

会場 E

領域 4, 6, 10, 13

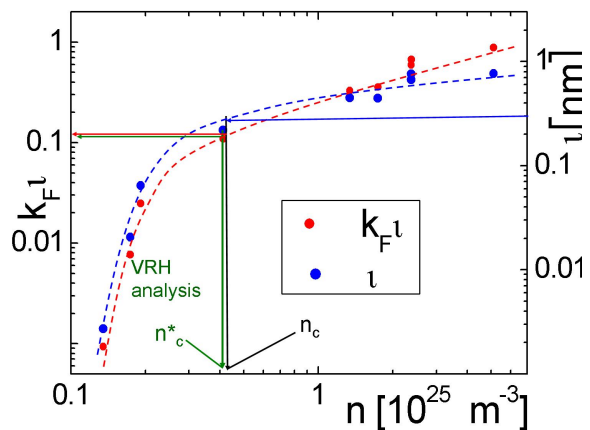
E-1 indium 系酸化物薄膜の variable range hopping

九大院理^A, 情通機構^B, 出光興産先進研^C 日高和也^A, 江崎翔平^A, 牧瀬圭正^B, 山田和正^A, 浅野貴行^A, 篠崎文重^A, 笈井重和^C, 矢野公規^C, 中村浩昭^C

Indium oxide (In_2O_{3-x}) に代表される縮退半導体のキャリア n は主として酸素欠損に由来する電子が担っている。したがって製膜時の条件 (Ar ガス中の O_2 濃度) や、熱処理 (アニール温度) によって n を変化させ、抵抗率 ρ を金属的特性から半導体的特性まで幅広く変化させることが可能である。今回は特に強い絶縁体的抵抗の温度依存性を示す試料を中心に測定・解析を行い、金属-絶縁体 (M-I) 転移の観点から、variable range hopping (VRH) 理論を用いてその振る舞いを詳細に調べた。

図は製膜作成中の酸素濃度を変えた、酸化インジウム亜鉛ガリウム (IZGO) 膜 (膜厚 $d=350\text{nm}$) の 5K における k_{FL} と l の n 依存性を示す。 k_{FL}, l はフェルミ波数及び電子の平均自由行程で、free electron model を用いて計算した。IZGO の格子定数 $\approx 0.3\text{nm}$ 近傍で M-I 転移が起こると考え、臨界電子数 n_c を得た。こ

の結果は VRH 解析より求めた n_c^* にほぼ等しい。講演では、他の試料の結果も合わせて、indium 酸化物系の輸送特性を系統的に紹介する。



E-2

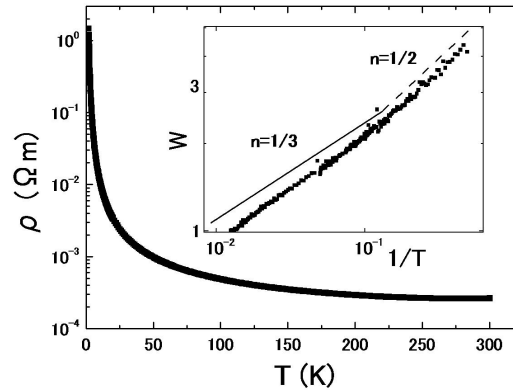
Polyaniline 膜 における Mott から Efros-Shklovskii hopping 伝導 への crossover

九大院理^A, 出光興産先進研^B 成清敬史^A, 山田和正^A, 浅野貴行^A, 篠崎文重^A, 黒田憲寛^B, 西村剛^B, 中村浩昭^B

高分子ポリアニリンはスルホコハク酸エステルをドーピングすることによりキャリアが生成され導電性を示す。更に第2ドーパントを加えることで抵抗率を変化させることができる。この抵抗率の変化の原因を探ることを目的として広い温度範囲で電気抵抗の測定を行った。

図は比較的抵抗率試料 ($2.6 \times 10^{-4} \Omega \text{ m}$, 300K、膜厚 $15 \mu \text{ m}$) における抵抗率の温度依存性である。伝導機構を理解するために $\rho(T) = \rho_0 \times \exp[(T_0/T)^n]$ で与えられる variable range hopping (VRH) conductivity をもとに解析を行った。挿入図は Zabrodskii and Zinov'eva(Z-Z) plot と呼ばれる plot の傾きが VRH 式中の指数 n を与える。10K $<$ T では、実線で示すように $n=1/3$ に近い。これは Mott の 2次元 VRH theory による指数と一致する。一方 10K $>$ T では、破線で示すように $n=1/2$ に近い。これは電子間相互作用を考慮

した Efros-Shklovskii(ES) theory による指数と一致する。Z-Z plot は 10K 近傍で Mott-VRH から ES-VRH への crossover を示唆する。



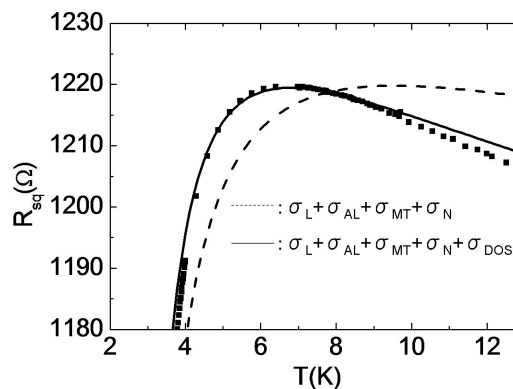
E-3

超伝導 NbN 薄膜の揺らぎ伝導度と磁気伝導度に及ぼす DOS 効果

九大院理^A, 情通機構^B 尾堂智隆^A, 江崎翔平^A, 浅野貴行^A, 山田和正^A, 篠崎文重^A, 牧瀬圭正^B, 寺井弘高^B, 山下太郎^B, 三木茂人^B, 王鎮^B

近年、超伝導現象を用いた量子情報通信技術に超伝導単一光子検出器があり、その代表的な材料に窒化ニオブ (NbN) がある。超伝導転移温度が 17K と高く、転移もシャープで良質の超伝導特性を示す。今回、単結晶 MgO 基板上に NbN を epitaxial 成長させ、膜厚の異なる NbN 薄膜を作製し、膜厚の異なる NbN 薄膜の面抵抗 (R_{sq}) の T 依存性、磁気伝導度 $\Delta \sigma$ ($\Delta \sigma = 1/R_{sq}(H) - 1/R(0)$) を測定した。図に NbN 薄膜 ($d=2\text{nm}$) について R_{sq} の温度依存性の結果を示す。 R_{sq} は電気伝導度の逆数で与えられ、破線は電子局在及び電子間相互作用の項、熱的超伝導揺らぎの主要項である AL 項と MT 項、及び常伝導状態の伝導度の和からなる理論曲線である。一方実線は、「クーパー対形成がノーマル電子の状態密度を減少させる」 DOS(density of state) 効果も含む。破線に比べ、DOS 効果を考慮した

実線の結果が実験をうまく再現する。発表では、DOS 効果が磁気伝導度解析から求まる非弾性散乱時間に及ぼす影響についても議論する。

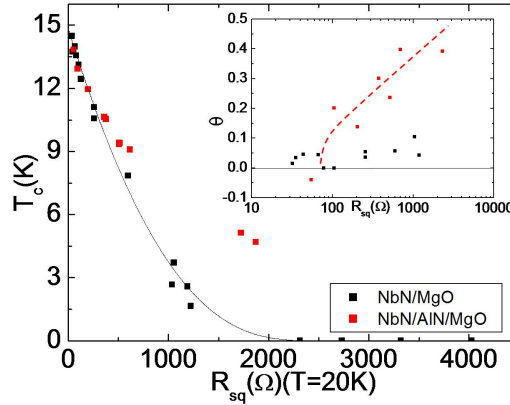


E-4 不均質超伝導 NbN/AlN/MgO 薄膜の超伝導転移温度 T_c , および上部臨界磁場 $H_{c2}(T)$ の面抵抗依存性

九大理^A, 九大院理^B, 情通機構^C 原田由宇子^A, 尾堂智隆^B, 浅野貴行^B, 山田和正^B, 篠崎文重^B, 牧瀬圭正^C, 寺井弘高^C, 山下太郎^C, 三木茂人^C, 王鎮^C

2次元系超伝導体の乱れが大きくなると、S-I 転移を示す。この機構は均質膜、微粒子膜といった膜構造にも影響される。「臨界面抵抗 R_c の普遍性」を指摘するモデル、逆に「 R_c は物質に依存する」モデルがあり、実験的にはいまだ未解決である。一般に膜厚が薄く、面抵抗が大きな領域では、モデルから予想される T_c 値より大きくなる。一因に薄膜形成初期過程の不均質構造が考えられる。今回 MgO 上に Buffer layer (BL) として AlN ($d=1.0\text{nm}$) をスパッタし、NbN/AlN/MgO を作成・測定、NbN/MgO の結果と比較検討した。図は T_c の R_{sq} 依存性を示す。実線は BL 無し NbN の T_c に対する Finkelshtein の理論を示し、よく実験を再現し均質膜と考えられる。一方、BL 膜はクリーンな領域での一致は良いが、 $R_{sq}=200$ オーム付近からずれる。挿入図は上部臨界磁場 $H_{c2}(T)$ の解析からとまる percolation index θ

の R_{sq} 依存性を示す。 $\theta=0$ は均質系、 $\theta=0.98$ が percolation threshold である。 $T_c(R_{sq})$ の結果を Percolation の立場から議論する。



E-5 CaO-Al₂O₃ ガラスの熔融相の構造

九大院理^A, JASRI/SPring-8^B, 東大生研^C 八尋惇平^A, 尾原幸治^B, 小原真司^B, 増野敦信^C, 渡邊康裕^C, 武田信一^A

Al₂O₃ は単体ではガラスを形成しないが、CaO を添加することで 37~75mol%CaO の範囲でガラスを形成し、その組成によってガラス形成能は大きく変化することが知られている。

本研究ではこのような性質を持つ (CaO)_x(Al₂O₃)_{1-x} のガラス形成能を原子構造から考察することを目的とし、各組成でのガラス及び融体について構造解析を行った。X線回折実験は SPring-8 の BL04B2 にて 61.5KeV の高エネルギー X 線を用いて行った。CaO-Al₂O₃ の融点は高いことから、融体の測定は試料にレーザーを照射しつつ、試料の下から乾燥空気を吹き付けて浮遊させることで無容器の状態を試料を保持し、加熱、熔融させるガスジェット浮遊法^[1]を用いて行った。

実験より得た二体分布関数 $g(r)$ より、全組成でガラスの Ca-O の原子間距離は融体のそれより長くなることが分かった。また、(CaO)_{0.5}(Al₂O₃)_{0.5} はガラスを形成する際に Al-O の配位数が減少することが超急冷過程での時分割 NMR 測定^[2]より報告されている。そのためガラスの Ca-O の原子間距離が融体より長くなる理由はガラスを形成する際に O が Al との結合を切って Ca と結合し直すような構造変化が起き、Ca-O の配位数が大きくなるためと考えられる。このことは Mei らの報告^[3]とも一致する。講演ではこのようなガラスと融体の構造の変化について、ガラス形成能の異なる各組成での比較も併せてその詳細を報告する。

[1] D.-L. Price, "High-Temperature Levitated Materials", Cambridge University Press, 2010.

[2] D. Massiot, D. Trumeau, B. Touzo, I. Farnan, J.-C. RiMet, A. Douy and J.-P. Coutures, *J. Phys. Chem.* **99** 16455 (1995).

[3] Q. Mei, C. J. Benmore, J. Siewenie, J. K. R. Weber and M. Wilding, *J. Phys.: Condens. Matter* **20** 245106 (2008).

E-6 希薄 3 ヘリウム液面上の電子移動度測定

九州大学理学府^A 八山陽介^A, 矢山英樹^A, 吉崎聡一郎^A

液体ヘリウム液面に垂直上向きに直流電場を印加し電子を供給すると、電子は液面に押さえつけられ 2次元の電子系が形成される。この電子系の電気伝導度は液体ヘリウム表面の状態によって変化する。この 2次元電子系を用いて、Andreev が提唱した「希薄 3He は 4He の表面に 2次元層を形成する」という理論を確かめる実験を計画している。今回はその前実験として、純 4He 上での電気移動度の温度依存性を測定し他の実験値と比較した。実験には希釈冷凍機を用い、150mK~1.4K の温度領域で測定を行った。その結果を図中の“○ (our data)”で示す。過去の実験と同様に、0.8K 以上の温度領域では He ガス、0.8K 以下ではリップロンによる散乱が支配的であることを示す電気伝導の温度依存性を確認できた。さらに、300mK には、電子系の Wigner 結晶への転移による電気伝導度の減少が観測された。

E-7 高エネルギー X 線回折実験による熔融 NaI-AgI 混合系の静的構造

琉球大理^A, 新潟薬大薬^B, 九大院理^C, JAEA/J-PARC セ^D, JASRI/SPring-8^E
田原周太^A, 島倉宏典^{B,C}, 八尋惇平^C, 川北至信^D, 尾原幸治^E, 小原真司^E, 武田信一^C, 深水孝則^A

AgI は高温固体相で I イオンが結晶構造を形成する一方、Ag イオンが速い拡散を示す超イオン導電体として有名な物質である。我々は AgI の高温熔融状態における高エネルギー X 線回折実験及び中性子回折実験を行い、両回折データを同時に満たすような逆モンテカルロ (RMC) 構造モデリングによって詳細な構造解析を行ってきた [1,2]。その結果、構造因子 $S(Q)$ の 1197 π -1 付近に観測される first sharp diffraction peak (FSDP) が Ag イオンの中距離の構造揺らぎに起因していることなどがわかった。その後、熔融 AgI に RbI を 20mol

References [1] Tahara, et al., J. Phys.: Condensed Matter 23 (2011) 235102 [2] Kawakita, Tahara et al., J. Phys.: Condens. Matter 19 (2007) 335201 [3] Tahara et al., J. Phys. Soc. Jpn. 79 (2010) Suppl. A, p. 133

E-8 インテリジェント触媒の自己再生機能に関する第一原理熱力学計算による研究

琉球大理^A, 阪大院工^B, 阪大産研^C, 東北大 WPI-AIMR^D 柳澤将^{A,B}, 魚住昭文^C, 武田篤哉^B, 濱田幾太郎^D, 森川良忠^B

自動車の排ガス浄化触媒での Pt, Pd, Rh 等の貴金属の使用を抑えるため、近年、自己再生インテリジェント触媒が提案された [1]。従来の触媒では酸化アルミニウムなどに担持された貴金属ナノ粒子は高温高圧の雰囲気中に曝されると粒子成長し、活性が低下していた。それに対し自己再生触媒では、酸化/還元雰囲気の変動に応じてナノ粒子が担持ペロブスカイト上で固溶/析出を繰り返して粒子成長が起こらず、活性低下が抑えられ [1] 貴金属の使用も少量で済む。

自己再生の機構の詳細は不明な点が多く、現在、現象の原子・分子スケールでの基礎研究が求められている。本研究では第一原理熱力学計算 [2] を用い、貴金属粒子の母体ペロブスカイトでの固溶析出特性を理論的に検討し、材料の最適化に資することを目的とした。

様々な母体ペロブスカイトを評価・検討するためペロブスカイトや貴金属のバルク状態を考慮し、実際の排ガス条件に近い酸化還元雰囲気下で、固溶/析出状態の安定性の酸素化学ポテンシャル依存性を評価した。

結果、高い実用可能性が報告された LaFeO_3 や CaTiO_3 母体での Pd, Rh, Pt の固溶析出の安定性 [1] を、本研究の計算手法によって半定量的に再現できることが分かった。この知見をもとに、様々なペロブスカイトでこれら貴金属の固溶析出の特性を評価し、新たな材料の候補の提案を試みた。また、安価な触媒金属として期待される Cu や Fe の固溶析出も同様に評価した。

参考文献：[1] Y. Nishihata et al, Nature **418**, 164 (2002); H. Tanaka et al, Angew. Chem., Int. Ed. **45**, 5998 (2006). [2] K. Reuter and M. Scheffler, Phys. Rev. B **65**, 035406 (2001).

E-9 シリコンバンド構造に及ぼす歪みの効果

琉球大理^A 稲岡毅^A, 金城悠希^A, 柳澤将^A

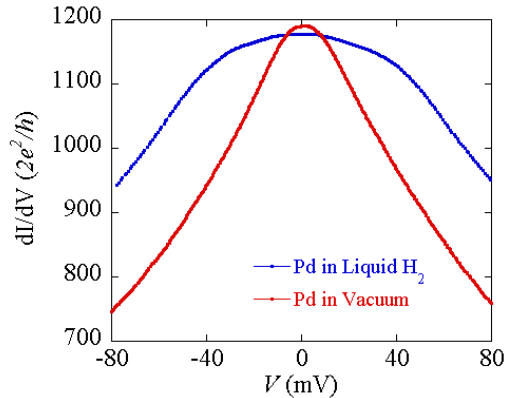
微細化による Si 電子デバイス的高速化も限界に近づき、近年、格子歪みによりキャリア移動度を向上させる努力が続けられている。Si のバンド (伝導帯、価電子帯) は著しい異方性を持ち、バンド異方性と印加した歪みの方向、伸縮のシナジー効果により、顕著なバンド構造の変化や高機能の物性の出現が期待される。Si 表面 (界面) のサブバンド構造に及ぼす歪みの効果を理解するための基礎として、本研究では、現代版 kp 法と第一原理計算を相補的に併用し、歪みが Si バルクバンド構造に及ぼす効果を解析する。バンド異方性に注意しながら、1 軸および 2 軸歪みを印加したときの価電子帯頂上付近の分散の変化を解析する。p 型キャリアの移動度を向上させるためには、歪みにより価電子帯頂上で縮退が解けて、そのとき一番エネルギーの高い第 1 価電子帯の有効質量 m^* が低下することが望ましい。例えば、[100] 方向 (x 軸方向) に 1 軸歪み (uniaxial strain) を印加したときの第 1 価電子帯の有効質量 m^* の角度依存性を考える。角 α を、 $k_x - k_y$ 面内にある波数ベクトル k と k_x 軸がなす角とする。 $\alpha = 0, \pi/2$ はそれぞれ [100]、[010] 方向に対応する。 $\alpha = \pi/4$ の近傍では、歪みの有無に依らず、波数がゼロから大きくなると、エネルギーが速やかに放物型分散から上側にずれていく。しかしそれ以外の方向では、歪みの有無に依らず、 Γ 点のバンド頂上から数 10meV の範囲 (室温、通常の不純物密度を想定) では、バンド分散が放物型になる。圧縮歪み (compression) を印加すると、歪み方向での m^* が著しく低下し、 $m^*/m_e = 0.18$ となる。一方、引っ張り歪み (tensility) を印加すると、歪みと垂直な方向での m^* が著しく低下し、 $m^*/m_e = 0.21$ となる。また、歪みの大きさ 0.5%、2.0% とで m^* がほとんど同じであり、比較的小さい歪みでも十分な歪みの効果が得られることが分かる。その他の歪みについても、当日報告する。

E-10 電気伝導測定を用いた液体水素中 Pd ナノワイヤの水素吸蔵効果の探究

九州大学大学院工^A, 九州大学工^B, 金沢大学教育^C 大西雄貴^A, 家永紘一郎^A, 高田弘樹^B, 稲垣祐次^A, 辻井宏之^C, 河江達也^A

Pd は水素吸蔵金属として知られており、Pd に対する H 原子の表面吸着、内部吸蔵・拡散や、Pd-H 固溶相の内部構造について調べられてきた。さらに近年、Pd ナノワイヤに対する微分伝導度測定を行うことによって、Pd 内部に吸蔵された水素原子の振動励起に対応したシグナルが観測できると報告されている [1]。そこで我々は、低温において支配的になると言われている Pd 内部への H 原子のトンネル効果による拡散過程の実験的検証を行うために、液体水素中 (20K) で Pd ナノワイヤを作成し経時的に電気伝導測定を行った。Pd ナノワイヤの作成は、液体水素中で Pd ワイヤの破断接合を制御することで行った (MCBJ 法)。図は液体水素中での Pd ナノワイヤの電気伝導測定の結果である。この結果から吸蔵した H 原子由

来のシグナルが観測された。今回の講演では、液体水素中における電気伝導測定から得られたさまざまな結果を報告する。[1]Sz. Csonka et al. Phys. Rev. Lett 93, 016802 (2004)



E-11 圧電体粒子のホールバーニング現象

久留米大医物理^A 鶴岡富士雄^A

ホールバーニング現象は光吸収の分野において広く研究され、吸収過程や記憶装置への研究がされて来た。要件は 1: 共鳴吸収体がある 2: 多数の共鳴体がある吸収周波数を少しずつ変え、全体として吸収スペクトルが広く、緩やかに分布する 3: 多くのエネルギー印加により対応する共鳴周波数をもつ吸収体のみ、吸収の性質を変える。これは吸収スペクトル上に“ホール”として痕跡を残す。このような条件は圧電体粒子群においても満たされる。圧電体ではその大きさ、厚さに依存した共鳴周波数があり、多数の厚さの異なる圧電体群では条件 1, 2 が満たされる。大振幅の振動励起電場の印加により圧電体には塑性変形がもたらされ、条件 3 が満たされ、圧電体群でホールバーニング現象が観測される。

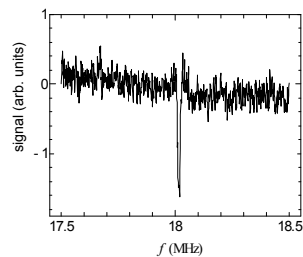


図. 書き込まれたホール (中央図)

E-12 電磁誘導起電力の測定による動摩擦係数の評価

熊本大教育^A, ルーテル学院高等学校^B 岸木敬太^A, 松石理那^A, 板橋克美^A, 上野開^B

電磁誘導は発電機の原理であり高校, 大学のみならず中学校においても非常に重要なテーマの一つである. 高校や大学の教科書では, ローレンツ力によっても電磁誘導が理解できるという説明がされており, 平行な二本の金属レール上におかれた導体棒を移動させるモデルが取り上げられている.

教科書に使用されている点からも, そのようなモデルは, 中学, 高校の理科教員養成課程の実験テーマとして, 教育効果が非常に高いと考えられる. 近年は, パソコンに接続可能な高性能のデジタルマルチメーターが数多く存在し, 自動計測を簡単に行うことができる. そのため我々は, 高校教科書に紹介されているモデルによる実験を試みた. 結果として, 2万円程度で, 誘導起電力の自動計測を行い, レールと導体棒間の動摩擦係数を評価することができた.

また, 本学の理科3年生(18名)の物理実験のテーマにしアンケートを回収した. 学生らに対する教育効果や課題点についても報告する.

E-13 日本付近の静止衛星観測画像における時系列解析とその時系列データの挙動

琉球大学理学部物質地球科学科^A 島袋知巳^A, 清野光弘^A

本研究では, 静止気象衛星 MTSAT-2 によって観測された赤外画像および水蒸気画像の気象衛星観測画像データについてフラクタル分析に基づいた画像処理解析を行い, フーリエスペクトルおよび移動平均法によるトレンドをそれぞれ分析した. 解析に用いた時系列データ $J^{(Year)}(Time)$ の離散フーリエ変換からパワースペクトル $P^{(Year)}(f) = \left| \frac{1}{T} \sum_{\tau=0}^{T-1} J^{(Year)}(\tau) e^{-i2\pi f\tau} \right|^2$ を計算し, パワースペクトルから観測されるピーク間隔を調べると, 周期的に出現することが分かった. また, このピーク間隔を用いて, 移動平均法により移動平均曲線を求めた. さらに, 収斂する時刻から時系列データの様相を調べた.

E-14 インダクタンス測定によるバネの振動の観測

佐賀大学大学院工学系研究科物理科学専攻^A 村中良^A, 坂井大地^A, 大島洋平^A, 豊島耕一^A, 平良豊^A, 遠藤隆^A

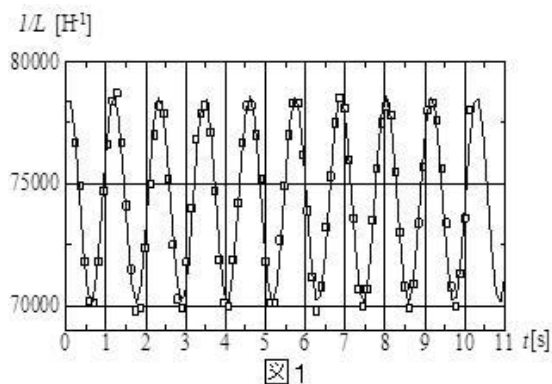
ばねの長さの変化を測定するためには、何らかのセンサーを用いる。しかし、振動によってのびぢみすれば、インダクタンスが変化するので、その変化を測定することによって、他のセンサーを用いることなく振動を記録することができた。ここでは、LCR メータを用いて実験し、データをパソコンに取り込んだ。

測定の結果、バネの相対的な伸びとインダクタンスの相対的な変化の関係を示すグラフが得られ、直線にはなったが、傾きは理論値と異なった。また、ばね振り子を振動させた場合のインダクタンスの時間変化を実際に測定することができた。(図1)

ソレノイドコイルは、配線や周囲の環境の影響を受けやすいのでセンサーとして用いることは難しいが、バネの場合は、それ自体がセンサーとして利用できるため、簡単に測定することが

できた。

これらの結果をもちいて、連成振動について行うことができた。ふたつのバネが共振し、ラビ振動を行うことを確認し、その動きをグラフにすることができた。



E-15 九大新入生の物理基礎学力変化

九州大学大学院理学研究院^A 武田信一^A

平成18年度からの物理履修状況の変化に対応して、理系新入生に整合性のある初年次教育を行う必要性から、理学研究院物理学部門では新入生の物理基礎学力の状況を把握するために教科書の標準的な問題を作成し、講義の始まる前に平成17年度は一部の理系学生に、また平成18年度から平成20年度までの3年間は全学的に同一問題で基礎学力調査を行ってきた。その結果によると「投げ上げの問題」、「理想気体の仕事」、「磁界の中で電流が流れるとき受ける力の定性的な2者択一の問題」などの問題は正答率が良いが、「衝突の際の力積」、「バネの位置エネルギーの時間変化をグラフに書く」、「キャパシターを直列に接続したときの前後での静電エネルギー」、「進行波の式と波の速さ」等は低得点の結果が得られていた。

この調査は21年度からは全学的規模では行われなくなったが、筆者は担当する歯学、医・保健検査の学生に対しては平成24年度まで行って来たのでそれらの年次変化や傾向などについて及び力学基礎・同演習の講義にどのように対応して行ったかについて報告する。右図は歯学部についての正解率の結果を示す。

