

06 量子機器 Quantum Equipment

当社の量子機器事業では加速器、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、世界最高レベルである1000nAの陽子線を発生させることができる超電導サイクロトロンを開発した。これにより、照射時間を1/3に短縮することが可能となった。サイクロトロン用電磁石は、従来の常電導電磁石に替わり冷凍機を用いた伝導冷却型超電導磁石を採用することにより、小型かつ低消費電力を実現した。また患者QA (Quality Assurance) においてはこれまで事前の線量測定と解析計算に長時間を要していたが、このたび開発したログベースQAツールを用いることで、QA時間を大幅に短縮することが可能となった。

PET用標識化合物合成システムにおいては、デリバリー向けサイクロトロンHM-18HCを開発した。この装置では、FDG薬剤の高収量化とそれに伴う安定稼働の実現に加え、タ

ーゲット交換時の被ばく線量を従来の1/10以下に低減した。また研究用標識化合物合成装置CFN-MPS200用としてGa-68の精製機能を有するカセットを開発し、Ga-68標識PSMA-11の製造システムを確立した。前立腺がんを高い精度で診断するPET検査への利用が期待され、今後臨床試験に向けた準備を進める。PET診断用サイクロトロンCYPRISシリーズにおいては、装置稼働率の向上およびメンテナンス業務の効率化を目的とした遠隔監視システムを開発し、試験運用を開始した。運転データはクラウドサーバに自動送信され、カスタマーサポート部門がリアルタイムで閲覧可能となった。今後は故障予知などの機能を追加していく。

産業機械分野では、圧力勾配型プラズマガンを用いた酸素負イオン照射システムを開発した。従来の加熱酸化に比べ大幅に低い温度で強い酸化作用を実現し、さまざまな電子デバイスの改質に適用することができる。

※「CYPRIS」は、住友重機械工業株式会社の登録商標です。

陽子線治療装置用超電導サイクロトロン

現在、陽子線治療では、細い陽子線を走査し腫瘍を塗りつぶすように照射するスキャンング照射が一般的である。呼吸によって移動する肺や肝臓などの腫瘍をスキャンング照射で精度良く治療するには、呼吸による移動を抑えながら短時間で照射する必要がある。短時間照射の実現には、陽子線を高強度かつ超高速で走査する技術が不可欠となる。そこで、高強度の陽子線を実現するとともに、小型かつ消費電力の低減を目指した超電導サイクロトロンを開発した。

開発した超電導サイクロトロンは、陽子線治療用としては世界最高レベルである1000nAのビーム電流を発生させることが可能である。このビーム電流量は従来の当社陽子線治療装置用サイクロトロンの3倍以上であり、照射時間を1/3以下に短縮することが可能となる。また、サイクロトロン用電磁石には従来の常電導電磁石に替わり、冷凍機4台を用いた伝導冷却型超電導電磁石を採用した。この超電導電磁石の採用により、消費電力を低減しつつ強磁場化による小型化を実現し、サイクロトロンの直径を従来の4.4 mから2.8 mと64 %に、消費電力も450 kWから250 kWと56 %に低減することに成功した。

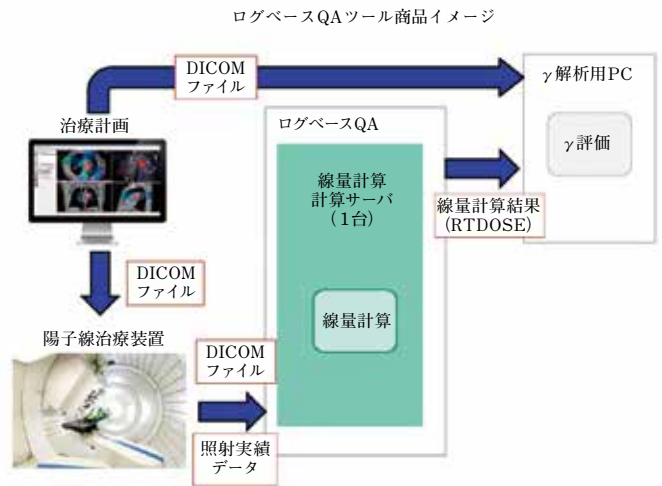
今後は、開発した超電導サイクロトロンと、開発を進めている超高速スキャンング技術および超高速エネルギー切替え技術を組み合わせ、呼吸性移動臓器を短時間で照射する次世代陽子線治療システムとして開発完了を目指す。



〈技術本部〉

陽子線治療用ログベースQAツール

近年、陽子線治療では複数方向から照射した線量分布を重ね合わせ、腫瘍の線量を維持しつつ正常臓器線量を大幅に低減させるIMPT(Intensity-Modulated Proton Therapy)が一般的になってきた。IMPTの患者QA(Quality Assurance: 照射装置の機械構造的な不確かさが臨床的に許容できるかどうかを検証するプロセス)は従来と比べて時間がかかり、スタッフの負担となることから、効率的な患者QA方法が必要とされている。当社では照射ノズルにあるモニタで検出した照射実績データ(ログ)を線源として簡易モンテカルロ計算により線量分布を得るログベースQAツールを開発してきた。従来の患者QAではポリエチレンファントムの厚さを変えた3層の線量分布を測定し、層ごとに治療計画との線量分布の一致率を調べるので、層の数だけ測定・解析する時間がかかる。一方、ログベースQAツールを用いるとファントム内の3次元線量分布が得られ、それを治療計画の計算結果と比較することができる。これにより複数層の測定・解析が不要となり大幅な時間短縮が可能となる。また、QA照射が行われると、受信した患者CTデータと陽子線制御システムが生成したログデータがログベースQAサーバーに送信され、そこで自動的に3次元線量分布が計算されることから、余計な操作を行うことなく結果が得られる。本ツールを用いることでQA時間を60分から30分に半減することが可能となった。



〈産業機器事業部〉

フッ素18デリバリー向けサイクロトロン HM-18HC

PET診断の普及に伴うFDG薬剤の需要は、中国を中心に年間約10%の成長を続けている。FDG薬剤の製造・販売の大半はデリバリーメーカーが担っており、その販路拡大に伴う設備の新設や増設が計画されている。また、デリバリーメーカーからは、高収量・安定稼働・低被ばくの装置が求められており、当社はそれに応えるべくデリバリー向け高収量サイクロトロンHM-18HCを開発した。

HM-18HCの特長は、1ターゲットにおいて2時間で740 GBq(20Ci)のフッ素18を生成することが可能なことである。これは、従来機の1.5倍の収量である(当社比)。顧客の生産現場においては、この高収量性能によってより多くの余力(マージン)をもって生産に従事することができるので、安定した稼働が期待できる。このことから、500 uAのビームを18 MeVまで加速できる外部イオン源を用いたサイクロトロンと、200 uAのビームに堪え得るターゲットを新規に開発した。

また、被ばくの低減を目的として、ターゲット数を必要最低限の3個(うちダミーターゲット1個)まで減らすとともに、作業者の立ち位置に対して照射済みターゲットからの放射線を防ぐ遮蔽を施し、着脱を容易にする機構の採用などにより、ターゲット交換時の被ばく線量を従来の1/10以下に低減させている。



〈産業機器事業部〉

Ga-68標識PSMA-11製造システムの確立

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、多様な研究に用いられている。

近年、前立腺がんは国内でも罹患率の高いがんの一つで、がん病変の広がりや転移の有無によって治療法が異なることから、高い精度の診断法が求められている。Ga-68標識PSMA-11は、前立腺がんを高い精度で診断するPET検査への利用が期待されている。

当社は、前立腺がん診断の実用化を目指し、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を行い、Ga-68標識PSMA-11製造用カセット(標識のみ)の販売を開始した。

また、Ga-68の精製については、公立大学法人福島県立医科大学および国立大学法人北海道大学との共同研究のなかで、日本医療研究開発機構の支援を受け、サイクロトロン製造Ga-68の精製機能を有するカセット(精製+標識)を開発し、Ga-68標識PSMA-11の製造システムを確立した。今後、Ga-68標識PSMA-11の品質・安全性に関する審議を受け、臨床試験に向けた準備を進める。



〈産業機器事業部〉

PET診断用サイクロトロン遠隔監視システム

当社ではPET診断用サイクロトロンCYPRISシリーズを国内外に200台以上納入している。顧客からの遠隔監視および保守への要求は年々高まっており、装置稼働率の向上やカスタマーサポート部門のメンテナンス業務効率化を目的として遠隔監視システムを開発した。サイクロトロンの運転データが自動的にクラウドサーバに送信・保存される。使用者は、セキュリティ要件を満たしたネットワークから、ブラウザを使用して監視システムにログインすることで観測データのリアルタイム閲覧が可能である。閲覧形式についても、目的に応じたグラフ表示、時系列データのダウンロードが可能となっている。重要なパラメータについては上下限値を設定し、検知した場合には担当者に電子メールを送信する。定期的に交換が必要な部品については、交換推奨日が自動的に表示されるなどメンテナンスに係る作業を低減する機能も盛り込まれている。

基本的なデータ収集および閲覧システムについては開発が完了し、国内5施設で試験運用を実施している。今後は遠隔監視システムに蓄積されたデータと当社の加速器技術を組み合わせた故障予知など、機能を追加していく予定である。



〈産業機器事業部〉

酸素負イオン照射システム

本装置は、真空チャンバ内でアークプラズマを間欠的に発生させることで高密度の酸素負イオン(O^-)を生成し、対象物に照射する装置である。プラズマ源に圧力勾配型プラズマガンを用いることで、電極の酸化を防ぎつつ酸素負イオン生成に有利な低電子温度・高密度のアークプラズマを発生させることができる。

酸素負イオンは、多様な活性酸素種のなかでも強い酸化力を有している。特長として、荷電粒子であることから被照射物にバイアス電圧を印加することで照射エネルギーが調整できること、照射時に電子が外れて中性化しやすいので被照射物のチャージアップがほとんどないことなどが挙げられる。これらの特長により、酸素負イオンで酸化処理を行った場合、数V～数十Vの照射エネルギーだけで、一般的な加熱酸化に対して大幅に低い温度で強い酸化作用を実現できる。

酸素負イオン照射システムは、2020年に評価装置を開発し上市した。本装置により、酸素負イオンを照射することで従来非常に困難であった酸化物半導体の改質(酸素欠陥低減など)や、樹脂上薄膜やデバイス作成の後工程における低温での酸化処理が期待できる。フレキシブルデバイス、MEMS、化合物半導体やパワーデバイスなどへの適用に向け、各種金属・半導体へ照射して効果検証を進めており、さらなる照射物の種類拡大や照射効率向上の開発を引き続き進めていく所存である。



〈産業機器事業部〉