

Q1. 海外との交流活動の具体的な情報

私の研究室で実施している、代表的な海外との共同研究は以下の通りです。世界中の大学と幅広く共同で研究を進めています。

- ・アメリカ：カリフォルニア大学、磁性材料の共同開発
- ・カナダ：レイクヘッド大学、脳磁・心磁分析用 AI の開発
- ・ドイツ：ゲッティンゲン大学、スピンの高速運動の測定
- ・中国：四川大学、磁性材料の評価技術の開発
- ・韓国：コリア大学、スピントロニクスセンサを用いた微粒子検出

Q2. 脳磁計が人生を豊かにする具体例

脳磁計が人の生活を豊かにする例は沢山ありますが、以下に代表的なものを挙げます。

- ・ヘルスケア分野：ストレスの軽減、睡眠の質改善、認知機能の改善、疲労の検知
- ・教育/能力向上：集中力モニタ、学習能力向上、記憶力向上、スポーツ能力の向上
- ・マーケティング：商品デザインの評価、購買感情などの推定
- ・エンタメ：アバター操作、テレパシーゲーム、感情にマッチした音楽再生

Q3. 脳磁計の普及に伴う倫理的な問題

脳に関する研究には、常に倫理の問題がつきまといまいます。例えば、脳の情報を取得し、その情報を自分の脳にフィードバックすることで人間の能力を高める研究が進められています。これはスポーツのドーピングと同じではないでしょうか？難しい問題です。また、プライバシーの問題もあります。思考や感情が読み取られるのではないか？読み取られた考えを悪用されないか？など様々な問題が将来的に発生する可能性があります。現在、脳の研究は、大学に設置されている倫理委員会（様々な分野の専門家が集まる会）の審査や助言を受けながら倫理的な方法を守って進める必要があります。また、何よりも、研究を実施している私達自身が高い倫理観を持つことが重要と考えています。

Q4. 脳磁計の世界での注目度

脳の情報を計測する手法として脳波計が有名ですが、講義でもお話しした通り、得られる情報の精度が低いため、間違った情報推定が生じたり、人によっては有効でない、などの課題があります。もう一つの有名な脳計測手法は、機能的 MRI と呼ばれる方法です。この方法は高精度に脳情報を測定できますが、特殊な設備が必要であり、計測に時間もかかることから、一般に普及するのは難しい技術です。一方で、脳磁計は、原理的に高精度な情報を簡単に測定できる装置であり、将来的に有望な脳情報計測装置になると期待されています。

Q5. 磁石の強さとスピンの偏りの関係

上向きスピンと下向きスピンの数の差をスピンの偏りと言います。磁石にくっつく物質

はスピンの偏った状態にあり、逆に磁石につかない物質はスピンの数が同数です。磁石はスピンの偏った材料の典型例です。磁石の強さは、スピンの偏りの大きさに加えて、スピンがある方向を安定に向いていようとする力に依存します。この力の源を、磁石の内部にスピンの方向を揃えようとする磁場が発生していると考えます。磁石の強さ（エネルギー） \propto スピンの偏り \times 磁石内部に存在する磁場、となります。

Q6. 卒業時に身につけている技術

電気情報理工学科は、選択する6つのコースによって身に付く専門技術は異なります。電気・通信・電子・応用物理・情報・医工学、それぞれのコース名に紐づいた専門技術を得ることができます。また、2年生まではコースに依らず学科共通の科目を学びますので、基礎的な知識については、一通り身につけることができます。

Q7. 入学するのに必要な技術

数学、物理、化学の基本的な知識があれば（東北大学工学部に入学できる学力があれば）、大学での講義に十分ついていくことが可能です。将来的に研究者を目指すのであれば、発表や論文の執筆には英語を使いますので、英語も今のうちに勉強しておくといよいでしょう。

Q8. 電子が回転する原理

残念ながら私にも分かりません。また、実際に電子の回転を実験的に観測することも未だできていません。ですから電子の回転「スピン」の原理がストンと腑に落ちる人は、この世に誰もいないかもしれません。

Q9. 量子トンネル効果の発見に至った経緯

量子トンネル効果は1920年代から理論的に予測されていましたが、最初に実験で観測したのは日本人の研究者です。1950年代に江崎玲於奈博士は、電気の流れを整えるダイオード中の障壁をできるだけ薄くして電気を流す実験を繰り返して、障壁の幅を10ナノメートルまで薄くしたところで、電子が障壁をすり抜けるトンネル効果を起こすことに成功しました（江崎先生は1973年にノーベル物理学賞を受賞）。また、トンネル接合の電極を磁性金属にした素子で、トンネル磁気抵抗効果を室温で発見したのも日本人であり、東北大学の宮崎照宣名誉教授が発見者です（宮崎先生は私の先生でもあります）。

Q10. 生体磁場測定以外の応用例

スピントロニクスを用いた磁気センサの応用例として、インフラ（鉄道レール、高速道路、ビル）の鉄筋コンクリートの非破壊検査、電気自動車などの蓄電池のモニタリングがあります。前者については、50cmもの厚さがあるコンクリートを壊すことなく、内部の鉄筋の腐食や破断を検知することができます。後者については、電池が未使用の状態時に微量に流れ

る電流をも検知できるため、精密に電池の状態を知ることができます。電気自動車や家庭用の蓄電池を効率的にマネジメント可能になれば、今よりもコンパクトな電池で十分になり、車の走行距離が伸びたり、蓄電池の普及が進んだりする効果が期待されています。

Q11. 医療機器としての応用例

脳磁計の医療機器としての応用例として、てんかんの診断があります。てんかんの原因となっている、脳の一部の異常個所が脳磁計で特定可能です。また、アルツハイマー診断への応用も期待されています。

Q12. 脳磁計の低コスト化のために必要なこと、実用化の時期

製品を低コスト化するためには、素子の単価を抑える必要があります。現在は脳磁を測定できるような超高感度な素子は10個中1個ぐらいの割合でしか作製できていません。この作製の歩留まりを向上させること、大面積で一度に沢山素子を作製する大量生産技術を確立することが低コスト化には必要です。また、普及が進めば、販売台数が増えていき、装置の価格も安くなりますので、幅広く普及させることも大事です。実用の時期ですが、初号機の実用化を2030年頃に予定しています。

Q13. センサを小型化するための方法

センサの作製には、講義で説明したトップダウンの方法(大きなものを小さく切り刻む方法)を用いています。多くの半導体素子がこのトップダウンの方法で作製されており、年々、小さな素子を作るための技術が高まっています。半導体と磁性体を組み合わせたスピントロニクス素子の小型化も、このトップダウン加工技術の高度化によって年々進んでいます。

Q14. スピンエレクトロニクスの高性能化に必要なこと

スピンエレクトロニクス素子の高性能化には、素子に用いる高性能な材料を開発すること、ナノメートルレベルの薄膜を高品質化するための装置開発、作製条件の最適化、作製した薄膜を精度良く微細に加工するための技術、など様々な要件が必要となります。これらを一つ一つ丹念に研究することで、素子の性能向上が進められています。

Q15. 大学教員と民間企業職の違い

一番大きな違いは、自分自身で仕事の内容を決める大学教員と、基本的には仕事を与えられる民間企業職の違いかと思います。大学の先生は、研究の内容は自分で決められますので、好きなことを自由にできる、という特徴があります。もちろん民間でも社長になれば(もしくは起業すれば)、自分で仕事の内容をある程度決めることが可能です。仕事を自分で決めるのが向いている人もいますし、与えられた仕事を頑張りたい人もいますので、自分自身がどちらに向いているのか考えてみるとよいかもしれません。

Q16. 学部での留学制度

電気情報物理工学科では、大学間で協定を結んでいる大学への留学（海外研修）が可能です。直近では、アメリカ、シンガポール、フィンランド、スウェーデンに留学した学生さんがいます。東北大学工学部電気情報物理工学科のホームページに、「海外研修」のページがありますので、興味のある方は調べてみるとよいでしょう。

Q17. ナノテクノロジーの活用例

ナノテクノロジーの応用例は沢山あるため、すべてを紹介できませんが、代表的なものとして、「材料・素材の開発」「医薬（ドラッグデリバリーや抗ウイルス薬開発など）」「食品（包装技術など）」「エレクトロニクス（私が講義で説明したもの）」「エネルギー（石油回収や電池の開発など）」「環境（水や空気の処理など）」が挙げられます。

Q18. 脳への電気信号の作り方

脳の研究では、身体の一部に電気刺激を与えて、その信号が脳に到達したものを電気や磁気で測定するという実験をします。例えば、手首に電気刺激を与えると、およそ 20 ミリ秒後に脳に信号が到達します。日本人は腕が短いので、欧米人より到達時間が短くなります。

Q19. 電子スピンの活用例

電子スピンの活用例も様々です。私が研究している高感度な磁気センサだけでなく、スピンを用いた情報記憶素子（MRAM）、電子スピン共鳴という物質の評価技術、さらには量子コンピューターへの応用を考えている研究者もいます。

Q20. 2040 年頃に進化した AI は何ができるのか

脳と AI の融合技術はまだ開拓期であり、2040 年頃の技術を明確に予想することは難しいのが現状です。不確定要素は大きいですが、現時点で考えられている脳×AI 技術として

- ・念じるだけでロボットをあやつる
- ・思い浮かべたことを翻訳する
- ・他人が見ている夢を読み取る
- ・目を介さずに世界を見る

などが挙げられます。講談社からでている「脳と人工知能をつないだら、人間の能力はどこまで拡張できるのか」という本は、高校生でも読める良い参考書かと思います。

Q21. ピコのテクノロジーは進んでいるのか

原子（ナノメートルレベル）よりも小さい世界を制御する技術は未開拓の状況です。数十年後にはそのような技術も現れるのかもしれませんが、私には想像ができない世界です。

Q22. トンネル磁気抵抗効果素子の作り方

薄膜試料（磁性/絶縁体/磁性の三層構造）の作製⇒トップダウン方式での微細素子加工が基本的なプロセスの流れとなります。ナノメートルレベルの厚さの薄膜試料は、スパッタリング法と呼ばれる方法を用いて真空中で作製されます。

Q23. 電子スピンの向きを観測する方法、スピンの向きは変わらないのか

電子スピンの向きは磁場を印加しながら電気を測定する方法、光を用いる方法、超伝導体を用いる方法、などいくつかの観測手法で調べることができます。スピンの向きは、温度などの影響で反転が生じます。温度を非常に高くすると、キュリー温度と呼ばれる温度で、磁石はその性質を失って、磁石ではなくなってしまう。

Q24. ナノテクノロジーの創始者

アメリカのリチャード・ファインマン教授が、1960年頃に「将来は原子を1つずつ配置して思い通りの物質を作れるようになるだろう」と予言したのがナノテクノロジーの始まりと考えられています。

Q25. AIでノイズを推測することはできないのか

まさに現在、AIを用いて真の信号を推測し、ノイズ除去に応用する技術が開発されようとしています。お医者さんが、ノイズの多い脳や心臓のデータから、本当の信号は何かを診断する行為が、AIでも近い将来に実現されるのかもしれませんが。

Q26. 生体磁場の個人差、磁場の身体への影響

生体磁場の大きさには個人差があります。例えば脳信号の一種であるアルファ波は、子供の方が大きいと聞いたことがあります。磁場を脳に加えて、脳を刺激する技術が進んでいますが、健康や脳機能への影響についてはまだ分からないこともあり、慎重に研究を進めていく必要があります。

Q27. 研究では自分で新しいことを考える必要があるのか

研究者は、自ら新しいことを考える必要があります。ただ、全くのゼロから何かを発想することは難しいので、先行研究例等を参考にしながら、そこに自分のアイデアを加えることで、自分ならではのオリジナルの研究をしています。

Q28. 脳の磁場を利用して遠隔で操作できるロボットはあるのか

ブレインマシンインターフェース(BMI)と呼ばれる技術が進んでおり、脳波(電気)を用いて機械を制御する研究は既になされています。脳の磁場を用いたロボット制御の研究は、まだこれからです。

Q29. 脳磁計の高精度化には何が必要か

明瞭な脳の磁場を測定可能な高感度なセンサを実現すること、信号に含まれるノイズを高精度に（真の信号と間違えずに）除去すること、AI 診断技術を高度化することが必要と考えられます。

Q30. 大学の成績の決まり方

大学では先生の考え方によって大きく変わります。定期試験だけで点数をつける先生、毎回レポートをだして点数に加味する先生、出席を重視する先生等々、様々です。大学に入學すると、先輩や同級生から先生の情報が得られますので、講義を選択する際の参考になるかもしれません。

Q31. 進路が定まっていない場合に、選択肢が広くとれるおすすめの学科

東北大学の工学部の中では、私が所属している電気情報物理工学科が、幅広い分野をカバーしており、おすすめです。電力（送電・発電）、電子デバイス、理論物理・コンピュータシミュレーション、ロボット制御、IT（ソフトウェア）、医療工学、通信技術、材料開発など様々な専門を選択することが可能です。

Q32. 博士取得後に、どのぐらいの割合で大学の助教になるのか

どの分野で博士を取得するかによって変わりますが、私が所属する応用物理では、半分ぐらいの方は大学または国の研究所でアカデミアの仕事を選びます（もう半分は民間企業）。

Q33. 情報が関わる詳細な研究の内容

情報工学コースの情報をあまり多くもっていないので、詳細にはお答えできないのですが、最近ですと量子コンピューター(ソフトウェア)、ロボットとのコミュニケーションツール開発などの研究が行われています。詳細は、電気情報物理工学科の情報工学コースのHPを見ていただければと思います。

Q34. 6つのコースの詳細な研究内容

Q33.の回答と同様になってしまいますが、各コースの概要は私も把握しているのですが、詳細な研究内容まで正確にお答えすることができません。電気情報物理工学科のホームページに各コースの研究内容が紹介されていますので、そちらをご覧くださいと思います。

Q35. トップダウン、ボトムアップのそれぞれのメリット・デメリット

大きなものを小さく削っていくトップダウンは、技術開発としてはやりやすく、現時点でのナノテクノロジーの主流です。しかし、大きなものを小さくするにも限界があるため、今

後はボトムアップのテクノロジーが進んでいくと考えられています。しかし、ボトムアップ型は、まだ材料や応用範囲が限定的なのが現状です。

Q36. 助教になるための資格・資質

資格は博士の学位を取得することです。資質は色んな観点がありますが、大雑把に言えば、研究が好きであることと、教育者の側面もありますので、学生の面倒を見れる方、ということになるかと思います。

Q37. 大学教授のメリット

Q15.でも回答しましたが、自分の好きな研究ができる点です。もう一つは、新しい学生が大学に入学してくる度に、新鮮な気持ちで仕事に取り組めるところと感じています。

Q38. フルダイブ型 VR の実現可能性

はい。フルダイブ型 VR は私たちの研究の延長線上で実現できると考えています。

Q39. 原子 10 個の絶縁層は透明なのか

はい。透明です。絶縁体でなくても、普通は光を反射するはずの金属であっても、原子が 10 層程度では光が透過し、透けて見えます。

Q40. 学部での生活、具体的な授業内容

2 年生までは基礎科目を学び、3 年生以降はそれぞれのコースに応じた専門科目を学ぶのが基本です。また、東北大学は総合大学ですので、1 年生の時には、文化や哲学など一般教養も学ぶ点にも特徴があります。専門性のみならず、幅広い知識を持つことが、将来のリーダーになるための重要な素養と考えている為です。学部での生活は、学生さんによって様々です。勉強を頑張る方、サークル活動・バイトを頑張る方などいらっしゃいますが、大学生は大人ですので、自分自身で責任をもって選択をすれば、どのような学生生活を送ってもよいと私自身は考えています。

Q41. 政府の思考盗聴は実現するのか

科学技術的には思考盗聴は将来的に実現可能になってしまうと思います。Q3 の倫理の課題でも回答しましたが、プライバシーの侵害については非常に大きな問題となりえます。ユーザーが高い倫理観を持つことが極めて重要です。

Q42. 脳磁計を医療現場で使用するための注意点

お医者さんから聞いた話でしか回答できませんが、現在の脳磁計は磁気シールドルームという、金属の壁で囲まれた狭い部屋で使用されています。閉ざされた空間で患者さんが不

安にならないように測定を行うのもお医者さんの技術のようです。その他に大きな危険を伴うような測定ではありません。

Q43. 他学科のスピンエレクトロニクスとの関り

スピンエレクトロニクスは東北大学で最も力をいれている研究分野の一つです。工学部の中でも材料科学総合学科にもスピンエレクトロニクスを研究している研究室があります。その他、理学部、金属材料研究所、電気通信研究所などの他の学部や研究所でもスピンエレクトロニクスは研究されています。東北大学では、スピントロニクス拠点と呼ばれる組織があり、これらのスピンエレクトロニクスに関連する研究者が協力して研究を進められる体制が構築されています。それぞれの研究室で少しずつ研究の特色が異なりますので、ホームページなどで研究内容を確認してみるのがよいと思います。

Q44. 脳磁場と心磁場測定の難易度の違い

脳磁場は心磁場よりも、約二桁磁場の大きさが小さいので、測定難易度が飛躍的に高くなります。現時点では心磁場は実用レベルで測定ができており、脳磁場はトップデータとしては測定ができています、という位置づけです。

Q45. 研究室は何時まであいているか

研究室は 24 時間空いています。研究室に配属されると、講義がない日は、いつ来ても、いつ帰っても良いのが基本です。自分のペースで頑張れるという良い面があるのに対し、自分で責任をもって行動しなくてはいけない、という面もあるということです。

Q46. 大学院に進学しなかったかたの就職先

民間企業に就職される方が多いです。業種は様々で、電気情報物理工学科のように幅広い分野をカバーしている学科は、就職先も多様です。

Q47. 今後のナノテクノロジーの可能性

Q17.で活用例を回答しましたが、ナノテクノロジーの進化はまだまだ進んでいます。私には 30 年, 40 年先のテクノロジーを予見することはできませんが、講義で紹介したように、誰もが脳の情報を取得可能なデバイスは、この 20 年の間に実現したいと考えています。