

目 次

はじめに

技術部委員会 1

1. 技術・業務報告

ナノスケール物性研究部門

橋本 義昭 2

浜田 雅之 4

機能物性研究グループ

飯盛 拓嗣[※] 6

※ナノスケール物性研究部門兼務

向井 孝三 10

物質設計評価施設

物質設計部

矢田 裕行 12

福田 毅哉 14

物質合成・評価部

後藤 弘匡 16

石井 梨恵子 18

浜根 大輔 20

中性子科学研究施設

杉浦 良介 22

国際超強磁場科学研究施設

松尾 晶 24

極限コヒーレント光科学研究センター

金井 輝人 26

放射線管理室

野澤 清和 28

低温液化室

土屋 光、鷺山 玲子、野村 未来 30

2. 第4回東京大学技術発表会 発表原稿

「ツイスト2層グラフェンの電子状態」

飯盛 拓嗣 34

技術・業務レポート提出技術職員数 16名
(技術職員総数(元技術職員含む) 29名)

はじめに

コロナ禍の影響は広く社会に及び、大学においても、勤務や研究活動の制限、学会等の中止や延期、オンライン開催への移行など大きな変化がもたらされました。2021年度は、三密回避、マスク着用や手指の消毒といった基本的な感染防止対策に加え、ワクチン接種も進み、社会活動が再開・拡大され始めましたが、コロナ前に戻ったとは言い難い状況です。物性研究所は感染防止対策を講じつつ、働き方や研究の取り組み方を変更し、また新たな手段や工夫なども取り入れ共同利用研究所としての活動が再開されています。一方、2022年2月に始まったウクライナ戦争による社会への影響は大きく、エネルギー分野や材料などの入手が困難になるなど世界経済へ暗い影を落とし、研究活動においてもその影響が表れはじめています。ウィズコロナの状態が長引くことが予想され、さらにウクライナ戦争の影響もあり先行きはまだ見通せませんが、早く以前の活動レベルに戻り研究活動に打ち込めるようになることを願います。

さて、2005年4月に物性研究所技術部が設立されて以来、毎年刊行されている物性研究所「技術・業務レポート」も、本号で第18巻目となります。この「技術・業務レポート」には、物性研究所の研究・教育活動を円滑に進めていく上で欠くことのできない業務や研究室独自の特殊技術の開発や維持・管理、さらに全国共同利用研究者等へのサポート業務など、縁の下の力持ちとして必要不可欠でありながら、公にされる機会の少ない多種多様な職務に就いている技術職員の幅広い活動内容が記されています。

本冊子は、物性研究所の技術職員、所員、研究室に配布されると共に、技術職員室に保管されており、技術職員の相互理解と情報交換、情報共有の起点として、あるいは技術の継承と育成の資料としていつでも閲覧できるようになっています。また、全国の技術職員が所属する大学等の教育研究機関の技術部との間で技術・業務レポートや技術報告集を送付しあうことを通じて、人や技術情報の交流を行っています。他部局や機関の技術報告集にも、技術職員の様々な取り組み、創意工夫が掲載されており、物性研究所の技術職員、及び、技術部の活動に対する有益な情報源となっています。今後もこのような交流が続くことを願っています。

技術職員をとりまく環境も時代と共に移り変わり、我々が担う業務内容もその時々ニーズに合わせて変化してきています。特に、コロナ禍においては、研究や教育に柔軟な対応を求められ、それぞれの役割や使命を一人一人が見直し、考えさせられました。これまで得た知見や経験をもとに、これからのウィズコロナの時代に適応する必要があります。感染防止においては、衛生面と安全面での情報と物品の提供の役割を持ち、コロナ以前と変わらない高度な研究環境を維持・提供していくことも技術職員の重要な役割になります。このような高度でかつ安全な研究・教育環境の維持と創成を担う技術職員として、これからも個々のレベルアップをはかり、共有していく必要があります。また、技術職員は、分野に特化した知識や技術を継続的に蓄積することができる立場にいることを踏まえ、これらを指導、継承していくことや、分野をつないでいくこともまた重要な役割と考えます。この技術レポートがその一助となれば幸いです。

おわりに、大変な状況の中、今年度の「技術・業務レポート」を提出していただいた技術職員の皆様に感謝いたします。また、「技術・業務レポート」の冊子の作成と技術部の運営に多大なご支援とご協力をいただいた森所長、吉信技術部長をはじめとする物性研究所の関係者の方々にも深く感謝いたします。今後、冊子を読んだ皆様からのご助言やご指導を賜り、その意見を技術部の運営に役立てて参りたいと思いません。

2022年9月吉日

技術部委員長：土屋 光
技術部員：原沢あゆみ
：松尾 晶
：向井 孝三
：矢田 裕行
出版担当：鷺山 玲子

技術・業務レポート

機能物性研究グループ 飯盛拓嗣

私が保守管理している共同利用機器や旧小森研究室の実験器具・試料等について、下記の業務を行った。

- 実験、解析用 PC の管理
- ネットワーク設定・管理
- 実験装置の搬出準備
- 薬品、高圧ガスの整理・廃棄
- 実験装置関係機器の保守
- 共同利用実験の補助

特に以下の業務について報告する。

(1) 小型チャンバーの設計

LASOR のスピン-角度分解光電子分光 (SARPES) 装置の光源として使用する 7eV レーザー用 KBe₂B₀3F₂ (KBBF) 結晶を窒素雰囲気下で使用するために窒素ガスを充てんしておくための小型チャンバーの設計を行った。この SARPES 装置は物性研の極限コヒーレント光科学研究センターで開発したレーザーを光源として、スピン分解/時間分解 ARPES 実験を行う。この SARPES 装置は 7eV レーザーを光源としていたが、新しく開発された 11eV レーザー光源を使用して機能の向上を目指しており、より広い運動量領域の光電子分光計測が可能になり、物質の電子状態についてより多くの情報が得られる [1]。それに合わせて、11eV 光源用ガスチャンバーとの干渉を避けるために、元々使用していた光学チャンバーを小型化する必要があった。

小型チャンバーは、これまで使っていた KBBF 結晶と KBBF 結晶を移動させるモーター付きのベースを内蔵しつつ、できるだけこれまでのレーザーパスを変更させないことなどの条件を満たすように設計した。そのため、これまで使っていたチャンバーは一般的な真空チャンバーと同じステンレス壁の厚さが 10mm であったのだが、窒素ガスは KBBF 結晶を大気にさらさない程度で窒素フローするのでほぼ大気圧あるので、それほど強度はいらないと考え、側面のステンレスの厚みを 5mm に変更した。また、レーザーが入出射するビューポートだけは、以前のチャンバーと同じ幾何学的配置を保つようにし、その他のポートはフランジを直接溶接することによって、フランジと本体の間のネックの分だけ、本体からの出っ張りを減らすことができた。図面は 3D-CAD ソフトウェアの AutoDesk Inventor [2] を用いて作成した。(図 1 (a)) Inventor は 3次元で加工物データを入力し図面を作成するだけでなく、コンピュータ上で仮想的に組み合わせて、部品同士が干渉しないか、工具を入れるすき間が確保されているかなどを確認できる「アセンブリ」機能があるので、工作前に設計ミスや寸法の間違いなどに気づくことができる。図 1 (b) は、光学台上に設置した小型チャンバーで、左側からレーザーを入射し内部の KBBF 結晶でわずかにねて、右側の真空チャンバーへレーザー光を出射する。小型チャンバーの向こう側に隣接して 11eV 用のガスチャンバーにある。Inventor は初めて使ったので、習得するのにそれなりに時間がかかったが、工作物を作成後に再加工する手間などを減らすことを考えると、非常に有益なソフトウェアだと思う。([3] はビデオチュートリアルで、3次元図面作成の全体的な流れを知ることができる。 [4] はチュートリアルと機能解説のバラスが良い。 [5] は網羅的に詳しい機能や使用法の解説がある。3D-CAD の経験がないと [4, 5] を読んでも具体的なイメージが湧かないので、最初に [3] で CAD 操作や専門用語のイメージをつかむのが効率的である。)

(2) Python プログラム作製

研究室では、試料加熱時にジャパンセンサー [6] の「FTK9-P220R-30H61」(以下では、FTK9 と呼ぶ。現在は販売終了)を用いて、温度を測定している。この温度計は、220~1650°Cの温度領域に対応し、比較的低温から半導体試料表面の清浄化に必要な 1000°C以上の測定を可能としている。FTK9 はオプションで外部出力を選択することができるが、この FTK9 は RS-232C 入出力 ([7] の第 7 章 「Physical Interfaces」 参照) をサポートしているので(型式の P220R の” R” は RS-232C 接続を示す)、パソコンと USB-シリアルポート変換ケーブル (Eicom 社製 UC-SGT1 [8]) を使用して接続した。

プログラムはオブジェクト指向言語([9])である Python 言語([7, 10~12])の機能を使って、温度計としての機能と通信に関する機能を別のクラスに持たせることによって、通信機能のプログラムを再利用可能になるようにした。また、作製した温度計クラスは様々な環境下で動作できるように拡張可能である。端末上で CUI プログラムとして動作させたり、デスクトップ環境で GUI プログラムとして動作させたり、WebServer (例えば、Bottle[13])と組み合わせてスマートフォン上のブラウザから温度を確認することもできる。図 2(a)は、PyQt5 ライブラリ([14, 15])を用いて作成したデスクトッププログラムで、温度の表示以外に照準用の LED ランプの On/Off や試料に依存する放射率の設定などができる。

新しい計測器をリモート制御することクラスを今後も作製することを考慮し、それらのスーパークラスとして、Python の抽象基底クラス(collections.abc[16]。以下では ABC)の機能を使った。(Python では、ABC はあまり使われないので、文献[11, 12]では取り上げられていない。ABC に対応するものとして静的型付け言語である C++の抽象クラスや Java のインターフェースが良く使われるので、これらの言語の書籍の対応する章を読むことを勧める[8, 9]。ABC を詳しく扱っている Python 文献としては、[19]の第 11 章「インターフェース - プロトコルから抽象基底クラスへ」。なぜ使われないかについては、[19]の第 10.3 節「プロトコルとダックタイピング」や[20]の議論も参照してください。)抽象化したリモート計測器クラス(abstRemoteCtrl)の構造を考えると、以下の 3 つの部分に分類される。温度計そのものを操作する部分、通信に関する部分、(通信や計測器に依存しない)クラスそのものの部分である(図 2(b)にクラスの簡単な関係図を示す。一部のメソッド等は省略)。そこで、abstRemoteCtrl クラスはこれらの機能の初期化処理と終了処理に関するメソッドとして、以下のような抽象メソッドを持つ。

- 計測器に関する処理 => activate(), deactivate()
- 通信に関する処理 => negotiate(), terminate()
- クラスに関する処理 => setup(), finish()

そして抽象化した通信クラス(abstStreamAgent)では初期化・終了する抽象メソッド initComm()・finComm()やコマンドの送受信を行う抽象メソッド sendCommand()・sendCmdNotRet()を宣言した。

実際に FTK9 温度計を制御する Ftk9 クラスでは abstRemoteCtrl クラスを継承し、abstStreamAgent クラスを継承した Rs232AsciiAgent クラスのオブジェクトである agent 属性として持っている。Python は多重継承をサポートする言語であるため、通信を担う abstStreamAgent クラスと abstRemoteCtrl クラスを継承するクラスとして設計することも可能であったが、Rs232AsciiAgent クラスを所有するクラス設計が一般的であり([9]の 14.5 節「買うべきか、それとも継承すべきか？」や[19]の第 12.5.8 節「クラス継承よりオブジェクトコンポジション」)、また、Agent クラスを継承する設計では別のクラスとしてクラスを作製する必要があるが、属性として Agent クラスを所有する設計では、計測器クラスの agent 属性のインスタンスを切り替えるだけでよいというメリットがある。例えば、図 2(b)の高砂製作所の電源 ZX-S([21])は、LAN ポートと RS-485(RS-232C を拡張した多対多のシリアルインターフェースとする規格、[5]の第 7 章 Physical Interfaces 参照)ポートに対応しているが、プログラムが動作中であっても LAN ポートから RS-485 ポートに変更した時には、agent 属性を TcpSocketAgent クラスのインスタンスから Rs232AsciiAgent クラスのインスタンスに変更するだけでよい。FTK9 は前述の通り販売終了となっているが、現行モデルである FLHX シリーズでは、通信プロトコルが ASCII コマンドから Binary データコマンドに変更になっている。図 2(a)で紹介した GUI アプリケーションは、Rs232BinaryAgent クラスを使い、abstRemoteCtrl クラスを継承したクラスを作製することにより、FLHX 温度計でもほとんど変更せずに動作した。

今回の設計では、ABC である abstStreamAgent を継承した通信クラスを agent 属性として所有する設計により、計測器クラスの互換性を高めることができた。また、ABC を用いることにより、計測器クラスの再利用性も高くできた。

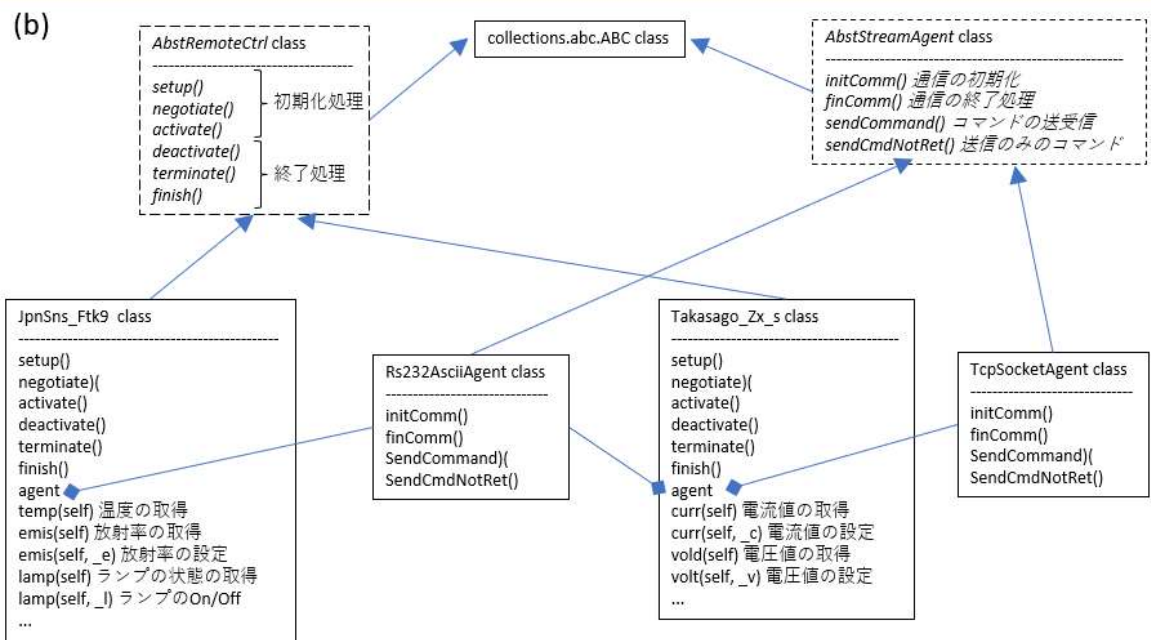
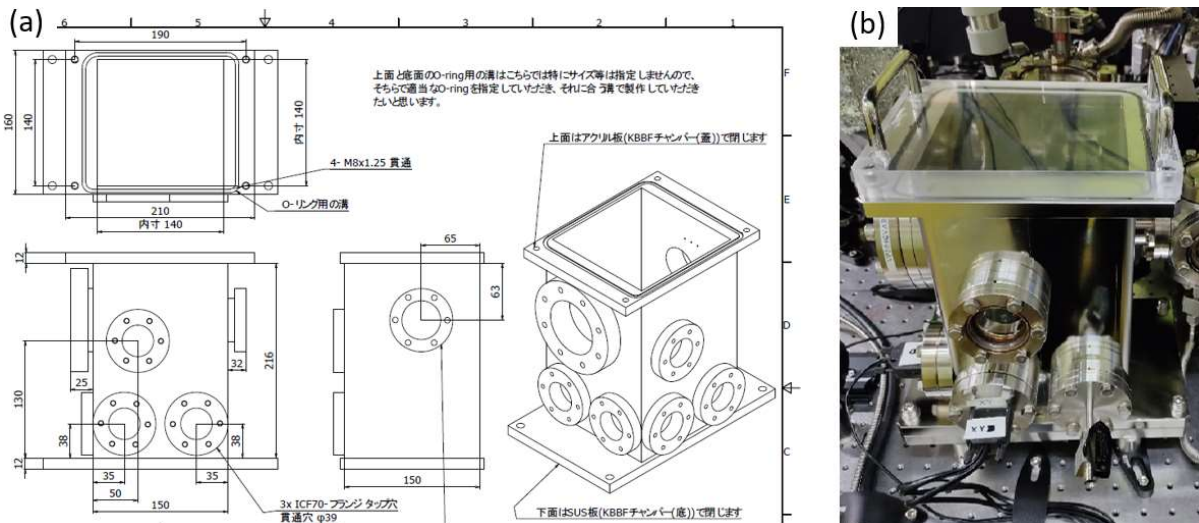


図 2 (a) Windows での CUI 上の FTK9 温度計測プログラムと PyQt5 を使った GUI アプリケーション。MacOS や Linux(RaspberryPi)でも、通信ポート名の変更程度でそのまま動作する。(b) 作成した Python プログラムのクラス関係図。抽象クラスを点線の四角枠で囲み、具象クラスを実線の四角枠で囲んでいる。抽象クラス名や抽象メソッド名はイタリック体で示し、継承関係は三角矢印で、所有関係は四角矢印で示している。

参考文献と関連 URL

- [1] 黒田ら, 日本物理学会 2021 年秋季大会, 21aE2-08
- [2] オートデスク社 Inventor の紹介ページ, <https://www.autodesk.co.jp/products/inventor/overview>
- [3] Autodesk Inventor 入門者向けチュートリアル, <https://www.autodesk.co.jp/campaigns/inventor-tutorials-beginner>
- [4] 船倉・堀, 図解 Inventor 実習 第 3 版, 森北出版, 2021
- [5] Inc. Autodesk, Autodesk Inventor 2022 公式トレーニングガイド Vol.1 & 2, 日経 BP, 2021
- [6] ジャパンセンサー株式会社, <https://www.japansensor.co.jp/>
- [7] J. M. Hughes, Real World Instrumentation with Python , O'Reilly, 2011
- [8] Elecom 社 商品紹介ページ <https://www.elecom.co.jp/products/UC-SGT1.html>
- [9] B. Meyer, オブジェクト指向入門, アスキー出版局, 1990
- [10] Python コミュニティのページ, <https://www.python.org/>
- [11] B. Lubanovic, 等, 入門 Python3 第 2 版, オライリージャパン, 2021
- [12] 東京大学 数理・情報教育研究センター , Python プログラミング入門 #utpython, <https://sites.google.com/view/ut-python/%E3%83%9B%E3%83%BC%E3%83%A0>
- [13] 清水, Bottle 入門, 工学社, 2021
- [14] Riverbank Computing 社(PyQt の開発元), <https://riverbankcomputing.com/software/pyqt/>
- [15] PyQt5 tutorial, <https://zetcode.com/gui/pyqt5/>
- [16] collections.abc --- コレクションの抽象基底クラス, <https://docs.python.org/ja/3/library/collections.abc.html>
- [17] 三谷, プログラミング学習シリーズ .Java 入門編 第 3 版, 翔泳社, 2017
- [18] B. Stroustrup, ストラウストラップのプログラミング入門, 翔泳社, 2011
- [19] L. Ramalho, 等, Fluent Python, オライリージャパン, 2017
- [20] Python の abc(抽象基底クラス)の価値は何でしょうか?, <https://teratail.com/questions/332105>
- [21] 高砂製作所 ZX-S シリーズ, https://www.takasago-ss.co.jp/products/power_electronics/dc/zxs/index.html

2021 年度業務レポート

物質設計評価施設 大型計算機室・情報技術室 矢田裕行

スーパーコンピュータの運用を行う物質設計評価施設設計部 大型計算機に所属し、全国共同利用を含む運用業務を行っている。また、物性研所内のネットワークおよびサーバ等の運用を行う情報技術室にも所属し、運用やユーザサポートなどの業務を行っている。2021 年度において、定常的でない業務として関わったものを以下に列挙する。

スパコン付帯設備の更新

2022 年 1 月から物性研スーパーコンピュータ システム C の更新が行われた。スパコン本体の調達については設計部所属の助教が主となって実行し、冷却水用のチラーや電源トランスの増強は共通事務センター施設チームの協力によって更新のための手続きが進められた。電源工事については 2021 年 9 月の法定点検によるキャンパス全域の一斉停電に合わせて実施するなど、所内への影響を抑えながら遂行するようにした。ただ新型コロナウイルスの感染拡大に伴う資材不足によって部品等の供給が遅れた影響により水冷システムの稼働が遅れ、スパコンシステム C の導入完了が年度末となる予定で進めていたものが 2 か月程度遅れることとなってしまった。

会議室、講義室等の整備

前年度に続いて、所内各部署からの依頼と事務部との協力により会議室や講義室の設備に関する対応を行った。講義室にて開催される研究会等においてオンラインまたはハイブリッドで開催するための機器の導入や調整、無線 LAN などの環境整備についての対応を行っている。

また今年度は 2020 年度に開催予定から延期されたものを含めて、研究会がオンラインまたはハイブリッドで開催されるようになった。開催にあたって、情報技術室では講義室の使用に関する補助や所有する機器の貸し出しなどにより、所内において円滑な研究活動を実施できるよう協力を行った。

Zoom や Cisco Webex などのライセンスが全学で使用できるようになり会議室や講義室でも PC による web 会議システムの利用が多くなった一方で、コロナ禍以前に使用されていた Polycom などの会議室備え付けのテレビ会議システムの利用頻度は極端に少なくなっている。ユーザの動向に合わせて情報技術室への依頼や問い合わせの内容にも大きな変化があり、それに応じて調整や課題の整理などを行っている。

また物性研の柏移転から 20 年以上が経過しているため、移転当初から使用されているような機器については不具合の発生や修理不能な故障が発生することも多くなっている。イベント当日に不具合が発生することもままあるため、確認された不具合については修繕または更新などの必要性を事務部と共有している。

第 4 回東京大学技術発表会

3 月 7 日から 2 日間の日程で行われた第 4 回東京大学技術発表会に、実行委員として協力を行った。実行委員長はナノスケール研究部門の橋本技術専門職員で、私は橋本委員長のもとでホームページの作成や当日タイムキーパーで使用する PC の準備などを主に担当した。

総合技術本部から正式に委嘱に関する手続きが行われたのが 9 月に入ってからであり、それに伴って準備期間が非常に短くならざるをえなかった。隔年で開催されるこの研究会について、第 1 回から第 3 回までは本郷、駒場、本郷の順に開催されており、次回については柏で開催されるだろうということは第 3 回の開催時点のころから風聞としては入ってはいた。第 4 回技術発表会の開催そのものや会場や開催形態について、状況が刻々と変化する中で総合技術本部においても対応が難しかったと推察されるころではあるが、前述のとおり委員の委嘱があったのが 9 月とかなり遅くなってしまったことで技術発表会の実行委員会にとっては準備期間が不足してしまう結果となってしまった。

また年明け以降の急激な感染拡大に伴い、最終的には完全オンライン開催となった。発表者、座長、聴講者すべてが Zoom によるリモートからの参加となった。当初は施設見学などを含む柏キャンパスでの参加とオンラインでの聴講参加を選択できるようにとの構想であったが、感染拡大の影響もあって現地での開催は第 3 回に続いて断念せざるを得ない状況となってしまった。

Zoom ホストとしての管理及びタイムキーパー用の画面表示などの進行役には柏の物性研会議室に来ていただくこととした。この役割は現地に来ていただくという事情もあるため、物性研のほか大気海洋研、宇宙線研所属を含む柏キャンパスに勤務する技術職員に協力を依頼した。予想していなかったような事態などの対応の際に、現地で常駐していた実行委員長および他のスタッフと直接打ち合わせを行いすぐに対応できる体制が取れたと思う。また会議室では情報技術室で保有している貸し出し用 PC などを設置して使用した。以前には講義室で行う研究会などで使用するために貸し出していたものであるが、機動的に使える機材を持つておくことはオンラインで開催される場合でも有用であることを実感した。

令和3年度 技術・業務レポート

物質設計評価施設 福田 毅哉

令和3年度も、共同利用スパコンを運用する物質設計評価施設物質設計部（大型計算機室）と、所の高速ネットワークや基幹サーバ群の管理等を行う情報技術室の職員を兼務している。新型コロナ感染症が急拡大して、働き方も大きく変わった令和2年度に引き続き、令和3年度も残念ながら新型コロナ感染症の収束は見られず、オンラインでのコミュニケーションを重視した勤務を行うこととなった。本レポートでは、大型計算機室の業務のうち「スパコンアクティビティレポート、統計データ管理、利用者等集計システム」と、情報技術室の業務から「ストックルーム管理システム、事務部ネットワークの全学FW移行」について報告する。

1. スパコンアクティビティレポート、統計データ管理、利用者等集計システム

スパコンアクティビティレポート

物性研究所が1995年にスーパーコンピュータ共同利用を開始して以来、スパコン共同利用は数多くの研究成果を生み出している。新型コロナ感染症が拡大してから、共同利用もリモートで行うことが検討されることが多くなったようだが、スパコン共同利用は元々来所を前提とせず、全国からリモートで利用されてきた。そのため、新型コロナ感染症の影響をあまり受けず、ユーザの方々の活発な研究活動により、今までと同様に研究成果を生み出し続けている。物性研スパコンを利用した研究により、毎年数百の公表論文が出版され、令和3年度には、17件の博士論文、47件の修士論文も報告された。

それらの成果をまとめ、アクティビティレポートを毎年発行している。現在は、野口所員が中心となって編集が行われており、私は、そこで使用される成果報告の収集や関連するユーザ対応、掲載する各種統計情報の作成を担当¹している。報告期間中には、令和2年度に行われた物性研スパコンを用いた研究の成果をまとめたアクティビティレポートの発行を行った。（本レポートが公表される頃には、令和3年度分も公開されている予定である。）

物性研スパコンでどのような研究が行われているのかご興味おありの方は、是非、下記リンクからスパコンアクティビティレポートをご覧ください。

<https://mdcl.issp.u-tokyo.ac.jp/scc/report/result/activity-reports/>

スパコン統計データ管理

スパコンは大型施設のため、文部科学省や東大本部などから、稼働状況やユーザ数などの様々な報告を求められる。また、前項でも記したアクティビティレポートやパンフレットなどの出版物にも採択課題数やユーザ数²などを掲載しており、それらのデータを一元化して管理する必要がある。そのため、Redmine上にデータ集計手順と集計結果を載せ、関係者が参照できるようにした。

ちなみに、一年間にどのくらいのジョブ（計算命令）がスパコンに投げられているか、想像がつかだろうか？ 答えは、次ページ下部に記しておく。（正解された方は、スパコン室見学にご招待します。）

¹ 私の担当は、スーパーコンピュータ全国共同利用に関する成果の収集。計算物質科学スーパーコンピュータ共用事業については、スパコン助教の井戸 康太さんが担当されている

² 同じ「ユーザ数」でも、それぞれの報告によって対象が異なるため、記入要領や共同利用係等とのやり取りを含め、どのような条件で集計したのかについての情報も残している。

利用者等集計システム

統計データ作成で特に手間がかかるのが、ユーザ数を国立大学や私立大学など機関区分別に集計することである。以前は手作業で行っていたが、スパコンはユーザが多く非常に苦勞していた。そのため、登録されたメールアドレスから、機関別の人数を自動で集計するサービスを作成し公開している。どなたでも簡単に集計できるため、お試しください。（学内ユーザは部局ごとの集計もします）

<http://tally.issp.u-tokyo.ac.jp/>

東京大学物性研究所 利用者等集計システム

サービスについて よく使われる質問 登録済み機関一覧 学内部署一覧 国立機関

機関区分別の人数集計サービス

大学ごとの人数集計や、機関区分別（国立大学、私立大学など）ごとの集計を行います。東京大学については、部局ごとの集計も行います。（集計結果はこちら）メールアドレスの命より後ろの部分だけのリスト（CSV形式）をアップロードしてください。

ファイルをアップロード | 更新されています | Upload

Copyright © center, ISSP

東京大学物性研究所 利用者等集計システム

1. 機関別の人数集計

no.	機関名/法人名	ドメイン名	機関種別	人数
1	東京大学	u-tokyo.ac.jp	国立大学	209
2	大阪大学	osaka-u.ac.jp	国立大学	72
3	東京工業大学	ititech.ac.jp	国立大学	49
4	名古屋大学	nagoya-u.ac.jp	国立大学	30
5	金沢大学	kanazawa-u.ac.jp	国立大学	25
6	千葉大学	chiba-u.ac.jp	国立大学	19
7	北海道大学	hokudai.ac.jp	国立大学	18
8	筑波大学	tsukuba.ac.jp	国立大学	18
9	早稲田大学	waseda.jp	私立大学	18
10	京都大学	kyoto-u.ac.jp	国立大学	17
11	岡山大学	okayama-u.ac.jp	国立大学	14
12	徳島県立大学	yms.ac.jp	国立大学	14
13	東北理科大学	taiho.ac.jp	私立大学	14
14	神戸大学	kobe-u.ac.jp	国立大学	13
15	熊本大学	kumamoto-u.ac.jp	国立大学	13
16	東北大学	tohoku.ac.jp	国立大学	13
17	電気通信大学	uec.ac.jp	国立大学	11
18	慶應義塾大学	keio.ac.jp	私立大学	11
19	琉球大学	u-ryukyuu.ac.jp	国立大学	10
20	鳥取大学	tottori-u.ac.jp	国立大学	9
21	名古屋工業大学	nitech.ac.jp	国立大学	8
22	九州大学	kyushu-u.ac.jp	国立大学	7
23	兵庫県立大学	u-hyogo.ac.jp	公立大学	7
24	南山学院大学	ayayama.ac.jp	私立大学	7
25	高エネルギー加速器研究機構	kek.jp	大学共同利用機関法人	7
26	産業技術総合研究所	aist.go.jp	独立行政法人等公的機関	7
27	山形大学	yamagata-u.ac.jp	国立大学	6
28	群馬大学	gunma-u.ac.jp	国立大学	6
29	茨城大学	ibaraki.ac.jp	国立大学	6
30	物質・材料研究機構	nims.go.jp	独立行政法人等公的機関	6
31	理化学研究所	riken.jp	独立行政法人等公的機関	6

2. 機関区分別の人数集計

no.	機関区分	人数
1	国立大学	621
2	公立大学	12
3	私立大学	66
4	大学共同利用機関法人	11
5	独立行政法人等公的機関	25
6	民間機関	0
7	外部機関	0
8	その他	2
	合計	737

3. 学内部署別の人数集計

no.	部署名	サブドメイン	人数
1	工学系研究所：工学部	t	71
2	物性研究所	issp	52
3	教育用計算機システム	ecc	34
4	理学系研究所：理学部	s	30
5	新領域創成科学研究科	k	11
6	産業技術研究所	its	5
7	観光学研究所：観光学部	c	5
8	東京大学事務系委員会メールアドレス	mail	1
	合計		209

本リストに無い機関等の登録依頼は tally@issp.u-tokyo.ac.jp まで

Copyright © center, ISSP

図1. 利用者等集計システムの表示サンプル（右2つは集計結果）

2. ストックルーム管理システム

過年度に引き続き、予算・決算係と協力し、ストックルーム管理システムの構築・運用を行っている。新型コロナウイルス感染症の拡大防止の観点から、在宅勤務が推奨される期間もあったが、ストックルームは閉室することなく運用を続けてきた。令和2年度の緊急事態宣言時には、外部からの共同利用の来訪が禁止されたこともあり、払い出し件数は一時的に今までにないほどの減少が見られたが、令和3年度は、コロナ禍以前の令和元年度と比較して8割弱の払い出し件数で落ち着いている。

3. 事務部ネットワークの全学FW移行

情報セキュリティ環境確保のため、学内のネットワークは、基本的にはすべて全学FWへ移行することとされた。物性研事務部ネットワークも、移行しなくてはならない。ただし、以前は、物性研事務部は、柏地区事務部物性研担当課という物性研外の組織であり、物性研の管理ネットワークから外れていた。そのため、当時の情報がきちんと引き継がれておらず、調査を行ううえで大きな阻害要因となっている。特に、UTNETと事務部が使用するスイッチの間は、直接ルーティングがなされていないように見えるため、手探りで調査をせざるを得ず、年度内に移行することができなかった。技術専門職員の矢田 裕行さんと協力し、次年度の適当な時期に、事務部ネットワークの全学FW移行を進めたい。

Q 令和3年度に物性研スパコンに投げられたジョブ数は？（実行されなかったものも含む）

A システムB ohtaka 507575件, システムC enaga 46166件(年度途中で運用終了)

正解された方は、スパコン室見学にご招待します。ご連絡ください。連絡先 fukuda@issp.u-tokyo.ac.jp

技術・業務レポート

物質設計評価施設・高圧合成室 後藤 弘匡

1. はじめに

本年度に行った業務内容は、おおよそ以下の通りである。

- ①高圧合成室内の油圧プレス装置・X線回折装置・ラマン分光装置・工作機械類の保守・整備・管理、研究室の備品の管理・発注。
- ②高温高圧実験で使用する治具や部品類の設計・製作・組立。
- ③共同利用研究者等に対する実験サポート。
- ④その他(廃棄薬品類の処理、研究室内の安全管理等)。

以下では、上記業務内容の中から、幾つかを選んで簡単に紹介する。

2. 共同利用実験用装置の保守/管理

① 大型 IP-X 線回折装置の修理

DAC(Diamond Anvil Cell)と組み合わせて使う、高圧その場 X 線観察用装置、が故障した。症状は、X 線が全く出せない状態、故障箇所は、高圧トランス上のファンと、48V スwitching電源基板だった。そこでこれらの部品の交換修理を行った。なお、故障箇所の特定を行っている最中に操作盤の液晶画面が壊れて全く表示されなくなったため、操作盤ユニットをまるごと交換した。

現在は正常に稼働しているが、この装置は、導入されてから 20 年以上経ち、修理に必要な部品等が入手できなくなってきている。可能であれば、新規装置への買い換えも検討する必要があると思われる。

② 微小部 X 線回折装置の修理

微小部 X 線回折装置は、X 線を 30 μ m まで絞って、高圧実験後の小さな回収試料中のさらに微小な領域の分析を行うための装置で、地球科学や物質科学の研究を行うユーザーにより利用されており、物質の分析や同定に欠かせない装置である。症状は、X 線は発生できるが、実際に測定を行うために自動測定プログラムを利用して測定を開始しようとするとシャッターが開かず、測定ができない状態になった。

故障箇所を特定するためにプログラムのログを確認したところ、回折線のデータを記録するマルチチャンネルアナライザー(以下、MCA と呼ぶ)と PC との間で通信エラーが出るためにシャッターを開くことができず、結果として測定が開始できない、という状態になっている事が分かった。通信エラーは MCA の通信ボードの故障の可能性が高かったため、中古のマルチチャンネルアナライザーを取り寄せ、それと交換したとこ



図 1: 大型 IP-X 線回折装置の制御基板やトランス等が入っているキャビネット

る、正常に動く様になった。

こちらの装置も導入から 20 年以上経過しており、入手が困難な部品も出てきている。IP 大型 X 線装置以上に新規装置への入れ替えを検討する必要がある。

3. 実験室等で使う治具類の設計や製作

実験に使用するための治具やパーツ類の設計・製図と機械工作を行っ

た。本年度は、二段押しマルチアンビル実験用の微小パーツの製作、アンビルトランケーションの再研磨、所内外の研究者から依頼された部品の製作に関する相談に乗る、機械設計・製図や工作指導を行った。

機械加工は、主に、高圧合成室に設置されている中型旋盤、精密ボール盤、卓上 NC フライス盤、YAG レーザー加工装置等を使用した。

4. 共同利用研究者へのサポート

高圧合成室に設置されている各種油圧プレス(KAMATA700 ton、iroha700 ton、CAPRICORN500 ton)や DAC を使った高温高圧実験、微小部 X 線回折装置、及び、高圧その場 X 線回折装置を使った試料の分析などの高圧実験全般のサポートを行った。その他にも、実験の詳細を相談の上で、研究者の実験内容に合わせて様々な微小部品をカスタマイズして見本を提供する、あるいは、必要に応じて共同利用研究者と一緒に実験を行う、といった事も行っている。

今年度も、コロナ禍のために来所することができない等の理由により、遠方から来所予定の共同利用研究者のキャンセルが出た。この傾向は当面続くと考えている。

利用状況としては、所内からは、上床研究室、山室研究室、長谷川研究室、所外では室蘭工業大学、東京工業大学、帝京大学、東大理学系研究科からの利用実績があった。本年度は、共同研究による成果が 3 本の論文になり、その他にも、共同研究者が論文を執筆中である。

5. その他

今年度、日本高圧力学会功労賞を受賞した。本功労賞は、高圧力研究における技術の革新・発展に著しく貢献された方に授与されるもので、その技術功労者へ謝意を表することを目的として設定された賞である。今回の受賞は、長年にわたり、高圧力を用いた研究分野における主要な全国共同利用施設である物性研究所の高圧合成室において、共同利用に供されるマルチアンビル型高圧発生装置をはじめとした複数の高圧実験装置の維持管理とユーザーへの研究支援を行ってきたこと、小型・軽量の対向アンビル型高温高圧発生装置や中性子線を用いた高温高圧その場観察実験用技術の開発を進めてきたこと、および、高温高圧実験技術を駆使した研究を自身でも実施していることが、高圧の科学と技術の発展に大きく貢献したと評価されたことによるものである。

上記のような技術開発、及び、共同研究の成果は、高圧力実験の基本を教えて頂いた八木建彦先生、実験室の運営に関してご指導をいただいている廣井善二先生、共同利用や共同研究を通してお世話になった大学や研究機関の先生方や研究員の皆様、および、普段よりお世話になっている秘書さんや事務方の皆様のサポートのおかげと考えております。また同時に、高圧合成室において、実験を行える環境を提供して頂いたから成し得た事だと考えております。この場を借りて、私に活躍の場を与えてくださったすべての関係者の皆様に深くお礼申し上げます。



図 2: マルチチャンネルアナライザー

2021 年度の中性子科学研究施設における業務報告

中性子科学研究施設 杉浦良介

1. はじめに

中性子科学研究施設では、茨城県東海村にある日本原子力研究開発機構（JAEA）が保有する研究用原子炉 JRR-3 から供給される中性子線を利用し、中性子散乱による共同利用実験装置を提供している。また、パルス中性子施設である J-PARC の物質・生命科学実験施設（MLF）においても、共同利用運営を行っている。



図 1：耐震補強工事後の JRR-3 全景
(JRR-3 ユーザーズオフィス HP より)

2. JRR-3、J-PARC MLF での共同利用支援

JRR-3 は東日本大震災以降停止状態であったが、2021 年 2 月より運転を再開しており、共同利用も 7 月より再開された。当施設は、ユーザーに対し円滑に実験が行えるように支援を行っている。技術職員の業務としては、特殊な試料環境機器の運転準備、実験時に発生する周辺機器の不具合対応等を行っている。また、共同利用課題申請システム（NSL-RING）の管理、運営も行っている。具体的には、人力では運搬できない大型試料環境機器（極低温冷凍機や超電導電磁石等）を天井クレーンにて運搬することやヘリウムガス等の高圧ガスや液体窒素や液体ヘリウム等の寒剤の管理、不具合が生じた機器の修理や代替品の提供である。

また MLF の BL12 において高分解能チョッパー分光器（HRC）を、高エネルギー加速器研究機構（KEK）と共同で建設し運営を行っている。技術職員の業務としては、実験試料を交換する際のクレーンによる試料環境機器の運搬作業、極低温（1K 以下）用ヘリウム 3 冷凍機や超電導マグネット等の特殊な試料環境機器の運転準備、実験時に発生する周辺機器やソフトウェアの不具合対応等を行っている。また、ソフトウェアに対しては、本施設や KEK の教職員と協力しながら、ユーザーのニーズにあわせた機能の追加やインターフェースの改良を随時進めている。

2022 年 4 月に超電導マグネットを用いた実験を計 4 課題、延べ 25 日行っており、寒剤（液体窒素や液体ヘリウム）の投入等の実験前準備や実験期間中の磁場や使用する寒剤の管理

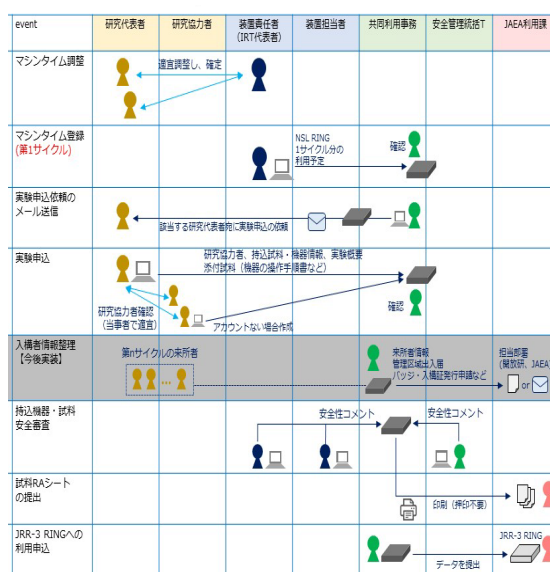


図 2：NSL-RING フロー図



図 3：超電導マグネットを HRC へ 搭載する様子

等を行った。

3. 装置や機器の整備、高度化

2021年度のJRR-3の共同利用は7月から11月までであった。当施設は、それ以外の停止期間を利用し、実験装置や機器の整備、高度化を行った。

7月までの稼働前には、装置駆動系および中性子検出器の動作確認や分光器の光軸調整を行った。また、制御用のPCは全ての装置で古いOSを使用していたため、更新作業を行った。

稼働後は、実験期間中に故障などの不具合を起こした機器に対し、修理やメンテナンスを行った。

2011年からの長期停止期間中に、JRR-3の冷中性子ライン(Cライン)は、中性子導管のスーパーミラー化を行っており、これによりある装置では中性子強度が約5倍になるなど、画期的な改良効果が現れている。その代償でもあるのだが、Cライン実験装置周辺の中性子線およびガンマ線の空間線量が高く、装置のバックグラウンド増大とともに、実験者の被曝(もちろん基準範囲内ではあるが)が問題になっていた。そこで、特に増大した箇所に対し遮蔽体の設置を行った。

中性子線の低減対策として、実験装置C3-1-1(AGNES)周辺の導管や従来の遮蔽体に中性子遮蔽材であるB4Cゴムシートを設置した。

ガンマ線の低減対策として、特にガンマ線量の高いAGNES及びC1-1に対し、鉛板の衝立を作成し設置した。

上記の対策により、装置のバックグラウンド値も低減され、実験者の被曝も低減された。



図4：装置の光学調整

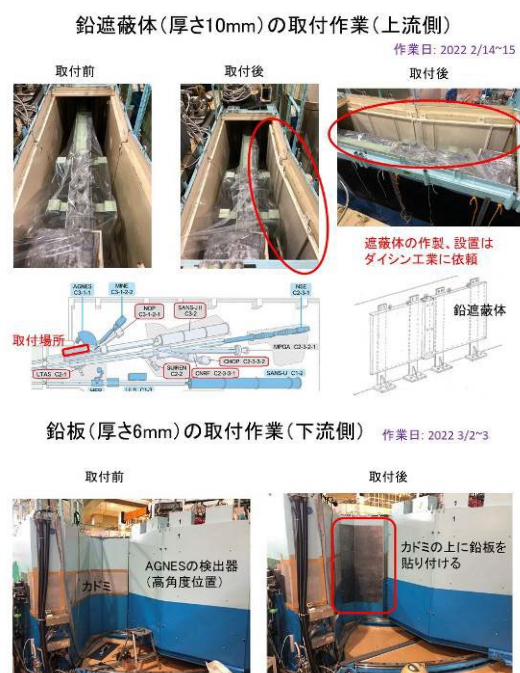
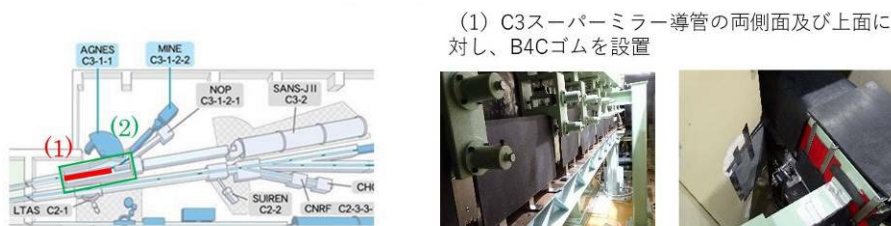


図5：AGNESの線量対策(γ線)



(2) AGNES上部遮蔽体下部にB4Cゴムを貼付け



図6：AGNESの線量対策(中性子線)

1、はじめに

国際超強磁場科学研究施設では、マイクロ秒から1秒程度の短い時間だけ強い磁場を作るのに必要な技術の研究開発と、そのパルス強磁場を用いた強磁場下での物性研究を行っている。ここで出せる非日常的な強い磁場が瞬間的になるのは、望んでそうなっているのではなく、電磁石を構成している(常伝)導体に大電流を流し続けるとジュール熱($Q = R I^2 t$, R [Ω]; 電気抵抗、 I [A]; 電流、 t [s]; 時間)により、コイルが燃えてしまうからである。この発熱を抑えるために、大電流を瞬間的に流すようにせざるを得ない。特殊な送電技術を除いて数10kAから数MAの電流を定常電流として作り出す技術はないので、コイルが燃えるほどの定常大電流をコイルに流し続けた人類はおそらく存在しない。超伝導電磁石が、物性研究だけでなく医療、生命科学など広く一般に使われているのは、この発熱がなく容易に使いこなせるからである。

また、マクスウェル応力と呼ばれる力が磁場の強さの2乗に比例して電磁石にかかり、電磁石が壊れてしまうことがある。この応力が強磁場発生を困難にしているもう一つの問題である。この応力を何とか抑え込んで同じ電磁石を用いて繰り返し磁場発生を行うのが非破壊型パルス磁場発生法と呼ばれる方法で、もう一つ、この応力によって電磁石が毎回壊れるのを許しながら非破壊型パルスマグネットよりもっと強い磁場を発生させる破壊型パルス磁場発生と呼ばれる方法がある。この2つ方法は到達できる磁場の大きさと発生時間に差があり、必要とされる電磁石の構造やそれに伴う絶縁物、導体の種類などが異なってくる。

ここでは前者の非破壊型パルスマグネットについて報告する。非破壊型パルスマグネットは①導体、②絶縁物、③補強材から構成され、材料科学的な意味でそれぞれに求められるのは、

- ① ; 発熱を抑えるための高い電気伝導特性と応力に耐えられる高い強度
- ② ; 10 kV オーダーの電圧に耐えられる絶縁性と高い機械強度
- ③ ; できれば非磁性体でマグネットが外側に変形しようとする力を抑え込む高い強度

である。これらの材料を組み合わせて空芯多層ソレノイドコイルを作製する。なるべく狭い空間に磁束密度を集中させると効率よく磁場発生できるが、物性研究のことを考えるとある程度の広さが必要となり、現実には1 cc程度の磁場均一空間を作る。この空間が試料空間となっている。導体は充填率を上げるために丸線ではなく2 mm X 3 mmの平角の銅銀合金線を用いている。このようにして作製される電磁石はコイルの巻き数により300 μ ~ 900 μ H程度のインダクタンスを持つ。磁場

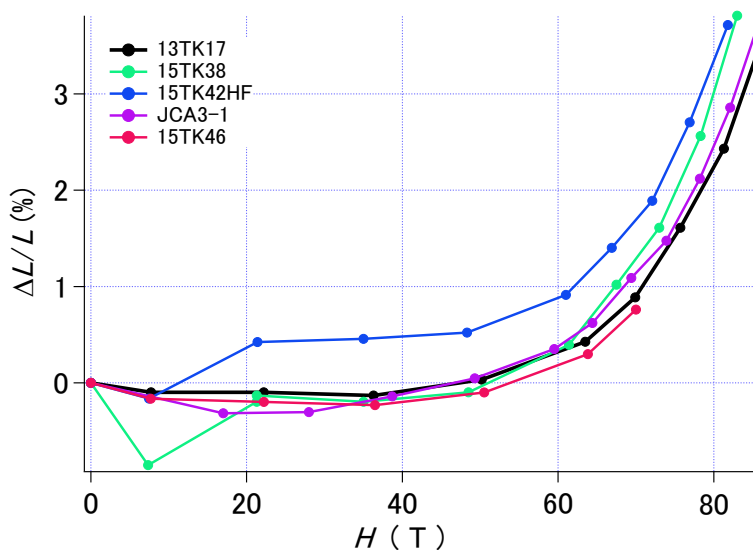


図1 発生磁場(投入エネルギー)に対するインダクタンスの変化。50 テスラ当たりで正の変化が始まり 80 テスラ当たりで 2 - 3%を超える変化を示す。

発生試験は磁場波形及びインダクタンスの変化（＝コイルの変形）を見ながら異常がないことを確認し、電磁石に投入するエネルギーを徐々に増やしながら行う。発生磁場の強さに対するインダクタンスの変化は図1に示すようになる。初期のインダクタンスの大きさによらず 50 T 程度の磁場発生を行うとインダクタンスの変化が顕著になりだす。低い磁場を出した時にインダクタンスが一度小さくなる理由は今のところ不明である。興味があることなので今後解明したいと思っている。

2、 80テスラ超の磁場発生

2021年度の中途からマグネットを作製するメンバーにPDの松井氏が加わり、それとほぼ同じ時期にコイルのデザインの見直しを行った。2012年度の技術レポートで報告している通り、2011年前後に1年ほどかけてコイルデザインを決定する1回目の試験シリーズを行っている。コイルの形状としては内径18mm、長さ100mm、11層巻きが最適で、導体については2mm×3mmの平角状で銀が6wt%の濃度で銅に添加された銅合金が最適で、この条件で作製したコイルが最も磁場発生効率が良いことが分かった。試験を行ったコイルすべてで80テスラ(T)以上の磁場発生に成功したが、中でも前述のコイルが85.8Tの最高記録を出している。その時のインダクタンスの変化を図1の凡例JCA3-1(＝導体のラベル)で示している。この一連の試験の結果を受けて、次のステップとして100Tを目指す多段パルス磁場発生の開発に移行する予定であったが、80T以上の磁場発生の再現性・安定性が得られず、100T計画については予定より進みが遅くなっている。ここ数年の技術レポートで報告している通り、徐々に状況は改善され、いくつかのことが明らかになってきている。導体については電気伝導度と引張強度で評価してきたが(現在でも主な評価方法であることは変わっていない)、それだけでは導体の特性を正確には評価できないことが分かってきた。そのため、電子顕微鏡を使ったミクロな観察などを行っている。現在、ミクロな組織情報とマクロな物性値を使った複合的な評価ができるようなシステムを構築している。また、導体を覆う絶縁材の絶縁性能が安定せず、全く予測しない低い磁場で絶縁破壊が起こり、コイルが壊れる問題も起こった。そのために我々自身で絶縁を施す工夫などを行っている。このような一見付加的な想定外の技術開発に見えることを行っているが、将来的には非破壊強磁場発生の発展に大きく寄与できると考えられる。一方で磁場開発そのものも並行して行わなければならない。そこで、21年度の途中から、コイルのサイズを内径13.7mm、長さ80mmの9層巻きにした。この変更で、より小さなエネルギー(＝充電電圧が低く、絶縁破壊が起こりにくい)で、より高い磁場を出すことが可能になった。物性測定に用いるには少し窮屈ではあるが、導体のマグネットワイヤとしての評価をすることが可能になった。いくつかの結果を図1に示している。試験を行ったほとんどのワイヤで85Tを超える磁場発生が可能であることが分かった。マグネットワイヤとして問題なく使用できるかどうかの最終判断は実際に磁場発生試験を行わなければならないので、マグネットを小型にすることで、導体が85T以上の磁場発生に耐えうるかどうかの選別が可能となった。今後は、内径を広げて80T領域の物性研究が行えるようにすることとより高い磁場を狙えるマグネットを作製するが目標となる。導体の開発としては、電気伝導度と引張強度の向上を図る。そのためには上で述べたように組織観察も含めた複合的な視点で導体を評価できることが必要である。この改善を図1に当てはめると、横軸の到達磁場が伸び、縦軸のインダクタンスの変形が抑えられることを意味する。

令和3年度（2021年度）技術・業務レポート

極限コヒーレント光科学研究センター 技術専門員 金井輝人

令和3年度のトピックス

今年度は板谷研究室や共同研究用に光源(BiBO OPCPA Laser System)の開発に着手した。まだ完成はしておらず現在も開発継続中であるが、ここではその途中経過を記したいと思う。詳細を説明する紙面の余裕はないので、ほとんど図のみで紹介する。文章が少ない分、図を詳細に作成した。なんとなくイメージを掴んでいただければ充分である。

光源のシステム概要

レーザーシステムの概要図を図1に示す。

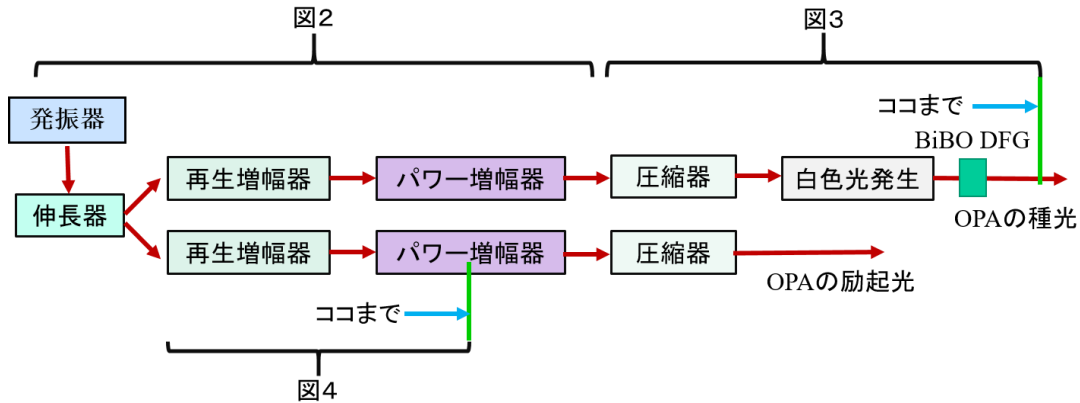


図1. レーザーシステムの概要

発振器の出力光を伸長した後2分割し、一方をOPAの種光に、他方を増幅のための励起光にするレーザーシステムである。現状、図1中の「ココまで」の開発が完了している。

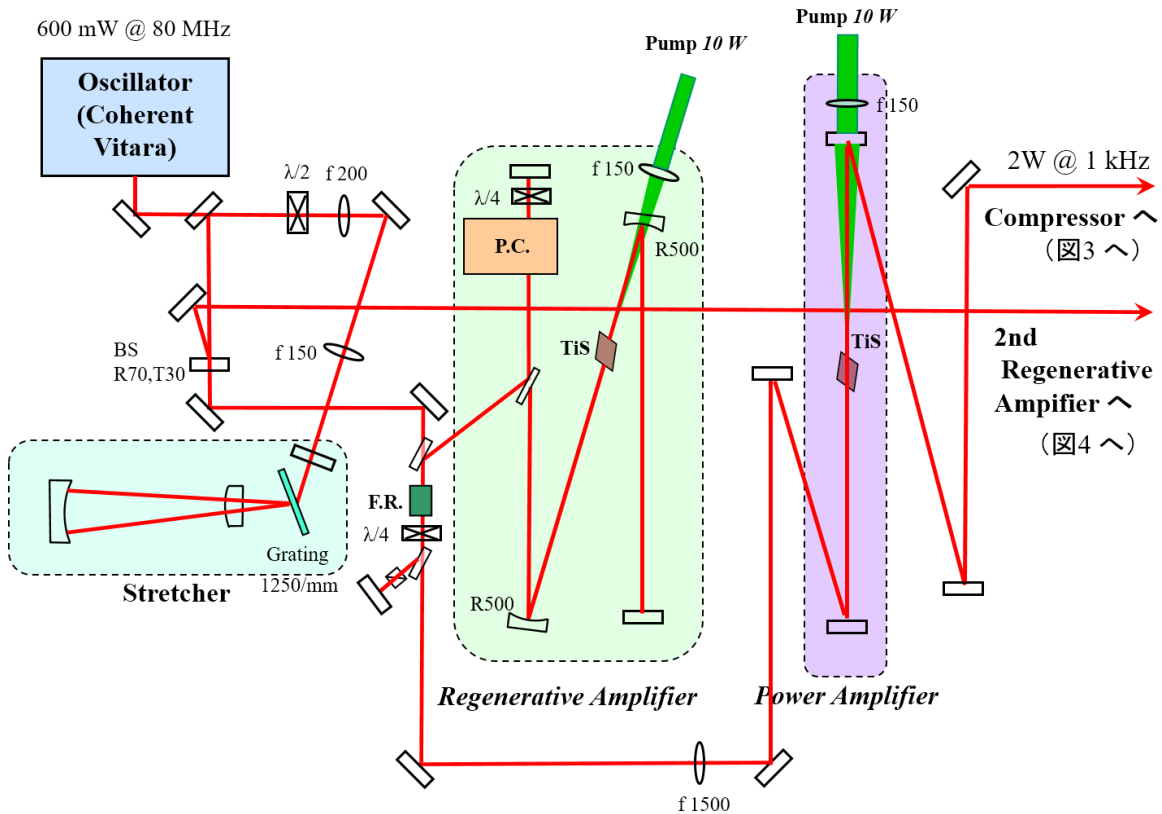


図2. OPA 種光側 Ti:S レーザー増幅器

図 2は発振器からの光を時間的に伸長して、それを再生増幅器、パワー増幅器によりアンプするシステムのレイアウトである。システム全体の半分であり、図 3、図 4へと続いている。

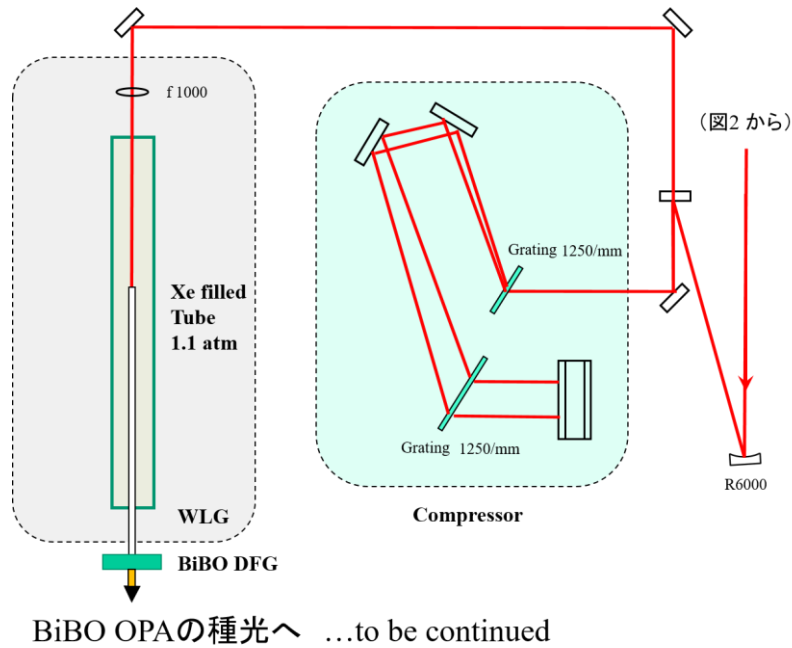


図 3. 圧縮器と白色光発生器

図 3.では伸長されたパルスを再圧縮し数十フェムト秒の超短パルスにしてそれを Xe が満たされた筒の中に絞り込み、広いスペクトルを有する白色光を発生させている。この光が OPA の種光になる。

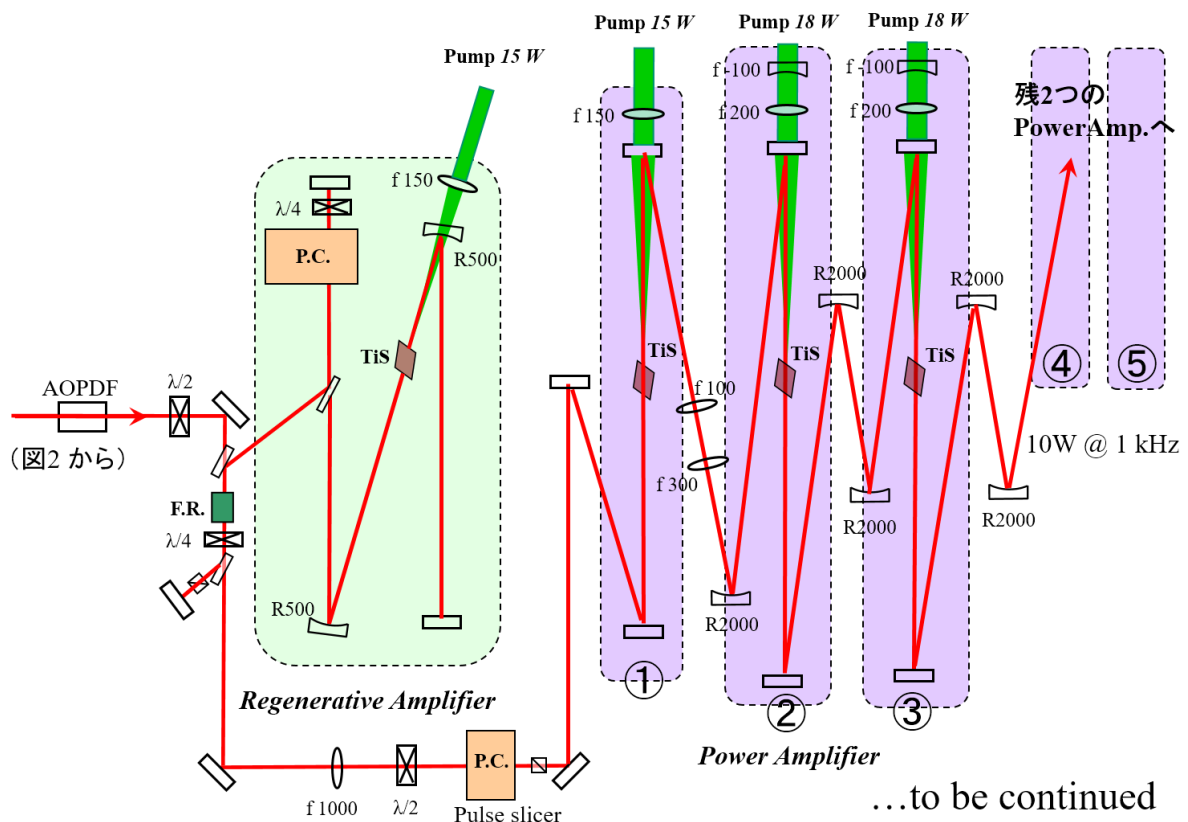


図 4. OPA 励起光側 Ti:S レーザー増幅器

図 4.は励起に用いるビームを再生増幅器、パワー増幅器によりアンプするシステムのレイアウトである。アンプもまだ半分建設が終了したところである。現在も開発進行中であり、次年度はこの続きを報告したいと思う。

技術・業務レポート

低温液化室 土屋 光、鷺山 玲子、清水 未来

1. 寒剤供給関係

令和3年度の寒剤供給状況、液化機の運転状況などを下記の表1、図1、表2に示す。

表1 令和3年度 寒剤供給量

	物 性 研	柏キャンパス内 の物性研以外	合 計
液体ヘリウム	114,647 L (139,360 L)	44,839 L (41,295 L)	159,486 L (180,655 L)
液体窒素	158,402 L (163,883 L)	5,572 L (3,772 L)	163,974 L (167,655 L)

※カッコ内は、令和2年度の供給量

液体ヘリウム年度別供給量

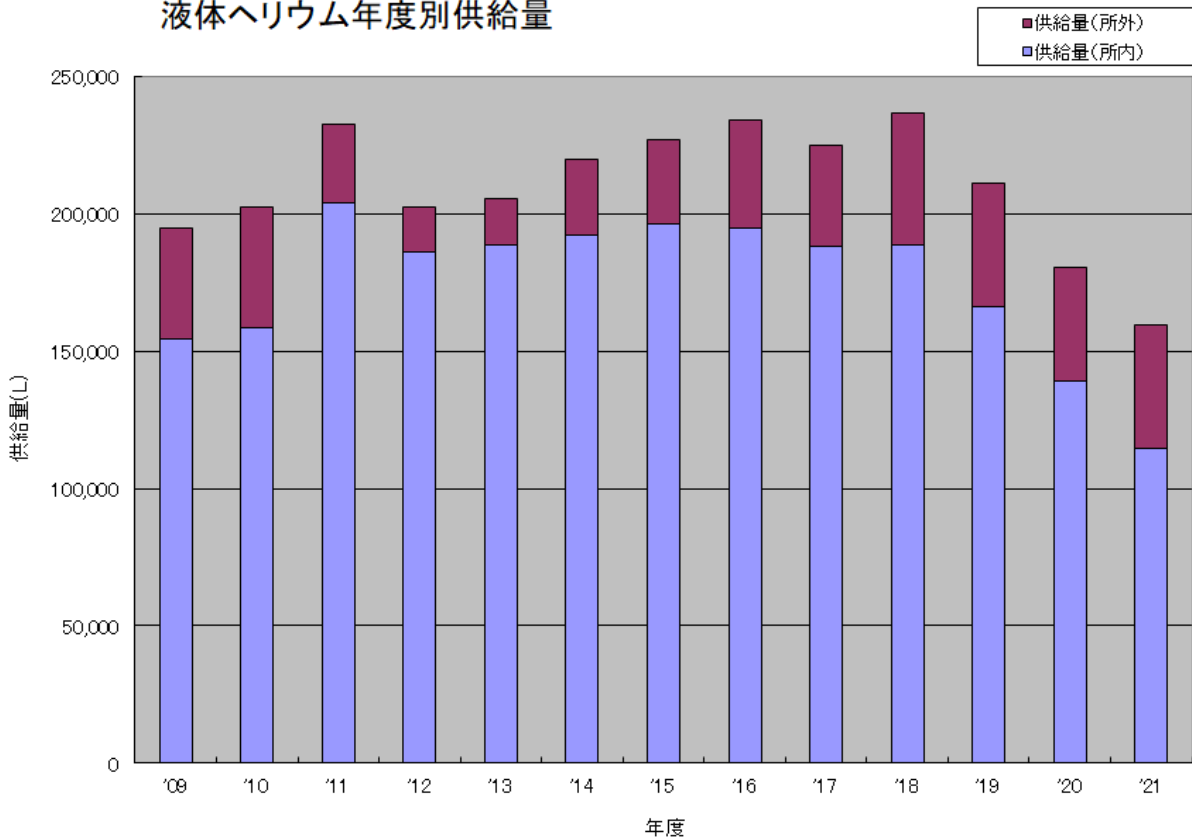


図1. 液体ヘリウム年度別供給量（供給量＝持出量－回収量）

表2 液化時間と供給量

	供 給 量	供給本数	液化時間	液化回数
令和3年度	159,486 L	1,987 本 (2,081 本)	1,434.2 時間	109 回
令和2年度	180,655 L	2,145 本 (2,288 本)	1,483.5 時間	124 回

※カッコ内は汲出本数。運転時間に WarmUp 運転等含まず。

2. 設備関係

[1] 水素混入への対応

2021年7月始めに、大阪大学低温センター豊中分室から水素分析装置を借りることができ、周辺設備の整備及び分析計のセットアップを行い、ヘリウムガスの分析を行えるようになった。

ヘリウムガスの分析は、7月6日から開始でき、9日には液化機2号機系内に大量の水素が混入していることが分かった。

水素が混入した原因として、補充用のガスに入っていた可能性が浮上し、輸送用ローダーからのガスを分析した。

結果として、ローダー内にそれなりの量の水素が入っているだろうこと、数回にわたり同じローダーでの補充を行っていることから、物性研ヘリウム系内(液化機や長尺カードルなど)への水素混入の原因だろうと思われた。

ちなみに、圧縮機のオイルから水素が出てくるのではないかという話もよく聞くのだが、液化運転中の分析結果からすると、それはないだろうという結論になった。

今後は、系内の水素除去を行う為に、水素除去装置を導入する予定となっているが、除去が完了するにはそれなりの時間が掛かると思われる。まずは実験装置等での詰まり解消の為に、水素の入っていないLHe容器を供給することを目指す。

LHe容器内の状態チェックには、専用の検査器具を使い測定する(図4参照)が、測定の前に容器を完全に室温にし、真空置換等を行った後に、再度液体ヘリウムを充填する必要がある。室温に一度戻すことにより、容器内に蓄積していると思われる水素の除去が完了し、水素フリーなLHe容器を提供できるようになる。

ちなみに、昇温した後のLHe容器が使用できるようになるには、最短で2週間ほどかかる。
【断熱層真空引(最短1週間) → 窒素予冷(最短3日程) → LHe充填・蒸発量確認(最短3日程)】

[2] 液化機2号機用圧縮機の16,000時間点検の実施

液化用圧縮機のメーカー推奨メンテナンスは、運転時間8,000時間毎になっており、今年度16,000時間を超えたので、メンテナンスを実施した。特に問題はみられなかった。



図5. KAESER 圧縮機 16,000 時間点検の様子



図2. 阪大から借りた分析装置

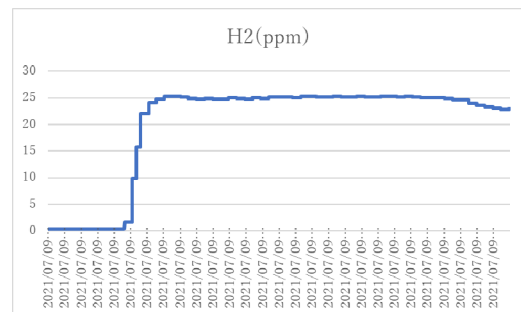


図3. 分析結果

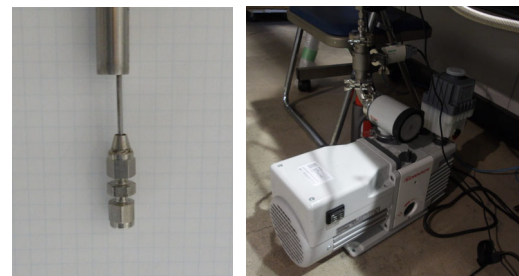


図4. 容器内水素チェック装置
(左:先端部 右:真空ポンプ)

3. 高圧ガス関係

① 定期自主検査など

高圧ガス設備の保安検査前検査（4月）及び定期自主検査（10月）を行った。

- ・4月の定期検査は業者に委託し、圧縮機（液化用、回収用 No.2）のオーバーホール、安全弁・圧力計の交換、各種気密検査、その他必要な検査、CE（液体窒素貯槽）の検査等を行った。
- ・10月の定期検査は液化室員が、液化機、圧縮機、長尺カードルなどの気密検査等を行った。また、業者に依頼し、CEの検査と回収用圧縮機 No.1 のオーバーホールを行った。

② 保安教育および液化室主催講習会等

例年行っている高圧ガス利用講習（新人教育）は、初心者向けの実習を行うので、コロナ禍でも感染対策をして実施した。

感染対策として、定員を30名までとする、マスク着用、手指消毒はもちろんのこと、間隔をあけての着席、定期的に換気を行うなど、細心の注意を払った。

また、原則、経験者を対象としているオンライン講習も引き続き行っている。

また、従事者対象の保安教育等を行い、従事者の保安意識向上および知識向上に努めている。

- ・CE、安全带、空気呼吸器に関する保安教育（7/29）ハイブリッド開催

③ 高圧ガスボンベ管理状況の確認

毎月行われている産業医巡視にあわせて、高圧ガスボンベの管理状況の確認（ボンベの固定状況、使用状況、管理状況（登録データとの照合）など）及び管理指導・取り扱い指導等を行った。

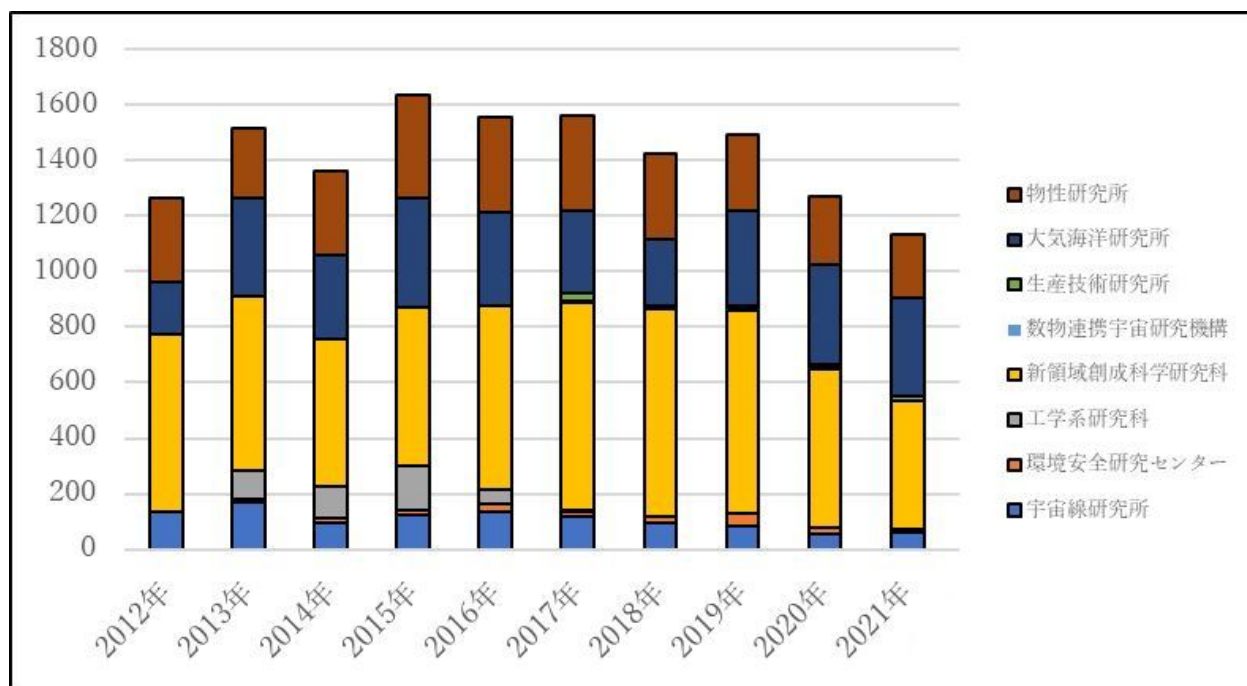


図6. ガスボンベ使用量の推移(年別・管理システム登録数)

④ 法対応など

- ・柏キャンパス内の高圧ガスに係る各種申請・看板整備等を行っている。

4. 広報活動など

ホームページなどを利用した各種情報提供、告知等を行った。

- ① ヘリウムガスの再液化事業(液化依頼)
5 機関（ガス関連企業 4 社、大学 1 機関）から依頼を受け、ガス関連企業を通じ、25 の大学・高専や 17 の民間研究機関・病院などへ液体ヘリウムが供給された。総液化量は、約 8,000L であった。
- ② 記者等の取材対応
・ガスレビュー浅井氏「ヘリウム供給について他」（2022.03.17）記事：ガスレビューNo.982

5. 学会・研究会・研修などへの参加、技術職員研修の実施

第 4 回東京大学技術発表会及び令和 3 年度核融合科学研究所技術研究会に参加し、新しい知識の習得、意見交換などを行った。また、鷺山が令和 3 年度核融合科学研究所技術研究会において、3 時間程度の極低温情報交換セッションのコーディネーターを務めた。

6. 2022 年度の年間予定

2022 年度も第 1 種製造所として義務づけられている定期検査、保安教育等を行うとともに、寒剤利用者及び作業従事者が安全に高圧ガスを利用できるよう適宜、教育・指導等を行っていく。

また、学会や研究会等へも積極的に参加(発表)し、様々な知識の習得に努める一方、技術や安全に関して、他機関との意見交換や情報共有などを積極的に行っていく予定である。

ツイスト2層グラフェンの電子状態

飯盛 拓嗣^A

物性研究所・機能物性研究グループ^A

1. はじめに

グラフェンは、単層の炭素のみから形成される2次元物質である。そのような純粋な2次元構造の物質は安定に存在しえないと考えられていたが、ガイムとノボセロフが2004年に、グラファイトから単層の炭素原子層を剥離させ、その電気伝導特性を調べることに成功した¹⁾。(2010年にノーベル賞を受賞した。)単層グラフェンは、物質の電気的磁気的な性質を決めるフェルミエネルギーの近くの電子状態が一般的な半導体とは異なり、線形の分散を持ち、ディラックコーンと呼ばれる2つの円錐をつなげたような特異な電子状態を持っている。(図1)円錐の接点に当たる電子状態が1点に結ばれている所をディラック点と呼ぶ。

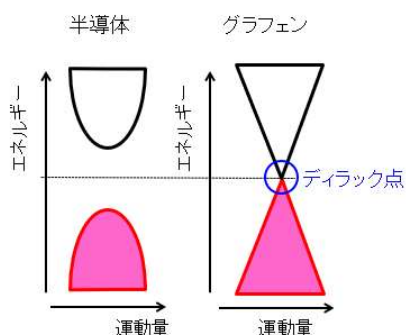


図1 半導体とグラフェンの電子状態の比較

単層のグラフェンはその特異な電気的な性質から学術的な研究だけでなく、新規なデバイスへの応用の観点からも調べられてきた。さらに近年では、2枚のグラフェンをわずかに傾けて張り合わせることで単層グラフェンとは異なる新しい物性が発言することが報告されている。特に魔法角と呼ばれる1.1度お互いにひねってグラフェンを張り合わせて、低温に冷やすことによって、超伝導状態を発現することが

報告されている²⁾。今回の発表では、3度と4度ツイストさせた2層グラフェンの電子状態について角度分解光電子分光(ARPES)で調べた結果について報告する。

2. 試料と実験

今回用いた試料は、九州大学の田中研究室で作成されたSiC上の大面積のツイスト2層グラフェンを使用した。これまでのツイスト2層グラフェンは、多くの場合作成が容易な金属上に化学気相蒸着法(CVD法)に作られた2層グラフェンについての研究が行われてきた。このような試料は、

1. 試料のサイズが数十 μm 程度しかない
2. 作製した試料に不純物が含まれている
3. 様々な方位のグラフェンが混在している

等の問題があり、試料サイズの問題からその電子状態を角度分解光電子分光(ARPES)で調べるためには、測定スポットをミクロン程度に絞ることが可能な顕微測定手法のみが用いられてきた。

田中研究室では、SiC上にCVD法を用いて、SiCとの結合の弱い単層のグラフェンを作製し、超高真空チャンバー中で試料の清浄化を行い、2つのグラフェンを押し付けることによって、3度、及び4度ツイストした2層のグラフェンをSiC上にmmスケールで作成することに成功した³⁾。図2にツイスト2層グラフェン作成の模式図を示す。SiC上のCVD成長では、グラフェンはSiC基板の影響を受けて一様なグラフェンシートが形成されるため、それらを張り合わせることでより広い面積で方位の揃った均質な2層グラフェンを作ることができる。また、超高真空チャンバー中で作成したことにより、界面不純物が少ない試料になっている。

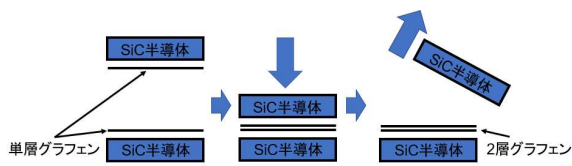


図 2 ツイスト 2 層グラフェンの作成過程

この 2 層グラフェン試料をつくばにある高エネルギー加速器研究機構のフォトンファクトリー・ビームライン(BL)-13B と BL-2A の ARPES 装置に持ち込み、放射光を用いてその電子状態を測定した。超高真空チャンバーに導入したあと、試料は 400°C で 30 分間アニールすることによって清浄化し、BL-13B では室温で、BL-2A では 30K で測定した。

3. 結果

図 3 に 3 度、4 度ツイストした 2 層グラフェンのディラック点近傍で測定した ARPES 測定の結果を示す⁴⁾。左側が 3 度ツイストしたグラフェン試料で、右側が 4 度ツイストした試料の電子状態に対応する。上下 2 層のグラフェンが異なる角度で存在しているため、異なる角度でディラックコーンが観測されていることが分かる。また、上に示した図はフェルミエネルギーでの等エネルギー断面で、ツイスト角度に相当して 3 度 2 層グラフェンの 2 つのディラックコーンが接近しているため、電子状態が重なり合っている。一方、4 度に対応する右上の図では、ツイスト角度が広いことに対応して、電子状態が少し分離している。2 つのディラックコーンはグラフェンの基板からの電荷移動量の違いからバンドのエネルギーシフト量が 0.1eV 異なり、ディラック点 (K_b , K_t) がフェルミエネルギーからより離れているバンド (K_b) が基板に近い下側のグラフェンの、シフト量が小さいバンド (K_t) が基板から離れた上側のグラフェンの電子状態であると考えられる。更に、詳細に解析すると 2 つのバンドの重なり合った領域では、バンドギャップ構造が生じている。

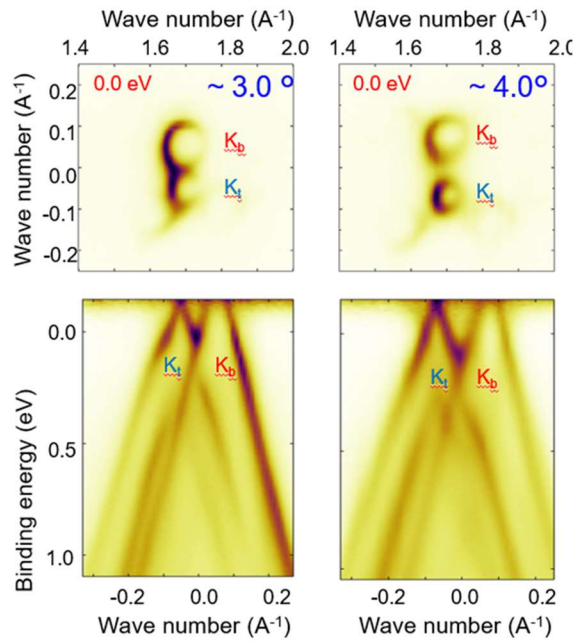


図 3 ツイスト 2 層グラフェンの電子状態

4. おわりに

本発表では放射光を用いた ARPES 測定により、大面積のツイスト 2 層グラフェンの電子状態について調べた研究を紹介した。また、発表では対応するタイトバインディング模型を用いた電子状態の計算結果と比較して議論する。試料作製および電子状態計算をしていただいた九州大学の田中研究室のグラフェングループの皆様に感謝します。

参考文献

- 1) N. S. Novoselov *et al.*, Science **306** (2004), 666.
- 2) Y. Cao, *et al.*, Nature **556** (2018) 43.
- 3) H. Imamura *et al.*, App. Phys. Express, **13** (2020), 075004.
- 4) T. Iimori *et al.*, Phys. Rev. Mat., **5** (2021), L051001.

連絡先

E-mail : iimori@issp.u-tokyo.ac.jp