

## 炭化水素冷媒を使用したヒートポンプにおける安全性評価

## Safety Evaluation of Hydrocarbon Heat Pump

○ 田中 徹 (名古屋大) 正 柴 芳郎 (ゼネラルヒートポンプ) 谷藤 浩二 (ゼネラルヒートポンプ)  
学 大内田 聡 (名古屋大) 正 長谷川達也 (名古屋大)

Toru Tanaka, Nagoya University, Furocho, Chikusa-ku, Nagoya  
Yoshiro Shiba, Koji Tanifuji, Zeneral Heatpump Industry  
Satoshi Ohuchida, Tatsuya Hasegawa, Nagoya University

Key Words: Heat Pump, Hydrocarbon, Propane

## 1. はじめに

モントリオール議定書によるオゾン層保護のための特定フロン類の規制により、冷凍空調分野においても冷媒として使用されている CFC 等の物質は生産、使用の段階的削減が義務づけられた。このような中で、オゾン層破壊冷媒に替わる代替フロンが開発され、現在主力機種は殆どがこれらの代替フロンに切り替わっている。しかし、現在冷媒として使用されている代替フロン類は、オゾン層は破壊しないが温室効果が高いため京都議定書において温暖化効果ガスとして排出抑制が求められる事となった。そのため、オゾン層を破壊せず、その他の環境影響も少なく温室効果も小さい非フロン冷媒物質を用いた、エネルギー効率の高いノンフロン型冷凍空調機器・システムの開発が必要不可欠となっている。

ノンフロン冷媒としては、アンモニアや二酸化炭素、または、プロパン・ブタン・イソブタン等の炭化水素などが注目されている。しかしながら、毒性 (例えばアンモニア冷媒)、可燃性 (例えばアンモニア冷媒や炭化水素冷媒)、高圧性 (例えば二酸化炭素冷媒) などの安全面に多くの問題が見られ、解決すべき課題が多い。

プロパン等の炭化水素は可燃性の問題はあがるが、動作圧力が従来冷媒よりも同じか、それより低いため既存機器に適用することも可能であり、毒性もほとんどない。家庭用エアコンのような直膨システムにおいて可燃性冷媒を使用した場合、室内への可燃冷媒の漏洩の恐れがあるため使用が難しいが、業務用のチラーによる間接冷媒方式においては、ヒートポンプを屋外設置すれば屋内に直接炭化水素冷媒が循環しないため、室内への可燃冷媒漏洩の恐れが無く使用可能であると考えられる。

本研究においては、炭化水素冷媒ヒートポンプチラーの安全性について、万が一に冷媒が漏洩した場合のために、冷媒の流れや可燃性の数値解析をし、安全性の評価を行う。

## 2. 炭化水素冷媒について

従来の空調用冷媒としては HCFC 系フロンである R22 が使われてきたが、オゾン層破壊や地球温暖化の問題があり、すでに規制の対象となっている。現在、オゾン層破壊係数が 0 の代替冷媒 R407C, R134a 等の HFC 系フロン冷媒が使われているが、この HFC 系冷媒も地球温暖化への影響は大きい。

R22, R407C, R134a およびプロパン、イソブタンのオゾン層破壊係数 (ODP) と地球温暖化係数 (GWP) を表 1 に示す。プロパンやイソブタンは自然冷媒であるため、大気中に放出してもオゾン層破壊や地球温暖化に影響を与えない。すなわち、プロパンやイソブタンのオゾン層破壊係数 (ODP) は 0 であり、地球温暖化係数 (GWP) は 0 に近い。しかし、

プロパンやイソブタンは毒性がないものの強燃性であるという特徴があり、その取り扱いには注意を要する。

Table 1 ODP (Ozone Depletion Potential) and GWP (Global Warming Potential)

	R22	R407C	R134a	R290 (Propane)	R600a (Isobutane)
Molecular formula	CHClF <sub>2</sub>	CH <sub>2</sub> F <sub>2</sub> +CHF <sub>2</sub> CF <sub>3</sub> +CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	CH <sub>2</sub> FCF <sub>3</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>
Boiling point[°C]	-40.82	-43.84	-26.07	-42.1	-11.7
ODP	0.055	0	0	0	0
GWP	1700	1500	1300	3	3

プロパンは沸点が R22 や R407C とほぼ同じであるため、これらの冷媒の代替としても使用でき、COP は理論上 R22 や R407C と同等以上である。圧力は R22 や R407C と同程度以下であり従来配管や機器が使用できるため、コストダウンにもつながる。潜熱量(kJ/kg)が大きく(R407C の約 2 倍)、比重が小さい(R407C の約 1/2) ため、冷媒封入量が少なく済み (R407C の約 1/2)、圧力損失も小さい。また、低圧が同等で高圧が低いため、圧縮比が小さく圧縮機の断熱効率も高い。そのため R407C より COP の向上が見込まれる。

## 3. 炭化水素冷媒ヒートポンプチラー

ここで計算対象とした炭化水素冷媒を使用した空冷式ヒートポンプチラーはゼネラルヒートポンプ工業が開発された (型番:ZQH-8A8-R-A) もので、冷媒にはプロパンを用いている。プロパンは一般的に家庭でも使用されており、取り扱いが比較的簡単ではあるが、可燃性であるため漏洩時の安全性が問題となる。冷媒回路は密閉回路であるため通常は漏洩する心配がなく、また、セントラル方式を採用しているので、万一の場合でも直膨方式のように室内に漏洩する心配がない。

漏洩時の対策としては、筐体内にガス漏洩探知機を設置し、万が一ガスが漏れた場合は運転を停止し、排気を行う。また、筐体内にガスが滞留しないように希釈式内圧防爆構造を採用している。希釈式内圧防爆構造とは筐体内に風が流れるように下部ドレンパンに通風孔を設け、空気熱交換器用のファンを利用して、プロパンガス濃度を爆発限界下限値未満まで希釈するものである。冷媒の漏洩をガス漏洩感知器が感知した場合、圧縮機の運転が停止して、空気熱交換器用ファンに

より冷媒を外気に排出して希釈する。

#### 4. 安全性シミュレーション

希釈式内圧防爆構造について、汎用熱流体解析ソフトウェアである「STAR-CD」を利用して、圧縮機、配管等から可燃性冷媒が漏れたときの非定常冷媒拡散を3Dシミュレーションし、爆発可能性を調べた。計算手法としては、圧力解法はPISO法、時間進展法は一次精度陰解法、空間差分法は一次風上法で行った。解析は、形状作成、メッシュ作成、解析条件設定、計算実行・結果解析といった流れで行った。空冷ヒートポンプ外形図より作成したSTAR-CD取り込み用の3D-CADデータを図1に示す。

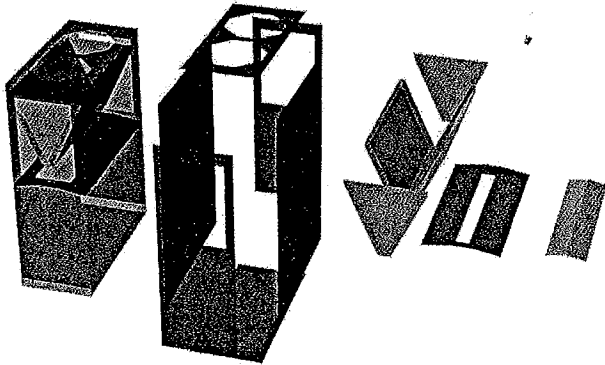


Fig.1 CAD data of Propane Heat-pump

シミュレーションでのプロパン流入を以下のように設定した。図2のようにX(横方向)=0mm, Z(高さ)=232.5mm, Y(奥行方向)は奥行き長さの1/4(casa3), 2/4(casa1), 3/4(casa2)の位置の3ケースからx方向(横方向)に向かって流入すると仮定した。流入速度は1.0[m/s](+X方向), プロパン質量濃度は1(100%), 流入面積は1メッシュ分(40mm×40mm)とした。

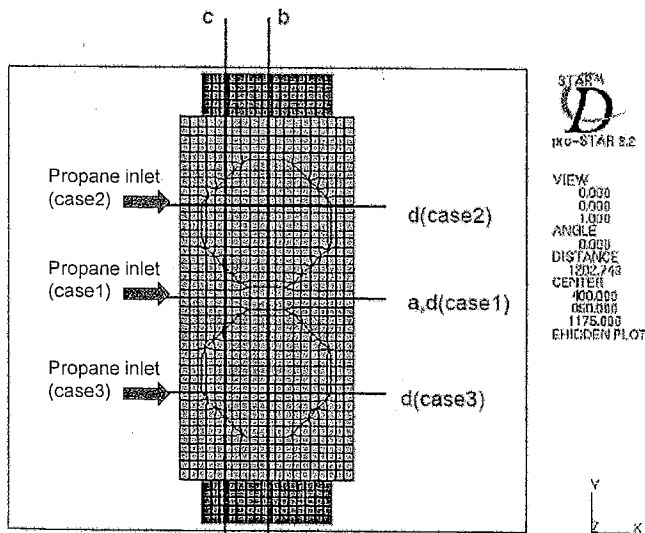


Fig.2 Cut Plane of Heat-pump

計算は、40秒間プロパン流入した後、プロパンの流入停止・希釈を30秒行うこととした。計算結果はプロパン濃度分布(質量比)を色コンタで示した。プロパン質量濃度0.0321(3.21wt%)はプロパンの可燃限界であり、それを越える部分は赤(色コンタの一番上の色)で示す。

計算結果の代表例として図3~図4にCase2のプロパン流入開始後40s後の断面cの速度ベクトルとプロパン濃度の様子を示す。また、図5にプロパン流入停止後の計算範囲すべてにおけるプロパン最大濃度の推移を示している。

プロパン漏洩吹き出し口付近のプロパン濃度は可燃範囲を超えるが範囲は狭く、中央部ドレンパンを通り過ぎると濃度はかなり小さくなるのがわかる。また、図5をみると、プロパンの最大濃度は流入停止後2~7秒程度で可燃域下限値を下回ることがわかる。

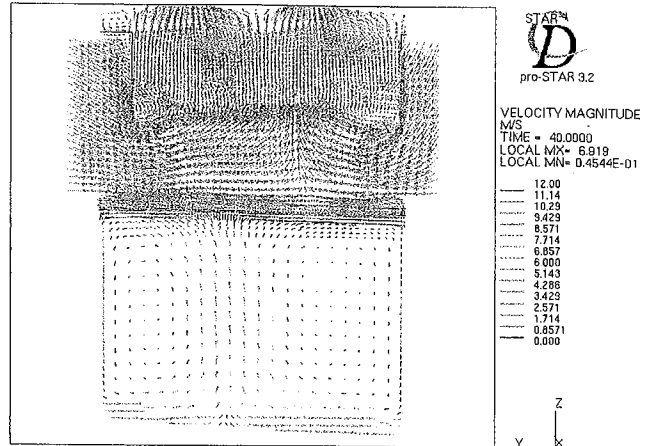


Fig.3 Velocity Vector (after 40sec, Case2, Section c)

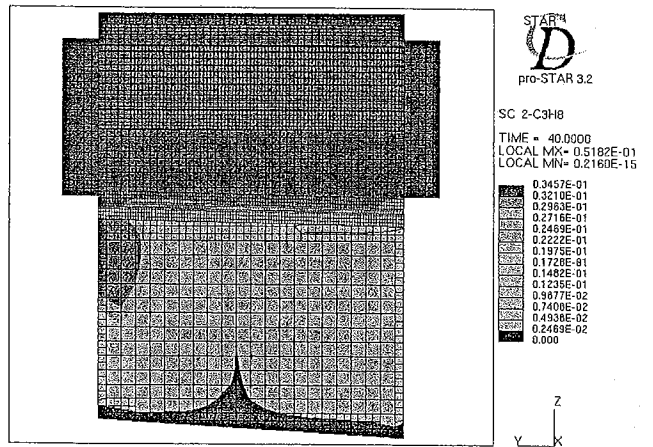


Fig.4 Concentration Distribution (after 40sec, Case2, Section c)

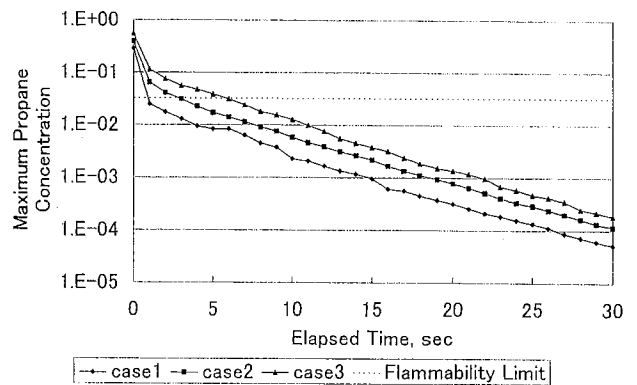


Fig.5 Maximum Propane Concentration

#### 5. まとめ

冷媒拡散シミュレーションを行い、冷媒漏洩した場合でも空気熱交換器用ファンによって希釈され、冷媒漏洩終了後すみやかにプロパンが爆発下限値未満まで希釈されることがわかった。

#### 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の「ノンフロン型省エネ冷凍空調システム開発事業」の助成により実施した。ここに感謝の意を表す。