

クライオロックアジテータ

“Cryo-lock” Agitator

化工機事業部 製品開発室
山崎 忠成
Tadashige Yamasaki
化工機事業部 技術部 設計企画課
松原 喜一
Kiichi Matsubara
神鋼フアウドラ・サービス株式会社
桑原 晴彦
Haruhiko Kuwabara

The “Cryo-lock” agitator has been developed to make it possible to remove the impeller from the shaft. Therefore, the impeller can be assembled to the shaft inside the vessel by means of its unique “shrink fit joint”, although the shaft and impeller used to be of one-piece construction for glasslined vessels.

This report describes the features, assembly and disassembly procedures of the cryo-lock agitator and torque capacity of cryo-lock joints, etc.

グラスチール製攪拌機において、従来一体構造であった攪拌軸と攪拌翼を「冷しばめ」で結合することによって、両者は分離可能な構造となり、缶内で攪拌翼のみの組立分解が行なえるクライオロックアジテータを開発した。

本稿では、クライオロックアジテータの特長、組立分解、結合力等について説明する。

まえがき

グラスチールは、ガラスと鋼（スチール）の複合材料として“はば広い耐食性”，“非付着性”，“不活性”，“洗浄性”，“電気絶縁性”などですぐれた特性を持っているが、その材料の特殊性ゆえに用途が限定されていた。

当社では、急速に展開するユーザ・ニーズの多様化に対応するため、材料による制約条件を少しでも取除き、グラスライニングの用途拡大をはかるべく、日々研究を続けている。

従来グラスチール攪拌機の攪拌軸と攪拌翼は、一体構造でしか製作できなかったが、クライオロックアジテータの開発によりグラスチールにおいても金属材料の攪拌機と同様に、攪拌軸と攪拌翼を分離できる構造とすることができた。（写真1）また、クライオロックアジテータは、全面ガラスで被覆された部品同士を「冷しばめ」によって、機械的に強固に結合させる新しい接合技術としても評価することができると考えている。

1. クライオロックの特長

1.1 缶内で組立・分離が可能

クライオロックアジテータは、缶内で攪拌翼の取り付け取り外しができ、第1図に示すように攪拌翼は、マンホールから出し入れすることができる。それゆえ、軸封、減速機などの伝動装置部を取り外すことなく“容易”に攪拌翼の交換ができる。このことにより次の利点を挙げることができる。

1) 1台のグラスチール攪拌機で数種の攪拌翼を準備しておき、内容物等により攪拌翼を取り換えることによって、より最適な攪拌を行なうことができる。

2) また、万一攪拌翼または攪拌軸が損傷した場合は、攪拌翼か、攪拌軸のどちらか一方のみの交換ですむ。

1) については、従来のグラスチール製攪拌機でも対応

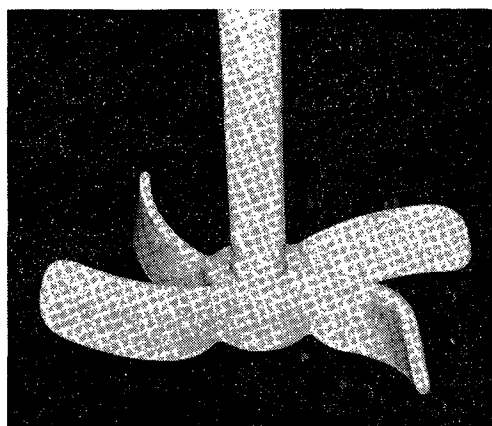
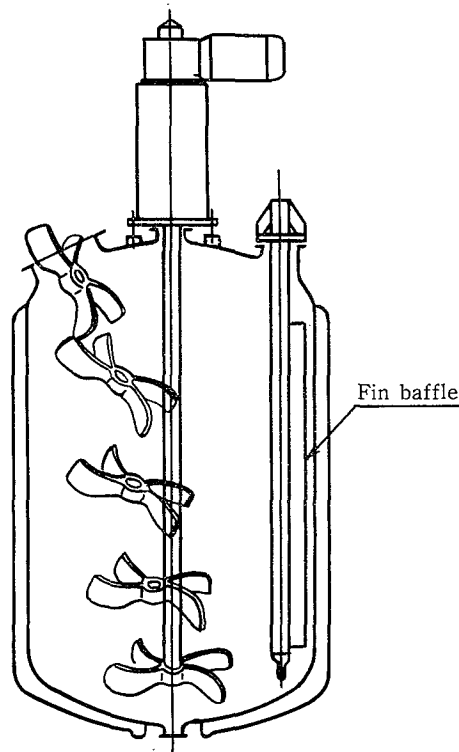
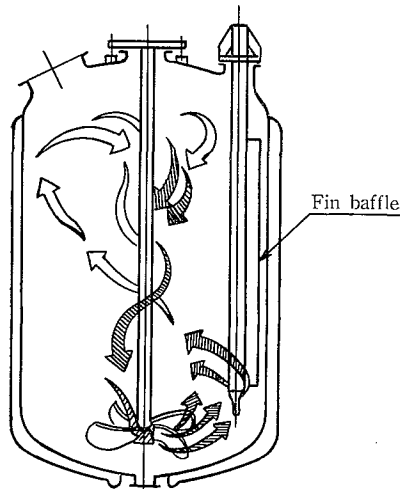


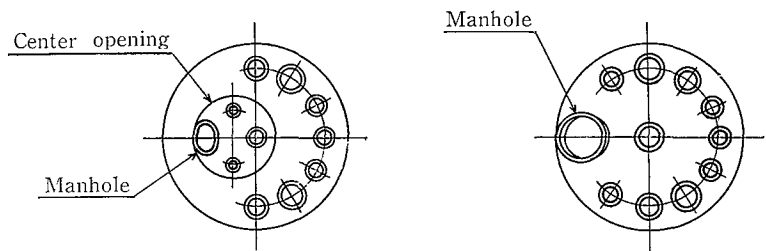
写真1 クライオロックアジテータ
Photo.1 Cryo-lock agitator



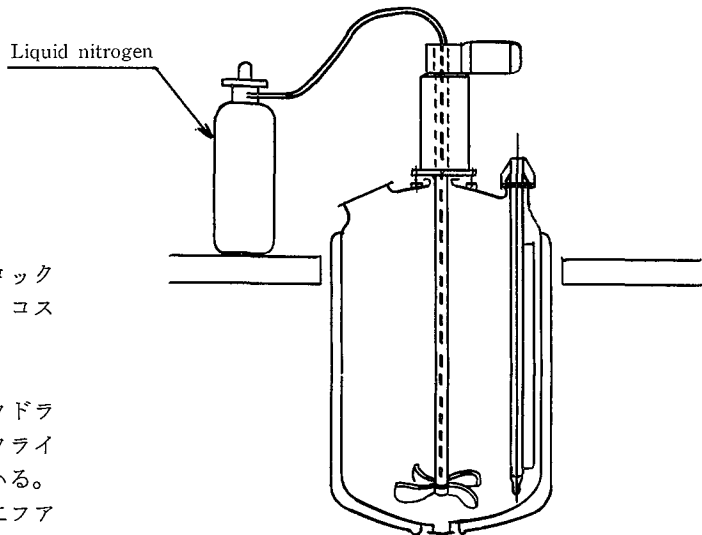
第1図 クライオロック攪拌翼の組立
Fig.1 The cryo-lock agitator assembly



第2図 クライオロックアジテータのフローパターン
Fig. 2 Flow pattern by cryo-lock agitator



第3図 小さい攪拌口と大きなマンホール
Fig. 3 Smaller agitator opening and larger manhole



第4図 攪拌軸に液体窒素を送入
Fig. 4 Liquid nitrogen fed into hollow shaft

せようと思えばできないことはないが、クライオロックは、上記1)、2)共に攪拌翼の交換に要する時間、コストを大幅に減少させることができる。

2 強力な攪拌が可能

当社のグラスチール製攪拌翼の大半を占めるファウドラ-翼は、翼断面がオーバル形3枚後退翼であるが、クライオロックアジテータは平板4枚後退翼を標準としている。このクライオロックアジテータは、次に示すようにファウドラ-翼より、より強力な攪拌を行なうことができる。例として3000ℓ攪拌機で攪拌動力を測定した結果より、攪拌動力数 N_p によって比較すると、

ファウドラ-翼 $N_p=0.2$
(但し、 $d/D=0.73$, $b/d=0.09$)

クライオロックアジテータ $N_p=1.1$
(但し、 $d/D=0.49$, $b/d=0.19$)

ここで、 d :翼スパン b :翼幅 D :槽径となる。但し、回転数(100R/M)、液深($H/D=1.25$)、バブル条件(フィンバブル1本)は同条件である。 N_p 値は槽と翼寸法比、即ち、 d/D , b/d 等によって異なるが、標準寸法にあっては、クライオロックアジテータの N_p 値は、ファウドラ-翼の N_p 値の約5倍である。攪拌動力係数 N_p 値の大小のみによって攪拌翼特性を比較することはできないが、クライオロックアジテータ、ファウドラ-翼は共に同じ後退翼で、吐出剪断型翼といえるので、クライオロックアジテータは、ファウドラ-翼より剪断作用が強く、かつ吐出流量を多く必要とする攪拌系——例えば、ガス分散、乳化重合、懸濁重合等——に最適であると多えられる。第2図にクライオロックアジテータとフィンバブルとの組合せによるフローパターンを示す。

従来の攪拌翼では、焼成条件等により翼形状において多くの制約条件があった。しかし、クライオロックアジテータの攪拌翼では、多様な形状の攪拌翼の製作が可能になるため、ステンレス製攪拌機で蓄積してきた攪拌翼ノウハウをグラスチール製攪拌機にも応用することが可能である。

3 大きなマンホール、多数のノズル取付けが可能

クライオロックアジテータでは、従来一体構造の攪拌

翼、軸の出し入れに必要な、大きなセンターオープニングが不要となるので、上鏡のスペースが広がるため第3図に示すようにマンホールのサイズを大きくすることができ、また、配管用ノズル数を増やすことができる。

1.4 高耐食性

クライオロックは、攪拌軸、攪拌翼とも「冷しばめ」部を含めて全面に、今回当社で開発された高耐食性グラスチール#8100がライニングされているので、従来のグラスチールライニングに増して厳しい腐食環境でも使用できる。

以上がクライオロックの特長であるが、そのグラスチールライニングとしての機械的強度、熱的性質(耐熱性、耐熱衝撃性)などは従来のグラスチール機器と全く同等である。

2. クライオロックの分解・組立

クライオロックの主な特長は、缶内で攪拌翼の組立、分解が可能なことであり、更なるその作業が短時間でしかも簡単に施行することができることも大きな利点である。

次に、缶体にセットされた攪拌軸から攪拌翼の取外し(分解)及び、取付け(組立)の手順を示す。

2.1 分解

- 1) 第4図に示すように減速機の中空軸にパイプを攪拌軸の先端まで挿入し、液体窒素を送入する。
- 2) 液体窒素によって攪拌軸は収縮し攪拌軸と翼ボスの接合部がゆるんでくる。
- 3) 攪拌翼が攪拌軸からすべり、缶底のクッション材に落下する。

4) 攪拌翼をマンホールから取り出す。

2.2 組立

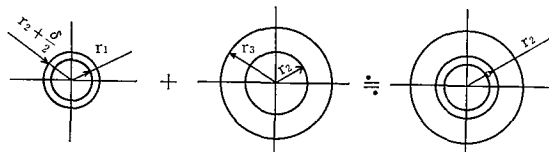
- 1) 新しい攪拌翼をマンホールから入れ、缶底におかれたタイヤチューブの上におろす。
- 2) 攪拌翼を攪拌軸の真下にセットし、攪拌軸に結露防止等の養生を行なう。
- 3) 再び液体窒素を送入後、5分位で攪拌翼ボスが挿入できる軸径まで攪拌軸が収縮する。
- 4) 液体窒素の送入を止め養生を取り外す。
- 5) タイヤチューブに空気を送入すると、膨らんだタイヤチューブが攪拌翼を持ち上げる。
- 6) 攪拌翼を攪拌軸にセットしてその状態を保持する。
- 7) 攪拌軸内の液体窒素が蒸発し、攪拌軸が元の寸法に戻ると攪拌翼はしっかりと固定される。

組立に要する時間は約1時間であるが、上記3～7までは約15分位で終了する。このように容易に攪拌翼の組立、分解ができ、しかも缶内での作業に金属工具を使用する必要がないので、グラスライニング部への損傷の可能性を最小にしている。

3. クライオロックアジテータの接合部の圧縮力と結合力

クライオロックアジテータにおいて攪拌軸と攪拌翼とを冷しばめで結合する時、接合部に発生する圧縮力と結合力について述べる。

いま、外半径 r_2 、内半径が r_1 である軸に 外半径が r_3 であるボスをしまりばめ代 δ で冷しばめ時に P_m なる冷しばめ圧力が生じるとする。攪拌軸、ボスのガラス部も鋼と仮定しヤング率を E とすると



$$\delta = \frac{2}{E} \left(\frac{r_2^2 + r_2^2}{r_3^2 - r_2^2} + \frac{r_2^2 + r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \right) P_m r_2$$

が成立する。 r_1 、 r_2 、 r_3 及び E が一定とすると $P_m \propto \delta$

となり、圧力 P_m はしまりばめ代 δ に比例する。ゆえに冷しばめ時において、接合部のガラスに発生する応力値は、攪拌軸外径と攪拌翼ボス内径のしまり代 δ を一定範囲内にとどめていれば一定値(許容値)を越えることはない。

従って、攪拌軸外径と攪拌翼ボス内径のガラス面寸法を一定公差範囲内に仕上げる必要がある。

当社では、ガラス面に外径、内径のホーニング加工を行なうことによって寸法精度を向上させ表面を滑らかにしているので、接合時の応力によるガラス破損の心配はない。また、ボス部を厚肉円筒とすることにより、ボス外面のガラスに生じる引張力をも小さくしている。

攪拌トルクによって、攪拌軸と翼ボス接合部で、すべりが生じるかどうかは接合部の結合力から判断できる。その結合力は、軸外面のガラスとボス内面のガラスの摩擦力 F から成り立っている。摩擦力 F は、ガラス面に生じているしまりばめ圧力 P_m をガラス同士の摩擦係数 μ 、接合部面積 S により

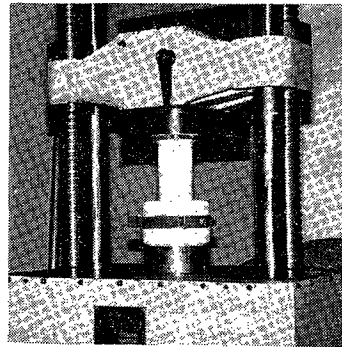
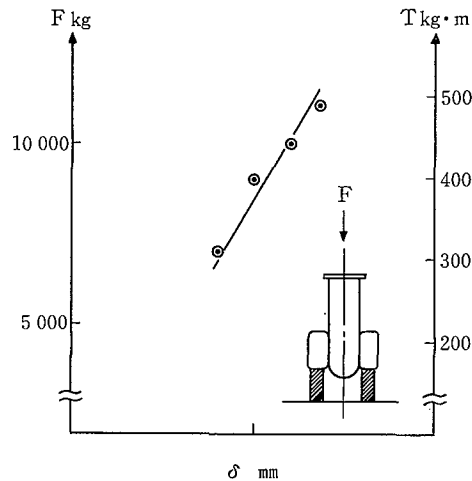


写真2 結合力テスト
Photo.2 Amsler type universal tester for frictional force



第5図 冷しばめに対する摩擦力と結合トルク
Fig. 5 Interference vs Frictional force and Frictional torque

$$F = \mu P_m S$$

と表わせる。

接合部の摩擦力 F は、写真2に示すようにアムスラー型万能試験機に攪拌翼ボスを固定させ、攪拌軸に荷重を加え、攪拌軸とボスにすべりが生じた時の荷重を測定することにより求めた。

第5図に冷しばめ δ に対する摩擦力 F をプロットした結果を示す。

攪拌トルク T は、 $T = 2r_2 F$

となる。

第5図右側の座標軸は攪拌トルクを示す。

第5図より、攪拌軸と翼ボスの結合部での伝達トルク $T = 320 \text{ kg}\cdot\text{m}$ は、攪拌軸の最大攪拌トルクの約8倍以上であるが、この結合を保証するためには、しまりばめ代 δ を一定範囲内に仕上げねばならない。このことから前記と同様にガラス面の精密なホーニング加工が必要である。

むすび

以上、従来のグラスチール反応機のイメージより一段と進んだクライオロックアジテータについて概説したが、これは、高度の焼成技術とガラスの機械加工技術とがあいまって初めて開発できたものである。現在、当社ではクライオロックアジテータ適用機種を2000ℓ～10000ℓまで標準化しており、また、アンカー翼のクライオロックをも製作している。今後、ユーザ各位のニーズに対応するためにも、クライオロックアジテータのパリエーションとして種々の攪拌翼形式を提供していきたいと考えている。