

平成 22 年 6 月 1 日現在

研究種目： 若手研究 (B)  
研究期間： 2008 ~ 2009  
課題番号： 20760128  
研究課題名 (和文) 光ファイバー式温、湿度と潤滑油循環量を測定する新型センサシステムの研究開発  
研究課題名 (英文) Investigation on a novel optical-fiber type temperature, humidity and oil circulation sensor system  
研究代表者：  
党 超鋳 (DANG CHAOBIN)  
東京大学・大学院新領域創成科学科・講師  
研究者番号： 30401227

研究成果の概要 (和文)：本研究は冷凍空調機器のサイクル特性を把握するために重要な温度、湿度と油循環量を測定するための光ファイバー型センサシステムの研究開発である。研究開発対象である光ファイバー型センサは光ファイバーのクラッド層の屈折率の温度、湿度依存性を利用した温度、湿度センサと、潤滑油と冷媒との混合割合の変化による屈折率変化を検出することでサイクル中の油循環量及び圧縮機内の油中冷媒濃度を測定するセンサと二種類に分けられる。光ファイバーを利用した測定は、外部的な電磁ノイズの影響が受けにくい、高圧、可燃性冷媒にも用いられる利点がある。

POF温度センサには疎水性のPVDFとPVCzを混合し、湿度センサには吸湿性に優れたHECとPVDFの混合物からそれぞれ感温/湿膜を作った。性能試験から、制作した温、湿度センサは市販の熱電対および相対湿度センサと同程度の反応を示し、また、セルロースの吸湿特性を考慮した場合の光線追跡法解析結果は実験結果の変化様子と一致することが分かった。

潤滑油の濃度測定センサについては、潤滑油の中に曲がったファイバーを通ることで、曲がった先端の光の漏れは潤滑油の屈折率とファイバ屈折率の差の関数になることが実験より確認し、出口光強度の変化から潤滑油の屈折率測定が可能であることが確認できた。今後潤滑油の屈折率により曲がり曲率の最適化を行う予定。

研究成果の概要 (英文)：A novel optical fiber sensor for temperature/humidity measurement is proposed in this research to be used in the air-conditioning and refrigeration applications, especially when the flammable refrigerant is used. The cladding layer of the POF-type sensor, consists of mixture of the polymer materials, changes its refractive index due to swelling by attachment of water vapor. The cladding is selected so that its refractive index is larger than that of the core area under low humidity condition. With the increase in the environmental humidity, the refractive index of cladding layer decreases, therefore much more light is reflected back to the core and transmitted through the fiber to the end. The change in light intensity is therefore detected and converted into the change in the humidity. Since the refractive index of the cladding layer is also the function of environmental temperature, a temperature sensor is also manufactured by this concept. Experimental results have confirmed the feasibility of the main concept, and manufactured temperature and humidity sensors showed the comparable sensibility with the commercialized temperature and humidity sensors. It is seen that the theoretical analysis using a light tracing method with the moisture absorption properties of cellulose, main component of the cladding layer, agreed qualitatively with the experimental results. The effect of components ratio and the dimensional parameters on the sensor properties were also discussed. It was also confirmed that an oil concentration sensor is feasible by checking the monitoring the change of refractive index of the oil, which is the function of the refrigerant solubility into the oil.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：熱工学

科研費の分科・細目：機械工学、熱工学

キーワード：光ファイバー、湿度センサ、温度センサ、屈折率

1. 研究開始当初の背景

1987年のモントリオール議定書によるオゾン層破壊防止を目的としたフロン規制により、CFC冷媒は1995年に全廃された、HCFC冷媒は2020年に全廃の予定になっている。また、カーエアコンにはR12からR134aに切り替わったが、さらに2006年に欧州連合(EU)が制定したFガス規制により、CO2冷媒や新冷媒の検討が進められている。一方、空調機では、2020年HCFC全廃に向けた代替が進められており、日本では2002年までにR410Aへの代替が完了したが、米国、中国では依然としてR22が使用されている。また、自動販売機やシューケースおよび給湯機においては、既にCO2冷媒が実用化されている。なお、冷蔵庫はR12からR134a、さらには可燃性のR600a(イソブタン)が冷媒として使用されるようになった。このように、使用目的に合わせて、新冷媒、自然冷媒或いは新冷媒が採用されることになっている。

従来の温度、湿度センサは電気駆動のため、引火爆発の危険性のある現場などでは使えない。そのためいくつか種類の光ファイバータイプの温、湿度センサが提案されているが、いずれも高価なレーザ装置を使ったり、検出

装置としては分光装置が使ったりなどシステム自体が高価、複雑であり、特殊な用途以外には実用されていない。このような問題を解消し、安価かつ高精度な温度・湿度センサとしてプラスチック光ファイバーを用いた光導波路型センサの開発が注目されている。その光ファイバー温・湿度センサは光ファイバーコアと特殊な高分子材料をコーティングしてあるクラッドからなる構造である。クラッド層は外部環境の温度・湿度を感知し屈折率が変化する性質を持つため外部環境の温度・湿度を計測できる。このセンサを用いることで、例えば可燃性であるR600a、R290雰囲気内の温度或いは水分量の測定も安全に行うことが可能になる。

2. 研究の目的

本研究は、高圧、可燃性冷媒サイクルにも適用できる光ファイバー式温度、湿度、潤滑油循環量および圧縮機内の油中冷媒濃度を測定するためのセンサシステムに関する研究開発である。研究開発対象である光ファイバー型センサは光ファイバーのクラッド層の屈折率の温度、湿度依存性を利用した温度、湿度センサと、潤滑油と冷媒との混合割合の

変化による屈折率変化を検出することでサイクル中の油循環量及び圧縮機内の油中冷媒濃度を測定するセンサと二種類に分けられる。さらに四つのセンサは同一発信器、検出器を用いることで、統合的な光ファイバセンサシステムの開発を目指す。

### 3. 研究の方法

光ファイバー型温度、湿度センサの原理は図1に示したとおりである。センサはきわめて簡単な構造で、一本のプラスチック光ファイバー (POF) からなる。ファイバーのコア材料は屈折率1.489 (レーザ周波数680nmの時) のポリメタクリル酸メチル (PMMA) である。クラッドは吸湿性の高分子材料を使う。通常状態は、クラッドの屈折率はコアのそれより大きいいため、ファイバーは入射した光のほとんどがクラッドを通して外へと逃げるリーキーモードになっている。環境の温度、湿度上がると、クラッドの高分子材は吸湿し膨張することで屈折率が下がり、入射した光の一部分はクラッドにより反射され光ファイバー内に閉じ込めることになる。クラッドの屈折率はコアの屈折率より小さくなり、光が全反射される状態はガイドモードという。したがって、測定温度、湿度範囲で適切な屈折率変化特性がある高分子材料を選択することはこのPOF温度、湿度センサを開発するときの鍵になる。本研究は、冷媒雰囲気内適切な湿度変化特性ある高分子材料と油中に適切な温度特性ある高分子材料を実験的に選択し、その特性を調べた上に、冷凍空調機器に応用できるPOF温度、湿度センサを開発する予定です。

光ファイバー型潤滑油循環量及び油中冷媒濃度センサは油と冷媒との混合率が変化するときの屈折率の変化を検出することで、潤滑油の循環量及び油中冷媒濃度を測定が可能になる。図2にそのイメージ図を示す。入射POFからの入射光はガラスを通して溶液に入っ

た後、後ろのミラーによって反射され、再びガラスを通して三つのPOFにより検出される。溶液の屈折率が変化すると、反射した光の角度が変わり、三つのPOFにそれぞれ入った光の強度が異なるため、その三つの光強度信号を解析することで溶液の屈折率が分かる。それを利用することで油と冷媒との混合の割合が計測することができる。それを実現するため、油と冷媒と混合した場合の屈折率の変化及び温度の影響；測定装置の設計；入射POFと検出POFのそれぞれの配置などを工夫する必要がある。

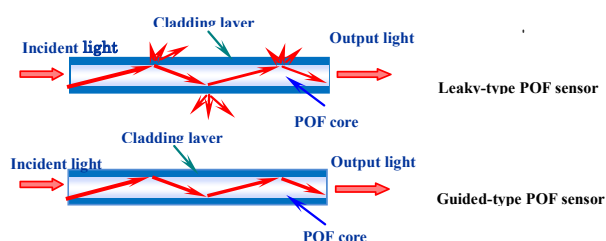


図1 光ファイバータイプ温・湿度センサの原理図

### 4. 研究成果

#### (1) センサ性能の理論検討

理論検討の計算対象が図2に示す。クラッド内の高分子膜の水分濃度と空気側の水分濃度が違う時、水分は空気側とクラッドの間に移動し、時間が立つにつれて、最終的にクラッド内の水分が空気側と同じになる。このクラッド内の水分移動過程は拡散とみなす。ただし、クラッドとコア中の水分の拡散係数がそれぞれ  $1.8 \times 10^{-6}$  と  $4.73 \times 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$  であるため、今回はコア内への拡散がないとする。

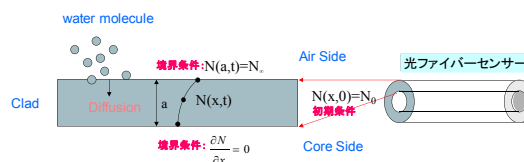


図2 : クラッド層内の水分拡散

水分がクラッドに拡散していくと、クラッドが膨潤し、屈折率が変化する。従来の研究

では、その屈折率の変化はクラッド内の水分濃度に比例するとして解析を行ったが、本研究の湿度センサに用いる HEC は吸湿性が強い、特に高湿度条件においては、著しく吸湿と体積膨張する特性があるので、それを考慮した屈折率と水分濃度との関係を構築し解析を行った。

解析の手順を図 3 に示す。光線追跡法を用いて、臨界角内の光線を一本ずつ追跡し、それをファイバー内の反射回数および反射するときの損失を計算し、センサ出口で積分して出口の光強度を計算する。出、入り口の光強度の変化と環境湿度の関係を求める。

$$P_{out1} = \sum_{\theta=0}^{\theta_c} P(\theta) r^m \quad (1)$$

図 4 にはセンサ長さの影響について計算した結果を示す。センサが長くなると、損失が大きいため、光強度が小さい。また、低湿の時、屈折率の変化が小さいから、センサが短くなると、反射回数が少なくなるので、湿度の影響を小さくなる。つまり、短くなると低湿での反応が見られなくなる。高湿の時、屈折率の変化が大きいため、減衰が激しい。それで、センサが長くなると、高湿での反応がみられなくなる。したがって、センサ長の最適領域が存在することがわかった。

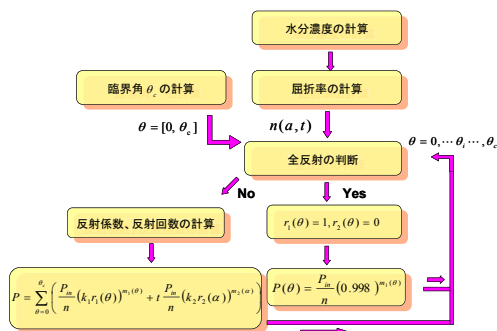


図 3、理論解析のフローチャット

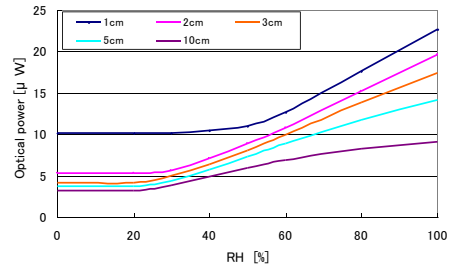


図 4 センサ出力光強度への長さの影響

## (2) 温度センサ、湿度センサの性能試験

POF 温度センサには疎水性の Poly Vinylidene DiFluoride (PVDF) と Poly (9-VinylCarbazole) PVCz を 11:1 の割合で混合し、感温膜を作った。湿度センサには吸湿性に優れた HEC (HydroxyEthylCellulose) と PVDF を 3:1~5:1 の割合で混合し、感湿膜を作った。PVDF, PVCz と HEC の屈折率はそれぞれ 1.42, 1.70 と 1.51 とする。コア材の PMMA の屈折率は 1.49 である。センサ部の長さは 50mm, クラッドの厚みは 50 μm である。

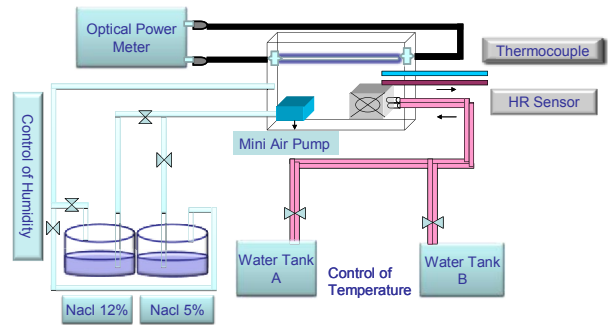


図 5 実験装置の概略図

実験装置の概略図を図 5 で示す。光パワーメーターを 2 つ用いて、一つは LED とし、もう一つは PD として使った。センサ感知部を恒温空気槽において、市販の相対湿度センサまた熱電対との性能比較を行った。

制作した POF 温度センサの性能を測るために、恒温槽の温度を 25°C から 55°C まで変化させ、センサの出力と熱電対の出力との比較結果を図 6 に示す。制作した温度センサは熱電対と同じような反応を示すことが分かつ

た。温度が 10℃高くなるにつき、出口まで伝わった光の強度が約  $0.1 \mu W$  増加する。

POF 湿度センサの性能を測るために、温度を一定にして湿度を変化させて実験を行った。その結果を図 7 と 8 に示す。制作した湿度センサは市販の相対湿度センサと同程度の反応を示し、HEC と PVDF の混合比 3:1 の時一番感度が高いことが分かった。また、作成した温度センサは環境湿度変化の影響を受けないことも確認できた。

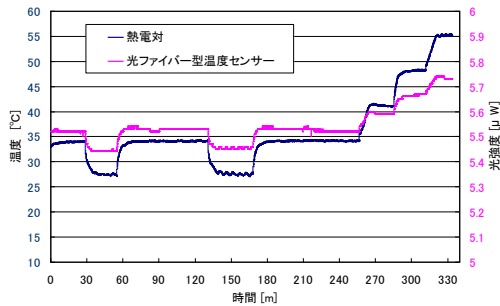


図 6 温度センサの性能試験結果

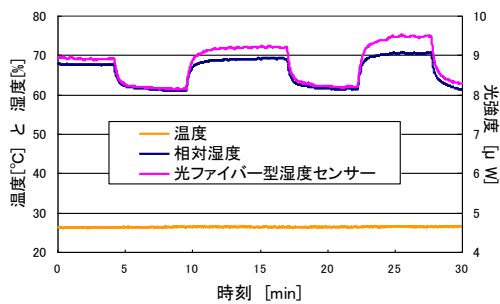


図 7 湿度センサの性能試験結果

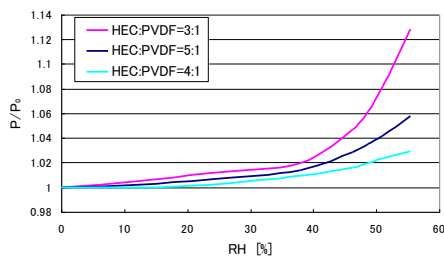


図 8 混合比によるセンサ感度の変化

図 9 測定結果と理論計算結果の比較を示す。二つ計算モデルはそれぞれ HEC の屈折率

が環境湿度によって線形的に変化すると、高湿時の吸水性が強いを考慮したモデルを指している。HEC:PVDF=3:1 の時、セルロースの吸湿特性を考慮した場合の計算結果は実験結果の変化様子と一致することが分かった。

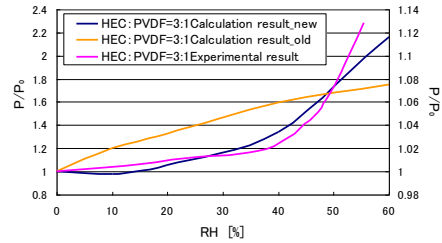


図 9 理論計算結果と実験測定結果との比較

### (3) 潤滑油濃度測定センサ

潤滑油の濃度測定センサについては、潤滑油の中に曲がったファイバーを通ることで、曲がった先端の光の漏れは潤滑油の屈折率とファイバ屈折率の差の関数になることが実験より確認し、出口光強度の変化から潤滑油の屈折率測定が可能であることが確認できた。今後潤滑油の屈折率により曲がり曲率の最適化を行う予定。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 1 件)

党 超鋌、巖 維娜、飛原 英治、光ファイバー型湿度センサに関する研究、第 47 回日本伝熱シンポジウム、2010 年 5 月 27 日、札幌。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

党 超鋌 (Dang Chaobin)

東京大学・大学院新領域創成科学科・講師  
研究者番号：30401227

### (2) 研究分担者

( )

研究者番号：

### (3) 連携研究者

( )

研究者番号：