W051001

MEMS 圧力センサーとパルス熱線を用いた乱流境界層の計測 *

松原 雅春 *¹, 仙台 康之 *², 松本 幸之輔 *³, 三柴 大輝 *³

Turbulent Boundary Layer Measurements using MEMS pressure sensors and a periodically pulsating hot wire

Masaharu MATSUBARA *¹, Yasuyuki SENDAI *², Konosuke MATSUMOTO *³ and Taiki MISHIBA *³*¹ Mechanical Systems Engineering, Shinshu University
4-17-1, Wakasato, Nagano, 380-8553, Japan

Recent improvement of sensing technology enables new measurement methods for investigation on turbulent shear flows. This report introduces novel measurement techniques, the MEMS pressure sensor array and the periodically pulsating hot wire, with showing examples of application to an investigation into a turbulent boundary layer.

Key Words : turbulence, boundary layer, sensor, MEMS, hot wire

1. は じ め に

電子技術の進歩に伴い様々なセンサーが開発されてきており、流体計測においてもそれらのセンシング技術を利用した手法が近年提案されてきている。特に乱流測定では、レーザードップラー流速計や PIV などの技術が発達し、今まで測定が難しかった速度相関などの情報も得られるようになってきている。この報告では、近年開発した MEMS マイクロフォンを利用した圧力センサーアレイと周期パルス加熱式熱線風速計について紹介し、さらにそれらを乱流境界層計測に応用した結果を例示する。

2. 圧力センサーアレイ

図 1 に試験壁に取付けられた圧力センサーアレイを示す。圧力センサーアレイは 64 個の MEMS マイクロフォンとそれらと壁面をつなぐ導管、およびセンサーの電気信号を出力するための電子回路基板から成り立っている。壁面の圧力孔は 0.6 mm 間隔でスパン方向にあげられてあり、両端の孔の間隔で測った測定長は 37.8 mm になる。孔の製作において、まずアクリル平板の表面を直径 0.5 mm のエンドミルによる切削加工で 1.2 mm 間隔の溝を 32 本掘り、それを 2 枚製作する。それらを、間に 0.5 mm のアクリル板を挟んで接着することにより、0.6 mm 間隔の孔の列を実現している。この加工法では、孔は図 1 のように互い違いに二列になっている。孔の断面積は直径 0.5 mm の孔と同じになるようエンドミル加工の深さを調節している。溝の末端には垂直に直径 0.5 mm の孔がおり MEMS センサーにつながっている。MEMS マイクロフォンは携帯電話用（TDK 社製、T4030）で、長さ 3.25 mm、幅 2.25 mm、出力はデジタルである。これを基板上に 8 個ずつ 4 列にして基板上に半田付けされている。出力はデジタル入力ボードを介してコンピューターに取り込まれる。

マイクロフォンは携帯電話用の汎用電子部品であり、基板への部品配置も一般的な表面実装技術を使ったことにより、この圧力センサーアレイの製作費は安価であった。また、マイクロフォンがデジタル出力のため、汎用デジ

* 原稿受付 平成 24 年 7 月 16 日

*¹ 正員、信州大学工学部機械システム工学科 (〒 380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)*² 松山株式会社 (〒 386-0401 長野県上田市塩川 5155)*³ 信州大学大学院機械システム工学専攻 (〒 380-8553 長野県長野市若里 4-17-1)

Email: mmatsu@shinshu-ui-u.ac.jp

Fig. 1 圧力センサーアレイ

Fig. 2 周期パルス加熱式熱線風速計の原理

タルボードが使用できデータ収集システムの費用も抑えられ、また電気ノイズの影響を受けにくいメリットもある。

精密騒音計と音響的なテストを行ったところ、50 Hz から 10 kHz の広い範囲で十分な応答性があること、また電気的なノイズが非常に低いことが確認できた。このことから、この圧力センサーアレイは乱流境界層が発達する壁面での瞬時圧力分布の測定に利用できることがわかった。

3. 周期パルス加熱式熱線風速計

周期パルス加熱式熱線風速計 (Periodic Pulse-heating Hot wire Anemometer; PPHA) は一定電圧のパルス電圧を周期的に加え、図2のように加熱と冷却を繰り返す。このとき冷却時の熱線温度は指数関数的な減衰曲線となる。流速により温度の減衰曲線の形が変化するので、この曲線の減少係数から逆に流速を見積もることができる。加熱電圧はデジタル/アナログ変換器から出力されたパルス信号を電流増幅器で与えている。冷却時では低い電圧を与えて熱線抵抗を計測し、それを出力電圧信号に変換してアナログ/デジタル変換器を介してコンピュータに取り込む。実際の測定ではパルス信号は 500 Hz、デューティーサイクル 10% とした。

はじめに減衰曲線の係数と流速を定温度型熱線風速計 (CTA) と同様に検定した。その結果、CTA では自然対流により King の法則が低い流速で適用できなくなるが、PPHA では低速まで King の法則によく従うことがわかった。これは、熱線への加熱時間が短いため加熱による自然対流の影響が少ないためと思われる。その後乱流境界層で計測を行った結果、平均流速だけでなく流速変動でも CTA の測定とほぼ一致し、PPHA が乱流境界層における動的測定にも利用できることが分かった。PPHA は原理上、流体温度の変化や自然対流の影響を受けにくいため、それらの利点を生かせる測定環境で十分実用可能であると思われる。

4. お わ り に

新しい流体計測法として MEMS マイクロフォンを利用した圧力センサーアレイと周期パルス加熱式熱線風速計を開発し、それを乱流境界層の測定に応用した。その結果、これらの手法が乱流境界層の実験的研究において十分実用的であることが明らかとなった。これらの技術はまだ改良の余地が多く残されており、さらに性能を上げていくことも将来可能と考えられる。