

SeaQuest実験のための陽子ビームの加速と取り出し

柴田研究室 15M01110 国定 恭史

粒子加速器

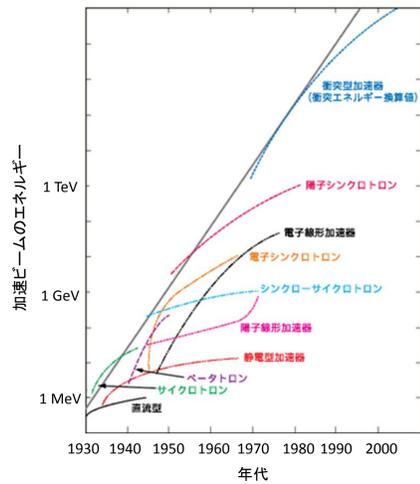
- 粒子加速器は100年前から現在まで、大きく発展してきた。
- 現在ではビームのエネルギーをGeVやTeVまで上げることが出来る。

↓電子・陽電子線形加速器(KEK)



バンデグラフ加速器(東工大)↑

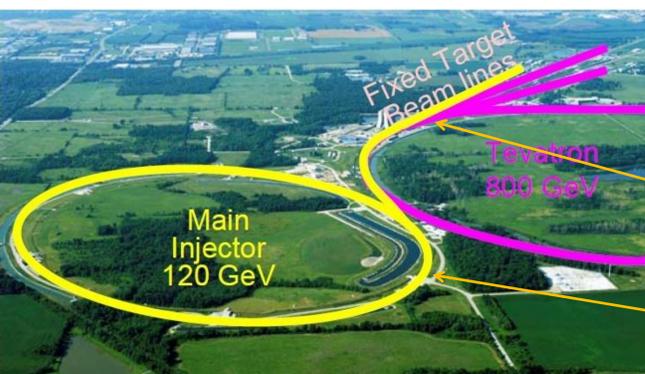
- 粒子加速器の種類としては、静電加速器や線形加速器、円形加速器などがある。



FNAL main injector

SeaQuest実験

- SeaQuest実験では、陽子-陽子反応実験で陽子の内部構造を探る。
 - 120 GeVの陽子ビームを固定標的にあてる。
- 陽子の加速にはFermi国立加速器研究所のシンクロトロンが用いられている。



アメリカ、イリノイ州
円周：3.3 km

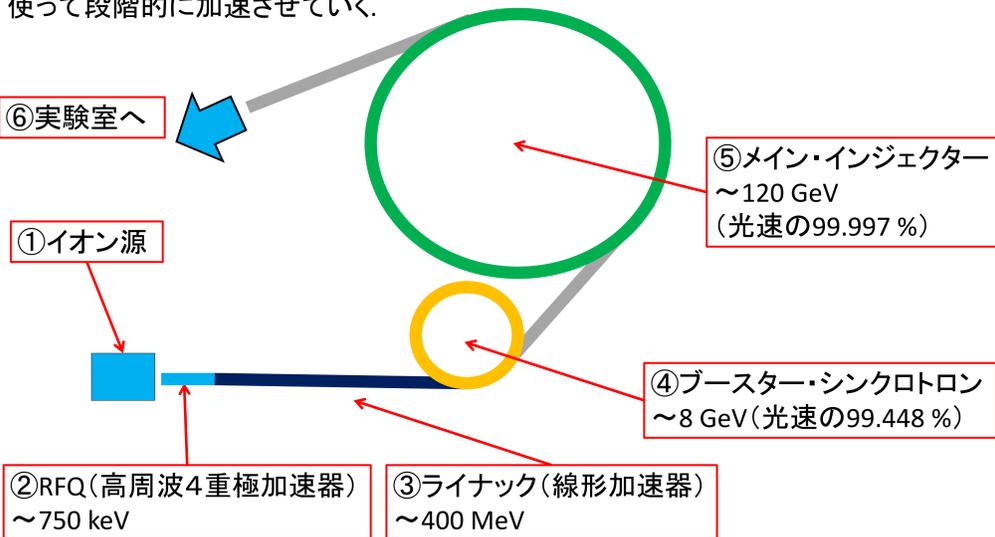
加速された陽子はビームラインを通して固定標的に運ばれる

Main injectorで陽子を加速させる

↑シンクロトロン(FNAL)

どうやって陽子を加速させるのか？

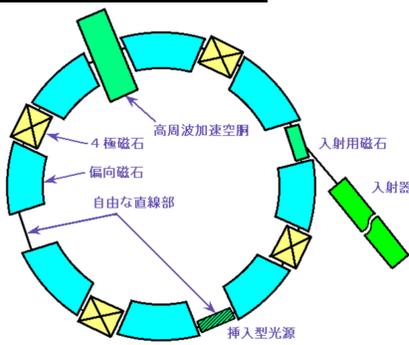
1つのシンクロトロンだけで120 GeVまで加速するのではなく、いくつかの加速器を使って段階的に加速させていく。



前段加速器がなぜ必要なのか？

→シンクロトロンの周波数は、技術的な理由により変えられる範囲が限られているため

シンクロトロンの構成

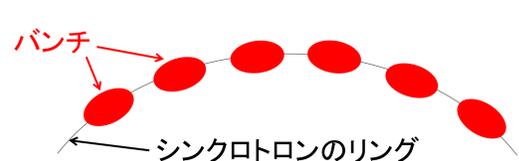


シンクロトロンは円形加速器である。
 ➢ 高周波加速空洞
 高周波電圧を発生させ、粒子を加速する装置。
 ➢ 偏向磁石(2重極磁石)
 粒子の運動を円形に保つための磁場を発生させている。
 ➢ 4重極磁石
 ビームを軸近傍に収束させている。

他にも真空ポンプやビーム入射装置、ビーム取り出し装置などが置かれている。

リング内のビーム

- シンクロトロンでは高周波電圧と共鳴して粒子が加速していく。そのため、ある位相の範囲内の粒子が安定して加速する。
- 位相振動の安定領域をRFバケット、その粒子の集団をバンチと呼ぶ。

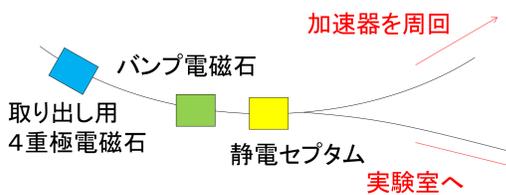


メイン・インジェクター
 光速ならば一周するのに11 μs
 ➢ 周波数(RF) : 53.1 MHz
 ➢ RFバケットの間隔 : 19 ns
 ➢ RFバケット数 : 588(ただし1/7は空)

ビームの時間構造

遅いビーム取り出し

- 一度に大量の反応が起きると、検出器や電気回路が対応できなくなる。そのため、長い時間をかけて少しずつビームを取り出す。(遅いビーム取り出し)

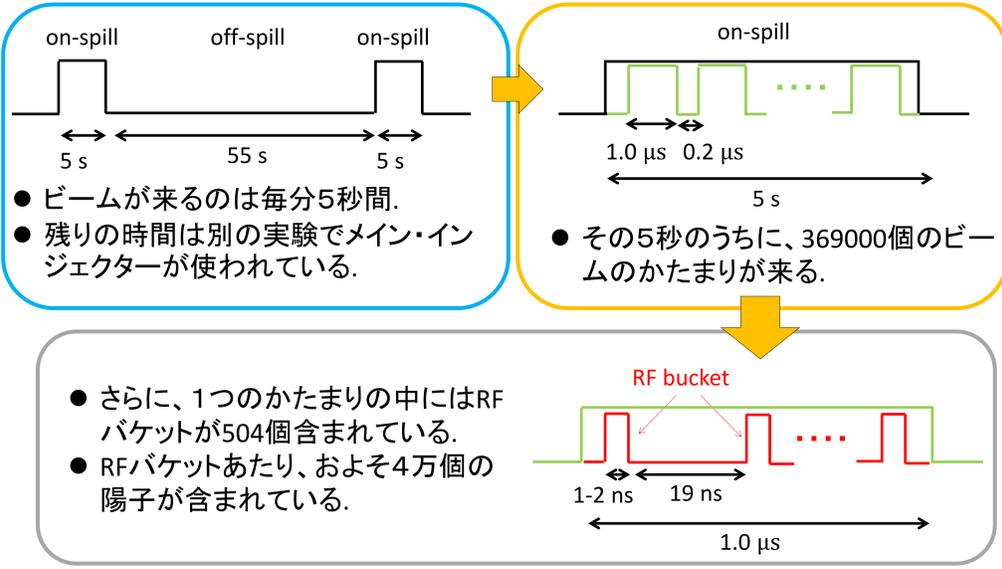


1. 4重極電磁石の磁場を変え、振動数を変化させる。
2. ビームが不安定領域に入る。
3. 取り出し用の4重極電磁石で取り出し率を制御しながら、ビームを取り出す。

- 取り出しには、静電セパタム、セパタム電磁石、パンプ電磁石、取り出し用4重極電磁石、8極電磁石などさまざまな装置が必要

ビームの時間構造

SeaQuest実験に使われるビームは図のような時間構造を持つ。



目標と現状

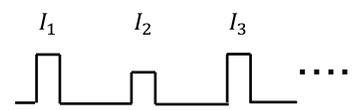
- RFバケットに含まれる陽子数は多い方がデータを増やせるが、多すぎるとバックグラウンドも大きくなってしまふ。
- 偶発的の同時計測を避けるために、陽子数はRFバケットあたり一定数(4万個)であることが望まれる。
- しかし、現状では陽子数にまだばらつきがある。

Duty factor

- ばらつきの指標としてDuty Factorというものがある。

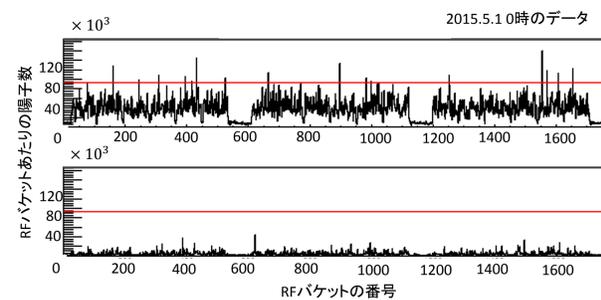
i番目のRFバケットあたりの陽子数を I_i とすると、Duty Factorは

$$\text{Duty Factor} = \frac{\langle I \rangle^2}{\langle I^2 \rangle} = \frac{(\sum_i I_i)^2}{\sum_i I_i^2}$$



現状

- Duty Factorの目標は60%であるが、現在は45%である。
- 図はRFバケットあたりの陽子数の変動を表している。
- 陽子数は、短周期と長周期の変動がある。
- 短周期の変動はメイン・インジェクター側、長周期の変動は引き出し側の問題と考えられている。
- 陽子数が4万個から大きく離れているRFバケットもあり、Duty Factorは改良の途中である。
- 加速器側での改良と検出器側での双方の改良が行われている。



まとめ

- 加速器はこの100年間で大きく発展し、現在ではさまざまな種類のものがある。
- SeaQuest実験は陽子の内部構造を探る実験で、120 GeVの陽子ビームを用いる。加速器はFermilabのシンクロトロンを使っている。
- ビームは複数の加速器を使って段階的に加速させる。
- シンクロトロンには加速空洞や4重極磁石が使われる。
- 加速器内のビームの集団をRFバケットという。
- 少しずつビームを取り出す「遅いビーム取り出し」をする。
- RFバケットの間隔は19 nsである。
- RFバケットあたりの陽子数を一定数(4万個)にすることが望まれる。
- 現状ではduty factorは45%であり、改良の途中である。