

# 特集 オイル循環率計測\*

## Measurement of Oil Circulation Rate

神谷 治雄  
Haruo KAMIYA

杓名 喜代治  
Kiyoharu KUTSUNA

斎藤 昭則  
Akinori SAITO

稲垣 英人  
Hideto INAGAKI

We have developed oil and liquid refrigerant back sensor which can catch the flow condition in the suction side of compressor accurately. This method has made possible the real time measurement even in the gas-liquid two-phase flow like refrigerant and oil in the suction side of compressor so that oil and liquid refrigerant circulation can be measured by fluorescence and light scattering respectively.

As a result, this method has achieved to measure oil and liquid refrigerant circulation even in the transition period like compressor starting up which used to be hard to measure by the conventional visual observation.

**Key words** : Oil Circulation, Liquid Refrigerant Circulation, Sensor, Flow Condition, Compressor, Measurement, Gas-Liquid Two-Phase Flow, Fluorescence, Scattering

### 1. はじめに

カーエアコン用コンプレッサにおいて、摺動部の潤滑は冷媒とともにA/Cサイクルを循環するオイルに頼っている(Fig.1参照)。そのため、コンプレッサ吸入側でのオイル戻りが摺動部の潤滑に与える影響は大きく、またコンプレッサ起動時などにみられる冷媒の液戻りは液圧縮に結びつくことから、コンプレッサ吸入側におけるオイル戻り・液戻りを解明することは非常に重要である。

従来、このオイル戻り・液戻りの計測はサイトグラスによる目視観察に頼っていたが、目視観察は実際には単に液の流れを観察しているだけでありオイルと液冷媒の区別はつけられず、さらに定量性や連続性にも欠けるといった問題があった。

そこで、著者らはエンジン分野の研究で実用化されている蛍光法<sup>1)~3)</sup>を応用して、コンプレッサ吸入側の気液二相状態でのオイル戻りと冷媒の液戻りを同時に測定可能な計測法を開発したので報告する。

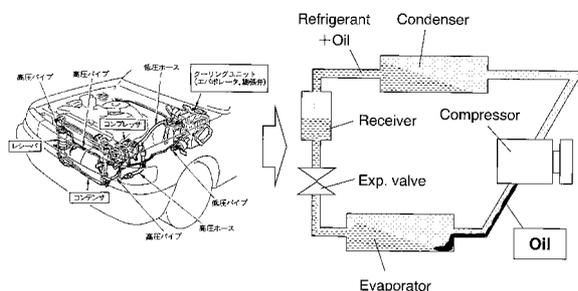


Fig.1 Automotive air-conditioning system

### 2. 計測原理

#### 2.1 蛍光法

Fig.2に蛍光法の原理の概念図を示す。図に示すように蛍光剤を添加したオイルに紫外線(励起光)を照射すると、オイルからは励起光よりも長い波長の蛍光が発光する。ここで添加する蛍光剤に油性、不揮発性のものを用いれば、Fig.3に示すようにA/Cシステム内でオイルは冷媒の凝縮、あるいは蒸発により希釈・濃縮され冷媒に対するオイル濃度は変化するが、蛍光剤とオイルは共に不揮発性であるためオイルに対する蛍光剤濃度 $\alpha$ は不変である。したがって測定部から発光する蛍光強度は、そこに存在する蛍光剤の量、すなわちオイル量に応じた強度になると考えられる。

そこでオイル量と蛍光強度の関係を調べるために、オイル濃度の異なる溶液を順次ガラス容器に加えた

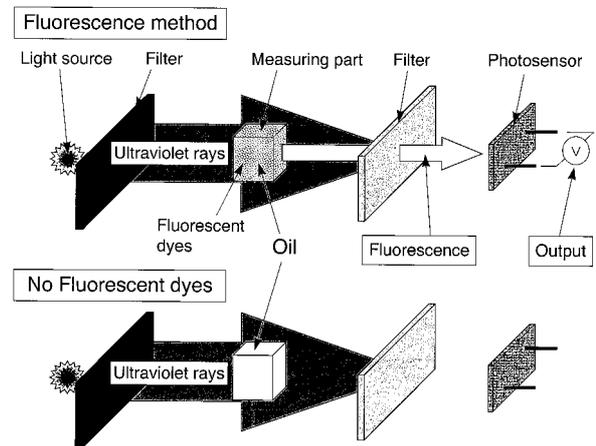


Fig.2 Fluorescence method theory

(社)日本冷凍空調学会の了解を得て、第31回空気調和・冷凍連合講演会講演論文集(97.4)より加筆転載

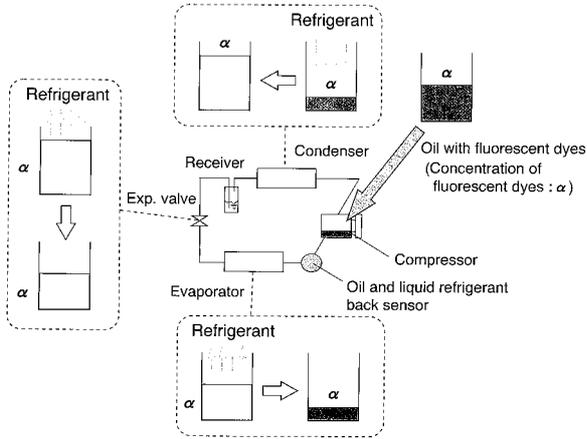


Fig.3 Behavior of fluorescent dyes in the air-conditioning system

きの蛍光強度をフォトセンサにより測定した結果を Fig.4 に示す．濃度の違いにより多少グラフの傾きは異なるが，蛍光強度はおおむねオイル量に比例することがわかる．

本計測法では，この蛍光強度がオイル量に比例するという関係を利用して，コンプレッサ吸入側でのオイル戻り計測を可能にした．

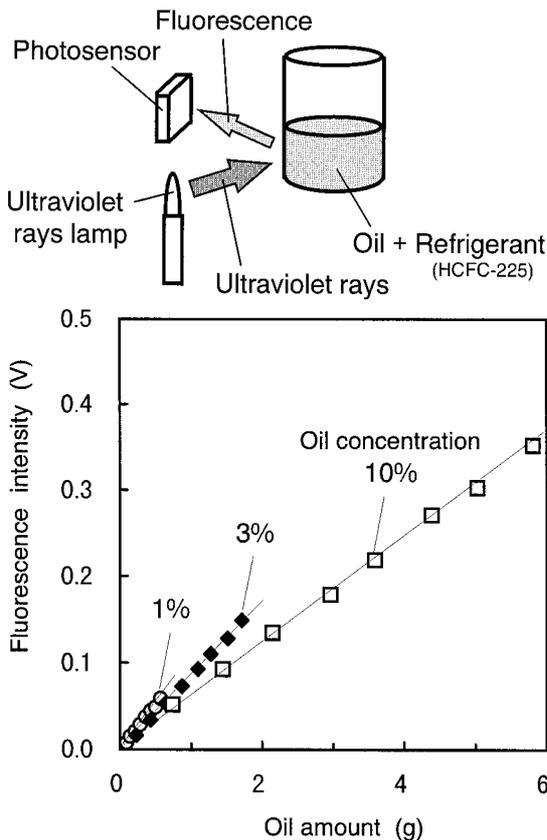


Fig.4 The relationship between the oil amount and the fluorescence intensity

## 2.2 センサの構成

Fig.5 に今回開発した計測センサの構成の概略を示す．ガラス管の回りに紫外線ランプ，フォトセンサ，および2種類の光学フィルタが配置されており，フォトセンサにより蛍光強度とガラス管を透過する光(透過光)の強度を測定する．ここで2.1節の蛍光法の原理から蛍光強度によりオイル戻りを計測し，また透過光強度により以下の原理から液冷媒戻りを計測する．

## 2.3 液冷媒戻り計測の原理

Fig.6 はガラス管内の流れの状態と透過光の大きさを示した概念図である．ガラス管内を流れる冷媒が完全な過熱ガス状態であれば透過光強度は大きく，ガス冷媒と液冷媒が混在した湿り状態(気液二相状態)であれば液による光の散乱により透過光強度は小さくなると考えられる．

そこで気液二相流れと透過光強度の関係を調べるために，擬似冷媒としてHCFC-225(液)とN<sub>2</sub> ガスを本センサに流したときの透過光強度，蛍光強度の測定結果を Fig.7 に示す．管内の流れがN<sub>2</sub> ガス単相状態のときよりも，液(HCFC-225)が混ざった気液二相状態のときの方が透過光出力は低下しており，透過光により

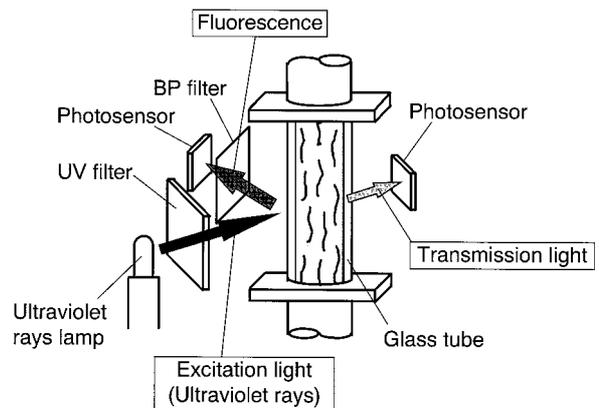


Fig. 5 Structure of the sensor

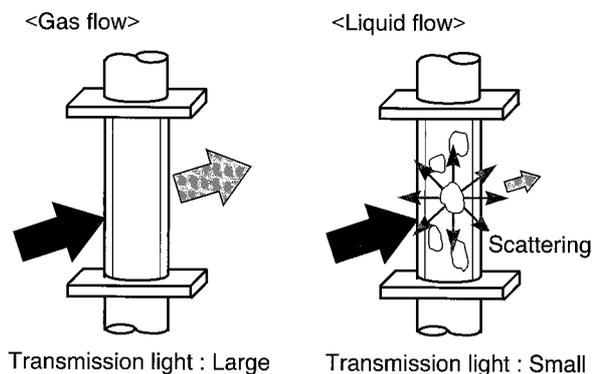


Fig.6 Theory of liquid back measurement

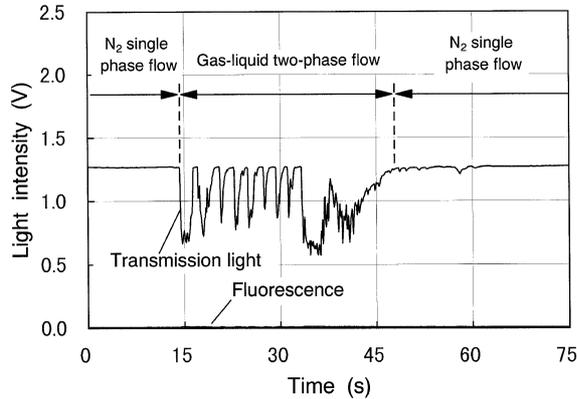


Fig.7 Results of liquid back measurement

定性的な液戻り計測が可能であることがわかる。また、二相流れの中には蛍光剤(オイル)が含まれていないため、単なるガスや液の流れだけでは蛍光出力は全く現れていない。

このように本計測法では光の散乱を利用して、透過光強度を測定することにより気液二相状態の液冷媒戻りを計測する。

#### 2.4 光源, 蛍光剤, 光学フィルタの選定

蛍光法で重要な点はFig.2に示されるように励起光と蛍光を完全に分離して蛍光強度のみをフォトセンサで測定することである。そのためには励起光の波長帯と蛍光の波長帯が離れた波長域になるように光源, 蛍光剤および光学フィルタを選定する必要がある。このような観点から本計測では, 光源は351nmにピーク波長がある紫外線ランプを, 蛍光剤は510 ~ 530nmの範囲内に発光ピーク波長がある油溶性の蛍光剤を, またフィルタは光源側には中心波長が355nmの紫外透過可視吸収フィルタ(以下UVフィルタと呼ぶ)を, 受光側には中心波長が530nmのバンドパスフィルタ(以下BPフィルタと呼ぶ)を使用した。

Fig.8に今回使用した紫外線ランプとUVフィルタの組み合わせによる励起光と, 間隙100 $\mu$ mのガラスセルに入れたオイルからの蛍光を分光光度計により測定した結果を示す。ただし, 蛍光測定では励起光にはハロゲンランプと上記UVフィルタを組合わせたものを使用し, 受光側にはBPフィルタを光路中に入れて励起光をカットした。また, 測定結果はそれぞれのピーク波長の出力が1.0となるように換算してある。

Fig.8に示すように, 励起光はUVフィルタにより280nm以下および400nm以上の波長の光がカットされ, また蛍光はBPフィルタにより480nm以下および

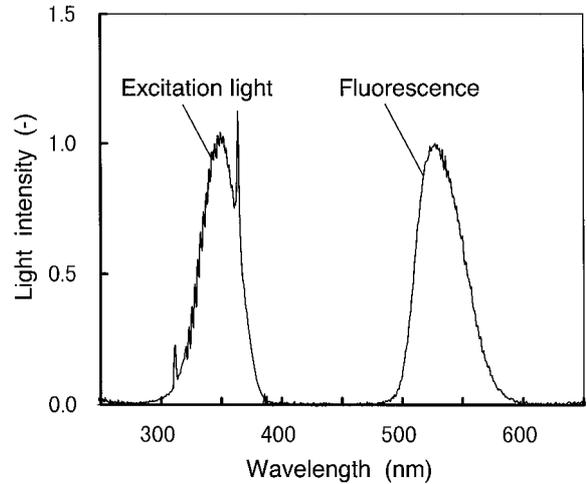


Fig.8 Wavelength characteristics of excitation light and fluorescence

600nm以上の波長の光がカットされている。このように励起光と蛍光の波長域がそれぞれのフィルタにより完全に分離されていることから, 今回使用した光源やフィルタの組み合わせが適していることがわかる。なお, 実際の蛍光出力は励起光出力よりも2桁ほど小さいために, 透過光の測定では蛍光出力の影響は無視できる。

### 3. センサ特性

#### 3.1 雰囲気温度の影響

今回開発したオイル・液戻りセンサの出力特性について検討する。Fig.9に示す実験用冷凍サイクルで, サイクルを循環する冷媒量とオイル量を一定に保った状態でセンサの雰囲気温度のみを変化させて蛍光, 透過光を測定した結果をFig.10に示す。

冷媒とオイルの流量が一定であるにもかかわらず, 蛍光と透過光の出力は雰囲気温度50 付近をピーク

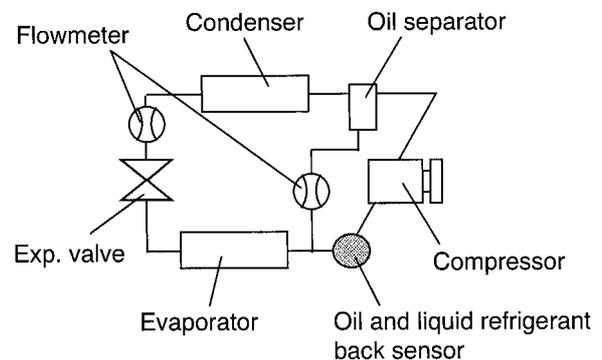


Fig.9 Schematic view of experimental apparatus

として、雰囲気温度が低い状態でも逆に高い状態でも、それぞれの出力が低下してしまうことがわかる。これはFig.10中に励起光として示すように、光源(励起光)であるランプの出力強度が雰囲気温度によって変化するためである。そこでFig.11に示すように、励起光出力によって蛍光、透過光の出力をそれぞれ補正すれば、両者ともに雰囲気温度によらず一定となる。本センサでは、このような雰囲気温度による影響を除外するために励起光強度も同時に測定し、蛍光、透過光の出力を励起光出力によって補正し無次元化している。

### 3.2 流れの状態による影響

前節と同様にFig.9に示す実験用冷凍サイクルで、サイクルを循環する冷媒量を一定に保ちながらオイル流量のみを変化させて蛍光、透過光を測定した結果をFig.12、Fig.13に示す。なお、実験結果は雰囲気温度に対して補正し無次元化してある。

2.1節(Fig.4)で確認したように蛍光強度は静的な状態ではオイル量に対してほぼ直線的に増加するが、Fig.12に示すように実際の流れにおける測定ではオイル流量が5g/min付近で蛍光出力の増加割合が変わっ

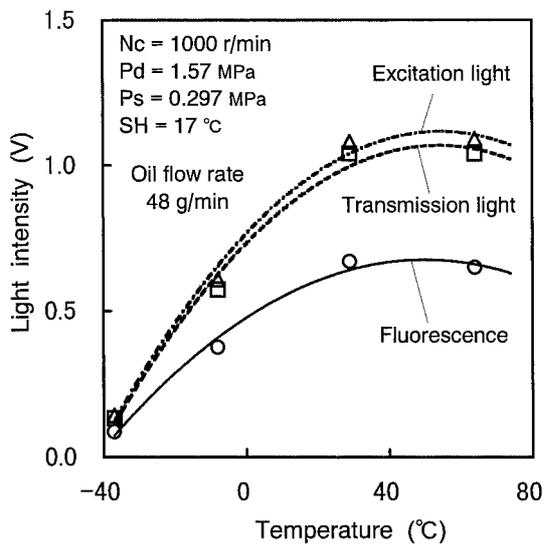


Fig.10 Influence of atmospheric temperature (not corrected)

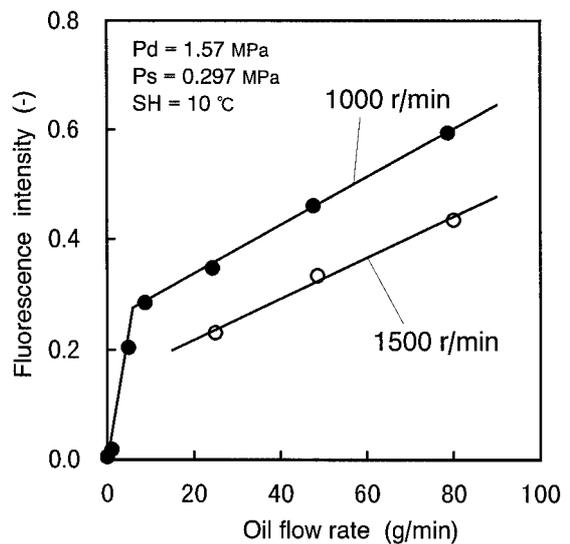


Fig.12 Output characteristics of fluorescence

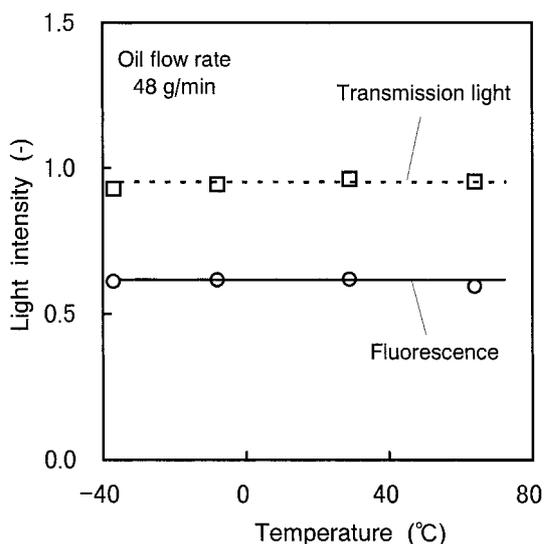


Fig.11 Influence of atmospheric temperature (corrected)

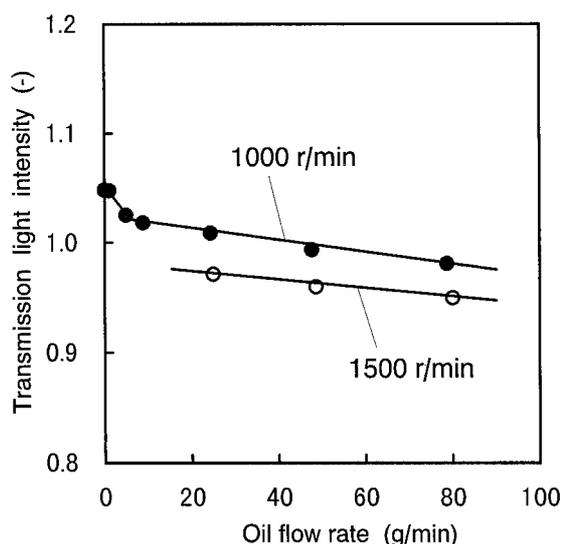


Fig.13 Output characteristics of transmission light

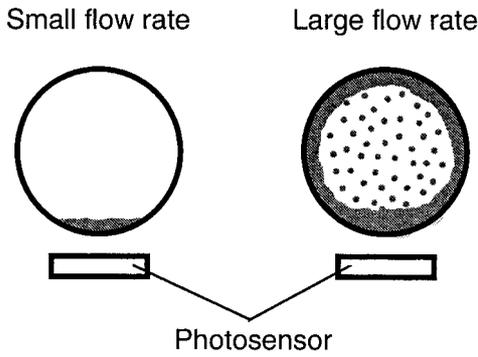


Fig.14 Flow behavior in the pipe

ている．これはFig.14に示すように管内を流れるオイルが，少流量域ではフォトセンサの近くを流れる波状流，大流量域では環状噴霧流になっているため，流量変化に対するセンサ感度が流動形態の変化過渡時を境に変わるためである．しかし，この点を除けばオイル流量の増加に対して蛍光出力も比例的に増加しており，実際の流れの測定においても蛍光強度によりオイル戻りの計測が可能であることがわかる．

次にFig.13の透過光出力は前記蛍光の場合と同様，オイル流量が5g/min付近で傾きの変曲点がみられる．また，オイル流量の増加に対して透過光出力はわずかに減少しているが，これはオイルによる光の吸収，散乱の影響である．しかし，2.3節で述べた実際の液戻り時のように液冷媒を多量に流したときの透過光出力は，このオイルによる出力低下よりもさらに低下することが確認されており，透過光により液冷媒戻りの計測が可能であることがわかる．

#### 4. 実験装置および方法

Fig.15に実験装置の概略を示す．実験は，実際の車両のユニットを用いた実験用冷凍サイクルの蒸発器とコンプレッサの間に今回開発したセンサを取付け，コンプレッサ起動時のオイル・液戻りを測定した．コンプレッサの起動は電磁クラッチのON - OFFで行い，回転数は1000r/minになるように設定した．熱負荷は装置全体が室温状態で測定を行った．

#### 5. 結果および検討

Fig.16に，コンプレッサを1000r/minで定常運転後，電磁クラッチにより1分間停止させた後に再起動したときの蛍光・透過光の測定結果を示す．コンプレッサの起動直後に吸入側配管および蒸発器内に溜まってい

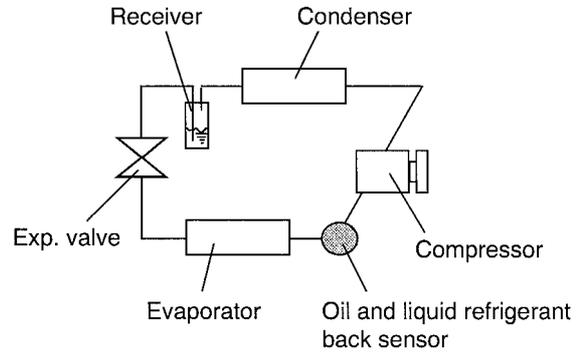


Fig.15 Schematic view of experimental apparatus

たオイルと液冷媒が一瞬のうちにコンプレッサに吸込まれ，その後いったんオイルと液冷媒の流れはなくなり，起動後約10秒後に再びオイル・液冷媒の流れがみられる．この2度目のオイル・液戻り以後数十秒間は，オイルとともに蒸発器内で蒸発しきれない液冷媒がコンプレッサに吸込まれ，起動後約60秒で過熱ガス冷媒の流れになったことがわかる．

Fig.17は，本センサと直列に取付けたサイトグラスでの流れの様子の写真であり，それぞれFig.16のA～Fに対応する．Fig.17からもわかるように，本センサによる測定結果はサイトグラスの目視観察による流

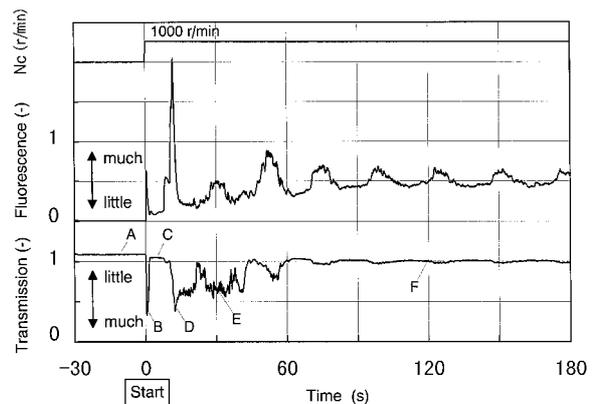


Fig.16 Oil and liquid refrigerant circulation after starting up ( stop 1 minute )

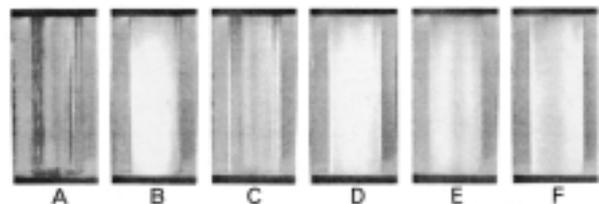


Fig.17 Flow condition

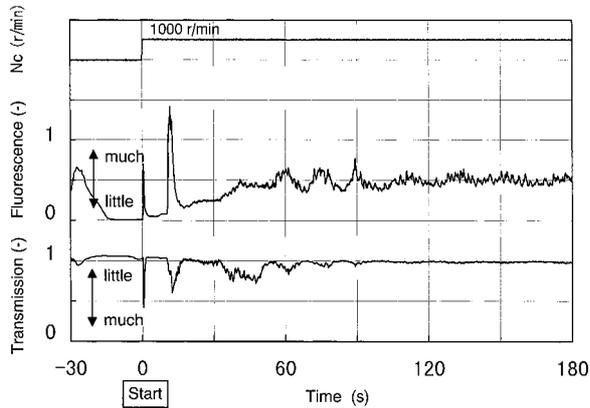


Fig.18 Oil and liquid refrigerant circulation after starting up ( stop 30 seconds )

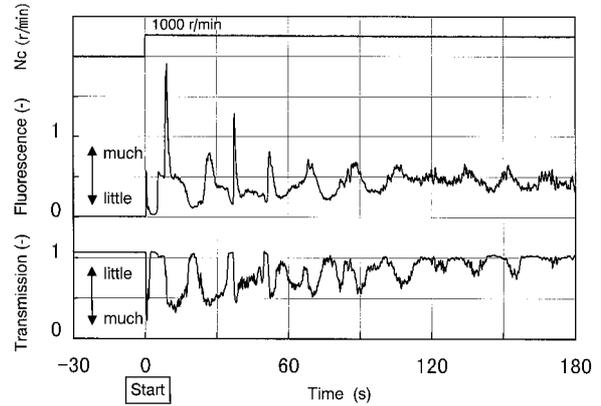


Fig.19 Oil and liquid refrigerant circulation after starting up ( stop 30 minutes )

れの様子とよく一致しており、本センサによりコンプレッサ吸入側の気液二相流におけるオイル・液戻り計測が可能であることが確認できる。

Fig.18, Fig.19に、コンプレッサを定常運転後30秒間および30分間停止した後に再起動したときの結果を示す。停止時間が30秒の場合にも起動直後と約10秒後にオイルと液冷媒が同時に戻ってくるというパターンはFig.16と変わっていないが、2度目の液戻り量が少なくサイクルも比較的早く安定する傾向がある。一方、30分停止後に再起動した場合には2度目の液戻り以降の液冷媒戻りの状態が長く続き、サイクルが安定するまでに長時間かかることがわかる。また、図は省略するがコンプレッサを一昼夜停止させた後の起動試験においても、30分停止後の場合(Fig.19)と同様の結果が得られた。

このようにコンプレッサ起動時には吸入側配管および蒸発器内に溜まっていたオイルと液冷媒が一瞬のうちにコンプレッサに吸込まれ、その後いったんはガス冷媒のみの流れになり、しばらくしてから再びオイルと液冷媒がコンプレッサに戻ってくるのがわかっ

た。また、起動前の停止時間が長くなるほど起動後の液戻り状態は長く続き、サイクルが安定するまでに長時間かかることがわかった。

## 6. まとめ

蛍光法と光の散乱を利用して、コンプレッサ吸入側の気液二相状態での計測が可能なオイル・液戻りセンサを開発した。本センサによりコンプレッサ起動時のオイル・液冷媒戻りの状態が明らかとなった。

### <参考文献>

- 1) 田中, 田端: “平面レーザー誘起蛍光法によるガソリン機関燃焼室内のOHラジカルの分布計測”, 機論, B60-574, (1994), pp.2229 - 2235.
- 2) 葉, 神本, 小酒, 小堀: “レーザー誘起蛍光法による非常蒸発噴霧における燃料蒸気濃度の2次元定量測定”, 機論, B61-590 (1995), pp.3401 - 3406.
- 3) 稲垣, 斎藤, 村上, 許斐: “蛍光法によるピストン曲面油膜分布計測(計測システムの開発)”, 機論, B61-590, (1995), pp.3629 - 3635.



< 著 者 >



神谷 治雄  
(かみや はるお)

冷暖房開発2部  
工学博士  
コンプレッサの開発および要素技術開発に従事。



沓名 喜代治  
(つくな きよはる)

冷暖房実験部  
カーエアコン用冷凍サイクルの技術研究に従事。



斎藤 昭則  
(さいとう あきのり)

(株)豊田中央研究所 機械1部  
燃料制御研究室  
工学博士  
液体微粒化, 燃料噴射系, 直噴ガソリンエンジンの研究に従事。



稲垣 英人  
(いながき ひでと)

(株)豊田中央研究所 機械1部  
燃料制御研究室  
油膜計測, 噴霧計測, 直噴エンジンの研究に従事。