

物構研の田中 宏和氏と加速器六系の内山 隆司氏が KEK 技術賞を受賞

物構研トピックス
2023年2月20日

物構研の技師である田中 宏和氏の受賞対象となった技術は「中規模放射光施設での時間分解実験に向けた同期型 X線チョッパーの開発と実用化」です。

時間分解実験とは、ストロボ状の光「パルス光」を利用して、反応過程などの時々刻々と変化する現象を捉える実験です。写真が動画に変わってきたように、物質を動的に捉える時間分解実験は最近多くの研究分野で行われるようになっており、多くの放射光施設ではパルス状の放射光を取り出すために適した運転モードが用意されています。フォトンファクトリー (PF) では「ハイブリッドモード」がそれにあたり、1つの孤立した大強度パルス光と、光が連続した部分を組み合わせることにより、時間分解実験とそれ以外の実験が共存できるようになっています。

時間分解実験を行うには、この中から大強度パルス光のみを取り出す必要があります、その装置が同期型 X線チョッパーと呼ばれる、余分な光 (連続光の部分) をカットする装置です。この装置はビームが通るスリット (開口部) が開いた円盤を、加速器からのパルス光が光るタイミングに合わせて高速回転するものです。

しかし、PF のような周長の短い中型放射光施設の場合、開口時間を短くする、つまり周速 (円盤の外周が動く速度) を上げる必要があります。さらに、試料の電子状態を観測するためには軟 X 線実験に適用する必要があります、装置を高真空下で動作させることも課題でした。

田中氏は、まず真空度の改善のため磁気軸受けを採用しました。また、開口時間を短くする課題に取り組み、シミュレーションを繰り返しましたが、外周が音速近くで回転する円盤にかかる強大な遠心力に耐える回転体形状を見つけるのは難しい課題で、連続回転試験では熱のため破損のトラブルに見舞われたこともありました。しかし、輻射放熱を改善したり、部品のテストを行うなどして、回転速度

をあげることができました。また、ビームを通すスリットに関しても形状加工の難しさに直面しました。これらの問題をひとつひとつ解決して製作した3号機はハイブリッドモードでの実用試験で、従来の空気軸受型と比べて、真空度は2.5桁以上改善され、設計通りにビームが切り出されていることがわかりました。さらに、可搬性を考慮したことやスリットの形状を最適化したため、オンビームアライメント (ビームを照射しながらの調整) の所要時間はほぼ1/10に短縮されました。

徐々に一般ユーザーの実験にも使われはじめ、2021年ごろからはこの装置を使った論文が次々と出版されるようになってきています。現在は、調整方法の確立と可搬装置の設置マニュアルの作成など、様々な場面での使用を想定した整備を進めています。

この技術は、世界中の中型放射光施設で応用できる技術であることから他の放射光施設からも注目されており、2019年にはフランスのSOLEILから共同開発の話が来ていたとのこと。田中氏は「目の前にある課題に集中し、使えるものを利用して頑張ってきた。KEKにとどまらない波及効果のある装置を開発できたと思っている。コロナ禍で保留になっていたが、今後、SOLEIL用のものも開発したい」と話していました。

PFの光源加速器を担当する加速器第六研究系からは、内山 隆司氏が「エネルギー回収型線形加速器 (ERL) のための高輝度電子銃および入射部の極高真空システムの構築」で受賞しました。

ERL (Energy Recovery LINAC) とは、使用後のビーム加速エネルギーを回収し、大強度のビームを提供できる加速器で、KEKでは小型のERLであるcERL (compact ERL) がビームの生成・加速・周回の実証試験、電子銃や超伝導加速空洞などの開発に利用されています。放射光のようなビーム電流を蓄積する加速器とは異なり、cERLは1周するごとにビームが捨てられるので、電子銃から連続して電子ビームを入射し続ける必要があります。大電流かつ低エミッタンスで長時間安定にビームを出し続ける高輝度電子銃では、残留ガスと電子ビームの衝突で発生するイオンが電子銃へ戻って電子を発生する光陰極を衝撃することによる損傷が激しく、それを抑えるためには極高真空 (1×10^{-9} Pa 未満) の実現が必要でした。

内山氏が確立した極高真空技術の下で運転しているcERL電子銃と入射部は、運転開始当時から長期間極高真空を維持し続けており、電子ビームを安定に供給し続けることで数多くの実証実験や研究成果に貢献しています。この極高真空技術は、将来KEKで展開される最先端の加速器技術を駆使したさまざまな計画の実現になくてはならない技術でもあります。内山氏は、「今後は、もっと手軽に極高真空が作れる試験装置の開発をしたい。アウトガ



講演をする田中氏 (左) と内山氏 (右)

ス評価装置の性能向上、極高真空計専用評価装置の開発、NEG コーティング装置技術の開発、特殊フランジ開発などに取り組みたい。」と話していました。

内山氏の受賞対象となった技術は、加速器研究施設のトピックス (<https://www2.kek.jp/accl/topics/topics20230210.html>) に詳しく解説されています。

フォトンファクトリーの利用研究で日本製鉄(株)・先端技術研究所の村尾玲子室長らが日本鉄鋼協会 俵論文賞を受賞

KEK トピックス
2023 年 3 月 24 日

日本製鉄株式会社・先端技術研究所の村尾玲子（むらおいこ）室長、放射光実験施設の木村正雄（きむら・まさお）教授が一般社団法人日本鉄鋼協会 俵論文賞を受賞しました。3月8日（水）に東京大学で開催された日本鉄鋼協会第185回春季講演大会で受賞式が行われました。この論文賞は、日本鉄鋼協会が発行する月刊の査読付き和文論文誌「鉄と鋼」に掲載された論文を対象に毎年選考されます。

村尾氏は、同社の放射光利用研究の主要メンバーそしてリーダーとして、10年以上、KEK との共同研究を通じて、PF（フォトンファクトリー）の様々なBL（ビームライン）を利用して、鉄鋼材料とその原料や製造プロセスに関する研究に携わってこられました。その成果は社内の研究推進に反映されるとともに、学会や論文でも積極的に発表されています。

受賞対象となった論文

【論文タイトル】XRD および XAFS による多成分カルシウムフェライトの還元挙動のその場観察

【雑誌】鉄と鋼, Vol.107 (2021), No.6, pp.517-526

【著者】村尾玲子（日本製鉄（株））、木村正雄（大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構、総合研究大学院大学）

【概要】社会インフラを支える重要な構造材料のひとつである鋼は、焼結鉱と呼ばれる鉄酸化物を高炉（容積 5000 m³ 超の大型反応炉）で連続的に還元することで製造される。焼結鉱は、原料となる数 mm の鉄鉱石（主成分は Fe₂O₃）の粒子をカルシウムフェライト（Fe-Ca-O 系酸化物）で融着（高温焼結）したもので、数 10 μm ~ mm の複雑な気孔網により還元ガスによる還元反応が進行する。そのため、鉄鉱石の融着と気孔網生成のキーとなるカルシウムフェライト形成反応とその還元反応は、鉄鋼製造プロセスの最重要反応のひとつである。しかしながら、天然鉱物である鉄鉱石には、SiO₂ 等の多様な微量鉱物が含まれているため、実際の工業プロセスでは複雑な多成分系カルシウムフェライトが形成され、還元プロセスの素反応は完全には理解されていなかった。

本論文では、複雑な構造を有する多成分カルシウムフェライトの還元挙動を、熱分析を用いた酸素脱離過程の評価、X線回折法による中間生成相の同定、X線吸収分光法による Fe、Ca の局所構造変化を組み合わせた総合的解析アプローチにより解明することに成功した。特にその場(in-situ: 『その場で』という意味のラテン語)測定による観察により、(1) Fe-Ca-O 系複合酸化物が分解と還元の多段階反応により還元されていくこと、(2) 個々の素反応の反応速度は化学種により大きく異なることなど、従来不明点が多かったカルシウムフェライトの還元プロセスでの素反応が初めて明らかになった。こうした素反応メカニズムの解明は、焼結鉱の還元プロセスの高効率化による省エネや省資源さらには CO₂ 排出の削減につながる事が期待され、学術的・工業的にも波及効果が大きいことが高く評価され受賞につながった。

村尾玲子氏の受賞の感想

われわれの研究グループは非平衡不均一な反応である製鉄プロセスの素反応の解明に取り組んでおり、特に高炉原料である焼結鉱に含まれる多成分カルシウムフェライトの生成反応、還元反応のその場観察に高輝度放射光を利用してきました。本研究では、焼結鉱の還元反応についてX線吸収分光法とX線回折法を相補的に用いて反応素過程を明らかにし、結晶学的観点で考察を行った点を評価いただきました。入社以来長年取り組んできた研究の成果を何とか形にすることができ、ほっとしています。その場観察では実プロセスをどのように模擬するかが鍵ですが、本研究では quick-XAFS (X-ray Absorption Fine Structure: 通称ザフス) 法の時間分解能が適しており良いデータが得られました。今後、カーボンニュートラル製鉄に向けて新しいプロセス開発を進める上で、本アプローチ方法や知見を役立てていきたいと考えています。



受賞式の村尾玲子氏と木村正雄教授

PF トピックス一覧（2月～4月）

PF のホームページ (<https://www2.kek.jp/imss/pf/>) では、PF に関する研究成果やイベント、トピックスなどを順次掲載しています。各トピックスの詳細は PF ホームページをご覧ください。

2023 年 2 月～ 4 月に紹介された PF トピックス一覧

- 2. 14 【プレスリリース】 溶質と溶媒が相互に影響し合う機構を原子レベルで直接観測 – 光化学反応における溶質と溶媒和の構造変化を 100 兆分の 1 秒単位で追跡 –
- 2. 16 【プレスリリース】 南極の藻類が赤外線です光合成する仕組みを解明。地球外生命の新たな鍵？
- 2. 20 【物構研トピックス】 物構研の田中 宏和氏と加速器六系の内山 隆司氏が KEK 技術賞を受賞
- 2. 24 【プレスリリース】 小惑星探査機「はやぶさ 2」初期分析固体有機物分析チーム研究成果の科学誌「Science」論文掲載について
- 3. 2 【プレスリリース】 マイクロメートルサイズの微小な粉状結晶の電子構造測定に初めて成功 – 次世代半導体開発や微粒子の物性解明のブレークスルーに –
- 3. 3 【物構研トピックス】 フォトンファクトリーで見分けるリュウグウの有機物
- 3. 4 【物構研トピックス】 フォトンファクトリーの利用研究で日本製鉄（株）・先端技術研究所の村尾玲子室長らが日本鉄鋼協会 俵論文賞を受賞
- 3. 24 【物構研トピックス】 分子の動きを捉える「分子動画」への挑戦
- 4. 6 【プレスリリース】 プレーートの沈み込み帯の短期的な流体移動の痕跡を上盤マントルで発見 – 沈み込み帯における地震活動と流体との関係を示唆 –
- 4. 12 【トピックス】 総研大生らの論文が Physical Review
- 4. 13 【物構研トピックス】 2022 年度量子ビームサイエンスフェスタを開催しました
- 4. 25 【トピックス】 フォトンファクトリー BL-10C を用いた成果を長浜バイオ大学、産総研がプレスリリース
- 4. 26 【トピックス】 測定器試験のためのテストビームライン共同利用開始