

令和 2 年 6 月 29 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05132

研究課題名(和文)カーボン・ナノチューブを用いた革新的静電セプタムの技術開発

研究課題名(英文)Development of innovative electrostatic septum using carbon nanotube wires

研究代表者

富澤 正人(Tomizawa, Masahito)

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

研究者番号：80197920

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：シンクロトロンから数秒間にわたって少しずつビームを取り出す方法(遅いビーム取り出し)は J-PARC等の様々な原子核・素粒子実験で用いられている。この方法では、高電圧電極とアース電位のセプタム(仕切り)で構成される静電セプタムを用いる。セプタム材料には通常タングステン合金等の金属が用いられる。静電セプタムでは必然的にビームの一部がセプタムにヒットする。このヒットにより発生する放射線もしくはセプタムの発熱により、ビーム強度が制限される。この問題は密度の小さいセプタム材料を用いることで解決できる。本研究では、セプタム材料としてカーボン・ナノチューブを用いた静電セプタムのモデル開発を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で行うカーボン・ナノチューブをセプタムとする新しいアイデアを導入した静電セプタム開発研究は、世界で始めて挑戦する非常に独創的なものである。本研究の目的に適合したカーボン・ナノチューブワイヤーの試作に世界で初めて成功し、高真空中で高電圧試験を実施できたことは、本研究の独創性と成果を裏付けるものとなっている。本研究の成果による今後の実用化の取り組みにより、遅い取り出しビーム性能を大幅に向上させることが可能となり、大強度の遅い取り出しビームを利用する原子核・素粒子実験に与えるインパクトは非常に大きい。

研究成果の概要(英文)：A stable 50 kW slow-extracted beam has been being delivered to the experimental hall (hadron hall) to execute various experiments on nuclear physics and elementary particle physics in J-PARC. However future experimental programs need beam powers much more than 100 kW. The slow extraction technique makes an inevitable beam loss around the electrostatic septum (ESS) using a septum to make an electric field distribution with a step function. The beam loss generated by hitting at the septum is most critical and limits the beam power. Tungsten including rhenium (W/Re) is used for the septum material for the present ESSs. If the material with a low atomic number can be used for the septum, the beam loss can be drastically reduced. We have developed carbon nanotube (CNT) wires for the ESS. Voltage supply test has been carried out using a test stand fabricated to investigate various basic characteristics of the CNT wire.

研究分野：加速器物理学

キーワード：遅い取り出し カーボンナノチューブ ビームロス 静電セプタム

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

シンクロトロンから数秒間にわたって少しずつビームを取り出す方法(遅いビーム取り出し)は 様々な原子核・素粒子実験やガン治療装置で用いられている。この方法では、高電圧電極とアース電位のセプタム(仕切り)で構成される静電セプタムを用いる。セプタム材料には通常タンゲステン合金等の金属が用いられる。静電セプタムでは必然的にビームの一部がセプタムにヒットする。このヒットにより発生する放射線もしくはセプタムの発熱により、ビーム強度の上限が規定されている。この問題は密度の小さいセプタム材料を用いることで解決できる。

### 2. 研究の目的

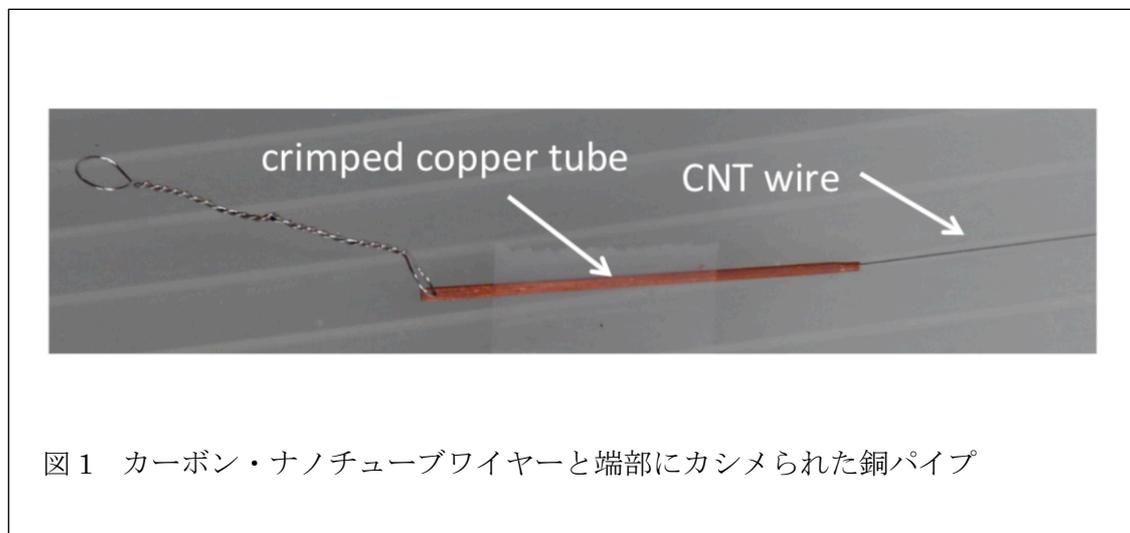
本研究では、セプタム材料としてカーボン・ナノチューブを用いた静電セプタムの基礎開発を行う。本研究の成果により、遅い取り出し法によるビーム強度の大幅な向上が可能となる。

### 3. 研究の方法

- ・静電セプタムのセプタム材料として適したカーボン・ナノチューブワイヤーを日立造船の協力により製作する。
- ・製作したカーボン・ナノチューブワイヤーの両端に金属チューブをカシメにより取り付け、引っ張り強度を測定する。
- ・カーボン・ナノチューブワイヤー単体の高電場発生試験機を製作する。ワイヤー端部の金属チューブにバネを取り付け、張力を制御しながら高電圧試験機本体に取り付ける。
- ・高電圧試験機に真空ポンプを取り付け、真空特性、高電場特性を測定する。

### 4. 研究成果

- ・静電セプタムのセプタム材料として適したカーボン・ナノチューブワイヤーの製作に成功した。
- ・製作したカーボン・ナノチューブワイヤーの両端に銅チューブをカシメにより取り付ける技術を開発した(図1)。
- ・製作したカーボン・ナノチューブワイヤーの両端に銅チューブをカシメにより取り付けた状態で引っ張り試験を実施した。銅チューブをカシメ方法の改良により、引っ張り強度の改善が達成された。
- ・カーボン・ナノチューブワイヤー単体を高電場発生試験機の開発を実施した(図2)。
- ・カーボン・ナノチューブワイヤーを高電場発生試験機に取り付け、真空特性を測定した。真空引き開始直後は真空悪化が見られるものの、長時間の真空引きにより、真空悪化は見えなくなった。
- ・同軸状の内導体である直径70-80ミクロンのカーボン・ナノチューブワイヤーに正極性の最大5kVまでの電圧を印加した。電圧上昇中には真空悪化、電流増加が観測されるが、その後は真空悪化、暗電流も流れない安定な状態で、表面電場20MV/mを達成した。



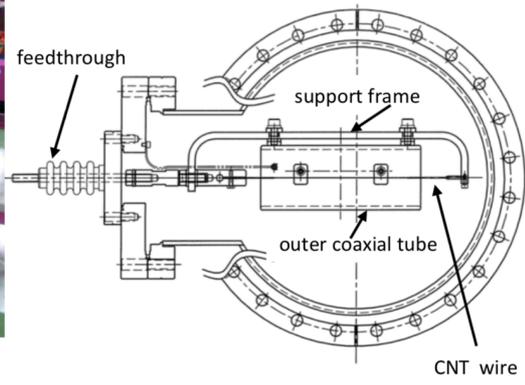


図2 カーボンナノチューブワイヤー単体高電場発生試験機

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Tomizawa M., Arakaki Y., Kimura T., Muto R., Murasugi S., Okamura K., Sato H., Shirakabe Y., Yanaoka E.	4. 巻 902
2. 論文標題 Slow extraction from the J-PARC main ring using a dynamic bump	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 51～61
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.nima.2018.06.004	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 Tomizawa Masahito, Konaka Akira, Muto Ryotaro, Ogitsu Toru	4. 巻 1067
2. 論文標題 Beam Optics Design of Stretcher Ring and Transfer Line for J-PARC Slow Extraction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 042004～042004
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1067/4/042004	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 Masahito Tomizawa et al.,	4. 巻 -
2. 論文標題 Initial Tests for Electrostatic Septum Using Carbon Nanotube Wires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	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） -	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3件（うち招待講演 2件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 富澤正人
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験のための 8 GeV 遅い取り出しビーム試験
3. 学会等名 加速器学会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tomizawa
2. 発表標題 Status and Beam Power Ramp-Up Plans of the Slow Extraction Operation at J-Parc Main Ring
3. 学会等名 The 61st ICFA Advanced Beam Dynamics Workshop on High-Intensity and High-Brightness Hadron Beams (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Tomizawa
2. 発表標題 J-PARC Slow Extraction Overview
3. 学会等名 Slow Extraction workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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	武藤 亮太郎 (Muto Rotaro)  (50392147)	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	岡村 勝也 (Okamura Katsuya)  (50415048)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・その他部局等・シニアフェロー  (82118)	
研究分担者	新垣 良次 (Arakaki Yoshitsugu)  (70625251)	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・技師  (82118)	