

D314 遠心力式オイルセパレータの内部挙動観察による研究

Research on centrifugal force type oil separator by internal behavior observation

- 山本 剛* (日冷工業), 冷・機正 岩田 博*, 冷正 志田 浩二*, 坂本 亮平*, 山下 陽子*
冷・機正 鹿園 直毅 (東大 生研) **, 韓 榮培**
- Tsuyoshi YAMAMOTO*, Hiroshi IWATA*, Kouji SHIDA*, Ryohei SAKAMOTO*, Youko YAMASHITA*,
Naoki SHIKAZONO**, HAN Youngbae**
- *Nichirei Industries Co.Ltd., 1570 Mayumi, Tochigi-shi, Tochigi-ken
**The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo

The requirement for downsizing refrigeration cycle products and components such as oil separator is growing even stronger in the market. The main issue for miniaturizing oil separator is to improve the separating efficiency without increasing the pressure drop. However, inlet and outlet pipe sizes cannot be merely reduced, because the calibers are selected in accordance with the refrigerant flow rates. In case of centrifugal force type oil separators, miniaturization may cause unnatural flow, and results in performance degradation. In this research, the effect of inlet geometry on oil separator performance is investigated.

Key Words : Oil- Separator, Gas-Liquid Separator, Heat Pump, Compressor, Centrifugal force

1. はじめに

冷凍機油は、圧縮機の各摺動部の潤滑を目的とする。運転によって圧縮機外の冷凍サイクルに持ち出された場合、速やかに圧縮機内へ戻ることが求められている。一方、圧縮機外の冷凍サイクルでは冷凍機油は不要で、特に熱交換器においては熱伝達率低下を招く。そこで、この問題を解決する手段として、一般的にはオイルセパレータが用いられている。

2. 遠心力式オイルセパレータのコンパクト化への課題

冷凍サイクルユニットの小型化に伴い、部品の取り付けスペースが制約され、各部品の小型化が強く求められており、オイルセパレータの小型小径化も例外ではない。一方、オイルセパレータが小型小径化されても、オイルセパレータへの入口管および気相出口管の配管径は、冷凍装置の所定の冷凍能力、即ち、冷媒循環流量により決まる。また、入口管および気相出口管における圧力損失の観点からも、オイルセパレータの小型小径化に合わせて管径を小さくすることができないため、分離容器内壁と気相出口管の空間が狭くなり、分離性能が低下する問題があった。

Fig.1 (a) に一例として示した従来の構成では、二相流の入口管と気相出口管の管径に対して容器径が十分に大きい場合であり、入口管先端から流出した液滴は、気相出口管から十分に離れた位置で気相出口管の周りを巡回しながら気相出口管の下端、即ち、気相出口管流入部に至るため、気相出口管流入部に液滴が吸い込まれにくい。それに対して、入口管と気相出口管の管径をそのままにして容器径のみを単純に小さくした場合、Fig.1 (b) に示すように容器と気相出口管の空間 A が狭くなり、入口管先端から流出した二相流は気相出口管の近くを巡回することになり、液滴は気相出口管に吸い込まれ易くなる。特に流量が低下した場合、入口管から流出する二相流の流速が低下するため、遠心

力の作用が弱まり、微細液滴は気相出口管の周囲にも分布しながら気相出口管流入部に至るために分離性能が低下する。入口管径および気相出口管径、分離容器径等の構成が遠心力式オイルセパレータの特性に及ぼす影響を明らかにする必要がある。

本研究では、オイルセパレータのコンパクト化を目的に、オイルセパレータ内部の流れを可視化するとともに、ガス冷媒と冷凍機油の入口二相流の挙動を確認しながら分離機能を満たす必要最小限の大きさのオイルセパレータを狙い、可視化による研究を実施した。

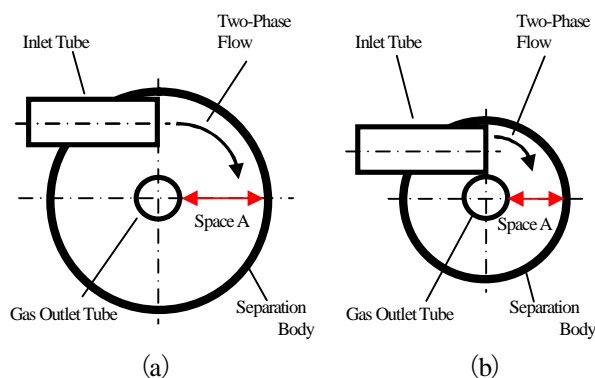


Fig.1 Supplementary Illustration

3. 新オイルセパレータの基本構想

二相流が入口管から容器内へ流入することにより発生する微細液滴が、気相出口管に吸い込まれにくくする手段として、①液相成分を容器内壁面に付着し易くすること、②容器内壁面近傍に沿って巡回させる方法である。この2通りを考えた。

3.1 液相成分を容器内壁面に付着し易くする構成

Fig.2は前記手段を踏まえて構成した新オイルセパレータの基本構想である。入口管先端に傾斜部を設けることで、入口管先端を分離容器内壁面に近づけることが可能となる。この構成により、入口管先端から容器内に流入した二相流は容器内壁面と衝突し、液相成分は容器内壁面に直ちに付着し易くなり、さらには、二相流を容器内壁面に押し付けるベクトル成分が構成され、液相成分はより容器内壁面に付着し易くなることが予想される。

3.2 容器内壁面近傍に沿って旋回させる構成

入口管先端を容器内壁面に近づけることにより、分離容器内へ流入した二相流の液相成分を極力気相出口管から離れた位置で分離容器内の壁面に沿って旋回させることが可能になり、Fig.2で示す分離容器と気相出口管の空間Aが狭い場合も分離が良好になることが予測される。

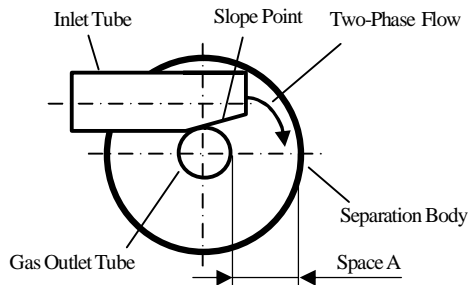


Fig. 2 A basic concept of new oil separator

以下にこれらの手段について、可視化による内部挙動観察や性能検証により基本構想の妥当性の検証を行った。

4. 二相流の内部挙動観察実験

4.1 可視化実験用オイルセパレータ

Fig.3は、内部挙動を確認するために製作した実験用オイルセパレータである。分離容器の内面形状は、製品を加味した寸法で構成し、前節で記載の流動状況を観察できるよう、オイルセパレータの上部からも二相流入口の流れを可視化できる構造とした。

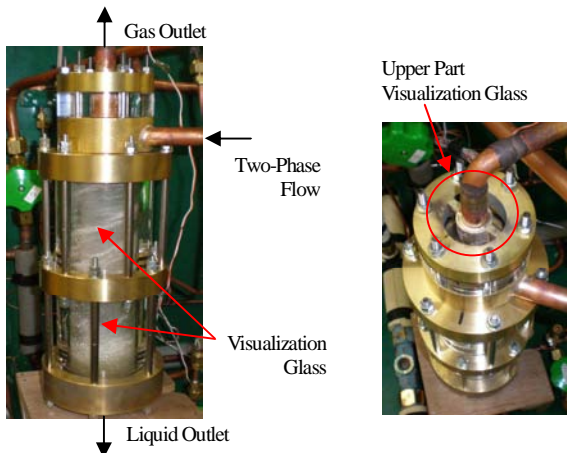


Fig.3 Outword appearance of separator for observation of flow

4.2 内部挙動観察の方法

入口管先端から分離容器内への流入直後の微細液滴、ならびに二相流の旋回流を確認するため、高速度カメラを用いた観察を行った。Fig.4(a)は入口管から流入する状態、Fig.4(b)は旋回流の状態を撮影する構成である。

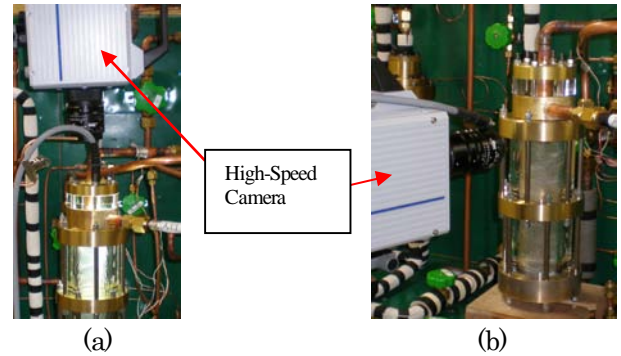


Fig.4 Visualization experiment setup

4.3 挙動観察結果

Fig.5に従来のオイルセパレータ内流れの観察結果と本研究に於けるオイルセパレータ内流れの観察結果を示す。従来のオイルセパレータは、液滴が容器内壁面と気相出口管の空間に分散して旋回している(A)。これに対し、本研究に於けるオイルセパレータでは、液滴が容器内壁面近傍に分布して旋回している(B)ことを確認した。この結果から基本構想の妥当性が確認できた。

| | Conventional Oil Separator | Present Oil Separator |
|-----------------------------|----------------------------|-----------------------|
| Top View | | |
| Pictureby High-Speed Camera | | |

Fig.5 Visualized flow pattern of inflow two phase flow

次に、本研究のオイルセパレータにおける、旋回状況の観察結果をFig.6に示す。低流量域は高流量域と比較し、旋回速度が遅いため、水平方向から流入した二相流は、旋回する角度が鉛直方向に近くなる。即ち、分離容器の内壁に微細液滴を付着させる際に、容器内壁面を活用する有効面積が少なくなることで、分離効率が低下するものと考えられる。さらに旋回速度の低下に伴い遠心力が低下するため、容器内に流入した二相流のうち、微細液滴を容器内壁に付着させる力が小さくなることが考えられる。

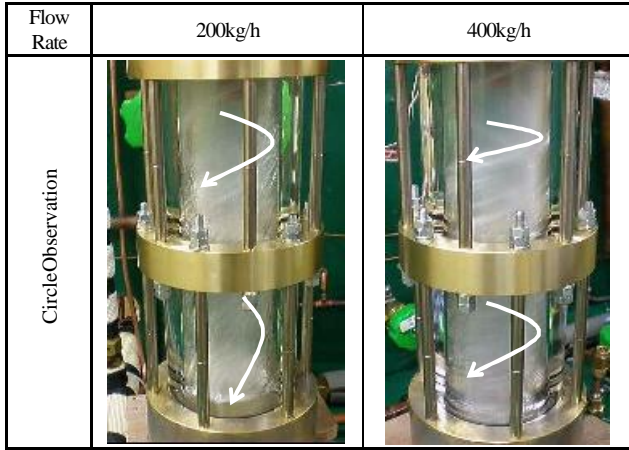


Fig.6 Visualized Swirling

高速度カメラでガラス管内面にカメラの焦点を合わせて油膜の付着状態を撮影したものを Fig.7 (a), ガラス管の中心部に焦点を合わせて Fig.7 (a)の対向面の液膜付着状態および内部微細液滴の流れの挙動を Fig.7 (b)に示す。

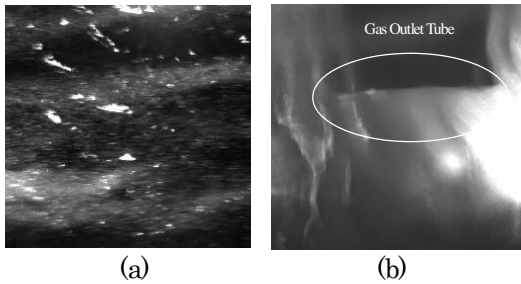


Fig.7 Visualized oil film and mist flow

Fig.7(a)の画像から、液膜表面は波立って旋回していることが分かる。また、Fig.7(b)の画像から、波立った液膜から離れた位置で、霧状の微細液滴が旋回していることが確認できた。この霧状の微細液滴旋回を取り除くことは困難なため 100%分離することは難しい。

以上の結果から、改善効果を可視化によって検証したとともに、低流量域での性能低下を抑制することが課題の一つであることが分かった。

5. 分離性能の測定

5.1 分離性能測定方法

Figs.8, 9は、それぞれ基準 OCR (Oil Circulation Ratio) および分離後の OCR を測定した冷凍サイクルの原理図を示す。測定の方法は、まず Fig.8 で示す回路で基準となる OCR でサイクルを安定させた後、Fig.9 で示す回路に切り替え、オイルセパレータを機能させる。その後、OCR の低下を数値的に測定して分離効率を求めた。また、OCR は膨張弁入口の冷媒過冷却液部分に屈折率センサーを取付けて測定した。本研究では、基準 OCR を 3% に設定した。

分離性能測定時における運転条件を Table 1 に示す。冷媒 R410A を使用した 16kW 相当 (最大冷媒循環量 360kg/h) のパッケージエアコンを用いて実験を行った。

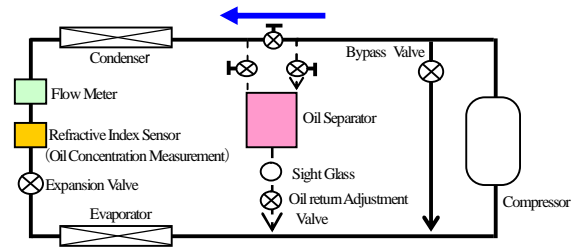


Fig.8 Non Oil Separation Cycle Flow

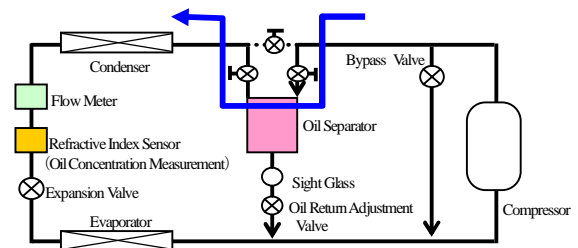


Fig.9 Oil Separation Cycle Flow

Table 1 Operating Conditions

| | |
|-----------------------------|----------------------------|
| Refrigerant | R410A |
| Machine Oil | Ether -based synthetic oil |
| Inlet Pressure | 2.4~2.5MPa (G) |
| Compressor Suction Pressure | 1.0MPa (G) |
| Inlet Temperature | 70~80°C |
| Base OCR=OCR ₀ | 3% |

OCR₀は基準 OCR を安定させた屈折率, OCR_sはオイルセパレータを機能させて安定させた屈折率をそれぞれ測定し、分離率を Eq.(1)の定義にて求めた。

$$\text{分離率 (\%)} = \frac{\text{OCR}_0 \text{ } \delta \text{ } \text{OCR}_s}{\text{OCR}_0} \times 100 \quad (1)$$

5.2 供試品の仕様

分離測定に使用したオイルセパレータの仕様を Table 2 に示す。従来品は二相流入口管の先端に加工を施さないものであり、かつオイルセパレータは二相流入口管の先端に加工を施したものである。

Table 2 Horizontal cross section of separator used for measurement

| | Conventional Products | Present product |
|----------------------|-----------------------|-----------------|
| Body Outer Diameter | φ 45mm | |
| Inlet Tube Size | φ 12.7mm | |
| Gas Outlet Tube Size | φ 12.7mm | |
| Cross Section | | |

5.3 分離性能測定結果

第 5.1 節に基づいた性能確認結果を Fig.10 に示す。

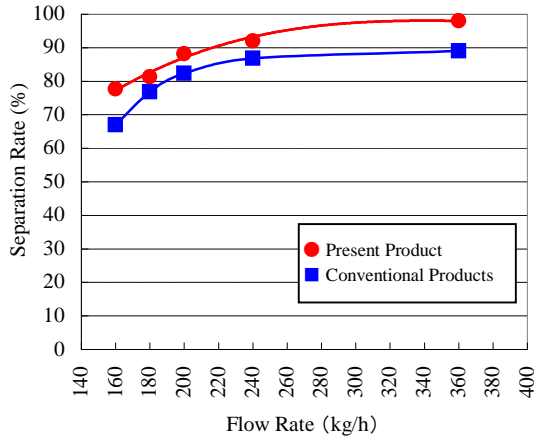


Fig.10 Comparison of separation rate between present separator and Conventional separator

本実験における結果は、全ての流量域で従来品に対して、本研究の仕様の方が分離率が高く、Fig.5で確認したように、入口管から分離容器に流入した二相流が、直ちに分離容器の内壁に付着させることで分離性能の向上を実現することができた。

また、第4.3節で述べたように、流量が低下すると分離性能も低下する傾向にあるが、従来品と比較すると、性能向上に効果があると判断できる。

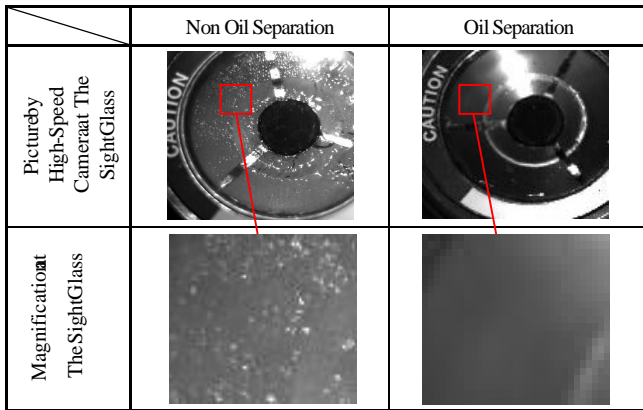


Fig.11 Visualised oil mist in sight glass at gas outlet tube

オイルセパレータの前後に配置したサイトグラスを観察した結果を Fig.11 に示す。

分離前のサイトグラスには油が混入しているが、分離後は油の混入が殆ど確認されず、分離効果を確認することができた。

6. 小型小径化の検証

現在、世の中で使用されているオイルセパレータの仕様を調査し、本研究品を製品化した際の仕様比較と性能比較を行った。結果を Fig.12 および Fig.13 に示す。

本研究のオイルセパレータは小径化しているにもかかわらず、現流品に対し同等以上の分離性能を持つことがわかる。

| | ● Present Product | ▲ Type A | ■ Type B | ◆ Type C |
|---------------------|-------------------|----------|----------|----------|
| Body Size | | | | |
| Outer Diameter (mm) | 45 | 50.8 | 50.8 | 76.2 |
| Volume Ratio | 1 | 1.9 | 2.4 | 5.3 |

Fig.12 Size Comparison

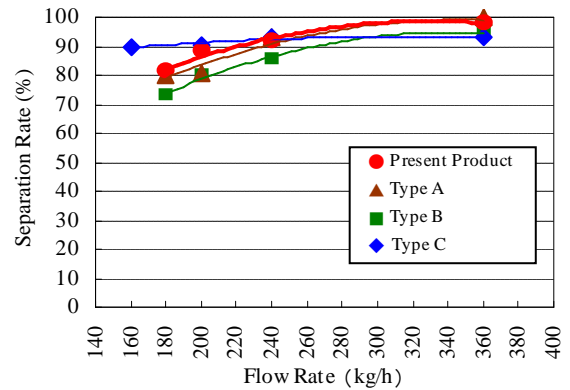


Fig.13 Comparison of separation rate with Conventional separators

7. 結言

オイルセパレータ内部流れの可視化性能試験を行い、以下の結論を得た。

- (1) 従来式のオイルセパレータでは、液滴は容器と気相出口管の空間に分散して旋回していることを確認した。
- (2) 二相流入口管の先端に傾斜部を設けたオイルセパレータでは、液滴は分離容器の内壁面近傍に分布して旋回していることを確認できた。
- (3) 二相流入口管の先端に傾斜部を設けることにより、分離容器を小径化すると共に、従来品と同等以上の性能を得た。
- (4) 以上より、入口管から分離容器内に流入した流れの挙動と性能には、密接な関係があることを確認した。
- (5) 従来式のオイルセパレータと比べ、同等以上の性能で大幅な小径化が可能になった。

8. 謝辞

本研究に於ける屈折率測定の方法は、静岡大学工学部 柳沢 正教授、福田 充宏教授よりご指導を頂いた。記して謝意を表す。

9. REFERENCES

- [1] Murakami, et al.: Trans. of the JSRAE Vol.22, No.3 (2005), pp.315~324
- [2] Fukuta, et al.: International Journal of Refrigeration 29 (2006) 1058 - 1065