

冷却・冷凍機械室の 冷媒管理と 冷媒漏れの低減

冷却と冷凍のための重要な冷媒管理



冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

始めに

商用冷却装置および冷凍ラックの用途では、産業安全基準で冷凍装置に指定されているほとんどの冷媒ガス検知器は、大規模な冷媒漏れからの大まかなレベルの安全保護を提供しますが、最も一般的な冷媒漏れの早期警告を提供には効果的ではありません。

超高感度の冷媒モニターは、作業員・居住者の安全と早期警告リーク検出の両方を実現するために使用され、排出量の削減、コスト削減、メンテナンスの改善、商業ビルで使用される冷凍システムの効率向上を可能にします。

冷媒ガス検知器を使用するための安全要件

業界標準は、機械室の業務用冷凍システムの設計、運用、および保守に関してほぼ調和しています。 ASHRAE 米国暖房冷凍空調学会標準) 15 および 34 (米国)、EN 378 (欧州連合)、および CSA-B52 (カナダ) は、その管轄区域の業界をガイドし、オペレーターおよびアクセスできる、またはアクセスできる可能性のあるすべての人の安全に焦点を当てています。

冷媒ガスが存在する可能性のある機械室設備。これらの基準は、冷媒を含む機器の適切な使用、特定の冷媒の充電量、および冷媒ガスの暴露限界の概要を示しています。これらの安全基準は、国際消防法および国際機械法によって、また地域の管轄区域でさらに強化されています。

上記の安全基準に加えて、EPA 608 (米国)、CARB (カリフォルニア州規制、米国)、および F-Gas (EU) の政府規制および法律は、高い地球温暖化係数 (GWP) およびオゾン層破壊係数 (ODP) の高い環境に有害な冷媒の全体的な削減について概説しています。

1990 年代以降、ほとんどの機械的および商業的建築基準法は、商業用建物での商業用冷凍システムおよび冷媒ガスの安全な使用に関する地域の安全基準に適合しています。これらの安全基準は、商用冷凍システムのさまざまな物理的危険性に対応していますが、特に、3 kg (6.6 ポンド) を超える CFC、HFC、または HFO タイプの冷媒を使用する商用冷却システムの機械室で固定冷媒ガス検知器を使用する必要があります。 (ASHRAE 15-7.6.4 項、CSA B52 - 4.5.2 項)。 EN 378 の充填許容量はわずかに大きくなります。つまり、R-32 は > 12kg (26.4 ポンド) ですが、機械室のガス検知器を緊急換気装置に接続する要求もあります。

したがって、今日のほとんどの商業ビルは、冷凍装置内およびその周辺で作業する可能性のある人員の安全を保護するために、機械室に何らかの形の冷媒ガス検知を備えている必要があります。安全基準を満たすために使用される冷媒ガス検知の目的と、地方自治体の規制で規定されているように、漏れを早期に警告して冷媒排出量を削減するために使用される冷媒ガス検知のタイプとの違いを理解することが重要です。

安全性に基づく拡散ガス検知と超高感度サンプリング システム

機械室の安全要件を満たすために使用されるほとんどの冷媒ガス検知器は、拡散式ガス検知器です。それらは一般に壁に取り付けられており、ガス漏れがセンサー素子に到達する必要がありますが、ガス濃度は漏れのポイントからガス検知器の場所まで到達するまで希薄化します。ガスが検出されると、すぐに警報を発することができます。IP 定格のエンクロージャを使用すると、応答時間が遅くなる可能性があります。安全性に基づく拡散式検出器には、通常、最小検出限界 (MDL) が 100ppm のガスセンサーが組み込まれ、フルスケール範囲の 15%

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

から 100% のアラームに設定されています。低警報範囲を制限すると、誤警報が減少しますが、一般的な高警報設定の範囲である占有暴露限界（OEL）のしきい値に達する前に、約 7 倍の安全率が提供されます。この安全要因は、OEL が通常 TLV-TWA（しきい値制限値-時間加重平均）として使用され、8 時間の時間加重制限として定義されることを考慮すると大きくなります。

安全基準では、ガス検知器を漏れからの冷媒ガスが集中する場所に配置する必要があります。

ガス検知器は、TLV-TWA または冷媒ガスの同様の危険または毒性測定値以下の値で警報および機械的換気を作動させるものとします。安全基準の目的は、漏れにより冷媒ガス濃度が安全濃度レベルを超える可能性がある機械室または機械室に入る前に、技術者または商業ビル内の他の業員に警告を与えることです。

上記で定義された OEL に加えて、安全基準の制限値のいくつかは、短期暴露制限（STEL） – 15 分の TWA、生命と健康への即時危険（IDLH） / 酸素欠乏限界（ODL）、急性毒性暴露限界（ATEL）および実質的限界（Practical Limit）です。HFC または HFO 冷媒への長時間の暴露は、心臓および神経学的な健康への悪影響を引き起こす可能性があり、高濃度では窒息につながる可能性があります。

ガス種	占有暴露限 界	短期暴露制 限	生命と健康への 即時危険	急性毒性暴露限界 /酸素欠乏限界	実際限界
	OEL	STEL	IDLH	ATEL/ODL	
R-22	1,000 ppm	1,250ppm	59,000ppm	0.21 kg/m³	0.3 kg/m³
R-134a	1,000 ppm	2,000ppm	50,000ppm	0.21 kg/m³	0.25 kg/m³
R-404A	1,000 ppm	4,000ppm	130,000ppm	0.52 kg/m³	0.52 kg/m³

図-1 ガスの濃度限界（出典；ASHRAE 34, CSA-B52 そして EN 378）

注意：ppm (parts per million) は、濃度の測定単位である体積ベースであることに注意してください。

このタイプのガス検知は、基本的な安全コンプライアンスを満たすには十分すぎるほどですが、一般的に、低レベルの漏れをキャッチし、商用冷凍システムからの冷媒放出を削減し、政府の規制や法律を順守するには不十分です。

超高感度サンプリングシステムは、MDL が 1 ppm と非常に感度の高い集中型ガスセンサーを利用します。これにより、安全ベースの拡散検出器よりも 1 衝高い感度の 5~10ppm の非常に低いアラーム設定ポイントが可能になります。さらに、サンプリングポイントをリークソースにできるだけ近づけることで、低レベルのリークを検出する機能が向上しました（下の図 10 を参照）。

サンプリングシステムにはポンプが組み込まれており、単純な空気圧式の検出ポイントを介してサンプルをセンサーに送ります。電力を必要としないチューブ終端は、コイルやコンプレッサーなどの一般的なリークソースの

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

近くで簡単かつ安全に近づけることができます。

これらのサンプリングシステムは、広いスペースにすぐに拡散する可能性のある多くのリークソースがある商業ビルの用途に最適です。

サンプリングポイントは、サンプルが超高感度センサーに送られる一般的なリークソースの近くに簡単に配置できるため、多くの場所で低 ppm のアラームと早期のリーク検出が可能になります。

商用冷凍システムでの排出漏れ削減と早期警告の達成

小売冷凍アプリケーションでの冷媒排出に関する EPA の調査によると、コンプレッサー、コンデンサー、エバボレーター、および冷媒供給ラインが、すべての冷媒リーク源の 69% を占めています。機械室では、これらの特定された場所が潜在的なリークソースの最大 50% を占める可能性があります。

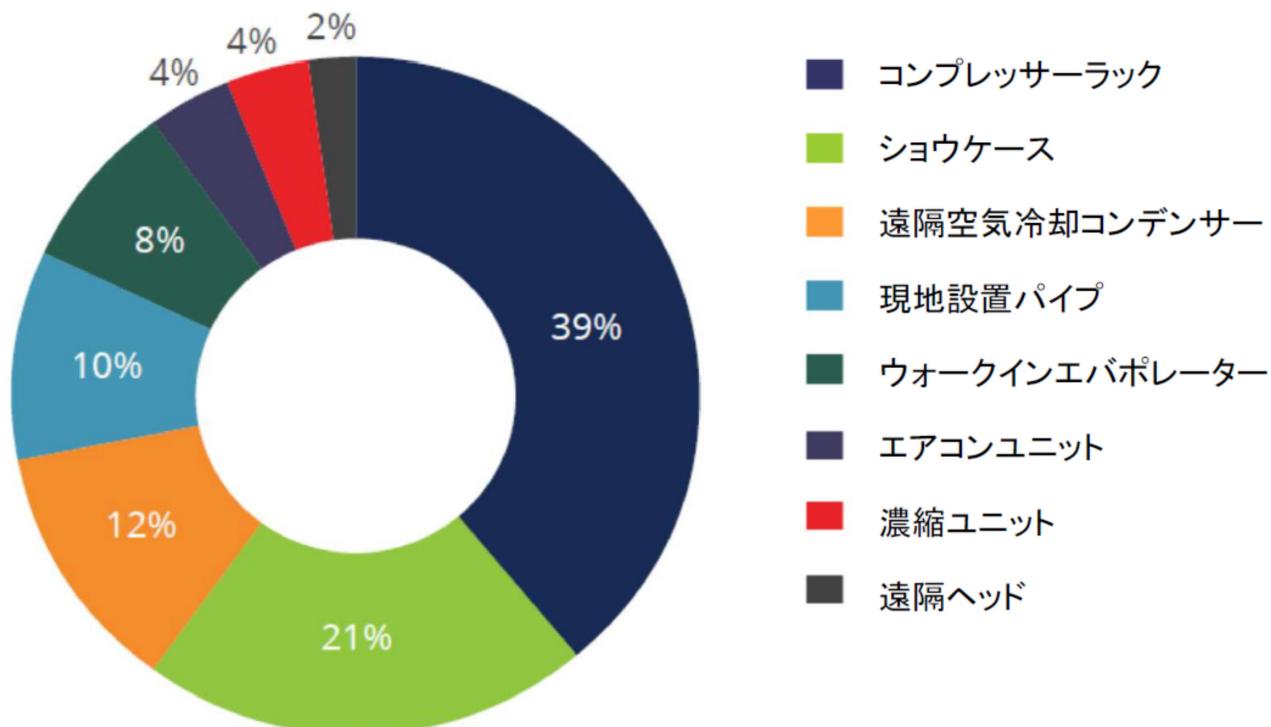


図-2) 地域のスーパー・マーケット・チェーンのリーク場所

一般的な故障モードは、繰り返しの熱サイクルによる孔食(小さい穴)、腐食、または小さな疲労亀裂です。この性質の漏れは非常に小さく始まり、断続的になり、吸引ゾーンで検出可能なレベルに達するまでに数日または数週間かかる場合があります。発生源の近くにサンプルポイントが配置された超高感度サンプリングシステムの低 MDL (1 ppm) は、疲労亀裂が有害な濃度につながる前に、または単に大気への冷媒のゆっくりとした着実な損失として継続する前に、早期警告を提供し、修理を容易にします。

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

Bacharach 社は、パラセンス (Parasense) プラットフォームを介して、30 年間で 20,000 を超える監視対象検出ポイントを備えた超高感度サンプリングシステムの接続されたリモート監視を提供してきました。下の図 3 は、典型的な拡散ガス検知器の最小検出レベルを超えるまでにリーク濃度が 28 日かかった場合の典型的なリークプロファイルです。この濃度はリークソースの近くで検出されたことに注意してください。壁に取り付けられた安全ガス検知器の近くの濃度は、ガス拡散勾配と強制的な室内空気交換によってはるかに低くなります。このリークが拡散ガス検知器の MDL に到達したとしても、拡散ガス検知器の一般的なアラーム設定値は MDL より数百 PPM 高いことを覚えておいてください。

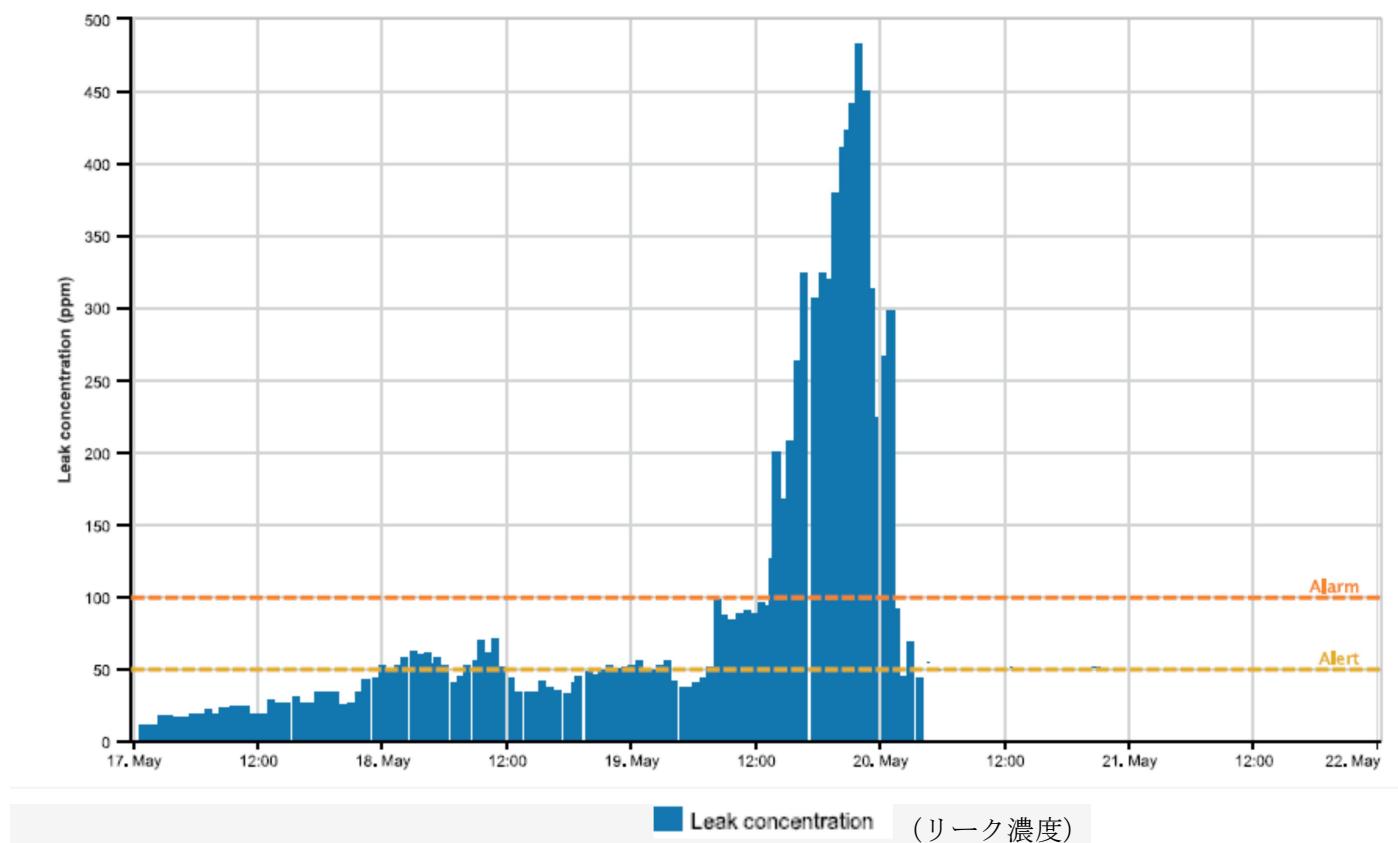


図-3) 数日間にわたる冷媒漏れ経過の例

一般的な冷媒漏れを特定して文書化することで排出量を削減するために、欧州連合政府 (EU) から資金提供を受けた組織である Life Front(ライフフロント)は、(1036) データポイントのうち、約 82.4% が 0.05 mm² よりも小さいこと、および 94.9% が 0.10mm² よりも小さいことを発見しました。(図 4)
Life Front によって特定された漏れの原因是、冷媒供給ラインのひび割れや疲労、蒸発器と凝縮器のコイルの腐食、バルブとシールの漏れなどであることが示されました。
これにより、米国で行われた EPA 調査がさらに検証されます。

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

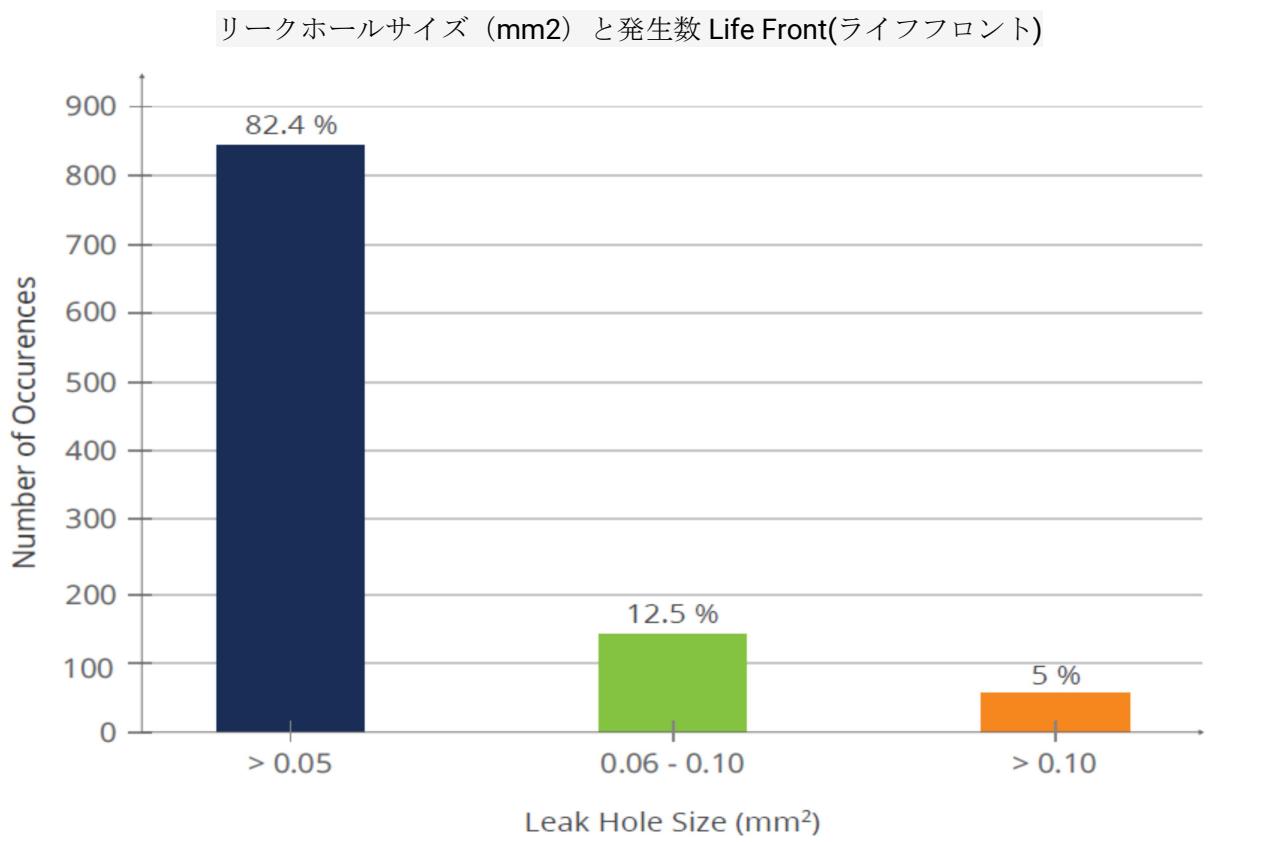


図-4) 一般的な冷媒漏れ穴のサイズ

機械室は、建物のサイズと必要な冷房負荷に応じてサイズが異なる場合があります。多くの場合、機械室には1つ以上の商用冷却装置、その他の機器、ガス貯蔵施設があります。

図7は、10,000立方フィートの機械室を示しています。3台の冷却装置がそれぞれ数千 kg もの冷媒を充填しています。一般的な機械室では、1時間あたり5~10回の空気交換を行うことができます。技術的にベストな回数は、1時間あたり15回の空気交換を行うことです。

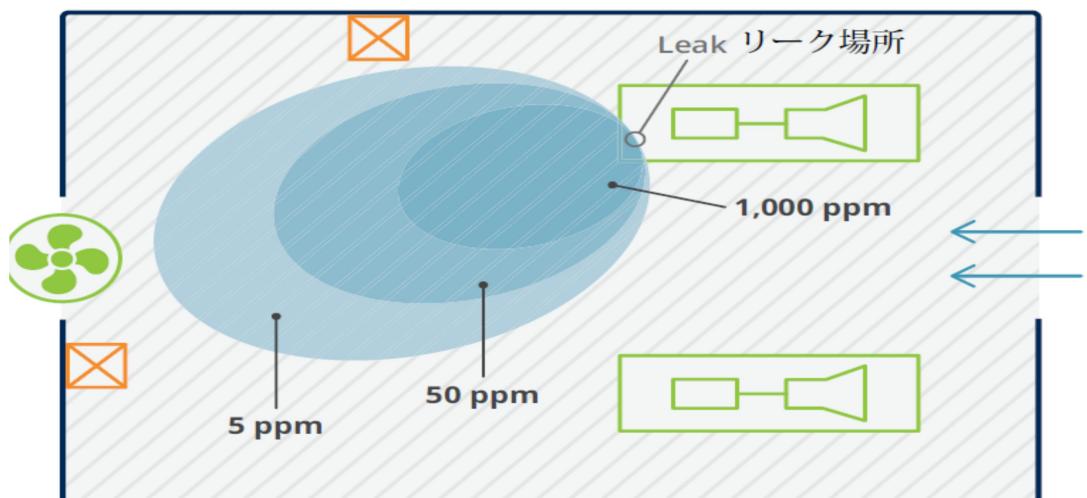


図-5) 拡散式ガス検知器を備えた機械室

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

小さなリーク (Life Front(ライフフロント)データから上記で説明) がアラーム濃度に到達するのがどれほど難しいかをさらに説明するために、上記の機械室の説明を使用して、単位変換に細心の注意を払いながら、次の式で特定のリークレートの定常状態の部屋濃度を計算できます。

冷媒リークレート

$$\text{室の濃度} = \frac{\text{冷媒量} \times \text{リークレート}}{\text{空気交換レート} \times \text{部屋の容量}}$$

冷媒	:	R-410A
冷媒量 (冷却装置毎)		1,600 kg
リークレート		160 kg / 年
部屋の容量		270 m³
空気の入れ替え回数		5 / 時間
最大定常状態の部屋濃度		< 4.6 ppm

図-6) 部屋の容量と空気交換回数と R-410A の定常状態濃度の関係

冷媒濃度と部屋の大きさ(容量)と空気の交換回数(/時間)

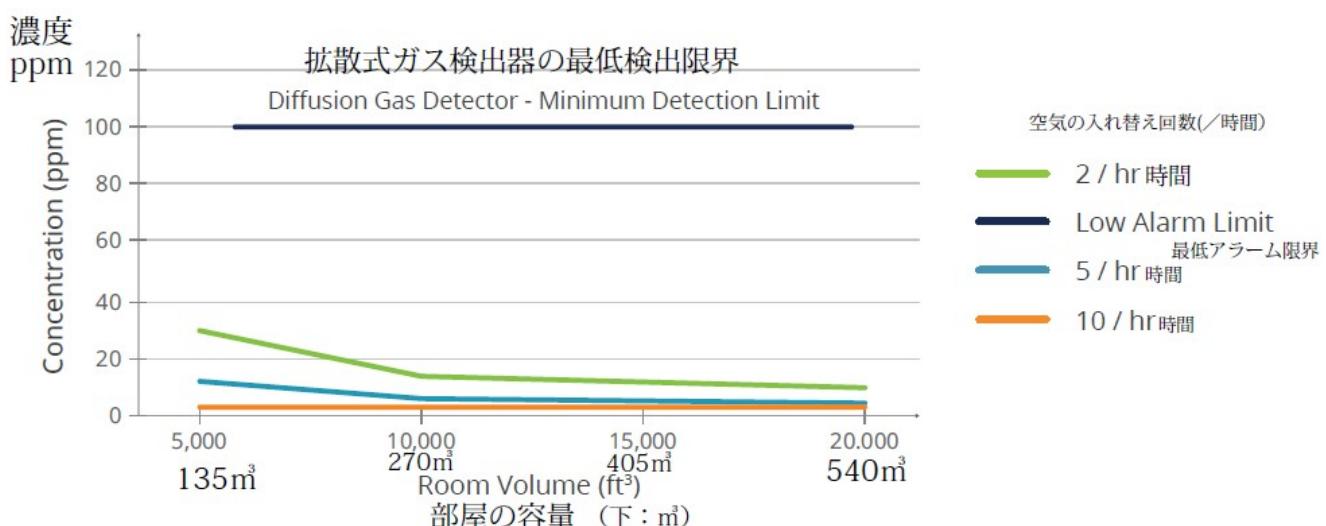


図-7) 拡散式ガス検出器を設置した機械室

図 6 と図 7 を見ると、R-410A の定常状態の濃度は 1 時間に 5 回の空気交換で 4.6ppm に達していることがわかります。この濃度は、安全ガス検知器の最小検出レベル (100 ppm) には達しません。さらに、機械室設計の標準的なベスト空気交換回数は、ガス濃度をさらに希釈するために 1 時間あたり 10~15 回の空気交換を確保することです。

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

この機械室の広いスペースと強制空気交換により、冷媒ガスの漏れが方向付けられて拡散し、ほとんどの安全タイプのガス検出が、安全性の向上と排出量の削減を可能にする早期警告アラームの形で真の漏れ検出を提供できなくなります。また、機械室の空気は業界の安全基準に従って安全ですが、上記の計算とグラフで使用されたリークレートとガス充填量から、年間約 160 kg(350ibs)の損失となります。さらに、このリーク状態では、1,600 kg(3,500ibs)の冷媒ガスが完全に失われる可能性がありますが、この濃度では、拡散式ガス検知器濃度が警告することはありません。

したがって、冷媒漏れのサイズと量、および強制換気によって拡散する傾向、または密度の違いによる沈降の傾向に基づいて、安全ガス検知器は低レベルの冷媒漏れを早期に警告しません。ただし、超高感度マルチポイント検出システムは、低レベルのリークを早期に警告し、それによって冷媒の放出を減らし、安全性を高めるのに役立つことが証明されています。

ASHRAE15、EN 378、および CSA-B52 タイプの安全ガス検知装置から、マルチポイント(多点)サンプリングシステムを分離する多くの状況があります。しかし、最も重要な 3 つの状況は次のとおりです。

- ・ガス検知器の最小許容アラーム設定値。
- ・冷媒システム機器のリークポイントに対する検出ポイントの近接性、とスペースの強制換気。
- ・機械室スペースで使用される検出ポイントの数。

ガス検知器の最小許容アラーム設定値

前述のように、ASHRAE 15、EN 378、および CSA-B52 安全ガス検知器は、通常、フルスケールの 15~100% のアラーム設定値で事前設定されていますが、これは、安全でない冷媒濃度への暴露から人員と資産を保護するのに十分です。100~1,000 ppm のアラーム設定値は、低レベルの冷媒ガス漏れを警告する可能性はほとんどありません。

ガス検知器の最小許容アラーム設定値は、検知器のガスセンサー技術の感度の尺度である最小検出レベル (MDL) によって決定されます。MDL は、検出範囲や精度と混同しないでください。それは、検出器がターゲットガス (R-410A など) を検出できる最低濃度 (100 ppm、10 ppm、1 ppm など) です。

冷媒ガスの漏れは小さく、機械室の広いスペース内で希釈される可能性があるため、MDL がはるかに低い固定検出器を使用すると、5~10ppm 未満のレベルでアラーム設定値を有効にできます。このしきい値でアラームをトリガーする機能により、低レベルのリークを検出する可能性が大幅に高まります。

ガス検知器の製造元は MDL を指定する場合と指定しない場合がありますが、最小許容アラーム設定値を指定する必要があります。これは MDL より低くすることはできません。

ガス検知器の MDL より下に設定されたアラーム設定ポイントは、誤ったアラームを繰り返し発生させたり、冷媒ガスの濃度が存在する場合はまったくアラームを発生させなかったりする可能性があります。

検出ポイントの近接性

冷媒システムが古くなると、冷媒ガスが漏れるリスクが高まります。コンプレッサーとバルブのガスケットが摩耗し

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

たり、ひびが入ったりして、シールに失敗する可能性があります。配管はまた熱サイクルまたは孔食を繰り返しから亀裂を形成し、漏れ始める可能性があります。

最初はリークが非常に小さく断続的になる可能性がありますが、リーク率は時間の経過とともに増加する傾向があります。

ほとんどの冷媒ガスの密度は、周囲の空気の密度よりも重いか軽いため、濃度が上昇する可能性のある冷媒ガスのポケットに落下または上昇するリスクがあります。

小さな漏れと集中ポケットは、強制換気によって「一掃」される場合とされない場合があります。

したがって、検出ポイントの理想的な場所は、機器の一般的なリークポイントに可能な限り近く、部屋の換気の流れの方向に応じて「下流」になります。

強制換気方向

Direction of Forced Air Ventilation →

シュレッダー
(米式)弁
Schrader Valve

サンプルポイント
Sample Point



図-8) 既知のリークポイントの近くにサンプルポイントを配置する

安全ガス検知器の一部のメーカーは、特定のスペース内の検知器の数について、20~30 フィート (7~9 m) の間隔の設計半径を提案しています。「検出半径」の概念は単純なアプローチであり、検出器がリークソースの近くにある可能性がはるかに低くなり、低レベルのリークを検出する可能性が低くなります。このガス検知方法は、一般的な機械室または機械室での空気交換の力によってさらに損なわれます。

検出ポイントの数

前述のように、ASHRAE 15、CSA-B52、および EN 378 規格は現在、機械室内に少なくとも 1 つのガス検知ポイントを要求します。これは通常、機械室の壁に取り付けられた固定ガス検知器で、濃度がアラーム設定値を超えた場合に警告ストロボとホーンを機械室のドアの外側に警告することで実現されます。その単一の検出ポイントは、通常、室内の空気が安全であると判断するのに十分です。

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

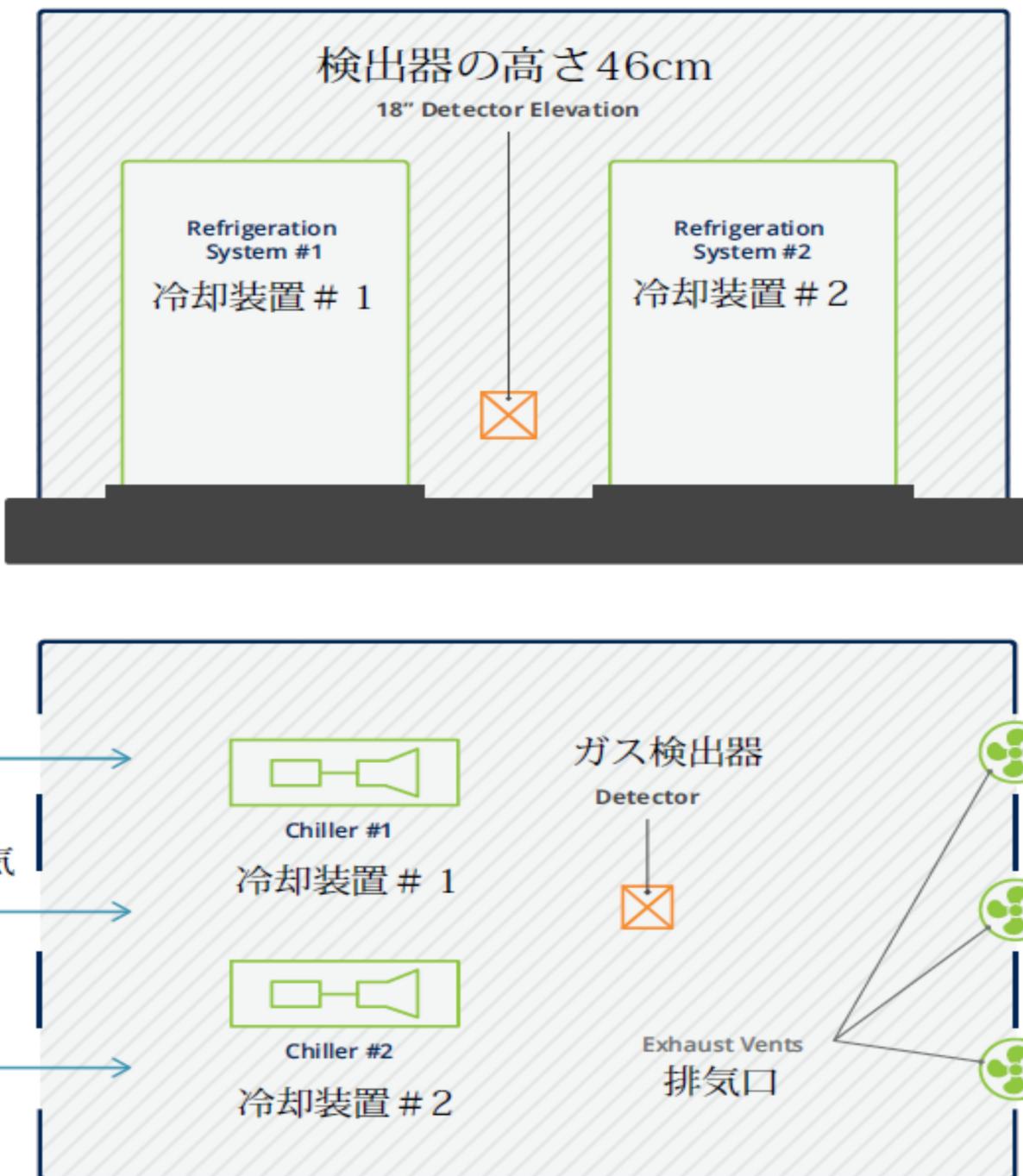


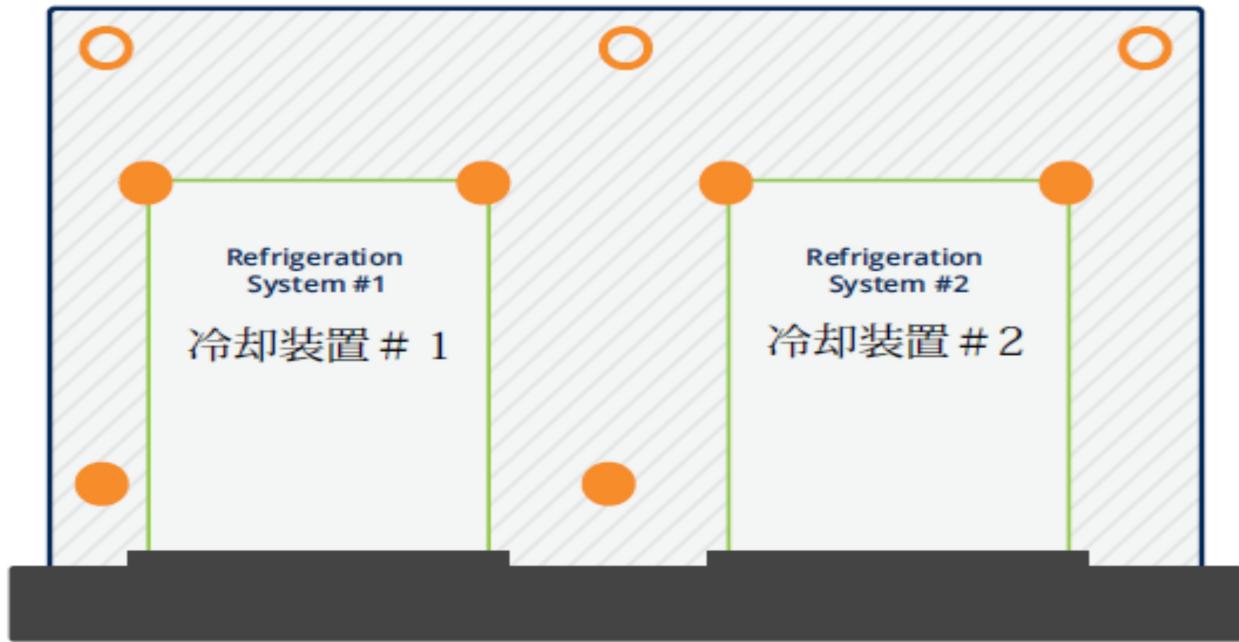
図-9) 冷媒ガス検出器の設置場所

ただし、効果的な早期警告リーク検出を実現するには、検出ポイントの数を冷凍システムの一般的なリークポイントの数に関連付ける必要があります。

超高感度マルチポイント検出システムは、可能な限り低い MDL で、最も費用効果の高い検出ポイント数を提供できます。このようなマルチポイントサンプリングシステムには、中央に配置された超高感度ガスセンサーとサンプリングポンプが組み込まれており、商用冷凍システムに関する複数のポイントからサンプルを抽出します。検出ポイント

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

は、電力を必要としないシンプルで小さな気送管の終端であり、コンプレッサー、バルブ、蒸発器コイルなどのリークソースまたはその近くに簡単に安全に取り付けることができます。



- Pneumatic Tube Sample Point
空気サンプル取入チューブポイント
- Alternate Pneumatic Tube Sample Point
代替的な空気サンプル取入チューブポイント

図-10) 低レベルの漏れを検出するために、商業用冷却装置に適切に配置された

冷媒モニターのサンプルポイント。

冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

図 10 では、超高感度ガスモニターの空気取入れサンプルポイントが、吸引ライン、膨張弁、コンプレッサーシールおよび冷媒供給ラインのような既知のリークポイントの近くに配置されています。

超高感度ゾーンガスモニターは、監視範囲を 2~3 倍に拡大するスプリッターを使用して拡張できます。この拡張は、シングルゾーンまたはマルチゾーンの冷媒モニターを使用でき、監視可能な区域を 2~3 倍に拡張します。

結論

ASHRAE 15 および 34、EN 378、および CSA-B52 規格に準拠するように設計されたガス検知器は、健康に害を及ぼす可能性のある冷媒濃度で機械室に入るのを防ぐためのものです。安全基準に概説されているアラーム設定ポイント、場所、および検出ポイントの数は、通常、年間の冷媒排出量が多く、効率と全体的な安全性が低下する、より一般的で小さなりークを見つけるには不十分です。

次の表は、ガス漏れのサイズ、発生する可能性、および推奨されるガス検知技術をまとめたものです。

リーキー	低レベルリーク	中レベルリーク	高レベルリーク
リーキー	可能性が非常に高い	可能性が低い	非常にありそうもない
冷媒ガス検出器 150ppm MDL (最低検出限界) 検出器	検出不能 小さな漏れは、拡散式のリーク検出器では検出しません。	検出できない場合があります。 空気の流れと冷蔵室の配置によっては、拡散式センサーは、濃度が時間の経過とともに増加するまで、中程度の漏れを検出しない場合があります。	検出可能 明確な拡散経路を確保するため、各検出ポイントでの年次校正と定期的な目視検査により、大きな漏れを検出します。
冷媒ガスモニター 1ppm MDL (最低検出限界) 検出器	検出可能 適切に配置されたサンプルポイントと優れたMDLにより、吸引システムは他の市販の検出器には出来ない漏れを検出できます。 安全基準を満たします。	検出可能 OELレベルに達する漏れは、吸引システムによって早期に検出される可能性が非常に高い。それでも、OELレベルに達する中程度のリークは簡単に検出され、ASHRAE15の要求に従って警告されます。 安全基準を満たします。	検出可能 適切に設計された吸引システムは拡散式ガス検出器と同等のシステム応答時間で、高レベルの漏れを検出します。吸引システムには、さらに自己診断機能があります。 安全基準を満たします。

図-11) 超高感度サンプリングシステムと拡散式ガス検知器のリーク応答。

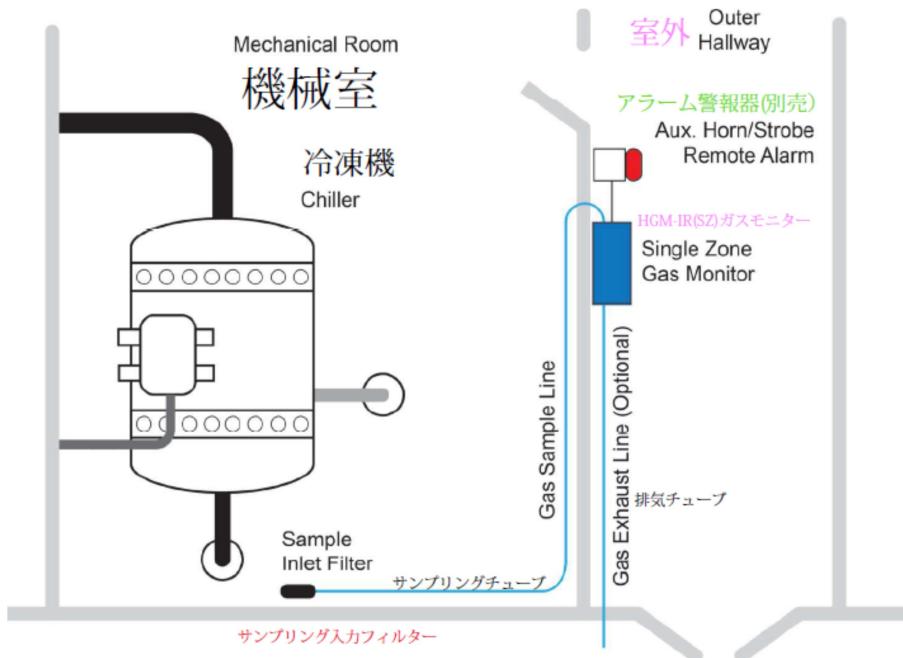
超高感度の多点冷媒ガス検知システムは、居住者の安全と早期警告漏れ検知の両方を実現するために成功裏に使用されており、商業ビルで使用される冷却システムの排出削減、コスト削減、メンテナンスの改善、および効率を可能にしていることがわかります。

BACHARACH.

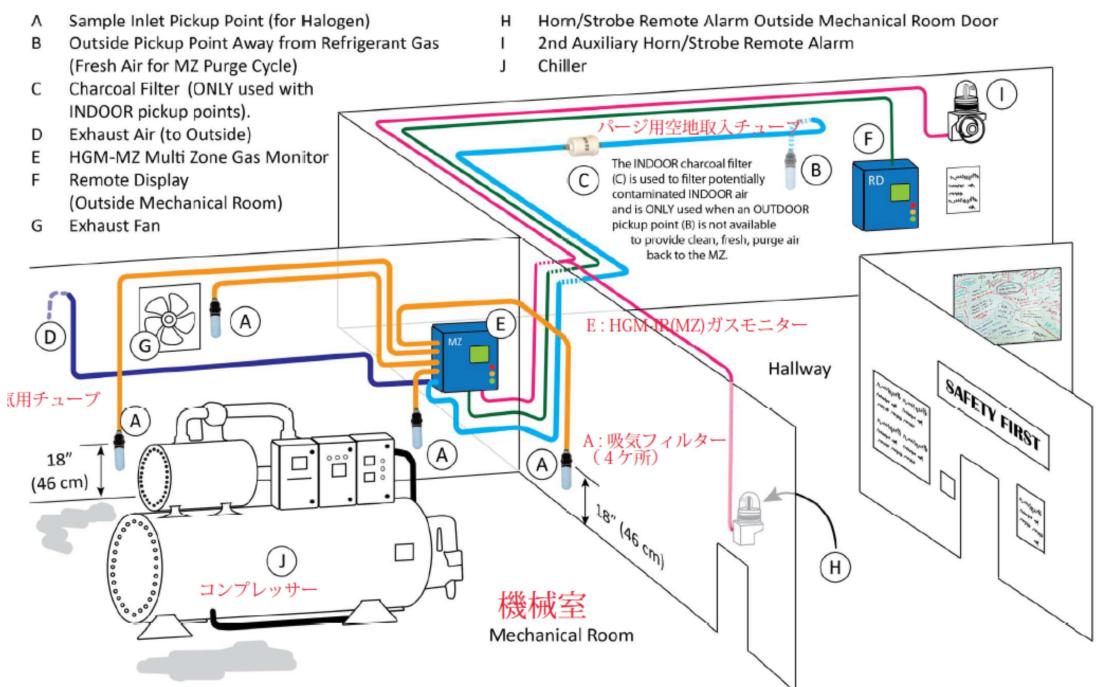
冷却・冷凍機械室の冷媒管理と冷媒リークの低減

高精度冷媒ガスモニター HGM-IR 工業用ガス検出器(吸引型)

シングルゾーン型 HGM-IR (SZ) 設置例



マルチゾーン型 HGM-IR (MZ) 設置例



MGM-IR (SZ/MZ) のお問合せ先

株式会社 UWE 電子機器事業部 ☎046-207-3666 / info@uwe-jp.com

<http://www.uwe-jp.com/>

株式会社 UWE

Bacharach