

# ものづくり40年 装置開発を振り返って

石川秀蔵

教育・研究技術支援室

## 概要

私は1970年、理学部金属工作室に就職し、主に機械工作による「ものづくり」を行なってきました。理学部金属工作室は1950年頃に発足し、現在の理学部装置開発室に至っています。当初より「実験装置は研究者と一緒に考えながら作る」との理念を持ち、開発業務を中心に運営が進められてきました。1988年に名称を理学部装置開発室に変更し、運営方式も近代化されました。その結果、名実共に開発を主とする特徴的な工作室へと発展していきました。私の「ものづくり40年」において、契機となった装置開発室発足の1988年を前後して担当した思い出深い業務を紹介し、私の装置開発のまとめとします。

## 1 金属工作室における主な業務（～1988年）

ここでは様々な基本技術を習得しました。設計、機械加工、溶接、真空、低温等の広範な技術です。当時は、ほとんど自作を行っていたので、この時の様々な経験が後々の装置開発に結び付いたと思います。

### 1.1 赤外線望遠鏡の開発

装置の目的は赤外線による銀河観測です。大気の影響を少なくするため、気球による大気上空～30 kmやロケットによる大気圏外～300 kmで観測が行われます。装置の概要をロケット搭載用として図1に示します。赤外線検出器は液体窒素や液体ヘリウム等の冷媒で冷却する必要があり、かつ冷媒を一定時間維持するため真空断熱容器内に設置され、外部からの熱雑音を除くため光学系も冷却されます。1970年代～80年代にかけて工作室として気球搭載用を3台、ロケット搭載用を7台製作し、その内、私は気球用1台、ロケット用2台を担当しました。ここでは真空、低温、接合に関わる多くの技術を習得しました。気球用赤外線望遠鏡の本体を図2に示します。冷媒に液体窒素を使用し、断熱には発泡ウレタンフォームを吹き付けました。当時はステンレス薄板を溶接した経験が少なく、とても苦労しました。

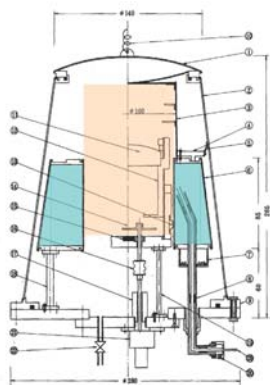


図1. 赤外線望遠鏡の概要



図2. 気球用赤外線望遠鏡

次に初めてロケット搭載用として冷媒に液体ヘリウムを用いた装置を製作しました（図3）。この装置は軽量化のため液体ヘリウムの気化ガスを効率的に利用し、外部からの熱流入を少なくするため冷媒タンク支持部が配管を兼用するなどの複雑な構造となっています。この装置の製作では、真空漏れに大変苦労しました。

漏れ箇所を図 4 に示します。初歩的な設計ミス、銀ロウ付け・ステンレス溶接の不具合など、自らの技量の無さを痛感しました。さらに低温における真空漏れも経験しました。最終的に設計の見直し、信頼性の高い接合方法等を再検討して何とか完成させることが出来ました。

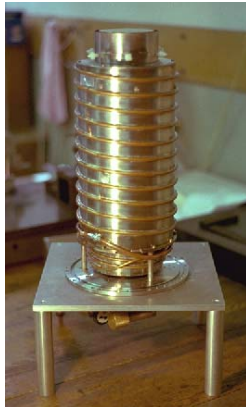


図 3. ロケット搭載用赤外線望遠鏡

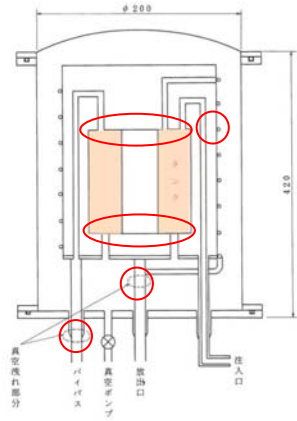
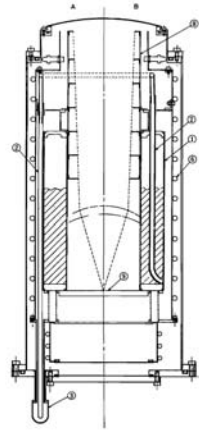


図 4. 真空漏れ箇所

## 1.2 深海用無汚染採水器の開発

装置の目的は海洋における微量重金属の分布とその挙動調査です。一種のカラクリ仕掛けによる動作で最高深度約 1 万 m (1 千気圧、水温 2℃) の海水を自動的に採取します (図 5)。採水は次の様におこなわれます。①船上からメッセンジャー錘を投下する、②錘が採水器のトリガー部に当たり吸水口が開く、③装置からの汚染を避けるために上流側に採水管が腕を伸ばす、④袋が広がり採水する、⑤採水が終了するとバルブを閉じて動作が完了する。従来装置の問題点を改良するため初めに試作器を製作、後に実用装置を製作しました。主な問題点は、刃物による吸水口の切断不良と蛇腹型採水袋の事前洗浄が困難なことでした。これらを改良するため、予め外周に切り欠きを設けた採水管を折り曲げる方式及びピストンと採水袋を用いる吸水方式への変更を行いました。

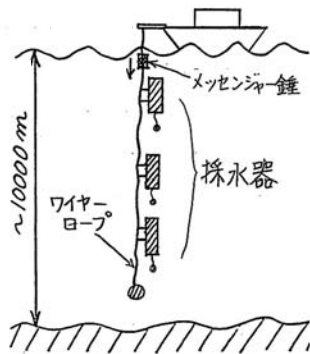


図 5. 採水作業の概要

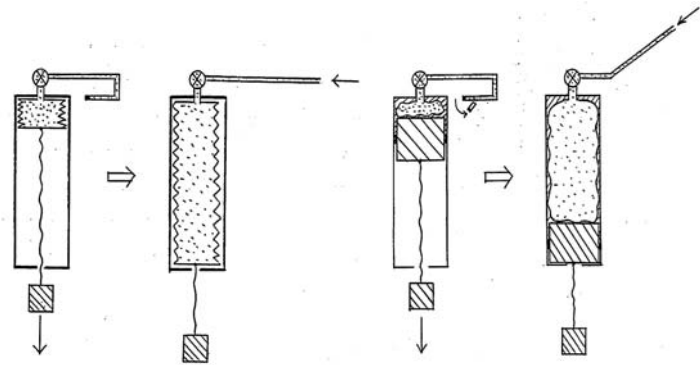


図 6. 従来型と改良型の比較

従来型と改良型の比較を図 6、採水口の切断部を図 7、採水袋とピストン部品を図 8 にそれぞれ示します。ここでの技術課題は採水管の折り曲げとピストン動作の最適化です。試行錯誤の結果、最適な動作条件を見出しました。この他の重要な課題として連続動作を行う仕掛けの機構です。動作起点のトリガー部と吸水管移動部の概要を図 9 に実用採水器の動作状況を図 10 に示します。

深さ 6m の水槽での動作試験を終了し、最終的にベーリング海の水深 5,500m で 4 台連結して使用した結果、3 台が採水動作に成功しました。この装置の開発では動作機構に多くのアイデアを必要とし、さらに一連動作の確実性が重要であり、貴重な経験をしました。

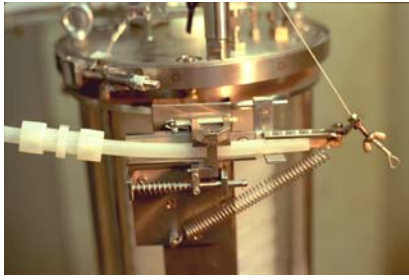


図7. 採水口の切断部



図8. 採水袋とピストン部品

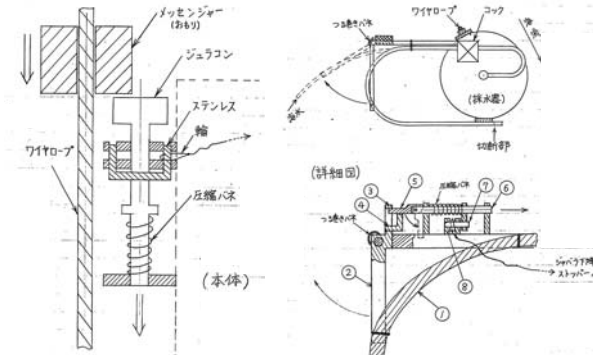


図9. トリガー部と吸水管移動部の概要



図10. 実用採水器の動作

## 2 装置開発室における主な業務（1988年～）

1980年代にコンピュータを始めとする技術革新と研究の多様化が急速に進んできました。このような中で今後の工作室のあり方を将来計画委員会で検討した結果、1988年に名称を装置開発室に変更し、新たな展開をしました。具体的にはCADによる設計製図、NC工作機械、メカトロ技術、外注技術等の導入、プロジェクト研究への参加等により、「市販になく、かつ単なる外注では出来ないような新機軸の装置、あるいは研究現場でしか出来ないような独創的な機器開発」を目指しました。

### 2.1 シンチレーションファイバーを用いた素粒子実験における装置開発

初めて素粒子実験のプロジェクト研究に参加し、数年間に及ぶ装置開発を行ないました。シンチレーションファイバーは放射線に反応する発光物質をプラスチックで被覆した直径0.5mmのファイバーです。これを多層のシート状に成形した後、ファイバー端面に伝播する光を効率良く検出器に取込むため、端面を平滑な鏡面にする必要があります（図11）。最終的に大きさ1.5m四方に展開し、ニュートリノを検出するためのXY2軸の位置検出器を構成しました（図12）。

開発課題は1)ファイバーをシート化するための巻取り装置の設計・製作、2)ファイバー端面を平滑にする加工法、3)アルミ反射膜を生成する表面処理の方法です。巻取り装置の開発ではアルミハニカムを用いた大型ドラムの軽量化と巻取り張力の制御をおこない、メカトロ技術の基礎を学びました（図13）。

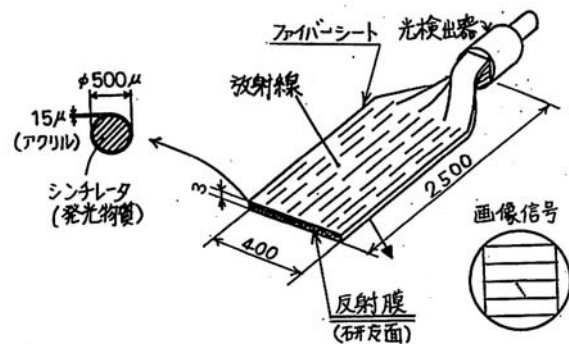


図11. シンチレーションファイバーシート

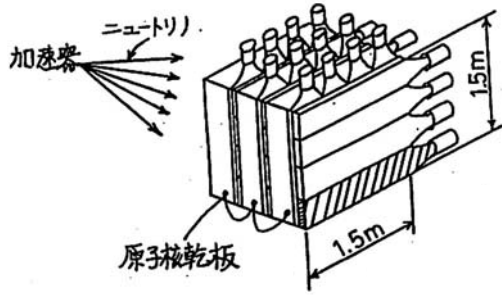


図 12. 素粒子検出装置の概要

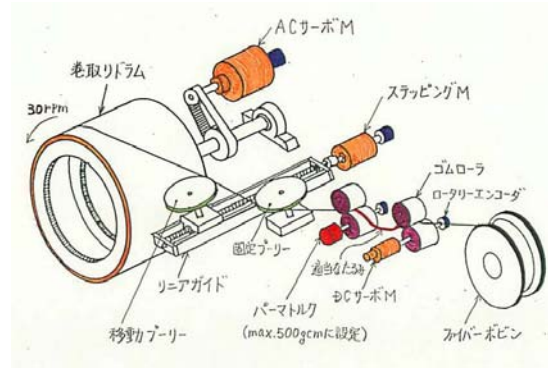


図 13. 巻取り装置の概要

ファイバー端面の平滑化は装置開発室所有の横型フライスを使用し、切削と研磨により必要な表面性状を得ることが出来ました (図 14)。アルミ反射膜の生成は、初めにスパッタリング処理装置の製作をおこない (図 15)、さらに反射膜生成における最適条件を見出す実験も行ないました (図 16)。

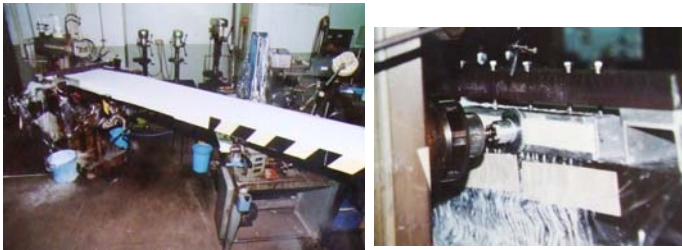


図 14. ファイバー端面の平滑加工



図 15. スパッタリング処理装置

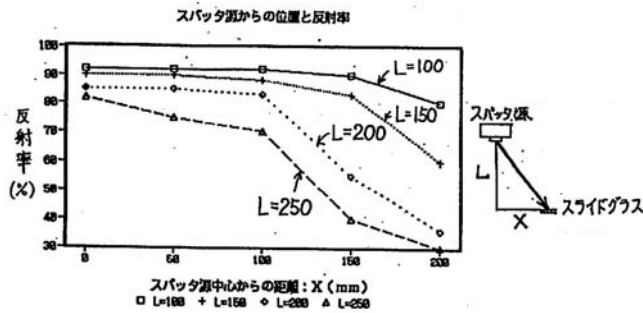


図 16. 反射膜の最適条件

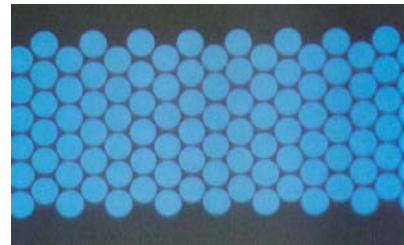


図 17. 積層ファイバーの配列

最終的に製作したファイバーの配列精度は横方向・厚さ方向共に $\pm 30 \mu\text{m}$ 以内、端面の反射率は 80%以上を達成し、ニュートリノ検出実験に用いられました。紫外線を照射した時の積層ファイバーの配列状況を図 17 に示します。

## 2.2 月地震計姿勢制御用モーターの開発

惑星表面に計測機器を展開するためのミサイル型運搬体をペネトレーターと呼びます。このペネトレーターに地震計を搭載して月面に貫入させ、月の内部構造や進化を解明するプロジェクトに参加しました (図 18)。月面に貫入した地震計は規定の基準面に固定する必要がありますので、専用モーターを開発することになりました。貫入時の衝撃加速度が 10,000G にもなるため、開発は困難を極めました。市販小型モーターに改良を重ね、終に耐衝撃性が 10,000G を有するモーターの開発に成功しました。各種衝撃試験に使用した試験体を図 19 に、高圧ガスによる衝撃試験装置を図 20 に、衝撃に耐えた市販スラッピングモーターと改良したモーターをそれぞれ図 21、図 22 に示します。

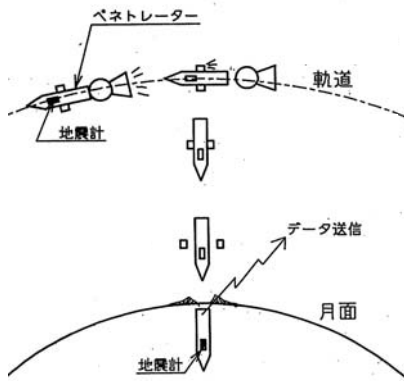


図 18. 月探査計画の概要

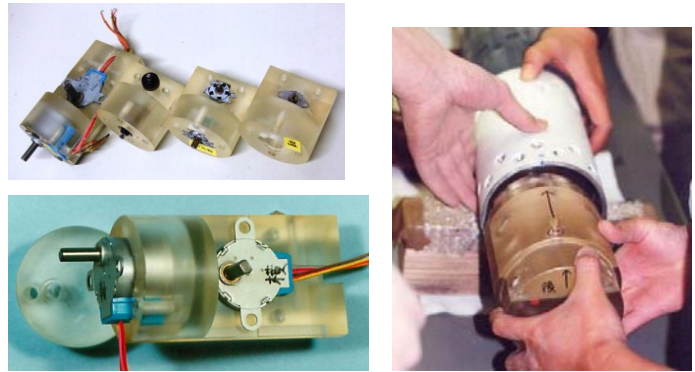


図 19. 衝撃試験に用いた試験体



図 20. 高圧ガスによる衝撃試験装置

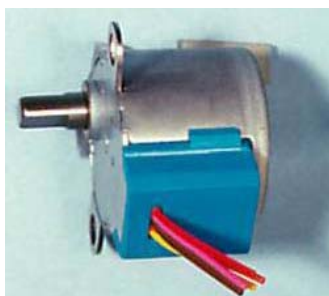


図 21. 市販ステッピングモーター

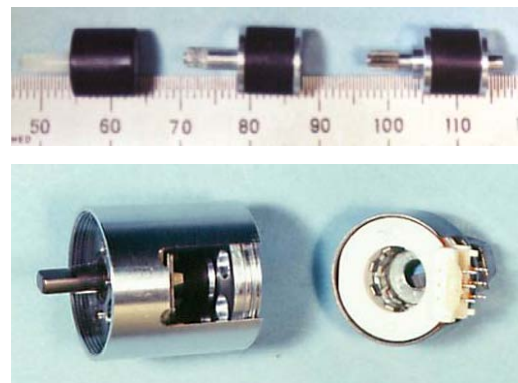


図 22. 改良した耐衝撃モーター

最終的に開発した耐衝撃モーターの仕様は、大きさが直径 27mm、長さ 27mm、重さ 50g、回転トルク 250gcm 以上、最小ステップ角 0.1 度となり、必要な仕様をすべて満たしたので、メーカーに技術移転した後、最終駆動機構に組み込まれました。この開発では約 2 年間、改良と衝撃試験を繰り返し、その都度、メーカーを交えた設計会議で報告する等の苦労も有りましたが、世の中にないものを開発することが出来たという実感を強く持ちました。

### 3 おわりに

ものづくり 40 年を振り返ると、まさしく技術革新の大きな流れを感じざるを得ません。しかし、私の「ものづくり」の基本は前半の理学部金属工作室で養われました。理学部の各学科から様々な製作依頼を頂き、幅広い技術分野に挑戦することが出来たこと、当初より設計から製作まで一貫して関わることが出来たこと、技術開発のために必要な時間と経費等を研究者に理解して頂いたこと、等などが私の装置開発に結びついたと思います。全学技術センターにおける装置開発は工学系と理学系の 2 箇所で行われていますが、今後はそれぞれの特色を生かしながら連携し、更なる「ものづくり」の発展を期待します。たくさんの失敗をしながらも皆様に支えられた充実の 40 年でした。長い間、お世話になり本当にありがとうございました。

#### 参考文献

- [1] 名古屋大学理学部 装置開発室運営委員会・物理学教室技術委員会,「装置と技術」No.4 1988 年度
- [2] 名古屋大学理学部装置開発室, 理学部装置開発室の挑戦 (大学独自の技術開発をめざして), 2010/10/1