

音声データ伝送に適応した無線センサーネットワークシステム
の技術的条件に関する調査検討

報告書

平成27年3月

音声データ伝送に適応した無線センサーネットワークシステム
の技術的条件に関する調査検討会

目次

1.	調査検討の背景と目的	5
1.1.	調査検討の背景	5
1.2.	調査検討の目的	5
1.3.	調査検討項目と概要	6
1.4.	調査検討における実施体制	6
2.	920MHz 帯無線センサーネットワークシステム	7
2.1.	920MHz 帯無線センサーシステム	7
2.1.1.	920MHz 帯無線センサーシステムの概要	7
2.1.2.	920MHz 帯周波数の利用状況	9
2.1.3.	920MHz 帯無線センサーシステムの技術基準	10
2.1.4.	920MHz 帯無線センサーシステムの新たな利用	11
2.2.	920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの導入事例	11
2.2.1.	工場におけるエネルギー管理	11
2.2.2.	社会インフラのモニタリング	12
2.2.3.	防災行政無線の補完システム	13
2.3.	920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの利用ニーズ調査	13
2.3.1.	アンケート項目	14
2.3.2.	アンケート結果	14
2.4.	他の無線システムとの比較	18
2.4.1.	比較結果	18
2.4.2.	音声データ伝送への適性	19
3.	音声データ伝送の課題と対策	21
3.1.	920MHz 帯無線センサーシステムの諸元	21
3.2.	音声データ伝送に対するシステム要件	23
3.3.	音声データ伝送における課題	23
3.4.	音声データ伝送における課題の対策	26
4.	音声データ伝送の机上検討 - ラボ内試験 -	27
4.1.	ラボ内試験の概要	27
4.1.1.	ラボ内試験環境と測定手順	27
4.1.2.	音声品質の評価指標	29
4.2.	最適なコーデックとパラメータの選定	30
4.2.1.	測定条件	30
4.2.2.	試験結果	31
4.3.	Ack 応答有無の比較	36
4.3.1.	測定条件	36
4.3.2.	測定結果	37

4.4.	デューティ制御方式の比較	40
4.4.1.	測定条件	40
4.4.2.	測定結果	41
4.5.	ラボ内試験のまとめ	44
5.	音声データ伝送の実証 - フィールド試験 -	45
5.1.	フィールド試験の概要	45
5.1.1.	フィールド試験項目	45
5.1.2.	フィールド試験環境と測定手順	45
5.1.3.	フィールド試験場所及び試験経路	49
5.2.	電波伝搬フィールド測定	50
5.2.1.	測定手順	50
5.2.2.	測定結果	51
5.3.	Ack 応答有無の比較	51
5.3.1.	測定条件	52
5.3.2.	測定結果	52
5.3.3.	ラボ内試験との比較	55
5.4.	デューティ制御方式の比較	57
5.4.1.	測定条件	57
5.4.2.	測定結果	57
5.4.3.	ラボ内試験との比較	59
5.5.	フィールド試験のまとめ	62
6.	周波数共用条件の検討	63
6.1.	検討方針の概要	63
6.2.	音声データ伝送による影響	64
6.2.1.	電波の質の測定	64
6.2.2.	音声データ伝送のネットワークモデル	65
6.2.3.	920MHz 帯電子タグ普及予測との比較	68
6.3.	干渉検討と評価	69
6.3.1.	隣接周波数帯無線局との干渉検討	69
6.3.2.	同一周波数帯無線局との干渉検討	71
6.3.3.	デューティ緩和に対する所要 CIR の検討	78
6.4.	音声データ伝送を考慮した無線設備の諸元	79
7.	音声データ伝送の技術的条件案	82
7.1.	適用範囲	82
7.1.1.	使用周波数と送信時間制限以外の技術的条件	82
7.1.2.	使用周波数	82
7.1.3.	送信時間制限	83
7.1.4.	電波防護指針	83
7.2.	まとめ	84
	付録	87

付録 1 構成員名簿.....	88
付録 2 調査検討会の開催状況.....	89
付録 3 920MHz 帯無線と 2.4GHz 帯無線 LAN の通達距離の比較.....	91
付録 4 20mW 出力の特定小電力無線局と 250mW 出力の簡易無線局との比較.....	97
付録 5 隠れ端末問題とは.....	98
付録 6 ホップ数毎の同時通話回線数の上限の算出方法.....	99
付録 7 デモ試験の様子.....	101
付録 8 用語解説.....	105

はじめに

近年、ICT を駆使した新たな無線デバイスやサービスの開発・普及が急速に進んでいます。携帯電話の普及は 100%を越え、その内スマートフォンが 50%を占めようとしており、移動通信とインターネットの連携がごく普通のものとなっています。活動量計やスマートウォッチといった多種多様なウェアラブルデバイスが発売されています。また、身の回りにある TV や体重計、血圧計、などをインターネットに接続する Internet of Thing (IoT) についても多くの企業が活発に取り組んでいます。また、それらと連携した eHealth などのサービス開発も進んでいます。

これらの多様なサービスへの要望に応えるべく、無線通信システムの高機能や新たな無線システムの標準化と開発が行われています。携帯電話会社は LTE や WiMAX のサービスエリアを急速に拡大させるとともに、更なる通信速度の向上に向け次世代移動通信システムの開発を進めています。Wi-Fi や Bluetooth の高機能化も進んでいます。また、本調査検討会の対象となっている 920MHz 帯無線センサーシステムを始めとして新たな無線システムが標準化され、いくつかの通信機器メーカーから無線装置が提供されています。

日本は残念ながら災害大国であり、2011 年の東日本大震災や 2014 年の広島土砂災害を始めとして毎年のように災害に見舞われています。そのたびに、停電や通信ケーブルの切断により、いくつかのエリアが通信途絶する事態が発生しています。非常時においては、M2M や IoT 等のデータ通信専用ネットワークであっても、人と人のコミュニケーションにも利用できることが望まれます。例えば、岩手県大槌町では防災無線で不可能な機能や補完的役割、具体的には音声によるコミュニケーションを担うことを目的として 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを利用する試みが行われています。

今回の調査検討は、現行のシステムを利用して新たな情報伝達手段を確立しようとするものであるとともに、多くの人に「このような情報伝達手段もある」といったことを周知する良い機会だと考えます。

本調査検討会の結果が、災害情報の伝達はもちろん、その他様々な用途に有益に利用され、情報伝達の多様化に繋がれば幸いです。

最後に、ご多忙の中、委員会に参加いただき、貴重なご意見、ご提言をいただいた構成員並びに調査検討会に御協力いただいた関係者の方々に対して心から謝意を表します。

平成 27 年 3 月
音声データ伝送に適応した無線センサーネットワーク
システムの技術的条件に関する調査検討会
座 長 村 田 嘉 利

1. 調査検討の背景と目的

1.1. 調査検討の背景

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災では、未曾有の津波被害により多くの通信網が途絶され、災害対策本部と避難所との連絡が出来なくなるなど、避難した場所の把握に時間を要した。避難した集落では、孤立したところも多く、集落の駐車場に SOS の文字を書いて救援を求めている光景が今でも思い出される。また、津波情報の伝達においても、混乱の中、どこまで正確に情報が伝達されたかという問題点も指摘されている。これらを教訓として多くの自治体では、非常時に即応可能な通信網や多様な通信手段が求められている。一方、通信手段の多様化には、設置費用、ランニングコスト、通信料など各自治体にかかる負担が大きい。このような背景から自治体にとって経済的に無理なく、簡単に設置可能なシステムを要望する声が高い。

岩手県大槌町では、同報系防災行政無線の補完システムとして 3 年前に制度化された 920MHz 帯を利用した無線ネットワークシステム(以下「920MHz 帯無線センサーネットワークシステム」という。)を構築し、データ通信を用いて迅速に住民に情報を通知する試みが始まっている。920MHz 帯無線センサーネットワークシステムでは、送信出力が 250mW 以下の無線局は免許申請の手続きが簡易であり、20mW 以下の無線局は免許申請の手続きが不要である。また、UHF 帯という電波の特性から見通し外通信に適していることや使用する周波数帯域を 200kHz から 1MHz まで選択できることで、効率的なデータ伝送が可能となる。さらに、複数の無線局間でデータを中継するマルチホップ通信を利用することにより、広範囲にサービスを提供することができる。一方、技術的条件が適合すれば、誰でも使用できるシステムであることから、他システムからの干渉や通信システムとしての信頼性が明らかになっていない。

920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを防災用途や通信インフラシステムとして使用する場合、緊急時に伝送する情報として音声は不可欠である。しかしながら、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムは、データを伝送することを主目的に制度化されており、音声品質を確保するための音声コーデックや音声信号のマルチホップ伝送などが考慮されていない。また、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを音声通信として利用する場合、トラフィックの増加に伴う他の無線センサーシステムとの干渉の懸念がある。

このような状況を踏まえ、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを防災補完用途及び通信インフラの補完システム等に利用するため、音声データ伝送に対する技術的な調査検討及び周波数有効利用に資する技術的条件を明らかにすることが求められている。

1.2. 調査検討の目的

本調査検討の目的は、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムに音声データ伝送を適用する場合の技術的条件の提言及び既存のデータ伝送システムとの共存を可能とする干渉回避条件についての調査検討を行い、音声データ伝送を適用した 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの有効性を検証することである。

1.3. 調査検討項目と概要

前述の目的を果たすために実施した調査検討項目を以下に示す。

- (1) 920MHz 帯無線センサーシステムの概要
- (2) 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムのニーズ調査
- (3) 音声データ伝送の技術的課題と対策
- (4) ラボ内試験及びフィールド試験
- (5) 他の無線局との干渉検討
- (6) 技術的条件のとりまとめ

1.4. 調査検討における実施体制

調査検討を行うに当たって、利用者側の意見を幅広く聴取するため、被災した自治体を主体とした構成員(構成員については「付録 1 構成員名簿」参照)からなる調査検討会を設置し、各調査検討項目に対して助言をいただいた。

2. 920MHz 帯無線センサーネットワークシステム

2.1. 920MHz 帯無線センサーシステム

2.1.1. 920MHz 帯無線センサーシステムの概要

920MHz 帯無線センサーシステムは、電子タグシステムやデータ通信システム(以下「電子タグシステム等」という。)として多くの分野で使用されているものである。種別としては、大まかにパッシブ系とアクティブ系に分類される。

(1) パッシブ系

パッシブ系は、一般的に電子タグ、IC タグ、RFID(Radio Frequency Identification)など(以下「タグ」という。)と呼ばれており、電波により個体識別を行うことで、物流管理や物品管理などで使用されている。パッシブ系システムは、タグとリーダ/ライタから構成され、タグからは自動的に電波を発射することはできず、タグの送信エネルギーにはリーダ/ライタからの搬送波の電力が利用される。一部には、タグの内部回路や付属するセンサー等に電力を供給するために電池等を有しているセミパッシブと呼ばれるものもある。

タグの情報量は、バーコードの数倍から数千倍程度であり、大量の物品を管理するために多くの情報を記憶させることに適している。ID の読み出し機能のみの安価な製品から、情報の書き換え可能なものや各種センサーと連携した情報管理等が可能な高機能製品まで様々な種類のタグがある。



図 2-1 パッシブ系の利用例

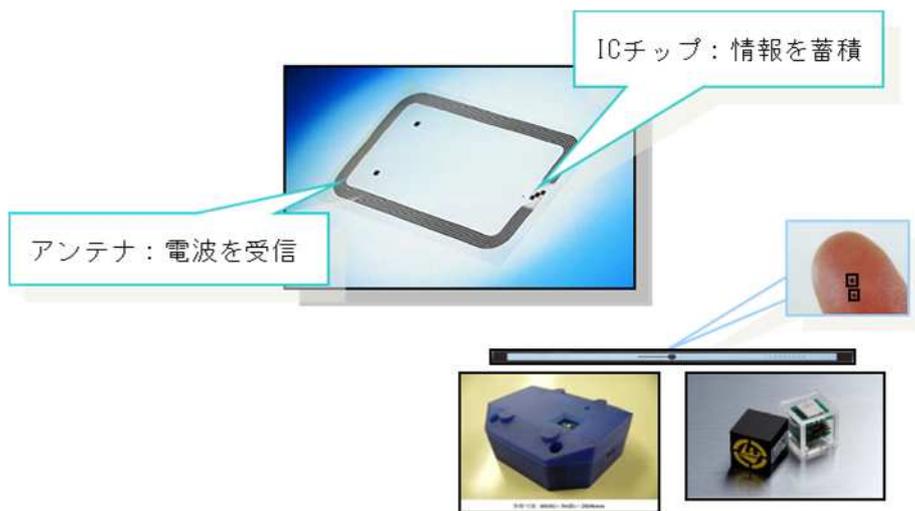


図 2-2 RFID 受信側システム基本構成

(2) アクティブ系

パッシブ系とは異なり、内蔵した電源等からのエネルギーによりタグから自発的に電波を発射することができ、データ通信システムとして幅広い分野で使用されている。平成 20 年 5 月に 950MHz 帯でのアクティブ系システムが利用可能となった。その当時は、送信出力が 10mW 以下しか認められていなかったが、平成 24 年 7 月からの 920MHz 帯の周波数移行に伴い、250mW までの出力が可能となった。また、使用可能な周波数帯域も従来から 8MHz 拡大され、約 15MHz となった。現在、ネットワークシステムとして電気やガスの自動検針等への適用が進められている。また、ビームフォーミングアンテナを用いた DSSS 方式による電波到達距離を伸ばす検討も行われており、今後、屋外での利用が飛躍的に伸びてくるものと考えられる。

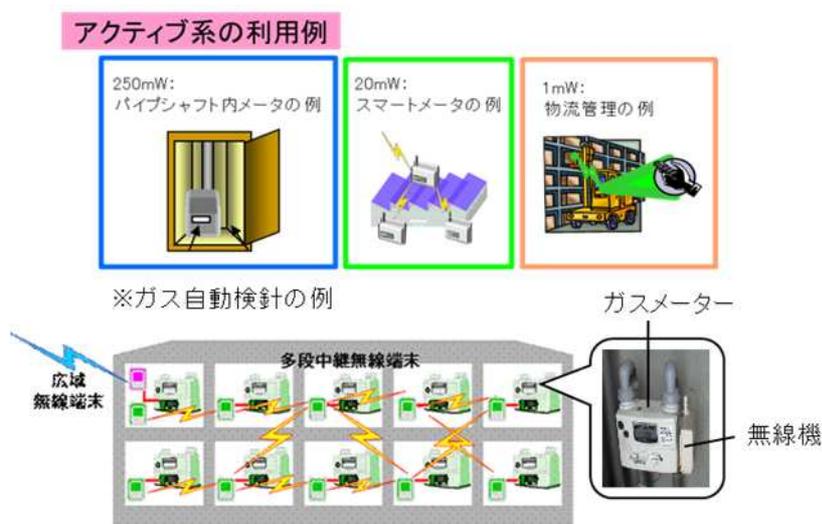


図 2-3 アクティブ系の利用例

2.1.2. 920MHz 帯周波数の利用状況

携帯電話用周波数の逼迫に伴い、700/900MHz 帯の周波数再編が実施され、900MHz 帯の周波数が携帯電話用として新たに割り当てられた。これに伴い、950MHz 帯を使用していた電子タグシステム等は、920MHz 帯へ移行することとなった。(図 2-4 参照)

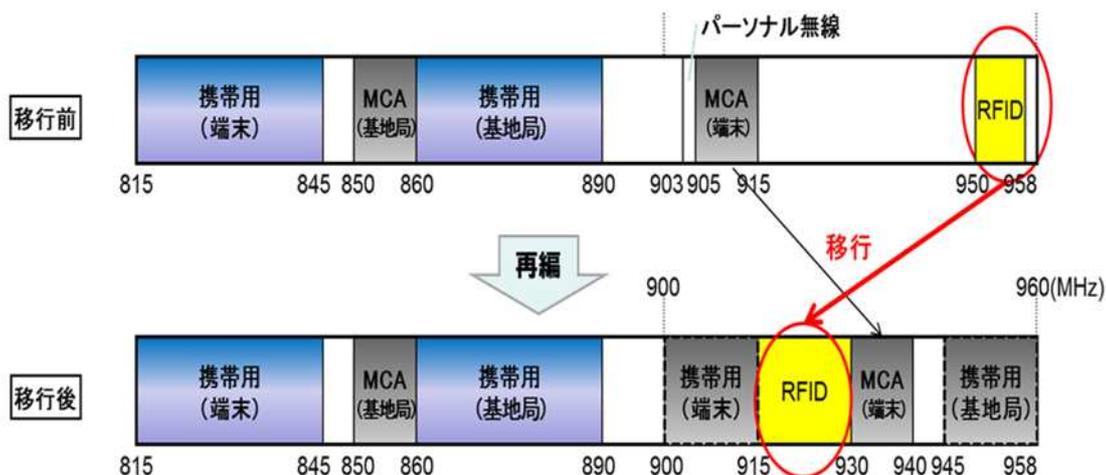


図 2-4 920MHz 帯への移行

電子タグシステム等の周波数移行は、平成 24 年 1 月から開始され、平成 30 年 3 月 31 日までに 920MHz 帯へ移行することとなっている。920MHz 帯への移行に伴い、パッシブ系は大量のデータを短時間で読み込めるミラーサブキャリア方式を導入し、アクティブ系は屋外での長距離通信用途として空中線電力が 250mW まで緩和された。また、周波数の有効利用の観点から、928MHz-930MHz については、審判用無線として国際サッカー等に限定して使用できるようになっている。(図 2-5 及び図 2-6 参照)

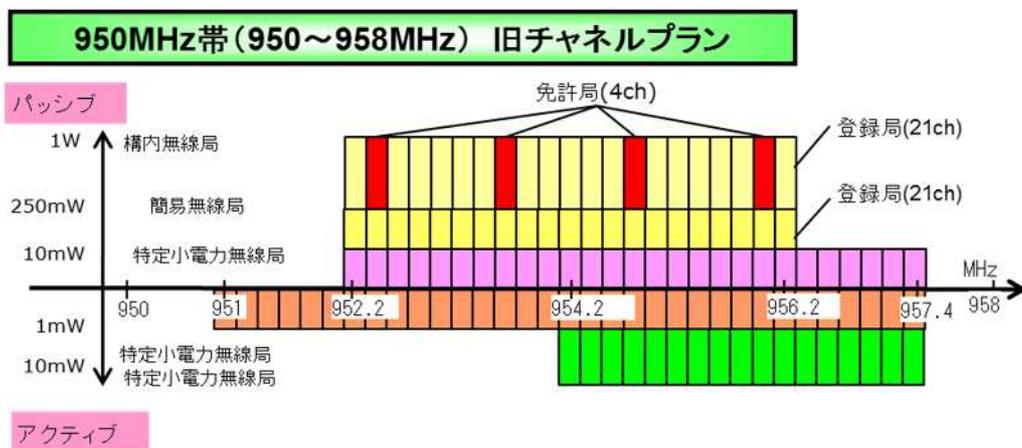


図 2-5 950MHz 帯における旧チャンネルプラン

920MHz帯(915~930MHz) 新チャンネルプラン

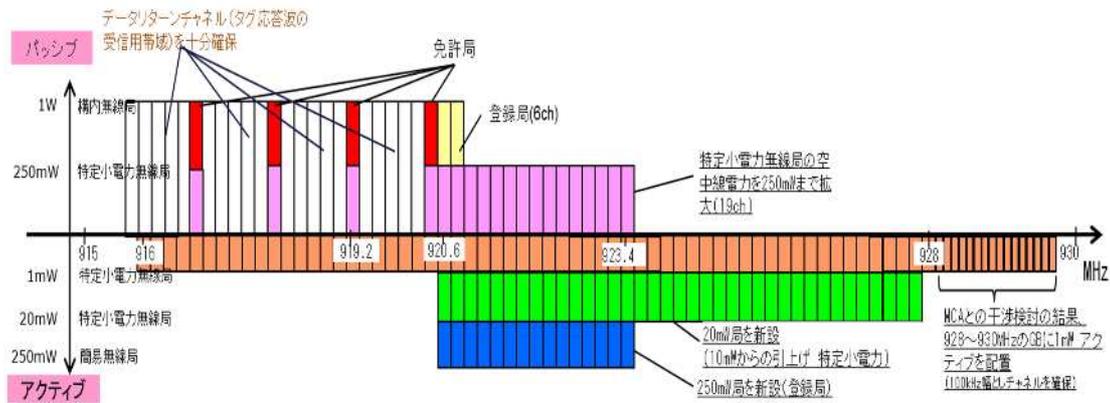


図 2-6 920MHz 帯における新チャンネルプラン

2.1.3. 920MHz 帯無線センサーシステムの技術基準

電波法(昭和25年法律131号)における920MHz帯を使用する無線設備の技術基準を表2-1に示す。

表 2-1 920MHz 帯無線の技術基準

	パッシブ系		アクティブ系		
	1W以下	250mW以下	250mW以下	20mW以下	1mW以下
空中線利得	6dBi以下		3dBi以下		
周波数	916.7~920.9MHz	916.7~923.5MHz	920.5~923.5MHz	920.5~923.5MHz 923.5~928.1MHz	915.9~929.7MHz
チャンネル数等	免許局:916.8, 918, 919.2, 920.4MHz 計4チャンネル 登録局:免許局+920.6, 920.8MHz 計6チャンネル	916.8, 918, 919.2, 920.4~923.4MHz の200kHz間隔 計19チャンネル	920.6~923.4MHzの 200kHz間隔 計15チャンネル	920.6~928MHzの200kHz 間隔 計38チャンネル	① 916~928MHzの 200kHz間隔 計81チャンネル ② 928.15~ 929.65MHzの100kHz 間隔 計16チャンネル
無線チャンネル	免許局:200kHz 登録局:200kHz x n (n=1~3)	200kHz x n (n=1~5)			① 200kHz x n (n=1~5) ② 100kHz x n (n=1~5)
キャリアセンス時間	5ms以上	① 5ms以上 ② 128μs以上		128μs以上	キャリアセンス不要
キャリアセンスレベル	-74dBm	-74dBm (10mW以下の場合 は-64dBm)	-80dBm		---
最大送信時間	4秒	① 4秒 ② 400ms (総和360s/h以下)		400ms (総和360s/h以下)	① 100ms (総和3.6s/h以下) ② 50ms
送信時間後の停止時間	50ms以上	① 50ms以上 ② 2ms以上 (送信時間6ms以下の場合(は0s))		2ms以上 (送信時間 6ms以下の 場合は0s)	① 100ms (総和3.6s/h以下) ② 50ms

無線設備の免許形態としては、構内無線局(パッシブ系:1W)、簡易無線局(アクティブ系:250mW)、特定小電力無線局(パッシブ系:250mW以下、アクティブ系:20mW以下)の3つに大別される。また、標準規格策定を行う業界団体ARIBでは、電波法令を基にパッシブ系として、ARIB STD-T106(構内無線局)及びARIB STD-T107(特定小電力無線局)を、アクティブ系としてARIB STD-T108(簡易無線局と特定小電力無線局)を規定している。

2.1.4. 920MHz 帯無線センサーシステムの新たな利用

電子タグシステム等のうちアクティブ系については、周波数の国際ハーモナイズ及び周波数帯域の拡大から、無線センサーネットワークシステムとしての利用価値が高まっている。無線センサーネットワークシステムは、複数のセンサー付無線端末を空間に散在させ、それらが協調して環境や物理的状況を把握する無線ネットワークであり、M2M システムで使用されるコアな技術である。

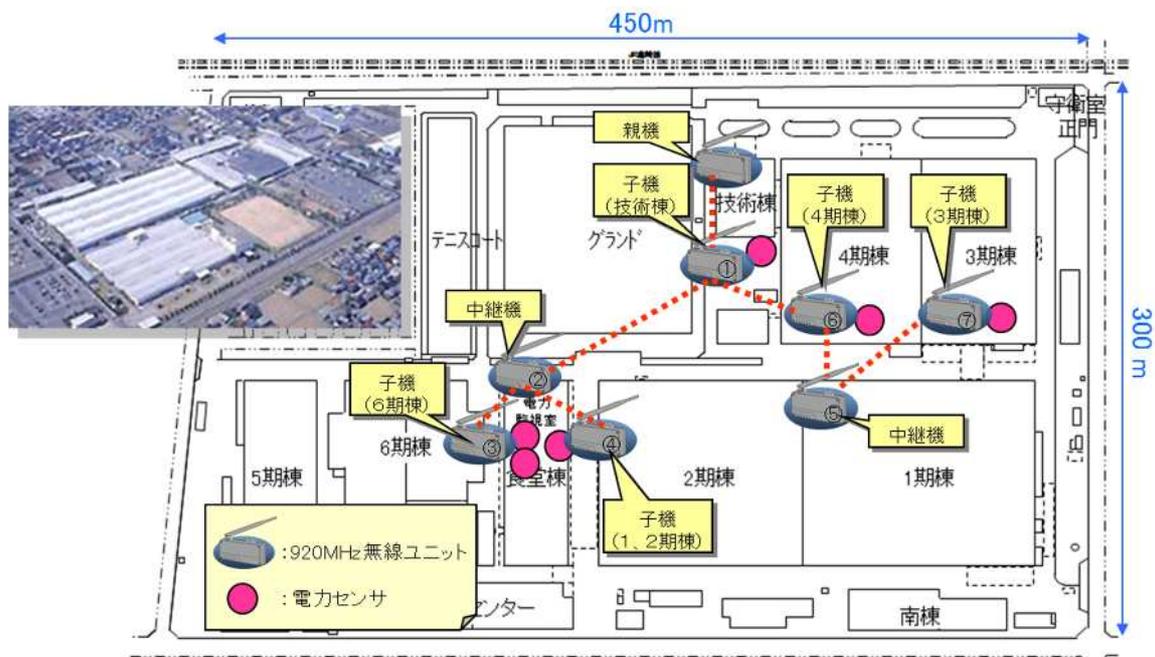
無線センサーネットワークシステムの用途は多岐にわたるが、具体例では電力や温度などのモニタ、赤外線や慣性センサーによる行動モニタなどが挙げられる。これらのシステムでは、多点を同時計測できるため、物理現象の分布変化を把握するのに有効である。また、屋内配線において、電気機器のスイッチのON/OFFの制御を無線センサーネットワークで行うことで、大幅な配線削減が可能となる。

現在、スマートハウス向けやスマートグリッド向けの機器の開発やシステムの導入が活発化されている。特に、東京電力では次世代電力量計として期待されているスマートメーターを導入することが決定されており、2018年までに1700万台、2023年度までに2700万台の導入が計画されている。

2.2. 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの導入事例

2.2.1. 工場におけるエネルギー管理

工場における920MHz帯無線センサーネットワークシステムの導入事例を図2-7に示す。



工場の建屋毎に電力センサーと 920MHz 帯無線ユニットを設置し、工場内で使用される電力使用量の見える化システムを構築している。従来、電力センサーデータを 1 箇所に収集するためには、有線ケーブルの敷設工事が必要であったが、920MHz 無線ユニットを用いたマルチホップ機能により、電源のみの工事となり、設置費用の低コスト化を実現している。また、920MHz 無線ユニットが備えるルーティング機能により、最適な中継機を選択が可能となり、無線ユニットの故障時や将来的な増設時にも柔軟に対応可能な構成となっている。

2.2.2. 社会インフラのモニタリング

社会インフラのモニタリングへの適用事例を図 2-8 に示す。



図 2-8 社会インフラモニタリングへの適用事例

920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを活用することで、老朽化する社会インフラの健全度のモニタリングを行い、インフラの予防保全や危機予測による防災への活用が検討されている。図 2-8 では橋梁やトンネルなどに加速度センサーを備えた 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを設置し、定期的に収集する構造物の振動データを分析することで、構造物の劣化や異常を検知する様子を示している。ただし、このような構造物が設置された場所は、電源の確保が困難な場所が多い。そのため、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの要件として電池での動作が可能な省電力な無線装置が必要となる。

2.2.3. 防災行政無線の補完システム

防災行政無線の補完システムとしての導入例を図 2-9 に示す。

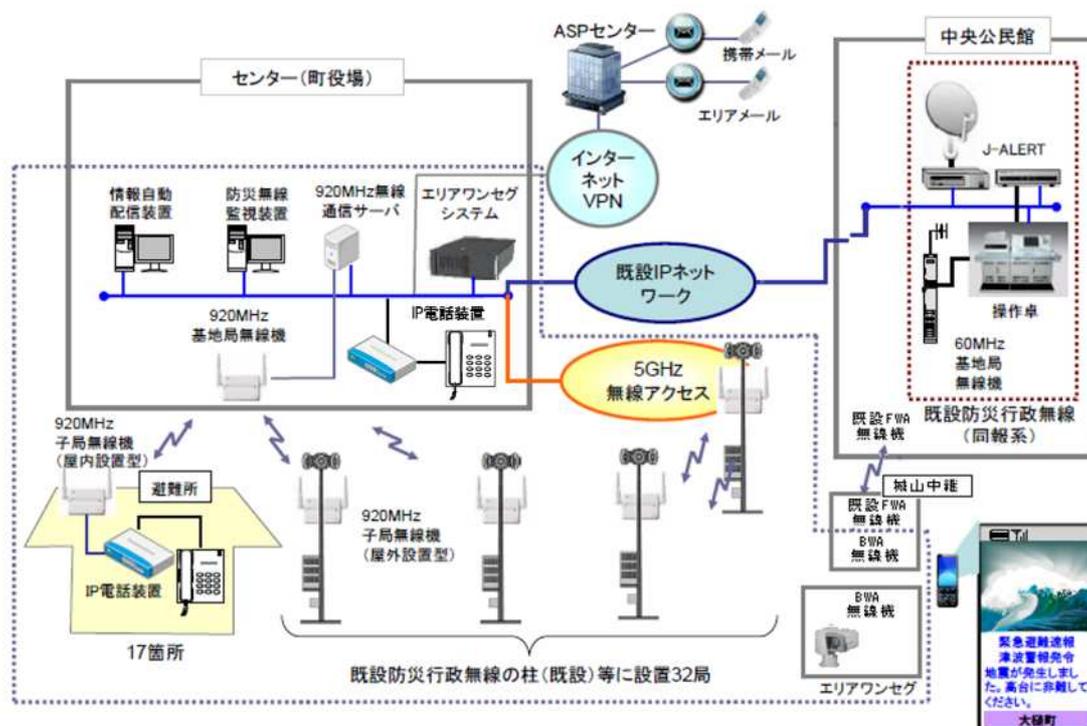


図 2-9 防災行政無線の補完システム

ここでは、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを防災行政無線の監視及びバックアップ回線として活用している。920MHz 帯無線センサーネットワークシステムは、防災行政無線の拡声子局の柱を利用して設置されており、災害時に一つの通信ネットワークが損傷を受けても別のネットワークで住民へ災害情報を伝達できるように重層的に構成されている。本システムでは、防災行政無線子局のアンサーバック信号を 920MHz 帯無線センサーネットワークシステム経由で受信し、子局の動作状態を監視している。また、町役場と避難所との間で、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを用いた VoIP による音声通話機能が実現されている。

2.3. 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの利用ニーズ調査

920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの利用方法及び防災無線の補完システムや通信インフラシステムとして利用した場合の期待や要望、その中での音声データ伝送の活用に関して幅広く意見をいただく必要がある。そのため、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムについて、岩手県内にある地方公共団体を対象にアンケートを実施した。

具体的には、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムについてある程度理解いただいている本調査検討会の構成員を対象として行った。

2.3.1. アンケート項目

アンケートの項目は以下のとおり。

920MHz 帯無線センサーシステムに対する認知度

920MHz 帯無線センサーネットワークを利用して実施したい又は実施できる用途

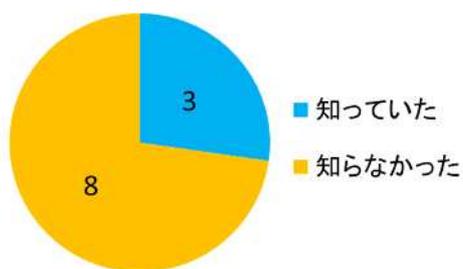
920MHz 帯無線センサーネットワークに音声データ伝送を加える場合の利用用途
(防災用途以外)

920MHz 帯無線センサーネットワークの現状で課題があると認識している項目

920MHz 帯無線センサーネットワークに関するその他の意見

2.3.2. アンケート結果

問 1: 920MHz 帯無線センサーネットワークを知っていましたか。



8人は、当該システムに関しては「知らなかった」と回答している。「知っていた」と回答した3人の構成員は、当該システムに携わったことのあるメーカーやシステムを導入している構成員であることから、関係者以外の認知度が低いことが分かった。

問 2: 920MHz 帯無線センサーネットワークを利用して実施したい又は実施できる用途は何が考えられますか。

回答は表 2-2 と表 2-3 に示すように、公共業務で利用するケースと一般的な業務で利用するケースの2種類に分類した。

表 2-2 公共業務の用途

種別	用途
防災行政	・無線中継システムとしての利用 ・ゲリラ豪雨や落雷対策としてのデータ解析システム ・気象ロボットに連結したシステムとして情報伝達の高度化利用 ・戸別受信機(アンサーバック)への適用
水防	・リアルタイムでの水位監視 ・河川などの非電源化地域からの水位データ送信
その他	・交通量に関するデータ伝送

表 2-3 一般業務の用途

種別	用途
セキュリティ	・町内・集合住宅向け「回覧板(掲示板)システム」 ・子供・高齢者向け「安否確認(防犯)システム」
産業	ほじょう ・圃場の管理(農業管理システム)
環境	・野生鳥類の監視
通信事業	・FWA の用途での利用 ・2.4GHzWi-Fi の周波数逼迫の解消のための利用
その他	・潮位観測システム

公共業務用としては、防災に関連したネットワークシステムとしての利用に意見が多く集まった。一般業務用としては、住民向けシステムへの利用や逼迫する周波数帯を利用している電気通信事業システムの代替利用などの意見が挙げられた。ただし、電気通信事業システムの代替利用は、電気通信事業者との相互接続が可能であることが前提であり、接続料が高ければ 920MHz 帯無線センサーネットワークの利用価値は低いとの意見もあった。

また現状、920MHz 帯無線以外の周波数帯を利用しているシステムを 920MHz 帯無線センサーネットワークで実現することを期待する意見が集まった。

問 3：音声データ伝送を可能とした 920MHz 帯無線センサーネットワークの利用用途は何かありますか。

回答は、表 2-4 に示すように、多くの用途で利用するケースと限定的な用途で利用するケースの 2 種類に分類した。

表 2-4 音声データ伝送の用途

種別	用途
多用途	・HEMS に音声機能を付加して家庭内のインターフォンとしての活用 ・BEMS に音声機能を付加して企業内内線電話 ・同報系の補完機能として携帯受信機を使用した告知放送機能への活用 ・特定小電力のトランシーバーとしての利用 (データと音声の両機能) ・無線 LAN のようなネットワーク利用
限定用途	・レジャーランド、テーマパークにおいてアトラクション等の混雑状況の情報など情報配信 ・構内放送 ・イベントなどでの臨時放送や連絡設備としての活用

音声データ伝送が可能な 920MHz 帯無線センサーネットワークの利用用途については、防災用途を除くと省エネルギー対策として有効との意見が挙げられている。特に、市場ニーズが増えてきているエネルギー管理システムへの応用が期待されている。また、限定用途としては限られた地域内(構内)で簡易なネットワークを構成して音声データを利用することなどの意見が挙げられた。

問 4: 920MHz 帯無線センサーネットワーク利用に当たって、課題と考えられる点について教えて下さい。

回答は、表 2-5 に示すように「技術的な課題」、「電波の特性上の課題」、「費用における課題」、「運用における課題」、「その他の課題」の 5 種類に分類した。

表 2-5 920MHz 帯無線センサーネットワーク利用の課題

種別	課題
技術的な課題	<ul style="list-style-type: none"> ・マルチホップにおける信頼性(通話の断等)、通信速度及びオーバーヘッドの改善 ・アンテナの大きさや設置高の配慮
電波特性上の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・山間地などの入り組んだ地形では、不感地帯解消のため中継局の設置が多くなるのではないかな。 ・遮蔽物が多い地形の場合、通信エラーのための再送信回数が増えるのではないかな。 ・トラフィック量が増えると他のシステムとの干渉が増える。
費用における課題	<ul style="list-style-type: none"> ・他システムと比較して設備の設置費用が高くなるのではないかな。 ・保守管理費が高い。
運用における課題	<ul style="list-style-type: none"> ・システムの全体像を把握していないと使いづらく、機器の操作が煩雑 ・20mW 以下のシステムが近接地域で複数使用され、干渉が発生した場合の使用者間調整 ・特性を理解した上での通常時の利用と有事の際(非常時)のルールづくり
その他の課題	<ul style="list-style-type: none"> ・ネットワークシステムについては、2.4GHz 帯システムと比較して使用の切り分けが必要である。 ・日常的な活用方法、複合的な利用方法の具体化を合わせて検討しなければ普及は難しいのではないかな。 ・920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの利用は、都市部、平野部に適しており、山間部は適さないのではないかな。 ・多ホップについては、データ通信の部分で掘り下げて検討することを優先すべき。 ・無線モジュールの小型化、空中線技術の向上などが必要。

電波の特性上の課題として、山間地域ではノード数が少ないのに対して中継局が多くなることの影響を懸念する意見があった。一方、ノード数が多くなると想定される地域では、920MHz帯無線センサーネットワークが周波数を共用する他の無線システムからの干渉を受ける懸念があるとの意見が出された。

運用における課題としては、使用者が不特定な空中線電力 20mW 以下の特定小電力無線局との干渉が起こった場合、利用者間の調整が困難との意見があった。また、ネットワークのエリアが広範囲になるとノード数が増え、システム規模が大きくなることから、システム構成が複雑となり、機器操作の習熟やシステムの特性を十分理解することが重要である。さらに、通常時と非常時の運用ルール作りが必要との意見が出された。

全体的な傾向として、信頼性を求める意見が多い。その中に、920MHz帯無線センサーネットワークと他無線システムとの差異を明確にすべき、との意見があった。この意見を受けて本調査検討では、他の無線システムとの比較を示すこととした。

また、参考として防災行政無線の補完システムに関する情報を表 2-6 に示す。

表 2-6 防災行政無線の補完システム

種別	補完システム
無線	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星携帯電話(ワイドスター、インマルサット BGAN など) ・モトローラ無線(圏内の全端末で一斉発着信可能) ・消防無線
有線	<ul style="list-style-type: none"> ・ケーブル電話、IP 告知放送、CATV(緊急 L 字放送) ・NTT 災害特設公衆電話(停電時の使用可、NTT 回線断線時は使用不可、発信のみ)

2.4. 他の無線システムとの比較

2.4.1. 比較結果

前節のアンケートの中で、「920MHz 帯無線センサーネットワークシステムと他の無線システムとの差異を明確にすべき」という意見を受けて、広く普及している防災行政無線システム(同報系)と2.4GHz 帯無線 LAN との比較を行った。その比較結果を表 2-7 に示す。

表 2-7 各無線システムの比較

項目	防災行政無線 (同報系)	920MHz帯無線	2.4GHz帯無線 (無線LAN)	備考
周波数	60MHz	920MHz	2.4GHz	
周波数割当	専用波	共用波	共用波	
空中線電力	10W	250mW	10mW/1MHz	
免許手続き	正式な免許手続き要	簡易な免許手続き	不要	920MHz(20mW)は 免許不要
無線従事者	要	不要	不要	
伝送速度	45kbps	100/400kbps	2M~600Mbps	
通信距離 (平坦大地)	10km以上	約2km	約1km	メーカー各社の製品情報 を元に記載
中継段数	最大3段	メーカー仕様による (OKI:最大30ホップ)	メーカー仕様による	
音声データの 双方向伝送	親局制御による場合のみ 可	可	可	音声データ伝送時は ホップ数に制限あり
通信の信頼性	高 干渉なし、迂回なし (中継局で無線機2重化し 信頼性向上)	高 干渉少、迂回あり	低い 干渉多、迂回なし	通信の安定性を干渉、 迂回有無で比較
無線機価格 (アンテナ込み)	150万円前後	10万円前後	10万円以下	
運用コスト	高	中	低	

(1) 伝搬特性

防災行政無線(同報系)が利用している周波数は60MHz帯であり、他無線システムより電波の波長が長いことや空中線電力が10Wと大きいため、電波の通達距離が長い。また、防災行政無線(同報系)の周波数は、専用波として指定されているため混信が少ない。一方、周波数特性上、スプラディック E 層などによる異常電波伝搬の影響を受けることがある。なお、920MHz無線システムと2.4GHz帯無線LANシステムとの伝搬比較は、付録3に記す。

(2) 無線局免許手続

2.4GHz帯無線LANシステムは、無線従事者の配置及び無線局免許とも不要であることから免許に関する手続が必要ない。

920MHz帯無線は、20mW以下が無線従事者の配置及び免許手続とも不要であるが、20mWを超えるものは簡易な免許手続き(簡易無線局)が必要である。ただし、簡易無線局は電波利用料として、毎年、1局当たり540円の負担が必要となる。

防災行政無線(同報系)は、無線従事者の配置及び免許手続とも必要であるほか、電波利用料として、毎年、1局当たり38,100円の負担が必要となる¹。

(3) 伝送速度

基本的にチャンネル当たりの周波数帯域幅が広いほど、より高い伝送速度が実現可能となる。チャンネル当たりの周波数帯域幅が最も広い、2.4GHz帯無線LANの伝送速度が他システムと比較して5～1500倍程度高速である。

(4) 信頼性

防災行政無線(同報系)は、周波数が専用波とされていることから混信が少なく、回線品質の信頼性が高い。一方、2.4GHz帯無線LANは、他用途のシステムが多数存在することから干渉の影響が多く、信頼性は最も低い。

(5) 費用

無線局の初期費用については、メーカーの参考価格によると、防災行政無線システムが150万円程度、920MHz帯無線システムと2.4GHz帯無線LANが10万円程度である。ただし、ネットワークを構成する場合は、構成に応じた端末数が必要となり、その設備数により全体の費用は異なる。

運用費用については、防災行政無線システムは、法令で定められた無線局の検査などがあるため、コストが高くなる。一方、920MHz帯無線システムと2.4GHz帯無線LANは、法令が定める検査が不要であり、低コストでの運用が可能である。

2.4.2. 音声データ伝送への適性

本調査検討は、音声データ伝送を920MHz帯無線センサーネットワークシステムに適用し、防災用途や通信インフラシステムの補完として利用することを目的としている。これまでの他無線システムとの比較結果に基づいて、音声データ伝送への適性を以下にまとめる。

(1) 防災行政無線(同報系)

周波数の伝搬特性は最も良いが、無線局の免許手続が必要なこと、設置及び維持コストが最も高い。また、同報系の音声放送主体のシステムであるため、伝送速度が低くデータ伝送には適していない。さらに、双方向通信に親局制御の制限があるため、電話のような通信は困難である。

(2) 2.4GHz帯無線LAN

他用途のシステムが多数存在することから干渉の影響が多く信頼性に懸念がある。また、周波数が最も高いため、通達距離も短く、広範囲にサービスを提供するためには、無線局の設置コストが高くなる。

¹ 平成26年度の電波利用料の改定により、アンサーバック局は1,100円/年となった。さらに防災行政の用途の場合は、半額となる。

一方、920MHz 帯無線システムも多様なシステムが利用しているのは同様であるが、空中線 250mW 以下の無線局は簡易免許局であるため、干渉が生じた場合は免許不要局に対する法令的優位がある。

以上の無線システムの比較結果より、音声データ伝送を行う無線システムとして 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを選定し、音声データ伝送の技術的条件の提言のため、システムの検証を行う。

3. 音声データ伝送の課題と対策

3.1. 920MHz 帯無線センサーシステムの諸元

本調査検討で使用した無線局の諸元を表 3-1 に示す。

表 3-1 無線局の諸元

項番	項目	仕様
1	使用周波数	920.6MHz ~ 923.4MHz
2	空中線電力	250mW (定格出力)
3	周波数帯幅	800kHz (1ch 当たり 200kHz 4ch 束ね)
4	変調方式	GFSK 変調方式
5	無線伝送レート	400kbps 以下
6	メディアアクセス方式	CSMA/CA 方式
7	キャリアセンスレベル	-88dBm
8	無線機器の構造等	・外形寸法: 289(幅) × 281(奥行) × 624(高さ)mm (突起物は除く) ・重量: 50kg 以下 (蓄電池除く) ・電源電圧: AC100V ± 10V 50/60Hz ・防塵防水: IPx4 (防沫) ・消費電力: 124VA 以下 ・外部接続インタフェース: RS232C, Ethernet(RJ-45)、アンテナ接栓 x 2
9	アンテナ仕様	・アンテナ形式: スリーブアンテナ ・入力インピーダンス: 公称 50 ・最大利得: 2.8dBi ・VSWR (定在波比): 1.5 以下 ・アンテナサイズ: 860mm ・重量: 約 0.6kg

(1) 空中線電力

20mW 出力の特定小電力無線局と 250mW 出力の簡易無線局の電波伝搬測定結果(付録 4)より、250mW 出力の簡易無線局の方が電波の通達距離が長い。そのため、通信インフラシステムとしての利用を想定して、法令で認められている最大空中線電力 250mW としている。

(2) 周波数帯域幅

後述する(4) 無線伝送レートでは、音声データをマルチホップ伝送するため、最大伝送レートを 400kbps としている。電波法では、1ch 当たり 200kHz の周波数帯域幅が規定されているが、1ch の帯域幅では伝送レートを 400kbps とすることは出来ない。そのため、ここでは 4ch

を束ねて周波数帯域幅を 800kHz として使用している。

(3) 変調方式

920MHz 帯無線の国内規定に適用可能な国際標準として、センサーネットワークやスマートメーターなどへの利用が期待されている IEEE802.15.4g が挙げられる。IEEE802.15.4g の変調方式では、OFDM 方式、O-QPSK 方式、FSK 方式が定義されており、それぞれの適用領域に応じて異なる変調方式が採用される。ここでは、これらの変調方式の中でも最も通達距離が長い FSK 方式を採用している。

(4) 無線伝送レート

IEEE802.15.4g の代表的な伝送レートは 100kbps モードであり、間欠的に送信されるセンサーデータの収集ではよく用いられている。しかし、音声データのようなストリーム型のデータ伝送には、100kbps モードでは十分でないため、IEEE802.15.4g における FSK 方式の最大伝送レートである 400kbps モードを選定している。

(5) アンテナ仕様

マルチホップ環境においては、送信局と受信局の関係が必ずしも 1 対 1 にならず、隣接する複数の無線局との送受信が必要となる。そのため、すべての隣接局間で指向性を合わせる事が困難であるため、一般的なマルチホップ無線ネットワークでは、安価で小型な無指向性のスリーブアンテナを採用している。

3.2. 音声データ伝送に対するシステム要件

データ伝送を主目的としたセンサーネットワーク上で音声データを伝送する場合に考慮すべきシステム要件を表 3-2 に示す。

表 3-2 音声データ伝送の要件

項番	項目	要件	備考
1	音声コーデック	選択する音声コーデック種別により発生するデータ量が異なる ・G.711 (64kbps) ・G.729a (8kbps) ・G.723.1 (6.3/5.3kbps)	
2	遅延	End to End で片方向 400ms 未満(050 番号 IP 電話) 150ms 未満(0AB-J 番号 IP 電話)	事業用電気通信設備規則第 35 条の 11、第 36 条の 5
3	パケットロス	基準なし(050 番号 IP 電話) 0.1%以下(0AB-J 番号 IP 電話)	事業用電気通信設備規則第 35 条の 12
4	通話時間	連続通話が可能なこと	

(1) 音声コーデックの要件

IP ネットワーク上において、効率的に音声データを伝送するために音声データの符号化/復号化を行うコーデックは、圧縮率の違いなどから複数存在する。ITU-T では、様々な音声コーデックが勧告されており、主に VoIP (Voice over IP) で使用されているものとして G.711, G.723.1, G.729a などがある。

(2) 伝送遅延、パケットロス

音声コーデックのデータを伝送するのに許容される遅延やパケットロスに関する要件は、事業用電気通信設備規則に規定があり、一般の加入固定電話に割り当てられる電話番号 (0AB-J) で使用する VoIP では片方向遅延 150ms 以下、パケットロス 0.1% 以下という厳しい基準がある。一方、比較的品質基準の低い 050 番号 IP 電話では、片方向遅延 400ms 以下、パケットロスは基準なしとなっている。

(3) 通話時間

通話に十分な時間の連続通話が可能であることが要件となる。

3.3. 音声データ伝送における課題

無線センサーネットワーク上で、上記音声データの伝送要件を満たすための課題として、

最適なコーデック及びそのパラメータの選定

マルチホップ環境で発生するパケットの衝突や干渉によって生じる再送パケットの増大

パケット再送/中継時のデューティ制御による伝送遅延の増大の3つが挙げられる。これらの課題と要因を表 3-3 に示す。

表 3-3 音声データ伝送における課題と要因

項番	課題	要因
1	最適なコーデックとパラメータの選定	コーデック種別やパケット送信間隔の違いにより、パケット当たりのヘッダ量が異なるため
2	衝突/干渉による再送パケットの増大	マルチホップ環境では隠れ端末による衝突が発生しやすいため
3	伝送遅延の増大	パケット再送/中継時にデューティ制御が働くため

(1) 最適なコーデックとパラメータの選定

コーデックによりデジタル化された音声データを IP ネットワーク上で伝送するためには、一般的に UDP/RTP というプロトコルが用いられる。この際、音声コーデックの種類やコーデックの設定によってパケットのサイズ、送信間隔が変わることでデータパケット全体に占める音声データの割合が変わるため、実際に使用する帯域が異なる。例えば、コーデックとして G.729a を用いた場合でも送信間隔が 50ms の場合の使用帯域は 18.72kbps であるが、100ms 間隔の送信では 13.36kbps となる。一般に、圧縮率の高いコーデックを使うことで使用帯域は小さくなり、パケット送信間隔を短くすることで遅延を小さくできるが、逆に使用帯域は大きくなる。この関係を図 3-1 に示す。

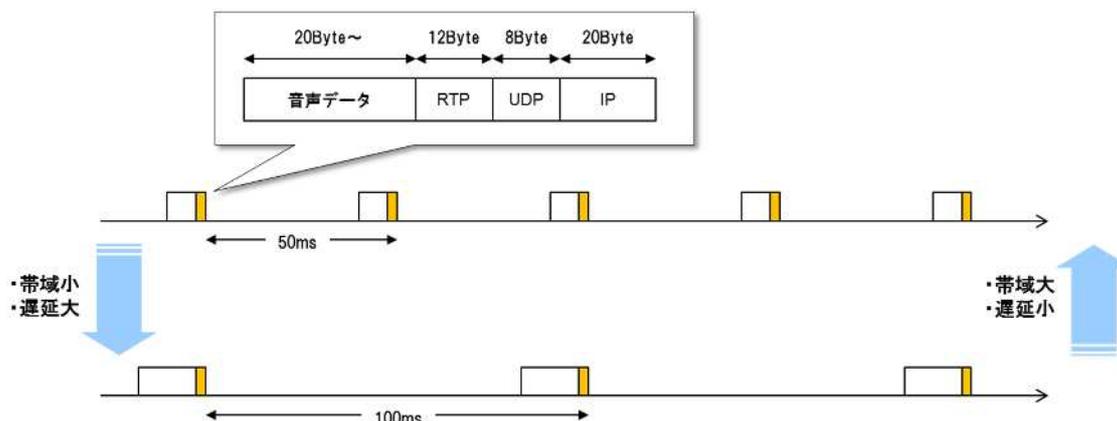


図 3-1 送信間隔と使用帯域、遅延の関係

(2) 衝突/干渉による再送パケットの増大

マルチホップ通信を行う無線センサーネットワークでは、隠れ端末(付録5参照)による衝突が発生する。図 3-2 に隠れ端末による衝突の例を示す。親局、子局は遠く離れており、互いに直接通信できないため、子局と親局では相手の送信をキャリアセンスによって検知する仕

組みがうまく働かない。そのため、親局と子局が中継局に向けて同時にデータを送信することがある。この場合、中継局は親局と子局 2 つのデータを同時には受信できず、両方のデータの受信に失敗する。既存システムのデータ送信ではデータの到達確認を行っているため、正しくデータを受信できた場合に Ack パケットを返信するが、この場合、中継局でデータの受信に失敗しているため、Ack が返信されない。すると子局と親局はパケットの再送を行うが、この再送に関しても同じタイミングになりやすいため、再び同様な衝突が発生しやすくなる。これにより、複数回の再送を要することとなり、遅延の増大となりやすく、最悪の場合、複数回の再送パケット全てが衝突となりデータをロスしてしまう。

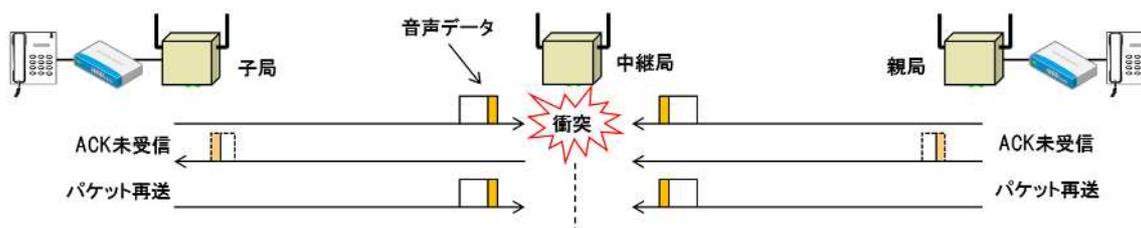


図 3-2 隠れ端末による衝突とパケット再送

(3) 伝送遅延の増大

電波法の規定として 1 時間当たりの送信時間を 360 秒以下とするという規定がある(以下「10% デューティ」という。)。10% デューティを守るための方法の 1 つとして、パケット送信毎にパケット送信にかかった時間の 9 倍の時間だけ送信を停止してから次のパケットを送信する方法が考えられる。この方法について図 3-3 に示す。

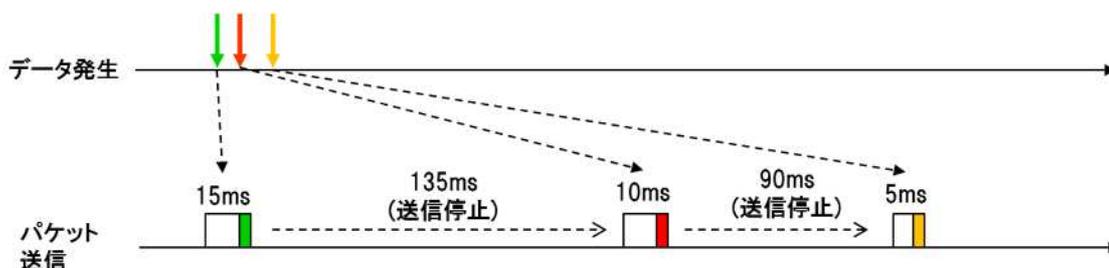


図 3-3 パケット毎に行うデューティ制御

データが続けて 3 つ発生した場合、初めのパケットの送信時間が 15ms であったとすると、その 9 倍の 135ms だけ送信停止して次のパケットを送信する。同様に、次のパケットの送信時間が 10ms であった時には 90ms 送信停止しなければならない。このため、最後のパケットの送信にはパケット発生時から 200ms 以上の遅延が発生することになる。こうした現象がマルチホップ環境ではホップ毎に発生するため、結果としてエンドツーエンドの遅延はさらに増大してしまうという課題がある。

3.4. 音声データ伝送における課題の対策

(1) 最適なコーデックとパラメータの選定

センサーネットワーク上でのデータ伝送に最適な音声コーデックを選定するために、音声コーデックの使用帯域とセンサーネットワークのスループットを比較し、音声トラフィックを収容できる上限(理論値)を算出する。次に、その条件で実機を用いた評価を行い、最適な音声コーデックとパラメータを選定する。

(2) 衝突/干渉による再送パケットの増大

衝突/干渉による再送パケットの増大に対する対策として、音声データパケットは Ack なしとすることで、連続でパケットが衝突することを回避する方法が考えられる。音声データの特徴として、パケットロスが発生しても数パケットのロスであれば復号した音声に与える影響が小さいという特徴がある。さらに、複数回の再送で遅延が大きくなったパケットを遅れて受信しても音声の復号に役に立たないこともある。そのため、Ack による再送を行わず、衝突したパケットを廃棄することで、連続でパケットが衝突することが起こりにくくなる効果や Ack の送信分だけスループットが向上する効果が期待できる。

(3) 伝送遅延の増大

デューティ制御による伝送遅延の増大の対策として、連続して送信データが発生しても、1時間当たりの送信時間の総和をカウントして、送信時間が 360 秒以下であれば図 3-4 のように続けて送信する方法を用いれば、遅延の増加はわずかに抑えられる。この手法を「1時間毎デューティ制御方式」と呼ぶ。また、従来手法である 1 パケット毎に 10%デューティを守るような送信待機を行う送信制御方式を「パケット毎デューティ制御方式」と呼ぶ。

しかし、1時間毎デューティ制御方式を用いてもデューティ制限がなくなったわけではないため、連続した送信が長期間続いた場合は遅延が増大し、10%デューティを超えた場合には送信不可となる。

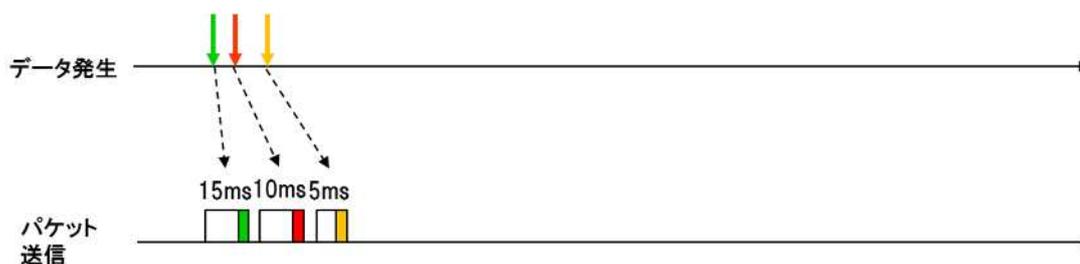


図 3-4 1時間毎に行うデューティ制御

4. 音声データ伝送の机上検討 - ラボ内試験 -

4.1. ラボ内試験の概要

3.4 の対策について、以下に挙げる 3 点を試験することとする。

最適なコーデックとパラメータの選定

Ack 応答の有無による比較

デューティ制御方式による比較

その手法を表 4-1 に示す。

表 4-1 ラボ内試験の評価手法

項番	課題	評価手法
1	最適なコーデック/ パラメータの選定	VoIP コーデック、ホップ数、同時回線数に対する評価を行い、その結果から最適なコーデックとパラメータを選定する。
2	衝突/干渉による再 送パケットの増大 (Ack 応答有無の比 較)	項番 1 で選定したコーデックとパラメータを用いて、同時接続環境での Ack 応答の有無に対する性能評価を行う。
3	伝送遅延の増大 (デューティ制御方 式の比較)	項番 1 で選定したコーデックとパラメータを用いて、同時接続環境でのパケット毎デューティ制御と 1 時間毎デューティ制御方式の性能評価を行う。

4.1.1. ラボ内試験環境と測定手順

ラボ内試験における機器の接続系統を図 4-1 に、使用した機器の諸元を表 4-2 に示す。また、ラボ内試験環境を図 4-2 に示す。

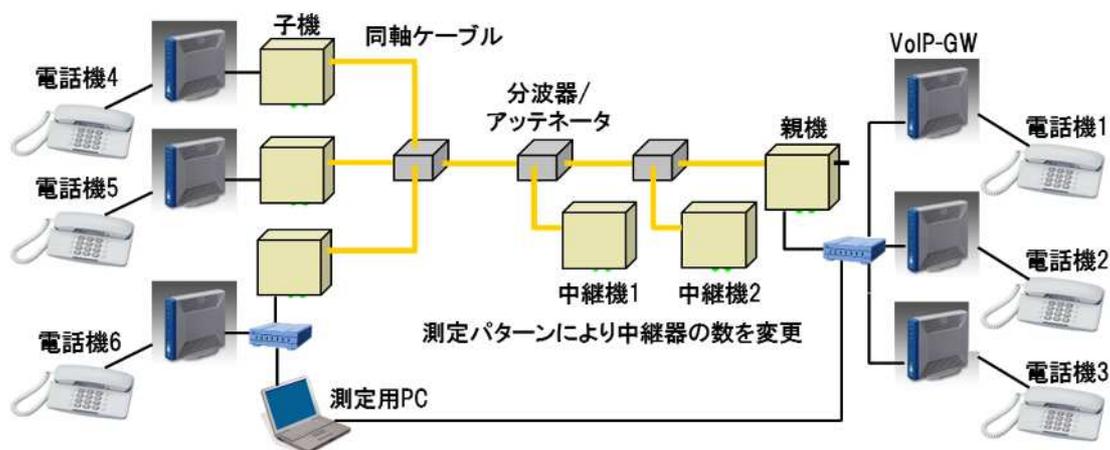


図 4-1 ラボ内試験の接続系統

表 4-2 仕様機器の諸元

機器名称	メーカー	型番
VoIP-GW	OKI	BV100-SIP
無線機 (子機、中継機、親機)	OKI	TD8010C
電話機	OKI	パロル ix-2
同軸ケーブル	JOYMAX	RG316
分波器	Mini-Circuits	ZFRSC-183-S+
アッテネータ	HRS	AT-120
ハブ	NETGEAR	GS105E
測定用 PC	TOSHIBA	Dynabook satellite



図 4-2 ラボ内試験環境

無線機(親機、中継機、子機)間を同軸ケーブルで接続し、アッテネータを使用して信号を減衰させることで、親機、子機間で直接通信できない環境を構築し、中継機がデータを中継するマルチホップ環境となるように調整する。この中継機の設置数を変更することで、任意のホップ数の環境を構築することが可能になる。無線機(親機、子機)には、音声信号を VoIP パケットへ変換する VoIP-GW が接続されており、電話をかけると VoIP トラフィックが送信される。この VoIP-GW が送信する VoIP パケットをハブでキャプチャし測定用 PC でログ保存を行うことで遅延、揺らぎ、パケットロスなどの評価を行う。

測定手順

VoIP-GW のコーデック種別や送信間隔などのパラメータを変更する。

同軸ケーブルをつなぎ替えて中継機の数を変更し、測定条件の中継数(ホップ数)にす

る。

測定条件の同時通話の回線数(同時回線数)に合わせて通話を開始する。

1 回線の場合: 電話機 4 から 1 への通話

2 回線の場合: 電話機 4 から 1 への通話、5 から 2 への通話

3 回線の場合: 電話機 4 から 1 への通話、5 から 2 への通話、6 から 3 への通話

測定時間の経過を待ち、測定用 PC で取得したログから遅延/揺らぎ/パケットロスを算出する。

に戻り、次の測定条件の評価を行う。

これらの手順により、表 4-1 の 3 つの評価全てについて同様に行うものとする。

4.1.2. 音声品質の評価指標

図 4-1 の検証環境を用いて測定する値は、音声データの遅延、揺らぎ及びパケットロスであるが、音声データの遅延/揺らぎ/パケットロスの値では、音声品質の適否を判断しにくいことから、定量的な評価指標として『ITU-T 勧告 G.107』で定義されている R 値を用いることとした。R 値は、遅延、揺らぎ及びパケットロスなどの測定値から、VoIP の通話品質を数値評価するものであり、我が国の TTC 標準 JJ201.01 では、クラス A(固定電話並)は 80 以上、クラス B(携帯電話並)は 70 以上、クラス C(050 番号で始まる IP 電話並)は 50 以上と規定されている。今回の評価では、通信速度の低速なセンサーネットワークにおいても、クラス C レベルを満足することを目標とし評価を行うものとする。

ITU-T で公開されている R 値の計算プログラム²を使用して遅延とパケットロス率を変えた時の R 値の変化を図 4-3 に示す。遅延に関しては 200ms を超えたあたりから R 値の減少が大きくなり、パケットロスは 10% を超えると R 値は 50 を下回ることがわかる。

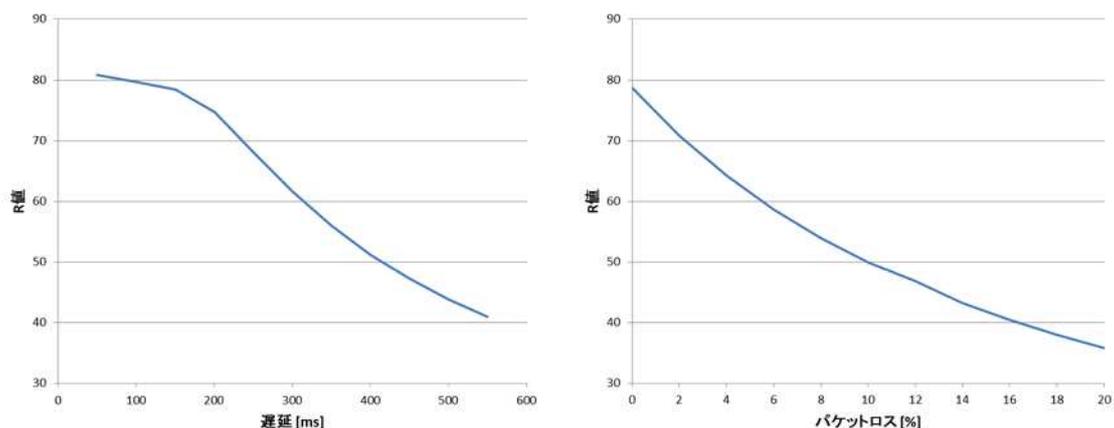


図 4-3 遅延及びパケットロスと R 値の関係

² <http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/index.htm>

4.2. 最適なコーデックとパラメータの選定

4.2.1. 測定条件

最適なコーデックとパラメータの評価の検証条件を表 4-3 に示す。

表 4-3 最適コーデックとパラメータ評価の検証条件

項番	項目	パラメータ	備考
1	コーデック	G.711, G.729a	G.711: 64Kbps, G.729a: 8kbps
2	送信間隔	G.711 {40ms, 60ms} G.729a {40ms, 80ms, 120ms}	G.729a の送信間隔は最小間隔(40ms)と最大間隔(120ms)とその中間値(80ms)を評価した。
3	ホップ数	1 ホップから 5 ホップ	理論上限値から最大 5 ホップとした。(付録 6)
4	同時回線数	1 回線から 3 回線	理論上限値から最大 3 回線とした。(付録 6)
5	測定時間	5 分	通話時間の平均 3 分前後から算出した。(H25 年度 総務省 情報通信白書より)
6	Ack 要求	なし	輻輳しにくい条件とするためなしとした。
7	デューティ制御	なし	

4.2.2. 試験結果

4.2.2.1. 同時通話回線数 1 回線の場合

(1) R 値

同時通話回線数が 1 回線の場合の R 値を図 4-4 に示す。



図 4-4 同時通話 1 回線の場合の各コーデックの R 値

1 ホップの場合には G.711、40ms の場合を除いて R 値は 70 以上となっている。特に、G.711、60ms の時は 80 以上の R 値という高い結果となっている。しかし、ホップ数が多くなるにつれ R 値は低下し、特に G.711、60ms や G.729a、40ms に関しては急激に R 値が低下している。5 ホップまで通話可能(R 値 50 以上)であったのは、G.729a、120ms とした場合だけであることから、「コーデック:G.729a、送信間隔:120ms」が音声データ伝送に最も適しているという結果となった。

(2) 詳細結果

パケットロス、遅延、揺らぎ、デューティ及び R 値の詳細結果を表 4-4 に示す。

表 4-4 通話回線数 1 回線の時の測定結果

コーデック	送信間隔 (ms)	ホップ数	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値	
G.711	40	1	3.1	16	1	21	51	
		60	1	0.2	15	1	19.3	86.5
G.729a	40	2	18.2	35	1	32.4	13.4	
		1	1.2	6	1	7.3	75.5	
	80	2	0.4	11	1	14.2	78.4	
		1	0.0	6	0	4.7	79.5	
		2	0.1	12	1	9.2	79	
		3	4.6	17	1	8.8	63	
		4	40.1	30	4	7.9	22	
	120	5	91.0	32	3	5.4	9.5	
		1	0.0	7	0	3.8	78.6	
		2	0.3	14	1	7.5	77.1	
		3	2.0	20	1	7.4	70.1	
		4	5.0	27	1	7.4	60.2	
			5	5.6	33	2	7.4	58.2

G.711 を使用した場合と G.729a の送信間隔 40ms で 2 ホップの通話を行った場合は、10% デューティを超えるため通話時間に制限が生じるが、それ以外は連続して通話を行っても 10% デューティによる通話時間制限を行う必要がない結果となった。

4.2.2.2. 同時通話回線数 2 回線の場合

(1) R 値

同時通話回線数が 2 回線の場合の R 値の測定結果を図 4-5 に示す。

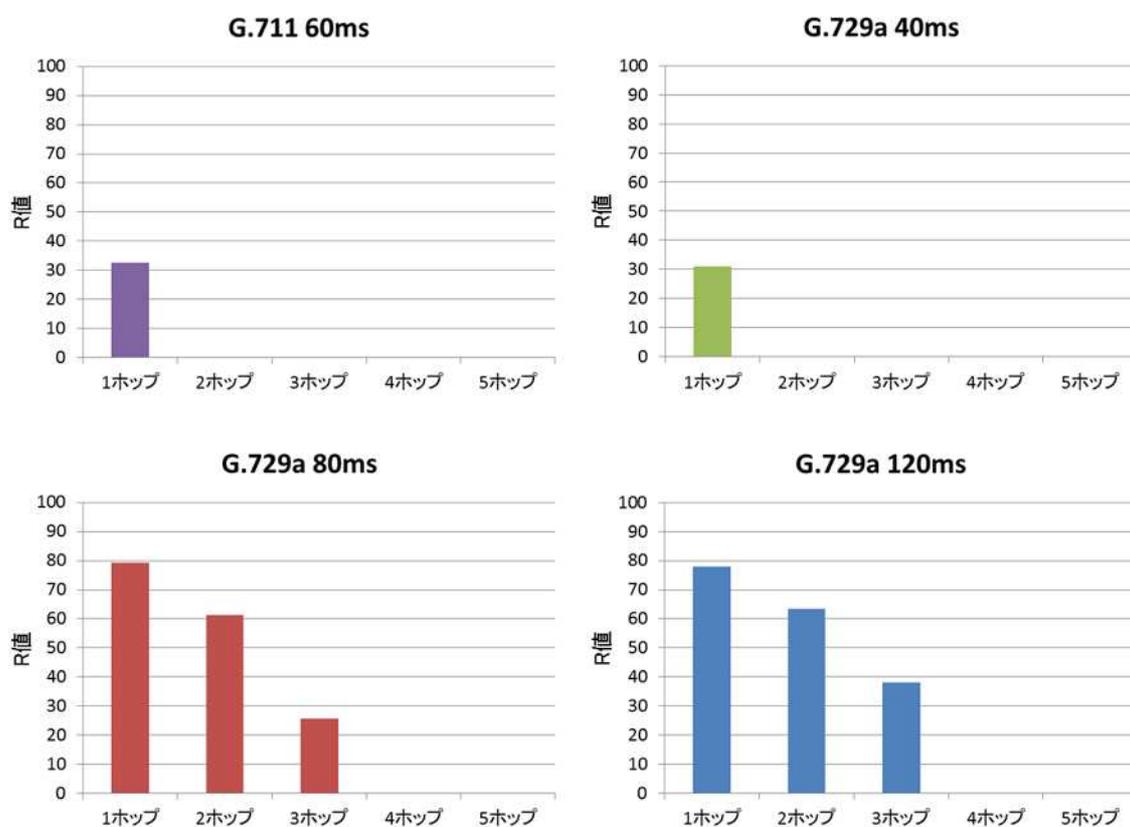


図 4-5 同時通話 2 回線の場合の各コーデックの R 値

G.729a の送信間隔 80ms、120ms を使用した場合は、R 値 50 以上を満足するものの、G.711 や G.729a の送信間隔 40ms では 1 ホップの時点で既に R 値 50 以下となっている。

3 ホップの通話では、すべてのコーデックで R 値は 50 以下となり基準値を満足していない。結果としては、2 回線の同時通話においては、G.729a の 80ms 送信間隔及び 120ms 送信間隔のコーデックを用いて 2 ホップまでの通話が可能であり、音声コーデックの仕様としては、最も R 値の高い G.729a の送信間隔 120ms を選定することとした。

(2) 詳細結果

パケットロス、遅延、揺らぎ、デューティ及びR値の詳細結果を表 4-5 に示す。

表 4-5 通話回線数 2 回線の時の測定結果

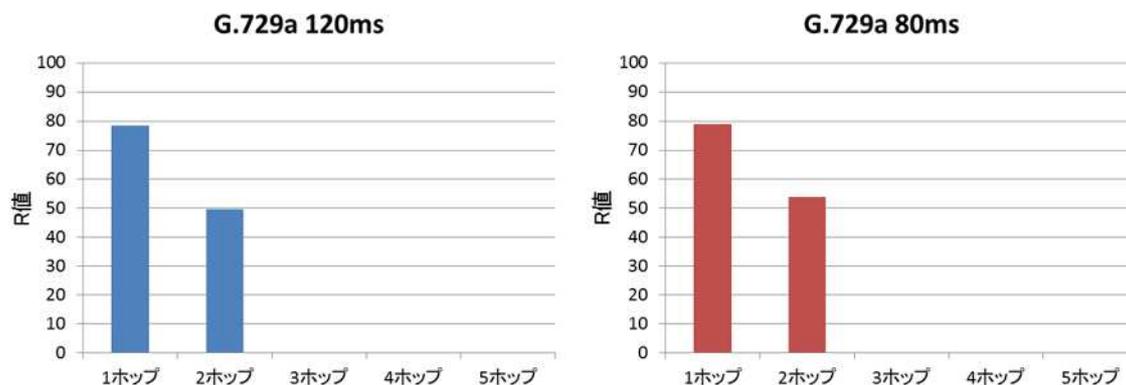
コーデック	送信間隔 (ms)	ホップ数	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
G.711	60	1	6.7	20	2	38.1	32.6
G.729a	40	1	27	10	3	14.2	31
		1	0	7	1	9.2	79.3
	80	2	5.2	13	2	17.8	61.2
		3	33.3	21	3	15.6	25.8
		1	0.2	9	1	7.6	63.3
	120	2	4.1	15	1	14.8	63.3
		3	17.3	21	2	14.2	38

1 ホップの通話以外では、どのコーデックを用いても 10%デューティを超える結果となっている。G.729a の送信間隔 120ms の場合には、約 52kbps のデータが発生するため送信デューティに換算すると約 13%となる。デューティの測定結果は 14.8 であり、再送や制御パケットなどにより 13%より高い値となった。そのため、時間制限を設けずに 2 回線の同時通話を行うためにはデューティ制限を 15%以上にすることが必要である。

4.2.2.3. 同時通話回線数 3 回線の場合

(1) R 値

同時通話回線数が 3 回線の場合の R 値の測定結果を図 4-6 に示す。



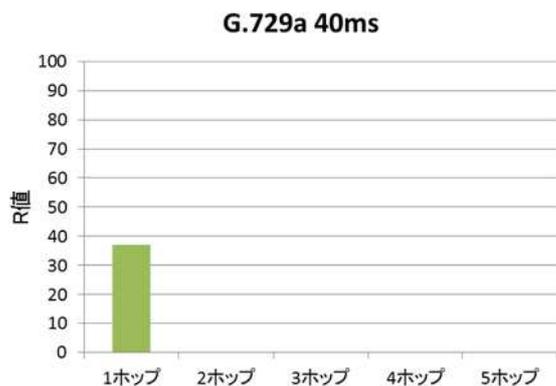


図 4-6 同時通話 3 回線の場合の各コーデックの R 値

1 ホップにおいて、R 値 50 以上を満足するのは、G.729a の送信間隔が 80ms 及び 120ms の場合のみであった。2 ホップの通話では、G.729a の送信間隔が 80ms や 120ms の場合において 2 回線の同時通話時では 60 あった R 値が 3 回線通話では 50 付近まで下がり、品質が大きく低下している。

(2) 詳細結果

パケットロス、遅延、揺らぎ、デューティ及び R 値の詳細結果を表 4-6 に示す。

表 4-6 通話回線数 3 回線の時の測定結果

コーデック	送信間隔 (ms)	ホップ数	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
G.729a	40	1	20.3	8	3	20.9	37
		2	0.1	6	1	13.7	78.9
	80	1	8.3	14	2	26.1	53.8
		2	0	8	1	11.2	78.5
		1	9.8	15	2	21.4	49.7
		2					

全てのコーデックで 10%デューティを超えているため、通話時間の制限が課せられる。また、G.729a の送信間隔 120m を用いた 2 ホップ 3 回線の同時通話では、10%近いパケットロスが発生し、わずかではあるが基準とした R 値 50 を下回っている。そのため、仮に 10%デューティ制限が 20%以上に緩和されたとしても、3 回線の同時通話ではクラス C の通話品質とはならないという結果が得られた。

4.3. Ack 応答有無の比較

4.3.1. 測定条件

Ack 応答有無の比較の試験条件を表 4-7 に示す。

表 4-7 Ack 応答有無の比較の条件

項番	項目	パラメータ	備考
1	コーデック	G.729a	最適なコーデック/パラメータの選定結果に基づく値
2	送信間隔	120ms	最適なコーデック/パラメータの選定結果に基づく値
3	ホップ数	1 ホップから 5 ホップ	
4	同時回線数	1 回線から 3 回線	
5	測定時間	5 分	
6	Ack 要求	あり、なし	
7	デューティ制御	なし	

コーデック及び送信間隔は、最適なコーデックとパラメータの選定の試験結果から G.729a 送信間隔 120ms とし、Ack については要求の条件を「あり」、「なし」の 2 パターンとした。それ以外の試験項目に関しては、表 4-3 と同じ条件とした。この試験条件において、Ack 要求の「あり」と「なし」の違いによる通話品質を評価した。

4.3.2. 測定結果

Ack 応答有無において、R 値の比較の測定結果を図 4-7、図 4-8 及び図 4-9 に示す。また、パケットロス、遅延、揺らぎ、デューティ及び R 値の詳細結果を表 4-8、表 4-9 及び表 4-10 に示す。

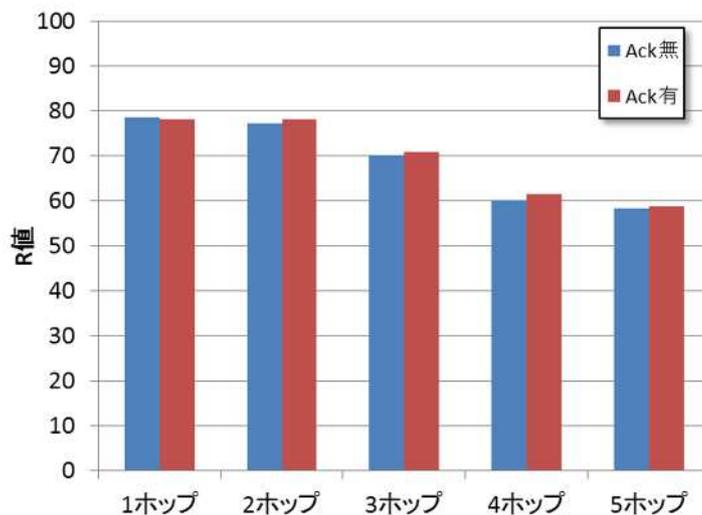


図 4-7 同時通話 1 回線の時のホップ数と R 値の関係

表 4-8 同時通話 1 回線時のホップ数と R 値の関係

ホップ数	Ack 有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	無	0	7	0	3.8	78.6
	有	0.1	8	3	4.2	78.0
2	無	0.3	14	1	7.5	77.1
	有	0.1	14	2	7.6	78.1
3	無	2	20	1	7.4	70.1
	有	1.8	22	3	7.7	70.9
4	無	5	27	1	7.4	60.2
	有	4.5	30	5	7.8	61.4
5	無	5.6	33	2	7.4	58.2
	有	5.1	42	9	8.1	58.8

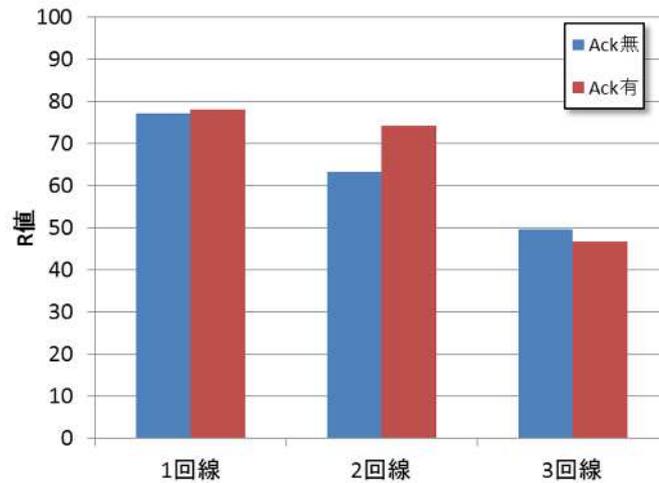


図 4-8 2 ホップ時における複数通話回線の R 値の比較

表 4-9 2 ホップ時における複数通話回線の R 値の比較

回線数	Ack 有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	無	0.3	14	1	7.5	77.1
	有	0.1	14	2	7.6	78.1
2	無	4.1	15	1	14.8	63.3
	有	1	15	3	14.9	74.1
3	無	9.8	15	2	21.4	49.7
	有	10.9	33	21	24.6	46.7

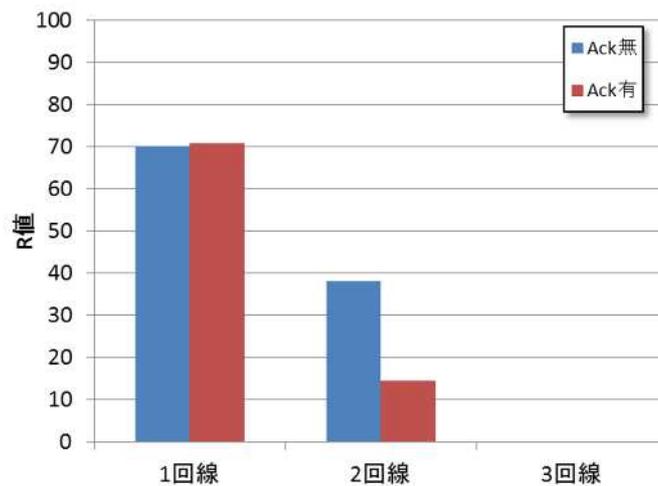


図 4-9 3 ホップ時における複数通話回線の R 値の比較

表 4-10 3 ホップ時における複数通話回線の R 値の比較

回線数	Ack 有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	無	2	20	1	7.4	70.1
	有	1.8	22	3	7.7	70.9
2	無	17.3	21	2	14.2	38
	有	53.4	43	21	21.8	14.6

1 回線の通話時(図 4-7)には、1 ホップ以外の場合に「Ack あり」の方がわずかではあるが、R 値が高くなっている。2 ホップで 3 回線の同時通話(図 4-8)や 3 ホップで 2 回線の同時通話(図 4-9)では、「Ack なし」の方が高い R 値となっている。この結果から、輻輳が起こるようなトラフィック条件の場合には「Ack なし」とすることで音声品質を向上できるという結果が得られた。このように、音声データを「Ack なし」にすることで、音声品質は向上しているが、R 値 50 を超えるまでの改善には至らないという結果となった。逆に、通話回線数が 1 回線の時には、輻輳するほどのトラフィックではないため、データを再送することでパケットロスが減ることによる R 値改善の効果が現れている。

4.4. デューティ制御方式の比較

4.4.1. 測定条件

デューティ制御方式の比較の試験条件を表 4-11 に示す。この条件下でパケット毎制御と1時間毎制御の2つのデューティ方式の違いによる通話品質を評価する。

表 4-11 デューティ制御方式の比較の試験条件

項番	項目	パラメータ	備考
1	コーデック	G.729a	最適なコーデック/パラメータの選定結果に基づく値
2	送信間隔	120ms	最適なコーデック/パラメータの選定結果に基づく値
3	ホップ数	2 ホップ	送信デューティはホップ数を変えても変化しないため、3 回線同時通話が試験可能な2 ホップとした
4	同時回線数	1 回線から 3 回線	
5	測定時間	10 分	1 時間当たりの 10%デューティ(6 分)より長い時間とした
6	Ack 要求	なし	
7	デューティ制御	パケット毎制御、 1 時間毎制御	

この試験で比較する「パケット毎制御方式」とは、1 パケット毎に 10%デューティを守るような送信待機を行う送信制御方式であり、「1 時間毎制御方式」とは 1 時間当たりの送信時間の総和をカウントし、制限内であれば連続送信を可能としつつ、デューティを超えると送信不可とする送信制御方式である。

4.4.2. 測定結果

2 ホップ時において、通話回線数を変化させた時の R 値を図 4-10 に示す。

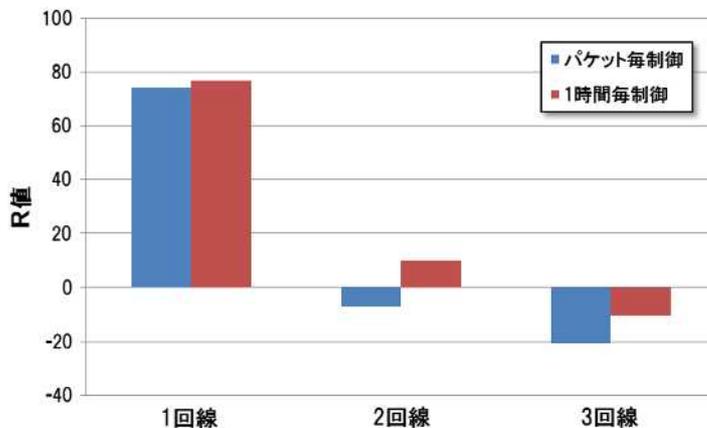


図 4-10 2 ホップ時におけるデューティ制御方式の比較

1 回線通話では、パケット毎制御方式と 1 時間毎制御両方式ともに 10 分の連続通話において、R 値 70 以上の高品質な通話が可能であった。2 回線通話及び 3 回線通話では、R 値は 0 付近の値となり通話不可能であった。10% デューティ制限環境では両方式ともに、2 回線の 10 分の通話は不可能という結果となった。

この時の遅延と各無線装置のデューティの時間変化データを示したものが図 4-11 ~ 図 4-14 である。

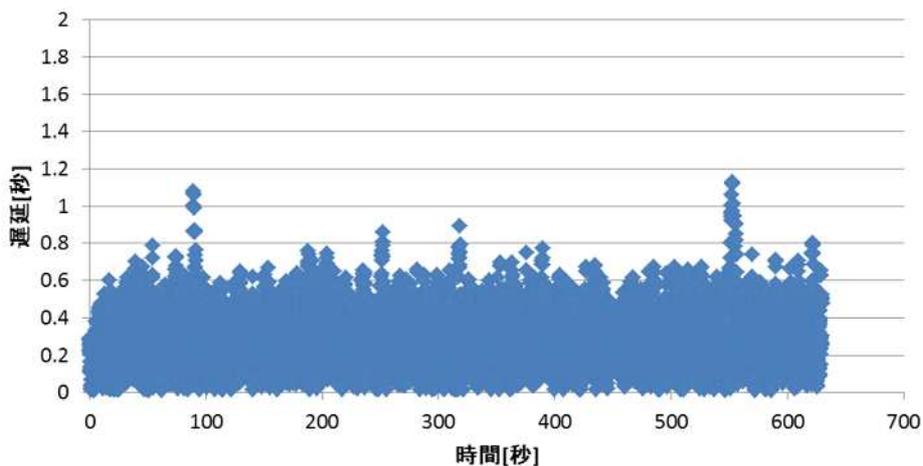


図 4-11 パケット毎制御方式の遅延の時間変化

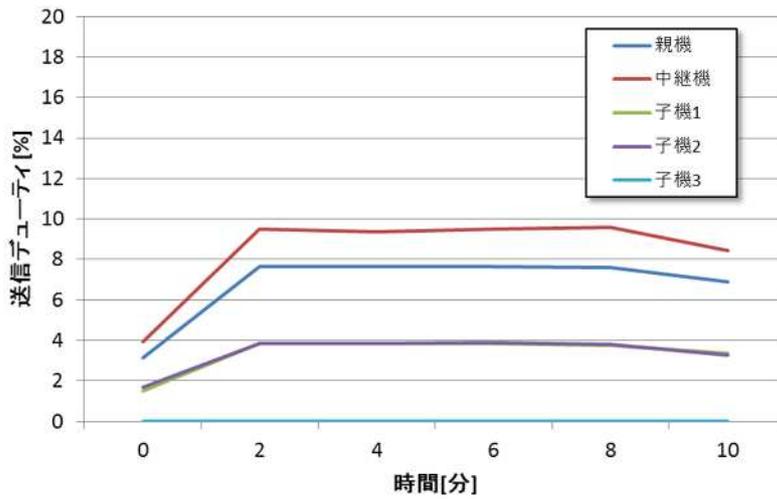


図 4-12 パケット毎制御方式のデューティの時間変化

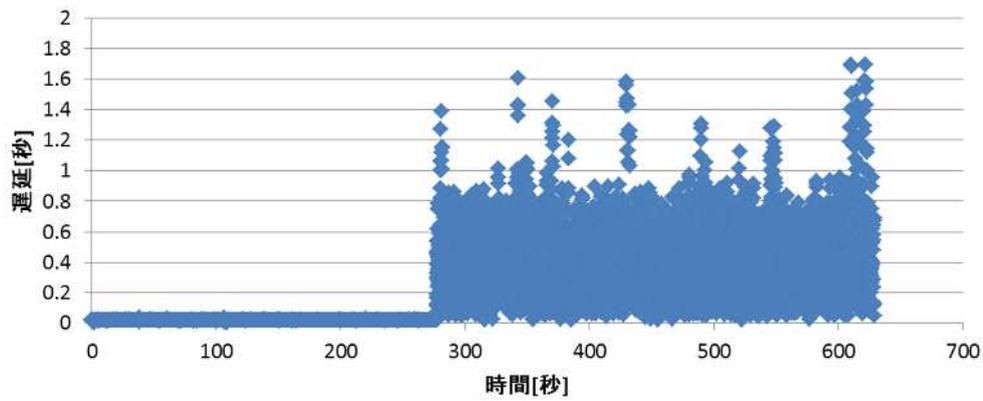


図 4-13 1時間毎制御方式の遅延の時間変化

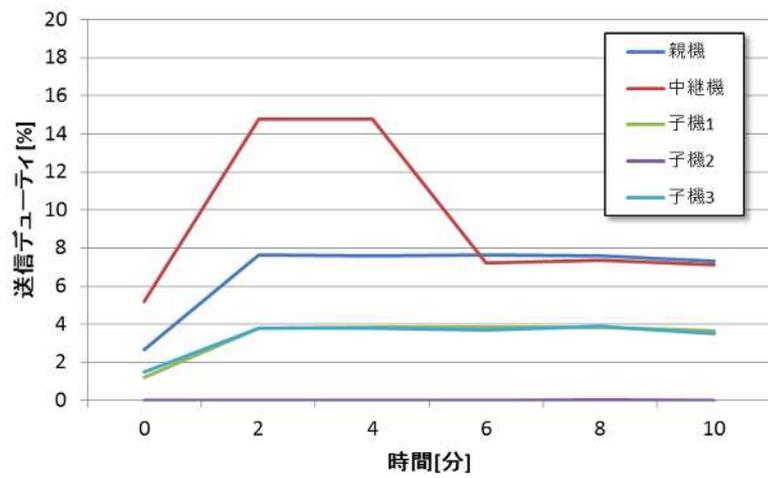


図 4-14 1時間毎制御方式のデューティの時間変化

パケット毎制御を用いた図 4-11 及び図 4-12 では、測定期間中一定の遅延とデューティとなっているのに対して、1時間毎制御方式の結果を用いた図 4-13 及び図 4-14 では280秒あたりを境に遅延が急増し、中継機のデューティが急激に低下していることがわかる。これは、送信デューティ制御の切り替えによるものである。現行のシステムでは、送信デューティが一定以上超過すると、その後は送信デューティを7.5%に制限するようにしている。つまり、4分間デューティが15%の状態が続くと、その後8分間は送信デューティを7.5%まで制限することで、この12分間の平均の送信デューティを10%とする動作となる。ここでの7.5%という値は実装依存の値であり、今回7.5%としたのは、G.729aの送信間隔120msのコーデック1回線に必要な帯域に合わせて決定している。こうすることで、デューティ制限が動作している間も1回線の通話を行えるように設計している。この動作のため、図 4-13 では280秒付近で急激に遅延が増加している。1時間毎制御の方は通話開始してから280秒までは高い通話品質であったと考えられる。そこで、1回の通話の平均時間とされている3分(180秒)までのデータでR値の集計を行うこととした。その結果のR値を図 4-15 に示し、遅延、パケットロス、揺らぎ、R値及びデューティの値を表 4-12 に示す。

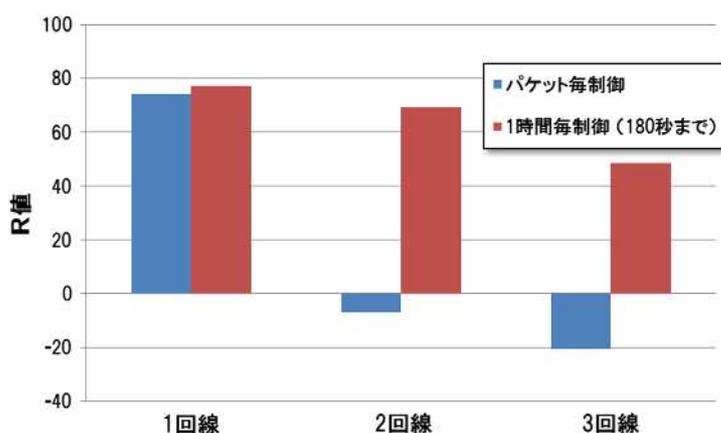


図 4-15 2 ホップ時におけるデューティ制御方式の比較(180 秒まで)

表 4-12 デューティ制御方式の比較の検証結果

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	パケット毎	0.1	28	24	7.5	74.2
	1 時間毎(180 秒まで)	0	13	0	7.5	77.1
2	パケット毎	38.6	284	135	9.6	-7.1
	1 時間毎(180 秒まで)	2.2	13	0	14.8	69.3
3	パケット毎	59.6	370	146	9.7	-20.5
	1 時間毎(180 秒まで)	18.4	19	3	18.8	48.5

R 値を示した図 4-15 では 2 回線の通話時に R 値は約 70 であり、3 回線における R 値は基準値である 50 に近い 49 が得られている。この結果から 1 時間デューティ制御方式を用いれば、10% デューティの制限下においても 2 回線の同時通話が約 4 分可能であるという結果が得られた。

4.5. ラボ内試験のまとめ

- (1) 最適なコーデックとパラメータは、コーデックを G.729a、パケット送信間隔を 120ms とした場合に、無線センサーネットワーク上で最も高い通話品質となった。1 回線の通話では 5 ホップ、2 回線の通話では 2 ホップまで R 値 50 以上の通話品質を確保できた。
- (2) Ack 応答有無の比較試験 (衝突、干渉による再送パケットの増大) における高負荷条件 (2 ホップ 3 回線通話、3 ホップ 2 回線通話) では、Ack なしとした方が良好な結果が得られたが、R 値は 50 以下となった。R 値 50 以上を実現できる条件としては、Ack ありとした方が高い R 値となったことから、Ack 応答はありとした方が高い通話品質を実現できる。
- (3) デューティ制御方式の比較試験 (伝送遅延の増大) では、1 回線時はデューティ制御方式によらず R 値 70 以上の高品質な連続通話が可能であった。2 回線の通話では 1 時間毎制御のデューティ制御方式を用いることで、4 分間に時間を限定して R 値約 70 の高品質な連続通話が可能であった。そのため、複数回線の通話を行う場合にはデューティ制御方式として、1 時間当たりの送信時間を管理する方式を用いる必要がある。
- (4) コーデックを G.729a、パケット送信間隔を 120ms とした場合には 1 回線の通話当たり 7.5% のデューティとなるため、1 回線での運用であれば、10% デューティ制限下でも連続通話が可能である。2 回線の通話においては、現行のシステム実装では 4 分の連続通話後は 8 分の休止を行うなどの運用ルールを定めることで実現可能となる。この関係を整理したのが図 4-16 であり、利便性向上のために 2 回線での連続通話を実現するためには 10% デューティ制限を 20% まで緩和することが望ましい。



図 4-16 通話回線数と送信デューティの関係

5. 音声データ伝送の実証 - フィールド試験 -

5.1. フィールド試験の概要

本章では、4章で述べたラボ内試験結果をフィールドにおいて検証するための試験について述べる。

5.1.1. フィールド試験項目

フィールド試験項目とその試験概要を表 5-1 に示す。

表 5-1 フィールド試験の試験項目

項番	試験項目	試験概要
1	電波伝搬フィールド測定	マルチホップ経路の構築を可能としておくために、無線局間の通信試験を行い、パケットエラー率及び受信信号強度を測定する
2	マルチホップ試験	1 から 5 ホップまでのマルチホップ環境において、回線数、ホップ数に対するパケットロス/遅延/揺らぎの測定を行い、その結果から R 値を算出し、ラボ内試験結果と比較する
3	デューティ制御方式試験	2 ホップ 2 回線の環境において、デューティ制御方式の違いによるパケットロス/遅延/揺らぎの測定を行い、その結果から R 値を算出し、ラボ内試験結果と比較する

5.1.2. フィールド試験環境と測定手順

(1) 試験環境

試験環境は親局と子局との通信を複数の中継局を経由することを可能とする構成とした。まず、親局を屋内施設である多目的集会所に設置し、子局を自動車に設置し、それぞれの局に VoIP-GW と電話機を接続する。次に、子局を意図した中継局を中継するように移動することで、マルチホップ環境を構築する。本構成を図 5-1 に示す。

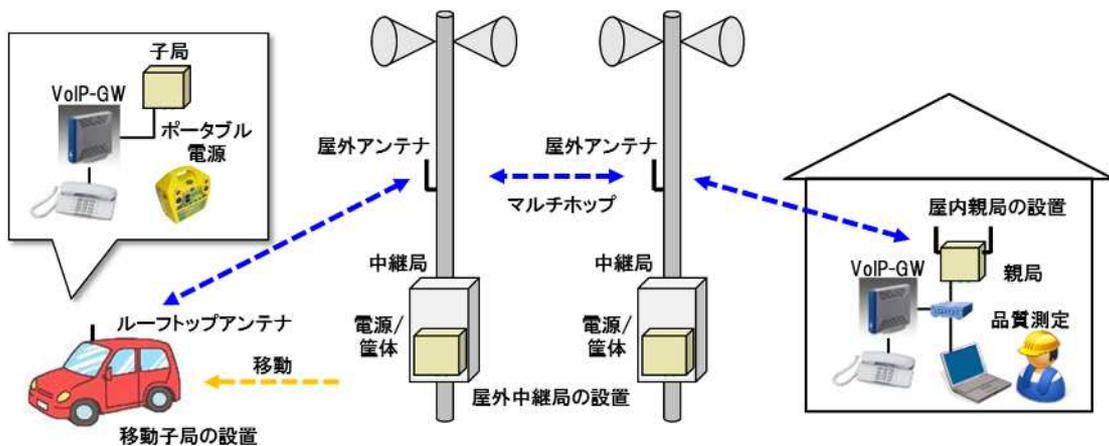


図 5-1 フィールド試験の構成

屋内親局と移動子局の設置の様子を図 5-2 に示す。

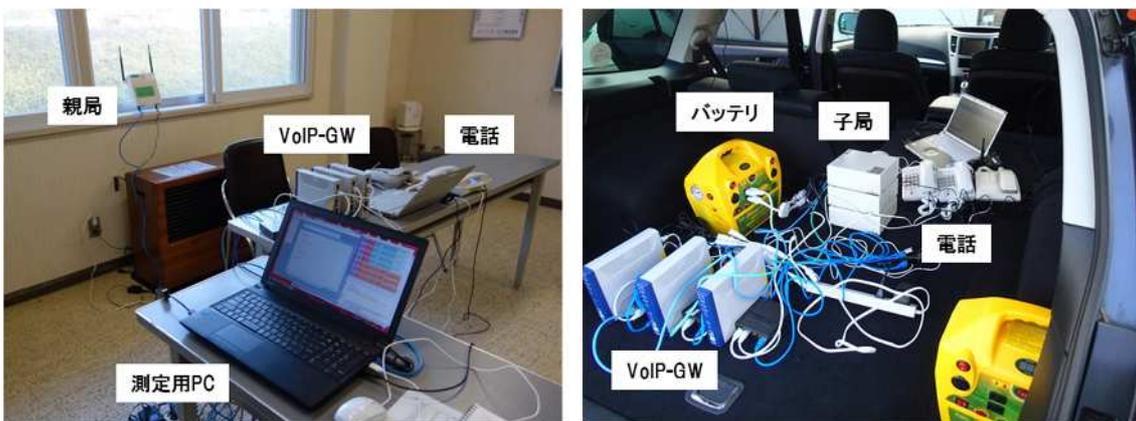


図 5-2 屋内親局(左図)と移動子局(右図)設置の様子

(2) 使用機器の仕様

フィールド試験に用いた機器の仕様を表 5-2 に示す。また、無線局の諸元を表 5-3 に示す。なお、測定には、親局:1台、中継局:5台、移動局:2台、測定用PC:2台を用いた。

表 5-2 機器の仕様

機器名称	メーカー	型番
VoIP-GW	OKI	BV100-SIP
無線局	OKI	TD8010C
電話機	OKI	パロル ix-2
ルーフトップアンテナ	OKI	MH920-Node-ANT<R>
屋外アンテナ	日本アンテナ	SL-9300C
ポータブル電源	パワーコンボ	PG-521SP

表 5-3 無線局の諸元

項目	仕様
使用周波数	922.7MHz
空中線電力	250mW (定格出力)
周波数帯幅	800kHz (1ch 当たり 200kHz 4ch 束ね)
変調方式	GFSK 変調方式
無線伝送レート	400kbps 以下
メディアアクセス方式	CSMA/CA 方式
キャリアセンスレベル	-88dBm
無線機器の構造等	<ul style="list-style-type: none"> ・外形寸法: 289(幅) × 281(奥行) × 624(高さ)mm (突起物は除く) ・重量: 50kg 以下 (蓄電池除く) ・電源電圧: AC100V ± 10V 50/60Hz ・防塵防水: IPx4 (防沫) ・消費電力: 124VA 以下 ・外部接続インタフェース: RS232C、Ethernet(RJ-45)、アンテナ接栓 x 2
アンテナ仕様 (屋外中継局)	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナ形式: スリーブアンテナ ・最大利得: 2.8dBi ・VSWR (定在波比): 1.5 以下 ・アンテナサイズ: 860mm ・重量: 約 0.6kg
アンテナ仕様 (屋内親局)	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナ形式: スリーブアンテナ ・空中線利得: 3dBi 以下 ・使用温度範囲: -20 ~ 65 ・防水性: 非防水 ・アンテナサイズ: 155mm
アンテナ仕様 (移動子局)	<ul style="list-style-type: none"> ・アンテナ形式: ルーフトップアンテナ ・空中線利得: 3dBi 以下 ・使用温度範囲: -20 ~ 65 ・防水性: 耐水形 (IPX6) ・アンテナサイズ: 55mm

(3) 試験場所と試験期間

試験場所: 岩手県上閉伊郡大槌町

試験期間: 平成 26 年 11 月 10 日(月)から 13 日(木)まで

(4) 測定手順

フィールド試験の手順を以下に示す。

マルチホップ環境と想定される場所を選定し、中継局間の電波伝搬測定を行い、受信信号強度の測定及びパケットエラー率を測定する。

受信信号強度の測定結果より、所望するマルチホップ環境となるように子局を移動し、親局と子局間の音声通話を行い、マルチホップ環境における音声品質を測定する。

2 ホップ環境においては、複数回線通話時のデューティ制御方式をパケット毎制御方式と1時間毎制御方式との比較評価を実施する。

5.1.3. フィールド試験場所及び試験経路

フィールド試験を行う試験場所及び試験経路を図 5-3 に示す。

親局は多目的集会所に設置し、屋外中継局はA～Eの5箇所に設置した。なお、各ポイント間の距離は次のとおり。

親局-A間:約160m A-B間:約440m B-C間:約880m

C-D間:約420m A-E間:約1620m

また、子局を移動することで、2ホップ～5ホップ試験の環境を構築した。



図 5-3 フィールド試験場所と試験経路

なお、図中の 赤丸は屋内親局を、 緑丸は屋外中継局を、 青四角は移動子局の設置場所を示している。

5.2. 電波伝搬フィールド測定

図 5-3 の試験機器の設置場所において、安定した 1 から 5 ホップのマルチホップ環境が構築可能かどうかを確認するために、各中継局間で電波伝搬の測定を行った。電波伝搬測定は、測定用のアプリケーションを無線局に実装し、測定モードとして動作することでパケット受信率や受信信号強度の測定を可能としている。この電波伝搬測定に用いた無線局の設定パラメータを表 5-4 に示す。

表 5-4 電波伝搬測定の設定パラメータ

項番	項目	パラメータ	備考
1	データサイズ	200Byte	音声データと同程度のサイズとした
2	送信間隔	100ms	測定時間が最短となる間隔とした
3	送信回数	1000 パケット	

5.2.1. 測定手順

各中継局に表 5-4 に示した測定パラメータを設定し、以下の手順で電波伝搬の測定を行った。測定手順の様子を図 5-4 に示す。

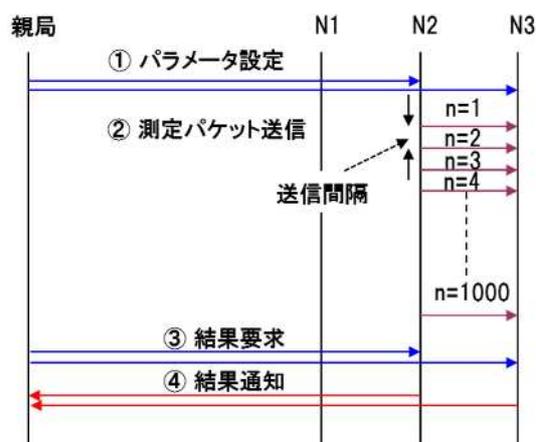


図 5-4 電波伝搬の測定手順

屋内親局から屋外中継局に対して送信局、受信局としてのパラメータを設定する。

送信局から受信局に対して測定用のパケットをブロードキャストで送信し、受信局は受信信号強度とパケット受信率を測定する。

屋内親局から各屋外中継局に対して測定結果の要求コマンドを送信する。

各屋外中継局からは、測定した受信信号強度とパケット受信率を屋内親局に送信する。

各屋外中継局間の受信信号強度は、1000 パケットを送受信した時の値とし、取得するデータは障害物やフェージングなどの影響により変動するため、平均値、最大値、最小値を測定することとした。また、送信した 1000 パケットの受信率も測定した。

なお、図中の N は無線局の番号を、n はパケットのシーケンス番号を示している。

5.2.2. 測定結果

各屋外中継局の電波伝搬の測定結果を図 5-5 に示す。

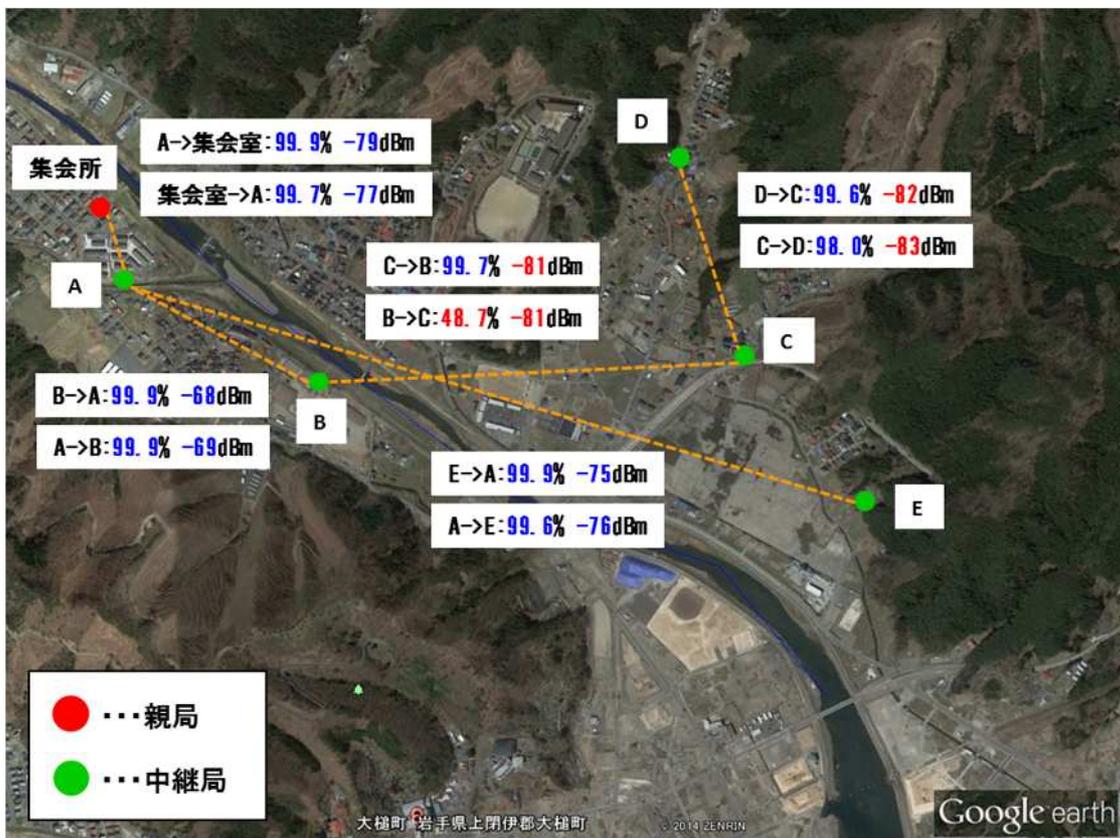


図 5-5 電波伝搬の測定結果

図中の白地枠内の情報は、パケット受信率(%)及び受信信号強度(dBm)を示している。パケット受信率が 90%以上場合は青字に、90%未満の場合は赤字で示した。また、受信信号強度が -80dBm 以上の場合は青字に、-80dBm 未満の場合は赤字で示している。

図 5-5 の結果より、パケット受信率は中継局 B-C の間が 90%を下回り、受信信号強度は中継局 B-C 間及び C-D 間が -80dBm を下回った。

これは、B-C間、C-D間が見通し外の環境にあるためと推測される。本来であれば、B-C間の中間地点に中継局を設置可能であるが、追加の中継局を設置するとその中継局にすべての無線局が接続し、最大 2 ホップのマルチホップ環境となるため、本フィールド試験においては図 5-5 に示す機器設置とした。

なお、設置場所が見通し環境か見通し外環境によって異なるが、中継局間の受信信号強度の変動幅は、最小で 2dB、最大で 10dB、平均で 4.5dB であった。

5.3. Ack 応答有無の比較

図 5-3 で示したフィールド試験場所を用いて、フィールドにおけるマルチホップ試験を実施した。本節では、測定条件と測定結果及びラボ内試験との比較結果を示す。

5.3.1. 測定条件

マルチホップ環境での試験項目及びパラメータ条件を表 5-5 に示す。

表 5-5 マルチホップ試験の検証条件

項番	項目	パラメータ	備考
1	コーデック	G.729a	G.729a: 8kbps
2	送信間隔	120ms	表 4-3 のラボ内試験の条件において、最も性能が良かったパラメータを選定した
3	ホップ数	1 から 5 ホップ	表 4-3 のラボ内試験の条件において、2 回線 3 ホップの R 値が 50 以下であったため、同時回線数の測定を 2 ホップとした
4	同時回線数	1 回線、2 回線	表 4-3 のラボ内試験の条件において、3 回線の R 値が 50 以下であったため除外した
5	測定時間	5 分	表 4-3 のラボ内試験の条件と同様
6	Ack 要求	「あり」又は「なし」	
7	デューティ制御	1 時間毎制御	

5.3.2. 測定結果

1 回線時において、ホップ数を 1 から 5 まで変更した時のパケットロス、遅延、揺らぎ及びデューティの測定結果を表 5-6 に示す。また、R 値についてグラフ化したものを図 5-6 に示す。

表 5-6 1 回線時におけるホップ数の評価

ホップ数	Ack 有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	無	0.2	7	3	3.8	77.4
	有	0	7	3	3.8	78.3
2	無	1.1	13	3	7.5	73.8
	有	2	14	4	7.8	70
3	無	7.1	20	2	7.3	55.1
	有	2.9	21	4	8.2	66.7
4	無	11	28	3	7.2	46.8
	有	10.3	28	4	7.3	48.2
5	無	71	43	7	5	10.3
	有	48	78	165	12.5	12.1

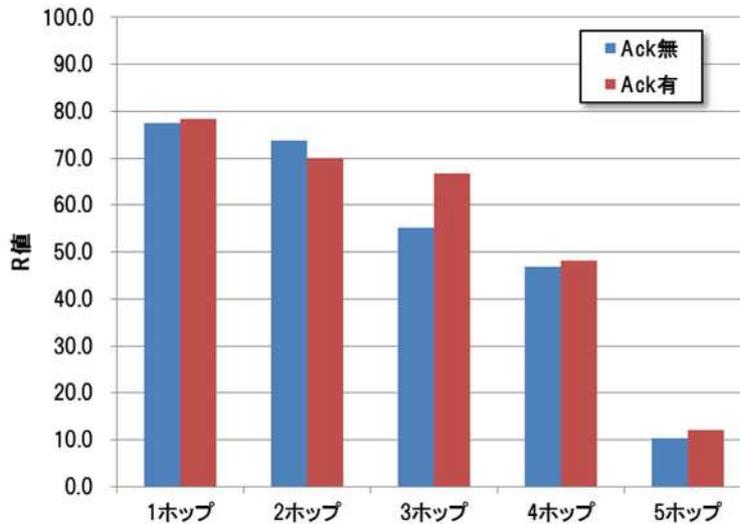


図 5-6 1 回線時におけるホップ数の評価

表 5-6 の結果より、ホップ数が増加するにつれて、パケットロス率や遅延が増大していることが分かる。

図 5-6 の縦軸は 5 分間の測定時間の R 値であり、横軸はホップ数である。図 5-5 よりホップ数が増加するにつれて R 値が減少していることが分かる。一方、Ack 要求については、ホップ数が増加するにつれて Ack 要求が「あり」の方が全体的に高い R 値が得られたものの、5 ホップ時の R 値は 4 ホップ時と比較して 1/4 程度まで悪化している。この要因としては、5.2.2 の電波伝搬測定結果から推測すると、受信信号強度が低い値の経路を経由しているためと考えられる。

次に、2 ホップ時において、同時回線数を 1 から 2 回線とした時のパケットロス、遅延、揺らぎ及びデューティの測定結果を表 5-7 に示す。また R 値についてグラフ化したものを図 5-7 に示す。

表 5-7 2 ホップ時における同時回線数の評価

回線数	Ack 有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	無	1.1	13	3	7.5	73.8
	有	2	14	4	7.8	70
2	無	15.5	17	2	13	40.5
	有	3	23	9	16	66.4

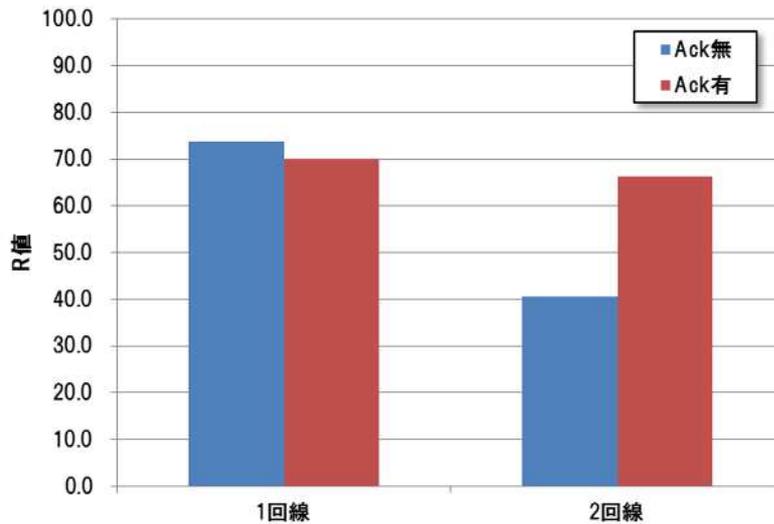


図 5-7 2 ホップ時における同時回線数の評価

表 5-7 の結果より、同時回線数が増加するとパケットロスや遅延が増加し、結果として R 値が減少していることが分かる。

図 5-7 の横軸は同時接続の回線数であり、1 回線と比べて 2 回線の方が送信されるパケット数が増加するため、パケット衝突によるロスが増大し、R 値が減少している。

また、2 回線時の評価においては、Ack 無しよりも Ack 有りの方が R 値が高い。これは、パケット衝突時に Ack による再送を行うことで、パケットロス率が低下しているためである。この時、Ack 有りの方が遅延や揺らぎは大きくなるが、図 4-3 に示した遅延と R 値の関係から、数ミリ秒の遅延では R 値に大きな影響を与えないため、Ack 有りの方が高い R 値が得られると言える。

5.3.3. ラボ内試験との比較

マルチホップ数に関する試験に関して、4.3 のラボ内における試験結果とフィールドにおける試験結果を比較する。1 回線時における Ack 要求「なし」を図 5-8 に、1 回線の Ack 要求「あり」を図 5-9 に、2 ホップ時の Ack 要求「なし」を図 5-10 に、2 ホップ時の Ack 要求「あり」を図 5-11 に示す。

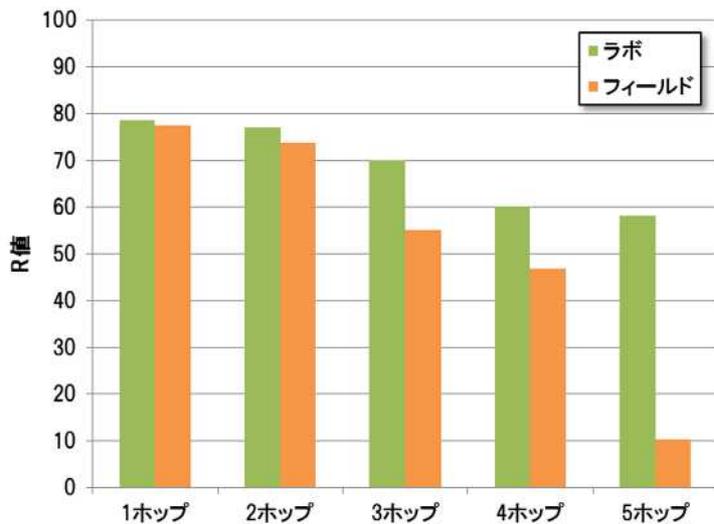


図 5-8 1 回線の Ack 無

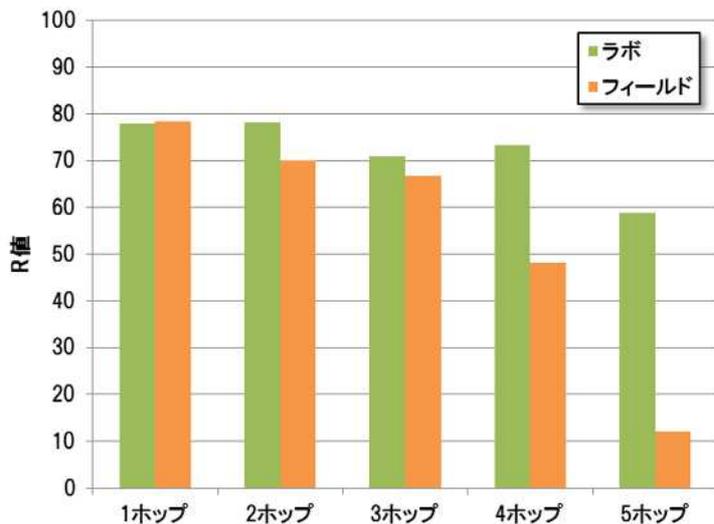


図 5-9 1 回線の Ack 有

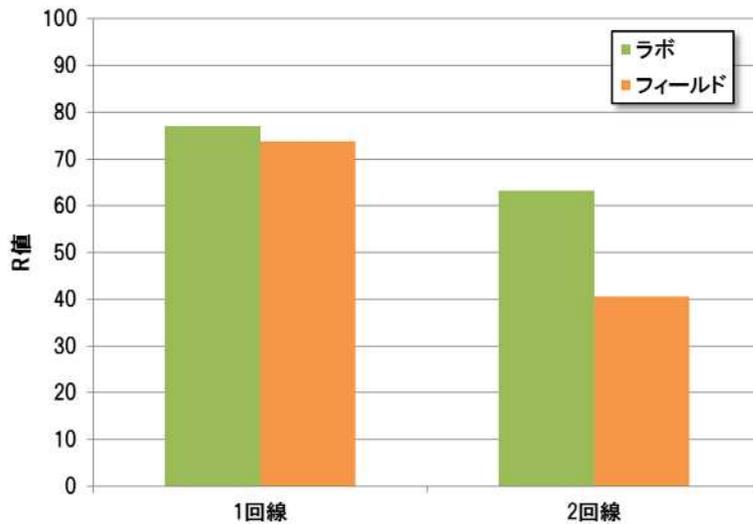


図 5-10 2 ホップの Ack 無

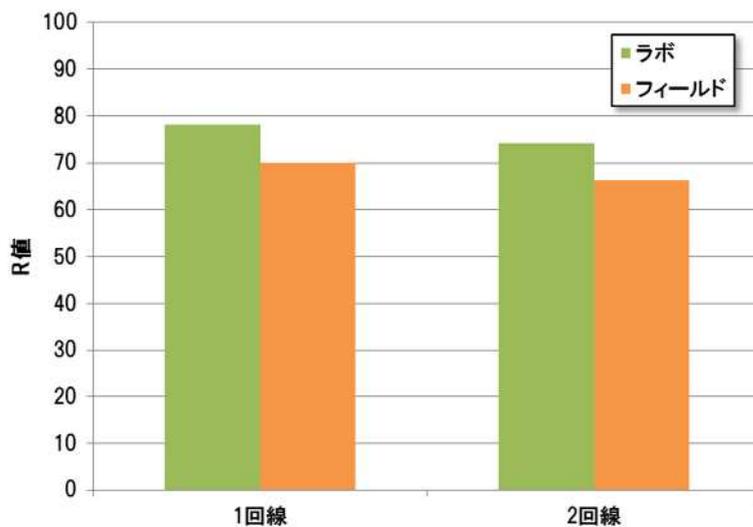


図 5-11 2 ホップの Ack 有

図 5-9 の 1 ホップ時の結果を除いて、ラボ内試験に比べてフィールド試験の R 値が低下している。この要因としては、フィールド試験の屋外環境におけるリンク品質の変動や隠れ端末の影響があるため、パケットエラー率が高くなり、R 値が低下したものと推測される。

ただし、図 5-8 と図 5-9 に示すように、フィールド試験における 3 ホップ時の R 値は、Ack 無し時は 55、Ack 有り時は 66 と 50 以上である。これらの結果から、屋外環境におけるリンク品質の変動や隠れ端末によるパケットロスも考慮しても、屋外環境の場合、3 ホップまではクラス C の通話品質を維持した音声データ伝送が可能であると言える。

5.4. デューティ制御方式の比較

ここでは、パケット毎制御方式と1時間毎制御方式の2種類の方式について、測定条件と測定結果及びラボ内試験との比較結果を示す。

5.4.1. 測定条件

デューティ制御方式の測定条件を表 5-8 に示す。

表 5-8 デューティ制御方式の測定条件

項番	項目	パラメータ	備考
1	コーデック	G.729a	G.729a: 8kbps
2	送信間隔	120ms	表 4-11 のラボ内試験の条件と同様
3	ホップ数	2	表 4-11 のラボ内試験の条件と同様 デューティ測定にホップ数は依存しないため2ホップとした
4	同時回線数	1 回線、2 回線、 3 回線	
5	測定時間	10 分	表 4-11 のラボ内試験の条件と同様
6	Ack 要求	あり	Ack ありの方が R 値が高いため
7	デューティ制御	パケット毎制御、 1 時間毎制御	

5.4.2. 測定結果

2ホップ環境における同時回線数の変化に対するパケットロス、遅延、揺らぎ及びデューティについて、10 分間測定した結果を表 5-9 に示す。また、R 値についてグラフ化したものを図 5-12 に示す。

表 5-9 2 ホップの測定結果(10 分間)

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	パケット毎	0.8	38	38	7.7	73.4
	1 時間毎	3.2	14	4	8	66.3
2	パケット毎	42	384	165	9.3	-15.8
	1 時間毎	20	96	178	16.7	26.3

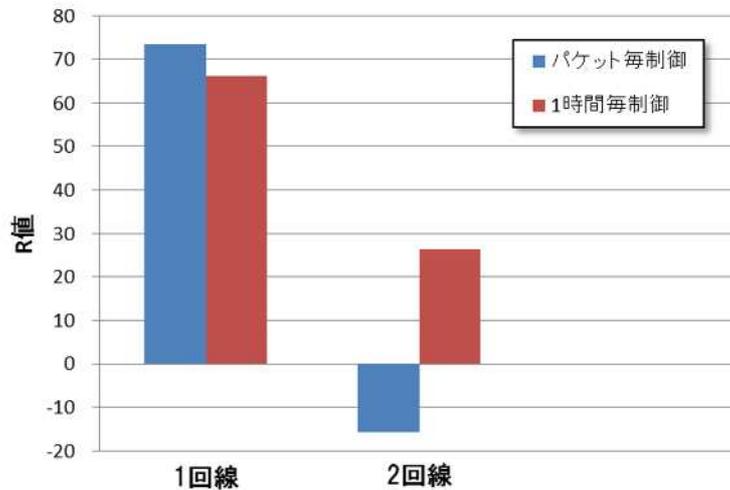


図 5-12 2 ホップの測定結果(10 分間)

表 5-9 の結果より、1 回線時と 2 回線時の結果を比較すると、2 回線時の方がパケットロス、遅延及び揺らぎが大幅に悪化していることが分かる。特に、パケット毎制御方式は 1 時間毎制御と比較して、パケット再送時に送信時間の 9 倍の時間は次のパケットを送信できないため、より遅延が大きくなっている。

図 5-12 の横軸は同時回線数を、縦軸は R 値を示している。パケット毎制御及び 1 時間毎制御の両方式においても 2 回線時の R 値は 50 以下であり、クラス C の音声品質を維持できていないことが分かる。

次に 2 ホップ環境で同時回線数の変化に対するパケットロス、遅延、揺らぎ及びデューティについて、3 分間測定した結果を表 5-10 に示す。また、R 値についてグラフ化したものを図 5-13 に示す。

表 5-10 2 ホップの測定結果(3 分間)

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	パケット毎	0.8	38	38	7.7	73.4
	1 時間毎	2	14	3	7.4	69.5
2	パケット毎	42	384	165	9.3	-15.8
	1 時間毎	3	23	9	16.7	66.4

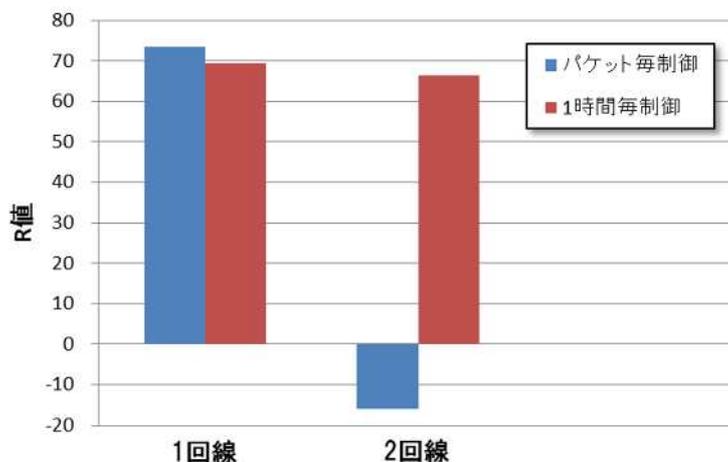


図 5-13 2 ホップの測定結果(3 分間)

表 5-10 の結果より、1 時間毎制御においては、1 回線時と 2 回線時を比較すると、パケットロスは 2% から 3% と 1% の増加、遅延は 14ms から 23ms と 9ms の増加にとどまっている。これは、1 時間毎制御方式の場合、瞬間に 10% デューティを超えても、制限内であればパケットの連続送信が可能な方式であるためである。

図 5-13 の横軸は同時回線数を、縦軸は R 値を示している。1 時間毎制御方式においては、3 分間の測定時間から R 値を算出することで、2 ホップ 2 回線時においても 66 の R 値を維持できている。このことから、通話時間を 3 分間とすることで、2 回線時においてもクラス C の音声通話が可能であると言える。一方、パケット毎制御方式については、パケットの再送時には必ず 9 倍の送信休止時間が発生するため、パケット再送毎に遅延が増大する。その結果、遅延による無線機での待ち合わせ時間が増大し、無線機のバッファが溢れることによるパケットロスが発生しているものと推測される。

5.4.3. ラボ内試験との比較

デューティ制御方式の比較評価に関して、4.4 のラボ内における試験結果とフィールドにおける試験結果を比較する。1 時間毎制御方式において、2 ホップ環境における同時回線数の変化に対するパケットロス、遅延、揺らぎ及びデューティについて、10 分間測定した比較結果を表 5-11 に示す。また、R 値についてグラフ化したものを図 5-14 に示す。

表 5-11 2 ホップの 1 時間毎制御(10 分間)

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	ラボ	0.3	13	0.6	7.5	76.8
	フィールド	3.2	14	4	8	66.3
2	ラボ	29	164	239	14.8	9.8
	フィールド	20	96	178	16.7	26.3

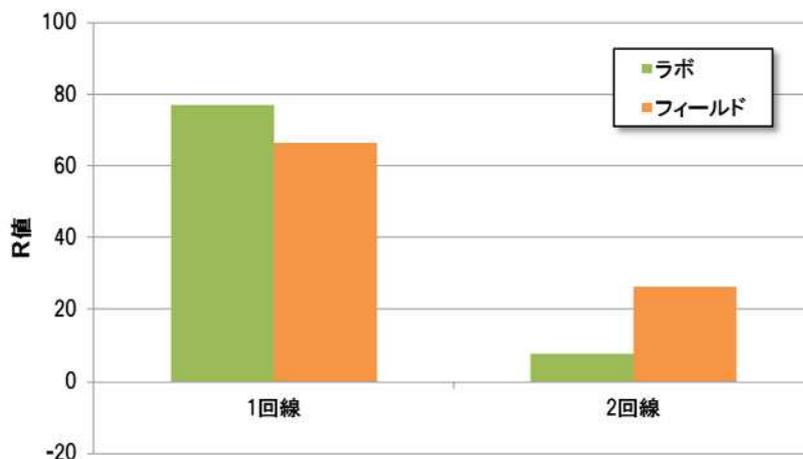


図 5-14 2 ホップの 1 時間毎制御(10 分間)

表 5-11 の結果より、2 回線時の 10 分間の測定結果は、ラボ内試験及びフィールド試験ともにパケットロス、遅延及び揺らぎが悪化していることが分かる。

図 5-14 の横軸は同時接続回線数を、縦軸は R 値を示している。2 回線時においては、ラボ内試験及びフィールド試験いずれも R 値が低下していることが分かる。

次に 2 ホップ環境で同時回線数の変化に対するパケットロス、遅延、揺らぎ及びデューティについて、3 分間測定した比較結果を表 5-12 に示す。また、R 値についてグラフ化したものを図 5-15 に示す。

表 5-12 2 ホップの 1 時間毎制御(3 分間)

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	デューティ (%)	R 値
1	ラボ	0.3	13	0	7.5	77.1
	フィールド	2	14	3	7.4	69.5
2	ラボ	2	13	0.8	14.8	69.3
	フィールド	3	23	9	16.7	66.4

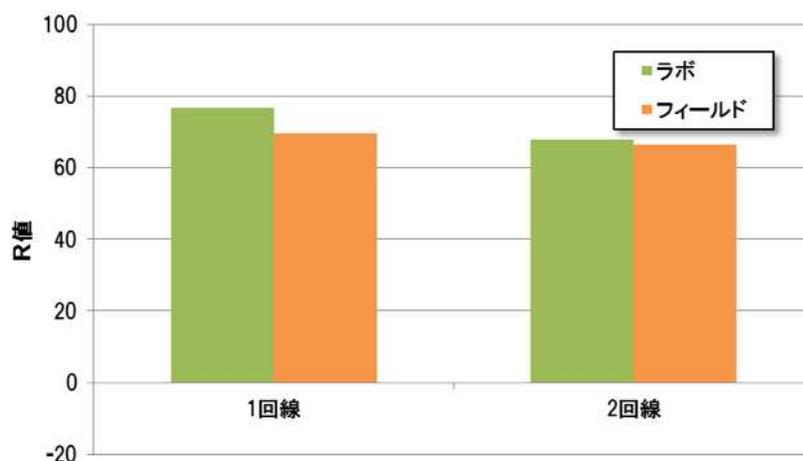


図 5-15 2 ホップの 1 時間毎制御(3 分間)

表 5-12 の結果より、2 回線時において、測定時間を 3 分間とすることでラボ内試験及びフィールド試験いずれもパケットロス、遅延及び揺らぎがそれほど悪化していないことが分かる。

図 5-15 では、ラボ内試験と比べてフィールド試験の方が R 値の低下が見られるが、この要因としては 5.3.3 の結果と同様に、フェージングによるリンク品質の変動や隠れ端末によるパケットロスの影響と推測される。

5.5. フィールド試験のまとめ

- (1) 電波伝搬フィールド試験の結果、見通し外環境で受信信号強度が-80dBm 以下の場合にパケット受信率が悪くなることから、音声データ伝送をマルチホップ環境で安定して行うためには、受信信号強度が-80dBm 以上の環境が望ましい。このことから、回線設計において、アンテナの設置箇所の選定やマルチパスを考慮した伝搬調査を十分に行うなどの対応が必要である。
- (2) マルチホップ試験の結果、1 回線の 3 ホップ(約 2.3km)において、R 値は 66 の通話品質が可能であることが分かった。また、1 回線の 4 ホップにおいては、ラボ内環境とは異なり、R 値 48 程度となったが、通話の内容は聞き取れるレベルであった。そのため、R 値を基準としつつも、実ユーザを対象とした音声通話テストによる主観評価をすることが望ましい。
- (3) デューティ制御方式の試験の結果、ラボ内検証と同様に、1 時間毎制御の前半 180 秒から R 値を算出した場合、2 回線の 2 ホップにおいても R 値は 66 となり、通話可能な品質であった。フィールド試験においても、1 回線であれば、デューティ 10%以内での連続通話が可能であるが、2 回線では困難となる。このため、複数回線での連続通話を可能とするためには、送信時間制限に対し通話 4 分後の 8 分休止、若しくはデューティを 20%に緩和することが望ましい。

6. 周波数共用条件の検討

920MHz帯を使用する無線局及び近接周波数帯を使用する無線局との干渉検討については、情報通信審議会諮問第2009号「小電力の無線システムの高度化に必要な技術的条件」(平成14年9月30日諮問)のうち、「920MHz帯電子タグシステム等の技術的条件(以下「電子タグシステム等の技術的条件」という。)」及び平成23年度周波数逼迫対策のための技術試験事務「920MHz帯及び950MHz帯電子タグシステムの周波数有効利用方策に関する調査検討(以下「周波数有効利用方策に関する調査検討」という。)」において実施されている。

本章では、これらの現行制度の導入に際して実施された干渉検討結果に対して、音声データ伝送が及ぼす影響を検討及び評価し、音声データ伝送における技術的条件の策定に資することを目的とする。

6.1. 検討方針の概要

920MHz帯を使用した音声データ伝送においては、新たに周波数の割当てを必要とするものではなく、また空中線電力の増大を希望するものではない。920MHz帯周波数帯を利用するためには、周波数偏差、周波数帯域幅、帯域外におけるスプリアス発射の強度及びスプリアス領域における不要発射の強度(以下「電波の質」という。)に変更をきたすことなく、現行の電波法令を遵守していることの確認が必要である。また、音声データ伝送の普及により、現行制度時の普及予測と異なる場合は、モンテカルロ手法を用いた共用検討を行う必要がある。そこで、音声データ伝送における周波数共用条件の検討を以下の方針とした。

- (1) 音声データを伝送した場合の「電波の質」を測定し、現行の電波法令に合致していることを確認する。
- (2) 音声データ伝送システムのネットワークモデルを策定し、全国的に音声データ伝送システムが普及した場合の普及予測をたてる。
- (3) 「電子タグシステム等の技術的条件」の920MHz帯電子タグ普及予測と、(2)の結果の比較を行い、音声データ伝送が920MHz帯電子タグ普及予測に与える影響を検討する。
- (4) 他無線局との干渉検討については、以下の指針とする。
 - ア 隣接する無線局 (MCA、携帯電話基地局(LTE))
電波の質に影響を及ぼす場合は、対向での検証を実施。
普及予測を越える場合は、モンテカルロ手法による共用検討を実施。
 - イ 同一周波数帯の無線局 (パッシブ系及びアクティブ系タグ、サッカー審判用無線)
電波の質に影響を及ぼす場合は、対向での検証を実施。
普及予測を越える場合は、モンテカルロ手法による共用検討を実施。
同一チャンネル干渉については、ラボ内環境において20mW無線局との干渉測定を実施。
- (5) 10%デューティの緩和に関しては、「周波数有効利用方策に関する調査検討」に記載されたデューティ比較評価実験の結果を参考に、デューティに対する被干渉局の所要CIRの値にどの程度の影響を与えるかを検討する。

6.2. 音声データ伝送による影響

6.2.1. 電波の質の測定

電波法第 28 条に規定する電波の質(周波数の偏差、周波数の占有帯域幅、高調波の強度(スプリアス発射))について、音声データ伝送時の値を表 6-1 の機器を用いて測定し、その測定結果を表 6-2 に示す。また、参考までに過去にデータ伝送用途で技術適合証明を取得した際の測定結果を表 6-3 に示す。

表 6-1 測定機器

項番	機器名	型番	会社名
1	スペクトラムアナライザ	E4407B	Agilent Technologies
2	周波数カウンタ	MF2412C	アンリツ
3	パワーメータ	N1913A	Agilent Technologies
4	パワーセンサー	E9301B	Agilent Technologies

表 6-2 音声データ伝送時の測定結果

製造番号	周波数偏差 ± 20ppm 以下		占有帯域幅[kHz] (4ch 束ね時: 800kHz 以下)	<参考> 送信出力 [dBm]
	周波数[MHz]	偏差[ppm]		
300716	922.69775641	-2.4	442.02	22.28

スプリアス発射

30 MHz 以上 710 MHz 以下 -36 dBm 以下/100kHz		710 MHz 超え 900 MHz 以下 -55 dBm 以下/1MHz		900 MHz 超え 915 MHz 以下 -55 dBm 以下/100kHz	
MHz	dBm	MHz	dBm	MHz	dBm
453.91	-61.03	852.5	-60.76	913.82	-59.14
915 MHz 超え 920.3 MHz 以下 -36 dBm 以下/100kHz		920.3 MHz 超え 924.3 MHz 以下 -29 dBm 以下/100kHz		924.3 MHz 超え 930 MHz 以下 -36 dBm 以下/100kHz	
MHz	dBm	MHz	dBm	MHz	dBm
920.18	-40.33	923.3	-32.5	924.3	-39.94
930 MHz 超え 1000 MHz 以下 -55 dBm 以下/100kHz		1000 MHz 超え 1215 MHz 以下 -45 dBm 以下/1MHz		1215 MHz 超え 5000 MHz 以下 -30 dBm 以下/100kHz	
MHz	dBm	MHz	dBm	MHz	dBm
930.11	-60.31	1044.45	-60.82	2768.68	-33.68

表 6-3 データ伝送時の測定結果

製造番号	周波数偏差 ± 20ppm 以下		占有帯域幅[kHz] (4ch 束ね時: 800kHz 以下)	<参考> 送信出力 [dBm]
	周波数[MHz]	偏差[ppm]		
300716	922.700134	0.15	442.02	22.34

スプリアス発射

30 MHz 以上 710 MHz 以下 -36 dBm 以下/100kHz		710 MHz 超え 900 MHz 以下 -55 dBm 以下/1MHz		900 MHz 超え 915 MHz 以下 -55 dBm 以下/100kHz	
MHz	dBm	MHz	dBm	MHz	dBm
601.2	-68.41	877.58	-63.58	914.445	-55.49
915 MHz 超え 920.3 MHz 以下 -36 dBm 以下/100kHz		920.3 MHz 超え 924.3 MHz 以下 -29 dBm 以下/100kHz		924.3 MHz 超え 930 MHz 以下 -36 dBm 以下/100kHz	
MHz	dBm	MHz	dBm	MHz	dBm
919.918	-45.66	922.1	-31.73	925.006	-39.73
930 MHz 超え 1000 MHz 以下 -55 dBm 以下/100kHz		1000 MHz 超え 1215 MHz 以下 -45 dBm 以下/1MHz		1215 MHz 超え 5000 MHz 以下 -30 dBm 以下/100kHz	
MHz	dBm	MHz	dBm	MHz	dBm
931.4	-61.5	1144.48	-58.46	4856	-47.46

表 6-2 に示すように、周波数偏差については、規定の ± 20ppm 以下に対して -2.4ppm であり、占有帯域幅については、規定の 800kHz 以下に対して 442.02kHz であったため、どちらの項目も規定内であることが分かる。また、スプリアス発射に関しては、その周波数帯においても規定以下の値となっており、すべての帯域において 3dB 以上のマージンがある。

いずれの結果も判定基準に適合しているため、音声データ伝送時においても電波の質に影響を与えないと言える。

6.2.2. 音声データ伝送のネットワークモデル

音声データ伝送のネットワークモデルを導出するにあたり、まずは防災行政無線の補完システムとして導入されることを想定した。そこで、大槌町の導入例や岩手県の防災行政無線の導入数を参考に、全国の各市町村に普及した場合の設置数の予測を行った。

大槌町の導入例を図 6-1 に示す。

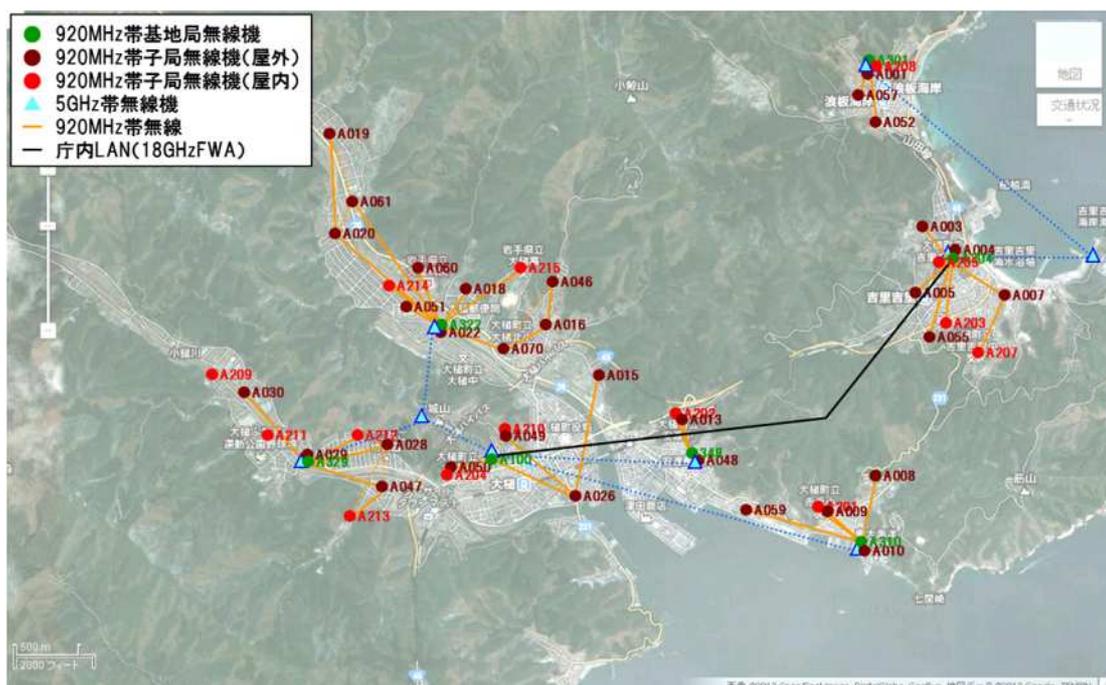


図 6-1 大槌町の導入例

大槌町のネットワークモデルでは、無線局が 46 台導入されており、最大のホップ数は 3 ホップとなっている。また、同じ岩手県内の近隣の市町村に導入されているデジタル化された防災行政無線の設置数は、多い市町村(宮古市、久慈市)で 250 局前後であり、最大値を想定して、1 市町村あたりの防災行政無線局の平均設置数は約 250 台と試算した。

これらのデータは、防災行政無線の親局、中継局、屋外子局(アンサーバック機能なしの屋外子局を含む)の総和から算出している。次に全国の市町村数や防災行政無線との関係などから、音声データ伝送システムの最大普及予測を行った。普及予測には以下の条件を用いた。

一つの市町村あたりの防災行政無線の設置数を 250 台とする。

避難所などへの設置を考慮し、防災行政無線の屋外子局の 1 ホップ先に、920MHz 子局が設置されると仮定すると、防災行政無線局の 2 倍の設置数が必要となる。

60MHz 帯の防災行政無線と比較して、920MHz 無線の伝搬距離は約 1/5 と仮定すると、防災行政無線局の 3 倍の設置数が必要となる。

全国の市町村数は、総務省の市町村合併資料集の平成 26 年 4 月のデータより、1,718 とする。

これらの条件から、音声データ伝送システムが、防災行政無線の補完システムとして全国に普及した場合の最大普及予測は、 $1,718 \times 250 \times 2 \times 3 = 2,577,000$ 台とする。

次に 920MHz 帯無線機器が密集する都市部をモデルとして現行の 20mW 無線局との干渉検討を行う。干渉条件を算出するにあたり、屋外で利用される 20mW 無線局数が最も多いと思われるスマートメーターを対象にネットワークモデルの比較を行った。この様子を図 6-2 に示す。

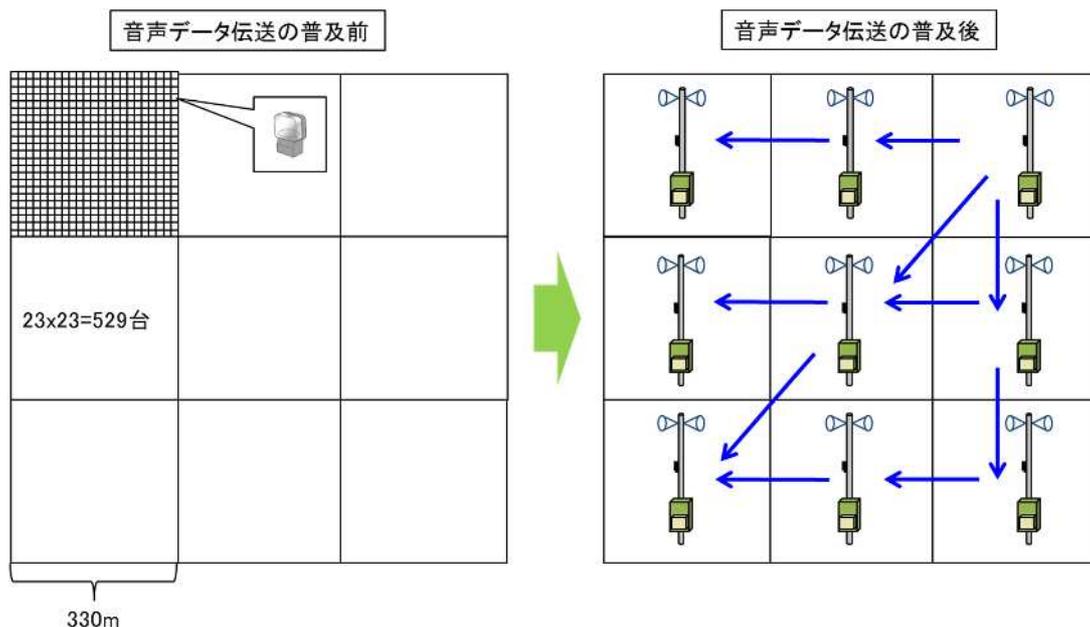


図 6-2 スマートメーターとの比較

スマートメーターは、各家庭の電力計として設置され、東京電力のスマートメーターの通信機能の基本仕様によると、約 500 台のスマートメーターに対して 1 台のコンセントレータ(集約装置)が設置されるものとされている。スマートメーターの設置数は、住宅の建築密度によって異なるが、ここでは都市部の住宅密度が高い場所を想定し、330m 四方に 529 台(23 x 23 の格子状)のスマートメーターが設置されているものとする。この場合、約 1km² 当たり約 4,761 台のスマートメーターが設置されることとなる(図 6-2 の左図参照)。

一方、5.2.2 の電波伝搬測定の結果より、250mW 出力装置の電波の通達距離は最大で 1,620m であったが、都市部においては見通し外環境となる障害物が多くなることが想定されるため、約 1/5 となる 330m 以上の通達距離を仮定した。この仮定から、約 1km² 当たり約 9 台の 250mW 出力の装置の設置が見込まれる(図 6-2 の右図参照)。この結果、3 ホップの音声データ伝送モデルが普及したとしても、スマートメーターの設置数 4,761 台に対する 9 台の増加分は約 0.2% と非常に少ないと言える。

6.2.3. 920MHz 帯電子タグ普及予測との比較

「電子タグシステム等の技術的条件」に記載された電子タグシステムの普及予測を表 6-4 に示す。

表 6-4 電子タグシステムの普及予測

分野	2012 年	2014 年	2020 年	2024 年
防犯・セキュリティ	531,674	10,631,110	59,457,084	131,514,274
食・農業	607	12,145	164,353	230,898
環境保全	0	0	0	0
ロボット/事務・業務	474,000	9,480,009	47,400,046	94,800,091
医療・福祉	18,794	375,977	2,819,143	15,034,841
施設制御	85,469	1,709,387	15,085,744	51,273,675
構造物管理	53	1,056	10,597	45,440
物流・マーケティング	25,007	500,142	5,000,709	10,001,418
自律移動支援	24,750	495,000	4,950,000	9,900,000
市場全体	1,135,605	22,709,726	129,937,675	312,800,637

2014 年の電波利用状況調査において、950MHz 帯を使用する装置の出荷台数は、パッシブ系とアクティブ系の合計で 266,639 台となっている。これらがすべて 920MHz 帯で利用されたと仮定し、これに音声データ伝送システムの最大普及予測である 2,577,000 台を加えた合計は、2,843,639 台となる。この数字は、表 6-4 の 2014 年の普及予測に対して約 12%にとどまり、現行の普及予測を上回るものではない。このことから、「電子タグシステム等の技術的条件」において音声データ伝送システムの普及を考慮していなかったとしても、現行の普及予測を上回るものではないと考えられる。

6.3. 干渉検討と評価

920MHz 帯無線センサーシステムの使用周波数及び隣接周波数帯を使用する無線システムを図 6-3 に示す。

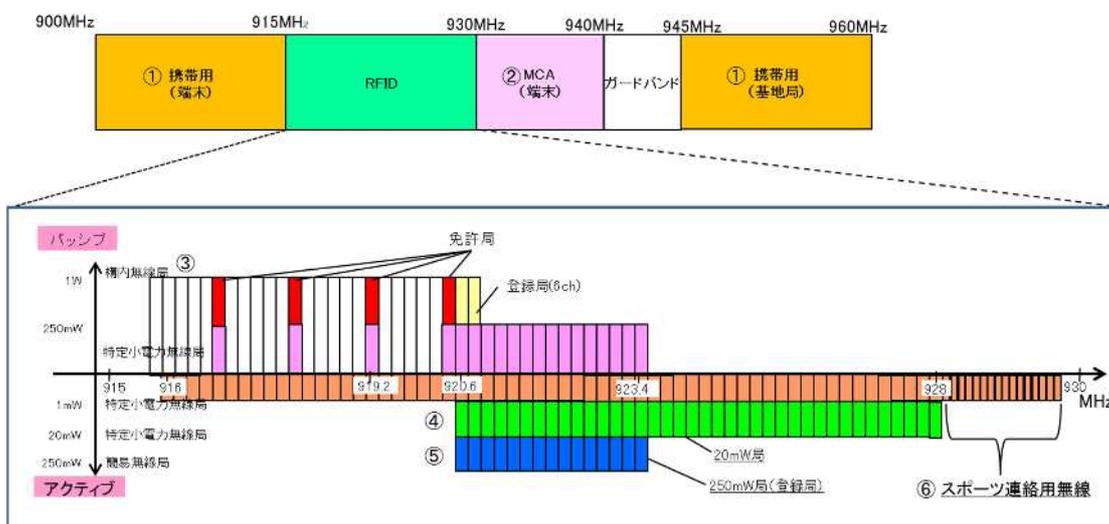


図 6-3 900MHz-960MHz 周波数使用無線システム

6.3.1. 隣接周波数帯無線局との干渉検討

「電子タグシステム等の技術的条件」において、隣接無線局の干渉評価には、20mW を超え 250mW 以下の無線設備(図 6-3 の)に関しては、1対1の対向試験を、20mW 以下の無線設備に関しては、モンテカルロ手法を用いた無線システム間の干渉調査を行うソフトウェアツールである SEAMCAT(Spectrum Engineering Advanced Monte-Carlo Analysis Tool)が用いられている。

以下に音声データ伝送を使用する場合の出力毎の干渉検討の結果を示す。

(1) 20mW 局の無線設備 (図 6-3 の)

20mW 局(1mW 超え 20mW 以下)の無線設備については、上記したモンテカルロ手法を用いて確率的な評価が行われていた。図 6-2 に示すように 20mW 以下の無線設備がスマートメーターとして広く普及したケースに対して、音声データ伝送システムの増加分は僅かに 0.2% 程度であり、実際は「電子タグシステム等の技術的条件」の普及予測を大きく下回る結果となっている。

そのため、SEAMCAT で用いたネットワークモデルに変更が生じないと想定されるため、音声データ伝送システムを考慮した新たなモンテカルロ手法による干渉評価は「電子タグシステム等の技術的条件」と変わらないものと考えられる。

(2) 250mW 局の無線設備 (図 6-3 の)

(ア) 与干渉

「周波数有効利用方策に関する調査検討」においては、携帯電話の陸上移動中継局(移動局対向器屋外用(図 6-3 の))が与干渉の対象無線局であり、250mW 局

(20mW 超え 250mW 以下)の無線設備が連続波で送信した場合、与干渉局に対する所要改善量が最大で 19.1dB であり、離隔距離としては 135m となっている。このため共用可能な条件としては、

製造マージン (今回の無線設備では 3dB)

アンテナ設置場所及び設置条件 (高さ、向き、離隔距離等)

920MHz 帯無線システムの設置管理者主体が明確になる等の措置

とされている。

ここで、 の「920MHz 帯無線システムの設置管理者主体が明確になる等の措置」の条件を満足するため、20mW を超える無線設備は、免許不要局の「特定小電力無線局」ではなく、登録を要する局である「簡易無線局」とし、無線登録人を明確にすることが求められている。

今回の音声データ伝送については、6.2.1 で測定した周波数の偏差、占有帯域幅、帯域外へのスプリアス発射などの電波の質に影響を与えないため、現行法令に変更をきたすものではない。よって従来のご共用条件を考慮すれば、その条件に特段の変更は必要ないものとする。

(イ) 被干渉

「周波数有効利用方策に関する調査検討」においては、携帯電話の移動局、小電力リピータ(基地局対向器一体型)、陸上移動中継局(基地局対向器屋内用一体型(図 6-3 の))が被干渉の対象であり、それぞれ被干渉局に対する所要改善量が 7.1dB ~ 8.1dB 必要であり、離隔距離としては 67 ~ 144m となっている。このため共用可能な条件としては、

製造マージン

設置場所及び設置条件(離隔距離等)を調整、又は屋外と屋内の関係においては壁透過損を加味する。

移動局からは一時的干渉が考えられるが、920MHz 帯の無線設備は一般的に再送信処理等が考慮されている。

とされている。

ここで、 に関しては、携帯電話の無線設備の製造マージンにより、数 dB は改善されると思われる。また、 に関しては、音声データ伝送システムは基本的に屋外用途を想定しているため、陸上移動中継局(基地局対向器屋内用一体型)とは壁透過損により 10dB 程度は改善されると想定される。

一方、 の移動局からの一時的な干渉に対しては、音声データ伝送で用いるパケットを Ack 要求付きとすることで、再送信処理が可能となる。

以上のことから、音声データ伝送時においても、これらの共用条件に特段の変更は必要ないものとする。なお、小電力リピータ(基地局対向器一体型)に近接する場合は、干渉の影響が考えられるため、仮に小電力リピータの製造マージンを 3dB とした場合、50m 程度の離隔距離を設けて設置することが望ましい。

6.3.2. 同一周波数帯無線局との干渉検討

同一周波数帯無線局については、周波数を共同的に使用することが前提となっているため、電波法関係審査基準(平成13年総務省訓令第67号)においては、「この周波数は他の無線局からの混信を容認する。」との附款が付されている。そのため、先に電波を発射した局が近傍にいる場合は、他の局は電波を発射しないようキャリアセンスが義務づけられている。ただし、構内無線局として免許を受けているパッシブ系(図6-3の)については、キャリアセンスは不要とされている。

以下、同一周波数帯無線局に対する干渉検討の結果を以下に記す。

(1) パッシブ系システム(図6-3の)との干渉

「電子タグシステム等の技術的条件」のパッシブ系システムとの干渉条件においては、周波数を2ch分離した場合でも、13mの離隔距離が必要となる。そのため、ARIBの標準規格においては、パッシブ系とアクティブ系のシステムの帯域を分割して使用することが規定されている。音声データ伝送においてもチャンネル配置及びキャリアセンスレベルの変更は必要なく、普及率が当初予測よりも状況においては、現状どおりARIBの規格に基づき運用することが望ましい。

(2) スポーツ審判用無線(図6-3の)との干渉

928.1MHz から 929.1MHz を使用するスポーツ審判用無線は、「周波数有効利用方策に関する調査検討」において、利用場所がサッカー場に限定されており、競技場の広さを考慮すれば、20mW以下の920MHz帯の無線設備と共用可能とされている。また、1mW未満の出力の無線設備と同一周波数を使用する場合は、46mの離隔距離が必要とされているが、競技場の管理者等と運用調整を行うことで共用可能とされている。

音声データ伝送においては、20mW以下での利用は少ないことを考慮すれば、与干渉及び被干渉ともに「周波数有効利用方策に関する調査検討」の結果を踏襲することで共用可能と考えられる。

(3) アクティブ系システム(図6-3の)の干渉

「電子タグシステム等の技術的条件」においては、20mWの無線設備を屋内使用、250mWの無線設備を屋外使用の用途として想定している。この場合、同一チャンネルにおける離隔距離は821mとなり、主波の影響は避けられないが、10%デューティ制限により共用可能とされている。

一方、これまでの4章、5章の検証結果より、音声データ伝送システムを有効的に活用するためには、デューティ制限の緩和が望ましい。そこで20mW出力のアクティブ系システム(図6-3の)と250mW出力の音声データ伝送システム(図6-3の)との干渉評価を行った。干渉評価は、同軸ケーブルで接続されたラボ内環境で行い、互いのシステムからの与干渉と被干渉の影響を評価した。

(ア) ラボ内試験環境の条件

干渉評価に用いたラボ内試験環境の構成を図6-4に示す。

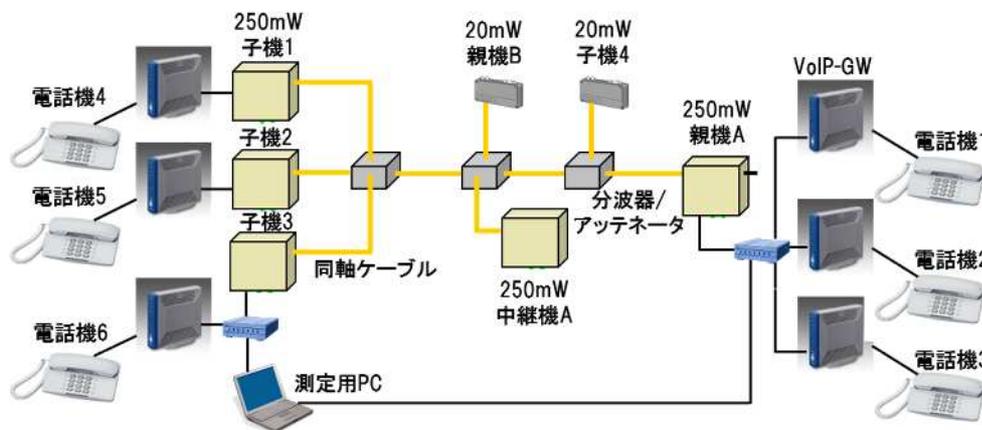


図 6-4 ラボ内試験環境の構成

試験環境は 250mW の無線局を同軸ケーブルで接続し、分波器とアッテネータを用いて 2 ホップのマルチホップ環境を構築した。無線局には VoIP-GW と電話機を接続し、電話機 1 と電話機 4、電話機 2 と電話機 5、電話機 3 と電話機 6 での音声通話が可能な構成となっている。

また、250mW の親機 A と中継機 A との間に 20mW の無線局の親機 B と子機 4 を接続し、子機 4 から親機 B に対して間欠的なデータ通信を行っている。本試験環境で用いた機器のパラメータ条件を表 6-5 に示す。

表 6-5 試験機器のパラメータ条件

	250mW 無線局	20mW 無線局
中心周波数	922.7MHz	922.5MHz
占有帯域幅	800kHz	400kHz
コーデック	G.729a	-
間欠データサイズ	-	64Byte
間欠データパケット数	-	1000 パケット
送信間隔	120ms	200ms
Ack 要求	あり	あり or なし

ここでの 20mW 無線局は、スマートメーターを対象としており、スマートメーターの代表的な規格である Wi-SUN 仕様に準じている。Wi-SUN 仕様では、主として用いる伝送レートが 100kbps であり、その際の占有帯域幅は 400KHz となる。一方、250mW 無線局は伝送レートが 400kbps であり、その占有帯域幅は 800KHz としている。

また、ARIB STD-T108(簡易無線局と特定小電力無線局)では、アクティブの基本規定が ch 番号 33(中心周波数: 922.4MHz)から始まっており、20mW 無線局で

ch33(922.4MHz)とch34(922.6MHz)の2chを束ねた場合、その中心周波数は922.5MHzとなる。一方、250mW無線局の場合は、ch33(922.4MHz)からch36(923.0MHz)までの4chを束ねた場合、その中心周波数は922.7MHzとなる。このように、ARIB規定に基づき、チャンネル数を最大とするような束ね方では、250mW無線局と20mW無線局の中心周波数にずれが生じる。干渉条件としては、中心周波数が重なる条件が一番厳しくなるが、中心周波数が200kHz違っていても、互いにキャリアセンスは動作する環境にあり、同一周波数帯の干渉評価と同様の結果が得られる。上記の想定に基づき、スマートメーターが実際に運用される場合を考慮して、20mW無線局の設置密度が高い環境下で音声データ伝送を使用した場合の干渉評価を行った。

(イ) 電波受信強度の測定

250mW無線局から20mW無線局に対して与干渉及び被干渉の関係となるように、各無線局の前後に挿入されたアッテネータの個数を調整し、互いの無線局間の電波受信強度を測定した。この様子を図6-5に示す。

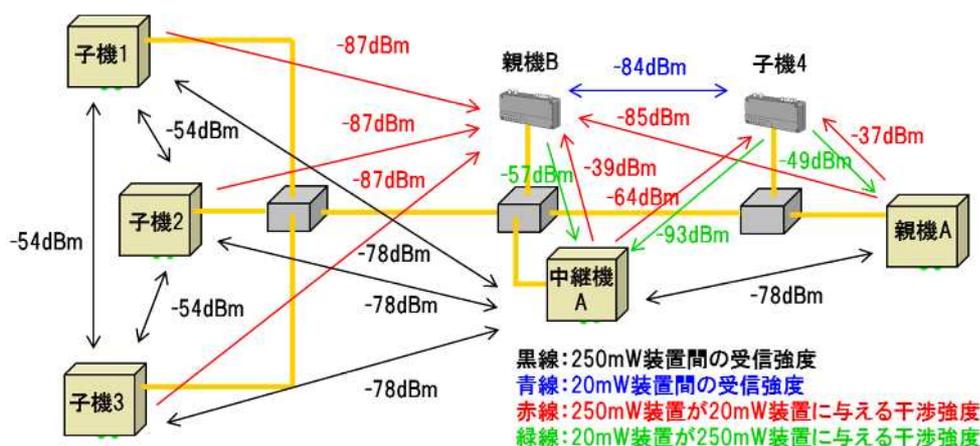


図 6-5 各無線局間の受信強度

図の黒線の数値は250mW無線局同士の電波受信強度を、青線の数値は20mW無線局同士の電波受信強度を、赤線の数値は250mW無線局が20mW無線局に与える干渉強度を、緑線の数値は20mW装置が250mW装置に与える干渉強度を示している。図より、中継機Aにとっては、親機Bと子機1~3、子機4と子機1~3とは互いに隠れ端末の関係になっていることが分かる。この結果、親機B、子機4と子機1~3は直接キャリアセンスが動作しないため、親機Bと子機4が間欠データ通信中においても、子機1~3は音声データパケットを送信し、パケット衝突が発生する恐れがある。

(ウ) 20mW 無線局への与干渉

250mW 無線局が 20mW 無線局に与える干渉の影響を測定した結果を、図 6-6 に示す。

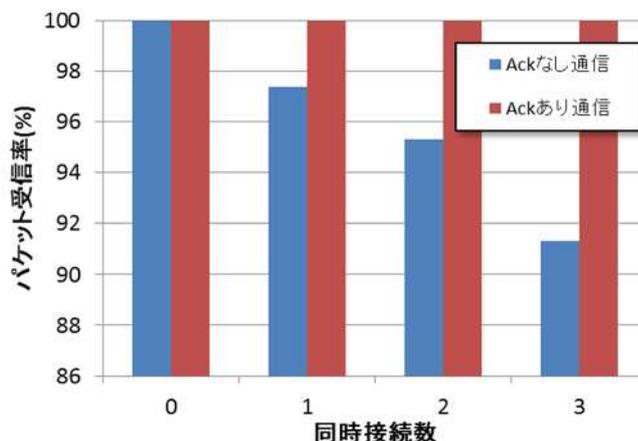


図 6-6 20mW 無線局への与干渉

図の横軸は音声データ伝送の同時接続数を、縦軸は 20mW 無線局が 1000 パケットを送信した際のパケット受信率を示している。図より、20mW 無線局間の Ack なし通信では、250mW 装置間の音声データの同時接続数が増加するにつれて、通信成功率が低下し、最大で 8.7% のロスが発生している。これは、同時接続数が多くなるにつれて、隠れ端末によるパケット衝突確率が上がるためである。ただし、20mW 無線局間の Ack あり通信では、最大 3 回の再送制御により、音声データの同時接続数が 3 回線の場合でも、100% のパケット受信率となった。

一般的な間欠データ通信では、Ack あり通信が用いられると想定されるため、表 6-5 で示した通信条件においては、250mW 無線局が 20mW 無線局に与える干渉の影響はないと言える。

(工) 20mW 無線局からの被干渉

250mW 無線局が 20mW 無線局から受ける干渉の影響を測定した結果を図 6-7 に示す。

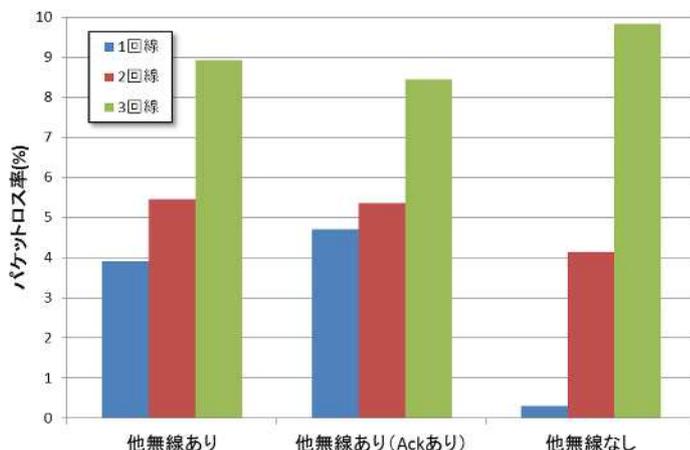


図 6-7 20mW 無線局からの被干渉 (パケットロス率)

図の横軸は 20mW 無線局の有無を、縦軸は 250mW 無線局のパケットロス率を示している。20mW 無線局がない場合は、1 回線接続時の 250mW 無線局のパケットロス率が 0.3%なのに対して、20mW 無線局がある場合は、Ack なし時で 3.8%、Ack あり時で 4.6%とパケットロス率が増加していることが分かる。これは与干渉の影響と同様に、隠れ端末関係によるパケット衝突が発生しているためである。

次に 250mW 無線局のパケットロス率及び遅延と揺らぎを用いて R 値を算出した。この結果を図 6-8 に示す。

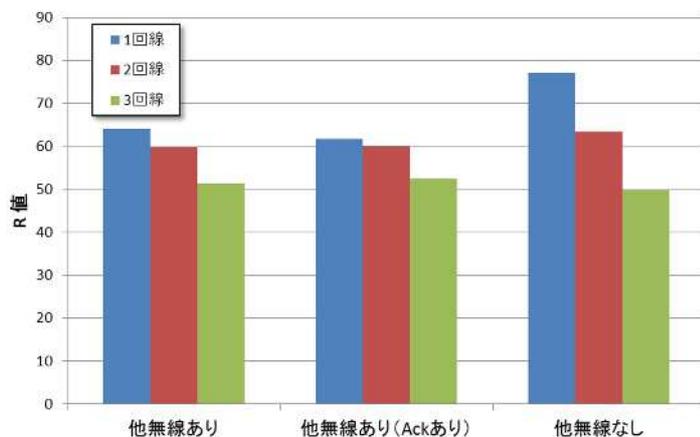


図 6-8 20mW 無線局からの被干渉 (R 値)

図より 20mW 無線局からの被干渉の影響により、R 値が低下していることが分かる。例えば、同時接続数が 1 回線の場合、20mW 無線局がない場合は 77 の R 値に対して、20mW 無線局がある場合は、Ack なし時は 64、Ack あり時は 61 まで R 値が低下している。ただし、同時接続数が 2 回線の場合の R 値は、20mW 無線局がある場合でも、Ack なし、Ack ありともに R 値は 59 であり、指標としている 50 以上の R 値があるため、クラス C の音声品質は維持できている。

これらの結果より、10%のデューティ制限を超える 2 回線の同時接続数においても、表 6-5 で示した通信条件においては、20mW 無線局からの被干渉の影響は問題ないレベルであると言える。

(オ) 20mW 無線局の設置密度に関する机上検討

20mW 無線局への与干渉及び 20mW 無線局からの被干渉に関して、最も影響が大きいと思われるスマートメーターに対する検討を行った。スマートメーターからの被干渉評価として、スマートメーターの設置密度と送信頻度からパケットロス率を算出し、図 4-3 に示したパケットロス率と R 値の関係式を用いて、スマートメーターの設置密度に対する R 値を算出した。この結果を図 6-10 に示す。

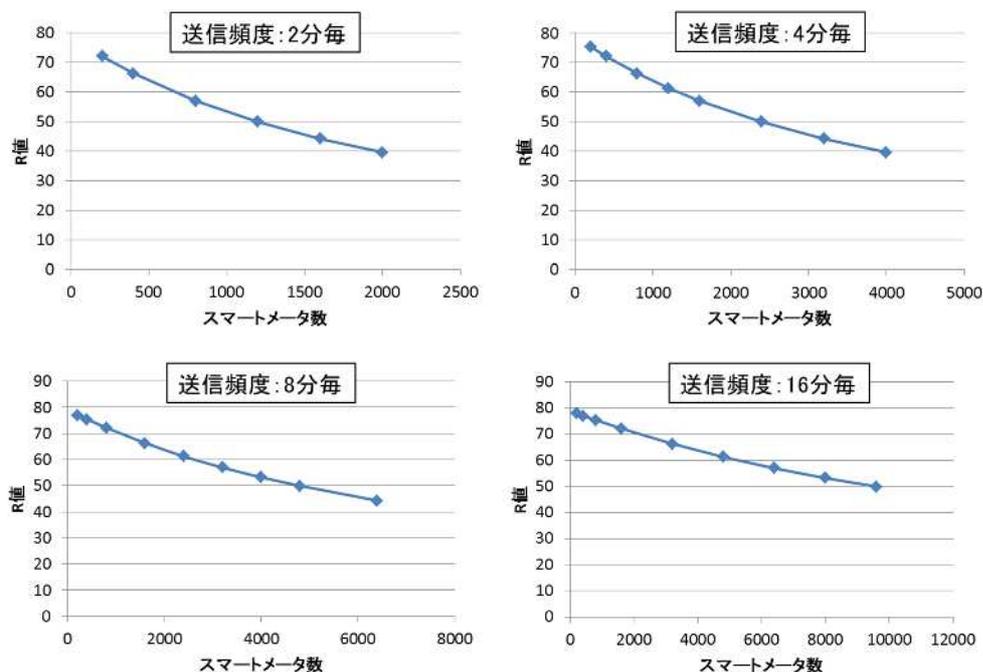


図 6-9 スマートメーターの設置密度に対する R 値

図の横軸は 250mW 無線局の周辺に設置された 20mW 無線局のスマートメーター数を、縦軸は 250mW 無線局で音声データ伝送を行った場合の R 値を示している。R 値は、図 6-7 で示した Ack あり時の 4.6% のパケットロス率から算出している。例えば、表 6-5 で示したように 20mW 無線局の送信間隔は 200ms であるため、スマートメーターの

送信頻度が 16 分毎とした場合のスマートメーター数に換算すると、 $16 \times 60 \text{ 秒} \times (1000 \text{ ミリ秒} / 20 \text{ ミリ秒}) = 4,800 \text{ 台}$ となる。また、20mW 無線局の送信間隔が短くなれば、比例の関係で 250mW 無線局の PACKET ロス率は上がるため、スマートメーターの送信間隔が短くなれば、スマートメーターの設置密度が上がるものとして R 値を算出している。

図の結果より、送信頻度が 4 分毎で周辺密度が 2,000 台以上の場合でも、R 値は 50 以上を維持できるため、東京電力の仕様にある 30 分検針値の収集であれば、都市部でスマートメーターが普及した状況においても、クラス C の音声通話品質は可能であると言える。

また、20mW 無線局への与干渉に関しては、図 6-6 に示したように Ack あり通信とすることで同時回線数が 3 回線でも 100% の PACKET 受信率となることから、IEEE802.15.4 のデフォルト値である 3 回の再送回数で十分であると言える。

6.3.3. デューティ緩和に対する所要 CIR の検討

250mW 無線局と同一周波数を用いた 20mW 無線局との与干渉及び被干渉の評価結果により、250mW 無線局の 10%のデューティを緩和しても問題ないことが分かった。ここでは、デューティを緩和した場合の隣接無線局に与える影響を検討する。

「周波数有効利用方策に関する調査検討」において、付録 7 にデューティ比と許容干渉電力についての補足試験が記されており、アクティブタグシステムの送信が LTE の下り受信に与える干渉実験の結果について言及されている。付録 7 より引用した図付 7-2 を図 6-10 に、表付 7-1 を表 6-6 に示す。

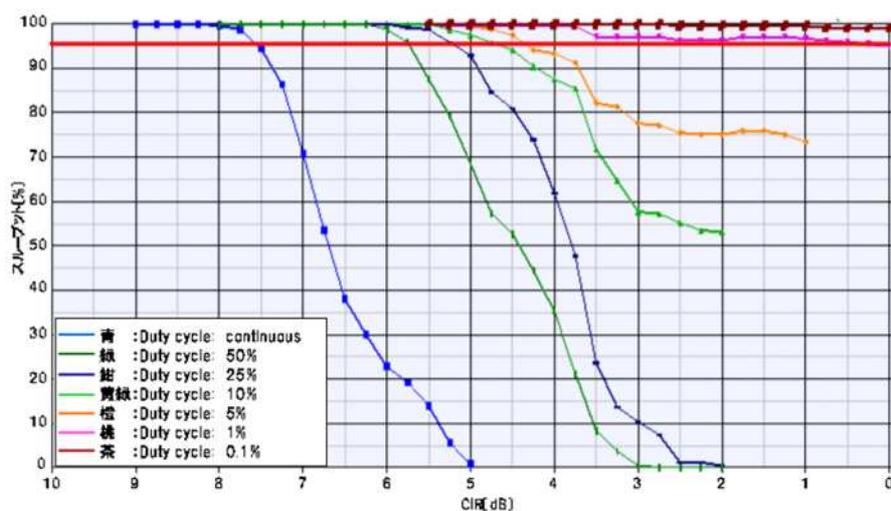


図 6-10 アクティブタグシステム与干渉デューティ比に対する所要 CIR

表 6-6 デューティ比に対する所要 CIR 及び許容干渉電力の結果

与干渉波条件	所要 CIR	許容干渉電力 (帯域内)
連続波	7.5dB	-109.0dBm/5MHz (-116.0dBm/MHz)
パースト波 Duty 比 50%	5.7dB	-107.2dBm/5MHz (-114.2dBm/MHz)
パースト波 Duty 比 25%	5.2dB	-106.7dBm/5MHz (-113.7dBm/MHz)
パースト波 Duty 比 10%	4.7dB	-106.2dBm/5MHz (-113.2dBm/MHz)
パースト波 Duty 比 5%	4.3dB	-105.8dBm/5MHz (-112.8dBm/MHz)
パースト波 Duty 比 1%	0.5dB	-102.0dBm/5MHz (-109.0dBm/MHz)
パースト波 Duty 比 0.1%	-15.3dB	-86.2dBm/5MHz (-93.2dBm/MHz)

実験結果より、パースト波のデューティ比が変わると、所要 CIR が変わることが分かっており、表の結果より、パースト波のデューティ比が 10%から 25%となることで、所要 CIR は 0.5dB の増加が必要となることが分かる。所要 CIR の 0.5dB 増加は、送信出力を 0.5dB 下げることと同レベルの干渉に抑えることが可能である。よって、デューティを 20%緩和した場合は、理論上 0.5dB 相当の離隔距離を伸ばすことで対応可能であると考えられる。これは従来の離隔距離を 1.06 倍に伸ばすことに相当する。

6.4. 音声データ伝送を考慮した無線設備の諸元

これまでの音声データ伝送システムが隣接無線局や同一周波数無線局に与える影響の評価結果より、音声データ伝送を考慮した無線設備の諸元を以下に示す。

(1) 空中線電力

920MHz 帯無線システムに音声データ伝送を加えた場合において、許容受信入力値が変動するものではなく、従来のデータ伝送時と相違ないため、現行法令どおりとする。

(2) 周波数配置

音声データ伝送システムが最大限に普及した場合においても、従来の普及予測の想定内であり、チャンネル不足となることはないため、現行法令の周波数配置とする。

(3) スプリアス発射

現行法令における帯域外領域におけるスプリアス発射の強度の許容値及びスプリアス領域における不要発射の強度の許容値を表 6-7 に示す。

表 6-7 スプリアス発射の許容値

項目	20mW 無線局	250mW 無線局
出力	13dBm	24dBm
不要発射の強度 (参照帯域 100kHz)	-55dBm (900MHz < f 915MHz) 0	
アンテナ利得	3dBi	
空中線高	屋内 1.5m 屋外 15m	

920MHz 帯無線センサーネットワークシステムで音声データを伝送した場合、表 6-2 に示すようにスプリアス発射は現行法令に適合しているため、現行法令の変更は必要ない。また、音声データ伝送は屋外での利用が主となることが想定されるが、防災行政無線の支柱に併設される場合、空中線高も 15m 以下となるため、現行法令どおりとする。

(4) 占有周波数帯域

現行法令で認められている最大 5ch を束ねた場合、占有周波数帯域幅は 1MHz となるが、ラボ内検証及びフィールド検証の結果、音声データを伝送するには 4ch 束ねの 800kHz の占有周波数帯域幅で十分な通話品質を維持できるため、現行法令の変更は必要ない。

(5) 周波数帯の指定

音声データ伝送に用いるコーデックの種別や機器ベンダーの違いにより、占有周波数帯域幅が異なる場合が想定される。また、チャンネルの開始番号も異なることが想定されるため、法令で定められている範囲内で任意の帯域幅で送信可能な広域の周波数指定とする

ことが望ましい。

(6) デューティ制限

デューティ制限及びキャリアセンスの規定を表 6-8 に示す。

表 6-8 デューティ制限の規定

空中線電力	規定	規定内容
1mW を超え 20mW 以下	平成元年郵政省告示第 49 条	<p>Ack であって送信時間が 0.05 秒以下のものはキャリアセンス不要</p> <p>受信入力電力の値が給電線入力点において -80dBm 以上の値である場合には、当該値を受信した無線チャンネルにおける電波の発射を行わないものであること。</p> <p>キャリアセンスの受信帯域幅は、電波を発射しようとする無線チャンネルの幅であること。</p> <p>使用する無線チャンネルの空き状態であるとの判定に要する時間は、5 ミリ秒以上であること。</p> <p>の条件にかかわらず、1 時間当たりの送信時間の総和が 360 秒以下である場合は、使用する無線チャンネルが空き状態であるとの判定に要する時間は 128 マイクロ秒以上とする。</p>
20mW を超え 250mW 以下	平成 23 年総務省告示第 532 号	<p>受信入力電力の値が給電線入力点において -80dBm 以上の値である場合には、当該値を受信した無線チャンネルにおける電波の発射を行わないものであること。</p> <p>キャリアセンスの受信帯域幅は、電波を発射しようとする無線チャンネルの幅であること。</p> <p>使用する無線チャンネルの空き状態であるとの判定に要する時間は、5 ミリ秒以上であること。</p> <p>の条件にかかわらず、1 時間当たりの送信時間の総和が 360 秒以下である場合は、使用する無線チャンネルが空き状態であるとの判定に要する時間は 128 マイクロ秒以上とする。</p>

		<p>の技術的条件が適合される場合の送信時間は 0.4 秒とし、送信休止時間は 2 ミリ秒とする。ただし、電波を発射してからの送信時間が 6 ミリ秒以下の場合に限り、当該休止時間を設けず送信を行うことができる。</p>
--	--	---

現行法令には、20mW 以下の無線設備には、送信時間が 0.05 秒以下の Ack 信号を送信する場合はキャリアセンス不要とする規定(以下「Ack 規定」という。)があるが、20mW を超え 250mW 以下の無線設備には同様の Ack 規定がない。電子タグシステム等の技術条件には、Ack 規定を 20mW 以下の無線設備に限定する理由の記載はなく、本調査検討における実証試験の結果、屋外での音声データ伝送には Ack を「あり」とした方が高い音声品質の結果が得られている。このことから、20mW 以下の無線設備と同様に、20mW を超え 250mW 以下の無線設備についても Ack 規定を設けることが望ましい。

7. 音声データ伝送の技術的条件案

920MHz 帯無線センサーシステムに音声データを適用させるための技術的条件を以下の通りとりまとめた。

7.1. 適用範囲

音声データを伝送する 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムは、設置・管理費用の面から端末数は少ない方が望ましい。また、連続通話可能なホップ数が限られているため、なるべく長い通達距離を確保することが望まれている。さらに、需要が多い通信インフラシステムに適用するためには、特定小電力無線システムのように他の無線局との干渉を容認するのではなく、少しでも優位な運用条件を適用できることが望ましい。

登録局として認められている 920MHz 帯アクティブ系簡易無線局は、920MHz 帯アクティブ系特定小電力システムと比較して法令上優位性がある。また、アクティブ系の 920MHz 帯無線局として最大である 250mW の空中線電力が認められているため最も長い通達距離が確保できる。このため、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムによる音声データ伝送には、920MHz 帯アクティブ系簡易無線局が適していると考えられる。以上の理由で、本調査検討においては、920MHz 帯アクティブ系簡易無線局を対象として技術的条件をとりまとめることとする。

7.1.1. 使用周波数と送信時間制限以外の技術的条件

本調査検討では、既存の 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを用いて、音声データのマルチホップ伝送を可能にする条件を検討している。検討には、現行の電波法令の規定を満足した無線機器を用いている。また、6 章の干渉検討結果から、音声データを伝送したとしても電波の質が変わることはなく、現行の電波法令に合致していることが確認できている。

このため、送信出力、占有周波数帯幅、帯域外におけるスプリアス発射の強度の許容値、スプリアス領域における不要発射の強度の許容値及び隣接チャンネル漏洩電力は、現行の電波法令の規定を変更せずに適用することが可能である。

7.1.2. 使用周波数

既存の 920MHz 帯無線ネットワークシステムに音声データ伝送システムが加わっても、無線局の増加量は既存システムの無線局数と比べて微小であり、他システムに与える干渉量はほとんど変わらないことが確認できた。このため、音声データを伝送する 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムに現行法令の周波数配置を適用することに問題はないと考えられる。

また、アクティブ系の 920MHz 帯無線局には、複数の占有周波数帯幅のシステムが規定されており、データ伝送システムと音声データシステムで占有周波数帯幅が異なる場合が考えられる。このため、周りの干渉環境の変化に柔軟に対応できるよう、使用周波数を広帯域の周波数指定として、法令で定められた範囲内で任意の周波数及び周波数帯域幅で運用できるように、周波数の指定方法を変更することが望ましい。

7.1.3. 送信時間制限

(1) Ack のキャリアセンス除外

920MHz 帯アクティブ系特定小電力無線局では送信時間が 0.05 秒以下の Ack はキャリアセンス不要と規定されているが、920MHz 帯アクティブ系簡易無線局にはこの規定がない。一方、920MHz 帯の制度化時に実施された個別干渉評価の結果から、送信出力が 20mW を超える無線局は他の無線システムに干渉を与える可能性があるため、特定小電力無線局ではなく登録局とすることになった。この経緯を考えると、送信出力が 20mW 以下の特定小電力無線局で認められている Ack のキャリアセンスを不要とする規定は、登録局である送信出力が 20mW を超える無線局にも適用することが妥当であると考えられる。このため、920MHz 帯アクティブ系簡易無線局においても、送信時間が 0.05 秒以下の Ack の場合はキャリアセンスを不要とする規定を設けることが望ましい。

(2) デューティ制限

マルチホップネットワーク環境における音声データ伝送の利活用を図るために、複数回線の同時通話を可能とすることが望まれている。本調査検討の結果、2 回線の同時通話が可能であることが確認できたが、このためにはホップ数を 2 に制限し、かつデューティ比を 20% に緩和する必要がある。これを受け、本調査検討では、デューティ比を 20% に緩和した場合の干渉検討を実施し、既存他システムとの共存が可能であることが確認できた。以上の結果より、デューティ比を 10% から 20% に緩和することが望ましい。

7.1.4. 電波防護指針

300MHz を超え 1.5GHz 以下における電波防護指針の基準値を表 7-1 に示す。

表 7-1 電波防護指針の基準値

周波数	電界強度	磁界強度	電力束密度	平均時間
300MHz を超え 1.5GHz 以下	$1.585f^{1/2}$ [V/m]	$f^{1/2}/237.8$ [A/m]	$f/1500$ [mW/cm ²]	6 分

本調査検討の結果、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムに音声データ伝送を適用する場合において、周波数の指定方法、Ack のキャリアセンス除外、デューティ制限以外の規定については、現行の電波法令の規定を変更せずに適用することとしている。このため、電波防護指針の基準値を満たすための離隔距離は、情報通信審議会答申と同じ最大 32.5cm となる。音声データ伝送に用いる無線装置は電波伝搬を考慮して高所に固定設置される場合が多い。この場合は、特段の対処をしなくても、空中線との離隔距離は 32.5cm 以上となり、電波防護上の支障はないと考えられる。

空中線との離隔距離を 32.5cm 以上取れない場所に無線装置を設置する場合に限り、安全施設を設ける等の対策が必要である。

7.2. まとめ

本調査検討の結果、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムに音声データ伝送を適用する場合、以下の技術的条件の変更が必要であることをとりまとめた。

周波数の広帯域指定

現行のチャンネル別の周波数指定から範囲内で任意の帯域幅で送信可能な広域の周波数指定とする。

デューティ比の変更

デューティ比を 10% から 20% に変更する。

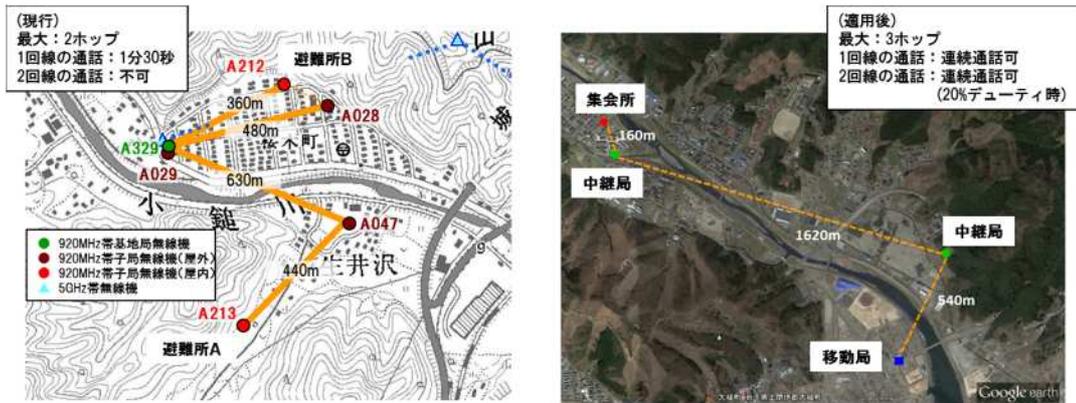
Ack の規定を適用

送信時間が 0.05 秒以下の Ack の場合はキャリアセンスを不要とする。

これに加え、都市部のように無線通信機器が密集して配置されている地域では、取りまとめた技術的条件の緩和以外に以下の考慮が必要である。都市部では、多数の 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムが近接して設置されることや、郊外に設置される場合に比べ、システム内の無線局間の距離が短くなることが考えられる。このような環境で 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを運用する場合は、システム内の干渉やシステム間の干渉の影響がより大きくなると考えられる。このため、無線局の送信出力を必要十分なレベルまで抑えることや、他システムからの干渉を回避するために近接して使用されるシステムとは異なる周波数を使用するなどの対策が必要である。

他システムからの干渉回避に有効な方式として周波数ホッピング方式があるが、周波数ホッピング方式は、本調査検討の対象である音声データ伝送システム間の干渉回避のみではなく、20mW 以下の既存のデータ伝送システムの干渉回避にも効果が期待できるため、今後 920MHz 帯アクティブ系システムへの適用を検討することが望ましい。また、将来的には、20mW 出力の 920MHz 帯無線システムを利用したスマートメーターが電力事業以外にもガス事業や水道事業にも適用されていくことが想定されているため、共用条件が一層厳しくなることが考えられる。このような状況を想定すれば、250mW と 20mW 無線システムのチャンネル配置を明確に分離して運用することが望ましい。

本調査検討では、大槌町で使用されている 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムを用いて音声データ伝送の試験を行った。現行の大槌町の音声データ伝送システムと、本調査検討で得られた技術的条件案を適用した場合の比較結果を図 7-1 に示す。



現行 調査検討結果

図 7-1 現行システムと調査検討システムとの比較

本調査検討で得られた 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムにおける音声データ伝送の性能を表 7-2 に示す。なお、音声通話品質は、ITU-T 勧告 G.107 に基づき IP 電話等で使用されているクラス C(R 値 50 以上)を通話可能とした。

表 7-2 音声データ伝送の性能

音声コーデック	送信時間	Ack	ホップ数		通話制限
			1 回線	2 回線	
G.729a	120ms	あり	3~4 ホップ	2 ホップ	連続通話可能

音声コーデックを G.729a、音声データパケットの送信間隔を 120ms とし、Ack あり通信で、デューティ制限を 20%まで許容することにより、1 回線であれば 3~4 ホップの連続通話が可能であった。また、2 回線でもホップ数を 2 に制限することにより、連続通話が可能であることが確認できた。

おわりに

本調査検討により、東日本大震災で甚大な被害を受けた大槌町をモデルとして 920MHz 帯無線システムを利用した VoIP 伝送のネットワーク化の実現にこぎつけたことは非常に喜ばしい限りです。約 9 か月に渡り調査検討に携わりましたが、利用者視点から様々な意見が出されました。特に自治体の構成員の皆様方から防災無線の現場から見た視点で貴重な意見をいただき感謝申し上げます。今回の調査検討は、音声データを多ホップで伝送するものであり、アルゴリズムなどの変更で原理的には対応可能ではありません。しかしながら、周波数チャネルを他の無線局と共用して使用するため、法的・技術的な制約など解決すべき多くの課題が明らかになりました。

今後は、本調査検討結果を基に制度化を進めていただき、通信機器メーカーにおいて早期に実用化いただくことを期待いたします。

「まとめ」の部分で触れてはいますが、本調査検討結果は、基本モデル的なものであり、実際のネットワーク構築には、都市部のようなところではマルチパスを考慮したネットワーク構成が必要ですし、スマートメーターのような密集型システムとの共用も十分考慮する必要があります。また、山岳地域においては中継局からの電波伝搬を十分に考慮した回線構成の検討が必要となります。構成員からの意見にもありましたが、安価かつ臨時的に通話回線を実現可能であることが 920MHz 帯無線センサーシステムの大きなメリットです。一方、今後さらに利活用を図ることを考えれば、同報系のように多地点一斉同報機能や隠れ端末の影響を自動的に避けるような制御機能、チャネル自動変換などの機能が重要ではないかと考えます。

本調査検討会の結果に満足せず、よりよいシステムを目指して取り組んでいただき、大槌町の情報伝達システムとしてさらに利活用できるよう取り組んでいただきますようお願いするものです。

最後になりましたが、非常に厳しいスケジュールの中委員会の舵取りを行い、適切な助言をいただきました岩手県立大学 村田教授、貴重なご意見をいただいた構成員に敬意と感謝を表すとともに、本調査検討の機会を与えていただいた東北総合通信局の皆様にお礼を申し上げます。

平成 27 年 3 月

音声データ伝送に適応した無線センサーネットワーク

システムの技術的条件に関する調査検討会

副 座 長 本 間 尚 樹

付 録

付録1 構成員名簿

:座長 / :副座長

敬称略

団体名	役職	氏名
公立大学法人岩手県立大学	教授	むらた よしとし 村田 嘉利
国立大学法人国立岩手大学	准教授	ほんま なおき 本間 尚樹
岩手県総務部総合防災室	防災危機管理 担当課長	おおはた みつひろ 大畑 光宏
岩手県政策地域部情報政策課	総括課長	ふるだて よしゆき 古館 慶之
盛岡市総務部総務課情報企画室	室長	さとう あきひこ 佐藤 明彦
遠野市経営企画部	管理情報担当課長	さわむら かずゆき 澤村 一行
釜石市防災危機管理課	課長	ささき とおる 佐々木 亨
滝沢市経済産業部企業振興課	総括主査	きのした しょうぞう 木下 昇三
大槌町総務部	総務部長	ひらの こうぞう 平野 公三
山田町総務課情報チーム	課長補佐	ふなこし かいへい 船越 海平
一般社団法人全国陸上無線協会東北支部	支部長	きくち やすひろ 菊池 安博
株式会社佐々木電機本店		きくち たかひろ 菊池 高広
有限会社岩手総合電子	代表取締役	どい たけふみ 土井 武文
有限会社トータル通信	代表取締役	きくち としみつ 菊池 俊光
創造技研株式会社	代表取締役	みかた まさひと 三方 雅仁

付録 2 調査検討会の開催状況

第1回 調査検討会

日 時:平成 26 年 7 月 3 日(木)14 時 00 分～16 時 00 分

場 所:アイーナいわて県民情報交流センター7 階

議題:

1. 開催要綱
2. 調査検討会構成員
3. 920MHz 帯を利用した無線システム及び制度整備状況
4. 920MHz 帯を利用したセンサーネットワークシステム
5. 音声データ伝送の利活用状況
6. 調査検討会の進め方

第2回 調査検討会

日 時:平成 26 年 10 月 2 日(木)14 時 00 分～16 時 00 分

場 所:アイーナいわて県民情報交流センター7 階

議題:

1. 第 1 回調査検討会議事録案
2. 920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの利用に関するアンケート結果まとめ
3. 音声データ伝送にかかる無線センサーシステムの諸元について
4. 音声データ伝送の理論値とラボ内検証について
5. 実証試験の方法とスケジュール

第3回 調査検討会

日 時:平成 26 年 12 月 19 日(金)13 時 00 分～16 時 00 分

場 所:大槌町役場 3 階会議室

議題:

1. 第 2 回調査検討会議事録案
2. 920MHz 帯を利用した無線センサーシステムの比較
3. ラボ内検証の結果について
4. フィールド試験の結果について
5. 干渉検討の手法について
6. 報告書のまとめ方について

第1回 WG

日 時:平成 27 年 2 月 19 日(木)14 時 00 分～16 時 00 分

場 所:アイーナいわて県民情報交流センター7 階

議題:

1. 干渉検討の手法について
2. 周波数共用条件の検討について
3. 技術的条件のとりまとめについて
4. 報告書素案の状況について
5. その他

第4回 調査検討会

日 時:平成 27 年 3 月 24 日(火)15 時 00 分～17 時 00 分

場 所:アイーナいわて県民情報交流センター7 階

議題:

1. 第3回調査検討会議事録案
2. 干渉検討結果について
3. 報告書案について
4. 今後の予定
5. その他

付録3 920MHz 帯無線と2.4GHz 帯無線 LAN の通達距離の比較

本資料では、920MHz 帯無線システムと2.4GHz 帯無線 LAN システムにおける各無線装置の通達距離を、実測値に基づき比較した結果を述べる。測定に使用した無線装置の諸元を表 付3-1に示す。

表 付3-1 無線装置の諸元

	920MHz	2.4GHz
名称	簡易無線局	無線LAN基地局 親機: Air Station AG54 子機: WN-G300UA
周波数	920.6MHz~923.4MHz	2,412~2,472MHz
出力	250mW	-
変調方式	GFSK	DSSS/OFDM
伝送レート	100kbps	2Mbps
許容受信入力レベル	-88Bm*1)	-80dBm*2)

*1) IEEE802.15.4gの規格値

*2) IEEE802.11の規格値

本測定では、920MHz 帯無線装置として、250mW 出力の簡易無線局を利用し、2.4GHz 帯無線装置として、市販の無線 LAN 装置を利用した。これらの無線装置を利用して、大槌町周辺(大槌町役場周辺道路及び城山公園内)における電波の到達性を確認した。以下に、無線装置の送信機及び受信機の設置条件について説明する。

(1) 送信機の設置

大槌町役場の屋上に設置されたアンテナ周辺に920MHz 帯無線装置及び2.4GHz 帯無線装置の送信機を設置した。大槌町役場の屋上に設置した実際の送信機の様子をに図 付3-1示す。



図 付3-1 大槌町役場屋上に設置した送信機の様子

図 付3-1 において、右図が大槌町役場を正面入り口側から撮影した画像であり、左図

が大槌町役場の屋上アンテナ部分を撮影した画像である。920MHz 帯無線装置には、ルーフトップアンテナを接続し、本ルーフトップアンテナのみを、アンテナステー上にマグネットで固定した。一方、2.4GHz 帯無線装置は、装置及びアンテナを共にアンテナステー上に設置し、タイラップ及び養生テープで固定した。

なお、本測定では、乗用車を利用する大槌町役場周辺道路の測定と、徒歩で実施する城山公園内の 2 種類の測定を実施しているが、送信機の設置条件は両測定において同じである。

(2) 受信機の設置

受信機は、大槌町役場周辺道路の測定時には乗用車に設置し、城山公園内の測定時には持ち運び可能な三脚に設置した。乗用車及び三脚への受信機の設置について、それぞれ以下に説明する。

(ア) 乗用車を利用した測定(大槌町役場周辺道路)

乗用車の車内に測定用 PC を設置し、乗用車のルーフに、920MHz 帯無線装置及び 2.4GHz 帯無線装置の受信機のアンテナを養生テープで固定した。乗用車のルーフに固定した受信機の様子を図 付 3- 2 に示す。



図 付 3- 2 乗用車のルーフに固定した受信機の様子

920MHz 帯無線装置のアンテナには、送信機と同様にルーフトップアンテナを利用し、アンテナのみを乗用車のルーフに設置し、2.4GHz 帯無線装置は、受信機となる子機(WN-G300UA)を乗用車のルーフに設置した。また、各受信機において、受信信号強度測定時の位置情報を取得するために、GPS 受信機を設置した。

(イ) 徒歩での測定(城山公園内)

三脚に 920MHz 帯無線装置及び 2.4GHz 帯無線装置の受信機のアンテナを固定し、測定用 PC と接続した。三脚に固定した受信機の様子を図 付 3- 3 に示す。



図 付 3- 3 三脚に固定した受信機の様子

920MHz 帯無線装置のアンテナには、乗用車での測定時と同様にルーフトップアンテナを利用し、三脚上のステー上にマグネットで固定した。一方、2.4GHz 帯無線装置も、乗用車での測定時と同様に、受信機となる子機(WN-G300UA)を三脚上のステー上にタイラップ及び養生テープで固定した。また、各受信機において、受信信号強度測定時の位置情報を取得するために、GPS 受信機を設置した。測定時には受信機が設置された三脚と測定用 PC とを同時に持ち運んだ。

(3) 測定手順

大槌町役場の屋上に設置した送信機の電源を起動し、920MHz 帯無線装置及び2.4GHz 帯無線装置の各送信機が定期的な信号の同報を開始する。同様に、受信機の電源を起動し、各受信機が同報された信号の受信を開始する。各受信機には、測定用 PC が接続されており、測定用 PC 内のログデータ収集ソフトウェアが、取得した受信信号強度と位置情報を対にしてログデータとして記録する。

大槌町周辺の測定は、乗用車または徒歩で実施する。乗用車を利用した測定では、大槌町役場周辺道路について広範囲にデータを収集することができ、徒歩での測定では、城山公園内について樹木が生い茂る登山道のデータを収集することができる。

(4) 測定結果

上述の設置条件及び測定手順で収集したログデータから、920MHz 帯無線装置及び2.4GHz 帯無線装置で取得した受信信号強度を地図上へマッピングした。920MHz 帯無線装置の受信信号強度を地図上へマッピングした結果を図 付 3- 4 に、2.4GHz 帯無線装置の受信信号強度を地図上へマッピングした結果を図 付 3- 5 に示す。図に示した受信信号強度は、寒色になるほど受信強度が高く、暖色になるほど受信強度が低くなっている。

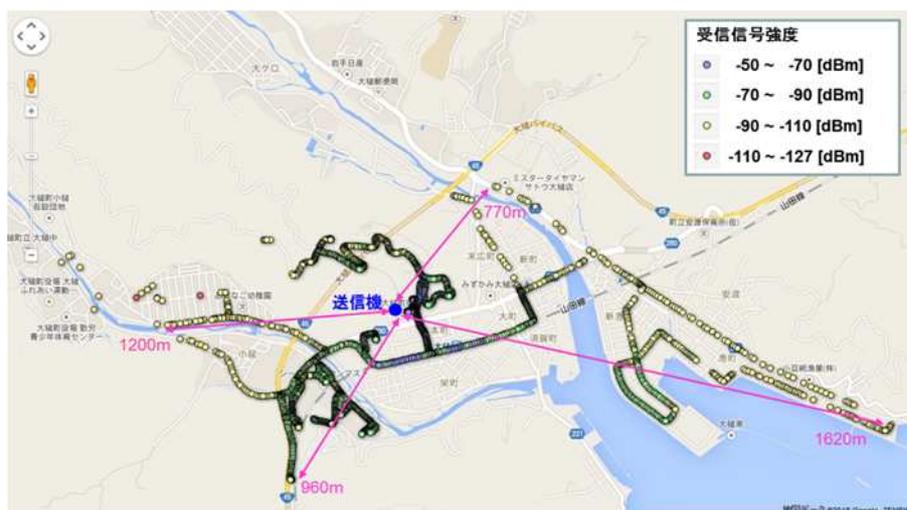


図 付 3- 4 920MHz 帯無線装置の受信信号強度

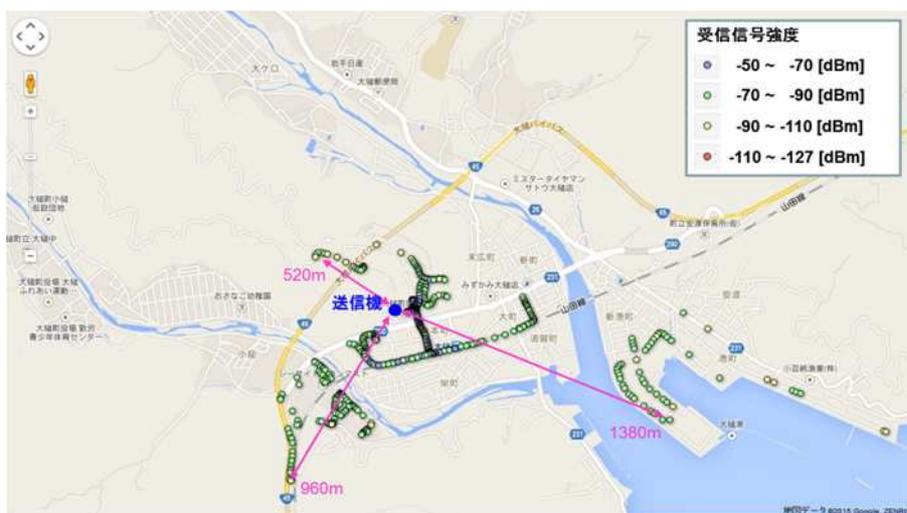


図 付 3- 5 2.4GHz 帯無線装置の受信信号強度

図 付 3- 4 の結果より、920MHz 帯無線装置では、大槌町役場に設置されている送信機から東方向に約 1,620m 地点で受信できていることが分かる。これは、送信機から東方向が、他の方向に比べて見通しが良好であるためと考えられる。また、送信機の南西方向に関しても見通しは良好であり、通達距離はトンネルへの入り口までの約 960m となった。

一方、送信機の北側は、見通し外通信となるため、電波の通達距離は、山を回り込むかたちで、北東方向に約 770m、西方向に約 1,200m となった。送信機北側にある城山公園内の登山道に関しては、地形により見通し外となる地点以外では電波の受信が可能であった。

図 付 3- 5 の結果より、2.4GHz 帯無線装置では、送信機から東方向に約 1,380m 地点で受信できていることが分かる。これは、図 付 3- 4 の 920MHz 帯無線装置の通達距離と比較

すると、約 250m 短い結果となった。送信機の南西方向は、図 付 3- 4 の 920MHz 帯無線装置の結果と同じく、トンネル入り口までの約 960m の通達距離となった。

一方、送信機の北側では、通達距離があまり伸びず、見通しが良好な約 520m の地点で受信できた程度であった。

920MHz 帯無線装置と 2.4GHz 帯無線装置の電波測定の結果を比較すると、2.4GHz 帯無線装置の方が受信できている場所が少ない。これは、2.4GHz 帯無線装置の方が使用周波数が高いため、見通し外環境での回り込み効果が少ないことによる影響と思われる。

以上の測定結果より、920MHz 帯無線装置の方が見通し外環境での受信特性が良く、広範囲のエリアでサービスを提供するのに適していると言える。

次に、920MHz 帯無線装置及び 2.4GHz 帯無線装置のそれぞれの距離に対する受信電力の減衰特性を算出した。920MHz 帯無線装置の結果を図 付 3- 6 に、2.4GHz 帯無線装置の結果を図 付 3- 7 に示す。

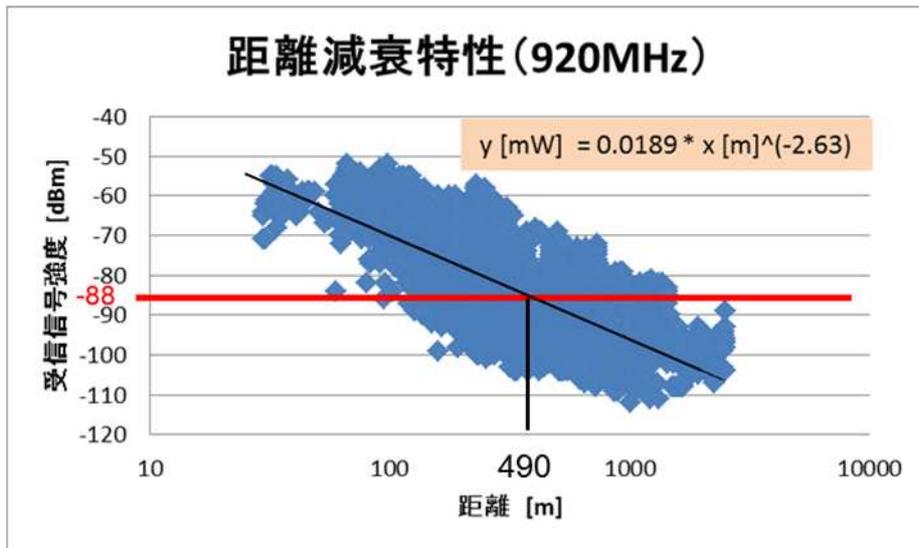


図 付 3- 6 920MHz 無線装置の許容受信入力レベルと通達距離

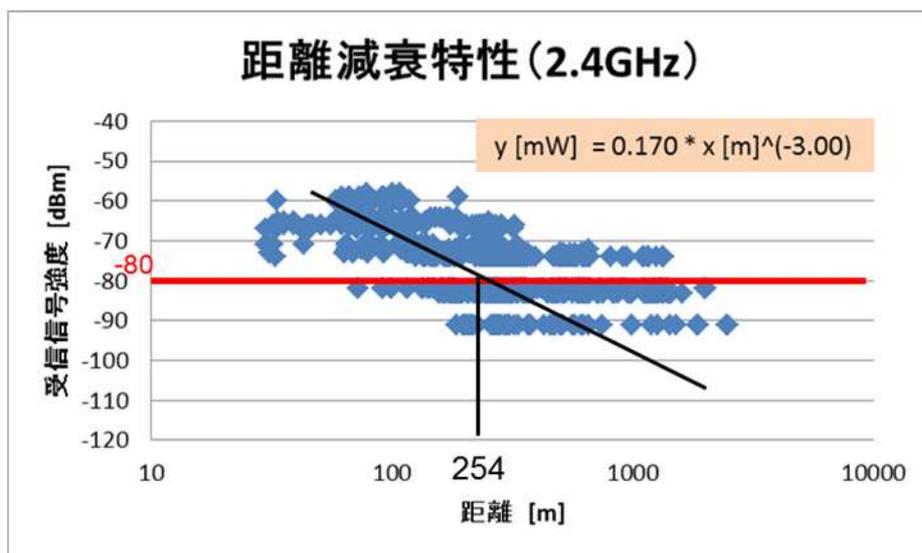


図 付 3- 7 2.4GHz 帯無線装置の許容受信入力レベルと通達距離

図 付 3- 6 に示す距離減衰特性の近似線より、表 付 3- 1 に示した 920MHz 無線装置の許容受信入力レベルである -88dBm に対する通達距離は 490m であることが分かった。図 付 3- 7 に示す距離減衰特性の近似線より、表 付 3- 1 に示した 2.4GHz 無線装置の許容受信入力レベルである -80dBm に対する通達距離は 254m であることが分かった。図 付 3- 6 及び図 付 3- 7 に示した通達距離ごとの減衰特性からは、無線通信に関する特殊性は見当たらず、大槌町周辺の無線通信環境が標準的であることがわかる。

大槌町周辺で実施したこれらの実測データは、表 2-2 に示した 920MHz 帯無線システムと 2.4GHz 帯無線 LAN システムとの通達距離に関する机上比較を裏付ける結果である。

付録 4 20mW 出力の特定小電力無線局と 250mW 出力の簡易無線局との比較

表 付 4- 1 と表 付 4- 2 に 20mW 出力の特定小電力無線局と 250mW 出力の簡易無線局との電波伝搬測定結果を示す。

表 付 4- 1 20mW 出力の電波伝搬測定結果

距離	受信信号強度(dBm)				PER (%)
	平均	最大	最小	変動幅	
50m	-50.7	-50	-52	2.0	0
200m	-69.7	-69	-71	2.0	0
500m	-84.0	-84	-85	1.0	0
1000m	-95.8	-94	-97	3.0	0
1500m	-100.9	-100	-104	4.0	0
1600m	-105.8	-103	-107	4.0	80.6
2000m	-	-	-	-	通信不可

表 付 4- 2 250mW 出力の電波伝搬測定結果

距離	受信信号強度(dBm)				PER (%)
	平均	最大	最小	変動幅	
50m	-50.7	-50	-52	2.0	0
200m	-57.9	-57	-59	2.0	0
500m	-72.1	-71	-73	2.0	0
1000m	-84.9	-84	-86	2.0	0
1500m	-90.7	-90	-92	2.0	0
1600m	-98.8	-98	-100	2.0	0.8
2000m	-102.8	-101	-105	4.0	12.8

付録5 隠れ端末問題とは

自分からは電波圏外であるが、通信相手の電波圏内にいる端末のことを隠れ端末と呼ばれている。隠れ端末同士はキャリアセンスが不可となり、その送信契機を直接知ることが出来ないため、中継機でパケットの衝突が発生する。この様子を図 付5-1 に示す。

マルチホップ通信では、数ホップ先の無線局のキャリアは検知できないため、隠れ端末問題が発生しやすい。

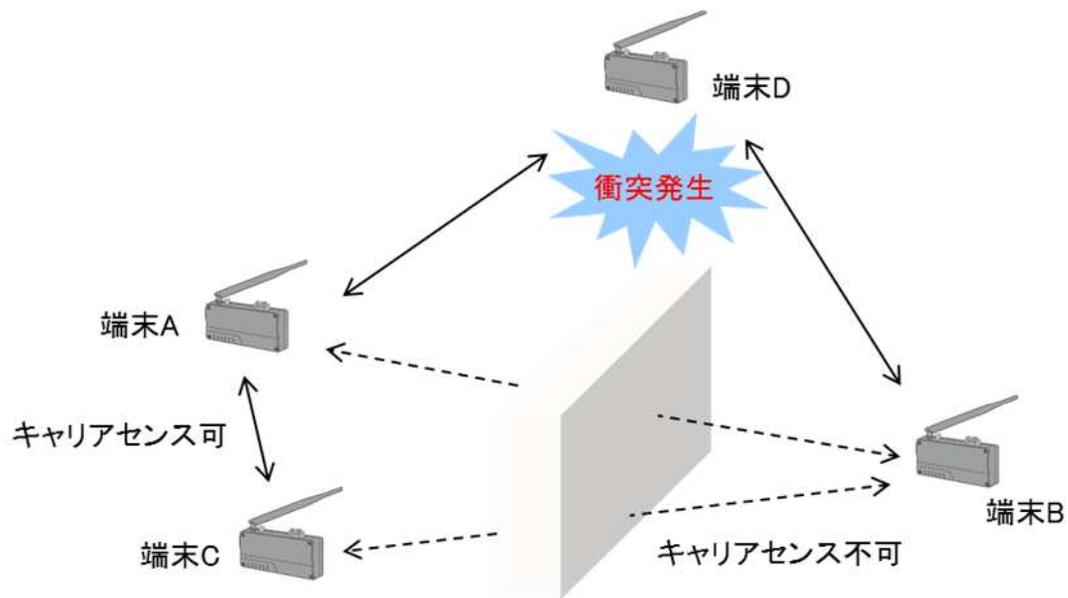


図 付5-1 隠れ端末問題

付録6 ホップ数毎の同時通話回線数の上限の算出方法

ホップ数と同時通話回線数の条件を5ホップで同時3回線までとした理由を以下に説明する。まず、400kbpsの物理層のレートをもつ無線機でのMACスループットを算出する。この計算条件を表付6-1に計算結果を表付6-2に示す。理論値計算の検証のため実測したデータと比較してもほぼ同等の値となっている。実測値の方がわずかに小さい値となるのは、理論値計算では装置のCPU性能によって変わる処理時間を考慮していないためである。図付6-1を見ると、小さいパケットを送信した場合にはスループットが小さくなっていることがわかる。これは、ペイロード長に対するPHYヘッダ、MACヘッダの割合が大きくなるためである。

次に、VoIPパケットのサイズと使用帯域はコーデックの種類と送信間隔を決定すれば算出することが可能である。パケットサイズが決まると、そのVoIPパケットを送ったときの1ホップのスループットを表付6-1から読み解くことができる。1ホップのスループットからマルチホップ時のスループットを算出するには、スループットは $1/n$ (n はホップ数)で減少してするものとして計算する。マルチホップ時のスループットの値をVoIPの使用帯域で除算すれば、収容できる回線の上限数を求めることができる。この計算結果をまとめたものが表付6-2となる。

こうして求めたホップ数、同時通話回線数の理論上限値から今回のラボ内検証のホップ数は最大5ホップ、同時通話回線数は3回線と決定した。

表付6-1 MACスループットの計算条件

項目	値	内容	備考
キャリアセンス時間	128 μ s	電波法規定による	電波の使用状況を検知する仕組み
バックオフ時間	450 μ s	実装では0~900 μ sのランダム値を選択	ランダムな待ち時間
Ack 応答時間	300 μ s	Wi-SUN 規定では300 μ s ~ 1000 μ s 以内	Ack(到達確認)を返信する時間
Ack 送信時間	720 μ s	36 バイト送信時間	
データ送信後の休止時間	2ms	電波法規定による	
PHY/MAC ヘッダ	42Byte		IEEE802.15.4g で規定されたヘッダ

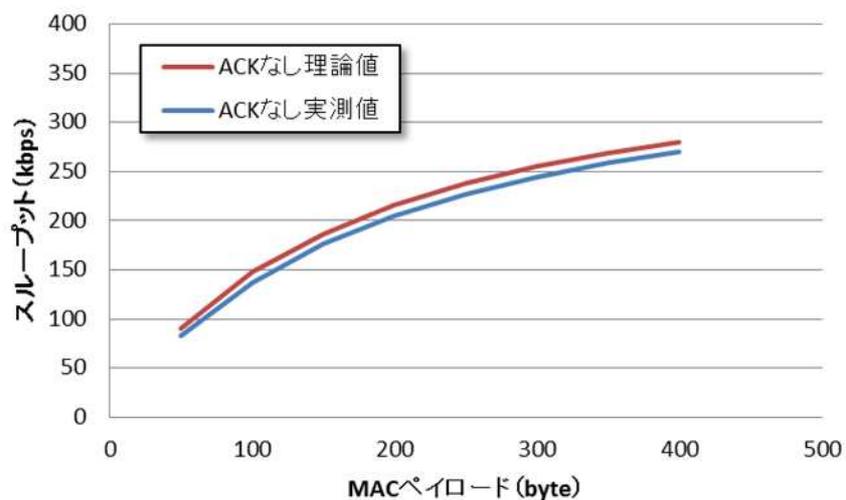


図 付 6- 1 送信ペイロード長とスループットの関係

表 付 6- 2 同時に収容できる回線数の上限値

コーデック 種別	パケット 送信間隔 (ms)	パケット サイズ (Byte)	使用 帯域 (kbps)	収容数 (1~5 はホップ数)				
				1	2	3	4	5
G.711	10	147	117.6	-	-	-	-	-
	40	387	77.4	1	-	-	-	-
	60	547	72.93	2	1	-	-	-
G.729a	10	77	61.6	-	-	-	-	-
	40	107	21.4	3	1	-	-	-
	60	127	16.93	5	2	1	1	-
	80	147	14.7	6	3	2	1	1
	100	167	13.36	7	3	2	1	1
	120	187	12.47	8	4	2	2	1

付録 7 デモ試験の様子

920MHz帯無線センサーネットワーク音声伝送デモ試験

日 時:平成 26 年 12 月 19 日(金) 10:30-12:00 15:00-16:00

場 所:大槌町役場 3 階会議室

大槌町役場に親局を設置し、3 台の移動子局(A,B,C)を設置し最大 3 ホップの音声通話の公開デモを実施した。この様子を図 付 7- 1 に示す。

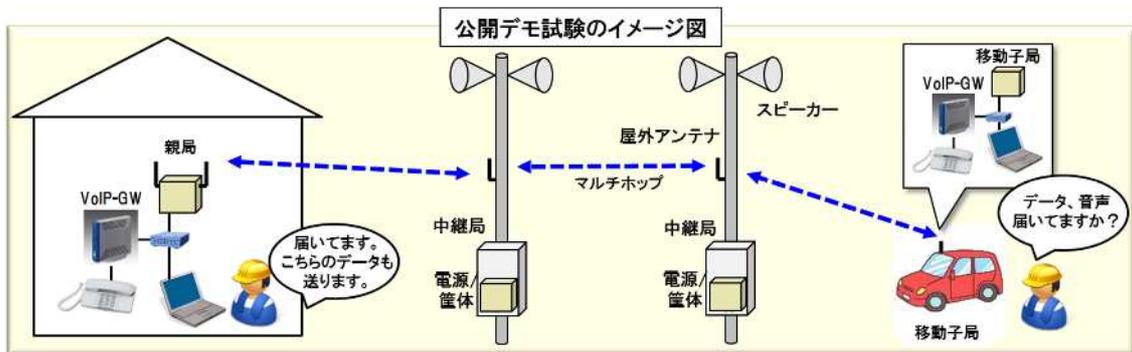


図 付 7- 1 公開デモ試験の構成

公開デモでは、各移動局(A,B,C)と親局間で音声通話を行い、参加者に 920MHz 帯無線センサーネットワーク上での音声通話音質を体験していただき、音声品質に問題がないことを確認いただいた。この様子を図 付 7- 2 に示す。

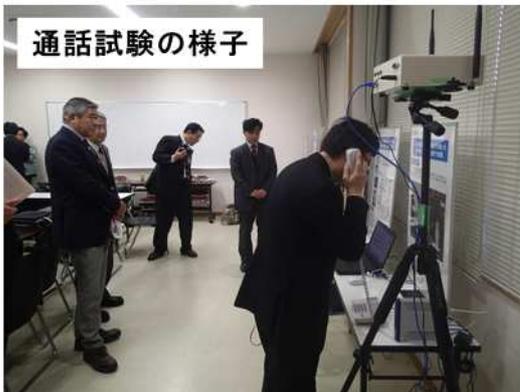


図 付 7- 2 公開デモ試験の様子

また、920MHz 帯無線センサーネットワークシステムの利用例として「920MHz 帯無線マルチホップを用いた構造物モニタリングシステム技術」、「920MHz 帯マルチホップ無線ネットワークを利用した河川監視システム」の展示も行った。それぞれの展示で用いたパネルを図 付 7-3 から図 付 7-5 に示す。

920MHz帯無線マルチホップを用いた 音声データ伝送の公開デモ試験

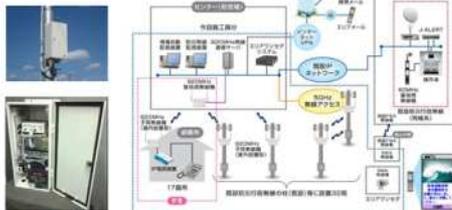
概要

920MHz帯無線センサーシステムにおいて、音声データの伝送を可能とする技術です。音声コーデックのパラメータや、デューティ制御方式を見直すことにより、マルチホップ環境での音声通話を実現しました。

利用シーン

■防災行政無線のバックアップシステム

災害時における役場と避難所間での音声通話



特長

- 音声コーデック
圧縮率が高く伝送レートが低いコーデックを採用し、パケット送信間隔を出来るだけ長くすることで、1回線3ホップ環境での連続通話を可能としました。
- デューティ制御
送信デューティを10%以下に制限するためのパケットの送信休止制御を見直すことで、複数回線の同時通話を可能としました。
- 設置容易性
従来必要とされた周辺装置の機能を見直し、イーサスイッチと同様の使い勝手とすることで、システム構成の簡略化を実現しました。

920MHz帯無線マルチホップを用いた 音声データ伝送の公開デモ試験

デモシステム構成

会議室に設置した無線親局と、車に搭載した移動子局間でマルチホップ環境(パケットリレー方式)を構成し、音声データ伝送のデモを行います。また、通常の防災行政無線では出来ないデータ伝送も同時に行います。

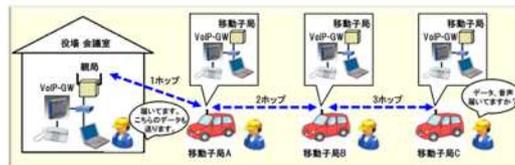


図 付 7- 3 音声データ伝送デモのパネル

920MHz帯無線マルチホップを用いた 構造物モニタリングシステム技術

概要

920MHz帯無線センサネットワークを用いて、老朽化する社会インフラの健全度をモニタリングし、インフラの予防保全や危機予測による防災に活用します。

利用シーン



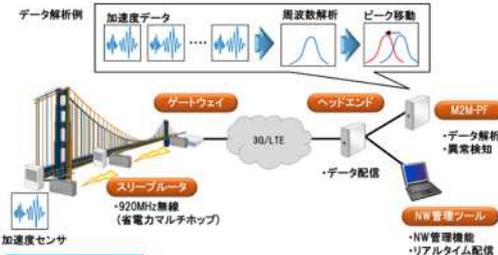
特長

- 加速度センサ
従来の高価なひずみ計や機械式の変位計と比較して、MEMS技術による安価な加速度センサを用いることでシステムの低コスト化を実現します。
- スリープルータ
電池駆動かつマルチホップ中継が可能なスリープルータ技術の採用により、電源敷設工事などの設置コストを削減します。
- M2M-PF
分散データベースの採用により、高い可用性とスケラビリティを実現し、様々なセンサ情報の一元管理が可能となります。

920MHz帯無線マルチホップを用いた 構造物モニタリングシステム技術

適用イメージ

橋梁や構造物に設置した加速度センサの統計情報を解析することにより、構造物の固有振動数を求め、ピーク移動による剛性低下や接合点の異常などを検出します。



デモシステム構成

扇風機に加速度センサを付け、振動データを蓄積し、高速フーリエ変換による周波数解析の結果から扇風機の回転数の変化や軸の異常を検知します。

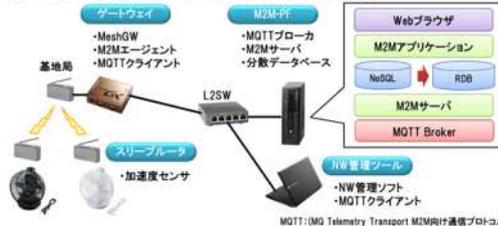


図 付 7- 4 構造物モニタリングデモのパネル

920MHz帯マルチホップ無線ネットワークを利用した河川監視システム

概要

長野県千曲市の沢山川に、河川のモニタリングデータ(水位、雨量)をリアルタイムに取得するセンサーネットワーク設備を設置しています。収集されたデータは市の防災担当部門で降雨時の水位の情報把握に利用されるほか、NICT(情報通信研究機構)のストレージに転送され、同機構「ソーシャル・ビッグデータ利活用・基盤技術の研究開発」に活用されています。



920MHz帯マルチホップ無線ネットワークを利用した河川監視システム

特長

- ・河川状況のリアルタイムでの確認を可能にし、付近住民への避難誘導をより迅速化できます。
- ・マルチホップ無線ネットワークであるため、通信経路が寸断された場合でも、短時間で自動的に経路を再選択してネットワークを再構築し、欠測なくデータ収集を行います。
- ・無線を利用するため、設置も容易です。

システム構成(概要)



図 付 7- 5 河川監視システムのパネル

付録 8 用語解説

No	用語	内容
1	050 番号 IP 電話	インターネット回線を用いた音声通話サービス。2003 年より 050 の電話番号が割り当てられ、一般電話網からの直接着信が可能となった。
2	0AB-J 番号 IP 電話	市外局番から始まる加入電話と同じ番号が割り当てられた IP 電話サービス。
3	Ack	MAC 層で送受信されたフレームの到達確認を行うための信号。
4	ARIB	電波産業会(Association of Radio Industries and Businesses)。電波法で規定される「電波有効利用促進センター」として総務大臣より指定を受けた機関であり、通信・放送分野における電波の有効利用に関する調査研究、研究開発及び標準化機関と連携した技術的検討などの事業を行っている。
5	CIR	Carrier to Interference Ratio の略。搬送波に対する干渉波の電力比。希望波である搬送波に対し干渉波を与えることで、希望波の回線品質を評価する際に用いる。
6	CSMA/CA	搬送波感知多重アクセス / 衝突回避方式(Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance)。無線 LAN に用いられているアクセス制御方式で、無線 LAN ではコリジョン(同じ回線を通る信号の衝突)を検出できないため、各端末は通信路が一定時間以上継続して空いていることを確認してからデータを送信する。
7	DSSS	直接拡散方式(Direct Sequence Spread Spectrum)。スペクトラム拡散の方式の一つで、デジタル信号を非常に小さい電力で広い帯域に分散して同時に送信するもの。
8	FSK 方式	周波数偏移変調(Frequency Shift Keying)。データを異なる周波数に対応させる変調方式。回路が比較的単純で済み、振幅変動の影響を受けにくい。
9	FWA	固定無線アクセスシステム(Fixed Wireless Access)。オフィスや一般世帯と電気通信事業者の交換局や中継回線との間を直接接続して利用する無線システム。
10	GFSK 方式	ガウス型周波数偏移変調(Gaussian Frequency-Shift Keying)。ベースバンド信号をガウスフィルタで帯域制限した位相連続 FSK 方式。
11	HEMS	Home Energy Management System の略。家庭で使用される家電製品などを IT 技術の利用によってネットワークでつなぎ、電力使用量の見える化などを行う家庭用のエネルギー管理システムのこと。

12	IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers の略。電気・電子分野における世界最大の学会。エレクトロニクスに関する学会を開いたり、論文誌を発行したり、専門委員会を開いて技術標準を定めたりしている。
13	ITU-T	国際電気通信連合(ITU: International Telecommunication Union) で、主に有線の電気通信に関する技術の標準化を担当する部門。技術標準を審議・策定し、ITU-勧告(recommendation)として発表している。
14	M2M システム	Machine-to-Machine の略。機械と機械が通信ネットワークを介して互いに情報をやり取りすることにより、自律的に高度な制御や動作を行うシステムのこと。
15	MAC 層	Media Access Control Layer の略称。OSI 参照モデルでは第 1 層(データリンク層)の下位副層にあたり、フレーム(データの送受信単位)の送受信方法やフレームの形式、誤り検出方法などを定めたもの。
16	OFDM 方式	直交波周波数分割多重(Orthogonal Frequency Division Multiplexing)。データを多数の直行した副搬送波に乗せる変調方式。
17	O-QPSK 方式	オフセット四位相偏移変調(Offset - Quadrature Phase Shift Keying)。データを位相の変化に対応させて伝送する変調方式で、I 軸と Q 軸の時間を 1/2 シンボルずらして搬送波の位相を変化させる方式。
18	PHY 層	Physical Layer の略称。国際標準化機構(ISO)によって策定された通信機能(通信プロトコル)を階層構造に分割したモデル(OSI 基本参照モデル)の第 1 層(物理層)にあたり、ネットワークの物理的な接続・伝送方式を定めたもの。
19	RFID	Radio Frequency Identification の略。微小な無線チップにより人やモノを識別・管理する仕組み。
20	RJ-45	通信ケーブルを繋ぐコネクタ形状の一つで、LAN ケーブルなどに用いられる。8 つのピンすべてが信号線に繋がれた 8 極 8 芯のモジュラー式コネクタで、Ethernet などで利用される。
21	RS-232C	Recommended Standard 232 の略。シリアル通信用のインタフェースの一つ。
22	TTC	情報通信技術委員会(Telecommunication Technology Committee)。日本国内における情報通信ネットワークに関わる標準の策定、普及活動や調査研究活動を行う標準化機関。正式名称は「社団法人情報通信技術委員会」。
23	UDP/RTP	User Datagram Protocol/Real-time Transport Protocol の略。音声や映像をストリーミング再生するための伝送プロトコル。パケッ

		トロス対策や伝送時間保証などを行われていない UDP タイプのプロトコルで、通常は RTCP による通信状態レポートとセットで用いられる。
24	VoIP	Voice over Internet Protocol の略。音声信号をデジタル変換し、インターネット(IP 網)上にデータとして伝送する技術。
25	VoIP-GW	Voice over Internet Protocol-Gateway の略。電話網と IP ネットワークの間の中継を行う機器。電話線から入力されるアナログ音声データをデジタルデータに変換し、IP パケットに分割して IP ネットワーク上に送信する。同時に、IP ネットワーク側から受け取った IP パケットをアナログ音声に復元し、電話網へ送り出す。デジタル音声データの圧縮及び伸張も VoIP-GW が行う。
26	VSWR	電圧定在波比(Voltage Standing Wave Ratio)。機器内を高周波信号が通過するとき信号の一部が回路上で反射されてしまう度合い。この値が 1 の時は全く反射のない理想的な状態であり、反射が大きいほど数値が大きくなり信号ロスなどが大きいことを示している。
27	アンサーバック	防災行政無線の拡声子局が、放送終了後に「放送した」ことを示す信号。
28	音声コーデック	音声の信号やデータを一定の規則にしたがって符号化したり、逆に、符号化されたデータを元の状態に復号したりする装置やソフトウェアなどのこと。
29	キャプチャ	装置やソフトウェアなどから出力されたデータを、別の装置やソフトで取り込んで保存すること。
30	キャリアセンス	あらかじめ自分が送信しようとする周波数やチャンネルの利用状況を検知して、同一周波数で複数の搬送波を送信しないよう、通信中であれば一定時間たってから再度通信を試みる機能のこと。
31	国際ハーモナイズ	国際間で制度などの調和を図ること。
32	ストリーム型	データ通信において、通信を開始する前に相手との間で仮想的な専用通信路(コネクション)を確立し、それを通じてデータの送受信を行う通信方式。
33	スポラディック E 層	春から夏ごろにかけて、主に昼間に上空約 100km 付近に局地的に突発的(スポラディック)に発生する特殊な電離層(電波を反射する性質を持った層)。電波が反射して遠方まで到達する異常伝搬の原因の一つとなる。
34	スマートグリッド	電力の流れを供給側・需要側の両方から制御し、最適化できる送電網。
35	スマートハウス	IT(情報技術)を使って家庭内のエネルギー消費が最適に制御された住宅。
36	スマートメーター	毎月の検針業務の自動化や HEMS 等を通じた電気使用状況の

		見える化を可能にする電力量計。スマートメーターの導入により、電気料金メニューの多様化や社会全体の省エネ化への寄与、電力供給における将来的な設備投資の抑制等が期待されている。
37	スリープアンテナ	無線通信用アンテナの一種で、主に超短波から極超短波において用いられ、垂直に立てた場合、水平面内において一定の指向性利得が得られる。
38	スループット	通信回線の単位時間当たりの実効転送量。末端同士の実質的な通信速度(理論値からプロトコルのオーバーヘッド等を差し引いた実効速度)。
39	製造マージン	装置製造時の個別ばらつきを補償するための規格値に対する余裕のこと。
40	セミパッシブ	電子タグの内部回路や付属するセンサー等に電源を供給するために電池等を有しているパッシブタグ。
41	伝送レート	一定時間内に転送することができるデータ量。一般的にはbps(bit per sec)で表記され、1秒間に転送可能なビット量で表現する。
42	電波利用状況調査	電波の有効利用に向けた取り組みの一環として、総務省が、電波法で定めた3つの周波数帯ごとに、各周波数帯をおおむね3年ごとに電波の利用状況を調査・公表し、国民の意見を踏まえ、電波の有効利用の程度を評価するもの。
43	透過損	建物の壁や窓などの材料の電波遮断性能を表す数値。
44	トラフィック	通信回線やネットワーク上で送受信される信号やデータのことや、その量や密度のこと。
45	ノード	マルチホップネットワークを形成する無線局。
46	バースト波	ある一定時間送信して暫く休む動作を不定期で繰り返す波形のこと。
47	パケット	データ通信ネットワークを流れるデータの単位で、伝送されるデータ本体に送信先の所在データなど制御情報を付加した小さなまとまりのこと。
48	ビームフォーミングアンテナ	アンテナの指向性を制御することで電波を特定の方向に集中して送り、電波の利用効率を高める技術。
49	フェージング	無線通信で電波の受信強度が変動する現象。通信機器の移動により機器間の距離が変動することにより起きるほか、障害物や電離層により反射・回折した電波が時間差を置いて到達し、本来の電波と干渉することにより起きる。
50	プロトコル	複数の主体が滞りなく信号やデータ、情報を相互に伝送できるよう、あらかじめ決められた約束事や手順の集合のこと。
51	ペイロード長	通信パケットのうちヘッダ部分(行き先等の付加情報)を除いた、

		本来転送したいデータ本体の長さ。
52	ヘッダ	データの先頭に付加される、データ自体に関する情報。
53	マルチホップ	短・近距離無線機器で最大伝送距離を越えた通信を行うために、機器が互いに情報をパケットリレー方式で中継し合う技術。
54	ミラーサブキャリア方式	リーダー/ライターからタグへの送信と、タグからリーダー/ライターへの受信とで異なる周波数を使い分けることで、読み取り効率を高める技術。
55	無線モジュール	無線通信機能を持った部品
56	モンテカルロ手法	乱数を用いたシミュレーションを何度も行うことにより近似解を求める計算手法。