自治体と創る安全・安心な生活を支える センサネットワークの構築技術

The Establishment of Technology for Constructing a Sensor Network to Support a Safe and Secure Region in Collaboration with a Local Government

不破 泰 Yasushi FUWA

アブストラクト 本稿では、筆者がこれまで開発してきたセンサネットワークシステムについて述べる。筆者は、大規模な災害が発生しても動作を続ける高い耐障害性を持つセンサネットワークのための中継網を開発し、その成果を活用して、600台以上の中継機から成る中継網を長野県塩尻市に構築して運用してきた。また、この中継網をテストベッドとして活用し、様々なアプリケーションを開発し、塩尻市及び他の地域において運用してきた。これらの経験を基にテストベッドの構築から得られるICTの開発とその具体的成果を、テストベッドの構築と運営の方法を交えて述べる。

キーワード センサネットワーク, Ad-Hocネットワーク, スマートシティ

Abstract This paper describes a sensor network system previously developed by the author. The author has developed a relay system for a sensor network with high failure resistance that continues to operate even if a large-scale disaster occurs, and by making use of this achievement, a relay network composed of more than 600 transponders has been built and operated in Shiojiri city, Nagano Prefecture. Also, by using this relay network as a test bed, the author has developed various applications and used them in districts of Shiojiri city and other areas. This paper describes the development of ICT obtained from the construction of a test bed based on these experiences and the specific results, with some remarks on the methods of building and operating a test bed.

Key words Sensor Network, Ad Hoc Network, Smart City

1. まえがき

地域における様々な犯罪や災害の増加を受けて、ICT技術を用いて安全・安心な地域を創ることへの期待が高まっている。実際、総務省が平成18年度補正予算事業として自治体を対象に公募した「地域児童見守りシステムモデル事業」では、多くの自治体から提案が寄せられ、そのうち16提案が採択され、各地域でICTを用いた見守りシステムが構築された。

筆者は、平成15年に長野県塩尻市に開設された「信州大学・塩尻市連携プロジェクト研究所」を拠点として、ICTを活用した安全・安心な生活を支えるセンサネットワークの開発を行ってきた。その成果を基に、塩尻市も上記平成18年度補正予算のモデル事業に提案し、採択された16事業の一つとなった。この事業において、塩尻市は筆者らが開発した中継機約400台を用い、地域の安全・安心な生活を支えるためのセンサネットワークの中継網を構築し、児童見守りシステムを構築・運用してきた。また、中継網はその後塩尻市独自予算で事業化され、更に600台以上の中継機にまで拡張され、塩尻

市の市街地全体をカバーする中継網として運用・保守がなされている。

更に、筆者らはこの中継網を様々なセンサネットワークシステム開発のためのテストベッドとしても利用し、総務省SCOPEのプロジェクトに採択された幾つかのシステムを開発し、評価してきた。そして、その成果としてこの中継網を用いたアプリケーションとして、多様なセンサネットワークシステムが塩尻市で運用されている。最近では、塩尻市において、このテストベッドを活用した小学生以上を対象とするICT人材育成事業も開始された。

本稿では、これまでの経験からテストベッドの構築、運用に関する取組と、テストベッドにより得られる具体的成果を、構築の方法、運営方法を交えて述べる。

2. センサネットワークシステム

本章では、塩尻市とともに開発し運用・保守してきたセンサネットワークについて概説する^{(1)~(4)}。

2.1 中継網

(1) 概要

本センサネットワークのための無線中継網は、地域内の各

不破 泰 正員 信州大学総合情報センター
E-mail fuwa@shinshu-u.ac.jp
Yasushi FUWA, Member (Integrated Intelligence Center, Shinshu University, Matsumoto-shi, 390-8621 Japan).
電子情報通信学会 基礎・境界サイエティ
Fundamentals Review Vol.11 No.4 pp.235-242 2018年4月
©電子情報通信学会 2018

図1 センサネットワーク中継網

地に多数設置されるセンサ端末(後述する児童が持つ発信機や、河川の水位センサ端末、土砂災害情報センサの端末等)から送られるデータパケットを受信し、これをサーバに届けることを目的としている。1台の中継機で届けられる通信距離には限界があるため、各中継機はサーバまで他の複数の中継機を経由するルートを確認してこの目的を達成する、マルチホップ無線システムを構成している(図1)。

この中継網の開発は、平成16年に発生した新潟県中越地震(以下中越地震)が発端である。この地震でも、様々な通信網(電話網、携帯電話網、インターネット等々)に障害が発生し、災害情報の伝達が十分にはできなかった。その理由は、電力ケーブルや通信ケーブル等の有線網の切断や停電、多数の中継機から成る通信網において一部の中継機の損傷等にある。

このことを発端として、筆者は以下に示す機能を持つ中継網の開発を開始した。

(機能1) 電力・通信等あらゆる有線ケーブルが不要な自立性を持つ

(機能2) 設置した中継機の一部が損傷しても、残った中継機で自律的に中継網が維持される

(機能3) 中継機の設置が容易で中継網が短時間に構築でき、保守も簡便である

(機能4) ビル等が多い市街地や草木に覆われた山中等様々な箇所に設置される端末からのデータを、安定して受信可能である

(2) 中継機

開発した中継機を図2に示す。この中継機の概要を、上述の四つの機能への対応を中心に述べる。

中継機は、(機能1)に対応し、太陽光パネルと二次電池で駆動する省電力型の無線システムで構成される。

その省電力無線システムとして、特定小電力無線(周波数429 MHz、出力10 mW)を採用した(通信仕様を表1に示す)。これには二つの理由がある。

一つは(機能3)が求める容易な中継機の設置に対応するため、電波法による無線局の免許を受けることなく簡便に設置できることを考慮したことである。

図2 中継機
(カーブミラーに取り付けた設置例)

表1 中継機の通信仕様

通信方式	特定小電力無線 周波数429 MHz, 出力10 mW
変調方式	2値FSK
符号方式	マンチェスター符号
回線速度	2,400 bit/s
実効通信速度	1,200 bit/s
通信可能距離	見通しで約500 m
ルーチングプロトコル	プロアクティブルーチング方式, サーバまでのホップ数を最小にするルートを選択

もう一つの理由は、(機能4)に対応するためである。センサネットワークでよく使われる900 MHz帯や2.4 GHz帯では、市街地では建物の陰になる部分への通信はできず、河川や山中では草木が茂ると草木に含まれる水分による電波の減衰が大きく、通信できなくなる。これに比べると400 MHz帯は高い回折性で建物の陰にもある程度電波が回り込み、また草木の水分による減衰も少ない(このことは、3.2で検証する)。

中継機の寸法はW185 mm×H370.5 mm(アンテナ含まず)×D130 mm、重量は2.5 kgと小さく、金属ベルト等で簡単にポール等に取り付けが可能である(機能3)。

各中継機のサーバまでの経路を決定するルーチングプロトコルとしてディスタンスペクタ^(注1)なテーブルを基に駆動されるプロアクティブルーチング方式を採用した。各中継機は周囲の中継機との電界強度が一定値以上の中継機のみを候補として、サーバまでのホップ数が最小となる中継機を次中継機として選択し(ディスタンスペクタ)、ルートとして自己内のテーブルに登録しておく。このルートの選択は常に行うのではなく、起動した直後や通信状況に変更が発生した際に行う(プロアクティブルーチング)。相互接続された機器が中継機能を果たし、全体として端末からサーバまでの通信網を維持する通信構成のことをAd-Hocネットワークと呼ぶが、本中継機はこのAd-Hocネットワークを採用してサーバまでのルートを自律的に形成する。

固定中継機であるにもかかわらず動的にルーチングを行う

(注1)：本誌が準拠している文部省(文部科学省) 学術用語集 電気工学編では「ベクトル」の表記となるが、本稿ではルーチング分野で一般的に用いられている「ペクタ」を用いている。

Ad-Hoc ネットワークを採用したのは次の理由がある。

- ・設置時にルーチング設定を手動で行う必要がない。これは(機能3)実現のための重要な事項である。

- ・比較的低い箇所(2～3 m程度)に設置を可能にする。通常、固定中継機は5 m以上の高い箇所に設置し、大型自動車等外乱の影響を受けにくい安定した通信を確保する。しかし、これでは設置の都度に高い柱やタワーが必要になり(なければタワー設置が必要)、更に取り付ける際にも高所作業車等が必要となり、中継機の設置が簡単には行えない。低い箇所への設置を行うことで、街路灯やカーブミラー等既存の様々なポールに脚立で設置することが可能となる。その代わりに、設置箇所の横にトラックが止まっただけでこれまで維持していたルートが切断される等の障害が発生する。このことに対応するため、動的にルーチングを維持するAd-Hoc ネットワークが必要であった。

- ・一部の中継機が故障した場合にも自律的にネットワークが維持される。これは通常時は(機能3)の保守の省力化に対応し、災害時は(機能2)の自律的なネットワーク機能の維持に対応する。

また、(機能3)の保守の簡便化に対応するため、各中継機は6時間ごとに自己の保守情報(二次電池の電圧、ルーチング情報、隣接中継機からの受信電界強度)をサーバに送信するようにした。

(3) 構築方法

平成18年度補正予算に係る事業として、ICTを利活用した「地域児童見守りシステムモデル事業」(実施は平成19年度)に提案して採択されたプロジェクトにより、当初は中継機413台で中継網を構築した。その後は塩尻市の予算で中継機を増設し、平成19年に509台、平成20年には市街地地域をほぼカバーできる614台の中継機から成る構成となり、現在に至っている。

構築には主に塩尻市が管理するカーブミラーや街路灯を200～300 m間隔で利用し、前述のように脚立等で設置が可能な2～3 mの高さに設置した。この際、電源や通信ケーブルは不要で、設定作業も不要であり、ただ太陽光パネルを南に向けて金属ベルトで固定するだけで短時間に完了した。

2.2 アプリケーション

このセンサネットワークのための中継網を用いて何をするのかを、塩尻市担当者と話し合いながら決定し、総務省のSCOPE予算等を用いて開発してきた。

現在運用しているアプリケーションとしては、地域見守りシステム、火災報知システム、パスロケーションシステム、河川水位監視システム、土砂災害警報システム、野生鳥獣センシングシステム等がある。

以下、そのうち代表的な三つについてその概要を述べる。

図3 地域見守りシステムの子機

図4 地域見守りシステムの保護者画面(保護者の携帯電話に児童の位置を表示した例)

(1) 地域見守りシステム

本システムは、児童及び高齢者が発信機(以下これを子機と呼ぶ)を所持し、この子機を持った人の現在地を定期的に把握するものである^{(2),(3)}。このとき、子機は電池で動作するが、この電池寿命はシステムの運用を考えると学校の学期期間を十分カバーする4か月程度が望ましいと考えた。

図3に作成した子機を示す^{(5),(6)}。子機は外部からの電波で発電して動作するパッシブタグと、自ら電池を有して動作するアクティブタグとがあるが、子機は単4電池2本で駆動する429 MHz特定小電力無線のアクティブタグである。外形はW57 mm×H128.5 mm×D17.5 mm、重量80 gである。

内部に振動センサを有していて、子機が移動して振動する間は3分ごとにパケットを送信する。このパケットを最寄りの中継機が受信すると、中継機はこのパケットに受信時の受信電界強度の情報を付加して中継網を経由してサーバに送る。サーバでは、この情報を基に子機ごとの現在位置を3分ごとに更新して保持し、この情報を基に保護者に対し様々なサービスを行う(図4)。

従来の子供見守りシステムでは、端末がGPSを有し、この位置情報を伝送するものが多いが、筆者らはこの方法を採用しなかった。これは、乾電池で学期の期間である4か月間端末を動作させることを目標にしたためである。GPSは大きな電力が必要であり、3分ごとにGPSを使うと電池の交換が頻繁に必要となる。

ただし、GPSを用いず最も強く電界強度で受信した中継機の位置から子機の位置を推定するため、中継機の間隔である

図5 水位計測端末

図6 計測水位表示システム(富山県砺波市) 2箇所の水位(実線)と水温(破線)を計測。水位がしきい値を超えると担当者に通知。

約200～300 mの間隔で子機の位置を把握することしかできない。つまり、「〇〇駅前付近」「〇〇郵便局前付近」という精度である。

(2) 河川水位監視システム

異常な降雨が続く近年、河川の氾濫や道路の冠水が頻繁に発生するようになった。砺波市(富山県)においても降雨時の道路冠水が防災上の問題の一つとなっている。この砺波市から、ハザードマップ上危険とされている箇所の河川水位を定期的に計測し、一定のしきい値を超えた場合に担当者に連絡が入るシステムの構築を依頼された。

計測すべき箇所は約500 m離れた2箇所で、双方から約500 m離れた場所にインターネット回線を持つ市立病院がある。そこで、上述の中継機3台を市内の街路灯やビル壁面のポールに取り付け、2箇所からの送信データを市立病院まで中継する中継網を構築した。

(a) 従来の計測方法

図7 土砂災害警報システム

(機能1)により各中継機は電源等の設備が不要であり、更に(機能3)により簡便に設置ができることから、中継網は2時間程度で構築が完了した。測定データは、市立病院からインターネット網を経由して塩尻市の既存サーバに送信し、ここで水位監視システムを稼動させることで、塩尻市のテストベッドも活用した。

水位の監視を行う端末として、水压を測定して水位を計測する水位計測端末を開発した(図5)。この端末は太陽光パネルで動作する自立型の端末であり、1箇所約1時間で簡便に設置が完了した。30分ごとに水位と水温を計測して送信する。

このデータを受けるサーバの監視画面を図6に示す。2箇所の水位と水温が表示され、水位がしきい値を超えると担当者にメールが送られる。また、このサーバ画面は砺波市のHPからリンクが張られ、同市のオープンデータとして公開されている(<http://www.city.tonami.toyama.jp/info/1411533258.html>)。

(3) 土砂災害警報システム

近年、集中豪雨による土砂災害が日本各地で発生している。筆者は小松准教授(岡山大学)、二川准教授(静岡大学)と共同で、住民への避難警報発令につながる土砂災害の危険度を推定するセンサネットワークシステムの開発に取り組んでいる(7)～(9)。

土砂災害の危険度は、斜面の土中にどの程度水分が含まれているのかで推定する。このため、土砂災害警報システムはこの土中水分量を求める必要がある。

従来の計測方法は、これを測定した雨量から推定していた(図7(a))。降った雨は、斜面の表面を流れる・土中に浸透する・蒸発散するの三つの経緯をたどる。実際に降った雨のうちどの程度が斜面に浸透し、その結果斜面の土中水分量がどのようになっているのかを直接測定しているわけではなく、地域全体の平均的な危険度を求めるのみである。更に、降雨が収まった後の警報の解除も、土中水分量がどの程度減ったのかを推定して行うしかない。

開発したシステムは、斜面の土中に水分量センサを埋め込み、浸透していく水分量を定期的に直接測定し、測定値を中継網を用いてサーバに集め、サーバ上で土砂災害の危険度を推定するものである(図7(b))。従来の降雨量による判断に加えた警報発令のための仕組みとして、危険性を判断する指標

図8 土中水分量センサ端末 20 cmごとに設置したセンサ(右写真)で各深度の水分量を測る。

図9 土中水分量情報警報システムの監視画面
縦軸は土中の空隙に水が占める割合であり、各深度の値を計測して表示。この値がしきい値を超えると担当者に通知。

を提供する。

開発した土中水分量センサ端末は、棒状の基板に20 cmごとに五つの新規開発センサを取り付けたもので、これを斜面に埋設する(図8)。端末は各深度のデータを定期的に計測して送信し、中継網はこのデータをサーバに送り、サーバはこのデータから土中水分量を求める(図9)。

2.3 運用・保守

本センサネットワークは、平成20年に構築されて以来、塩尻市の予算により運用・保守がなされている。

この運用・保守について、過度な経費が発生しないよう、次の工夫が当初より施されてきた。

- ・6時間ごとに全中継機が自己の状況を報告するパケットをサーバに送信するが、このデータを用い、異常等を自動的に検出して地図上に表示する、中継網管理システムを開発し運用している(図10)。

- ・一部の的中継機が故障しても、Ad-Hoc通信網により経路が自律的に維持されるため、都度故障等に対応する必要はない。
- ・近くに大型車が停車した等の外乱により通信網が不調に

図10 中継網管理システム 塩尻市街地に設置した中継機(各マーク)とそれぞれのルーティング情報(直線)を示し、各中継機のマークをクリックすると中継機の情報が表示される。

なってもサーバまでの通信路が確保できるよう、Ad-Hoc機能によりルーティングを常に維持する(この効果は3.1で示す)。

これらの工夫の結果、市全体をカバーする614台の中継機から成るセンサネットワーク中継網の運用・保守は比較的安価となり、市の予算で市内の業者に委託して実施している。

3. テストベッドの成果

本テストベッドの構築及び運用の中で得られた成果は多くあるが、以下に通信品質に関する成果を二つ挙げる。また、このテストベッドの存在がアプリケーション開発に与えた影響と、テストベッドを前提とした人材育成に関する新たな事業についても述べる。

3.1 地域見守りシステムのパケット紛失率(中継網におけるパケット紛失率の評価)

中継機間で伝送されるパケットの紛失率から、構築が完了した中継網の評価を行う⁽³⁾。ここで送信されるパケットは、2.2で述べた地域見守りシステムやセンサネットワークで用いる様々な発信機から送信されるパケットを最寄りの中継機が受信し、それをこの中継網を経由して親機にまで中継しサーバに伝達するものである。

図11 中継網におけるパケット紛失率

現時点で最も多くのパケットを送信する発信機は地域見守りシステムで児童が持つ発信機である。このパケットを転送している中継網で、どの程度通信が不安定となりパケットが紛失しているかを調べた。その結果を図11に示す。

図は平成22年10月1日から11月28日までを調査したもので、日ごとのパケット紛失率を表している。ここでパケット紛失率とは、その日に送信された総パケット数と紛失したパケット数の比である。パケットには送信端末ごとに通し番号が付けられており、サーバ側で受信したパケットの通し番号が欠落することで紛失したパケットの数を知ることができる。

この期間、約500人の児童が発信機を所持していた。期間中に中継網を流れたパケットの総数は144,293パケット、紛失率は常に0.5%以下であり、平均は0.13%と低い。

2.1に記載したとおり、比較的低い高さに中継機を設置しているため、大型自動車等の外乱の影響で通信が途絶えた場合、通常の固定経路であれば、通信が途絶えたままで紛失率は数十%にもなる場合がある。図11が示すように、この期間大型車等の外乱による経路の切断頻度は日により様々ではあるが、紛失率が大きくても0.5%以下である。これは、通信が途絶えてパケット紛失が発生しても、その後すぐに経路を再探索して通信可能な経路を確立できていることを示している。実際、10月1日の24時間を調べたところ、41台の中継機で経路の再探索が自律的に行われており、Ad-Hocネットワーク技術が安定した通信インフラに貢献していることが分かる。

図12 草木に覆われたセンサ端末 (2012.10.6撮影)

3.2 山の斜面からのパケット紛失率(水分を多く含む経路の影響)

山の表面に設置した無線装置が草や木に覆われても中継機にまでパケットを送信できることが求められる。

2.1に記載したとおり、センサネットワークでよく使われる900 MHz帯や2.4 GHz帯では、斜面の草木の水分による減衰が大きく、パケット紛失率が大きくなる。

筆者らは今回429 MHzを採用している。実際に塩尻市の山中5か所に設置した端末からは、1時間ごとにパケットが送られている。

図12に平成24年10月6日のセンサ端末の設置状況を示す。草木は夏に多く茂り10月になるとやや少なくなってきたが、それでも草木に少なからず覆われている様子がわかる。

各端末からのパケットがサーバまで到達しなかったパケット紛失率を、5か所の端末ごとに平成24年6月25日から10月7日までのパケットデータから求め、その結果を図13に色別に示す⁽¹⁰⁾。図は期間を1週間ごとに区切り、週ごとのパケット紛失率を示している。

5台の端末はいずれもパケット紛失率が4%以下であり、また草木が茂る夏においても安定したパケット送信が行われていることが分かる。

3.3 テストベッドを利用したセンサネットワークアプリケーションの開発効果

テストベッドがあることで、塩尻市では必要なセンサを開発して中継網への通信モジュールに接続するだけで、容易に様々なセンサネットワークアプリケーションの開発が可能となった。

また、地域の意識も高まり、地域からも様々な先覚的な提案が出てくるようになった。その経緯で開発されたアプリケーションとしては、野生鳥獣センシングシステムや火災警報通報システム等がある。

野生鳥獣センシングシステムは、イノシシをはじめとする有害鳥獣が出没する春～秋にかけて、水田・畑や獣道の周辺に獣検知センサやわな捕獲センサを設置するものである(図14)。獣検知センサが獣を検知すると、サイレン音やフラッ

図13 センサ端末のパケット紛失率 (2012.6.25～2012.10.7)

図14 野生鳥獣センシングシステム

シュ光で獣を追い払うとともに、検知情報が中継網を経由してサーバに伝えられ、地元農家や猟友会に地図付きのメールとして配信する。また、わな捕獲センサがわなに獣が掛かったことを検知すると、同じく地図付きのメールで配信する。

火災警報通報システムは、利用者居宅に設置した火災警報器から得た警報を中継網を経由してサーバに伝え、利用者に電子メールを配信するサービスである。

3.4 テストベッドを利用した人材育成事業

ICTを活用した地域産業の育成や地域への産業の誘致を行うためには、地域でICT技術スキルを持った人材の育成が欠かせない。塩尻市では、第五次総合計画施策において「創造的なICT人材の育成」に取り組むこととしており、筆者も協力して平成30年度から3年間の人材育成事業を決定している。この事業は小学生から高校生までの広い年齢層を対象とし、地域の課題をICTを活用して解決すること、その際には塩尻市のテストベッドを利用することを主な特徴とする。

この事業では対象となる小中学生、高校生と提示される課題の関係者（例えば農業の課題であれば農業公社等）、行政、専門家らが集まりアイデアソン（特定のテーマについて様々な人が集まり、アイデアを出し合いアクションプラン等を決定するイベント）を開催し、解決すべき課題を提示する（図15）。そして、小中学生は必要なデータをテストベッドを用

図15 塩尻市ICT人材育成事業の概念

(a) 教室風景

(b) 小学生が開発した気象端末

図16 塩尻市ICT人材育成事業 平成29年開講の小学生教室。

いてサーバまで送信する端末を開発し、高校生は収集されたデータを基にデータ分析を行い、全体として課題解決を図るプロジェクトを立てる⁽¹¹⁾。

既に、平成29年度に小学生14人を対象にセンサ端末を開発して自らプログラミングを経験する講座を開講し、温度、湿度、気圧を計測してサーバまで送信する端末を、参加した小学生全員がそれぞれ開発している（図16）。今後、このセンサ端末を数十台製作し、市内各地に設置して気象データを収集し、サーバでオープンデータとして公開するとともに、データを利用した霜注意報システム等の開発を高校生が中心となり行う予定である。

4. まとめ

本稿では、塩尻市と筆者が平成15年に同市に研究所を開設して以来行ってきたセンサネットワークのためのAd-Hoc通信基盤の開発と、その成果を活用して構築した市街地全体をカバーする中継網の運用・保守、この中継網をテストベッドとして開発した中継網の上で事業化されている幾つかのアプリケーション、更にこのテストベッドを利用したICT人材育成事業等について述べた。

センサネットワークのための中継網として、最近ではLPWA（Low Power Wide Area、低消費電力で遠距離通信を実現する通信技術の総称）も注目され、様々な提案もなされている。塩尻市においても、現中継網を有効に活用しながら、将来はこれら最新の技術も活用して更なるテストベッドの拡張を行う予定である。その上で、ICTを活用した安全・安心な地域

作りを更に進めるとともに、人材育成や農業等への展開も行うこととしている。

謝辞 本研究の一部は、総務省戦略的情報通信研究開発推進制度(SCOPE)「自治体全域を網羅する安心・安全な街創りのための高耐障害性アドホックネットワークシステムの開発(072304002) (平19～20)」,「Ad-Hoc ネットワークとセンサネットワークを用いた高耐障害性地域災害通信システムの研究開発(092304014) (平21～22)」,「地域全体の安全・安心を確保する防災・減災および鳥獣センシングを実現するセンサネットワークシステムの研究開発(112304003) (平23～24)」,「災害状況を遠隔地から把握するセンサネットワークのための災害に柔軟に対応する通信インフラシステムの研究開発(142304006) (平26～28)」の助成を受けて行われた。

また、システムの実験及び運用について長野県塩尻市の多大なる御協力を頂いている。更に、山の斜面崩壊予測を目的とするセンサネットワークの開発は、静岡大学の二川雅登先生、岡山大学の小松満先生との共同研究である。中継機の開発にあたっては長野日本無線株式会社に、水位計測端末の開発にあたってはセイコーエプソン株式会社にお世話になった。ここに記して関係する皆様に深く感謝する。

文 献

- (1) Y. Fuwa, H. Oda, T. Takeda, K. Fuwa, M. Miyagi, M. Niimura, H. Kunimune, and E. Motoyama, "Packet suppression protocol for a regional protection system using a wireless Ad-Hoc network," Proc. The Sixth International Conference on Wireless On-demand Network Systems and Services, pp.243-250, 2009.
- (2) 不破 泰, "大規模災害時にも稼働する高耐障害性通信インフラとこのインフラを用いた地域見守りシステム," 日本信頼性学会誌, vol.34, no.8, pp.506-512, Nov. 2012.
- (3) 野瀬裕昭, 不破 泰, 新村正明, 國宗永佳, 本山栄樹, 金子春雄, "無線Ad-Hoc ネットワークによる地域見守りシステムの開発," 信学論(B), vol.J95-B, no.1, pp.30-47, Jan. 2012.
- (4) H. Suzuki, Y. Fuwa, D. K.Asano, M. Komatsu, Y. Takeshita, M. Futagawa, E. Motoyama, S. Seryu, and H. Kaneko, "Realization of a safe and secure society using ICT in Shiojiri-city, Nagano prefecture, Japan -Towards the creation of a smart city-," Proc. The 2nd International Conference on Information & Communication Technologies for Disaster Management (ICT DM 2015), no. PID3907797, Nov.- Dec. 2015.
- (5) H. Nose, M. Bao, K. Mizuta, Y. Yoshikawa, H. Kunimune, M. Niimura, Y. Fuwa, "Terminal design without using receiver circuits for wireless sensor networks," Proc. CD of The 2nd International ICST Conference on Ad Hoc Networks(ADHOCNETS 2010), Aug. 2010.
- (6) H. Nose, H. Suzuki, and Y. Fuwa, "Construction and evaluation of a regional protection system employing power-saving wireless terminals without using GPS modules," Proc. USB of 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), GC' 12 Workshop - MENS:1-2 Management of P2P Networks, Wireless and Heterogeneous Networks, no. CFP1200E-USB, pp.824-828(MENS:1-2.1), Dec. 2012.
- (7) 二川雅登, 小松 満, 鈴木彦文, 竹下祐二, 不破 泰, 澤田和明, "小型 EC センサを用いた斜面崩壊予測センサの開発," 電学論E, vol.133, no.9, pp.278-283, Sept. 2013.
- (8) 小松 満, 竹下祐二, 二川雅登, 不破 泰, 鈴木彦文, 熊倉信行, 吉野 晃, "河川堤防の法面における遠隔水分量モニタリングに向けた実証研究," 地盤と建設(地盤工学会中国支部論文集), vol.33, no.1, pp.169-174, 2015.
- (9) 小松 満, 竹下祐二, 二川雅登, 不破 泰, 鈴木彦文, 熊倉信行, 吉野 晃, "小型半導体チップ型センサによる地盤の間隙変

化の計測方法に関する基礎的実験," 地盤と建設(地盤工学会中国支部論文集), vol.33, no.1, pp.163-168, 2015.

- (10) 鈴木彦文, 黒柳大治, D.K. Asano, 小松 満, 竹下祐二, 澤田和明, 二川雅登, 不破 泰, "Ad-Hoc ネットワークとEC センサを用いた土砂災害予測センサネットワークの構築について," 第2回安全・安心な生活のための情報通信システム研究会講演論文集, ICSSSL2012-01, Nov. 2012.
- (11) 不破 泰, 時田真美乃, 長谷川 理, "IchigoJam を用いた小学生プログラミング教育の成果と今後の計画について," 教育システム情報学会第42回全国大会, no. B6-1, pp.431-432, Aug. 2017.

(ICTSSL研究会提案, 平成29年12月8日受付 12月28日最終受付)

不破 泰(正員)

1981信州大・工・情報卒, 1983同大学院修士課程了. 同年信州大・工・情報・助教授. 1992博士(工学)(名工大). 2003信州大大学院工学系研究科教授. 2010信州大総合情報センター長. ネットワーク, ICT活用教育等の研究に従事. 教育システム情報学会, 情報処理学会, IEEE各会員.