

PICシミュレーションを用いた多段型高周波加速空洞による MeV級ビーム加速の性能評価

Evaluation of MeV-class beam acceleration using multi-step RF cavities by PIC simulation

佐藤 旭¹, 安藤 晃¹, 佐古 貴行², 森 義治², 津守克嘉³

SATO Asahi¹, ANDO Akira¹, SAKO Takayuki², MORI Yoshiharu², TSUMORI Katsuyoshi³

東北大学¹, 京都大学², 核融合科学研究所³

Tohoku Univ.¹, Kyoto Univ.², NIFS³

中性粒子ビーム入射 (NBI) 装置は、トーラスプラズマ加熱、閉じ込め改善、電流駆動にとって不可欠な加熱機器であり、ITER や将来の DEMO 炉や核融合実現のため大強度電流化および高エネルギー化を目指して開発・研究が進められている。

次世代の NBI 装置では数十 A の大電流重水素負イオンを 1MeV 以上の高エネルギーに加速する必要がある。現在の多孔多層加速電極系を用いた静電加速方式では絶縁系の大型化や電極構造の複雑化、加えて定常運転時に起こる電極損耗といった課題が懸念され 1MeV を越えた加速ビーム実現が困難とされている。

そこで本研究では高エネルギー加速器技術開発で利用されている高周波加速方式を使用し、1MeV以上の高エネルギーかつ10A級の大強度負イオンビームの実現を目指し検討を進めている。RFQ加速など従来の高周波を用いたビーム加速方式では、電流値が上がるとビーム自身の持つ電荷により生じる自己電荷効果によって加速位相に集まった荷電粒子集団が形成できずうまく加速できないことから、大電流加速は困難であり 1 A 級の電流値は実現できていない。本研究では多段型の高周波空洞を利用し、各段の空洞の加速電圧と位相を最適化することで、アンペア級のビーム加速を実現できることを示し、その最適化を進めている。

図 1 に本研究で提案する多段型高周波加速方式の概略図を示す。多段に並べた空洞にそれぞれ異なる位相・振幅の高周波電界を印加することでビーム集団をおこし加速する方式で、印加する電力および位相を最適に選択することで 1 MeV 以上の高エネルギーでアンペア級の大強度ビーム生成を実現することができる。また、空洞開口部を大きくとることができることからマルチビームレット化も含め大電流化も可能である。

本研究ではビームの自己電荷による発散を考慮した運動方程式を用いて PIC シミュレーションを行った結果を報告する。

図 2 および図 3 は、2 MeV 加速時における各空洞部に印加する高周波電圧値設定と、各条件下でのビーム射出率である。ビーム電流 1 A 時ではほぼ 100% 加速されているが、電流値が 3 A 以上になると高周波捕捉から外れる粒子が増えてくる様子を示している。

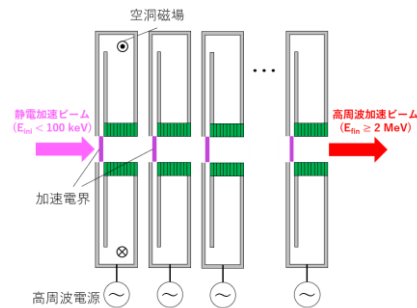


図 1：多段型高周波加速の概略図

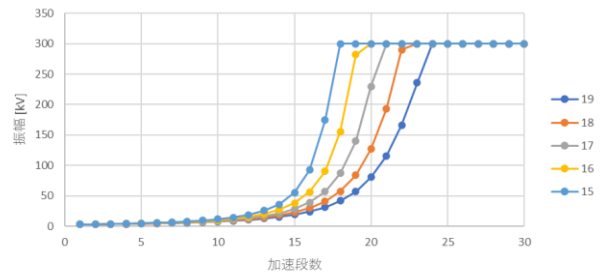


図 2：各空洞段にて与えるギャップ加速電圧

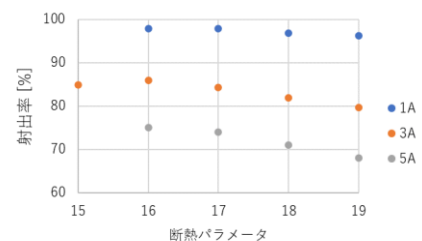


図 3：加速されたビームの射出率