

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 31 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23760198

研究課題名（和文）音波と電磁波を用いた気体の複数物性同時計測装置の開発

研究課題名（英文）Development of multi-properties measurement system for gas samples by using acoustic and microwave techniques

研究代表者

狩野 祐也（KANO YUYA）

独立行政法人産業技術総合研究所・計測標準研究部門・研究員

研究者番号：90510040

研究成果の概要（和文）：

気体試料の多重物性計測装置の開発を目指して、無酸素銅製の内径 24mm、長さ 50mm の円筒型キャビティを製作し、音波および電磁波共鳴測定システムを構築した。音波共鳴測定用としてコンデンサ型マイクロホンを用い、円筒型キャビティ両端のフランジ中心部にキャビティ内壁と同一面となるように取り付けた。また、電磁波共鳴測定用として銅製セミリジッドケーブルを加工したアンテナを用い、フランジ中心部から 8mm ほどずらした所にキャビティ内壁と同一面となるように取り付けた。音波共鳴は周波数 1～30kHz の範囲で周波数応答アナライザにより測定し、電磁波共鳴は周波数 1～20 GHz の範囲でネットワークアナライザにより測定した。それぞれの振幅・位相差のベクトルデータを理論共鳴曲線に非線形フィッティングすることで、音波および電磁波の共鳴周波数と半値幅（Q 値）を求めた。

開発した多重物性計測装置による各物性測定の検証を行うため、物性がよく知られているアルゴンを用いて実験を行った。温度範囲は 15～35℃、圧力範囲は 0～500kPa で測定を行った。真空状態での電磁波共鳴測定の結果から、各温度における円筒型キャビティの内径および長さを求めた。サンプルを充填して測定された音波共鳴周波数から音速を、電磁波共鳴周波数から誘電率をそれぞれ求めた。得られた測定結果と従来の報告値を比較したところ、音速について 0.02%、誘電率について 0.001% 以内で良好に一致した。

さらに、異なる音波共鳴モードの半値幅測定から、粘性および熱伝導率の導出を試みた。しかし、モード間での半値幅測定値のばらつきが予想以上に大きく、精度の高い輸送性質の導出は困難であった。これは、キャビティの振動など予測困難な音波エネルギーロスに起因しているものと考えられる。比較的ばらつき小さい特定のモードのみを用いて粘性および熱伝導率を求めたところ、10% 以内で従来の報告値と一致する結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：

For the aim of multi-properties measurement for gas samples, an oxygen-free copper cylindrical cavity, whose inner diameter and length are 24 mm and 50 mm, respectively, was made to measure acoustic and microwave resonances. Capacitive microphones were used to measure the acoustic resonance, and copper semi-rigid cables were fabricated to make antennas for the microwave resonance measurement. The acoustic and microwave resonances in the cylindrical cavity were measured by using a commercially available frequency response analyzer and network analyzer, respectively. Resonant frequencies and half-widths of the acoustic and microwave resonances were determined by non-linearly fitting the measured amplitude and phase data set to the modified Lorenz resonance curve.

To validate the developed multi-properties measurement system, Ar was used as a reference sample. Thermophysical properties of Ar were measured in a temperature

range of 15 to 35 Celsius degree and a pressure up to 500 kPa. The inner diameter and length of the cylindrical cavity were obtained from a measurement of microwave resonance under vacuum on each temperature. Speed-of-sound and dielectric constant for Ar were derived from measurements of acoustic and microwave resonant frequencies, respectively. Compared with the previously reported data, the present measurements agreed well within 0.02 % for speed-of-sound and 0.001 % for dielectric constant.

In addition, viscosity and thermal conductivity were obtained from measurements of half-widths for different two acoustic modes. However, scatter of the measured half-widths between each acoustic mode was too larger than expected to accurately determine transport properties. This is considered to be caused by unexpected acoustic energy loss such as a cavity shell motion. Using the specific acoustic modes which were relatively small scattered, the measurements of viscosity and thermal conductivity for Ar agreed with the previously reported data within 10 %.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・熱工学

キーワード：音速，誘電率，粘性，熱伝導率，音波，電磁波，共鳴，気体

1. 研究開始当初の背景

エネルギーシステム機器には燃料や作動媒体として様々な流体（気体・液体）が利用されている。例えば、燃料電池では水素や一酸化炭素が燃料ガスとして利用され、給湯用ヒートポンプ（エコキュート）では二酸化炭素が熱を輸送する作動流体として利用されている。このような流体を用いるエネルギー機器においては、高効率なエネルギー変換を実現するシステム設計を行うために、使用する流体の平衡性質、輸送性質、電気的性質など様々な物性値情報を把握する必要がある。したがって、多種多様な流体の物性値データベース（知的基盤）の拡充・整備を行うために、より効率的に流体物性を計測・評価するシステムが求められている。

従来の流体物性計測は多大な労力と時間を要するものが多く、状態式を開発するために必要十分なデータを取得するには数年かかるのが通常であった。また、状態式では計算できない輸送性質や電気的性質などは、物性毎の実測値データに基づいて相関式を作成しなければならないため、すべての物性値情報を整備するために十年以上かかることも稀ではない。昨今、地球温暖化防止の観点から、温暖化係数の小さい新しい冷媒が次々と開発されており、これらをスクリーニングするための物性評価が急務とされている。このような現状から、単一の装置で複数の物性データを効率的に取得することができる多

重物性計測への期待が高まっている。

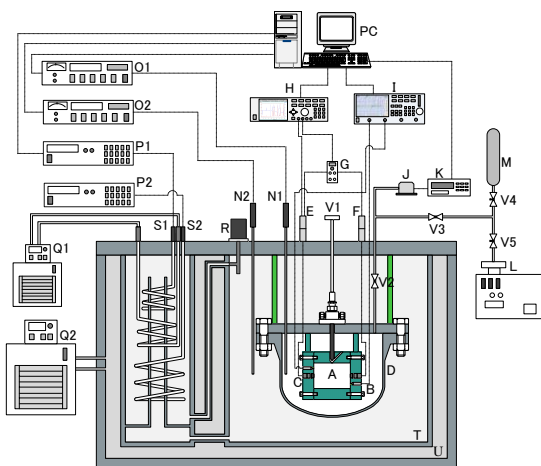
2. 研究の目的

本研究では、音波と電磁波の共鳴現象を利用して、気体試料の音速、誘電率、粘性、および熱伝導率を同時に計測する新しい多重物性計測装置を開発する。サンプルガスを封入した円筒型キャビティ（空洞容器）中において、音波および電磁波の共鳴現象を観測し、音波共鳴周波数から音速を、音波共鳴特性の半値幅から粘性および熱伝導率を、ならびに電磁波共鳴周波数から誘電率をそれぞれ同時に測定する。本研究課題では、上記のような多重物性計測手法を具現化した計測装置を開発し、気体試料の各物性測定の信頼性評価や高精度化へ向けた課題などを検討することを目標とする。

3. 研究の方法

図1に開発した多重物性計測装置の概略図を示す。無酸素銅製の内径24mm、長さ50mmの円筒型キャビティを製作し、音波および電磁波共鳴測定システムを構築した。音波共鳴測定用としてコンデンサ型マイクロホンを用い、円筒型キャビティ両端のフランジ中心部にキャビティ内壁と同一面となるように取り付けられた。また、電磁波共鳴測定用として銅製セミリジッドケーブルを加工したアンテナを用い、フランジ中心部から8mmほどずらした所にキャビティ内壁と同一面となる

ように取り付けました。音波共鳴は周波数 1~30kHz の範囲で周波数応答アナライザにより測定し、電磁波共鳴は周波数 1~20 GHz の範囲でネットワークアナライザにより測定した。それぞれの振幅・位相差のベクトルデータを理論共鳴曲線に非線形フィッティングすることにより、音波および電磁波の共鳴周波数と半値幅 (Q 値) をそれぞれ求めた。



A: cylindrical cavity, B: antennae, C: microphones, D: pressure vessel, E: transmitter adapter, F: preamplifier, G: microphone power supply, H: frequency response analyzer, I: network analyzer, J: quartz pressure transducer, K: digital pressure computer, L: vacuum pump, M: sample bomb, N1-2: thermometers (SPRTs), O1-2: thermometer bridges, P1-2: programmable power supply, Q1-2: circular type thermostats, R: circulator pump, S1-2: heating coils, T: internal thermostat, U: external prethermostat, V1-5: valves

図1 円筒型キャビティにおける音波および電磁波共鳴を利用した多重物性計測装置

4. 研究成果

開発した多重物性計測装置による各物性測定の検証を行うため、物性がよく知られているアルゴンを用いて実験を行った。温度範囲は 15~35°C、圧力範囲は 0~500kPa にて測定を実施した。真空状態での電磁波共鳴測定の結果から、各温度における円筒型キャビティの内径および長さ寸法を求めた。サンプルを充填して測定された音波共鳴周波数から音速を、電磁波共鳴周波数から誘電率をそれぞれ求めた。得られた測定結果と従来の報告値を比較したところ、音速について 0.02%、誘電率について 0.001%以内で良好に一致する結果が得られ、それぞれの物性計測の妥当性が確認できた (図2参照)。

一方、異なる音波共鳴モードの Q 値の測定から、粘性および熱伝導率を求めた。しかしながら、各音波共鳴モード間での Q 値の測定値のばらつきが予想以上に大きく、精度の高い輸送性質の導出は困難であった。これは、キャビティの振動など予測困難な音波エネルギーロスに起因しているものと考えられる。比較的ばらつきの小さい特定の音波共鳴モードのみを用いて粘性および熱伝導率の導出を試みたところ、10%以内で従来の報告値と一致する結果が得られた (図3参照)。

より高精度な輸送性質の測定を行うためには、キャビティ振動の音波共鳴への影響の解析など、円筒型キャビティにおけるより厳密な音響モデルの構築が必要であることが分かった。

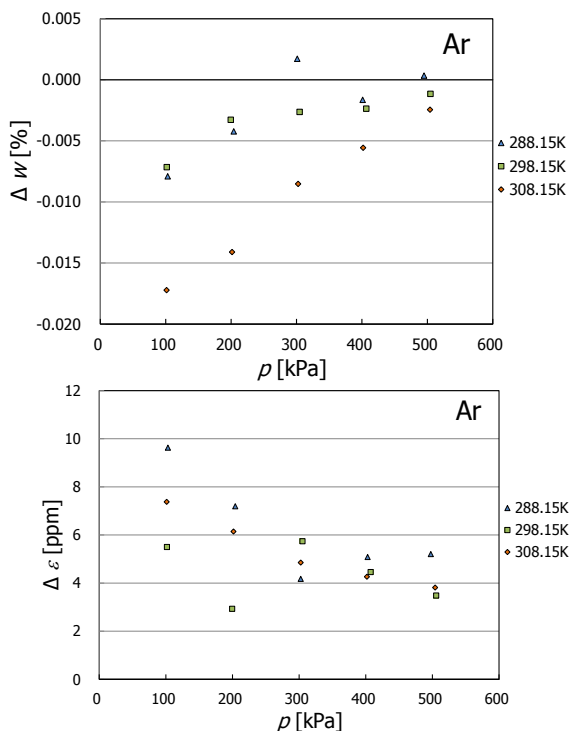


図2 アルゴンの音速 (上) および誘電率 (下) 測定値と従来の報告値との相対偏差図

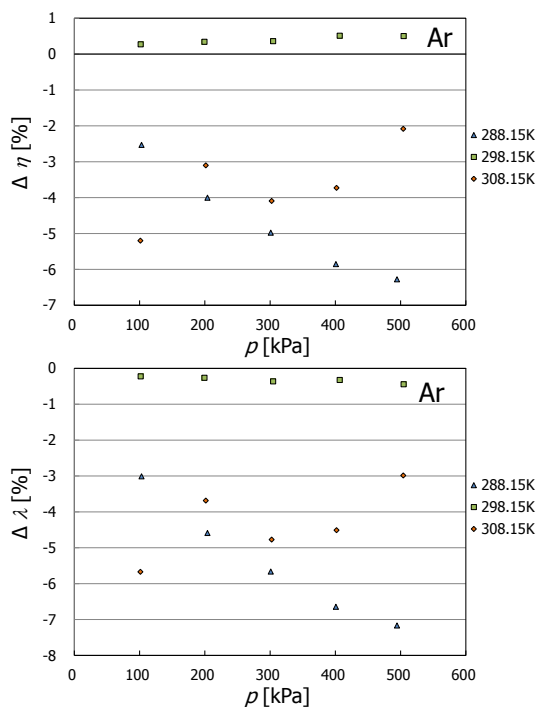


図3 アルゴンの粘性 (上) および熱伝導率 (下) 測定値と従来の報告値との相対偏差図

5. 主な発表論文等

〔学会発表〕（計4件）

- ① 狩野祐也, Speed-of-sound measurement of R245fa in the gas phase by using a cylindrical acoustic resonator, The 4th IIR Conference on Thermophysical Properties and Transfer Processes of Refrigerants, 2013年6月17~19日, Delft University of Technology (Delft, Netherlands)
- ② 狩野祐也, オレフィン系冷媒の音速測定に基づく輸送性質の推算, 第33回日本熱物性シンポジウム, 2012年10月3日, 大阪市立大学 (大阪府)
- ③ 狩野祐也, Transport properties of hydrofluoroolefins in the gaseous phase determined by acoustic measurements, Eighteenth Symposium on Thermophysical Properties, 2012年6月29日, Colorado University (Boulder, CO, USA)
- ④ 狩野祐也, Measurements of transport properties in the gas phase for hydrofluoroolefins by using a cylindrical acoustic resonator, the 19th European Conference on Thermophysical Properties, 2011年8月3日, Nicolaos Germanos Conference Center (Thessaloniki, Greece)

〔産業財産権〕

○出願状況（計2件）

名称：気体の音速および誘電率の同時測定装置および方法

発明者：狩野祐也

権利者：独立行政法人産業技術総合研究所

種類：特許

番号：特願2012-214700

出願年月日：2012/09/27

国内外の別：国内

名称：気体の音速, 誘電率, 粘性, および熱伝導率の同時計測装置および方法

発明者：狩野祐也

権利者：独立行政法人産業技術総合研究所

種類：特許

番号：特願2010-231060

出願年月日：2010/10/14

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

狩野 祐也 (KANO YUYA)

独立行政法人産業技術総合研究所・計測標準研究部門・研究員

研究者番号：90510040