

ATI News

第 31 号

2021 年 4 月

— 目次 —

1. 巻頭言	評議員	徳本 洋志	1
「 AI(機械学習)で応用物理学分野が変わる 」			
2. 研究アラカルト	スピントロニクス		2
「 らせん磁性の研究 」			
	研究会員	永長 直人	
3. 研究助成成果発表会 開催記	事務局		10
4. 公開フォーラム 開催記	事務局		11
5. コーヒーブレイク	専務理事	山本 隆章	12
6. 新オフィス 紹介	事務局		13
7. 第 10 期 研究会 コンセプト	各研究会委員長		14
8. 受賞紹介	事務局		17

< 巻 頭 言 >

AI（機械学習）で応用物理学分野が変わる

評議員 徳本洋志（株式会社アールデック、株式会社三友製作所技術顧問）



21 世紀になり計算環境の充実、情報科学の進歩、ビッグデータの収集・蓄積体制の整備と、AI 技術が社会を大きく変革している。将棋 AI を駆使した若手棋士藤井聡太君の驚異的な活躍や、頻発する高齢者の事故防止のための自動運転、新型コロナウイルスの感染傾向の適切な把握、など AI 応用に関するニュースが毎日のように耳に入ります。世界経済に目を向けると、新型コロナウイルス蔓延のため大きく落ち込んだ GDP を早期に回復しようと、米国、中国、欧州各国を中心に熾烈な AI 覇権争いが繰り広げられている。AI に関する国際会議の参加者数や論文著者数から見ると、米国（中国やインドの大学を卒業後、米国へ留学・就職するケースも含む）が断トツで中国・欧州が続いている。日本は少し後塵を拝しているようであるが AI の重要性は十分に認識され、総合科学技術・イノベーション会議では「数理・データサイエンス・AI 教育」について議論・提言がなされ、菅政権はデジタル庁の設立を目指す、など政府を挙げて技術開発の加速や人材育成をする動きがある。日本の若手研究者が海外へ積極的に踏み出すことも含め、政府の音頭取りを無用にしないことを願うばかりである。

社会を大きく変革している AI 技術（中でも、機械学習や深層学習）は、応用物理学分野でも例外ではなく、材料・デバイス・計測分野において急速に展開をみせている。その様子を見るために、応用物理学学会学術講演会の講演リストにおいて機械学習・深層学習・インフォマティクスというキーワードで検索してみた。機械学習や深層学習が可能になったといわれている 2015 年に発表が見られはじめ、その後、回を追うごとに発表件数が大きく伸びている。中でも材料分野ではデータ科学を使った新しい材料開発（新物質開発、構造・物性予測、など）の推進のため、2020 年に応用物理学学会に新領域グループ「インフォマティクス応用研究グループ」が設置されたことは特筆に値する。その他、応用物理学分野の研究に機械学習法が浸透しつつある事例をいくつかピックアップしてみる。

デバイス作製のキー技術である MBE や MOVPE による薄膜成長では、成長レシピが複雑であるとともにデータが膨大で、高品質化には多大の時間とコストを要するのが現状である。そこで機械学習法を導入し高効率かつ高品質に薄膜を成長させようという動きがあり、すでに世界に目を見張る成果も出つつある。イオン注入・素材プロセス・エッチングなどの材料プロセスにおいても制御パラメータ数が非常に多く、プロセスの最適化・デバイス動作特性の予測などが困難になっている。機械学習により克服する動きが始まっている。

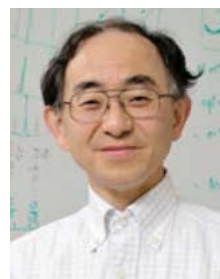
薄膜成長中の基板表面が温度・材料の供給量などによって変化する様子は RHEED によりその場観察されているが、その解析には熟練性が必要とされている。さらに、回折スポットの強度が成長とともに振動する現象から成長速度や膜厚を求めているが、時々刻々変化するビデオ画像のほとんどは解析されないままである。すべての情報を効率的に使うことができるよう機械学習法の導入が試みられている。SPM 技術分野（画像取得・認識・解釈に加えて探針の自動作製・評価も）や FIM 分野の原子レベルの静的・動的挙動を理解するためにも機械学習法が適用され始めている。

以上に、応用物理学分野で機械学習を適用することにより熟練者でなくても使いこなせる技術・装置開発が始まっていることを記載してきた。一方、JST の先端計測分析技術・機器開発プログラムの評価委員会に参加する機会を得たが、その中で「我が国における先端機器の開発はハード面に力が注がれ性能は優れているが、ソフト面が手薄で非常に使いづらい」という指摘が多くあった。今後、機械学習も含めてソフトの充実を図ることが重要である。今後の大きな進展を期待したい。

らせん磁性の研究

永長 直人 スピントロニクス研究会

(理化学研究所創発物性科学研究センター 副センター長、
東京大学工学系研究科 教授)



小さいときにらせんをぐるぐる回して遊んだ記憶がある方も多いのではないのでしょうか？らせんの一点に着目していると、どんどん進んで行って端まで到達して消えてゆくのを眺めて、不思議な感覚を覚えたことを思い出します。古くは「アルキメデスのらせん」というのがあって、現在でもポンプとして実用になったりしています。(図1) らせんは、DNAの2重らせんを代表として自然界に多く現れますが、らせんの回転の向きが左向きか右向きか、という「カイラリティ」という自由度があって、対称性の観点からも非常に興味深い対象です[1]。地球上の生命のDNAがすべて右手系であるという事実は、それらが一つ祖先をもつ証拠とみなされています。弱い相互作用が右と左を区別しているという結果は、物理学の基本法則が対称性を破っているという驚くべき事実を明らかにしました。そして、本稿でお話したいのは、磁性体に現れるらせん構造がやはり数多くの面白い物性をもたらすことです。

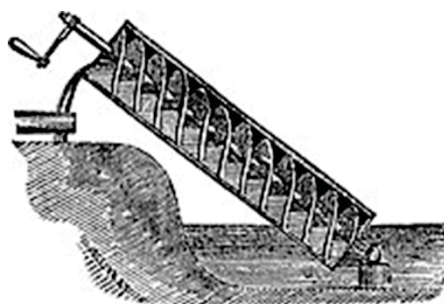


図1. アルキメデスのらせん。らせんを回転させると水をくみ上げるポンプとして働く。Wikipediaより転載。

電子がスピンという固有の内部自由度に付随する磁気モーメントを持つことは、相対性理論と量子力学を合わせた Dirac 方程式から導出できることですが、直感的には電子の自転運動としてしばしば説明されます。回転の向きが時計回りか、反時計回りか、ということが磁気モーメントの向きが上下の2つの状態に対応します。これをそれぞれ $|\uparrow\rangle, |\downarrow\rangle$ と書くことにします。この2つの状態は、計算機で使われる「ビット」に対応しますが、古典的な2状態ではなくて、量子力学的な状態は「重ね合わせ」として複素数 $c_\uparrow, c_\downarrow$ を用いて

$$|\Psi\rangle = c_\uparrow |\uparrow\rangle + c_\downarrow |\downarrow\rangle \quad (1)$$

と書いて連続自由度を持ち得るので、「量子ビット」と呼んで古典的なビットと区別されています。この連続自由度は、磁気モーメントが向く方向に対応しています。電子の電荷が $-e$ であることに対応して、スピンの向きと磁気モーメントの向きは逆方向を向いていますが、以下ではスピンの向きに統一してお話したいと思います。

1. らせん磁性体の提唱

誇らしいことですが、らせん磁性研究の源流はわが国にあります。1959 年の吉森昭夫

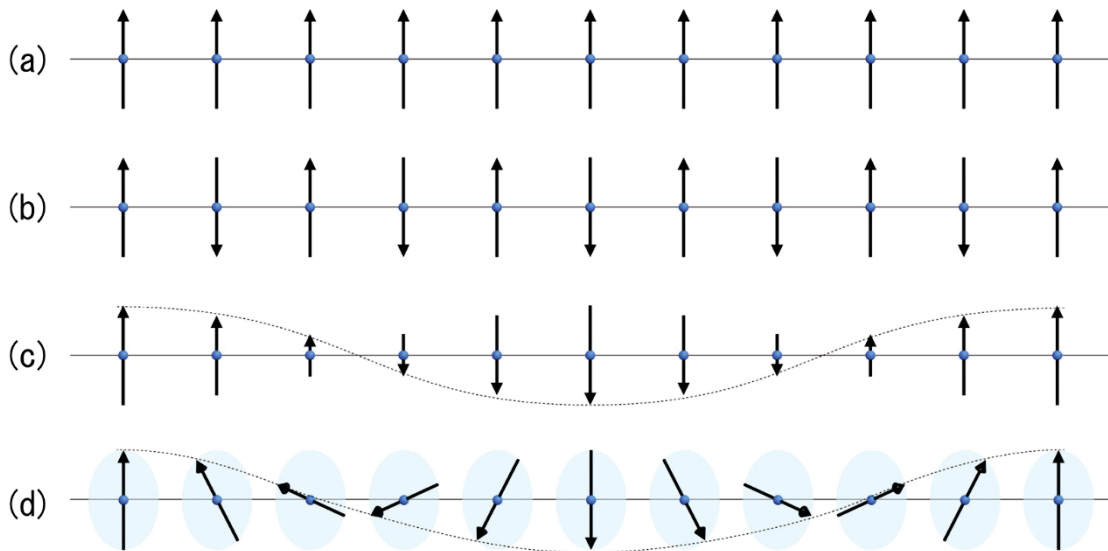


図 2. さまざまなスピン構造。(a)強磁性、(b)反強磁性、(c)共線スピン波構造、(d)らせん構造
先生の論文[2]が、初めてスピンのらせん構造を持つことを提唱しました。この論文では、 MnO_2 のスピン構造を説明するために、ルチル型結晶で体心正方格子点上のスピン間の反強磁性相互作用のあいだに競合が存在する場合にはらせん構造が現れることを示しました。

この時の鍵は、絶縁磁性体ではスピンの長さが一定で伸び縮みしないということです。図 2 でそれを説明しましょう。強磁性体ではスピンの向きがすべて同じ方向を向いていますし(図 2 a)、反強磁性体では隣り合ったスピンは反平行になろうとする(図 2 b)ので、交互に逆方向を向くことになります。これらの状態は、スピンの向きがある直線状にあるという共通の性質を持つので、「共線構造」と呼ばれています。この反強磁性的な相互作用が隣だけでなく第 2 隣接原子間にも働く場合には、両者の仲裁を取ろうとして一般の周期を持つ構造が現れます。この場合にも共線構造という制約を課すとスピンの長さが原子ごとに変わることがわかります。図 2 c では、10 倍周期の場合を示していますが、極端な場合として 4 倍周期の場合を考えると j 番目の原子のスピンの大きさは $\cos(\pi j/2)$ に比例するので、半数の原子ではスピンの長さが 0 になってしまいます。ところで、スピンの向きが相殺せずに生き残るのは、電子間のクーロン反発の効果です。1 つの電子がある原子軌道に居たときに、2 つめの電子はパウリの排他律のために逆向きのスピンを持つ必要があります。このために 2 重占有された軌道はスピンの向きが相殺することになります。クーロン斥力はこの 2 重占有を排除するためにスピンの向きが生き残るわけです。絶縁磁性体とはこのクーロン斥力によって絶縁化した「モット絶縁体」と呼ばれて通常のバンド絶縁体と区別されています。さて、このモット絶縁体ではスピンの長さを短くすることは 2 重占有の確率を増やすことに対応するのでクーロンエネルギーのコストが大きくなるために、簡単には起こらないのです。そうすると、共線構

造の仮定を捨てて、スピンの大きさを保ちながら回転するという選択を取ることであります(図2d)。以上が吉森理論の本質で、非共線構造の物理の端緒となる画期的な仕事だったので。上述の量子ビットのところで述べたように、スピンの向きを持つことは、その量子力学的な性質が顕著に現れることを意味しています。また、らせん磁性のスピン波を含む広範な理論研究は永宮健夫先生によってなされています[3]。

らせん磁性の歴史を語る上で外せない理論の仕事がもう2つがあり、やはり日本人の学者が大きな寄与をされています。一つは、ジャロシンスキー・守谷(守谷亨)相互作用と呼ばれるものです[4], [5]。今までは電子の自転運動であるスピンに着目しましたが、電子は同時に軌道運動も行います。このスピンと軌道の間には、やはりDirac方程式から導かれる相互作用—スピン軌道相互作用—が存在します。この相互作用を固体中のスピン間の相互作用に適用すると、2つのスピンの中点が反転対称中心でない場合に、

$$\vec{D} \cdot (\vec{S}_i \times \vec{S}_j) \quad (2)$$

という形の相互作用が現れることを、ジャロシンスキーと守谷が示しました。この $\times$ は外積を表していますので、スピンの「ねじれた」つまり非共線構造を持つ場合にエネルギー利得が生じることを意味しています。

もう一つの仕事は、4人の研究者 M. A. Ruderman, C. Kittel, T. Kasuya (粕谷忠雄)、K. Yoshida (芳田奎) の頭文字を取って RKKY 相互作用と呼ばれる相互作用です[6]。この仕事は伝導電子との交換相互作用を通じて局在スピン間に働く相互作用が伝導電子のフェルミ波数の2倍の波数で振動することを示したもので、やはり非共線構造の起源となります。

以上では理論家の仕事を紹介しましたが、らせん磁性に関しては、日本の実験家も重要な寄与をしています。詳しく述べる余裕はありませんが、石川義和先生[7]、伊達宗行先生[8]、遠藤康夫先生[9]など世界の磁性研究を牽引されてきた方々のお名前を見出すことができます。以下では、これらの磁性研究の伝統の上に現在進行中の研究について述べます。

2. マルチフェロイックス

らせんが左か右かという「カイラリティ」の自由度を持つと述べましたが、群論の言葉では、反転対称性と鏡像対称性を破っていると表現されます。物理学では、この空間構造に関する対称性の他に、時間反転対称性が重要な役割を演じます。スピンに関して言えば、時間反転の操作を加えると、その自転回転の向きが逆向きになるのでスピンの向きが反転します。それで、スピンの秩序が発生した場合には時間反転対称性が破れます。従って、らせん磁性が発生すると空間反転と時間反転の2つの対称性が同時に破れることになり、このような現象をマルチフェロイックス現象と呼びます[10]。そもそもは反転対称性を破った絶縁体に特徴的な強誘電と磁性秩序がマンガン酸化物で同時に起きるという実験的な発見[11]によって拓かれた研究分野ですが、桂らの理論模型[12]でらせん磁性がスピン由来の電気分極をもたらすことが示されて以来、実験と理論が協力する形で研究が進展しました。その電気分極の発生機構にはスピンの量子性—特にスピントラントーが重要な役割を果たしています。

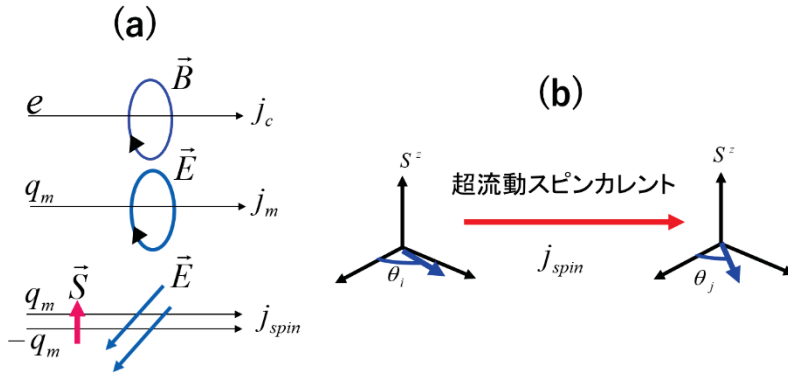


図3. スピンカレント機構による電気分極

対であるスピン、つまり磁気双極子しか存在しないので、それぞれの電場を重畳したものが発生することになります。つまりスピン $\vec{S}$ とその速度 $\vec{v}$ のベクトル積の方向（あるいはその逆向き）に電場が発生することが予想されます(図 3a)。これはスピンカレントによって電気分極が発生することを意味しています。これが、話の半分で、つぎはらせん磁性がスピンカレントをもたらすことを説明します(図 3b)。ここでスピンの量子性が顔を出すのですが、その基本はカノニカル共役関係というものです。スピンがある面内に回転する場合には、その角度 θ とそれに垂直な方向のスピン成分 S_z の間に、ちょうど座標と運動量の間のような交換関係が成立します。少し天下りのですが、超伝導のジョセフソン効果との類推がここで成立し、隣り合ったスピンの角度 θ に差があると両者の間に S_z の「超流動流」が流れることが示せます。このスピンカレントが電気分極をもたらすのですが、その時にはスピン $\vec{S}$ とその速度 $\vec{v}$ のベクトル積が必要であることから、スピンの回転面の向きが重要です。このことは電気分極 $\vec{P}$ に対するコンパクトな表式

$$\vec{P} \propto \vec{e} \times (\vec{S}_i \times \vec{S}_j) \quad (3)$$

によって表現されます[12]。 $\vec{e}$ は2つのスピンを結ぶ方向ベクトルで、 $\vec{S}_i \times \vec{S}_j$ は2つのスピンのベクトルスピカイラリティと呼ばれています。これは上述のジャロシンスキー・守谷相互作用の逆とも言えるので、「スピンカレント機構」という名の他に「逆ジャロシンスキー・守谷機構」とも呼ばれていますが、マルチフェロイックス研究の指導原理として多くの物質探索と物性開拓の指針となりました[10]。その一例としてらせんの回転の向きが逆転すると、電気分極の向きも逆転する現象があります。これは、結晶構造ではなくてスピンの構造が電気分極を決めていることを明白に示す実験結果と言えます。

3. らせん磁性によるインダクタ

らせん磁気構造を見ていると、中学生のときにコイルを巻いてモーターを作ったことを思い出します。それなら、らせん磁性体はコイルと同じ働きをしないだろうか、という素朴な疑問が浮かびます。実は、この考えに沿ってらせん構造に交流電流を印可すると、その微分に比例した電圧が発生するという理論提案を行いました。これはインダクタンスそのものです。従来、インダクタンスはファラデーやマックスウェル以来の古典的なコイル構造

図3でそれを説明しましょう。電磁気学では電荷 e の運動はその周りに磁場を発生します。

これと双対の現象として（実際には単独では存在しませんが）磁荷 q_m の運動はその周りに電場を発生します。ところが実際には磁荷 q_m と磁荷 $-q_m$ の

で作られており、そのインダクタンスは巻き数と断面積に比例するために小さくすることが困難でした。このインダクタに量子力学的な原理を持ち込むことができないかと考えたわけです。

この「量子力学的な原理」ですが、これはスピンの作る「創発電磁場」によって記述されます。簡単に説明すると傾いたスピンと結合した動く電子（伝導電子）は、その移動の際に位相因子 $e^{i\vec{a}\cdot\vec{e}}$ を得るという原理で、 $\vec{a}$ が移動の前後の原子におけるスピンによって決まるベクトルポテンシャルの働きをする量で、 $\vec{e}$ は両原子を結ぶベクトルです。この $\vec{a}$ から通常の電磁場と同様に電場や磁場が定義されますが、それらは伝導電子に電磁場として働きます。これを創発電磁場と呼んでいます。創発電場 $\vec{e}$ と創発磁場 $\vec{b}$ はそれぞれ $\vec{n}$ をスピンの向きを表す単位ベクトルとして

$$e_i \propto \vec{n} \cdot (\partial_t \vec{n} \times \partial_i \vec{n}) \quad (4a)$$

$$b_i \propto \varepsilon_{ijk} \vec{n} \cdot (\partial_j \vec{n} \times \partial_k \vec{n}) \quad (4b)$$

で与えられます[13]。ここで、 ε_{ijk} は完全反対称テンソルと呼ばれるもので ∂_t は時間微分、 ∂_i は i -方向の空間微分を表しています。これは空間微分が含まれていることから非共線スピン構造が創発電磁場をもたらすことを示しています。

らせん構造に(4a)式を適用すると、創発電場 $\vec{e}$ がスピンの回転面に垂直なスピン成分 S_z の時間微分に比例することが導けます[14]。そして、スピン移動トルク効果という、伝導電子の電流とスピンの相互作用から来る効果を考えると、 S_z は電流密度 j に比例することがわかります。両者を合わせると結局電流密度 j の時間微分に創発電場 $\vec{e}$ が比例し、これが実際の電圧降下として観測されることになります。この理論的予言は最近の実験によって実証されています[15]。反転対称性を持ち、伝導電子に媒介された上述の RKKY 相互作用をもつ希土類化合物 $\text{Gd}_3\text{Ru}_4\text{Al}_{12}$ において、らせん構造を含む様々な短周期スピン構造が見いだされています。この物質の交流応答を調べた結果、らせん磁気相や縦型コニカル相といった非共線の磁気相で大きなインダクタンスが生じ、その値は数百ナノヘンリー程度であることがわかりました。この値は一般的に使われているインダクタンス値に匹敵する大きさですが、素子の体積は、従来型の小型インダクタンスと比べて10万分の1程度です。これは電流を一定にしたとき電流密度が断面積に反比例することの結果で、インダクタの微細化への突破口を開いたと考えています。

4. スキルミオン

今までのお話は、一つの波数ベクトルを持つらせん構造に限っていました。次には、複数の波数ベクトルのらせん構造を重畳すると何が起こるかについて考えます。この場合は、単純にフーリエ成分を足し合わせて $\vec{S}(\vec{r})$ を作ると、その大きさが $\vec{r}$ に依存してしまいます。これを補正するために $\vec{n}(\vec{r}) = \vec{S}(\vec{r})/|\vec{S}(\vec{r})|$ と規格化することになると、これは実空間から単位球への写像を定義することになります。

その中でも平面上で互いに 120 度の角度を持つ 3 つの波数ベクトルのらせんを重畳すると、スキルミオン (skyrmion) 結晶状態が得られることが知られています [16]。中心から外側へ向かってスピンの向きを見ると、らせん状になっていることがわかります。この状態では、スピン構造が非共面（同一平面上にない）で、立体角を持ちます。このことから、(4b) 式で与えられる創発磁場が生じ

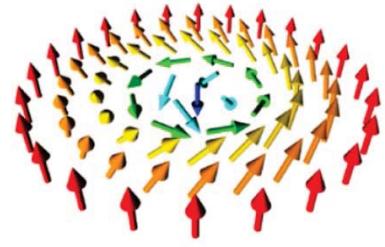


図 4. スキルミオン構造

ることになります。この創発磁場は、伝導電子のホール効果（トポロジカルホール効果と呼ばれています）を誘起することが期待されますが、実際に数々の物質で観測されています。歴史的経緯を述べると、スキルミオン結晶の発見は MnSi という反転対称性が破れた結晶構造を持つ磁性体において中性子散乱実験におけるブラッグ反射から提案された [17] のがきっかけですが、その後薄膜における透過型電子顕微鏡によって実空間での観測が行われて確証が得られました [18]。特に、後者では、結晶から離れた領域に単独の「粒子」としてスキルミオンが安定に存在していることが見いだされ、そのダイナミクスも含めて一気に研究が広がりました。図 4 はその模式図です。この多数のスピンからなる「粒子」は、2 次元空間から単位球への写像に伴うトポロジカル数

$$N_{sk} = \frac{1}{4\pi} \iint dx dy \vec{n} \cdot (\partial_x \vec{n} \times \partial_y \vec{n}) \quad (5)$$

によって特徴づけられます（-1 の値を取ります） [16]。この整数はスキルミオン数と呼ばれていますが、(4a) 式から、創発磁場の積分であることがわかります。

このスキルミオンは、力に対して垂直に動くなど磁場下の荷電粒子のように振舞います。一方で、上述したスピン移動トルク効果では電流と逆方向にその運動が駆動されます。その際に必要な電流密度が、磁壁など他の磁気構造に比べてけた違いに小さいことが予言、観測されており、その安定性と高い易動度から情報担体としてスキルミオンを応用しようとする研究も進んでいます。また、スキルミオンが運動すると創発磁場 $\vec{b}$ が時間変化することになり、電磁誘導の原理で創発電場 $\vec{e}$ が発生します。この効果も、トポロジカルホール効果の変化分として観測されています。

スキルミオン研究は、3 次元的なスピン構造へと発展しています。スキルミオンは基本的には 2 次元の構造ですが、有限の厚さを持った試料では外部磁場方向に延びたひも状の構造（ストリング）となります。このストリングをねじって 2 つの端点を結びつけるとホフイオン (Hopfion) という 3 次元的なトポロジカル構造となります。さらに興味深いのは、磁気単極子の構造です。スキルミオン結晶の場合は平面内の 3 つの波数ベクトルでしたが、これを互いに直交する x, y, z の 3 つの方向にとってらせんを重畳すると、 $\vec{S}(\vec{r}) = \vec{0}$ となる点が現れます。そこでは $\vec{n}(\vec{r})$ が特異性を示すのですが、その点周りで $\vec{b}(\vec{r})$ を計算すると創発磁場の湧き出し、あるいは吸い込みとなっていることがわかります。つまり、通常の電磁場には磁気単極子は存在しません（あるいは今まで見つかっていません）が、創発電磁場に対する磁気単極子は存在しうるのです。この磁気単極子（と反磁気単極子）の結晶状態は実際 MnGe という物質において見つかっています [19]。この物質では、磁場を変えていったとき

に電気抵抗が異常な振る舞い（増大）をするのですが、この増大は磁気単極子と反磁気単極子の対消滅の相転移に伴う揺らぎの増大効果として理解されています。

5. 非相反効果

らせん構造が反転対称性を破っているために、自然旋光性を持つことは古くから知られています。直感的に言うと、光の円偏光が右か左かということと、らせんが右回りか左回りかという相対関係で光学応答が異なることは容易に想像できます。らせん磁性の場合には、加えて時間反転対称性が破れているために、さらに興味深い現象が起こります。例えば、上述のマルチフェロイックスらせん物質では、円偏光でなくても光の進行方向によって誘電率が異なる電気磁気光学効果が観測されています。これらは、線形応答の効果ですが、電場に対して2次以上の非線形応答になるともっと豊富な物理現象・効果が現れます[20]。その一例は磁気カイラル異方性と呼ばれている現象で、電気抵抗 R が電流 I と磁場 B に依存して

$$R = R_0(1 + \gamma BI) \quad (6)$$

という実験式に従うという現象です。これは電流の向きによって、非線形電気抵抗が異なるという非相反効果で、磁場の向きによって整流効果の向きが逆転することを意味します。この効果は、いくつかの物質によって観測されていますが、らせん磁性体でも観測されています。これらの微視的理論は端緒についたばかりですが、今後の発展が期待されています。

6. 今後の展望

らせん磁性の研究は、以上に述べてきたように広範な発展を見せています。その本質はスピンが2状態であるにもかかわらず、重ね合わせの原理によってあらゆる方向を持ち得る「量子ビット」であって、それが多数集まった時に「創発現象」が発現するということです。異なるスピンの間の関係を与えるのがベクトルポテンシャル $\vec{a}$ であり、これは数学の言葉では微分幾何学における「接続」に対応しますが、物理では「ベリー位相」と呼ばれています[21]。らせん磁性の問題は、固体中の電子状態に普遍的に存在する微分幾何学的な構造、物理の言葉ではゲージ構造がどのように物性に現れるか、を問いかけているのです。この観点から最近特に新しい問題として現れているのが、非線形光学効果です。磁気光学はやはり長い歴史がありますが、非線形光学となるとエネルギー分母と行列要素を含んだ複雑（煩雑）な式で表されていて、その中に美しい構造が見えなかったのですが、最近はその中でも光に応答する直流電流の表式が、微分幾何学的な構造を持つことが示されています[22], [23]。そこではベリー位相に加えて、量子力学に内在するクリストフェル記号やリーマン曲率といった一般相対性理論と同様の量が現れます[24]。特に反転対称性の破れた結晶において電場の2次の直流光電流はシフトカレントと呼ばれており、従来の光電流とは全く異なった性質を示します。マルチフェロイックスにおける低エネルギー磁気励起（エレクトロマグノン）を励起するとこのシフトカレントが誘起されるという理論予測もあります[25]。絶縁体で、ギャップよりもずっと低いエネルギーの光で直流電流が流れるというのは一驚に値

しますが、その実験的検証が待たれているところです。らせん磁性はこれからも多くの驚きを我々に見せてくれるものと思われ、読者の興味を少しでも喚起できれば幸いです。

参考文献

- [1] 自然界における左と右 マーティン・ガードナー (著), 坪井 忠二 (翻訳), (ちくま学芸文庫 2021 年)
- [2] A. Yoshimori, J. Phys. Soc. Jpn. **14**, 807 (1959).
- [3] T. Nagamiya, J. Appl. Phys. **39**, 373 (1968).
- [4] I. Dzyaloshinsky, J. Phys. Chem. Solids, **4**, 241-255 (1958).
- [5] T. Moriya, Phys. Rev., **117**, 635-647 (1960).
- [6] 芳田 奎『磁性』岩波書店、1991 年。
- [7] Y. Ishikawa et al., Solid State Communications **19**, 525 (1976).
- [8] M. Date, K. Okuda, and K. Kadowaki, J. Phys. Soc. Jpn. **42**, 1555 (1977);
K. Kadowaki, K. Okuda, and M. Date, J. Phys. Soc. Jpn. **51**, 2433 (1982).
- [9] B. Roessli, P. Böni, W. E. Fischer, and Y. Endoh, Phys. Rev. Lett. **88**, 237204 (2002)
- [10] Y. Tokura, S. Seki, and N. Nagaosa, Rep. Prog. Phys. **77**, 076501 (2014).
- [11] T. Kimura, et al., Nature **426**, 55-58 (2003).
- [12] H. Katsura, N. Nagaosa, and A. V. Balatsky, Phys. Rev. Lett. **95**, 057205 (2005).
- [13] G. E. Volovik, J. Phys. C **20**, L83 (1987).
- [14] N. Nagaosa, Jpn J. Appl. Phys. **58**, 120909 (2019)
- [15] T. Yokouchi, et al., Nature **586**, 232-236 (2020)
- [16] N. Nagaosa, and Y. Tokura, Nature Nanotechnol. **8**, pp899-911 (2013).
- [17] S. Muhlbauer et al., Science **323**, pp915-919 (2009).
- [18] X. Z. Yu, et al., Nature **465**, pp901-904 (2010).
- [19] N. Kanazawa et al., Nature Communications **7**, 11622 (2016)
- [20] Y. Tokura, and N. Nagaosa, Nature Communications **9**, 3740 (2018).
- [21] M. V. Berry, Proc. R. Soc. Lond. **A 392**, 45 (1984).
- [22] N. Nagaosa, and T. Morimoto, Advanced Materials **29**, 1603345 (2018)
- [23] Junyeong Ahn, Guang-Yu Guo, and Naoto Nagaosa, Phys. Rev. **X10**, 041041 (2020)
- [24] Junyeong Ahn, Guang-Yu Guo, Naoto Nagaosa, and Ashvin Vishwanath,
arXiv:2103.01241
- [25] Takahiro Morimoto and Naoto Nagaosa, Phys. Rev. B **100**, 235138 (2019)

< ATI 研究助成成果発表会 >

2020 年度研究助成成果発表会が、11 月 16 日にオンライン開催されました。遠藤理事長と森田選考委員長の挨拶で始まり、奨励賞授賞式と記念講演、2018 年度及び 2019 年度採択者による研究成果報告が行われました。従来よりも多い 40 名が参加し、またパネルディスカッションと交流会の代わりに1時間のフリーディスカッションを設け、座長である齋藤副選考委員長のリードで活発な質疑が行われ、コロナ禍にもかかわらず有意義な発表会となりました。



< 森田選考委員長 >

【奨励賞】

「金属クラスターのナノ構造制御に基づく人工光合成モデルの提案」



石田 洋平
北海道大学大学院
工学研究院 助教



【研究助成成果報告】

局在プラズモン共鳴を用いた新奇スピントロニクス機能の開拓	近藤 浩太 研究員	理化学研究所 創発物性科学研究センター
気相共鳴ラマン分光を用いたヘムタンパク質のナノ水和構造の解明	浅見 祐也 助教	学習院大学 理学部
多機能ナノピペットを用いた細胞内局所 RNA 輸送の網羅的解析	周 縁殊 特任助教	金沢大学新学術創成研究機構 ナノ生命科学研究所
細胞内ナノ領域に生じる温度を計測可能な量子センサーの創出	外間 進悟	大阪大学 蛋白質研究所 学術振興会特別研究員
原子分解能電子顕微鏡法に基づいた結晶界面の三次元構造再構築	馮 斌 助教	東京大学 工学系研究科
A.I.支援原子間力顕微鏡を用いたメカノバイオロジーに基づく早期がん診断	王 洪欣 博士研究員	物質・材料研究機構 先端材料解析研究拠点
高垂直磁気異方性磁性体薄膜における超高速スピン軌道トルク磁化反転の観測	飯浜 賢志 助教	東北大学 材料科学高等研究所
アトムハイブリッド法を応用したサブナノ領域科学の開拓	塚本 孝政 助教	東京工業大学 科学技術創成 研究院 化学生命科学研究所



< 公開フォーラム >

第 43 回公開フォーラムが、11 月 28 日(土)に開催されました。冒頭に遠藤守信理事長より挨拶があり、当財団の目的と活動内容が紹介され、公開フォーラムについては、「学術普及の為に、社会の話題になっていて知的好奇心が引かれる最新の科学技術を第一線の研究者に分かりやすく説明していただく講演」と説明がありました。また当財団への支援を 30 年以上続けているセイコーインスツル株式会社への感謝を述べられました。



< 遠藤理事長 >

今回はコロナ禍において、新世代研究所の初めての試みとしてオンラインライブ配信でおこなわれ、前回同様に 100 人を超える方が参加されました。従来のリアル開催では考えられなかった、海外や九州等の方も参加され、今後財団活動をより活発にしていくための有効な手段となることが分りました。

「脳波センシングと AI を活用した医療・ヘルスケア創生」 ～ブレインビッグデータが拓く未来社会～



大阪大学 名誉教授/総長補佐
大阪大学産業科学研究所 教授
工学博士 関谷毅氏



「新型コロナウイルス感染症の疫学」 ～人類と感染症の戦い、過去と今後～



東京慈恵会医科大学
分子疫学研究室 教授
医学博士 浦島充佳氏



関谷氏は、額にフレキシブル回路を貼り脳波を測定し、さらに AI を使うことにより、脳の状態を簡単に把握する技術について説明されました。救急車の中で貼付け症状をいち早く察知することにより治療に適した搬入病院を選ぶなど、今後幅広い応用が期待されます。

浦島氏は、一般には報道されていない新型コロナウイルスに関する様々な学術データを説明されました。人種による重症化リスクの違い(日本人は低いようです)や、感染防止には換気が重要であること指摘されるなど、興味深い話が盛りたくさんでした。

コロナ禍において「医療従事者への感謝」が伝えられていますが、医療研究者への感謝の気持ちも大切です。昔は大勢の人が感染症でなすすべもなく亡くなりましたが、今は長年の研究成果である薬、医療機器などの武器があります。また、今日の講演者をはじめ多くの人が明日の為に研究をされていますので感謝の気持ちを持ちできる応援をしていきたいと思います。

また、初めてのオンラインライブ配信にあたり、財団の母体企業であるセイコーインスツル株式会社情報システム部に、全面的に協力をしていただきました。厚く御礼を申し上げます。

< コーヒーブレイク >

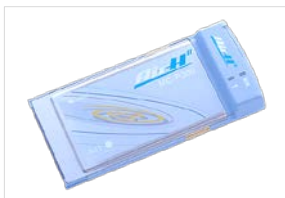
山本 隆章 専務理事
(元 セイコーソリューションズ(株) 会長)



昨年6月にセイコーインスツル株式会社(SII)からの出向で専務理事に就任いたしました。

無名会時代の後、新世代研究所が財団として発足したのが1986年と聞き、そのころからの自分に思いを巡らしてみました。

1986年、私はセイコー電子工業(現在のSII)技術本部に身を置き、新しい事業を創造しようとして研究開発に勤んでおりました。当時、財団設立時の専務理事である内山常務に「山本君、自分の好きな研究をやりなさい」と言われ、うれしい反面「好きなことだけやっても事業にならないし、何をやろうかな～」などと試行錯誤していた自分が懐かしいです。ちょうど通信自由化の兆しがあったところで、「これからは無線の時代だ、電話も無線に、データも無線で通信できるようになる、世の中変わる」、このことを確信し無線通信分野で事業を起こしていくことに集中しました。



2000年初頭には、社会に先駆けて、PCのPCMCIAスロットに差し込んで無線でデータ通信を行える装置を発売しました。CFサイズとかSDサイズなどいろいろやったのですが、大ヒットして「無線でインターネットはSII!」とキャンペーンをやって大喜びしたのも懐かしいです。左図の商品ですが、知っている人がいたら大変うれしいです。

その後、山あり谷ありで何度も破綻しそうになりましたが、何とか、チームが課になり、そして部になり、事業部になり、事業会社となり、今はセイコーソリューションズ配下になりましたが、成長を続けています。私は重い荷物を下ろしホッとしているところです。

2000年前後のSIIの事業を見渡すと、時計事業、時計を支える電池、水晶などの電子部品事業、科学機器事業、真空ポンプやコンプレッサーなどの精機事業、半導体事業、表示体事業、情報関連事業など幅広い事業が会社を支えていました。ナノテクノロジー、精密加工技術、・・・技術、などがコアテクノロジーとして磨かれ商品を支えていました。社会の中でも、必要とされ注目されて研究開発に鎔を削っていた分野ですし、新世代研究所の研究テーマもこれらに類したものが多くあったように思います。STMの共同研究、物性委員会からの電池の改良助言、研究会に参画しての最新技術の勉強など、財団の活動がSIIの事業に対しても有効に作用していたと思います。

科学技術の発展に貢献する財団は、社会の大きな変化を見通していかなければなりませんし、置かれている環境や寄付者の趣意の変化も感じ取りながら、活動を進めて行くことが大切だと思っています。そういう意味で、的を得た財団活動が成されてきたのだなと感じています。

それから時は経ち、現在では、セイコーグループの再編により、SIIはセイコーホールディングス株式会社(SHD)の100%子会社となっています。SIIの寄付の趣意から、SII&SHDの寄付の趣意に変化したと言えます。そして半導体事業、表示体事業、科学機器事業、精機事業などが無くなり、時計事業、電子部品事業、ソリューション事業が主な事業になっています。社会も、価値観の変化、働き方の変化、そしてSDGSを意識しないと前に進めない、というように大きく変化しています。

大きな社会の変化と、財団の置かれた環境の変化、寄付者の趣意の変化を、財団としてどのように捉え活動していけば良いのだろうか・・・考えを巡らす今日この頃です。

< 新オフィス紹介 >

財団オフィスが、3月15日に東京駅八重洲口から徒歩6分のところに移転しました。
近くには複数の貸し会議場やホテルもあり、会議・出張が便利になります。

当財団の母体企業であるセイコーインスツル(株)とその親会社セイコーホールディングス(株)の好意で、セイコーインスツル東京オフィスの一角に入居させていただけることになりました。従来のオフィスは年間780万円と財団予算の1/4以上を締め赤字の要因の一つになっていましたが、新オフィスは管理費程度で済みます。財団の会議室はありませんが、10人程度の会議は同じフロアにあるセイコーインスツルの会議室が使えます。

【アクセス】

JR 東京駅 八重洲中央口／南口 ⇒ 地下街 ⇒ 出口 26（改札口から徒歩 6 分）

地下鉄銀座線京橋駅 出口 7（出口から徒歩 3 分）

※エレベーターでビル 3 階に上り、入口のインターフォン<新世代研究所>で連絡



〒104-0031 東京都中央区京橋 1-4-10 大野屋京橋ビル 3 階

電話: 03 3516 3327

< 第10期 研究会 始動 >

2021年4月1日より、新たに第10期研究会が始まりました。

第10期は5つの研究会でスタートし、2021年度～2023年度の3年間の活動を予定しています。2期6年間委員長を務めていただいた、ナノカーボン研究会の片浦産業総合研究所首席研究員、バイオ単分子研究会の西野北海道大学教授、水和ナノ構造研究会の日下茨城大学教授が委員長の任を終えられました。これまでのご活動ありがとうございました。

新しい期を迎えるに当たり、研究会メンバーの若返りも進み、活発な研究会活動を期待いたします。

<研究会 目的>

ナノサイエンス・ナノテクノロジー分野において、専門領域を越えた研究人材による科学技術研究と異分野研究領域の融合を推進し、新しい研究コンセプトの提案を目指します。

<第10期 研究会委員長>

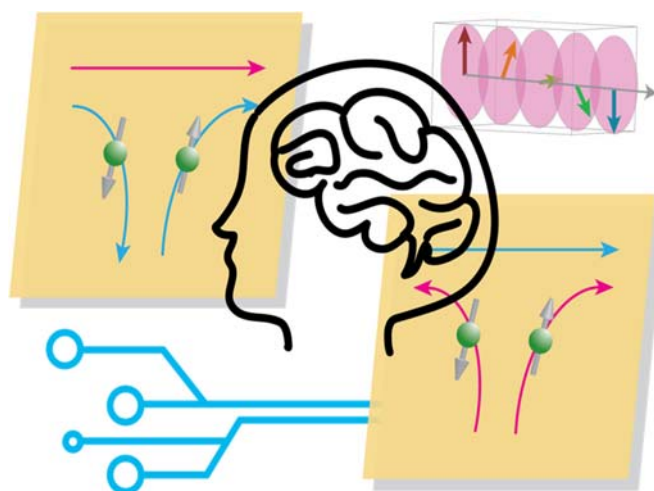
スピントロニクス研究会	齊藤 英治	東京大学大学院工学系研究科 教授
界面ナノ科学研究会	柴田 直哉	東京大学大学院工学系研究科 教授
ナノメカニクス研究会	都甲 潔	九州大学高等研究院 特別主幹教授
ナノカーボン研究会	丸山 茂夫	東京大学大学院工学系研究科 教授
バイオ単分子研究会	渡邊 力也	理化学研究所 主任研究員

<第10期 研究コンセプト>

【スピントロニクス研究会】 委員長:齊藤 英治 (東京大学大学院工学系研究科 教授)

スピントロニクスは、磁気自由度と電流をナノテクノロジーによって結びつけることによって進展し、磁気メモリなど新しいテクノロジーを生み出す一方で、スピンホール効果、逆スピンホール効果、スピンゼーベック効果、スピンペルチェ効果、純スピン流誘起磁化反転、絶縁体へのスピン注入、スピン起電力など、ナノスケールの領域で発現する数多くの新現象をもたらした。最近では、スピンダイナミクスや磁気応答の非線形性を利用した人工脳型素子・機械学習デバイスへの応用や、微小構造メカニクスへの応用の研究も始まっており、物性科学やエレクトロニクス、ナノメカニクス、量子科学を横断する新しい学術が形成されつつある。

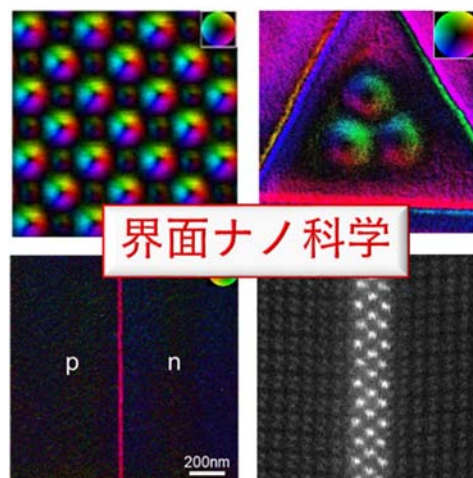
本研究会では、日本のスピントロニクス研究の中心メンバーが集まり、スピントロニクス緒現象を最新の物理的知見と材料科学、ナノテクノロジーの視点から深く議論し、最終的には新しいスピントロニクス機能を提言することを目標とする。



【界面ナノ科学研究会】 委員長: 柴田 直哉(東京大学大学院工学系研究科教授)

ナノレベルの界面現象の本質的理解とその活用は、マテリアル、デバイス、バイオ、量子技術、エネルギーなど、未来社会の創造を根底から支える重要科学技術分野のキーテクノロジーである。計測技術や理論計算手法の進展とともに、界面現象に対する原子・電子レベルからの理解が急速に進んでおり、新奇な現象の発見や界面を積極的に応用したデバイスの開発など、精力的な研究が進められている。しかし、ナノ界面科学のフロンティアには未開拓の領域が数多くあり、幅広い分野の研究者にとってその魅力は尽きることがない。

本研究会では、ナノ界面科学をキーワードとして、多様なバックグラウンドを有する第一線の研究者を結集し、新たな研究分野の潮流を生み出すことを目指す。学際的なメンバーが異なる視点からナノ界面現象を深く議論しあうことで、一人一人の研究を大きく飛躍させる斬新な発想やアイデアを生むだけでなく、お互いを高めあうことで、行動力とチャレンジ精神溢れる集団を目指したい。また、研究者を目指す若手との交流も積極的に行い、科学分野の更なる活性化にも貢献したい。さらに、社会と研究者の今日的な関わり方に関しても議論を深め、これからのあるべき科学者像についても意見交換したい。



【ナノメカニクス研究会】 委員長: 都甲 潔(九州大学 高等研究院 特別主幹教授)

近年、材料、デバイス、バイオなど多くの分野で分子・原子レベルの計測や制御が可能となり、ナノスケールの新素材や新機能が実現されつつある。

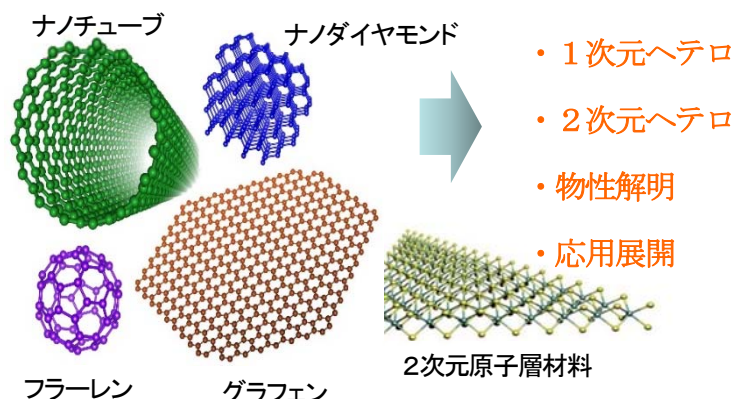
本研究会は、このような環境の下、ナノスケールの3次元機械構造がもたらす機械的な振る舞い(ダイナミクス)を探究し、新規もしくは高度な機能を有するセンサやアクチュエータを実現するために必要な基礎科学・技術を構築することを目的とする。そのために、『ナノ振動』をコア技術と位置づけ、材料、微細加工、精密機構設計、理論解析・シミュレーション、センサ・アクチュエータ、計測・制御、神経生理学や生体模倣など複数の分野の研究者が集まり、基礎理論から応用技術展開まで広く調査研究を行い、自由闊達な議論を通じ、従来にない高度集積・知能システムの創成を目指す。最終的には本研究会の成果を社会実装することによる社会貢献を目標とする。同時に他の感覚(味覚、臭覚、視覚、聴覚)との統合も意図した調査研究も行う。

まず、生体の触覚力覚のメカニズムを解明し、人間の手を超える究極の『手』の機能を実現するために必要な基礎科学・技術の構築を目指す。



【ナノカーボン研究会】 委員長:丸山 茂夫(東京大学大学院工学系研究科 教授)

炭素材料としては、 sp^3 固体のダイヤモンドと sp^2 固体のグラファイトが古くから知られているが、20 世紀末からフラーレン(0次元)、カーボンナノチューブ(1次元)、グラフェン(2次元)等、ナノカーボン材料の発見が相次いだ。これら、2 次元ネットワークを基本とする材料系では、ネットワーク次元の変化に伴う物性の質的な変化が実証



され、重点的にその物性研究が進められてきた。近年では炭素材料にとどまらず、グラフェン様 2 次元物質として遷移金属ダイカルコゲナイド系をはじめとする新たな原子層材料にも広がりを見せ、さらにそれら原子層を自在に組み合わせる1次元、2次元ヘテロ接合系では、無限ともいえる新材料系の構築が可能になりつつある。ナノカーボン研究会では、これらナノカーボン材料をはじめとする魅力的な低次元ナノ材料に焦点を合わせ、その基礎物性の理解から応用技術展開まで広く調査研究を行い、科学・技術の発展への貢献を目指す。本分野のエキスパートである構成委員による議論だけでなく、若手研究者を交えた合宿形式の研究会を開催することにより、通常の学術集会では得られない熱い議論と深い理解の機会を提供するとともに、若手研究者育成を目指す。

【バイオ単分子研究会】 委員長:渡邊 力也(理化学研究所 主任研究員)

生体内には核酸や酵素などの様々な生体分子が存在し、これらの機能によって生体内の恒常性が維持されている。生体分子の機能の破綻はともすれば細胞の機能の異常に直結し、更には疾患の原因となっている。すなわち、生体分子の機能を正しく理解することは、生命機能の理解にとどまらず、疾患やその治療法に関する新知見を与えうる重要な鍵となる。この背景を受け、近年、生体分子の極限計測である「単分子計測」が再注目されている。単分子計測の特徴は、感度・精度の高さにあり、次世代 DNA シークエンサーや超解像顕微鏡などの核心技術として採用されている。そのため、従来技術では不可能であった様々な生体分子の機能や構造に関する新知見がも



たらされ、「単分子計測」により新しい生物学の潮流が形成されつつある。そこで、本研究会では、工学・化学・物理学・生物学の異分野に属する若手研究者が集まり、革新的な単分子計測技術の開発から、それらに立脚した生体分子の機能発現機構の解明に至るまで包括的に議論する場を提供するとともに、我が国から「バイオ単分子研究」の新基軸を提示することを目標とする。

< 受賞 >

【奨励賞】

昨年 10 月～12 月の応募期間に 10 名から応募があり、研究助成選考委員及び研究会委員長の審査を経て 3 月の理事会で受賞者が決まりました。
5 月開催予定の研究助成成果発表会にて授賞式と講演を行います。

相良 剛光 氏

「シクロファンを用いた機械的刺激を鋭敏に検知する複合材料の開発」

2017 年度 研究助成採択

東京工業大学 物質理工学院 材料系 相良研究室 准教授

都甲 薫 氏

「プラスチック上多層グラフェンの創製と革新二次電池への応用」

2017 年度 研究助成採択

筑波大学 数理物質系 環境半導体・磁性体研究室 准教授

【文部科学大臣表彰】

4 月 6 日に発表され、今年も ATI 関係者が 2 名受賞されました。

< 若手科学者賞 >

土方 亘 氏

「磁気浮上型人工心臓の開発とその高機能化に関する研究」

ナノメカニクス研究会 現会員

東京工業大学 工学院機械系 准教授

村上 慧 氏

「芳香族アミン合成に関わる遷移金属触媒反応開発の研究」

2020 年度 研究助成採択者

関西学院大学 理学部 准教授

【 事務局便り 】

2020 年度に 4 つの印象深い事がありました。2 つは学術・医療に関して、2 つは財団についてです。

コロナウィルス感染症への対応で、前線で戦っている医療従事者への感謝を皆が思い発信しています。しかし前線で戦えるのは、医療機器、公衆衛生、薬、ワクチンなどが開発されたからであり、研究開発者にも大きな感謝です。

3 月 24 日に食道癌の内視鏡的手術を受けました。翌日には歩き回り 1 週間で退院できました。15 年前だとおなかと脇腹を切開し、食道の外から内側にある癌を切り取り繋ぎ直すという大手術だったそうで、これも医療の研究開発の成果です。

財団オフィスを御茶ノ水から東京駅八重洲口近くのセイコーインスツル（株）東京オフィスの一角に移転しました。同社の好意で賃料は格安になりました。

財団の資産運用の検討が開始されました。実施が始まれば賃料削減と合わせて財団の財政状況が大幅に改善されていきます。

改善される財政状況と大勢の財団関係者の協力により、これからも継続的に社会に必要な学術の振興、その為の研究者支援という ATI の役割を果たしていきます。

青木郁



〒104-0031

東京都中央区京橋 1-4-10 大野屋京橋ビル 3 階

Phone : 03-3516-3327

ホームページ : <http://www.ati.or.jp/>

Email : info@ati.or.jp

発行 2021 年 4 月