
会場 D

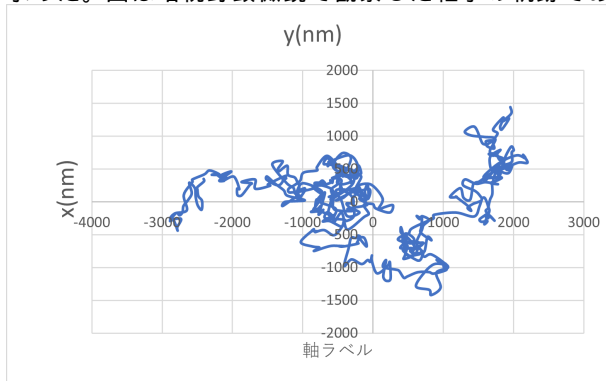
領域 12, 13

D-1 暗視野顕微鏡によるナノバブルの観測と解析

九大理^A 宮崎陸^A, 木村康之^A, 植松祐輝^A

私たちは暗視野顕微鏡でナノバブルの観測ができるかを調べた。暗視野顕微鏡は試料に光を当てて発生した散乱光を観察する顕微鏡である。この方法によって明視野顕微鏡よりも小さいものを観察することが可能になる。ナノバブルは $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下のバブルのことである。私たちは超純水中にナノバブルを発生させた。次にロータリーエバポレーターを用いてナノバブル水を濃縮した。濃縮したナノバブル水を観察した結果、ブラウン運動している多くの粒子を見つけることができた。比較として濃縮した超純水の観察も行った。解析によって粒子の大きさを

求めた。図は暗視野顕微鏡で観察した粒子の軌跡である。



D-2 電解質溶液中での高分子膜のイオン伝導

九大理^A 井出健一郎^A, 木村康之^A, 植松祐輝^A

電解質溶液のイオン伝導度はその濃度で決まる。しかし、電解質溶液を膜で遮った系では、膜内部にイオンの吸着が起きる。このとき、膜内部にはイオンが多く入り込めないため、その濃度はバルクとは異なる。加えて、イオンが吸着される厚みは電解質溶液の濃度に依存することが知られており、逆浸透膜では孔径が小さいので、その厚さが孔の大きさを上回ることができる。このことから、溶液の濃度は膜の伝導度にも密接にかかわっている。よって、濃度を変化させることで、高分子膜で隔てた電解質溶液のイオン伝導度が大きく変化することが考えられる。本研究では、このような高分子膜を介した系の、イオン伝導度を測定することで高分子膜の性質を特徴づけることを目的としている。測定では、定常状態での高分子膜の電流電圧応答から、伝導度を導出した。

D-3 電解液における拡散電流と電気二重層充電電流の解析

九大理・物理^A 岩崎暖人^A, 木村康之^A, 植松祐輝^A

電解液に電圧を印加したとき、電解液中のイオンが移動してバルクの電位差を打ち消す。この際、電極と溶液の固液界面近傍で正負の電荷が向き合った、電荷を蓄えることのできる液相が形成される。これを電気二重層と呼ぶ。先行研究から、銀電極と水の電解質溶液からなる系において電圧を印加すると、極小を持つ電位-静電容量の曲線が引けることが分かっている [1]。電気二重層の静電容量を測定する手法には様々なものがあるが、本研究では定電圧法と交流インピーダンス法を用いて測定を行った。特に、交流インピーダンス法は電極の反応を非破壊に抑えることができ、バルクと界面の情報を同時に測定できるなどの利点がある。本研究ではこのような電気二重層形成における静電容量の振る舞いを測定することを目的として議論する。

[1]. G.Valette, Journal of Electroanalytical Chemistry and Interfacial Electrochemistry., 1989, 269, 191-203

D-4

分子動力学計算とネットワーク解析を用いた DNA 分解酵素における変異の影響の解析

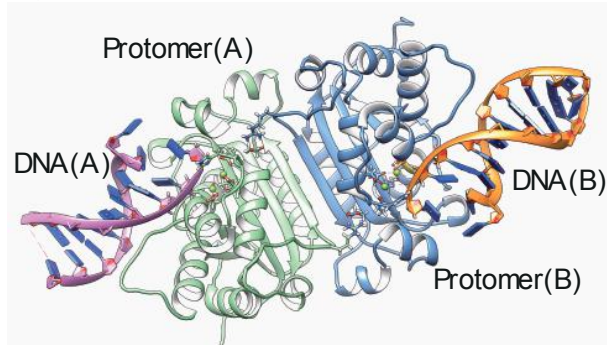
長崎大院医歯薬^A 大滝大樹^A

酵素は生体を維持するために必要な消化・分解・吸収・代謝などあらゆる過程に関わっている。酵素分子の変異には触媒活性を失活させるものが存在するが、その分子的なメカニズムについては不明な点が多い。

TREX1 は *TREX1* 遺伝子がコードする DNA 分解酵素であり、DNA 複製中に形成される不要な DNA フラグメントを分解する。本邦で難病に指定されている全身性エリテマトーデス (SLE) などの免疫系疾患の患者では、*TREX1* の変異が多数報告されている。変異型 TREX1 では DNA 分解反応が阻害され、異常な免疫反応が引き起こされることが明らかとなっている。

遺伝子解析は、患者と疾患を有しない人との間で遺伝子配列の相違を検討する手法である。しかしながら、その遺伝子変異が分子レベルでどのように機能に影響を及ぼしているかを予想するのは困難である。そこで本研究では TREX1 タン

パク質に対し分子動力学 (MD) 計算を用いた解析を行った。SLE 患者で見出された変異型について TREX1 の変異型モデルを作成し、MD 計算を行った。さらに、シミュレーション結果から解析した相互作用を相互作用グラフで可視化し、変異箇所が系に及ぼす影響を調べたので報告する。本研究の一部は、GSK ジャパン研究助成 2021 の助成を受けて実施された。



D-5

活動電位の伝達速度は両端の線張力の差で決まる

無所属^A 末崎幸生^A

ミエリン膜で覆われていない動物の神経伝達の理論的解析はソリトン説 (1) と表面波説 (2) があるが、その後進展はなく現在棚ざらしの状態にある。両端の軸方向に働く線張力の差が牽引力であると仮定すると、過去に観測された活動電位 (AP) の 2 nm 程度の直径の膨潤と AP の前後の非対称な熱現象 (前は発熱、後は吸熱) が矛盾なく説明できることを報告する (3)。筒状の AP は大きな膜の面積弾性のため文献 (1, 2) の仮説のような大きい変形は許されず、観測されたのは小さい変形のみである。このため系のレイノルズ数は小さくイカの巨大神経でも 1 程度であるが、これを水の抵抗とする。AP の脱分極は本来対照的な脂質 2 分子膜にとっては強い静止電位 (electrostriction) から解放されて動的に準安定な構造に移移すると仮定すると、観測された非対称な熱現象はこの仮説に矛盾なく解釈される。小さい発熱と吸熱反応が線張力の起源だとして線張力を見積もると観測されている伝達速度 (イカの巨大神経、ひと新生児の K-293 セル、ダツ (魚) の嗅覚神経) が矛盾なく計算できる。今後この理論の発展として AP の速度や形状の温度変化などが見積もれると予想される。

(1) T. Heimburg and A. D. Jackson, Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 102, 9790 (2005).

(2) A. El Hady and B. B. Machta, Nature Communications, 6: 6697, 1, (2015).

(3) Y. Suezaki, J. Phys. Soc. Japan, 90, 114603 (2021).

D-6

液晶乱流系の時空間ダイナミクス

九大院理^A 田中健太郎^A, 木村康之^A

負の誘電異方性を有するネマチック液晶にある閾値以上の交流電圧を印加すると、電気流体力学効果から様々な電気対流パターンが現れる。特に、ホメオトロピック配向系では、フレデリクス転移による液晶配向の自発的対称性の破れから、南部-ゴールドストーンモードが存在し、「ソフトモード乱流」と呼ばれる時空カオスが発生することが知られている [1]。また、ある周波数でリフシツ転移が起き、その前後でソフトモード乱流は等方的な乱流である「オブリクローラ」(図1)と異方的な乱流である「ノーマルローラ」(図2)の異なる対流パターンを示す。本研究では、画像相関からパターンダイナミクスに関する特徴的な情報を求めるとともに、ソフトモード乱流中に数ミクロンサイズの蛍光シリカ粒子を分散させ、乱流によって駆動される粒子の非熱的ブラウン運動を偏光顕

微鏡で観測することでソフトモード乱流の統計的性質を調べた。

Y. Hidaka, K. Tamura and S. Kai. Prog. Theor. Phys. 161, 1, (2006).

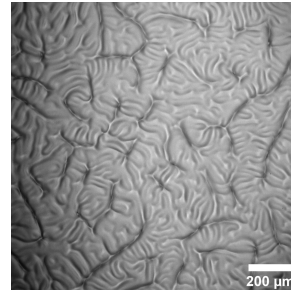


図1. オブリクローラ

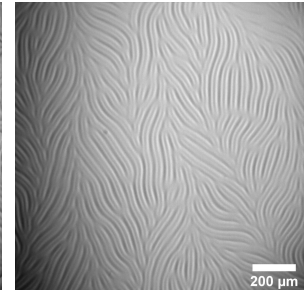


図2. ノーマルローラ

D-7

液晶液滴の光駆動回転

九大院理^A 齊藤圭太^A, 木村康之^A

マイクロスケールの物体操作は、局所構造が重要であるソフトマターの物性を解明するために非常に有用である。近年、光ピンセットなどの光操作技術の進歩によりマイクロスケールでの粒子制御が可能となってきた。さらに、この光ピンセットと円偏光によって自転が誘起される複屈折粒子 [1] を組み合わせることで、マイクロスケールでの複雑な粒子制御が期待される。そこで我々は、複屈折粒子である液晶液滴の円偏光ピンセットによる回転運動を調べた。

本研究では、液晶液滴の内部構造と自転運動との関係を明らかにするため、内部構造の異なるネマチック液晶 (NLC) 液滴と、左 (S)・右 (R) 向きのキラリティを持つコレステリック液晶 (ChLC) 液滴を使用した。NLC 液滴では、円偏光の向きによって自転方向が決まることがわかった。一方、ChLC 液滴では液晶のキラリティによって決まることがわか

り (図1)。両者は異なる回転メカニズムを持つことがわかった。さらに、PIV を用いて自転液滴により誘起される速度場の定量的評価も行った (図2)。

[1] T. A. Wood, et. al., Appl. Phys. Lett. 84, 4292 (2004).

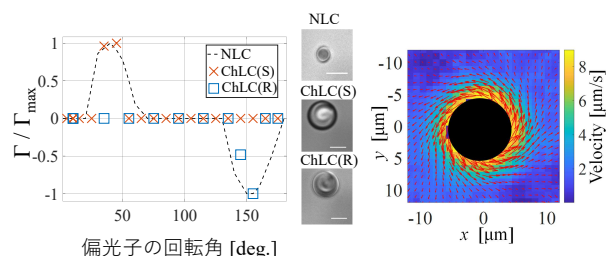


図1. 光回転トルクと偏光の楕円率の関係。スケールバーは5 μm。

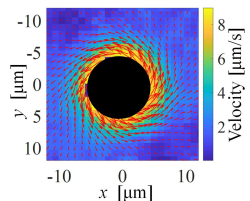


図2. NLC液滴 (半径: 3.4 ± 0.3 μm、回転速度: 1.1 Hz) が誘起する速度場。

D-8

差動的顕微鏡法を用いたソフトマターのダイナミクス測定

九州大学理学府^A 野見山直弥^A, 植松祐輝^A, 木村康之^A

差動的顕微鏡法 (Differential Dynamic Microscopy: DDM) [1] は、プローブ粒子を分散させた測定試料の顕微鏡動画から、個々の粒子追跡をおこなわずに、そのダイナミクスの情報を得るユニークな測定法である。DDM はソフトマターのダイナミクス測定法として広く用いられている動的光散乱法と等価な情報を簡便に得られるため、近年さまざまな系に適用されている。本研究では、DDM のソフトマター流体のマイクロレオロジー測定法としての有用性を検証した。

本研究では、画像相関から中間相関関数を求め、これより多粒子の平均 2 乗変位 (MSD) を得た。さらに、得られた MSD から一般化されたアインシュタイン・ストークスの関係式を用いて粘弾性スペクトルを得た。

図 1 に得られたポリエチレンオキシド水溶液 (PEO: Mw=900k, 2.1wt%) の粘弾性スペクトルを示す。この結果から粘性だけでなく、弾性も測定することができたといえる。当日はその他の系に適用した結果も報告する予定である。

[1] R. Cerbino and V. Trappe, Phys. Rev. Lett. **100**, 188102 (2008).

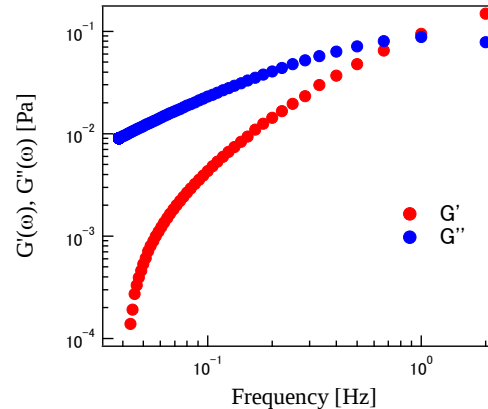


図 1. DDMで得られたPEO水溶液の粘弾性スペクトル

D-9

自走液晶液滴のダイナミクス

九大理^A, 九大院理^B 津田健吾^A, 木村康之^B

界面活性剤溶液中に液晶液滴を分散させると、マランゴニ対流によって駆動された液滴が、溶液中を複雑な軌道を描いて自走することが近年報告されている。例えば、ネマチック液晶液滴 [1] や、コレステリック液晶液滴 [2] では、三次元でのらせん運動が観察されている。これらの先行研究では、液晶液滴の自発的な運動や、液滴の内部構造の観察などが報告されているが、ある一定のサイズのみでの報告となっている。

本研究では、ネマチック液晶液滴とコレステリック液晶液滴のサイズを変化させたときの挙動の違いを観察したので報告する。実験では、界面活性剤 TTAB 水溶液中に、ネマチック液晶 5CB、あるいは 5CB にキラル剤を混入して作成したコレステリック液晶液滴を分散した。図 1 に、例として粒径 156 μm のネマチック液晶液滴の顕微鏡像とその二次元軌跡

を示す。運動のサイズ依存性の詳細は当日報告する。

[参考文献] (1)C. Kruger *et al.*, Phys. Rev. Lett. **117**, 048003 (2016). (2)T Yamamoto *et al.*, Soft Matter **13**, 3328 (2017).

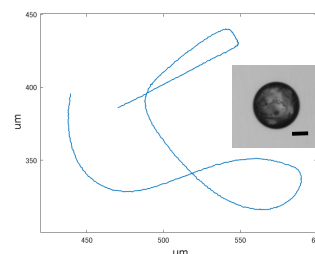


図1 ネマチック液晶液滴の軌跡(10秒)とネマチック液晶液滴スケールバーは50 μm

D-11

バクテリア遊走を伴う懸濁液系の非平衡力学

九州大学理学部^A, 九州大学大学院理学府^B, 九州大学大学院理学研究院^C 濱田啓聖^A, 杉野裕次郎^B, 水野大介^C

メソスケールのコロイドが分散した懸濁液を濃厚化すると、揺らぎの協同性が増大するとともに熱的な配置換えが困難となり、ガラス固化する。一方、自己駆動するコロイドや微生物が混み合った懸濁液では、エネルギー形態の変換により生じた力に由来する非熱揺らぎが発生する。こうした所謂アクティブガラス系はガラス化を免れて流動化する可能性が、主に数値的な研究により指摘されてきた。

本研究では、半透膜を介して生理活性物質や代謝生成物を交換することで、遊走する大腸菌の懸濁液としてアクティブガラスの実験系を初めて実現した。体積分率約 40% の懸濁液において、Particle Image Velocity (PIV) により試料中の速度場を可視化し (図 1)、速度場の空間相関を計算した (図

3)。遊走を阻害した懸濁液の結果 (図 2) と比較すると、揺らぎは増大しているにもかかわらず、空間的な相関には殆ど変化が無かった。当日は、熱揺らぎとは起源を異にする非熱揺らぎが持つ性質と、ガラス転移現象に与える影響を議論する。

図 1 遊走大腸菌の PIV

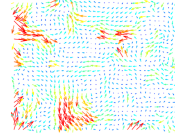


図 2 遊走しない大腸菌の PIV

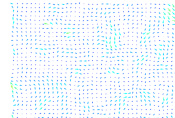
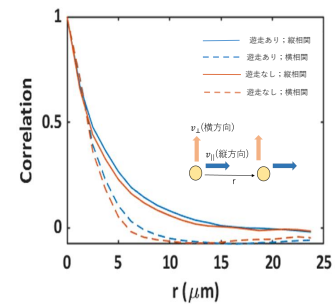


図 3 速度空間相関



D-12

巨視的なずり場印加下の濃厚コロイド懸濁液のマイクロレオロジー

九州大学理学部^A, 九州大学大学院理学府^B, 九州大学大学院理学研究院^C 吉良和真^A, 荊原佳祐^B, 水野大介^C

ガラス転移点近傍において、剛体球コロイドの濃厚懸濁液は典型的な非ニュートン流体として振る舞う。これまでは巨視的に均一なずり場を印加することで生じる試料の非線形流動の観測に基づく研究が進められて来た。しかしながら、コロイド懸濁液の非線形流動特性は、コロイド粒子間の相互作用とダイナミクスに起因するために、流動下において構成粒子スケールのミクロな力学応答を観測することで、現象をより本質的に理解することができる。

そこで本研究では、ガラス転移近傍 ($\phi = 57\%$) のコロイド懸濁液に巨視的に均一なずり場を印加しつつ、試料内部の流動特性 1 粒子単位で計測した。その際、ピエゾアクチュエータを用いて試料ステージの位置をフィードバック制御することで、激しく流動する観測用粒子を追跡し、安定的に光捕捉力を印加した (図 1)。

図 2 に示す通り、加えたずり速度の増加に伴い粒子の易動度が上昇した。これは巨視的な非線形流動と整合しており、ミクロにはニュートン流体であることが分かった。つまり、ガラス転移点近傍の剛体球懸濁液の非線形流動は、ミクロスケールのニュートン粘性が、巨視的なずり場に応じて非線形に変化することで生じることが分かった。

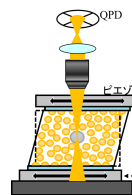


図 1: 実験概念図

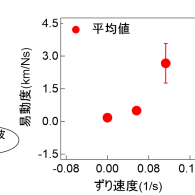


図 2: ずり速度と易動度の関係

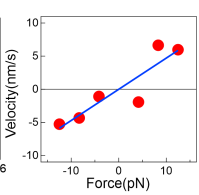


図 3: 牽引力と速度の関係 ($\gamma = 5.65 \text{ s}^{-2}$)

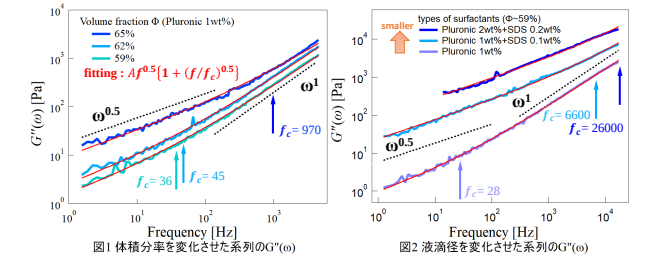
D-13 濃厚エマルジョンにおけるこみあい由来の粘弾性緩和挙動

九州大学理学部 ^A, 九州大学大学院理学府 ^B, 九州大学大学院理学研究院 ^C 松岡亮佑^A, 井口昇之^B, 水野大介^C

ミクロゲル・エマルジョン・泡のような軟体球コロイドが乱雑に配置された濃厚懸濁液では、複素粘弾性率 $G^*(\omega)$ の虚部 $[G''(\omega)]$ が周波数の $1/2$ 乗に従う特徴的な粘弾性挙動が観測される。この挙動は、互いに接触したコロイドが滑ること

で生じる不均一な揺らぎを反映している。しかしながら市販のレオメータを用いた計測では、観測周波数帯域が限定されており、緩和挙動の全貌を捉えることは困難である。本研究では、マイクロレオロジー法を採用し、濃厚エマルジョンの $G^*(\omega)$ を広帯域計測した。レーザー干渉法を用いた粒子追跡を行うために、屈折率整合により透明な濃厚エマルジョンを調整し、体積分率や粒径・表面張力を系統的に変化させて観測を行った。図 1 に体積分率、図 2 に液滴径を変化させたエマルジョンの $G''(\omega)$ を示す。体積分率の増加や液滴

の微細化に伴い、 $G''(\omega) \propto \omega^{0.5}$ に従う領域が高周波まで広がることが分かった。ジャミング ($\Phi \sim 64\%$) の前後で粒子間相互作用がエントロピー弾性からエネルギー弾性に変化し(図 1)、また、液滴の小径化により平均衝突時間が短くなることで(図 2)、 $G'' \propto \omega^{0.5}$ から $G'' \propto \omega^1$ へと移り変わる周波数 f_c が高周波側へシフトした可能性がある。



D-14 汎用的読解能力と基礎学力の相関

久留米工大 ^A 酒見龍裕^A, 井野明洋^A, 野田常雄^A, 江藤徹二郎^A, 中村文彦^A

物理学を履修するためには、物理学への理解・関心・興味が 必要なことはもちろん、汎用的な読解能力が必要であることは理解できる。学力レベルが下位層の学生には、物理学の理解度は高くないが数学ができるような学生が多くいる。これは、計算はできるが文章を読むことができないため、どのような講義を実施しても物理への理解度向上につながらないということを示唆している。そこで本研究では、「読む」力を測ることができるリーディングスキルテスト(以下、RST:一般社団法人教育のための科学研究所が提供)を実施し、物理学の概念理解度や基礎的な数学と汎用的読解能力との相関がどのようになるか研究を行う。この研究により、力学概念の獲得に必要な汎用的読解能力の種類を明らかにすることができ、それらを重点的に養うことで物理概念の獲得や論理的思考能力の養成が期待される。 本学の上位層での RST と力学概念理解度調査 (FCI) の相関を図に示す。上位層では、係受け解析 (DEP) と推論 (INF) と FCI のプレテストに正の相関が見られた。その一方で、下

位層では異なる傾向を示した。これら能力の詳細や本研究の対象である下位層での結果など詳細は発表にて報告する。

		FCI			RST							
		Hgain	Pre	Post	DEP	ANA	PARA	INF	REP	INST	INSTd	INSTm
FCI	Hgain	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan
	Pre	nan	1.00	nan	0.51	0.31	0.24	0.55	0.42	0.43	0.34	0.31
	Post	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan	nan
	DEP	nan	0.51	nan	1.00	0.46	0.46	0.56	0.46	0.60	0.34	0.58
RST	ANA	nan	0.31	nan	0.46	1.00	0.46	0.52	0.28	0.59	0.40	0.48
	PARA	nan	0.24	nan	0.46	0.46	1.00	0.52	0.35	0.47	0.22	0.51
	INF	nan	0.55	nan	0.56	0.52	0.52	1.00	0.60	0.70	0.47	0.62
	REP	nan	0.42	nan	0.46	0.28	0.35	0.60	1.00	0.54	0.50	0.41
	INST	nan	0.43	nan	0.60	0.59	0.47	0.70	0.54	1.00	0.73	0.85
	INSTd	nan	0.34	nan	0.34	0.40	0.22	0.47	0.50	0.73	1.00	0.30
	INSTm	nan	0.31	nan	0.58	0.48	0.51	0.62	0.41	0.85	0.30	1.00

FCI-RST 相関関係ヒートマップ

崇城大学総合教育センター^A 板橋克美^A, 上野賢仁^A, 天本徳浩^A

内部抵抗は工学系や教育現場で使用する機器に内在する重要な概念で、工学系学生や教職を目指す学生にとって理解すべき内容である。内部抵抗に関する実験は、高等学校の教科書等にも記載されている他、様々な実験が報告されている。本研究では、それらの実験を基に、電池の内部抵抗の実験を考案し、崇城大学 2021 年度前期の「物理学実験」に導入した。また、実験の前後にアンケート調査を行い、電気に関する概念についての学生の実態調査を行った。考案した実験は起電力と内部抵抗を正確に測定することができ、学生実験でも装置・電池ごとの平均値に差はあったものの、定量的な評価が十分に可能であると示唆された。学生の実態として、電圧概念を形成できておらず、「電池が一定の電流源」といった素朴概念を有していることが分かった。加えて、実験中に学習した内部抵抗の概念を踏まえた電気測定機器の使い方を理解できていないことが明らかになった。