会場 D

領域 4, 6, 13

D-1 蜂の巣格子における狭義第三種ディラックコーン

熊本大学教育学部 [A], 兵庫県立大学理学研究科 [B] 岸木敬太[A], 江藤菜々美 [A], 河野美怜 [A], 長谷川泰正 [B]

グラフェン [1] や α-(BEDT-TTF)$_2$I$_3$[2] は, 質量ゼロのディラック電子系として知られている. 第一種, 第二種, 第三種と三種類に分類される [3,4]. 第一種ではコーンは傾いても過傾斜ではなく, フェルミエネルギーはディラック点に位置する. 第二種では過傾斜し, 電子ポケットやホールポケットが現れる. 第三種ではコーンは臨界的に傾き, 一方向の分散がディラック点近傍で局所的に平坦となる. ただし, 一般には, 線形項はゼロであるが高次項はゼロでないため, ディラック点から離れるとエネルギー分散は平坦ではない.

我々は, 線形項と高次項が消失している場合を「狭義の第三種」と定義した [5]. 狭義の第三種では, 2 つのディラック点をつなぐ分散が平坦となっており, フェルミエネルギーで状態密度が強く発散し, その結果, 電子比熱の温度依存が $T^{1/2}$ になることを明らかにした [5].

本研究では, 単軌道の蜂の巣格子において, 異方的な次近接飛び移り積分を考慮すると, コーンが第一種から狭義の第三種を経て, 第二種に連続的に変化することを示した [6]. さらに, 運動量空間において, ある方向に関して波数依存が消滅する状態（水平線）が生じ, その水平線が狭義の第三種ディラックコーンの平坦分散と一致することをみつけた, そのとき, 水平線の平坦性は強調されており, 結果として, フェルミエネルギーで状態密度が著しく増大する. このことから, 電子比熱や磁化率などに新しい特異性の出現が期待される [6].

[1] K. S. Novoselov, *et al.*, Science **306**, 666 (2004).
[2] K. Kajita, *et al.*, J. Phys. Soc. Jpn. **83**, 072002 (2014).
[3] G. E. Volovik, JETP Lett. **104**, 645 (2016).
[4] T. Mizoguchi, H. Matsuura, and M. Ogata, Phys. Rev. B **105**, 205203 (2022).
[5] K. Kishigi and Y. Hasegawa, Phys. Rev. B **106**, 085430 (2025).
[6] K. Kishigi and Y. Hasegawa, arxiv:2609.00695.

D-2 グラフェン上におけるナノフィン吸着過程の第一原理計算

福岡工大情工 A, 福岡工大院工 B　篠﨑光太郎A, 小林怜平 B, 前田文彦 B, 丸山勲 B

少数層グラフェン表面に幅一原子層のリッジ構造であるグラフェンナノフィンが形成されることが報告された [1]．この構造はフィン根元のジグザグ構造が sp3 構造を作ってグラフェンに吸着することでフィンが傾き，λ字型の安定構造をとることが理論研究 [2] で報告されている．しかし，ナノフィンがグラフェンに吸着する過程については十分に議論されていない．そこで本研究では，いくつかのグラフェンリボンがグラフェンに吸着する過程の最小エネルギー経路を第一原理計算に基づく Nudged Elastic Band (NEB) 法を用いて計算した（図 1）．まずリボン端のアームチェア構造がグラフェンに吸着する場合については，先行研究 [3] と同様のエネルギー障壁を得た（図 1 青）．対して，リボン端がジグザグ構造の場合はエネルギー障壁がない．中でもジグザグ構造が 3 員環を作ってグラフェンに吸着する場合（図 1 橙），フィンは垂直に立つがエネルギー的に不安定となる．しかしジグザグ構造が根元に sp3 構造を作ることで傾いたλ字型構造を作る場合（図 1 緑），そのエネルギー利得はアームチェア構造よりも大きいことが分かる．発表では，より詳細な計算条件や各構造でのエネルギー経路や吸着過程の違いについて報告する．

参考文献 [1] F. Maeda, and H. Hibino, Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 51, p. 06FD16, 2012. [2] 小林怜平, 篠﨑光太郎, 前田文彦, 丸山勲, 第 81 回 日本物理学会（東京）(2026). [3] T. Kawai, S. Okada, Y. Miyamoto, and A. Oshiyama, Phys. Rev. B, Vol. 72, p. 035428, 2005.

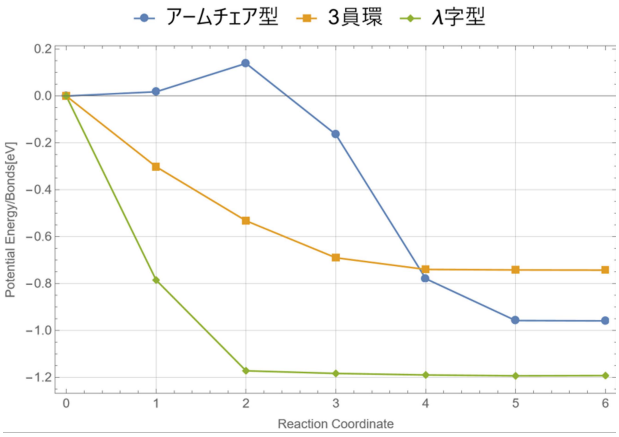


図1 最小エネルギー経路

D-3 局所陽極酸化を用いた MoS_2 ナノリボンの微細加工と低温電気伝導特性

熊大院自然 A, 九大院総理工 B, 九大半導体セ C, 東北大通研 D, 熊大院先端 E　曽郁珊A, Zhang ZhanshuoB, 山本快知 B, Pablo Solís FernándezB, 吾郷浩樹 B,C, 大塚朋廣 D, 原正大 E

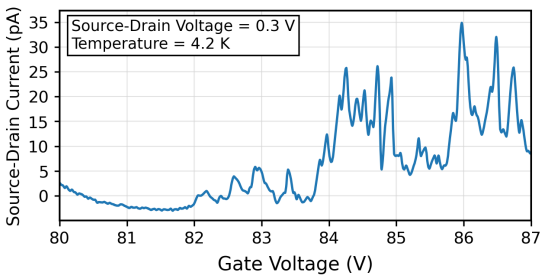
半導体量子ドットの形成には、複数のゲート電極によって電子の閉じ込めを制御する方法が広く用いられている。しかし、この手法では素子の微細化に伴い、ゲート電極の配置に制約が生じ、隣接するゲート間で静電的な干渉が生じるという問題がある。一方、原子間力顕微鏡を用いた局所陽極酸化（AFM-LAO）では、試料表面に酸化障壁を直接書き込むことで、より高い空間分解能で電子の伝導を制御できる利点がある。

本研究では、化学気相成長法（CVD）により合成された MoS_2 ナノリボン [1] を用い、AFM-LAO による人工量子ドットの形成を試みた。SiO_2/Si 基板上のナノリボンに Cr/Au 電極を形成し、Si 基板をバックゲートとする FET 構造を作製した。ナノリボン中央部に 2 本の酸化障壁を書き込み、障壁間に幅 50 nm ×長さ 150 nm の領域を形成した。その後、液体ヘリウム温度（4.2 K）で低温電気伝導測定を行った。

測定の結果、クーロン振動を示唆する電流の振動構造が観測され、その周期は約 0.115 V と見積もられた。平行平板コンデンサモデルから推定した量子ドット面積は約 11,500 nm^2 であり、加工領域の面積（約 7,500 nm^2）と概ね対応している。ただし、より正確な比較には、端効果による電気力線の広がりなどを考慮した静電容量の評価が必要である。

本研究は東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究により実施されたものである。

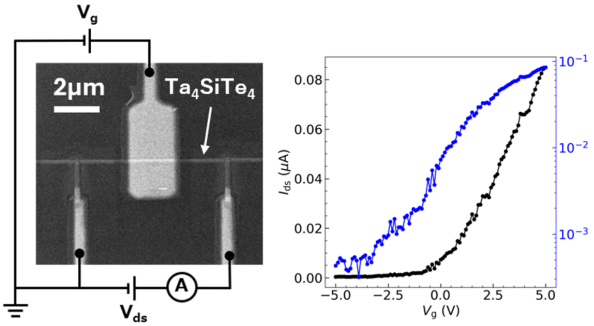
[1] Z. Ma et al., Sci. Adv. 11, eadr8046 (2025).



D-4 一次元 van der Waals 材料 Ta_4SiTe_4 における FET 特性

熊大院自然 [A], 東大物性研 [B], 原子力機構先端研 [C], 名大院工 [D], 熊大院先端 [E] 田畑歩[A,B], 一色弘成 [B,C], 曽郁珊 [A], 橋本義昭 [B], 遠藤彰 [B], 吉田研介 [B], 石井智博 [B], 松永文弥 [D], 竹中康司 [D], 井手上敏也 [B], 岡本佳比古 [B], 橋坂昌幸 [B], 原正大 [E]

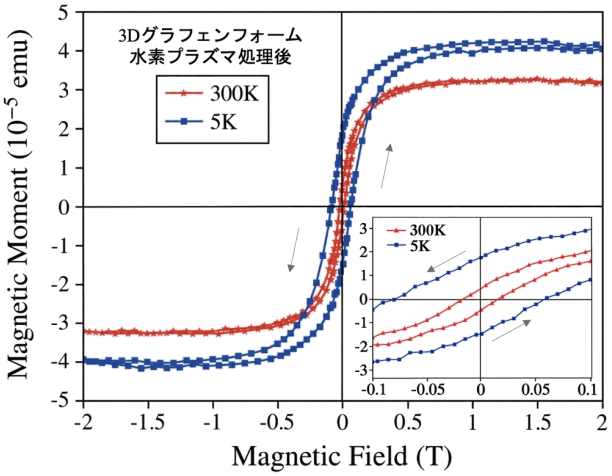
Ta_4SiTe_4は、一次元原子鎖からなる一次元ファンデルワールス物質であり、狭いエネルギーギャップと高い低温熱電性能を示す。これまでキャリア濃度は主に元素置換によって制御されてきたが、ゲート電界による電気伝導制御は十分に検証されていない。本研究では、Ta_4SiTe_4細線を用いたトップゲート型 FET を作製し、ゲート電圧による電気伝導の変調とその温度依存性を調べた。素子作製では、機械的剥離によって得られた Ta_4SiTe_4細線に、酸化抑制とゲート絶縁のため、原子層堆積（ALD）法によって Al_2O_3膜を形成した。その後、集束イオンビーム (FIB) によってコンタクト領域の保護膜および表面酸化層を局所的に除去し、Pt 蒸着によって金属電極と接続した。これにより、チャネル領域を保護しながら電気接触を確保したトップゲート型 FET を作製した。作製した素子では、正のゲート電圧によって電流が増加する n 型のゲート応答が観測され、2K の低ソース・ドレイン電圧下では、負のゲート電圧によって明瞭な OFF 状態が観測された。これらの結果は、本作製手法が Ta_4SiTe_4細線の表面保護と電気接触形成を両立した FET の作製に有効であることを示すとともに、Ta_4SiTe_4の電気伝導をゲート電界によって制御できることを実証している。



D-5 グラフェン系材料における欠陥誘起磁性の評価

熊大院自然 [A], アンリツ先端研 [B], 熊大院先端 [C] 末吉冬聖[A], 越智太亮 [B], 松井朋裕 [B], 原正大 [C]

グラフェンは炭素原子 1 層からなる材料であり、理想構造では反磁性を示す。一方、欠陥導入によってπ電子の一部が局在化し、不対電子スピンに由来する磁気モーメントが形成される「欠陥誘起磁性」が理論的に示されている [1]。実験的にも、グラファイトや還元型酸化グラフェンなどでは、欠陥導入に伴う磁性の発現が報告されている [2,3]。本研究では、水素プラズマ照射によるグラフェン系材料への欠陥の導入・制御を試み、その磁性発現を検証する。水素プラズマ処理に伴う構造・電子状態の変化により、電子の局在化と磁気モーメントの形成が期待される。酸化膜付き Si 基板上の単層 CVD グラフェンに水素プラズマを照射し、磁気応答を評価した。また、単層試料の微弱な磁気信号を評価する上での課題を踏まえ、炭素量と欠陥導入の対象となる表面積を確保するため、多孔質構造を有する 3D グラフェンフォーム [4] を採用した。単層 CVD グラフェンと 3D グラフェンフォームについて、AFM による構造評価と SQUID による磁化測定を行った。磁化測定の結果、単層 CVD グラフェンでは磁気信号が微弱であり、基板の反磁性成分や背景補正に伴う不確かさが定量評価の課題となった。一方、3D グラフェンフォームでは、反磁性の直線成分を差し引いた磁気応答が処理前後ともに高磁場領域で飽和傾向を示し、処理後には飽和磁化が増大した。さらに、温度の低下に伴って飽和磁化および残留磁化が増大する傾向が確認された。[1] O. V. Yazyev and L. Helm, Phys. Rev. B 75, 125408 (2007). [2] X. Yang et al., Carbon 47, 1399 (2009). [3] Y. Wang et al., Nano Lett. 9, 220 (2009). [4] General Graphene Corporation



D-6 トポロジカル超伝導体における磁束ポンピング

九州大学理学府 [A] 林田泰造[A], 工藤耕司 [A], 磯部大樹 [A], 野村健太郎 [A]

系のトポロジカルな性質を反映する代表的な物理現象として、二次元電子系における量子 Hall 効果が挙げられる。量子 Hall 系では、磁束を磁束量子だけ変化させて、系のハミルトニアンにゲージ変換を施すと元に戻ることから、Hall 伝導率の量子化が理解できる [1]。このように、磁束に対する系の応答は、トポロジカルな性質を調べるうえで重要である。 本研究では、量子 Hall 系における磁束誘起電荷ポンプの議論 [2] をトポロジカル超伝導体へ拡張し、Majorana 準粒子のポンピング現象を調べる。トポロジカル超伝導体は量子 Hall 系と類似した性質を持つ一方、超伝導状態では電子と正孔が混成し、平均場ハミルトニアンにおいて粒子数が保存されない。そのため、電荷保存を前提とする量子 Hall 系の議論をそのまま適用することはできない。また、磁束に対する応答を記述する際には、電子のホッピングに伴う Peierls 位相だけでなく、超伝導秩序変数の位相も考慮する必要がある [3]。そこで、これらの位相構造に着目し、磁束挿入に伴う Majorana 準粒子のポンピングを検討する。

参考文献 [1] R.B. Laughlin, Phys. Rev. B 23, 5632 (1981) [2] K. Kudo, Y. Kuno, and Y. Hatsugai, Phys. Rev. B 104, L241113 (2021) [3] O. Vafek, A. Melikyan, M. Franz, and Z. Te š anović, Phys. Rev. B 63, 134509 (2001)

D-7 磁性 Weyl 半金属の $E_F = 0$ におけるマグノン分散

九州大学理学府物理学専攻 [A], 九州大学時空量子連携研究機構 [B] 下鶴直久[A], 磯部大樹 [A], 野村健太郎 [A,B]

現代の情報処理技術では，より高速で省エネルギーなデバイスの開発が重要な課題となっている．その有力な候補の一つとして，電子の電荷だけでなく，スピンや物質のトポロジカルな性質を利用する新しい物質・デバイスの研究が進められている．特に，磁気の集団的な揺らぎであるマグノンは，電流を流さずに情報を運ぶことができるため，低消費電力な情報伝達への応用が期待されている．

このような背景のもとで注目されている物質の一つが，磁性 Weyl 半金属である．磁性 Weyl 半金属は，磁気秩序によって時間反転対称性が破れ，バンド構造中に Weyl 点と呼ばれる特殊なバンド交差が現れるトポロジカル物質である．この系では，低エネルギーの電子状態が Weyl フェルミオンとして記述される一方，磁化の集団励起としてマグノンが存在する．

本研究では，磁性 Weyl 半金属において Fermi 面が Weyl 点直上にある場合のマグノン分散を解析的に計算した．その結果，長波長領域において，マグノン分散が通常の強磁性体で見られる単純な波数の二乗則から外れ，対数的な補正を受けることを明らかにした．これは，マグノンの伝わりやすさを特徴づけるスピン波剛性が一定ではなく，波数に依存することを意味する．さらに，Weyl 点を結ぶ方向とそれに垂直な方向では，分散の波数依存性そのものが異なることが分かった．

また，格子模型を用いた数値計算との比較により，解析結果の妥当性を検証した．これらの結果は，Weyl 点近傍の電子状態が，マグノン分散に非解析的な波数依存性と方向による違いをもたらすことを示している．本研究は，磁性 Weyl 半金属における電子と磁化の集団運動の結びつきを明らかにし，そのスピンダイナミクスを理解するための理論的基盤を与える．

D-8 磁性 Weyl 半金属におけるスピン誘起電流とその幾何的性質

九大理 [A], ライプツィヒ大 [B], 東大物性研究所 [C], 科学大理 [D], 九大時空量子連携研究機構 [E] 渡邊光太[A], 小沢耀弘 [B,C], 石塚大晃 [D], 磯部大樹 [A], 野村健太郎 [A,E]

強い交換相互作用を持つ磁性体は，磁化ダイナミクスによる電流生成といった，非自明な交差相関応答現象を示し得る．このような交差相関応答は，対称性の低い系において顕著に現れる．具体的には，時間反転対称性と空間反転対称性とが同時に破れている系などである [1]. そこで本研究では，これらの対称性の要求を満足する磁性 Weyl 半金属に着目する．熱浴と結合した MWSM におけるスピン歳差運動を考え，この時間周期ダイナミクスを有効的なゲージ場として扱う．このゲージ場に誘起よって誘起される非線形電流を，Floquet 理論と Keldysh-Green 関数法を用いて解析する [2].

さらに，Berry 曲率，量子計量，シフトベクトルなどの幾何学量を用いて非線形応答を評価し，その起源を明らかにする．本発表では，これらの応答係数について議論し，その性質を交流電場によって誘起される非線形電流応答と比較する [3].

[1] A. Harada, H. Ishizuka, Phys. Rev. B 107, 195202 (2023).

[2] T. Morimoto, N. Nagaosa, Sci. Adv. 2016, 2, e1501524 (2016).

[3] J. Ahn, G. -Y. Guo, N. Nagaosa, PRX 10, 041041

D-9 NbHx 超伝導体中の水素が示すトンネル現象の観測

九大院工 [A], 九大院理 [B], 九大総理工 [C], 高知大理工 [D] 落合陽介[A], 加藤遼馬 [A], 太子周 [A], 飯森陸 [B], 木村崇 [B], 橋爪健一 [C], 志賀雅亘 [D], 河江達也 [A]

最も質量が小さい元素である水素は強い量子性を示し、低温環境下の金属中ではトンネル効果によって拡散することが知られている。さらに、母金属が超伝導転移するとフェルミ面に超伝導ギャップが生じるため、水素のトンネル拡散確率が指数関数的に増大することが理論的に指摘されている [1,2]。我々はこの現象を検証するために、水素を吸蔵させた Nb(100nm) 薄膜に Pd キャップ (20nm) した試料の電気抵抗測定によって超伝導転移の観測実験を行っている。図 1 に T = 230K、水素ガス 70 Torr 雰囲気下において水素を高濃度に吸蔵させた Nb 薄膜の超伝導転移を青いプロットで示す。転移の広がりは試料内部の水素濃度の不均一に起因すると考えられる。さらに T = 300K で試料をアニールすることで水素濃度を均一化させて測定した結果を赤いプロットで示す。アニールにより転移は鋭くなり低温側にシフトしている。しかし、挿入図に示すように抵抗が落ち始める温度の変化は両試料ともに T ～ 4K であることが分かる。これは不均一性の解消によりトンネル確率が増大したために、超伝導のオンセットと抵抗が鋭く落ちる温度に差が生じた可能性がある。講演ではこの結果の詳細について報告する。

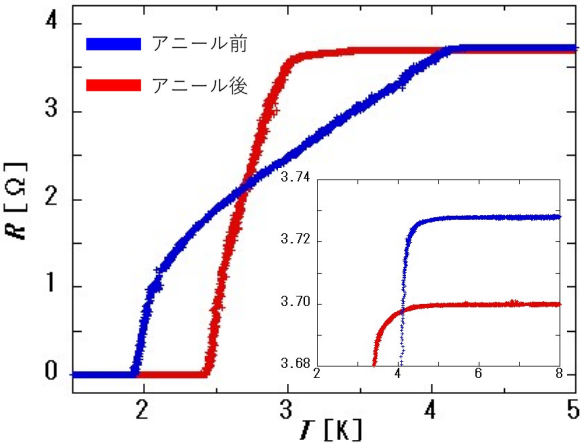


図 1. アニール前後の NbHx の超伝導転移の比較

[1] M. Matsumoto and Y. Ohashi, J. Phys. Soc. Jpn. **62**, 2088(1993).

[2] Y. Ohashi and M. Matsumoto, J. Phys. Soc. Jpn. **62**, 3532(1993).

D-10 超伝導 PdHx/PdDx で出現する核スピンに起因する同位体効果

九大院工 [A], 高知大理工 [B], 九大院理 [C], 阪大基礎工 [D] 加藤遼馬[A], 吉田展一朗 [A], 志賀雅亘 [B], 飯森陸 [C,D], 木村崇 [C,D], 河江達也 [A]

パラジウム水素化物（PdH_x）は、水素濃度 x（x = H / Pd）がおよそ 0.72 以上になると常圧でも超伝導転移を示し、x の増大とともに転移温度が約 9K まで上昇する。さらにパラジウム重水素化物（PdD_x）では x ≃ 0.68 で超伝導が出現し、$x \simeq 1$ では約 $12K$ まで上昇する。つまりPdD_x の超伝導転移温度は PdH_x より高いのだが、その起源については十分に解明されていない。その理由の 1 つとして良質な試料を用いた研究が行われていなかったためである。我々は、T ≦ 200 K の低温で水素を吸蔵させた後、そのまま低温下に冷却および測定を行うことで、水素脱離を抑制した均一な試料の作成に成功し、その超伝導特性を調べている。この低温水素吸蔵で作成した試料の電気抵抗特性を測定したところ、すべての PdH_x /PdD_x 試料において、超伝導転移後に抵抗が急激に減少するにもかかわらず有限抵抗が残り、さらに低温で急激にゼロ抵抗となる二段階転移が観測された [1,2]。さらに PdD_x では、二段階転移に加え残留抵抗域に新たな抵抗異常が出現するため、PdH_x と PdD_x の温度 - 磁場相図は全く異なることがわかった。我々は、この相図の違いを核スピンに起因すると考えている。

[1] R. Kato et al., J. Phys. Soc. Jpn, 95, 024706 (2026).
[2] R. Kato et al., J. Phys. Soc. Jpn, 95, 114707 (2026).

D-11 ブレークジャンクション法による In 酸化物のトンネル分光

九大工 [A], 九大院システム情報 [B], 広大院先端理工 [C] 永田章[A], 宮田翔 [B], 薮田久人 [A,B], 杉本暁 [C], 浴野稔一 [C]

我々は In 系導電性酸化物材料の電気伝導機構を調べる目的で、ブレークジャンクション法により種々の In 酸化物材料のトンネル分光測定を実施している。その過程で多くの In 酸化物材料において、液体ヘリウム中（4.2 K）でのトンネルスペクトルにおいて数 10 meV 幅のギャップ構造を観測した [1]。

最も単純な In 酸化物材料である In_2O_3 セラミックス（市販品）ではピーク間エネルギー約 40 meV のギャップ状スペクトル（図 (a)）が得られ、ゼロバイアス近傍にピーク構造が見られた。このようなスペクトルは超伝導体のものに酷似しているが、ノンドープの In_2O_3 結晶の超伝導転移は我々の知る限り存在せず、ドープした In_2O_3 およびアモルファス InO_x での超伝導転移温度は 4 K 以下である。

図 (b) に示すように、このサンプルの電気抵抗からはマクロな超伝導転移は確認されなかったが、60 K 付近で電気抵抗の振る舞いに異常が見られ、トンネルスペクトルに見られたギャップ構造との関係などについて考察したい。

[1] Yabuta et al., IEEE O. J. Nanotech. 3, 149 (2022).

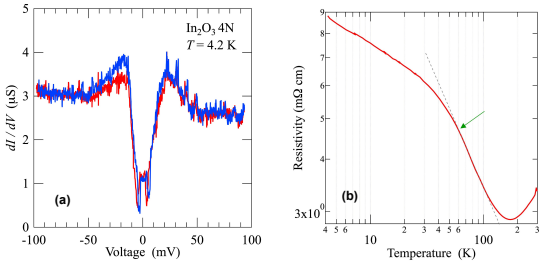


図 In_2O_3バルクセラミックスの (a)ブレークジャンクション法によるトンネル分光スペクトルおよび (b) 電気抵抗率の温度依存性

D-12 椿油抽出用高圧装置の試作

自宅 [A], 久留米工大 [B], 九大理 [C] 巨海玄道[A], 野口聡仁 [B], 光田暁弘 [C]

椿油抽出用高圧装置の試作ー日常生活に生きる高圧技術の探索ー

自宅（年金受給者)、久留米工大 A)、九大理 B) 巨海玄道、野口聡仁 A) 、光田暁弘 B)　　福岡市中央区にある梅光園緑道は市民が気軽に散策できる遊歩道としてよく知られている。歩道の両脇には桜、ケヤキ、椿等が植えられている。私は毎朝ここを散歩するがほぼ毎日女性の集団と会う。夏から秋にかけて彼らは椿の実を集めており、私に椿油を作るようにと収穫した椿の実を与えた。彼らは椿油を作る最終工程で圧搾機が必要であることを知っていた。つまり私にそれを作ることを要請したのであった。大学に勤めていればプレスを使って圧力を発生すればいいのだが一般家庭ではプレス機はない。日常生活の中で使う器具を使用してプレス機を作ることを試みそれを使って椿油を抽出することを試みた。我々の日常生活の中で身近なプレス機は車のジャッキである。これは 1 トン程度の車を持ち上げるので本研究の荷重発生には十分であると考えた。数トンの荷重に耐えるように木枠を失敗を重ねながら作製した。椿油は初めに採集した厚い皮に覆われた椿の実を約一か月放置すると実は割れて殻が開きその中から椿の実を取り出した。小さな実はハンマーなどで割り中身を取り出した。これをグラインダーにかけ粉末にし、蒸気で蒸して暖め手製のシリンダー容器に入れ圧搾機で加圧し油を抽出した。２００グラム程度の粉末から数 CC の油が取れた。この過程の詳細について述べる。

D-13 医学科 1 年次の物理学講義における学修状況と教育効果の調査

佐賀大学医学部 [A] 一ノ瀬浩幸[A], 富永広貴 [A]

我々はこれまで医学科初年度学生に対し，2019 年度・2020 年度・2024 年度に力学概念調査 (FCI) を，2021 年度〜2023 年度に力と運動についての概念調査 (FMCE) および教室用科学的推論テスト (CTSR) を実施してきたが，医学科学生は比較的優秀であり，いずれの調査でも pre・post の結果にほとんど差異は無く，これらの調査によって医学科学生に対する授業効果を測るのは無理があることがわかった。今回我々は，FCI による基礎科学の概念理解度，MPEX による物理学に対する期待・学習観，出席状況や LMS・課題提出による日常的な学修行動，試験による学業成績などの間に何らかの相関があるのではないかと推測し，それを見出すことで講義やその後の進級についてこれなくなる学生の傾向を早期に発見できないかと期待し，これを調査した。今年度は，講義初回に FCI および MPEX（Maryland Physics Expectations Survey）を行った。本学の e-learning システムでは moodle を用いており，学生はそれらをコンピューター実習室および自宅 PC で自由に閲覧する事ができ，講義前後に自発的に予習・復習をするよう促している。moodle のログには学生ごとの資料の利用日時と，動画に関しては最後まで視聴したかなどが記録されており、そのログから資料の利用状況を抽出した。今年度は講義内容の解説動画について学生へ視聴を促すように啓発を強く行った結果，昨年度と比較して閲覧率が向上したが，配布資料や解説動画の閲覧率と成績との間には昨年同様明確な相関は認められなかった。また FCI と成績との相関も例年通りほとんど見られなかった。e-learning 上の資料の閲覧率は全体として低かったが，昨年同様閲覧率は低いにも関わらず成績はそこそこ良い学生が多く，資料があまり活用されていない傾向があった。また資料をよく閲覧している学生に関しても，昨年同様成績が良い学生が多いが，閲覧率が高いにも関わらず成績が振るわない学生も数名いた。MPEX と FCI・成績との比較では，MPEX の平均は 3.5 と比較的良い付近に固まっており，FCI や成績との顕著な相関は見られなかった。また MPEX をカテゴリー別に分けて比較すると，カテゴリー別の MPEX の分布は広がったが，FCI や成績との相関はやはり見られなかった。