

核反応 Tagging 用 - C 型前方スペクトロメータ

小林(東北), 中村(東京), 久保, 桜井, 川口(理研)

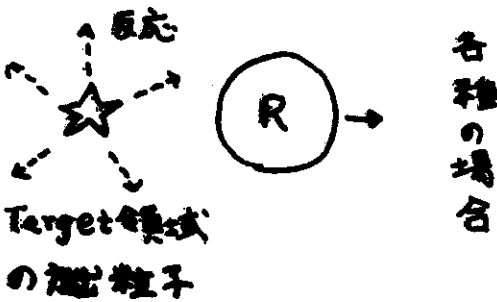
[1] 何を想定? 目的は?

2次原子核ビームの核反応 \div Inverse Kinematics



特色は?

"Residual Nucleus" が前方に発出してくる。



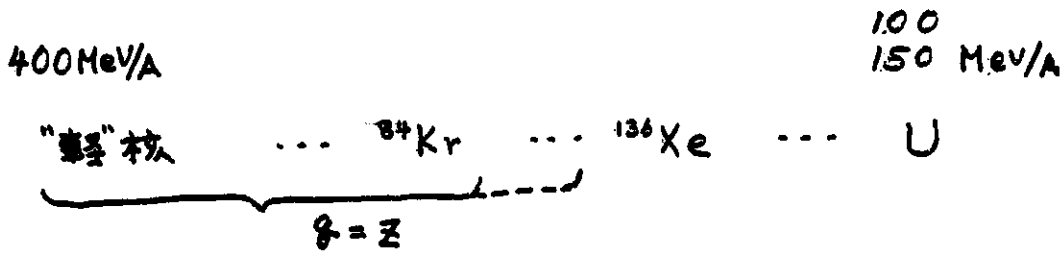
- 例えば
- ともかく R の情報も得る. (P, P')
 - 副産物 (P, P')
 - 単独使用 (P, PN)

- ① (B) \rightarrow elastic
- ② (B) \rightarrow inelastic \rightarrow γ decay
- ③ (B-1) \rightarrow - 粒子放出
(N) \rightarrow Qdecay \sim 数 MeV \downarrow 数 + MeV
- ④ (B-1) \rightarrow 同上 + γ
(N) \rightarrow
- ⋮ たくさんあつて
- ⑤ (F₁)
(F₂) (F₃*)

- "R" の decay mode
leading particle のみ(?)
- "R" の励起エネルギー分布
前方粒子の invariant mass
+ decay γ

[2] 想定する? 領域: エネルギー, 質量, Q_{decay} , max Rigidity ..

● 1次ビーム



● 2次ビーム

$T \lesssim 250 \text{ MeV/A}$

$A \lesssim \text{Kr} (\sim 100)$

$\frac{A}{z} \lesssim 3$

* Magnetic rigidity: $R \sim 1 \text{ GeV/c}$ $T_p = 400 \text{ MeV}$

$R \sim 2.2 \text{ GeV/c}$ 250 MeV/A $\frac{A}{z} = 3$

$\theta_{beam} \sim 60^\circ \rightarrow B \cdot L \sim 6.4 \text{ Tm}$

● 運動量 Acceptance

"Residual" の decay を tag する立場から.

Proton $\sim \frac{A}{z}$ (beam) $\rightarrow \frac{P_{max}}{P_{min}} \gtrsim 3$

→ 中性子は?

● 運動量分解能

$$\frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\gamma^2 \frac{\sigma_B}{\beta}\right)^2}$$

$\frac{\sigma_A}{A} \sim \frac{0.2}{80} \sim \frac{1}{400}$

* 9217

* $\frac{\sigma_R}{R} \sim \frac{1}{550} \sim 1.8 \times 10^{-3}$

* $\frac{\sigma_B}{\beta} \sim 1.1 \times 10^{-3}$ ($L \sim 10 \text{ m}$, $\sigma_t \sim 60 \text{ psec}$)

→ 長い flight path が必要

* $\sigma_z \sim 0.2$ for $z > 20$ @ high rate

主に A-分解能で決まる

● 角度 acceptance

● leading fragment

$A=30 \rightarrow A=29 \quad \sigma_0 \sim 5 \text{ mrad} \quad \pm 4\sigma_0 \approx \pm 1^\circ$

beamの角度分散: $\pm \sigma_0 \approx \pm 1^\circ$ (こちらが大きい)

Neutron
● Proton 1個] @250MeV

Q_{decay} [MeV]	P_{\perp} [MeV/c]	θ_{\perp} [deg]	$\frac{\Delta P_H}{P_H}$ [%]
2	61	4.8 ↑	11 ↑
4	87	6.8 ↓	15 ↓
6	106	8.2 ↓	18 ↓
* 10	137	10.7 ↓	24 ↓
20	193	15.2 ↓	34 ↓
* 30	237	18.6 ↓	41 ↓

$\left. \begin{matrix} \theta_H \sim \pm 10^\circ \\ \theta_V \approx \pm 5^\circ \end{matrix} \right\} \approx 62 \text{ msr}$
 $\left. \begin{matrix} P_0 \text{ 方向しかとれない} \\ \text{又は} \\ \text{完全な open geometry} \end{matrix} \right\}$

cf: 250MeV π TOF : $L \sim 9\text{m} \quad \frac{\sigma_p}{p} \sim 10\%$

[3] まとめて

-
- $B \cdot L \approx 6 \text{ T} \cdot \text{m} \quad : 250 \text{ MeV}/A \quad \frac{A}{Z} = 3 \quad (60^\circ), \quad \frac{\sigma_p}{p}$
- $\frac{\sigma_p}{p} \approx \frac{1}{500} \quad : A(80) \text{ の識別}$
- $\frac{P_{\text{max}}}{P_{\text{min}}} \approx 3 \quad : \text{Proton (-Beam)}$
- $\theta_H \approx \pm 10^\circ \quad : \quad \quad \quad \theta_V \sim \frac{1}{2} \theta_H \quad \sim 60 \text{ msr}$
- 前方中性子測定 : \approx 前方陽子測定
- (● targetから $\approx 40^\circ$ 中性子 : (P, Pn))

方式

- GD (LAS, KAOS) →
- { ● H-magnet + 丸型ホール
- C-magnet + 長方形/丸型ホール
正方形

想定する事

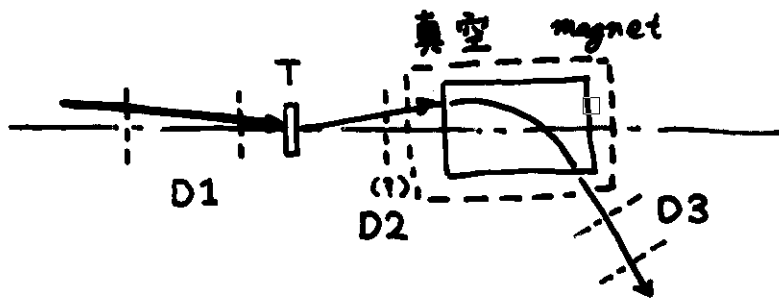
(i) 2次ビームは tag する.

$$\frac{\sigma_p}{P} \approx \frac{1}{3000}$$

$$\sigma_x \sim \sigma_y \text{ (target)} \approx 0.2 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\theta_x} \sim \sigma_{\theta_y} \text{ (")} \lesssim 0.3 \text{ mrad}$$

(ii)



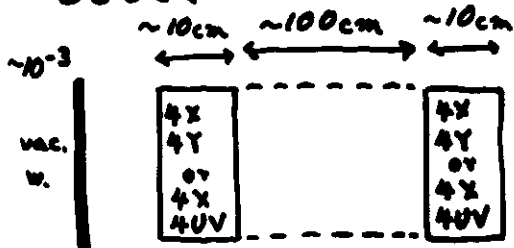
D1: Beam 用

D2: Leading Fragment (opt)

D3:

真空の領域 (?)

D3として



フットプリント

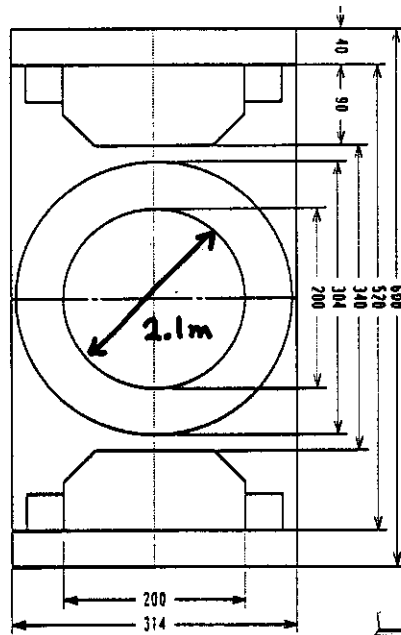
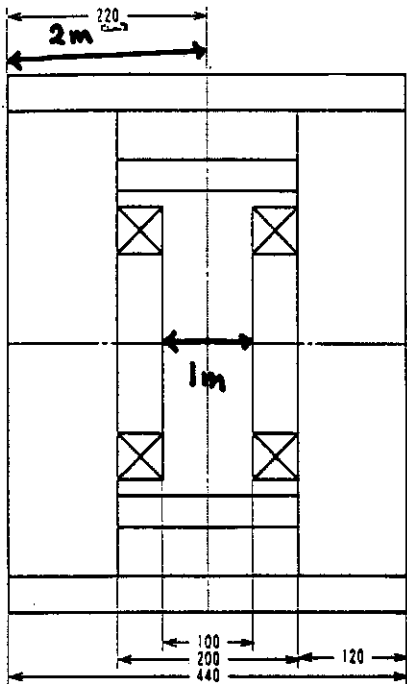
or

Hex

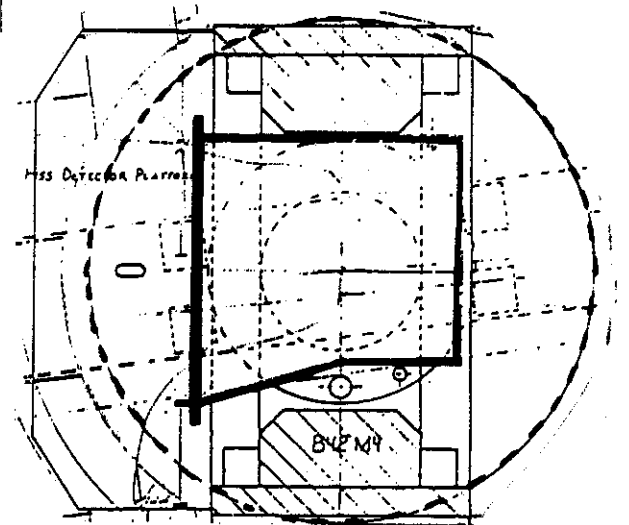
$\frac{L}{L_R} (\times 10^3)$	5~8	0.2	5~8
σ_{xy} [mm]	0.15		0.15

$$\} \rightarrow \sigma_{\theta} \lesssim 0.8 \frac{\Sigma}{A} \text{ [mrad]}$$

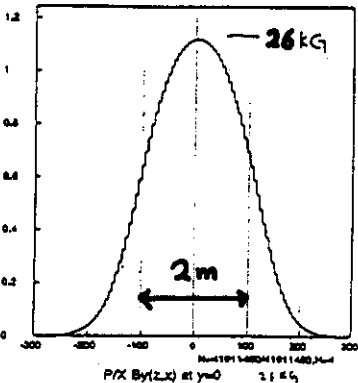
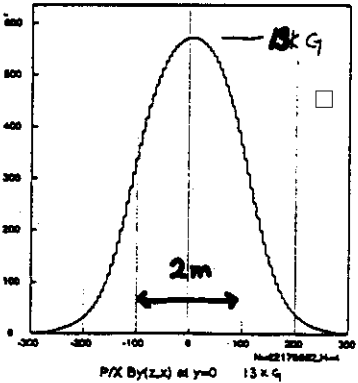
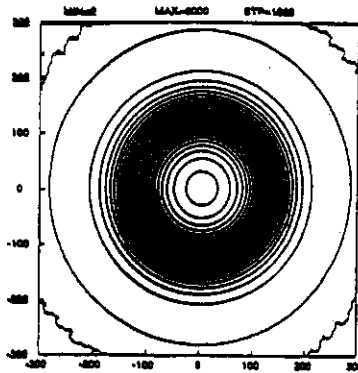
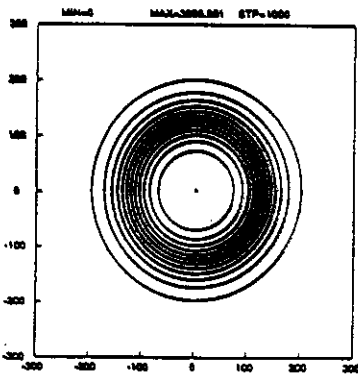
H型 magnet + 円型ホールの例 (HISS)



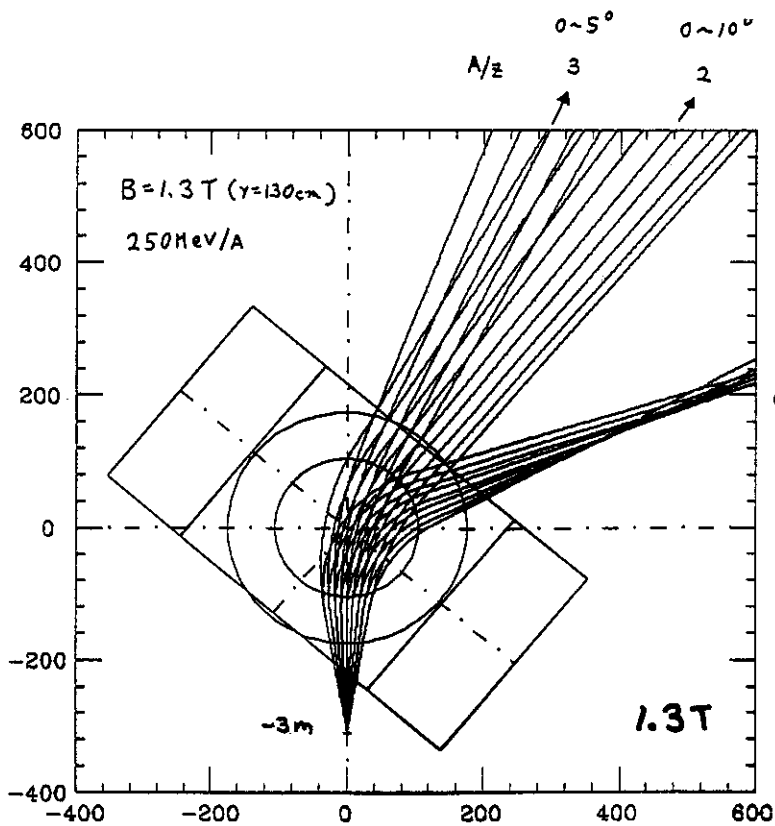
$B_0 \leq 3T$
 $W \sim 570t$
 $E \sim 55MJ$
 $AT \sim 5.1MAT$
 $I \sim 2000A$
 $BL \sim 7Tm$



磁場分布



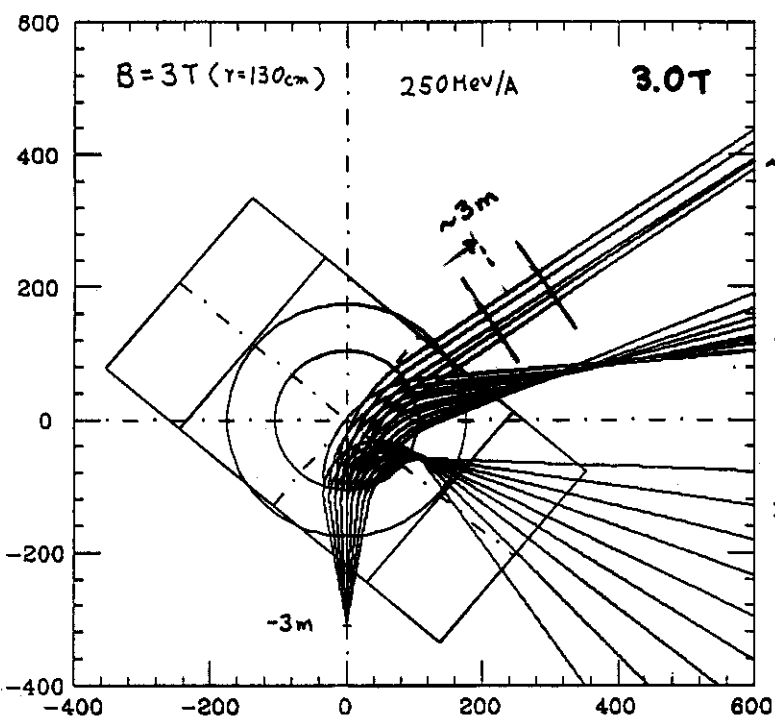
+ 真空箱
 + 回転台



$Z_T = -3m$

250 MeV/A

A/z	θ
3	$0, \pm 2.5, \pm 5^\circ$
2	$0, \pm 2.5, \pm 5, \pm 7.5, \pm 10$
1	"



1: 次の分解能

$D \approx 3.3 \text{ cm}/\%$
 $D' \approx 8 \text{ mrad}/\%$

$\sigma_{\theta_0} \approx 1 \text{ mrad}$ とすると
 $\frac{\sigma_p}{P} \approx \frac{1}{1000}$

① 色々なモードに対して回転台が必要

② Leading fragment を $> 45^\circ$ 以上まげると.

Proton) は無理
 neutron)

C型 magnet の経過

① 正方形型 C-magnet (中村案)

pole: 2.5m x 2.5m x 1.0m (gap) → cold pole 方式

$B_{max} = 3.6 \text{ T}$ 80MJ, 6MAT

W ~ 1300 t

Leading fragment について 荒い一次収束 $\frac{\sigma_p}{p} \sim \frac{1}{1000}$

$$(\Delta S)^2 = \left(\frac{(x_1 + \theta) \Delta \theta_1}{D} \right)^2 + \left(\frac{(x_1 z) \Delta x_1}{D} \right)^2 + \left(\frac{\Delta x_0}{D} \right)^2$$

② 丸型 C

丸型 H

長方形 C 1.6 x 3 x 0.8 3.6 T 850 t
↓

③ 長方形 C-Magnet ^{2.6m 可}

pole : : 1.6m x 2.8m x gap 0.9m

起磁力 : 4.4 MAT

B : 3 T (ポールの表面 4.8 T, ヨーク中 ~ 2.2 T, コイル中 4 T)

エネルギー : 36 MJ

W : 620 t (585 + 35 t)

F_z : ~ 600 t コイルサマで結合

F_x : 70 t → 20 t

磁石磁場 : 0.3 G @ 70 m

収束 : Horizontal : 比較的きれいな焦点面を持つ

D = 3 cm / %

Vertical : 発散

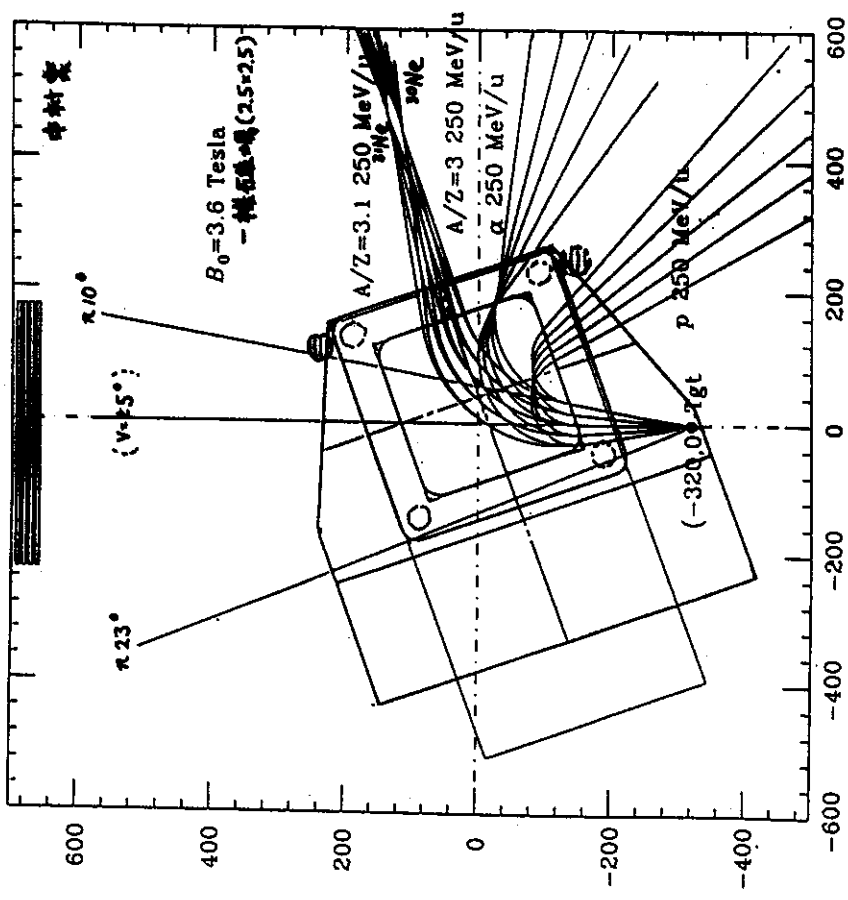
コイルと真空箱は一体

- simulation

- 磁石場測定 ↔ 運動量分解能

- 費用 / 予算

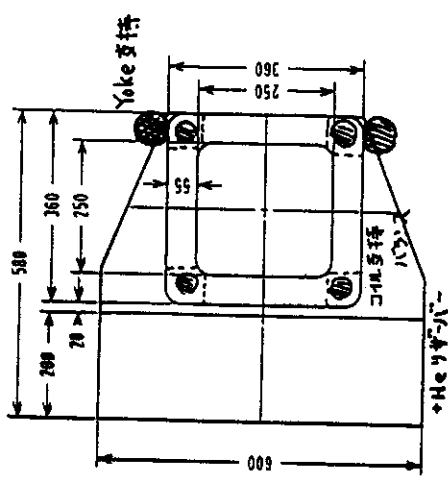
#1 2.5m x 2.5m x 0.8m 3.6T 中村家



$D \sim 4 \text{ cm} / \%$
 $M_x \sim 1.4$
 $\frac{A(ZFWHM)}{P} |_{\text{10\%}} \sim \frac{1}{1800}$

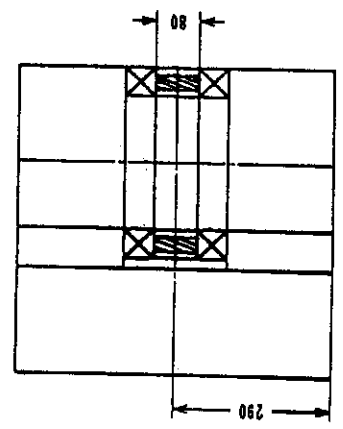
実際の石磁場中での trace ?

250 MeV/A $A/Z=3$
 $\beta = 0.62, \gamma = 1.26$
 $P_0 = 130 \text{ MeV/c/A}$
 $R = 2.2 \text{ GeV/c}$
 $P \sim 2 \text{ m} @ 3.6 \text{ T}$



- ? ① Yokeの支持
コイルの支持/パルス
cold pole ?
- ② 回転軸行移動 ?
- ③ 床高/天床高
穴をぼる? 高すぎる??
- ④ 真空箱, 窓

? ○ 実際の石磁場での trace



正方形型C-Magnet:

コイル起磁力:	gap = 1m	SKS
最大磁界:	6 MAT / 2 coil	2.1 MAT
全重量:	3.6 T	3 T
蓄積エネルギー:	1300 t	520 t
コイル直線部拡張力:	80 MJ	56 MJ
コイル反発力:	420 t/m	330 t/m
コイル移動力:	1500 t	960 t
	170 t	120 t

注: cold pole方式?

#1

C型

正方形

2.5m x 2.5m

丸型

2.8m φ

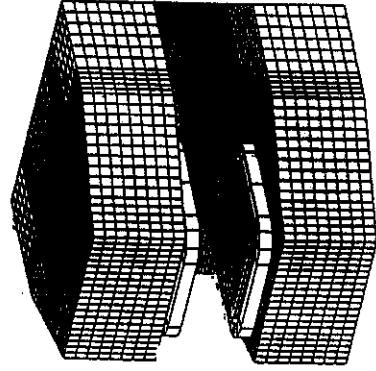
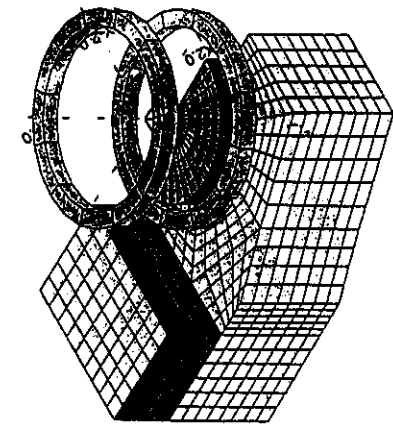
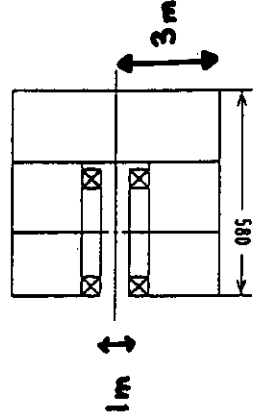
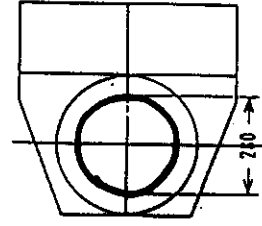
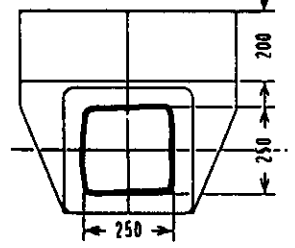
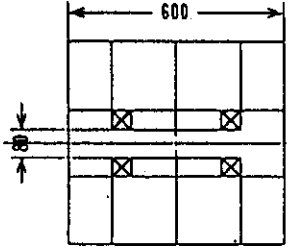


表1. 各ケースの計算結果一覧表

	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
ポールサイズ (m)	2.5 x 2.5	2.5 x 2.5	2.5 x 2.5	直径 2.8
ポール間ギャップ長 (m)	1.0	1.0	0.5	1.0
コイル総電力 (MA)	6.0	7.0	4.6	6.0
最大磁界 (T)	3.58	3.96	3.95	3.60
Bz 磁界成分 (T/m)				
x 軸 - 1.25 ~ 2m 間	9.26	10.40	10.41	10.07
(ケース4は -1.4 ~ 2m 間)				
y 軸 - 2 ~ 2m 間	10.30	11.46	11.38	9.90
ヨーク、ポール全重量 (トン)	1200	1400	1300	1200
蓄積エネルギー (MJ)	80	105	55	80
コイル最大磁界 (T)	5.1	5.9	4.3	---
直線部中央				
コーナ部	5.9	6.9	4.9	5.4
1コイル磁界力 ΣFxy (トン)	4700	6400	3600	4500
直線部磁界力 fxy (トン/m)	420	570	330	---
300μm SRC				
コイル間距離力-Fz (トン)	1500	1400	400	1400
(注: コイルがヨーク側に引かれる方向)				
1コイル磁界力-Fx (トン)	170	150	70	110

> 1200t (< 2.5T)

→ cold pole

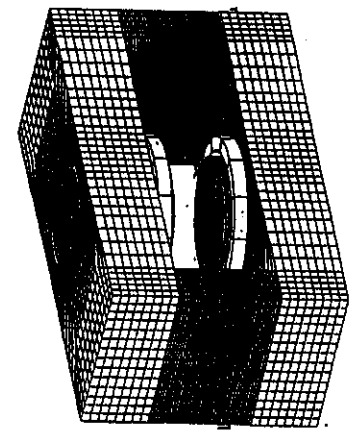
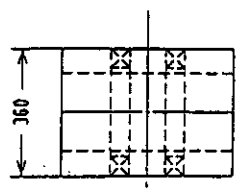
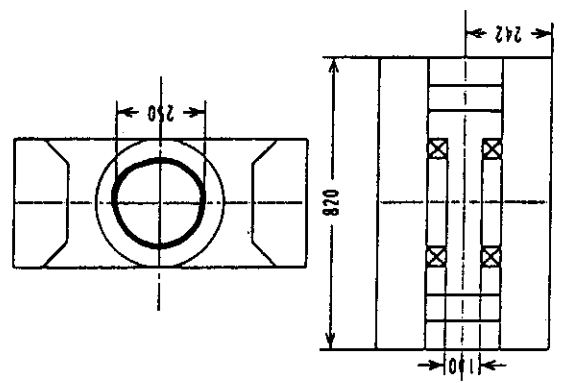
SRC 600t/sector

① 4T は x → 3.6T max

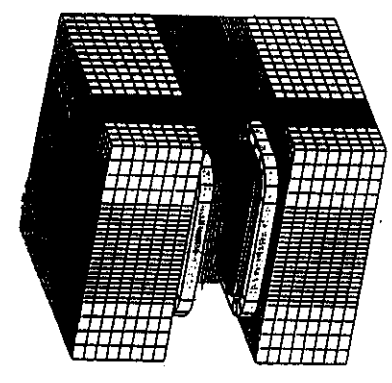
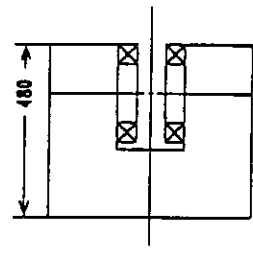
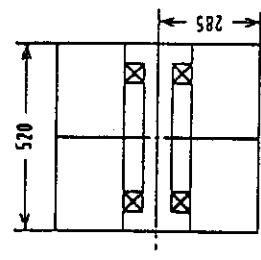
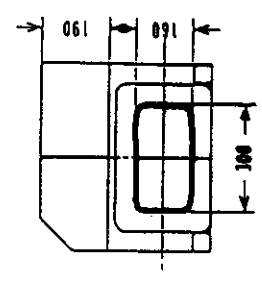
② コイル磁界力 ≧ 350t/m → cold pole

③ W > 1200t

#2 丸型 H: 2.5mφ × 1m
3.6 T



#3 長方形 C: 3m × 1.6m × 0.8m
3.6 T

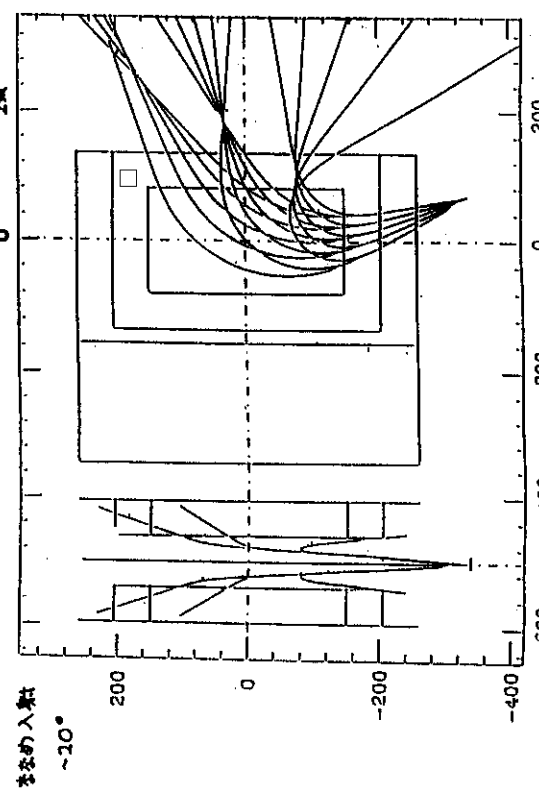
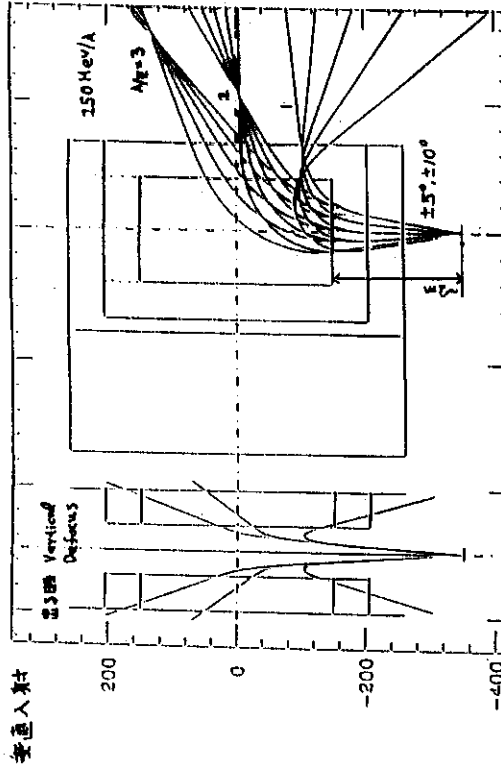


ポール/コイル形状	長方形	円形
ポールサイズ (m)	1. 6 * 3	直径 2. 5
ポール間ギャップ長	0. 8	1. 0
コイル起磁力/2コイル (MA)	5. 4	6. 0
ミッドプレーン上の最大磁界 (T)	3. 6 6	3. 5 4
コイル内の最大磁界 (T)	5. 6 (コーナ部)	5. 4 T (内径部)
	4. 7 (直線部)	- 定 OK
鉄重量 (トン)	9 3 0	8 4 0
磁気蓄積エネルギー (MJ)	5 8	6 6
1コイルの拡張力 Σ F x y (トン)	4 0 0 0	4 3 0 0
長辺部の拡張力 f x (トン/m)	<u>3 8 0</u>	--
コイル間の反発力 - F z (トン)	1 0 6 0	1 3 0 0
(コイルがヨークに引きつけられる方向)		
1コイルの移動力 - F x (トン)	1 1 0	0

cold pole

• 一定可能だが、長方形は cold pole

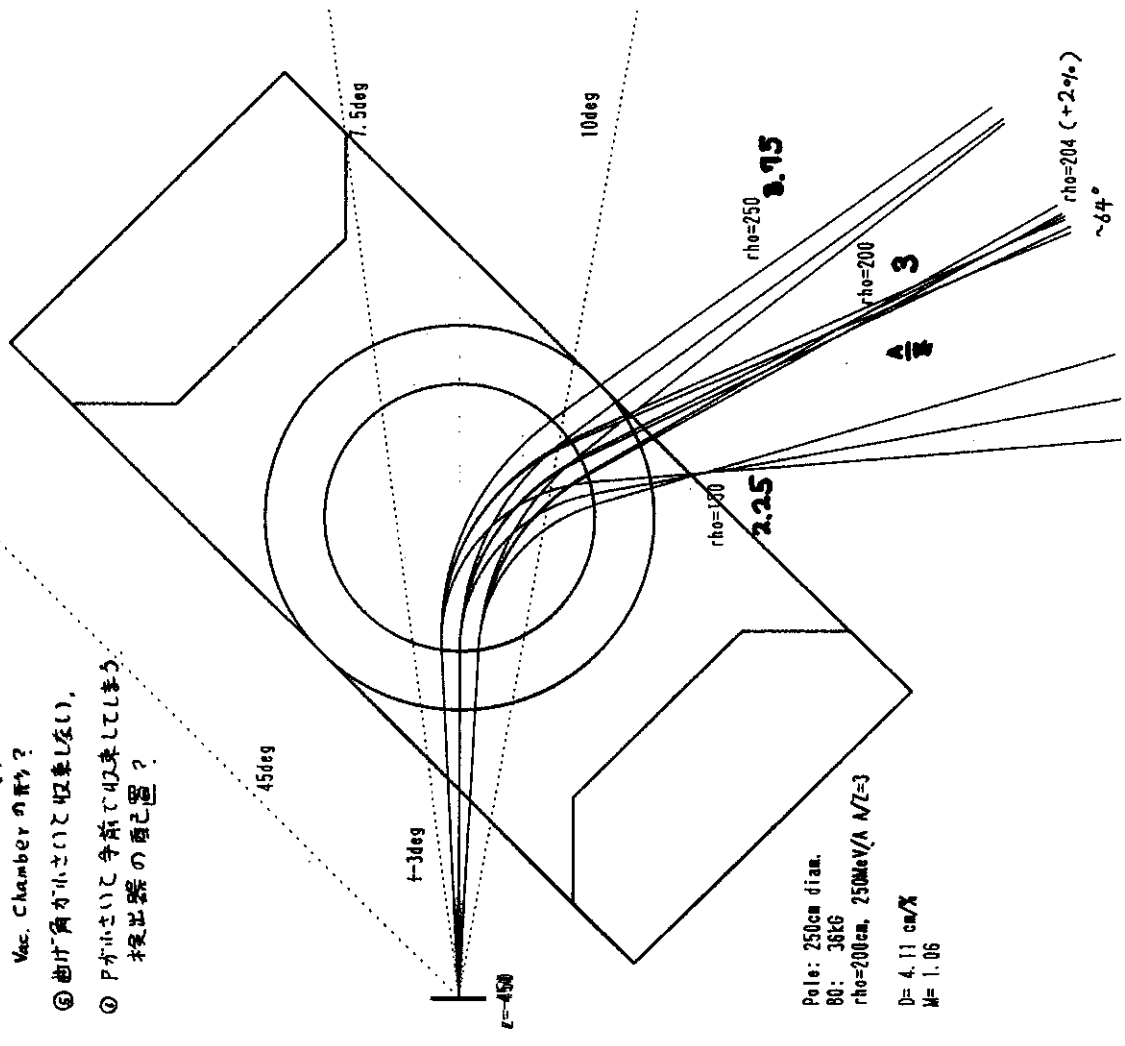
C型長方形



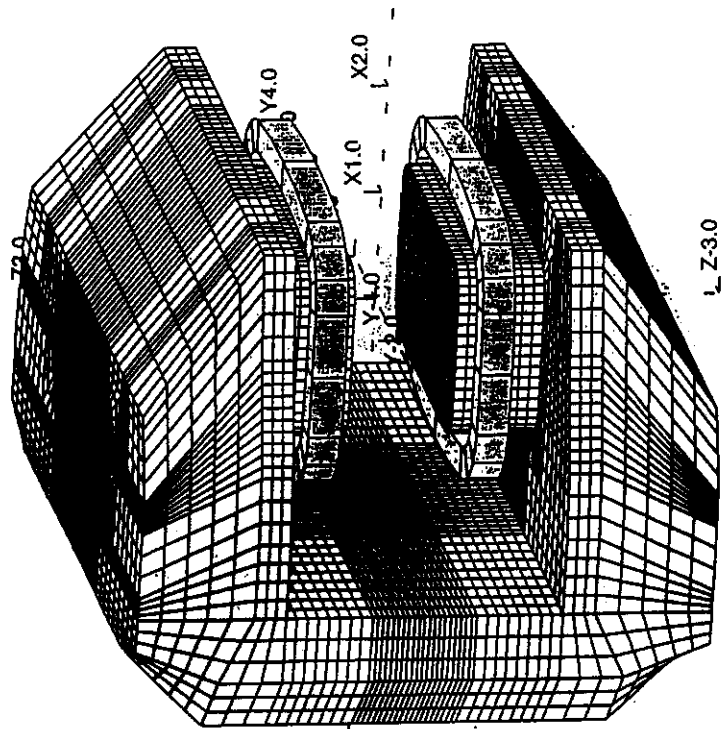
Vertical に
縦散
像がかつ5()

↓
なめ入射
・P, αには電力
・ただし
複雑な
回転機構

- ① 0°方向中性子の為にワークを歪ませず。
- ② コイルへの力, 安定性
- ③ HISSより大きい.
中心高 ~ 2.4 m ← 床を部分的に下げる必要
- ④ 回転機構が必要.
Vac. Chamber の形?
- ⑤ 曲げ角が小さいと収束しない,
- ⑥ Pが小さいと手前で収束してしまう
投出器の厚さ置?



RIKEN SC. Spectrometer for RIBF



Pole : 1.6m (h) x 2.8m (W) x 0.9m (gap)

B₀ : 3 T @ 44 MAT

W : 620 t (585 t + 35 t)

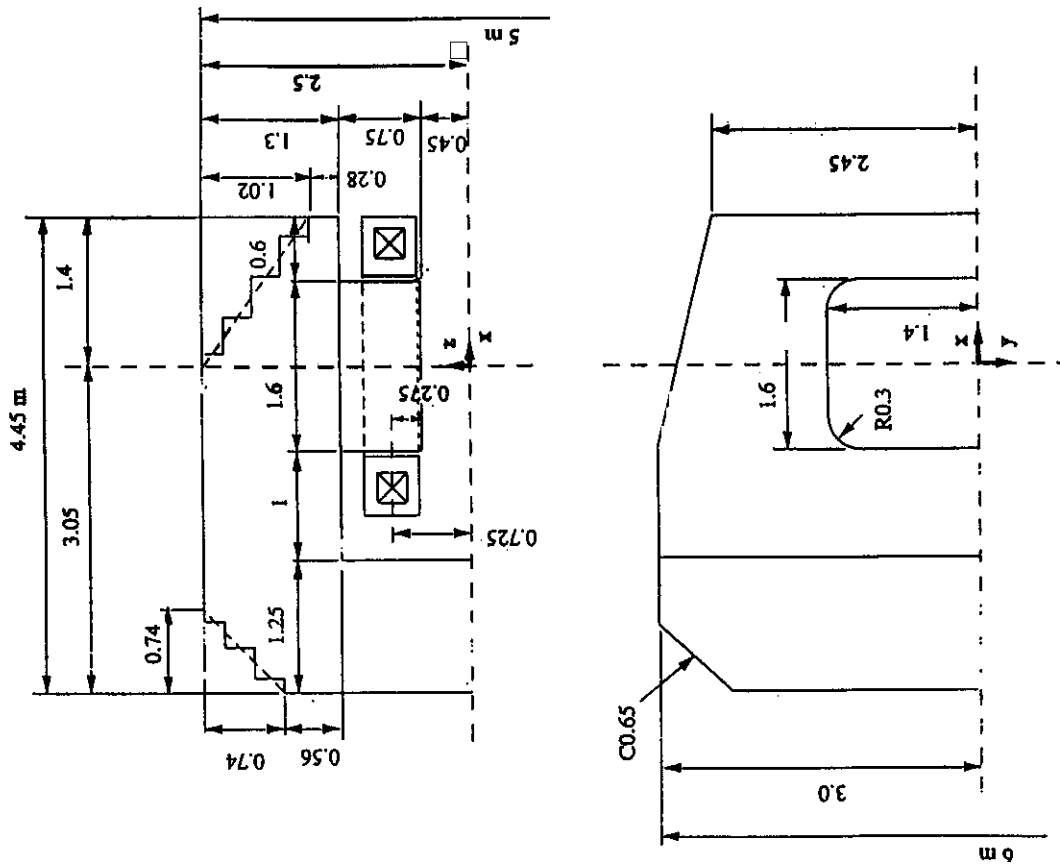
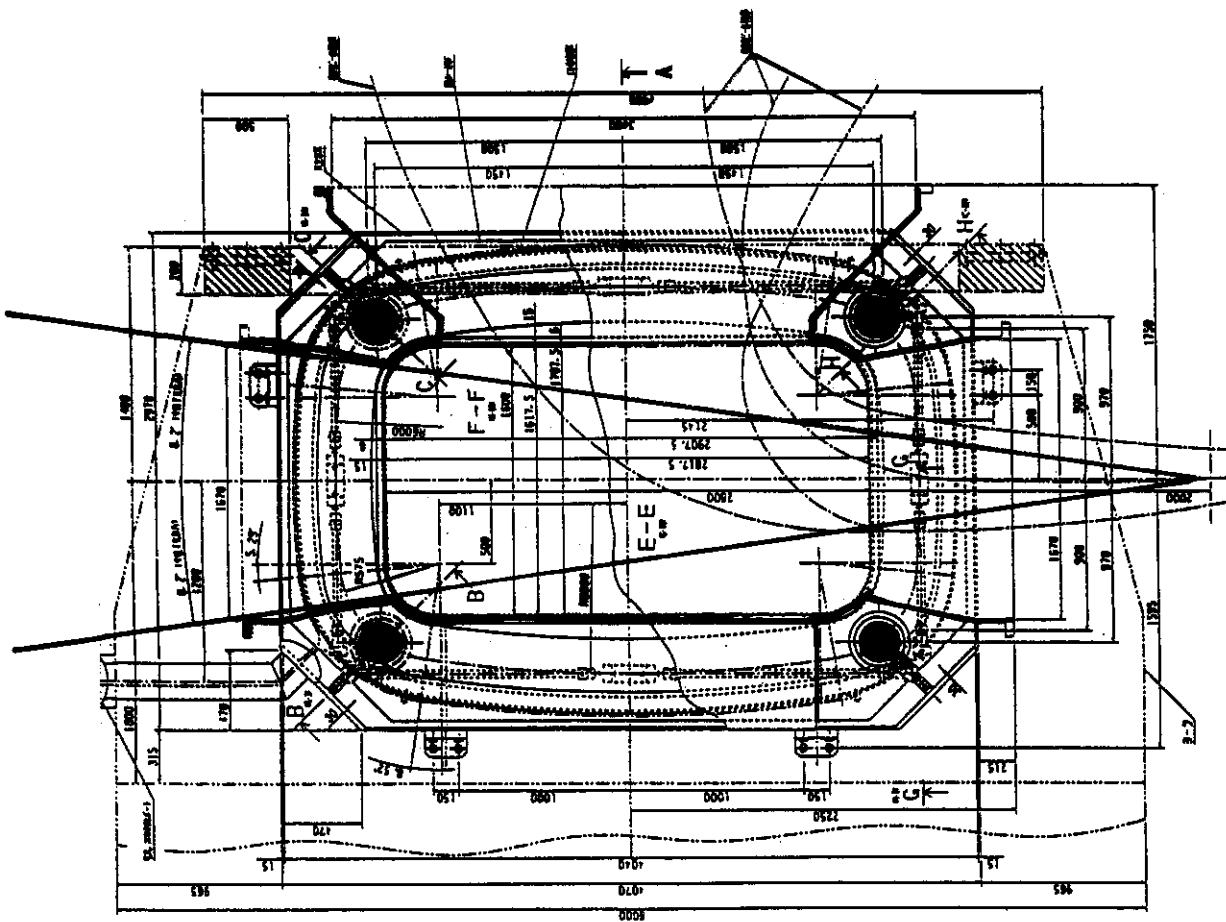
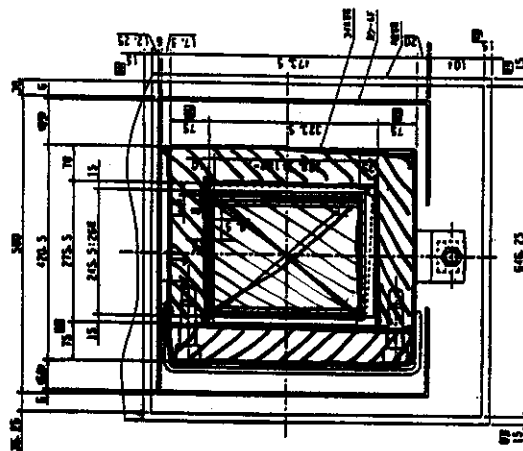
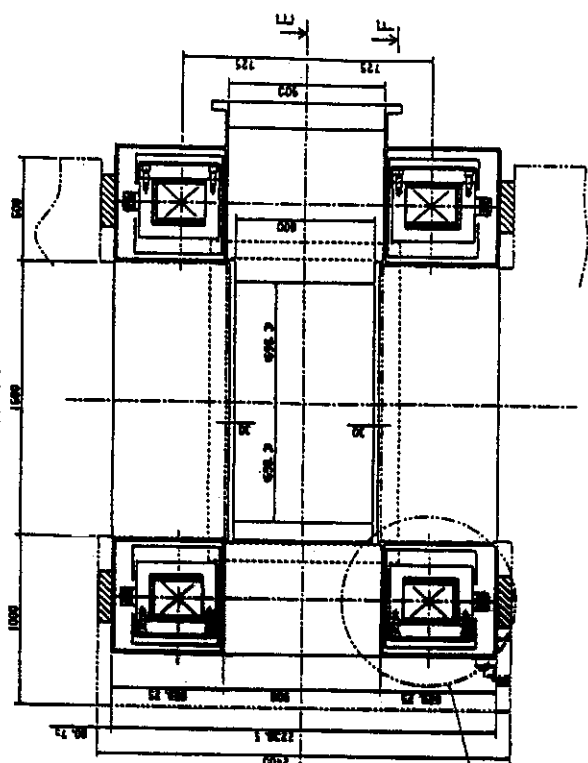


图 1. 電磁石寸法図

A - Acs



超伝導コイルのクライオスタット } 一体構造
粒子用の真空箱

gap acceptance } き使わない様に.

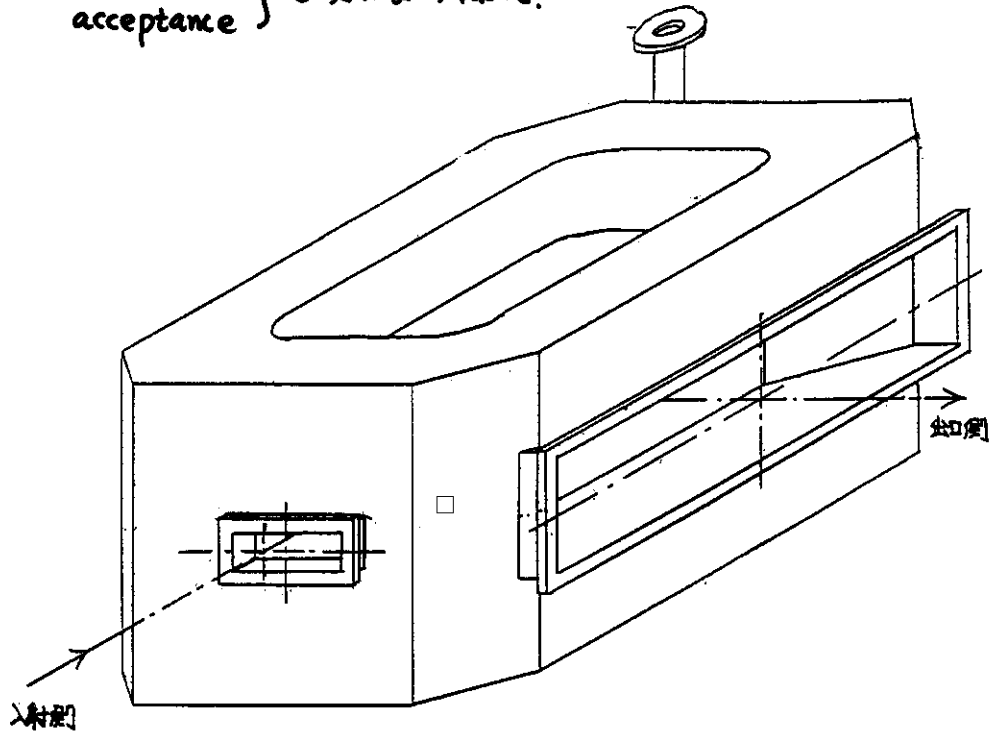
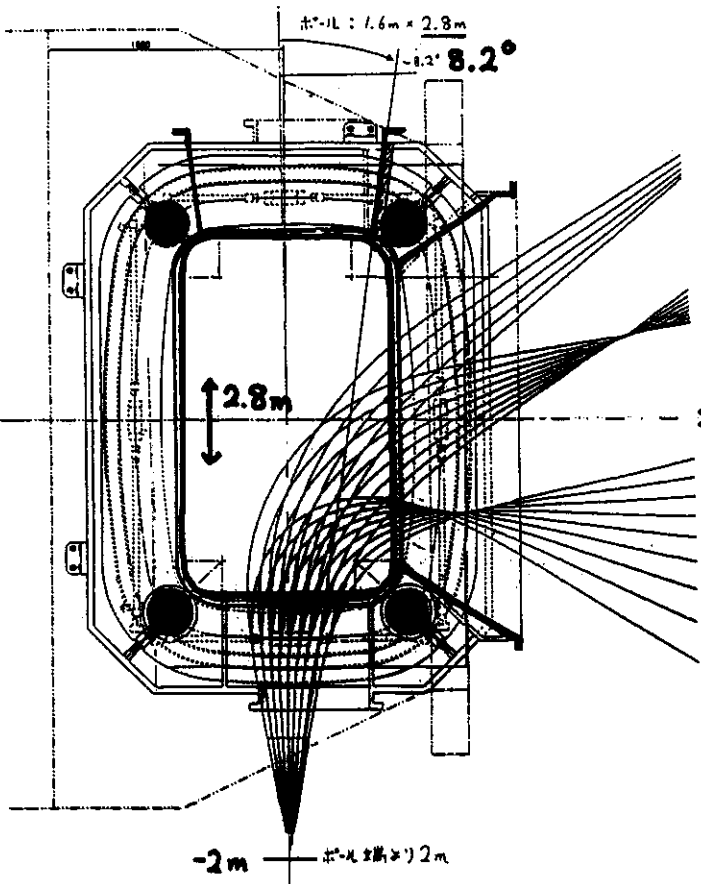
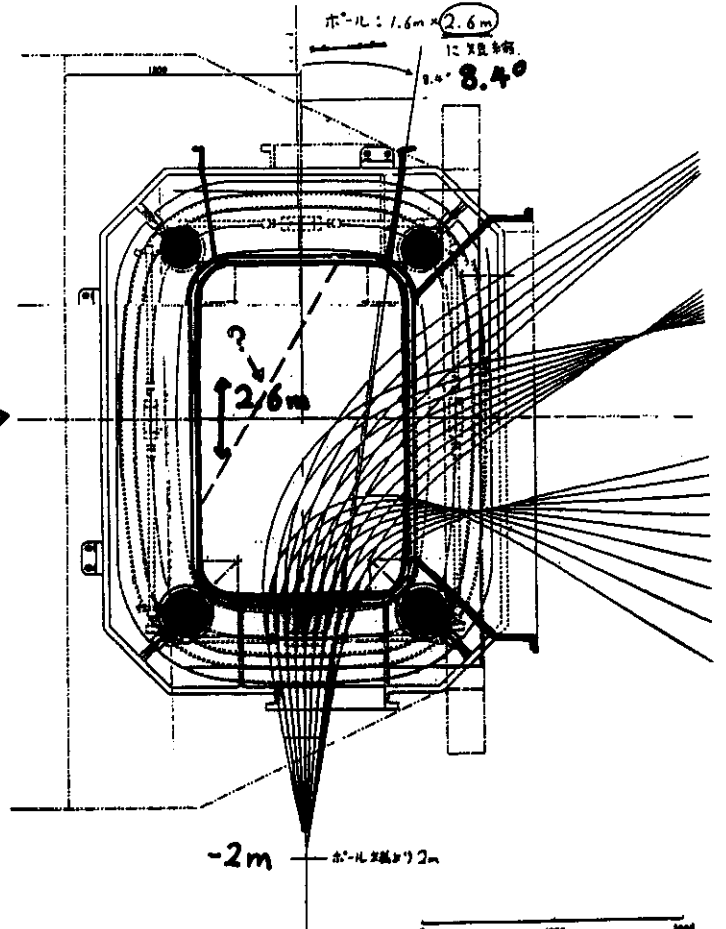


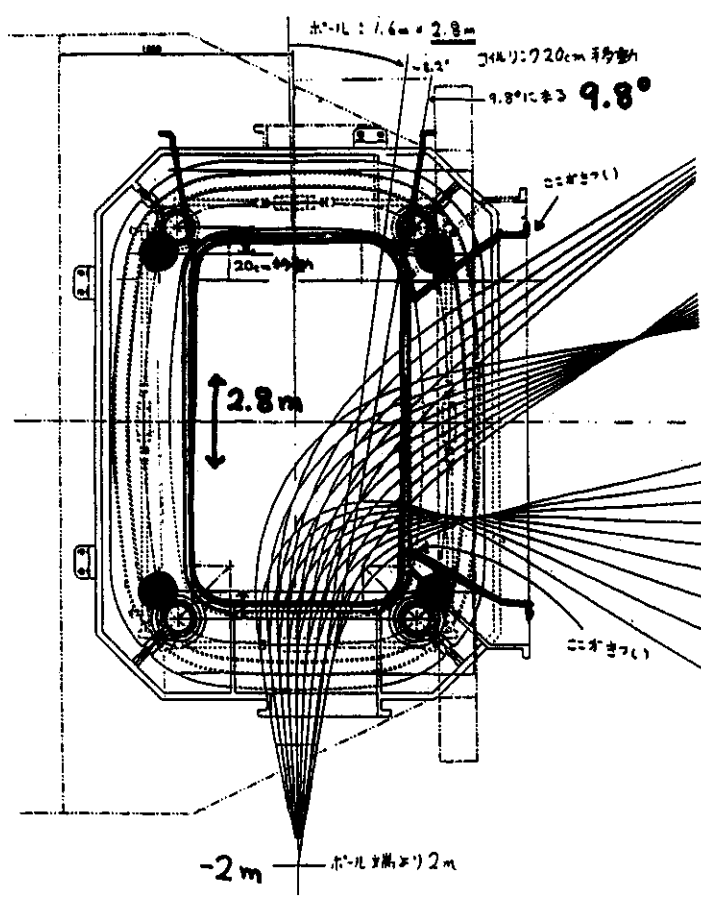
図1:クライオスタット外観図



ホール長 $2.8 \rightarrow 2.6m$



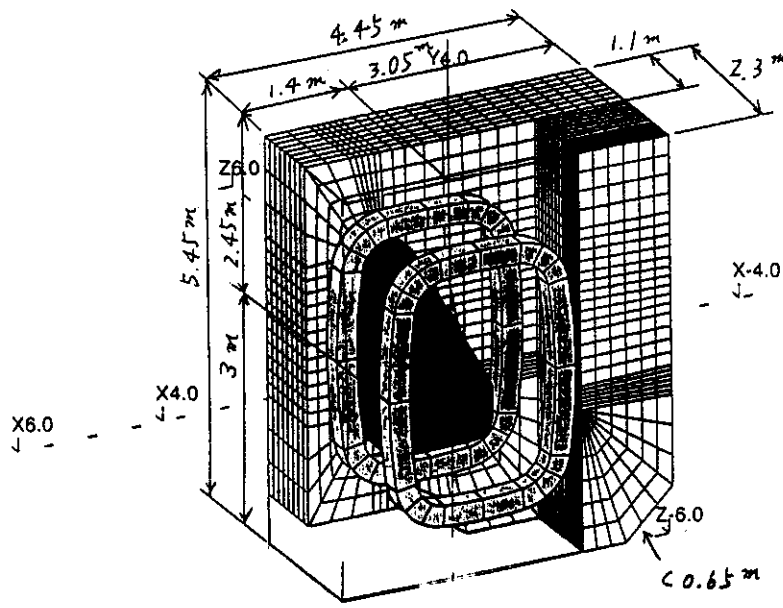
↓ コイルリンク移動



- ホールの寸法
 $1.6m \times 2.8m \rightarrow 1.6m \times 2.6m$
 OK
- コイルリンク移動で中性子 acceptance 大
 荷電粒子に無理がかかる X ?
- ホールの使っていない部分を切る。
 又はコイルを変型させる。
 非対称性による力 X

石磁極の使われない所もたいたいの？

spec9904 Cutted pole type



UNITS	
Length	: m
Flux density	: T
Magnetic field	: A m ⁻¹
Scalar potential	: A
Vector potential	: Wb m ⁻¹
Conductivity	: S m ⁻¹
Current density	: A m ⁻²
Power	: W
Force	: N
Energy	: J
Electric field	: V m ⁻¹

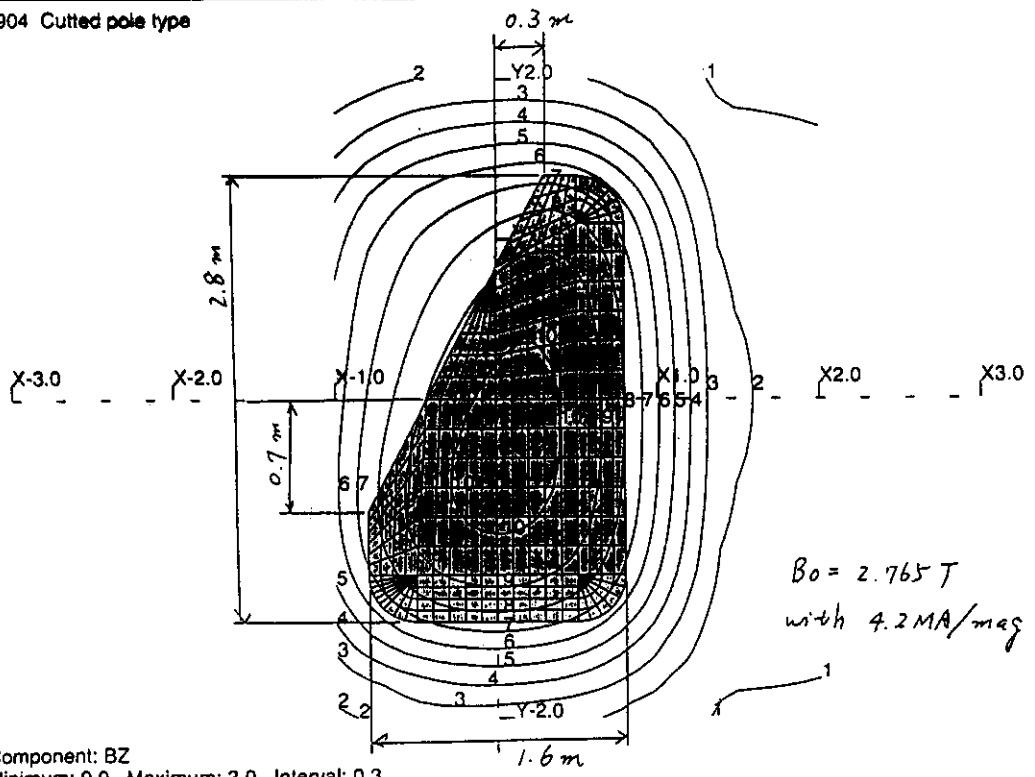
PROBLEM DATA	
spec9904.ioscab	
TOSCA analysis (nl)	
Magnetostatics	
Case No 1	
83031 elements	
87600 nodes	
Nodal fields	
Nodal coil fields	

LOCAL COORDS.	
Xlocal	= 0.0
Ylocal	= 0.0
Zlocal	= 0.0
Theta	= 0.0
Phi	= 0.0
Psi	= 0.0

$F_x = -95 \text{ t/mag}$
 $F_y = 87 \text{ t/mag}$
 (算理)

Weight of Poles & Tokes/mag = 565 t

spec9904 Cutted pole type



UNITS	
Length	: m
Flux density	: T
Magnetic field	: A m ⁻¹
Scalar potential	: A
Vector potential	: Wb m ⁻¹
Conductivity	: S m ⁻¹
Current density	: A m ⁻²
Power	: W
Force	: N
Energy	: J
Electric field	: V m ⁻¹

PROBLEM DATA	
spec9904.ioscab	
TOSCA analysis (nl)	
Magnetostatics	
Case No 1	
83031 elements	
87600 nodes	
Nodal fields	
Nodal coil fields	

LOCAL COORDS.	
Xlocal	= 0.0
Ylocal	= 0.0
Zlocal	= 0.0
Theta	= 0.0
Phi	= 0.0
Psi	= 0.0

Component: BZ
 Minimum: 0.0, Maximum: 3.0, Interval: 0.3

□

The main task of the spectrometer is the detection of fragments emitted around 0° and their separation from the direct beam. The magnetic spectrometer system studied here consists of a vertical focussing quadrupole and a dipole magnet at 0° with a large angular acceptance ($\Delta\theta, \Delta\phi \approx 200$ mrad), both superconducting. The key questions for the design of the dipole element are:

1. Consistence of achievable magnetic rigidity ($B\rho \geq 6$ Tm) and necessary minimum deflection angle
2. Optimum dipole geometry in order to detect particles with very different magnetic rigidities in a large mass range
3. The best way to achieve field homogeneity and to control fringe fields
4. Reproducibility of field configuration (ratio of magnetic rigidity $B\rho_{\max}/B\rho_{\min} \approx 2$)
5. Optimum conductor, current density and current level design
6. Forces on coils and quench control
7. Costs and cost scaling with circumference, gap, pole width etc.

One of the first suggestions for a large acceptance dipole magnet with C-shaped iron yoke is shown in fig.1. The main properties of this system are listed in table 1. Fig. 2 demonstrates first order computations of the magnetic field and ray-tracing (without quadrupole) for various particles at different angles, done with the recently installed 3-dimensional program TOSCA¹ at GSI. First considerations of the vertical focussing quadrupole result in a Panofsky-type superconducting magnet with large acceptance, successfully tested at Saclay.²

1. I. Simkin, C.W. Trowbridge, IEEE Proc., vol. 127, part E, No. 8 (1986), p. 388
2. R. Auzolle, F. Kircher, J.P. Penicaud, IEEE Trans. Nucl. Sci., vol. NS-28, no. 3 (June 1981), p. 3228

Table 1

Main properties of the dipole magnet shown in fig. 1

Magnet:	Total weight of the dipole	≈ 400 tn
	Total energy of the dipole	≈ 30 MJ
	Total number of Ampere-turns	$3.8 \cdot 10^8$ A
	Length	3.85 m
	Width	3.50 m
	Height	3.90 m
	Particle gap	0.5 m
	Iron gap	1.25 m
Maximum field B_0	3.1 T	
Coils:	Width	0.075 m
	Height	0.225 m
	Over-all current density j_0	112 A/mm ²
	Maximum field at the conductor B_{\max}	6.9 T

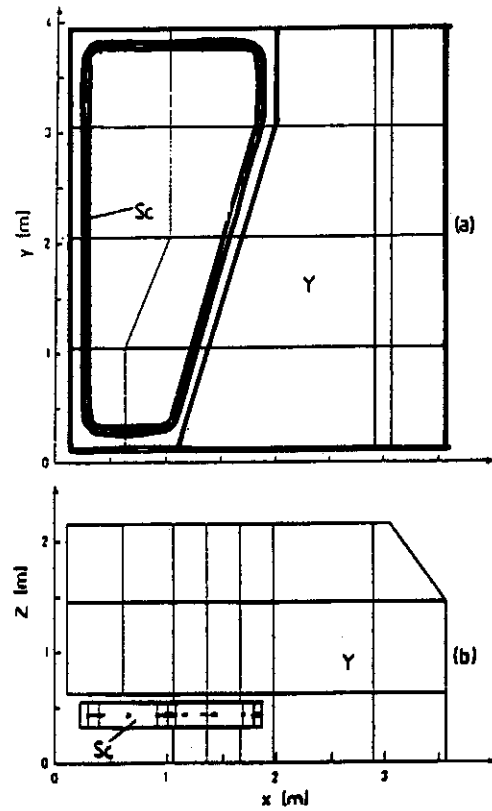


Fig. 1: Horizontal (a) and vertical cross section (b, only one half is drawn) of a superconducting dipole magnet with C-shaped iron yoke (Y = iron yoke, Sc = superconducting coil)

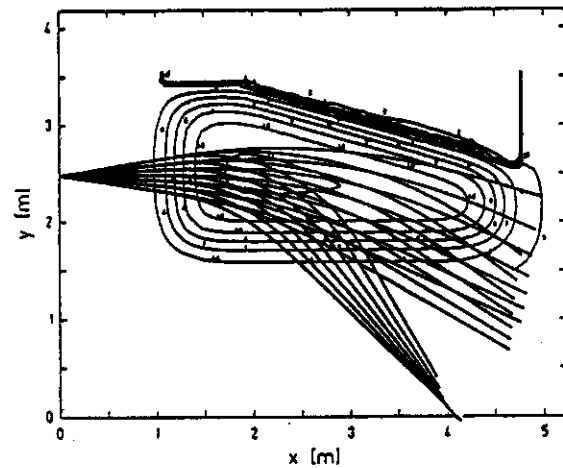
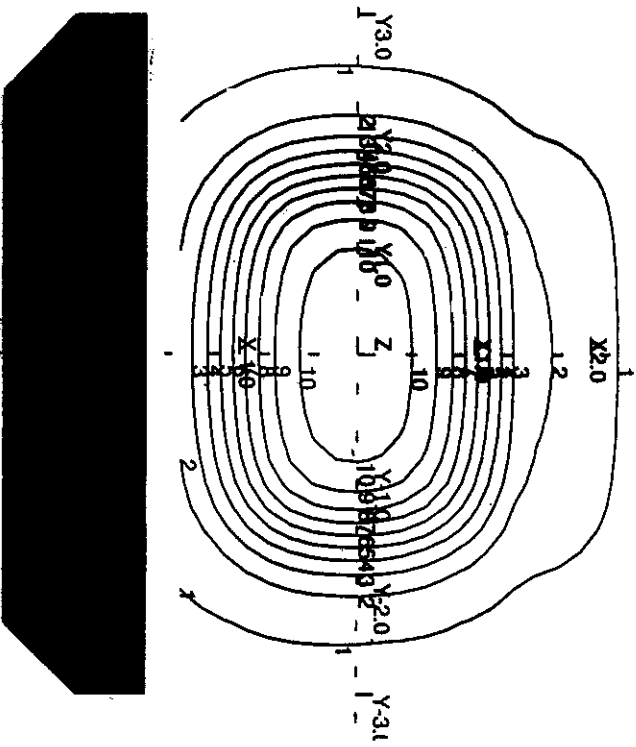
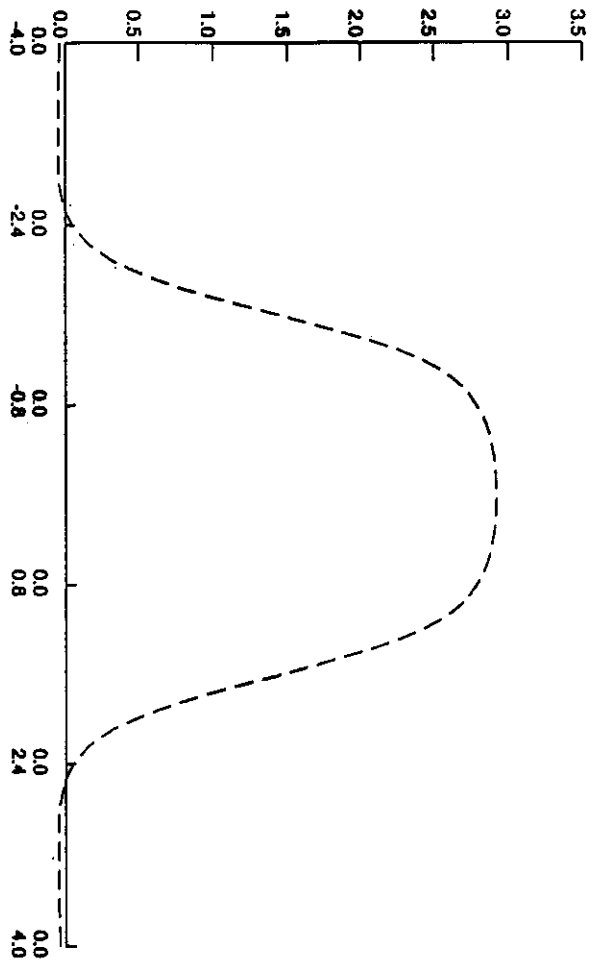
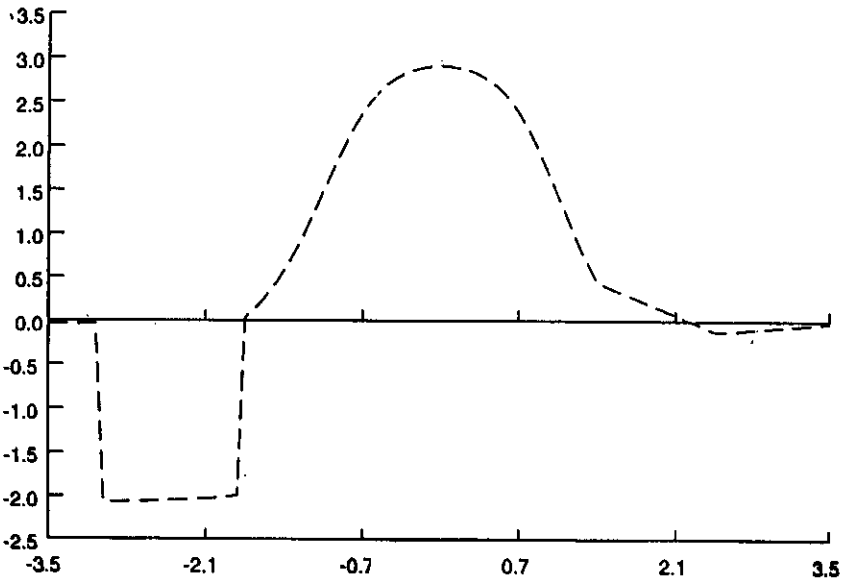
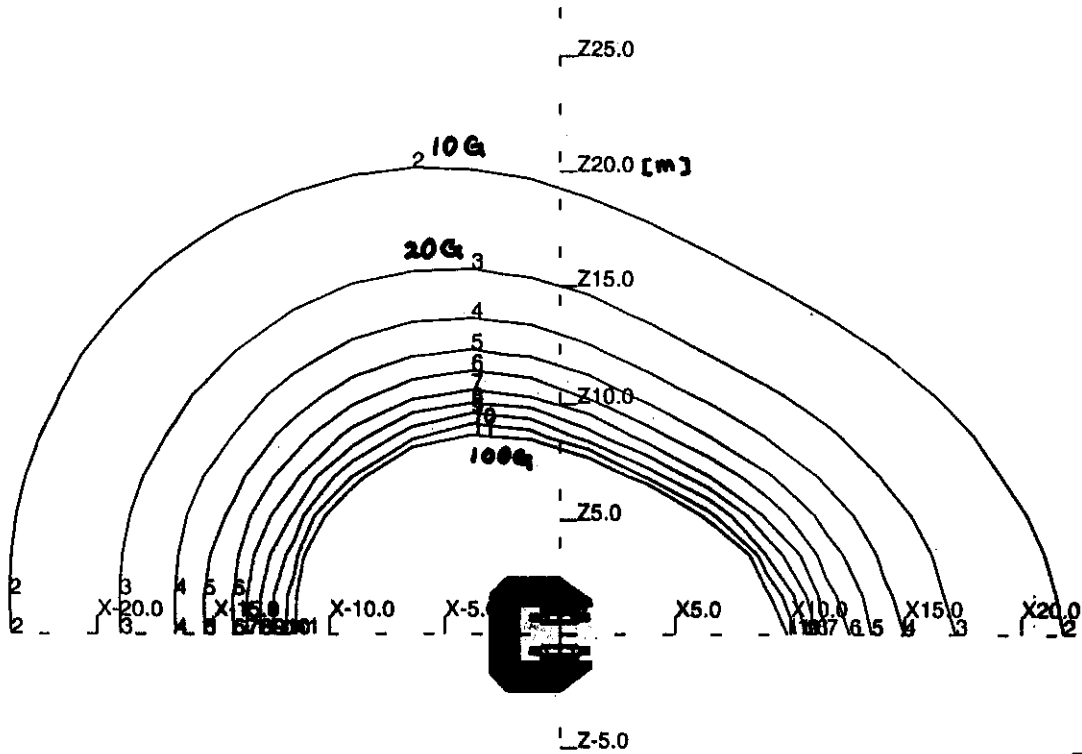


Fig. 2: Contour lines of the magnetic field component B_z (step-size $\Delta B_z = 0.5$ Tesla), calculated for the dipole magnet shown in fig. 1 and ray-tracing for various particles (p, Kr^{16+} , U^{28+} with 1 GeV/u) at different emission angles ($\Delta\theta = 3^\circ$) through the magnet



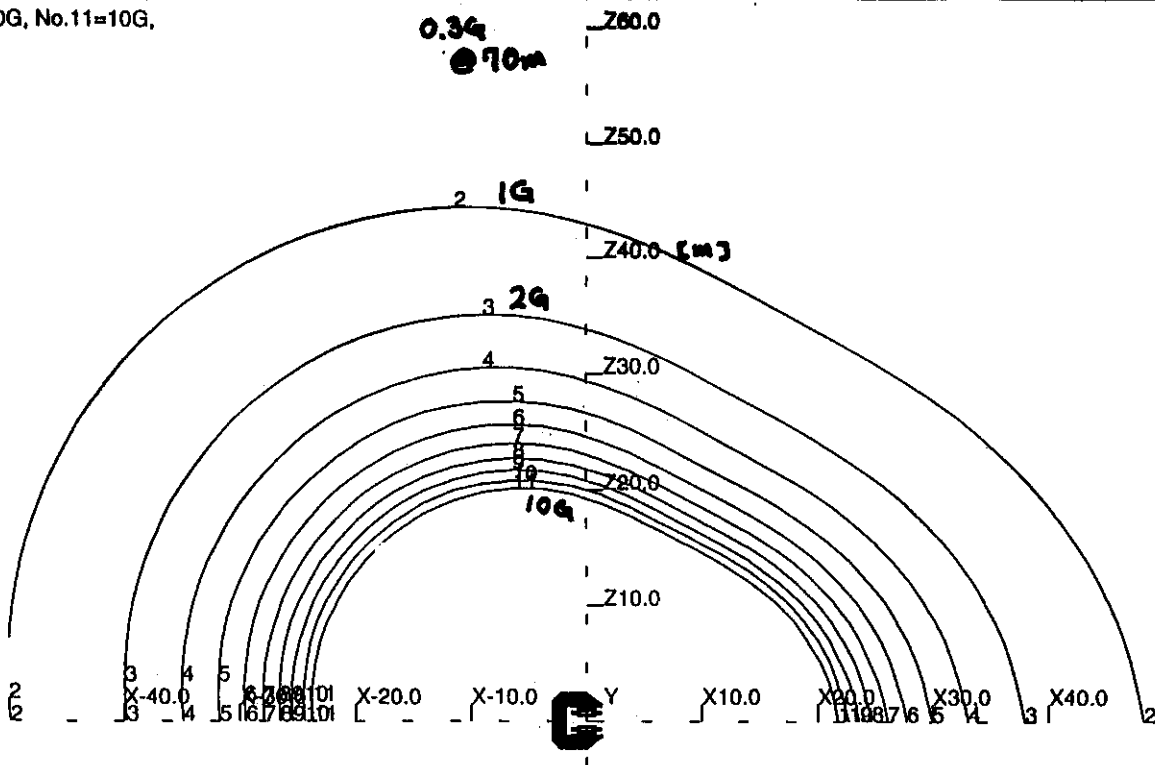
Line No.1=0G, No.11=100G



Component: BMOD
Minimum: 0.0, Maximum: 0.01, Interval: 0.001

図10-2. 漏れ磁界分布 (0~100G)

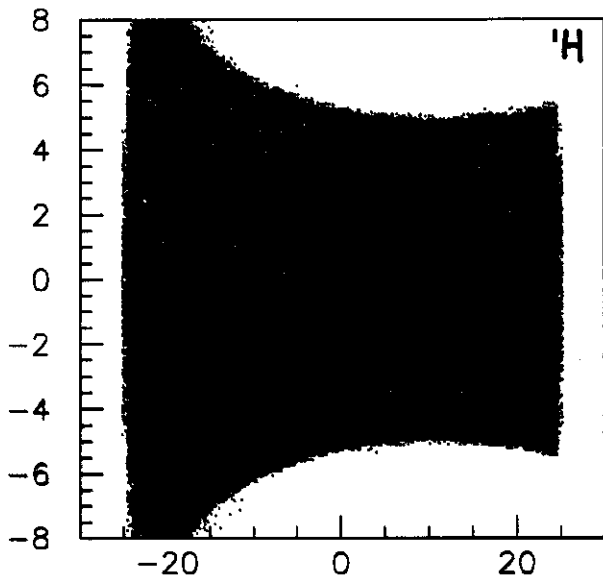
Line No.1=0G, No.11=10G



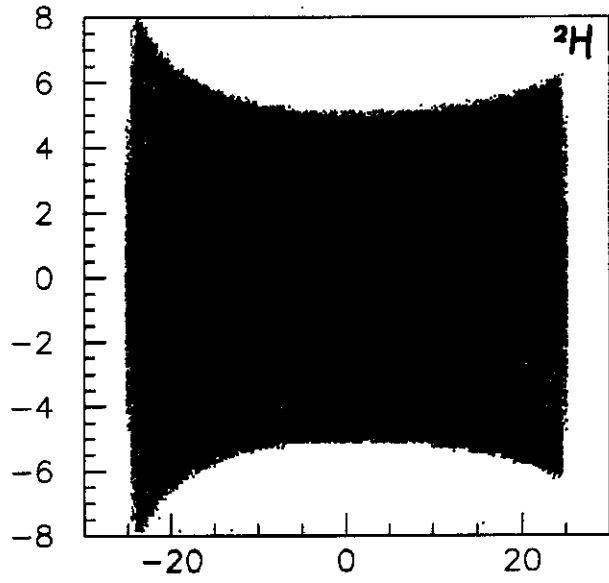
Component: BMOD
Minimum: 0.0, Maximum: 0.001, Interval: 0.0001

図10-3. 漏れ磁界分布 (0~10G)

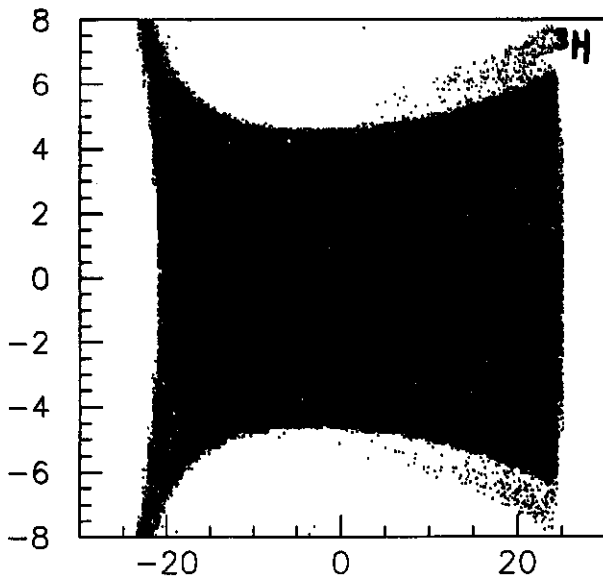
$Z = -1m$ 250 MeV/A



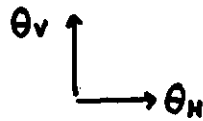
BzA 1H BEAM



BzA 2H BEAM



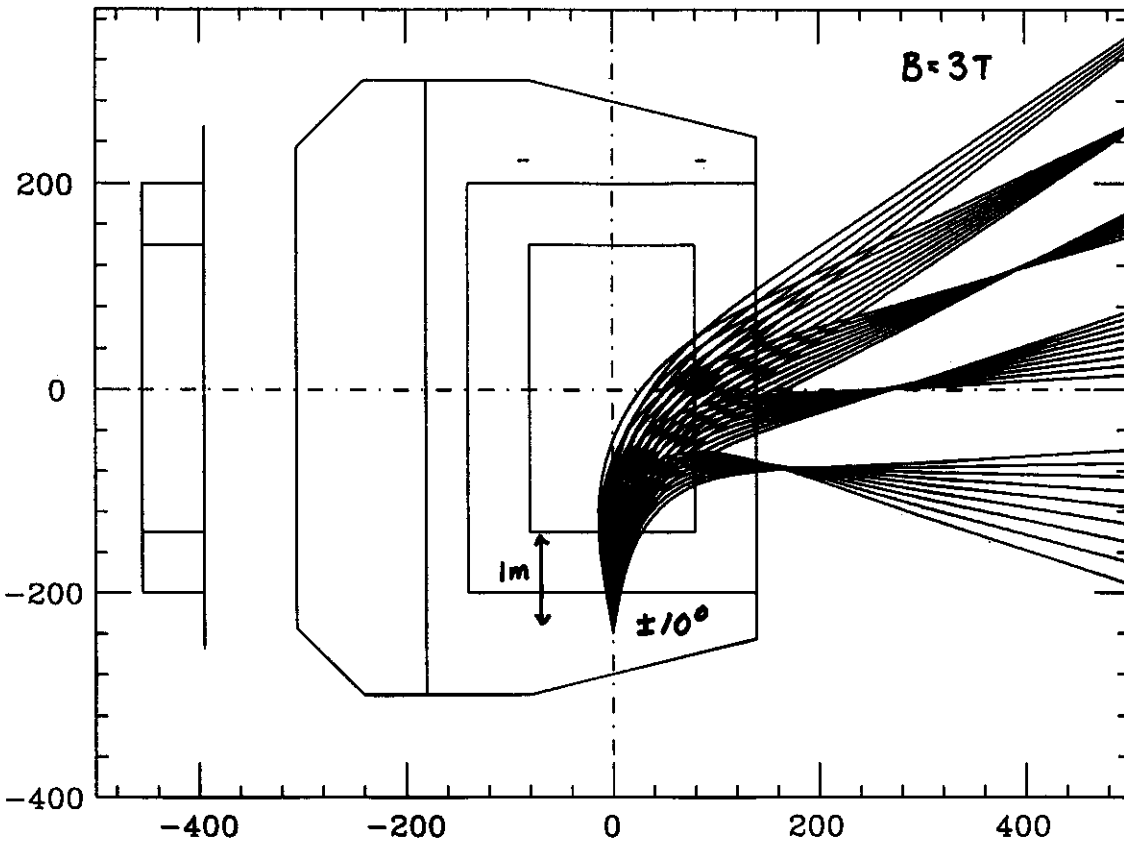
BzA 3H BEAM



$Z = -1m$

250 MeV/A

$A/Z \quad \pm \theta_H$



5°

2.5

2.0

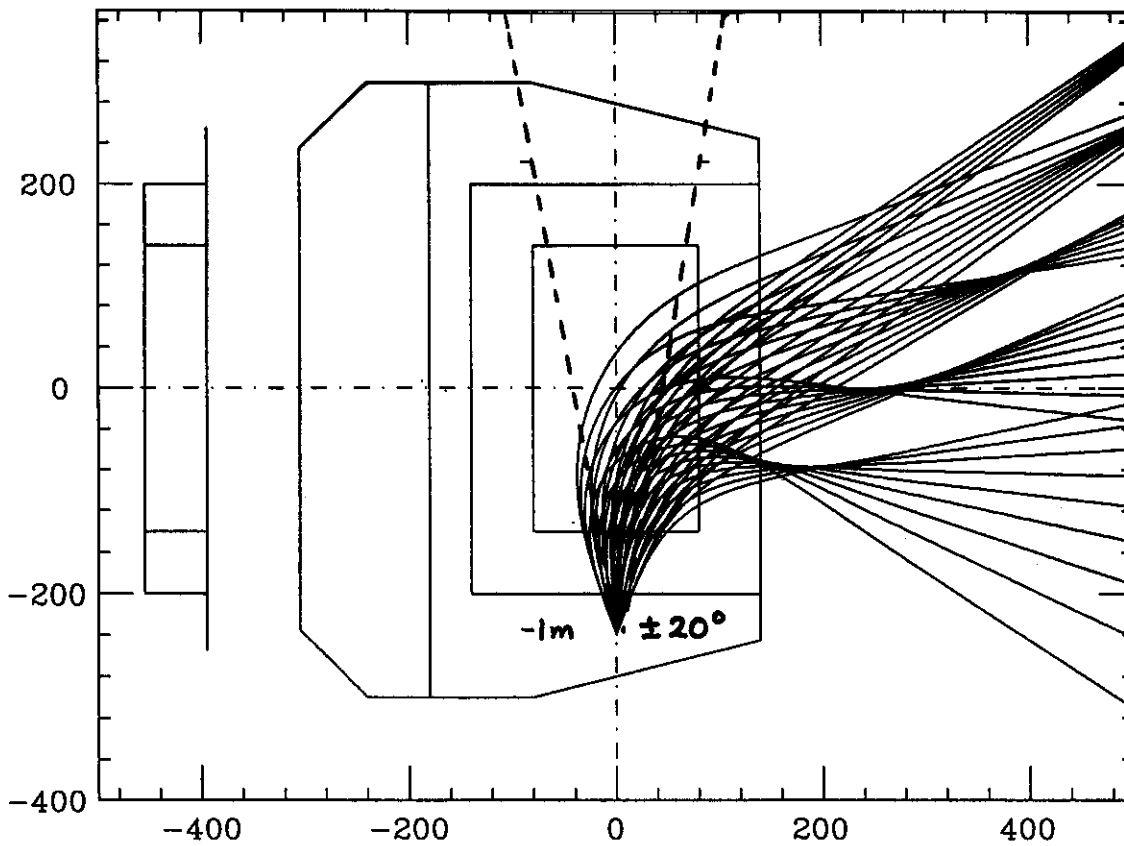
1.5

1.0

$A/Z = 1 \sim 3$

$\theta_H \gtrsim \pm 25^\circ$

$\theta_V \lesssim \pm 5^\circ$



neutron

$\theta_H \lesssim \pm 10^\circ$

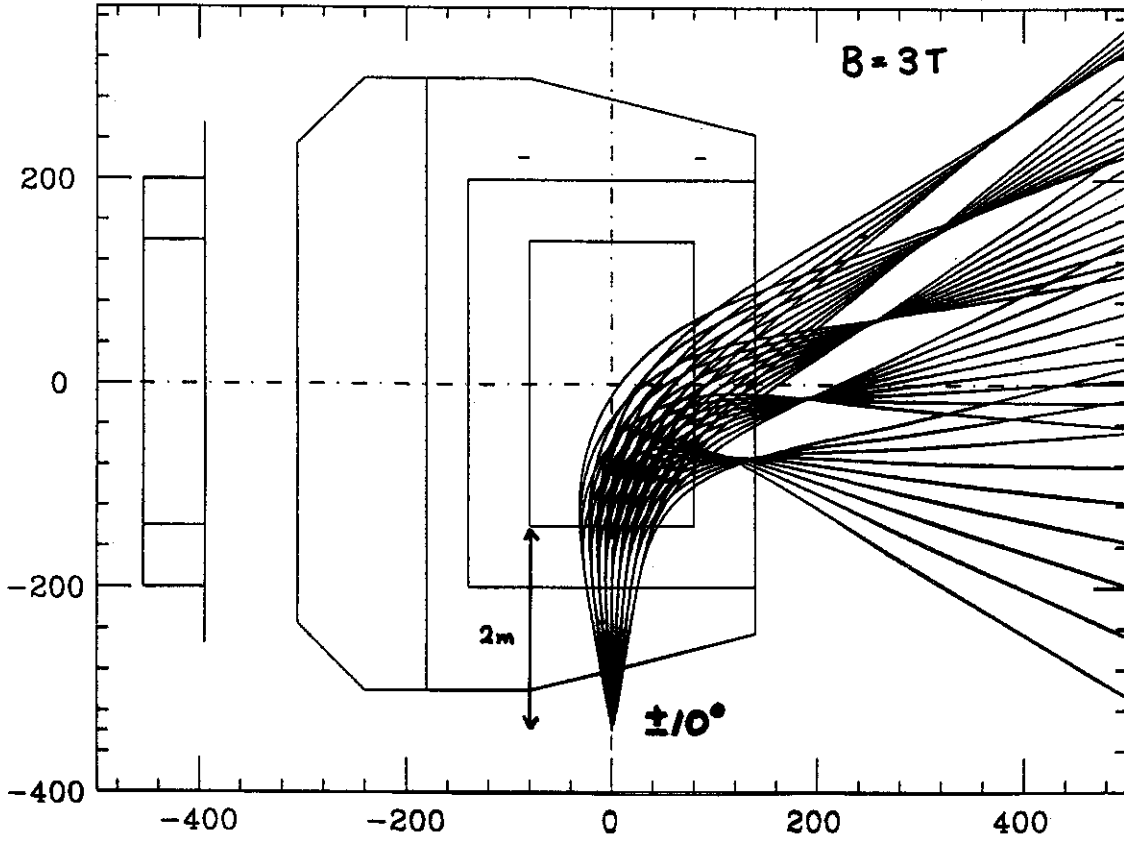
$\theta_V \lesssim \pm 5.5^\circ$

$$\Sigma_T = -2m$$

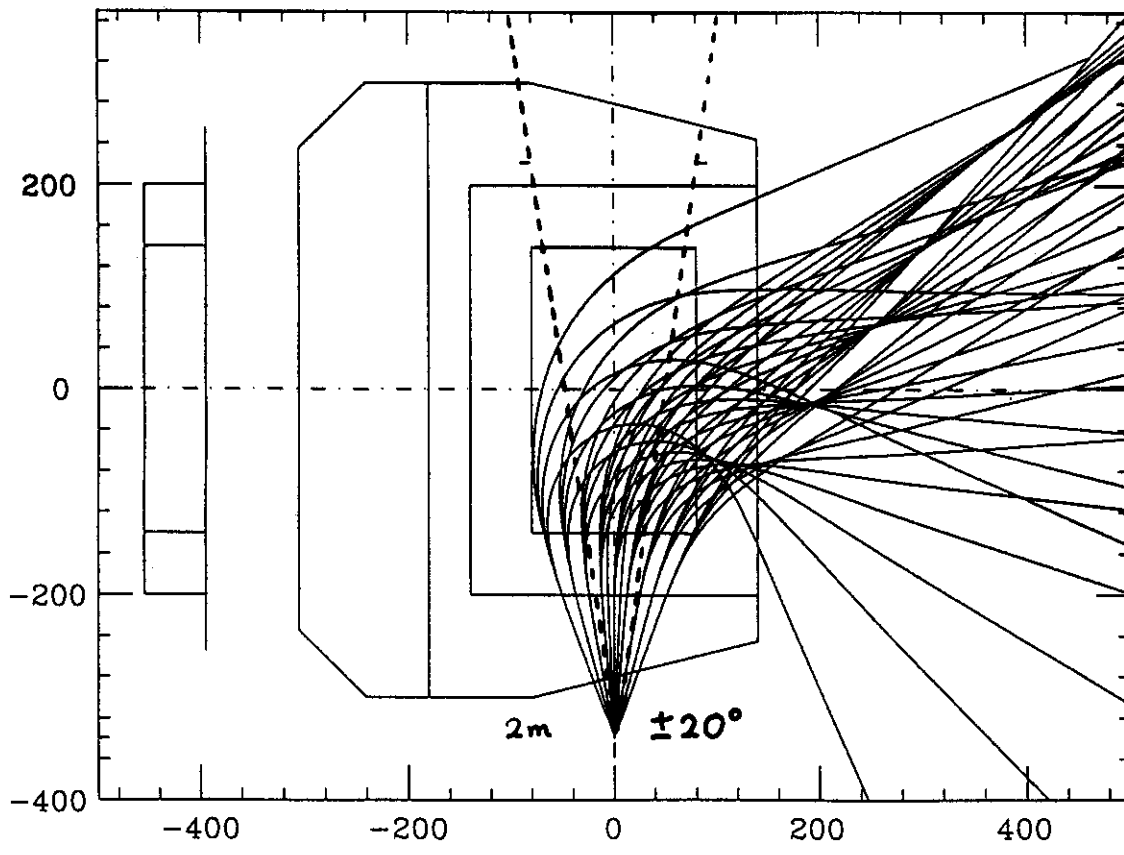
250 MeV/A

$A_{1/2}$ $\pm\theta_H$ [deg]

B = 3T

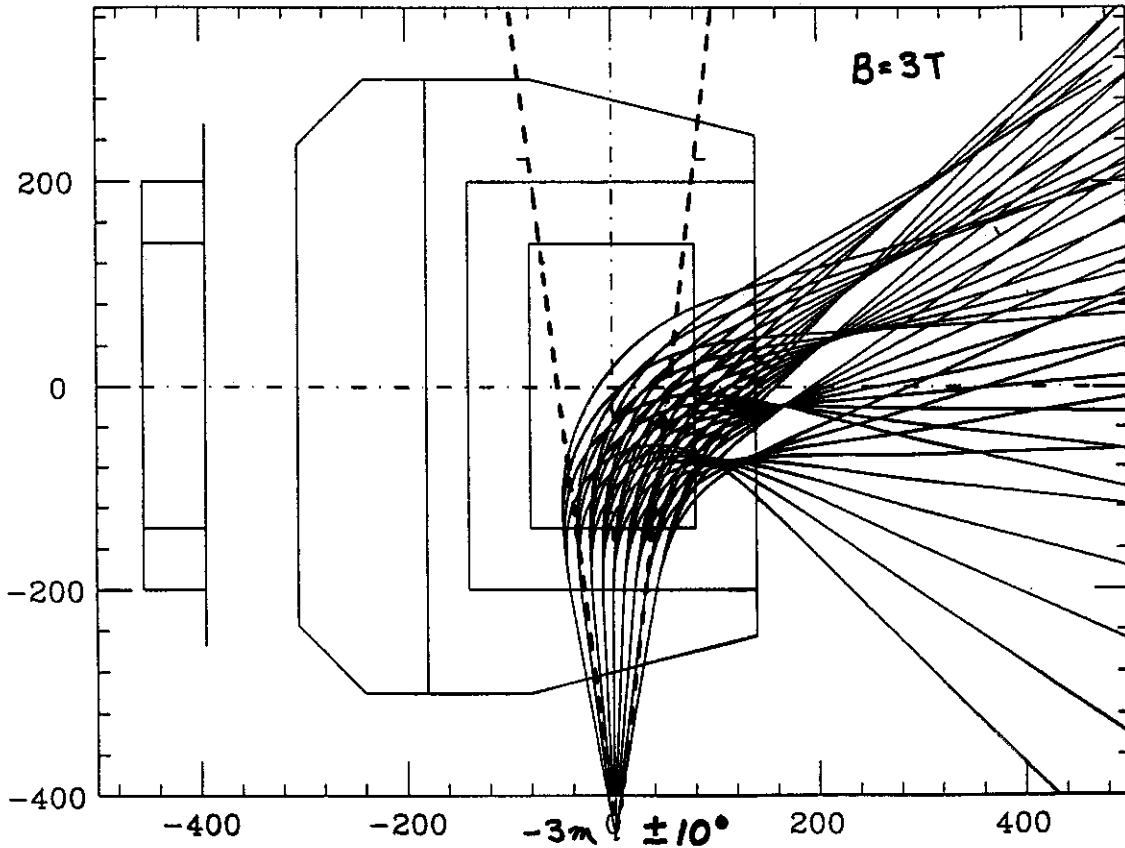


3	5°
2.5	10°
2.0	10°
1.5	10°
1.0	10°



$A_{1/2} = 1 \sim 3$
 $\theta_H = \pm 20^\circ$
 $\theta_V \leq \pm 4.6^\circ$
 Neutron
 $\theta_H \leq \pm 8.2^\circ$
 $\theta_V \leq \pm 4.6^\circ$

$Z_T = -3m$



250 MeV/A

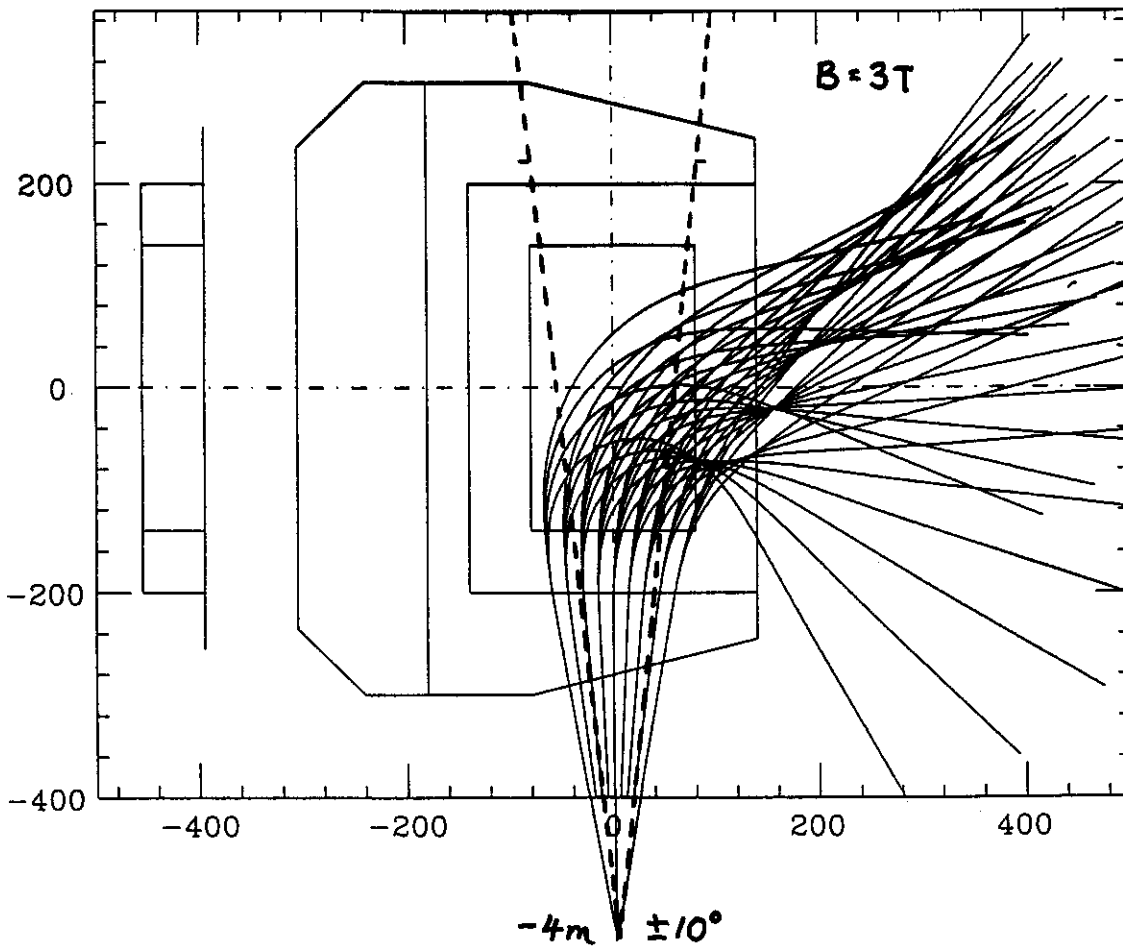
$\frac{A}{Z} = 1, 1.5, 2, 2.5, 3$

$\theta_H \leq \pm 10^\circ$

$\theta_V \leq 3.7^\circ$

neutron

$Z_T = -4m$



250 MeV/A

$\frac{A}{Z} = 1, 1.5, 2, 2.5, 3$

$\theta_H = 0 \sim \pm 10^\circ$

$\theta_V \leq \pm 3.1^\circ$

neutron

$\theta_H \leq \pm 6.1^\circ$

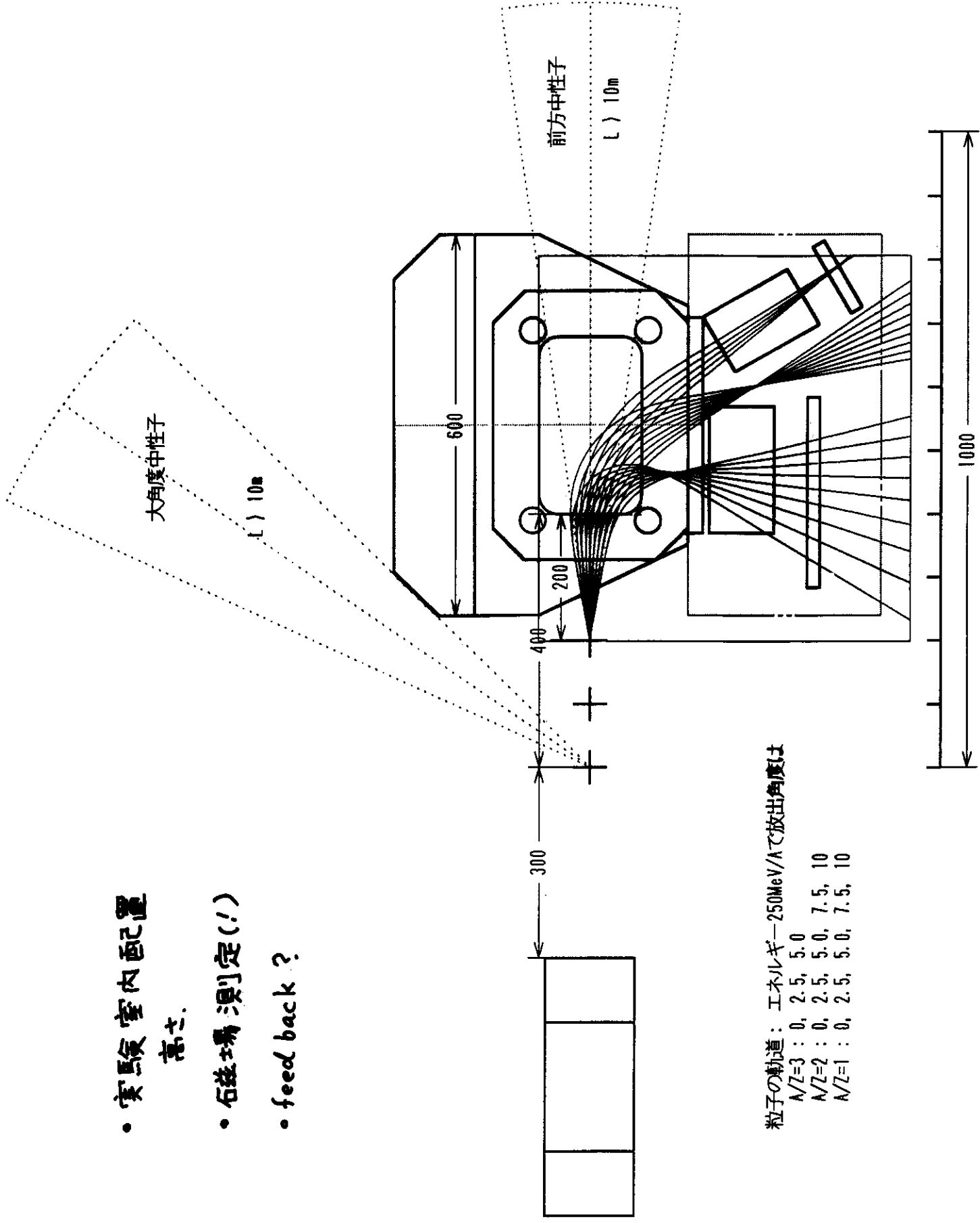
$\theta_V \leq \pm 3.4^\circ$

• 実験室内配置

高さ

• 石磁場測定(!)

• feed back ?

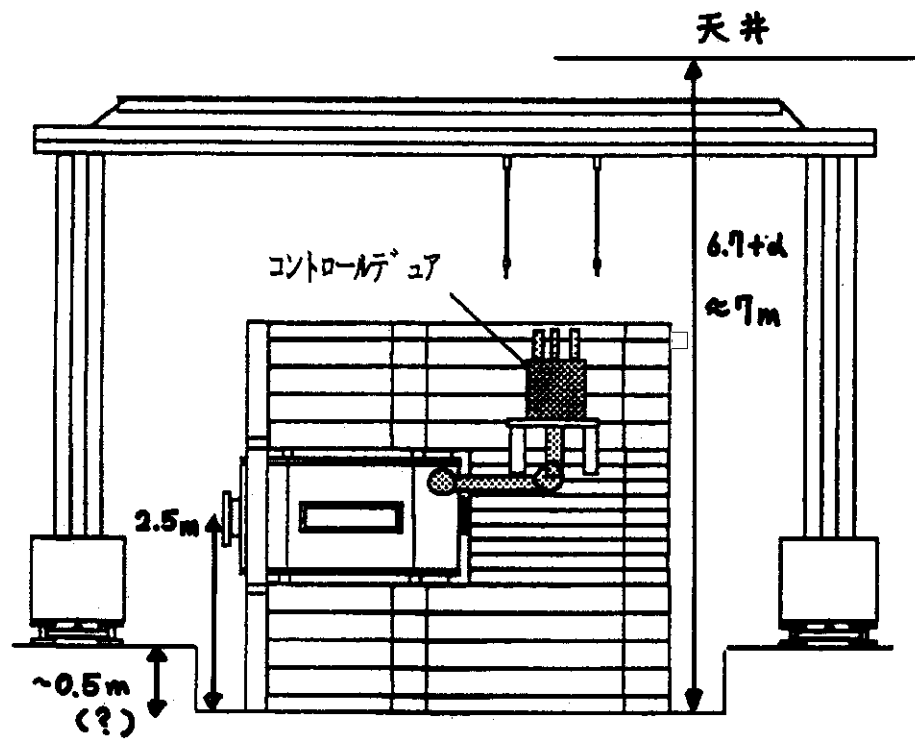


粒子の軌道： エネルギー-250MeV/Aで放出角度は

A/Z=3 : 0, 2.5, 5.0

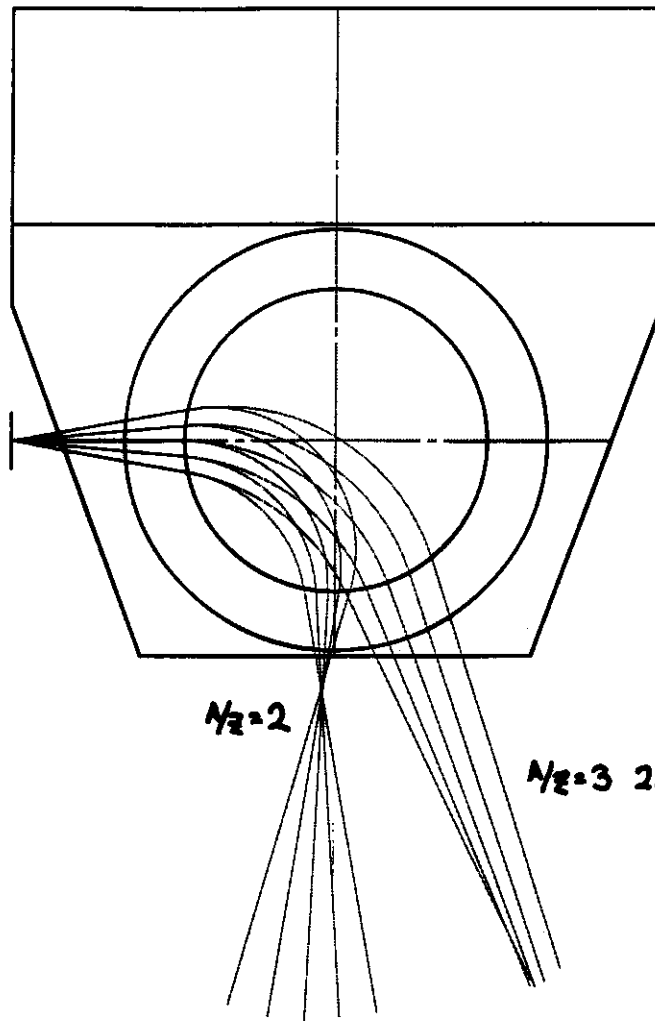
A/Z=2 : 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10

A/Z=1 : 0, 2.5, 5.0, 7.5, 10



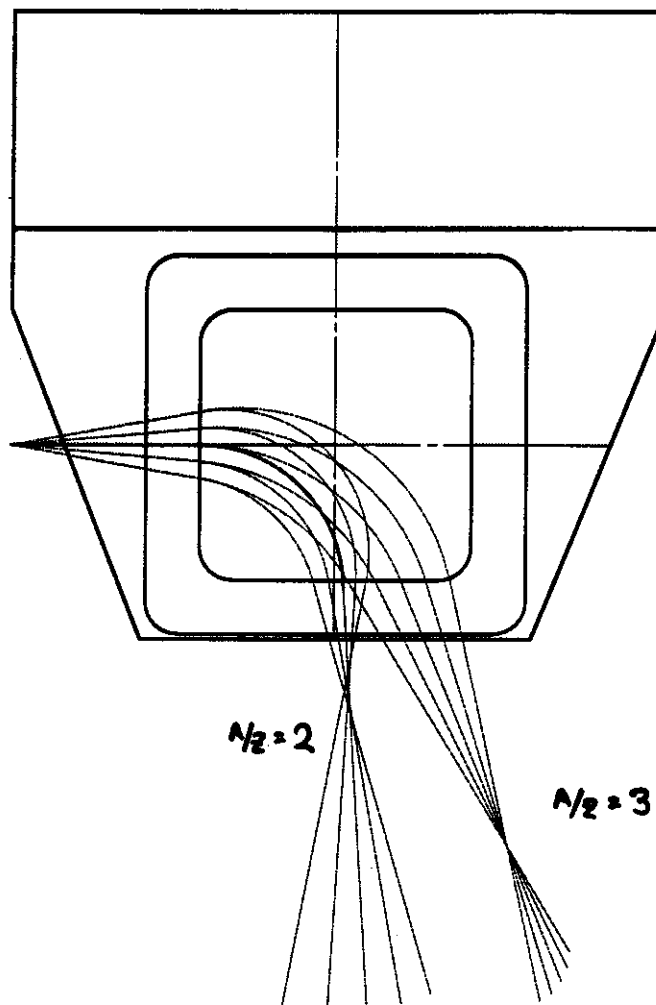
	SKS	HISS	BENKEI	CHICAGO CYCLOTRON	Big-BO
Central Field [T]	3	3	1.5	1.5	3.0 T
Field on Conductor [T]	4.2	4.55	3.5	2.85	4.0
Stored Energy [MJ]	10	55.2	3.15	32.5	36 MJ
Pole Size [m]	1.7×(1.2/2.3)	2.1φ	1.53×1.0	4.32φ	1.6×2.8 m ²
Magnet Gap [m]	0.5	1.0	1.0	1.3	0.9 m
Coil Configuration	Sector	Solenoid	Saddle	Solenoid	長方形
Coil Cross Section [cm ²]	15×12		14×9		25×28
Conductor	NbTi/Cu	NbTi/Cu	NbTi/Cu	NbTi/Cu	
Cond. Cross Section [cm ²]	0.24φ×10 Strand or 0.35×0.25 Monolith	1.19×0.4 Monolith	0.23×0.23 Monolith		
Cu/SC Ratio	10	19 □	8	9.75	
Ampere Turns [MAT]	2.2	5.12	1.4	2.0	4.4 MAT
Current [A]	400 or 500	2200	610	1000	4700 A
Current Density [A/cm ²]	50	50	56	96	
Radial Force [N/m]	9.3×10 ⁵			2.7×10 ⁵	
Vertical Force [N/m]	2.9×10 ⁵	1.1×10 ⁷ N*		3.1×10 ⁵	
Type of Yoke	H	H	Window	H	C
Yoke Weight [t]	~300	513			585
Total Weight [t]	~300	567	~140		620 t
Heat Leak at 4.2 K [W]	<3		7.5	~8	

* Total force



3.6 T

2.8 m ϕ



3.6 T

2.5 m \times 2.5 m

長方形ポールの C-Magnet

(1) 大きさ等

ポール : 1.6m (巾) × 2.8m (長) × 0.9m (gap)
 ↳ 2.6m 可

石磁場 : 中心磁場 3T @ 4.4 MAT

ポール表面 ≤ 4.8T

水冷磁場 0.3G @ 70m

コイル中 ≤ 4T

ヨーク中 ≤ 2.2T

蓄積エネルギー : 36 MJ

重量 : 620t (585 + 35)

力 : $F_z \sim 600t$: コイルリンクで結合

$F_x \sim 20t$

$F_{xz} \sim 1000t$: コイル容器 75t のステンレス

クライオスタットと真空箱は一体型

(2) 荷電粒子

中性子

• Horizontal : 比較的きれいな 1次収束

$D \approx 3 \text{ cm}/\%$

Vertical : 発散

• Acceptance

• $P_{||}$: $A_{yz} = 1 \sim 3$ 可能 @ 250 MeV/A

$0.1 \text{ sr} \approx (\pm 9^\circ)^2$

• P_{\perp} : $z_T = -1m$ $\theta_H \geq \pm 25^\circ$ $\theta_V \leq \pm 6^\circ$

$\theta_H \leq \pm 10^\circ$

$\theta_V \leq \pm 5.5^\circ$

-2m $\leq \pm 20^\circ$ $\leq \pm 4.6^\circ$

$\theta_H \leq \pm 8.2^\circ$

$\theta_V \leq \pm 4.6^\circ$

⋮

-4m $\leq \pm 10^\circ$ $\leq \pm 3.1^\circ$

$\theta_H \leq \pm 6.1^\circ$

$\theta_V \leq \pm 3.4^\circ$

(3) 未

• 実際の運動量分解能の simulation

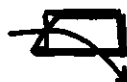
$$\frac{\sigma_p}{p} \approx \frac{1}{1000}$$

• 石磁場測定 : 精度・装置

• 検出器と検出器の配置 + どこで真空を切るか

↑ ある実験を想定して.

• できたら vertical 収束 ?



(4) わからない事

① 今考えているのは, $\gamma = Z$, $\approx 250 \text{ MeV/A}$ $A \leq 80$ の領域で

• $\sigma_A \sim 0.2$ は TOF ($L \sim 10 \text{ m}$, $\sigma_t \sim 60 \text{ psec}$) で, カラうじて可.

• Z の測定? $\sigma_Z \leq 0.2$ for $Z \geq 20$ @ high rate

② もっと一般的な領域で.

• $\gamma \neq Z$, $T \leq 100 \text{ MeV/A}$, $A > 100$ での

運動量測定 (ビームエネルギーの tag を含む)

???

粒子識別

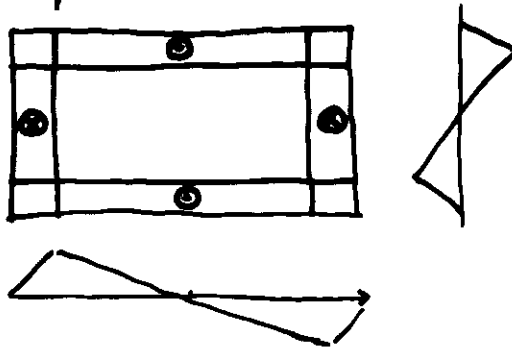
③ 水平: 荒い一次収束

垂直: 散散

↳ 検出器を magnet から離すと "巨大な物が必要".

Q を入れて, 少くとも出口で 平行程度にしたく,

Panofsky 型 Q ?



④ 検出器を入れた simulation

⑤ 磁場測定

精度等

3 T超電導スベクトロメータ 磁界計算結果
(概念設計最終バージョン用)

1999-5-28川口武男

1. 電磁石主要諸元

ポールギャップ0.9 m、長方形ポール/1.6 m x 2.8 m、長方形コイル、コイル起磁力(4.4 MA/2コイル)で中心磁界2.917 T (計算結果)、ヨーク/ポールの全重量6.20トン、磁気蓄積エネルギー3.6 MJ、コイル最大磁場磁界4.0 T。

2. 電磁力計算結果

- [上ヨーク/ポール] と [下ヨーク/ポール] に加わる垂直力 (吸引力) 9.60 トン。
- コイル1個に加わる垂直力6.00 トン (ヨークに引きつけられる方向)。
上下コイル容器はコイルリンクで結合し、この力(6000トン)をコールドマスイ内に閉じ込める。
- x方向偏心電磁力 $F_{x1} = 7.3$ トン/2コイル (側ヨークに引きつけられる方向)
前回は10トン (側ヨークと反対する方向)であった。今回ヨークのコーナ部取りを行ったので、コイル周りの漏れ磁界分布が変化したことにより変わった。
側ヨーク位置を外側に移動する等により減らすことが必要である。
偏心電磁力の大きさは、20トン以下になるようにヨーク形状の一部変更を行うこととし、構造設計上は20トンとしておく。
- 偏心電磁力係数 (コイルの偏心が1mm増加した場合の偏心力の増加分) F_{xx}
コイル位置をx方向に10mm偏心した場合のx方向偏心電磁力の計算値
 F_{x2} とすれば、 $F_{xx} = (F_{x2} - F_{x1}) / 10$ mm
 $= (-50.6 - (-72.7)) / 10 = 2.2$ トン/mm。
(F_{x1} 、 F_{x2} は3次元計算結果)。
これは、ほとんどポールとコイルの吸引力に依存するので、
y方向の係数 F_{yy} を次のように計算しておく。
 $F_{yy} = F_{xx} * (\text{ポール短辺長さ} / \text{ポール長辺長さ}) = 2.2 * 1.6 / 2.8$
 $= 1.3$ トン/mm。
コイルの断熱サポータは上記電磁力係数より充分大きなバネ定数を持つことが必要である。
z方向の偏心電磁力係数については未計算であるが、サポータの設計としてはxと同等なバネ定数で概念設計しておく。

3. 図表とコメント

図1: 電磁石寸法図

前回計算に比べて、上ヨークのコーナ部を面取りして重量を70トン減らした。

ヨーク平面サイズ4.45 m (x) * 6 m (y)、高さ5 m (z)。

図2: コイル寸法図と電磁力 (寸法は前回と同じ)

図3: 電磁石全景 (メッシュ図、計算領域はこの1/4)

図4: 磁界ベクトル図

図5: 磁界分布の3Dイメージ図

図6-1, -2: ミッドプレーンのx軸上およびy軸上の磁界分布

中心磁界 $B_0 = 2.917$ T by 2.2 MA x 2 coils.

図7-1 ~ 7-3: z = 0, 0.2, 0.4 mにおける磁界等高線図

図8-1 ~ 8-3: ポール表面およびヨーク中の磁界強度

ポール表面の最大は4.8 T (コイルコーナ部)、ヨーク中は最大2.1 ~ 2.2 Tの磁界強度であり、ヨークの薄さとしてはこの辺が

限界に近いと思われる。

図9-1 ~ 9-6: コイル断面寸法とコイル内の磁界強度

コイル断面内の最大磁界は4.0 T (コーナ部の内径)。

図10-1 ~ 10-4: 漏れ磁界分布

地磁気 (0.3 G) 並みに漏れ磁界が落ちるのは、水平方向では電磁石中心から70 m位置、垂直方向では65 m位置となった。

漏れ磁界の計算法は鉄の磁界ベクトルから計算する方法(Integral Field)としている (Integral coilも併用)。

(1ポイントを計算するのに鉄のエレメント数の計算が必要なため計算時間は長い。メッシュ空間を越えても計算できる)。