

平成 21 年 4 月 15 日現在

研究種目：若手研究(B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：19760319  
 研究課題名（和文） MEMS 加速時計と安価な GPS 受信機を用いた動的変位計測装置の開発  
 研究課題名（英文） Development of displacement sensor using a MEMS accelerometer and a low cost GPS receiver.  
 研究代表者  
 佐伯昌之 (SAEKI MASAYUKI)  
 東京理科大学・理工学部・講師  
 研究者番号：70385516

研究成果の概要：静的から数十 Hz までの変位を計測できる安価な無線センサを開発することを目的として、MEMS 加速度計と安価な 1 周波 GPS 受信機を結合したセンサの試作機を製作し、3 次元運動を推定する簡単な実証試験を行った。その結果、幾つかの例を除いて、センチの精度で変位を追従することができた。

## 交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,300,000	0	1,300,000
2008 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,800,000	150,000	1,950,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・地震工学

キーワード：GPS, MEMS 加速時計・変位計測・無線センサネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

地震等の災害時に、即座に社会基盤構造物の健全性・被害状況を把握することができれば、減災の面で非常に有益である。社会基盤構造物の健全性・被害状況を把握するためには、その変形・変位を高密度に把握することが重要となる。しかしながら、従来から市販されている変位センサは高精度であるものの、高価であったり、消費電力が大きく商用電源を必要とするなど、構造物の変位を高密度にモニタリングするには不向きであるように思われる。そのため、安価・簡易な装置

で変位を高密度にモニタリングできる装置の開発が望まれている。

その様な背景から、著者は、これまでGPSと無線センサネットワークを結合した高密度の変位計測を可能とするシステムの開発を進めていた。その研究の中で変位計測の周波数帯域を広げること（動的変位を計測すること）が一つの研究課題として挙げられていた。

## 2. 研究の目的

本研究では、高密度に変位計測することが

できるような、安価で便利な変位センサの開発を最終目的として、MEMS加速時計と安価なGPS受信機を結合した複合型の動的変位センサの開発を目的とした。

### 3. 研究の方法

GPSとMEMS加速時計を結合することで、両者の弱点を補い合う動的変位センサを開発する。安価なGPS受信機を用いた変位計測では、静的な変位を高精度に同定することは可能であるが、動的変位の計測精度は劣る。一方で、加速度計を2回積分して得られる変位では、加速度計の特性上、比較的高い周波数成分は精度がよいものの、低い周波数成分の変位を計測することは非常に難しいことが知られている。これは、低周波数成分の計測誤差を含むデータを積分することによる変位のドリフトが原因である。

そこで、本研究では、まず加速度計で変位を推定し、その結果を適宜GPSで推定された変位で補正を加えることで、ドリフトを抑えて、短期的にも長期的にも（広い周波数帯域で）安定して変位を計測できる変位センサの開発を試みた。

また、センサの回転による誤差に対しては、ジャイロセンサをさらに追加することで対応することとした。

### 4. 研究成果

#### (1) 試作機の作製

図1に本研究で開発した動的変位センサの試作機を示す。このセンサは、MEMS加速度計、GPS受信機、ジャイロセンサの3つのセンサと、それらのセンサからの出力の保存・データ通信を制御するPIC（マイクロコントローラの種類）からなる。試作機では、無線ではなく、シリアル通信でPICからPCに直接データを転送するようにしている。

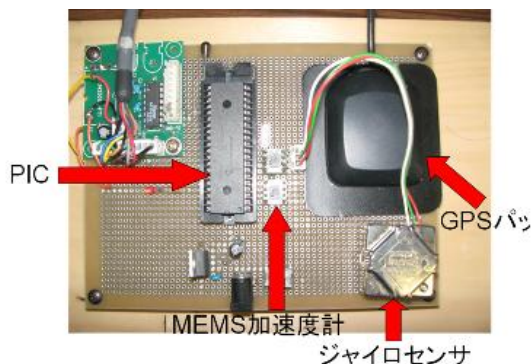


図1 作成した複合センサの試作機

#### (2) 試作機を用いたデータ取得

試作機を用いて簡単な実験を行い、加速度、角速度（ジャイロセンサの出力）、GPSのデータを取得した。実験の様子を図2に示す。この実験では、センサを直線上に動かしている。また、この他にも、センサを回転させた場合、傾斜させた場合、3次元的に動かした場合など、幾つかのパターンを試している。

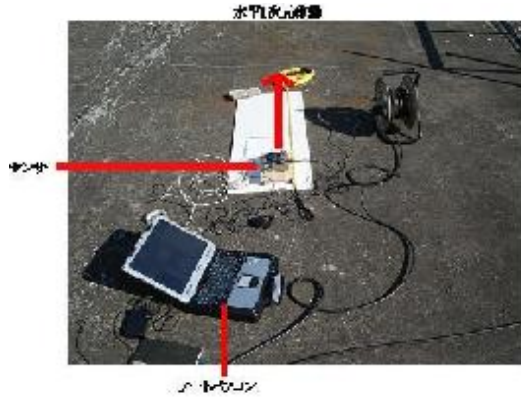


図2 試作機を用いた実験の様子

#### (3) 変位の推定手法

得られたデータを解析して、変位を推定する。その手法は以下のとおりである。

- GPSデータを解析して、センサの初期位置を同定する。
- 最初の1秒間の加速度と角速度のデータを解析して、センサの1秒後の変位を求める。
- 初期位置と変位から、センサの1秒後の位置を推定する。その推定値を近似位置として、GPSデータを解析して位置を確定させる。
- 次の1秒間の加速度と角速度のデータを解析して、センサの2秒後の変位を求める。
- 以上の操作を繰り返す。

GPS、加速度、ジャイロによる出力結果は、解析において非常に密接に関わりあっている。まず、最初の1秒間の加速度データを2回積分して変位を推定する。ただし、このときセンサが回転することによる誤差が混入するため、その補正のためにジャイロセンサを用いる。これにより、2次元的にセンサが移動した経路を追うことができる。ただし、このままではセンサの傾斜による加速度波形のバイアス成分が原因となって、変位の推定結果が大きくなりすぎてしまう。これを補正するために、1秒後のGPSデータを使用して、

センサの位置を確定させる。この確定の段階で、センサの傾き補正がなされる。ちなみに、加速度計とジャイロセンサによるセンサの変位の推定精度が数センチを超えると、GPSで位置を確定させることができない。そのため、加速度計とジャイロセンサで位置をある程度正確に求める必要が出てくる。このとき、主な誤差要因は、センサの傾斜であることが分かっている。(加速度計の出力である電圧波形で言えば、バイアス成分に相当する。)GPSにより1秒後の位置を確定することができれば、それにより傾斜補正も行えるため、それ以降の時刻における変位もより正確に求めることができる。この様に、加速度計、ジャイロセンサ、GPSは変位解析において高度に結合されている。

#### (4) 実験データの解析結果

図3と4に解析結果の一例を示す。図の見方は、横軸が経過時間で、縦軸が変位である。センサはY軸方向に80cmほど動かしている。また、図中の実測値はビデオカメラにより得られた結果である。図3は、GPSにより変位を確定させたものの、傾斜補正を行わなかった場合で、図4は傾斜補正までを加えた場合である。両者を比較すると、傾斜補正まで加えることにより、変位の計測精度が格段に向上していることが分かる。

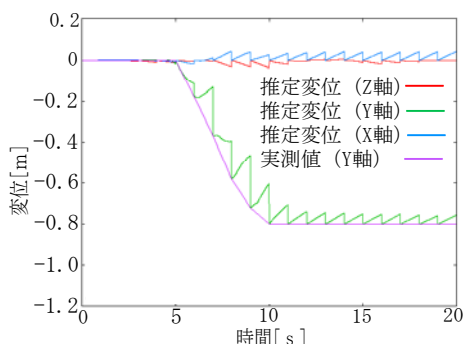


図3 GPSによる単純な変位補正結果

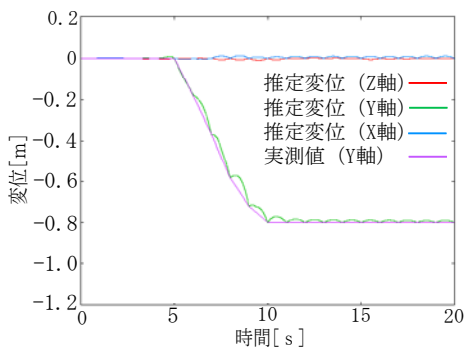


図4 傾き補正を行った後の解析結果

#### (5) その他の研究成果

当初の予定では、センサに搭載したGPS受信機1つで変位を確定させる予定であった。しかしながら、実際に装置を作成して実験をしてみたところ、1つのGPS受信機での変位の推定精度は非常に悪く(悪い時で10cm程度)計画を変更する必要があった。本研究では、そのため、GPSによる変位推定については、参照点からの相対変位を推定するようにシステムを構築した。これにより、変位の推定精度を数cm程度に抑えることができています。ただし、実際の計測を考慮すると、参照点が動いた場合に対応できないため、システムとしては脆弱となる。本研究では、GPSで変位を確定できることを条件に加速度計などと高度に解析を結合させることを優先して研究を進めた。

#### (6) まとめ

本研究では、GPS・加速時計・ジャイロセンサを結合した動的変位センサを試作した。そして、実際に試作した装置を用いてデータを取得し、変位を解析した。変位推定に失敗したケースもあったが、おおよ動的変位をセンチの精度で推定することができた。その解析アルゴリズムでは、GPS・加速時計・ジャイロセンサの出力が相補的に関係し、互いの弱点を補い合うような解析手法を開発した。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 1 件)

① 井上忠治, 池田尚秋, 佐伯昌之ほか, GPS測位解析におけるデータ欠損率と精度の関係について, 応用力学論文集, Vol. 11, pp. 955-962, 2008, 査読有り

〔学会発表〕(計 1 件)

佐伯昌之, 井上忠治, 畑明仁, 1周波GPS受信機を用いた変位計測におけるマルチパスノイズ除去手法の適用と精度検証, 土木学会年次学術講演会, 2008年9月, 東北大学

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐伯 昌之 (SAEKI MASAYUKI)  
東京理科大学・理工学部・講師  
研究者番号：70385516

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし





(7) ○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○  
○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

5. 主な発表論文等  
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計10件)

- ① 学振太郎、半蔵門一郎、学振花子、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無
- ② 学振太郎、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無
- ③ 学振花子、論文名、掲載誌名、巻、最初と最後の頁、発表年(西暦)、査読の有無

〔学会発表〕(計5件)

- ①
- ②
- ③

〔図書〕(計2件)

- ①
- ②

〔産業財産権〕

○出願状況（計□件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況（計◇件）

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

http://○○○○○○○○○○○○○○○○○○○○

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

学振 太郎 (GAKUSHIN TARO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

### (2) 研究分担者

学振 花子 (GAKUSHIN HANAKO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

学振 次郎 (GAKUSHIN JIRO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

学振 三郎 (GAKUSHIN SABURO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：

### (3) 連携研究者

学振 四郎 (GAKUSHIN SHIRO)  
○○大学・大学院理工学研究科・教授  
研究者番号：