

重RIビーム粒子識別用検出器の開発

16P181

参加者	松田洋平、遠藤奈津美、小林俊雄 (東北大) 大津秀暁 (理研) 佐藤良輝 (東工大) 高田栄一 (放医研)
実験期間	2005年7月, 2005年12月
ビーム	^{40}Ar ($Z=18$), ^{84}Kr ($Z=36$) 1次ビーム @400 MeV/A 2次ビーム($Z<34$) @250-300 MeV/A
検出器	位置検出器 : Drift Chamber (6角セル) 低圧力Drift Chamber 低圧力Cathode読出型Drift Chamber 全エネルギー検出器 : Si + HP-Ge, NaI(Tl), CsI(I) 電荷検出器 : 多層電離箱 速度検出器 : 全反射型Cherenkov検出器

目的： 200-300 MeV/A、 $A < 100$ の入射核破砕片の粒子識別

質量 $\frac{\sigma_A}{A} \approx \frac{0.2}{100}$

→ 電荷

$\frac{\sigma_z}{z} \approx \frac{0.2}{40}$

エネルギー損失 $\frac{\sigma_{\Delta E}}{\Delta E} \approx \frac{1}{100}$

運動量

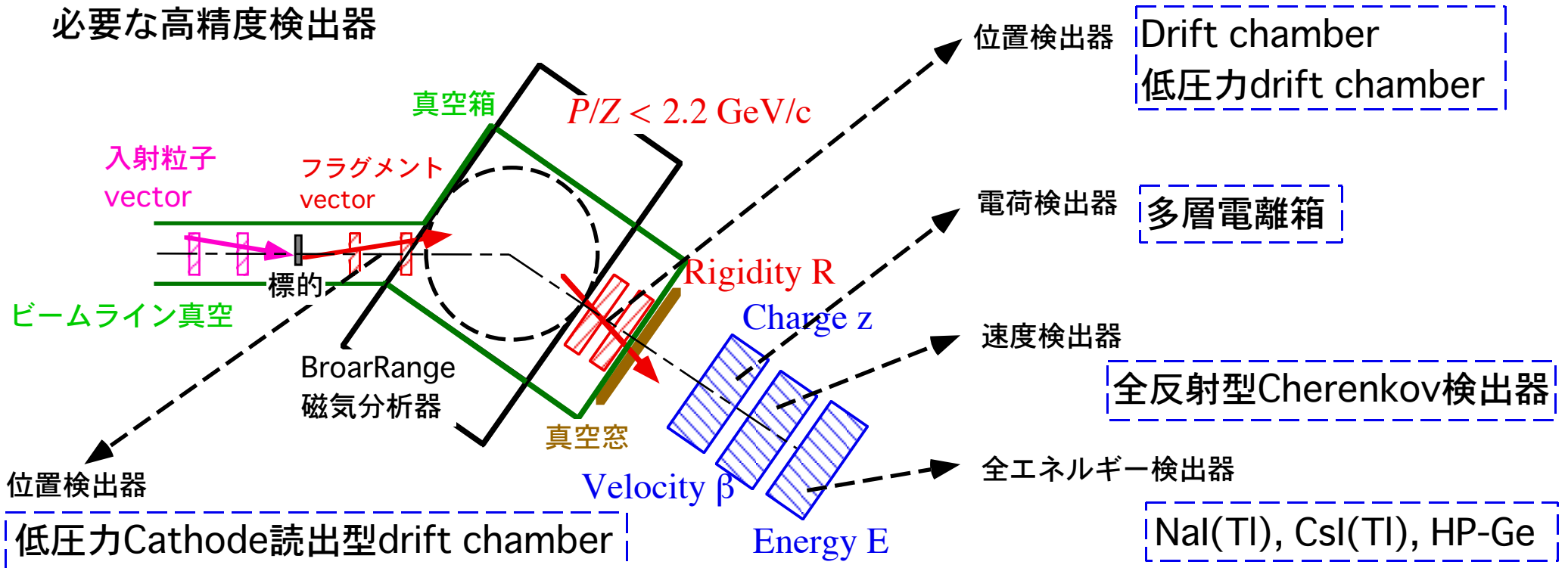
$\frac{\sigma_R}{R} \approx \frac{1}{1000}$

角度 $\sigma_{\theta} \leq 1 \text{ mrad}$

速度/全エネルギー

$\frac{\sigma_{\beta}}{\beta} \approx \frac{\sigma_E}{E} \approx \frac{1}{1000}$

必要な高精度検出器



(1) エネルギー(電荷) 検出器 : 多層電離箱

有効領域15x15cm²の多層電離箱－試作機

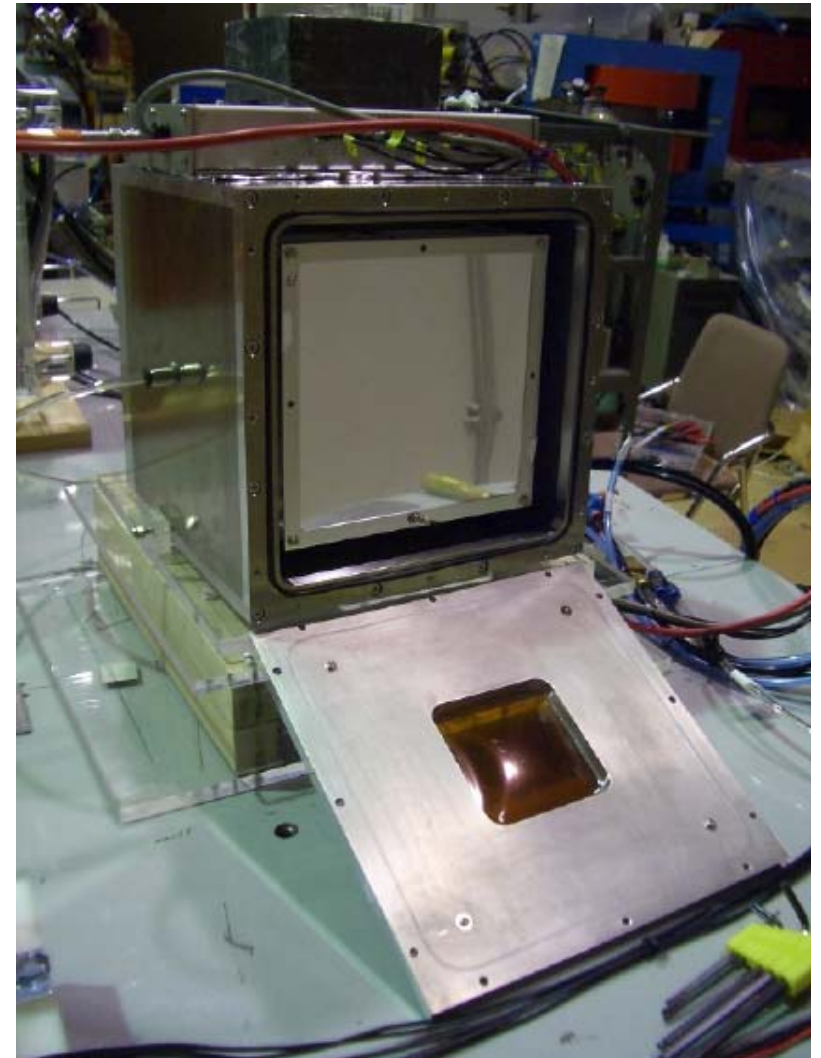
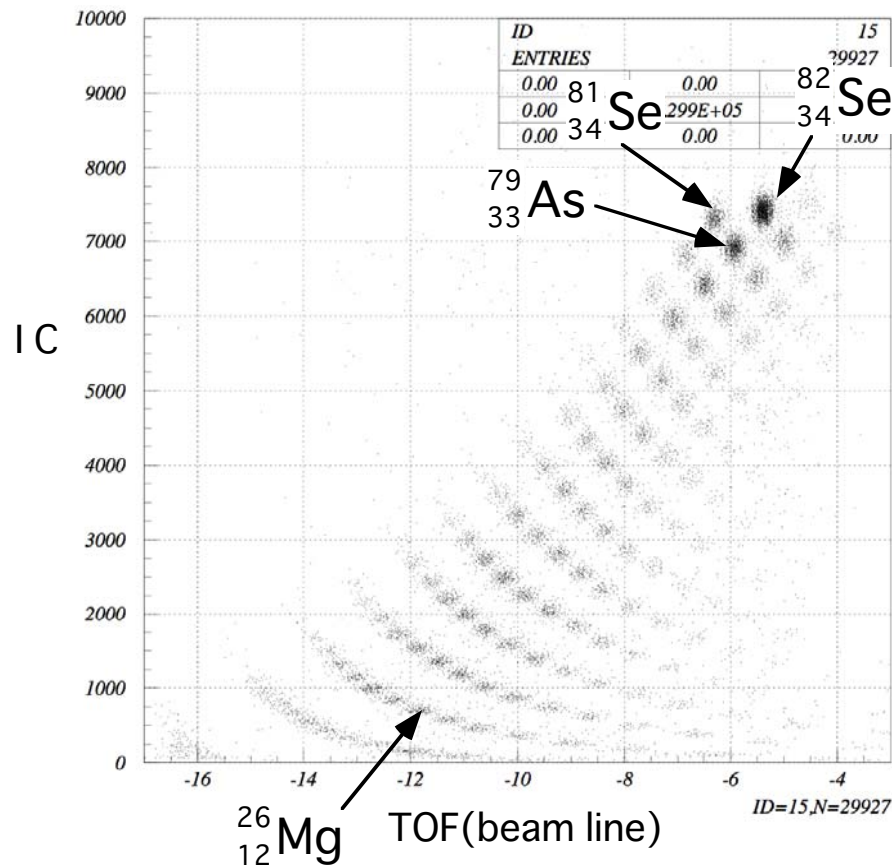
2 μm厚電極、これまでと異なる電極製作方式

傾斜角度=0度、電極間隔=2-3cm

前置増幅器自作

L=180mm P10-gas $\sigma_z=0.25$

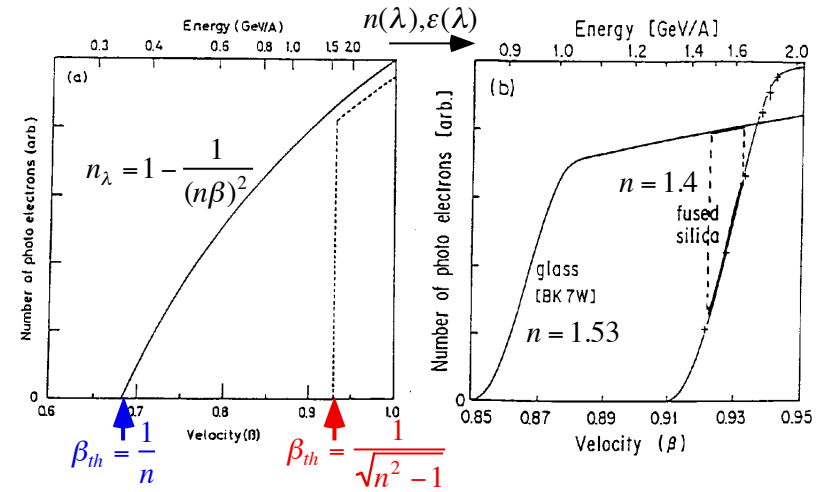
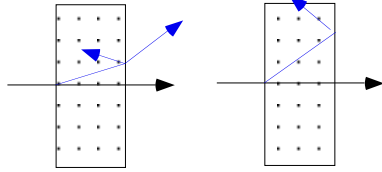
84Kr @400MeV/Aからの2次ビーム@250MeV/A



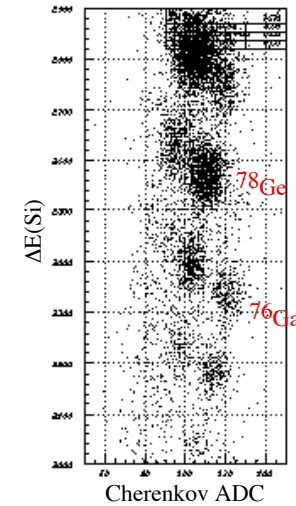
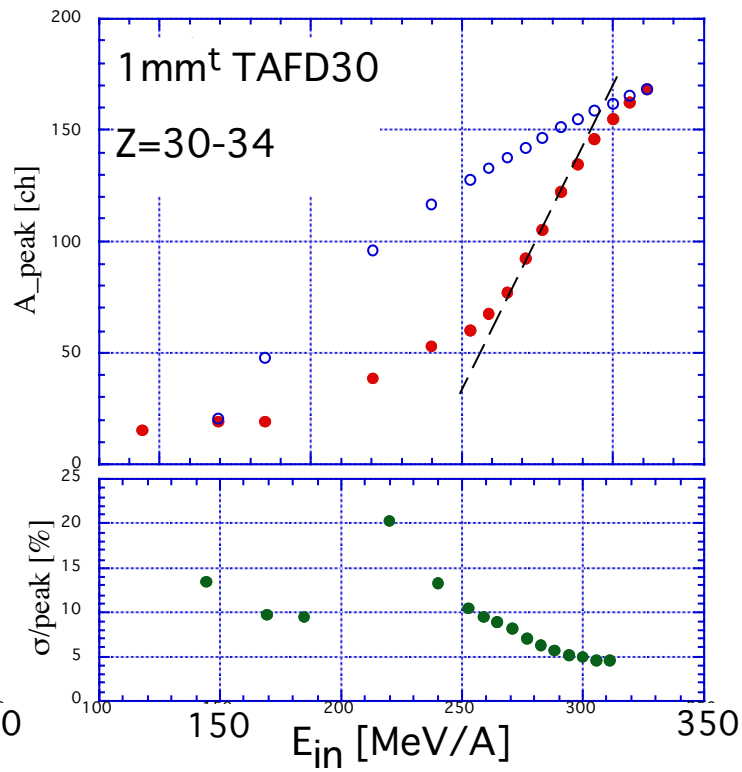
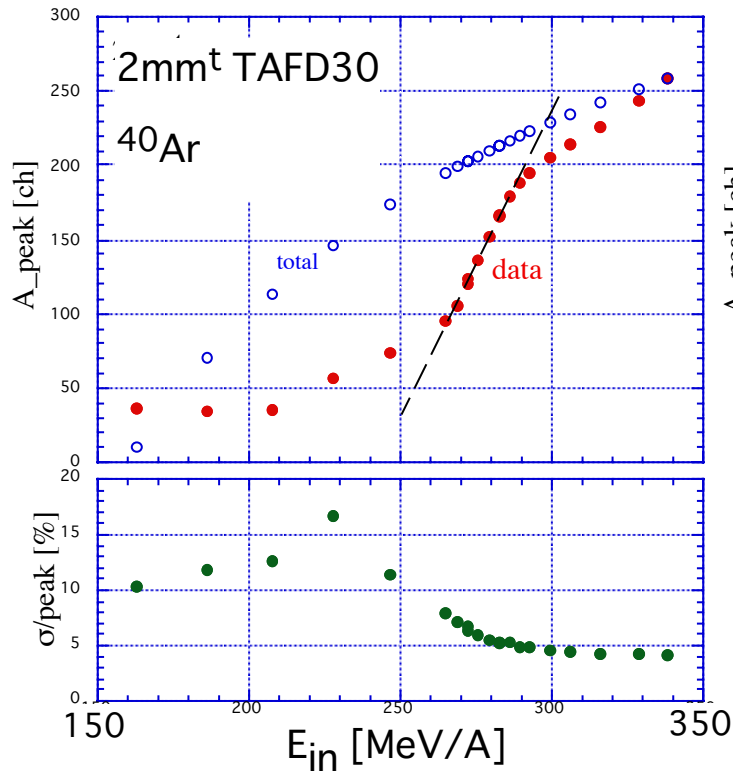
(2) 速度検出器 :

全反射型Cherenkov検出器

高精度速度測定器



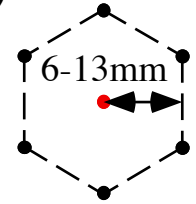
TAFD30($n=1.92$) @ ~ 250 MeV/A



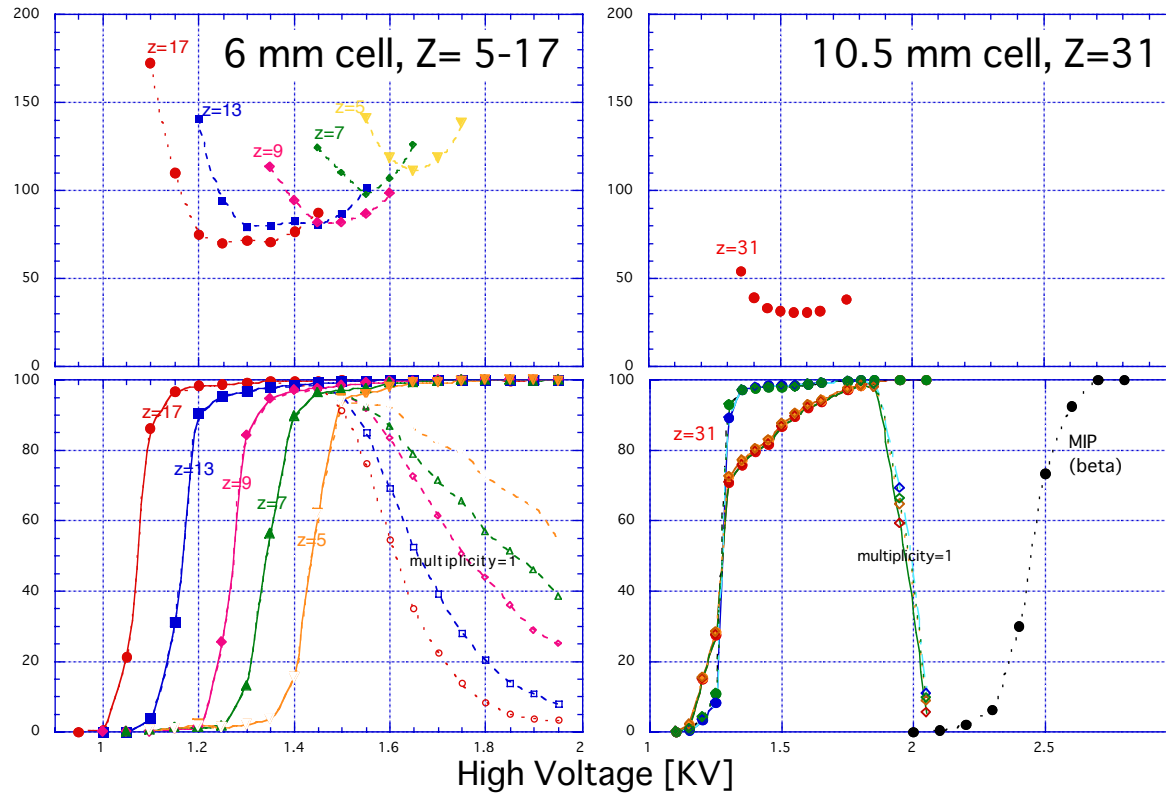
$A \sim 80$ @ 275 MeV/A

(3-1) 位置検出器 - 1

低物質質量： (常圧) 六角セル型drift chamber + Heベース混合ガス(He+50% C_2H_6)

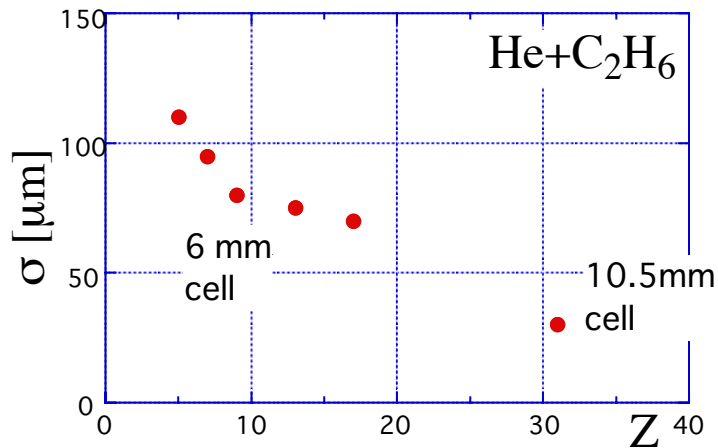


位置分解能



検出効率

位置分解能



動作： 安定
 位置分解能： 良
 問題： HV 低 -> drift time 長

動作parameterの増加
 HV -> HV, 圧力(E/p)
 [gas gain, drift field]

(3-2) 位置検出器 - 2

低圧力 6角セル型drift chamber

動作parameter増加 :

HV, Pressure (E/P) <--> gas gain, drift field

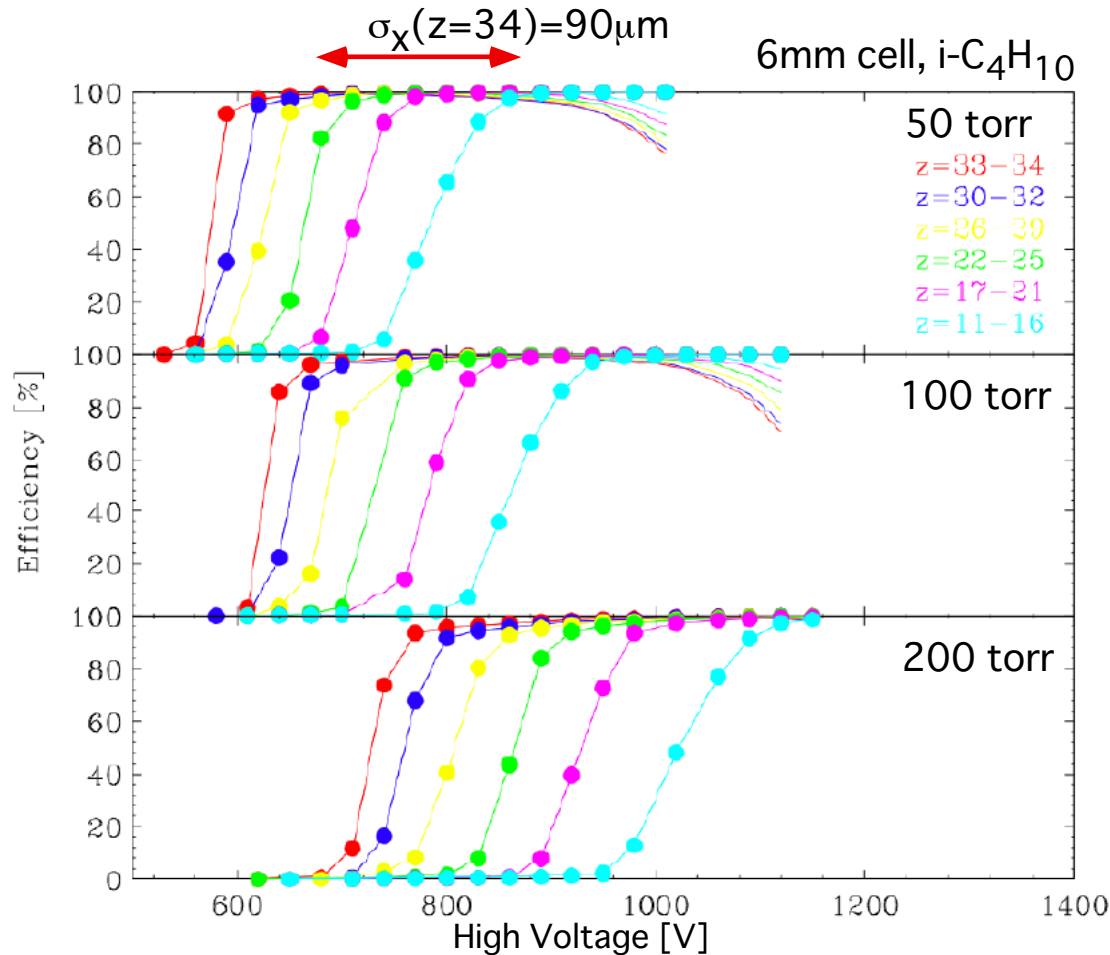
低物質量化 + 真空箱中での動作

純quench gas使用 :

i-C₄H₁₀ 又は C₂H₆

⁸⁴Krからの2次ビーム @250MeV/A

検出効率



安定動作 !

@50 torr

長い HV plateau

位置分解能

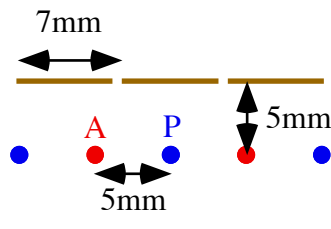
$\sigma \sim 100\mu\text{m}$

(3-3) 位置検出器－ 3

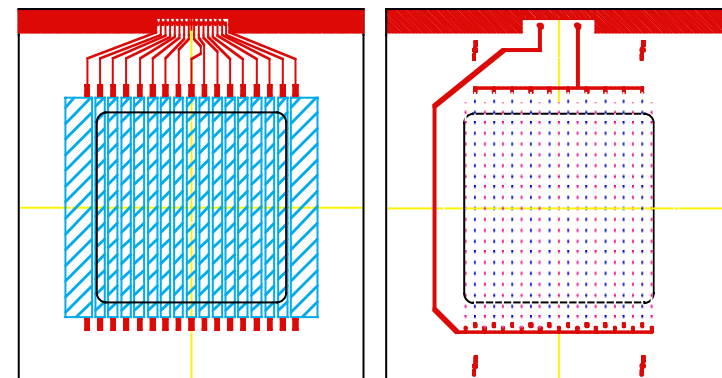
低圧力Cathode読出型drift chamber

低物質質量： $L/L_r < 10^{-4}$

真空中動作



w-Kx-Ay-K-Ax-Ky-w



MIP(z=1) :

$\sigma_x = 100\mu\text{m}$

with He+C₂H₆@1気圧

50MeV proton :

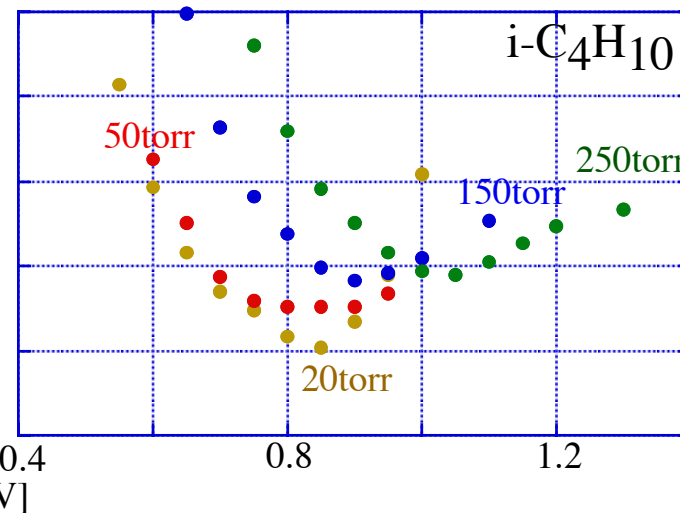
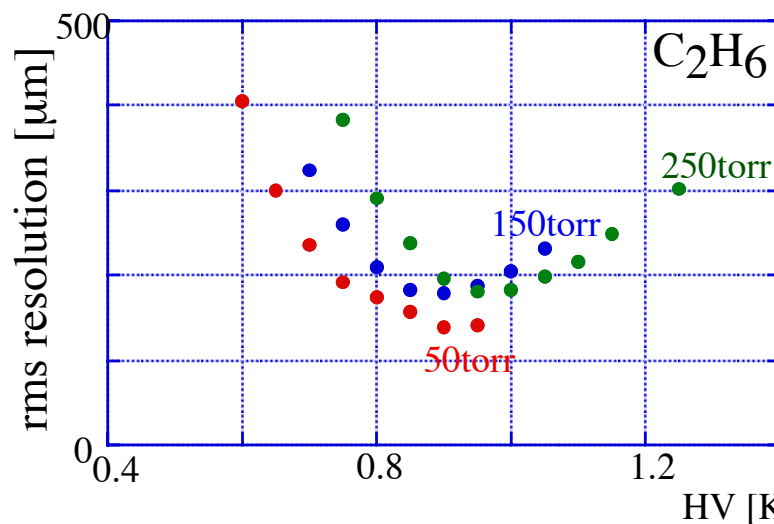
$\sigma_x > 150\mu\text{m}$

with 電荷分割 i-C₄H₁₀@200torr

重イオン :

$\sigma_x \sim 100\mu\text{m}$

with i-C₄H₁₀@20torr, @300MeV/A, z=36



(4-1) 全エネルギー検出器 - 1

NaI(Tl) + PMT

Range 短 : 3 cm (^{40}Ar), 1.5 cm (^{84}Kr) $R \propto \frac{A}{z^2} E^2$

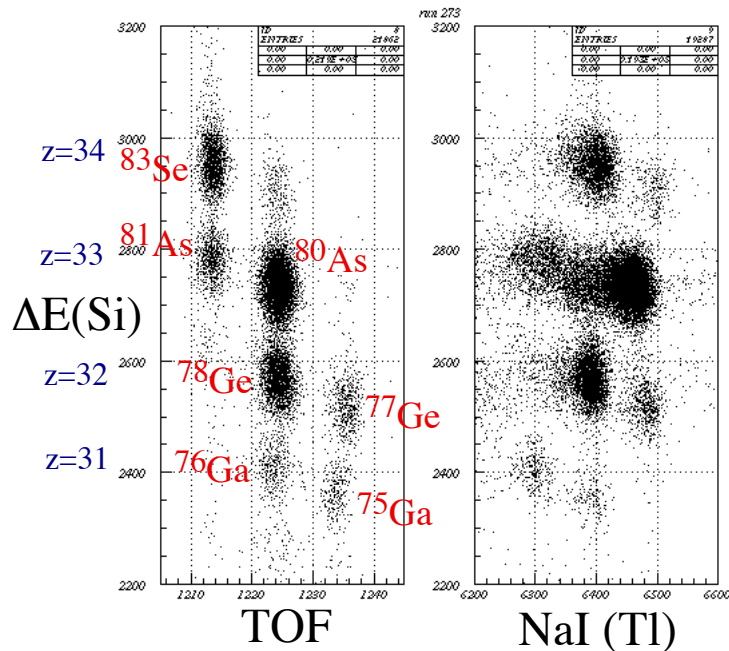
3" ϕ x 3" 厚、3" 立方体 :

個体差有

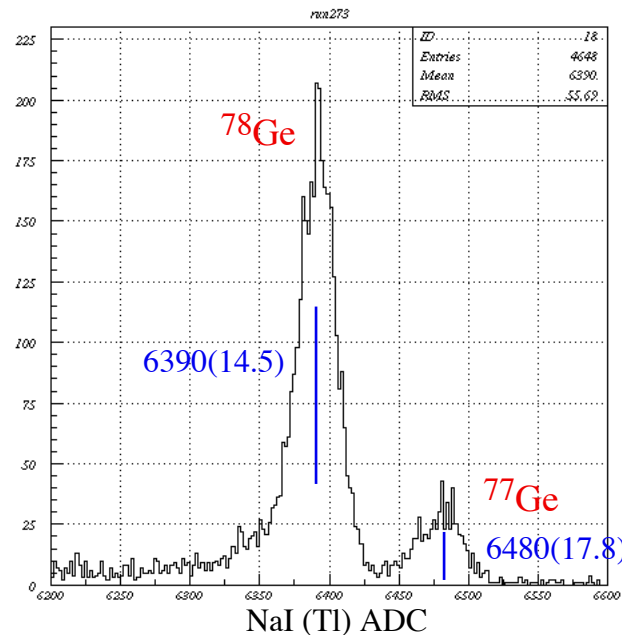
光量大 : PMTの低電圧動作

Anode出力-電荷積分型ADC < Anode出力-電荷積分型PA-整形増幅-ピーク型ADC

ビームラインでの運動量分析(0.1%)



答



$$\frac{\sigma_E}{E} \approx 0.15\% @ 23\text{GeV}$$

290MeV/A ^{78}Ge

A~80での質量分離可能

(4-2) 全エネルギー検出器－2

CsI(Tl) + PhotoDiode(PD) + 電荷積分型PreAmp

潮解性： 弱

キャリア数： 2倍

$$\frac{N_{\gamma}(CsI) \varepsilon(CsI)}{N_{\gamma}(NaI) \varepsilon(NaI)} \approx \frac{1}{2} \frac{80}{20} = 2$$

(1) CsI(Tl)結晶

サイズ： 1.8²x4, 3²x4, 43, 5³ cm³

表面： 鏡面／スリガラス状

反射材： テフロン、ESR(3M)

(2) ライトガイド

(3) Photo Diode

面積： 1², 1.8², 2.8² cm²

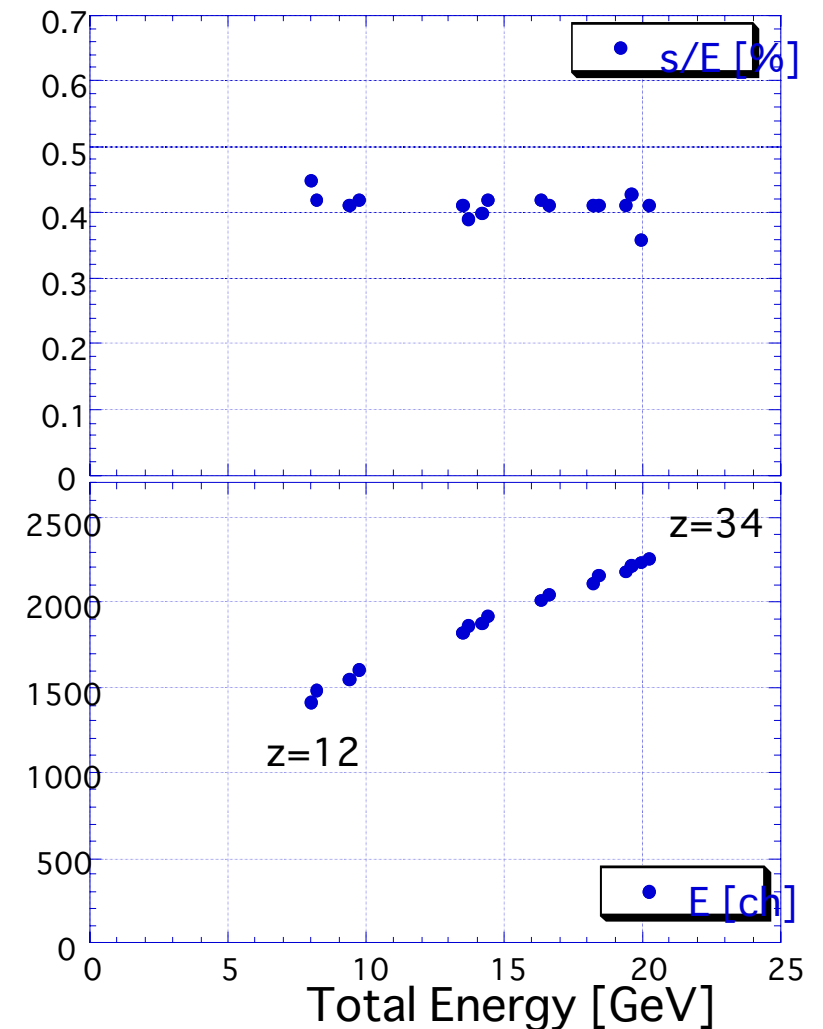
(4) PreAmp

Hybrid 3種類 + C_f ~ 100pF

NaI(Tl)に比べ、約2倍悪い

理由： 不明

⁴⁰Ar, ⁸⁶Krからの2次ビーム@250-300MeV/A



(4-3) 全エネルギー検出器－ 3

高純度(HP)-Ge検出器

$$\varepsilon = 3\text{eV} : \quad \sigma_E/E \approx (4-6) \times 10^{-4}\% \quad @(10-20)\text{GeV}$$

結晶 : 60mm ϕ x 35mm t (semi-planar)

60mm ϕ x 10mm t (planar)

PreAmp : 自作 $C_F = 200-500\text{pF}$

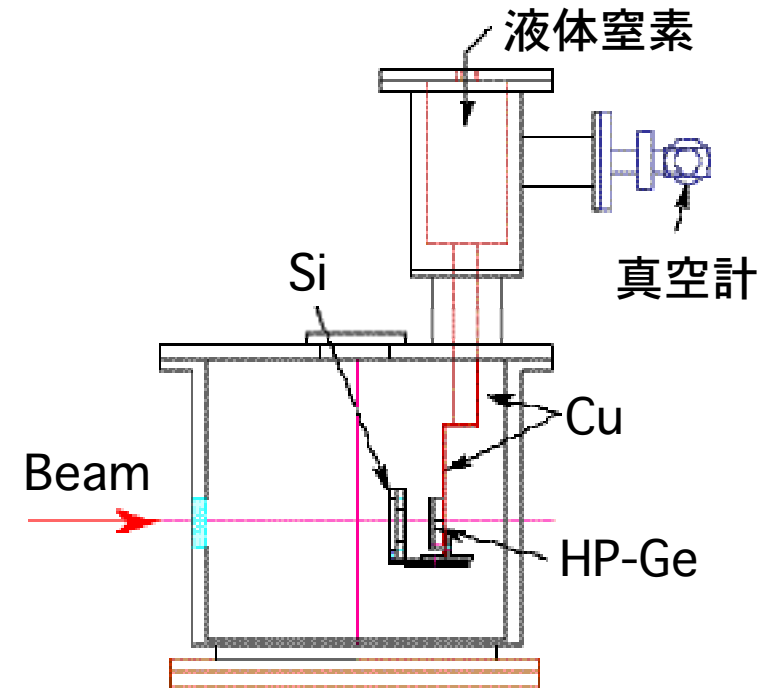
真空/冷却 : 自作

結果 :

リーク電流が大きい

最良 : $\sigma_E/E = 0.35\% @ 3\text{GeV}$

制限 : ?



まとめ

エネルギー200-300 MeV/A、質量数<100のRIビーム実験

Broad range spectrometer用検出器の開発を行った： 2年目

目標

(1) 多層電離箱

ほぼ予想通り

$\sigma_z \sim 0.2$

(2) 全反射型Cherenkov検出器： 高屈折率radiator使用

@300MeV/AでA~80を実際に分離できた

$\sigma/\beta \sim 1/1000$ 相当
@ $\beta=0.6-0.7$

(3) 位置検出器

(3-1) 六角セル型drift chamber： He+C₂H₆ @1気圧

位置分解能： 110-30 μ m (z=5-31)

低物質質量

+ 高位置分解能

+ 真空中動作可

+ dynamic range

(3-2) 低圧力六角セル型drift chamber： i-C₄H₁₀ @50torr

長いplateauを持ち安定動作

位置分解能： ~100 μ m

(3-3) 低圧力Cathode読出型drift chamber： i-C₄H₁₀ @20torr

位置分解能： ~100 μ m

(4) 全エネルギー検出器

(4-1) NaI(Tl)+ PMT： 分解能~0.2% @20GeV

A~80を分離可能

$\sigma_E \sim 0.1\%$

(4-2) CsI(Tl)+PD： NaI(Tl)より約2倍悪い、理由？

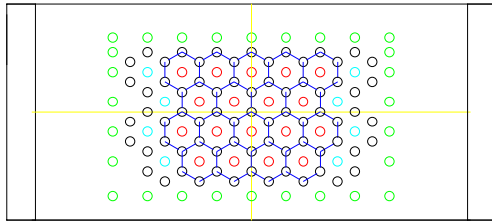
(4-3) HP-Ge： 同上、理由？

重RIビーム粒子識別用検出器の開発

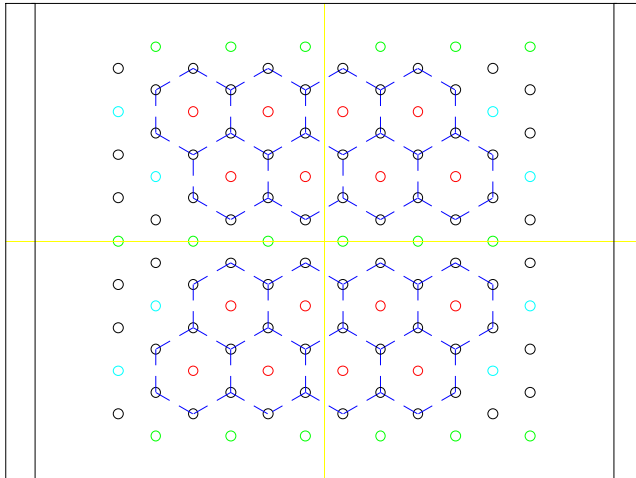
16P181

参加者	松田洋平、遠藤奈津美、小林俊雄 (東北大) 大津秀暁 (理研) 佐藤良輝 (東工大) 高田栄一 (放医研)
実験期間	2005年7月, 2005年12月
ビーム	^{40}Ar ($Z=18$), ^{84}Ar ($Z=36$) 1次ビーム @400 MeV/A 2次ビーム($Z<34$) @250-300 MeV/A
検出器	位置検出器 : Drift Chamber (6角セル) 低圧力Drift Chamber 低圧力Cathode読出型Drift Chamber 全エネルギー検出器 : Si + HP-Ge, NaI(Tl), CsI(I) 電荷検出器 : 多層電離箱 速度検出器 : 全反射型Cherenkov検出器

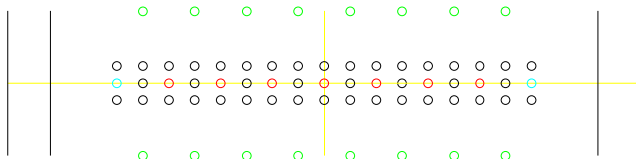
Drift chamber



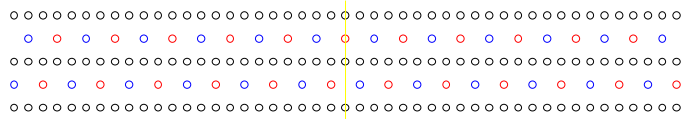
6 角セル :
 $L_{\text{drift}} = 6 \text{ mm}, 10.5 \text{ mm}$
 $x x' x x'$



6 角セル :
 $L_{\text{drift}} = 13 \text{ mm}$
 $x x' x' x$



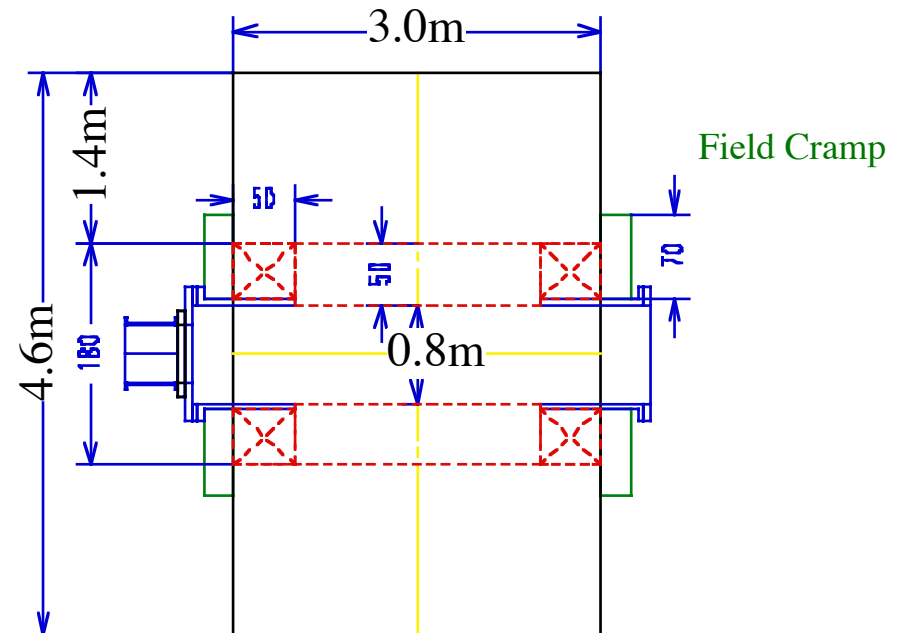
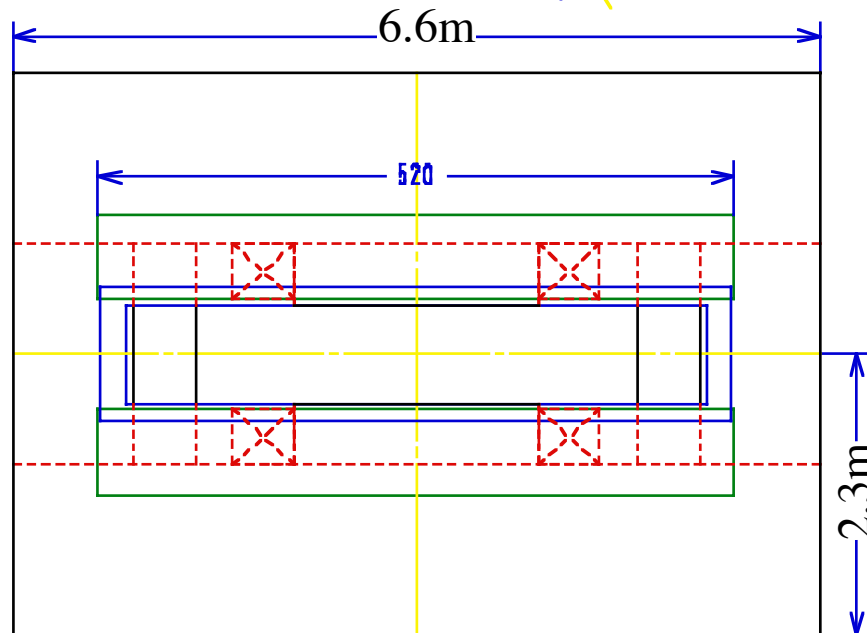
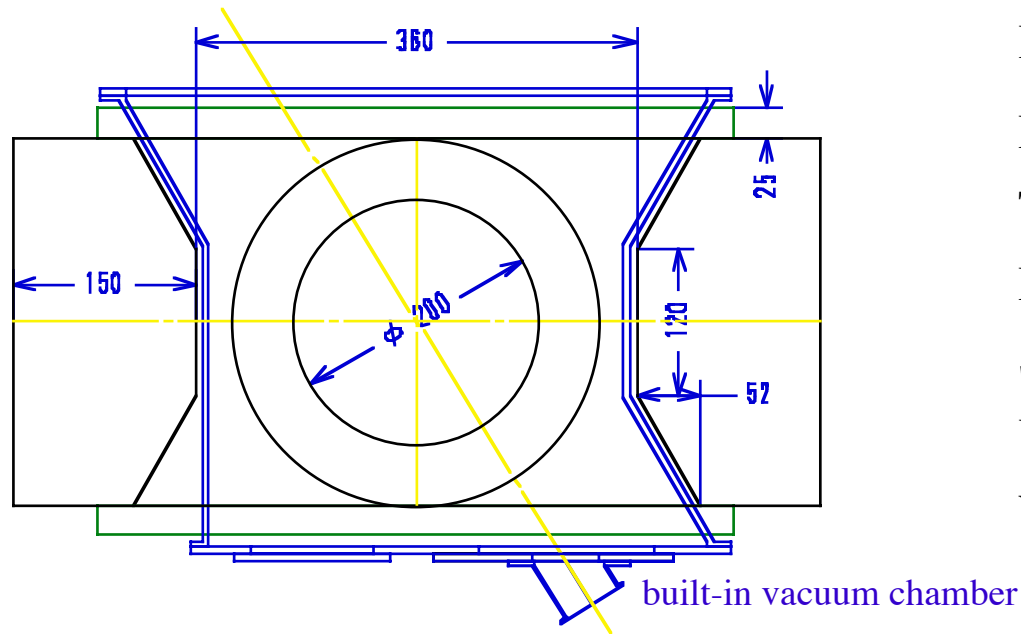
4 角セル :
 $L_{\text{drift}} = 9 \text{ mm}$
 $g = 6 \text{ mm}$
 $xyx'y'xyx'y'xy$



Spectrometer 磁石

parameters

Pole:	2m diam. 0.8m gap
Field:	3 T @3.6 MAT
Turns/current:	396x2 turns / 4600 A
Field integral BL:	7 Tm
Stored energy:	28 MJ
Vertical force:	650 ton
Weight:	611 ton +coil/cryostat



HIMAC 2次ビームライン $P_{\max} = 2.4 \text{ GeV}/c$

