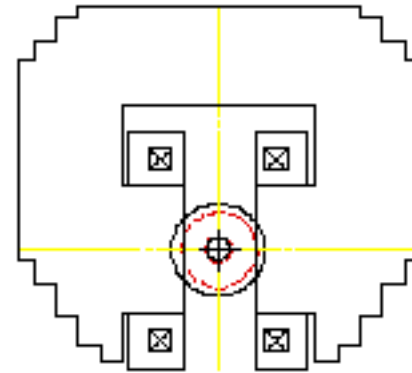
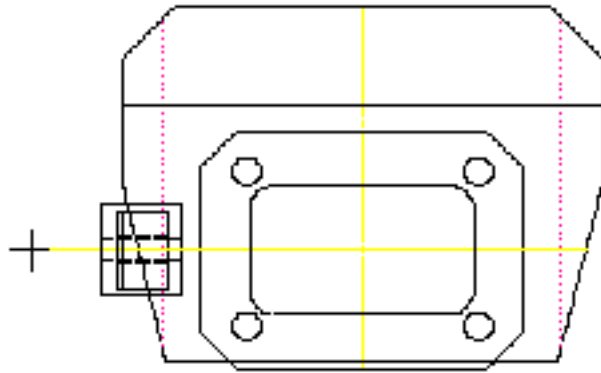
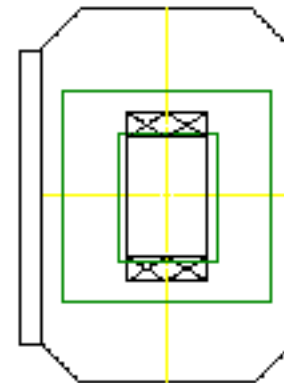
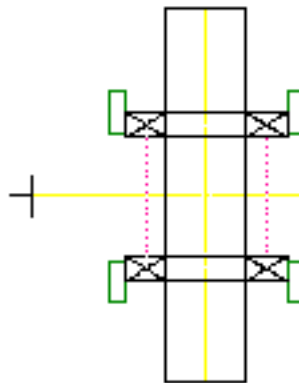


# 大立体角スペクトロメータ（代用案）

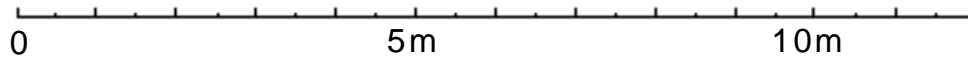
小林俊雄（東北大理）



Big-Bo

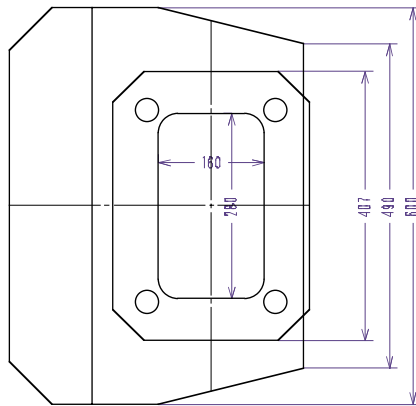
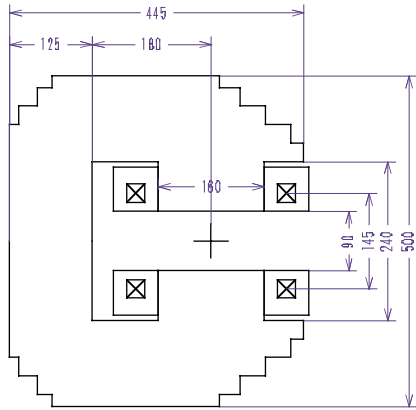
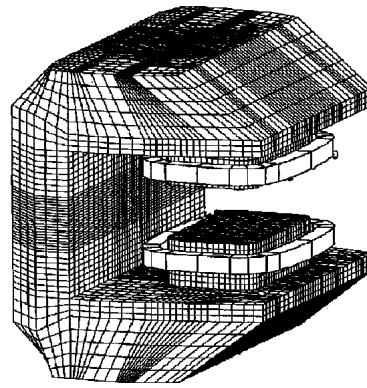


Super 弁慶



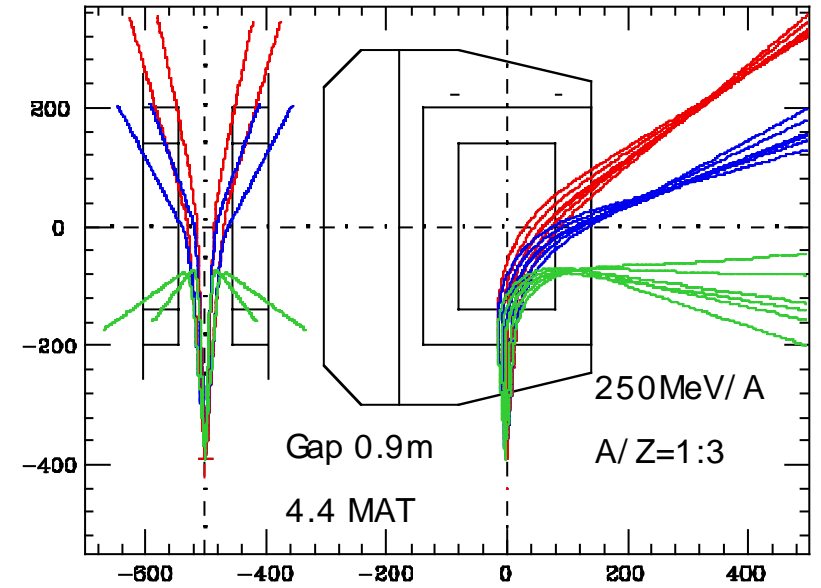
経過： 超伝導Q+D(C型)

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

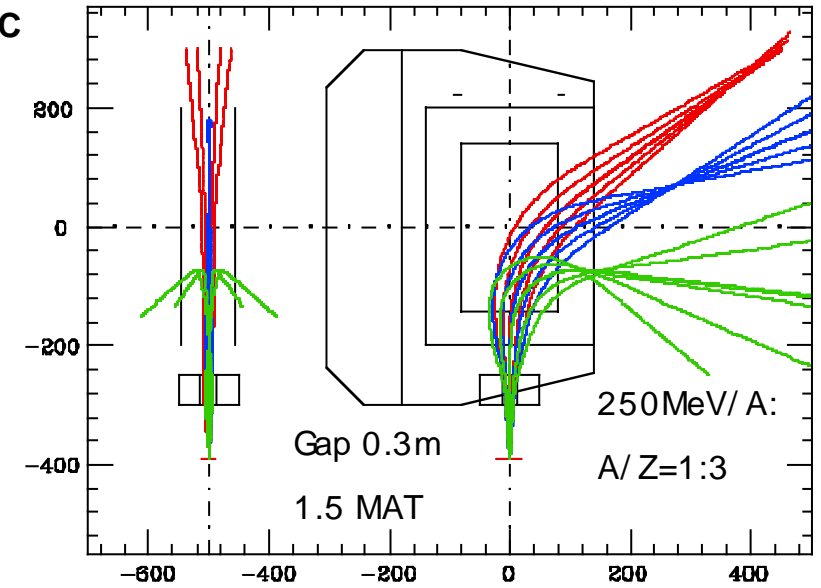


D単体  
 荒いH収束、V発散  
 QD型  
 C型gapを狭く (X中性子)  
 部分的に2重収束(HV)  
 立体角 0.1 sr

(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

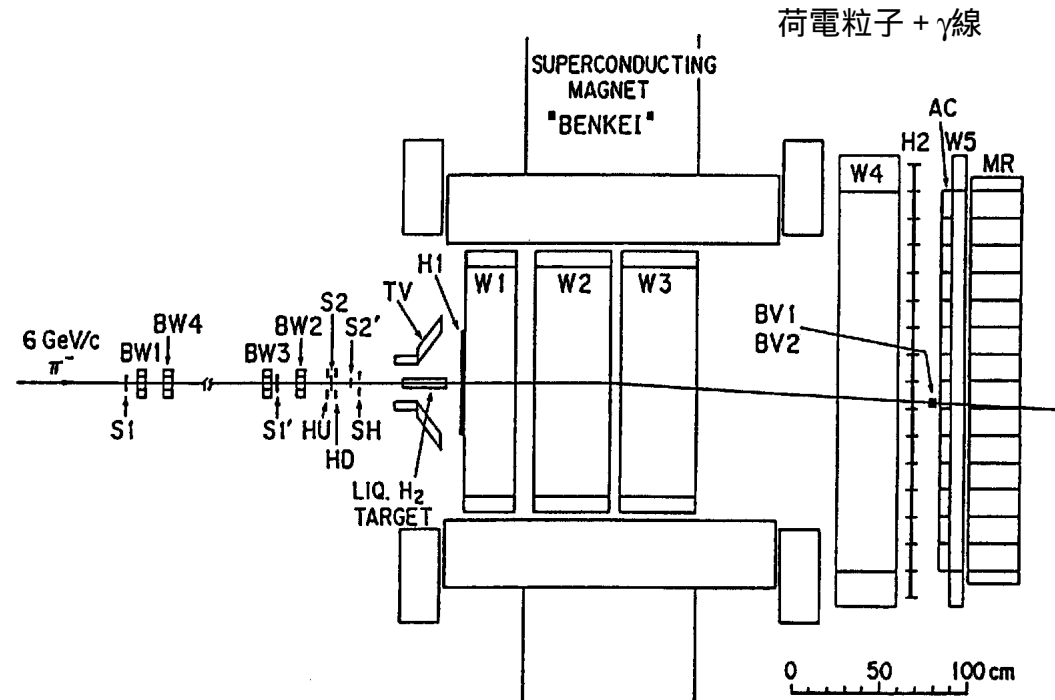
(1) 常伝導 : TOKIWA, USHIWAKA, SHIZUKA, KURAMA, LAMBDA,  
NIKONIKO, 旧FM, 旧SKY...

(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 $\pi$ -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

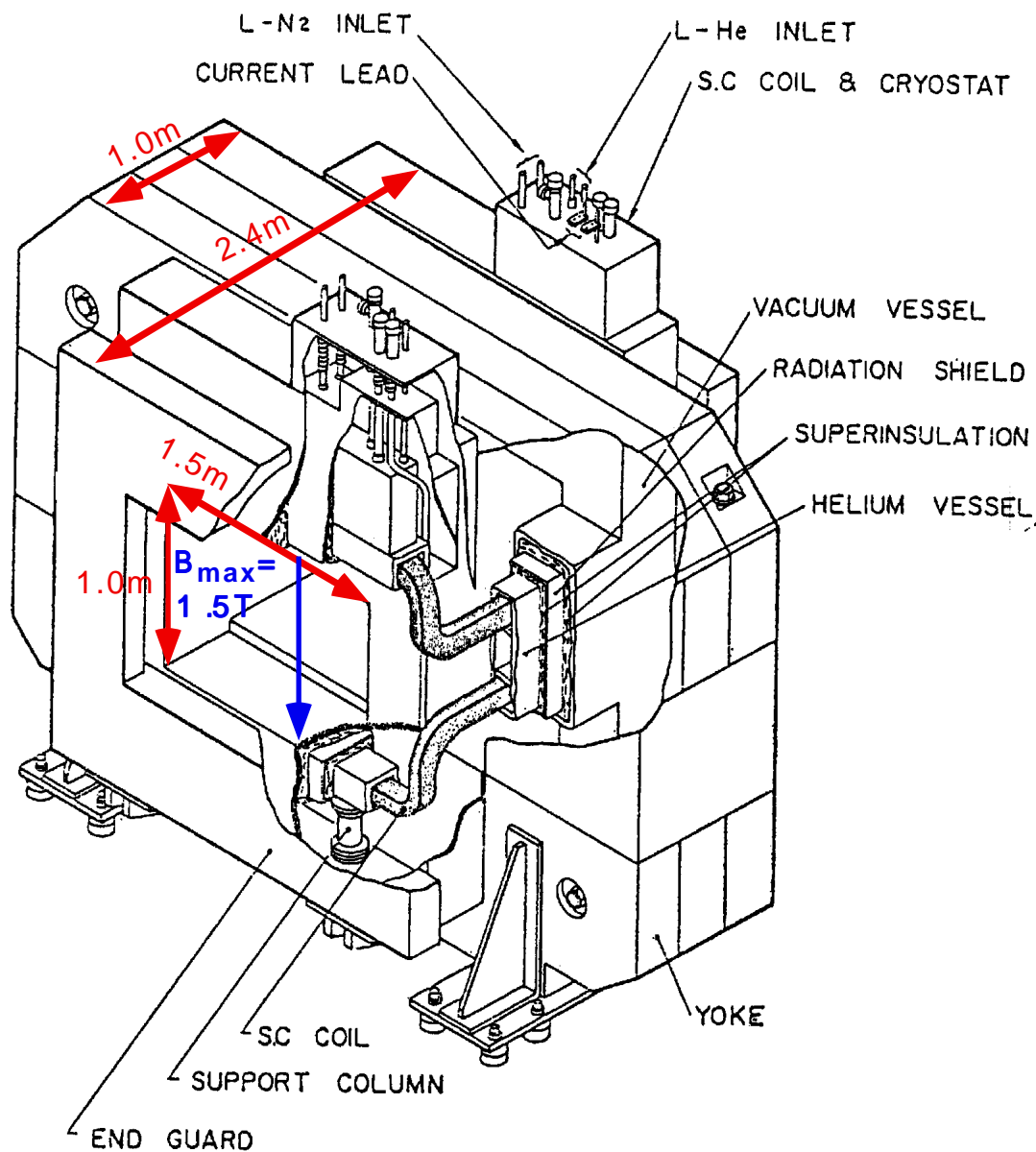
#### 2. 真空箱 / 真空窓

#### 3. 質量測定

#### 4. 電荷測定

# Super弁慶

## Window Frame型超伝導磁石

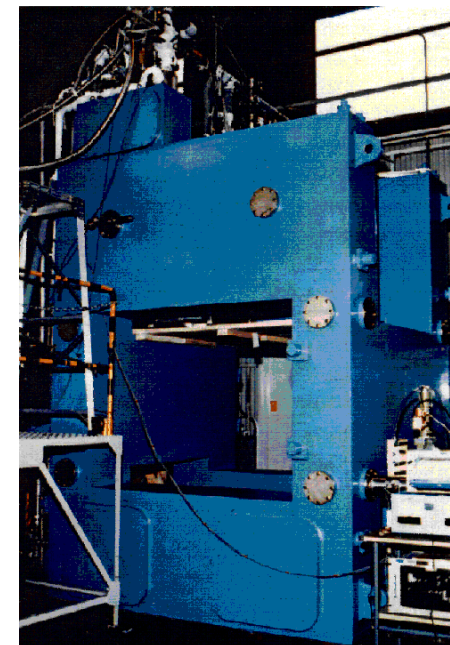


- (1) 磁場
 

|       |              |         |
|-------|--------------|---------|
| 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
 

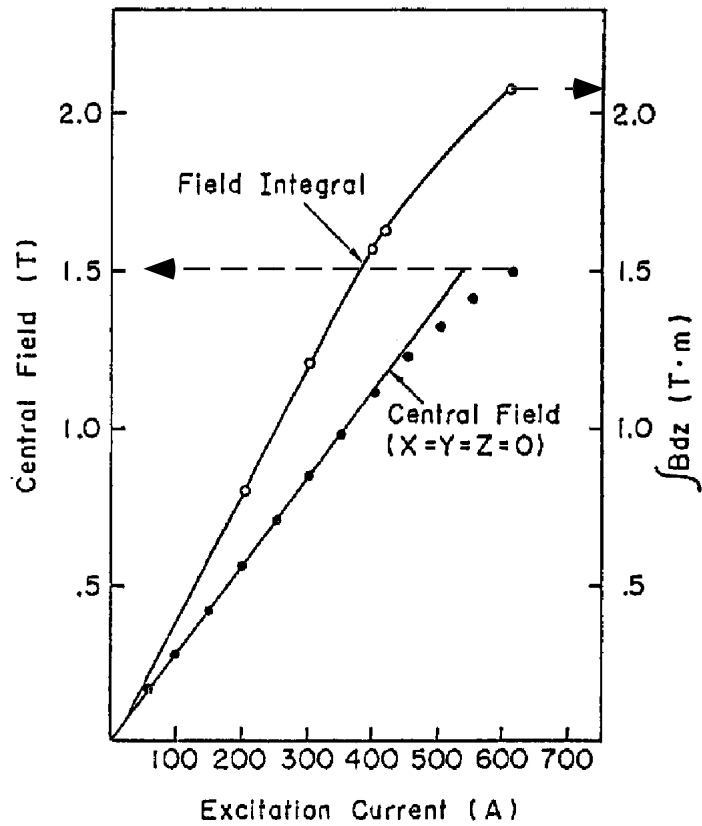
|       |       |
|-------|-------|
| 水平:   | 1.5 m |
| ギャップ: | 1.0 m |
| ヨーク巾: | 1.0 m |
| 磁石厚:  | 2.4 m |
- (3) 重量 120 t(鉄芯) + 17 t(コイル)
- (4) 蓄積エネルギー 3.1 MJ
- (5) 最大電流 600 A
 

|     |           |
|-----|-----------|
| 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)

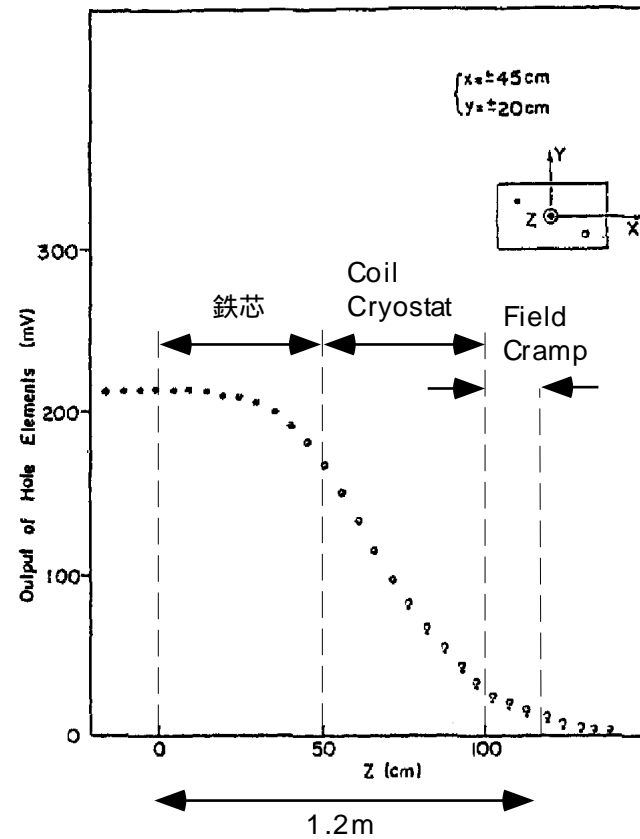


最大磁場： 低

磁場分布

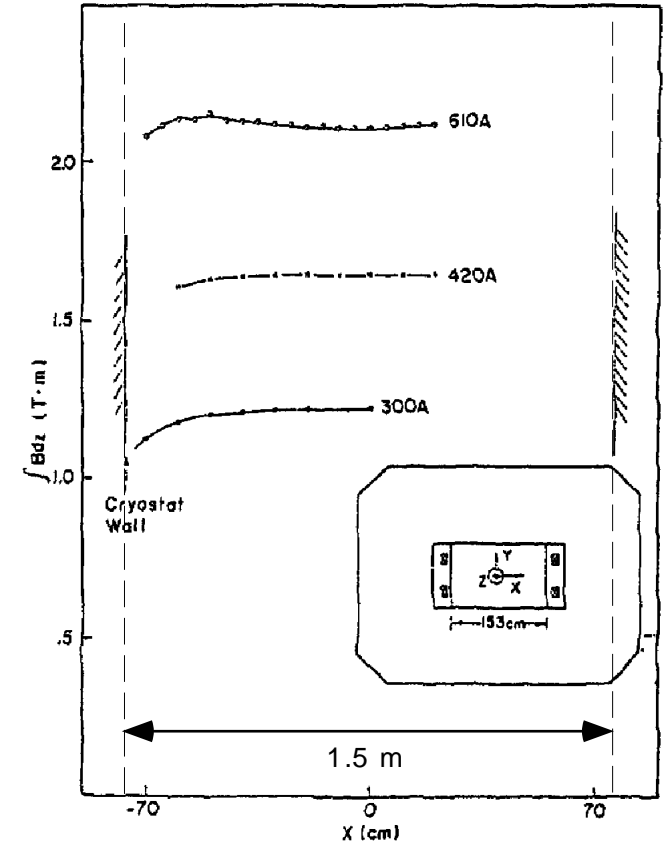
要 再測定

ビーム軸方向



漏れ磁場： 低 (未)飽和

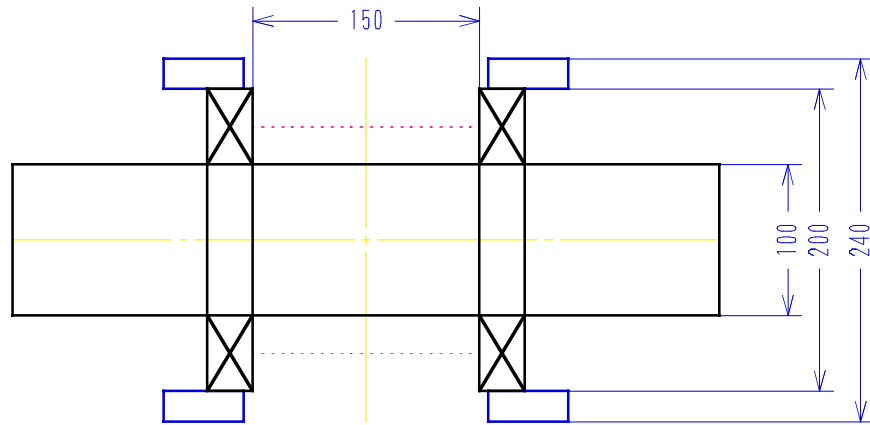
水平方向



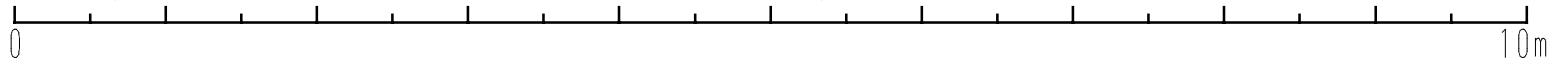
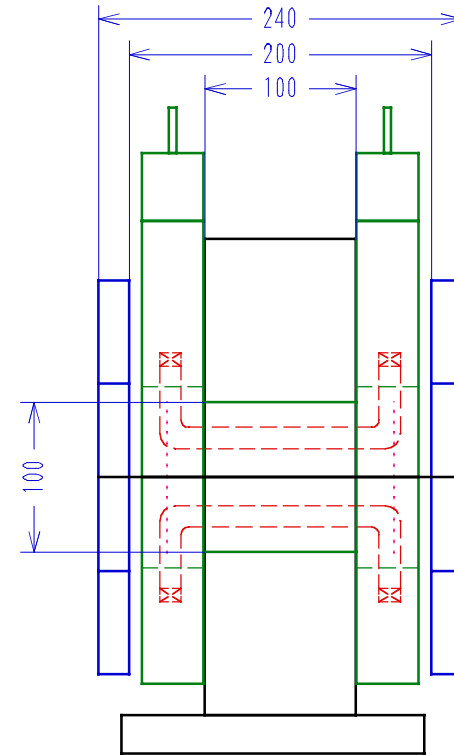
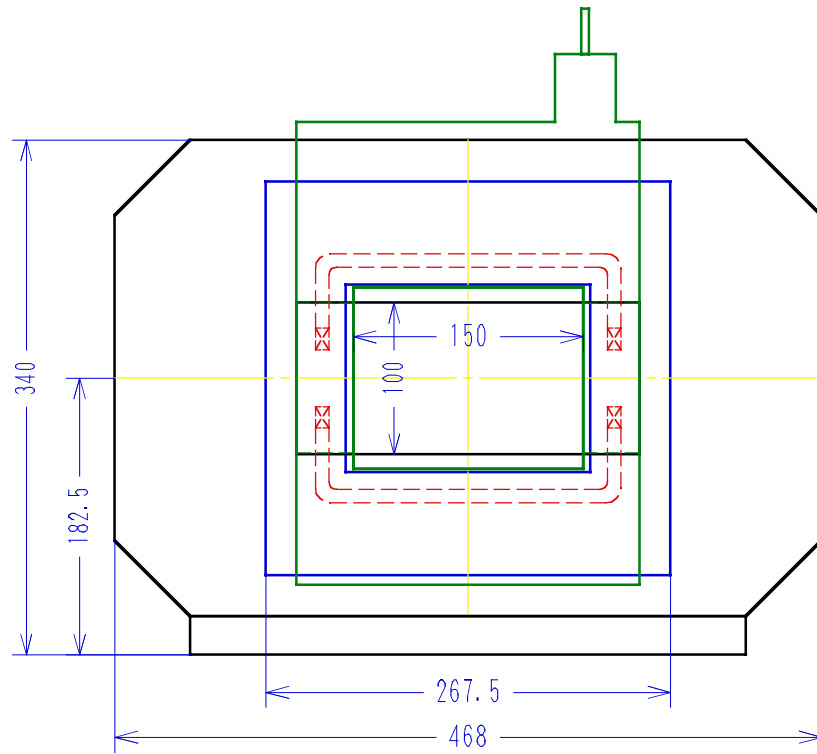
磁場一様性： 良 (Window Frame型)

標的部検出器

下流側位置検出器

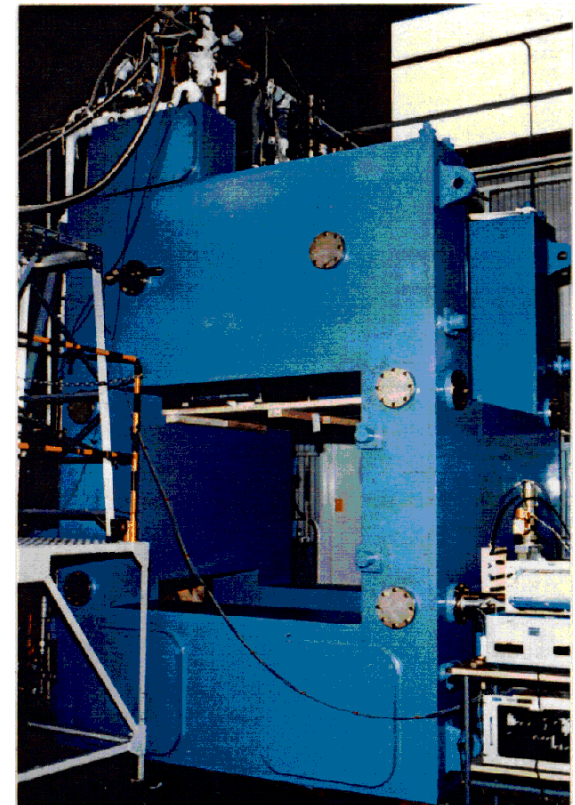
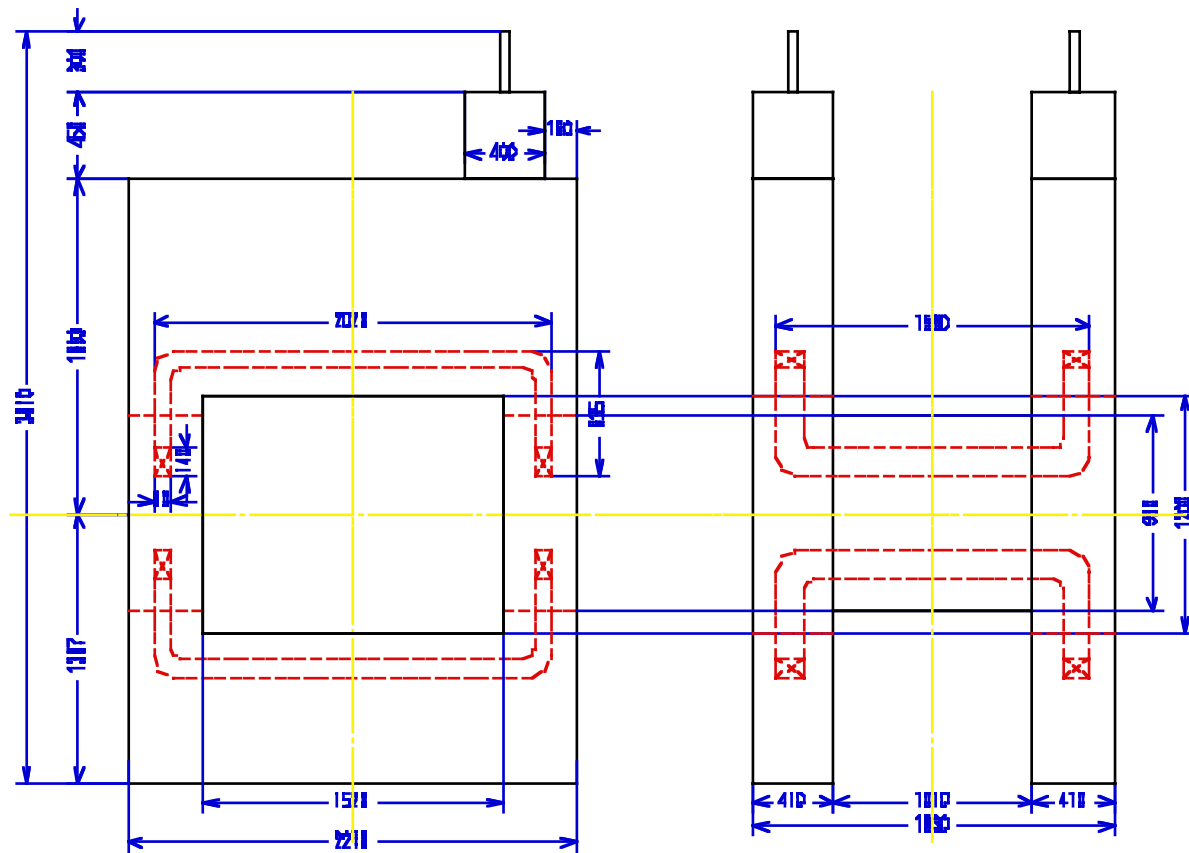


Super弁慶全体図





# コイル/クライオスタット部



全重量 : 16.3 t

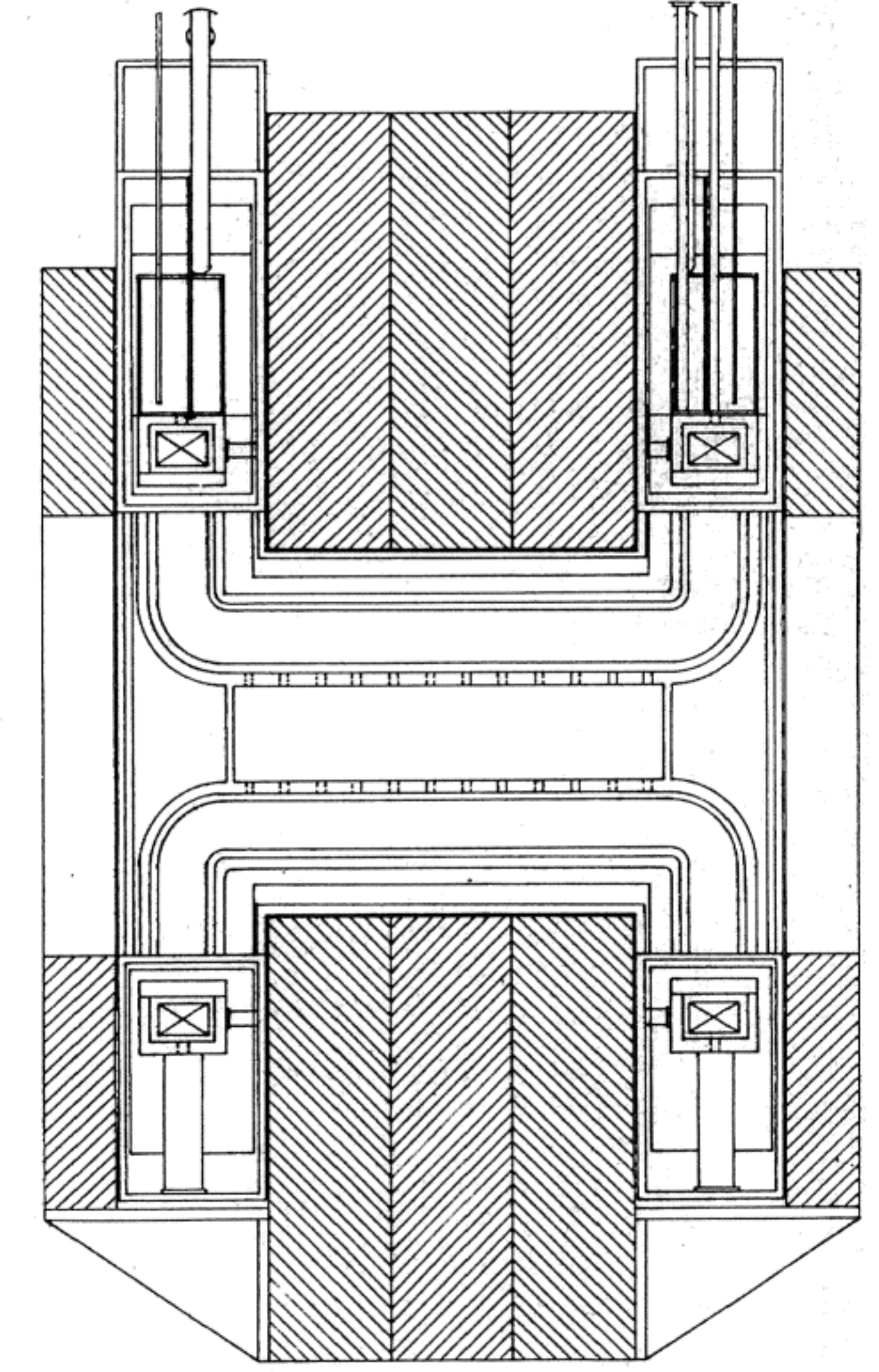
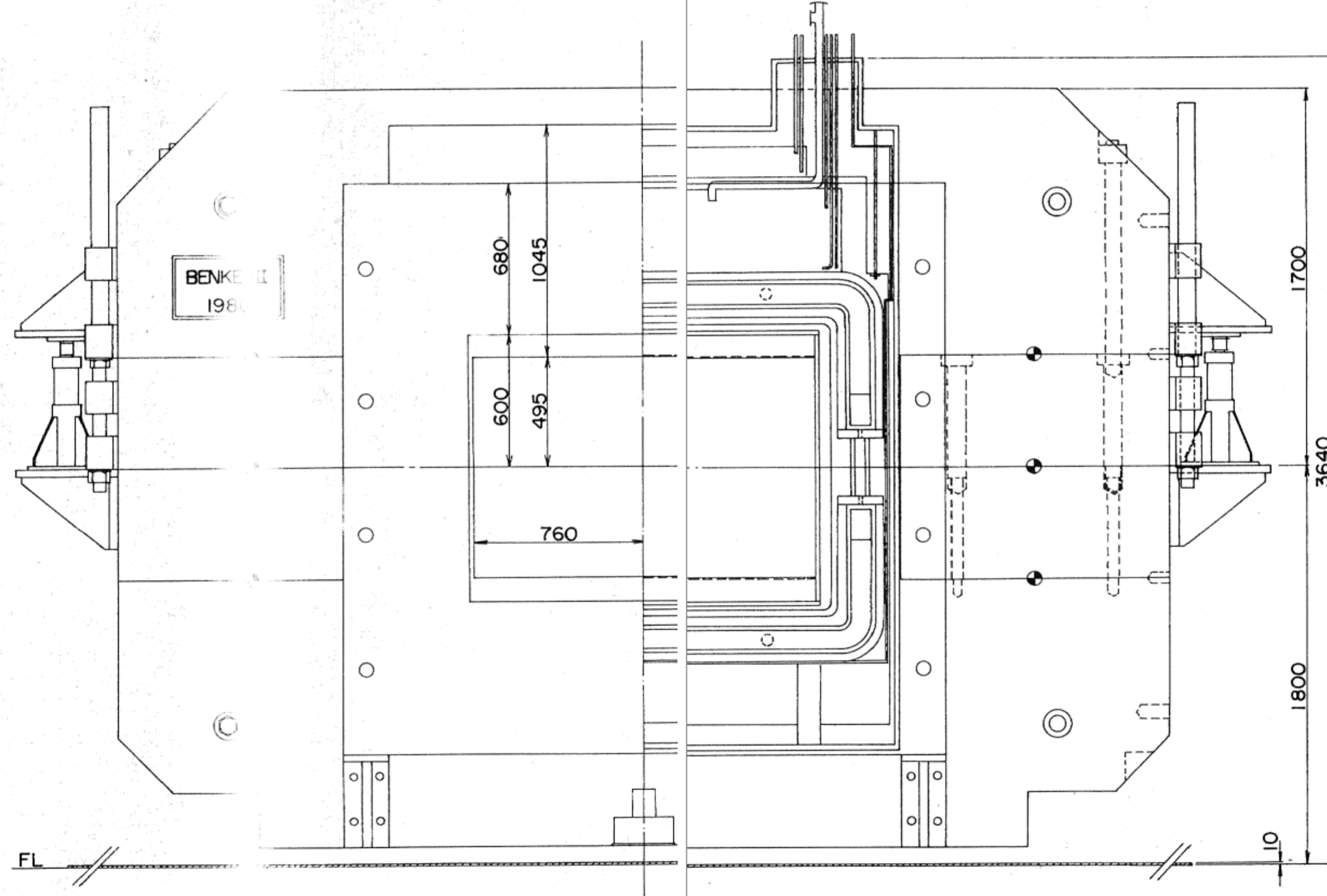
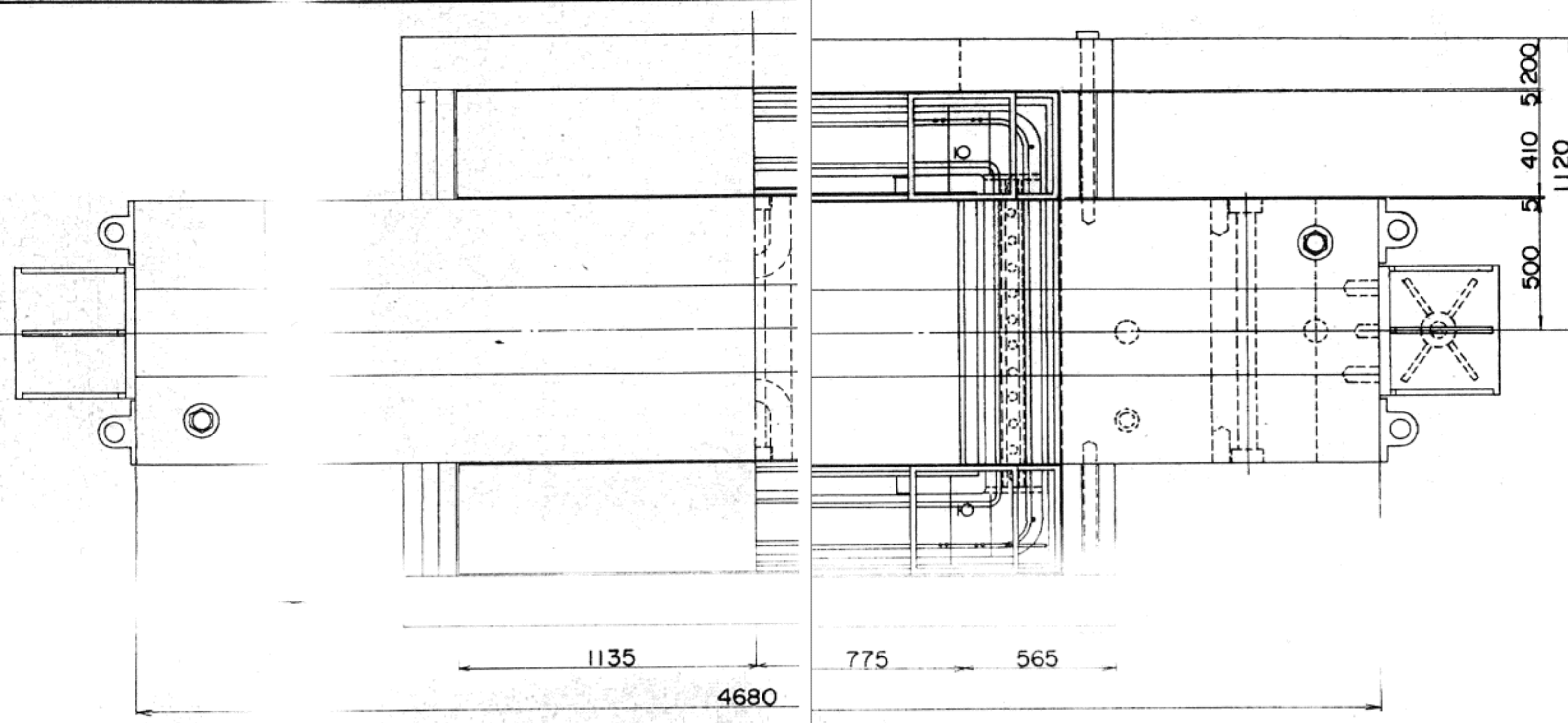
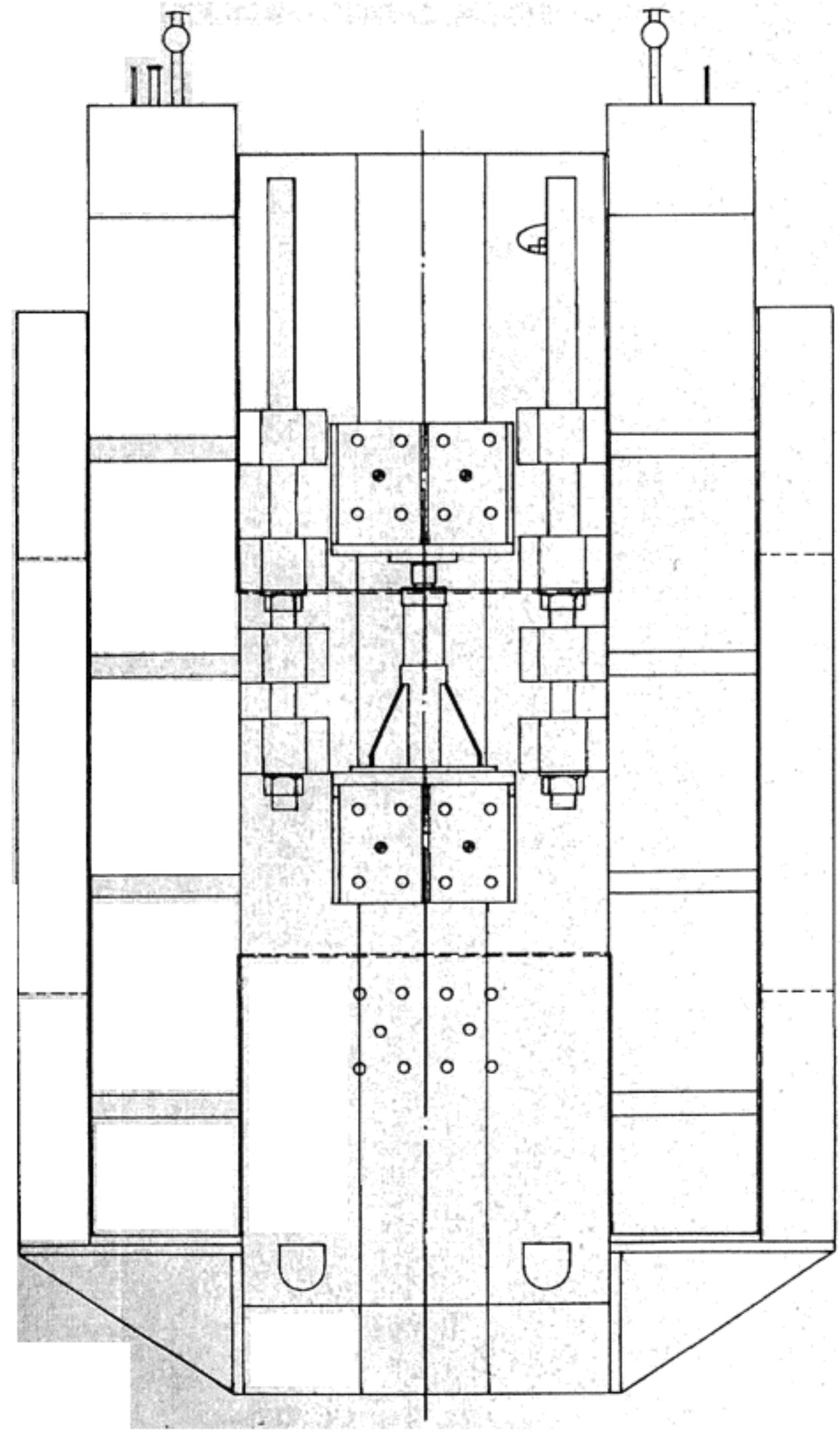
L-He貯液槽 : 300 l

L-N<sub>2</sub>貯液槽 : 120 l

超電導マグネット概略仕様

|  | SKS  | HISS                   | BENKEI                | CHICAGO<br>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 <sup>2</sup> ]  | 15×12  |                        | 14×9                  |                      |
| Conductor                              | NbTi/Cu  | NbTi/Cu                | NbTi/Cu               | NbTi/Cu              |
| Cond. Cross Section [cm <sup>2</sup> ] | 0.24φ×10<br>Strand or<br>0.35×0.25<br>Monolith | 1.19×0.4<br>Monolith   | 0.23×0.23<br>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 <sup>2</sup> ]   | 60   | 50                     | 56                    | 96                   |
| Radial Force [N/m]                     | 9.3×10 <sup>5</sup>                            |                        |                       | 2.7×10 <sup>5</sup>  |
| Vertical Force [N/m]                   | 2.9×10 <sup>5</sup>                            | 1.1×10 <sup>7</sup> N* |                       | 3.1×10 <sup>5</sup>  |
| 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                                     |
|------------------|----|----|------|--|
|                  |    |    | 1/20 | スペクトロメーター用超電導磁石<br>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

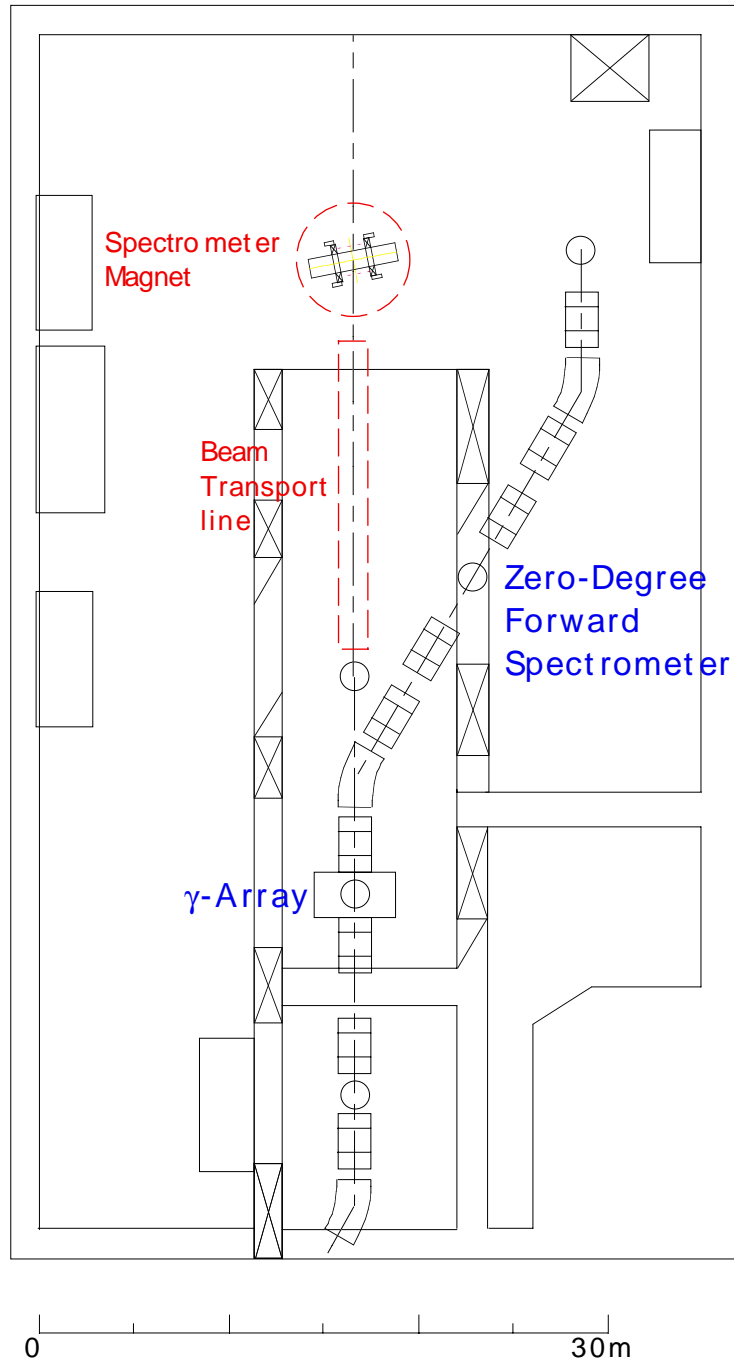
冷却系 / 方式 / 方針に関しては、さらに詳細な技術検討が必要

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。      |
| <b>合計</b> |                | <b>8,576</b> |                            |

- 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

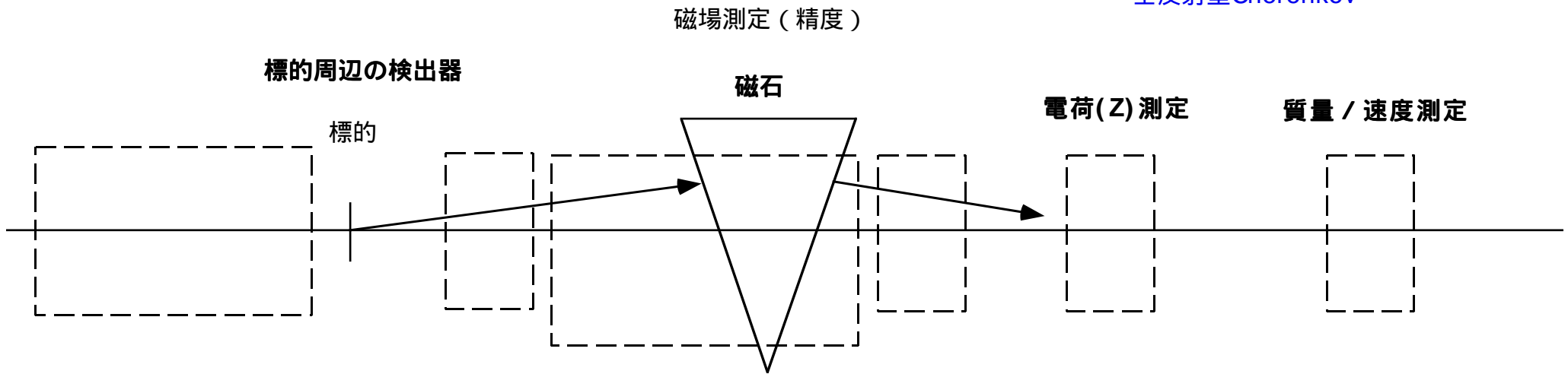
TQが2 - 3セット必要

( 2 ) SMART移設 / 偏極用磁石系との干渉 ( ? )

Plastic Scintillator

Ion Chamber

全反射型Cherenkov



**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

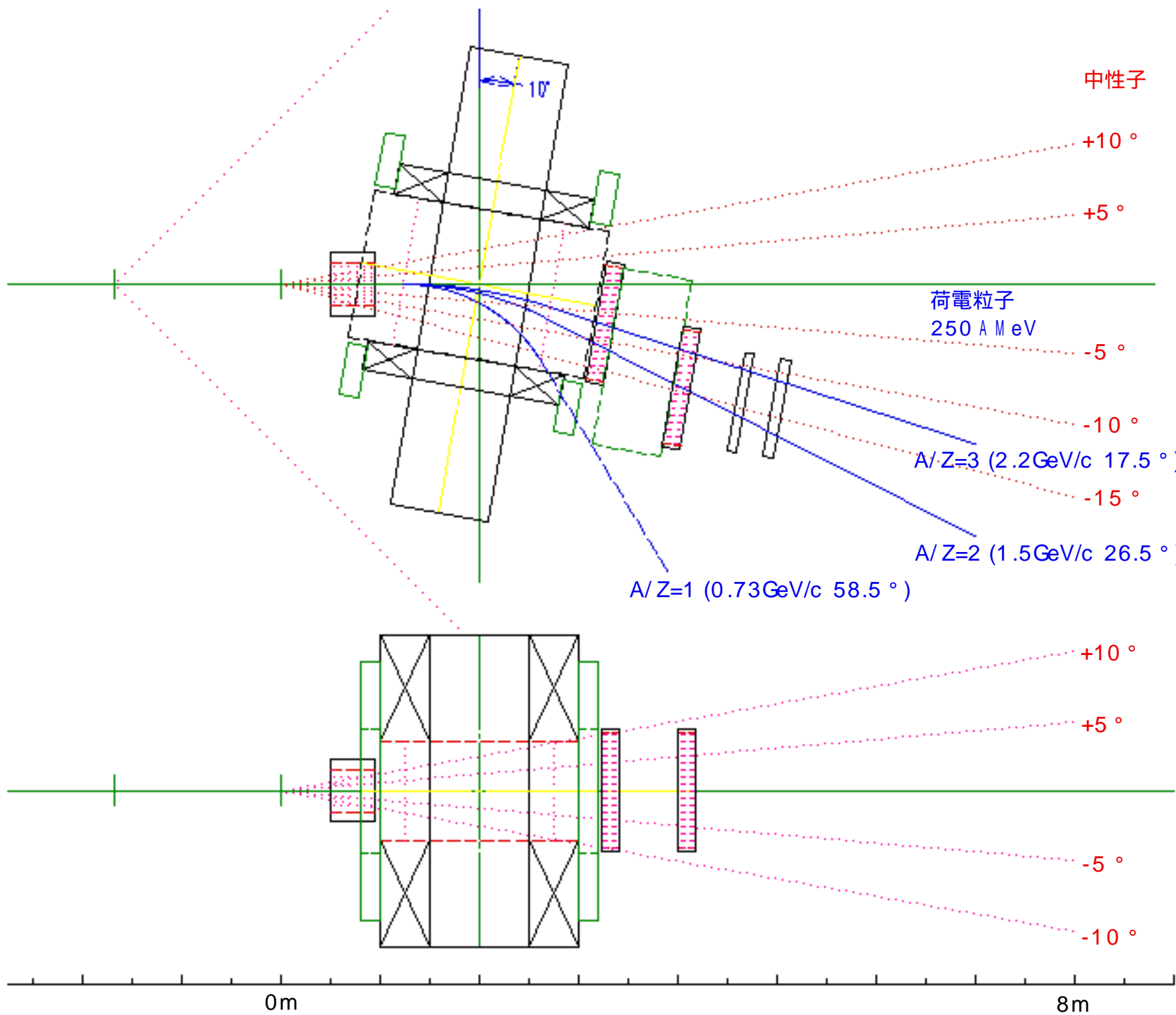
dynamic range ?

**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



荷電粒子  
 $A/Z=3$  250 A MeV  
 bend=17.5°

中性子  
 $H = -15^\circ \quad +10^\circ$   
 $V = \pm 10^\circ$   
 立体角：大

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



## 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

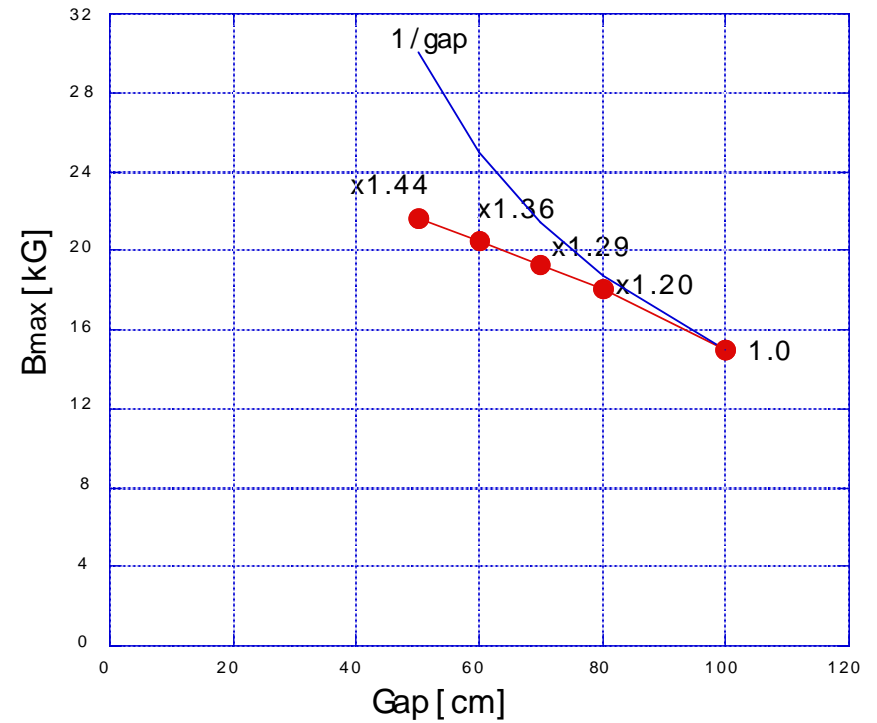
( 1 ) Gap=100cm 80cm で磁場は約20%増加

BL= 2.25 Tm 2.7 Tm

Gap変更により20%-30%の磁場強化は可能。

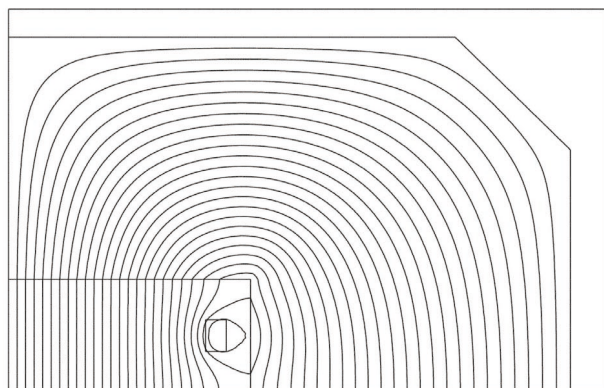
( 2 ) Window Frame型の長所である磁場一様性が劣化

テーパー 又は シム が必要



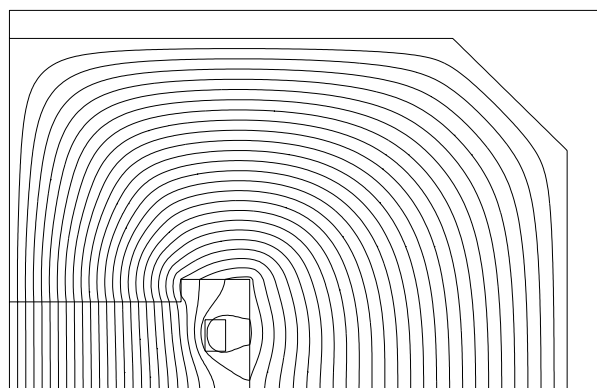
# Gap変更 と 磁場一様性

Gap = 100 cm (flat)



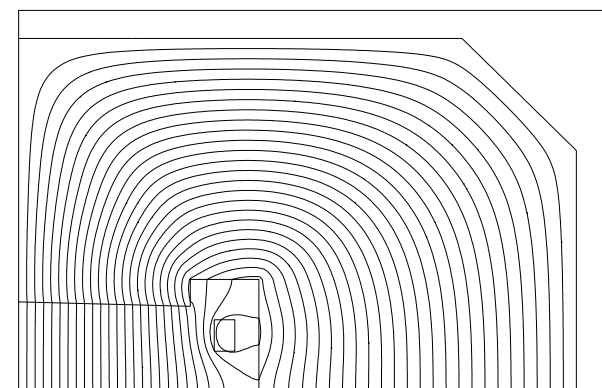
S. Benkei (SMAG01), uniform mesh, CYCLE = 2040

Gap = 80 cm (flat)

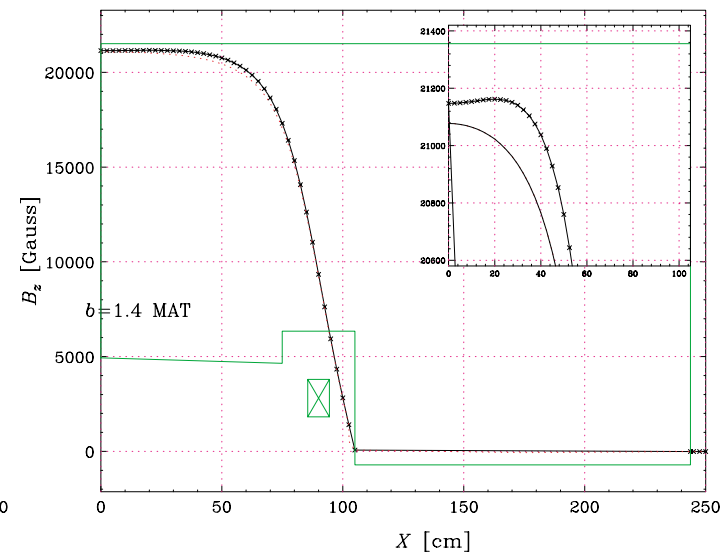
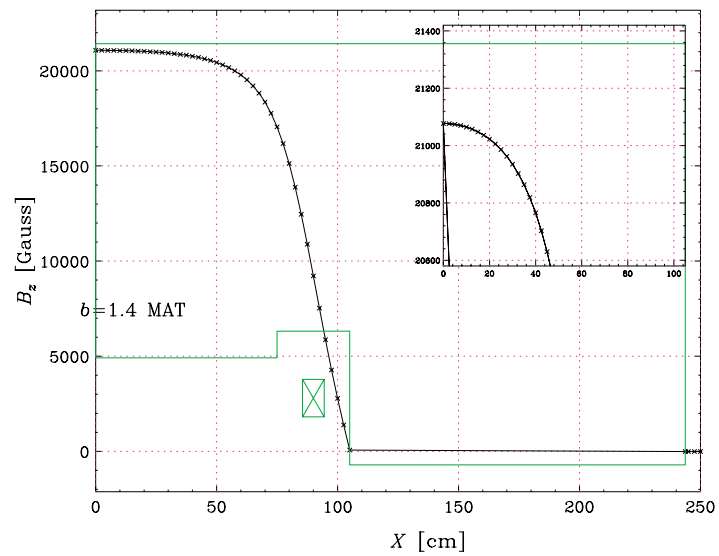
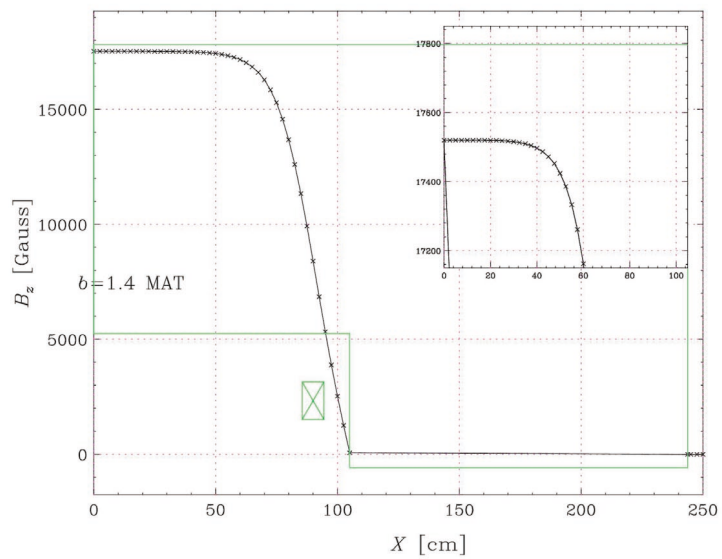


S. BenkeiR (SMAG02), uniform mesh CYCLE = 1420

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 $\mu$ m Au-W-Re

Field: 100 $\mu$ m Au-Al

配置： G XX'YY' XX'YY' G (128x8 anodes)

ガス： He+C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>

窓： 50 $\mu$ m Mylar x2

厚さ： L/L<sub>R</sub>=0.98x10<sup>-3</sup>

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

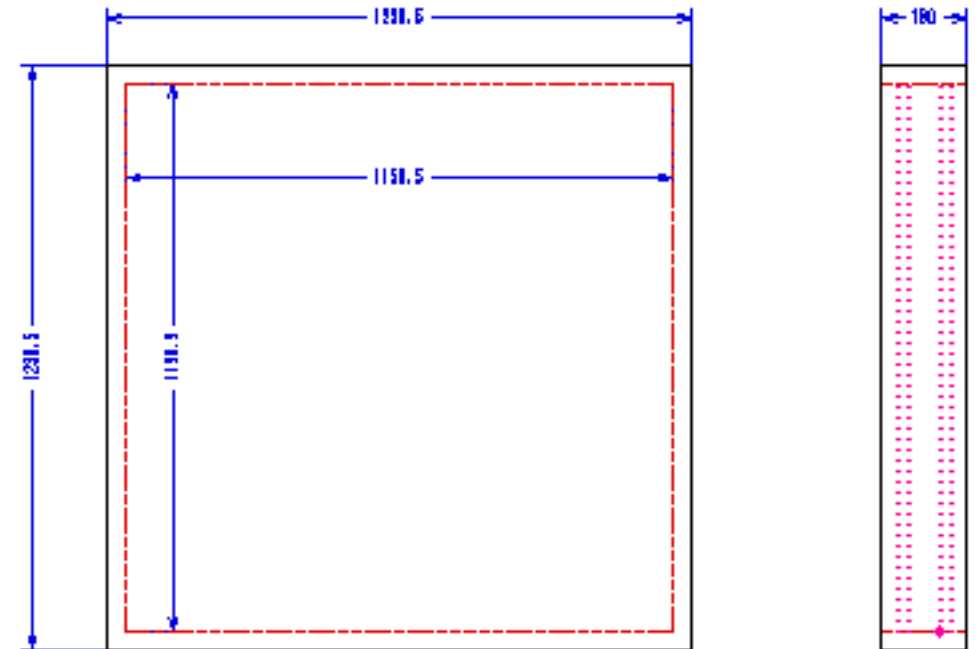
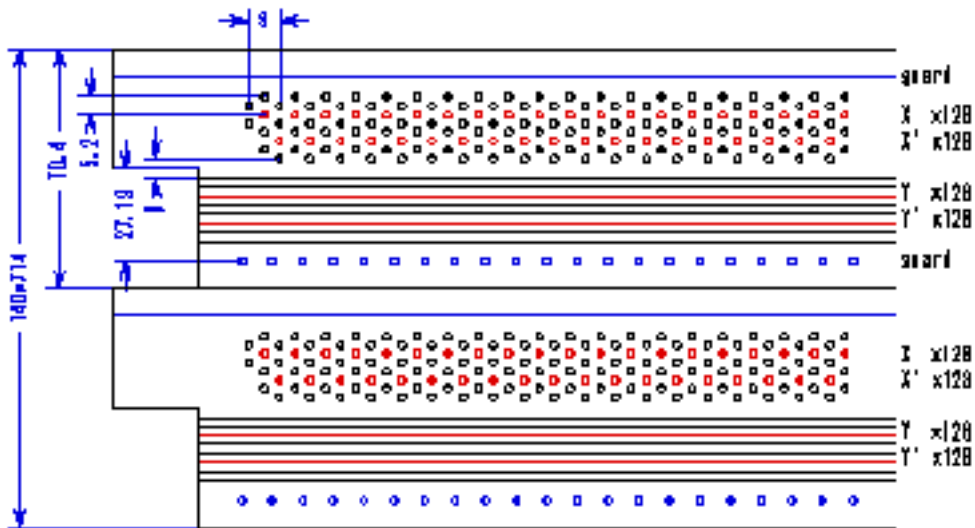
構造（断面）：

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

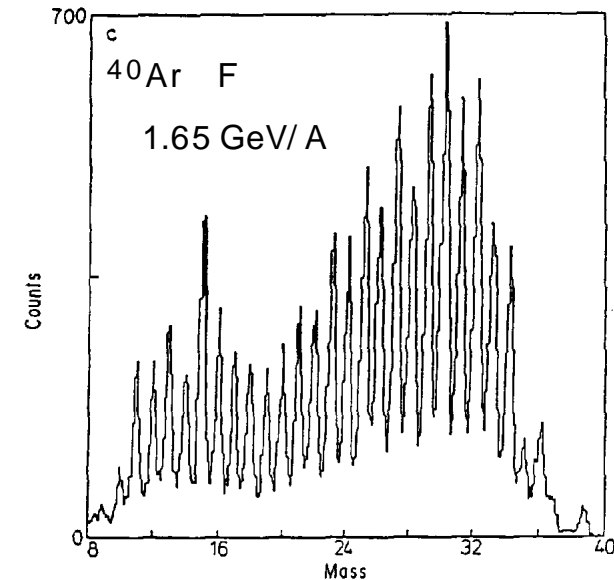
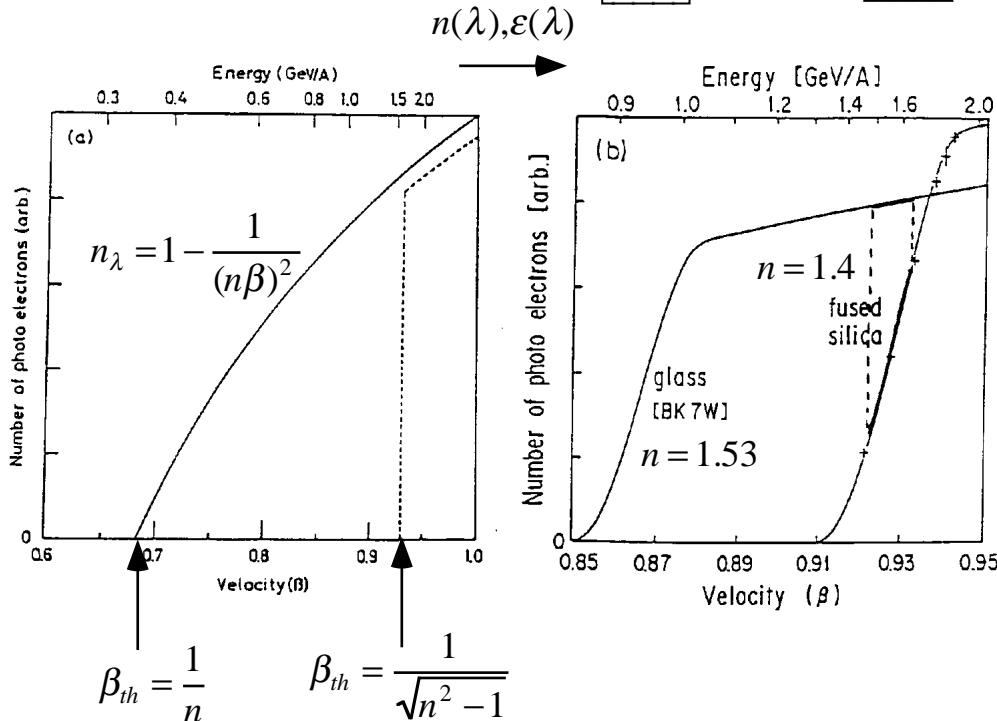
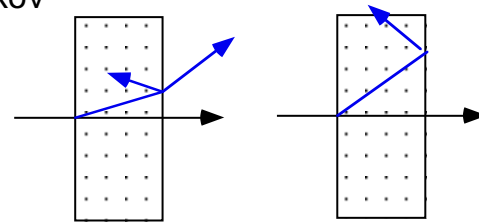
TOF法  $\sigma_T = 60 \text{ psec}$  @  $L = 10 \text{ m}$  (多分) がんばれば可能

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 m<sup>3</sup>  
(2.42L m : with Iron Endguard)
- Max. Fields at Coil : 3.5 Tesla
- Center Fields : 1.5 Tesla
- $\int B_y dz$  : 2.1 Tesla · m

Conductor

- Bare Wire: : 2.3×2.3 mm<sup>2</sup>
- Insulation : Formvar (30 μm)
- Cu/Sc: : 8
- Critical Current : 1000 A  
(at 42°K, 4T)

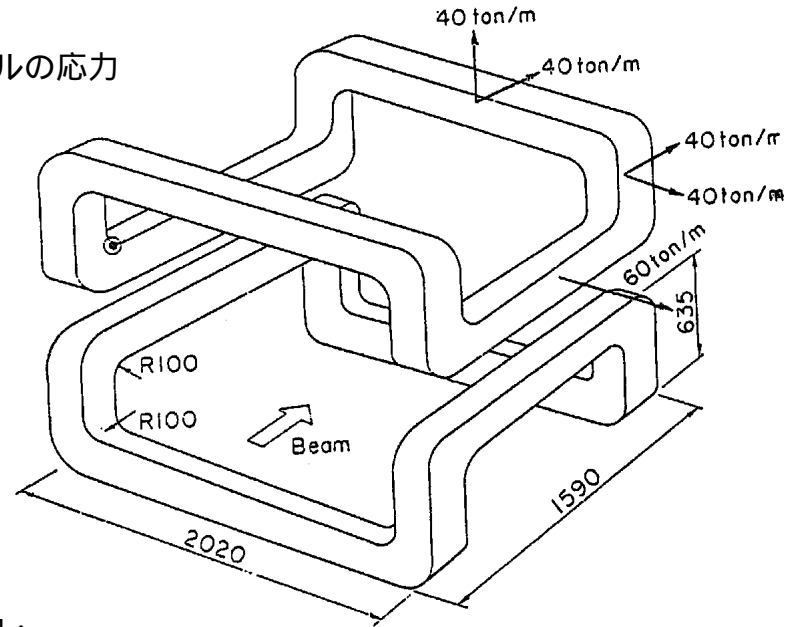
Coil

- Number of Turns : 2320
- Operational Current: : 610 A
- Current Density in Wire : 11.5 kA/cm<sup>2</sup>
- Stored Energy : 3.15 MJ
- Inductance : 17 H

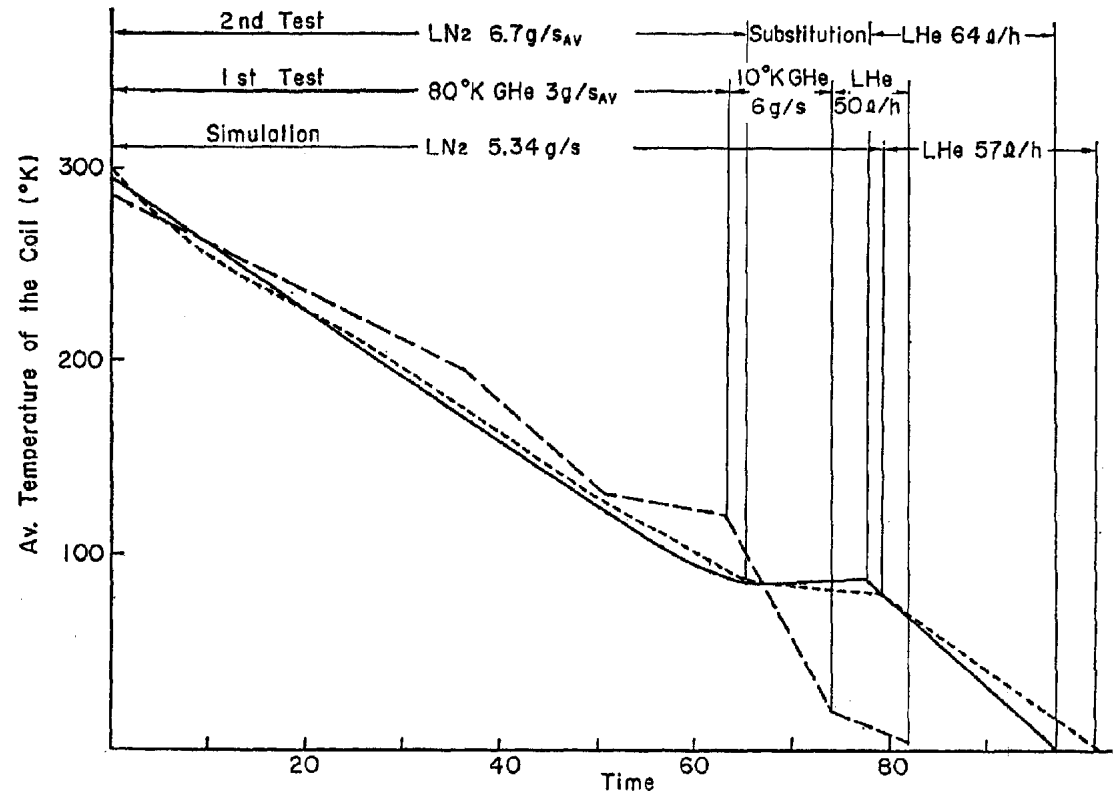
Cryostat

- Cold Mass : 5640 kg
- Total Mass : 16300 kg
- L-He Storage Tank : 300 l
- L-N<sub>2</sub> Storage Tank : 120 l
- Heat Leak : 7.5W

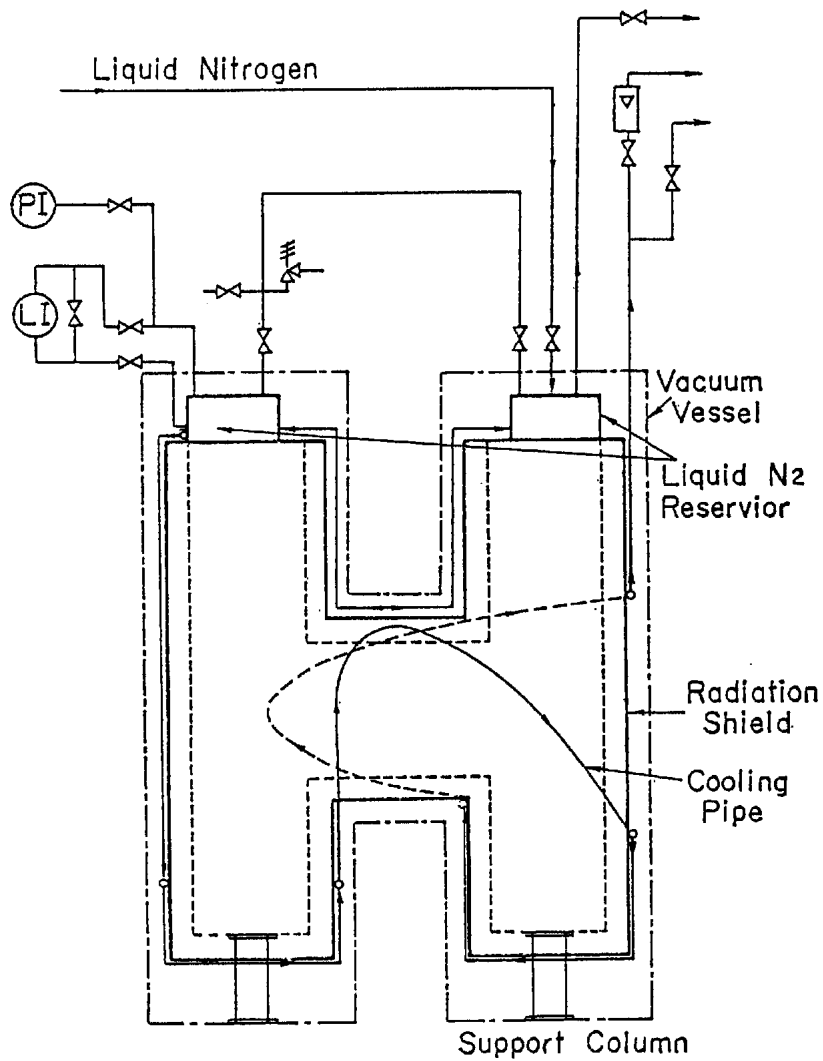
コイルの応力



冷却 :



液体窒素系 :



液体ヘリウム系

