

令和 4 年 6 月 20 日現在

機関番号：82118
 研究種目：基盤研究(C) (一般)
 研究期間：2019～2021
 課題番号：19K12649
 研究課題名(和文)セラミックス一体型多極キッカー入射技術の次世代極低エミッタンスリング適用開発

研究課題名(英文) Injection scheme development using ceramics with integrated multi-pole kicker for fitting to next generation ultra low emittance ring

研究代表者

満田 史織 (Mitsuda, Chikaori)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・准教授

研究者番号：60425600

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：次世代放射光源加速器で必須となる蓄積ビームを振動させることなくトップアップ入射を実現するためのパルス多極入射技術の入射キッカーとして、世界初となる円筒セラミックへ磁極コイルを埋め込んだセラミックスチェンバー一体型多極キッカーの製作技術の開発に成功した。同時に渦電流磁場を抑制しビーム壁電流の導電性をも確保するビームインピーダンスを低減したチタン膜による櫛歯形状の内面精密パターンコーティング技術が開発された。開発された技術は完成した8極型セラミックスチェンバー一体型キッカーに統合実装され、KEK-PFリングでのビーム入射技術実証試験を開始している。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界で初となるセラミックスチェンバー一体型多極キッカーによるKEK-PFリングでのビーム入射技術の実証試験は加速器技術の発展に加え、次世代放射光源加速器におけるトップアップ入射による光フラックスの安定だけでなく究極の光軸を安定させた放射光供給を実現させることで放射光実験の実験精度を向上させる学術的に意義のある成果である。

開発が進められたキッカー製作技術はセラミックスと銅コイルの大きな熱膨張差から不可能とされてきた埋め込み口付けを実現させる世界的に初の試みとなる稀有な技術であり、上述の科学的な発展への寄与だけでなくセラミックス応用技術の大きな進歩へとつながる社会的に意義のある成果である。

研究成果の概要(英文)：We succeeded in the development of the world's first multi-pole kicker integrated with a ceramics chamber by embedding magnet coils in cylindrical ceramic as an injection kicker for the pulsed multipole injection scheme to realize top-up injection without oscillation of the stored beam, which is indispensable for the next-generation light source. And precise pattern coating technology was developed for the inner surface of ceramics chamber with a thick titanium film of comb-teeth shape to reduce the beam impedance, which suppresses the eddy current magnetic field and ensures the conductivity of the beam wall current. All developed technologies were integrated into the completed octupole-type ceramics chamber with integrated kicker, and the demonstration test of the beam injection technique started at the KEK-PF ring.

研究分野：ビーム物理、放射光源加速器技術、素粒子・原子核実験、宇宙線素粒子物理、超伝導電磁石

キーワード：セラミックス円筒銅コイル埋め込み口付け技術 円筒内面微細パターンコーティング技術 パルス多極入射技術 次世代放射光源加速器 セラミックスチェンバー一体型パルスマグネット 渦電流抑制ビームインピーダンス低減コーティング

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。

1. 研究開始当初の背景

(1) 国内外研究動向から見える技術開発の必要性

近年、極低エミッタンス放射光リングの計画・建設が国内外で進んでいる。これまでと比べ、エミッタンスを1桁以上小さくし、回折限界領域まで輝度を高めた高コヒーレンス度の放射光を用い、これまでにない高精度・高空間分解能の実験を可能にする。このリングではビームの光学系を決める短い磁極長で強い電磁石を数多く配置する必要があり、狭小スペースに適合し、更に蓄積ビーム振動を起こさず放射光性能を損なわない、ビーム入射用キッカーの開発が必要である。放射光リングでは当たり前の技術となった Top-up 入射は、放射光実験をしながら連続入射を行い、ビーム寿命による蓄積ビームの電流損失を補って蓄積電流値を一定に維持することが可能で、計画される極低エミッタンス放射光リングでは、ビーム寿命が極端に短くなるために必須の技術である。現在、ほぼ世界中で採用される複数台バンパ電磁石を使ったバンパ軌道入射法は、蓄積ビームを入射ビーム軌道に寄せて入射をする。そのため、複数台の磁石を設置する空間が必要で、Top-Up 入射時には放射光源の蓄積ビームを揺らし、光源性能を劣化させる。この方式は Top-Up 入射の恩恵を生かしきれないため、これに代わる、極低エミッタンスの高品質な光をそのままユーザーへ供給する入射技術の開発が必要である。

(2) 技術開発の状況と課題の所在

新入射法は多極電磁石中心($x=0$)の磁場強度ゼロを利用し、そこに蓄積ビームを通す。従来とは逆に、高磁場の得られる磁石オフセンターを通過する入射ビームを蹴り、蓄積ビーム軌道に寄せることで、十分な磁場強度を実現すれば0.3m程度の1台の磁石しか必要とせず、蓄積ビームを振動させない入射が可能である。この入射法を考案した KEK-PF は多極パルス入射の原理を4極型で実証し、6極型の試行導入でそれを発展させていて、国内では、あいちSR, UVSOR では6極型の試験が進行中である。また、国内の HiSOR や、国外の SLS, SOLEIL, BESSY, ALSU 等の複数の施設でも導入前提の検討が進む。しかし、鉄芯磁石を用いてきたこの入射法は有効性が認められてから10年以上が経つにも拘わらず、蓄積ビームの完全な静的入射には至っていない。先行する PF 及び国内施設では鉄芯型多極パルス電磁石の入射原理実証には成功しているが、現状では渦電流起因による問題点を把握しているものの、その解決には至っていない。何故なら(1)磁場強度の達成の難しさと(2)磁石鉄芯とセラミックス真空チェンバ内面の均一コーティングの渦電流が中心磁場ゼロを阻害し、前提条件が成立していないからである。

2. 研究の目的

(1) 本研究の目的

本研究は、前述の技術課題を克服するために、空芯型であり高次の強磁場の生成が可能な、世界初となるセラミックスチェンバ壁にコイルを埋め込んだセラミックス

チェンバ一体型多極キッカー (図1) による、多極パルス電磁石入射の有効性の実証が目的である。

セラミックスチェンバ一体型パルスマグネットの新たな磁極構造は、 $\phi 30$ mm の超小口径化と、試行されてきた6極型でなくオフセンターでより強い磁場強度を持つ8極型、12極型へ、磁極となる次数の半分のコイル数で空芯型ならではの容易さで展開ができ、磁場強度の問題を解決できる。同時に空芯構造と渦電流がゼロの内面機能パターンコーティング技術も組み合わせ、磁石中心のゼロ近似領域が広い上述の多極化でゼロ磁場領域を確保する。本研究は前述の課題を克服する新たな磁極構造で多極パルス電磁石を製作実現し、ビーム性能試験を通じ多極パルス入射技術に対するその有効性を実証する。

(2) 目的達成のための独自技術開発

提案する磁極構造は空芯のため①渦電流が生成されず、②磁場飽和もなく強磁場化が出来る。セラミックス内面まで電極を埋め込むことで、ビームインピーダンスに影響せず③磁極を口径とともに極限までビームに近接させることが強磁場化に大きく貢献する。多極化に対しても磁極数半分のコイル本数と配置で任意の磁場を生むことが出来るため、④多極化に構造の制限がない。斬新な一体構造は渦電流生成要素を一切排除しながら、強磁場を生む大電力に対応した構造強度を持ち、従来多極キッカーで不可能な限界の克服と多くの構造的効果を生み出す。極限構造の実現を目指す技術は以下の世界に類がない野心的セラミックス技術応用である。

(a) 超小口径 $\phi 30$ mm で長手方向に複数の銅コイルをセラミックスに埋め込み銀ロウ付けする方

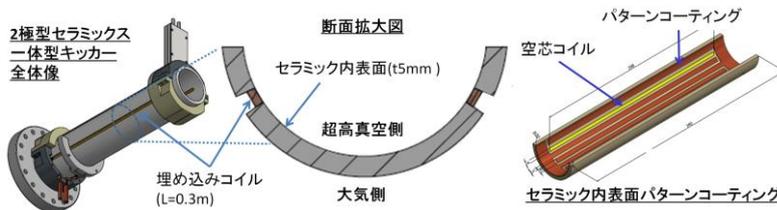


図1. 2極型セラミックスチェンバ一体型キッカー概念図

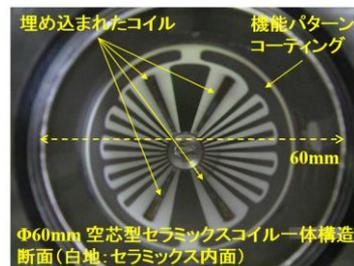


図2. 大口径 $\phi 60$ mm の内面構造

法（セラミックスとコイルの熱膨張差の下でのロウ付け及び真真空気密度の達成）

(b) 埋め込みコイル部分を避けた、渦電流抑制と電子ビーム壁電流導体機能を合わせ持つ精密な世界初の楕円形状を実現するチェンバ内面を導体化させる機能パターンコーティング技術

(c) ビームパイプのセラミックス自体が磁石コイル支持と電気絶縁構造を同時に担う、革新的な内外装ともに非常に簡潔な構造で低コストの多極キッカー電磁石を実現

3. 研究の方法

研究の出発点には空芯型で高次の磁場生成が可能な空芯型多極電磁石の開発が必要で、研究代表者が基礎開発を進めるセラミックスチャンバ一体型パルスマグネット（Ceramics Chamber with integrated Pulsed Magnet: CCiPM）を適用展開する。図2に基礎開発で製作に成功した口径φ60mmの2極型セラミックスチャンバ一体型キッカー内面写真を示す。

(1) 技術課題克服のための研究方法

新たな磁極構造の製作実現のために、①超小口径化に応じた埋め込み銀ロウ付け技術の最適化、②中心磁場0を保証する高い磁場精度を実現するコイル配置精度30μmの達成、③ビーム壁電流の導体性能と渦電流抑制を同時に実現する3μm厚の精密内面機能コーティングの3つの超小口径化に対応する技術を確立する。口径φ60mmで達成の真真空気密度（リーク量） 1×10^{-11} Pa・m³/s以下、耐真空応力、ビーム通過発熱の120度耐熱応力、6kA耐励磁応力、15kV耐電圧、10⁴台の磁場分布精度を達成する。最終的に、新磁極構造のビーム入射の実用性と従来入射法や鉄芯型と比較した優位性（渦電流抑制、磁場性能）を明らかにする。

(2) 具体的な到達目標

① **超小口径化への展開とビーム試験路を使った性能実証** 磁場設計で、既に確立した口径φ60mm型技術を4コイル数のままφ30mmとすることで超小口径化対応技術を確立し、磁場測定とビーム試験路を使った実ビーム試験により磁場性能を実証する。これが、次世代放射光源加速器で蓄積リングを構成する真空ダクト口径とセラミックスダクト口径を適合させた実証機となる。

② **磁極コイルの増数による磁場の高次化展開** 埋め込み数を4から6に増やした技術の更なる高度化を進め、試験片でのR&Dの後、超小口径円筒セラミックスにより12極型を実現する。より高次化が簡潔な構造で実現できることを実証し、磁場性能を飛躍的に向上させる。

③ **内面パターンコーティングの精密化とビーム性能実証** 内面の機能パターンコーティングでは、ビーム壁電流の高い導体性能と渦電流ゼロを両立したパターン設計をおこない、新技術低温パルス蒸着とマスクブラスト法によりφ30mmに対応した超小口径対応の精密性を達成する。完成した技術を渦電流問題が生じているKEK-PFリング既設の鉄心型パルス6極電磁石のセラミックスチャンバに適用し、KEKPFリングでの加速器実装上の性能を実証する。このコーティング技術は、他①、②、④項の製作実機と技術的に組み合わせられセラミックスチャンバ一体型多極キッカーとして完成する。

④ **8極型セラミックスチャンバ一体型パルスマグネットのKEK-PFリング適用** KEK-PFリングでのビーム試験を想定したセラミックス一体型多極キッカーの設置場所を選定してビーム動力学に基づいた入射ビームの振る舞いと蓄積ビームへの影響についてシミュレーションを行う。これに基づきセラミックス円筒口径を最適化し、試作機及び実機製作を通じて性能課題を改善の上、実際にKEK-PFリングへ設置する。入射ビーム位置を15mm程度の位置に設定した蓄積ビームと入射ビームの合流の実現、ビーム位置モニターによる蓄積ビームのゼロ振動入射の確認、多極化の優位性、ビーム物理計算の結果との整合性を検証する。



図3. φ30mm口径2極型外観と内面構造

4. 研究成果

2019年から2021年までの3カ年の計画にて、前述の研究方法で設定された到達目標はおおむね達成された。それぞれの到達目標に対する研究成果について下記にまとめる。

(1) 超小口径化への展開とビーム試験路を使った性能実証

円筒セラミックスφ30mmへのコイル埋め込み技術の超小口径化展開では、銅コイルとセラミックスの熱膨張差で生じる応力が超小口径化で円周方向によりコイル間距離が狭まることで増大することを考慮し、埋め込み技術の超小口径用の最適化が平板試験片を使い進められた。①セラミックス厚みを5mm→10mmへ変更し埋め込み時耐応力を向上②埋め込みコイルの応力分散のための2分割化③コイル形状と埋め込み溝形状の最適化と接合面メタライズ面積及び接合ロウ材体積の最適化のこれら3点の技術の高度化により熱膨張時の応力破壊を防ぎ超小口径化対応のコイル埋め込み技術が完成した。このうち①項のセラミックス厚増強は現在、5mm厚での成立が実証されるまでに製作技術は進歩し、外装の簡潔さが際立つようになっている。図3に超小口径化を達成したφ30mmの2極型CCiPMの完成写真を示す。7日間のベーキング試験では

2.5×10⁻⁸Pa の真空到達度を達成し、ヒートサイクルによる耐久性能試験となる 44 日間の連続コンディショニングで真空応力破壊を起こさずに真空気密度は目標値である 1×10⁻¹¹ Pa・m³/s 以下を達成している。また、励磁試験では 2.6μs のパルス幅で 3000A の電流出力に成功した。

完成した CCIpM は精密磁場測定が行われ、KEK-PF リングの Linac からのビーム輸送路の最終点のダンプ点に建設が済まされているビーム試験路へ導入し、2.5GeV エネルギー電子ビームを使い実際にビームを蹴ることで磁場性能評価が行われた。シミュレーション結果、磁場測定結果、実ビーム性能試験結果の全てが 3%以内の相違で合致していることが確認された。この性能評価はコイル埋め込み精度が内径寸法に対して同程度であることを示している。実ビーム試験によるコーティング損傷もなくビーム輸送時のビーム通過頻度 (10Hz) での実用性に問題がないことが実証された。図 4 にビーム試験路への設置の様子とビーム試験による蹴り角の水平分布性能結果の 1 例を示す。

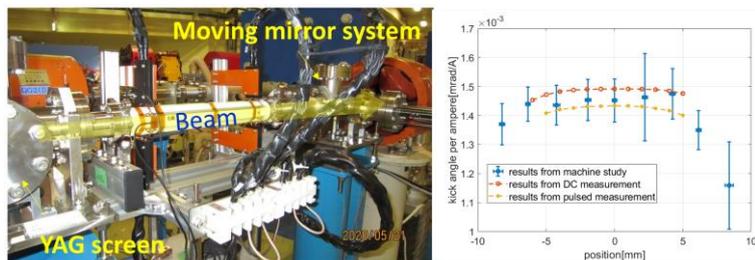


図 4. ビーム輸送路への設置 (左) とビーム試験結果の 1 例 (右)

図 4 にビーム試験路への設置の様子とビーム試験による蹴り角の水平分布性能結果の 1 例を示す。

(2) 磁極コイルの増数による磁場の高次化展開

高次化には 4 コイルのみでコイル配置とコイルへ流す電流方向によりその倍数まで次数を上げることが可能であるが更に高次化するためにはコイル数の増数が欠かせない。コイル本数を 4

コイルから 6 コイルまで増加させた CCIpM の製作に円筒口径を φ40mm とし、超小口径化で得られた埋め込み時破壊応力を緩和する最適化されたパラメータを採用することで 6 コイル埋め込み技術を完成させた。円筒口径を φ40mm とすることでコイル埋め込み間距離は円周上で φ30mm 超小口径円筒での埋め込み時におけるコイル間距離の 1.3 倍となっており製作成立条件に余裕



図 5.6 コイル型セラミックスチェンパー体型キッカー

があるように口径が選択されている。図 5 に完成した 6 コイル型 CCIpM の外観及び内観構造を示す。完成後の真空炉を使った 160 度の再昇温試験による耐応力試験を問題なくクリアし、真空気密度は既定の目標値に到達している。また、コイル埋め込み精度は対面するコイル間距離にて各コイル間同志を比較した結果、30μm 以内に収まっていることが計測された。この結果、想定される磁場精度は 7×10⁻⁴ 以下が保証されると想定される。加速器で必要とされる磁場性能として十分なレベルを保有していると判断できる。

現在、この完成した 6 コイル型 CCIpM は、ベーキングによる到達真空度確認試験、熱応力に対する耐久性能試験であるヒートサイクル試験実施に向けた準備が進められている。内面精密機能パターンコーティング技術との統合へ向けた準備も進められている 6 コイル型 CCIpM の完全完成へ向けて準備が進行中である。



図 6. 円筒口径 φ30mm, φ20mm 対応の精密機能コーティング実証

(3) 内面機能パターンコーティングの精密化とビーム性能実証

精密パターンコーティングの実装技術は円筒の口径が超小口径になることで難しくなるため、早くに超小口径対応の櫛歯型精密パターンコーティング技術の開発が進められた。最終的にパターンコーティングの超小口径化では φ20mm の円筒口径で 2mm の櫛歯幅、2mm の櫛歯間隔まで実装可能なことが実証された(図 6)。精密機能コーティング技術は Fine Line pattern coating Process (FlIP)と名付けられている。この技術の加速器適用実証を、実ビームを使って行うために、KEK-PF リングに既設の鉄心型パルス 6 極電磁石 (PSM) のセラミックスチェンパに適用した。先の研究により PSM で生成する全体の渦電流のうち鉄芯で生じるものが 10%、コーティングで生じるものが 90%となっており、このチェンバの内面コーティングを既設の均一前面コーティングから精密機能パターンコーティングに置き換えることで、渦電流磁場のうち 90%を抑制するこ

とが可能である。渦電流抑制効果を最大限に引き出す櫛歯幅と櫛歯間隔の最適化が動的磁場シミュレーションで求められ、またビームインピーダンスの観点から櫛歯型の形状の容量性結合による高周波ビームインピーダンスの低減を図る最適化を行った。渦電流を 99%抑制することが出来、KEK-PF リングでのビームフィリングモードに対してビームヒートロードが最大となるハイブリッドフィリングモード (400mA 130 バンチマルチフィリング+50mA シングルバンチ) における最大の発熱は 67W 程度に抑制できる結果を得た。強制空冷下での許容発熱量の 120W を大きく下回る発熱の抑制が可能と判断し、KEK-PF リングでの実ビーム実証試験を行った。図 7 に実際の PSM のセラミックスチェンバに適用した内面コーティングの内観写真である。チェンバ開口は縦方向 18mm で、円筒 20mm のコーティング技術の技術実績と同等である。

加速器実装の結果、最大発熱は 85 度で抑えられ強制空冷で 60 度以下まで冷却することで加速器運転に問題がなく、ビーム不安定性を誘起することなく容量結合性によるビーム壁電流の導電性が確保されることが実証された。ビーム振動観測試験により蓄積ビーム振動は 1/16 まで大きく低減させることに成功し、シミュレーションと先行研究で予想された通りの渦電流抑制に成功した。しかしながら、コーティング表面での渦電流は完全に抑制されたが、依然として蓄積ビームの振動が予測通りの鉄芯からの渦電流により誘起されていることも確認され、後述の課題展開へとつながる。

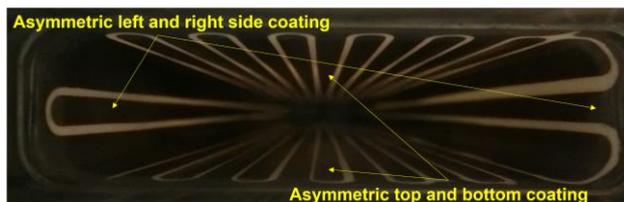


図 7. PSM 用セラミックスチェンバへの Flip 実装

(4) 8 極型セラミックスチェンバー一体型パルスマグネットの KEK-PF リング適用

鉄心型パルス電磁石には回避できない渦電流磁場生成の問題があることがビーム実証されたことにより空芯型である CCI_{PM} の有用性が改めて認識された。KEK-PF リングでのパルス多極電磁石入射の完全成功を目指すため、ビームトラッキングを用いたシミュレーションと磁場シミュレーションにより、空芯型 CCI_{PM} の設計がされた。高次の磁場生成により磁場強度と蓄積ビーム通過点の磁石中心での磁場ゼロ領域を確保するため、4 コイルを使いコイル配置を 45 度とし生成する 8 極磁場が KEK-PF リングでのパルス多極入射の実現には適していると判断され、既存リングの真空ダクト口径との整合から φ40mm セラミックス円筒口径が採用された。また、この電磁石設計では入射ビームは磁石中心から 15mm の所に入射され、3000A の励磁電流により 11mTm の積分磁場を与えることが出来入射が可能である。4 コイルに平行電流を流すことで 8 極磁場を生成することは可能であるが平行電流の生成は電源にとっては大きなインダクタンスが問題となる。計算によれば、

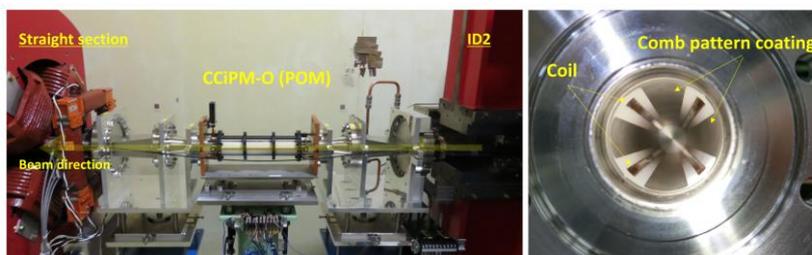


図 8. KEK-PF リングに導入した補助コイルを外装した 8 極型 CCI_{PM} と内観

4 コイルのみでは 3000A の励磁電流に対して 90kV の電圧が必要となる。これに対して、新たに 4 本の補助コイルを導入することで 1.2μs のパルス幅に対して 11μH のインダクタンスを 1.4μH まで低減させる新磁極構造を提案した。これにより、実際の 13kV の電圧印加試験にて 3000A の電流導入に成功した。

製作された実機は、ベーキングによる到達真空度、ヒートサイクルによる熱応力耐久性試験のいずれも到達目標を達成するものが得られ、高真空状態を維持する蓄積リングへの適用が可能と判断されている。磁場測定では、DC 磁場測定とシミュレーションの結果は 1%以内で合致し、パルス磁場に対しては 10%以内の相違となっている。パルス磁場による相違の解明が進められているが、想定した磁場性能が出ていることから実ビーム試験へ向けた KEK-PF リングへの設置が行われた (図 8)。現在、順調にビーム性能実証試験が進められている。

(5) まとめ

本研究課題で当初設定された、セラミックスチェンバー一体型パルスマグネット(CCI_{PM})のパルス多極電磁石入射技術への適用展開を目指す技術開発課題の、超小口径化、多極化、精密機能パターンコーティングの全てが目標を達成され、いずれも世界初となる技術である。それらの具体的なビーム性能実証試験も進められた。それらの技術を統合し 8 極型 CCI_{PM} により本格的な多極入射技術の実証試験の準備が整いビームコミッショニングに向けた性能実証試験が進められている。今後、パルス多極入射技術による蓄積ビーム軌道の完全無振動入射に期待が持てる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Chikaori Mitsuda, Yukinori Kobayashi, Kentaro Harada, Shinya Nagahashi, Takashi Nogami, Takashi Obina, Ryota Takai, Hiroyuki Takaki, Takashi Uchiyama, Akira Ueda, Yao Lu, Atsushi Yokoyama, Kouichi Iwamoto, Atsushi Sasagawa, Kenji Hamaji	4. 巻 -
2. 論文標題 NEWLY DEVELOPMENT OF CERAMICS CHAMBER WITH INTEGRATED PULSED MAGNET FOR SUPER-NARROW BORE IN KEK-PF	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 12th Int. Particle Acc. Conf. IPAC2021, Campinas, SP, Brazil	6. 最初と最後の頁 pp 4524-4527
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18429/JACoW-IPAC2021-FRXB04	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Yao Lu, Chikaori Mitsuda, Hiroyuki Takaki, Takashi Obina, Kentaro Harada, Ryota Takai, Yukinori Kobayashi, Takashi Nogami, Takashi Uchiyama, Shinya Nagahashi, Akira Ueda	4. 巻 -
2. 論文標題 Magnetic Field Measurement and Beam Performance Test of Ceramics Chamber with Integrated Pulsed Magnet at KEK-PF	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proc. 12th Int. Particle Acc. Conf. IPAC2021, Campinas, SP, Brazil	6. 最初と最後の頁 pp. 2352-2355
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18429/JACoW-IPAC2021-TUPAB359	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Chikaori Mitsuda, Hiroyuki Takaki, Ryota Takai, Takashi Nogami, Takashi Uchiyama, Yukinori Kobayashi, Takashi Obina, Yao Lu	4. 巻 -
2. 論文標題 Suppression of eddy-current effects in beam injection using a pulsed sextupole magnet with new ceramic chamber	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review Accelerator and Beams	6. 最初と最後の頁 -
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 Yao Lu, Chikaori Mitsuda, Hiroyuki Takaki, Takashi Obina, Yukinori Kobayashi	4. 巻 -
2. 論文標題 Precise magnetic field mapping using a compact pick-up probe for a pulsed sextupole magnet	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Review of Scientific Instruments	6. 最初と最後の頁 -
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 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Yao Lu, Chikaori Mitsuda, Hiroyuki Takaki, Yukinori Kobayashi, Takashi Uchiyama
2. 発表標題 ビーム入射のための八極型セラミックスチェンバー一体型パルスマグネットの磁場評価
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 Chikaori Mitsuda, Yukinori Kobayashi, Kentaro Harada, Shinya Nagahashi, Takashi Nogami, Takashi Obina, Ryota Takai, Hiroyuki Takaki, Takashi Uchiyama, Akira Ueda, Yao Lu, Atsushi Yokoyama, Kouichi Iwamoto, Atsushi Sasagawa, Kenji Hamaji
2. 発表標題 NEWLY DEVELOPMENT OF CERAMICS CHAMBER WITH INTEGRATED PULSED MAGNET FOR SUPER-NARROW BORE IN KEK-PF
3. 学会等名 12th Int. Particle Acc. Conf. IPAC2021, Campinas, SP, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Hiroyuki Takaki, Chikaori Mitsuda, Kentaro Harada, Yukinori Kobayashi, Takashi Nogami, Takashi Obina, Ryota Takai, Takashi Uchiyama, Yao Lu, Atsushi Yokoyama, Kouichi Iwamoto, Atsushi Sasagawa, Kenji Hamaji
2. 発表標題 Eddy current effects on the stored beam generated by the pulsed sextupole magnet at KEK-PF
3. 学会等名 12th Int. Particle Acc. Conf. IPAC2021, Campinas, SP, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yao Lu, Chikaori Mitsuda, Hiroyuki Takaki, Takashi Obina, Kentaro Harada, Ryota Takai, Yukinori Kobayashi, Takashi Nogami, Takashi Uchiyama, Shinya Nagahashi, Akira Ueda
2. 発表標題 Magnetic Field Measurement and Beam Performance Test of Ceramics Chamber with Integrated Pulsed Magnet at KEK-PF
3. 学会等名 12th Int. Particle Acc. Conf. IPAC2021, Campinas, SP, Brazil (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 満田史織, 高木宏之, 高井良太, 野上隆史, 内山隆司, Yao Lu, 小林幸則, 帯名崇, 原田健太郎, 上田明, 長橋進也, 横山篤志, 濱地健吾
2. 発表標題 KEK-PF における超小口径セラミックスチェンバー一体型パルスマグネットの 将来光源適合開発
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 Yao Lu, 満田史織, 高木宏之, 帯名崇, 原田健太郎, 高井良太, 小林幸則, 野上隆史, 内山隆司
2. 発表標題 NEWLY DEVELOPMENT OF CERAMICS CHAMBER WITH INTEGRATED PULSED MAGNET FOR PULSED MULTIPOLE INJECTION AT KEK-PF
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 Yao Lu, 満田史織, 高木宏之, 帯名崇, 原田健太郎, 高井良太, 小林幸則, 野上隆史, 内山隆司
2. 発表標題 New Development of a pulsed octupole injection at KEK-PF
3. 学会等名 ビーム物理研究会、若手の会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 満田史織, 高木宏之, 高井良太, 野上隆史, 内山隆司, Yao Lu, 小林幸則, 帯名崇, 原田健太郎, 上田明, 長橋進也, 横山篤志, 濱地健吾
2. 発表標題 KEK-PF リングトップアップビーム入射用パルス六極電磁石のための渦電流抑制 セラミックスダクトの新たな導入
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 高木宏之, 満田史織, Yao Lu, 帯名崇, 高井良太, 野上隆史, 内山隆司, 原田健太郎, 上田明, 長橋進也, 小林幸則
2. 発表標題 パルス6 極電磁石で発生する渦電流の影響を抑える セラミックチェンバーのコーティングパターンについての評価
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 Yao Lu, 満田史織, 高木宏之, 帯名崇, 原田健太郎, 高井良太, 小林幸則, 野上隆史, 内山隆司
2. 発表標題 Evaluation of Eddy Current Effects on a Pulsed Sextupole Magnet by a Precise Magnetic field Measurement at KEK-PF
3. 学会等名 第17回 日本加速器学会年会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 電磁場制御用部材	発明者 横山 篤志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、20P00497	出願年 2020年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 電磁場制御用部材	発明者 横山 篤志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、19P00683	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

産業財産権の名称 電磁場制御用部材	発明者 横山 篤志	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、19P00684	出願年 2019年	国内・外国の別 外国

〔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	小林 幸則 (Kobayashi Yukinori) (40225553)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器 研究施設・教授 (82118)	
研究分担者	高木 宏之 (Takaki Hiroyuki) (80251487)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器 研究施設・准教授 (82118)	
研究分担者	原田 健太郎 (Harada Kentaro) (70353365)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器 研究施設・准教授 (82118)	
研究分担者	高井 良太 (Takai Ryota) (20533780)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・加速器 研究施設・准教授 (82118)	

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