

## 05 量子機器 Quantum Equipment

当社の量子機器事業は加速器、マグネット、極低温技術といったコアコンピタンスを基盤として医療、産業機械、学術研究などの分野においてさまざまな製品を提供している。

陽子線治療システムでは、大型のビーム輸送ラインを保持できる新型の回転ガントリーを開発し、このたび性能試験を実施した。その結果、試験は成功裏に完了し、所定の運転性能を確認することができた。患者周りの空間も従来よりも大きくなり、自由度の高い治療を実現できるものとなっている。

ホウ素中性子捕捉療法(BNCT)治療システムでは、患者の被ばく線量の評価のため、中性子とガンマ線が混在している照射場においてガンマ線線量を正しく測定することが重要である。今回開発した光刺激ルミネッセンス線量計(OSLD)を利用したガンマ線検出器は、安定供給ができ操作性にも優れていることから、BNCT照射場の定期的な線量評価に利用可能である。

PET検査用標識RI製剤システムにおいてリリースした

SmartTAG-LQDは、Ga-68生産用の液体ターゲットシステムである。ビーム入射窓に適切な合金と表面処置を選定することで、安定的な照射ならびにGa-68の生産を実現した。

また、当社は火星衛星探査計画(MMX)に参画し、火星の衛星フォボスから砂を持ち帰るサンプル収納部・カプセル搬送部を開発した。機構にばねを使うことで動作の信頼性を高め、さらに採取する砂の科学的価値を損なわないよう、不純物が少なく清浄度の高い真空密封容器を備えた。

イオンビーム利用サービス事業においては、高エネルギーイオン注入で導入された不純物により転位のすべりを妨げるSF-KHII法を開発した。本手法を適用することで、SiCパイポーラデバイスにおける積層欠陥の拡張を抑制することができる。

※「SmartTAG」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

## 新型陽子線治療システム用360°回転ガントリー

当社は、新型陽子線治療システム用360°回転ガントリーを開発した。ラインスキャニングと超高速エネルギー切替えが特長であり、それを実現するためのビーム輸送ラインには、大電流でビームを輸送可能な大型の電磁石を採用している。ビーム輸送ラインを回転保持するガントリーは、任意の角度からの治療を可能とすることから、360°回転型を踏襲しつつ、モノコック型のフレーム構造を新たに採用している。このことにより、従来と同等の回転精度を維持しながらフレーム剛性を向上させ、電磁石の大型化によりビーム輸送ラインの重量は増加してはいるが、従来の全体重量と同等とした。

加えて、ガントリーのベッド周りの開口幅は従来比1.3倍の4.5mを実現し、ユーザビリティを高め、従来のシステムより自由度の高い治療を行うことが可能となった。このほか非常停止機能も刷新し、従来と比べブレーキ性能を高め、緊急停止角度を半分とした。

主要仕様を次に示す。

|                   |                    |
|-------------------|--------------------|
| ・回転角度             | 360°(0～±180°)      |
| ・回転角度設定精度         | ±0.1°(停止精度は±0.25°) |
| ・機械的アイソセンタ精度      | φ 2 mm球以内          |
| ・緊急停止角度           | < 3°               |
| ・ガントリー回転体の回転半径×全長 | 4.6×9.1m           |
| ・重量(回転体)          | 180t               |



〈産業機器事業部〉

## BNCTにおけるOSLDの適用評価

当社のBNCT治療システムNeuCureは、2020年に医療機器承認を受け、2024年までに700例を超える治療が行われている。BNCTに使用される照射場は、中性子とガンマ線の混合場で構成される。がん細胞に対する線量の多くはホウ素中性子捕捉反応によって生成される高線エネルギー付与(LET)粒子から供給されるが、主に身体に含まれる水と中性子との反応で発生するガンマ線からの線量も無視できない。BNCT治療施設の数が増加するなか、中性子とガンマ線が混合した場で、中性子の影響を受けずにガンマ線線量のみを測定できる検出器システムの重要性は増している。

現在、石英ガラスに封入されたBeO熱ルミネセンス線量計(TLD)がBNCT照射場でのガンマ線線量測定に使用さ

れているが、このタイプのTLDはガラス封入に熟練技術が必要であることから、現在、安定供給が困難になっている。そこで、同材質のBeO OSLDを用いたRadpro社の線量計システム(myOSLchip)に着目した。myOSLchipは主に個人被ばく線量計として商用的に利用されており、安定供給が可能で操作性に優れている。当社はBNCT臨床場でmyOSLchipの照射試験・評価を行い、BNCT照射場の定期的な線量評価に利用可能であることを確認した。今後も線量測定技術の改良を行い、BNCTの普及に貢献していく。

※「NeuCure」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。



〈産業機器事業部〉

## Ga-68液体ターゲットシステム SmartTAG-LQD

近年、前立腺がんや神経内分泌腫瘍の陽電子放出断層撮影による診断においてGa-68標識薬剤の有効性が認められ、複数の薬剤が諸外国で薬事承認されている。これに伴い、医療用加速器を用いて、従来の固体ターゲットよりも簡便で従来の液体ターゲット技術を生かしたGa-68の製造方法が求められている。このような背景のもと、当社では医療用加速器HM-12用のGa-68生産用液体ターゲットシステムを開発することとした。

Ga-68は、安定同位体濃縮Zn-68に陽子ビームを照射することによって生成され、液体ターゲットの場合、原料として希硝酸に溶解された硝酸<sup>68</sup>Zn亜鉛が使用される。液体ターゲットでは一般的にビーム入射窓として高強度のコバ

ルト合金フォイルが用いられるが、耐薬品性に難がある。一方で、耐薬品性の高いニオブ材を使用する方法も考えられるが、強度が低いことから厚みを持たせる必要があり、HM-12では適切なエネルギーレンジから外れてGa-68の生産量は低下する。そこで、Havarフォイルの表面に耐薬品性処理を行い、安定的な照射ならびにGa-68の生産に成功した。その結果、ビーム電流40 $\mu$ Aで90分の照射で目標の90mCiより高い101mCiのGa-68を得ることができ、新商品としてSmartTAG-LQDをリリースした。

※「SmartTAG」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。



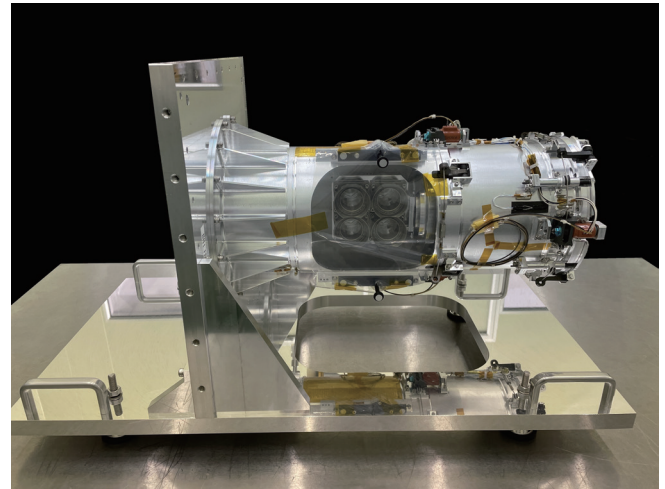
〈産業機器事業部〉

# 火星衛星探査計画搭載サンプル収納部・カプセル搬送部の開発

火星衛星探査計画(MMX：Martian Moons eXploration)は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構(JAXA)が2026年の打上げを目指して開発を進めている、世界初の火星衛星サンプルリターンミッションである。当社は、探査機に複数搭載されるミッション機器のなかで中核を担う、サンプリング装置の一部であるサンプル収納部・カプセル搬送部(SSTM：Sample Storage and Transfer Mechanism)を開発した。

SSTMは、ロボットアームで採取される火星の衛星フォボス表面の砂が入った容器を受け取り、収納した後に地球に帰還するサンプルリターンカプセルまで搬送する機能を持つ。機構はすべてばねの力のみで動作するように設計され、また、地球帰還時に発生する大きな衝撃に耐えて真空密封する構造を実現している。採取した砂に地球由来の物質が混じると科学的価値を失うことから、メタルシール部は高真空密封できる形状としている。さらに、摺動部から発生する不純物を抑える設計がされており、組立ては清浄度が高いクリーンルームで実施した。

地球に持ち帰った砂には含水鉱物、水、有機物が含まれていると予想されており、分析することで火星衛星の起源や火星圏の進化が明らかになれば、太陽系の惑星形成の謎を解く鍵になると期待されている。



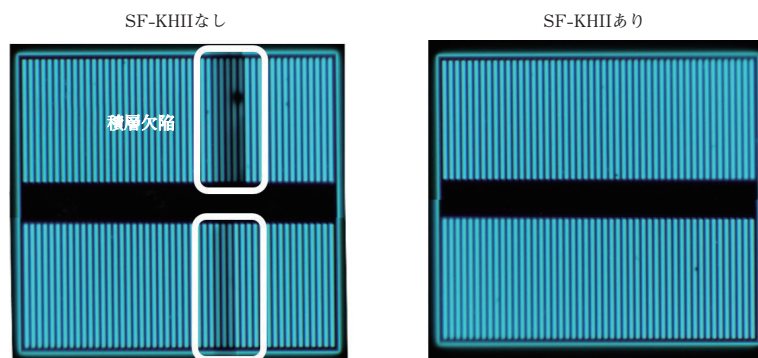
〈産業機器事業部〉

## 高エネルギーイオン照射による積層欠陥拡張抑制(SF-KHII)法

炭化ケイ素(SiC)は広いバンドギャップ、高い絶縁破壊電界、高い熱伝導率といった優れた物理特性を有し、パワー半導体材料として注目されている。その優位性により、N700S新幹線や電鉄車両のほか、一部の電気自動車に採用されるなど社会実装が進みつつある。しかしながら、SiCバイポーラデバイスでは、結晶欠陥に起因する順方向通電劣化(バイポーラ劣化)が重大な課題となっている。この劣化は、順方向通電時にSiC中に存在する基底面転位を起点として積層欠陥が拡張することによって発生する。この拡張は、部分転位のすべり運動が再結合によって促進されるもので、長時間の通電

によって進行し、デバイスの信頼性に大きな影響を与える。

当社は、順方向通電劣化が部分転位のすべりによって引き起こされることに着目し、高エネルギーイオンの注入で導入された不純物により転位のすべりを妨げるSF-KHII(Stacking Fault Knockdown by High Energy Ion Implantation)法を開発した。図はSiCダイオードに通電をし続けた際に生じる積層欠陥の拡張(左図の黒い部分)を観測したもので、SF-KHII法を施したデバイス(右図)では、積層欠陥の拡張を抑制できたことが分かる。



〈住重アテックス株式会社〉