

## アプリケーションノートMC-00220

### 光ファイバーセンサー計測システムによるオイル混入率の測定

#### はじめに

ここ数年、車や家電製品、冷凍空調システムなどの効率的なエネルギー使用の要求が増加する。

京都議定書は、気温や気候に変化をもたらす温室ガスの削減を進めていくことを明記されている。私達の日々の関心事は、エネルギーのコスト高である。石油、天然ガス、電気などのエネルギーへの需要は、全世界で高まっていて、主に新興工業国がその中心である。この需要の増加が、電気や石油などのエネルギーの価格の深刻な上昇の要因となっている。

このような環境が冷凍空調関係の技術者にどのような影響があり、そして、どう対処するのであろうか。その解決策は、冷却システムの設計製造の効率化において他ならないと考えられる。



#### 冷媒中のオイルの影響

多くの調査結果が冷却システムの効率的な働きが、オイルの混入率と相関があることを示している。事実、圧縮器の潤滑やシールの役割のある、このオイルの冷媒への混入は、どのような装置にも見られ、オイルの小さな痕跡がシステム内で発見されると、その量は時間と部品の磨耗によって増加する。

それはどのくらい重要になのであろうか。多くの実験が示しているように、冷媒中の少量のオイルはシステムの効率を上げるが、混入したオイルの量が、あるレベルを超えると、性能は急激に落ちてしまう。システムによっては混入したオイルが1%未満と、非常に低い数値でも、効率が低下することがある。熱伝導は冷媒、オイルの種類、そしてもちろん管の形状にも影響されることは、よく知られている。冷媒中の僅かなオイルの混入でも、蒸発熱伝達の効率にとて

も大きな影響がある。ASHRAE の実験 PR-751 の結果からも、オイル混入の比率が熱伝導に大きな依存性があることが分かる（表 1 参照）。

冷媒 R-134 a において、オイルの混入率 1~2% で 30% ので熱伝達の低下を招き 5~15% で 40~50% にも達する。

HVAC システムを効率的にコントロールするには、冷媒中のオイルレベルを管理する必要がある。オイルの混入率を正確に把握すると、システムの効率化と運転コストの削減することが可能である。オイルの混入率を正確に測定するところが、オイルの混入率による規制の手助けとなる。

オイルの混入率を計測すると、多くの利点がある。新システムの設計段階でのカロリメータやベンチでの評価をするだけでなく、HVAC システムのモニタリングにも使用可能である。設計段階で得られた値は、新しく環境にやさしい冷媒の選択や配管の設計、オイルセパレータ、浄化装置の性能評価、メンテナンスプログラムの改善などに使用される。オイル混入率のモニタリングに関しては、計画保全によるシステム停止時間の短縮、セパレータや浄化装置の性能劣化の指標や制御の補助とシステムの理解などに有効に使用できる。



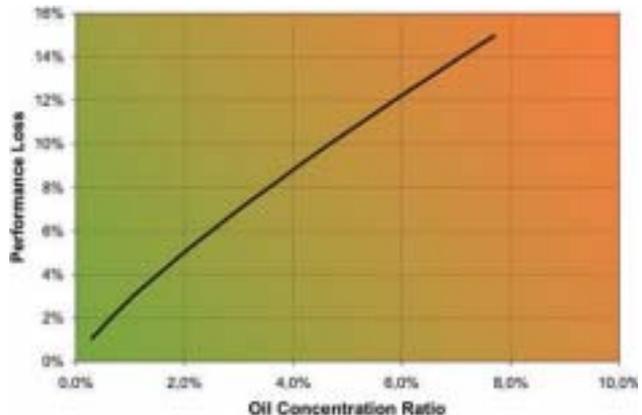
### オイルの混入率の効果的な計測

冷媒中のオイルの量を測定するために使われる最も一般的な方法は、サンプリングである。しかしながら、この方法は、時間がかかりシステムの冷媒とオイルの一部を取り出さなければならない。もちろん入手した結果はリアルタイムではない。そのため、多くの研究者は、混合物の構成物質を正確に測定できる従来とは異なる方法開発するために努力してきた。長年にわたり、動作中の冷却システム内のオイル混入率をリアルタイムで測定するために、多くの方法が試されてきた。これらの方法は、幅広い技術範囲にわたる。音速計測による液体の密度、光の吸収、誘電率、屈折率測定などである。

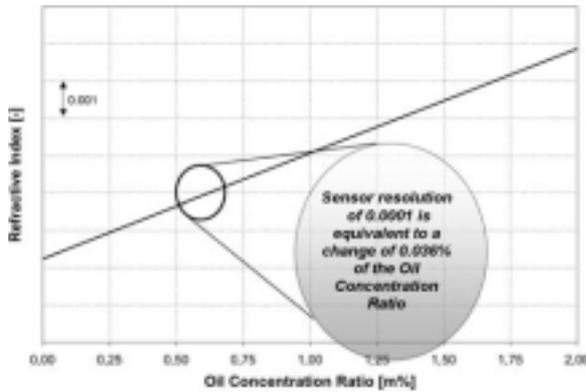
これらの計測技術が全ての要求を満たしていなくても、結果が正確で信頼性があるので受け入れられてきたという事実がある。

ここにフィゾ社は、屈折率センサーとシグナルコンディショナーを使ってオイル混合率を正確に計測することができるシステムを開発した。このシステムは、冷凍空調関係技術者の必要とする条件を十分に満たしている。

- まず、オイル混合率は0.04%以上の分解能で計測できる。Danfoss Commercial Compressorと第三者機関による最近研究報告では、FTI-10シグナルコンディショナーと、FRIセンサーを使って冷媒R-410A中の、POEオイル混合率、0.036%の変化を十分に検出されたことが報告されている。



- 二番目に冷却システムにセンサーを簡単に取り付けることが出来る。FRI-NPセンサーは直径 1/8 インチのステンレススチール製のロッドに装着されていて、Swagelock 製のコネクタが付属している。FIR-NPセンサーは、ユーザサイドで選んだ別のコネクタ(コナックス製)にも使用できる。このインストール方法はシステムへの影響が最小で実際の現象をそのまま反映することが可能である。必要に応じて直径 0.8mm 以下のペアバージョン(FRI-BA)で非常に小さなチューブへの装着やFRI-NPの大きさでは使用できない場所での計測が可能である。両方のセンサーとも継続的なIn-situ計測が可能である。



・ サンプリングレートとシステムのチャンネル数はアプリケーションに合わせて選択できる。モデル FTI-10 はサンプリングレート 10Hz のシングルチャンネル、多チャンネルシグナルコンディショナーの UMI-4、UMI-8 は、4 箇所または 8 箇所の屈折率を測定できる。

新しいシステムの設計段階では、オイルの混合率が冷却システムの場所によって、どのように変化するかを捉えることが重要である。また多点計測をするときでも、全て 1 チャンネルのコンディショナーで測定すると時間差が生じないため有効な場合もある。現象の変化速度やテスト期間により、サンプリングレートと帯域通過フィルターが結果を最適化することができる。付属のソフトのフィゾコマンドや R S -232 のコマンドを使用して、これらの設定を行える。ユーザが実験結果を加工し解析するために便利なテキストフォーマットのデータとして保存でき、加えてアナログデータも出力できる。

・ 最後にシグナルコンディショナーに使われている白色光ファブリペロ技術は、光ファイバーの曲げ、延長ケーブルや多段の接続による光の減少と変動に対し高い耐性がある。センサーの診断機能もシグナルコンディショナーにあるので、長期間の計測前には有効に使える。

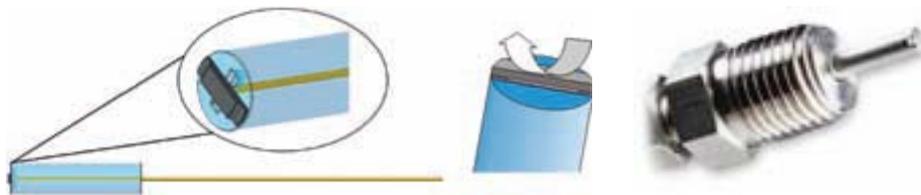
フィゾ社は様々な技術者のために広範囲の解決策を提供している。0.15 の精度を持つ温度センサー、50Pa 以下の分解能の圧力センサー、ひずみセンサーと数種類のコンディショナーを用意しているので、多くの問題を解決することができる。シグナルコンディショナーは、サンプリングレート 10Hz のシングルチャンネル、20Hz の 32 チャンネルから動的な現象を計測可能な 200 k H z サンプリングのものまで用意している。さらに、注目すべき点は異なった物理量を測定するセンサーが、同じシグナルコンディショナーによって同時に計測することが出来る点である。

## フィゾ社について

フィゾ社は光ファイバーセンサーの製造と開発をしているトップメーカーである。厳しい環境下や挑戦的なアプリケーションでのパラメーターを計測するために革新的で信頼できる方法をユーザに提供することを心がけている。光ファイバーセンサーは超小型である事に加えて、光ファイバーの利点である高精度、安全、低侵襲、また、電界、磁界、高周波影響を受けない。使用されている先は、製造工程の管理、医学、宇宙工学、エネルギー科学や教育・研究機関の分野である。常に利用者のニーズに対応することを心がけてる熟練した技術者と専門科によって設計、製造されている。ユーザは、挑戦的な環境下での計測を望み、そのため、最先端技術を基本とした製品を必要としている。優位点の一つとして、顧客の要望に迅速に対応し、もし必要ならば既存の製品を改造して対応するところである。弊社は高精度な製品と技術を提供することに恒に努めている。1994年に設立された弊社は、ROCTESTGroupの一員である。弊社の製品は販売代理店のネットワークを通じて75ヶ国以上の国々で販売されている。弊社は2005年よりSGSによって保証と算定を行っている。

## センサー技術

冷媒中におけるオイルの量を測定する技術は、屈折率計測が基本となる。光ファイバーセンサーを混合物に浸している間、その液体はセンサーのキャビティに充填し、キャビティ長は液体の屈折率に正比例して変化する。屈折率計測は、シグナルコンディショナーの中心波長約800nm光源のスペクトラルの分布に対応する。まずはじめに、混入率の分かったオイルと冷媒の混合液体を用意し、その屈折率を測定する。これらのデータから校正を行い、校正表、または数式を作成し屈折率を混入率に変換する。



### シグナルコンディショナーの技術

フィゾ社の特許である白色光クロスコリレータは、高い信頼性、精度と直線性を持ってファブリ-ペロ干渉計のキャビティー長を測定する。コンディショナーからの白色光は、ファイバーの2×2結合器を通してファブリ-ペロゲージへ向う。ゲージによって波長変調された光シグナルは、シグナルコンディショナーに向い白色光クロスコリレータのリニア CCD で検出される。白色光クロスコリレータは、CCD アレイ上の空間に分布したファブリ - ペロのキャビティとして表すことができる。リニア CCD の、それぞれのピクセルは、あらかじめ定義 LMC レポート MC00220 オイル混合比率計測されたファブリペロのキャビティの長さ対応している。このように、本デバイスは白色干渉の光学系と同様な働きをする。例えば、 $d \mu\text{m}$  のキャビティの長さのあるファブリペロセンサーで考える。このセンサーによって反射された光は、予め決められたキャビティー長が  $d \mu\text{m}$  と対応するリニア CCD アレイ上のピクセルで最大が検出される。図に示すように、ファブリ-ペロのキャビティー長の変化は CCD アレイ上のピーク出力の位置の変化として捉える。フィゾ社は、誘電体コーティングで形成された多層膜にて完全一体化された光学的クロスコリレータを使用しているので、幅広い温度レンジと、長期間の使用に耐える。

