

工作技術に関する研究  
—1972—

技術サービス委員会 編

IPPJ-DT-31

1972年8月

名古屋大学プラズマ研究所

# 工作技術に関する研究

—1972—

技術サービス委員会 編

IPPJ-DT-31

1972年8月

## 目 次

は し が き .....	2
1. 小型強磁場発生用コイル，ユニットの製作法 .....	3
2. トロイダルピンチ用ワンターンコイルの製作法 .....	8
3. 小型スプロケットの製作 .....	13
4. 簡易ホブ盤と特殊ウォーム歯車の製作 .....	16
5. ガラス製真空ポンプの製作 .....	22
6. 硝子フランジ面の仕上げ加工と真空気密性について .....	26

## は し が き

プラズマ研究所の各技術室で行われている工作は、いわゆる大量製産とは異なり、単品的、特殊的なものが大部分であって、その工作技術においても、それ相応に工夫を必要としたもの、かなりの工作技術的研究を要したものが少ない。この種の技術ならびに研究は今後の応用、発展の基礎として、また技術的財産として蓄積公開されるべきものと考えている。昭和46年度の技術サービス委員会では、以上の観点から、最近なされた工作技術に関する研究のうち、主要と思われるものを研究報告の形にまとめることを考えた。今後年報の形で充実していくことを期待したい。

技術サービス委員会 松 浦 清 剛  
鈴木 康 夫  
藤 若 節 也  
アダチ・ケイゾー

# 1. 小型強磁場発生用コイルユニットの製作法

水 沢 清 二

製作依頼者： 藤若節也，平野恵一

## (1) 使用目的

このコイルは成型加工<sup>1)</sup>に用いる“電磁成型器”用コイルであり，電流  $4 \times 10^4$  A，通電時間  $30 \mu\text{sec}$  でコイル中央に  $20 \text{mm} \phi$  の銅パイプが挿入されている場合  $200,000$  ガウスの強い磁場を発生する。

## (2) 仕様

コイル製作上の仕様は次の通りでありその形状は図1に示す通りである。

外 径	$56 \text{mm} \phi$	$\pm 0.5$
内 径	$37 \text{mm} \phi$	$\pm 0.2$
素線断面	$1.5 \text{mm}$ 巾	
巻 数	30	

形状  $0.2 \text{mm}^t$  で素線絶縁した密着巻き，

半径方向に働く力

$2000 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}$  以下 ( $200,000$  ガウスの場合)

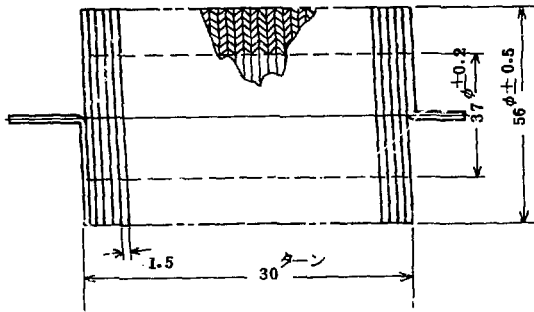


図1 コイル寸法図

## (3) 工作法の原理

図1でわかるように，このコイルは半径方向の強度を持たせるため，内外径比の大きな形状でありこのため通常行っている平角銅線を縦方向に巻いて行く方法では無理であることが，種々検討の結果わかった。そこで考えたのが，ここに発表する製作法である。この方法の主要点を書いてみると次のようになる。

(3-1) 機械切削による削り出し方式とする。

(3-2) 内径寸法を仕上げた銅丸棒に心金を焼バメで結合し，これを旋盤に取付けて外周方向から角ネジ切削の要領で溝加工し，バイトが心金を削るまで数10回にわけて切込みを

を行う。

- (3-3) コイル型状ができた時(バイトが心金を切りはじめた時)加工物は心金との焼パメ結合がゆるむので、この時の動きを押えるため、加工物と心金は、加工物両端で銀ローにより固定する。(加工物中央部はコイル状になってくるとバイト側面でリードされたピッチ、断面厚さ、の狂いは出ない)
- (3-4) 内径方向での切削バリを最小限度におさえるため心金は硬質、快削性のものを用いる。
- (3-5) バイトが心金を削りはじめたら切削加工は終り、両端の銀ロー付された部分から0.5~1ターンくらい中央によった所でコイルを手ノコで切る。この時心金には銀ロー付された部分が残っているから、心金のオシコップ方向の銀ロー付部を、コイル内径より少々細くなる程度に旋削すれば、コイルは心金から軸方向へ抜きとれる。以上の工程を図2に示す。

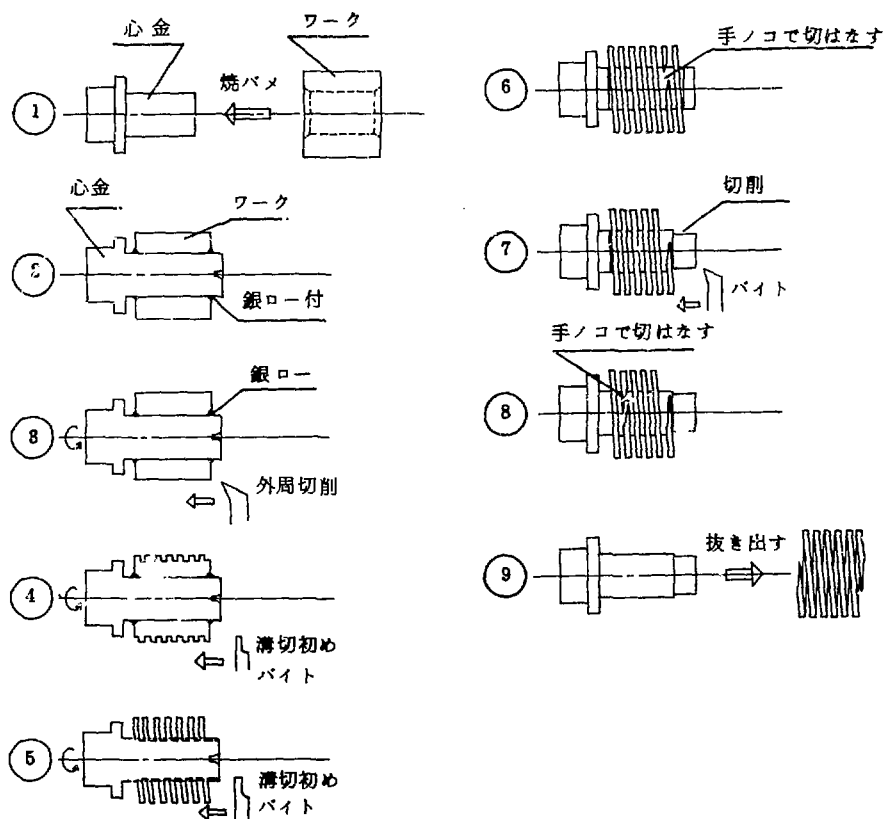


図2 製作工程

以上が加工法の主要な点であるが、ここで焼バメの締付力は、切削時に加わる心金と母材との間の保持力より充分強いことが必要である。そのため、焼バメのクリアランスと締付力を計算し、切削抵抗と比較する。

(3)-6)-1 固体の膨脹

固体の線膨脹は  $l = l_0 (1 + \gamma_1 t)$  で与えられ、銅の線膨脹係数は  $\gamma_1 = 0.167 \times 10^{-4}$  ( $0 \sim 100^\circ\text{C}$ )<sup>1)</sup> であるから、コイル母材として図3に示す寸法で考えると母材を  $1000^\circ\text{C}$  に加熱した場合の伸び  $\Delta\phi$  は

$$\Delta\phi = (1.67 \times 10^{-4}) \times 10^3 \times 37\text{mm} \\ \approx 0.62\text{mm} \text{ となる。したが}$$

したがって心金と母材内径の接する面の粗度の分として  $0.1\text{mm}$ 、心金が楽に入るために  $0.1\text{mm}$ 、しまり代を  $0.2\text{mm}$  程度と考えると、 $\Delta\phi$  は  $0.6\text{mm}$  程度でよく、母

材の加熱温度としては上記計算に用いた  $1000^\circ\text{C}$  程度でよいことになる。(ただし上記の  $\gamma_1$  の値は  $0 \sim 100^\circ\text{C}$  の値であり  $1000^\circ\text{C}$  近くでの膨脹量は、確かではない。)

(3)-6)-2 焼バメ

図4による組合せ円筒での焼バメによる接触圧力は、次式

$$P_m = \frac{1}{2} E \frac{2\delta}{2r_2} \frac{(r_2^2 - r_1^2)(r_3^2 - r_2^2)}{r_2^2(r_3^2 - r_1^2)} \quad (\text{kg/cm}^2)^2$$

で与えられる。

ここで、

$r_1$  = 内側円筒の内半径 [cm]

$r_2$  = 内側円筒の外半径 [cm]

$r_3$  = 外側円筒の外半径 [cm]

$2\delta$  = 焼バメする時の見込代 [cm]

$E$  = ヤング率 [kg/cm<sup>2</sup>]

である。

図4の寸法で数値計算すると、

$$P_m = 1827.3 \quad (\text{kg/cm}^2)$$

となりコイルの底部に生じる圧力は、1ターン当り  $3186.9 \text{ [kg]}$  である。

(3)-6)-3 切削抵抗

切削抵抗は簡単に次式で与えられる。

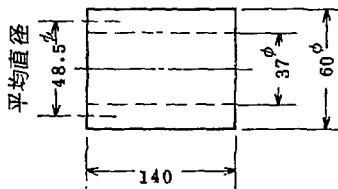


図3 コイル母材寸法

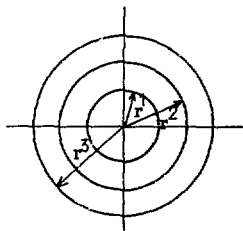


図4 組合せ円筒

切削抵抗  $P = a, d, f, [Kg]^3$ )

ここで  $a$  = 比切削抵抗

$d$  = 切込深さ [mm]

$f$  = 送り量 [mm/rev]

である。

比切削抵抗は銅の場合約  $70 [Kg/mm^3]$  であるから 切削抵抗  $P = 24.5 [Kg]$  が得られる。これにバイト先端の形状, その他切削抵抗を増す要素が加わったとして4倍の安全率を掛けても約100Kgの切削抵抗であるから, 1ターンの底部に生じる圧力は切削時の力と充分に対抗できる。

#### (4) 実際の加工法

(3)項工作法の原理で示した工程と, 加工を行えば大部分は問題なく製作できるが, 実際に加工する際の注意事項を次に述べる。

##### (4)-1) 心金外径と銅母材内径の平行度

図5に示すように比較的長い軸距離をもつ孔であるから, 中グリ加工中バイトのタワミ等に留意して孔径の平行度を  $1/100$  程度におさえないと完全な焼バメができない。

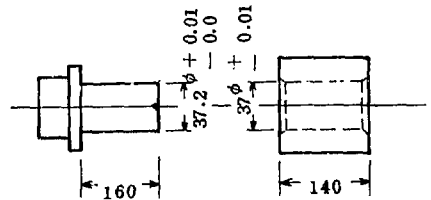


図5 心金と母材のハメ合い

##### (4)-2) 銀ロー付

銀ロー付は銀ローが軸方向へ深く, しみ込みすぎないように注意する。焼バメでクリアランスが小さいからしみ込みにくいとは云えるが, フラックスの量を極力減らし, 銀ローも少量にとどめること。銀ロー付部の面は20程度とする。

##### (4)-3) コイル切削加工

コイル切削加工は角ネジの切削と同じで, 底面が深いものと考えてよい。したがって, 1.5mmの中を持つ山部を残し, しかもバイトの強度を保持するため, 今回はピッチ3.5mmとした。従ってバイトの中は2.0mmである。2.0mm中のバイトは大体においてステッキ, または, 突切バイトの型状をなし, 立方向の剛性を高めている。このため図6に示すように角ネジの溝が $\theta^\circ$ 傾いていることに合わせてバイトも傾斜してセットするか, または傾けて削ったものを用いなければならない。(図7)

このネジレ角 $\theta$ は,

$$\tan \theta = \frac{L}{\pi d} \quad \text{で与えられる。}$$

ここで  $d$  = 平均直径

$L$  = リード

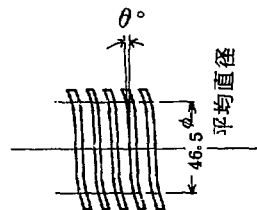


図6 コイルのネジレ角



である。

これに数値を入れると

$$\theta = 1^{\circ} 06' \text{ となる。}$$

#### (4) - 4) 切削条件

切削条件としては次の数値を用いた。

主軸回転数 250 r/m

ピッチ 3.5 mm

切込深さ 0.1 mm/回

切削油 マシンオイル，軽油のませたもの

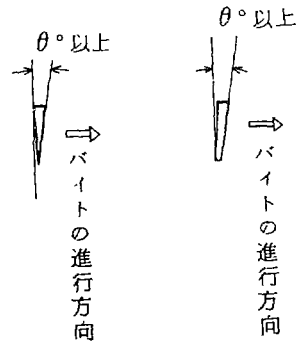


図7 バイトの傾き

#### (4) - 5) 切落し後の処理

切落し後の内径部バリ取りは，サンドペーパーで軽くこする程度ですんだ。これは当初に考えた通り，心金として硬い材料を選んだので，バリがほとんど出なかったためである。

#### (5) 製品

でき上がったコイルは実側上内径で0.15 mm，外径で0.2 mm程大きくなった。これは焼バメで生じた圧力が，円筒状からコイル状に変わった底面に集中して，銅が直径方向に延されたものと考えられる。しかし精度としては仕様内に入っているので問題は無い。完成したコイルユニットの写真を図8に示す。

#### (6) 検討

これからは強磁場発生用コイルとして，このような型状のものが，ふえるものと考えられる。特にピッチ型コイルは，今回のような加工法はかなりの寸法のコイルまで製作が可能となった。ただし内外径比が増大してくると，焼バメ圧力のみによった固定方法にも限界があるので，ある大きさ以上では，バイトの直前にガイドローラーを置いて，バイト側面の摩擦を極力さけると云うようなことを考えなければならない。

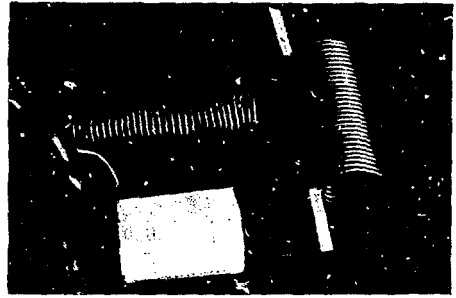


図 8

## 文 献

- 1) 機械設計便覧 狩野 三郎 共立出版K.K
- 2) 機械工学必携 馬場秋次郎 三省堂
- 3) " " "

注1) ケーブルの端末処理，パイプジョイント，パイプ成型等に用いる。

## 2. トロイダルピンチ用ワンターンコイルの製作法

林 秀樹，水沢清二

製作依頼者； 平野恵一

### (1) 使用目的

これはSTP実験<sup>1)</sup>における“プラズマ安定化パルス磁界発生用”として用いるコイルで、その特性は；

最大磁界	20 ガウス
磁界立上り時間	2 $\mu$ sec
耐電圧	20,000 ボルト

である。

形状は図1に示すように、トロイダルに配置された24個のワンターンコイルから成り電流はA-A'矢視図の矢印のように流される。

### (2) 仕様

大径の半径	120 mm R $\pm$ 0.2
小径の半径	45 mm R $\pm$ 0.2
大径の真円度	0.05
電氣的接触面	$\frac{6-S}{\nabla\nabla\nabla}$ 以上

以上が製作に対する精度仕様である。

この他、各角のRの取り方、その大きさ等あるが、ここでは省略する。

### (3) 工作法の選定と原理

今までこうした形状のコイルは、銅鑄物等で成型されたものを1個毎に機械加工で仕上げ、それらを組み立てることによってトロイダルコイルを型成していた。これを図に示すと図2のような工程になる。

図2に示した方法では鑄物表面の荒さが、加工時の基準面を求め得にくい。よって各コイルユニットの不揃いを招いている。

この不揃いは寸法精度にも、肉厚から生じる強度にも影響を与え、特に図3に示すように今回のコイルのように小径内にシェル、ライナー等が小さなクリアランスで組み合わされている場合、各コイルユニットの精度や均一性が要求される。

以上の理由から今回は、一体構造で作り出す方法を考えた。

その原理を書くとな次のようになる。なお工程順序を図4に示す。

- (3)-1 リング状の材料を用いこれにコイル断面の型を切削加工する。(旋盤)
- (3)-2 次に加工されたリング2枚を上下に合わせ、締付けボルト、ノックピン孔開け締付ける。(ボール盤，リーマ通し)

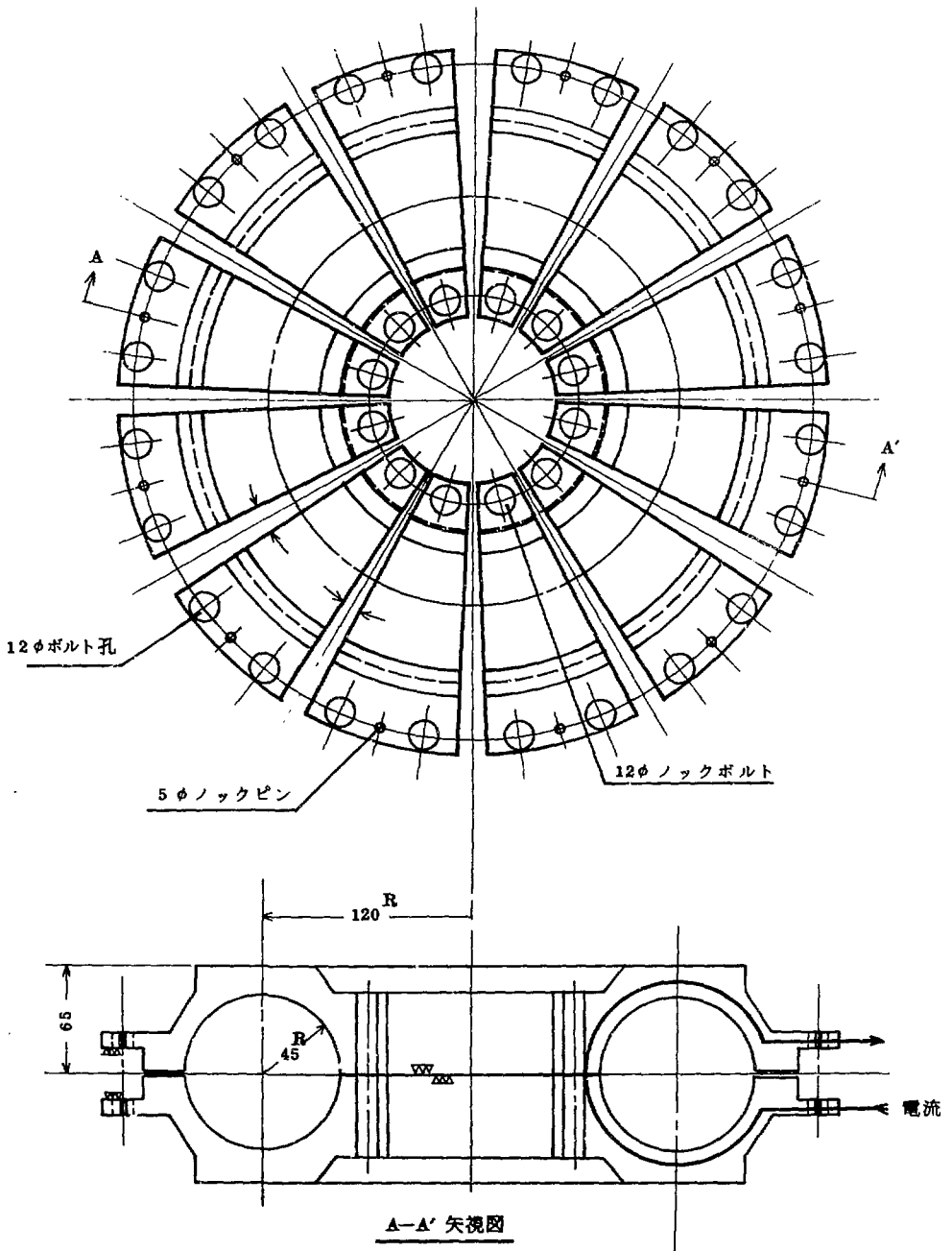


図1 STP-1用トロイダルコイル

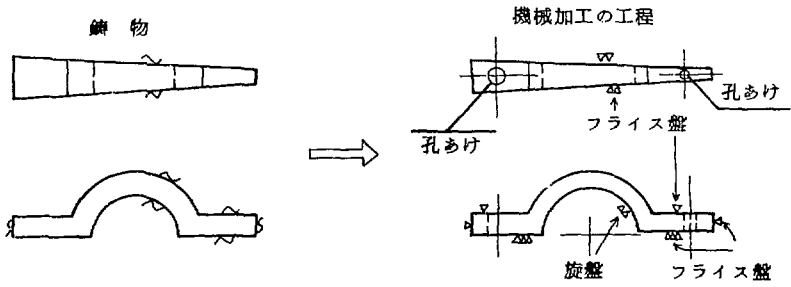


図2 鋳物によるコイルユニットの製作

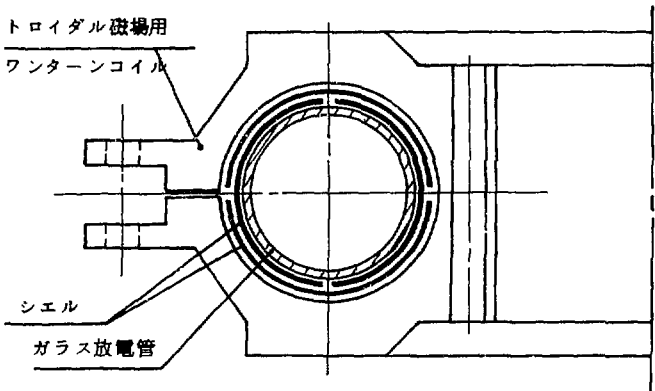


図3 放電管，シェル断面

(3)-3 さらに組み立てられたリングを割出し台を用いて指定角度で必要数に分割する。  
(割出し台，フライス盤)

(4) 加工に際しての注意事項

図4に示した工程に従って加工を行えば、コイルは出来上がることになるが、ここで実際の加工上の注意事項を2~3掲げておく。

(4)-1 上下を組み合わせる時の注意としてコイル外周方向は断面上で絶縁物をはさむクリアランスが設けられているから、ここへ必要厚さのスペーサー(図4中に示す)を入れること。

(4)-2 割出たでケガキを入れたあとは、締付ボルト、ノックピンを正しく挿入してからコンターマシンで上下組み合わせたまま切落とす。

(4)-3 切落とされたコイルユニットは上下組み合わせたままフライス盤に取付け側面切

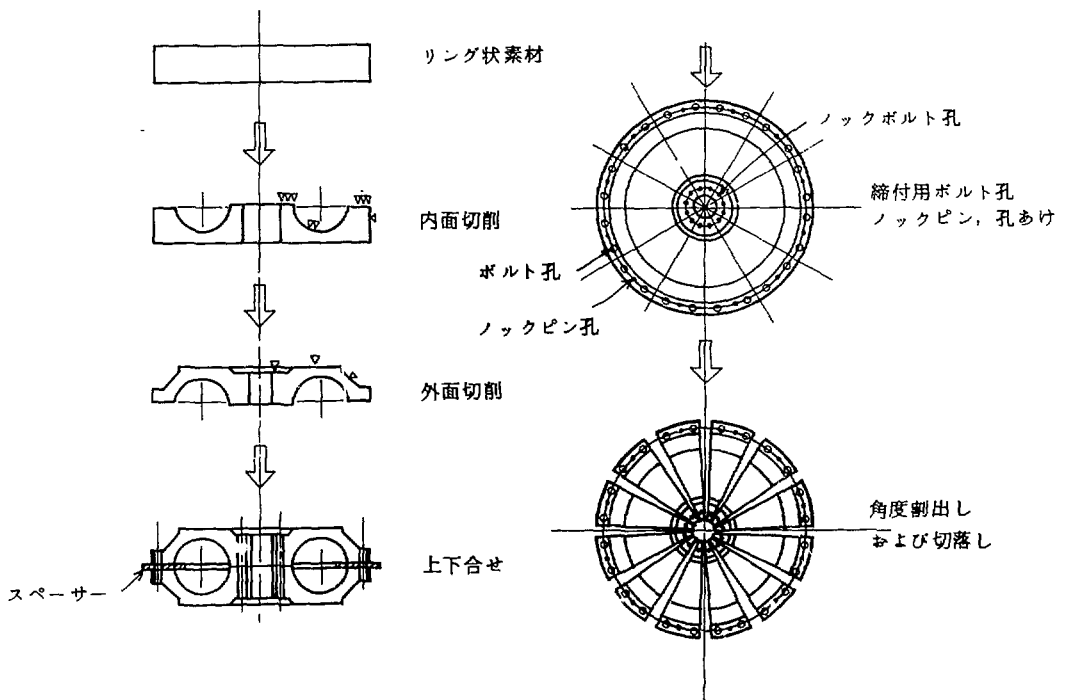


図4 一体加工の工程

削を行なう。

(4) - 4 小径の半径45mmRを仕上げる場合  $N/C$  又は倣い装置がない限り総形バイトを用いるよりほかに方法がない。この総形も180度連続のバイトでは切削上無理があり、精々90度止まりである。したがってRのつなぎ目で段をつけないようRゲージでバイト角度を補正しながらいねいに切削することが大切である。

(5) 製 品

図5(a), (b)は完成したコイルの分解写真である。本文中には記さなかったが写真に見られ



図5-a (中央部が完成品)

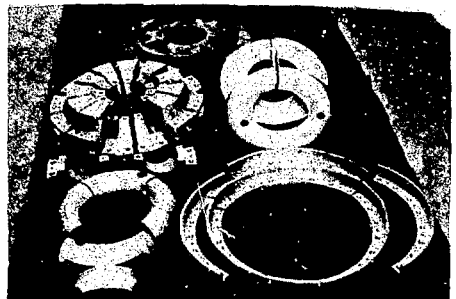


図5-b

る孔やタップ部は放電管ポートの逃げ孔，コイルコレクター取付け孔等であるが，本加工法には直接関係がないので省略した。

#### (6) 検 討

精度を高め，しかも加工時間を減少させることを第1の目的としたこの加工法では，コイルユニットの形状，寸法の均一性を高め，なおかつ組み立て後の大径，小径のセンターリングを簡単にさせ，しかも充分満足させることができた。

測定の結果は；

大径の半径             $120 \text{ mm R} \pm 0.1$  以内

小径の半径             $45 \text{ mm R} \pm 0.1$  以内

であり仕様は満たされている。また加工時間も前述した従来の方法に比べ  $\frac{1}{5}$  程度に短縮出来た。

#### (注)

- 1) 軸対称系トーラスピンチ装置において，トーラス磁界をリバース配位することによって，高ベータプラズマの平衡を得る。例えば，第26回日本物理学会年会予稿集98ページを参照

### 3. 小型スプロケットの製作

水 沢 清 二

製作依頼者； 藤原正己，藤若節也

#### (1) 使用目的

この小型スプロケットは，ステラレータ（JIPP）のプラズマの波長等を測定<sup>1)</sup>するためのプローブ駆動機構の一部であり，プローブはプラズマの軸方向（Z方向と呼ぶ）に駆動される。図1に駆動原理を示す。

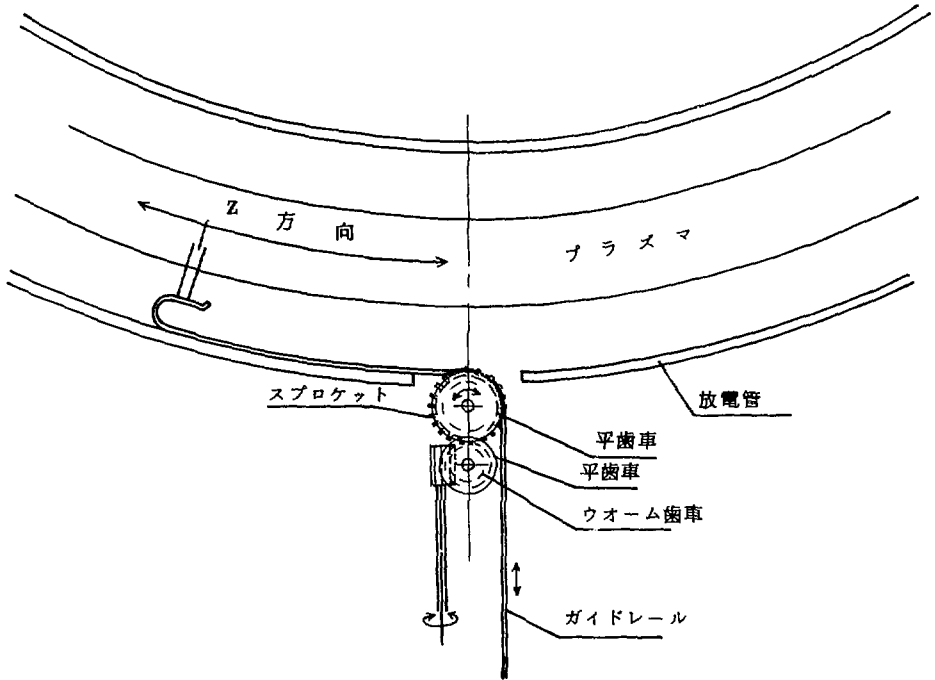


図1 Zプローブ原理図

#### (2) 仕様

スプロケットの寸法は図2に示すもので，材料はSUS-27である。

#### (3) 工作法

図2に示すスプロケットを作る際，問題になるのは歯車の歯に当る部分の丸棒（この場合は $1.0\text{ mm}^\phi \times 1.0\text{ mm}^l$ ）をどのようにして作るか，であろう。

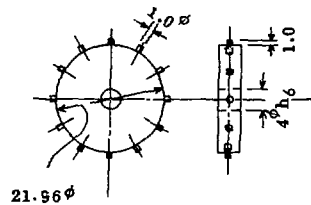


図2 スプロケット

歯の大きさが  $3\text{mm}^\phi$  もしくはそれ以上とあれば車の方にタッピングして、ネジ込むこともできる。しかし  $1.0\text{mm}^\phi$  ではそれも無理である。

そこで次のような工程を考えた。

- (3-1) 車の部分を水平方向に2分割する。
- (3-2) 2分割された車部分を合わせて中心孔、外径を仕上げる。
- (3-3) 2枚合せたままの車部の外周方向から中心に向かって必要深さまでキリもみを行う。
- (3-4) 歯の部分を作る。
- (3-5) 2分割された車部をはなしキリもみされた半割りの孔に歯をさしこむ。
- (3-6) 車部とさしこまれた歯をTIGで溶接する。
- (3-7) 車部を再び合わせて合せ目の歯以外の所を溶接する。

以上を図示すると図3のようになる。

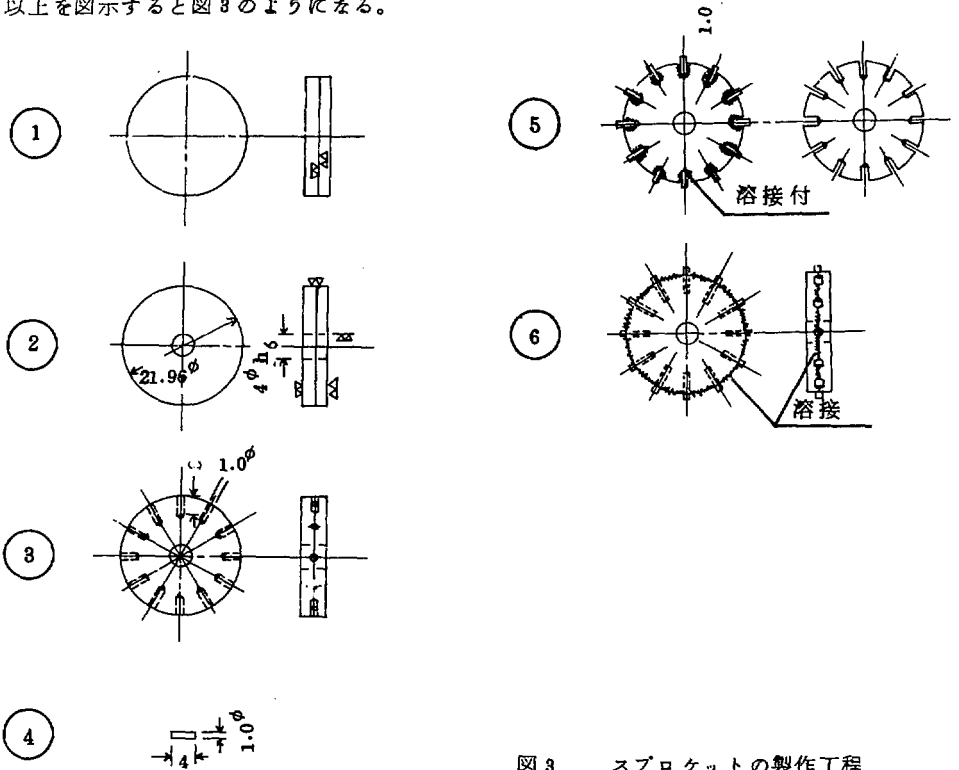


図3 スプロケットの製作工程

#### (4) 加工に際しての注意事項

旋盤加工に関しては、生爪またはコレットチャックによって同心を良く出すことと、2分割された車は厚さが  $2.0\text{mm}^t$  と薄いので、反りを出さないことに注意する。



ボール盤を用いた外周からの孔あけは、歯のピッチ精度を左右するので充分注意し、ケガキ、ポンチ、孔あけと云う工程でなく、割出台を用い、センタードリルによる下孔あけ、その次にドリリング、と云う工程を必要とする。この場合  $1.0\text{ mm}^{\phi}$  のドリルは、タワミ安いので孔が大きい目にあく傾向がある。そのため  $1.0\text{ mm}^{\phi}$  の歯を入れる孔として  $1.0\text{ mm}^{\phi}$  のドリルで孔あけしてよい。また深さは歯の高さをきめる重要な点でもあるので精度よい孔あけをすべきである。

溶接は歯と車、車と車の場合、両方共、TIGによる共付け溶接とし、溶加棒は使用しない、これは溶接による肉もりを出したくないからであり、共付け溶接の場合、溶着部は溶融後の凝結時生じる熱収縮により、目減りすることを利用した。

#### (5) 製 品

図4に示すのができあがった小型スプロケットの写真であり、図5は外周部溶接個所と歯の一部を示した写真である。試験の結果は非常に良くガイドレールの送りを駆動してくれた。

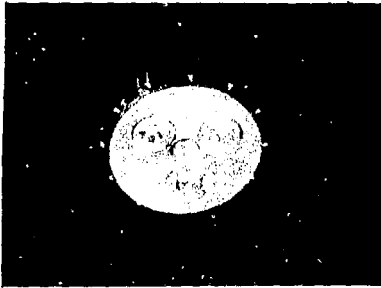


図4 スプロケット

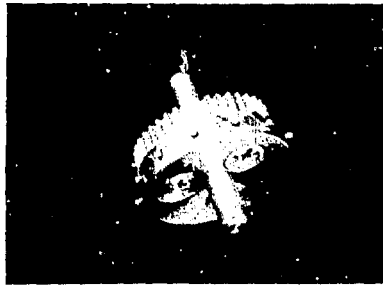


図5 溶接部と歯

#### (6) 検 討

プローブ、電極等、比較的軽いものを移動させるのに、こうした軽負荷スプロケットが簡単に製作できる見通しが立てられた。これは溶接技術の進歩により、余分な設備投資をすることなく、これら機構部品が、作れるようになったおかげである。ただし、こうした溶接構造は安易に製作できるだけに、安直に作られるきらいがあるが、溶接部とその周辺の強度、歪等をあらかじめ検討して製作に入るべきであろう。

今回の溶接構造では共付けであることから溶接部は熱収縮でへこむので2分割された車の当り面はこの共付け作業に無関係に保たれる。したがって外周溶接を行う時、車の端面は平行に保持されている。

また歯の強度、溶接部の強度に関しては、今回は負荷が軽いので、考慮しなかった。

#### (注)

- 1) トロイダル状に閉じ込められたプラズマ中に伝播する種々の波動現象を研究し、プラズマの諸性質を調べるのに用いる。

#### 4. 簡易ホブ盤と特殊小型ウォーム歯車の製作

山本富雄, 山岡兼一, 水沢清二

製作依頼者; 藤原正己, 藤若節也

##### (1) 使用目的

ここに述べるのは, 例えばステラレータ (JIPP)<sup>1)</sup> の  $r-\theta$  プローブ, Z プローブ等の駆動に使用する, 特殊小型ウォーム歯車と, それを作るための, 簡易ホブ盤である。

##### (2) 特殊小型ウォーム歯車の使用目的

一般にウォーム歯車は減速比が大きい, 逆転させられない等の特性を利用し, 動力伝達の手段として, 広く用いられている。プラズマ研でも, プローブの駆動, 電極の移動等に, 多く使用している。ただしプラズマ実験装置, 例えば, ステラレータでは放電管がトラス状をなし, トロイダルコイル, ヘリカルコイル等が複雑に組合わさっている。こうしたコイル類の間隙をねらって測定ポートが設けられているので, ポート孔の寸法 ( $30\text{mm}^{\phi}\text{max}$ ) そこに取り付けるプローブ駆動機構の寸法等に, かなりの制限を受ける。この小さなポート孔を用いてプラズマの測定を広い範囲で行わなければならないので, プローブの駆動機構等には, 一般常識からはかなりはずれた型状や寸法にならざるを得ない。図1, 図2に掲げたのは, それら駆動機構の1~2の例である。

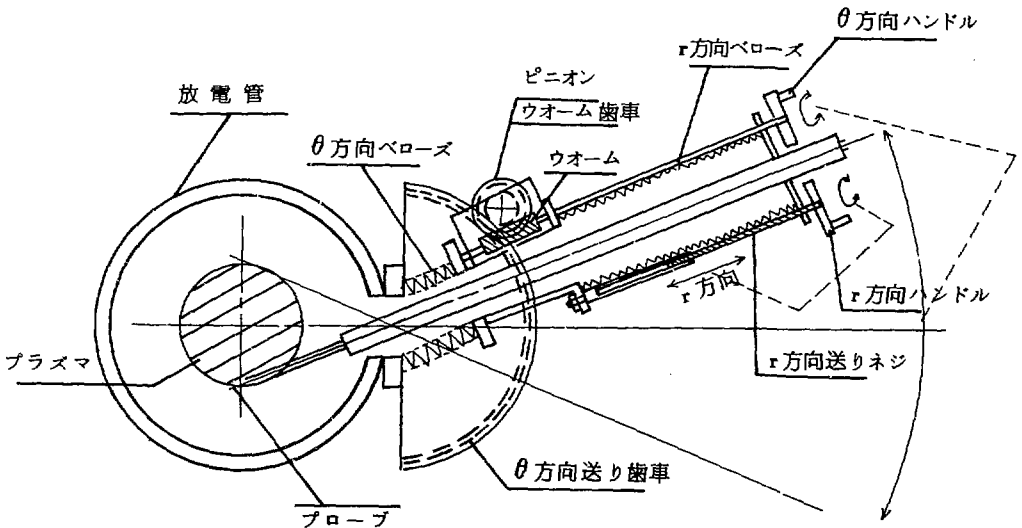


図1  $r-\theta$  プローブ 駆動機構

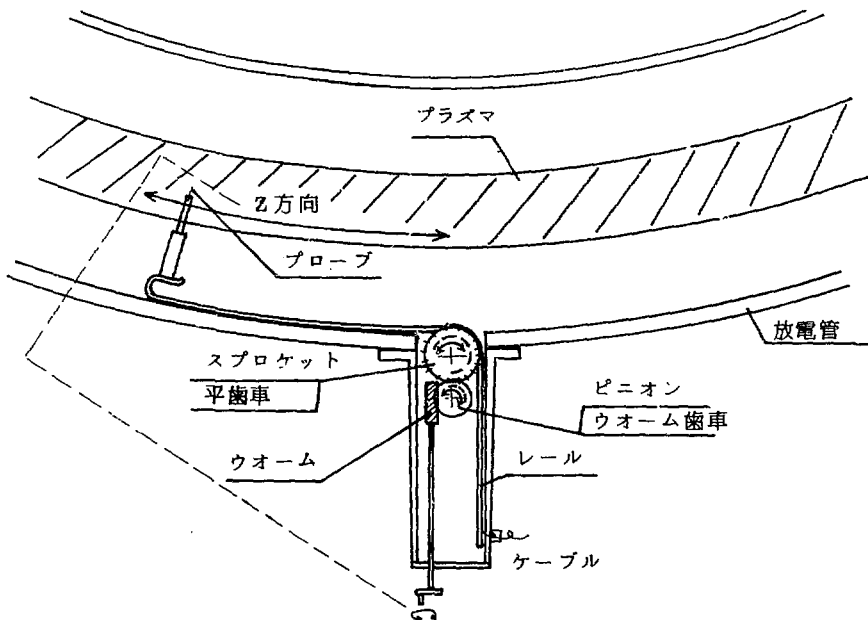


図2 Zプローブ駆動機構

図1, 図2の例でもわかるように, ウォーム歯車は方向性駆動の手段として, もっとも高い利用率をもっているにもかかわらず, 材質の問題(プラズマ研ではそのほとんどが非磁性を要求される), 寸法の問題, 等で市販品が使える場合が少く, かと云って歯切業者へ製作依頼しても, ウォームの直径が細くて, ホブが使えなかったり, 又1~2個ではことわられたり, 直ぐには作ってくれないのが実情である。したがって, ここではプラズマ研機械技術室で作ることを考えた。

### (3) 仕様

今回製作するウォーム歯車の仕様を, 図3に示す。公差, 仕上面粗度は, “ギジュツコーサクデータブック”(1971年IPPJ-DT-25)に準じるので, ここでは記さない。

### (4) 工作法の原理

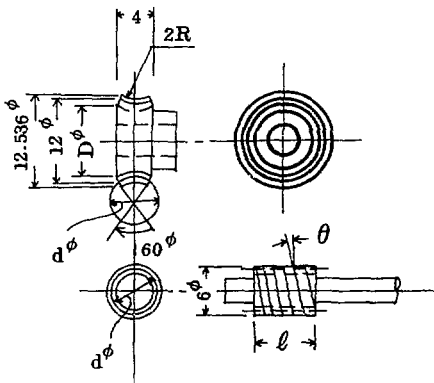
工作法の原理を工程順に書くと次のようになる。

(4-1) ウォーム歯車の外周切削を行う。(旋盤)

(4-2) ウォーム歯車の歯溝荒削り用カッターを作る。(図4)(旋盤, 刃物研磨盤)

(4-3) 外周削りされたウォーム歯車材料(4-1)を割出たて, 必要歯数による角度を出しながら, 歯溝荒削り用カッター(4-2)を用いて, 溝切削を行う。(図5)

(立フライス盤)



ウォーム歯車の材質	B <sub>8</sub> BM
ウォームの材質	SUS-27
ウォームの条数	L = 1
ウォーム歯車の歯数	Z <sub>g</sub> = 22
モジュール	m = 0.5
ウォーム歯車のピッチ円直径	D = 11.0 φ
ウォームのピッチ円直径	d = 5.0 φ
ウォーム歯車の歯の角	θ = 5°42'
歯の高さ	h = 1.08

図3 小型ウォーム歯車の寸法

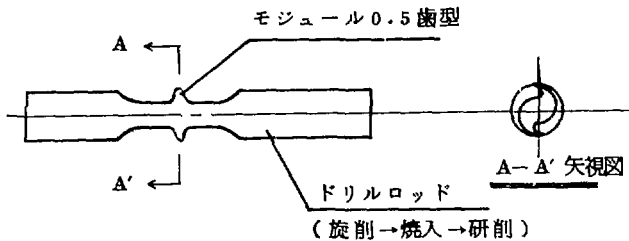


図4 ウォーム歯車溝荒削り用カッター

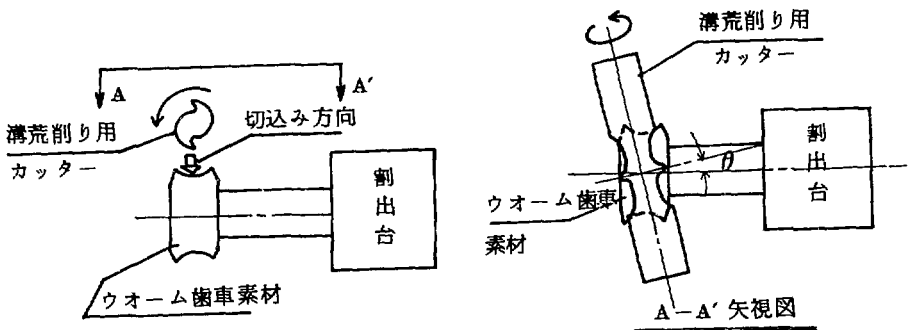


図5 ウォーム歯車の溝荒削り要領

(4-4) ウォームはモジュールの切削できる旋盤で簡単に製作できるが、この時、ドリルロッドで同一ウォームを作り、これに刃を付けて、簡単なホブとする。(図6)

(旋盤、刃物研磨盤)

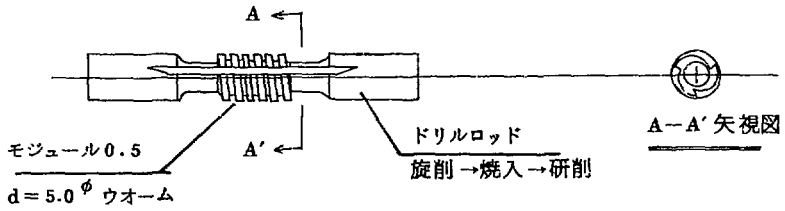


図6 簡易ホブ

(4-5) 簡単なホブ盤を作り、荒削りされた溝を持つウォーム歯車(4-8)とウォームと同型に作られたホブ(4-4)を直角に結合し、必要な回転比で回転を与えながら、軸間距離を計算値まで送り込む。図7にホブ盤の原理を示す。

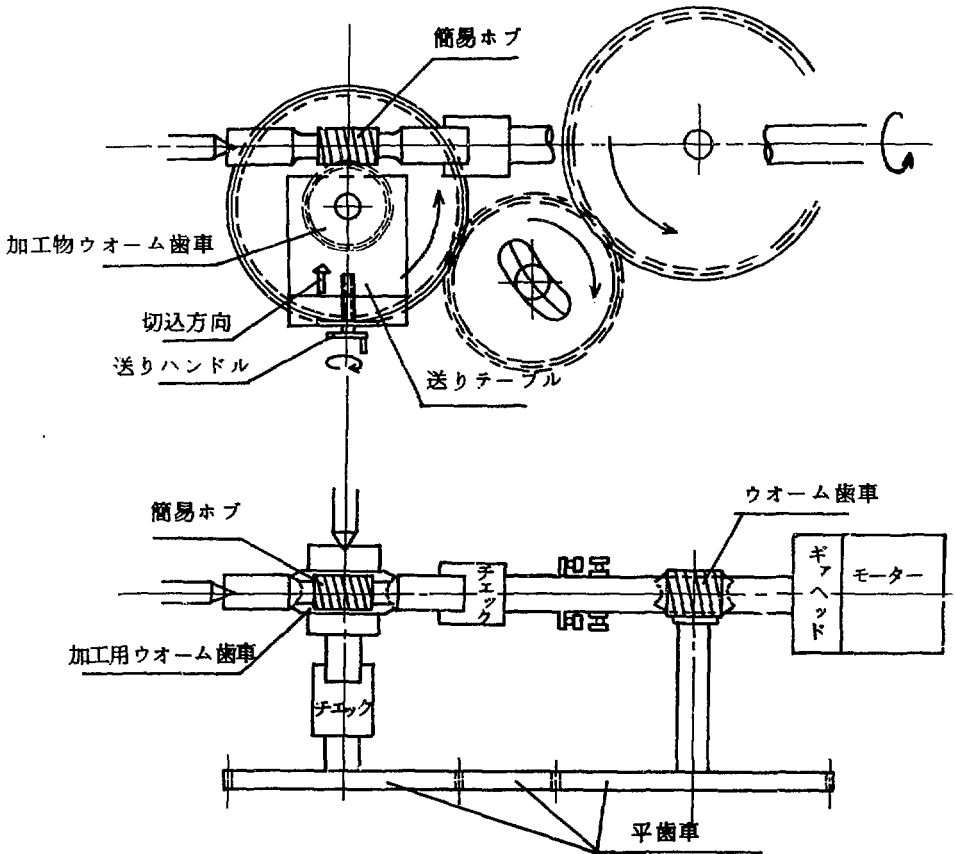


図7 簡易ホブ盤原理図

#### (5) 加工に際しての注意事項

ほとんどは(4)項の工作法の原理をそのまま実際寸法にして工程を進めれば良いが、今回のウォーム歯車は図8に示してあるように、非常に小さいものなので、カッターのタワミに対する注意、カッター製作時の注意等、2~3気を付ける点があるので記しておく。

- (5-1) 荒削り用カッターの歯型は、歯型ゲージを用いて正しい型を作らなければならないが、この時歯型断面は歯に垂直な断面において真の歯型<sup>2)</sup>であること。
- (5-2) ウォーム歯車は外周加工の時、簡易ホブ盤にチャッキングできる型状であることが必要で、ボス、孔等は歯切加工が終わってから仕上げるようにする。(今回の簡易ホブ盤のチャックは軸径8mm<sup>φ</sup> maxであり、ワークの軸長は30mm<sup>ℓ</sup>(両端共)で、片端はセンターもみすることで使用できる。)
- (5-3) ホブ盤に用いるホブは使用されるウォームより、はめあい分だけ大きく作る<sup>3)</sup>が、今回は全体に小さい寸法なので同一寸法とし、ホブ盤での切込送りの際0.05mm程度余分に切込んで、ウォーム歯車とウォームの間のクリアランスを得た。
- (5-4) ホブ盤で仕上切削を行う際、ホブの首部が細いために切込量を多くすると、ホブの軸にタワミが出るおそれがある。このタワミは軸間距離、クリアランス等の精度に悪影響を与えるので気を付けなければならない。今回のホブの首部太さは8.5mm<sup>φ</sup>であり、これにタワミを生じさせないためには、ウォーム歯車材が100回転することにより0.1mmづつの送り込みを行った。この時切削油を充分に与え、切粉の巻込みを少くすることが必要である。

#### (6) 製品

図8に出来上がったウォームとウォーム歯車の写真を掲げる。又図9は簡易ホブ盤の写真である。

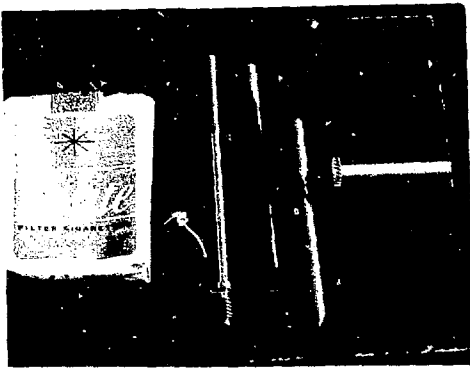


図 8

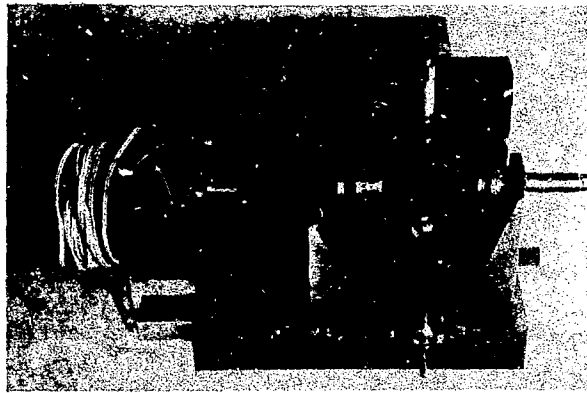


図 9

## (7) 検 討

ウォーム自身はモジュールの切れる旋盤があれば比較的簡単に作り出すことが出来るので説明をはぶくが、今回の工作法では同型カッター(図6に示すホブ)でリードの補正切削を行ったことによって、遊びの少ない特殊ウォームを容易に作り得ることが大きな利点である。又この簡易ホブ盤では平歯車の歯数を変えることによって、ワーク側とホブ側の回転比を適当に選べば、かなり任意な比までのウォーム歯車を簡単に作る事が出来る。

## 文 献

- 1) ステラレータプラズマの密度及びポテンシャルの分布と磁気面との関連を調べ、プラズマの輸送現象を解明するのに用い、例えば IPPJ-102, IPPJ-110 を参照
- 2) 機械工学必携 馬場秋次郎 三省堂
- 3) " " "

## 5. ガラス製真空ポンプの製作

松田久睦

### 1. はじめに

ガラス管を加工してつくる真空ポンプとしては、ヒックマンポンプや拡散ポンプがある。ガラス製ポンプは設計が古くからなされていて、特別ポンプの構造が変ってはいない。したがってこの種のポンプの図面は、ガラス加工技術者がそれぞれ前任者から受けついで保存されてきたものである。当研究所に保存されているヒックマンポンプの図面は、通研型とよばれているものである。以前につくられた通研型ヒックマンポンプは、石川<sup>1)</sup>らによってその動作特性と到達真空度が調べられている。また水銀拡散ポンプの方は、石井<sup>2)</sup>らの設計をもとに、赤石<sup>3)</sup>が使いやすく製図しなおした図面である。これらのポンプの製作は、いままではガラス加工技術者のそれぞれの経験とカンによっていたので、未経験者は再び最初から種々の苦勞をすることが多い。とくに経験者の助言が得られない場合はなおさらのことである。この報告は実際に製作したヒックマンポンプと水銀拡散ポンプをもとにして、その製作過程に要したいろいろな工夫も加えて製作方法を体系的に述べたものである。

### 2. 水銀拡散ポンプ

表1は、拡散ポンプの主要寸法を示している。また全体図を写真1に示す。

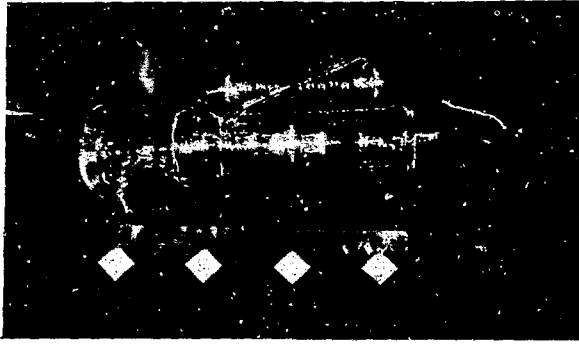
表 1

本 体	外径 75 $\phi$	高さ	58 cm
トラ ッ プ	" 60 $\phi$	" 胴長	31 cm
水冷 ジャケット	" 40 $\phi$	" "	17 cm
ジ ェ ッ ト	2 段式		

表 2

ボイラー名	第 I	第 II	第 III	第 IV
ヒータ抵抗 $\Omega$	9	9	9	6
カンタル線 0.4	1 m 86 cm	1 m 86 cm	1 m 86 cm	1 m 24 cm





全体図写真 1

図1はポンプ各部の名称を与えるためのポンプのスケッチ図である。以下に図1を参考としながらポンプの製作手順を述べる。

1) 手作業による部品の加工

この段階でつくる部品の主なものはジェットと第2水冷ジャケットの二つである。

2) 旋盤を用いる加工

(イ)図2に示すように第1水冷ジャケット外管と中管を治具で固定する。そしてガラス旋盤に取りつけ上部を溶着する。治具の使い方は図2からわかるように、第1水冷ジャケット外管と中管を同時に固定するよう形状につくっており、固定のさいにアスベストのヒモをスペーサーとして用いている。このような加工方法とは別の方法として銅のアミを第1水冷ジャケットと中管の間に入れて(図3)固定し溶着後水冷蛇管から硝酸を流し込んで溶す方法もあるが、未

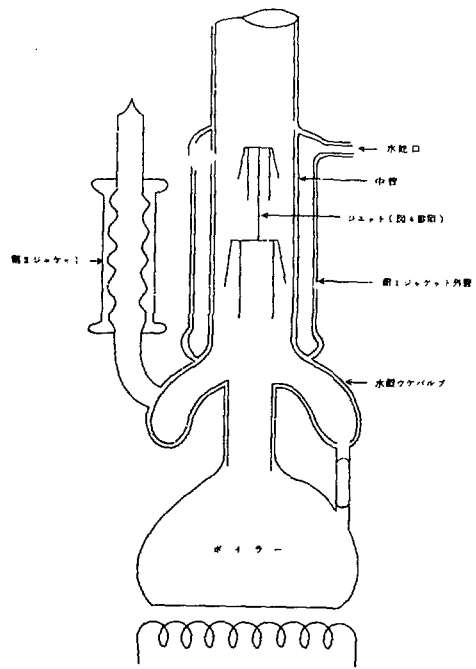


図 1

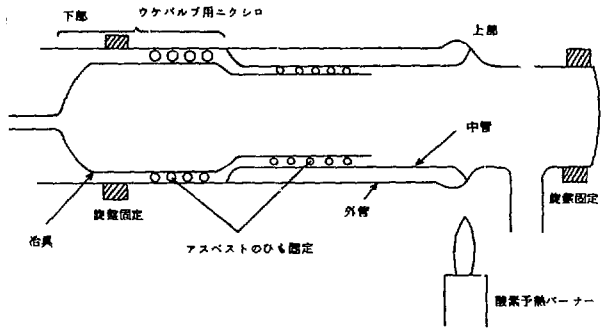


図 2

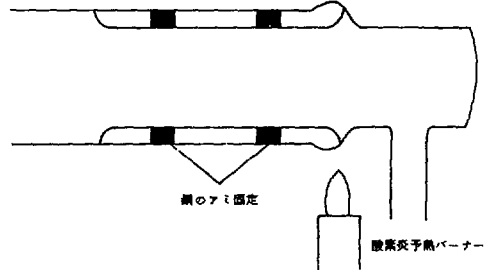
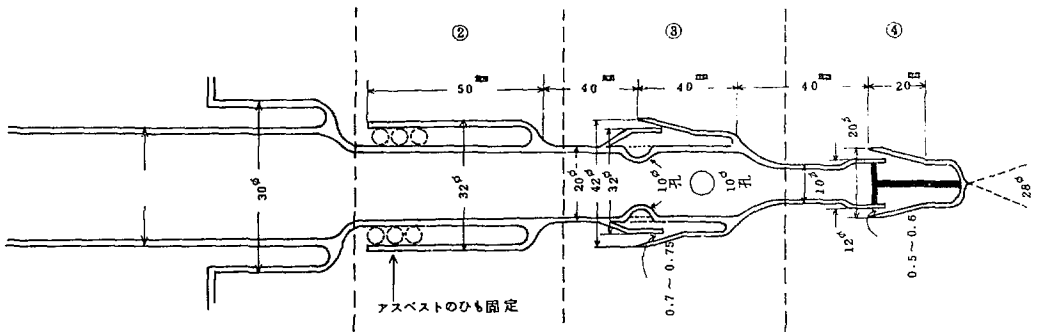


図 3



- ① 保温カバー 治具を使い加工する。  
 ② 保温カバー 空気が逃げないようにアスベストのひもで固定し加工する。  
 ③ 2段ジェット 先につくっておき②とつなぐ。  
 Ni線 0.7 m/mを噴射ノズルのスリット巾の中に入れその上から空気が逃げないようにアスベストのひもで上からおおい加工でNi線を取り出す。  
 ④ トップジェット Ni線 0.5 m/m ③同様加工する。

図 4

経験である。ついで水冷ジャケットの下側部分を溶着する。(ロ)ついで第1ジャケットの延長上にあらかじめ余分にとってあるウケバルブ用ニクシロを用いて水銀ウケバルブをつくる。

(イ)ジェットのとりつけは次のようにしておこなう(図4)。まず必要な口径になるようにウケバルブの底部を吹き破りジェットを中管へ挿入し、センターがくずれないように注意しながら溶着を終る。あわせて第2ジャケットもここでつないでしまう。

3) 上記の工程、で終った製品は、加工時のヒズミをとるため電気炉に入れてナマス(～560℃, 4時間)

#### 4) その他の溶着

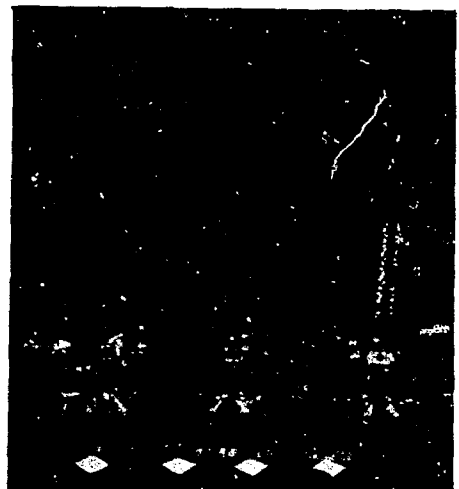
ボイラー、蛇管などのとりつけと部分的外まわりの修正をして製作を完了する。

### 3. ヒックマンポンプ

全体図を写真2に示す。ヒックマンポンプはポディーのみガラス旋盤で加工し、その他の部分はすべて手加工によっておこなう。

1) まず部品の製作(ボイラー、ジェット、アレンピック、など)。第1、第2、第3ジェットを図面寸法になるように製作するが、その手順は次のようになっている(イ)ダイヤモンドカッターによる余分な部分の切斷、(ロ)平面研磨機による摺り仕上げ、(ハ)摺り口のバーナーによる焼き仕上げ。

2) ジェットのポディー管への接続



全体図写真2

図5に示すような配置でおこなうが(イ)まずジェットを治具で固定しそれをボデー管の吹き孔をつくる部分にまで入れて、外側から加熱する。ジェットの取り付けがおわると、(ロ)すぐボイラーをとりつける。第2ジェットも同様な操作によりとりつけるが図6参照。

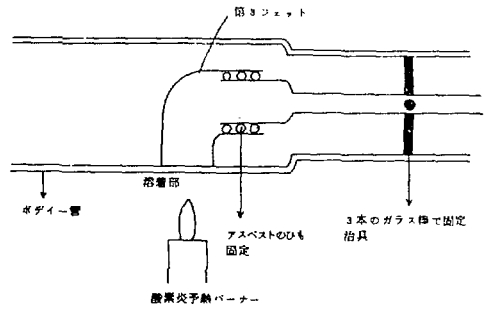


図 5

ボイラーのとりつけをする際に(ボイラー底部の水平線に対する)ボデー管の傾斜角度が一定に保たれるようにもしななければならない。

3) 第1ジェットおよびそのボイラーは同時に接続溶着するがこの場合第1キャップとジェットの間隔(1.75~2.0mm)をくずさないようにし、ボデー管をつなぐ。以上で主要な製作工程はすべて完了するが、ここで電気炉に入れてヒズミをとり、そのあと部分的な修正を加える。

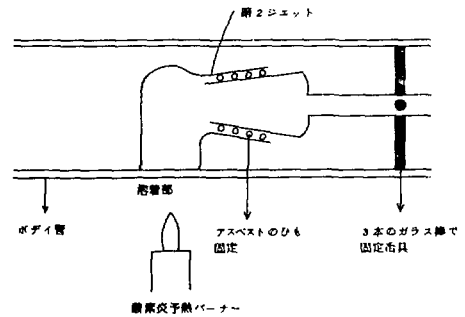


図 6

なおボイラーの中に入れるヒーターは、カンタル線(0.4mm)を5φのコイル線にしたものである。それぞれの抵抗は表2に示すようにえらばれている。なお拡散ポンプもヒックマンポンプも最後はヘリウムリークディテクターでモレ探しをしてリークがないかどうかを確認している。

## 文 献

- 1) 石川和雄, 山口 隆; 真空10(1967)138
- 2) 石井, 伊藤; 真空1(1958)55
- 3) 赤石; 例えば日刊工業「真空装置(1965)82」この装置を使用した研究報告としては例えば, 赤石; イオン衝撃によるステンレスからの2次電子放出; 第18回応用物理学会予稿集(1971, 春季第1分冊真空)がある。

## 6. 硝子フランジ面の仕上げ加工と真空気密性について<sup>1)</sup>

江崎 和 弘

### § 1 はじめに

ガラスフランジの真空シールにはO-リングが使用されている。その場合、真空気密性はフランジの摺り仕上げの良しあしにかかってくる。現在おこなわれているフランジ加工方法は次のような手順によっている。ガラスフランジの旋盤による1次加工の後、フランジ面は砥粒を使って、平面研磨機により仕上げられる。いままでは、5種類の砥粒( #80, #240, #400, #600, #800 )を順次使用し、磨き上げていた。しかし、単にリークがないようにするだけの仕様であれば、研磨工程をもう少し減することができるのではないと思われる。例えば、100 $\phi$ のガラスフランジを上の方の処方によって、研磨するのに要する時間は、1個当たり、約30分程度であり、フランジ個数が10個としても、5時間は必要である。上記のような研磨工程の一部を省くことによって研磨時間を非常に短くできる。このように考え、51 $\phi$ のガラスフランジを作り種々の砥粒で研磨したものについてリーク量を測ってみた。以下に作成したサンプルが研磨によって、どの程度のリーク量をもつかについて測定した結果を述べる。

### § 2 テスト方法

図1はこの実験のために作成したサンプルの寸法図である。サンプルチューブの一端はメクラにし、もう一方の側はフランジになっている。この管は5種類(資料番号№1から№5、各々5本ずつ、全部で25個作った)を用意した。表1は資料番号№1から№5まで、各種の砥粒で研磨したときのフランジ面のアラサを示している。資料№2は#80で摺った後、#240で仕上げたものである。また資料№3は#80、#240、#400の順に摺りあげたものである。

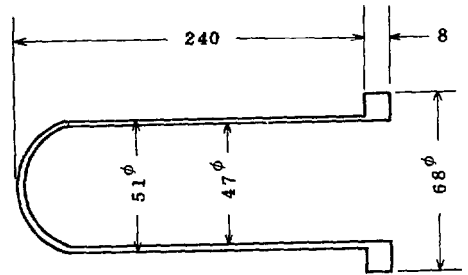


図1 資料フランジの寸法

表 1

資料	砥 粒 ( # )	HcLA $\mu$
№1	ブラックカーボンランダム 80	3.8
№2	グリーンカーボンランダム 240	1.5
№3	" 400	1.3
№4	" 600	0.7
№5	" 800	0.57

HcLA : 平均中心線アラサ

以下同様に砥粒を#600までが資料No.4, #800までが資料No.5である。ここで表1に記したアラサはJISの測定方法(JIS B0601)にもとづいて、表面アラサ測定器(小坂研究所製 Model, SE4)で測定したものである。資料のリーク量の測定は図2に示すような真空系で

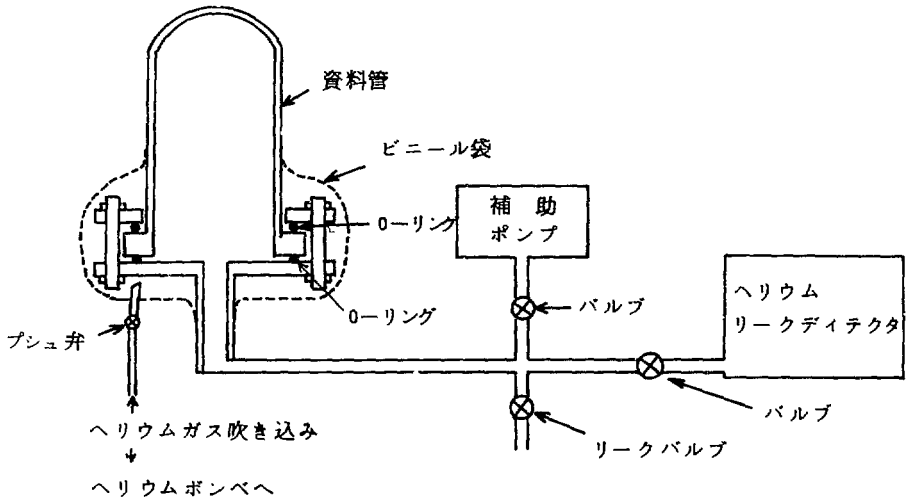
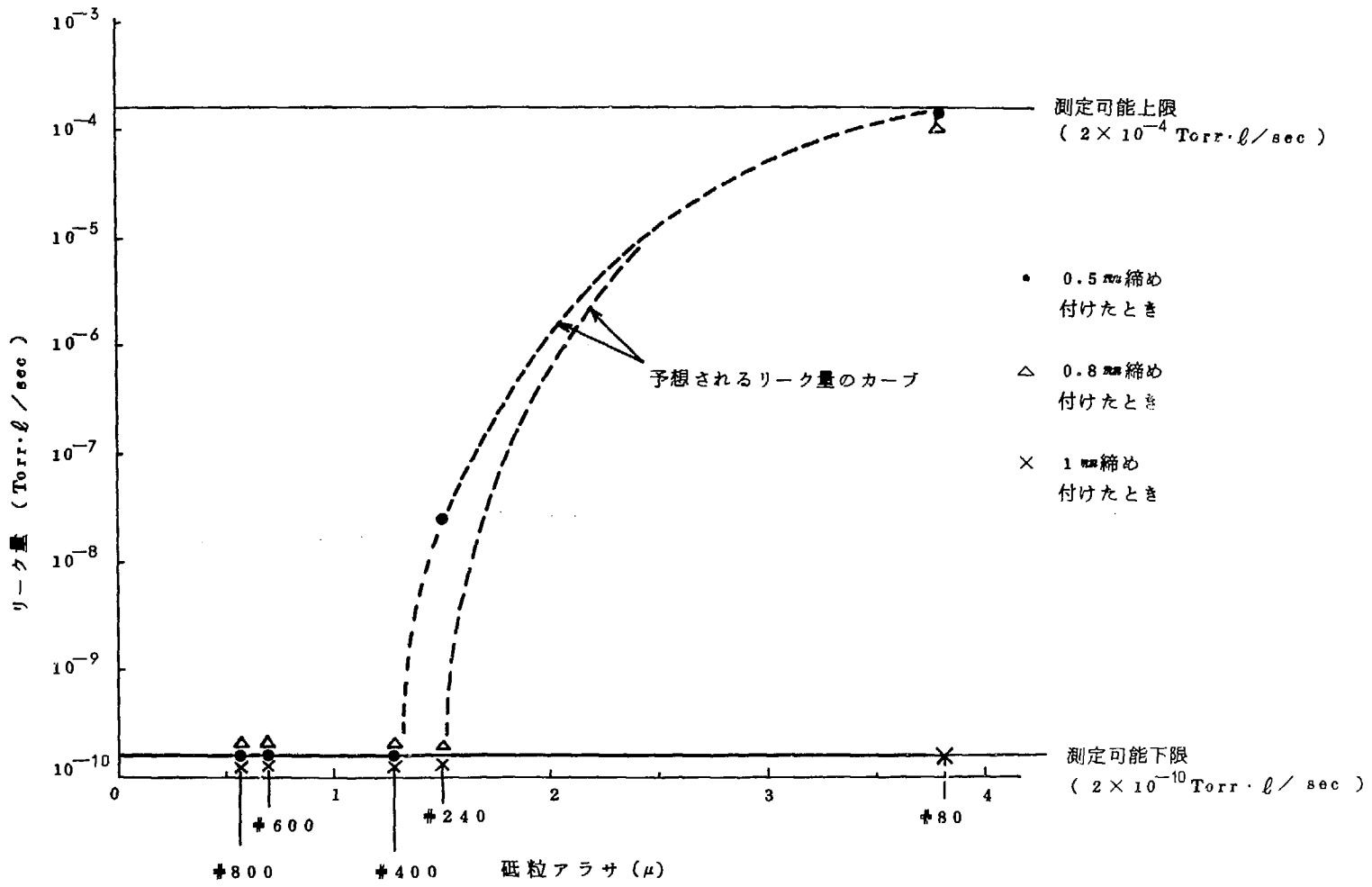


図 2

おこなった。資料はベルジャー形に作ってあるので金属フランジに直接置いて排気し、真空シールにはバイトンO-リング55 $\phi$ を用いた。この場合、面のアラサがリーク量をきめるので、グリースは一際使用せず、かわりにボルト締めをした。この場合、強く締めつければ、アラサによるリーク量の判定が難しくなるので、このテストでは太さ5 $\phi$ のO-リングを0.5mmだけ変形(ちぢませる)させ、さらに0.8mm, またさらに1mm変形させたときのリーク量をそれぞれの資料について測定した。図3はリーク量がしめつけ深さに応じて、どのように変わるかを示している。0.5mm締めつけたとき、アラサ1.8 $\mu$ 以下に仕上げたフランジのリーク量は、ヘリウムリークディテクターのバックグラウンド以下のリーク量( $2 \times 10^{-10}$  Torr.l/sec)か、それと同程度であった。しかし、1.3 $\mu$ 以上のフランジのリーク量はバックグラウンドをこえるリーク値をとっているのがわかる。たとえば、1.5 $\mu$ の仕上げ面では $4 \times 10^{-8}$  Torr.l/sec, 3.8 $\mu$ の仕上げ面で $1.9 \times 10^{-4}$  Torr.l/secとなっている。締めつけを0.8mmに増すと、こんどは1.5 $\mu$ までで研磨をやめたサンプルでリークが大きくあらわれる。たとえば、3.8 $\mu$ の仕上げでは $1.8 \times 10^{-4}$  Torr.l/sec以上である。1mmまで締めつけた場合、すべての資料にリークがみられなかった。以上研磨工程を最低どれ位にとればよいかをフランジ面のアラサとリーク量との関係から検討してきたが、当然のことながら、フランジ面の仕上げがわるくても、O-リングの締め付けを増せば、リーク量を減すことができる。試験の結果では、アラサ1.5 $\mu$ でもO-リングを約1mmちぢませれば十分、リークを止めることができる。ガラスフラ



ンジはボルト締めの場合，0-リングを約1mm変形させる程度に締め付けるとすれば，仕上げは#80，#240の砥粒を使うところでやめてよいといえる。これは工程時間にして約15分間位であり，今までの半分になる。事実#240(1.5 $\mu$ )まで研磨したものを発注者に渡しているが，リークについての苦情はきいていない。

## 謝 辞

この研究を行うにあたり，測定法その他，種々御指導をいただいた当研究所赤石憲也氏に感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) 東海地区硝子技術研究会(昭和46年5月，プラズマ研究所)で発表した。