

無線 LAN システムによる町内ネットワークの構築と運用実験

—徳島県海南町マルチメディアパイロットタウン農村モデル事業—

大道 仁美[†] 白石 善明[†] 茂木 武士^{††} 新倉 武^{††} 能田 益弘^{†††}
森井 昌克[†]

[†] 徳島大学知能情報工学科 〒 770-8506 徳島市南常三島町 2-1

^{††} 三菱電機 (株) 〒 247-8520 鎌倉市上町屋 325

^{†††} 海南町役場 21 室 〒 775-0295 徳島県海部郡海南町

E-mail: [†]{ohmichi,zenmei,morii}@is.tokushima-u.ac.jp, ^{††}{mogi,niikura}@gc.cow.melco.co.jp,
^{†††}noda@town.kainan.tokushima.jp

あらまし 本稿では、通信・放送機構(TAO)のマルチメディアモデル農村展開事業の平成11年度の実験として行った、徳島県海南町における小電力無線通信システムを用いた自治体ネットワークの構築と運用実験について報告する。本実験で構築したシステムは、ブリッジ型無線機とルータ型無線機の多段接続、および異機種混在環境となっている。小電力無線通信システムは自治体ネットワークの構築において、コスト、速度の面から優れた特徴を有している。速度評価および運用評価の結果から、幹線に高速な無線ブリッジを使用し末端ノード間の回線に無線ルータを使用することで、耐障害性にも優れ、ISDN回線よりも高速なアクセスが実現できること、および気象センサーや監視カメラなどのいくつかの防災を目的としたアプリケーションが実用上問題なく利用できていることを示している。

キーワード 小電力無線通信システム、自治体ネットワーク、ルータ型無線機、ブリッジ型無線機、インターネット

Construction of Town Network using Wireless LAN System and Its Experimental Results

—Multimedia Pilot Town Project at Kainan-town, Tokushima—

Hitomi OHMICHII[†], Yoshiaki SHIRAIISHI[†], Takeshi MOGI^{††}, Takeshi NIIKURA^{††}, Masuhiro NODA^{†††}, and Masakatu MORII[†]

[†] The University of Tokushima

2-1 Minami-jyosanjima, Tokushima, 770-8506 Japan

^{††} Mitsubishi Electric Corporation

325 Kamimachiya, Kamakura, Kanagawa, 247-8520

^{†††} Kainan Town Office

Kainan-cho, Kaifu-gun, Tokushima, 775-0295

E-mail: [†]{ohmichi,zenmei,morii}@is.tokushima-u.ac.jp, ^{††}{mogi,niikura}@gc.cow.melco.co.jp,
^{†††}noda@town.kainan.tokushima.jp

Abstract In this paper, we report the wireless local network which is constructed in Kainan Town, Tokushima prefecture by way of Multimedia Pilot Town project by Telecommunications Advancement Organization of Japan(TAO), and its experimental results. The system is hybrid network using bridge and router type transceiver, and it has some good features from the view point of cost and speed. From the performance test of speed and application, using the high speed bridge type transceivers at the main line and the router type ones from the relay node to the end, the network shows that the throughput is greater than ISDN without trouble and the applications of protection against calamities such as Weather sensor, Observation camera and the others are available in practice.

Key words Low Power Wireless System, Community Network, Router Type Transceiver, Bridge Type Transceiver, Internet

1. はじめに

最近、2.4GHz 帯の小電力無線通信システムを使った自治体ネットワークの構築と運用実験が盛んに行われている [1]~[3]. 2.4GHz 帯の小電力無線局を運用するための免許と、専用線借用費等の固定費が不要なことが注目を集める大きな要因となっている。また、地方の山間部のように公衆デジタル回線が通信事業者により提供されていない地域においても高速にインターネットへアクセスする要求が高まっており、インターネット接続点までを高速な小電力無線通信システムにより提供することはアクセス回線の選択肢の一つとなっている。

さて、徳島県海南町において、通信・放送機構 (TAO) の「マルチメディアパイロットタウン・モデル農村展開事業」が平成 9 年度~14 年度の期間で実施される。既に平成 9, 10 年度の実験において東西 21.3 km, 南北 15.2 km の海南町内に、26 か所の拠点を接続した町内ネットワークが構築されている。一部には小電力無線通信システムが導入されているものの、主に有線のネットワークを使って実証実験が行われている。これらの有線回線のなかには、ISDN 回線ではなくアナログ電話回線のみ提供されている山間部の 1 か所も含まれている。そこで、平成 11 年度の実験では、既存の有線ネットワークの費用の抑制と高速化をはかるため、小電力無線通信システムの導入を行った。新しく構築した無線ネットワークは、ブリッジ型無線機とルータ型無線機の多段接続、異機種混在環境となっている。

本稿では、まず構築した無線ネットワークについて述べ、各地点間の速度評価、パケット到達遅延による影響、パケットロス率、および防災アプリケーションや情報提供アプリケーションを無線ネットワークで運用した場合の評価を行う。

2. 町内ネットワークの構築

2.1 ノードの配置とネットワーク構成

図 1 に平成 11 年度において構築した無線ネットワークの概略図を示す。平成 11 年度には、海南町役場から北東約 3.5 Km, ならびに北西約 8 Km 付近にある公共施設および小中学校など計 19 箇所にノードを設置した。

図 2 に幹線となる中継所の地理的な位置関係を示す。図中のノード番号に対応するノード名を表 1 に示す。

北東約 3.5 Km 付近の地域 (浅川地区; 本稿では東地区と呼ぶ) への接続は、中継所を 3 か所 (RN2, RN3, RN4) 経由して、RN1 から約 1.4 Km, 1.6

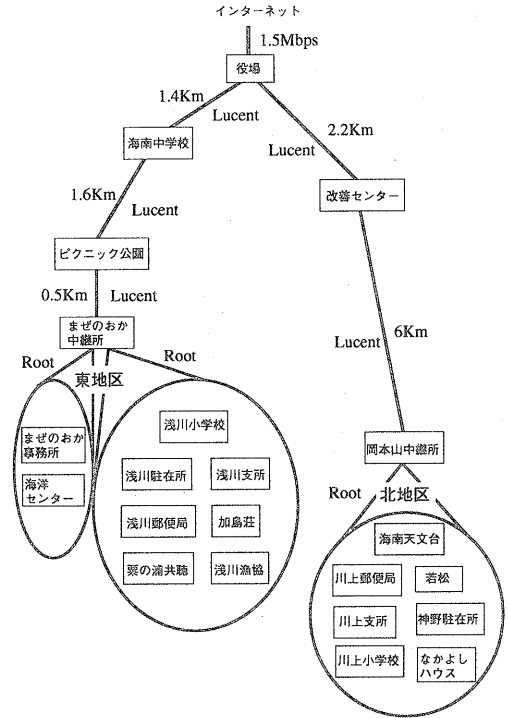


図 1 無線ネットワークの概略

Km, 0.5 Km の間隔で無線ブリッジを用いて接続した。

山間部である北西約 8 Km 付近の地域 (川上地区; 本稿では北地区と呼ぶ) では、中継所 2 か所 (RN5, RN6) を経由して、RN1 から約 2.2 Km, 6 Km の間隔で無線ブリッジを用いて接続した。

中継所 (RN4, RN6) では、複数の末端となるノードと通信が行えるように、末端ノードが全て指向面に含まれるようなアンテナを使用した。中継所と各末端ノードの間は無線ルータで接続することによって経路選択に冗長性を与え、耐障害性を高めている。

図 3, 図 4 に各ノードの地理的な位置関係を示す。図 3 は東地区, 図 4 は山間部の北地区のノードを示している。また、図中のノード番号に対応するノード名をそれぞれ表 2, 表 3 に示す。ただし、図 4 において NN5 と NN6 は他の拠点から離れているため記載されていない。

本ネットワークは、RN1 から、1.5 Mbps 回線で接続された ISP を経由してインターネットに接続されている。また、RN1 内の NAT サーバによりグローバルアドレスとプライベートアドレスを変換すること、およびプロキシサーバを設置することで外部と通信を行うようになっている。

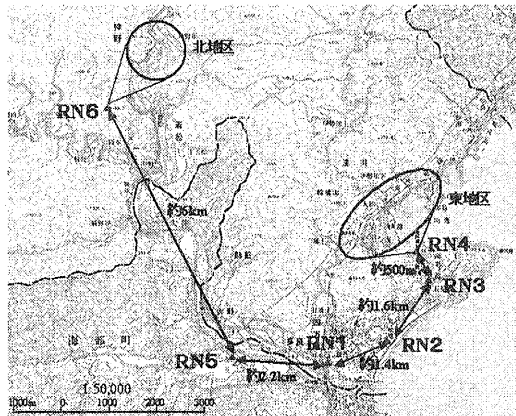


図2 接続ポイントの地理的な位置関係

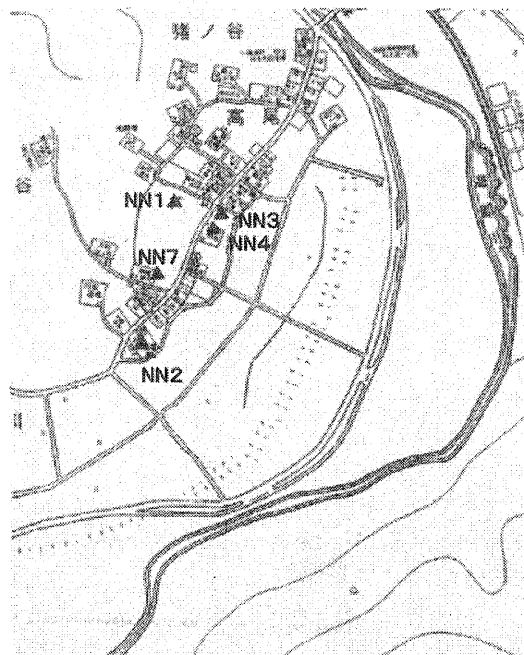


図4 北地区各ノードの地理的な位置関係

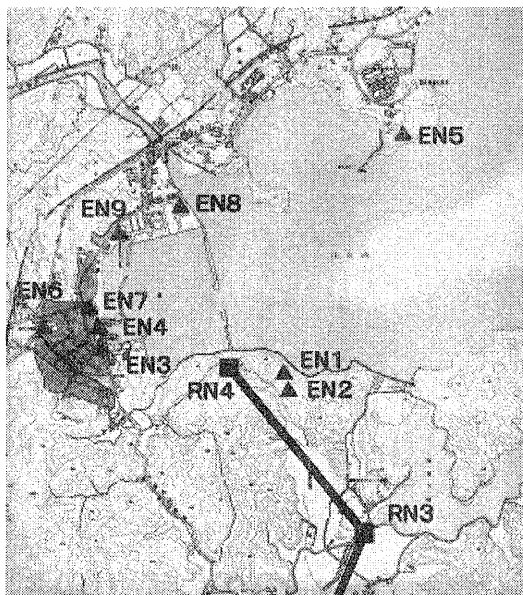


図3 東地区各ノードの地理的な位置関係

表1 基幹部のノード名

ノード番号	ノード名
RN1	役場
RN2	海南中学校
RN3	ピクニック公園
RN4	まぜのおか中継所
RN5	改善センター
RN6	岡本山中継所

表2 東地区のノード名

ノード番号	ノード名
EN1	まぜのおか事務所
EN2	海洋センター
EN3	浅川駐在所
EN4	浅川漁協
EN5	加島荘
EN6	浅川小学校
EN7	浅川郵便局
EN8	粟の浦共聴
EN9	浅川支所

表3 北地区のノード名

ノード番号	ノード名
NN1	川上小学校
NN2	川上郵便局
NN3	川上支所
NN4	神野駐在所
NN5	海南天文台
NN6	若松
NN7	なかよしハウス

2.2 使用機器の概要

各ノード内における機器の配置は、図5のようになっている。ただし、この図においては東地区方面への機器構成しか記載していないが、北地区方面も同様の構成になっている。

地域外への接続点となるRN1内LANには、平成10年度に地域情報を内外に発信するためのWWWサーバやデータサーバなど、各種アプリケーションサーバおよびファイアーウォールが既に設置されている。また、RN1を含めて図中平成11年度と示しているノード以外は、平成10年度に既に設置している関西電機製の無線ブリッジがある。そこで、以下に平成10年度、11年度に導入した関西電機製無線ブリッジ(以降無線ブリッジ(A)と呼ぶ)とルーセント製無線ブリッジ(以降無線ブリッジ(B)と呼ぶ)の仕様をそれぞれ表4、表5にまとめておく。

平成11年度に設置した東地区方面3か所、北地区方面2か所の中継所には、無線ブリッジ(B)を使用して基幹ネットワークを形成している。RN4、RN6においては、各末端ノードと接続するルート製無線ルータ(以降無線ルータと呼ぶ)もあわせて設置されている。各末端ノードにも無線ルータが設置され、RN4、RN6と接続している。以下に本実験で使用した無線ルータの仕様を表6にまとめる。

ここで、無線ブリッジと無線ルータの違いをまとめると次のようになる。

- 無線ブリッジ…TCP/IP 4層モデルの第2層にあたり、電気信号を増幅させ無線電波を介してデータの中継を行う装置である。

- 無線ルータ…TCP/IP 4層モデルの第3層にあたり、無線によるデータ送受信機能、および異なるネットワークアドレスを持つネットワークを接続する装置であり、IPによる経路制御(RIP2)機能も有している。

また、本実験で用いられている無線ルータでは、各ノードが無線回線を通したパケット通過率に基づく通信品質情報を互いに交換し、IP層とは独立の無線層においても最適な経路を選択するため、通信品質が変動する無線通信路においても耐障害性が高い。

このように基幹部は変調速度が高速な無線ブリッジを利用し、各地区内は同一周波数帯を使用する電子レンジなどからの妨害波から影響を受けないように動的に経路選択できる無線ルータを使用して町内ネットワークを構築した。

3. ネットワーク性能

3.1 スループット

ユーザが得る通信品質の評価として、本ネットワー

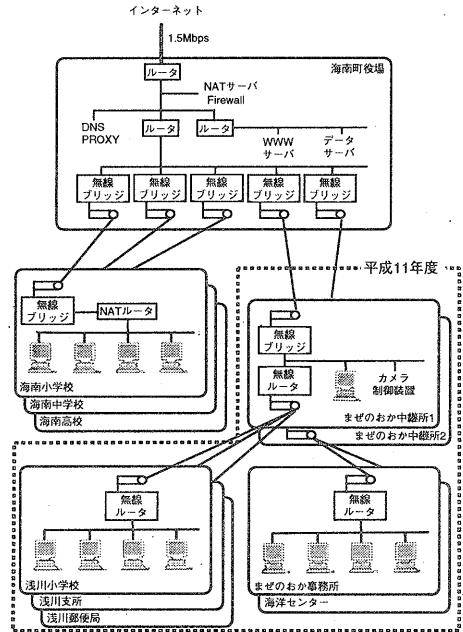


図5 各ノード内機器の配置の概略

表4 無線ブリッジ(A)の仕様

メーカー	関西電機社
型番	AIRPORT-LAN-LINK2
変調方式	SS/FH
使用周波数帯域	2471 ~ 2497 MHz(ホッピングパターンにより15チャンネル)
マルチアクセス方式	CSMA/CA
データ変調速度	1.6 Mbps
伝送距離	八木-八木 3 km 八木-ダイポール 1.2 km ダイポール-ダイポール 800 m

表5 無線ブリッジ(B)の仕様

メーカー	米国ルーセントテクノロジー社
型番	WavePoint2
変調方式	SS/DS
使用周波数帯域	2400~2497MHz(14チャンネル)
マルチアクセス方式	CSMA/CA
データ変調速度	11 Mbps
伝送距離	最大6km

表6 無線ルータの仕様

メーカー	ルート社
型番	RTB2400
変調方式	SS/DS
使用周波数帯域	2471~2497MHz(2チャンネル)
マルチアクセス方式	Dynamic TDMA
データ変調速度	2Mbps
伝送距離	最大5Km

クのスループットを測定した。測定方法としては一般ユーザが感じる通信品質を重視して、各ノードから Microsoft Internet Explorer5.0 で FTP サーバにアクセスし、ダウンロード終了時のスループットを計測する。そしてこれを 3 回行ったときの平均値を利用する。FTP サーバは、RN1 と RN6 に設置した。また、正確なスループットを測定するために、システム内の利用者制限をして測定を行っている。

表 7 に、各地区中継所までの幹線のスループットを示す。表 8 には、東地区の末端ノードから RN1 までのスループットを示している。表 9 は、北地区の末端ノードから中継所、および外部接続点である RN1 までのスループットを示している。表 8、表 9 から、幹線には高速な無線ブリッジを利用し、中継所—末端ノード間の回線に無線ルータを使用することで、ISDN 回線よりも高速なアクセスが実現できていると言える。実験に使った無線ルータでは、末端ノードが含まれる地区内において電波状態が変化したときに、ある隣接するノードとの通信ができなくなっても電波状態のよい他の隣接ノードを動的に選択してくれる機能が備わっている。このような機能を持つ無線ルータを使用することで、末端の回線よりも幹線のメンテナンスを重視することが可能となった。

表 7～表 9 は、各地区から RN1 までの伝送路が安定したときの測定結果である。システム構築中のテストでは、RN1—RN6 間が約 600Kbps、RN6—北地区各拠点 (NNx) 間がそれぞれ約 160 Kbps 程度のスループットが実現されていたにもかかわらず、RN1—NNx が 80 Kbps を下回るという現象が起っていた。しかし、RN6 の無線ブリッジや無線ルータの本体、PC などを収納していたボックス内を整理したところ、表 7～表 9 のようになったことから、何らかの機器から電磁波が漏洩していて、それが電波干渉を引き起こしていたものと考えられる。

表 7 幹線のスループット (2000 年 4 月 11 日)

取得元	取得先	スループット
RN6	RN1	1040 Kbps
RN4	RN1	800 Kbps

表 8 東地区のスループット (2000 年 4 月 12 日)

取得元	取得先	スループット
EN1	RN1	280 Kbps
EN2	RN1	270 Kbps
EN6	RN1	280 Kbps
EN7	RN1	240 Kbps
EN9	RN1	300 Kbps

3.2 伝送路の安定性

本システムは、小電力無線機を用いており、電子レンジや何らかの妨害波などの影響を受ける可能性がある。そこで、無線ネットワーク内の伝送路の安定性を把握する方法として、各ノードにおけるパケットロス率を観測し、回線の信頼性を調査した。

調査方法としては、一定期間一定間隔ごとに 10 回ずつ各ノードの無線機の LAN 側ネットワークインタフェース宛に ping コマンドを実行し、データを採取した。

図 6～図 8 に、2000 年 5 月 1 日から 5 月 6 日における 6 日間のパケットロス率平均のグラフを地区ごとに代表的なノードを抽出して示す。図 6 には東地区の EN6、図 7 には北地区の NN1、中継所ではない隣接する 2 ノードとのみ通信するよう設定されている NN6 を図 8 に示す。ここでは、横軸に測定時刻を、縦軸にパケットロス率の 6 日間の平均を表している。

これらの図からわかるように、パケットロス率は 1 日のうち最大でもある短時間中における 16% であり、2% 以下の時間帯が 80% 以上を占めている。このことから、各ノード間のパケット通過率は比較的安定していることがわかる。しかし、パケットロスが若干多くみられる NN6 (図 8) に関しては、図 9 に示すようにパケットロスが突然頻発する現象が時折みられた。このノードは、中継所 RN6 とは直接

表 9 北地区のスループット (2000 年 4 月 11 日)

取得元	取得先	スループット
NN1	RN1	240 Kbps
	RN6	320 Kbps
NN2	RN1	160 Kbps
	RN6	160 Kbps
NN3	RN1	140 Kbps
	RN6	160 Kbps
NN4	RN1	136 Kbps
	RN6	136 Kbps
NN6	RN1	112 Kbps
	RN6	128 Kbps

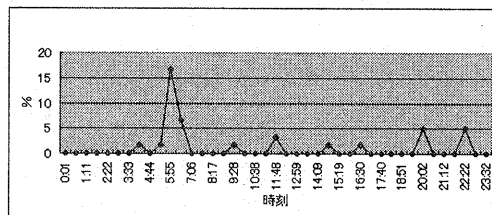


図 6 パケットロス率の平均の変化 (EN6, 2000 年 5 月 1 日～5 月 6 日)

見通しができないために、RN6 ではない隣接する 2 ノード (NN1, NN2) とのみ通信するように設定されており、他のノードと通信を行う場合にはこれらの隣接するノードにより中継が行われている。そのため、中継接続による問題とも考えられたが、NN6 と同様に、中継所 RN4 とは異なる隣接する 2 ノード (EN7, EN9) とのみ通信するように設定されている EN4 では、図 10 に示されるようにパケットロスが頻発する現象はみられなかったことから、無線ルータの他段中継による接続がパケットロスの頻発する原因とは考えにくい。パケットロスの頻発している NN6 と、同様に設定されているがパケットロスが頻発する現象がみられなかった EN4 との違いを比較したところ、EN4 は民家が密集した周囲に山のない住宅地域で通信されているのに対して、パケットロスの頻発した NN6 は周囲が山に囲まれ、かつ大きな川を横切る形で通信されていることが原因の一つではないかと考えられる。

3.3 通信遅延の影響

ネットワーク設計段階で、図 1 中の RN1 から各地区中継所 RN4, RN6 までは同一のネットワークアドレス (192.168.30/24) で IP アドレスを割り当てていた。RN1—RN6 間が約 600Kbps, RN6—北地区各拠点 (NNx) 間が約 160Kbps 程度のスループットが計測されていたにも関わらず、RN1—NNx 間のスループットをこの環境で測定したときには、RN6 の各機器を接続しているハブのコリジョンランプが点灯し続けると同時に、瞬間スループットが急激に減

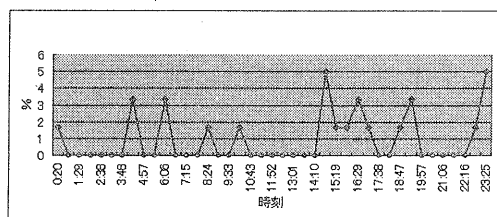


図 7 パケットロス率の平均の変化 (NN1, 2000年5月1日~5月6日)

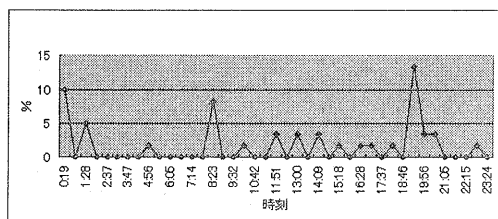


図 8 パケットロス率の平均の変化 (NN6, 2000年5月1日~5月6日)

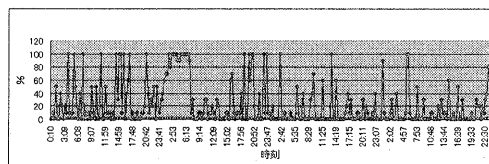


図 9 パケットロス率の変化 (NN6, 2000年3月17日~3月20日)

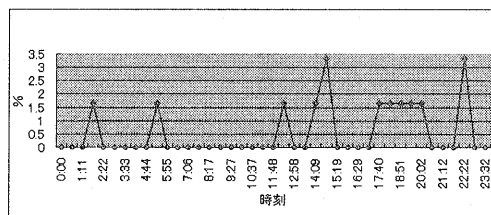


図 10 パケットロス率の平均の変化 (EN4, 2000年5月1日~5月6日)

少していった。その原因は、図 2 に示すように RN5 までのノードと RN6 までの距離が長く、パケット到達遅延時間が無視できなくなったからであると考えられる。つまり、実験に用いられている無線ブリッジのマルチアクセス方式は CSMA/CA であり、北地区以外で生成されたパケットが遅延を持って RN6 に到達するため、本来は RN6 で検出されなければならないキャリアが検出できず、無線ブリッジが回線が空いているものと誤解して配送を行い、RN5 や RN1 以北の方面でパケット衝突が生じて再送を行う、といった動作を繰り返すためにスループットが低下していくものと考えられる。

そこで、遅延時間の無視できない無線ブリッジの多段接続長距離通信でのふくそう状態解消と、ルータのバッファ機能による再送回数の削減を目指して、図 11 のように RN5 にルータを設置し、192.168.30/24 と 192.168.31/24 という 2 つのネットワークに分割した。RN1—NNx で通信を行ったところ、RN6 内のハブのコリジョンランプの点灯もなくなり、瞬間スループットも安定させることができた。

4. アプリケーション運用評価実験

4.1 気象センサー

集中豪雨による災害を防ぐという目的で、町内の気象情報を発信するため、RN1, NN7 の 2 ノードに気象センサー装置を設置した。これは、風向、風速、気温、湿度、気圧 (RN1 のみ) を測定し、RN1 に設置した WWW サーバを経由して各気象データをインターネットと町内に公開するものである。実験開始当初は、気象センサーのデータを RN1 の WWW サー

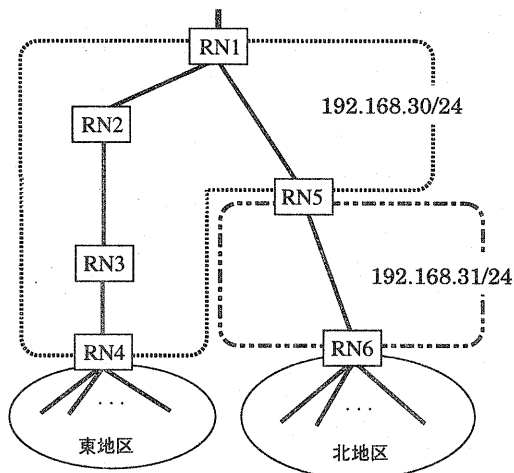


図 11 ルータ挿入後のネットワーク構成

バへ FTP するプログラムが、気象センサーのサーバにログインできず、気象データの更新ができていない時があった。この不具合は、無線ルータにおける TCP コネクションの開始から回線が安定するまでに時間がかかり、サーバにログインするパケットがタイムアウトとなってしまい、回線が遮断された状態と見なされたことが原因であった。そこで、FTP プログラムにログイン失敗時のリトライ機能を付加し、回線状態の変動する無線ネットワーク上での運用を可能にした。

4.2 監視カメラ、暗視カメラ

災害時に備え河川監視および津波監視を行うため、RN4、RN6 の 2 ノードに監視カメラおよび暗視カメラ装置を設置した。これは、ネットワークを経由してカメラの遠隔操作を行い、取得した画像をリアルタイムで WEB ブラウザ上に表示するものである。実験当初無線ネットワークの回線品質が安定するまでは、監視画像が表示されるまでに数十秒ほどかかり、カメラの移動やズーム操作などにも遅延が見られた。しかし、表 7 のように回線品質が安定することにより、リアルタイムでの画像表示および操作が可能となり、十分利用可能であることがわかった。

4.3 動画像移動中継

カバーエリアの拡張が容易である無線ネットワークの特徴を生かし、無線ルータを用いた移動中継の運用とその評価を行った。運用方法としては、車両に搭載した無線ルータを用いて西および東地区のネットワークに接続し、同じく車両に搭載した動画サーバによって野外で撮影した動画像をリアルタイムで配信するシステムである。無線ルータを使用することにより、無線機のネットワーク設定を一部変更す

るだけで異なるネットワークに接続することができ、複数のネットワークにまたがった広域の移動中継が可能となった。使用評価としては、移動先のネットワークに合わせて無線機の設定を変更しなければならないが、事前に設定ファイルを用意することにより設定変更にかかる時間も短縮され、動画像の配信も ISDN 回線と同程度の体感品質が得られることがわかった。

5. おわりに

本稿では、ネットワークの高速化とコスト削減を目的に小電力無線通信システムを用いた自治体ネットワークの構築、およびネットワークの運用評価実験を行い、その概要と結果を述べた。ネットワーク性能評価により、幹線に高速な無線ブリッジを利用し中継所と末端ノード間の回線に無線ルータを使用することで、ISDN 回線より高速なアクセスが実現でき、耐障害性も向上することがわかった。また、運用評価実験の結果より、気象センサーのデータ転送、監視カメラ・暗視カメラの動画転送、中継カメラの動画像転送等の防災利用を含めたアプリケーションにおいても、実用に耐えうることを確認した。今後の課題として、雨天時における降雨減衰の影響、スペクトラム拡散方式の周波数ホッピング方式と直接拡散方式の混在による影響、および晴天時に突然のパケットロスが起こるノードの原因を実験により検討することなどが挙げられる。

謝辞 無線機の設置と試験にご協力頂いた徳島大学知能情報工学科森井研究室の福田洋治氏に感謝する。

文 献

- [1] 白河, 太田, 真野, 白石, 森井, 山下, 高橋, 竹田, “小電力無線通信システムによる広域ネットワークの構築と運用実験”, 電子情報通信学会技術研究報告, OFS99-5, pp.31-36, 1999.
- [2] 今井, 澤本, 矢野, 菊池, 菊池, “高速無線 LAN システムによる地域情報化ネットワークの構築と運用”, 電子情報通信学会技術研究報告, IN99-107, pp.39-44, 2000.
- [3] 四国電気通信監理局: 無線イントラネットに関する調査研究報告書, 地域振興のための電波利用に関する調査研究会, 2000.