

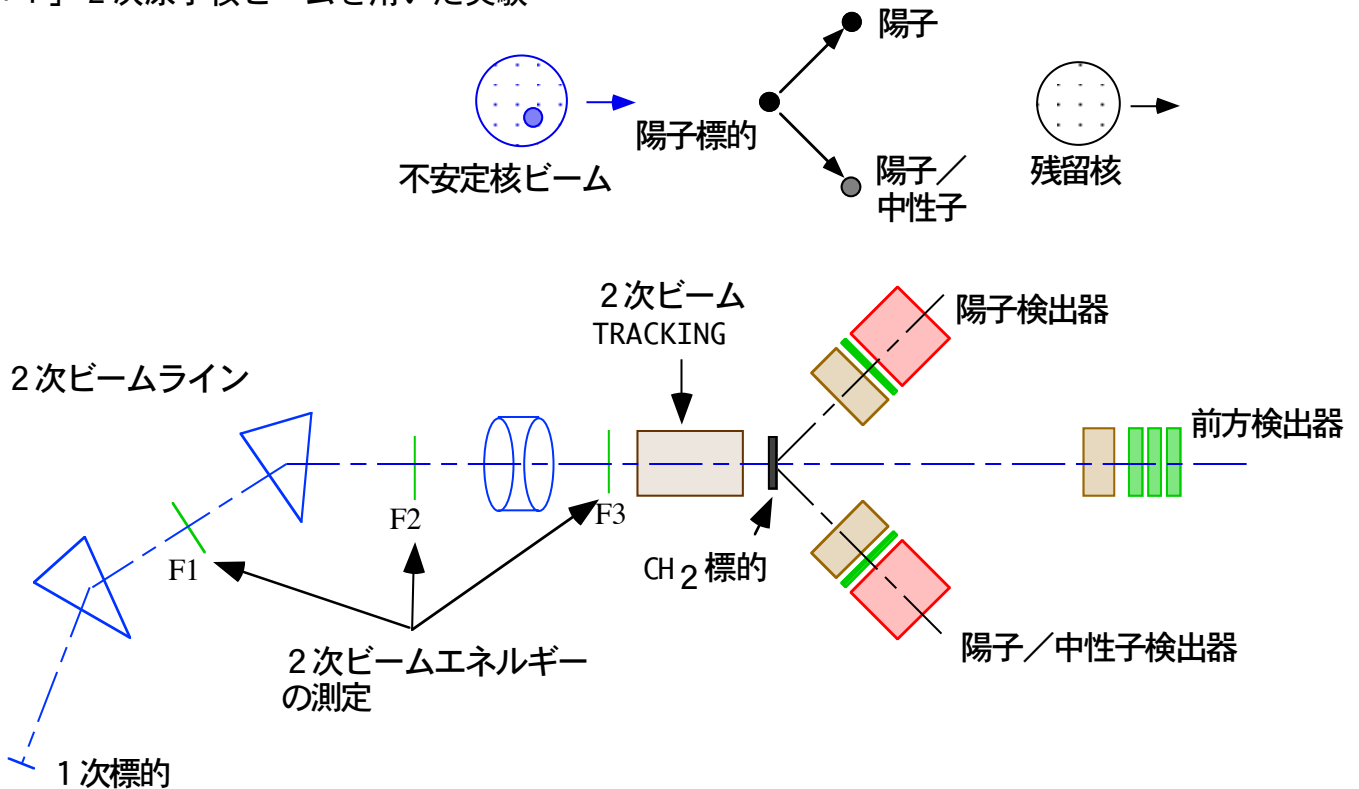
HIMACでの2次原子核ビームを用いた実験での検出器 (例)

— 2次ビーム、高エネルギー陽子、入射核破砕片の測定 —

小林俊雄 (東北大理)

P051 実験グループ (東北大、東大、京都教育大、理研、高工研、放医研)

「1」 2次原子核ビームを用いた実験



(1) 2次原子核ビーム

領域： エネルギー (約250-300A MeV)、質量数 (< 20)
粒子識別、運動量、2次標的への入射位置/角度

検出器

Plastic Scint.
Drift Chamber

(2) (p,2p)陽子knockout反応からの2個の陽子

領域： エネルギー (20-200 MeV)、角度 (実験室約40度)
エネルギー、運動量 (角度)、粒子識別と核反応除去

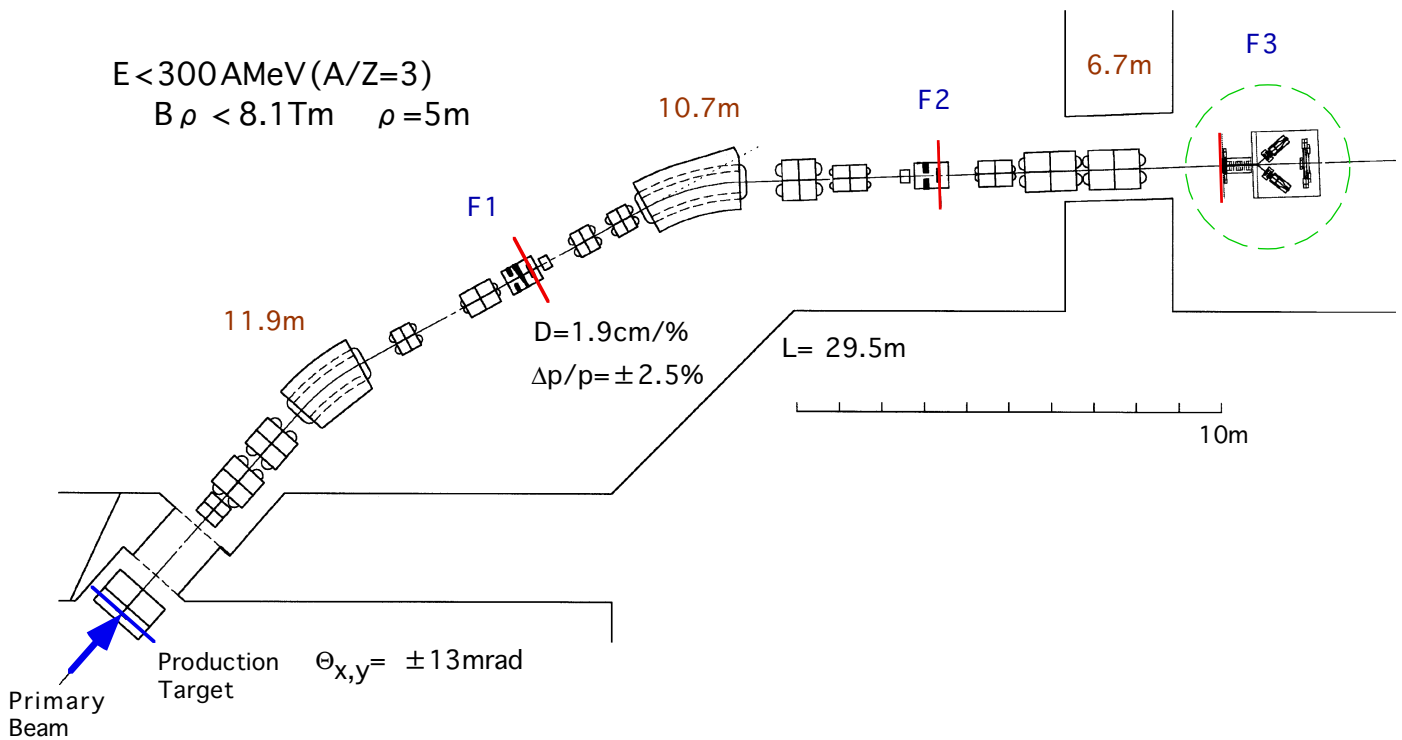
NaI(Tl) Scint.
Plastic Scint.
Drift Chamber

(3) 残留核からの崩壊粒子

領域： エネルギー (約250-300A MeV)、角度 (0度)
粒子識別 (電荷、速度、運動量)

Dipole magnet
Plastic Scint.
Drift Chamber

「2」 2次ビームライン



(1) 1次ビーム

$^{12}\text{C}, ^{13}\text{C}, ^{15}\text{N}, ^{18}\text{O}$: 300-350 A MeV $I_B < 2 \times 10^9 / \text{sec}$

(2) 生成標的/Degrader

Be : 10-15 g/cm², Al : 5-10 g/cm²

(3) 2次ビーム

エネルギー : 250-300 A MeV、 運動量分散 : $\pm 2.5\%$

種類 : $^3, ^6, ^8\text{He}, ^9\text{Li}, ^{10, 11, 12}\text{Be}, ^9\text{C}$

強度 : $(1-10) \times 10^4 / \text{spill}$ @F3、 $> 2 \times 10^6 / \text{spill}$ @F1

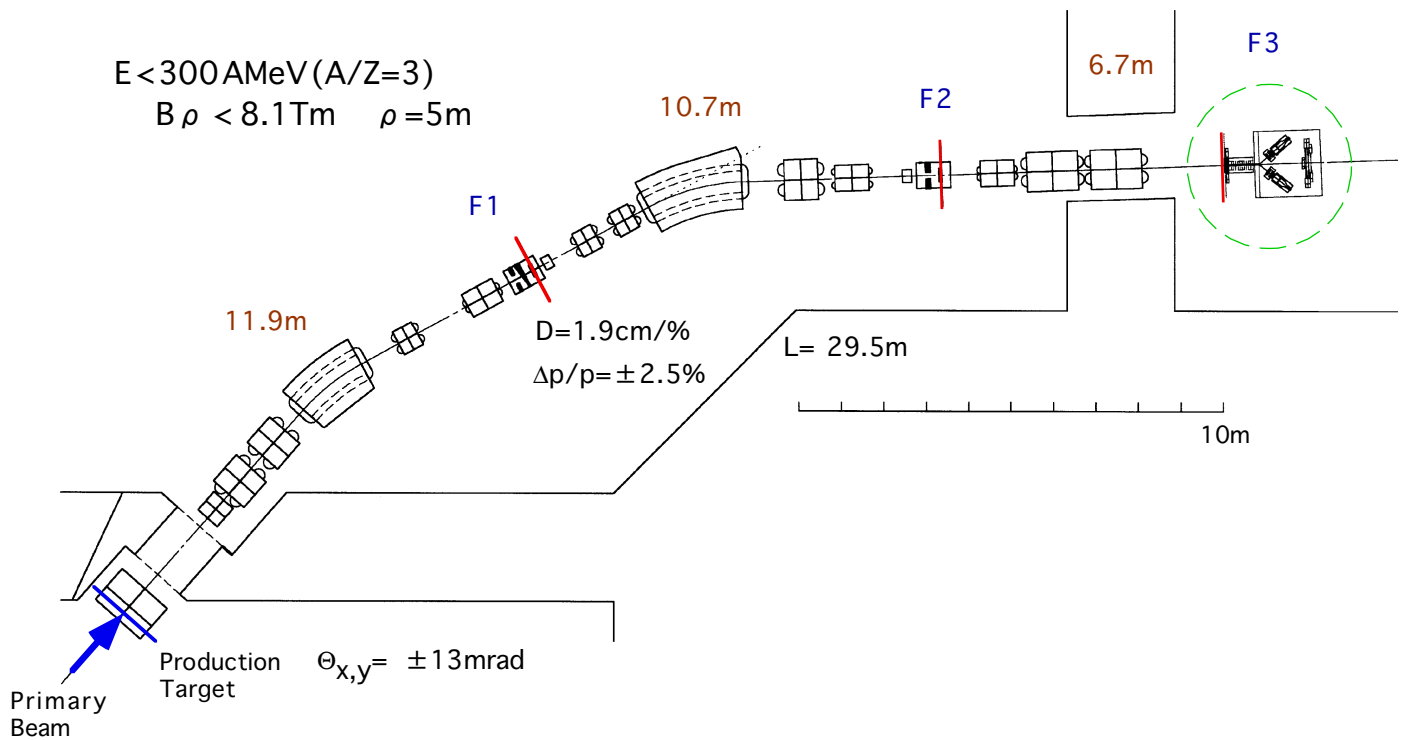
(4) ビームライン

SB1 : 2001年4月以降は医療用専用

SB2 : 実験空間の問題上、最後のTriplet-Qが移動できる様になっている。

当グループでは、F2(Mass Slit)直後で実験を行っている。

Backgroundはかなり高い(約数倍)。



(4) ビームライン検出器

Plastic Scint. + fast PM 2 本(w ith booster) : F1, F2, F3

粒子識別 : エネルギー損失 (電荷) X TOF (速度)

Drift Chamber (Beam Drift Chamber) : 5X, 5Y, 9mm drift cell

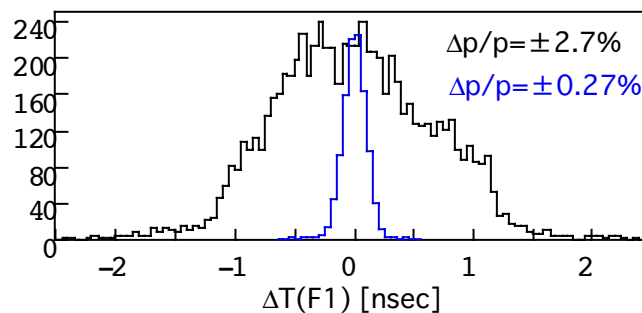
2次標的上の位置、方向

● 2次ビームエネルギー測定

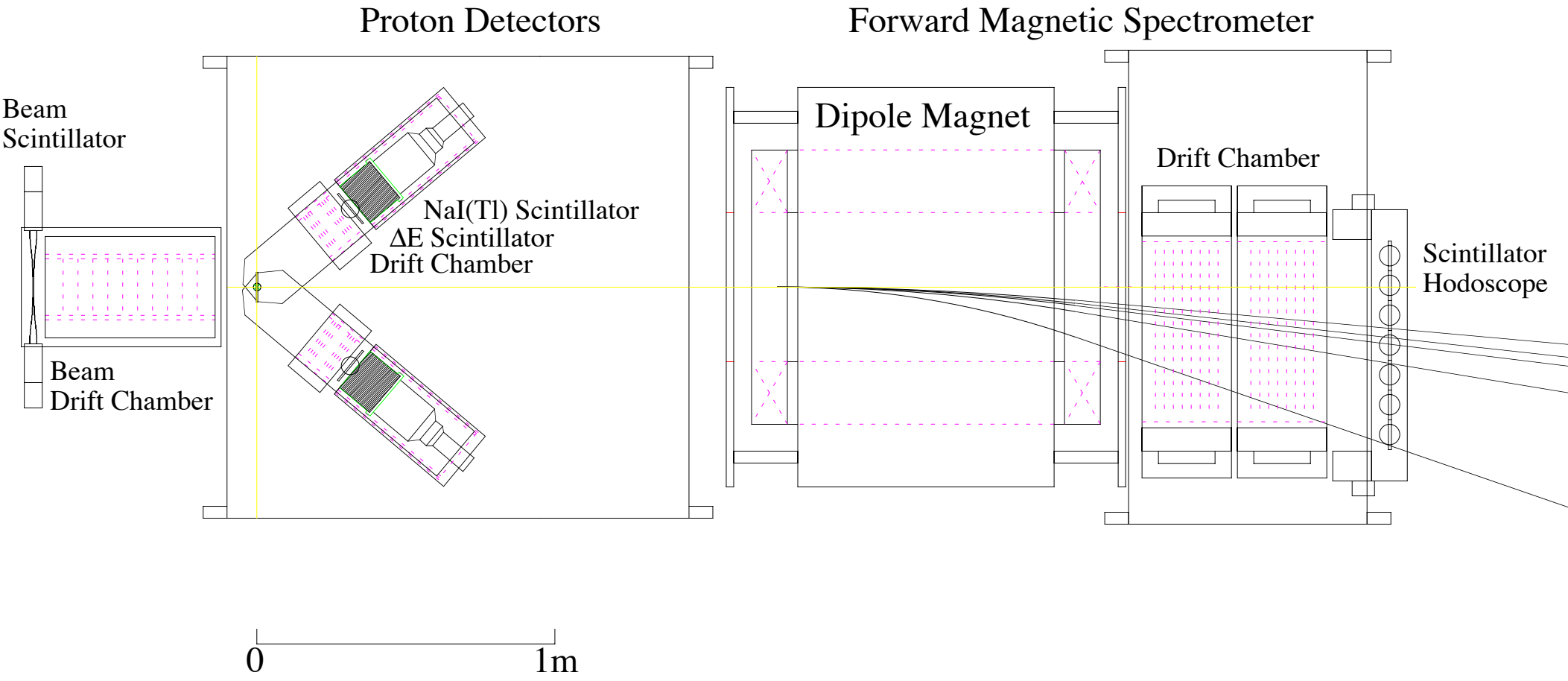
TOF(F1-F3) : $L(\text{F1-F3}) = 17.5 \text{ m}$, $\sigma_T = 0.37 \text{ nsec}$ $\rightarrow \sigma_{\text{beam}} = 2.8 \text{ A MeV}$

運動量分散焦点F1での位置測定 : $D = 1.9 \text{ cm/\%}$

$\Delta T(\text{F1}) \rightarrow X(\text{F1}) \rightarrow \sigma_{\text{beam}} = 1.5 \text{ A MeV}$



F1での高計数率測定 : $I_B(\text{F1}) > \text{several MHz}$



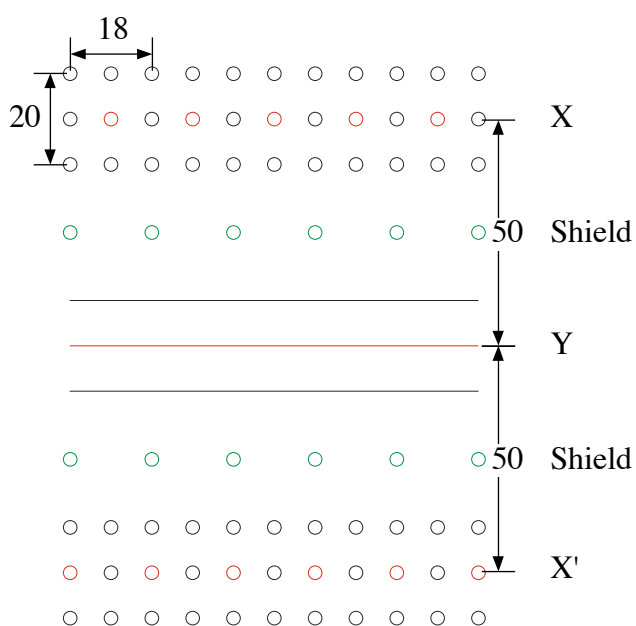
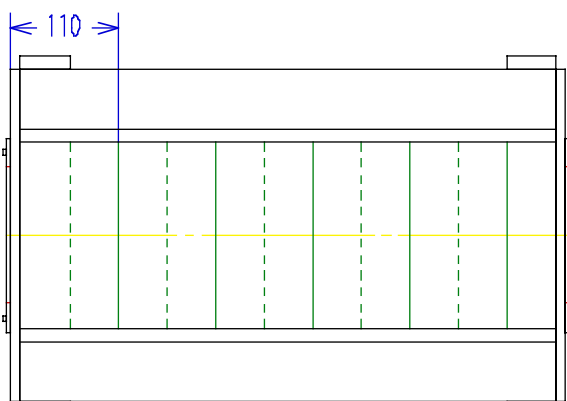
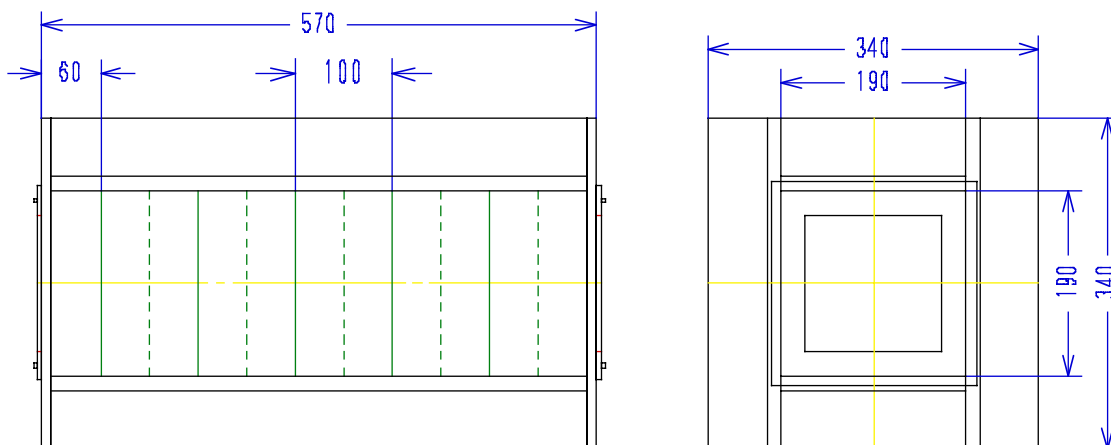
●Beam用Drift Chamber :

2次標的直前で、2次標的上へのビームの位置/方向を測定

面数 : 5X, 5Y、

Cell 構造 : drift距離9mmの四角型 drift cell

位置分解能 : 約 $120\mu\text{m(rms)}$ /plane

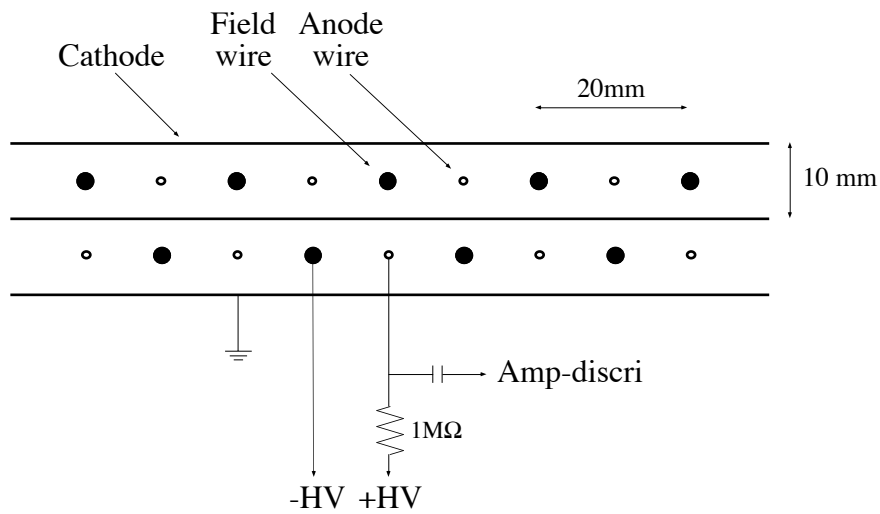
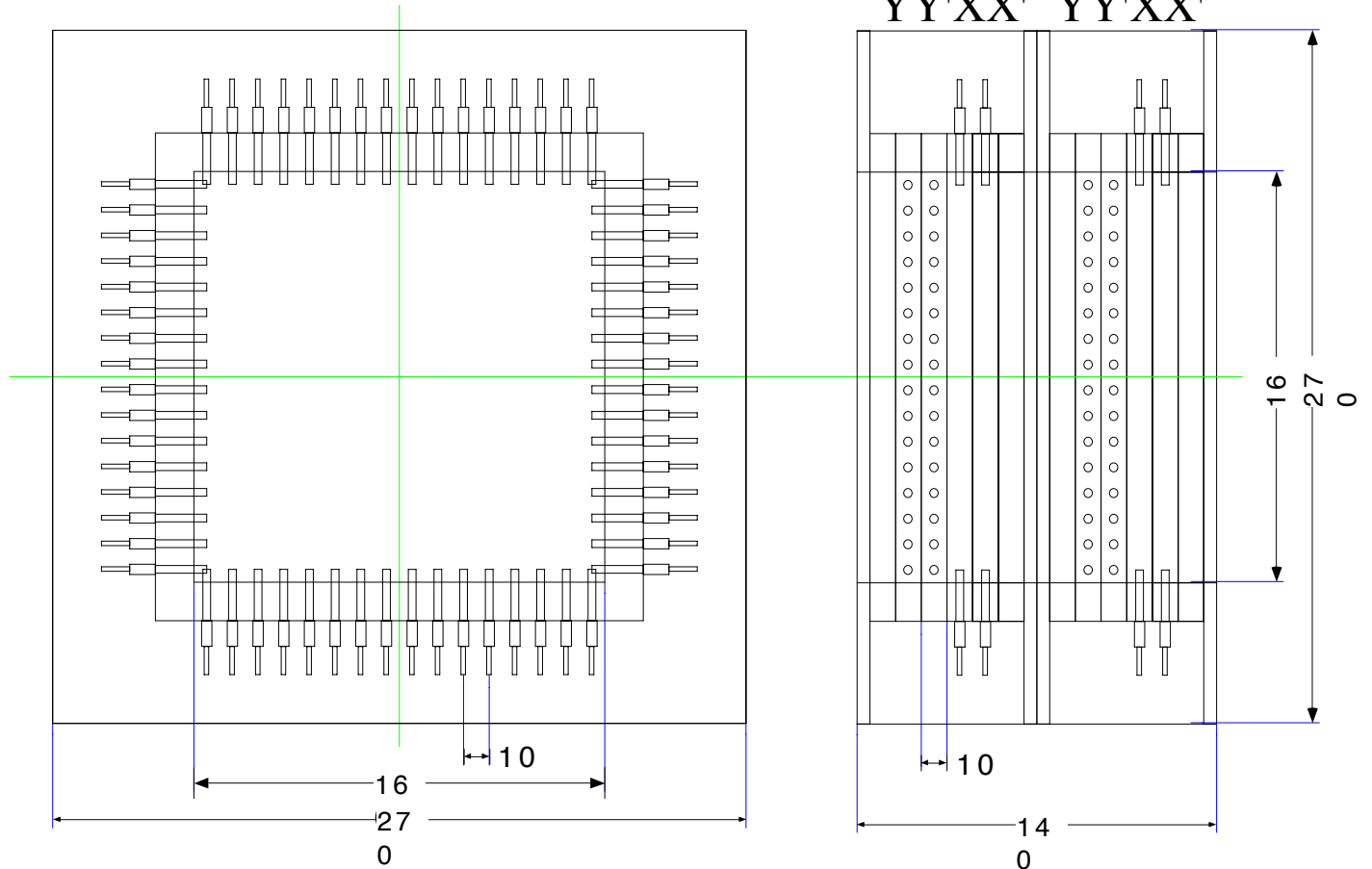


●陽子用Drift Chamber :

Walenta-type drift chamber :

drift 距離 : 10mm

位置分解能 : 約 $80\mu\text{m}(\text{rms})/\text{plane}$



「3」陽子検出器系

角度範囲： $\pm 10^\circ$ (H,V) 立体角：約0.1sr

●Drift Chamber :

Walenta-type drift chamber :

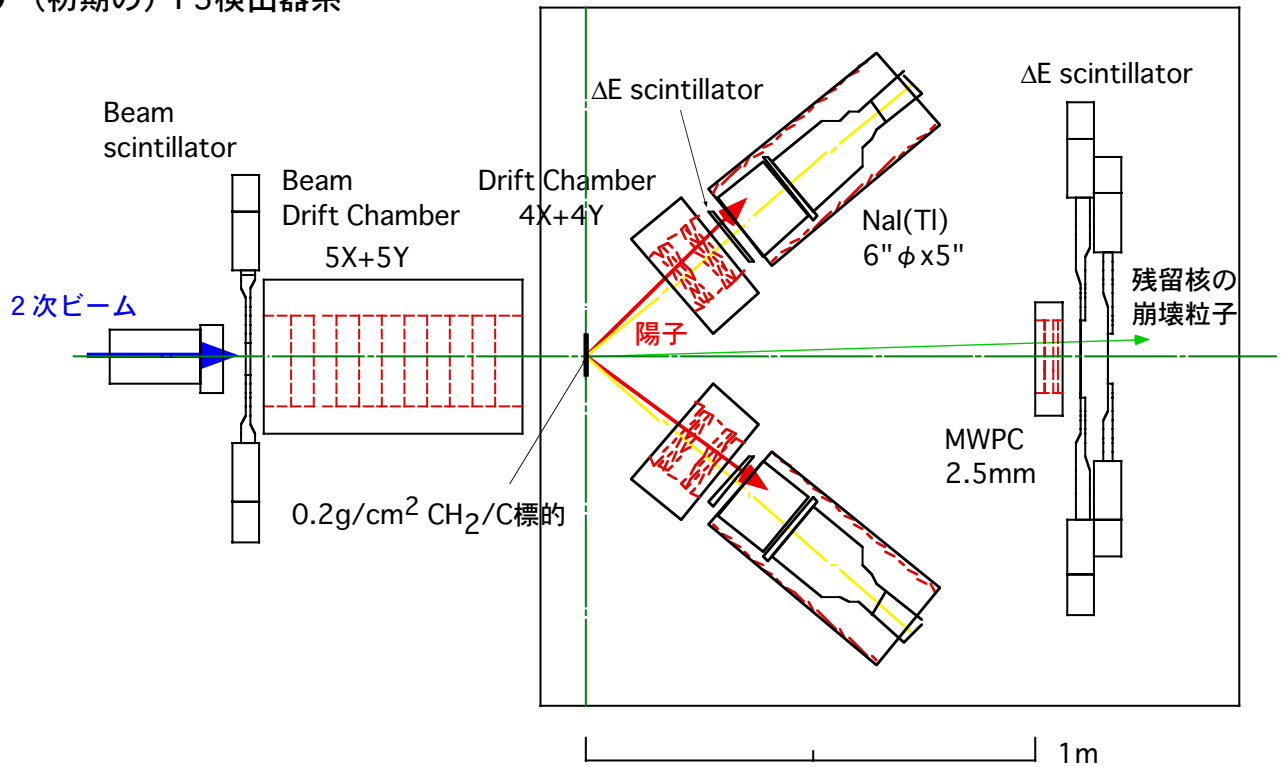
drift 距離：10mm

● ΔE scintillator : 5mm厚

●NaI(Tl) scintillator : 直径6" x 厚さ5" ($E_p < 210$ MeV)

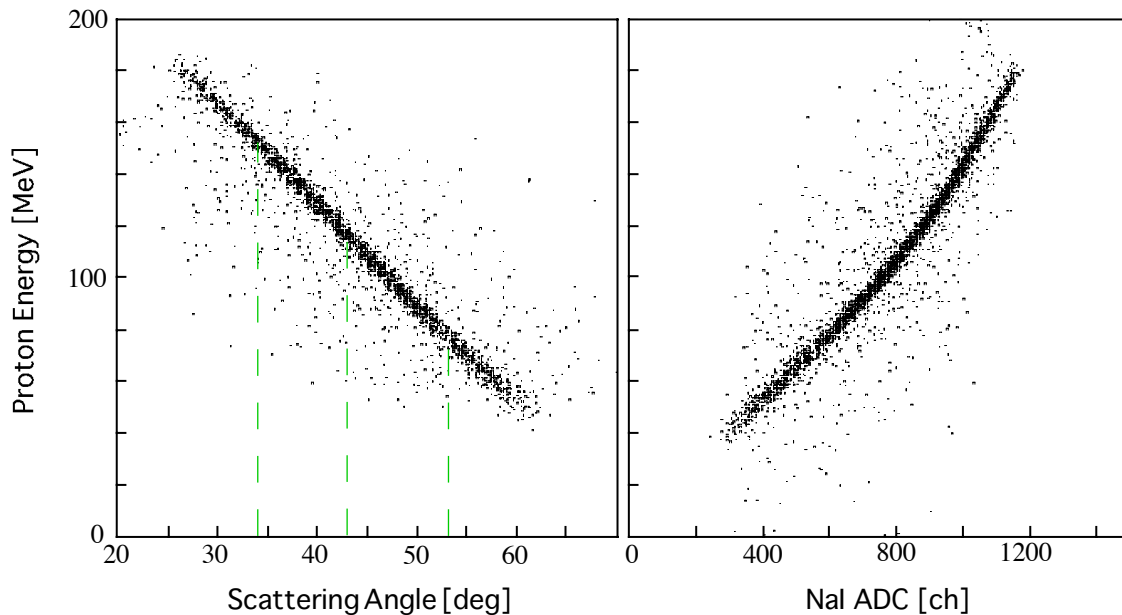
(p,2p)反応からの陽子：平均エネルギー $\approx 1/2 \times$ 入射ビームエネルギー

● (初期の) F3検出器系



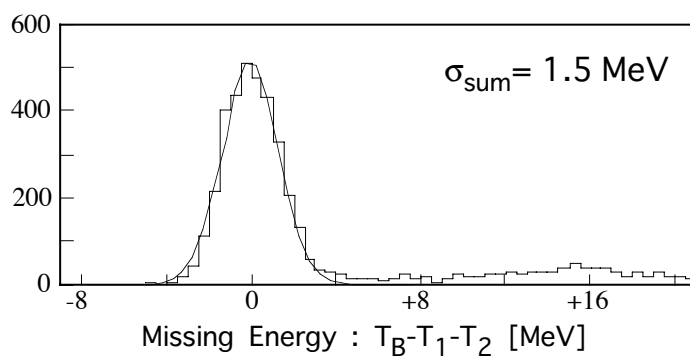
●p(p,2p)反応による陽子検出器系の較正 :

230MeV 1次陽子ビーム + 0.2 g/cm² CH₂



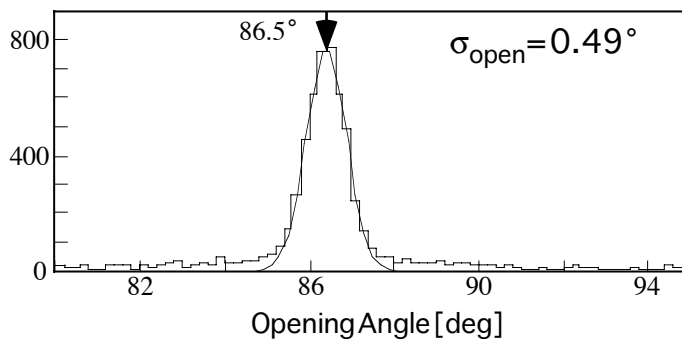
陽子エネルギー分解能 :

$$\sigma_p \sim 1.1 \text{ MeV @ } 120 \text{ MeV}$$



角度分解能 :

$$\sigma_\theta \sim 6 \text{ mrad}$$



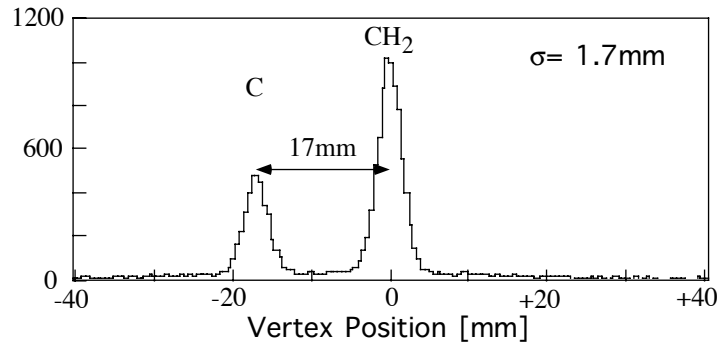
● 2次原子核ビームと陽子標的の場合：

ポリエチレン (CH₂) : 陽子標的の代用品

CH₂中の炭素 (C) によるbackground : 差し引きが必要

時間節約のため、CH₂ / Cのstack targetを使用

2個の陽子トラックの交点から反応vertexを求め、標的を区別



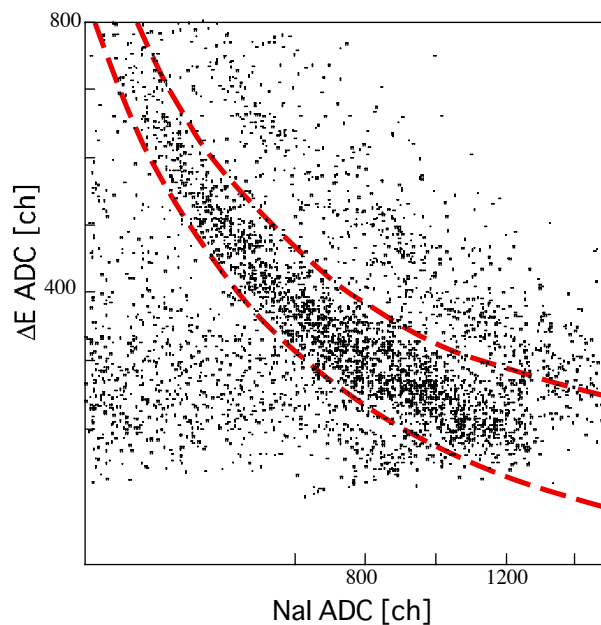
● 粒子識別と検出器中での核反応除去

Stopping検出器としてのNaI(Tl)中での核反応

厚さ5”に止まる陽子の最大エネルギー : 約210 MeV

反応損失 : 約30%程度

ΔE scintillator(5mm)のエネルギー損失とNaI(Tl)中の全エネルギー



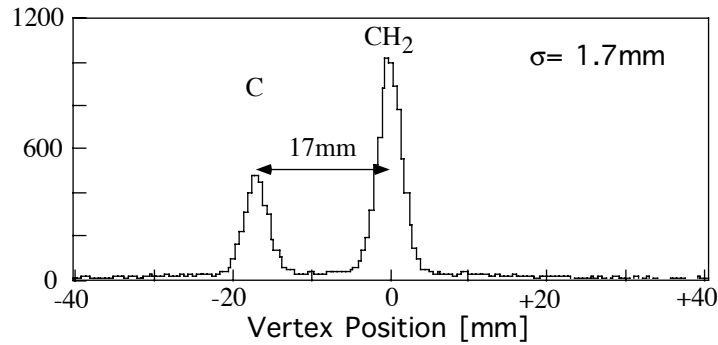
● 2次原子核ビームと陽子標的の場合：

ポリエチレン (CH₂) : 陽子標的の代用品

CH₂中の炭素 (C) によるbackground : 差し引きが必要

時間節約のため、CH₂ / Cのstack targetを使用

2個の陽子トラックの交点から反応vertexを求め、標的を区別



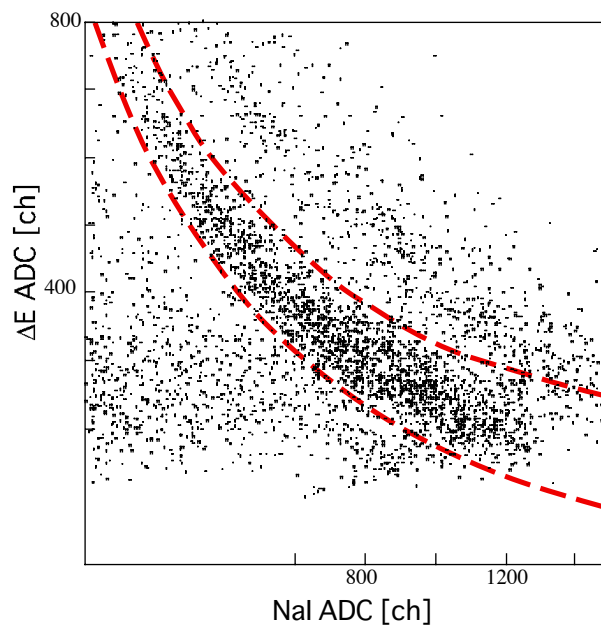
● 粒子識別と検出器中での核反応除去

Stopping検出器としてのNaI(Tl)中での核反応

厚さ5”に止まる陽子の最大エネルギー : 約210 MeV

反応損失 : 約30%程度

ΔE scintillator(5mm)のエネルギー損失とNaI(Tl)中の全エネルギー

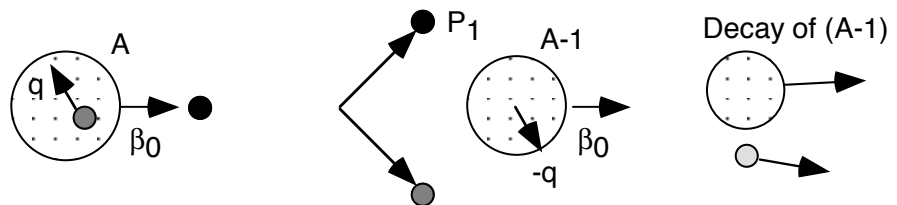


「4」前方検出器：

(1) 目的

0度方向への入射核破碎片

(p,pN)反応で生成された残留核（入射核の空孔状態）の崩壊
残留核の崩壊様式の情報を含む



対象とする粒子：

0度方向にビーム粒子の速度を持つ入射核破碎片

Magnetic rigidity (250A MeV A/Z=3) \cong 2.1 GeV/c

Rangeが長い： Range(250A MeV 3H) \cong Fe 21cm > Interaction Length

(2) 前方検出器の方式

(1) MWPC + ΔE scintillator

エネルギー損失測定からの原子番号の情報のみ

陽子過剰核のような特殊な場合に限り十分な情報を持つ

角度範囲： ΔE_1 : $\pm 2.3^\circ$ $P_{\perp}(A=8) = \pm 240 \text{ MeV}/c$

ΔE_2 : $\pm 4.2^\circ$ $P_{\perp}(A=8) = \pm 430 \text{ MeV}/c$

角度精度： $\sigma_{\theta} = 2.5 \text{ mrad}$, $\sigma_{\perp}(A=8) = \pm 15 \text{ MeV}/c$

(2) 磁気分析器

Dipole Magnet：

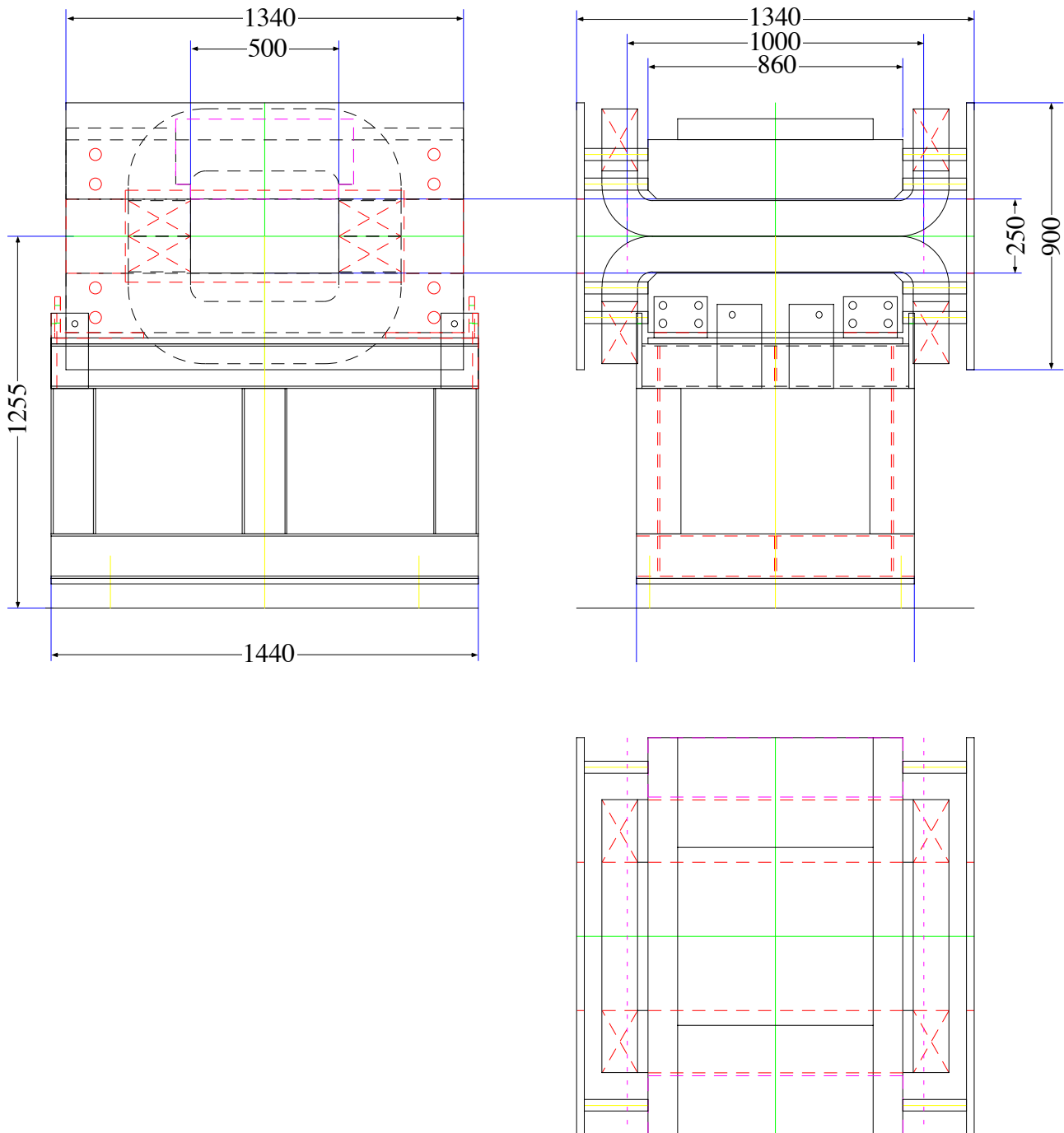
plastic scintillator： エネルギー損失、TOF

位置検出器(Drift chamber)： 運動量測定

⇒原子番号 (Z) と質量数 (A)

●Dipole Magnet

重量 : 6 t
Pole Gap : 25 cm
コイル巻数 : 340 / 2 coil
最大電流 : 510 A
Magnet Motive force : 0.173 MAT
最大磁場 : 0.8 T
磁場有効長 : 1 m
最大BL : 0.8 Tm



●Drift Chamber

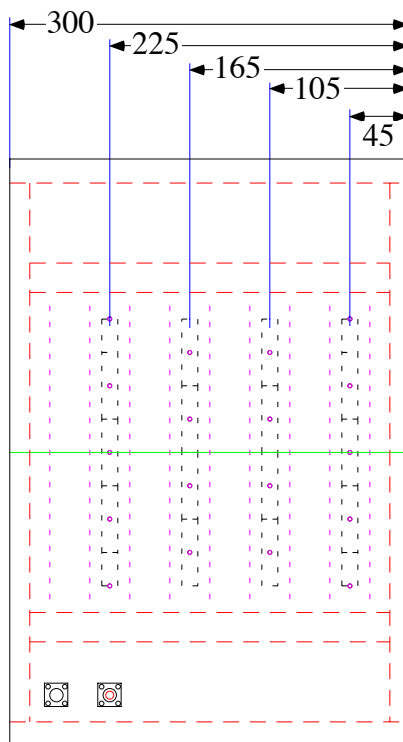
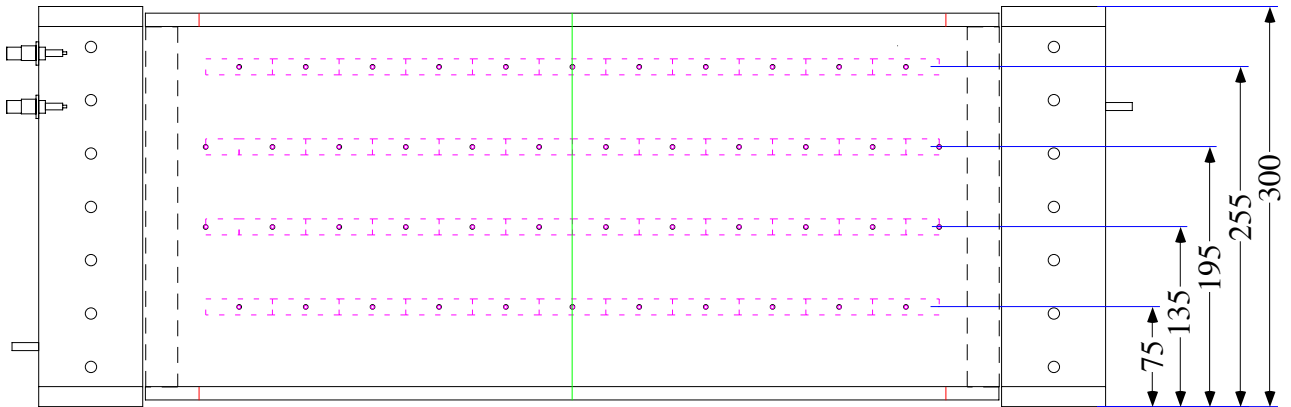
Drift 距離 : 25mm with Field Shaping

面間隔 : 60 mm

(4X, 4Y) : 2台

混合ガス : He 50% + C₂H₆ 50%

位置分解能 : 180 μm(rms) /plane



●前方検出器 Summary

* 角度acceptance(full) : 140 mrad (H) x 55 mrad (V)

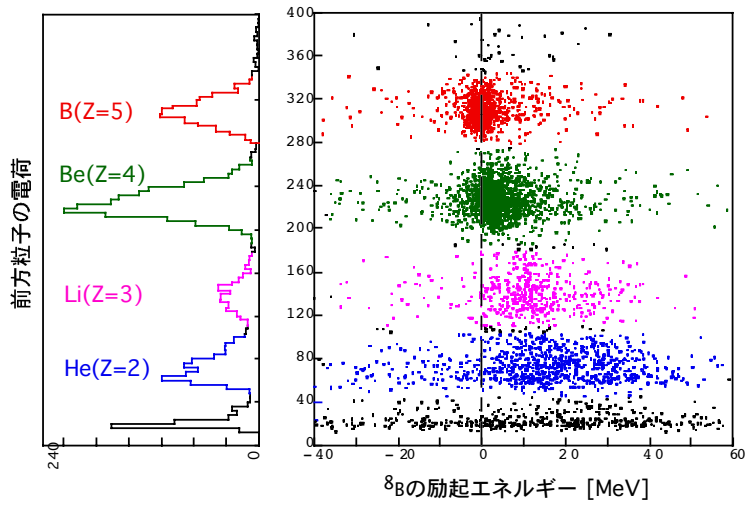
* 運動量分解能(rms) : 2.2% @2.2 GeV/c (250A MeV A/Z=3)

* 散乱角分解能(rms) : 4.3 mrad with 0.2g CH₂ target

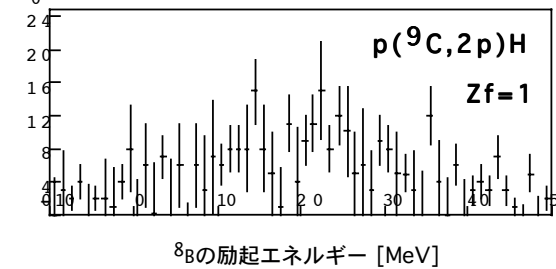
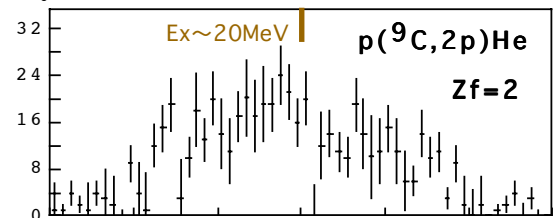
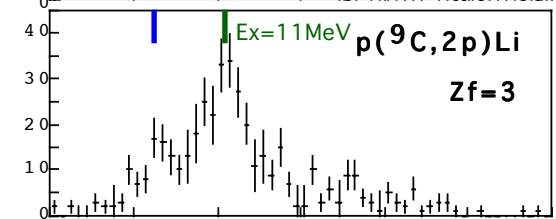
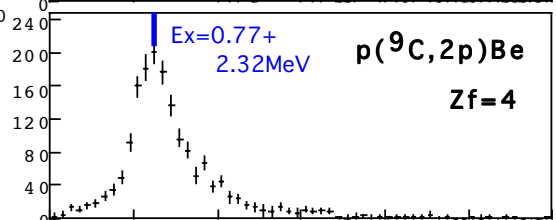
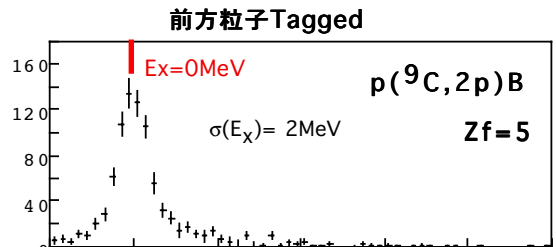
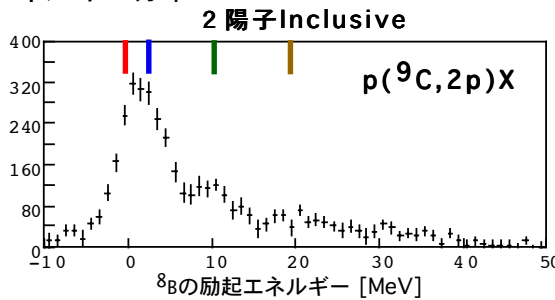
* TOF時間分解能(rms) : 0.1 nsec (target - hodoscope)

● $p(^9\text{C}, 2p)$ 反応の分離エネルギー分布

●前方粒子との相関



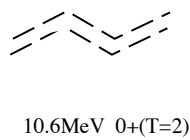
●分離エネルギー分布



~20MeV deep hole state?

●遷移強度比

計算 実験
1.09 0.28±0.03



1.92 1.86±0.20

2.32MeV 3+

1.59MeV 3He+4He+p

1.0 1.0±0.07

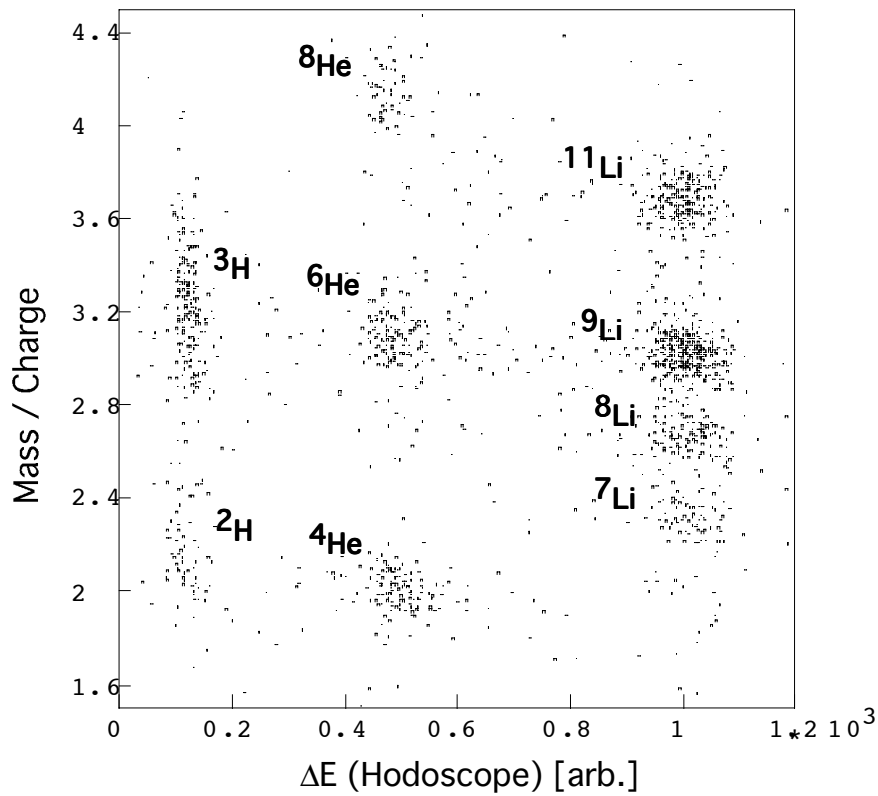
0.77MeV (1+)

0.14MeV 7Be+p

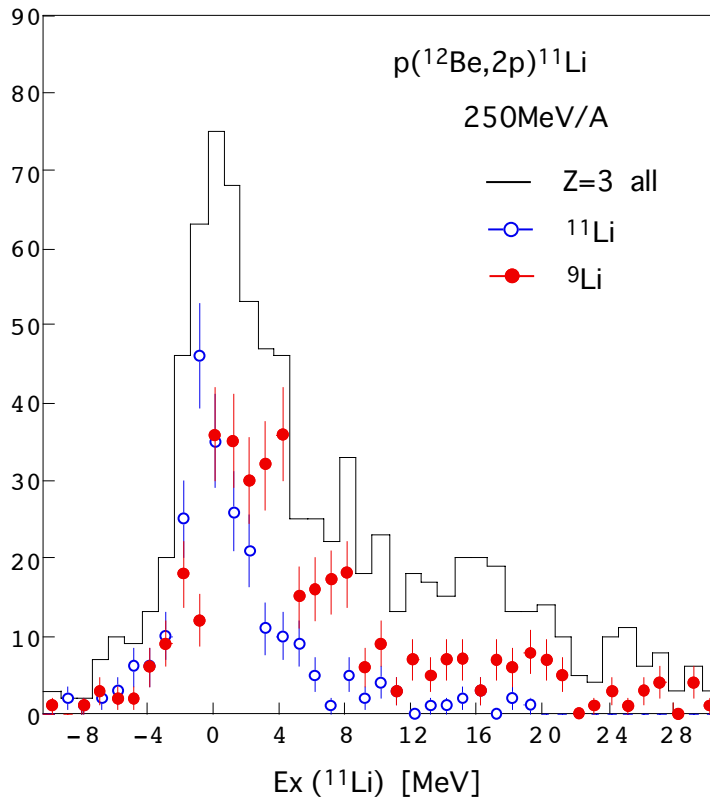
2+(T=1)

^8B

●Magnetic Spectrometerによる前方粒子識別： $p(^{12}\text{Be},2p)X$ @250A MeV



● $p(^{12}\text{Be},2p)^A\text{Li}$ 反応での陽子分離エネルギー分布：



「5」まとめ

(1) 250A MeV領域での2次原子核ビームを用いた核子ノックアウト反応測定に用いている検出器系：

* Beam Line検出器： ビーム識別+エネルギー測定

エネルギー： $\sigma_E/E \cong 1.5 \text{ MeV} / 250 \text{ MeV} = 0.6\%$

($\sigma_p/p \cong 0.3\%$ $\sigma_x \cong 6 \text{ mm}$)

* 陽子検出器： エネルギー+運動量測定+粒子識別/核反応除去

エネルギー： $\sigma_E/E \cong 1.1 \text{ MeV} / 120 \text{ MeV} = 0.9\%$ @ $E_p < 210 \text{ MeV}$

角度： $\sigma_\theta \cong 6 \text{ mrad}$ (with $0.2 \text{ g/cm}^2 \text{ CH}_2 \text{ target}$)

分離エネルギー： $\sigma_{\text{sep}} \cong 2 \text{ MeV}$

* 前方磁気分析器： 運動量測定+粒子識別

運動量： $\sigma_p/P \cong 2\%$ @ $R = 2.2 \text{ GeV}/c$

角度： $\sigma_\theta \cong 4 \text{ mrad}$ (with $0.2 \text{ g/cm}^2 \text{ CH}_2 \text{ target}$)

(2) 問題点等

(1) Beam Line 検出器系

* 高計数率なF1での運動量測定：

低圧MWPC(multi wire proportional chamber)の実用化

(2) 陽子検出器系

* 高エネルギー陽子の検出器中での核反応の除去：

Stack化？

* 良い角度分解能

殆どはtarget厚で決まっているので、ビーム強度の増強(??)

(3) 前方検出器系

* もっと強い磁石が欲しい！(が移動可能性で制限される)

* 多重散乱等の低減化、位置分解能の向上、等による改善(?)