

# 茨城大学重点研究

「知的で持続可能な社会基盤および防災セキュリティ技術研究創出事業」

## 茨城大学工学部附属 防災セキュリティ技術教育研究センター

2013年度  
報告書

茨城大学重点研究「知的で持続可能な社会基盤および防災セキュリティ技術創出事業」  
平成 25 年度報告書刊行にあたって

プロジェクト代表 呉 智深

本研究課題は、平成 23 年 4 月に課題募集プロポーザルとその審査により茨城大学重点研究課題として認定され、工学部、教育学部および茨城大学センター教員から構成される異分野研究者の集う場として活動が始まりました。本年度は活動 3 年目を迎えることとなりました。

この報告書では、学術誌論文をはじめとする研究成果に加えて、参加メンバーの学術企画の開催や参加、受賞例についても整理しましたが、「防災セキュリティ技術」という学際領域に類するテーマが示すように、昨年度に引き続き、多種多様な研究活動とその成果を収めてきたことが分かりました。

この重点研究課題で芽生えた研究成果は、平成 24 年 1 月に開所式が行われた工学部附属教育研究センター「防災セキュリティ教育研究センター」に引き継がれ、平成 25 年 4 月には、日本・中国・韓国各国の関係分野の先進的研究者が集う国際シンポジウムを土木学会茨城会と共催、平成 25 年 12 月には日本リモートセンシング学会国土防災リモートセンシング研究会主催 WS「次の大災害時に備えて、衛星画像の可能性」を後援(工学部)し、センターメンバーが主催側に参画しました。「教育と研究」双方の分野を対象として着実に成果を重ねつつあり、今後ますますの発展に向けて鋭意努力してゆく所存であります。

末筆とはなりますが、茨城大学重点研究課題として採択頂き、茨城大学を代表する研究課題の一つとして諸方面の応援と援助を頂きました茨城大学に心から感謝申し上げますとともに、必ずしも十分でなかった研究交流にも関わらず、本誌に示す多大なる研究成果を上げている参加メンバーに心から敬意と謝意を表します。

今後の研究活動への努力をお約束し、関連する皆様に感謝を申し上げますとともに、ここに平成 25 年度の研究成果を報告させていただきます。

平成 26 年 3 月吉日  
プロジェクト代表 呉 智深

■「知的で持続可能な社会基盤および防災セキュリティ技術創出事業」

プロジェクト参加教員一覧（研究項目）

呉 智深（工学部都市システム工学科・教授）

社会基盤の超寿命化技術開発およびマネジメントシステムの構築を主担当

沼尾 達弥（工学部都市システム工学科・教授）

持続可能な建設材料の開発を主担当

今井 洋（工学部電気電子工学科・教授）

防災セキュリティセンシング技術を主担当

桑原 祐史（広域水圏環境科学教育研究センター・准教授）

地理情報システムによる環境情報変遷・変化の統合化技術の高度化を主担当

原田 隆郎（工学部都市システム工学科・准教授）

社会基盤システムのエコデザインおよびライフサイクルデザインに関する研究を主担当

横田 浩久（工学部電気電子工学科・准教授）

光防災センサネットワーク技術を主担当

伊藤 孝（教育学部学校教育教員養成課程(理科教育)・教授）

地理情報の生成における技術的注目点の整理・提案を主担当

湊 淳（理工学研究科・教授）

CO<sub>2</sub> センシング技術の開発とその地理情報化を主担当

武田 茂樹（工学部メディア通信工学科・教授）

センシング情報の収集技術の高度化を主担当

外岡 秀行（工学部情報工学科・准教授）

衛星リモートセンシングによる環境情報変遷の情報化を主担当

車谷 麻緒（工学部都市システム工学科・准教授）

社会基盤システムの劣化予測および超高寿命化シミュレーション技術開発を主担当

茨城大学重点研究とは…

「茨城大学は、研究推進方針において重視している、特色ある重点研究の育成と推進を目指して、優れた研究実績を有する研究グループが実施し、学術的及び社会的に卓越した研究成果の創造を目指す研究プロジェクトを重点研究として認定する。」

茨城大学 重点研究認定制度実施要項 定義

「人の暮らしを豊かにするライフサポート科学の創成」報告書記述より抜粋，2010 年度

（代表：増澤 徹（茨城大学教授））

## 【目次】

### I.研究報告(H25 年度参加教員発表の代表的な学術論文集)

1. 吳智深, 宮田茉実, 黄 璜  
「構造ヘルスマニタリングにおける分布型光ファイバセンシング技術の高速計測性能向上に関する研究」  
[土木学会論文集 投稿中]  

- 1 -
  
2. Shota Suto and Shibusawa Susumu,  
A tabletop system using infrared image recognition  
for multi-user identification,  
P. Kotze et al. (Eds.): INTERACT 2013, Part II, LNCS 8118, pp. 55-62,  
Sept. 4, 2013, Cape Town, South Africa.  

- 10 -
  
3. 楊 默, 湊 淳, 小澤哲, 土田寛  
「防災のための気泡管の画像を用いた傾斜計測装置の開発」  
土木学会論文集 G(環境), 地球環境研究論文集 第21 卷 Vol.69 No.5,pp73-77, 2013.  

- 18 -

### II. プロジェクト業績

1. 活動内容 

- 23 -
  
2. 実績一覧 

- 24 -

## I.研究報告

(H25 年度参加教員発表の代表的な学術論文集)

# 構造ヘルスマニタリングにおける分布型光ファイバセンシング技術の高速計測性能向上に関する研究

呉 智深<sup>1</sup>・宮田 茉実<sup>2</sup>・黄 璜<sup>3</sup>・

<sup>1</sup>正会員 茨城大学教授 工学部都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)

E-mail: zswu@mx.ibaraki.ac.jp

<sup>2</sup>非会員 茨城大学大学院 理工学研究科都市システム工学専攻 (同上)

E-mail: 11nm821r@hcs.ibaraki.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 茨城大学工学部 (同上)

E-mail: hhly9527@gmail.com

都市インフラ構造物健全性をリアルタイムで構造ヘルスマニタリング(SHM)システムを構築していくにあたり、光ファイバセンシング技術が注目されている。その中でもブリルアン散乱を用いたPPP-BOTDAは動的分布計測を可能であり、より高度なSHMの実現に対する期待が高まっているが、計測値の安定性や精度には十分な検証とはなっていない。本研究では、リアルタイムで構造物の損傷や性能をセンシングするSHMシステムにPPP-BOTDAを適用させるため、高速計測時の安定性の確保、及び計測精度を向上させることを目指した。そこで無載荷部をダミーゲージとし、系統誤差の補正手法を提案し、ランダム誤差の補正手法における定性的・定量的検討を行った。また、実橋梁にて動的計測を行い、ダミーゲージによる補正に加えウェーブレット解析を取り入れることで、より高周波の波も捉えることを可能とし、実構造物への適用の可能性を実験的に検討した。

**Key Words :** PPP-BOTDA, real-time structural health monitoring, optical fiber, precision, dynamic sensing

## 1. はじめに

現在、高度経済成長期に大量に作られた鉄道橋や道路橋といった橋梁構造物は、建設から50年余経過し、設計耐用年数を迎えつつある。これらの老朽化が進んだ構造物を効果的に維持・管理していくため、構造ヘルスマニタリング(SHM)に対する期待が高まっている<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。しかし、高度なSHMを行うためには構造物のひずみを広範囲に分布計測する必要があるため、従来型の多点型センサでは、非常に多くのセンサと計測機器が必要となり現実的ではなかった<sup>5), 6), 7)</sup>。そこで、一本の光ファイバで広範囲の測定が可能な光ファイバセンサの適用が求められている。主な光ファイバセンサは、光ファイバ内にブラッグ回折格子を設け、その波長のシフト変化量を利用した多点型センサのFBG(Fiber Bragg Grating)センサや、光ファイバの両端からパルス光を入射させてブリルアン散乱光の波長のシフト変化量を利用した分布型センサのBOTDA (Brillouin Optical Time Domain Analysis)系センサが

注目されている<sup>8), 9), 10)</sup>。BOTDAは光ファイバ内に特定の計測部を持たないため、安価な汎用の光ファイバをそのままセンサとして用いることが可能な上、全長すべてがセンサとなる。そのため、唯一分布計測を可能にしたセンサであり、SHMに最適と言える<sup>11), 12), 13), 14)</sup>。

従来のBOTDA系のセンサは動的計測が不可能なばかりか、FBGセンサに比べ精度が低いといった欠点があったため、SHMに対して適切なセンサとするのは困難であった<sup>15), 16)</sup>。近年になって動的計測(最大計測周波数50~60Hz)を可能にし、測定距離分解能(静的計測時で最小100mm、動的計測時で最小500mmが計測可能)が改良されたPPP-BOTDA (Pulse-PrePump Brillouin Optical Time Domain Analysis)が開発された。PPP-BOTDAにより計測したひずみは、測定距離分解能の平均ひずみであり、一回の計測で測定距離分解能を任意移動距離(最小移動距離50mm)分ずらしながら光ファイバ全長を計測することが可能である(図-1にPPP-BOTDAの計測概念図を示す)。しかし、計測値の不安定性や計測精度には未だ

大きな問題が残っている。

そこで本研究では、SHMにPPP-BOTDAを適用させるために計測時の安定性の確保し、計測精度を向上させると共に、実橋梁の鉄道橋や道路橋の現地計測を行い、実構造物への適用の可能性を実験的に検討した。

## 2. PPP-BOTDAについて

### (1) PPP-BOTDAの計測原理

ファイバの一端より光パルスを、他端より連続光を入射する。2つの光周波数を適切に設定すると、2つの光が出会った地点でパルス光の入射端に特殊な後方散乱光（誘導ブリルアン散乱光）が発生する。光パルスを入射し後方散乱光が戻るまでの時間がその後方散乱光が発生した地点までの距離に相当し、位置を求める。ブリルアン散乱光には、ファイバに加わるひずみにより周波数がシフトする性質があり、それを測定することでひずみを求める。また、PPP-BOTDAの高いSN比の特徴により標準偏差の再現性が確認でき、さらに高分解能の特徴により2cm空間分解能が達成できた。更に、これらの性能を活かすうえで高性能な入射レーザを用いて高速に計測可能な計測装置（NEUBRESCOPE NBX-6050）を実現した<sup>17)</sup>。

### (2) PPP-BOTDA計測モード

高速計測PPP-BOTDAには2種類の測定モードがある。それらの特徴を表-1に示す。FS（Frequency Scanning）モードは、静的ひずみに対して計測を行っており、既存の研究においては連続計測を行い、その平均値を用いることで精度の向上をはかっていた。これを測定モード1とした。AT（Amplitude Transfer）モードについての誤差の低減及び精度の向上を目指す。これを測定モード2とした。その際に、静的ひずみに対しては測定モード1との比較も行った。

### (3) 分布センシング用光ファイバセンサの作製方法

組紐に光ファイバを通しエポキシ樹脂を含浸・硬化させた。センサ外観を図-2に載せる。被覆材であるBFRPと光ファイバは完全に一体化している。組紐を用いることにより被覆材であるバサルト繊維を光ファイバの周囲に均一に配置することができ、さらに光ファイバ心線と同程度のセンサ径を実現した。BFRPを被覆材に用いることですべり制御だけでなく、長期計測時の疲労・クリープひずみの抑制効果、外部からの腐食要因物質の遮断による腐食損傷防止、亀裂近傍での応力集中による損傷防止といった2次的な効果も期待できる。

また、含浸から硬化するまでの間、内部の光ファイバにある程度のテンションを与えた状態を維持することで、ケーブルにプリテンションが導入され圧縮ひずみも測定可能となる。更に施工が容易な為、実構造物へのロングゲージセンシングに適している。

### (4) PPP-BOTDAの測定結果

PPP-BOTDAを用いて計測した無荷重・無振動時のひずみを比較した。静的計測には $\pm 30\mu$ 程度のばらつきが生じており（図-3に参照）、動的計測には、常時 $\pm 10\mu$ 程度のノイズ（ランダム誤差）に加えて低周波の大きな波のノイズ（系統誤差）が生じており、計測値が不安定である（図-4に参照）。

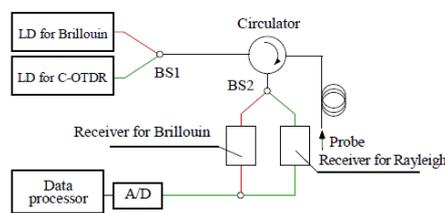


図-1 高性能 PPP-BOTDA の計測概念図

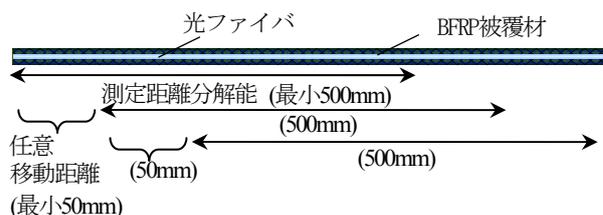


図-2 分布センシング用光ファイバセンサ

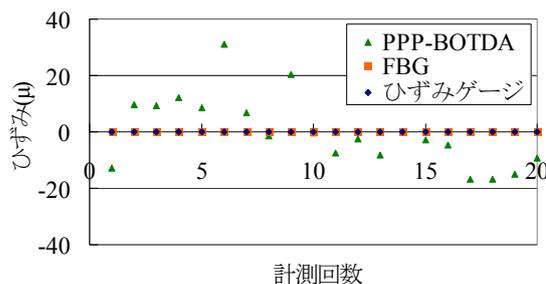


図-3 無荷重時の出力ひずみ（測定モード1）

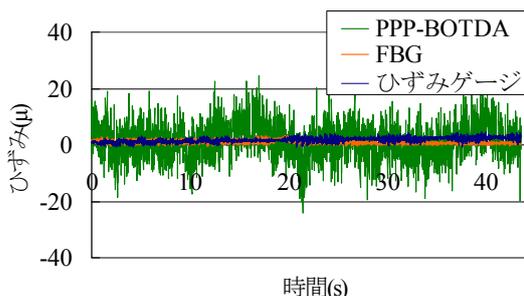


図-4 無荷重時の出力ひずみ（測定モード2）

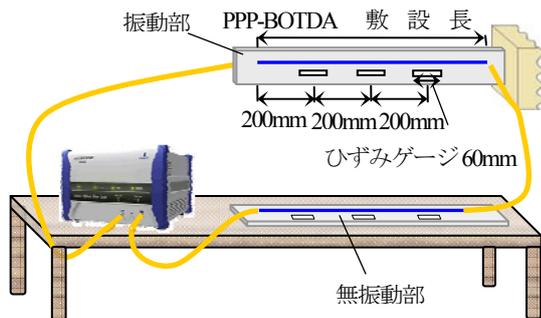


図-5 動的実験の概要念図

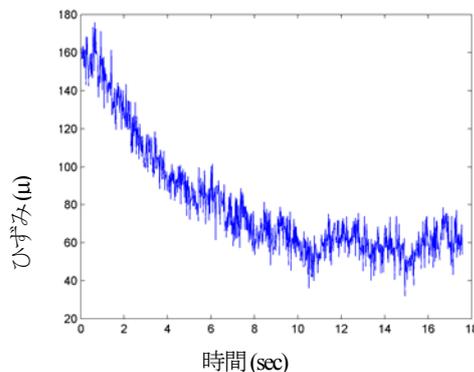


図-6 荷重部の時間-出力値関係

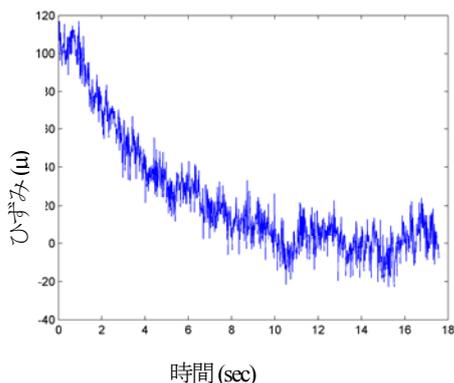


図-7 無荷重部の時間-出力値

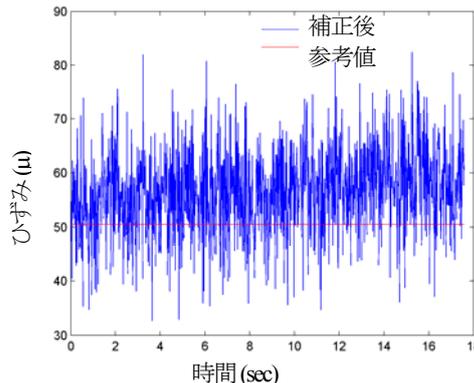


図-8 システム誤差補正後の時間-ひずみ関係

### 3. PPP-BOTDA 静的計測におけるひずみ検出特性と性能の向上手法

#### (1) 静的実験概要

静的ひずみに対する PPP-BOTDA の性能向上手法を検討するために、室内にて計測を行った。図-5 に実験概要図を示す。PPP-BOTDA とひずみゲージを敷設したアルミ板の片側を固定し、片持ち梁を模した試験体を使用した。静的ひずみを計測するために、自由端側に任意の変位(中央部最大ひずみが 15 $\mu$ , 30 $\mu$ , 50 $\mu$ , 70 $\mu$ , 100 $\mu$ )を与えた。またシステム誤差補正用に同様の試験体を机上に設置し、この試験体中央におけるセンサの計測値を非計測部の値とした。

#### (2) 静的実験結果およびノイズ除去方法

荷重部の試験体における中央最大ひずみが 50 $\mu$  時の時間とひずみの関係を図-6 に示す。一定荷重を載荷しているにも関わらず、系統誤差が大きく生じており、計測値が不安定である。

光ファイバは 1 $^{\circ}$ C に対し 10 $\mu$  程度の影響を受ける。また、熱膨張や機械的な影響など、計測値には純粋なひずみ以外の要因が含まれていると考えられる。そこで、まずはこれらの影響を取り除くためにシステム誤差の補正を行った。図-7 に、無荷重部の時間とひずみの関係を示す。以降、この非計測部をダミーゲージとして表記す

る。荷重部の計測値(図-6)から無荷重部の計測値(図-7)を除去した結果が図-8 である。これより、ひずみゲージの計測値付近で安定し、系統誤差が低減できたことがわかる。また、ダミーゲージの計測値に FFT 解析を行ったところ、低周波に卓越周波数がみられなかったことから、逆 FFT 解析等による系統誤差の補正は困難である。このことから、系統誤差に対してはシステム誤差の補正が適していると判断した。

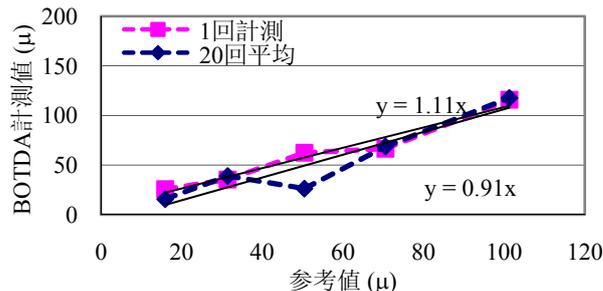


図-9 測定モード1の計測値

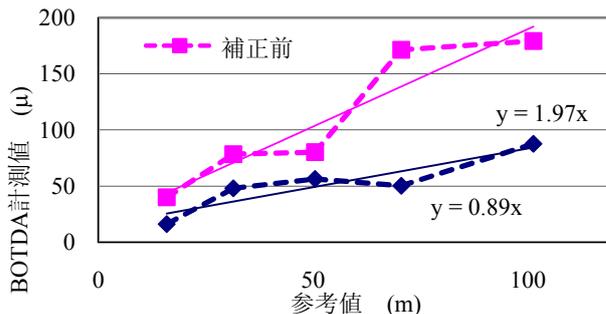


図-10 測定モード2の計測値

そこで、この補正を行った値を平均したものを静的計測におけるノイズ除去後の値として、各荷重において精度の評価を行った。まず、測定モード1における計測結果を図-9に示す。1回計測では誤差率が48.3%に対し、20回計測平均では誤差率が23.4%と安定した。次に測定モード2における測定結果を図-10に示す。ノイズ除去前は傾きが2倍近く大きな値を示していたが、ノイズ除去により測定モード1と同程度の傾きに近づいた。また誤差率を算出したところ、ノイズ除去により116%から21.5%まで大きく低減することができた。これより静的計測においては、ダミーゲージを用いてシステム誤差補正を行い、高速測定平均を算出することで、測定モード1と同程度、若しくはそれ以上の精度の向上の可能性を見出した。

#### 4. PPP-BOTDA 動的計測におけるひずみ検出特性と性能の向上手法

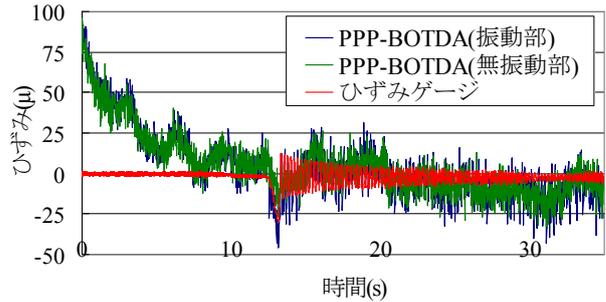
##### (1) 動的実験概要

動的ひずみに対するPPP-BOTDAの性能向上手法を検討するために、室内にて計測を行った。試験体は静的計測と同様、図-5に示したものとする。自由端側に任意の変位(中央部における最大ひずみが $50\mu$ 、 $35\mu$ 、 $25\mu$ 、 $15\mu$ )を与え自由振動させた。なお変位はPPP-BOTDAの計測値が安定する約10秒後に载荷した。

##### (2) 実験結果およびノイズ除去方法

自由振動により動的計測を行ったところ、最大ひずみ $15\mu$ において誤差率が大きく上昇した。このことより、最大片振幅ひずみ $15\mu$ の波形においてノイズ除去を行っていく。図-11に最大片振幅ひずみ $15\mu$ におけるPPP-BOTDAの振動部と無振動部、60mmひずみゲージ(計測周波数を50Hz)の振動波形を示す。なおこれ以降、(a)は振動前も含む全計測波形、(b)は振動直前から5秒間の波形とする。全計測波形は、計測初期の約10秒間は無振動のため、ひずみゲージは一定の値を示すのに対し、PPP-BOTDAは、振動部および無動部とも計測初期から約10秒間は波形が安定しないばかりか、その後も不安定な波形を示している。また振動時には、振動部のみが振動波形を観測したもの、ひずみゲージと比べるとノイズが非常に大きい。そこで、まずはダミーゲージを用いてシステム誤差の補正を行った。この時の時間-ひずみ関係のグラフが図-12である。(a)の全計測波形を見ると、振動前、振動後ともに系統誤差が低減され、計測値が安定している。しかし、(b)の振動直前から5秒間の波形を見ると、局所的に振幅が大きく出ているところがあり、ばらつきが生じている。

(a)全計測波形



(b)振動時計測波形

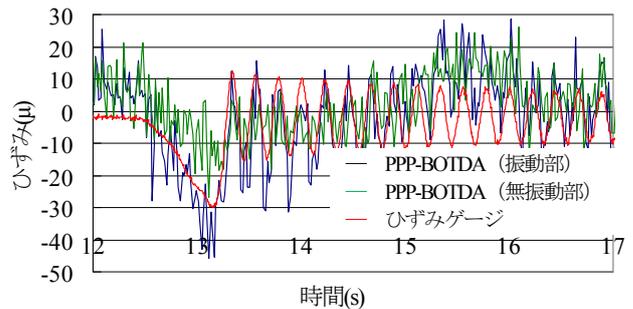
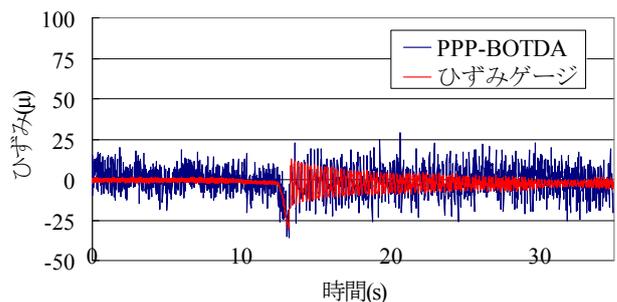


図-11 最大片振幅 $15\mu$ の振動波形

(a)全計測波形



(b)振動時計測波形

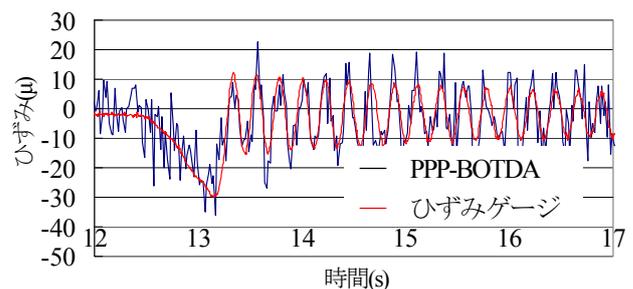


図-12 システム誤差補正後の振動波形

これをランダム誤差の影響と考え、このノイズの除去を行うために、3つの手法を試みた。以下にそれらの特徴とノイズ除去を行った際の結果を示す。

##### a) 移動平均法

ランダムノイズ(高周波振動を含む)であれば、真値に対して誤差を含むデータ点が上下に存在する確率は等しいという性質を持つ。従って、前後の時間におけるデ

ータを和して平均すると真値に近づく。しかしこの方法は、時間軸にずれが生じるとともに、極値の低減が問題となるため、PPP-BOTDAにおいてランダムノイズに対しての使用は不適切であった。ノイズ除去を行ったものを図-13に示す。

#### b) 短時間フーリエ変換

一定の大きさの窓関数を用いて連続ひずみ信号を短く分割し、その結果をフーリエ変換してスペクトルを計算する<sup>19)</sup>。しかし、PPP-BOTDAにおいて最大計測周波数は50-60Hzであり、ノイズ範囲と振幅が同じのひずみ信号の分割区間を細分することができないという問題がある<sup>18)</sup>。精度良くノイズ除去することが困難なため、ウェーブレット変換を試みた。

#### c) ウェーブレット変換

ウェーブレット分解は、各々のレベルにおいて低周波と高周波に分解され、近似係数(Approximation coefficients)と詳細係数(Detail coefficients)が得られる。これらの分離した近似係数と詳細係数は相互影響がない為、計測対象の動的応答と関係性のない信号を分離する効果があると考えられている<sup>20)</sup>。そして、分離した近似係数と詳細係数また再合成演算ができ、再合成の過程で係数に閾値処理を行い、ランダムノイズを除去する効果があると考えられている。この手法は既存のフーリエフィルタと異なり、時間系列で周波数分析ができる。ノイズ除去を行ったものを図-14に示す。

### (3) 計測精度の評価

動的計測の計測精度の評価は、以下の3つの指標を用いて行った。

#### a) 平滑評価

理論値により実測値の違いを評価する。人によって感じ方が異なることも考えられるが、波形全体の変化などの確認に有効である。

#### b) 極値(振幅)

実測値と理論値の波形の極値を比較する。なお本実験では、絶対誤差および相対誤差を求め、それぞれ初期3つの波の最大片振幅6点における誤差を平均したものとす。

#### c) 二乗平均平方根誤差

実測値と理論値の波形を二乗平均平方根により比較評価する。散らばり具合を表す指標のため、振動全体の誤差の評価が可能。まず視覚評価から、振動部の波形から無振動部分の波形を除去することで、計測初期から終了に

かけ低周波のノイズが除去され計測が安定した。このシステム誤差の補正を行ったものを、以降第1波形とする。また、ウェーブレット解析を行うことで、ノイズが除去されより鮮明な波形となることが確認された。この第1波形にウェーブレット解析を行ったものを、以降第2波形とする。

続いて図-15に極値(振幅)および二乗平均平方根誤差各指標による計測精度の評価比較を示す。すべての指標において、計測値よりも第2波形の計測誤差が一番小さくなることが確認された。このことより、これ以降動的計測時のノイズ除去は、第2波形のノイズ除去方法を用いることとした。

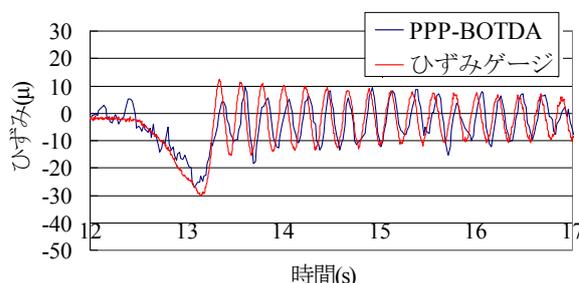


図-13 移動平均によるノイズ除去後の振動波形

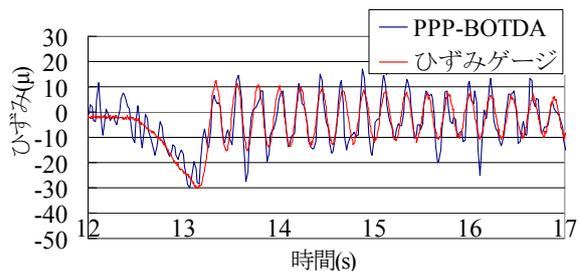


図-14 ウェーブレット変換によるノイズ除去後の振動波形

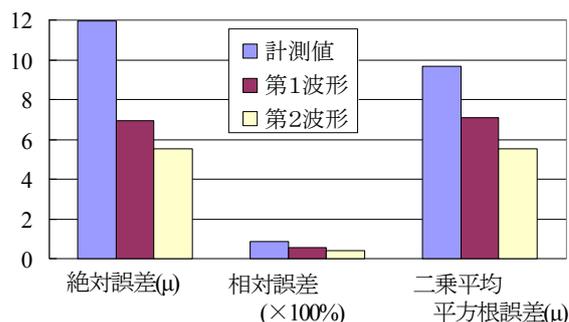


図-15 誤差の評価

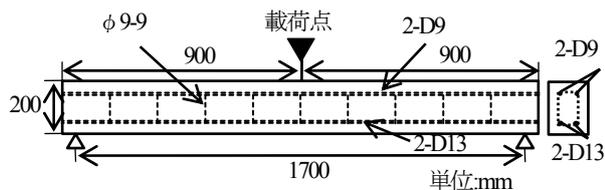


図-16 試験体の寸法および配筋詳細

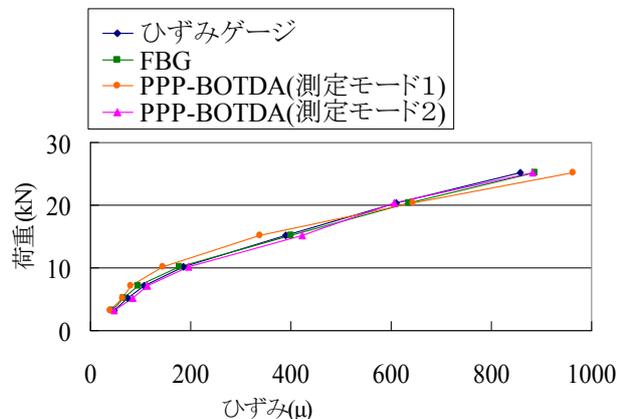


図-19 全測定区間の平均ひずみと荷重関係

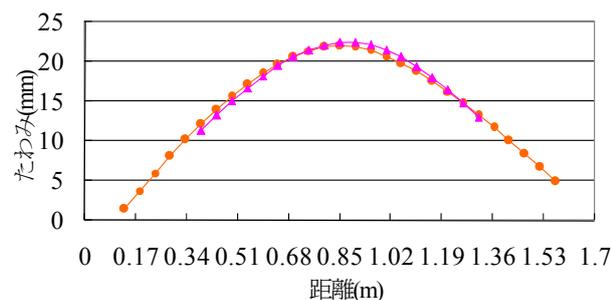


図-20 荷重時の梁のたわみ分布



図-17 荷重 7kN 荷重時の梁のひずみ分布 (上)  
 及びひび割れ状況 (下)

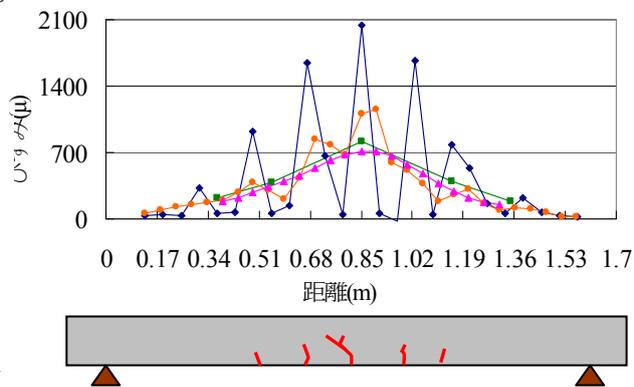
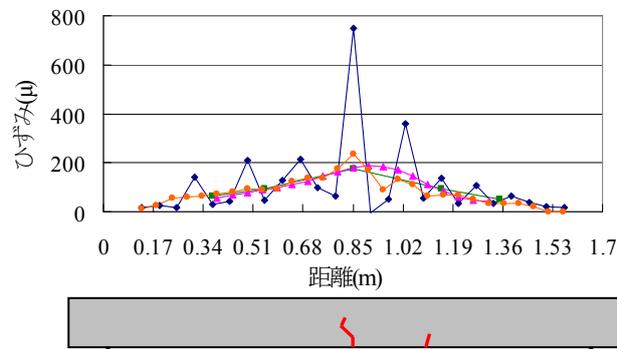


図-18 荷重 15kN 荷重時の梁のひずみ分布 (上)  
 及びひび割れ状況 (下)

図-17 に 7kN 荷重時の各センサのひずみと計測位置の関係、及びその際のひび割れ状況を示す。なお、測定モード 1 は 20 回計測の平均値、測定モード 2 については前述した手法(静的計測に対するノイズ除去)を用いた。測定ゲージ長が異なるためひずみの大きさは、ゲージ長が小さいほど大きな値を示すとともに、ゲージ長が小さいほどひび割れ位置が顕著に現れる。測定モード 1 の結果を見ると、ひび割れ図とほぼ同じ位置にひずみが顕著に出ている。また、測定モード 2 においては、ゲージ長の近い FBG と近い値を示していることから、PPP-BOTDA に対する有用性が期待される。また、図-18 には 15kN 荷重時の各センサのひずみと計測位置の関係、及びその際のひび割れ状況を示す。こちらについてもひび割れの検知、及び精度良くひずみを捉えられていた。

続いてゲージ長の異なるセンサを比較するために、図-19 に各荷重における各センサの全測定区間(1500mm)の平均ひずみの関係を示す。全てが近い値を示した。また、共役梁法による 7kN 荷重時の測定モード 1 とモード

## 5. RC 梁の静的曲げ試験による検討

### (1) 試験概要

構造物に対する静的計測の評価を行うために、RC 梁にセンサを敷設し、モニタリング試験を行った。試験方法は、梁中央に 1 点荷重とした。図-16 に試験体の寸法および配筋詳細を示す。なお、計測に用いたセンサは、PPP-BOTDA およびロングゲージ FBG センサ(ゲージ長 300mm を 5 本連続敷設)、60mm ひずみゲージ(25 枚連続敷設)を試験体底面および側面の引張鉄筋位置にそれぞれ 1.5m 敷設した。なおこれ以降、ロングゲージ FBG センサの計測周波数を 50Hz とする。また、長時間の試験のため、室内温度と試験体の熱膨張の影響を考慮するために、PPP-BOTDA とロングゲージ FBG センサ、熱電対を RC 梁試験体と同様の梁に敷設した。計測方法は、荷重荷重 3, 5, 7, 10, 15, 20, 25kN の荷重時において計測を行った。

### (2) 試験結果

2の値を用いてたわみを計算した。図-20 に各センサの計測位置に対するたわみ分布状況を示す。測定モード2がモード1より短い計測時間であり、同じ結果を与えるということが分かった。また、ひずみゲージを基準に相対誤差を求めたところ、FBGが6.4%、PPP-BOTDA測定モード1が15.7%、PPP-BOTDA測定モード2が5.1%となり、PPP-BOTDA動的計測における有用性を示した。

## 6. 道路橋の現地計測

### (1) 対象道路橋および計測概要

本計測の対象道路橋は、東茨城郡茨城町奥谷地内における玉里水戸線の潤沼川に掛かる橋梁の川根大橋（1963年10月竣工、全長136.2m、6スパン）であり、橋梁の北側第1径間桁下表面（東側）にセンサを敷設した（図-21参照）。



図-21 対象道路橋

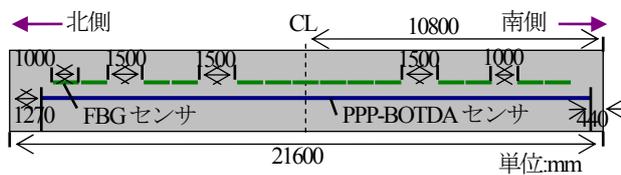


図-22 使用センサおよびセンサ敷設状況

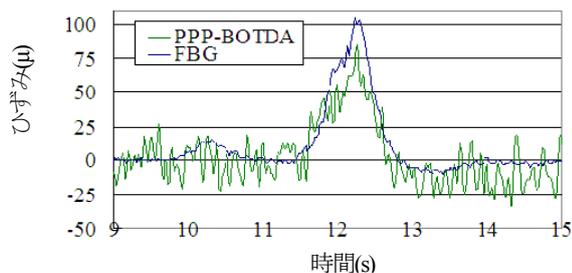


図-23 最大ひずみ100 $\mu$ 時振動波形（ノイズ除去後）

図-22 に使用センサおよびセンサの敷設位置を示す。なお、計測に用いたセンサは、PPP-BOTDA およびロングゲージFBGセンサ（ゲージ長1mを14本連続敷設）であり、計測は、車両が上り車線（センサ敷設側）走行時のみを行った。

また、光ファイバセンサを用いたSHMを実現していく上で重要になるのが施工性の良さである。そのため、施工性向上のためのセンサ敷設方法について述べる。光ファイバ素線をバサルト繊維で覆ったものを事前に準備し、現場でプリテンションを導入、樹脂により硬化させることを試みた。この敷設方法を以下に示す。まず高い接着性確保のため表面処理を行った。表面処理としてコンクリート表面をヤスリがけ、その後エタノール（もしくはアセトン）で汚れを除去した。位置出しを行った後、センサの片端をCNで仮止め後、速乾性樹脂を接着した。センサのもう片端を滑車にかけ、錘をつけてテンションをかけ、光ファイバセンサを2m程度エポキシ樹脂で含

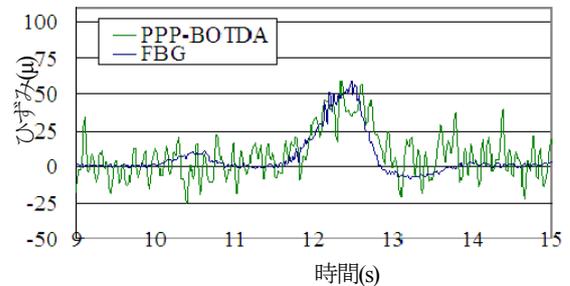


図-24 最大ひずみ60 $\mu$ 時振動波形（ノイズ除去後）

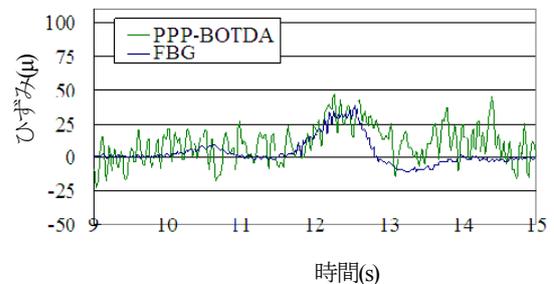


図-25 最大ひずみ30 $\mu$ 時振動波形（ノイズ除去後）

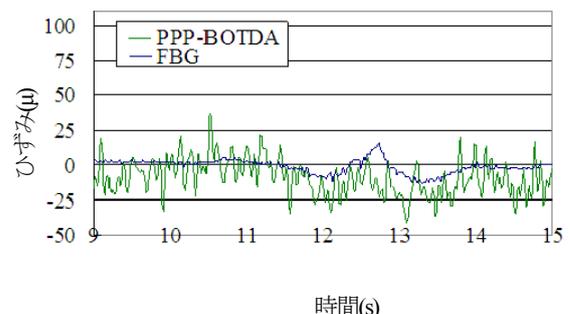


図-26 最大ひずみ15 $\mu$ 時振動波形（ノイズ除去後）

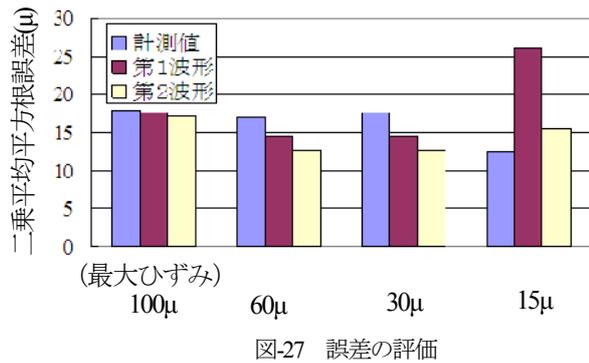


図-27 誤差の評価

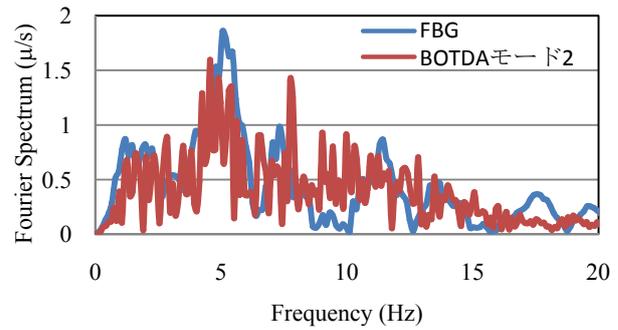


図-28 誤差の評価

浸させた。含浸させた部分を養生テープで固定し、含浸させていない部分に速乾性樹脂を接着した。センサ敷設時の写真を図-22 に載せる。

## (2) 計測結果

図-23～26 に、ノイズ除去後の最大ひずみ 100μ, 60μ, 30μ, 15μ 時の振動波形を示す。視覚評価から、十分なノイズが除去できているとはいえないものの車輻通過時の振動を捉えることが出来た。

図-27 に最大ひずみ 100, 60, 30, 15μ 時の二乗平均平方根誤差の計測精度の評価を示す。極値の評価は、明確な最大値を見つけ出すことが困難だったため、二乗平均平方根誤差のみにて計測精度の評価を行った。最大ひずみ 15μ 時以外では、ノイズ除去により誤差の低減が見られたが、15μ 時ではノイズ除去により誤差が大きくなった。これは、PPP-BOTDA は常時±20μ の誤差があるため、振動の計測に至らなかったことが原因と考えられる。

## 7. 結論

本報の結論は以下の通りである。

- (1) PPP-BOTDA の高速計測において、振動部波形から無振動部波形を除去（システム誤差の補正）すると計測が安定し、系統誤差を低減することが可能となった。
- (2) 静的ひずみにおいては、PPP-BOTDA の高速計測で得た値にシステム誤差の補正を行い、それを平均することで、計測精度の向上が可能であることを示した。また、このノイズ除去法を RC 柱、RC 梁において適応したところ、誤差の低減を確認し、構造物適用への可能性を見出した。
- (3) 動的ひずみにおいては、PPP-BOTDA の高速計測で得た値にシステム誤差の補正を行い、系統誤差を低減した。更にその波形からランダム誤差を除去する為に、移動平均法やウェーブレット解析を試みた。そ

の結果、ウェーブレット解析により高周波数を除去することでランダム誤差の低減を可能とした。これにより、最大片振幅 15μ までの正弦波による振動波形を精度よく計測可能とした。

- (4) 動的ひずみに対するノイズ除去を用いて実橋梁に適用した。その結果、±20μ 程度の常時発生する誤差と同程度のひずみであれば、構造物の振動特性を把握することが可能である。それ以上のひずみにおいては、安定性及び精度の向上が見られ、SHM に対して適応可能な程度の精度を確保することができた。

**謝辞：**本研究を行うにあたって、ニューブレクス株式会社には多大なるご協力をいただきました。ここに記して、厚く御礼申し上げます。

## 参考文献

- 1) コンクリート技術シリーズ No.76 コンクリート構造物のヘルスマonitoring技術, 土木学会, 2007.
- 2) 呉智深, 許斌, 原田隆郎: 都市インフラに関する構造ヘルスマonitoringの現状と展望-展望論文-, 応用力学論文集, Vol.6, pp.1043-1054, 2003.
- 3) 蓮井昭則: 既設橋梁の維持管理手法に関する研究 (その 1) —鋼橋の挙動モニタリング結果—, ハザマ研究年報 2006.12
- 4) 小西真治: 鉄道構造物のメンテナンス技術に関する研究開発の現状と展望, 土木学会論文集 F, Vol.64, No.4, pp.369-380, 2008.
- 5) H. Zhang, Z. Wu, Performance evaluation of BOTDR-based distributed fiber optic sensors for crack monitoring, Structural Health Monitoring, Vol.7, No.2, pp.143-156, 2008
- 6) 呉智深, 高橋貴蔵, 須藤佳一: 光ファイバセンサによるコンクリート曲げ部材のひび割れモニタリングに関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.22, No.1, pp.409-44, 2000
- 7) 岩下健太郎: 光ファイバによるコンクリートのひび割れ幅測定に関する実験的研究, 日本機械学会 No.09-30, 2009.
- 8) 藤橋一彦, 藤川富夫, 前田康男, 平田洋一, 柏井善夫, 上原幹夫, 小松宏至: BOTDR・FBG・OTDR 各方式の光ファ

- イバ変位計の開発, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 6-159,2004.9
- 9) 呉智深, 高橋貴蔵: 光ファイバと複合繊維を用いた混合センサによる損傷検知, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, 2002
- 10) Zhishen Wu, Hao Zhang, Caiqian Yang, Development and performance evaluation of non-slippage optical fiber as Brillouin scattering-based distributed sensors, Structural Health Monitoring, Volume 9 Issue 5, pp.413-431, September 2010
- 11) 李哲賢, 津田勉, 岸田欣増: PPP-BOTDA 測定技術を用いた 10cm 分解能ブリルアン分布計測の実現, 信学技報, 電子情報通信学会, pp.1~6,2005.
- 12) 小山田弥平, 外山智史: ダブルパルス BOTDA の提案とシミュレーション, 信学技報, 電子情報通信学会, pp.45~50,2006.
- 13) 中谷篤史, 奥野哲夫, 若林成樹, 岩城英朗: 光ファイバーセンサー (PPP-BOTDA 方式) によるコンクリートのひび割れ測定の実験的検討, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 6-128,2006.9
- 14) 岩城英朗, 岡田敬一: 高分解能光ファイバ分布ひずみセンサ (PPP-BOTDA) によるガス導管ひずみ計測への適用試験, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 6-129,2005.9
- 15) 李哲賢, 津田勉, 澤貴弘: PPP-BOTDA を用いた高分解能 (10cm)かつ高速(10Hz)分布計測の実現, 信学技報, 電子情報通信学会, pp.39~44,2008
- 16) 李哲賢, 津田勉, Artur GUZIK, 宮武美由紀, 牧田篤, 高野宏和, 岸田欣増: 現場に適用した 2cm 空間分解能ブリルアン分布計測の実現, 信学技報, 電子情報通信学会, pp.57~62,2010.
- 17) Kinzo Kishida, Yoshiaki Yamauchi, Artur Guzik, Study of optical fibers strain-temperature sensitivities using hybrid Brillouin-Rayleigh system, Photonic Sensors, March 2014, Volume 4, Issue 1, pp 1-11.
- 18) 伊藤海太, 榎学: 連続計測されたレーザ AE 波形の時間周波数解析によるノイズ低減, 日本金属学会誌, Vol. 71, No. 11, pp.1061-1065,2007
- 19) John R. Taylor 著, 林茂雄, 馬場涼 訳: 計測における誤差解析入門, 東京化学同人, 2000.
- 20) Chui, Charles K. 著, 桜井明, 新井勉 訳: ウェーブレット入門, 東京電機大学出版局, 1993.

## ENHANCEMENT OF MEASURING STABILITY USING DISTRIBUTED FIBER OPTIC SENSING TECHNIQUE

Zhishen WU, Mami MIYATA, Huang HUANG

Fiber optic sensing techniques are expected to provide a promising sensing technology for distributed strain measurements. Regarding the on-going development of the pulse-prepump Brillouin optical time domain analysis (PPP-BOTDA) based fiber optic sensing technique, in nature holding the excellent ability for distributed measurements, is suitable and feasible to be developed for implementing structural health monitoring (SHM) strategy. However, the stability and accuracy of PPP-BOTDA based dynamic strain measurement are inadequate for measuring low-level strains. In this study, an enhancement of measuring stability using PPP-BOTDA based dynamic strain measurement is proposed. First, the measurement performance of the standard and the high sampling modal of PPP-BOTDA are evaluated in detail. An de-noising method of systemic measuring errors is developed using the unstrained part of the measured optical fiber as a reference part to improve the stability of the strained part. Moreover, combining the distributed measuring ability of PPP-BOTDA-based measurement and the discrete wavelet transform-based signal decomposition, high-level approximation coefficients of a reference unstrained sensing portion of the scanned fiber optic sensor is used to criticize the systemic shift of the strained sensing parts to ensure the accuracy of static strain measurements and maintain dynamic strain information in the high-frequency band. It is found that the minimum strain resolution is up to 15  $\mu$ , while the sampling rate is 0.017 s. Finally, the practical applications of the proposed method for the dynamic monitoring of vehicle-induced bridge vibrations are discussed.

## A Tabletop System Using Infrared Image Recognition for Multi-user Identification

Shota Suto<sup>1</sup> and Susumu Shibusawa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Ibaraki University, Graduate School of Science and Engineering, Nakanarusawa 4-12-1,  
Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

12nd304x@hcs.ibaraki.ac.jp

<sup>2</sup>Ibaraki University, Dept. of Computer and Information Sciences, Nakanarusawa 4-12-1,  
Hitachi, Ibaraki 316-8511, Japan

sibusawa@mx.ibaraki.ac.jp

**Abstract.** Many tabletop systems have been developed to facilitate face-to-face collaboration and work at small meetings. These systems often require users to attach sensors to their bodies to identify their positions, but attaching a sensor to one's body can be bothersome and annoying, and user position and posture may be restricted depending on where the sensor is attached. We have proposed a technique for estimating user position in a tabletop system by image recognition and implemented a tabletop system having a user position identification function incorporating the proposed technique. This technique first obtains touch points and hand-area information from touch operations performed by the user, and establishes an association between the touch points and hand from those positional relationships. Since the direction in which a hand is extended can be derived from that hand's touch information, the position of the user of the touch points belonging to that hand can be estimated. As part of this study, we also implemented a photo-object manipulation application, which has a function for orienting a photo object to face the user based on the results of the above user-position estimation technique. We performed an experiment to evaluate the position identification rate, and found that the proposed technique could identify user position with high accuracy.

**Keywords:** Tabletop system, Image recognition, FTIR, Multi-touch, User position identification, Area extraction.

### 1 Introduction

A tabletop system facilitates face-to-face collaboration at small meetings or any setting where people come together to work as a group. It enables all users to manipulate or examine displayed information and enables a variety of input operations to be executed by touching displayed information and performing gestures. Research surrounding tabletop systems with these features has been active including studies of interactive techniques [1], [2], development of information display technologies [3], [4], and the use of tabletop systems for supporting collaborative work [5], [6], [7].

In a tabletop system, objects can be oriented in various ways by touch gestures performed by multiple users, which means that a user may find it difficult to understand the text or photo of an object that is currently not facing in the user's direction. In response to this problem, several techniques have been developed to identify user positions by attaching sensors to chairs or the users themselves [8], [9], [10], and these techniques are used to automatically modify the orientation of an object according to the position of the user manipulating that object. For example, Diamond Touch [9], registers beforehand each user and the user's position by having each user sit on a conductive sheet for user-identification purposes, and uses this information to determine the position of the user whenever the user is identified. However, identifying user position by attaching sensors to chairs or people can be troublesome, and time must be devoted to learning how to use sensor equipment. User posture may also be restricted depending on where the sensor is attached.

On the other hand, research has been performed on an interactive system that extracts images of body extremities using image recognition technology so that physical movements performed by the user can be used as input operations [11]. This kind of interactive system using image recognition negates the need for wearing a sensor thereby enabling users to use the system in a free and natural manner.

We propose a technique for estimating user position by image recognition in a tabletop system and construct a tabletop system incorporating this technique. This technique negates the need for wearing a sensor and removes restrictions depending on where the sensor is attached. This system uses a frustrated total internal reflection (FTIR) multi-touch panel and obtains touch points and hand-area information from user touch operations using image recognition. It establishes an association between the touch points and hand from those positional relationships. Since the direction in which a hand is extended can be derived from that hand's area information, the position of the user of the touch points belonging to that hand can be estimated. This study includes the implementation of a photo-object manipulation application that enables users to manipulate photo objects on the tabletop system by touch operations. The application has a function for orientating a photo object to face the user according to the results of estimating user position from touch gestures.

## 2 Proposed System

### 2.1 System Configuration

For this study, we designed a tabletop system with a multi-touch panel capable of touch-point recognition by the FTIR method [12]. This system features an infrared Web camera installed beneath the table to capture infrared images on the tabletop by picking up the acrylic panel on the table via a mirror. The system also includes a projector connected to a personal computer (PC) to display photo objects to users by projecting images onto the acrylic panel from underneath the table. In addition, tracing paper is pasted onto the acrylic panel to act as a screen and users are presented with information by having the projector project images onto this tracing paper. System configuration is shown in Figure 1.

Finally, to obtain information on hand area, an infrared light is installed on the ceiling above the table. Since a hand on the tabletop will block infrared beams emitted from this light, an infrared shadow corresponding to the hand will form. The Web camera is used to pick up this shadow effect.

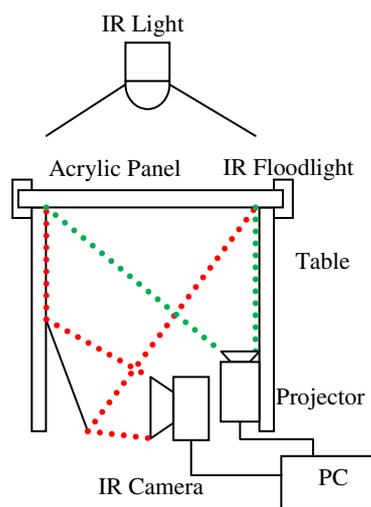


Fig. 1. System configuration

## 2.2 Overview of User-Position Estimation Technique

In a tabletop system, a user typically extends a hand from the edge of the table to manipulate some object. Accordingly, if it were possible to determine the direction from which the hand including touch points is being extended, the position of the user generating those touch points could be estimated.

In FTIR-based touch-point recognition as used here, the system picks up touch points as white light owing to the diffused reflection of infrared light. It also picks up the area occupied by a hand as a shadow generated by the blocking of light emitted from the infrared light installed on the ceiling. At this time, the system uses brightness values in the captured image to differentiate from the background image in two ways. Specifically, it extracts touch areas having a higher brightness value than the background and an area having a change in brightness value as a hand area. This extracted hand area includes the touch areas as a subset. Thus, when focusing on certain touch points, a hand area that includes those touch areas as a subset certainly exists, which means that the direction from which that hand is being extended can be determined from that hand-area information. As a result, the position of the user associated with certain touch points can be estimated since touch points and user position can be indirectly connected through the direction of extension of the hand to which those touch points belong. Extraction of these key areas and estimation of user position are outlined in Figure 2.

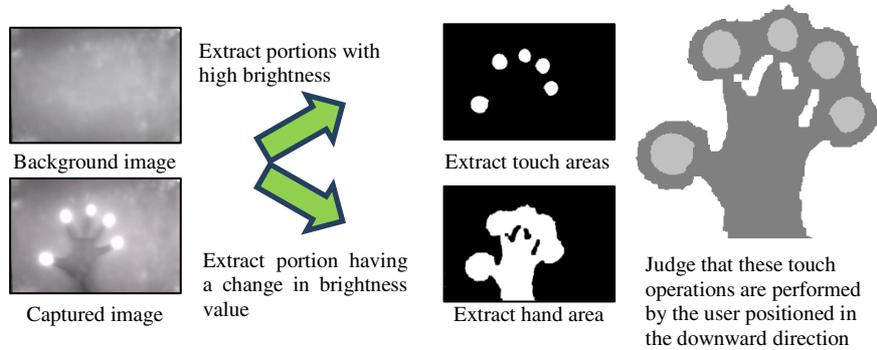


Fig. 2. Extraction of key areas and estimation of user position

### 2.3 User-Position Estimation Model

The FTIR touch-point recognition system picks up touch points as white light and the hand area as a shadow of infrared light. Establishing a difference with the background image enables the touch areas and the hand area that includes those touch areas to be extracted. An image of a touch area and that of a hand area extracted by background differentiation are shown in Figures 3 (a) and (b), respectively.

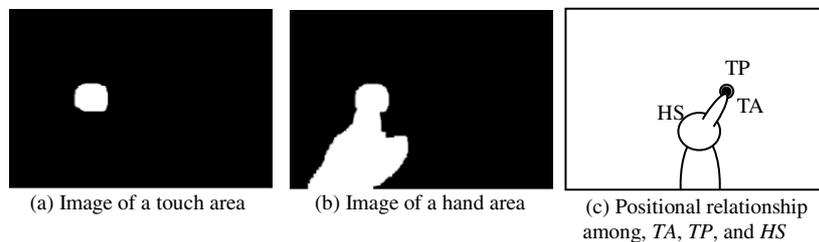


Fig. 3. Extraction of touch-point and hand areas and their positional relationship

The positional relationship among touch area ( $TA$ ), touch point ( $TP$ ), and hand shadow ( $HS$ ) is shown in Figure 3 (c), where the outer circle and inner circle at the fingertip of  $HS$  corresponds to  $TA$  and  $TP$ , respectively. This technique determines  $TP$  by calculating the center of gravity of  $TA$ . When we define hand-area  $Hand$  as the union of  $TA$  and  $HS$ ,  $TP$  is an element of  $Hand$ .

The proposed technique first investigates the attribution relation between  $TP$  and  $Hand$ . It next determines from which edge in the image the  $Hand$  to which  $TP$  belongs to is extending. It finally estimates user position by drawing a correspondence between that direction and the touch point.

### 2.4 User-Position Estimation Technique

More than one hand area may exist on the tabletop at any one time. To recognize individual hand areas, the technique labels areas having connected pixels and assigns the label  $L$  to each hand area.

Then, when focusing on a certain touch point  $TP$ , that a hand area  $Hand$  that includes the coordinates of  $TP$  as an element exists. The results of labeling can therefore be used to extract label  $L[TP(x, y)]$  corresponding to the coordinates of  $TP$ . Here,  $L[TP(x, y)]$  is equivalent to label  $L[Hand]$  including  $TP$ . The hand area corresponding to the targeted touch point can therefore be identified by referring to  $L[TP(x, y)]$ .

Referring to Figure 3(b), it can be seen that  $Hand$  consists of a continuous area connected to a certain edge of the image. Accordingly, if that edge can be determined, the direction from which  $Hand$  is being extended can likewise be determined.

## 3 System Implementation

Our prototype tabletop system has a height of 70 cm, a panel 100 cm × 90 cm in size, and a display manipulation range of 60 cm × 50 cm. The tabletop is shown in Figure 4.

We also implemented an application for manipulating photo objects by touch gestures. This application reads in image data as photo objects and displays them on the tabletop system. It treats touch gestures made by the user as input and generates results in response to those gestures. Touch gestures are listed and described in Table 1. Change direction is an operation which makes the object face the user when touching it with three fingers. An example of the change-direction gesture is shown in Figure 5.



Fig. 4. View of tabletop

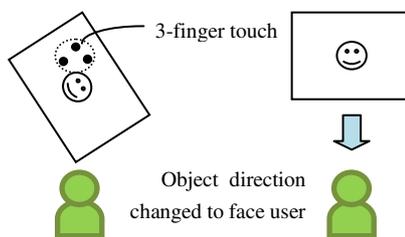


Fig. 5. Change-direction gesture

Table 1. Touch gestures

Operation	No. of Touches	Description
Move	1	Move object
Zoom in/out	2	Change object size
Rotate		Rotate object
Change direction	3	Change object's direction to face user

## 4 Evaluation Experiment

### 4.1 User-Identification Evaluation Experiment

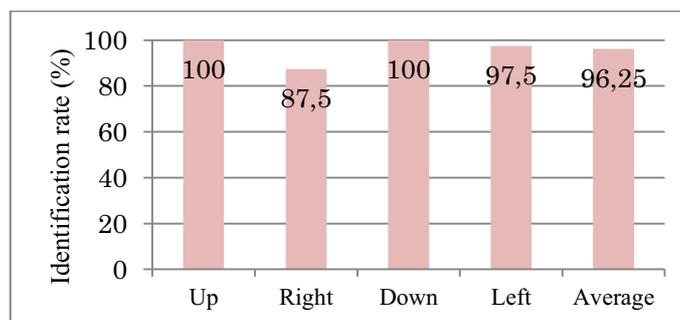
To assess the accuracy of the user-position estimation technique presented in section 3.4, we conducted a subjective experiment using the 3-finger change-direction gesture. After briefing four subjects on how to perform this gesture, we asked each to perform the gesture ten times on the tabletop system in each of the up, down, left, and right directions. At this time, we recorded actual user position and system-estimated position in order and determined position identification rate by comparing the values obtained. Specifically, denoting the number of times this gesture was performed as  $d_{act}$  and the number of times that actual user position agreed with system-estimated position as  $d_{correct}$ , we computed position identification rate by Eq. (1).

$$\text{position identification rate} = \frac{d_{correct}}{d_{act}} \times 100 [\%]. \quad (1)$$

The experiment was performed in the evening after sunset considering the possible effects of infrared light contained in sunlight. The prototype tabletop described in section 4.1 was installed in the center of a room and two infrared lights were installed on the ceiling above the table. Each light was 90-cm long incorporating six equally spaced infrared LEDs and the two lights were set 70 cm apart. The distance from the ceiling to the tabletop panel was 185 cm.

### 4.2 Results and Discussion

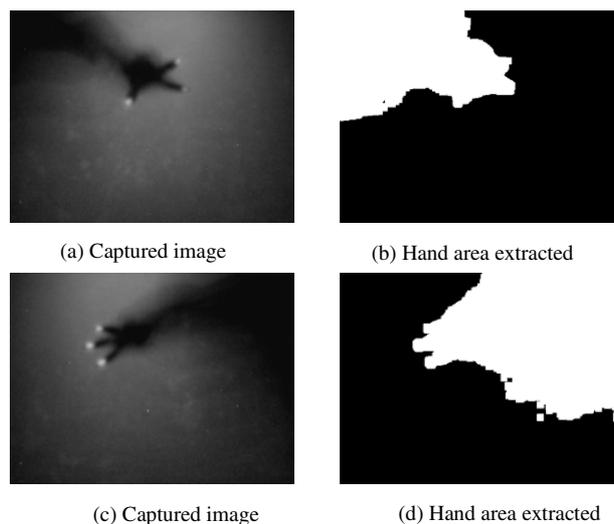
Average identification rate for the change-direction gesture by four subjects for each of the four tabletop directions and overall average for all directions are shown in Figure 6.



**Fig. 6.** Identification rate for change-direction gesture

Average identification rate for the change-direction gesture was found to be about 96%. Examining these results, it can be seen that hand extension from the up and down tabletop directions could be accurately identified. There were times, however, when hand extension from the left and right tabletop directions could not be accurately

identified. Examples of incorrect hand-extension identification from the left and right directions are shown in Figure 7. Images for a change-direction gesture from the left are shown in Figures 7 (a) and (b) and those for a change-direction gesture from the right are shown in Figures 7 (c) and (d).



**Fig. 7.** Change-direction gesture from left and right directions

In the examples of Figure 7, the number of pixels in the hand shadow area crossing an edge are higher in the up direction than in the left and right directions. As a result, the system erroneously judges those tabletop operations to be those of a user positioned at the top of the tabletop (in the up direction). This is because the touch-point coordinates on the captured image cannot necessarily be used to correctly obtain the touch-point coordinates on the acrylic panel.

## 5 Conclusion

We proposed a technique for identifying user position in a tabletop system through image recognition and introduced a prototype tabletop system incorporating this technique. We also implemented a photo-object manipulation application for running on the tabletop and conducted a subjective experiment to evaluate the accuracy of the proposed technique in estimating user position. In this experiment, we recorded actual user position and system-estimated position when subjects made change-direction gestures and calculated the position identification rate by determining the rate of agreement between actual and estimated positions. We found that an average position identification rate of about 96% could be achieved in the case of change-direction gestures, which demonstrates that user position can be estimated by the proposed image

recognition technique. The technique is a simple technique for identifying the user position and negates the need for wearing a sensor.

Errors in identifying user position occurred in the system as a result of camera image compensation. An offset between the manipulation area and display area on the tabletop prevented the system from correctly recognizing how a hand shadow area was crossing an edge making it easy for erroneous judgments to occur. We considered that using a wide-angle camera would be able to capture the entire tabletop panel head-on, which should eliminate complicated image-compensation processing by the system and suppress this phenomenon. In future research, we plan to evaluate the position identification rate during simultaneous operations by multiple users and to add gesture functions making full use of user position identification. We also look to apply the proposed technique to face-to-face collaborative work systems and to evaluate its usability in such an application.

## References

1. Clifton, P., Mazalek, P., Sanford, J., Rébola, C., Lee, S., Powell, N.: SketchTop: Design Collaboration on a Multi-touch Tabletop. In: TEI 2011, pp. 333–336 (2011)
2. Haller, M., Brandl, P., Leithinger, D., Leitner, J., Seifried, T., Billingham, M.: Shared Design Space: Sketching Ideas Using Digital Pens and a Large Augmented Tabletop Setup. In: Advances in Artificial Reality and Tele-Existence, pp. 185–196 (2006)
3. Yamaguchi, T., Nacenta, M., Sakurai, S., Itoh, Y., Kitamura, Y., Subramanian, S., Gutwin, C., Kishino, F.: An Evaluation of Perspective Correction Regarding Locations of a User and Displays. IEICE Trans. on Information and System J91-D(12), 2746–2754 (2008)
4. Sakurai, S., Kitamura, Y., Subramanian, S.: A Tabletop Display with Visibility Control Using Revolving Polarizer. IPSJ Journal 50(1), 332–343 (2009)
5. Funamoto, S., Sugiyama, K.: Support and Evaluation for Group Discussions in Seminar Type Lectures Using Table Top Interface. In: Proc. of the 6th Knowledge Creation Support Systems Symposium, pp. 119–126 (2009)
6. Ohashi, M., Itou, J., Munemori, J., Matsushita, M., Matsuda, M.: Development and Application of Idea Generation Support System Using Table-Top Interface. IPSJ Journal 49(1), 105–115 (2008)
7. Goh, W.-B., Shou, W., Tan, J., Jackson Lum, G.T.: Interaction Design Patterns for Multi-touch Tabletop Collaborative Games. In: CHI EA 2012, pp. 141–150 (2012)
8. Watanabe, K., Takeuchi, T., Inoue, T., Okada, K.: Face-to-Face Collaboration System that Identifies Individual User. IEICE Transactions J91-D(12), 2755–2764 (2008)
9. Dietz, P., Leigh, D.: DiamondTouch: A Multiuser Touch Technology. In: UIST 2001, pp. 219–226 (2001)
10. Annett, M., Grossman, T., Wigdor, D., Fitzmaurice, G.: Medusa: A Proximity-ware Multi-touch Tabletop. In: UIST 2011, pp. 337–346 (2011)
11. Mamiya, H., Sato, T., Fukuchi, K., Koike, H.: Tabletop Entertainment System with a Finger Opening and Closing Gesture. In: WISS 2007 (2007)
12. Han, J.Y.: Low-cost Multi-touch Sensing Through Frustrated Total Internal Reflection. In: UIST 2005, pp. 115–118 (2005)

# 防災のための気泡管の画像を用いた傾斜計測装置の開発

楊 黙<sup>1\*</sup>・湊 淳<sup>1</sup>・小澤 哲<sup>1</sup>・土田 寛<sup>2</sup>

<sup>1</sup>茨城大学大学院理工学研究科応用粒子線科学専攻 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町4-12-1)

<sup>2</sup>有限会社 ジオテック (〒312-0005 茨城県ひたちなか市新光町38番地ひたちなかテクノセンター内)

\* E-mail: 11nm603n@hcs.ibaraki.ac.jp

傾斜角の計測手法を提案し、無線技術を利用した防災のための傾斜計測ネットワーク構築の検討を行う。提案する計測手法は、気泡管の画像を撮影し気泡の中心の位置から装置の傾斜の方向と角度を計測する。実験の結果曲率半径800mmの気泡管を用いて、0.0053°/ピクセルの分解能で傾斜角の計測を行うことができた。また本論文では、開発した手法の防災のためのネットワーク計測網構築に関する議論を行う。

**Key Words :** bull's eye level, image processing, inclinometer, network sensing, landslide

## 1. はじめに

地球温暖化により降水量が増加し、土砂災害などのリスクが増加することが大きな問題となっている<sup>1)2)</sup>。地すべり等の土砂災害による被害を防ぐためにはセンサや無線技術を組み合わせたセンシングネットワークを構築し、地盤のわずかな変化の情報を計測することが重要である。地盤の変化を計測する手法に関しては、高精度傾斜計の精度に関する研究<sup>3)</sup>、時系列データ分析による地すべりメカニズム分析<sup>4)</sup>、地すべり、斜面崩壊などの発生場所の予測<sup>5)</sup>、レーザプロファイラデータを活用した斜面崩壊、土石流の研究<sup>6)</sup>、無線センサ杭の利用等の研究<sup>7)</sup>等様々な手法が提案されているが、低価格で信頼性が高い測定手法はまだ少ないのが現状である。また橋梁など重要構造物に関しても、傾斜状況の監視が重要である。特に人が目視等で広大な範囲の傾斜状況を監視するのは、頻度や予算等で制限がある。

防災分野から斜面崩壊前の傾斜の初期変状の諸情報を入手して、地面等の状況を適切に監視し、安全に管理維持し、場合によっては警報を発する傾斜変化量監視システムが強く望まれている。観測点を増やすという観点からは安価な装置が望まれる。また人が直接現場に行かなくても済むためには、安定して動作し信頼できる装置が必要である。屋外の計測となるので温度変化に強いこと、またデータ送信に無線を使う場合には電氣的雑音に強いこと、さらに電池等による長時間計測のためには低

消費電力の計測が望まれる。

筆者らは気泡管と光源、受光素子を組み合わせた傾斜判定装置を開発している<sup>8)9)10)</sup>。この装置は、発光源、気泡管、フォトトランジスタを鉛直方向に配置し、装置が傾くと、フォトトランジスタの受光量が変わることを利用し、簡単な構成で傾斜角度を測定することができる。しかし傾斜の方向が分からないという問題点がある。傾斜の方向と角度を同時に測定する手法として、気泡管の画像を撮影し、気泡の中心の位置を測定する方法を提案する。マイコンで制御できる低価格のデジタルカメラが開発されたことによって、現実的な装置の開発が可能となった。

本論文では、提案した手法を評価するための基礎実験の結果について報告する。測定の精度と誤差の要因に関する議論、さらに防災のための傾斜角計測装置のネットワーク化に関する議論も行う。

## 2. 測定の原理

図-1に装置の概念図を示す。本論文で提案する手法は、気泡管の画像をデジタルカメラで撮影し、画像内の気泡の中心の位置から装置の傾斜方向と角度を同時に求める。撮影の命令はパソコンもしくはマイコンで行う。

撮影した画像内の気泡の中心位置を求めることにより装置の傾斜の方向と角度を知ることができる。

装置が X 方向に角度  $\theta$  傾いたときに、曲率半径 R の

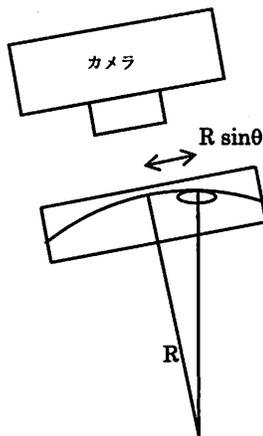


図-1 測定手法の概念図

気泡管の気泡の中心位置は $\Delta X$ だけずれる。

$$\Delta X = R \sin \theta_x \quad (1)$$

角度が小さい時には、

$$\Delta X = R \theta_x \quad (2)$$

と近似できる。Y方向も同様である。画像上のピクセル値のX軸方向の変化を $\Delta i_x$ とする。1ピクセルの実空間における間隔をaとすれば、X軸方向のピクセルの変位と装置の傾きの関係は次式で与えられる。

$$a \Delta i_x = \Delta X = R \theta_x \quad (3)$$

$$\theta_x = (a/R) \Delta i_x \quad (4)$$

$a/R$ が、1ピクセルの変化に対する角度の変化、すなわち角度計測の分解能となる。本手法において角度計測の分解能を上げるには、以下の方法がある。

- ① 曲率半径が長い気泡管を採用する。
- ② 画素分解能の高いカメラを使うか、カメラと気泡管の距離を近づけて、1ピクセルの実空間における間隔を小さくする。

装置の温度が変化すると気泡管内の液体と気泡は温度上昇によりそれぞれ膨張しようとするが、液体の方が体積弾性率が高いため、液体の膨張が勝り、気泡は小さくなる。温度により気泡の大きさが変わっても、気泡は曲面の最上部に位置するので、気泡の中心位置は変わらない、すなわち本手法で得られる傾斜角に対する温度依存性は小さいと考えられる。

デジタルカメラは、従来はCCD形式のカメラが一般的であったが、近年CMOS形式のカメラも増えている。CCD形式のカメラは、画素間の信号転送のためにマイコンでも使われる3から5Vの電源だけでなく12V程度の電源を要し、消費電力が大きい。これに対しCMOS形式のカメラは、マイコンでも使われる3から5Vの電源で動作し、消費電力は小さい。

本手法の特徴として、光学的な画像計測を用いているため電気的な雑音の影響を受けないという特徴がある。特に無線を使い、ネットワーク化する場合、MEMS型

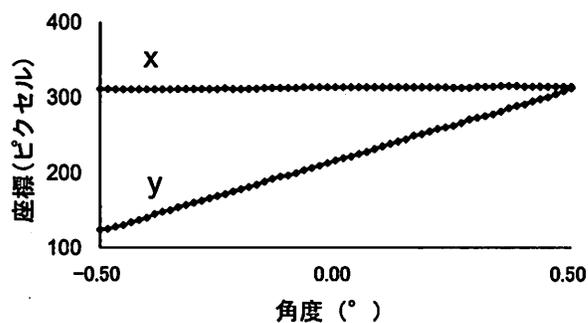


図-2 傾斜角測定結果

のセンサなどは、電気的な雑音を抑える必要がある。

### 3. 評価実験

#### (1) 基礎実験

ゴニオメータを用い装置の傾きに対する気泡の動きを確認した。使用したゴニオメータはTHOLABSのGNL18である。ゴニオメータの上に曲率半径800mmの円形気泡管とシリアル通信可能なカメラLinkSpriteのLS-Y201を設置した。LS-Y201はCMOS形式のカメラであり、3.3Vまたは5.0Vで動作する。シリアル通信で撮影、データ転送などの命令を送る。通信速度は38400bpsである。カメラのレンズと気泡管の間隔は約20mmである。LinkSpriteの画素数は640×480に設定した。

縦(Y)方向に $\pm 0.5^\circ$ の範囲で装置を傾けたときの気泡の中心のピクセル上の位置を図-2に示す。気泡の中心がY方向に沿って移動し、X方向にはほとんど変化していない。図-2より1ピクセルの気泡の変化に対する装置の傾きは $0.0053^\circ$ となっている。また今回の実験において1ピクセルは0.040mmに相当している。曲率半径の大きな気泡管を用いることにより装置の感度を上げることができる。またカメラと気泡管を近づけ、1ピクセルの実際の距離を小さくすることによっても装置の感度を上げることができる。

本手法では、気泡の中心位置を決定する誤差が、測定の誤差となる。一般にカメラの画像には歪みが生じる。画像歪みは、レンズの歪曲係数で定義され樽型、糸巻型などの歪みを生じ、画像の中心から外れるほど歪みは大きくなる。今回の実験では、カメラの歪曲係数の補正などは行っていない。正確な測定を行うためには、カメラの歪曲係数を求めてデータの補正を行う必要がある。

#### (2) 連続計測実験

図-3に示すような装置を構成して、屋外における約1日の連続計測を行った。パソコンからUSBシリアル変換モジュールを通してXBee無線モジュールに接続した。傾斜計測装置側は、曲率半径800mmの気泡管を用いた。

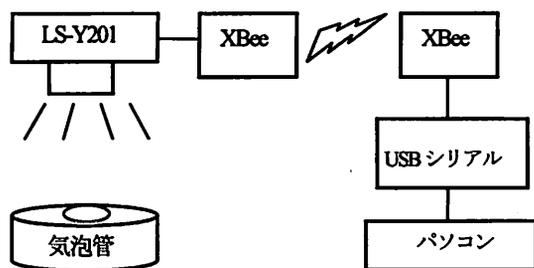


図-3 無線を利用した測定のご概念図

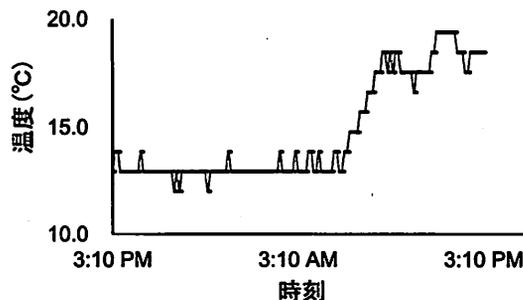


図-6 MEMS センサによる温度の連続計測結果

LS-Y201 を XBee 無線モジュールに接続した。また昼夜の撮影が可能ないように装置を白色 LED で常時照射した。電源は 12V の充電池から 3.3V の 3 端子レギュレータを用いて、カメラと XBee の電源を取り出した。Processing でプログラムを組み、20 分毎に撮影およびデータ転送

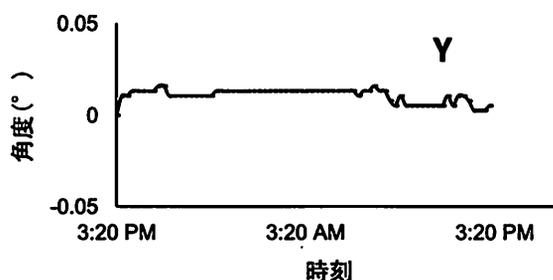
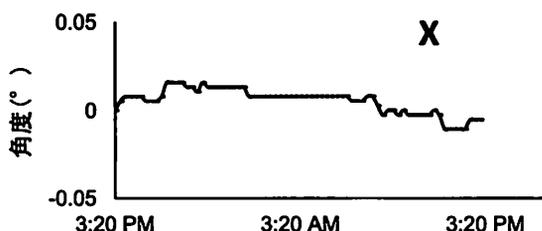


図-4 提案した手法による傾斜角の連続計測結果

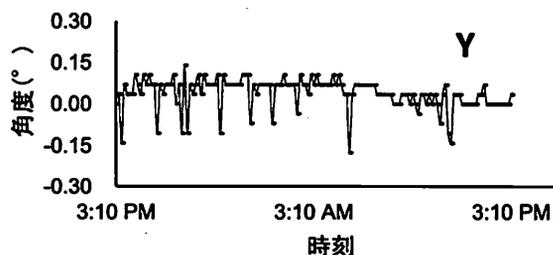
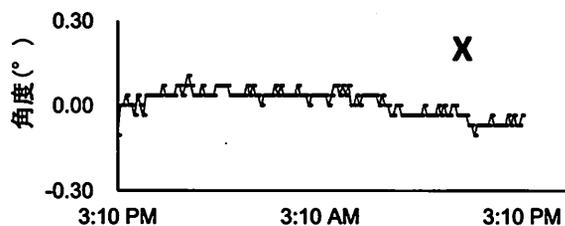


図-5 MEMS センサによる傾斜角の連続計測結果

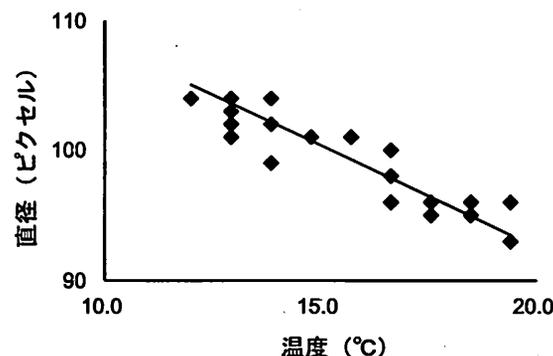


図-7 温度と気泡の直径の関係

命令を行い、気泡管の画像を通し番号の JPEG ファイルで保存した。

また実験の検証のため、傾斜センサである MuRata (村田製作所) の MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 型カメラ SCA100T-D01 を用い同時に測定を行った。MEMS 型のセンサは、小型、低価格のものが多く、加速度センサ、圧力センサなど多くの計測分野で利用されている。

SCA100T-D01 は、0.0025° のデジタル出力の分解能を持ち、X および Y 方向の傾きおよび温度測定が可能である。Arduino マイコンで 10 分毎にデータ計測を行い、傾斜角と温度データをマイコン内の EEPROM に保存した。

気泡管から得られた装置の傾きの変化を図-4 に示す。また SCA100T-D01 で得られた X, Y 方向の傾きおよび温度の変化を図-5, 図-6 に示す。SCA100T-D01 は、温度と傾斜角データを同時に測定することが可能であり、図-5 のデータは温度から感度およびゼロ点の補正を行っている。装置の傾斜角の変動の小さい 10:00PM から 8:00AM までのデータで、提案した手法および SCA100T-D01 の角度データの標準偏差を評価した。その結果、提案した手法の X 方向で  $\sigma = 0.0024^\circ$  , Y 方向で  $\sigma = 0.0007^\circ$  となった。SCA100T-D01 では、同じ時間帯で  $\sigma = 0.025^\circ$  , Y 方向で  $\sigma = 0.046^\circ$  となった。

提案した手法では温度が上がると気泡は小さくなる。

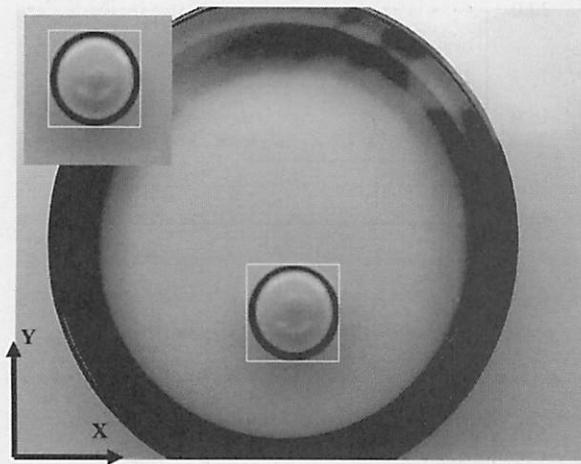


図-8 テンプレートマッチングによる傾斜角の決定の例

SCA100T-D01 で得られた温度データから気泡サイズの温度依存性を調べた。横軸に温度、縦軸に気泡の直径をとったものを図-7 示す。気泡の直径は、気泡の画像の X および Y 方向の端の位置を計測し、2 点間の距離差から計算した。気泡の直径と温度は高い相関を示している。気泡管の画像から、傾きだけでなく温度も計測できる可能性がある。

### (3) テンプレートマッチングによる傾斜角の決定

前記の実験では気泡の位置は、画像データを目視して、気泡の上下左右の端の位置をクリックし確認することによって求めた。測定を自動化するためには、画像処理によって気泡の位置を自動的に決定することが必要である。

本手法では、対象画像内から気泡に相当する円を見つけ出せばよい。画像内の円を見つける方法には、ハフ変換などいくつかの方法が考えられるが<sup>9)</sup>、今回はアルゴリズムが単純でプログラムが書きやすいテンプレートマッチングを採用した<sup>10)</sup>。気泡の画像をテンプレートとし、対象画像に対し、次式で定義される値を最小にする領域を探し出す。

$$f(m, n) = \sum [T(i, j) - C(m + i, n + j)]^2 \quad (5)$$

$T(i, j)$  がテンプレート、 $C(m, n)$  が対象画像とする。カメラで撮影された画像はカラーであるが、モノクロ画像に変換した。さらに照明の変化などによる画像全体の輝度値の変化の影響を抑えるため、画像全体の輝度値の平均が一定になるように、データを規格化した。

テンプレートマッチングの例を図-8 示す。図-8 左上に示した四角で囲まれた画像をテンプレートとした。対象画像で見つけた気泡を枠で囲って示している。テンプレートおよび対象画像の気泡のサイズを色々変えて、テンプレートマッチングを行った。この結果テンプレートおよび対象画像の気泡の直径がほぼ同等であれば、1～2 ピクセルの精度で気泡の位置を自動的に認識できるこ

とが明らかになった。

またテンプレートと対象画像の気泡の直径が異なる場合のテンプレートマッチングの評価を行った。直径 90 ピクセルの気泡の画像をテンプレートとして気泡の大きさの異なる画像に対してテンプレートマッチングを行った結果、直径 87 ピクセルの画像では、テンプレートマッチングができ、直径 85 ピクセルの画像では、テンプレートマッチングができなかった。装置の温度変化により気泡の大きさの変動が予測される場合には、大きさの異なる複数のテンプレートを用意することが必要である。

## 4. ネットワーク計測網の構築

本手法を利用したネットワーク計測網の応用例としては、道路などののり面の傾斜計測などが考えられる。広範囲の領域に装置を複数配置して、各装置の傾斜角の情報を一定時間間隔で自動計測することにより、地滑りの予知情報の検出などが期待される。このような計測では以下の条件が要求される。データが途切れずに送られること。各装置は、電池もしくは小型の太陽電池パネルで動作すること。

1 台のパソコンで複数の装置の監視を行う場合、以下の 2 通りの方法が考えられる。

①各装置でテンプレートマッチングの処理を行い、角度データを算出し、1 日に一度または、顕著な傾斜角の変動があった場合のみ傾斜角データを転送する。この場合、各装置には、画像処理の能力を有するマイコンもしくは PC が必要となる。計測ネットワークを充実させるには、各装置の価格を下げた装置数を増やすことが望ましいので、マイコンの利用が有利である。

②各装置で撮影した画像をそのままデータ転送し、監視用 PC で角度データを算出する。今回実験に用いた画像データは、640×480 の画素数で、データサイズは約 46kb であった。カメラの画素数の設定を小さくするか、画像データを気泡の周辺に限定すれば、1 回の測定の画像データのサイズを小さくすることができる。

省電力を考えたとき、各装置では、測定、データ処理とデータ転送のときだけ、カメラや無線モジュールを動かし、それ以外の時間は休止させることが望ましい。

また複数の装置からデータを管理用 PC に転送する場合、複数の装置からのデータが重ならないように気をつける必要がある。

## 5. まとめ

地滑りなどを事前に予知するための傾斜角計測ネットワーク構築を目的として、撮影した気泡管の画像処理を

用いた手法を提案し基礎実験を行った。曲率半径 800mm の気泡管を用い、0.0053°/ピクセルの分解能で傾斜角の計測を行うことができた。また温度と気泡の直径は高い相関を示し、温度計測の可能性も示された。提案した手法の特徴としては、電気的な雑音の影響を受けない点と、温度変化の影響を受けにくい点が挙げられる。

一方提案した手法の欠点としては、高温で気泡管内の液体が膨張し、気泡が消える場合と、低温で液体が凍結し、計測ができなくなる。強い日射の場所や寒冷地におけるフィールド観測を考えた場合、温度調節装置付の計測が必要となる。

防災のためのセンシングネットワークの分野では、傾斜角センサなどを使った様々な手法が提案されている。

屋外の計測ネットワークを考えた場合、何らかの原因で計測が機能しないことが想定される。そのため一つの計測手法に全て頼るのではなく複数の手法を併用することが望ましい。このような観点からも、本手法は簡易に安定して傾斜計測を行う手法として利用されることが期待される。

#### 参考文献

- 1) 川越清樹, 風間聡: 温暖化に対する土砂災害の影響評価, 国際環境研究協会, 地球環境, p143-152, 2009.
- 2) 岡田憲治: 温暖化と土砂災害, 地盤工学会誌, 57(4), p6-9, 2009.
- 3) 日本学術会議, 土木工学・建築学委員会: 提言 気候変動下における水・土砂災害適応策の深化に向けて, 2011.
- 4) 大矢 暁: 高精度傾斜計の精度と適応性, 応用地質, 18(1・2), pp.13-25, 1977.
- 5) 山田 千人, 横田 裕介, 高田 秀志, 島川 博光: 地すべりメカニズ

ム分析のための時系列 OLAP ツール, 電子通信情報学会第 18 回データ工学ワークショップ, D8-2, 2007

- 6) 千木良 雅弘: 地すべり・崩壊の発生場所予測: 地質と地形からみた技術の現状と今後の展開, 土木学会論文集 62(4), pp.722-735, 2007.
- 7) 内田 太郎, 中野 陽子, 秋山 浩一, 田村 圭司, 笠井 美青, 鈴木 隆司: レーザー測量データが表層崩壊発生斜面予測及び岩盤クリーブ斜面抽出に及ぼす効果に関する検討, 地 形 31(4), pp.383-402, 2010.
- 8) 岩井 将行, 今井 大樹, 瀬崎 薫: B-20-42 無線センサ杭を利用した斜面崩壊モニタリングシステムの構築(B-20). ユビキタス・センサネットワーク, 一般セッション, 電子情報通信学会総合大会講演論文集, 通信(2), pp.637, 2011.
- 9) Moku You, Masanori Itaba, Atsushi Minato, Satoru Ozawa: Development of Perpendicular Sensor and Its Application for Raging, ISCIU6, pp75-76, 2010.
- 10) 郭福会, 湊淳, Ravindra Jayasekara, 桑原祐史, 小澤哲, 土田寛: 垂直度判定センサの開発と写真測量への応用, 土木情報利用技術論文集, Vol. 18, I -23, pp201-206, 2009.
- 11) 特開2009-025276
- 12) 谷口 慶治: 画像処理工学—基礎編, 共立出版, pp. 124-126, 1996.
- 13) 酒井幸市: Visual C#.NET&Visual Basic.NET によるデジタル画像処理の基礎と応用, pp.84-86, CQ 出版社, 2003.

(2013. 4. 5 受付)

(2013. 7. 25 受理)

## Development of inclinometer using image of Bull's eye level for disaster prevention network

Mo YANG<sup>1</sup>, Atsushi MINATO<sup>1</sup>, Satoru OZAWA<sup>1</sup>, Hiroshi TSUCHIDA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of Science and Engineering, Ibaraki University

<sup>2</sup>Geotech Limited company

Monitoring of inclination of land is important to prevent a damage from landslide. Low cost and stable system is necessary for this purpose. This paper presents a new inclination measurement system and its application to sensor network of disaster prevention. Our system has a bull's eye level, a digital camera and wireless module. The angle and direction of inclination is measured from the photo of bull's eye level. The achieved resolution was 0.0053degree/pixel using a bull's eye level with a curvature radius of 800 mm. Measurement data was compared with the data from commercial inclinometer.

## Ⅱ.プロジェクト業績

## II. プロジェクト業績

### 1. 活動実績

4/9 プロジェクト会議

H25年度の研究構想について打ち合わせを行った.

5/30 プロジェクト会議

工学部概算要求申請のための打ち合わせを行った.

7/3 プロジェクト会議

工学部概算要求申請のための打ち合わせを行った.

10/9 新研究プロジェクト会議

研究センターの新規プロジェクト提案をにらみ, 青山学院大学戸部義人教授を交え情報交換を行った.

その他, 外部資金, 共同研究, 外部プロジェクトに関連する会議はメンバー個人が多数開催している.

## 2. 実績一覧

### 【学術誌論文】

- 1) 楊黙, 湊淳, 小澤哲, 土田寛, 「防災のための気泡管の画像を用いた傾斜計測装置の開発」, 土木学会論文集 G(環境), 地球環境研究論文集 第 21 巻 Vol.69 No.5, pp73-77, 2013.
- 2) Thammita A. S. Anuruddha, Satoru Ozawa, Atsushi Minato, Development of GPS Assisted Online CO<sub>2</sub>-Temperature Mapping System, Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 3, Issue 4, pp22-25, 2013
- 3) 車谷麻緒, 寺田 賢二郎, 京谷孝史, 加藤準治, 檜山和男:破壊シミュレーションのための構造要素を用いた離散体解析法, 日本計算工学会論文集, Vol.2013, pp.20130010, 2013.
- 4) 車谷麻緒, 寺田 賢二郎, 加藤準治, 京谷孝史, 檜山和男:コンクリートの破壊力学に基づく等方性損傷モデルの定式化とその性能評価, 日本計算工学会論文集, Vol.2013, pp.20130015, 2013.
- 5) 車谷麻緒, 神野真弥, 寺田 賢二郎:粗骨材の幾何学的非均質性に着目したコンクリートの圧縮破壊シミュレーション, 土木学会論文集 A2(応用力学), Vol.69, No.2, pp.L115-L123, 2013.
- 6) D.D.G.L. Dahanayaka, H. Tonooka, M.J.S. Wijeyaratne, A. Minato and S. Ozawa, Two Decadal Trends of Surface Chlorophyll-A Concentrations in Tropical Lagoon Environments in Sri Lanka Using Satellite and In-Situ Data, Asian Journal of Geoinformatics, Vol. 13, No. 3, pp. 7-16, 2013.

### 【学会発表等(国内,国際)】

- 1) 大塚直洋, 渋沢進, 深度センサを用いた下肢の椅子体操支援システムの開発, 電子情報通信学会福祉情報工学会研究会, つくば, 2014 年 3 月 7 日
- 2) 小玉駿, 須藤翔太, 渋沢進, デジタルサイネージに向けた情報を正対表示させ歩行者を引き付けるシステム, 情報処理学会第 157 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 東京, 2014 年 3 月 13 日
- 3) 須藤翔太, 渋沢進, 赤外線画像認識のテーブルトップシステムにおけるマルチユーザジェスチャの評価, 情報処理学会第 157 回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会, 東京, 2014 年 3 月 14 日
- 4) Hiroyuki Higano and Hiromasa Habuchi : "Analysis of average packet acquisition time on wireless butterfly-typed network coding scheme", The 12th International Conference on ITS Telecommunications (ITST2012), Taipei, Session: Intelligent Transport Systems(ITS) 7, CD-ROM, Nov.2012
- 5) Koichiro Hashiura and Hiromasa Habuchi : "Priority code selection method of the modified binary countdown scheme for VANET", The 12th International Conference on ITS Telecommunications(ITST2012), Taipei, Session: Telecommunication and Positioning 7, CD-ROM, Nov.2012
- 6) Yusuke Kozawa and Hiromasa Habuchi: "Performance analysis of multi-pulse PPM for optical wireless hierarchical transmission system", IEEE Workshop on Optical Wireless Communications (OWC'12), Anaheim, CD-ROM, Dec.2012
- 7) Hiroyuki Higano, Hiromasa Habuchi, and Yusuke Kozawa : "Effectiveness of the network coding with frame slotted ALOHA on VANET", 2013 RISP International Workshop on Nonlinear Circuits, Communications and Signal Processing (NCSP'13), The Island of Hawaii, 6PM2-2-3, pp.468-471, Mar.2013

- 8) Shusuke OKAMOTO, Masaki KOHANA, Masaru KAMADA and Tatsuhiko YONEKURA:Rapid Authoring of Web-based Multiplayer Online Games, Proceedings of the 15th International Conference on Information Integration and Web-based Applications & Services (iiWAS2013), 639-643 (Dec. 2013).
- 9) Osamu SAITOU, Yuji KUWAHARA, Michitoshi NIIBORI and Masaru KAMADA:Real-time water level visualization with pervasive IC sensors, Second International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2013),Guwangju, Korea, 16th International Conference on Network-Based Information Systems, 436-438 (Sep. 2013)
- 10) Ikuko SHIGIHARA, Akiko ARAI, Osamu SAITOU, Yuji KUWAHARA and Masaru KAMADA: A dynamic bus guide based on real-time bus locations - A demonstration plan- , Second International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2013), Guwangju, Korea, 16th International Conference on Network-Based Information Systems, 444-447 (Sep. 2013).
- 11) Yuta WATANABE, Shusuke OKAMOTO, Masaki KOHANA, Tatsuhiko YONEKURA and Masaru KAMADA: A parallelization of interactive animation software with web workers, Second International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2013), Guwangju, Korea, 16th International Conference on Network-Based Information Systems, 448-452 (Sep. 2013).
- 12) Dandy LING KWONG, Michitoshi NIIBORI, Shusuke OKAMOTO, Masaru KAMADA and Tatsuhiko YONEKURA: Web-based tool for programming interactive 3D animations in terms of state-transition diagrams, Second International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2013), Guwangju, Korea,16th International Conference on Network-Based Information Systems,453-458 (Sep. 2013).
- 13) Tsukasa SOUTOME, Dandy LING KWONG, Michitoshi NIIBORI and Masaru KAMADA: A web-based platform for clients and designers to prototype web sites,Second International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2013), Guwangju, Korea, 16th International Conference on Network-Based Information Systems, 459-463 (Sep. 2013).
- 14) Masaru KAMADA and Masakazu OHNO: Sparse approximation of ion-mobility spectrometry profiles by minutely shifted discrete B-splines, Proceedings of the 10th International Conference on Sampling Theory and Applications, Bremen, 220-223 (July 2013).
- 15) 齋藤 修, 桑原 祐史, 神澤 雅典, 石川 富子, 坪 拓男:CO<sub>2</sub>濃度計測による小学校における環境教育実践: 土木学会第 21 回地球環境シンポジウム, 2013.
- 16) 齋藤 修, 山本 芳裕, 安原一哉:東日本大震災以降の鉄道盛土における地下水位変化についての考察:地盤工学会第 10 回環境地盤工学シンポジウム発表論文集, 2013.9
- 17) Osamu Saitou, Yuji Kuwahara, Kazuya Yasuhara:“Water-level-sensor IC tag aided monitoring techniques applied to climate-change-induced disaster mitigation” 1st International Conference on Civil and Building Engineering Informatics 2013.
- 18) 山本 誠也, 吳 智深, 連続バサルト繊維ロッドによる FRP コンクリート梁部材の基本性状に関する研究, 平成 25 年度土木学会全国大会 第 68 回年次学術講演会 V-017,2013.
- 19) 高柳 亮太, 木村 亨, 吳 智深, 光ファイバセンサ接着型連続繊維棒材を用いた構造ヘルスマニタリングに関する

研究,平成25年度土木学会全国大会 第68回年次学術講演会 V-264,2013

- 20) 櫻 健典, 鈴木 修, 村山英晶, 呉 智深, 鈴木博人, 光ファイバセンサを用いた鉄道高架橋のモニタリング技術の開発,平成25年度土木学会全国大会 第68回年次学術講演会 CS6-001,2013
- 21) 生井貴宏, 西尾 真由子, 鈴木 修, 村山 英晶, 呉 智深, 鉄道高架橋の振動特性変化に着目したモニタリング手法の研究,平成25年度土木学会全国大会 第68回年次学術講演会 CS6-002,2013
- 22) 高岡 満, 鈴木 修, 石沢 孝, 村山 英晶, 呉 智深, 鉄道高架橋の動的挙動に着目したモニタリング手法の検討,平成25年度土木学会全国大会 第68回年次学術講演会 CS6-003,2013
- 23) 田村 琢之, 鈴木 修, 村山 英晶, 呉 智深, 鉄道高架橋の柱の変形と継ぎ目変位に着目したモニタリング手法の研究,平成25年度土木学会全国大会 第68回年次学術講演会 CS6-004,2013
- 24) 楊 克儉, 鈴木 修, 山本一美, 村山英晶, 呉 智深, 鉄道高架橋のモニタリング手法の開発における解析的検討,平成25年度土木学会全国大会 第68回年次学術講演会 CS6-005,2013
- 25) 原田隆郎, 川嶋裕介, 高 峰, 金森 豪, 桑島智明, 根本諒介, 鋼製可動堰のマネジメントのための劣化予測手法に関する基礎的検討, 土木学会第68回年次学術講演会, VI-118, pp.235-236, 2013
- 26) Mo Yang, Nalin Warnajith, Atsushi Minato, Satoru Ozawa, Development of Perpendicular Sensor for Disaster Prevention, Global Conference on Civil, Structural and Environmental Engineering(GCCSEE) Shenzhen, China(2013.9)
- 27) Kurumatani, M., Kamino, S., Terada, K.:Simulation of compressive failure in concrete involving contact on cracked interfaces,12th US National Congress on Computational Mechanics,July, 2013 (Raleigh, USA).
- 28) Kurumatani, M., Kamino, S., Terada, K.:Compressive failure simulation in concrete involving contact on crack interface,5th Asia Pacific Congress on Computational Mechanics,December, 2013 (Singapore).
- 29) Osamu Saitou, Yuji Kuwahara:“Application and possibility to the disaster prevention of the water level sensor IC tags.” International Symposium on Remote Sensing 2013.
- 30) Osamu Saitou, Yuji Kuwahara, Michinobu Niihori, Masru Kamada:“Real-Time Water Level Visualization with Pervasive IC Sensors” The 2nd International Workshop on Web Services and Social Media 2013(WSSM-2013).
- 31) Toshiya Watanabe, Chao Liu, and Susumu Shibusawa, A walkthrough system to display video corresponding to the viewer’s face orientation, Proc. of International Conference on Image Processing, Computer Vision, and Pattern Recognition IPCV’13, PP.102-108, July 23, 2013, Las Vegas, USA.
- 32) Shota Suto and Shibusawa Susumu, A tabletop system using infrared image recognition for multi-user identification, P. Kotze et al. (Eds.): INTERACT 2013, Part II, LNCS 8118, pp. 55-62, Sept. 4, 2013, Cape Town, South Africa.
- 33) Harada, T. and Suzuki, M. : Study on an effective bridge management method for local government, The 9th International Symposium on Social Management Systems (SSMS2013), Sydney, Australia, SMS13-2268, 2013.
- 34) uang Huang, Zhishen Wu, Development of self-compensated long-gage carbon sensor for structural health

monitoring, 9th International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford University, CA, USA September 10-12, 2013

- 35) Zhishen Wu, Huang Huang, Sensor capability enhancement of PPP-BOTDA for dynamic distributed strain monitoring of bridge structures, 9th International Workshop on Structural Health Monitoring, Stanford University, CA, USA September 10-12, 2013
- 36) DDGL Dahanayaka, H. Tonooka, A. Minato, S. Ozawa, Chlorophyll monitoring of selected Asian water bodies using modified band-ratio approaches with satellite data, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2013 (ISRS 2013), D9-03, Chiba, May 2013.
- 37) S. Kato, T. Matsunaga, H. Tonooka, Validation of ASTER emissivity product comparing with ground and laboratory data, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2013 (ISRS 2013), P1-14, Chiba, May 2013
- 38) T. Uehara, H. Tonooka, Improvement of the edge-preserving filter for ASTER spectral emissivity products, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2013 (ISRS 2013), P1-25, Chiba, May 2013
- 39) S. Yoshimoto, H. Tonooka, Generation of 90 m land-water masks using ASTER time-series ortho images, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2013 (ISRS 2013), P2-07, Chiba, May 2013
- 40) M. Miyazaki, H. Tonooka, Application of snow/ice-related indices derived from optical sensors to Byrd and Darwin glaciers, Antarctica, Proc. of International Symposium on Remote Sensing 2013 (ISRS 2013), Q2-12, Chiba, May 2013.
- 41) 宮崎将行, 外岡秀行, MODIS VNIR 及び TIR によるグリーンランド・ヤコブスハブ氷河の状態解析 日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会論文集, pp.195-196, 2013.
- 42) 吉元駿介, 外岡秀行, C4.5 アルゴリズムによる ASTER 水域マスクの生成, 日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会論文集, pp.201-202, 2013.
- 43) 加藤創史, 松永恒雄, 外岡秀行, 熱赤外リモートセンシング代替校正に用いる分光放射計の経年劣化補正, 日本リモートセンシング学会第 55 回学術講演会論文集, pp.193-194, 2013.
- 44) 原田隆郎, 横山功一: 生体脈波情報を利用した歩道橋横断時の不快感評価の試み, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.38, pp.115-118, 2013.

【その他(=講演概要など)】

- 45) 齋藤 修, 鎌田 賢, 桑原 祐史: 多点設置型水位センサ IC タグを利用した内水氾濫監視システムの開発, 情報処理学会 75 回全国大会, 2013.
- 46) 齋藤 修, 丸山 泉, 桑原 祐史: 水位センサ IC タグの防災への応用と可能性: 日本地球惑星科学連合 2013 年度連合大会, 2013.5.
- 47) 齋藤 修, 安原一哉, 桑原祐史: 水位センサ IC タグを用いた防災システムの可能性, 地盤工学会第 48 回地盤工学研究発表, 2013. 7.
- 48) 齋藤 修, 桑原祐史, 安原一哉: 多点設置型水位センサ IC タグの開発と防災システムへの応用: 土木学会平成 25 年度全国大会第 68 回年次学術講演会, 2013.9.

- 49) 齋藤 修, 鎌田 賢:防災・減災のための環境情報センシングシステムの検討:計測自動制御学会計測部門第 30 回センシングフォーラム, 2013. 8.
- 50) 齋藤 修, 安原 一哉, 山本 芳裕:鉄道盛土の地下水位変化についての考察:第 10 回地盤工学会関東支部発表会発表講演集, pp-, 2013.
- 51) M. Miyazaki, and H. Tonooka, Potential of HypsIRI/TIR emissivity spectra for snow/ice monitoring (2), 2013 HypsIRI Workshop, Pasadena, CA, 2013.

**【特許】**

- 1) 呉 智深, 山内 良昭, 風力監視装置, 登録(特許)番号:特許第 4824593 号 (特許)

**【採択された外部資金及び科学研究費補助金】**

- 1) 文部科学省 平成 23 年度 基盤研究(C),「ITS のための光/電波融合型通信の高度化」(課題番号 24560440)(直接経費 4,200 千円), 2012 年~2014 年度(羽渕裕真)
- 2) センサネットワークと知識ベースを用いた高齢者見守りシステムの研究, 科研(基盤(C)(一般))(継続)(渋沢 進)
- 3) 文部科学省 平成 23 年度 基盤研究(B),「動的光ファイバセンシング及び橋梁構造物の健全性モニタリングのための動的ひずみ分布型光ファイバセンシング技術の開発」(直接経費 4,600 千円、間接経費:1,400 円)2011 年~2013 年(呉智深)
- 4) (独)産業技術総合研究所 受託研究「ASTER 画像の信頼性・利用性の向上に関する研究」(7,360 千円)(外岡 秀行)
- 5) (一財)宇宙システム開発利用推進機構 受託研究「ASTER/TIR データを用いた SiO<sub>2</sub> 含有量比図の整備/平成 25 年度希少金属資源開発推進基盤整備事業」(グローバル・リモートセンシング利用資源解析強化事業)(3,150 千円)(外岡秀行)

茨城大学重点研究

「知的で持続可能な社会基盤および防災セキュリティ技術研究創出事業」

茨城大学工学部附属防災セキュリティ技術教育研究センター

## 2013年度報告書

発行日 平成26年5月

発行者 茨城大学 工学部 都市システム工学科  
教授 呉 智深  
〒316-8511 日立市中成沢町4-12-1  
Tel: 0294-38-5179 Fax: 0294-38-5268

※禁無断転載

茨城大学重点研究

<http://www.ibaraki.ac.jp/generalinfo/activity/researching/juuten/>

茨城大学工学部附属教育研究センター

<http://www.eng.ibaraki.ac.jp/research/centers/index.html>

防災セキュリティ技術教育研究センター

<http://www.eng.ibaraki.ac.jp/research/centers/disaster/index.html>