

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

飯盛 拓嗣 4

浜田 雅之 6

機能物性研究グループ

向井 孝三 8

物質設計評価施設

物質設計部

矢田 裕行 1 0

福田 毅哉 1 2

物質合成・評価部

後藤 弘匡 1 4

浜根 大輔 1 6

石井梨恵子 1 8

中性子科学研究施設

川名 大地 2 0

杉浦 良介 2 2

国際超強磁場科学研究施設

松尾 晶 2 4

極限コヒーレント光科学研究センター	伊藤 功	2 6
軌道放射物性研究施設	原沢あゆみ	2 8
低温液化室	土屋 光、鷺山 玲子、野村 未来	3 0
放射線管理室	野澤 清和	3 4

技術・業務レポート提出技術職員数 1 8 名（技術職員総数 3 1 名）

はじめに

新型コロナウイルス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。物性研究所は現在もその影響の下にはありますが、感染防止対策を講じつつ、働き方や研究へ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ながら共同利用研究所としての活動が再開されています。ウィズコロナの状態が長引くことが予想され先行きはまだ見通せませんが、コロナ禍で得た経験を活かして、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16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、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。一方、物性研究所の技術職員は、対外的には、東京大学技術発表会や他機関で開催される技術発表会へ積極的に参加しており、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、あるいは、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。その結果、技術職員という名称では単純に一括りにできないような非常にバラエティーに富んだ職務内容となっている一方で、その幅広さゆえに、どのようなことを担っているのか理解され難い状況であるとも言えます。そのような中で我々技術職員は、時代の要求に対応できるよう個々のレベルアップをはかることは当然のことながら、その活動、能力（可能性）を広く学内外にアピールし、技術職員の必要性を認知させる努力を行っていく必要があります。また、我々はある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、継承していくこともまた重要な役割であると考えます。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。今後も、冊子を読んだ皆様から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す。

2020年 月

技術部委員長：橋本 義昭

技術部委員：飯盛 拓嗣

：伊藤 功

：土屋 光

：矢田 裕行

出版担当：福田 毅哉

技術・業務レポート

ナノスケール物性研究部門 飯盛拓嗣

日常的な業務

小森研究室で以下の業務を行った。

- 共用・実験用 PC の管理
- ネットワーク設定・管理
- ソフトウェアの購入・インストール
- 化学薬品の安全衛生管理(化学物質調査票等の作成)
- 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) 研究室用サーバの更新

小森研究室では、研究室の実験データや解析結果を蓄積する共用のファイルサーバとして、2011 年から、HP Proliant MicroServer (以下、MicroServer)に Windows Server 2008 をインストールして使用してきた。2019 年 12 月に異音が生じるようになったが、修理が難しい電源内蔵ファンが原因であるとわかったため、サーバ自体のハードウェアを更新することにした。更新にあたり同じシリーズの現行機種であった HP Proliant MicroServer Gen10 (以下 Gen10) を選定することにした。Gen10 はかつて購入した MicroServer に対して、CPU 性能が向上し、メモリ規格もより高速アクセス可能なものに変更されたほか、従来 1 個だけであった有線 LAN ポートが 2 個に増えており、サーバ用途として便利なハードウェア構成になっている。

今回のサーバ更新では、新しくインストールするサーバに Windows7 の PC を物性研のネットワークから切り離すファイアウォールとしての役割を持たせることを考えた。そのこともあって、今回はサーバ OS として Windows ではなく、Linux をベースにしたディストリビューションをインストールすることにした。今回購入した Gen10 に内蔵された USB メモリからインストール可能な ClearOS の無償の Community Edition は、Cent-OS をベースとして ClearCenter 社が提供している中小規模の企業や部門向けの小規模サーバとして使うことを目的とした Linux ディストリビューションであり、HP も商品版としてサポートしているということを知り、この OS を使ってみることにした。[1]

Gen10 のネットワーク構成図を図 1 に示す。Gen10 の 2 個の LAN ポートのうち、1 つ目は物性研内のインターネットワークに参加し、研究室の PC や Mac からファイルサーバとしてアクセスできるように、物性研内の固定 IP アドレスを取得し固定アドレス運用するが、2 つ目の LAN ポートは物性研内のネットワークからは独立し、IP ドレスを配布する DHCP サーバとして動作するように設定した。

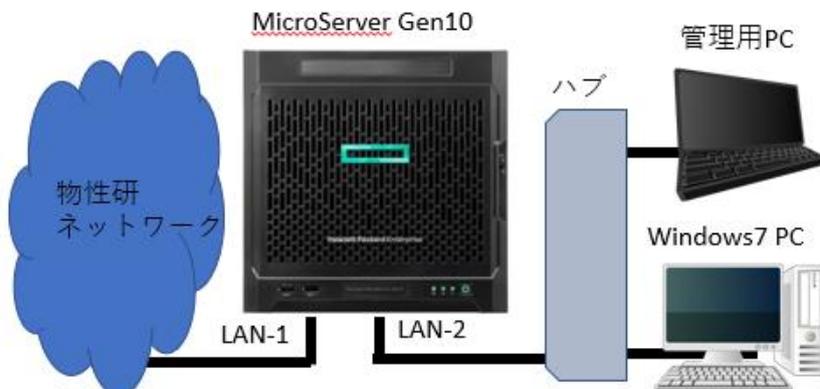


図 1 Gen10 システムのネットワーク模式図。LAN-2 側は Gen10 が動的アドレスを配布し、PC からは Gen10 を介して外部(物性研のネットワーク/インターネット)にアクセスできる。

(2) ツイスト2層グラフェンの角度分解光電子分光と日本物理学会での発表

単層のグラフェンではブリルアンゾーンのK点でコーン状の線形のディラックバンドを形成するが、2枚のグラフェンシートを互いに数度傾けた構造をツイスト2層グラフェン(tBLG: twisted BiLayer Graphene)では、各々のグラフェン層からディラックバンドが形成される。更に、約1.1度のツイスト角度は魔法角と呼ばれ、超電導状態が観測されることが報告された。[2]ツイストグラフェンはツイスト角度が変わると、ディラックコーンの相対的な配置が変わり、バンドの傾きで表される速度が変化することが理論的に予測されている。[3]

そこで、九州大学の田中研究室において数度ツイストしたtBLGをSiC(0001)表面上に作成し、その電子状態を角度分解光電子分光(ARPES)を用いて観測した。tBLG試料は、平坦なSiC表面に化学気相成長(CVD)法を用いて成長させた2枚の単相グラフェンを互いに向かい合わせて用意し、押し付けて引きはがすことによって作成した。[4]これによって、ARPES測定が可能な広いtBLG領域を持つ試料が作成できた。実験は、高エネルギー加速器研究機構・フォトンファクトリーのBL-13Bで52.5eVのエネルギーを持つ軌道放射光を用いて、室温で測定した。図2は4度ツイストしたtBLGの電子状態のバンド図である。CVD法で作成したグラフェン層はSiC基板の影響を受けて正に帯電し、ディラック点がフェルミ・エネルギー(E_F)よりも高くなるため、ディラック点近傍のバンドが見えにくい。(図2(a))ただし、 E_F より上側(Binding Energy < 0の領域)のバンドでも光電子強度は弱いですが、室温の熱励起によって光電子が存在している。そこで、室温のフェルミ・ディラック分布関数でデータを規格化するプログラムをIgorPro Ver.8を用いて作成した。図2(b)は、このプログラムを用いて、(a)のバンド図を E_F より上のバンドを可視化したバンド図である。これによって、 E_F より上側のバンドが明瞭に見え、左側のディラックバンドでは、ディラック点

までバンドが可視化できている。0.17eV以上の領域では、光電子信号とノイズが同程度になっていて、全体の信号が強くなっている。2層のグラフェンの2つのバンドが交差している E_F 近傍で、近傍から離れている領域に比べてバンドの傾きが約70%に変化していることが分かった。

2019年9月10日~13日にわたって、岐阜大学で開催された「日本物理学会2019年秋季大会」に参加し、

「SiC(0001)表面上のツイスト2層グラフェンの電子状態について」という表題で上記の解析結果について口頭発表(12aK15-09)を行った。発表では、3度、及び4度ツイストしたtBLGの電子状態を比較し、両方のディラックバンドにおいて E_F 近傍でバンドの傾きの減少がみられ、3度-tBLGで減少がより大きいことを報告した。この事は理論的な予測と定性的に一致している。

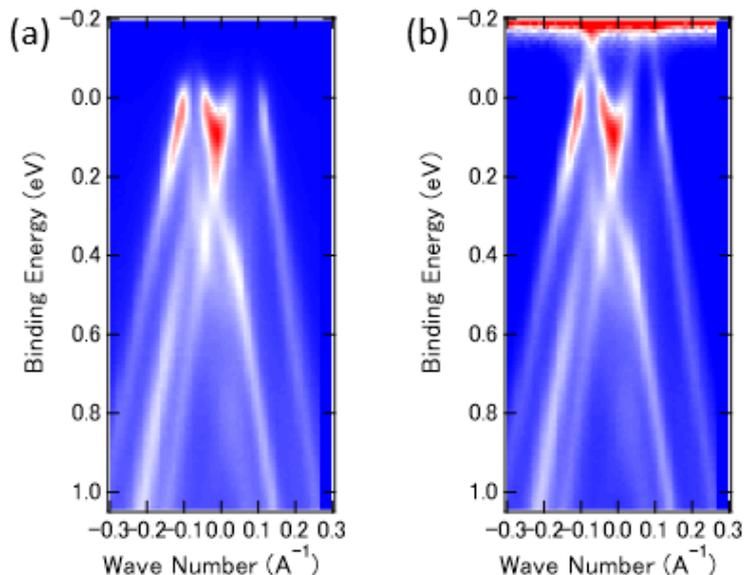


図2 (a) 測定した4度ツイストしたtBLGのK点近傍の電子状態。(b) 室温のフェルミ・ディラック分布関数で規格化した電子状態。(a, bともに、横軸は Γ -K方向と垂直な運動量空間。)

参考文献

- [1] <https://tech-lab.sios.jp/archives/10059>
- [2] S. J. Ahn et al., Science, **361** (2018) 782.
- [3] H. Nishi et al., Phys. Rev. **B95**, (2017), 085420.
- [2] H. Imamura et al, App. Phys. Express, **13** (2020), 075004.

2019年度 技術・業務レポート

所属 ナノスケール物性研究部門 浜田雅之

mahamada@issp.u-tokyo.ac.jp

私は、ナノスケール物性研究部門・長谷川研究室で業務を行っている。主な業務としては、走査プローブ顕微鏡 (STM, AFM) の維持管理・新しい手法の開発である。以下に、昨年度から引き続いて行っている低温・超高真空走査トンネルポテンシオメトリーの開発 (LT-UHV-STP: low temperature-ultrahigh vacuum-scanning tunneling potentiometry) について報告する。

1. 低温・超高真空走査トンネルポテンシオメトリー (LT-UHV-STP) の開発

走査トンネルポテンシオメトリー (STP: scanning

tunneling potentiometry) は、電流が流れている領域での表面電位分布を、走査トンネル顕微鏡 (STM) によるトポグラフィ像と同時に描き出す手法である。ナノスケールでの空間分解能と μV レベルの電位分解能を有しており、ナノデバイスにおける電気伝導評価の極めて有効な手段の一つと言える。この手法では、ゼロバイアス電圧でトンネル電流がゼロになる条件から電位を決定しており、そのため、金属的な試料を測定するのに適している。私は、この図 1 に示した回路を製作し、Si 酸化膜基板の上に蒸着した金薄膜を用いて、大気中で性能

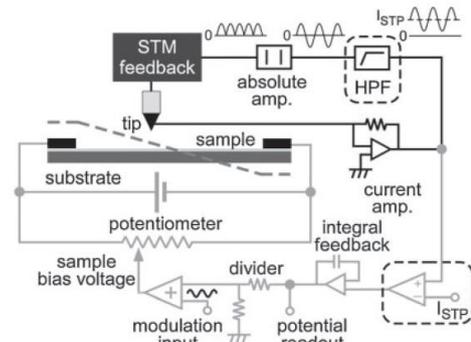


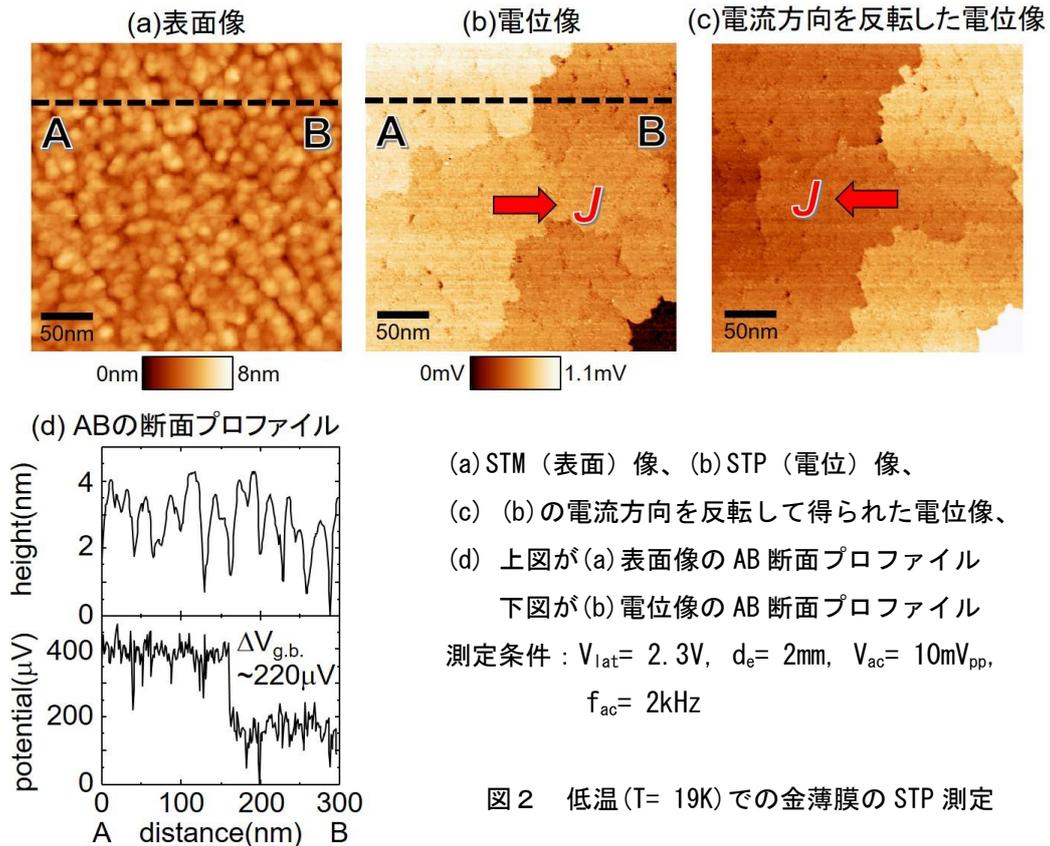
図 1 STP の回路系

評価したところ、数 μV の分解能で電位分布を測定できることを確認した [1]。更に、この回路を超高真空 (UHV) タイプの STM 装置に導入することによって、表面科学分野で興味を持たれることの多い金属的な表面電子状態を持つ系 (Si (111) 7×7 表面) の STP 測定を行うことに成功している [2]。

ところで、表面の電気伝導は、原子欠陥・表面ステップといった局所構造から影響を受けるが、低温では電子のコヒーレンス長が長くなるために、電子波の局在・閉じ込め効果など、局所構造間の相関が重要となる非局所現象が顕著となり、特異な量子的表面電気伝導現象の観測が予想される。そこで、今年度も、前年度から引き続いて STP の測定環境を低温 ($T=20\text{K}$)・超高真空中への拡張を目指して LT-UHV-STP の装置開発を行った。以下に装置開発の進捗状況を報告する。

① 液体 He 4 冷却型低温 STM 装置に私が製作した回路 (図 1) を導入し、STP 測定の標準試料としてよく使われる絶縁体基板の上に作成した金薄膜を用いて、低温 ($T=19\text{K}$) で STP 測定を試行錯誤しながら試みた。その結果、金薄膜の表面像とそれに対応する電位像を取得することに成功した (図 2 (a)-(c))。

② 電気伝導のメカニズムを探るには、その温度依存性を取得する必要があるため、低温 STM ユニットにヒーターを設置して、温度を可変できる機能を導入することを考えた。安定して温度制御できるのは当然として、ノイズレベルにも十分注意を払ってヒーターを設置した。そして、その性能評価のために①でも用いた金薄膜試料を用いて動作可能な温度範囲を評価したところ、 $T=20.3\sim 86.1\text{K}$ の温度範囲で、金薄膜の表面像とそれに対応する電位分布像を測定することにも成功した (学会発表①)。



2. 学会発表

- ① 2019年第80回応用物理学会秋季学術講演会（北海道札幌市・北海道大学札幌キャンパス）
 口頭発表「低温走査トンネルポテンシオメトリーの開発」（講演番号：19a-C310-12）
 浜田雅之、Hung-Hsiang Yang, 長谷川幸雄
- ② 2019年日本表面真空学会学術講演会（茨城県つくば市・つくば国際会議場）
 口頭発表「Si(111)-(7x7)表面上の一次元線欠陥における電気伝導評価」（講演番号：1Ha01）
 浜田雅之、Hung-Hsiang Yang, 長谷川幸雄
- ③ 27th International Colloquium on Scanning Probe Microscopy (ICSPM27)
 （静岡県伊豆市・ホテルラフォーレ修善寺）（国際学会）
 口頭発表 “Surface state conductivity on the Si(111)-7x7 surface measured
 by scanning tunneling potentiometry”, Masayuki Hamada, Hung-Hsiang Yang, Yukio Hasegawa
- ④ The Symposium on Surface and Nano Science 2020 (SSNS'20)
 （岩手県岩手郡雫石町・雫石プリンスホテル）（国際学会）
 口頭発表 “Surface state conductivity on the Si(111)-7x7 surface measured
 by scanning tunneling potentiometry”, Masayuki Hamada, Hung-Hsiang Yang, Yukio Hasegawa

3. 参考文献

- [1] M. Hamada et al., Japanese Journal of Applied Physics **51** (2012) 125202
- [2] M. Hamada et al., Phys. Rev. **B 99**, 125402(2019)

技術・業務レポート

機能物性研究グループ・吉信研究室 向井孝三

日常業務

ナノスケール物性研究部門吉信研究室に所属し、表面界面物性を測定する装置の開発と超高真空装置を用いた実験・研究を行うことを主な業務としている。実験に関しては、実験室的測定と物質構造科学研究所放射光科学研究施設（KEK-PF）や高輝度光科学研究センター大型放射光施設（SPring-8）で放射光を用いた実験を行った。

実験・研究以外の業務として、東京大学薬品管理システム(UTCGRIS)の物性研究所部局担当を受け持った。また、令和元年度は物性研究所衛生管理者に選任され、物性研究所安全衛生管理委員として活動を行なった。

以下、令和元度に行なった主な業務について紹介する。

実験・研究

1) Cu(997)面におけるギ酸吸着と温度変化の振動分光

Cu は CO_2 と H_2 からのメタノール合成反応の触媒に用いられており、Cu 単結晶表面をモデル触媒として研究が行われてきた。また、メタノール合成反応の中間体としてフォルメートが考えられており、吉信研究室では様々な Cu 表面でのギ酸からのフォルメート形成について研究を進めてきた[1][2]。

令和元年度では、高分解能電子エネルギー損失分光法（HREELS）を用いて、液体窒素温度での Cu(997)面上でのギ酸分子の吸着と加熱変化を調べた。Cu(997)面は、(111)テラスと(111)ファセットを持つよく規定されたステップ表面であり、このようなステップ面では低指数面に比べ反応性が高いと思われる。

まず、80K では、大部分がギ酸分子であるが、一部モノデンテートフォルメートに解離することが XPS 実験により判明している。200K まで加熱するとフォルメートに帰属されるピークのほかに H-Cu に由来する振動ピークが観測され、ギ酸は解離吸着し、フォルメート種と原子状水素になったと考えられる。さらに、500K では清浄表面と同様のスペクトル が得られ、フォルメートの分解脱離が起こったと考えられる。

2) Pd を蒸着した Cu 表面の反応

Pd を蒸着した Cu(997)表面の反応について、放射光を用いた X 線光電子分光 (XPS) 実験を KEK-PF BL13-B に設置された超高真空装置を用いて行った。

近年、金属表面に微量の異種金属原子を蒸着することで作製した単原子合金表面の研究が報告されている。特に Cu 表面に Pd 単原子を蒸着した表面合金では、Pd サイトで水素分子を水素原子に解離し、原子状水素がスピルオーバーすることにより Cu 表面に水素原子を導入でき[3]、Cu 表面での分子の水素化反応が促進されると考えられる。

実験では、Pd 蒸着 Cu(997)基板を液体窒素で冷却後、ギ酸分子をパルスバルブで導入し、基板温度によるギ酸分子および Pd、Cu 原子の化学状態の変化を調べた。基板温度の上昇とともにギ酸分子は表面原子と反

応し、モノデンテートフォルメートを経て 300K でバイデンテートフォルメートに至ることがわかった。さらに基板温度を上げ 450K 以上になるとフォルメートは分解あるいは脱離することもわかった。

さらに、UHV 実験ではバイデンテートフォルメートを表面に作製し、その後液体窒素温度で水素ガスを導入することで、フォルメートの水素化を試みた。C 1s スペクトル変化から水素化の兆候が得られたが分子種の同定には更なる実験と解析が必要と考えられる。

3) Cu(977)表面のギ酸分子の反応

Cu(977) 面は、(111)テラスと(100)ファセットを持つ微傾斜面であり、(111)ファセットを持つ Cu(997)面とはステップ構造が異なる。ステップ構造の違いが反応に及ぼす効果を調べるために、Cu(977)面上のギ酸の吸着とその温度変化を、上記2)と同じ KEK-PF BL13-B に設置された超高真空装置で、放射光 XPS を用いて調べた。

液体窒素で冷却した Cu(977)面にギ酸を導入すると、約 90K において一部フォルメートが形成されていることがわかった。また、300K まで加熱することで得られるバイデンテートフォルメートの割合が Cu(997)面に比べて増加していることが分かった。これらの結果は、ステップファセットの違いによるものであることを示唆する。

4) その他の実験・研究

- ・Cu表面上で化学気相成長法 (CVD) によりグラフェンの成長過程を放射光XPSで観測した。
- ・Pd蒸着MoS₂の化学状態と反応性を放射光XPSで調べた。
- ・Pd蒸着Cu(111)表面における準大気圧条件でのフォルメート種の水素化反応および二酸化炭素と水素の反応を放射光XPSで調べた。

参考文献

- [1] Y. Shiozawa, *et al.*, J. Chem. Phys. **143**, 234707 (2015)
- [2] Y. Shiozawa, *et al.*, J. Chem. Phys. **152**, 044703 (2020)
- [3] M. D. Marcinkowski, *et al.*, Nat. Mater. 2013, 12, 523

その他の業務

- ・令和2年1月に東京大学薬品管理システム (UTCRIIS) から新化学物質・高圧ガス管理システム (UTCIMS) へ移行された。令和元年度は、UTCRIISの部局管理者として移行作業に従事した。
- ・令和元年度から物性研究所衛生管理者に選任され、月1回の柏地区安全衛生委員会・環境安全管理室会議への参加と、物性研究所産業医巡視の同行および衛生管理者巡視を行った。

産業医巡視では、新型コロナウイルス感染拡大防止のため、令和2年3月に予定されていた播磨地区の巡視は延期された。

平成 31 年/令和 元 度 技 術・業 務レポ ー ト

物質設計評価施設 福田 毅哉

平成 31 年/令和元年度も、物性研究所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。本レポートでは、「ストックルーム管理システム」の更新部分と、今年新しく企画した「ドローンプログラミング体験」を中心に報告する。

1. ストックルーム管理システムの構築

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。順調に運用を続けているが、たまに、終了処理が正常に行われず現象が発生している。いろいろ調べたところ、ネットワークに一時的な通信異常が発生し、端末とサーバとの接続に不具合が起こっている可能性が考えられた。

そこで、通信状況を見える化することにした。装置は、開発が容易なため Arduino¹ を用いることにした。液晶で表示させることなども考えたが、わかりやすさと省スペース性を考慮し、シンプルに LED のみとした。

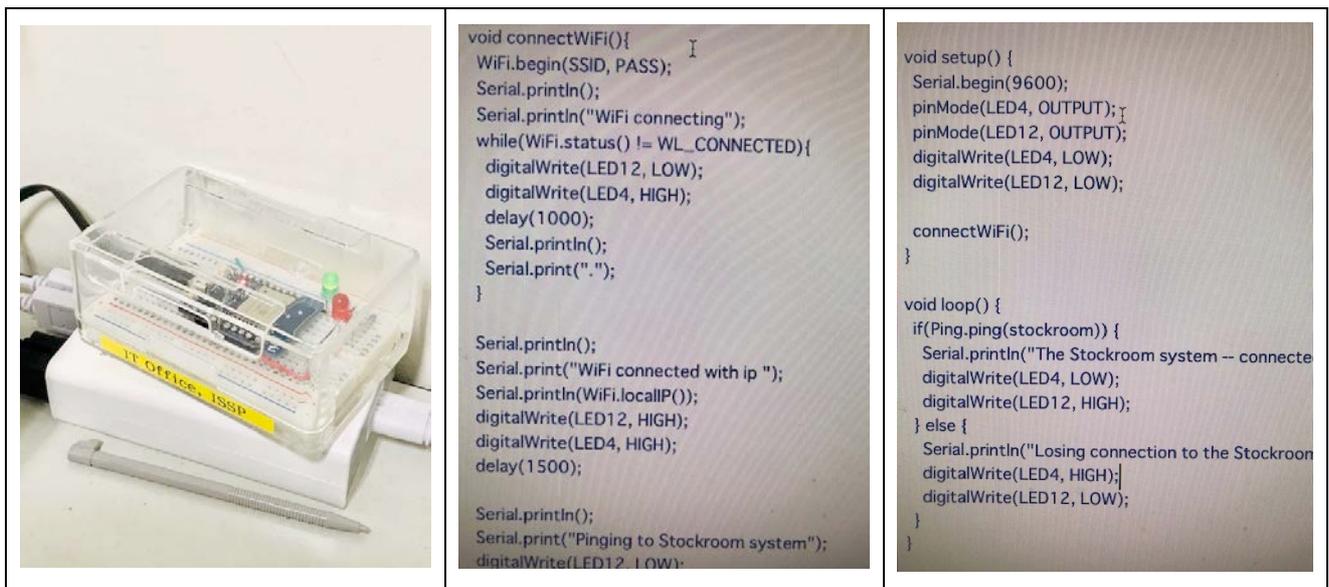


図 1. ストックルームシステム通信状況モニタとコードの一部

LED の点灯パターンは以下のように設定している。。

1. WiFi 接続中 LED 交互に点灯
2. WiFi 接続確立 LED 両方とも点灯
3. Ping ストックルームサーバへ送信 LED 両方とも消灯
4. Ping ストックルームサーバからの応答 受信成功 LED 緑のみ点灯
5. Ping ストックルームサーバからの応答 受信失敗 LED 赤のみ点灯

¹ Arduino での開発について、半田付けの基礎など、ファブラボ鎌倉さんでお教えいただいた。

赤色 LED の点灯は、通信異常が発生していることを示しています。お気づきになられた方は、予算決算係へご連絡ください。ご協力よろしくお願いいたします。

2. 一般公開で、ドローンのプログラミング体験を開催

物性研究所では、毎年秋に一般公開を開催しており、非常に多くの方に来場いただいている。物質設計評価施設物質設計部では、全国共同利用に供しているスーパーコンピュータ関係の展示を行っている。スパコンは、ニュースなどで耳にすることはあっても、なかなか実際に目にすることが出来ない施設であり、興味を持たれた方は、かなり長時間に渡り話し込まれることも多い。

ただし、多くの子どもたちにとってスパコンとは、「寒くうるさい大きな部屋に置かれた四角い箱」であり、スタンプラリーのスタンプだけ押したら満足して去ってしまう。せっかくたくさん子どもたちが来てくれるので、なにか喜んでもらえる展示を企画したいという思いが年を経るごとに強くなってきていた。そこで、矢田技術専門職員と荒木学術支援専門職員の協力を得て、情報技術室として、ドローンのプログラム体験²を企画することとした。

プログラム体験の概要は以下の通りである。iPad の Swift Playground 上で、ドローンを動かすプログラムを作成する。使用するドローンは Parrot 社の Mambo Fly という 200g 以下のミニドローンで、室内で飛行させる。体験時間は 10 分程度。まずは、離陸→着陸から、離陸→宙返り→着陸、離陸→自由飛行→目標として置いたフラフープへ着陸と、徐々に難易度を上げていく。

高校生以下を対象とした企画のため、初めてプログラムをするという参加者が多いことが予想された。そのため、初心者でも理解できるようにドローンの動きと命令を組み合わせたカードを、あらかじめ作成しておいた。漢字が読めない児童のために、ひらがな版のカードも作成した。

当日は、物性研川島研と尾崎研の院生さんに運営を補助していただいた。飛行精度があまり高くないため、思い通りに飛ばないことに加えて、参加者の理解度もまちまちであるため、状況に応じて、細かく丁寧に対応する必要があった。2 部屋で平行に開催したが、担当者は 2 日間とも休憩すら取れないほど盛況³であり、多くの方々に楽しみながらプログラム体験をしていただけた。

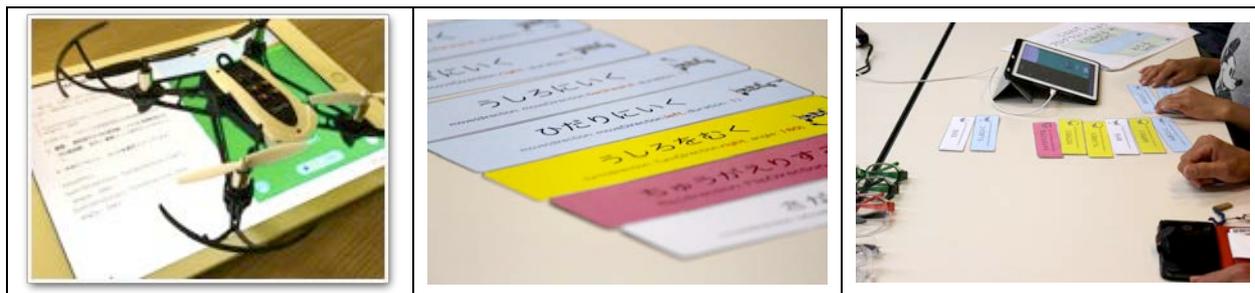


図 2 使用したドローンと iPad、作成したカードと当日の様子

3. 技術部の業務

引き続き、本「技術・業務レポート」の編集や、技術部の会計業務などを担当した。

² 千歳科学技術大学の曾我先生と伊藤さんをはじめとした学生の皆様には、ゼミに参加させていただき、実際に開催されたドローンを用いたプログラミング企画の先行事例や注意点などをお教えいただいた。

³ 希望者が殺到しないように、整理券を配った。配布には、事務部の方々や各研究室のボランティアさんにご協力いただいた。

中性子散乱装置制御用ソフトウェア開発と国際ワークショップ参加報告

附属中性子科学研究施設 川名大地

1. はじめに

物性研究所附属中性子科学研究施設の技術職員は、中性子ビームを用いた物性研究を中心とした共同利用施設である研究用原子炉 JRR-3、および、大強度陽子加速器施設 J-PARC の物質・生命科学実験施設 MLF のある茨城県東海村に常駐し、来所してくるユーザーの中性子ビーム実験の支援や、実験装置の維持管理を主な業務としている。本報告では、これらの業務のほかに、2019 年度に筆者が主体的に取り組んだソフトウェア開発業務について、また、9 月に参加した国際ワークショップについて、あわせて報告する。

2. 中性子散乱装置用超伝導マグネットの制御用ソフトウェア開発

J-PARC MLF の BL12 に設置されている高分解能チョッパー分光器 HRC は、物性研究所と高エネルギー加速器研究機構が、共同で建設・管理運営を行っている非弾性中性子散乱装置である[1]。フェルミチョッパー、GM 冷凍機などといった装置周辺機器や試料環境機器を遠隔制御する機器制御プログラム YUI、検出された中性子を解析し、強度マップとして可視化表示したりヒストグラム形式の強度データに変換したりする解析プログラム HANA、といった専用のプログラムをはじめとしたソフトウェア環境の開発や高度化を、筆者が中心となって進めている[2]。

2019 年度は、試料環境機器の 1 つである超伝導マグネットの制御ソフトウェアの開発を進めた。この超伝導マグネットは 2014 年度に MLF に導入した。その後の試験的な運転を通して、結晶試料を実験条件にあわせて適切な向きに回転させるローテーターの制御環境は先行的に実装していたが、磁場や温度についてはマグネット本体のメーカーが用意した LabView ベースのプログラムから単体で制御を行っていた。しかしながら、共同利用フェーズに移行するにつれて、HRC の他の機器や DAQ ミドルウェアとよばれるデータ収集システム[3]とともに統合的に制御できるようにする必要が出てきた。

例として、磁場を印加して測定の際の状態である永久電流状態にするまでの具体的な操作として、(1)ヒーターを ON にする、(2)設定したい磁場の値を与える、(3)設定磁場まで与えた時間変化率で印加するように電源からコイルに電流を流す、(4)設定磁場に到達したらヒーターを OFF にする (コイル部で渦電流になる)、(5)電源の電流をゼロにする、という手順をユーザーが逐一操作する必要がある。しかしながら、この方法では操作が煩雑で、実験に慣れていないユーザーにとって負担になっていた。そこで、最初のクリック操作だけで設定磁場まで到達させて、次の操作で永久電流状態に切り替えることが出来るようにした。また、設定磁場を連続的に変化させながら、DAQ ミドルウェアを実行することで、磁場スキャンも行えるようにした。さ

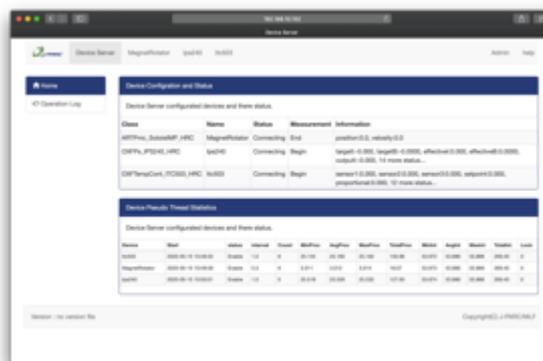


図 1 超伝導マグネットの制御用ウィンドウ

らに、安全に実験を行うために必要な設定磁場や磁場の変化率の上限値を、別途設定できるようにした。

このソフトウェアの実装には、MLFの施設全体・全装置共通のプロジェクトとして進められている装置制御用フレームワーク IROHA2 [4] を採用した。将来、この超伝導マグネットを他のビームラインの装置で使用する際にすぐ導入できることや、超伝導マグネットの運転の際に最も注意する必要がある「クエンチ」現象が発生した場合に施設側からも遠隔で監視できるようにすること、などが理由である。

今後は2020年度前半に動作確認を行い、後半以降は一般ユーザーの供用を目指す。

3. 国際技術ワークショップへの参加

9月に、米国NIST近郊で開催された国際ワークショップ Design & Engineering of Neutron Instruments Meeting (DENIM)に参加した[5]。このワークショップは、世界各国持ち回りで毎年開催されており、表題のとおり中性子装置の設計工学に関して、各国の中性子散乱施設で装置設計に携わる技術者が話題を提供し、議論するものである。

トピックは中性子装置のみならず、建設フェーズにある施設からはビームラインやそこに設置する装置の設計、工事計画、予算や技術的課題、また一方で、遮蔽計算やチョッパー、検出器など装置に付属するデバイスの設計・開発に関する苦労話や失敗談、そこから得られた教訓、のように多岐に及ぶ。筆者は、JRR-3の大学装置の現状に関してポスター発表を行なった。JRR-3が長期シャットダウンを余儀なくされ、運転再開時期について多くの参加者から興味と関心を持たれていた。

本ワークショップは一般的なオーラルやポスター講演のほかに、DENIM challenge や Breakout session のようなユニークな企画がある。前者は、参加者が所属無関係に強制的にチーム分けされ、ある課題を与えられ、文房具を使って工作をし、それを使ってチーム対抗のミニゲームを行う。後者は装置設計やデバイス開発などテーマ別に分かれて、それぞれの所属での状況を紹介しながら自由討論を行う。いずれも、海外の参加者は積極的に意見や考えを主張するのが印象的であった。

このワークショップへの参加の動機は、ただ海外の技術者と交流するだけでなく、次回がJ-PARCセンター主催、東大物性研ほかの共催として初の日本での開催が決定しており、実際に参加して体験する目的もあった。筆者も日本開催の実行委員メンバーに加わり、会場の確保、プログラムの検討、協賛企業・団体への声かけなど、準備を進めている[6]。



図2 DENIM Challengeの様子

参考文献・注

- [1] S. Itoh *et al.*, Nucl. Instr. & Meth. Phys. Res. A **631** (2011) 90.
- [2] D. Kawana *et al.*, J. Phys.: Conf. Ser. **1021** (2018) 012014.
- [3] 例えば、R.T. Azuah *et al.*, J. Res. Natl. Inst. Stand. Technol. **114** (2009) 341.
- [4] T. Nakatani *et al.*, JPS Conf. Proc. **8**, (2015) 036013; T. Nakatani *et al.*, Proc. of NOBUGS2016 (2016) 76.
- [5] 川名ほか「8th DENIMに参加して」日本中性子科学会誌「波紋」**29** (2019) 196.
- [6] 2020年9月開催予定であったが新型コロナウイルス拡大の影響により2021年以降に延期となった。

2019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小林研究室 伊藤 功

小林研究室でレーザー開発と研究支援業務を行っている。2019年度はレーザー開発としてモード同期 Yb ファイバーレーザーの縦モード線幅の測定と低熱膨張セラミック光共振器の開発を行い、研究支援業務として極紫外レーザー加工機の保守管理とユーザー運転を行った。本稿ではレーザー開発として行った“モード同期 Yb ファイバーレーザーの縦モード線幅測定”について説明する。研究支援業務で得られた共同研究者の成果については下記の“報告書等について”（国内学会(2), 国際学会(1)-(4)）に掲載されている。

モード同期 Yb ファイバーレーザーの縦モード線幅測定

モード同期レーザーを精密分光に利用する場合に縦モード線幅の狭さは重要なパラメータである。我々はこれまで光周波数コムや物性測定、レーザー加工へ利用するために多種多様なモード同期 Yb ファイバーレーザーを作製してきた。これらのモード同期 Yb ファイバーレーザーの縦モード線幅を測定する場合に振動や音響、温度変化などの周辺環境外乱によって縦モードの線幅が大きくなり、ドリフトが生じる。本稿ではフリーランのモード同期レーザーの縦モード線幅を測定する方法について説明する。

図1は繰り返し 244 MHz の Nonlinear Polarization Rotation モード同期 Yb ファイバーレーザー[1] (以下、NPR レーザー) の縦モード線幅測定のセットアップである。測定対象の NPR レーザーよりも十分に線幅の狭い高フィネス共振器安定化狭線幅 CW レーザー[2] (以下、狭線幅 CW レーザー) と合波して得られたビート信号で縦モード線幅を評価する。図1の通りファイバーカップラーで合波した狭線幅 CW レーザーと NPR レーザーを分光した後、アバランシェフォトダイオード (APD) で受光してビートを検波する。そしてスペクトルアナライザーでビート信号のパワースペクトルを観測し、分解能帯域幅 (Resolution Bandwidth, RBW) に対するパワースペクトルのピーク値の変化からビート信号の線幅を推測する。RBW が縦モード線幅よりも十分に大きい場合、RBW を狭めると測定感度が上がるためノイズフロアが下がるが、ピーク値は変わらない。RBW が縦モード線幅よりも同程度の場合、RBW を狭めるとパワースペクトルのピークを RBW で分割して測定することになるため、ピーク値も下がる。このパワースペクトルのピーク値の RBW 依存性から縦モード線幅を推測する方法は周辺環境外乱による縦モードの周波数変化よりも広くスペクトルアナライザーの検出範囲を設定できる。

図2は狭線幅 CW レーザーと NPR レーザーのビート信号のパワースペクトルである。RBW を 50 kHz から 500 Hz まで段階的に変えて測定したパワースペクトルをずらして表示している。RBW が 10 kHz の時からパワースペクトルのピーク値が下がり始めているので、縦モード線幅は大きく見積もって 10 kHz 程度であると推測できる。この縦モード線幅の値は N. Newbury らが別の方法で測定

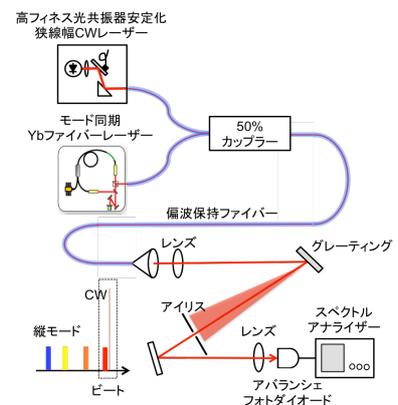


図1. 測定のセットアップ

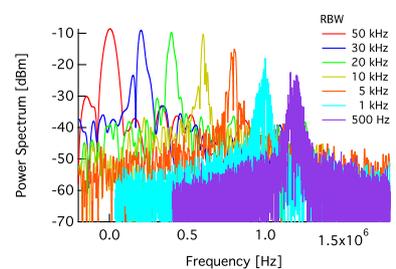


図2. 測定結果

した結果[3]とオーダーで一致している。

我々は現在、パワースペクトルのRBW依存性から縦モード線幅を推測する方法を用いてモード同期Ybファイバーレーザーの縦モード線幅がモード同期方式や分散制御、繰り返し周波数の違いによってどのように異なるか調べている。本研究の測定対象は、Nonlinear Polarization Rotation モード同期発振器で繰り返し異なる3種類、All-Normal-Dispersion モード同期発振器[4] 2種類、Figure 8型発振器1種類[5]である。参考文献 [1] Y. Kobayashi et al., Opt. Exp. **21**(10), 12865 (2013). [2] I. Ito et al., Opt. Exp. **25**(21), 26020 (2017). [3] N. Newbury et al., J. Opt. Soc. Am. B **24**(8) 1756 (2007). [4] A. Chong et al., Opt. Exp. **14**(21), 10095 (2006). [5] P. Bowen et al., Opt. Lett. **41**(22), 5270 (2016)

報告書等について

下に令和元年度に報告された業務の成果を挙げる。

● 国内学会

- (1) 「モード同期ファイバーレーザーの縦モード線幅繰り返し依存測定」 伊藤 功, 小林洋平, 第80回応用物理学会秋季学術講演会 北海道大学札幌キャンパス 2019年9月17-21日
- (2) 「ナノ秒 UV パルスレーザー加工における CFRP 切断面周辺の温度変化」 森山 匡洋, 谷 峻太郎, 小菅 淳, 伊藤 功, 趙 智剛, 平 敬, 小林 洋平, 田丸 博晴, 三尾 典克, 五神 真, 湯本 潤司, 第80回応用物理学会秋季学術講演会 北海道大学札幌キャンパス 2019年9月17-21日
- (3) 「異なる種類のモード同期ファイバーレーザーの縦モード線幅測定」 伊藤 功、藤原 和樹、小林洋平, 第67回応用物理学会春季学術講演会 上智大学四谷キャンパス 2020年3月12-15日 (新型コロナウイルス感染予防のため講演会は中止。講演予稿集 (DVD) 発行されたため、講演会での発表は成立)

● 国際学会

- (1) “High Speed Laser Piercing of CFRP using 1W nanosecond UV laser pulses”, H. Tamaru, A. Kosuge, T. Hira, M. Moriyama, S. Tani, I. Ito, Z. Zhao, Y. Kobayashi, N. Mio, M. Kuwata-Gonokami and J. Yumoto, Lasers in Manufacturing Conference 2019 (LiM 2019), Munich, Germany, (2019)
- (2) “THERMAL DAMAGE EVALUATION OF CFRP PROCESSED WITH NANOSECOND UV LASER PULSES”, M. Moriyama, A. Mizutani, S. Tani, R. Nakamura, A. Kosuge, I. Ito, Z. Zhao, T. Hira, Y. Kobayashi, H. Tamaru, N. Mio, M. Kuwata-Gonokami and J. Yumoto, 22nd International Conference on Composite Materials (ICCM22), 4103-4, Melbourne, Australia, (2019)
- (3) “IMPROVEMENT OF TRANSVERSE CRACK BEHAVIOR OF CROSS-PLY CFRP PROCESSED WITH NANOSECOND UV LASER PULSES”, M. Moriyama, S. Tani, A. Kosuge, I. Ito, Z. Zhao, T. Hira, Y. Kobayashi, H. Tamaru, N. Mio, M. Kuwata-Gonokami and J. Yumoto, 16th Japan International SAMPE Symposium & Exhibition (JISSE-16), 1C-06, Tokyo, Japan, (2019)
- (4) “SUPERIOR CRACK BEHAVIOR OF CFRP PROCESSED WITH NANOSECOND UV LASER PULSES”, M. Moriyama, S. Tani, A. Kosuge, I. Ito, Z. Zhao, T. Hira, Y. Kobayashi, H. Tamaru, N. Mio, M. Kuwata-Gonokami and J. Yumoto, International Congress on Applications of Lasers & Electro-Optics (ICALEO), Macro 501, Orlando, FL, US, (2019)

技術・業務レポート

低温液化室 土屋 光、鷺山 玲子、野村 未来

1. 寒剤供給関係

令和元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 令和元年度 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	166,381 L (188,836 L)	44,895 L (48,078 L)	211,276 L (236,914 L)
液体窒素	213,073 L (212,849 L)	5,664 L (6,535 L)	218,737 L (219,384 L)

※カッコ内は、平成30年度の供給量

液体ヘリウム年度別供給量

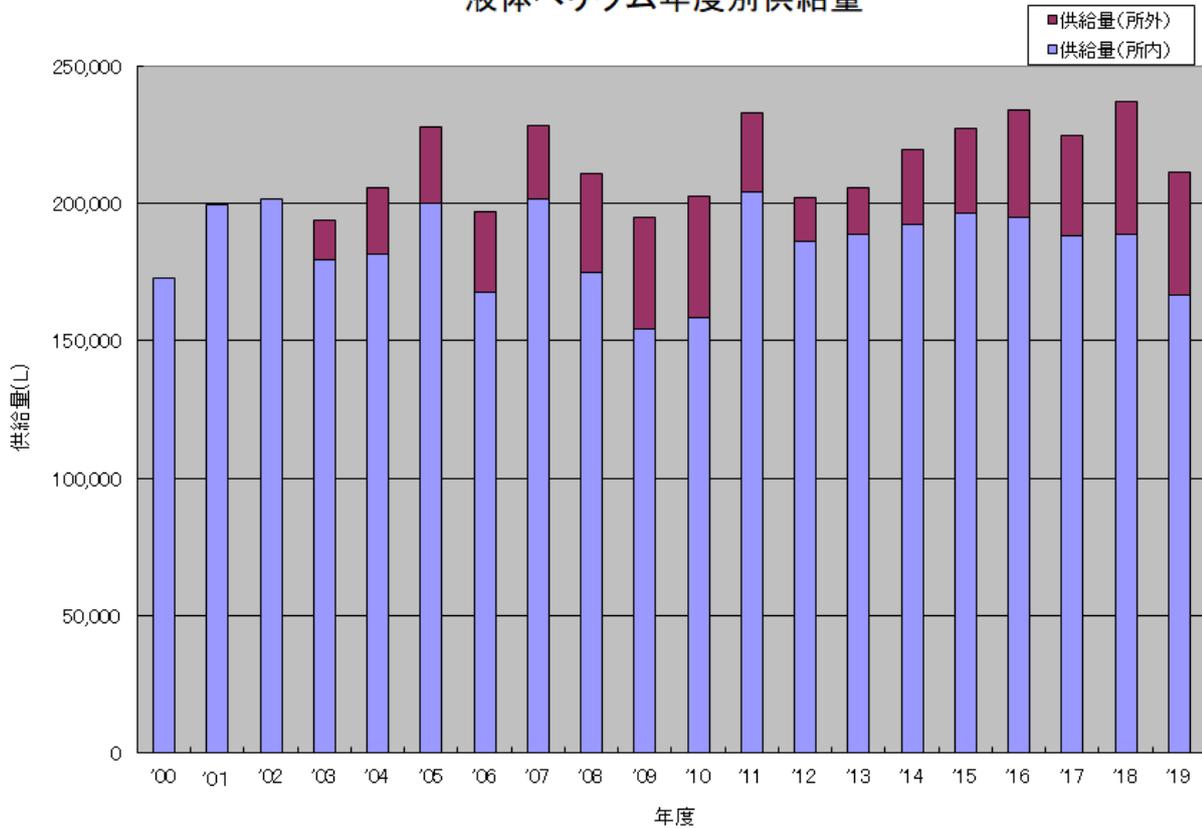


図1. 液体ヘリウム年度別供給量 (供給量=持出量-回収量)

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
令和元年度	211,276 L	2,540 本 (2,601 本)	1,738.6 時間	134 回
平成30年度	236,914 L	2,748 本 (2,795 本)	1,884.4 時間	142 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] 回収用圧縮機及び周辺設備整備

今年度は、回収用圧縮機 No. 1 の更新を機に、周辺設備の整備を行った。この整備の中で複数回、県の完成検査が必要だったが、特に問題もなく、また、回収を停止することなく無事に完了した。今回の整備を下記に示す。

- 中圧ガスドライヤーのフィルター交換(完検有)
- 回収用圧縮機吸入フィルター取付
- 油水分離器に圧力トランスミッターを取付、及び高圧ガスドライヤー接続配管整備 (完検有)
- 油水分離器出口配管変更及び回収用圧縮機 No. 2 各段と油水分離器にトランスミッター取付(完検有)

[2] 液化機メンテナンス

液化機 2 号機(L280)は設置から 10 年が経ち、小さなトラブルが出始めている。液化不能とまでにはならないが、放置して大きな故障になってしまうと大問題なので、気づいたところは可能な限り速やかに交換整備等を行った。大きな交換整備は、低温バルブのシートの交換やスピンドルの交換であり、シートが割れているものや、スピンドルのペロー部分が裂けているものなどがあり、数年程度で定期的に変換の方が良いのかもしれない。

また、1 号機(TCF50、設置から 20 年以上)についても、低温バルブの整備を行った。2 号機と同じように数年から 10 年程度での確認・交換が必要だろう。

2 月 18 日には、液化用圧縮機が故障した。ドライブカップリングというモーターと圧縮機本体をつなぐ部品が破損。2020 年度末までに、2 回目の 8,000 時間点検を実施する予定で、その時に交換するはずだったが、そこまで保たなかったようである。これについても 8,000 時間毎での交換が良いのだろう。この故障は、部品がメーカーに在庫されていたために、1 週間程度で修理が終わり、液体ヘリウムの供給停止等を行わずに済んだ。

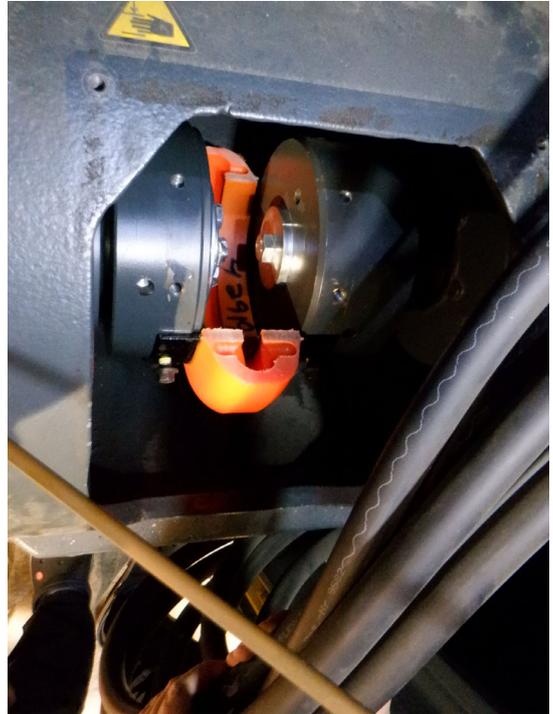


図 2. 取り付け中のドライブカップリング
[写真中央オレンジの部品(半分)]

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、GE(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、GE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

例年行っている新人教育は、寒剤利用講習、ガスボンベ利用講習をそれぞれ複数回行い、それ以外に個別講習などの臨時講習会を頻繁に行った。

【英語での講習会を開始】今年度から、近年増加している留学生に日本の法律(高圧ガス保安法)や寒剤等高圧ガスの取り扱いや安全について、しっかりと理解し覚えてもらうために、英語での講義を開始した。

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。

- ・保安教育(7/31)
- ・ISSP ワークショップ「ヘリウム危機の現状と今後の課題」(11/6) 詳細は後述

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。

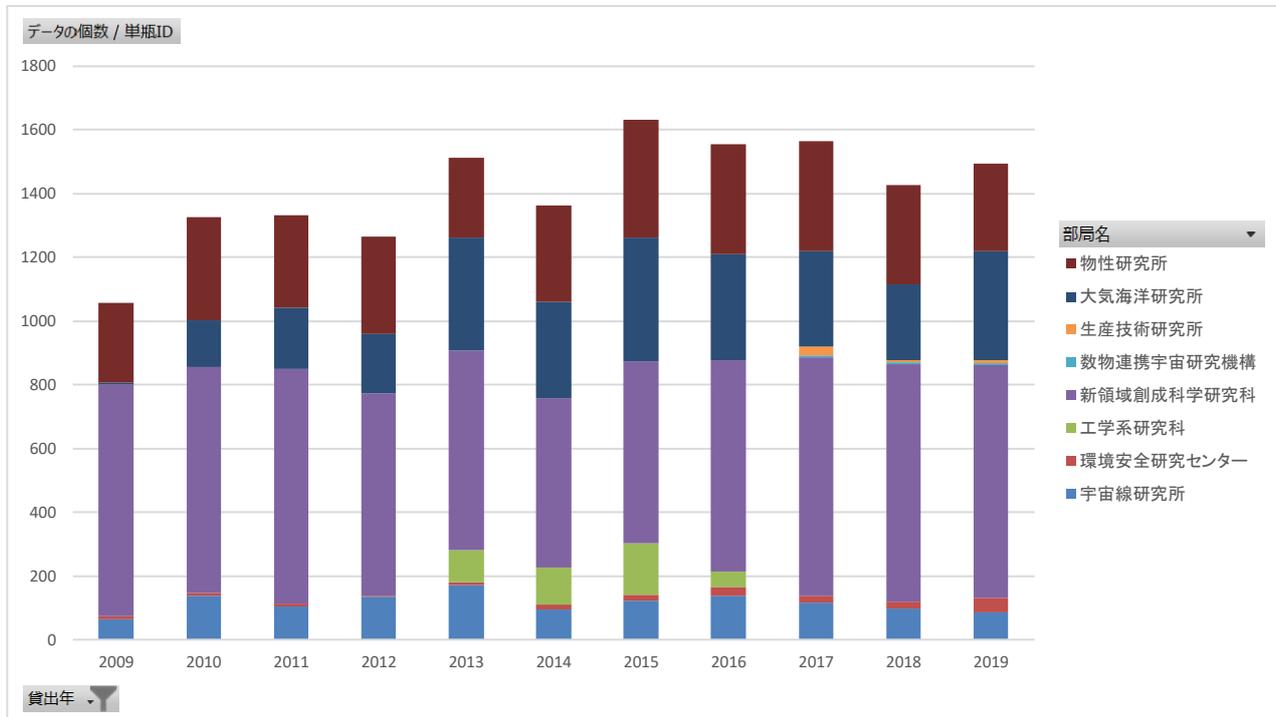


図3. ガスボンベ使用量の推移(年別・管理システム登録数)

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

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 全国アンケート「ヘリウム問題全国アンケート」を実施（回答期間 2019/07/04～2019/07/19）

2018 年後半頃からヘリウムガスの調達困難、価格高騰など、ヘリウムの危機?!に関する情報を聞くようになったが、本当にそうなのか!?という現状を把握する為に、web を使った全国調査を行った。

回答総数は 63 件で、我々の様なヘリウム液化設備をもつ機関（設備管理者等）や持たない機関、ヘリウムを使うユーザーなどから、様々な回答をいただいた。アンケート結果については、共有し、今後の働き掛けの材料に利用していただければ幸いです。

http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/labs/cryogenic/info/lhe_jp_survey.pdf



図4 アンケート回答の一部

(左：液化機保有機関のガス購入価格について 右：ヘリウム利用者の購入状況について)

- ② ワークショップ「ヘリウム危機の現状と今後の課題」を開催(2019/11/06 13:00-18:00)
 ヘリウム危機についての話にはじまり、全国のヘリウムの状況や今後の課題(高圧ガス保安法について、ヘリウムの備蓄に関して、ヘリウムの調達見直しなど)について、意見交換等を行った。また、ヘリウム危機に対する緊急声明についても説明があった。
 講演内容については、下記 URL を参照。
<https://yamashita.issp.u-tokyo.ac.jp/ISSPWS191106/>

- ③ 記者等の対応
 ヘリウム危機やヘリウムガスの再液化事業に関して、様々な取材(施設見学等)に対応した。

【ヘリウムガスの再液化事業】2019年10月から開始

この事業は、これまで学内のみの取り組みであった、ヘリウムの再液化を学外にまで拡大することで、逼迫するヘリウム状況を脱し、学術支援の一助になればと思い、開始したものである。

ヘリウム困窮は、過去にもあり、また今後も予測されることから、海外情勢に左右されず、安定したヘリウム供給を実現するための第一歩でもあると考える。また、このような取り組みが全国に広がることで、日本全体でヘリウムリサイクルが展開されることを期待する。

<http://www.issp.u-tokyo.ac.jp/maincontents/news2.html?pid=8819>

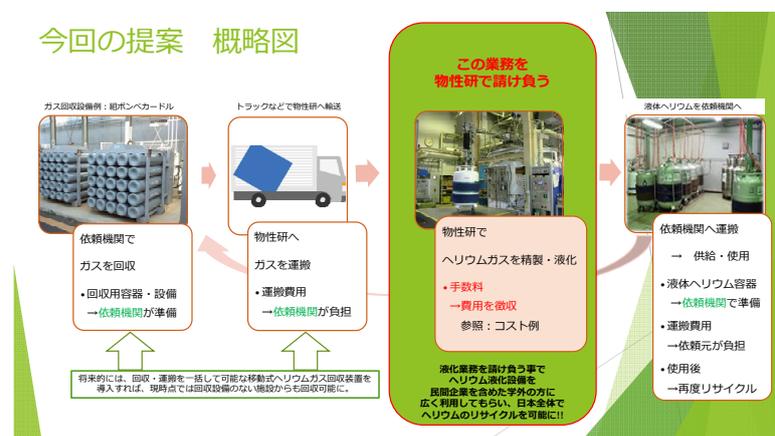


図5 ヘリウムガスの再液化事業 概略図

- ④ 低温液化室施設見学の受入(2019/12/11 13:30-16:00)
 公益社団法人東京都高圧ガス保安協会が実施する2019年度高圧ガス事業所見学会を当事業所で行った。

参加者：保安協会関係者25名ほど。

講義：山下低温委員長「基礎研究に必要なヘリウム」

施設見学：山下研(実験装置等)及び低温液化室(ヘリウム液化・回収設備等)

実習：液体ヘリウムの観察及び気柱振動液面計体験(数人)

5. 学会・研究会・研修などへの参加、技術職員研修の実施

今年度も積極的に学会や研究会等へ参加し、新しい知識の習得、意見交換などを行った。

6. 2020年度の年間予定

2020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。