

令和 5 年 6 月 13 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H04454

研究課題名(和文) エネルギー効率30%のRI製造用省エネ高強度小型加速器実現のための要素技術開発

研究課題名(英文) Development of the underlying technology for realization of energy saving, high intensity compact accelerator with 30 % energy efficiency for RI production

研究代表者

福田 光宏 (Fukuda, Mitsuhiro)

大阪大学・核物理研究センター・教授

研究者番号：60370467

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：省エネルギー・低運転コストの高強度小型サイクロトロン¹の要素技術開発として、円形、レーストラック型高温超伝導REBCOコイルを製作し、極低温下での通電試験で優れた健全性と再現性を実証した。加速電圧30kVで3.8mAの重水素負イオンを生成し、25MeV、50μAの加速・取り出しに成功した。入射ビームの4次元位相空間内の粒子密度分布短時間測定法と負イオン剥離電子除去用コイルを開発した。セクター電磁石の磁極端部に永久磁石を配置して高温超伝導加速空洞への漏洩磁束を最小化し、厚さ1μm以上のMgB₂表皮層を18Kまで冷却することによりサイクロトロン用超伝導加速空洞が実現しうることを初めて見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

高温超伝導REBCOコイルの実用性が実証されたことは、コイルのスケールアップによる高温超伝導加速器開発の実現性を高めるものとして学術的な意義は大きい。mA級の重陽子負イオン源開発、空間電荷効果を考慮した入射ビームの輸送効率向上、サイクロトロンにおける負イオン取出し用荷電変換フォイルの耐久性向上は高強度化の要素技術として極めて価値は高い。永久磁石と高温超伝導加速空洞を組み合わせることにより30%以上のエネルギー効率が達成しうることを示せたことは学術的なインパクトが大きいだけでなく、省電力・低運転コストが求められる産業用加速器の発展にも寄与することになり、社会的な意義も極めて大きい。

研究成果の概要(英文)：High temperature superconducting REBCO coils of circular and race-track type, required for development of a high intensity compact cyclotron realizing better power-saving and lower running cost, were fabricated and their high soundness and reproducibility were demonstrated by a performance test at very low temperature. A 3.8 mA, 30 keV negative deuteron beam was injected into an AVF cyclotron and we succeeded to extract a 50 micro-A 25 MeV deuteron beam from the cyclotron. We developed a rapid measurement system of a particle distribution in four-dimensional phase space and a magnetic coil for clearing electrons removed from a negative ion beam. Feasibility of a high temperature superconducting cavity for a cyclotron was clarified for the first time by shielding a stray field of a cyclotron sector magnet with permanent magnets placed at the edge of the sector magnets, and by cooling a cavity surface, consisting of a more than 1 micro-m thick MgB₂ layer, down to 18 K.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：高温超伝導コイル エネルギー効率 加速器 サイクロトロン 高温超伝導加速空洞 負イオン源 永久磁石 荷電変換フォイル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

進行がん患者を救うには、がん組織への集積度が高い物質とアルファ線放出放射性同位元素 (RI) を合成し、それをがん患者に投与してがん細胞に直接取り込ませた後に、細胞サイズと同程度の短い飛程と、粒子線と同様の高 LET (100keV/ μ m 前後) を有する 7MeV 前後のアルファ粒子で周りの正常細胞を傷つけずにがん細胞だけをピンポイントで死滅させるアルファ線核医学治療法が極めて有効である。 ^{18}F のような PET 用薬剤の病院内製造と同様に、100GBq 以上のアルファ線放出 RI (^{211}At 、 ^{225}Ac) を簡便且つ廉価に大量製造しうる、省エネルギーで低運転コストの数 10mA 級高強度小型サイクロトロン¹⁾の要素技術開発を行う。

サイクロトロンは、同一の電磁石と加速電極を用いて加速粒子に渦巻き状の軌道を描かせながらほぼ同じタイミングで加速電場を通過させ、一度に全てのエネルギーの粒子を加速するという原理に基づいていることから、電磁石と共振器 (加速電極に数 10kV の高周波電圧を発生させる機器) の消費パワーやエネルギー損失を最小限に留めることによってエネルギー効率を格段に向上させることが可能である。ビーム強度増強と共に消費電力削減の対策も講じ、エネルギー効率を従来の 2 倍以上に高めて 30% のエネルギー効率を目指した要素技術開発も併せて行う。

2. 研究の目的

1 日当たり 100 人規模の進行がん患者のアルファ線核医学治療にも対応しうる 100GBq 以上のアルファ線放出 RI (^{211}At 、 ^{225}Ac) や従来原子炉で製造されてきたがん検査用 RI を廉価に大量製造するため、 $^4\text{He}^{2+}$ 、 H_2^+ 、 D^- などのビーム強度を従来の 10 倍以上の数 mA~数 10mA まで増強し、且つエネルギー効率を従来の 2 倍以上の 30% まで向上させて、省エネルギーで低運転コストの高強度小型サイクロトロンを実現するための要素技術開発を目的とする。

3. 研究の方法

(1) イオン源の開発

軸方向の閉じ込めを担う REBCO 高温超伝導線材を用いたミラーコイルと、径方向の閉じ込めを担うレーストラック型の六極コイルを製作して単体の性能試験を行う。コイルを組み合わせて総合励磁試験を行いコイルシステム全体の健全性を確認する。負イオン源開発においては、セシウムを用いた体積生成型マルチカスプイオン源を製作し、負イオンの高密度化を目指したビーム生成試験を実施してビームの高輝度化を目指すとともに、AVF サイクロトロンに入射させて加速を行い、荷電変換フォイルによるビーム取り出しを試みる。

(2) ビーム入射系の開発

量研高崎研のサイクロトロンを用いてイオン源から取り出されたイオンビームの位相空間内の粒子密度分布が集束レンズと空間電荷効果によって変化する様子を短時間で診断・解析し、入射ビーム輸送系のパラメーターを最適化してサイクロトロンの中心領域のアクセプタンスと迅速にマッチングさせる制御法を開発する。また、東北大 CYRIC などにおけるイオン源の高電圧化と加速器までの低エネルギービーム輸送系 (LEBT)、サイクロトロン加速器内部、加速器から実験室までのビーム輸送計算ツールの検証と最適化を行う。

(3) ビーム引出系の開発

荷電変換フォイルで負イオンから剥離した電子の軌道半径が大きくなるように荷電変換フォイル領域のみを局所的に低磁場化するための剥離電子除去用逆磁場小型コイルを設計・試作し、剥離電子の除去性能等の準備を整える。

(4) 永久磁石型リングサイクロトロン電磁石及び固定周波数型超伝導加速空洞の開発

実機用の分離セクター型リングサイクロトロン電磁石を設計し、永久磁石のハルバツハ配列を最適化すると共に、隣接する超伝導加速空洞領域への漏洩磁束を最小化する磁気遮蔽法を開発する。また、MgB2 高温超伝導材を表皮層に用いた固定周波数型高温超伝導加速空洞を実現するための幾何学的配置や冷却条件などを明らかにする。

(5) 空間電荷効果を考慮した大強度ビーム軌道解析

AVF サイクロトロンの大強度化の課題である空間電荷効果によるビーム発散現象を解析するため、JINR (ロシア) で開発された SNOB コードや PSI (スイス) で開発された OPAL コードを用いて 1mA 以上のビームを入射・加速した場合の軌道計算を行い、ビームの通過効率を評価する。

4. 研究成果

(1) 正イオン源の開発

阪大 RCNP における正イオン源開発においては、数 10~100mA 級のビーム強度を目指した要素技術開発として高温超伝導 REBCO 線材を用いた ECR イオン源の概念設計を行い、軸方向の閉じ込めを担う円形ミラーコイルと径方向の閉じ込めを行うレーストラック型六極コイルを製作した (図 1)。液体窒素温度 77K にてコイル単体の性能試験を実施し、コイル電流値 I とコイル端子間電圧 V の間の I-V 特性データ (図 2) からミラーコイルは最大 140A 程度まで、六極コイルは最大 70A 程度まで超伝導状態が維持できること、コイル電流を繰り返し増減させる通電試験や常温に戻して再び冷却するヒートサイクル試験を行っても性能に劣化が見られないことから、高温超伝導 REBCO コイルの健全性と再現性の実証に成功した。円形ミラーコイルとレーストラック型六極コイルを単体で個別にクライオスタットに収納し、20~30K に冷却した後に励磁・減磁を繰り返す通電耐久試験を実施し、極低温下でも超伝導性能が劣化することなく運転可能

であることも明らかにした(図3)。3個の円形ミラーコイルと6個のレーストラック型六極コイルを組み合わせて3次元的に配置したアセンブリ(図4)を製作し、液体窒素を用いた77Kの低温下での複合同時励磁試験を実施した。3個のミラーコイルを直列に接続した状態で最大140A程度まで、6個の六極コイルも直列に接続した状態で最大70A程度まで通電し、片方のコイルが励磁された状態でもう一方のコイルを励磁してもお互いに干渉し合うことはなく、超伝導性能が維持されること、励磁・減磁を繰り返す耐久試験においても超伝導性能が劣化しないことを実証した。

(2) 重陽子負イオン源開発とAVFサイクロトロンにおける負イオン加速

東北大CYRICと住友重機械工業の共同開発により製作した体積生成型マルチカスプ負イオン源を用い、加速電圧10kVで2mAの重陽子負イオンビームを生成することに成功した。また、負イオン源からのビーム取り出し軌道を3次元モデルで解析すると共に(図5)、空間電荷効果を組み込んだビームシミュレーションコードOPALを用いてmA級大強度負イオンビームのビーム輸送計算を行い、1mA未満のビームを輸送した場合には収束要素の前後で、1mA以上の場合にはバンチャーの位置でもビーム電流の低下が想定されることを明らかにした。計算の妥当性を確認するために10.23 keVの重水素ビームの輸送効率を測定したところ、両者の傾向は一致した(図6)。また、イオン源での加速電圧を50 kV程度まで上昇させることによってビーム透過効率を高められることも計算で示した(図7)。実際に加速電圧を30kVに上げることによって3.8mAの重水素負イオンビームを生成し、AVFサイクロトロンへ入射させて加速を行ったところ、半径155mmの位置で100 μ Aの負イオン加速ビームを確認した。さらにグラフェン製の荷電変換フォイルを用いたビーム取り出しを試み、最大50 μ Aの25MeV重陽子ビームの取り出しに成功した。

(3) ビーム入射系の開発

イオン源で生成した低エネルギービームを適切に集束して輸送し、サイクロトロンのアクセプタンス内に入射することでビームロスを抑制するため、イオンビームの4次元位相空間内の粒子密度分布(4D位相空間分布)を迅速に測定・評価し、ビームの軌道制御により輸送効率を向上させる技術の開発を量研高崎研のサイクロトロンのビーム入射ラインにおいて行った。軌道制御技術の開発では、イオン源から出射した17.04keVのHeビームを多孔マスクと直後の発光体により測定し、その測定結果をビーム軌道計算に反映させることでビームロスの箇所を特定し、ビームの位相空間分布を適切に制御することでビーム透過率を0.49から0.72に増加させることを明らかにした(図8)。4Dアクセプタンス測定技術の開発では、ダブルスリットで切り出した微小位相空間領域のビームをステアリング電磁石で走査することで比較的短時間で測定する方法を検討し、測定試験を行った。4次元アクセプタンスは原理的には4つのスリットをそれぞれ走査することで測定可能であるが、走査速度が秒オーダーと低速であるため測定に長時間を要する(座標間移動時間が1秒の場合各軸10点計測の場合 10^4 秒(167分)、20点計測の場合 1.6×10^5 秒(2667分))。そこで、2つのスリット走査と2つの磁場走査(座標間移動速度:数10ms)を組み合わせて比較的短時間で測定が行える技術を開発した。50.22 keVの 0^{6+} ビームをサイクロトロンで160 MeVに加速する条件で測定を行い、スリット位置(x, y)とステアリング電磁石電流(I_x , I_y)の4次元空間についてアクセプタンスが測定できることを確認した。

(4) ビーム引出系の開発

負イオン加速のビーム引出しでは、炭素薄膜を用いた荷電変換法の開発を行った。炭素薄膜は、特に高強度ビームの場合、荷電変換の際の温度上昇により寿命が短くなる。温度上昇への寄与は、加速粒子の炭素薄膜中でのエネルギー損失と比較して、荷電変換で剥離した電子がサイクロトロンの磁場により炭素薄膜に戻ることに由来するほうが10倍以上大きい。つまり、剥離電子が炭素薄膜に戻らないようにすることで、炭素薄膜の寿命を維持したまま加速粒子のビーム強度を10倍以上に増強することが可能となる。これを実現するためには荷電変換領域に局所的な逆磁場を印加し低磁場化することで剥離電子の軌道半径を大きくし、捕獲する必要がある。そこで、磁極間に設置可能な逆磁場印加用コイルの幾何学的モデルを構築し、ビームエネルギーやコイルの構造、コイル電流などの条件を変えながら剥離電子の軌道解析を行い、荷電変換による炭素薄膜の温度上昇を最小にするような逆磁場コイルの検討を行った。逆磁場印加コイルとして空芯のヘルムホルツコイルを用いる場合にはサイクロトロン磁場に平行方向の磁場を0.03 T前後に低磁場化するとおよそ96%の剥離電子を捕獲できること、コイルの配置を工夫することでほぼ100%の剥離電子を捕獲できることを明らかにした。図9に剥離電子の軌道の一例を示す。剥離電子はビーム軌道面内で回転運動を始めるが、逆磁場コイルによるビーム軌道面方向の磁場成分により磁場方向に偏向する(図9左図)。そのまま捕獲されなければ、剥離電子はコイルの周辺を飛び交う(図9右図)。そこで、図10のような電子捕獲板をコイルに設け、剥離電子を捕獲する。電子捕獲板は炭素薄膜と同様に温度上昇が懸念されるため、冷却することが必要である。これらの検討結果をもとに、剥離電子除去用のコイルの設計を行い、試作した(図11)。本コイルを用いた原理実証試験は、試験や改修を高頻度で繰り返し行えるよう、サイクロトロン本体内ではなく、ビーム輸送系末端に設置されているスイッチング電磁石を用いて行うことを計画している。利用予定のスイッチング電磁石は磁極間隔が狭いため、剥離電子捕獲板の冷却は間接冷却とし、二重構造になっている導入軸を通じて冷却水を通水する。また、電子捕獲板はコイルや導入軸などと電気的に絶縁されており、剥離電子を捕獲したことによる電流値を計測することが可能である。組上げ、真空試験、通水試験、電流印加試験を行い、原理実証試験の準備を整えた。

(5) 永久磁石型リングサイクロトロン電磁石及び固定周波数型超伝導加速空洞の開発

エネルギー効率を向上させる要素技術開発では、分離セクター型リングサイクロトロン電磁石の側ヨークに永久磁石を導入して電磁石の完全電力フリー化を実現するための磁場解析を実施した。図 12 に永久磁石を用いた分離セクター型リングサイクロトロンの概念図を示す。加速空洞の省電力化を図る方策としてサイクロトロンの共振空洞を超伝導化する場合の技術的課題を明らかにし、外部磁場の侵入防止策、超伝導空洞の断熱・冷却仕様、高温超伝導材 MgB2 を利用した場合の空洞構造設計などについて詳細検討を実施した。超伝導ライナックの加速空洞の設計仕様を参考にサイクロトロンの共振空洞を超伝導化するための技術的課題を検討し、共振空洞の外周側には断熱層を十分に確保するための距離が必要とされ、隣接するサイクロトロン電磁石とのスペースの取合いにおいて上手くバランスさせる必要があること、外部からの熱侵入を最小限に留めて極低温環境を実現するためには、冷却端子の配置が重要な鍵を握ることなどを明らかにした。図 13 に永久磁石を用いた分離セクター電磁石と高温超伝導加速空洞の概念図を示す。分離セクター電磁石の間に超伝導共振空洞を配置し、共振空洞表面の高温超伝導材 MgB2 の厚さを $1\mu\text{m}$ 以上確保し、分離セクター電磁石からの漏洩磁束の侵入長を 50nm 程度に抑制できれば共振空洞を 18K まで冷却することによってサイクロトロンでも超伝導加速空洞が実現しうることを世界で初めて見出した。また、分離セクター電磁石の磁極端部に永久磁石を配置することによって共振空洞への漏洩磁束を最小化する新たな手法も考案した。

(6) 空間電荷効果を考慮した大強度ビーム軌道解析

SNOP コードを用いて、阪大 RCNP の AVF サイクロトロンにおけるインフレクター電極とディー電極の条件で入射効率を計算した。計算のための磁場として、図面の磁極形状及び過去に使用したメインコイルとトリムコイルの電流から OPERA-3D/TOSCA コードによって計算された値を元に、トリムコイルの値を微調整して等時性磁場になるようにした値を用いた。電場の値はアップグレード後のディー電極の設計中の図面から静電場を TOSCA で計算し、正弦関数を掛けることで時間変化する電場とした。SNOP コードは Particle-in-Cell 法により空間電荷を求めマクロパーティクルの軌道を計算した。ビームの初期条件としては、 50keV の陽子で実位相空間のエミッタンス $2\text{mm}\times 3\text{mrad}$ を仮定した。形状が複雑でビームロスも多いと思われる入射部分で Proton 80MeV (ハーモニック 1) と Proton 65MeV (ハーモニック 2) の条件で入射電流を $100\mu\text{A}$ 、 $300\mu\text{A}$ 、 1mA と変化させた場合の計算結果を図 14 に示す。入射ビーム電流が増加するほどビームは鉛直方向に広がり入射効率は低下する。 1mA の場合には、ハーモニック 1 の場合で 73.7% 、ハーモニック 2 の場合で 94.2% が通過した。ハーモニック 2 は集束力が高いため通過率が高いと考えられる。



図 1 製作した(a)高温超伝導 REBCO ミラーコイルと(b)レーストラック型六極コイル

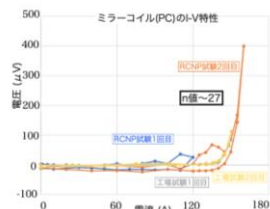


図 2 77K におけるミラーコイルの I-V 特性データ

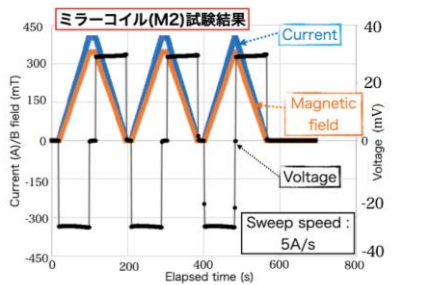


図 3 31K におけるミラーコイルの I-V 特性データ

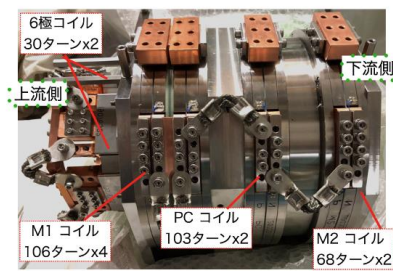


図 4 3 個のミラーコイルと 6 個の六極コイルを組み合わせたアセンブリ

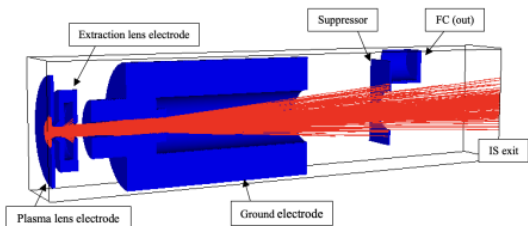


図 5 負イオン源の 3 次元シミュレーション計算モデル

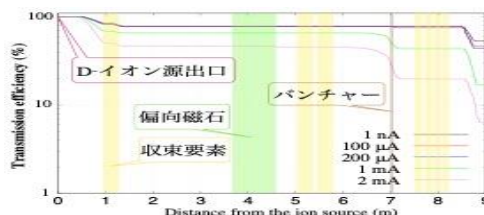


図 6 10.23keV の重水素ビームの輸送効率の見積もり

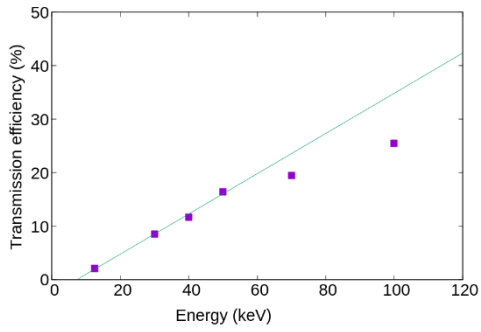


図7 ビームエネルギーと輸送効率の関係

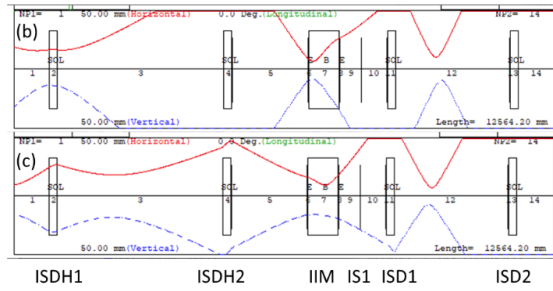


図8 ビーム入射系における位相空間分布変更前（上図、透過率 0.49）と位相空間分布変更後（下図、透過率 0.72）のビームエンベロープ。

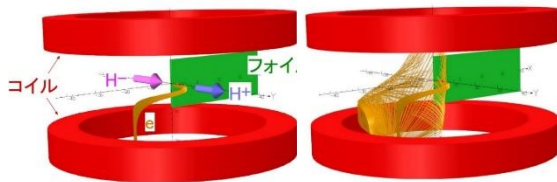


図9 負水素 18 MeV から剥ぎ取られた電子の軌道。右図は剥離電子の計算時間を左図よりも 5 倍に伸ばしたものの

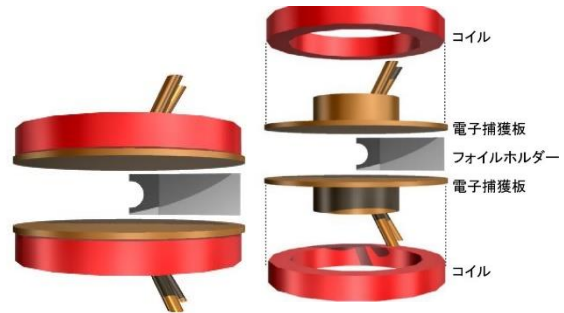


図10 剥離電子を捕獲する電子捕獲板の配置



図11 試作した剥離電子除去用コイル

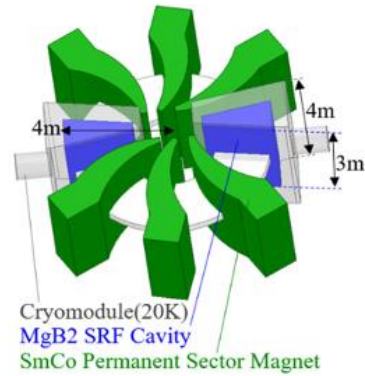


図12 永久磁石を用いた分離セクター型リングサイクロトロン概念図

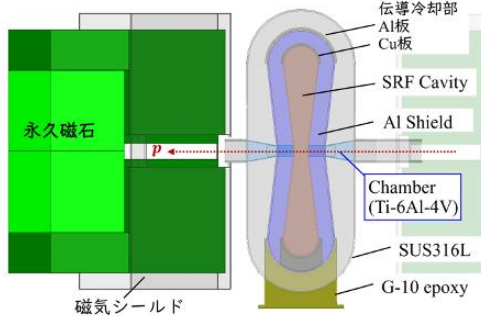


図13 永久磁石を用いた分離セクター電磁石と高温超伝導加速空洞の概念図

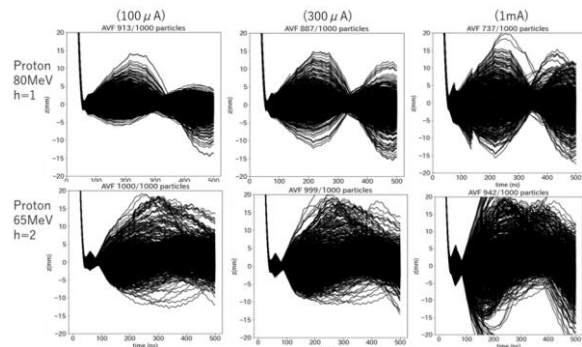


図14 阪大RCNPのアップグレード後のAVFサイクロトロンにおけるProton 80 MeV（加速ハーモニック1）とProton 65 MeV（加速ハーモニック2）の場合の入射直後の軌道をSNOPコードで計算した結果。ビーム電流が増加するに従ってビームが鉛直方向に広がり、失われていくことが見て取れる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計33件（うち査読付論文 7件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 宮脇信正, 柏木啓次, 石岡典子, 倉島俊, 福田 光宏	4. 巻 2020
2. 論文標題 TIARA AVF サイクロトロン of 低エネルギービーム輸送系におけるビーム輸送効率改善の検討	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 710 - 713
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Kurashima Satoshi, Yuyama Takahiro, Okumura Susumu	4. 巻 92
2. 論文標題 Temperature stabilization of a K110 variable energy cyclotron magnet	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 013303 - 013303
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0032559	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 松田 洋平, 伊藤 正俊, 篠塚 勉, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 中尾 政夫, 倉島 俊, 宮脇 信正, 涌井 崇志	4. 巻 2020
2. 論文標題 大強度負重水素イオン加速に向けたCYRIC930型AVFサイクロトロン加速器の軌道計算	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 38 - 42
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 中尾 政夫, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 安田 裕介, 友野 大, 鎌倉 恵太, 森信 俊平, 齋藤 高嶺, 畑中 吉治, 田村 仁志, 永山 啓一, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 大本 恭平	4. 巻 2020
2. 論文標題 AVFサイクロトロン of 入射系の更新	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 114 - 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 莊 俊謙, 福田 光宏, 神田 浩樹, 畑中 吉治, 関 亮一, 森信 俊平, 齋藤 高嶺, 依田 哲彦, 友野 大, 中尾 政夫, 鎌倉 恵太, 田村 仁志, 永山 啓一, 安田 裕介, 原 周平, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 原 隆文, 大本 恭平, 久松 万里子	4. 巻 2020
2. 論文標題 RCNP AVF サイクロトロンのLEBTシステムのアップグレード	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 453 - 455
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大本 恭平, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 中尾 政夫, 安田 裕介, 友野 大, 鎌倉 恵太, 森信 俊平, 齋藤 高嶺, 畑中 吉治, 田村 仁志, 永山 啓一, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 原 隆文, 莊 俊謙, 久松 万里子	4. 巻 2020
2. 論文標題 RCNPにおける高輝度陽子源の開発	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 819 - 821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 原 隆文, 福田 光宏, 神田 浩樹, 依田 哲彦, 中尾 政夫, 安田 裕介, 篠塚 勉, 伊藤 正俊, 松田 洋平, 倉島 俊, 宮脇 信正, 浦井 崇志	4. 巻 2020
2. 論文標題 自動サイクロロン共鳴加速法を用いた陽子加速器の概念設計	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 17th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 43 - 45
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takamitsu Ogata, Kodai Shirai, Atsushi Ishiyama, Hiroshi Ueda, So Noguchi, Tomonori Watanabe, Shigeo Nagaya, Mitsuhiro Fukuda	4. 巻 31
2. 論文標題 Numerical evaluation of screening current-induced magnetic field considering variable output energy in REBCO coil system of Skeleton Cyclotron for cancer therapy	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Trans. on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 4400105-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroshi Ueda, Yuta Miyake, Yuta Awazu, Ryota Inoue, SeokBeom Kim, So Noguchi, Tomonori Watanabe, Shigeo Nagaya, Mitsuhiro Fukuda, Atsushi Ishiyama	4. 巻 31
2. 論文標題 Numerical Evaluation on Electromagnetic and Thermal Stresses in Non-Circular REBCO Pancake Coils of Multi-Coil System for Skeleton Cyclotron	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Trans. on Applied Superconductivity	6. 最初と最後の頁 4603705-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keijiro Takeda, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Tsutomu Shinozuka, Masatoshi Ito, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui, Yohei Matsuda, Masao Nakao, Yusuke Yasuda, Takafumi Hara	4. 巻 2021
2. 論文標題 Study for improving the energy efficiency of cyclotron	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 466-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobumasa Miyawaki, Shigeki Watanabe, Hirotsugu Kashiwagi, Noriko Ishioka, Satoshi Kurashima, Mitsuhiro Fukuda	4. 巻 2021
2. 論文標題 Development of beam energy and position monitor system in the beam transport line for RI production at the TIARA AVF cyclotron	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 302-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuhiko Yorita, Yasuyuki Morita, Hiroki Kanda, Keiji Takahisa, Tatsushi Shima, Mitsuhiro Fukuda	4. 巻 2021
2. 論文標題 Table-Top MeV Proton generator using Nanogan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 607-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takafumi Hara, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Yusuke Yasuda, Keijiro Takeda, Tsutomu Shinozuka, Masatoshi Itoh, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao, Youhei Matsuda	4. 巻 2021
2. 論文標題 Development of an electron test bench for proton CARA	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 653-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yuusuke Yasuda, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Kyohei Omoto, Yasuyuki Morita, Tsun Him Chong, Hang Zhao, Tsutomu Shinoduka, Masatoshi Itoh, Takashi Wakui, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Masao Nakao, Yohei Matsuda	4. 巻 2021
2. 論文標題 Improvement of energy efficiency of high intensity compact cyclotron	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 795-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 T H Chong, M Fukuda, T Yorita, H Kanda, K Takeda, T Hara, A Ishiyama, S Noguchi, H Ueda, J Yoshida, S Nagaya, T Watabe	4. 巻 2021
2. 論文標題 Development of high temperature superconducting mirror coils for 10GHz ECR ion source	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. of 18th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 801-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H.W. Koay, M. Fukuda, H. Kanda, T. Yorita	4. 巻 33
2. 論文標題 Beam Dynamics and Characterization of a New High-intensity Compact Air-core High Temperature Superconducting Skeleton Cyclotron (HTS-SC)	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Results in Physics	6. 最初と最後の頁 105090-
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Chong T H, Fukuda M, Yorita T, Kanda H, Yasuda Y, Koay H W, Morita Y, Takeda K, Hara T, Hisamatsu M, Zhao H, Ishiyama A, Noguchi S, Ueda H, Fukui S, Matsubara Y, Mikami Y, Takahashi N, Yoshida J, Hirayama T, Nagaya S, Watanabe T	4. 巻 2244
2. 論文標題 Development of ECR ion source with high-temperature superconducting REBCO coils	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012108 ~ 012108
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012108	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Morita Y, Fukuda M, Yorita T, Kanda H, Hatanaka K, Saitou T, Tamura H, Yasuda Y, Washio T, Nakashima Y, Iwasaki M, Koay H W, Takeda K, Hara T, Chong T H, Zhao H	4. 巻 2244
2. 論文標題 Developments of control system for ion source using machine learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012105 ~ 012105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/2244/1/012105	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuhiro FUKUDA, Atsushi TOYOSHIMA, Atsushi SHINOHARA, Hiroki KANDA, Tetsuhiko YORITA, Yuusuke YASUDA, Takashi NAKANO and Paul SCHAFFER	4. 巻 2022-001
2. 論文標題 Production of At-211 using a cyclotron and an import plan of Ac-225	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JAEA-Conf	6. 最初と最後の頁 69-73
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tsun Him Chong, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Shotaro Matsui, Atsushi Ishiyama, So Noguchi, Hiroshi Ueda, Jun Yoshida, Shigeo Nagaya, Tomonori Watabe	4. 巻 2022
2. 論文標題 Development of high temperature superconducting ECRIS with REBCO coils	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 418-422
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shotaro Matsui, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Atsushi Ishiyama, So Noguchi, Hiroshi Ueda, Jun Yoshida, Shigeo Nagaya, Tomonori Watanabe	4. 巻 2022
2. 論文標題 Conceptual design of the high temperature superconducting self-shielding type skeleton cyclotron	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 716-720
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yuusuke Yasuda, Masao Nakao, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Shotaro Matsui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Beam commissioning of the RCNP AVF cyclotron	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 166-169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobuhiro Yamasaki, Yohei Matsuda, Masatoshi Itoh, Satoshi Adachi, Kohei Hattori, Shohei Yonekura, Tsutomu Shinozuka, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao	4. 巻 2022
2. 論文標題 Numerical simulation of low energy beam transportation for a high-power compact cyclotron	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 282-285
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takafumi Hara, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Keijiro Takeda, Tsun Him Chong, Tsutomu Shinozuka, Masatoshi Ito, Satoshi Kurashima, Nobusaki Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao, Yohei Matsuda	4. 巻 2022
2. 論文標題 Status of the development of a testbench for the cyclotron autoresonant accelerator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 511-513
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kohei Hattori, Masatoshi Itoh, Satoshi Adachi, Shohei Yonekura, Tsutomu Shinozuka, Kanako Komma, Hiromu Hayashi, Genki Hosoya, Shumpei Yamazaki, Yohei Matsuda, Nobuhiro Yamasaki, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Masao Nakao, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Simulation of the beam trajectory in the cyclotron accelerator incident system at CYRIC for high power negative ions acceleration	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 517-520
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuhiko Yorita, Yasuyuki Morita, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda	4. 巻 2022
2. 論文標題 Developments of intense ion sources with EPICS control at RCNP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 532-534
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tetsuhiko Yorita, Yasuyuki Morita, Hiroki Kanda, Keiji Takahisa, Tatsushi Shima, Mitsuhiro Fukuda	4. 巻 2022
2. 論文標題 Long term operation of table-top MeV proton generator	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 783-786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Keijiro Takeda, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Tsutomu Shinoduka, Masatoshi Ito, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao, Yohei Matsuda, Yasuyuki Morita, Takaumi Hara, Tsun Him Chong	4. 巻 2022
2. 論文標題 High-temperature superconducting cavity design for improving energy efficiency of cyclotron	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 793-797
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yusuke Yasuda, Mitsuhiro Fukuda, Kichiji Hatanaka, Ryoichi Seki, Shunpei Morinobu, Takane Saito, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Dai Tomono, Hitoshi Tamura, Keiichi Nagayama, Huiwen Koay, Yasuyuki Morita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsunhim Chong, Hang Zhao, Masaki Kittaka, Shotaro Matsui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Status of the new RF cavity for the AVF cyclotron in RCNP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 836-838
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yasuyuki Morita, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Takashi Washio, Yuta Nakashima, Masako Iwasaki, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Hang Zhao, Masaki Kittaka, Shotaro Matsui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Development of ion source control system using bayesian optimization	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 868-871
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nobumasa Miyawaki, Shigeki Watanabe, Hirotsugu Kashiwagi, Noriko Ishioka, Satoshi Kurashima, Mitsuhiro Fukuda	4. 巻 2022
2. 論文標題 Study on high-precision beam energy control for the TIARA AVF cyclotron	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 889-892
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hang Zhao, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Kichiji Hatanaka, Takane Saitou, Yasuyuki Morita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Masaki Kittaka, Shotaro Matsui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Conceptual design of a high temperature superconducting spectroscopy-type gantry system	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 981-983
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Masaki Kittaka, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Kichiji Hatanaka, Takane Saitou, Hitoshi Tamura, Yusuke Yasuda, Yasuyuki Morita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsum Him Chong, Hang Zhao, Syotaro Matsui	4. 巻 2022
2. 論文標題 Improvement of the brightness of ion sources at RCNP	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proc. of 19th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan	6. 最初と最後の頁 414-417
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計31件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 宮脇信正, 柏木啓次, 倉島俊
2. 発表標題 サイクロトロンでの低エネルギービーム輸送系におけるビーム輸送効率の改善の検討
3. 学会等名 QST高崎サイエンスフェスタ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮脇信正, 柏木啓次, 石岡典子, 倉島俊, 福田 光宏
2. 発表標題 TIARA AVF サイクロトロンでの低エネルギービーム輸送系におけるビーム輸送効率改善の検討
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 安田 裕介, 中尾 政夫, 畑中 吉治, 齋藤 高嶺, 森信 俊平, 田村 仁志, 永山 啓一, 吉田 英智, 阿野 真治, 友野 大, 鎌野 寛之, 木林 満, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 原 隆文, 大本 恭平, 荘 俊謙, 久松 万里子, 鎌倉 恵太
2. 発表標題 RCNP AVFサイクロトロンでのアップグレードのための詳細設計
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 松田 洋平, 伊藤 正俊, 篠塚 勉, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 中尾 政夫, 倉島 俊, 宮脇 信正, 涌井 崇志
2. 発表標題 大強度負重水素イオン加速に向けたCYRIC930型AVFサイクロトロン加速器の軌道計算
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中尾 政夫, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 安田 裕介, 友野 大, 鎌倉 恵太, 森信 俊平, 齋藤 高嶺, 畑中 吉治, 田村 仁志, 永山 啓一, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 大本 恭平
2. 発表標題 AVFサイクロトロンの入射系の更新
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 荘 俊謙, 福田 光宏, 神田 浩樹, 畑中 吉治, 関 亮一, 森信 俊平, 齋藤 高嶺, 依田 哲彦, 友野 大, 中尾 政夫, 鎌倉 恵太, 田村 仁志, 永山 啓一, 安田 裕介, 原 周平, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 原 隆文, 大本 恭平, 久松 万里子
2. 発表標題 RCNP AVF サイクロトロンのLEBTシステムのアップグレード
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 大本 恭平, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 中尾 政夫, 安田 祐介, 友野 大, 鎌倉 恵太, 森信 俊平, 齋藤 高嶺, 畑中 吉治, 田村 仁志, 永山 啓一, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 原 隆文, 荘 俊謙, 久松 万里子
2. 発表標題 RCNPにおける高輝度陽子源の開発
3. 学会等名 第17回日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武田 佳次朗, 福田 光宏, 神田 浩樹, 依田 哲彦, 篠塚 勉, 伊藤 正俊, 倉島 俊, 宮脇 信正, 涌井 崇志, 松田 洋平, 中尾 政夫, 安田 裕介, 原 隆文
2. 発表標題 サイクロトロンの高エネルギー効率化に向けた検討
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮脇 信正, 渡辺 茂樹, 柏木 啓次, 石岡 典子, 倉島 俊, 福田 光宏
2. 発表標題 TIARA AVF サイクロトロンRI製造用ビームラインのビームエネルギー・位置モニターの開発
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 依田 哲彦, 森田 康之, 神田 浩樹, 高久 圭二, 嶋 達志, 福田 光宏
2. 発表標題 ナノガンを利用したMeV領域の陽子生成装置
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 原 隆文, 福田 光宏, 神田 浩樹, 依田 哲彦, 安田 祐介, 武田 佳次朗, 篠塚 勉, 伊藤 正俊, 倉島 俊, 宮脇 信正, 涌井 崇志, 中尾 政夫, 松田 洋平
2. 発表標題 自動サイクロトロン共鳴加速法を用いた陽子加速実現に向けてのテストベンチ開発
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 安田 裕介, 武田 佳次朗, 原 隆文, 大本 恭平, 森田 泰之, 莊 俊謙, 趙 航, 篠塚 勉, 伊藤 正俊, 涌井 崇志, 倉島 俊, 宮脇 信正, 中尾 政夫, 松田 洋平
2. 発表標題 高強度小型サイクロトロンエネルギー効率向上を目指した要素技術開発
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 莊 俊謙, 福田 光宏, 依田 哲彦, 神田 浩樹, 畑中 吉治, 齋藤 高嶺, 安田 裕介, Koay Hui Wen, 森田 泰之, 武田 佳次朗, 原 隆文, Zhao Hang, 石山 敦士, 野口 聡, 植田 浩士, 福井聡, 吉田潤, 長屋 重夫, 渡部 智則
2. 発表標題 10GHz高温超伝導ECRイオン源のためのミラーコイルの開発
3. 学会等名 第18回日本加速器学会年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takamitsu Ogata, Kodai Shirai, Atsushi Ishiyama, Hiroshi Ueda, So Noguchi, Tomonori Watanabe, Shigeo Nagaya, Mitsuhiro Fukuda
2. 発表標題 Numerical evaluation of screening current-induced magnetic field considering variable output energy in REBCO coil system of Skeleton Cyclotron for cancer therapy
3. 学会等名 27th International Conference on Magnet Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tsun Him Chong, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Shotaro Matsui, Atsushi Ishiyama, So Noguchi, Hiroshi Ueda, Jun Yoshida, Shigeo Nagaya, Tomonori Watabe
2. 発表標題 REBCOコイルを用いた高温超伝導ECRイオン源の開発
3. 学会等名 第19回日本加速器学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名	Shotaro Matsui, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Atsushi Ishiyama, So Noguchi, Hiroshi Ueda, Jun Yoshida, Shigeo Nagaya, Tomonori Watanabe
2. 発表標題	自己遮蔽型高温超伝導スケルトンサイクロトロン概念設計
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yuusuke Yasuda, Masao Nakao, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Shotaro Matsui
2. 発表標題	RCNP AVFサイクロトロンにおけるビームコミッションング
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Nobuhiro Yamasaki, Yohei Matsuda, Masatoshi Itoh, Satoshi Adachi, Kohei Hattori, Shohei Yonekura, Tsutomu Shinozuka, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao
2. 発表標題	高強度小型サイクロトロンの実現に向けたLEBTの研究
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Takafumi Hara, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Keijiro Takeda, Tsun Him Chong, Tsutomu Shinozuka, Masatoshi Ito, Satoshi Kurashima, Nobusaki Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao, Yohei Matsuda
2. 発表標題	自動サイクロトロン共鳴加速法を用いた陽子加速器のテストベンチ開発状況
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Kohei Hattori, Masatoshi Itoh, Satoshi Adachi, Shohei Yonekura, Tsutomu Shinozuka, Kanako Komma, Hiromu Hayashi, Genki Hosoya, Shumpei Yamazaki, Yohei Matsuda, Nobuhiro Yamasaki, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Masao Nakao, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui
2. 発表標題	東北大CYRILCにおける大強度負イオン加速に向けたサイクロトロン加速器入射系のビーム軌道計算
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Tetsuhiko Yorita, Yasuyuki Morita, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda
2. 発表標題	RCNPイオン源群のEPICSによる運用と大強度化
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Tetsuhiko Yorita, Yasuyuki Morita, Hiroki Kanda, Keiji Takahisa, Tatsushi Shima, Mitsuhiro Fukuda
2. 発表標題	連続運用可能なMeV領域の陽子生成装置の開発
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Keijiro Takeda, Mitsuhiro Fukuda, Hiroki Kanda, Tetsuhiko Yorita, Tsutomu Shinoduka, Masatoshi Ito, Satoshi Kurashima, Nobumasa Miyawaki, Takashi Wakui, Masao Nakao, Yohei Matsuda, Yasuyuki Morita, Takaumi Hara, Tsun Him Chong
2. 発表標題	サイクロトロンの高エネルギー効率化に向けた高温超伝導加速空洞の物理設計
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Yusuke Yasuda, Mitsuhiro Fukuda, Kichiji Hatanaka, Ryoichi Seki, Shunpei Morinobu, Takane Saito, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Dai Tomono, Hitoshi Tamura, Keiichi Nagayama, Huiwen Koay, Yasuyuki Morita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsunhim Chong, Hang Zhao, Masaki Kittaka, Shotaro Matsui
2. 発表標題	RCNP AVFサイクロトロン新RF共振器立ち上げの現状
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Yasuyuki Morita, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Takashi Washio, Yuta Nakashima, Masako Iwasaki, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Hang Zhao, Masaki Kittaka, Shotaro Matsui
2. 発表標題	ベイズ最適化を用いたイオン源制御手法の開発
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Nobumasa Miyawaki, Shigeki Watanabe, Hirotsugu Kashiwagi, Noriko Ishioka, Satoshi Kurashima, Mitsuhiro Fukuda
2. 発表標題	TIARA AVF サイクロトロンの高精度ビームエネルギー制御の検討
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名	Hang Zhao, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Yusuke Yasuda, Kichiji Hatanaka, Takane Saitou, Yasuyuki Morita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsun Him Chong, Masaki Kittaka, Shotaro Matsui
2. 発表標題	高温超伝導スペクトロスコープタイプガントリーシステムの概念設計
3. 学会等名	第19回日本加速器学会年会
4. 発表年	2022年

1. 発表者名 Masaki Kittaka, Mitsuhiro Fukuda, Tetsuhiko Yorita, Hiroki Kanda, Kichiji Hatanaka, Takane Saitou, Hitoshi Tamura, Yusuke Yasuda, Yasuyuki Morita, Keijiro Takeda, Takafumi Hara, Tsum Him Chong, Hang Zhao, Syotaro Matsui
2. 発表標題 RCNPイオン源の高輝度化
3. 学会等名 第19回日本加速器学会年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Morita Y, Fukuda M, Yorita T, Kanda H, Hatanaka K, Saitou T, Tamura H, Yasuda Y, Washio T, Nakashima Y, Iwasaki M, Koay H W, Takeda K, Hara T, Chong T H, Zhao H
2. 発表標題 Developments of Control System for Ion Source Using Machine Learning
3. 学会等名 International Conference on Ion Sources (ICIS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chong T H, Fukuda M, Yorita T, Kanda H, Yasuda Y, Koay H W, Morita Y, Takeda K, Hara T, Hisamatsu M, Zhao H, Ishiyama A, Noguchi S, Ueda H, Fukui S, Matsubara Y, Mikami Y, Takahashi N, Yoshida J, Hirayama T, Nagaya S, Watanabe T
2. 発表標題 Development of ECR ion source with high-temperature superconducting REBCO coils
3. 学会等名 International Conference on Ion Sources (ICIS2021) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 山崎敦博, 松田洋平, 伊藤正俊, 足立智, 服部幸平, 米倉章平, 篠塚勉, 福田光宏, 依田哲彦, 神田浩樹, 武田佳次朗, 原隆文, 倉島俊, 宮脇信正, 涌井崇志, 中尾政夫
2. 発表標題 大強度低エネルギービーム輸送の実現可能性
3. 学会等名 第20回AVF合同打ち合わせ
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 荷電粒子加速装置及び荷電粒子加速方法	発明者 15. 神田浩樹, 原隆文, 福田光宏, 依田哲彦, 篠塚勉	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020 - 150015	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 ECRイオン源	発明者 16. 依田哲彦, 神田浩樹, 福田光宏	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2020 - 196253	出願年 2020年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	中尾 政夫 (Nakao Masao) (20791792)	群馬大学・重粒子線医学推進機構・助教 (12301)	
研究分担者	伊藤 正俊 (Itoh Masatoshi) (30400435)	東北大学・サイクロトロン・ラジオアイソトープセンター・教授 (11301)	
研究分担者	倉島 俊 (Kurashima Satoshi) (50370391)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・高崎量子応用研究所 放射線高度利用施設部・課長 (82502)	
研究分担者	松田 洋平 (Matsuda Yohei) (50569043)	甲南大学・理工学部・准教授 (34506)	
研究分担者	涌井 崇志 (Wakui Takashi) (70359644)	国立研究開発法人量子科学技術研究開発機構・量子医科学研究 物理工学部・室長 (82502)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------