

70 年振りに発見された 100 年前のドイツ傾斜計の復元

機器開発グループ 園田保美

1. ドイツ傾斜計の発見と参考資料

(1) レボイル・パシュウィッツ傾斜計について

レボイル・パシュウィッツは 1989 年水平振子型傾斜計を使い日本で発生した地震をドイツの 2 地点で観測し世界初の遠地地震記録を得た。その後、渡欧した長岡半太郎や大森房吉の検討に基づき 1900 年ごろに日本にも同型の傾斜計が輸入された。この測器を志田順は 1909 年上賀茂に設置して我が国最初の地球潮汐の観測に成功した。この観測から潮汐による弾性地球の水平変形を初めて明らかにしそれを表現する係数は現在「志田数」と呼ばれている。この傾斜計はその後阿蘇などで使用されたが、1938 年再び上賀茂での観測記録が残された後、消息が途絶えていた。ところが昨年 7 月、James Mori 教授（京都大学）とちょうど来日中であった Luis Rivera(ストラスブール大)の 2 名によって上賀茂地学観測所敷地内の瓦礫の下から 70 年ぶりにレボイル・パシュウィッツ型傾斜計が発見された。

(2) 水平振子の復元

この傾斜計は上記のようにこれ自体歴史的意義をもつだけでなく、ツェルナー吊り方式の水平振子型傾斜計が多数製作され土地傾斜観測の標準となっていく、その嚆矢となったものでもある。この傾斜計を京都大学総合博物館で展示公開するにあたり、心臓部である水平振子自体は紛失しているため、これを復元することになった。製作はツェルナー吊り傾斜計の長い観測歴をもつ地震予知研究センター・宮崎観測所の園田（技術室機器開発グループ長）が同所の工作室で行った。レボイル・パシュウィッツ型傾斜計はいくつかの図が残されているが、志田の使用したものの振子については、その論文に文章で記述があるのみで図では表現されていない。“The pendulum, of T-type, consisted of two thin brass tubes of ca. 6mm, diameter, the vertical one having two agates at a distance of ca. 12cm.; one, plane, at the upper end and the other concave of ca. 3mm, diameter at the lower end, at which the pendulum hung freely on two steel points of its stand.” という記述だけを頼りに構造を推定した。支点到 agate(メノウ)まで取り付けられているわけではないが、機能的には完全に動作する形で復元に成功した。水平振子の動きは、ランプを光源として光テコ方式で拡大され印画紙記録されていたが、このためのミラーも取り付けられている。なおこの復元過程はビデオ映像で記録されており、京都大学博物館の展示会場で放映される予定である。

(3) 上賀茂観測所

京都大学上賀茂地学観測所は、京大吉田キャンパスからは北北西に約 4.5 km の距離にあるが、もともと地磁気観測を目的として 1900（明治 33）年に菊池大麓が会長をしていた震災予防調査会により設置され、東京帝国大学の田中館愛橘が 1902～03 年の地球磁力国際同時特別観測のために使用したものである。その後は使われておらず、1909 年に京都帝国大学に移管された。観測室周辺の岩質は、砂岩・頁岩をまじえた秩父古生層のチャートである。志田が上賀茂地学観測所で使用し、顕著な業績を挙げたレボイル・パシュウィッツ式傾斜計は、1939 年以降の足跡が途絶えており、上賀茂観測所の建物内はもとより、京大

地球物理学教室などにも残っておらず、現存していないのではないかと考えられていた。ところが、志田が上賀茂観測所で傾斜計を始めてからちょうど百年後の 2009 年 7 月 11 日に、James Mori 教授とそのとき来日中であった Luis Rivera の 2 名によって、上賀茂観測所の敷地内の空き地の倒木や落ち葉の下に埋もれていた瓦礫のなかからレボイル・パシュウィッツ式傾斜計が発見された。

（４）京都大学上賀茂観測所での発見

以下、関係者などでやり取りされたメールを引用して、発見のいきさつ、構造推定の経過を述べる。

（ Jim Mori 教授から地震予知関係 everyone など宛て Mail [2009 年 7 月 13 日付] ）

「先週土曜日、ストラスブール大学の Luis Rivera 氏とともに、上賀茂観測所へ行きました。建物の外の大量のがらくた（？）を見てみると、志田先生が有名な地球潮汐の研究に使われていた Rebeur-Paschwitz の装置を発見しました。添付ファイルをご覧ください。Luis は、これらの古い装置を探していました。1889 年に、このタイプの装置は、最初の遠地地震を記録しました。我々は、1886 年に大森先生によってドイツの Repsold and Sohne company に装置の作製が発注されたという情報を持っていました(社名が添付の写真で確認できます)。竹本先生によると、その装置は 1909 年に京都に移送され、上賀茂観測所で志田先生が使用されていたとのことでした。そして 1932 年に、阿蘇観測所に佐々憲三先生によって移送されました。その後、1937 年に再び上賀茂観測所に戻されました。1940 年ごろ以降、装置がどうなったかという記録は、残っていません。昨年、この装置を探すために上賀茂観測所へ行ったのですが、観測所の外側のがらくたの山を探しませんでしたので発見することができませんでした。今回、装置を観測所建物内に入れてきました。もう二度と誰かの手によって放り出されないことを望みます。

-Jim Mori」

写真 1 は京都大学上賀茂観測所での京都大学 Jim MORI 教授とストラスブール大学の Luis Rivera 氏による発見現場写真とレボイル・パシュウィッツ傾斜計の写真である。



写真 1 傾斜計発見現場

(5) 構造と参考文献について

(竹本修三氏から園田他宛てメール[2009 年 10 月 26 日付])

「今日、野川さんが振子部分の写真を 3 枚送ってくれましたが、志田先生が使っていた傾斜計の振子はずっとシンプルだったようです。もう 2 枚、傾斜計の振子部分を説明する図を添付ファイルでお送りしておきますが、志田先生の 1912 年の論文に記述されている振子の構造は、もっと簡単で、基本的に " T 字型 " をしており、直径 6mm の 2 本の真鍮管できており、横棒の長さが 21cm、縦棒の長さが 12cm と書かれています。横棒の左端と縦棒の下端の 2 点で支持枠に取り付けられていて、横棒の右端には 20g の錘がついていると書かれています。これを元にして簡単な図面を書いて、近日中にお送りします。そんなに面倒な工作ではないと思います。」

(大谷文夫氏から園田他宛てメール[同日付])

「具体的な点として問題になってくるのは、支持部(A , B)の構造かと思います。1912 年の論文に具体的な記述があれば、あるいは現物(受け部)を見れば ... 。
<http://www.univie.ac.at/wissenschaftstheorie/heat/gallery/figures3/fig3-122.htm> に竹本さんからお送りいただいた図 paschwitz (2).jpg とそっくりな図があります。この図では、支持部のニュアンスが多少 異なります。according to EHLERT 1895 となっています。野川さんからの strasbg2.jpg に from EHLERT(1898) と入っています。共著・単著の水平振子の文献がいくつかあるようですね。(添付 1 件 = 画像のままで失礼します) それとベ-ースを支える 2 か所のスクリュウねじの右側がはずれていたようですが、この復元(修理) までと言うのはやりすぎでしょうか。」

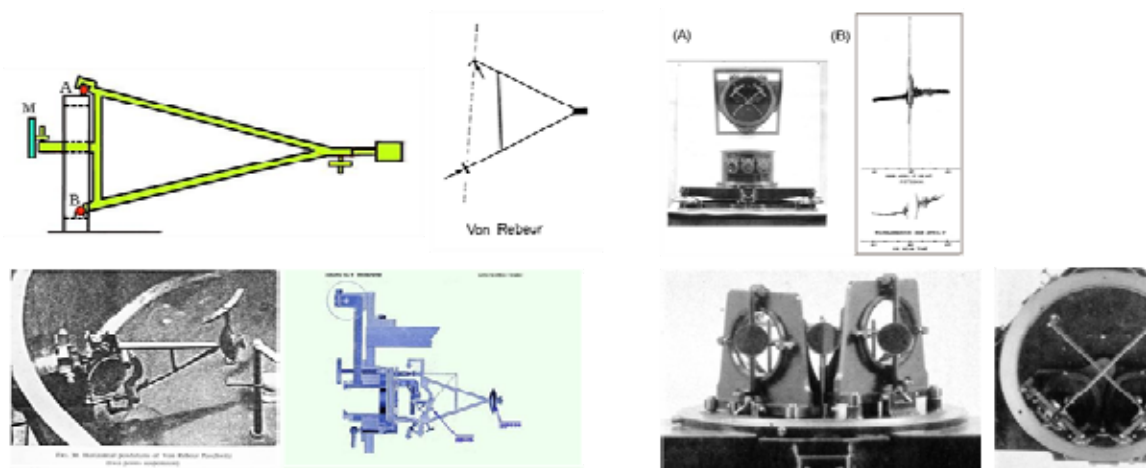


図 1 構造原理と傾斜計写真

(竹本修三氏から園田他宛てメール[2009 年 10 月 30 日付])

「竹本です。傾斜計振子部の復元、よろしくお願いいたします。志田先生の 1912 年の論文に記述されている振子の構造の原文(英語)とその部分の和訳を添付ファイル(振子の構造. t x t)でお送りします。振子は " T 字型 " で、約 12cm の縦棒(真鍮管)と約 21cm の横棒できており、縦棒の上下 2 点で支持されていると読めますがこれはおかしいです。私の考えでは、添付の " 振子部 1.jpg " のような構造ではなかったかと思います。縦棒の下部

と横棒の左端に瑪瑙（めのう）が付いていて、それに凹型の窪みが刻まれており、支持棒のスチール針の先端で支えられていたのではないかと思います。Bの部分の構造は間違いないと思いますが、Aの部分の構造（支持方式）は違うかもしれません。

振子部 2.jpg"は、私が考える縦棒の構造です。支持棒 1.jpg"、"支持棒 2.jpg"の写真で支持棒のイメージはつかんでもらえると思います。振子部 1.jpg"の図の薄く色がついているところが、園田さんに工作をお願いしたい部分です。志田先生の論文の記述で真鍮管となっていてところは、加工のしやすさを考えると真鍮棒を使ってもらった方がよいと思います。また、縦棒下部と横棒左端の瑪瑙（めのう）の部分は展示用に復元するのですからアクリル製でよいと思います。」

2. ドイツ傾斜計製作手順

(1) T型振子

論文の記述によると振子は "T"字型をしており、直径 6mm の 2 本の薄い真鍮管でできている。**縦の真鍮管は長さが約 12cm で両端に瑪瑙（めのう）**が取り付けられている。その上端は平面で、下端は約 3mm の直径で凹面になっている。この 2 点で振子は支持棒の 2 つのスチールの先端で自由に回転するように架けられている。**直径 35mm のミラー**が縦棒の "T" 字接合部の近くに取り付けられている。横の真鍮管の長さは 21cm で、その先端には **20g の錘**がついている。同じ構造の 2 つの振子（No.1 と No.2）が直角に交わるように配置されており、No.1 が 42.380g、No.2 が 42.459g の重さをもつ。**そして、ゼロ線用のミラーが 2 つの振子の間に置かれている。** 2 つの振子は、大気擾乱等を避けるために、直径 27cm の鋳物製円筒のなかに納められ、その上部は厚いガラス板でカバーされている。そのカバーには、エア・スターターが取り付けられ、ゴム管で記録室に向って導かれているとある。

前章で述べたやり取りの結果、これを下記のような手順で、形にすることにした。

- 1：図 2 の 3 次元模式図の様に、6 mm の真鍮パイプを縦棒 12 cm 横棒 21 cm に切断加工する。
- 2：振子部では横棒の端と縦棒の中間を、4 mm 六角穴付きボルトで T 型に接続固定する。
- 3：振子のバランスの為 21cm 真鍮横棒の端に、瑪瑙の代わりに 20g 鉛の錘を取付ける。
- 4：図 2 の拡大部に示す様に縦真鍮棒の上下に、4 mm 支持ネジ付調整支持金具を取付ける

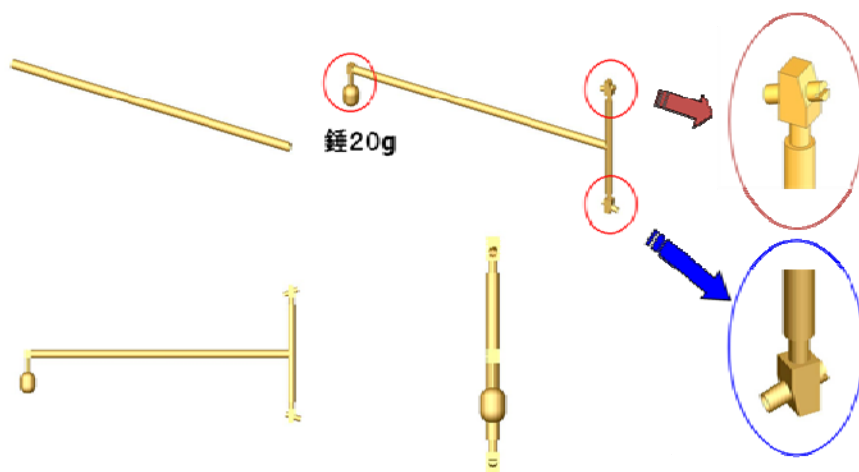


図2 NS・EW成分の振子



写真2

(2) ミラー固定金具

- 1 : 図3の3次元模式図と写真3の様な、市販の30mm厚さ5mm円盤型ミラーを購入する
- 2 : 図3の様に厚さ1mmの真鍮板を、幅2mm十字型に切断機、ハサミ、ヤスリで切断加工
- 3 : 図3、写真3の様に手づくり十字型の真鍮板でミラーを掴み端を折り曲げて固定する
- 4 : この十字型のミラー固定金具に5mm角長さ10mm径3mmの穴の付いた真鍮棒を半田付け

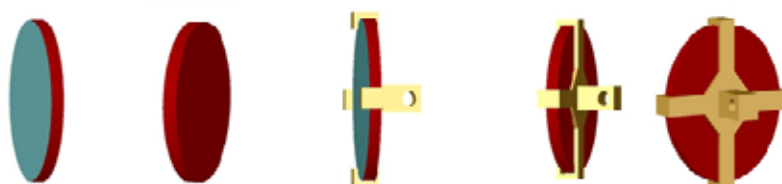


図3 ミラー固定金具

写真3

(3) ミラー固定支持金具

- 1 : 図4、写真4の様に5mm角長さ10mmに径4mmの穴をあけ十字型の真鍮板に半田付け
- 2 : 図4、写真4の様に真鍮の5mm角長さ20mmの接続棒に径3mmの穴を2ヶ所あける。

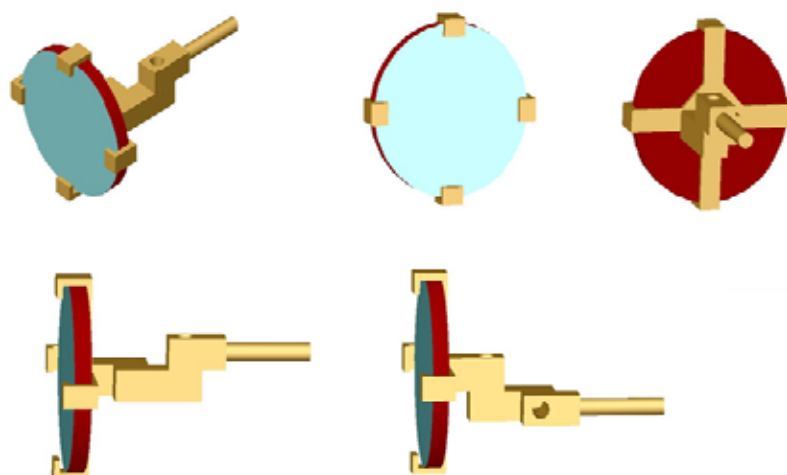


図4 NS・EWミラー支持金具

写真4

(4) ゼロミラー支持金具

論文記述では 直径35mmのミラーが縦棒の”T”字接合部の近くに取り付けられている。横の真鍮管の長さは21cmで、その先端には20gの錘がついている。同じ構造の2つの振子(No.1とNo.2)が直角に交わるように配置されており、No.1が42.380g、No.2が42.459gの重さをもつ。そして、ゼロ線用のミラーが2つの振子の間に置かれている。2つの振子は、大気擾乱等を避けるために、直径27cmの鋳物製円筒のなかに納められ、その上部は厚いガラス板でカバーされているとある。

- 1 : 図5の模式図と写真5の様に、真鍮棒5mm角長さ15mmを切断加工4mmの穴をあける
- 2 : 図5、写真5の様に径10mm長さ20mmの真鍮パイプを内径7mmのパイプにする。
- 3 : 図5、写真5の様に5mm角長さ15mmの真鍮棒を、上記の支持パイプの中間で半田付け

4：ミラー固定金具に支持パイプを4mmボルトで連結してゼロミラー支持金具とする。

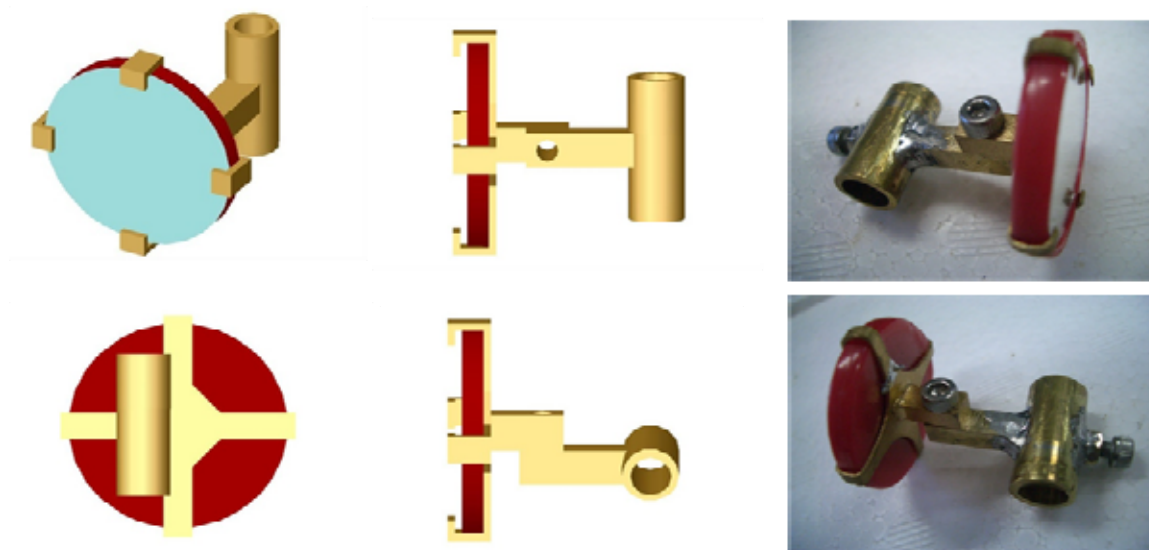


図5 ゼロミラー

写真5

(5) 下部固定用センサー支持金具

論文記述では基本的にT字型ですが、短い縦棒(12cm)の中央あたりに長い横棒(21cm)がついたT字型のようです。そして、横棒と背中合わせでミラーが付いていて、支持棒より後ろ側に縦棒が見えますね。支持棒との2ヶ所の接点ですが、やはり志田先生の論文に書いてあるように、縦棒の上と下のようです。下は凹が付いているとある。

センサー(振子の本体)の支持は縦棒の上下で自由に回転できるように支えられるが、傾斜計ケース側の上部の支点は発見されたそのまま使用可能であったが、下部支点は円筒ケースの底部に位置し、工作の手が入らずそのまま元のものを使用するのは困難であったので、新たな支持金具を上付けして機能的な復元を行うこととした。本来は円筒ケースは取り外しができる構造であり、ケースをはずした状態でこの部分の工作・調整がなされたものと考えられるが、ねじが固着してははずすのは不可能な状態となっている。

- 1：図6の3次元模式図、写真6の様に真鍮角棒10×15×15mmに10×10mmの溝を切る
- 2：図6、写真6の様に溝の両端に固定用3mm六角ボルトを取付けベースに固定する
- 3：図6、写真6の様に製作した上部に調整支持ボルト付支持棒を半田付けし固定用六角4mmボルトを取付けて下部センサー支持金具とする。

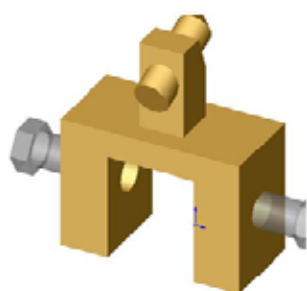


図6 下部支持金具

写真6 写真

(6) センサー全体図

- 1 : 図 7 の 3 次元模式図と写真 7 の様に製作した各部品を T 字型に組立て、それに錘、支点用 4 mm ボルトのついた調整付ボルト、ミラー支持金具を取り付けた。
- 2 : 図 7 はセンサー支持用固定金具であるが、総称してドイツ傾斜計センサー部とする。

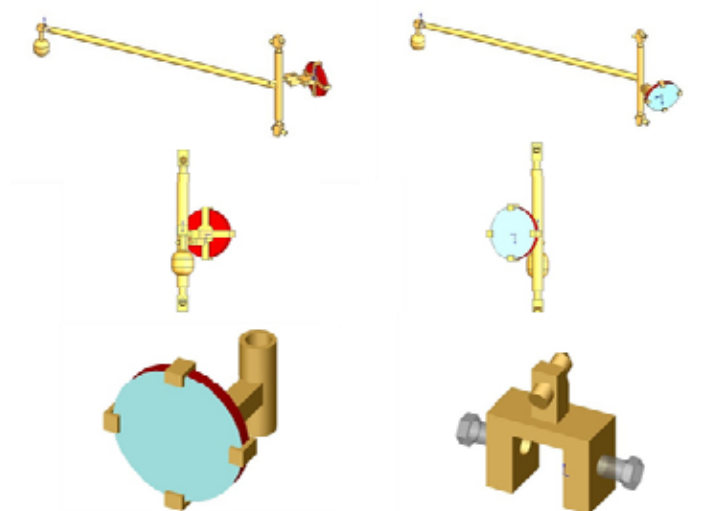


図 7 センサー部 3 種

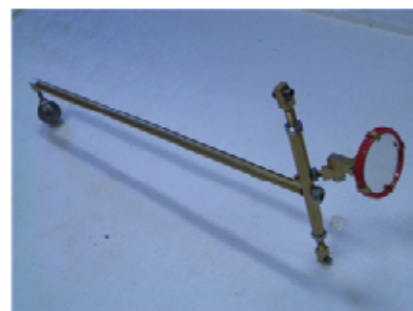


写真 7

3 . 3 D / C A D によるドイツ傾斜計模式図と復元全体写真

図 8、写真 8 はドイツ傾斜計の 3 次元模式図と復元全体写真であるがこの模式図はセンサー部製作前に 3 次元で作成した。全体の概要が 3 次元で掌握出来て今回の様な何も姿がみえない状態では大変重要である。

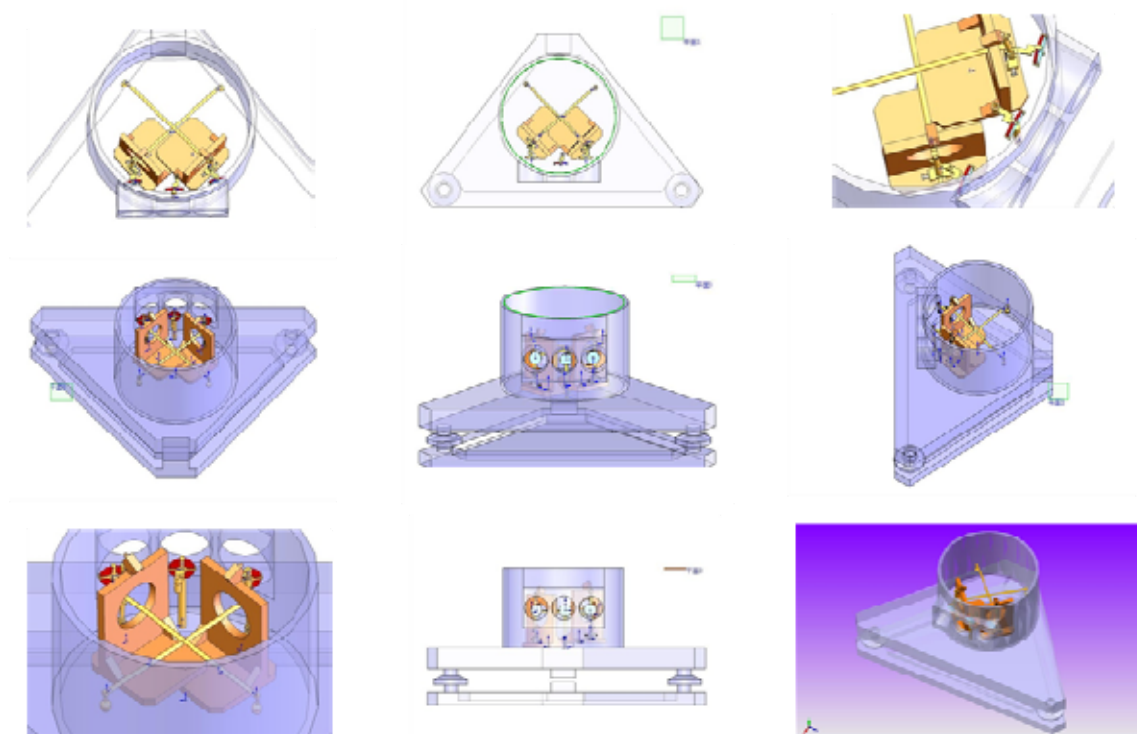


図 8 3 D / C A D で表示のドイツ傾斜計模式図



写真 8 傾斜計復元全体写真

4 . 謝辞

昨年7月上賀茂地学観測所で見つかったレボイル・パシュウィツ式傾斜計センサー部分の復元作業は、京都大学防災研究所技術室機器開発グループ：園田保美が全面的に受け持ったが、防災研究所地震予知研究センター：大谷文夫氏・寺石眞弘氏には地殻変動観測計器関係情報のご協力を得た。資料提供には地震防災研究部門：Jim Mori 教授・野川氏、ビデオ記録にあたっては技術室：吉田義則室長・坂副技術グループ長のご協力を得た。竹本修三：国際高等研究所(京都大学名誉教授)には傾斜計復元の陣頭指揮をとってもらった。大野照文・塩瀬隆之：京都大学総合博物館には今後京都大学博物館に展示するにあたり展示場開設の協力をしてもらった。これらの方々に厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1982, 地震学百年 東京大学出版会, 233pp
- 1986, 理学部地球物理学教室 - 創始者志田 順先生, 京大広報, No.307, 53-55
- 1924, 地震研究の方針, 大正大震火災誌, 山本美編, 改造社, 37-44
- 1941, 地球潮汐に就いて, 其一, 地球外殻の剛性, 地球物理, 5, 10-32
- 1944, 地球潮汐に就いて, 其五, 緯度の潮汐変化(第二報), 地球物理, 8, 66-72
- 1940, 気象諸変化に起因する土地昇降変動について, 天文学及び地球物理学邦文輯報, 1, 17-26
- 1941, 土地傾斜変化の観測序論, 地球物理, 5, 4-8
- 1929, 「地球及び地殻の剛性並に地振動に関する研究」回顧, 東洋学芸雑誌, 45, 275 - 289
- 2006, 京大の地殻変動研究短評, 測地学会誌, 53, 123-133
- 1912, On the elasticity of the earth and the earth's crust, Memoirs of the College of Science and Engineering, Kyoto Imperial University, 4, 1-286