

# プロセスガス油冷式スクリュ圧縮機における潤滑油粘度推定方法の確立

吉村省二\*・西川世洋\*\*

\*機械本部・開発部 \*\*機械本部・回転機技術部

## Oil Viscosity Estimation Method for Process Gas Oil-flooded Screw Compressors

Shoji Yoshimura・Toshihiro Nishikawa

Heavy hydrocarbons ( $C_mH_n$ ) are usually used to contain process gas. In oil flooded screw compressors, the process gas and lubricating oil are in direct contact with each other in the compression pressure process. Therefore,  $C_mH_n$  offered potential in solving oil and oil viscosity drops. However, for  $C_mH_n$  where  $m \leq 5$ , oil viscosity doesn't recover despite a reduction in pressure. In this paper, the influence of  $C_mH_n$  ( $m \leq 5$ ) on oil viscosity was theoretically and experimentally investigated.

まえがき = プロセスガスを圧縮する油冷式スクリュ圧縮機において、プロセスガス中に炭化水素成分(以下  $C_mH_n$ )が含まれることが多い。油冷式スクリュ圧縮機では圧縮過程で潤滑油とガスが直接接触するため、 $C_mH_n$  が潤滑油に溶け込み、油粘度を低下させ、軸受損傷の原因となる。とくに  $C_5$  ( $m \leq 5$ ) より炭素数の多いガスの場合、一度潤滑油に溶け込むと、減圧しても粘度を回復することができない。そこで、 $m \leq 5$  の  $C_mH_n$  を対象に、潤滑油粘度への影響を理論的、実験的に調査した。

### 1. 潤滑油粘度低下推定式

プロセスガス圧縮機において吸込ガス中に  $C_mH_n$  が含まれる場合の油粘度低下の過程を表した模式図を第1図に示す。ここでは、 $C_mH_n$  は圧縮過程では潤滑油に溶け込まず、圧縮機にて昇圧された後、油回収器内で溶け込むものと仮定する。

- ・圧縮機吸込部  
吸込ガス中に  $C_mH_n$  が気体の状態で  $x\%$  含まれている。吸込圧力を  $P_s$  とする。
- ・圧縮機吐出部～油回収器  
圧縮機吐出圧を  $P_d$  とする。この場合の  $C_mH_n$  の分圧は

$$P_x = \frac{x}{100} P_d \dots\dots\dots (1)$$

で表される。

#### ・油回収器内部

運転開始当初、 $C_mH_n$  は潤滑油に溶け込むが、運転を継続していくと潤滑油中の  $C_mH_n$  濃度が高くなり、ある量以上溶け込まなくなる。その平衡状態における潤滑油粘度が  $C_mH_n$  溶け込みによる粘度となる。

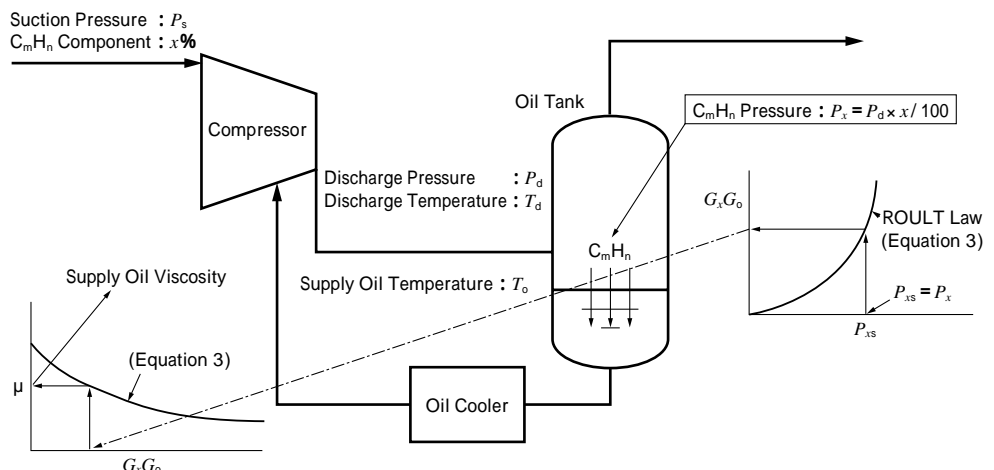
一般に平衡状態における  $C_mH_n$  の蒸気圧と溶け込み重量の関係は、理想状態の場合 ROULT の法則により次式で表される。

$$P_{sx} = P_C \frac{G_C / M_C}{G_C / M_C + G_O / M_O} \dots\dots\dots (2)$$

ここで

- $P_{sx}$  :  $C_mH_n$  蒸気圧
- $P_C$  : 吐出温度における  $C_mH_n$  100% の飽和蒸気圧
- $G_C$  :  $C_mH_n$  重量
- $G_O$  : 潤滑油重量
- $M_C$  :  $C_mH_n$  分子量
- $M_O$  : 潤滑油分子量

圧縮機吐出部における  $C_mH_n$  の蒸気圧は  $P_{sx} = P_x$  であ



第1図 圧縮機潤滑油粘度低下の過程  
Fig. 1 Process of compressor oil viscosity drop

るから、式(2)から潤滑油に溶け込む  $C_mH_n$  重量  $G_c$  が計算できる。

式(2)において、 $G_c$  が大きくなっても右辺は  $P_c$  以上の値にはならない。したがって、 $P_x > P_c$  の場合、 $C_mH_n$  が潤滑油中にいくらかでも溶け込み、平衡状態になることはない。

・給油ライン

給油温度を  $T_0$  とする。圧縮機給油粘度は、潤滑油重量  $G_0$  に  $C_mH_n$  重量  $G_c$  が混合した場合の温度  $T_0$  における粘度である。温度  $T_0$  における潤滑油単独の粘度を  $\mu_0$ 、 $C_mH_n$  の粘度を  $\mu_c$  とする。すると、混合粘度  $\mu$  は次式で推定できる。

$$\log \mu = K_0 \log \mu_0 + K_C \log \mu_c \dots\dots\dots (3)$$

ここで

$$K_0 = \frac{W_0 / A}{W_0 / A + W_C / M_C}$$

$$K_C = \frac{W_0 / M_C}{W_0 / A + W_C / M_C}$$

$$W_0 = \frac{G_0}{G_0 + G_C}$$

$$W_C = \frac{G_C}{G_0 + G_C}$$

A は潤滑油の種類により決まる定数である。式(3)は潤滑油に1成分の  $C_mH_n$  が溶け込んだときの粘度推定式である。実際は、 $C_mH_n$  は2成分以上が多く、また  $C_mH_n$  の種類が直鎖型炭化水素、芳香族炭化水素の違いによっても粘度低下の量が異なる。したがって、これらを包括した粘度推定式はかなり複雑になるため、ここでは省略する。

以上により圧縮機吸込ガス中に  $C_mH_n$  が含まれる場合の給油粘度が推定できる。

2. 要素実験による推定式の検証

式(2)、式(3)で表されたものは理想状態であるが、実際の物質では理論式どおりにはならない場合が多い。とくに、 $C_mH_n$  と潤滑油は分子構造が似ているため、相互作用が強く理論式を検証する必要がある。そこで、要素実験により検証をおこなった。潤滑油、 $C_mH_n$  として以下の物質をもちいた。

(潤滑油)

鉱油

( $C_mH_n$ )

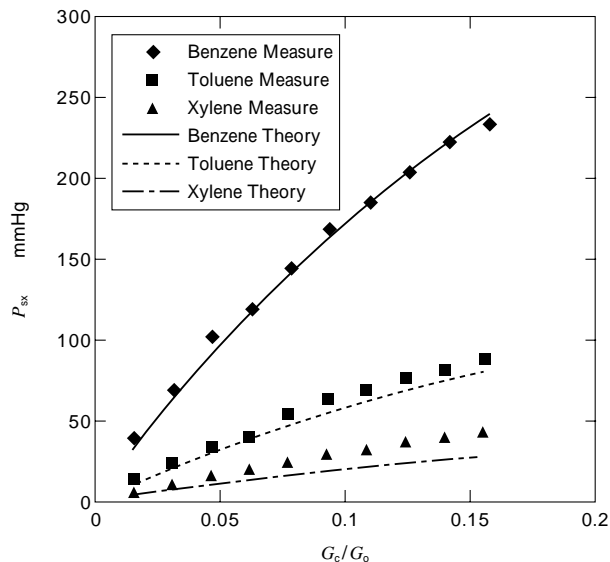
直鎖構造炭化水素：ペンタン、ヘキサン、ヘプタン

芳香族炭化水素：ベンゼン、トルエン、キシレン

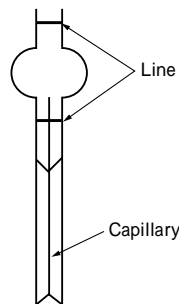
2.1  $C_mH_n$  蒸気圧と溶け込み量の推定式

$C_mH_n$  蒸気圧と溶け込み量の推定式は理論的には式(2)で表される。そこで、潤滑油と  $C_mH_n$  を混入し、そのときの  $C_mH_n$  蒸気圧を測定し、式(2)を検証した。ただし、式(2)において、潤滑油の分子量がわからないため、一つの実験をおこなって潤滑油の分子量を推定し、その分子量をもちいてそのほかの  $C_mH_n$  について検証をおこなった。

本実験では、潤滑油に対する  $C_mH_n$  単独、および  $C_mH_n$



第2図 鉱油と  $C_mH_n$  混合液の蒸気圧  
Fig. 2 Vaper pressure of mixtures of mineral oil and  $C_mH_n$



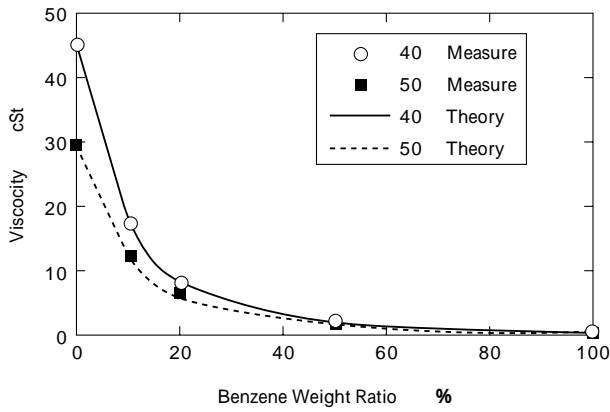
第3図 粘度測定装置  
Fig. 3 Viscosity measuring device

2成分混合の実験をおこなった。その結果の一例として、第2図に鉱油とベンゼン、トルエン、キシレンをそれぞれ単独で混合した場合の、混合比に対する蒸気圧の実験値および式(2)の計算値を示す。横軸は潤滑油重量に対する  $C_mH_n$  重量の比、縦軸は蒸気圧である。点は実験値、線は計算値である。式(2)において潤滑油の分子量が未知であるため、ベンゼンの実験において実験値と計算値が合うように潤滑油の分子量を求めた。この分子量をもちいて、トルエン、キシレンの  $P_{sx}$  を計算により求めた結果、トルエン、キシレンでは実験値と計算値にずれが認められた。その他の物質についても同様にずれが認められるので、式(2)により補正して使用している。

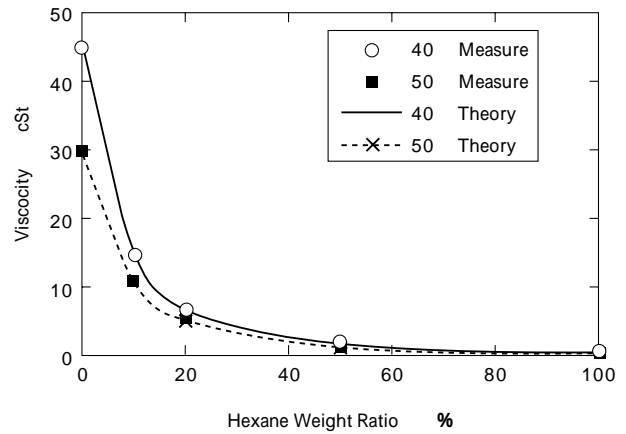
2.2 混合粘度の推定

潤滑油と  $C_mH_n$  を混合した場合の粘度は式(3)で表される。そこで、潤滑油と  $C_mH_n$  を混合し、そのときの粘度を測定した。以下に粘度の測定方法を示す。

- 1) 潤滑油と  $C_mH_n$  を混合した液を恒温槽に浸けて温度が一定になるまで待つ。
- 2) 第3図のような毛細管上の二つの線を流体が通過する時間を測定し、JIS標準流体との比較により粘度を換算する。



第4図 鉱油とベンゼンの混合粘度  
Fig. 4 Viscosity of mixtures of mineral oil and benzene



第5図 鉱油とヘキサンの混合粘度  
Fig. 5 Viscosity of mixtures of mineral oil and hexane

第1表 鉱油とヘキサン，ヘプタンの混合粘度

Table 1 Viscosity of mixtures of mineral oil, hexane and heptane

Component %			Temperature	Measure Viscosity cSt	Theory Viscosity cSt
Mineral Oil	Hexane	Heptane			
85	10	5	40	9.98	10.39
80	10	10	40	7.05	7.47
75	15	10	40	5.48	5.26
80	10	10	50	5.65	5.62

第2表 鉱油とベンゼン，トルエンの混合粘度

Table 2 Viscosity of mixtures of mineral oil, benzene and toluene

Component %			Temperature	Measure Viscosity cSt	Theory Viscosity cSt
Mineral Oil	Benzene	Toluene			
85	10	5	40	11.66	12.29
80	10	10	40	8.33	8.96
75	15	10	40	6.75	7.03
80	10	10	50	6.98	7.3

本実験では、潤滑油に対する  $C_mH_n$  単独、および  $C_mH_n$  2種混合の実験をおこない、式(3)の定数を決定した。第4図、第5図に  $C_mH_n$  単独の実験結果を、また、第1表、第2表に  $C_mH_n$  成分2種混合についての実験結果を示す。第4図は鉱油とベンゼンの混合粘度を、また、第5図は鉱油とヘキサンの混合粘度を示している。横軸は  $C_mH_n$  の重量%、縦軸は粘度で、温度40と50の実験をおこなった。点は実験値、線は計算値である。第1表は鉱油とヘキサン、ヘプタンの混合比、第2表は鉱油とベンゼン、トルエンの混合比をそれぞれ変えた場合についての粘度、さらに温度の粘度に対する影響についての実験値と計算値を示している。これらの結果から、実験値と計算値がよく合致していることがわかる。

以上により圧縮機吸い込みガス中に  $C_mH_n$  が含まれるときの、潤滑油粘度低下量の推定が定量的に可能となった。

この分析から、吸い込みガス中に含まれる  $C_mH_n$  の飽和蒸気圧と量の関係がとくに重要であることがわかった。式(1)で表される圧縮機吐出における  $C_mH_n$  の蒸

気圧  $P_x$  が、 $C_mH_n$  の飽和蒸気圧  $P_C$  より小さい場合は、潤滑油に  $C_mH_n$  は一定の量しか溶け込まないため、式(3)で計算される粘度を潤滑不良を起こさない粘度に、潤滑油の粘度を調整すればよい。

ところが、 $P_x$  が、 $P_C$  より大きい場合は、潤滑油に  $C_mH_n$  がいくらかでも溶け込み、潤滑油の粘度によらず最終的には  $C_mH_n$  の粘度となって潤滑不良を起こす。 $C_mH_n$  の分子量が大きい場合は  $P_C$  が小さいため、とくに注意する必要がある。

むすび=油冷式スクリュウ圧縮機において、吸込ガスに  $C_mH_n$  が含まれる場合、潤滑油に  $C_mH_n$  が溶け込み粘度低下を起こす。そのため、油冷式スクリュウ圧縮機の用途拡大の障害となっている。本研究により、 $C_mH_n$  が潤滑油粘度に与える影響を正しく評価することができるようになった。そして、用途に合った潤滑油を選択することにより油冷式スクリュウ圧縮機の用途拡大が可能となった。