

フィールド試験の結果について

2014年12月19日

- 本資料では、資料3-3で説明したラボ内検証の結果を検証するため、表1に示す試験項目についてフィールド試験の結果をまとめる。
- 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。
- フィールド試験実施日
2014年11月10日(月)～13(木)

表1. フィールド検証の試験項目

項番	試験項目	内容
1	電波伝搬フィールド測定	・屋外でのマルチホップ経路が構築可能かを確認するために、無線装置間のパケットエラー率や受信電界強度を測定する
2	マルチホップ試験	・1～5ホップ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/揺らぎを測定し、R値を算出する ・資料3-3 表1の項番2に対応
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/揺らぎを測定し、R値を算出する ・資料3-3 表1の項番3に対応

マルチホップ環境でのフィールド試験

資料3-4

1. 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

2. 試験方法

(1) 機器の設置・接続

親局を屋内施設に設置しVoIP-GWと電話機を接続する。屋外の数箇所に中継局を設置する。次に、子局として、無線装置とVoIP-GWと電話機を自動車に設置し、適度な距離を移動することでマルチホップ環境を構築する。

(2) 試験内容

マルチホップ環境の電波伝搬フィールド測定を行った後、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。また、デューティ制御方式をパケット毎制御方式と1時間毎制御方式の2方式において検証する。

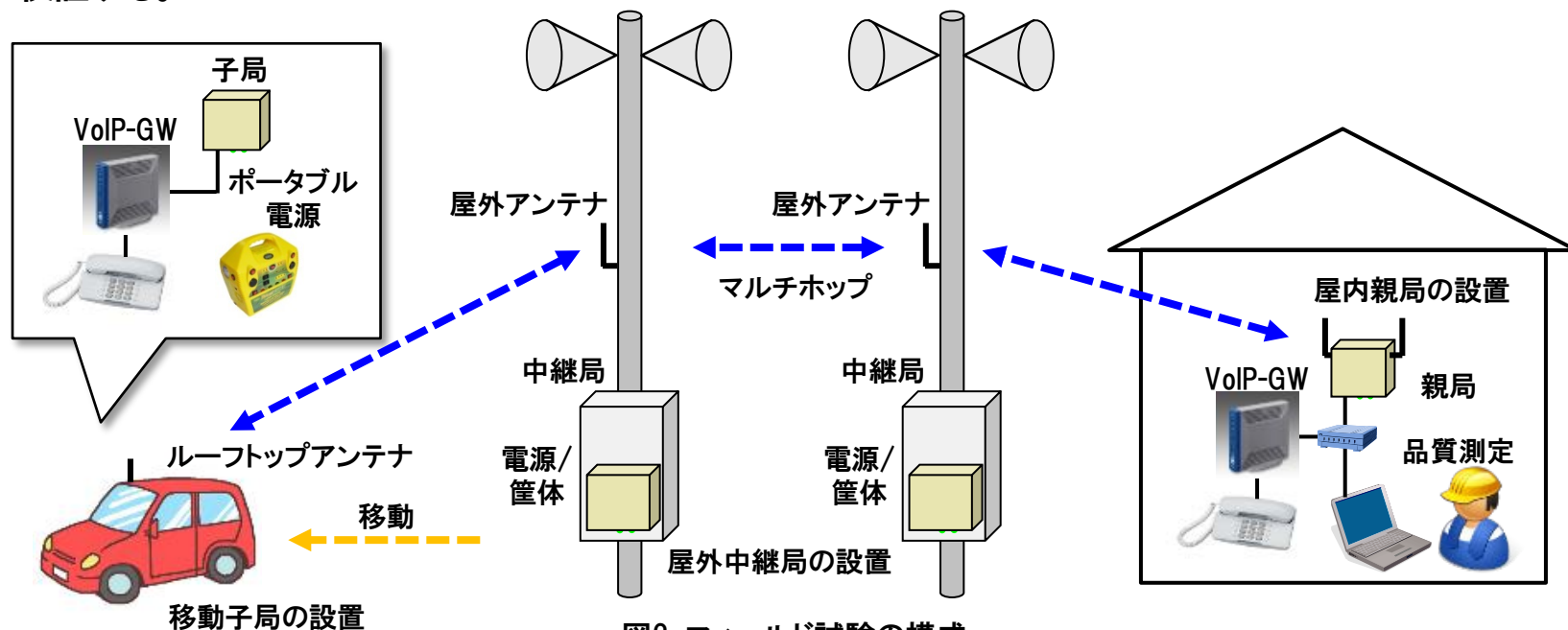


図2. フィールド試験の構成

試験機器の設置場所及び試験環境

■ 試験機器の設置箇所

- 親局:大槌町 多目的集会所 ... ●
- 中継局:A~E ... ●
- 移動局:4か所 ... ■



■ 測定手順

表2の測定パラメータを設定し、図3の測定手順において測定を行った。

- ① 親局から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。
- ② 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、受信局は受信電界強度とパケット受信率を測定する。
- ③ 親局から各中継局に対して測定結果の要求コマンドを送信する。
- ④ 各中継局は測定した受信電界強度とパケット受信率を親局に送信する。

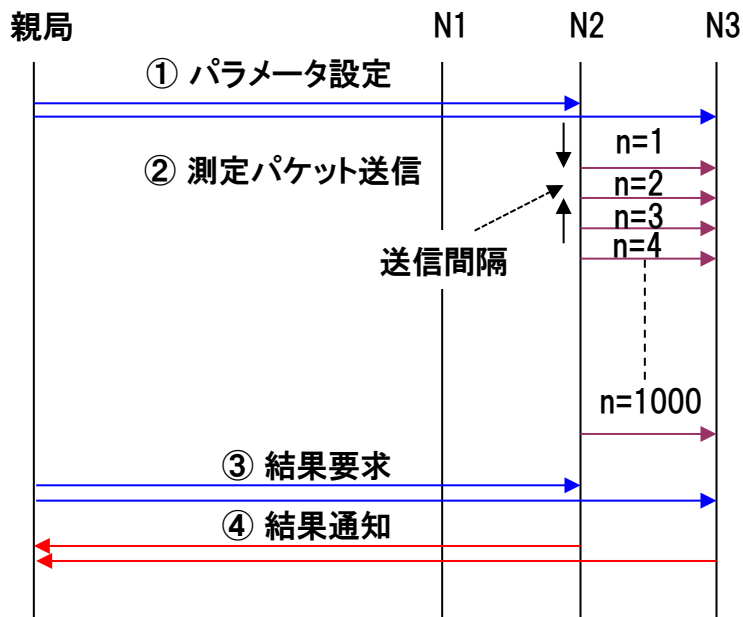


図3. 測定手順

表2. 測定パラメータ

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	

■ 取得データ

- 受信電界強度 {平均、最大、最小}*
- パケット受信率

所要受信電界強度: -80dBm

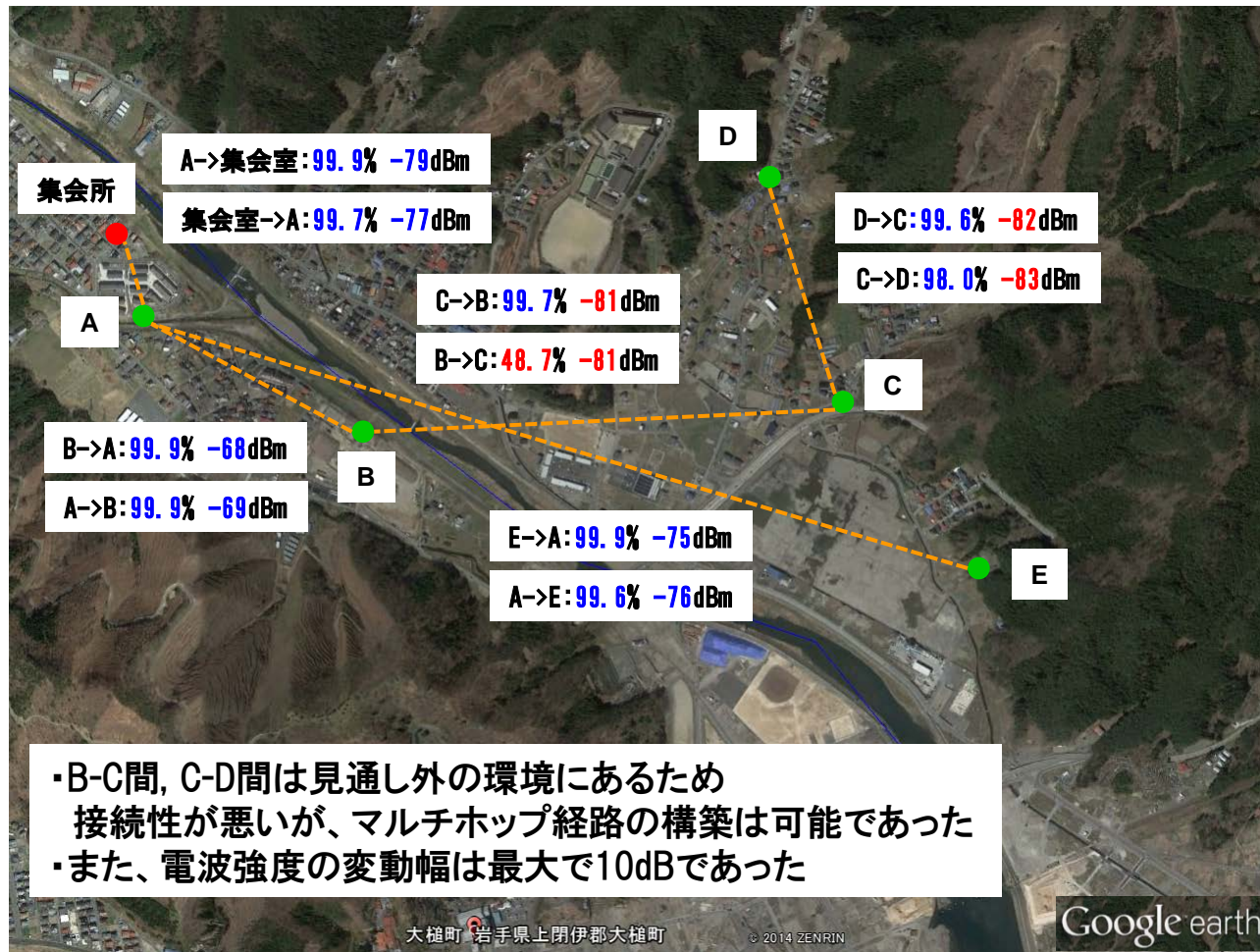
* 電界強度は変動するため、最大値、最小値のデータも取得することとした

電波伝搬フィールド測定の結果

資料3-4

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
- 受信電界強度 青字:-80dBm以上のリンク 赤字:-80dBm未満のリンク



■ 検証の条件

- マルチホップ試験の条件を表3に示す。

表3. 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	ラボ内検証で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, 2, 3, 4, 5}	ラボ内検証と同じ ただし、ラボ内検証で2回線3ホップはR値が50以下であったため、同時回線数の評価を2ホップとした
4	同時回線数	{1, 2}	ラボ内検証で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	ラボ内検証と同じ
6	ACK要求	{あり、なし}	
7	デューティ制御	1時間毎制御	

マルチホップ試験の評価結果 (1/2)

■ 検証結果

- 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4, 5)
- 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4)

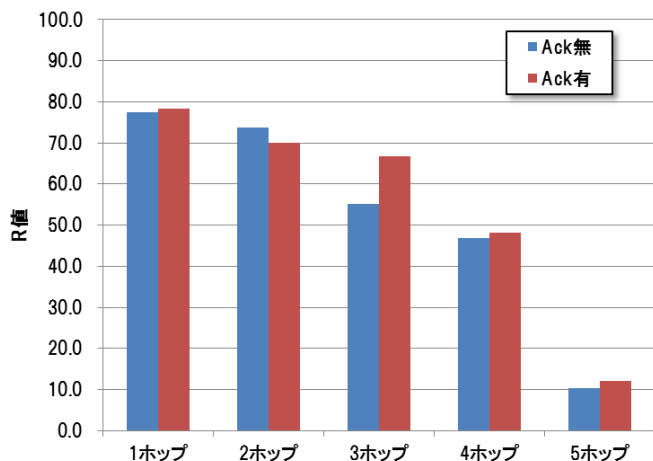


図4. 1回線時におけるホップ数の評価

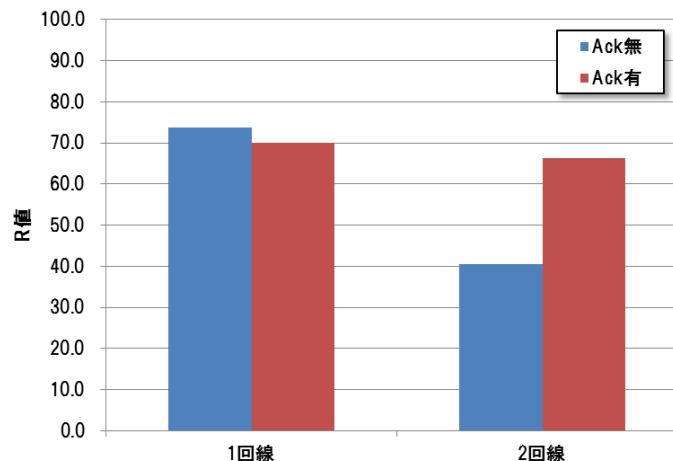


図5. 同時回線数における2ホップ時の評価

ホップ数	Ack有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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

回線数	Ack有無	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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

■ ラボ内検証との比較

- 全体の傾向として、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があるためだと推測される。(図6~9)
- ただし、フィールド3ホップ時のR値は50以上であるため、3ホップは常用可能であると言える。(図6,7)

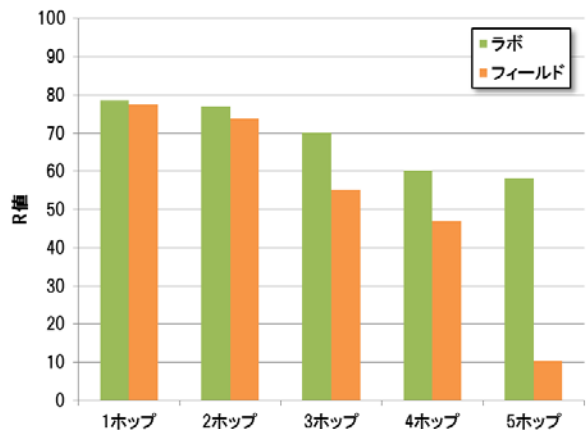


図6. 1回線: ACK無

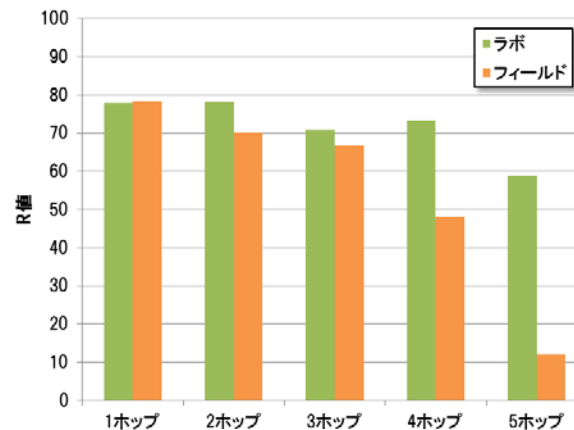


図7. 1回線: ACK有

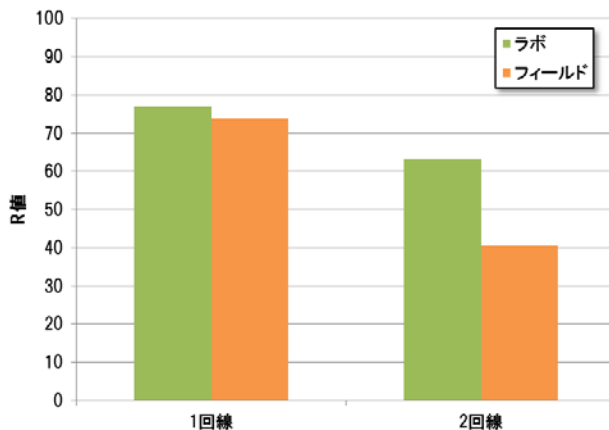


図8. 2ホップ: ACK無

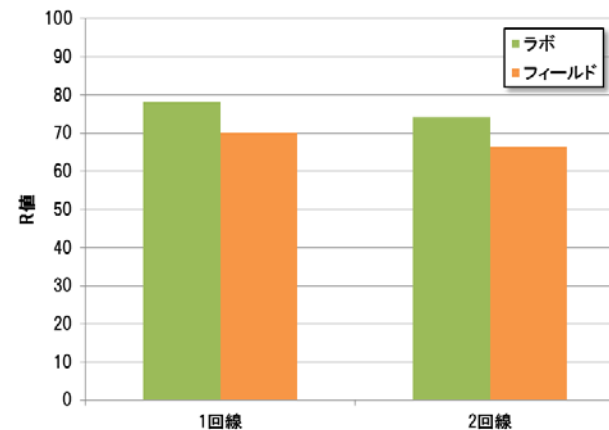


図9. 2ホップ: ACK有

■ 検証の条件

- パケット毎制御、1時間毎制御の2方式について、表4において比較する。

パケット毎制御：1パケット毎にデューティ10%を守るような送信待機を行う手法

1時間毎制御：一時間あ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手法

表4. デューティ制御試験の検証条件

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	ラボ内検証と同じ
3	ホップ数	2	ラボ内検証と同じ ※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, 2, 3}	
5	測定時間	10分	ラボ内検証と同じ
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}	

■ 検証結果

- 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11)

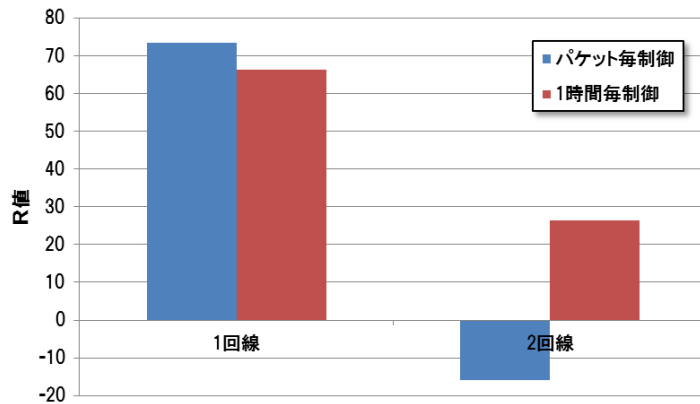


図10. 2ホップ時の評価

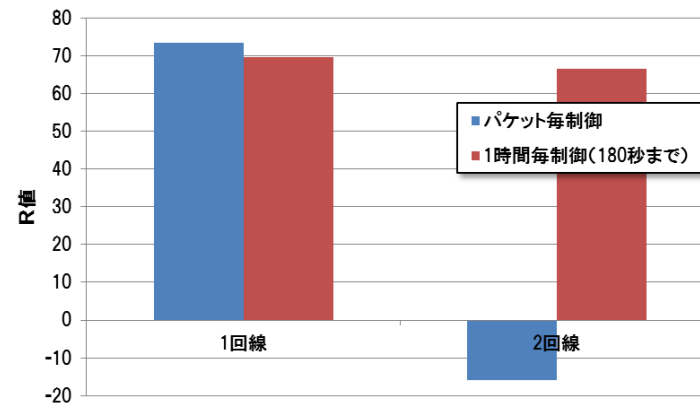


図11. 2ホップ時の評価

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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

■ ラボ内検証との比較

- 1時間毎制御の前半180秒からR値を算出した場合、ラボ内検証と比較して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13)

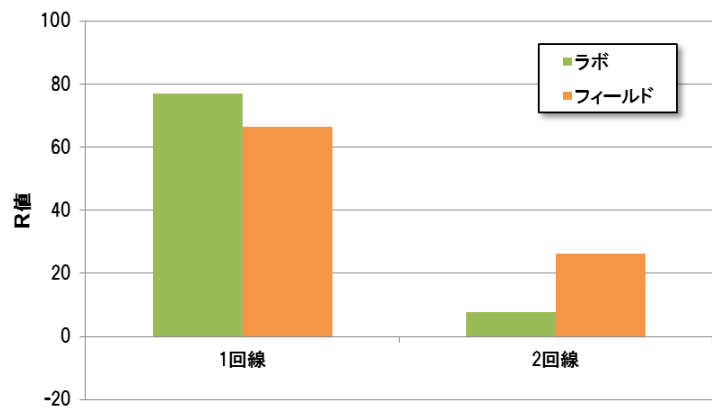


図12. 2ホップ:1時間毎制御

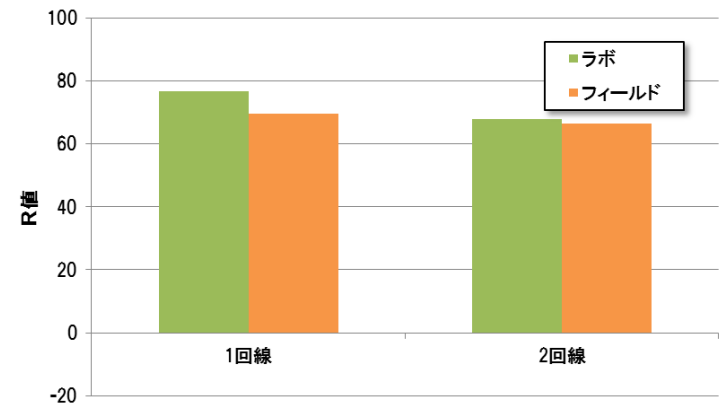


図13. 2ホップ:1時間毎制御(180秒まで)

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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

回線数	デューティ制御	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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

■ 結果

- 電波伝搬フィールド試験の結果、見通し外環境で受信電界強度が**-80dBm**より低い場合にパケット受信率の低下が見られた。
- 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った。また、1回線の4ホップにおいては、R値**48**程度であった。
- 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値を算出することで、**2回線の2ホップ**においてもR値**66**の通話品質が可能であった。

■ 考察

- 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、受信電界強度が**-80dBm**以上の環境が望ましい。このためには、リンク設計において、アンテナの設置箇所の設定や、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。
- 1回線の3ホップでは、IP電話品質レベルの通話が可能である。1回線の4ホップではR値の基準からは外れるが、会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も有効である。
- 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、もしくはデューティを**20%**に緩和することが望ましい。

音声データ伝送を行うための技術的条件案

資料3-4

音声データ伝送を行うための技術的条件を以下に示す

マルチホップ伝送を可能にするための条件

- 音声コーデック: 圧縮率が高く伝送レートが低いこと 例) G.729a (8kbps)
- 送信間隔: 出来るだけ長くすること 例) 120ms
- 再送制御: 実施すること 例) Ack要求あり

複数回線のマルチホップ伝送を可能にするための条件

- パケット送信毎に送信待機する制御ではなく、1時間あ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が可能な制御方式とすること

これら技術条件の適用した場合、現行の大槌町のシステムでは以下の改善が見込まれる

現行)	最大2ホップ	1回線の通話: 1分30秒	2回線の通話: 不可
適用後)	最大3ホップ	1回線の通話: 連続通話可	2回線の通話: 4分 (2ホップ時)

現行法令への対応案

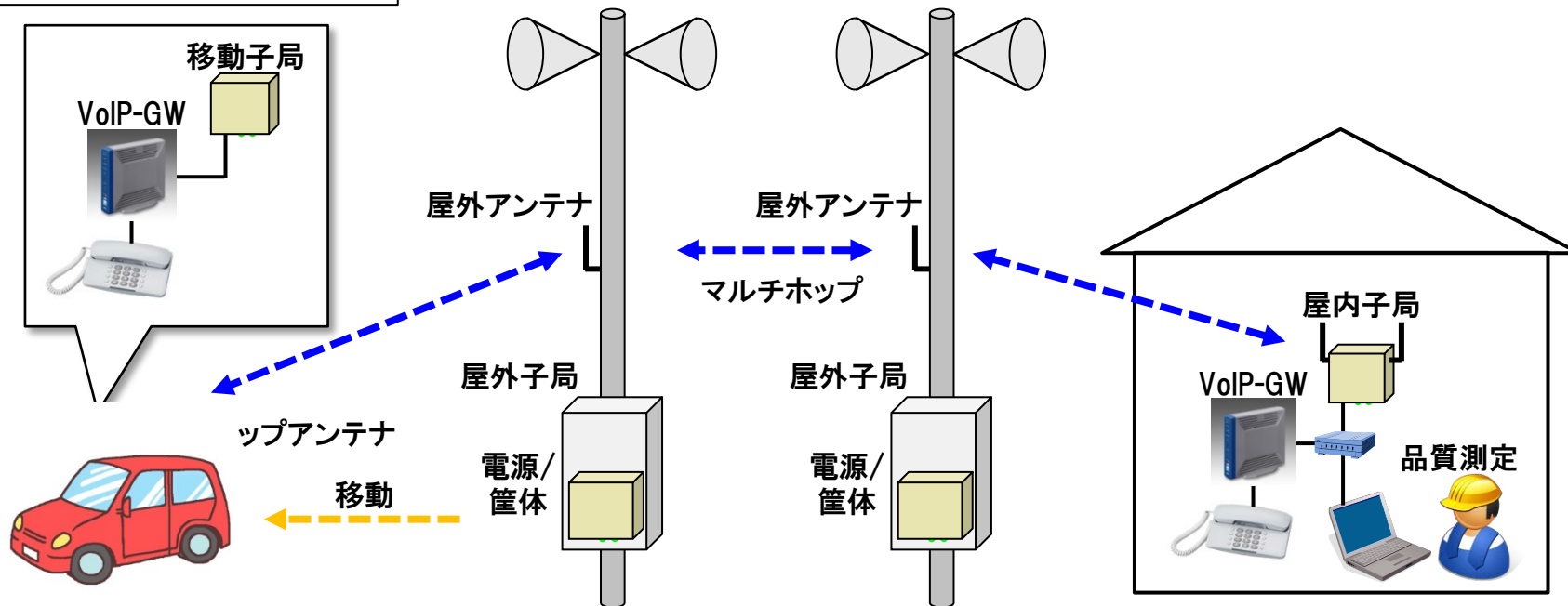
1. 現行の規定が音声データ伝送を加味した規定となっていないことから、技術的条件に音声データ伝送を加える
2. さらに複数回線の連続通話を可能とするためには、1時間あたりの最大送信時間の総和を360s*以上とする

* 送信時間を増やした際の既存センサネットワークへの影響は、干渉検討で確認する

<参考>マルチホップ環境でのフィールド試験 (資料2-5より)

資料3-4

フィールド試験の概要図



屋外子局の外観と諸元



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	最大占有周波数帯幅	800kHz (1chあたり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	空中線利得	2.15dBi
9	デューティ制限	1時間あたりの送信総和時間が360秒以下
10	送信休止時間	2ms

〈参考〉 無線装置の設置の様子

資料3-4

