

06 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、宇宙開発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、ラインスキャニング照射専用タイプにより治療時間の短縮を図り、機器を水平配置として低コスト化を実現するとともに周辺装置の最新化を図った。

がん治療装置に用いる加速器の高周波源にはこれまで真空管が採用されていたが、これを半導体化することで消費電力と設置面積を大幅に削減することができた。

PET用標識化合物合成システムにおいては、低ランニングコスト小型サイクロトロンHM-12SPCを開発した。また、研究用標識化合物合成装置CFN-MPS200に搭載可能なタウタンパク検出用標識化合物 $[^{18}\text{F}]$ MK-6240製造用カセットの販売を開始した。

国立大学法人大阪大学核物理研究センターのK140AVFサイクロトロンは原子核物理学、核医学などさまざまな分野で

の研究に利用される。2017年度より進めてきた高機能化改造工事がこの度完了し、RF試験およびビーム試験を開始した。

宇宙機器においては、国際宇宙ステーションに搭載された宇宙実証用ハイパースペクトルセンサHISUIの運用が開始された。全地球的規模の観測を行い、観測データは鉱物、植物、土壌の分布調査に役立てられる。また「はやぶさ2」に搭載したサンプラーは小惑星「リュウグウ」由来の物質の採取に成功した。

住重アテックス株式会社では、中性子を利用した技術サービスを提供している。この度大電流ビームに対応した新たな中性子源をサイクロトロンHM-18HCに付設した。これにより中性子量を増加させることができ、各種サービスの工程時間の大幅短縮が可能となった。

陽子線平面置きシングルガントリーモデル

当社の陽子線治療システムには、建屋上下方向に機器を配置して建屋の床面積を抑える垂直配置モデルと、治療室が複数の場合に機器を水平に配置する水平配置モデルがある。

また、多様な部位への照射に対応させるべく、治療室に設置する多くの照射ノズルを開発してきた。その結果、当社の陽子線治療システムは2020年までに国内外の7施設に納入され、治療室の数は14室となった。また、2019年は年間2300名を超える患者への治療に用いられており、今後も年間の治療人数の増加が見込まれている。

当社では今後の市場拡大を見据え、これまでより低コスト

で導入可能な陽子線治療システムの開発を行った。本開発では機器の配置を水平配置とし、据付け機器の削減と据付けコストの低減を実現した。さらに、建屋への機器据付け後のメンテナンス性に配慮した標準建屋設計を行った。照射ノズルは、線量集中性に優れ、治療時間の短縮化が可能なラインスキャニング照射法を実現しており、本モデルにおいてはラインスキャニング照射専用タイプとした。また、周辺装置も新規の寝台システムを導入するなど、現有の最新技術の活用を図った。現在、本モデルの医療機器申請および登録への対応を行いながら、国内外の顧客への導入を推進している。



(産業機器事業部)

がん治療装置用高周波源の省エネルギー化

当社では、サイクロトロンを利用した陽子線がん治療装置を販売している。また、炭素線を主とした重粒子線がん治療装置向けには、イオン源と線形加速器から構成されるシンクロトロンへの入射器を販売している。1994年に放射線医学総合研究所に初の重粒子線がん治療装置としてHIMACが建設された。2010年には民間病院への普及を目指し、コンパクト化の開発が行われた。小型化された普及型は、国内6施設での運用と1施設での治療前調整が行われている。さらに、海外2カ所で据付け工事が行われており、今後も複数の案件が計画されている。

がん治療装置の加速器は、粒子を加速すべく高周波(RF)を利用している。高周波源として真空管アンプが採用されていたが、真空管のコストアップおよび入手性の問題から、近年性能が向上した半導体を使用した高周波アンプの開発を行った。線形加速器は2種類の加速構造が必要で、おののおに必要な高周波パルス電力は100kWと400kWである(パルスデューティは約0.3%)。真空管はフィラメントからの熱電子を利用することから、必要なRF信号がパルスの場合でも連続して電力を消費してしまう。一方半導体では、必要なタイミングで電力を供給すればよいので、平均すると大幅な消費電力の削減が可能となる。半導体化により消費電力は約1/7に削減でき、設置面積も約1/4にすることができる。数個の半導体が故障しても運転は可能で、稼働率の向上も見込まれる。



〈産業機器事業部〉

PET用低ランニングコスト小型サイクロトロン

RI診断用サイクロトロンとして、CYPRIS HM-20, HM-12S, HM-10などをラインナップしている。

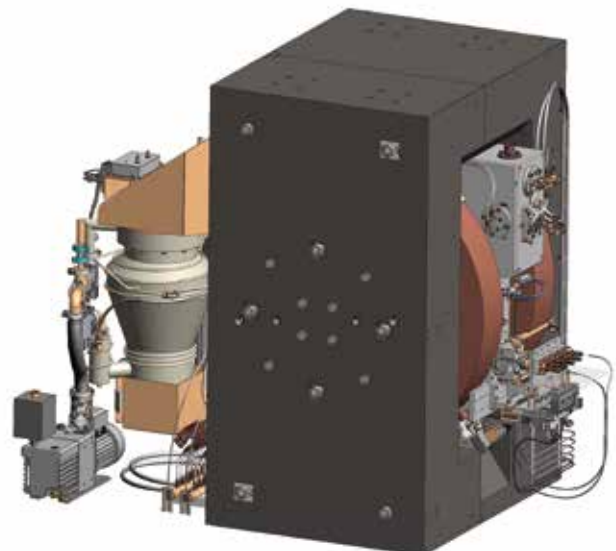
商品力をアップすべく、HM-12SをベースにHM-10と同等のコストでも ^{18}F の製造量は上回ることを目標としてHM-12SPCを開発した。また、新しい核種に対応できるように金属ターゲットの設置を可能とした。

本機では、ランニングコストを削減すべくイオン源アノードはアノードチューブを分割式とし、真空管アンプ式から半導体アンプ式とした。さらに、 ^{18}F ターゲットに使用する高価な ^{18}O 濃縮水の使用量を削減した。

また、真空機器の見直し、真空箱およびキャビティの小型化、ビーム取出し機構の簡素化により導入コストの削減を可能とした。自己シールドは遮蔽能力を維持しつつ、遮蔽材の材料および構成を適正化した。このことに加え、機器のレイアウトを適正化し、機外配線および配管を簡素化することにより現地据付け工程の削減を実現した。

ユーザの操作性に関しては、無線タブレットを採用することで機器の操作と同時に動作確認などが行え、通常の運転時以外の点検作業も容易となった。また、操作画面に関しても、当社の長年の実績をもとにさらなる操作性向上を実現した。

※「CYPRIS」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〉

タウイメージング診断薬研究用合成装置

研究用標識化合物合成装置CFN-MPS200は、ディスポーザブルカセット交換式のポジトロン放出核種標識化合物(PET診断用標識化合物)製造装置である。このディスポーザブルカセットを交換することで、フッ素18や炭素11などのさまざまな化学プロセスが必要なPET標識化合物の製造が本装置1台で可能となり、多様な研究用途で用いられている。

近年、アルツハイマー型認知症の治療薬の研究開発が進められていると同時に、早期診断・重症度鑑別・治療効果判定に有用と期待されるタウタンパク検出用標識化合物の実用化が基礎研究、実臨床の双方で求められている。このタウタンパク検出用標識化合物候補のなかでも、最も優れた化合物の

一つとされる $[^{18}\text{F}]$ MK-6240のCFN-MPS200への搭載の検討を開始した。

当社は、当標識化合物の権利者であるCerveau Technologies社と製造に関する契約を取り交わし、地方独立行政法人東京都健康長寿医療センター研究所とのCFN-MPS200での $[^{18}\text{F}]$ MK-6240標識化合物製造に関する共同研究を2018年より開始した。その共同研究にて、CFN-MPS200用ディスポーザブルカセットの流路設計と標識化合物製造条件の最適化に至り、研究用 $[^{18}\text{F}]$ MK-6240製造用カセットの販売を開始した。



〈産業機器事業部〉

大阪大学向けAVFサイクロトロンの高機能化

国立大学法人大阪大学核物理研究センターに1973年納入したK140AVFサイクロトロンの高機能化を国立大学法人大阪大学と当社にて2017年度から進めてきた。

高機能化に当たり、当社には「ビーム引出し効率を80～90%以上に向上させる」「ビーム供給時間を増大させる」「ビーム強度を既存のAVFサイクロトロンから5～10倍にする」ということが要求された。まず、ビーム供給時間を増大させるという要求に対し、トリム・バレーコイルを更新し水漏れリスクを低減した。次に、ビーム引き出し効率の向上ならびにビーム強度を従来比5～10倍にするという要求に対し、既存のSingle Deeから90度Double Deeへ改造した。さらに、メンテナンス性の向上への要求もあり、上ヨークを600mm上昇可能とするヨークリフターに改造することでメンテナンス性を改善した。

これらの高機能化改造によって、定期的かつ大量に ^{211}At が製造できるようになることから、アルファ線医学治療の開発が加速される。また、世界最高強度の連続ミュオンビーム源が得られるので物質の非破壊高感度微量分析が可能となり、さまざまな分野の最先端研究を進めることができる。さらには不安定な原子核を標的とする精密核物理実験が実施できるようになり、各構造の早期理解が可能となる。

本工事は2020年6月より開始し、2021年2月に完了した。

そして2021年3月より国立大学法人大阪大学によるRF試験およびビーム試験が開始した。



〈産業機器事業部〉

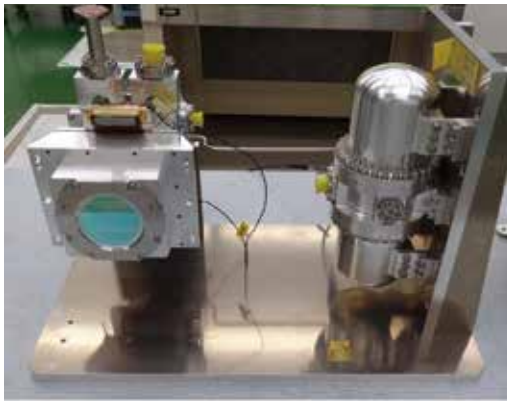
宇宙実証用ハイパースペクトルセンサ搭載検出器冷却系

宇宙実証用ハイパースペクトルセンサHISUI (Hyperspectral Imager SUIte) は、一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構が開発した光学センサである。2019年12月6日午前2時29分に、米国ケープカナベラル空軍基地から国際宇宙ステーションに向けて打ち上げられ、2020年度から国際宇宙ステーションでの運用を開始している。

当社は、HISUIに搭載されたSWIR検出器の冷却系を受注し開発した。冷却系はCDA(Cooler Dewar Assembly)とCCE(Cooler Control Electronics)で構成されている。CDAは

真空中器中に検出器を保持し、スターリング冷凍機で検出器を -123°C (150 K)に冷却できる。CCEはスターリング冷凍機に電力を供給すると同時に、温度測定・温度制御機能を有している。周囲温度が $\pm 10^{\circ}\text{C}$ 変動しても、冷却温度を $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ の安定度で維持できる。

HISUIは連続する波長の光を検出でき、宇宙ステーションに搭載されることで地球規模の観測が可能になった。観測データは鉱物、植物および土壌の分布調査に役立てられる。



〈産業機器事業部〉

「はやぶさ2」サンプル採取装置

2020年12月6日、小惑星探査機「はやぶさ2」から分離した再突入カプセルがオーストラリアのウーメラ砂漠に着陸し、無事回収された。

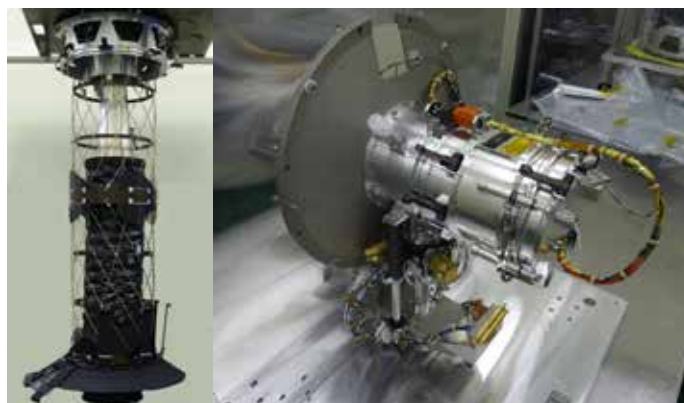
当社は、国立研究開発法人宇宙航空研究開発機構とNECのもとで、「はやぶさ2」のサンプル採取装置(サンプラー)の開発を行った。

サンプラーは、小惑星「リュウグウ」の表面物質(サンプル)を採取する装置である。サンプラーは、サンプルを機体内に導入するホーン部と、導入したサンプルをサンプルキャッチャーに格納し、再突入カプセルに設置したサンプルコンテナ内に移送するサンプリング部で構成される。「はやぶさ2」

ではサンプルキャッチャーの格納室を2室から3室に増やし、またサンプルコンテナは金属製シールを採用して気密性を向上させるなど、「はやぶさ」(初号機)と比べさまざまな点を改良した。

地球帰還後に分解したサンプルキャッチャーには、リュウグウで採取した砂粒状の物質が多数入っていた。またサンプルコンテナは密閉が保たれており、その内部から回収されたガスはリュウグウ由来のものであると判断された。

採取したサンプルには水や有機物が含まれている可能性があり、これらを分析することで太陽系や生命の起源の解明につながると期待されている。



〈産業機器事業部〉

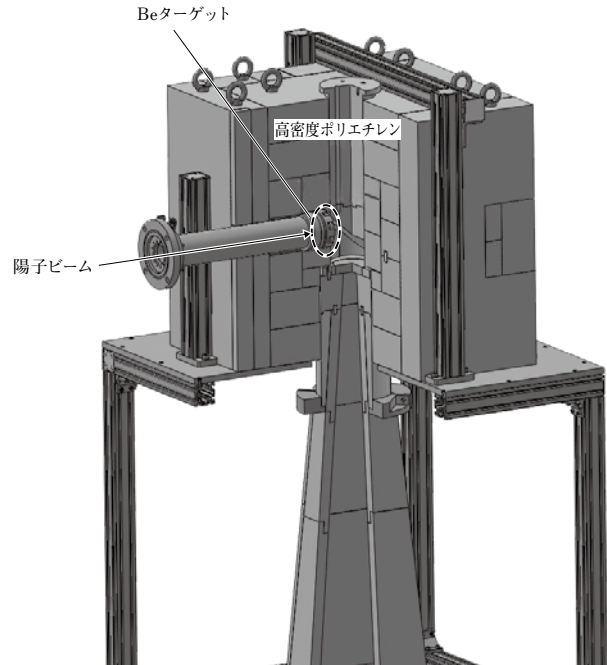
大電流ビームに対応した産業用中性子源

住重アテックス株式会社では、産業用サイクロトロンを利用した技術サービスを顧客に提供している。そのうちの一つに中性子を利用した技術サービスがあり、火工品（内部に火薬類を含む製品）や航空部品などの内部構造を撮像する中性子ラジオグラフィ試験（NRT：Neutron Radiography Testing）あるいは電子機器のソフトエラー試験などを行っている。

図に、サイクロトロンに付設した中性子源を示す。サイクロトロンで加速した陽子ビームをBeターゲットに照射すると核反応により速中性子が発生し、それが周り的高密度ポリエチレンで減速されて、物質と反応しやすい熱中性子に変換される。このようにして取り出した熱中性子を各種技術サービスに活用している。

現在運用中の中性子源は、運用開始からすでに約30年が経過し老朽化していることから、今回新設されたサイクロトロンHM-18HCに新たな中性子源を付設した。

従来の中性子源はビーム電流が最大 $20\mu\text{A}$ であったが、陽子ビームをスキヤニングすることでBeターゲット中の熱密度を下げ、 $150\mu\text{A}$ の大電流に対応した中性子源とすることができた。その結果、中性子量を約7倍に増加できることとなり、各種サービスの工程時間の大幅な短縮を見込むことができる。さらに今後は、中性子量増強を生かした撮像系のデジタル化を導入し、検査対象を拡張していく予定である。



〈産業機器事業部〉