

# 研 究 報 告 書

—2021 年度研究会活動—

## 第 28 回 研究報告会

2022 年 7 月 5 日 (火)

御茶ノ水ソラシティコンファレンスセンター

**ATI** 公益財団法人 **新世代研究所**  
FOUNDATION ADVANCED TECHNOLOGY INSTITUTE



- 目 次 -

- |   |    |
|---|----|
| (1) 『界面ナノ科学研究会(第10期)の2021年度活動報告』<br>柴田 直哉 (界面ナノ科学研究会 委員長)             | 1  |
| (2) 『1次元・2次元のヘテロ材料』<br>丸山 茂夫 (ナノカーボン研究会 委員長)                          | 9  |
| (3) 『オンライン会議の利点と対面議論の創造性』<br>齊藤 英治 (スピントロニクス研究会 委員長)                  | 15 |
| (4) 『2021年度バイオ単分子研究会活動報告<br>—若手研究者による異分野交流—』<br>渡邊 力也 (バイオ単分子研究会 委員長) | 24 |
| (5) 『ロボティクスと力触感、そして五感へ』<br>都甲 潔 (ナノメカニクス研究会 委員長)                      | 30 |



## 界面ナノ科学研究会(第10期)の2021年度活動報告

委員長 柴田直哉

東京大学大学院 工学研究科 教授

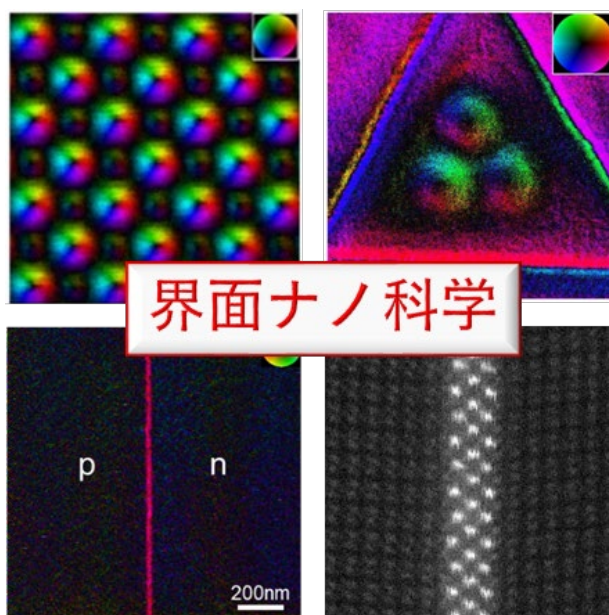
### 1. 研究構想

界面ナノ科学研究会(第10期)は、2012年度から2017年度までの二期合計6年間、東工大(現東大)の一杉太郎教授を委員長として活動を行ってきた界面ナノ科学研究会(第7,8期)の後継として、2018年度から第9期、2021年度から第10期に引き継いだ研究会である。メンバーは、材料開発、デバイス創製、ナノ計測、第一原理計算といった様々なバックグラウンドを有する気鋭の研究者であり、界面ナノ科学をキーワードとして、幅広い研究分野を横断する異分野融合領域を形成している。第10期は総勢15名のメンバーで研究会活動をスタートした。

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ついても議論を深め、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。

2021年度においては、コロナ禍のため対面での研究会を諦めざるを得ない状況であった。しかし、それを逆手に取り、オンライン会議の利点を最大限引き出す運営を心掛けた。具体的には、研究会発足時の運



営方針を堅持しつつ、運用面で以下の新たな方針のもと活動を行った。

#### 2021 年度の研究会の運用方針

- ・オンライン開催
- ・各会員の持ち回り企画で、二月に1回程度開催する。
- ・前半、各会員が聞いてみたい研究者の講演2~3件程度、後半、各会員の研究室の若手・学生の発表2~3件程度の内容とする。
- ・各会員の研究室メンバーの参加は可とする。  
(ただし、発表内容に関してはクローズにして頂く条件)

## 2. 2021 年度活動の概要

上記方針の下、2021 年度は4回の研究会をオンライン開催した。以下に各研究会の内容を詳細に説明する。

第1回 2021年7月7日

会場：オンライン

テーマ：物質科学の飽くなき探求 -第10期界面ナノ科学始動-

内容：柴田委員長が幹事となり、前半部は外部講師を迎えて最先端研究に関する講演を、後半部は柴田委員長の研究室の博士課程学生からの講演を聞き、活発に議論を行った。

講師（敬称略）

- ・田村 隆治（東京理科大学）
- ・関 真一郎（東京大学）
- ・南谷 英美（分子科学研究所）
- ・遠山 慧子（東京大学 博士2年）
- ・大江 耕介（東京大学 博士3年）

前半の講演パートでは、物質科学分野の最前線で飽くなき探求を続けている先生方のお話を伺った。まず、田村氏からは、ハイパーマテリアル研究の現状と将来展望、特に、準結晶における長距離磁気秩序を発現する物質探索について、俯瞰的な講演を頂いた。複雑構造が織りなす新奇物性について大変興味深い講演であった。次に、関氏からは磁気スキルミオンに関する最先端の研究について講演を頂いた。スキルミオンを「ひも」と見立てて、情報伝達などの利用できる可能性を拝聴し、大変興味深い内容であった。最後に、南谷氏からは第一原理計算を用いて電子フォノン相互作用を解明する研究に関して講演を頂いた。Siにおけるジュール熱発生の初期過程の解析やアモルファス構造でのトポロジカルな情報と熱伝導率の相関性を解析した大変興味深い内容であった。いずれの講演も、活発な質疑応答が行われた。後半パートでは、柴田委員長の研

研究室の博士課程の学生から講演があり、遠山氏からは材料・デバイス中の高分解能電磁場直接観察に関して、大江氏からは電子線敏感材料を低電子線ドーズ条件で原子構造観察するための新手法開発に関しての講演であった。いずれの講演にも会員から多くの質疑応答があり、学生のメンタリングの意味でも大変意義深い研究会となった。その後、オンラインによる懇親会を開催し、ざっくばらんな意見交換を行った。以上のように、オンラインのメリットを最大限に活用し、充実した研究会となった。

第2回 2021年9月8日

会場：オンライン

テーマ：物理と化学の間に垣根なし。新しい考え方や技術に飛び込め！

内容：一杉会員が幹事となり、前半部は外部講師を迎えて最先端研究に関する講演を、後半部は一杉会員の研究室の博士課程学生からの講演を聞き、活発に議論を行った。

講師（敬称略）

- ・松下 雄一郎（東京工業大学）
- ・北尾 岳史（東京大学）
- ・笹原 悠輝（東京工業大学）
- ・小林 成（東京工業大学）

まず前半の講演パートでは、松下氏から量子コンピュータの計算材料学分野への応用に関して、最新の講演を頂いた。従来の計算機には無い量子コンピュータの持つ特徴が如何に材料計算に役立つのかなどについて明解に解説頂き、大変興味深い内容であった。次に、北尾氏からMOFのナノ空間を利用した単原子層物質科学に関する講演を頂いた。MOFを鋳型のように利用することで、エッジ構造や幅を精密に制御したグラフェンナノリボンを合成できるという内容であり、物質科学・材料科学両面で大変興味深い内容であった。いずれの講演も参加者の興味を大いに惹く内容であり、活発な質疑応答が行われた。後半パートでは、一杉会員の研究室の博士課程の学生から講演があり、笹原氏から不安定な高圧相物質の安定化を目指した薄膜材料の超高圧処理技術に関する講演、小林氏からはロボットと機械学習を活用したLi伝導固体電解質薄膜の探索に関する講演を頂いた。いずれの講演にも会員から活発な質疑応答があり、大変盛り上がる内容となった。その後、オンラインによる懇親会を開催し、現状報告と意見交換を行った。今回も充実した研究会となり、次回も同じ方式で行うこととなった。

第3回 2021年11月10日

会場：オンライン

テーマ：機能材料科学の最前線

内容：陰山会員が幹事となり、前半部は外部講師を迎えて最先端研究に関する講演を、後半部は

陰山会員の研究室の博士および修士課程学生からの講演を聞き、活発に議論を行った。

講師（敬称略）

- ・梅津 理恵（東北大学）
- ・筒井 祐介（京都大学）
- ・難波 杜人（京都大学）
- ・村山 寛太郎（京都大学）

まず前半の講演パートでは、梅津氏からホイスラー合金における磁性と電子状態に関する最新の講演を頂いた。ホイスラー合金研究を概観して、これまでの流れと最新の研究動向を拝聴することができ、大変興味深い内容であった。次に、筒井氏から主にマイクロ波領域の電磁波を用いて材料の電気特性を評価する手法について講演を頂いた。この手法は通常の方法では電気特性を計測しにくい材料に対しても有効であり、大変興味深い手法であった。いずれの講演も参加者の興味を大いに惹く内容であり、活発な質疑応答と議論が行われた。後半パートでは、陰山会員の研究室の学生から講演があり、難波氏からはイオン液体ゲートを用いたフッ化反応による酸フッ化物単結晶薄膜の合成に関する講演、村山氏からは極性金属における極性非極性転移の機構解明に関する講演を頂いた。いずれの講演にも委員から活発な質疑応答があり、充実した内容となった。その後、オンラインによる懇親会を開催し、現状報告と意見交換を行った。次回は千葉会員が幹事となり、本年度最後の研究会を行うこととなった。

第4回 2022年3月14日

会場：オンライン

テーマ：SDGs／ウィズコロナと界面デバイス

内容：千葉会員が幹事となり、前半部は外部講師を迎えて最先端研究に関する講演を、後半部は千葉会員の研究室の修士課程学生からの講演を聞き、活発に議論を行った。

講師（敬称略）

- ・小野 新平（電力中央研究所）
- ・能木 雅也（大阪大学）
- ・柳楽亮太（大阪大学）
- ・鳥居 大雅（大阪大学）

まず前半の講演パートでは、小野氏から電気2重層エレクトレットを用いた振動発電に関する最新の研究とセンシング技術を用いたエンターテインメント応用に関する話題提供を頂いた。コロナ禍を経て、最新のセンシング技術を用いて「共感」をキーワードに次世代のエンタメ創出を創出する内容に一同大きな感銘を受けた。次に、能木氏からセルロースナノファイバー研究に



関する俯瞰的な講義を頂き、セルロースナノファイバーの持つ材料としての大きな可能性が示され、大変興味深い内容であった。いずれの講演も活発な質疑応答と議論が行われた。後半パートでは、千葉会員の研究室の学生から講演があり、柳楽氏からはウェアラブル集積スピンセンサパッドの実現に向けた研究に関する講演、鳥居氏からは無電源で力学情報を検知・蓄積するメカニカルスマートレジスタの実現に向けた研究に関して講演を頂いた。いずれの講演にも会員から活発な質疑応答があり、大変充実した内容となった。その後、オンラインによる懇親会を開催し、現状報告と意見交換を行った。来年度以降は対面での開催を希望する声が多く、コロナの状況を加味してなるべく対面での開催を行うことを決定し散会した。

### 3. 今期の総括

2021年度の活動に関しては、新型コロナウイルス感染症が収束せず、対面での研究会を諦めざるを得ない状況からスタートしたため、敢えてオンラインの利点を活かし若手育成を企図した研究会を合計4回開催させて頂いた。研究会には各会員の研究室メンバーに限り学生を含めて参加可能とし、学会などの参加が難しい状況にある学生のエンカレッジと発表機会の提供を行った。また、オンラインでの懇親会も毎回行い、会員同士の交流と情報交換にも努めた。本研究会では、研究者同士の密接な交流を大切にしており、依然として対面開催が最も望ましい方法であると考えている。よって今後はコロナの状況を注視しつつ、対面開催に戻したい。

研究会では、多くの気鋭の若手研究者を招待して最新のナノ界面研究を拝聴することができた。これらの交流が、共同研究や研究交流、サロン形成に繋がり、いつの日か研究界全体にも波及するムーブメントに繋がることを切に願う。また、社会が目まぐるしく変化し、研究者と社会の関わりを強く意識せざるを得ない状況が続いているが、常に素晴らしい研究とは何かを問い続けるとともに、研究者とは何か、次世代に継承すべき研究者の規範とは何か、を議論していきたい。

最後に、コロナ禍の厳しい状況にもかかわらず、研究会活動を積極的にご支援いただきましたATIの関係者各位にこの場をお借りして深く感謝の意を表します。

## 研究会開催記録

【第1回】2021年7月7日（水） オンライン開催

「物質科学の飽くなき探求-第10期界面ナノ科学始動-

1. 「ハイパーマテリアルとその磁性」

東京理科大学 先進工学部

田村 隆治\*

2. 「磁気スキルミオンの物質設計と3次元ダイナミクス」

東京大学大学院 工学系研究科

関 真一郎\*

3. 「単純と複雑の狭間で」

分子科学研究所 理論・計算分子科学研究領域

南谷 英美\*

4. 「走査透過電子顕微鏡による材料・デバイス局所電場観察」

東京大学大学院 工学系研究科 博士課程2年

遠山 慧子\*

5. 「超高感度原子結像法の開発による電子線敏感材料の原子構造直接観察」

東京大学大学院 工学系研究科 博士課程3年

大江 耕介\*

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 44名（会員 14名、会員外 30名）

【第2回】2021年9月8日（水） オンライン開催

「物理と化学の間に垣根なし。新しい考え方や技術に飛び込め！」

1. 「第一原理材料計算の最先端-量子コンピュータでどこまで計算加速しうるのか？」

東京工業大学 物質・情報卓越教育院

松下 雄一郎\*

2. 「MOF ナノ空間が可能にする単原子層物質科学の新展開」

東京大学大学院 工学系研究科 応用化学専攻

北尾 岳史\*

3. 「不安定な高压相物質の安定化に向けた薄膜試料への超高压処理技術の開発」

東京工業大学 物質理工学院 博士課程3年

笹原 悠輝\*

4. 「ロボットと機械学習を活用した新規薄膜材料の効率的探索」

東京工業大学 物質理工学院 博士課程3年

小林 成\*

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 43名（会員 13名、会員外 30名）

【第3回】2021年11月10日（水） オンライン開催

「機能材料科学の最前線」

1. 「ホイスラー合金の磁気機能性と電子状態」

東北大学 金属材料研究所

梅津 理恵\*

2. 「電磁波で測る物質の電気特性」

京都大学 工学研究科

筒井 祐介\*

3. 「イオン液体ゲートを用いたフッ化反応による酸フッ化物単結晶薄膜の合成」  
京都大学大学院 工学研究科 博士課程 1年 難波 杜人<sup>※</sup>
4. 「極性金属における金属絶縁体クロスオーバー」  
京都大学大学院 工学研究科 修士課程 1年 村山 寛太郎<sup>※</sup>

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 31 名（会員 9 名、会員外 22 名）

【第 4 回】2022 年 3 月 14 日（水） オンライン開催

「SDGs／ウィズコロナと界面デバイス」

1. 「振動発電&センシング技術のエンタメ応用」  
電力中央研究所 小野 新平<sup>※</sup>
2. 「セルロースナノファイバー 紙の歴史を変えるナノ素材」  
大阪大学 産業科学研究所 能木 雅也<sup>※</sup>
3. 「ウェアラブル集積スピンスенсаパッド実現に向けた研究」  
大阪大学 産業科学研究所 修士課程 2年 柳楽 亮太<sup>※</sup>
4. 「無電源で力学情報を検知・蓄積するメカニカルスマートレジスタの実現に向けた研究」  
大阪大学 産業科学研究所 修士課程 2年 鳥居 大雅<sup>※</sup>

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 17 名（会員 11 名、会員外 6 名）

## 界面ナノ科学研究会員名簿

柴田 直哉	東京大学大学院 工学系研究科	教授 研究会委員長
一杉 太郎	東京工業大学 物質理工学院	教授
高橋 琢二	東京大学 生産技術研究所	教授
大友 明	東京工業大学 物質理工学院	教授
戸川 欣彦	大阪府立大学 工学研究科	教授
陰山 洋	京都大学大学院 工学研究科	教授
村上 修一	東京工業大学 理学院	教授
安藤 康伸	産業技術総合研究所 機能材料コンピューショナルデザイン研究センター	主任研究員
千葉 大地	大阪大学 産業科学研究所 界面量子科学研究分野	教授
福間 剛士	金沢大学 新学術創成研究機構 ナノ生命科学研究所	所長・教授
塩見 淳一郎	東京大学大学院 工学系研究科	教授
沙川 貴大	東京大学大学院 工学系研究科	教授
松永 克志	名古屋大学大学院 工学研究科	教授
川井 茂樹	物質・材料研究機構	グループリーダー
高山 あかり	早稲田大学 先進理工学部	准教授

2022年3月現在

## 1 次元・2次元材料のヘテロ構造

委員長 丸山 茂夫

東京大学大学院 工学研究科 教授

### 1. はじめに

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(TMD)など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 次元ヘテロ構造系では、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あわせ、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会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している。

ナノカーボンの研究の深化と実用化に向けた着実な展開とともに新たな 1 次元、2 次元ヘテロ構造系の新たな材料開発が進んでいる。

### 2. ナノカーボン研究会 2021 年度活動報告

ナノカーボン研究会では、毎年夏に若手研究者を中心としたオープンな研究会と、冬にメンバーのみでクローズドな研究会と 2 回の研究会をそれぞれ蔵王温泉と福島温泉で行うのが恒例となっていた。新型コロナの感染拡大によって 2020 年度の会合がオンラインになり、オンライン会議の意義も再認識されたところではあるが、同時にオンライン会議の物足りなさも実感されてきている。2021 年度こそは対面の会合ということで、日程変更を繰り返し、年度末にぎりぎり少人数でかつ感染拡大防止に注意をしながら、研究会を実現した。会員の多くがフラーレン・ナノチューブ・グラフェン学会、応用物理学会、MRS、ECS などのオンライン会合で顔を合わせつつも、対面の会合は新鮮であり、対面での議論の貴重さを再認識する機会となった。コロナ感染の第 5 波の感染

状況の見ながらの日程変更、感染拡大防止のルールを守りつつの宿泊での会合、ハイブリッド開催と、ATI 事務局のご苦勞に感謝したい。



### 3月27日(日)

#### 研究会

14:00 - 14:10 開会挨拶 丸山委員長  
講演(敬称略)(発表20分、質疑5分)  
14:10 - 14:35 丸山 茂夫  
14:35 - 15:00 齋藤 理一郎  
15:00 - 15:25 斎藤 晋  
15:25 - 16:50 宮田 耕充  
15:50 - 16:05 休憩  
16:05 - 16:30 若林 克法(リモート参加)  
16:30 - 16:55 北浦 良  
16:55 - 17:20 田中 丈士  
17:20 - 17:45 大淵 真理  
17:45 - 17:55 閉会・夕食及び入浴の案内

17:55 - 18:40 休憩・入浴

18:40 - 夕食・懇親会

### 3月28日(月)

朝食

滴首解散

### 第一回研究会プログラム(ハイブリット)

第一回研究会：

最初の丸山の話題は、単層CNT(SWCNT)を基にした一次元ヘテロ構造の合成と光学特性の議論であり、SWCNTの外側に窒化ホウ素ナノチューブ(BNNT)のCVD合成、さらに遷移金属ダイカルコゲナイド(TMD)ナノチューブ合成、これらの光学特性の実験的な研究である。BNNTの合成メカニズムに関する詳細な議論や様々なTMDナノチューブの可能性などナノカーボン研究会ならでの議論が進んだ。一方、宮田会員は市販のBNNTの精製と薄膜化という独創的なテンプレートを用いて、MoS<sub>2</sub>ナノチューブをCVD合成するなど一次元ヘテロ構造の合成の展開が議論された。北浦会員からはTMDのMOCVDの精密制御によって、WS<sub>2</sub>とMoS<sub>2</sub>を交互に合成し、平面内超格子構造が形成されることが紹介された。TMDナノリボン構造の実現により、1次元的な構造が形成される。その発光特性

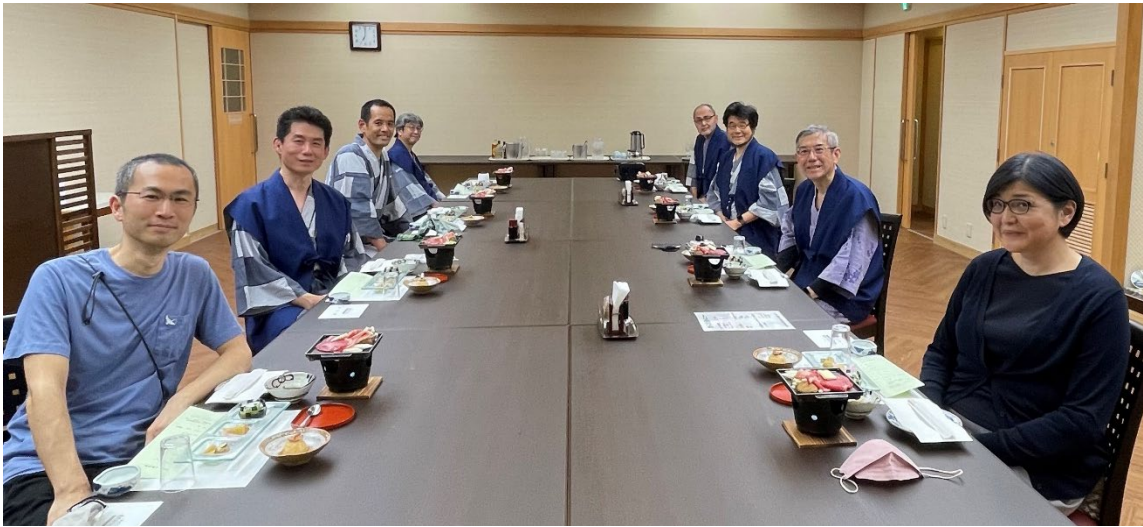
などが第一原理計算の結果と対応させて議論された。一方、大淵会員は、2層  $\text{WTe}_2$  のステップ構造の第一原理計算を展開している。TMD の端の電子構造に関しては、先の一次的な電子構造やスピン構造とも関連し、新たな量子コンピュータへの応用の可能性も含めて議論された。さらに、TMD の理論計算の展開としては若林会員 (オンライン参加) の  $\text{NbSe}_2$  の非線形光学特性の研究があり、金属となる Nb 系の TMD についての新たな可能性が議論された。



第一回研究会 (ハイブリット)

齋藤理一郎会員は、金属 CNT あるいはキャリアドーピングされた半導体 CNT の円偏光二色性と光誘起電流の理論計算を進めている。光誘起電流が CNT のらせん構造に沿って流れる可能性を探るといふ予言である。一方で、斎藤晋会員からは、ニューラルネットワーク技術を活用した強束縛近似 (tight-binding) モデルの展開が紹介され、炭素からホウ素 (B) および窒素 (N) 系への展開の理論的なフレームワークと新しい材料系の可能性が議論された。田中会員からは、CNT と酵素を組み合わせたバイオセンサーの話題提供があり、斬新な応用可能性が議論された。

以上、低次元系の展開、特にヘテロ系における新材料開発についての理論・実験の両面からの展開は、急ピッチで進んでおり、多くの課題が解決されるとともにさらに豊富な新たな可能性が生まれてきている。



第一回研究会懇談会



第一回研究会の後に続く議論

### 3. おわりに

コロナ下で片浦さんから引き継いだナノカーボン研究会の委員長であるが、ナノカーボン研究会の独特の“文化”にこだわり、日程を変更しつつも対面での研究会開催をようやく実現した。一次元や二次元材料の研究は大きく深化するとともに新たなダイバーシティが進んでおり、理論と実験、一次元と二次元を対比した深い議論が是非とも必要である。いつものことながら、低次元材料の研究の今後の展開の議論はエンドレスである。



## 研究会開催記録

【第1回】2021年3月27-28日(日-月) かんぼの宿熱海

1. 「CVD synthesis and optical properties of 1D vdW heterostructures based on SWCNTs」  
東京大学大学院 工学系研究科 丸山 茂夫
2. 「金属およびドーピングしたカーボンナノチューブの円偏光二色性と光誘起電流」  
東北大学大学院 理学研究科 齋藤 理一郎
3. 「全エネルギー型環境非依存強束縛近似によるナノメートルスケールでの原子構造探索：炭素系からの拡張」  
東京工業大学 理学院 齋藤 晋
4. 「一次元遷移金属カルコゲナイドの成長と評価」  
東京都立大学 理学部 宮田 耕充
5. 「NbSe<sub>2</sub> の非線形光学効果とその層数依存性に関する理論計算」  
関西学院大学 理工学部 若林 克法
6. 「Tailor-made two-dimensional nano-scale superstructures」  
名古屋大学大学院 理学研究科 北浦 良
7. 「カーボンナノチューブと酵素を用いた研究」  
産業技術研究所 ナノ材料研究部門 田中 丈士
8. 「2層 WTe<sub>2</sub> ステップの電子状態」  
富士通（株）量子コンピューティング研究センター 大淵 真理

敬称略

参加者 8名（会員8名、会員外0名）

## ナノカーボン研究会員名簿

丸山 茂夫	東京大学大学院 工学系研究科/ 産業技術総合研究所	教授 研究会委員長
片浦 弘道	産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門	特命上席研究員
齋藤 理一郎	東北大学大学院 理学研究科	教授
榎 敏明	東京工業大学	名誉教授
斎藤 晋	東京工業大学 理学院	教授
北浦 良	名古屋大学大学院 理学研究科	准教授
湯田坂 雅子	名城大学 理工学部	特任教授
本間 芳和	東京理科大学 理学部	嘱託教授
佐々木 健一	NTT物性科学基礎研究所 機能物質科学研究部	主任研究員
若林 克法	関西学院大学 理工学部	教授
大野 雄高	名古屋大学 未来材料・システム研究所	教授
宮田 耕充	東京都立大学 理学部	准教授
田中 丈士	産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門	グループ長
大淵 真理	富士通（株） 量子コンピューティング研究センター	特任研究員
千足昇平	東京大学大学院 工学系研究科	准教授

2022年3月現在

## オンライン会議の利点と対面議論の創造性

委員長 齊藤 英治

東京大学大学院工学系研究科 教授

### 1. 研究構想

スピントロニクスは、主に電子の持つスピン角運動量を利用した次世代エレクトロニクス実現のための基礎・応用研究分野である。本研究会は、スピントロニクス研究を牽引する国内の中心メンバーが集い、角運動量保存則に基づくスピン変換現象を実験と理論の両面から統一的に理解することを目的としている。スピントロニクスのさらなる発展には、物理現象の普遍性と、高度に完成された理論体系が土台として必要とされる。また、周辺研究分野の最新成果や、めまぐるしく変化する社会課題への対応も適切に取り入れていくことが時として研究の飛躍的な進展を促す。以上を念頭に、本研究会では、最新の研究成果を深く理解する場を提供し、その知見に基づいた自由闊達な議論を通じてスピン流など角運動量を軸とする物質科学「スピン科学」を建設するとともに、これまでにない動作原理で稼働する革新的な情報処理デバイスの実現を目指す。

### 2. 2021 年度活動の概要

2021 年度は、国内外で新型コロナウイルスへの対策が進展し、大学・研究機関でも試行錯誤を繰り返しながらもその活動を維持する試みが続けられてきた。海外への渡航を含め、対面での研究会・学会活動も徐々に再開されつつある。本研究会も、以下に示すようにオンライン形式の研究会（2回）から待望の対面での研究会開催へと、時代を象徴するような活動となった。

・第1回：2021年8月19日（木）15:00～18:00

会場：オンライン（Webex Meetings）

テーマ：「海外の若手日本人研究者を結びつけるオンラインミーティング」

オンライン形式の利点を活かし、現在海外を拠点にスピントロニクスとその周辺分野を専門として活躍する若手研究者を結びつける研究会を企画した。米国、英国、中国より参加された5名の講演者から最新成果の紹介があり、時差と国の垣根を越えて活発な議論が交わされた。また、現地の新型コロナウイルス対策の実情なども話題となった。

講演①「Twisted 2層グラフェンにおける強相関物性」

University of California, Santa Barbara, USA 斎藤 優 先生

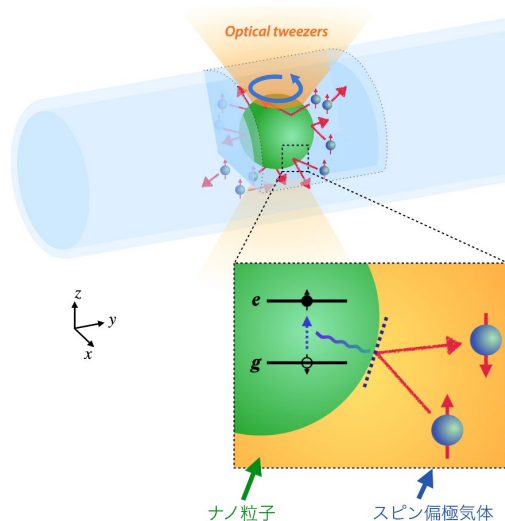
斎藤氏は、最近注目を集めている層間のねじれ角が約 1.1 度のねじれ 2 層グラフェンを対象として、そのスピンとバレーのなすアイソスピン自由度の強制的秩序に関する実験研究成果を報告され

た。固体中の秩序は通常低温相で生じるが、ヘリウム3のポメランチュク効果に代表されるような高温相で固体化するような例外が知られている。それを踏まえ、ねじれ2層グラフェンの高温相に生じる電気抵抗ピーク構造の起源が、アイソスピン対称性の破れにあること（アイソスピンポメランチュク効果）をホール測定と熱力学的測定により実験的に突き止め、その効果が高温における強磁性的な集団励起に基づく高エントロピー状態によるものであることを説明された。

講演②「スピンメカトロニクス - 磁気回転効果を用いたスピントロニクス -」

Kavli Institute for Theoretical Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, China 松尾 衛 先生

松尾氏は、磁気回転効果を用いたスピントロニクス分野「スピンメカトロニクス」に関する理論提案・実証実験について報告された。磁気回転効果とは、磁氣的角運動量と力学的角運動量の相互変換に関わる現象のことであり、スピン・回転結合と呼ばれるスピン角運動量と回転体の角速度の相互作用によって引き起こされる。物体の剛体回転や、表面弾性波および液体金属の渦の局所回転モードから生じるスピン流の観測、その逆効果であるスピン流による物体の回転運動などの研究成果が紹介された。さらに、ごく最近の発展として、スピン偏極気体を用いたナノ粒子の力学回転駆動の理論についても報告がなされた。



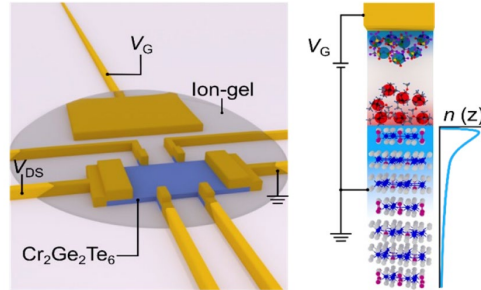
スピン偏極気体を用いたナノ粒子の力学回転駆動の模式図

講演③「二次元層状磁性材料の磁性の制御とスピンドYNAMICS」

Department of Electronic & Electrical Engineering, University College London, UK 紅林 秀和 先生

紅林氏は、グラフェンに代表されるファンデルワールス分子間力で層状に結合した二次元層状物質のこれまでの展開を概観し、その特徴として格子整合や熱力学的な制約にとらわれない試料作製が可能である利点を指摘された。それを踏まえ、最近の研究結果として層状物質 CrGeTe<sub>3</sub> の磁性のキャリアドーピングの制御（電界効果とインタカレーション）と、数原子層での磁気ダイナミ

クスの検出について報告された。電界効果による界面磁気異方性の変調や、スピン軌道トルク磁化反転の臨界電流低減などといったスピントロニクスへの応用可能性について議論がなされた。一月前に約1年半のロックダウンが終了し、講演当時週に1度の出勤という状況が報告された。



層状物質 CrGeTe<sub>3</sub> に対する電界効果実験の模式図

講演④「次世代スピントロニクス素子に向けた要素技術の開発」

Department of Electronic Engineering, University of York, UK 廣畑 貴文 先生

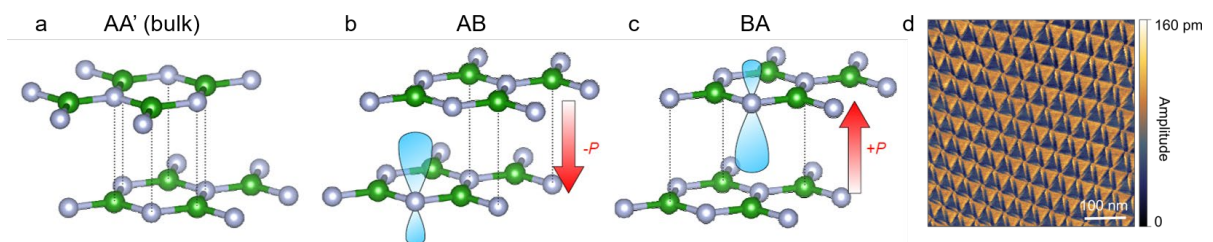
廣畑氏は、スピントロニクス素子のニューロモーフィック回路への応用を念頭に実施している材料研究を紹介された。特に、記憶増強に利用可能なホイスラー合金薄膜の電流印加による結晶化方法、および強磁性トンネル接合(MTJ)における界面欠陥の低減(柔らかい格子)といった要素技術の開発状況を紹介された。また、それらの作製試料の定量評価に向けて、埋め込まれた界面を非破壊で観察する走査型電子顕微鏡による手法の開発と最適化に関しても報告があった。

講演⑤「積層制御による二次元強誘電体の設計」

Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology, USA

安田 憲司 先生

安田氏は、ファンデルワールス積層を用いた結晶対称性の制御により、常誘電体の母物質六方晶窒化ホウ素(BN)から強誘電体を設計することに成功した実験研究を紹介された。実験では、単層BNを切断し積層することで平行積層二層BNを作製した後、二層のBNを微小角度ひねることでモアレ強誘電体が形成される。この手法は、幅広い二次元物質に適用できなど物質開発を大きく広げる可能性がある。研究会開催時には、大学への出入りは自由になっていたが、定期的な健康状態の確認が義務づけられているとの報告があった。



平行積層二層BNに生じる電気分極の模式図と強誘電モアレ格子の圧電応答力顕微鏡像

・第2回：2021年12月13日（月）14:00～19:00

会場：オンライン（Webex Meetings）

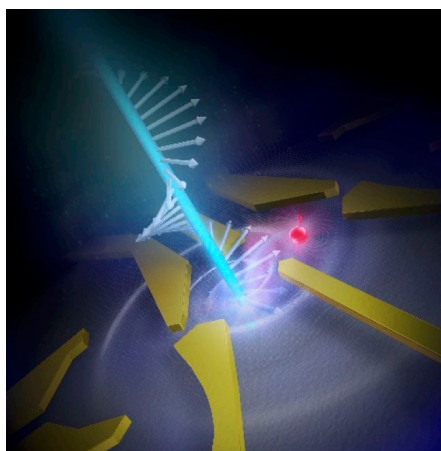
テーマ：「光学的手法とスピントロニクス」

スピントロニクスの実験手法として、光学的なアプローチは非破壊、量子性、高速性、感度の面で優れている。本年度、第2回目の研究会は「光学的手法とスピントロニクス」と題し、その実験に関して3名の講演者から最新成果の紹介がなされた。研究会終了後、オンライン形式の意見交換会も実施され、画面越しとはいえ食事をとりながらの自由討論が久しぶりに実現できた。

#### 講演①「半導体スピン量子ビットを使った光子—電子スピン量子状態変換」

大阪大学 産業科学研究所 大岩 頤 先生

大岩氏は、ゲート制御された半導体量子ドットを舞台に、単一電子スピン状態から単一光子への量子状態変換について周辺の実験開発状況を交えて説明された。量子ドット中の電子スピンは、コヒーレンス時間や半導体集積化技術との整合性から量子計算に用いる量子ビットの有力候補であり、光子は量子暗号通信などグローバルな量子情報のネットワークに不可欠な長距離の通信に使われる。このため、両者の量子状態変換が重要となる。講演では、光子—電子スピン間の量子インターフェース技術などの要素技術に基づいた量子中継システムへの展望も語られた。



ゲート制御量子ドットにおける光子-電子スピン量子状態変換の概念図

#### 講演②「カイラル磁性体の非相反マグノン・フォノン分光」

理化学研究所 創発物性科学研究センター 小川 直毅 先生

小川氏は、ブリルアン散乱分光やフォノンイメージング分光といった光学的分析手法によるカイラル磁性体の非相反現象の実験研究について紹介された。空間反転と時間反転の対称性が同時に破れた系では、固体中の準粒子の流れに非相反性が生じうる。この条件を満たす物質表面や界面、またカイラル結晶中で強磁性マグノンの非相反伝搬が観測されてきたが、バンド分散からは一見すると相反と考えられてきたコニカル磁性相のマグノンも強い非相反伝搬を示すことを実験的に明らかにした。また、磁気弾性結合を介した横波フォノンの非相反伝搬についても報告がなされた。

### 講演③「YIG 薄膜強磁性共鳴の光学的検出」

東京大学 先端科学技術研究センター 宇佐見 康二 先生

宇佐見氏は、遷移金属ダイカルコゲナイド (TMD) と強磁性薄膜の接合系に対して、接合界面の近接交換相互作用によるバレーゼーマン効果を介した磁気光学的手法で強磁性共鳴を測定する手法の開発状況を報告された。講演では、TMD には  $\text{MoSe}_2$ 、強磁性体にはイットリウム鉄ガーネット (YIG) を用い、YIG 薄膜の強磁性共鳴を数層の  $\text{MoSe}_2$  の反射率変調として光学的に読み出した実験結果について紹介されると共に、本手法の今後の展望について議論がなされた。

・第3回：2022年3月28日（月）－3月29日（火）

会場：かんぽの宿熱海

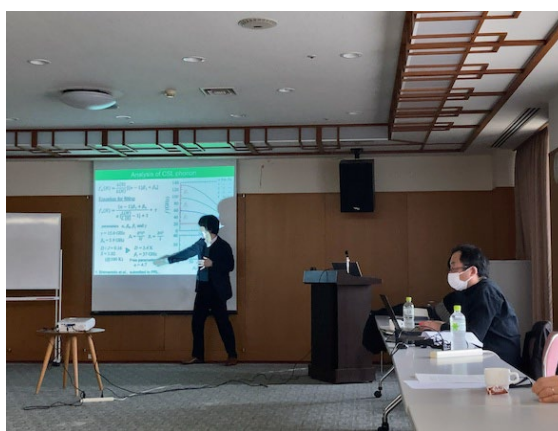
テーマ：「カイラル物質におけるスピントロニクス」

物質科学の領域に「カイラル」の語を冠した様々な研究分野が現れてきており、スピントロニクスでもカイラル結晶におけるスピン伝搬に高い関心が寄せられている。本年度、第3回目の研究会は「カイラル物質におけるスピントロニクス」をテーマとし、その実験・理論に関して3名の講演者から最新成果の紹介がなされた。十分な対策の下、2年ぶりとなる待望の合宿形式での実施となり、充実した意見交換の場となった。新世代研究所のご支援に心から感謝申し上げます。

### 講演①「Chiral 物質と巨視的スピン応答」

大阪府立大学 工学研究科 戸川 欣彦 先生

戸川氏は、結晶カイラリティと電子スピンの関係に焦点を当て、カイラル磁性体における巨視的物質応答や、カイラル物質に誘導される巨大なスピン偏極応答に関する実験研究について基礎からごく最新の成果までを紹介された。この中でも、通常のスピン拡散長を大きく凌駕する巨視的スケールで観測されたスピン偏極現象に関して、その現象の本質について白熱した議論が交わされた。



カイラル磁性体について講演する戸川氏

講演②「Chiral 物質の物性理論:ソリトン格子からスピン偏極まで」

放送大学 自然環境科学プログラム 岸根 順一郎 先生

岸根氏は、磁気・光・弾性をカイラリティ概念でつなぐ統一的視点について紹介された。カイラル構造の本質は、らせん階段に象徴されるように《並進と回転の結合を自然に引き起こす能力》にあると説明され、理論と実験の結果が良く調和するテーマとして「カイラルスピンソリトン格子の構造とダイナミクス」「カイラル結晶フォノン」「カイラリティ誘導スピン偏極現象 (CISS)」の3つの研究成果を紹介され、それらを踏まえた未解決課題の提示と今後の展望を述べられた。

講演③「Chiral 材料における電流誘起スピン偏極現象」

分子科学研究所 協奏分子システム研究センター 山本 浩史 先生

山本氏は、Chiral 分子を高いスピン選択性を持って電子がトンネルするという Chirality-Induced Spin Selectivity (CISS) 効果の実験研究成果について紹介された。CISS のスピントロニクス応用や、CISS による Chiral 分子のエナンチオ（立体異性体）選択的な分離や電気化学反応など関心を持たれているものの、そのメカニズムにはまだ不明な点が多い。講演では、分子モーター、Chiral 金属、Chiral 有機超伝導体といった Chiral 材料を用いた実験により、なぜスピン軌道相互作用の小さい分子で大きな CISS が生じるのかを解明する試みについて紹介された。

### 3. 2022 年度活動の構想

2021 年度は、オンライン形式の利点と、対面での議論が誘起する創造的な思考の重要性を改めて認識する機会となった。この経験を活かし、2022 年度も多様な研究会の開催形式を検討している。スピン変換現象に関わる物理現象の普遍性の解明や、スピントロニクスのさらなる異分野融合の可能性、近未来の社会的要請に対する貢献などの将来像などを領域外の専門家を交えて議論することで本研究会を、スピントロニクス研究の発展に向けた次の一手を見出すための契機としたい。



## 研究会開催記録

【第1回】2021年8月19日（木） オンライン開催

テーマ：「海外若手日本人研究者を結びつけるオンラインミーティング」

1. 「Twisted 2層グラフェンにおける強相関物性」  
University of California, Santa Barbara 齊藤 優\*
2. 「スピントロニクス -磁気回転効果を用いたスピントロニクス-」  
Kavli Institute for Theoretical Sciences,  
University of Chinese Academy of Sciences 松尾 衛\*
3. 「二次元層状磁性材料の磁性の制御とスピンドYNAMICS」  
Department of Electronic & Electrical Engineering,  
London Centre for Nanotechnology UCL 紅林 秀和\*
4. 「次世代スピントロニクス素子に向けた要素技術の開発」  
Department of Electronic Engineering, University of York 廣畑 貴文\*
5. 「積層制御による二次元強誘電体の設計」  
Department of Physics, Massachusetts Institute of Technology 安田 憲司\*

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 36名（会員13名、会員外23名）

【第2回】2021年12月13日（月） オンライン開催

テーマ：「光学的手法とスピントロニクス」

1. 「半導体スピン量子ビットを使った光子-電子スピン量子状態変換」  
大阪大学 産業科学研究所 大岩 顕
2. 「カイラル磁性体の非相反マグノン・フォノン分光」  
理化学研究所 創発物性科学研究センター 小川 直毅\*
3. 「YIG 薄膜強磁性共鳴の光学的検出」  
東京大学 先端科学技術センター 宇佐美 康二\*

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 20名（会員16名、会員外4名）

【第3回】2022年3月28-29日（月-火） かんぼの宿熱海  
テーマ：「カイラル物質におけるスピントロニクス」

1. 「Chiral 物質と巨視的スピン応答」

大阪府立大学 工学研究科

戸川 欣彦\*

2. 「Chiral 物質の物性理論：ソリトン格子からスピン偏極まで」

放送大学

岸根 順一郎\*

3. 「Chiral 材料における電流誘起スピン偏極現象」

分子科学研究所 協奏分子システム研究センター

山本 浩史\*

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 14名（会員 10名、会員外 4名）

## スピントロニクス研究会員名簿

齊藤 英治	東京大学大学院 工学系研究科	教授 研究会委員長
大谷 義近	東京大学 物性研究所	教授
前川 禎通	理化学研究所 創発物性科学研究センター	特別顧問
小野 輝男	京都大学 化学研究所	教授
永長 直人	理化学研究所 創発物性科学研究センター	副センター長
白石 誠司	京都大学大学院 工学研究科	教授
水上 成美	東北大学 材料科学高等研究所	教授
多々良 源	理化学研究所 創発物性科学研究センター	チームリーダー
大岩 顕	大阪大学 産業科学研究所	教授
村上 修一	東京工業大学 理学院	教授
新見 康洋	大阪大学大学院 理学研究科	教授
鈴木 義茂	大阪大学大学院 基礎工学研究科	教授
家田 淳一	日本原子力研究開発機構 先端基礎研究センター	研究主幹
関 真一郎	東京大学大学院 工学系研究科	准教授
介川 裕章	物質・材料研究機構 磁性・スピントロニクス材料研究拠点	主幹研究員
深見 俊輔	東北大学 電気通信研究所	教授
高梨 弘毅	東北大学 金属材料研究所	教授

2022年3月現在

## 2021 年度 バイオ単分子研究会活動報告 —若手研究者による異分野交流—

委員長 渡邊力也  
理化学研究所 主任研究員

### 1. 研究会構想

バイオ単分子研究会は、2009 年度に発足した研究会であり、今年度で 5 期目を迎えた。これまで、東京大学の佐々木先生、北海道大学の西野先生が委員長を務められ、今期からは私が委員長を拝命し、12 名の新進気鋭の若手研究者による異分野交流を主軸とした研究会を運営している。本研究会の構想は以下のとおりである。

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共に、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。

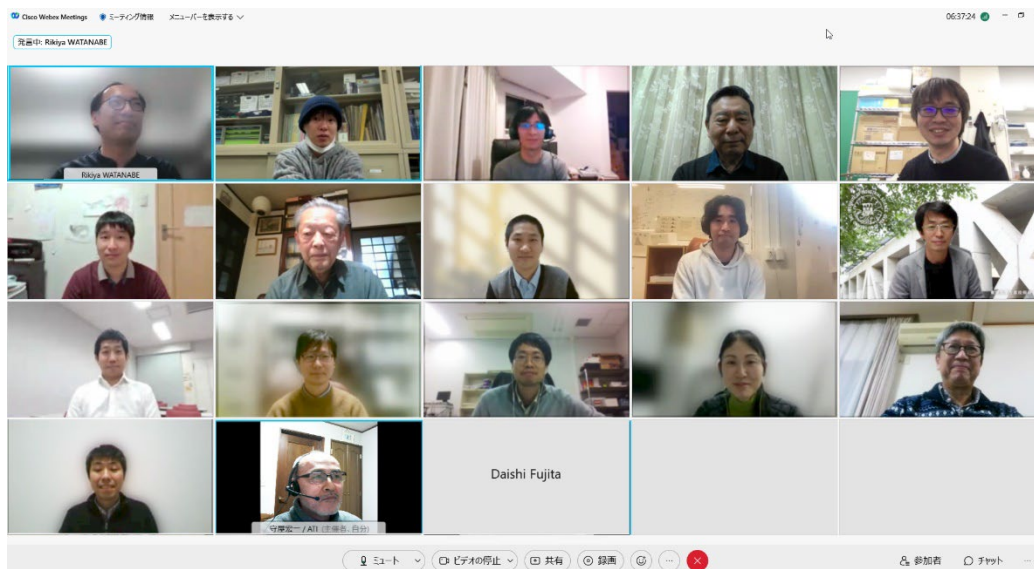
### 2. 2021 年度の活動概要

今期は新バイオ単分子研究会の初年度であるため、対面でのキックオフ研究会を企画したが、コロナ禍により、オンラインでの研究会(計 2 回/7 月・2 月)を開催するに至った。第 1 回研究会では、会員全員が自己紹介を兼ねた研究発表を行った。今期は、単分子生物学に関わる、物理・化学・薬学・工学の若手専門家が会員として集ったことで、活発な議論が行われ、この研究会を通じた異分野交流が、次世代のバイオ単分子研究の原動力となることを改めて実感した。第 2 回研究会では、

昨今のバイオ単分子研究の根底をなす「1分子計測/解析技術」、「分子モーター」、「応用バイオ分析」の3つトピックスに注目し、それぞれを専門とする担当会員(柳川委員、曾和委員、小松委員)にご自身の最近の研究成果を紹介いただくと共に、外部から若手専門家(4名)を招聘し、ご講演・ご議論いただいた。以下に、第2回研究会について詳細を記したい。

## 2・1 第2回 バイオ単分子研究会

第2回バイオ単分子研究会は、大島先生、森田先生にもご参加いただき総勢18名で開催した。上述の通り、3つのトピックスに分け、担当会員と外部演者に最新の成果をご講演していただくと共に、それらをベースとした熱い議論が交わされた。また、講演後、Spatial Chatと居酒屋セットを組み合わせた交流会を行い、深夜まで研究談義は続いた。講演内容は以下の通りである。



第2回バイオ単分子研究会での記念撮影

### ➤ 1 分子計測/解析技術

#### 講演 ① 「細胞内1分子計測の自動化による次世代ハイコンテンツ解析への展望」

柳川 正隆 会員

柳川会員からは、細胞内1分子イメージングの自動化・多色化を通じた次世代のハイコンテンツ解析について最新の成果をご紹介いただいた。バイオDX化の潮流は、従来の transcriptome や proteome だけでなく、1分子イメージングの分野においても押し寄せている。講演を通じて、特に細胞膜上の受容体/シグナル伝達分子の1分子イメージングにおいては、柳川会員が開発されてい

る計測技術が世界を先導し、種々の研究成果がでつつある現状を認識した。是非、今後も世界を先導し、世界を驚かす研究成果を継続して発信してほしいと考えている。

#### 講演 ② 「チャンネル活性測定法の開発と光感受性タンパク質の研究・応用」

平野 美奈子さん（光産業創成大学院大学 講師）

平野美奈子さんからは、自身の得意とする1分子チャンネル計測技術だけでなく、最近開発に成功した光遺伝学ツールに関する最新の成果をご紹介いただいた。前者に関しては、柳川会員と同様、DX化に積極的に取り組まれており、地場の産業体と連携した自動計測技術の開発事例をご説明いただいた。これは、新しい産学連携のモデルケースになるのではないかと思った。また、後者に関しても、新種の光受容タンパク質の改変により、新しい光遺伝学ツールの開発に成功しており、今後の応用展開が非常に楽しみである内容であった。

#### ➤ 分子モーター

##### 講演 ① 「細菌べん毛モーターの固定子ダイナミクスと回転機能」

曾和 義幸 会員

曾和会員からは、最近の構造解析の結果から予想されている細菌べん毛モーターの動きの1分子観察に関する取り組みについて最新の成果をご紹介いただいた。曾和会員がこれまで開発されてきた要素技術を更に洗練化させた新技術の紹介が中心で、今後の展開が非常に期待されるものであった。また、後半では、細菌べん毛モーターの環境応答性(走化性)に着目したバイオセンサーの開発についてご紹介いただき、分子モーター研究の応用に着目した非常にユニークな内容であった。

##### 講演 ② 「DNA ナノデバイスと単分子計測の融合から拓く分子メカノバイオロジー」

岩城 光宏さん（大阪大学 免疫フロンティア研究センター 特任准教授）

岩城光宏さんからは、力学センサーと物理操作を兼ね備えたDNAオリガミ技術の開発と、それらを用いた分子モーター(ミオシン)研究について最新の成果をご紹介いただいた。特に、DNAオリガミを利用して、複数個のミオシン分子を適切な位置関係で配置し、サルコメアを人工的に再現した研究は、単分子のモーター機能と細胞機能をつなぐ非常に興味深い内容であった。今後、基礎生物学だけでなく薬医学への貢献を強く期待している。

## ➤ 応用バイオ分析

### 講演 ① 「酵素のはたらきを網羅的に見て疾患を知る」

小松 徹 会員

小松会員からは、血液中の酵素活性を1分子単位で精査し、早期疾患診断へとつなげる最新のバイオ分析技術についてご紹介いただいた。薬学/ケミカルバイオロジーを専門とする小松委員の蛍光プローブ技術が単分子計測の長所と結びついた非常に素晴らしい成果であり、今後の薬医学への貢献が強く期待できるものであった。

### 講演 ② 「生化学研究ツールとしてのイメージング質量分析」

杉浦 悠毅さん（慶応大学 医学部 講師）

杉浦悠毅さんからは、生化学研究ツールとしてのイメージング質量分析の最新の成果についてご紹介いただいた。杉浦さんが取り組んでいらっしゃる臓器におけるイメージング質量分析は、各種生理活性物質の臓器/細胞レベルの局在を可視化できる非常に強力なツールであり、従来の生化学と医学をつなぐ重要な役割を担うことが強く期待されるものであった。

### 講演 ③ 「潜在変数モデルによる低分子化合物の理解と活用」

水野 忠快さん（東京大学大学院 薬学系研究科 助教）

水野忠快さんからは、オミクスデータをどのように恣意性なく解析し、理解を深めるのかについて最新の成果をご紹介いただいた。先にも述べたように、昨今のバイオ分析においてはDX化に伴いオミクスデータなどのビックデータの解析が必要不可欠になりつつある。そのなかで、どのようにしてオミクスデータを恣意性なく解析し、重要な知見を創出するのが重要な課題になりつつあるが、その解決策について、水野さんの専門である低分子化合物の薬効を例に非常にクリアにご説明いただいた。今後の単分子研究もビックデータの解析は避けては通ることはできず、水野さんのご発表は非常に参考になるものであった。

## 3. さいごに

今年度は、2回の研究会を盛況に終えることができ、当初の目的であった、若手研究者による異分野交流を実現できたと思う。これも、事務方の作原さん、守屋さんをはじめとする関係者の皆様のご尽力によるところが多く、御礼申し上げます。来年度は、対面での研究会を開催し、より一層の交流を計ると共に、新しい研究シーズを生み出す素地ができればと考えている。今後もバイオ単分子研究会へのご支援をよろしく願いいたします。

## 研究会開催記録

【第1回】 2021年6月23日（水） オンライン開催

テーマ：「第10期 バイオ単分子研究会キックオフ」

「研究会員自己紹介&近況報告」

バイオ単分子研究会全会員（12名）による発表

参加者 13名（会員12名、会員外1名）

【第2回】 2022年2月10日（木） オンライン開催

テーマ：「1分子計測/解析技術」

1. 「細胞内1分子イメージングの自動化による次世代ハイコンテンツ解析への展望」

理化学研究所 開拓研究本部

柳川 正隆

2. 「チャンネル活性測定法の開発と光感受性タンパク質の研究・応用」

光産業創成大学院大学 バイオフィットデザイン分野

平野 美奈子\*

テーマ：「分子モーター」

1. 「細菌べん毛モーターの固定子ダイナミクスと回転機能」

法政大学 生命科学部

曾和 義幸

2. 「DNA ナノデバイスと単分子計測の融合から拓く分子メカノバイオロジー」

大阪大学 免疫学フロンティア研究センター

岩城 光宏\*

テーマ：「応用バイオ分析」

1. 「酵素のはたらきを網羅的に見て疾患を知る」

東京大学 大学院薬学系研究科

小松 徹

2. 「生化学研究ツールとしてのイメージング質量分析」

慶應大学 医学部

杉浦 悠毅\*

3. 「潜在変数モデルによる低分子化合物の理解と活用」

東京大学 大学院薬学系研究科

水野 忠快\*

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 17名（会員11名、会員外6名）



## バイオ単分子研究会員名簿

渡邊 力也	理化学研究所 渡邊分子生理学研究室	主任研究員 研究会委員長
岡崎圭一	分子科学研究所 計算科学研究センター	准教授
Soo Hyeon Kim	東京大学 生産技術研究所	講師
久保稔	兵庫県立大学大学院 理学研究科	教授
古賀信康	自然科学研究機構 生命創成探究センター	准教授
古寺哲幸	金沢大学 ナノ生命科学研究所	教授
小松徹	東京大学 薬学系研究科	助教
曾和義幸	法政大学 生命科学部	教授
中村彰彦	静岡大学 農学部応用生命科学科	准教授
西増弘志	東京大学 先端科学技術研究センター	教授
藤田大士	京都大学 高等研究院	准教授
柳川正隆	理化学研究所 開拓研究本部	研究員

2022年3月現在

## ロボティクス技術と力触覚、そして五感へ

委員長 都甲 潔

九州大学 特別主幹教授

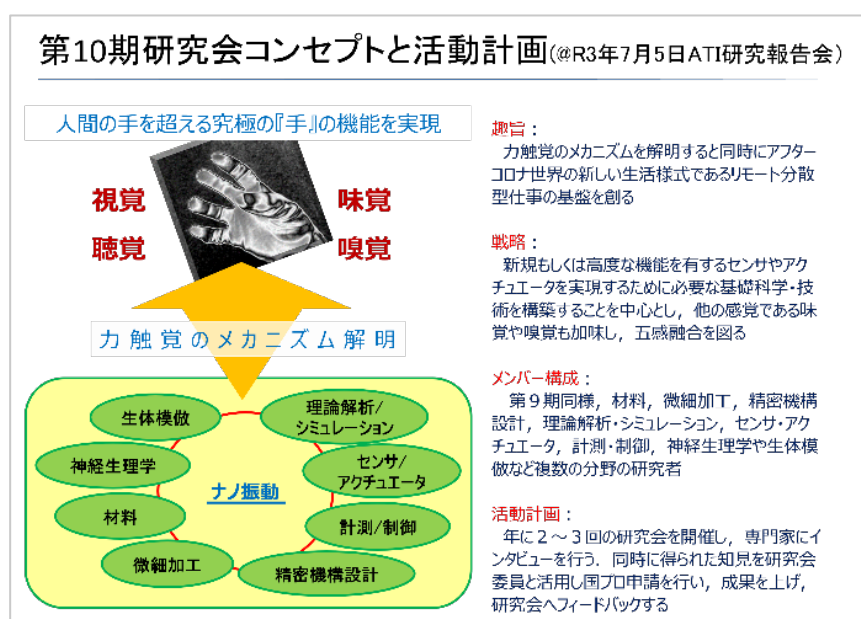
### 1. 研究構想：力触覚について

ナノメカニクス研究会は、10年から20年先の将来社会を予想し、その社会的課題を解決するために設立されたものであり、Society5.0のロボティクス技術に注力する。

具体的には、微小な寸法の3次元構造がもたらす機械特性と機能を探究し、高性能化や新機能を付加したセンサ、アクチュエータ応用の基礎科学技術を構築することを最初の目標とする。「力触覚」をキーワードの一つとして、生体機構など複数に渡る分野の科学技術を融合し、従来にない高度集積・知能システムを創成し、最終的には、研究成果の社会実装という形の社会貢献を目指す。

力触覚に関する研究では、表面の質感や硬さ、弾力、動きといった力触覚のセンシングと伝達、アクチュエータによる再現がまだ可能となっていない。もし、これが可能になると、柔らかいもの、形状が不定なものなどに対しても微妙で多様な作業を安全、安心、確実かつ迅速に実行できる。つまり、人間の手を超える究極の「手」の機能が実現することになる。

図1 人間の手を超える試み




研究会メンバーにはセンサ、アクチュエータ、制御、MEMS、材料、微細加工、メカトロニクス、振動解析、生体機構など幅広い専門分野からなる計 13 名の研究者が参加している。本研究会の特徴は出口指向にあり、社会貢献を目指す。その目的達成のために、異分野の研究者が忌憚のない意見交換をすることで、世界初の技術を創出する。研究会メンバーと審議の上、まずはメカニカル機構などを利用したハプティクス機能に関する情報収集と議論から進めることとした。

2021 年に第 10 期（当研究会では第 2 期）に移るにあたり、8 月に今後の方針や要望に関する調査を研究会メンバーに行った。結果を図 2 に示す。「有識者を招いての講演を聴く機会は貴重な機会」「本関連テーマに対して関連の講演していただくことは良い」「まとまった話を伺うのは、学会の限られた時間で実施される講演会とは異なり、普段より深く理解できた」「研究室の見学ができれば、現物を見ることができ、いろいろなイメージがわく」「今後の調査と新分野開拓に資すると考えられる分野について委員からの内容紹介や、専門家を招き講演していただくことを継続することを第一にしたい」等々、おおむね現状の進め方で良いとの感触を得た。その上で、さらなる拡張を図るために力触覚を含む形で「五感」というキーワードも追加した。

図 2 研究会委員からの回答

## ナノメカニクス研究会へのご要望とご意見



### 現状感想

- ・これまでの有識者を招いての講演を聴く機会は貴重な機会であり大変勉強になっている。このような機会を引き続き定期的に設けていただきたい。
- ・現状の本関連テーマに対して関連の講演をして頂くことは良いと思う。
- ・力触覚→「センサ、五感」の考慮は同意できる。
- ・著名な先生を招いての講演は、いずれも大変勉強になった。まとまった話を伺うのは、学会の限られた時間で実施される講演会とは異なり、普段より深く理解できた。講演のあとの懇親会でさらに深くお話を伺えて良かった。当面は、このような形式を続けるのが良い。
- ・これまで通り、興味のあるテーマについて演者をお呼びし、講演してもらうのが良い。まとめてお話しを聴く機会がない先生方の講演は貴重な機会。
- ・さまざまな研究成果の講演を聞かせて頂き、大変ためになっている。
- ・本研究会が、広い意味で「感性」ということを対象にするという前提を考えると、今後のIT社会とヒトの感性との関りは、これまでとは違った価値観が形成される面白そうな雰囲気がある。

## 2. 2021 年度の研究活動の概要

2020 年度に続き、講演を中心とした研究会を開催したが、本年度もコロナ禍で、リアル開催が不可能であったため、オンライン開催とした。結果、11 月に山形大学大学院有機材料システム研究科関根智仁助教、ならびに早稲田大学大学院情報生産システム研究センター植田敏嗣名誉教授にそれぞれ「有機機能性材料による触覚デバイスの開発とセンシングシステム応用」と「高精度センサと周辺技術」の講演を賜り、活発な意見交換がなされた。

関根講師は 2020 年度 ATI 研究助成を受けており、そのテーマでの講演を戴いた。機能性材料を用いた薄膜センサの現状に加え、ロボット触覚システムへの展開について高感度圧力センサとすべり覚（せん断応力）センサを例にとり、研究紹介がなされた。ナノカーボン複合材料によるソフト圧力センサ、強誘電性高分子によるソフトすべり覚センサについて豊富なデータを元に説明がなされ、ソフトロボット実装による触覚信号検出デモンストレーションもなされた。

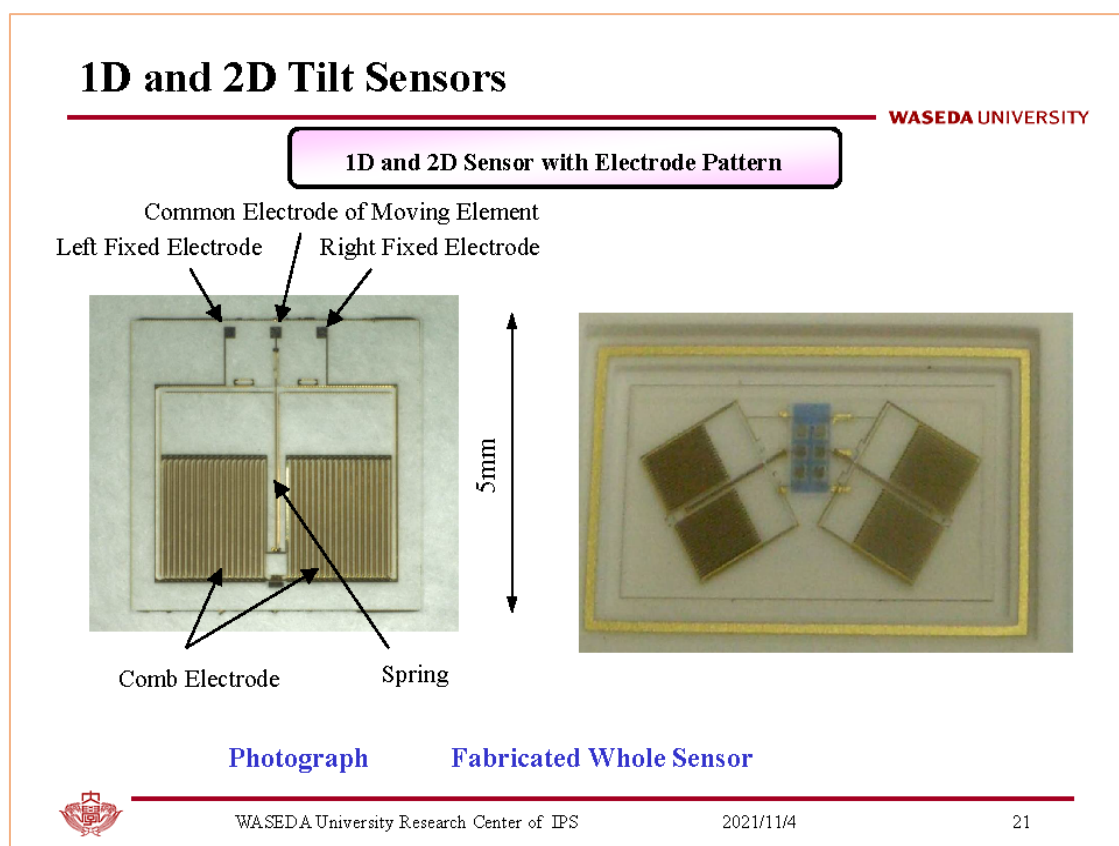
図3 ソフト圧力センサの動作原理



植田講師からは産業用・工業用・航空宇宙用・医療用等の高精度センサの紹介がなされた。このセンサが実用化されれば、生産数 10,000/年、価格 50,000 円以上、精度 1~0.001%、マーケットサイズ 100,000~2,000,000 千円/年とのこと。単結晶水晶のウエハをエッチング加工して製作した傾斜センサを例に上げ、具体的に実施した研究開発内容の説明がなされた。試作したセンサのフィールドテストの報告もなされ、実用化の域に近づいていることを実感させられた。

今回の講演2件は、前者が今後の飛躍が期待される新進の科学技術であり、後者は既に民間企業と組んでいることもあり、実用化を強く意識した研究開発となっており、互いに対照的で興味深いものがあった。

図4 1Dならびに2D傾斜センサ



明るる3月には、モーションリブ株式会社緒方仁是取締役COOに「力触覚を操る制御技術リアルハプティクスを実装する「AbcCore」」、ならびに立命館大学情報理工学部野間春生教授と Contact 株式会社東輝明代表取締役役に「触れるためのセンシング技術:触覚センサの研究と実用化」の講演を賜り、活発な意見交換がなされた。

緒方講師からはモーションリブ株式会社が慶應義塾大学理工学部にて発明された世界初の力触覚技術「リアルハプティクス」を社会実装するためにスピナウトした会社であると紹介され、同社が解決する社会課題とその市場、解決策としての「リアルハプティクス」の技術概要および適用例・実用例が説明された。リアルハプティクスは世界で初めて完全な力触覚の双方向伝送を実現した「遠隔操作」の制御技術である。現在、80社以上の企業と共同研究開発が進んでおり、すでに2018年からAbcCoreを搭載した製品や自社設備の実用化がスタートしているとのこと。

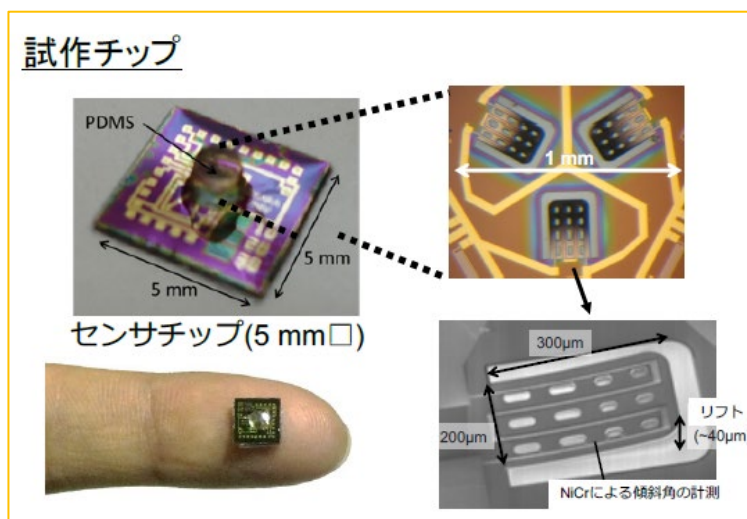
食品、フィルム、布といった柔軟な物体を扱うシーンや研磨・バリ取り、拭き取りなど接触動作を伴う作業において遠隔操作や熟練技能者の力加減を模した自動化が進んでいるとの報告がなされた。

図5 制御IC「AbcCore」



野間講師と東講師からは、モノをしっかり持つための触覚の条件が提示され、ここで提案する触覚センサの特長の説明に続いて、ヒトの有する4つの機械受容器の紹介が効果的になされ、その事実を踏まえて開発する要素の特徴がかいつまんで説明された。実用化を図るために立命館大学と新潟大学による「力触覚技術応用コンソーシアム」が設立されたこと、及びその概要が紹介された。さらに、Con-Tact 株式会社は協働ロボットでの器用さ、大きさ、コストに関する課題を解決するために設立されたこと、「汎用触覚センサ」のデファクトスタンダードを目指していることなどが説明された。

図6 3軸MEMS 触覚センサ試作チップ



今回の講演2件とも力触覚技術の実用化を目指すという意味で似通っていたが、前者はセンサ不要の技術であり、後者はセンサ開発を主としており、互いに補完的な科学技術となりうるという印象をもった。

### 3. 2022年度活動計画

本研究会の特徴は出口指向にあり、社会貢献を目指す。2021年度は有識者による講演の場を設け、予定通り異分野の研究者が忌憚のない意見交換をすることができた。3年前の発足時に比べ、力触覚の基礎と応用・実用化に関して格段に豊富な知識を得ることができた。今後の進め方について会員の方々に意見を伺ったところ、取り扱う内容を多少拡大し、このままの方針を進めることのできることを得たので、2022年度は対象とする学術領域を拡張し「五感」や「MEMS」をキーワードに含め、2021年度同様、講演を中心とした情報収集と意見交換を行う。最終的には、これらの成果の社会還元を可能とする。

## 研究会開催記録

【第1回】2021年11月4日(木) オンライン開催

1. 「有機機能性材料による触覚デバイスの開発とセンシングシステム応用」  
山形大学大学院 有機材料システム研究科 関根 智仁<sup>※</sup>
2. 「高精度センサと周辺技術」  
早稲田大学大学院 情報生産システム研究センター 植田 敏嗣
3. 今後の進め方議論

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 15名 (会員 12名、会員外 3名)

【第2回】2021年3月8日(火) オンライン開催

1. 「力触覚を操る制御技術リアルハプティクスを実装する「AbcCore」」  
モーションリブ株式会社 取締役 緒方 仁是<sup>※</sup>
2. 「触れるためのセンシング技術：触覚センサの研究と実用化」  
立命館大学 情報理工学部 野間 春生<sup>※</sup>  
Con-Tact 株式会社 代表取締役 東 輝明<sup>※</sup>

※印は会員外の講演者、敬称略

参加者 17名 (会員 11名、会員外 6名)



## ナノメカニクス研究会員名簿

都甲 潔	九州大学 高等研究院 五感応用デバイス研究開発センター	特別主幹教授 特任教授 研究会委員長
脇若 弘之	信州大学 工学部	特任教授 研究会副委員長
相原 建人	法政大学 理工学部機械工学科	准教授
土方 亘	東京工業大学 工学院機械系	准教授
川戸 佳	順天堂大学 医学部泌尿器外科学 東京大学	客員教授 名誉教授
竹村 泰司	横浜国立大学大学院 工学研究院	教授
大岡 昌博	名古屋大学大学院 情報科学研究科	教授
古谷 克司	豊田工業大学 工学部先端工学基礎学科	教授
植田 敏嗣	早稲田大学 情報生産システム研究センター	名誉教授
中本 裕之	神戸大学大学院 システム情報学研究科	准教授
式田 光宏	広島市立大学 情報科学研究科医用情報科学専攻	教授
山岡 悦二	KOA株式会社	取締役
重城 幸一郎	セイコーウオッチ株式会社 商品開発本部	部長
飯野 朗弘	セイコーインスツル株式会社 精密デバイス事業本部	部長

2022年3月現在



発行：公益財団法人 新世代研究所

Foundation Advanced Technology Institute

〒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

ホームページ：<http://www.ati.or.jp>

