

平成22年6月4日現在

研究種目：基盤研究（B）
 研究期間：2006～2009
 課題番号：18360269
 研究課題名（和文） ワイヤレス・センサ・ネットワークによる広域振動モニタリングに関する研究
 研究課題名（英文） Study on Wide-area Vibration Monitoring Using Wireless Sensor Network

研究代表者
 濱本 卓司 (HAMAMOTO TAKUJI)
 東京都市大学・工学部・教授
 研究者番号：10228546

研究成果の概要（和文）：

地震や台風による自然振動源からの振動と道路・鉄道交通や建設作業などの人工振動源からの振動を建築物の内外で計測するワイヤレス・センサ・ネットワークを構築することを目的に、ワイヤレス MEMS 加速度センサの開発と ZigBee 無線データ転送及び処理方式の検討を行い、都市で発生する振動を広域高密度でモニタリングすることにより、安全で快適な都市の振動環境を評価し管理するための方法を提案した。

研究成果の概要（英文）：

For the purpose of constructing wireless sensor networks that are intended to measure vibrations inside and outside buildings generated from natural sources such as earthquakes and wind storms and man-made sources such as road and rail traffics and construction and/or demolition activities, wireless MEMS acceleration sensors have been developed and the way of mass data transfer and processing through ZigBee wireless network has been investigated. Based on the real world measurements using a prototype sensor network system, a methodology for evaluating and managing vibrations has been presented in order to assure safety and keep comfort in the urban regions.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	4,600,000	1,380,000	5,980,000
2007年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2008年度	2,200,000	660,000	2,860,000
2009年度	2,300,000	690,000	2,990,000
年度			
総計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築学・建築構造・材料

キーワード：ワイヤレス・センサ・ネットワーク、広域振動モニタリング、ヘルスマニタリング、環境振動

1. 研究開始当初の背景

研究開始当初、ユビキタス社会に向けて欧米各国ではワイヤレス・センサ・ネットワークの構築に向けて活発な研究が始まっており、わが国においても産総研などを中心に研

究開発の機運が広がっていた。しかし、その多くは温度や湿度など時間変動の緩やかな現象の計測を対象としており、大量かつ高速なデータ転送が必要になる振動計測に関してはまだ課題が山積していた。それでも比較

的大きな地震を対象とするワイヤレス振動計測に関する研究発表は徐々に増える傾向にあったが、震度3以下の小地震や交通振動などの微小振動の計測を精度よく行えるワイヤレスセンサの開発はまだ行われていなかった。

本研究では、都市域において常時発生している比較的小さな振動を計測することにより、建築物の弱点を見つけて将来の大地震に備えるヘルスマニタリング技術を整備普及することと、交通振動や工事振動などの環境振動に対する居住快適性の確保することを目標に、ワイヤレス・センサ・ネットワークの構築を目指した。このため、まず高精度のワイヤレス MEMS 加速度センサの開発を行い、さらにそのセンサシステムを用いて広域高密度で計測した大量の振動データを転送・処理し、素早く有益な情報へと変換する方法を検討することが研究課題となった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、ワイヤレス・センサ・ネットワークを用いて、通常時及び強震時の建築物の広域振動モニタリングを行い、得られた振動データを複数のハブコンピュータとホストコンピュータで段階的に処理することにより、都市のストックとしての建築群のヘルスマニタリング、都市域におけるさまざまな振動源からの伝搬メカニズムの同定、不快感あるいは不安感を引き起こす振動源の特定などを行う基盤技術を構築することであった。本研究は、このような広域振動モニタリングにより、都市を構成する個々の建築物の安全性と快適性を向上させるだけでなく、都市全体としての安全性と快適性を高めることを目指した。

3. 研究の方法

初年度は精度やデータ転送距離に関するセンサ性能を要求レベルへと上げるために試行錯誤的にワイヤレス加速度センサの開発を進めた。初年度に開発したワイヤレス加速度センサは精度1ガル程度の性能であったが、2年度目には精度0.1ガルワイヤレス加速度センサを新たに開発し、建物内外におけるテストを実施した。センサ開発の際、ワイヤレス通信方式の選択に時間を要した。微弱無線、ブルートゥース、ZigBeeの3方式を検討したが、最終的にネットワークの柔軟性を考慮しZigBeeを採用することになった。

3年度目は、開発された3成分加速度センサ8個を用いてワイヤレス・センサ・ネットワークを構築し、東京都市大学建築学科棟（RC造4階）で建物内部のテストランを実施した。また、建物外部におけるテストランとして、1成分（上下動）センサ10個を用いてワイヤレス・センサ・ネットワークを構築し、多摩川に架かる丸子橋での道路振動計測と大井町線沿線での鉄道振動計測を実施した。

建物内振動の計測では、震度1~2程度の微弱地震を計測するためにトリガー機構を設けた。テストの結果、構造物や地盤の固有振動数の同定および移動振動源の同定の精度向上を確認したが、微小な振動になるとAD変換器で発生するノイズに埋もれるという問題と多点間の振動を処理するにはより正確な同期が必要なことが分かり改善を進めた。現在、1Hz以上の振動数領域で0.5ガル以上の振動であれば0.1ガル精度で計測できることを確認している。このセンサを用いて、小地震に対する建物応答を計測してヘルスマニタリングを行うとともに、交通振動・建設工事振動に対する環境振動計測を継続して実施した。

ところで、多点間での大量データ転送において、振動の時系列データそのものを送ることは冗長であり電源の無駄遣いにもなりかねない。最終年度は、各センサ内のメモリに時系列データを温存して好きな時にデータ処理をする方法と、各センサ内で計測情報を圧縮あるいは変換した後に伝送してセンサ間で分散処理する方法とを併用する方式の開発を行った。

一方、実世界にワイヤレス振動センサ・ネットワークを構築することを目指して、パイロット地区に選定し、複数建物の同期計測データをハブステーションに転送し、さらにインターネット回線によりホストステーションに転送して処理した後、GIS上に表示するシステム開発の準備を進めた。

4. 研究成果

研究の目的に沿って、研究はおおむね順調に進展したが、当初想定していた実世界にワイヤレス振動センサ・ネットワークを構築し、広域高密度モニタリングを継続的に実施する計画は今後の課題として残された。野外での広域振動モニタリングシステムを開発するという点で、想定外の問題に数多く遭遇し、その都度センサ機能を改善しながら研究を進めた。最終年度を終了し、都市域における広域高密度振動センサ・ネットワークを構築する基盤技術は整備された段階にある。

都市の中では様々な振動問題が高密度・高頻度で発生している。空間的には、狭い範囲で生じる振動もあれば広範囲に影響を与える振動もある。時間的には、短期間で終わる振動もあれば長期間継続して生じる振動もある。しかし、一見個別に発生しているように見える環境振動問題は、都市の時空間構造で見れば、相互に何らかの因果関係や相関関係が認められるはずである。したがって、事前・事後対策を立案する際にも、個別に振動問題の解決を図るより、群として振動問題を解決の方が合理的な場合が多い。

今回開発されたワイヤレス振動センサ・ネットワークの基盤技術は、今後、その結果をGIS上にほぼリアルタイムで表示して面的情

報として把握できるようにし、シミュレーション技術と可視化技術を導入して、振動伝搬の空間分布と時間変動のメカニズムを解明することにより、都市で発生する振動の評価／管理システムを構築する方向へと繋げていく必要があると考えている。

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 7件)

- 1 濱本卓司、ヘルスマonitoring、地盤工学会誌、査読有、pp. 56-57、2009
- 2 濱本卓司、建築物の挙動をはかる新しいセンシング技術、建築防災、査読有、2009、pp. 2-9
- 3 濱本卓司、大村哲矢、堀内大悟、振動・波動計測によるPHC杭の総合的ヘルスマonitoringに関する室内実験、日本建築学会構造系論文集、査読有、No. 612、2007、pp. 47-54
- 4 濱本卓司、大村哲矢、堀内大悟、崔井圭、振動・波動計測による場所打ちコンクリート杭の総合的ヘルスマonitoringに関する室内実験、日本建築学会構造系論文集、査読有、No. 616、2007、pp. 105-112
- 5 飯塚真巨、濱本卓司、端部回転を受け入れる免震用積層ゴムの弾性理論、日本建築学会構造系論文集、査読有、No. 612、2007、pp. 47-54
- 6 濱本卓司、建築物の耐震性能評価のためのモニタリング技術、計測自動制御学会、査読有、No. 46、2007、pp. 605 - 611
- 7 濱本卓司、森田高市、相馬澄子、逐次最小二乗法による多層建築物の地震損傷追跡、日本建築学会構造系論文集、査読有、No. 603、2006、pp. 39-46

[学会発表] (計 25件)

- 1 平尾善裕・国松直・濱本卓司、家屋振動における無線計測システムの開発と測定事例、日本騒音制御工学会秋季研究発表会講演論文集、pp. 197-200、2009、さいたま
- 2 Suhrobsho Rahmonov、濱本卓司、センサ・ネットワークを用いたトラスドームの損傷検出に関する小型振動台実験、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 667-668、2009、仙台
- 3 井上了太、濱本卓司、層損傷から部材損傷への二段階推定モデル、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 683-684、2009、仙台
- 4 野口和也、崔井圭、濱本卓司、小豆畑達哉、森田高市、飯場正紀、既存建物の杭損傷検出に関する小型振動台実験 その1 実験概要と予備検討、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 699-700、2009、仙台
- 5 崔井圭、濱本卓司、小豆畑達哉、野口和

- 也、森田高市、飯場正紀、既存建物の杭損傷検出に関する小型振動台実験 その2 普通鋼板模型と制振鋼板模型の比較、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 701-703、2009、仙台
- 6 崔井圭、濱本卓司、常時微動測定を用いた耐震補強前後の建物の動特性変化の推定、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 277-278、2008、広島
- 7 奥村祐介、濱本卓司、微小地震動データを用いた建物の即時損傷推定、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 265-266、2008、広島
- 8 井上了太、濱本卓司、多層建築物の部材損傷検出のための材端ばねフレームモデル、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 229-230、2008、広島
- 9 上田真広、渡辺卓也、濱本卓司、ワイヤレス・センサ・ネットワークによる環境振動広域モニタリング その5 道路橋同期計測によるデータ相関分析、日本建築学会大会学術梗概集、D-1、pp. 481-482、2008、広島
- 10 渡辺卓也、上田真広、濱本卓司、ワイヤレス・センサ・ネットワークによる環境振動広域モニタリング その6 鉄道同期計測によるデータ相関分析、日本建築学会大会学術梗概集、D-1、pp. 483-484、2008、広島
- 11 池田泰久、鷹野澄、濱本卓司、崔井圭、建物用IT強震計による耐震補強前後の振動観測:常時微動観測との比較、第6回日本地震工学会・大会、No. 6、pp. 122-123、2008、仙台
- 12 宮下英人、濱本卓司、拡張カルマンフィルタによる有効剛性と等価粘性減衰のオンライン同定、理論応用力学講演会講演論文集、No. 56、pp. 351-352、2007、東京
- 13 崔井圭、濱本卓司、杭損傷の間接同定における履歴ループを用いた動的相互作用の評価について、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 15-16、2007、福岡
- 14 奥村祐介、濱本卓司、拡張カルマンフィルタを用いた実建物の固有振動数と等価粘性減衰のオンライン同定、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 19-20、2007、福岡
- 15 井上了太、濱本卓司、曲げせん断モデルを用いた感度解析による多層建築物の損傷検出、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 39-40、2007、福岡
- 16 渡辺卓也、上田真広、濱本卓司、ワイヤレス・センサ・ネットワークによる環境振動広域モニタリング その3 サンプリング周波数と転送時間のトレードオフについて、日本建築学会大会学術梗概集、D-1、pp. 347-348、2007、福岡
- 17 上田真広、渡辺卓也、濱本卓司、ワイヤレス・センサ・ネットワークによる環境振動広域モニタリング その4 複数点計測における同期について、日本建築学会大会学術梗概集、D-1、pp. 349-350、

- 2007、福岡
- 18 篠崇、濱本卓司、曲げせん断モデルと遺傳的アルゴリズムを用いた多層建築物の層損傷検出、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 903-904、2006、横浜
 - 19 杉山雄亮、濱本卓司、テンション材を利用した立体トラスの損傷部位特定、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 905-906、2006、横浜
 - 20 猿木孝宏、稲田耕太郎、濱本卓司、杭剛性の段階的同定手法の実建物への適用、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 921-922、2006、横浜
 - 21 渡辺卓也、崔井圭、濱本卓司、損傷モデルを用いた建物・杭連成系の地震損傷予測、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 923-924、2006、横浜
 - 22 堀内大悟、崔井圭、大村哲矢、濱本卓司、場所打ちRC杭の総合的ヘルスマニタリングに関する室内実験 - その1 振動計測による損傷検出、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 945-946、2006、横浜
 - 23 崔井圭、堀内大悟、大村哲矢、濱本卓司、場所打ちRC杭の総合的ヘルスマニタリングに関する室内実験 - その2 波動計測による損傷検出、日本建築学会大会学術梗概集、B-2、pp. 947-948、2006、横浜
 - 24 相良夏子、渡辺卓也、濱本卓司、ワイヤレス・センサ・ネットワークによる環境振動広域モニタリング その1 想定センサ・ネットワーク、日本建築学会大会学術梗概集、D-1、pp. 211-212、2006、横浜
 - 25 渡辺卓也、相良夏子、濱本卓司、ワイヤレス・センサ・ネットワークによる環境振動広域モニタリング その2 センサ・モジュールの予備的試験、日本建築学会大会学術梗概集、D-1、pp. 213-214、2006、横浜

〔図書〕（計0件）

〔産業財産権〕

- 出願状況（計0件）
- 取得状況（計0件）

〔その他〕

ホームページ:

<http://hamamotolab.web.fc2.com/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱本卓司 (HAMAMOTO TAKUJI)
東京都市大学・工学部・教授
研究者番号：10228546

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者
なし