



SCOPE成果報告会2011年10月4日

オープン・メッシュネットワークの研究開発

研究代表者

間瀬憲一(90313501) 新潟大学大学院自然科学研究科(2113101000)

研究分担者

岡田 啓(50324463) 埼玉大学大学院理工学研究科(2112401000) H20.4-H23.2

松井 進(40417043) 日立製作所システム開発研究所(6000227015) 通期

門田 和也(00500810) 日立製作所システム開発研究所(6000227015) 通期

佐藤 弘起(60500361) 日立製作所システム開発研究所(6000227015) 通期

坂田 匡通(00560260) 日立製作所システム開発研究所(6000227015) 通期

寺田 真介(60560258) 日立製作所システム開発研究所(6000227015) 通期

阪田 史郎(80375609) 千葉大学大学院融合科学研究科(2112501000) 通期

飯塚 宏之(60531192) 日本電気通信システム株式会社(6982891683) 通期

武下 行夫(90575086) 東京電波株式会社(6985496501) 通期

北爪 恵司(20540305) 東京電波株式会社(6985496501) 通期

金子 昌彦(10521221) 株式会社ウイビコム(6000244001) 通期

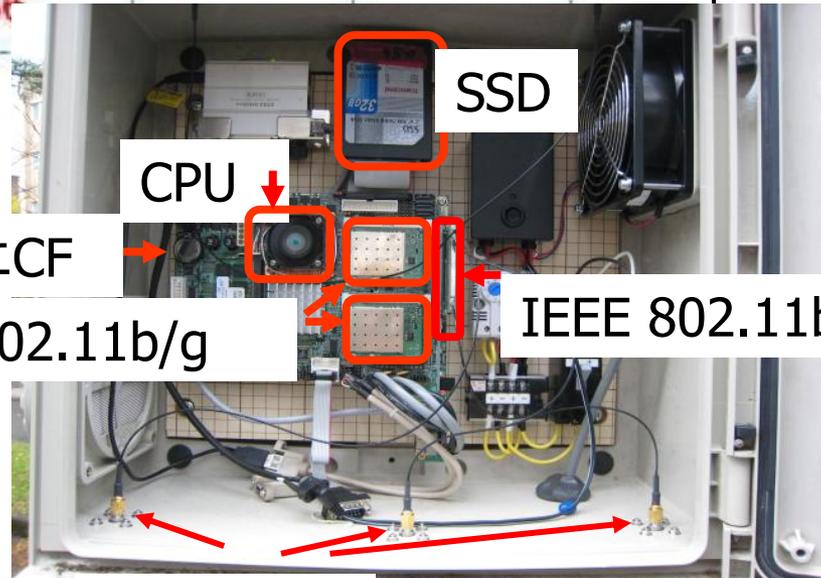
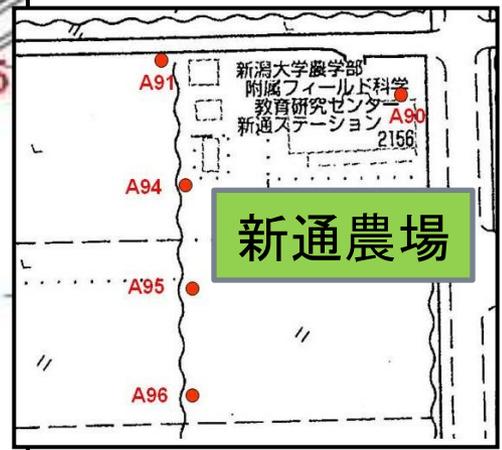
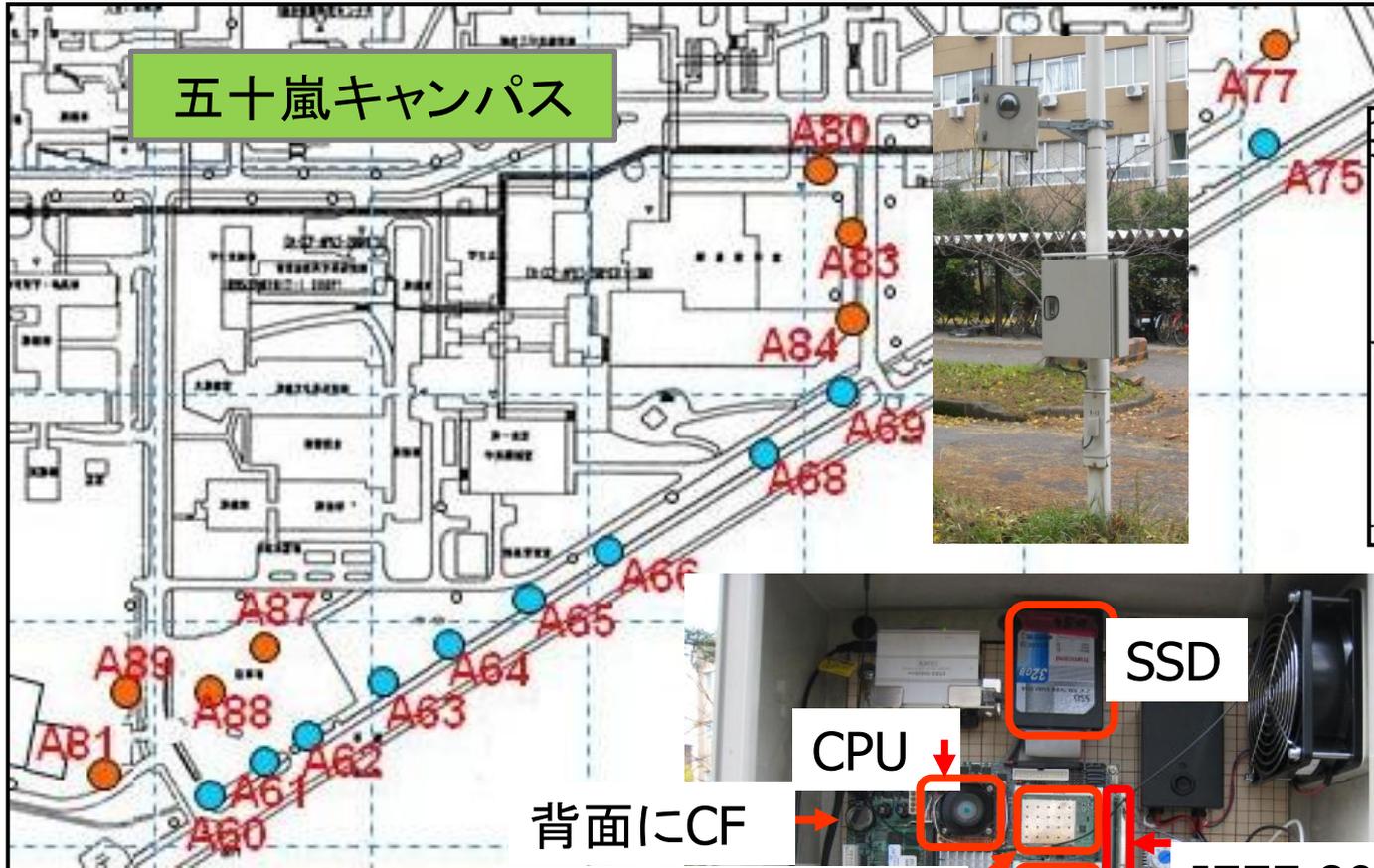
長谷部 聡(40522876) 株式会社ウイビコム(6000244001) 通期

大和田 泰伯(30452080) 独立行政法人情報通信研究機構 (0000000640) 通期

研究期間 平成20年度～平成22年度



1. メッシュルータ開発とテストベッド



背面にCF →

アンテナへ



Confidential



2. MN用ルーティングプロトコルnuOLSRv2 のバージョンアップ

- nuOLSRv2 が準拠する仕様(平成22年2月28日現在最新)
 - インターネットドラフト
 - olsrv2-11
 - nhdp-14
 - RFC
 - RFC5148 (Jitter)
 - RFC5444 (Packet/Message format)
 - RFC5497 (Multi-value time)
 - リンクメトリック関連
 - draft-dearlove-olsrv2-metrics-05
 - draft-funkfeuer-manet-olsrv2-etx-01



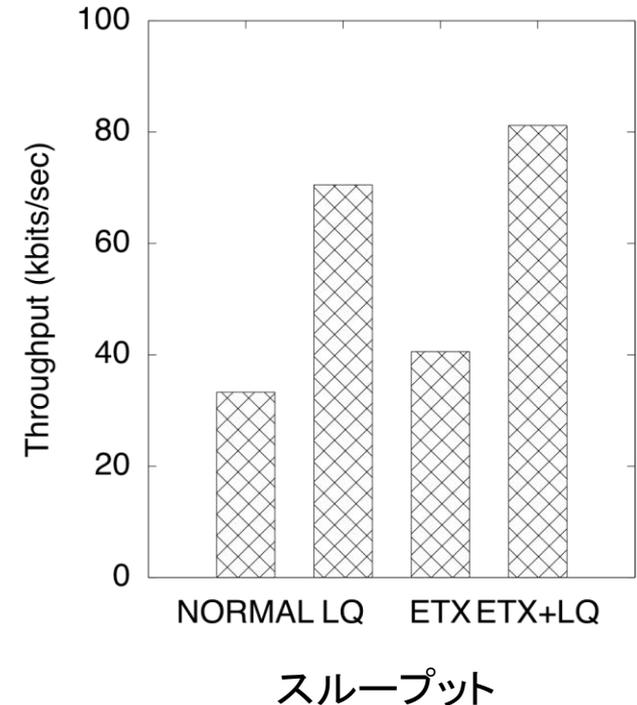
テストベッドによる動作確認と相互接続実験結果

□ テストベッドによる動作確認

- 新潟大学五十嵐キャンパスに設置された38のノードで nuOLSRv2 を動作
- キャンパスの両端の1対のノードを使用してTCPのスループットを計測
- ETX とリンククオリティを組み合わせた場合、NORMAL に比べて約 2.4 倍の平均スループット

□ 相互接続実験結果

- 日時：11月30～12月2日
- 場所：新潟大学五十嵐キャンパス
- 実装：H-OLSRv2（日立製作所版実装）
nuOLSRv2
- 新潟大学五十嵐キャンパスの屋外テストベッド47ノードを使用し、約半数ずつのノードで、nuOLSRv2d と H-OLSRv2 を実行
- 全ノード間、及び、Attached Network によるゲートウェイの経路構築を確認





3.レイヤ3WMNにおける経路構築機能の開発

1. MR-MRの経路構築(バックボーンネットワーク)

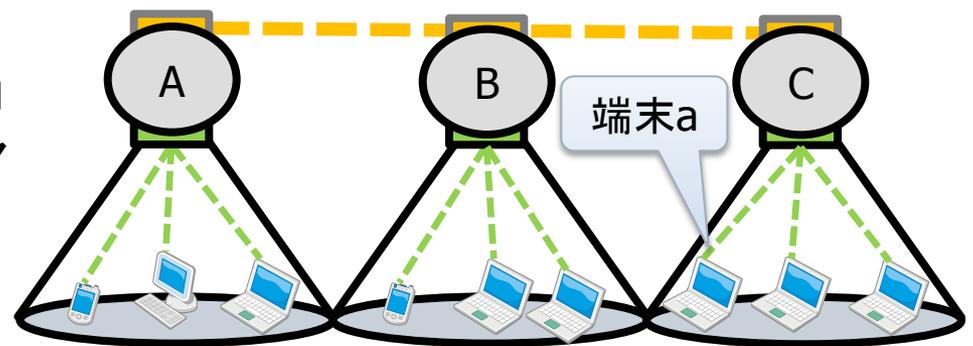
- MANET(Mobile Ad hoc Network)ルーティングプロトコルを利用
 - 任意の無線リンク(IEEE 802.11、IEEE 802.16、..)
 - すべてのMR間の経路を構築(OLSRv2)

2. 端末-端末間の経路構築

- 端末は従来の無線LAN(全体でESS、レイヤ2でローミング可能)
- “端末所属情報”をネットワーク全体で共有することで実現可能
- MANETルーティングプロトコルに端末所属情報広告機能を追加

開発技術

オーバーヘッドの少ないIPアドレス割当
アドレスペア分散管理アーキテクチャ
ローミング時のIPアドレス解決
ARPの実現方法

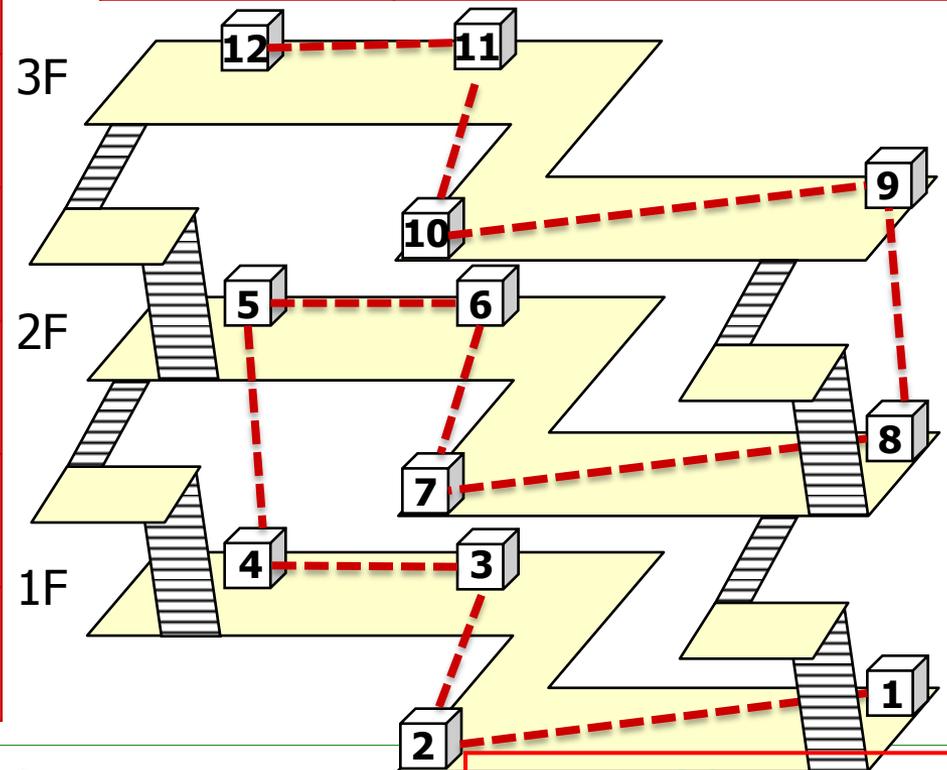




実験条件

MR数	12 [台]
モバイル端末数	2 [台]
伝送方式	IEEE 802.11b
送信レート	11 [Mbps]
RTS/CTS	On
チャンネル	3 [ch] (MR-MR) 9 [ch] (端末)
ルーティングプロトコル	nuOLSRv2
nuOLSRv2 ポーリング間隔	10 [ms]
TCメッセージ広告周期	10 [s]
TCメッセージ有効期間	60 [s]

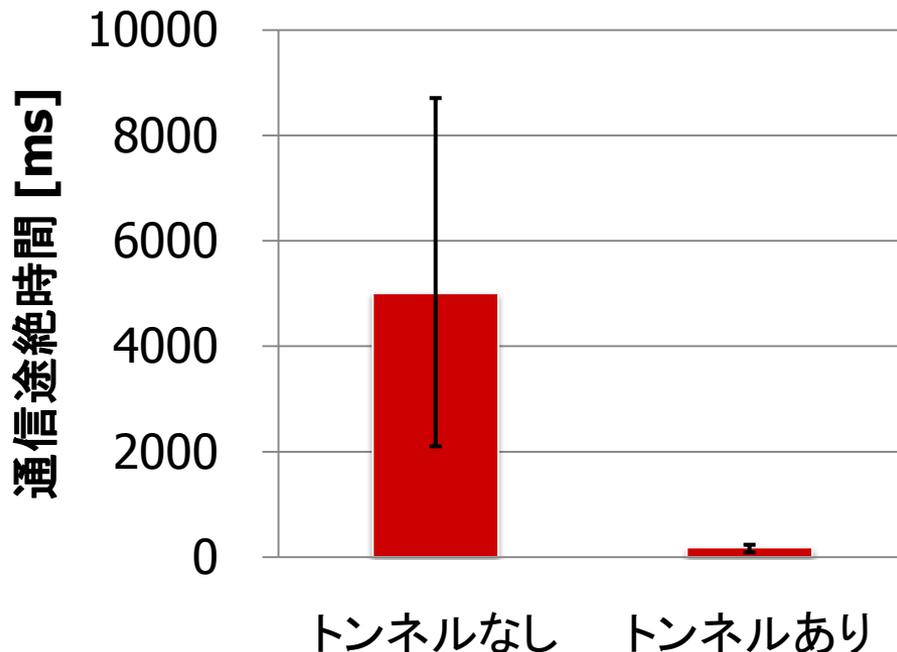
型番	OpenBlocksS266
CPU	IBM Power PC 406GPr 266MHz
主記憶容量	128 [Mbytes]
OS	SSD/Linux
Kernel	Kernel 2.6.18
無線LANカード	NEC WL54AG × 2
無線ドライバ	Madwifi 0.9.3.3





端末ローミング時の通信途絶時間測定

- 端末が1hop先のMRへローミングした場合のアプリケーションレベルの通信途絶時間を測定(試行回数5)
 1. 同一MRに所属する端末間で10ms毎にpingを送信
 2. 片方のモバイル端末を持って徒歩で移動しローミングを発生させる



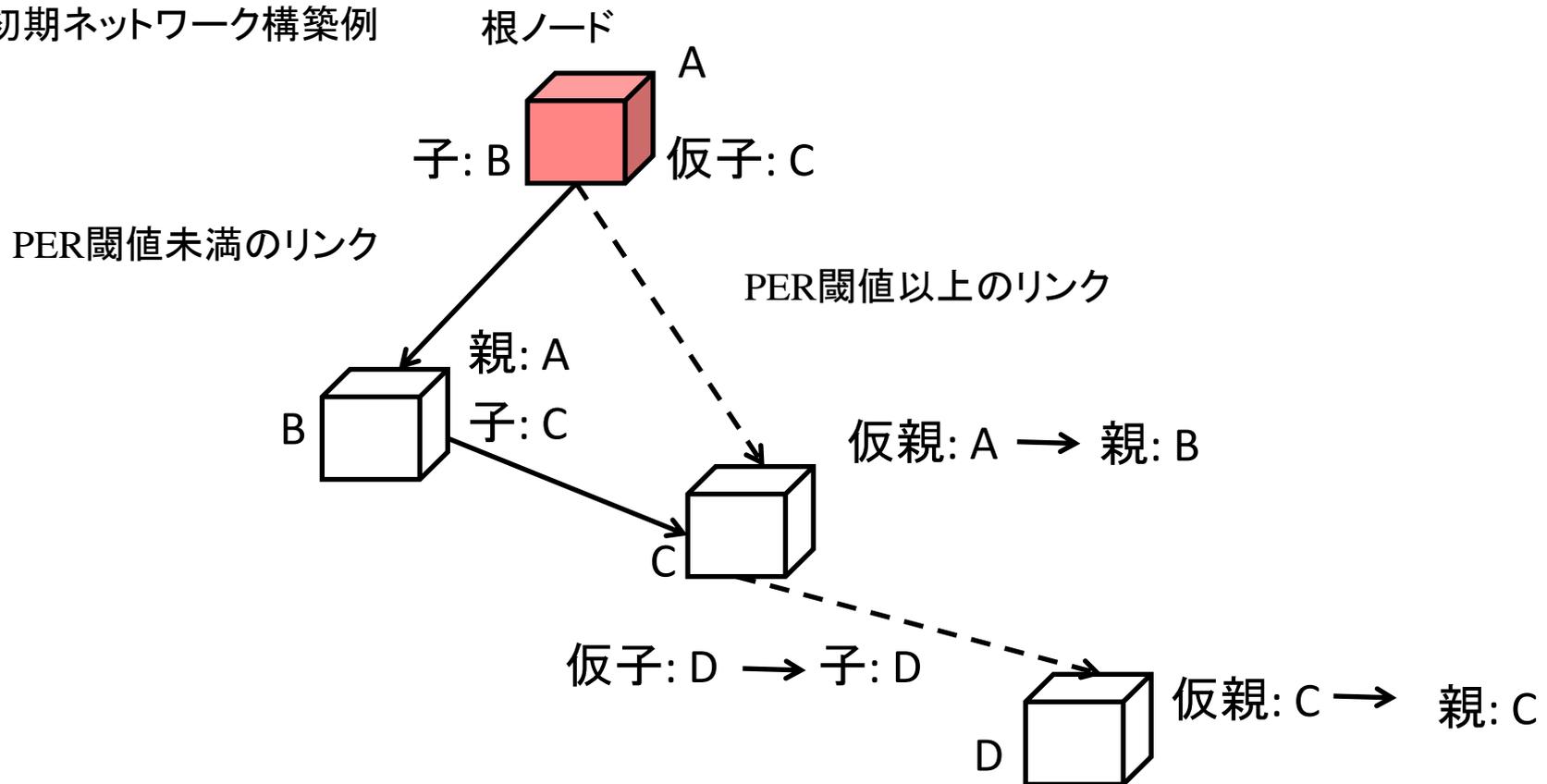
通信途絶時間の内訳(トンネルあり)

IPアドレス解決時間	9.7 [ms]
トンネル構築時間	161.4 [ms]
その他	10.9 [ms]
合計	182 [ms]



4.メッシュネットワーク・バックボーン自動構成機能

初期ネットワーク構築例

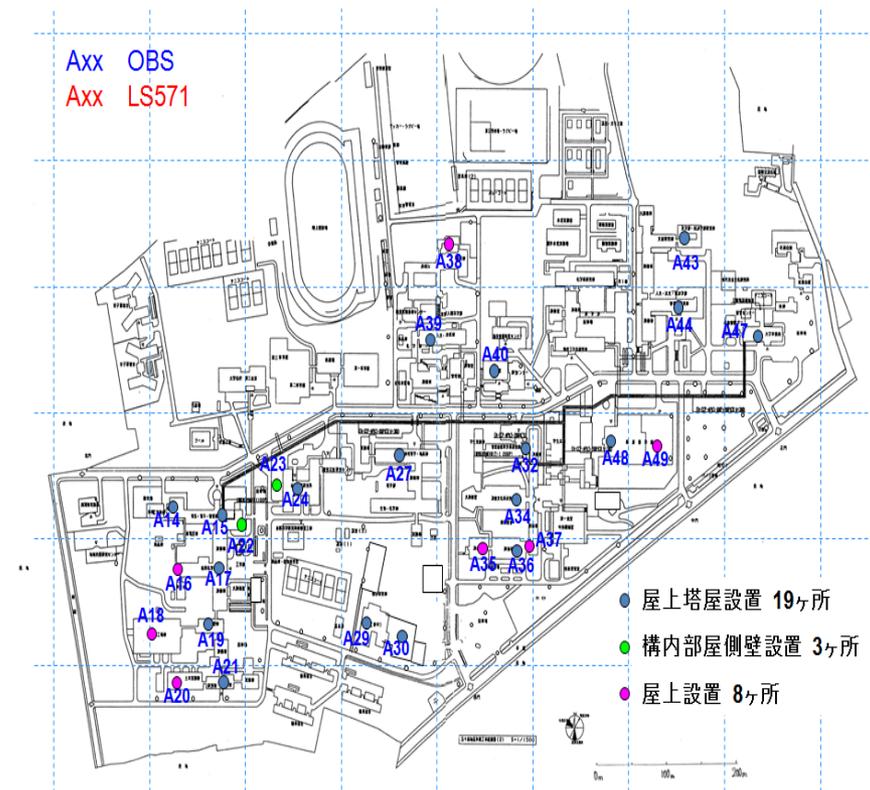


従来手法の問題点 : PER閾値を上回るリンクが初期ネットワークに含まれる
 提案手法 ⇒ 初期ネットワーク完了後、親とのPERが閾値を上回っていれば、再度タイムアウト時間分だけ親を探索



実験条件

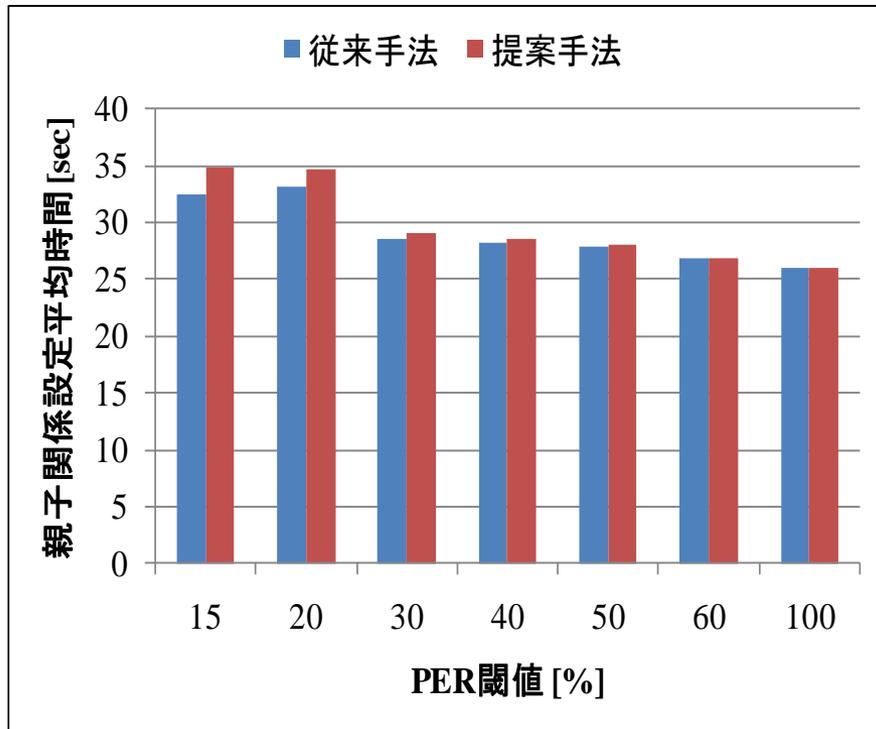
MR数	27	
リンク品質測定ツール	ping	
パケットサイズ	92 byte	
測定時間	1 sec	
送信パケット数	50	
送信間隔	0.02 sec	
伝送レート	2 Mbps	
制御なし	タイムアウト時間	0 sec
	PER閾値	100%
制御あり	タイムアウト時間	20 sec
	PER閾値	15%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%
試行回数	各5回	



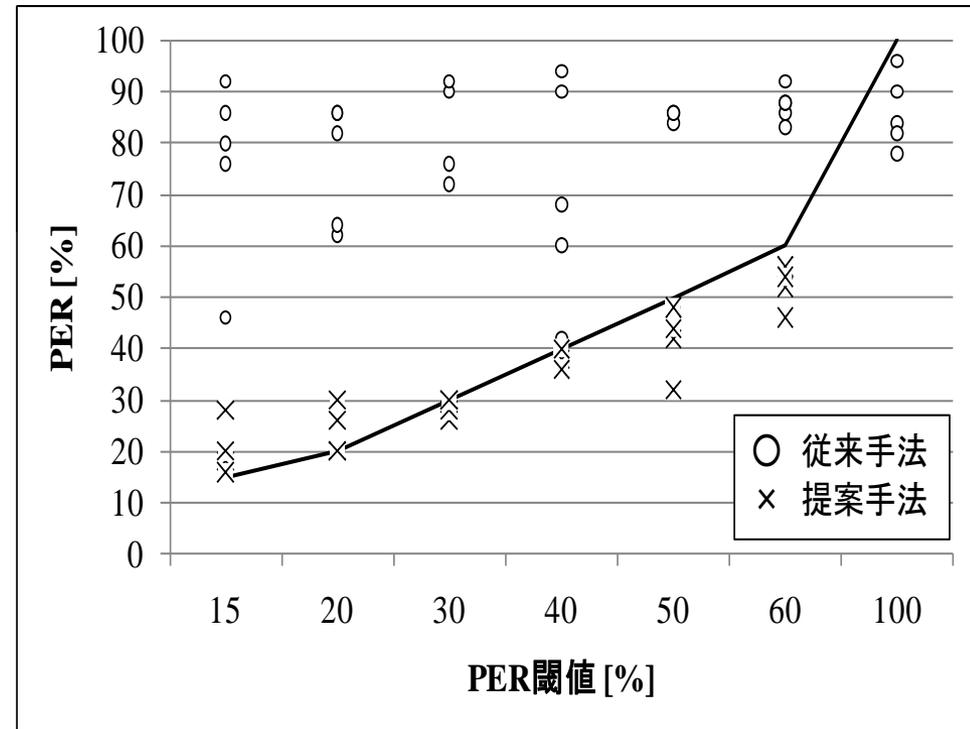


実験結果

親子関係設定平均時間



初期ネットワークのリンクの最大PER





リンク品質測定のねらい

- 各リンクのパケット損失率(PER)を測定
 - 各ノードが順次各レートでプローブパケットをブロードキャスト
 - 各リンク・各レートのスループット推定
- 各リンクに対してスループット最大のレート(最適レート)を選択し、固定割当

直列方式

MRが順番に測定用プローブパケットをブロードキャストしていく

並列方式

事前測定

各MR、各レートの送信範囲を取得

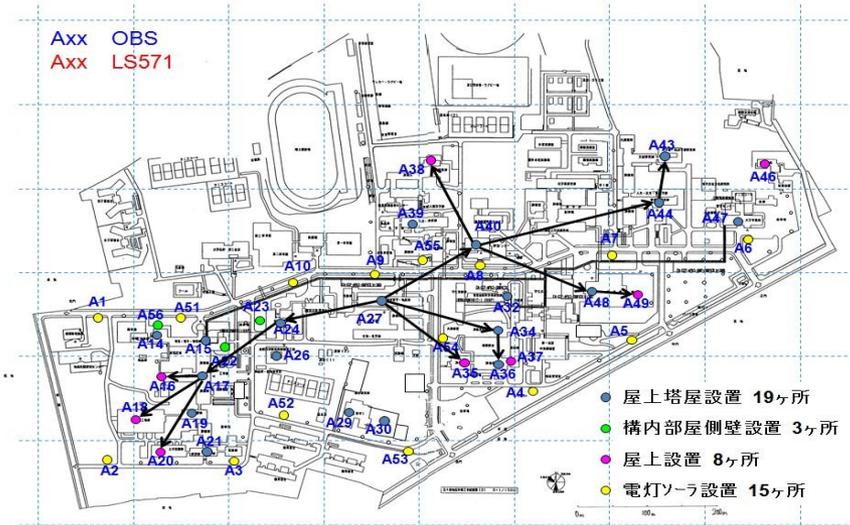
本測定に用いるブロードキャストスケジューリングの決定

本測定

決定したスケジューリングに従い、複数MRが同時ブロードキャストを実行
レートは限定

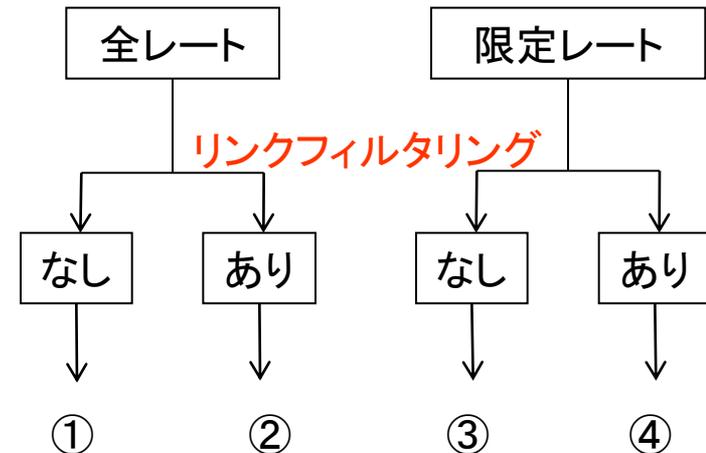
実験条件

使用MR数		15	
リンク数		34	
無線LAN規格		IEEE 802.11b/g	
測定ツール		stream	
トランスポートプロトコル		UDP	
送信パケット数	直列	1000	
	並列	事前測定	10
		本測定	1000
パケット送信間隔		0.02 sec	
パケットサイズ		1472byte	
チャンネル		3 (2.422GHz)	
送信電力		19 dBm	
リンクフィルタリング閾値		0.5、1.0	
試行回数		各5回	



並列方式パラメータ設定

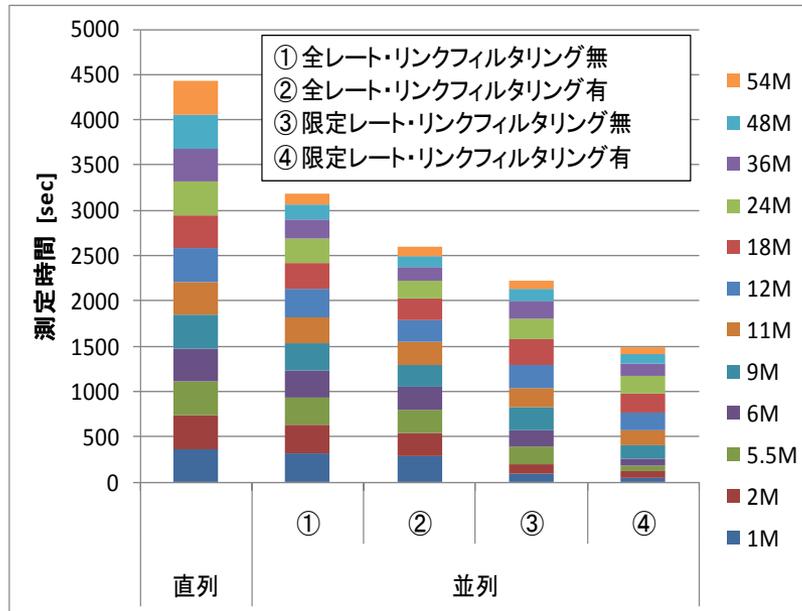
本測定時に各MRが測定を行うレート



*リンクフィルタリング
PERが一定閾値以上のリンクを削除



実験結果



* 並列方式は事前測定の測定時間を含む

* 最適レート推定成功率

直列方式を用いた場合に推定された最適レートに対して、並列方式を用いた場合に同様の最適レートが推定される割合

* 準最適レート推定成功率

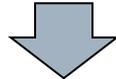
同様の最適レートに加え、それより1つ高いレートもしくは、1つ低いレートが推定される割合

パラメータ設定	①	②	③	④
最適レート推定成功率	64.7%	50%	58.8%	61.1%
準最適レート推定成功率	85.3%	85.3%	82.4%	89.6%



5. 半固定レート設定方式

- 固定レート設定方式にすることでスループットが向上する
 - どのように固定するレートを選択するのが重要



- 半固定レート設定方式

- 測定区間ではデータパケットをオートレートで送信
 - 測定区間ではRTS/CTSを使用する
 - オートレートはRTSの再送回数を考慮しない
 - RTS/CTSの送信レートは最低速レートを使用
- 測定区間で最も使用された送信レートを最適レートに決定
- 測定区間後は選択された最適レートを固定で使用する

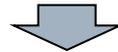




半固定レート設定方式の改良

□ オートレートアルゴリズムの改良①

- RTSフレームの再送回数を考慮してレート選択を行うと適切なレート選択ができない
 - RTSフレームの再送回数をレート選択時に考慮しないよう改良(H21年度)



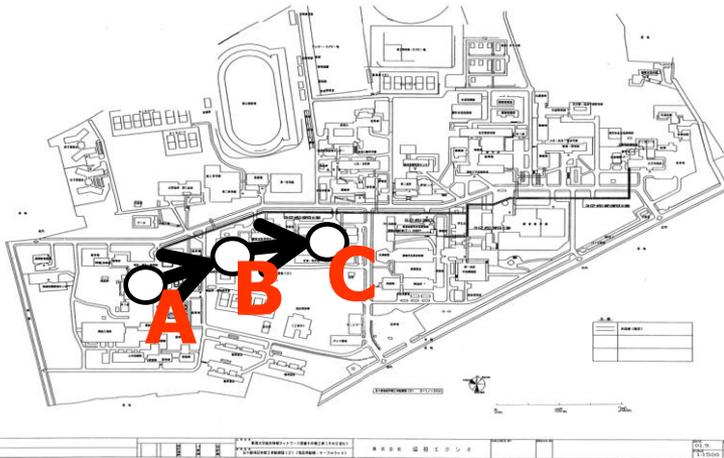
- 端末間距離が長くなり最適レートが低速レートである場合に、最適レートを使用するまでに時間がかかる
 - RTS/CTSの送信レートを最低速レートとする

□ オートレートアルゴリズムの改良②

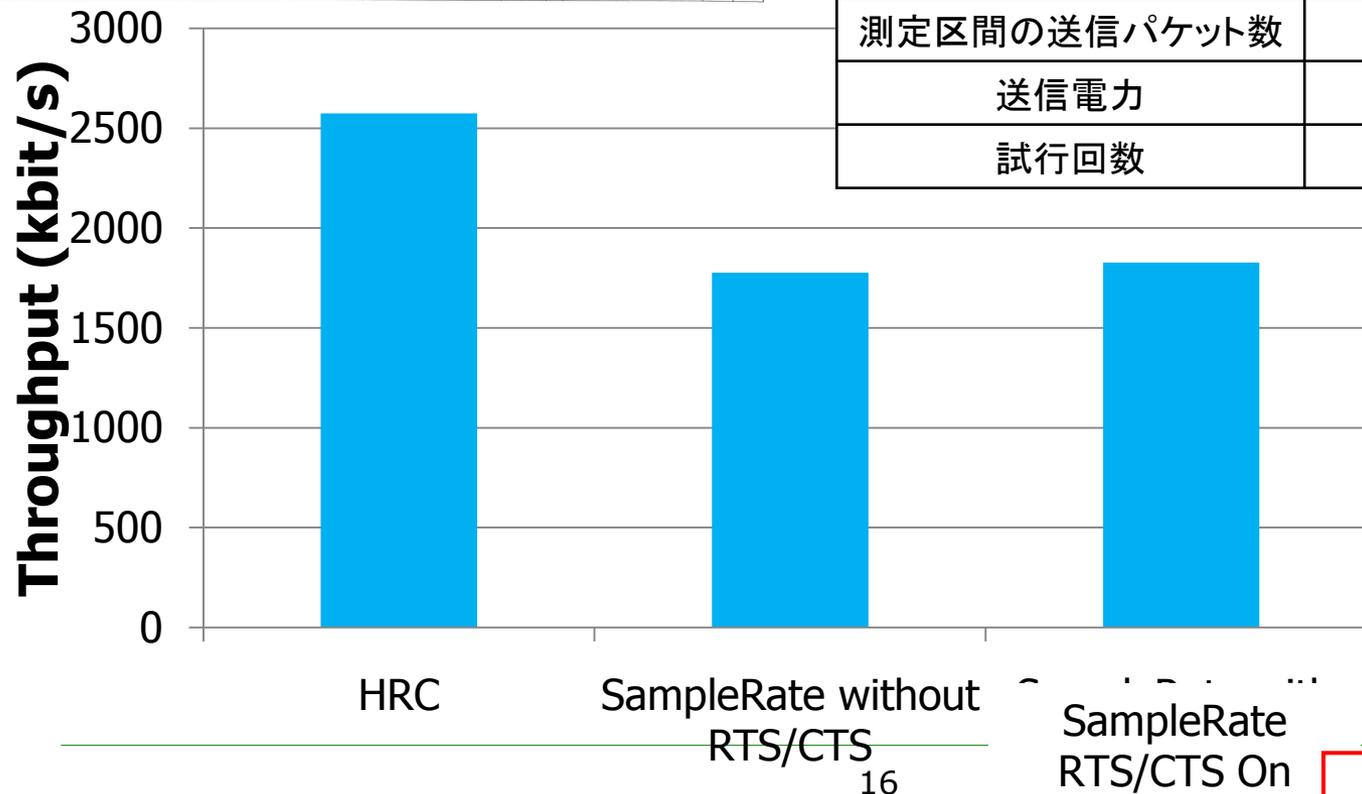
- 測定区間を時間長で設定すると、設定時間内にパケットが送信されない場合に適切なレートを選択できない
 - 測定区間を送信パケット数により設定



半固定レート設定方式の性能評価(屋外テストベッド実験)



無線LANカード	NEC WL54AG
カードドライバ	Madwifi (Ver. 0.9.4.1)
動作モード	IEEE 802.11g
オートレートアルゴリズム	SampleRate
スループット測定ツール	iperf
パケットサイズ	1472 byte
UDPフロー送信時間	30秒
測定区間の送信パケット数	1000packet
送信電力	19dBm
試行回数	5回

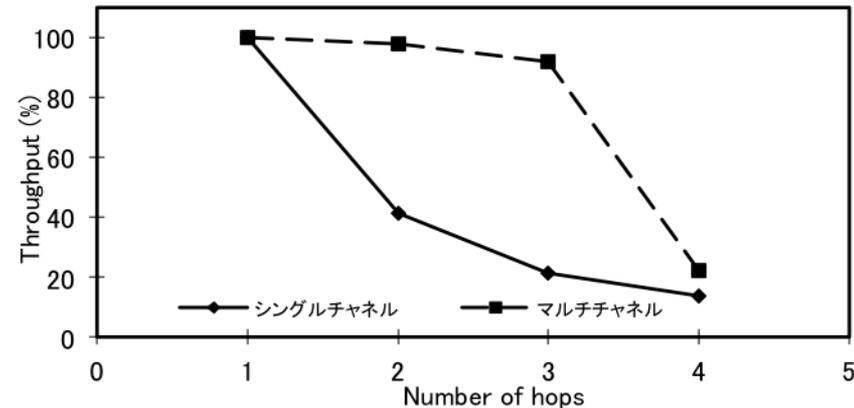
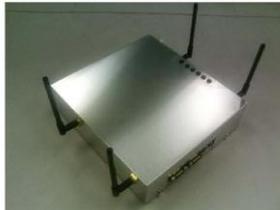


6. マルチインタフェース・マルチチャンネル技術の機能改良

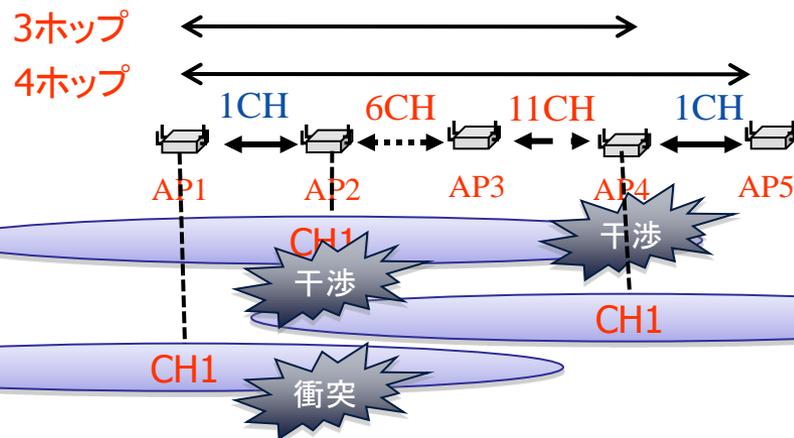
- 無線インタフェースを4個搭載した4ch中継機を開発、直線上に配置し、マルチホップ時のスループットを測定

4ch中継機の仕様

項目	仕様
無線LAN	インターフェース数: 4、無線規格: IEEE802.11b/g
有線LAN	インターフェース数: 1 (10/100Base-T)
CPU	SH4
OS	Linux Kernel 2.6
RAM	DDR-SDRAM: 64MByte
筐体	アルミ製 非防水 230×210×60mm
製作	日立情報通信エンジニアリング



スループット性能測定結果



- ・3ホップまで: 1ホップとほぼ同等のスループット
- ・4ホップ: 急激にスループット低下

IEEE802.11gでは独立したチャンネルは3個しかなく、1ホップ目と4ホップ目で同一チャンネル使用

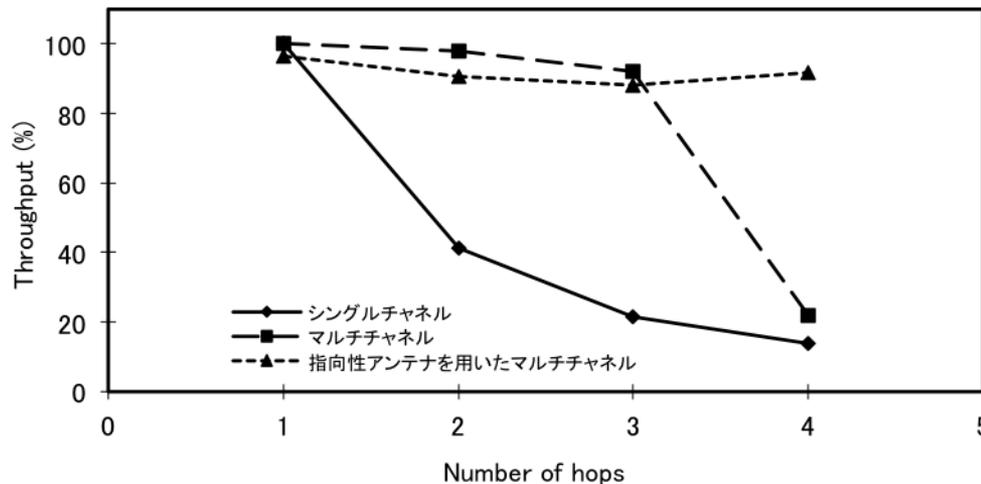
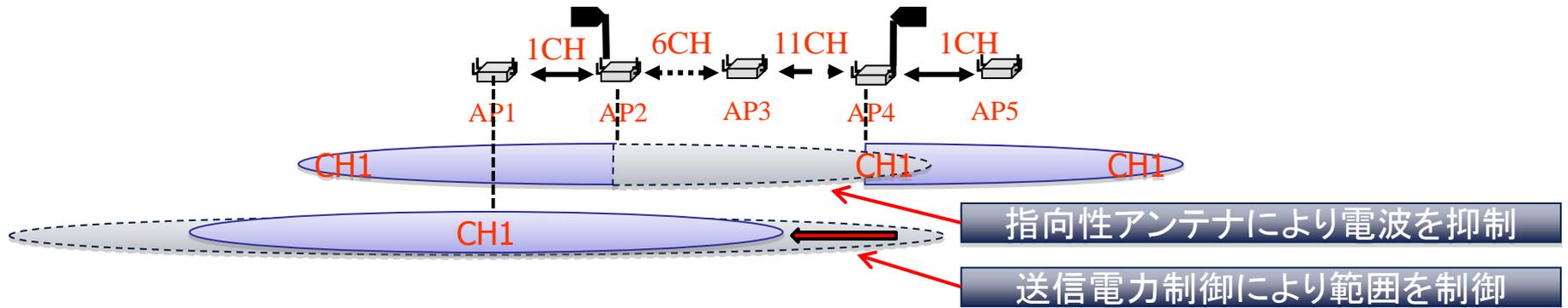
原因1: 電波干渉

原因2: 隠れ端末 (左図ではAP1とAP4は隠れ端末)



送信電力制御と指向性アンテナの組み合わせによるスループット改善

- 送信電力制御機能を開発し各APに搭載するとともに、指向性アンテナを使うことにより、干渉及び隠れ端末問題を解決



4ホップでスループットが減少しないこと(シングルチャネルでの3倍以上のスループットであること)を確認し目標を達成

マルチホップでのスループット測定結果

7. アンテナ複合制御機能

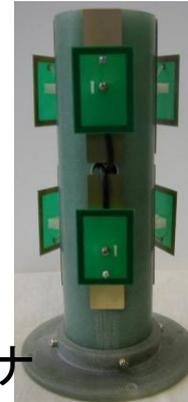
1. 課題 ネットワーク容量・カバー範囲を拡大するためノードに3セクタアンテナを持たせた。

2. 製作アンテナについて
アンテナ単体基本仕様

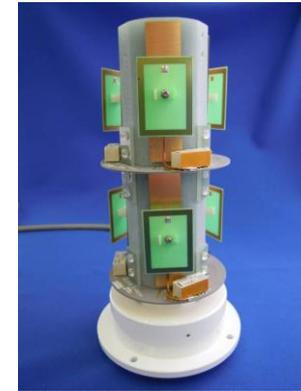
周波数範囲	2400~2500MHz
VSWR	1.3以下
利得	5.8dBi
水平面指向特性	約120°

3セクタアンテナ

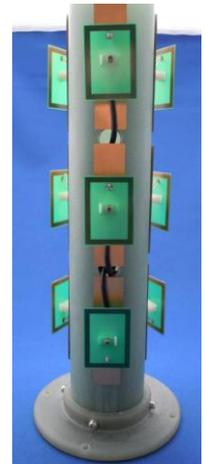
- (1) 3セクタダイバシチアンテナ
- (2) 切替器付き3セクタダイバシチアンテナ
- (3) MIMO用3セクタアンテナ



(1)



(2)



(3)

3. 結果

- ・ 指向角度120度を実現。MIMO用の複数送受に対応する3セクタアンテナを容易に実現可。
- ・ マイクロストリップの特性を応用し、3アンテナの切替え・合成の低損失化を実現。

・ テストベッドでの動作検証・評価結果

無指向性アンテナと比べ、送信レートが36Mbpsのとき、6Mbps以上のスループットを達成できる距離が40%増加。また、2系統同時送受信においてはスループットが劣化しないことを確認した。

シングルフローの場合、オムニアンテナと比べ、エンドツーエンドのスループットは2.4~6.4倍

マルチフローの場合、1.2~5.6倍。



東松島市におけるメッシュネットワーク構築





基地局構成図(野蒜築港資料室)

野蒜築港資料館



ソーラー、バッテリーボックス設置位置



電気室

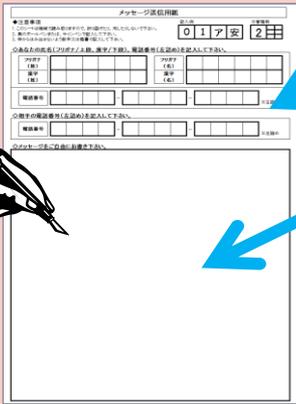
アンテナポール設置位置



避難所通信システムのサービス(1)

- 宛先の電話番号を記入
- メッセージを手書きで記入

メッセージ送信用紙



相手の電話番号

相手へのメッセージ

避難所

- メッセージを読み込ませる

読み込み




スキャナー

避難所

- 送信者がメッセージの宛先として記入した番号宛てに電話通知

サーバ

送信



あなた宛てに
メッセージが...

自動電話通知



電話(受信者)

メッセージ情報

※携帯電話でも可能

外部

- ホームページにアクセス, アカウント登録

新潟大学ホームページ

アカウントの登録
•電話番号
•電子メールアドレス



※携帯電話でも可能

外部

避難所通信システムのサービス(2)

- 電子メールで送られたURLにアクセスし、メッセージを閲覧

アカウント登録後
メッセージ到着



5

※携帯電話でも可能

外部

- 避難所へメッセージを送る

OOさんへ、
そちらの状況はどうですか…

宛先は相手の
電話番号



6

※携帯電話でも可能

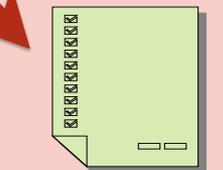
外部

- 着信メッセージが印刷される

スキャナー

ダウンロード

印刷



返信メッセージ

7



サーバ

避難所

- 着信メッセージを受け取る

メッセージ送受信状況
一覧をチェック

メッセージ一覧

あ！OOさんからだ！

自身宛てのメッセージ
を受け取る

8

避難所



成果まとめ

	20	21	22	合計
査読付き 論文数	4(4)	9(8)	9(7)	22(19)
口頭発表 数	29(0)	40(2)	34(6)	103(8)
申請特許 数	3(0)	2(0)	5(3)	10(3)
受賞数	1(1)	1(0)	2(1)	4(2)

注:()内は、海外分の件数を再掲する

代表的論文

- [1] K. Mase、“How to Deliver Your Message From/To Disaster Area”、
IEEE Communications Magazine (2011年1月)
- [2] K. Mase、“Layer3 Wireless Mesh Networks
—Mobility Management Issues”、
IEEE Communications Magazine (2011年7月)