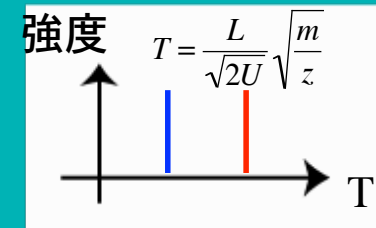
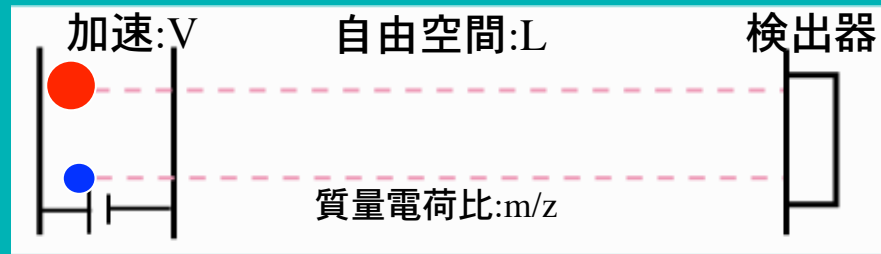


# プリント基板を用いたイオンミラー のイオン光学的検討

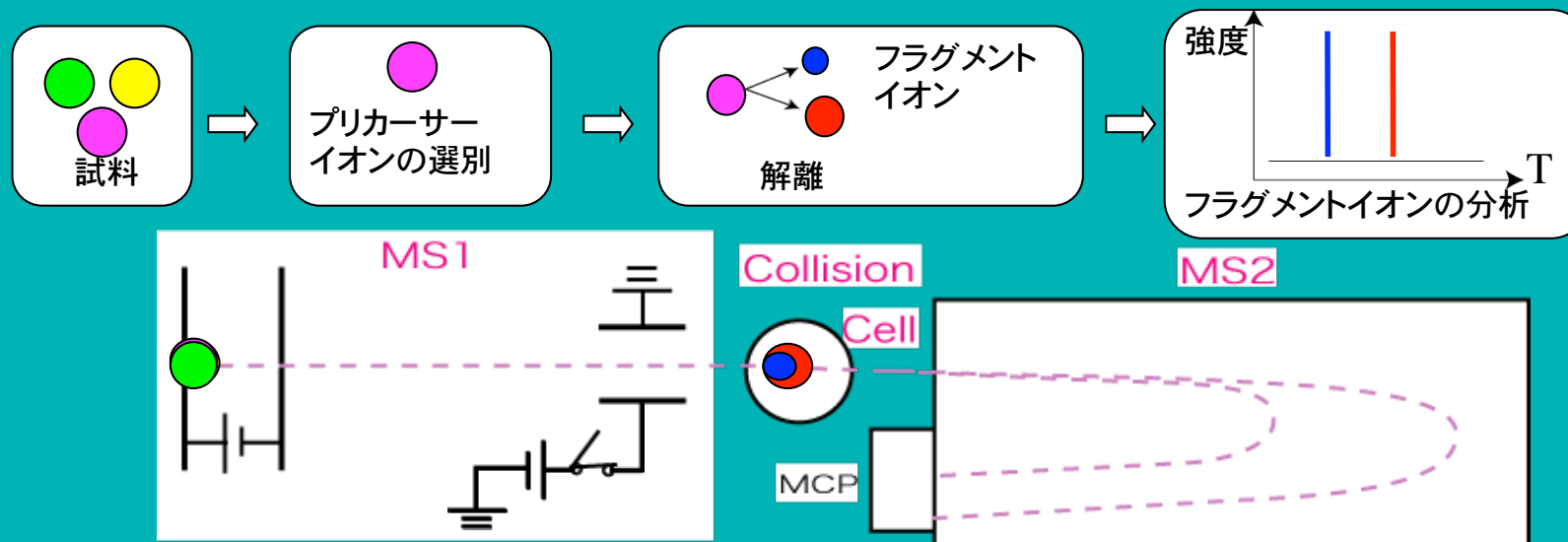
質量分析グループ  
乃田泰次

# はじめに

## ・飛行時間型質量分析(TOF-MS)



## ・タンデム飛行時間型質量分析法

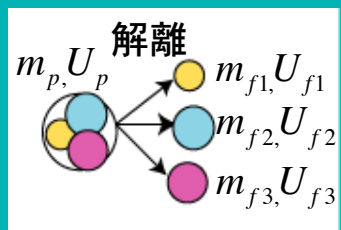


本研究では、二台目の質量分析計として、イオンミラーの検討を行っている。今回は数値解析によるシミュレーションを行った。

# 衝突解離法(CID)と二台目に求められる性能

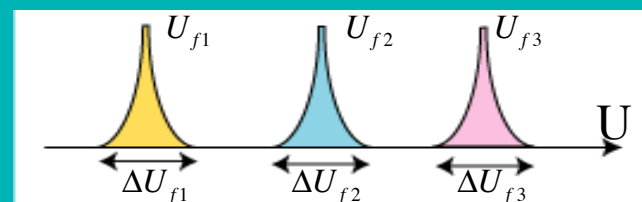
フラグメントイオンのエネルギー

$$U_f = \frac{m_f}{m_p} U_p$$



特徴

1. 速度はどのイオンもほぼ一定
2. 質量の違いにより幅広いエネルギーをもつ
3. 同じ質量でも解離の仕方等によりエネルギーに幅をもつ



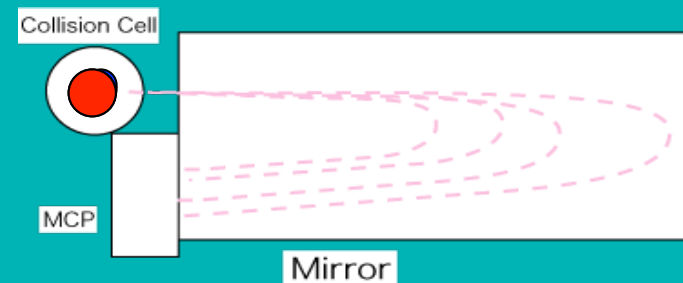
求められる性能 ⇒ 飛行時間が質量のみに依存し、エネルギーに依存しない

・一般的なTOF-MS



速度が一定なため分離できない

・一次ポテンシャルのイオンミラー



ある質量ではエネルギー収束を満たすが質量がずれると収束しない

# Quadratic field mirror

Quadratic field mirror  
:Z軸方向のポテンシャル

$$U(z) = \frac{k}{2}(z - a)^2 + C$$

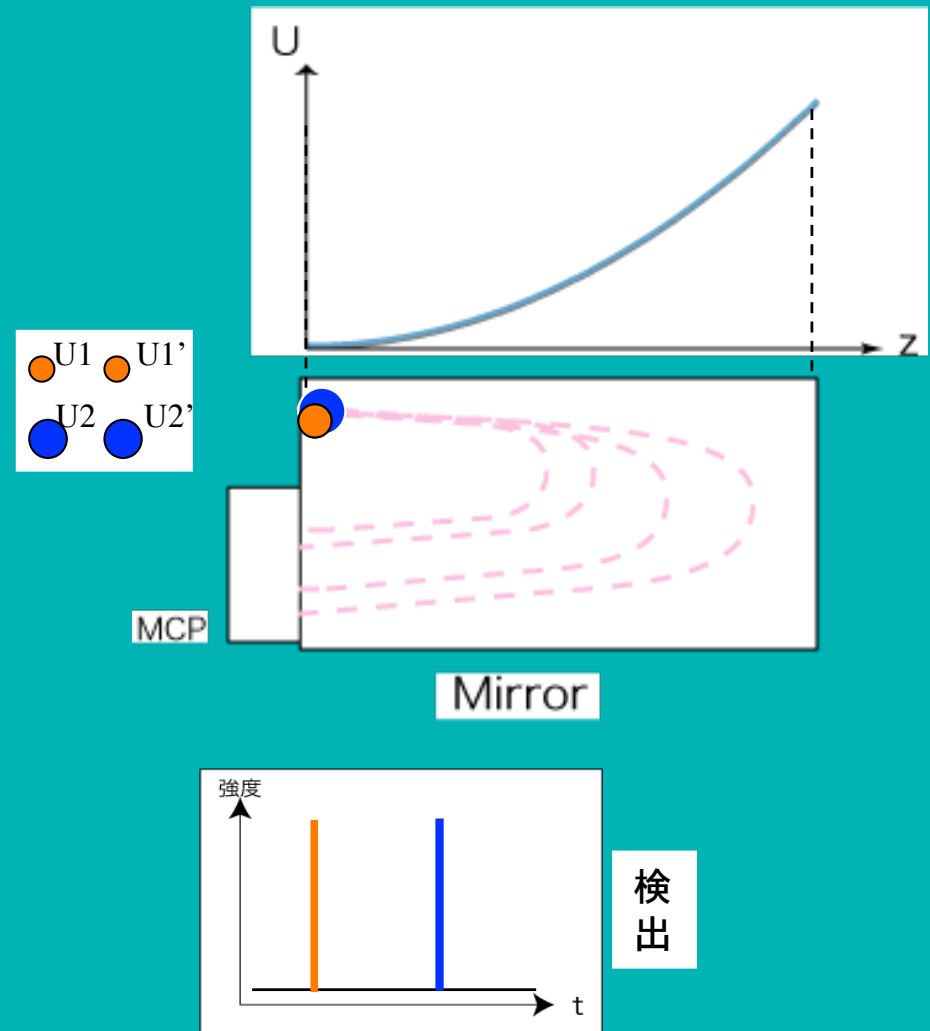
イオンの往復時間=単振動の半周期

$$T = \frac{p}{W} \sqrt{\frac{qk}{m}}$$

(m:イオンの質量、q:イオンの電荷)

エネルギー(振幅)に依存しない

すべてのフラグメントイオンを  
分解能を落とすことなく検出できる



# Quadratic field mirror の難点

以下の2点

1. 電極構造が複雑になる
2. 設計上不可避な自由空間の存在

1. ラプラス方程式を満たすポテンシャルの例

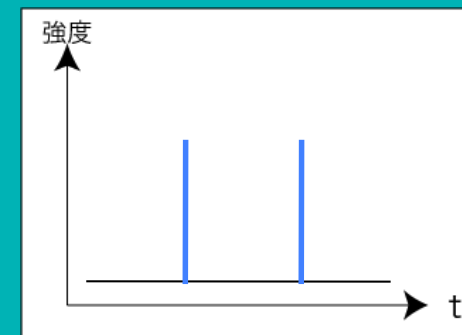
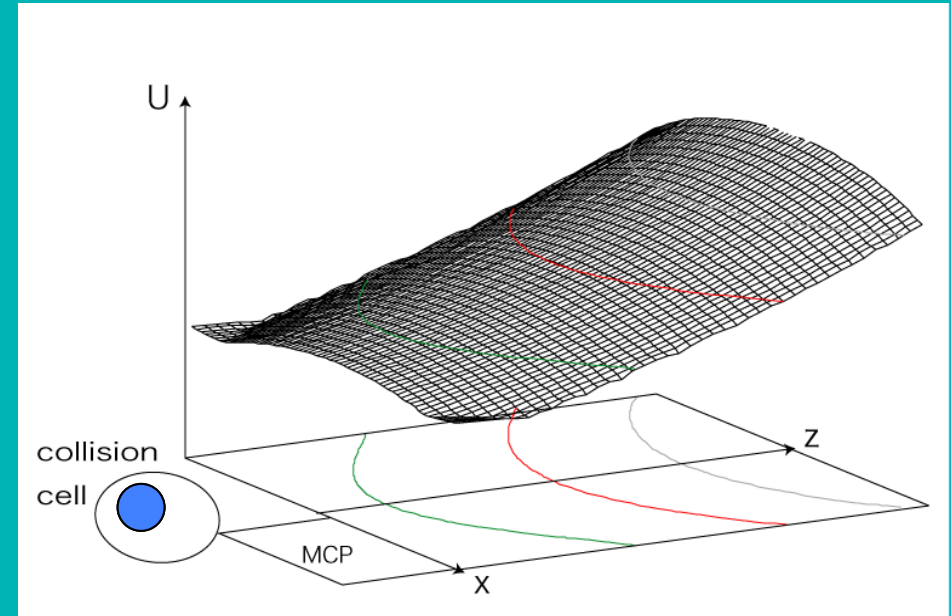
$$U = az^2 - ax^2$$

ミラー内を双曲面場とする電極が必要

2. 自由空間での飛行時間は

$$T = L \sqrt{\frac{m}{2U}}$$

従ってエネルギーの広がりにより、分解能が落ちてしまう



# Offset Parabolic Reflectron

Z方向が右図のようなポテンシャルのミラー(L2+L3)を考える

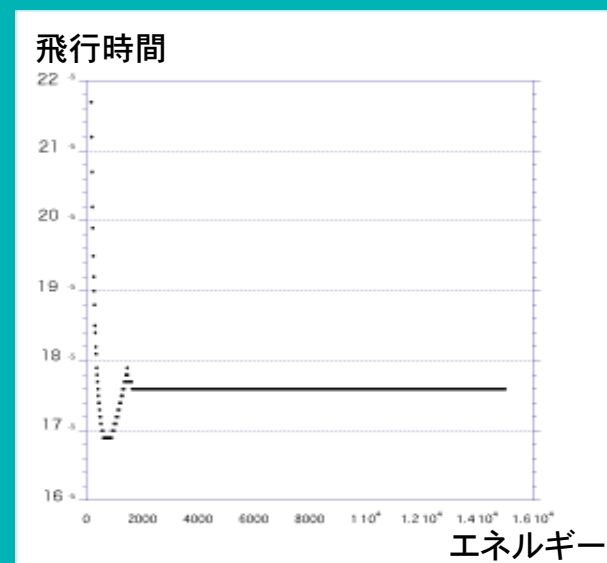
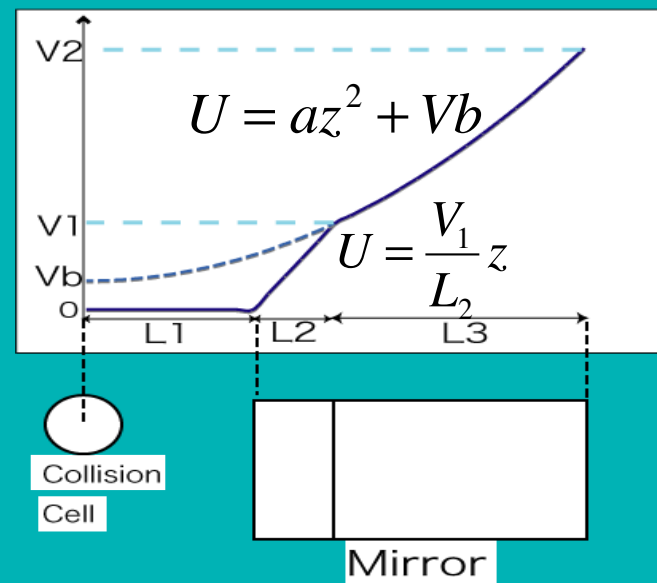
各区間での飛行時間はそれぞれ

$$T_f = L_1 \sqrt{\frac{m}{2eU}}$$

$$T_l = \frac{L_2}{V_1} \sqrt{\frac{2m}{e}} (\sqrt{U} - \sqrt{U - V_1})$$

$$T_q = \sqrt{\frac{2m}{ea}} \left( \frac{p}{2} - \arcsin \frac{\sqrt{V_1 - V_b}}{\sqrt{U - V_b}} \right)$$

自由なパラメータ: V1, Vb, L2  
 →トータルの飛行時間が最もエネルギーによらないように選んだ



# 電極構造

## 電極のシミュレーション

四方側面

: プリント基板により等電位線を描写  
先ほどのポテンシャル

$$U = az^2 - ax^2$$

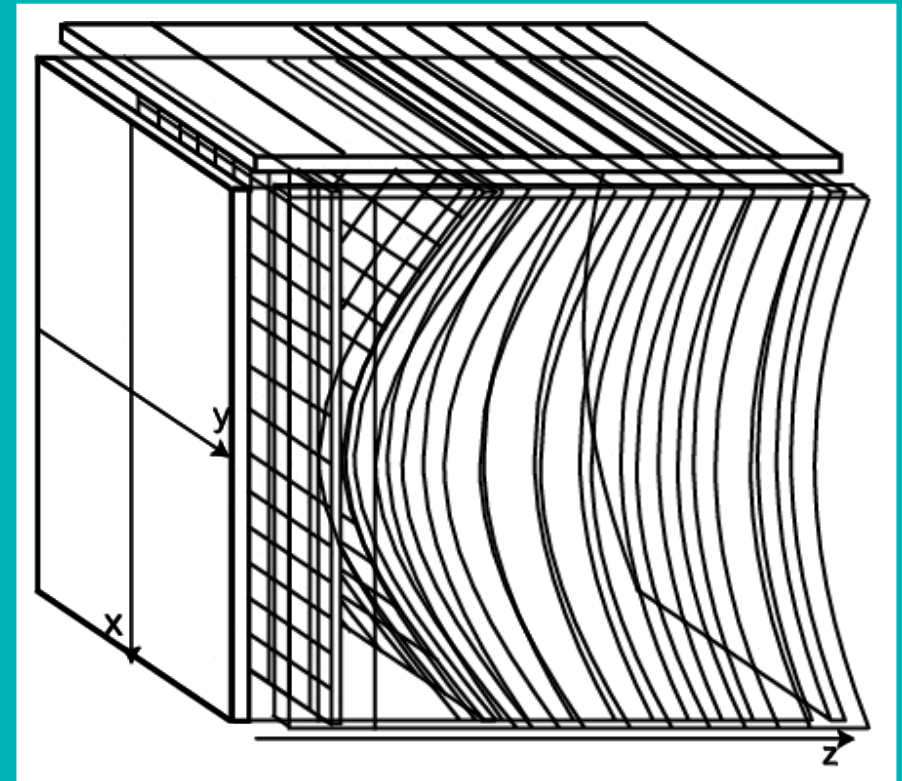
(x-z平面の等電位線は双曲線)

中間地点

: グリッド付き電極

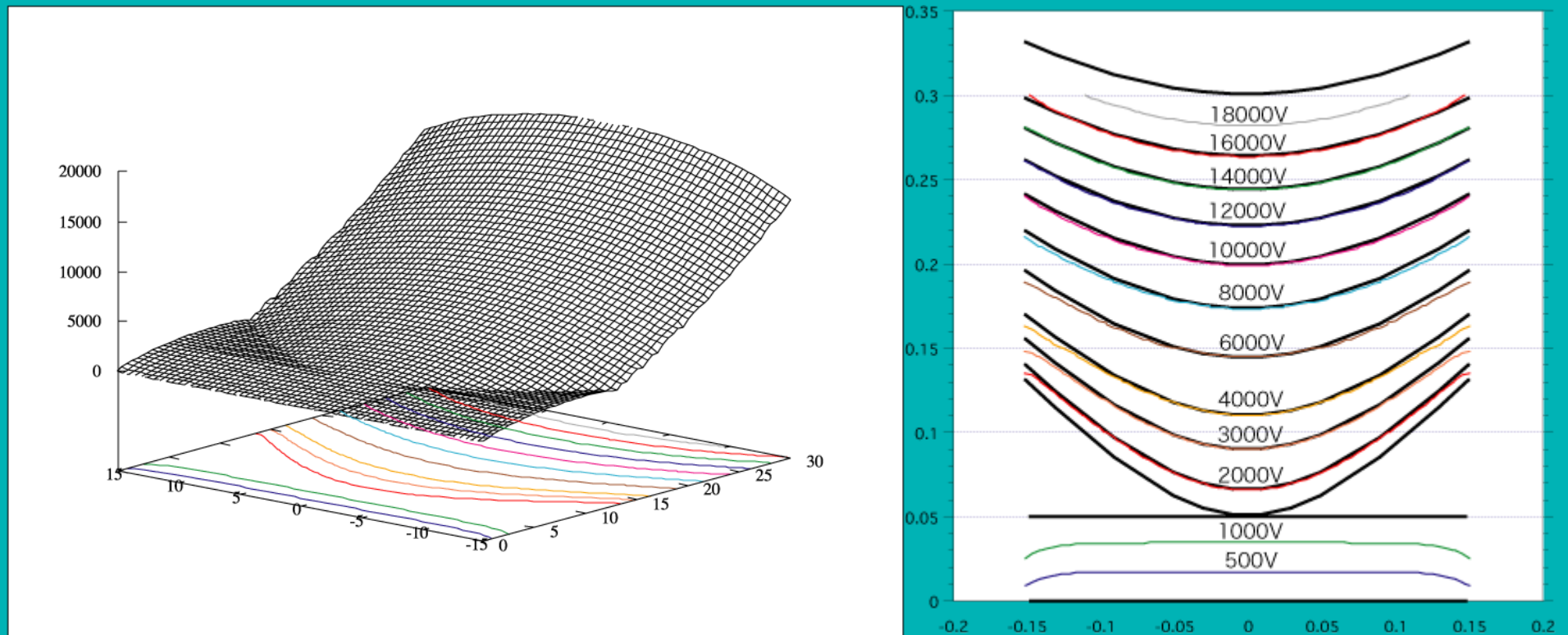
一番前、後

: 板状電極



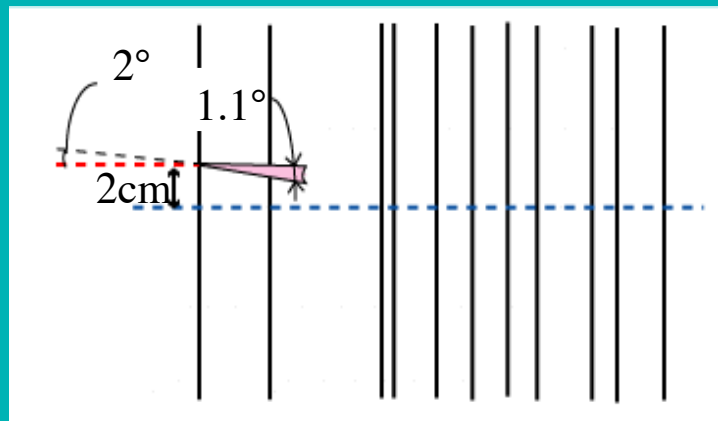
# 静電ポテンシャル

設定した電極による静電ポテンシャルの評価を行うために、表面電荷法(ELECTRA)により $y=0$ 平面の等電位線を計算した。





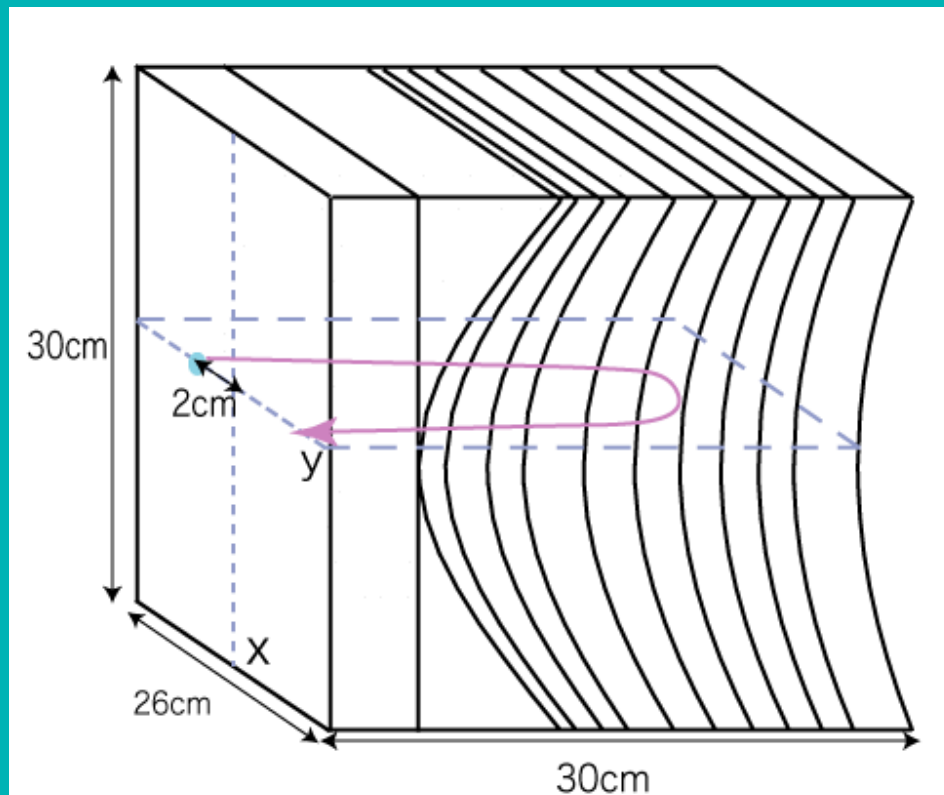
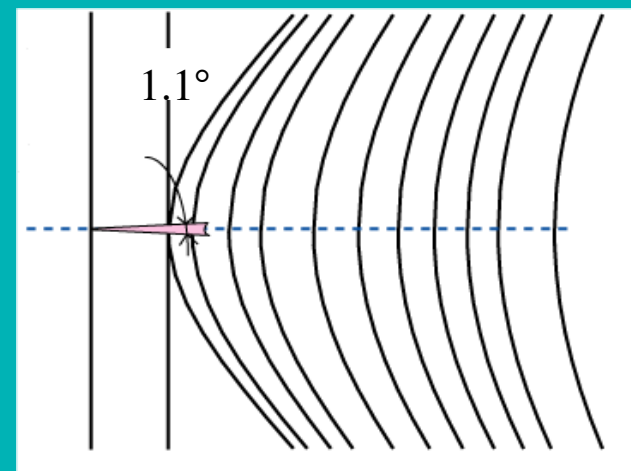
上から見た図



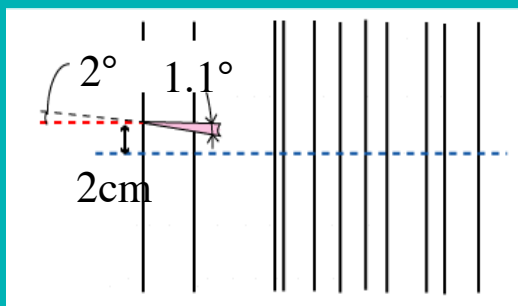
# 分解能

質量:  $1000\text{u}$   
エネルギー:  $15\text{keV}$   
 $\Delta U = \pm 0.15\text{keV}$

横から見た図



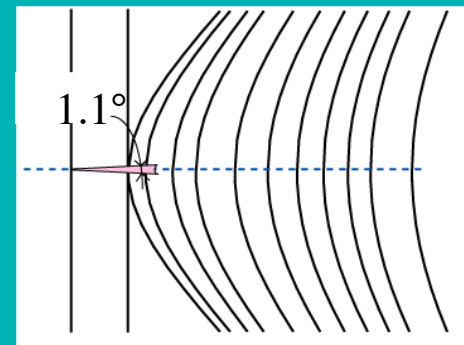
## 上から見た図



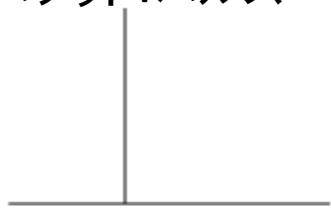
# 分解能

質量: 1000u  
エネルギー: 15keV  
 $\Delta U = \pm 0.15\text{keV}$

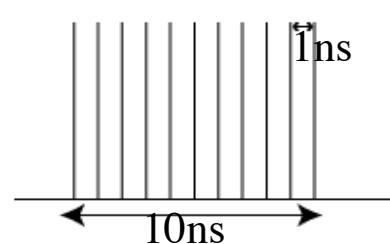
## 横から見た図



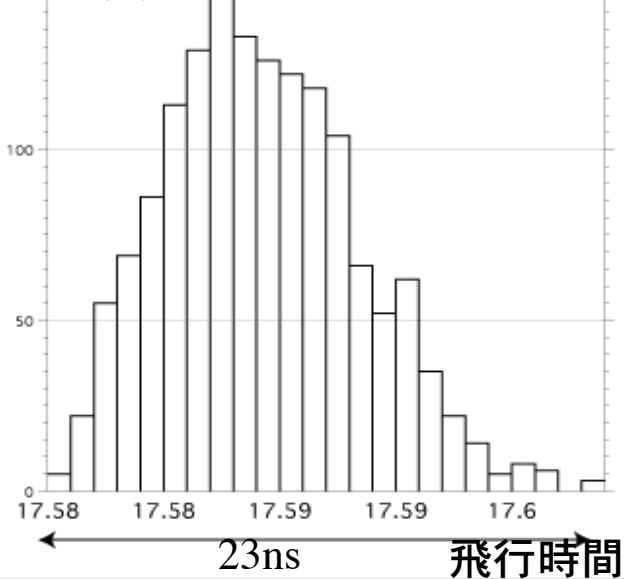
初期パケット: パルス



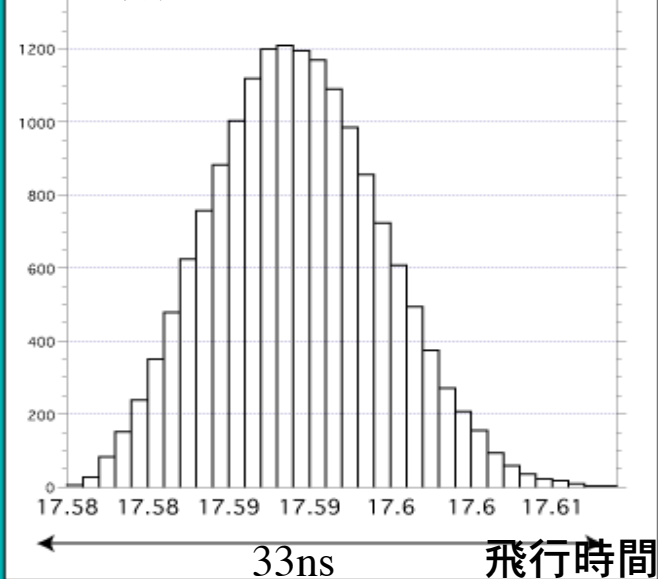
初期パケット: 10ns



イオン数



イオン数



# フラグメントイオン

以下の条件でシミュレーションを行った

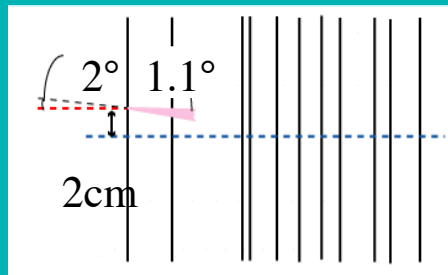
質量: 1000uから100uずつ

エネルギー:  $U_f = (m_f/m_p)U_p$   
( $U_p = 15\text{keV}$ ,  $m_p = 1000\text{u}$ )

$\Delta U = \pm 0.1\text{keV}$

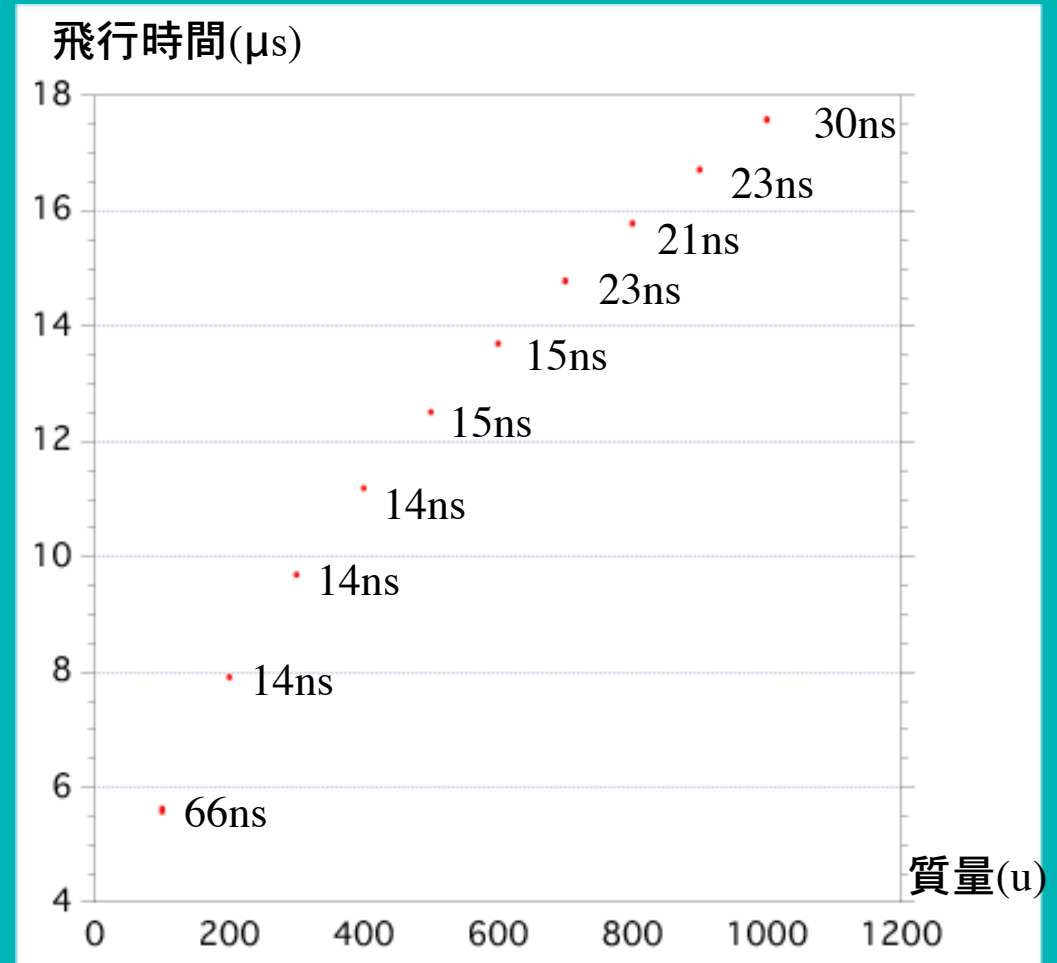
初期パケット: 10ns

入射角

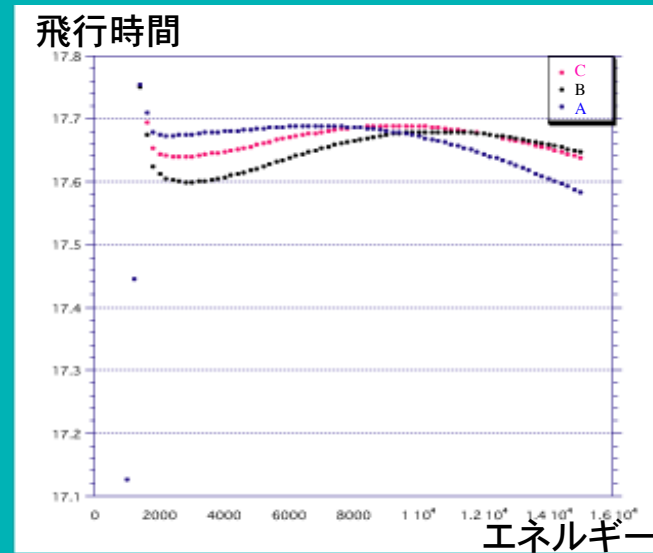
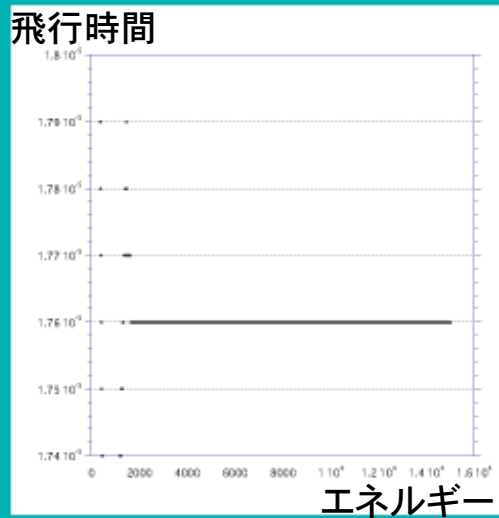


解析的な計算

: どの質量も初期パケットと同じ10ns



# 電極形状と飛行時間のエネルギー依存性



電極形状

