

研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究課題「チューリング機構を用いたマヨラナ準粒子の創発」

戦略的創造研究推進事業CREST

研究課題「量子スピン液体におけるトポロジカル準粒子の解明と直接検出」

熱帯魚の縞模様をナノレベルで再現

量子回路や光感応デバイスへの応用期待

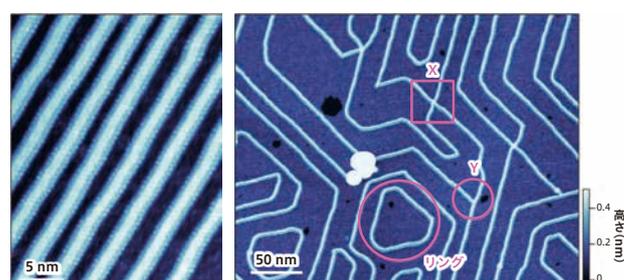
近年、半導体ナノテクノロジーの微細加工技術は限界が近づいています。素材の表面を削って回路を作製する「トップダウン法」では、細線の幅や間隔が10ナノ（10億分の1）メートル未満の量子細線パターンの作製は困難です。一方、ゼロから細線を形成・合成する「ボトムアップ法」は、原子サイズでの細線設計が可能であるものの、均一な細線の作製や配置が大きな課題となっています。

京都大学大学院理学研究科の浅場智也特定准教授、松田祐司教授らの研究グループは、熱帯魚の縞模様やヒョウのまだら模様のように、2つの物質が反応・拡散する時に自発的に生じる空間パターンである「チューリングパターン」に着目。レーザー光を物質へ短時間繰り返し照射し、基板へ蒸着させる薄膜作製手法である「パルスレーザー堆積法」を用いて、グラファイト基板上に塩化ルテニウム薄膜を蒸着させました。

基板表面を走査型トンネル顕微鏡（STM）で観察すると、塩化ルテニウム量子細線が周期的に並んだ構造が見られま

した。この量子細線は厚みと幅が約1ナノメートルと極めて細いにもかかわらず、長さが1マイクロ（100万分の1）メートルを超えます。また、蒸着時間や基板の温度を変えることで幅や間隔が調整でき、縞模様だけでなく、X字やY字、リングなどのパターンも形成されました。

この成果はナノテクノロジーにおける超微細加工に新たな視点を提供するもので、パターン形成を元にした量子回路、光感応デバイス、原子コイルなどへの応用につながります。また、基礎研究面でも、新奇物理現象を探索する興味深い舞台を提供します。



グラファイト基板表面に整列した原子パターンのSTM像（左）。広い範囲のSTM像では、量子細線がX字やY字のジャンクション・リングを描いている様子がわかる（右）。

研究成果

創発的研究支援事業

研究課題「着床期胚浸潤に着目した妊娠成立機構の解明」

エピゲノム異常による着床不全を解明

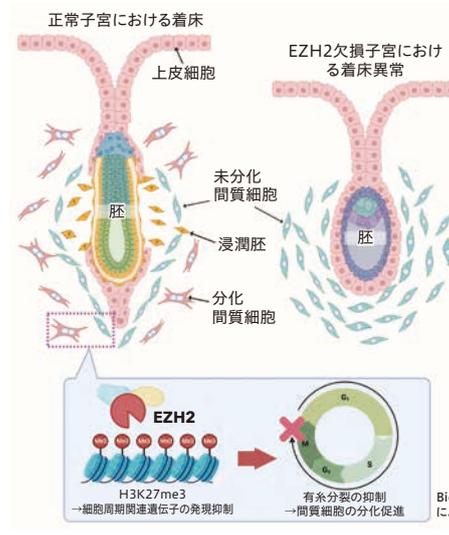
不妊症の新たな診断・治療法開発に道

不妊症は、全世界のカップルの15パーセントが直面している健康問題です。治療方法の1つに体外受精・胚移植がありますが、良好胚を選別・移植しても着床しない「着床不全」が大きな問題となっています。これに対し、東京大学医学部附属病院女性診療科・産科の藍川志津特任研究員らの研究グループは、ヒト着床期子宮内膜や遺伝子改変マウスを用いた研究によって、エピゲノムの異常が着床不全を起こすことを世界で初めて明らかにしました。

研究グループは初めに、ヒト着床期子宮内膜において妊娠群と着床不全群とで発現に差がある遺伝子を探索しました。その結果、着床不全群で発現量が多い遺伝子が、抑制的エピゲノム修飾であるヒストンH3のリジン27トリメチル化（H3K27me3）の標的遺伝子群にあることを見いだしました。加えて、着床不全群では、H3K27me3の修飾に関わる主要な酵素の「ヒストンメチル基転移酵素」（EZH2）の発現量が少ないことがわかりました。

次に、EZH2を子宮特異的に欠損したマウスを用いて解析したところ、着床期子宮内膜ではEZH2が有糸分裂に関わる遺伝子群の発現を抑制していることを確認しました。通常の

EZH2による着床の調節



正常子宮における着床では、EZH2が子宮内膜の細胞分化を誘導して間質細胞が分化し、胚浸潤が起こる。一方、EZH2欠損子宮ではEZH2が発現しないため、間質の細胞増殖が止まらず胚浸潤を妨げる。

子宮内膜では間質細胞が多核の特徴を持つ細胞に分化し、胚浸潤と胎盤形成を促進します。一方で、EZH2欠損子宮ではこの細胞分化がほとんど起こらず、最終的に着床不全に至ることがわかりました。

この研究により、EZH2による抑制的ヒストン修飾が胚浸潤の成立に寄与することが判明し、着床調節のメカニズムが解明されました。今後は、子宮内膜の細胞分化の評価に基づく着床不全の新しい診断法や治療法開発へ向けた臨床研究への展開が望まれます。

多足ロボットの機敏で効率的な歩行を実現 不安定性を駆動力に生かした新たな機構を開発

ムムデのように多くの足を用いて移動する「多足ロボット」は、耐故障性や転倒回避性に優れており、惑星探査や災害救助など人が立ち入れない場所での活躍が期待されています。しかし環境と複雑に相互作用する足の制御は難しく、特に歩行中は重力に逆らって体重を支えるために多くの足を地面につける必要があります。急旋回などの機敏な運動は至難の業でした。

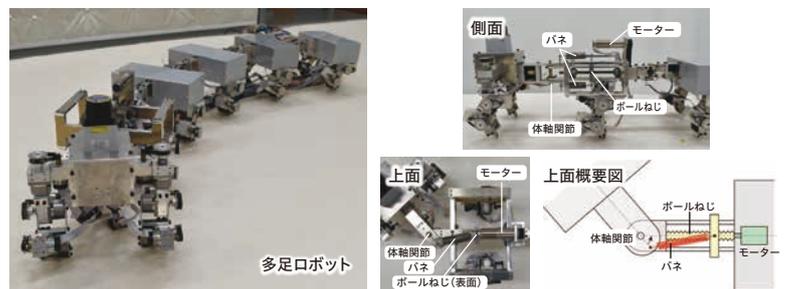
通常、ロボット制御において不安定性は排除すべきものですが、生物の運動制御では不安定性を積極的に利用していることが示唆されています。大阪大学大学院基礎工学研究科の青井伸也教授らの研究グループは、多足ロボットの不安定性を別の運動へと素早く遷移させる駆動力に利用できるのではないかと考えました。

研究グループは、回転バネを用いた柔軟な体軸を持つ多足ロボットにおいて、バネ剛性をパラメータとする「ピッチフォーク分岐」によって直線歩行が不安定化し、剛性に依存した半径を持つ円歩行に遷移することを、す

で明らかにしていました。この不安定性を駆動力として生かし、体軸の回転バネ剛性を変化させることで、直線歩行の不安定性を自在に引き起こす新たな機構を開発。さらに変移する円歩行の半径を目的地に到達するように制御することで、機敏かつ効率の良い多足ロボットの歩行に成功しました。

力学特性を利用したシンプルな制御を実現した今回の成果は、人に代わってさまざまな場所や状況で活躍するロボットとして応用が見込まれます。また、歩行を始めとした生物の運動戦略の理解につながり、人工物の開発なども期待されます。

多足ロボットにおける体軸の剛性を変化させる機構



ボールねじを用いてバネの伸び縮みを制御することで、体軸関節の剛性を変化させる。

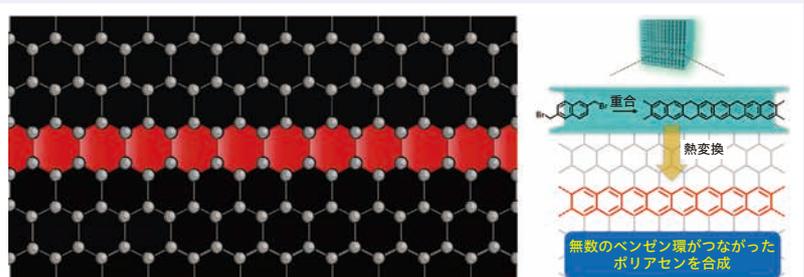
100年越しで「ポリアセン」の合成に成功 世界初、数十個のベンゼン環を直線状に連結

ベンゼン環が直線状に連結された構造を持つポリアセンは、環の個数が増えるごとに光電子物性が向上することから近年、有機エレクトロニクスやスピントロニクスの分野で大きな注目を集めています。1912年に5個のベンゼン環を縮合したペンタセン分子が合成されて以降、より長いポリアセンの合成を目指し、多くの科学者が合成に挑んできました。しかし、ポリアセンは長くなるほど溶解性や安定性が低下するため、合成が難しいという課題がありました。

東京大学大学院工学系研究科の植村卓史教授、北尾岳史助教らの研究グループは、金属イオンと有機物で構成された規則的なナノサイズの空間を有する多孔性金属錯体(MOF)に着目し、まずはMOF内の空間に原料のモノマーを導入・連結反応させることで、ポリアセンの前駆体高分子を合成しました。この複合体を塩基処理し、MOF骨格のみを除去することで前駆体高分子を単離させ、加熱処理を施

すことでベンゼン環が直線状に連結したポリアセンの合成に成功しました。これを解析した結果、平均で19個、長いもので数十個のベンゼン環が連結していることを確認し、過去最長であった12個の記録を大幅に更新しました。

この成果は、理論上でしか存在しなかったポリアセンを合成した世界初の快挙です。今後は、反応のスケールアップによる大量合成が可能なることから、未踏であるポリアセンの光・電子・磁気特性の解明に取り組み、最細グラフェンの特異な機能を利用した太陽電池やナノデバイスなど広範な応用展開を目指します。



ポリアセンは、炭素原子一層からなるグラフェンをベンゼン環1個分の幅でリボン状に切り出した構造であることから、特異なトポロジカル機能が期待される。