

10MW 超級大強度ハドロン円型加速器の新提案

米村 祐次郎

九州大学大学院工学研究院エネルギー量子工学部門

近年、様々な分野において高エネルギー大強度ハドロン加速器に対する要求が高まっている。特に大強度の陽子や重粒子を $500 \text{ MeV/u} \sim 1 \text{ GeV/u}$ の中高エネルギー領域まで加速し、大強度のミュオンや中性子等の二次粒子を生成する加速器に対する要求は高い。

サイクロトロンやシンクロトロンのような従来型の円型加速器における最高ビーム出力は 1 MW に到達しているが、数 10 MW 以上のビーム出力を達成するためには多くの技術的課題を解決する必要がある。シンクロトロンの場合、ビーム加速中の軌道を一定に保つために電磁石の磁場を時間と共に変化させる必要があり、加速器の運転繰り返し周波数を高くすることには技術的に限界があるため、平均ビーム強度を増加させることは難しい。サイクロトロンは、電磁石の磁場が一定であり連続ビームの加速が可能であるが、空間電荷効果やビーム取出効率の低さから大電流ビームの取出しには困難が伴う。固定磁場強集束(FFAG)加速器は、相対論的エネルギー領域ではサイクロトロンのように連続ビームを加速できるが、陽子や重粒子を非相対論的エネルギーから加速する場合、シンクロトロンのように加速 RF 周波数を変調させる必要があるため、連続ビームを加速することができない。

従来型の円型加速器の技術的課題を解決するためにハーモニック数跳躍加速(harmonic number jump, HNJ)法^{[1][2]}と垂直スケーリング FFAG 加速器^[3]を組み合わせた「ハーモニックトロン」と呼ばれる革新的円型加速器が提案された^[4]。垂直スケーリング FFAG 加速器はビーム軌道長が一定に保たれた状態で加速と共に軌道が垂直方向へ移動するという特徴をもった加速器であり、1955年に大河千弘氏によって提案された。ハーモニック数跳躍加速とは、加速と共に粒子の周回周波数が変化するような円型加速器において、加速 RF 周波数を一定に保ったままハーモニック数を変化させることでビームを安定に加速する手法であり、2006年に Ruggiero 氏によって提案された。「ハーモニックトロン」は電磁石の磁場と加速 RF 周波数が一定であるため、連続的にビームを加速することができる。さらに、加速と共に軌道半径が変化せず、運動量圧縮係数は原理的にゼロであるため、トランジションエネルギーを横切ることによるビーム不安定性の問題は発生しない。本発表では、「ハーモニックトロン」を用いて中高エネルギー大強度ハドロン加速器を実現する手法について提案する。

参考文献

- [1] A. G. Ruggiero, rf acceleration with harmonic number jump, Phys. Rev. ST Accel. Beams, Vol. 9, 100101 (2006)
- [2] T. Planche et al., Harmonic number jump acceleration of muon beam in zero-chromatic FFAG rings, Nucl. Instr. Meth. Vol. A632, pp. 7-17 (2011)
- [3] T. Ohkawa, FFAG electron cyclotron, Phys. Rev., 100, p.1247 (1955).
- [4] Y. Mori, Y. Yonemura, H. Arima, A Proposal of Harmonictron, Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University, Vol.77, No.2, pp.1-13 (2017).