部は、データ処理グループやオープンサイエンスグループが創設され、実験成果の外部公開を含む、より多様な業務を担当することとなった。

2022 年 9 月現在、技術部の技術職員 10 人が併任し、情報インフラの導入・運用、各種システム構築、プロジェクト管理などの実務を担当している。これまで関わったプロジェクト（業務依頼）は、現在進行中のものを含め 196 件にのぼる。業務の内容や規模はさまざまであるが、今回これらを NIFS 情報ネットワーク、LHD 実験データ処理システム、基幹情報システム、制御システムの 4 つに分類し以下に説明する。

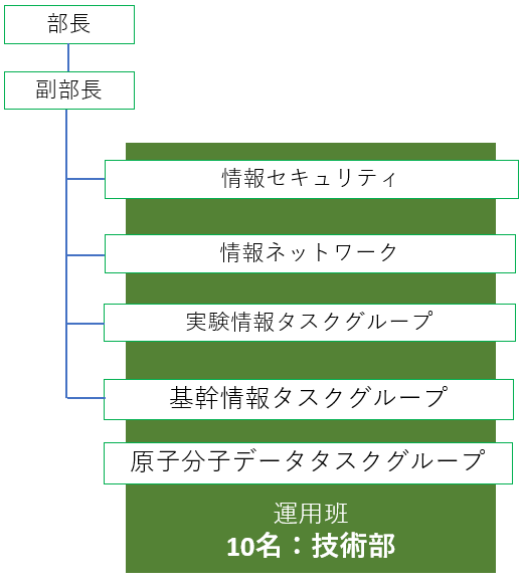


図 4.4.　情報通信システム部の組織図

4.4.1. NIFS 情報ネットワーク

核融合科学研究所における研究活動を支える情報ネットワーク（図 4.4.1.）は、情報の種類、目的、用途の違いから、一般的な研究や事務を行うネットワークである「キャンパス情報ネットワーク（研究基盤ネットワーク、NIFS-LAN)」、LHD 実験の遂行を目的とする「LHD 実験ネットワーク（LHD-LAN)」、及びプラズマシミュレータによる研究の遂行を目的とする「プラズマシミュレータネットワーク（PS-LAN)」の三つのクラスタから構成されている。LHD-LAN、PS-LAN は NIFS-LAN に接続されているが、それぞれの接続点には多段防御の考えからファイアウォールが設置されている。

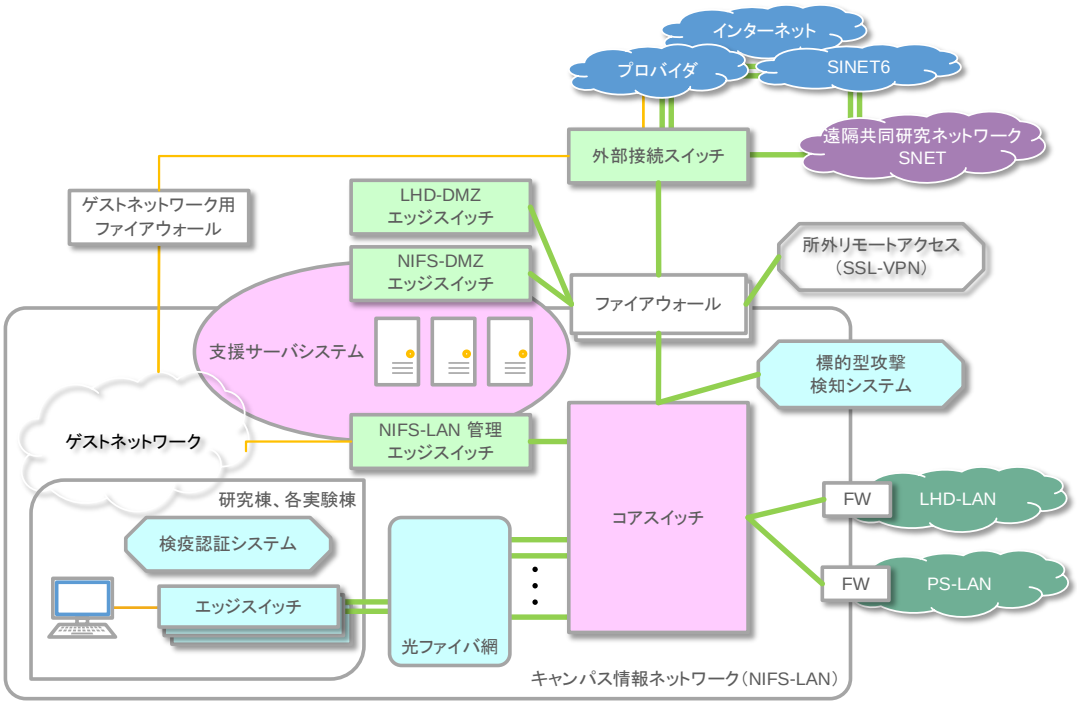


図 4.4.1.　NIFS-LAN 構成図

4.4.1.1. NIFS-LAN

核融合科学研究所は、約 46 万㎡の研究所敷地内に約 20 の建屋が点在していて、コアスイッチ、SINET との外部接続スイッチ、各種サーバ群等、主要なネットワーク機器は、シミュレーション科学研究棟のネットワーク機器室に集約して設置されており、各建物とはシミュレーション科学研究棟を起点とする光ファイバ網で結ばれている。

SINET とは、外部接続スイッチを介して接続され、NIFS-LAN の接続点には、冗長化されたファイアウォールが設置されている。主要なサーバ群は、仮想化サーバ、仮想化ストレージ、バックアップシステム、無停電電源システムからなる支援サーバシステム上で仮想マシンとして稼働している。コアスイッチと各建物に設置されているエッジスイッチは 10 GbE×2 で接続されており、建物内のネットワークは、各建物・フロアのネットワーク機器設置場所から各部屋まで、UTP ケーブルを配線している。利用者及びネットワーク管理者の利便性を考慮し、利用者数・部屋数が多い建物では、情報コンセント（RJ-45 コネクタ）を設置し、各部屋の情報コンセントと端末を接続するだけでネットワークを利用できるようにしている。来訪者用には NIFS-LAN と独立した商用プロバイダ回線によるゲストネットワーク、及び、eduroam による無線環境を用意している。セキュリティ対策として、ウィルス対策ソフトの導入、標的型攻撃検知システム（FireEye）の運用、特に、ネットワーク接続端末の管理には検疫認証システムを導入しており、NIFS-LAN に接続するためには、あらかじめ端末の MAC アドレスを登録した上で、ワクチンソフトの定義ファイル更新や

OS アップデートが実施されているかどうかの確認をする「検疫」に合格する必要がある。これらネットワークインフラや各種サーバ群の運用、整備、セキュリティインシデントの対応、所員に対するユーザーサポートなど、研究所の情報基盤の根幹を担うことにより、研究活動を支えている。

4.4.1.2. LHD-LAN

LHD-LAN（図 4.4.1.2.）は、1997 年度（平成 9 年度）末から開始された LHD 実験において、LHD 実験を遂行するためには必要不可欠なものであり、LHD の運転データ・実験データの数値化及び共有化に多大な恩恵を与えてきた。当初は光ファイバ網を駆使した FDDI 技術にもとづく 100 Mbps のネットワークとして運用を開始したが、2000 年度（平成 12 年度）にはより高速・大容量のデータ通信を実現すべくギガビットネットワークを導入した。その後は 2007 年度（平成 19 年度）2008 年度（平成 28 年度）に LHD-LAN の更新を行い、現在に至る。セキュリティにも十分配慮し、以下の対策を実施している。LHD-LAN へ新規機器を接続する時には、ネットワークスタッフによる接続立ち会いが必ず行われる。立ち会い時には MAC アドレスを記録し、立ち会いされていない MAC アドレスの機器が接続されていないかを監視し、不正接続を検出している。また、接続機器のアンチウィルスソフト及び Windows Update の状態を集中監視している。これらの対策を行う事で、LHD-LAN で

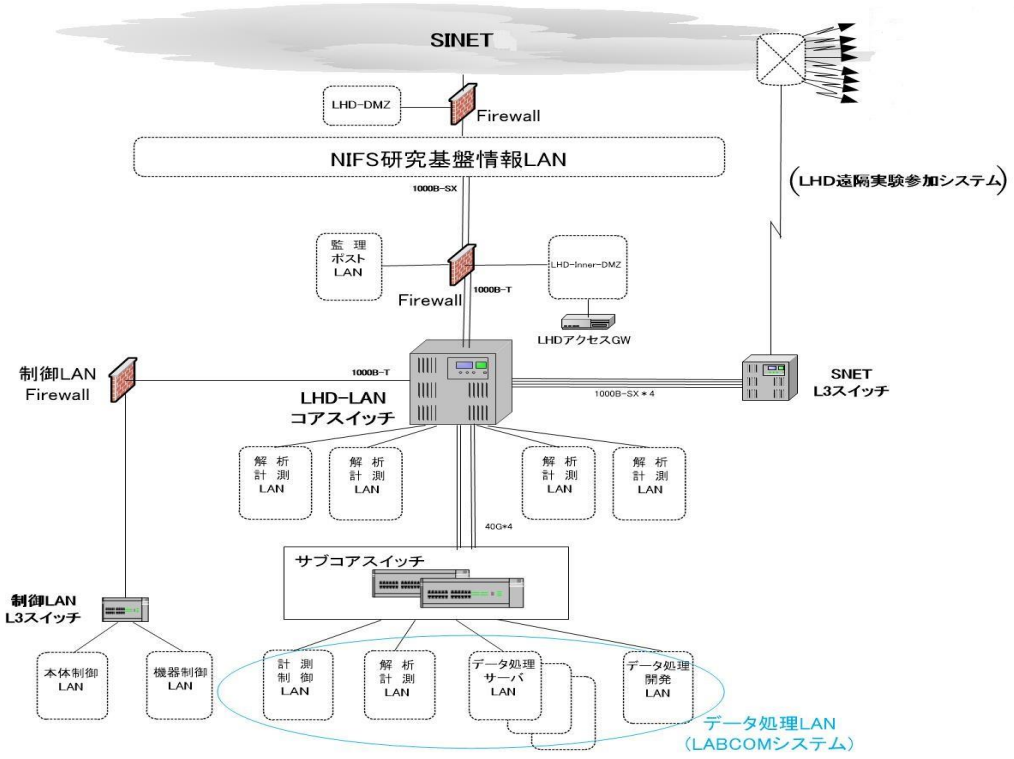


図 4.4.1.2. LHD-LAN 構成図

のリスクを低減させている。

4.4.2. LHD 実験データ処理システム

LHD 実験データ処理システムにおいては、収集ノード数の増加、収集デジタイザと PC の高性能化のため、1 ショットごとの量でも年間の総量でも、実験によって発生するデータ量は年々増加してきた。特に、LHD 真空容器内での異常を監視するためのカメラ計測データを収集するようになった際に大幅に増加し、2021 年度の実験では年間 300 TB 超に到達した。LHD 実験データ処理システム（図 4.4.2.）では、ファーストプラズマ以降収集成功したすべての実験データにオンデマンドにアクセスできることを旨としているため、増大するデータ量に合わせる形で HDD RAID ストレージ機器を年々増設し、大容量データをすべて HDD 上に格納している。また、実験データを 50 年以上保存することも旨としているため、長期保存に適したメディアとしてブルーレイディスク及びその拡張規格であるアーカイバルディスクにもすべての実験データを複製し保存できるよう、光メディアストレージ機器も年々増設し対応してきた。増設以外のシステム構成変更としては、年々増大するデータ量が HDD への書き込み速度を超えることに備えて、SSD RAID ストレージ機器を第一段の書き込み機器として導入し実験時間中のデータ書き込みは SSD 上に行い、HDD への書き込みは夜間等の実験時間外にも行うようにシステム構成を改良している。

データ処理システム及び大容量ストレージをさらに有効に活用するため、他大学の核融合実験装置のデータ収集と保存にも利用している。九州大学 QUEST、筑波大学 GAMMA10、東京大学 TST-2 の 3 装置で利用しており、ネットワークとしては SNET 双方向研究セグメントを介して、各地点から送られてくる実験データを保存している。物理的には同じ HDD 上に保存されるが、インデックス情報やディレクトリ権限等で区別し、利用者からのアクセ

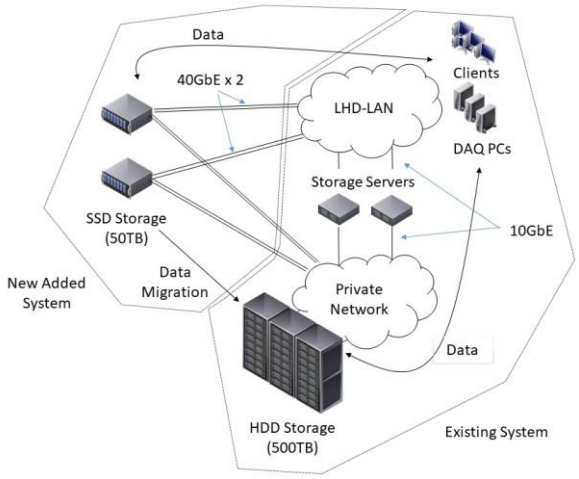


図 4.4.2. 実験データ処理システム構成図

スを制限している。

4.4.3. 基幹情報システム

研究所の業務効率化や対外的な活動の拡大を目的として、これまで多くのシステムが提案され、情報通信システム部は、各種業務のデジタル化、Web システム開発、サーバ管理・運用、セキュリティ対応など多岐にわたる業務において、技術サポートを行ってきた。

開発においては、依頼者との調整から始まり、Web サイトの設計、構築、開発運用までを一貫して行っている。利用する開発言語／開発環境(表 4.4.3.)については、一般的な PHP、jQuery 以外にも、Play Framework/Scala などのフレームワーク、PostgreSQL, MySQL などのリレーショナルデータベース、SQRC(セキュリティ機能搭載 QR コード)、IC カード(NIFS カードキー)と呼ばれるハードウェアを利用するなど、必要要件に応じた柔軟な設計開発が可能なよう、幅広い経験知識をもって対応にあたっている。

Web システム開発事例を図 4.4.3.に示す。これまで手掛けてきたシステムのうち、「共同研究情報データベースシステム（Nicollas)」。「研究会開催支援 Web システム(Workshop)」および「NAIS(NIFS Article Information Systemm)」については比較的規模が大きく、特に高い評価を得ている。Nicollas においては、共同研究に関する各種業務をオンライン化し業務の大幅な効率化を図るとともに、有用性の高いユーザーインターフェースを提供することで、共同研究の申請数の増加に大きく貢献した。Nicollas はその後、自然科学研究機構により機能が拡大され、NOUS(NINS Open Use System)として、分野間の垣根を超えた共同研究・共同利用申請システムとして利用されている。この NOUS の構築運用についても、技術職員が大きく貢献している。Workshop は、2015 年に運用開始したシステムで、研究者が簡単な操作で研究会の Web サイトを開設する機能を有している。現在までに 120 を超

図 4.4.3.　Web システム開発事例

える研究会サイトが立ち上がり、所内世話人の負担軽減、一定レベル以上のセキュリティの確保という点で、必要不可欠なシステムとなっている。2018 年には英語への対応も行われ、国際会議(IAEA FEC2020)の参加登録にも利用された。NAIS の開発においては、Play Framework/Scala と呼ばれる開発環境を利用し、高機能なシステムを効率よく開発できる体

System Development: Role and Skills

System Name	Role	Environment
NIFS Collaboration Database system (Nicollas)	Design, Implementation, Development Team management, Technical Support	OS: **Linux** Framework: **Play Framework** Language: **Scala, HTML, CSS, Javascript, Perl** Database: **PostgreSQL** Project Management: **Redmine**
"Workshop" hosting support service (Workshop)	Design, Implementation, Technical Support	OS: Linux Web Server: **Apache** Language: PHP、 HTML, CSS, **jQuery** Database: **My SQL**
Whereabouts Management System	General Development task using IC Card Reader	OS: **Windows** Language: PHP, HTML, CSS, jQuery Database: **SQL Server**
Plant operation and Monitoring systems	General Development task using controllers, such as, PLC, FPGA, Card Readers, etc.	OS: **Windows**, Linux Language: **Visual Basic, C/C++, HDL, Ladder diagram** Protocol: FINS/TCP, MC protocol, etc.

表 4.4.3. システム開発言語

制を構築している。2022 年 10 月時点の論文登録数は約 18,000 件と順調に増加しており、研究成果のオープン化のための非常に重要なシステムとなっている。

4.4.4. 制御システム開発

LHD には Pellet 入射装置、HIBP、冷却水装置など、多くのユーティリティ機器や計測機器が接続されている。これらは実験装置であるという性格上、実験目的に応じた改修が頻繁に行われ、様々な条件下での運転にも対応できるよう、柔軟で冗長性のある制御系が求められる。そのため技術部では、専門性の高い経験を持った技術職員が、研究者の要望を聞きな

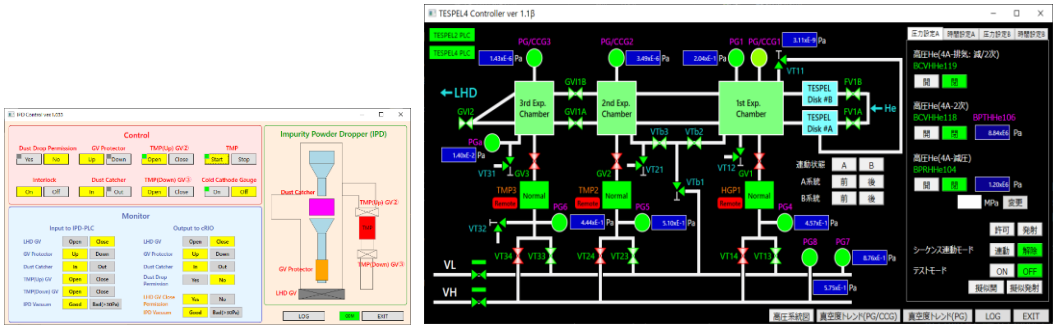


図 4.4.4. 制御システム開発事例
(不純物ダストドロッパー、TESPEL インジェクター)

がら制御系の設計から構築までを行えるような体制を整えている。また、HMI（Human Machine Interface）の構築においては、各機能を部品化し再利用を可能とすることで、柔軟性を維持しつつ、工数の大幅な削減を実現している。これらのノウハウは、技術部の開発チームに配属される新人職員にも継承されている。図 4.4.4.に開発事例を示す。

（３） 安全衛生への取組は十分にできているか。

5. 安全衛生への取組

安全衛生をより確実に実行するためには、作業に従事する労働者自身の自覚と協力が不可欠である。LHD の実験準備を行う上で作業者（研究者、技術職員、請負業者）に労働災害防止のために必要な事項の遵守や、核融合科学研究所が発行した安全ハンドブックのマニュアルに沿って作業することが義務付けられている。技術部は、核融合科学研究所の安全衛生推進部に各安全部門の室長及び室員に多くの技術職員が配属され常に安全衛生の監視と実施に努めている。また、衛生管理者と安全衛生委員を安全衛生委員会に選出し、日頃から核融合科学研究所の安全衛生に貢献している。技術部の資格者リストを参考資料(表 s2.)に示す。

他機関との交流として「労働安全衛生に関する情報交換会」を技術部が世話人となって開催している。章 5.2 項を参照されたい。さらに、これまで LHD 実験が安全・安定運用できたことは、技術部がメンテナンス期の作業の取り纏め業務に努めた成果でもある。特に 2017 年からの重水素実験開始に伴う放射線の管理・運営・定期的な放射線測定は、実験を遂行する上で重要な業務と位置づけられている。以下、技術部の安全衛生の取り組みとして、安全衛生推進部への取組、労働安全衛生に関する情報交換会の開催、LHD の安全管理について報告する。

5.1. 安全衛生推進部への取り組み

核融合科学研究所は大学共同利用機関として、大型ヘリカル装置をはじめとする大小様々な研究設備を備えて共同展開しており、多数の研究者が利用している。特に核融合研究において、大電力、高電圧、極低温、高圧ガス、放射線、重量物取扱等、研究を遂行する上で必須となる特殊作業は、法的な規制を受けるものも少なくない。加えて、研究所内に多数の共同研究者が滞在し、それらの方々が設備を利用することから安全管理については一層の配慮が必要である。

2004 年度（平成 16 年度）より、核融合科学研究所は文部科学省の直轄研究所から大学共同利用機関法人自然科学研究機構の一員となった。本法人化に伴い、安全衛生を監視し職場環境を健全に維持する部署として安全衛生推進部（図 5.1.）が組織され、これにより事故事の責任を分担して PDCA（Plan（計画）、Do（実行）、Check（評価）、Action（改善））サイクルを継続的に行うことができる体制となり、研究所の安全環境は現在まで保たれている。安全衛生環境を良好に維持する組織として、安全衛生推進部が計 10 室で構成され、労働災害の防止、適正な機器の運用と保全、職員の安全確保と健康維持管理、快適な職場環境の形成を目指し、各室長の下で専門的かつ実質的に対応している。安全衛生推進部においても毎月全ての室長が集まる会議を定例に設けており、安全衛生基準の向上と労働災害の防止を図っている。安全衛生推進部の 10 室の内 3 名の室長（放射線管理室、機械設備管理室、危

険物質管理）を技術職員が務め、全ての室に室員として延べ 57 人（2022.4.1 現在）を輩出し、安全衛生の推進に貢献している。各室の室員は、安全衛生に関する意識を組織横断的に高める目的もあり、研究部、技術部、管理部の所属により区別することなく選ばれている。各室は法的な資格を持つ者、現場の担当責任者などから構成され、室長についてはより責任ある業務を行っている。技術職員が室長を務める室の業務等を紹介する。

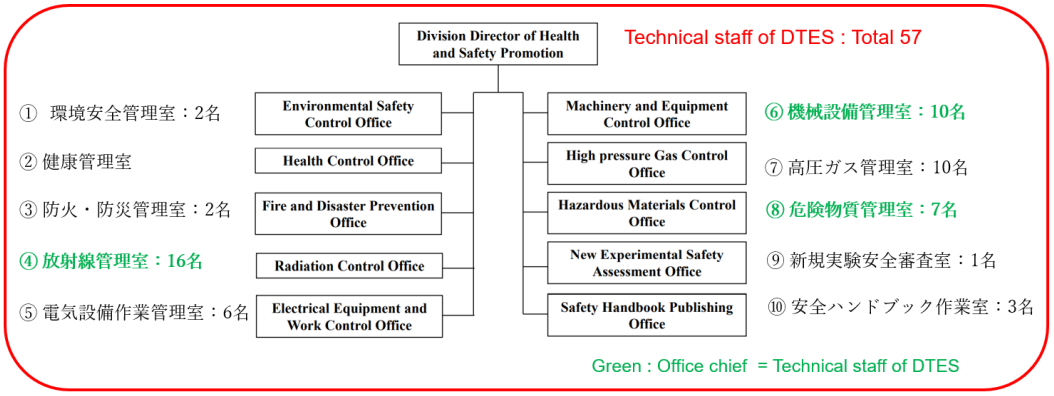


図 5.1. 安全衛生推進部

【放射線管理室】においては、核融合科学研究所は放射性同位元素等の規制に関する法律で規制されるプラズマ発生装置 1 台（LHD）と加速器 2 台（HIBP、イオンビーム解析装置）を保有する他、密封されていない放射性同位元素の使用施設でもある。これらの装置及び施設に係わる放射線量等、並びに施設に立ち入る職員、共同研究者及び業者等の入退、被ばく線量等の放射線管理を行う。また、実験の進展に伴う承認変更申請や施設検査・定期検査への対応等を行っている。2017 年（平成 29 年）3 月に重水素実験が開始されたことで、管理区域内作業、汚染状況、物品の搬出入、放射化物、RI 廃棄物の管理など技術職員の実施すべき重要な業務が増えたにも関わらず、技術部から重点的に放射線管理室員（約 16 名）を輩出しており、このような貢献があって放射線管理室の運営が成り立っている。

【危険物質管理室】においては、所内で取り扱う危険物質(化学薬品、危険物、毒物・劇物、有害物質)の購入・保管を一括管理する。危険物質には様々な種類があり、そのリスクの種類も異なるが、 購入時に申請し管理することにより、その存在が把握できる。また、労働安全衛生法の改正に伴う化学物質のリスクアセスメントも実施している。最近では、危険物質の入手・消費・廃棄の複雑な手続きを Web サイトから行えるように技術部で構築し円滑化を図った。

【機械設備管理室】においては、主としてクレーン設備の維持・管理を行う。管理室長及びその半数以上のクレーンの責任者（副責任者）を技術職員が担っており、日頃の安全管理に努めている。自主点検、自主検査、安全確保は勿論のこと、クレーンの突発故障を未然に防ぐことに貢献している。核融合科学研究所には大型ヘリカル実験棟の 250 トンクレーンを

はじめとして多数（約 30 基）のクレーンがあり、これらの維持管理状況を把握するとともに、クレーン関連の資格取得者の調整、及び安全な使用がなされるよう安全指導を行っている。クレーン作業は、高所作業が比較的多いことから、労働安全衛生法改正により 2019 年 2 月 1 日からフルハーネス型墜落制止用器具が義務化したことによる所内安全教育、専用器具の整備に従事した。

【環境安全管理】においても、技術職員が室長を担っていた。また重水素実験開始に伴うセキュリティ強化のため、技術部主導で、大型ヘリカル実験棟他周辺建屋の各ドアを電気錠化、カードキーによる一元管理、TV カメラにより監視を強化された入退管理装置の構築に大きく貢献した。このように技術部では、労働基準法、安全衛生法を満たすべく、様々な取り組みを技術職員全員の安全に対する意識をもって LHD をはじめとする様々な装置に対して安全に貢献してきた。

5.2. 安全衛生への取り組み

核融合科学研究所は、「労働安全衛生（安全衛生法対応等）に関する情報交換会」を毎年開催している。この会合は労働安全衛生法に基づく各機関の取組や活動状況及び課題等の情報交換を目的として、法人化後の 2004 年度（平成 16 年度）から毎年実施（表 5.2）しており、核融合科学研究所土岐サイトで約 10 機関から報告され有意義で活発な議論が毎回交わされている。17 回目となる 2021 年度は、2020 年度に続き、新型コロナウイルス感染症の影響により、オンライン開催としたが、全国の大学、大学共同利用機関等から安全衛生に関わる技術職員を中心に事務職員、研究職員、大学等環境安全協議会評議員、及び労働衛生コンサルタントを交えた 8 機関から延べ 9 件の報告があり 79 名（25 機関）が参加した。大学における自衛消防隊の活動、安全・衛生巡視、作業環境管理、化学物質の管理など、多岐にわたる内容について活発な意見交換が行われ、コロナ禍の影響で十分なスタッフを確保

開催回	開催日	参加者数	口頭発表件数
第 1回	2005/1/27-28	50	10
第 2回	2006/2/2-3	62	13
第 3回	2007/2/8-9	64	11
第 4回	2008/3/12	61	14
第 5回	2010/2/4-5	44	11
第 6回	2011/2/9-10	47	10
第 7回	2012/2/9-10	57	13
第 8回	2013/2/7-8	51	14
第 9回	2014/2/6-7	57	12
第10回	2015/2/5-6	48	11
第11回	2016/2/4-5	59	13
第12回	2017/1/12-13	42	13
第13回	2018/2/1-2	50	13
第14回	2019/1/31-2/1	60	12
第15回	2020/2/6-2/7	51	12
第16回	2021/2/4	70	8
第17回	2022/2/3	79	9

表 5.2. 安全衛生情報に関する情報交換会の開催実績

できない中、限られた人数で効率的に職場巡視を実施している例や、活動が縮小されている防火・防災活動について、消防署と連携しながら検証した例などの報告があった。またその一方で、研究室で不要となった試薬リユースを IT を利用して実現した例や、PID 式ばく露モニタを利用したばく露評価についての報告など、新しい視点での安全衛生管理についての発表も見られた。昨年度に続き 2 度目のオンライン開催となったが、本情報交換会のように全国の大学、大学共同利用機関等の実務担当者が集まり、リアルタイムで意見交換できる場は非常に貴重であり、有意義な情報交換会となっている。

5.3. LHD における自衛消防隊地区隊活動について

自衛防災活動として自衛消防隊組織（図 5.3.1.）が編成されており、技術部は、LHD を中心とした自衛消防隊地区隊にすべての常勤職員が配置されており、LHD に関係する災害時に対応する。自衛消防隊地区隊隊長は、大型ヘリカル装置計画実験統括主幹及び実験責任者であるが、各地区隊の班（総務班、現場対応班、工作班、総務班、救護班）の班長は技術部の課長が任命されている構成になっている。地区隊班長は、災害時の地区隊隊員の行動を把握し的確な指示を出すことになっている。各班長は、教育のため自衛消防組織の業務に関する講習等を受ける。

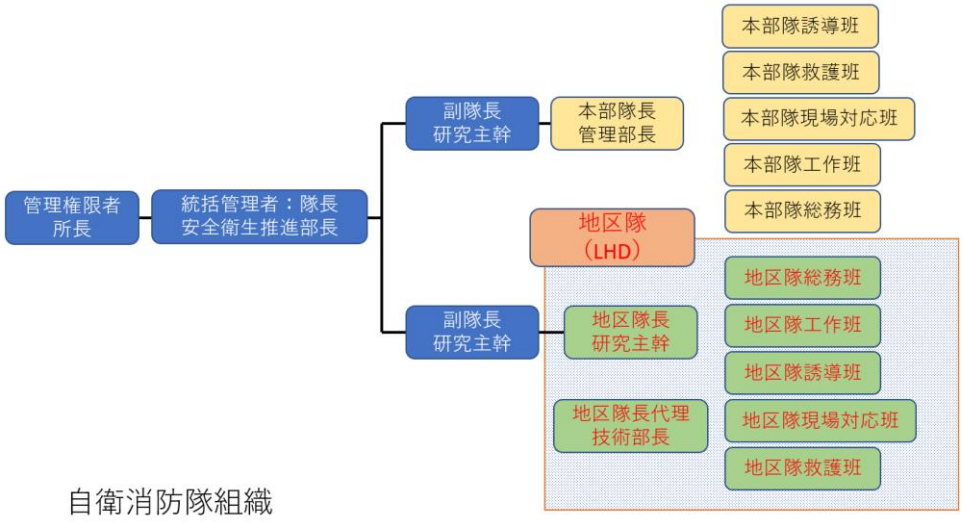


図 5.3.1. 自衛消防隊組織図

研究所全体の防災訓練が年 1 回行われ地区隊も訓練に合わせて参加し一連の行動を確認する。また LHD において、LHD 実験開始前に重水素実験中における LHD 消火訓練(図 5.3.2.)を所内から約 130 名の実験関係者が参加して年 2 回実施する。 1 回目は、自主訓練として一連の訓練内容を再確認し、2 日目は、土岐市南消防署による視察とメディア報道もあることから、より緊張感をもって実施している。訓練終了後、土岐市南消防署からは、訓練の講評や実際の消火時に注意すべき行動、及び消火活動に使用する機器に関するアドバ

イス等を頂いた。技術職員は、実験装置を守る責任感が強く、災害に対する危機意識が高い。そのため一人一人の役割を意識した行動が取れるため、毎回訓練は円滑に進められる。

図 5.3.2.　LHD 消火訓練

5.4. LHD メンテナンス時の安全対策について

LHD のメンテナンス期間の安全や災害時の緊急対応は、大型ヘリカル計画実験統括主幹及び安全衛生推進部長の下、技術職員が世話人となって活動している。LHD の建設当時からデイリーミーティング（DM）と称する朝礼が毎日 9 時から 15 分程度行われる。その日の請負業者、職員は、そこで作業前報告（図 5.4.）を行わなければ作業が出来ない仕組みとなっている。作業における注意事項（停電情報、通行規制、クレーン使用、火気作業、見学）

請負業者の作業　　所内の作業

図 5.4. DM における作業確認

や不具合等の報告も行われる。LHD の作業に関するの情報共有が行われ安全意識の高いミーティングとして高い評価を受けている。

（４） 大学共同利用機関として、大学及び研究機関との技術連携・技術交流・技術協力は行われているか。また共同研究に貢献できているか。

6. 他機関との技術交流及び技術研究会

核融合科学研究所は、大学共同利用機関として、大規模な施設設備等を全国の大学等の多数の研究者が共同で利用することにより、効果的な技術交流を実施している。大学共同利用機関の研究所としての技術部は、研究所の貴重な技術資源の提供に加え、大学の技術組織とのネットワークの形成や、技術職員の育成、技術協力を図ることにより、お互いの技術職員の技術の向上や発展につながることから、技術連携・技術交流・技術協力を積極的に行い受け入れてきた。最近大学における研究力強化においては、技術職員の技術力の向上や発展が望まれており、大学共同利用機関として技術部の役割は大きく、大学や研究機関の技術者の持っている技術について実際に装置を設計・製作することで互いの技術を共有し研鑽する技術交流プログラムを実施してきた。

国立大学法人、独立行政法人国立高等専門学校及び大学共同利用機関法人等の技術職員が、全国から集る技術研究会が毎年行われており、数年に一度開催機関として準備・開催を実施している。また自然科学研究機構として 5 研究所が 1 法人となったことを受け、自然科学研究機構 5 研究所の技術職員が、多様な科学技術業務の交流を毎年輪番で実施している。

6.1. 大学及び研究機関との技術交流プログラムの実施

技術交流は多岐に渡る「技術交流プログラム」に沿って大学、研究機関等の技術職員の方々との交流を計画している（図 6.1.)。この交流の目的 は大学、研究機関の技術者の持っている技術について実際に装置を設計・製作したりすることや、コンピュータのプログラム制作等を通して、互いの技術を共有し 研鑽しながら、その向上を目指すものである。実施に当たっては、WEB から申し込んで頂いた内容に応じて、参加希望者と各コースの世話人が相談し、交流内容についての課題調整、日程調整等を行い個別に具体化することになっている。技術交流はここ 10 年で研究機関、国立大学、私立大学、高等専門学校などから約 500 名の参加者があった。参考資料（表 s3.）に技術交流プログラム実績リストを示す。参加者は各自の業務に抱える問題点を持って研究所に来ており、参加者にのみメリットがあるのではなく、研究所担当者にとってもメリットがある交流会となっている。また、大学の参加者より所属する技術組織の紹介をしていただくことにより研究所技術職員が視野を広める場とすることもできた。実施例として、沖縄工業高等専門学校から若手技術職員が来所した「NC 加工技術」に関するプログラム、「安全衛生管理について」において労働安全衛生に関する情報交換会の開催（章 5.2 項)、「有限要素解析ソフト「ANSYS」による数値シミュレーション技術」として有限要素法による解析技術をテーマとした技術交流会の開催の実施例を以下に報告する。

技術交流項目
1，NC加工技術
2，電子回路工作
3，有限要素解析ソフト「ANSYS」による数値シミュレーション技術
構造解析、熱解析、電磁場解析、熱流体解析
「有限要素法による解析技術研究会を毎年開催」
4，真空技術
5，メカトロニクス技術
6，バースト放射線計測及び環境放射線監視技術
7，低温技術
8，計算機を用いた計測制御技術
9，安全衛生管理について
「労働安全衛生に関する情報交換会を毎年開催」
10、技術組織について

技術交流プログラム

F.Y	Number of exchanges	Number of participants (Outside the Institute)
2012	2	61
2013	1	34
2014	4	30
2015	4	39
2016	2	51
2017	4	40
2018	2	51
2019	3	43
2020	2	69
2021	2	84

技術交流参加人数

図 6.1. 技術交流プログラム項目と参加人数（他機関のみ）

【有限要素解析ソフト「ANSYS」による数値シミュレーション技術に関する技術交流】

技術部では、有限要素法を用いた解析技術の交流会を 2017 年度から主催している。大学・研究機関の技術職員のみならず、 企業研究者・技術者の方々にもご参加頂き、毎回活発な議論が展開され、日頃、数値解析業務に携わる方、今後の業務に活用したいと考えている方など、誰でも参加できることができる。

本技術交流は、有限要素法による解析全般に焦点を当て、有限要素法による解析値の検証、あるいは性能や品質の向上を目的としている。解析事例における分析や考察を通して、設計の問題点を抽出する考え方を学び、参加者同士が交流する場を提供することも目的としている。取り扱うテーマは、構造・伝熱・電磁場・流体など有限要素法に関わる解析技術を広く募集し、多様なテーマを扱う本交流会を通して、解析技術者の人的ネットワークを構築することも、重要な課題のひとつに掲げている。具体的には、「有限要素法解析の活用事例」業界特有の解析に関する課題や制約条件、熱、流体解析、電磁力解析と構造解析を複合的に考慮した連成計算、対象分野は限定せず、例えば、環境、空調、電気・電子機器、エネルギープラント、 ナノテク、半導体・燃料電池、化学プロセスなど、幅広く募集していることもこの技術交流の特徴でもある。図 6.1.1.に有限要素解析ソフト「ANSYS」による数値シミュレーション技術開催の様子を示す。

2022 年 3 月 29 日「有限要素法を用いた解析技術」　7 件の発表。　参加者 45 名

・ Ansys を中核としたサイバネットのソリューション紹介
・ 有限要素法を使った電磁解析の最適化　等

2021 年 2 月 25 日「有限要素法を用いた解析技術」　　7 件の発表　参加者 40 名

・Reduced Order Modeling（ROM）技術を用いた解析
・磁場遮蔽試験装置および有限要素解析を用いた磁気シールドの性能評価　等

2020 年 2 月 21 日「有限要素法を用いた解析技術」　　8 件の発表　参加者 28 名
・SuperKEKB 用-陽電子捕獲パルス電磁石における有限要素解析
・数値解析及び磁場遮蔽試験による磁気シールドの性能評価　　等

2019 年 3 月 1 日テーマ「有限要素法を用いた構造解析技術」　7 件の発表。　参加者 33 名
・核融合炉概念設計における有限要素法活用の現状
・プラズマディスラプションによるポートプラグに発生する電磁力　　等

2018 年 3 月 1-2 日テーマ　「熱シミュレーション技術」　5 件の発表。　参加者約 170 名
平成２９年度核融合科学研究所技術研究会との合同開催
・LHD 真空容器内蔵型クライオポンプの熱構造設計　　等

http://etwww.nifs.ac.jp/techexchange/outside/formal.html

図 6.1.1. 技術交流：有限要素解析ソフト「ANSYS」による数値シミュレーション技術

【「NC 加工技術」沖縄高専の技術職員に対する機械加工技術指導事例】
沖縄工業高等専門学校（以下、沖縄高専）では、「高度技術研修」という採用から 3 年から 5 年の若手技術職員を対象に最新機器の情報収集や最新技術の習得、技術職員の資質・技能向上を目的とした技術研修に積極的に参加する取り組みを行っている。これに協力する形で、沖縄高専の技術室に採用された機械加工の経験がない若手技術職員に対してマシニングセンターの各種プログラミングから段取り操作、実際の機械加工まで実践に即した基礎知識と加工技術を総合的に身に着けることができるような講習を技術交流の枠組みの中で行った（図 6.1.2.)。技術交流終了後、沖縄高専の当該技術職員はマシニングセンターを積極的に使用して製品製作を行うことができている。また、沖縄科学技術大学院大学（OIST）との共同研究において科学実験装置の設計及び製作を請け負うに至った。一方、核融合研側では若手技術者に対する指導のスキル向上と方向性が明確になり、その後機械

工作室に配属された職員にも継続的にこのような講習を行うことによって機械加工技術の継承を実践している。これは、各大学・高専や共同利用研究機関の組織の枠を超えた機械加工技術の向上及び機械加工技術の継承についての取り組みの一つである。

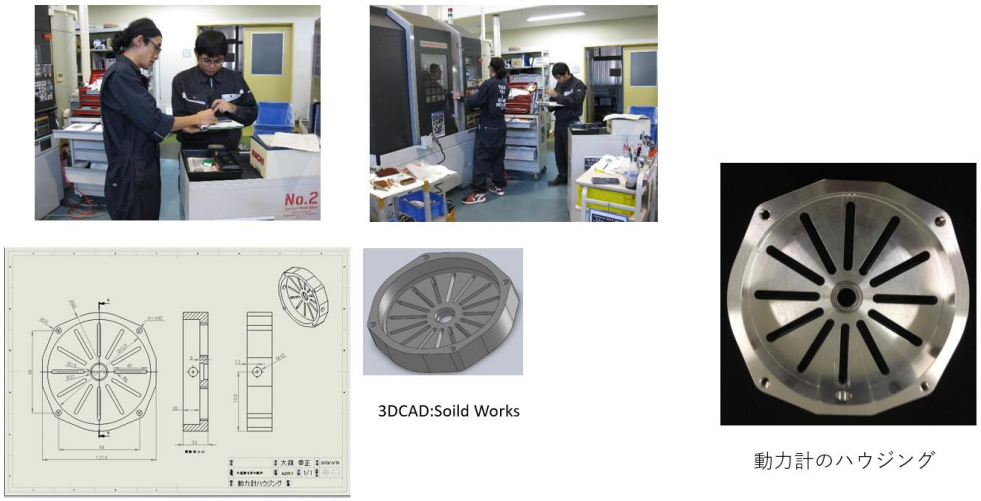


図 6.1.2. 「NC 加工技術」沖縄高専の技術職員に対する機械加工技術指導

6.2. 技術研究会

技術研究会は、国立大学法人、独立行政法人国立高等専門学校及び大学共同利用機関法人等の技術職員が、日常業務で携わっている実験設備・装置の開発、維持管理の話題から改善改良の話題にわたる広範囲な技術活動について発表する研究会である（図 6.2.)。特に通常の学会とは異なった日常業務で生まれた創意工夫、苦労話、失敗談等も重視し、技術職員の交流と技術の向上を図ることを目的としており、様々な経験を持った先輩、同僚たちが自身の経験談を数多くの方に公開し日頃の職務に役立てている。毎年、各国立大学法人と高エネルギー加速器研究機構、分子科学研究所、核融合科学研究所の交代制で開催されている。1976 年（昭和 51 年)2 月から分子科学研究所技術課で開催されていた技術研究会を、急速に発展する科学技術に対応し、研究を技術の側面からサポートしていくための貴重な機会として、1882 年度(昭和 57 年度)に高エネルギー物理学研究所技術部（現:高エネルギー加速器研究機構技術部門)、1984(昭和 59)年度名古屋大学プラズマ研究所技術室（現:核融合科学研究所技術部）で開催され、それ以後 3 研究機関で持ち回り開催された。全国の大学等からも、多くの技術系職員等が参加し、大学の技術系職員の業務の実態に応じた多岐に渡る分科会を設けた「総合技術研究会」が 2000 年度(平成 12 年度)に東北大学で初めて開催された。それ以後、3 研究機関が開催する「技術研究会」と大学が開催する「総合技術研究会」が交互に開催され、核融合科学研究所では、これまでに 8 回（表 6.2.）開催した。

核融合科学研究所の土岐サイトでの開催は、多くの技術職員を招いて開催することは難しく、300 人ほどの技術研究会を開催する際は、会場探しに一苦労しており、交通の便が悪

いことや広い講演会場と複数の分科会会場が確保できないことから、「工作技術、装置技術、計測・制御技術、極低温技術、情報・ネットワーク技術」の 5 技術分野で技術研究会を進めている。技術研究会では、大学、高等専門学校及び大学共同利用機関の技術職員が、日常業務で携わっている様々な分野の実験装置の維持管理から開発改良に至る幅広い技術活動について発表する。このような場を提供する上で、広範な技術分野を扱う技術部は、組織的に一丸となって開催準備・運営することができる強みがある。昨今、組織化が叫ばれて久しく各大学でも改組を行い技術職員による組織運営が行われているが、一致団結した活動を組織の長の掛け声とともに実行に移すことは容易ではなく、組織間の取り組まなければならない課題がいくつもあり、必ずしも上手く運営できていないのが実情である。積極的に他大学の技術職員との交流を持ち、技術の向上と幅を広げていくことができる場を今後も提供していきたい。技術研究会の参加を契機に、さらに継続的な技術交流へと発展させる活動を行い、参加者の技術の研鑽が図られることを期待している。過去 10 年における技術研究会発表者リストを参考資料（表 s4.）に示す。

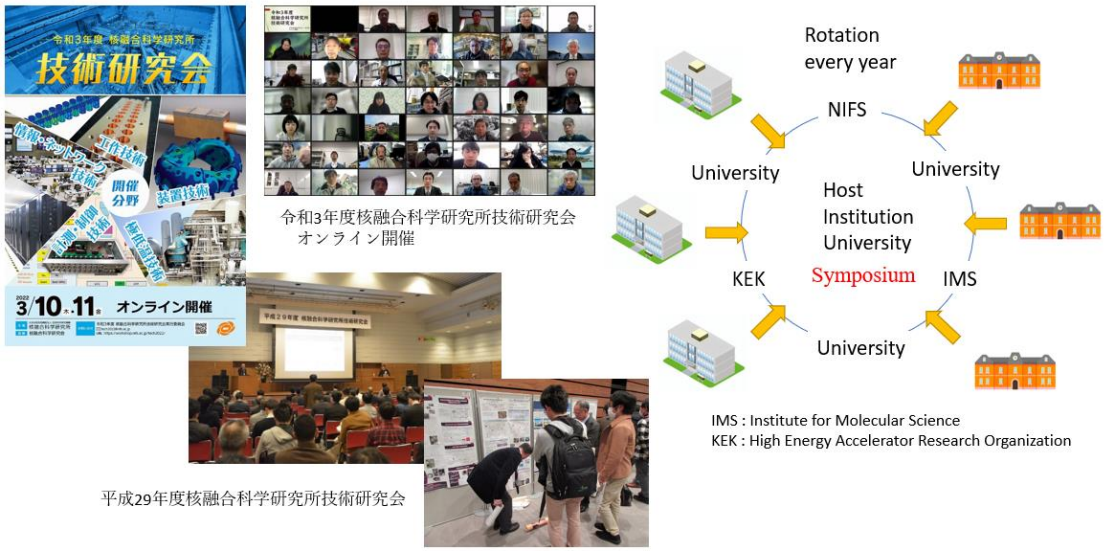


図 6.2. 核融合科学研究所技術研究会の様子

【平成 29 年度核融合科学研究所技術研究会】

2017 年度の「平成 29 年度核融合科学研究所技術研究会」は、5 分野の技術発表とポスター発表を行った。トピックスとして「大型ヘリカル装置における重水素実験に向けた技術部の取り組み」や技術交流会として研究所技術交流のテーマとしている「熱シミュレーション技術」に特化した分科会を企画した。

【令和 3 年度核融合科学研究所技術研究会】

2020 年から新型コロナウイルス感染症の拡大し、その影響により、2022 年の千葉大学技術研究会は中止、2021 年の東北大学総合技術研究会は、完全オンラインによる開催の運びとなった。2022 年は核融合科学研究所主催で多治見市産業文化センターにて現地開催として、対面での技術討論や人的交流ができることを期待していたが、長期にわたる新型コロナウイルス感染性の影響で完全オンライン開催の運びとなった。発表技術分野は、5 分野で、口頭発表では、5 分間の質疑応答に加えて発表毎にブレイクアウトルームによる交流セッションを設けて、質疑応答の時間内でできなかった技術的な質問や技術討論を行った。オンラインならではの幅広い技術者同士の情報交換ができたと大変好評であった。また、極低温設備のオンライン中継や LHD のオンライン施設見学を行い、ＬＨＤで使用されている多岐にわたる技術を見聞していただくことができた。

開催日程	開催会場	分科会	参加者数	発表件数 （口頭、ポスター）
1991/3/19-20（平成2年度）	土岐市文化プラザ	5分科会	285	79
1994/3/23-24（平成5年度）	セラトピア土岐・土岐商工会議所	5分科会	273	78
1997/9/11-12（平成9年度）	セラトピア土岐	5分科会	284	78
2002/3/14-15（平成13年度）	セラトピア土岐	4分科会	407	131
2008/3/10-11（平成19年度）	セラトピア土岐	5分科会	287	97
2014/3/13-14（平成25年度）	犬山国際観光センター　「フロイデ」	5分科会	268	92
2018/3/1-2　（平成29年度）	多治見市産業文化センター	5分科会	170	71
2022/3/10-11（令和3年度）	核融合科学研究所　オンライン開催	5分科会	253	35

表 6.2. 核融合科学研究所主催の技術研究会開催実績

6.3. 自然科学研究機構技術研究会

自然科学研究機構として 5 研究所が 1 法人となったことを受け「自然科学研究機構 5 研究所の技術職員が、多様な科学技術業務の交流と連携を通じ、機構の技術職員のネットワークの構築を行う」ことを開催目的とした自然科学研究機構技術研究会が、5 研究所の持ち回りで 2006 年度から国立天文台（第 1 回）で開催された。自然科学研究機構技術研究会の開催実績を表 6.3.に示す。各研究所の研究分野や業務の違いがある中で、機構内の技術連携が図れないものか検討した結果、先ずは、他の研究所の技術職員がどの様な仕事をしているのか互いに理解を深めるために、各研究所の技術職員が互いに業務を報告する形式で本研究会を開催することになった。研究会を進める中で、全く異なる分野の方に対する業務報告は、所属分野では常識のように使われている専門用語も他では通じないということが分かり、専門用語を分かりやすい言葉に置き換えたり、用語の解説書をつくる等の工夫をしながら行ってきた。しかしながら、各分野における第一線の技術紹介やトピックスなどは大変興味深く、互いの業務を知り理解することでは一定の成果があったが、各自の業務に展開するには至らず、目的とする機構内の技術連携にあまり発展していないと感じるところがあった。

そこで、3 巡目（第 11 回）以降は次のような新たな開催目的を掲げ、技術連携への発展

を試みてきた。「多様な研究分野が集まる自然科学研究機構の特徴を生かし、一つの技術テーマについて多様な視点から議論・検討を行うことにより、新たな技術展開の可能性を探る。」「自然科学研究機構の他の研究所の技術動向を把握し、自らの技術業務への適用の可能性を探る。」特に、核融合科学研究所が主催した 2018 年（平成 30）度第 13 回の研究会では、「管理」をキーワードにして 5 研究所で共通する技術分野の絞り込みを行い、その中で互いが持つ技術の紹介を行った。技術分野の絞り込みの中で、研究分野は大きく異なっても造る、測るなど基礎技術には共通性を見出せることが分かったことは意義深い。その他、各自が抱える問題点の紹介を行い、その解決策について異分野の視点を交えて議論する試みを行った。その結果、各研究分野で扱う機器や規模は大きく異なっても問題点となっている現象には共通性を見出すことができ、各々の視点、経験を基に解決策の情報交換が行われた。その後、この取組により自然科学研究機構技術職員間の共通課題に対する理解が深まりより良いネットワークが形成されたことは、開催を継続したことに意義があったと感じる。更にテーマを決める中で、各研究所の世話人となった技術職員同士が定期的に会合することで研究所を超えた繋がりができ、研究会を開催してきたことは、他の取り組みには無い達成感があったと思われる。新型コロナウイルス感染症拡大の影響によりオンラインでの打ち合わせが容易にできることになったことも機構内技術職員の連携を促進した。

4 巡目となる第 16 回では、より技術交流に発展させるために、研究会形式を発表型からディスカッション型に変更することを試みた。更にディスカッションのテーマについても、各々が解決したい課題を挙げる提案型に変更し、共通課題を抱える者や既に解決策を構築した者が興味あるテーマに自ら参加する形式を試みた。各テーマに於いて積極的な参加者が集ったこともあり、異分野の視点を交えた意見交換がこれまで以上に活発に行われ、目的とする技術交流により近づいた、手応えを感じた研究会となった。

本技術研究会は専門の異なる異分野間の技術研究会である。各分野の最先端技術開発に於いて基礎技術の充実が不可欠であるが、各分野それぞれ得手不得手の領域があり、その不得手の領域は各専門の研究会では解消できないことも少なくない。本研究会は専門分野が異なるがゆえに、不足する専門領域を互い補いあえる関係が築ける可能性がある。そして、このような地道な取り組みを通じてこそ、各分野の最先端技術開発の発展に繋がっていくものと考えている。今後も、異分野間の技術研究会を強みとして打ち出せる運営を模索していきたい。これまでの自然科学機構技術研究会の発表者リストを参考資料（表 s5.）に示す。

開催回	開催日	主催	主催
第1回	2006/5/22-23	国立天文台	技術力向上のための画像処理技術
第2回	2007/6/25-26	分子科学研究所	業務紹介
第3回	2008/7/24-25	核融合科学研究所	業務紹介
第4回	2009/6/25-26	基礎生物学究所	業務紹介
第5回	2010/6/23-24	生理科学研究所	業務紹介
第6回	2011/5/26-27	国立天文台	研修・業務紹介
第7回	2012/5/23-24	分子科学研究所	業務紹介
第8回	2013/6/6-7	核融合科学研究所	業務紹介
第9回	2014/6/19-20	基礎生物学究所	業務紹介
第10回	2015/6/18-19	生理科学研究所	業務紹介
第11回	2016/6/9-10	国立天文台	装置の安定運用
第12回	2017/7/13-14	分子科学研究所	装置・業務の安定運用
第13回	2018/6/7-8	核融合科学研究所	管理
第14回	2019/6/20-21	基礎生物学究所	データの取り扱い
第15回	2021/6/24	生理科学研究所（オンライン）	技術連携の模索
第16回	2022/6/23	国立天文台（オンライン）	グループディスカッション

表 6.3. 自然科学研究機構技術研究会　開催実績

6.4. 自然科学研究機構代表者会議

自然科学研究機構内の国立天文台、核融合科学研究所、基礎生物学研究所、生理学研究所、分子科学研究所の技術組織の代表者が会議を定期的（1 回／月）に開催し、組織運営、人事・予算、研究会研修・行事、安全衛生、技術職員の教育等の情報交換を行っている。同じ機構内であっても技術組織の運営体制や人員構成、技術の伝承、若手の育成などは各機関で異なり組織運営についてそれぞれの機関で行われているので、各研究機関の業務に対する取り組み方など組織を運営する上で役に立つ情報やコメントなど得ることができる。機構内技術職員の代表者の連携は、非常に重要であり、今後、機構内学術的な共同研究・技術開発の発展や技術職員の技術の向上及び技術交流等の情報交換ができる会議としたい。

6.5. 技術協力・共同研究

技術部は、これまで LHD の建設や装置開発で培った技術を生かして、LHD に関係する周辺機器（装置）等の装置開発を行ってきた。特にハード面における設計については、特殊な技術を要することから技術部に設計依頼が増えた。LHD の建設時は、技術職員の人手不足や経験不足から装置開発はメーカ依存となっていた装置が多く、不具合が発生すると迅速に対応することができないといったことがあり、所内開発することは、コストの削減や故障時の対応に迅速に対応できることが大きなメリットでもある。

現在は、それら技術の経験や知見を生かして、技術職員が LHD 共同研究や一般共同研究等に参画し研究開発に貢献している。全国の核融合に関する施設がある大学・研究機関や他分野における共同研究に参画し高い評価を得ている。他機関への技術職員及び学部生や大学院生への教育活動も実施してきた。表 6.5 にここ 10 年の他研究機関への技術協力件数を示す。参考資料（表 s6.）に技術協力実施リスト（国内）（共同研究含む）を示す。また複数の企業と連携して技術開発に取り組んでいる。さらに 5 年ほど前からメーカからの受託研究をはじめとした外部資金を多数獲得しており、受託研究を進める研究費はもとより、技術職員の教育資金としても大いに活用している。技術職員の技術力向上は、今後さらなる研究の向上に繋がることが期待される。現在、核融合研の強みである技術力と民間企業が持つ商品開発力の相乗効果により、実用性の高い商品開発も進められており、将来、核融合研究で生まれた産業技術が社会実装されることも期待される。

Year	Number of technical cooperation
2013	6
2014	7
2015	9
2016	10
2017	5
2018	1
2019	11
2020	9
2021	10
2022	9

表 6.5. 大学、研究機関との技術協力件数（共同研究含む）

6.5.1. 所内における装置開発

技術部で開発した LHD 周辺機器を紹介する。これらは、LHD のプラットフォームとして多くの研究者が利用し研究成果を挙げていると報告されている。これからも装置開発のニーズがあれば、積極的に技術協力したいと考えている。

【20 バレル固体水素ペレット入射装置の設計と組立】

LHD のプラズマ実験で使用される 20 バレル固体水素ペレット入射装置（図 6.5.1.1.）の設計・制御開発・組立てを行った。本装置を、研究者と技術職員が共同して設計・制御開発・組立てを行ったことにより、開発・製作コストの大幅削減とメンテナンスを迅速に対応することが可能となった。システムには「プラント運転監視」と「射出タイミング制御」の 2 つの機能がある。プラント運転監視では、PLC に接続された約 150 点の計装機器を Windows PC から遠隔操作・監視を行う。画面開発に WPF を採用し、これまで以上に効率的で自由度の高い開発を行うことが出来た。射出タイミング制御に於いては、FPGA と LINUX 搭載のコントローラを使用することで、カスタマイズ性に富んだシステムを構築することが出来た。各コンポーネント間の通信には KEK で開発された STARS を採用している。

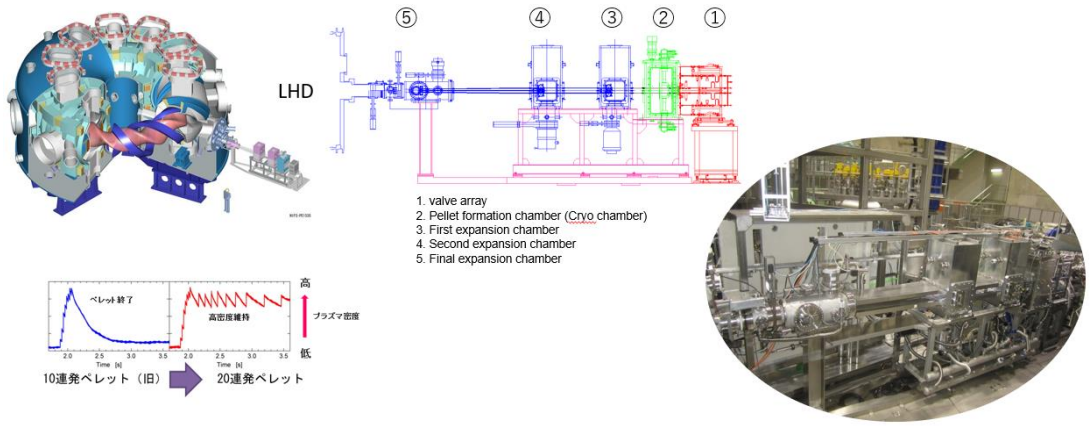


図 6.5.1.1.　20 バレル固体水素ペレット入射装置

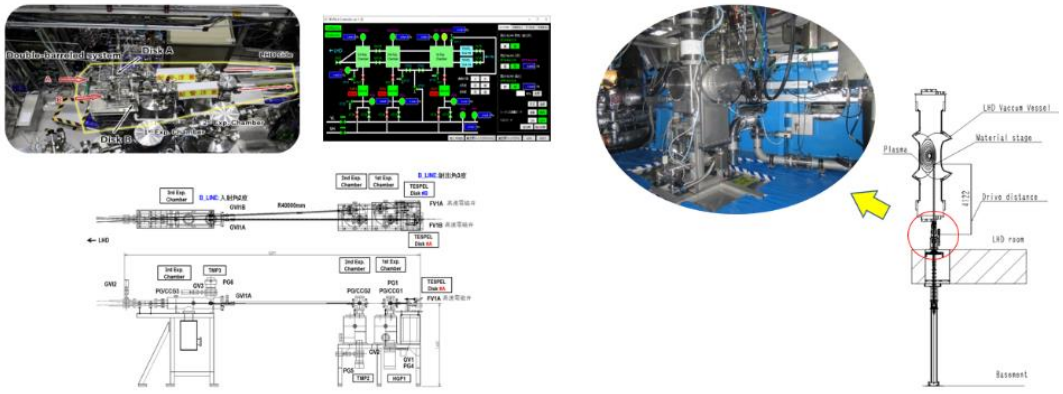
【トレーサー内蔵固体ペレット入射装置（TESPEL）の開発】

LHD の重要な実験ツールの一つとなる TESPEL をこれまで 3 基設計開発した。技術部は、TESPEL を設計開発するための知識や技術は十分にあり、2 台の TESPEL は LHD 用、もう 1 台はドイツの Wendelstein 7-X 用を設計開発した。運転制御システムは、PLC を用い、遠隔操作システムは Microsoft Visual Studio で開発した。図 6.5.1.2.（左）に TESPEL の遠隔操作システムの操作画面と外観図を示す。技術部で TESPEL を開発することで、開発コストを抑えることができ、また、トラブルシューティングも迅速に対応することができる。

【試料駆動装置の開発】

材料をプラズマ照射するための試料駆動装置（可動式マテリアルプローブシステム）を開発した。図 6.5.1.2.（右）に本装置を示す。照射後、LHD 真空容器内を高真空に維持したまま、本装置から材料を取り出すことができる。本装置は、材料を最大スライドストローク

4122 mm 上下に移動させることができる。また、材料は-180 度から 180 度まで回転させることができ、材料ホルダーには熱電対とヒーターを搭載し、材料を加熱して温度を測定することができる。制御系に関しては、PLC、タッチパネル、リモートコントロールコンピュータで構成されている。これは所内開発であるため、開発費の削減と装置改良の柔軟性を確保することができた。



TESPEL　　試料駆動装置

図 6.5.1.2.　トレーサー内蔵固体ペレット入射装置（TESPEL）と試料駆動装置

【閉構造ダイバータ排気システム開発及びタングステンダイバータ受熱板の開発】
定常核融合炉に向けて能動的粒子制御手法の確立が課題となっている。LHD の長時間放電におけるプラズマ密度の制御性を向上させるため、強力な排気システムが必要とされた。特により効果的な排気効果が期待できる、中性粒子密度が高くなるダイバータ領域に真空ポンプを設置することが望ましい。そこで、LHD の閉構造ダイバータ内に設置することを目的としたクライオ吸着ポンプを開発した。真空容器を汚損しない無機接着法を新たに開発することに加え、活性炭の細孔特性とクライオポンプの排気特性の因果関係を実験により定量的に明らかにし、クライオ吸着ポンプに適した高性能活性炭を選定した。さらに 3D-CAD による構造設計に有限要素法による輻射熱･伝熱シミュレーションを連携することで、高い輻射熱環境下においても熱的に堅牢で、かつ吸着パネルを許容温度以下に維持する熱構造設計を実現した（図 6.5.1.3.左）。複数の技術課題を克服し、LHD に本排気システムを実装することで、閉構造ダイバータ 1 セクションあたり約 15～20 m^3/s の排気速度、および 13,640 Pa m^3 の排気速度を達成した。また本開発により、技術職員が筆頭となってプラズマ・核融合学会賞第 22 回技術進歩賞を受賞した。ダイバータ領域には、プラズマ外周部から排出された熱流束を受け止める黒鉛製のダイバータ受熱板が設置されている。しかしながら、黒鉛はその多孔性によりトリチウム蓄積の課題があるため、ITER ではプラズマ対向材料として、タングステンが有力な候補材となっている。そこで LHD においてもタングステンダイバータ受熱板の開発が精力的に進められ、技術部では産学連携で開発した異種金

属接合技術を用いて、タングステンダイバータ受熱板の開発を行った（図 6.5.1.3.右）。

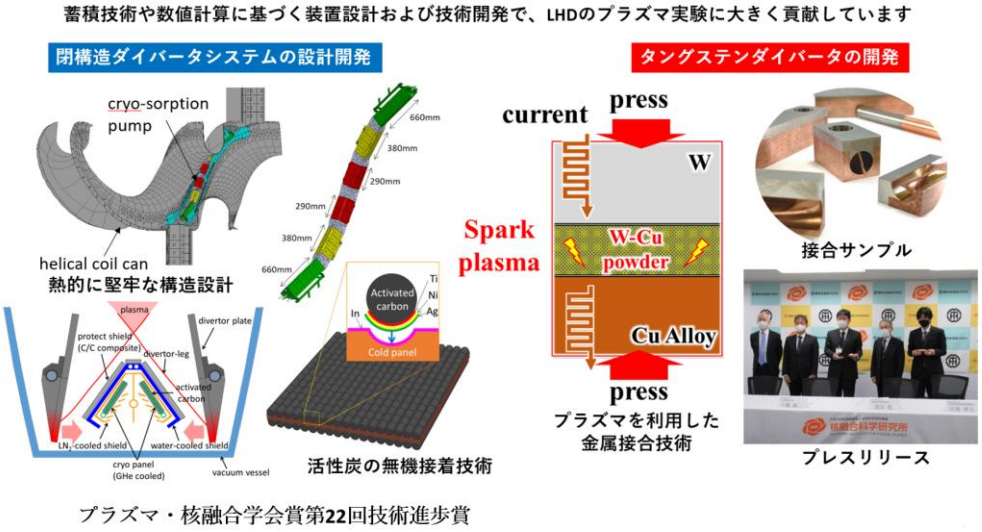


図 6.5.1.3. 閉構造ダイバータ排気システムの開発と異種金属接合技術の開発

6.5.2. 他大学・研究機関への技術協力・共同研究

技術部では、他大学・研究機関におけるプラズマ実験装置の技術開発や装置設計に係る技術課題の克服に貢献してきた。特に有限要素法を用いた数値解析技術を幅広く活用し、他大学・研究機関の研究者・技術者との技術打合せを通じて、今後の技術交流や共同研究に繋がる人的ネットワークを構築した。具体的な例として、九州大学の QUEST においては、トロイダルコイル給電部およびトロイダルコイル用アルミブスバーに発生する電磁力を数値解析し、構造健全性を評価した。名古屋大学の液中プラズマ装置では、プラズマ発生部に流入する流体の流速と圧力を評価し、これまで課題であった流路の最適化に貢献した。量子科学技術研究開発機構の ITER 計測機器開発において、プラズマからの輻射熱や中性子発熱を考慮した熱流体解析を通じて、熱的堅牢性の高い工学設計に寄与した（図 6.5.2.）。また製作技術課による機械工作や回路工作においても直接的な技術協力や共同研究を通して多くの技術協力や支援を行ってきた。

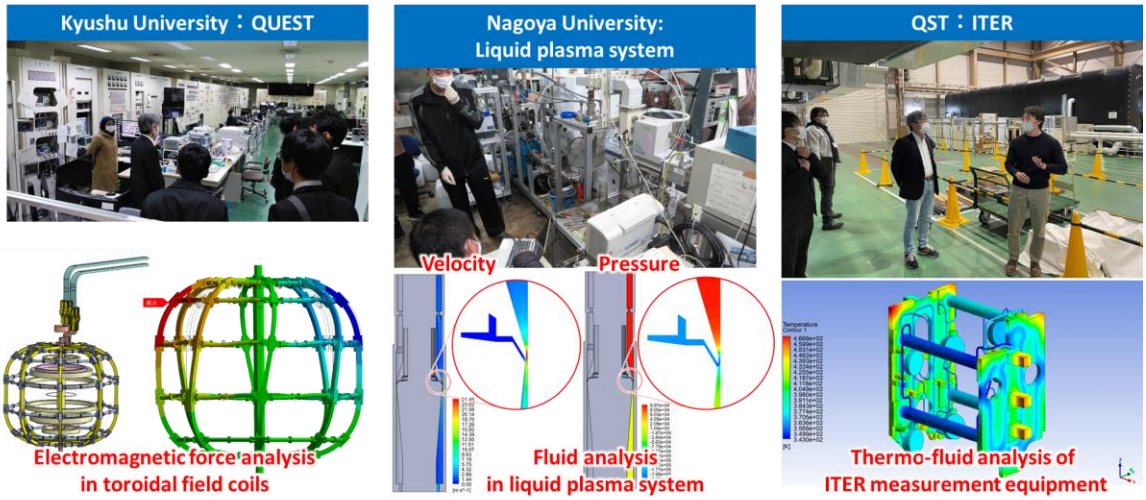


図 6.5.2.　大学・研究機関への数値解析技術による技術協力

6.5.3. 他大学・研究機関の学部生・大学院生への教育活動
（京都大学、名古屋大学、京都工芸繊維大学、東京大学、九州大学、東北大学等）

技術部では他大学・研究機関に在籍する研究者、技術者、学生を対象に、製作技術・真空技術・低温技術に関わる技術など、多岐に渡る技術的支援を提供している。近年、実験装置や計測機器の設計において構造解析などのシミュレーションによる解析技術はなくてはならないものとなっている。そこで技術協力の枠組みで有限要素法を用いたシミュレーション技術を主に学生向けに提供している。これまで京都大学、名古屋大学、京都工芸繊維

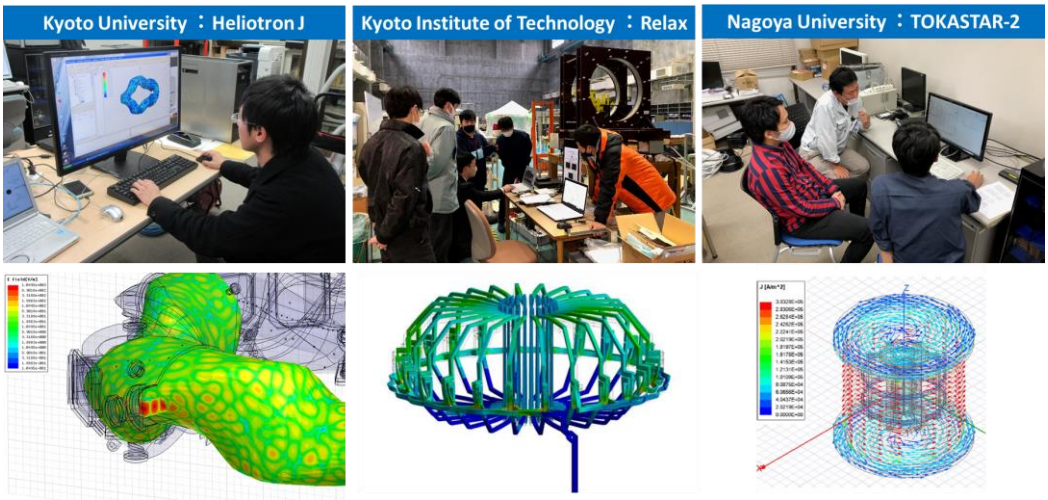


図 6.5.3.1.　数値解析技術を用いた学生教育

大学で技術提供の実績（図 6.5.3.1.）がある。それぞれ解析したいテーマについて、事前に綿密な打合せの上、解析モデルを作成し、最適な解析手法や境界条件を設定した。また得られた解析結果について共に物理的な考察を議論した。東京大学や九州大学においても学生への教育活動も行った。東京大学では、RT-1 のプラズマ実験に使用しているスクロールポンプの実際の解体と保守作業を NIFS で実施し、作業前ミーティングから実際の作業まで、高いレベルの一連の作業工程を実習した。RT-1 装置の実験や開発に生かしていくと同時に普段解体することが無いスクロールポンプの仕組みを考える良い機会になった（図 6.5.3.2. 右）。合わせて、真空技術や本ポンプ仕組み等の講義を Zoom 会議システムにて、東大の研究室へ配信し研究室の学生が聞くことができた。また文部科学省における「先端研究基盤共用促進事業（コアファシリティ構築支援プログラム）」においても技術職員の技術の向上も重視しており、大学へ講師として招かれその一翼を担っている。さらに九州大学応用力学研究所の実験装置の安全巡視及び学生への安全に関する講義（図 9.3.2. 左）を行うなど、LHD がこれまで安全に運用してきた経験を伝えることで安全に対する意識を高めることにも貢献した。

図 6.5.3.2. 安全巡視・安全に関する講義・真空ポンプの分解点検の実習風景

6.5.4. 国際共同研究及び国際技術協力

国際共同研究や国際技術協力にも技術部は積極的に参画している。NIFS と中国西南交通大学は 2017 年に学術協定を結んだ、共同プロジェクトとして世界初の準軸対称ヘリカル型実験装置となる CFQS の設計研究については、技術部から育成も兼ねて若手を中心に送りだしている。フランスにて建設が進む世界 7 極の共同プロジェクトである国際熱核融合実験炉 ITER に対しても、核融合研における LHD の低温システム運転実績とそのダイナミッ

クシミュレーションを行ってきた経験を活かして、2011 年に ITER 機構と技術契約を結び、超伝導マグネット冷却システムのシミュレーションモデルを構築してきた。ITER では、DT（重水素-トリチウム）燃焼を伴うプラズマ実験が計画されているため、非常に大きな熱負荷変動が低温システムに発生することが予想されている。2018 年にはヘリウム液化冷凍機モデルと組み合わせたシステム全体のシミュレーションを行えるようになり、ヘリウム液化冷凍機への過剰な熱負荷を緩和するための運転方法等の検討に貢献した。また、ドイツとの国際共同研究プロジェクトとして、マックス・プランクプラズマ物理研究所のヘリカル型核融合プラズマ実験装置：Wendelstein 7-X にトレーサー内蔵固体ペレット入射装置（TESPEL）を導入した。

【国際共同研究及び国際技術協力（CFQS 設計支援)】

NIFS と中国西南交通大学は 2017 年に学術協定を結び、共同プロジェクトとして世界初の準軸対称ヘリカル型実験装置となる CFQS の設計研究を開始した。現在、装置製作を担当する合肥 Keye 社によって、モジュラーコイルや真空容器の製造が進んでいる。この枠組みの中で、NIFS 技術部は装置設計に関わる技術協力を行った。有限要素法解析ソフト ANSYS を用いた解析では、CFQS 真空容器を対象として、ベーキングの温度上昇に伴う熱応力や真空排気時の大気圧による応力、渦電流が発生した際の電磁力による応力を計算し、それらが許容値以下であることを示した。図 6.5.4.1.(Fig.1,2) は装置の概要図、図 6.5.4.1.(Fig.3,4)はその解析結果である。また、図 6.5.4.1.(Fig.5)に示すように、コイル通電に伴って真空容器に発生する渦電流の時刻歴変化を計算し、通電からプラズマ点火の間に渦電流がほぼすべて減衰し、プラズマ点火時に磁場へ影響を与えないことを明らかにした。これらの解析により、装置設計の妥当性を示すことができた。加えて、CFQS の電力システ

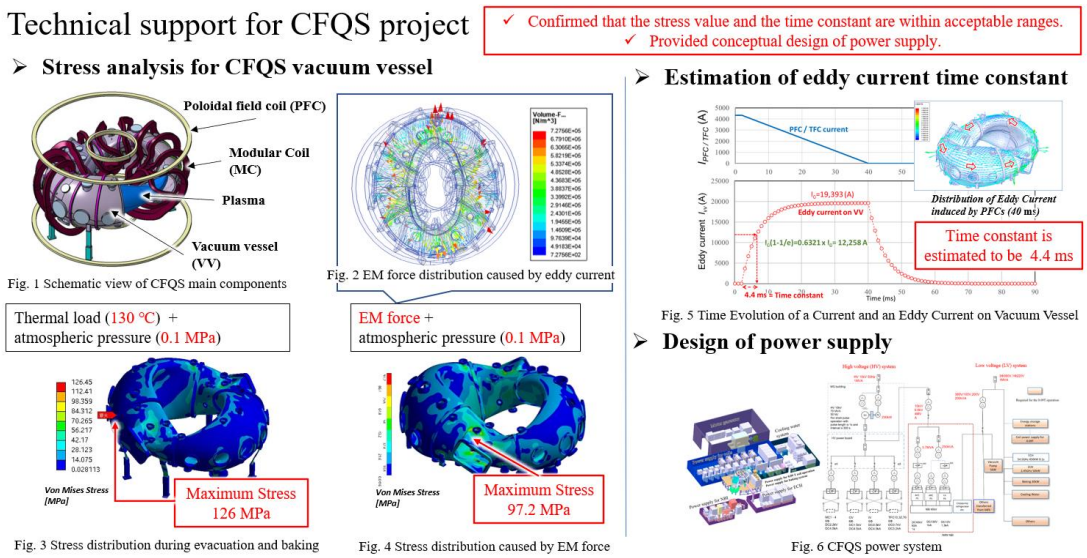


図 6.5.4.1 CFQS の技術協力

ムの構成、配置等の概念設計を行った。CFQS の運転は、商用電力からの直接受電では電力系統を大きく逼迫するため、電力エネルギー蓄積システムを利用する設計とした。図 9.4.1.(Fig.6)に設計した電力システムを示す。本取り組みにより、CFQS の電力システム設計は詳細設計段階に移行し、CFQS の建設プロジェクトに大きく貢献することができた。

【ITER 低温システムダイナミックシミュレーション】

核融合科学研究所は、2010 年にフランスの国際核融合エネルギー機構（以下、ITER 機構）と ITER 低温システムの冷却プロセスに関する業務外部委託事業の契約を締結した。本契約では、ITER の 4 つある超伝導マグネット冷却ループのシミュレーションモデルを構築し、DT(重水素-トリチウム)燃焼プラズマ実験時に発生する核発熱を含む非常に大きな熱負荷変動がヘリウム液化冷凍機へ及ぼす影響を調べ、熱負荷変動を緩和する制御方法を検討することを目的とする。冷却ループのシミュレーションモデル構築には核融合科学研究所が開発してきた低温プロセス実時間シミュレータ（C-PREST）の環境を利用し、パルス的な熱負荷変動をシミュレートするために必要となる長尺配管、超伝導導体や冷却ループに冷媒を循環させるポンプなどを計算するユニットモデルを新たに開発してきた(図 6.5.4.2.)。また 2018 年には 4 つの超伝導マグネット冷却ループシミュレーションモデルと ITER 機構で構築した液化冷凍機モデルとを接続した Co-simulation（協調シミュレーション）を行えるようにし ITER 低温システム全体のシミュレーションが可能となった。シミュレーションより得られた結果は ITER の設計や今後の運転方針の検討に貢献した。

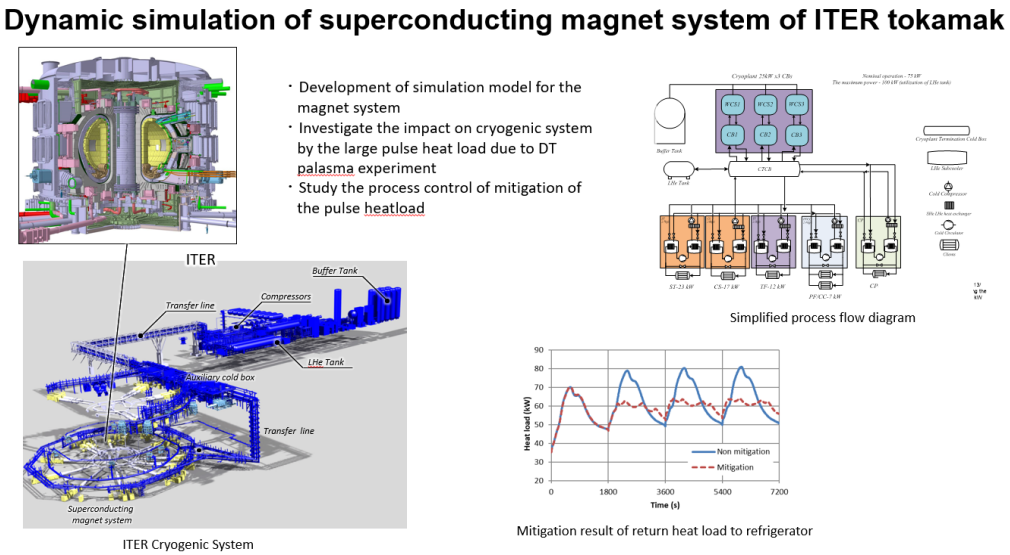


図 6.5.4.2.　ITER 低温システムダイナミックシミュレーション

【トレーサー内蔵固体ペレット入射装置の設計開発（TESPEL)】

ドイツとの国際共同研究プロジェクトとして、マックス・プランクプラズマ物理研究所のヘリカル型核融合プラズマ実験装置：Wendelstein 7-X に多種な金属をプラズマに入射する装置であるトレーサー内蔵固体ペレット入射装置（図 6.5.4.3.）を導入した。技術部で設計・製作・組立・制御開発を行い、日本にて組み立て及び射出試験した後、ドイツへ輸送した。

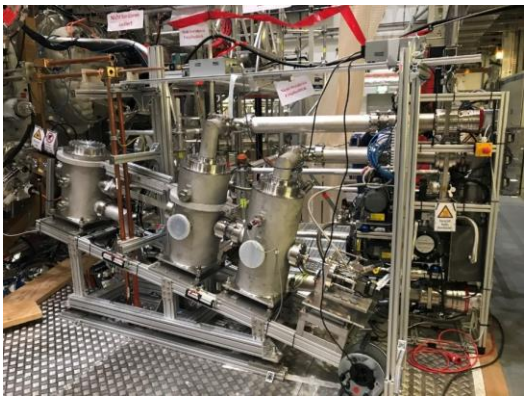


図 6.5.4.3. レーサー内蔵固体ペレット入射装置（TESPEL）

6.5.5. 計測機器等共同利用について

核融合科学研究所では、NIFS 一般共同研究委員会の下に、計測機器等共同利用小委員会（以下、「小委員会」）を設置しており、小委員会の管理・運営の下、計測機器等の共同利用（貸出）を行っているが、技術部ではこの小委員会に委員として参加し、計測機器の受取・発送、チェック、保管、資産確認等の実務を行っている。技術部としては、大学、研究機関へ貸し出すことにより故障や不具合が少なからずあることから、点検、消耗品の交換、修理等を行って健全な状態で貸出を行っている。過去に、貸出機器である四重極質量分析計（mks 製、e-Vision2）（図 6.5.5.）が故障した時は、技術部で分解調査を行い、電極を接続する配線が破損していることを究明した。破損していた配線を補修、またイオンソース部が汚れていたためイオンソースを予備のフィラメントに交換するという保守作業を行い分析計の動作確認後貸出を行った。その他、三脚の雲台のネジ穴が破損していたときも、技術職員が補修を行う等して、コスト安や修理期間の短縮に貢献している。

図 6.5.5. 四重極質量分析計修理

（５） これまでに培った技術的な経験・知見を産学連携活動に活用できているか。

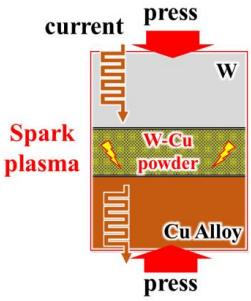
7. 産学連携及び受託研究

技術部では、核融合研究を支援する技術を企業等に技術提供し、産学連携活動を推進しており、2017 年（平成 29 年）9 月、東邦金属株式会社と異種金属接合技術に関する共同研究契約を締結した。また 4 年前から、これまで LHD の建設から LHD プラズマ実験を支える設計技術を活用して、技術部も企業等からの委託を受けて職員が業務として行う受託研究を積極的に推進してきた。これまで 6 件の受託研究を行い、外部資金の獲得を行ってきた。外部資金については、受託研究に必要なハード、ソフトの購入及び技術職員の教育活動に使用し、技術職員の技術の向上と発展に活用した。

7.1. 産学連携

【金属接合技術】

技術部では、核融合研究を支援する技術を企業等に技術提供し、産学連携活動を推進しており、平成 29 年 9 月、東邦金属株式会社と異種金属接合技術に関する共同研究契約を締結した。本契約は、ダイバータ受熱板開発に係る蓄積技術や技術開発能力を活用し、従来困難であったタングステン（W）と銅（Cu）合金の接合に関する技術開発である（図 7.1.左)。本開発では、通電加熱法の一種である放電プラズマ焼結法（SPS）を用いた。従来の SPS 法では、真空中やアルゴンなどの不活性ガス雰囲気下で接合を行うが、接合処理中に装置内に残存する酸素によりWが酸化し、材料の接合強度が低下する課題があった。そこで、接合時の W の酸化を防止するため、高純度の水素還元雰囲気における接合プロセスを確立し、課題を克服した。加えて、W と Cu 合金の熱膨張差により接合界面に大きな熱応力が生じ、界面に剥離や亀裂が生じる課題があった。そこで、中間層として W と Cu の混合粉末を用いた。この混合粉末の効果により、熱応力を緩和すると同時に、W と Cu 合金をプラズマ放電で高強度に接合することに成功した。この一連の接合プロセスを特許



異種金属接合技術の模式図

開発した異種金属接合技術PSB法の接合例

東邦金属との共同記者会見
（令和2年9月18日）

図 7.1. 異種金属接合技術

化し、粉末固体接合（PSB）法と命名するとともに、本技術に関して東邦金属株式会社と共同記者発表された（令和 2 年 9 月 18 日）（図 7.1.右)。

7.2. 受託研究

【受託研究事例】

技術部では、企業等からの委託を受けて職員が業務として行う受託研究についても積極的に推進している。表 7.2.にその実績を示す・

年	受託研究項目
2018_4	磁気シールド
2018_11	磁気シールド
2019_11	冷却配管耐震解析
2020_3	電源盤耐震解析
2021_3	電源盤耐震解析
2021_9	計装制御盤の耐震構造解析

表 7.2. 受託研究実績

実験装置や制御盤等、構造物の耐震解析や高磁場環境下における磁気シールドの性能検証といった、これまで LHD プラズマ実験を支える設計技術を活用して受託研究を実施した（図 7.2.)。磁気シールドの評価では、企業から提出された磁気シールドの図面をもとに 3D-CAD ソフトを用いて 3 次元立体構造を製作し、これに磁場を印加することでシールド内部の磁場強度を算出した。シールド内部の磁場強度が定められた許容磁場を下回っているかを評価する。環境磁場や材料物性値（B-H 曲線等）は企業担当者と十分協議した上で設定した。耐震解析では依頼先の要望により、以下の 2 種類の解析方法から選択した。①水平加振加速度を構造物に加えて、構造物にかかる応力を算出し、構造材料の許容応力以下であるか評価した、あるいは②構造物の固有振動数を解析し、第一固有振動数モードが

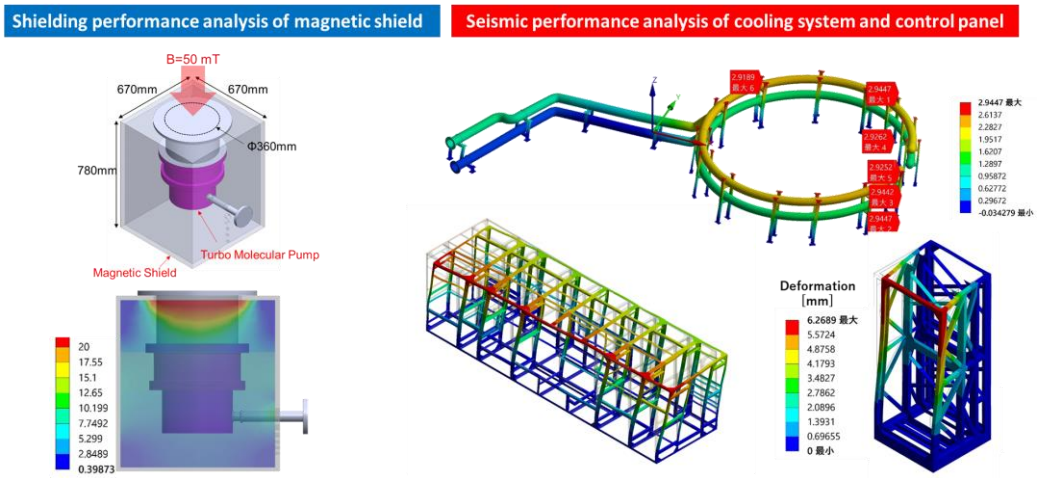


図 7.2. 受託研究で実施した解析事例

地震動に含まれる周波数（～20 Hz）以上であるか評価した。初期条件や境界条件など具体的な解析手法は、業務を委託する企業の担当者と綿密な協議の上、決定した。また解析結果は全て報告書に纏め、受託研究報告会にて企業等の関係者に報告された。

（６） 技術の継承及び発展と向上に組織的に取り組むとともに、技術職員個人の自主性を支援する環境が整っているか。

8. 技術の継承・技術職員の技術の発展と向上

若手技術者への技術の継承については、どの機関においても重要課題である。しかしながら、それを実行することは、教える側と継承する側の技術に対する考えが一致しなければ効率よく継承できず、技術継承の課題は常に議論が必要である。

2006 年度の外部評価では、先端技術・特殊技術・熟練技術・ノウハウ等、育成と伝承に時間を要する基盤技術の存在と必要性を指摘するとともに、人員配置に関しては、今後、研究所の全体方針や計画策定の中で、長期的なビジョンを持ってそれを最適化し、具体的に措置していくことを要望・提言されていたが、これまでの LHD の運転実績や 2017 年度からの重水素実験等の実績を鑑みて、実験に必要な基盤技術は概ね継承できていると判断する。一方、より最新の最新ソフトやハードを使いこなすことにより、より発展した技術を身に着けている若手技術職員も多い。ここ 5 年で約 11 名の技術職員が退職し、10 名の新人技術職員が採用され約 1/5 の技術職員の新旧交代が行われた。LHD 実験開始から 24 年が経過し、次期装置の設計・開発を開始すべき時期となっている。技術部としては、技術職員の教育が急務と考え、開発機材の導入や専門技術の学習機会を設ける他、国際共同研究へ積極的に参加させ、海外の核融合実験装置（CFQS）の開発設計を体験させる、あるいは他研究機関・産業分野から求められる数値解析等、様々な経験を積ませてきた。LHD の後継となる次期装置や今後核融合研で主流となる「プラットフォーム」では、現在の若手技術職員が主役となって働くことになるが、研究者に信頼される技術者になるようこれからも技術職員の教育に力を注ぐことに努めなければならない。今年度技術職員が、JST が企画するプログラムマネージャー（PM）の育成プログラムに合格した。さらに機構のミッション実現事業に技術部主導で技術開発を進めようとしている。今後は、技術職員個人の自主性を支援する環境を整えていく必要がある。技術職員の技術の向上無くして、核融合研究の更なる発展も無いと考える。

8.1. 新人研修

新規採用者に対して、技術部 5 課を 1 日ずつ廻り各課業務内容の説明を受ける新人研修を行っている（図 8.1.）。各課構成職員が自身の担当業務について３０分～１時間程度を担当し、主に現場にてＬＨＤへの貢献を交えながら担当機器の説明を行っている。例えば、製作技術課に於いては、機械加工、電気・電子回路製作について。装置技術課は、ＬＨＤの真空容器整備・管理及び実験運用に係る真空排気システム、放電ガス供給システム等の概要や開発内容。加熱技術課は、イオン・電子サイクロトロン共鳴加熱、中性粒子入射加熱の原理や装置概要。計測技術課はプラズマ計測の機器概要に加えて放射線管理の概要等。制御技術課は、中央制御装置やＬＨＤ超伝導コイルの冷却に欠かせないヘリウム液化

冷凍システムの構成及び整備概要等に関して説明を行っている。この研修では、これから自身が担当する業務とＬＨＤ実験との関り、業務遂行において他職員との連携が重要であることを認識する重要な機会となっている。

また、プラズマ実験の主要機器に直接携わっていない職員に対しては、プラズマ実験期間中において、放電ガス供給システムや真空排気システム、加熱装置、計測機器の運転操作業務に携わることで、プラズマ実験に大きく関わる研修を設けている。この様な研修は、該当機器の構成や制御系に関して独特な設計思想等に触れる貴重な機会となっており、自身の業務の効率化や課題解決を図るための企画力、発想力の向上に役立っている。

日程	担当課	時刻	内容	時間
1日目	製作技術課	午前	機械工作実習	2時間
		午後	回路工作概要説明と実習、部品室	4時間
2日目	装置技術課	午前	LHD全体説明	30分
			真空容器、GV制御装置	45分
			CAD、解析、3Dプリンタ	45分
		午後	ユーティリティ	1時間
			真空排気装置	45分
			排気ガス処理システム	45分
3日目	加熱技術課	午前	加熱装置などの概要紹介	30分
			NBIと保守作業室について	90分
		午後	MG、加熱装置用冷却水設備の後、ECHの概要説明	2時間
			ICHについて	1時間
4日目	計測技術課	午前	計測機器全般について	90分
			データ処理システムについて	30分
		午後	LHDガス供給システムについて	45分
			放射線総合監視システムと入退管理について	1時間
			RI 廃棄物の処理等について	30分
5日目	制御技術課	午前	研究所ネットワーク(研究基盤LAN：NIFS-LAN、実験LANLHD-LAN)について	90分
			制御システム、制御棟について	1時間
		午後	情報通信システム部について	30分
			コイル電源について コイル電源オペレーションの説明 コイル電源装置、バスラインシステムの紹介	1時間
			低温システムについて	90分

図 8.1. 新人研修プログラム

8.2. 研修、講習

技術職員として必要な人事制度上の知識、職務に必要とされる技術について、技術部として次のように研修を受講する。

・東海北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修
・東海地区国立大学法人等係長研修
・東海地区国立大学法人等リーダーシップ研修
・自然科学研究機構初任者研修

業務に必要とされる免許・資格は、必要度に応じて参考資料（表 s7）に示すように順次取得を行ってきた。技術に関しては、ハード、ソフトを問わず業務の必要性に応じて研修や講習を受講できる（図 8.2.)。受講費についても、出張費と合わせて予算化されている。また受託研究等で得られた外部資金を利用して、その研究に関する講習や現場視察など積極的に進め技術職員の経験や技術に対するスキルアップを図っている。また中堅クラスによる

講習会の開催や教授を招いて「磁場閉じ込め核融合研究におけるプラズマ物理の基礎」を開催して核融合を目指す職員としての知識を身に着けている。

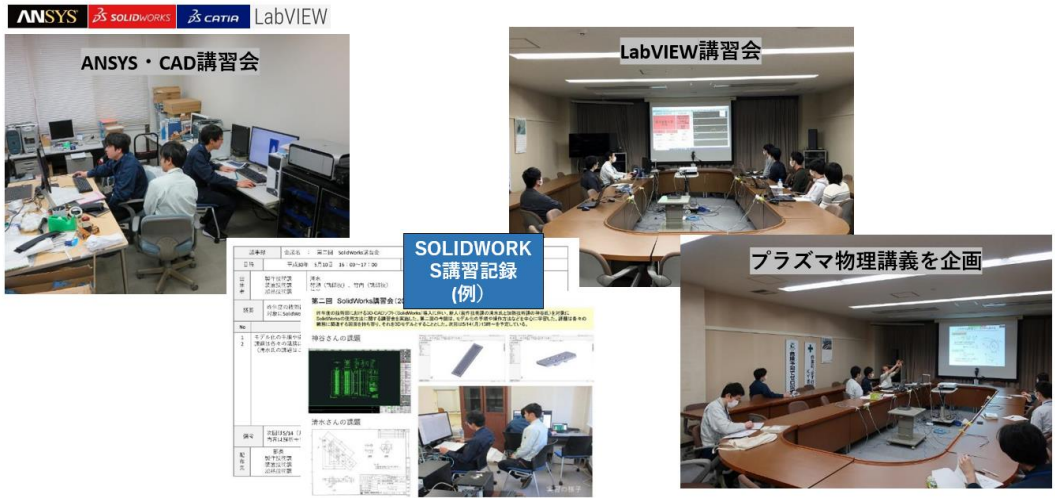


図 8.2. 講習会・研修・講義風景

8.3. 技術の継承について

LHD のプラズマ実験開始から 23 年が経過し次期装置の設計・開発を開始すべき時期に来ている。現在、直面している課題として、LHD の安定運用を目指してきたことで、装置の運転・保守業務が主となり設計・開発業務が減少し、ハードに関する経験・実績を積む機会が減少している。また、前述で述べたように、世代交代による人材不足、戦力低下が懸念された。若手職員と中堅職員でグループを作り、LHD 関連の本務とは別に、「経験を積ませる業務」を提供している。その中で、中堅職員においては、リーダー意識やマネジメント力の強化を図り、一方、若手職員においては、設計・開発に必要な技術的スキルを身に着くようにした。核融合研の教授によるプラズマの講義や、制御開発ソフトや 3DCAD・CAE 等の講習会も希望があれば講習会を開催し、また外部機関へ受講させる予算や枠組みも準備している。章 9 項、章 10 項で紹介する技術協力、共同研究、国際共同研究、産学連携にも積極的に参加し経験を積ませている。さらに受託研究においては、実務経験を積ませる良い機会である。特に、求められた報告期限に間に合わせる調整力、外部機関に向けて研究成果を報告する責任感、などを醸成しながら、必要な技術を身に着けることができる。さらに、これらの成果を学会や技術研究会で報告することでプレゼンテーション能力も向上する。

【ヘルムホルツコイルの整備（課題 1)】

高磁場環境での装置の健全性を確認するため、有限要素法による磁場解析を行った際、「磁場解析をしたのだから、実際に測定してはどうか」という提案があり、ヘルムホルツコイルの磁場発生装置を整備（図 8.3.1.）した。これは技術職員に経験を積ませる一貫でもあ

り、装置の設置、電源の整備、電源制御を分担しそれぞれの役目を期限までに行うことで中堅をリーダーに若手を中心にグループを組み、整備及び磁場測定を行った。本取組は 2018 年度に採用された技術職員に対する新人教育プログラムを兼ねて実施され、そして解析で得られた結果と測定結果とを比較検証することで、解析結果の信頼性について考察することができた。本装置は汎用性が高く、磁場環境下での装置の健全性確認や学生実験にも使用されるようになり、プラットフォームとしての基盤設備となった。

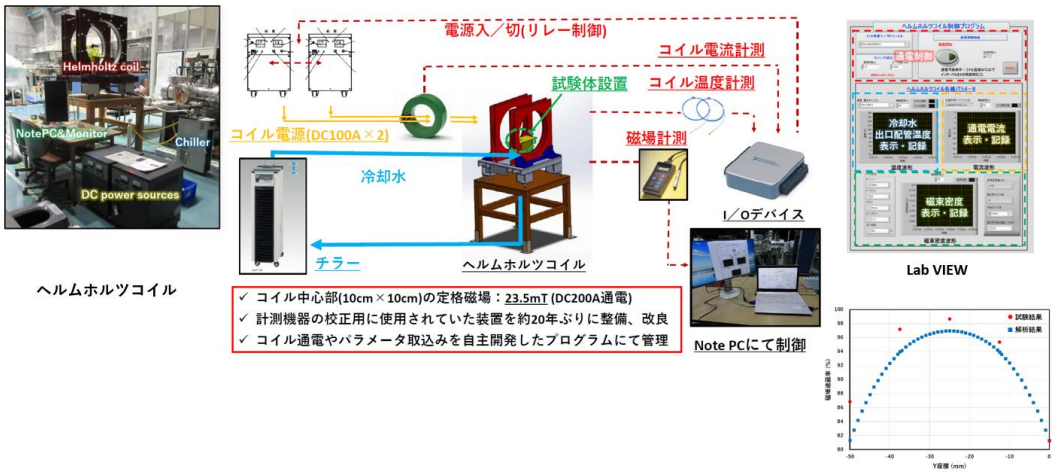


図 8.3.1.　ヘルムホルツコイルの整備（課題 1）

【プラズマ発生装置（卓上）の整備（課題 2)】

1986 年京都大学ヘリオトロン核融合研究センター（現エネルギー理工学研究所附属エネルギー複合機構研究センター）がひかり博（池袋）で展示した装置（本体のみ）を移管し核融合研で復活させることになった。本取組は技術職員に経験を積ませ、プラズマを点火する仕組みを理解させることを目的として、装置の設置、電源の整備、電源制御、真空整備、高周波加熱、点火シーケンスを分担しそれぞれの役目を期限までに行うことで中堅職員をリーダーに若手を中心にグループを組み整備を行った（図 8.3.2.)。卓上ヘリカル型磁場閉じ込め装置を立ち上げることで LHD 全体の概要が理解できるような課題を行った。

1986年京都大学にて展示

プラズマ点火装置の検証風景（核融合研）

図 8.3.2.　プラズマ点火装置（卓上）

8.4. プログラムマネージャー（PM）研修（図 8.4.）

技術部では、LHD プロジェクトの他、他機関への技術協力や産学連携活動など多様なプロジェクトを並行的に進められている。なかでも技術革新につながる挑戦的な技術開発を推進するためには、個々の課や係に閉じることなく、これまで培った核融合技術を継承しながら、優れた技術を採り入れ、より高い技術開発目標を達成することが必要である。そのためには、技術開発構想を立案し、優れた技術シーズや技術者を目利きし、分野や組織を超えて複数のプロジェクトを束ねたプログラムを編成することが求められる。

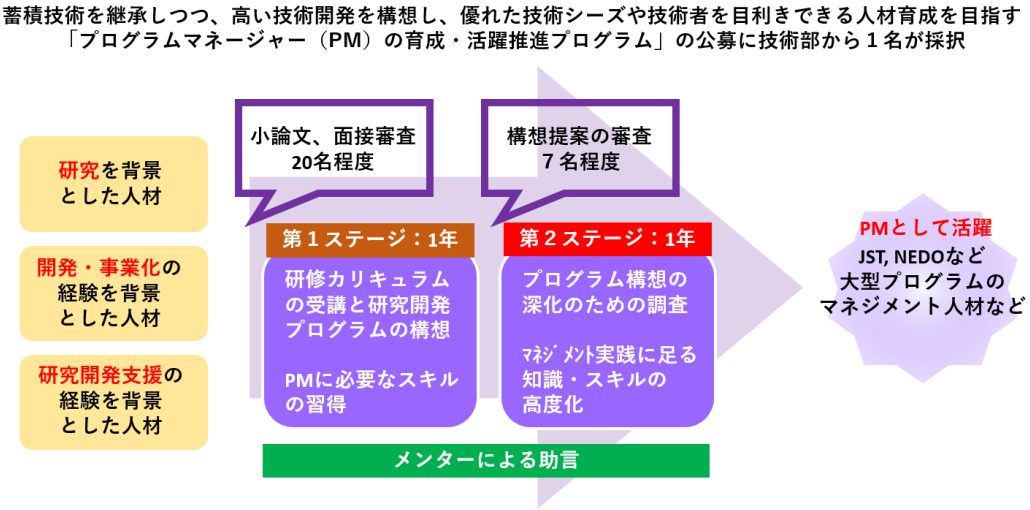


図 8.4. プログラムマネージャー（PM）の育成プログラム

国立研究開発法人科学技術振興機構（JST）は平成２７年度に、「プログラムマネージャー（PM）の育成・活躍推進プログラム」を立ち上げた（https://www.jst.go.jp/innov-jinzai/program/pm/）。令和４年度第８期生の公募では、技術部から１名が採択された。

本研修を通じてPMに必要な知識・スキルを学び、メンターの助言を受けつつ、自らが考えた研究開発プログラムの提案書の作成（第１ステージ）から実行（第２ステージ）までを実践する。今後、技術部が主体となり核融合研究から派生した技術を活用し、研究者とともにJSTやJICA、NEDOなど、国の大型プログラムのマネジメント人材を輩出することが期待される。

8.5. 自然科学研究機構：ミッション実現戦略事業

令和４年度より自然科学研究機構から「ミッション実現戦略事業」の予算が配分された。事業名は「核融合先端技術の汎用化によるSDGsへの貢献」であり、ここで言う「ミッション」とは、核融合関係技術の社会実装によるＳＤＧｓへの貢献である。NEDOのプロジェクトや産業界との共同開発などSDGs指向の産学連携の実現、あるいはJSTの予算獲得などをアウトカムとするスタートアップや研究体制の構築を支援する事業である。

技術部では、核融合研究を支援する技術開発を活用した事業「未利用バイオマスを用いた高機能活性炭の創製とその社会実装」（図8.5.）について応募し、採択された。国連食糧農業機関（FAO）によると、現在世界で年間４億トン以上のバイオマスが、焼却によって処理されている。また気候変動に関する政府間パネル（IPCC）によると、バイオマスの焼

図 8.5.　ミッション実現戦略事業
「未利用バイオマスを用いた高機能活性炭の創製とその社会実装」

却は、気候変動の原因である温室効果ガスや大気汚染の原因である PM2.5 の発生源とされる。そこで本研究では、バイオマス素材の応用展開先として、活性炭に着目した。これまで技術部では、大型ヘリカル装置（LHD）の閉構造ダイバータ用クライオ排気ポンプの研究開発を推進し、活性炭の微細構造・吸着特性を丹念に分析することにより、要求性能を満たす排気ポンプの開発に成功（特許第 6021276 号）し、プラズマ・核融合学会賞 第 22 回技術進歩賞を受賞するなど、活性炭の性能分析、評価技術に係る深い知見を有している。さらに閉構造ダイバータ受熱板の製造技術として開発した放電プラズマ焼結法（特許第 6563581 号）を応用し、活性炭粉末をバインダフリーの、純粋な活性炭成分のみで固形化する加工技術（特許第 7016080 号）を有している。

8.6. 技術部を題材にしたインタビュー記事

精密工学会誌特集号のグラビア＆インタビュー 記事（図 8.6.1.）に技術部が「核融合研究を支える技術組織」の題目で取り挙げられた。本特集では、様々な分野の技術者が寄稿し、研究支援のものづくりの現状を広く共有するとともにその未来について提言するのが目的である。この記事は、特集号の巻頭を飾る写真入りインタビュー記事となり、夢のエネルギー源である核融合開発の現場での難度の高い精密加工等など、先進的なものづくりについて記述されている。本特集が少子化による人材（後継者）不足などの諸問題の解決の一助となることを望んでいる。

また技術部では、技術協力で数値計算によるシミュレーション技術（有限要素法による解析技術）を技術交流、共同研究で貢献している。有限要素法の解析ソフトでもある ANSYS は複数の分野にまたがる工学課題を解析することができるため、核融合の分野で昔から広く

図 8.6.1. 精密工学学会誌インタビュー記事
核融合研究を支える技術組織（2020 年）

用いられている。LHD でも建設当初から ANSYS を導入し活用しながら設計を進めた経緯もあることから Cybernet 社（ANSYS 販売元）の ANSYS のイベント「SolutionLive2020」での解析事例の講演依頼や Cybernet 社からユーザー事例インタビュー（図 8.6.2.） の依頼があった。近年、LHD に関わる実験機器の開発を高精度かつ迅速に進めるべく、構造力学、電磁気学、流体工学、材料工学など幅広い現代理工学分野を包括できるコンピュータ支援エンジニアリング（CAE：Computer Aided Engineering）の導入が必須となっている。技術部では CAE を積極的に活用し、装置の設計性や製作性を向上させるだけでなく、新人教育にも積極的に役立てている。さらに解析業務により達成した成果や得られた知見を学会・技術研究会等で継続的に発表するとともに、毎年、有限要素解析技術に関する交流会を主催するなど、他大学・他機関における技術職員との関係構築にも大きく貢献している。今後も、LHD における装置設計のみならず、新人教育などの人材育成および他機関との横の繋がり強化など幅広い用途に ANSYS を活用していきたいと考えている。

ユーザー訪問

核融合プラズマの大型実験装置の研究開発にAnsysを活用

核融合科学研究所 様

今回のインタビューでは、核融合科学研究所様にご協力いただきました。

核融合科学研究所様では核融合プラズマ*1に関する基礎的研究・教育を推進されています。中でも注目すべきは新エネルギーとして期待される核融合発電です。核融合は太陽や星のエネルギーでもあり、大気汚染物質を発生せず、海水中に燃料となる物質が全て含まれていることから、実現すれば人類は恒久的なエネルギー源を手に入れることができます。その核融合の技術を用いた世界最大級の超伝導プラズマ閉じ込め実験装置である大型ヘリカル装置（LHD）の研究開発にAnsysを活用しています。

今回は、Ansysを活用した3つの解析事例のご紹介とAnsysによってどのような成果が生み出されたのかを、小林様、林様、村瀬様、清水様、田上様、中川様にお話を伺いました。

1 核融合発電の実現を目指し、大型ヘリカル装置の設計開発にAnsysを活用

貴所の事業内容とご担当業務についてお聞かせください。

村瀬　核融合科学研究所（以下、NIFS）は、安全で環境に優しい次世代の基幹エネルギー源である「核融合発電」の実現を目指し、大学共同利用機関として国内外の大学・研究機関と共に双方向の活発な研究協力を進めています。特に、我が国独自のアイデアに基づくヘリオトロン磁場を用いた世界最大級の超伝導プラズマ閉じ込め実験装置である「大型ヘリカル装置（Large Helical Device、以下「LHD」）」を用いて、将来のヘリカル型核融合炉を見通した様々な視点から学術研究を推進しています。

村瀬 博明 様

今回お話をお伺いした方々

NIFS技術部 部長 小林 策治 様
NIFS技術部 装置技術課課長 林 浩己 様
NIFS技術部 装置技術課 村瀬 尊則 様
NIFS技術部 製作技術課 清水 貴史 様
NIFS技術部 制御技術課 田上 裕之 様
NIFS技術部 装置技術課 中川 翔 様

（以下、お客様の敬称は省略させていただきます。）

Mechanical CAE NEWS Vol.34

図 8.6.2.　ANSYS インタビュー記事

9. おわりに

これまで技術部は、LHD プロジェクトの中で LHD 実験サイクルを通して、ＬＨＤの高い運転稼働率の実現に貢献してきた。技術部が一つの目標に対して取り組むことができる技術集団として、パフォーマンスを発揮したことも成果といえる。

平成１８年度外部評価「技術部」における提言であった熟練職員退職等に伴う技術伝承の課題や先端技術・特殊技術・熟練技術・ノウハウ等、育成と伝承に時間を要する基盤技術の存在と必要性に対し、具体的な検討が必要との提言がなされた。冒頭の「はじめに」でも記載したが、平成 18 年度の外部評価以降、安定・安全な LHD 実験の遂行はもちろんのこと、高度な運転技術を要する緻密な実験要求にも対応してきた。また同時に、技術伝承の課題にも積極的に取り組み、技術職員が各々プロ意識を持ち連携し、LHD の安定稼働を目標に業務に取り組んだ。人員配置に関して、今後の研究所の全体方針や計画策定の中で、長期的なビジョンを持ってそれを最適化し、具体的に措置の必要性については、研究所の全体方針であった重水素実験の準備や実施において放射線関連業務への人員配置やエフォートを上げるなど長期的なビジョンを持ってそれに技術部全体で支援することができた。。

LHD 以外でも技術部は、技術交流及び技術協力等の枠組みを活用し、大学・研究機関との交流を行っており、大学及び研究機関と双方向性のある共同研究を実施し、核融合研究の活性化を図ってきた。特に最近では、企業と連携して技術開発に取り組んでおり、今後、核融合研の強みである技術力と民間企業が持つ商品開発力の相乗効果により、実用性の高い商品開発が期待される。これからは、新しい技術開発へ挑戦する上で、技術職員個人の自主性を支援する環境を組織的に整えたいと考えている。そのためには、技術開発・技術改良に意欲のある技術職員に対して、高いモチベーションを持って取り組むことができるよう、予算や役職の面で待遇の改善も必要だと考えている。今年度技術職員が、JST が企画するプログラムマネージャー（PM）の育成プログラムに合格した。さらに自然科学研究機構のミッション実現事業に技術部として研究開発を進めようとしている。このように技術職員の技術の向上ができれば核融合研究のさらなる発展にも繋がると感じている。

大規模学術フロンティア促進事業の LHD 計画プロジェクトは 2022 年度で終了する。本研究所では研究組織改革が進められ、学術的研究テーマを掲げた 10 程度のユニットで研究部が組織されることになり、核融合科学を学際的な研究として展開する方針である。ユニットの研究活動を展開するための既存設備が「プラットフォーム」と位置付けられた。プラットフォームの運用体制の再構築には、技術部の協力・支援が不可欠であり、それに大きく貢献していくことになる。これまで技術職員は主に LHD に関連する研究設備の維持管理運用業務を行ってきたが、今後は、プラットフォーム全体の運用を効率化する体制を構築するための組織改革の議論が必要となる。また、技術部の職員の持つ技術・ノウハウ等を生かした民間との共同研究をより強化していくことで、外部資金を幅広く獲得し、技術力の向上及びプラットフォームの支援体制強化を図りたいと考えている。さらに技術協力・技術交流を進めることにより、参加者との人的ネットワークの構築、業務の質的向上、大学・研究機関の

相互協力を図っていきたい。

参考資料

表 s1. NIFS の研究プラットフォーム一覧

No.	カテゴリー	設備(プラットフォーム)名	設置場所
1	磁場閉じ込め装置	大型ヘリカル装置（LHD）*1	大型ヘリカル実験棟
2		準軸対称ヘリカル装置CFQS *2	西南交通大学(中国)
3	低温実験設備	超伝導マグネット研究設備	超伝導マグネット研究棟
4	数値実験・ データベース・ データ解析装置	プラズマシミュレータ	シミュレーション科学研究棟
5		バーチャルリアリティ装置 （CompleXcope）	シミュレーション科学研究棟
6		原子分子数値データベース	シミュレーション科学研究棟
7		実験データ収集・解析システム	LHD制御棟
8		SNET	
9	炉内材料機器研究設備	熱・物質流動ループ装置 Oroshhi-2	総合工学実験棟
10		高温静水圧焼結接合システム	加熱圧縮機室棟
11		クリープ試験機	総合工学実験棟
12		遊星型ボール・ミリング装置	総合工学実験棟
13		超薄膜ナノスクラッチ試験機	総合工学実験棟
14		高純度アーク溶解装置	総合工学実験棟
15		不活性雰囲気大容量遊星型ボール	総合工学実験棟
16		高速衝撃試験装置	加熱圧縮機室棟
17		表面改質試験装置（SUT）	開発実験棟
18	材料分析装置	超高分解能電界放出型走査電子顕微鏡(FE-SEM)	総合工学実験棟
19		走査型電子顕微鏡(SEM)	総合工学実験棟
20		X線光電子分光分析装置（XPS(ESCA)）	総合工学実験棟
21		X線回折装置（XRD）	総合工学実験棟
22		タンデム加速器	総合工学実験棟
23		超高熱負荷試験装置（ACT2）	加熱圧縮機室棟
24	材料分析装置 （放射線管理区域内）	透過型電子顕微鏡（TEM/STEM）・ジェントルミル	大型ヘリカル実験棟地下
25		集束イオンビーム/電子ビーム加工観察装置（FIB-SEM）	大型ヘリカル実験棟地下
26		走査型電子顕微鏡	大型ヘリカル実験棟地下
27		グロー放電発光分析装置（GE-ODS）	大型ヘリカル実験棟地下
28	イオン源・ ビーム研究装置	中性粒子入射加熱法開発試験装置（NBIテストスタンド）	総合工学実験棟
29		大強度イオン源	開発実験棟
30		多価イオン源（CoBIT）	開発実験棟
31	プラズマ基礎・ 材料照射実験装置	大口径高密度プラズマ発生装置（HYPER-I）	開発実験棟
32		直線型プラズマ装置 TPD-II	開発実験棟
33		ペン型大気圧プラズマジェット装置	開発実験棟
34		ワイドストライプ型高密度室温大気圧プラズマ装置	開発実験棟

表 s2. 技術部の資格者リスト（2022 年 4 月 1 日現在）

資格の種類	保有人数
衛生管理者免許	4
第一種作業環境測定士登録証	1
高圧ガス製造保安責任者免状（乙種機械）	17
高圧ガス製造保安責任者免状（第一種冷凍機械）	8
特定高圧ガス取扱主任者講習修了証	1
第一種圧力容器取扱作業主任者技能講習修了証	3
酸素欠乏危険作業主任者技能講習修了証	9
危険物取扱者免状	14
毒物劇物取扱者（農業用品目を除く）	2
有機溶剤作業主任者技能講習修了証	4
特定化学物質及び四アルキル鉛等作業主任者技能講習修了証	3
局所排気装置等定期自主検査者講習修了証	3
特別管理産業廃棄物管理責任者講習修了証	3
第 1 種放射線取扱主任者試験合格	8
第 1 種放射線取扱主任者免状	2
エックス線作業主任者免許	2
ガンマ線透過写真撮影作業主任者免許	2
防火管理講習修了証	1
自衛消防業務講習修了証	5
無線従事者免許（アマチュア無線技士を除く）	9
消防設備士免状	3
エネルギー管理士免状	5
ボイラー技士免許	3
電気主任技術者免状	3
電気工事士免許	9
工事担任者資格者証	2
測量士補	2
初級システムアドミニストレータ	1
IT パスポート	1
第二種情報処理技術者、基本情報技術者	7
第一種情報処理技術者、ソフトウエア開発技術者、応用情報技術者	4
テクニカルエンジニア（ネットワーク)、ネットワークスペシャリスト	1

テクニカルエンジニア（データベース)、データベーススペシャリスト	1
CompTIA (the Computing Technology Industry Association）認定資格	1
LinuC	1
MCP (Microsoft Certified Professional , Microsoft Certification Program)	1
MOUS(Microsoft Office User Specialist）, MCAS(Microsoft Certified Application Specialist) , MOS (Microsoft Office Specialist)	2
クレーン運転士免許	33
床上操作式クレーン運転技能講習修了証	8
クレーン運転特別教育修了証	1
クレーン運転業務従事者安全衛生教育	1
天井クレーン定期自主検査安全教育	2
玉掛け技能講習修了証	39
高圧・特別高圧電気特別教育修了証	19
低圧電気特別教育修了証	35
ガス溶接技能講習修了証	4
アーク溶接特別教育	3
自由研削砥石特別教育修了証	3
足場の組立等作業主任者技能講習修了証	3
フルハーネス型安全帯特別教育修了証	5
普通救命講習終了証（AED 講習）	37
危険予知訓練トレーナー講習	38
実用英語技能検定（英検）	2
工業英語能力検定	1
合計	382

表 s3. 技術交流プログラム実績リスト（2012～2021 年度）

年度	交流先：大学、研究機関	プログラム内容	所外参加人数
2012	沖縄工業高等専門学校	NC加工技術	1
	北大、新潟大、横浜国大、富山大、浜医大、岐大、名工大、愛教大、京大、阪大、琉球大、他	第8回安全衛生管理に関する情報交換会	60
2013	横浜国大、長岡技大、岐大、名工大、京大、阪大、琉球大、他	第9回安全衛生管理に関する情報交換会	34
2014	沖縄工業高等専門学校	NC加工技術（旋盤の基礎）	1
	鳥取大学	ネットワーク技術	1
	沖縄工業高等専門学校	NC加工技術（NCプログラムの応用）	1
	横浜国大、名工大、京大、阪大、他	第10回安全衛生管理に関する情報交換会	27
2015	沖縄工業高等専門学校	NC旋盤の応用	1
	京都大学	高出力マイクロ波伝送に関する技術交流	1
	北大、筑波大、富山大、名工大、京大、阪大、他	第11回安全衛生管理に関する情報交換会	37
2016	名古屋大	情報交換	12
	北大、筑波大、長岡技大、静岡大、富山大、名大、名工大、 京大、阪大、他	第12回安全衛生管理に関する情報交換会	39
2017	筑波大、長岡技大、横浜国大、静岡大、富山大、名大、名工大、愛教大、京大、阪大、鳥取大、他	第13回安全衛生管理に関する情報交換会	36
	高エネ研、東北大学工学部、九州大学応力研	熱シミュレーション技術 170名（技術研究会）	4
2018	基礎生物学研究所、生理学研究所	3Dプリンター技術	4
	東北大、筑波大、横浜国大、静岡大、富山大、名工大、京大、阪大、鳥取大、他	第14回安全衛生管理に関する情報交換会	39
	QST那加核融合研究所、高エネ研、九州大学、分子研、天文台	有限要素法による構造解析技術　33名 （オンライン併用	12
2019	九州大学応力研技術室	分析装置、放射性物質管理、技術組織	1
	北大、東北大、長岡技大、筑波大、 静岡大、富山大、名工大、京大、 阪大、他	第15回安全衛生管理に関する情報交換会	32
	高エネ研、分子研、九州大学応力研	3回有限要素法による構造解析技術　28名	10
2020	大阪大、静岡大、愛知教育大、筑波大、京都大、他聴講	第16回安全衛生管理に関する情報交換会 （オンライン)70 名	49
	QST、KEK、分子研、九大応力研、東北大、京工繊大、天文台、サイバネットシステム、石川県工業試験場、群馬産技センター、 JAXA、QST（東海研）他聴講	4回有限要素法による構造解析技術 （オンライン）40名	20
2021	大阪大、静岡大、愛知教育大、筑波大、京都大、他聴講	第17回安全衛生管理に関する情報交換会 （オンライン)79名	60
	QST、KEK、東北大学、サイバネットシステム、他聴講	5回有限要素法による構造解析技術 （オンライン併用）45名	24

表 s4. 技術研究会発表発表者リスト（過去 10 年）

令和3年度核融合科学研究所技術研究会　オンライン開催　2022/3/10-11

氏名	発表形式	発表題目
鷹見重幸	口頭	LHD 超伝導ポロイダルコイルシミュレーションモデルの構築
野口博基	口頭	LHD ヘリウム圧縮機用主電動機の長期運用実績とメンテナンス履歴
西村輝樹	口頭	LHD 計測シャッターシステム改修について
神田基成	口頭	インピーダンス整合速度改善のためのポンプの自動化
清水貴史	口頭	電磁界解析を用いたマイクロ波ノッチフィルターの製作
井上知幸	口頭	キャンパス情報ネットワーク（NIFS−LAN）のシステム更新
中川　翔	口頭	ラングミュアプローブを用いたプラズマ計測および実験環境の整備
竹内俊貴	口頭	ECH における高圧電源用切替機の設計について

総合技術研究会2021東北大学　オンライン開催　2021/3/3-5

氏名	発表形式	発表題目
神谷俊宏	口頭	中性粒子ビーム入射加熱装置における負イオン源の整備作業
中田実希	口頭	核融合科学研究所の放射線管理と測定方法の検討について
伊藤康彦	口頭	PN フォトダイオードアレイ用多チャンネルアンプの製作
千村大樹	口頭	LHD におけるスクロールポンプの状態監視システムの構築
村瀬尊則	口頭	放電プラズマを用いた異種金属接合法の開発　～産学連携共同研究の成果～
田窪英法	口頭	重イオンビームプローブ装置用新イオン源の開発

技術研究会2020千葉大学　新型コロナ感染症拡大にて中止　2020/3/5-6

氏名	発表形式	発表題目
前野博也	口頭	汎用 FeliCa リーダー及び STARS を用いた入退室管理システムの開発
中川　翔	口頭	準軸対称ヘリカル型核融合実験装置 CFQS 真空容器の構造解析
神谷俊宏	口頭	中性粒子ビーム入射加熱装置における負イオン源の整備作業
長原一樹	口頭	大型ヘリカル装置における真空容器内入退管理・環境監視システムの構築
田上裕之	口頭	ヘルムホルツコイルを用いた磁場遮蔽試験装置の構築
田窪英法	口頭	光渦生成実験装置の製作
村瀬尊則	口頭	核融合実験装置に向けた異種金属接合技術の開発
古田紘己	ポスター	マイクロ波回路製作の為のボンディング設備導入
岩井千恵	ポスター	レーザー室における安全性向上の検討と機器設置
村瀬尊則	ポスター	核融合実験装置 CFQS における有限要素法を用いた渦電流解析
中村　修	ポスター	LHD 実験 LAN のセキュリティ強化のための取り組み
大場恒揮	ポスター	LHD 低温システム運転の自動化

総合技術研究会2019九州大学　2019/3/6-8

氏名	発表形式	発表題目
村瀬尊則	口頭	LHD ダイバータ用非蒸発型ゲッターポンプの構造設計
河合将照	口頭	大型ヘリカル装置用漏水検知システムの開発
伊藤康彦	口頭	イーサネットケーブル伝送による LVDS 信号受信回路、Latching Scaler 回路の製作
前野博也	口頭	Arduino を用いた速度評価型パルス発生装置の製作
小渕　隆	ポスター	大型ヘリカル装置における放射化分析用気送管システム照射端の設置について
井上知幸	ポスター	ワンタイムパスワード認証を利用したメールシステムの開発と運用

平成29年度核融合科学研究所技術研究会　2018/3/1-2

氏名	発表形式	発表題目
鈴木直之	口頭	大型ヘリカル装置排気系の重水素実験対策
林　浩	口頭	放射線総合監視システムの整備と管理計画
横田光弘	口頭	ITV システムの更新及びインターロックシステムの構築
西村輝樹	口頭	中性子検出器の設置
野口博基	口頭	LHD 超伝導・低温システムの重水素実験対策
森内貞智	口頭	LHD 用ヘリウム液化冷凍機の復旧作業
村瀬尊則	口頭	LHD 真空容器内蔵型クライオポンプの熱構造設計
渋谷真之	ポスター	貫通口処理と遮蔽対策
林　浩己	ポスター	LHD 冷却水系の重水素実験対策
加藤ひろみ	ポスター	排気ガス処理システムの設置と運転監視
佐藤　守	ポスター	NBI 周辺中性子計測較正試験
安井孝治	ポスター	LHD ガス供給システムの整備
加藤明己	ポスター	環境放射線及び放射能の監視
小渕　隆	ポスター	大型ヘリカル装置における中性子計測システム校正実験
小川英樹	ポスター	Siemens 製 PLC を用いた TESPEL 入射装置の制御システム開発
大砂真樹	ポスター	放射化試料管理システムの開発と構築

総合技術研究会2017東京大学（第19サイクル重水素実験中にて発表者無し）　2017/3/8-10

氏名	発表形式	発表題目
—	—	—

平成27年度高エネルギー加速器研究機構技術研究会　2016/3/17-18

氏名	発表形式	発表題目
古田紘己	口頭	スクロールポンプ内部の汚れについて
加藤ひろみ	ポスター	核融合科学研究所における排出トリチウム測定システムの開発
小渕　隆	ポスター	大型ヘリカル装置重水素プラズマ実験に向けて計測系の準備状況
関口温朗	ポスター	LHD-NBI の保守・整備作業
前野博也	ポスター	遠隔操作・監視用 HMI テンプレートの開発
橋本茂弘	ポスター	大型ヘリカル実験棟放射線モニタリングシステム

平成 26 年度北海道大学総合技術研究会　2014/9/4-5

氏名	発表形式	発表題目
西村輝樹	口頭	マシニングセンタの修理
野村吾郎	ポスター	大型ヘリカル装置に於けるイオンサイクロトロン加熱の加熱パワーの増強
鷹見重幸	ポスター	ITER 極低温ダイナミックシミュレーションモデル開発
井上知幸	ポスター	キャンパス情報ネットワークの更新について

平成25年度核融合科学研究所技術研究会　2014/3/13-14

氏名	発表形式	発表題目
長原一樹	口頭	デマンドリアルタイム監視システムの開発
岡田宏太	口頭	ミラー駆動装置の開発
森内貞智	口頭	LHD 低温システムの運転実績
加藤明己	ポスター	250 MVA 電動発電機の運転保守の歩み
村瀬尊則	ポスター	閉構造ダイバータ用クライオポンプへの熱負荷評価
渋谷真之	ポスター	レーザーを用いたプラズマ計測装置の製作
河合将照	ポスター	LHD 真空容器内周回軌道の製作と設置確認作業

平成24 年度愛媛大学総合技術研究会　2013/3/7-8

氏名	発表形式	発表題目
小嶋　護	口頭	LHD 計測データ保存ストレージの構築
小渕　隆	口頭	大型ヘリカル装置における閉構造ダイバータ排気システムについて
土伏悌之	口頭	冷却水棟改修工事と運転監視モニターツールの作成
馬場智澄	口頭	核融合科学研究所の衛生管理と健康管理の連携について
岡田光司	ポスター	曲面ミラーの製作
伊藤　哲	ポスター	高出力マイクロ波用ダミーロードの開発
浅野英児	ポスター	LHD-NBI 装置を維持していくためのメンテナンス
大場恒揮	ポスター	LHD（大型ヘリカル実験装置）低温制御システムのリプレース
横田光弘	ポスター	核融合科学研究所の危険物管理

表 s5. 自然科学研究機構技術研究会発表者リスト

第16回自然科学研究機構技術研究会　オンライン開催　主催：国立天文台　2022/6/23

発表形式	発表題目
口頭	グループディスカッション

第15回自然科学研究機構技術研究会　オンライン開催　主催：生理学研究所　2021/6/24

氏名	発表形式	発表題目
岩井千恵	口頭	レーザー室における安全性向上の検討と機器設置
長原一樹	口頭	真空容器内入退管理・環境監視システムの構築
中川　翔	口頭	核融合科学研究所における3Dプリンタの活用
前野博也	口頭	汎用FeliCaリーダーを用いた入退管理システムの開発
古田紘己	口頭	200Wパワーアンプコントローラの製作

第14回自然科学研究機構技術研究会　主催：基礎生物学研究所　2019/6/20-21

氏名	発表形式	発表題目
小川英樹	口頭	「3Dプリンタ」技術交流会報告
竹内俊貴	ポスター	磁場遮蔽試験装置を用いた磁気シールドの性能評価
小川英樹	ポスター	自然科学共同利用・共同研究統括システム（NOUS）の紹介
中村　修	ポスター	LHD実験LANのセキュリティ強化のための取り組み
大砂真樹	ポスター	LHDプラズマ実験データ処理システムの高速化
林　浩己	口頭	核融合科学研究所における3D-CAD/CAE導入の現状と活用事例について

第13回自然科学研究機構技術研究会　主催：核融合科学研究所　2018/6/7-8

氏名	発表形式	発表題目
野村吾郎・大砂真樹	ポスター	核融合科学研究所における危険物および試料管理について
横田光弘	ポスター	核融合科学研究所における入退管理について
井上知幸	ポスター	検疫認証システムによるネットワーク接続端末の管理
土伏悌之・鈴木直之	ポスター	LHD周辺機器設置および真空機器設置に関するチェックリスト
林　浩己	口頭	大型ヘリカル装置（LHD）用真空容器内作業の安全管理について

第12回自然科学研究機構技術研究会　主催：分子科学研究所　2017/7/13-14

氏名	発表形式	発表題目
谷口能之	口頭	最新動向及び技術トピックス
馬場智澄	ポスター	核融合科学研究所の安全衛生管理について
森田佳隆	ポスター	TV会議多地点接続専用装置の更新と運用について
伊藤竜樹	ポスター	実験用計測タイミング配信システムの運用
小林策治	ポスター	加熱装置用冷却水装置のメンテナンス

第11回自然科学研究機構技術研究会　主催：国立天文台　2016/6/9-10

氏名	発表形式	発表題目
林　浩	口頭	技術トピックス（核融合科学研究所の紹介）
古田紘己	ポスター	スクロールポンプ内部の汚れについて
関口温朗	ポスター	LHD-NBIの保守・整備作業
大砂真樹	ポスター	LHDプラズマ実験データ収集システムの安定運用
森内貞智	ポスター	LHD低温システムの運転実績

第11回自然科学研究機構技術研究会　主催：国立天文台　2016/6/9-10

氏名	発表形式	発表題目
林　浩	口頭	技術トピックス（核融合科学研究所の紹介）
古田紘己	ポスター	スクロールポンプ内部の汚れについて
関口温朗	ポスター	LHD-NBIの保守・整備作業
大砂真樹	ポスター	LHDプラズマ実験データ収集システムの安定運用
森内貞智	ポスター	LHD低温システムの運転実績

第10回自然科学研究機構技術研究会　主催：生理学研究所　2015/6/18-19

氏名	発表形式	発表題目
村瀬尊則	口頭	マイクロ波シールドメッシュの開発
大砂真樹	口頭	GlusterFSによる大容量ストレージシステムの構築と運用
西村輝樹	口頭	マシニングセンタの修理
鷹見重幸	口頭	ITER低温ダイナミックシミュレーションモデル開発

第9回自然科学研究機構技術研究会　主催：基礎生物学研究所　2014/6/19-20

氏名	発表形式	発表題目
岡田宏太	口頭	マイクロ波用水冷ミラーの設計・製作
河合将照	口頭	LHD真空容器内周回装置の製作と設置確認作業
森内貞智	口頭	LHD低温システムの運転実績
長原一樹	口頭	デマンドリアルタイム監視システムの開発

第8回自然科学研究機構技術研究会　主催：核融合科学研究所　2013/6-6-7

氏名	発表形式	発表題目
岡田光司	口頭	曲面ミラーの製作
伊藤　哲	口頭	プラズマ電子加熱技術の紹介
小嶋　護	口頭	LHD計測データストレージシステムの構築
土伏悌之	口頭	冷却水棟改修工事と運転監視モニターツール作成
横田光弘	口頭	核融合科学研究所の危険物管理

第7回自然科学研究機構技術研究会　主催：分子科学研究所　2012/5/23-24

氏名	発表形式	発表題目
長原一樹	口頭	X線発生防止リミターの開発と運用
野口博基	口頭	LHDヘリカルコイル用クエンチ検出器の紹介
佐藤　守	口頭	P-NBIデータ計測システムの開発
伊藤康彦	口頭	FPGAマイコンボードの計測制御回路への応用
駒田誠司	口頭	核融合科学研究所における技術部職員の海外派遣

第6回自然科学研究機構技術研究会　主催：国立天文台　2011/5/26-27

氏名	発表形式	発表題目
馬場智澄	口頭	核融合科学研究所における技術交流研修について
中村　修	口頭	NIFSにおける迷惑メール対策
井上知幸	口頭	LHD実験ネットワークにおけるセキュリティ対策について
大砂真樹	口頭	LHD及び遠隔核融合実験装置におけるデータ処理システムの構築
水野嘉識	口頭	大電力ミリ波伝送路用アークセンサーシステム
鈴木直之	口頭	ミリ波によるクライオポンプ温度上昇とその対策

第5回自然科学研究機構技術研究会　主催：生理学研究所　2010/6/23-24

氏名	発表形式	発表題目
西村輝樹	口頭	コルゲートホーンアンテナの製作
加藤眞治	口頭	重イオンビーム（HIBP）の改良・メンテナンス
野村吾郎	口頭	プラズマ実験に於けるイオンサイクロトロン加熱技術係の業務報告
林　浩己	口頭	LHDにおける２０バレル固体水素ペレット入射装置の設計と組立
小川英樹	口頭	LHDにおける２０バレル固体水素ペレット入射装置の制御開発

第4回自然科学研究機構技術研究会　主催：基礎生物学研究所　2009/6/25-26

氏名	発表形式	発表題目
小林策治	口頭	大型ヘリカル装置におけるECHシステムとマイクロ波伝送路改良
関口温朗	口頭	LHD超伝導ヘリカルコイルにおける常伝導転移自動判定システムの構築
三宅　均	口頭	核融合科学研究所技術部計測技術課業務紹介
森田佳隆	口頭	外部向けネットワークサービスに関する業務報告
高橋千尋	口頭	タイミングクリティカルなシグナルプロセシングについて（TIM）

第3回自然科学研究機構技術研究会　主催：核融合科学研究所　2008/7/24-25

氏名	発表形式	発表題目
杉戸正治	口頭	円形テーパ導波管＆コルゲートテーパ導波管の内面加工方法
安井孝治	口頭	ガス入射装置のフィードバック制御回路の設計・開発
小嶋　護	口頭	LHD計測データ保存ストレージの変遷と展望
浅野英児	口頭	LHD実験に向けての負イオン源の準備
駒田誠司	口頭	中性粒子入射加熱装置（NBI）の粒子入射パワー評価について

第2回自然科学研究機構技術研究会　主催：分子科学研究所　2007/6/25-26

氏名	発表形式	発表題目
谷口能之	口頭	製作技術課業務概要と中央部品室の運用について
塚田　究	口頭	制御技術課業務紹介
林　浩	口頭	LHDトムソン散乱計測におけるポリクロメータの較正および較正データ収集システム
加藤明己	口頭	250MVAはずみ車付電動発電機運転保守概要
大場恒揮	口頭	リアルタイムシミュレーション装置の構築及びヘリウム冷凍機のダイナミックシミュレーション

第1回自然科学研究機構技術研究会　主催：国立天文台　2006/5/22-23

氏名	発表形式	発表題目
山内健治	口頭	画像入力装置の製作と電子回折パターン解析によるナノ粒子の双晶面決定から赤外レーザ・ビーム位置計測・制御等への応用まで
高橋千尋	口頭	強いコントラストを持った文字盤の読み取り装置の開発
小川英樹	口頭	SMESコイル巻線機制御における画像処理について
大砂真樹	口頭	LHD実験における超広帯域データ収集と実時間データ監視
渋谷真之	口頭	LHD NBIにおける計測システム

表 s6. 大学、研究機関への技術協力実施リスト（国内）（共同研究含む）

年	技術協力、共同研究課題名	依頼内容	大学、研究機関等
2013	カメラサポートの製作	製作依頼	名古屋大学
	Beコート Moミラー容器用フランジの製作	製作依頼	島根大学
	ミリ波・サブミリ波帯周期的コルゲートによるブロッホ波に関する研究	コルゲート共振器の製作 （100GH z Gbandコルゲート導波管）	新潟大学
	XICS　検出器ホルダーの製作	製作依頼	プリンストン大学
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	2.5inch 28GHz コルゲート溝付き マイターベンド製作　一式	九州大学
	金属表面での水素負イオン生成基礎過程の研究	マルチチャンネルプレート用プリアンプの製作	同志社大学
	PANTA安全巡視	安全巡視 学生への安全教育	九州大学
2014	軸性ベクトル場の乱流遷移現象の実験研究	広帯域絶縁アンプ5chの製作	九州大学　日高芳樹
	双方向プレゼンス投影と制御室視野を考慮した高い臨場感をもつ遠隔実験参加システムの研究	広帯域絶縁アンプ8chの製作	筑波大学　吉川正志
	LHDにおける協同トムソン散乱計測への適用を目指したサブテラヘルツパルスジャイロトロンの高出力化研究	300GHz　ハイパスフィルターの製作	福井大学
	ミリ波・サブミリ波帯におけるブロッホ波共振器の研究	100GHz コルゲート外導体の製作 100GHz コルゲート内導体の製作 200GHz/250GH z /300ＧＨｚ ハイパスフィルターの製作	新潟大学
	LHDにおける協同トムソン散乱計測への適用を目指したサブテラヘルツパルスジャイロトロンの高出力化研究	1.25inch導波管用ミラーの製作 3.5inch導波管用ミラーの製作 平面ミラーの製作	福井大学
	ミリ波・サブミリ波帯におけるブロッホ波共振器の研究	コルゲート共振器製作 100GH z Gbandコルゲート導波管 Higt Pass filter300GHz	新潟大学
	PANTA安全巡視	安全巡視、学生への安全教育	九州大学
2015	位相検出回路	製作依頼	京都大学
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	28GH z マイターベンドの製作	九州大学
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	28GH z 偏波器用調整プレートの製作 28GH z 偏波器用スリーブの製作 28GH z 導波管押さえフランジの製作	九州大学
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	28GH z 偏波器　試作品の製作 28GH z 偏波器の製作	九州大学
	ミリ波・サブミリ波帯における ブロッホ波共振器の研究	100GHz,10,20周期/300GHz,40,80周期 コルゲート外導体の製作	新潟大学
	大電力ECH加熱ビーム入射のフィードバック制御による加熱の最適化	77GHzノッチフィルター 調整ネジ改良	東京大学大学院
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	網線押さえリングの製作 スリーブ追加工	九州大学
	LHDにおける協同トムソン散乱計測への適用を目指したサブテラヘルツパルスジャイロトロンの高出力化研究	1.25inch　コルゲート溝付きマイターベンドの製作 1.25inch　マイターベンド用反射板の製作 1.25inch　マイターベンド接続フランジの製作	福井大学
	PANTA安全巡視	安全巡視、学生への安全教育	九州大学
2016	高繰り返しNd:YAGトムソン計測のための新しいデータ処理システムの開発	AD変換回路	京都大学
	PANTA安全巡視	安全巡視、学生への安全教育	九州大学
	ヘリカル系における電子サイクロトロン電流駆動による回転変換制御	2.5inch 70GH z マイターベンド用　回転プレート 2.5inch 70GH z マイターベンド用　スリーブ 2.5inch 70GH z マイターベンド用　網線押さえ 70ＧＨｚ偏波器　磨き	京都大学
	大電力ECH加熱ビーム入射のフィードバック制御による加熱の最適化	77GH z ノッチフィルター試作品の製作 77GH z ノッチフィルターキャビティダミーの製作	東京大学大学院
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	偏波器用スリーブの製作 偏波器用網線押さえの製作	九州大学
	大電力ECH加熱ビーム入射のフィードバック制御による加熱の最適化	ノッチフィルター追加工 偏波器用スリーブの製作	東京大学大学院
	28GHz大電力・定常ジャイロトロンシステムを用いた電子サイクロトロン高密度プラズマ加熱連携研究	偏波器磨き	九州大学
	ミリ波・サブミリ波帯における ブロッホ波共振器の研究	300GH z 60周期,160周期x2 コルゲート共振器の製作 350GH z /400GHzハイパスフィルターの製作	新潟大学
	試料刻印	試料刻印	筑波大学
	28GHz 導波管切替器用マイターベンドの製作	製作依頼	九州大学
2017	フランジサポートの製作	製作依頼	K-STAR
	ダイバータ板固定板の製作 配管固定具の製作	製作依頼	九州大学
	CCDマウントの製作	製作依頼	名古屋大学
	排気ポートの製作 ガス導入ポートの製作 電極用ポートの製作	製作依頼	弓削商船高等専門学校
	高機能高速汎用アナログデジタル変換ボードの開発と新しい計測への展開	フルデジタル位相計	京都大学エネルギー理工学研究所

2018	LHD用重イオン・ビーム・プローブのための 高効率検出器の開発	フルデジタル位相計	名古屋工業大学　塚田究
2019	導波管切替器用マイターベンドの製作	製作依頼	九州大学
	導波管切替器用マイターベンドの製作	製作依頼	筑波大学
	バイアス板試験装置の製作	製作依頼	九州大学
	フランジ追加工	製作依頼	大阪大学
	位相補正鏡の製作	製作依頼	福井大学
2019	カメラサポートの製作 カメラカバーの製作	製作依頼	九州大学
	Oリング押えの改造 Oリング押え追加工	製作依頼	東海大学
	ウォータージャケットの製作 温度計導入フランジ追加工	製作依頼	藤田医科大学
	ミリ波・サブミリ波帯における プロッホ波共振器の研究	コルゲート外導体の製作	新潟大学
	実験装置ヘリオトロンJで 2.45GHzのマイクロ波を入射した際の電界強度分布の解析-1	学生指導	京都大学
	実験装置ヘリオトロンJで 2.45GHzのマイクロ波を入射した際の電界強度分布の解析-2	学生指導	京都大学
2020	矩形導波管80周期外導体の製作	製作依頼	新潟大学
	ウォータージャケットの製作	製作依頼	藤田医科大学
	TFコイル追加工 コイルサポートの製作 測定治具の製作	製作依頼	京都工芸繊維大学
	Eバンドマイクロ波受信機	MMICボンディング	中部大学　桑原大介
	RELAX実験装置の磁場発生用コイルの構造解析シミュレーション の実施、ひずむゲージ測定	学生指導	京都工芸繊維大学
	磁気圏型プラズマ装置RT-1のプラズマ実験に利用しているスク ロールポンプに関する技術協力	スクロールポンプの分解点検 真空講習	東京大学
	Eバンドマイクロ波受信機	アンテナ基板フレーム取付	中部大学
	高周波イオン源	RF整合回路調整	東北大学
	QUESTにおける粒子制御と高電力入射による定常運転の実現	8.2 GHz波・定常入射アンテナの解析	九州大学
2021	レンズホルダーの製作	製作依頼	京都大学
	給電部サポートの製作	製作依頼	京都工芸繊維大学
	レンズサポートの製作	製作依頼	京都大学
	導波管固定治具の製作	製作依頼	中部大学
	バイアス板の製作	製作依頼	九州大学
	ファイバーホルダーの製作	製作依頼	京都大学
	RT-1装置の3D模型を核融合研の3Dプリンターで製作	製作依頼	東京大学
	TOKASTAR-2における渦電流によって生成される磁場の解析」	学生指導、NIFS数回来所	名古屋大学
	流体プラズマ処理装置開発における 減圧環境形成流路構造の最適化	数値解析	名古屋大学
	200 GHz帯ジャイロトロンの位相補正鏡の開発	「265 GHz 光渦整形用位相補正鏡の製作」	福井大学
2022	東北大学オンライン研修 3次元ツールを活用したデジタルエンジニアリング	講演	東北大学
	ITERプラズマ計測を対象とする技術協力 ポロイダル偏光計PoPola架台の耐震解析	数値解析	QST
	電磁応力・熱解析に基づく100 kA トロイダル磁場コイル通電時の QUEST装置のサポート・冷却強化の検討	数値解析	九州大学
	レベルコンバーター回路およびD-sub-BNC変換回路（2種） の設計製作	製作依頼	筑波大学
	70 GHz光渦伝送系の構築	製作依頼	京都大学
	導波管伝送路切替機の製作	導波管伝送路切替機の製作	京都大学
	二次元SX計測システム取り付け（ヘリオトロンJ 京大）	現地計測機器の取り付け	京都大学
	高機能高速密度干渉計測のための位相検出器の新展開	デジタル位相検出回路	京都大学
	低エネルギー量子ビームと低仕事関数材料との相互作用	電荷積分型プリアンプ修理	理化学研究所

表 s7. 研修・講習受講者数　（2018 年 4 月 1 日～2022 年 4 月 1 日）

研修名称	受講人数
自然科学研究機構初任者研修	9
東海・北陸地区国立大学法人等技術職員合同研修	6
東海地区国立大学法人等基礎研修	8
東海地区国立大学技術専門職員研修	2
東海地区国立大学法人等目的別研修（係長研修）	13
東海地区国立大学法人等リーダーシップ研修	7
国立大学法人等部課長級研修	1
SOLIDWORKS 講習会	5
CATIA V5	3
Ansys セミナー	3
LabVIEW 講習会	4
自然科学研究機構情報セキュリティ研修	3
情報システム管理者研修	1
情報処理技術セミナー	3
JPCERT/CC ﾛｸﾞ分析ハンズオントレーニング研修	1
NII-SOCS 研修	1
機械設計製図実践講習	1
機械設計講習	2
放射線取扱主任者定期講習	1
計量管理報告書及び供給当事国別管理報告書等の記載要領講習会	1
IT 系共通基盤研修（ネットワーク入門）	2
国立大学法人等情報セキュリティ監査担当者研修	1
情報システム統一研修	1
Apresia(ネットワークスイッチ)セミナー	1

表 s8. 国内の学会等の発表者リスト（過去 5 年）

日付	名前	会議名	開催場所	発表形式	発表題目
2017.11.21	村瀬尊則	Plasma Conference2017技術進歩賞受賞記念講演	姫路商工会議所	口頭	LHD 閉構造ダイバータにおける真空容器内蔵型クライオ吸着ポンプの開発
2019.3.12-14	中田実希	第20回「環境放射能」研究会	高エネルギー加速器研究機構		岐阜県土岐市における^{7}Beの大気中濃度および降下量の特徴
2019.11.29-12.2	中川翔	第36回プラズマ・核融合学会年会	中部大学春日井キャンパス	ポスター	Engineering Analysis for Quasi-axisymmetric Stellarater CFQS
2019.12.10-11	中川翔	日本原子力学会中部支部 第51回研究発表会	名古屋大学ベンチャー・ビジネス・ラボラトリ	口頭	準軸対称ヘリカル型核融合実験装置CFQSの工学解析
2020.12.1-4	田上裕之	第37回プラズマ・核融合学会年会	オンライン形式(愛媛大学)	ポスター	準軸対称ステラレータCFQSのコイル電源設計
2020.12.01-04	中川翔	第37回 プラズマ・核融合学会 年会	Remo（オンライン会議システム）	ポスター	準軸対称ステラレータCFQSにおけるコイル配置誤差の磁気面形状への影響
2022.07.07-08	中川翔	第14回核融合エネルギー連合講演会	Remo（オンライン会議システム）	ポスター	準軸対称ステラレータCFQSの真空容器製作状況
2022.07.29	村瀬尊則	一般社団法人溶接学会　138回マイクロ接合研究委員会	大阪大学医学・工学研究科	招待講演	粉末固相接合法を用いた核融合実験炉用第一壁の開発

表 s9. 国外の学会等の発表者リスト（過去 5 年）

日付	名前	会議名	開催場所	発表形式	発表題目
2017.9.25-29	村瀬尊則	13th International Symposium on Fusion Nuclear Technology	Kyoto, Japan	ポスター	Thermal and Flow Analyses on the Cartridge-Type Blanket CARDISTRY-B for the Helical Fusion Reactor FFHR-c1
2019.7.24-26	中川翔	2019 Post-CUP Workshop & JSPS-CAS Bilateral Joint Research Projects Workshop	Nagoya, Japan	口頭	Engineering analysis of vacuum vessel for CFQS
2019.11.5-8	中川翔	The 28th International Toki Conference on Plasma and Fusion Research	Ceratopia Toki,	ポスター	ENGINEERING ANALYSIS FOR VACUUM VESSEL OF CFQS QUASI-AXISYMMETRIC STELLARATOR
2019.12.11-13	村瀬尊則	12th Asia Plasma and Fusion Association Conference (APFA2019)	Shenzhen, China	招待講演	Electromagnetic Analyses of CFQS Quasi-axisymmetric Stellarator
2019.11.5-8	村瀬尊則	28th International Toki conference on Plasma and Fusion Research	Toki, Japan	口頭	EDDY CURRENT ANALYSIS ON VACUUM VESSEL OF CFQS
2019.9.23-27	村瀬尊則	22nd International Stellarator and Heliotron Workshop 2019	Madison, USA	ポスター	ELECTROMAGNETIC ANALYSIS FOR VACUUM VESSEL OF CFQS QUASI-AXISYMMETRIC STELLARATOR
2020.11.15-19	村瀬尊則	Technology of Fusion Energy (TOFE) 2020	Chicago, USA	口頭	Electromagnetic and Structural Analyses for Vacuum Vessel of CFQS Quasi-Axisymmetric Stellarator
2020.9.20-25	村瀬尊則	31st Symposium on Fusion Technology (SOFT2020)	Dubrovnik, Croatia	ポスター	Development of Divertor Heat Removal Component with W and Cu-alloy by Advanced Spark Plasma Sintering Technique
2021.12.13-16	中川翔	2021 IEEE Pulsed Power Conference & Symposium on Fusion Engineering	USA, Denver(zoom)	ポスター	Influence of coil misalignment on magnetic surface for quasi-axisymmetric stellarator CFQS
2021.12.12-16	田上裕之	The 23rd IEEE Pulsed Power Conference (PPC) and the 29th IEEE Symposium on Fusion Engineering (SOFE)	USA, Denver(zoom)	ポスター	Design of the electrical power system for quasi-axisymmetric stellarator CFQS
2022.9.18-24	村瀬尊則	32st Symposium on Fusion Technology (SOFT2022)	Dubrovnik, Croatia	ポスター	Investigation of Joining Quality in Tungsten and Copper Alloy Joints using Spark Plasma Sintering for Plasma Facing Materials

表 s10. 学会賞等の受賞記録（過去 10 年）

日付	名前	題名	会議名、団体名
2013	小林策治、伊藤哲	「ジャイロトロンの高効率化運転によるマルチメガワット ECRH システムの構 築とプラズマの高電子温度化への貢献」	プラズマ・核融合学会　第18回技術進歩賞
2017	村瀬尊則	「LHD 閉構造ダイバータにおける真空容器内蔵型クライオ吸着ポンプの開発」	プラズマ・核融合学会賞　第22回技術進歩賞
2021	小渕隆	「高速時間応答性を持つ核融合実験向け広領域中性子計測機器の開発」	プラズマ・核融合学会賞　第20回産業技術賞