

# F4

## アルカン及びガソリン蒸気のプラスチック 光ファイバセンシング

Plastic Optical Fiber Sensors of Gasoline and Alkane vapors

森澤正之, 武藤真三

Masayuki Morisawa and Shinzo Muto

山梨大学工学部

Faculty of Engineering, Yamanashi University

### Abstract

Optical fiber sensors for detecting leakage of alkanes and gasoline vapor have been studied. The fiber sensor heads were prepared by coating brend polymer including Polyisoprene on the plastic fiber core with lower refractive index than the cladding polymers. When exposed to alkanes vapor, cladding polymer's refractive index decreases and the sensor head changeses from leaky to guided-type. In the experiment, when a green LED light was guided into this sensor head through the input-side normal plastic optical fiber, a large change in the transmitted light intensity was observed for a wide concentration of alkanes and gasoline vapor with good reproducibility.

### 1. はじめに

タンカーからオイルが流出する事故が相次ぎ、原油による海洋汚染が大きな問題として取り上げられたことは記憶に新しい。原油、ガソリンなどのオイル系液体による汚染は海上のみにかぎらず陸上においても大きな問題と言える。たとえば、ガソリンは一カ所に多量に貯蔵されるため、タンクのわずかな亀裂やタンクの老朽化などに伴い、漏れて土壌や地下水などの汚染を引き起こす恐れがある。実際に、アメリカなどではガソリンなどのオイル系溶液の流出が土壌、地下水などに汚染を引き起こさないようにガソリンタンクなどの設置時に漏れ検知用センサの設置を義務づける動きも出てきている。このような背景から、本研究では、ガソリンおよびその成分であるアルカン類を検知する光ファイバセンサについて研究を行った。光ファイバセンサは高い防爆性を有するためにガソリンやアルカン類のような揮発性、爆発性が強い物質の検出に最適である。また、漏れの検知する目的のためには、長期間連続的にリモートセンシングをすることが望まれるが、そのためにも光ファイバセンサが適している。

本研究では、ガソリンおよびアルカン類によって、膨潤性を示すポリマーに注目し、これをクラッド層とするリーキー・導波変換形プラスチック光ファイバ(POF)センサを作成し、これらの蒸気的光センシングの実用化についての可能性を評価した。

### 2. リーキー・導波変換形 POF アルカンおよびガソリンセンサ

#### 2-1 膨潤性ポリマー

石油、ガソリンなどのオイル系溶液は、主に飽和直鎖炭化水素  $C_nH_{2+2n}$  のアルカン類から構成されている。このアルカン類は極性が小さく、化学的に不活性である。したがって色素などと化学反応を起こしにくく、蛍光変化などを利用する光化学的センシングによる検出は困難とされている。そこでわれわれは、アルカン類によって膨潤性を示すポリマーに注目し、膨潤に伴う屈折率変化を利用してガソリン、アルカン蒸気の検出を試みた。Fig.1 に今回膨潤性ポリマーとして使用したポリイソプレンを示す。ポリイソプレンは屈折率 1.52 のゴム状ポリマーであるが、アルカン類によって膨潤をおこし、その時に屈折率が 1.47 付近まで大きく低下する。また、その反応は可逆的で、アルカン類がなくなると元の屈折率に戻る。この可逆的屈折率変化に注目しポリイソプレンを光ファイバのクラッドに用いることでリーキー・導波変換形 POF センサを作成した。

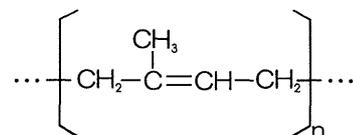


Fig.1 Structure of Polyisoprene

リーキー・導波 POF センサの基本的な動作は次のとおりである。アルカン類がないとき、コアの屈折率はクラッドの屈折率よりわずかに大きい。このときセンサヘッドを透過する光はクラッドに漏れてコアを導波しない。アルカン類が存在するとクラッドは膨潤し屈折率が下がるためコアの屈折率よりも小さくなり光はコアを導波するようになる。このようにアルカンの有無に伴ってリーキー形光ファイバから導波型光ファイバへ変わるためその光透過強度は大きく変化し、アルカン類やガソリンを検知することができる。

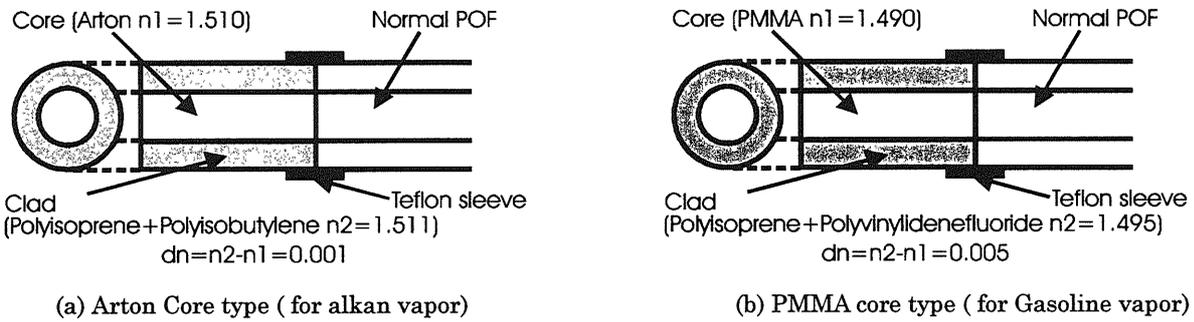


Fig. 2 Structure of POF Sensor

### 2-2 センサヘッドの作成

リーキー・導波変換形 POF センサを作成するためには、コアとして用いるファイバの屈折率がポリイソブレンの屈折率よりわずかに小さいことが必要である。そこで、屈折率1.51のノルボルネン系ポリマー (Arton) をコアとして選択した。さらにコアとクラッドの屈折率差をより近づけるためにポリイソブレンと同じくゴム状ポリマーであるポリイソブチレンを混合して屈折率を1.511に調製したブレンドポリマーをクラッドとして用いた。POF センサは直径 1mm、長さ 7cm の Arton 上にヘプタンを溶媒としたポリイソブレンとポリイソブチレンを混合した溶液をディッピング法により薄膜コーティングして作成された。ところが、Arton はガソリンに可溶であり、ガソリンに対しては使うことができない。そこでガソリン蒸気用 POF センサのコアとして、ガソリンに不溶な PMMA ファイバを用いた。PMMA の屈折率は 1.490 なのでポリイソブレンとの屈折率差が大きすぎ、リーキー・導波変換形の動作が起こらない。そこでポリプロピレンに屈折率1.42のポリビニルデンフロライドを混合し屈折率を 1.495 に調節したブレンドポリマーをクラッドポリマーとする POF ガソリンセンサも作成した。Fig. 2 に作成した 2 種類の POF センサの構造を示す。

### 3. 実験および考察

作成した Arton コアタイプと PMMA コアタイプの 2 種類のセンサについて、それぞれアルカン蒸気とガソリン蒸気に対する応答特性を測定した。実験系を Fig. 3 に示す。光源の高輝度緑色LEDからの光はプラスチックファイバによってチャンバー内の POF センサに導かれ、センサの透過光はプラスチックファイバによって光検出部に導かれその光強度が測定された。

最初に各種アルカン蒸気に対する Arton コアタイプの POF センサの応答を調べた。飽和蒸気圧におけるヘキサン、ヘプタン、オクタン、ノナン等の各種アルカン蒸気に対しては、数分から 10 分程度応答速度で、透過光強度の増加が確認された。次に、ヘキサンに対して濃度を変えて応答特性を測定した。Fig. 4 にその結

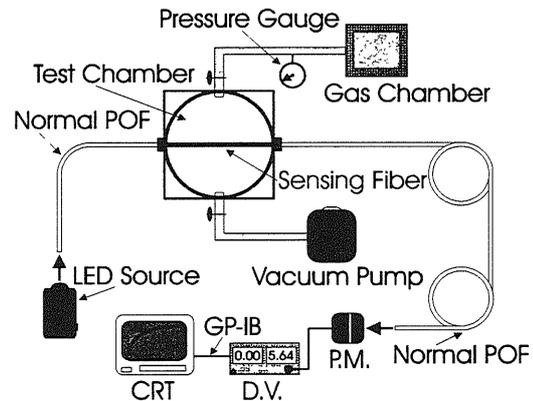


Fig. 3 Experimental set up

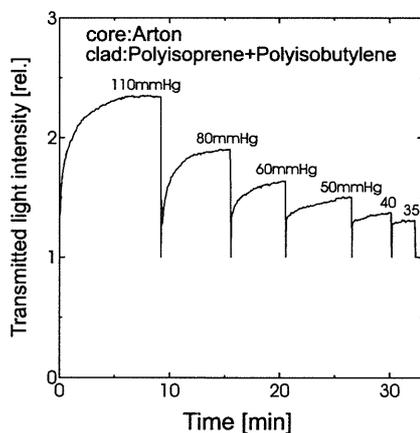


Fig. 4 Sensor response for different Hexsane gas concentration.

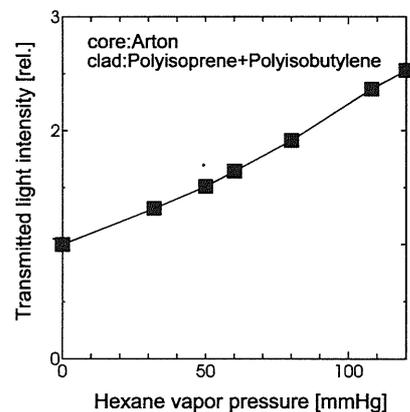


Fig. 5 Transmitted light intensity v.s. Gasoline vapor concentration

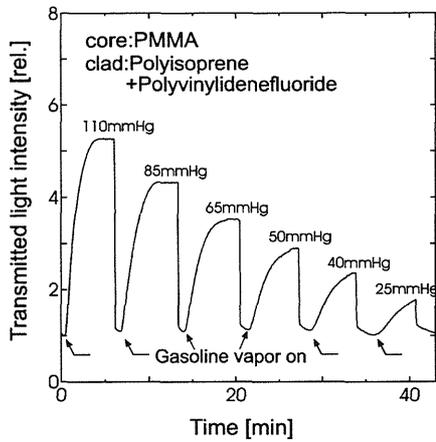


Fig.6 Sensor response for different gasoline vapor concentration.

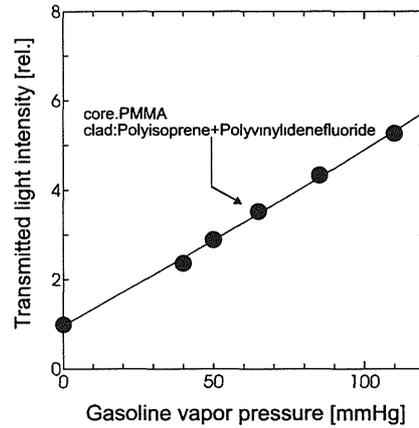


Fig.7 Transmitted light intensity v.s. Gasoline vapor concentration.

果を示す。ヘキサン蒸気の分圧を 110mmHg から 30mmHg まで変えているが、いずれもその応答がヘキサン注入時には数分、排出時には数10秒と速く、また低濃度でも透過光強度の変化が見られ、繰り返しも良好である。Fig.5 は横軸をヘキサン濃度でプロットしなおしたものであるが、ヘキサン濃度に対して直線性の良い検出特性が得られている。

Fig.6, Fig.7 に、PMMA コアタイプ POF センサをもちいたガソリンに対する応答特性を示す。Arton コアタイプと同様に早い応答性と直線性の良い検出特性が得られていることがわかる。

最後に温度と湿度に対する影響を Fig.8, Fig.9 に示す。本センサは湿度や温度にもほとんど影響を受けないことが確認できた。

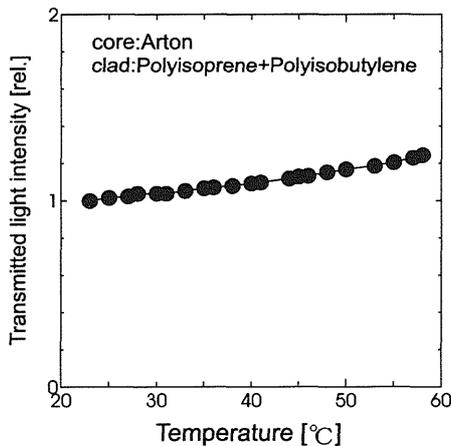


Fig. 8 Effect of temperature on sensor response.

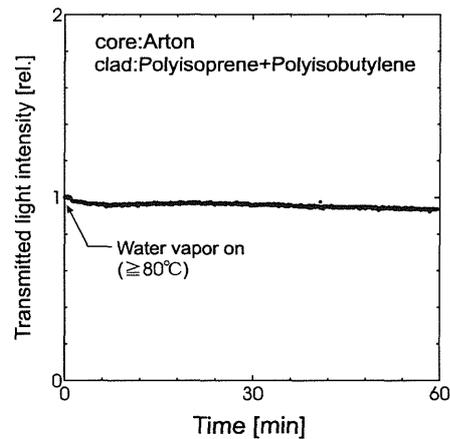


Fig.9 Effect of humidity on sensor response.

#### 4. むすび

膨潤性ポリマーのポリイソプレンなどをクラッドに用いて、アルカン蒸気用として Arton コアタイプ、ガソリン蒸気用として PMMA コアタイプの2種類のリーキー・導波変換形POFセンサを作成し、アルカン類、ガソリン蒸気に対するセンシング特性を測定した。クラッドポリマーであるポリイソプレンに各種ポリマーをブレンドして屈折率を調節することによってセンサの感度を向上させ、ガソリンおよびヘキサンをはじめとするアルカン類に対して繰り返しのよい安定した POF センサを実現できた。

今後はさらなる高感度化を目指し、実用性を高めていく必要がある。

