

誘導加速方式によるデジタル加速器の実現

Digital Accelerator based on the Induction Acceleration Method

高山 健 (TAKAYAMA KEN)

高エネルギー加速器研究機構・加速器研究施設・教授



研究の概要

研究代表者等によって発明された誘導加速方式を用いた全種イオン加速器（デジタル加速器）実現を目的として、既存 KEK 500 MeV 陽子シンクロトロンを改装している。重イオン生成用の永久磁石 ECR イオン源を自主開発している。誘導加速システムは当然、半導体スイッチを用いた高速静電チョッパーなどの導入により、これまで存在しなかったデジタル加速器を実現する。

研究分野：数物系科学

科研費の分科・細目：物理学・素粒子・原子核・宇宙線・宇宙物理

キーワード：加速器

1. 研究開始当初の背景

この研究の対象であるデジタル加速器の原理：誘導加速シンクロトロンが 2006 年に KEK で代表者等によって実証されていた。この原理をより小型のシンクロトロンに適用してあらゆるイオンを加速する全種イオン加速器が特許（平成 20 年度 21 世紀発明賞）として出願された。これを既存の 500 MeV 陽子シンクロトロンを改装して、実証する計画が立ちあがっていた。

2. 研究の目的

大型の入射器を必要としないで、全てのイオン種をその取り得る全ての電価数で加速できるシンクロトロン（デジタル加速器）の原理を実証する。将来、この加速器からの高速イオンを利用した学際的应用（新機能性材料の創成、微生物育種、宇宙線由来の前駆生命体の実験検証、木星内部構造再現）も併せて検討し、必要な加速器仕様を確定する。

3. 研究の方法

ECR イオン源を開発し、200 kV 高圧ターミナルにマウントする。イオン源からのイオンを新たに製作した分析磁石に必要な電価数のイオンを分離し、下流に置いた新規製作の静電チョッパーで時間的に切り出し、デジタル加速器に入射する。既存誘導加速システムによるパルス電圧発生を独自に開発した方式で制御し、デジタル加速器電磁石の最大ランプ幅まで加速する。

4. これまでの成果

デジタル加速器はシステム科学である。個々のコンポーネントの開発・試験を終え、それらを総合して漸くイオンビームの加速段階を迎える。そこで、研究開始以降、これまでの各コンポーネントの開発・試験の成果を下に列挙する。

ECRイオン源

9.3 GHz 完全永久磁石使用、パルスモード運転のイオン源が完成。引き出し電圧 14 kV で、Ar+1 から +8 のイオンビーム (150 μ A-1.5 μ A) を得ている。

200 kV高圧ターミナル

高圧用コックロフト電源、200 kV 高圧加速管、パルスモード対応電圧安定化システムが揃い、組み立てを開始。

LEBTライン

分析磁石（偏向角 45 度）、偏向磁石（偏向角 45 度）、7 台の 4 極磁石、静電チョッパーからなる高圧ターミナルからデジタル加速器を結ぶビームラインのビーム옵ティクスが決定され、分析磁石とチョッパーの設計が完了、他は全て通電試験終了。

デジタル加速器リング

旧ブースターの 20 Hz 運転から 10 Hz 運転への変更に伴い、共振周波数を変更のための追加コンデンサーを加える主電磁石電源の

改造が行われた。

静電入射キッカーが設計・製造され、電場測定などが実施された。入射キッカー用電源が製作され、必要な仕様を満足することが確認された。静電キッカー入射方式による入射の詳細軌道計算が実施された。

取り出しセプタム磁石が真空外に取り出され、大気仕様のセプタム電磁石に模様替えされた。これに伴い、特性のセプタム専用真空容器が開発され、製造された。

モニター機器の整備を進めた。特にノイズに対する信号比が小さい事が想定されるので、ノイズフリーの位置モニターの使用の仕方が提案された。

誘導加速システム

既存高周波空洞が 10 台の誘導加速セルで置き換えられた。対応する直流電源とスイッチング電源が至近距離に置かれ、システムとして組み上げられた。

固定の出力電圧、最大繰り返し数 1 MHz の誘導加速セルを独立にダイナミックに動作組み合わせを行って 10 Hz のラピッドサイクルシンクロトロンでの加速に対応する加速シナリオが計算機シミュレーションを駆使して確立した。それに必要な制御系が新設された。連続 100 時間の試験に成功している。

加速器全体制御系

加速器を構成する各コンポーネントを中央制御室から制御できるように全系統の制御システムが構築された。

HEBTライン

取り出しセプタム磁石からビームダンプを結ぶビームライン (HEBT) はすでに完成している。

次世代スイッチング電源

誘導加速セルを駆動する既存スイッチング電源に使用する半導体スイッチング素子の数は 28 個/電源であるが、制御のし易さ等を考慮し、耐圧の大きな半導体素子 SiC-JFET に置き換え、員数を減らす事を想定し、その特性 (スイッチングロス、立ち上がり・立ち下り時間) を詳細に調べた。1 kW の発熱を除去に向け、カスタムメイドのパッケージングを考案して、試作品が製造された。

その他

デジタル加速器の製作を進め、将来得られるイオンビームの利用を考案していく過程で「誘導加速セクターサイクロトロン」の発明に到った。

5. 今後の計画

(1) LEBT の全ての真空機器の繋ぎ込と真空排気開始

(2) 高圧ターミナルへの ECR イオン源の組み込み後、LEBT 上でのビーム性質の測定を行う。

(3) デジタル加速器へのビーム入射と軌道補正

(4) 加速シナリオに基づく加速

(5) 取り出し機器からのビームダンプまでのビームガイディング

(6) カプトン等の物質をビームダンプ近傍に置き、テスト照射をし、高速 Ar イオンの照射確認を行う。

6. これまでの発表論文等 論文

1. “Radioisotope ion beam production in KEK digital accelerator”, K.Takayama, *Nucl. Inst. Meth. A* **606**, 69-74 (2009).

2. “Intelligent control system for the KEK digital accelerator”, T.Iwashita, Y.Arakida, T.Kono, K.Takayama, and T.Dixit, *Nucl. Inst. Meth. A* **606**, 111-115 (2009).

3. “Induction acceleration scenario from an extremely low energy in the KEK all-ion accelerator”, T.Dixit, T.Iwashita, and K.Takayama, *Nucl. Inst. Meth. A* **602**, 326-336 (2009).

国際会議

1. “KEK Digital Accelerator and its Applications”, K.Takayama, Joint Asian Accelerator Workshop 2009, 22-23 December, 2009, Beijing

2. “KEK Digital Accelerator for Material Science and Others”, K.Takayama, IUMRS-ICA2008, 9-10 December, 2008, Nagoya

3. “ECR Ion Source for the KEK All-ion Accelerator”, H.Suzuki, K.Okazaki, Y.Arakida, T.Iwashita, M.Kawai, T.Kono, K.Takayama, and S.Inagaki, EPAC2008, 23-27 June (2008) Geneva, MOPC156.

4. “BEAM DYNAMICAL ISSUES OF THE KEK ALL-ION ACCELERATOR”, K.Takayama, T.Adachi, E.Nakamura, and H.Someya, EPAC2008, 23-27 June (2008) Geneva, THPC10.

特許

高山 健 「誘導加速セクターサイクロトロン」特願 2009-271007 (提出日: 平成 21 年 11 月 30 日)

受賞

発明協会表彰 平成 20 年度 21 世紀発明賞
「誘導加速シンクロトロン方式を用いた全種イオン加速器の発明」高山、荒木田他

ホームページ

<http://www-accps.kek.jp/Superbunch/>