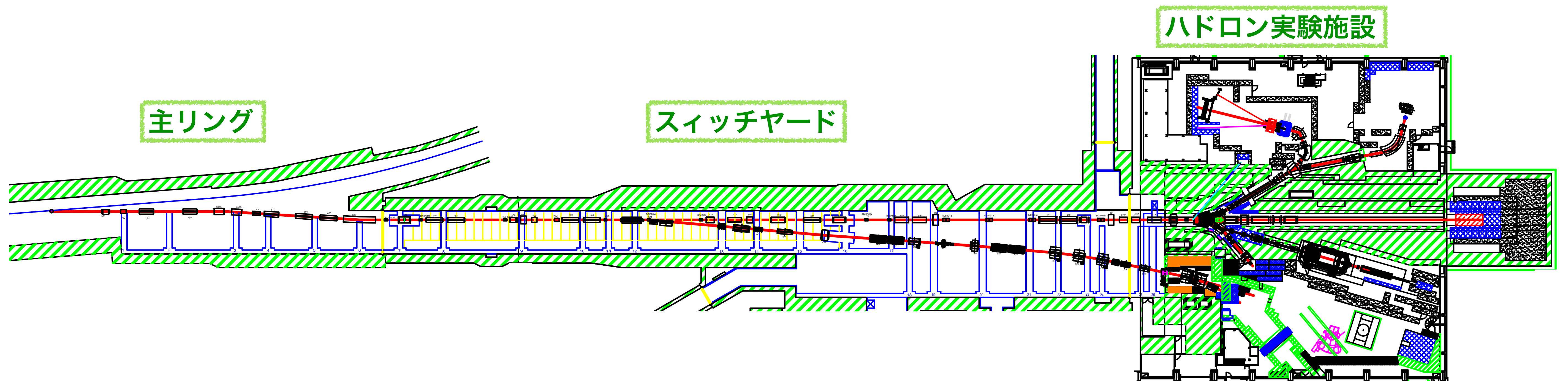


# 加速器からの陽子を運ぶ

①加速器から生成標的へ

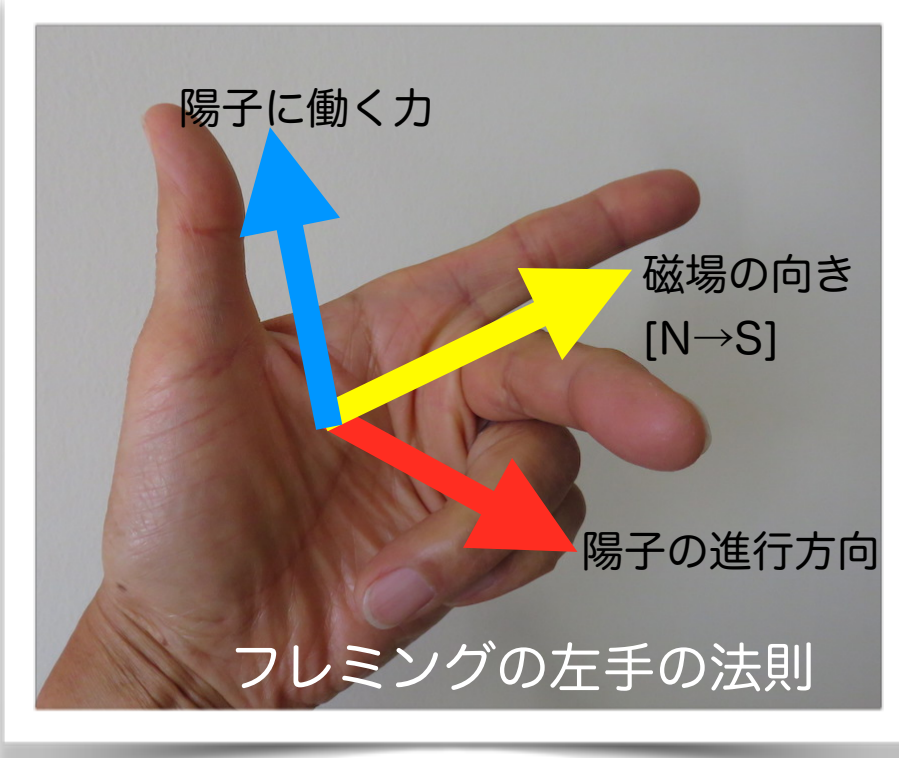
## 加速器からハドロン実験施設へ



## 磁場：輸送する

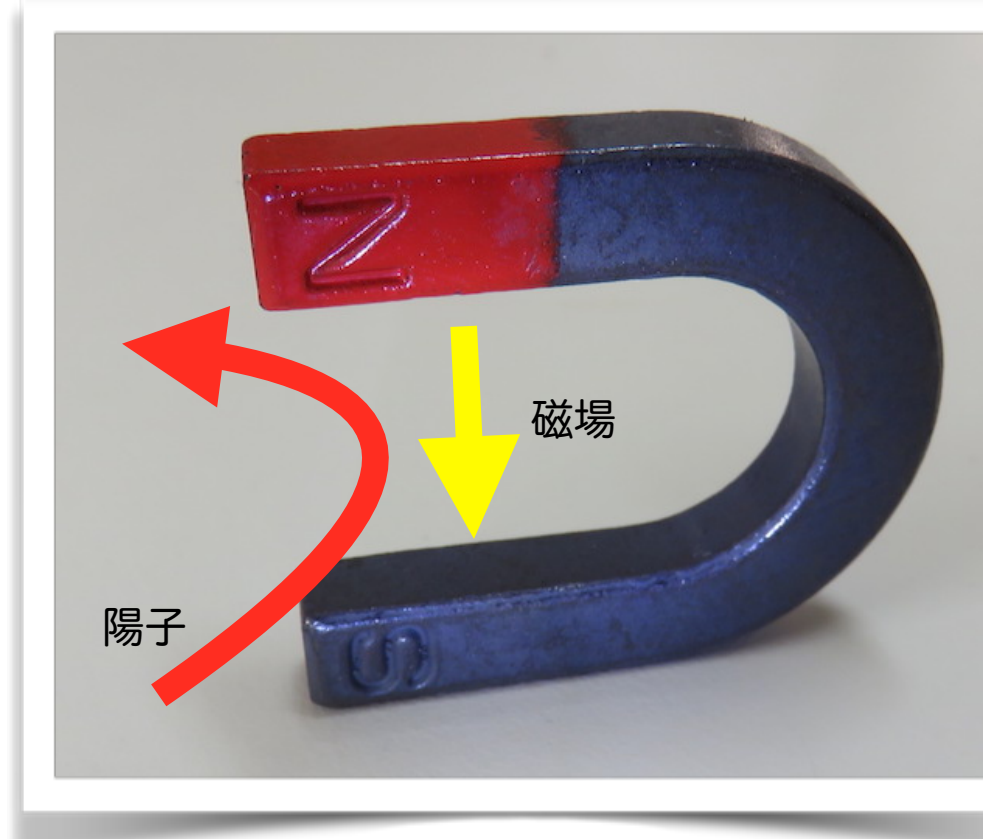
### 磁場中の荷電粒子に働く力

荷電粒子は磁場中を進むとき、自身の進行方向と磁場の向きが作る平面に、垂直な方向に力を受けます。力は粒子の進行方向に対して、常に垂直に働きます。正の電荷の陽子の場合、右の図のような向きになります。



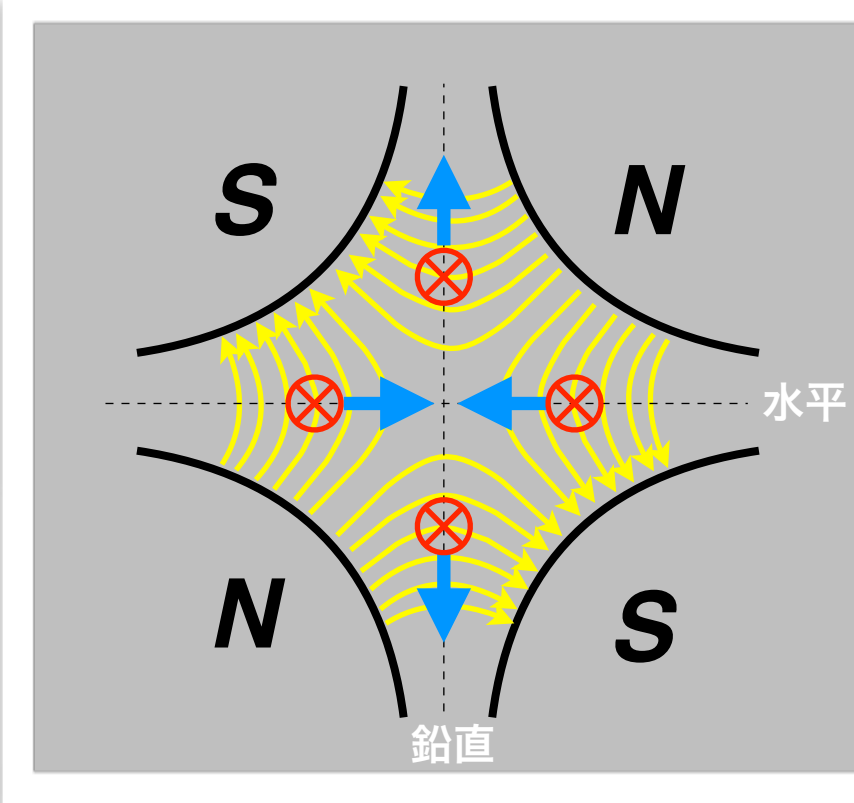
### 双極電磁石

陽子の進む向きを変える電磁石です。電流と鉄芯で一对のN極とS極を発生させています。陽子が進む“軌道”は、磁場中では進行方向に対し常に直角に力を受けますので、円軌道となります。



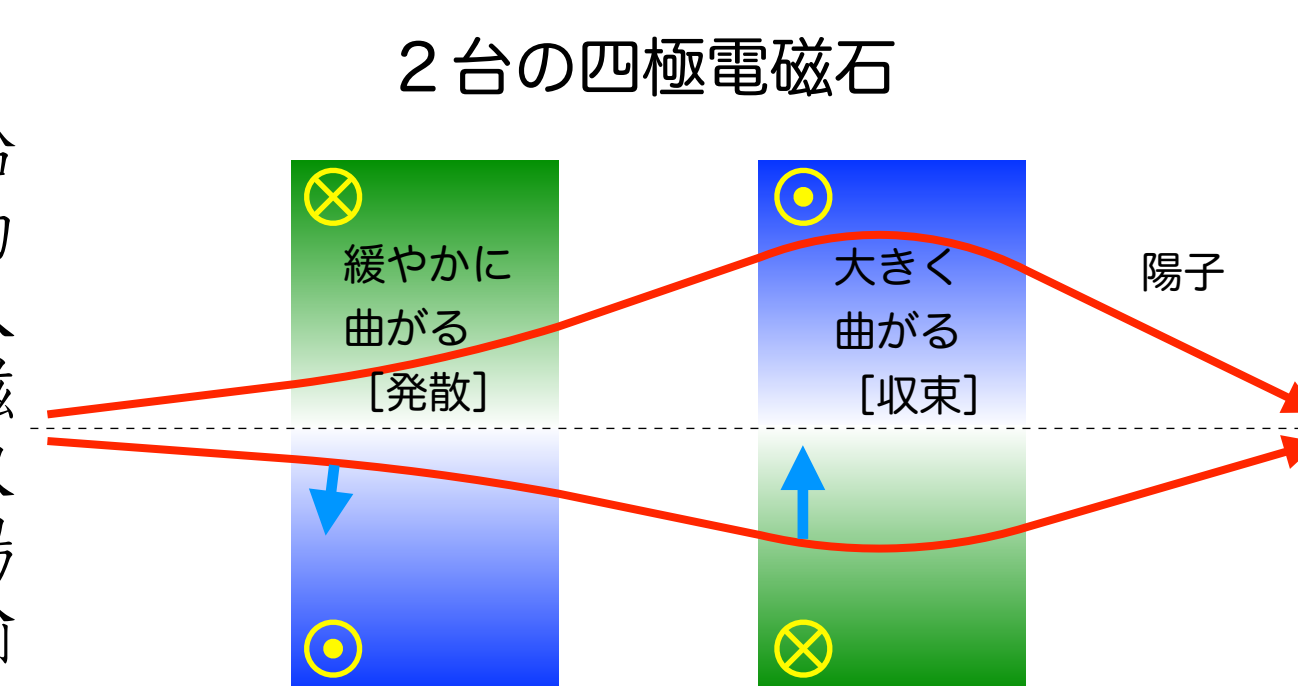
### 四極電磁石

陽子ビーム（運動する陽子の集団）を集める“レンズ”の働きを担います。右の図は四極電磁石を陽子ビームに乗って見た断面の模式図です。磁場はビーム軌道の中心から外側に離れるほど強くなります。また右図では、水平方向は収束に、鉛直方向は発散に力は働きます。



### ビームを集める

四極電磁石は水平面と鉛直面で粒子を曲げる方向が異なります。極性を入れ替えた2台の四極電磁石を用いると、発散と収束の組み合わせにより陽子ビームを集めながら輸送することができます。



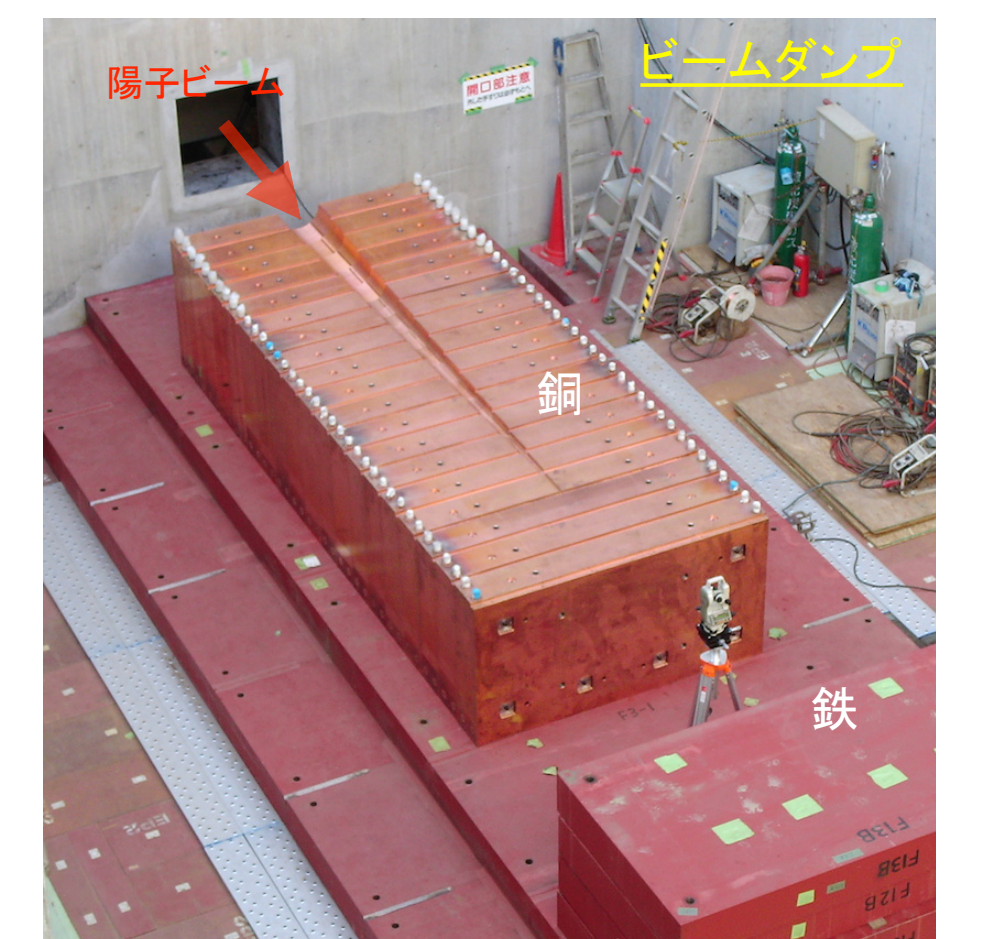
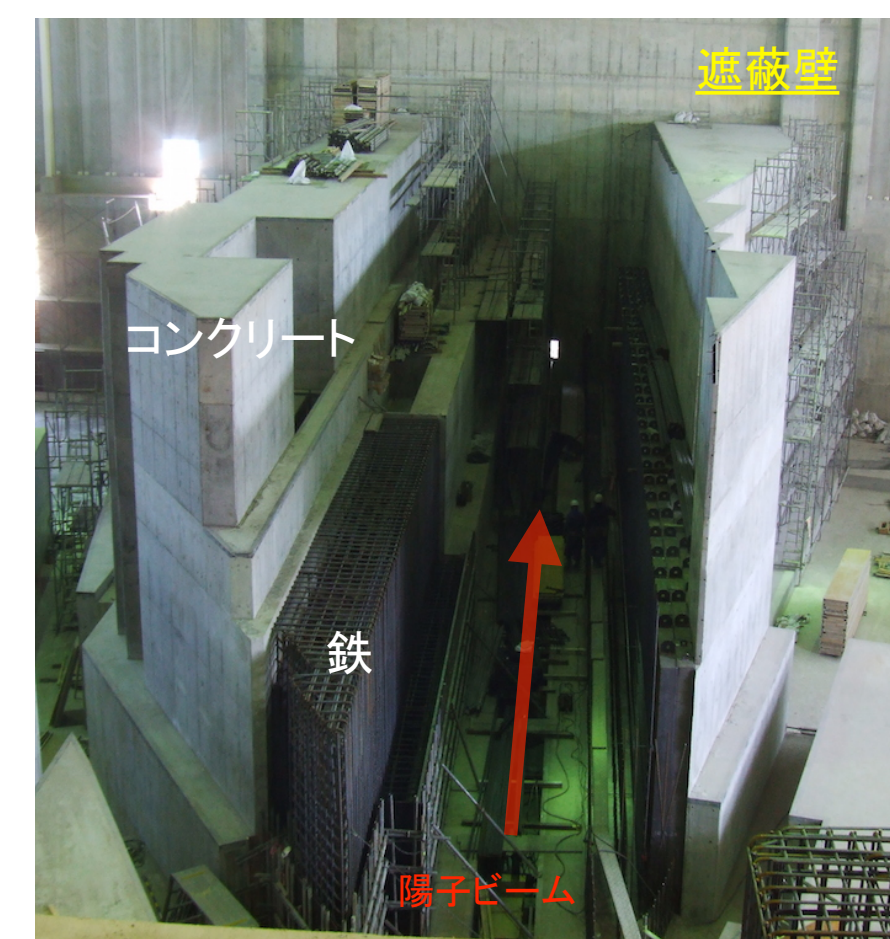
## 真空：ビームの通り道

陽子ビームにとって空気は邪魔者になります。ビームの通り道となるビームパイプから、空気をできるだけ取り除き、“真空”にします。大気圧の十万分の一(1Pa [パスカル])程度を維持しています。尚、加速器の主リングでは $10^{-6}$ Paの超高真空で運転されています。



## 遮蔽：守る、止める

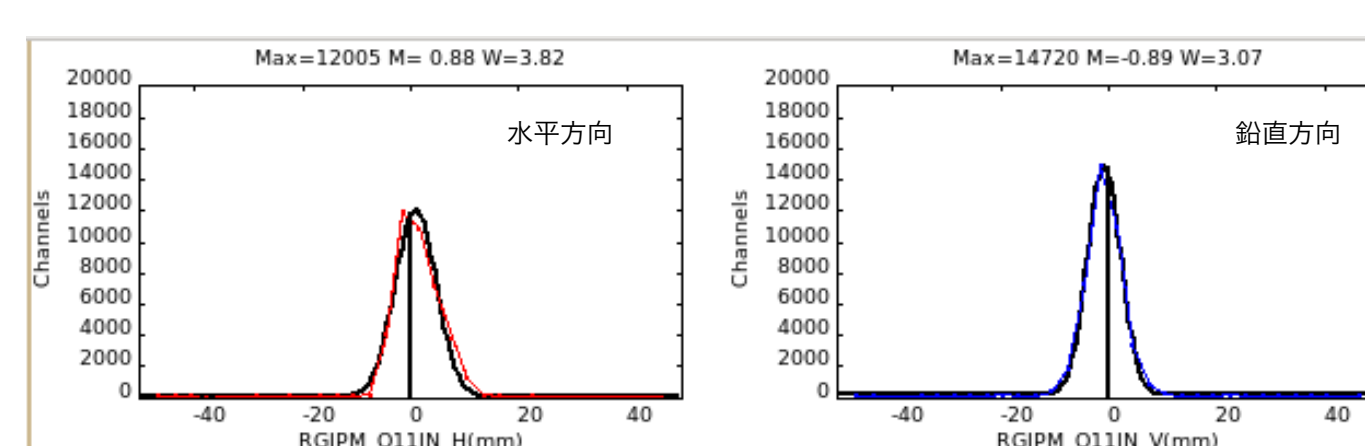
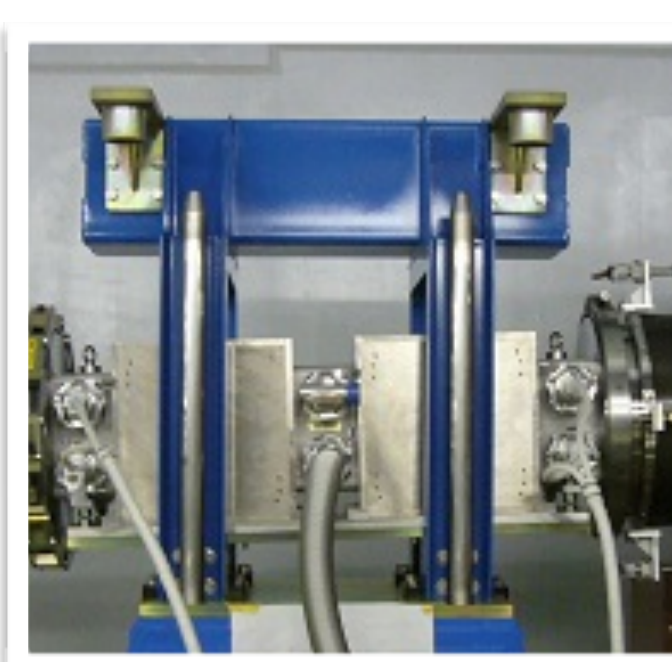
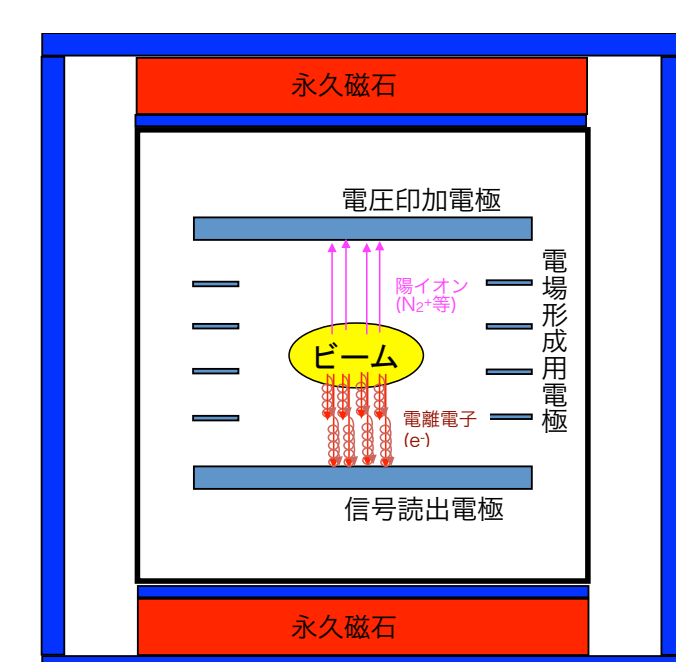
陽子ビームを金属標的にあてると、いろいろな粒子やガンマ線が発生します。そのうちの必要な一部の粒子を実験エリアに導いて実験を行います。それ以外の粒子や2次的に発生する放射線などが実験者や環境に影響を及ぼさないように鉄やコンクリートで遮蔽します。金属標的と反応せずに通過した陽子ビームは、最下流の銅と鉄とコンクリートで構成されるビームダンプで止めます。



## 測る：ビームの形と数

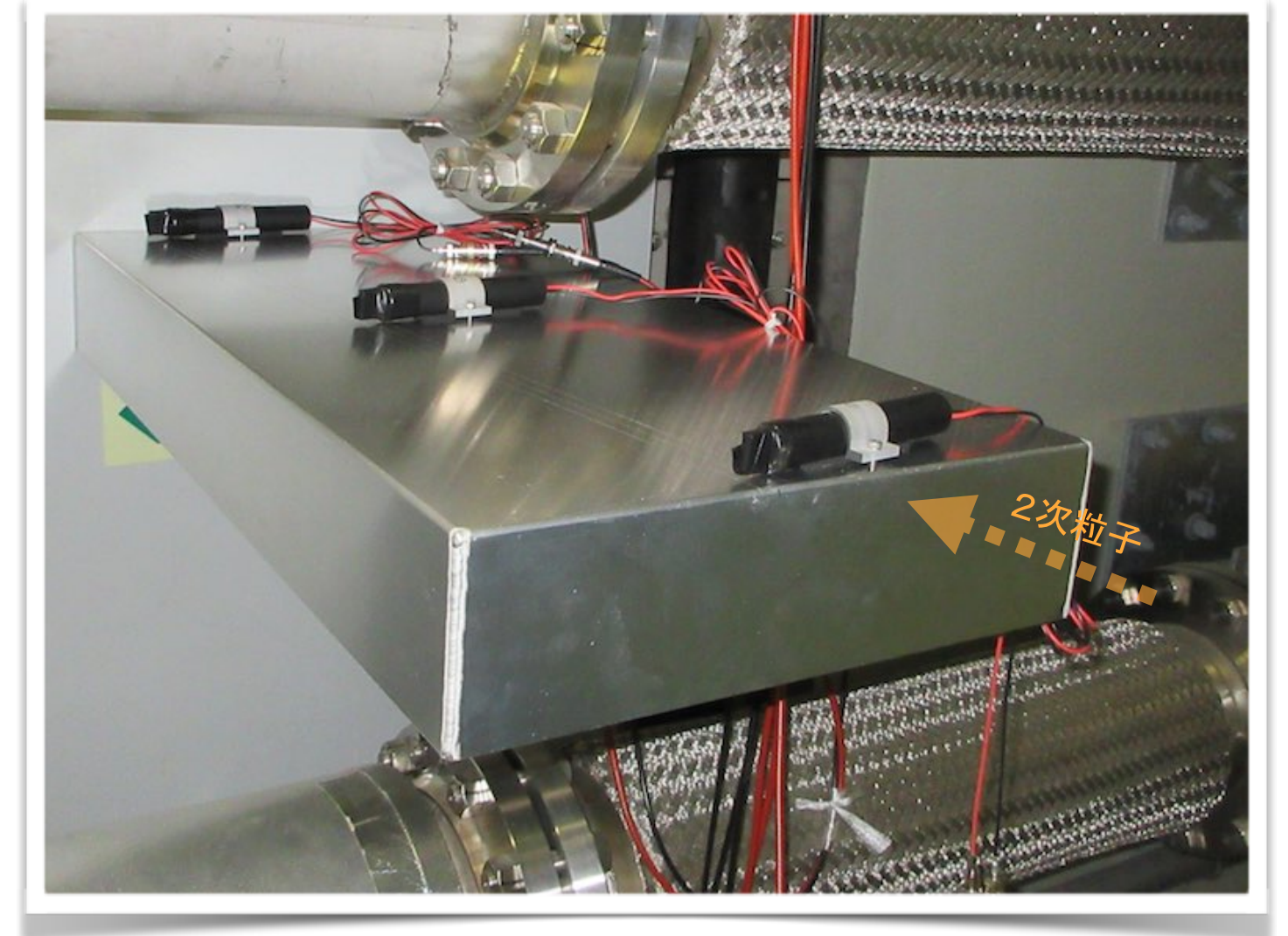
### ○形

陽子ビームの通り道のビームパイプの中は真空排気されています。しかし、大気圧の十万分の一程度の空気が残留しています。陽子ビームは残留している空気と衝突して、分子をイオン化します。この時に発生する電子を、電場と磁場によって、ビームの形を保存しつつ電極に移動させると、ビームの水平または垂直方向の形を測定することができます。この測定方法は、ビームをさえぎる物質を極小にすることが可能で、大強度ビームの形状測定に適しています。



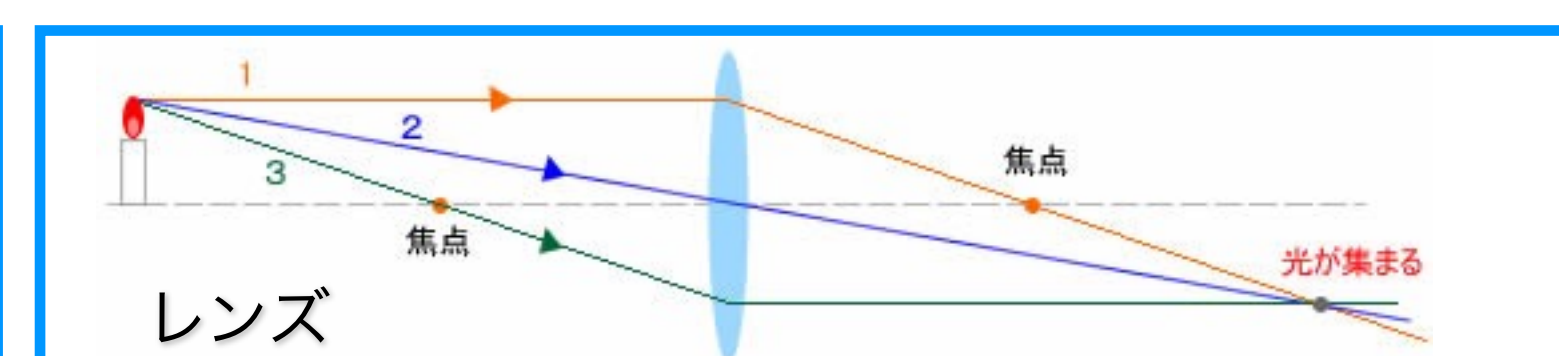
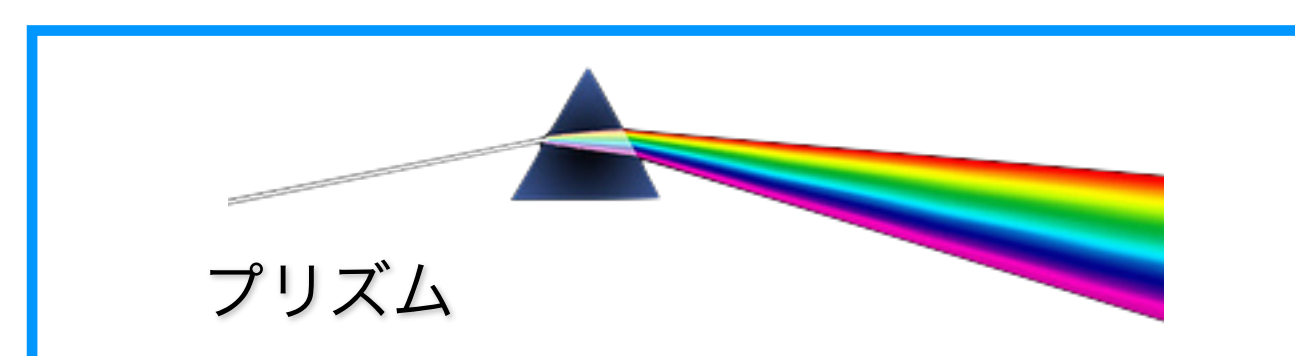
### ○数

加速器から取り出されて50m下流までは大気圧の百億分の一程度の高真空、それより下流側は十万分の一程度の真空になっており、その仕切りに厚さ0.1mmのアルミ膜があります。陽子ビームがこの膜に衝突して生じる2次粒子の個数を測定すると、ビームの数を測定することができます。3つのプラスチックシンチレーターを利用することでアルミ膜からの2次粒子だけを選んで測定する方法を採用しています。



## 閑話

光と似ているところと違うところを考えてみましょう。



・光の波長 ≡ 粒子の運動量 ?  
・プリズム ≡ 双極電磁石 ?  
・レンズ ≡ 四極電磁石 ?