

平成13年10月

ARMD テクニカルニュース No. 2
付 録

ARMD プログラムアラカルト No. 2

杉村回転機械研究所 杉村 章二郎
706-8651 岡山市山崎 335-41
e-mail：sugiplan@mb.infoweb.ne.jp

* 前号紹介

今回も前号に引き続き、杉村様にご執筆をお願い致しました。著者紹介につきましては前号をご覧下さい。前号で解説頂いた内容については、その項目を以下にご参考までに列記致します。

1. 軸受け関係プログラム

- | | | |
|--------------------------|------------------|--------------|
| 1-1. 間隙の考え方基本 | 1-2. 偏芯率の考え方 | 1-3. 流量設定 |
| 1-4. out of range の処理の仕方 | 1-5. 0° F output | 1-6. ヒートバランス |
| 1-7. pad 面形状の決め方 | | |

2. 横振動解析プログラム

- | | | |
|-------------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 2-1. stability の考え方 | 2-2. stability map | 2-3. critical map |
| 2-4. unbalance response | 2-5. 振動解析での軸受特性の扱い方 | 2-6. 過渡応答 Time-transient analysis |

今回は、軸受計算について、更に奥深い解説を、また、潤滑油の特に粘度温度特性についても解説頂きました。

* 本文

1. 軸受計算における Mass、Heat Balance について

前報で JOURNAL Module の使用上の注意点について概略説明しましたが、軸受計算で使用している Heat Balance, Mass Balance についてももう少し細かく追記したいと思います。

どうも ARMD プログラムを使っていて、一番問題になりそうなのが軸受計算プログラムのようなのです。非常に機能が豊富でいろいろなことが出来る特徴を持っていますが、その反面使い方を間違えると、なかなか思うように動いてくれない所があります。みなさん苦勞される所ではないかと思えます。理由が分かれば納得できることばかりで、プログラムのせいではなく、使い方に問題があるのですが、理由が分かるまでは、プログラム上何かあるのではないかと、悩むところです。

まず、**Bearing Analysis** の無次元計算をするところについては、あまり問題なく計算は出来るはずですが、無次元とは云いながら、潤滑油粘度を指定して計算しますので、油膜内粘度は全てこの指定粘度で計算されますので、一応有次元もできます。無次元計算の結果の見通しをよくするためと考えておけば良いでしょう。問題はこの無次元情報を用いて有次元計算をする POST の段階で起こります。POST の段階では軸受け内の Heat Balance, Mass Balance が重要な役割を果たします。

つまり、軸受内の各部の油温度と油量には、一定の Heat Balance, Mass Balance の関係がありこれも守らなければ

ならないと云うことが付け加わります。

と云うよりも Heat Balance, Mass Balance がとれないような条件を指定すると、計算はエラーになってしまいます。工学上存在しないような軸受条件をうっかりして指定してしまうことが時々でできます。

1-1. Heat Balance, Mass Balance

Heat Balance, Mass Balance については、manual の補足にありますが、見通しの良い計算式に書き換えて整理すると以下の様になります。

図1 Bearing 模式図を参照下さい。

(1) 給油 Groove でのバランス

$$\text{Mass Balance} \quad Q_s + Q_e = Q_x + Q_{in}$$

$$\text{Heat Balance} \quad Q_s T_s + Q_e T_e = (Q_{in} + Q_x) T_g$$

$$T_g = (Q_s T_s + Q_e T_e) / (Q_s + Q_e)$$

(2) 軸受 Pad 内での Balance

$$\text{Mass Balance} \quad Q_{in} = Q_e + Q_F$$

$$\text{Heat Balance} \quad Q_{in} T_g + PF/H_c = Q_e T_e + Q_F T_F$$

ここで H_c は、軸受油膜内での温度における容積比熱です。

プログラムでは Heat Content として $J/m^3/K$ で出力されています。この比熱は kg 単位ではなく m^3 単位であることにご注意下さい。

(3) 油膜温度の定義

$$TF = (T_g + T_e) / 2$$

以上の条件で軸受計算はなされています。

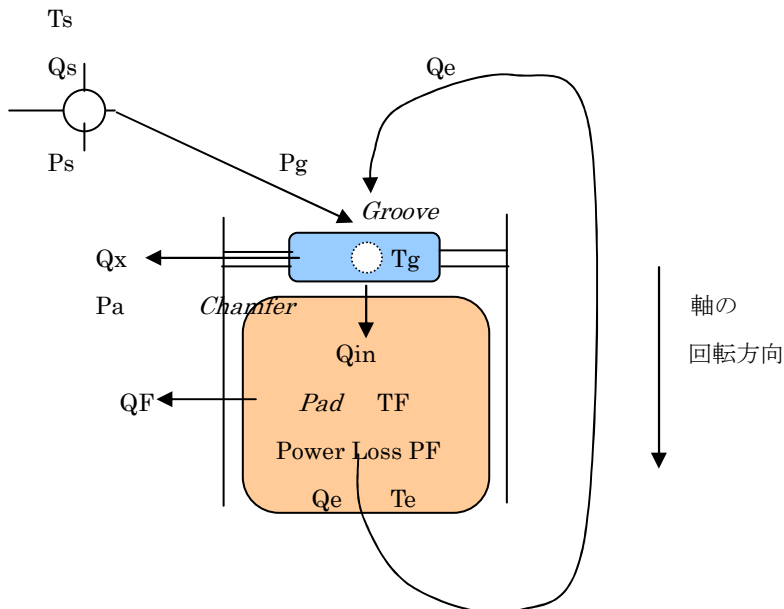


図1 Bearing 模式図

記号説明：

Q_s : 供給油量 Supply Flow

Q_{in} : Pad 入り口油量 Inlet-Flow

Q_F : Pad からの横漏れ油量 Side Leakage

Q_e : Pad 出口油量で次の Pad に入っていくもの Carry Over Flow

Q_x : 過剰油量 Pad に入る前に排出されるもの

T_s : 供給温度 Supply Oil Temperature

T_g : Pad 入口温度 Groove Temperature

TF : 油膜温度 Film Temperature

T_e : Pad 出口温度 Exit Temperature

1-2. Heat Balance の利用

上記の計算は満たしているが、実際問題として軸受としては成立しない場合が出てくるのが経験上あります。それについてお話しします。

軸受内で低温部が発生してしまうことがあります。条件として

$$T_s > T_g$$

となってしまうことです。つまり、給油温度 T_s よりも低い温度が軸受け内で存在してしまうことです。

こうなる条件をいろいろ調べますと、

$$Q_F > Q_{in}$$

の場合に相当します。つまり

$$Q_{in} = Q_e + Q_F$$

ですから

$$Q_e < 0$$

勿論これでは、Carry Over Flow が逆に流れることになって、軸受としては成立しません。(計算上は成り立っています)

通常では、Pad 内に入った油が油膜を形成して、油圧分布を発生させてその結果 Side Leakage が発生するのですが、Side Leakage の方が多くなってしまっているわけです。この条件は、案外簡単に発生してしまいます。1 Pad の真円軸受で油膜厚さの薄い部分から Pad が始まる位置に来たときです。

荷重条件の低い場合には、最小油膜点がほとんど 360° に近い点に来ますので、ここでうっかり Orientation Angle = 0 のままにしておくと、Pad の始まり角度が最小油膜点に近いところに来てしまい、Pad が油膜の薄いところから始まって、 Q_{in} は Pad の始まり部の油膜厚さと周速度で決まりますので、 Q_{in} が少ない量で計算されてしまいます。これを防ぐ方法として、Pad の始まりは、なるべく軸受としては、あまり重要でない位置に持ってくるべきでしょう。つまり軸受として負担の大きい最小油膜厚さの位置ではなく、その反対の方向に持ってくるべきでしょう。この例では、Orientation Angle = 90° 位にしておけば問題なく計算できます。通常 Orientation Angle はあまり気にしない点ですが、本例の場合は重要な役割を果たします。本プログラムを使い始めた頃に、計算は何の error message も出ずに、きちっと出来ているにもかかわらず、 $T_g < T_s$ となってしまうので、理由について思い悩んだ所です。

1-3. 軸受排油温度の計算

ARMD の計算で出力される温度は、

(1) Pad 入口温度 T_g

計算では、Groove Temperature として出力されるものです。

Pad から Carry Over してきた油と新しく給油される新油が Pad に入る前の Groove で混合されて出来る温度です。

(2) 軸受油膜温度 TF

Film Temperature で出力されるものです。

この温度は、ARMD の計算では、Pad 入口温度と Pad 出口油膜温度の平均値が取られます。

(3) Pad 出口油膜温度 T_e

Exit Temperature で出力される油膜出口の温度です。

これらの温度以外に必要なのが軸受内の油が全て集まって排油管から排出される時の軸受排油温度ですが、これは計算されていません。

Mass Balance の関係から

$$Q_s = Q_f + Q_x$$

とも表せますので、軸受に入ってくる油は Q_s が全てですが、

Q_s が Side Leakage の Q_f より小さい場合は、プログラム内では $Q_x = 0$ となって $Q_s = Q_f$ が自動的に取られます。

このとき軸受から出て行くのは Q_f のみとなり、排油温度は T_f に等しくなります。

一方通常の場合は、 Q_s が Side Leakage Q_f よりも多いので、 Q_x が過剰な油として、そのまま排出されるますので、軸受排油管から排出されるのは、 Q_f と Q_x の混合になります。この場合は、別途計算する必要があります。軸受け内部で発生した損失動力が全て油の温度上昇になったとして計算されます。

$$PF = Q_s (T_{out} - T_s) H_c$$

$$T_{out} = T_s + PF / H_c Q_s$$

の式によります。例えば、

$$T_s = 50.0^\circ\text{C}$$

$$T_f = 58.5^\circ\text{C}$$

$$T_e = 61.8^\circ\text{C}$$

$$Q_s = 150 \text{ L/min}$$

$$Q_f = 24.9 \text{ L/min}$$

$$Q_{in} = 144.5 \text{ L/min}$$

$$Q_e = 119.6 \text{ L/min} = Q_{in} - Q_f$$

$$Q_x = 125.1 \text{ L/min} = Q_s - Q_f$$

$$PF = 0.255 \times 10^5 \text{ Watt}$$

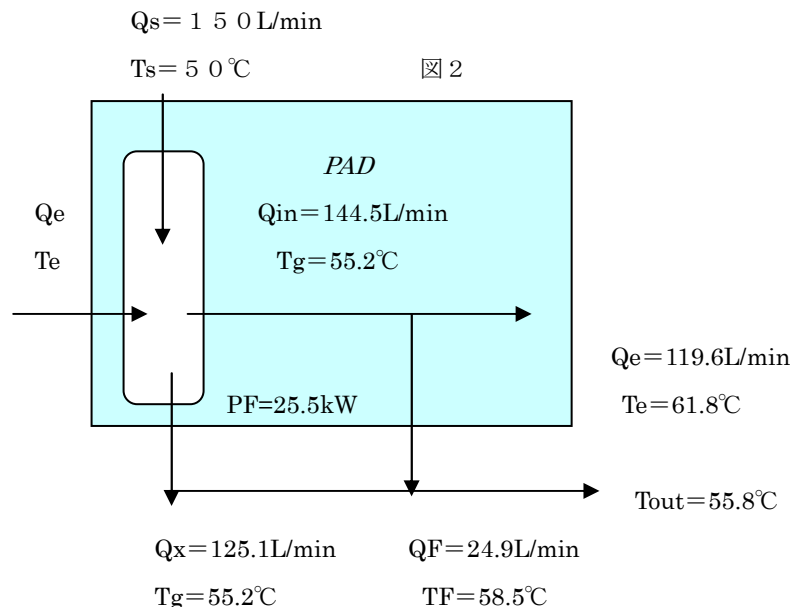
$$H_c = 0.1769 \times 10^7 \text{ J/m}^3/\text{K}$$

の場合

$$T_{out} = 50 + 0.255 \times 10^5 / 0.1769 \times 10^7 / 150 \\ \times 60 \times 1000 = 50 + 5.8 = 55.8^\circ\text{C}$$

となります。

このときの Heat、Mass Balance は図2のようになっています。



2. 軸受計算における潤滑油物性について

軸受計算においては、潤滑油の粘度によって、軸受特性はかなり影響をうけます。また温度により潤滑油粘度は、かなり変わります。油の比重や比熱などの物性値も多少の影響を受けます。

これらの値を入力する必要がありますが、通常は、ISO の粘度番号 VG No. を指定すればプログラムの中で自動的に潤滑油の物性を計算してくれるようになっています。プログラムの中に潤滑油の LIBRARY が用意されていて、その中から選べば良いようになっています。

一方、特別な油を指定入力することもできます。そのときは、

(1) 2 温度点粘度

(2) API-Gravity

の DATA を入力する必要があります。

2 点粘度は、通常の油は、4 0 °C と 1 0 0 °C での粘度がセンチストークスで与えられていることが多いです。この値を入力する事になります。

次に比重を API 度で入力する事になっています。比重によって、潤滑油は比熱が変わりますので、粘度以外に比重の入力が必要になるのです。

$$\text{API 度} = 141.5 / (\text{比重 } 60 / 60^\circ \text{F}) - 131.5$$

で定義されています。

$$\text{比重 } 60 / 60^\circ \text{F} (\rho_{60}) = 0.8 \quad \text{で API 度} = 45.4$$

$$\text{同} \quad \quad \quad = 1.0 \quad \text{で} \quad \text{同} \quad = 10.0$$

となり、比重はそれほど変わらなくても ρ_{60} は数字的にはかなり変わります。

API 度の値が分からなければ、潤滑油の Library から、推定されて入力されても良いかと思います。次の式を使うと便利でしょう。

Library の ISO VG 10 から VG 150 の Typical Viscosity Index で使われている API 度は、

$$\text{API 度} (15.5^\circ \text{C}) = 39.185 \times (\text{VG NO.})^{(-0.0681)}$$

で良い近似が出来ます。

尚、Library で SI 単位では API 度 (15.5 °C) と書いて有りますが、これは、比重 60 / 60 °F を用いた API 度と同じ事です。

これらは、15.5 °C (60 °F) の純水に対する 15.5 °C (60 °F) の潤滑油の比重です。

潤滑油物性は、それぞれのプログラムで、上記の DATA を入力すれば済みますが、潤滑油の温度特性のみ知りたい場合には、VISCOS 計算モジュールが用意されています。

このモジュールは、上記の粘度と比重の DATA を入力して、run すると任意の温度に対する潤滑油物性値を温度グラフで表示できるようになっています。

以上