

災害時情報通信システムの社会実装に関わる 教育機関の役割に関する研究

函館工業高等専門学校 生産システム工学科教授 藤原 孝洋
函館工業高等専門学校 物質環境工学科教授 小林 淳哉
函館工業高等専門学校 物質環境工学科教授 鹿野 弘二

I. はじめに

阪神淡路大震災以降、災害時に通信を確保し、被害状況を迅速に把握することが強く求められ、様々な機関で研究開発が実施されてきた。しかし、2011年3月11日の東日本大震災では、被災地が広大で被害が甚大であったため、これまでの研究の常識が通用せず、災害通信システムに関わる研究者の課題となった[1,2]。一方、大規模災害を想定して開発された通信衛星 WINDS による通信システムでは、東日本大震災において、災害対策本部に通信環境を提供できたことが報告されている[3]。しかし、市内の被災状況の把握や被災者に的確な情報を伝える市民レベルの通信環境（固定電話網や携帯電話網、電子メール、SNS（Social Networking Services）など）の状況は十分ではなかった。また、災害時の様々な被災状況に迅速に対応し、多様な要求に応えるためには、システムが平常時から利用され、災害時にも同様に運用できることが従来から指摘されている。

このような観点から、情報通信研究機構（NICT）では、無線ネットワークをメッシュ状に構成する NerveNet を開発し、耐災害性を兼ね備えるとともに、平常時から無線 LAN として利用できる応用システムの社会実装を進めている[4,5]。しかし、そのような研究成果のシステムであっても、自治体のニーズはそれぞれの状況によって異なり、研究成果のシーズを社会で実用化する社会実装が課題となっている。また、災害時に迅速に稼働できるとともに、平常時から活用できる仕組みの構築が重要である。そのため、研究機関のシーズと自治体等のニーズのマッチングを図る取り組みが求められる。

そこで本研究では、研究機関で開発された耐災害システム（シーズ）を自治体のニーズとマッチングを図って社会実装するため、図1に示す教育機関の教育活動を活用した災害時情報通信システム促進モデル

を開発することを目的とする。その開発を進めるため、情報通信研究機構(NICT)と研究開発に関する協定を締結し、同機関で開発された耐災害メッシュネットワーク NerveNet を函館高専に導入した。その研究機関の技術をシーズとして活用するこ

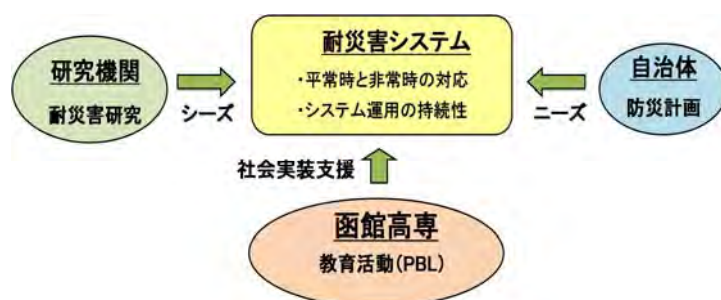


図1 耐災害システムの社会実装促進モデル

とによって、函館高専のカリキュラムに含まれる創造実験(Project-Based Learning: PBL)で耐災害ネットワークのテストベッドを開発するとともに、自治体の要求(ニーズ)を考慮した災害時の情報共有と避難支援のための応用ソフトウェアを開発し、ニーズを満たす仕組みの構築を図る。

本稿では、まず、これまでの大規模災害で発生した通信システムの課題をレビューし、耐災害無線メッシュネットワーク NerveNet の概要を示し、その社会実装における課題について考える。次に、函館市と北斗市が想定する防災システムのニーズを調査し、そのニーズに基づいて NerveNet を活用した耐災害通信システムのテストベッドについて示す。さらに、そのテストベッドに実装する災害時の情報共有機能と避難支援のための応用ソフトウェアについて述べる。特に、インターネットが繋がらない状況でも NerveNet でアクセスできることを利用して、安否情報の共有機能、被害情報ファイル管理機能、カメラによるモニタリング機能を実装したサーバシステムの開発を通して、教育活動で耐災害システムのシーズとニーズのマッチングを図る社会実装モデルを示す。さらに、次年度の学生による被災者の避難を支援するシステムの開発を通じて、この社会実装モデルが耐災害システムの持続可能性(サステナビリティ)を実現する1方式として有効であることを示す。

Ⅱ. 耐災害システムの状況

1. 既存通信システムの被災状況

携帯電話などの既存の無線ネットワークでは、図2に示すように、通信端末、基地局、インフラネットワーク、情報管理サーバによって構成され、集中制御型のネットワークとして機器が接続される。大規模災害等によって経路の一部が切断されると、その経路につながる通信端末は通信不能になる。また、アクセス集中によって通信の輻輳が発生し、通信規制による接続障害が発生することは広く知られている。東日本大震災では、移動通信網の音声トラフィックが通常時の50倍以上に達し、70～95%の通信規制が実施された[6]。

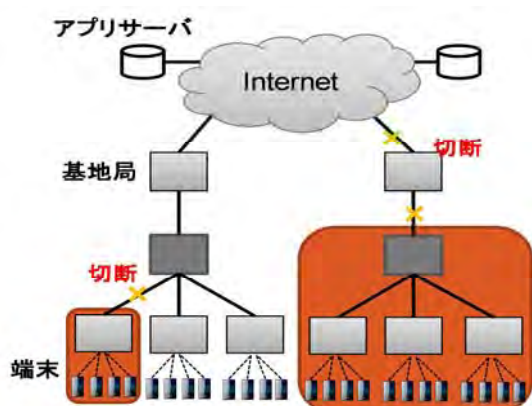


図2 既存のネットワーク構成

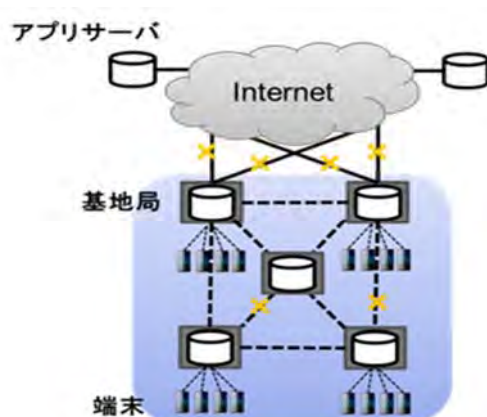


図3 無線メッシュネットワーク構成

一方、電子メール等のパケット通信の通信規制は限定的なもので、最大でも 30%、かつ一時的であったことが報告されている[6]。しかし、直接的な被害が及んでいない場合でも、その上位の経路のいずれかに障害が生じると、通信を維持することができない。これに対して、図 3 に示す無線メッシュネットワークでは、エリア内の通信経路が被災した場合、代替ルートによって通信経路を動的に構築し、外部への通信経路を維持することができる。但し、インターネットの場合、無線メッシュネットワークとインターネットを結ぶアクセス網が切断されると、メッシュネットワークによるエリア内の経路が維持されたとしても、外部にある DNS 等のサーバ群にアクセスできないため、Web サーバ等へのアクセス機能を維持できない。従って、大規模災害時にインターネットサービスを前提としたシステムでは、通信機能の提供を保証できない。特に、自治体の災害対策拠点や避難所を接続するネットワークとしてインターネットを前提にすることは適切ではない。

2. 通信衛星 WINDS の活用

通信衛星による緊急通信は、大規模災害時に有効な手段である。東日本大震災では、通信衛星「きずな」と「きく 8 号」を用いて自治体防災対策本部に通信回線が提供されたことが報告されている[3]。この回線によって、災害対策活動本部と都道府県庁や政府の防災対策本部の情報共有やテレビ会議サービスを利用することができた。しかし、平常時に利用されていないシステムの設置や運用に関わる課題、想定された通信と実際に求められる通信回線の利用方法など、多くの改善点が見出された。また、通信帯域も限られるため、用途を限定した利用にならざるを得ない。

3. 無線メッシュネットワーク NerveNet

情報通信研究機構（NICT）で開発された耐災害通信システム NerveNet は、図 4 のように基地局、無線ユニット、アンテナで構成され、複数の基地局を無線メッシュネットワークで接続するシステムである。基地局は図 5 に示すように、ネットワークを接続する L2VLAN（Virtual Local Area Network）スイッチと Linux を搭載した CPU ユニットおよびデータベースで構成される。災害時に通信経路が切断された場合、代替経路によって接続が維持され、経路構築のロバスト性に優れている。また、基地局に実装された分散型



図 4 NerveNet 無線設備
(NICT による東北大学構内設備)

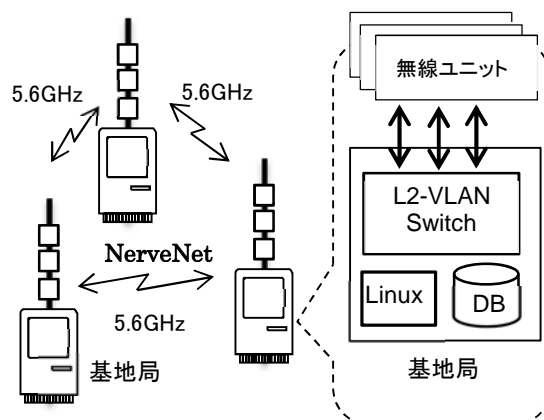


図 5 NerveNet 基地局／無線機と内部構成

データベースは互いにデータを同期し、一つの基地局が被災しても他の基地局で共有されたデータを提供する機能を有する。また、コアネットワークとの接続が切れた場合、NerveNet 内では基地局のサーバ機能によってローカルエリア内のネットワーク機能を維持する。つまり、災害時にネットワークの一部が切断されたり、機器の故障や電源喪失に陥っても残りの機能でネットワークを維持し、すべてが停止することを防ぐことが可能である[4, 5, 7-11]。

Ⅲ. システムの社会実装

1. 社会実装の状況

NerveNet のような耐災害システムにおいて、研究開発された成果を実際に社会で活用する社会実装では、個々の要求に如何に応えるかが問われる。そのためには、自治体等の要求を把握し、その要求を実現する方策を検討しなければならない。しかし、研究機関が、個々の自治体仕様に合わせてシステムを構築することは適切ではない。また、研究成果を委託された企業がシステムを開発したとしても、非常時を目的としたシステムを維持管理することは困難である。非常時のためだけではなく、平常時にも利用できるシステムであることが求められる。

そのため、多くのシステムでは平常時にもシステムを活用する応用、つまりキラーアプリケーションを求めて検討されてきた。例えば、NerveNet を地域の Wi-Fi ネットワークとして導入し、商店街の広告配信機能を付加した岩見沢市の例が報告されている[10]。しかし、これらの実証実験は、実験的な導入にとどまり、耐災害システムの実用化のための有効な指針を示す状況には至っていない。

2. 教育活動との連携

災害時通信システムとして期待される NerveNet について、具体的に社会実装し有効に稼働させるためには、平常時の運用と災害時の運用を明確にし、いつでも稼働できる状態に維持しなければならない。そこで、前述の図 1 に示すように、研究機関で開発された耐災害システムを自治体等に導入する社会実装において、研究シーズとユーザニーズをマッチングするため、教育機関が教育活動を通して社会実装を支援することが考えられる。さらに、システム導入後の運用と新たな仕様に基づく開発において、教育活動の中でシステム開発と運用に携わることによって、継続的なシステム活用を実現することができる。このような運用モデルを前提とし、函館高専・専攻科の授業科目である創造実験（PBL）で社会実装のモデル実験を開始した。この活動を通して、継続的に学生がシステムの構築と運用に関わるサステナブルなシステム運用のモデル化を検証する。

授業の一環として、災害時の情報伝達について地元自治体に確認してまとめた結果を図 6 に示す。本部（市役所）と避難所間の連絡は、電話あるいは FAX を想定し、市民に対しては広報車や防災無線による放送が想定されている。大規模災害に電話回線網が使えない場合、衛星電話による通話、または人が避難所から情報を運び集めることになる。NerveNet

の導入を想定すると、図 7 のように、本部と支所および避難所を無線ネットワークで結び、それぞれの分散データベースを同期することによって、データを共有することが可能になる。さらに、市民はスマートフォンなどの Wi-Fi 端末で NerveNet にアクセスし、安否情報や災害情報を取得できる。

このモデルに従い、NerveNet の社会実装を想定した災害時情報管理システムのテストベッドを PBL 実験で構築することを考えると、学生は、テストベッドの構築を通して、実践的なネットワーク技術を修得するとともに、利用者の要求に基づいたシステム構築を経験できる。また、毎年 PBL を履修する学生のうち、本テーマを担当する学生によってシステムを継続的に使用し改善を図ることが可能である。もし大規模災害が発生したときには、これらの学生がシステム運用を支援することを期待できる。次章では、そのテストベッドについて記す。



図 6 災害時情報伝達および管理モデル

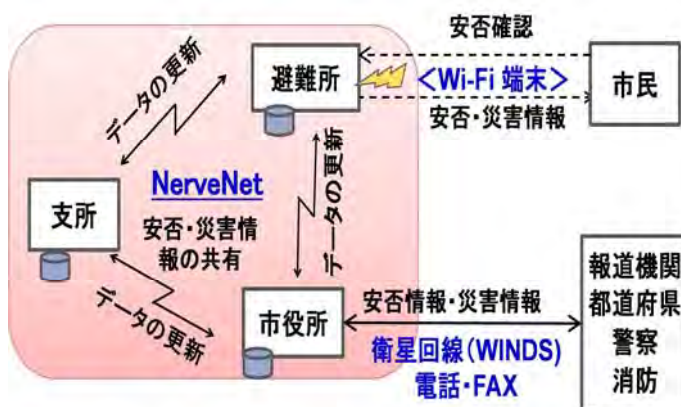


図 7 NerveNet による災害時情報伝達・管理モデル

IV. 耐災害システムのテストベッド構築と評価

1. テストベッドの概要

函館高専に設置したテストベッドでは、3 台の NerveNet 基地局にそれぞれ 3 台の無線ユニットを取り付け、基地局間を 5.6 GHz 無線 LAN で接続し、L2 スイッチでルートを制御することによって図 8 のようにメッシュネットワークを構成する。また、各基地局は 2.4 GHz 帯 Wi-Fi アクセスポイント機能を有し、スマートフォン等の端末から NerveNet へのアクセスが可能である。加えて、災害時情報管理用アプリケーション機能として、ファイル共有、安否情報管理、伝言板、映像配信の各機能を Web サーバで提供する。そのアプリケーション機能を図 9 に示す。さらにテストベッドでは、電源が切れた時あるいは電源のない屋外に設置することを想定し、基地局の 1 台を太陽光発電ユニットで稼働させる。

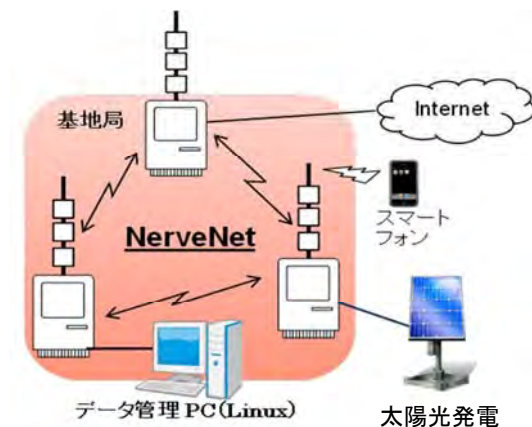


図 8 テストベッドの基本構成

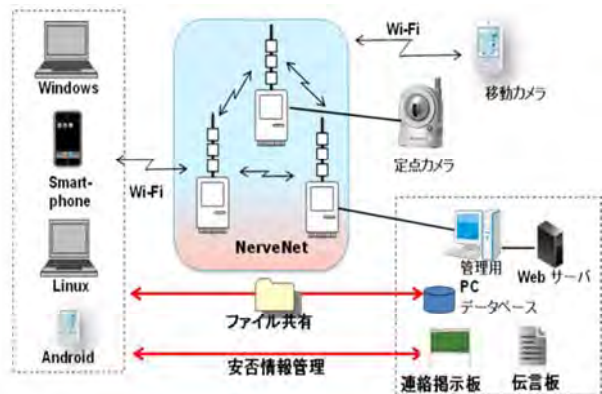


図 9 災害時情報管理機能

2. 耐災害無線ネットワーク

(1) NerveNet

NerveNetは、複数の基地局を無線リンクで接続する分散制御型無線メッシュネットワークである。基地局間を接続する無線ネットワークでは、L2VLANスイッチで接続先が設定される。基地局間でメッシュネットワークを構成することによって、災害時に通信経路が切断されても迂回経路で接続を維持することができる。

<特徴>

- ・無線アクセスポイントのパッケージ化と無線設定の自動化により、ネットワーク構築の簡易化
- ・接続対象となる基地局毎に動的に経路設定し、接続の切断を回復
- ・各基地局はデータベースを有し、データの蓄積と他の基地局のデータベースと同期
- ・外部ネットワークが切断されてもアプリケーションサービスの継続が可能

(2) ネットワーク構成

耐災害無線ネットワークのテストベッドは、図10に示すように3台のNerveNet基地局でメッシュネットワークを構成する。基地局は、表1に示すように、他の基地局と5.6GHz無線リンクで接続され、端末との接続には2.4GHz無線LANが使われる。各基地局は、他の複数の基地局と接続されているため、1つの経路が切断されても残りの経路で接続を維持することができる。その基地局は、Linuxが組み込まれたコンピュータとデータベースで構成され、L2VLANスイッチによってネットワークの経路を設定する。

表 1 機器仕様

無線ユニット：

| | |
|--------------------|----------------------------|
| 電波周波数（メッシュ） | 5.6 GHz 帯 IEEE802.11a |
| 電波周波数（無線 LAN） | 2.4 GHz 帯 IEEE802.11b/g |
| アンテナ（メッシュ） 利得 | 指向性パッチ 9dBi / 18dBi |
| アンテナ（無線 LAN） 利得 | 水平面無指向性 5dBi |

基地局：

| | |
|---------|----------------|
| CPU ボード | Atom processor |
| OS | Linux |
| スイッチ | L2 VLAN |
| データベース | mimerSQL/mysql |

管理用 PC:

| | |
|-----------|--|
| Processor | Core i3 3.4 GHz |
| OS | Linux (VMware) on Windows 7 (64 bits) |
| メモリ | 4 GB |
| Web サーバ | Apache 2.22.21 HTML, Active Perl |

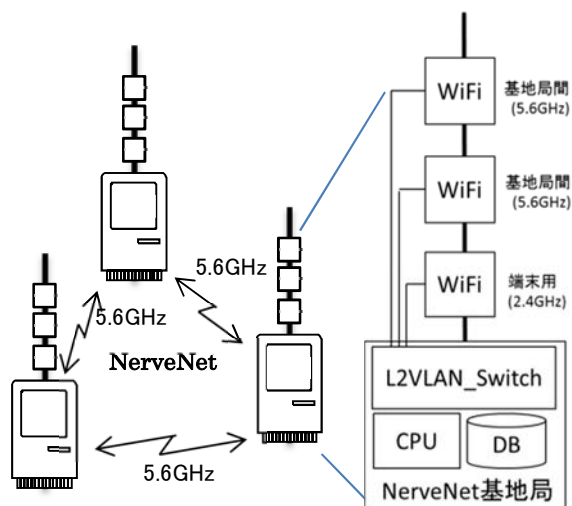


図 10 テストベッドのネットワーク構成

(3) 基地局の接続設定

NerveNet の無線リンクの設定と Wi-Fi のネットワーク設定を図 11 および図 12 に示す。

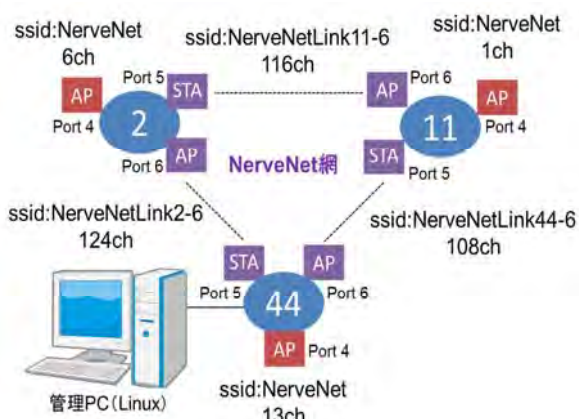


図 11 ネットワーク設定

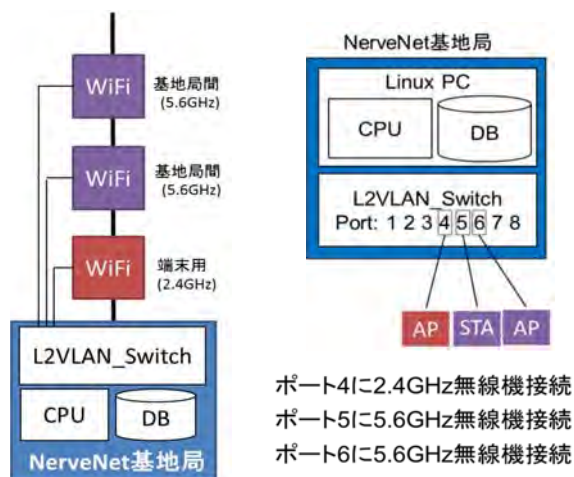


図 12 無線機と基地局本体の接続ポート

① 機器構成

基地局本体と各無線ユニットは、図 13 に示すように LAN ケーブルで接続され、各無線機とそれぞれのアンテナは同軸ケーブルで接続される。



図 13 基地局の機器構成と接続

② ネットワーク LAN 設定

VLAN 経路の設定および各基地局の経路情報の設定は、NerveNet 管理用 PC で行う。本システムに割り当てられた各基地局本体と各無線機の IP アドレス設定を表 2 に示す。また、無線リンクを接続する L2VLAN スイッチは、図 12 に示すように、基地局で設定される。各基地局の設定内容を表 3 に示す。

表 2 基地局の IP アドレス設定

| (a) 基地局 2 の場合 | | | (b) 基地局 11 の場合 | | |
|---------------|------------|---------------|----------------|-------------|---------------|
| 基地局番号:2 | IP アドレス | サブネットマスク | 基地局番号:11 | IP アドレス | サブネットマスク |
| 基地局本体 | 172.16.2.1 | 255.255.255.0 | 基地局本体 | 172.16.11.1 | 255.255.255.0 |
| 無線機:5.6GHz | 172.31.5.4 | 255.255.255.0 | 無線機:5.6GHz | 172.31.5.22 | 255.255.255.0 |
| 無線機:5.6GHz | 172.31.6.4 | 255.255.255.0 | 無線機:5.6GHz | 172.31.6.22 | 255.255.255.0 |
| 無線機:2.4GHz | 172.16.2.2 | 255.255.255.0 | 無線機:2.4GHz | 172.16.11.2 | 255.255.255.0 |

| (c) 基地局 44 の場合 | | |
|----------------|-------------|---------------|
| 基地局番号:44 | IP アドレス | サブネットマスク |
| 基地局本体 | 172.16.44.1 | 255.255.255.0 |
| 無線機:5.6GHz | 172.31.5.88 | 255.255.255.0 |
| 無線機:5.6GHz | 172.31.6.88 | 255.255.255.0 |
| 無線機:2.4GHz | 172.16.44.2 | 255.255.255.0 |

表 3 基地局の VLAN スイッチ設定

(a) 基地局 2 の場合

| 基地局 : 2 | SSID | チャンネル | モード |
|---------|------------------|-------|-----|
| Port 4 | NerveNet | 6ch | AP |
| Port 5 | NerveNetLink11-6 | 116ch | STA |
| Port 6 | NerveNetLink2-6 | 124ch | AP |

(b) 基地局 11 の場合

| 基地局 : 11 | SSID | チャンネル | モード |
|----------|------------------|-------|-----|
| Port 4 | NerveNet | 1ch | AP |
| Port 5 | NerveNetLink44-6 | 108ch | STA |
| Port 6 | NerveNetLink11-6 | 116ch | AP |

(c) 基地局 44 の場合

| 基地局 : 44 | SSID | チャンネル | モード |
|----------|------------------|-------|-----|
| Port 4 | NerveNet | 13ch | AP |
| Port 5 | NerveNetLink2-6 | 124ch | STA |
| Port 6 | NerveNetLink44-6 | 108ch | AP |

(4) NerveNet 通信実験

① 校内における通信実験

【機器の設置】

本システムテストベッドの基地局を校内グラウンド(校門前)、大講義室前、専攻科棟(3F)にそれぞれ設置した。基地局 (No.2) と基地局 (No.11)、および基地局 (No.44) の距離は、それぞれ約 125m と 150m である。その設置場所を図 14 に示す。また、太陽光発電を用いた基地局 (No.2) の様子を図 15 に示す。

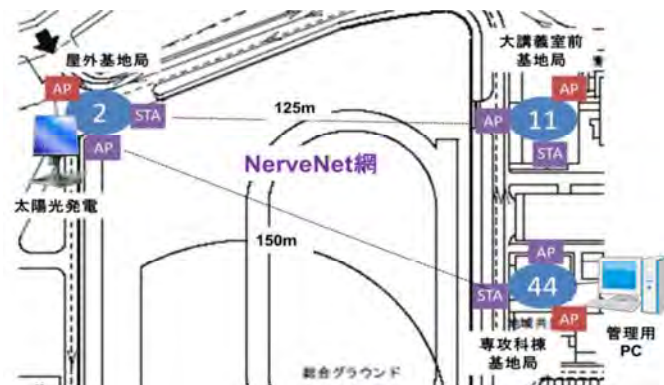


図 14 NerveNet 基地局の校内配置



図 15 基地局と太陽光発電パネル

【電波強度測定実験】

図 14 のそれぞれの位置に設置した NerveNet 基地局間 (5.6GHz) の電波強度について、無線ユニットの RSSI 電波測定ツールを用いて測定した。表 4 にその結果を示す。また、2.4GHz W-Fi 無線(端末用)の電波強度は、端末用 PC にインストールした電波測定ツールを用いて調査した。その結果得られた通信可能エリアを図 16 に示す。

表 4 から、グラウンドに設置した基地局と大講義室および専攻科棟の基地局間の電波強度は -65dBm で、無線機の最小感度が -80dBm であることから安定した電波強度である。また、ユーザ端末用の Wi-Fi 無線の場合、グラウンドのように見通しの良い場所では、有

効範囲は約 100m であるが、大講義室や専攻科棟のように室内では、有効範囲は数 10m と狭い。この実験ではアンテナ高が約 1m と低いこと、また屋内では壁等の障害物が多く、電波環境が悪かったことが原因と考えられる。屋内など見通しが悪い環境で通信エリアを広げるためには、WDS(Wireless Distribution System)等の中継機能の導入が必要である。

表 4 基地局間用無線 (5.6GHz) の電波強度 (校内)

| 基地局間リンク | RSSI | 距離 |
|-------------------|--------|------|
| No.2 – No.11 | -65dBm | 125m |
| No.44 – No. 2 | -65dBm | 150m |
| No.11 – No.44 (*) | 不可 | 60m |

(*) 見通し外

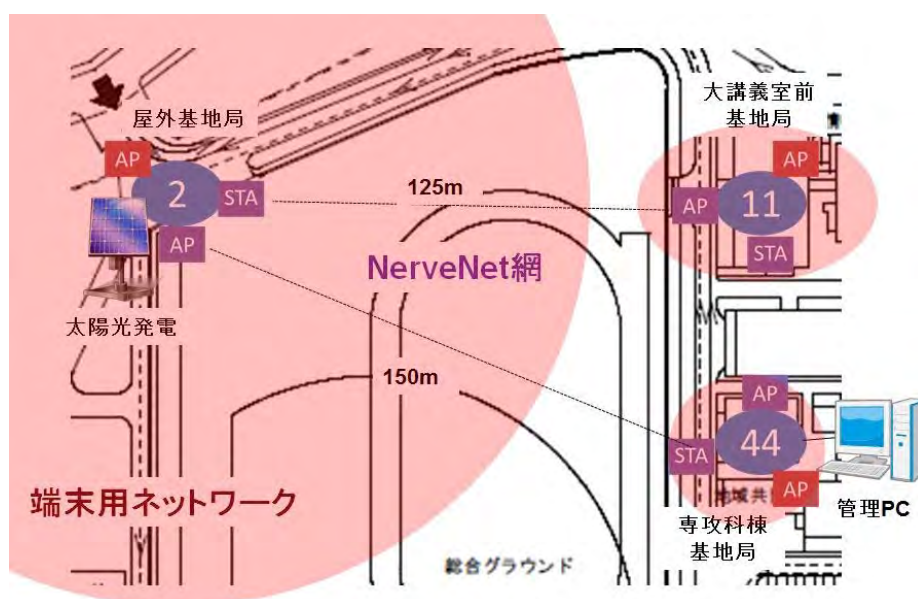


図 16 2.4GHzWi-Fi 無線(端末用)の接続可能エリア

② 住宅街における通信実験

【機器の設置】

近隣町内での利用を想定し、図 17 のように住宅街にある町内会館 (No.44) と約 250m 離れた施設 (No.11) を NerveNet で接続する実験を行った。両施設間に高い住宅があり、見通し条件を確保できないため、道路に設置した No.2 で中継して接続した。また、No.2 と No.44 は約 220m 離れているため、18dBi の指向性アンテナを使用した。No.2 と No.11 の間は、距離が約 100m と近いため、9dBi の指向性アンテナを使用した。

【電波強度測定実験】

電波強度の測定は、無線ユニットの RSSI 電波測定ツールを用いた。それぞれの無線リンクの電波強度を表 5 に示す。No.2 と No.44 の距離は 220m であるが、見通せるため電波強度は -55dBm と良好である。一方、No.2 と No.11 の間は約 100m と近いが、電波強度は -87dBm と弱い。これは、住宅街の道路幅が約 7m と狭いため、住宅の壁による電波の

反射が影響したこと、路上に駐車された車が陰になり、見通し条件を満たすことができなかったことが原因として考えられる。そのため、No.2 と No.44 のデータ通信は、距離が 220m と長いが安定であるが、No.2 で中継した No.44 と No.11 の接続は不安定であった。



図 17 ネットワークの住宅街配置

表 5 電波強度測定結果（住宅街）

| 基地局間リンク | RSSI | 距離 |
|------------------------------|--------|------|
| No. 2 – No. 44 | -55dBm | 220m |
| No. 2 – No. 11 | -87dBm | 100m |
| No.11 – No.44 ^(*) | 不可 | 250m |

(*) 見通し外

3. アプリケーション機能

(1) 概 要

災害時に情報を管理し共有するアプリケーション機能を Web アプリケーションとして構築する。その Web アプリケーションは、端末の OS に依存せず、特別な設定やソフトウェアが必要ないことを条件とする。平成 26 年度に実装したアプリケーション機能は、①災害情報・連絡掲示板、②安否情報管理（伝言掲示板）、③ファイル共有、④定点カメラ、⑤移動カメラである。なお、平成 27 年度に実装した避難支援機能は、第 4 節に記す。

(2) アプリケーションシステム動作環境

本アプリケーション機能を実装する PC の仕様と Web サーバの仕様を表 6 に示す。

表 6 Web サーバ用 PC 環境

| | |
|----------|----------------------|
| OS | Windows 7(64bit) |
| メモリ | 4GB |
| Webサーバ | Apache 2.22.21 |
| HTML | トップページ、各掲示板のフレーム |
| Perl | 伝言掲示板・災害情報掲示板・ファイル共有 |
| Perl実行環境 | Active Perl |
| バーコード作成 | PsQREdit（フリーソフト） |

（３）災害情報・連絡掲示板

自治体は、災害時に災害情報や物資などの救援情報を他の自治体や都道府県、報道機関などの外部に伝えなければならない。また、外部からの情報を住民に配信することが求められる。さらに、災害時の刻々と変わる状況の変化を迅速に通知しなければならない。そこで、本テストベッドでは、図 18 のように災害情報を配信するための連絡掲示板を導入し、情報交換を可能にした。この機能では、情報の書き込み、削除、検索が可能である。

（４）安否情報管理（伝言掲示板）

大規模災害が発生した場合の安否確認手段では、住民が手書きで自分たちの情報を帳簿などに書き込み、その帳簿を見ながら避難所や市役所の担当者が管理ソフトなどに入力して管理しなければならない。その入力したデータを印刷して、避難所などで住民が閲覧できるように掲示する。このような管理方法では、住民の要求に迅速に応えることはできない。そこで、本テストベッドでは、上記の災害情報・連絡掲示板を利用して、Web サーバに伝言掲示板機能を追加した。住民は、図 19 に示すように、避難所の端末や自分の携帯端末から登録する安否情報を入力し、データベースに安否情報等を登録する。入力されたデータは、伝言掲示板機能によって住民が端末から検索・閲覧することができる。ただし、個人情報の管理などセキュリティに関する検討が必要である。

（５）ファイル共有

災害発生時、自治体は住民の安否情報を外部機関等に提供しなければならない。しかし、現状では、インターネットが切れるとデータを送信することが困難で、適切なデータ管理および共有ができない。そこで、本システムでは、図 20 のように本部と避難所等を NerveNet で接続することによって、インターネット等の外部ネットワークとの接続が切れた状態でも接続を維持し、データを共有するファイル共有機能を提供する。

（６）定点カメラ配信

大震災後、宮城県女川町では固定カメラによるモニタリングシステムを導入し、津波の監視に活用している。本システムでは、図 21 のように定点カメラによるモニタリングシステムを導入し、平常時には観光用として利用し、非常時には被災状況のモニタリング用として利用することを想定した。図 22 に定点カメラのアクセスページとその配信状況を示す。なお、テストベッドでは、簡易的なテストのため Panasonic 製のネットワークカメラ BL-C131 を利用した。

（７）移動カメラ映像の配信

定点カメラに加え、スマートフォン端末を移動カメラとして利用する映像配信機能を追加した。被災現場に向き、この移動カメラでその状況を配信することができる。移動カメラは、図 23 のように Andorid 端末用のアプリケーション IP Webcam を使用した。

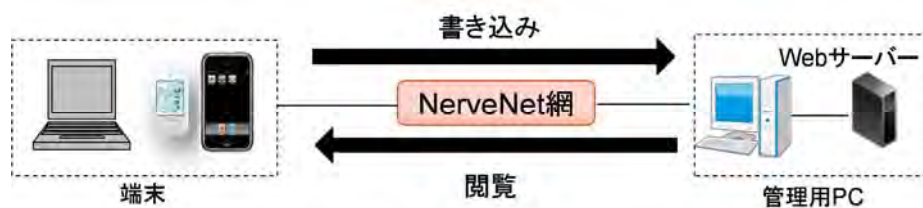


図 18 災害情報・連絡掲示板の概要

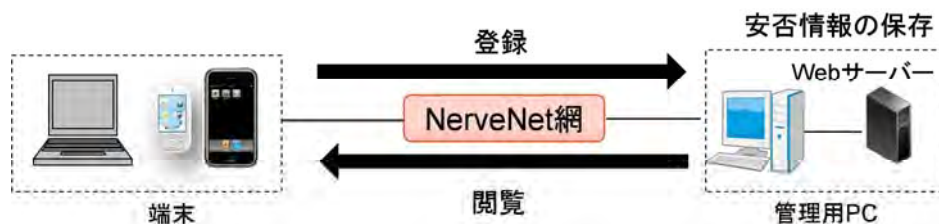


図 19 安否情報の伝言掲示板機能

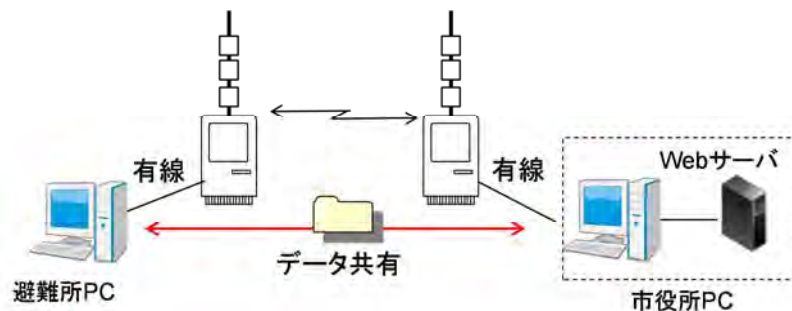


図 20 NerveNet を用いたファイル共有

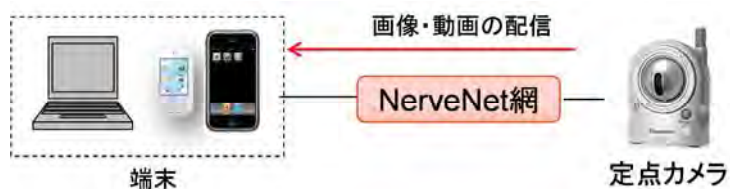


図 21 定点カメラの映像配信



図 22 定点カメラのアクセスページと配信状況



図 23 移動カメラの映像配信

4. 災害時避難支援システム

(1) 概 要

自治体では災害時の避難計画において、ひとりで避難が困難な要支援者の避難を支援するための検討が行われている。そのため、町内会を中心に要支援者の情報を把握し、災害時に救助に向かう支援者の割り当て方法を検討している。しかし、災害時に要支援者及び支援者の所在や状況を把握しなければ、適切に避難支援を行うことができない。そこで、PBLで開発した耐災害無線ネットワークとそのアプリケーション機能を利用して、支援を必要とする人（要支援者）と支援可能な人（支援者）の状況をネットワークで把握し、要支援者のもとに派遣する支援者を割り当てる「避難支援システム」を開発した。この避難支援システムでは、事前に要支援者と支援者をデータベースに登録して管理する。発災時、支援者は端末から NerveNet を通じてシステムにアクセスし、自分が支援可能か否かを通知する。本部では、要支援者の避難状況と支援者の状況を確認し、両者の割り当てを行う。

(2) 現状の避難支援

現在、自治体を中心として検討されている避難支援の仕組みを図 24 に示す。この避難支援の仕組みでは、事前に要支援者と支援者を登録する。そのため、各町会では、ひとりで避難が困難な人を把握し、要支援者の避難支援を行うボランティアを支援者として台帳管理する。災害時には、要支援者に対する支援者の割り当てを行い、避難状況を管理する。これによって、災害時の避難行動が滞りなく速やかに行われることを期待している。しかし、支援者の割り当てと避難状態の管理を行うためには、図 24 に示した様々な確認事項を適切に行う必要があるとともに、災害状況に合わせて柔軟に対応する必要がある。また、これらのことを行うための連絡手段として電話が使えることが前提条件となっている。従って、大規模な災害によって電話（固定電話、携帯電話）が使えない場合、避難支援体制は適切に機能しないことが予想される。

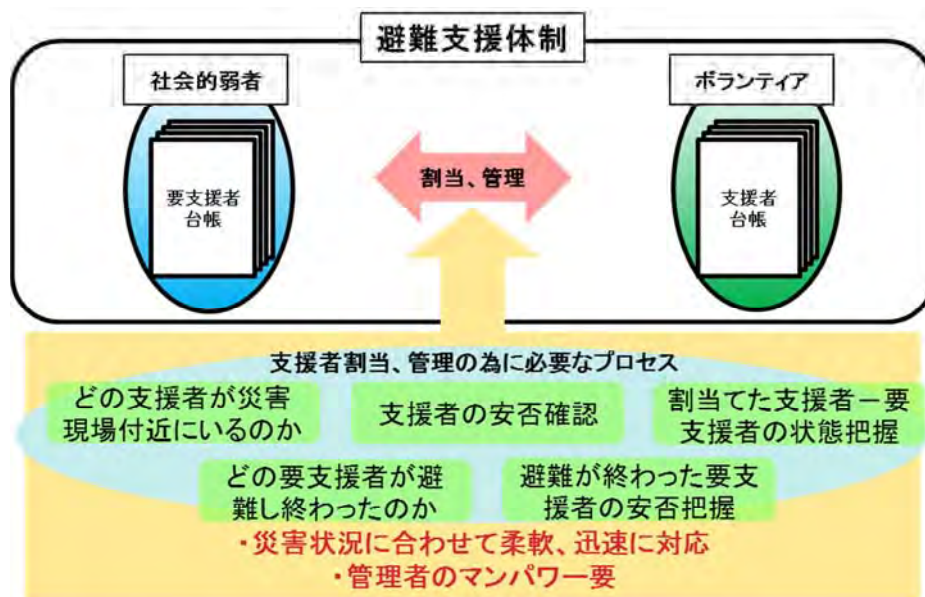


図 24 現状の避難支援

(3) NerveNet を活用した避難支援システム

現状の避難支援体制の問題点である町内毎の災害対策本部と支援者および要支援者の状況を把握する連絡手段として、耐災害無線ネットワーク NerveNet を使用する。また、支援者と要支援者の状況を管理するため、データベースで情報を一括管理する。

① NerveNet の配置

耐災害無線ネットワーク NerveNet が市内全域に設置され、各町内の主要施設に NerveNet のアクセスポイントが設置されていることを想定する。そのネットワークによって、図 25 に示すように、各町内の避難所が NerveNet で接続されていると仮定する。これによって、支援者が他の町内にいる場合でも、所属する町内の本部に自分の状況を連絡することができる。



図 25 耐災害無線ネットワークの配置

② 避難支援システムのソフトウェア設計

避難支援システムを Web アプリケーションとして構築するため、NerveNet 内にサーバ機能を導入する。その Web サーバとして Apache、データベースとして MySQL、プログラミング言語は PHP、HTML を使用する。なお、本避難支援システムは、図 26 に示す Web サーバのポータルサイトにアクセスし、その機能のひとつである「避難支援システム」の「状態入力」機能で、自分の状態を入力する。このように、Web アプリケーションとすることで、専用のソフトウェアや利用方法を事前に用意し理解する必要がない。

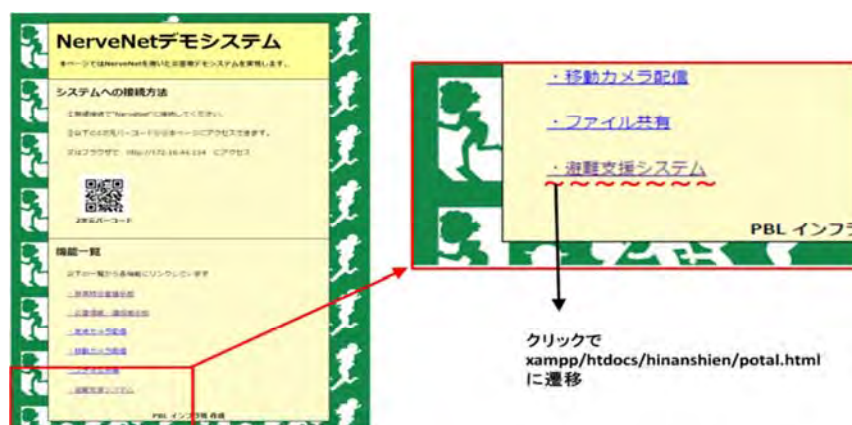


図 26 避難支援システムのポータルサイト

③ 避難支援システムへの登録

支援者および要支援者は、自分が所属する町内の管理システムに事前に登録し、初期データとして、データベースで一元管理される。

④ 災害時の状況把握

要支援者と支援者は、スマートフォンやパソコンから NerveNet にアクセスし、本システムの安否情報管理機能を利用して各自の状態を入力する。入力、図 27 に示す避難支援システムの入力画面から行う。入力された情報は、図 28 に示す避難支援システムのデータベースのテーブルに入力される。これによって、管理者が電話等で聞き取って入力する負担を軽減する。この支援者と要支援者の情報を基に、管理者は避難支援の割り当てを行う。なお、スマートフォンやパソコンから自分の状況を入力できない要支援者については、対策が必要であるが、今後の課題として、ここでは省略する。

⑤ 支援者割り当て機能

本機能は要支援者に対し、支援者の割り当てを行う機能である。前述の事前登録データと、状態入力機能を用いて災害時に入力されたデータを基にセミオートで割り当てを行う。避難支援システムによる要支援者・支援者割り当て管理の様子を図 28 に示す。マニュアルによる割り当てとセミオートによる割り当て処理を図 29 のフローチャートに示すが、詳細は省力する。

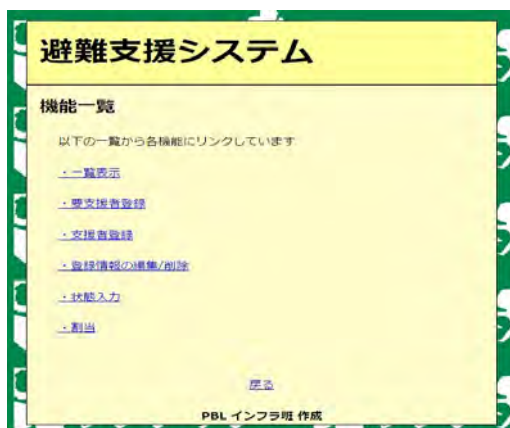


図 27 避難支援システムへ入力画面

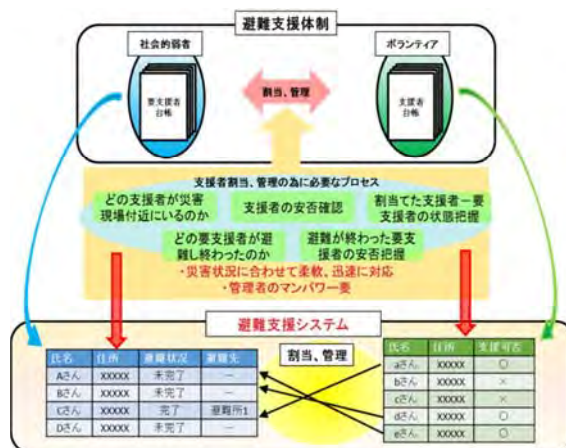


図 28 避難支援システムによる
支援者・要支援者の割り当て管理

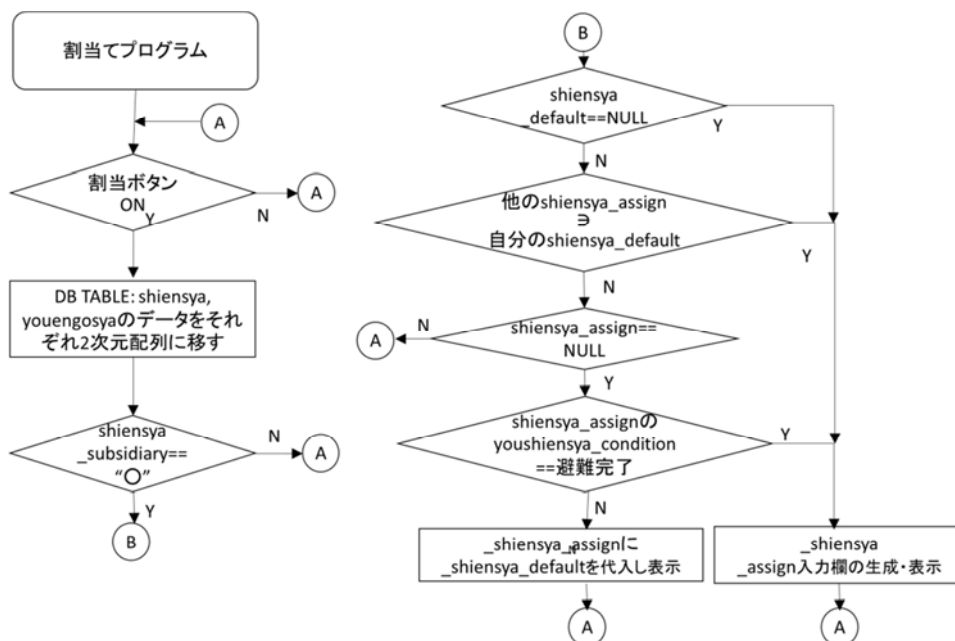


図 29 避難支援システム割り当てプログラム

5. 電力システム

電力システムでは、商用電源を用いずに消費電力 40W の基地局を稼働するための設計を行う。なお本来のシステムでは、バッテリーで 24 時間稼働が要求されるが、テストベッドでは 6 時間とする。設計に基づく機器一覧を表 7 に、太陽光パネルの仕様を表 8 に、電力システムの構成図を図 30 にそれぞれ示す。その電力システムの等価回路を図 31 に示す。

表 7 電力システム機器仕様

| | |
|------------|---------|
| 太陽光パネル | 設置容量70W |
| 蓄電池 | 36Ah |
| DC/ACインバータ | 300W |
| インバータ効率 | 85% |
| 基地局 | 消費電力40W |

表 8 太陽光パネルの仕様

| | |
|-----------|-----------------------|
| 製品名(型式) | KD70SX-RP |
| メーカー名 | 京セラ |
| 発電素子型 | 多結晶シリコン |
| 公称最大動作電力 | 70 [W] |
| 最大出力時動作電圧 | 17.9 [V] |
| 最大出力時動作電流 | 3.92 [A] |
| 開放電圧 | 22.1 [V] |
| 短絡電流 | 4.30 [A] |
| 外形寸法 | 778 × 660 × 57 [mm] |
| 重量 | 6.5 [kg] |



図 30 電力システムの構成図

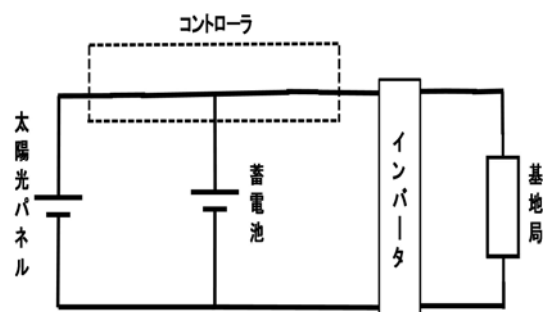


図 31 電力システム等価回路

(1) 無日照時の電力システムの動作

無日照時に太陽光パネルの出力電圧が蓄電池の両端電圧よりも低かった場合、コントローラは太陽光パネル側を切り離す動作を行う。太陽光パネルからの電力供給がなくなると、蓄電池が基地局に電力を供給する。蓄電池の両端電圧が下がり 11.5V 以下になると、蓄電池の過放電防止のためにコントローラが蓄電池からの電力供給を停止する。図 32 にモデル化した動作の様子を示す。蓄電池の放電の様子を図 33 に示す。蓄電池の電圧が 11.5V になる放電時間が約 6 時間であった。

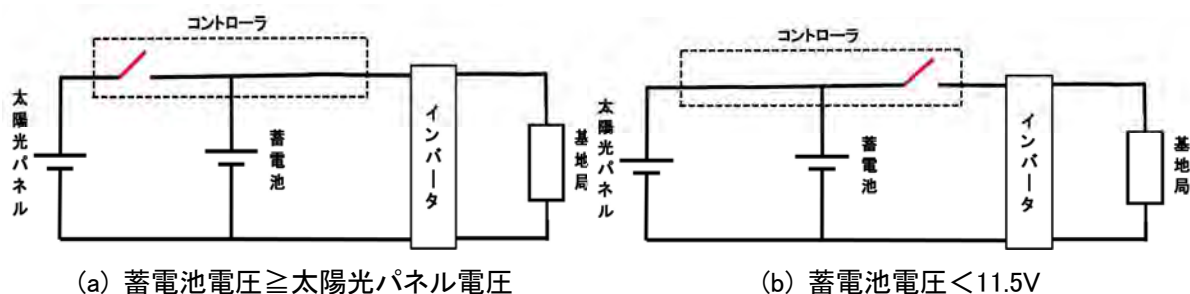


図 32 無日照時の電力システムの動作

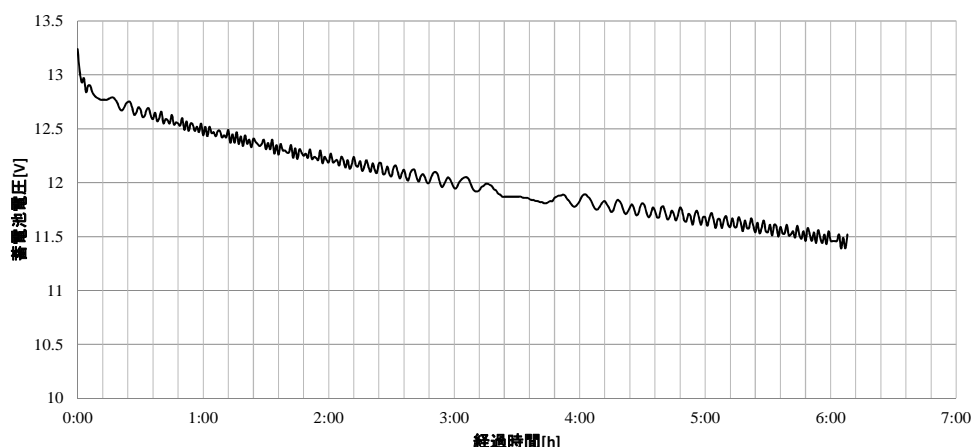


図 33 蓄電池のみで基地局を運用した場合の蓄電池の放電特性

(2) 晴天時の電力システムの動作

晴天時では、太陽光パネルの出力電圧 \geq 蓄電池の電圧となる。その点を考慮し、コントローラが太陽光パネルの出力電圧を PWM 制御によって降圧して蓄電池電圧と等しくする電力システムの等価回路を図 34 に示す。コントローラによって太陽光パネルの出力電圧と蓄電池の電圧を制御し、太陽光パネル電圧 $<$ 蓄電池電圧の場合、コントローラが太陽光パネルからの入力を切り離す。

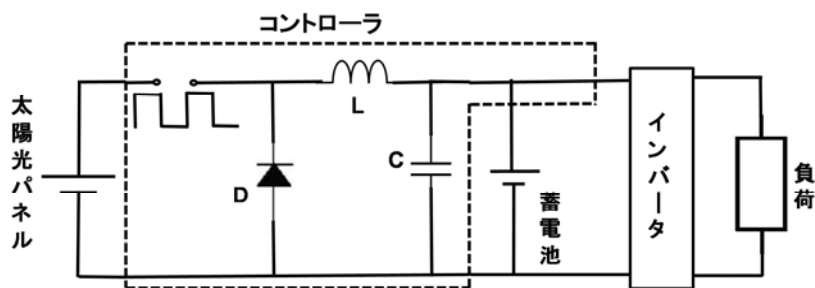


図 34 コントローラの内部回路を考慮した電力システムの等価回

① 太陽光パネル出力電流 \geq 負荷電流の場合

太陽光パネルの出力電流が、負荷側と蓄電池側を分流し、負荷を動作させながら同時に蓄電池の充電を行う。電流の流れを示した回路図を図 35 (a)に示す。

② 太陽光パネル出力電流 $<$ 負荷電流の場合

「負荷電流=太陽光パネルの出力電流+蓄電池から放電される電流」が成り立つ。その場合の電流の流れを示した回路図を図 35 (b)に示す。

晴天時にシステムの動作実験を行い、蓄電池の電圧を測定した結果を図 36 (a)に示す、この時の負荷は消費電力 40W の基地局ではなく、消費電力 30W のパソコンを負荷として

実験を行った。また、太陽光パネルの出力電流、蓄電池の電流、負荷電流をそれぞれ測定した結果を図 36 (b)に示す。この結果から、蓄電池の電流が負の値となる部分がある。これは、蓄電池が充電している場合に電流の値が負となる。また、図 36 (b)を見ると蓄電池の電流の時間変動が大きいことがわかる。これは、蓄電池の電圧が高くなった場合、蓄電池が充電中、蓄電池の電圧が下がった場合には蓄電池が放電中となり、充電と放電を繰り返している。図 36 (a) において、15:00 を過ぎると徐々に蓄電池の電圧が下がっている。これは、太陽光パネルからの電流が減少し、蓄電池の放電量が増加したため、徐々に蓄電池電圧が下がっている。

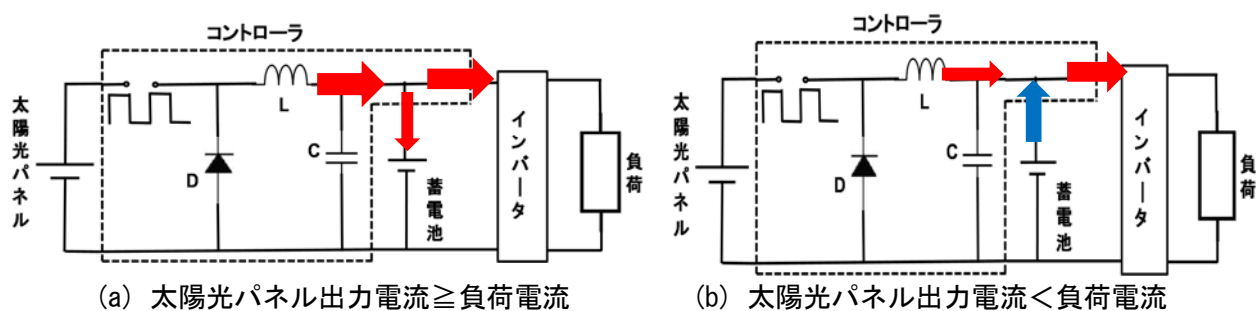
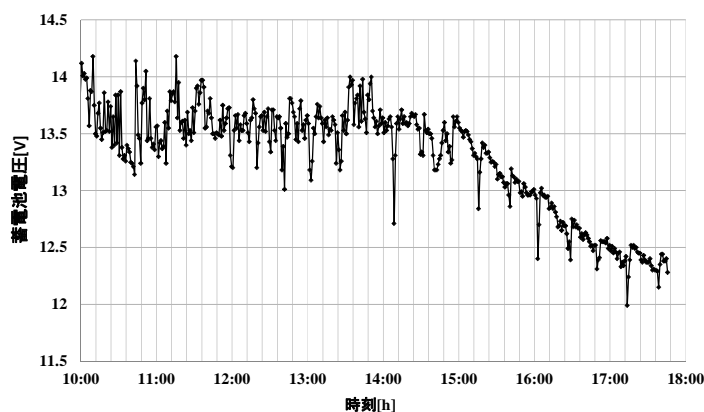
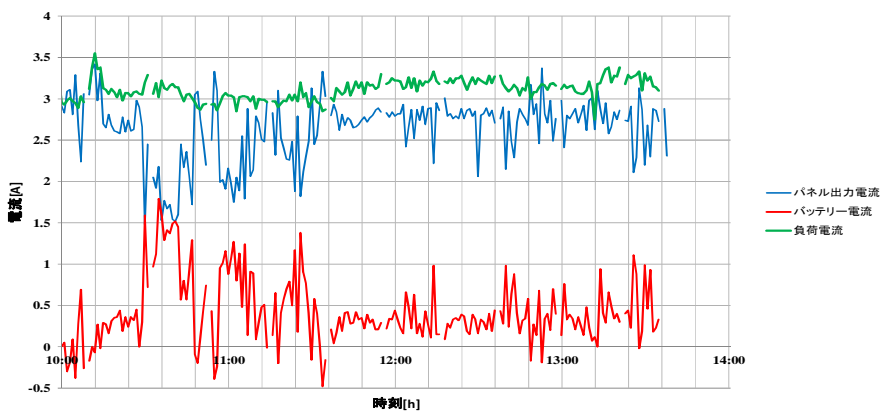


図 35 晴天時の電力システムの動作



(a) 晴天時の蓄電池の電圧



(b) 晴天時の各部の電流

図 36 晴天時の電圧・電流特性

(3) 太陽光パネル並列動作電力システム

太陽光パネルからの供給電流不足を解消するため、2 枚の太陽光パネルを使用する電力システムを設計し、特性を調査する。電力システムの構成は、図 37 に示すように、2 枚の太陽光パネルをコントローラに接続し、バッテリーに電流を供給するとともに、インバータを介して基地局を接続する。その等価回路を図 38 に示す。ここで、太陽光パネルの出力を調整するためダイオードを使用する。

図 39 は、太陽光パネルの電力で基地局を動作させるとともにバッテリーに充電したときのパネルからの供給電流、バッテリーの充電電流、負過電流の様子で、安定した動作を確認した。

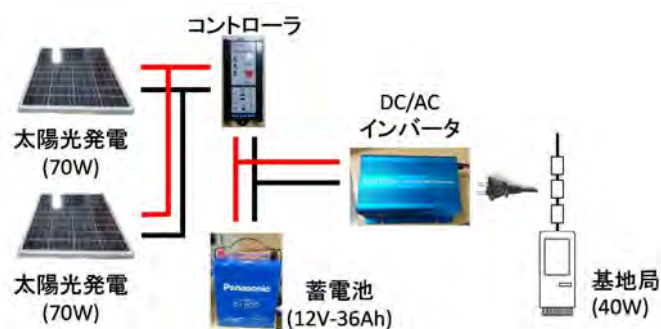


図 37 太陽光パネル並列動作時の構成図

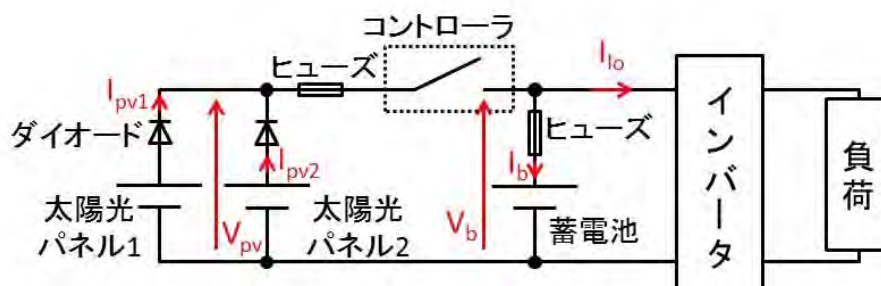


図 38 太陽光パネル並列動作時の等価回路

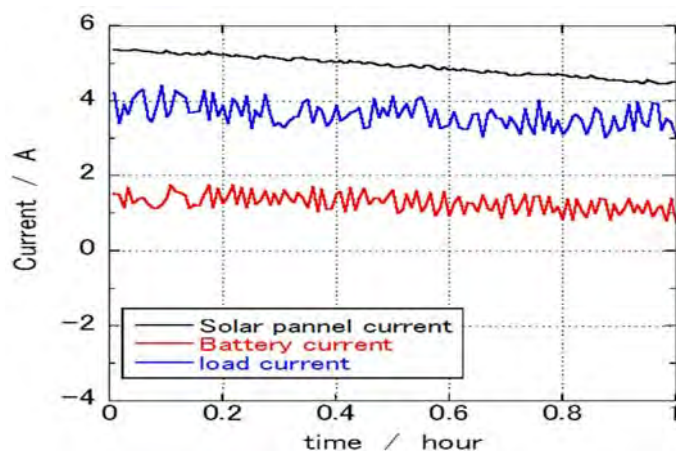


図 39 電力システムの充放電電流測定結果

V. まとめと今後の課題

本研究では、防災研究に関する研究成果を社会のニーズとマッチングさせた適切な社会実装を目的として、持続可能なシステム運用を実現するため、教育機関を活用した社会実装モデルを示した。そのモデルに基づき、函館高専専攻科の教育活動において、NICT の研究成果である無線メッシュネットワーク NerveNet を活用した耐災害無線ネットワークとアプリケーションシステムの開発を行った。この活動では、無線ネットワークの構築や災害時に活用するアプリケーション機能の開発が、年度を越えて学生によって行われ、開発が継続できることを示した。また、改善点は次年度の学生に引き継がれ、システムの改良が行えることを確認した。このようにしてシステムを社会実装した場合、学生がそのシステムの運用を支援することができ、災害時のシステム運用に有効であることを示した。これらのことから、平常時から継続してシステムを運用するモデルとして、教育活動を活用することができ、耐災害システムの社会実装モデルとして有効な手段となる可能性を示すことができた。

しかし、このモデルを実際に活用するためには、研究機関、市町村、町内会、複数の教育機関、そして実用化のためのシステム開発を行う企業等が連携して開発にあたる必要があり、そのようなコンソーシアムの構築が今後の重要な課題となる。

これらの活動を通して、社会に役立つ耐災害システムが構築され、安全で安心な社会が実現されることを期待する。

謝辞

本研究は、(一財)北海道開発協会開発調査総合研究所の研究助成を受けて実施した。また、耐災害無線ネットワーク構築に協力頂くとともに技術支援を頂いた情報通信研究機構・耐災害 ICT 研究センターおよびワイヤレスネットワーク研究所の関係各位に感謝申し上げます。また、避難支援システムの開発に当たり、協力頂いた函館市高丘町会関係各位に感謝申し上げます。

研究従事者

- ・ 藤原孝洋 (函館高専・生産システム工学科・教授) (専攻科 PBL 担当教員)
- ・ 小林淳哉 (函館高専・物質環境工学科・教授) (専攻科 PBL 責任者)
- ・ 鹿野弘二 (函館高専・物質環境工学科・教授) (専攻科長)
- ・ 中村優吾 (函館高専・専攻科生産システム工学専攻 2 年) (H25 年度後期－H26 年度)
- ・ 中村勇太 (函館高専・専攻科生産システム工学専攻 2 年) (H25 年度後期－H26 年度)
- ・ 小泉僚平 (函館高専・専攻科生産システム工学専攻 2 年) (H25 年度後期－H26 年度)
- ・ 北川貴博 (函館高専・専攻科生産システム工学専攻 1 年) (H26 年度後期－H27 年度)
- ・ 橋本敦弘 (函館高専・専攻科生産システム工学専攻 1 年) (H26 年度後期－H27 年度)

参考文献

- [1] 中沢正隆, "東日本大震災を振り返って," 信学誌, Vol.95, No.3, pp. 187-194 (2012).
- [2] 山路栄作, "東日本大震災における通信インフラの災害復旧とその課題," 信学誌, Vol.95, No.3, pp. 195-200 (2012).
- [3] 高山慎一郎他, "東日本大震災における通信衛星 WINDS 等の活用状況," 信学誌, Vol.95, No.3, pp. 201-206 (2012).
- [4] 井上真杉, 大和田泰伯, "地域の神経網を担うネットワーク NerveNet の研究," NICT, 未来をつくる研究者たち, http://www.nict.go.jp/publication/researcher/pdf_data/01/01/018_021.pdf
- [5] 井上真杉, "頼れる情報通信インフラストラクチャの実現を目指して," 電子情報通信学会, 通信ソサイエティマガジン, No. 19, 203-208 (2011).
- [6] 総務省, "大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方についてー最終取りまとめの公表ー," 大規模災害等緊急事態における通信確保の在り方に関する検討会, 報道資料 12 月 28 日(2011).
- [7] Y. Nemoto and K. Hamaguchi, "Resilient ICT Research Based on Lessons Learned from the Great East Japan Earthquake," IEEE Communications Magazine, Vol. 52, No. 3, pp. 38-43 (2014).
- [8] NICT 熊谷 博, "電波有効利用を促進する技術の技術動向と今後の方向性," http://www.soumu.go.jp/main_content/000176537.pdf.
- [9] 三浦龍, 井上真杉, 大和田泰伯, 浜口清, "耐災害ワイヤレスメッシュネットワークテストベッドの概要ー," 電子情報通信学会信学技報, RRRC2013-15, pp.21-26, 2013 年 7 月.
- [10] NICT プレスリリース, "広告効果が確認できる, ネットワーク活用型広告配信実験を開始ーインタラクティブな広告配信技術の可能性を検証," <http://www.nict.go.jp/press/2010/12/08-1.html>.
- [11] 日本ユニシス News Release, "災害に強い地域通信ネットワーク実用化研究を受託," http://www.unisys.co.jp/news/pdf/pr_140903_meshnetwork.pdf, 2014.