

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

2015年3月24日

1. 調査検討の背景と目的.....	4	4.4. デューティ制御方式の比較.....	39
1.1. 調査検討の背景.....	4	4.4.1. 測定条件.....	39
1.2. 調査検討の目的.....	4	4.4.2. 測定結果.....	40
1.3. 調査検討項目と概要.....	5	4.5. ラボ内試験のまとめ.....	43
1.4. 調査検討における実施体制.....	5	5. 音声データ伝送の実証 ―フィールド試験―.....	44
2. 920MHz 帯無線センサーネットワークシステム.....	6	5.1. フィールド試験の概要.....	44
2.1. 920MHz 帯無線センサーシステム.....	6	5.1.1. フィールド試験項目.....	44
2.1.1. 920MHz 帯無線センサーシステムの概要.....	6	5.1.2. フィールド試験環境と測定手順.....	44
2.1.2. 920MHz 帯周波数の利用状況.....	8	5.1.3. フィールド試験場所及び試験経路.....	48
2.1.3. 920MHz 帯無線センサーシステムの技術基準.....	9	5.2. 電波伝搬フィールド測定.....	49
2.1.4. 920MHz 帯無線センサーシステムの新たな利用.....	10	5.2.1. 測定手順.....	49
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.....	10	5.2.2. 測定結果.....	50
2.2.1. 工場におけるエネルギー管理.....	10	5.3. Ack 応答有無の比較.....	50
2.2.2. 社会インフラのモニタリング.....	11	5.3.1. 測定条件.....	51
2.2.3. 防災行政無線の補完システム.....	12	5.3.2. 測定結果.....	51
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.....	12	5.3.3. ラボ内試験との比較.....	54
2.3.1. アンケート項目.....	13	5.4. デューティ制御方式の比較.....	56
2.3.2. アンケート結果.....	13	5.4.1. 測定条件.....	56
2.4. 他の無線システムとの比較.....	17	5.4.2. 測定結果.....	56
2.4.1. 比較結果.....	17	5.4.3. ラボ内試験との比較.....	58
2.4.2. 音声データ伝送への適性.....	18	5.5. フィールド試験のまとめ.....	61
3. 音声データ伝送の課題と対策.....	20	6. 周波数共用条件の検討.....	62
3.1. 920MHz 帯無線センサーシステムの諸元.....	20	6.1. 検討方針の概要.....	62
3.2. 音声データ伝送に対するシステム要件.....	22	6.2. 音声データ伝送による影響.....	63
3.3. 音声データ伝送における課題.....	22	6.2.1. 電波の質の測定.....	63
3.4. 音声データ伝送における課題の対策.....	25	6.2.2. 音声データ伝送のネットワークモデル.....	64
4. 音声データ伝送の机上検討 ―ラボ内試験―.....	26	6.2.3. 920MHz 帯電子タグ普及予測との比較.....	66
4.1. ラボ内試験の概要.....	26	6.3. 干渉検討と評価.....	66
4.1.1. ラボ内試験環境と測定手順.....	26	6.3.1. 隣接無線局との干渉検討.....	66
4.1.2. 音声品質の評価指標.....	28	6.3.2. 同一周波数帯無線局との干渉検討.....	68
4.2. 最適なコーデックとパラメータの選定.....	29	6.3.3. デューティ緩和に対する所要 CIR の検討.....	75
4.2.1. 測定条件.....	29	6.4. 音声データ伝送を考慮した無線設備の諸元.....	76
4.2.2. 試験結果.....	30	7. 音声データ伝送の技術的条件案.....	79
4.3. Ack 応答有無の比較.....	35	7.1. 適用範囲.....	79
4.3.1. 測定条件.....	35	7.1.1. 使用周波数と送信時間制限以外の技術的条件.....	79
4.3.2. 測定結果.....	36	7.1.2. 使用周波数.....	79
		7.1.3. 送信時間制限.....	80
		7.1.4. 電波防護指針.....	80
		7.2. まとめ.....	81

■ 背景

- 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。
- そのため、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。

■ 目的

- 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した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。

2. 920MHz帯無線センサーネットワークシステム

資料4-4-2

■ 概要

- 920MHz帯無線センサーシステムは、大きくパッシブ系とアクティブ系に分類される。
- パッシブ系:RFIDや電子タグと呼ばれており、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。
- アクティブ系: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。

■ 920MHz帯周波数の利用状況

- 電子タグシステム等の920MHz帯への周波数移行は、平成24年1月から開始された。
- 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。
- 電波法において、1時間あたりの送信時間を360秒以下とする規定がある。(10%デューティ)

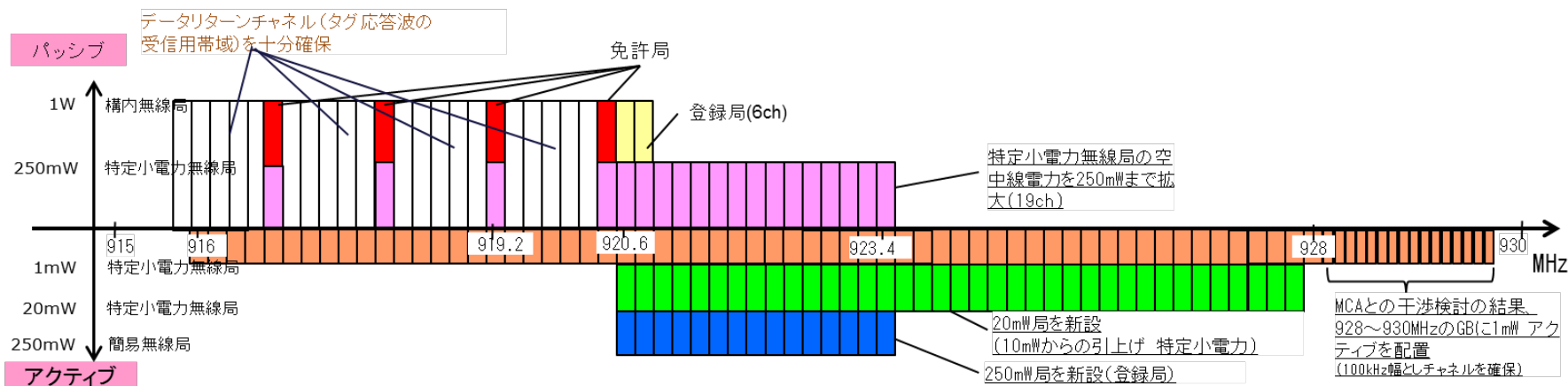


図2-6 920MHz帯における新チャンネルプラン

2. 920MHz帯無線センサーネットワークシステム

資料4-4-2

■ 導入事例

- 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およびバックアップ回線、及び音声データを伝送することで町役場と避難所間での非常電話として活用している。
- 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。

250mW無線装置

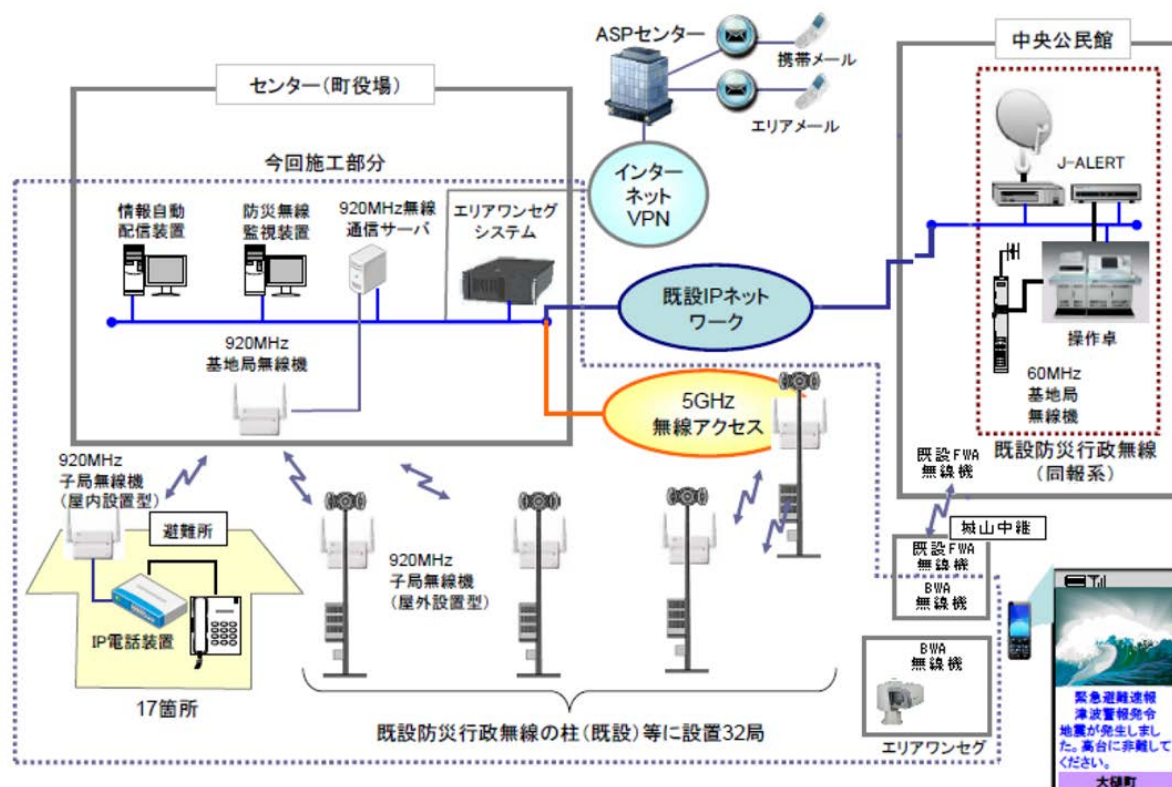


図2-9 防災行政無線の補完システム

2. 920MHz帯無線センサーネットワークシステム

資料4-4-2

■ アンケートの実施

- 920MHz帯無線センサーネットワークシステムの認知度を調査するため、調査検討会の構成員に対してアンケートを実施した。
- 全体的な傾向として、信頼性を求める意見が多く、その中でも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。

■ 比較結果（音声データ伝送への適正）

- 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であり、設置、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。
- 2.4GHz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。
- 920MHz帯無線（250mW出力）
 - ▶ 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。



音声データ伝送を行う無線システムとして920MHz帯を選定し、音声データ伝送の技術的条件の提言のためのシステム検証を行った。

3. 音声データ伝送の課題と対策

資料4-4-2

■ 課題

- 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を伝送する場合、以下の課題が挙げられる。

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、パケットあ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の関係になりやすいため
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

■ 対策

- 上記の課題に対して、以下の対策を提案する。

項番	課題	対策
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を変更し、音声データ伝送に最適なパラメータを抽出する
2	衝突/干渉による再送パケットの増大	音声/制御データの種別により、パケット毎の再送制御を変更する
3	伝送遅延の増大	デューティ実装方法を修正し、瞬間的に連続送信が可能な仕様とする

3. 音声データ伝送の課題と対策 ―最適なコーデックとパラメータの選定―

資料4-4-2

■ 音声データパケットの特徴

- コーデックによりデジタル化された音声データをIPネットワークで伝送するためには、一般的にUDP/RTP※が用いられる。
- この時、パケットの送信間隔の違いにより、使用帯域に対するIP/UDP/RTPのヘッダが占める割合が異なる。そのため、パケット送信間隔が短いほど、使用帯域が大きくなる。

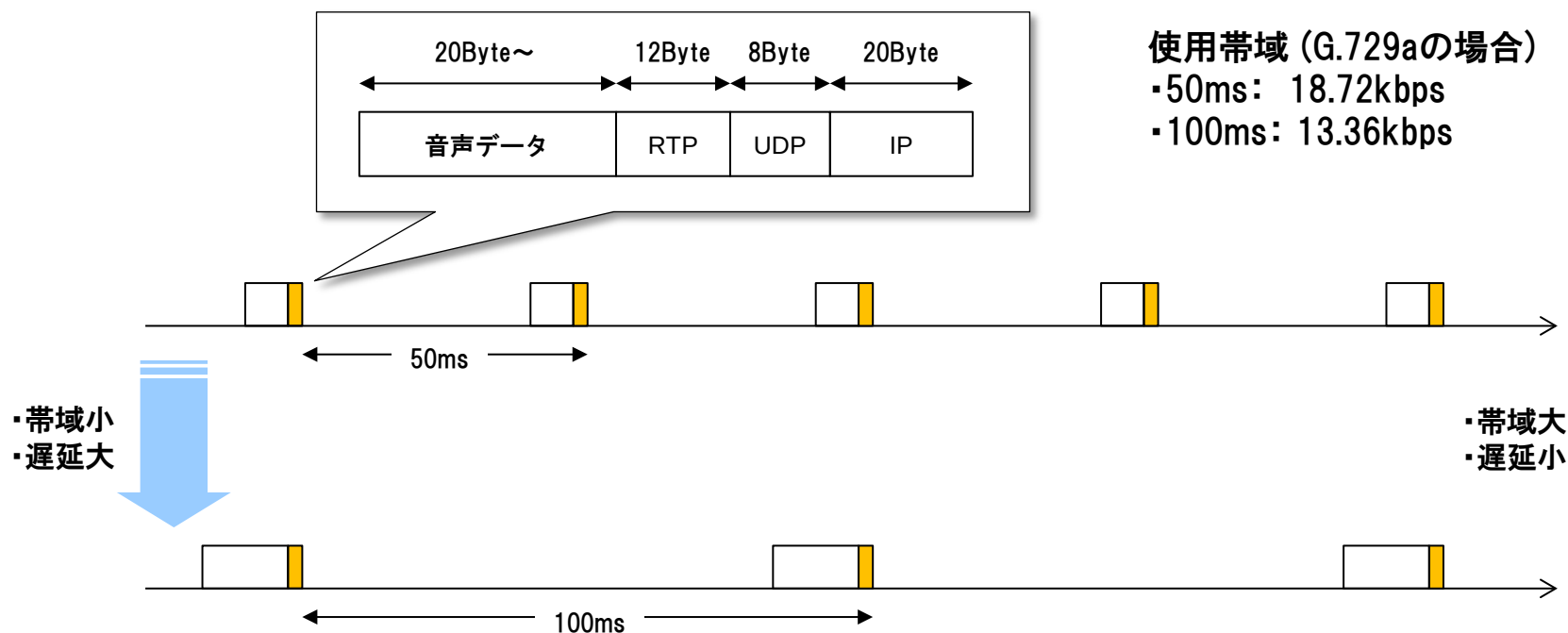


図3-1 送信間隔と使用帯域、遅延の関係

※ UDP: IPの上位プロトコルでトランスポート層で動作するプロトコル

RTP: 音声や動画などのデータストリームをリアルタイムに配送するためのデータ転送プロトコル

3. 音声データ伝送の課題と対策 ー衝突/干渉による再送パケットの増大ー

資料4-4-2

■ 従来のパケット再送方式

- 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。(隠れ端末問題)
- 中継局でデータの受信に失敗し、Ackが返信されない場合、子局と親局はパケットの再送を行うが、この再送は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。

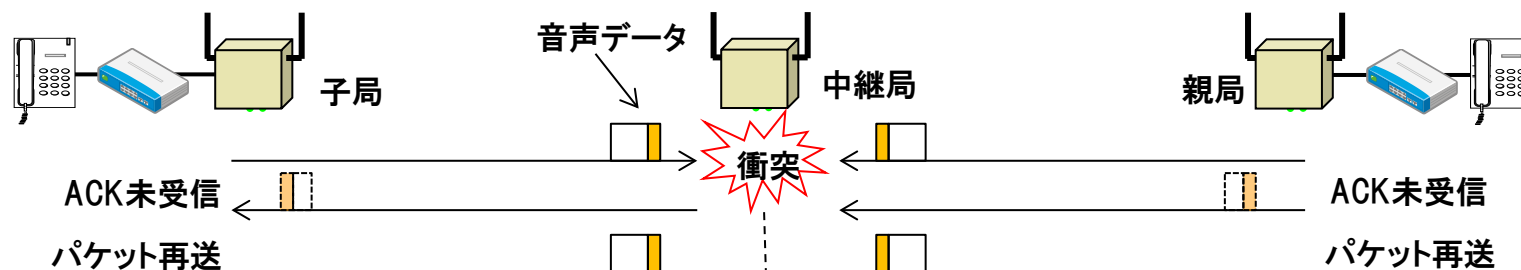
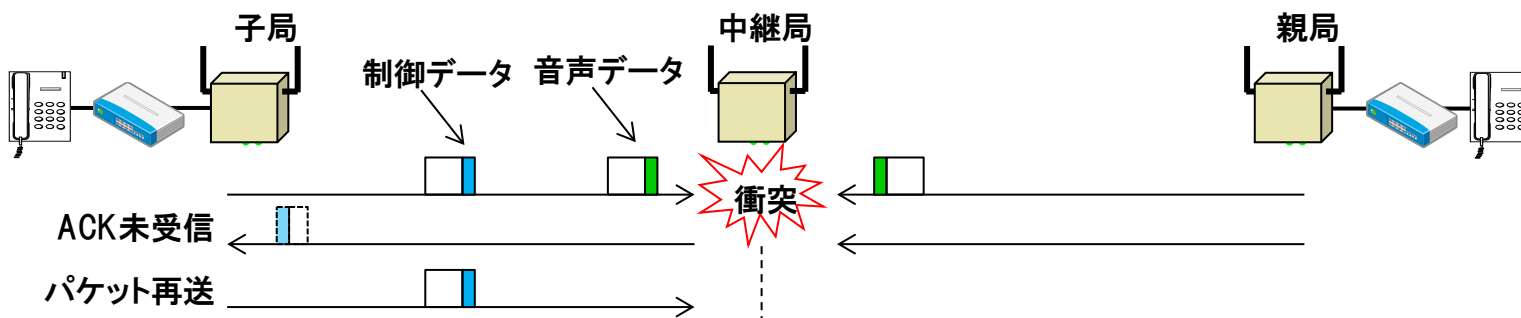


図3-2 隠れ端末による衝突とパケット再送

■ 提案するパケット再送方式

- 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。
- 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. 音声データ伝送の課題と対策 ―伝送遅延の増大―

資料4-4-2

■ 従来のデューティ実装方式（パケット毎デューティ制御方式）

- 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。
- パケット毎に遅延が発生するため、エンドツーエンドの遅延はさらに増大してしまう課題がある。

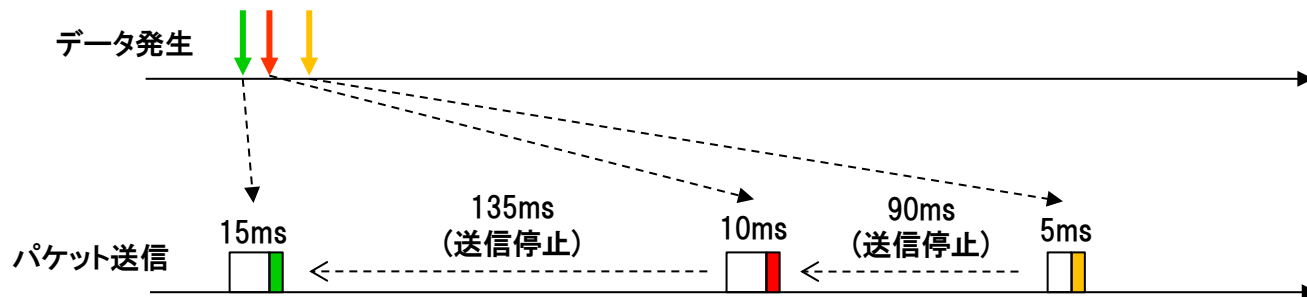


図3-3 パケット毎に行うデューティ制御

■ 提案するデューティ実装方式（1時間毎デューティ制御方式）

- 連続して送信データが発生しても、1時間あ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、続けて送信を可能とする。
- ただし、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。

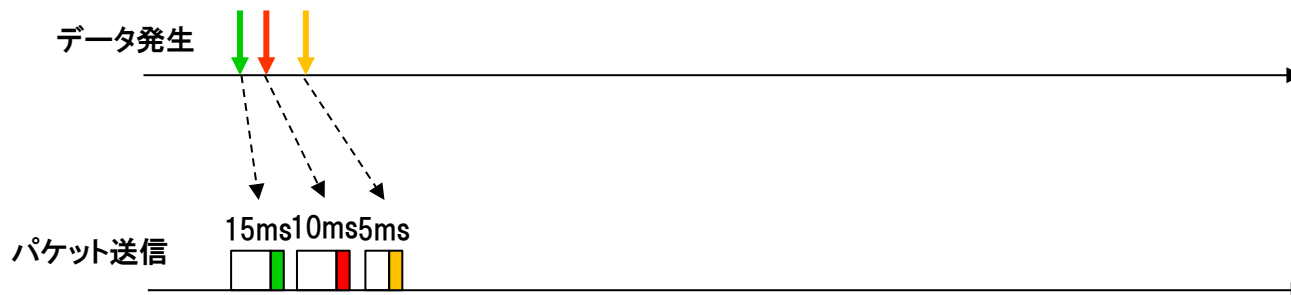


図3-4 1時間毎に行うデューティ制御

4. 音声データ伝送の机上検討　ーラボ内試験ー

資料4-4-2

■ 概要

- 音声データ伝送に最適なコーデックやパラメータを選定し、最大ホップ数や同時回線数などのシステム性能を評価する。
- デューティ制御方式の評価においては、複数回線の同時接続に必要なデューティ値の検討も行う。

表4-1 ラボ内試験の評価手法

項番	課題	評価手法
1	最適なコーデックとパラメータの選定	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. 音声データ伝送の机上検討 ラボ内試験一

資料4-4-2

■ 測定手順

- ① 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。
 - ② 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。
 - ③ 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, 5から2への通話
3回線の場合: 電話機4から1, 5から2, 6から3への通話
 - ④ 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。
 - ⑤ ①に戻り、次の測定条件の評価を行う。
- これらの手順により、前頁の3つの項目全てについて同様に行うものとする。

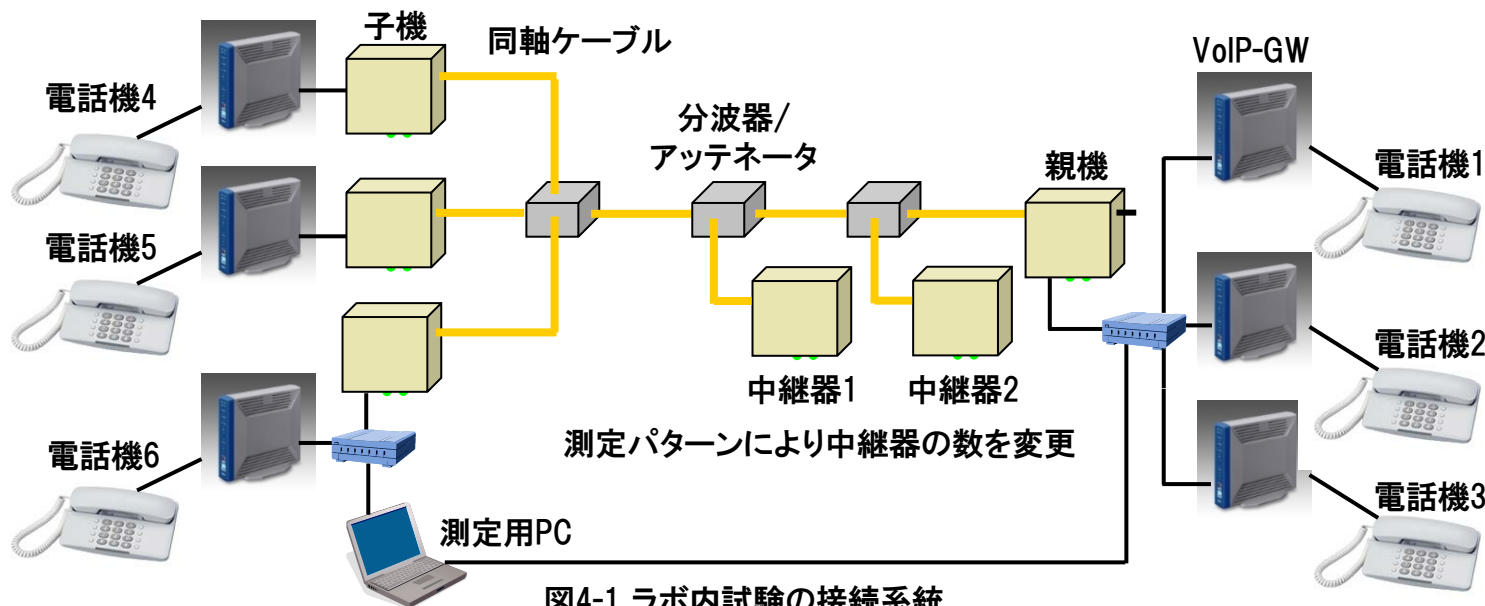


図4-1 ラボ内試験の接続系統

4. 音声データ伝送の机上検討　ーラボ内試験ー

資料4-4-2

■ 音声品質評価

- 音声データの遅延/揺らぎ/パケット損失だけでは、音声品質の良し悪しを判断できないため、音声品質の定量的な評価指標として、ITU-Tで既定されたR値を用いることとした。
- 音声品質を最低でもIP電話並とすることを基準として、R値が50以上の場合に通話可能とした。

■ 検証条件

- 最適なコーデックとパラメータを評価するために、ラボ内検証で用いた検証条件を表4-3に示す。
なお本検証では、純粋な通信性能を評価するため、デューティ制御を無効とした。

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から5ホップ	理論値の限界から最大5ホップとした。
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。
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. 音声データ伝送の机上検討 ―ラボ内試験―

資料4-4-2

■ 検証結果（最適なコーデックとパラメータの選定）

- 1回線時の1ホップにおいては、G.711(40ms)を除いて、すべてR値が70以上となり、携帯電話並の音質での通話が可能であった。
- 2回線時には、G.729a(80ms/120ms)であれば、2ホップ接続は可能だが、3ホップ接続ではR値が50以下となり、実用的でないことが分かった。

■ 考察

- G.729a(120ms)を用いた場合には、1回線通話あたり7.5%のデューティが必要になるため、2回線の連続通話を行うには、現行の10%制限から最低でも15%への緩和が望ましいと考えられる。

表4-5 通話回線数2回線の時の測定結果(抜粋)

コーデック	ホップ数	ロス(%)	遅延(ms)	揺らぎ(ms)	デューティ(%)	R値
G.711(60ms)	1	6.73	20	2	38.1	32.6
G.729a(40ms)	1	26.95	10	3	14.2	31
G.729a(80ms)	3	33.27	21	3	15.6	25.8
G.729a(120ms)	2	4.14	15	1	14.8	63.3
G.729a(120ms)	3	17.33	21	2	14.2	38

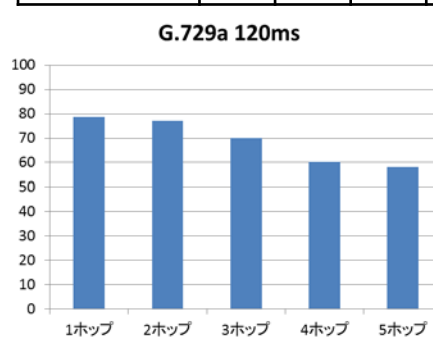
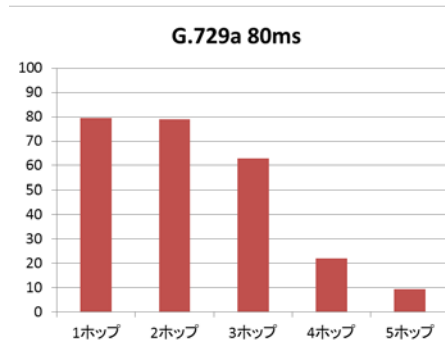
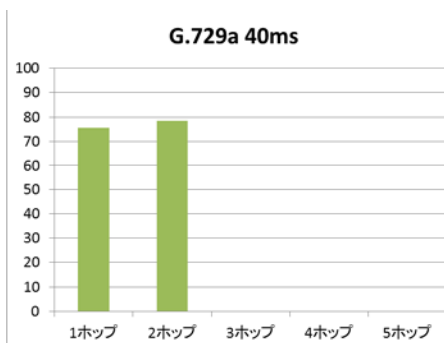
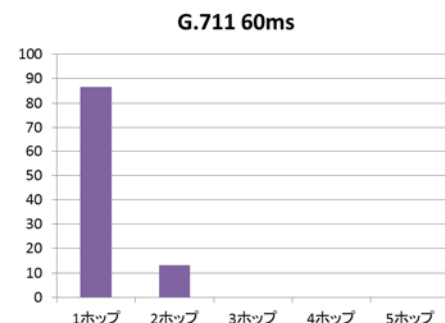
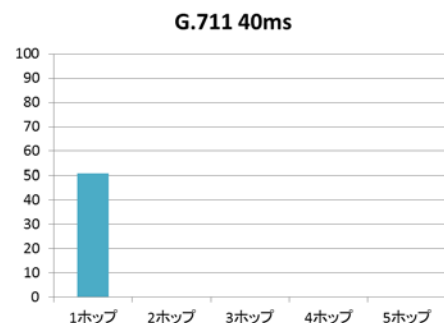


図4-4 同時通話1回線の場合の各コーデックのR値

4. 音声データ伝送の机上検討 ―ラボ内試験―

資料4-4-2

■ 検証結果（デューティ制御方式の比較）

- 1時間毎制御ではデューティ制御の動作が切り替わるタイミングで遅延が大幅に増加している。（図4-13）
- 1時間毎制御の180秒までは、2回線通話でR値が約70、3回線でR値が約49であった。（図4-15）
- 1時間毎制御のデューティ制御を用いれば、約4分の2回線の通話が可能という結果が得られた。（図4-15、表4-15）

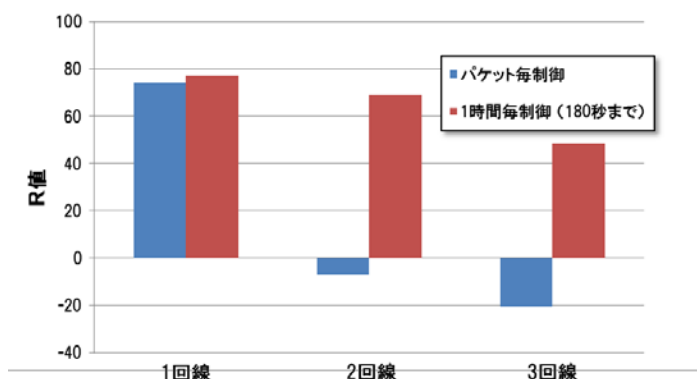


図4-15 2ホップ時におけるデューティ制御方式の比較(180秒まで)

表4-15 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	0.8	28	24	7.5	74.2
	1時間毎 (180秒まで)	0.3	13	0	7.5	77.1
2	パケット毎	38	284	135	9.6	-7.1
	1時間毎 (180秒まで)	2	13	0.8	14.8	69.3
3	パケット毎	59	370	146	9.7	-20.5
	1時間毎 (180秒まで)	18	19	3	18.8	48.5

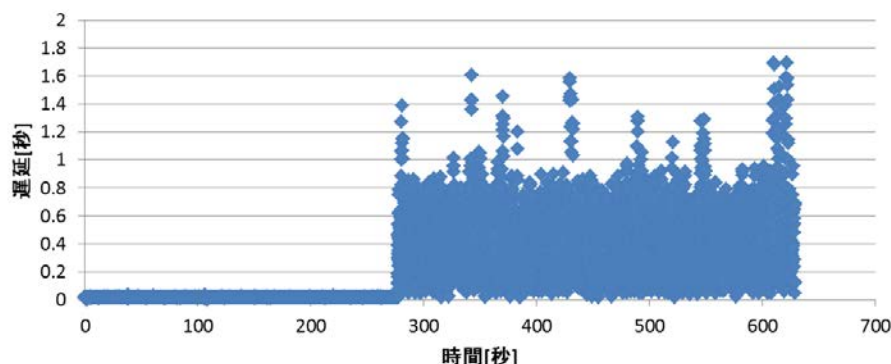


図4-13 1時間毎制御方式の遅延の時間変化

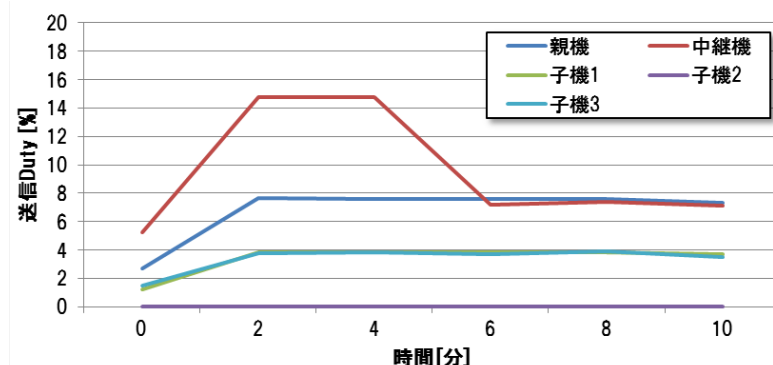


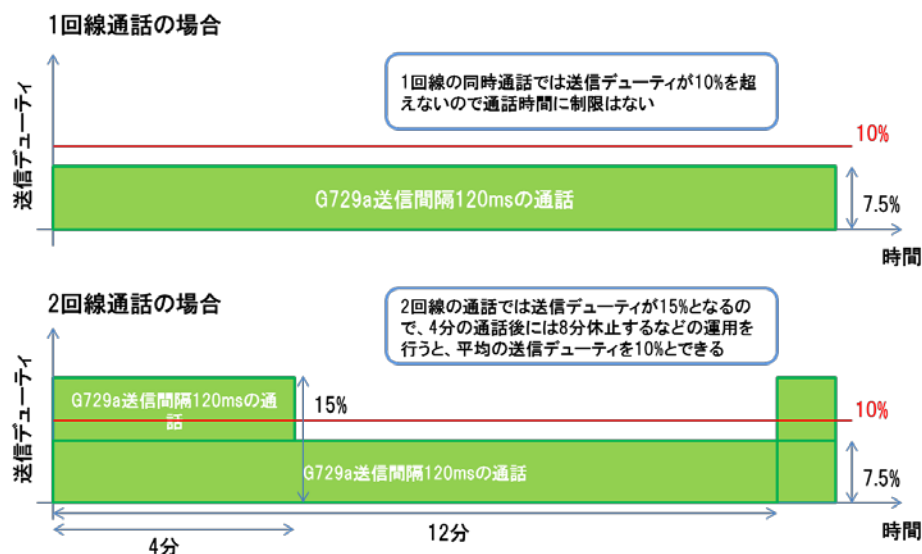
図4-14 1時間毎制御方式のデューティの時間変化

4. 音声データ伝送の机上検討 ―ラボ内試験―

資料4-4-2

■ まとめ

- コーデックをG.729a、パケット送信間隔を120msとした場合に、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。
- 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。一方、低負荷条件においては、Ackありとした方が高いR値となった。
- 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。
- 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回線の通話あたり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。



5. 音声データ伝送の実証 ―フィールド試験―

資料4-4-2

■ 概要

- 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を行う。
- 試験項目としては、フィールドでのマルチホップ環境のデータをまず取得する必要があるため、無線装置間の電波伝搬フィールド測定を実施した。

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。

■ 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

5. 音声データ伝送の実証 –フィールド試験–

資料4-4-2

■ 使用機器及び測定器

- 親局:1台 中継局:5台 移動局:2台 測定用PC:2台

■ 測定手順

- ① 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。
- ② 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。
- ③ 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。

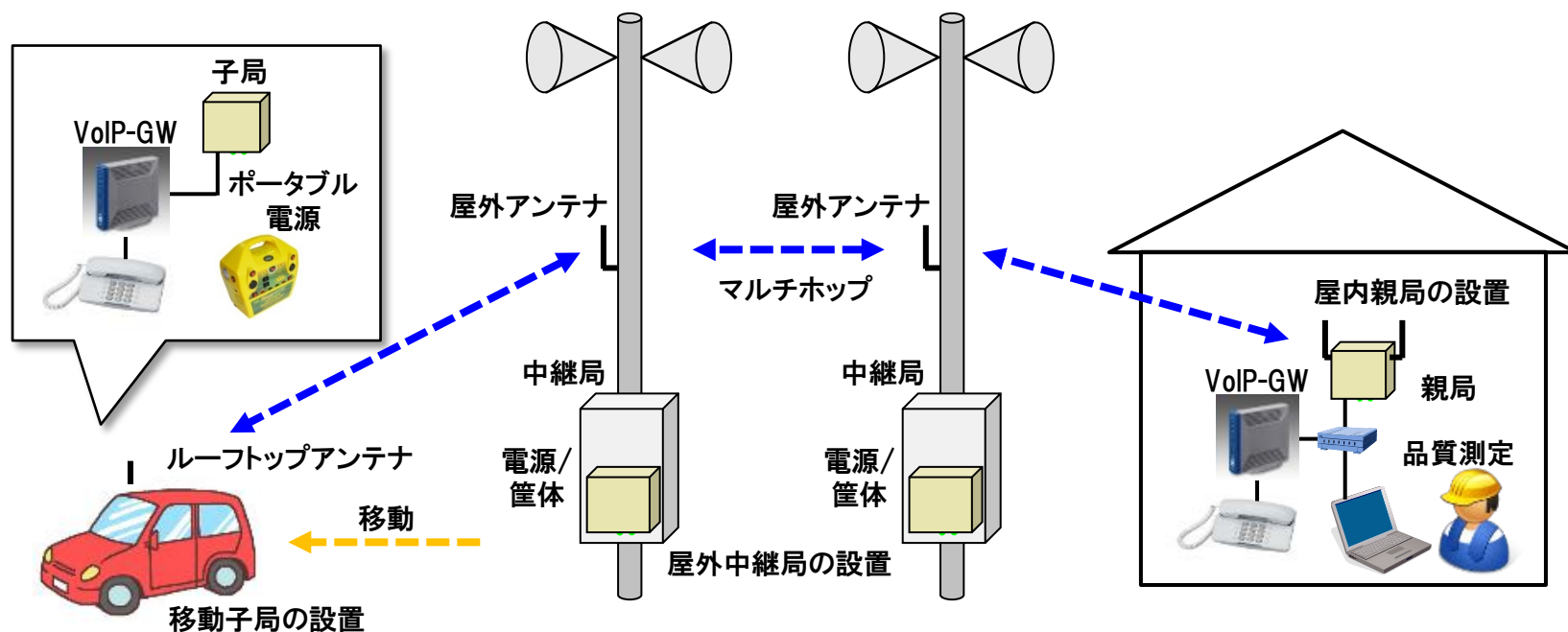


図5-1 フィールド試験の構成

5. 音声データ伝送の実証 ―フィールド試験―

資料4-4-2

■ 電波伝搬測定の結果

- パケット受信率 青字: 90%以上のリンク 赤字: 90%未満のリンク
- 受信信号強度 青字: -80dBm以上のリンク 赤字: -80dBm未満のリンク

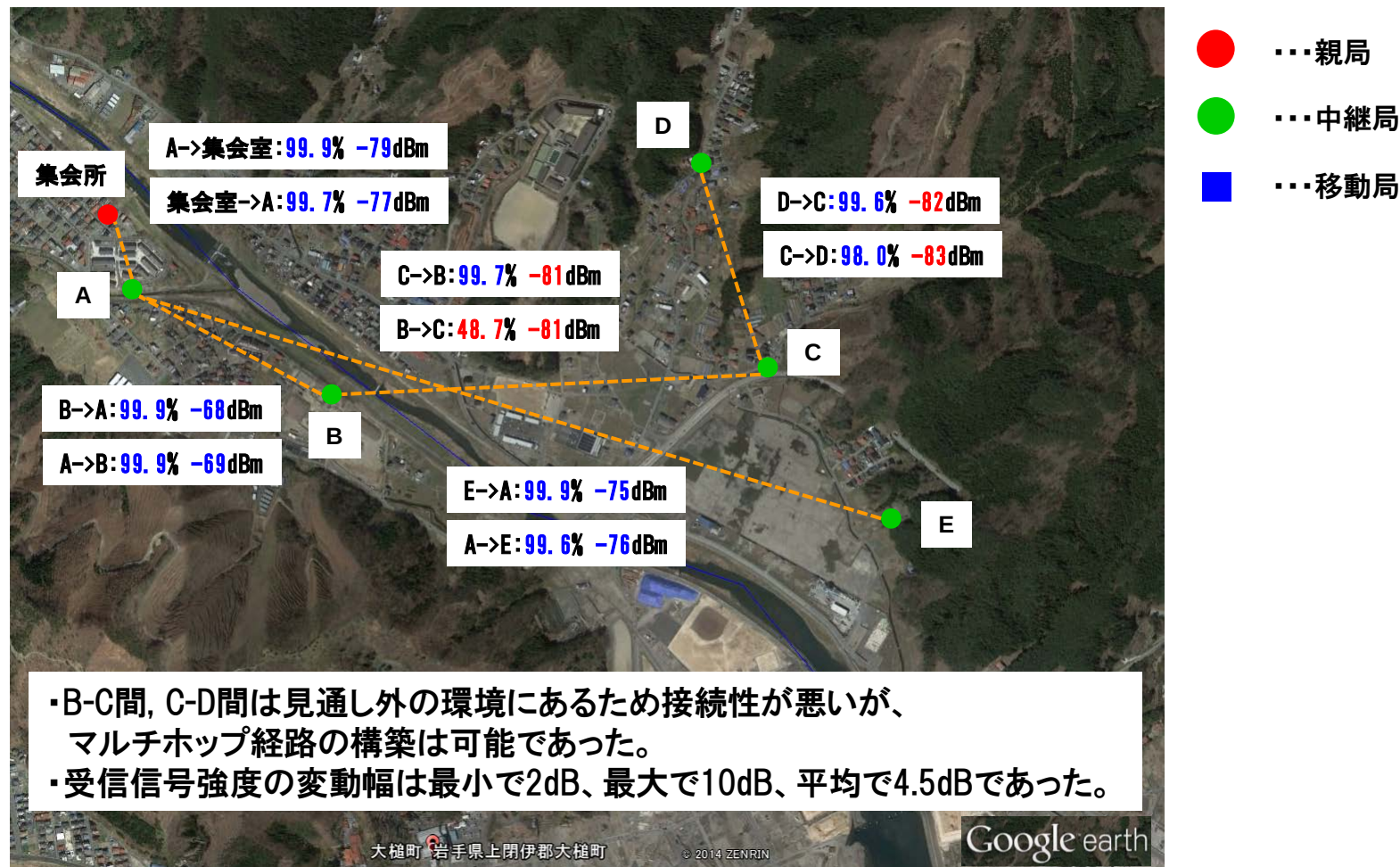


図5-5 電波伝搬の測定結果

■ 検証条件

- マルチホップ試験の検証条件を表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.711, 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回線は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. 音声データ伝送の実証 –フィールド試験–

資料4-4-2

■ 検証結果 (マルチホップ試験)

- トラフィックが多い場合は、音声データに対するAck要求が有の方が高いR値となった。(図5-6, 図5-7)
- 5ホップ時のR値が4ホップ時と比較して1/4程度に悪化した。この要因としては、他リンクと比べてリンク品質の悪いB<->C<->Dのリンクを経由しているためだと推測される。(図5-5)

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

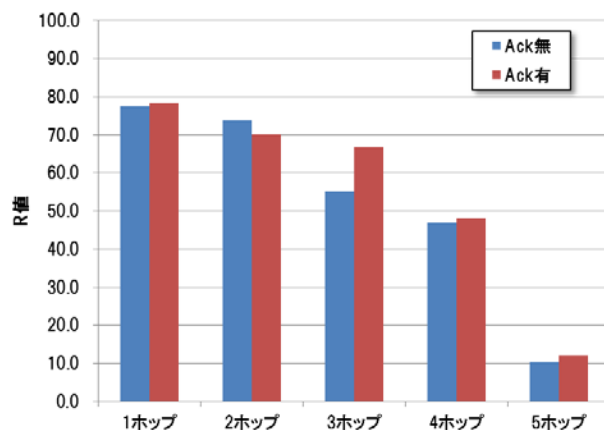


図5-6 1回線時におけるホップ数の評価

表5-7 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

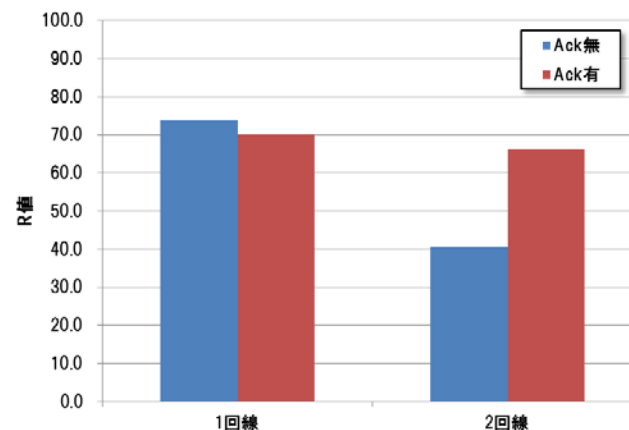


図5-7 2ホップ時における同時回線数の評価

5. 音声データ伝送の実証 –フィールド試験–

資料4-4-2

■ ラボ内試験との比較（マルチホップ試験）

- ラボ内検証と比較してフィールド試験の方がR値が低下しており、この理由としては、屋外環境でのリンク品質の変動や隠れ端末の影響で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。
- 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を考慮しても、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。（図5-8, 図5-9）

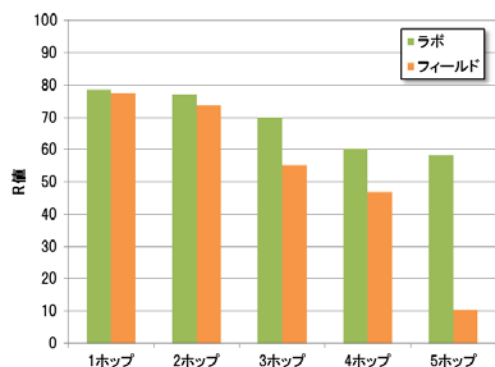


図5-8 1回線のACK無

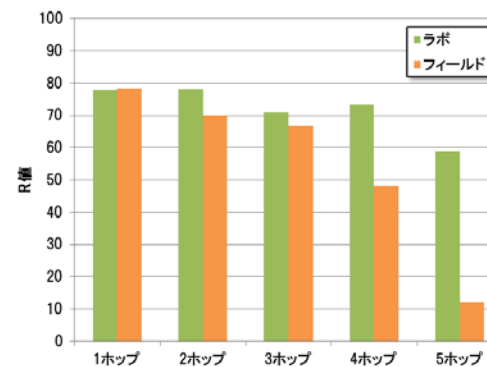


図5-9 1回線のACK有

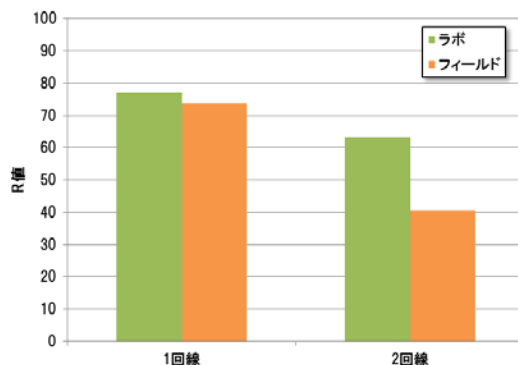


図5-10 2ホップのAck無

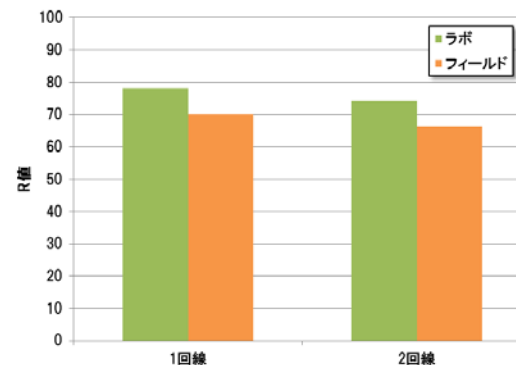


図5-11 2ホップのAck有

5. 音声データ伝送の実証 –フィールド試験–

資料4-4-2

■ 検証結果（デューティ制御方式の比較）

- ラボ内試験と同様に、1時間毎制御の前半180秒からR値を算出することで、2ホップ2回線時においてもR値60以上の通話品質が可能となった。(図5-12, 図5-13)
- 1時間毎制御の前半180秒からR値を算出した場合、ラボ内試験と比較してR値が3～7程度悪化しているが、R値60以上の品質が得られた。(図5-14, 図5-15)

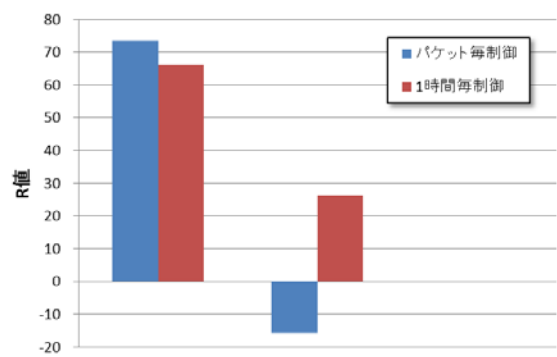


図5-12 2ホップの測定結果(10分間)

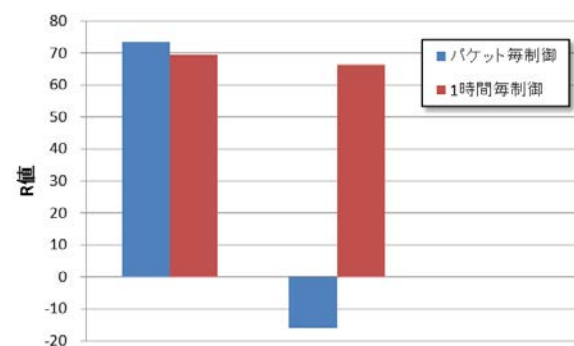


図5-13 2ホップの測定結果(3分間)

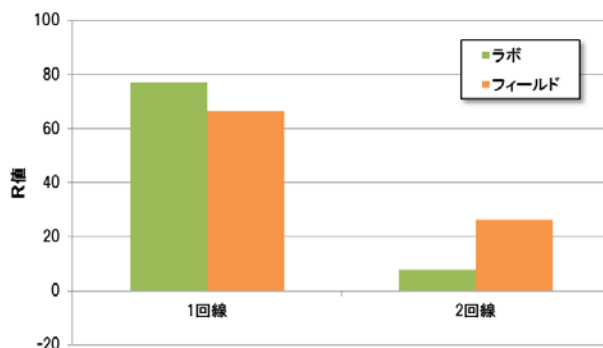


図5-14 2ホップの1時間毎制御(10分間)

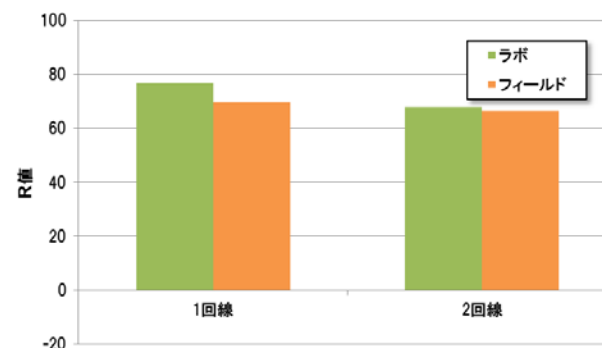


図5-15 2ホップの1時間毎制御(3分間)

■ まとめ

- 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。
- 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。
- 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。

■ 基本方針

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. 音声データ伝送のネットワークモデルを策定し、全国的に普及した場合の普及予測をたてる。
3. 従来の920MHz帯電子タグ普及予測※¹との比較を行い、音声データ伝送が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。

隣接する無線局

電波の質が変更される場合：対向での検証を実施

普及予測を越える場合：モンテカルロ手法による共用検討を実施

同一周波数の無線局

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、過去の報告書※²のDuty比較評価実験の結果を参考に、デューティに対する所要CIRの検討を行う。

※1 情報通信審議会：920MHz 帯電子タグシステム等の技術的条件

※2 「920MHz帯及び950MHz帯電子タグシステムの周波数有効利用方策」に関する調査検討報告書（平成24年3月）

6. 周波数共用条件の検討

資料4-4-2

■ 電波の質とは？

- 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)の3つをいう。これらは、総務省令で定めるところに適合するものでなければならない。(電波法第28条)

■ 電波の質の測定結果

表6-2 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

- 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. 周波数共用条件の検討

資料4-4-2

■ 音声データ伝送のNWモデル

- 大槌町の導入例や、岩手県内の防災行政無線の導入数を参考に、全国的に普及した場合の設置数を予測する。

■ 大槌町の導入例

- 無線局数:46台
- 最大ホップ数:3ホップ

■ 防災行政無線の最大設置数

- 宮古市:250台程度
- 久慈市:250台程度

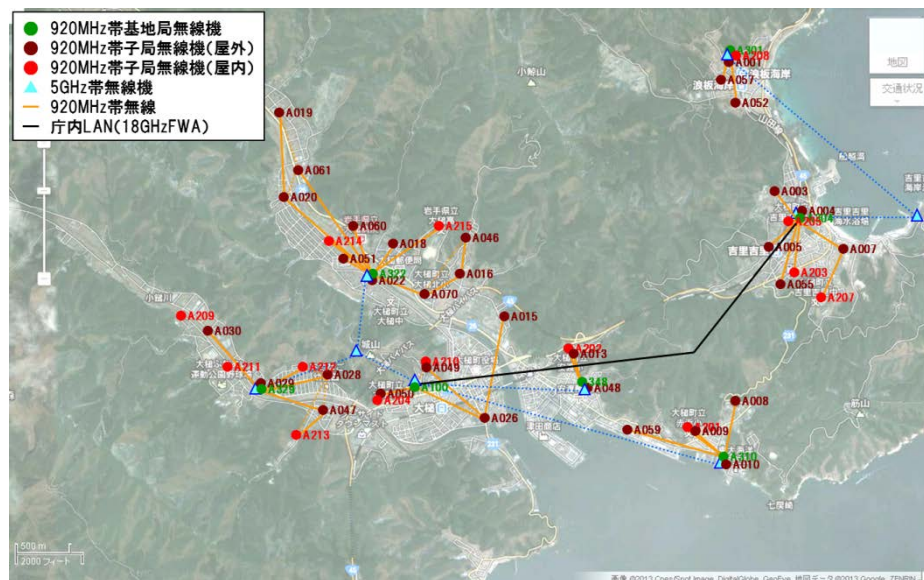


図6-1 大槌町の導入例

■ 市町村あたりの設置数

- 全国の市町村数:1,718、1市町村あたりの防災無線の平均設置数:250台
- 防災無線(60MHz)に比べて920MHz無線の伝搬距離は約1/5 ⇒ 3倍の設置数
- 屋外子局の1ホップ先に920MHz子局が設置されると仮定 ⇒ 2倍の設置数
- 全国に100%普及した場合、 $1,718 \times 250 \times 6 = 2,577,000$ 台の普及が予測される。

6. 周波数共用条件の検討

資料4-4-2

■ 電子タグの普及予測

- 電子タグシステム等の普及予測を表6-3に示す。

表6-3 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
構造物理管理	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

■ 普及予測との比較

- 2014年の電波利用状況調査における950MHz帯を使用するパッシブとアクティブの出荷台数：266,639台
- これらすべてが920MHz帯で使用されたと仮定し、音声データ伝送の市町村モデルの2,577,000台を加えた合計：2,843,639台
- 2014年の普及予測に対して12%にとどまる。
⇒ 情報通信審議会で検討された普及予測を超えることはないものと考えられる。

6. 周波数共用条件の検討

資料4-4-2

■ 同一周波数帯無線局との干渉評価

- 250mW装置と20mW装置が混在したラボ内環境での干渉評価を実施した。

■ ラボ内試験環境の条件

表6-4 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

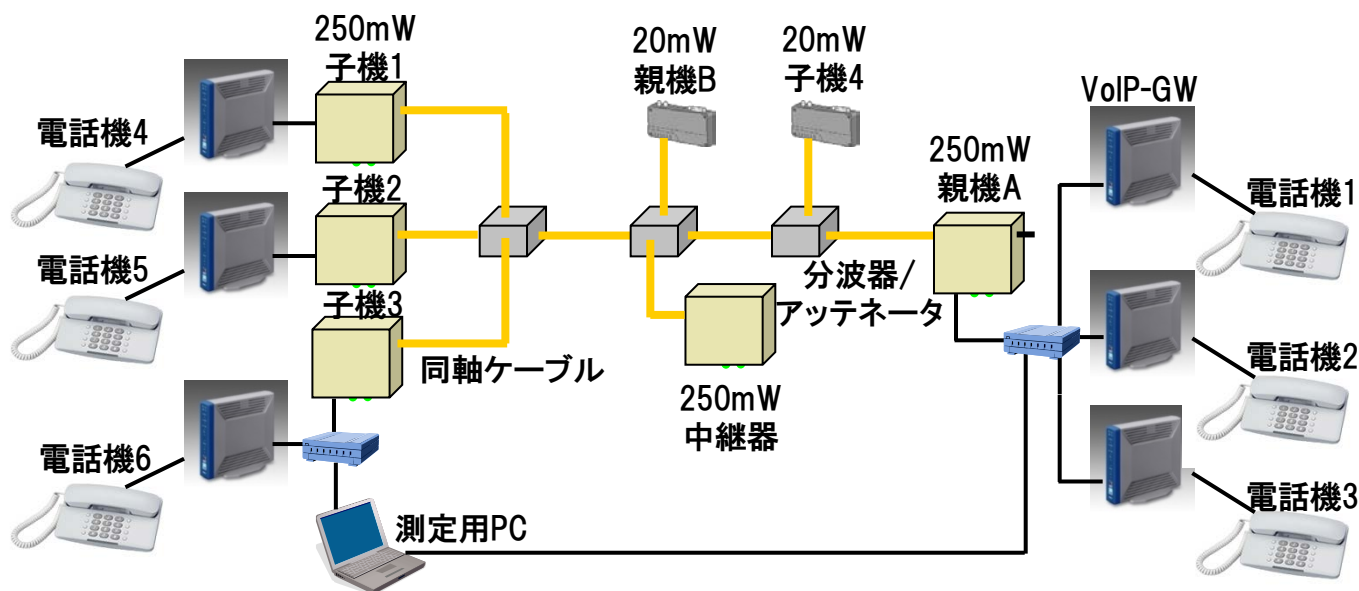


図6-3 ラボ内試験環境の構成

6. 周波数共用条件の検討

資料4-4-2

■ 測定結果 (20mW装置への与干渉)

- 20mW装置間のAckなし通信は、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%のロスが発生した。(図6-5)
- ただし、20mW装置間の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%の通信成功率となった。(図6-5)

■ 測定結果 (20mW装置からの与干渉)

- 20mW装置からの被干渉により、パケットロス率が増加するためR値の低下が見られるが、R値は50以上あるためクラスC以上の品質は維持できている。(図6-7)

■ 机上検討

- 20mW装置をスマートメータと見立てた場合、スマートメータの送信頻度と周辺密度の関係から、音声データ伝送に与える影響の机上検討を行った。

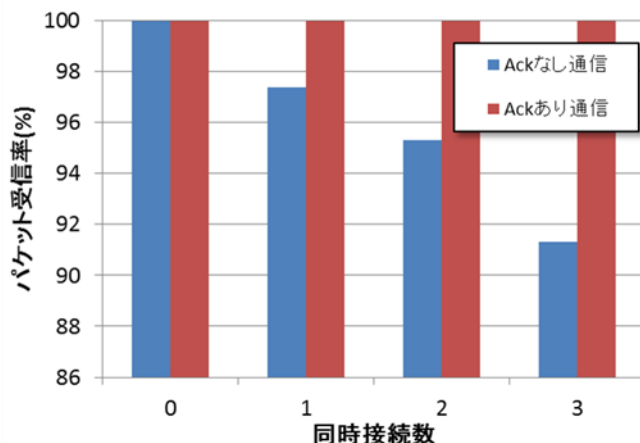


図6-5 20mW無線局への与干渉

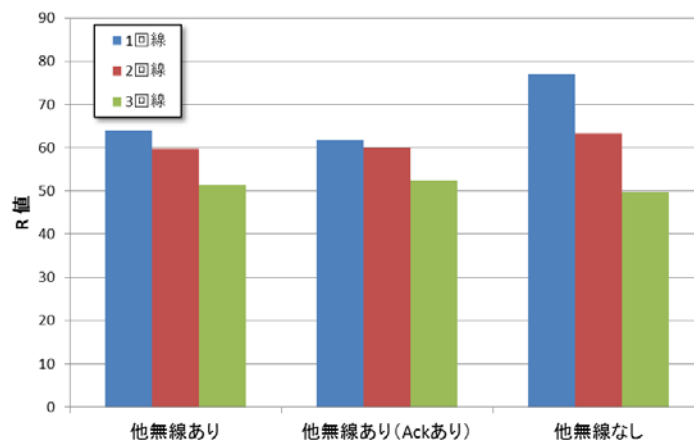


図6-7 20mW無線局からの被干渉 (R値)

6. 周波数共用条件の検討

資料4-4-2

■ 検討条件

- スマートメータの周辺密度と送信頻度からパケットロス率を算出し、パケットロスとR値の関係式を用いて、周辺密度に対するR値を算出した。

■ 検討結果

- 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、東電の仕様にある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。

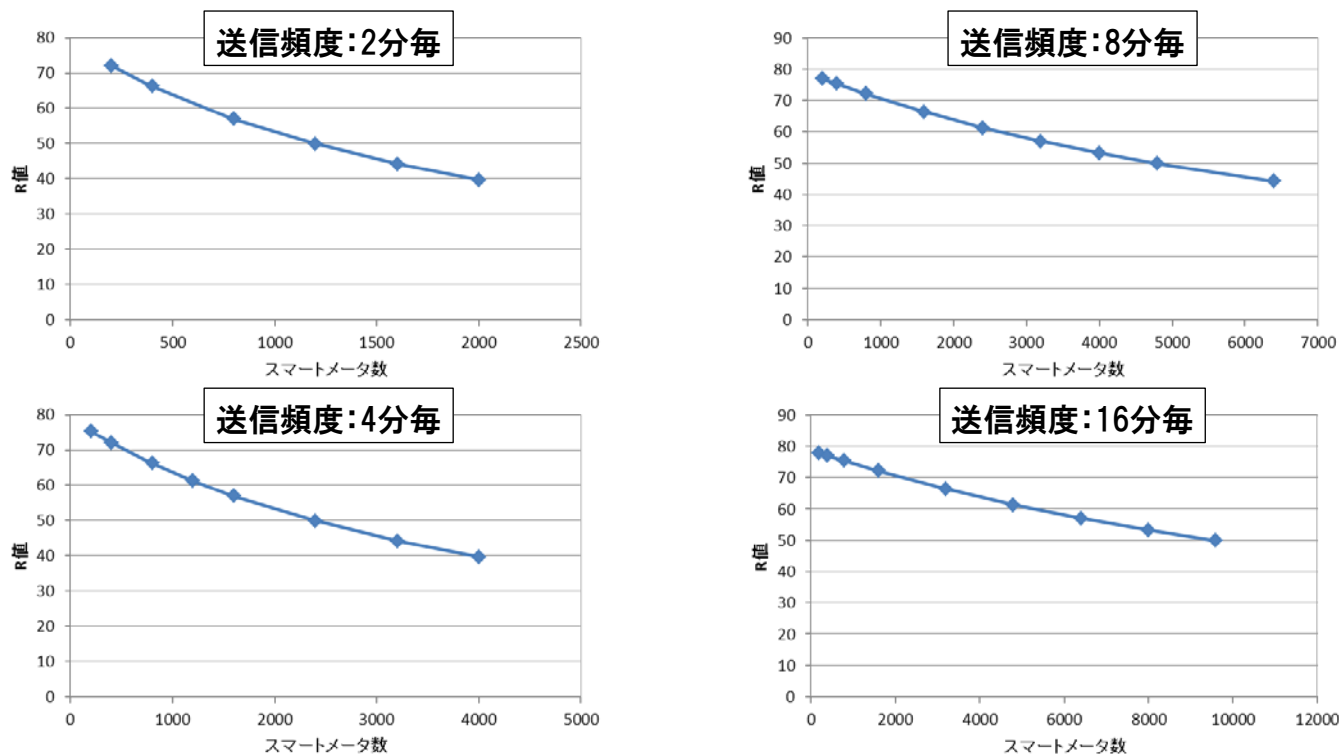


図6-8 スマートメータの設置密度に対するR値

■ 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。
- 連続通話可能なホップ数が限られているため、なるべく長い通信距離を確保することが望ましい。
- 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。



音声データ伝送を適用する920MHz帯無線センサーネットワークシステムは、簡易無線局として認められている250mW出力以下の無線局を対象とする。

■ 使用周波数

- 6章の検討結果より、音声データ伝送がおよぼす既存の920MHz帯無線センサーネットワークシステムへの与干渉/被干渉の影響は問題ないレベルであることが確認された。
- 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。
- よって、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。

■ Ackのキャリアセンス

- 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。
- 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。

■ 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10%以上にすることが必要がある。
- 6章では、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。よって、デューティ比を10%から20%に緩和することが望ましい。



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した場合、以下の技術的条件の変更が必要である。

- ① 周波数の指定を広域周波数に変更
- ② デューティ比を10%から20%に緩和
- ③ Ackのキャリアセンス除外規定を適用

7. 音声データ伝送の技術的条件案

資料4-4-2

■ 音声データ伝送の条件

- 本調査検討の結果、明らかになった音声データ伝送が実現可能な条件を表7-2に示す。

表7-2 実現可能な920MHz帯音声データ伝送の条件

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

- また大槌町をモデルとした例を図7-1に示す。



図7-1本調査検討会で用いた920MHz帯無線センサーネットワークシステムの構成