

低 GWP 冷媒に適合する冷凍機油の動向

Trends in Suitable Refrigeration Oil for Low-GWP Refrigerants

日本サン石油（非）*鈴木 良典 日本サン石油（非）斎藤 玲 日本サン石油（非）南庄 飛銳

Yoshinori Suzuki*, Rei Saito*, Hiei Nanso*

*Japan Sun Oil Company, Ltd

1. はじめに

冷凍機油は冷凍空調機器における冷媒圧縮機内部の潤滑を担う潤滑油であるが、一般的な潤滑油としての機能の他に冷媒との適合性が要求される。圧縮機には冷凍機油と冷媒がともに封入され、一部の冷凍機油が圧縮された冷媒とともに圧縮機から冷凍サイクルへ吐出されることがある。吐出された冷凍機油は冷凍サイクルに滞留せず圧縮機に戻る必要があるが、そのためには、冷媒と適度に溶け合うことが必要となる。また、空气中ではなく冷媒雰囲気で使用されることから、冷媒との化学安定性についても良好であることが求められる。

冷凍空調分野では、持続可能な社会の実現に向け、様々な分野で地球環境の維持・改善に関する取り組みが進められており、地球温暖化対策として各種機器や装置の省エネルギー化、地球温暖化係数（GWP）の高い現行冷媒の環境中への排出抑制、GWP の低い冷媒への転換などが進められている。例えば日本では、省エネルギー化については家庭用冷蔵庫やエアコンを中心にトップランナー方式による継続的な性能向上が進められており、冷媒漏洩の抑制についてはフロン回収破壊法やその後改正されたフロン排出抑制法によって取り組まれている。

冷媒の転換については 1970 年代後半からそれまで使用していたクロロフルオロカーボン（CFC）冷媒、ハイドロクロロフルオロカーボン（HCFC）冷媒がオゾン層を破壊することが問題視され、ハイドロフルオロカーボン（HFC）冷媒へと転換が進んできた。その後、HFC 冷媒が二酸化炭素と比べて数百～数千倍の大きな温室効果をもっていることがわかり、GWP の低い冷媒へと切り替えられてきた。

家庭用冷蔵庫などでは、GWP が低い炭化水素（HC）冷媒である R600a が採用され、日本国内及びアジアや欧州各国に普及している。車両用空調では、GWP を低くするため、分子構造中に炭素一炭素間二重結合をもつハイドロフルオロオレフィン（HFO）冷媒と呼ばれる R1234yf が主流となりつつある。但し R1234yf は微燃性を持つため、一部の車両用空調は他の冷媒より高圧であるものの不燃性である R744（CO₂）を採用している。R1234yf の蒸気圧は車両用空調に適用しやすかったが、家庭用空調や食品冷凍冷蔵用途には使用しにくいため、他の HFC 冷媒を混合することで圧力特性を最適化した冷媒が HFO 混合冷媒として 2010 年頃から発表され始めた。現在では、その組み合わせや配合に基づく様々な GWP 値や圧力特性、燃焼性を持つ冷媒が紹介され、実用化されている。特に食品冷凍冷蔵分野では、従来 GWP3943 の R404A が使用されていたことから、GWP1500 程度の不燃性 HFO 混合冷媒が採用され始めている。家庭用空調の分野では 2012 年に GWP677 の R32 が採用されてから、日本を中心に普及が進んでいる。但し僅かな燃焼性を持つため、こうした冷媒を空調用途に採用するための規格や規制の制定が並行して進められた。家庭用空調機器や店舗など中規模マルチエアコンへの R32 の適用は進んでいるが、ビル用マルチエアコンへの適用に対しては冷媒漏洩検知器の義務化などの法規制によりやや進展が遅れているようである。冷媒量の多いビル用マルチエアコンでは、微燃性ではあっても燃焼性を持つ冷媒の適用を躊躇する意見もあり、冷媒量を減らすためビルの各階の水平方向の熱移動を水熱媒体で行う手法や、不燃性冷媒の適用などが検討されている。

チラーなど多量の冷媒を使用する大型冷凍空調機器では従来の HFC 冷媒に代わり、R1234yf, R1234ze(E)といった HFO 冷媒や R1233zd(E), R1224yd(Z)といった構造中に塩素を持つハイドロクロロフルオロオレフィン（HCFO）冷媒が適用され実用化され始めている。

また、従来の冷凍空調装置を基にしたヒートポンプボイラーやオーガニックランキンサイクルを用いた廃熱回収発電装置などが検討され、R1336mzz(Z)や R1336mzz(E)などの沸点の高い HFO 冷媒の適用検討が進められている。

こうした背景から、それぞれの分野で検討されている様々な低 GWP 冷媒への転換は、それぞれの冷媒と冷凍機油の適合性の評価も必要とする。今回は、その中から幾つかの用途について、評価内容を紹介する。

2. 空調機器に適用される低 GWP 冷媒

家庭用や店舗用空調機器に提案されている冷媒と HFC 用 POE VG68 との二層分離温度を Table 1 に示す。家庭用空調機器に適用されている R32 冷媒については、従来の HFC 冷媒用冷凍機油では溶解し難く、冷凍機油の化学構造を見直すことで R410A と同等の相溶性となるよう対応を行っている。R452B などの HFO 混合冷媒は、HFO 冷媒が従来の HFC 冷媒用 POE とよく相溶することから、適合しやすいことが確認できる。一方で、HFO 混合冷媒は HFO 冷媒が炭素一炭素間二重結合を持つことから HFC 冷媒に比べ熱化学安定性が低く、使用条件などによっては冷凍機油の添加剤配合を最適化する必要がある。

Table 1 Comparison of solubility (separation temperature at oil rate 20wt%) of low GWP refrigerant for air conditioner with current refrigeration oil

Refrigeration Oil	POE VG68 for HFC			
Refrigerant	Lower CST*	Upper CST*	GWP**	Flammability
R410A	+8	+39	1924	A1
R32	Insoluble	Insoluble	677	A2L
R452B	-2	+50	677	A2L
R454B	-4	+53	467	A2L
R449C	-45	>+70	1146	A1
R454C	<-60	>+70	148	A2L

*: CST is critical solution temperature **: IPCC AR5

3. 低温機器用低 GWP 冷媒と冷凍機油

主に食品冷凍冷蔵に用いられる低温機器に提案されている低圧冷媒と HFC 用 POE の二層分離温度を Table 2 に示す。この分野はこれまで R404A 冷媒が用いられる場合が多く、その GWP の高さから低 GWP 冷媒へ代替する効果が高い。代替冷媒としては HFC 冷媒である R407H の他、HFO 混合冷媒が提案されている。HFO 混合冷媒は HFO の比率が低く不燃性であるものと HFO の比率を増やし GWP を下げたものが提案されているが、いずれも従来の HFC 用冷凍機油が適用可能と考える。

ターボ圧縮機やスクリュー圧縮機を用いた水冷チラー用途などに提案されている HCFO 冷媒と HFC 冷媒用 POE 冷凍機油及び R22 冷媒用ナフテン系鉱物油の二層分離温度を Table 3 に示す。HCFO 冷媒は構造に塩素を持っており、HFC 用 POE だけではなく鉱物油も適用可能である。

Table 2 Comparison of solubility (separation temperature at oil rate 20wt%) of low GWP refrigerant for refrigerated facility with current refrigeration oil

Refrigeration Oil	POE VG68 for HFC			
Refrigerant	Lower CST*	Upper CST*	GWP**	Flammability
R404A	-50	+28	3943	A1
R407H	-1	+69	1378	A1
R448A	-43	>+70	1273	A1
R449A	-40	+67	1282	A1
R454A	-48	+66	237	A2L
R455A	<-60	+68	146	A2L
R463A	-28	+53	1377	A1

*: CST is critical solution temperature **: IPCC AR5

Table 3 Comparison of solubility (separation temperature at oil rate 20wt%) of low pressure low GWP refrigerant for Chiller with current refrigeration oil

Refrigeration Oil	POE VG68 for HFC		Naphthenic Mineral Oil			
			VG56 for R22			
Refrigerant	Lower CST*	Upper CST*	Lower CST*	Upper CST*	GWP**	Flammability
R1233zd(E)	<-60	>+80	-40	>+80	1	A1
R1224yd(Z)	<-60	>+80	-17	>+80	<1	A1

*: CST is critical solution temperature **: IPCC AR5

4. おわりに

2050 年までにカーボンニュートラルを目指す国等の同盟 (Climate Ambition Alliance) に参加することを表明した我が国において、冷凍空調分野ではモントリオール議定書キガリ改正の着実な実行と低 GWP 冷媒を採用した冷凍機器の普及拡大が求められている。今回紹介した冷媒以外にも様々な低 GWP 冷媒が提案されており、冷凍機油との適合性評価を通して、持続可能な社会の構築に貢献していきたい。

文献

- 1) Proceedings of the seminar “The trends and the prospects of the latest refrigerants and the utilization technology of them in 2019”, JSRAE, (2019)
- 2) Proceedings of the International Symposium on New Refrigerants and Environmental Technology 2018, JRAIA, (2018)
- 3) IOP Conf. series: Materials Science and engineering 232 (2017) 012093 10th International Conference on Compressors and their Systems
- 4) Proceedings of the 2018 JSRAE Annual Conference, JSRAE, (2018)
- 5) Proceedings of the 2017 JSRAE Annual Conference, JSRAE, (2017)
- 6) Proceedings of the 2016 JSRAE Annual Conference, JSRAE, (2016)