

研究成果

戦略的創造研究推進事業CREST

研究領域「社会課題解決を志向した革新的計測・解析システムの創出」

研究課題「反応リマスターによるエコ材料開発のフロンティア共創」

ゴムと金属の接着老化に関わる反応を可視化

AIも活用、タイヤの長寿命化や再資源化へ貢献

自動車用タイヤには、補強や耐久性の向上のために真ちゅうをめっきしたスチールコードが埋め込まれており、真ちゅうの銅とゴムに添加された硫黄が反応して硫化銅の層を形成することで、強い接着力を生み出しています。しかし、熱や湿度などの負荷がかかる状況下では、化合物の種類や分布が変化し、接着力が低下してしまいます。ゴム内部の銅化合物の状態や反応を直接観察することは難しく、そのメカニズムは明らかになっていませんでした。

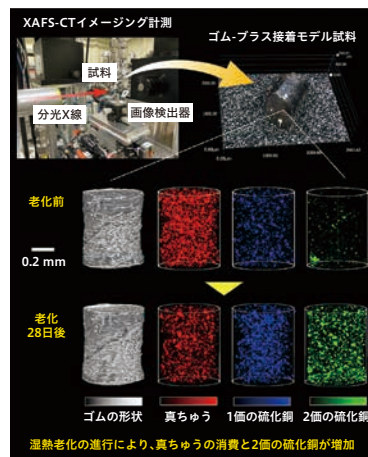
名古屋大学物質科学国際研究センターの唯美津木教授らの研究グループは、試料に含まれる元素の種類や量がわかる「X線吸収微細構造-コンピューター断層撮影法」を使って、ゴムと真ちゅう複合材料中の銅の分布と、場所ごとの銅化合物の種類や量の違いを3次元で可視化する方法を開発しました。この計測では、大型放射光施設SPring-8から供給される高輝度硬X線が活用されています。

研究グループは、ゴム中の802個の真ちゅう粒子に対して、硫黄と結合した1価・2価の硫化銅と金属銅の計3種類の銅化学種の量と、これらの分布や広がりを見え可視化しました。湿度や熱による劣化(湿熱老化)時間を変化させると、各銅

成分の量や分布が大きく変化し、AIによる機械学習で解析したところ、銅の硫化反応が5種類のパターンに分類できることがわかりました。

この成果より、これまで直接捉えることができなかった、ゴムと金属の接着に関わる化合物の種類や分布や反応が見えるようになり、いつでも、どの程度反応が起き、どのように材料中で広がっていくか、非破壊で解析することが可能になりました。従来不明であったゴム材料内部の接着老化メカニズムの可視化や寿命予測、タイヤの長寿命化や再資源化に向けた材料開発につながることが期待できます。

接着モデル材料のXAFS-CTイメージング



ゴム中の銅の化学種分布と量を3次元的にイメージングし、湿熱老化反応によってゴムに混ぜ込んだ真ちゅう成分(赤色)の消費が進み、2価の硫化銅(緑色)が試料全体で生成されている様子を非破壊で可視化できた。

研究成果

創発的研究支援事業(FOREST)

研究課題「オートファジーの脂質コード」

30年間の謎、オートファジーの膜分解を解明

2種の酵素が協同、がんや脂質異常症の研究に貢献

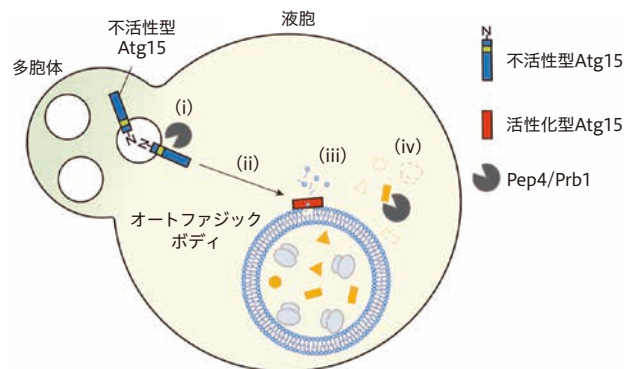
動物など細胞内に核を持つ全ての生物に備わっている細胞成分のリサイクルシステム「オートファジー」。これまで、リン脂質分解酵素と見られる「Atg15」とたんぱく質分解酵素が、オートファジーに由来する膜(オートファジックボディ)やその中に含まれるオルガネラの膜脂質の分解に必須であることがおよそ30年前も前から遺伝学的な研究によって推測されていました。しかし、細胞内小器官である液胞で働くAtg15は活性化型の単離が難しく、酵素学的な解析を阻む大きな障壁となっていました。

東京工業大学生命理工学院生命理工学系の籠橋葉子大学院生(当時)、堀江朋子助教らの研究グループは、出芽酵母の液胞を高純度に精製し、Atg15のリン脂質分解活性を検証できる試験管内評価システムを世界で初めて構築しました。同時に、液胞抽出液に含まれるAtg15の精製にも成功。これらの成果を基に、Atg15は液胞内で唯一のリン脂質分解酵素であり、さまざまな種類のリン脂質を分解できることを明らかにしました。さらに、不活性なAtg15が酵素活性を持つためには、たんぱく質分解酵素が必須であることも突き止めました。両酵素が協同すると、リン脂質の2本の脂

肪酸部分を切断でき、膜を完全に崩壊させることが可能となります。

リン脂質分解酵素が単独で機能すると、生体を構成するあらゆる膜を破壊する恐れがあり、たんぱく質分解酵素の存在下でのみ分解が起きるのは生物が持つ巧妙な仕組みと言えます。この研究が進むと、脂質分解や代謝のメカニズムが明らかになり、がんや脂質異常症などの疾患の研究に役立つことが見込まれます。

Atg15によるオートファジックボディの分解



液胞中で不活性型のAtg15はたんぱく質分解酵素(Pep4/Prb1)があると活性化され、オートファジックボディを分解する。

研究成果

戦略的創造研究推進事業ACT-X

研究課題「超高密度センサ網の実現に向けた「土に還る」センサデバイス基盤技術の創成」

戦略的創造研究推進事業CREST

研究課題「植物細胞壁のナノ分解と再会合の精密制御」

農地にばらまける土壌含水率センサー 環境情報の取得・発信機能と生分解性を両立

農地の温度、湿度、含水率などさまざまな環境情報をデジタル信号に変換できるセンサーは、農業の効率化に役立つ便利なツールです。しかし設置数を増やすと、環境への負荷が大きくなり、特に使用済みセンサーの回収と処分が問題となっています。近年では、生分解性を持つ材料を用いたセンサーの開発が進んでいますが、性能や安定性に課題があり、必須な情報の取得・発信などの機能と分解性を両立させることは困難でした。

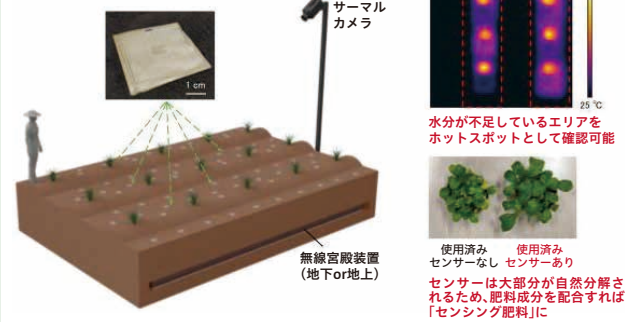
大阪大学産業科学研究所の春日貴章助教らの研究グループは、単純な構造のセンサーと無線給電システム、熱を感知するカメラを組み合わせることで、センサーに必須な機能と分解性を両立させた「土に還る」土壌含水率センサーの開発に成功しました。センサー本体は、木材由来の紙基板と錫配線、カーボンヒーター、天然ワックスコーティングで構成されています。紙基板と天然ワックスは微生物が大部分を分解し、残留する成分には環境に優しい材料を使っています。ヒーターを搭載したセンサーは、土壌の含水率によって

受信電力が増減し温度が変わるため、熱感知カメラで撮影することで、設置位置と土壌含水率の推定が可能です。また必ずしも回収する必要がないため、農地にばらまくように高密度に設置することが可能になります。

さらに、センサーへ肥料成分を配合することで「センシングもできる肥料」といった新たな用途への展開も期待できます。人にも環境にも優しい未来に向けて、より高性能なセンサーの実現と社会実装の加速化に拍車が掛かります。

センシングシステムの概要図と肥料含有センサーを用いた生育試験結果

「土に還る」土壌含水率センサー



研究成果

戦略的創造研究推進事業さきがけ

研究領域「細胞の動的高次構造体」

研究課題「生体透明化技術の開発による脳深部神経代謝の解明」

細胞内外の乳酸を可視化するたんぱく質 「脳活動のエネルギー源」説の実証目指す

乳酸は長い間、糖代謝による体内エネルギー産生時の老廃物と考えられてきました。しかし近年、生体は乳酸を細胞間でやりとりし、エネルギー物質として再利用しているという説が提唱され、その役割が見直されつつあります。この説の検証においては、細胞内外の乳酸動態を観察する必要がありますが、生体内での可視化は非常に困難でした。

東京大学大学院理学系研究科の那須雄助教らの研究グループは、これまで緑色蛍光たんぱく質(GFP)と乳酸に結合するたんぱく質を融合し、細胞外の乳酸を可視化する新たなたんぱく質を開発しています。この技術をベースに、自然進化の仕組みを模してたんぱく質の性能を向上させる「指向性進化法」を用い、新しい細胞外乳酸センサー(eLACCO2.1)と細胞内乳酸センサー(R-iLACCO1)を開発しました。加えて、細胞外センサーの分子を細胞膜表面に発現させ、乳酸を見やすくする工夫も実施しました。

その結果、乳酸感度は細胞外センサーが従来比の3.5倍、細胞内センサーが同100倍という世界最高の

性能を達成し、生きているマウス脳内の神経細胞内外の乳酸動態を観察することに成功しました。また、異なる蛍光波長の細胞外センサー(緑色)と細胞内センサー(赤色)を利用し、細胞内外の乳酸動態を同時に見ることもできました。

この研究で開発した「LACCO」シリーズのセンサーは、生きている動物の中で乳酸の役割を解明する強力なツールとなり得ます。今後は同シリーズを用いた研究により「乳酸は私たちの脳活動に極めて重要なエネルギー源である」という説の実証を目指します。

乳酸バイオセンサー「LACCOシリーズ」の成果

