

JAERI-M
4 5 6 5

遠隔操作型試料研磨機
— ホットラボ鉛セル用研磨機の開発 —

1 9 7 1 年 9 月

園部清美 ・ 三村英明

松島秀夫 ・ 石本 清

日 本 原 子 力 研 究 所
Japan Atomic Energy Research Institute

遠隔操作型試料研摩機
— ホットラボ鉛セル用研摩機の開発 —

日本原子力研究所東海研究所研究炉管理部

園部清美・三村英明

松島秀夫・石本 清

(1971年9月受理)

要 旨

ホットラボ管理室において燃料、材料の照射後試験に占める金相試験の割合は Cave Day[※]にして約20%に達し、原子炉燃料、材料の開発に重要な役割りを果している。ホットラボ管理室では日本原子力発電(株)東海炉燃料の照射後試験(以下東海炉燃料モニタリングという)をはじめJRR-2, JRR-3, JPDR等の実物燃料の照射後試験を行なうため、旧冶金ケーブに隣接して増設コンクリートケーブの建設を行ない、これに附随する鉛セルラインに金相用セルラインを設置し、1966年から運転を開始した。金相試験の一連のプロセスの中で試料の研摩状態が検鏡面観察および金相写真撮影におよぼす影響は非常に大きく、研摩状態の良否は試料研摩機に100%依存するといっても過言ではなく、当初使用した英国製の単数試料研摩機を出発点として高性能研摩機の開発はホットラボの照射後試験能率の向上からも待ち望まれていたものである。

このたび高性能研摩機の開発を終え、好評裡に使用しているので、これまでの開発経緯をのべ今後の金相試験の参考となるようにまとめたものである。

※ 作業量の単位である。1つのケーブが1日(7.5時間)の作業を行なったときそのケーブは1 Cave Dayの仕事をしたと定義する。ホットラボが年間に有するCave Dayは、ケーブ数とケーブの稼働日数および稼働率の積であらわされる。鉛セル金相ラインはコンクリートケーブ2ケーブに相当する能力を有するとしてCave Dayの算出を行なり。

Development of a Remote Control Polisher for the Hot Cell

Kiyomi SONOBE, Hideaki MIMURA

Hideo MATSUSHIMA and Kiyoshi ISHIMOTO

Div. of Research Reactor Operation, Tokai, JAERI

(Received Sept. 1971)

Abstract

In Tokai Hot Laboratory, about 20 percent of the post-irradiation examinations are accounted for by metallographic ones. They have played an important role in nuclear fuels, pressure-vessel steels and other reactor materials in Japan.

In the Hot Laboratory, metallographic caves were expanded to monitor fuels from the JAPC Tokai power reactor, JRR-2, JRR-3 and JPDR. A line of lead cells for metallography was also constructed annexed to the expanded concrete caves, and started operation from 1966.

In the process of metallography, the condition of polished specimen surface has significant influence upon the observation and microphotography. Then, the polished surface condition is dependent on the polisher used. Therefore, the development of a highly effective polisher had been waited for long in the Hot Laboratory. Now, this has been achieved, and the polisher has been used satisfactorily in the lead cell line.

The procedure leading to this development is described, as information for workers in the same field.

目 次

1. まえがき	1
2. 金相用鉛セル	1
2.1 セルのレイアウト	1
2.2 セルの遮蔽構造	2
2.3 付帯設備等	8
2.4 研磨機の具備すべき条件	10
3. 平行リンクスィング式研磨機	13
3.1 構造および性能	13
3.2 検討事項と問題点	15
4. 改良型平行リンクスィング式研磨機	17
4.1 構造および性能	17
4.2 検討事項と問題点	20
5. 試料ホルダー自転式研磨機	22
5.1 構造および性能	22
5.2 検討事項と問題点	22
6. 試料ホルダー強制回転式研磨機	26
6.1 研磨方式の決定	26
6.2 構造および性能	32
7. まとめ	36
8. 参考文献	38

1. ま え が き

燃料、材料の照射後金相試験を能率よく行なうための条件は試料研摩作業を能率良く行なうことであり、このためには高性能研摩機の整備が必要である。金相試験の一連の流れである試料埋込から顕微鏡検査までの工程の中で研摩作業は総時間の半分以上を占めるため研摩時間の短縮はひいては金相試験の能率向上に結びつくと云える。鉛セルラインに於ては主たる建設目的である東海炉燃料モニタリングの一環として天然ウランおよびマグノックスの金相試験を行なうよう計画され、研摩機は平行リンクスイング方式の単数試料研摩機（英国製）が採用された。この研摩機は非常に小型で重量がわずか 8 Kg という軽量であり粗研摩、仕上研摩用合せて 7 台が設置されたが、駆動モーターに研摩液が流入し絶縁不良に陥る故障が続出した。また平行リンクのストッパーが利かなくなり試料着脱がセルに設けられた一本のボールソケットマニプレーターで出来なくなる故障なども発生したので、この研摩機の改良型を国産することにした。即ち市販の 2 軸式研摩機をベースにしてモーターを研摩槽からはなし研摩液が流れ込まないような構造とし、研摩槽を遠隔で簡単に取り外せる構造とした。またこの研摩機では試料ホルダーもパヨネット式に変えるなどしたので輸入品にみられた研摩面の片べり傾向も少なくなった。この時点で能率向上の見地から多数試料研摩機の開発の必要性が議論され、その検討を開始した。多数試料研摩機の場合平行リンクスイング方式は機構的に不安定で耐久性に欠け、また研摩面が片べりになるなどの理由から 2～3 の試設計を経て試料ホルダー自転方式研摩機を試作した。これは比較的簡単な構造を採用したので故障による運転不能という状態はなくなり試料面の仕上状態も以前より良好な結果を得たが、試料ホルダーが研摩紙との摩擦抵抗により回転するので研摩紙粗さ、回転する試料ホルダーの支持部の状態等によっては仕上面にムラを生じ期待する研摩面を得るのに未だ充分とは云えなかった。このような状態で検討を行なったのが試料ホルダー強制回転式研摩機（以下強制回転式研摩機という）である。この型のもは米国製に市販品があり、標準研摩機に強制回転式アタッチメントをとりつける式のもであったがアタッチメントのみでも 11 Kg 程度の重量を有しセルに設けられたボールソケットマニプレーターでは取り扱いが困難であった。また研摩槽が取り外せないので除染時に高線量を取り扱わなければならない等の点から以上の欠点をなくした研摩機の国産化を計り成功裡に運転を行なっている。

2. 金 相 用 鉛 セ ル

2.1 セルのレイアウト

東海炉燃料ならびに材料モニタリングなどを行なうために 1963 年ホットラボの増設が開始され、1965 年にコンクリートケープおよび鉛セルラインが完成した。鉛セルラインはサービスエリアを介して増設コンクリートケープの裏側に位置し、 $\#1$ ～ $\#12$ の合計 12 セルから成立っている。鉛セルの位置を図 2.1 に示す。

1. ま え が き

燃料，材料の照射後金相試験を能率よく行なうための条件は試料研磨作業を能率良く行なうことであり，このためには高性能研磨機の整備が必要である。金相試験の一連の流れである試料埋込から顕微鏡検査までの工程の中で研磨作業は総時間の半分以上を占めるため研磨時間の短縮はひいては金相試験の能率向上に結びつくと云える。鉛セルラインに於ては主たる建設目的である東海炉燃料モニタリングの一環として天然ウランおよびマグノックスの金相試験を行なうよう計画され，研磨機は平行リンクスイング方式の単数試料研磨機（英国製）が採用された。この研磨機は非常に小型で重量がわずか 8 Kg という軽量であり粗研磨，仕上研磨用合せて 7 台が設置されたが，駆動モーターに研磨液が流入し絶縁不良に陥いる故障が続出した。また平行リンクのストッパーが利かなくなり試料着脱がセルに設けられた一本のボールソケットマニプレーターで出来なくなる故障なども発生したので，この研磨機の改良型を国産することにした。即ち市販の 2 軸式研磨機をベースにしてモーターを研磨槽からはなし研磨液が流れ込まないような構造とし，研磨槽を遠隔で簡単に取り外せる構造とした。またこの研磨機では試料ホルダーもパヨネット式に変えるなどしたので輸入品にみられた研磨面の片べり傾向も少なくなった。この時点で能率向上の見地から多数試料研磨機の開発の必要性が議論され，その検討を開始した。多数試料研磨機の場合平行リンクスイング方式は機構的に不安定で耐久性に欠け，また研磨面が片べりになるなどの理由から 2～3 の試設計を経て試料ホルダー自転方式研磨機を試作した。これは比較的簡単な構造を採用したので故障による運転不能という状態はなくなり試料面の仕上状態も以前より良好な結果を得たが，試料ホルダーが研磨紙との摩擦抵抗により回転するので研磨紙粗さ，回転する試料ホルダーの支持部の状態等によっては仕上面にムラを生じ期待する研磨面を得るのに未だ充分とは云えなかった。このような状態で検討を行なったのが試料ホルダー強制回転式研磨機（以下強制回転式研磨機という）である。この型のものは米国製に市販品があり，標準研磨機に強制回転式アタッチメントをとりつける式のものであったがアタッチメントのみでも 11 Kg 程度の重量を有しセルに設けられたボールソケットマニプレーターでは取り扱いが困難であった。また研磨槽が取り外せないので除染時に高線量を取り扱わなければならない等の点から以上の欠点をなくした研磨機の国産化を計り成功裡に運転を行なっている。

2. 金 相 用 鉛 セ ル

2.1 セルのレイアウト

東海炉燃料ならびに材料モニタリングなどを行なうために 1963 年ホットラボの増設が開始され，1965 年にコンクリートケープおよび鉛セルラインが完成した。鉛セルラインはサービスエリアを介して増設コンクリートケープの裏側に位置し，No 1～No 12 の合計 12 セルから成立っている。鉛セルの位置を図 2.1 に示す。

鉛セルにおいては、増設コンクリートクリーンケープでX線検査、外観検査、リーク検査などの非破壊試験をうけ、増設コンクリートダーティケープで小片に切断された試料の密度測定、寸法測定、硬度測定および金相試験が行なわれる。増設コンクリートケープと鉛セルの間には試料移送用の気送管が2本設けられている。金相用鉛セルはこの鉛セルラインのうち№5～№8、№10～№12の7セルから成立っている。図2.2に金相用鉛セルのレイアウトを示す。

1966年に鉛セルが運転を開始した当時は№1～№11の計11セルであったが、金相試験の申込み件数が年を追って増加し、№11セルに設置されたライフルト金属顕微鏡および冶金ケープに設けられたB&L金属顕微鏡の2台の顕微鏡では増大する検鏡需要をこなし切れなくなったので1968年に№11セルに隣接して№12セルを増設し、ここに2台目のライフルト金属顕微鏡を設置した。

鉛セルラインにおける試験項目は、№3セルが密度測定、№4セルが寸法測定および外観検査、№5～№8および№10～№12が金相試験、№9セルが硬度測定である。№1～№2セルは前述の気送管が増設コンクリートダーティケープとの間に設けられていて試料のローディング、アンローディングおよび試料貯蔵用として使用されている。

金相試験の工程は

№5セル	試料埋込
№6セル	試料粗研磨
№7セル	試料仕上研磨
№8セル	試料エッチング
№10セル	試料マクロ検査
№11セル	顕微鏡検査
№12セル	顕微鏡検査

であり、№11セル又は№12セルで顕微鏡検査を終了した試料は№9セルに送られて硬度測定が行なわれる。

2.2 セルの遮蔽構造

セルの主要部分は

- i) 鉛ブリック
- ii) セル基礎
- iii) セルフレームおよび背面遮蔽扉

から成立っている。図2.3にセル断面図を示す。

鉛ブリックはセルの前面および一部天井に積込まれセルオペレーションに充分安全な遮蔽能力を有している。セル前面鉛遮蔽厚は178mm(称呼厚7"-175mm)である。

各セルに対する線源容量の決定

遮蔽体の条件は比重1.4g/cm³以上の鉛ブリックでγ線に対する吸収係数および Build-up 係数は次の通りである。

吸収係数 μ : 0.776cm⁻¹(1MeV)

Build-up 係数 B : NYO-3075より壁厚17.5cmに対し4.5

鉛セルライン

ホットラボ1階平面図

縮尺: 1/50

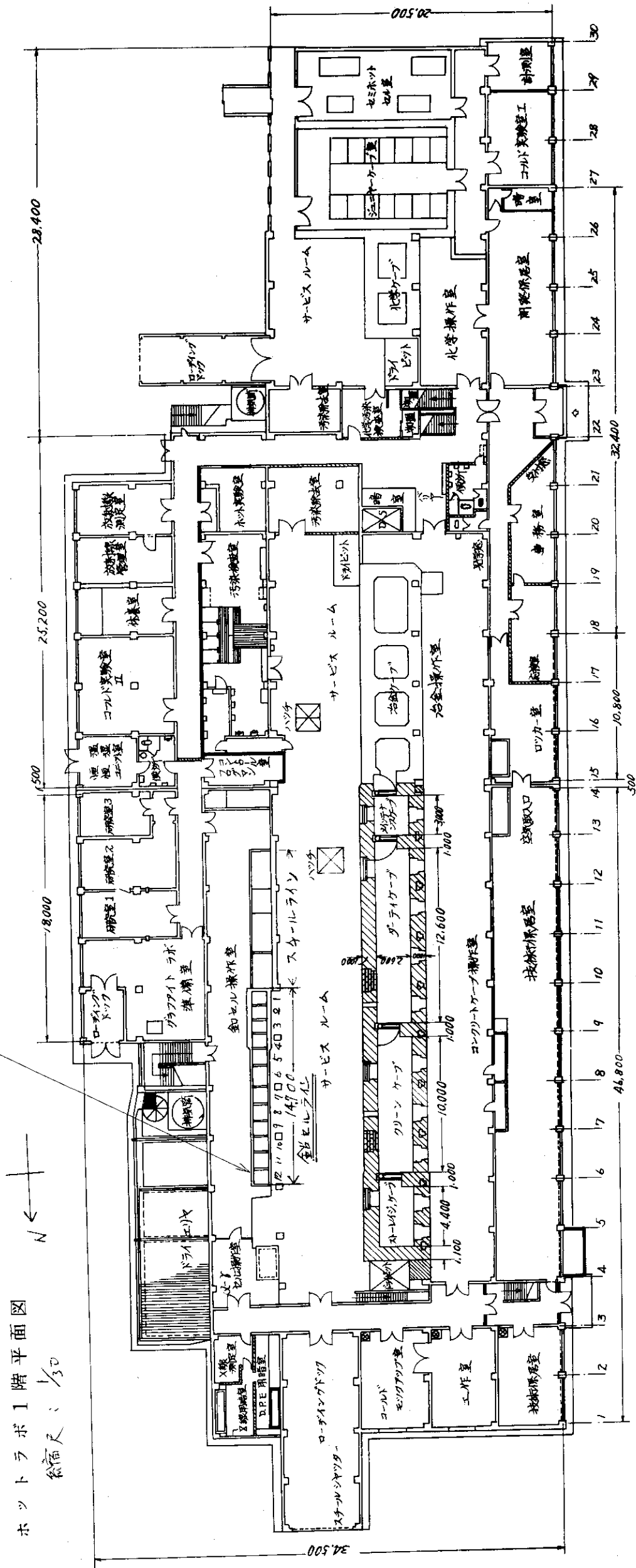


図 2.1 ホットラボ建家における鉛セルラインの位置

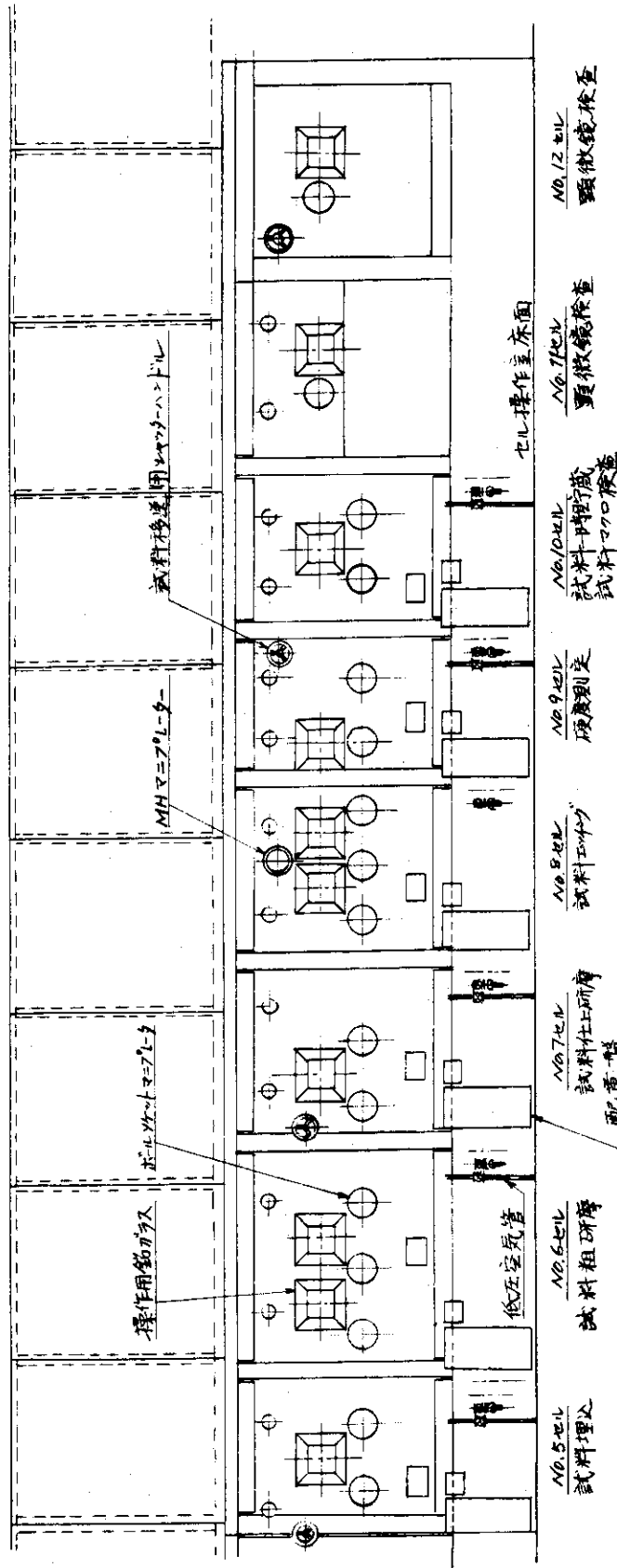


図 2.2 鉛セル金相ライオン正面 (6 5 ~ 6 12 セル)

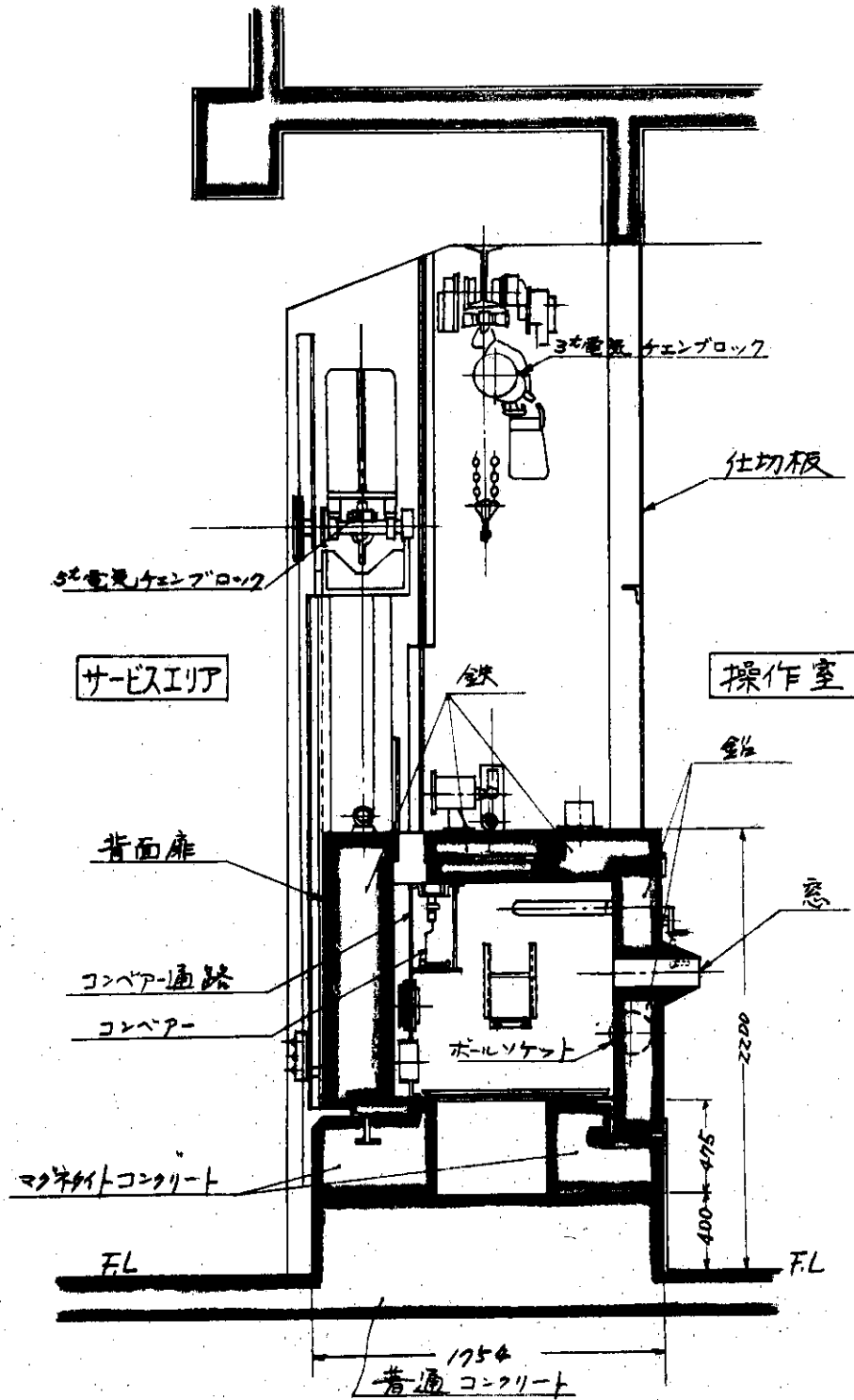


図 2.3 セル断面図 (№5, 6, 7, 8, 10セル)

サービスエリア側

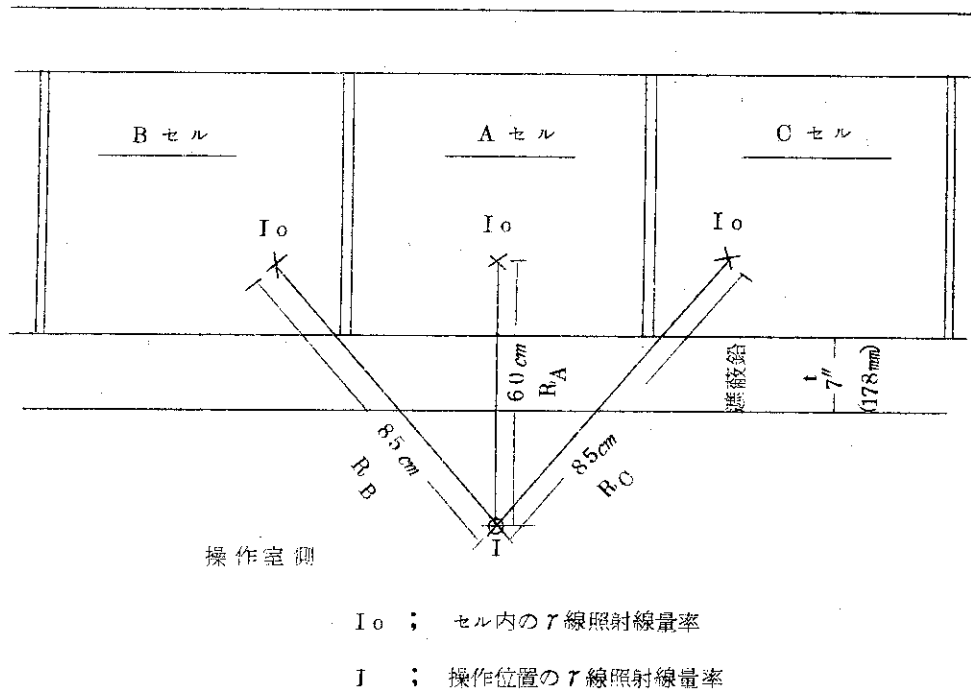


図 2.4 鉛セル操作位置に於けるγ線照射線量率の関係

図 2.4 のように I_0 なる強さの γ 線が厚さ t なる吸収体を通ったあとその強さが I に減少したとすれば I は

$$I = I_0 e^{-\mu t} B$$

$$= 0.525 \times \frac{CE}{R^2} \times e^{-\mu t} \times B$$

で表わされる。ここで

I : D点における γ 線の強さ (R/h)

C : 線源の放射能強さ (Ci)

E : γ 線のエネルギー (1MeV)

R : 線源からの距離 (m)

μ : 吸収係数 0.776 cm^{-1}

B : Build-up 係数 4.5

a) Aセル内線源による線量率

$$I = 0.525 \times \frac{50 \times 1}{(0.6)^2} \times e^{-0.776 \times 17.5} \times 4.5$$

$$= 7.29 \times 10 \times 1.6 \times 10^{-6} \times 4.5$$

$$= 5.25 \times 10^{-4} \text{ R/h}$$

$$= 5.25 \times 10^{-1} \text{ mR/h}$$

$$= 21 \text{ mR/week}$$

b) B又はCセル内線源による線量率

$$I = 0.525 \times \frac{50 \times 1}{(0.84)^2} \times e^{-0.776 \times 24.7} \times 5.8$$

$$= 5.5 \times 10^{-2} \text{ mR/week}$$

以上の計算結果より

$$I = 21 \text{ mR/week} < 30 \text{ mR/week}$$

セル基礎は鉛セル装置に關係する機器の全重量(鉛ブリック、背面遮蔽扉、遮蔽窓、ボールソケットマニプレーター、M-Hマニプレーター、試料運搬用キャスク、その他關係設備を含む)を支承するに充分の強度を有し、下記地震力に対し充分安全なように設計、製作されている。

水平方向地震力	0.3 G
鉛直方向地震力	0.2 G

セル基礎は床面より400mm高さまで普通コンクリート(比重2.7)で、その上部に中央部を除いて475mm高さにマグネタイトコンクリート(比重3.8)が打設されている。但し、№11セル、№12セルは顕微鏡セルのため床面から705mm高さまで普通コンクリートが打設されている。

基礎コンクリート部分で放射線遮蔽を兼ねる部分は、SS材、鉛ブリックと同等以上の遮蔽能力を有している。

セルフレームおよび背面遮蔽扉の主要部分は鋼板(SS41)により構成されていて、鉛ブリックその他セルに附屬する機器の諸荷重を考慮して下記地震力に対し充分安全なように設計、製作されている。

水平方向地震力	0.3 G
鉛直方向地震力	0.2 G

セル天井、背面扉有効遮蔽厚はそれぞれ200mm、250mmの鋼板(SS41、 $\rho=7.85$)を使用している。

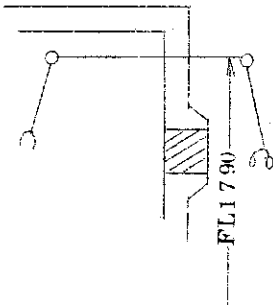
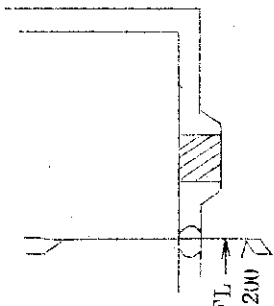
2.3 付帯設備等

遠隔操作によるセルオペレーションの基礎となるものはマニプレーターおよび遮蔽窓である。図2.2に示すように鉛セル金相ライン(№9セルを除く)には1本のMH型マスタースレーブマニプレーター、14本のボールソケットマニプレーター、9ヶ所の遮蔽窓が設置されている。鉛セル運転開始時はマニプレーターはボールソケットマニプレーターだけであったが、試料エッチング操作の迅速化を計るために1970年に№8セルにMH型マニプレーターを取りつけた。ボールソケットマニプレーターおよびMH型マスタースレーブマニプレーターの諸機能を表2.1に示す。

遮蔽窓は7"厚のセル本体鉛ブリック以上の遮蔽能力を持つように特重フロントガラス、安全クラウンガラスおよび普通クラウンガラス等を数枚組合せて設計、製作されている。操作面側の最大偏軸視角は上下左右共37°以上、セル内面側の最大偏軸視角は上下左右共51°以上で

ある。

表 2.1 マニプレータの諸機能

諸 元	MHマニプレータ	ボールソケットマニプレータ
取扱い容量	4.5Kg	2.0Kg
握み力	2.5Kg	1.5Kg
垂直運動	965mm	800mm
前後運動角	上 60° 下 30°	-
左右 "	±90°	±40°
腕の回転角	±178°	±40°
指先開き	80mm	50mm(汎用)
指先上下角	+45° -135°	-
手首の回転角	±180°	-
腕の全長	前面壁貫通形	前面壁貫通形
重 量	約 150Kg	1.3Kg(ボールソケットを除く)
腕の直径	50mm	13mm
取付断面略図		

セル内装機器の出し入れ、汚染除去は背面遮蔽扉を開けて行なうがこの扉は上下引出式であり、背面側支柱をガイドとして上下開閉を行なうもので、各扉には案内用ガイドローラーが各4ヶ取りつけてありスムーズに開閉出来るようになっている。上部には駆動用フックが各1ヶ取りつけられており、5 Ton 電気チェンブロックで駆動されるようになっている。背面扉はセル内モニターと連動し、放射線レベルが一定限度以下である場合に限り開けることが可能である。

セル内への試料出し入れ、廃棄物搬出等のために16.7セル天井に200φガンマーゲートが設けられている。装置の遮蔽は、セル内からの放射線に対するセルフフレームの有効遮蔽能力と同程度しくはそれ以上となっている。また、装置はセル内の換気による負圧度を常時維持出来る程度の気密性を有し、シャッター枠は上部に試料搬出用のキャスタ(重量1.5 Ton)を支承

するに十分な強度と剛性を有している。

セル間の試料移送は、セル背面遮蔽扉側の上部に取りつけられたコンベアーによって行なわれる。コンベアー本体は、モノレール式のガイドから1ケの移送用専用ケージを懸垂させる方式で、ガイドレールはセルフフレーム天井板に取りつけられている。コンベアー駆動装置は電動式でセル天井上面に設置され、必要に応じて手動移送が可能なものとなっている。コンベアーの制御は各セル毎に取付けられている操作盤の押ボタン操作によって行なわれる。ただし、No. 12セルのみはNo. 11セルとの間に専用のチェーンコンベアーが設けられている。

各セルの電気は主幹盤よりセル前面に設置された実験分電盤に送られ、ここからセル内部実験装置および電灯設備に給電されている。電灯設備は各セル毎に2本のナトリウムN-140ランプがプラグ方式でセル前面に取付けられている。ランプ点滅操作は実験分電盤にて行なうが、No. 11、No. 12セル用ランプは2ケ所別々に点滅出来るようになっている。

各セルの排気は主排気ダクトに集められ、地下の排風機室に設置されたフィルターユニットで濾過され、排気筒から大気中に放出されている。換気回数は各セル共最高100回/hであるが、給気は全てケープ室側より導入し、給気孔はセル本体からの漏込みを考慮して毎時100回の換気回数に見合うように設計されている。セルには常時 -2.5 mm Aq の負圧を維持するため測定用としてマグネティック型の差圧計が取付けられている。排気ダクト立上り部分に、セル内負圧を -2.5 mm Aq に調整出来るよう風量調整用のモーターダンパーが取付けられている。またセルには差圧警報装置が取付けられ、内圧が -5 mm Aq 以上に上昇した場合に警報を発するようになっている。

給水、給湯設備は各セル毎にそれぞれ2ケ所設けられ、止水弁およびホース接手が取付けられている。排水設備は各セル毎に1ケ所排水口およびストレーナーが設けられ、No. 6、No. 7、No. 8の各ポリッシングセルの排水口にはステンレス焼結金属製のフィルターエレメントが取付けられている。

圧縮空気設備は、ボールソケットマニプレーターの操作を容易にするために各ボール下部に $0.35 \text{ Kg/cm}^2 \text{ G}$ の低圧配管が設けられている。

背面遮蔽扉とコンベアーの間にはグローブ付き遮蔽板が取付けられている。これは内装機器を除染する際にセル内汚染がセル外に拡がるのを防ぐためにあらかじめグローブを使って機器の取外し、解体等を行なうためのものであり、そのあと除染室のグローブボックスに運んで除染、修理を行なう。鉛セル金相ライン背面を図2.5に示す。

2.4 研磨機の具備すべき条件

ホットラボで照射後試験に使用する研磨機は、マスタースレーブマニプレーターまたはボールソケットマニプレーターで取り扱うことの出来る機構をもつものでなければならない。特に鉛セル金相ライン用の研磨機は、

- I) ボールソケットマニプレーターで操作する。
- II) セル自体のスペースが小さい。
- III) 装置の出し入れはセル背面より入手で行なう。
- IV) セル天井 200ϕ ガンマーゲートにより研磨紙の大きさがきめられる。

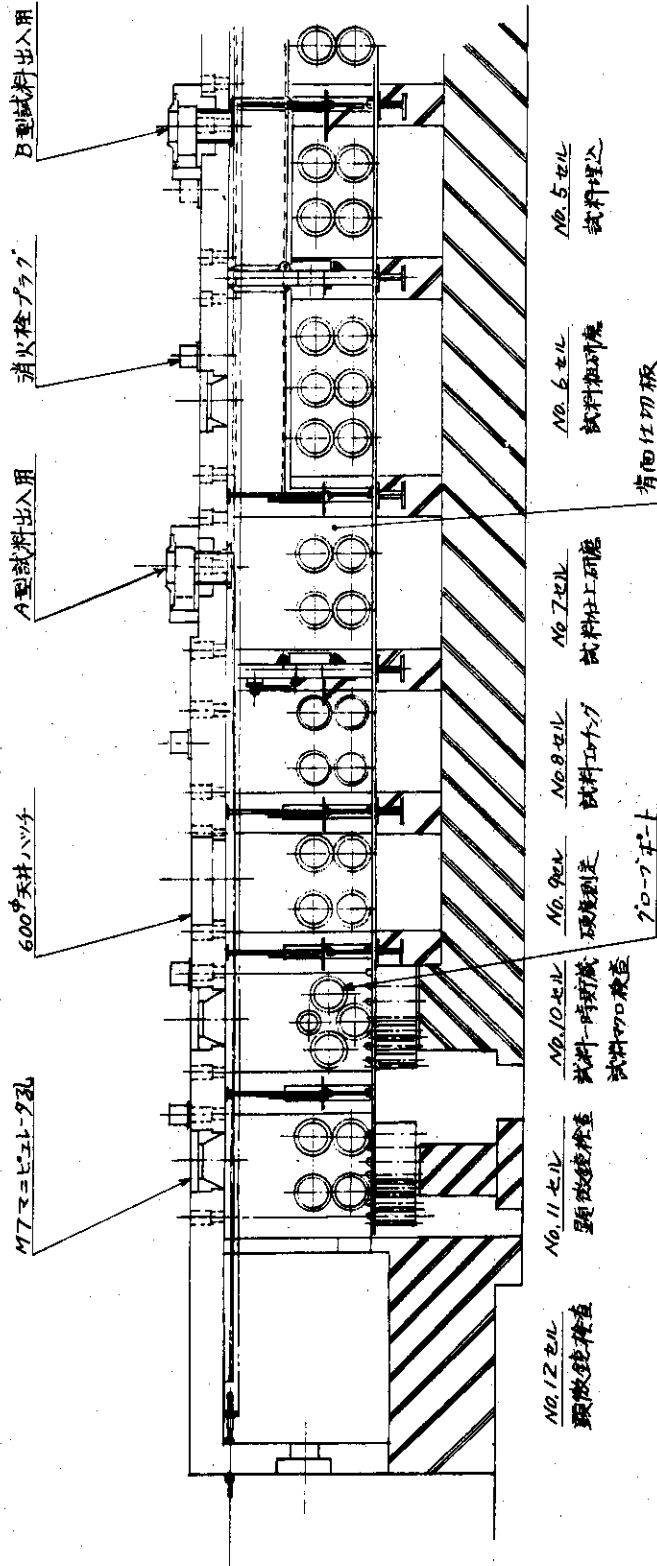


図 2.5 鉛セル金相ライン背面 (No. 5 ~ No. 12セル)

などの条件により、小型、軽量化が計られなければならない。

ボールソケットマニプレーター（取扱い重量 5 Kg）による操作の内容は

- i) 研磨紙の交換※
- ii) 試料のセット
- iii) 研磨液の供給
- iv) 研磨板および研磨槽の取り外し
- v) セル外からの電氣的制御

などである。このうち、v)は操作盤をセル外に置いて行なえば良いので比較的問題はないが、i)~iv)は研磨機の構造と不可分の関係にあり、遠隔操作型試料研磨機としての良否を判定する一つの基準になるので非常に重要な条件である。コールド実験中に装置の故障が発生した場合は実験を中止して直ちに修理に取りかかることが出来るが、高放射性物質を取り扱っているホットラボの場合簡単に修理を行なうことは難しく、先ず装置あるいはセルの汚染除去から取りかからなければならない。鉛セル用研磨機の場合、燃料、材料の試料本体、埋込樹脂および研磨紙などの研磨屑が研磨液と共に研磨槽に溜まり、底部に設けられた排出口よりセル排水口のストレーナーに流れるが、研磨槽より完全に排出することは不可能で底部に研磨屑が沈積する。この研磨屑が非常に高い放射能を有し、除染作業を困難にするので、遠隔操作で研磨槽を取り外し装置本体の線量を下げなければならない。また、研磨作業により研磨紙が摩耗した場合および研磨作業が終了した場合には、それぞれ研磨紙ならびに試料の交換が容易に行なえなければならない。研磨中に研磨液を必要量供給しなければならないことは蓋し当然である。

一般に研磨工程は粗研磨および仕上研磨の2工程に分けることが出来る。1台の研磨機で粗研磨から仕上研磨までの全工程を行なうのは、頻繁な研磨紙の交換の他に粗研磨における研磨屑が仕上研磨の際に研磨面に入って疵を発生する原因となり好ましいことではない。研磨機の使用も粗研磨用、仕上研磨用に分けて行なうのが能率良い使い方ということが出来る。その場合通常粗研磨用~3台、仕上研磨用~3台程度設置し、それぞれ#120~#1200の耐水研磨紙、6 μ ~1/4 μ のダイヤモンドペースト塗布のナイロクロス等により研磨を行なう。研磨のプロセスについては注)を参照のこと。

以上により鉛セル用研磨機は

- i) 軽量、小型であり、 6 、 7 セルにそれぞれ3台程度設置出来る大きさであること。
- ii) 除染しやすいように研磨槽などが遠隔で簡単に取り外せること。
- iii) 研磨紙の交換、試料のセットが容易に出来ること。
- iv) 故障頻度を少なくするために出来るだけ簡単な構造であること。

などの条件を満足させるものであることが望ましいわけである。

注)

粗研磨は#120、#180、#240、#320、#400、#600、#800

※ 研磨紙（耐水研磨紙および各種クロス）は裏面が糊付されていてこれを研磨補助板（アクリル円板）に張りつける。研磨紙交換とは研磨補助板共に研磨紙を交換することをいう。

#1000, #1200 (数字が大きくなるにつれて粒子は細くなる)の耐水研摩紙で行ない、仕上研摩はバフ、ナイロクロスにダイヤモンドペースト、ダイヤモンドスプレーあるいは酸化アルミナなどを塗布して行なう。ダイヤモンドペーストの粒子径により6 μ , 3 μ , 1 μ , 1/2 μ , 1/4 μ がある。研摩工程の短縮化ということから研摩面に前の番手の疵が残らない程度に番手をとばして研摩を行なうのでこれら全番手の研摩紙を使用することとほまれである。

3. 平行リンクスイング式研摩機

3.1 構造および性能

鉛セル運転開始時の研摩機は鉛セルライン建設目的の東海炉燃料モニタリング遂行計画により他の機器と同様に英国原子力公社(UKAEA)のコメントに従ったものが配置された。この研摩機の最大の特長は試料ホルダーが平行リンクスイング方式(swinging parallel linkage)を有していることである。この他の構造上の特長としては本体がアルミニウム合金製で重量がわずかに8Kgであって、高さ380mm, 奥行240mm, 巾216mmで占有する床面積が約400cm²の極めて軽量小型の研摩機ということである。

研摩機本体が小型であるので駆動源として230/250ボルト(A.C.), 0.75Aのギヤ減速内蔵の小型電気ドリル用モータによって153mm ϕ の試料研摩板と平行リンクスイング試料ホルダーを動作させていることである(写真3.1)。なお試料ホルダーの平行リンクスイング方式とは、回転する研摩板に対し試料が全面をカバーできるよう研摩板中心を通過して左右にスイングする角度調整済(約45°~60°)駆動軸に連結する平行リンクの先端部に試料ホルダーを有するものである。また試料の着脱等にあたっては研摩機の運転を止めてから平行リンクを持上げると最上部でストッパーの爪が作用し試料の着脱および研摩紙の交換ができる。そしてこの作業の終了後ストッパー部の爪を外し再び研摩機の運転を開始するものである。

性能を含めた特長をカタログから抜粋すれば、

i) 寸法等;表3.1の通り

表3.1 A社研摩機の主要数値

高さ	巾	奥行	重量	回転数	電圧
380mm	216mm	240mm	8Kg	460r.p.m	230/250A.C.

ii) 試料ホルダー;左右にスイングするリンクに取付けられるものであり、試料へ差込む突起を有するもの(以下この試料保持方式をセンターホール方式(注1)と呼ぶ)、試料を保持カップに納めるもの(カップ方式と呼ぶ)の2つの方式があり1インチ直径と、1¹/₄インチ直径のものとはそれぞれ交換可能である。

iii) 研摩液貯槽;この貯槽を適当な落差のある場所に設置してニールド弁を調節し、給液パ

#1000, #1200 (数字が大きくなるにつれて粒子は細くなる)の耐水研摩紙で行ない、仕上研摩はバフ、ナイロクロスにダイヤモンドペースト、ダイヤモンドスプレーあるいは酸化アルミナなどを塗布して行なう。ダイヤモンドペーストの粒子径により6 μ , 3 μ , 1 μ , 1/2 μ , 1/4 μ がある。研摩工程の短縮化ということから研摩面に前の番手の疵が残らない程度に番手をとばして研摩を行なうのでこれら全番手の研摩紙を使用することとほまれである。

3. 平行リンクスイング式研摩機

3.1 構造および性能

鉛セル運転開始時の研摩機は鉛セルライン建設目的の東海炉燃料モニタリング遂行計画により他の機器と同様に英国原子力公社(UKAEA)のコメントに従ったものが配置された。この研摩機の最大の特長は試料ホルダーが平行リンクスイング方式(swinging parallel linkage)を有していることである。この他の構造上の特長としては本体がアルミニウム合金製で重量がわずかに8Kgであって、高さ380mm, 奥行240mm, 巾216mmで占有する床面積が約400cm²の極めて軽量小型の研摩機ということである。

研摩機本体が小型であるので駆動源として230/250ボルト(A.C.), 0.75Aのギヤー減速内蔵の小型電気ドリル用モータによって153mm ϕ の試料研摩板と平行リンクスイング試料ホルダーを動作させていることである(写真3.1)。なお試料ホルダーの平行リンクスイング方式とは、回転する研摩板に対し試料が全面をカバーできるよう研摩板中心を通過して左右にスイングする角度調整済(約45°~60°)駆動軸に連結する平行リンクの先端部に試料ホルダーを有するものである。また試料の着脱等にあたっては研摩機の運転を止めてから平行リンクを持上げると最上部でストッパーの爪が作用し試料の着脱および研摩紙の交換ができる。そしてこの作業の終了後ストッパー部の爪を外し再び研摩機の運転を開始するものである。

性能を含めた特長をカタログから抜粋すれば、

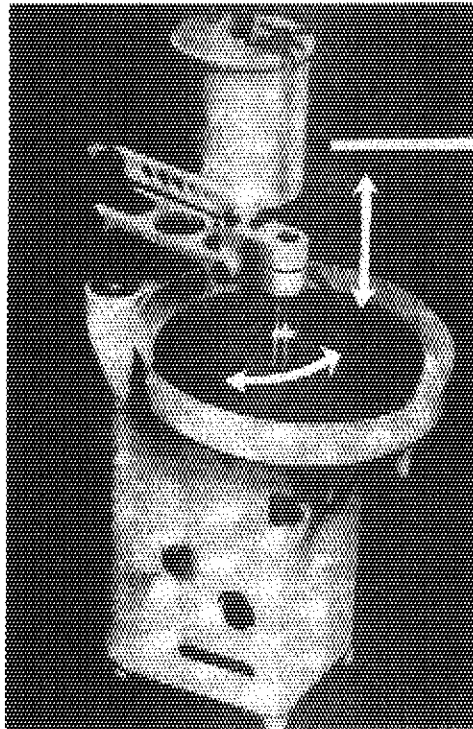
i) 寸法等;表3.1の通り

表3.1 A社研摩機の主要数値

高さ	巾	奥行	重量	回転数	電圧
380mm	216mm	240mm	8Kg	460r.p.m	230/250A.C.

ii) 試料ホルダー;左右にスイングするリンクに取付けられるものであり、試料へ差込む突起を有するもの(以下この試料保持方式をセンターホール方式(注1)と呼ぶ)、試料を保持カップに納めるもの(カップ方式と呼ぶ)の2つの方式があり1インチ直径と、1 1/4インチ直径のものそれぞれ交換可能である。

iii) 研摩液貯槽;この貯槽を適当な落差のある場所に設置してニールド弁を調節し、給液パ



試料ホルダー上昇
最大位置

← 平行リンクスイングの
往復運動

矢印は動作の方向を示す

写真 3.1 A社製平行リンクスイング式研磨機

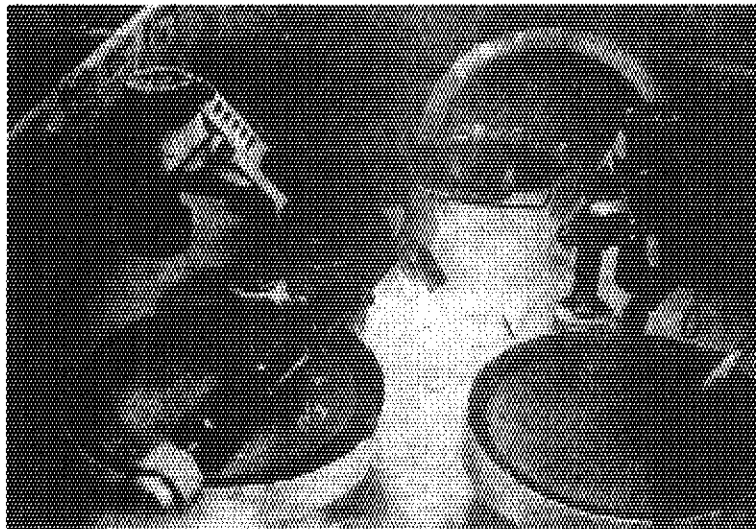


写真 3.2 A社製輸入平行リンクスイング式研磨機の
鉛セル内のセット状態

イブにより適量ずつ供給する。カタログでは平行リンクスイング部のわきに設置してある。

IV) 研摩板；研摩板(153mmφ)にある3ヶ所の突起を、駆動板にある3ヶ所の穴に合わせて連結させるバヨネット方式を採用しており、この研摩板の脱着は遠隔操作で行なえる。

V) エッチ研摩；ポリエチレン製研摩槽を遠隔操作で取付けて行なう。

VI) 研摩速度；460 r.p.mの一定速度になっているが、粗研摩および仕上げ研摩の必要に応じ、回転速度可変のコントロールユニットの取付けも可能である。

これらの機能を有するA社製輸入研摩機を6セルに4台(粗研摩用)と7セルに3台(仕上げ研摩用)設置した。このとき研摩機の上部に付置できるようになっている研摩液貯槽を、研摩液補給の頻度が多くなってその度毎に研摩を中断することもあり得るので撤去して、操作室側に設けた冷却液滴下槽から供給することとした。また試料ホルダー部が前述の仕様のようにセンターホール方式とカップ方式の交換が可能であり、そのためホルダー部にガタがあったので、114φのカップ方式専用のハンダ付けによる堅牢なものにした。

この研摩機の鉛セル内セットの状態を写真3.2に示す。

(注1) 試料ホルダーについて

これら研摩機の試料保持は大別し次の三種類に分けられる。

i) センターホール方式

樹脂を埋込んだ試料枠の中心部に荷重の懸るボール状突起の付いた棒に試料保持と研摩荷重を与えるものであって、試料直径寸法は点線で示すように多少の可変が可能であるという利点をもっている。

ii) センターウェイト方式

試料ホルダーに研摩試料を挿入し試料中心部へ重錘からの集中荷重を与えるものであり、研摩試料は試料ホルダーの中で回転することが容易である。

iii) カップ方式

ii)のセンターウェイト方式と異なる点は研摩試料の上面全体に研摩重錘の重量が懸るものであって、研摩試料の回転はほとんど不可能である。

試料保持の状態を図3.1に示す。

3.2 検討事項と問題点

おおよそ、このような状態で約6ヶ月間研摩作業を行なった結果、不完全な研摩機の構造と不十分な研摩面の仕上がり状態のために次の様な問題を生じ、より健全な研摩機開発が早急に望まれるに至った。それらの主だった点は、

i) 研摩機の駆動用モータ(手持ちの小型電気ドリル用)が水密になっていないことと、水滴浸入防止のための研摩槽内側のそり返りの高さがわずか5mm程度であって研摩排液の流出を防止することが十分にできず、流出滴下した研摩排液がモータに浸入し絶縁破壊とか導通不良を誘発し、研摩機の動作を不能にした。

ii) 試料ホルダーを備えた平行リンクスイング部は試料の着脱の際には上下に動作し、また最上部には固定用の爪とバネ機構によるストッパーがある。平行リンクスイング部を上下に繰

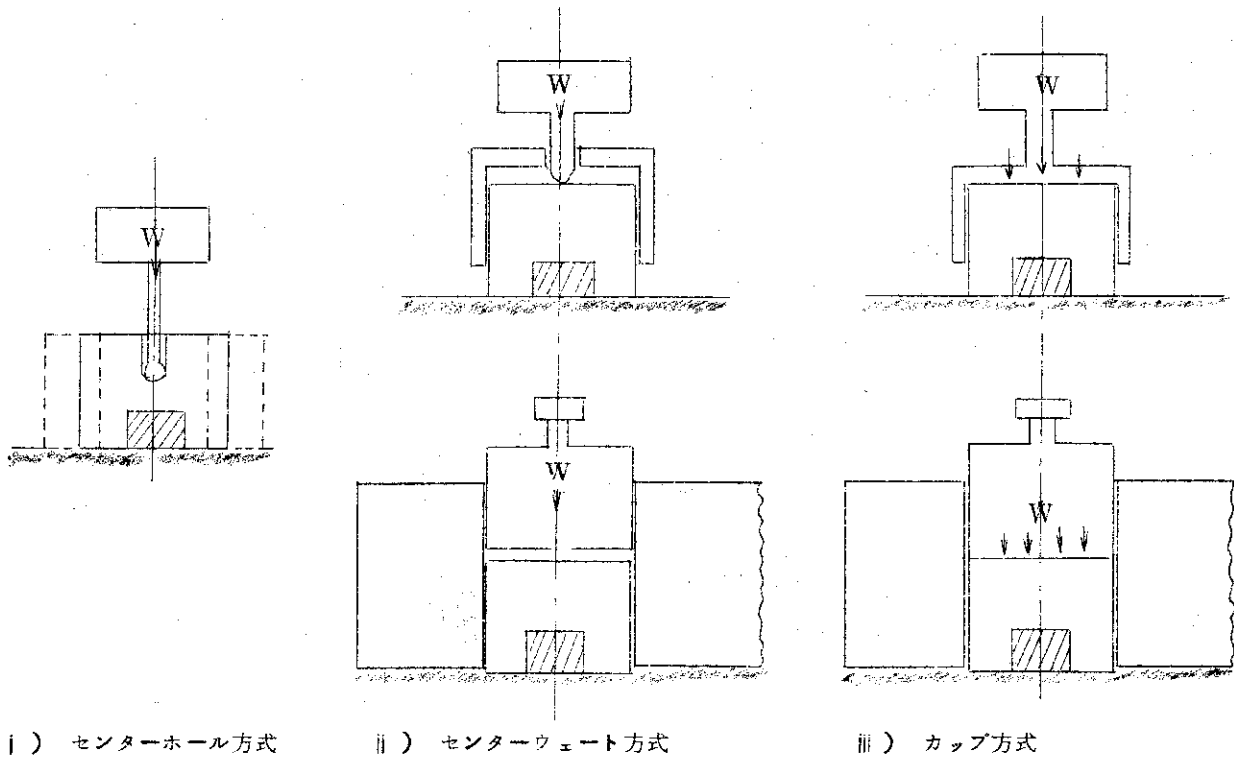


図 3.1 試料ホルダーの形式と試料保持の状態

返し動作させると止めネジがゆるんでこのストッパーが利かなくなり試料の着脱がボールソケットマニプレータ1本の操作では不可能になった。

iii) 研摩機の修理および除染の際の遠隔操作による解体が困難であって計画被曝の下で防護衣を装着して行なわなければならなかった。研摩機の高汚染部分は研摩槽および研摩板であり、A社製輸入品の場合には駆動板と研摩板はバヨネットで研摩回転方向と逆にわずかに回すと遠隔操作で取外せる構造になっているのであるが、使用中にバヨネット部のある一部が食い込んでボールソケットマニプレーター操作で簡単に取り外せず無理におこなうとボールソケットマニプレーター爪先部等を損傷することが度々あった。

iv) 駆動用モータは200V手持ち電気ドリル用モーターを使用しており、研摩機の累積使用時間とセル内の研摩機近傍の多湿によるためと思われるが約半年の使用でカーボンブラシの摩耗量も多くまたひび割れしているものもあった。駆動用モータは本体内部に完全に密閉内蔵されているのでこのような故障修理、消耗品の交換が汚染除去による放射線レベルを下げてでも簡単にできなかった。少なくとも放射線レベルを下げればごく簡単に交換出来る構造になっているべきである。

v) 研摩に関する本質的な問題である研摩試料の俗称「片減り」の現象がどうしても消えなかった。これは当初の研摩機ではカップ方式とセンターホール方式とが交換可能であったがこの部分が堅牢でないので1 $\frac{1}{4}$ " ϕ 試料研摩だけを行なうカップ方式単独とした。しかしこのカップ内壁と試料とのギャップがありすぎて試料が傾斜し研摩の片減りを誘起した。この場合、平行リンクが往復スイングする間に試料がカップ内で2~3回転するような方法(試料ホルダーが研摩板の外周部と中心部でゆっくり往復運動をして研摩する)が採用されていれば若干の試料面片減りの修正はできるものである。

このA社製輸入研摩機は小型でかつ軽量という優れた面を有していたにもかかわらず上記のような5項目にわたる問題点を有し、鉛セル運転開始約半年で研摩機駆動モータの回転不能に陥ったため汚染除去と差し当りの補修、部品交換をおこなった。しかしこれは研摩機に対する抜本的な改修ではないので前述の5項目の問題点を含め健全な鉛セル用遠隔操作型研摩機の開発計画の検討に入った。

4. 改良型平行リンクスイング式研摩機

4.1 構造および性能

1966年3月の鉛セルの汚染除去の際3.2で述べたようなA社製輸入品の不適当さが判明したのでこの欠点を補う研摩機の開発を進めることになった。この場合当時としては国産の照射後試験用の遠隔操作型研摩機がまだ製作されておらずこの方面で国内研摩機メーカーが設計製作に対して未経験であった。この点を考慮した上で新機種を輸入品と国産品の何れにするかを検討した。輸入品の場合は代理店を通して購入するという事になって、価格が割高になり納期も遅くれがちになるし、改造するとしても細部に対しては困難であるという不利な諸点があった。結局国内のメーカーに問合わせるところこれまで非照射試料の研摩機を手がけてきたM社が相当の意欲をもって製作に当たり開発への見通しがついたので国産技術で開発することにした。

先づ当面の打開策としてA社製品の不備な諸点を補うこととした。国産M社製の三段変速式二軸研摩機へ平行リンクスイング式の研摩ホルダーを取付け、遠隔操作用として遠隔電源操作盤を設けたものを製作することにした。仕様の概略を表4.1に示す。

表 4.1 国産1号平行リンクスイング式 研摩機の主要数値

高 さ	巾	奥 行	重 量	回 転 数	電 圧、電 力
410 mm	630 mm	310 mm	約80 Kg	600 r.p.m	100V, 200W

この研摩機の平行リンクスイング部は1往復3秒程度である。先のA社製輸入研摩機の総重量が約8 Kgであったのに比べこれは2軸付で研摩板を2ヶ備えた2台分の能力を有していたが本体が鋳鉄製で約80 Kgである。また鉛セルに組込んだ時に占有する場所が大きく約1ヶ年使用したがこの1号機は試作品としての域を出なかった。

2号機に相当する次の研摩機はこの点を考慮し出来るだけ小型のものを開発すべく努力した。この場合には本体はアルミ鋳物として新たに鋳型をつくり、1号機の平行リンクスイング部がネジ止めでガタを生じやすかったのをアルミ鋳物製の堅牢なものにした。研摩機の概略を図4.1, 4.2に示す。試料ホルダーは東海炉燃料モニタリングの破損燃料の破損部分の金相試験の場合に1¹/₄" φの埋込棒を越える大きさの試料の研摩も必要とすることがあるのでA社製輸入品の場合より簡便なセンターウェイト方式とセンターホール方式の互換可能なものにした。こ

このA社製輸入研摩機は小型でかつ軽量という優れた面を有していたにもかかわらず上記のような5項目にわたる問題点を有し、鉛セル運転開始約半年で研摩機駆動モータの回転不能に陥ったため汚染除去と差し当りの補修、部品交換をおこなった。しかしこれは研摩機に対する抜本的な改修ではないので前述の5項目の問題点を含め健全な鉛セル用遠隔操作型研摩機の開発計画の検討に入った。

4. 改良型平行リンクスイング式研摩機

4.1 構造および性能

1966年3月の鉛セルの汚染除去の際3.2で述べたようなA社製輸入品の不適当さが判明したのでこの欠点を補う研摩機の開発を進めることになった。この場合当時としては国産の照射後試験用の遠隔操作型研摩機がまだ製作されておらずこの方面で国内研摩機メーカーが設計製作に対して未経験であった。この点を考慮した上で新機種を輸入品と国産品の何れにするかを検討した。輸入品の場合は代理店を通して購入するという事になって、価格が割高になり納期も遅くれがちになるし、改造するとしても細部に対しては困難であるという不利な諸点があった。結局国内のメーカーに問合わせるところこれまで非照射試料の研摩機を手がけてきたM社が相当の意欲をもって製作に当たり開発への見通しがついたので国産技術で開発することにした。

先づ当面の打開策としてA社製品の不備な諸点を補うこととした。国産M社製の三段変速式二軸研摩機へ平行リンクスイング式の研摩ホルダーを取付け、遠隔操作用として遠隔電源操作盤を設けたものを製作することにした。仕様の概略を表4.1に示す。

表4.1 国産1号平行リンクスイング式研摩機の主要数値

高さ	巾	奥行	重量	回転数	電圧、電力
410 mm	630 mm	310 mm	約80 Kg	600 r.p.m	100V, 200W

この研摩機の平行リンクスイング部は1往復3秒程度である。先のA社製輸入研摩機の総重量が約80 Kgであったのに比べこれは2軸付で研摩板を2ヶ備えた2台分の能力を有していたが本体が鋳鉄製で約80 Kgである。また鉛セルに組込んだ時に占有する場所が大きく約1ヶ年使用したがこの1号機は試作品としての域を出なかった。

2号機に相当する次の研摩機はこの点を考慮し出来るだけ小型のものを開発すべく努力した。この場合には本体はアルミ鋳物として新たに鋳型をつくり、1号機の平行リンクスイング部がネジ止めでガタを生じやすかったのをアルミ鋳物製の堅牢なものにした。研摩機の概略を図4.1, 4.2に示す。試料ホルダーは東海炉燃料モニタリングの破損燃料の破損部分の金相試験の場合に1¹/₄" φの埋込棒を越える大きさの試料の研摩も必要とすることがあるのでA社製輸入品の場合より簡便なセンターウェイト方式とセンターホール方式の互換可能なものにした。こ

5	潤滑	油	1	1500/200
4	防水	油	1	1500/200
3	"	(無材料)	1	1500/200
2	セパレーター	油	1	1500/200
1	本体	油	1	1500/200

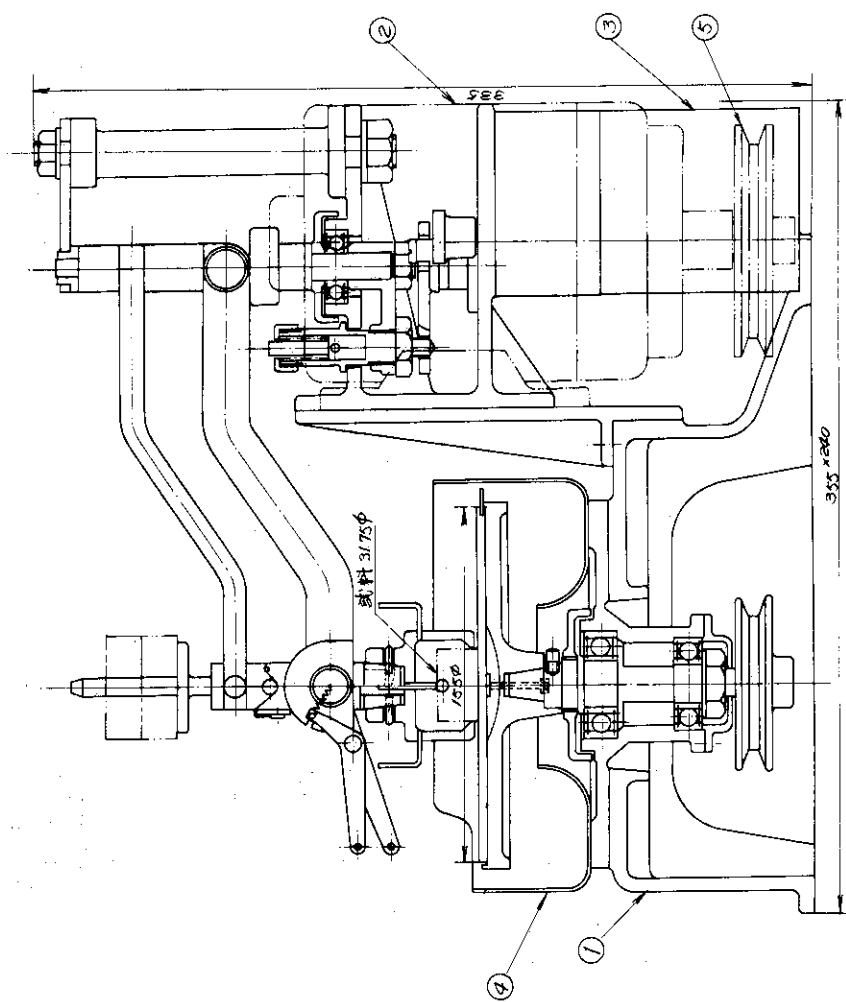


図 4.1 改良型平行リンク式研摩機 (側面図)

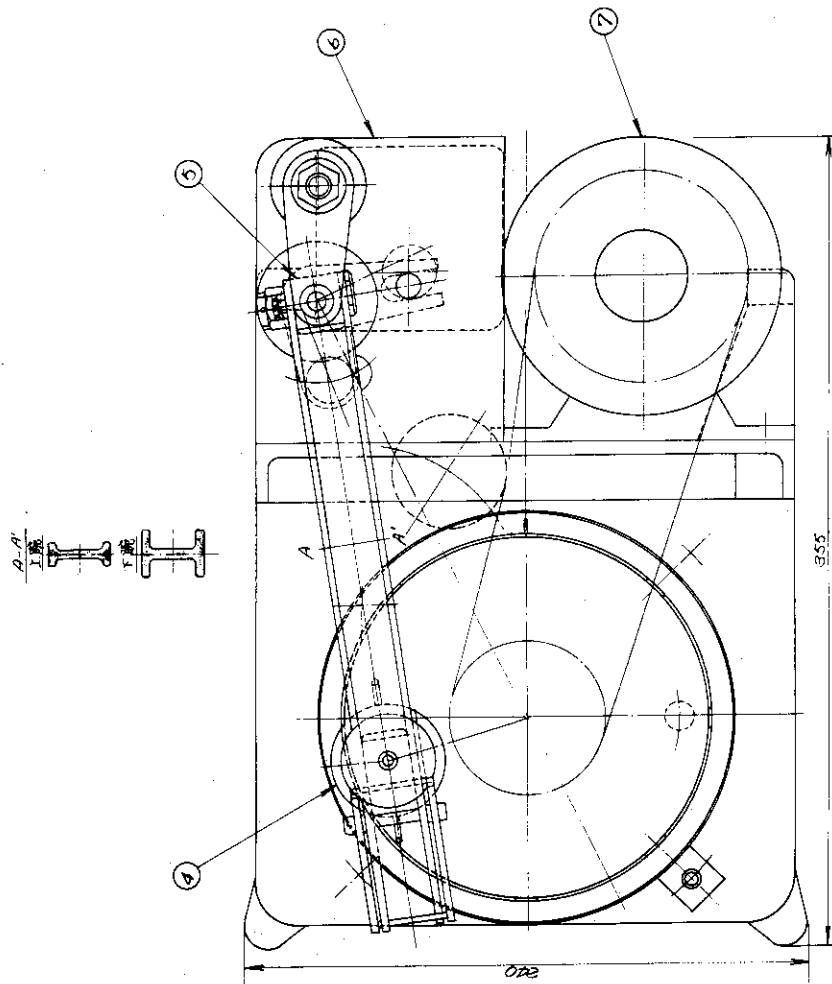


図 4.2 改良型平行リンクスイング式研摩機 (平面図)

7	研摩機	1	
6	駆動モータ	1	
5	平行リンク	2	
4	研摩輪	2	
	研 名	研 機 研 備 考	

れはセンターウェイト方式の試料ホルダーをボールソケットマニプレーターでつまんで少し回してパヨネット部を取外せばセンターホール方式になるものである。

この研摩機の鉛セル内作業状態を写真 4.1 に示す。

4.2 検討事項と問題点

構造および性能で述べたように国内の M 社へ発注製作したこの種の研摩機は 1 号機と 2 号機である。先の 1 号機は試料ホルダーを保持する平行リンクスイング機構が十分堅牢でなくストロークの位置ずれ、試料ホルダー最上部ストッパーの故障が生じた。また研摩板回転駆動伝達の V ベルトのテンションブリーが弛み研摩板の回転不能も起こり計画被曝下で修理した。総重量が約 80 Kg もあったため狭い鉛セル背面で防護衣を装着し 3 人がかりで汚染除去を行ないセル背面に取出した。1 号機製作時には研摩機の補充に重点がおかれ鉛セル用研摩機として十分配慮の行きとどいたものではなかった。

2 号機の場合は試料ホルダーもセンターホール方式とセンターウェイト方式の切換え可能や、小型で重量も約 17 Kg で軽く、平行リンクスイング部も堅牢なものになった。このために試料の片減りの度合も少なくなった。しかし研摩される試料が 1 個ずつであるということは非効率であり作業上から同時多数研摩の必要性が感じられるに到ったのである。

そのため開発はこの改良型平行リンクスイング式研摩機本体を利用した多数試料研摩機へと移行した。その結果平行リンク部はスイングせず試料ホルダーが上下移動のみを行なう方式をとることにした。この概略図を図 4.3 に示す。若干複雑であるので図について説明すれば、研摩試料 4 ケを穴開きアクリル板 101 に挿入し各々に重錘 108 をかけるというものであって、研摩紙を糊付けした研摩板 104 の交換は試料保持部昇降 105 を持上げてからおこなうのである。なお研摩板に対する試料板の関係は 3 秒間に 1 回転する程度の速さになるように試料ホルダーの重錘板 102 の中心部の油溜めに粘性の高い油脂を入れ、その摩擦抵抗により調節するものである。しかしこの研摩機は試料の着脱が煩わしいこと、試料ホルダーの平行リンクの昇降の堅牢さに不安があり、より単純な研摩機が望ましいという観点から設計のみで中止した。

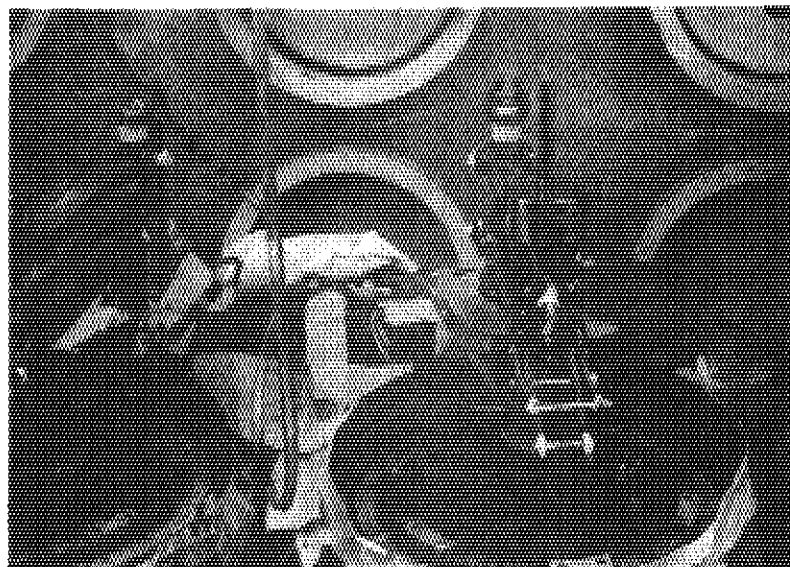


写真 4.1 平行リンクスイング式研摩機の鉛セル内操作状態

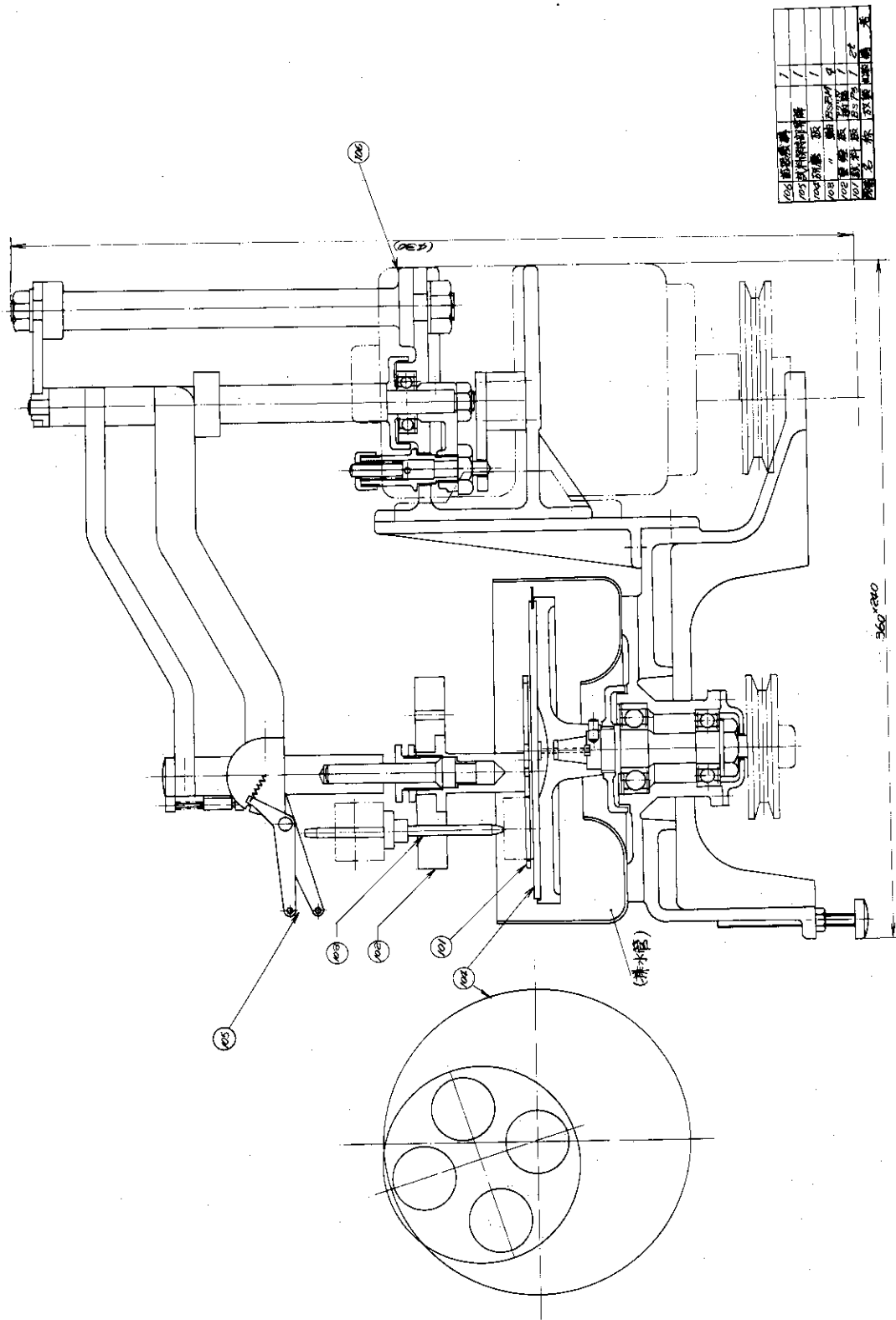


図 4.3 改良型平行リンクスイング式研摩機 (II) (側面図)

5. 試料ホルダー自転式研磨機

5.1 構造および性能

この種の研磨機は多数試料研磨機開発の必要性から始まったものであって、鉛セル内設置のためにできる限り小型で軽量であること、故障の少ない安定性とボールソケットマニプレーター操作に対して容易なものであることを具備すべき条件とした。なおそのほかに研磨試料面の仕上りの良好であることは当然の条件である。その際1967年後半に当ホットラボDケーブでは新規ケーブ内装機器固定化計画に伴ないM社において遠隔操作研磨機の製作を進めていた。当初懸念されていた塩化ビニール製試料ホルダーが試料と同時研磨される問題も試料の研磨量に比べ僅かであるという情報からこの方式を採用することにした。鉛セル用に設計製作した試料ホルダー自転式研磨機を図5.1に示し、外観写真を写真5.1, 5.2, 5.3に示す。またこの研磨機の鉛セル内における研磨中の状態を写真5.4に示す。

概略図に従って構造および使用法を説明すると、研磨紙をセットした後アクリル板製の開閉蓋④を閉じ回転試料ホルダー③に試料⑤と重錘⑥をボールソケットマニプレーターでセットすれば研磨がおこなえる状態になり、鉛セル操作室にある操作盤により通電をして駆動用モータの回転数を自動調整することにより研磨板と回転試料ホルダーとの間の摩擦によって研磨がおこなわれる。この研磨機について小型化した試料ホルダー自転式研磨機の研磨法のほかに工夫した点は

- i) アクリル板の開閉蓋を研磨飛沫防止として設け周囲への汚れを防いだこと。
- ii) 研磨槽側面を2重にし外側の前面に研磨紙をボールソケットマニプレーターによって交換するための切込みを設け研磨中はこれを回転させて閉じるようにしたこと。
- iii) 以前から徐々に改良を重ねてきたボールソケットマニプレーターのみの遠隔操作による高汚染部分の解体が全面的におこなえるようにしたことである。この高汚染部分の箇所は研磨槽、研磨板、研磨排液の濾過フィルターの各部分である。なおこの濾過フィルターおよび濾過フィルター入れの構造は図5.2に示すようなものである。濾過フィルターの取手④をボールソケットマニプレーターでつまみ上げて取出し、新しい濾過フィルターを入れ替えるのであって写真5.4の手前の金鎖の下にある。

5.2 検討事項と問題点

実際にこの研磨機を使用した結果は単純な構造であるので研磨板が回転しさえすれば試料面の仕上りの不満足な点があったが、研磨機の運転不能ということにはなくなった。そして研磨機の高汚染部分が解体できるので汚染除去のとき高被曝をせずにおこなうことができるようになり、これまでの単数研磨に対し3ヶ研磨をおこなうことができるようになったことが大きな利点であった。

しかし研磨の仕上りに対しては問題が残った。多数個の試料を装荷した試料ホルダーの回転は研磨板との間の摩擦、回転試料ホルダーと研磨飛沫防止蓋の金属リングとの接触面の摩擦の関係から変化し、常に望むところの安定した回転試料ホルダーの回転が得られないことであ

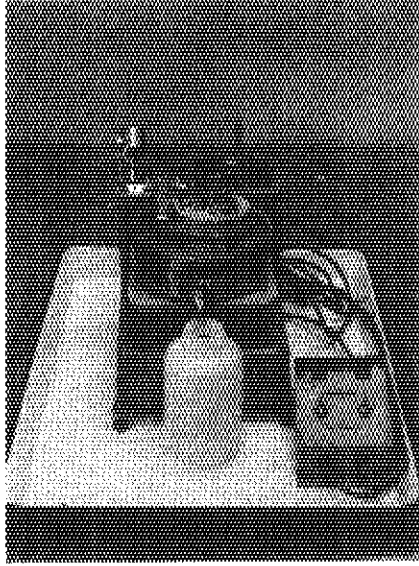


写真 5.1
試料ホルダー自動式研磨機の外観(1)

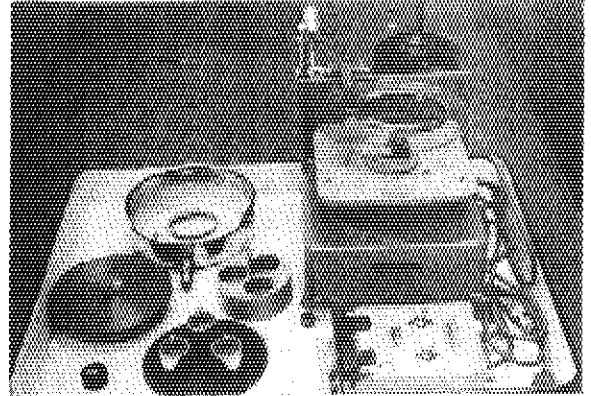


写真 5.2
試料ホルダー自動式研磨機の外観(2)

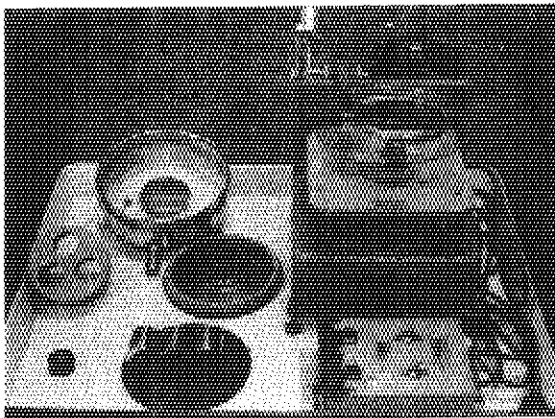


写真 5.3
試料ホルダー自動式研磨機の外観(3)

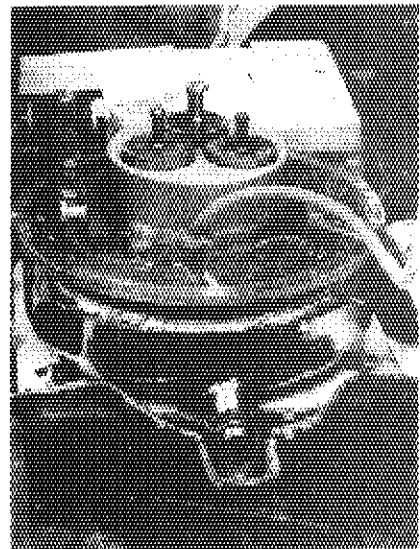


写真 5.4
セル内での研磨状態

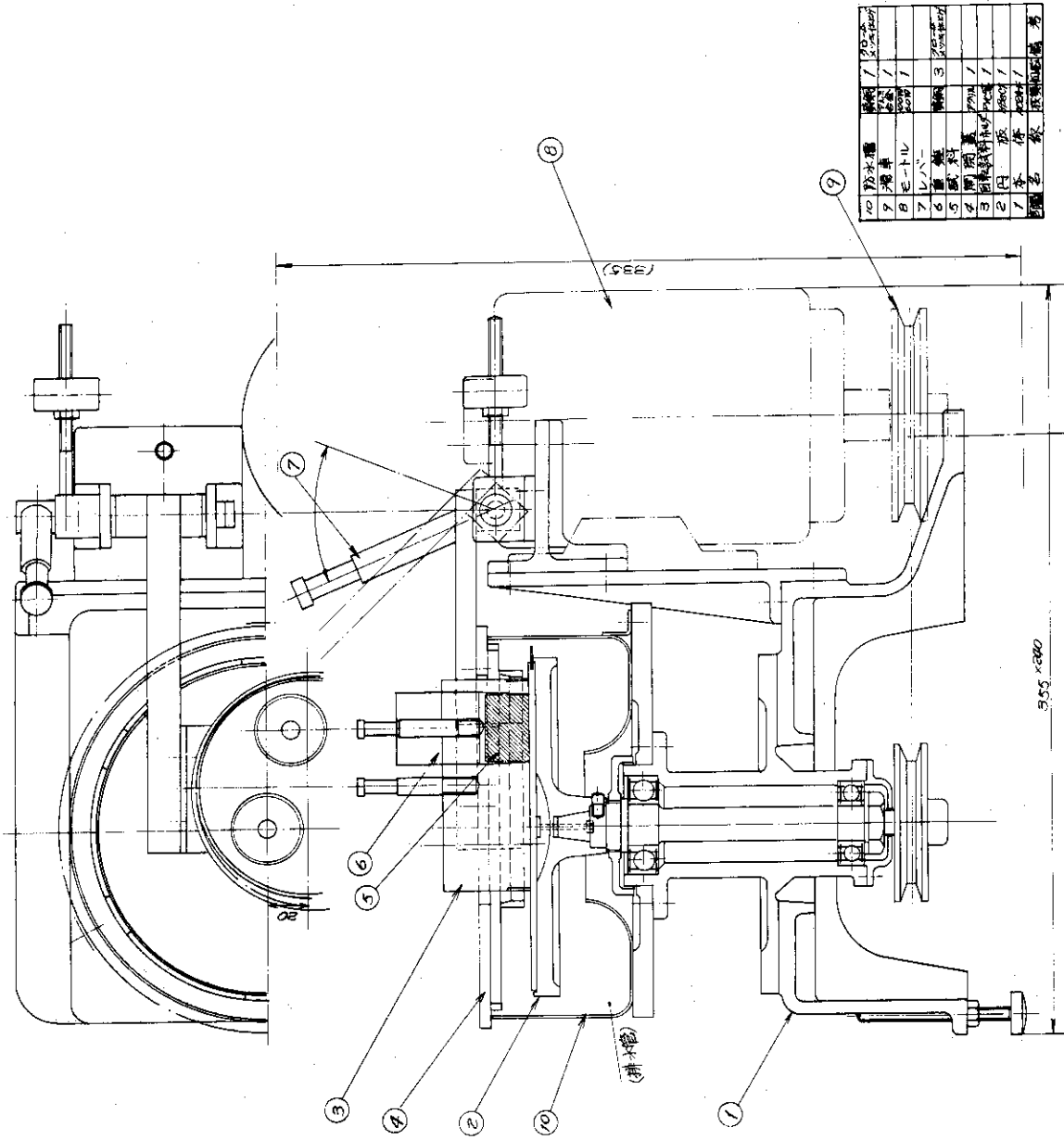
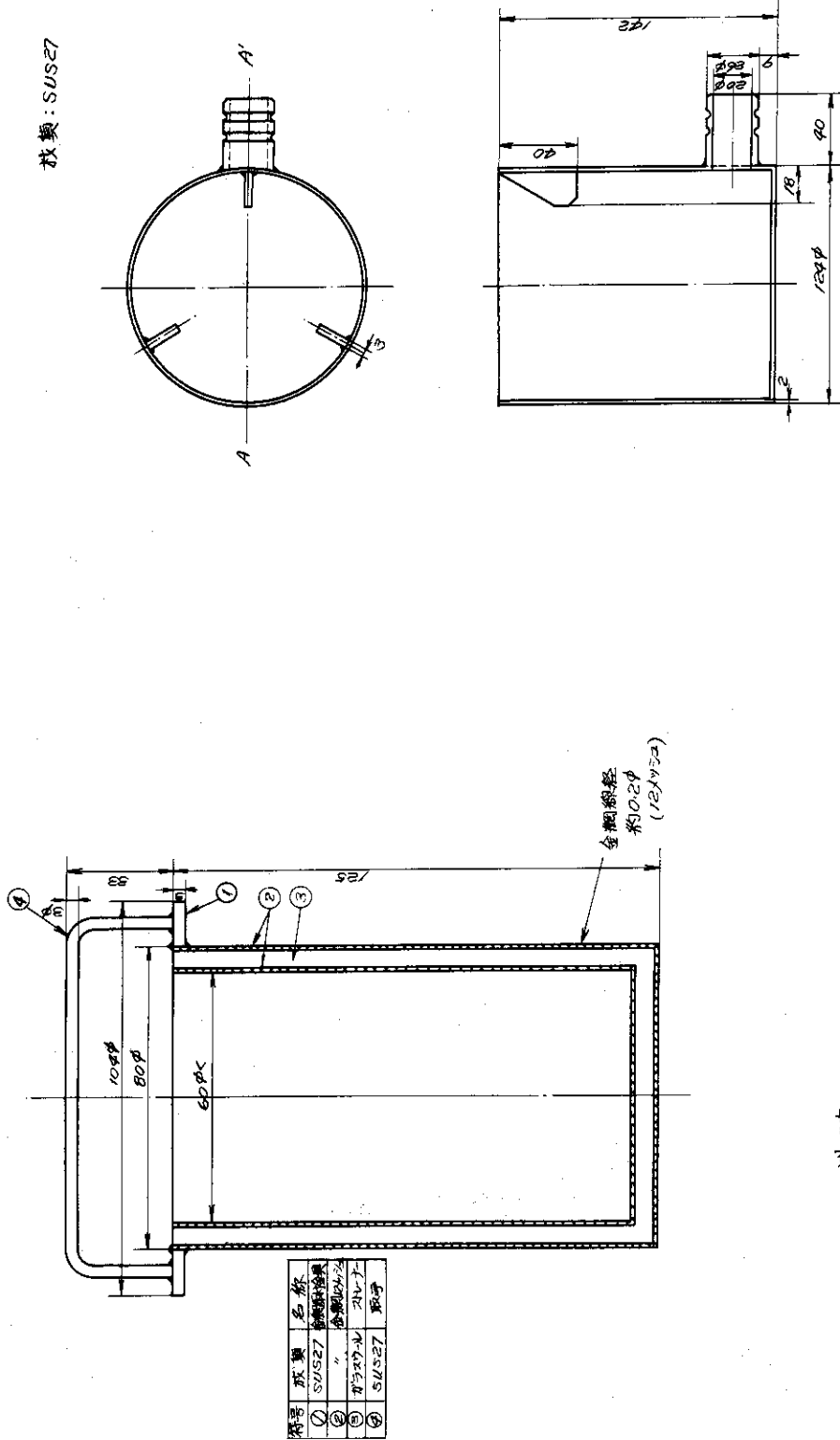


図 5.1 試料ホルダー - 自転式研摩機

材質: SUS27



A-A' 断面図

排液フィルター入り

図 5.2 排液フィルター

排液フィルター

る。例えば研摩板と回転試料ホルダとの関係を取り上げると研摩板の回転速度、研摩紙粒度、研摩液の粘性とその量、回転試料ホルダー、試料材質および重錘の状態によるのである。回転試料ホルダーの回転が速くなりすぎる(~ 150 r.p.m以上)と研摩重錘が水平方向の遠心力により引きつけられ垂直圧力が少なくなり片寄った圧力がかかるようになる。また極めて遅くなったとき(0.5 r.p.m以下)には回転試料ホルダーの回転にむらを生じ時には回転試料ホルダーがたついたり一時停止することさえある。この場合回転試料ホルダーの回転が速すぎるほうの悪影響の方が起りやすかったのでブレーキ用の板バネを設けたが満足すべき解決策にはならなかった。

6. 試料ホルダー強制回転式研摩機

6.1 研摩方式の決定

ホルダー自転式研摩機の問題点を検討した結果、試料の「おどり」を防ぐには研摩板回転速度、研摩紙粒度に関係なく試料ホルダーを強制的に回転させれば良いとの結論に達し、この方式を採用している米国B社の強制回転アタッチメント付き研摩機の導入を計画した。この研摩機は同社の標準型研摩機にホルダー強制回転機構をもつ装置をアタッチメントとして取りつけて使用するものである。B社製強制回転アタッチメント付き研摩機を写真6.1に示す。

しかしこの研摩機の寸法は床面積にして $560\text{mm} \times 520\text{mm}$ 、高さ 560mm あり、内寸法 $1,260\text{mm} \times 1,100\text{mm}$ のセルに入れるには1台が限度であること、アタッチメントの重量が 11Kg あり研摩紙交換時或いは汚染除去時にボールソケットマニプレーターで操作することは不可能に近いこと、研摩槽が外れないので研摩機をセル外に搬出して除染を行なう場合高線量の被曝をする恐れがあることなどから鉛セルで使用する研摩機としては不適當であることが判明した。この結果、小型軽量、しかも遠隔操作が容易な研摩機を国産化することに決め、仕様の検討を行なった。

検討の主眼は

- i) 出来るだけ小型化する。そのため研摩板駆動とホルダー回転を1台のモーターで行なう。
- ii) ホルダー強制回転機構をもつ装置(以下回転機という)はバランスウェイトを有し回転軸を中心に上方に回転する。必要に応じて研摩機本体から取り外すことが出来る。
- iii) 研摩槽はボールソケットマニプレーターによりワンタッチで取り外すことが出来る。
- iv) 研摩板回転速度はセル外より制御する。

等の項目に置いた。そしてB社のアタッチメントを参考として回転機を試作したが、これは試料ホルダー自転式研摩機の上部にアタッチメントとして取りつけるものであり、次のような特長を有するものであった。

- i) ホルダー回転数は 10 r.p.mとし、ホルダー回転方向の条件をみるため研摩板回転方向に対して正、逆両回転が出来る。
 - ii) ホルダーと研摩紙の間に $1 \sim 2\text{mm}$ のギャップを持たせ、試料のみを研摩する。
- i)はホルダーと研摩板の適正回転比および回転方向を決定するため、ii)は研摩層の減少と研

る。例えば研磨板と回転試料ホルダとの関係を取り上げると研磨板の回転速度、研磨紙粒度、研磨液の粘性とその量、回転試料ホルダー、試料材質および重錘の状態によるのである。回転試料ホルダーの回転が速くなりすぎる(~ 150 r.p.m以上)と研磨重錘が水平方向の遠心力により引きつけられ垂直圧力が少なくなり片寄った圧力がかかるようになる。また極めて遅くなったとき(0.5 r.p.m以下)には回転試料ホルダーの回転にむらを生じ時には回転試料ホルダーがたついたり一時停止することさえある。この場合回転試料ホルダーの回転が速すぎるほうの悪影響の方が起りやすかったのでブレーキ用の板バネを設けたが満足すべき解決策にはならなかった。

6. 試料ホルダー強制回転式研磨機

6.1 研磨方式の決定

ホルダー自転式研磨機の問題点を検討した結果、試料の「おどり」を防ぐには研磨板回転速度、研磨紙粒度に関係なく試料ホルダーを強制的に回転させれば良いとの結論に達し、この方式を採用している米国B社の強制回転アタッチメント付き研磨機の導入を計画した。この研磨機は同社の標準型研磨機にホルダー強制回転機構をもつ装置をアタッチメントとして取りつけて使用するものである。B社製強制回転アタッチメント付き研磨機を写真6.1に示す。

しかしこの研磨機の寸法は床面積にして $560\text{mm} \times 520\text{mm}$ 、高さ 560mm あり、内寸法 $1,260\text{mm} \times 1,100\text{mm}$ のセルに入れるには1台が限度であること、アタッチメントの重量が 11Kg あり研磨紙交換時或いは汚染除去時にボールソケットマニプレーターで操作することは不可能に近いこと、研磨槽が外れないので研磨機をセル外に搬出して除染を行なう場合高線量の被曝をする恐れがあることなどから鉛セルで使用する研磨機としては不適當であることが判明した。この結果、小型軽量、しかも遠隔操作が容易な研磨機を国産化することに決め、仕様の検討を行なった。

検討の主眼は

- i) 出来るだけ小型化する。そのため研磨板駆動とホルダー回転を1台のモーターで行なう。
- ii) ホルダー強制回転機構をもつ装置(以下回転機という)はバランスウェイトを有し回転軸を中心に上方に回転する。必要に応じて研磨機本体から取り外すことが出来る。
- iii) 研磨槽はボールソケットマニプレーターによりワンタッチで取り外すことが出来る。
- iv) 研磨板回転速度はセル外より制御する。

等の項目に置いた。そしてB社のアタッチメントを参考として回転機を試作したが、これは試料ホルダー自転式研磨機の上部にアタッチメントとして取りつけるものであり、次のような特長を有するものであった。

- i) ホルダー回転数は 10r.p.m とし、ホルダー回転方向の条件をみるため研磨板回転方向に対して正、逆両回転が出来る。
 - ii) ホルダーと研磨紙の間に $1 \sim 2\text{mm}$ のギャップを持たせ、試料のみを研磨する。
- i)はホルダーと研磨板の適正回転比および回転方向を決定するため、ii)は研磨層の減少と研

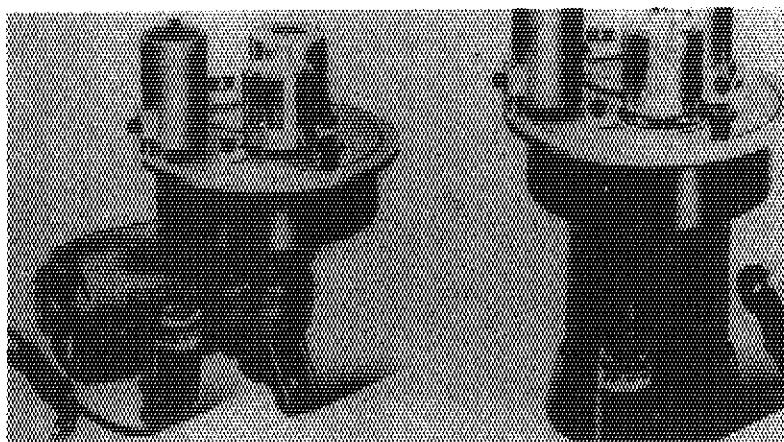
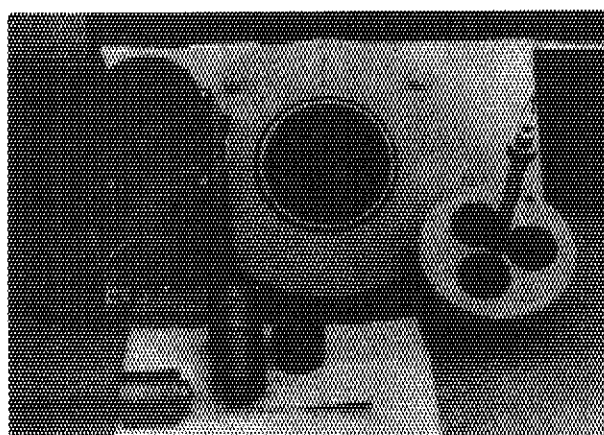


写真 6.1 B社製強制回転アタッチメント付研磨機



1. 回転機
2. ホルダー
3. 高錘 (370gr/ヶ)
4. 研磨液注入口

写真 6.2 試作回転機と附属品

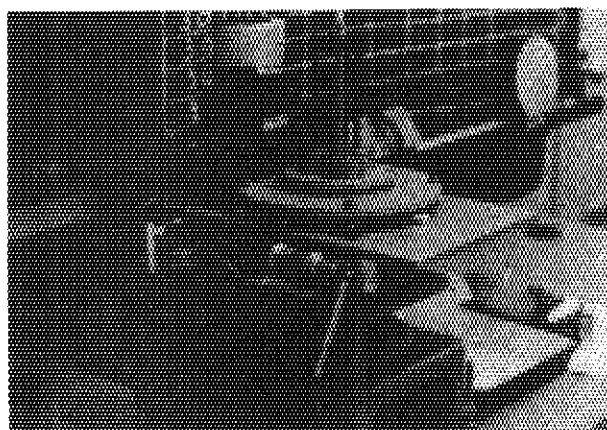


写真 6.3 ホルダー自転式研磨機にセットした試作回転機

磨効率の向上を計るために配慮されたものである。写真 6.2 に回転機本体とその附属品、写真 6.3 にホルダー自転式研摩機に取りつけられた回転機を示す。

この回転機つき研摩機を用いて強制回転式研摩機設計の参考データを得るため次のような実験を行なった。

すなわち、

- (イ) 試料ホルダー自転式研摩機
- (ロ) 試料ホルダー強制回転式研摩機（正回転）
- (ハ) 試料ホルダー強制回転式研摩機（逆回転）

の三通りについて研摩板の回転速度、試料材質、重錘をそれぞれ変えて研摩量測定および仕上面観察を行なった。この場合の実験条件を表 6.1 に示す。この表からわかるように 1 つの研摩方法に対して 2 種類の回転速度、3 種類の試料材質、9 種類の研摩紙粒度、6 種類の研摩時間を選んだので、3 2 4 通り、合計 9 7 2 通りの実験を行なった。データは表 6.2 の様式で記入し、各条件の総合的な検討を行なった。研摩量測定は精度 $1/100$ の特製埋込試料測定器を使用し、平面度はダイヤルゲージを使用した。

試料は SUS-27, Zry-2 について実験を行なったが、研摩量と研摩時間の関係について代表的な例を図 6.1, 6.2 に、仕上面状態を図 6.3 に示す。図 6.1, 6.2 より 400 r.p.m で強制正回転の場合に研摩量の多いことがわかるが、モーターの安定負荷、回転ギヤの振動、研摩板中心点を試料が通過する際の試料の回転むらの関係から回転数を 300 r.p.m 程度にする必要がある。更に図 6.3 から強制逆回転の場合試料の片減り傾向が大きく、強制逆回転に比べて強制正回転の方が研摩量は少ないが仕上面状態が良いことがわかり、研摩量を主体と考えた場合強制正回転、300 r.p.m が望ましい方式であることが判った。

また写真 6.4, 6.5 に研摩面の状態を示す。試料は SUS-27, 双方共 #400, 20 分研摩であるが試料ホルダー自転式研摩機よりも試料ホルダー強制正回転式研摩機の方がはるかに良好な仕上面を得ていることがわかる。

次に写真 6.6 は SUS-27 を試料ホルダー強制正回転式研摩機で磨き、エッチングを行なった状態であるが、研摩に要した時間は表 6.3 の下段に示した時間の合計で 100 分である。試料ホルダー自転式研摩機を使ってこれと同等な研摩面を得るには表 6.3 の上段の時間を合計した 220 分が必要であり強制正回転の場合は従来の半分以下の時間で済むことがわかる。これらの実験結果から、研摩方式として

- I) ホルダー強制正回転方式とする。
- II) 小型化を計るため研摩板駆動とホルダー回転を 1 台のモーターで行なう。
- III) 回転機はバランスウェイトにより回転軸を中心として上方に回転する。必要に応じて研摩機本体から容易に取り外すことが出来る。
- IV) ホルダーを研摩せず試料のみを研摩する。
- V) ホルダー正回転時におけるホルダーと研摩板の回転比は 1 : 30 とする。
- VI) 研摩板回転数は最高 300 r.p.m とし、この間を任意に変えることが出来る。

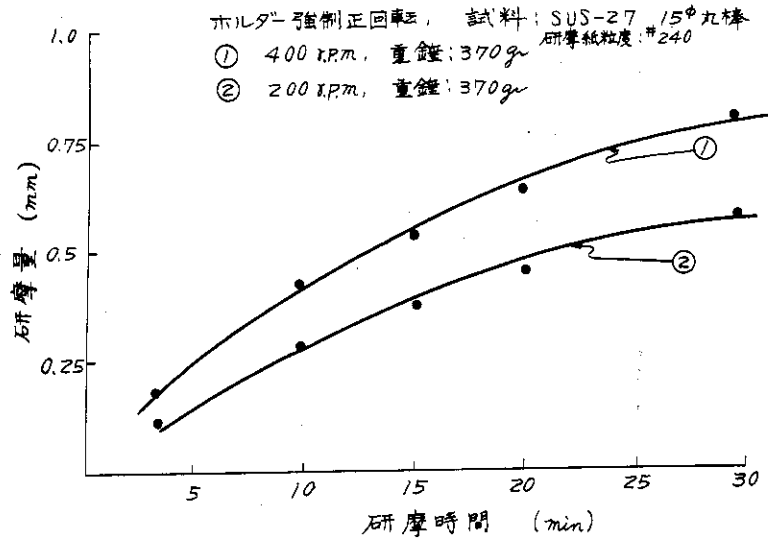
などを採用し、研摩機の製作を行なった。

表 6.1 研 磨 試 験 条 件

研 磨 方 法	研 磨 板 回 転 速 度	試 料 材 質	研 磨 紙 の 粒 度	研 磨 時 間
① 試料ホルダー 自 転 式	200 r.p.m	SUS-27	#240	3分
	400	Zry-2	320	5
② 試料ホルダー 強 制 正 回 転 式		2S Al	400	10
			600	15
③ 試料ホルダー 強 制 逆 回 転 式			800	20
			1000	30
			粒 径	
			7 μ	
			3	
			1	

表 6.2 研 磨 量 測 定 表

方 法	研 磨 板 回 転 数	材 質	研 磨 量 mg						研 磨 紙 粒 度	#	重 錘	Kg
			3分	5分	10分	15分	20分	30分				
試料 ホルダー 自 転 式	r.p.m 200	SUS-27	mg	mg	mg	mg	mg	mg	記事(面の仕上り状況等)			
		Zry-2										
		2S Al										
	400	SUS-27										
		Zry-2										
		2S Al										
試料 ホルダー 強 制 正 回 転 方 式	200	SUS-27										
		Zry-2										
		2S Al										
	400	SUS-27										
		Zry-2										
		2S Al										
試料 ホルダー 強 制 逆 回 転 方 式	200	SUS-27										
		Zry-2										
		2S Al										
	400	SUS-27										
		Zry-2										
		2S Al										



6.1 研摩板の回転数と研摩量の変化

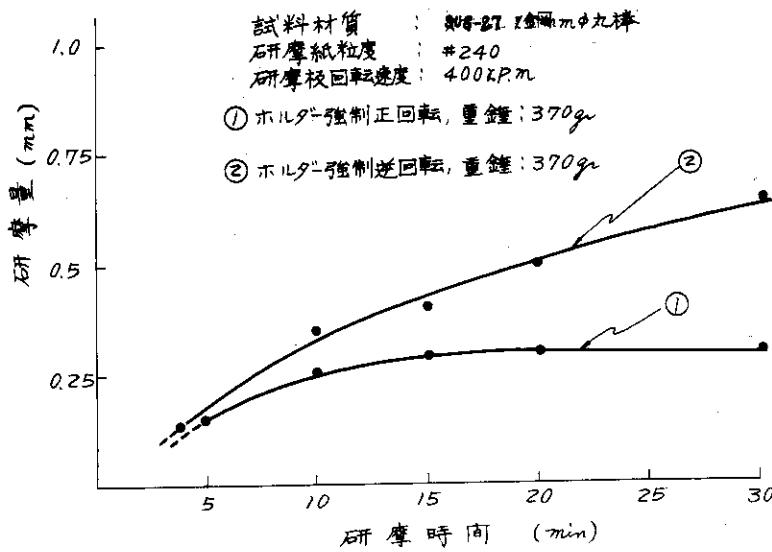


図 6.2 高速回転の場合の研摩方式の違いによる研摩量の変化

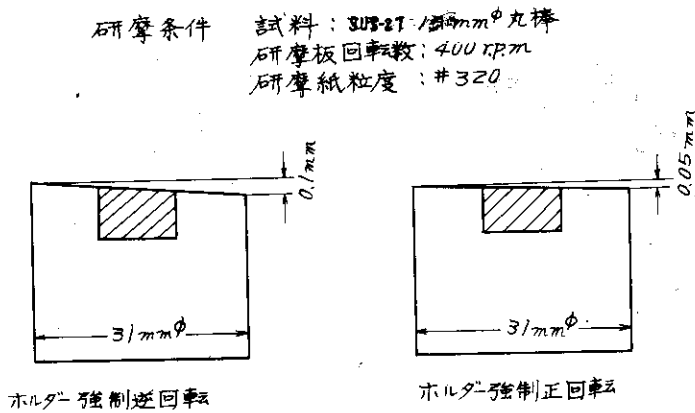


図 6.3 研摩方式による研摩仕上り状態の差

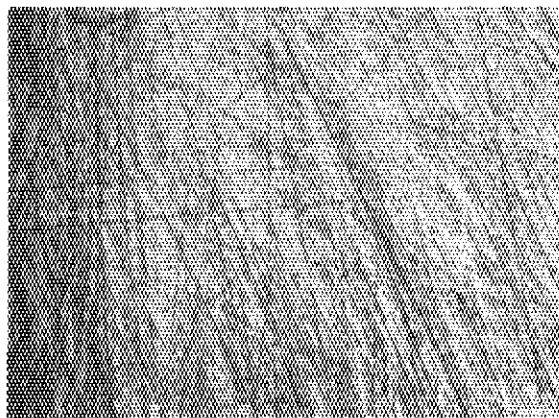


写真 6.4 ホルダー-自転式研摩機による #400, 20分研摩後の研摩面状態
SUS-27 ×50

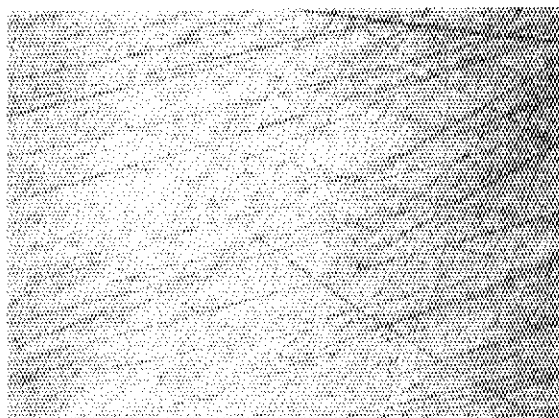


写真 6.5 ホルダー-強制回転機つき研摩機 (正回転) による #400, 20分
研摩後の研摩面状態 SUS-27 ×50

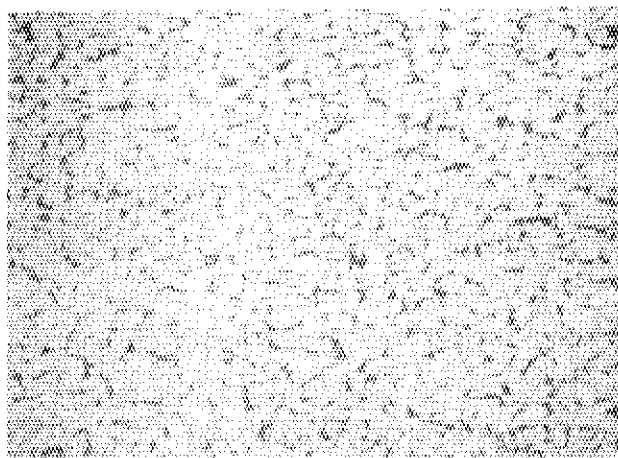


写真 6.6 試験例 SUS-27 ×200
(エッチング後)

表 6.3 研磨方式の異なった機種による研磨時間の差

研磨機	研磨紙粒度				7 μ	1 μ
	#320	#600	#800	#1000	アルミナ研磨剤	アルミナ研磨剤
試料ホルダー 自転式研磨機	30分	40分	40分	40分	30分	40分
試料ホルダー強制 正回転式研磨機	20"	20"	20"	20"	-	20"

6.2 構造および性能

ホルダー強制回転式試料研磨機を図 6.4, 図 6.5 に示す。研磨板①は軸用ロックピン⑧, 円板軸⑤, プーリー⑨, Vベルト⑩を通してシリーズギヤードモーター⑪により駆動される。ホルダー(回転板)⑭は回転機ロック⑬, 回転筒⑫, 回転平ギヤ⑯, 回転機用カップリング⑰, 減速機⑱, 回転機Vプーリー⑲を通して同じようにシリーズギヤードモーター⑪により駆動される。装置の大きさは巾250, 奥行450, 高さ400(mm)と非常にコンパクトになっている。試料, 研磨板の交換の際には回転機重錘⑳により回転機本体㉑を2点鎖線のように上方にあげて行なう。槽㉒は槽受板㉓に置かれ上方にあげれば簡単に取り外せる構造となっている。高放射能を有する研磨屑は研磨液と共に槽内に溜まり, ここから排水フィルターを通して排出されるが, 槽内に溜まった研磨液の底に研磨屑が沈澱し完全に排出されない場合が多い。研磨機に故障が発生した場合或はセルを除染する必要が生じた場合一番問題になるのはこの研磨槽中の研磨屑で, 非常に高い放射能を有するためこの槽を取り外したあとでなければ除染作業は困難である。研磨槽をボールソケットマニプレーターで簡単に取り外せる構造にしたメリットは非常に大きい。また, 回転機本体㉑は回転機軸㉒の軸押えが割カラーになっていて蝶ナットにより簡単に取り外せるようになっている。この点は, 回転機のための修理の際本体まで持出す必要がないので便利である。更に回転機本体は回転機軸を中心として上方にスイングし, 回転機用カップリング⑰が断続する構造となっており, 動力を切らないで回転機を自由に上下出来ることは研磨作業の開始前に研磨紙を回転して研磨紙面の振動をチェックするのに役立ち, 大きな長所ということが出来る。

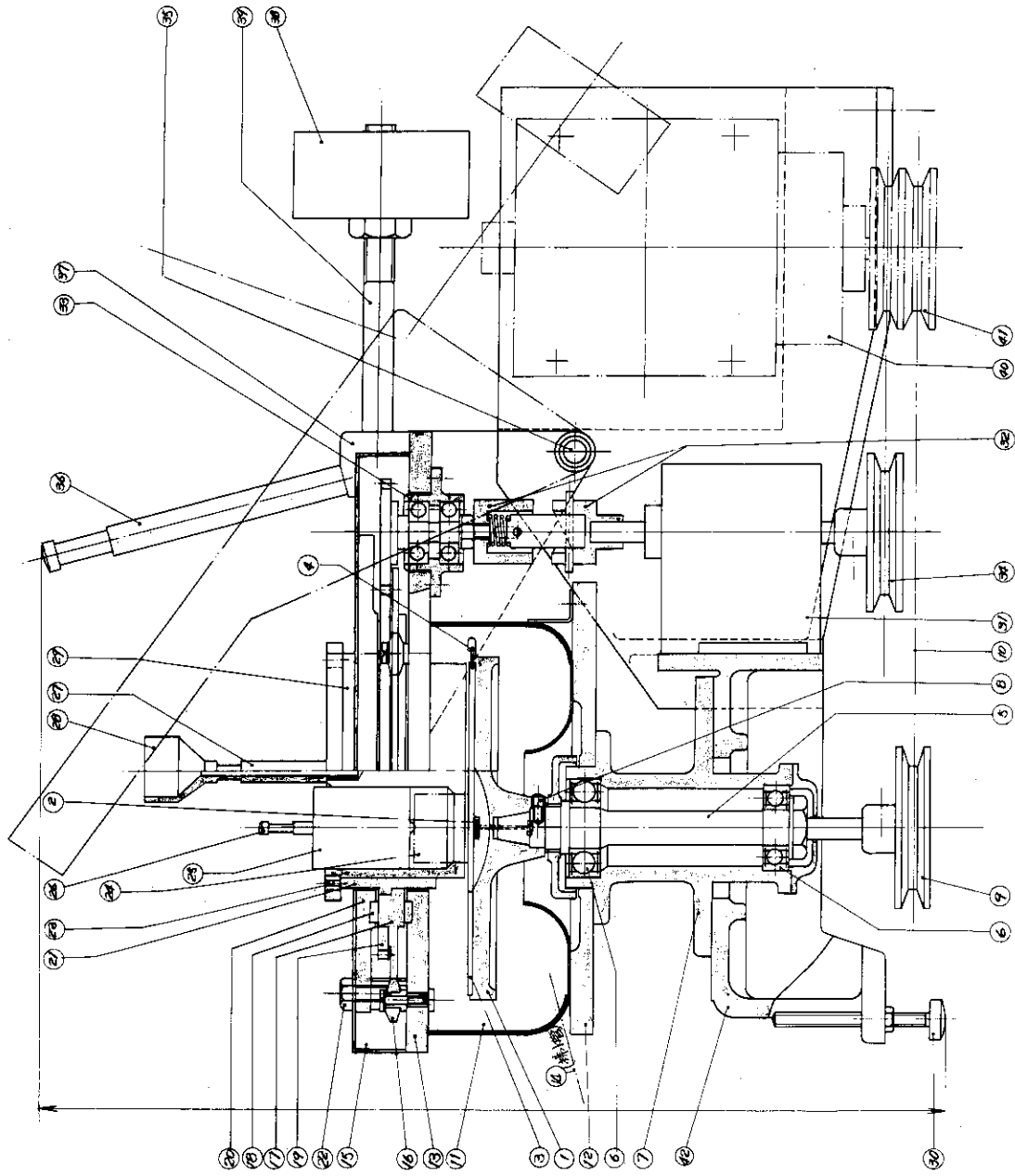
保守, 修理の観点からモーター, 減速機なども蝶ネジで簡単に外れる構造をとっている。

研磨液は研磨液受㉔から研磨板③上に供給され, ホルダー(回転板)⑭下面を通して試料面に供給される。

研磨板回転数は, 操作室に置かれた操作盤により60~300r.p.mの間を任意に変えることが出来る。どの回転数の場合でもホルダー(回転板)の回転数はその $1/30$ である。

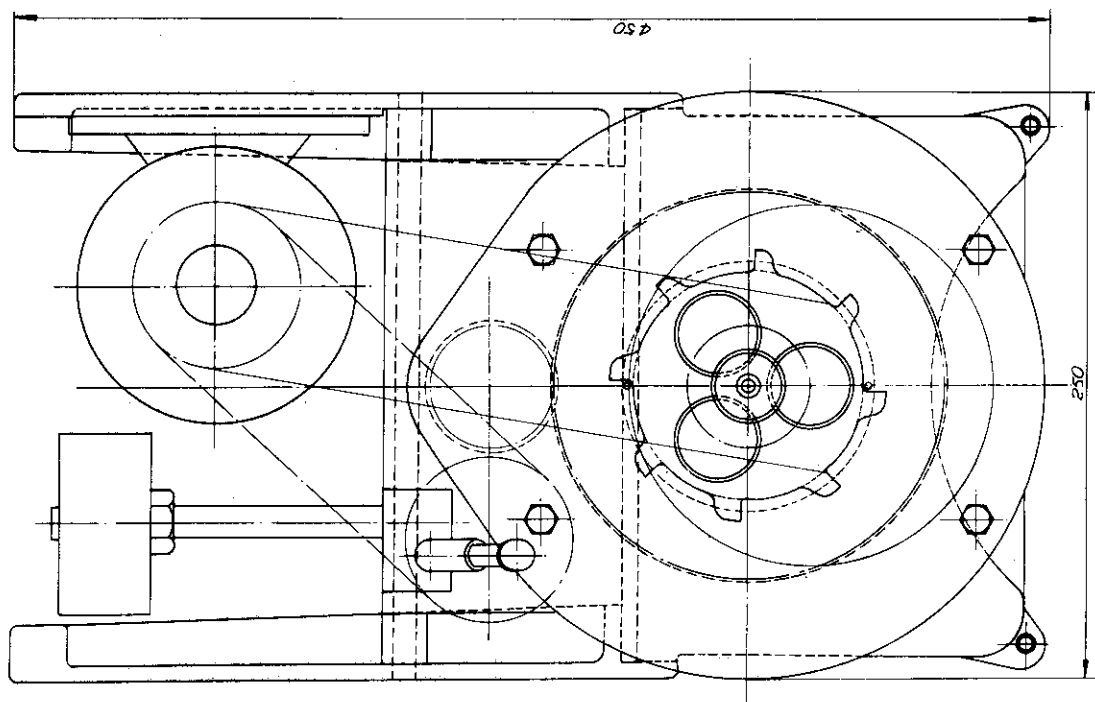
写真 6.7, 6.8 に操作盤を含んだ本研磨機の外観を示す。

さて, 試料ホルダー強制回転式研磨機は初代のA社製平行リンクスイング式研磨機から出発し, オペレーションから得た経験を基に種々の改良, 改造を加えて本研磨機に到達したものである。オペレーションに使用したこれまでの研磨機は故障あるいは高汚染のまま廃棄され, 平行リンクスイング式のもので現在残っているものは皆無である。従ってホルダー強制回転式研磨機と



42	実験室台	AC20A	/
41	モーター (V7=)	AC20A-F	/
40	回転軸	CGX-DI	1/50mm
39	回転軸	SM S27	1/50mm
38	軸	BS BM	1/50mm
37	軸	BS BM	1/50mm
36	軸	SM S27	1/50mm
35	軸	AC	1/50mm
34	軸	AC20A-F	1/50mm
33	軸	SM S27	1/50mm
32	軸	AC20A-F	1/50mm
31	軸	SM S27	1/50mm
30	軸	BS BM	4/50mm
29	軸	BS BM	1/50mm
28	軸	BS BM	1/50mm
27	軸	BS BM	1/50mm
26	軸	BS BM	1/50mm
25	軸	BS BM	1/50mm
24	軸	BS BM	1/50mm
23	軸	SM S27	2/50mm
22	軸	SM S27	2/50mm
21	軸	PVO	1/50mm
20	軸	SM S27	1/50mm
19	軸	SM S27	1/50mm
18	軸	SM S27	2/50mm
17	軸	SM S27	1/50mm
16	軸	SM S27	1/50mm
15	軸	SM S27	1/50mm
14	軸	SM S27	1/50mm
13	軸	SM S27	1/50mm
12	軸	SM S27	1/50mm
11	軸	SM S27	1/50mm
10	軸	SM S27	1/50mm
9	軸	SM S27	1/50mm
8	軸	SM S27	1/50mm
7	軸	SM S27	1/50mm
6	軸	SM S27	1/50mm
5	軸	SM S27	1/50mm
4	軸	SM S27	1/50mm
3	軸	SM S27	1/50mm
2	軸	SM S27	1/50mm
1	軸	SM S27	1/50mm

図 6.4 試料ホルダー強制回転式研摩機 (側面図)



出	製作	/
45	ハロボコ	/
46	ヒューズ	/
47	コントローラ	/
48	名称	深溝四球扇形

図 6.5 試料ホルダ一強制回転式研摩機 (平面図)

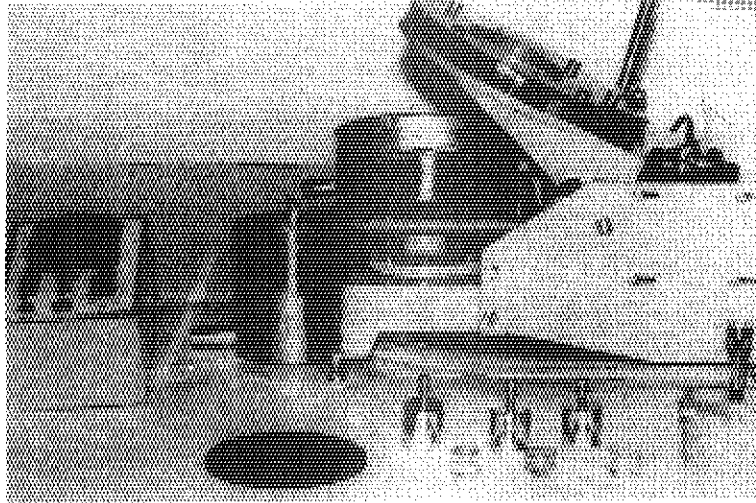


写真 6.7 試料ホルダー強制回転式研磨機（側面）

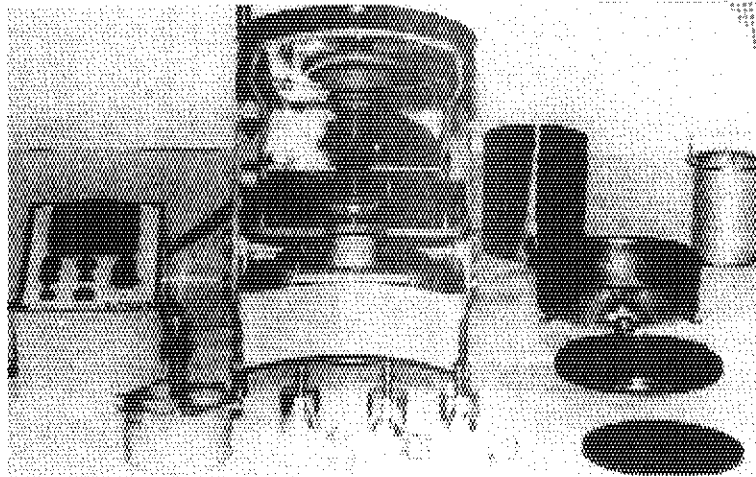


写真 6.8 試料ホルダー強制回転式研磨機（正面）

比較出来るのはホルダー自転式研摩機のみであるが、3節～4節で述べた各研摩機の構造、機能に由来する性能を考えれば上記2種の研摩機の比較で充分であると思われるので以下その試験結果を示す。

試料ホルダー自転式研摩機との比較

SUS-27を使って研摩量と研摩面仕上り状況の比較を行なった。試料形状を図6.6、研摩量の比較を図6.7、30分研摩後の仕上面状態を図6.8、写真6.9に示す。

尚、試料の仕上り状況は表6.4の通りである。これらの結果からホルダー強制正回転方式が最良の研摩面仕上げ状態を得ることの出来ることがわかる。

表 6.4 研摩機による仕上り状況

試料番号	使用研摩機	仕上り状況
1	強制逆回転	片べりの傾向がある
2	強制正回転	正滑
3, 4, 5	ホルダー自転方式	凸面仕上り

7. ま と め

増設鉛セルの金相試験ラインにおける懸案事項であった遠隔操作型高性能試料研摩機の開発は遠隔操作型試料ホルダー強制回転式研摩機の製作、セルオペレーションを経て一段落をつけた。オペレーションにおいては本文でも述べた通り満足すべき良好な結果を得ている。この研摩機は限られたスペースをもつ鉛セル用として出来る限り小型化、軽量化を計ったものであるが、鉛セルよりはるかに大きなスペースをもち、M-7型およびM-8型等のマスタースレーブマニプレーターを有するコンクリートケープにおいては顕微鏡の処理能力とのバランスさえとれば多くの台数を設置し、高能率の金相試験を行なうことが出来ると確信するものである。

今後更に研摩機について開発を行なう必要があるとすれば、それは一度試料をセットしてしまえば粗研摩の各番手の研摩を自動的に行ない、仕上研摩に回すまでに仕上げる、或は粗研摩の終わった試料を一度セットすれば仕上研摩の全工程を自動的に行なうことの出来る全自動研摩機の開発であると考えている。この開発に取り組むにはこれまでも増してシステムティックな問題処理および開発体制が必要になってくるものと思う。

試料ホルダー強制回転式研摩機の開発経緯をまとめたこの小文が他のホットラボ等この種施設の参考資料となれば望外の幸いである。

終りに本研摩機の開発にあたって終始有益なる助言をいただいた本間俊二ホットラボ管理室長、および大内正博JMTRホットラボ課第4係長、鉛セル金相試験に関係され研摩機の開発に多大の御協力を載いた金井塚文雄、田村行人、佐川民雄、高橋五志生（以上ホットラボ管理室）

比較出来るのはホルダー自転式研摩機のみであるが、3節～4節で述べた各研摩機の構造、機能に由来する性能を考えれば上記2種の研摩機の比較で充分であると思われるので以下その試験結果を示す。

試料ホルダー自転式研摩機との比較

SUS-27を使って研摩量と研摩面仕上り状況の比較を行なった。試料形状を図6.6、研摩量の比較を図6.7、30分研摩後の仕上面状態を図6.8、写真6.9に示す。

尚、試料の仕上り状況は表6.4の通りである。これらの結果からホルダー強制正回転方式が最良の研摩面仕上げ状態を得ることの出来ることがわかる。

表 6.4 研摩機による仕上り状況

試料番号	使用研摩機	仕上り状況
1	強制逆回転	片べりの傾向がある
2	強制正回転	正滑
3, 4, 5	ホルダー自転方式	凸面仕上り

7. ま と め

増設鉛セルの金相試験ラインにおける懸案事項であった遠隔操作型高性能試料研摩機の開発は遠隔操作型試料ホルダー強制回転式研摩機の製作、セルオペレーションを経て一段落をつけた。オペレーションにおいては本文でも述べた通り満足すべき良好な結果を得ている。この研摩機は限られたスペースをもつ鉛セル用として出来る限り小型化、軽量化を計ったものであるが、鉛セルよりはるかに大きなスペースをもち、M-7型およびM-8型等のマスタースレーブマニプレーターを有するコンクリートケープにおいては顕微鏡の処理能力とのバランスさえとれば多くの台数を設置し、高能率の金相試験を行なうことが出来ると確信するものである。

今後更に研摩機について開発を行なう必要があるとすれば、それは一度試料をセットしてしまえば粗研摩の各番手の研摩を自動的に行ない、仕上研摩に回すまでに仕上げる、或は粗研摩の終わった試料を一度セットすれば仕上研摩の全工程を自動的に行なうことの出来る全自動研摩機の開発であると考えている。この開発に取り組むにはこれまでも増してシステムティックな問題処理および開発体制が必要になってくるものと思う。

試料ホルダー強制回転式研摩機の開発経緯をまとめたこの小文が他のホットラボ等この種施設の参考資料となれば望外の幸いである。

終りに本研摩機の開発にあたって終始有益なる助言をいただいた本間俊二ホットラボ管理室長、および大内正博JMT Rホットラボ課第4係長、鉛セル金相試験に関係され研摩機の開発に多大の御協力を載いた金井塚文雄、田村行人、佐川民雄、高橋五志生(以上ホットラボ管理室)

比較出来るのはホルダー自転式研摩機のみであるが、3節～4節で述べた各研摩機の構造、機能に由来する性能を考えれば上記2種の研摩機の比較で充分であると思われるので以下その試験結果を示す。

試料ホルダー自転式研摩機との比較

SUS-27 を使って研摩量と研摩面仕上り状況の比較を行なった。試料形状を図 6.6、研摩量の比較を図 6.7、30分研摩後の仕上面状態を図 6.8、写真 6.9 に示す。

尚、試料の仕上り状況は表 6.4 の通りである。これらの結果からホルダー強制正回転方式が最良の研摩面仕上げ状態を得ることの出来ることがわかる。

表 6.4 研摩機による仕上り状況

試料番号	使用研摩機	仕上り状況
1	強制逆回転	片べりの傾向がある
2	強制正回転	正滑
3, 4, 5	ホルダー自転方式	凸面仕上り

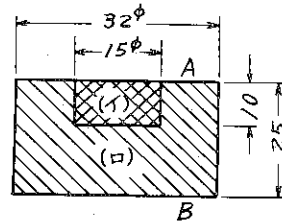
7. ま と め

増設鉛セルの金相試験ラインにおける懸案事項であった遠隔操作型高性能試料研摩機の開発は遠隔操作型試料ホルダー強制回転式研摩機の製作、セルオペレーションを経て一段落をつけた。オペレーションにおいては本文でも述べた通り満足すべき良好な結果を得ている。この研摩機は限られたスペースをもつ鉛セル用として出来る限り小型化、軽量化を計ったものであるが、鉛セルよりはるかに大きなスペースをもち、M-7型およびM-8型等のマスタースレーブマニプレーターを有するコンクリートケープにおいては顕微鏡の処理能力とのバランスさえとれば多くの台数を設置し、高能率の金相試験を行なうことが出来ると確信するものである。

今後更に研摩機について開発を行なう必要があるとすれば、それは一度試料をセットしてしまえば粗研摩の各番手の研摩を自動的に行ない、仕上研摩に回すまでに仕上げる、或は粗研摩の終わった試料を一度セットすれば仕上研摩の全工程を自動的に行なうことの出来る全自動研摩機の開発であると考えている。この開発に取り組むにはこれまでも増してシステマティックな問題処理および開発体制が必要になってくるものと思う。

試料ホルダー強制回転式研摩機の開発経緯をまとめたこの小文が他のホットラボ等この種施設の参考資料となれば望外の幸いである。

終りに本研摩機の開発にあたって終始有益なる助言をいただいた本間俊二ホットラボ管理室長、および大内正博JMTTRホットラボ課第4係長、鉛セル金相試験に関係され研摩機の開発に多大の御協力を載いた金井塚文雄、田村行人、佐川民雄、高橋五志生（以上ホットラボ管理室）



(1) SUS-27
 (2) 常温硬化性樹脂
 A, B 面の平面度は旋盤
 仕上げにより 0.01 以内は押込

図 6.6 試料の形状

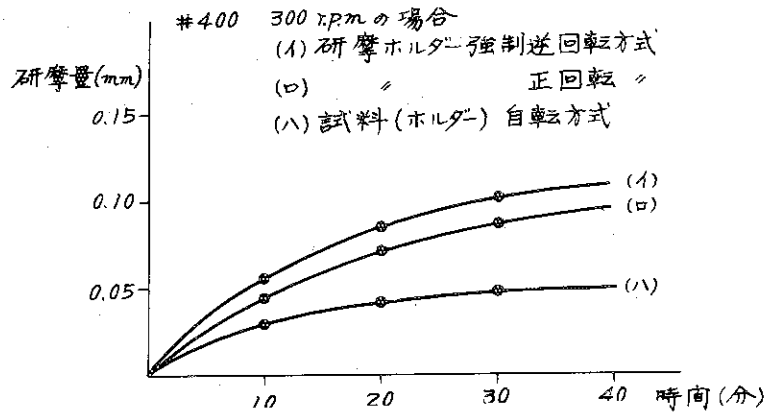


図 6.7 研摩量の比較

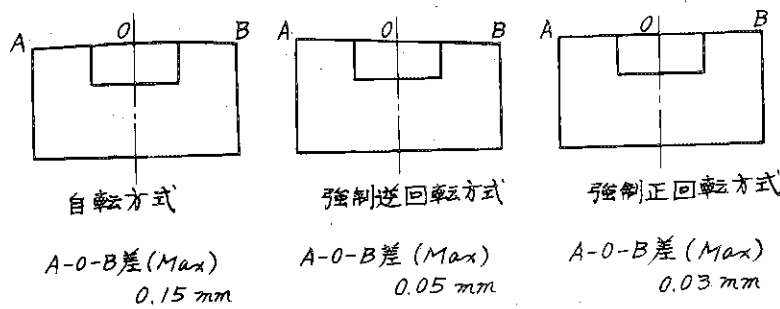


図 6.8 30分研摩後の仕上面状態

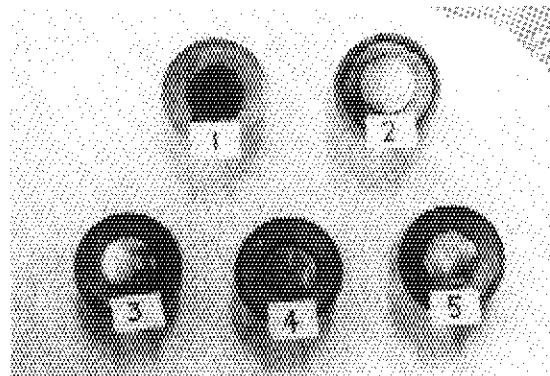


写真 6.9 30分研摩後の研摩仕上面の状態

鈴木富雄（現在研究炉管理部利用課）、木崎実（現在JMTRホットラボ課）の諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

1971年9月

8. 参 考 文 献

- 1) R. D. Kelsch ; "Hot Metallography Facility at Savannah River Laboratory ", Proc. 11th Conf. Hot Lab. Equip. , 45. (1963)
- 2) 私信, A. Stuttard ; " Metallography Method of Tokai Reactor Fuels ", (1966)
- 3) 松島秀夫, 園部清美, 石本清 ; 東海炉燃料の照射後試験 (Ⅴ) 顕微鏡検査, 原子力学会燃料材料分科会, A-19, (1966)
- 4) 酒井陽之 ; ホットラボにおける金相試験, JAERI-memo 第2653号 (未公開), (1967)
- 5) F. L. Cochran ; " A Remoto Metallography Unit ", Proc. 15th Conf. Remoto System Technology . (1967)
- 6) 東海発電炉モニタリングプロジェクト ; 原電破損燃料のホットラボにおける測定結果, JAERI-memo 第3927号 (未公開) (1968)
- 7) 大内正博他 ; 金相試験施設の整備, JAERI-memo 第3176号 (公開) (1968)
- 8) Nicole Vignesot ; " Present State of Metallographic Techniques in The Hot Cells of The CEA ", Proc. 17th Conf. Remoto System Technology . (1969)
- 9) 金属表面技術協会編 ; 表面研磨法 (金属表面技術講座3) (1970)
- 10) S. Homma et al ; " Present Status of Post-irradiation Examination Facility of Japan Atomic Energy Reserch Institute ", Proc. 18th Conf. Remoto System Technology . (1970)
- 11) 園部清美, 石本清 ; 「試料研摩機」実用新案特許申請第46-27080号

鈴木富雄（現在研究炉管理部利用課）、木崎実（現在JMTRホットラボ課）の諸氏に深甚なる謝意を表する次第である。

1971年9月

8. 参 考 文 献

- 1) R. D. Kelsch ; "Hot Metallography Facility at Savannah River Laboratory ", Proc. 11th Conf. Hot Lab. Equip. , 45, (1963)
- 2) 私信, A. Stuttard ; " Metallography Method of Tokai Reactor Fuels ", (1966)
- 3) 松島秀夫, 園部清美, 石本清 ; 東海炉燃料の照射後試験 (VI) 顕微鏡検査, 原子力学会燃料材料分科会, A-19, (1966)
- 4) 酒井陽之 ; ホットラボにおける金相試験, JAERI-memo 第2653号 (未公開), (1967)
- 5) F. L. Cochran ; " A Remoto Metallography Unit ", Proc. 15th Conf. Remoto System Technology , (1967)
- 6) 東海発電炉モニタリングプロジェクト ; 原電破損燃料のホットラボにおける測定結果, JAERI-memo 第3927号 (未公開) (1968)
- 7) 大内正博他 ; 金相試験施設の整備, JAERI-memo 第3176号 (公開) (1968)
- 8) Nicole Vignesot ; " Present State of Metallographic Techniques in The Hot Cells of The CEA ", Proc. 17th Conf. Remoto System Technology , (1969)
- 9) 金属表面技術協会編 ; 表面研摩法 (金属表面技術講座3) (1970)
- 10) S. Homma et al ; " Present Status of Post-irradiation Examination Facility of Japan Atomic Energy Reserch Institute ", Proc. 18th Conf. Remoto System Technology , (1970)
- 11) 園部清美, 石本清 ; 「試料研摩機」実用新案特許申請第46-27080号