

平成 26 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：強風防災
研究期間：H25 ～ H26 [平成 26 年度で終了]
課題番号：132004
研究課題名（和文）：スマートセンサーによる風応答を用いた構造物の動特性の
推定手法の開発
研究課題名（英文）：System identification methodology for wind-induced structural
response utilizing smart sensors
研究代表者：仁田 佳宏
交付決定額（当該年度）： 570,000 円

1. 研究の目的

コンピュータの発達とともに、建築・土木構造物のシステム同定は、様々な振動特性の評価を可能にし、推定手法もまた大きく発展してきている。それに伴い、竣工した建築構造物と設計意図との合致の確認にとどまらず、建築構造物の性能評価、建築構造物の構造ヘルスマニタリングへの応用および構造制御における制御対象構造物の正確な振動特性の把握の有効な手段として、システム同定の重要度は、ますます増大している。また、近年では、スマートセンサーなどの先端のセンサー技術との融合により、新たな展開も見せ始めている。

本研究では、多点計測が可能なスマートセンサーによる風応答を用いた構造物の動特性の推定手法の開発を行う。計測に用いるスマートセンサーは、応募者が地震時の構造ヘルスマニタリング用に開発したマイコン搭載スマートセンサー作成における知見を活用し、風応答計測に適したスマートセンサーを開発する。

既往の計測システムの多くは、中央情報集積システムであり、建築構造物全体の情報をただ一つのコンピュータに集積し、動特性の推定を行っている。中央情報集積システムでは、多量の情報を一度に扱う必要があり、データ処理が複雑になる傾向や、部分的な特性の把握が難しい場合がある。さらに多くのセンサを配置するための配線コストなどを考慮すると、簡便に実測を行うことは難しく、中央情報集積システムは現実的ではない。これに対して、本研究で用いるマイコンを搭載したスマートセンサー端末による計測システムは、分散配置されるセンサー端末ごとにある程度の数値処理が可能であり、部分的な動特性の推定も可能である。さらに、センサー端末すべてを有線で配線する必要がないため、簡便にセンサー端末を構造物に設置し、応答計測を行うことが可能である。また、簡便に多点計測が可能となることから、種々な MEMS センサーを活用することで、一般的に多点計測の難しい風速や風圧などの風外乱自身の特性についても、簡便に多点計測が可能となると考えられる。

2. 研究の方法

風応答を用いた構造物の動特性の推定手法について、「風外乱の特性を把握するためには、どのような MEMS センサーを用いるべきか」という点から研究を行う。初年度である平成 25 年度に、風応答の計測のためセンサーに関する基礎的な検討を行っている。この基礎的な検討から、風応答計測のためのセンサーとして、2 個の MEMS 気圧センサーによる差圧と 3 軸 MEMS 加速度センサーによる加速度を計測量として選定している。本年度は風応答計測のための、差圧および加速度を計測するスマートセンサーを試作し、音圧を用いたキャリブレーションを行い、スマートセンサーの性能や特性の検証を行う。

また、研究会「構造物の応答計測に関する現状について」を開催し、応答計測に関する実情と問題点を捉え、新しい計測技術を適用していく際の問題点を明らかにする。

Table 1 MEMS 気圧センサーの比較

MEMS 気圧センサー	解像度	サンプリング	計測可能 CH 数
MS5803-14BA	0.2hpa (24bit)	100Hz	2ch
LPS331AP	0.2hpa (24bit)	25Hz	2ch
MPL1152A2	0.015hpa	1kHz	1ch のみ

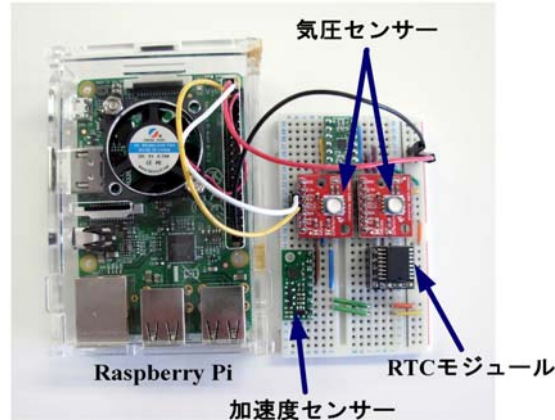
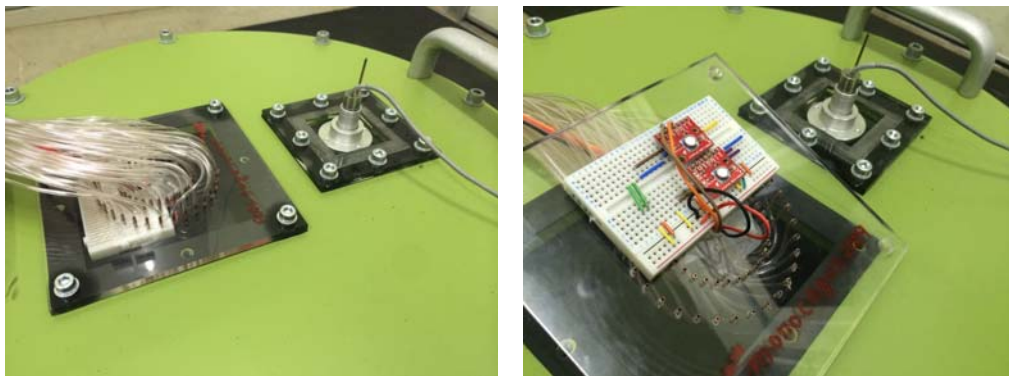


Fig.1 試作したスマートセンサー端末



(a) 外観

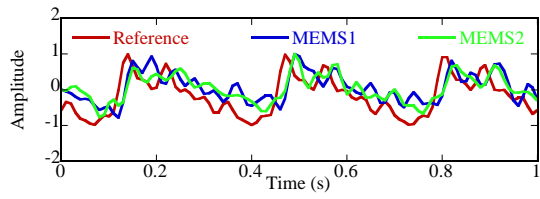
(b) 内部の設置状況

Fig.2 MEMS 気圧センサーの設置状況

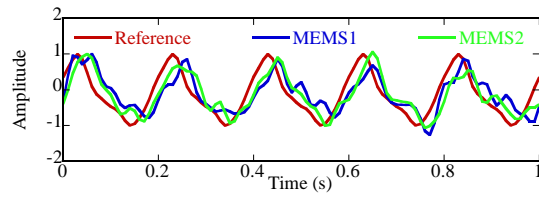
3. 研究成果

風応答計測を行うためのスマートセンサー端末として、700MHz ARM コアを搭載した Linux OS の Raspberry Pi をメインボードとし、2 個の MEMS 気圧センサーと 3 軸 MEMS 加速度センサー、時刻同期用のリアルタイムクロック・モジュール(RTC)を搭載したセンサー端末を試作した。試作にあたり、まず解像度などから Table 1 に示す 3 種の MEMS 気圧センサーを選定し検討した。検討結果から、差圧計測であるため 2ch 同時に計測できる必要性およびサンプリング時間を考慮して、MS5803-14BA を選定している。試作したスマートセンサー端末を Fig.1 に示す。

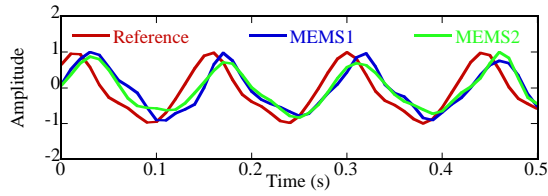
まず、試作したスマートセンサー端末の気圧計測性能を検証する目的で、音圧（スピーカー）を用いたキャリブレーションを行う。キャリブレーションでは、3.0Hz, 5.0Hz, 7.0Hz, 9.0Hz, 11.0Hz, 13.0Hz, 15.0Hz, 17.0Hz, 19.0Hz, 21.0Hz, 23.0Hz, 25.0Hz の 12 種類の正弦波を入力し、参照となるセンサーの計測値（参照値）と比較する。また、5.0Hz の正弦波については、30%, 50%, 70%, 100% の 4 種類の音圧レベルについても参照値と比較する。比較にあたっては、ステップ電圧を入力し、スマートセンサー端末と参照システムを同期させている。Fig.2 に MEMS 気圧センサーのスピーカー内への設置状況を示す。各周波数の正弦波に対する参照値と比較結果を Fig.3 に示す。Fig.3 から各周波数とも位相の遅れは見られるものの、概ね気圧波形の特徴を把握できていることが確認できる。位相の遅れの要因としては、ステップ信号による同期がうまくできていない可能性とスマートセンサー端末の計測遅れが生じている可能性の 2 つが考えら



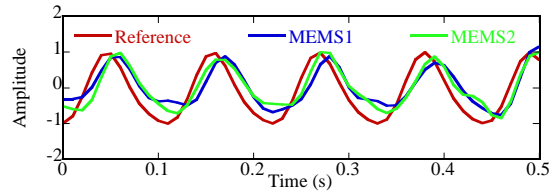
(a) 3.0Hz



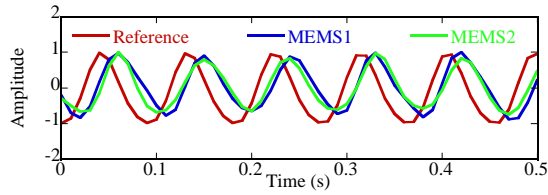
(b) 5.0Hz



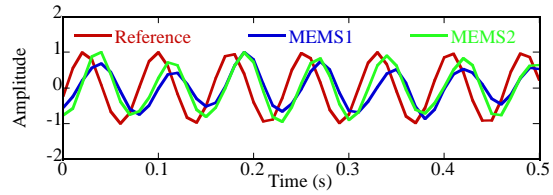
(c) 7.0Hz



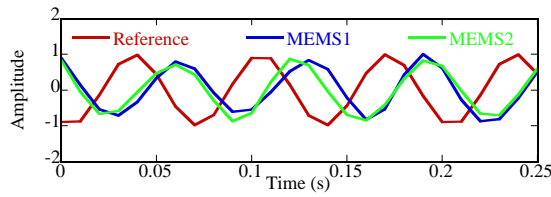
(d) 9.0Hz



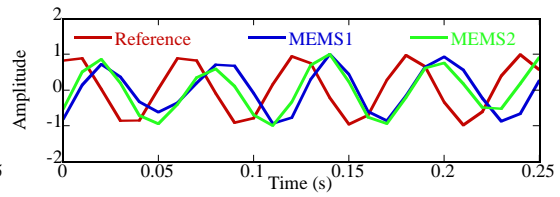
(e) 11.0Hz



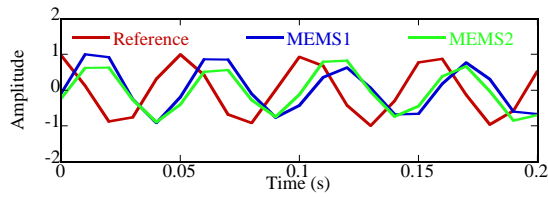
(f) 13.0Hz



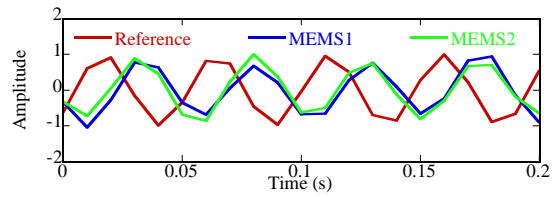
(g) 15.0Hz



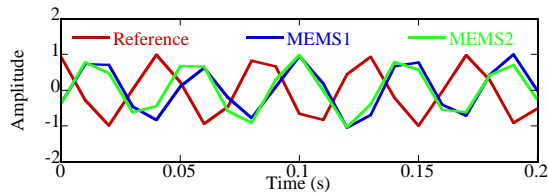
(h) 17.0Hz



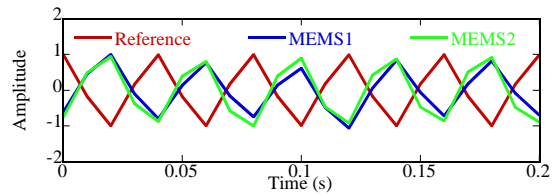
(i) 19.0Hz



(j) 21.0Hz



(k) 23.0Hz



(l) 25.0Hz

Fig.3 参照値との比較(周波数)

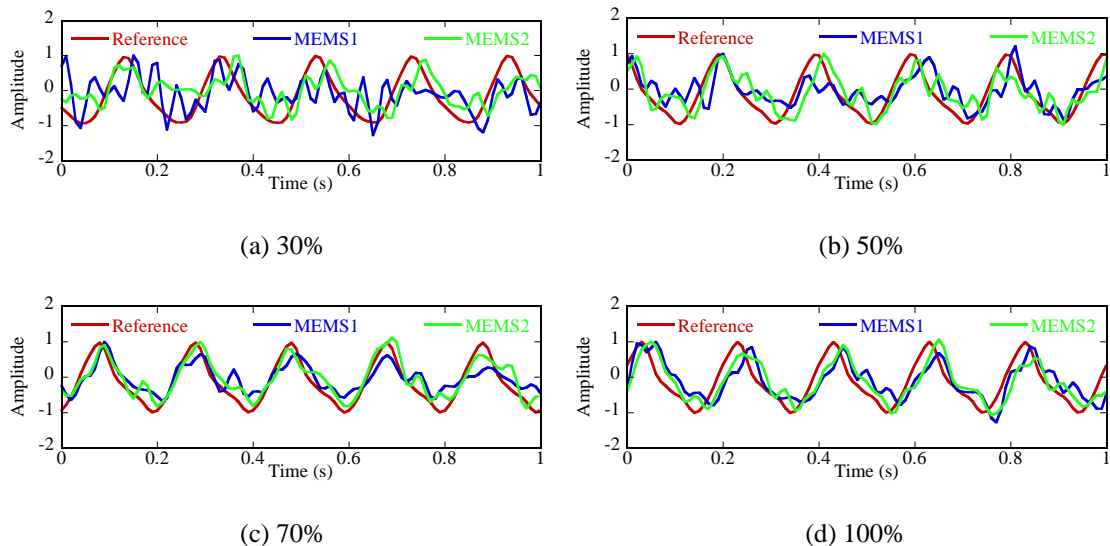


Fig.4 参照値との比較(音圧レベル)

れる。Fig.4 に音圧レベルを変化させて際の参照値との比較結果を示す。Fig.4 より、音圧レベルが低い場合は、精確に計測できていないことが確認できる。この要因としては、気圧センサーの解像度が不足していることが考えられる。以上の結果から、課題点はあるものの、試作したスマートセンサー端末により、気圧を基にした差圧計測が可能であることが確認できる。

次に、複数のスマートセンサー端末による同期計測の可能性について検討を行った。同期計測については、個々のスマートセンサー端末をNTPサーバにより時刻同期し、端末内のRTCにより時刻同期を保持させて上で、時刻をトリガーとして計測することで、同期計測が可能となると考えられる。ただし、同期計測の精度は1ms程度である。

以上、スマートセンサー端末を試作し、試作したセンサー端末の性能を検証することで、スマートセンサー端末による風応答計測の可能性について検討を行った。検討の結果、試作したスマートセンサー端末は、課題点は残るものの、風応答計測の有用なツールと成り得ると考えている。

また、研究会「構造物の応答計測に関する現状について」を開催し、応答計測に関する実情と問題点を捉え、新しい計測技術を適用していく際の問題点を明らかにした。本研究会の資料は、「構造物の応答計測に関する現状について」としてまとめている。

4. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 0 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

研究会資料「構造物の応答計測に関する現状について」

5. 研究組織

(1) 研究代表者

仁田佳宏 (足利工業大学・工学部・准教授)

(2) 研究分担者

吉田昭仁 (東京工芸大学・工学部・准教授)

西谷章 (早稲田大学・理工学術院・教授)

長山智則 (東京大学・大学院工学系研究科・専任講師)

尾内俊夫 (足利工業大学・工学部・准教授)

渡壁守正 (戸田建設(株)・開発センター)

稲井慎介 (戸田建設(株)・開発センター)

石田琢志 (戸田建設(株)・開発センター)