

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

2012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 24 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 2 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「防災セキュリティ技術教育研究センター」に引き継がれ、平成 25 年 5 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の開催準備を進めております。また、茨城県内の市民教育プログラムへの貢献可能性についても議論が進んでおり、「教育と研究」双方の分野を対象として今後ますます発展して行くものと期待するとともに、私自身、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 24 年度の研究成果を報告させていただきます。

平成 25 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)
CO₂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・准教授)
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・講師)
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(H24 年度参加教員発表の代表的な学術論文集)

1. Huang Huang, Caiqian Yang and Zhishen Wu, Electrical sensing properties of carbon fiber reinforced plastic strips for detecting low-level strains, Smart Materials and Structures Volume 21 Number 3 035013 May 2012 (SCI, IF: 2.089)
2. 野口宏, 大瀧保広, 鎌田賢: 分散キャンパスを用いたファイルバックアップシステム, 学術情報処理研究, 16 巻, 1 号, pp.25-32 (2012).
3. H. Yokota, Y. Ito, H. Kawashiri, H. Kiue, H. Tobita, Y. Imai, and Y. Sasaki, "Fabrication of polarization-maintaining photonic crystal fiber coupler with air hole state control using CO₂ laser irradiation technique", IEICE Transaction on Electronics, Vol. E95-C, No. 10, pp. 1689-1691, Oct. 2012.
4. 大鷲祐貴, 伊藤隆広, 内田涼仁, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, 梅比良正弘, "有限長金属筒構造利用による金属円筒裏面の RFID タグ読取り性能向上方法の提案," 信学論 B, vol.J95-B, no.9, pp.1188-1196, Sept. 2012.

II. プロジェクト実績

1. 活動内容
2. 実績一覧

I .研究報告

(H24 年度参加教員発表の代表的な学術論文集)

Electrical sensing properties of carbon fiber reinforced plastic strips for detecting low-level strains

Huang Huang¹, Caiqian Yang² and Zhishen Wu^{1,2}

¹ Department of Urban and Civil Engineering, Ibaraki University, Hitachi 316-8511, Japan

² Southeast University, Key Laboratory of Concrete and Prestressed Concrete Structures of the Ministry of Education, Nanjing 210096, People's Republic of China

E-mail: zswu@mx.ibaraki.ac.jp (Z Wu)

Received 2 October 2011, in final form 17 January 2012

Published 10 February 2012

Online at stacks.iop.org/SMS/21/035013

Abstract

In this work, the electrical sensing properties of carbon fiber reinforced plastic (CFRP) strips under tension strains were studied. The electrical resistance change ratio of a CFRP strip responds to the applied axial and transverse strain. Under 500 microstrain, the strain sensing properties of CFRP strips with different width–length (w/l) ratios vary significantly. The experimental results showed that the nonlinear transverse effect was reduced as the w/l ratio of CFRP strips increased. For a CFRP strip with gauge length equal to or larger than 500 mm (i.e. $w/l \leq 0.0012$), the magnitude of the transverse effect was greatly reduced. The gauge factor for the 500 mm long CFRP strip with a linear relationship to the applied strain was determined. The long gauge length CFRP strip can provide more reliable signal behavior, even at a low strain level of 200 microstrain or a high strain level of 1000 microstrain. Based on the results of a long-term cycle tension test, the cycle-ability and the possible noise range of CFRP strips are quantitatively discussed. Finally, the sensing properties of an effective CFRP strip on low-level strains are summarized.

(Some figures may appear in colour only in the online journal)

1. Introduction

The applications of carbon fibers (CFs) have been investigated and applied in industry, aerospace, sports goods and other fields. Due to the excellent mechanical properties, CFs can be impregnated with epoxy resin to form different structural reinforcements, such as CF reinforced plastic (CFRP) sheets and rods [1, 2]. An increasing number of applications of CFRP composites in civil engineering have been found in recent years. Also, the detection ability of the CFRP composites has been developed due to their electrical properties [3–7]. It has been realized that the CFRP composite can be used as a self-monitoring material to detect possible damage in CFRPs and/or CFRP-strengthened structures based on the electrical conductivity and piezoresistivity of CFRPs. Some works have been done to produce conductive concrete by short CF reinforced cement-based composites [8–11]. Although the conductive concrete is suitable to be used as a self-monitoring

material for a new structure, its application in an existing structure is limited. Therefore, some research on CFRP has been done to develop the monitoring function of continuous CFRPs on new and existing structures by using the electrical resistance change ($\Delta R/R$) of CFRPs [12–14]. However, the poor sensitivity of the continuous CFRP limits its application in sensing structural macro-strain responses.

In an earlier study, a self-sensing approach with hybrid-CFRPs (HCFRPs) was developed to upgrade the strain sensing behavior of the continuous single CFRP [15–18]. The HCFRPs consisted of different types of CFs, including high-modulus, medial-modulus and high-strength CFs. As shown in figure 1, the $\Delta R/R$ –strain curve of HCFRPs can be divided into several zones based on different strain amplitudes; the number of zones is related to the type of CF.

In Zone 1, the signal curve of the single CFRP composite increases slowly and linearly with strain. In Zone 2, this

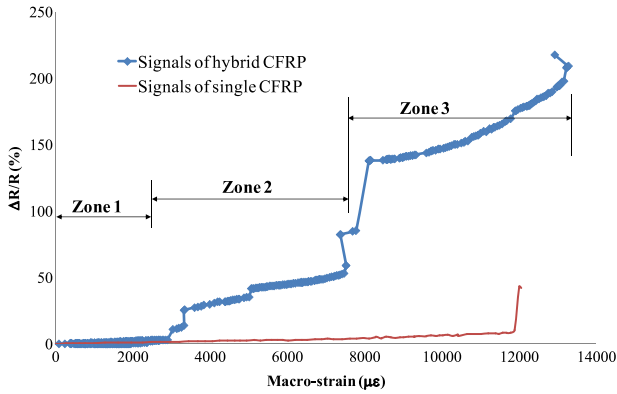


Figure 1. Representative macro-strain versus $\Delta R/R$ curves of hybrid CFRP (dotted line) and single CFRP (line).

curve suddenly jumps to a high value because the CFs rupture, and then, the electrical resistance increases linearly with strain. After the final rupture of the CF the sensing function terminates (not shown). For HCFRPs, the signal curve changes linearly in proportion to the applied tensile strain in Zone 1. In Zones 2 and 3, the HCFRP signal changes in a stepwise manner with increases in the applied strain. After the increase in electrical resistance, the HCFRP signal generally increases linearly with applied strain. The monitoring band of HCFRPs extends to a higher strain range than that of single CFRPs, and the sensitivity of HCFRPs is better than that of single CFRPs at the ends of Zones 2 and 3. Because the ruptured CFs in HCFRPs in the high strain range cause an obvious signal singularity, the signal singularity is useful to point out the applied high strain range on HCFRPs. Because the signal singularity is an irreversible change, the HCFRPs is suitable to give a damage alarm but not a continuous long-term monitoring signal.

A successful structural health monitoring (SHM) program uses the structural response to assess the state of health of structural systems through monitoring sensors. In an actual field SHM application, a long-term monitoring system in a low strain range is important for detecting damage before it reaches a critical state [19–21]. Real-time monitoring in the low strain range requires a sensor that can accurately reflect the real response of structures, which can provide a sign of possible structural damage. The existing researches of CFRP-based sensing materials have focused on large strains and macroscopic damage to CFRP composites or CFRP-strengthened structures, and the damage evaluation system and the sensitivity of CFRPs in the low strain range is still unclear [22–28].

The main purpose of this paper was to obtain a high-performance CFRP strip type for the detection of low elastic strains. The influence of transverse electrical resistance was studied, where an effective gauge shape (gauge length = 500 mm, gauge width = 6 mm) was proposed to improve the sensing accuracy in the low strain range. The signals on different strain ranges showed that the CFRP strip with this particular shape maintains good linearity to the corresponding value of elastic strain. Cyclic loading and unloading data

have been utilized to analyze the reliability and the degree of dispersion of the signal of the CFRP strip.

2. Basic sensing theory of CFRP strips

Because it is an electrical sensor, the output signal of the CFRP composite is $\Delta R/R$. For a CFRP composite, the output signal is related to the strain response of the longitudinal direction and transverse direction; the relation can be expressed as follows:

$$\Delta R = f(\Delta R_l, \Delta R_t) \quad (1)$$

where ΔR is the total output signal, ΔR_l is the strain response in the longitudinal direction, and ΔR_t is the strain response in the transverse direction.

A CFRP strip is composed of many continuous micro-CFs and each micro-CF is a single sensing unit. For a single micro-CF, ΔR is related to the resistivity, the length and the cross-sectional area. The longitudinal strain response of the CFRP strip is the integral response of all the micro-CFs, and the relation in the elastic range can be expressed as follows:

$$\Delta R_l = \sum_{i=1}^n \Delta R_{li} \quad (2)$$

where ΔR_{li} is the longitudinal strain response of each sensing unit.

Micro-CFs have been regarded as a semiconductor material because their general conductivity is between a semiconductor and a true conductor [29–31]. According to the piezoresistance effect for micro-CFs, a change in resistivity has a much greater effect on resistance than a simple change in geometry.

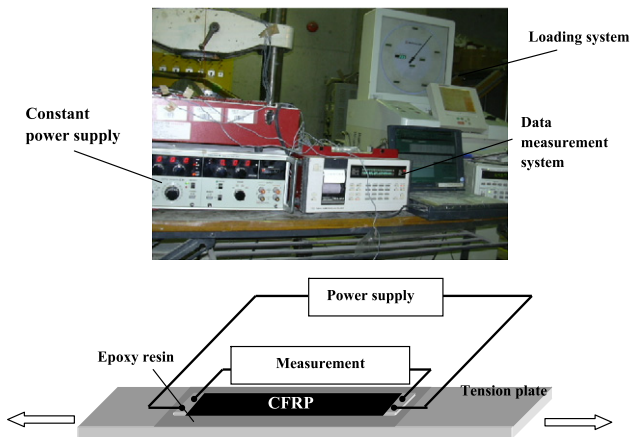
3. Experimental setup and materials

In this study, the main objective was to investigate the sensor performance of CFRP at low-level strains. Repeatability is an important characteristic of a reliable sensor. Thus, a cyclic tension test at low strains was used in this study. The experimental setup included a loading system, a CFRP strip, a data measurement system and a constant power supply, as illustrated in figure 2.

The CFRP strip (gauge length = 300 mm, gauge width = 6 mm) was installed on a homogeneous tension plate. The sensing part of the CFRP was bonded onto the tension plate using epoxy resin as the adhesive material, which was placed between the CFRP and the tension plate. During the cyclic tension test, the loading system supplied a continuous cycle load to the tension plate. The data measurement system was constructed with a Wheatstone measuring bridge. The constant power supply provided a constant input current to the data measurement system. The CFRP strip is a bridge-arm of the Wheatstone measuring bridge, and a calibrating CFRP strip in the free state is used in the Wheatstone measuring bridge to reduce the temperature influence. The output voltage signal inside the Wheatstone measuring bridge was measured

Table 1. Specific properties of the carbon fiber tow reinforcement.

Material	Thickness	Tensile strength	Tensile modulus (GPa)	Tensile elongation (%)	Filament	Volume resistivity ($\Omega \text{ cm}^{-1}$)
Carbon fiber T700SC	0.136 mm	4.9 GPa	230	1.478	12 000	1.6×10^{-3}
Epoxy resin FR-E3P	—	51.9 MPa	3.43	1.513	—	10^{10} – 10^{20}

**Figure 2.** Optical photograph and scheme of the experimental specimen used in this study.

by the data measurement system to determine $\Delta R/R$ of the CFRP strip.

Because the applied strain was under the elastic level, it was believed that the interface between the CFRP and the tension plate did not change during the test, and the response of the sensing part of the CFRP was only related to the applied strain.

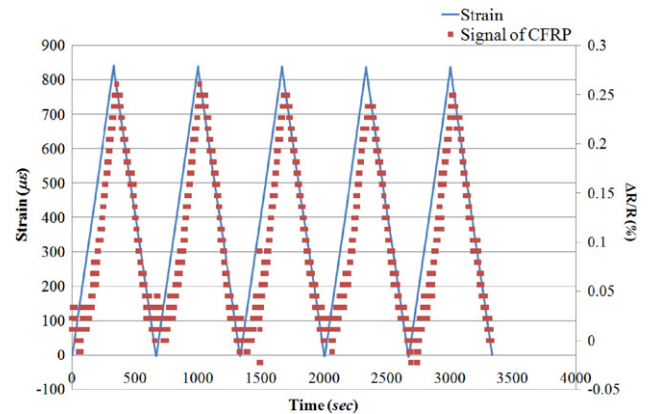
The carbon fiber tow used in this experiment was T700SC, which was produced by Toray Industries, Inc. The epoxy resin used in this experiment was FR-E3P, which was produced by Nippon Steel Composite Co., Ltd. The resin is a bonding material that is approved by the Japan Society of Civil Engineers. In Japan, the carbon fiber composited material based on T700SC and FR-E3P is widely applied in FRP-reinforced concrete structures. The material properties are shown in table 1.

This paper aims to determine the sensor performance of CFRP strips due to the physical environment change, especially the strain change. But the strain change is not the only signal excitation condition of a CFRP strip. In field monitoring, the chemical environment change will affect the output signal of the CFRP strip. A discussion of the chemical environment change is beyond the range of this paper. The experiments in this paper are all under stable laboratory conditions (18–20 °C and 25–30% relative humidity), the signal excitation is considered as the strain change.

4. Discussions

4.1. Basic sensor performance of CFRP strips

Figure 3 shows relative $\Delta R/R$ value and strain measured at the tension specimen for five applied loading–unloading

**Figure 3.** Strain (line) and $\Delta R/R$ (asterisk) versus time during five loading–unloading cycles.

cycles. Because random measuring errors could influence the effectiveness of the signal of the CFRP strip in measuring small strains, the signal at each loading point is measured 15 times. The $\Delta R/R$ values are roughly related to the applied strain, but the linearity is poor. As described in section 2, the micro-CF is the basic sensor unit in a CFRP strip. The main output signal of a micro-CF is related to the ΔR_l on it which has a linear relation to the applied strain. But as shown in figure 3, the total output of the CFRP strip shows a poor linear relation with the strain. A CFRP strip is composed of thousands of micro-CFs and during the production of a CFRP strip the micro-CFs are generally arranged in parallel, but some of the fibers are connected in longitudinal and transverse directions. The circuit in a CFRP strip is composed of longitudinal connections and a transverse connection. The effect of the transverse connection will be discussed in section 4.2.

4.2. Transverse connection in CFRP strips

Because the shape of the CFRP strip is a sheet, ΔR of a CFRP strip is influenced by ΔR_l and the strain response in the transverse direction (ΔR_t). To explain the relation between ΔR_l and ΔR_t , equivalent circuits of CFs in zero strain and tensile strain state are shown in figures 4(a), (b), respectively. Under ideal conditions, a CFRP strip can be considered a parallel circuit that is composed of large numbers of micro-CFs. Under actual conditions, the microfibers are not completely straight or arranged in parallel, and the fibers are somehow connected in the transverse direction. The distribution of this transverse connection is a random variable. The electrical model of the CFRP strip can be expressed as in figure 4(a). Considering a single microfiber as a sensing cell,

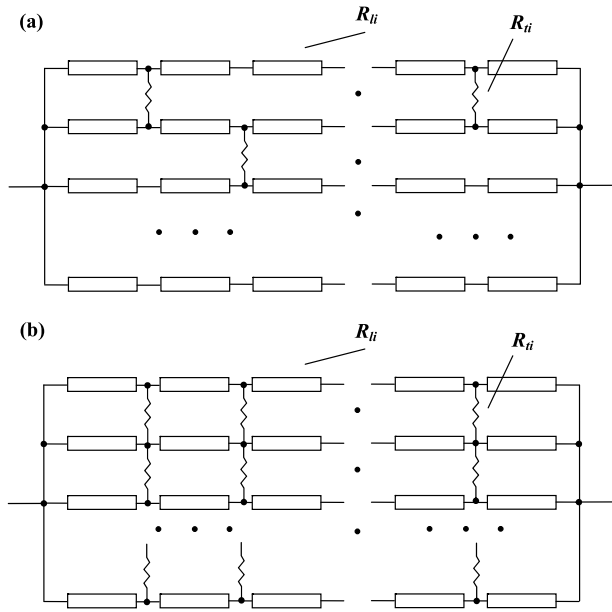


Figure 4. (a) Equivalent circuit model for CFRPs in the zero strain state. (b) Equivalent circuit model for CFRPs in the tensile strain state.

the resistance of the longitudinal fiber is R_{li} , and the resistance of the transverse connection is R_{ti} . Part of the current flows through the transverse connection, and the total resistance of the CFRP strip is not only related to the arranged R_{li} but also to R_{ti} . For our case, the 6 mm wide CFRP strip consists of two thousand microfibers which cause short circuits along the CFRP strip. Under the application of a tension force, the fibers are more concentrated in the transverse direction than when free from stress [29, 30]. In the corresponding model shown in figure 4(b), the transverse connection is more constant, and the output signal of the CFRP strip with a constant transverse connection is more suitable for detecting strain change. In the longitudinal direction, the R_{li} is related to the resistivity, the length and the area, as described in equation (2).

Based on the piezoresistive effect, the piezoresistivity of a single micro-CF has a much greater effect on ΔR than do changes in the length or section; moreover, R_{li} has a linearly increasing relationship with the applied stress. Given the influence in the transverse direction, R_{ti} is not constant because it is affected by the transverse compression at the beginning of the tension process. Because the conductive material becomes dense, the unit conductivity of the CFRP strip increases, and the unit resistance of the CFRP strip decreases. When the applied stress reaches a certain value, the unit conductivity of the CFRP strip becomes constant, and the influence in the transverse direction is gradually limited.

As mentioned above, ΔR_t of a CFRP strip is the electrical circuit connection change among the CFs during longitudinal tension. Because the number of CFs is so large and the interconnection of a CFRP strip is distributed randomly, it is difficult to use a mathematic model to describe ΔR_t at a microscopic level. However, ΔR_t can be described as two stages macroscopically. At the beginning of the tension, both ΔR_t and ΔR_l affect the integral ΔR of a CFRP strip. Because

Table 2. Width and length of the different CFRP strips used in this study.

		Width (mm)	Length (mm)	w/l ratio
Series 1	Specimen 1	6.1	100	0.061
	Specimen 2	6.0	200	0.03
	Specimen 3	6.0	300	0.02
	Specimen 4	6.0	500	0.012
Series 2	Specimen 5	2.8	100	0.028
	Specimen 6	3.2	200	0.016
	Specimen 7	3.1	300	0.01
	Specimen 8	2.9	500	0.0058

of the random interconnection, ΔR_t is irregular but decreases overall as the applied tension strain increases. When the applied strain reaches a value, the transverse interconnection reaches a stable state, which will not change significantly with increasing applied strain. At this time, ΔR_l is the only main factor of $\Delta \varepsilon$ in a CFRP strip. Given the above, it can be concluded that because of the influence of ΔR_t in a CFRP strip, there is a nonlinear stage of the CFRP strip in which ΔR is nonlinear. This occurs when the applied strain is at the beginning of tension. When the applied strain reaches the threshold value, ΔR_t is not necessarily the same as ΔR of the CFRP strip, which begins to have an approximately linear relationship with the applied strain.

4.3. Relation between gauge length and sensor performance

Though the description of the transverse connection is a random variable in a CFRP strip, it is related to the shape of the CFRP strip. For two CFRP strips with the same width but different lengths, the ΔR_t values are the same but the ΔR_l values are different. The CFRP strip with longer length is easier to pass through the nonlinear stage than the shorter one. To explain the relationship between the sensor size and sensor performance, eight specimens with different gauge lengths were tested under cyclic tensile loading. This cyclic tensile loading was controlled at the same load level, and the maximum strain was less than 1000 microstrain. Table 2 shows the sizes of the eight specimens.

In Series 1 (specimens 1–4), the width of the specimens was equal to 6 mm, which was determined by the original width of the CF sheet produced by the maker. In Series 1, the length of the specimens is increased systematically, and the width/length (w/l) ratio decreased. In Series 2 (specimens 5–8), the width of the specimens was half the width of the original specimen. Because these sheets were separated manually, the widths were not exactly the same. As in Series 1, the length of the specimens in Series 2 was increased systematically as well. Optical photographs of the different specimens are shown in figure 5.

Figure 6 shows the $\Delta R/R$ –strain curves of Series 1 and 2. The linearity in response of the specimens in Series 1 improved with increasing gauge length. The same trend can also be found in Series 2; their widths were about 50% smaller and again the linearity of the curve improved with a smaller w/l ratio. Comparing specimens 4 and 7, both specimens had

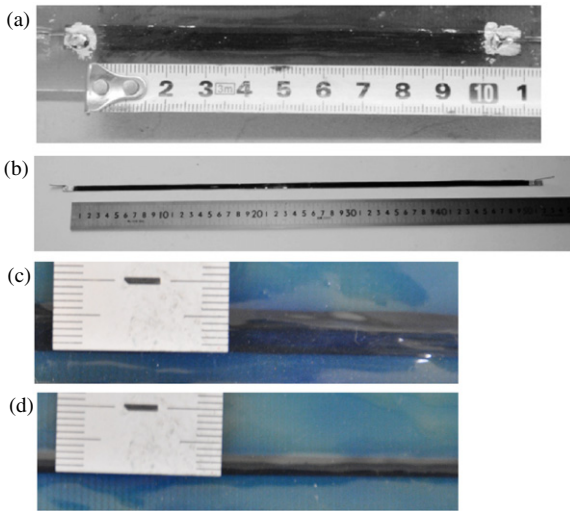


Figure 5. Optical photographs of the CFRP strips used in this study: (a) specimen 1; (b) specimen 4; (c) Series 1; (d) Series 2. (c) and (d) show the difference in width between both series.

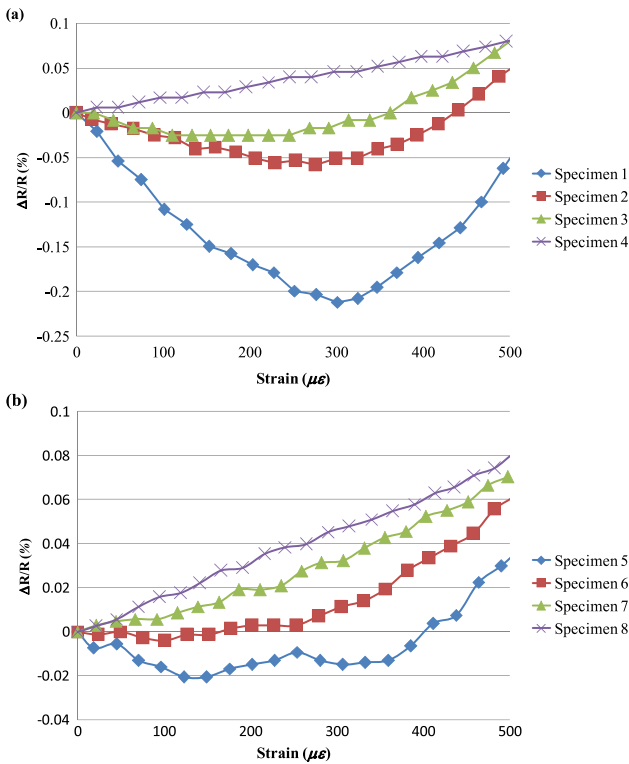


Figure 6. Strain versus $\Delta R/R$ curves of Series 1. (b) Strain versus $\Delta R/R$ curves of Series 2.

great linearity, and their w/l ratios were equal to or smaller than 0.012. In figure 7, the changing trend shows that the linearity in response of the CFRP strip (R -square) improved when the w/l ratio decreased.

The plot of the w/l ratio value and the corresponding coefficient of determination (R -square) of each plot in figure 6 are shown. It can be concluded that the linearity in response of the CFRP strip can be improved by increasing the gauge length. From figure 7, it can be seen that excellent linearity

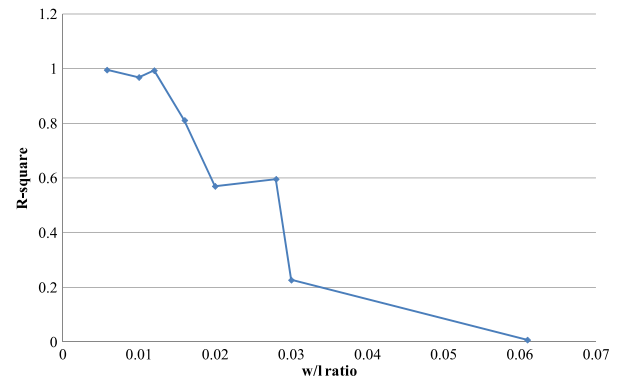


Figure 7. Linearity in $\Delta R/R$ –strain curves as a function of the w/l ratio for all specimens tested in this study.

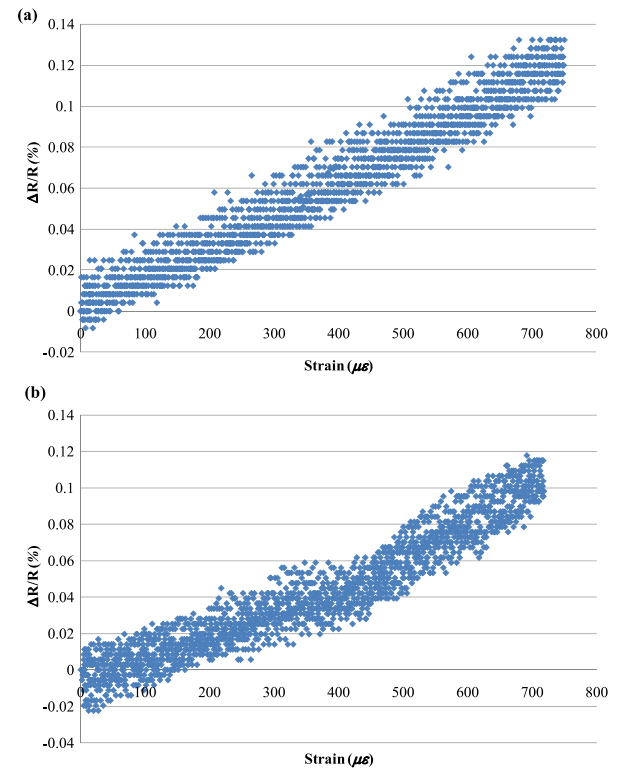


Figure 8. (a) $\Delta R/R$ –strain curve of a 700 mm long CFRP strip. (b) $\Delta R/R$ –strain curve of a 1000 mm long CFRP strip.

is found for specimen 4 (gauge length = 500 mm, gauge width = 6 mm), and, as such, it satisfies the linearity requirement as a strain sensor.

4.4. Sensitivity in different strain ranges

To examine the conclusion that CFRP strips with long gauge lengths have good linear response, CFRP strips with a gauge length larger than 500 mm were tested using the same experimental conditions. In figure 8, the results from two specimens with lengths of 700 and 1000 mm tested during axial loading–unloading cycles are shown. After the increased axial tension, the signals of the specimens with lengths 700 and 1000 mm increased with good linearity, which is similar

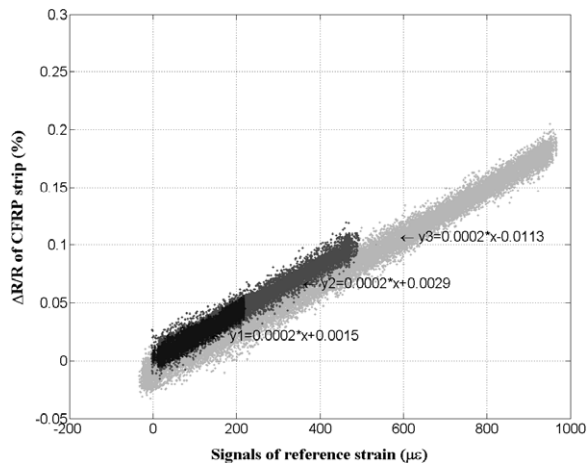


Figure 9. Strain response of the CFRP strip with a w/l ratio of 0.0012 in different strain ranges indicated by data points in different gray scales.

to the performance of specimen 4 in figure 6. Figure 8 shows that when the gauge length of the CFRP strip is 500 mm or longer, the curve of the CFRP strip signal and the applied strain becomes linear.

4.5. Cycle performance of CFRP strips

Cycle performance is commonly used to study the stability of a sensor. To evaluate the cycle performance of a 500 mm long (i.e. w/l ratio 0.0012) CFRP strip, the tension spectrum measurement was repeated 30 times under different strain ranges. The ratio of the strain response of the CFRP strip and the reference strain on the tension spectrum was determined for each run. Then, the average value of this ratio for all runs was defined as y_1 . The sensitivity was also evaluated for the film after the cycle performance measurement, i.e. after 30 cycles of loading and unloading.

There are three different strain ranges in figure 9; the maximum strains are 200 microstrain, 500 microstrain and 1000 microstrain. The cycle performances of the CFRP strip under these three ranges represent the sensor performance of the CFRP strip from the low strain level to the high level. The fitted equations are (y_1), (y_2) and (y_3), respectively.

These three curves are very similar. Furthermore, the ratios of these three equations are approximately equal to 0.0002. The following two conclusions can be drawn: (1) from the low strain level (200 microstrain) to the high strain level (1000 microstrain), the linear sensitivity of the CFRP strip is constant; (2) the CFRP strip can work well under 1000 microstrain. Its gauge factor is approximately equal to 0.0002.

5. Conclusions

In this study, the electrical sensing properties of CFRP strips with different gauge length were determined. It was found that the effective sensing behavior of a CFRP strip is related to the effective gauge length. The transverse connection in a CFRP strip affects the linear strain response, especially when sensing

in a low strain range. The trend shows that the linear properties of CFRP strips improved when the w/l ratio decreased. Secondly, when the gauge length of a CFRP strip is 500 mm or longer (i.e. with a w/l ratio 0.0012), its strain response has a good linear relationship with the applied strain, even at a low strain level of 200 microstrain. The strain response of a 500 mm long CFRP strip maintained stable linearity for a long-term cycle tension strain, and the gauge factor was approximately equal to 0.0002. Finally, the results of a 30 cycle tension test at less than 500 microstrain showed that the strain response of a CFRP strip has a linear relationship with the applied tension strain and has good cycle-ability. For each strain point, the corresponding CFRP strip signals fluctuate within the constant range which is approximately equal to an equivalent strain of ± 50 microstrain.

References

- [1] Chang P C, Flatau A and Liu S C 2003 Review paper: health monitoring of civil infrastructure *Struct. Health Monit.* **2** 257–67
- [2] Wu Z S, Shao Y X, Iwashita K and Sakamoto K 2007 Strengthening of preloaded RC beams using hybrid carbon sheets *J. Compos. Construct.* **11** 299–307
- [3] Todoroki A 2004 Electric resistance change method for cure/strain/damage monitoring of CFRP laminates *Adv. Nondestr. Eval.* **270–273** 1812–20
- [4] Matsuzaki R, Todoroki A and Takahashi K 2008 Time-synchronized wireless strain and damage measurements at multiple locations in CFRP laminate using oscillating frequency changes and spectral analysis *Smart Struct. Syst.* **17** 055001
- [5] Holloway L C 2010 A review of the present and future utilization of FRP composites in the civil infrastructure with reference to their important in-service properties, *Constr. Build. Mater.* **24** 2419–45
- [6] Dhieb H, Buijnsters J G, Eddoumy F and Celis J P 2011 Surface damage of unidirectional carbon fiber reinforced epoxy composites under reciprocating sliding in ambient air *Compos. Sci. Technol.* **71** 1769–76
- [7] Dresselhaus M S, Dresselhaus G, Sugihara K, Spain I L and Goldberg A H 1988 *Graphite Fibers And Filaments* vol 5 (Berlin: Springer)
- [8] Schutte C L and Hutchins R O 1993 The effects of conditions of moulding on the surface resistivity in the range of 106 to 1010 ohms/square of a carbon-fibre/poly(ether sulphone) short-fibre composite *Polymer* **34** 476–80
- [9] Chung D D L 2000 Cement reinforced with short carbon fibers: a multifunctional *Mater. Compos. B* **31** 511–26
- [10] Wang S K and Chung D D L 2006 Self-sensing of flexural strain and damage in carbon fiber polymer-matrix composite by electrical resistance measurement *Carbon* **44** 2739–51
- [11] Chen B and Liu J Y 2008 Damage in carbon fiber-reinforced concrete, monitored by both electrical resistance measurement and acoustic emission analysis *Constr. Build. Mater.* **22** 2196–201
- [12] Kaddour A S, Al-Salehi F A R and Al-Hassani S T S 1994 Electrical resistance measurement technique for detecting failure in CFRP materials at high strain rates *Compos. Sci. Technol.* **51** 377–85
- [13] Abry J C, Bochard S, Chateauinois A, Sallia M and Girand G 1999 *In situ* detection of damage in CFRP laminates by electrical resistance measurements *Compos. Sci. Technol.* **59** 925–35

- [14] Angelidis N, Wei C Y and Irving P E 2004 The electrical resistance response of continuous carbon fibre composite laminates to mechanical strain *Composites A* **35** 1135–47
- [15] Yang C Q, Wu Z S and Huang H 2007 Electrical properties of different types of carbon fiber reinforced plastics (CFRPs) and hybrid CFRPs *Carbon* **45** 3027–35
- [16] Yang C Q, Wu Z S and Ye L P 2006 Self-diagnosis of hybrid CFRP rods and as-strengthened concrete beams *J. Intell. Mater. Syst. Struct.* **17** 609–18
- [17] Wu Z S and Yang C Q 2007 Broad and stage-based sensing function of HCFRP sensors *Smart Struct. Syst.* **3** 133–46
- [18] Yang C Q and Wu Z S 2007 *In situ* corrosion monitoring of pc structure with hybrid carbon fiber reinforced polymer (HCFRP) sensors *Smart Mater. Struct.* **16** 1050–60
- [19] Adewuyi A P and Wu Z S 2011 Modal macro-strain flexibility methods for damage localization in flexural structures using long-gage FBG sensors *Struct. Control Health Monit.* **18** 341–60
- [20] Li S Z and Wu Z S 2010 Parametric estimation for RC flexural members based on distributed long-gage fiber optic sensors *J. Struct. Eng.* **136** 144–51
- [21] Li S Z and Wu Z S 2009 Sensitivity enhancement of long-gage FBG sensors for macro-strain measurements *Struct. Health Monit.* **8** 415–23
- [22] Hristoforou E, Niarchos D, Chiriac H and Neagu M 2001 Non-destructive evaluation distribution sensors based on magnetostrictive delay lines *Sensors Actuators A* **92** 132–6
- [23] Shah A A and Ribakov Y 2009 Non-destructive evaluation of concrete in damaged and undamaged states *Mater. Des.* **30** 3504–11
- [24] Tegtmeier F L 2008 Strain gauge based microsensor for stress analysis in building structures *Measurement* **41** 1144–51
- [25] Shui X P and Chung D D L 1996 A piezoresistive carbon filament polymer-matrix composite strain sensor *Smart Mater. Struct.* **5** 243–6
- [26] Zhao Y H *et al* 2009 Influence of specimen dimensions and strain measurement methods on tensile stress–strain curves *Mater. Sci. Eng. A* **525** 68–77
- [27] Zhu S R and Chung D D L 2007 Analytical model of piezoresistivity for strain sensing in carbon fiber polymer–matrix structural composite under flexure *Carbon* **45** 1606–13
- [28] Takeda S, Okabe Y, Yamamoto T and Takeda N 2003 Detection of edge delamination in CFRP laminates under cyclic loading using small-diameter FBG sensors *Compos. Sci. Technol.* **63** 1885–94
- [29] Angelidis N, Wei C Y and Irving P E 2006 Response to discussion of paper: the electrical resistance response of continuous carbon fibre composite laminates to mechanical strain *Composites A* **37** 1495–9
- [30] Okuhara Y and Matsubara H 2007 Carbon-matrix composites with continuous glass fiber and carbon black for maximum strain sensing *Carbon* **45** 1152–9
- [31] Kaddour A S, Al-Salehi F A R and Al-Hassani S T S 1994 Electrical resistance measurement technique for detecting failure in CFRP materials at high strain rates *Compos. Sci. Technol.* **51** 377–85

分散キャンパスを利用したファイルバックアップシステム

File backup system taking advantage of remotely distributed campuses

野口 宏†, 大瀧 保広†, 鎌田 賢††

Hiroshi NOGUCHI†, Yasuhiro OHTAKI†, Masaru KAMADA††

noguchi@mx.ibaraki.ac.jp, y.ohtaki@mx.ibaraki.ac.jp, m.kamada@mx.ibaraki.ac.jp

茨城大学 IT 基盤センター†

茨城大学 工学部†

Center for Information Technology, Ibaraki University†

Faculty of Engineering, Ibaraki University†

概要

東日本大震災において、茨城大学では人的な被害や ICT 機器自体には大きな被害が無かったものの、停電と建物内立ち入り禁止が長時間に渡り続いた。同規模の地震への対策を考える時、今回の震災でも懸念された建物倒壊という事態を想定しておく必要がある。本学では分散キャンパス構成になっているため、一つのキャンパスにおいて建物倒壊が起こったとしても、他のキャンパスの建物も同時に倒壊する可能性は低いと考えられる。そこで一般には通信・運営コストの面で不利な分散キャンパスという立地を逆手にとって、ファイルシステムのバックアップをほぼリアルタイムで他キャンパス相互に配置する分散バックアップシステムを設計・構築し、その評価を行った。

キーワード

災害対策, 分散バックアップ

1 はじめに

昨年 3 月 11 日に発生した東日本大地震では、茨城大学(以下、「本学」と略)では人的な被害は少なかったものの、ICT 基盤は多くの被害を受けた。本学では日立、水戸、阿見の 3 地区に大きなキャンパスを有する(図 1)。各キャンパスにおける最大震度はそれぞれ 6 強, 6 弱, 6 弱であった。震源から最も遠い阿見キャンパスでは 5, 7 階に PC が設置してあったため、殆どの PC が転倒し中には机と共に転倒しているものもあった。幸いにも、サーバ類は収納したラックが床にボルトで固定されていたため転倒することはなかった。

停電期間は日立、水戸、阿見各キャンパスにおいてそれぞれ 3 日間, 2 日間, 2 日間であった。この長時間にわたる停電のため ICT 基盤は麻痺状態となっていた。

特に情報提供の要となる本来の大学の Web サーバ(以



図- 1: 茨城大学 3 大キャンパス

下、「本 Web」と略)が機能しなかった。地震発生が後期日程入試の前日であったこともあり、前期日程試験合格の入学手続き者や後期日程入試志願者に対して大学として早急な情報発信が必要であったが、それができない状況となった。震災前から学外組織に委託して開設してあった携帯電話向けの入試広報用 Web サイトはあったが、一般の方々には URL が知られておらず、検索エンジンでも上位には入っていなかったため、本学は Web での情報提供を全く行っていないように見えていた。

そこで初期対応として VIOPS(仮想化インフラストラクチャ・オペレーターズグループ)を通じて Web サーバを提供するボランティアに依頼し、クラウド上に本学の Web サーバ(以下、「仮 Web」と略)を構築し [4][5]、更に本 Web の URL で参照できるように仮の DNS サーバも構築した。本 Web 及び本学の DNS が復旧した後に JP DNS の設定を元に戻して頂いたが、DNS の『浸透問題』[6]が発生し、本 Web からの情報提供を充分に行うことができなかった。

サーバの停止期間が長引いた最大の要因は、サーバが設置された建物が甚大な被害を受けたことである。建物によっては 1 週間以上立ち入り禁止が続いた。特に震源地に近かった日立キャンパスでは、外壁が破壊された建物が多く、単独での立ち入りが更に 1ヶ月以上にわたり禁止されることとなった。サーバ室の通電チェックとサーバ類の再稼働作業は、建物倒壊の怖れがないことを確認できない状況のまま行われた。サーバ類は UPS に接続されていたため幸いデータの消失等は無かったが、データの保全が確認できるまで続いた恐怖は忘れられない。

同規模の地震への対策を考えると、今回の震災でも懸念された建物倒壊という事態を想定しておく必要がある。そこで我々は、建物倒壊時にも比較的短時間でサービスを再構成できるシステムを現行のネットワークトラフィックに影響が出ない形で実現できることを示すことを目的とし、震災時の対応の問題点を分析し、計算機システム及びネットワーク基盤の更新を機に対策を取り入れたシステムの設計・構築を行い、その評価を行った。

建物倒壊時には建物内に設置されたサーバの復旧は考えられないため、新サーバへの切り替え及びその前提となるデータ保全是必然となる。まず当該サーバに関連するデータは全て短い時間間隔で日頃から他のキャンパスでバックアップ保存するものとした。次にバックアップを所有しているキャンパスにおいて、システムの再稼働を実施する。この際、データを保存してあるネットワークドライブの IP アドレス等が変更になる。このため、セカンダリ DNS の外部委託を行いサーバ切り替えを確実にできるようにする。このようにして、一般には通信・運営コストの面で不利と考えられる分散キャンパス環境を逆手に取り、分散バックアップシステムの構

築を行った。

構成したバックアップシステムは、ほぼリアルタイムでファイルシステムのバックアップを他キャンパスに相互に配置するものである。同一学内であるためバックアップの際に暗号化等を行う必要もなく、ネットワークトラフィックを必要以上に増やすことがない。また、暗号化を行っていないため、すぐにシステムの再起動が可能となっている。

本論文は以下のように構成されている。2 章では震災時対応の問題点の分析について述べる。3 章では、幾つかの分散バックアップシステムの形態について比較・検討する。4 章で、本学が構築したバックアップシステムについて述べ、5 章で本システムが学内ネットワークに与える影響について分析・評価を行った。6 章はまとめである。

2 震災時対応と問題点の分析

2.1 対応の詳細

前述の通り、災害発生後に大学として早急に情報発信をすることが必要であったため、仮 Web を構築した。本 Web の URL でアクセスできるように DNS の設定を変更する必要があったが、本学の DNS サーバは停電のためまだ電源投入ができなかった。そこで仮 Web の A レコードを SINET の DNS に登録して頂くと同時に、「ibaraki.ac.jp」のネームサーバが SINET にあることを「jp」を管理している DNS サーバに登録して頂いた。これにより、仮 Web を本学の通常の URL で参照できるようになった。

震災の 3 日後、復電した日立キャンパスにおいて、倒壊の恐れがあるため立ち入り禁止となっていた IT 基盤センターのある建物の中で、火災の発生の怖れが無いことを確認の上サーバ室への通電が進められ、本 Web や DNS サーバの起動が行われた。まだ余震が続き、建物倒壊や再度停電が発生するかもしれない状況ではあったが、仮 Web から本 Web へ情報発信の拠点を戻すという決定がなされた。この決定を受け、SINET に向いていた DNS を本学の DNS に戻すとともに、VIOPS へ仮 Web の利用期限を申請した。これは DNS の TTL を考慮してのものである。つまり、DNS のキャッシュサーバから仮 Web の登録が消失するまでは仮 Web のアドレスを覚えてしまい、本 Web を閲覧できない可能性がある。

2.2 生じた問題

2.2.1 情報発信インタフェースの変更の問題

平常時以上に迅速できめ細かい情報発信が必要であったにもかかわらず、仮 Web における情報発信には困難を伴うこととなった。

本 Web 上のコンテンツは CMS 上に構築されていたため、コンテンツ管理者は平常時には CMS のインタフェースを利用してコンテンツの更新を行っていた。しかし仮 Web では本 Web と同じ環境を再現したわけではないため、同じ CMS は当然用意されておらず、情報を更新するには仮 Web 上のコンテンツを直接編集しなければならなかった。CMS によるコンテンツ管理に慣れていたコンテンツ管理者にとって、これは大変困難な状況であった。幸い、簡単な HTML を直に記述できる者を 2 名確保できたため、最低限の情報発信を行うことはできた。

2.2.2 DNS 切り替えに関する問題

前述の通り、仮 Web を実運用するにあたって SINET に DNS を依頼していた。本 Web を実運用に戻した段階で、本学 DNS の設定においてシリアル番号を新しいものと交換した。このことによりキャッシュサーバに蓄積されたデータは TTL に指定した 12 時間以内に順次置き換えられるはずであった。

しかし現実には、DNS の浸透問題により、遥かに長いほぼ 1 週間データが書き換えられなかった DNS があった。本学の Web サイトの参照のために同じ URL を指定しても、一方は本 Web をもう一方は仮 Web を見ているという状況が発生していた。スマートフォンの通信機能を利用し試したところ、高々 40 分程度バスで移動しただけであるにもかかわらず接続するごとに仮 Web と本 Web が交互に表示されていた。

2.3 教訓

2.3.1 大規模なデータ消失を想定したバックアップ

被災前までは、小規模なデータの喪失に対する覚悟があったものの、大規模なデータの喪失に関して切迫した危機感を皆持っていなかった。そのためバックアップも同一サーバ内あるいは同一サーバ室内の別のサーバにバックアップをとる程度であった。しかし建物倒壊が起こった場合は、これらのバックアップデータも同時に喪失してしまう。建物倒壊が現実味のある危険性として認識された今、喪失すると大学の運営が成り立たなくなるようなデータについても可用性を如何にして維持するかについて真剣に考えなければならない。

2.3.2 緊急時にも平常時と同じ環境が提供できること

震災時の大混乱の中、全く異なる環境で平常時以上の情報発信を行うことは非常な困難を伴う。平常時に利用する環境として、使い易い環境を提供し業務効率を高めておくことはもちろん重要である。しかしながら、日頃使い慣れた環境と同じ環境を、緊急時になってから改めてゼロから整えることは大変困難であるということを感じた。特に緊急時の混乱の中では、同等の機能を持つがインタフェースは異なるツールでは意味がなく、ほとんど同じインタフェースを持つツールであることが重要である。すなわち、緊急時に平常時と同じ環境を如何に迅速に再構築するかよく検討しておく必要がある。

2.2.1 節で示した通り、Web コンテンツを構築するためのツールとしての CMS 等も、緊急時に異なる Web 上に異なる CMS しか用意できなかった場合は、コンテンツの作成作業も困難なものとなる。そのため、バックエンドの DBMS を含めた CMS が、緊急時にも提供できるような環境を提供できるようにする必要がある。

2.3.3 耐故障性のある DNS を構築すること

仮 Web のデータが TTL に指定したよりも遥かに長い時間残り続けた問題は、後日 DNS の浸透問題によって生じていたことが判明した。本 Web が本格稼働に入った際に、SINET における本学の DNS データを削除すれば、この問題を防ぐことができた可能性がある。

DNS に関しては、日頃より分散システムを意識し、耐故障性のあるシステムを目指すことが必要である。建物倒壊が起こった場合は、それまで運用していたサーバとは別の新サーバを稼働させるしかなく、その時に従来と連続性のあるサービスを提供するには DNS の速やかな切り替えが必須である。一つの方法として、当初から SINET のセカンダリ DNS サービスを受けていれば、本学の DNS サーバが復旧した時点で速やかに正しいデータに更新されたと思われる。

以上を総合すると、建物倒壊を想定した対策としては、緊急時に完全に新しいサーバの運用を開始することを想定し、平常時とまったく同じ環境を再構築するに必要十分なバックアップを、安全な場所に、かつ日常のシステム運用に大きな影響を及ぼすことなく取得することがわかる。

3 分散バックアップ

今回の震災のような大規模災害を考慮すると、バックアップの保管場所は、なるべく地理的に離れた場所に保管することが望ましいのは明らかである。選択肢としては以下の 3 つが考えられる。

1. 自組織内の別の場所に保管する,
2. 自組織外のデータセンタ等に保管する
3. 他組織と共同で互いに保管

以下では、それぞれのアプローチをとった場合の利点と欠点について検討する。

3.1 自組織内

自組織内であるべく離れた建物にバックアップを保管する。キャンパスが一つであったり、複数でも余り離れていない場合には、今回のような広域災害に対しては無力であるが、地理的に大きく離れたキャンパスを有する場合には特に有効である。

自組織内でバックアップデータを保管することの利点としては、バックアップデータの取得、移動、保管において、自組織のネットワーク及びサーバで処理が完結することがあげられる。このことより、自組織の平常時の運用に影響を与えないようにバックアップや転送のスケジューリングを行うことが可能である。また、第三者がバックアップデータに触れる危険性がほとんどないため、第三者に対してデータの機密性を確保するための暗号化処理が必ずしも必要ではない。

ユーザデータよりはシステムの継続性に着目し OS イメージのバックアップを遠隔の自組織内に取り BCP 対策を行う場合 [3] も、自組織内であること及びバックアップ先でのシステムの起動を考慮し暗号化処理はされていない。

3.2 データセンタ

データセンタは通常耐震対策を行っているので、震災においてデータが喪失する危険性はほとんどない。

しかしデータセンタは通常自組織外にあるため、データセンタへのバックアップデータの保管のために、データセンタのネットワーク接続点にトラフィックが集中し、ボトルネックとなる恐れがある。またデータセンタの利用に当たっては、借用料等に加えて通信回線費が別途必要となる。

3.3 他組織と共同

東日本大震災以降、自組織のバックアップデータを他の組織と相互に保管しあうシステムを検討する大学が出てきている [1][2]。この方式では自組織全体が壊滅的な損害を受けたとしても、他組織に保管されたバックアップデータは損失を免れる可能性が高い。しかし同時に解決されなければならない問題点がいくつかある。

まず始めに、他組織が準備しなければならないストレージの容量が非常に大きくなることが予想される。重要なシステムのバックアップファイルは複数世代保管することが一般的であることを考えると、元データよりはるかに大きな容量が必要となるであろう。

次に、ネットワークトラフィックの観点からは、自組織とバックアップデータを保管する他組織の間のネットワークに、定期的にバックアップデータが流れることになる。システムのフルバックアップを送信する場合には大量のデータが瞬間的に送られることになるため、日常の他の通信に影響が出ないようにしなければならない。また、ファイルシステムのバックアップのように、前回のバックアップからの更新差分のみをバックアップするのが一般的である場合には、送信されるバックアップデータのサイズはフルバックアップに比べれば遥かに小さくなるものの、差分を求める頻度によっては日常業務の最中に定常的にバックアップデータの送信が行われることになる。いずれにしても複数の組織の間で、バックアップタイミングのスケジュール調整が必要となることは明らかである。

最後に、大学の運営にかかわるような重要なデータを他組織に保管する上で、暗号化は必須である。暗号化されていることにより、バックアップデータの差分を求める等の処理ができなくなるため、平文で保管する場合に比べると効率はどうしても悪くなる。暗号化されたデータのサイズは、基本的に元となるバックアップデータのサイズと同じである。複数拠点に分散してバックアップデータを配置する場合には、秘密分散法の利用等により、一拠点あたりのデータサイズを元データより小さくすることは可能である。平文で保管する場合に比べて必要となる容量の点では大きな問題はないが、暗号化や復号の処理のための計算機資源を必要とすることには注意しなければならない。

4 茨城大学でのバックアップシステム

4.1 計算機システム及びネットワークの概要

まず始めに、分散バックアップシステムを導入する本学のキャンパスの地理的な関係及びキャンパスネットワークとサーバの構成を整理する。

本学は図 1 に示した通り大キャンパスが日立、水戸、阿見の 3 地区にある。キャンパス間の距離は日立-水戸間が約 30km、水戸-阿見間が約 50km である。今回の震災では、冒頭にも述べたように各キャンパスでの震度の差があり、被害状況にも有意な差があった。同様の地震に見舞われても、万一にも 2 つ以上のキャンパスが同時に壊滅するとは考えにくい。そこで本学においては、

自組織内の他のキャンパスにバックアップを置くことは震災を考慮しても有効であると思われる。

本学の計算機システムやネットワークシステムを管理する IT 基盤センターは日立キャンパスにあるため、本学のネットワークとしての入り口は日立キャンパスとなっている (図 2)。このため、ファイアウォール等は日立キャンパスに設置されている。また、本学では SINET の共同調達に当初から参加している。各キャンパスの入り口に L3 スイッチを配置し広域イーサネットを利用して通信帯域 1Gbps で接続しているため、キャンパス間ネットワークはスター型となっている。附属学校 3 校や 3 研究センターは、通信帯域は 100Mbps ではあるが同じ広域イーサネット経由で接続している。

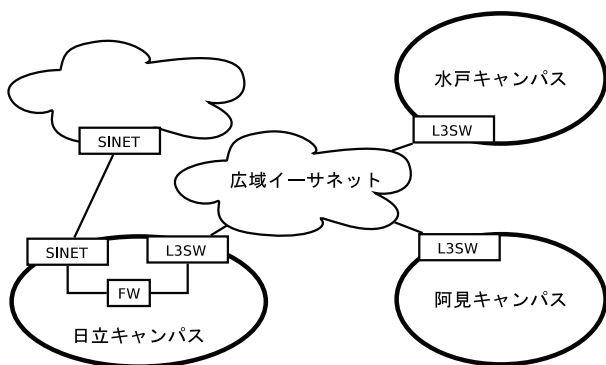


図- 2: キャンパス間ネットワーク

本学には 5 学部があり 1 年次生のほとんどは水戸キャンパスで修学しているが、工学部と農学部の 2 年次以降はそれぞれ日立、阿見キャンパスにおいて修学している。

各キャンパスに学生用のサーバ (以下、「キャンパスサーバ」と略) を配置し、電子メールはもちろん演習用に学内に限った Web 頁の構築演習を行っている。1 年から 2 年に進級した際に、電子メールアドレスや作成した Web 頁の URL が変わってしまうのは、不要な混乱を招くだけと思われることから、アカウントは卒業までに一番長く修学するキャンパスのキャンパスサーバ上に入学と同時に発行している。つまり、工学部及び農学部学生用のキャンパスサーバはそれぞれ日立及び阿見キャンパスにあり、1 年次からそれを利用する。

次にバックアップの対象となるデータについて述べる。キャンパスサーバ上の各ユーザのデータは、ホームディレクトリに保管される。電子メールもホームディレクトリ配下に Maildir 形式で保存されるため、基本的にはユーザデータのバックアップはホームディレクトリのみを対象とすればよい。

茨城県は雷の発生等も多く、その影響で停電することも稀ではない。キャンパスが離れているため停電は基本的にキャンパス毎である。PC へのログインやネットワーク利用等における認証等が他キャンパスの停電に

よって影響されないよう、認証サーバ等は各キャンパスに設置してある。教職員が学内外へ情報提供するために Web を利用する基盤としての仮想サーバの提供も行っており、本学としての Web サーバも仮想サーバとして提供している。更に、仮想サーバのバックエンドとなる DBMS も複数用意している。

また、本学のネットワークとしての入り口が日立キャンパスであるため、上述の仮想サーバを含む主要サーバも日立キャンパスに設置されている。

平成 24 年 3 月に教育用計算機及びネットワークシステムのリプレースを行った。基本的にはこれまでのシステム構成は変更していないが、サーバのほとんどを VMware 上の仮想機械とした。更にディスクシステムも仮想化に対応するため、前システムでは各主要サーバ毎に用意していた NetApp 社のディスクを、各キャンパスに 1 台ずつの EMC 社の VNX5300 に変更した。ディスクの大容量化により、各ユーザのホームディレクトリ以下の容量を表 1 に示した通りに増やすことが可能となった。

表- 1: ユーザのディスク容量

種別	容量 (前)	容量 (現)
教職員	250MB	3GB
学生	120MB	1GB

また、平成 24 年度末に全学的に無線 LAN 環境を整備し、アクセスポイント 320 台を各建屋の各階に 1 台以上配置した。無線 LAN システムは Aruba 社製のコントローラタイプのものであるため、他のシステムと同様に停電等を考慮し各キャンパスにコントローラを設置し、それぞれをキャンパス間接続用 L3 スイッチに直結している。

4.2 分散バックアップシステム

本学におけるバックアップの対象は、主に学生演習等による成果物や電子メールデータである。いわゆるネットショッピングにおけるトランザクションデータの様なクリティカルなデータではないが、大量のデータ量が対象となる。現時点での総データ量はリプレース直後ということもあり 2.5T バイト程度であるが、将来的にはその 10 倍程度になると見込まれる。

システムリプレースの際、各キャンパスに設置したディスクシステムを論理的に分割し、次の 4 つに分類した。

- 0. 実データ
 - 1. 実データのバックアップ
 - 2. 他キャンパスのバックアップ

3. 他システムのバックアップ

項番1はディスクシステムの耐故障性を通常の冗長化で向上させるためのもので、項番2は他キャンパスのデータのバックアップを保管するためのものである。項番1のバックアップは、EMC VNX5300の機能を利用し、実データに変更があった際にはリアルタイムで反映される。

他のキャンパスへ保管する項番2のバックアップに関しても、EMC VNX5300の機能を利用し10分間隔で変更が反映される。電子メールや受講学生の成果物という観点からは、本研究で実現したような短い間隔でのバックアップが必要と思われる。震災時に同時に2つのキャンパスで建物倒壊等の被害はないと考えているため、このバックアップは他の1つのキャンパスのみとした。

項番3は、別途購入した学内システムのバックアップデータを保管するための領域である。

工学部及び農学部1年生のデータはそれぞれ日立及び阿見キャンパスにあるため、日常的に異なるキャンパス間の通信が発生している。例えば、水戸キャンパスにいる農学部1年生がホームディレクトリのファイルを更新すると、図3に示すようにデータを書き込む際に水戸-阿見間の通信が発生し、更にそのデータのバックアップを取るために阿見-日立間の通信が発生することになる。電子メールに関しても、同様の通信が発生することになる。

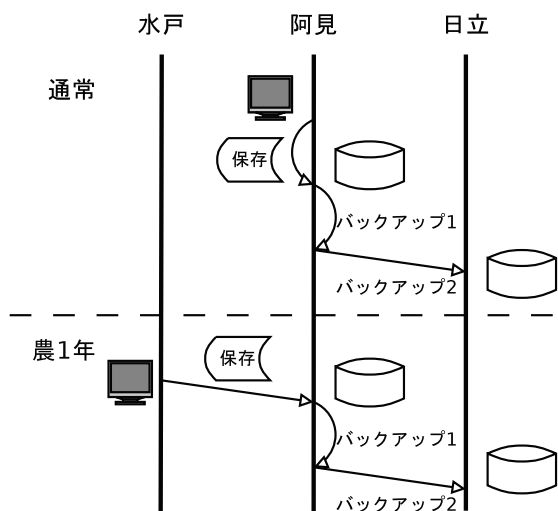


図- 3: 保存したファイルのバックアップ

なお、キャンパス間のバックアップについては暗号化処理を行っていない。これは次の理由からである。

1. バックアップを作成するシステムも保管するシステムも共にIT基盤センターの管轄下にあるため
2. 平常時のバックアップ作成負荷を低く抑えるため
3. 緊急時の復旧作業を簡素にしておくため

また、圧縮も行っていないため、バックアップのデータはそのまま実データとして利用することができる。例えば、dump コマンドを用いた差分バックアップのような場合には、実データとしてそのまま利用できず、データの復元の際にマスタに差分を当てていく作業及びそのためのディスクが必要となってしまう。

また、将来的には総データ量は25Tバイト程度までを想定しているが、バックアップの際の送信対象は差分であるため、総データ量が現時点での10倍になったとしてもトラフィックはそれ程増加しないと考えられる。dump コマンドを用いた差分バックアップの場合のようにマスタとして全てを送る必要がある場合は、その都度総データを送信する必要が生じてしまう。

本学が採用した方式では、仮にいずれかのキャンパスにおいて建物倒壊等でシステムが利用できなくなった際も、そのシステムのイメージをVMware上で動かした後にバックアップをマウントするだけで容易にシステムを再現することができる。

更に本学では、ユーザデータだけではなく、2.3.2節にも示した通り、WebのCMS及びバックエンドのDBMSも対象としている。これにより、建物倒壊が起こったとしても、WebサーバはもちろんCMS環境の提供も可能となっている。

4.3 セカンダリDNS

建物倒壊を免れた他キャンパスに新サーバを復旧させた場合、DNSの迅速な切り替えが必須である。これまではDNSはプライマリ及びセカンダリともに本学内に設置していたが、前述のようにDNSの浸透問題が発生した。

そこで被災時にも速やかにDNSのデータを更新できるように、SINETの提供するセカンダリDNSサービスを利用することにした。災害時に本学のDNSサーバが被災しても、本学のデータを持つDNSサーバをあわてて構築する必要がなくなっただけでなく、本学のDNSサーバが復旧した際にもDNSの浸透問題が発生しないことが保証されることになった。

5 分析及び評価

5.1 トラフィックへの影響

まず始めに、本分散バックアップシステムによってキャンパス間ネットワークのトラフィックにどの程度の影響を与えているかを調査した。

本システムでバックアップの対象となっているのは、全ユーザのホームディレクトリ以下のデータ、Webの仮想ホストのデータ及びDBMSのデータ等計算機システ

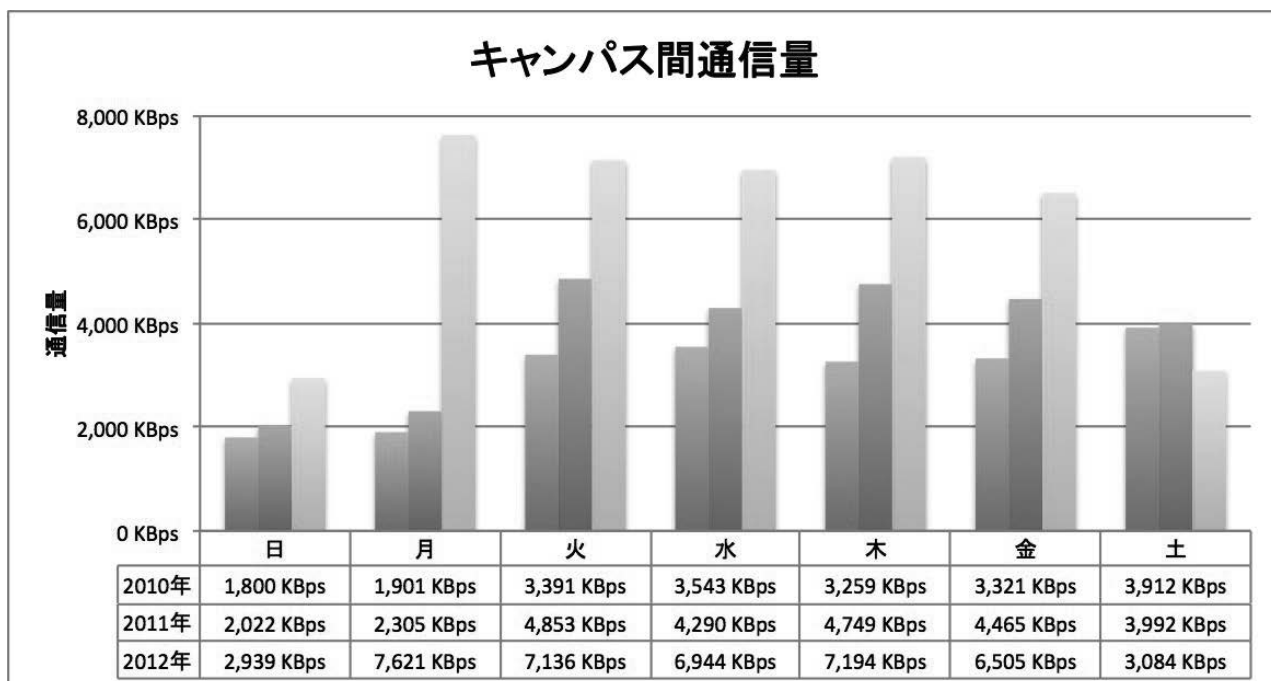


図- 4: 3年間のトラフィックの比較

ム上のユーザデータの全てである。システムリプレース直後のため、現時点での対象となるデータ量は2.5Tバイト程度である。比較を行ったのは、現在のシステムの運用が安定してきた6月の2週間分と過去2年間MRTGで計測していたトラフィックデータである。曜日毎に平均を取ったものを、図4に示す。

一見してわかるように月曜日および土曜日が特異である。月曜日および土曜日の特異な傾向の変化は、大学のカリキュラム上の変化によるものであることがわかっている。

月曜日に関しては、本年度よりPCを利用する講義が増えたという事情がありトラフィックが増大したものである。昨年度より工学部及び農学部学生に対する教養科目「情報処理概論」が、2年次開講から1年次開講へと移行している。年次進行のために1,2年生の両方に対して講義を開講する必要が生じたため、PCを利用する講義数が一時的に増加することとなったが、この増加分がこれまでPCを利用する講義の少なかった月曜日に集中して開講されるようになった。1年生のPC利用が増えると、キャンパス間の通信が増えることは4章でも述べた通りである。

一方、土曜日の通信が少なく見えるのは、むしろ2010年と2011年の通信が多かったことが原因である。2010年は建物改修、2011年には震災の影響等で、一部の学部で土曜日に平日と同じ様に開講しており、その通信が発生していた。今年度は土曜日の開講がなくなったためトラフィックが減少した様に見える。

月曜日と土曜日を除くと、それ以外の平日は同様の傾

向を示しており、2012年は2011年の約1.5倍程度のトラフィックになっている。

トラフィック増加の要因としては、本バックアップシステム以外に、2012年3月に整備した無線LANシステムがある。昨年度までは研究室で設置された無線LANしかなかったため、学生は研究室に配属されるまで無線LANをほとんど利用することがなかった。今年度からは学内のほぼ至る所で無線LANが利用できるようになったことにより、現在では、毎日最大500デバイス程度が同時に接続されるようになっている。1年生でもPCやスマートフォンを無線LANに接続する利用者は確実に増え続けている。

来年度以降「情報処理概論」の重複開講が解消されたとしても無線LANの利用等でトラフィックが増え続けて行くことは間違いない。しかし、現在の広域イーサネットへの契約帯域が1Gbpsであることから、本学としては現時点では余裕のある通信量であるということができる。これにより、キャンパス間ネットワークに支障を与えず、バックアップシステムが安定して運用できていると思われる。

5.2 バックアップデータの形式

次に、バックアップデータの形式について検討する。前述のように、本システムではデータの圧縮や暗号化等をしておらず、実データと同じ状態で保存している。このため、停止したシステムをVMware上で動かしてバックアップをマウントするだけで容易にシステムを

再現することができる。災害からの復旧時に、複雑な処理をすること無しにシステムを容易に再現できるのはきわめて重要な条件と思われる。

バックアップデータを暗号化して保存する場合、共有鍵暗号方式であればデータ量は暗号化前のものと同じことも考えられる。しかし、本研究の方式と同じく差分データをバックアップした場合は、復元の際に各差分を復号し、基本となる全データへ差分を適用する必要がある。これには多大な手間が必要となる。更に、差分の適用回数を減らすためには、ある一定期間毎に基本となる全データをバックアップ先へ送る必要が生じる。仮に全データを2.5Tバイトとすると、1Gbpsの通信帯域を専用に利用できたと仮定しても約5.6時間要する。これは本学にとっては現実的とは考えられず、ネットワークではなく別の手段を考える必要がある。もしくは、災害時に提供しなければならないWebコンテンツ及びCMS関連のデータ等の必要最小限のデータに限りバックアップを考えなければならない。

西村らの方法は、データの広域分散配置により東日本大震災よりもより甚大な災害にも堪えうる有用な方法であると筆者らも着目しているが、前段落で言及した通り本手法はキャンパスが地理的に分散している状況でのみ実現可能であるがゆえに、差分の適用の問題及び基本となる全データの送信問題を生じないものとなっている。更に、全データに関しては、分散した拠点数分の送信が必要となり、実現のためにはより広帯域が必要となる。もしくは、前段落で言及した通り、必要最小限のデータに限りバックアップを考えなければならない。

6 まとめと今後の課題

東日本大震災で得られた教訓を基に、平常時には様々な面で不利と思われてきた分散キャンパスという立地を逆手に取って、分散バックアップシステムを構築することができた。本研究で実現したシステムでは、ユーザデータの全てに関して他キャンパスにバックアップを取っているが、そのための通信量は現時点での利用に影響の出るものではない。

バックアップデータは実データと同じ形式であるため、新しいサーバを稼働させた際にバックアップデータをそのままマウントすることができ、比較的容易にシステムの再構築が可能なシステムとなっている。

また、バックアップデータは学内に配置されるため、データのセキュリティを確保し易いという利点もある。

以上から、効率の良く安全で復旧が容易なバックアップシステムを構築することができた。これにより、建物倒壊の被害に遭遇しても、他のキャンパスで容易に再稼働することが可能となった。

分散キャンパスを有する大学は、基盤設備のキャンパス毎の調達やキャンパス間通信回線のコストが固定費となって常に苦しんできた。本報告では、固定費の範囲内でキャンパス間での分散バックアップが可能となった一例を報告した。また、単一キャンパスからなる大学では、データセンタとの間の通信回線コストが新規に必要なとなるが、遠隔地の信頼できるデータセンタを利用すれば同様のシステムを構築することが可能である。

今後の課題として、次の2つを考えている。第1の課題は、現在バックアップの間隔を10分としているが、その間隔を変えた際にどの様にネットワークへ影響が生じるかの調査である。第2の課題は、現在は、他キャンパスへのバックアップの対象を教育用計算機のデータのみに限っているが、他のシステムのバックアップを受け入れることで大学としてのBCPに貢献していくことである。その際にも第1の課題に示したバックアップの間隔を変更して、システムの評価を行いたいと考えている。

参考文献

- [1] 西村浩二: 電子情報の大学間相互保持に向けた遠隔バックアップ技術の研究, 学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点 第2回シンポジウム 講演予稿 2011年1月
- [2] 熊谷悠平 他: 認証フェデレーションに基づく分散ファイル管理システムの提案, 情報処理学会 インターネットと運用技術研究会, Vol.2012-IOT-18 No.8, 2012年6月
- [3] 岩井真依 他: BCP 対策に向けたサービス無停止バックアップの実証実験, 情報処理学会 インターネットと運用技術研究会, Vol.2012-IOT-17 No.21, 2012年5月
- [4] 鈴木 宏康: cloudpack における AWS による DR, <http://www.cloudpack.jp/topics/20110630.html>, 技術評論社「G-CLOUD Magazine 2011 Summer」, 2011
- [5] 茨城大学様からの御礼状のご紹介, <http://www.viops.jp/2011/03/post-12.html>, 2011年3月
- [6] 森下泰宏, 民田雅人: DNS 浸透の都市伝説を斬る ~ ランチのおともに DNS~, <http://jprs.jp/tech/material/iw2011-lunch-L1-01.pdf>, Internet Week 2011

プロジェクト業績

II. プロジェクト業績

1. 活動実績

4/26 プロジェクト申請プロポーザル

水戸事務局会議室において、茨城大学重点研究課題の研究計画を発表し、審査を受けた。

10/25 プロジェクト会議

工学部センター開設に向けて、取り扱う研究課題、組織構成の大枠について議論を進めた。

1回でまとまり切る内容ではないため、次回11月までに、各自ができることを明確にすることが宿題とされた。

11/8 プロジェクト会議

工学部センター開設に向けて、まず、ミニ講演会(勉強会)を開催することを決めた。

第1回勉強会は、地理情報解析について学ぶことが了解され、日時・場所・時間を決めた。

12/14 重点研究講演会/工学部センター設立に向けた勉強会(ミニ講演会)の開催

呉センター長(当時、予定)より工学部センター(防災セキュリティ技術教育研究センター)の取組概要について説明があった。その後、国土地理院およびNTT データ CCS より招聘した3名の分野最先端の研究者より、震災調査および合成開口レーダの解析について講演を頂いた。

2. 業績一覧

【原著論文】

- 1) Weimin Gao, Zhiren Wu, Zhishen Wu, Kentaro Iwashita, Hirono Inagaki, Study on UV degradation resistance of a sand-fixing material by W-OH, 材料, 日本材料学会, Vol.61, No.8, pp. 730-735, 2012.8
- 2) Weimin Gao, Zhiren Wu, Zhishen Wu, Study of Mechanism of the W-OH Sand Fixation, Journal of Environmental Protection, 2012, 3, 1025-1033
- 3) Weimin Gao, Zhiren Wu, Zhishen Wu, A Study of the Water-retention Behavior of a Novel, Sand-fixing Material Based on Hydrophilic Polyurethane, 材料の科学と工学, 日本材料学会 49(2), 92-96, 2012-04-20
- 4) Weimin Gao, Zhiren Wu, Zhishen Wu, Kinetic Study on Solidification of the W-OH Chemical Sand-fixing Material, 材料の科学と工学 : 日本材料科学会誌 49(3), 109-114, 2012
- 5) Huang Huang, Caiqian Yang and Zhishen Wu, Electrical sensing properties of carbon fiber reinforced plastic strips for detecting low-level strains, Smart Materials and Structures Volume 21 Number 3 035013 May 2012 (SCI, IF: 2.089)
- 6) 佐藤大作・横木裕宗・桑原祐史・Ane TALIA・山野博哉・茅根創:環礁州島のサンゴ礫堆積地形の変化機構の解明, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.5, pp.L99-L104, 2012.8
- 7) 石内鉄平・小柳武和・桑原祐史・大橋健一:地球温暖化による自然観光資源と観光客への影響分析-茨城県大子町袋田の滝を事例として-, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.5, pp.L111-L119, 2012.8
- 8) 藤田昌史・井上龍太郎・佐藤大作・桑原祐史・横木裕宗:ツバル国フナフチ環礁のラグーン海岸における生活排水の流出機構, 土木学会論文集 G(環境), Vol.68, No.5, pp.L121-L125, 2012.8
- 9) 横木裕宗・根本麻衣・桑原祐史・佐藤大作・岡島秀樹・河宮未知生:最新気候シナリオデータを用いた海面上昇量と海面上昇リスクの全球分布, 土木学会論文集 B2(海岸工学), Vol.68, No.2, pp.L1256-L1260, 2012.11
- 10) 石内鉄平・小柳武和・桑原祐史:屋外空間における地上到達紫外線量の実態把握に関する研究, 環境情報科学 学術研究論文集, No.26, pp.225-230, 2012.12
- 11) 桑原祐史・横木裕宗:ツバル国フナフチ環礁を対象とした海岸植生の調査, 環境情報科学 学術研究論文集, No.26, pp.375-380, 2012.12
- 12) 江田雄樹・桑原祐史・佐藤大作・藤田昌史・横木裕宗:マーシャル諸島共和国マジュロ環礁を対象とした国土防護のための対策優先地区選定方法の提案, 沿岸域学会誌, Vol.25, No.3, pp.53-64, 2012.12
- 13) 原田隆郎, 横山功一, 田名部菊次郎:PVDF フィルムセンサによるひび割れ検知に関する研究, 土木学会構造工学論文集, Vol.59A, 2013.3
- 14) 野口宏, 大瀧保広, 鎌田賢:分散キャンパスを用いたファイルバックアップシステム, 学術情報処理研究, 16 巻, 1 号, pp.25-32 (2012).
- 15) Masaki KOHANA, Shusuke OKAMOTO, Masaru KAMADA and Tatsuhiko YONEKURA: Dynamic reallocation rules on multi-server web-based MORPG system, International Journal of Grid and Utility Computing, Vol.3, No.2/3, pp.136-144 (2012) DOI:10.1504/IJGUC.2012.047764.
- 16) Satoshi MATSUMOTO, Masaru KAMADA and Renchin-Ochir MIJIDDORJ: Adaptive image interpolation by cardinal splines in piecewise constant tension, Optimization Letters, Vol.6, No.7, pp.1265-1280 (2012) DOI: 10.1007/s11590-011-0371-6.
- 17) H. Yokota, Y. Ito, H. Kawashiri, H. Kiue, H. Tobita, Y. Imai, and Y. Sasaki, "Fabrication of polarization-maintaining photonic crystal fiber coupler with air hole state control using CO₂ laser irradiation technique",

- IEICE Transaction on Electronics, Vol. E95-C, No. 10, pp. 1689-1691, Oct. 2012.
- 18) D.D.G.L. Dahanayaka, H. Tonooka, M.J.S. Wijeyaratne, A. Minato and S. Ozawa, Monitoring Land Use Changes and their Impacts on the Productivity of Negombo Estuary, Sri Lanka Using Time Series Satellite Data, Asian Fisheries Science, Vol. 25, pp. 97-212, 2012
 - 19) 大鷲祐貴, 伊藤隆広, 内田涼仁, 武田茂樹, 鹿子嶋憲一, 梅比良正弘, "有限長金属筒構造利用による金属円筒裏面のRFIDタグ読み取り性能向上方法の提案," 信学論B, vol.J95-B, no.9, pp.1188-1196, Sept. 2012.
 - 20) 西村一輝, 金澤潤, 鹿子嶋憲一, 武田茂樹, "近接配置基地局アレーアンテナの相互結合抑圧法," 信学論B, vol.J95-B, no.11, pp.1594-1598, Nov. 2012
 - 21) Chao Liu, Toshiya Watanabe, Susumu Shibusawa, and Tatsuhiko Yonekura, A walkthrough remote view system with omnidirectional camera, International Journal of Computer Networks & Communications, Vol.4, No.5, pp.1-15, Sept. 2012.
 - 22) 一般化有限要素法による不連続性の近似に関する比較考察, 土木学会論文集 A2 (応用力学) 68, I_129-I_138, 2012

【学会発表等 (国内,国際)】

- 1) Yuji Kuwahara, Daisaku Sato, Masafumi Fujita and Hiromune Yokoki : Availability of coast defense by using coastal vegetation on Funafuti Atoll, Tuvalu, Conference of International Symposium on Remote Sensing and International Conference on Space, Aeronautical and Navigation Electronics, CD-R, 2012.10 (Incheon, Korea)
- 2) 松村 翔, 原田隆郎: 多点振動計測による斜張橋ケーブルの状態監視, 土木学会第 67 回年次学術講演会, VI-233, pp.465-466, 2012.9
- 3) 原田隆郎, 亀井啓太: 生体脈波の変化に着目した歩道橋横断時の不快感評価に関する検討, 土木学会第 67 回年次学術講演会, VI-440, pp.879-880, 2012.9
- 4) 齊藤雄輝, 原田隆郎: 多点計測された振動応答を用いた損傷検知システムの提案, 土木学会第 67 回年次学術講演会, VI-441, pp.881-882, 2012.9
- 5) Naoto TAKAMA, Michitoshi NIIBORI, Shusuke OKAMOTO, Masaru KAMADA and Tatsuhiko YONEKURA: Web-based tool for programming interactive animations in terms of state-transition diagrams, First International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2012), Melbourne, Australia, 15th International Conference on Network-Based Information Systems, pp.885-888 (Sep. 2012).
- 6) Makoto ROKUJO, Michitoshi NIIBORI, Shusuke OKAMOTO, Masaru KAMADA and Tatsuhiko YONEKURA: Authoring tool for Flash 3D animations in terms of state-transition diagrams, First International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2012), Melbourne, Australia, First International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2012), Melbourne, Australia, 15th International Conference on Network-Based Information Systems, pp.889-892 (Sep. 2012).
- 7) Michitoshi NIIBORI, Yutaro ARISAWA, Shusuke OKAMOTO, Masaru KAMADA and Tatsuhiko YONEKURA: An authoring tool for Flash games in ActionScript 3.0, First International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2012), Melbourne, Australia, First International Workshop on Web Services and Social Media (WSSM 2012), Melbourne, Australia, 15th

- International Conference on Network-Based Information Systems,
pp.893-897 (Sep. 2012).
- 8) Y. Imai, T. Kuroda, S. Yamauchi, H. Yokota, and M. Tonouchi,
"Analysis of multilayered THz waveguide by using polymer tubes with different indices",
Proc. 3rd International Symposium on Terahertz Nanoscience, 54, Dec. 2012
 - 9) H. Tonooka, Regression imputation with ground air temperature for the satellite-based lake and reservoir temperature database in Japan, Proc. of SPIE, vol. 8524, 85240O, Oct. 2012.
 - 10) D.D.G.L. Dahanayaka, H. Tonooka, J. Wijeyaratne, A. Minato, S. Ozawa, Retrieval of chlorophyll-a using satellite and ground spectral data in Japanese and Sri Lankan water bodies, Proc. of SPIE, vol. 8525, 85250L, Oct. 2012.
 - 11) Chao Liu, Toshiya Watanabe, Susumu Shibusawa, and Tatsuhiro Yonekura,
A remote view system to allow real-time walkthrough,
Proc. of IEEE ICPADS Workshop on Distributed Communication Network System,
pp.918-923, Dec. 19, 2012, Singapore.
 - 12) 横田浩久, 井上直哉, 小林脩人, 今井洋,
"空孔径制御を用いた偏波保持フォトニック結晶ファイバ光減衰器の作製",
電子情報通信学会技術報告(光ファイバ応用技術研究会)OFT2012-62, Jan. 2013
 - 13) 渡邊俊哉, 澁澤進, 人の位置と顔方向を用いて視界を再現する映像システム,
第 11 回情報科学技術フォーラム FIT2012, K-009, pp.551-552, Sept. 4, 2012, 東京.
 - 14) 渡邊俊哉, 渋沢進, 人の視界を表示するウォークスルーシステム,
HCG シンポジウム 2012, HCG2012-III-2-4, Dec. 10, 2012, 熊本.
 - 15) 須藤翔太, 渋沢進, 赤外線画像認識によりユーザ位置を別するテブルトップシステム,
HCG シンポジウム 2012, HCG2012-II-4-1, Dec. 11, 2012, 熊本.
 - 16) 黒澤瞬, 渋沢進, 深度センサによる高齢者見守りシステム,
電子情報通信学会マルチメディア・仮想環境基礎研究会, March 2013, 福岡.
 - 17) 澁澤進, 高齢者見守りシステムの研究,
茨城県老人福祉協議会第 4 回経営管理委員会, 講演, 茨城県総合福祉会館,
2012 年 12 月 5 日.
 - 18) Simulation of Dynamic Tensile Fracture in Concrete using Elasticity-Spring Network
Mao Kurumatani
 - 19) M.kurumatani and S.Kamino
Simulation of compressive failure in cement-based materials using elasticity-spring network
International Computational Mechanics Symposium 2012

【特許等】

- 1) 発明者: 呉 智深, 岸田 欣増 出願者: 呉 智深 発明の名称「分布型光ファイバセンサ」
特許 4758227
- 2) 発明者: 呉 智深, 岩下 健太郎 他, 出願者: 呉 智深, 株式会社安部日鋼工業他
「ドライハイブリッド強化繊維緊張材」特許第 4712408

【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), 「生体情報による橋梁環境振動評価システムの開発」, 910 千円(直接経費: 700 千円, 間接経費: 210 千円), 2010~2012 年度(原田隆郎)
- 2) 文部科学省 平成 23 年度 基盤研究(C), 「一般化スプラインによる極近距離インパルス通信システム」
429 万円, 2010 年~2012 (鎌田賢)

- 3) 文部科学省 平成 23 年度 基盤研究(C)空孔径制御を用いた偏波保持フォトニック結晶ファイバデバイス作製とその応用(直接経費 4,100 千円)2012 年～2014 年(横田浩久)
- 4) 文部科学省 若手研究(B)「衛星熱赤外面像データを用いた全国に点在する小水域の水温データベースの構築」(課題番号 21710003)(外岡秀行)
- 5) 受託研究:(独)産業技術総合研究所/石油資源遠隔探知技術の研究開発(経済産業省)「ASTER 熱赤外バンドの代替校正に関する研究」(外岡秀行)
- 6) 受託研究:(独)産業技術総合研究所/石油資源遠隔探知技術の研究開発(経済産業省)「ASTER データを用いた広域分光放射率マップの作成」(外岡秀行)
- 7) 受託研究:(独)産業技術総合研究所/石油資源遠隔探知技術の研究開発(経済産業省)「ASTER 雲量推定に関する研究」(外岡秀行)
- 8) 受託研究:(財)宇宙システム開発利用推進機構/平成 24 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)「ASTER/TIR データを用いた SiO₂ 含有量比図の整備」(外岡秀行)
- 9) 科学研究費 基盤研究(C)「単一伝送路を適用した RFID による低コスト・スマートシェルフの実現」(研究課題番号 23560435)2011 年～2013 年(武田茂樹)
- 10) 文部科学省 平成 23 年度 基盤研究(C)「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」, 代表 澁澤進, 研究機関 茨城大学, 期間 2012 年度～2014 年度
平成 24 年度: 全体: 直接経費 1,400 千円, 間接経費 420 千円, 合計 1,820 千円
- 11) 科学研究費 基盤研究(B)「動的な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システムの構築」(直接経費:4,600 千円, 間接経費:1,400 千円)2011 年～2013 年(呉智深)
- 12) 財団法人 鹿島学術振興財団研究助成「橋梁構造物の早期損傷検知およびヘルスマニタリングのための動的ひずみ分布光ファイバセンシング技術の開発」, 1,200 千円, 2012 年(呉智深)
- 13) 経済産業省 中部経済産業局 戦略的基盤研究技術高度化支援事業「高耐久性新素材を用いた部材の結合方法の開発と橋梁への適用」, 1,055 千円 , 2012 年度(呉智深)
- 14) 文部科学省 若手研究:「津波による流体力と漂流物による衝突力を受けるコンクリートの動的破壊挙動の解明」:2012 年～2014 年(車谷 麻緒)
- 15) 文部科学省 基盤研究 AH24～H27(分担):「アクティブNDEを取り入れた機能的コンクリート材料・構造物の開発に関する研究」:2012 年～2015 年(車谷 麻緒)

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

2012年度報告書

発行日 平成 25 年 3 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