

A233

## 超音波による冷媒/油混合物の濃度測定 Concentration measurement of refrigerant/oil mixture by ultrasonic wave

○ 加藤 康司 (静岡大院)      正 福田 充宏 (静岡大)      正 柳沢 正 (静岡大)  
Koji Kato, Mitsuhiro Fukuta and Tadashi Yanagisawa, Shizuoka University, 3-5-1 Johoku, Hamamatsu

Measurement of an oil circulation ratio (OCR) in refrigerating cycles is important for evaluating the reliability of a compressor and the performance of heat exchangers. The OCR is typically measured by a sampling method, but the method consumes time and can not measure the transient change of the OCR. On the other hand, the OCR measurement by the sound speed of refrigerant/oil mixture is easily done in real-time. In this study, the ultrasonic sound speed sensor was developed, and the sound speed of the refrigerant/oil mixture was measured. Moreover, the correlation between the sound speed and the oil concentration is clarified.

*Key Words:* Refrigerant, Oil concentration, Ultrasonic, Sound speed,

### 1. まえがき

冷凍サイクルにおいて一般に圧縮機には潤滑油（冷凍機油）が必要であるが、その一部は冷媒と共にサイクル内に流出し、熱交換器の性能を低下させてしまう。したがって圧縮機の信頼性を確保したり、冷凍サイクルの効率を評価したりするために、油の循環率測定が必要となる。

従来、冷媒中の油濃度の測定方法には、冷媒/油混合物をサイクルから抽出し油濃度を測定するサンプリング法が主に用いられている。しかし、測定時間が非常にかかる、サイクルからサンプリングを行うことでサイクル内の冷媒量に変化してしまう、過渡的な油濃度の変化を測定することが難しい、などの欠点がある。油濃度の測定には他に光学的な測定<sup>(1)</sup>や、密度による測定<sup>(2)</sup>などの方法もあるが、本研究では冷媒/油混合物の油濃度をリアルタイムで測定するために測定が比較的簡単な超音波を利用した音速測定<sup>(3)</sup>を行う。超音波は不透明な物質も通過するので将来的には管の外からの測定も考えられる。

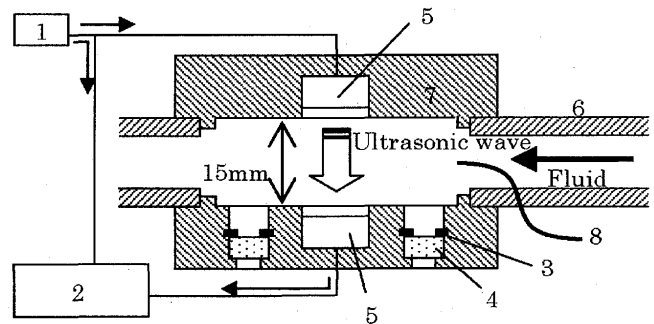
### 2. 実験装置および実験方法

冷媒/油混合物の音速は、混合物中に超音波を伝播させて測定した。図 1 に超音波センサ装置を示す。装置は圧電形の超音波素子（村田製作所：MA200A1）、ファンクションジェネレータ（WAVETEK：MODEL 148）、オシロスコープ（HIOKI：8855）で構成されている。発信側の素子と受信側の素子は同じものを使用し、公称周波数は 200 kHz である。素子の上流部と下流部には媒体の様子を観察できるようにサイトグラスを設けてあり、上流部には温度を測定するため T 型熱電対を取り付けてある。

発信側素子にファンクションジェネレータで 200 kHz の電圧を印加して超音波を発信させる。媒体中を伝播してきた超音波を受信側の素子で受信し、発信時と受信時の素子の電圧をオシロスコープに記録する。図 2 に送信信号（破線）および受信信号（実線）の例を示す。送信信号と受信信号との間には超音波が媒体を伝播する間の時間差が生まれる。音速はこの時間差と超音波が伝播した距離から計算される。ただし、本研究の超音波素子の送受信面には超音波を媒体に伝えやすくするための音響整合層がある。超音波がこの整合層を 1/4 周期で伝播するように素子は設計されているので、送受信あわせて 2.5  $\mu$ s の遅延時間が発生する。伝播時間は測定した送受信信号の時間差からこの遅延時間を引いた値となる。

伝播距離を求める上で受信信号の開始点を決める方法は

重要である。図 2 の開始点付近の拡大図を見るとノイズは 0.0015  $V_{p-p}$  と小さいので、ノイズの電圧を初めに越えた位置を受信信号の開始点とする。



1: Function generator, 2: Oscilloscope, 3: Snap ring  
4: Sight glass, 5: Ultrasonic sensor, 6: Stainless pipe  
7: Sensor housing, 8: Thermocouple

Fig. 1 Ultrasonic sensor

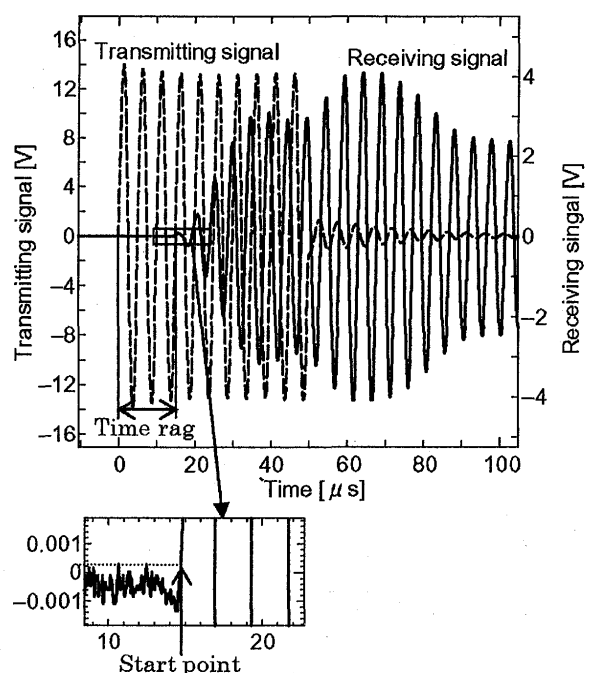


Fig. 2 Ultrasonic signal

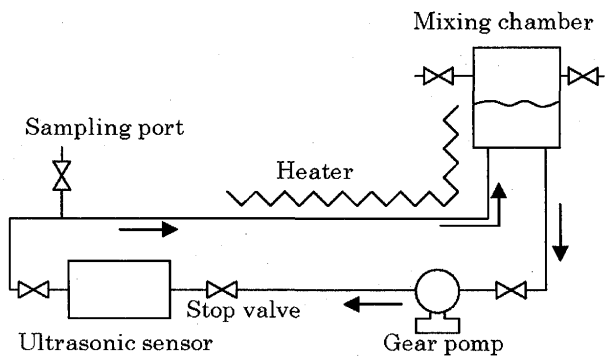


Fig. 3 Experimental setup

超音波センサユニットを図3のような混合タンクに接続し、冷媒/油混合物の音速を測定する。まず油を混合タンクに入れ、ギアポンプで循環させながら真空ポンプで真空を引いて音速を測定する。その後、液冷媒を混合タンクに順次足して油混合率を下げ、十分均一に混合したのちに混合物の音速を測定する。温度は混合タンクとその上流の管に巻きつけているヒーターで調節する。また、混合タンクには圧力計が取り付けられている。

冷媒と油の混合率は音速測定のためにサンプリング法で測定する。内容量約  $15 \text{ cm}^3$  のサンプリング容器に混合物をサンプリングしたときの質量と、サンプリング容器から冷媒を抜き取り油だけの状態にした質量、およびサンプリング容器の質量から油と冷媒の質量をそれぞれ求め、混合率を計算する。サンプリング容器は測定のために洗浄する。冷媒と油はそれぞれR410AとPVE油を使用した。

#### 4. 実験結果および考察

図4に冷媒R410AとPVE油それぞれの音速を、温度を変えて測定した結果を示す。図には冷媒物性値計算ソフト refprop Ver. 6<sup>(4)</sup> を用いて計算したR410Aの音速も示すが、実験値とrefpropによる音速はほぼ同じ値であり、十分に測定できていることがわかる。温度が高くなるにつれて音速は直線的に小さくなる傾向にあるが、R410Aの方が若干傾きが大きくなっている。測定温度範囲においてR410Aの音速は  $300 \sim 400 \text{ m/s}$  の範囲であるのに対し、PVE油の音速は  $1200 \text{ m/s}$  前後とR410Aの約3倍の音速であることがわかる。この音速の差を利用して混合物の音速から混合率を測定することができる。

図5にR410A/PVE混合物の混合率と音速の関係を示す。

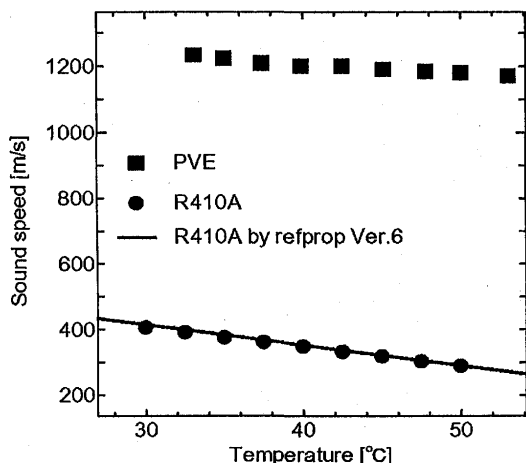


Fig. 4 Sound speed of R410A and PVE

ここで混合率は体積比である。温度は  $35, 40, 45 \text{ }^\circ\text{C}$  で、それぞれPVE 100%から測定開始し、冷媒を足して冷媒混合率を上げ（油混合率を下げ）、そのつど音速の測定とサンプリングを行った。R410AとPVE油は共に単体では温度が高いほど音速は低くなるので、グラフ全体も温度が高いとき音速は低くなっている。また、混合率が0%から50%付近にかけてグラフは二次曲線を描いているが50%より高いところでは音速は直線的に変化している。

混合物の温度が変化するとき気泡が混じったり、油が二相分離したりすることがあるが、このときの受信信号について検証した。気泡が混じっていると超音波の受信信号電圧が小さくなり、正確な伝播時間を測定することができなかった。これは気泡との境界面で超音波が散乱されたり、吸収されたりするためである。よって混合物の音速測定は完全に液状態である必要がある。また、本実験で用いたR410AとPVE油の場合では温度が  $45 \text{ }^\circ\text{C}$ 、油混合率が約10~20%の間の測定では二層分離が起こり、混合液は白濁した状態になる。このような場合、光学的センサによる油混合率の測定では光が媒体中を透過することができず測定することができない<sup>(1)</sup>。しかし、超音波信号による測定では、冷媒と油が分離している状態でもその信号を測定することができた。これは液体同士なので超音波を伝えやすく、非常に細かく均一に混ぜられているためであると考えられる。

#### 5. 結言

超音波センサを用いて冷媒/油(R410A/PVE)混合物の音速を測定し、混合率との関係について検討した。その結果、油混合率が約50%までは音速は二次曲線的に増加し、それ以降は直線的に増加するという結果が得られた。また、混合物中に気泡が混じると受信信号は小さくなり、正確な伝播時間が測定できなかったが、冷媒と油が分離している状態では超音波は減衰することなく伝播し、油混合率と音速の相関が得られた。今後、実際的な冷凍サイクルにおける油混合率の測定に適用する予定である。

#### 参考文献

- (1) Fukuta M. et al., Int. J. Refrig., **27**, No.4 (2004), 346.
- (2) BAUSTIAN J. J. et al., ASHRAE Trans, **94**, No.Pt2 (1988), 571.
- (3) Eckhard A. Groll et al., Int. J. Refrig., **22** (1999), 499.
- (4) NIST: Thermodynamic and transport properties of refrigerants and refrigerant mixture, Ver.6 (2003).

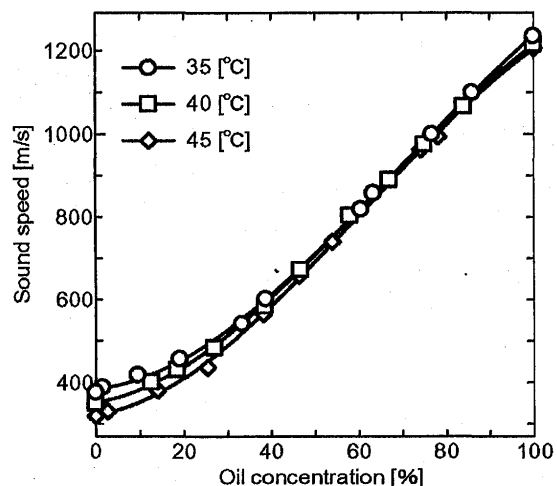


Fig. 5 Sound speed of R410A/PVE