

# 放射線形自動油量測定機の製作と応用

Development of a New Radioisotope Level Gauge and its Application

梨 本 柳 三\* 外 山 登\*  
Ryūzō Nashimoto Noboru Toyama

As one measure for improving reliability of exhaust carts, the authors developed an automatic radioisotope level gauge with Iridium 192 (less than 100  $\mu\text{c}$ ), which is intended for non-destructive inspection of diffusion pump oil. This level gauge proved, in measurement of a diffusion pump oil in exhaust carts, to be able to measure oil quantity with such a small error of  $\pm 5$  cc. Also, as a result of clarifying the mechanism of diffusion pump oil defects in exhaust carts by using this level gauge, the mean time between failures of exhaust carts could be made about 2.3 times longer.

## 1. 緒 言

陰極線管の品質は、その陰極線管を排気する排気装置の性能いかんによって決定されると言っても過言ではない。特に、陰極線管の初期エミッションの安定化、長寿命化には安定した高真空のもとに排気操作を行なうことが重要である。通常、陰極線管の排気装置は、 $10^{-6}$  Torr台ないしそれ以下の高真空を維持する必要があるため、油拡散ポンプを装備している。この油拡散ポンプの性能、すなわち作動液の増減に伴う真空度特性が排気した陰極線管の真空度に密接に関係している。しかも数百台に及ぶ排気装置の性能をそろえることが要求されるため、その整備に多大の労力を費やしていた。油拡散ポンプ作動液の増減を知る方法としては、従来真空度不良になった排気装置や陰極線管の排気に関係した不良（たとえば、真空不良、電極酸化不良など）が発生したとき、それを排気した装置を一台一台解体して調べる方法で行っていた。したがって、時には正常な作動液量を有した排気装置を解体することもあり、非効率でしかも管理上好ましくなかった。われわれは効率よい整備で、しかも排気装置の信頼性向上を図るため、油拡散ポンプ作動液量を非破壊試験で測定可能な放射線形自動油量測定機を製作した。以下この装置の概要と排気装置の改善に応用した結果について報告する。

## 2. 放射線形自動油量測定機の原理と構造

### 2.1 原理と線源の選定

放射線を利用した液面計には種々の方式があるが<sup>(1)~(3)</sup>、われわれは高精度が得られやすいと言われている水平透過形液面計<sup>(4)(5)</sup>を応用して製作した。本測定機の原理と線源の選定について簡単に述べると、放射線の物質による透過度の違いを利用したもので、初期の線源の強さを $I_0$ 、油拡散ポンプ側壁(厚さ $t$ )の吸収係数を $\mu$ 、油拡散ポンプ作動液(ポンプの内径 $d$ 、作動液DC704)の吸収係数を $\mu_{oil}$ 、同じく空気による吸収係数を $\mu_{air}$ として、油拡散ポンプに作動液がある場合とない場合の透過放射線の強度をそれぞれ $I_{oil}$ 、 $I_{air}$ とすると、

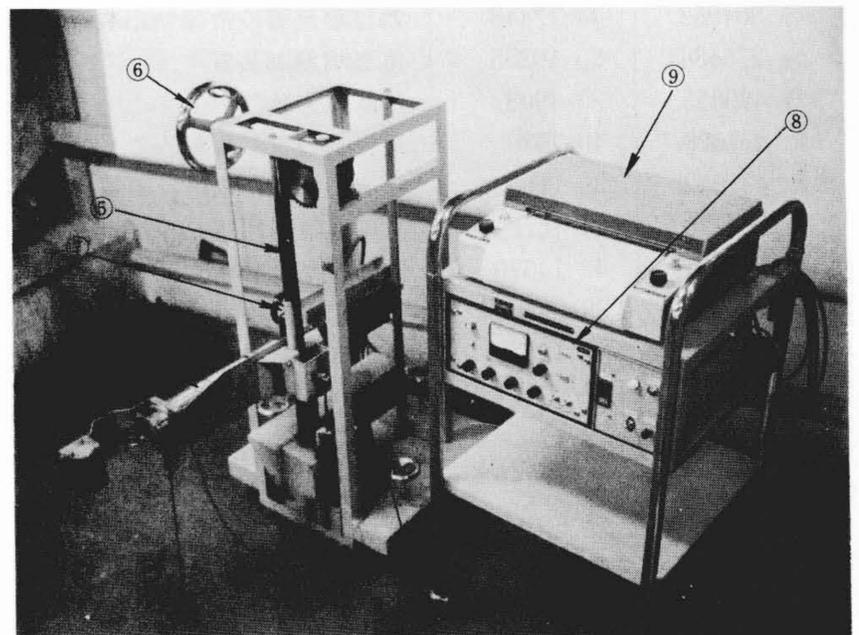
$$I_{air}/I_{oil} = I_0 e^{-(\mu_{air} \cdot d + 2\mu \cdot t)} / I_0 e^{-(\mu_{oil} \cdot d + 2\mu \cdot t)}$$

の関係がある。したがって、 $I_{air}/I_{oil} = e^{(\mu_{oil} - \mu_{air}) \cdot d}$ となり、油拡散ポンプの内径 $d$ は、同一形の油拡散ポンプを使用する限り一定であるため、 $\mu_{oil} - \mu_{air}$ が大きくなるような線源を選定する

必要がある。一方、液面計の線源としては、コバルト60( $\gamma$ -ray, エネルギー1.33, 1.17MeV, 半減期5.2年)セシウム137( $\gamma$ -ray, エネルギー0.661MeV, 半減期30年)などが使用されるが<sup>(4)</sup>、われわれは安全性を重視し、 $\mu_{oil} - \mu_{air}$ を大きくするため、コバルト60、セシウム137よりエネルギーの低いイリジウム192(100 $\mu\text{c}$ 以下, $\gamma$ -ray, エネルギー0.296, 0.309, 0.317MeVなど, 半減期74.4日)を用いた。

### 2.2 構造と動作

製作した自動油量測定機の外観写真を図1に示した。図1において①は鉛製(60mm $\phi$ ×60mm)の線源収納ケースで、放射窓は2mm×20mmのスリットである。②は鉛製のシールドで、中央部に2mm×30mmのスリットを設け、①と110mmの間隔で向き合わせた。③の部分がNaIシンチレータを内蔵した検出器である。これら①②③を一体の測定機用架台にセットし、同時に上下移動、水平移動(前後)ができるようにした。④が自動上下移動用同期電動機で、最大70mmまで移動可能である。自動による上昇、下降スピードは毎分20mm。⑥は手動の上下移動用ハンドル、⑦が水平移動用の手動ハンドルである。この各ハンドルを操作して①と②の中央部に油拡散ポンプの被測定部をセットする。⑧はレートメータ、⑨は



- |                                |                        |
|--------------------------------|------------------------|
| ①線源収納ケース(鉛製)                   | ⑤上下移動用軸                |
| ②スリット付シールド(鉛製)                 | ⑥上下移動用手動ハンドル           |
| ③プローブ(シンチレーション検出器)<br>シンチレータ内蔵 | ⑦前後移動用手動ハンドル           |
| ④スキャニング用同期電動機                  | ⑧レート・メータ(Aloka TRM-1C) |
|                                | ⑨卓上記録計(日立 QPD33)       |

図1 放射線形自動油量測定機の外観

\* 日立製作所茂原工場

記録計である。本測定機は、安全性と能率を十分に考慮したもので、スタートボタンを押すと、①に収納されている線源が2mm×20mmの放射窓の位置に自動的に飛び出し、同時に①～③の一体ヘッドが上方へスキャンニングを開始し、放射線吸収曲線を自動記録する。さらに、70mmまでスキャンニングして測定が完了すると線源は自動的に①の鉛製ブロックに収納され、①～③の一体ヘッドはスタートの位置まで下降する。もちろん記録計も停止する。なお、安全設計を図った本測定機の動作時の安全性であるが、①ヘッドの最近接部で0.5mr/h以下で問題はない。

### 3. 油拡散ポンプ作動液量の測定結果とその検討

#### 3.1 実験方法

図1の①と②の中央部に被測定物である島津製OD-3型油拡散ポンプをセットして、①～③一体ヘッドの上方へスキャンニングスピード毎分20mm、記録計のチャートスピード毎分40mmで測定するようにした。油拡散ポンプの放射線吸収曲線と作動液部その他油拡散ポンプの各部位との対応は、ポンプ構造を示すγ線ラジオグラフィで検討した。放射線吸収曲線の示す作動液部（液面高さ）と作動液量との関係は、あらかじめメスシリンダにて作動液量を、たとえば30cc、60cc、80cc、100ccと採量しておき、これを一回一回油拡散ポンプに入れ、それに対応した液面高さを求め、液面高さと作動液量の関係図を作成して求めるようにした。

#### 3.2 結果と検討

図2は油拡散ポンプの放射線吸収曲線の一例を示したもので、

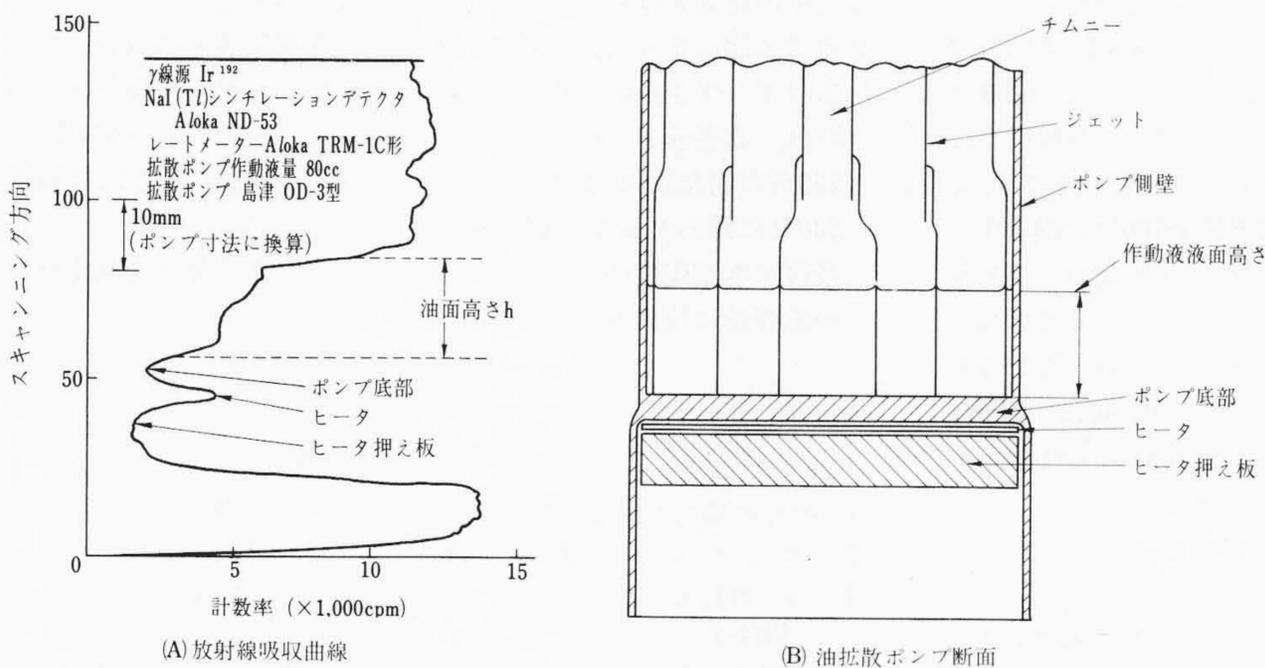


図2 油拡散ポンプの放射線吸収曲線の一例

図2(A)が放射線吸収曲線の一例、図2(B)が油拡散ポンプのγ線ラジオグラフィによる断面の主要部分を図示したものである。これは放射線吸収曲線と油拡散ポンプの各部位がよく理解できるようにしたためである。図2(A)のh部が作動液面高さを示している。図3は油拡散ポンプの作動液量0cc、30cc、60cc、80cc、100ccのときの放射線吸収曲線を同一チャートに記録した結果であるが、作動液量によってh寸法が明らかに異なっていることがわかる。図4は10台の油拡散ポンプについて同様の測定を繰り返して、h寸法を測定して作動液量との関係をプロットしたもので、計算値もプロットしたが、実測値のほうがやや低目に出た。これは油拡散ポンプに入れた作動液の一部がポンプジェットや筒内に付着したり、採量したメスシリンダ内に付着して残ったために生じた誤差であると思われる。

以上の検討結果から、実際に使用している排気装置に装備した油拡散ポンプの作動液量を非破壊で測定する場合は、あらかじめ図4の関係を求めておき（検量線にする）、h寸法に対応した作動液量を求めるようにすればよい。図5が実用中の排気装置40台の油拡散ポンプ作動液量の測定結果である。図5より、放射線形自動油量測定機による測定値(X)と解体後のメスシリンダによる測定値(Y)の間には危険率1%以下、相関係数0.976で高度に相関がある。最小2乗法で求めた回帰線は $y = 0.94x$ であるが、実際にはポンプ内径寸法の変動なども測定誤差に入るため、測定結果には±5cc程度の誤差を考慮する必要がある。

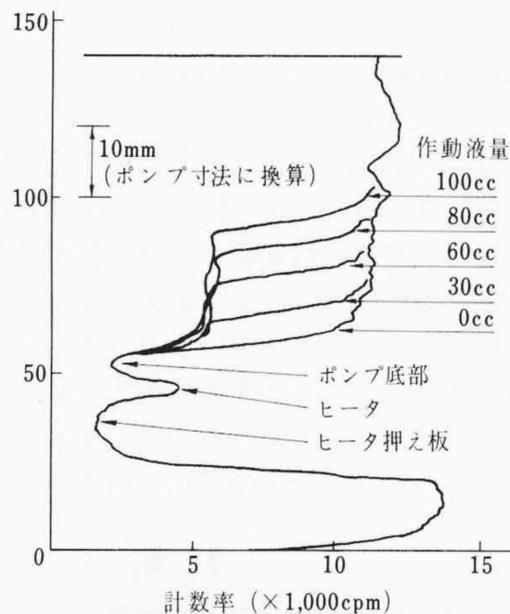


図3 作動液量の異なる油拡散ポンプの放射線吸収曲線

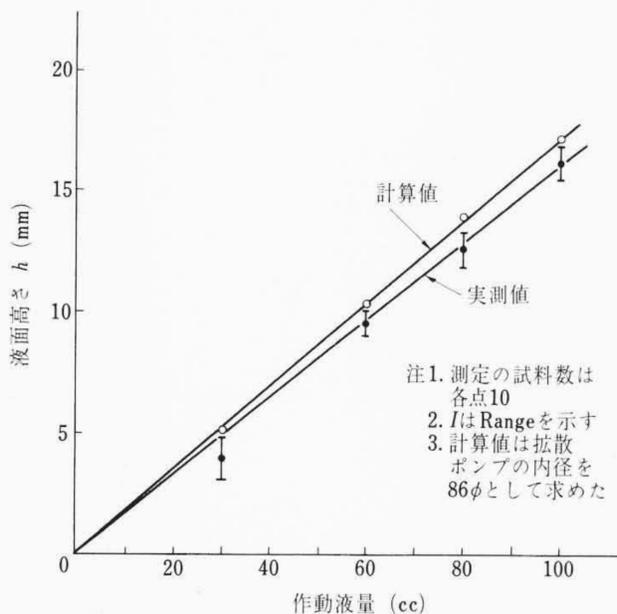


図4 作動液量と液面高さの関係

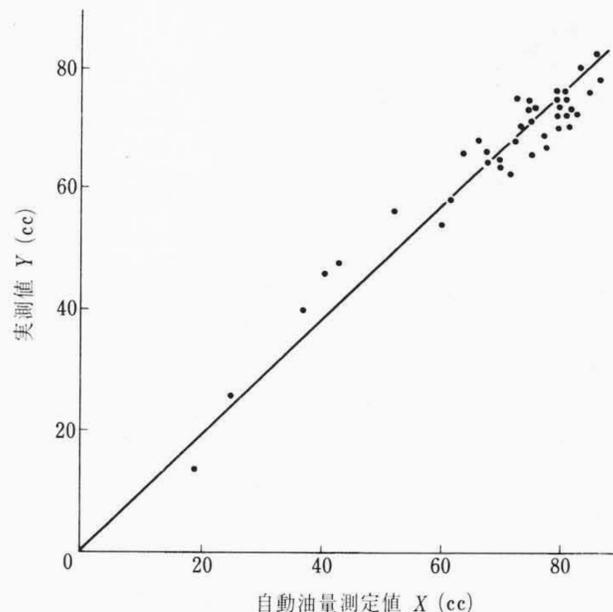


図5 排気装置の油拡散ポンプ作動液量の測定結果(N=40台)

#### 4. 排気装置改善への応用

前節で、実用中の排気装置の油拡散ポンプ作動液の液量を放射線形自動油量測定機で測定して、実際の解体による作動液量の測定結果とよい相関があり、 $\pm 5\text{cc}$ 程度の誤差で測定できることを述べたが、この放射線形自動油量測定機を排気装置の改善、特に排気装置に装備した油拡散ポンプの作動液の増減不良対策に応用した結果について述べる。

排気装置の油拡散ポンプの作動液が増加したり、減少したりすると排気装置の真空度特性が著しく低下して、陰極線管の性能がそこなわれやすくなる。そこで、まず排気装置の故障を次のとおり定義して故障のメカニズムを調べることにした。すなわち、

- (1) 油拡散ポンプの作動液量が $90\text{cc}$ 以上に増加した場合（油拡散ポンプの背圧側に使用している油回転ポンプの作動液が油拡散ポンプ内に逆流したもの）
- (2) 油拡散ポンプの作動液量が規定量（ $80\text{cc}$ ）に対して $50\text{cc}$ 以下に減少した場合（油拡散ポンプ作動液の背圧側への流出または被排気系への逆流によるもの。油拡散ポンプの作動液量は $30\sim 50\text{cc}$ でも十分高真空は得られるが、ここでは一応、 $50\text{cc}$ をエンドポイントとした）。
- (3) 排気装置の真空度が規格値より悪い場合

このように定義して、A排気炉から16台サンプリングした排気装置を解体することなく、5日ごとに作動液量を測定（追跡調査2ヶ月目からは10日ごと、ただし排気不良が発生したときはその都度）して前記定義の故障が発生するまで1年間追跡調査した。その結果、排気装置の故障は、シェープパラメータ $m=1$ 、平均故障間隔 $\text{MTBF}=220$ 日の偶発故障である<sup>(6)</sup>ことがわかった。図6がその結果である。さらに、この偶発故障の原因を一つ一つ対策して、その後A排気炉の排気装置160台について故障を調べたところ、シェープパラメータ $m=1$ 、平均故障間隔 $\text{MTBF}=500$ 日に改善することができた（図6②の曲線）。故障は主として油拡散ポンプの作動液が $50\text{cc}$ 以下になる作動液の減少不良で、これはたとえば微小ステムクラックやフリットリークした陰極線管を排気したときに発生しやすく、特に排気装置のマニホールドの圧力が $0.5\sim 5\text{Torr}$ 程度になるようなバルブを排気すると急激に作動液の背圧側への流出が起こることが実験的に確かめられた。

#### 5. 結 言

陰極線管の排気装置の信頼性向上を図るため、油拡散ポンプ作動液量の非破壊試験を行なう目的でイリジウム $192$  ( $100\mu\text{c}$ 以下)を使用した放射線形自動油量測定機を製作した。本測定機は、水平透過形液面計を応用したもので、安全性の高い能率のよいこと

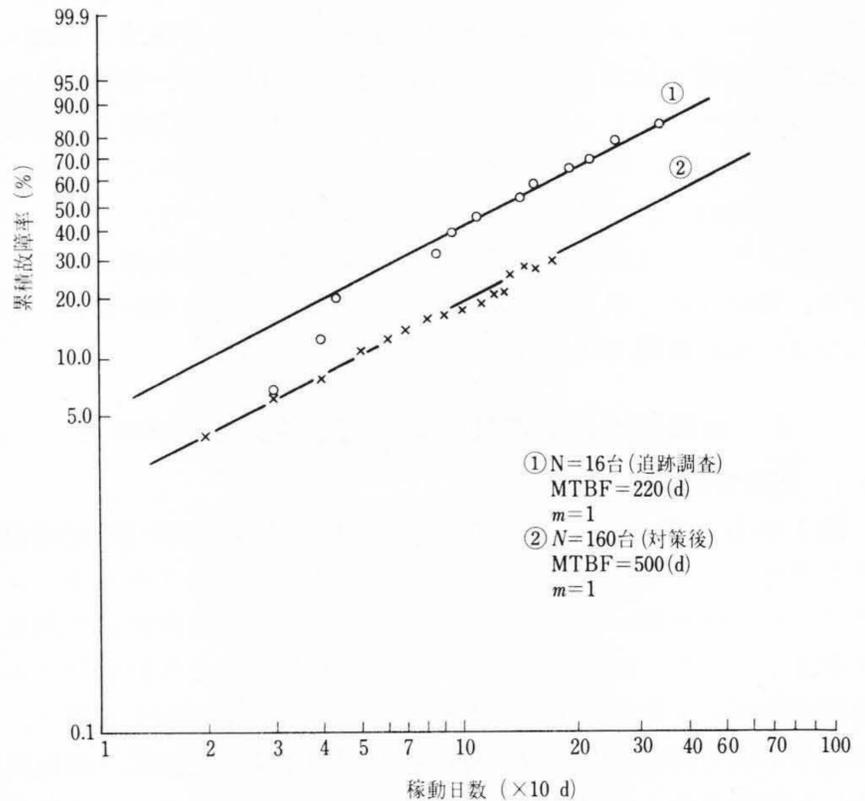


図6 排気装置の寿命

を目ざし、ワンタッチで線源の放射窓位置への飛び出し、線源・検出器一体ヘッドの上方へのスキャンニングと放射線吸収曲線の自動記録、停止、線源の鉛ブロックへの収納ができるようにした。実用中の排気装置の油拡散ポンプ作動液量の測定が $\pm 5\text{cc}$ 程度の誤差で可能になった。さらに、本測定機を排気装置の改善、特に油拡散ポンプ作動液の増減事故対策に応用した結果、排気装置の故障は、改善前のシェープパラメータ $m=1$ 、平均故障間隔 $\text{MTBF}=220$ 日の偶発故障（作動液減少が主）から改善後の $m=1$ 、 $\text{MTBF}=500$ 日に延長することができた。

最後に本測定機の製作にご尽力いただいた東京原子力産業研究所繁田課長に深謝する。

#### 参 考 文 献

- (1) 化学の領域委員会：アイソトープ実験技術（第3集）（1957）
- (2) 木内，鷺見：計測 9,6.（1959）
- (3) 日本放射性同位元素協会：ラジオアイソトープ講義と実習（昭32-2）
- (4) 鷺見：日立評論 42, 1333~1338（昭35-12）
- (5) 鷺見，諏訪：計測 7,7.（1957）
- (6) 富士通編：信頼性の理論と実際