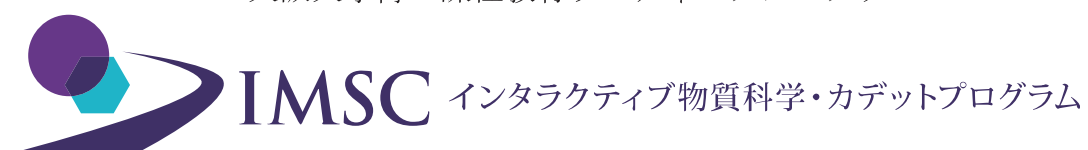


物質科学研究室ローテーション 1 / 2

令和 4 (2022) 年度

研究室紹介

大阪大学博士課程教育リーディングプログラム



目次

シラバス

物質科学研究室ローテーション 1	1
物質科学研究室ローテーション 2	2

基礎工学研究科

物質創成専攻

物性物理工学領域

井澤研究室「輸送係数による強相関係のエキゾチックな電子状態の研究」	3
石渡研究室「データベースと第一原理計算を活用した新しい熱電変換材料の開発」	4
鈴木研究室「情報熱力学と計算能力：磁気スキルミオン多体系を例にして」	5
千葉研究室（産業科学研究所）「フレキシブルスピントロニクスデバイスの開発」	6
藤本研究室「トポロジカル絶縁体・超伝導体の理論研究」	8
棕田研究室「核磁気共鳴を用いたミクロな視点からの高温超電導や新奇量子相の物性研究」	9
山本研究室「量子相関をもつ光子対の生成、操作および観測」	10

機能物質化学領域

直田研究室「機能性分子の設計・合成と物性評価」	11
中西研究室（太陽エネルギー化学研究センター）「電気化学を基盤とする環境エネルギー技術」	12
福井研究室「電極と界面近傍でのイオン液体中の溶質金属イオンの拡散挙動」	13

化学工学領域

馬越研究室「自己組織系の物理化学的な特性解析および生体分子との相互作用」	14
西山研究室「化学と物理学が融合する場としての液晶」	15
松林研究室「分子集合系における物質分配の理論解析」	16
水垣研究室「環境調和型反応に向けた高機能固体触媒の研究」	17

未来物質領域

石原研究室「微視的光学応答理論によるナノ光機能の探求」	18
清水研究室（極限科学センター）「高圧下の超伝導」	19
田中研究室（産業科学研究所） 「エピタキシャル機能性酸化物薄膜の作製と相変化デバイスの機能評価」	20
宮坂研究室「時間分解計測による光化学反応過程の機構解明」	22

システム創成専攻

電子光科学領域

阿部研究室（極限科学センター） 「STMによる表面解析」もしくは「高速 AFM による生体分子の動態解析」	23
酒井研究室「電子顕微鏡を用いた微細構造解析」	24
浜屋研究室「スピンドバイス用機能性単結晶薄膜の作製/微細加工と物性評価」	25
藤井研究室「量子コンピューティングの物性物理・量子化学計算・機械学習への応用」	26

システム科学領域

長井研究室「人工知能とロボティクスの融合による人のような柔軟な知能の研究」	27
細田研究室「ソフトセンサの開発と評価」	28

機能創成専攻

生体工学領域

大城研究室「Multi - functional Presentation」	29
--	----

非線形力学領域

後藤研究室「流れの非線形現象に隠された秩序」	30
中村研究室「ナノスケールでの材料の硬さと光環境に関する研究」	31

機能デザイン領域

尾方研究室「ナノ材料の強さと変形の原子・電子論的研究」	32
-----------------------------	----

理学研究科

物理学専攻

大岩研究室（産業科学研究所）「量子ドットと単一電荷計による量子伝導計測」	33
小川研究室☆「非平衡量子系の理論的研究」	35
木村研究室（生命機能研究科）「光学的・光電的測定による物性研究」	36
黒木研究室「固体中電子のバンド構造とゼーベック効果」	37
越野研究室「2次元物質のバンド構造と物性」	38
豊田研究室（フォアフロント研究センター）「質量分析による物質科学」	39
萩原研究室（先端強磁場科学研究センター）「パルス強磁場を用いた物性測定」	40
花咲研究室「遷移金属化合物の作成と物性評価」	41
松野研究室「強相関電子系の薄膜物質合成」	42

化学専攻

奥村研究室「量子化学計算を用いた物性計算」	43
久保研究室「 π 電子系有機分子の合成と物性評価」	44
谷口研究室（産業科学研究所）「微細加工技術を用いた1分子解析法の開発」	45
中澤研究室「熱的な実験手法を中心とした物性科学」	46
中谷研究室（産業科学研究所）「RNAと相互作用する低分子の設計・合成・探索・利用」	47
深瀬研究室「天然物有機化学 - 生物活性糖鎖の機能研究 - 」	48
藤原研究室☆（蛋白質研究所）「高分解能分光法を用いたタンパク質の分子構造解析実験」	49
北條研究室☆（蛋白質研究所）「環状ペプチドの合成と構造評価」	50
松本研究室「神経型分子ナノネットワークを用いた情報処理の試み」	51
水谷研究室「共鳴ラマン分光法を用いたタンパク質の構造化学研究」	52
村田研究室☆「脂質分子が形成するドメインの物性評価」	53

高分子科学専攻

井上研究室「レオロジー測定による物性研究」	54
今田研究室「生体高分子の構造研究法」	55
栗栖研究室☆（蛋白質研究所）「タンパク質の構造解析」	56

高島研究室（高等共創研究院・理学研究科高分子科学専攻）

「可逆性架橋と可動性架橋を組み合わせた機能性高分子材料創製に関する研究」…………… 57

中川研究室☆（蛋白質研究所）「蛋白質の立体構造解析」…………… 58

橋爪研究室「連鎖制御高分子の合成」…………… 59

工学研究科

応用化学専攻

家研究室（産業科学研究所）

「有機半導体材料の分子設計、有機合成、基礎物性、および、素子機能評価」…………… 60

伊東研究室「生物無機化学 ―遷移金属酸素錯体の合成・構造・機能―…………… 61

菊地研究室「ケミカルバイオロジー：化学を使って生体機能を解き明かす」…………… 62

藤内研究室「脱炭素社会に向けた有機多孔質材料の研究」…………… 63

鳶巣研究室「機能性分子の有機合成と触媒反応開発」…………… 64

林研究室「バイオハイブリッド触媒のデザイン、構築、機能評価、反応性制御」…………… 65

南方研究室「有機合成化学入門」…………… 66

安田研究室「典型元素を活用した有機合成化学」…………… 67

物理学系専攻

坂本研究室「原子層結晶での新奇電子物性探索」…………… 68

森川研究室「第一原理計算によるナノスケール・シミュレーションとマテリアル・デザイン」…………… 69

山内研究室

「超精密加工法の開発とX線用高精度光学素子・次世代半導体基板加工への応用」…………… 70

マテリアル生産科学専攻

計算材料設計学領域「第一原理量子シミュレーション手法の開発とマテリアルデザインへの応用」…………… 71

藤原研究室「有機金属気相エピタキシャル成長法による発光ダイオードの作製」…………… 72

山下研究室「金属ナノ粒子担持触媒の調製・構造解析・触媒性能評価」…………… 73

伊藤研究室（接合科学研究所）「材料科学的視点に基づいた微細組織観察・構造解析」…………… 74

注意)

☆印：オナー大学院・物質科学ユニット生（カデット準履修生）のみの受け入れ研究室

関山研（基礎工・物性物理工学領域）、芦田研（基礎工・未来物質領域）、北川研（基礎工・電子光科学領域）、桑畑研（工・応用化学専攻）については2022年度については一時的に受け入れをしない。

科 目 名	物質科学研究室ローテーション 1 (カデット PBL) Materials Science Laboratory Rotation 1
時間割コード	9C0011※ 単 位 数 2 単位
担当教員	飯 島 賢二 居室 内線 e-mail
質問受付	適時
履修対象	博士前期課程大学院生
開講時期	6 月～1 0 月の間の 3 ヶ月間 (2 0 時間程度/週) (詳細は受け入れ研究室の指導教官が指示)
講 義 室	各受け入れ研究室の指導教官が指示する。
授業の目的・概要	自分の専門以外の研究領域に属する他研究室での研究・教育指導を体験 (約 3 ヶ月間) することにより、物質科学の特定の研究領域における「高度な専門性」に加えて幅広く異分野に触れる機会を持つ。実施にあたり PBL(Project Based Learning)の手法を用い受け入れ先指導教員と 3 ヶ月間の取組み目標を議論して、マイルストーン含み計画に落とし込む (プロジェクト化)。期間中は計画の修正を行いながら目標の達成を目指す。
学習目標	(1) 自分の主専門とは異なる研究手法、研究領域に対する興味や実践に伴う知識を備えた「複眼的思考」や「俯瞰的視点」、(2) 他の専門領域の研究者と互いの専門領域をベースとして議論ができる「コミュニケーション力」を習得する。(3) 目標の明確化と計画立案、目標達成に向けた計画推進力を修得する。
履修条件	インタラクティブ物質科学・カデットプログラム履修生であること。
授業計画	専門研究を本格的に始める前に、他の研究領域の範疇に属する他研究室にて、異分野の研究を体験する。履修生は、1 つの研究室 [自分の所属する専攻以外 (基礎工の場合は領域以外)] に所属し、受け入れ研究室での研究・教育指導を受ける。合わせて、計画立案と推進力について修得する。
教 科 書	各受け入れ研究室の指示に従う。
参 考 書	各受け入れ研究室の指示に従う。
成績評価	成果報告書と成果発表会での発表をもとに成績を評価する。

※基礎工所属学生については「基礎工学研究室ローテーション B」で履修登録を行うこと。
詳細は基礎工大学院係へ問合せすること。

科目名 物質科学研究室ローテーション2 (カデット PBL)

Materials Science Laboratory Rotation 2

時間割コード 9C0012※

単位数 2 単位

担当教員 飯島 賢二

質問受付 適時

履修対象 博士前期課程・後期課程の大学院生

開講時期 6 月～10 月の間の 3 ヶ月間 (20 時間程度/週) (詳細は受け入れ研究室の指導教官が指示)

講義室 各受け入れ研究室の指導教官が指示する。

授業の目的・概要

専門研究を本格化させた後、例えば自ら作製した資料を持って測定系の研究室に乗りこむ、自らの実験結果の理論解析のため理論研究室に常駐するなど、専門研究の幅をひろげるための取組みを行う。実施にあたり PBL(Project Based Learning)の手法を用い受け入れ先指導教員と 3 ヶ月間の取組み目標を議論して、マイルストーン含み計画に落とし込む (プロジェクト化)。期間中は計画の修正を行いながら目標の達成を目指す。

学習目標 自分の主専門とは異なる研究領域での研究手法を活用して自己の専門力の深みと幅をひろげることを目標としています。また、目標の明確化と計画立案、目標達成に向けた計画推進力を修得する。

履修条件 インタラクティブ物質科学・カデットプログラム履修生であること。

授業計画 専門研究を本格的に始めた後、研究の幅を更に広げることを目的とする。履修生は、1 つの研究室 [自分の所属する専攻以外 (基礎工の場合は領域以外)] に所属し、受け入れ研究室での研究・教育指導を受ける。

教科書 各受け入れ研究室の指示に従う。

参考書 各受け入れ研究室の指示に従う。

成績評価 成果報告書と成果発表会の発表をもとに成績を評価する。

※基礎工所属学生については「基礎工学研究室ローテーション B」で履修登録を行うこと。詳細は基礎工大学院係へ問合せすること。

研究室ローテーション 基礎工学研究科物性物理工学領域 井澤公一研究室
「輸送係数による強相関係のエキゾチックな電子状態の研究」

【目的と達成目標】

電子間相互作用が強い系では、電子の有効質量が通常の100～10000 倍にも達する重い電子状態、磁気秩序はもちろんのこと電荷秩序や多極子秩序などの多様な秩序状態、非フェルミ液体的挙動と呼ばれる異常な金属状態とそのような異常金属において発現する非従来型超伝導など、従来の金属では考えられないエキゾチックな現象が数多く見られる。これら強相関係に見られる特異な量子凝縮状態は多くの注目を集め、その理解を目指して数多くの研究がなされている。本研究室ローテーションでは、このような強相関電子系における特異な電子状態を調べるための実験方法について学び、実際に実験や解析に携わることで、どのように電子状態を理解してゆくのかを体感することを目的としている。



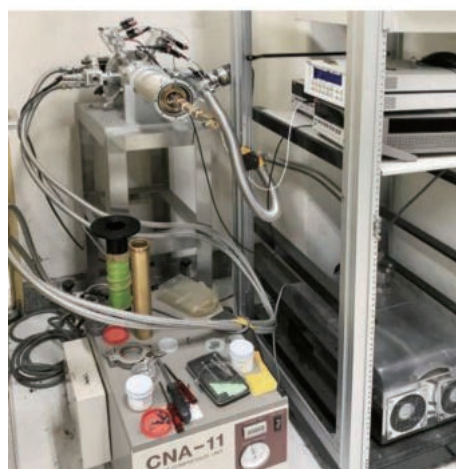
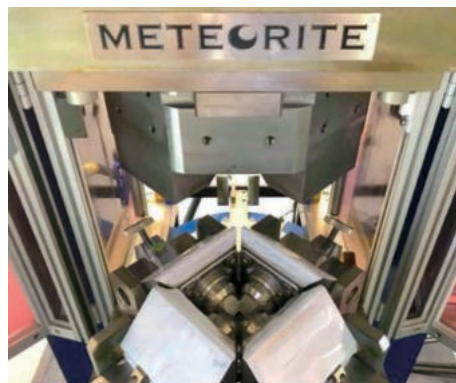
極低温高磁場で物性測定をするための冷凍機と超伝導磁石

研究室ローテーション 基礎工学研究科物性物理工学領域 石渡研究室
「データベースと第一原理計算を活用した新しい熱電変換材料の開発」

【目的と達成目標】

近年の計算・情報科学の急速な発展により、新しい機能性材料の構造安定性や電子状態を予測し、さらにそれらの物性値を半定量的に評価することが可能になりつつある。このような計算・情報科学を活用した機能性材料の設計が特に威力を発揮する系として、熱電変換材料が挙げられる。熱電材料は物質の構造や電子状態に依存した輸送係数（電気抵抗率、ゼーベック係数、熱伝導率）により、熱と電気エネルギーの変換性能が決まる。本研究室ローテーションでは、新たな高性能熱電変換材料の開拓を目指し、材料データベースや第一原理計算に基づいた高効率熱電材料の開拓を目指し研究を行う。特に、自ら候補材料を見つけ、高圧合成法や真空封管法などの様々な手法を駆使した試料合成を行い、電気抵抗率・ゼーベック係数・熱伝導率などの物性評価を行うことで、新物質開拓の醍醐味を体感してもらう。

【開講時期】 6月から10月までの間の3ヶ月間（時期は相談により決定）。



実験設備：高圧合成用 700 トンプレス
（上）、輸送特性測定装置（下）

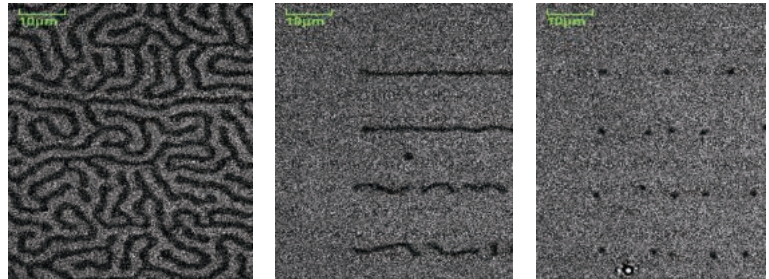
研究室ローテーション 基礎工学研究科物性物理工学領域 鈴木義茂研究室
「情報熱力学と計算能力：磁気スキルミオン多体系を例にして」

【目的と達成目標】

物の性質を推し量ろうとする時、我々は物に刺激を与えその応答を観察する。このことは入力に対して物質が計算をして、その答えを返したと見ることが出来る。線形応答であれば足し算の様な簡単な計算しかできないが、非線形で履歴に依存した応答をする物質またはメタ物質にはより高度な計算(学習と思考)を可能にするものがあるであろう。

本研究室ローテーションでは、上記の例として磁気スキルミオン多体系による”Natural computing”を探索する。磁気スキルミオンとは強磁性体中に生じ、粒子のようにふるまう磁区である。具体的には研究室が用意した回路に複数のスキルミオンを閉じ込め、相互作用下での複雑な熱運動の軌道を観察する。

実験をもとにスキルミオンの運動のシミュレーションを GPU 計算機を用いて行う。情報エントロピーの流れを追い、その計算能力をどのように定義すべきか思考する。



磁界の印加により黒の磁区が粒子状のスキルミオンと、さらに、人工的に作られたポテンシャル内に閉じ込められる。

研究室ローテーション 1/2 産業科学研究所 千葉研究室 「フレキシブルスピントロニクスデバイスの開発」

【目的と達成目標】

スピントロニクスデバイスは微小磁界センサや固体磁気メモリなどエレクトロニクスの中での存在感を高めている。当研究室ではそこに柔らかさを付与した「フレキシブルスピントロニクスデバイス」によるメカニカルセンシングに関する研究を進めており、IoT 社会に貢献するデバイスの開発を積極的に行っている。本プログラムでは、巨大磁気抵抗素子やトンネル磁気抵抗素子をフレキシブル基板上に形成しその特性評価を行うことで、センシングデバイスとしての性能向上やあらたな動作原理を生み出す研究の一端を体感していただく。具体的には、上記のいずれかのデバイスについて、製膜からプロセス、条件出し、評価を一貫して行うことを通し、動作原理について学ぶとともに、デバイス作製・評価技術を基礎から身につけることを目的とする。

研究室ローテーション 1 / 2 基礎工学研究科物性物理工学領域 藤本研究室
「トポロジカル絶縁体・超伝導体の理論研究」

【目的と達成目標】

固体中電子の織りなす量子多体物性現象の基礎理論の習得と最新の研究の動向について理解することを目指す。特にトポロジカル絶縁体・超伝導体やワイル金属、ディラック金属、磁気スキルミオン等、トポロジカルな電子状態に特徴付けられる物質とその物性に関する理論を学習するとともに、もし可能ならば各自の所属する研究室での研究テーマと関連する範囲内でトポロジカル物質の研究課題に取り組む。

研究室ローテーション1/2

基礎工学研究科物性物理工学領域 棕田研究室

「核磁気共鳴を用いたミクロな視点からの高温超伝導や新奇量子相の物性研究」

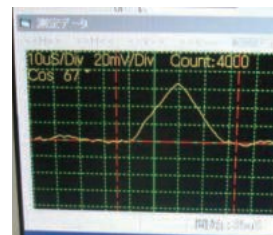
【目的と達成目標】

核磁気共鳴（Nuclear Magnetic Resonance=NMR）法は、原子核磁気モーメントと電子磁気モーメントとの相互作用を通じて物質の性質を、ミクロスコピックな視点からアプローチする実験手法であり、現在物性物理学で欠かせない測定手法の一つとなっている。特に、低エネルギーの励起を観測するため、フェルミ面近傍の電子状態や磁氣的性質などに敏感なプローブである。核磁気共鳴の実験を通じて、物質内の電子状態に関してどのような知見が得られるかを修得することを目的とする。当研究室では新しい超伝導体の物性解明に取り組んでいるので、そのテーマの測定の一部を担当してもらってもよいし、所属する研究室の研究対象物質を持ち込んでNMR測定することもよい。このような実験を通じて、NMR測定の原理や方法、低温寒剤の取り扱い、結果の解析手法などを修得してもらう。これまでに学生4名(2012年,2015年,2016年,2017年)の受け入れ実績があり、単なる研究体験に終わらせず、ここでの成果を日本物理学会で成果発表するところまで指導してきている。



超伝導体の NMR 測定風景

新奇超伝導体の
NMR 信号（スピン
エコー信号）
の例。ミクロな
視点で超伝導の
起源を探る

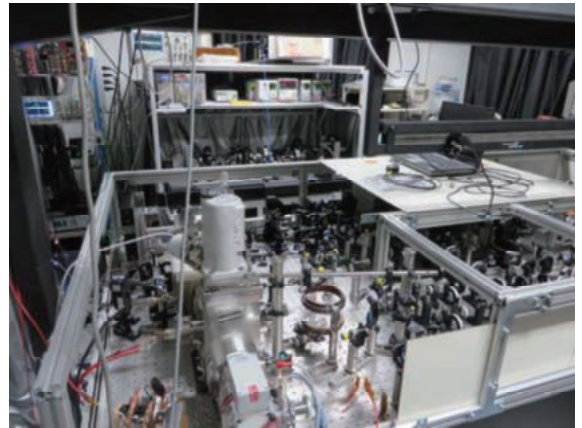


研究室ローテーション 1 / 2 基礎工学研究科物性物理工学領域 山本研究室
「量子相関をもつ光子対の生成、操作および観測」

【目的と達成目標】

量子状態を生成し、操作し、観測することは量子情報処理の要素技術である。光は室温でこれらが可能となる稀な物理系であり、量子情報処理において重要な役割を果たす。理論的に非常に正確に記述できる光としてレーザー光があるが、これは古典と量子の境目の状態であり、これだけでは真の量子情報処理に利用することは難しい。しかし、レーザー光を利用した相互作用や光子検出を利用することで量子状態を観測することができる。特に光子対を生成し、さらに量子相関（エンタングルメント）をもたせることで様々な量子操作が可能となる。このような光子対の生成、操作、観測に関して基礎から最新のトピックまでを俯瞰し、実験的な研究を行うことを目的とする。

達成目標：原理や方法について修得し、測定結果の解釈ができるようになることを目標とする。



図：エンタングルメント発生の実験装置群

研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科機能物質化学領域 直田研究室
「機能性分子の設計・合成と物性評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、合成有機化学を基盤として、特に普遍的に多目的に使用されてきた汎用有機、遷移金属配位プラットフォームの分子・集合体の空間制御を意識し、三次元改変による新たな会合、集合、光学特性、触媒作用等の高度な機能性分子を探求する基礎研究を行っている。この研究室ローテーションを履修する学生は、特異な機能性を有する有機分子、遷移金属錯体に関する基礎的な実験操作（反応試薬、器具の取り扱い）ならびに機能特性測定・解析を修得することを目的とする。

化学系の学生の場合、これまでに習得している基礎知識、基礎操作法を利用し、当研究室における先端テーマ研究に参画してもらう。機能性が見込まれるプラットフォームの設計、合成、そのプラットフォームを基盤とした三次元改変にチャレンジするとともに、それらの機能性（吸収・発光特性の測定、X線結晶構造解析による分子構造の解明、酸化還元特性、反応性、理論計算等）を探求する手法を習得する。

物理系の学生の場合、まず、比較的取り扱いが容易な試薬で合成可能なプラットフォームの合成を経験することで、基礎的な実験手法（ガラス器具の取り扱い、各種後処理方法、カラムクロマトグラフィーや再結晶による分離精製操作）および分子構造の同定法を各種スペクトル測定（NMR／IR／MS スペクトル、X線結晶構造解析）を習得する。



研究室の様子

研究室ローテーション 1 / 2

基礎工学研究科附属太陽エネルギー化学研究センター 中西研究室

「電気化学を基盤とする環境エネルギー技術」

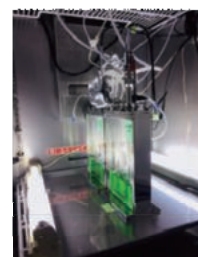
【目的と達成目標】

人類の社会活動に起因して地球規模の炭素循環には大きな乱れが生じており、これが緊急に対策を要する状況であることは言うまでもない。このような状況を脱し、真に持続可能な社会を実現するためには、CO₂の排出量を削減する技術、さらには一步進んでCO₂を資源として利用する技術の解決が不可欠である。そのための多くの環境・エネルギー技術に電気化学は深く関わっており、光電気化学技術、燃料電池・二次電池、腐食・防蝕技術、生物電気化学技術、水電解による水素生産、CO₂の電解還元などがその代表的な例として挙げられる。

本科目においては、平衡論および速度論の観点から電気化学反応の基礎を体系的に学んだ上で、次世代二次電池、(光)電解技術、および生物電気化学技術の中から研究対象を決める。電気化学システムは、一般に、触媒・電極・リアクタから構成される階層構造を有する。履修生は、触媒化学からリアクタまでのシステム全体を俯瞰した上で化学反応場を設計する方法論を学び、環境・エネルギー問題に関する基本的理解を得ることができる。



実験風景



生物電気化学



光電気化学



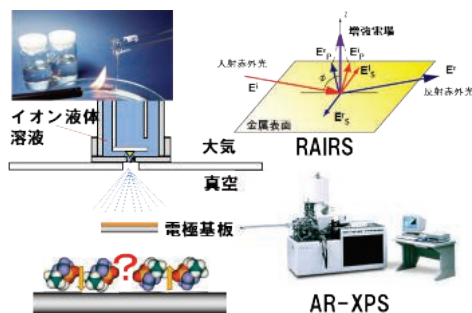
次世代二次電池

研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科 機能物質化学領域 福井研究室 「電極との界面近傍でのイオン液体中の溶質金属イオンの拡散挙動」

【目的と達成目標】

イオン液体は、分子性のカチオン(正イオン)とアニオン(負イオン)のみからなる常温で液体となる物質で、低揮発性かつ難燃性であることから、Li イオン電池や色素増感太陽電池の電解質、蓄電デバイス、電界効果トランジスタのゲート誘電体としての応用が期待されている。さらに、水や有機溶媒とは異なる第3の溶媒として、グリーンケミストリーや触媒への応用も進んできている。ところが、最近の実験的・理論的研究により、電極や触媒材料などの固体との「界面」では、単純な液体・電解質とは異なる振る舞いをする事が明らかになってきた。電気化学デバイスとしての応用で肝心となる電気二重層についてもしかりである。

この研究室ローテーションでは、グラファイト電極基板上にイオン液体分子がどのように配向して吸着し、そして構造化するのか、という電極界面の構造を、イオン液体をサブモノレイヤー単位で逐次的に担持しながら解析し、そのような特殊な界面で二次電池のエネルギーソースとなるLi⁺など溶質金属イオンの拡散挙動を解析することを目的とする。解析には、指紋領域の分子振動を高感度で測定する反射吸収赤外分光法(RAIRS)やイオンの化学状態や光電子の脱出深さの違いから薄膜構造を解析する角度分解 X 線光電子分光(AR-XPS)、界面の電子状態解析が可能な全反射遠紫外分光(ATR-FUV)を主とし、当研究室で有する各種表面分析手法を用いる。気体や水の含有によっても物性が異なるイオン液体の前処理、真空中での液体薄膜の形成法など化学的センスでの物質の扱いとともに、各種測定の方法と解析、超高真空の扱いを学び、一部、界面の分子動力学計算に触れるなど多くの経験が得られるので是非とも積極的に応募して欲しい。



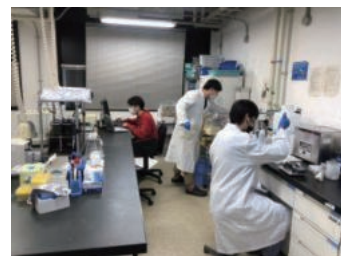
実験の概念図と測定に用いる測定法

研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科 化学工学領域 馬越研究室
「自己組織系の物理化学的な特性解析および生体分子との相互作用」

【目的と達成目標】

近年，自己組織系における分子の振舞いを理解し，化学プロセス(選択的分離，酵素反応，ドラッグデリバリーシステム，*etc.*)への応用が期待されている．自己組織系であるリン脂質2分子膜(リポソーム膜)は，種々の生体高分子(タンパク質，酵素，核酸，*etc.*)や低分子化合物(アミノ酸，*etc.*)と相互作用する事が報告されている．リポソーム膜をはじめとする自己組織化膜表層を分子認識ならびに分子構造・機能を制御するための「場」として活用するためには，体系的な膜特性の理解ならびに膜表層デザインが必要である．本研究では，分光学的な解析手法に基づいて自己組織系の特性を解析し，種々の生体高分子や低分子化合物との相互作用機構を明らかにする事を目的とする．

本研究室ローテーションでは，履修希望者の専攻分野を問わず，脂質膜をはじめとする自己組織系の調製方法や膜特性の解析手法について理論的・実験的な習得を目指す．また，ローテーション後半では，膜界面における対象分子(タンパク質，酵素，核酸，キラル分子，*etc.*)との相互作用を評価する手法について検討してもらう予定である．ローテーション全体を通して，自己組織系界面における分子の振舞いとその(物理化学的な)評価手法について理解することを最終目的とする．



実験の様子

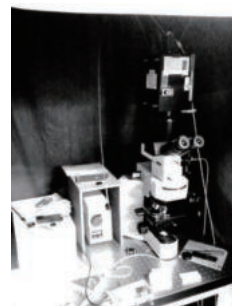
「化学と物理学が融合する場としての液晶」

【目的と達成目標】

当研究室の研究対象の一つが「液晶」である。「液晶」は液体と結晶の間に存在する「相」、つまり、固相や気相と同じように一つの状態のことを指す言葉であるとともに、「その相を示す物質」を指す言葉でもある。当研究室では、様々な種類の液晶の中でも、低分子量の有機化合物で構成される「サーモトロピック液晶」を研究対象としている。サーモトロピック液晶は液晶ディスプレイに使われている材料としても知られている。

液晶中の一分子に注目すると、有機化学の研究対象となる。例えば、液晶相を示す化合物の合成や、液晶中で起こる特異な分子の挙動について盛んに研究されている。一方で、分子集合体としての液晶に着目すると、結晶のような「異方性」を示す流体として物性物理学の研究対象となる。この異方性とは、分子の向きが揃っている(配向性)ために、見る方向によって性質が異なるという意味である。分子配向という秩序の対称性によって決まる相としての液晶相の物理的性質、例えば、電気的性質・磁性・光学的性質などが盛んに研究されている。

液晶中では各分子の化学的性質が相の配向性によって増幅され、溶液状態や結晶状態にはない様々な性質が現れる。当研究室では、液晶の構造・光・磁性について化学・物理学の両面から研究を行っている。本研究室ローテーションでは、ねじれ構造を持つ相であるコレステリック相のエマルション中における分子のキラリティーと液晶の配向構造の關係に注目し、構成分子の化学的性質がどのように液晶の界面と配向構造に影響を与え、それが物性の変化をもたらすメカニズムについて検討してもらう。その中で、物質科学のための分野融合について理解を深めてもらう。

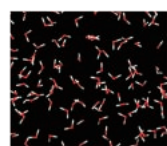


液晶観察用偏光顕微鏡

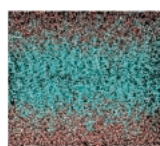
「分子集合系における物質分配の理論解析」

【目的と達成目標】

分子が集合系を構成すると、物質混合比・温度・圧力のような外部条件の設定に応じて、多彩な機能の発現に至ります。本研究グループは、溶液・界面・ミセル・脂質膜・ガラス・生体関連分子・高分子など、秩序とゆらぎを併せ持つソ



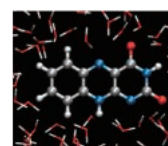
通常の意味での
溶媒和



脂質膜やミセル
への分子の結合



タンパク質への
基質結合



電子の付加
(還元)

「溶ける／溶けない」(溶媒和) の概念に基づいて
探る分子集合系の物質分配機能

フトな分子集合系を研究対象として、多彩な機能発現を導く統一的原理を解明し、個々の分子の特性に立脚して集合系全体の機能を設計するための指針の構築を目指しています。本研究室ローテーションでは、上に挙げた分子集合系における異種分子の物質分配を、分子動力学シミュレーションおよび溶液統計力学の融合によって解析します。大まかな構造を保ちつつも原子・分子レベルでは乱れた系を扱うための理論計算手法を習得し、分子集合系の物質分配機能と分子間相互作用の知見を結ぶ論理を、具体的な系に即して考究することを目標とします。

研究室ローテーション 1 / 2 基礎工学研究科 化学工学領域 水垣研究室
「環境調和型反応に向けた高機能固体触媒の研究」

【目的と達成目標】

触媒は物質変換の根幹を担い、エネルギー問題や環境問題など我々が直面する諸問題を解決するための鍵となる物質である。当研究室では、環境に優しいモノづくりを目指すグリーンケミストリー概念に基づき、環境調和型物質変換を実現する高機能な固体触媒の開発を行っている。本科目では、ターゲットとする反応を決めることをスタートとして、(1) 触媒活性中心近傍の設計、(2) 触媒の調製、(3) 目的反応の実施、(4) 反応の解析による問題点の検討、の4項目をサイクルとして、得られた情報をフィードバックしてゴールに至る。履修生は物質変換について理解することを目標として、この触媒開発のサイクルを体験し新規触媒を開発する方法論を学ぶ。



固定化ナノ粒子触媒



実験操作の様子

「微視的光学応答理論によるナノ光機能の探求」

【目的と達成目標】

光で誘起された物質の励起状態からはさらに光が放射され、またその光は物質を変調する。このように光と物質は不可分な関係を持ち互いに自己無撞着に運動する。特にナノスケールなサイズを持つ物質では励起状態のコヒーレンスが試料全体にわたって保たれ、このような無撞着な関係が顕在化して、興味深い光応答・光機能が現れる。

本研究室ローテーションでは、光に対する物質の応答を記述する基礎方程式と、微視的 Maxwell 方程式を学び、さらにこれらを連立させて得られた「微視的光学応答理論」を学習する。この理論的枠組みに基づいて興味深い系をモデル化し、解析的手法、数値的手法を用いて、光エネルギーの局在化、光圧によるナノ物質の捕捉と運動制御など

の現象の理論的デモンストレーションを体験する。このような学習を通して受講者は光とナノ物質の相互作用を支配する基本的な物理を理解し、自らで実験解析も可能になるよう数値計算技法などを習得する。

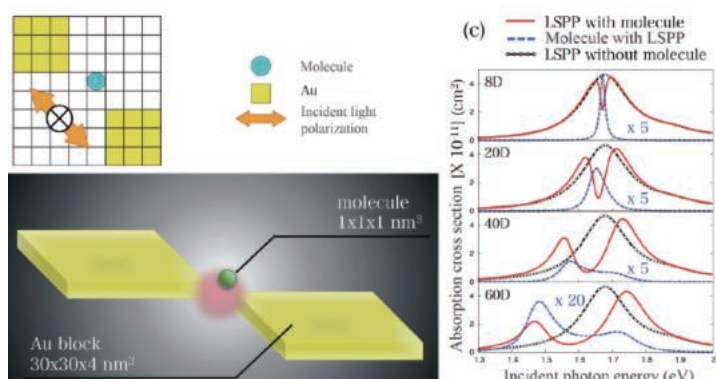


図 1：相互作用する分子と局在化した光のモデルとスペクトルの数値計算例

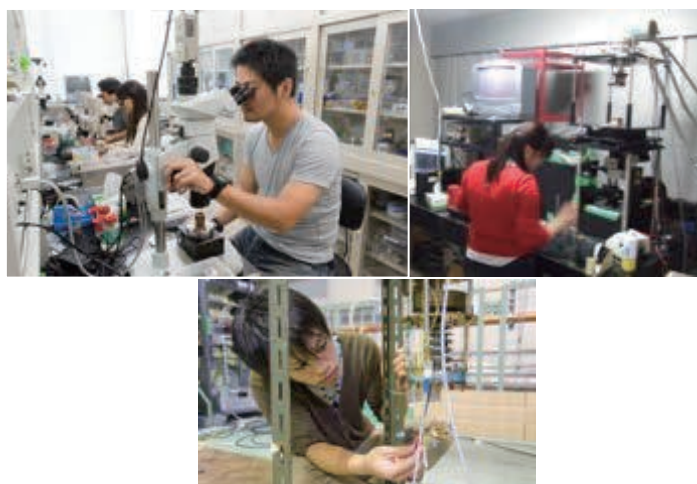


研究室ローテーション1／2 極限科学センター 清水研究室 「高圧下の超伝導」

【目的と達成目標】

超伝導に対する圧力効果を測定する。圧力は物質を押し縮め、ミクロにみればその構成元素間距離を短くする。元素に付随する電子間の相互作用が超伝導をふくめ物質の示す性質を決めているから、圧力はその大きさを変化させまたはこれまでみられなかった性質を発現させることができる。つまり、圧力下の超伝導研究によって、より高い超伝導転移温度もつ物質の設計はもとより超伝導発現のしくみの解明へと展開できる可能性をもっているといえる。

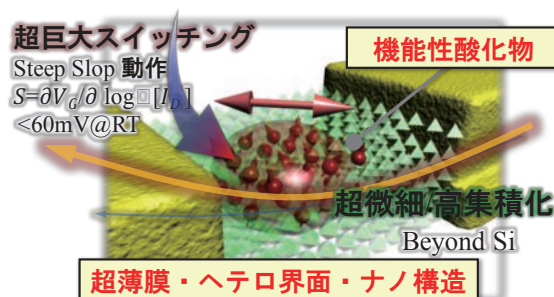
履修生は、既知の超伝導体（鉛または錫を予定している）の超伝導転移温度を様々な圧力下で測定する。高圧装置（ダイヤモンドアンビルセル）の取り扱い、圧力測定、低温下の超伝導測定方法を習得し、測定データの解釈が出来るようになることを最低限の目標とし、余裕があれば注目されている物質の測定も試みてもらう。



「エピタキシャル機能性酸化物薄膜の作製と相変化デバイスの機能評価」

【目的と達成目標】

遷移金属酸化物などのある種の物質群は電子・スピン間の非常に強い相互作用により絶縁性、反強磁性、強磁性、超伝導、金属伝導などを発現し、僅かな外場（磁場、温度、光等）で、物性が劇的に変化するため、将来の高速スイッチング・メモリ材料として注目されている。この様な新しい物質を半導体デバイスの様に利用するには、極薄の薄膜結晶として形成し、多様な材料と組み合わせてその界面を利用することが重要である。そこで本研究室ローテーションでは、まず遷移金属酸化物の物性発現機構の基礎物理と結晶成長の化学について学習し、その上で基本的なボトムアップナノプロセスである薄膜結晶成長技術とトップダウンナノプロセスである微細加工方法を習得する。また、機能性酸化物の特性を活かした電子相転移スイッチングデバイスの作製と機能計測にも挑戦する。

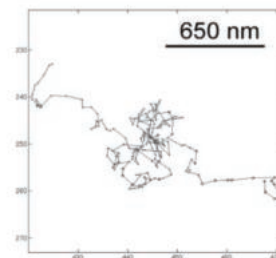
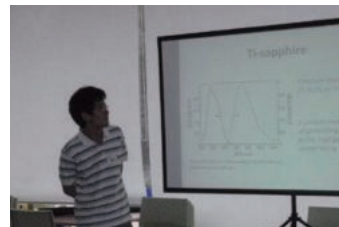


研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科未来物質領域 宮坂研究室
「時間分解計測による光化学反応過程の機構解明」

【目的と達成目標】

光吸収により生成する電子励起状態分子の諸反応は、光合成や太陽電池などのエネルギー変換や分子系の光機能発現などの基礎過程として重要な役割を果たしています。本課題では、凝縮系における電子励起状態分子の反応過程を計測する手法として①定常蛍光・電子スペクトル測定、② ナノ、ピコ、フェムト秒パルスレーザーを用いた時間分解測定を取り上げ、その測定法・データ解析手法の修得を目的とします。更に、いくつかの光化学反応系を対象に、①、②の測定を通して反応ダイナミクス・反応機構の解明を行います。

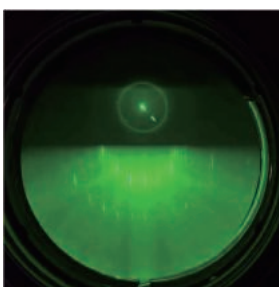
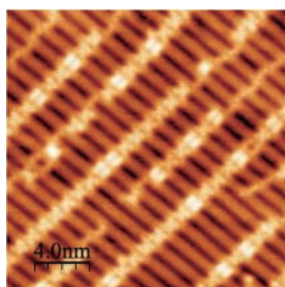
また、③蛍光検出を利用した単一分子ダイナミクスに関する課題についても希望に応じて提供します。単一分子の計測からは、通常のアンサンブル測定（多数分子の同時測定）からは得られにくい、平衡点近傍の揺らぎに関する知見を獲得することが可能になります。これらの計測手法や新測定システムの開発などを含めた課題についても、習得が可能です。



研究室ローテーション 基礎工学研究科 附属極限科学センター 阿部研究室
「STM による表面解析」もしくは「高速 AFM による生体分子の動態解析」

【目的と達成目標】

走査型トンネル顕微鏡 (STM) は原子レベルで試料表面の電子状態や構造を観察できる装置 (下図左) で、個々の原子や分子の電子物性がわかる。高速原子間力顕微鏡 (高速 AFM) はナノメートルレベルで生体試料の構造を観察できる装置である。特に個々の分子の動態過程がわかるという利点がある。いずれの手法もオペレーションも難しく、習得するには労力と時間がかかる。また、実際に測定する試料に関しては、高い純度が求められ、基板への吸着条件など試料観察条件を見出すには経験とノウハウを必要とする。本研究室ローテーションでは、自身のテーマに沿った試料を原子レベルで STM もしくは高速 AFM 測定し実験データを取得する (下図左) ことを目的とする。さらに、低速電子線回折 (LEED) および反射高速電子線回折 (RHEED、下図右) での解析もあわせて行う。



左：ルチル型 $\text{TiO}_2(110)-(1 \times 2)$ 表面の STM 像。

右：アナターゼ型 $\text{TiO}_2(001)-(1 \times 4)$ 表面の RHEED パターン。

「電子顕微鏡を用いた微細構造解析」

【目的と達成目標】

物質に電子線を照射すると、電子線と物質の相互作用によって、その物質の物理的・化学的特徴を反映した電子や電磁波が放出される。これらの信号を物質内の微細領域から検出し、表面形態や内部の結晶学的構造などに関わる情報を画像として取得する手法が電子顕微鏡法であり、特に、結晶物質の原子配列や格子欠陥などの構造を、高い空間分解能で明らかにすることができる。ここでは、走査電子顕微鏡法(Scanning Electron Microscopy: SEM)および透過電子顕微鏡法(Transmission Electron Microscopy: TEM)について学び、観察用試料の作製や、装置のオペレーションを通して、物質の構造解析に関わる基礎的知識と技術を修得することを目的とする。研究対象とする物質が決まっている学生は、それを持ち込んで観察を行い、理論系研究室からの学生、具体的な物質が決まっていない学生、あるいは SEM・TEM 観察が困難な物質を研究対象としている学生は、当研究室で対象としている物質（窒化物半導体、IV 族半導体、遷移金属酸化物など）を使ってもらう。電子顕微鏡の原理や装置を理解し、観察方法や結果の解析手法などを修得してもらうことが目標である。



SEM による試料観察の様子

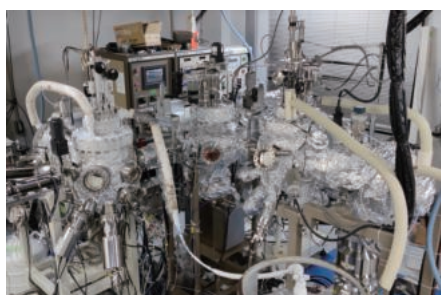


FIB-SEM による TEM 試料等のナノスケール微細精密加工

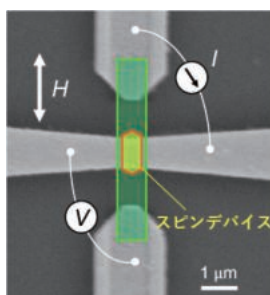
研究室ローテーション 基礎工学研究科システム創成専攻 浜屋研究室
「スピンドバイス用機能性単結晶薄膜の作製/微細加工と物性評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、次世代の低消費電力技術として注目されている「スピントロニクス」技術と半導体デバイスの融合を指向した研究を行なっています。具体的には、高スピン偏極率を示す強磁性ホイスラー合金と呼ばれる材料系などの単結晶薄膜を半導体上や強誘電体上に作製する技術を独自に開発し、スピンドバイスへの応用を目指しています。本プログラムの目的は、単結晶金属材料の薄膜成長/微細加工による試料作製技術や低温/磁場中における物性評価などになじみのない学生を対象に、装置の基本的な操作手順を覚えていただき、上記の目的に関連するテーマにおける新しい結晶や微細素子の作製を経験していただくことです。その後、薄膜の磁性、デバイスのスピン伝導やマルチフェロイク特性などの特徴的な物性を評価していただき、金属・半導体・絶縁体(強誘電体)などの電子材料の一連の取り扱いや、その特徴を学ぶ事を目標とします。



単結晶薄膜作製装置の例



半導体スピンドバイスの例



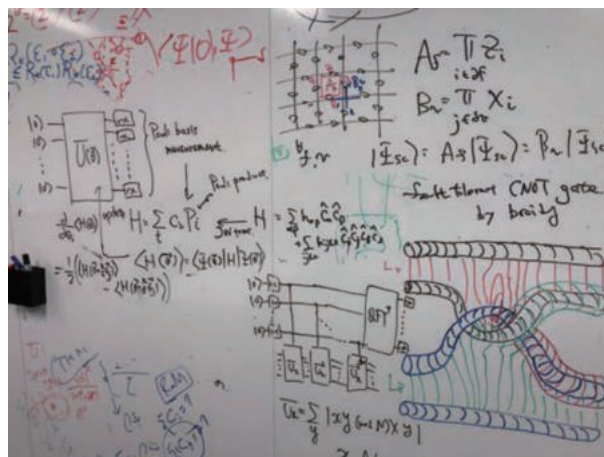
磁場中・低温物性評価装置

研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科電子光科学領域 藤井研究室
「量子コンピューティングの物性物理・量子化学計算・機械学習への応用」

【目的と達成目標】

量子力学は、ミクロな世界の物理法則を記述するもっとも基本的な枠組みである。半導体やレーザー、そして NMR（核磁気共鳴）など、我々の生活を影でささえるテクノロジーに応用されている。このような量子力学は、古典力学で記述されるような我々の日常的世界とは異なり、異なる状態を同時にとるといった重ね合わせの原理など、不思議な現象が起こる。このような現象を積極的に活用し、計算の原理として利用するコンピュータが量子コンピュータである。近年、巨大 IT 企業や世界各国の大学・研究期間で量子コンピュータの開発競争が繰り広げられている。まだ、規模は小さいものの 50 量子ビット規模の量子コンピュータが登場し、物性物理学や量子化学計算、そして機械学習への応用が期待されている。本ローテーションでは、このような量子コンピュータの仕組みを理解し、受講者のバックグラウンドに最も近い分野へと量子コンピュータを応用することを目的とする。

達成目標：量子コンピュータの仕組みを理解し、量子アルゴリズムを設計して各自の得意分野へと応用する。



ホワイトボードをもちいた議論の様子

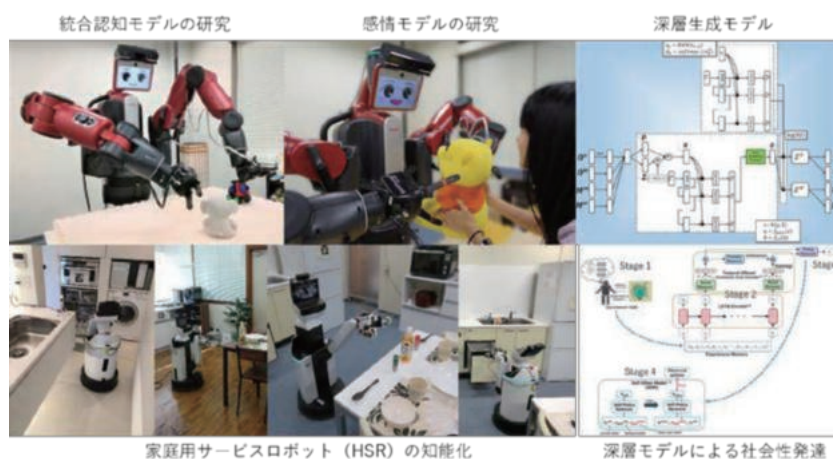
研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科システム科学領域 ロボット学習グループ
「人工知能とロボティクスの融合による人のような柔軟な知能の研究」 （長井研究室）

【目的と達成目標】

近年の人工知能（AI）の発展は目覚ましく、特定の仕事では人間を超えた能力を発揮する。しかし、人工知能で人間のような汎用的な知能を実現することは未だに簡単ではない。このギャップを埋める一つのカギとなるのは、身体性である。身体を通した物理的な環境や他者との相互作用、そして自分自身の身体から得られる情報を有効に活用する仕組みが、人間のような知能を形作るために重要である。つまり、汎用人工知能を実現する一つの道筋として、ロボットのような体を持った存在が、物理的な環境や他者と相互作用しながら学習する枠組みが必要である。

当研究室は、機械学習とロボットを融合させることで、こうした人間のような知能をどのように実現し得るかを研究している。そのために深層学習や深層生成モデル、階層ベイズモデルなどをロボット学習に応用し、赤ちゃんのように学習・発達するロボットの実現を目指している。この研究室ローテーションを履修する学生は、研究室スタッフと相談して決めた人工知能・ロボティクスに関連するテーマに

ついて、基礎的な知識、技術、開発手法を修得することを目的とする。

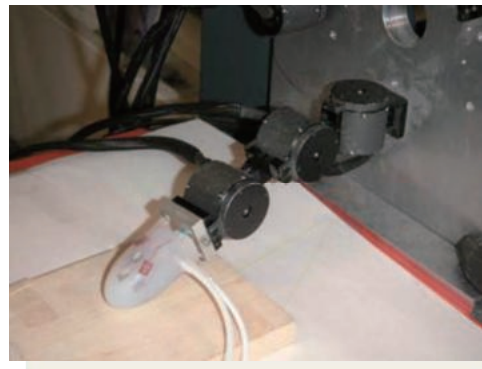


研究室ローテーション1／2 基礎工学研究科システム科学領域 細田研究室
「ソフトセンサの開発と評価」

【目的と達成目標】

人間を含む知的な生物は、柔軟な身体を持ち、その特性を活かすような多重ループ制御によって、適応的な振る舞いを生み出すことができます。本研究室では、人間と同等の筋骨格を持つヒューマノイド、動物と同等の筋骨格を持ち素早い動きをする四足ロボット、柔軟皮膚と多数のセンサからなるバイオニックハンド、生物部品を装備したバイオノイドなどの実ロボットによる実験を中心に、生物の持つ身体的知能と、その適応的行動創出のための制御について研究し、われわれの知能の本質に迫ります。

研究室ローテーションの課題として、ソフトセンサの開発と評価をしていただきます。人間の指は、柔らかい皮膚と骨格からなり、複数の種類の受容器が内包される構造をしています。このような構造が、人間の多種の感覚を生み出すために、非常に重要な役割を果たしていると考えられますが、どのような機能をもたらすかについて、十分な知見が得られていません。本研究課題では、人間の指の構造がもたらす機能を明らかにするために、その構造を模した人工指を作成します。



ソフトセンサ

- 目的と達成目標

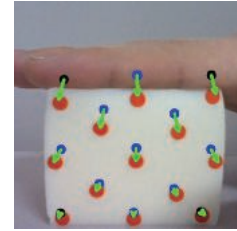
近年、「データの見える化」や「データの視認性」の向上が叫ばれており、下図のようなシミュレーションや計測実験データの多次元、多機能表示が望まれている。多次元表示とは立体的、時系列的なデータ可視化であり、多機能表示とはコンピュータ・グラフィックス (CG: Computer Graphics) だけでなく、人工現実感 (VR: Virtual Reality) 技術等をも駆使したデータ提示である。



炎



気泡



粘弾性

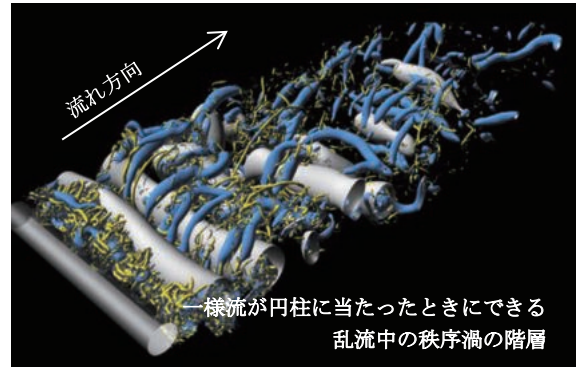
研究室ローテーションでは、グラフィックス・ライブラリを用いた CG 生成からスタートして、実験データを流しこむことで可視化を行う。また、データによっては、視覚以外の感覚に訴える **見える化** を推進する。

「流れの非線形現象に隠された秩序」

【目的と達成目標】

私たちは、空気や水といった流れる物質（流体）に囲まれて生活をしています。あるいは砂に代表されるような固体の集合体（粉体）もときとして流動し、あたかも流体のようにふるまいます。これら流れる物質の運動は、ニュートンの運動方程式により記述されますが、それを解析的に解いて流れの状態を求めることはほとんどの場合できません。さらに、系の非線形性に起因して、私たちの身のまわりの流動現象の多くはカオス的な複雑挙動をします。しかし、一見複雑な流れの中にも秩序が隠されていることがあります（上図）。このような「秩序構造」は、流動現象の物理的な理解だけでなく、工学応用に向けた重要なヒントも与えてくれます。この課題では、非線形の流動現象の中に隠された秩序を、理論解析、数値シミュレーションあるいは室内実験を通じて、見出すことを目的とします。

達成目標：流体の力学の基礎を学び、また、流れの非線形現象の背後にある美しさにふれる

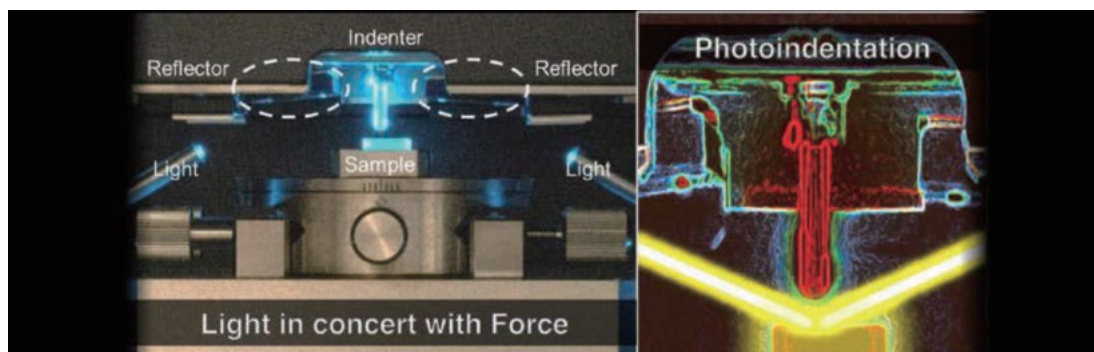


研究室ローテーション A/B 基礎工学研究科 非線形力学領域 中村研究室
「ナノスケールでの材料の硬さと光環境に関する研究」

【目的と達成目標】

材料の硬さや強さなどの機械的性質は、構成元素のみならず元素間の構造や組織、温度などに依存する。一方、材料の電気的性質は光環境や磁場などの外部場により変化する。しかし、これらの機械的性質と電気的性質に関する研究には分野間の壁があり、両面からの研究がほとんどなされていない。そこで、当研究室では、これら分野間の架け橋となる研究を目指している。例えば、我々は半導体の結晶が光照射下では壊れやすいが暗闇では大きな変形能を持つことを発見した。さらには機械的性質に対する光環境効果をナノスケールで解明する手法を開発した。一連の研究の結果、現在、材料の機械的性質を光などの外部場の視点を加えて再検討する必要があることが認められている。本課題では、このような材料の最先端の研究に直接触れる。

達成目標：最先端の研究に直接触れて、未開の研究領域・未知の現象が多数あることを知る



研究室ローテーション 基礎工学研究科機能デザイン領域 尾方研究室
「ナノ材料の強さと変形の原子・電子論的研究」

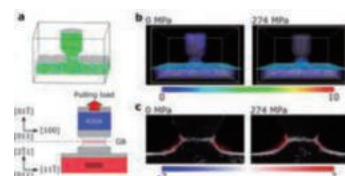
【目的と達成目標】

ナノ材料（ナノサイズの方法やナノ組織を有するバルク材料）は、これまでの一般的な材料に対する常識では理解できない特異な強さや変形特性を示すことが知られている。また強度が高く、簡単に破壊や塑性変形による永久変形を生じないため、ストレインエンジニアリングのように材料機能と変形との相関を利用した応用にも注目が集まっている。しかしこれらの興味深いナノ力学現象の根本的なメカニズムについてはまだ未解明な点が多い。研究室ローテーションでは、第一原理分子動力学計算や古典分子動力学計算、さらには反応経路探索計算や時間粗視化分子動力学計算などの原子・電子論的解析手法を用いた、ナノ材料の強さと変形そしてその機能との関係を明らかにするためのモデリング手法と、具体的な解析手段の修得を目的とする。

達成目標：「ナノ材料の特異な力学的性質の解析とそのメカニズム」を理解できる。



研究会での議論



ナノ材料変形解析



研究風景



解析用並列計算機

【目的と達成目標】

半導体中の電子スピンは、固体中の量子状態操作やもつれ相関の研究などの機会を提供する点で魅力的な舞台である。特に最近では量子計算機への応用研究の進展に伴い、量子ドット中のたった 1 個の電子のスピンを実時間で検出するという究極的な単一電子電荷計技術が確立している。この手法は量子ドットの近くに量子ポイントコンタクトと呼ばれる 1 次元伝導チャンネルを設けることで、電子の出入りによる量子ドット中の電子数変化を、量子ポイントコンタクトの電流で計測するというものである。そこで本研究室ローテーションでは、まずゼロ次元系である量子ドットや 1 次元系である量子ポイントコンタクトなどの基礎物理と背景にある単一電子スピン検出について学習し、その上で基本的な半導体微細加工方法を習得する。その上で、量子ホール効果や量子ポイントコンタクトなどの低温量子伝導測定を行う。量子ドットと単一電荷測定にも挑戦する。

研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科物理学専攻 小川哲生研究室
「非平衡量子系の理論的研究」

【目的と達成目標】

動的相関電子系における動的非線形応答・時空間発展現象，特に量子多体系の励起状態が関与する非平衡・動的現象を，微視的立場と現象論的立場の双方から理解し予測することが研究室の大目標である。基底状態のみならず励起状態をも考察するため，量子ダイナミクスや緩和・散逸の問題にも関わる。フェルミオン場（電子系，電子-正孔系など）とボゾン場（光子場，フォノン場，励起子系，熱浴など）とが結合・相互作用している系を主たる対象とし，これら2つの量子統計性の異なる系の間での競合・協調，コヒーレンス・デコヒーレンスなどが巨視的効果として現れる量子多体現象や量子協力現象に着目した研究を進めている。

この研究室ローテーションでは，非平衡統計力学や開放系の量子ダイナミクスの基礎を学び，これらの問題の重要性と難しさを実感することが目的であり目標である。

ただし，当研究室は教授1名＋助教1名の小さな研究室であり，研究室ローテーションへの対応は難しい状況であることを付記しておく。

研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科物理学専攻（生命機能研究科） 木村研究室
「光学的・光電的測定による物性研究」

【目的と達成目標】

物質の量子力学的な性質である伝導性・磁性・熱力学的性質の起源は、電子状態や格子・分子の振動状態にある。それらの状態を直接的に観測できる手法が、光学的・光電的な分光測定である。

本ローテーションでは、反射・透過分光，光電子分光，超高速分光，ラマン散乱などの分光測定を通して、物質の電子や振動状態を観測する方法およびそれらの解釈の方法を学ぶ。その中には、どのような実験研究を行うかにもよるが、超高真空を作成するための技術や簡単なバンド計算の方法，LabVIEW による計測方法も学習する。

具体的には、履修生の測定したい物質や物性に関して、最も適切な分光手法を議論の上で選択し、その実験を行ってもらう。理論系など具体的な対象物質がない場合は、学びたい内容について適切な試料を研究室で用意し、それについて測定を行ってもらう。

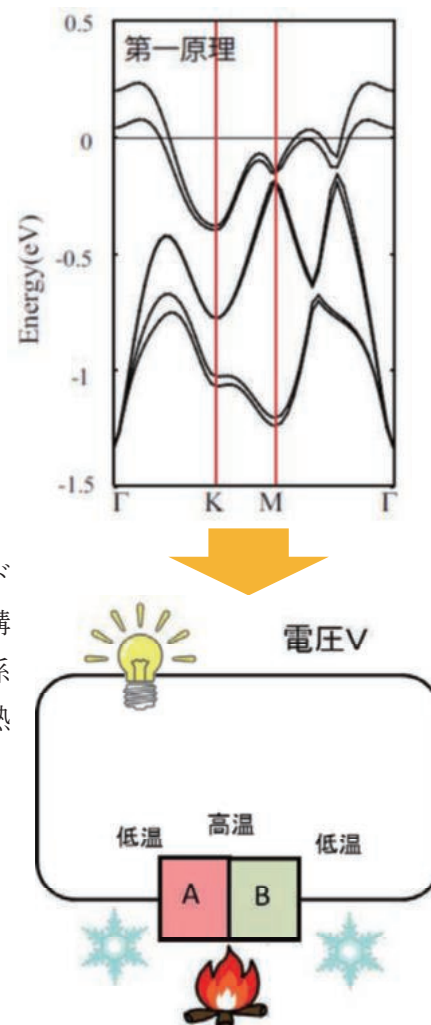
本ローテーションのゴールは、物性とその発現の元である電子や格子の状態との対応関係について実感することである。また、自分の専門外の研究を注意深く見る目を養ってほしい。

研究室ローテーション 1/2 理学研究科物理学専攻 黒木研究室
「固体中電子のバンド構造とゼーベック効果」

【目的と達成目標】

量子力学によれば電子は波としての性質を持ち、固体中の電子の波としての分散関係、すなわちバンド構造が電気伝導などの電子物性を大きく支配します。そこで、本科目においては、まず基本的なバンド構造について学び、それと輸送現象、特に温度差が電圧を生むゼーベック効果との関係について学習します。ゼーベック効果は熱を電気に変換する現象であるため、基礎から応用まで幅広い研究が行われています。

本科目の前半では、ゼーベック効果に有利なバンド構造とはどのようなものであるか、簡単なプログラムを作成して実行することにより、そのセンスを磨きます。次に、現実の物質のバンド構造を計算する手法である第一原理計算について学び、バンド計算プログラムを実行することによって様々な物質のバンド構造を求めます。さらに、求めたバンド構造を基にゼーベック係数を計算します。はじめは既存の物質から始め、可能であれば熱電性能が未知の物質にもチャレンジします。

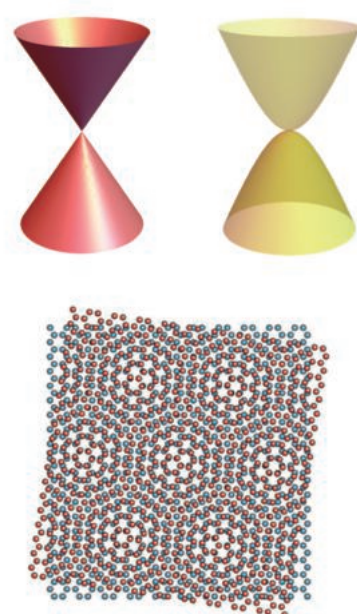


研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科物理学専攻 越野研究室
「2次元物質のバンド構造と物性」

【目的と達成目標】

グラフェンは炭素原子1層だけからなる物質であり、歴史上初めて実現した純粋な2次元物質である。グラフェンに続いて半導体、磁性体、超伝導体などさまざまな物質から2次元薄膜が作成されつつあり、「2次元物質」という新しい物理分野が誕生しつつある。2次元にすることで、その母体となる3次元物質とは全く異なる性質を実現できる。たとえばグラファイトを1層だけ取り出したグラフェンでは「質量のないディラック粒子」が実現する。

このローテーションでは、固体物理のバンド理論の基礎を学んで、具体的な2次元物質を選んで、そのバンド構造を実際に計算し、さらにその具体的な物性（たとえば電気伝導度、光学吸収など）を計算し、その2次元特有の性質を見出すことを目標とする。余裕があれば2次元物質を2枚重ねたモアレ2層系（右図）についてもチャレンジする。



研究室ローテーション1／2 理学研究科物理学専攻 豊田研究室 「質量分析による物質科学」

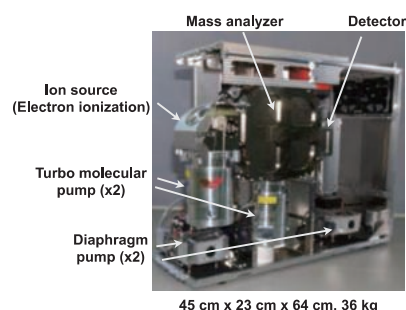
【目的と達成目標】

質量分析は、電磁力を用いて、原子・分子からクラスター、さらにはアミノ酸・たんぱく質などの生体高分子などを、質量の差で分離分析する手法である。その応用分野は、原子・分子物理学、半導体の製造・評価やクラスターや機能性材料などの物性研究、環境汚染物質や温暖化ガスの極微量分析、残留農薬や違法薬物や爆発物などの微量検知、さらにはライフサイエンスや医療診断、惑星探査、地球科学分野などへと幅広く広がっている。当グループは、1930年代後半に国内で最初に質量分析装置を開発し、その後も独創的なアイデアによる世界最先端の装置開発、さらに、独創的な装置があるからこそ可能になる研究も世界に先駆けて行っている。

本プログラムでは、当グループで開発した様々な質量分析装置を用いて、質量分析の測定基本原理や解析方法を修得することを目標とし、さらに履修生が対象としている物質を持ち込んでの測定なども行なってもらおう。



マルチターン飛行時間型質量分析計
「MULTUM Linear plus」



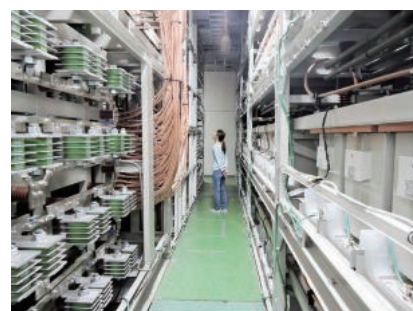
45 cm x 23 cm x 64 cm, 36 kg

小型マルチターン飛行時間型質量
分析計「MULTUM S-II」

研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科附属先端強磁場科学研究センター 萩原研究室 「パルス強磁場を用いた物性測定」

【目的と達成目標】

現在、超伝導磁石を用いれば20テスラ程度の磁場中での物性測定ができるが、この磁場を越えると通常の研究室では測定ができない。理学研究科附属先端強磁場科学研究センターに設置されている国内最大の充電エネルギー(10メガジュール)のコンデンサーバンクとパルス磁石を用いれば50テスラを越える磁場中で磁化、電子スピン共鳴、磁歪、電気分極、電気抵抗そして磁気トルク測定等が可能である。強磁場下で起こる相転移現象、特に磁場誘起の量子相転移や高温超伝導体の上部臨界磁場測定など、他では容易にできない測定ができる。パルス磁場での測定装置は市販されておらず、自ら製作しなければならない。測定装置を自作してパルス



国内最大のコンデンサーバンク

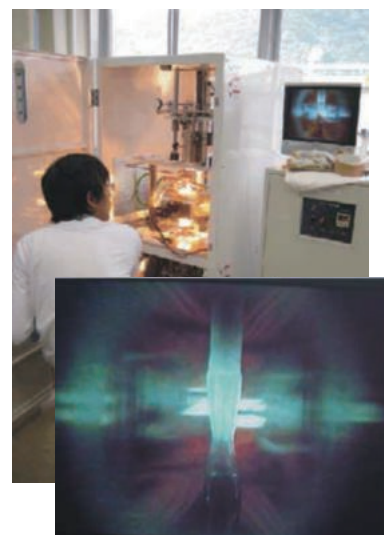
磁場中での測定を行い、データ解析を通して、磁気的な状態や物質内の電子状態に関してどのような情報が得られるのかを修得することを目的とする。研究対象とする物質が決まっている学生は、それを持ち込んで測定できるし、理論系研究室の学生、或いは具体的な物質が決まっていない学生については、当研究室のテーマの一部を担当し測定してもらう。測定の原理や方法、低温寒剤の取り扱い、結果の解析手法などを修得してもらい、強磁場科学に興味を持ってもらうことが目標である。



研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科物理学専攻 花咲研究室
「遷移金属化合物の作成と物性評価」

【目的と達成目標】

遷移金属酸化物は強相関電子系のよく知られた舞台の一つである。本テーマでは、遷移金属酸化物などの化合物を題材として、試料合成と評価、物性測定などの実験的研究の基礎を学んでもらう。本テーマで行う酸化物の結晶作成法には、フローティング・ゾーン法等がある。そして、合成試料の評価は X 線回折で行い、磁化測定や電気抵抗測定などの基本的物性の測定を必要に応じて行う。具体的な研究対象物質が決まっている場合は、実験が可能なのかを担当者とよく相談した上で、可能であれば実験を進める。試料の合成法は物質によって千差万別であり絶対的な方法はない。履修生が当初想定していた物質が出来ない場合も有り得る事を考慮しておくこと。もし不可能な場合や具体的な研究対象物質が決まっていない場合には、担当者と打ち合わせの上、代表的な遷移金属化合物の合成および物性測定を行ってもらおう。

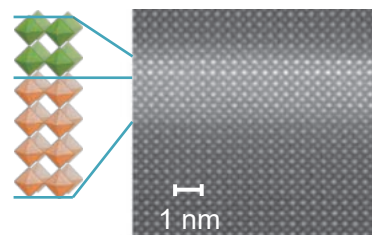


研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科物理学専攻 松野研究室
「強相関電子系の薄膜物質合成」

【目的と達成目標】

二つの異なる物質が接する境界＝界面は、単一の物質では実現できない豊かな物性の舞台である。現代テクノロジーを支える半導体デバイスが、かたまり（バルク）ではなく界面に生じる機能に基づくことからわかるように、界面物性は基礎から応用に至るまで広がりを持つ物性物理学の最先端トピックである。本グループでは強相関電子系の界面に主に着目し、そこに隠されている未知の物性を探索している。強相関界面を自ら設計し、作製・評価までを一貫して実施することで、物質の対称性・次元性を原子レベルで制御した新物質開発・新規物性開拓を行っている。

固体の界面は薄膜を積層させることで実現される。本プログラムでは、パルスレーザー堆積法装置によって強相関電子系薄膜の基本的な合成方法と評価方法を習得することを目標とする。



原子レベルで制御された強相関電子系界面の断面透過電子顕微鏡像



パルスレーザー堆積法装置

研究室ローテーション1／2 理学研究科化学専攻 奥村研究室 「量子化学計算を用いた物性計算」

【目的と達成目標】

近年、材料を合成し新規機能を探索する研究開発において、物質の構造・物性・反応の機構解明や予測を行う理論計算の重要性が増しており、これらの計算から得られた情報を基に研究を推進するケースが多くなってきています。特に、計算化学の分野では専門家でなくても使える汎用計算プログラムが整備され、ある程度の知識があれば理論計算から新たな知見を得ることが可能となっています。しかしながら、そのような状況においても基礎知識として理論計算化学の知識を習得し、それを使いこなせるようになるには、ある程度の学習と実習が必要です。そこで本研究室ローテーションでは量子化学の立場から、計算機を用いて、ミクロスコピックな原子分子の視点から分子及びマクロな物質の性質を解明するための、知識と技術を習得し、ボトムアップで分子から材料を研究する手法を学ぶことを目的としています。そのために、量子化学計算の実習を通じて、原子分子などの電子状態に関してどのような知見が得られるかを学習し、その知見を正確に把握する能力を得ることを目標とします。研究対象としては、分子磁性体、金属錯体、金属クラスターなどの量子化学計算を通じて、研究活動を行ってまいります。また、状況に応じて当研究室のテーマの一部を担当してもらうこともあります（要相談）。



計算結果の解析



専用計算機での実習

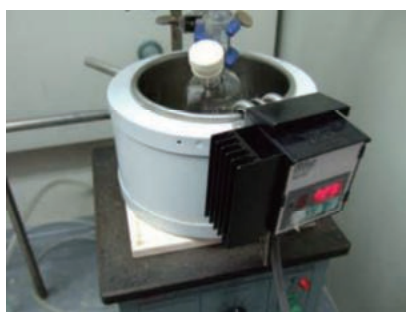
「 π 電子系有機分子の合成と物性評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、「特異な分子構造を有する化合物には特異な電子構造が宿る」という考えのもと、新規な化合物を創出し、その化合物を通じて新たな物性や機能を追求する研究を行っています。本科目の目的は、 π 電子系有機分子になじみの薄い学生に有機合成と物性評価を通じて、 π 電子系有機化合物に対する物質観を修得してもらうことです。具体的には、有機合成の基本操作を一通り学んだあと、開殻電子構造を持つ新規有機分子の単離を目指して、多段階有機合成を行います。期間内に単離に成功した場合は、分光学的測定や電気化学測定などの物性評価を行い、得られた化合物の特性を調べます。



開殻有機分子



有機反応装置



電子スピン共鳴装置

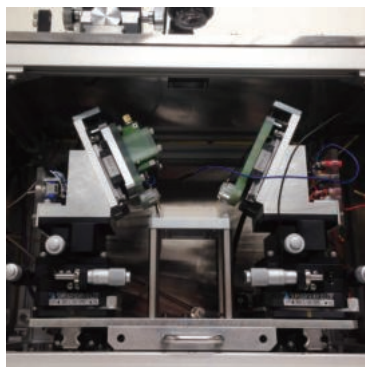
研究室ローテーション1／2 産業科学研究所 谷口正輝研究室
「微細加工技術を用いた1分子解析法の開発」

【目的と達成目標】

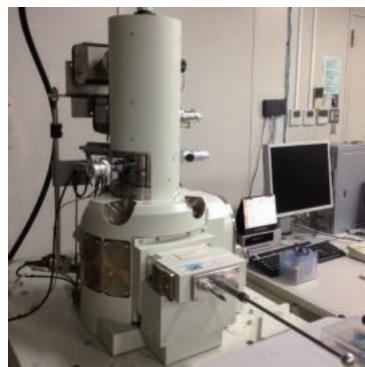
本研究分野では、微細加工技術を用いて、1個の細菌・ウイルスや、1個のDNA・RNAを高精度に検出・識別する方法の開発を行なっている。本プログラムの目的は、大学講義では教わる機会の少ない電子線リソグラフィー技術などの微細加工技術を習得すると共に、実際に1分子解析用ナノデバイスの設計から1分子測定までを3ヶ月の期間で実施し、その経験を通して未知な現象を明らかにする上でのものづくりのセンスと科学者としての直感力を身に付けることである。さらに、機械学習を用いて測定結果を解析し、そこから新たな知見を見出す力を身に付けることを目標とする。



研究室メンバー



超高速高感度電流計測システム



電子線リソグラフィー装置

研究室ローテーション1／2 理学研究科化学専攻 中澤研究室 「熱的な実験手法を中心とした物性科学」

【目的と達成目標】

物質が示す様々な特性を理解するためには、比熱、熱容量測定を通してエンタルピー、エントロピー、ギブズエネルギーなどの熱力学量に関する情報を得て、各相の熱的な安定性や基底状態からの励起構造を調べることが必須である。物質のキャラクタリゼーション、相転移の探索、その外場に対する応答など、熱力学量に基づき物性を評価していく機会は物質科学研究では必ずあると思っ
て良い。しかしながら、熱的な測定は試料の状態、量、対象としている現象の温度領域によって手法が大きく異なる。また、解析方法にも、様々なノウハウが存在する。本ローテーションでは、熱力学的な測定を行うための基礎になる知識を習得するとともに、代表的な測定手法の原理の理解、測定用セルの作成などを習得する。同時に、代表的な物質の測定を行い、ミクロな電子レベルの情報と、マクロな相としての問題を相補的な視点で議論できることを目的とする。特に分子性物質を対象にした、各種熱測定、熱分析法、市販装置の利用の仕方、解析のノウハウなどを身につける。



試料セット、配線実習



集合写真

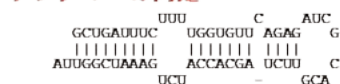
【目的と達成目標】

中谷研究室では、将来 RNA が重要な創薬票的になる事を見越して、RNA と相互作用する低分子を設計する手法の開発を進めている。核酸と低分子の相互作用には、静電的相互作用、水素結合、スタッキング相互作用等の複数の要因により、標的とする RNA の認識が可能になるはずである。有機合成化学を駆使した分子設計と同時に、分子生物学的な手法を用いるインビトロセクション法やライブラリースクリーニング等を併用して、RNA に結合する分子の設計を学ぶと同時に、問題点を理解する力を養う。

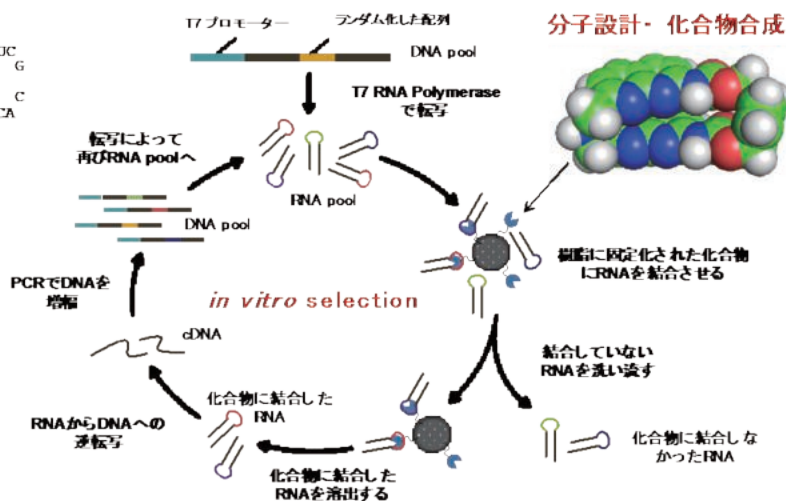
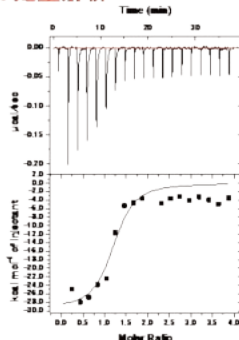
実際の研究内容は個別に対応しますが、研究の進め方は以下の通り。

Design of potential DNA/RNA binding molecules → in vitro selection → Frequency analysis by Next Generation Sequencer → Cloning and Isolation of RNA aptamer → Binding analysis by SPR and ITC → Discussion （下線実線部が実施内容、点線部分は時間があれば実施）

アプタマーの同定



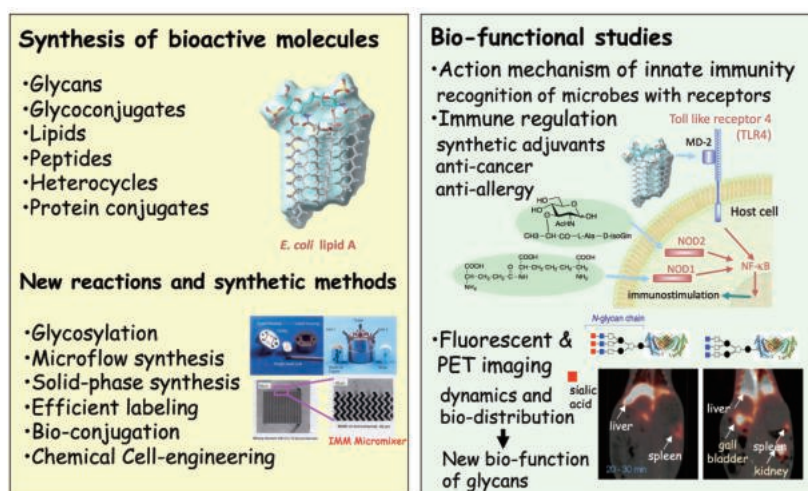
結合の定量解析



研究室ローテーション 1/2 理学研究科化学専攻 深瀬研究室
「天然物有機化学 - 生物活性糖鎖の機能研究 - 」

【目的と達成目標】

様々な生物活性分子の中でも、免疫、感染、アレルギー、癌化など生体の防御や恒常性維持に関する重要な生命現象に関わる分子を主な研究対象として、国内外の生物学者、医学者等と協力しつつそれらの機能や役割を明らかにする研究を行っています。特に細胞表層に存在する糖を含む化合物群は、生体内における様々な認識に関与しており、有機合成化学を主としたアプローチにより、活性鍵構造の同定と活性発現機構の解明や生体反応の制御を目指した研究を展開しています。本ローテーションでは、糖鎖の合成とケミカルバイオロジー研究、微生物ならびに動物由来の免疫調節分子の機能研究、マイクロフロー合成を基盤とする反応集積化、がんのα線内用療法、蛍光標識化合物のライブセルイメージング、合成糖鎖で修飾された細胞膜分子の動態解析、あるいは効率的がんワクチン療法の開発等について研究を行います。生物活性糖鎖の機能研究を通して、有機化学と生命科学の境界領域研究を実施します。



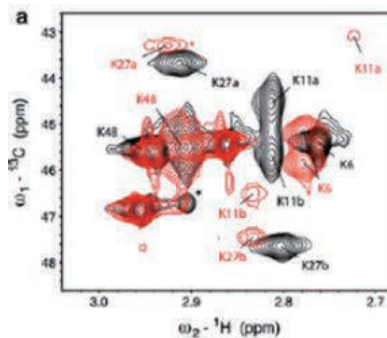
研究室ローテーション1／2 蛋白質研究所 藤原研究室
「高分解能分光法を用いたタンパク質の分子構造解析実験」

【目的と達成目標】

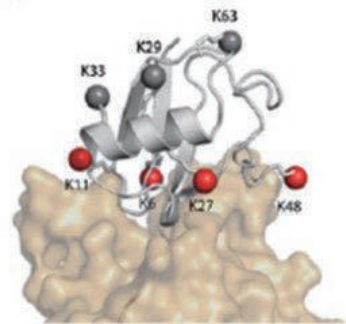
藤原研究室では、高い分解能を持つ核磁気共鳴分光法(NMR)を用いて、生体における情報変換やエネルギー変換に関わるタンパク質などの機能を立体構造に基づいて研究している。他の高分解能構造解析法に比べて、NMR 分光法は溶液状態や非結晶固体状態の分子構造を解析できるなど、生体分子が働いている条件で解析できる利点を持つ。この研究過程では、分子生物学的方法を用いた微生物による特定タンパク質の生産とタンパク質の精製、原子分解能を持つ核磁気共鳴分光実験、得られた分光スペクトルの計算機化学的手法による解析、タンパク質データベース等を利用した構造機能解析を行う。この一連の研究過程を通じて、物理化学と生命科学を基礎とする構造生物学の基本的な実験手法に親しみ、その原理を理解して、得られた分子構造の特徴について考察する。



核磁気共鳴装置



2次元 NMR スペクトル

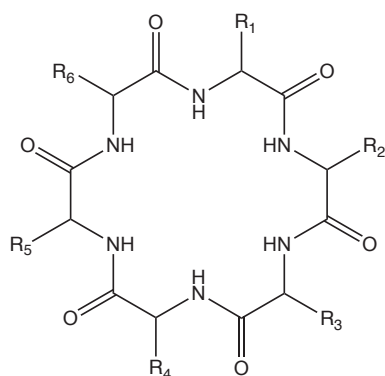


タンパク質の立体構造

研究室ローテーション 1/2 蛋白質研究所 北條研究室
「環状ペプチドの合成と構造評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、ペプチド、タンパク質の化学合成研究を行っています。本科目は、ペプチド合成に馴染みの薄い大学院生の方たちに、その基礎とペプチドの構造、機能を調べる方法論を習得してもらうために行います。まず、ペプチド合成の基本となる固相合成法について学んだ後、実際に手動固相法にて環状のペプチドの合成、精製を行い、その構造解析を試みます。



環状ペプチド



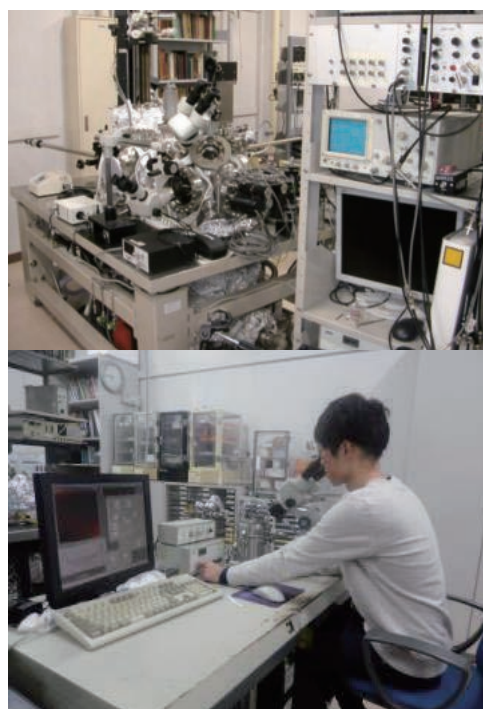
手動固相合成装置

研究室ローテーション1／2 理学研究科化学専攻 松本研究室
「神経型分子ナノネットワークを用いた情報処理の試み」

【目的と達成目標】

ナノスケールの構造を有する分子物質は、単一分子ともバルク固体とも異なり、統計的な不均一性を含む物性を示します。脳の機能と仕組みを真似て、分子を用いた神経ネットワーク型の情報処理の可能性について探求することを目的とします。

履修生は、まず、分子超薄膜と微粒子を用いた分子ネットワークの形成法について学びます。トンネル電流モニタにより、間隔を制御した微粒子成長の方法を習得します。次に微粒子配列上に分子ネットワークと電極を形成、電流経路によって異なる非線形電気特性を示すデバイスを作製します。最後にこのデバイスを用いて、電気信号の重ね合わせ、サイドゲート効果、メモリ効果について計測を行い、スパイキングニューロンとしての動作を行います。特性の良いデバイスが得られれば、リザーバ計算機としての機能の検証を行います。デバイスの作製方法はかなり確立していますが、まだまだ改善の余地があり、履修生の創意工夫を生かしてもらえれば、楽しい研究ができると思います。また、分子ネットワークは、常に新しい未知の系で実験しています。なかなかうまくいかない時もありますが、予想外に素晴らしい特性を示すこともあり、物質探索の面白さがあります。



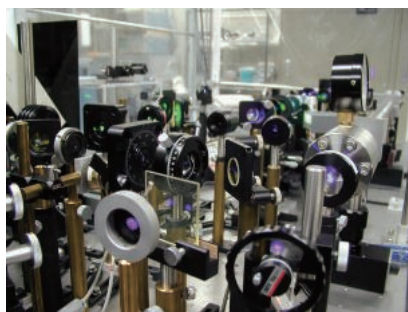
「共鳴ラマン分光法を用いたタンパク質の構造化学研究」

【目的と達成目標】

当研究室では、幅広い時間領域と波長領域をカバーする時間分解共鳴ラマン分光法を用いて、タンパク質の反応中間体の構造や反応速度を調べ、その機能発現機構を解明する研究を行っています。本科目の目的は、タンパク質試料の作製と分光測定を通して、タンパク質に対する物理化学的視点を身につけることです。遺伝子組換え実験や生化学実験の基本操作を学び、これらの技術を使って目的タンパク質を単離します。また、レーザーを用いた分光実験の基礎を学び、タンパク質の共鳴ラマンスペクトルの測定を行います。得られたスペクトルからタンパク質の分子構造や反応機構について考察します。



遺伝子組換え実験



時間分解共鳴ラマン分光装置

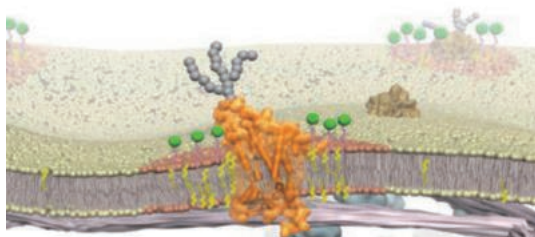


タンパク質試料の測定

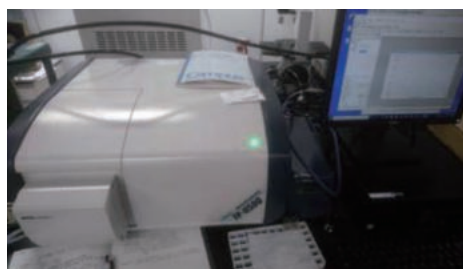
研究室ローテーション 1 / 2 理学研究科化学専攻 村田研究室
「脂質分子が形成するドメインの物性評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、細胞膜の持つ化学的、物理的性質を理解するため、組成を簡略化したモデル脂質二重膜を対象に様々な解析を行うことで、脂質分子間に働く相互作用を解明する研究を行っています。本科目の目的は、脂質膜試料調製と物性評価を通じて、生体膜に対する物理化学的な性質を理解し、さらにそれらが生体機能にどのように関係しているかを考察する視点を修得してもらうことです。具体的には脂質膜調製の基本操作を学んだ後、蛍光分光装置や熱量測定装置を用いて様々な物性測定を行い、得られた結果と生体膜の機能との関連を考察します。



細胞膜の模式図



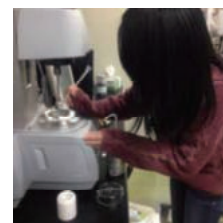
蛍光分光装置

研究室ローテーション1／2 理学研究科高分子科学専攻 井上研究室 「レオロジー測定による物性研究」

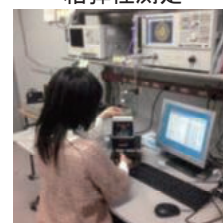
【目的と達成目標】

高分子の物性は、高分子の構造や分子運動を反映している。例えば、ひずみを加えた場合に発生する応力は時間とともに変化し、その様子は高分子の分子運動を反映している。時間に依存した力学物性はレオロジーの研究対象となり、レオロジー的な測定から分子運動に関する知見を得ることができる。分子運動に関する知見は、誘電分散や変形下での複屈折測定（流動複屈折）等によっても得られる。これらの測定では、手法・装置は異なっているが、基本的な考え方は共通している。この研究室ローテーションでは、レオロジー的な手法や誘電分散、あるいは流動光学的方法から適当なものを選んで、高分子の性質や分子運動を調べる方法を修得することを目的とする。

履修生は、研究対象とする物質が決まっている学生は、それを持ち込んで、そのレオロジー特性、誘電分散、流動複屈折を測定する。理論系研究室の学生、あるいは具体的な物質が決まっていない学生については、当研究室で研究しているさまざまな高分子物質やソフトマターを使って測定する。また、粘弾性測定に先立ち、高分子の標準的なキャラクタリゼーション法であるゲルパーミエーションクロマトグラフィー（GPC）を用いた分子量の決定についても学ぶ。



粘弾性測定



誘電測定



複屈折測定

研究室ローテーション1／2 理学研究科高分子科学専攻 今田研究室 「生体高分子の構造研究法」

【目的と達成目標】

生体内での複雑な触媒反応やエネルギー変換は、蛋白質をはじめとする生体高分子やその集合体により行われている。分子機械とも呼ばれるこれらの生体高分子の作動原理を理解するには、集合体の構成や分子の構造を知ることが欠かせない。原子レベルの構造解析には主に X 線結晶解析法が用いられ、集合体のキャラクタリゼーションには、光散乱や超遠心分析など様々な手法が複合的に用いられる。ここでは、X 線結晶解析法や光散乱法を用いた生体高分子の構造解析手法と生体高分子試料の取扱い方について学ぶ。生体高分子試料は通常合成することができないため、生体組織または目的物を大量に産生するよう遺伝子操作した微生物から単離・精製する必要がある。履修生は、当研究室のテーマの一部を担当し、蛋白質をはじめとする生体高分子の精製、結晶化、測定を行う。生体高分子の精製法、生体高分子およびその集合体のキャラクタリゼーションや構造解析の原理、解析手法を習得することが目標である。



研究室の装置類

研究室ローテーション1／2 蛋白質研究所 栗栖研究室
「タンパク質の構造解析」

【目的と達成目標】

当研究室では、生体機能を立体構造に基づいて理解することを目指しています。X線結晶構造解析やクライオ電子顕微鏡による単粒子解析の手法を用いて光合成や生体運動に関わる蛋白質の構造解析を行っています。本課題では、タンパク質の試料調製から構造解析までを実際に行いながら、解析に必要な基礎知識を学んでもらいます。



X線装置



クライオ電子顕微鏡

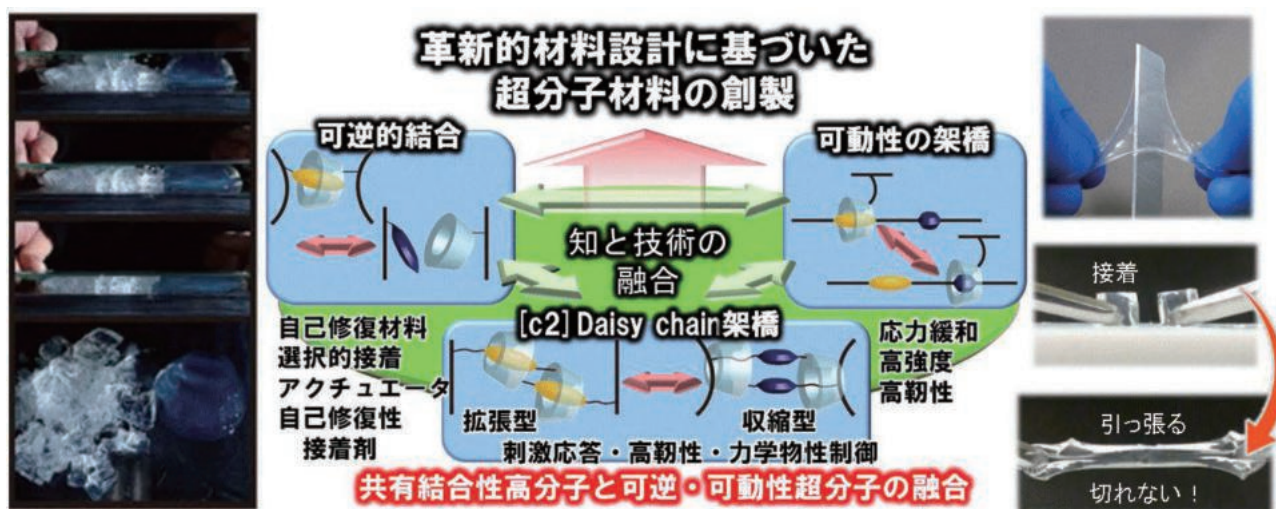


タンパク質精製装置

「可逆性架橋と可動性架橋を組み合わせた機能性高分子材料創製に関する研究」

【目的と達成目標】

高分子材料の用途として、接着から、刺激応答材料、力学特性材料など様々な用途があり、要求される機能も多様化しています。従来の分子設計では、要求されるすべての機能に答えるには、限界があり、新たな分子設計・材料設計が必要と考えられます。当研究室では非共有結合と共有結合を駆使して新たな“うれしさ”と“価値感の創造”を目指した高分子材料を展開させています。図に示した可逆的な結合や可動系の架橋を駆使することで、アクチュエータ、分子接着材、自己修復性材料、分子認識材料、バイオマテリアルへ展開しています。研究室ローテーションの中では、超分子を駆使した高強度・高靱性材料の創製を目的に、高分子材料科学を学びます。



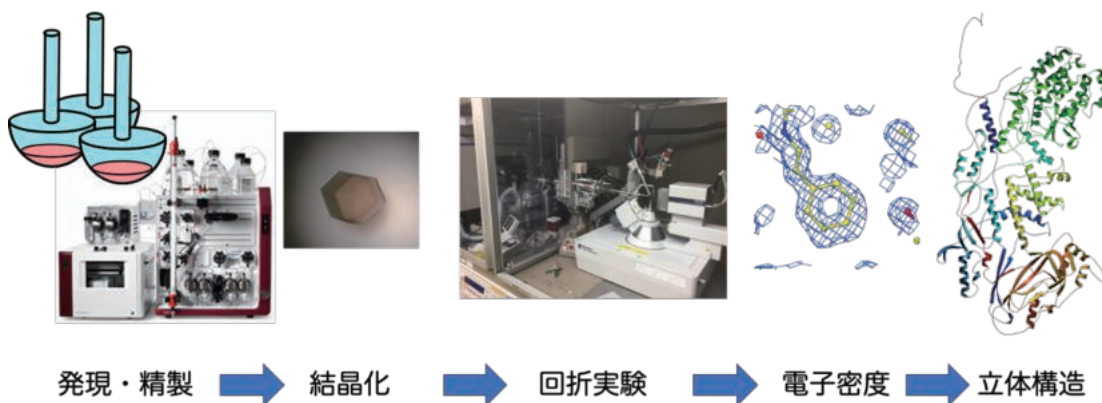
研究室ローテーション 蛋白質研究所 中川研究室
「蛋白質の立体構造解析」

【目的と達成目標】

複雑な生命活動は、数多くの分子の相互作用や化学反応の積み重ねによって担われています。このような分子の働きを理解するためには、詳細な分子構造を理解することが重要です。私たちの研究室では、SPring-8の生体超分子複合体構造解析ビームラインやX線自由電子レーザーSACLAなどを利用したX線構造解析のための新たな手法の開発や最先端クライオ電子顕微鏡の利用を通して、薬剤排出蛋白質複合体やウイルス、脳・神経系関連タンパク質など生物科学的に興味のある生体超分子複合体やタンパク質の立体構造決定を行っています。本課題では、蛋白質のX線結晶構造解析に必要な技術—蛋白質調製から構造解析まで—の理解を目指します。実際の内容は個別に対応しますが、主な手法は以下の通りです。

主な研究手法：

- 大腸菌、昆虫細胞等を用いた蛋白質の大量調製
- 結晶構造解析のための目的蛋白質の高純度精製と評価
- 蒸気拡散法や脂質メソフェーズ法によるタンパク質結晶化
- X線回折実験とデータ処理・構造決定



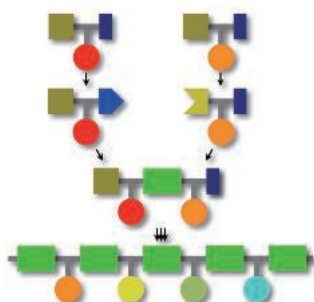
研究室ローテーション1／2 理学研究科高分子科学専攻 橋爪研究室
「連鎖制御高分子の合成」

【目的と達成目標】

生体高分子は、モノマー連鎖（一次構造）に基づいた高次構造を形成することにより、様々な機能を発現しています。当研究室では、生体高分子に匹敵する機能性高分子の創製を目指して、独自の設計による連鎖制御高分子の合成研究を行なっています。本科目の目的は、連鎖制御高分子の合成し、その高次構造（会合挙動）を調査することにより、高分子の化学構造と機能の相関関係についての理解を深めることです。具体的には、モノマーと高分子合成の基礎操作を習得した後、特定のモノマー連鎖を有する連鎖制御高分子を合成します。期間内に合成した連鎖制御高分子の溶液中での広がりや会合挙動を調査し、その結果について考察します。



研究室メンバー



連鎖制御高分子の合成



合成実験

研究室ローテーション1／2 産業科学研究所 家研究室
「有機半導体材料の分子設計、有機合成、基礎物性、および、素子機能評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、有機物質の機能を分子のレベルで理解し制御することで電子・光機能を有する有機化合物の開発、および、有機・分子エレクトロニクス等への応用研究を行っています。本研究ローテーションでは、理論計算による分子設計と多段階の有機合成を駆使して、拡張 π 共役系に基づく有機半導体材料を創出し、分子構造と基礎物性を分光学的測定、電気化学的測定等で明らかにします。さらに有機電界効果トランジスタや有機薄膜太陽電池としての素子特性や機構解明までの一貫した研究を行います。



有機合成



基礎物性評価



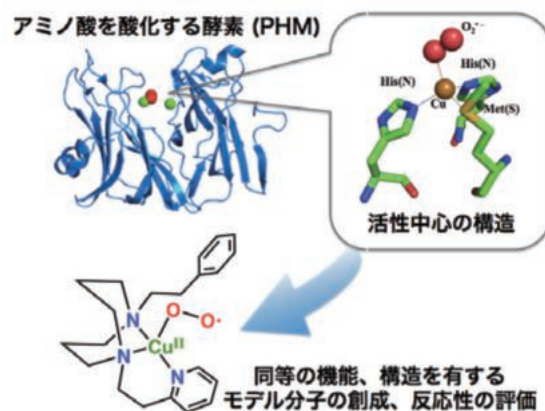
素子特性評価

【目的と達成目標】

生体の大部分は酸素、炭素、水素、窒素からなっている。例えば人体であれば、重量当たり 96% が上記の四元素で構成されている。しかし、呼吸から始まる酸素の運搬、基質の代謝等のプロセスは、足し合わせても 0.01% にも満たない微量の遷移金属元素（鉄、銅など）が中心的な役割を担っている。このような生体内の無機物質に焦点を当てた研究分野を生物無機化学と呼ぶ。

当研究室では活性中心に遷移金属イオンを含む金属酵素の機能を解明し、そのエッセンスを触媒化学へと応用する事を目指している。特に、活性中心に鉄（Fe）や銅（Cu）を含む酸素添加酵素、およびモリブデン（Mo）やタングステン（W）を含む酸化還元酵素をターゲットとする。

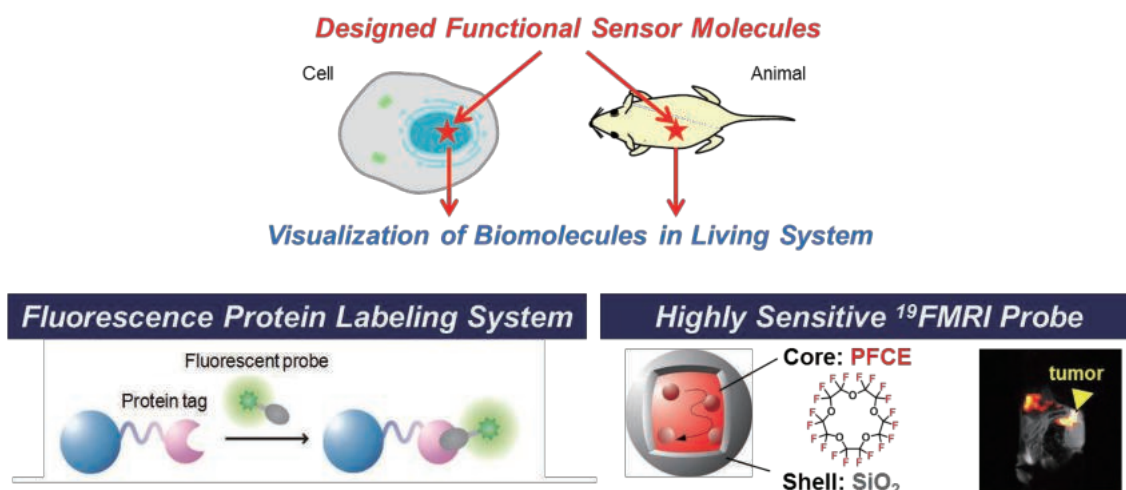
本プログラムでは、生物無機化学をテーマとする 3 ヶ月の実験を通して、遷移金属と有機物からなる小分子（遷移金属錯体）の、立体構造、電子構造、反応性の三つがどのようなような相関を持っているか化学的な視点を身につけることを目的とし、1. 金属酵素の活性中心モデルとなる金属錯体の合成、および同定、2. 錯体の物性評価、3. 錯体の触媒反応への応用を行う。実験を通して、分子設計、合成、精製等の手法や、NMR、EPR 等の分光学的手法、電気化学的手法、単結晶 X 線構造解析の技能の習得、触媒化学的な方法論の習得が期待される。同時にこれらの実験のバックグラウンドである酵素に関する知識や、金属錯体の電子状態に関する知識、反応性について定量的に議論する方法についても身につける事を目標とする。



研究室ローテーション1／2 工学研究科応用化学専攻 菊地研究室 「ケミカルバイオロジー：化学を使って生体機能を解き明かす」

【目的と達成目標】

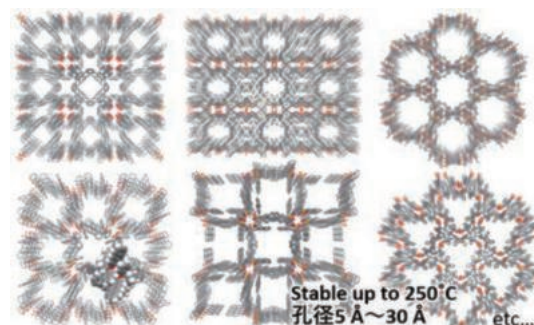
ケミカルバイオロジー（化学を用いた生物学研究）は近年新しい科学の分野として注目を集めています。当研究室では合成した化学物質を用い、試験管レベルでの実験に留まらず、生命機能の解明が可能な新手法の開発に取り組んでいます。特に、生体分子を可視化することのできるプローブ分子を設計・合成し、細胞や動物で行われている機能を生きたまま観察して調べるツールへ応用しています。具体的には細胞内の蛋白質を蛍光標識する蛍光プローブや、動物個体内の酵素反応をMRI（核磁気共鳴画像法）によって可視化するナノ材料の開発に取り組んでいます。本プログラムではプローブの合成およびプローブと生体分子の反応に伴う光学特性の評価を通じて、化学を用いた生物学研究の考え方を習得することを目指しています。



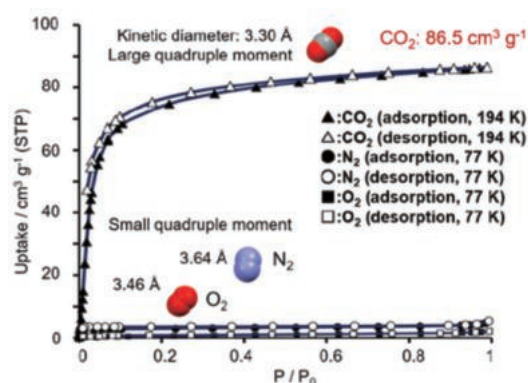
「脱炭素社会に向けた有機多孔質材料の研究」

【目的と達成目標】

多孔質材料は古くから物質の分離、精製、貯蔵、さらには触媒など様々な場面で我々の社会や生活を支えてきた。さらにこの20年余り、構成要素として有機分子を用いることで、多様な形状や大きさ、機能を持った多孔質材料の開発が進められ、これまでの用途を超える分野へと発展してきている。当研究室では脱炭素社会の実現に向けて、様々な角度から有機多孔質材料の研究を行っている：①二酸化炭素の分離・吸着、②水素ガスの吸蔵、③アンモニアのセンシング、貯蔵、④有害物質のセンシング、除去。本プログラムでは、多孔質材料の構成分子を有機合成し、それらを自己組織化により集積させることによって目的とする有機多孔質材料を作成する。さらに構築した多孔質材料の構造評価、機能評価をおこなう。履修生は有機合成から構造評価、物性評価まで一連の過程を経ることで有機多孔質材料の開発プロセスを理解し、習得することを目標とする。



多様な多孔質有機塩の構造



選択的二酸化炭素吸着



研究室メンバー写真

研究室ローテーション 1 / 2 工学研究科応用化学専攻 鳶巣研究室
「機能性分子の有機合成と触媒反応開発」

【目的と達成目標】

当研究室では、有機化学を基盤として、新反応・新物質・新機能をキーワードに多彩な研究を展開しています。本研究室ローテーションでは、われわれの研究の柱である有機合成化学について、基本的な実験を通して技術を学ぶことともに、この分野の最先端研究に触れることを目的とします。具体的には、有機化学実験の基本的な操作、核磁気共鳴装置や質量分析装置を用いる化合物同定法を身につけます。状況に応じて、機能性分子の多段階合成もしくは遷移金属錯体触媒の合成と新反応への応用を体験してもらいます。



核磁気共鳴装置



ガスクロマトグラフィー・
質量分析装置



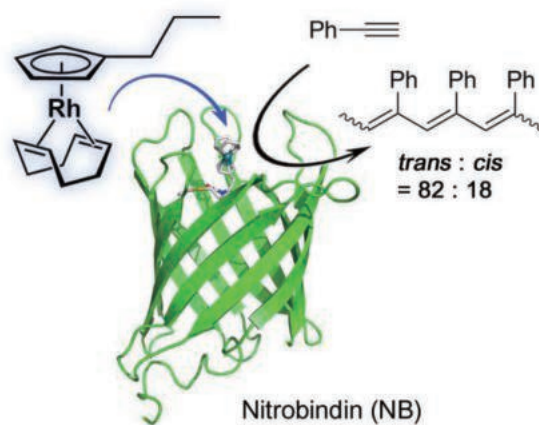
グローブボックス

研究室ローテーション1／2 工学研究科応用化学専攻 林研究室
「バイオハイブリッド触媒のデザイン、構築、機能評価、反応性制御」

【目的と達成目標】

金属酵素は、窒素固定をはじめ非常に重要な物質変換を行っており、高い選択性と水中の温和な条件下で反応が進行する点で優れている。一方で、金属錯体触媒も、医薬品や高分子などの有用化合物の合成反応に用いられる。金属錯体触媒の反応性とタンパク質が提供する精密かつ複雑な反応場を融合すれば、特異な反応性を有するバイオハイブリッド触媒の創製につながる。当研究室では、金属触媒を共有結合により、強固構造のβバレル型タンパク質の疎水的空孔に固定化したバイオハイブリッド触媒を構築してきた。タンパク質空孔内にロジウム錯体を固定化したバイオ触媒を作製し、キャビティー近傍のアミノ酸をエンジニアリングすることによって、立体選択的な重合反応が可能なバイオ触媒の構築に成功している。

本プログラムでは、バイオハイブリッド触媒をテーマとして、1) タンパク質の設計と調製、2) 金属錯体の合成、3) 錯体を導入したバイオハイブリッド触媒の調製と同定、4) バイオハイブリッド触媒の反応性評価を行う。実験を通して、金属錯体の同定と解析の基礎を習得することに加えて、タンパク質の化学修飾を通して、生化学的な手法や触媒化学的な方法論を習得することを目的とする。



研究室ローテーション 1 / 2 工学研究科応用化学専攻 南方研究室
「有機合成化学入門」

【目的と達成目標】

有機物によって構成される物質の“ものづくり”には、有機合成化学の知識と技術が必須である。また、合成した化合物の構造を決定することは、この分野における最大のスキルといっても過言ではない。本研究室ローテーションでは、有機合成実験における最も基本的な操作、基本反応の原理の習得ならびにスペクトル解析（特に核磁気共鳴スペクトルのデータ解析）を習得することを目的とする。このプロセスを学ぶことに加えて、多段階の反応を必要とする標的分子の合成法の解析（逆合成解析）についても学習し、有機合成の基礎的なノウハウを身につける。この一連の過程を体験することにより、比較的単純な分子を数段階で合成できる能力を修得することが、目標である。



実験室

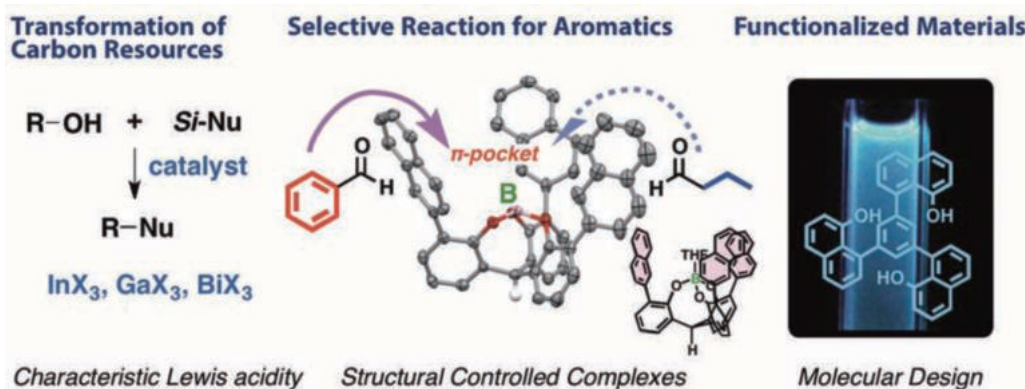


各種分析装置（NMR, GC）

「典型元素を活用した有機合成化学」

【目的と達成目標】

簡単な分子から、高度に機能化された化合物を合成することが精密有機合成化学の基本です。安田研究室では、資源的にも豊富な典型金属の特性を生かして、従来の手法では達成できない立体および官能基選択性などを有する反応の開発を行なっています。また反応開発の他にも、当研究室で培われた有機合成反応の手法を活かした新規機能性化合物の合成もしています。本プログラムでは、有機合成化学の実験とそれに関するディスカッションを通して、有機化学の基礎的な知識および有機合成化学の基礎技術を身につけてもらいます。また、有機合成化学に必要な機器分析法についても学ぶことができるように、プログラムを組んでいます。最終的には自ら実験スケジュールの組み立て、実験の実行、機器分析による解析、結果の考察が行える有機化学者としての基礎を習得してもらいます。

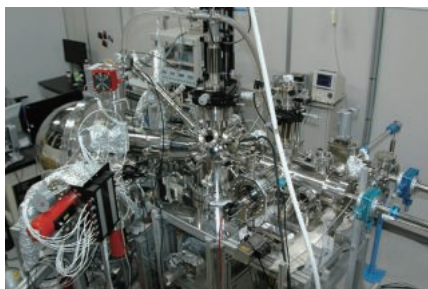


研究室ローテーション1／2 工学研究科 物理学系専攻 坂本研究室
「原子層結晶での新奇電子物性探索」

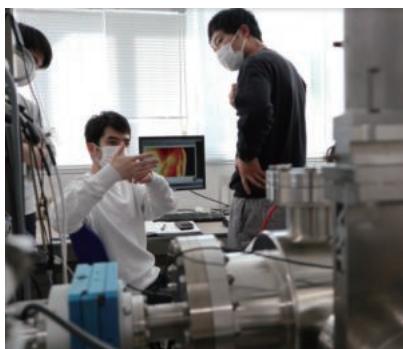
【目的と達成目標】

物質を極限まで薄くした、厚さが1から数原子層の2次元原子層物質は、グラフェンのディラックコーンに代表されるように、3次元固体と異なる物性を示すことがある。原子層物質の応用利用を考えたとき、ごく限られた自然界に存在するものだけでなく、固体表面上に異種原子・分子を蒸着して作製した、自然界に存在しない厚さが数原子層以下の「原子層結晶」を用いることで新しい展開が期待できる。当研究室では、光電子分光を用いた電子状態の観測などから、原子層結晶に発現する新奇量子物性の解明・制御とそれを用いたデバイスのデザインを行っている。

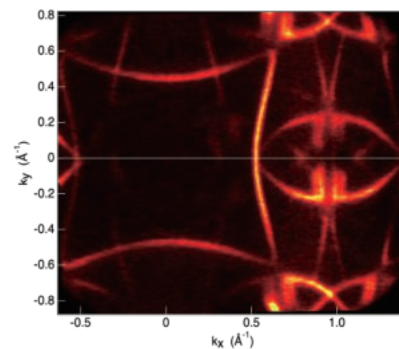
本研究室滞在期間中に、原子層結晶の基礎的な物性と光電子分光の原理を学び、超高真空装置の扱いを習得し、清浄な原子層結晶の電子構造と異分子の吸着により変調した原子層結晶の電子構造を測定する。得られた測定結果を解析して理解することによって、原子層結晶に発現する特異な量子物性を理解し、制御する方法を身につけることを目標とする。また、観測された新奇物性を利用したデバイスをデザインする考え方を習得することを目指す。



光電子分光装置



実験中の様子



得られる電子構造

研究室ローテーション1／2 工学研究科 物理学系専攻 森川研究室
「第一原理計算によるナノスケール・シミュレーションとマテリアル・デザイン」

【目的と達成目標】

量子力学、電磁気学、統計力学、といった物理学の基本法則のみに基づく物質の電子状態計算手法である第一原理シミュレーションは近年大きく発展し、基礎物質科学の分野における様々な現象の解明に大きな役割を果たしてきた。さらに、現象の理解に基づいて物質の性質を予測し、新しい有用な物質を設計するための強力なツールとして役立てる試みがなされ、コンピューテーショナル・マテリアル・デザイン(CMD)と呼ばれる新しい研究分野として、基礎物質科学のみならず、産業やエネルギー、環境分野等、幅広い分野に応用されようとしている。

本研究室滞在期間中に、第一原理シミュレーション手法の基礎原理とプログラムの使用方法を学び、各学生が興味を持つ具体的な物質について計算を実行し、計算結果結果を解析し解釈することによって、複雑な現象の物理的機構を量子力学的な視点で理解する方法を身につける事を目標とする。さらに、研究室ローテーション2では、得られた微視的な機構の知見を利用して、より望ましい性質を持つ物質をデザインする考え方を習得する事を目指す。



写真上段：研究室風景

中段：集合写真

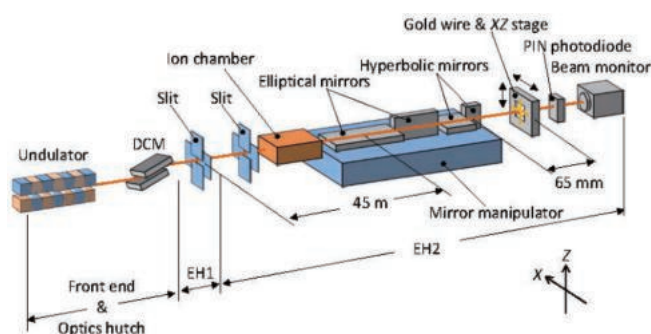
下段：研究室セミナー

研究室ローテーション 1 / 2 工学研究科 物理学系専攻 山内研究室
「超精密加工法の開発と X 線用高精度光学素子・次世代半導体基板加工への応用」

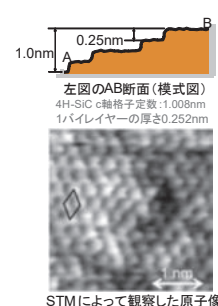
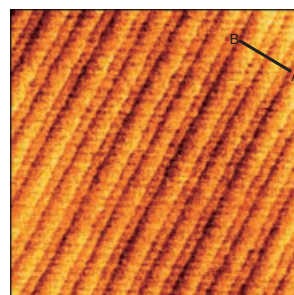
【目的と達成目標】

「創れなかったものを創る」これが科学技術の進歩の第一歩です。本研究室では、数 100mm スケールに亘る大面積表面において、原子スケールでの構造制御を行う Giant-Scale Nanotechnology に取り組んでいます。これまでに、EEM、PCVM、MSI、RADSI、CARE といった様々なナノ加工・ナノ計測システムを開発し、高性能電子・光デバイス基板や X 線光学素子、X 線顕微鏡など、「創れなかったものを創る」ことに成功しています。そして、バイオ・医学・創薬・半導体デバイス・X 線自由電子レーザー(X-ray free-electron laser: XFEL)など、様々な分野と連携しながら、新しい科学技術の開拓に貢献しています。

本プログラムでは、現在当研究室で精力的に開発している、触媒表面基準エッチング (CARE) 法やプラズマを使った高精度加工法 (PCVM) によって次世代半導体基板や高精度 X 線光学素子の加工実験を行うとともに、当研究室で作製した高性能 X 線結像光学システムや無歪 X 線ブラッグ回折素子等を、理化学研究所播磨事業所内の大型放射光施設 SPring-8 や X 線自由電子レーザー施設 SACLA (SPring-8 Angstrom Compact Free Electron Laser) といった最先端施設において性能評価を行います。高精度な加工技術、計測技術の基礎を習得するとともに、放射光を用いた実験の難しさ・面白さを体感することを目標とします。



高性能 X 線結像光学システム



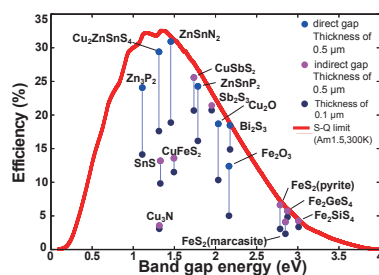
原子レベルで平坦化された次世代半導体基板

研究室ローテーション1 工学研究科マテリアル生産科学専攻 計算材料設計学領域 「第一原理量子シミュレーション手法の開発とマテリアルデザインへの応用」

【目的と達成目標】

本研究室は、第一原理計算による機能・構造材料のデザインと、その実証実験を行う研究グループです。電子の励起状態に関わる様々な物理現象（有限温度磁性、外場によるエントロピー変化、電気・熱・スピンの伝導現象など）を、色々な理論的方法を組み合わせる量子シミュレーション手法の開発を行い、マテリアルデザインに応用しています。開発した方法を用いて、エネルギー関連材料のデザインを行い、材料探索のガイドラインの提供を目指しています。

研究室滞在期間中には、第一原理計算の基礎について知見を深め計算コードの使用方法に習熟するとともに、各学生の興味に応じて、高効率エネルギー変換材料（太陽電池材料、発光材料、熱電材料、磁気冷凍材料など）、省エネルギー関連材料（スピントロニクス材料など）、構造材料（形状記憶・超弾性材料など）などの具体的な物質に対して計算を行い、機能発現の背後にあるメカニズムについて考察し、マテリアルデザインに応用することを目指します。



Queisser 理論による効率予測

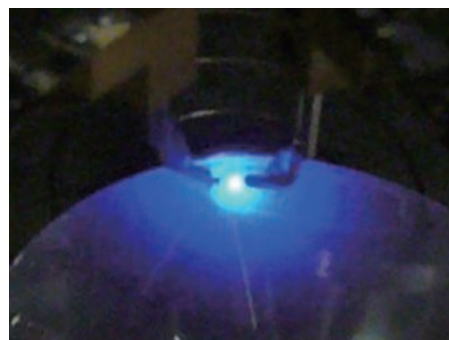
研究室ローテーション1／2 工学研究科マテリアル生産科学専攻 藤原研究室 「有機金属気相エピタキシャル成長法による発光ダイオードの作製」

【目的と達成目標】

発光ダイオード(LED)は、表示デバイスやディスプレイ、最近ではLED照明等、我々の身の回りで広く用いられている。その構造はpn接合を基本としているが、半導体特有の物性や機能を最大限に活用し、その作製は結晶成長技術やデバイス加工技術の粋を集めたものである。ここでは、LEDを題材とし、半導体の基礎から出発して、LEDの構造や動作原理、さらには作製方法について学習する。また、実際にLEDを設計・試作し、その特性の測定を通じて、半導体発光デバイスに関する「知識」を「知恵」とすることを目的とする。

履修生には、窒化物半導体 InGaN/GaN 多重量子井戸構造を発光層とする青色LEDを研究対象とし、当研究室が所有する有機金属気相エピタキシャル成長装置を用いて実際に作製してもらう。また、研究対象とする半導体材料が決まっている学生は、それを持ち込んで、その電気的・光学的特性を測定するとともに、デバイス加工を行うことも可能である。

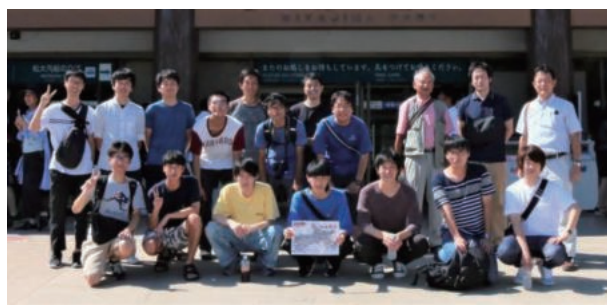
半導体発光デバイスの基礎について修得すること、またその作製や特性評価に関わる基礎的な技術について理解できるようになることが最低限の目標である。



研究室で作製した青色LED



有機金属気相エピタキシャル成長装置

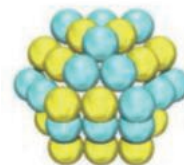


研究室の仲間たち

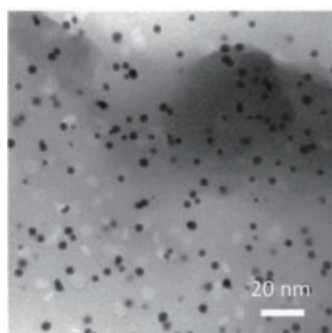
研究室ローテーション 工学研究科マテリアル生産科学専攻山下研究室 「金属ナノ粒子担持触媒の調製・構造解析・触媒性能評価」

【目的と達成目標】

当研究室では、環境触媒・ナノ触媒・光触媒などのエコマテリアルの材料設計を中心として、クリーンエネルギーの開発、省エネプロセスでの環境浄化・快適生活空間の実現に向けての基礎・応用研究を展開している。中でもバルク状金属と単分子の金属錯体との中間のサイズ(1~50nm)を有する金属ナノ粒子をターゲットとし、量子サイズ効果や特異な表面構造に由来する独特な物理・化学的性質に基づいた高活性触媒の開発に取り組んでいる。



本プログラムでは、金属ナノ粒子担持触媒の開発をテーマとする実験を通して、触媒材料設計のエッセンスを習得することを目的とする。具体的には、1) 金属錯体の熱分解を利用した活性炭担持金属ナノ粒子触媒の調製、2) 各種分光学的手法による触媒構造解析、3) 水素貯蔵材料からの水素生成反応における触媒活性評価を行う。一連の実験を通して、固体触媒の調製法、熱分析測定(TG)、X線結晶構造解析(XRD)、透過型電子顕微鏡(TEM)、X線吸収微細構造(XAFS)等の構造解析技能を身につけることを目標とする。



金属ナノ粒子のTEM像



放射光を利用する構造解析

研究室ローテーション1/2 接合科学研究所 伊藤研究室
「材料科学的視点に基づいた微細組織観察・構造解析」

【目的と達成目標】 接合科学研究所には、種々の構造物やデバイスなどの接合手法開発、接合強度向上、接合現象の解明などが求められている。当研究室では、溶融溶接、液相/固相接合された接合体の接合強度の発現・支配機構を、材料科学的な視点(拡散・界面反応、組成・構造評価)から明らかにしようと努力している。持込関連テーマを当研究室の有する材料学的な知見と種々の実験機器を用いた実験でテーマ解決を共同で行い、持込テーマが無い場合は、当研究室の大学院生と一緒に、当研究室のテーマで、関連実験機器を用いた微細組織観察や組成・構造解析と考察を行い、材料科学的な視点を習得してほしい。

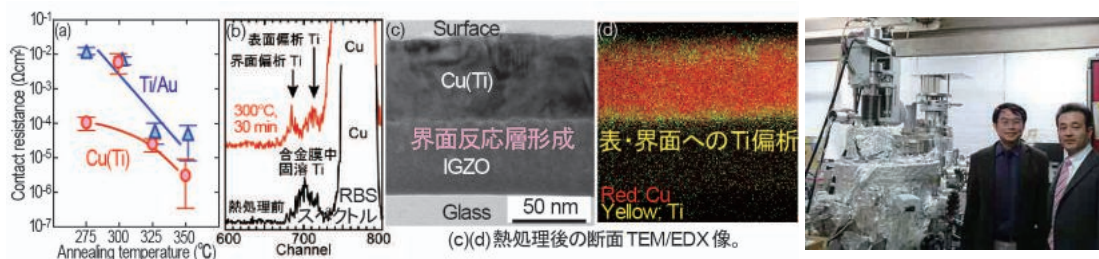


図 1. 特性と微細組織の関係、超高真空マルチターゲットマグネトロンスパッタ装置。

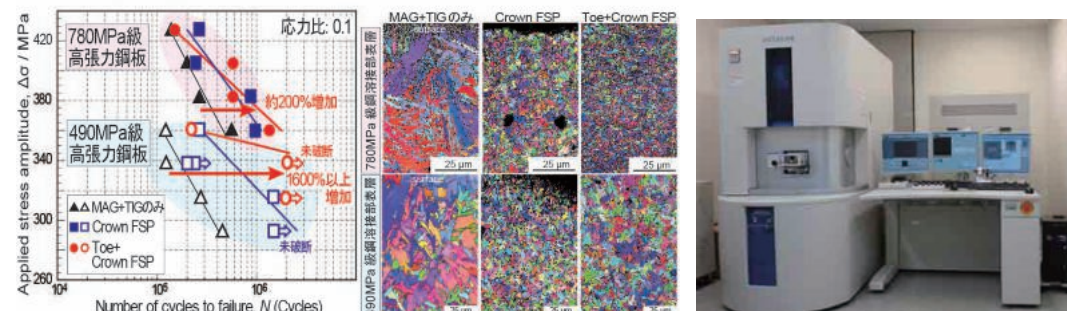


図 2. 疲労強度増加と微細組織(EBSD 像)の関係、微細組織観察・加工装置(NB5000 型収束イオン/電子ビーム加工装置+EBSD: 微細組織の 3D 観察、TEM 試験片作製など)。