

氏名	藤 枝 美 穂
学位(専攻分野)	博士 (理 学)
学位記番号	理 博 第 2170 号
学位授与の日付	平成 12 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	理学研究科物理学・宇宙物理学専攻
学位論文題目	Barrier Bucket Experiment with Magnetic-Alloy loaded RF cavity (磁性体合金を用いた RF 空洞によるバリアバケット実験)
論文調査委員	(主 査) 教授 野田 章 教授 今井憲一 教授 笹尾 登

論 文 内 容 の 要 旨

大強度ビームのシンクロトロンリングへの入射に当たっては、荷電粒子ビーム間のクーロン反撥力に起因する空間電荷効果がビーム強度に制限をもたらす。具体的には、粒子間のクーロン反撥力により、ビームが発散力を受け、リング一周あたりの収束力が弱まり、ベータトロン振動数が減少する。この結果、ベータトロンチューンが整数または半整数の共鳴条件に達するとビームが失われる。

これを軽減し、大強度ビームの入射・蓄積を可能とするため、ビームの進行方向の分布を可能な限り広げ、ビーム電流の線密度を軽減するビーム入射方法として、バリアバケットを用いる方法が提案されている。これはバリアー電圧と称する二つの単独 sine 波を用いて、ビームを断熱的にリングの軌道方向に拡散させ、ビームの線密度の縮減を図る方法である。この方法では、ビームがリング中に拡散している程度を表すバンチングファクターを、通常の方式の 0.3 から 1.0 に増大できると期待される。

本研究では、大強度ビームを用いたテストのため、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の 1.9 GeV ブースターからシンクロトロン AGS への輸送・入射ラインを用いて、このバリアバケット法を用いたビーム入射・蓄積を行い、さらに AGS での加速も行っている。具体的には、バリアバケット形成のため、高エネルギー加速器研究機構で製作した Magnetic Alloy を装荷した非同調 RF 空洞を日本から持ち込み、BNL の Ferrite Loaded Cavity と併せ用いて、各ピーク電圧 40 kV、波長 500 ns の孤立 sine 波を発生させ、バリアバケットの形成によるビーム入射及びビームバンチの断熱的拡散を行った後、ビームの加速も行っている。この方式により、ブースターからのバンチあたり 6×10^{12} 個の陽子ビームを 5 バンチ蓄積し、 3×10^{13} 個の陽子の蓄積に成功している。

この過程で KEK で製作した Magnetic Alloy を装荷した非同調高周波空洞は (1) 透磁率が高い、(2) インピーダンスが RF 磁場の磁束密度によらない、(3) Q 値が低い (~ 0.6) ためインピーダンスが広帯域で、共振周波数の tuning が不要である、また barrier 電圧を出力するためのパワーが少なくすむ、(4) Curie 温度が高い (~ 600 度) ためコアの冷却装置が簡単ですむ、等の利点がある。Q 値が低いとき大きくなる beam loading の効果も、feed forward での補償が可能であることを本研究では実験的に示しており、BNL の Ferrite Load Cavity に比して、バリアバケットを用いたビームの断熱拡散実験にはより適していることを実証している。

本研究においてはバリアバケットを用いたビームの断熱拡散の際に、断熱条件を満たすためにバリアバケットに要求される掃引速度の条件を調べると共に、実際のビーム加速に際しての fast loss, γ -jump に際してのビームロス等の診断も併せ行い、縦方向の位相空間におけるビームとバリアバケットが生成する位相ギャップの mismatches が縦方向エミッタンスの増大をもたらすことを明らかにした。

論文審査の結果の要旨

申請者は、大強度ビームのシンクロトロンリングへの入射の際に、クーロン反撥力によって生ずる空間電荷効果のために、ビーム強度が制約を受ける状況を改善する目的から、通常の Bucket to Bucket Transfer に比して、ビームが軌道方向に拡がっているため、その線密度を低く抑えることが可能となるバリアーバケットによるビームの入射・蓄積の実験的研究を遂行した。大強度加速器としては、米国ブルックヘブン国立研究所 (BNL) の AGS を用い、1.9 GeV ブースターからの入射過程で実験を行っている。併せて、バリアーバケットを用いて入射・蓄積されたビームを再捕獲し、加速するテストも実行しており、バリアーバケットによる拡散の断熱性が満たされるための条件の測定、バリアーによるビームの制御、種々のビームロス測定等に意欲的に取り組んでいる。中でも、バリアーバケットを用いて、リングの周方向に拡散したビームを加速して見せたのは、世界初であり特筆に値する。

申請者を中心として行われた本研究により、以下の知見が得られた。

1. Magnetic Alloy を装荷した非同調 RF 空洞は、通常 Ferrite を装荷した同調型 RF 空洞に比して、バリアー電圧の発生が少ないパワーですみ、beam loading の効果も feed forward 系で制御しやすいので、バリアーバケット法に適している。

2. ビームの拡散の際の断熱性を満たすための条件として、バリアーを掃引する速度はビームのドリフトの速度に比して 10 倍遅い必要がある。

3. 縦方向エミッタンスの増大は遷移 γ を通過する際の少量のビーム損失につながるが、これは縦方向位相空間におけるビームバンチと広い位相ギャップとのミスマッチに起因する。

よって、本申請論文は博士 (理学) の学位論文として価値あるものと認める。

平成 12 年 1 月 17 日、主論文および参考論文に報告されている研究業績を中心として、これに関連した研究分野について口頭試問した結果、合格と認めた。