

# 研究・教育における磁気測定と 工作部門（工作センター）の役割

数理物質系 喜多 英治

工作部門（元の工作センター）で工作を依頼して長い年月が経つ。私が筑波大学に赴任したのが1980年で、当時は研究用の装置や道具は研究室で準備するのが常識であったので、自分で作る（設計する）ことが当然であった。外注も可能であったが研究費が少なかったこともあって、工作センターは大繁盛で、半年くらいの受注待ちは当たり前であった。磁性材料が研究対象であった筆者も大きな電磁石を使った計測装置などを研究室の田崎教授と共に順次整備していった。中でも物工の技術職員であった土肥氏の設計による電磁石架台（図1）は大地震が来てもびくともしないがっちりしたもので、工

作センターと外注の結合で出来上がった。3 tの電磁石を収納して20年以上働いていたが、部屋が手狭になり徐々に切断し短縮していった。柳原先生の世代になって重厚長大の研究装置は終焉し、架台は電磁石ごと廃棄してしまった。

研究室で依頼した最大の工作物が電磁石架台であったが、研究・教育用に製作してもらった装置や道具（作品）をいくつか紹介する。

## 真球作製装置

磁気測定、特に強磁性体の測定では球形試料は、磁気モーメントや磁気異方性の決定において重要な役割を果たす。磁気測定に限らず、対称性の最も高



図1 3t電磁石用架台。奥に見えるのがレールの乗った3 t 電磁石とその回転台。当初は全長6 m以上、架台だけの重量1.5 tであった。その後、長さを5m、4mと短縮した。奥には磁気天秤、手前には振動試料磁束計（VSM）を設置した。

い球の形状を持った試料を測定に使うことでデータの解釈が容易になることがある。そこで磁気測定用の真球作製装置を作ってもらった。設計は前出の土肥氏で、昔見た研磨装置を参考に「旋盤のように一軸の回転で研磨し、時々垂直にその位置をずらす様な機構」と伝えた。できあがった物は図2の写真にあるように試料回転させながら研磨、上下のOリング付きアルミローラーで時々垂直方向に回転を与える構造である。どんな地震が来ても壊れない様な頑丈な作りで、真空デシケータの中でも使える様にモーターなども配慮してもらった。ただ持ち運びに支障が出るくらいに重く、軽量化のために真鍮板を切断したがまだまだ重い。現在でも稼働していて、YIG（イットリウム鉄ガーネット）単結晶の直径2～3mm 球状試料を作製して磁化測定装置の校正試料としている。超音波計測用の球形試料成形にも使ってもらったことがある。

**振動試料磁力計用クライオスタット**

専門分野である磁気計測では磁気天秤や振動試料磁力計（VSM）を前出の大型電磁石+架台に設置した。VSMの原理は図3(a)の略図に示すように、試料を磁場中で1mm程度の振幅、数十Hzで振動

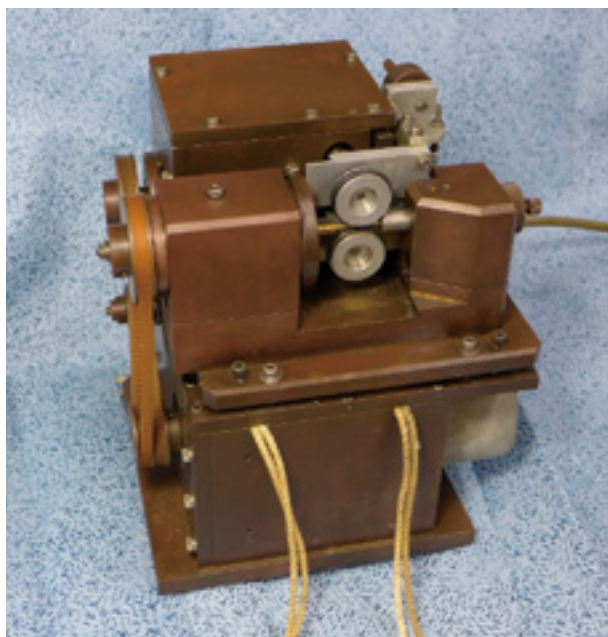


図2 真球作製装置（軽量化後）

させ、その磁束の変化をピックアップコイルの誘起電圧として検出するもので、言い換えると発電機の原理を応用する方法である。いろいろ作ってもらったが、VSM用の温度可変装置（クライオスタット）

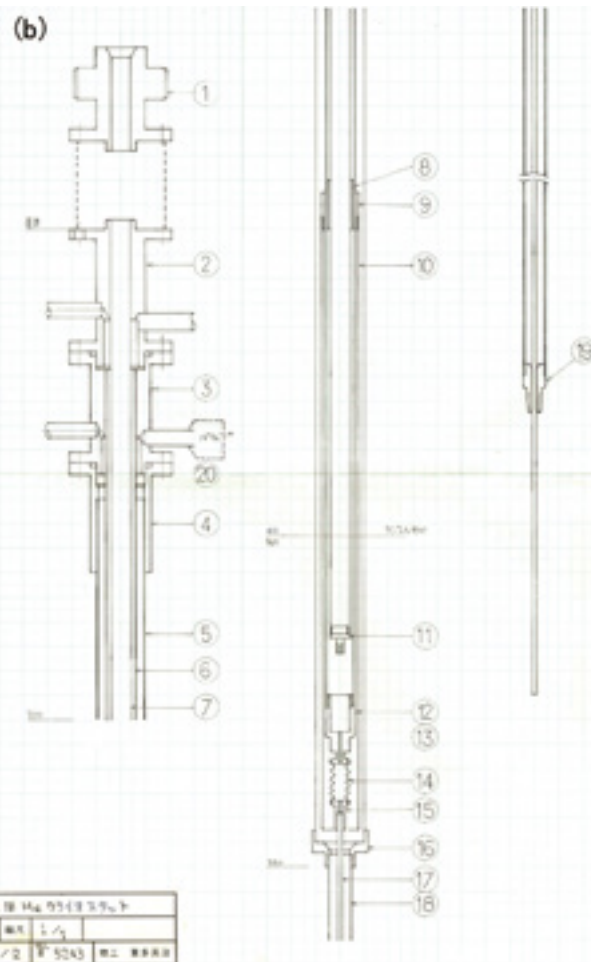
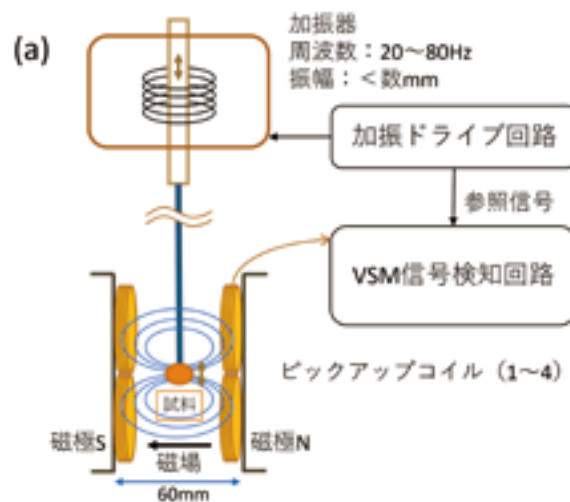


図3 (a) 振動試料磁力計 (VSM)の略図 (b) VSM寒剤吸引式クライオスタット

を紹介する。磁気測定において温度変化のデータが取れば、磁気転移温度や磁化の温度変化など磁気特性について重要な情報が得られる。大型の電磁石を使用していたため試料空間の下方に十分なスペースがあった。この空間を利用して寒剤吸い上げ式のクライオスタットを設計した。電磁石の磁極板の間隔は60mm あるが、磁化検出用のコイルがあるため温度変化に利用できる距離は25mm となる。

クライオスタット上部のバルブ (図 3 (b) の20) よりダイヤフラムポンプで He を排気すると、液体 He が He タンク (図 4 および図 5 ) の内部から 19 の先の細管を通して吸い込まれる。図 3 (b) の 11 外側の下部スペースに He が液体あるいは気体の状態で通って 11 の内側にある試料を冷却する。試

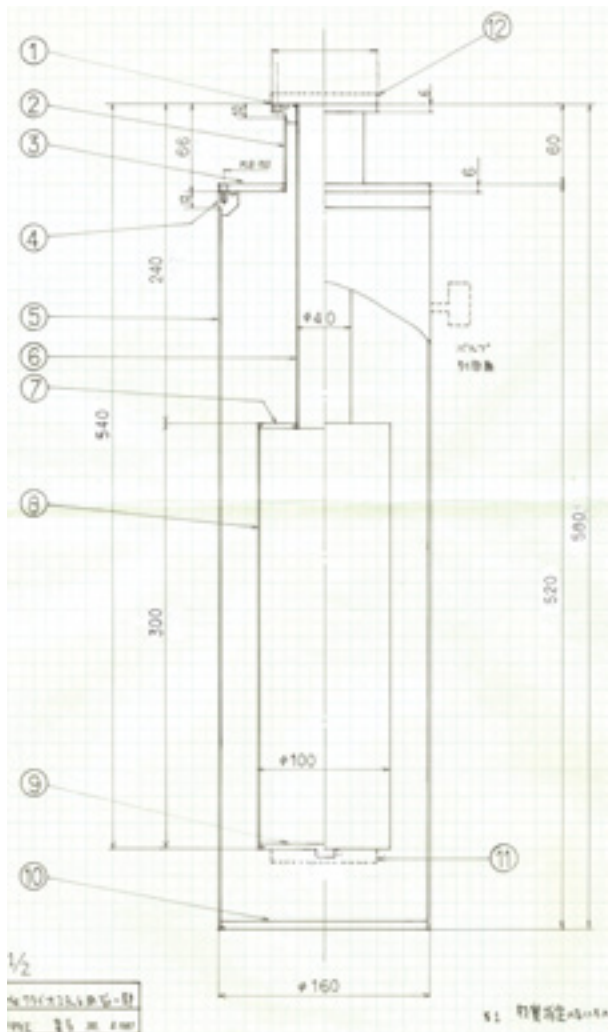


図 4 コンパクトHeタンク

料空間は外径8mm 肉厚0.3mm のリン青銅管を特注し、試料のある辺りは、リン青銅管の外径を少し削ってサファイヤの単結晶管を入れて温度の均一性を確保した。図 3 (b) の14は He 流経路の温度変化による長さの変化を吸収するためのベローズで、さすがに特注するわけに行かず、Swagelok のベローバルブの部品を流用した。

低温の磁気測定には使用する材料が強磁性でないことに特に注意する必要があることを再認識した。外側パイプの材料は、常温では CuNi 合金 (キュプロニッケル) で充分であったが、試料保護部に使用すると低温では強磁性になるらしく、振動により大きな寄生信号が発生して使えなかった。そこで使える材料として、低温でも磁化が大きくなく適度に熱伝導のある材料を探した。銅合金で強磁性にならない磁化率の小さい、かつ手に入りやすい材料としてリン青銅が候補に挙がった。このような場合、材料データを探すのだが、よく使われていた低温関係のデータ表では磁化率が大きく使えない数値だった。不



図 5 吸引式VSMクライオスタット (写真左) とHeタンク (外径160mm)

思議に思って原論文を見たら十分使える値だったので安心してリン青銅のパイプを引いてもらった。どうも元データーを間違えて引用したか出版時の校正ミスだったらしい。自分で確認することも大切だということを知る良い教訓となった。このクライオスタットは図3(b)のように自分で設計・製図し、石川さんが制作を担当してくれた。

Heタンク(図4)の方はSuper-Insulatorを使って液体窒素冷却の不要なコンパクトなHeタンクを設計し、内田さんに作ってもらった。30年以上前の話で、Super-Insulatorはあまり一般的ではなく、構造工学の先生から宇宙船に使われている材料として教えてもらった。購入したSuper-Insulator材料をたこ糸で整形したのを覚えている。このタンクは2リットルの液体Heをためることが可能で、約7時間のHe温度の実験ができた。さらに液体窒素使用時には2日くらいの間、冷却が可能であり、いろいろな試料を測ることができた。Heの流量調節によってはHe温度以下に下げられることがあり、再現性良く達成できれば売り物になっていかもしいれないと思うと少し残念である。このシステムは、茨

城高専に移設しており再びデーターがとれることを願っている。

### 学生実験用磁気測定装置(機械振動式VSM)

今も昔も、学生は装置を手荒に扱うのが得意であり、学生実験では耐久試験を依頼している様な気になる。デリケートな構造の物はあつという間に要修理となる。赴任以来、3年生の専攻実験として磁気測定装置での磁気特性評価を担当した。初代の磁気測定装置は磁性体に働く力を測定する磁気テコで、力の測定にひずみゲージを使うもので、繊細な構造であり短命であった。二代目は試料振動部にスピーカーの一部を使ったVSMであったが、小型のため再現性に乏しく安定動作は難しかった。そこで過酷な使用にも耐えうる振動部の設計を前出の土肥さんに依頼して、工作センターで作製して頂いた。依頼者からの条件としては「同期モーターを使って周波数25Hz、振幅2~3mmで試料を直線振動させる機構」で設計を依頼した。

土肥さんは「ディーゼルエンジンぐらいは設計できる」とおっしゃっていた方で、振動部はエンジンの動き「ピストンの直線往復運動をクランクで回転

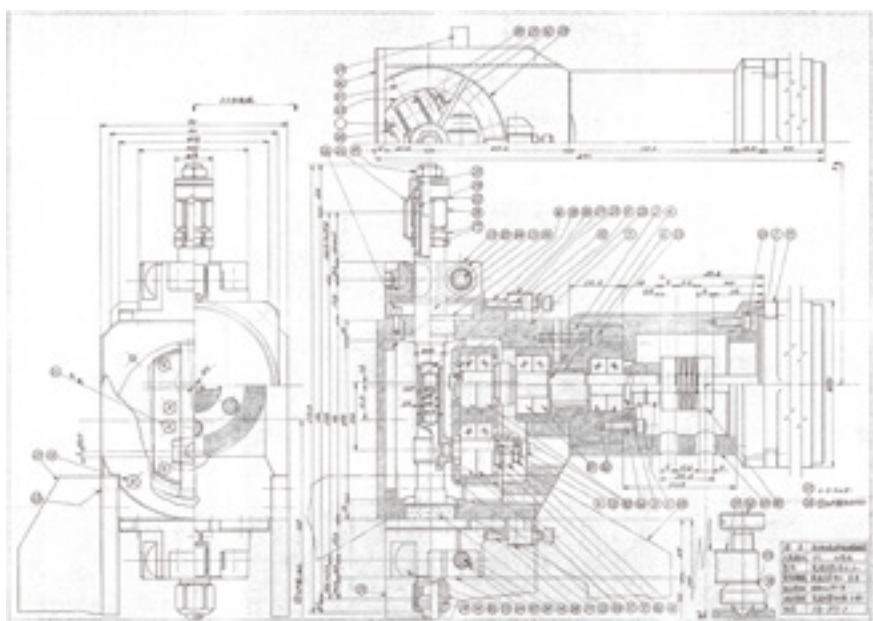


図6 機械振動式VSM(土肥氏による設計)。右の同期モーターの回転で上下のロッドを往復させる。

運動に変換する」を逆に使って「モーターの回転運動を直線往復運動に変換する」ものを考えて頂いた(図6 土肥さんによる製図)。これを電磁石に固定することで、いかなる手荒い使用にも耐えうる装置となり、2台作製して30年くらい稼働して学生教育のために活躍してくれた。

### メスbauer分光測定

メスbauer効果の測定は放射線源を使うため、実験できる場所は放射線管理区域に限られる。本学では核物性計測の一部として加速器センターにメスbauer効果測定装置が設置されていて、赴任まもなく物理学系の長沢先生管理の装置をお借りして使い始めた。磁性材料の基本はなんと言っても鉄であり、その元素の磁性を観測できるメスbauer効果は材料開発に役立つものだからである。当時、加速器センターには最新のメスbauer効果用 Oxford 社製

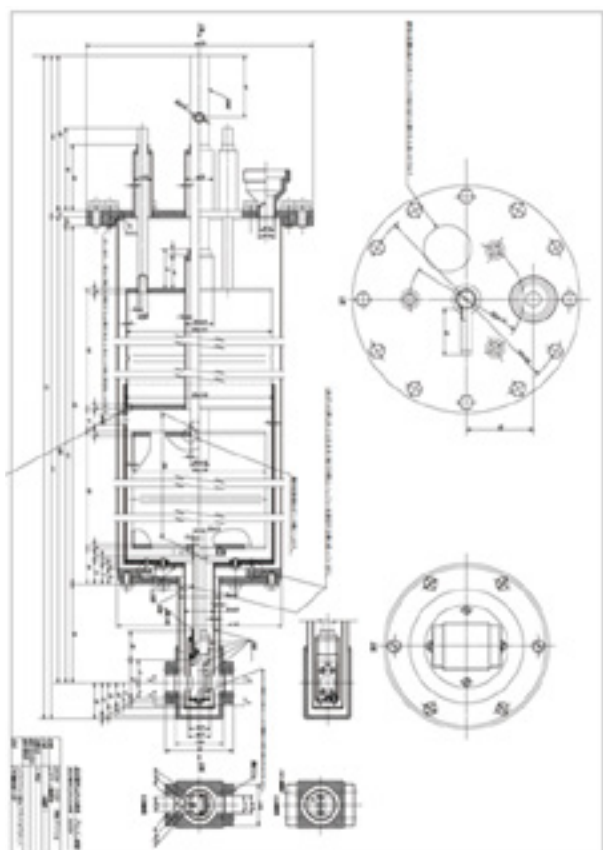


図7 メスbauer分光クライオスタット 1号機(製図は土肥さんによる)

超伝導磁石が設置されており、それも魅力であった。早速、磁場印加実験を試みたが、これが相当のくせ者で液体Heが実験に必要な量がたまったことはなかった。そこで磁場は諦めて温度を下げる機能だけを有したコンパクトなバスタイプのクライオスタットを設計し、工作センターで作ってもらった。(図7、8)これは大成功で、20年にわたり改良を重ね3台を作製した。

初代のクライオスタットは既存のものを参考に適当に設計したが、いろいろ不都合が出てきた。バル

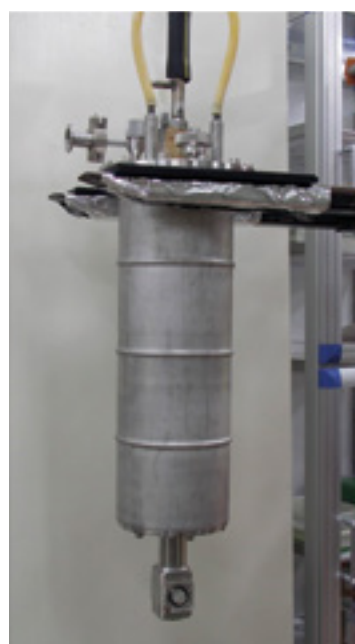


図8 2号機の写真。下部にγ線透過部が見える

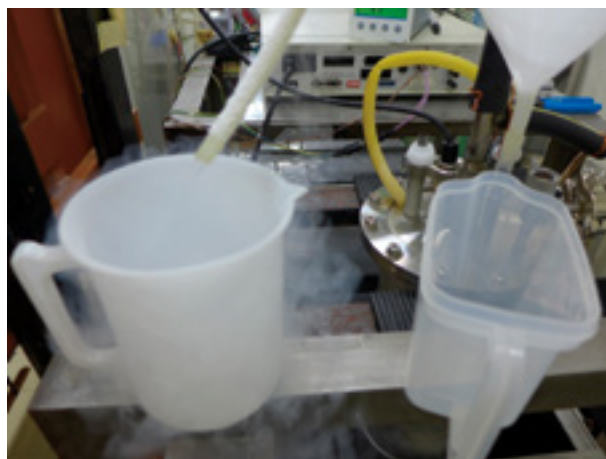


図9 メスbauer分光液体He実験

ブの位置や実験の環境や条件など考えて修正 2 号機を設計した。液体窒素の補充間隔を12時間とし、18時間は補充せずとも使える、He はなるべく長時間保持できること、一人で操作できることを条件に設計した。(図 8) 結果、液体 He の保持時間約72時間、液体窒素18時間のクライオスタットを作ることができた。3日間実験できると大概のスペクトルがとれること、1日2回の窒素補給は比較的容易に実験ができる。(図9) またフィンガー部に断熱材を詰めて、He 温度や窒素温度などの定点より高い測定温度も実現できた。今でも現役で振動の少ない計測用として使用している。

### 真空蒸着装置

蒸着装置など真空装置は材料開発に欠かせない道具である。真空関係では種々の工作を依頼したがまとまった物として、真空蒸着装置を2台作った。両者とも比較的小型で小回りのきく汎用性の高い物として私と学生でまず設計と製図を行い、内田さんの意見も聞いて修正した。一つはスパッタ装置もう一つは真空蒸着装置で写真も残っていないが、いずれも卒業生の元(信州大と東北大)に引き取られ、現役で活躍している。真空継ぎ手など学生や私が図面を書いたが、不十分な部分を技術職員の皆さんに補充してもらい完成に至った。ステンレス製のこれらの真空装置はこれからも長く教育研究に役立ってくれると思う。

イオン照射装置も土肥さんに設計依頼し、工作センターで作ってもらった。こちらは磁性薄膜の蒸着中にイオン照射を行い、化合物薄膜や薄膜の構造を制御するための物でいくつかの特許と論文として成果を残している。

### さいごに

筆者がこれまでに工作部門(工作センター)で作製してもらった研究・教育用機材の一部を紹介した。工作現場では不十分な図面(例えば図3、4)からこちらの意図を読み取って作っていただけるのは教育研究現場に寄り添った部署があるからである。大学の学生や教員は解決すべき課題についてのアイデアを中心に、製作者の苦勞を考えずに作図してしまう。できあがった図面を持って相談に行ったら、初代のセンター教員の亀田博先生に「この様な図面を「いも判製図」と言うんですよ」とニコニコしながら注意されたことが懐かしく思い出される。不備のある図面にもかかわらず意図通りに装置が完成したときには、研究成果を上げることだけに限らず図面の書き方を含めいろいろなことを学んだことに間違いはない。さすがに設計の専門家、土肥さんに設計を依頼して工作センターで作ってもらったものは失敗が少なく、また長期間の使用に耐えうる物が多かった。

大学での研究は、学生と共に進めてこそ意義が増す。学生を巻き込んだかという点からは工作部門を十分に活用できたとは言いがたい。設計段階でもっと学生と一緒に進めておけば、学生に知識と経験が積み上がったに違いない。また設計の専門家のやり方を見聞きすることも大変役立つことだろう。ものづくりの素養を養う絶好の機会を十分に活用できなかったことはもったいない話である。

これまでお世話になった部門(センター)の機械工作およびガラス工作の技術職員、歴代のセンター教員に感謝の意を表したい。ありがとうございました。