

氏名	飯泉 英昭				
学位の種類	博士 (理学)				
学位記番号	博 甲 第 9998 号				
学位授与年月日	令和 3 年 3 月 25 日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
審査学術院	理工情報生命学術院				
学位論文題目	Study on precision pressure measurement of ultra high-pressure gas (超高压気体の高精度圧力測定に関する研究)				
主査	筑波大学 教授	理学博士	坂本 瑞樹		
副査	筑波大学 准教授	理学博士	假家 強		
副査	筑波大学 准教授	博士(理学)	吉川 正志		
副査	筑波大学 准教授	博士(理学)	南 龍太郎		
副査	筑波大学 准教授	博士(工学)	江角 直道		

論 文 の 要 旨

審査対象論文は、超高压気体の高精度圧力測定実現に関する課題について、100 MPa までの気体圧力の計量標準の開発と、開発した計量標準を用いた圧力計の特性評価を行ったものである。第 1 章では研究背景と課題、研究目的が述べられている。第 2 章では、開発した最大 100 MPa までの気体圧力校正システムについて述べられており、第 3 章では、測定する気体の種類による圧力計の出力値への影響について、開発した校正システムを用いて評価している。測定する気体の種類による影響の低減方法について第 4 章で考察しており、第 5 章で研究の結論が述べられている。

圧力測定は、様々な分野で広く行われており、重要な計測のひとつであり、近年、水素・燃料電池自動車に利用される高压水素の圧力測定や高压水素の物性評価における高精度圧力測定など、最大 100 MPa 程度の超高压気体の圧力測定の需要が高まっている。測定の信頼性を確保するためには、基準となる計量標準により圧力計を定期的に校正する必要がある。日本国内の圧力の計量標準は、液体圧力は最大 1 GPa まで整備されているのに対し、気体圧力に関しては整備されているものは最大 7 MPa までであり、気体圧力を用いて直接 100 MPa まで校正を行うことができない状況であった。また、実際の圧力計の使用条件(温度、設置姿勢など)と校正時の条件が異なる場合、圧力計の特性によっては圧力計が示す測定値が大きく変わってしまうことがあり、特に高精度な測定を行う場合には圧力計の特性を把握し使用条件によって補正等を行う必要がある。しかし、評価するための基準となる計量標準が整備されていないため、圧力計の詳細な特性評価も実施できていなかった。本論文では、この課題を解決するために、100 MPa までの気体圧力校正システム開発による計量標準の整備と、開発された校正システムを用いて、測定する気体の種類による測定値への影響に関する圧力計の特性が評価された。

100 MPa までの気体圧力の安定な発生および測定のために液体潤滑型と呼ばれる特殊な重錘形圧力天びんを標準器として導入し、重要なパラメータである天びんの有効断面積を、既に整備されている液

体圧力の計量標準を用いて評価している。この評価により、気体圧力で 100 MPa まで校正が可能な校正システムを開発することに成功している。この校正システムを用いて標準器による発生圧力の相対標準不確かさを、100 MPa で 1.8×10^{-5} であると評価することが可能となった。開発した校正システムで圧力計を校正し、同じ圧力計を既存の液体圧力の計量標準でも校正を行い、どちらの方法でも一致した校正結果が得られ、開発した校正システムの妥当性を明らかにしている。同じ圧力範囲でアメリカが独自に整備した計量標準との国際比較も行われ、国際同等性があることも明らかにしている。また、標準器の動作特性や、圧力変化時の圧力配管内の気体の断熱変化による温度変化なども明らかにしている。これは、超高压気体の信頼性のある圧力測定を実現するために必要な計量標準を初めて整備したものである。

開発された校正システムを用いた評価が可能となったことで、測定する気体の種類によって圧力計の測定値が影響を受けることを初めて発見している。圧力計の校正では、窒素などの決まった気体が圧力媒体として用いられるが、実際の測定現場では様々な種類の気体の圧力測定に用いられるため、測定する気体の種類による影響は重要な特性であり、高精度な圧力測定を実現するためには、圧力媒体の種類による影響の原因を特定し、補正方法や影響の低減方法を調べる必要がある。測定する気体の種類によって圧力計の測定値が影響を受ける原因として、圧力計の感圧部の構造と気体密度の圧力依存性に着目し、感圧部内部に入った測定対象の気体の質量による重力を調べるため、圧力計の設置姿勢を変えることで感圧部が受ける重力の向きを変化させ、設置姿勢の圧力測定値への影響を評価している。その結果、圧力計を水平に設置し中心軸周りに回転させた場合には、回転角度に対して正弦関数的に出力値が変化する特性を明らかにしている。また、測定する気体の質量と影響量に相関があることに着目し、複数の気体を使用して、気体の密度に対する測定値への影響量を調べている。その結果、測定値への影響量は気体の密度に対して比例関係にある事を明らかにしている。これらの結果は、測定する気体の質量による重力が原因で測定値が影響を受けるということを世界で初めて解明したものである。

圧力計の設置姿勢による測定値への影響を調べた結果から、重力と感圧部の向きの関係により、重力による影響を受けないと考えられる姿勢があることを明らかにしている。設置姿勢の影響を受けないと考えられる配置で測定された窒素とヘリウム測定値が一致したことから、圧力計の設置姿勢を調整することで影響を低減できることを明らかにしている。また、圧力計を 2 台使用できる場合には、2 台の感圧部を点対称に設置し、2 台の測定値を平均することでそれぞれが受ける重力の影響を相殺できることを考案し、実際にこの方法で気体の種類による影響および設置姿勢による影響を低減できることが明らかにしている。さらに、気体の密度と測定値への影響量の関係性から、別の気体を測定した場合の測定値へ換算する方法も示している。換算の不確かさ評価も行い、不確かさの大きな増加なく換算ができることを明らかにしている。

審 査 の 要 旨

〔批評〕

近年、超高圧気体の圧力測定の需要が高まっている一方で、信頼性のある測定のために必要な計量標準はまだ整備されていなかった。また、計量標準が整備されていないことにより、高精度計測に必要な圧力計の特性評価が実施できていない状況であった。そこで本研究では、超高圧気体の高精度圧力測定を実現するために、100 MPa までの気体圧力の計量標準の開発と、開発した計量標準を用いた圧力計の特性評価を高い精度で実施している。超高圧気体用圧力計の校正が可能な校正システムの開発とその特性評価を行い、100 MPa までの気体圧力の日本の計量標準を初めて整備している。国際比較により、開発した計量標準に国際同等性があることを明らかにしている。また、圧力媒体の種類により圧力計の出力値が影響を受けることを発見し、その原因について重力が起因しているということを世界で初めて解明している。圧力媒体の種類による影響を低減する方法についても考案し、その効果を実証している。本論文は超高圧気体の高精度な圧力測定の実現に大きく貢献し、高精度圧力測定に関する研究に重要な知見を与えるものであり、学位論文として十分価値のあるものであると評価された。

〔最終試験結果〕

2021年2月15日、理工情報生命学術院学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

〔結論〕

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士(理学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。