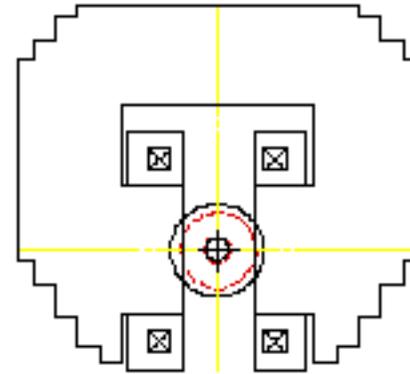
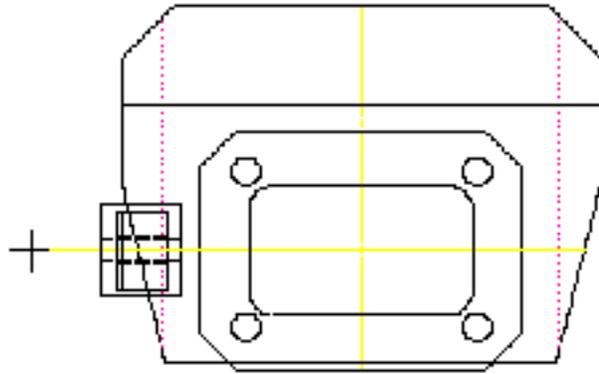
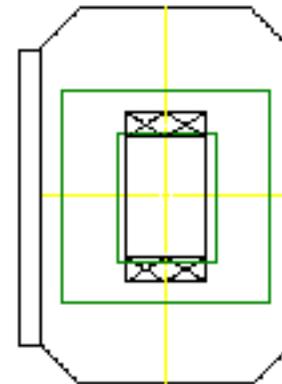
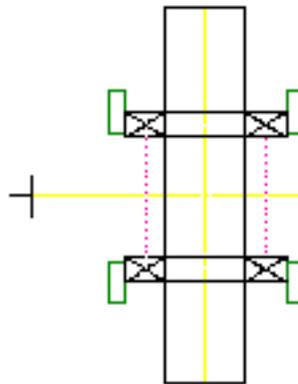


大立体角スペクトロメータ（代用案）

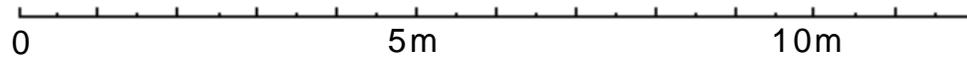
小林俊雄（東北大理）



Big-Bo

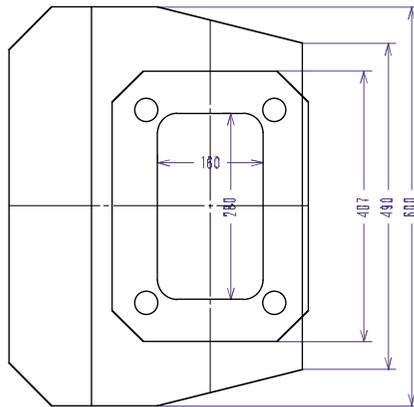
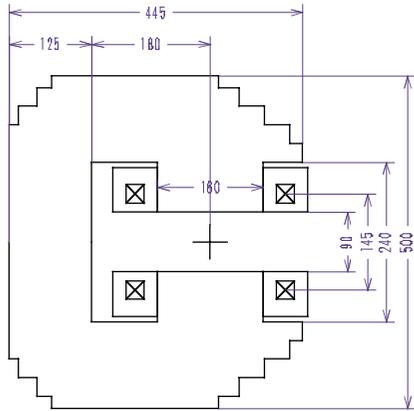
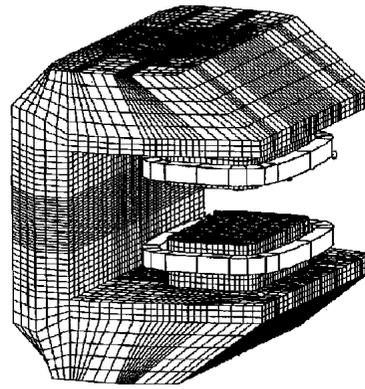


Super 弁慶



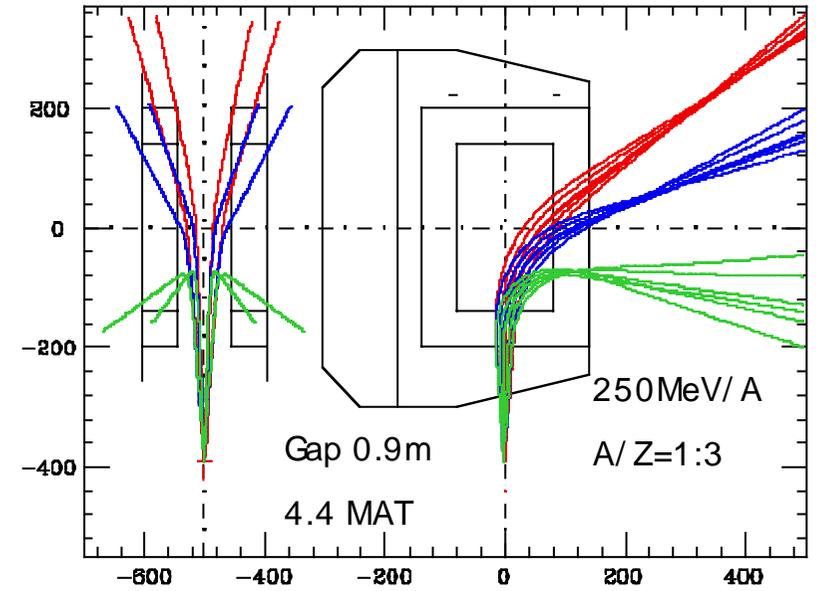
経過： 超伝導Q+D(C型)

磁極： 1.6 (W) x 2.8 (D) x 1.0m (G)
磁界： 3.0 T @ 4.4 MA T
重量： 620 t (585 t + 35t)
蓄積エネルギー： 36 MJ
コイル最大磁界： 4.0 T

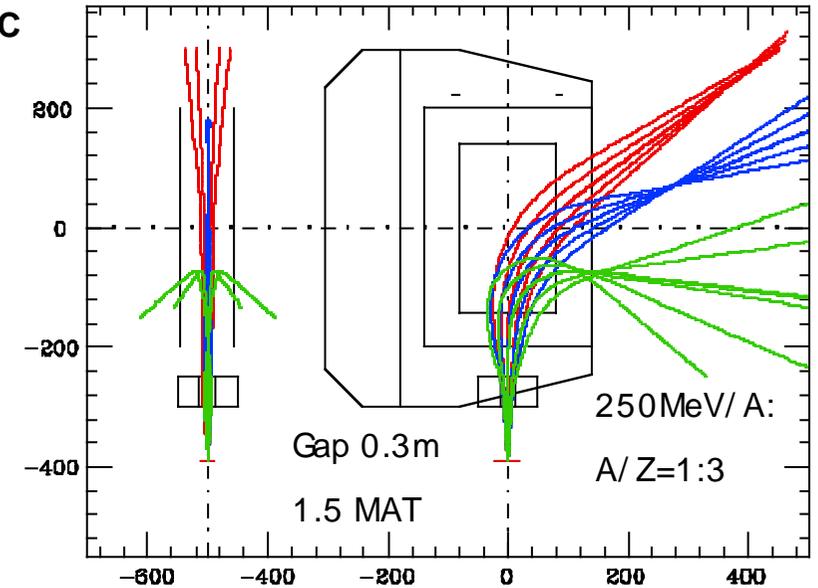


D単体
荒いH収束、V発散
QD型
C型gapを狭く (X中性子)
部分的に2重収束(HV)
立体角 0.1 sr

(1) C



(2) Q+C



OPT： Panofsky型Q for 中性子

C型磁石、Q+C型磁石案

問題点：

(1) 色々な "大" SIZE :

重量 : 585+35t

Gap : 90(30)cm

磁界 : 3T + 漏れ磁場

価格 : 10 - 15 億円 (?)

(2) QD型 (Gap=30cm) の場合 :

中性子検出角度の制限

(3) このsystemを必要とする実験 / グループの欠如 : 多分1番の原因。

ほぼ、Zero-degree Forward Spectrometerで代用可 (と認識されていると考え)

Zero-degree Forward Spectrometer

に欠けている部分 :

(1) 中性子検出

例えば、Coulomb Breakup反応後の中性子放出 : Inv. Mass Spectroscopy

(2) Magnetic Rigidityの異なる荷電粒子の同時検出

なるべく安価に、上記2項目に適する磁気分析器を作る。

既存の(超伝導)磁石の再利用

可能性 :

(1) 目的 :

+ 努力目標 :

建設費用の削減 + 中性子測定 Kr程度まで識別可

(2) 既存の磁石

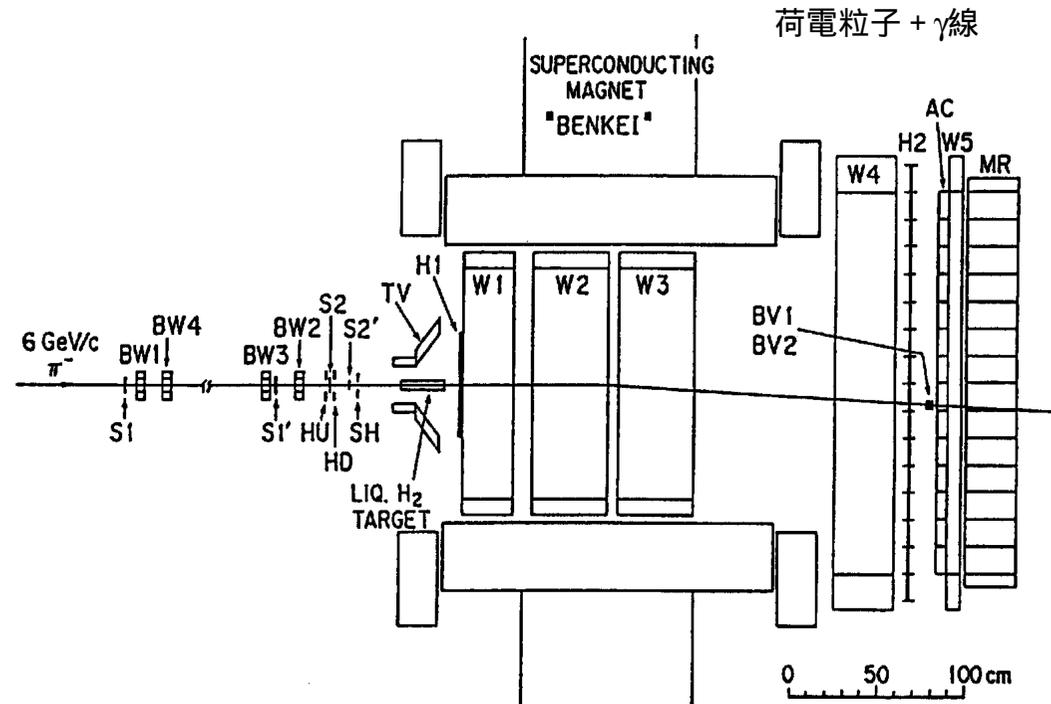
(1) 常伝導 : TOKIWA, USHIWAKA, SHIZUKA, KURAMA, LAMBDA,
NIKONIKO, 旧FM, 旧SKY...

(2) 超伝導 : SKS, Super-BENKEI

(3) 既存の検出器 (部分的)

Super弁慶について

4-8 GeV/c π -p反応でのMeson (Invariant-Mass) Spectroscopyに使用



磁石の概要:

- (1) B_{max} : 1.5 T
- L_{eff} : 1.5 m BL_{max} : 2.25 TM
- (2) Aperture:
- Horizontal: 1.5 m
- Vertical: 1.0 m
- W_{yoke} : 1.0m

今後の予定

* J-Park-Cには鉄芯だけ移動して再利用(?)

RIBFでの利用の可能性

* 超伝導コイル/クライオスタット部分は移管/借用できる可能性有。

* 担当者、素核研所長、物理第3系主幹、PS企画調整室長には一応話してある。

宿題リスト

(1) Super弁慶自体の仕様、性能

+ : 立体角 : 大、磁石 : 薄い、磁場一様性 : 良、漏れ磁場 : 小

- : 磁場 (積分値) : 小さい

(2) 移設 / 改造の必要経費

超伝導コイル / クライオスタット部分 + 位置検出器 の 廃物利用

(3) 設置場所、付帯設備

場所 : 有。 transport line : 無。 低温配管系 : 無

(4) 荷電粒子 / 中性子スペクトロメータ

概略

(5) その他

1. 荷電粒子位置検出器と運動量分解能

小さな磁場積分値を補う工夫

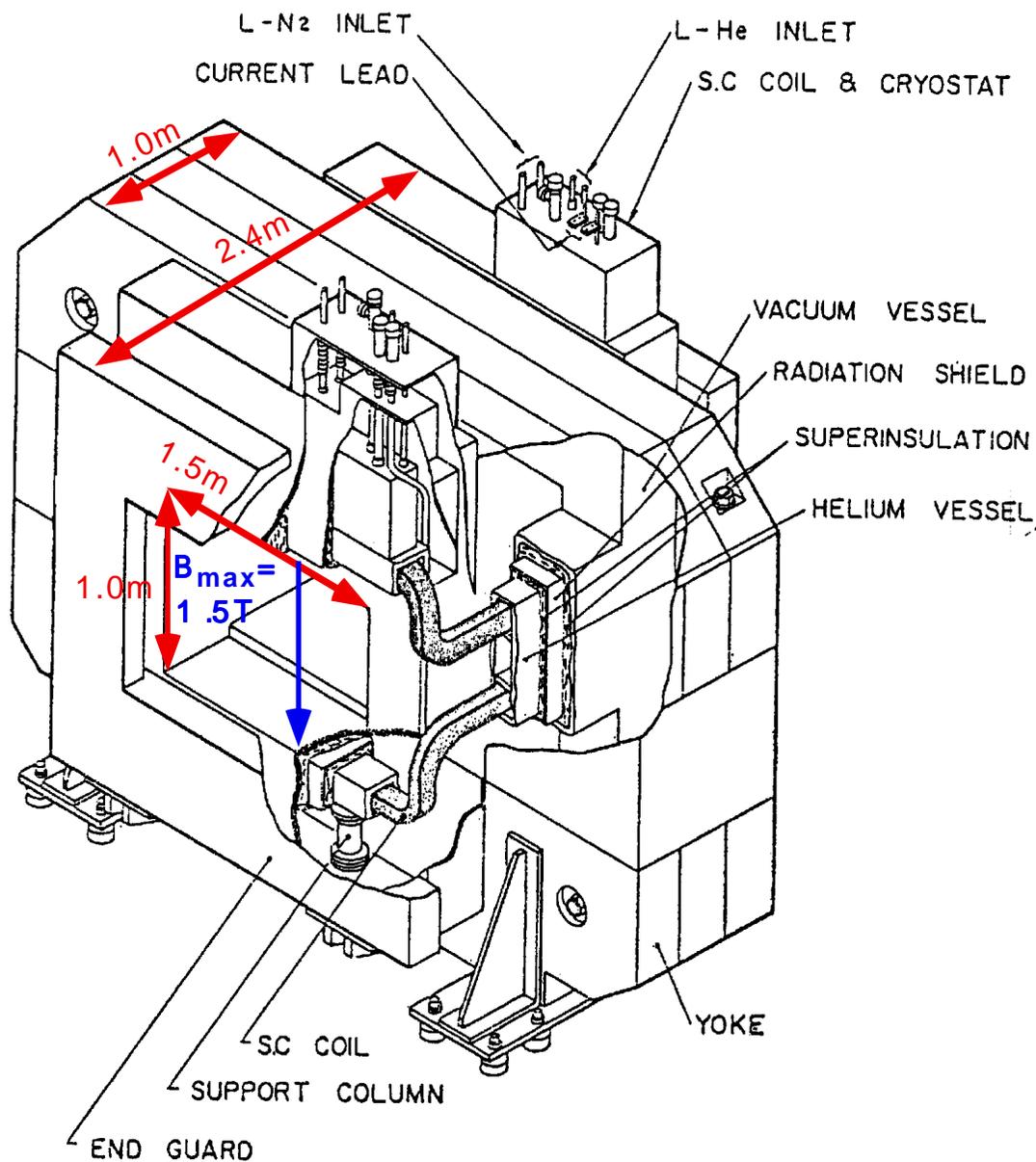
2. 真空箱 / 真空窓

3. 質量測定

4. 電荷測定

Super弁慶

Window Frame型超伝導磁石

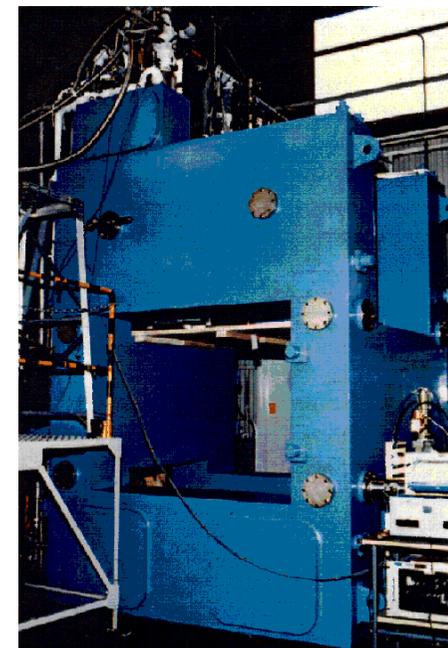


- (1) 磁場

最大磁場	B_{max} :	1.5 T
有効磁場長	L_{eff} :	1.5 m
磁場積分値	BL_{max} :	2.25 Tm
- (2) 有効磁場空間

水平:	1.5 m
ギャップ:	1.0 m
ヨーク巾:	1.0 m
磁石厚:	2.4 m
- (3) 重量 120 t(鉄芯) + 17 t(コイル)
- (4) 蓄積エネルギー 3.1 MJ
- (5) 最大電流 600 A

起磁力	1.4 MAT
巻数	2300 turn
- (6) Lq. He消費量 約10 litter/h

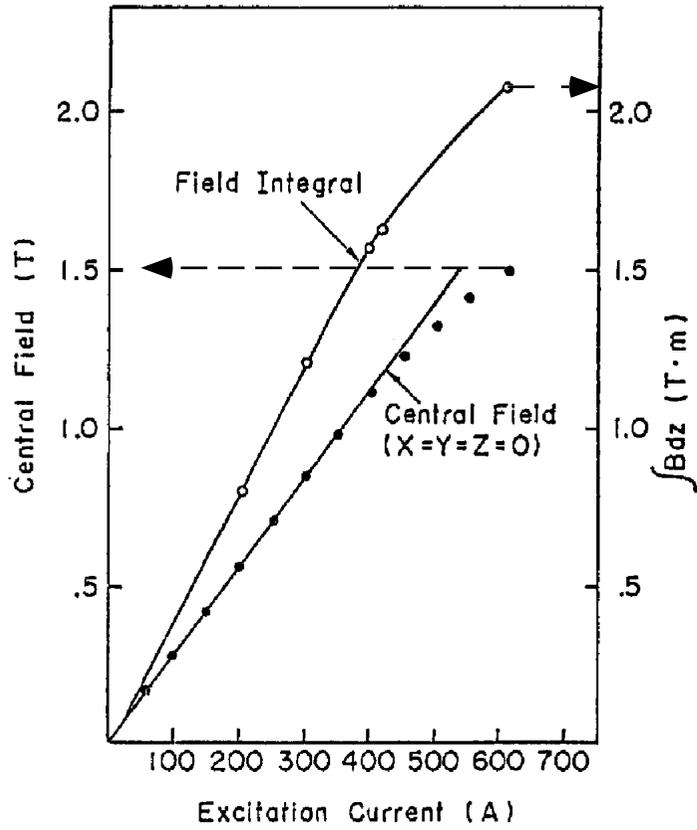


コイル/クライオスタット部

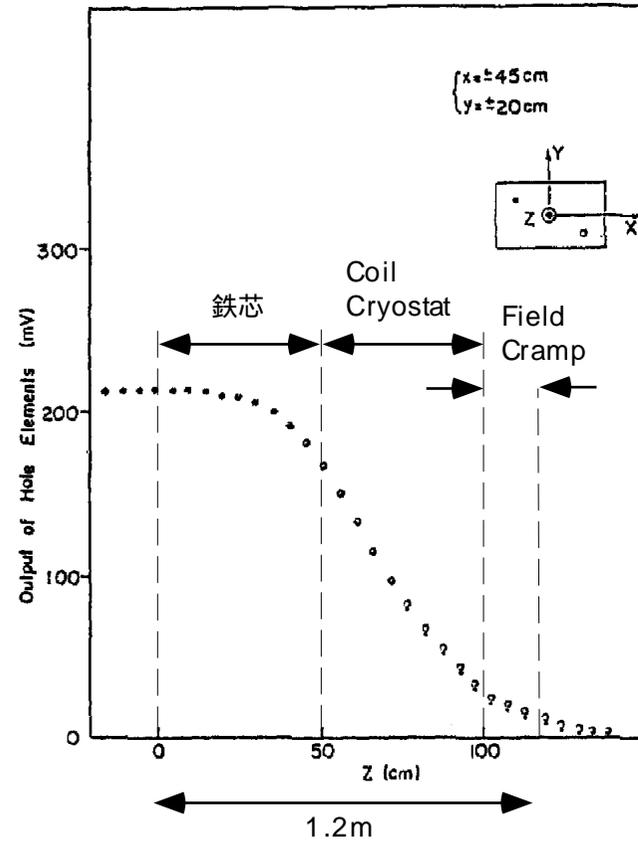
励磁曲線 (中心磁場)

磁場分布

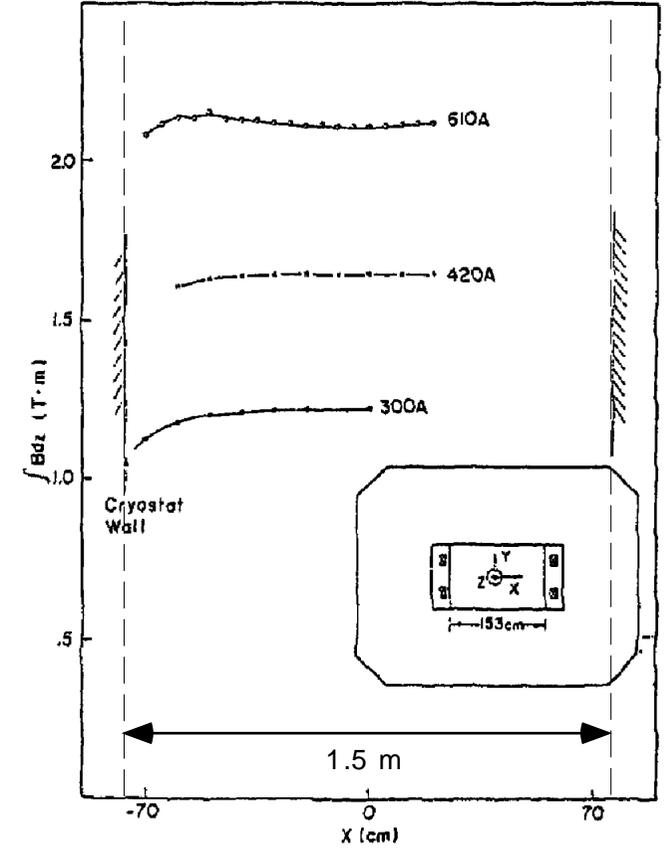
要 再測定



ビーム軸方向



水平方向



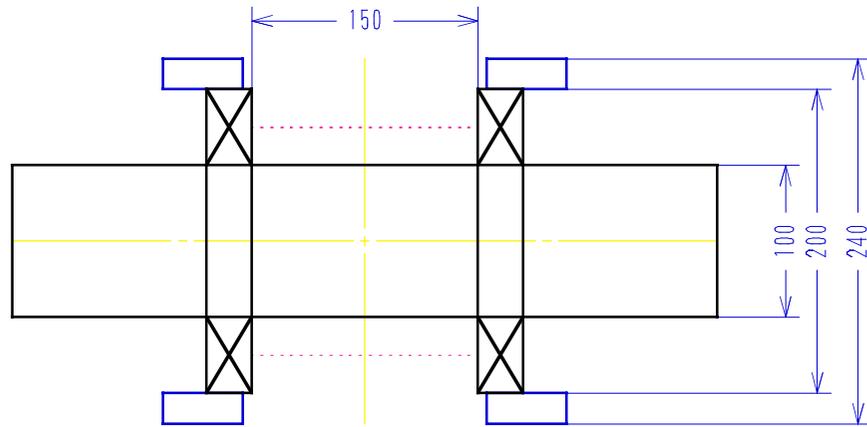
最大磁場： 低

漏れ磁場： 低 (未)飽和

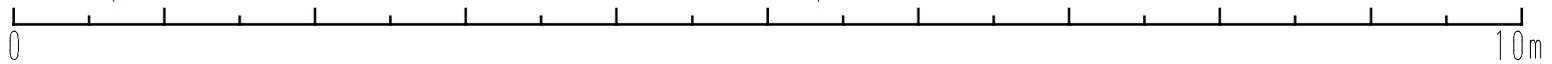
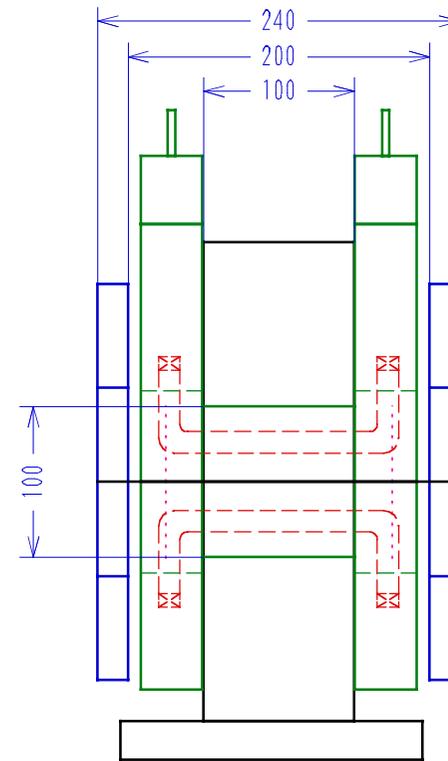
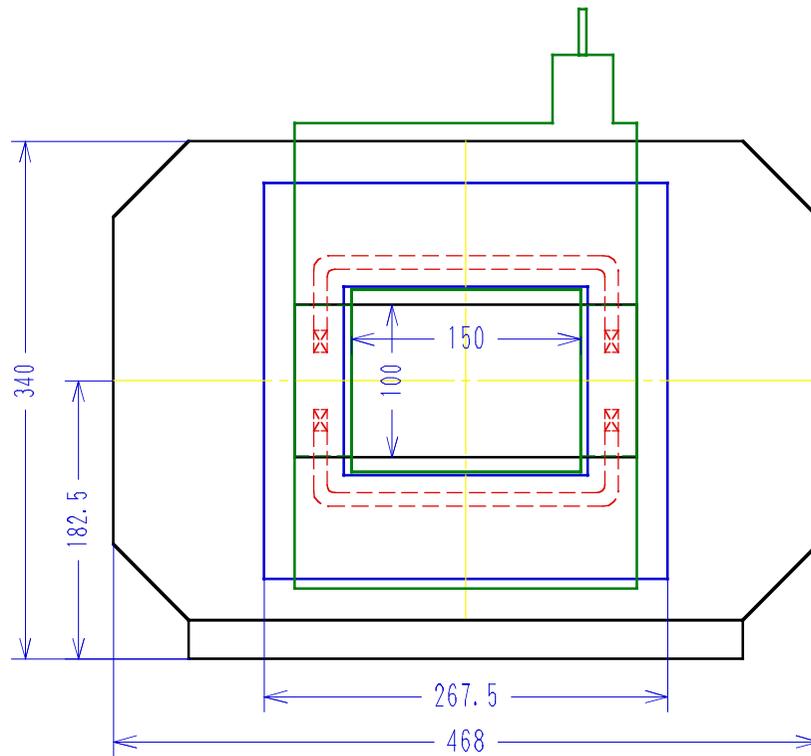
磁場一樣性： 良 (Window Frame型)

標的部検出器

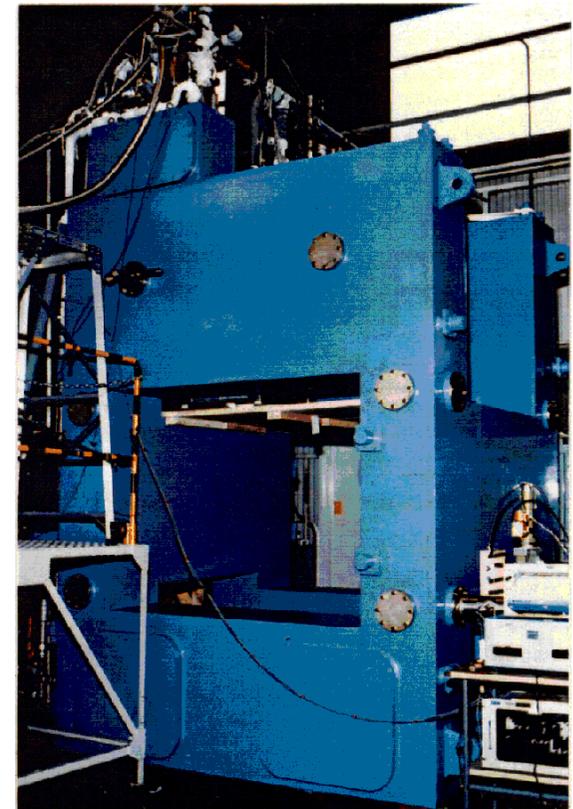
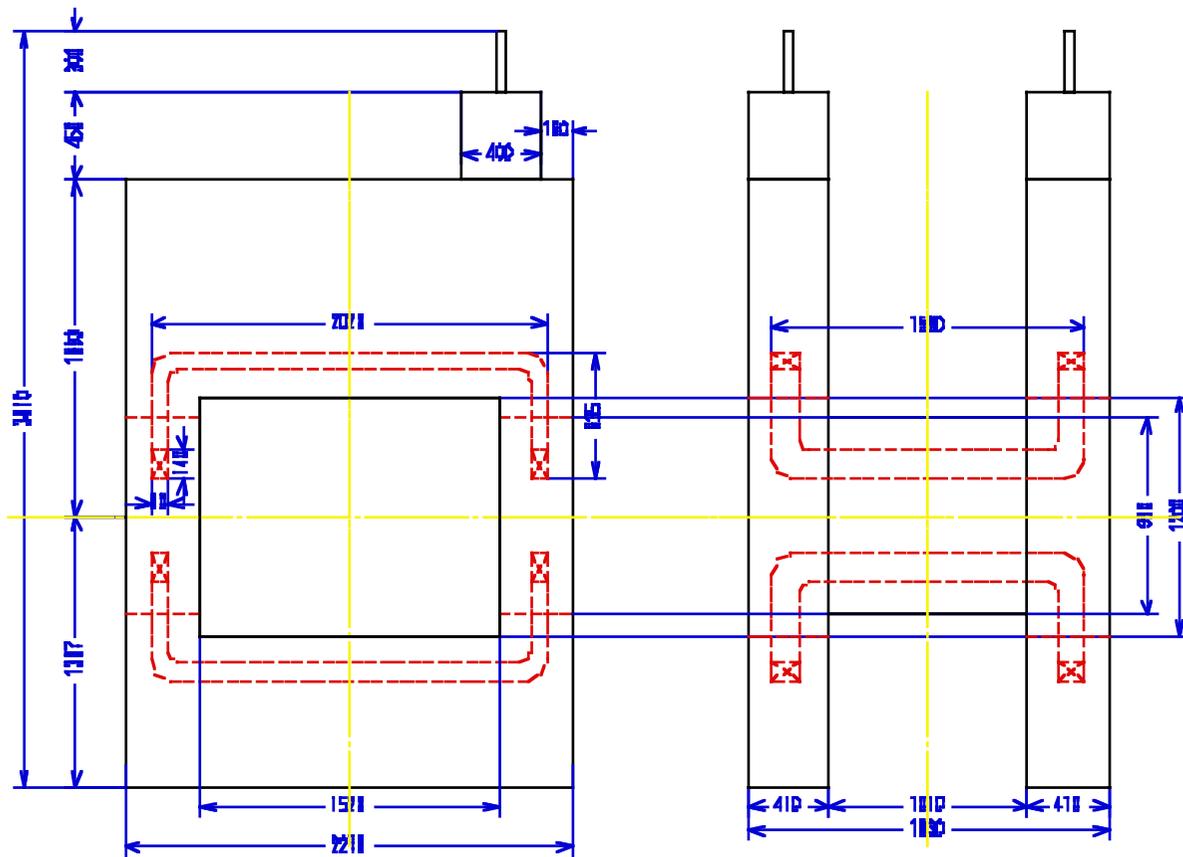
下流側位置検出器



Super弁慶全体図



コイル/クライオスタット部



全重量： 16.3 t

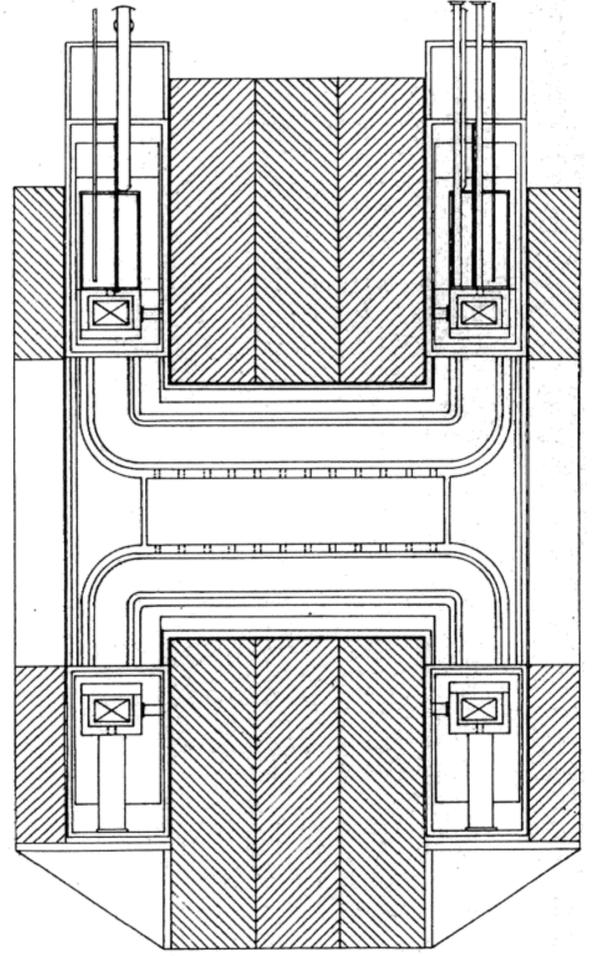
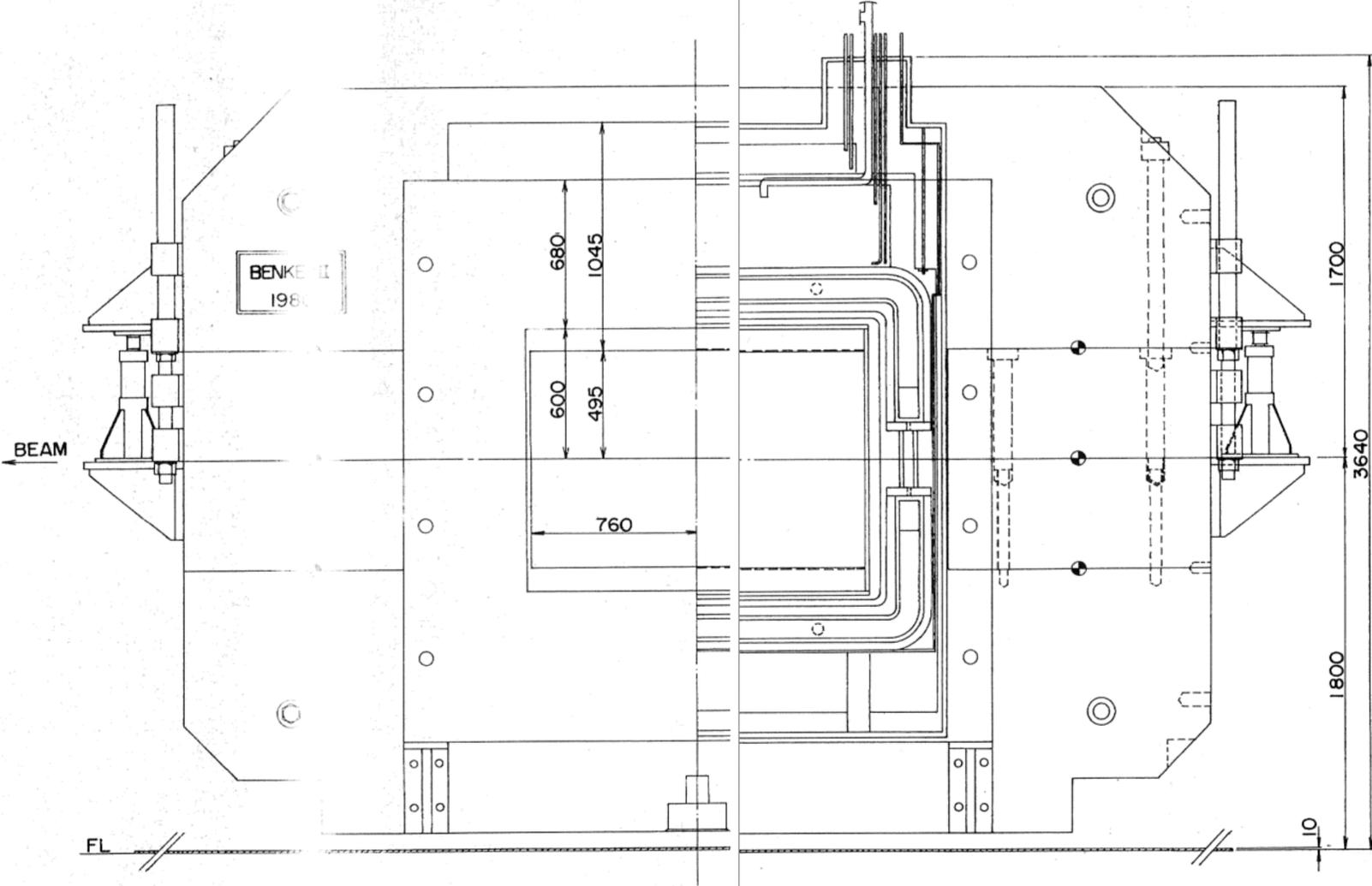
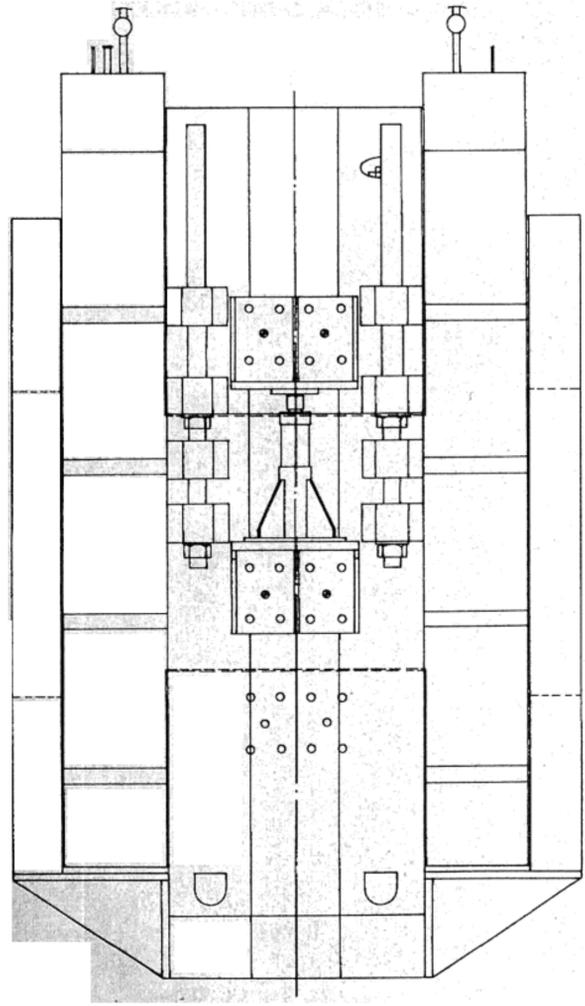
L-He貯液槽： 300 l

L-N₂貯液槽： 120 l

超電導マグネット概略仕様

	SKS	HISS	BENKEI	CHICAGO CYCLOTRON
Central Field [T]	3	3	1.5	1.5
Field on Conductor [T]	4.2	4.55	3.5	2.85
Stored Energy [MJ]	10	55.2	3.15	32.5
Pole Size [m]	1.7×(1.2/2.3)	2.1φ	1.53×1.0	4.32φ
Magnet Gap [m]	0.5	1.0	1.0	1.3
Coil Configuration	Sector	Solenoid	Saddle	Solenoid
Coil Cross Section [cm ²]	15×12		14×9	
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
Current [A]	400 or 500	2200	610	1000
Current Density [A/cm ²]	60	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
Yoke Weight [t]	~300	513		
Total Weight [t]	~300	567	~140	
Heat Leak at 4.2 K [W]	<3		7.5	~8

* Total force



設計	製図	検認	尺度	図名	スペクトロメーター用超電導磁石
			1/20		スーパーベンケイ (30SD2020)
KEK 高エネルギー物理学研究所					SEP. 1979

移設の費用概算： 川口武男氏による

(1) 基本方針

ヘリウム系（コイル系）冷却： 再凝縮（蒸発したガスをサービスポート内で再度液化する）方式。

定常運転時は液体ヘリウム補給不要。

現在のガス冷却パワーリード（電流リード） 高温超電導パワーリード（約1000A）。

80Kシールド冷却： 液体窒素補給（現状と同じ）

低温配管費用： 約1000万円 / 50m

コイル系初期冷却： 液体窒素（地上タンク / コンテナ）と液体ヘリウム（コンテナ）で冷却

(2) 費用概算

約8600万円。

項目

分解、運送、搬入

冷却系： 冷凍器、配管、コントロール

電流導入部改造

鉄芯

電源、保護回路

(3) その他

理研側との打合せが必要： 高圧ガス規制など

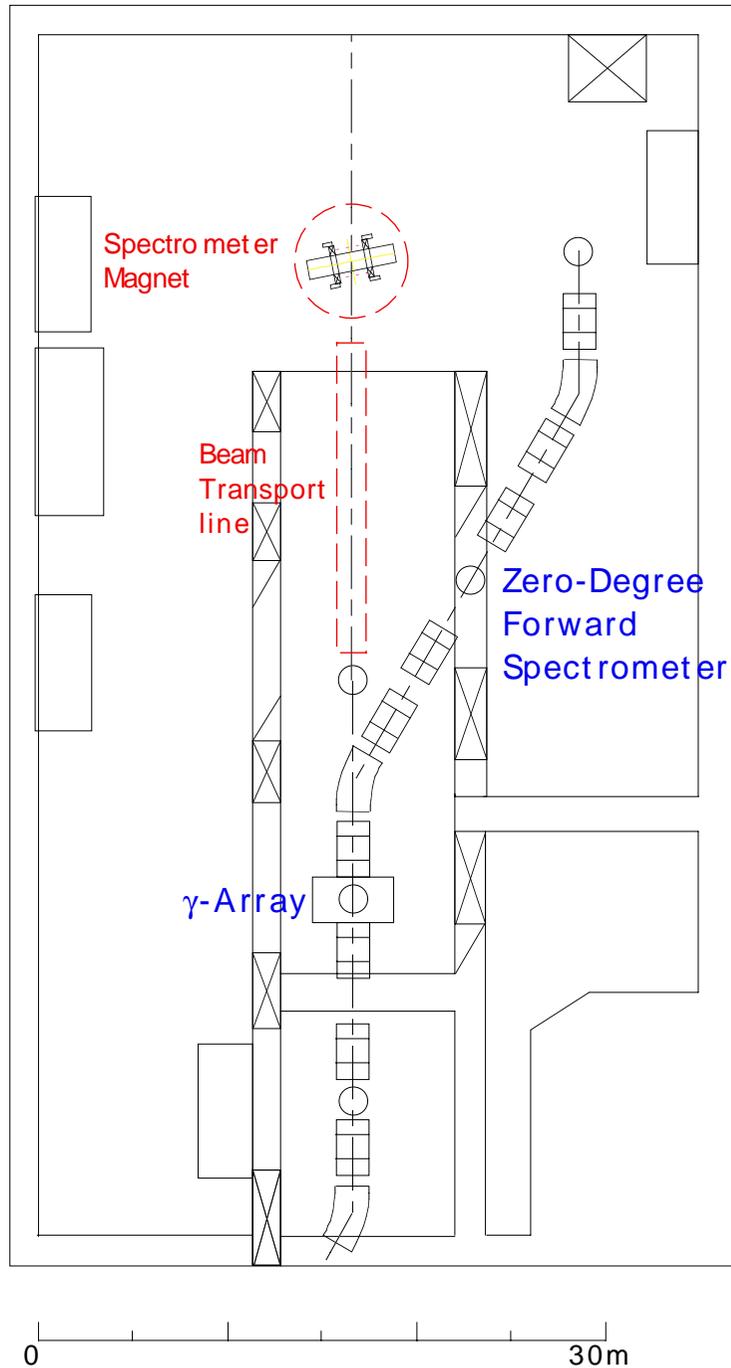
冷却系 / 方式 / 方針に関しては、さらに詳細な技術検討が必要

スーパベンケイの移設および改良の概算

No.	項目	費用：万円	仕様・内訳・注記
1	鉄心からの分解、搬出	192	6人×4日=24人日。1人日=8万円とした。
2	運送	20	重量16トン。KEKから理研へ運送。
3	搬入	48	6人×1日=6人日
4	冷却系	3,340	
41	4K冷凍機(LHe再凝縮用)	2,500	7.5W×2台もしくは1.5W×10台。小型冷凍機。
42	再凝縮コントロール	100	圧力調整もしくはヒータ調整。
43	液体窒素供給コントロール	200	初期冷却時は温度調整、定常冷却時は自動補給。
44	低温配管	300	液体ヘリウム用1本、液体窒素用1本、出側配管2本。
45	設計検討	240	30人日
5	サービスポート改造	1,020	
51	高温超電導パワ-リード	200	1000A級2本。
52	バルブ、安全弁	100	
53	その他の部品	200	
54	チムニー改造加工、リーク試験	360	理研現地で加工する。3人×15日=45人日。
55	設計	160	20人日
6	鉄心	2,760	
61	材料	1,000	構造鋼もしくはS10C相当。200トン×5万円。
62	機械加工	1,600	10万円/トンに収める加工とする。160トン。
63	設計	160	20人日
7	クライオスタットと鉄心の組立	336	6人×7日=42人日。
8	電源およびクエンチ保護回路	500	700A×5V。
9	現地試験調整	360	主に冷却系の調整。3人×15日=45人日。
合計		8,576	

- 注： 1. 初期冷却は液体窒素および液体ヘリウムを使用する。
 2. ヘリウム系の定常冷却はHe再凝縮により液体ヘリウムの補給無しとする。
 3. 80Kシールド系の定常冷却は液体窒素の補給による。
 4. 高温超電導パワーリードを使用し、Heガス冷却を不要とする。

設置場所



(1) 設置場所について :

構造壁の外側

内側は床が約10cm高すぎる

直線方向下流

Big-BO用に床に穴が掘ってあり埋め戻す必要有

その他の設置場所に関するoption ?

ZDS下流 ?

直線方向Transport line : 建設計画無

TQが2 - 3セット必要

(2) SMART移設 / 偏極用磁石系との干渉 (?)

Plastic Scintillator

Ion Chamber

全反射型Cherenkov

磁場測定 (精度)

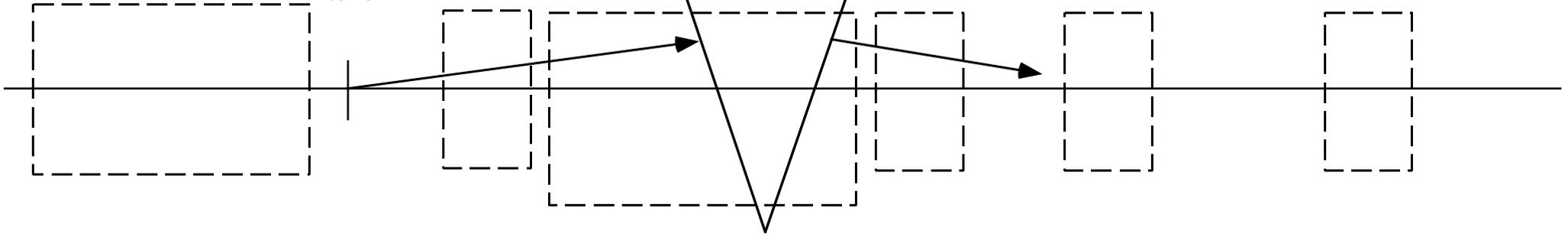
標的周辺の検出器

磁石

電荷(Z)測定

質量 / 速度測定

標的



Beam検出器 :

dE/ dx

Phase space

protonから測定可

最小電離の 2 倍

真空中で動作 :

低圧MW PC/DC

位置検出器 :

位置 & 角度

(真空中 / 磁場中動作の可能性)

多粒子対応

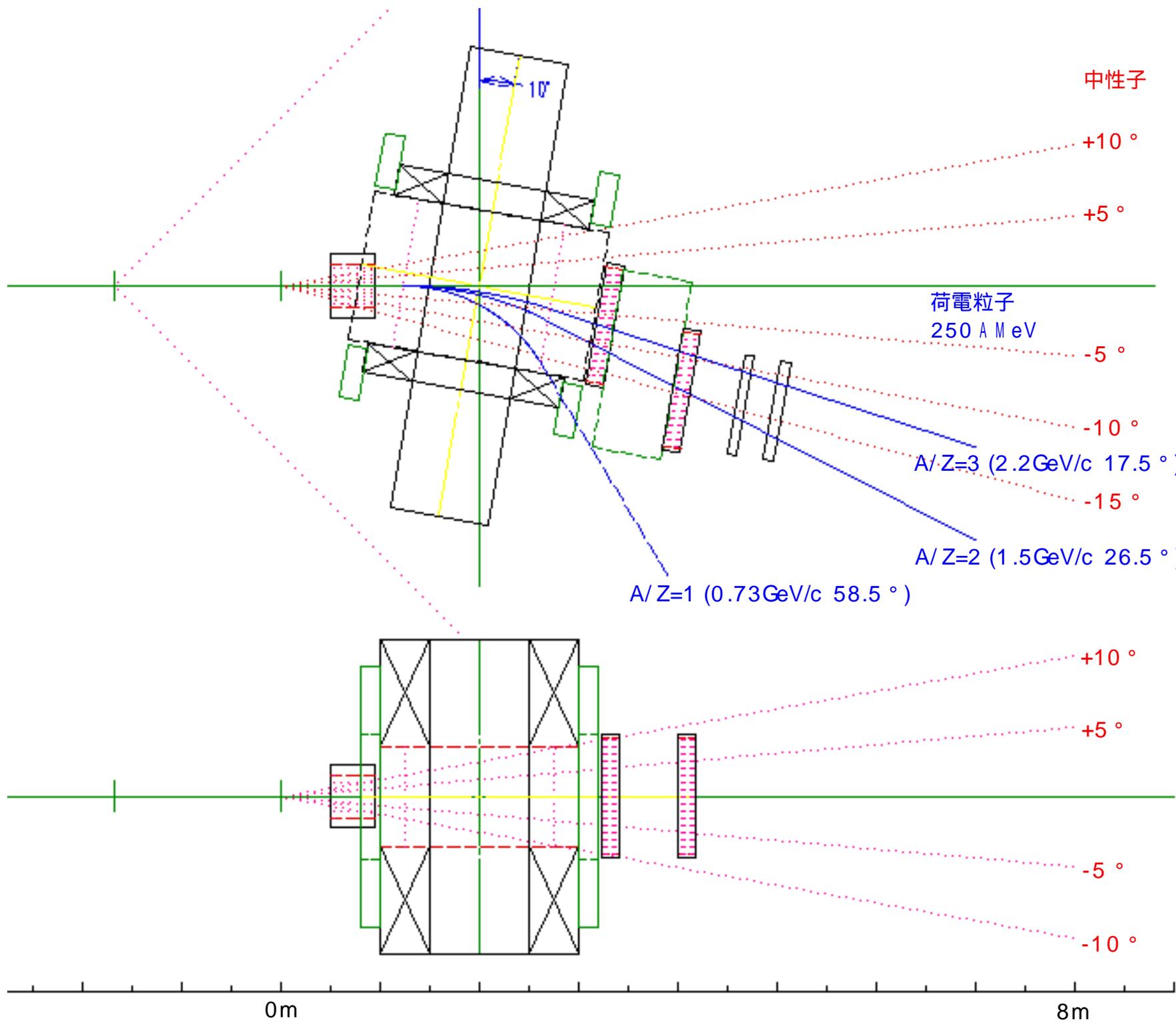
dynamic range ?

位置検出器 :

位置 & 角度

当面 : 廃物利用

運動量分解能目標 : 1/500



中性子

荷電粒子
 $A/Z=3$ 250 A MeV
 bend=17.5°

+10°

+5°

荷電粒子
 250 A MeV

-5°

-10°

$A/Z=3$ (2.2 GeV/c 17.5°)

-15°

$A/Z=2$ (1.5 GeV/c 26.5°)

$A/Z=1$ (0.73 GeV/c 58.5°)

中性子
 $\mu = -15^\circ \quad +10^\circ$

$\nu = \pm 10^\circ$
 立体角：大

$E_{\text{decay}}=10\text{MeV}$
 まで測定可

0m

8m

Gap変更による磁場強化の可能性：

方式： 2次元計算を規格化

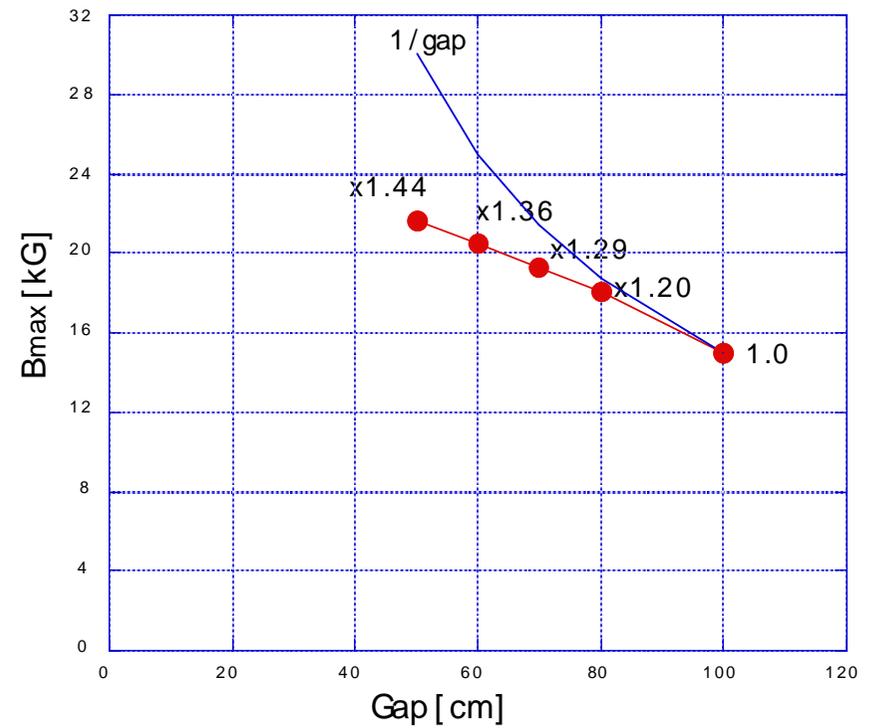
(1) Gap=100cm 80cm で磁場は約20%増加

BL= 2.25 Tm 2.7 Tm

Gap変更により20%-30%の磁場強化は可能。

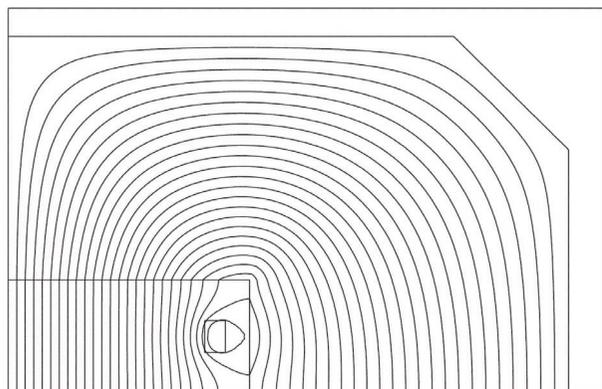
(2) Window Frame型の長所である磁場一様性が劣化

テーパー 又は シム が必要



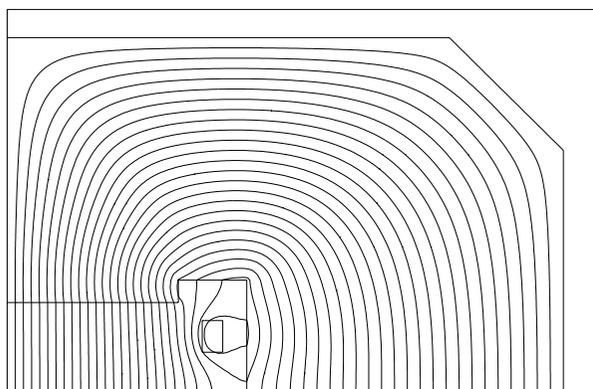
Gap変更 と 磁場一様性

Gap = 100 cm (flat)



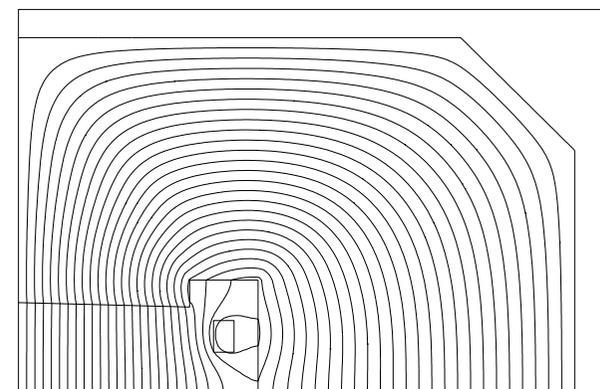
S. Benkei (SMAG01), uniform mesh, CYCLE = 2040

Gap = 80 cm (flat)

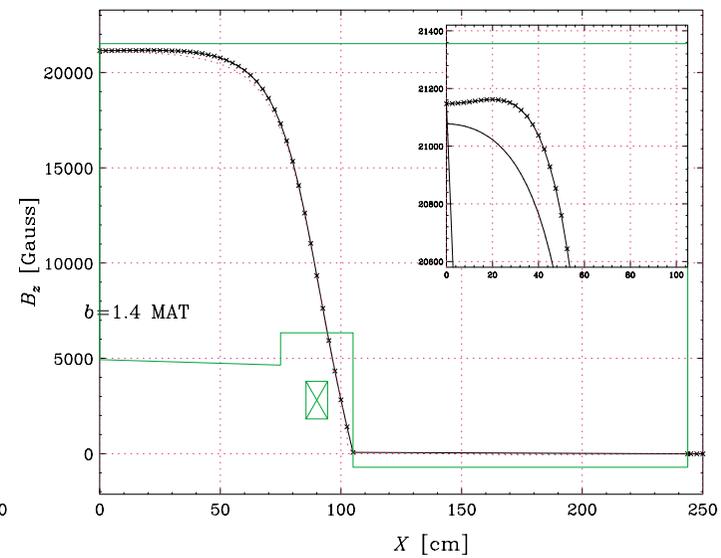
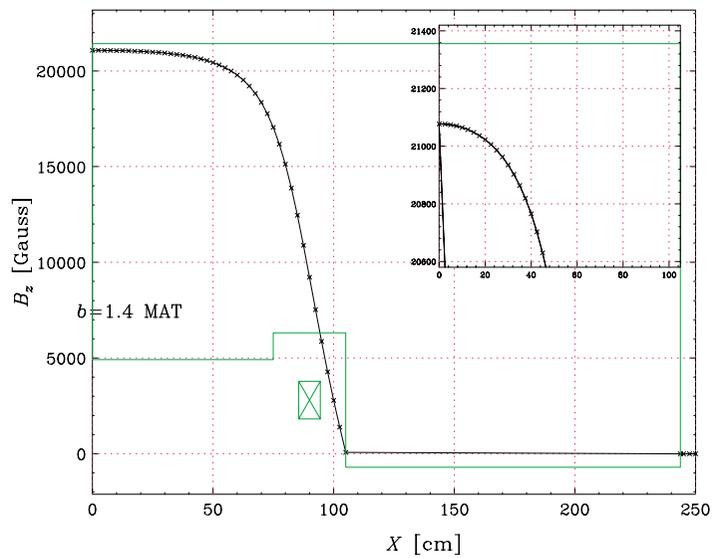
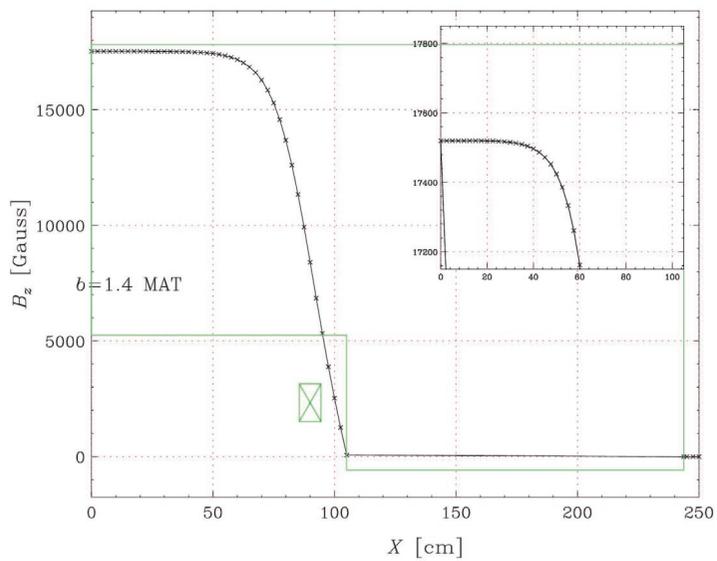


S. BenkeiR (SMAG02), uniform mesh CYCLE = 1420

Gap = 80 cm (taper)



S. BenkeiR (SMAG02), uniform mesh CYCLE = 1380



磁石上流の位置検出器： 新規製作 FDC1

構造： 6角型セル(anode-anode=9mm)

Anode: 30 μ m Au-W/Re

Field: 80 μ m Au-Al

配置： G XX' G UU' G XX' G VV' G XX' G

48 for X, 64 for U/V (total=544)

D= 5 x 75mm, $\theta = \pm 30^\circ$

ガス： He+C₂H₆

窓： 25 μ m KAPTON x2

厚さ： L/L_R=1.27x10⁻³

多重散乱： $m_{cs}=0.25$ mrad for 250MeV/ A A/Z=3

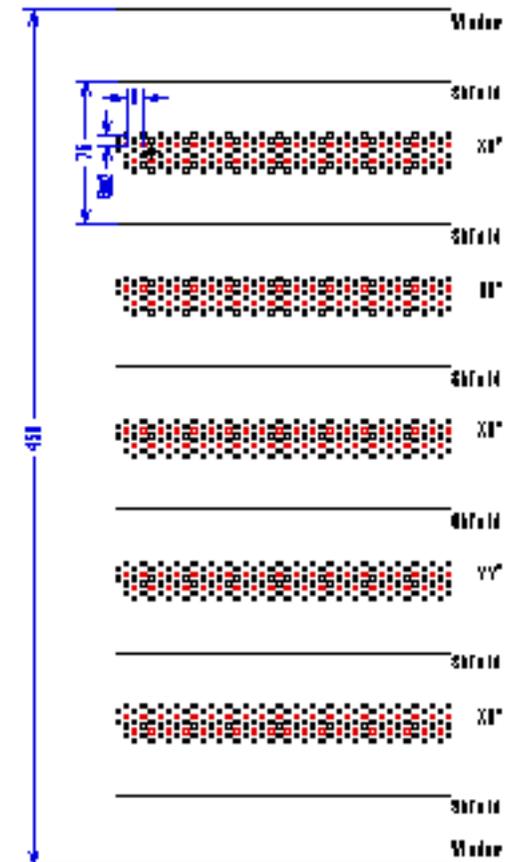
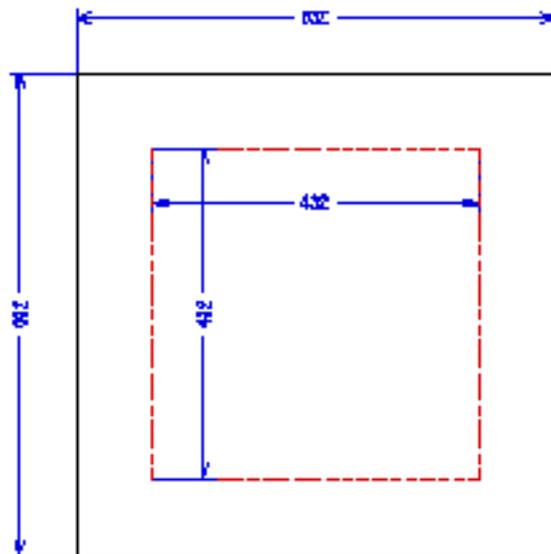
構造：

外寸法： x m m (未)

有効領域： 432 x 432 m m

厚さ： 450 m m

角度分解能(期待)： < 1 mrad (H), 2mrad (V)



磁石下流の位置検出器： FDC2A ,FDC2B (既存品の流用 / 一部配置変更)

構造： 6角型セル(anode-anode=9mm)

Anode: 20 μ m Au-W-Re

Field: 100 μ m Au-Al

配置： G XX'YY' XX'YY' G (128x8 anodes)

ガス： He+C₂H₆

窓： 50 μ m Mylar x2

厚さ： L/L_R=0.98x10⁻³

多重散乱： mcs=0.22 mrad for 250MeV/ A A/Z=3

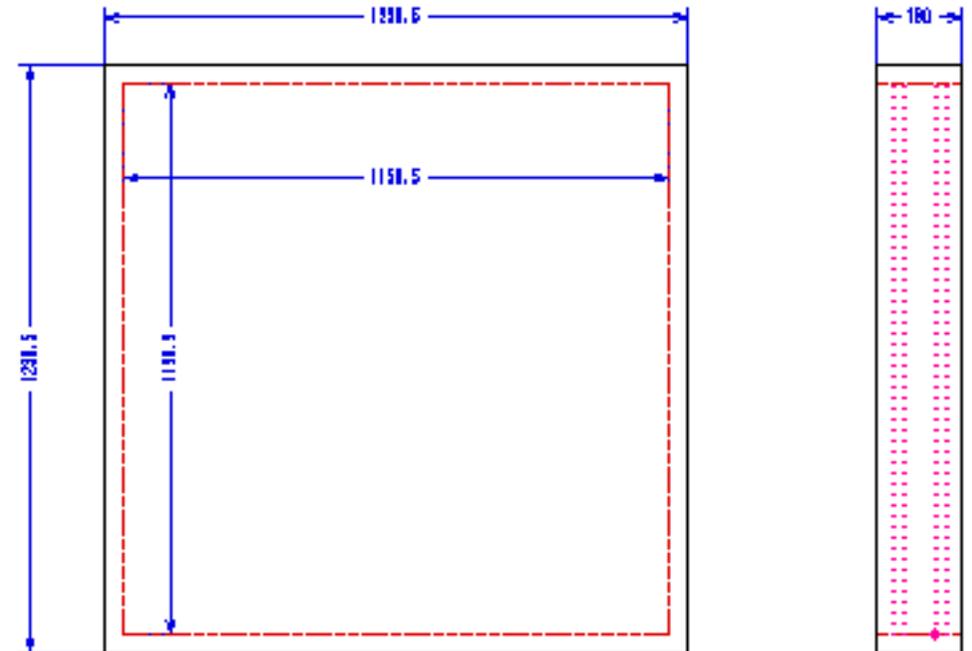
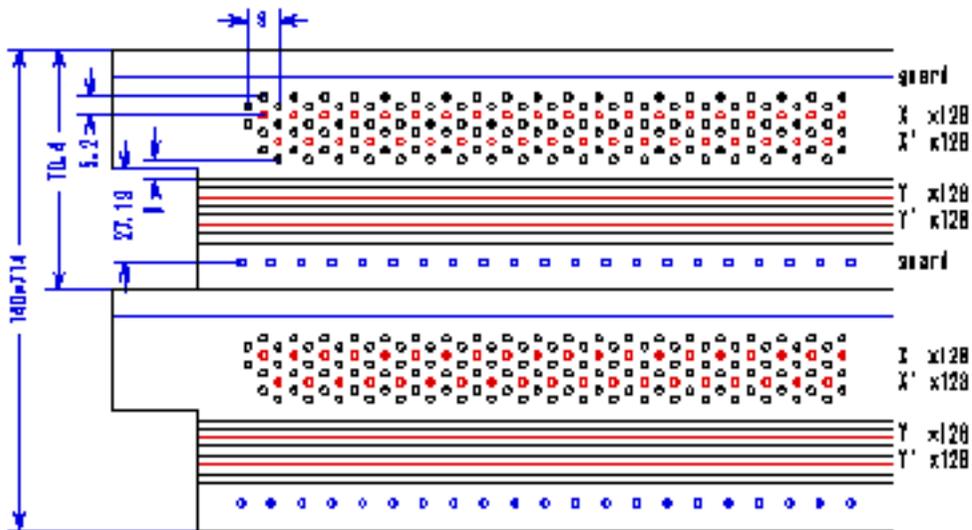
構造 (断面)：

外寸法： 1237 x 1237 m m

有効領域： 1157 x 1157 m m

厚さ： 180 m m

He bag： FDC2A-FDC2B間 (50-100cm)



粒子 (質量) 識別

$$\frac{\sigma_A}{A} = \sqrt{\left(\frac{\sigma_R}{R}\right)^2 + \left(\gamma^2 \frac{\sigma_\beta}{\beta}\right)^2} \quad \frac{\sigma_A}{A} = \frac{0.2}{80} \approx \frac{1}{400}$$

運動量分解能

$$\frac{\sigma_R}{R} \approx \frac{1}{550}$$

速度分解能

$$\frac{\sigma_\beta}{\beta} \approx 1.1 \times 10^{-3}$$

速度測定

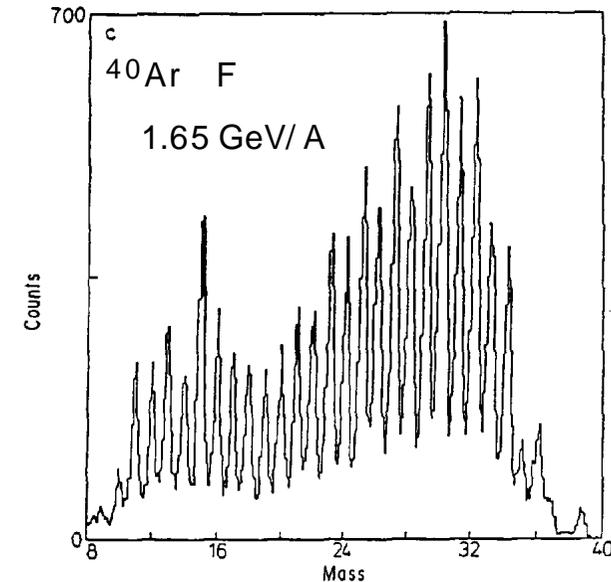
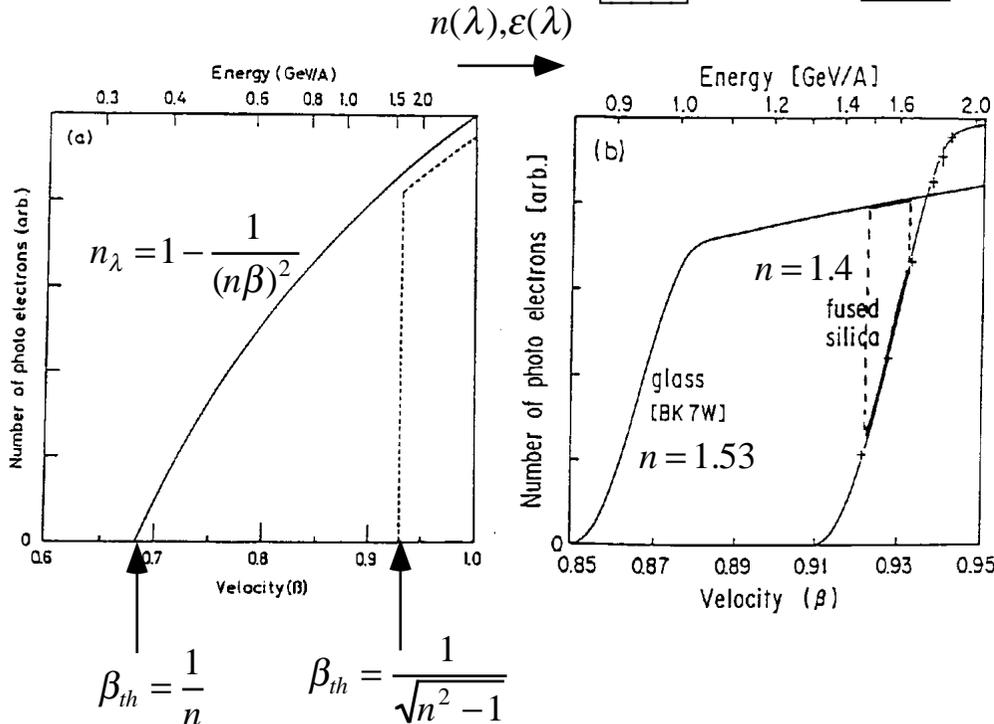
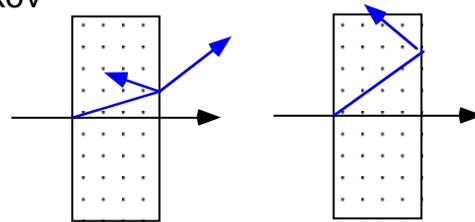
TOF法 $\sigma_T = 60 \text{ psec}$ @ $L = 10 \text{ m}$ (多分) がんばれば可能

過去の例 :

$$\sigma_A = 0.21 \text{ u} (7 < A < 40)$$

$$\sigma_\beta = 4 \times 10^{-4} \text{ @ } \beta = 0.93 (1.65 \text{ GeV/A})$$

他の方法 1 : 全反射型Cherenkov



透明セラミック : 屈折率 $n = 2.08$

全反射 threshold : $\beta_{th} = 0.55$ (1.84 MeV/A)

入射エネルギーに制限はあるが、

全反射型Cherenkov Hodoscopeで質量測定可能

大立体角スペクトロメータ（代用案）

（１）Super弁慶の移管 / 借用による利用

超伝導コイル / クライオスタットのみ利用

非常にoptimisticな必要経費予想： 約9000万円 (x1/15)

（２）特長(+)

大きな磁場体積： 1.5 m (H) x 1.0 m (Gap)

一様磁場： Window Frame型の長所、 再度磁場測定が必要。

磁場： BL = 1.5 T x 1.5 m = 2.25 Tm Gapを80cmに減らす事で約20% 増加（一様性の保持）

厚さ(2.4m)が薄い： 中性子に対する大きな角度acceptance ($> \pm 10^\circ$)

漏れ磁場が小さい： Target周辺の検出器

（３）欠点(-)

磁場の弱さ(1.5T)： 位置検出器の工夫で運動量分解能（目標1/500）： 1/300程度までは可

荷電粒子に対し、 $A/Z=3$ 1の同時測定は難しい。

（４）作業が必要な項目

冷凍器系については、さらに詳細検討が必要： 方針？

設置場所 + Beam transport： ？

回転機構： ？

真空箱 / 真空窓： 材質 / 厚さ（運動量分解能に一番ききそう）

ギャップの変更 / 磁場の強化： 磁場の一様性を保つ

（５）その他

速度（質量）測定： 全反射型Cherenkov Hodoscopeでコンパクトなシステムが作れる。

Super弁慶の諸パラメータ :

Table 4 The parameter list of the superconducting BENKEI

General

- Aperture : 1.0H×1.53W×*1.0L m³
(2.42L m : with Iron Endguard)
- Max. Fields at Coil : 3.5 Tesla
- Center Fields : 1.5 Tesla
- $\int B_y dx$: 2.1 Tesla · m

Conductor

- Bare Wire: : 2.3×2.3 mm²
- Insulation : Formvar (30 μm)
- Cu/Sc: : 8
- Critical Current : 1000 A
(at 42°K, 4T)

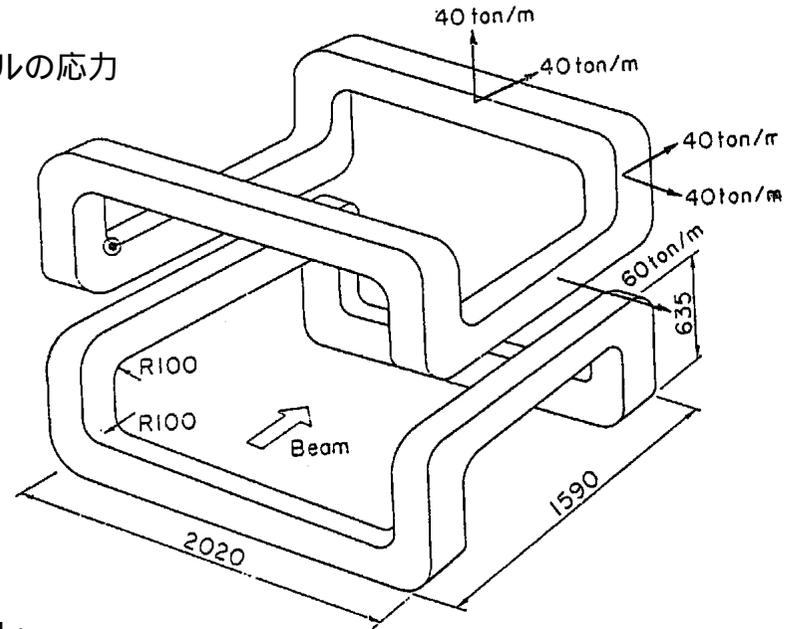
Coil

- Number of Turns : 2320
- Operational Current: : 610 A
- Current Density in Wire : 11.5 kA/cm²
- Stored Energy : 3.15 MJ
- Inductance : 17 H

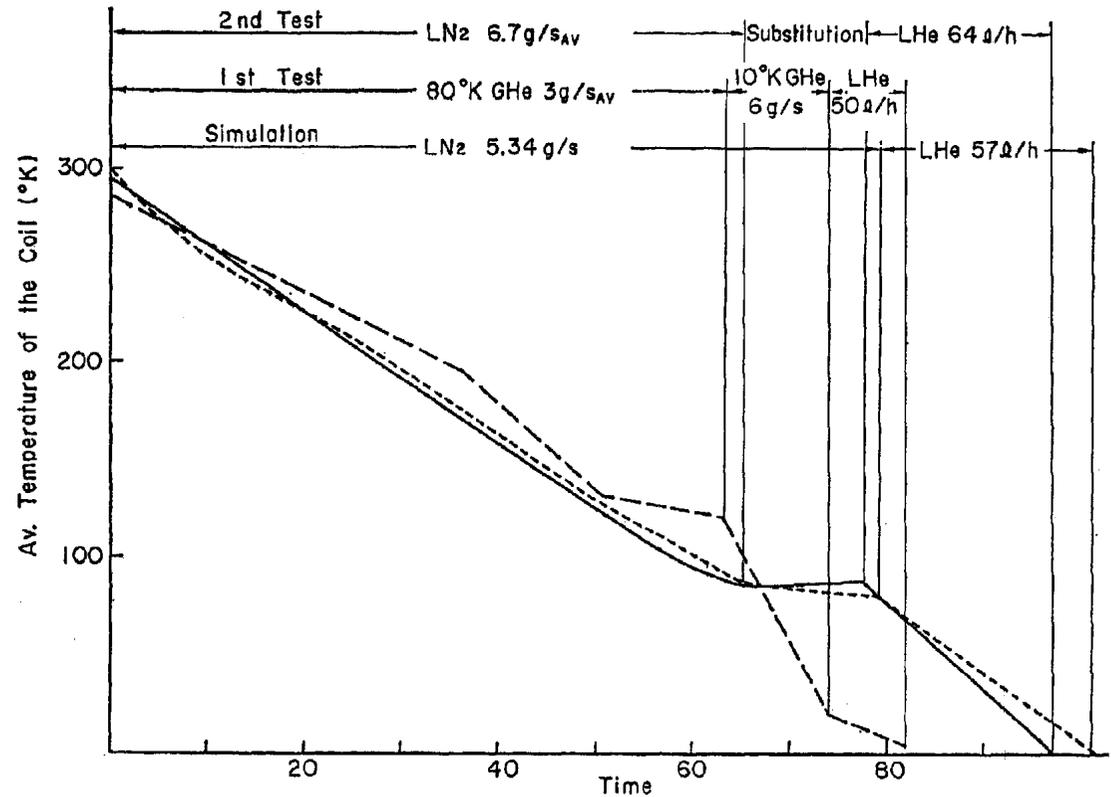
Cryostat

- Cold Mass : 5640 kg
- Total Mass : 16300 kg
- L-He Storage Tank : 300 l
- L-N₂ Storage Tank : 120 l
- Heat Leak : 7.5W

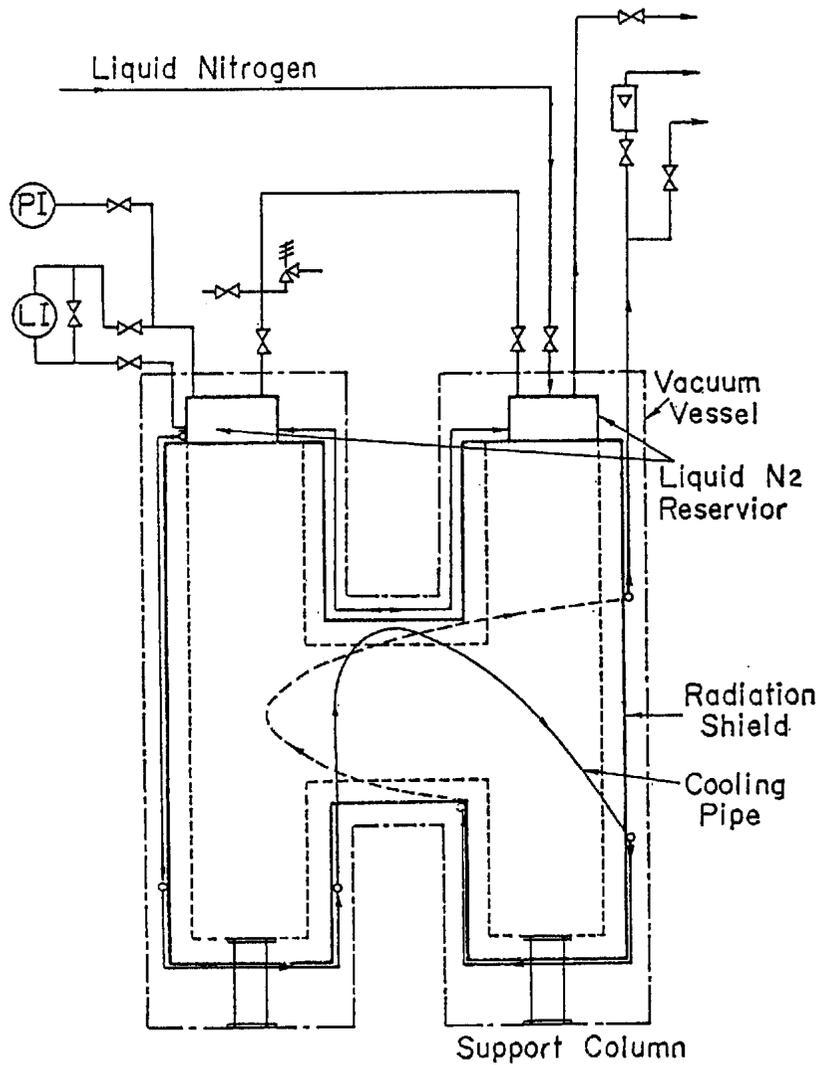
コイルの応力



冷却 :



液体窒素系 :



液体ヘリウム系

