

低GWP冷媒用冷凍機油の特性評価

Characterization of refrigerating oils with low GWP refrigerants

松村石油（株）（非）*久米 啓司 （非）中西 徑 （非）山崎 鉄平 （非）渡部 裕介

kume keizi, nakanishi kei, yamasaki teppei, watanabe yusuke

Matsumura Oil Co., Ltd.

1. はじめに

地球温暖化対策やカーボンニュートラルに向け、世界中で冷凍空調分野は大きく変化している。冷凍空調分野で用いられる冷媒は、オゾン層破壊係数（ODP）や地球温暖化係数（GWP）が高いことが問題視されており、HFC冷媒（R22等の特定フロン）からHFC冷媒（R410A等の代替フロン）へと転換されてきた。現在、さらに低GWP冷媒（HFO冷媒や自然冷媒等の次世代冷媒）への転換が進められており、様々な冷媒が提案されている。冷媒転換に伴い、冷凍機油もその冷媒に適した性能が必要とされる。これら低GWP冷媒に適用した冷凍機油の開発が我々潤滑油メーカーに求められる。

冷凍機油の開発には、冷媒との相溶性、溶解度、混合粘度、化学的安定性、潤滑性、電気特性、圧縮機部材適合性等の性能を確認することが必要である。本講演では各種低GWP冷媒と冷凍機油の相溶性等を紹介する。

2. 提案されている低GWP冷媒

米国暖房冷凍空調学会（ASHRAE）には次世代冷媒として多くの低GWP冷媒が冷媒番号を取得している。現在、転換が推進されているフロン系低GWP冷媒の分子構造、GWP、毒性・燃焼性クラス、冷媒組成比をTable 1に示す。地球温暖化への影響が大きいR404A（GWP：3920）の代替冷媒として、GWP1200～1500、低毒性・不燃性A1の冷媒が提案されている。これらの冷媒は、機器の仕様変更が少なく冷媒転換が容易であること、冷媒漏洩時の燃焼懸念からASHRAEの安全性区分がA1（低毒性・不燃性）であることから、冷媒の切り替えが進んでいる事情が伺える。

Table 1 Specification of Refrigerants

Refrigerant (ASHRAE#)			R407H	R448A	R449A	R463A
GWP			1495	1273	1397	1494
Safety Group			A1	A1	A1	A1
Refrigerant Component (wt%)	R32	CH ₂ F ₂	32.5	26	24.3	36
	R125	CF ₃ CHF ₂	15	26	24.7	30
	R134a	CF ₃ CH ₂ F	52.5	21	25.7	14
	R1234yf	CF ₃ CF=CH ₂		20	25.3	14
	R12234ze(E)	CF ₃ CH=CHF		7		
	R744	CO ₂				6

今後、更なる転換が検討・提案されているフロン系低GWP冷媒についてTable 2に示す。現在転換が進んでいるTable 1の冷媒に対して、GWP150～750、低毒性・微燃性A2Lの冷媒が提案されている。冷媒のGWP値は、燃焼性とトレードオフの関係にあることから、今後これらの冷媒は燃焼性に関する安全対策や規制緩和も考慮されながら切り替えが進むと考えられる。また、自然冷媒において、燃焼性のあるプロパン（GWP：3、ODP：0）やプレピレン（GWP：3、ODP：0）のような炭化水素系冷媒や環境性能（GWP：1、ODP：0）・安全性（無毒、不燃）が高いR744（二酸化炭素）の進展が予想される。

Table 2 Specification of Refrigerants

Refrigerant (ASHRAE#)			R513A	R454A	R454C	R466A	R516A
GWP			631	238	148	733	142
Safety Group			A1	A2L	A2L	A1	A2L
Refrigerant Component (wt%)	R32	CH ₂ F ₂	44	35	21.5	49	
	R125	CF ₃ CHF ₂				11.5	
	R134a	CF ₃ CH ₂ F					8.5
	R152a	CHF ₂ CH ₃					14
	R1234yf	CF ₃ CF=CH ₂	56	65	78.5		77.5
	R131I	CF ₃ I				39.5	

3. 冷凍機油の開発

冷凍機油は、冷凍空調機器の圧縮機に使用される潤滑油である。摺動面の潤滑性、冷却性、密閉性等が要求され、これらの性能が冷凍機の効率・性能に大きく影響する。冷凍機油は冷媒と混ざり合いながら、冷凍サイクルの高温・高圧や低温・低圧の箇所を通過し圧縮機に戻るため、冷媒の特性に合わせた性能が求められる。これら冷凍機油に要求される潤滑性、低温流動性等の性能は、冷凍機油の化学構造により決定し、冷媒との相溶性、冷媒の溶け込み量を分子設計にて要求性能に適合するよう調整されている。

一般的に用いられている冷凍機油は、基油の種類よりナフテン系鉱物油（MO）、アルキルベンゼン（AB）、ポリオールエステル（POE）、ポリアルキレングリコール（PAG）、ポリビニルエーテル（PVE）、ポリ α オレフィン（PAO）等がある。これらの冷凍機油は、様々な粘度グレードが存在し、冷凍機の使用温度、冷媒の種類、圧縮機の型式、使用条件等、様々な要素を考慮し、選定される。

4. 相溶性評価

冷媒との相溶性が乏しい冷凍機油は、冷凍サイクル内での油戻りが悪く、冷凍機の運転温度が下がるにつれて詰まりを生じて温度が下がらなくなり、冷凍機として大きな問題となる。冷凍機油の油戻りを可能にする低温流動性は、冷凍機油の流動点が低いこと、並びに使用温度条件で冷媒と均一に溶解し二層分離を起こさないことが必要である。そのため、冷凍機油と冷媒の相溶性を調べる必要がある。

弊社冷凍機油の代表性状と各種低GWP冷媒の二層分離温度測定結果を Table 3 に示す。二層分離温度の測定は、JIS K 2211 の冷凍機油 附属書Dによる二層分離温度測定に準拠して実施した。これらの冷凍機油は既に製品化されており、提案されている各種低GWP冷媒について、良好な相溶性を有していることを確認した。

Table 3 General Specification of Refrigeration Oil, Two-Phase Separation Temperature for Low GWP Refrigeration

Oil		POE A		POE B		AB	
ISO Viscosity Grade		32	68	32	68	32	68
Density g/cm ³ at 15°C		0.949	0.959	0.984	0.974	0.868	0.872
Flash Point (COC) °C		216	260	214	246	220	240
Pour Point °C		-47.5	-40.0	-47.5	-45.0	-55.0	-50.0
Kinematic Viscosity mm ² /s	at 40°C	32.0	68.0	32.0	68.0	32.0	68.0
	at 100°C	5.26	8.50	5.09	8.20	5.15	8.47
Viscosity Index		93	94	79	86	84	93
Acid Number mgKOH/g		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Cu Corrosion 3hrs at 100°C		1	1	1	1	1	1
Color (ASTM)		L0.5	L0.5	L0.5	L0.5	L0.5	L1.5
Two-Phase Separation Temperature (cold side) Refrigerant / Oil = 80wt% / 20wt%	R407H	-18	-6	-60↓	-49	-	-
	R448A	-60	-50	-60↓	-60↓	-	-
	R449A	-60	-46	-60↓	-60↓	-	-
	R454A	-60↓	-55	-60↓	-60↓	-	-
	R32	Separation	Separation	-46	-14	-	-
	R1234yf	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-	-
	R1234ze	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-	-
	R1233zd	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓
	R290	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓
	R744	-60↓	-60↓	-60↓	-60↓	-	-

5. おわりに

冷媒転換に伴い、提案されている各種低GWP冷媒と冷凍機油の特性評価について、相溶性評価結果を紹介した。これら冷媒に対する各冷凍機油との溶解度、混合粘度等の各種データも取得しており、各冷凍機油の相溶性や粘度グレードの調製等が対応可能である。顧客ニーズに対応した迅速なデータ提供に因るため、冷凍機油の開発に取り組んでいく所存である。地球温暖化対策やカーボンニュートラルに向けた活動に対し冷凍機油の開発を通じて貢献していきたい。

文献

- 1) 一般社団法人日本冷凍空調工業会：環境と新冷媒 国際シンポジウム 2021 予稿集
- 2) 山崎鉄平：潤滑経済：2016 年 9 月号、冷媒と冷凍機油の変遷とその動向 P38-42（2016）
- 3) JIS（日本産業規格）K 2211 冷凍機油（2009）