

磁気試験設備  
ユーザーズマニュアル

2020 年 5 月

株式会社 エイ・イー・エス  
Advanced Engineering Services Co.,Ltd

# 目次

|       |                                      |     |
|-------|--------------------------------------|-----|
| 1     | はじめに.....                            | 1   |
| 2     | 設備概要.....                            | 3   |
| 2.1   | システム概要.....                          | 3   |
| 2.2   | 装置概要.....                            | 7   |
| 2.3   | 主要性能.....                            | 8   |
| 2.3.1 | 大型磁気試験装置仕様.....                      | 8   |
| 2.3.2 | 弱磁界副標準装置仕様.....                      | 9   |
| 3     | ユーザインタフェース.....                      | 10  |
| 3.1   | 磁気測定室、消磁室、前室コンフィギュレーション.....         | 10  |
| 3.1.1 | 設備の配置.....                           | 10  |
| 3.1.2 | 搬入扉.....                             | 10  |
| 3.1.3 | 有効開口寸法.....                          | 10  |
| 3.1.4 | 電源設備.....                            | 11  |
| 3.1.5 | 空調管理.....                            | 12  |
| 3.1.6 | 床耐荷重.....                            | 12  |
| 3.2   | 制御室コンフィギュレーション.....                  | 13  |
| 3.2.1 | 設備の配置.....                           | 13  |
| 3.2.2 | 電源設備.....                            | 14  |
| 3.2.3 | 空調管理.....                            | 14  |
| 3.3   | 装置インタフェース.....                       | 14  |
| 3.3.1 | 連絡装置.....                            | 14  |
| 3.3.2 | 3 軸センサ架台設定例.....                     | 15  |
| 3.3.3 | 設備の座標軸定義.....                        | 15  |
| 3.3.4 | 回転架台.....                            | 16  |
| 3.3.5 | 精密磁気儀.....                           | 17  |
| 4     | 試験実施.....                            | 18  |
| 4.1   | 供試体の搬入・搬出.....                       | 18  |
| 4.1.1 | 供試体の移動経路.....                        | 18  |
| 4.1.2 | 供試体の搬入出.....                         | 19  |
| 4.1.3 | 供試体のハンドリングに関する所掌.....                | 19  |
| 4.2   | 試験実施フロー.....                         | 20  |
| 4.2.1 | 磁気モーメント測定時の試験実施フロー.....              | 20  |
| 4.2.2 | 磁気センサ校正時（供試体磁気センサの精度確認）の試験実施フロー..... | 22  |
| 4.3   | 試験条件要求.....                          | 24  |
| 4.4   | 磁気モーメント測定における試験結果解析.....             | 24  |
| 4.5   | 特記事項.....                            | 28  |
| 5     | 試験条件要求書の記入方法及び測定時の留意点.....           | 29  |
| 添付 A  | 試験条件要求書.....                         | A-1 |

## 図目次

|       |                          |    |
|-------|--------------------------|----|
| 図 1-1 | 筑波宇宙センター施設配置図.....       | 1  |
| 図 1-2 | 外観写真 .....               | 2  |
| 図 2-1 | 磁気試験設備システム樹形図.....       | 3  |
| 図 2-2 | 磁気試験設備鳥瞰図.....           | 4  |
| 図 2-3 | コイル系樹形図.....             | 4  |
| 図 2-4 | 計測系構成図.....              | 5  |
| 図 2-5 | 磁気試験設備システム構成図.....       | 6  |
| 図 3-1 | 磁気測定室、消磁室、前室の機器設置場所..... | 10 |
| 図 3-2 | 前室の分電盤（L-1）接続図.....      | 11 |
| 図 3-3 | 前室の分電盤（L-2）接続図.....      | 12 |
| 図 3-4 | 制御室の機器設置場所.....          | 13 |
| 図 3-5 | 制御室（1）の分電盤（L-1）接続図.....  | 14 |
| 図 3-6 | 3 軸センサ架台の設定例.....        | 15 |
| 図 3-7 | 座標軸の関係.....              | 15 |
| 図 3-8 | 回転架台寸法.....              | 16 |
| 図 3-9 | 精密磁気儀寸法.....             | 17 |
| 図 4-1 | 供試体移動経路.....             | 18 |
| 図 4-2 | 外から前室への搬入扉のスロープ.....     | 19 |
| 図 4-3 | 消磁室から磁気測定室出入口のスロープ.....  | 19 |
| 図 4-4 | 試験実施フロー（磁気モーメント測定）.....  | 20 |
| 図 4-5 | 試験実施フロー（磁気センサ校正）.....    | 22 |
| 図 4-6 | 磁気モーメント測定値出力例.....       | 25 |
| 図 4-7 | 磁界パターン出力例（極座標）.....      | 26 |
| 図 4-8 | 磁界パターン出力例（直交座標）.....     | 27 |

## 添付A

|       |                               |     |
|-------|-------------------------------|-----|
| 図 A-1 | 磁気測定室中心から各 3 軸磁気センサまでの距離..... | A-5 |
|-------|-------------------------------|-----|

## 表目次

|       |                        |    |
|-------|------------------------|----|
| 表 2-1 | 大型磁気試験装置仕様.....        | 8  |
| 表 2-2 | 磁気モーメント測定における計測公差..... | 9  |
| 表 2-3 | 弱磁界副標準装置仕様.....        | 9  |
| 表 3-1 | 搬入扉仕様.....             | 10 |
| 表 3-2 | 有効開口寸法.....            | 10 |
| 表 3-3 | 回転架台仕様.....            | 16 |
| 表 3-4 | 精密磁気儀仕様.....           | 17 |

## 添付A

|       |                      |     |
|-------|----------------------|-----|
| 表 A-1 | 共通.....              | A-2 |
| 表 A-2 | 単独磁力計測定の条件要求書.....   | A-2 |
| 表 A-3 | 磁気モーメント測定の条件要求書..... | A-3 |
| 表 A-4 | 校正試験の条件要求書.....      | A-4 |

## 1 はじめに

本ユーザーズマニュアルは、磁気試験設備（以下「本設備」という）を利用して試験を行うユーザに必要な情報を提供するものです。

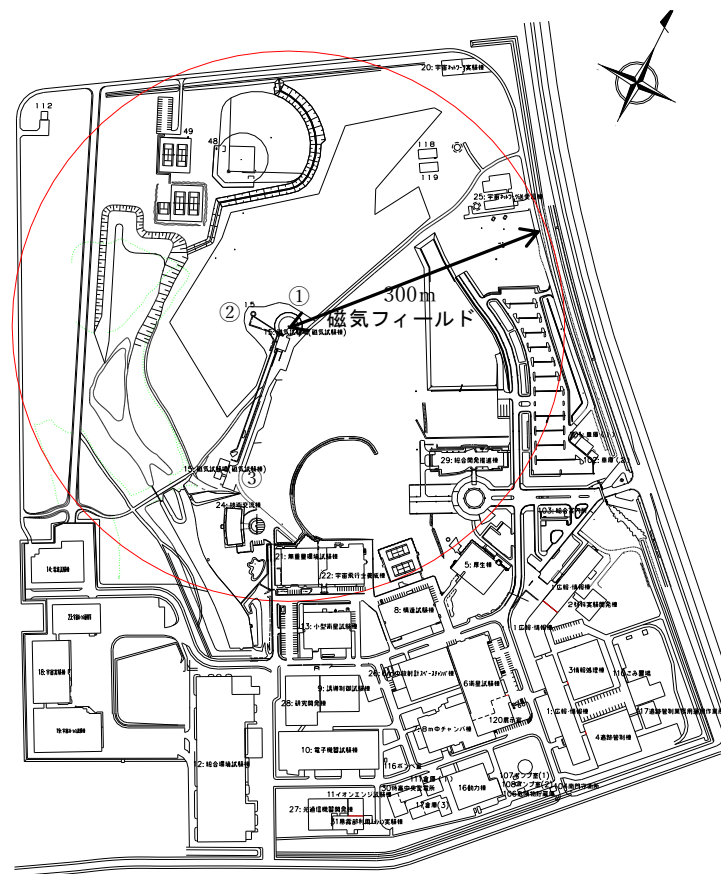
人工衛星が宇宙空間を飛行する際、衛星に残留磁気があると地球磁界の作用を受けて衛星の姿勢が次第に変わって行きます。従ってあらかじめ地上において地球磁界のない空間を作り、この中に調べようとする衛星を置いて、その残留磁気を測定する事が必要となります。

本設備は人工衛星が有している残留磁気モーメント（以下「磁気モーメント」という）及び磁気発生コンポーネント等を測定し、その特性の把握、及び調整を行うための設備です。磁気測定室内に零磁場空間を作り出す磁気試験装置等から構成されています。

本設備による衛星の磁気モーメント測定はニアフィールド法を採用しています。3軸磁力計4台を使用して衛星を垂直軸（機軸回り）方向に一回転する事で、磁気モーメントを測定する事が出来ます。

筑波宇宙センター内にある磁気フィールド（半径300m）及び磁気試験設備の施設配置を図1-1に示します。

また磁気試験場、磁気測定室（ドーム）及び制御室等の外観を図1-2に示します。



- ① 磁気測定室（ドーム）・消磁室・前室
- ② 等価コイル室
- ③ 制御室・空調機械室

図1-1 筑波宇宙センター施設配置図



磁気試験場

磁気測定室（ドーム）  
消磁室  
前室



制御室

図1-2 外観写真

## 2 設備概要

### 2.1 システム概要

本設備は大型磁気試験装置及び弱磁界副標準装置から構成されています。

大型磁気試験装置のうち、主コイル及び3軸磁気センサ類は磁気測定室内に、等価コイル、外乱検出器は等価コイル室に設置されています。

磁気試験設備のシステム樹形図を図2-1に、鳥瞰図を図2-2に示します。

大型磁気試験装置のコイル系（主コイル及び等価コイル）の樹形図を図2-3に、計測系の構成図を図2-4に示します。

磁気試験設備のシステム構成図を図2-5に示します。

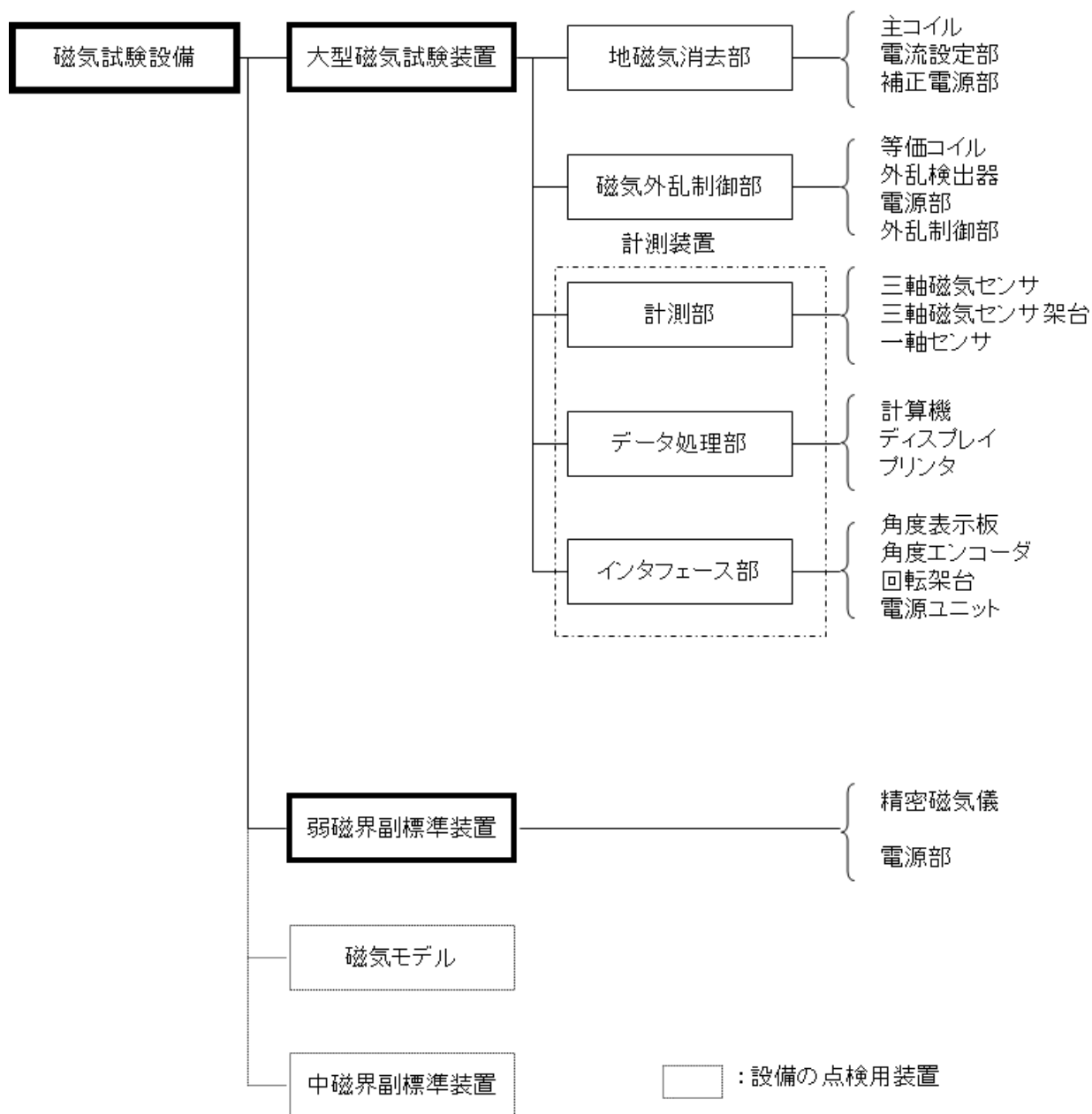


図2-1 磁気試験設備システム樹形図

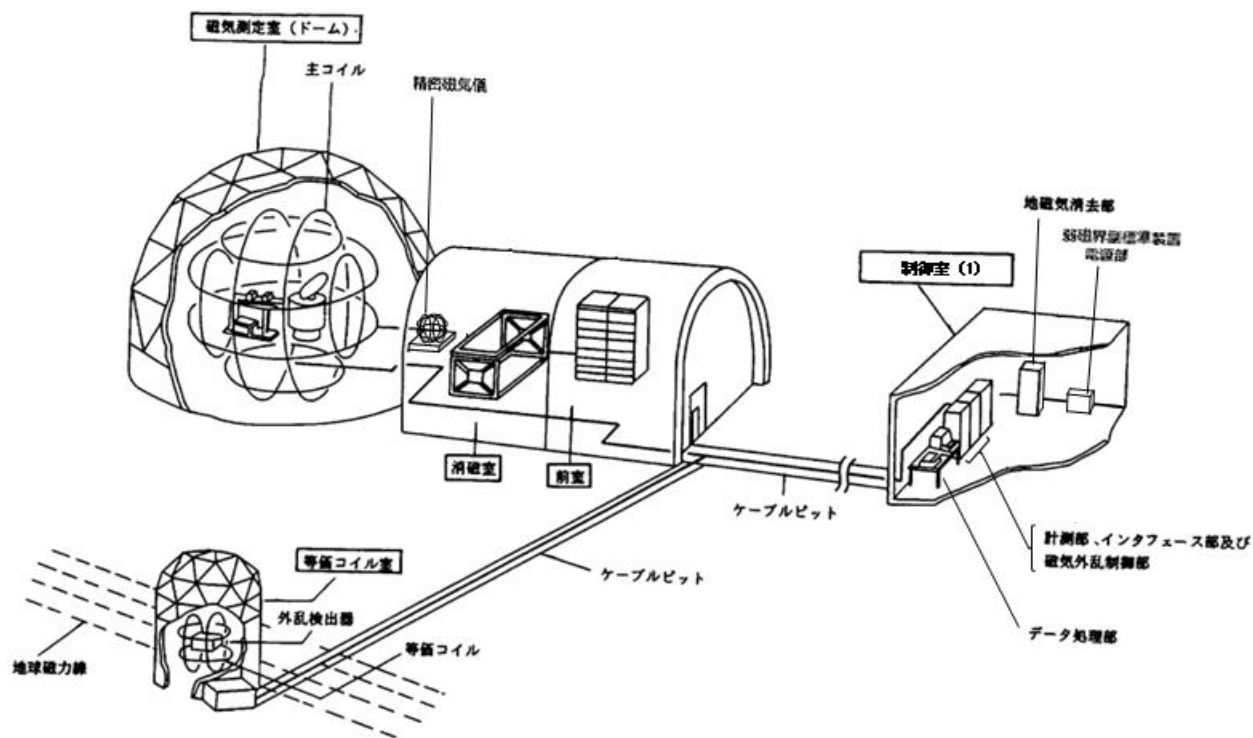


図2-2 磁気試験設備鳥瞰図

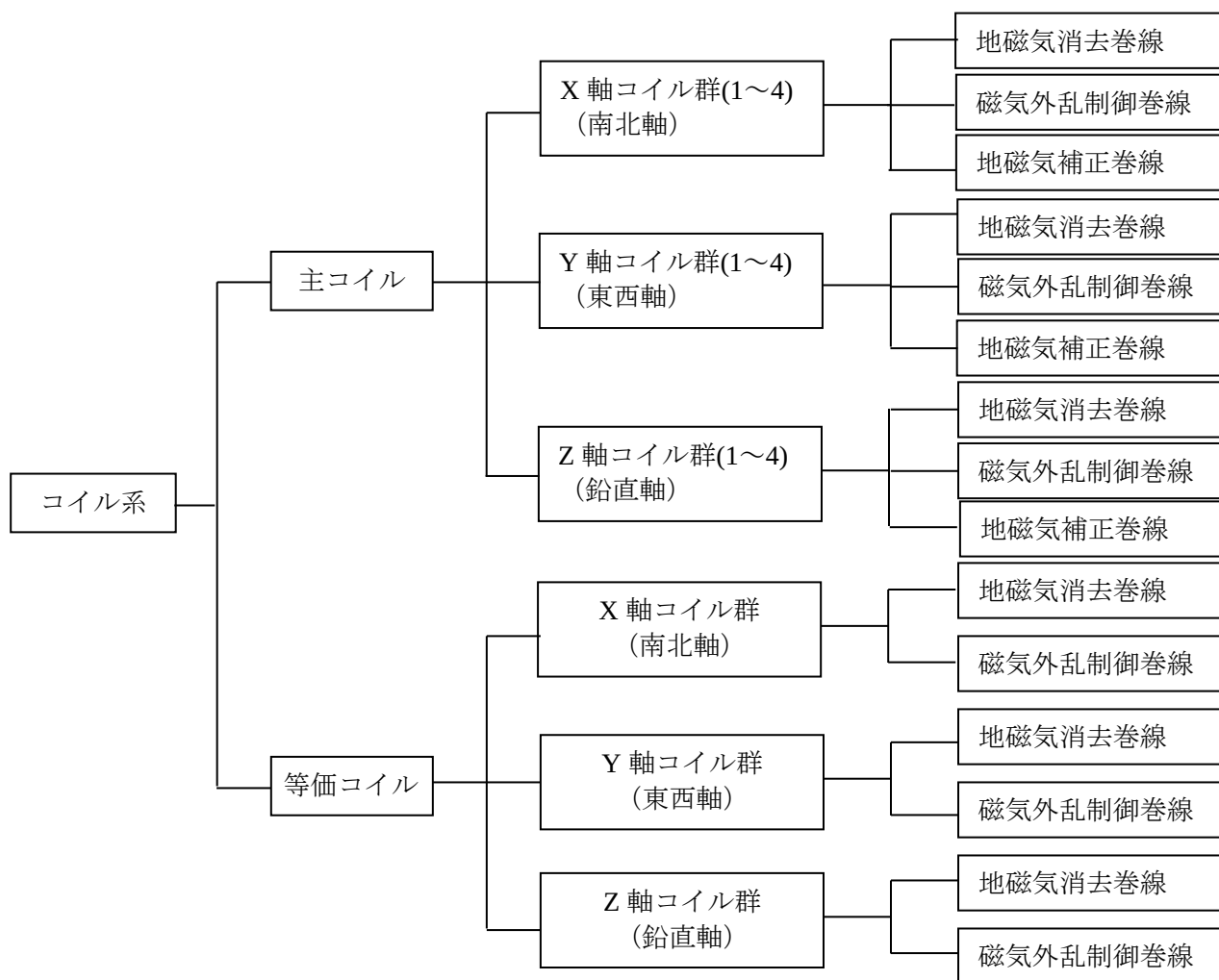


図2-3 コイル系樹形図



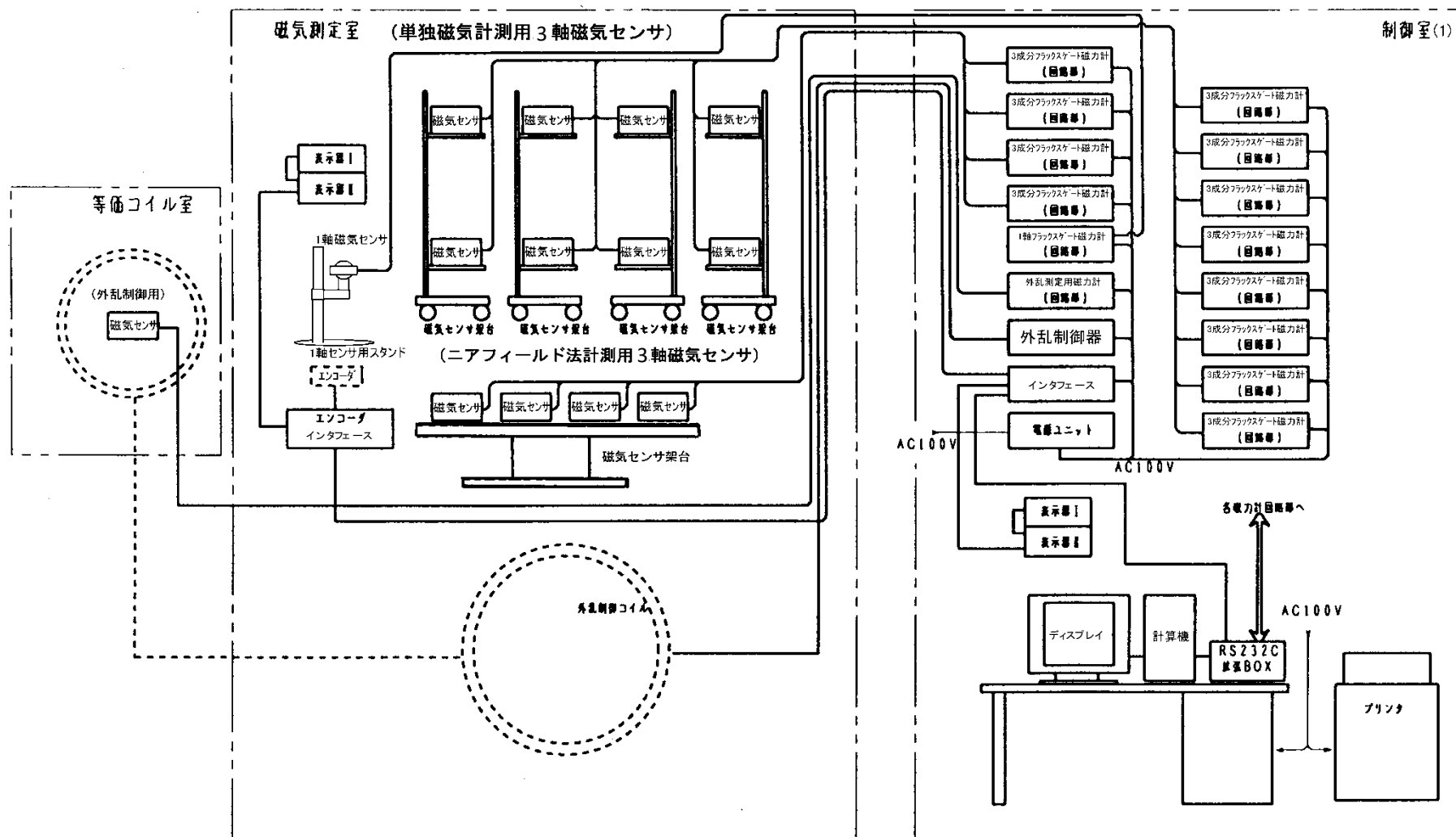


図2-4 計測系構成図

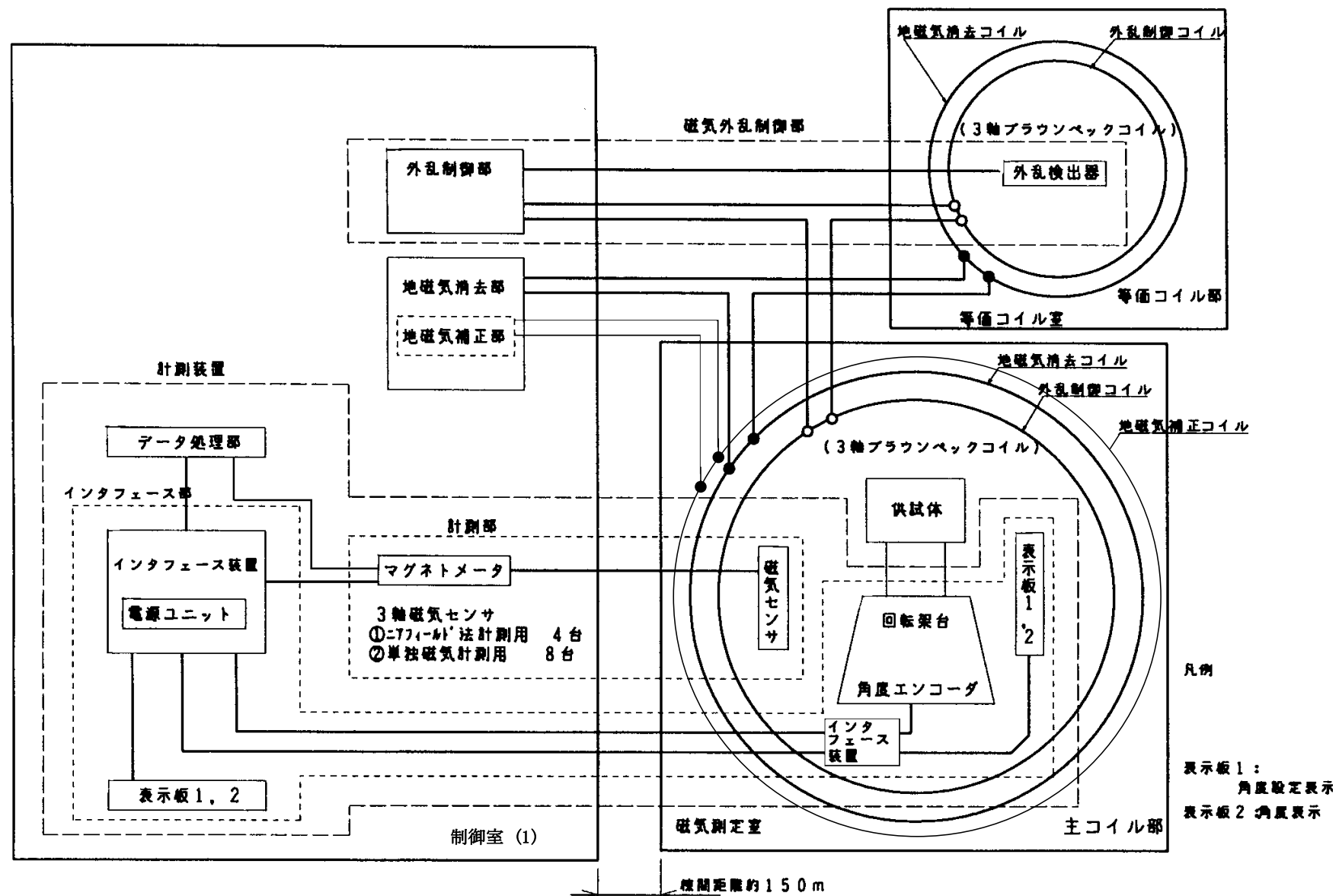


図2-5 磁気試験設備システム構成図

## 2.2 装置概要

### (1) 大型磁気試験装置

零磁場制御を行う主コイル（地磁気消去巻線、磁気外乱制御巻線）、外乱磁場を検出する等価コイル室、及び3軸磁気センサ4台を用いてニアフィールド法により衛星等の供試体磁気モーメントを測定する装置です。

また12カ所の磁気データ（磁束密度）を同時に計測する事が出来ます。

#### (a) 地磁気消去部

地磁気消去部は主コイル（地磁気消去巻線）に安定電流を流して地磁気を消去するものです。

#### (b) 磁気外乱制御部

磁気外乱制御部は外乱検出器で磁気フィールド外部から到来する磁気外乱を検出し、この外乱を打ち消すために磁気外乱制御部からコイル（磁気外乱制御巻線）に電流を流し、主コイル、等価コイルの両コイル中央の空間を常に零磁場の状態に保つものです。

#### (c) 計測部

計測部は3軸磁気センサで磁気から電気に変換された微弱な信号をメータ及びインタフェース部を駆動するのに十分な大きさに増幅し、A/D変換を行いデータ処理部で取り込めるようにするものです。1台の3軸磁気センサに1台の増幅部（マグネトメータ）を使用しています。

#### (d) データ処理部

データ処理部は供試体を一回転させて取り込んだデータを計算処理し、供試体の3軸の磁気モーメント値の算出、並びに磁気モーメント測定値の出力及び磁界パターンの出力を行うものです。

以下の条件の時、供試体を一回転させるのに要する計測時間は20分程度となります。

- ・ サンプルング角度 : 1度
- ・ サンプルング周波数 : 20Hz
- ・ サンプルング個数 : 100個

測定データの出力としては以下のものがあります。

- ① 磁気モーメント測定値の出力（図4-6参照）
- ② 磁界パターンの出力（図4-7、4-8参照）

なおデータはデータ処理部に保存されるので、全測定終了後一括して出力する事も出来ます。

#### (e) インタフェース部

インタフェース部は磁気測定室及び制御室にある表示盤に回転テーブルの回転角度、及びデータの取込み状況を表示するものです。

### (2) 弱磁界副標準装置

弱磁界副標準装置は人工衛星搭載用磁力計等の弱磁界の校正、及び大型磁気試験装置3軸磁気センサの校正に使用するものです。

### (3) 磁気モデル

磁気モデルはニアフィールド法において衛星等の磁気モーメント測定を実施する場合、磁気試験設備全体の動作を事前に確認するために既知の磁場を発生（ $-5 \sim +5 \text{ Am}^2$ ）させる装置です。

X、Y、Z 方向に磁場を発生させるため各軸において独立したコイル（計 6 個）を持つ磁気モデル部とそれを回転させるための磁気モデル回転架台、レーザビーム用ターゲット、及びエンコーダより構成されています。

磁気モデル部の各軸独立したコイルに電流を流す事によって、既知の磁場を任意の方向に発生させる事が出来ます。

### (4) 中磁界副標準装置

中磁界副標準装置は地磁気の全磁力、水平分力及び鉛直分力の絶対値を測定する装置で、大型磁気試験装置の 3 軸磁気センサ校正に使用するものです。

## 2.3 主要性能

### 2.3.1 大型磁気試験装置仕様

表2-1 大型磁気試験装置仕様

| 装置名称                 |          | 仕様                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 大型<br>磁気<br>試験<br>装置 | 地磁気消去部   | 磁場均一度：主コイル中心部2.3mφ球空間において $0 \pm 2.5 \text{ nT}$ 以内*<br>主コイル：3軸ブラウンバックコイル方式（最大直径15.5m）<br>電流安定度：X軸及びZ軸 $3 \times 10^{-5}$ /時間、Y軸 $1 \times 10^{-3}$ /時間                                                                           |
|                      | 磁気外乱制御部  | 外乱制御範囲：振 幅： $\pm 1,000 \text{ nT}$<br>周波数特性：DC $\sim$ 10Hz（-3dB）<br>等価コイル：3軸ブラウンバックコイル方式（最大直径1.5m）<br>システム：零磁場安定度は2.0 nT/時間                                                                                                       |
|                      | 計測部      | 3軸磁気センサ（3軸フラックスゲート磁力計）：<br>ニアフィールド法計測用：4台<br>単独磁気計測用：8台<br>1軸磁気センサ（1軸フラックスゲート磁力計）：1台<br>測定範囲： $\pm 100,000 \text{ nT}$<br>精度：25 nTレンジ $\pm 5\%$ 、その他のレンジ $\pm 2\%$<br>マグネトメータの出力安定度：出力ドリフト1 nT/時間以下<br>周波数特性：DC $\sim$ 10Hz（-3dB） |
|                      | データ処理部   | 計算機及びプリンタで構成                                                                                                                                                                                                                      |
|                      | インタフェース部 | 角度表示盤：設定角度、回転角度、及び回転の進行・停止等を表示する。<br>回転架台：重量200 kg以下の供試体に使用出来る。<br>角度エンコーダ：12bitパラレルデータ信号を出力                                                                                                                                      |
|                      | 単独磁力計    | 供試体が磁気ノイズを発生しない時の3軸磁気センサ取得値の標準偏差値は0.5 nT以下                                                                                                                                                                                        |
|                      | システム測定精度 | 大型磁気試験装置の磁気モーメント測定における計測公差を表2-2に示す。                                                                                                                                                                                               |

\* 1 ガウス $=1 \times 10^{-4} \text{ T} = 1 \times 10^5 \text{ nT}$

表2-2 磁気モーメント測定における計測公差

| 磁気モーメント<br>発生軸 | 絶対値公差[%]            |                       | 角度公差[度] |           |
|----------------|---------------------|-----------------------|---------|-----------|
|                | 0.1 Am <sup>2</sup> | 0.2～5 Am <sup>2</sup> | アジマス方向  | エレベーション方向 |
| X軸             | ±8                  | ±3                    | ±4      | ±11       |
| Y軸             |                     |                       | ±3      | ±16       |
| Z軸             | ±12                 | ±12                   | —       | ±2        |
| X-Y合成軸         | ±8                  | ±3                    | ±4      | ±16       |
| X-Z合成軸         | ±12                 | ±12                   | ±4      | ±11       |
| Y-Z合成軸         |                     |                       | ±3      | ±16       |
| X-Y-Z合成軸       |                     |                       | ±4      |           |

注) 2.3mφ 球空間は設備納入当初の値である。後に磁気フィールド内に建設された総合開発推進棟等に伴う磁場環境変化の影響を検討した結果、安定して零磁場均一度  $0 \pm 2.5$  nT が得られる範囲は現状 1.6mφ 球空間となっている。

### 2.3.2 弱磁界副標準装置仕様

表2-3 弱磁界副標準装置仕様

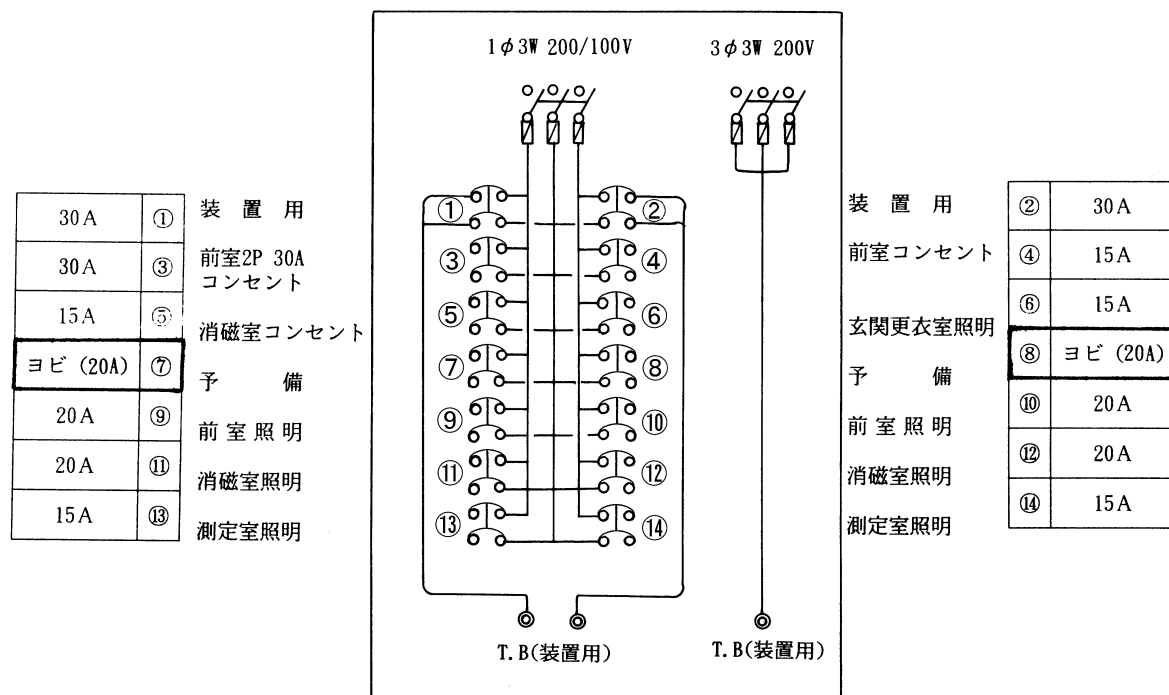
| 装置名称     |       | 仕様                                                                                                                                   |
|----------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 弱磁界副標準装置 | 精密磁気儀 | 磁気儀コイル形状：円形ヘルムホルツコイル（3軸構成）<br>磁気儀コイル直径：X軸＝1,000 mmφ、Y軸：1,100 mmφ、Z軸:1,200 mmφ<br>床からコイル中心までの高さ：850±25 mm<br>コイル中心部での出力磁場：0±50,000 nT |
|          | 電源部   | 出力磁場：±0.04 nT～±50,000 nT<br>校正磁界精度（0.04 nT～1,000 nT）：0.01 nT以下（1,000 nTレンジ）<br>校正磁界変化量（0.04 nT～1,000 nT）：0.01 nT以下（1,000 nTレンジ）      |



### 3.1.4 電源設備

磁気測定室（前室）に設置されている分電盤（L-1）の盤内接続図を図3-2に示します。

ユーザは端子（⑦、⑧）を利用出来ます。



注) 太枠内は、ユーザが使用可能。

図3-2 前室の分電盤（L-1）接続図

磁気測定室（前室）に設置されている分電盤（L-2）の盤内接続図を図3-3に示します。ユーザはL-2分電盤を使用出来ます。

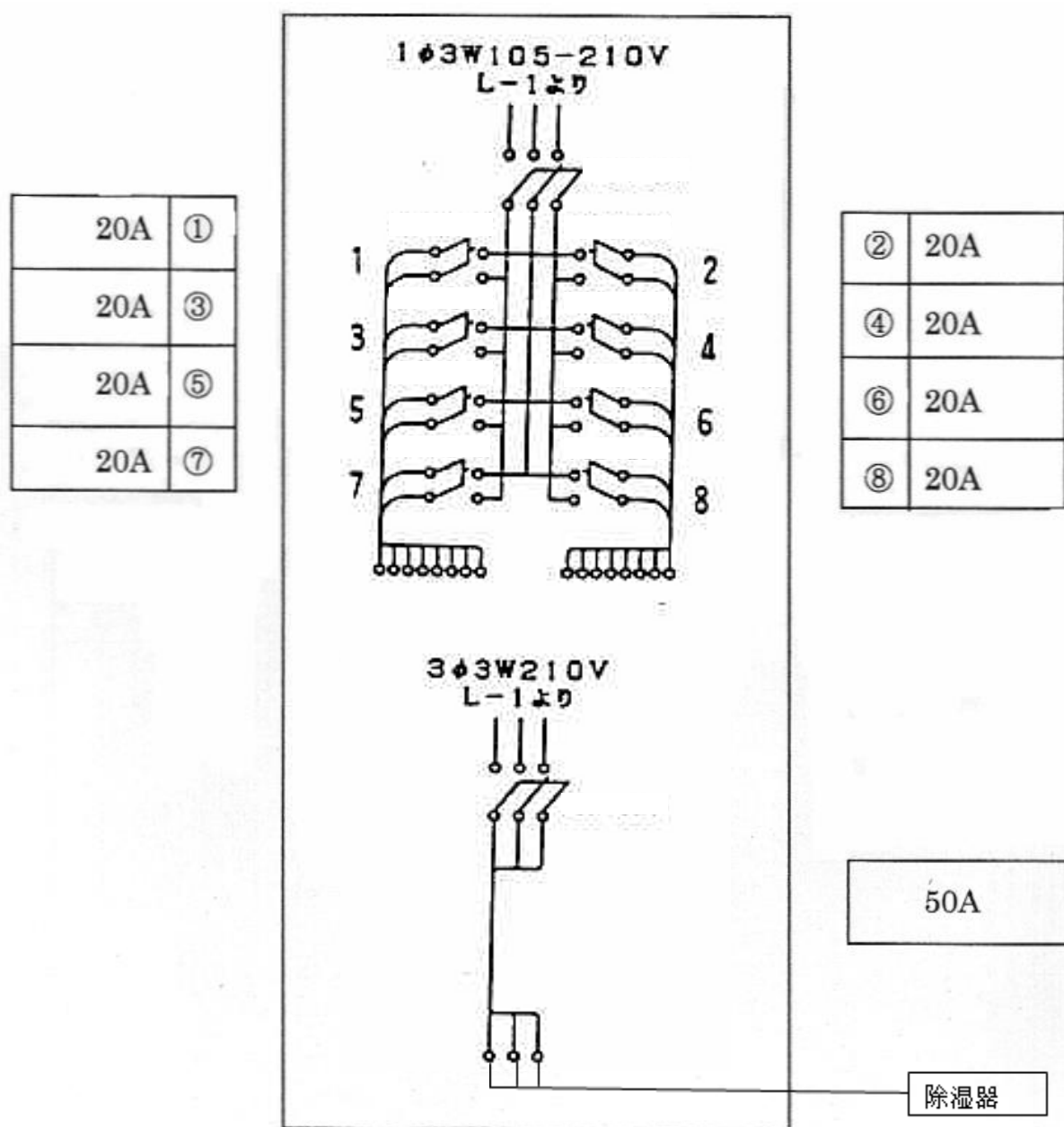


図3-3 前室の分電盤（L-2）接続図

### 3.1.5 空調管理

清浄度：クラス 10 万（ISO 14644-1 Class 8）

温度：23±3℃（目標）

湿度：30～60%（目標）

注）空調機の運転/停止操作は、試験設備管理室へ連絡し依頼して下さい。

### 3.1.6 床耐荷重

最大床耐荷重：48.0 kN（4.9 tf）但し集中荷重を除く



### 3.2 制御室コンフィギュレーション

#### 3.2.1 設備の配置

制御室の機器設置場所を図3-4に示します。

測定中は赤色回転灯を点灯させて下さい。

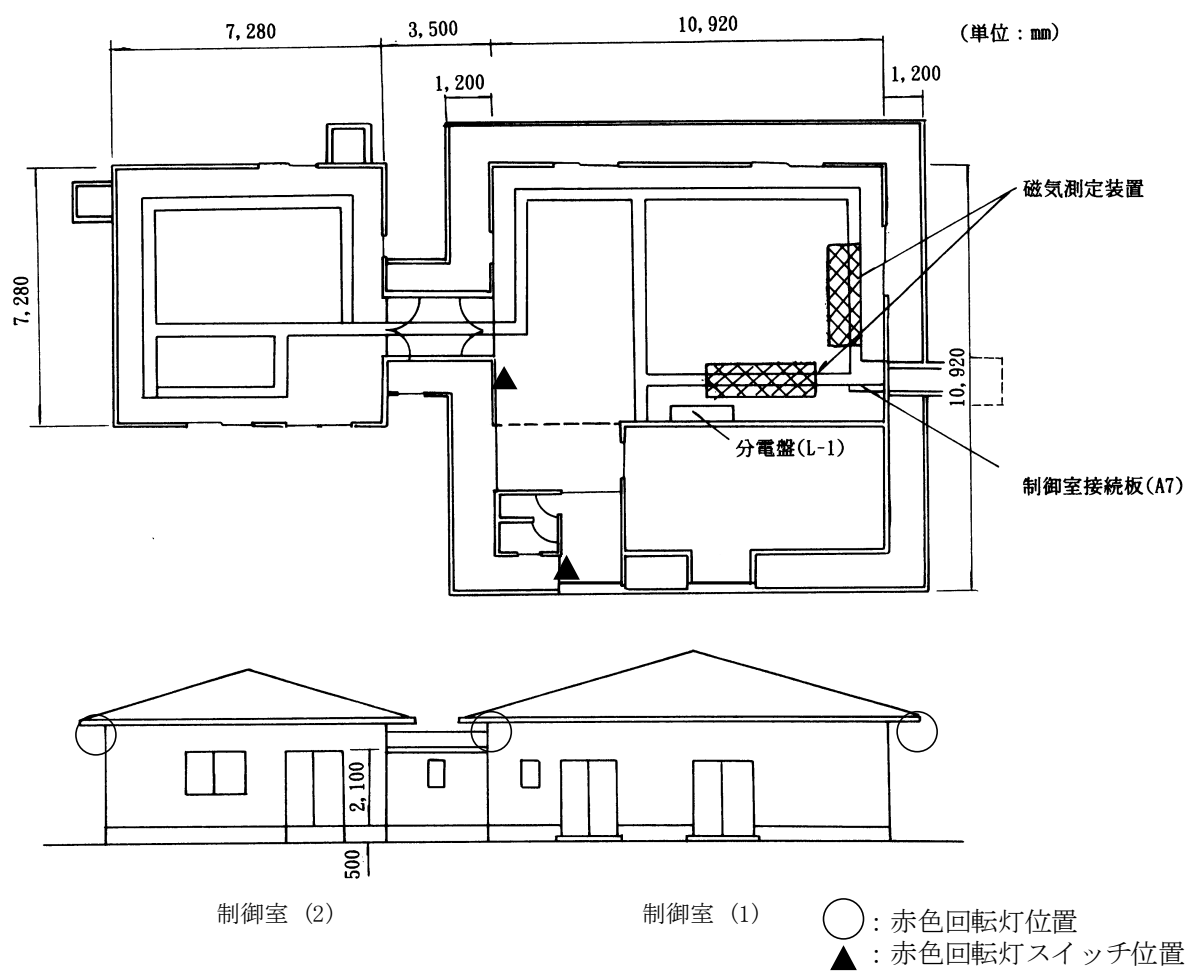


図3-4 制御室の機器設置場所

### 3.2.2 電源設備

制御室(1)の分電盤（L-1）接続図を図3-5に示します。

ユーザは端子②を利用出来ます。

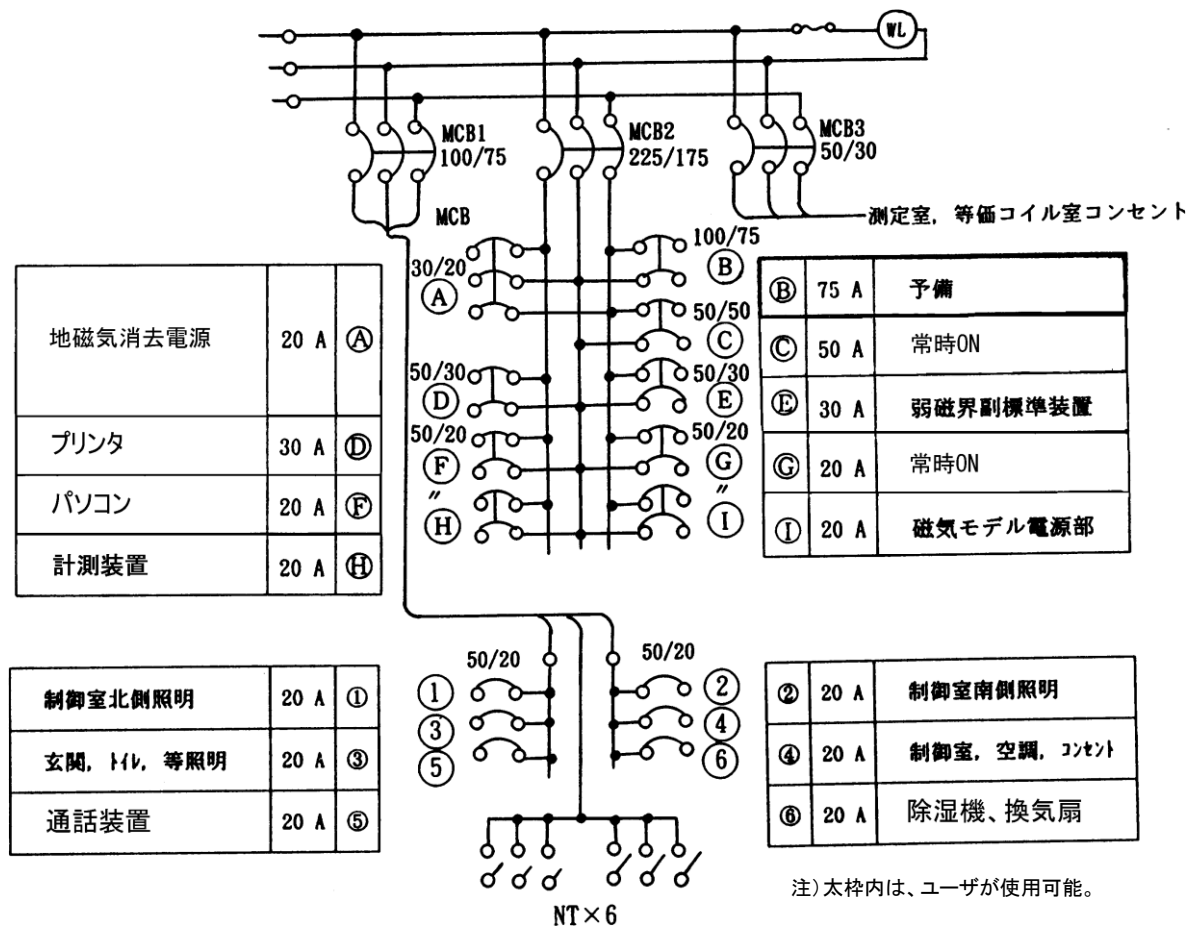


図3-5 制御室（1）の分電盤（L-1）接続図

### 3.2.3 空調管理

制御室(1)に1台、制御室(2)に2台の個別空調が設置されています。

## 3.3 装置インタフェース

### 3.3.1 連絡装置

試験の実施に際しては、無線ページング装置を使用し制御室(1)－磁気測定室間の連絡が出来ます。また磁気測定室の作業状況は制御室(1)のモニタTVでモニタ出来ます。

### 3.3.2 3軸センサ架台設定例

ニアフィールド法で使用する3軸センサ架台と供試体との設定例を図3-6に示します。

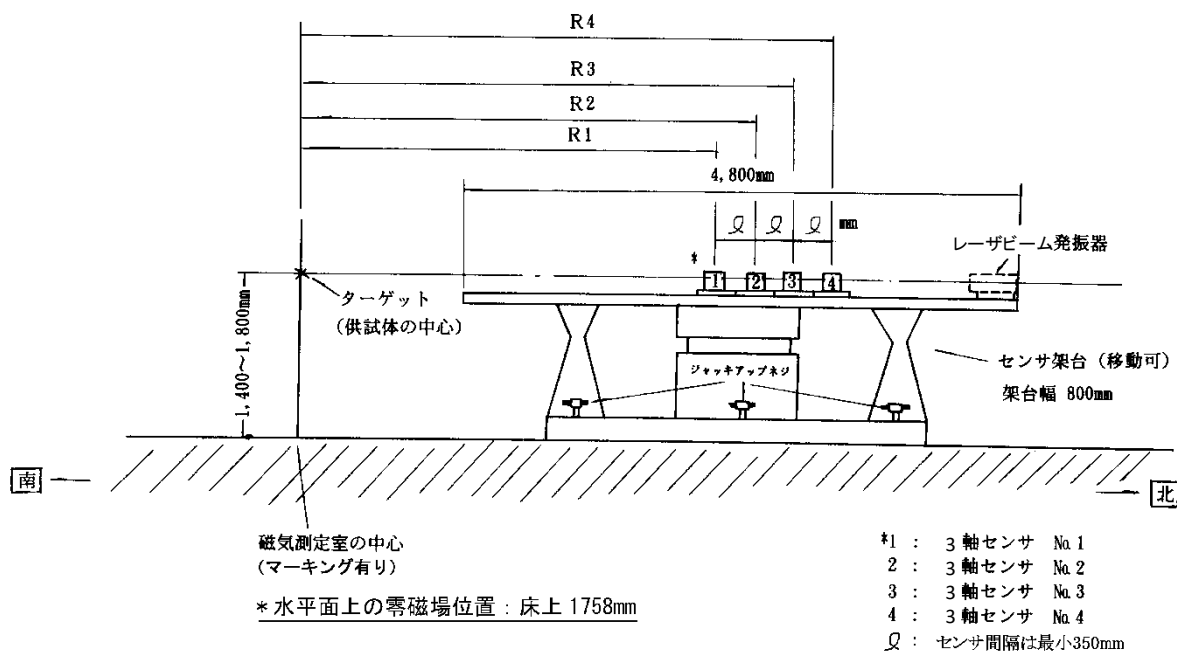


図3-6 3軸センサ架台の設定例

### 3.3.3 設備の座標軸定義

設備の軸方向と測定座標軸との関係を図3-7に示します。

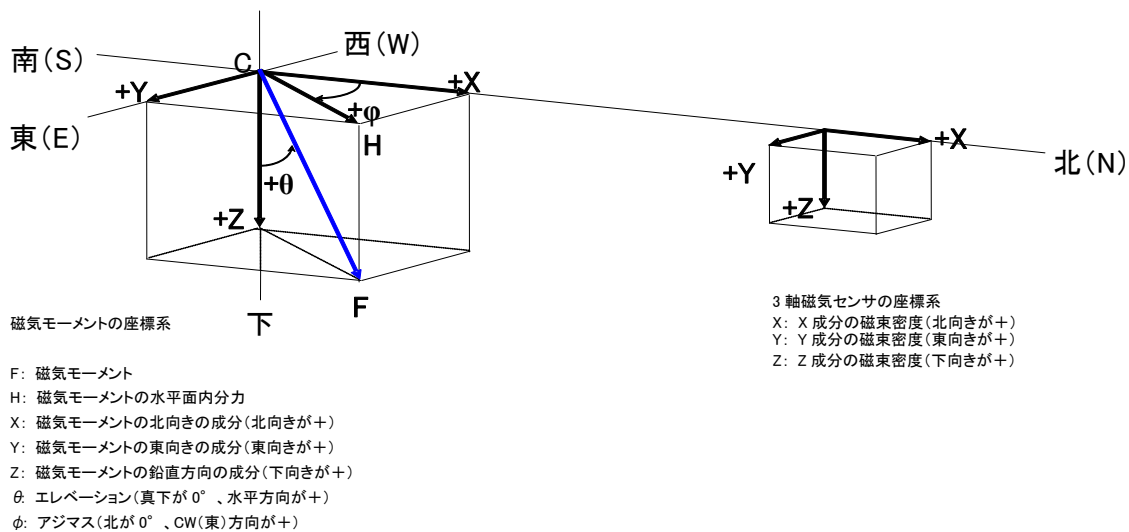


図3-7 座標軸の関係

### 3.3.4 回轉架台

回転架台は衛星搭載用コンポーネント類の磁気試験を行うための架台で、供試体重量が200 kg以下の場合に使用出来ます。

回転架台の仕様を表3-3に、また寸法を図3-8に示します。

表3-3 回轉架台仕様

| 項目      | 仕様                               |
|---------|----------------------------------|
| 使用材料    | アルミニウム、ステンレス、リン青銅、合成樹脂（非磁性体使用）   |
| 搭載許容質量  | 200（kg）                          |
| テーブル面高さ | 750（mm）（固定脚兼用ジャッキにより+80～-6 mm可変） |
| テーブル直径  | 800（mmφ）                         |
| 回転方法    | 丸型ハンドルによる手動操作                    |
| エンコード   | 12bit/360度（非磁性体使用）               |
| 重量      | 168（kg）                          |

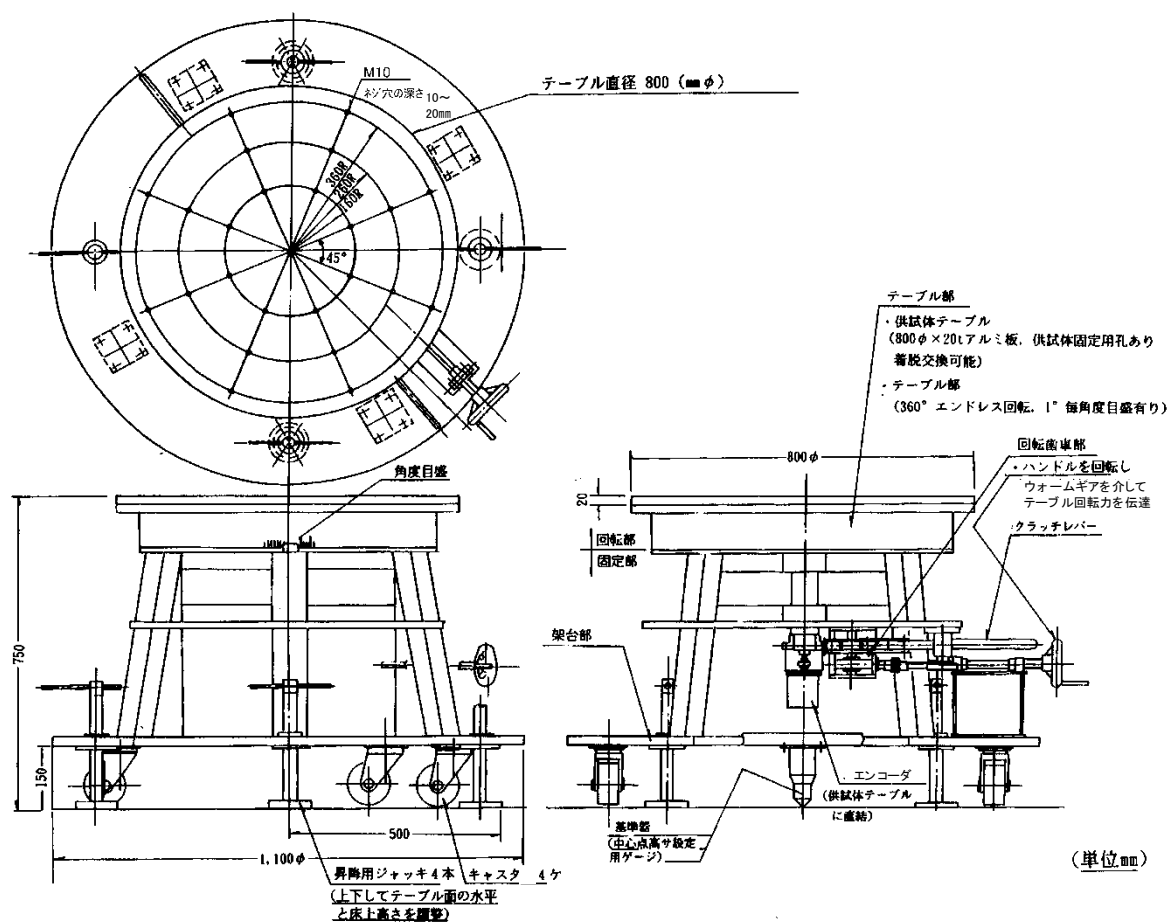


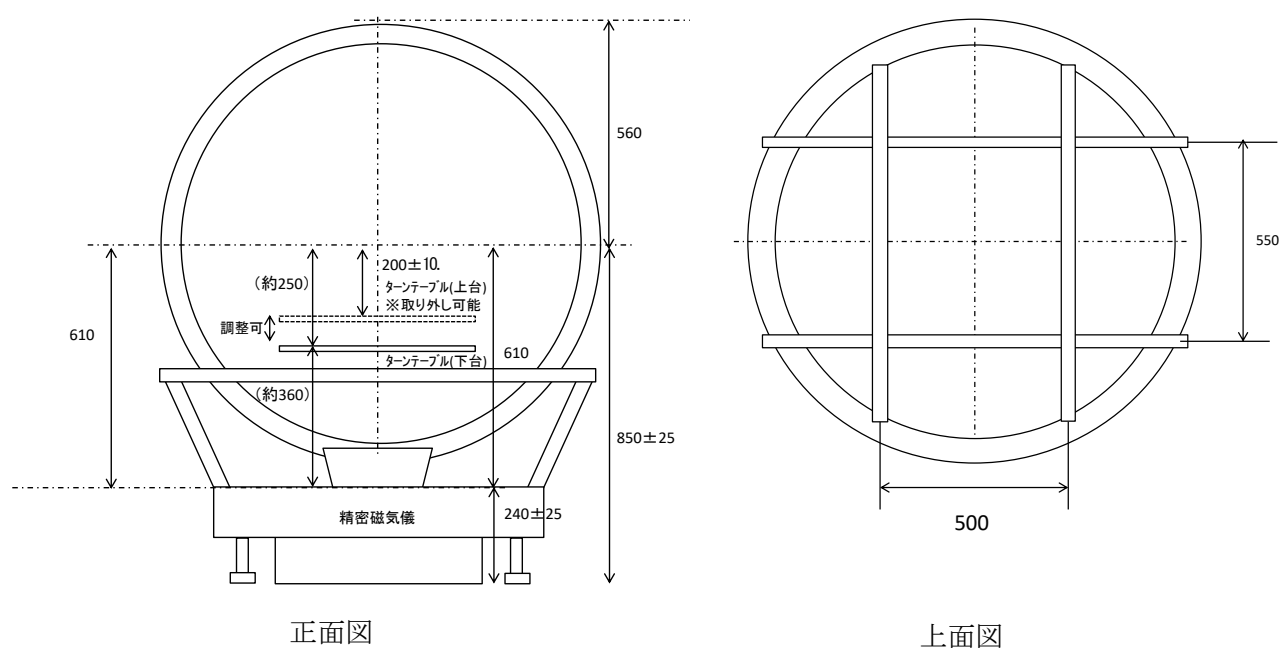
図3-8 回転架台寸法

### 3.3.5 精密磁気儀

磁気センサの校正、精度確認等に使用する精密磁気儀の仕様を表3-4及び図3-9に示す。

表3-4 精密磁気儀仕様

| 項目      | 仕様                               |
|---------|----------------------------------|
| 使用材料    | アルミニウム、リン青銅、合成樹脂（非磁性体使用）         |
| 中央高さ    | 基準面より610 mm                      |
| テーブル面高さ | 中央より190 mm～210 mm下側（調整可能）        |
| テーブル直径  | ターンテーブル上台 $\phi 421$ mm（淵側に段差有り） |
| 回転方法    | 手動（手で直接回す）                       |
| エンコーダ   | なし（1度刻みの目盛りが回転台にあり）              |



単位 mm（ ）の値は図面に記載がないため実測による。

図3-9 精密磁気儀寸法

## 4 試験実施

### 4.1 供試体の搬入・搬出

#### 4.1.1 供試体の移動経路

磁気試験棟への供試体移動経路を図4-1に示します。

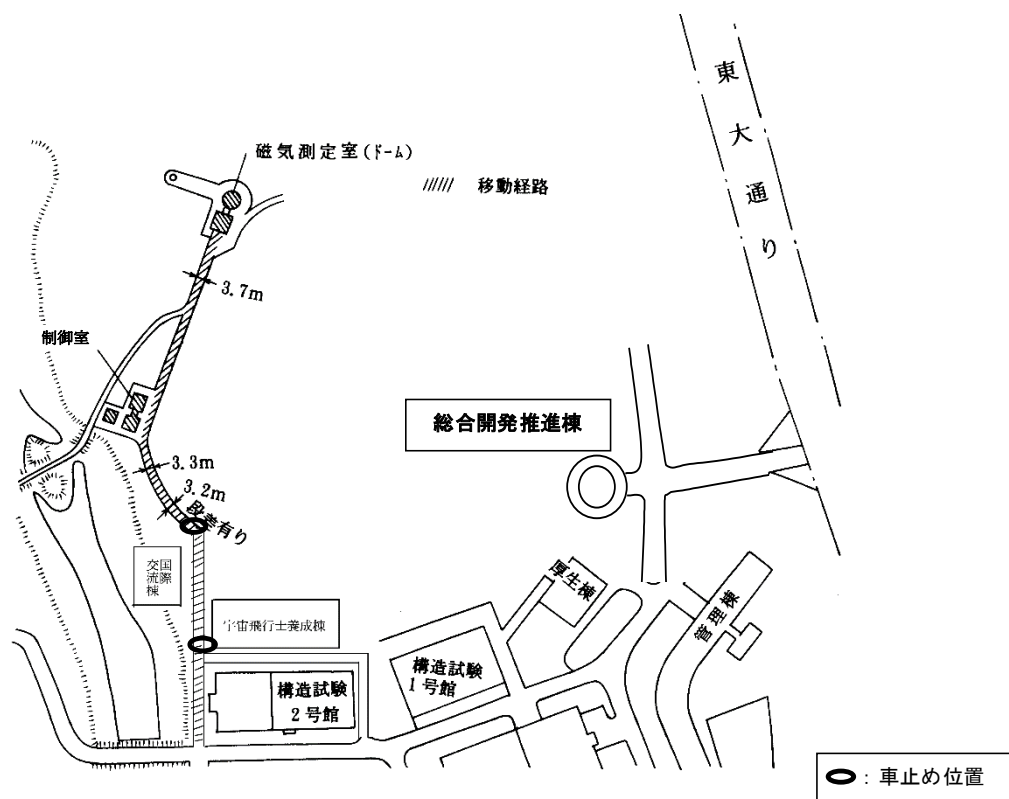


図4-1 供試体移動経路

#### 4.1.2 供試体の搬入出

磁気測定室への搬入は以下の通りで、搬出はこの逆になります。

前室→消磁室→磁気測定室搬入の際、供試体を載せる磁気試験用移動台車（非磁性体）はユーザー側で用意して下さい。

また天井クレーンは用意されていないので、クレーン作業のないよう準備して下さい。

供試体を外から前室及び消磁室から磁気測定室に搬入する場合は図4-2、図4-3に示すようなスロープがあります。

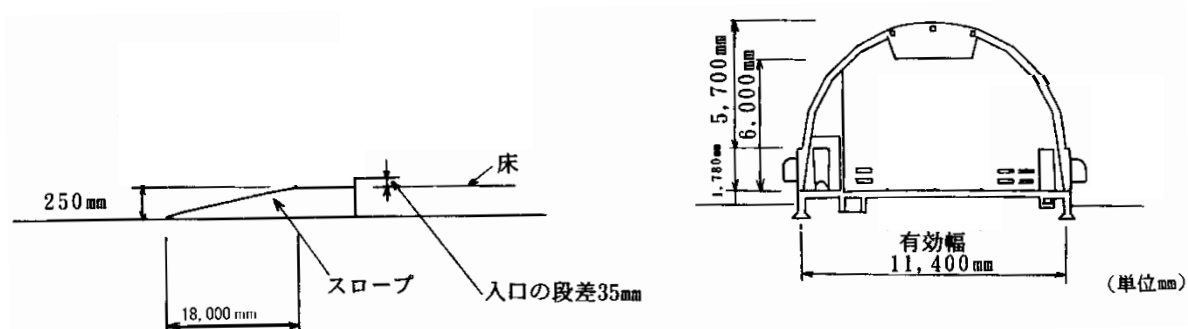


図4-2 外から前室への搬入扉のスロープ

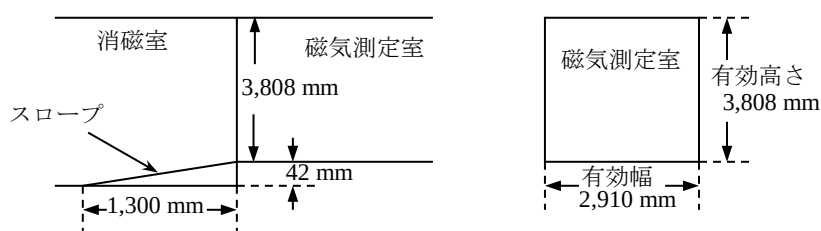


図4-3 消磁室から磁気測定室出入口のスロープ

#### 4.1.3 供試体のハンドリングに関する所掌

供試体の搬入・搬出、試験中の供試体ハンドリング等をはじめとした供試体廻りの作業はユーザー側で実施して下さい。

## 4.2 試験実施フロー

### 4.2.1 磁気モーメント測定時の試験実施フロー

#### (1) 試験実施フロー

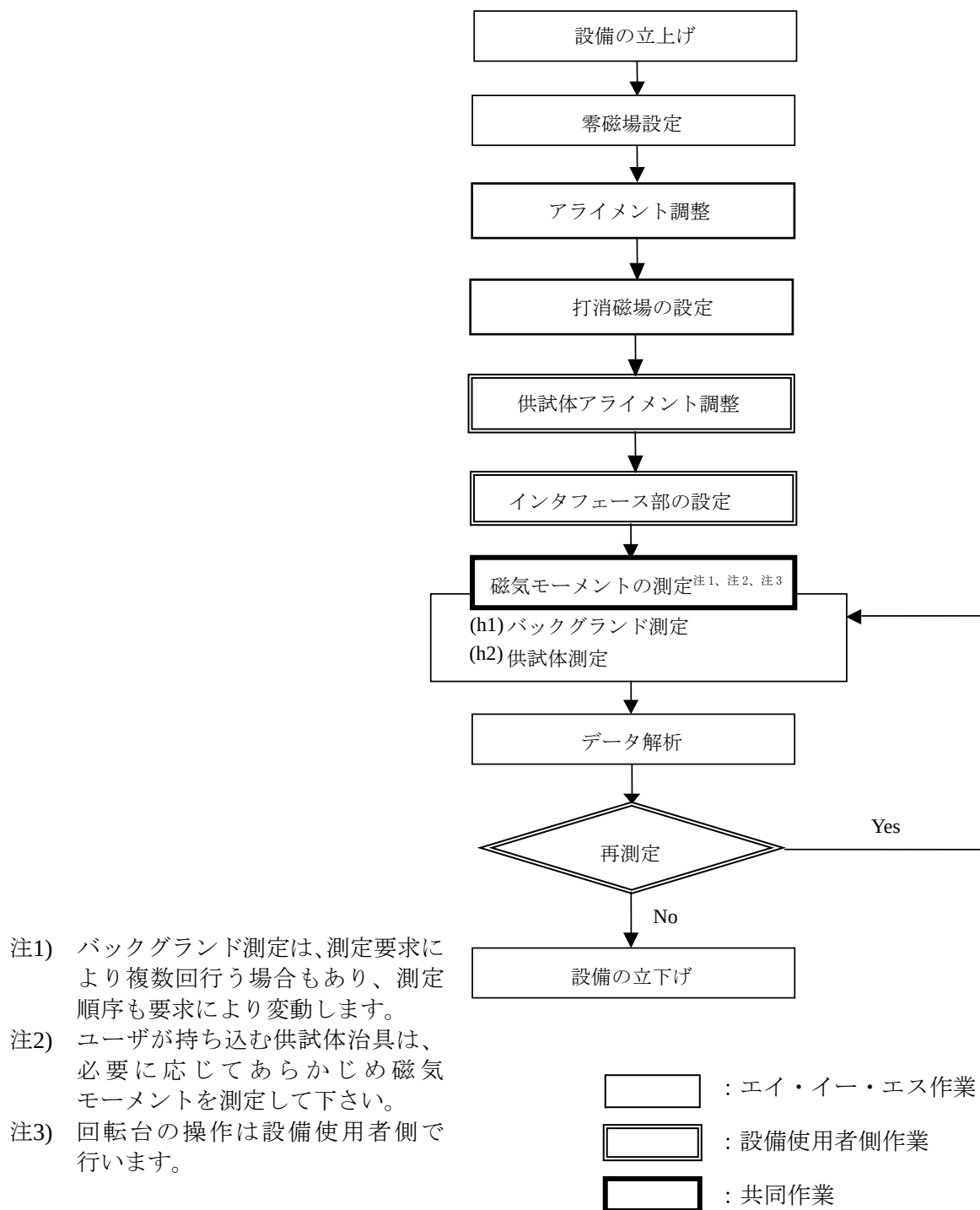


図4-4 試験実施フロー（磁気モーメント測定）

#### (2) 作業内容

##### (a) 準備

磁性体を測定室外へ移動します。



(b) 設備の立上げ

磁気外乱制御部、地磁気消去部、計測部、データ処理部、インタフェース部の各装置電源を ON にし、1 時間程十分エージングを行います。

(c) 零磁場設定

磁気外乱制御部及び地磁気消去部を調整して無磁気空間を作り、その零磁場均一度を測定します。(参考値：2.3mφ 空間内にて  $0 \pm 2.5$  nT 以内)

(d) アライメント調整

3 軸磁気センサ及び架台のアライメントをレーザビームを使用して調整します。

(e) 打消磁場の設定

3 軸磁気センサの磁場の打消しを行います。

(f) 供試体アライメント調整

供試体を磁気測定室中心に設置し（中心マーカあり）、レーザビームを使用してアライメントをとります。

(g) インタフェース部の設定

回転架台にエンコーダ用ケーブルを接続します。

(h) 磁気モーメントの測定

(h1) バックグラウンド測定

供試体を前室に移動させて磁気測定室及び供試体治具等のバックグラウンド測定を行います。

(h2) 供試体測定

計算機にパラメータ（添付 A 参照）を入力します。また角度表示板を確認しながら磁気測定室内の供試体を一回転させて供試体の磁気モーメントを測定します。(供試体の回転は人力によります)

(i) データ解析

(h)から残留磁気モーメントを計算処理させ、結果をプリント出力します。

残留磁気モーメント値が供試体規定値より大きい等、再測定が必要な場合は(h)より実施します。

(j) 設備の立下げ

(b)の逆手順により設備を立下げます。

#### 4.2.2 磁気センサ校正時（供試体磁気センサの精度確認）の試験実施フロー

##### (1) 試験実施フロー

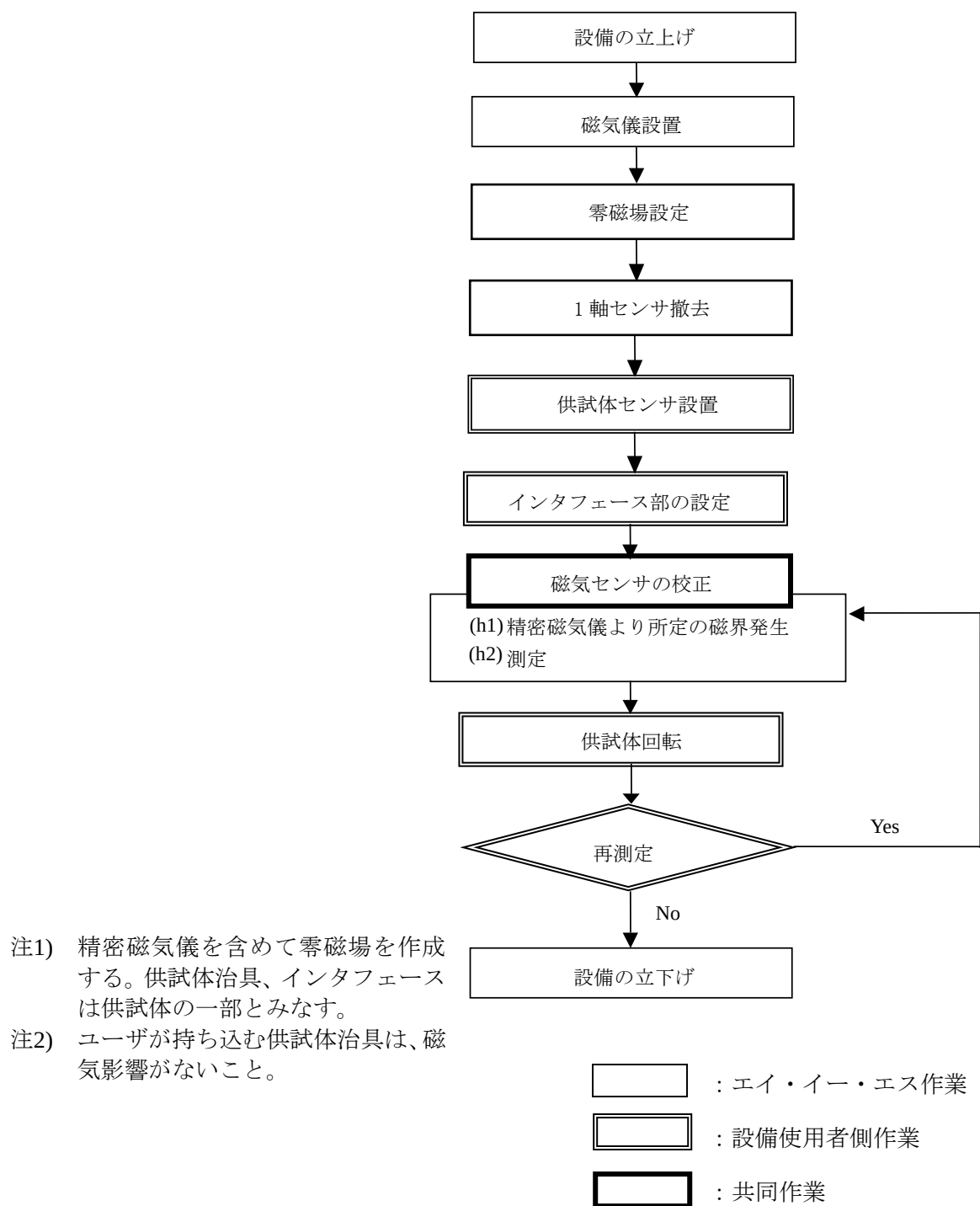


図4-5 試験実施フロー（磁気センサ校正）

## (2) 作業内容

### (a) 準備

磁性体を測定室から移動します。

### (b) 設備の立上げ

磁気外乱制御部、地磁気消去部、計測部、データ処理部、インタフェース部の各装置電源を ON にし、1 時間程十分エージングを行います。

### (c) 精密磁気儀設置

磁気ドームの中心に、精密磁気儀を設置します。精密磁気儀の中央に零磁場測定用の 1 軸センサを設置します。

### (d) 零磁場設定

磁気外乱制御部及び地磁気消去部を調整して無磁気空間を作り、その零磁場均一度を測定します。(参考値：2.3mφ 空間内にて  $0 \pm 2.5 \text{ nT}$  以内)

### (e) 1 軸センサ撤去

1 軸センサ及び 1 軸センサ架台を撤去します。

### (f) 供試体センサ設置

供試体を精密磁気儀中央 (X,Y,Z 各方向の中央) にセンサ部がおかれるように供試体を設置します。レーザビーム等を使用してアライメントをとります。

### (g) インタフェース部の設定

供試体にケーブルを接続します。

### (h) 磁気センサの校正

精密磁気儀より既知の磁界を発生し、供試体で測定します。

### (i) 供試体の回転

精密磁気儀は X,Y,Z 方向の磁界を発生させる事が出来ませんが、供試体センサのオフセット絶対値や直交度を測定する場合は、必要に応じて供試体を回転して測定します。

### (j) 設備の立下げ

(b)の逆手順により設備を立ち下げます。

### 4.3 試験条件要求

- (1) 測定時に零磁場空間に影響を与える磁場外乱源を排除するため、磁気試験設備の周辺を交通規制する場合があります。交通規制を行うには調整に時間が必要なため、試験スケジュールを試験開始1ヶ月前までに試験設備管理室に連絡して下さい。但し試験精度に影響しないと事前に判断されているのであればその旨同様にご連絡下さい。なお、連絡がない場合や上記の通り試験精度に影響しないと判断された場合は、測定精度の保証は担保いたしません。
- (2) 試験準備を円滑に行うため、磁気モーメント測定を行う場合は、供試体の大きさと設置する3軸センサ架台の距離等の試験条件を、センサの校正を行う場合は印加する磁界の強さ等の試験条件を、事前に提示して下さい。試験条件要求書を添付Aに示します。

### 4.4 磁気モーメント測定における試験結果解析

- (1) ニアフィールド法で取得した磁束密度データから解析した磁気モーメント解析出力結果例を図4-6に、磁界パターンの出力例を図4-7、4-8に示します。

参考：磁気モーメントのMKS単位系からSI単位系への変換式：

$$A * M^2 = \frac{Wb * m}{\mu_0}$$
$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} [H / m]$$

- (2) (1)で得た測定結果（磁束密度データ及び磁気モーメント解析結果）は電子データとしてUSBメモリに収録し、ユーザに提供する事が出来ます。

## \*\*\*\* RESULT DISPLAY (磁気モーメント解析結果) \*\*\*\*

TEST DATA ID (試験ID) : FY21システムキャリブレーション  
 INPUT FILE NAME (磁気計測データファイル名) : C:\Documents and Settings\Owner\Desktop\FY21社内保守\FY21システムキャリブレーション\20090903\NearData165158.csv  
 START TIME (開始時刻) : 2009/09/03 16:51:58  
 END TIME (終了時刻) : 2009/09/03 16:59:51  
 TEST ITEM (供試体名称) : 磁気モデル  
 TEST MODE (試験モード名) : X 1Am2  
 SAMPLING MODE (サンプリングモード) : AUTO  
 SAMPLING RATE OF ANGLE (サンプリング角度) : 1  
 SAMPLING FREQUENCY (サンプリング周波数) : 100Hz  
 NUMBER OF SAMPLING (サンプリング個数) : 100  
 PROBE POSITION (センサ設置距離) : R1=1200mm, R2=1550mm, R3=1900mm, R4=2250mm  
 NUMBER OF PROBE (使用センサ) : 1, 2, 3, 4  
 TERM XY (X, Y成分近似次数) : 3  
 TERM Z (Z成分近似次数) : 3  
 TEST ITEM AXIS (供試体測定軸) : X  
 BACK GROUND FILE NAME (バックグラウンドファイル名) : C:\Documents and Settings\Owner\Desktop\FY21社内保守\FY21システムキャリブレーション\20090903\NearData162731.csv

## \*\*\*\* MULTI-POLE COEFFICIENT (多重極係数) \*\*\*\*

()内は90%信頼区間

A(1)= 0.972 (± 0.012) B(1)= -0.010 (± 0.030) C(1)= -0.011 (± 0.025)  
 A(3)= -0.184 (± 0.020) B(3)= -0.048 (± 0.050) C(3)= -0.020 (± 0.067)  
 A(5)= -0.038 (± 0.012) B(5)= -0.032 (± 0.028) C(5)= -0.012 (± 0.047)

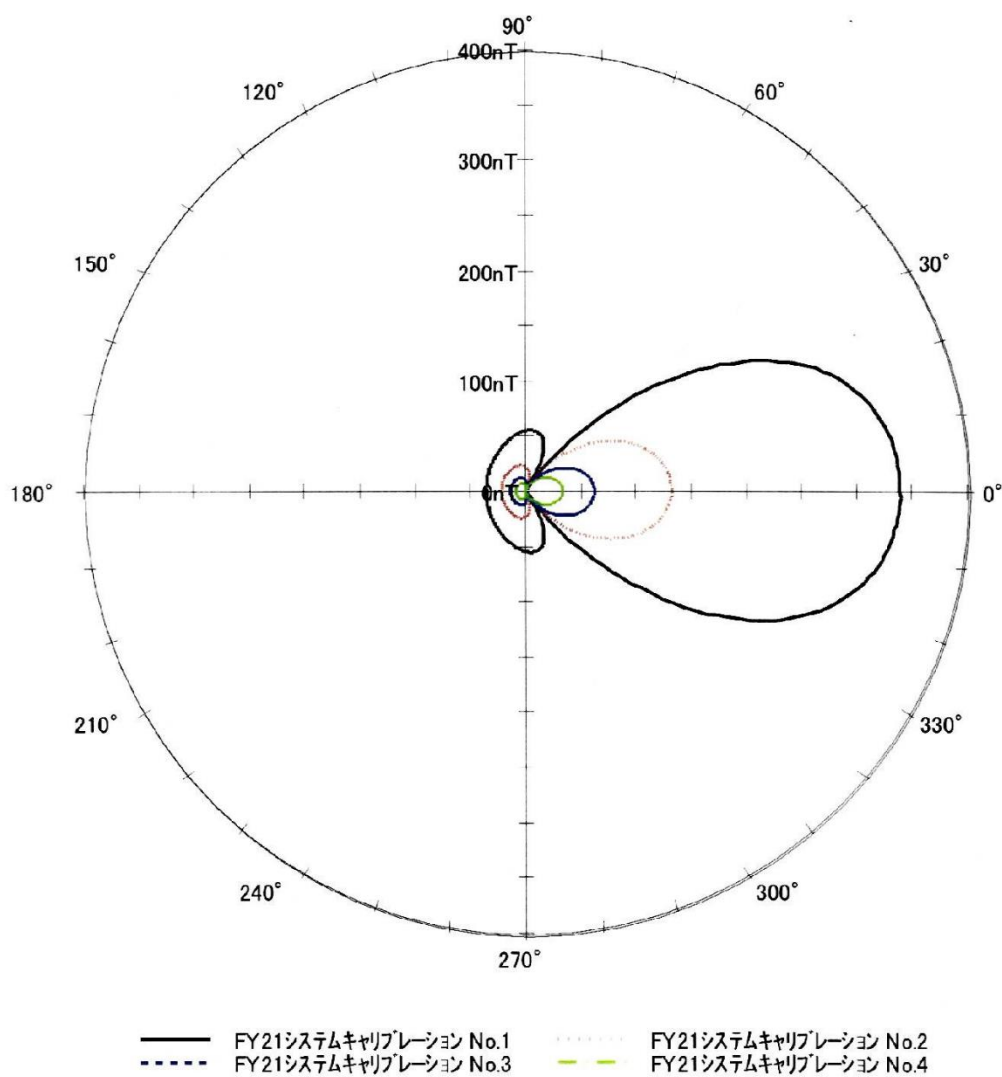
## \*\*\*\* DI-POLE MOMENT (ダイポールモーメント) \*\*\*\*

90%信頼区間

X AXIS (NORTH) (X軸(南北)) = 0.972A\*m<sup>2</sup> (± 0.012) ----- 1.222 μWb\*m  
 Y AXIS (EAST) (Y軸(東西)) = 0.010A\*m<sup>2</sup> (± 0.030) ----- 0.013 μWb\*m  
 Z AXIS (DOWN) (Z軸(上下)) = 0.011A\*m<sup>2</sup> (± 0.025) ----- 0.013 μWb\*m  
 MAGNETIC MOMENT (磁気モーメント(絶対値)) = 0.973A\*m<sup>2</sup> 1.222 μWb\*m  
 ELEVATION (θ) (エレベーション(θ)) = 89.4degree  
 AZIMUTH (φ) (アジマス(φ)) = 0.6degree  
 θ : 0° = 真下 正 = 水平方向  
 φ : 0° = 北 正 = CW(東)方向 負 = CCW(西)方向

図4-6 磁気モーメント測定値出力例

MAGNETIC FIELD PATTERN X AXIS



(1)

ID: FY21システムキャリブレーション DATE: 2009/09/03 16:51:58

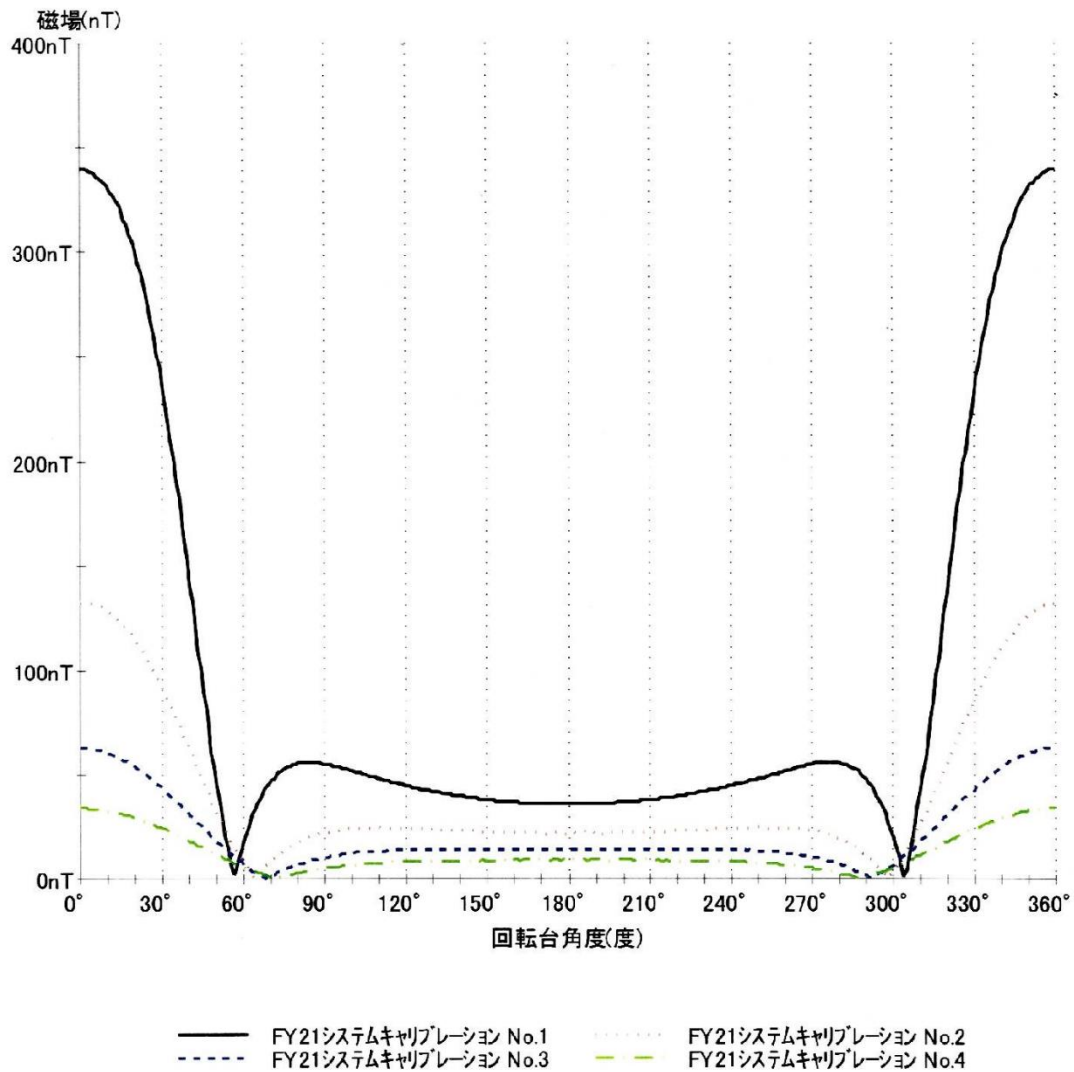
X AXIS(NORTH) (X 軸(南北)) = 0.972Am<sup>2</sup>

Y AXIS(EAST) (Y 軸(東西)) = 0.010Am<sup>2</sup>

Z AXIS(DOWN) (Z 軸(上下)) = 0.011Am<sup>2</sup>

図4-7 磁界パターン出力例 (極座標)

MAGNETIC FIELD PATTERN X AXIS



(1)

ID: FY21システムキャリブレーション DATE: 2009/09/03 16:51:58

X AXIS(NORTH) (X軸(南北)) = 0.972Am<sup>2</sup>

Y AXIS(EAST) (Y軸(東西)) = 0.010Am<sup>2</sup>

Z AXIS(DOWN) (Z軸(上下)) = 0.011Am<sup>2</sup>

図4-8 磁界パターン出力例 (直交座標)

#### 4.5 特記事項

- (1) 供試体測定とバックグラウンド測定の測定間隔は零磁場の変動による誤差を避けるため、極力短時間で行って下さい。
- (2) ユーザ側で作成する試験治具の材料は非磁性体を使用して下さい。
- (3) 測定期間中は、磁気フィールド内に磁性体や磁気を帯びるもの（鉄、ニッケル等）を持ち込まないで下さい。
- (4) 磁気測定中、磁気測定室には必要最低限の人員として下さい。
- (5) 測定時は、以下の通行規制及びエレベータの規制が実施されている事を確認して下さい。
  - (a) 小型車両及び大型バスの通行は、200m 以遠とされている事。
  - (b) 総合開発推進棟西側エレベータの運用が規制されている事。
  - (c) ダンプトラックの通行は、300m 以遠とされている事。
  - (d) 総合開発推進棟北側駐車場の駐車が規制されている事。
  - (e) 試験の精度要求により、車両及び駐車場の規制は半径 300m とし、総合開発推進棟東側エレベータの運用が規制されている事。



## 5 試験条件要求書の記入方法及び測定時の留意点

### (1) 試験条件要求書の記入方法

試験条件は添付 A に示すフォーマットにより提示して下さい。

なおこのフォーマットは事前に最新版の有無を確認願います。

試験条件要求書「表 A-4」の R1 については以下を参考にして下さい。

#### (a) サイズパラメータ

3 軸磁気センサ No.1 の回転中心からの距離 R1 はサイズパラメータ  $Sp$  が 1 以下となるように設定します。ここで  $D$  は回転中心に置いた供試体の直径です。

$$Sp = D/R1 \leq 1$$

下記の実験条件で求めた以下の実験則を参考に、ユーザ要求を満たす誤差感度となるようにサイズパラメータを選定します。

実験則 : 誤差感度 = 係数  $0.0228 \times$  サイズパラメータ  $Sp$  + 切片  $0.9685$

実験条件 : 回転中心から ( $0 \leq Sp \leq 0.94$ ) の範囲内で偏心させた、磁気モーメント  $1.7 \text{ Am}^2$ 、 $4.8 \text{ Am}^2$  を有する永久磁石を使用、フィット次数=3

#### (b) 磁気センサの設置間隔

磁気センサの設置間隔は No.4 磁気センサへの磁場入力が計測システムの測定限界  $0.5 \text{ nT}$  以上となるような範囲内で以下の式を満足するようにします。

$$2 \leq R4/R1 \leq 4$$

なお供試体の大きさが小さく、磁場源が回転中心付近にあるとみなせる場合 ( $Sp=0$ ) はフィット次数=3 において、 $R4/R1 \div 3$  で測定精度が良くなります。

### (2) 磁気モーメント測定上の留意点

#### (a) 本設備の最大測定能力

本設備において、サイズパラメータ  $Sp=1$  以下における磁気モーメント値の最大測定能力は  $32 \text{ Am}^2$  です。

#### (b) 水平成分と垂直成分の測定精度の違い

$z$  軸成分の測定精度は  $xy$  軸に比べて劣っているため、サブシステム試験では回転台上の設置の自由度が比較的ある場合にはサブシステムの  $z$  軸方向を  $xy$  軸方向に変更して測定するのが望ましい。

#### (c) フィット次数

フィット次数について、本設備では初期値を 3 として測定を行います。

フィット次数は  $X$  軸では 2, 3, 4、 $Z$  軸では 2, 3 において測定精度が良好です。再解析を行い高次の多重極子係数に大きな揺らぎや非現実的な値が生じないようにフィット次数を選定します。具体的には、ダイポール成分をピークとし高次の多重極子成分になるほど係数が減少し、90%信頼区間が最小となるフィット次数を選定します。磁気モーメント解析結果シートに出力される多重極子係数及びダイポールモーメントの 90%信頼区

間を確認し、不確かさを最小にする最適なパラメータに設定します。

多重極子係数の挙動からフィット次数を選定する手法としては、通常以下の手順が有効とされています。あらゆる試験条件に適用出来るとは限りませんが、参考として下さい。

【フィット次数の選定手順】

- ① フィット次数の初期値を X、Y 軸 : 3、Z 軸 : 3 として測定を行う。
- ② ダイポール成分をピークとし高次の多重極子成分になるほど係数の絶対値が減少している事を確認する。
- ③ ダイポールモーメントの 90%信頼区間から計算した磁気モーメントの 90%信頼区間が、拡張不確かさの範囲 11.12%以内にあるかを確認する。
- ④ 上記の 2 条件を満足しない場合はフィット次数を順次 1~7  
{(XY,Z)=(1,1),(2,2),(4,3),(5,3),(6,3),(7,3)} として再解析を行い、条件を満足するか確認する。
- ⑤ 条件を満足した場合は、その時のフィット次数を選定する。条件を満足しない場合は、磁気モーメントの 90%信頼区間が最小となるフィット次数を選定する。

但し上記③、⑤項の磁気モーメントの 90%信頼区間は、現状の解析結果出力シートには出力されていないため、ダイポールモーメント X、Y、Z 各成分の 90%信頼区間の二乗和平方根により求める。

(d) 測定空間の零磁場安定性

磁気試験においてはバックグラウンド測定を頻繁に実施する事は難しく、また測定可能なバックグラウンド磁場は供試体の測定時と時間的に隔たった時点のものである事から、試験時における測定空間の零磁場安定性をチェックする必要があります。

その方法として、ニアフィールド測定用の 4 台の 3 軸磁気センサ以外に単独磁力計用の 3 軸磁気センサを供試体の影響を受けない離れた位置に設置し、試験データ測定時に同時にその単独磁力計のデータも取得して磁場に変動がないか確認するやり方があります。

## 添付 A 試験条件要求書

＜試験条件要求書＞

供試体名称：\_\_\_\_\_

**表 A-1 共通**

| No. | 項目         | 説明                                             | パラメータ範囲                      | 記入例                                | 記入欄                    |
|-----|------------|------------------------------------------------|------------------------------|------------------------------------|------------------------|
| 1   | 供試体重量 (kg) | 磁気測定室の床の最大積載荷重は 48.0 kN (4.9 tf)、<br>但し集中荷重を除く | 48.0 kN (4.9 tf) 以下          | 100 (kg)                           | (kg)                   |
| 2   | 供試体寸法 (mm) | 磁気測定室の搬入有効開口寸法は、幅 2,910 mm・<br>高さ 3,808 mm     | 幅 2,910 mm×高さ 3,808 mm<br>以下 | 幅 850 mm<br>全長 850 mm<br>高さ 900 mm | 幅 mm<br>全長 mm<br>高さ mm |

**表 A-2 単独磁力計測定の実験条件要求書**

| No. | 項目               | 説明                                                              | パラメータ範囲                                | 記入例                       | 記入欄  |
|-----|------------------|-----------------------------------------------------------------|----------------------------------------|---------------------------|------|
| 1   | 回転架台/<br>磁気試験用台車 | 回転架台（積載容量 200 kg 以下）またはユーザが持<br>ち込む磁気試験用台車の選択                   | 回転架台/<br>磁気試験用台車                       | 磁気試験用台車                   |      |
| 2   | 自動測定/手動測定        | 自動：サンプル周波数、データ取得時間が選択出来る<br>手動：サンプル周波数 100Hz、データ取得時間 1 秒で<br>固定 | 自動/手動                                  | 自動                        |      |
| 3   | 3 軸磁気センサの使用台数    | 最大 8 台使用可能                                                      | 1 台～8 台                                | 8 台                       | (台)  |
| 4   | 3 軸磁気センサの設置位置    | 3 軸磁気センサ設置のコンフィギュレーション                                          | 磁気測定室内                                 | 別紙にコンフィギュレーション図<br>を添付する事 |      |
| 5   | サンプル周波数          | 単独磁力計から取り込むデータのサンプルレートの周波<br>数                                  | 10Hz、20Hz、50Hz<br>100Hz                | 100Hz                     | (Hz) |
| 6   | データ取得時間          | データを取得する時間                                                      | 1 秒、2 秒、5 秒、10<br>秒、30 秒、60 秒、120<br>秒 | 5 秒                       | (秒)  |

表 A-3 磁気モーメント測定の実験条件要求書

| No. | 項目                             | 説明                                                                                                                                                                                                       | パラメータ範囲                                                             | 記入例                                                                  | 記入欄                                                                     |
|-----|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| 1   | 供試体予測モーメント値 (Am <sup>2</sup> ) | 供試体を持つ、予測モーメント値 (X.Y.Z) を記入                                                                                                                                                                              | 3 軸とも*<br>0.1 Am <sup>2</sup> ～5 Am <sup>2</sup>                    | X= 1 Am <sup>2</sup><br>Y= 1 Am <sup>2</sup><br>Z= 1 Am <sup>2</sup> | X= (Am <sup>2</sup> )<br>Y= (Am <sup>2</sup> )<br>Z= (Am <sup>2</sup> ) |
| 2   | 回転架台/<br>磁気試験用台車               | 回転架台（積載容量 200 kg 以下）またはユーザが持ち込む磁気試験用台車の選択                                                                                                                                                                | 回転架台/<br>磁気試験用台車                                                    | 回転架台                                                                 |                                                                         |
| 3   | 3 軸磁気センサの設置高さ (mm)             | 磁気測定室の床面から 3 軸磁気センサ架台上のセンサ中心までの高さ<br>参考：床から零磁場中心までの高さ：1,758 mm                                                                                                                                           | 1,400～1,800 mm                                                      | 1,650 mm                                                             | mm                                                                      |
| 4   | 3 軸磁気センサの設置距離 (mm)<br>(5 項参照)  | 磁気測定室中心から各 3 軸磁気センサまでの距離<br>(添付 A の図 A-1 参照)<br><br>測定精度を最適にするパラメータの設定方法<br>以下に参考値を示す。<br>(1)R1 は以下の式を満足するように設定する。<br>$Sp=D/R1 \leq 1$ (D：供試体の直径)<br>(2)3 軸磁気センサ間隔は概ね次式の範囲にするのが良い。 $2 \leq R4/R1 \leq 4$ | R1 が約 1,000 mm～<br>約 3,900 mm<br>最小センサ間隔：350 mm<br>最大センサ間隔：1,400 mm | R1=1,200<br><br>R2=1,600<br><br>R3=2,000<br><br>R4=2,400             | R1= mm<br>R2= mm<br>R3= mm<br>R4= mm                                    |
|     |                                |                                                                                                                                                                                                          |                                                                     | Sp=1                                                                 | Sp=                                                                     |
| 5   | 試験モード名                         | 試験データ識別のための表示（試験モード等のコメントを記入）                                                                                                                                                                            | 半角英数字 256 文字以内<br>または全角 128 文字以内                                    | S/C ON<br>(モードが多い場合は別紙を添付する事)                                        |                                                                         |
| 6   | サンプリング角度                       | 磁気モーメントデータ（磁束密度）を取り込む角度間隔                                                                                                                                                                                | 1 度、10 度、15 度、<br>20 度、30 度                                         | 1 度                                                                  | (度)                                                                     |
| 7   | サンプリング周波数                      | サンプリング角度毎に取り込むデータのサンプリングレートの周波数                                                                                                                                                                          | 20Hz、100Hz                                                          | 100Hz                                                                | (Hz)                                                                    |
| 8   | サンプリング個数                       | サンプリング角度毎に取り込むデータ個数（平均化個数）                                                                                                                                                                               | 10 個、100 個                                                          | 10 個                                                                 | (個)                                                                     |
| 9   | フィット次数<br>(5 項参照)              | 磁気モーメント解析の際の近似次数                                                                                                                                                                                         | X、Y=1～7<br>Z=1～3                                                    | X、Y、Z=3（推奨値）                                                         |                                                                         |

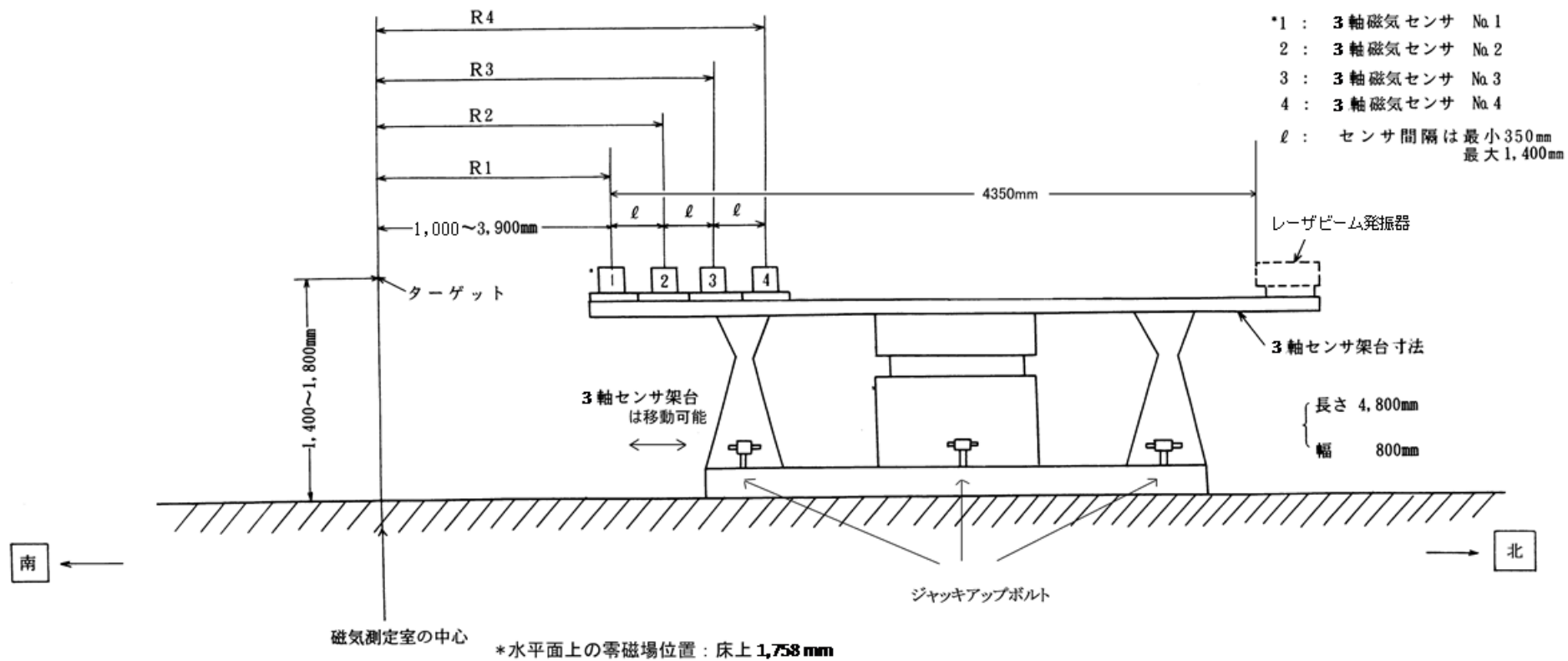
\* この範囲を目安として下さい。

表 A-4 校正試験の条件要求書

| No. | 印加磁場 (nT) | 校正軸 | No. | 印加磁場 (nT) | 校正軸 |
|-----|-----------|-----|-----|-----------|-----|
| 記入例 | 25,000    | X   | 11  |           |     |
| 1   |           |     | 12  |           |     |
| 2   |           |     | 13  |           |     |
| 3   |           |     | 14  |           |     |
| 4   |           |     | 15  |           |     |
| 5   |           |     | 16  |           |     |
| 6   |           |     | 17  |           |     |
| 7   |           |     | 18  |           |     |
| 8   |           |     | 19  |           |     |
| 9   |           |     | 20  |           |     |
| 10  |           |     | 21  |           |     |

注1) 以下の表に記入するかまたは印加磁場と校正軸が分かるよう別紙を添付する事。

注2) 校正試験を行う順番に記入する事。



図A-1 磁気測定室中心から各3軸磁気センサまでの距離