

## 超音波を用いた高応答汎用ガス濃度計測システム

松田, 昭信

<https://hdl.handle.net/2324/4475204>

---

出版情報 : Kyushu University, 2020, 博士 (オートモーティブサイエンス), 課程博士  
バージョン :  
権利関係 :

氏 名 : 松田 昭信

論 文 名 : 超音波を用いた高応答汎用ガス濃度計測システム

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

温室効果ガスまたはオゾン層破壊ガスに属する冷媒ガス等の汎用ガス濃度計測においては、ガスタンクやパイプからガスを抽出せずに濃度を計測することが望まれている。そこで、本論文では、従来困難であった外部からのガス濃度計測が可能な超音波方式による高応答でかつ汎用的に使えるガス濃度計測システムの特徴を述べた。ガス濃度計測において、主に2つのポイントになる超音波方式によるガス濃度計測とガス濃度計算手法のメリットを示すために、従来の研究の問題点をふまえて、次のことを目的とした。

- (1) 超音波技術を用いたガス濃度計測において、従来の濃度計算法では適用できなかった比熱比の異なるガスにおける汎用計算アルゴリズムを提案し、理論と実験を比較検討する。
- (2) 多様なガス種に適用可能な汎用計算アルゴリズムへモデルベース設計手法を適用する。
- (3) ガス濃度計測システムの高応答のためハードウェア化を実現する。

本論文では、多原子ガスである冷媒ガス（フロンガス）と二原子ガスの混合ガス濃度、つまり比熱比の異なる二原子および多原子混合ガス中の濃度計測および濃度計算を行った。

本論文は、以下の6章で構成されている。本論文の各章について以下に述べる。

第1章では、地球環境問題を踏まえて冷媒ガス濃度測定の実用性について議論した。次に本研究で作成した超音波速度計測の目的と性質について述べた。ガスタンクやパイプの外から測定できる超音波方式によるガス濃度計測の実用性を示すとともに、本研究の位置づけ、目的を明確にした。

第2章では、超音波ガス濃度計測システムの原理を示すと同時に従来のガス濃度センサーの問題点を挙げ、超音波方式の優位性を明確にした。また、超音波の計測結果を用いてガス濃度計算を高応答にするため、モデルベース設計手法を採用しガス濃度計測システムを構築する概要を示した。

第3章では、従来のガス濃度計測方法を踏まえて、本研究では比熱比の異なる2種類のガス（二原子ガスである窒素と多原子ガスである1,1-ジフルオロエタン（HFC-152a）の混合ガス）の特性値を用いて、ガス濃度の理論結果と実験結果の関係を、超音波計測システムを用いることで照合した。また、超音波方式を用いた濃度計測のため、最終的には、比熱比の異なる2種類のガス中においてガス濃度を正確に計測できた。

第4章では、第3章で述べたガス濃度の理論計算において、モデルベース設計手法を用いてガス濃度を算出した。この手法により、実験条件（ガスの種類、温度、計測装置など）が変わってもガスの特性値を変えるだけで、ガス濃度が高応答かつ正確に計算できることを示した。また、ガス濃度計算において、非線形関数を解く必要があり、そのアプローチにガスの特性値を入力することにより、ガス種が変わっても汎用的にガス濃度が計算できることを示した。

第5章では、本論文のガス濃度計測システムにおいて、ガス濃度計算アルゴリズムのハードウェア（FPGA）化がスムーズにできることを示した。さらに、ガス濃度計算アルゴリズムのハードウェア化のために FPGA へ実装する際に、アルゴリズム検討時に採用した浮動小数点演算を固定小数点演算へ置き換えることなく、浮動小数点演算のまま HDL へ置き換えることにより、短期間で FPGA へ実装できることを示した。そのために必要な制約条件を変えて実験を実施した。

第6章では、本研究の目的であるガス濃度計測システムにおいて、メインの2つのキーポイントである超音波方式とハードウェア化（FPGA 実装）のメリットについて総括した。超音波によって音速計測をおこない、モデルベース設計手法により濃度計算して高応答のガス濃度計測システムが実現できた。また、本計測システムは、特定のガス種限定ではなく、ガスの特性値を設定するとあらゆる種類のガスでも汎用的にガス濃度計測および計算が可能である。本研究の成果が、さらに改善され、多くの場面で活用できることを説明した。

本論文において、超音波方式による比熱比の異なるガス中での音速計測を初めて実施した。この音速計測結果からガス濃度計算の非線形関数を解くために、モデルベース設計手法を用いた。モデルベース設計手法により、非線形関数の解が求められ、窒素ガス中の冷媒ガス HFC-152a のガス濃度が計算できた。次に、モデルベース設計手法により、ガス濃度計算アルゴリズムを構築することにより、汎用計算アルゴリズムのハードウェア化を可能とし、従来数秒要していたガス濃度計測をマイクロ秒単位まで高速にして、高応答かつ汎用ガス濃度計測システムを実現できた。この研究成果は、将来的に可燃性ガスやフロンガス漏れ検知に有効であると考えられる。