

微小差圧の測定*

長谷川 富市*¹, 松川 和正*²

Measurement of Small Pressure Difference

Tomiichi HASEGAWA and Kazumasa MATSUKAWA

A pressure gauge of the diaphragm type of high sensitivity has been developed to measure small differential pressures. Low and high pressures are each led to chambers which are separated with a membrane; the differential pressure between the two chambers give a displacement to the membrane, and the displacement is detected by a small laser displacement sensor through a glass window in the chamber wall. Tested membranes are permanently deformed in advance to a wavy form in order to give high sensitivity or are otherwise used in the flat condition. Easy exchange of the kinds of membranes makes it possible to widen the range of differential pressures measured. Calibration is made by means of a simple method using water heads. This type of pressure gauge can measure the pressure of magnitude from 0.1 Pa to 10 Pa.

Key Words: Flow Measurements, Sensor, Laser, Differential Pressure, Calibration

1. 緒 言

科学技術, 産業の発展に伴い多くの分野で微小圧力の精密測定に対する要求度が高まっており, 用途に応じて各種の微圧測定用圧力計が開発されている。例えば, 水晶振動形, 容量形, 誘導形, 圧電形, ストレインゲージ形などが市販されており, 気体用, 液体用, 絶対圧用, 差圧用など多種がある^{(1)~(6)}。

これらはしかし, 10 Pa 以下の圧力を測定しようとすると, 形式によって精度が悪かったり高価であったりまた気体液体の両方に使用できないなどの問題点がある。

本研究では, 数十 Pa から現在測定が難しいとされている 0.1 Pa 程度の微小差圧を安価で手軽に測定できる方法を提案し, 実際に種々の圧力センサ材質・形状を用いた実験を行い, 本方法の信頼性や妥当性について検討を加える。

2. 差圧測定と差圧検定の方法

図1に差圧の測定と検定の方法を略図により示す。平板状あるいは波状のダイヤフラム(金属薄膜製)を密閉容器内に左右のチャンバを形成するように設置する。図1で左側チャンバを高圧側, 右側チャンバを低圧側とする。各チャンバの下端に設けた圧力口に圧力がかかり差圧が生ずると高圧側から低圧側に向かった薄膜の変位が生ずる。その変位を低圧側チャンバの壁に設けたガラス窓を通して小形レーザ変位計により読取る。一方, 微小差圧の測定に検定は不可欠である。それも本差圧計のように金属薄膜を利用する場合, 実験ミスによる加圧に伴う膜の塑性変形が考えられるので, 検定は頻繁にかつ手軽に行わなければならない。ここでは次のような方法を採用。すなわち, 図1に示すように二つの底面積の等しい大きい容器を準備し, その中に水をいれる。いま, 容器の底面積は既知とする。この二つの容器をチューブで接続し, さらに差圧計の低・高圧側チャンバとも接続しチャンバ内にも水を満たしておく。いま, コック1~3を全部開ければ差圧は零であり, このときのレーザ変位計の読みを零として記録しておく。次にコック1を閉じ, 容器1に注射器により規定量の水を注入する。このとき容器面積

* 平成3年4月1日 第68期通常総会講演会において講演, 原稿受付 平成3年1月11日。

¹ 正員, 新潟大学工学部(〒950-21 新潟市五十嵐2の町8050)。

² 学生員, 新潟大学大学院。

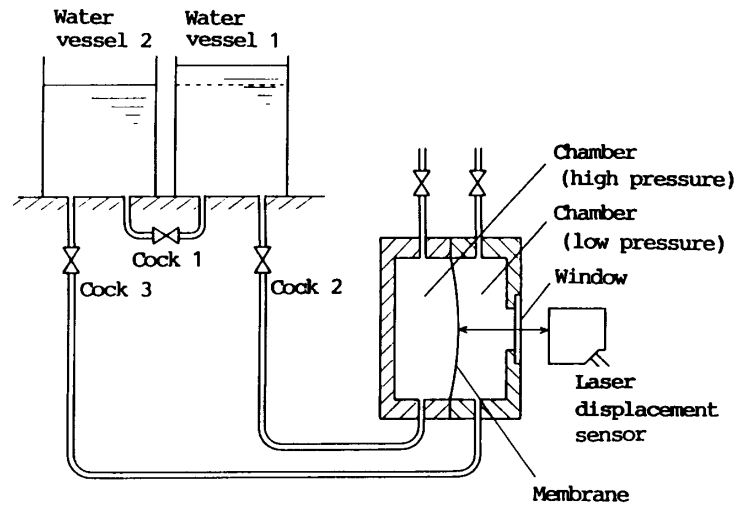


図1 差圧測定装置概略図

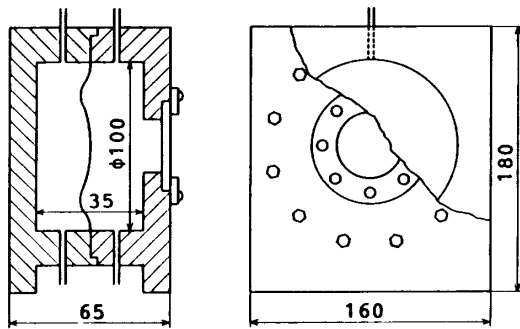


図2 差圧計寸法

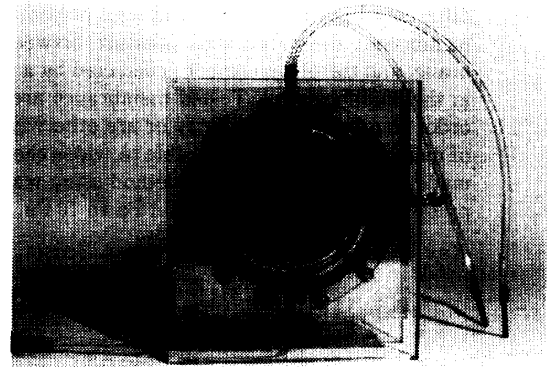


図3 差圧計外観写真

は十分に広いので、注入水の体積を容器面積で除した値が水柱差(圧力差)の増加となる。容器に底面積 1000 cm^2 程度のもので選ぶと 0.1 Pa 程度の差圧は比較的容易につくり出すことができる。ここで、検定時の薄膜の変化による体積変化は最大でも、注入水の体積の約 1.3% と十分小さく、差圧に影響を及ぼさないものと考えられる。

3. 実験装置

実際に作製した差圧計の形状と寸法を図2に示す。また図3にはその外観写真を示す。 1 Pa 以下の差圧用には膜として、厚さ $15 \mu\text{m}$ のアルミニウム膜を階段状に中心に向かいS字状に塑性変形させたものを使用した。その作製は、厚紙製の形に薄膜を押し付けることにより行った。また、膜形状の影響を見るために、図4(a)、(b)に示す2種類を作製した。図5に成形された薄膜の写真を示す。

一方、 10 Pa 程度の差圧測定には、厚さ $30 \mu\text{m}$ のステンレス板と厚さ $4 \mu\text{m}$ のニッケル膜を平板のまま使

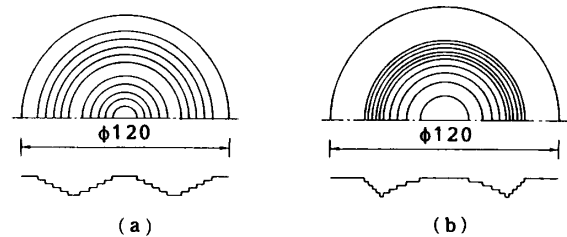


図4 アルミニウム薄膜形状

用した。

本差圧計の容器部はアクリル製で左右二つ割りとし、薄膜をはさんでボルト締めした。図2では薄膜より右側が低圧側、左側が高圧側である。

薄膜の変位は小形レーザ変位計(キーエンス社製)により検出した。この変位計の測定分解能は $2 \mu\text{m}$ であり、それに相当する出力電圧は 0.8 mV である。応答速度は 60 ms であるが、本実験においては支障のない速さである。変位計の温度ドリフトは比較的小さく、 1°C あたり 3 mV 程度である。また、その出力にはデ

デジタルボルト計を用いた。

図6に測定装置全体の写真を示す。

4. 差圧計の検定結果

図7に差圧計の検定結果を示す。膜は図4(a)に示すものを使用している。ここでは横軸は付加した水柱差をPaで表し、縦軸は膜変位による電圧値(mV)を示す。この結果は、水柱差を加えるごとに1回ずつ零点をとっている。すなわち、1回ごとに圧力差零の状態から水柱差を加えた場合である。同一条件で行った1回め、2回めのテストともほぼ同じ結果を与え、直線性も1.0 Pa程度まで保持されている。図8は1回ごとに零点をとらず水柱差を連続して徐々に加えていった結果を示す。この場合には、小差圧から大差圧に至る経路と逆の経路で違いが見られる。この原因としては、薄膜が加圧途中で新たな塑性変形を生じたこと、測定時間中の温度変化による零点シフトなどが考えられる。図9は、上述の膜と異なる形状の膜[図4(b)に示す]を用いた場合の検定曲線である。この場合は、図7と比較するとわかるように感度は図4(a)の膜より

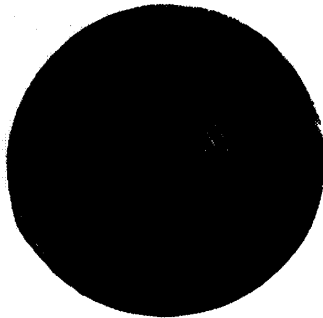


図5 アルミニウム薄膜

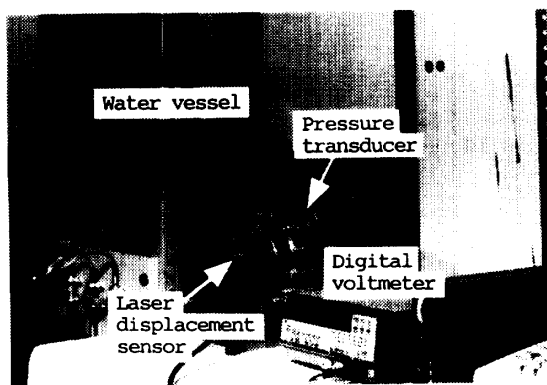


図6 装置全体写真

悪く、小さい差圧(0.8 Pa程度)で線形性が崩れる。なお、上記アルミニウム膜では応答時間として約10 minが必要であった。

さらに大きな差圧、すなわち10 Pa以上の差圧を測定するために30 μmのステンレス膜を平板状のまま使用した検定結果を図10に示す。感度はアルミニウム膜の場合よりかなり小さくなるが、1回ごとに零点をとらなくてもほぼ直線性を示し、再現性も良好である。これ以上の大きい差圧における検定は行っていないが、図10から30 Paを超えても直線性が保持される可能性の高いことがわかる。

図11には厚さ4 μmのニッケル膜を平板状のまま

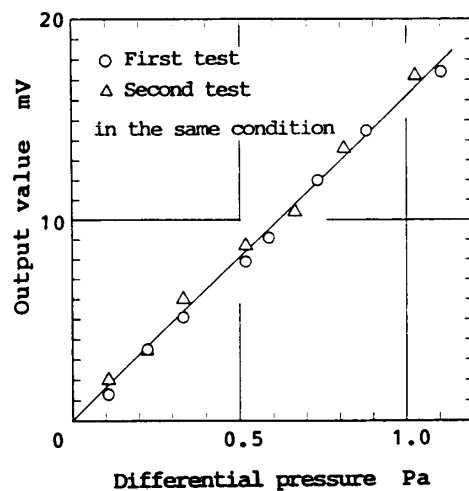


図7 アルミニウム薄膜(a)の検定結果
1回の測定ごとに零点をとった場合

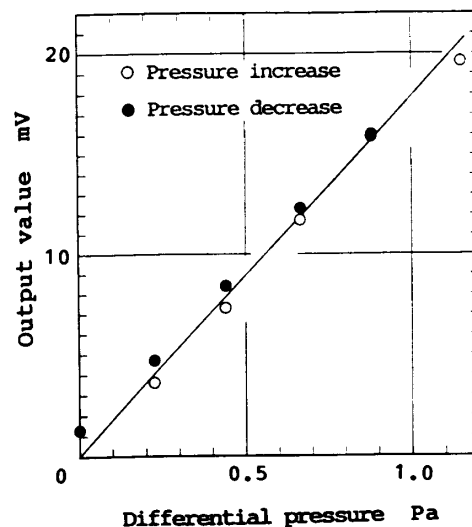


図8 アルミニウム薄膜(a)の検定結果
測定ごとに零点をとらずに圧力差を累増、累減させた場合

使用した結果を示す。この場合、図10のステンレス膜と同じく、1回ごとに零点はとっていない。使用したニッケル膜は差圧上昇と減少で履歴を示すが、その程度はかなり小さい。また直線性は20 Paまでは良好であるが、それ以上では悪くなる。ステンレス膜、ニッケル膜では応答時間は数s程度である。

以上を総合すると、本研究で作製した差圧計は膜の選択により数十 Pa 以下の種々の範囲の差圧測定が可能であり、とくにアルミニウム膜を用い、測定ごとに原点を確認することなど、測定方法に注意を払えば0.1 Pa 程度の差圧まで測定可能である。さらにシリコンの薄膜を使用すれば、アルミニウム膜の場合に見ら

れる履歴現象も消去できる可能性があり、今後さらに研究を続けたいと考えている。

5. 結 言

微小差圧を測定するために金属性薄膜と半導体レーザ変位計を利用する新しいタイプの安価な差圧計を開発し以下の結論を得た。

(1) 微小差圧の測定に基準差圧による検定は不可欠であり、かつ容易に行えることが望ましい。本研究では底面積が既知の直方体形の容器二つにあらかじめ水を入れ両方を導通することにより零差圧とした。次に、規定量の水を片方の容器に加え両者の水面の差を基準差圧として検定を行った。この方法によれば、0.1 Pa 程度の差圧は比較的容易に作り出せる。

(2) 高压側と低压側を仕切る薄膜に市販の15 μm のアルミニウム膜を用い、これにあらかじめ階段状変形を与えておくと0.1~1 Pa 程度の超微小差圧の測定が可能である。ただし、この場合温度変化による零点ドリフトが問題であり、また応答時間として約10 min が必要である。

(3) 薄膜に30 μm のステンレス膜、4 μm のニッケル膜を平面状のまま用いると1~10 Pa 程度の差圧の測定が可能である。この場合には、温度による零点ドリフトは大きな誤差にならない。また、応答時間は数sである。

以上の点から、本差圧計は数 Pa 程度の差圧測定に比較的容易に用いることができ、また零点の確認や応答時間に注意を払えば現時点で難しいとされている0.1 Pa 程度の差圧測定にも十分使用できることがわかった。

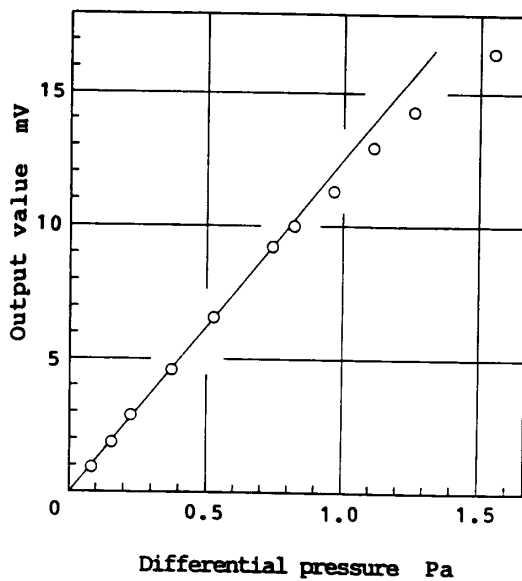


図9 アルミニウム薄膜(b)の検定結果
1回の測定ごとに零点をとった場合

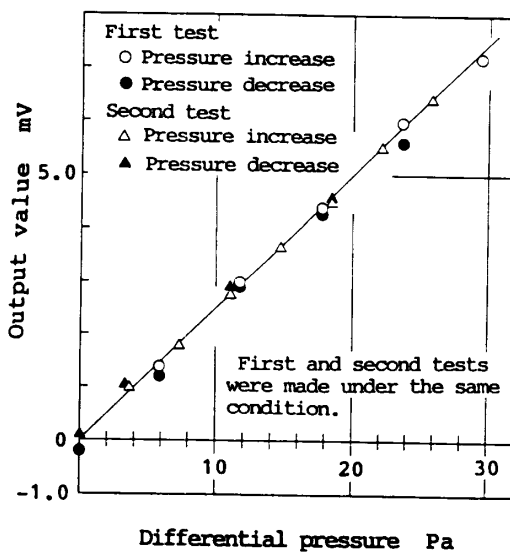


図10 ステンレス薄膜の検定結果

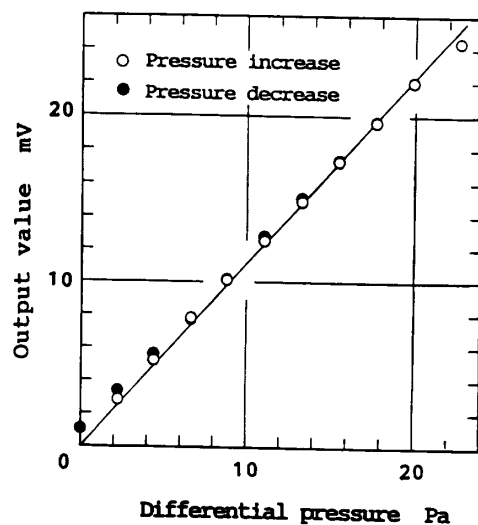


図11 ニッケル薄膜の検定結果

終わりに、本研究にあたり有益な助言をいただいた鳴海敬倫助手、装置製作において助力を惜しまれなかった近野正昭技官、卒業研究として協力していただいた伊藤國泰氏に心から感謝申し上げます。また、種々の助言をいただいた司測研(株)の羽賀常道氏、ニッケル膜を提供いただいた日本ステンレス(株)、本報にはテスト結果を記さなかったが、シリコン薄板を贈与いただいた信越化学(株)に深く感謝の意を表す次第である。

文 献

- (1) 賀羽, センサ技術, 11 (1981), 1.
- (2) 賀羽, 電気評論, 7 (1982), 1.
- (3) 賀羽・飯塚, 計測技術, 7 (1987), 63.
- (4) 賀羽, 機械学会北越支部・流体工学部門共同企画「流れの計測技術と可視化技術」講習会 テキスト, (1990), 35.
- (5) (社)計量管理協会・ほか編, センサの原理と使い方(2), (1984), 371, コロナ社.