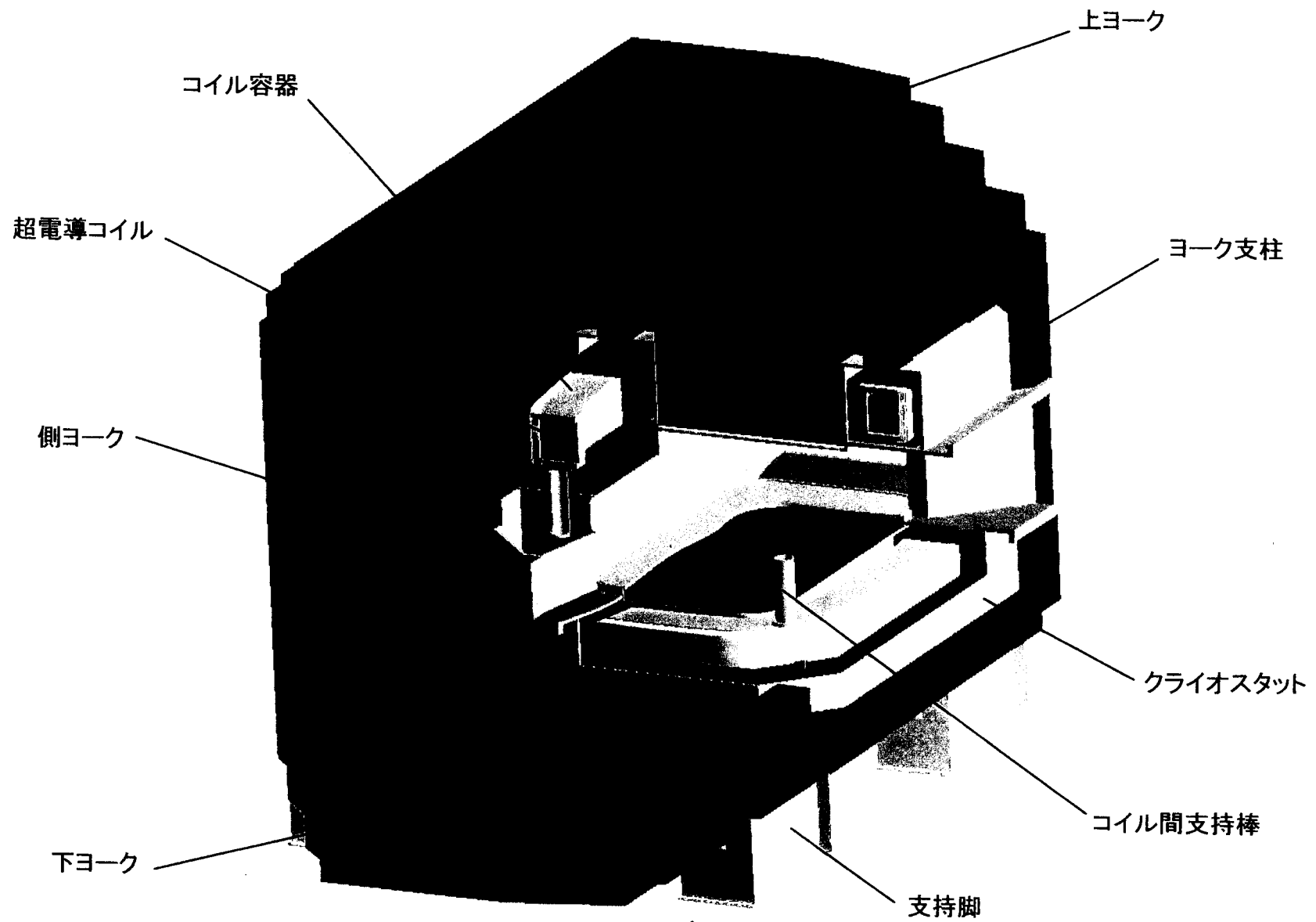


理化学研究所殿
大立体角スペクトロメータ
概念設計報告書

1999年5月

三菱電機株式会社



大立体角スペクトロメータ構造図

3 T超電導スペクトロメータ 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0.9m、長方形ポール/1.6m x 2.8m、長方形コイル、
コイル起磁力(4.4MA/2コイル)で中心磁界2.917T(計算結果)、
ヨーク/ポールの全重量620トン、磁気蓄積エネルギー36MJ
コイル最大経験磁界4.0T。

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)
960トン。

コイル1個に加わる垂直力600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(600トン)をコールドマス
内に閉じ込める。

x方向偏心電磁力 $F_{x1} = 73$ 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(側ヨークと反発する方向)であった。今回ヨークのコーナ面取
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を

F_{x2} とすれば、 $F_{xx} = (F_{x2} - F_{x1}) / 10\text{mm}$

$= (-50.6 - (-72.7)) / 10 = 2.2$ 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。

$F_{yy} = F_{xx} * (\text{ポール短辺長さ} / \text{ポール長辺長さ}) = 2.2 * (1.6\text{m} / 2.8\text{m}) = 1.3$ トン/mm。

コイルの断熱サポート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、サポートの設計としては
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4.45m(x) * 6m(y)、高さ5m(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 $B_0 = 2.917\text{ T}$ by $2.2\text{ MA} \times 2\text{ coils}$ 。
- 図7-1～7-3： $z = 0, 0.2, 0.4\text{ m}$ 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 $2.1 \sim 2.2\text{ T}$ 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元素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）。

RIKEN SC. Spectrometer for RIBF

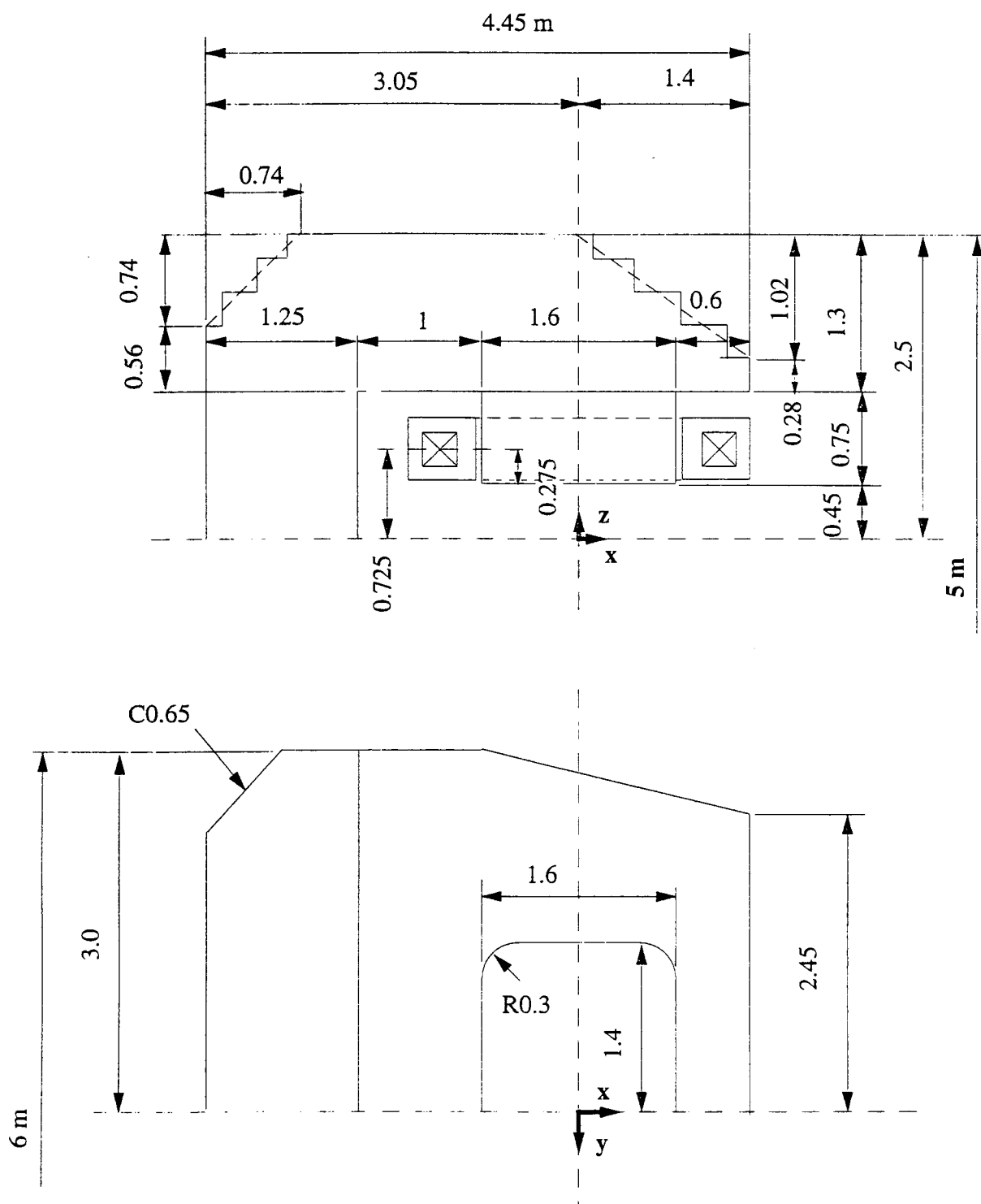
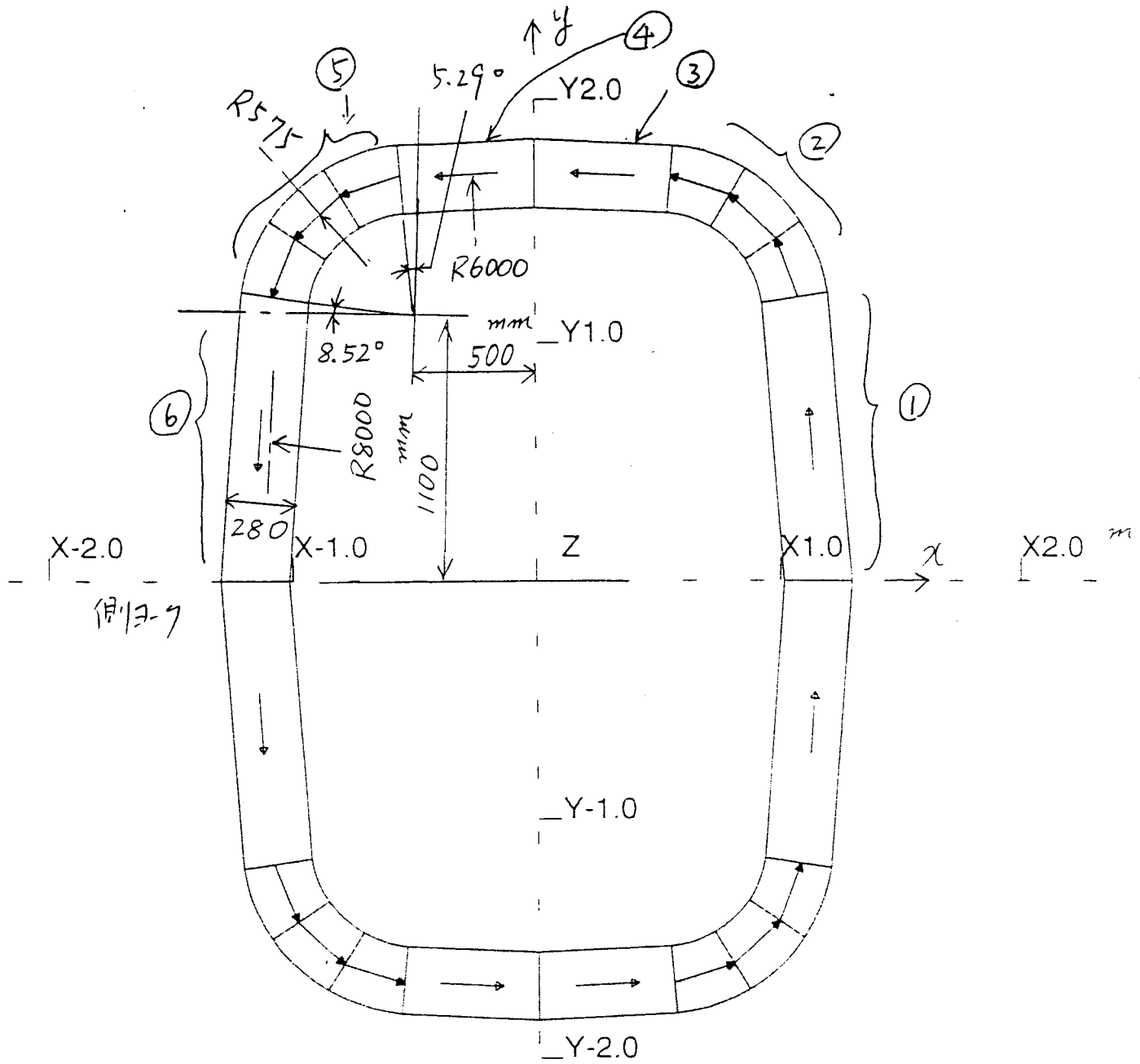


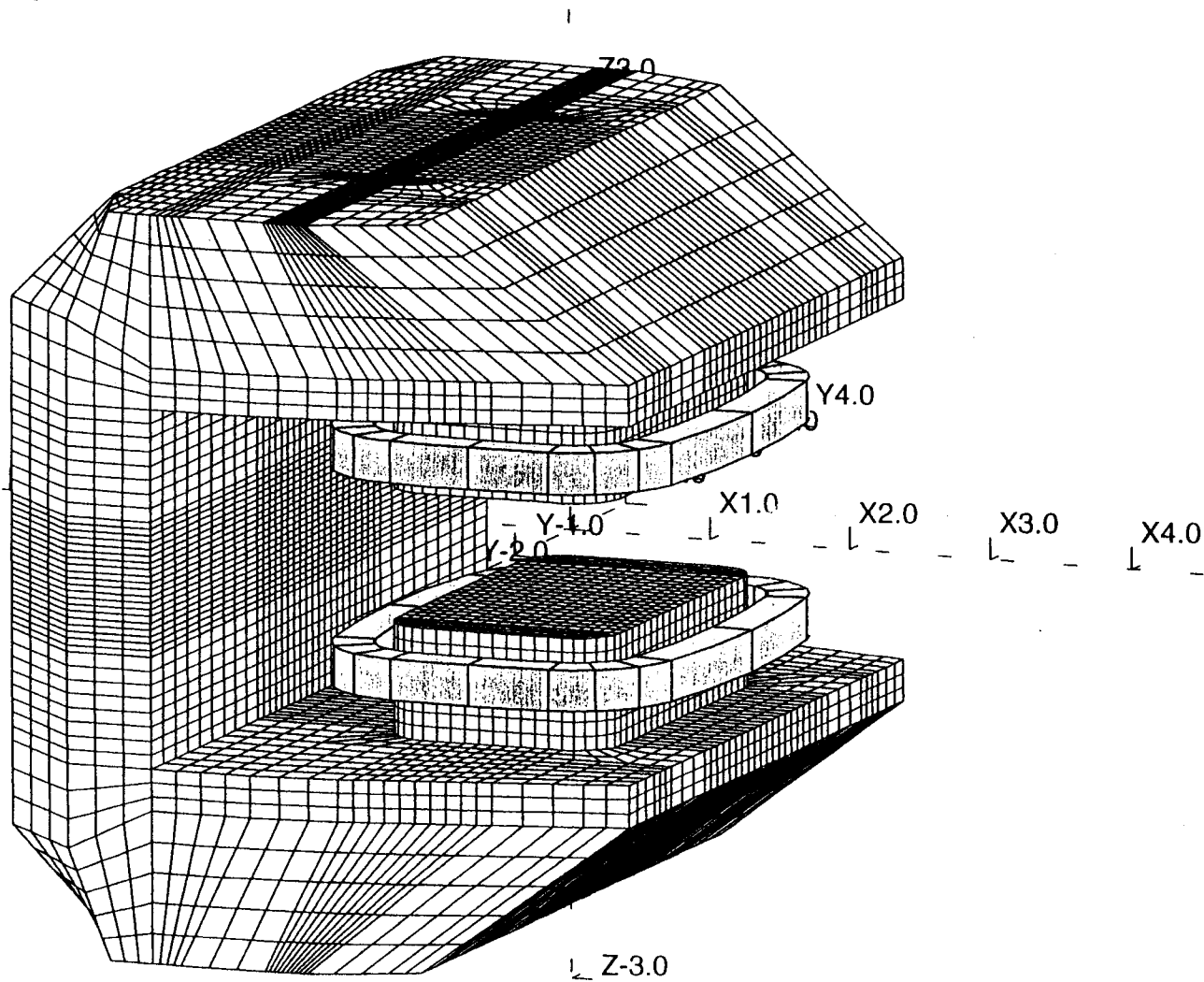
図 1. 電磁石寸法図



1 / 2 コイルの電磁力 (by 2.2MA)

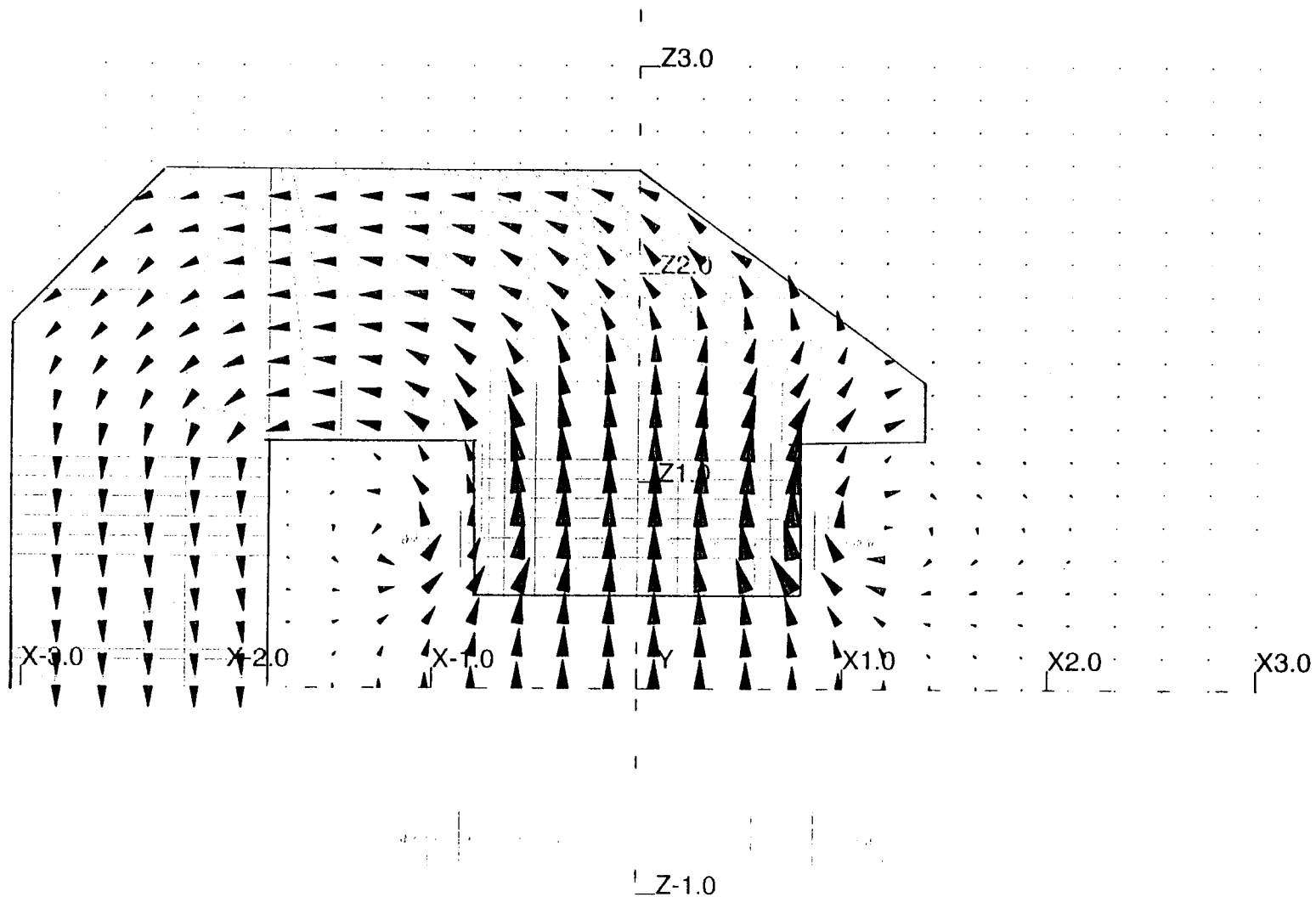
コイルNo.	F _x (トン)	F _y (トン)	F _z (トン)	F _{xy} (トン)
1	234.5	17.75	81.1	235
2	108.35	115.3	43.05	158
3	5.5	115.5	33.05	116
4	-5.55	117.0	33.4	117
5	-113.5	119.9	41.3	165
6	-247.4	18.8	68.7	248
1 / 2 コイル合計	-18.1	504	301	1039

図2. コイル寸法図と電磁力



1-5

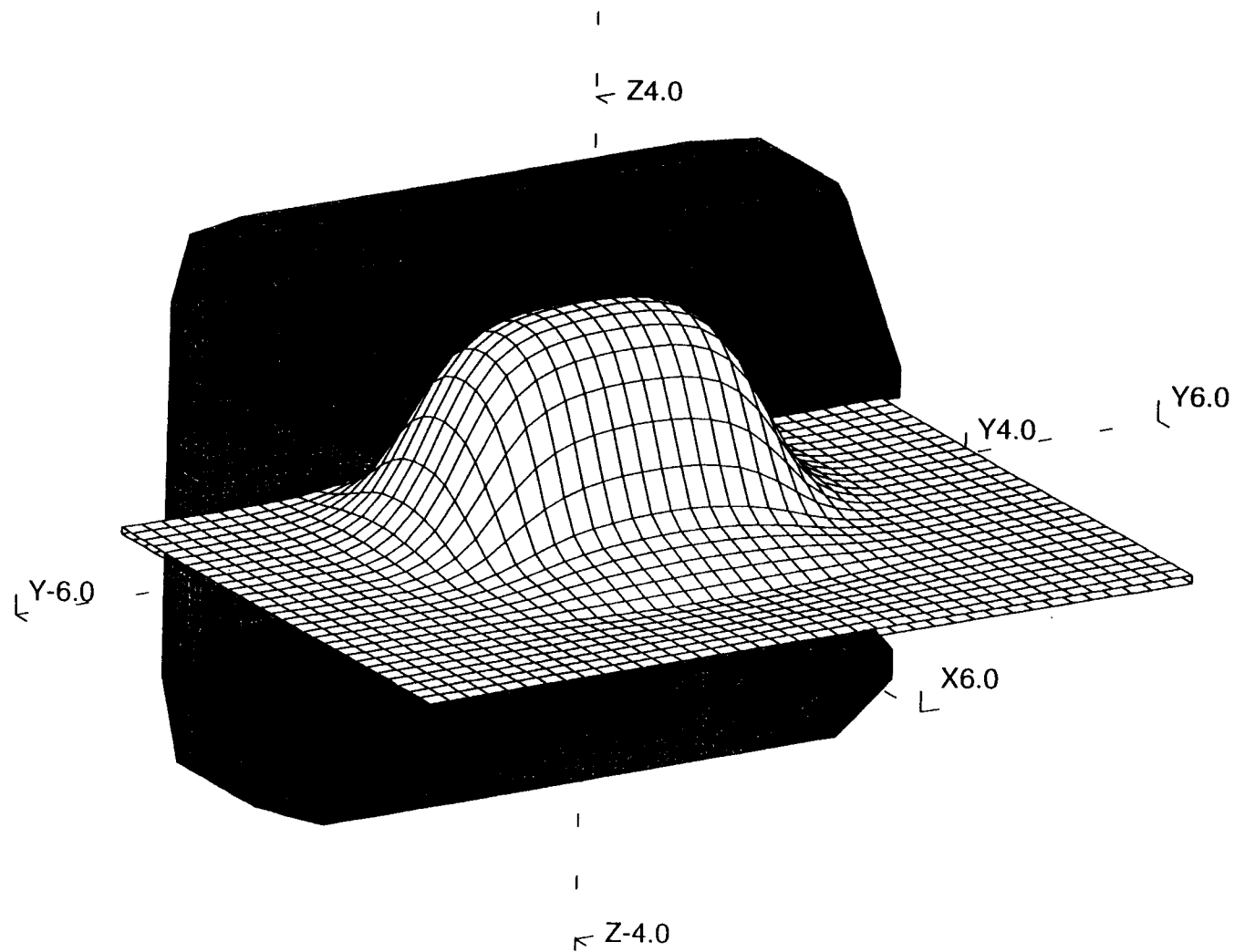
図3. 電磁石全景 (計算メッシュ図)
(実際の計算はこの1/4領域)



1-6

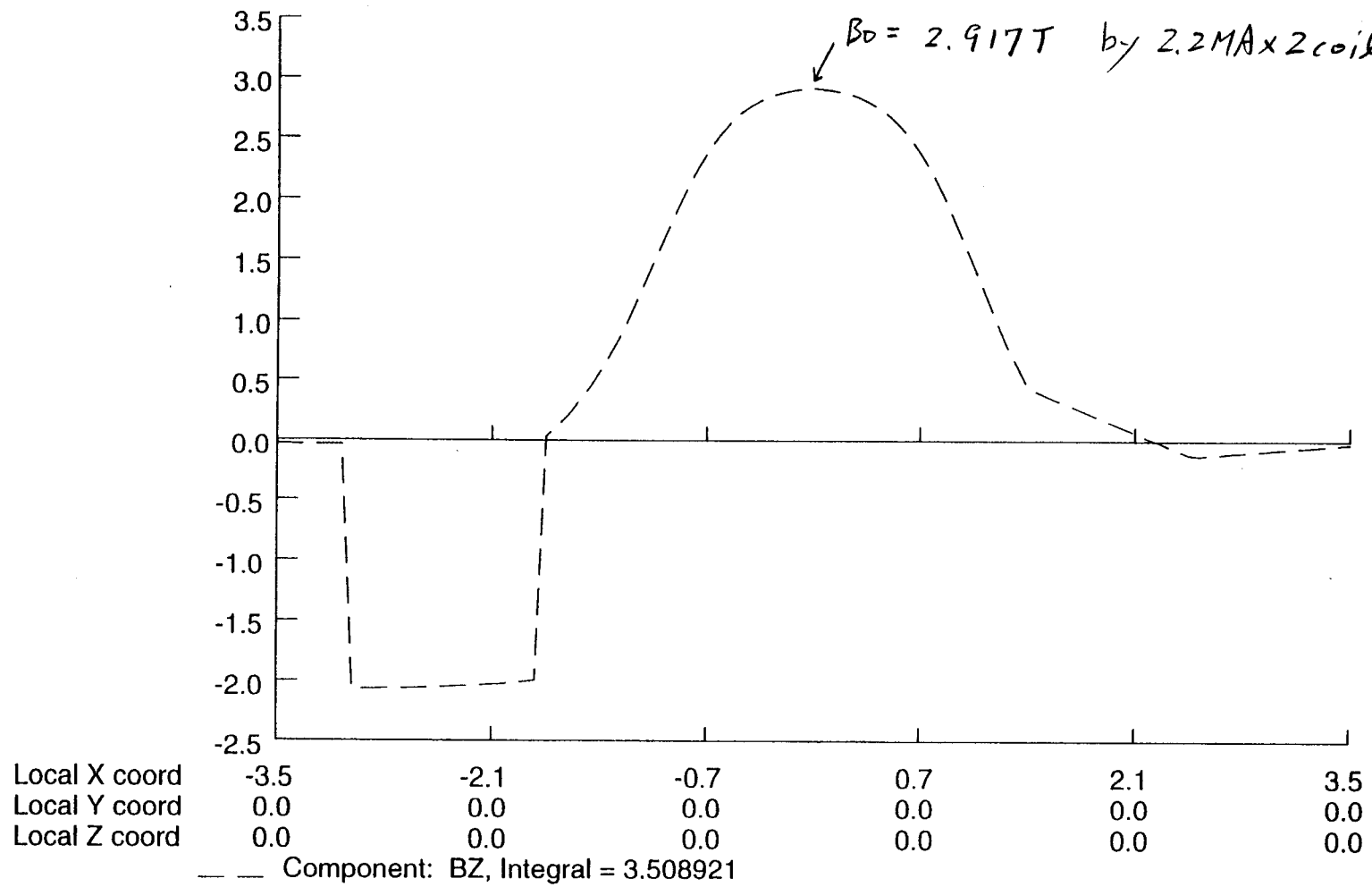
図4. 磁界ベクトル図

$x=-1.5\sim+4m, y=-4\sim+4m, z=0m$



Component: BZ
Minimum = -0.127807, Maximum = 2.913856

図5. ミッドプレーン磁界分布の3Dイメージ図



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	
spec9905.toscab	
TOSCA analysis (nl)	
Magnetostatics	
Case No 1	
80500 elements	
85916 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

図6-1. x軸上の磁界Bz分布

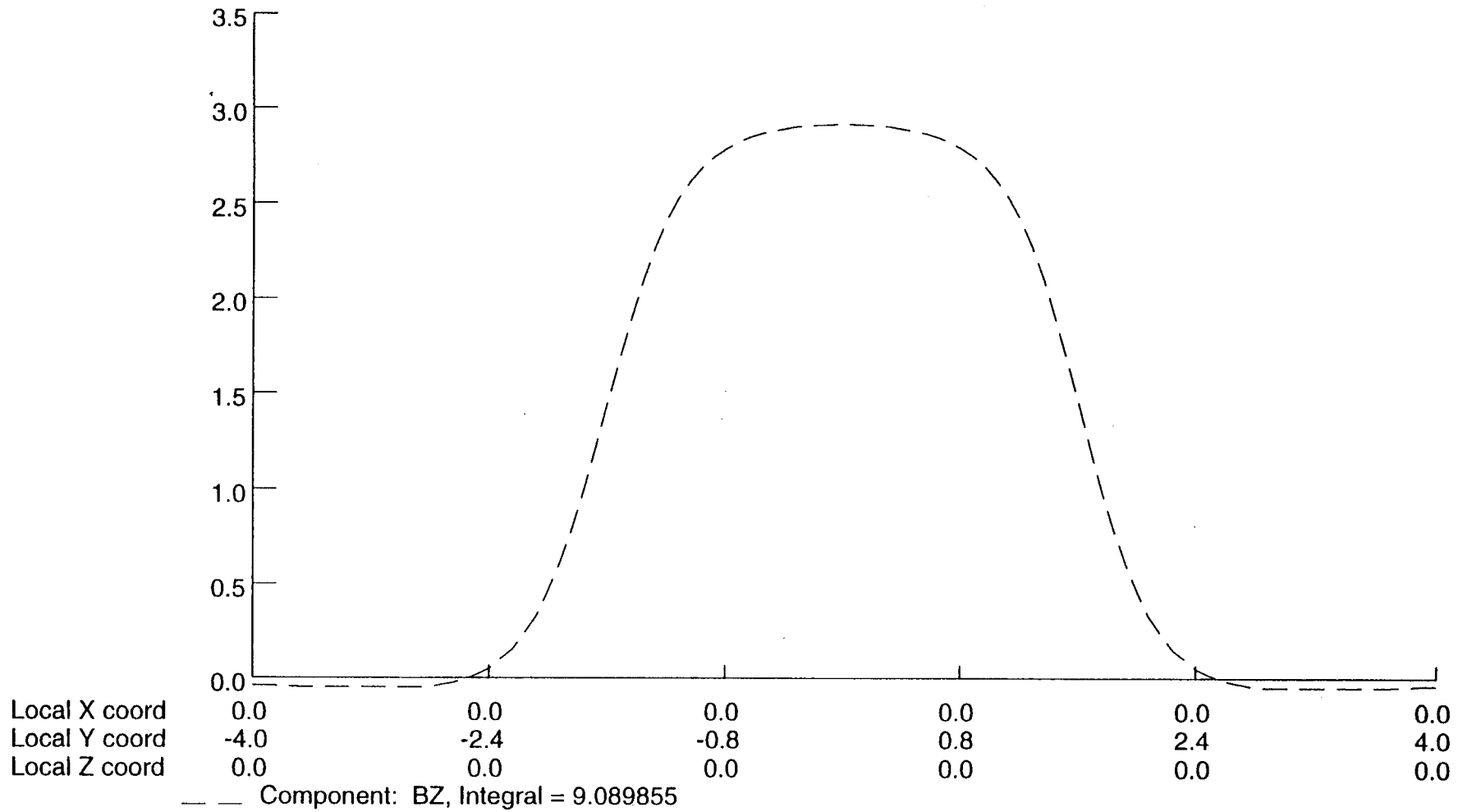
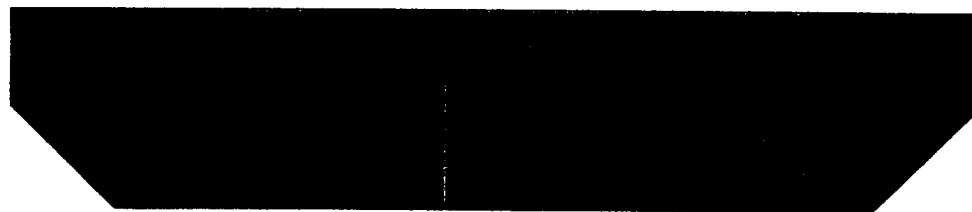
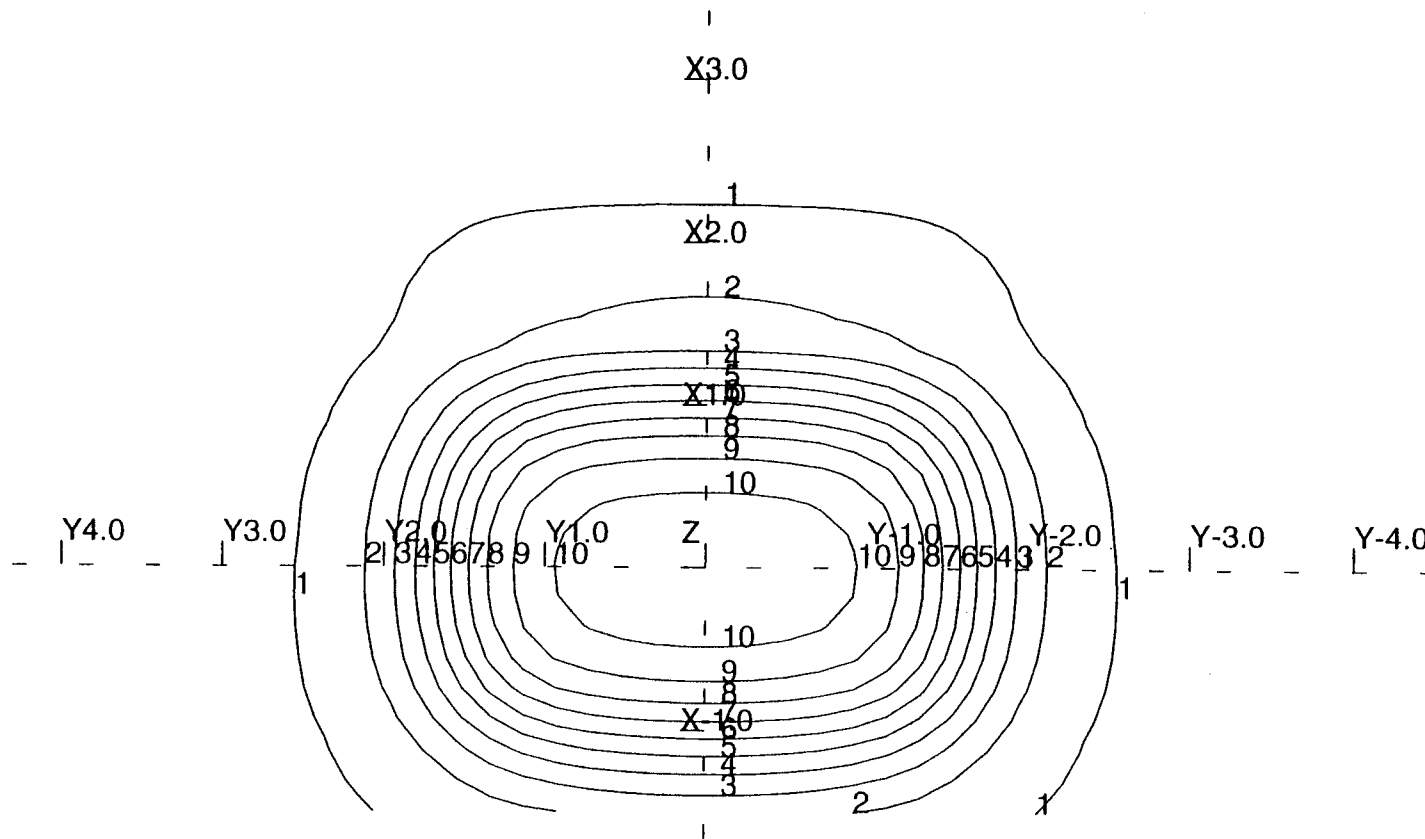


図6-2. y軸上の磁界Bz分布

on z=0m, Line No.1=0.0T, No.11=3.0T



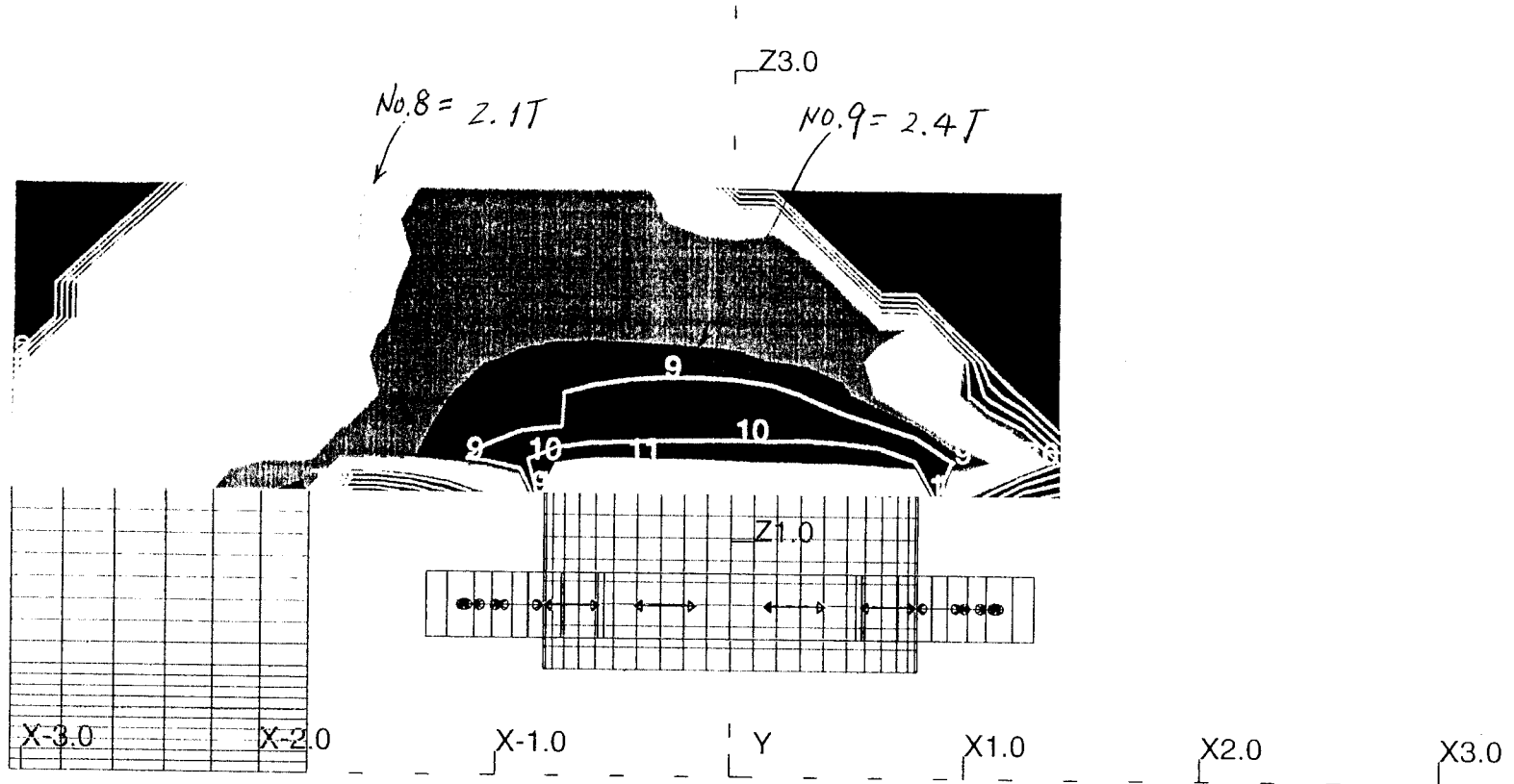
例7-7

1-10

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

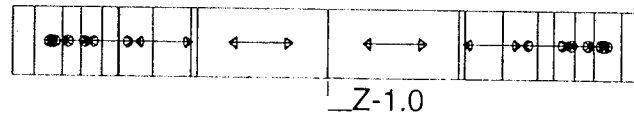
図7-1. 磁界Bzの等高線図 (z=0m上)

on y=0, magnet center



Line No 1 = 0T

" No. 11 = 3T



Component: BMOD
 0.0 Component: BMOD 1.5 3.0
 Minimum: 0.0, Maximum: 3.0, Interval: 0.3

図 8-2. ヨーク中の磁界分布

1-15

on y=0, magnet center

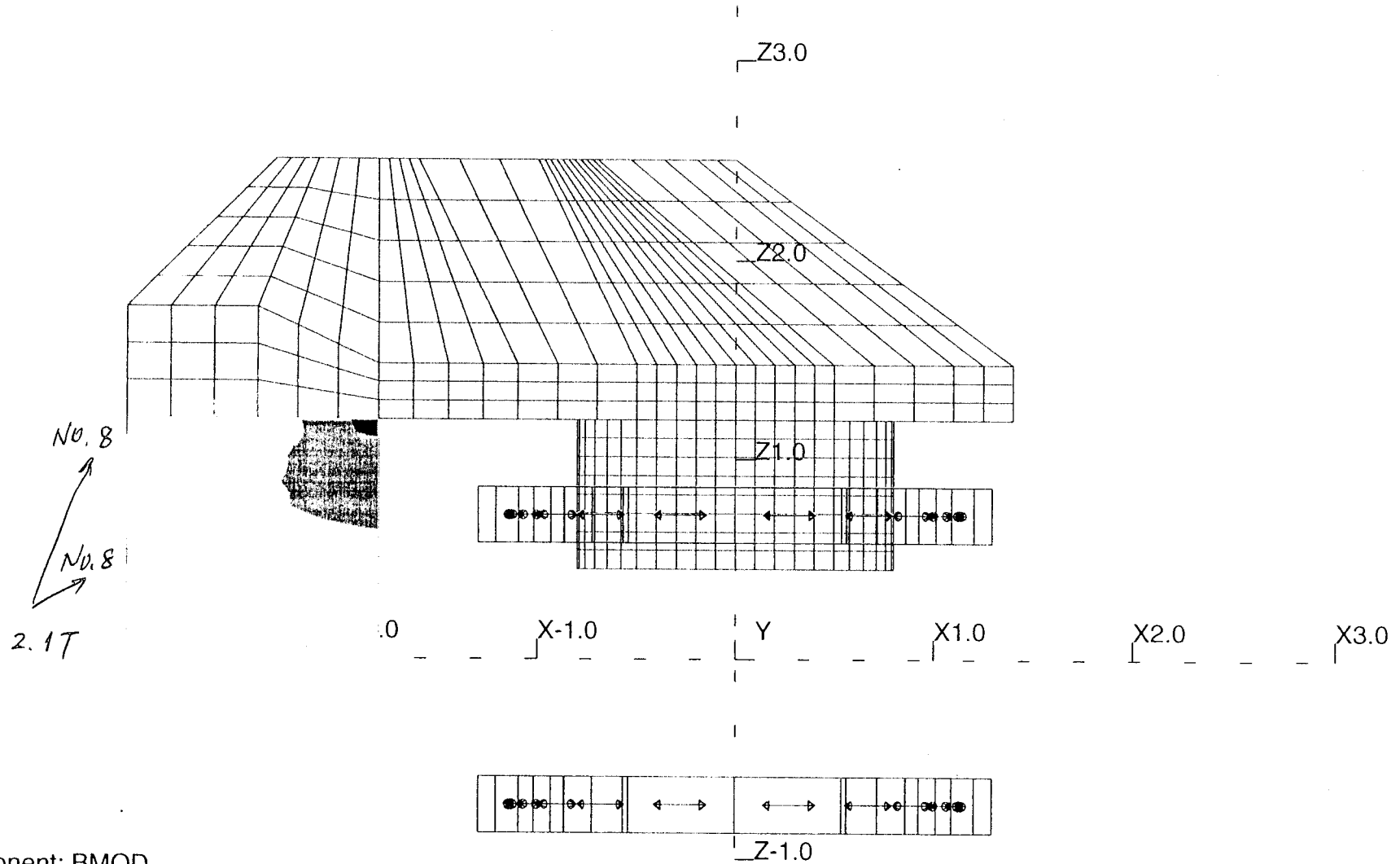


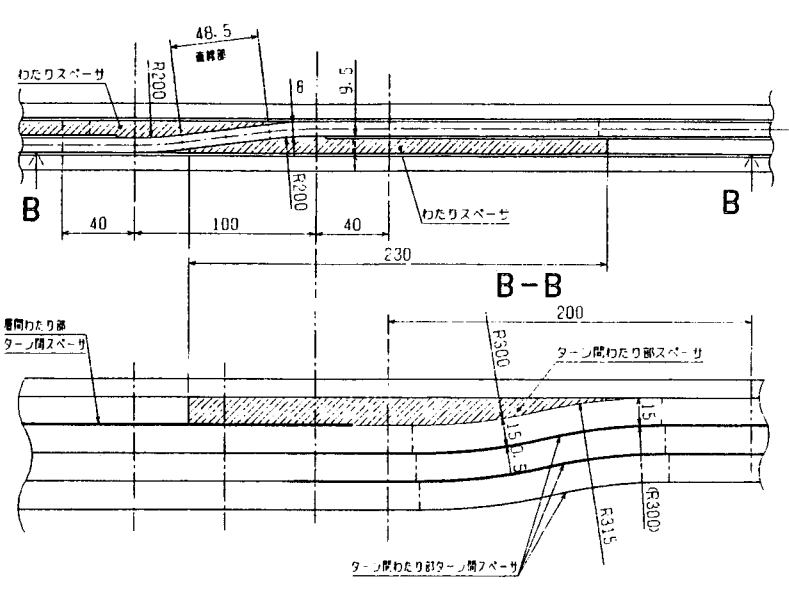
図 8-3. ヨーク中の磁界分布

AK65064

わたり部区分説明

- ターン間わたり (時計回りで上へ)
- ターン間わたり (時計回りで下へ)
- 層間わたり (上側)
- 層間わたり (下側)

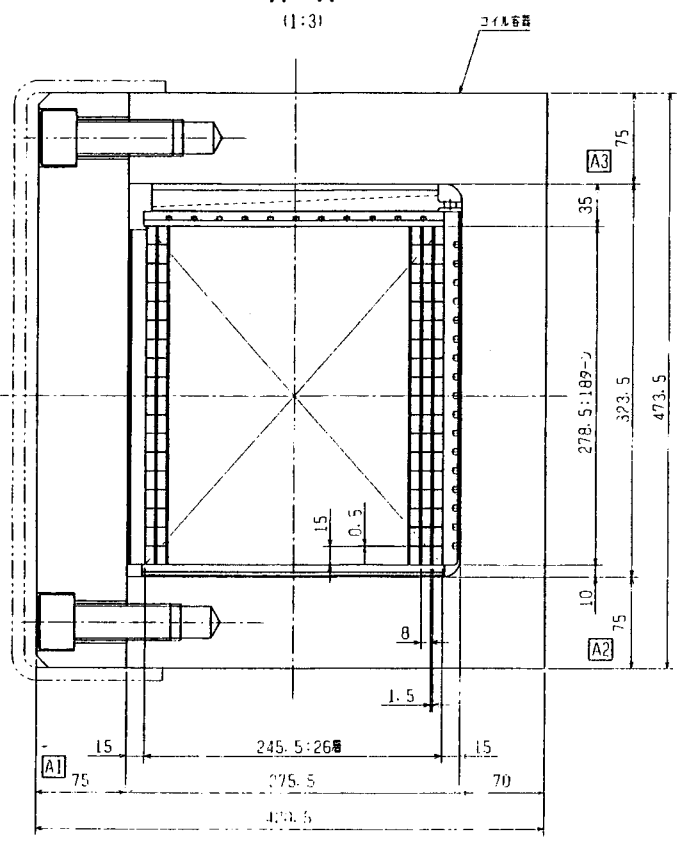
わたり部隔詳細 (1:2)



6層ターン間わたり部

20層ターン間わたり部

A-A (1:3)



400.201
FACI
E-070-01
99-5-24

日立造船

設計: 山本 隆
図面: 山本 隆
承認: 山本 隆
99-5-24

99-5-24
山本 隆
E-070-01
99-5-31

2. 3 コイル容器強度検討(ポールサイズ 2.8m×1.6m)

ポールサイズが 2.8 m×1.6 mに変更後のマグネットの電磁力によるコイル容器の強度解析を行いました。その結果コイル容器の厚みを、内径側 70 mm その他 75 mm の SUS 板とした場合のたわみ最大値は 3.0 mm, Mises 応力最大値はコイル間サポートの位置で 43.9 kgf/mm²となりました。

箱形コイル容器としての曲げ剛性の確保については、「2. 4 ピン結合形コイル容器の検討」に記載します。

2.3.1 強度計算概要

(1)計算コード：ANSYS ver.5.4

(2)モデル概要

計算モデルについて図 1,2,3,4 に示します。容器の 1/4 をモデル化しました。

①コイル容器の板厚：70 mm + 75 mm (図 1)

②使用電磁力：「1. 電磁界検討」の電磁力を基に、コイル容器壁面に分布荷重として加えました。表 2 に示します。

③使用物性値

ヤング率：20000 kgf/mm²

ポアソン比：0.3

2.3.2 計算結果

結果を下表に、また結果について変形図を図 5 に応力分布を図 6, 7 に示します

表 1：コイル容器強度計算結果

項目	数値	
容器厚	75mm+70mm(1ヶ所)	
たわみ	X 方向	2.9 mm
	Y 方向	-0.9 mm
	Z 方向	0.8 mm
	最大	3.0 mm
最大応力 (Mises 応力)	表面	43.9 kgf/mm ²
	裏面	32.6 kgf/mm ²

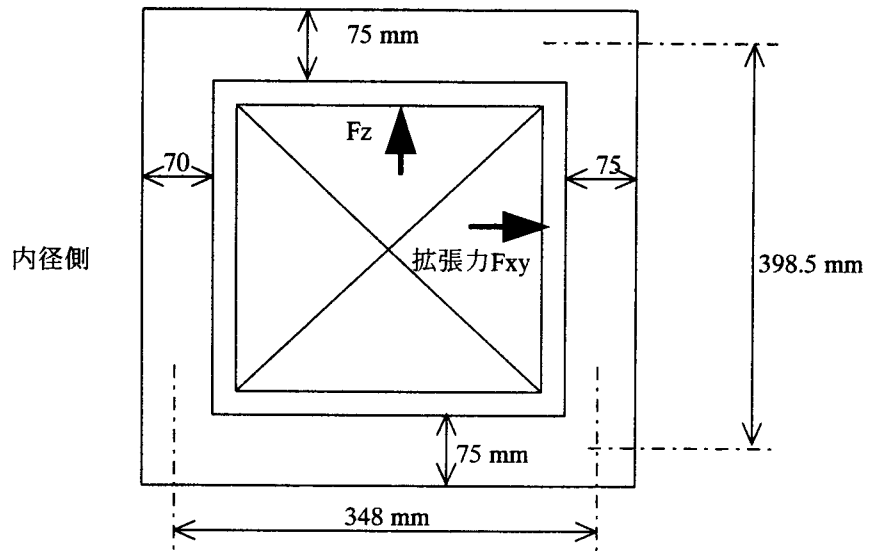


図1：計算モデル断面

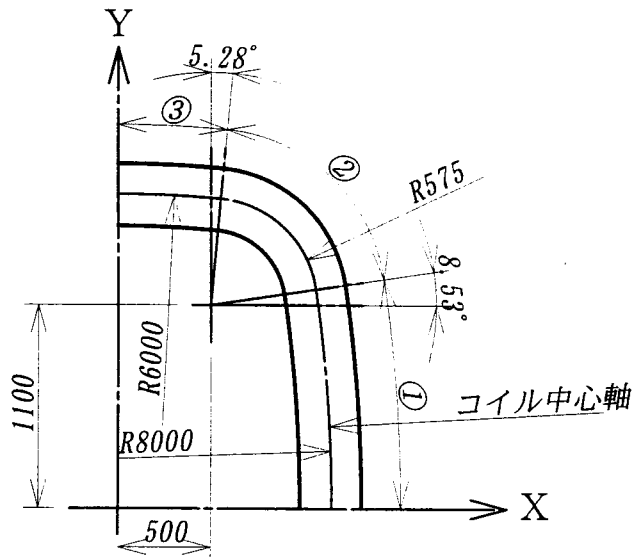


図2：計算モデル全体外形(単位：mm)

表3：計算に使用した電磁力

図1(b)での部位	①	②	③
Fxy(拡張力)：ton	248	165	117
Fz(反発力)：ton	81	43	33

注：計算にはコイル容器内面に作用する面圧として加えた。

2. 4 ピン結合型コイル容器の検討

(1)序

箱形コイル容器とU字形容器の拡張力 f_{xy} (電磁力)に対する曲げ剛性(断面2次モーメント)は、U字形が箱形に対し 1/2.5~1/3 に低下するので箱形構造が必要である。



ピン結合により外側板とU字形容器を一体化させ箱形と同等な曲げ剛性を得られないか検討する。

(2)ピンに加わる応力の計算式

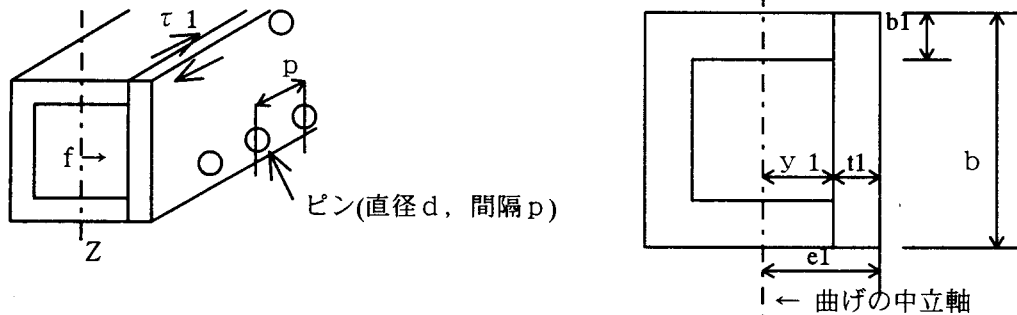
電磁力 f が加わりコイル容器に曲げモーメントが加わると外側板とU容器間にせん断力が働きピンにせん断応力が加わる。

外側板・U容器を一体とした場合に、U容器 b_1 に加わるせん断応力 τ_1 は①式で計算できる。

(S.Timoshenko 材料力学 参照)

$$\tau_1 = \left\{ V / 2 * b_1 * I_z \right\} * \int_{y_1}^{e_1} y \, dA = \left\{ V / 2 * b_1 * I_z \right\} * M_1 \quad \text{--- ①}$$

ここで I_z は箱形容器の断面2次モーメント、 V は全断面に加わる全せん断応力を示す。



①式右辺の積分項は外側板の断面1次モーメントで

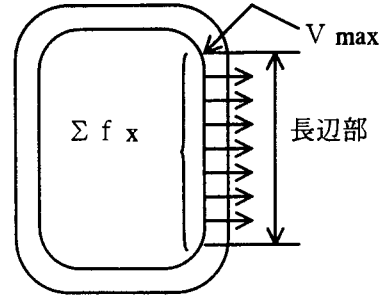
$$M_1 = \int_{y_1}^{e_1} y \, dA = \int_{y_1}^{e_1} y \, b \, dy = (b/2) * (e_1^2 - y_1^2) \quad \text{--- ②}$$

ピンの直径 d 、ピンのピッチ p とすると、ピンに加わる平均せん断応力 τ_p は次となる。

$$\tau_p = (\tau_1 * b_1 * p) / (\pi * d^2 / 4) = (V/2) * (M_1 / I_z) * p / (\pi * d^2 / 4) \quad \text{--- ③}$$

電磁力によるせん断応力の最大値は長辺部の端部に発生し

$$V = \Sigma f_x / 2 = 234.5 \text{ ton} * 2 / 2 = 234.5 \times 10^3 \text{ kgf}$$



外側板板厚 75 mm , 上板・下板板厚 75 mm , 内側板 70 mm の場合

$$I_z = 1/12 * (473 \times 421^3 - 323 \times 276^3) = 2.38 \times 10^9 \text{ (mm}^4\text{)}$$

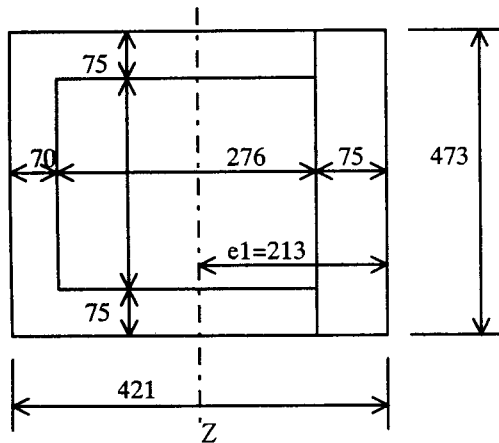
$$M_1 = 473/2 * \{213^2 - (213-75)^2\} = 6.23 \times 10^6 \text{ (mm}^3\text{)}$$

$$\begin{aligned} \tau &= (234.5 \times 10^3 / 2) * (6.23 \times 10^6 / 2.38 \times 10^9) * \{p / (\pi * d^2 / 4)\} \\ &= 307 * \{p / (\pi * d^2 / 4)\} \quad \text{————— ④} \end{aligned}$$

ピン直径 ϕ 44 mm , ピッチ $p = 150$ mm の場合 , ピンに加わる平均せん断応力 τ は

$$\tau = 307 * 150 / (\pi * 44^2 / 4) = \underline{30.3 \text{ kgf/mm}^2}$$

高強度ピンを使用することによりピン結合は可能である。



※コールドマス図「AK64228」に示すように、結合ピンのピッチ 150 mm の中間には、コイル容器締結用のボルトが配置される。

3. 1 熱負荷検討結果

検討結果のまとめを表1に示します。現時点での概算値を評価しました。

表1. 熱負荷概算値

対象	部位	熱侵入(W)	備考
液体ヘリウム槽 (コイル部)	輻射	16.6	
	支持構造伝熱	1.3	
	計測線伝熱	2.0	試算値
	合計	19.9	
対象	所要液体He量	熱量換算	備考
電流リード冷却	0.6 g/sec	51.8 W	4K冷凍能力所要値
対象	部位	熱侵入(W)	備考
80K熱シールド	輻射	196	
	支持構造伝熱	12	
	計測線伝熱	10	試算値
	合計	218	

3.1.1 熱侵入量評価詳細

(1)液体He槽(コイル部)

①輻射侵入熱

表2に示す諸元より以下の式にて評価した。

$$Q(\text{輻射}) = \varepsilon \times \sigma \times A_L \times (T_H^4 - T_L^4)$$

$$= 0.2 \times 5.67 \times 10^{-8} \times 35.7 \times (80^4 - 4.2^4) = 16.6 \text{ (W)}$$

表2：輻射侵入熱評価諸元

液体He槽表面積合計： A_L	35.7 m ²	現設計より計算
熱シールド温度： T_H	80 K	仮定
コイル容器温度： T_L	4.2 K	仮定
Stephan-Boltzman定数： σ	$5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)$	定数
実効輻射率： ε	0.2	仮定

②支持構造伝熱

表3に支持構造からの侵入熱の内訳を示す。

表3：支持構造熱侵入内訳(80K→4Kとして評価)

方向	長さ(mm) L	断面積(mm ²) S	本数 n	熱伝導率積分値 $\int KdT(10^{-3} \text{ W/cm})$	熱侵入量(W) $P = \int KdT \times S/L$
X方向	317.5	600	8	194	0.756
Y方向	617.5	1000	8	194	0.251
Z方向	283.2	1380	8	194	0.293
				合計	1.3

1)支持構造材質はGFRP板材とした。

2)熱伝導率積分値は「低温工学・超電導ハンドブック」に記載の数値を使用。

③電流リード

パワーリードを安定に通電するために必要なHe流量を、下記のように熱量に換算した。

パワーリードを安定に通電するために必要なHe流量 $m = 0.06 \text{ g/s/kA}$

通電電流4700Aより、約 5 kAとして必要なHe流量Mは

$$M = 0.06 \text{ g/s/kA} \times 5 \text{ kA} \times 2(\text{往復}) = 0.6 \text{ g/sec LHe}$$

これをHe冷凍システムの冷凍能力に換算すると

$$Q_{PL} = 0.6 \text{ (g/sec)} \times 3600 \text{ (sec/hr)} / 125 \text{ (g/L)} \times 300 \text{ W/100(L/hr)} = 51.84 \text{ W}$$

(2) 80K熱シールド

①輻射侵入熱

300Kより積層断熱材(SI)を介して侵入する熱量を以下の様に評価した。

熱シールド表面積 A_H : 65.4 m^2

SIを介した単位面積当たりの侵入熱 q_{SI} : 3 W/m^2 と仮定。

$$\text{輻射侵入熱} : Q = A_H \times q_{SI} = 65.4 \text{ m}^2 \times 3 \text{ W/m}^2 = 196 \text{ W}$$

②支持構造伝熱

表4に、常温部(300K)から熱シールド(80K)への支持構造を介した侵入熱の内訳を示す。

表4：支持構造熱侵入内訳(300K→80Kとして評価)

方向	長さ(mm) L	断面積(mm ²) S	本数 n	熱伝導率積分値 $\int KdT(10^{-3} \text{ W/cm})$	熱侵入量(W) $P = \int KdT \times S/L$
X方向	317.5	600	8	1796	7.0
Y方向	617.5	1000	8	1796	2.3
Z方向	283.2	1380	8	1796	2.7
				合計	12

1)支持構造材質はGFRP板材とした。

2)熱伝導率積分値は「低温工学・超電導ハンドブック」に記載の数値を使用。

3.1.2 支持構造バネ定数

上記3.1.1の(1)-②及び(2)-②の支持構造の設計にあたり、コールドマスの各方向のバネ定数を表5の通りとした。

表5：コールドマスの各方向のバネ定数

方向	バネ定数(kgf/mm)
X方向	7370
Y方向	6316
Z方向	19000

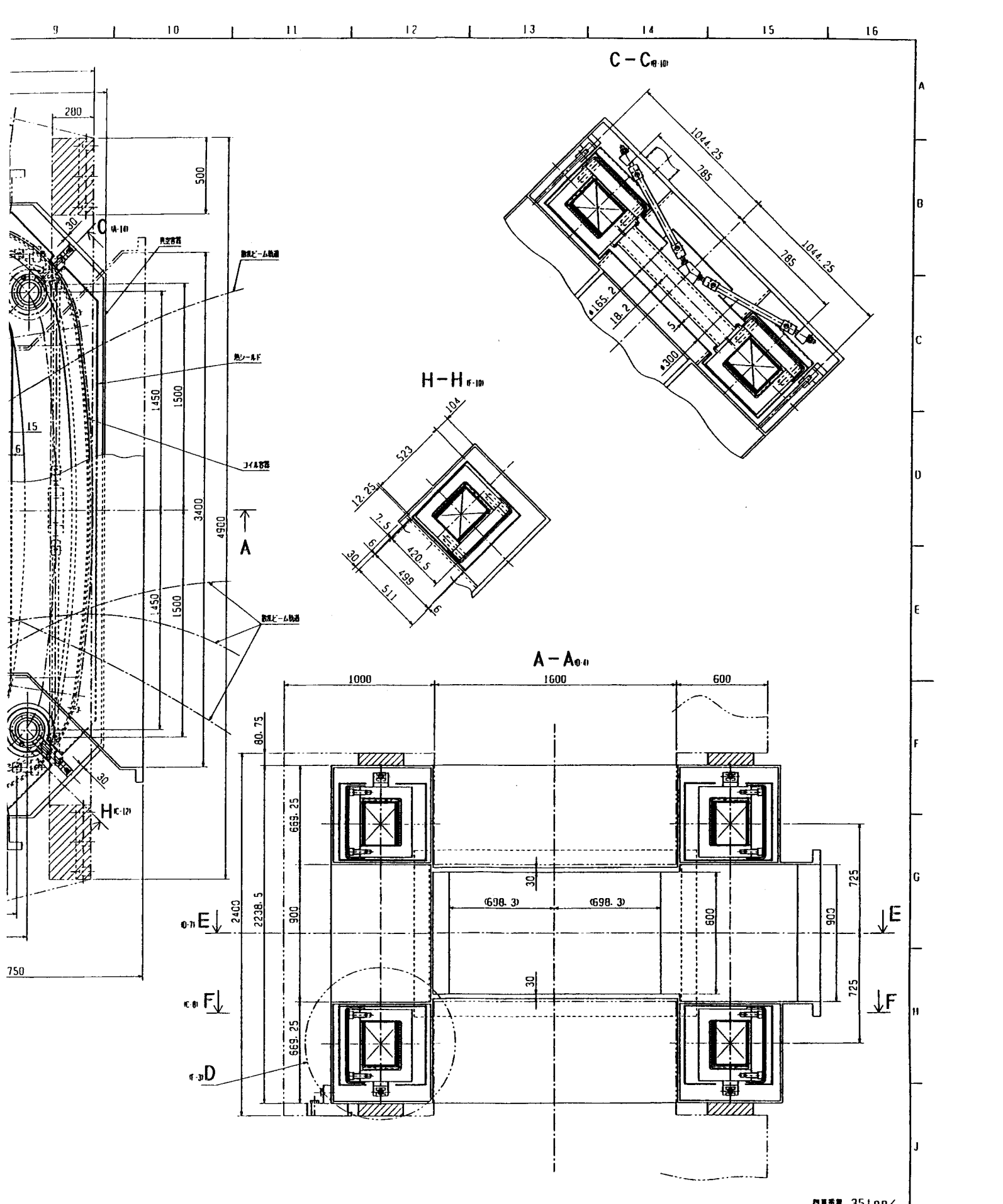
3. 2 コールドマス図面

概要

- (1)コイル容器：コの字容器+シールドカバー方式 (M 社モデルセクター同一方式)
- (2)電磁力支持
 - ①断熱支持棒にて真空容器に固定(上下・水平方向共)
 - ②上下コイルはクライオ内にて連結 (4ヶ所)
- (3)クライオスタット固定：ヨークにボルト締結

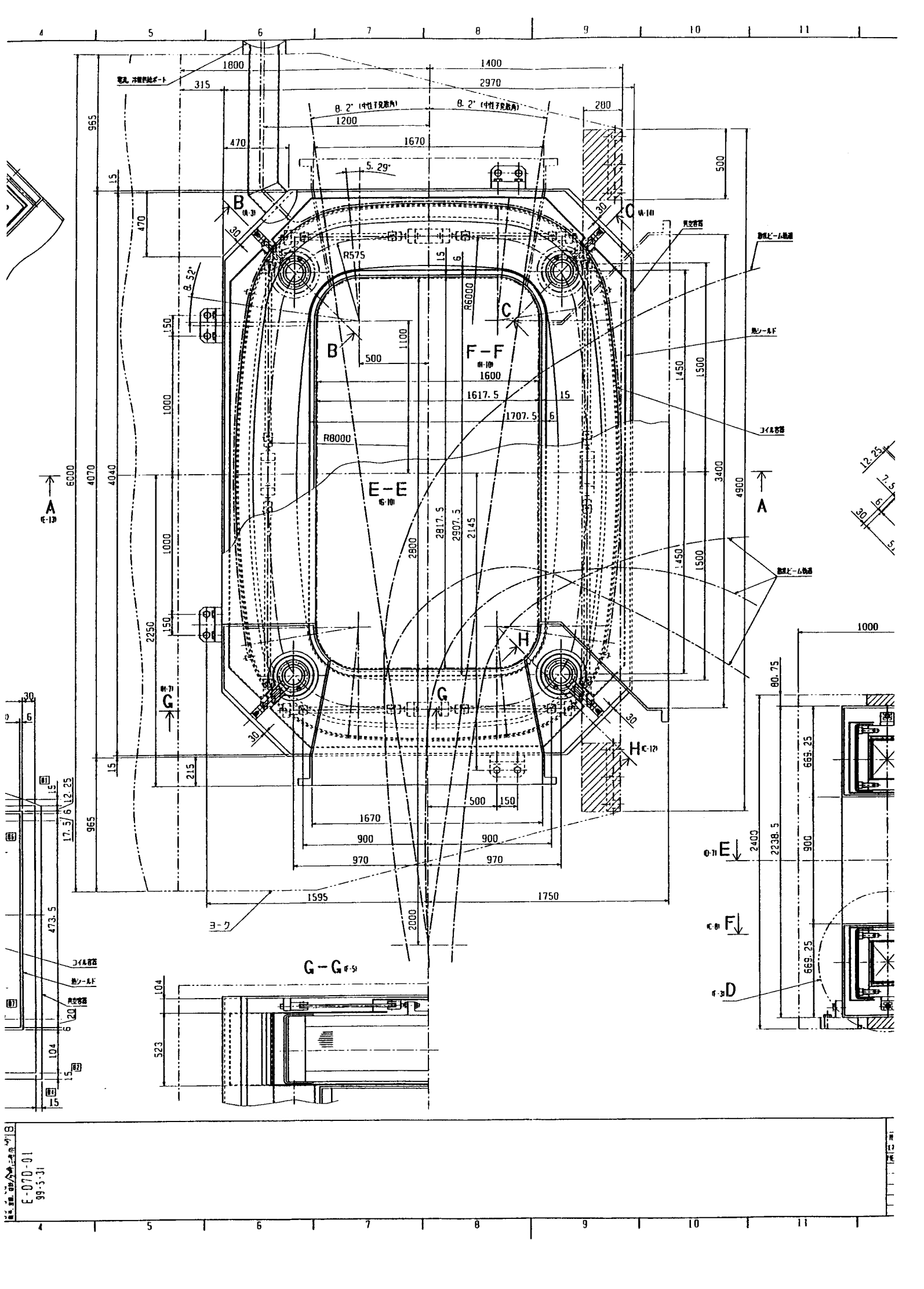
表1：コールドマス重量内訳

番号	部位	質量(ton)
1	超電導コイル	*3.7
2	コイル容器	*19.0
3	熱シールド	*0.7
4	真空槽	11.1
	(1)コイル外形部	*5.76
	(2)コイル部底側板	*1.53
	(3)支柱部	*0.77
	(4)フランジ	*0.78
	(5)ビーム部上下板	2.1
	(6)ビーム部側板	0.2
5	その他	0.5
*一体輸送可能部計 32.7 ton		合計
		35.0



標準重量 3510g/

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION		理化学研究所 殿 大立体角スペクトロメータ コールドマス
図番 1 1	訂正 1 1	図名 1 1
DIM. IN mm 11 : 15 益野 今井	作成日 DATE 99-3-23 奥平 益野 今井 益野 今井	承認 APPROVED 池田
000-00 AK64428		B



宛先	理化学研究所殿		5部	写		PR
技術資料			三菱電機株式会社 電力・産業システム事業所 新エネルギーシステム製造部エネルギー装置技術課			入野
件名	大立体角スペクトロメータ概念設計		資料番号	SMP-KM-0012		本文 1頁 付図 1枚
御注文元		工事番号		作成日	99年 5月21日	
題名	マグネット冷却系統図			作成	検認	
				今井	池田 大野	
資料目的	検討 連絡 照会 依頼 回答 紹介					
<p>大立体角スペクトロメータの冷却系統に関し検討を行いましたので報告致します。 添付図1に冷却系統図を示します。</p> <p style="text-align: center;">記</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. マグネット上部に貯液槽を設置し、冷凍機から供給される液体Heを貯液します。 貯液槽は、コイルクライオスタットより高い位置に設置することとします。 2. 上下コイルに個別に液体Heを供給します。泡抜き管も上下各コイルに設置します 3. 熱シールドの冷却には冷凍機から供給されるHeガスを使用し、上下コイルの熱シールドは個別に冷却します。 4. 電流リードの冷却には貯液槽からの蒸発Heガスを使用します。 5. ヘリウムガスの回収は、冷凍機への回収と別系統への回収とを考えています。 <p style="text-align: right;">以上</p>						
改訂	年月日	摘要			検認	担当
参考資料番号			SMP-KM-0012			

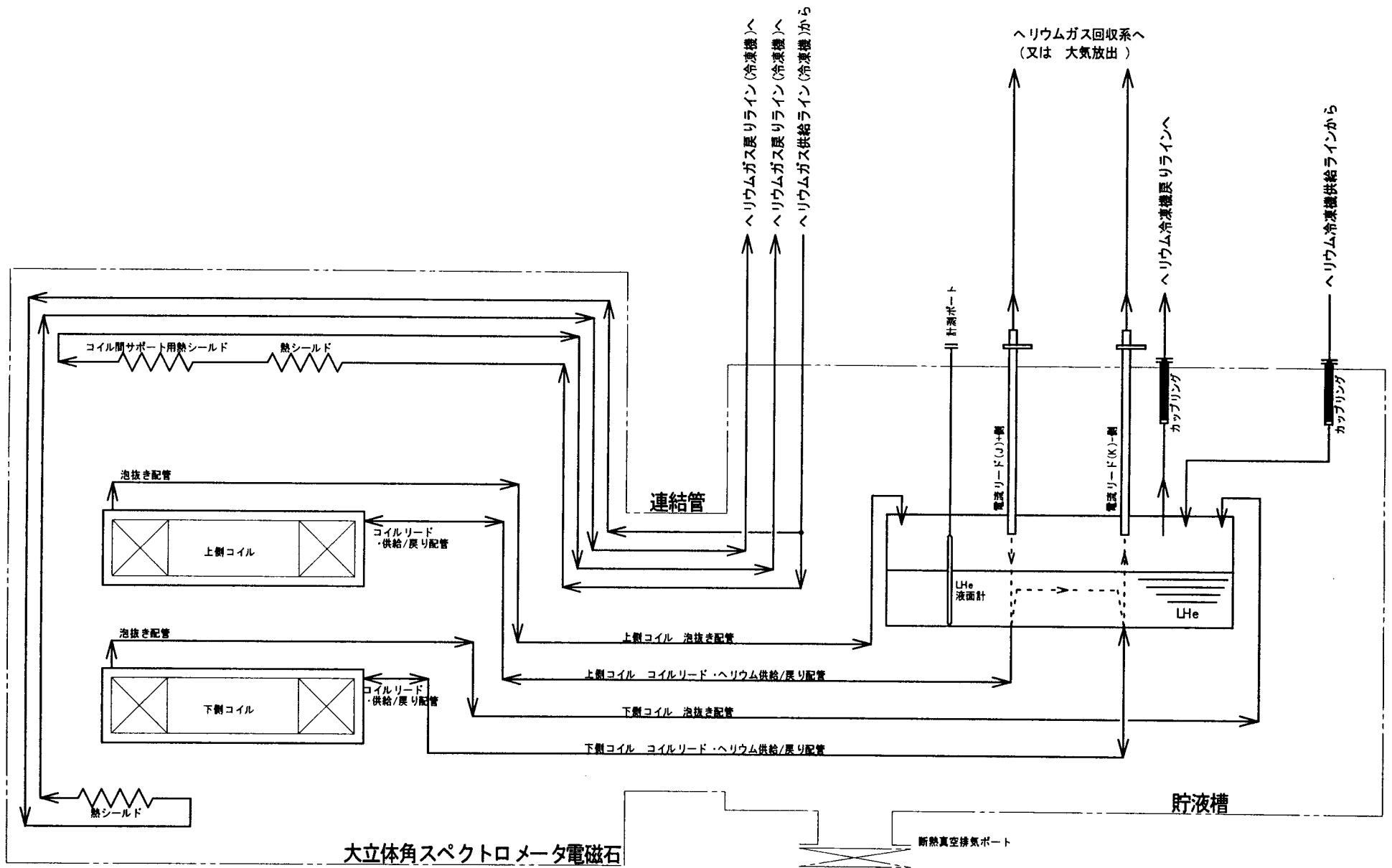


図 1 大立体角スペクトロメータ電磁石 冷却系統図

3. 5 真空槽板厚

以下に示す検討結果を基に、真空槽の板厚は原則 15 mm としました。Z 方向の断熱支持構造を固定する部分及びポール部については板厚 30 mm としました。

宛先	理化学研究所殿	5部	写			PR	
技術資料						三菱電機株式会社 電力・産業システム事業所 新エネルギーシステム製造部エネルギー装置技術課	入野
件名	大立体角スペクトロメータ概念設計		資料番号	SMP-KM-0014		本文 2頁 付図 一枚	
御注文元		工事番号		作成日	99年 5月21日		
題名	真空槽コイル部上板板厚検討			作成	検認		
				今井	池田		
資料目的	検討 連絡 照会 依頼 回答 紹介						
<p>大立体スペクトロメータマグネット本体のコールドマス真空槽コイル部上板の板厚に関して、現在の設計での板厚 30 mmを薄くできないか検討致しましたのでご報告致します。</p> <p style="text-align: center;">記</p> <p>1. 結論 コイル部の上板に関して、概略評価で板厚 20 mmとすることができる。</p> <p>2. 検討方法 詳細は2頁以降に示す。 (1)真空槽コイル部の上板を、両端固定・無限長の平板と仮定し、現状の板厚 30 mmでのたわみ及び応力を評価した。 (2)(1)と同じ仮定で、たわみ：0.5 mmおよび応力 14 kg/mm²となる板厚を評価し、評価結果より適当な板厚を決定した。</p> <p>3. 結果概略 (1)板厚 30 mmとした場合の計算結果 たわみ最大値： 0.095 mm 応力最大値： 2.3 kg/mm² (2)たわみ 0.5 mm及び応力 14 kg/mm²となる板厚 たわみ 0.5 mm場合の板厚： 17.2 mm 応力 14 kg/mm²とした場合の板厚： 12.1 mm (3)(2)より板厚 20 mmとした場合のたわみ最大値及び応力最大値を計算 たわみ最大値： 0.32 mm 応力最大値： 5.1 kg/mm²</p> <p style="text-align: right;">以上</p>							
改訂	年月日	摘要				検認	担当
参考資料番号			SMP-KM-0014				

4. 検討方法詳細

(1)真空槽コイル部の断面を図1に示す。

図1で真空排気時の大気圧を図1に示すように一様分布荷重 w と仮定した。

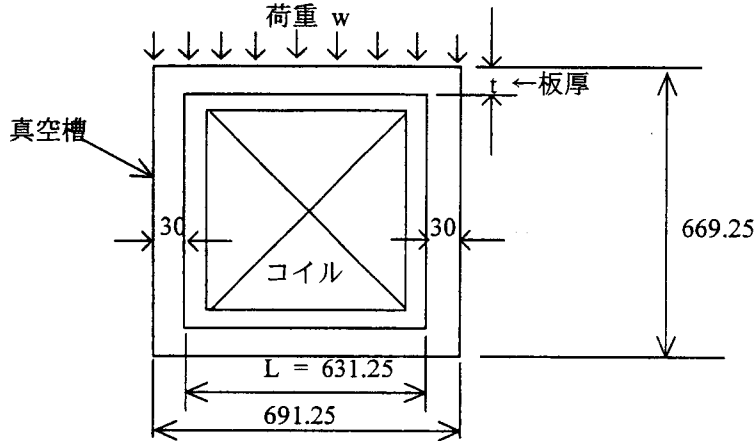


図1：真空槽コイル部断面(単位：mm)

(2)評価式：一様分布荷重が加わる両端固定梁(図2)の、たわみ v 及び応力 σ として下記の式にて評価した。

$$\text{たわみ } v = w \times L^4 \div (384 \times E \times I) = P \times b \times L^4 \div (384 \times E \times b \times t^3 / 12) = P \times L^4 \div (384 \times E \times t^3 / 12) \dots (a)$$

$E = 20000 \text{ kgf/mm}^2$: ヤング率

$I = b \times t^3 / 12$: 断面2次モーメント

$P = 1.033 \times 10^{-2} \text{ kgf/mm}^2 = 1 \text{ atm}$

b : 梁の幅 ← 計算上無視できる。

t : 梁の厚み = 真空槽上板の厚み

L : 梁の長さ = 真空槽上板の幅

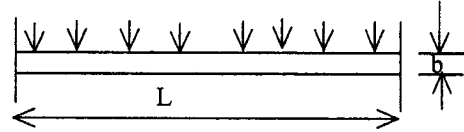


図2：両端固定梁模式図

$$\text{応力 } \sigma = M/Z = w \times L^2 / 12 \div (b \times t^3 / 6) = P \times b \times L^2 / 12 \div (b \times t^3 / 6) = P \times L^2 / 12 \div (t^2 / 6) \dots (b)$$

$M = w \times L^2 / 12$: 曲げモーメント最大値

$Z = b \times t^3 / 6$: 断面係数

(3)計算結果

① $t=30\text{mm}$ の場合

$$\text{たわみ } v_{30} = 1.033 \times 10^{-2} \times 631.25^4 \div (384 \times 20000 \times 30^3 / 12) = 0.095 \text{ mm}$$

$$\text{応力 } \sigma_{30} = 1.033 \times 10^{-2} \times 631.25^2 / 12 \div (30^2 / 6) = 2.3 \text{ kgf/mm}^2$$

②許容応力を JIS B 8270 付表2.1のSUS304の値に基づき 14 kgf/mm^2 とした場合の板厚 t_{14} を(b)式を用いて求めた。

$$\text{板厚 } t_{14} = \sqrt{(1.033 \times 10^{-2} \times 631.25^2 / 12) \div (14 / 6)} = 12.1 \text{ mm}$$

③たわみが 0.5 mm となる場合の板厚 $t_{0.5}$ を(a)式を用いて求めた。

$$\text{板厚 } t_{0.5} = \{1.033 \times 10^{-2} \times 631.25^4 \div (384 \times 20000 \times 0.5 / 12)\}^{1/3} = 17.2 \text{ mm}$$

①～③より、板厚 20 mm であれば問題ないと判断した。

④板厚 $t = 20 \text{ mm}$ の場合のたわみ及び応力

$$\text{たわみ } v_{20} = 1.033 \times 10^{-2} \times 631.25^4 \div (384 \times 20000 \times 20^3 / 12) = 0.32 \text{ mm}$$

$$\text{応力 } \sigma_{20} = 1.033 \times 10^{-2} \times 631.25^2 / 12 \div (20^2 / 6) = 5.1 \text{ kgf/mm}^2$$

以上

4. 1 ヨーク強度検討

「1. 電磁界検討」の[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) 960 ton を、ポール下面に分布荷重として加え、電磁力に対するポール及びヨークの強度解析を行いました。その結果たわみ最大値は 0.5 mm、Mises 応力最大値は 4.00 kgf/mm²となりました。

4.1.1 強度計算概要

(1)計算コード：ANSYS ver.5.4

(2)モデル概要

計算モデルについて図 1,2,3,に示します。ヨーク/ポールの 1/4 をモデル化しました。

①使用電磁力：「1. 電磁界検討」の電磁力を基に、ポール下面に分布荷重として加えました。

②ヨーク荷重

上ヨークの重量は上ヨークの表面に分布荷重として加えました。

ポールの重量はポール下面に分布荷重として、電磁力に追加して加えました。

③使用物性値

ヤング率：20000 kgf/mm²

ポアソン比：0.3

4.1.2 計算結果

結果を下表に、また結果について変形図兼応力分布を図 4 に示します

表 1：ポール/ヨーク強度計算結果

項目	数値
たわみ最大値	0.5 mm
Mises応力最大値	4.0 kgf/mm ²

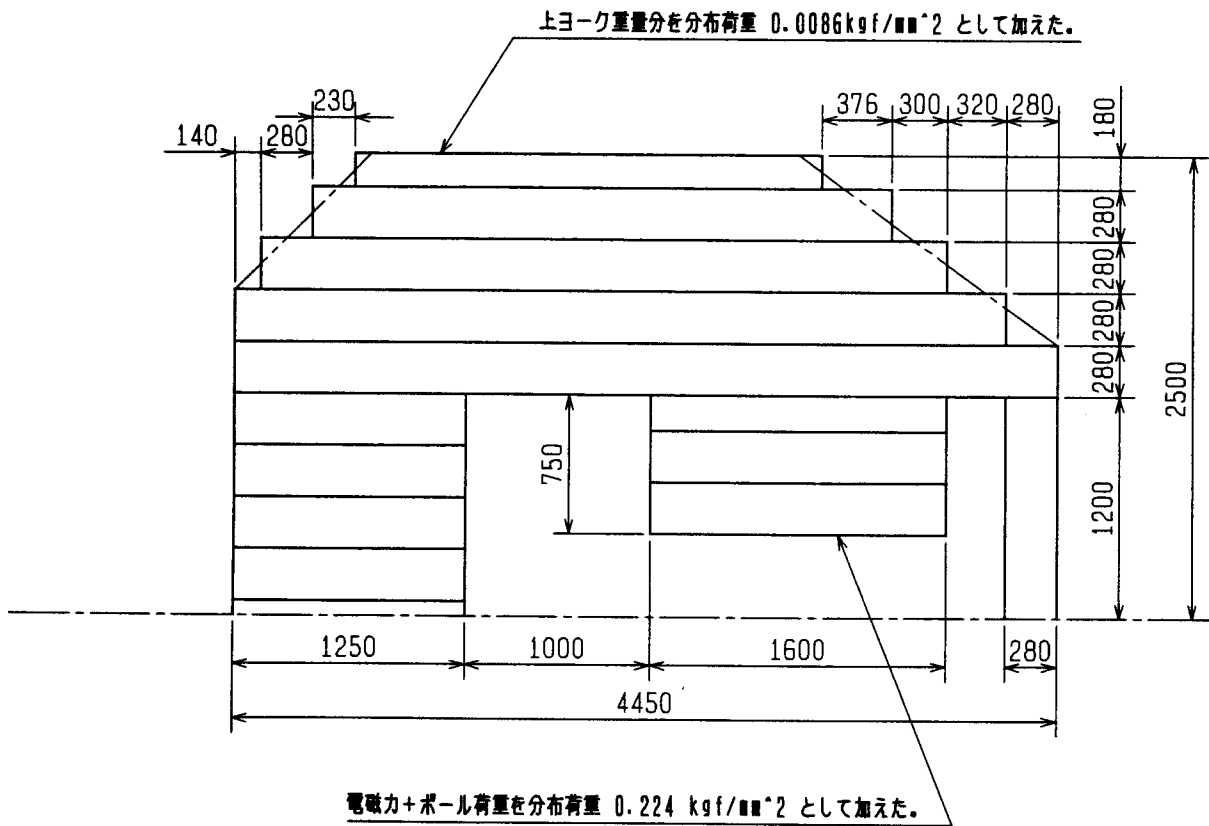
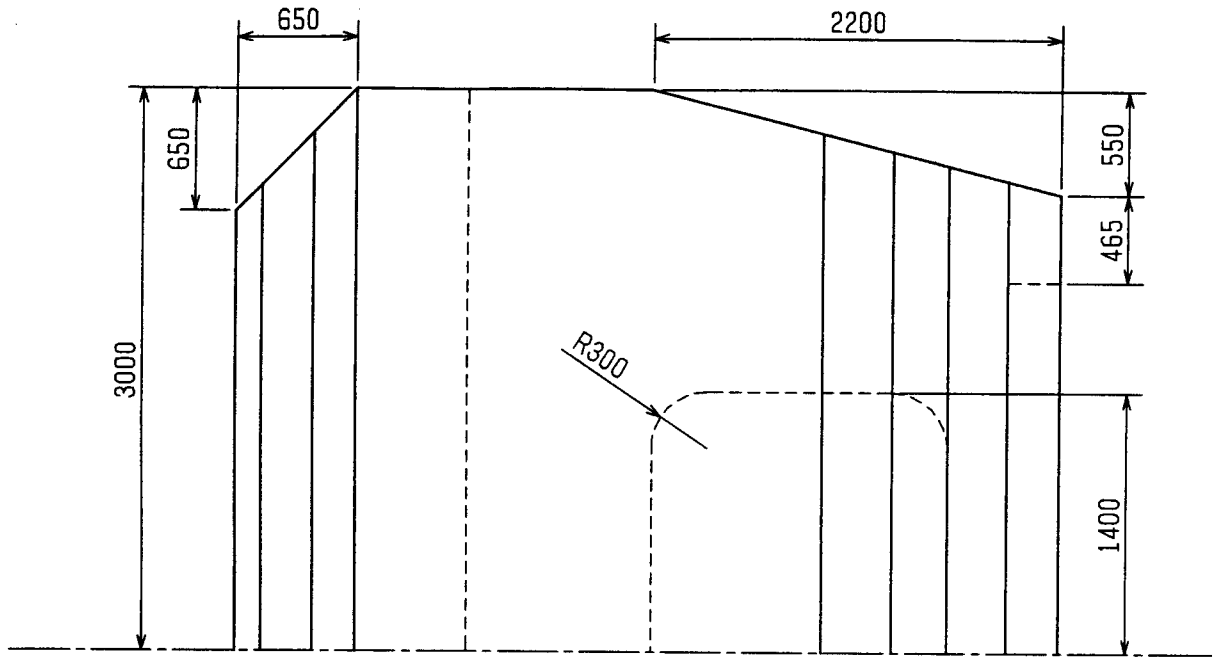


図1：ヨーク解析モデル

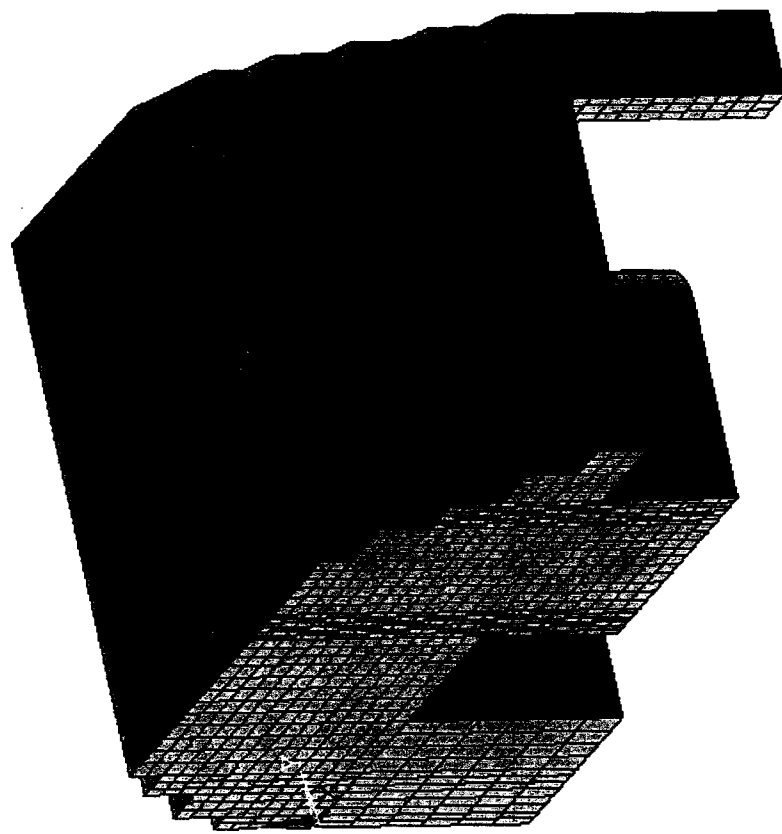
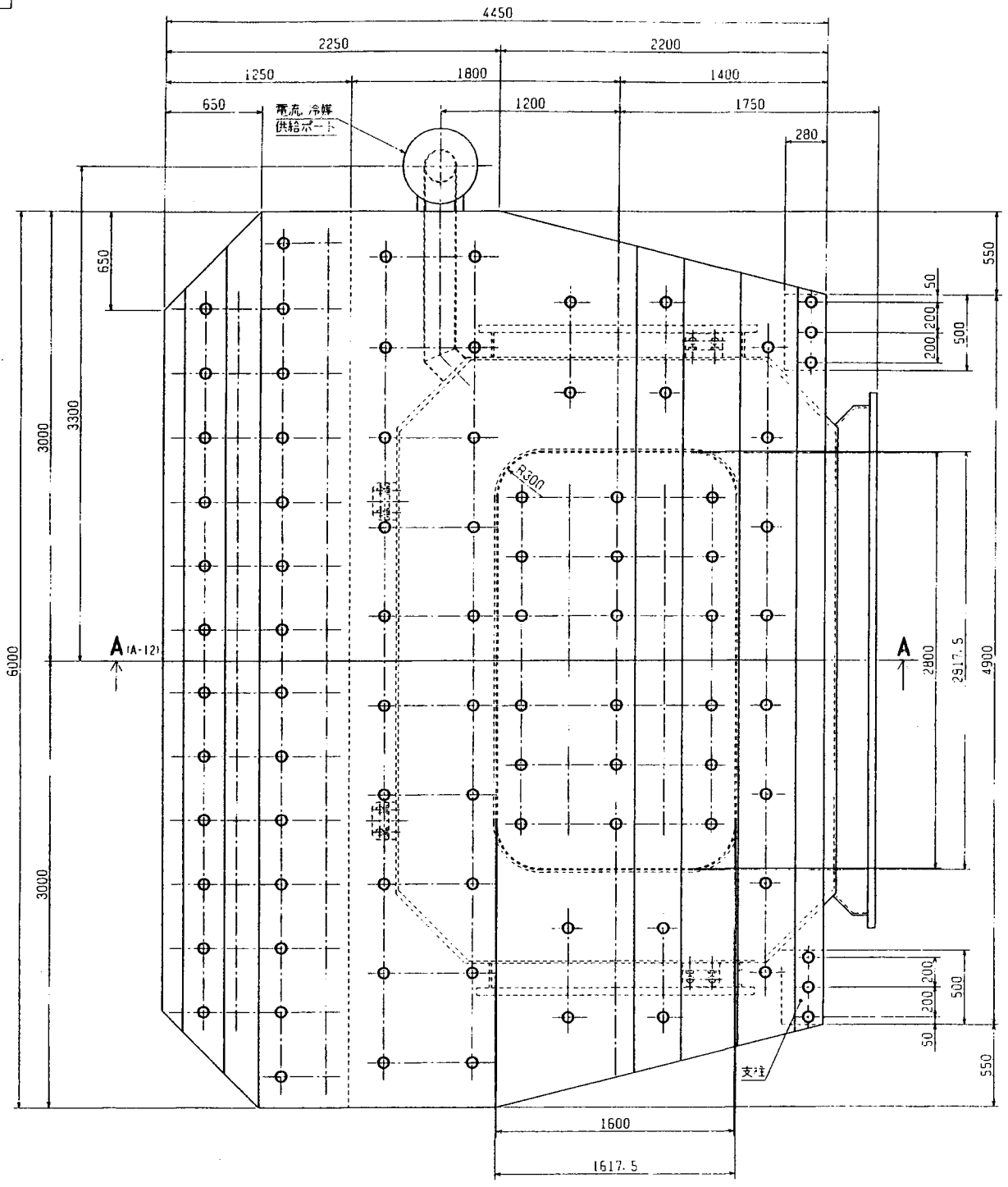


图2：要素分割

AK64427



変更 CHARGE
 E-070-01
 99-3-25

訂正使用

3-41' 2層床支重(柱)の
 上下3-6間床柱位置変更し、
 2層床柱(柱)を3-7'に変更。
 73-03-02間床柱位置変更。
 8床柱(0-12)追加。

E-070-01
 99-4-21

訂正使用

上下3-7'間床柱位置
 (床柱柱位置)変更、柱追加。
 床柱位置変更。
 床柱追加。
 1-11上-2'間床柱位置、
 変更追加。

33-5-28
 新田 金野 介 建築士 印

E-070-01
 99-5-31

訂正使用

33-5-28
 新田 金野 介 建築士 印

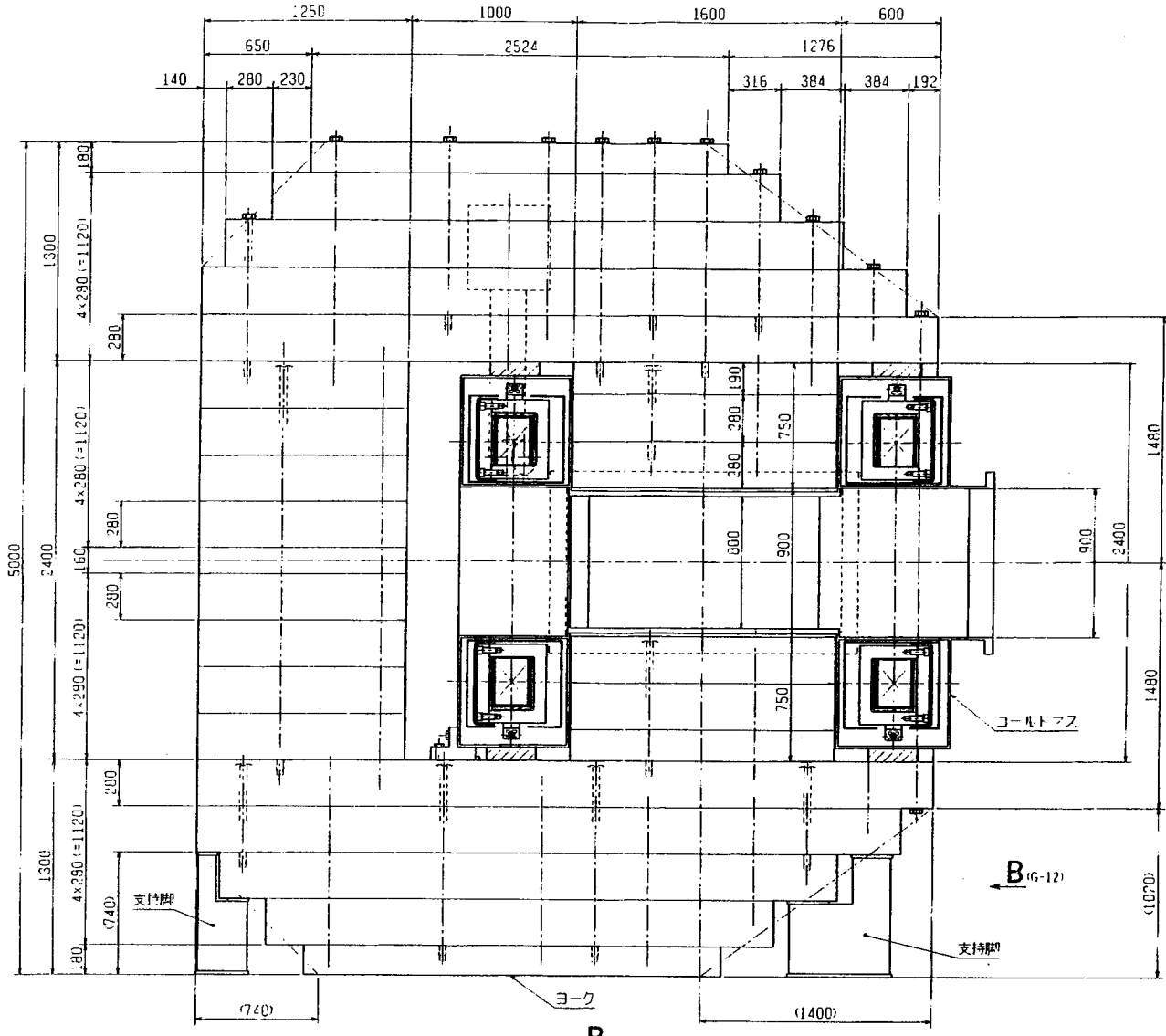
100
 1000
 10000

1
 2
 3
 4
 5
 6
 7
 8

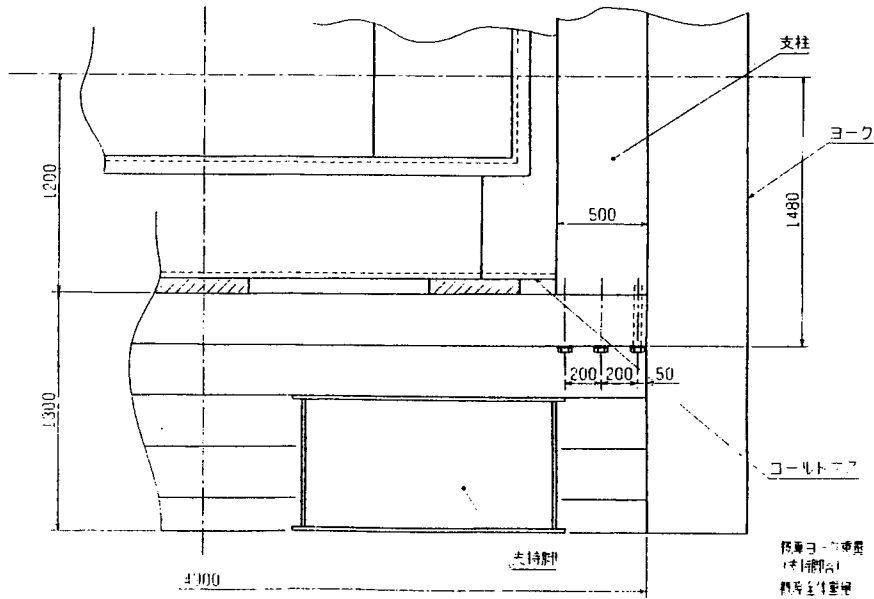
注意

1. コールドマツ部分はAK54428に示します。

A-A (E-3)



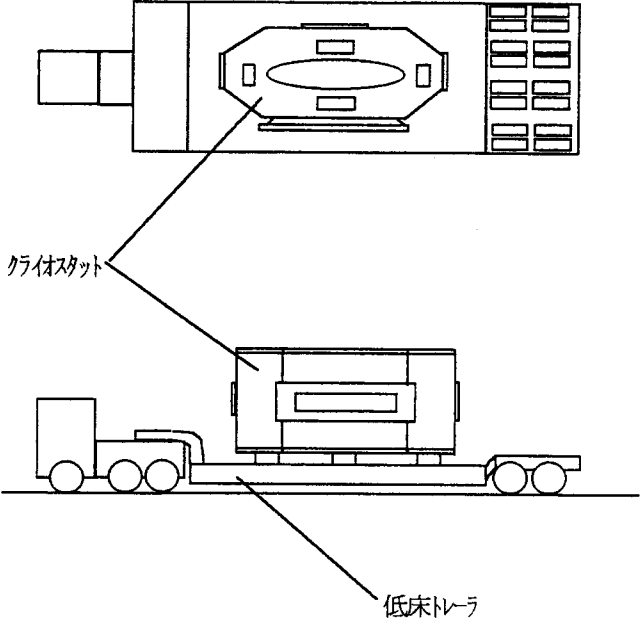
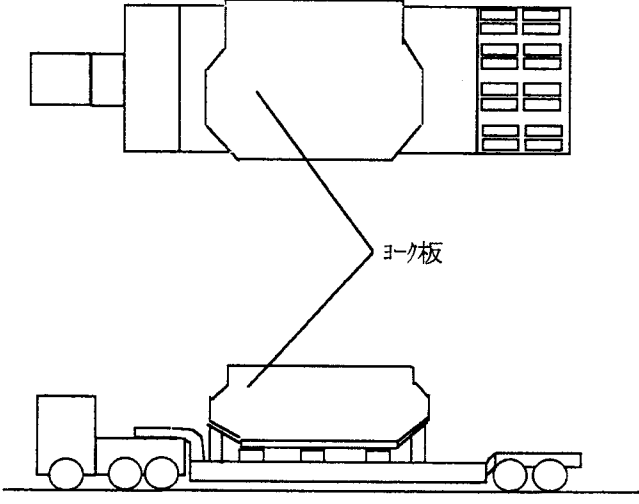
B (F-15)



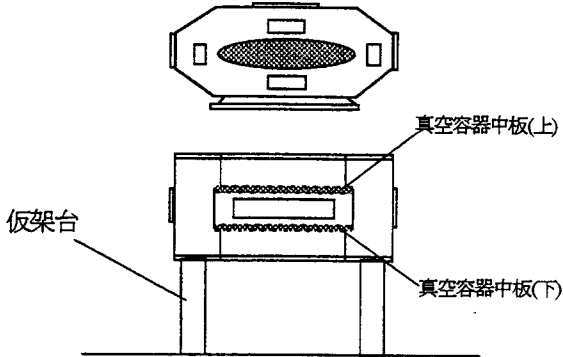
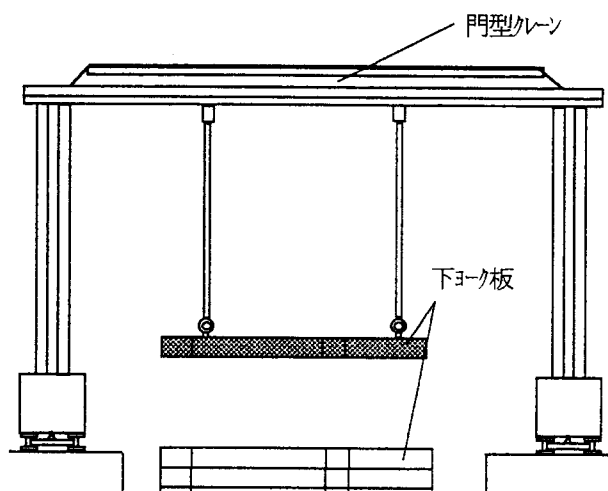
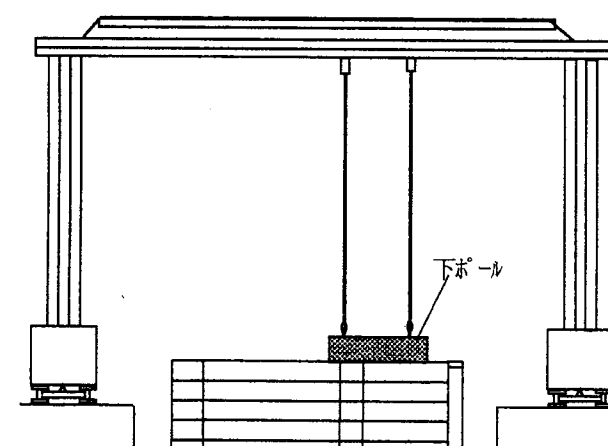
静重: 620ton
材料重量: 655ton

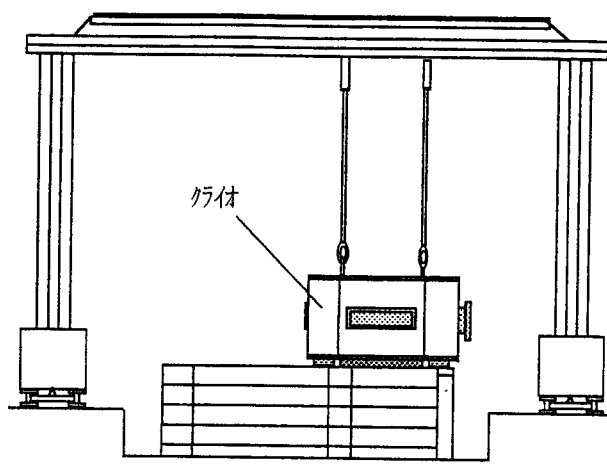
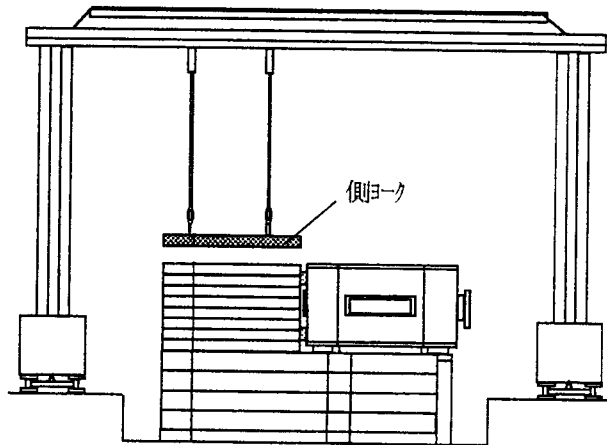
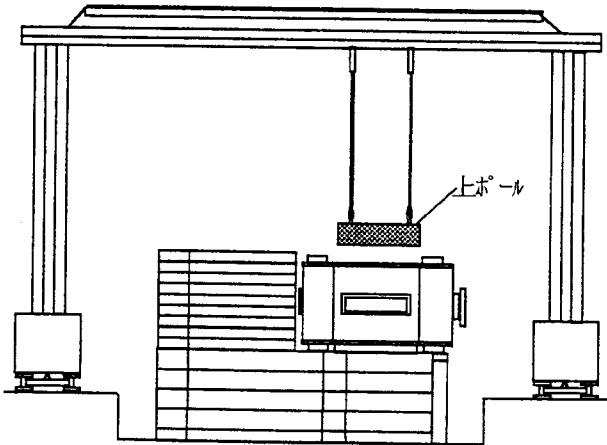
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION				理化学研究所	
図番	DATE	図名	図尺	図主	図検
99-3-23	99-3-23	図主	1:20	池田	池田
図主	図検	図主	図検	図主	図検
池田	池田	池田	池田	池田	池田
TITLE				ナ立付角7バク107ノク	
APPROVED				全体外観図	
Dwg. No.				A1.64427B	

クライオ及びヨーク輸送

<p>1.クライオ輸送(陸上)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・陸上ルート 神戸～横浜～和光 (名神・東名16号) ・海上ルート 当社～横浜港～和光 (海上16号) ・輸送制限 重量:標準30トン以下 高さ:地上から3.8m 幅:3.2～3.3m ・陸上輸送トレーラ 低床部標準長:6.6m (トレーラ全長:16m)
<p>2.ヨーク輸送(陸上)</p>		<ul style="list-style-type: none"> ・低床トレーラ 斜め置き

現地据付手順

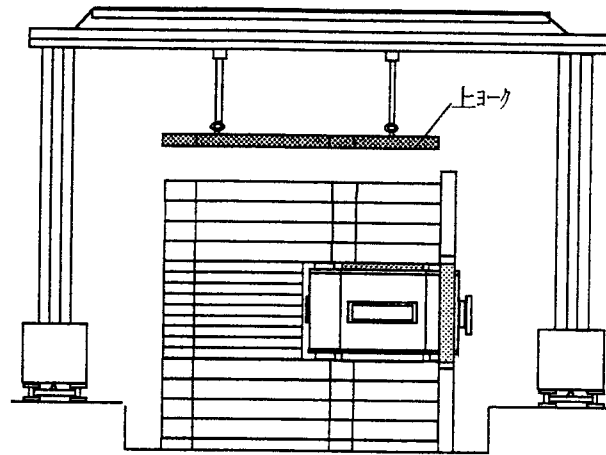
<p>1. 真空容器中板 溶接</p>	<p>溶接後仮置き</p>  <p>真空容器中板(上)</p> <p>仮架台</p> <p>真空容器中板(下)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法チェック ・Heリーク試験
<p>2. 下ヨーク組立</p>	 <p>門型クレーン</p> <p>下ヨーク板</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・寸法チェック
<p>3. 下ポール組立</p>	<p>下ヨークへポール固定</p>  <p>下ポール</p>	

<p>4. クライ付固定</p>	<p>下ヨークへクライ付固定</p> 	
<p>5. 側ヨーク組立</p>	<p>側ヨークへクライ付固定</p> 	<p>・寸法チェック</p>
<p>6. 上ボール仮置き</p>		

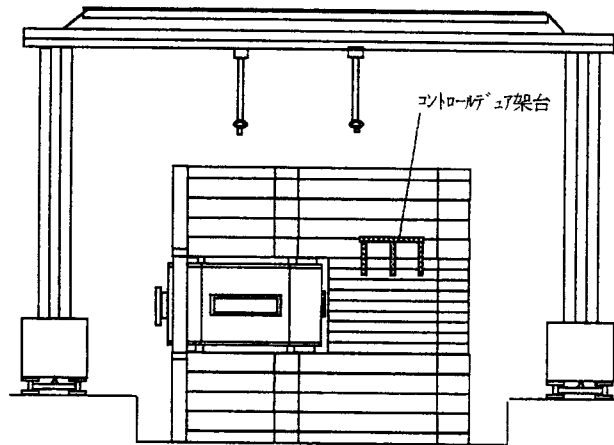
7.上ヨーク組立

・支柱組立,上ヨーク組立,上ポールを上ヨークへ固定

・寸法チェック



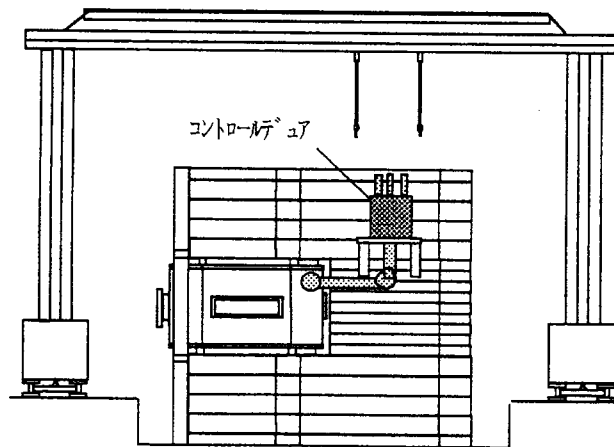
8.コントロールエア-架台組立



9.コントロールエア組立

導体接続,配管類計測線接続

・電気試験
・真空試験



6. ヘリウム冷凍システム

(1) 品目・数量

ヘリウム冷凍システム 1式

(2) 液化冷凍能力

- ① 4.5 K冷凍能力 : 60 W
- ② パワーリード冷却（蒸発 LHe 冷却）能力 : 0.6 g/s
- ③ 80 K冷凍能力 : 600 W

(3) 液体窒素使用：なし

(4) 適用法規：高圧ガス保安法冷凍保安規則

(5) 供給電源

- ① AC6600V,50Hz,3 φ
- ② AC 200V,50Hz,3 φ
- ③ AC 100V,50Hz,1 φ

(6) 設置場所条件

- ① 温度：0～40℃ 但し、凍結のないこと。
- ② 湿度：80%RH(Max) 但し、結露のないこと。
- ③ 降雨量：特に考慮しない
- ④ 積雪量：特に考慮しない
- ⑤ 風速：特に考慮しない
- ⑥ 磁場：50mGauss 以下
- ⑦ 放射線：特に考慮しない

6-2. ヘリウム低温断熱移送配管

(1) 品目・数量

ダブル式低温移送配管：1式

- [内訳] 4.5K 供給+80K 供給用 1本
- 4.5K 戻り+80K 戻り用 1本

(2) スパン

ヘリウム冷凍機 Cold Box から被冷却体ポートまでの水平距離：3 m

(3) 適用法規：高圧ガス保安法冷凍保安規則

(4) 附属品

被冷却体側ポート用カップリング（メス）

- 4.5K 供給ポート用、4.5K 戻りポート用、
- 80K 供給ポート用、80K 戻りポート用 各1個

7. 電源

7-1.電気性能

(1)最大出力定格

- (A)出力電圧 12V → 5V
(B)出力電流 4700A → 700A

(2)出力制御範囲

- (A)出力電流 50A～4700A 設定分解能 1A
(B)出力電圧 約 0V～12V max

(3)電流安定度

最大定格 12V、4700A において 1×10^{-4} p-p / 8hr

(4)電流リップル

- (A)所定のインダクタンス負荷において 1×10^{-4} rms 以下
(B)1V、4700A 抵抗負荷において 1×10^{-3} rms 以下

(5)制御モード

定電流制御方式

(6)電源内部保護

遮断器の開閉に耐えることとします。

(7)電流の掃引

(A)掃引時間

0 - 4700A 迄の掃引時間で 30、60、120、240 分の 4 レンジ。

(B)掃引の直線性

設定の 5%～95% の傾きの誤差を $\pm 1\%$ 以内とします。

7-2.操作及び表示

(1)操作場所

(A)操作場所の選択

電源の操作は、“遠隔”と“現場”の両方より可能とし、その選択は電源盤本体に設ける切換スイッチによるものとします。

(B)“遠隔”、“現場”共に、運転、停止、電流の掃引、掃引時間の選択、故障リセット等全ての必要な操作が可能とします。

(2)操作項目(案) —— 詳細は打ち合わせによります。

(A)電源の運転、停止

(B)電流の掃引モードの選択 DOWN-HOLD-UP

(C)電流の掃引時間の選択 30-60-120-240 分 4レンジ切換

(D)故障リセット

(3)計測器類 電源盤本体に下記の計測器を取り付けます。(詳細は別途)

(A)交流入力電流／電圧計

(B)直流出力電流／電圧計

(4)表示ランプ類

- (A)交流入力電源 「LINE INPUT」
- (B)準備完了 「READY」
- (C)運転 「OPERATION」
- (D)停止 「STOP」
- (E)フラットトップ 「FLAT TOP」

7-3.保護連動

(1)故障の種類と保護連動

- (A)故障A：非常に重大な故障で、直ちに回路を遮断します。
- (B)故障B：重大な故障で、最短掃引時間で電流を零迄立ち下げます。
- (C)故障C：比較的軽微な故障で、電流の掃引を一時停止させます。

(2)故障表示

遠隔制御部には、纏めて故障の種類を表示し、各アイテムは電源盤本体の盤面に表示するものとします。

7-4.動作条件

7-4-1.周囲条件

- (1)温度 +3℃～+40℃ (凍結しない条件)
- (2)湿度 20%～80%
- (3)設置場所 屋内静止、常規使用状態
- (4)振動、腐食性ガス なし
- (5)使用状況 連続

7-4-2.供給電源

約130 KVA

- (1)電圧 AC400V
- (2)周波数 50HZ
- (3)相数 3相3線式
- (4)相間不平衡率 3%
- (5)電圧変動 ±10%

7-4-3.負荷

- (1)名称 超電導コイル
- (2)インダクタンス 最大3.4H
- (3)直流抵抗 最大0.4mΩ

電源と超電導コイル間のパワーケーブルの抵抗分で、3.3KV、CVケーブル 325sq×8P 50m を想定しています。

7-4.4.冷却水

- | | |
|------------|--------------------------|
| (1)冷却水量 | 100 L/min |
| (2)冷却水入口温度 | 35℃以下 |
| (3)圧力 | 10 kg/cm ² 以下 |
| (4)抵抗率 | 1 MΩcm以上 |

7-5.外形構造

(1)外形寸法及び概略重量

- | | | |
|--------|-------------------|---------|
| (A)電源盤 | 3000W×1500D×2000H | 3000 kg |
| (B)保護盤 | 3500W×1500D×2000H | 4000 kg |

7-6.その他

(1)信号取り合い仕様：通常のPIO取り合いとします。

(2)信号点数：

- | | | |
|------------|----|-----|
| (A)操作関係で、 | 最大 | 3点 |
| (B)表示関係で、 | 最大 | 4点 |
| (C)設定関係で、 | 最大 | 26点 |
| (D)モニタ関係で、 | 最大 | 19点 |