

進行波型直接エネルギー変換器における集群改善のための2周波変調方式の研究

A study of dual-frequency modulation for improvement of bunching in a traveling wave direct energy converter

佐藤大気¹, 若泉貴弘¹, 市村和也¹, 竹野浩正¹, 中嶋洋輔²

Hiroki SATO¹, Takahiro WAKAIZUMI¹, Kazuya ICHIMURA¹, Hiromasa TAKENO¹,
Yousuke NAKASHIMA²

神戸大工¹, 筑波大学プラズマ研究センター²
Kobe University¹, University of Tsukuba²

1. はじめに

進行波型直接エネルギー変換器は、ヘリウム3燃料核融合で発生する高速陽子のエネルギー回収装置として提案された。[1] 陽子ビームを速度変調して集群させるが、空間的に一様で時間的に正弦波状変化する変調電界では、同一時刻・同一位置への完全な集群はできない。本研究では、集群の改善を目的として理想的な時間変化波形を求め、その効果を調べた。理想波形を実験で扱うために、2周波による近似を用いた。

2. 変調電圧波形の最適化

空間的に一様な変調では、先行流入粒子を減速、後続流入粒子を加速することで集群させる。正弦波状の時間変化では、減速・加速は定性的であり、定量的に時刻・位置を一致させる完全な集群には、異なった時間変化波形が必要である。

加・減速を受ける時間を無視し、入射粒子の速度が全て同じ(v_0)と仮定して、粒子の軌跡図(図1)で最適波形を考える。粒子は時刻0から T (変調電界の周期)の間に流入し、時刻 t_2 に位置 l で集群する。任意の時刻 t_1 に流入する粒子の軌跡も(t_2, l)を通る必要がある。そのため速度 v に加減速される。最大加速分と最大減速分(それぞれ u_1 と u_2)を用いて v の条件を変調電圧で表現すると、時間の2乗に反比例する式が得られる。図2はこれを表したもので、反りが緩やかであるため、鋸歯状波に似た形になる。この波形の変調電圧を用いて数値計算を行った結果、集群される粒子の個数が増加した。

3. 実験手法と結果

図2の理想変調電圧波形は、模擬実験レベルの高電圧で実現することは困難である。そこで波形をフーリエ級数展開し、主成分である基本波と第二高調波のみで近似して取り扱う。模擬実験装置で、変調電圧の印加電極を2枚隣り合せて配置し、それぞれ基本波と第二高調波を印加する。基本波の周波数は7 MHz、第二高調波の周波数は14 MHzとした。

集群の効果は、ファラデーカップのコレクタ電流を高速フーリエ変換したもので評価した。[2] ファラデーカップの位置を固定して、加速電圧や変調電圧を変化させ、基本波成分の大きさを調べる。加速電圧の変化に対する高い集群効果が得られる条件は数値計算結果と一致したが、変調電圧の変化に対しては一致が見られなかった。詳細は講演で説明する。

謝辞 本研究の一部では、NIFS, 筑波大学, 神戸大学間の双方向型共同研究(NIFS13KUGM082)の援助を得た。
参考文献

[1] H. Momota, LA-11808-C, Los Alamos Natl. Lab., 8 (1990).

[2] K. Fujita, et al., Collection of Papers for OS2014, pp. 94-97 (2014).

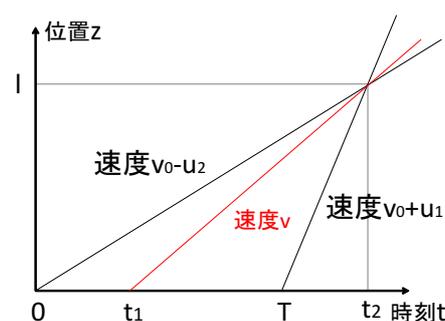


図1: 変調による粒子の軌跡

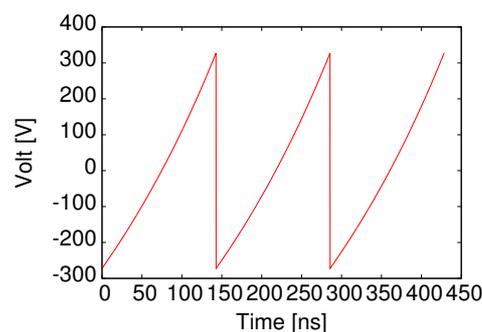


図2: 理想的な変調電圧波形