

ドライシール

Dry Seal

化工機事業部 製品開発室

榎本 正
Tadashi Enomoto
小南 達也
Tatsuya Kominami

A variety of mechanical seals and gland packings are used for the agitator shaft closures of reactors mainly in accordance with the pressure conditions. This paper describes the features of Dry-Seal, one of the seals which are used for lower pressure conditions, and reports the test results on the sealing characteristics of Dry-Seal.

当社反応機の攪拌機の軸封装置には、主として圧力条件に応じて、種々のメカニカルシールおよびグランドシールが使用される。ここでは、比較的低い圧力条件で使用される軸封装置の中で、ドライシールの特長を紹介し、また、ドライシールの諸性能に関して実験を行った中から、主として軸封性能についての実験結果を紹介する。

1. まえがき

当社が取扱う反応機の使用圧力は、真空から 100kg/cm^2 を越える高圧力におよび、各圧力条件に応じて経済的かつ最適の軸封装置を選択する必要がある。このニーズに応えるべく、また信頼性の高い軸封装置を使用願うため、日々研究を続けている。

最近の医薬品およびファインケミカル関係には、ドライシールが用いられることが多い。これは、反応機内容物への異物の混入が嫌われ、従来のグランドシールではグランドパッキンの摩耗粉の缶内混入が避けられず、また、ダブルメカニカルシールにおいても、万が一の事故発生時にシラントが缶内に流入する危険性を有することによる。

ドライシールはシラントを使用せず、摩耗粉が少ないため、このような反応機内への異物混入が嫌われる場合には、現在のところ最適の軸封装置であるといえる。

テストに使用したシールは液体用の一段型メカニカルシールである。したがって、本来は無潤滑状態、すなわち、ドライタッチで使用されるものではない。

しかし、テフロン-アルミナソリッドの摺動材の組合せの摺動特性が良好であるため、反応機の軸封装置としてドライタッチで使用されるようになった。

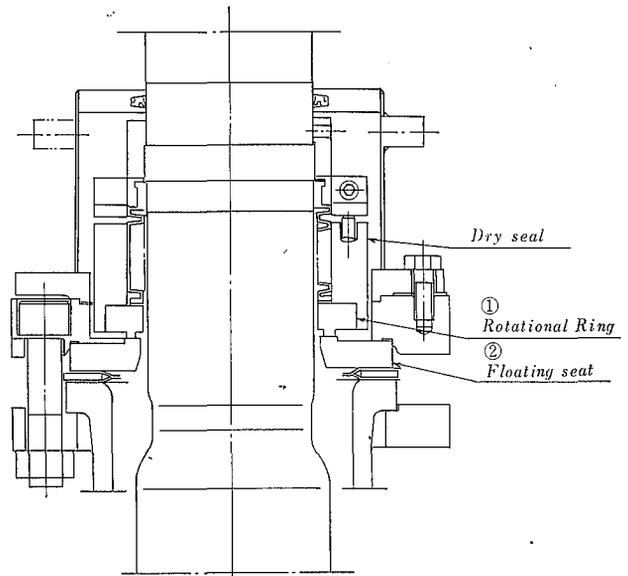
しかし、このような条件での運転に対する技術的バックデータは十分とはいえず、したがって当社はドライシールの使用条件をマイルドな条件におさえてきた。

ここに、ドライシールの諸性能について種々の実験を行ったので、その一部を紹介するとともに、この種のシールについて正しいご理解を願うため、その特長についても説明する。

2. ドライシールの適用範囲

第1図にドライシールを示す。主要部の材質は下記のとおりである。

- 1) 回転環 (符号①) : カーボン入りテフロン
- 2) フローティングシート (符号②) : アルミナ



第1図 ドライシール

Fig. 1 Dry seal

4章に示すドライシールの性能試験結果を参考にして、適用範囲を以下のとおり決めた。

- 1) 使用圧力 真空 $\sim 1\text{kg/cm}^2$ 注) 1
- 2) 使用温度 $-40\sim 175^\circ\text{C}$ 注) 2
- 3) 使用回転数 最高 400rpm 注) 3

注) 1 主として、洩れ量を基準にして決定した。

注) 2 ここに示す温度は缶体内容物の温度であり、缶体内容物からの熱伝導を考慮して決定した。したがって、反応機の大きさにより検討を要する。

注) 3 缶内が常温以上の温度条件における最高使用回転数であり、摺動発熱量を考慮して決定した。使用温度が高い場合はそれに応じて最高使用回転数も低くする必要がある。

3. ドライシールの特長

ドライシールの長所として、下記2項目を挙げることができる。

- 1) 摩耗粉の発生が少ない。
- 2) シラントを使用しない。

しかし、構造的な宿命として

- 1) 反応機内気体の洩れは若干生じる。
- 2) 運転時に、“鳴き”が発生する場合がある。

ドライシールはスプリングの反力を利用して回転環およびフローティングシートの摺動面を密着させて、缶内圧力気体を密封する構造である。摺動面に液体潤滑膜が形成されないため、摺動面を通しての洩れを完全に防止することは難しい。液体用メカニカルシールの洩れ量は、JISで $3\text{ cm}^3/\text{h}$ 以下と規定されているが、ドライシールの場合のようなガス体については規定がない。

また、運転時に発生する“鳴き”の問題については、その解決方法を含めて後述する。

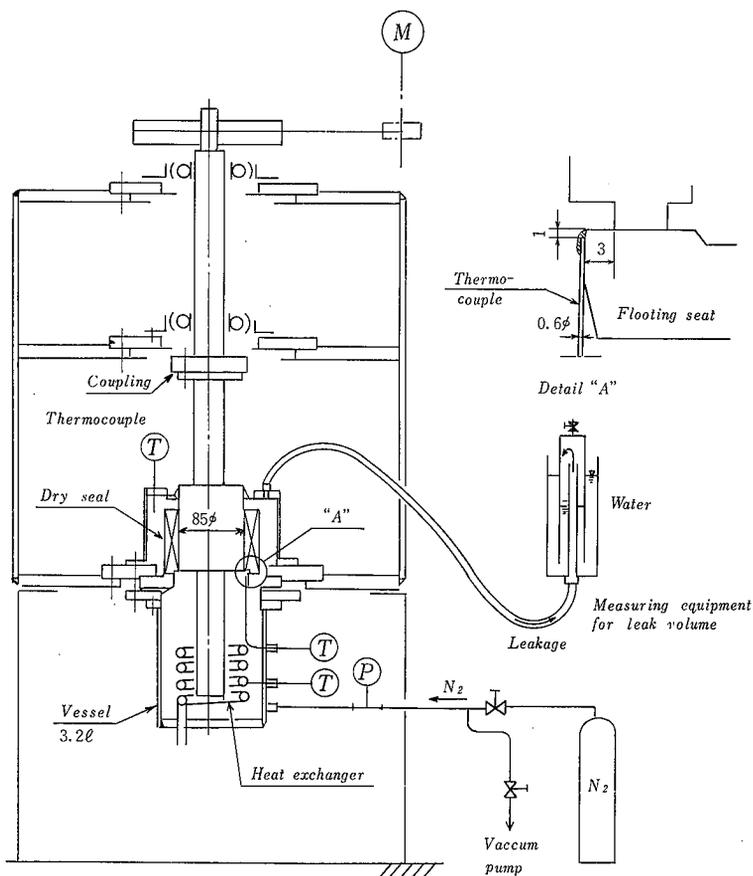
4. ドライシールの性能試験結果

ドライシールの諸性能を明らかにするため、第2図に示す試験装置を用いて試験を行った。

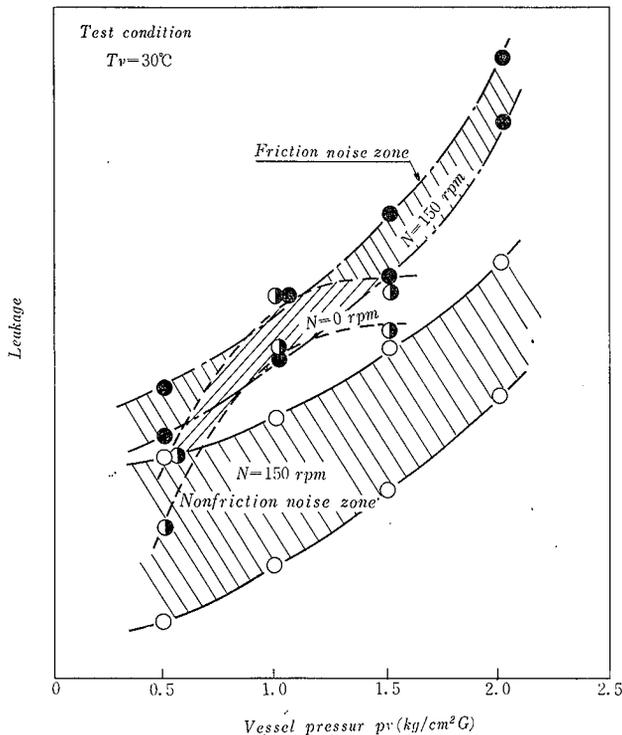
- 1) 供試材：85φドライシール
- 2) 缶体側圧力： $P_v=0.5, 1.0, 1.5, 2.0\text{ kg/cm}^2$ および5 Torr
- 3) 軸回転数： $N=0, 60, 150, 230\text{ rpm}$
- 4) 缶体内温度： $T_v=-60, 30, 150^\circ\text{C}$
- 5) 運転時間：計3000 h

缶体内の加圧には N_2 ガスを使用した。洩れた N_2 ガスを図示の洩れ量測定装置に導き、大気圧状態の体積を測定した。また、缶体側真空状態における洩れ量の測定は、真空ポンプを用いて設定した真空度の変化を、水銀マンオメータを用いて読み取る方法を用いた。

また、フローティングシートの摺動面近傍に熱電対を接着し、温度を測定した。



第2図 試験装置
Fig. 2 Test equipment



第3図 缶体内圧力と洩れ量の関係
Fig. 3 Effect of vessel pressure on leakage

4. 1 ドライシールの洩れ量

第3図に、軸回転数 $N=150\text{ rpm}$ 、缶体内温度 $T_v=30^\circ\text{C}$ における、缶体内圧力に対する洩れ量の傾向を示した。

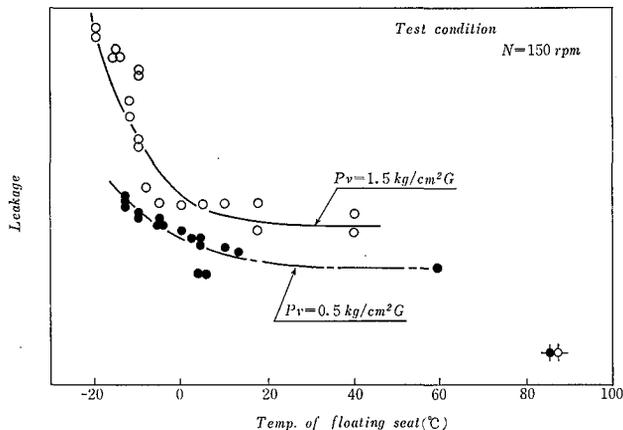
なお、試験開始時と3000時間経過後における洩れ量はほとんど変化なかった。

テスト結果、

- 1) 缶体側圧力が増加すれば洩れ量は増加する。
- 2) 実験の範囲内の圧力では、軸回転時より静止時の方が洩れ量は多い。これは、回転環テフロン表面のミクロのあざさが、回転時の摺動熱により平坦になり、摺動端面の隙間が小さくなるためと思われる。
- 3) 摺動部に“鳴き”が発生した場合には、正常時に比べ、数倍の洩れ量となる。

洩れ量に影響を与えるパラメーターは上記缶体圧力に加えて、温度が挙げられる。したがって、実機での許容洩れ量の決定に際しては使用温度も考慮する必要がある。この点については次節で述べる。

また、洩れの許容値は内容物の危険性に応じてその都度ユーザー殿との打合せが必要と考えている。



第4図 シート温度と洩れ量の関係
Fig. 4 Effect of floating seat temp. on leakage

4. 2 洩れ量に対する温度の影響

前節で述べたように、洩れ量は摺動部温度により大きく影響を受ける。一般に、メカニカルシールの温度仕様は反応機内容物の温度で打合せが行われるが、メカニカルシールの洩れ特性を左右する摺動部の温度と反応機内容物の温度は異なる。摺動部の温度に影響を与えるパラメータは下記のようになる。

- 1) 反応機内容物温度
- 2) 反応機の大きさ (内容物液面からメカニカルシールまでの距離)
- 3) 軸回転数

本節では、紙面の関係上、摺動部の温度と洩れ量の関係に限定して述べる。第4図にその結果を示した。

なお、摺動部の温度を直接測定することができないため第2図に示すように、摺動部のごく近傍で、熱電対を用いてフローティングシートの温度を測定し、これを摺動部の温度とした。

フローティングシートの温度が0°C以下になると洩れが急増することがわかる。その理由を以下のように推定する。

- 1) 摺動面部および近傍で大気中および缶内の水分が凍結し、摺動部の隙間が増大する。
- 2) また、水分の凍結によりテフロン製回転環の摺動面の摩擦が進行し、面が荒れる。

以上の結果から、ドライシールを0°C以下の低温域で使用する場合には、注意を要することがわかる。

また第4図において、シート温度85°Cのデータ(●、○)は実験缶体内にマシンオイルを入れ、オイル部を加熱して行った場合である。洩れ量は非常に少ないことがわかる。

これは、実験缶体内のオイルのベーパーがドライシールの密封端面である摺動部に付着、凝縮しオイル潤滑に近い状態となるために洩れが少なくなったと考えられる。実機においても、高温での使用時には内容物のベーパーの影響により同様の現象を示し、常温使用に比べ洩れは少ないものと思われる。

温度の影響をまとめると、0°C以下の低温使用では、洩れおよびシール寿命の点で注意を要する。なお、シール寿命については4.5節でのべる。

4. 3 摺動部からの“鳴き”の発生

ドライシールは、シーラントを使用しない乾燥摩擦状態

で使用するため、時としてキーキーという耳ざわりな“鳴き”が発生する場合がある。

この現象は、数十分～数時間発生しては消える。この音は比較的高い周波数であるため、耳ざわりであるだけでなく、第3図にも示したように、洩れが急増するため好ましくない。“鳴き”の現象については、以下の事がいえる。

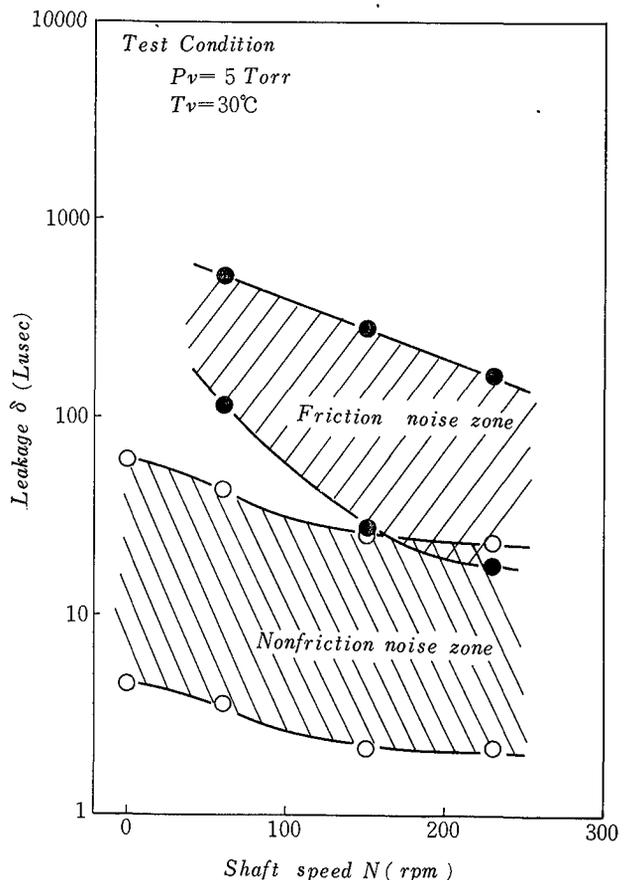
- 1) シールの組立精度(直角度)が悪い場合に音の発生割合が多い。
- 2) 摺動部にエタノールあるいは水等を少量滴下すれば音は瞬時に消える。
- 3) 高温運転(缶内容物は150°Cのマシンオイル)時には合計2400時間の運転中において、“鳴き”は全く発生しなかった。

当社では、“鳴き”消去機構(実用新案申請中)を準備している。“鳴き”が発生した場合には、弁を開いて少量の液体を注入すれば、摺動部がウェットな状態となり“鳴き”が消える。使用に際して、缶体側圧力が大気圧以上であれば使用液が缶内へ流入する心配は全くないが、缶内真空時には若干の流入の可能性があるため、使用液の選定には注意を要する。

4. 4 真空洩れ量

缶体が真空時の洩れ量を測定した。真空ポンプを用いて缶体内圧力をPv=5 Torrに設定しておき、その圧力変化を水銀マンオメータで読み取った。

第5図に、洩れ量に対する軸回転数の影響を示した。なお、洩れ量は次式に示す単位で表示した。



第5図 回転数と真空洩れ量の関係
Fig. 5 Effect of shaft speed on vacuum leak

$$\delta = \frac{x \times V \times 10^3}{t}$$

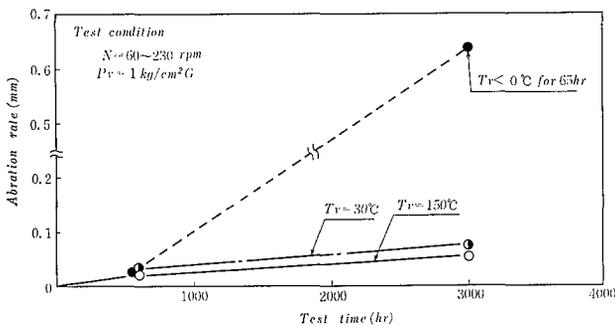
δ : 真空洩れ量 Lusec
 x : 真空計の指示変化 mmHg
 V : テスト缶体の容量 ℓ
 t : 測定時間 sec

第5図より、真空洩れは比較的小さく、実使用に耐えることがわかる。今回の実験範囲では、軸回転数の影響はあまり認められない。しかし、軸停止時の方が軸回転時より洩れが多いという傾向は、加圧時のデータの傾向と同じである。さらに、真空試験においても4.3節で説明した“鳴き”が発生する場合があります、第3図、洩れ量と圧力の関係で示したと同様、“鳴き”発生時は発生しない場合より洩れが多くなる。

4.5 シール寿命

シール寿命を算定するため、供試材である回転環（カーボン入りテフロン）の摩耗量を測定した。試験開始後600時間経過時、およびその後再組立し2400時間運転、合計3000時間運転時に、回転環の摩耗量を測定した。なお、フローティングシート（アルミナ）はほとんど摩耗せず、寿命の算定は回転環の摩耗量で推定できる。

第6図にその結果を示す。缶体温度が30°C、および150°Cでの実験では、3000時間運転に供しても、摩耗量は約0.075mmであり、この値からシール寿命を推定すると以下ようになる。ただし、摩耗限度を1mmと仮定する。



第6図 回転環（カーボン入りテフロン）の摩耗量
 Fig. 6 Abrasion rate of rotational ring. (Carbon filled PTFE)

計算寿命 = 3000時間 × 1mm / 0.075mm = 40000時間

ただし、試験条件が連続運転に近い場合、実機でのバッチ運転においては、今回のデータより摩耗量が多いと予想されるが、一年間の保証には十分耐えうると考えられる。

しかし、実機においては下記項目に注意し判断する必要がある。

- 1) シート部の温度が 0°C 以下になれば、摺動面近傍の水分が凍結し、摩耗が急激に進行する。
- 2) 摺動部に結晶物が生成するような場合は、同様にかじりがあり摩耗が早いことが予想される。

5. むすび

以上、最近医薬品関係、ファインケミカル関係での使用が増えているドライシールの性能試験結果の中から、洩れ特性を中心に紹介した。効率良く多量のテストデータを得るため、最多時5台のドライシールを同時運転し、データ

の信頼性を向上させるよう努めた。したがってドライシールに関して必要な性能データはほぼ取得し、ユーザー各位のご相談に応じられると考えている。

ユーザー各位のご採用計画に参考になれば幸いである。