

CROSS T&T

Comprehensive Research Organization for Science and Society

No.73

2023.3

J-PARC 建設の歴史と思い出

(連載スタート) 建設着手まで激動の3年間

鈴木 國弘

大澤 崇人

三田 一樹

阿部 淳

野尻 雄幸 大内 啓一 桐山 幸治

杉山 純

神達 岳志

小松崎 将一

坂場 成昭

向田 雅一

佐々木 涼

有難亭 良慈緒

2023 年春、道の駅「常総」開業を前に昨年 12 月 プレオープンした「グランベリー大地」の空中いちご園 (記事 26 ページ参照)

一般財団法人 総合科学研究機構

CROSS T&T 73 号 目次

Tokai（東海からの発信）

J-PARC 建設の歴史と思い出 （その 1）建設着手まで激動の 3 年間	鈴木 國弘 （JAEA 広報部）	1
小惑星リュウグウの石を分析する 素粒子ミュオンを用いた装置開発から実験成功まで	大澤 崇人 （JAEA 東海研究開発センター）	6
量子ビーム分析アライアンス本格運用開始	三田 一樹 （CROSS 新事業展開部）	10
岩石材料のひずみを中性子で測る 地下の応力状態における力学的特性	阿部 淳 （CROSS 中性子科学センター）	13
実験機器を安全に取り扱おう ～ CROSS で使用する実験機器の電気保安～	野尻 雄幸、大内 啓一、桐山 幸治 （CROSS 中性子科学センター）	18
ひと・ヒト・人 ISMS の次期会長就任について	杉山 純 （CROSS 中性子科学センター）	24

Today & Tomorrow（今日・あす）

新たな挑戦 アグリサイエンスバレー事業 ～ 2023 年春、道の駅「常総」開業に際して～	神達 岳志 （常総市長）	26
土壌微生物の多様性を高める！ 農耕地に炭素を貯留する「耕さない農業」	小松崎 将一 （茨城大学農学部）	32
水素製造に向けて HTTR 再加速 高温ガス炉が実現するグリーンイノベーション	坂場 成昭 （JAEA 高温ガス炉プロジェクト推進室）	38

Tsukuba（つくばからの発信）

電源や充電器になる有機熱電素子 ～ 60℃程度の熱源があれば利用できる～	向田 雅一 （産業技術総合研究所ナノ材料研究部門）	42
---	------------------------------	----

Tutorial（学校法人 筑波研究学園） 発

民話を用いたケーススタディ授業 - 保育士養成課程における発達障害への理解を深める -	佐々木 涼 （TIST こども未来学科）	46
--	-------------------------	----

<CROSS ロード>

笑いでまちに賑わいを 水戸に常設「みやぎん寄席」	有難亭 良慈緒	30
光の工場でタンパク質を見る	KEK ギャラリー	16

<Cross Release>（最近のプレスリリースから）

農研機構 カモが夜、泥中のレンコンを食べる様子を初確認	21
産業技術総合研究所 光閉じ込める漆黑「至高の暗黒シート」開発	22
産総研／筑波大学 コーヒーのカフェ酸が半導体デバイスの性能を向上	23

<縦書きにクロス> 49

短歌 老人の海 松崎健一郎 俳句 歳月は巡り… 山口 恭弘

J-PARC 建設の歴史と思い出

(その 1 建設着手まで激動の 3 年間)

日本原子力研究開発機構広報部 鈴木 國弘

1999 年初め、私が建設地選定から約 13 年関わった SPring-8（大型放射光施設）が完成して間もなく、新しい研究施設建設への参加要請があった。それが J-PARC（大強度陽子加速器）であった。2 世紀にまたがる J-PARC 建設プロジェクトのスタート時から関わった者として、建設当時の苦労話や、完成後に襲った震災からの復旧などを思い出す限りお伝えしたい。

1. 統合計画の策定

日本原子力研究所（現：日本原子力研究開発機構、以下 JAEA）は、陽子加速器による核破砕を用いた放射性廃棄物の短寿命化や、核破砕で発生する中性子の利用研究を検討してきた。一方、高エネルギー加速器研究所（現：高エネルギー加速器研究機構、以下 KEK）では、素粒子・原子核物理から物質科学研究に至る学際領域の新展開を目指す、陽子加速器を基本とした大型ハドロン計画（JHF）を進めてきた。

それぞれの計画には共通点があるが、当時、JAEA は科学技術庁が、KEK は文部省が所管しており、別な省庁との協議は「違う惑星に住む人と話すようだ」とさえ言われ、両計画の統合は不可能に思われていた（2001 年 1 月に両省庁は文部科学省として統合するが…）。しかし早期の計画実現を図るため、JAEA・KEK は 98 年 9 月から施設統合の検討を開始、施設建設地など議論すべき内容も多かったが、99 年 3 月に統合計画として「大強度陽子加速器計画」を進めることで合意、覚書を締結したのである。

2. 地元（東海村、茨城県等）の了解

建設地は太平洋に面した茨城県東海村の JAEA 東海研究所（現：原子力科学研究所、以下原科

研）構内の最も南側（南地区）に決まり（写真 1）、99 年 6 月から東海村や茨城県等へ施設建設計画の説明を開始した。しかし 9 月に東海村で、核燃料製造の違法操業により従業員が中性子被曝^{ひばく}で死亡する「JCO 臨界事故」が発生すると、村民等の不信感や不安が一気に高まった。JAEA は臨界事故の終息に多大な貢献をしたのにも係らず、種々の事業への風当たりは強まり、施設建設に対する理解を得ることが困難になった。（なお J-PARC の「物質・生命科学実験施設」という名称は、当初「中性子散乱実験施設」とする予定であったのが、「また中性子を散乱させるのか！」と地元からの強い反発があり、名称を変更したものである）

それから約 2 年間、地元の関係者、県や村、



写真 1 中央部の広大な松林が J-PARC 建設予定地（99 年 4 月撮影）

関係機関等への説明を何度も行うことで了解を得て、次の世紀が明けた 01 年 7 月に、東海村議会で施設建設計画の容認がようやく決議された。

しかし工事着工に向けて、地元では新たな問題が生じた。建設地である原科研南地区は、JAEA の敷地内ではあるものの昭和 30 年代から未利用地の松林であり、研究施設等の設置エリアとは隔離したうえで地元住民等の出入りを容認してきた。しかし地元住民から、施設が建設され立ち入りが制限されること（自由にアクセスできない、キノコ採りもできない！）や、松林伐採への反発、自然環境保全に対する思いなどの意見が寄せられ、建物建設工事の着工が危ぶまれる事態になった。

そこで、建設地に隣接する地区（宿区）の不安を払拭し、要望や意見を調整するための「大強度陽子加速器建設に伴う地域環境整備協議会」を 01 年 11 月に設置した。毎月末の日曜日夕刻に、村松コミュニティーセンターに住民 20 ～ 30 名、村役場や JAEA、KEK 関係者など総勢 50 名ほどが集まり、18 項目に亘る質問や要望について、毎回約 3 時間をかけて真剣な議論や検討を半年間に亘り続けた。その結果、02 年 4 月末に意見が集約され、宿区、東海村、JAEA、KEK の 4 者による確認書がまとめられた。

01 年 3 月には国の建設着手予算が成立、5 月には JAEA・KEK が協力協定を締結して施設建設プロジェクトチームを設置（写真 2）、7 月には加速器機器の製作にも着手しており、地元との合意は建物建設着工までギリギリのタイミング、薄氷を踏むような思いであった。

3. 数々の要請への対応

建物建設にあたり、地元からの種々の意見や要請への対応を行ったが、その中では、建設地を横断して海岸へ出るための砂の道（通称：八間道路）の自由な通行確保の要請が特に強かった。それに対応するため、現在、原科研正門から J-PARC エリアへ向かう際に、八間道路の下を潜るアンダーパスが設置されているのである（写真 3）。

またこの辺りは、大正時代から飛砂による被害を防ぐために官民一体となって松の植栽が行わ



写真 2 JAEA-KEK 研究協力協定調印式（01 年 5 月）



写真 3 建設中のアンダーパス（トンネル部分）。
アンダーパス上部が八間道路

れ、地元住民も長年に亘り協力してきたことから、松林への愛着と保全に対する要請もあった。さらに南地区の海岸側と村松虚空蔵村側のエリアは飛砂防備保安林に指定されており、特に海岸側は第一級保安林として伐採が厳しく制限されていることが茨城県林業課から指摘された。そのため工事にあたり多少不便はあっても極力樹木を伐採しないことや（写真 4）、工事上やむを得ず伐採した場所でも施設完成後はできるだけ植栽を行うこと（写真 5）、さらに飛砂防止等に最大限配慮した施設配置等を検討した。

また、つくば市の（独）森林総合研究所（旧：林野庁附属研究所）に、伐採に伴う南地区の飛砂影響調査を依頼し、施設配置計画による伐採では、内陸側の住宅地保全を対象とした森林による飛砂防備、防潮、防風等の機能は損なわれることはないとの調査結果を得た。さらに保安林については、伐採と同じ面積の保安林を原科研構内に新たに代替地として設定することで保安林解除申請を行い、茨城県森林審議会で審議・了承、県知事から林地開発許可を得た。J-PARC エリアが緑深く木々に囲まれているのには、このような理由がある。



写真4 工事中も残置した松（一部）



写真5 新たに植栽した松の苗木

4. 自然環境の保全

アンダーパスよりも南側の地区は「茨城県自然環境保全地区」に指定されており、自然環境保全を村や県から要請された。そこで自然環境調査を行い、県の絶滅危惧種に指定されているオオウメガサソウ（写真6）の自生地を確認し、専門家の指導の下で移植を行った。また東海村の花であるスカシユリ（写真7）も球根を掘り起こし、同様に移植した。また残地森林内には、自然石を利用した小鳥の水浴び場である「バード・バス」を設置（写真8）、この活動に対しては06年に日本鳥類保護連盟茨城支部長から感謝状をいただいた。

さらに伐採した松は産業廃棄物の扱いになるが、松をチップ化（粉碎化）して植栽木の周りに撒くマルチング材として利用し、環境にも配慮して有効活用した（写真9）。また、県廃棄物対策課の了解を得て、原科研構内だけでなく、隣接する東京電力常陸那珂火力発電所の緑化工事にも活



写真6 オオウメガサソウ
（茨城県レッドデータブックで絶滅危惧種に指定）



写真7 スカシユリ（東海村の花）



写真8 バード・バス

用された。

一方、松にこだわらない広葉樹の捕植による森林再生も行い、03年5月に、リニアック棟東側の新設道路法面に苗木を植える植樹祭を行った（写真10）。植樹祭は複数回実施し、延べ1,300

人の参加者が 15,000 本を超える広葉樹の苗木を植栽し、現在は立派な林となっている（写真 11）。



写真 9 足元に敷き詰められた松のチップ、周囲は植栽した松



写真 10 植樹祭（03 年 5 月）



写真 11 植栽後に成長した樹木（06 年 8 月撮影）

5. 土砂置き場の確保、工事用道路と仮設橋の設置

J-PARC の加速器は地下トンネルに設置するので、掘削工事により大量の土砂が発生するが、県

や村及び自然環境影響評価の専門家から、自然環境を守るために、トンネルの覆土は極力掘削土をそのまま埋め戻しに利用するよう指摘を受けた。森林伐採面積を最小限にするために原科研構内には土砂置場を作れず、構外での確保を目指して関係各所と協議を進めた。一旦了解してくれた場所が急遽断られたり、土砂堆積条件があまりにも厳しすぎたりと用地借用は困難を極めたが、最終的に建設地に隣接する核燃料サイクル開発機構（サイクル機構）の未利用地を借用することができた。

しかし、この大量の土砂を運搬するためのダンプカーの通行量は、800 ～ 900 台／日（往復）になり、職員等の出退勤時に著しい渋滞が発生する原科研周辺道路の交通状況をさらに悪化させる懸念があることから、J-PARC の南側、常陸那珂港側からの工事用車両出入りを検討した。だが常陸那珂港からのアクセスは港湾道路の改修に加え、核燃料等の取り扱いで入退管理が厳しいサイクル機構と、国有地の払い下げを受けて建設中の東京電力常陸那珂火力建設所の一部を通過し、原科研との境界にある新川を渡る必要もあるなど、工事用道路設置には多くの課題があった。

そこで関係機関や財務省水戸財務事務所、県や村、さらにひたちなか西警察署等と協議を重ね、理解と協力を得て仮設橋と工事用道路が設置でき



写真 12 新川に架かる仮設橋（写真右側が J-PARC エリア）



写真 13 工事用仮設道路（写真左側がサイクル機構、右側が東京電力常陸那珂火力発電所）



写真 14 工事用仮設道路を利用した常陸那珂港からの大型機器（アウターライナー）の搬入（04 年 10 月）

た（写真 12、13）。全ての J-PARC 工事関連車両は、この工事用道路、仮設橋を利用して現場へ出入りし、近隣の交通渋滞や騒音を緩和することができた。加速器トンネルなど多量のコンクリートの打設時（多い時は 1 日でミキサー車約 450 台、早朝 6 時から深夜 11 時まで打設）や、常陸那珂港から大型機器（アウターライナー）の搬入（写真 14）などにも有効に利用された。

この仮設橋と工事用道路は、J-PARC のスムーズな建設工事に大きく貢献し、工事終了後も J-PARC への出入りのため残存させることを検討したが、仮設橋や接続道路は耐用年数の関係もあり撤去し、道路用地も原状に復旧して返却した。

6. そして建物建設着工へ

このような経緯のもと建物建設に向けた準備が進み、02 年 6 月にリニアック棟建設工事に着工した（写真 15）。10 月の 50GeV シンクロトロントンネル建設工事着工にあたり、ノーベル物理学



写真 15 リニアック棟工事地鎮祭（02 年 6 月）

賞を受賞した小柴昌俊先生にもご列席いただき、着工記念式を開催した。なおこの着工記念式で、公募により決定した「J-PARC」の愛称が初めて披露された。

着工記念式では、JCO 臨界事故発生からの^{うよよくせつ}紆余曲折、まさに^{どとう}怒涛のような 3 年間を思い出し、非常に感慨深かったことを覚えている。また参加者への記念品として、森林保全に対する J-PARC の決意を改めて示したメッセージを添え、現地で伐採した松を利用したペントレーを贈呈したところ、地元の方々から好感を得られた。

さらに、今後も地元との意思疎通を図ることが重要であることから、J-PARC プロジェクトの進捗報告である月報に、建設現場状況の写真等を加えて 02 年 8 月から宿区や村、県等へも配布を開始した。これが現在の「J-PARC ニュース」のスタートである。

やっとの思いで建物建設工事が開始され、順調に進むかと思われたが、この後、次々と思わぬ障害が生じるのである。（次号につづく）



鈴木 國弘（すずき・くにひろ）

日本原子力研究開発機構広報部 広報コーディネーター

茨城大学工学部金属工学科卒業。1979 年日本原子力研究所入所。JT-60（核融合実験装置）、SPRING-8、J-PARC 等の建設プロジェクトに、いずれも計画のスタート段階から関わり、全体計画調整や対外対応、広報等に従事。2012 年から日本原子力研究開発機構広報部、広報部長等を歴任。2017 年から量子科学技術研究開発機構、広報関係や NanoTerasu（次世代放射光施設）建設プロジェクト等に従事。2022 年から現職。2010 年「地元（茨城県や東海村）と一体となった広報活動」で日本原子力学会社会・

環境部会長表彰（優秀活動賞）、2012 年「市民へのわかりやすい説明による最先端科学への理解増進」で文部科学大臣表彰科学技術賞（理解増進部門）等を受賞。一般の方々へ最先端科学や技術、研究等への理解と支援を得る活動を続ける。

小惑星リュウグウの石を分析する

素粒子ミュオンを用いた装置開発から実験成功まで

日本原子力研究開発機構 研究主幹 大澤 崇人

負ミュオンを用いた元素分析法（以下、ミュオン特性X線分析）は、大強度の加速器ミュオンビームが利用できるようになったことで生まれた新しい非破壊元素分析法である。J-PARC の建設後に技術開発が進められ、当初から小惑星サンプルリターン試料の分析を目指していた。2020 年 12 月、多量の小惑星試料を回収した小惑星探査機はやぶさ 2 が地球に帰還し、翌年の 6 月から 7 月にかけて小惑星リュウグウの石のミュオン特性X線分析の実験が J-PARC で行われ、大きな成功を収めた。本稿では、実際にリュウグウ試料の分析に至るまでの経緯と、得られた成果について概説する。

1. リュウグウ試料の分析

リュウグウ試料の分析は 2021 年 6 月下旬から 7 月中旬にかけて行われた。通常 J-PARC は 7 月に運転しないが、我々の分析のために特別に加速器を運転できることになった。試料に関しても、当初の予想からは想像もできない、合計 126.6 mg もの多量の試料の提供が実現した。提供された石には、回収されたリュウグウの石のうち 3 番目に大きい 93.5 mg の試料も含まれていた。試料の操作と分析は装置内の露点を -50°C 以下に維持した状態で行われ、1 日で 2 本の高圧ヘリウムボンベを消費した。実験の準備段階ではグローブの破れが発見されたり、グローブボックスにガス漏れが発生したりと実験の遂行が危ぶまれ

る場面もあったが、チーム一丸となってこれ乗り越えた。その結果、リュウグウ試料の分析を成功させ、これまでの実験の中で最高のデータを得ることに成功した。

分析の結果、リュウグウが最も始原始的な隕石種と考えられている CI（炭素質）コンドライトと類似していることが明確となった [3]。CI コンドライトとは炭素を多く含む炭素質隕石の一種で、太陽系で最も始原始的な物質と考えられている貴重な隕石である。炭素、マグネシウム、ケイ素、硫黄といった元素の濃度は CI コンドライトのそれとほぼ一致していた（図 1）。しかし一方で、酸素の濃度が CI コンドライトよりも有意に低いことが判明した。

CI コンドライトは太陽系を代表する元素組成

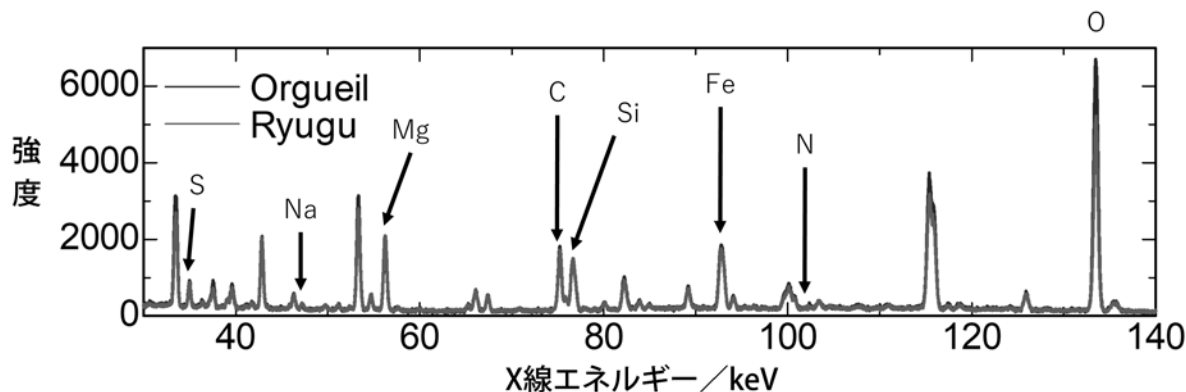


図1 リュウグウ試料と CI コンドライト (Orgueil) のミュオン特性X線スペクトル

を持った隕石種だと考えられている。その理由は、太陽の元素組成のうち、水素やヘリウムといった揮発性元素を除いた元素の組成がCIコンドライトとよく一致するからである。そこで、太陽系の平均的元素組成（solar abundance）はCIコンドライトを基準に推定されてきた。しかしCIコンドライトは隕石であるため、地球落下後に地球の大気の影響を受けている可能性を排除できない。一方、リュウグウ試料は地球大気の影響は無視でき、小惑星の組成そのものを分析しているはずである。よって、リュウグウ試料の元素組成は人類が保有している最も始原始的な、太陽系を代表する組成であると考えられる。その組成がCIコンドライトよりも低い酸素濃度を持っていることは、CIコンドライトが地球大気の影響によって変質している可能性を示しており、太陽系の元素組成はリュウグウ試料によって再決定しなければならない段階に来たのかもしれない。

2. はやぶさ 2 初期分析に向けて

生命の起源を探るという大目標を掲げた小惑星探査機はやぶさ 2 は、C 型小惑星リュウグウへ赴き、2 回のタッチダウンに成功した。2020 年 12 月 6 日には地球に帰還し、小惑星リュウグウから回収した多量の石を地球に持って帰った。打ち上げ前から小惑星リュウグウには豊富な有機物が存在していることが予想されていたため、有機物を構成する炭素の分析は重要であった。そこでリュウグウに含まれる炭素を非破壊で検出できる新手法として、ミュオン特性 X 線分析は当初から注目されていた。

筆者らが本分析法をリュウグウ試料に応用すべく最初に開発した装置が図 2 である。試料をアルミニウムの真空容器内に設置し、3 台のゲルマニ

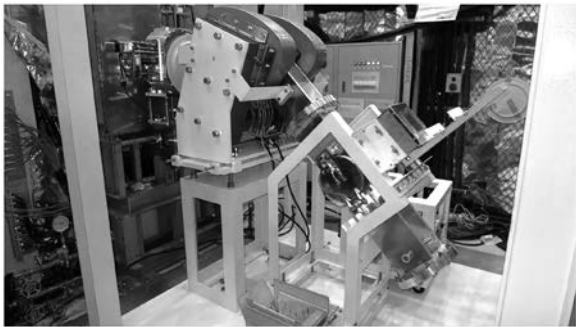


図 2 下方照射ミュオン捕獲特性 X 線分析装置

ウム検出器で分析する構造である。ミュオンビームは水平に飛んでいるが、ミュオンビームを下方に曲げることで、どんな状態の試料であっても簡単に分析できるようにした [1]。

3. ミュオン特性 X 線分析の原理と特長

ここでミュオンについて簡単に説明しておこう。ミュオンは電荷を持った素粒子であり、加速器を使って人工的に発生させることが可能である。J-PARC では 3 GeV にまで加速した陽子をグラファイト標的にぶつけ、そこから発生した様々な粒子の中からパイオン（パイ中間子）を取り出すと、パイオンは飛行中に壊変してミュオンとなる。負の電荷を持ったミュオンを試料に照射すると、ミュオンは原子に捕獲され、ミュオン原子を形成する。ミュオンは電子の 207 倍の静止質量を持つため、原子内でミュオンは電子よりも格段に原子核に近い軌道を持つ。原子内でミュオンは徐々に内側の軌道に遷移していくが、その過程でミュオン捕獲特性 X 線を放出する。これを検出器で検出することで元素分析を行うことができる。

放出される X 線は電子由来の通常の X 線と比較して 2 桁高いエネルギーを持っているため、試料のかなり深い部分からでも放出される。放

表 1 J-PARC で行われたリュウグウ試料のミュオン特性 X 線分析実験

	年月	日数	チェンバー	雰囲気
予備実験 1	2020 年 3 月	5	なし	大気
予備実験 2	2020 年 6 月	7	金属チェンバー	ヘリウム
新チャンバー性能評価実験 1	2020 年 12 月	6	新チェンバー	ヘリウム
新チャンバー性能評価実験 2	2021 年 4 月	11	新チェンバー（改修後）	ヘリウム
はやぶさ 2 初期分析	2021 年 6 ～ 7 月	18	新チェンバー（改修後）	ヘリウム

出される X 線のエネルギーが高いことから、他の分析法では困難な炭素などの軽元素を非破壊で分析できるため、リュウグウ試料の分析にはうってつけだった [2]。

4. 新装置の開発

はやぶさ 2 の帰還が目前に迫ったころ、図 2 に示した装置では性能的にリュウグウ試料に対応できないことがわかってきた。新装置が必要な状態ではあったが、幸いなことに、我々の研究グループは「はやぶさ 2 初期分析チーム」のうち、東北大の中村智樹教授が率いる「石の物質分析チーム」に組み入れてもらうことができた。ただし、それは新装置を開発して、それによって確実にデータが出せる証拠を揃える、という条件付きであった。

そこで、新装置の設計方針を決めるための予備実験を J-PARC にて 2 回行い、仕様を決定した後に新装置の開発に取り掛かった (図 3)。完全に大気を遮断し、高感度で分析できる装置である。装置の仕様が確定したのは 2020 年の 10 月であったが、次の実験が予定されていたのは同年 12 月であり、製作期間はわずか 2 カ月であった。完全に大気を遮断したグローブボックス内部にはリニアモーションガイドが設置され、試料を設置したフレームが滑らかに分析位置まで移動できる機構を考案した。分析チェンバーの内壁は銅で遮蔽した。また 6 台の Ge 検出器が試料を中心に放射状に設置できる構造にし、ベリリウム窓を採用した。

新装置は株式会社ヨシダが製作し、装置の納入

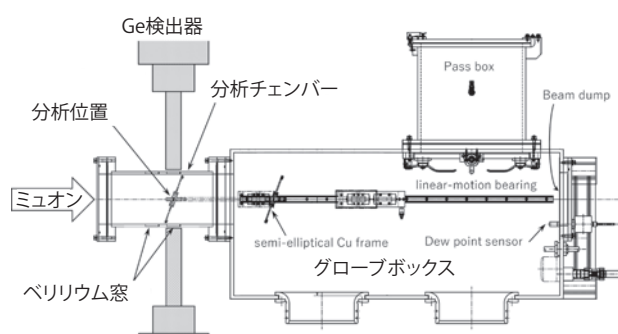


図 3 グローブボックス付き分析チェンバー

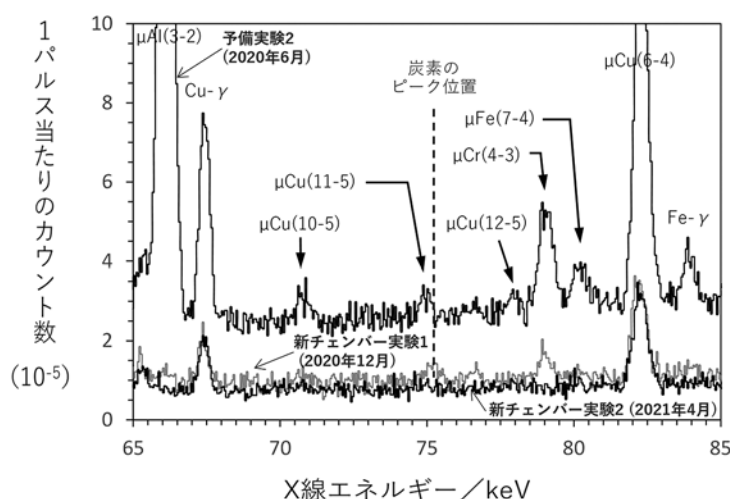


図 4 バックグラウンドスペクトルの比較

は実験 2 日前であった。リュウグウ試料輸送用の専用容器も完成し、1 回目の性能評価実験が行われた。その結果、グローブボックスの操作には問題がないことがわかり、最初の関門は突破できた。バックグラウンドのスペクトルは予備実験と比較すると劇的に改善していることがわかったが、鉄のピークが完全に消えていないことが判明した。また最も重要視されていた炭素のピーク周辺のスペクトルを観察すると、ごくわずかに炭素のピークが残存していることが判明した (図 4)。議論の末、このわずかなピークが消え去らないと微量 (と考えられていた) リュウグウ試料の分析にとっては支障があるという結論に至り、4 カ月後の再実験で改善が見られなければリュウグウの分析はできない、という非常に厳しい結果を突き付けられた。

装置の改修方法について議論が行われたが、最終結論は「グローブボックス内壁を含めて全てを銅板で蔽い尽くす」というものだった。しかし、この作業は地味ではあるが、想像を絶する難易度

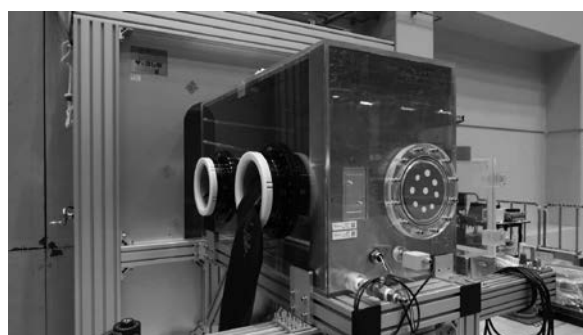


図 5 改修後のグローブボックス付き分析チェンバー

であった。既に組み立てられたアクリル製のグローブボックスは分解できないため、全ての作業はグローブを嵌めた状態でしか行えない。装置を管理区域に入れてしまったため、長時間の作業もできない。銅板をアクリルに貼れば貼るほど視界が塞がれていく上、そもそも手の届かない場所もある。幾多の困難はあったものの、2か月あまりの奮闘の末、装置内部の表面積の99パーセント以上を銅で遮蔽することに成功した（図5）。

改修した新装置の性能評価実験は2021年の4月に行われた。背水の陣で臨んだ実験であったが、長時間のバックグラウンド測定の結果、極めて良好な結果が得られた。鉄と炭素のピークは消滅し、バックグラウンドスペクトルが全体として低下した（図4）。その結果、リュウグウ試料の分析が正式に決定した。

今後も引き続きリュウグウ試料の分析を計画している。またミュオン特性X線分析の高度化にも取り組んでいく予定であり、現在は3次元分

析システムの開発を進めている。

【参考文献】

- [1] Osawa T., Ninomiya K., Yoshida G., Inagaki M., Kubo K. M., Kawamura N., and Miyake Y. (2015) Elemental Analysis System with Negative-Muon Beam. JPS Conf. Proc. 8, 025003.
- [2] Terada K., Ninomiya K., Osawa T., Tachibana S., Miyake Y., Kubo K., Kawamura N., Higemoto W., Tsuchiyama A., Ebihara M. and Uesugi M. (2014) A new X-ray fluorescence spectroscopy for extraterrestrial materials using muon beam. Scientific Reports 4, 5072.
- [3] Nakamura T. et al. (2022) Formation and evolution of carbonaceous asteroid Ryugu: Direct evidence from returned samples. Science, DOI: 10.1126/science.abn8671.



大澤 崇人（おおさわ・たかひと）

2003年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。博士（理学）。2005年日本原子力研究所入所。2016年日本原子力研究開発機構研究主幹。研究炉JRR-3に設置されている即発γ線分析装置（PGA）の装置担当者。専門は地球惑星科学、分析科学、オートメーション工学。

量子ビーム分析アライアンス本格運用開始

総合科学研究機構 新事業展開部* 三田一樹

1. はじめに

大強度陽子加速器施設物質・生命科学実験施設「J-PARC MLF」（東海村）や大型放射光施設「SPring-8」（兵庫県佐用郡佐用町）など、国内には世界有数の量子ビーム施設が整備されています。これらの施設では中性子線や放射光 X 線などが利用でき、物質内部に存在する構造などを観測することが可能です。これらを用いて多くの優れた学術的成果が創出されてきましたが、産業界もまた積極的にこれらの量子ビーム施設を利用しています。世界的に見ても日本はこれらの施設の産業利用が盛んと言えます。

しかしながら、産業における革新的なイノベーションにまで繋がるケースが少ないという問題も同時に抱えています。この原因の一つとして、産業界における量子ビーム研究者の人材不足が挙げられます。産業におけるイノベーションを創出するためには、研究目的に応じて複数の量子ビーム施設を横断的に利用することが求められますが、それを実現できる人材は多くありません。この量子ビーム科学に関わる人材の不足は産業界だけの問題ではなく、量子ビーム施設や学术界にとっても深刻な問題になってきています。

また、他の原因として、複数の量子ビーム施設を必要な時に即座にオンデマンド利用できる横断的な仕組みの欠如があります。具体的には、複数の量子ビーム施設を横断的に使用する場合に、各施設での利用の仕組みが異なり手続きも煩雑であ



図1 量子ビーム分析アライアンス記念式典集合写真

ることが、迅速な研究開発の妨げの一因になっています。これを解決するためには、ワンストップで複数の量子ビーム施設を横断的に使用するための仕組みを作る必要があります。

2. 量子ビーム分析アライアンスの設立

これらの諸問題を解決して、より多くの量子ビームの産業利用成果を創出するために、産学施設連携組織「量子ビーム分析アライアンス」を設立し、2021 年度をフィージビリティスタディ（実行可能性調査）の期間として運用、2022 年度から本格運用を開始しました。

量子ビーム分析アライアンスには、京都大学研究者を中心とした学術研究者および高分子・ソフトマター業界を中心とする産業界 14 企業、それに量子ビーム施設から総合科学研究機構(CROSS) および日本原子力研究開発機構 (JAEA) が参画



*新事業展開部は CROSS の自主事業を実施する部署として 2019 年に開設された。(1) 産学連携コンソーシアムの受託事業に関すること、(2) 新受託事業等に関すること(計画・調査、準備等)、(3) その他、必要となる新事業に関することを業務としている。

しています。放射光施設である SPring-8 の京都大学専用ビームライン BL28XU、中性子実験施設である J-PARC MLF や研究用原子炉 JRR-3（東海村）を利用し、産業界の量子ビーム利用者の育成と複数施設のワンストップ利用の仕組みの構築を実現、革新的なイノベーションへ繋げることを目指しています。

3. 量子ビーム分析アライアンスの活動

本格運用を開始した 2022 年度の活動をいくつか紹介します。

まず、6 月 23 日には設立記念式典を開催しました。式典は京都大学化学研究所「碧水舎」を本会場としてオンライン配信も併用したハイブリッド方式にて開催されました。式典には量子ビーム分析アライアンスに参画している 14 企業、京都大学、総合科学研究機構、および来賓の文部科学省からの出席がありました。アライアンス代表の竹中幹人京都大学教授、同副代表の株式会社メニコ宮地徹哉商品開発事業部長の挨拶の後、来賓の文部科学省科学技術・学術政策局 古田裕志研究環境課長から挨拶をいただきました。運営を担当する京都大学及び総合科学研究機構からは、それぞれ室田浩司産官学連携本部長、横溝英明理事長が挨拶しました。各社の運営委員が自己紹介を行った後、京都大学 福田勝利教授から学術研究



図 2 J-PARC MLF における実験で企業研究者と学術研究チームのメンバーが共同で試料をセットしている様子

チームの紹介がありました。閉会に当たっては、量子ビーム分析アライアンス運営委員長の日産化学株式会社 大野正司氏から、量子ビーム産業利用の更なる価値向上における産官学の協力の重要性などについてご挨拶をいただき、式典は盛会のうちに終了しました。天候にも恵まれ、式典後の記念撮影では屋外で集合写真を撮影するなど、参加者間の交流を持つことができました。

次に、人材育成のためのオンライン講義を開催しました。4 月から 12 月までの間に表 1 に示した第 1 回から第 29 回のオンライン講義を配信しました。2023 年 1 月から 3 月には第 30 回から第 37 回までの講義配信を予定しています。多数

表 1 量子ビーム分析アライアンス 2022 年オンライン講義

	講義名	所属・講師（敬称略）	
第 1 回～2 回	放射光概論 I, II	京都大学	竹中 幹人
第 3 回～4 回	中性子散乱概論 I, II	CROSS 中性子科学センター	柴山 充弘
第 5 回～9 回	小角 X 線散乱の基礎 I-V	名古屋工業大学	山本 勝宏
第 10 回～14 回	広角 X 線散乱の基礎 I-V	豊田工業大学	田代 孝二
第 15 回～19 回	放射光イメージング I-V	東北大学	矢代 航
第 20 回～22 回	X 線吸収分光 I-III	近畿大学	朝倉 博行
第 23 回～24 回	X 線吸収分光 IV-V	帝京科学大学	高谷 光
第 25 回～29 回	マテリアルズ・インフォマティクス I-V	京都大学	古賀 毅
第 30 回～34 回	X 線・中性子反射率法 I-V	京都大学	宮崎 司
第 35 回～37 回	シミュレーションによる散乱データのモデリング I-III	防衛大学校	萩田 克美

の講師の先生方に講義資料作成等の準備や講義収録のためご尽力いただき、また運営スタッフがほぼ毎週講義の収録を行って編集するというプロセスを経て、これだけの講義の配信に漕ぎつきました。オンライン講義に登録いただいている受講者は200名を超え、本講義への期待の高さがうかがわれます。聴講者からは「大変興味深い講義内容で他のメンバーにも受講を薦めたい」などのコメントが寄せられています。

量子ビーム施設での実験は4月から12月の間にSPRING-8、J-PARC MLF、JRR-3の各施設において13課題の実験を行いました。1月から3月の間にも2課題の実験が計画されています。主な実験手法は、小角X線散乱法（SAXS）、入射X線エネルギーに依存した異常散乱を利用した元素特異的小角X線散乱（ASAXS）、X線吸収微細構造解析（XAFS）、小角中性子散乱法（SAXS）、中性子イメージング法、中性子反射率法（NR）などです。多くの企業と学術研究チームのメンバーが共同で実験を行い、様々なデータが得られています。またこれらの実験の場合は、企業と学術研究チームの双方にとって、若手研究者の育成の場として重要な機会となっています。図2と図3にはJ-PARC MLFで行われた中性子反射率法を用いた実験の様子を紹介します。

4. 最後に

量子ビーム分析アライアンスの運用期間は2025年度まで続きます。総合科学研究機構はそ



図3 J-PARC MLFにおける実験で企業研究者と学術研究チームのメンバーが共同で測定条件の検討をしている様子

の中性子実験の技術及び今までに取り組んできた産学連携やコンソーシアム等の運営ノウハウを元に、冒頭に掲げました人材育成と複数の量子ビーム施設の連携利用という課題の解決とそれを通じた研究成果・イノベーションの創出へ向け、より活発で効果的なアライアンス運営に貢献していきたいと考えています。



三田 一樹（みた・かずき）

一般財団法人 総合科学研究機構 新事業展開部次長、博士（工学）。平成21年、京都大学 博士（工学）取得。平成13年三井化学(株)入社。令和4年4月から現職。専門は、高分子物性、小角散乱。

岩石材料のひずみを中性子で測る

地下の応力状態における力学的特性

総合科学研究機構 中性子科学センター 阿部 淳

はじめに

我々の足元、地下数 10km には地殻と呼ばれる岩石空間が広がっており、人類は誕生以来、そこに存在する地下資源の恩恵を享受している。例えば石器時代には、鋭利な形状の岩石は武器として用いられ、現在では、見た目に優美な岩石はモニュメントや建築材料として用いられている。ここ茨城県の笠間市で採掘される「稲田石」は「白い貴婦人」とも呼ばれ、国会議事堂や JR 東京駅などの建築物で使用されてきた。加えて、地下から採掘される石油などの化石燃料は主要なエネルギー源であり、鉄や貴金属などの元となる鉱物資源は、世界の産業を支える重要なものである。とりわけ、地下から湧出する温泉は、読者にとって最も馴染みのある地下資源ではないだろうか？一方で、地下空間の有効利用が近年進められている。地下の遮音性や恒温性を活かして生活空間として利用されたり、商業施設が集積した地下都市として利用されたりしている。また、その隔離性から収納空間としても利用され、原子力発電所から出る高レベル放射性廃棄物の地層処分や地球温暖化の原因となる二酸化炭素を貯蔵するための研究開発および実用化が進んでいる。

岩石材料を道具や建築材料として利用するには、その力学的特性（変形のしやすさ、壊れやすさ）を理解する必要がある。そのためには、図 1 に示すような円柱型に加工された岩石試料の軸方向に応力（単位面積あたりの力）を加え、ひずみを測

定する。このような試験方法を「一軸圧縮試験」と言い、通常の岩石実験室では、ひずみ量は岩石試料の側面に貼付されたひずみゲージで測定される。だが、これまでの本著者の研究活動において、中性子を用いてひずみ測定を行っている（1）。中性子を用いたひずみ測定の原理は過去の本誌（2、3）を参照いただきたい。従来のひずみゲージによるひずみ測定では、試料表面のひずみ量しか測れず、ゲージを貼付した箇所のみひずみ測定になり部分的である。対して、透過力の高い中性子を用いると材料内部のひずみ量も測定することができ、しかも、空間的に連続したひずみ量を測れる。

それでは、地下資源を採掘する、あるいは地下空間を利用する際には、地下の応力状態における岩石材料の力学的特性を理解する必要がある。地下に存在する岩石は、鉛直方向のみならず、図 1 に示すように水平方向にも圧縮されている。鉛直方向には、上に乗っている岩石の密度と量に応じた力が加わり、水平方向には、プレートテクトニクスや地形、断層活動などが影響する力で押され

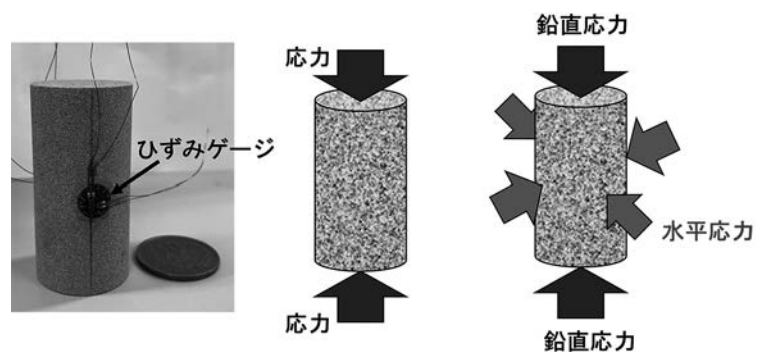


図 1 圧縮試験に用いられる岩石試料の写真と一軸圧縮状態および三軸圧縮状態の模式図

ている。このような応力状態を再現しながら行われるひずみ測定は「三軸圧縮試験」と呼ばれる。一軸圧縮条件と三軸圧縮条件では、岩石材料の変形・破壊挙動は異なるため、地下空間に存在する岩石材料の力学的特性を理解するには三軸圧縮下でのひずみ測定が重要となる。

そこで本研究では、中性子を用いたひずみ測定が可能な三軸圧縮装置を開発した(4)。本原稿では、その装置の概要を紹介し、ひずみ測定結果について報告する。

中性子実験用の封圧三軸圧縮装置

図2には、中性子ひずみ測定用に開発した三軸圧縮装置の概要図と装置内にセットされた岩石試料周りの写真を示す。円柱型の岩石試料(直径25mm、長さ50mm)は押し治具に挟まれ、筒型の容器内にセットされる。このように組み上げられた装置は、一軸圧縮試験機に取付けられる。その後、ハンドポンプを用いて圧力媒体注入口より容器内に液体を圧入すると、容器内が高圧力状態になり、岩石試料の側面に圧縮応力が加わる。この円柱型試料を絞めるように加える力を「封圧」と呼ぶ。封圧が加えられた状態において、一軸圧縮試験機によって円柱試料を軸方向に圧縮することで、三軸圧縮状態となる。なお、封圧発生のために圧入する液体が岩石試料中に侵入しないよう、岩石試料表面は透明な熱収縮チューブ(ヒ

シチューブ VW、三菱ケミカル株式会社製)で覆われている。

本装置の主な仕様および中性子を用いたひずみ測定に適用するために工夫した点を以下に示す。最大発生封圧は50MPa(500気圧)とした。これは、地下深度1500mから2000mに相当する圧力である。筒型封圧容器の素材には一般的にステンレス鋼が用いられるが、本装置ではクロムモリブデン鋼(SCM440)を用いている。なぜなら、高い封圧を発生させても破壊しないよう、容器は高い強度を持ち、十分な肉厚でなければならない。かつ、中性子は容器を透過して中の岩石試料に照射されるため、容器材の中性子透過率が高い方が良い。SCM440はステンレス鋼に比べて引張強度が強く、中性子透過率は高く見積もられたため、こちらを容器材料に採用することにした。それから、封圧発生のための圧力媒体には水素を含まない液体(フロリナート FC-770、3M社製)を使用している。圧力媒体には一般的に工業用オイルが使用されており、水素が含まれる。水素は中性子を通しにくく、中性子実験の妨げとなるバックグラウンドを発生させる。そこで、水素を含まない液体を探索し、圧力媒体として用いることとした。

中性子を用いたひずみ測定

中性子を用いたひずみ測定は、J-PARCの物質・生命科学実験施設に設置された「工学材料回折装

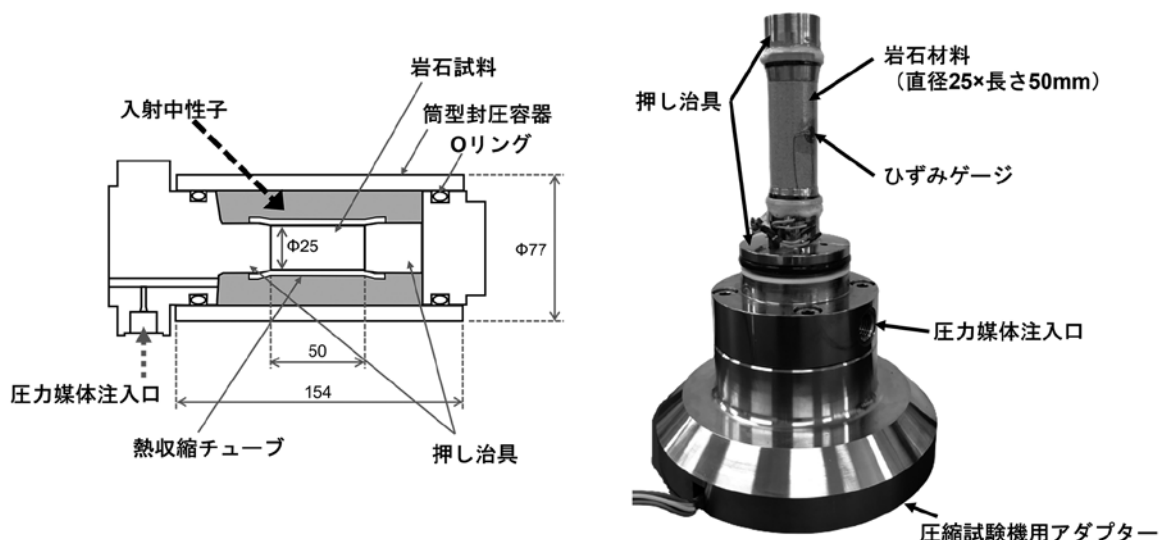


図2 封圧三軸圧縮装置図と岩石試料周りの写真

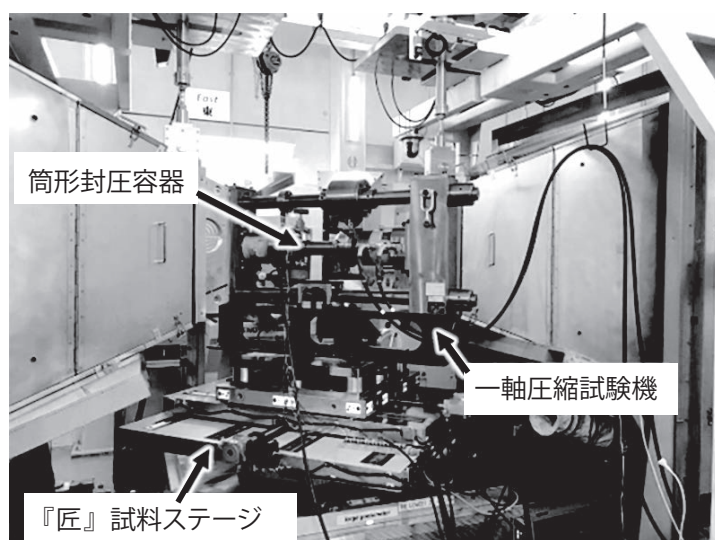


図3 J-PARC 工学材料回折装置『匠』での実験の様子

置『匠』で行った。『匠』での実験の様子を図3に示す。『匠』の試料ステージに一軸圧縮試験機が設置され、写真の中央部に見えている金属筒が封圧容器である。中性子は図1に示すように圧縮軸に対して斜め45度の方向から岩石試料に照射され、封圧容器と容器内の圧力媒体を透過して岩石試料に入射される。岩石試料で散乱された中性子は、再び圧力媒体と封圧容器を透過して検出される。

岩石試料には、アメリカ・オハイオ州で採掘されたベレア砂岩を用いた。ベレア砂岩は主に細粒な石英鉱物から構成され、19%ほどの空隙を含む硬岩である。既往の研究において種々の岩石力学試験に用いられていることから、ベレア砂岩は

世界標準とも言える砂岩材料である。ベレア砂岩を封圧三軸圧縮装置内にセットし、10MPaの封圧を加え、その後、軸方向に荷重を60MPaまで載荷しながら中性子を用いたひずみ測定を行った。

中性子実験結果を図4に示す。こちらは中性子回折パターンと呼ばれるもので、ピークの位置とその強度から原子レベルサイズの構造が解析できる。本封圧容器内にセットされたベレア砂岩の中性子回折パターンを黒色で示し、参照データとして、封圧容器内にセットせず剥き出しのベレア砂岩のもの

を灰色で示す。数本のピークが観測されており、特に3.3Å付近には強いピークが見られる。これらはベレア砂岩に含まれる石英鉱物に起因する中性子回折ピークである。剥き出しのベレア砂岩に比べて、封圧容器内にセットしたベレア砂岩のピーク強度は大幅弱くなっている。これは、中性子が封圧容器材および圧力媒体を透過する際に、中性子の強度が減衰されるためである。しかしながら、3.3Å付近を拡大してみると(図4右)、ピークの膨らみが観測されており、このようにピークが認識できれば、そのピーク位置の遷移量からひずみ量が算出可能である。

中性子回折パターンからひずみ量を算出した結果を図5に示す。縦軸がひずみ量、横軸が封圧

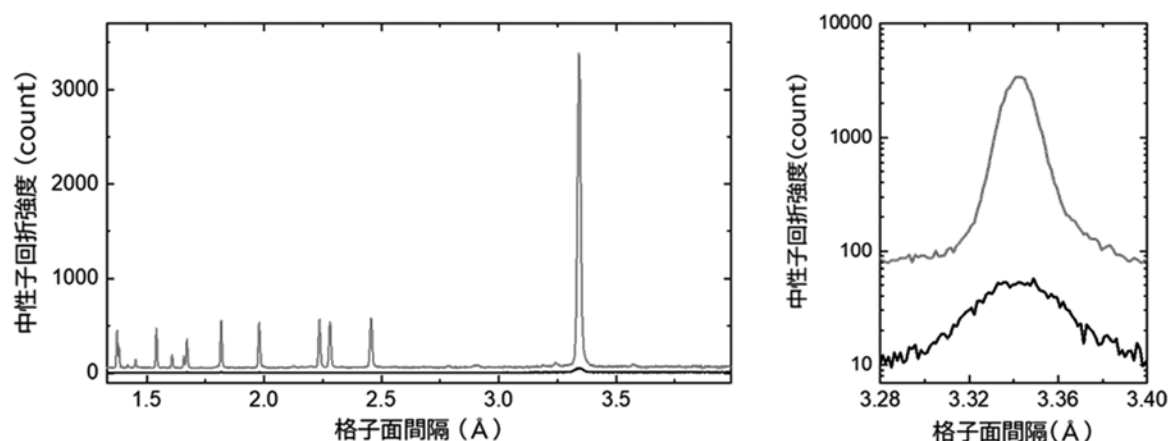


図4 ベレア砂岩の中性子回折パターン。右側は3.3Å付近を拡大したもの。黒色は封圧三軸圧縮容器内にセットされたベレア砂岩の中性子回折パターン、灰色は剥き出しのベレア砂岩の中性子回折パターンを示す

10MPaを加えた後に岩石試料の軸方向に載荷した応力を示している。ひずみ量がプラスの値となる場合は試料が縮んだことを表しており、マイナスのひずみ量は伸びたことを表している。ベレア砂岩中の石英鉱物内には軸方向に圧縮ひずみが蓄積し、60MPaの応力を載荷した際には、およそ0.1%のひずみ量となった。加えて、軸方向のひずみ量は応力に対して直線的に増加しており、このことから、石英中には弾性ひずみが蓄積していることがわかる。一方で、圧縮軸と垂直な横方向のひずみ量は、応力の増加にともなってややマイナスとなっている。このことから、横方向にわずかに膨らんでいることがわかる。

おわりに

地下空間を利用する、あるいは地下資源を採掘するには、地下応力状態を模した岩石試料のひずみ測定が重要となる。本研究では、中性子を用いたひずみ測定が可能な封圧三軸圧縮装置を開発した。本装置内にセットした岩石試料からの中性子回折パターンを取得することに成功し、さらには三軸圧縮応力下でのひずみ量を測定することができた。今回載荷した荷重範囲では、岩石試料中の

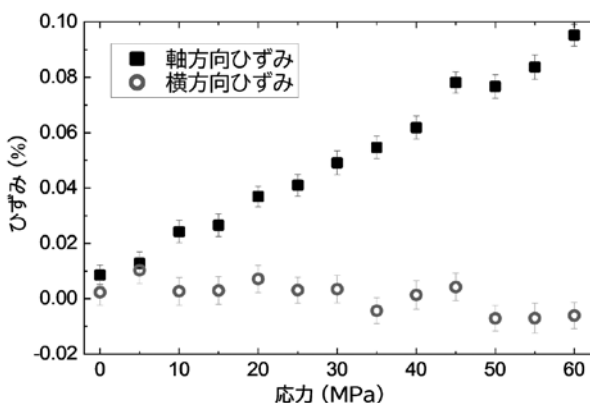


図5 中性子を用いたひずみ測定結果

石英鉱物には弾性ひずみが蓄積している様子が観測されている。このように、三軸圧縮を加えながら中性子を用いて岩石材料のひずみ測定を行ったのは、世界初の試みである。

今後は、様々な封圧条件および圧縮荷重条件下で岩石材料のひずみ測定を行っていく方針である。加えて、岩石材料には今回用いた砂岩だけでなく、花崗岩など様々な種類、産地の異なるものを用いる予定である。それにより、地下応力状態での岩石材料の力学的特性が明らかになり、地下空間のより安定的な利活用、および地下資源採掘

CROSS ロード



光の工場（フォトンファクトリー）へ連れてって - と銘打つ「KEK ギャラリー企画展」が4月23日まで、高エネルギー加速器研究機構(KEK)つくばキャンパスで開かれている。

KEKはことし、つくばキャ

光の工場でタンパク質を見る KEK ギャラリー企画展第1弾

ンパス正門を入ってすぐ左の国際交流センターのギャラリーで、加速器を使った科学や技術の企画展を始めた。初回は、フォトンファクトリー（PF）40年の歴史を振り返り、多くの研究分野の中からタンパク質の研究について取り上げる。

加速器で生み出した放射光（X線）を物質や生命の研究に使うための実験施設PFは、光を出し始めてから40年を超え、

その間に多くの研究成果を出しつつ目まぐるしいほどの技術革新を遂げてきた。現在では効率化・自動化されている技術に、世界で初めて取り組み、今の「当たり前」の基礎を築いた研究者の協力のもと、今では希少な存在となった1980年代の実験装置などを展示する。

PFでのタンパク質研究の中心は、現在の物質構造科学研究所 構造生物学研究センター（SBRC）。その基礎を築いた構

量の増加に繋がると期待される。

謝辞

ここで紹介した研究内容は、日本原子力研究開発機構の川崎卓郎氏、ステファヌスハルヨ氏との共同研究であり、エネルギー・金属鉱物資源機構の関根孝太郎氏には装置開発、データ測定・データ解析で有益な助言をいただきました。本原稿は、引用論文(4)をもとに加筆修正したものです。本稿で紹介した中性子回折実験は、J-PARC 実験課題(課題番号:2018A0100、2018B0210)で実施されました。本研究は、JSPS 科研費 26289349 の助成を受けたものです。ここに改めて感謝申し上げます。



阿部 淳(あべ・じゅん)

総合科学研究機構中性子科学センター研究開発部および産学連携推進室(兼務)・研究員。

2008 年東北大学大学院環境科学研究科環境科学専攻博士後期課程修了、博士(学術)。2008 年から 2013 年まで日本原子力研究開発機構の博士研究員を経て、2013 年 6 月に総合科学研究機構に入社、現在に至る。

引用文献

- (1) 阿部淳、関根孝太郎、ハルヨステファヌス、伊藤崇芳、相澤一也、"中性子回折法を用いた岩石材料の格子ひずみ測定"、Journal of MMIJ、Vol.131、p.122-128、2015
- (2) 鈴木裕士、"中性子で材料内部の残留応力を観る"、CROSS T & T、No.63、p.34-37、2019
- (3) 奥野功一、"中性子で材料内部を照らし出す鉄筋コンクリートの非破壊分析"、CROSS T & T、No.70、p.35-39、2022
- (4) Jun Abe, Takuro Kawasaki, Stefanus Harjo, "Development of triaxial compressive apparatus for neutron experiments with rocks", Review of Scientific Instruments, 93, 025103 (2022) (doi: 10.1063/5.0077562)

造生物学の初代教授が坂部知平名誉教授で、1985 年から 2000 年まで KEK の教授を務めた。結晶にしたタンパク質を X 線で調べる技術(X 線結晶構造解析)を確立した。

1980 年代はまだコンピューターグラフィックスが一般的ではなく、立体構造のデータの「見える化」が大きな課題だった。そこで開発されたのが、透明シートに写しとった電子密度の地図から分子模型を作るための「リチャードボックス」。箱の中に、放射光実験によって得られた電子密度分布が拡大されて再現され、それをハーフミラー越

しに見ながら箱の外の空間に原子パーツ(プラスチックの球)と針金を使って写しとった。

坂部名誉教授ら PF のスタッフは自身の研究を続けながら、国内外の多くの共同利用研究者に研究の場を提供した。共同利用研究者第 1 号はイスラエルから来たアダ・ヨナス博士。細胞のタンパク質合成工場となっているリボソーム)の研究者で、PF に約 10 年通った。その後ヨーロッパの放射光施設も利用しつつ、難しいとされていたリボソームの構造を調べる研究に励み、2009 年ノーベル化学賞を受賞した。

企画展では、当時使われていた実験装置(サンプルを置いて撮影するカメラの部分)をそのまま展示。また、X 線結晶構造解析に欠かせないタンパク質の結晶は、サイエンスアートとも言われるほど見て美しく、PF の実験のために作製された結晶の一部の顕微鏡写真等を展示している。

会期は 4 月 23 日まで。PF が初めて光を出した記念日の 3 月 11 日までの期間限定で、PF40 年記念ミニスタンプラリーも開催されている。

<https://www.kek.jp/ja/notice/20221214kekgallery/>

実験機器を安全に取り扱おう ～ CROSS で使用する実験機器の電気保安～

総合科学研究機構 中性子科学センター

野尻雄幸、大内啓一、桐山幸治

1. 背景

総合科学研究機構(CROSS)中性子科学センターでは、実験機器の電気保安点検を行っている。中性子実験や実験準備に用いられる実験機器が、電氣的に不適切に使用されることで、短絡・地絡・発熱・感電・電気火災等の重大事象を発生させないようにするためである。これまでの点検において実験機器に対する種々の改善や注意点の指摘を行っているが、本報告では、いくつかの事例に対し実験機器の基本的な電気保安上の整備・取り扱いのポイントを紹介する。

2. 実験機器取り扱いにおける電気保安のポイント

本節では、実験機器を取り扱うにあたり電気保安上知っておいて貰いたい8つのポイントを示す。これらは感電や電気火災等の原因になり得るため、状況に応じて電気保安担当者に相談し、適切な対策を取ることが求められる。

1) コイルやヒーターの絶縁抵抗を確認せずに使用

事例：長期の保管や使用による経年劣化、実験機器の移動による損傷により、実験機器に使用

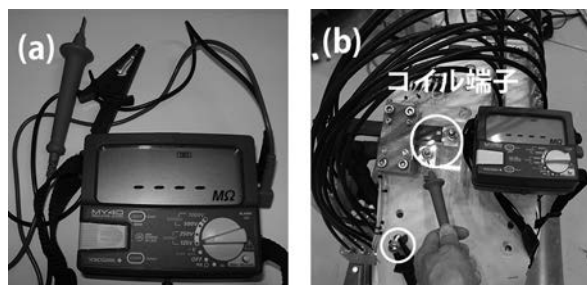


図1. 絶縁抵抗の確認、(a) 絶縁抵抗測定器、(b) 絶縁抵抗測定。写真 (b) = 写真提供：森川利明

されているコイルやヒーターの絶縁が劣化している。

想定事象：実験機器筐体^{きょうたい}への漏電による感電の可能性がある。

対策例：実験機器を“初めて・変更し・久しぶりに(3H)”（初めて使用する機器、改造をした機器、永らく使用していなかった機器を）を使用する場合、事前に絶縁抵抗を測定し、絶縁破壊等の発生が無いことを確認する。

2) 充電部が露出した状態での使用 (1)

事例：充電部（電圧が掛かっている金属部）が露出して容易に触れることができる場所がある（例えば、電源接続用端子台等）。

想定事象：取り扱い時に充電部（金属部）に触れ、感電する。

対策例：充電部（金属部）にカバー等の絶縁処理を行う。

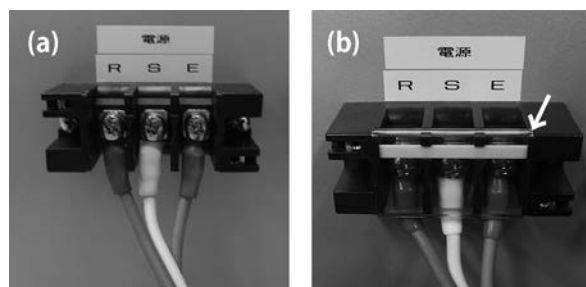


図2. 端子台、(a) カバーなし、(b) カバー（矢印部）あり=写真提供：阿部淳

3) 充電部が露出した状態での使用 (2)

事例：出力端子に挿したバナナプラグの充電

想定事象：充電部への接触による感電や工具等により、短絡が発生する可能性がある。

対策例：バナナプラグを挿した際に露出した充電

部の隙間を絶縁物（絶縁テープ等）で覆う。

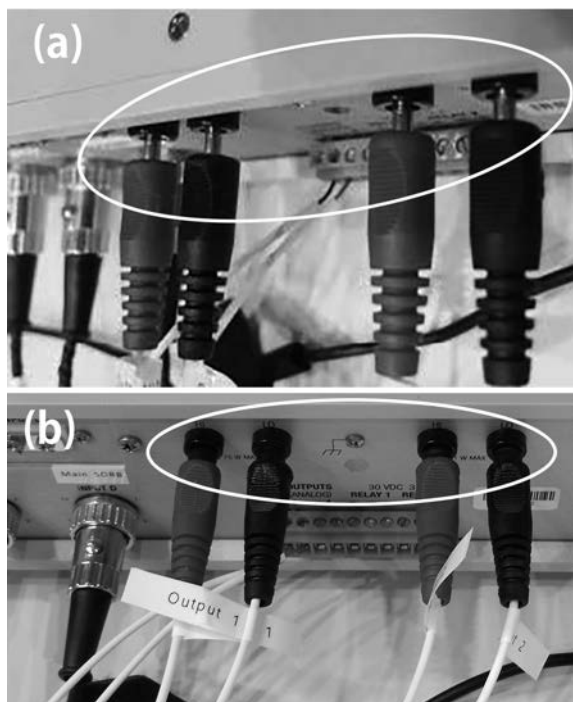


図 3. バナナプラグの金属充電部、(a) 充電部の露出、(b) 充電部の絶縁被覆対策後＝写真提供：大石一城

4) 冷却ファン前のケーブル配線

事例：冷却用ファンの前にケーブル配線がある。

想定事象：回転するファンにケーブルが巻き込まれ、断線、短絡が発生、発煙、発火や感電する可能性がある。

対策例：ケーブルは冷却ファンの回転部を避け、固定配線する。

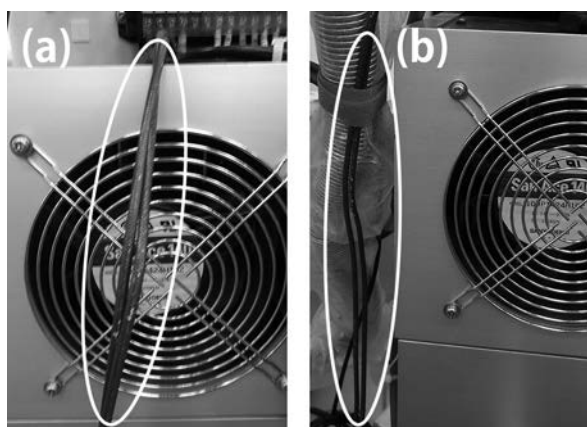


図 4. ケーブル配線、(a) ファンの前のケーブル配線、(b) ケーブルをファンの前を避けて固定＝写真提供：河村幸彦

5) 耐熱性に問題のある配線

事例：高温炉のヒーター接続等に使用する配線が高温に晒される。

想定事象：高熱により配線の被覆が劣化して破れ、感電等が発生する。

対策例：最高周囲温度に耐えられる耐熱性配線を使用する。



図 5. ケーブルの耐熱温度、(a) KIV ケーブル：60℃、(b) シリカガラス耐熱線（NSBL 電線）：400℃＝写真提供：山田武

6) 変形した端子（刃）の電源プラグ

事例：電源プラグの端子（刃）が変形している。

想定事象：接触不良で発熱し、発煙、発火の可能性がある。

対策例：電源プラグを新しいものに交換する。

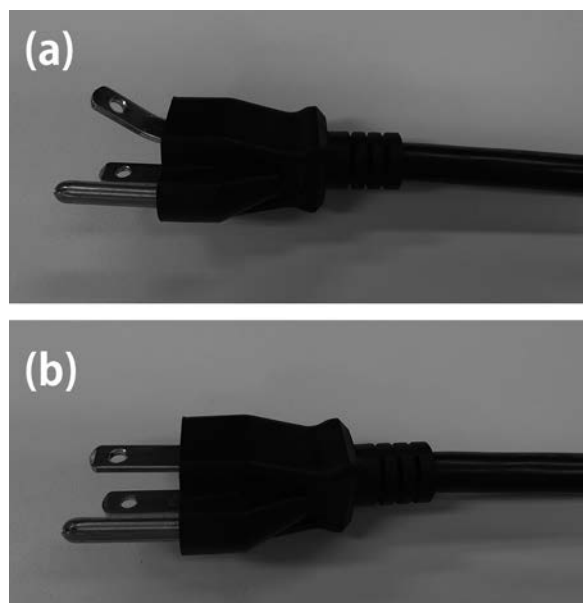


図 6. 電源プラグ、(a) 刃が変形した電源プラグ、(b) 新しい電源プラグ

7) 電源ケーブル、電源コードの使用状態による異常発熱

事例：電源ケーブルや電源コードを束ねたまま使用する。

想定事象：電源ケーブルや電源コードを束ねたまま使用すると電流が流れることにより生じる熱が放散しにくく、蓄積し、電源ケーブル

や電源コードから発煙、発火の可能性がある。
また、電源ケーブル、電源コードの被覆の劣化を招く。

対策例：電源ケーブルや電源コードはほどいた状態で使用する。

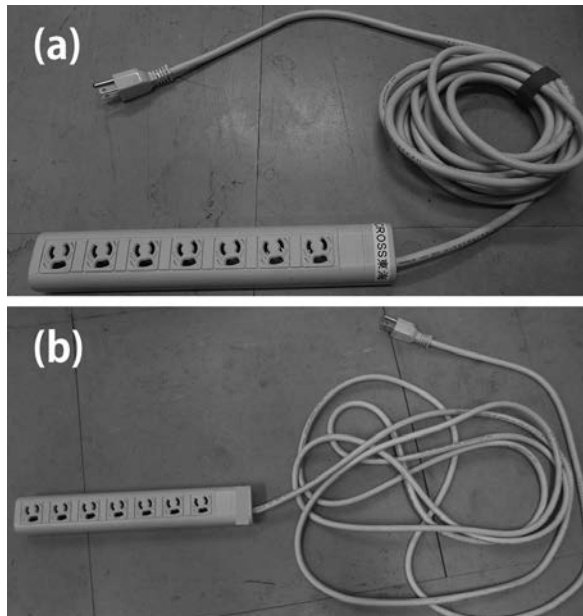


図7. 電源ケーブルの使用状態、(a) ケーブルを束ねた状態、(b) ケーブルをほどいた状態

8) コンセントで発熱、発火の恐れ

事例：長期の使用や無理な力がかかった状態で抜き差しすると、プラグの端子（刃）を挟むコンセント刃受部の力が弱くなり接触抵抗が増加する。

想定事象：コンセントでの接触面積が減少すると接触抵抗が増加し、接触部での発熱が増える。このため、過熱により発煙、発火の可能性がある。

対策例：プラグはコンセントにしっかりと挿し込む。コンセントの挿し込み力が低下したり、コンセント周辺が熱を持っている場合は、使用を中止しコンセントを交換する（注意：コ

ンセントの場所により電気工事士資格を有する者の作業が必要）。

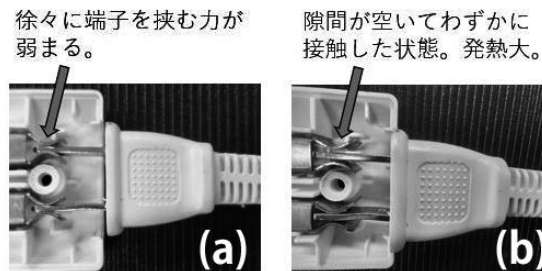


図8. コンセントの内部構造、(a) 正常状態のコンセント、(b) 劣化状態のコンセント（広がった刃受部）

3. まとめ

本報告では実験機器を取り扱う際に電気保安上気を付けるべきポイントを示した。これらは実験機器の製作時や設置時に少し気を付けるだけで対策できるものがほとんどである。

電気保安上不適切な実験機器の使用は実験機器の異常や故障に繋がるだけでなく、重大な問題や事故を引き起こす可能性がある。これらを確認して対策し、徹底的に無くしていくことが、安全な実験の実施に繋がる。中性子利用をさらに促進させるために、今後も実験機器の安全確認活動の取り組みや安全情報の発信等を通じて、電気保安担当者として安全な実験環境の提供とその維持に努めたい。

参考文献

- [1] 平松英之ら、CROSS ユーザー実験準備室で電気災害を防ぐ～電気保安のポイント～、CROSS T&T (2019) No.61, pp.47-50.
- [2] 平松英之ら、CROSS ユーザー実験準備室で電気災害を防ぐ【続報】～電気保安のさらなるポイント～、CROSS T&T (2019) No.63, pp.44-47.



野尻 雄幸（のじり・ゆうこう）

2021 年一般財団法人総合科学研究機構中性子科学センターに入所、センターでは「電気保安担当者」として活動中。J-PARC 物質・生命科学実験施設において J-PARC センター構成員と協力して、実験機器の電気保安に関する業務を担当。

農研機構 ■ 2022 年 11 月 29 日

カモが夜、泥中のレンコンを食べる様子を初確認

https://www.naro.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/155658.html

農研機構の研究で、カモ類が夜、水や泥の中にあるレンコンを食べる様子が初めて確認された。土浦市の霞ヶ浦沿岸のハス田に試験的にレンコンを埋め、夜間のカモ類の行動を動画撮影した結果、一部のカモ（マガモ、オオバン）が倒立したりして、水面下約 40cm の深さまで採食することがわかった。

レンコンはハス田の泥中にあり、食害は夜間に生じるため、その様子を直接確かめるのが極めて困難だった。秋～冬の収穫の際、泥中から掘り上げたレンコンにえぐられた傷があって出荷できなくなる場合があり、夜間のハス田でカモの群れが見られることなどから「カモ被害」と広く認識されてきたが、実際にどの種が、どのようにレンコンを食害しているかは不明だったという。

被害対策として、2004 年ごろからハス田に防鳥ネットが設置されるようになったが、カモの侵入を完全に防ぐことは難しく、野鳥がネットにからまって動けなくなる「羅網死」が環境保全上の問題にもなった。以来、複数の環境団体から行政に、改善指導を求める問題提起が出

されるなどしたが、双方とも実態が不明として、効果的な対策が取れずにいた。レンコンを食害する種や採食行動を明らかにすることは、被害の実態を把握し、対策を計画・実行する上で不可欠となっていた。

農研機構が調査研究に着手したのは 2020 年度から。収穫後のハス田に、レンコンを試験的に設置して夜間の採食行動を動画で撮影すると、マガモとオオバンが繰り返し倒立しながら泥中（水面下約 20～40cm）のレンコンを食べる様子が確認できた。その際、マガモは脚で泥を掘る動作も行っていた。翌朝、レンコンが食べられた範囲の泥面はすり鉢状に掘られており、その底（水面下約 40cm）よりも深くにはレンコンが残っていた。

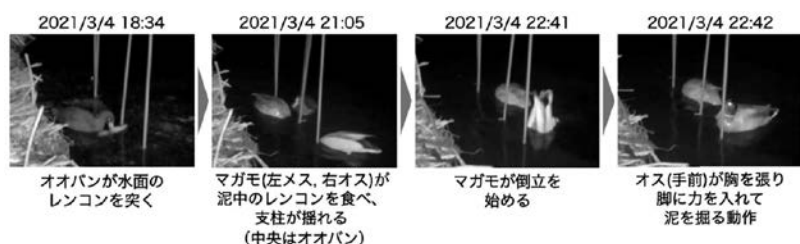
マガモとオオバン以外にも、5 種のカモが撮影され、採食行動は種によって異なっていることがわかった。今回は撮影個体

数が少なかったため、さらに調査が望まれるものの、泥中のレンコンを食べないカモも見られたという。

これらの結果から、ハス田の泥中にある収穫前の商品価値のあるレンコンが少なくともマガモとオオバンによる食害を受けること、浅く位置するレンコンほど食害を受けやすいことが示された。同時に、霞ヶ浦で越冬する多数のカモにとって、周辺のハス田が好適な生息場所となっていることが示唆された。

農研機構畜産研究部門、益子美由希研究員は、今後の取り組みとして、レンコン被害の軽減と鳥類の生息環境の保全を両立できる対策技術の確立が必要とした。茨城県のはす田は通年で水が張られるため、カモの他にも、レンコンを食べない多くの水鳥が利用している。霞ヶ浦は 1970 年代からの総合開発事業により多くがコンクリート護岸となって、現在は湖岸では十分に採食できず、代わりにハス田を頻繁に利用している。カモたちにとってハス田は生息場所として欠かせず、利用されることを前提に、被害を軽減していく方向性を見出していくことが望ましいとの考えだ。

特に今回、水面や浅い位置ほどカモの採食を受けやすいことが分かった。この知見を踏まえ



ると、ハス田の水面や泥面の浅い位置に食物が豊富に存在すれば、カモたちが比較的食べにくい泥中にあるレンコンへの食害を相対的に減らすことにつながるかもしれない。実際に、収穫後のハス田の水面には収穫残さのレンコンが浮いていることがあり、そうした圃場では夜間に多数のカモが観察されている。

益子研究員は「収穫前の圃場

ではカモ等の食害を防ぐ対策を行い、収穫後の圃場へカモ等を誘導できれば、被害対策と鳥類の生息場所の保全を両立可能な道筋となるかもしれない」と考えている。今後は、そうした対策技術の確立に向けて、現場の生産者や自治体などと協力し、実証試験を進めて行く予定という。

い、量子科学技術研究開発機構（高崎市）のサイクロトロン加速器からのイオンビーム照射と化学エッチングによって光閉じ込め構造をつくった。

吸収率を99.5%から99.98%にまで高めたとは、光の反射率を0.5%から0.02%まで低減させたともいえる。正味の反射率が0.1%を大きく下回るには、光閉じ込め構造の勾配を急峻にし、エッジは鋭く、壁面はナノレベルで滑らかにする必要があった。従来の微細加工技術では作製が困難で、サイクロトロン加速器の高エネルギーイオンビームを用いた。以来素材探しと作製法の改良を繰り返したのが「究極」から「至高」に至る4年間だった。

これまで暗黒シートの反射率低減を制約してきた原因が、カーボンブラック顔料による散乱であると突き止めた。カーボンブラック粒子は光の散乱が生じやすくなるため、光閉じ込め構造から散乱光が一部逃げてしまう。そこで、低散乱な黒色基^{うるし}材の探索を行い、漆塗りの代用

Cross Release

産業技術総合研究所■2023年1月18日

光閉じ込める漆黒 「至高の暗黒シート」開発

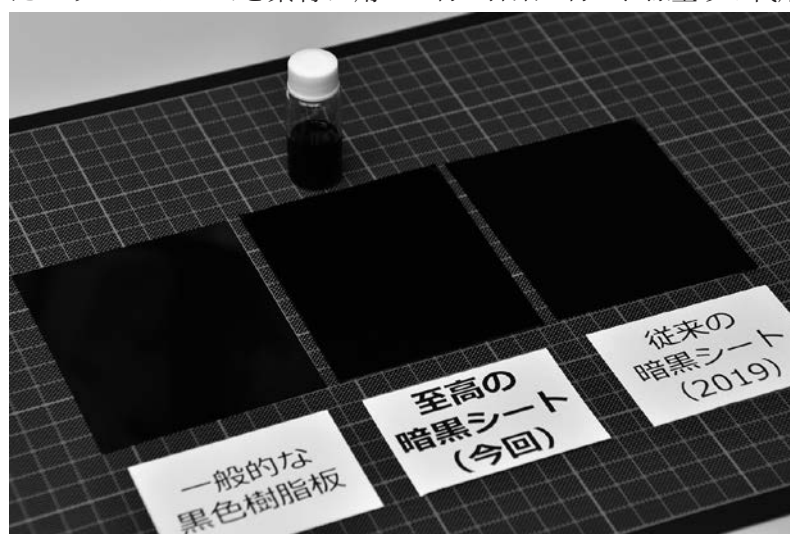
https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2023/pr20230118/pr20230118.html

産業技術総合研究所物理計測標準研究部門の雨宮邦招研究グループ長（応用光計測研究グループ）が名付けた「至高の暗黒シート」は、これまで誰も見たことのない「黒さ」を表現する。特殊な黒色樹脂の表面に微細な凹凸を形成して光を閉じ込める構造をしており、可視光の99.98%以上を吸収する。従来の暗黒シートと比べて可視光の反射率が一桁低く、触っても壊れない耐久性を有する素材としては世界一の黒さを達成したという。

「黒さ」の度合は光、特に可視光の吸収率によって決まる。暗黒シートは、ミクロなサイズの円錐孔型の黒体を並べた構造を、面上に敷き詰めている。この構造は、光閉じ込め構造になっていて、入射した光は、壁

面で何度も吸収・反射を繰り返して、正味の反射率がゼロに近づいていく。

産総研は2019年に、紫外線～可視光～赤外線の全域で99.5%以上の光を吸収する「究極の暗黒シート」を開発した。カーボンブラック顔料を混練したシリコーンゴムを素材に用



一般的な黒い樹脂と並べた「至高」（中央）と「究極」の暗黒シート

にも用いられるカシューオイル樹脂に着目したという。

一般的な黒色シートは、鏡面反射が起きて周りのものが映り込むツヤがある。「究極の暗黒」シートは、一見したところ黒く見えても、くすみ（散乱反射）による白っぽさが残る。「至高の暗黒」シートは色の濃い、漆黒となっている。

カシューオイル樹脂を構成するポリフェノール類は、漆の成分と類似しており、鉄と錯体を作ることによりポリマー自体が顔料を加えなくても黒くなる。この黒色樹脂膜は散乱反射（くすみ）の量が極めて少ないことがわかった。「漆黒」は通常、鏡面に磨いた光沢のある黒を指すが、同時にくすみの少ない「深みのある黒」も意味するとも言える（雨宮グループ長）という。

機能性ポリマーの精製カシューオイルは工業製品として市販されている。炭素素材に代えて使ったことで、もろく壊れやすい難点の克服にもつながった。取り扱いが容易になったことで利用範囲も広がりそうで、今後は作製方法の改良など実用化に向けた研究に踏み込んでいく構えだ。

低反射な黒色材料は、装飾、映像、太陽エネルギー利用、光センサーなど、光の応用分野で幅広く用いられている。特に、カメラや分光分析装置内部の乱反射防止、迷光除去などの用途では、理想的には完全に無反射の黒体材料が切望されている。

Cross Release

産業技術総合研究所／筑波大学 ■ 2022 年 12 月 3 日

コーヒーのカフェ酸が半導体デバイスの性能を向上

https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2022/pr20221203/pr20221203.html

産業技術総合研究所と筑波大学の研究グループは、植物が作り出すカフェ酸の薄膜層を有機半導体デバイスの電極表面に形成することで、電極から有機半導体への電荷の注入効率が向上し、デバイスに流れる電流を大きくできることを発見した。カフェ酸はコーヒーに含まれる成分で、バイオマス由来の材料を用いた有機半導体デバイスの構築を実現する一歩となるという。

研究には産総研の赤池幸紀主任研究員（ナノ材料研究部門接着界面グループ）、細貝拓也研究グループ付（物質計測標準研究部門ナノ材料構造分析研究グループ）と筑波大学の山田洋一准教授（数理工学系）が関わった。グループは、分子構造の特徴からカフェ酸は金属製の電極に吸着し、電極表面の電位を変え、電流を流しやすくする性質があると考えた。実際に、電極表面にカフェ酸の薄膜層を形成すると、電極表面でカフェ酸分子が自発的に向きをそろえて並び、有機半導体デバイス（単層）に流れる電流が、カフェ酸が無い場合と比べて最大で 100 倍に増加した。カフェ酸が特異な配向を示すことで、有機半導体

への電荷の注入が促進したと考えられた。

多くの有機半導体デバイスは、電極基板の上に有機分子の層や電極を積層して作られる。デバイスに流れる電流を大きくするには、電極から有機半導体への電荷の注入を効率化することが重要になる。電荷の注入に関する効率化の指標を「仕事関数」というが、大きな永久双極子モーメントを持った分子で電極表面を修飾すると（電極修飾層）、電極表面の電位が変わり、仕事関数が増加する。電極の仕事関数を大きくすることで、電極から有機半導体への電荷の注入が促進される。その結果、有機半導体／電極界面において電流が流れやすくなるという。

ここで目をつけられたのが植物が作り出すフェニルプロパノイドと呼ばれる物質群。大きな永久双極子モーメントを持った分子で、電荷の注入を効率化する。フェニルプロパノイドは植物に普遍的に存在する物質で、その一例であるカフェ酸の分子構造も、永久双極子モーメントを持っている。金の電極にカフェ酸の薄膜層を形成し、その仕事関数を測定した結果、カフェ酸を被覆する前に比べて電

極の仕事関数が 0.5eV 程度増加することを発見した。電極の種類が銀、銅、鉄、インジウムスズ酸化物、自然酸化膜付きのシリコンであっても、カフェ酸の効果により仕事関数は増加した。

有機発光ダイオード (OLED)

や有機太陽電池 (OPV) などの有機半導体デバイスは、柔軟性に優れ、軽量でしかも低コストで生産できることから、フレキシブルなディスプレイや各種センサー、IC タグなどの IoT デバイスに使われ、またそれらのデバイスに内蔵される交換不要

な電源への応用が見込まれている。一方、有機半導体デバイスが普及するに伴って、その廃棄量も増えることが予想される。使用済み有機半導体デバイスの廃棄後の環境負荷を下げることを目指し、最近では温和な条件で分解できる有機半導体の開発

ISMS の次期会長就任について

総合科学研究機構 中性子科学センター 杉山 純

I. はじめに

種々の「役割」を終えて、2019 年 4 月に総合科学研究機構に移りました。その後はサイエンス・コーディネーターの職務に励み、学会活動や施設評価等とは遠ざかっていました。2022 年 4 月 14 日に共同研究者であるスウェーデン王立工科大学 (KTH) の Martin Månsson 准教授からメールを受け取りました。そこには、彼が 2022 年 8 月に会長に就任する ISMS の、次の会長 (2025 年から 3 年間) になることを考えてくれないかとありました。

ISMS は国際 μ SR 分光学会 (International Society for μ SR Spectroscopy) の略称です[※]。 μ SR (ミュオンスピン回転/緩和/共鳴法の総称) を広く世界に普及させることを目的に、2003 年に設立されました。 μ SR に興味のある方であれば誰でも、登録さえすれば会員になります。会費はありません。

主な活動は、3 年に 1 回開催される μ SR 国際会議の主催と、学会賞である Yamazaki Prize (山崎敏光賞) と Young Scientist Awards の選考と授章です。また各 μ SR 施設が行うミュオンスクールへ経済的支援も行います。実際、J-PARC 及び

JRR-3 で開催している中性子ミュオンスクールも、ISMS からの支援を受けています。初代会長は原子力機構にも在籍した Robert Heffner 氏です。会長は無報酬で、その任期は、ある μ SR 国際会議から次の μ SR 国際会議までの 3 年間となります。

以上の知識はありましたが、それ以上の詳細を知りませんでした。ISMS と関わったのは、2014 年にグリンデルワルドで開催された第 13 回 μ SR 国際会議中の ISMS 委員会で、第 14 回 μ SR 国際会議を札幌に招致する演説をした際のみです。その場で初めて 2017 年からの会長が英国 Durham 大の Tom Lancaster 教授と知りました。

II. 受諾まで

任期が 2025-2028 年なので、その間は何らかの職にないと、リモート会議の開催や文献の検索もできません。この点についてまず調べました。また会長退任時は 71 歳なので、それまで活動的でいられるのか? という点も疑問でした。これについても、私にとって μ SR の師匠であるカナダ・ブリティッシュコロンビア (UBC) の Jess H. Brewer 名誉教授をはじめ何人もの方と相談しました。皆、断る方向に動きがちな私の背中を押し

[※] 国際 μ SR 分光学会ホームページ <https://www.musr.org/>

や、バイオマス由来の材料を利用したデバイス基板の研究が報告されている。

こうした取り組みと併せて、有機半導体デバイスの性能の向上に重要である異なる材料が接する界面の制御、特に有機半導体と電極の接合界面（以下、有

機半導体／電極界面）での電荷の注入（移動）の効率を高める技術の開発が求められている。現在、電極修飾層として知られている導電性ポリマーや遷移金属酸化物の薄膜層の材料は有機半導体デバイスを埋め立てなどで廃棄した際に、水生生物へ悪

影響を及ぼす可能性がある。また、埋蔵量に限りがある金属元素を含んでいることから、使用が懸念される。そこで、有機半導体／電極界面の電荷の出入りを効率化し、電極修飾層に応用可能かつ環境負荷の低い材料の探索が望まれていた。

ひと・ヒト・人

てくれました。

2022年5月10日に、ISMS会長のTom Lancaster教授から、ISMSと会長業務について説明するとのメールを受けました。もし引き受けるなら、ISMS委員会は歓迎するとのコメント付きでした。ここで初めてISMSの会長選考課程が明らかになりました。つまり候補を一本釣りして、委員会で決定、総会で承認のプロセスです。実際に2022年8月にパルマで開催された第15回μSR国際会議中のISMS総会で、会長はMartin Månsson准教授に代わり、私が次期会長に選任されました。

III. これから

これから3年間は会長見習い期間なので、まずISMSについて学ばなければなりません。それから何を行うのかとの話になります。逆に活動限界が分からない現状では、夢を語ることができます。例えば現在の夢は以下の通りです：

1. 会長選考過程の透明化と大陸ごとの輪番制の導入

今まで会長に就任したのは欧州か北米の研究者で、東半球からの会長選出は初めてです。ISMSは現在、欧州アフリカ支部、北中南米支部、アジア豪州支部に分かれています。全世界へのμSR普及を目的とするなら、原則として各支部が輪番で会長を出していくのが良いのではないかと考えています。無論、該当支部に会長に適任の方がいない場合はスキップしても構いません。

2. 予算状況の把握と報告

3年に1回開催されるμSR国際会議で収益が出た場合は、主催者の収益となります。しかしそのみで、毎年4施設で開催されるミュオンスクールを援助できるとは思えません。欧州連合等から何らかの支援を受けているのかもしれませんが、詳細が不明なのですが、ISMS総会等で会計報告ができれば良いと思います。

3. 各μSR施設のデータ形式の互換化

各μSR施設の解析ソフトとデータ形式は統一されていません。種々の理由があるので、統一する必要もありません。しかし複数の施設を使うユーザーが各施設の解析ソフトに習熟するのは現実的でないので、各施設のデータ形式を他施設のデータ形式に自由に変換できることが重要です。これは一部の施設では既に実施されています。この流れを全4施設に広げたいと思います。

IV. 最後に

まだ少し先になりますが、ISMS会長に就任した暁には、皆様に種々協力をお願いすることになります。よろしくお願いいたします。私が会長に就任する2025年の第16回μSR国際会議は北中米で開催され、会長を退任する2028年の第17回μSR国際会議は欧州で開催されます。この第17回会議中に、アジア豪州地区で開催される2031年の第18回μSR国際会議の場所が決定されます。日本にまた巡ってくる流れとなると良いですね。

新たな挑戦 アグリサイエンスバレー事業

～ 2023 年春、道の駅「常総」開業に際して～

常総市長 神達 岳志



アグリサイエンスバレー完成予想図

はじめに

常総市は、茨城県南西部にあり、県庁所在地である水戸市から 70 キロメートル、東京都心から 50 キロメートル圏内に位置しています。

関東平野の中央部ならではの平坦な地形を有しており、市域の中央を流れる鬼怒川と、東端を流れる小貝川との間に挟まれた東部では水稲が、猿島台地や結城台地が発達した西部では畑作がさかんに行われています。農業としての土地利用面積が多く、基幹産業となっています。

また、市には 4 つの工業団地があり、一大消費地である首都圏への出荷を目的とした食品及び機器類等の製造業者が複数立地しています。

平成 29 (2017) 年 2 月、首都圏中央連絡自

動車道（圏央道）の茨城県区間が全線供用開始となり、これと同時に常総インターチェンジの開通を迎え、常総市と関東一円への交通利便性が格段に高まりました。

アグリサイエンスバレー事業

常総市は、常総インターチェンジの供用開始を絶好のチャンスととらえ、2014（平成 26）年 3 月に常総インターチェンジ周辺に地域の基幹産業である農業を活性化するための産業団地をつくる構想を掲げ、以来「アグリサイエンスバレー事業」として周辺整備を進めてきました。

アグリサイエンスバレー事業は、常総インターチェンジ周辺の約 45 ヘクタールを対象として、1 次産業（生産）、2 次産業（加工・流通）、3 次

産業（販売）にまつわる機能を集積し、生産、加工、流通、販売が一体となった地域農業の核となる産業団地をつくることで、基幹産業である農業を活かしたまちづくりを目指すものです。

アグリサイエンスバレー事業の区域内は、もともとほぼ全域が水田であったため、1次産業のエリアを「農地エリア」、2次産業と3次産業のエリアを「都市エリア」と区分し、各エリアの趣旨に沿った基盤整備を行いながら、産業の担い手となる企業を誘致してきました。

高収益農業のモデル「農地エリア」

「農地エリア」は、アグリサイエンスバレーの総面積である約45ヘクタールのうち約14ヘクタールを占めます。収益性に優れた先進的な農業を展開し、市域の半分を占める農地において、より高収益な農業を波及させるためのモデルとなる土地利用を図ります。



農地エリアの現況

「農地エリア」では、2020（令和2）年度に水田畑地化を目的とした市営土地改良事業（基盤整備）を施行し、大区画の畑地を整備しました。

2021（令和3）年度からは、農業法人による農地の借受けが始まっており、集客性のある観光農園、野菜の通年栽培ができる大規模施設園芸、外部環境の影響を受けにくい植物工場などが立地する予定です。

現地では、すでに次世代農業の拠点となる先進的なハウスの整備が進んでおり、昨年12月には、「空中いちご園」と称した日本最大級のリフト式いちご栽培の観光農園施設がオープンし、大変な賑わいになっています。

農産物の価値を高める「都市エリア」

「都市エリア」は約31ヘクタールで、2次産業（加工・流通）と3次産業（販売）を担います。

農産物に加工特性を持たせて付加価値を上げる取り組みや、インターチェンジ周辺の交通利便性を活かした農産物の広域流通、後述する道の駅をはじめとする集客拠点の特性を活かした農産物の特産化・魅力発信を進め、「地域ぐるみの6次産業化」を実現するための土地利用を図ります。

「都市エリア」の実現に向けた基盤整備事業として、2018（平成30）年3月以降、組合施行による土地区画整理事業を行ってきました。



企業立地が進む都市エリア

本事業では一括業務代行方式を採用しており、最大の特徴は、構想段階からゼネコン（業務代行予定者）を取り入れたことです。2014（平成26）年度には、計画の事業化や企業誘致等、完成段階まで見据えた連携体制を構築するため、公募によりゼネコンを事業協力者として選定し、PPP（官民連携）事業により、地権者組織を含め3者で事業を推進していくこととしました。事業の早期に体制づくりができたため、現況測量から設計、事業認可取得、施工、保留地分譲に至るまで、一括かつ迅速に事業が進み、結果として円滑な企業誘致を実現することができました。

地域ぐるみの6次産業化に先駆けて、農地エリア・都市エリア進出企業間の連携も進んでおり、同じ場所に進出したことをきっかけに、企業間のビジネス機会が拡大していることも興味深いところであると思っています。



道の駅「常総」完成イメージ（裏表紙にカラー版）

地域交流拠点となる道の駅「常総」

道の駅については、2015（平成27）年9月の関東東北豪雨時の復興計画に、アグリサイエンスバレーと同時に「ほこりの柱」として位置付けられ、いわゆる復興のシンボルとして整備を進めることになりました。アグリサイエンスバレーは、市外・県外からやってくる人々にとって常総市の新たな玄関口となります。

常総市は、他地域からの来訪者を既存市街地や地域資源と結びつける交流拠点として道の駅の整備を進めており、ゴールデンウィーク直前の2023（令和5）年4月28日（金）の開業を予定しています。2022（令和4）年8月5日、茨城県内16番目の道の駅「常総」が国土交通省の登録を受けました。

道の駅「常総」は、その用地が土地区画整理事業によって創出され、市街化区域に立地するという全国的にもめずらしい特性を持ちます。一般的に道の駅は単独立地が多い印象にあると思いますが、市街化区域内に立地するという特性を活かして、隣接する民間集客施設（TSUTAYA BOOK & Cafe、温浴施設など）や観光農園と相乗的に集客効果を上げることができ、地元農産物や加工品の紹介・販売を通して地域の魅力を発信していきます。さらに、道の駅が持つ交流拠点としての特性を最大限に活かし、地方創生の目的でもある地域の関係人口・交流人口の拡大も図ります。

道の駅「常総」は、その外観にも特徴を持たせました。水平ラインを基調としたデザインにより、

周辺の田園風景と調和が図れるだけでなく、周辺道の駅ではめずらしい2階建てにしたことで、外側に大階段を配置することができ、国道からも賑わいが見えて分かるようにしました。

2階建てにこだわったのは、水害を受け、防災先進都市を掲げる常総市だからこそ、万が一の場合には垂直避難できるようにし、電気設備や防災倉庫などをすべて2階に配置することで災害時にも対応できるようにしました。また、屋根部分に太陽光発電を配し、蓄電池も導入します。

道の駅「常総」は、指定管理者制度を採用し、民間企業に管理運営を担ってもらいます。指定管理者は、熱海市に拠点を置く株式会社TTCで、これまで道の駅や類似施設の運営実績が豊富で、地域特産物を使った商品開発やメディアを活用した情報発信に優れている企業です。指定管理を受けるにあたって、市内に地域商社として、100%出資法人を新たに設立し、地域にもきちんと貢献する仕組みをつくってもらいました。前述のとおり常総市の野菜をそのまま売り出す道の駅特有の販売だけでなく、それを原材料として若者にも「バエる・ササー」おみやげなどの商品開発を実施し、加工も地元企業と提携するなど、地域そのものを盛り上げる体制が出来てきました。これらにより農業を活かしたまちづくりのハブ施設になるものと思います。

また、常総市に今までなかった市内外から年間80万人の集客を見込む施設になる道の駅「常総」では、道の駅を目的にここに訪れる方々に対し、市内の名所を周遊したり、名物を食べたり、常総

市を知ってもらうきっかけを提供したいと思っています。これを如何に実現できるか、それには情報発信が肝要だと考えています。

そこで道の駅「常総」では、道路渋滞情報だけでなく、市内周遊や飲食店の情報を、デジタルサイネージ4台を導入し最大限活用することやQRコード付きのまちナビカードを配布することで、デジタル・アナログ双方から常総市をPRしていきます。他の道の駅と差別化したいのは、この情報発信になります。この取り組みが常総市にとっての関係人口・交流人口拡大につながっていくものと思い、力をいれていきたいと思っています。

じょうそう観光地域づくり Labo

さらに年間80万人の集客見込みから、農産物等道の駅に出荷・取引をする市民、市内事業者だけでなく、アグリサイエンスバレーの完成後に、アグリサイエンスバレーや道の駅がもたらす「賑わい」を活かしたビジネスを創出していくため、2021（令和3）年度からの3か年事業として、市民参加型の講座「じょうそう観光地域づくり Labo」を開催しています。

この講座は、道の駅を活かした市内回遊の仕組みづくり、農産物などのブランド化による販売促進、商店や地場産業を元気にする仕組みづくりな

ど、市民や農商工業者の持ち味や個性を活かした地域ビジネスの創出を目的としています。

2021（令和3）年10月の初回講座以降、市内の農業者、農業関連事業者（農泊、体験・観光農園、農家レストラン、直売所、農産加工など）はもちろん、飲食業者、観光事業者をはじめとして、常総市が持つ地域資源を活かした活性化に関心のある方々に参加していただいております。このように道の駅オープンをきっかけに地域で新たなビジネスモデルが構築できないか、ソフト事業も仕掛けていくところです。

さいごに

アグリサイエンスバレーは2023（令和5）年春以降、道の駅の開業や企業進出の概了を迎え、「まちびらき」となります。このエリア全体の名称を「アグリサイエンスバレー常総」と決定し、こちらも広く周知していきたいと思っています。

また、常総市は昨年、HONDAとAIや知能化マイクロモビリティを活用した「AIまちづくりに向けた技術実証実験に関する協定」を締結しました。アグリサイエンスバレー常総地内で、この「まちびらき」に合わせて技術実証実験が開始されます。ぜひ、魅力あるアグリサイエンスバレー常総と常総市へお越しください。多くの皆様のご訪問を心よりお待ちしております。



神達 岳志（かんだつ・たけし）

1969年（昭和44年）常総市豊岡町生まれ、53歳。上武大学経営情報学部卒業後、茨城セキスイハイム株式会社、有限会社カンダツ代表取締役を経て、2010年（平成22年）より茨城県議会議員3期。2016年（平成28年）の常総市長選挙に立候補し、初当選。現在2期目。趣味はゴルフ、剣道、ギター。

笑いでまちに賑わいを 水戸に常設「みやぎん寄席」

高座名 有難亭 良慈緒

「しばらくの間、お付き合いのほどを一」

週末の昼下がり、笑いにあふれる空間が水戸市内に生まれる。

演者が繰り出す会話と仕草が、絶妙な間で繰り広げられ、客の想像力が膨らむ。何度も聴いたことがある^{はなし}噺なのに笑ってしまう。

そんな日本伝統の話芸「落語」を楽しめる常設の寄席が、昨年9月、水戸駅にほど近い商店街「宮下銀座」の一角に誕生した。水戸東照宮のおひざ元にちなみ、名前は「水戸みやぎん寄席」。毎週土・日曜に二つ目や若手真打らが出演している。

「道楽だとか、馬鹿なことはやめなさいとか言われましたよ」。そう笑うのは、席亭（寄席の責任者）の内藤学さん（63）。水戸ヤクルト販売（株）社長で、水戸商工会議所の会頭も担いつつ“無謀”とも言われる挑戦を始めた理由は一。

「水戸は歴史と文化がある街だから、伝統芸能が似合うはず。だから『寄席があるといいよね』という話は、仲間内と前々からしてました。そうしたら今夏（2023年夏）新しい市民会館ができることになり、それなら作っちゃおうか、ってなって。そこが拠点になって賑わいが生まれたらいいね、というところから始まったんですよ…」

内藤さんは、父親の影響で落語好きになった。進学した水戸市内の高校では落研に所属。学校の文化祭のほか、各学校と合同で発表会を開いたこともあったという。

その後、大手広告代理店に就職。しかし、父親が創業した「水戸ヤクルト販売」を継ぐため、15年前に脱サラ。水戸に戻ると、高校時代を知っている友人からの依頼で、一席披露する機会が増



寄席外観

えた。やがて、県内の社会人落語家との交流も生まれ、「好文亭文文」^{こうぶんていぶんぶん}の名前で高座に上がるようになった。好文亭は水戸・偕楽園にあるあずまや、文文は豪快なスイングで知られたヤクルトスワローズの元選手の愛称から取った。

水戸商工会議所の副会頭時代には、落語会のイベントを立ち上げ、機運は盛り上がりつつあった。ちなみに、水戸市内にある県立図書館では、ほぼ毎月、大学生による寄席も開かれており、水戸には気軽に落語を楽しむ下地があった。

「前の会頭もミュージカルの演出をやるような



席亭の内藤学さん

人で、そういうのが好きな役員が集まっていた。落語会のキャスティングをやってくれた人にも相談し、本気度を伝えました。それから出資者を募って改装費用をまかない、運営団体を立ち上げました」

宮下銀座にあった築 60 年の物置を改装することになり、一昨年の秋から、具体的な準備が始まった。さらに、それまでの落語会で交流があった、真打の古今亭菊之丞師に、寄席全体の作りを監修してもらった。菊之丞師は、粋で色気のある噺家として知られる正統派だ。時には「この壁紙では客が見づらい」と指摘されると、全部張り直す作業も厭わなかった。

こうして、地方都市には珍しい常設の寄席が完成。2 日間にわたる古今亭菊之丞師を招いたこけら落としのチケットは、すぐに完売し、その後の

公演も、客が途切れることはない。

とはいえ、客席の定員は 50 人にも満たず、例え毎回満員となったとしても、儲かる事業とは思えない。「道楽」と笑う人が出て不思議ではないが—。

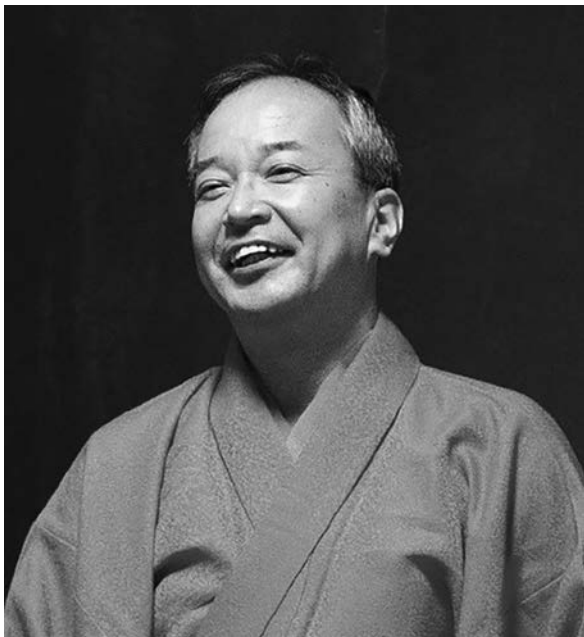
「運営母体として立ち上げたのが『一般社団法人まちコンテンツ共創協会』です。市民会館にもコンテンツを提供したり、ここに呼んだ若手の落語家が大きなホールでやるようになったりして、お客を呼んでペイできたら。我々も経営者。長い目で利益を出していかないとね。出資してくれた人たちにも、ゆくゆくはお金を返していきたいし」

早くも、「宮下銀座」に立ち並ぶ飲食店にも、変化が生まれてきているという。

「土曜日の公演が終わった後に、お店に立ち寄る人が増えているようで、客層も変わったみたいです。人が集まる寄席を拠点に、笑いで元気な街にしたい。地域経済の活性化にお役に立ちたいですね。あと、子供たちに楽しんでもらう『学校寄席』もやってみたい」

徐々に常連客も付き始め、この日も噺を聞き終えた客が、次回の予約をする姿もあった。噺家の間でも「水戸みやぎん寄席」の存在が話題になり始め、寄席の大きさが生み出す、客との程よい距離感が好評だという。

「常設の寄席がある街、水戸」。地方都市では無二の魅力を定着させる挑戦に、今後も注目したい。



有難亭 良慈緒（ありがてい・らじお）

茨城放送営業事業部勤務。

1991年、アナウンサーとして入社。2009年、取材がきっかけで故三遊亭圓窓師から落語指南を受けるようになり、社会人落語連「有難亭」に参加。現在の「有難亭」は千葉県香取市が拠点だが、牛久市や常陸太田市などでも、不定期に高座に上がっている。

2月23日（祝日）には「水戸みやぎん寄席」を借り切って、社会人落語の会「おしゃらぐの会」の一員として高座に上がる。

土壌微生物の多様性を高める！ 農耕地に炭素を貯留する「耕さない農業」

茨城大学農学部 小松崎 将一

はじめに

農業分野においては、環境負荷の低減から、農耕地への炭素貯留によるネガティブ・エミッションの役割が期待されています。農耕地の炭素貯留量については、農林水産省は、カバークロップの利用や不耕起栽培について、化学肥料・化学合成農薬を原則 5 割以上低減する取り組みと合わせて行うことで地球温暖化防止や生物多様性保全に高い効果をもたらす営農活動と位置づけて、2011 年度から日本型直接支払により支援しています。さらに、農耕地を対象とした炭素クレジットの動きも活発化しており、もみ殻などの有機物の炭化物であるバイオ炭（方法論 AG-004）が国内における温室効果ガス排出削減・吸収量認証制度（Jクレジット）に認定され、炭素取引が始まっています。

不耕起栽培やカバークロップに対して農地土壌への炭素クレジットとして、欧米では炭素貯留対策として進められていますが、我国では未着手です。その理由としては、日本のようなモンスーンアジアなど雑草圧の高い地域において、半自然的な管理である不耕起による「耕さない農業」の適用は単位面積当たりの生産性を追求する農業論からは逸脱しており、これらの取り組みは非常に少ないのが現状です。

本研究では、このような国内外の状況の中で、気候変動の緩和に寄与する農法に関して、大学農場の長期試験圃場における不耕起とカバークロップの長期輪作モニタリングを通じて、土壌炭素の増加とその脆弱性に関する科学的根拠を得ることを目的としました。

土壌による炭素隔離

植物体は光合成により大気中の二酸化炭素を取り込み、これらの植物遺体が土壌中で分解する過程で「腐植」や「土壌有機物」として数百年から数千年という長期間にわたって安定的に土壌中に蓄積される。土壌中に蓄積された炭素は長期間にわたって大気中の炭素循環から隔離されることから、土壌における炭素隔離機能（carbon sequestration）とよばれ、二酸化炭素の吸収源となります。

土壌中に存在する炭素量は、2 兆 5000 億トン（有機炭素として 1 兆 5500 億トン、無機炭素として 9500 億トン）と見積もられ、土壌の炭素貯留は大気中の炭素量（7600 億トン）の 3.3 倍であり、生物界の炭素量（5600 億トン）の 4.5 倍に相当します（Lal, R. 2004）。土壌の炭素貯留量は莫大であり、その増減によって大気中の二酸化炭素濃度の変化に大きな影響を及ぼすことになります。例えば、Lal, R. (2004) は、産業革命以前までの炭素放出は、農地開発などの土地利用の変化により 3200 億トンのみであったのに対し、産業革命以降の最近 200 年の間をみると化石燃料の使用による放出が 2700 ± 300 億トンであり、土地利用の変化による放出が 1360 ± 50 億トンとなることを試算し、土壌管理のあり方によって非常に多くの炭素を放出してきたことを指摘しています。

2015 年に開催された国連気候変動枠組条約第 21 回締約国会議（COP21）において、2020 年以降の新たな法的枠組みとなる「パリ協定」が採択されました。ここでは農地等における炭素貯留

機能の重要性が言及されており、「日本の約束草案」（地球温暖化対策推進本部決定）として、農地土壌炭素吸収源対策の推進により二酸化炭素換算で約 790 万 t の吸収量を確保することが目標とされています。

わが国においては、農耕地の炭素貯留量増加については、堆肥の利用がすでに検討されています。農林水産省地球温暖化対策本部（2009）はわが国の農地土壌の炭素貯留量（1994－1998 年の平均）について、水田で 1.85 億トン、普通畑で 1.64 億トンおよび樹園地で 0.3 億トンであり、合計 3.8 億トンと試算している。これらの土壌炭素貯留量は有機物投入や耕うんなどの管理作業などに応じて変動する。各試験場における有機物の長期連用試験の結果をもとに、全国の農耕地に稲わら堆肥を年間 10～15 トン/ha 施用することで年間約 205 万トンの炭素を新たに貯留することができると試算されています（農林水産省生産局環境保全型農業対策室、2007）。この量は約 50 万世

帯の年間の二酸化炭素排出量の吸収源に相当します。

一方、カバークロップの利用においても土壌炭素の増加が期待されますが、その定量的効果についての知見は不足しています。カバークロップとは、収穫を目的としないで、できるだけ圃場を植生で被覆し、有機物マルチを形成し、雑草抑制と同時に有機物供給による肥料効果も期待できます。いま、肥料代・燃料代高騰などあいまって、カバークロップ利用によって圃場内の残留養分を回収し、有機物を土壌に還元し、土壌由来の養分供給を高めることを通じて、化学肥料に依存しない技術として改めて注目されています。カバークロップや堆肥、バイオ炭など土壌中に有機物を還元をすすめることで、還元された有機物の一部が腐植として土壌中に長期的に貯留させることが可能です。

1980 年代にオハイオ州立大学の Rattan Lal 教授が、不耕起栽培による土壌炭素貯留効果が報告



図 1 茨城大学農場での長期輪作試験圃場の有機大豆栽培（A）、プラウ耕（B）、不耕起栽培（C）およびロータリ耕うん（D）の風景

されて以来、土壌侵食の抑制と同時に、不耕起栽培による土壌炭素の蓄積に伴う温室効果ガスの吸収源対策として位置づけられています。現在、全米農地の37%、減耕うん栽培が35%を占めるなどいわゆる「保全耕うん」が広く実施されています。しかしながら、日本のようなアジアモンスーンの気候条件の中で、果たして不耕起栽培やカバークロップの利用が土壌炭素貯留に有効なのでしょうか？

耕さない農業が炭素を貯める

農業にとって、「耕す」ことは大切です。「耕す」とは「たかえ（田返）す」の音変化が語源となり、よい作物栽培にとって必須の作業と考えられています。しかし、実は作物栽培にとって、播種と収穫はなくてはならない農作業であり省略することはできませんが、耕したり、雑草をとったり、施肥したりするのは、作物の生育環境を整えるための作業であり、場合によっては省略できる作業なのです。「耕す」ことを「^{こううん}耕^ん」と書きますが、「^ん耘」とは「くさぎる」ともよみ、田畑の雑草を取り除く意があります。なぜ耕すのかという問いに答えると、田畑の土をひっくり返して、雑草を抑制するためです。もし、雑草が抑制されれば耕す必要がないのです。雑草を抑制する方法は、除草剤による方法がひろく行われていますが、有機栽培や減農薬栽培では、カバークロップを栽培し、その

残渣で圃場表面を被覆し、雑草を抑制し、その後草刈などで作物を栽培する方法もあります。

茨城大学農学部国際フィールド農学センターにおいて、カバークロップと耕うん方法による炭素貯留への影響のモニタリングサイトを設置し、農耕地の炭素貯留と作物生産性について長期観測しています。ここでは、耕うん方法（不耕起、土を反転させるプラウ耕、および土を攪拌するロータリ耕^{かくはん}）およびカバークロップの種類（ヘアリーベッチ、ライムギおよび裸地）を組み合わせ、夏作に2003年から2008年までオカボを、2009年以降はダイズを栽培しています（写真A）。この圃場において、土壌中の炭素の変化を測定し、農法の違いによる土壌中の炭素の増加・減少の定量的な評価と、農耕地から発生する温室効果ガスのモニタリングを行いました。

土壌炭素貯留量の推移をみますと、最初の数年は、作物の収量および土壌炭素量について処理間では有意な差がありませんでした。しかし、継続3年目からは不耕起区の表層で土壌中の炭素が増加する傾向が認められ、継続8年後には不耕起区では耕うん区（プラウ耕とロータリ耕）に比べて10～21%増加しました。2008年から夏作物をオカボからダイズに変更しました。ダイズ栽培前の2008年の土壌炭素量をみると、プラウ耕の冬作裸地区でもっとも炭素貯留量が少なくなりましたが、プラウ耕においても冬作にヘアリーベッ

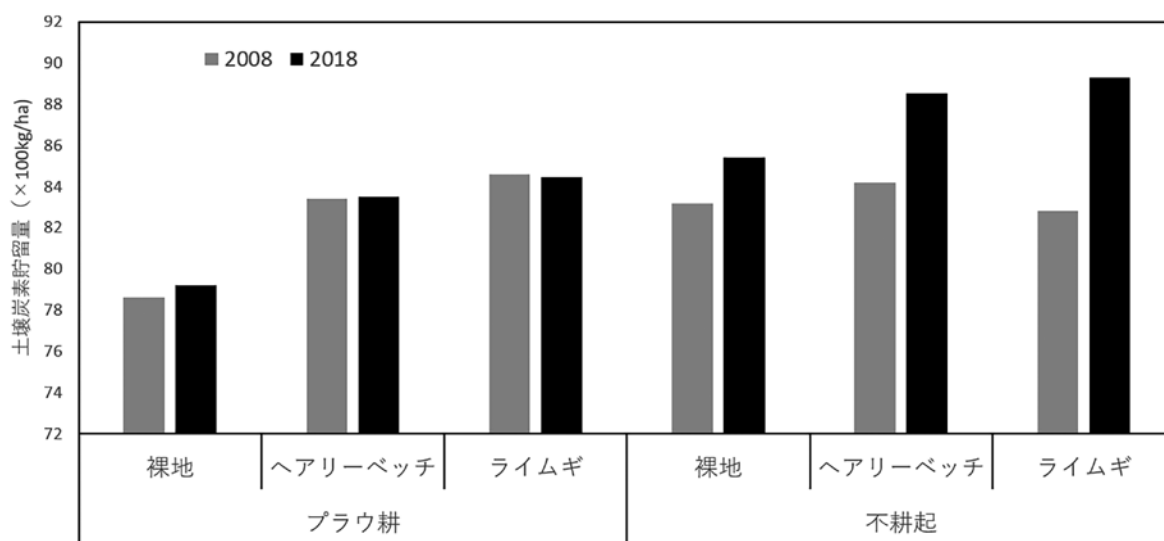


図1 耕うん方法とカバークロップの利用が土壌炭素貯留の増減に及ぼす影響。2008年のダイズ栽培前の土壌炭素貯留量と2018年の土壌炭素貯留量を示す (Gong, Y. et al. 2021)

チやライムギを作付けすることで、裸地区に比べて5から7%炭素貯留量が大きくなりました(図1)。不耕起栽培では、冬作カバークロップの作付けの有無にかかわらず、プラウ耕の冬作裸地区に比べてやはり5から7%炭素貯留量が増加していました。それぞれの耕うん方法とカバークロップの利用を継続した結果、2018年には、プラウ耕では、10年間に土壌炭素の増減は認められませんでした。しかし、不耕起栽培では、2008年に比べて2018年では、裸地区で2.6%、ヘアリーベッチで5.1%、さらにライムギでは7.8%の増加を示しました。このことから、不耕起栽培にカバークロップを組み合わせることで土壌炭素貯留量を増加させることが認められました。また、プラウ耕においてもカバークロップの導入によって土壌炭素が高く維持できることも注目されます。

炭素貯留によって微生物の多様性を高める

この圃場において、農法の違いによる土壌中の炭素の増加・減少の定量的な評価と同時に、土壌

呼吸量の変化ならびに土壌微生物群集構造との比較を行いました。調査期間中、不耕起あるいはライムギカバークロップの利用は、プラウ耕および冬作裸地での測定されたデータと比較して、土壌呼吸量および土壌炭素貯留量を増加させました。長期輪作試験圃場における18年間の調査から、土壌微生物群集構造とそれらのバイオマスに対しては、カバークロップ処理よりも耕うん方法の方が大きな影響を与えることが示されました(図1)。また、不耕起栽培やカバークロップの利用は、土壌中のATP含有量、基質誘導呼吸、および菌類の指標としてのエルゴステロール含有量など土壌微生物のバイオマスに関連する指標を増加させ、不耕起>プラウ耕を示しました。同時に、微生物群集構造の比較においては、不耕起栽培ではプラウ耕と比べて細菌のアルファ多様性が著しく向上しました。これは、細菌のChao1指数とシャノン指数の上昇に関連していました(図2)。

農法の組み合わせと土壌炭素貯留および土壌呼吸量の関係では、不耕起栽培とカバークロップの

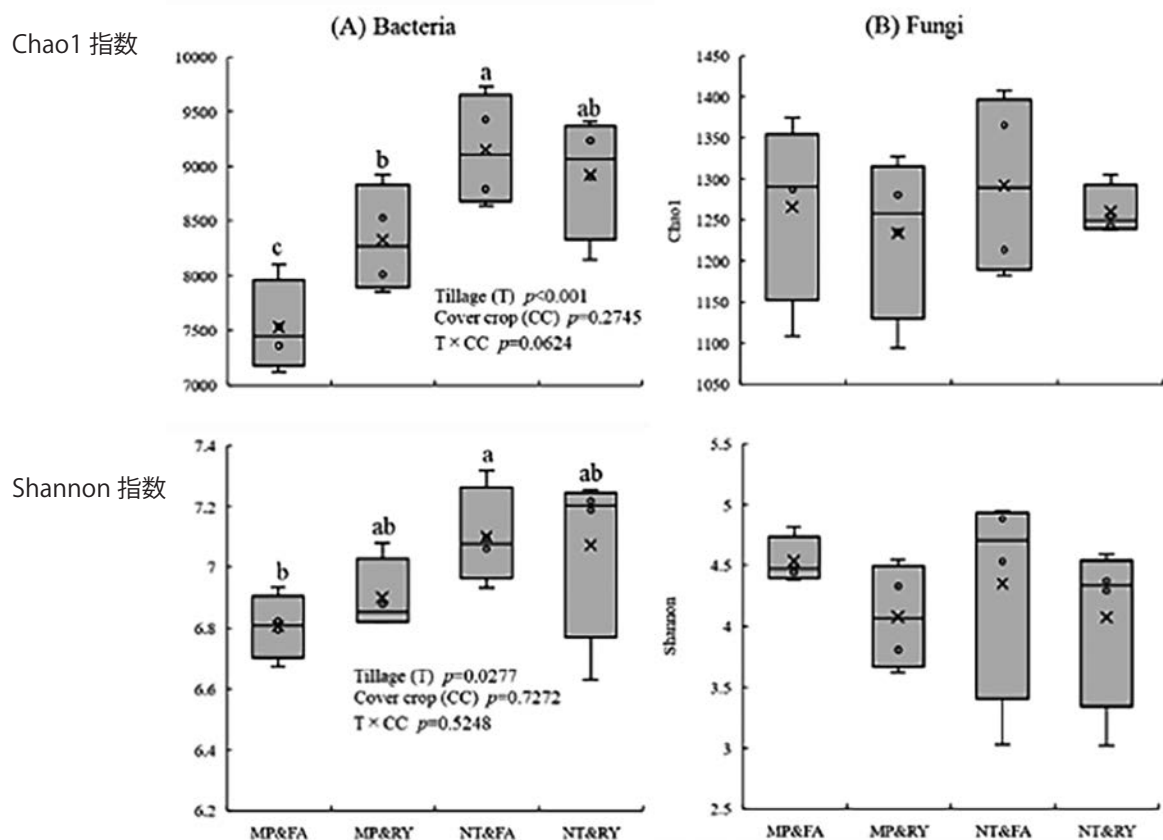


図2 プラウ耕 (MP) および不耕起 (NT) と冬作裸地 (FA) および冬作ライムギ (RY) が細菌 (Bacteria) と糸状菌 (Fungi) の多様性指数 (Chao1: 上図、Shannon: 下図) に及ぼす影響の差異。箱ひげグラフ中の同一の英添え字の間の数値は、Tukey-Kramer test において $p < 0.05$ 水準で有意差がないことを示す (Gong et al.2002)

組み合わせで、土壌炭素貯留が大きくなる一方で、細菌の多様性や土壌微生物バイオマスが増加する（図3）と同時に、たんぱく質や糖分解に寄与するバクテロイデス属、キノコなどの担子菌門、および酵母などを含む子囊菌門などの有機物分解者の相対的存在量も増加することで、土壌呼吸量が増加しました。

以上の結果は、不耕起栽培やカバークロップの利用が、日本の潤湿亜熱帯気候における黒ボク土の土壌微生物特性の改善に役立つことを示唆しています。一方で、微生物多様性の向上による土壌呼吸量の増加は、有機物の分解を促進するものであり、黒ボク土の土壌炭素隔離に対する潜在的な脆弱性が高いことを示しています。これは、不耕起栽培の微生物バイオマスの増加は、土壌炭素貯留にとっては「もろ刃の剣」となる可能性もあります。不耕起やカバークロップの導入によって改善された土壌炭素についても、一定の脆弱性があることを踏まえて、今後、気候変動緩和に向けた農業システムについて理解を深める必要があります。

土壌炭素と土の健全性

これらの長期試験圃場において、土壌全炭素、土壌全窒素、C/N比、可給態リン酸、交換性カリウム、交換性カルシウム、交換性マグネシウムおよび交換性ナトリウム、陽イオン交換容量、腐植

化度、土壌乾燥密度、土壌硬度、土壌粒度分布、および土壌微生物の基質誘導呼吸量を測定しました。また、農法ごとの作物収量を求めました。これらの土壌パラメータを正規化しその積算値（＝土壌評価値）と土壌炭素量との相関分析を行った結果、土壌炭素量が増加するにつれて、土壌の化学性、生物性、物理性および生産性が改善されることが明らかとなり、不耕起とライムギのカバークロップ利用で、最も高い土壌炭素を示し、かつ最も高い土壌評価値を得ました（図4）。とくに、土壌炭素は土壌中で有機物の形で存在します。土壌有機物が土壌中に蓄積されることで、土壌由来の養分が増加することが生産性向上に結び付いたのではと考えています。

農耕地の土壌に炭素を貯留することが、農地の生産力の維持増進にとって大切であることは以前より知られていましたが、本研究の成果から、不耕起栽培とカバークロップを組み合わせることで、農耕地における地球温暖化係数を削減すると同時に、土壌の示す化学的、物理的、生物学的なパラメータと生産性に係る機能が向上することで、環境保全と生産性という相互に利益のある農法となることが認められました。

おわりに

近年、環境再生型農業（リジェネラティブ農業）に関する関心が高まっています。農地の土壌を健

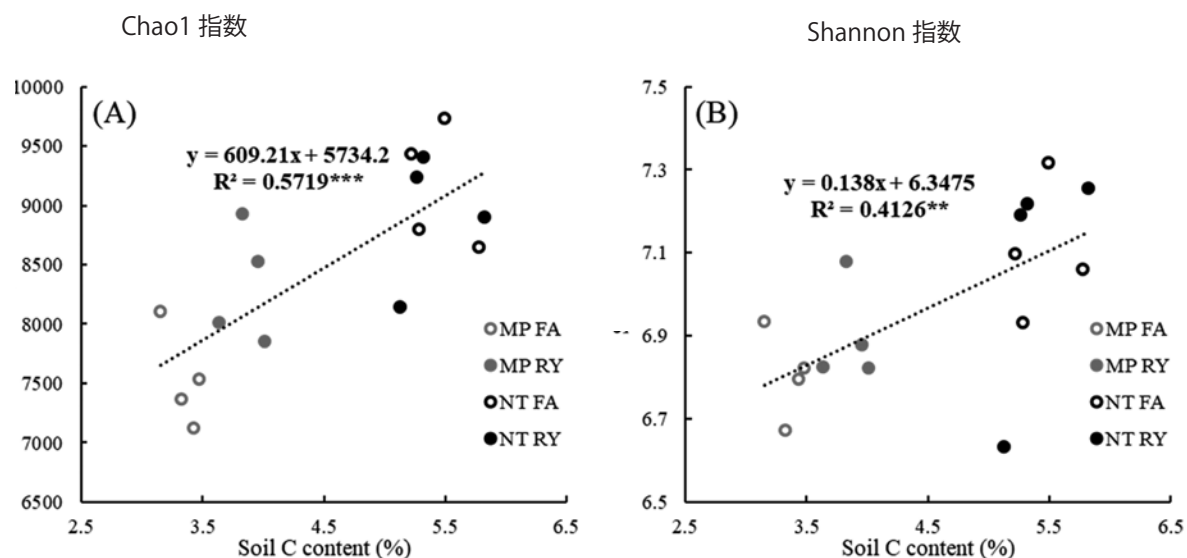


図3 土壌炭素の含有量と土壌微生物の多様性指数（Chao1：右、Shannon：左）の関係。決定係数の**と***の表記は、それぞれ $p < 0.01$ および $p < 0.001$ の有意水準を示す。図中の点はそれぞれプラウ耕（MP）および不耕起（NT）の耕うん法および冬作裸地（FA）および冬作ライムギ（RY）の組み合わせを示す（Gong et al.2022）

康的に維持するばかりでなく、土壌を修復、改善しながら自然環境の再生を促す農業のあり方が注目されています。世界食糧農業機関（FAO）は環境を保全する農法として、土壌をかく乱しない（不耕起）、土壌を植生で被覆する（カバークロップ）、および農地に多様性を維持する（輪作）の3つの取り組みをあげています。これらの取り組みは、土壌の豊かさを高めることを通じて炭素を土壌に取り込み気候変動の緩和策としても注目されています。

今回の成果は、日本のようなモンスーンアジアにおいても不耕起栽培とカバークロップの利用が土壌炭素を高めることから二酸化炭素吸収源となることを示しています。しかし、炭素貯留に伴う土壌微生物のバイオマスとその多様性の向上は、土壌有機物の分解を促進する作用もあり炭素貯留としては脆弱性があることを十分に理解すること

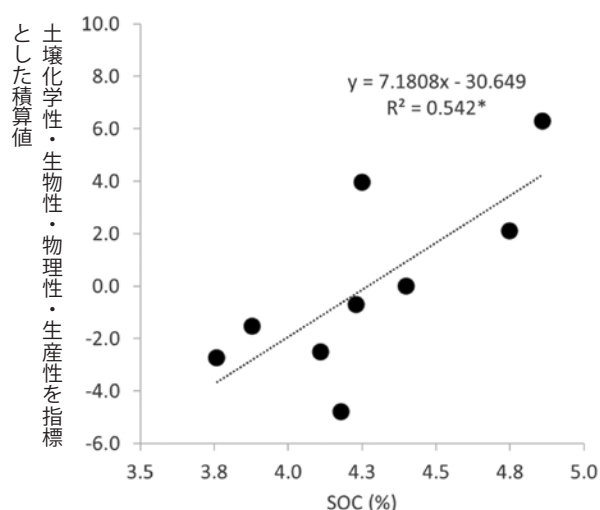


図4 土壌炭素と正規化した土壌化学性、土壌物理性、土壌生物性のパラメータおよび作物収量のパラメータの総計との関係 (* $P < 0.05$.)。データは、Wulanningtyas et al.(2021)

が必要です。そのうえで、土壌炭素貯留を高く維持したまま作物生産を持続させていく農業技術開発が新たな課題として提起されました。

参考文献

- Lal, R. (2004). Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. *science*, 304(5677), 1623-1627.
- Gong, Y., Li, P., Sakagami, N., Komatsuzaki, M. (2021). No-tillage with rye cover crop can reduce net global warming potential and yield-scaled global warming potential in the long-term organic soybean field. *Soil and Tillage Research*, 205, 104747.
- Wulanningtyas, H. S., Gong, Y., Li, P., Sakagami, N., Nishiwaki, J., Komatsuzaki, M. (2021). A cover crop and no-tillage system for enhancing soil health by increasing soil organic matter in soybean cultivation. *Soil and Tillage Research*, 205, 104749.
- Gong, Y., Li, P., Guo, Y., Aso, H., Huang, Q., Araki, H., Nishizawa, T., Komatsuzaki, M. (2022). Long-term no-tillage and rye cover crop affect soil biological indicators on Andosols in a humid, subtropical climate. *European Journal of Soil Science*, e13306.



小松崎 将一（こまつぎき・まさかず）

1964年生まれ、博士（農学）。茨城大学教授。専門は、農業環境工学。茨城大学農学部農業工学科卒業後、茨城大学農学部附属農場助手、准教授、ノースカロライナ州立大学客員准教授を経て現職。日本農業工学会賞受賞。主な著書は、「有機農業大全—持続可能な農の技術と思想—」コモンズ刊。

水素製造に向けて HTTR 再加速

高温ガス炉が実現するグリーンイノベーション

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉プロジェクト推進室 坂場 成昭

1. はじめに

高温ガス炉は、900℃を超える非常に高い温度の熱を原子炉から取り出すことができることから、水素製造を含む、様々な熱利用が可能である。また、安全性にも極めて優れた原子炉であり、GX（グリーントランスフォーメーション）実行会議において、次世代革新炉と位置付けられ、実用化に向けた開発計画が策定された。高温ガス炉を様々な熱利用（製鉄、燃料電池車等での水素、蒸気の利用、石油化学、化学工業分野等での熱、蒸気、水素の利用、低温熱による地域暖房）に用いて、温室効果ガスの排出量削減、2050 年のカーボンニュートラルに貢献することが期待されている。

2. わが国の高温ガス炉実証炉開発計画

2022 年 12 月 22 日に開催された、GX 実行会議（第 5 回）で、西村 GX 実行推進担当大臣兼経済産業大臣が提出した「GX 実現に向けた基本方針（案）参考資料」においては、高温ガス炉の実証炉を 2030 年代に運転開始することを目標*と定め、高温ガス炉と高速炉の実証炉の開発・建設・運転等に、今後 10 年間で約 1 兆円の投資を行うこととされている。

また、これに先立ち、経済産業省の第 4 回総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 革新炉ワーキンググループ（開催日：2022 年 7 月 29 日）において、カーボン

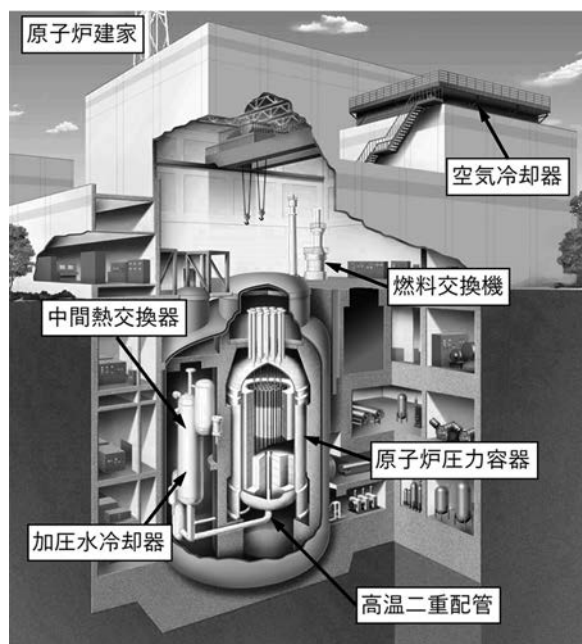


図1 HTTR（高温工学試験研究炉）

ニュートラルやエネルギー安全保障の実現に向けた革新炉開発の技術ロードマップ（骨子案）の中で、導入に向けた技術ロードマップ（高温ガス炉）が示された。本技術ロードマップでも、高温ガス炉実証炉の運転開始は 2030 年代とされた。

さらに、2022 年末に、政府が閣議決定した 2023 年度当初予算案では、原子力関連の新規事業として、岸田政権が推進する「次世代革新炉」の研究開発支援費のうち、当機構が大洗研究所に所有する HTTR（高温工学試験研究炉）を活用しつつ実施する「高温ガス炉実証炉開発事業」に 48 億円（国庫債務負担含め 3 年で 431 億円）の新たな予算が示された。

* 筆者注 事業者等からの個別のヒアリングを踏まえて、「研究開発を進めていく上での目標時期」として策定したもの。「実際に建設を行う場合の運転開始時期等は、立地地域の理解確保を前提に、事業者の策定する計画に基づいて決定されることになる」とされている。

国内高温ガス炉実証炉は、2030年代の早期運転開始を目指しており、この実証炉は HTTR の建設等で蓄積した既存の技術の延長線上において実現可能で、大きな技術革新が不要な原子炉とする計画である。

3. 高温ガス炉とは

高温ガス炉は、既存の軽水炉と同様にウランを燃料とする原子炉であり、ウランの核分裂で発生した熱を、最高 950℃ の高温のヘリウムガスとして炉外に取り出すことができる。

高温ガス炉の歴史は、1950 年代にさかのぼり、米国、ドイツなどを中心に開発が行われ、当時は、高温熱を利用して高効率発電を行うことを目的に開発された。しかし、出力密度が大きく大容量の発電が可能な大型軽水炉に経済性で対抗できなくなり、欧米では開発を中止した。わが国では、1960 年代から、発電ではなく製鉄の還元ガス（水素）製造用の熱源として開発が進められ、当時の日本原子力研究所（旧原研、現在の日本原子力研究開発機構（JAEA））が中心となって、燃料、材料、炉物理、熱流動、高温構造などに関する多様な研究開発を行い、高温ガス炉に必要な国産技術を開発した。

これらの国産技術をベースに、旧原研が HTTR を設計し、三菱重工、東芝／IHI、富士電機／川

崎重工、日立、原子燃料工業、東洋炭素などの民間企業が製作・建設を担当して HTTR を完成させ、1998 年に初臨界、2001 年に全出力運転を達成した（図 1 参照）。欧米においても 1980 年代以降になると、高温ガス炉の高い安全性に着目した小型モジュラー炉、ガスタービン高効率発電炉、水素製造炉が再興し、さらに、2011 年の東京電力福島第一原子力発電所の事故以降は、その優れた安全性のため注目度が各段に高まった。

最近では、温室効果ガス排出量の削減への期待や、発電以外にも熱利用が可能な高温ガス炉に世界各国が注目し、米国、英国、中国、カナダ、ポーランド等で、実証炉や研究炉の開発または建設が進められている。特に中国では、出口温度 750℃ ではあるものの、高温ガス炉実証炉である HTR-PM の定格出力運転、グリッド接続を達成した。

高温ガス炉の燃料は、図 2 に HTTR の例を示すように二酸化ウランの燃料核をシリコンカーバイド（SiC）などの 4 層のセラミックス層で被覆した直径約 1mm の被覆燃料粒子からなり、それら多数の被覆燃料粒子を黒鉛粉で固めて焼結し燃料コンパクトにする。さらに燃料コンパクトを黒鉛製のさや管（黒鉛スリーブ）内に挿入し、その黒鉛スリーブを六角柱型の燃料体黒鉛ブロック内に収め炉心内で積層する。

図 3 には高温ガス炉の安全上の特徴を示しており、セラミック被覆燃料は、金属で被覆する燃料に比べて耐熱性が高く、照射後燃料を加熱炉で昇温させた実験により、約 2,000℃ までにはほとんど破損が起こらないことが明らかにされた。また、減速材として利用する黒鉛はその耐熱性が高く、2,500℃ まで強度が低下することがない（なお、黒鉛は 3,550℃ で昇華）。さらには、冷却材として化学的に不活性なヘリウムガスを用いることにより、水に起因する水素爆発などが起こりえないことも特徴である。このような物性上の特性に加えて、ヘリウムガスを循環する 1 次系配管が破断し、ヘリウムガスが喪失した場合でも、原子炉は自然に停止し、炉心に熱容量の大きな黒鉛

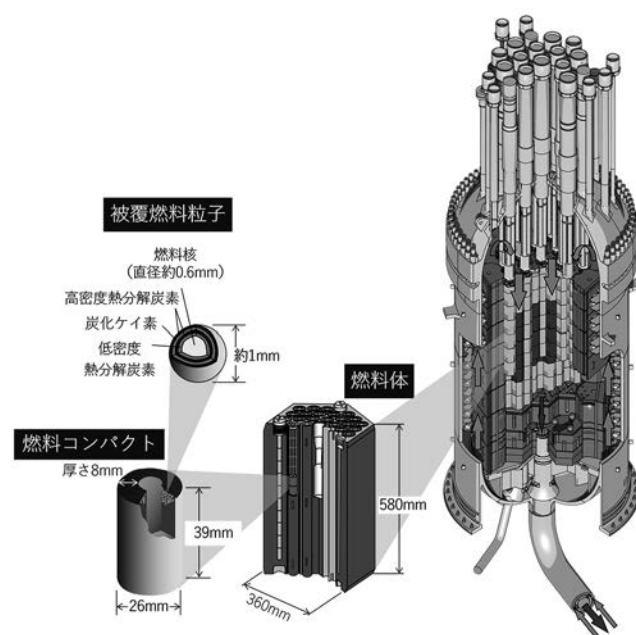


図 2 高温ガス炉 HTTR の燃料構造

材を用いているために、炉心の温度変化は極めて緩慢である。原子炉の停止後も発生する崩壊熱や炉心の残留熱は、ふく射や自然対流により原子炉压力容器を介して外部に放出されるため、燃料温度上昇が抑制され炉心溶融に至ることがない設計が成立することが、高温ガス炉の大きな特長である。

一方で、黒鉛を用いていることもあり、炉心の体積あたりの出力（出力密度）が小さくなり、同じ熱出力の原子炉のサイズが軽水炉より大きくなる。これは安全性とのトレードオフの関係にあるが、発電コストに占める原子炉コストの割合はそれほど大きくなく、詳細設計に基づく評価が今後必要ではあるものの、現段階の評価に基づけば、経済性上の問題とはならない。また、炉心の崩壊熱及び残留熱は、原子炉压力容器外から冷却することが可能である安全上の特長を活かすためには、炉心の大きさを制限することが必要であり、高温ガス炉の出力は 600MWt 程度が最大である。

4. 高温ガス炉の技術的課題

高温ガス炉技術は原子炉技術と熱利用技術に大別される。原子炉技術の多くは HTTR の建設と運転により完成しており、残された原子炉技術の開発は、大型化と使用済燃料処理技術に絞られる。一方、熱利用技術に関しては、熱利用系の接続技術、水素製造技術等の開発が残っている。なお、原子炉技術のうち、1 次系の熱を 2 次系に伝える中間熱交換器に関しては、HTTR において 950℃ のヘリウムガスで熱交換するヘリカルコイル型の熱交換器が開発されているが、運転時間が 10 万時間に制限されており、寿命延長のための材料データの取得や大型化などが必要となる。

使用済燃料処理に関しては、未使用の被覆燃料粒子を用いて、燃料核周りの被覆層を取り除き、燃料核を取り出すための技術の成立

性は確認済みであり、今後、使用済燃料を使ったパイロット規模での技術実証が必要である。一方、セラミックスは長期間の健全性に優れ、そのまま地中に貯蔵することが可能であるため、諸外国は、再処理せずに直接処分することが前提である。

熱利用系の接続技術に関しては、当機構は HTTR に水素製造設備を接続する HTTR 熱利用試験計画を 2022 年度に開始した。これにより、規制対応を含めた安全評価を進め、2030 年までに HTTR の核熱により水素製造を実証する計画である（図 4）。

製造過程で二酸化炭素を発生しないカーボンフリー水素の製造技術に関しては、熱化学法、高温水蒸気電解法により水から水素を製造する方法、メタンの熱分解法により水素を製造する方法など、多様なエネルギー源に対応する技術開発が様々な機関で行われており、今後、高温ガス炉に最適な水素製造法を選定する。

5. 英国、ポーランドとの国際連携

英国は、2030 年代初頭の導入を目指し高温ガス炉実証炉計画を推進している。2022 年 9 月、英国国立原子力研究所 (NNL) と当機構が参加するチームが、英国の新型モジュール炉研究開発・実証プログラムの予備調査を行う実施事業者の 1 つとして採択された。

また、ポーランドは、高温ガス炉を利用した産業界への熱供給を計画しており、2021 年 5 月、ポーランド国立原子力研究センター (NCBJ) は高温ガス炉研究炉の基本設計に関する政府予算

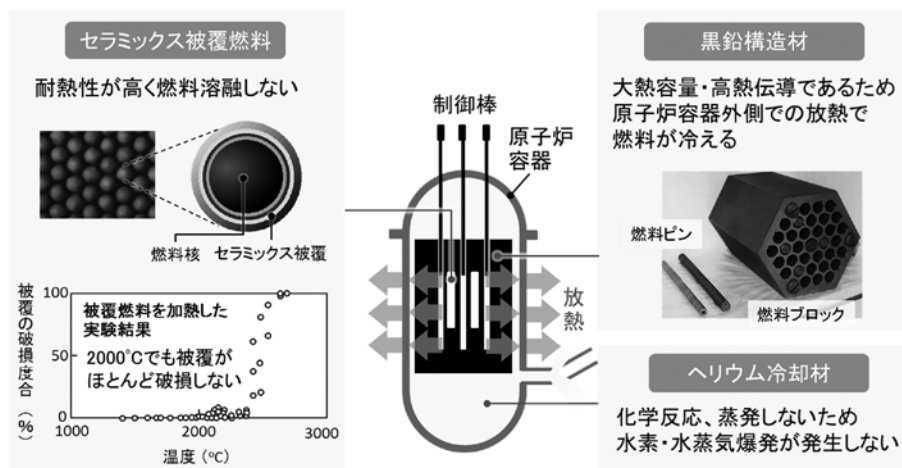


図 3 高温ガス炉の安全上の特徴

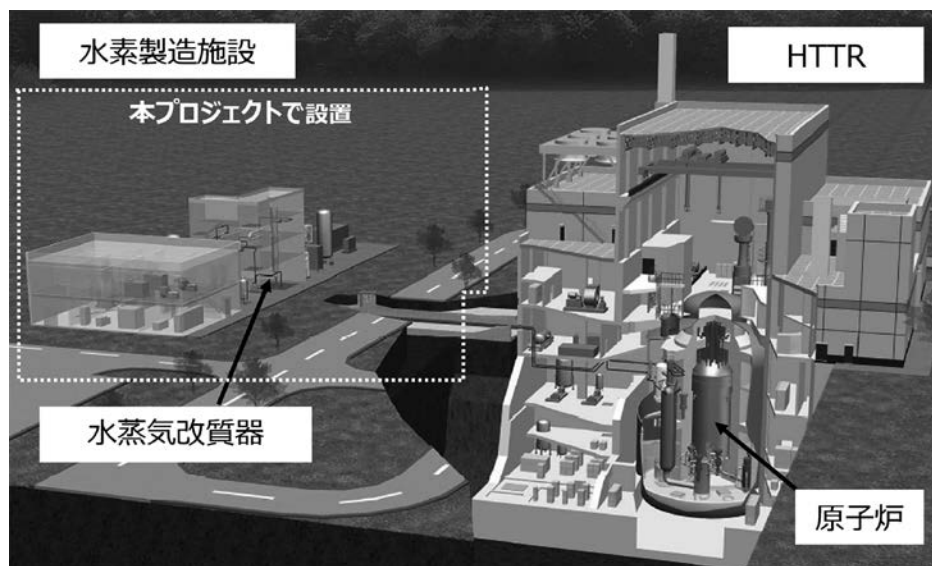


図4 HTTR 熱利用試験計画

まずは、商用技術が確立されている天然ガス水蒸気改質法による水素製造施設を用いて技術を確認。カーボンフリー水素製造施設をHTTRに接続する

(約 18 億円／3 年)を獲得した。2022 年 11 月、当機構は NCBJ との間の研究開発協力に関する実施取決めを改定し、高温ガス炉研究炉の基本設計研究への協力を開始した。

6. 高温ガス炉によるグリーンイノベーション

高温ガス炉が供給可能な最高 950℃の高温の熱を利用することで、水素製造等の様々な熱利用を行うことが可能であり、高温ガス炉の導入により温室効果ガス排出量削減に貢献できる。水素は、水素還元製鉄、燃料電池自動車へ供給が可能で、高温ガス炉（熱出力 250MW）1 基で、燃料電池自動車 20 万台 / 年分の水素製造が可能である。また、高温ガス炉の熱は、石油化学プラント等へ供給が可能で、わが国において原子力はこれまで

発電のみに用いられてきたが、高温の熱は様々な分野で利用可能であり、化石燃料に代替することで温室効果ガスの排出量を削減することが、次世代革新炉である高温ガス炉によるグリーンイノベーションである。

7. おわりに

安全性に優れ、水素製造等の様々な熱利用が可能な高温ガス炉は、2050 年カーボンニュートラルに大きく貢献し得る技術である。当機構は産業界と一体となり高温ガス炉技術の実用化に向け最大限の貢献を果たしたいと考えている。高温ガス炉開発に携わる関係各位に厚く謝意を表するとともに、今後とも一層のご指導、ご協力をお願い申し上げます。次第である。



坂場 成昭（さかば・なりあき）

日本原子力研究開発機構 高温ガス炉プロジェクト推進室長

1991 年早稲田大学理工学部応用化学科卒業、2009 年東北大学大学院工学研究科量子エネルギー工学専攻博士課程修了。1991 年に旧日本原子力研究所に入所。2001 年に英国 NNC（当時）へ原子力留学。茨城県大洗町にある高温ガス炉 HTTR の許認可、建設、臨界試験、機能試験、出力上昇試験、HTTR を用いた水素製造技術開発に従事。2022 年 11 月より現職。国内高温ガス炉実証炉、英国高温ガス炉実証炉、波国高温ガス炉研究炉、HTTR を用いた水素製造事業のプロジェクトリーダーを務める。博士（工学）。

電源や充電器になる有機熱電素子

～ 60℃程度の熱源があれば利用できる～

産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 主任研究員 向田 雅一

1. はじめに

IoT (Internet of Things) によって、自動運転、健康モニタリングや環境モニタリング、様々な検知システム等が実用化され、生活はより便利になっていきます。このIoTにかかせないのが、無線通信技術とともに配線のいらない自立型電源です。自立型電源としては、バッテリーが考えられますが、バッテリーには必ず充電が必要です。電気コンセントから充電すると、アダプター（整流変圧器）が温まります。IT関連機器に必要な電力は小さいため、100Vから数V～数十Vに降圧しなければならず、残ったエネルギーを熱で捨てているからです。もったいない話です。太陽光、地熱、自動車排熱、また将来的には人間を含む生物等の熱源を電気に変えられるならば、電気コンセントを利用しないですみ、二酸化炭素排出量削減に大いに貢献できるはずです。

排熱を電気に変える、熱電変換という技術があります。半導体の性質を利用して、熱エネルギーを直接電気エネルギーに変えます。工業排熱の半分以上はエネルギー回収するには難しい200℃以下であることと有機半導体の発見により、2010年頃からは有機材料での開発が始まりました。本稿では、IoT機器用電源や市販リチウムイオン二次電池の充電器として使える、有機熱電素子の開発過程を説明します。

2. 熱電材料

図1は、熱電変換の原理です。熱電材料では、高温部でキャリア（電子や正孔）が発生（熱励起）

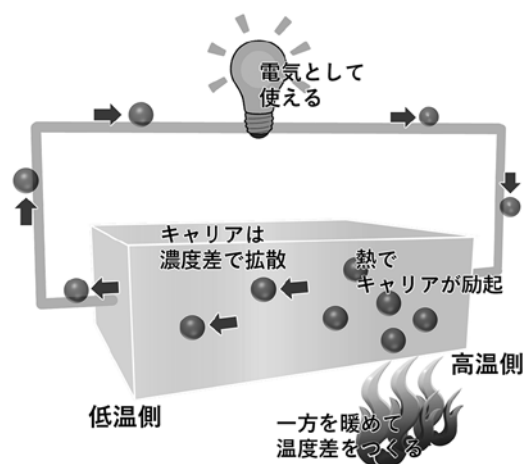


図1 熱電発電メカニズム

し、濃度差によって拡散します。この時、高温部と低温部を外部的につなげると、電流が流れます。温度1度当たりの熱起電力を示すゼーベック係数(S)が大きいほど、温度差を大きくできるように熱伝導率(κ)が小さいほど、そして電気抵抗による損失を抑えるために電気伝導度(σ)が大きいほど、熱電材料としては優れています。これを一つの式($Z = S^2 \sigma / \kappa$)で表したものを熱電性能指数(Z、単位は K^{-1})と言い、熱電性能の指標にしています(Z大が良い)。

κ が小さい有機材料ではSや σ を大きくすることが開発目標となりますが、S及び κ と σ は、それぞれトレードオフの関係にあり、すべの値を同時に改善することはできません。材料特性の向上だけでなく、素子（デバイスやモジュールとも呼ばれます）の設計がとても重要です。

3. 有機熱電素子の設計

有機熱電材料には主材として、PEDOT/PSS

(→ CROSS ワード) という導電性高分子の膜を使います。PEDOT/PSS は、半導体的には p 型で、S の値は $18 \mu\text{V/K}$ (※注 V/K は熱電能単位) です。金属の中で熱起電力が大きい ($-20 \mu\text{V/K}$, n 型なのでマイナス符号) ニッケル (Ni) 膜と、直列になるように交互に積層することで、出力電圧を大きくします。

しかし、表面に不働態膜 (酸化物や水酸化物の膜) が存在する金属材料 (Ni や Al 等) は、有機材料との界面の電気抵抗が大きく、そのままでは使えません。そこで、Ni 膜の PEDOT/PSS と接する部分に、金 (Au) を蒸着し、全体の電気抵抗を抑えます¹⁾。貴金属の代わりに炭素系導電材をコーティングする方法も検討しています。

熱電では、温度差がなければ発電できません。また、出力は温度差の二乗に比例します。そこで、素子全体の温度差を大きくするために、熱を伝えやすい金属 Ni の伝熱部分を細くします。ただし、細くすると電気抵抗が増加して悪影響が生じます。厚さ $50 \mu\text{m}$ の PEDOT/PSS に厚 $5 \mu\text{m}$ の Ni を積層する場合、Ni の伝熱部分の幅をどこまで細くできるか計算してみたところ、2mm 程度の幅が最適とわかりました。詳細は、参考文献をご参照ください²⁾。得られた素子 (縦 22mm × 横 22mm × 幅 20mm、積層数 300 枚) では、 100°C の熱源に置くだけで上端は自然放熱のまま 50 度の温度差を得ることができ、出力密度は約 $40 \mu\text{W/cm}^2$ となりました。

4. IT 機器用電源や 2 次電池用充電器に利用できる有機熱電素子

開発素子の出力電圧は数十 mV なので、IT 機器稼働のために昇圧回路を利用します。昇圧回路の動作には、素子の出力電圧が大きいことと内部電気抵抗が小さいことが必要となります。図 2 に、4.2 V の最大出力電圧が得られる Matrix 社

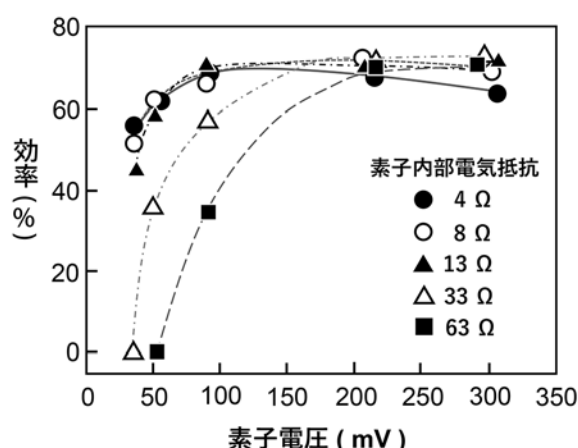


図 2 昇圧回路の出力効率と素子特性との関係

の MCRY-EVALKIT という昇圧回路の特性を示します。効率 70% 程度で安定に動作させるには、素子内部電気抵抗が 63Ω であれば素子電圧が 200mV 以上必要で、素子内部電気抵抗を 13Ω 程度までに抑えられれば 80mV 程度の素子電圧でよいことがわかります。

素子の出力電圧は、枚数 (直列数) で決まるので、膜厚さを薄くすれば、素子全体の大きさが同じでも枚数が多くなり高電圧化できます。しかし、膜厚を薄くすると、電流の流れる方向の断面積は小さくなり、膜の電気抵抗、ひいては素子全体の内部電気抵抗を大きくします。

出力密度 $40 \mu\text{W/cm}^2$ の素子は、製膜時の歩留まり性を優先して PEDOT/PSS の膜厚を $50 \mu\text{m}$ としていました。膜厚を薄くした場合、枚数増加による電圧増大効果と電気抵抗が増えてしまう逆効果がどう影響するかを計算してみたところ、他部材の形状と寸法は同じでも、PEDOT/PSS の膜厚を $20 \mu\text{m}$ とすることで、素子の出力密度が最大となることがわかりました (15% 向上)。そこで、膜厚 $20 \mu\text{m}$ の PEDOT/PSS で素子を試作したところ、出力密度は $72 \mu\text{W/cm}^2$ (80% 向上) と想定以上になりました。

表 1 は、圧縮によって厚さを制御した PEDOT/

CROSS

ワード

PEDOT/PSS

導電性高分子の一種で、熱電材料として利用できる。正式名称は、ポリエチレンジオキシチオフェン / ポリスチレンスルホン酸 (poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/poly(styrenesulfonate))。電気伝導部分の PEDOT 部が基材となる絶縁性の PSS でつながる構造をしている。

表1 PEDOT/PSSの圧縮成形前後の膜厚と電気特性の関係

	膜厚 (μm)	電気伝導度 (S/cm)
圧縮前	23 ± 2	453 ± 144
圧縮後	17 ± 2	831 ± 120

PSSの膜厚と電気伝導度の関係です。圧縮によって薄くすると、電気伝導度が増大していることがわかります。実は、出力密度 $72 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ の素子は、圧縮によって薄膜化したPEDOT/PSSを用いています。原料を少なくして薄くするのではなく、圧縮によって薄くすると、膜を薄くしても電気抵抗が増える逆効果を抑制しながら出力電圧を大きくできたため、想定以上の出力密度が得られたのです。

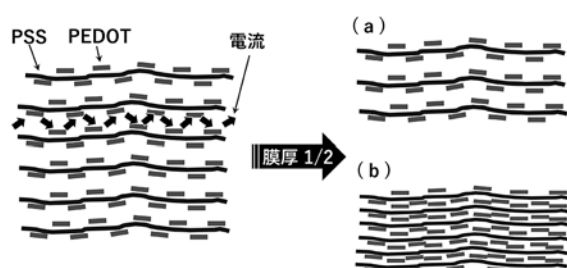
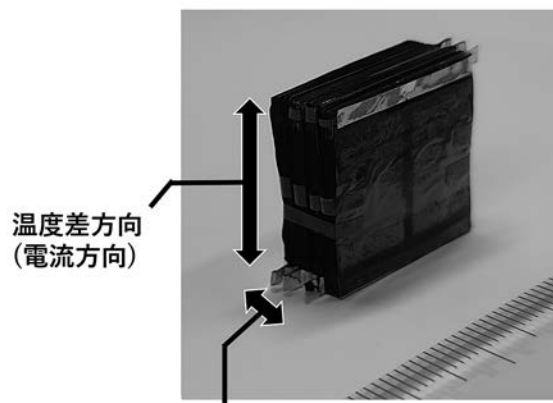


図3 圧縮薄膜化の効果

図3は、圧縮薄膜化の模式図です。PEDOT/PSSは、主鎖である絶縁性のPSSに、電気を流す短いPEDOTが結合しています。つまり、PEDOTがいかに効率よく接触できるかが、電気伝導性には重要となります。一般的に厚さを半分にしたとすると(a)、電気の通り道(伝導パス)も半分となり電気抵抗は増えます。しかし、(b)のように、圧縮によって、伝導パスの数を変えずにかつ層間が狭まることでPEDOTの接触が密にな



この幅に50枚直列ユニットを4つ並列に組み込む

図4 素子の外観写真

れば、電気抵抗を逆に小さくできます。X線回折による構造解析では、圧縮薄膜化すると、PSS間隔がせばまることわかりました。PEDOT/PSSは、PSS間を狭めてPEDOTをより接触させ、電気伝導度を大きくできるポテンシャルを有していたことになります。

図4は、圧縮薄膜化PEDOT/PSSで作製した素子です。内部抵抗を下げるため、直列50枚のユニットを4つ並列につなげています(出力密度 $72 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 、合計200枚、重さ約5g)。高温端の温度 100°C で、40度の温度差がつき(自然冷却)、 $94 \mu\text{W}$ を出力します。出力電圧は70mVですが、内部電気抵抗は 11Ω なので昇圧回路を効率よく動作させます(図2参照)。

図5は、開発した素子を実験用無線通信センサーの

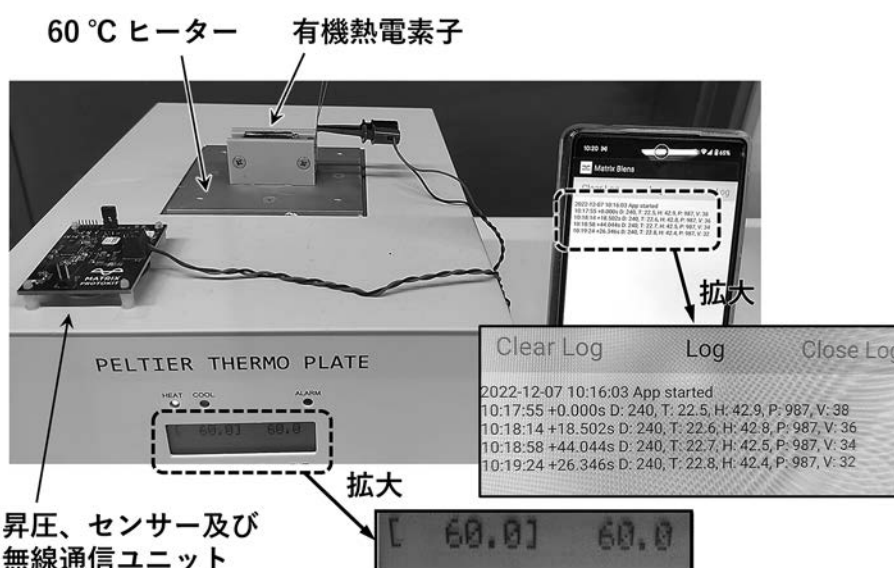


図5 圧縮薄膜化による新素子の使用例

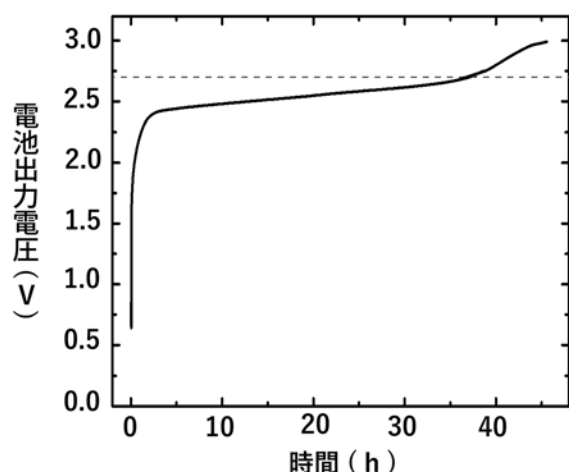


図6 有機熱電材素子の充電特性

電源として使用した例です。60℃の熱源に置くだけで（室温 23℃）、電圧 30 ～ 40mV が得られ、昇圧回路を介して、温度や湿度等のセンサー信号を、無線でスマートフォンに送っています。熱電素子を昇圧、センサーおよび無線通信用ユニットにつなげるだけのシンプルな構成で使用でき、電源を含んだ小型軽量機器を作ることが可能です。現時点で半年以上繰り返し使用していますが、まったく劣化していません。

図6は、この素子を充電器として利用した例です。素子を 100℃の熱源に置き、自然冷却で発電させ、昇圧回路を介して市販のリチウムイオン二次電池（Nichicon 社 SLB03070LR35、定格電圧：2.4V）を充電してみました。数時間で定格の 2.4V に達し、36 時間でフル充電できました。

バッテリーの充電器として使えば、既存機器のデザインを変えずにすむため、製品化はより容易になります。

5. おわりに

今回ご紹介した有機熱電材料 PEDOT/PSS の Z は、 $0.03 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ です。熱電材料の実用化の目安とされている値は $1 \times 10^{-3} \text{K}^{-1}$ と言われているので、とても小さい値です。しかし、消費電力の小さい IT 機器等の電源を対象とすれば、有機熱電素子は実際に使えるレベルに達しています。バッテリーの充電器として利用できることもわかりました。工場や自動車の各種センサー、農地、山岳および極地等の環境モニタリング、家畜の位置情報、人の健康モニタリング等の電源に、原料の入手が容易で製造コストが比較的安く、また製造に費やすエネルギーが小さい有機熱電素子を使えば、発電所から供給される電力消費量、並びに二酸化炭素の排出量を大幅に削減できます。近い将来、有機熱電素子が広く利用されて、電気コンセントからの電力をできるだけ使わない生活がくすることを期待しています。

参考文献

- 1) M. Mukaida, Q. Wei and T. Ishida, Synth. Met., 225, 64 (2017).
- 2) M. Mukaida, K. Kirihara and Q. Wei, ACS Appl. Energy Mater., 2, 6973 (2019).



向田 雅一（むかいだ・まさかず）

国立研究開発法人産業技術総合研究所 ナノ材料研究部門 接着界面グループ 主任研究員

▽1990 年 3 月 東北大学大学院工学研究科博士課程（材料物性工学）修了（工学博士）▽1990 年 4 月 工業技術院 化学技術研究所 入所

▽化学技術研究所は 1993 年 1 月 物質工学工業技術研究所に改組 2001 年 4 月独立行政法人 産業技術総合研究所に再編 現在に至る

▽研究歴：金属、セラミックス、有機材料と、幅広い材料の開発を行ってきた。研究分野は、熱電、熱化学電池等のエネルギー利用関連。市販に至った材料特性評価装置を設計開発した。

▽学会活動：日本セラミックス協会の出版委員長、理事を歴任し、現在は関東支部常任幹事。協会活動有功賞、並びに 130 周年記念振興功績賞を受賞。

民話を用いたケーススタディ授業

－ 保育士養成課程における発達障害への理解を深める －

筑波研究学園専門学校 こども未来学科 佐々木 涼

1. 民話を用いた授業の実践

現在の幼稚園や保育所では保育ニーズの量的拡大と多様化が進み、ADHD（注意欠如・多動症）、LD（学習障害）、PDD（広汎性発達障害）などの発達障害のある子どもや、明確に「障害」があると診断を受けていないものの「ちょっと気になる子」として、発達に何らかの困難がある子どもへの対応が大きな課題とされている。しかし、障害児保育はまだその保育方法が確立され保育現場に定着しているわけではなく、多くの保育現場で試行錯誤のうえ実施されている段階といえる。授業は「ちょっと気になる子」の個々に応じた接し方・関わり方に焦点を当て、筑波研究学園専門学校こども未来学科の2学年99名を対象に行った。

学生が特徴を理解しやすいように、民話「^{きつちよむ}吉四六とつぼ」「一つおぼえ」に登場する“吉四六”と“ぐつ”を紹介した。そして主人公のように振る舞う子どもが、現社会においてはどのような扱いを受けるのであろうか。そしてまた、このような子どもとどのように関わりを持ったらよいのかについてグループで討論し、発表するケーススタディを実践した。そこから生まれた意見には、対象の性格や特徴を理解し、成功に導こうとする学生達の願いが込められ、その願いは図らずも発達障害の特性を押さえた非常に理に適う対応につながるものであった。

2. 取り上げた民話素材のあらすじ

『吉四六とつぼ』

吉四六というあわてものがいた。女房から梅干

を入れるつぼを買ってくるように頼まれるが、店にある逆さまに陳列されたつぼを見て“口のないつぼ”だと勘違いをしてしまう。店主に「ひっくり返してごらんよ」と言われ、ひっくり返すと今度は“底に穴があいている”と勘違いをしてしまう。「このつぼは、みな出来損ないだ」と吉四六はつぼを買わずに帰ってしまった。

『一つおぼえ』

ぐつという男が兄と母親と3人で暮らしていた。兄に罌^{わな}の獲物を見てくるよう言われたぐつは罌にかかっていた雉^{きし}や猪を逃がしてしまう。兄が、「罌にかかっているものは、ひきずってでも家に持って帰ってこい」と伝えると、誤って罌にかかってしまった母親を引きずりながら家に帰り、母親は死んでしまった。その後、葬式をするために和尚を連れてこようとするが、ぐつは牛小屋の牛や木の上にとまっていたカラスを和尚と勘違いしてしまう。また、飯を炊くように言われたぐつは、鍋がたぎり、ぐつ食った、ぐつ食ったと音を出すと「おれはなんも食わん」と腹を立てて、鍋を石の上に叩きつけてしまう。和尚を風呂に入れるためぐつは湯を沸かしたが、和尚が入ると、底の方はまだ水だった。「なんでもええからそこらにあるものをもやしてくれ」と言われたぐつは、その辺にあった和尚の下駄や衣を燃やしてしまった。

3. 登場人物に関わる学生たちの意見

「吉四六とつぼ」

吉四六と関わる登場人物として女房と店主の視点から、どうすれば吉四六はつぼを買ってくるのができたのか、適切な関わりについて考察し

た。どのグループも、つぼの口と底がさかさまだと思っている吉四六の認識をどのように変えればよいかが議論の焦点となっていた。

「さかさまに陳列されていることを知らなければ、つぼを見て一瞬“口がない”と覚えることはあるよね」「うんうん」「でも、店主の“ひっくりかえしてごらんよ”の言葉で気が付くよなあ…」「どうやって説明すれば…」と吉四六の気持ちに寄り添いながら、意見を出していく学生たち…中には、“吉四六にはつぼがどう見えているのか”ペットボトルをさかさまにして眺めている学生もいた。学生から挙げられた意見をまとめたものが以下のとおりである。

【女房の関わり】

- ・一緒に買い物に行く。
- ・買ってきてほしいつぼの絵や写真を見せる。
- ・事前に店に連絡をし、吉四六がつぼを買いに行くことを伝えておく。(吉四六の性格や特徴を伝え、フォローをお願いする)

【店主の関わり】

- ・さかさまに陳列されていることを伝える張り紙を貼る。
- ・見本としてつぼに花や物を入れてあるつぼを陳列する。(使用例がわかるように)
- ・実際に目の前でつぼをひっくり返し、中に物を入れて説明する。

女房、店主共に絵や写真、実演を用いて“視覚的に理解できるように説明する関わり方”が大半を占める結果となった。店のつぼは出来損ない、機能しないと思っている吉四六に対し、“梅干を入れることができる”ことを証明すれば、納得してつぼを買ってくれるのではないかという理由である。また、女房と店主が連携し、買い物をサポートするという意見もあった。吉四六のことを一番理解しているであろう女房が、こうなることを想定して“事前の配慮”が必要だったという考えである。

「一つおぼえ」

ぐつと関わる登場人物として兄の視点から、どうすればぐつは頼まれた仕事を達成することができたのか、適切な関わりについて考察した。学生

達はぐつの認知面や言語、コミュニケーションにおける困難さに対し、どのように関わればよいか頭を悩ませていた。「“獲物を見てこい”だけじゃ伝わらないんだよね」「獲物と人間をどう区別すればいいの…」とぐつの行動から読み取れる心情を考えながら、一步步支援の方法を探っている様子だった。また、罠にかかっている動物を善意で逃がす気持ちの持ち主、兄の指示に素直に従う姿から、ぐつの純粋さを感じ、「なんとかしてあげたい」と議論が熱くなる様子が見られた。学生から挙げられた意見をまとめたものが以下のとおりである。

【兄の関わり】

- ・最初は一緒に罠を見に行き、お手本を見せる。(常に一緒に行動する)
- ・罠にかかっているであろう獲物の絵や人の写真を使って対象を事前に伝える。(和尚の写真を見せる)
- ・何のために罠を仕掛けているのか説明する。(獲物＝動物＝は食べるために持って帰る、人間は助けると教える)
- ・強く怒らない、できることを増やして褒める機会を増やす。(簡単な作業をお願いする、自分の見える範囲の作業のみにする)

吉四六と同様に絵や写真を用いた視覚的な関わり方の意見が挙がる中、常に一緒にいる、“目の届く範囲で作業を頼む”といった意見が多く挙がった。ぐつの行動の多くが、物事の目的を理解していないことによるものではないかという想定から、まずは獲物となる動物の種類や罠を仕掛ける目的について、時間をかけて十分理解させることが重要であるとの意見も多く挙がった。加えて、できること増やすために作業の簡略化を促す、できたときに褒めて自信をもてるようにするなど総じて長期的な支援についての意見もあった。

5. まとめ

今回の授業を通して、民話に描かれた登場人物の関係性や人柄、性格や特徴を感じ取りながら、どのように関わればよいかを真剣に話し合う学生達の姿が見られた。一人ひとりが吉四六、ぐつの気持ちを考え、それぞれの言動・思考を否定する

ことなく、包容的な観点をもって援助・支援の在り方を考察していた。そしてそこから生まれた意見は、図らずも発達障害の特性を押さえた非常に理に適う対応であった。例えば、吉四六、ぐつの両名で多く挙げられた絵や写真を用いた視覚的指示は、発達障害に多く見られる認知面での特徴に対する代表的な対応である。また、作業の簡略化をはじめ少しずつできることを増やしていくというスモールステップの支援は、成功体験を促し、自己肯定感の向上につながる考え方である。学生達は登場人物の性格や特徴をしっかりと読み取り、いい意味で“障害”という概念に縛られず、物事を成功に導こうと“試行錯誤”していた。これは、保育の現場においても同様である。

現在、障害児保育は障害のある子どもも障害のない子どもとともに育ち合う「インクルーシブ保育」を目指している。そして、それらを実践するためには“社会的障壁の除去”とそれに伴う“合理的配慮”“周囲の理解”が不可欠である。社会的障壁とは、障害がある者にとって日常生活または社会生活を営む上で障壁となるような社会における事物、制度、慣行、観念その他一切のものと定義され、①物理的障壁（情報等の障壁を含む）②心理的障壁（慣行、観念を含む）③制度的障壁などに大別される。そして合理的配慮とは、個々の場面における社会的障壁を除去するための取り組みである。障害のある子どもがあらゆる保育活動に参加できるようにするために保育者は、子どもの障害に縛られず、個々に応じてどのような配慮をすればいいのかを常に考えなければならない



佐々木 涼（ささき・りょう）

筑波研究学園専門学校児童教育専攻科、近大姫路大学教育学部通信教育課程こども未来学科卒業。2011年より東京音楽学院いなほ幼稚園に勤務。担任業務をはじめ、障がい児へのプレイセラピー（遊戯療法）等を実施。2016年より筑波研究学園専門学校こども未来学科講師。

が、その配慮は特定の人が行うものではなく、関係するすべての人が対象を理解し、連携することが重要である。

これらは障害児に限らずすべての子どもに対して行われるものであるが今回、学生たちが経験した“試行錯誤”は、障害児保育における“社会的障壁の除去”と“合理的配慮”“周囲の理解”につながるプロセスであったと考える。この“理解”の中には、子どもの性格、特徴に加え障害に対する知識・技術ももちろん含まれる。現代の多様化、重症化する障害児保育において、専門的な知識を得ることは必要不可欠である。しかし、知識だけに偏り、支援がパターン化してしまっただけは個々に応じた合理的配慮とはならない。対象となる子どもが何につまずいているのか、どのような困難があるのか、個人的要因や環境要因から推測し、改善するための最善の方法を考えることが合理的配慮の基本である。今回の授業が、その基本について考えるための機会となってくれたら幸いである。

参考文献

小川圭子・水野智美（2009）「保育者養成校で扱われている発達障害に関する内容 ―発達障害に関する新任保育者の知識と困り感との関係から―」障害理解研究

佐々木 涼（2020）「発達障害への理解を深める授業実践～民話に見る障害の概念～」総合科学研究機構

短歌 老人の海 松崎健一郎

図抜けたる論考ひとつ読みにけり真夏をわれに風吹き抜ける

古寺はたとへば古都の名刹古寺は荒れて狸の棲みてゐる寺

牛すぢを食へばいちばん下の子がきよりきよると言ひしそのオノマトペ

階段のぼる二歳の女兒のふくらはぎししやもの腹のやうなふくらみ

年とれば身の不具合が多くして病院はああ老人の海

他人への批判悪口言ひしひと死にて言はるる悪口批判

失敗をして覚えるといふなれどその失敗の癒えぬ傷口

薄氷を踏むがごときの商ひか薄利多売の八百屋に寄りぬ

踏切の向かうに立ちて苛立てる顔ありわれの苛立ちやみぬ

(まつざき・けんいちろう)

1947年茨城県生まれ。東北大学文学部卒業。水戸市在住。
著書に『親鸞像』、『起源の物語』『常陸国風土記』、『吉本隆明
異和』、歌集に『仕事と日々』(茨城文学賞受賞)、『死者たちの時』(茨
城県歌人協会賞受賞)ほか2冊がある。茨城民俗学会理事。

俳句 山口恭弘

歳月は巡り、また秋から冬へ植物や動物の営
みが続き、人も歳時を味わう。

束の間の美女の賑はひ曼殊沙華

賑はひて幟も踊る秋祭り

山霧や生徒の集ふ谷の駅

小春日や手元で光る墨の跡

枯芝に球追ふ子らや風起こる

寄鍋や二人の語らふ一昔

日を終ふこなから酒や冬の宿

縦書きにクロス

CROSSの動き

法人事務局

2022（令和4）年9月～12月

9月6日 第2回企画委員会をオンラインで開催し、第1回研究懇話会の準備、第2回研究懇話会の日程や発表者の候補、作業部会からの報告、サイエンスQの講師、最近の活動状況、CROSS研究員の状況等について議論した。

13日 第1回研究懇話会をオンラインで開催した。鈴木雅彦氏が「スピン偏極低エネルギー電子顕微鏡による磁性材料の顕微特性に関する研究」、神田久生氏が「合成ダイヤモンドの過去・現在・未来」というテーマで講演、参加者30名と活発な議論が行われた。

27日 科研費説明会をオンライン開催した。コンプライアンス教育、啓蒙活動の一環として実施し、研究不正防止、研究費の不正利用防止について、内部監査の結果、間接費の執行状況、最近の科研費申請、採択状況等について説明し、質疑応答等が行われた。

10月6日 第4回編集委員会をTIST会議室で開催し、第72号の発行について、第73号以降の企画、編集方針等について議論した。

13日 令和4年度の内部監査を中性子科学センターで実施した。科研費及び法人会計及び中性子科学センター交付金に関して公認会計士事務所員、法人事務局及び中性子科学センター事務部とで内部監査を実施し、適正に処理されていることを確認した。

24日 公益財団法人広沢技術振興財団に申請した「ものづくり技術の高度化を担う人材育成に繋がる子供たちのための理科実験・工作出前授業：加地浩成特任研究員他」のテーマが採択された。採択額：100万円、助成期間：令和4年12月6日～令和5年12月5日

11月10日 「CROSS T&T 72号」（特集：「食」を科学で調理する）を発行し、CROSS会員、図書館・公共機関・高等学校等へ配布した。

15日 令和5年度科学研究費助成事業について、研究代表者として総合科学研究センターから2件、中

性子科学センターから13件の応募があり、日本学術振興会に申請した。

15日 第3回企画委員会をオンラインで開催し、11月22日に開催する第2回研究懇話会の進め方についての確認や2月開催予定の第3回研究懇話会の日程や講師等について議論した。

22日 第2回研究懇話会をオンラインで開催した。島雄大介氏が「X線暗視野法の開発と医学応用」、伊藤優香氏が「ひこうき雲の観測と実験」というテーマで講演、参加者19名と活発な議論が行われた。

24日 第4回常任理事会を中性子科学センターで開催し、第3回理事会次第、諸規程改正の概要、諸規程の改正に伴う会議体の構成員について、事務管理業務の集約化及び土浦地区の運営体制の審議、茨城県ビームライン事業の状況説明報告等を行った。

12月8日 第5回編集委員会をTIST会議室で開催し、第73号の発行について、2023年の発行計画、委員会構成等について議論した。

15日 第3回理事会をハイブリッド開催し、組織・運営規則の改正に関する件、就業規則の改正に関する件、が承認され、茨城県ビームライン事業の状況説明、諸規程の改正に関する件、業務執行理事からの報告等に関し議論が行われた。

15日 第5回常任理事会をメール審議で開催し、「土浦地区の謝金及び旅費の支給基準」が了承された。

21日 第4回総合科学研究センター運営会議を開催し、各委員会の活動報告を行い、次年度以降のセンター運営方針に関して意見交換を行った。

CROSS 中性子科学センターの動き

J-PARC 物質・生命科学実験施設（MLF）に関する活動
（2022年9月1日以降の動き）

9月14日～15日 令和4年度中性子イメージング研究会を共同でエッサム神田1号館（東京）とオンライン配信のハイブリッドで開催した。参加者数：2日間でのべ260名（うち会場25名）

26日 金属材料研究会を共同でエッサム神田ホール

1 号館（東京）で開催した。参加者数：11 名

30 日 第 8 回大型実験施設とスーパーコンピュータとの連携利用シンポジウム「電池材料」を共同で、東京秋葉原 UDX にて、現地開催した。参加者数：44 名

10 月 7 日 2022 年度中性子実験技術基礎講習会（レベル 1 講習会）を共同で、オンライン開催した。参加者数：68 名

11 日 第 6 回放射光・中性子の連携利用に向けた合同研修会「小角散乱測定研修会」を共同で、SPRING-8（兵庫県）で開催した。参加者数：4 グループ 5 名

14 日 第 26 回 CROSSroads Workshop「データ解析ソフトウェアの紹介パート 2」を J-PARC センターと共同でオンライン開催した。参加者数：51 名

17 日 有機・高分子材料研究会を共同でオンライン開催した。参加者数：16 名

17 日～11 月 7 日 一般利用課題（短期、1 年（BL11））の公募。一般利用課題（短期、1 年（BL11 のみ））の中性子線共用ビームラインを利用する実験課題の公募を MLF と共同で行った。共用ビームラインには 138 件の一般利用課題の申請があった。これらの課題の採否については 2 月 3 日の利用研究課題審査委員会・中性子課題審査部会で審議が行われ、2 月 13 日に開催される選定委員会で採択が決定される。

19 日 プレス発表「充放電中のリチウムイオン電池内でリチウムイオンの運動を初測定」を実施。総合科学研究機構、東京理科大学、高エネルギー加速器研究機構、J-PARC センターの連名。

26 日 第 14 回材料系ワークショップ～「富岳」での成果を生かした計算物質科学の未来～を共同で東京秋葉原 UDX（東京）とオンラインのハイブリッド

で開催した。参加者数：257 名（会場 22 名、オンライン 235 名）

26 日～28 日 第 22 回日本中性子科学会年会（JSNS2022）を共同で、幕張メッセ国際会議場（千葉県）で開催した。参加者数：241 名（3 日間合計）

11 月 17 日 第 7 回放射光・中性子の連携利用に向けた合同研修会「粉末回折測定研修会」を共同で SPRING-8（兵庫県）で開催した。参加者数：4 グループ 8 名

29 日 茨城県中性子利用研究会 令和 4 年度第 3 回 iMATERIA 研究会を共同でオンライン開催した。参加者数：70 名

12 月 5 日 プレス発表「スピンの揺ぎの直接観測に世界で初めて成功—ナノメートルサイズの磁性を解明し、超小型磁気素子の機能向上へ—」を実施。日本原子力研究開発機構、総合科学研究機構、J-PARC センターの連名。

6 日 中級者向け Z-code 講習会を共同でオンデマンド開催を開始した。2 月 28 日まで配信予定。

6 日 CBI 研究機構 量子構造生命科学研究所 中性子産業利用推進協議会 生物・生体材料研究会合同シンポジウム「MicroED の現状と未来」を共同でオンライン開催した。参加者数：121 名

12 日～16 日 The 6th Neutron and Muon School を共同で開催した。参加者数：18 名、オンライン参加：89 名

28 日 プレス発表「有機物質における量子スピン液体の機構解明に光—パイ電子のゆらぎと絡み合った分子格子振動の特異な温度依存性を初めて観測—」を実施。総合科学研究機構、東北大学、東京電機大学、山梨大学の連名。

編 / 集 / 後 / 記

CROSS T&T 第 73 号をお届けする。コロナ禍は収束の気配を見せながらも終息には至りそうになく、ロシアのウクライナ進攻の行く末も杳としている 2023 年、名のための春である。私事とはなるが、編集子は本号をもって 2012 年から丸 10 年続けた編集進行の責を免じてもらえることになった。数々の不手際にも関わらず、ご寄稿、ご愛読願った各位に感謝する。次号以降の新たな誌面づくりに変わらぬご支援、ご指導を切に願って、一旦筆を措かせていただくことにする。（CROSS T&T 編集委員会／相澤冬樹）

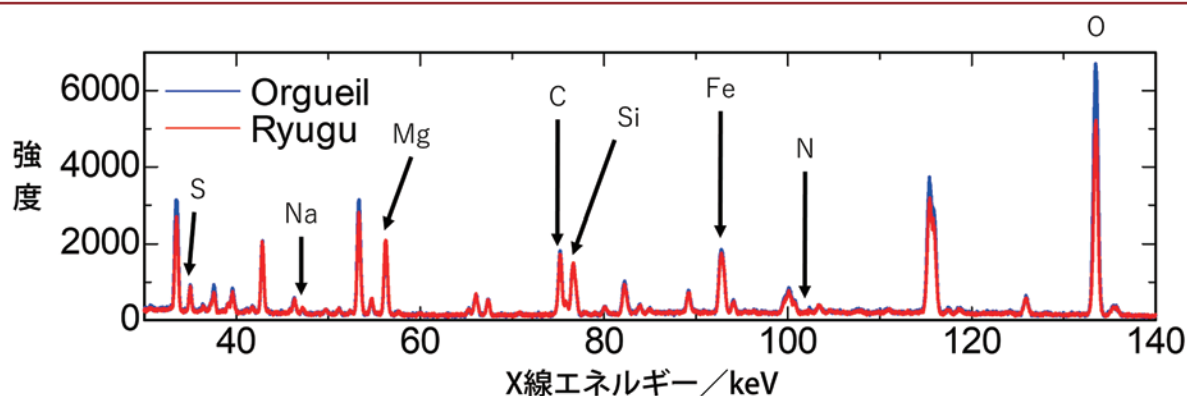


図1 リュウグウ試料とCIコンドライト (Orgueil) のミュオン特性X線スペクトル (本誌6ページ)

カラー
図解



道の駅「常総」完成イメージ (本誌28ページ)

CROSS T&T ー第73号ー

令和5年(2023)3月3日

一般財団法人 総合科学研究機構

理事長 横溝 英明

〒300-0811 茨城県土浦市上高津 1601

TEL.029-826-6251

FAX.029-826-6216

URL: <http://www.cross.or.jp>

【中性子科学センター】

〒319-1106 那珂郡東海村白方 162-1

いばらき量子ビーム研究センター内

TEL.029-219-5300 (代)



CROSS T&T 編集委員会

委員長 相澤 冬樹

委員 久保 稔/北島 重司

水澤多鶴子

事務局 総合科学研究機構 法人事務局

印刷所 松枝印刷株式会社

〒303-0034 常総市水海道天満町 2438

TEL: 0297(23)2333 FAX: 0297(23)5865

No.73
2023.3