

ラボ内検証の結果について

2014年12月19日

■ はじめに

- 本資料では、前回の調査検討会の資料2-4で説明した以下の3項目に対するラボ内検証の結果を報告する。
- ラボ内検証の結果より、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。
- また、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となるデューティ値の検討も行う。

表1. 音声データ伝送の課題と評価手法

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	【評価手法】 ・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	【評価手法】 ・項番1で選定したコーデック/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	【評価手法】 ・項番1で選定したコーデック/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。

※パラメータ:動作を指定するために外部から与える設定値

ラボ内検証の測定手順

資料3-3

■ 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

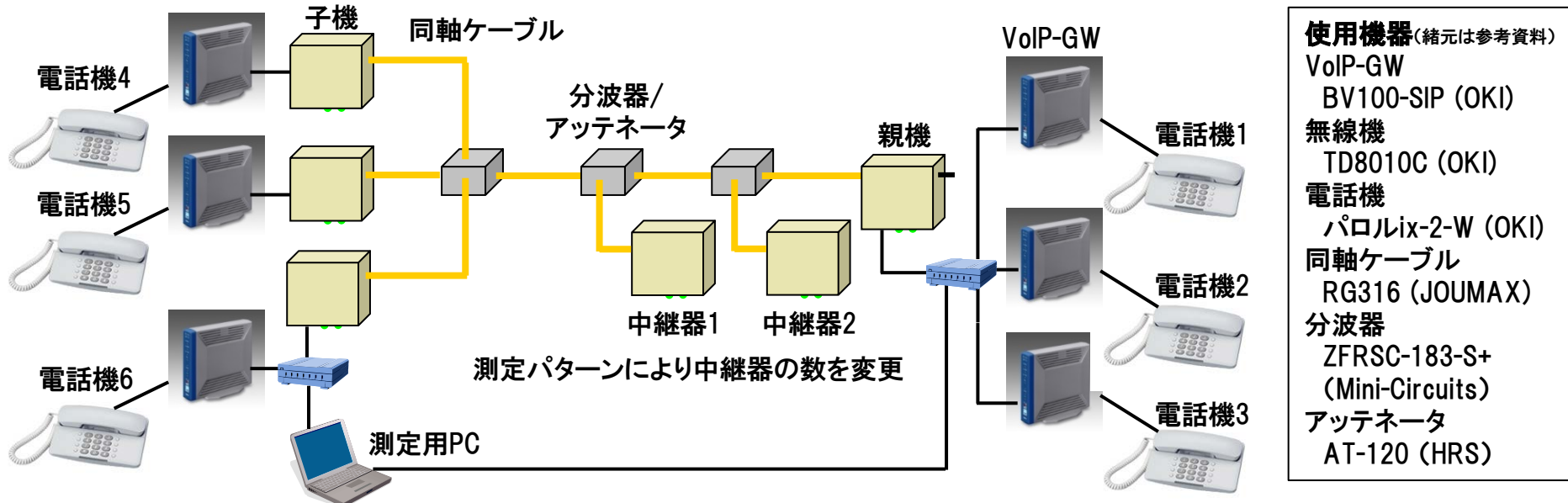
2回線の場合: 電話機4から1, 5から2への通話

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で取得した通信履歴から遅延/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

※前ページの項番1, 2, 3の評価における測定手順は全て同じとする。



■ 音声品質評価

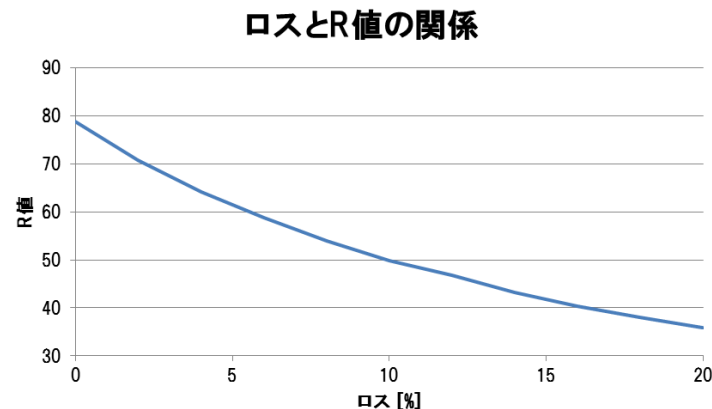
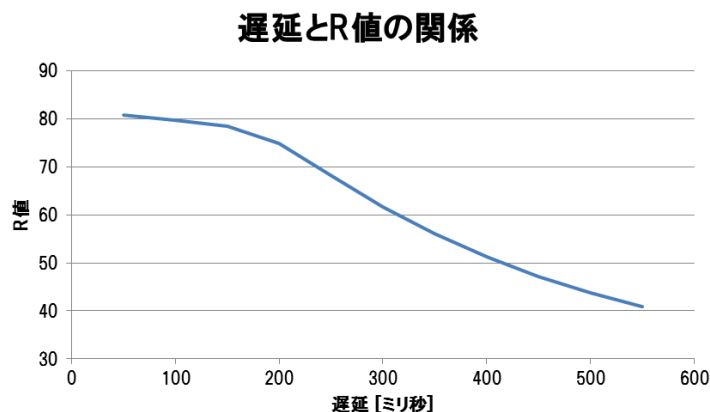
- 音声データの遅延/揺らぎ/パケット損失だけでは、音声品質の良し悪しを判断できないため、音声品質の定量的な評価指標として、ITU-Tで既定されたR値※を用いることとした。
- 音声品質を最低でもIP電話並とすることを基準として、R値が50以上の場合に通話可能とした。

※ R値

『ITU-T 勧告 G.107』で定義されており、遅延、ジッター、パケット損失などの測定値から、VoIP の通話品質を評価する値である。国内の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(IP電話並)は50以上と規定されている。

参考 遅延/ロスとR値との関係

ITU-Tで公開されているR値の計算プログラムを使用して遅延とロス率を変えた時のR値の変化を以下に図示する。
<http://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com12/emodelv1/index.htm>



遅延が200msを超えたあたりからR値が減少が大きくなり、ロスが10%を超えるとR値が50を下回る。

■ 検証における条件

- 最適なコーデック/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2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2. 最適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	前回の調査検討会で示したコーデック 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, 2, 3, 4, 5}	理論値の限界から最大5ホップとした。
4	同時回線数	{1, 2, 3}	
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	

最適コーデック/パラメータの評価結果:1回線通話時

資料3-3

■ 検証結果

- 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。(図3~7)
- G.729a(120ms)のR値が最も良く、5ホップでの通話も可能であり、R値も50以上であった。(図7)
- 1回線時において、G.729a(120ms)のコーデックが最も適しているという結果が得られた。

■ 考察

- G.729a(80ms/120ms)以外ではデューティ10%を超えるためデューティ制限の検討が必要である。(表3)

表3. 1回線通話評価の測定値

コーデック	ホップ数	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	R値
G.711(40ms)	1	3.13	16	1	21	51
G.711(60ms)	2	18.18	35	1	32.4	13.4
G.729a(40ms)	2	0.44	11	1	14.2	78.4
G.729a(80ms)	5	91.04	32	3	5.4	9.5
G.729a(120ms)	5	5.6	33	2	7.4	58.2

図3. G.711 (40ms)

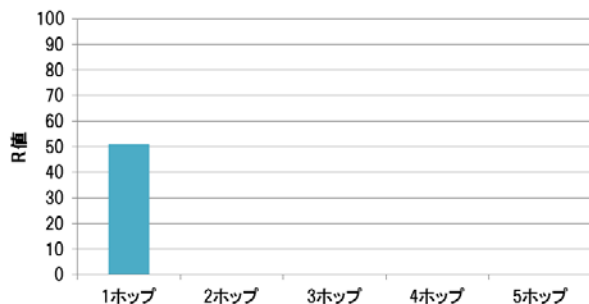


図4. G.711 (60ms)

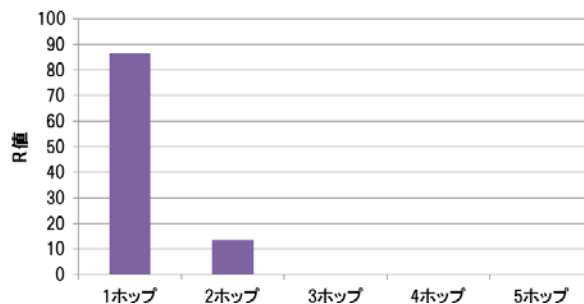


図5. G.729a (40ms)

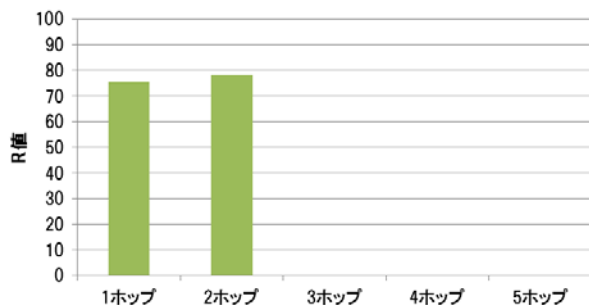


図6. G.729a (80ms)

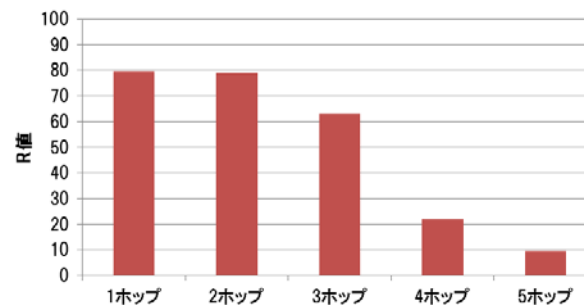
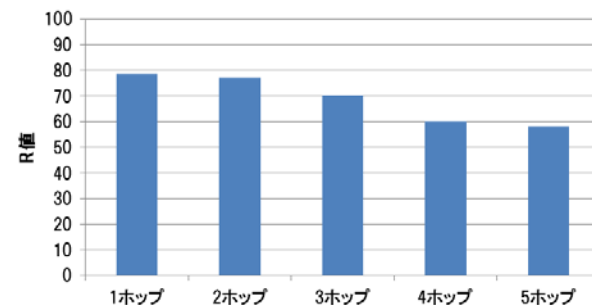


図7. G.729a (120ms)



※図中にR値の値が無いものは、音声通話が開始出来なかった組み合わせとなる。

最適コーデック/パラメータの評価結果:2回線通話時

■ 検証結果

- 2回線時においては、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。(図11)
- 2回線時においても、G.729a(120ms)のコーデックが最も適しているという結果が得られた。

■ 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)

図8. G.711 (60ms)

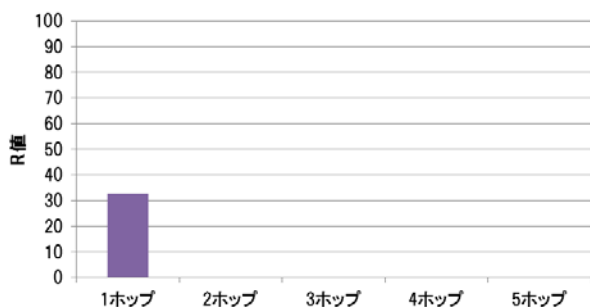


表4. 2回線通話評価の測定値

コーデック	ホップ数	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	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9. G.729a (40ms)

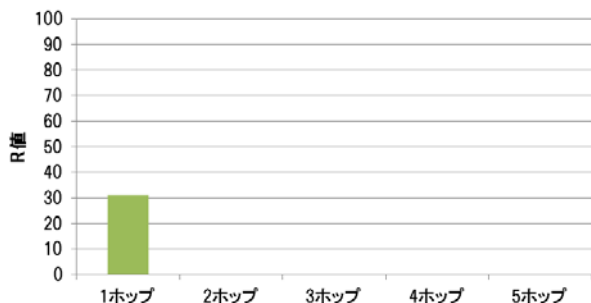


図10. G.729a (80ms)

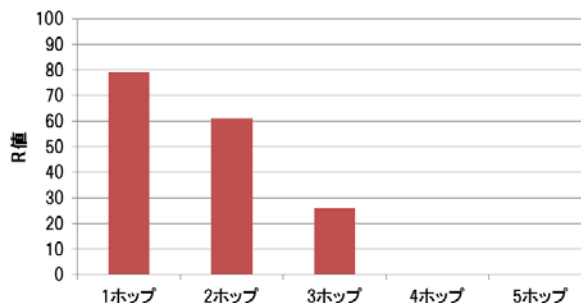
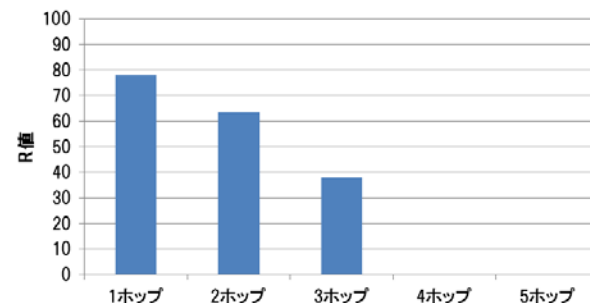


図11. G.729a (120ms)



■ 検証結果

- 3回線時には、G.729a(80ms/120ms)であれば、R値は約50で2ホップ接続は可能であった。(図14)
- 3回線の評価でも、G.729a(120ms)のコーデックが高い音声品質となるという結果が得られた。

■ 考察

- 3回線の通話では2ホップ接続時においても、パケットロスが10%程度あり、デューティ制限を緩和したとしても、3回線通話では安定した品質にはならない。(表5)
- 音声データ伝送を考慮したデューティ値は、概ね20%以内で十分であると考えられる。

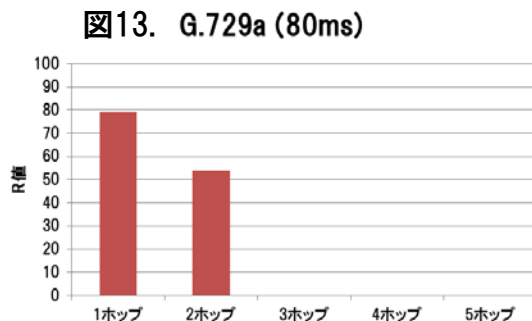
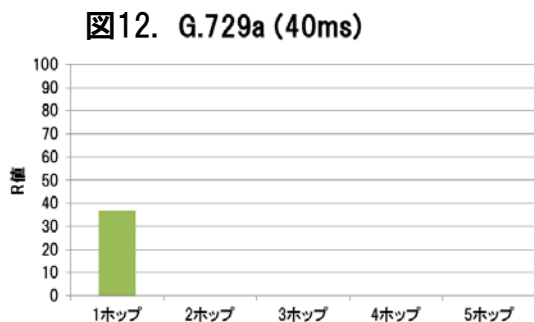
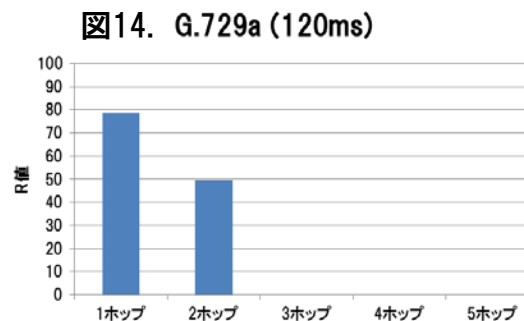


表5. 3回線通話評価の測定値

コーデック	ホップ数	ロス (%)	遅延 (ms)	揺らぎ (ms)	Duty (%)	R値
G.729a(40ms)	1	20.29	8	3	20.9	37
G.729a(80ms)	1	0.13	6	1	13.7	78.9
G.729a(80ms)	2	8.31	14	2	26.1	53.8
G.729a(120ms)	1	0.04	8	1	11.2	78.5
G.729a(120ms)	2	9.82	15	2	21.4	49.7



■ 検証の条件

- コーデック、送信間隔は最適パラメータ評価で選定したG.729aの120ms間隔送信とする。
- ホップ数、同時回線数を可変な通信条件とし、これらが変わることで起こる再送パケットの増大による遅延、パケットロスの増加を評価する。
- 上記の通信条件下においてAckの有無による再送パケット増大の評価を行う。
- なお本検証では、純粋な通信性能を評価するため、デューティ制御は無効としている。

表6. Ack応答の有無の検証条件

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	最適パラメータの評価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}	
4	同時回線数	{1, 2, 3}	
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	

■ 検証結果

- 1回線時はほとんどのホップ数でAckありの方が通話品質が高くなった。(図15)
- 同時回線数が上限の場合(2ホップ3回線、3ホップ2回線)にはAckなしの方が通話品質は高くなったが、R値50を満たせていない(図16,17)。R値50以上をとなる条件に限定して比較すると、ほぼ全ての場合でAckありとする方がよいという結果が得られた。

図15. 1回線時におけるホップ数の評価

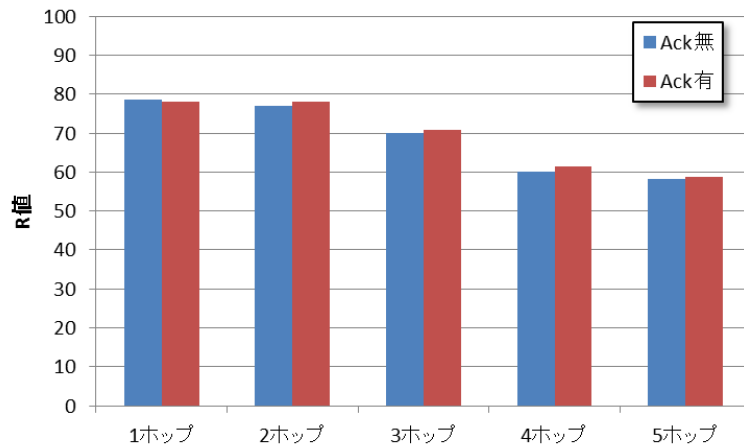


図16. 同時回線接続数における2ホップ時の評価

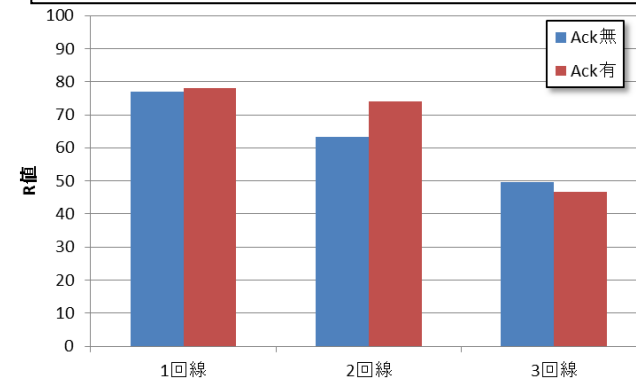
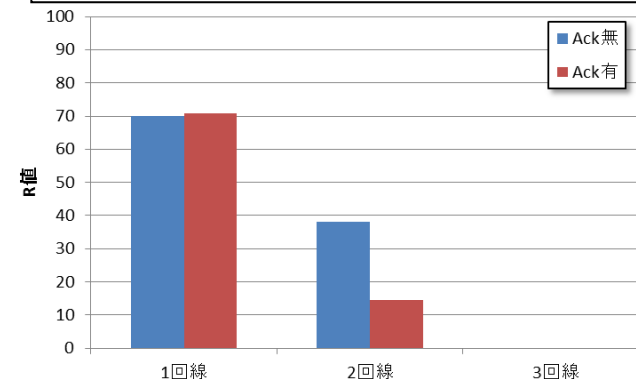


図17. 同時回線接続数における3ホップ時の評価



■ 検証の条件

- コーデック、送信間隔は最適パラメータ評価で選定したG.729aの120ms間隔送信とする。
- 同時回線数を可変な通信条件として、同時回線数に伴うトラフィック増加によって起こるパケットロス、遅延を評価する。
- ホップ数の違いによりデューティは変わらないため、3回線通話が評価可能な2ホップとした。
- 以下の2つのデューティ制御方式の違いによる遅延の増大を評価する。

■ デューティ制御方式

- 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：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を可能としつつ、デューティを超えそうになると、送信待機を行う手法

表7. デューティ制御評価の検証条件

項番	項目	パラメータ	備考
1	コーデック	G.729a	G.729a: 8kbps
2	送信間隔	120ms	最適パラメータの評価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	2	3回線が接続可能なホップ数を選定した
4	同時回線数	{1, 2, 3}	
5	測定時間	10分	1時間あたりの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}	

■ 検証結果

- 1回線通話では両方式共に10分の連続通話でR値70以上の高品質な通話が可能であった。(図18)
- 2回線以降の同時通話は両方式ともR値がマイナスとなり、通話は不可となった。(図18)
- デューティ10%の制限下では連続10分間の通話は1回線のみという結果が得られた。(図18、表8)
- 1時間毎制御では一定時間内という制約下では連続送信が可能のため、平均的な通話時間である180秒までの測定結果からR値を算出した。(次ページ資料)

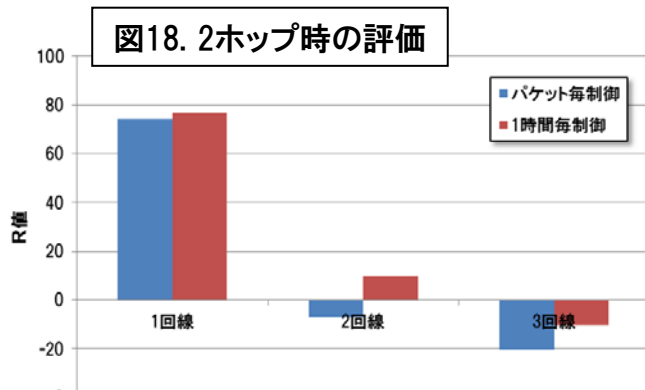
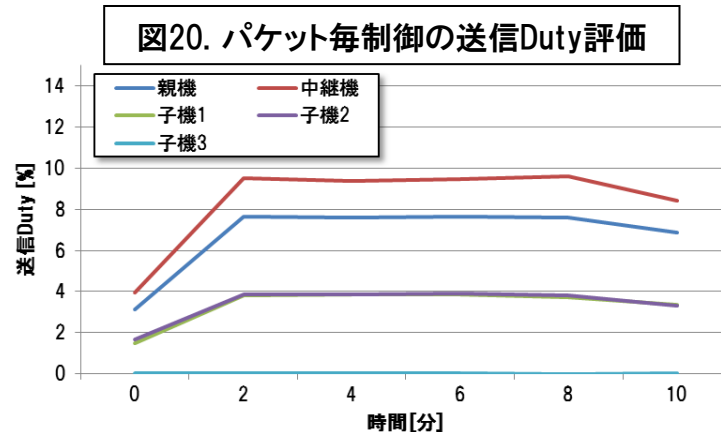
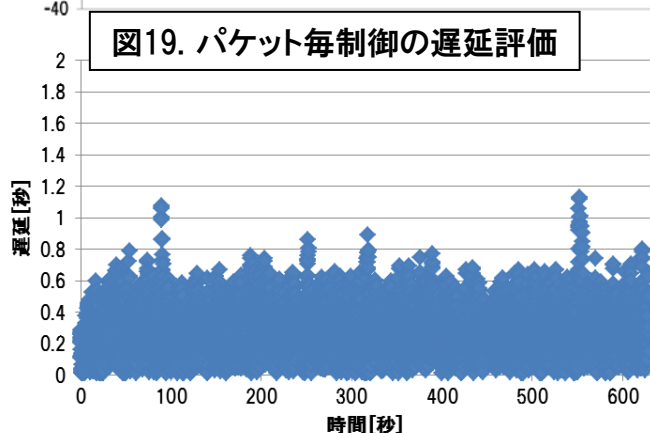


表8. デューティ制御方式評価の測定値

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	28	24	7.5	74.2
	1時間毎	0.3	13	0.6	7.5	76.8
2	パケット毎	38	284	135	9.6	-7.1
	1時間毎	29	164	239	14.8	9.8
3	パケット毎	59	370	146	9.7	-20.5
	1時間毎	54	250	290	18.8	-10.2



■ 検証結果

- 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22)
- 1時間毎制御の180秒までの通話のR値は、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21)
- 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21、表9)

※ 現在の実装では、送信デューティ超過時には、その後送信デューティを7.5%に制限する実装のため、4分間15%の送信を行うと8分間7.5%に制限することで平均10%となるため、再び通話を再開できるようになる。

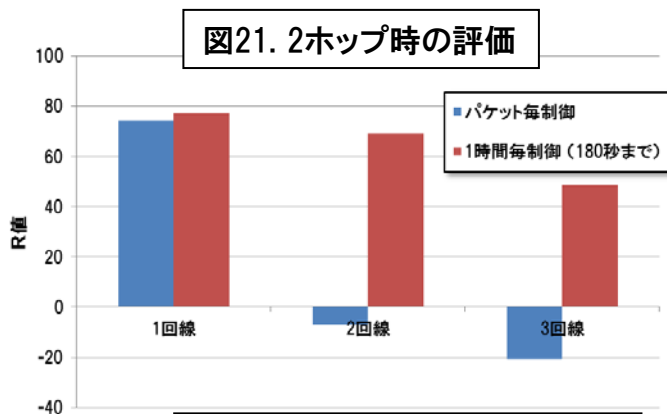
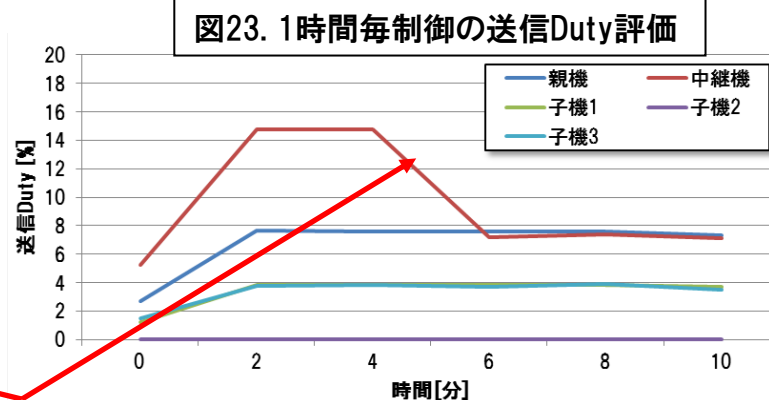
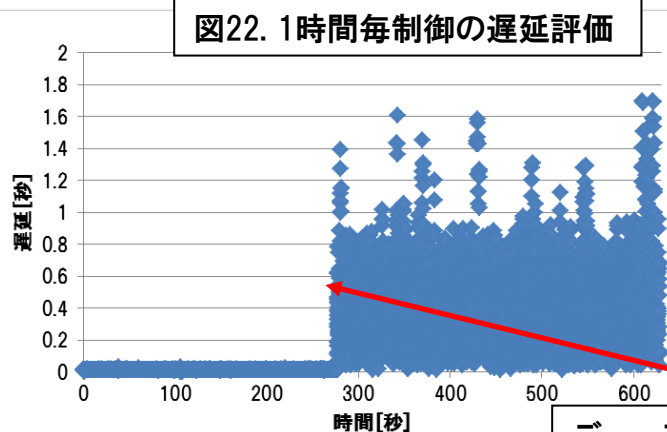


表9. デューティ制御方式評価の測定値

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	28	24	7.5	74.2
	1時間毎	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	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	18	19	3	18.8	48.5



デューティ制御動作の切り替わり

課題1:最適コーデック/パラメータの選定

- コーデック:G.729a、パケット送信間隔:120msが最適であった。
- R値を50以上とした1回線の通話では、最大で5ホップでの音声通話が可能であった。
- R値を50以上とした複数回線の通話は、最大で2ホップ2回線が可能であった。

課題2:衝突/干渉による再送パケットの課題

- 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においては、Ackありとした方が高いR値となった。

課題3:伝送遅延の課題

- 1回線時は、デューティ制御方式に依らず連続通話が可能であった。
- 2回線時は、1時間毎制御とすることで、4分間の連続通話が可能であった。

全体考察

- 課題1で選定したコーデックでは、1回線あたりの通話で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%デューティ制限で通話可能である。
- 2回線での通話の場合、デューティ制限のため4分間の通話の後、最長8分間の休止などの運用ルールが必要となる。
- 2回線での常時連続通話を実現するためには、10%デューティ制限の緩和が望ましい。

<参考> ラボ内検証装置緒元

資料3-3

BV100 SIP-TAの緒元

項目		仕様	備考
型名		BV100 SIP Internet Voice Gateway	
外形寸法		72mm(W)×196.5mm(D)×170mm(H)	
入力電源条件	電源電圧	AC100±10V	
	周波数	50Hz/60Hz	
消費電力		12W 以下	
動作環境		0℃ ~ +40℃ 20~80%RH(結露なきこと)	
本体質量		510g 以下	ACアダプタ含まず
ネットワークインタフェース		10Base-T/100Base-TX (全二重/半二重モード)、 自動認識/固定 コネクタ:RJ-45 型	WAN ポート
LAN インタフェース (保守コンソールインタフェース)		10Base-T/100Base-TX (全二重/半二重モード)、 自動認識/固定 コネクタ:RJ-45 型	PC ポート
公衆網インタフェース		収容回線数: 1 回線 アナログ電話回線技術基準 JATE Spec コネクタ: RJ-11	LINE ポート
回線インタフェース	アナログ 2 W 電話回線	収容回線数: 1 回線 コネクタ: RJ-11	TEL1 ポート
FAX インタ フェース	通信速度	14.4 kbps/12.0 kbps /9.6 kbps/7.2 kbps/ 4.8 kbps/2.4kbps	12.0/7.2/2 .4kbps はフ ォールによ る
	通信プロトコル	ITU-T T.38	G.711 イン バンドも 対応
	伝送制御手順	G3	
	モデム方式	ITU-T V.17/V.21ch2/V.27ter/ V.29 ECM 対応	
音声 制御部	符号化方式	ITU-T G.729a/G.711	
	圧縮レート	8 kbps / 64kbps(非圧縮)	
	揺らぎ吸収バッファ EMC 規格	最大 500msec VCCI クラス B	

TD8010Cの緒元

項目	内容
無線周波数	922.7MHz, 923.3MHz (2ch束ね: 100kbps) 922.7MHz, 923.1MHz (4ch束ね: 400kbps)
送信出力	最大250mW
変調方式	GFSK
無線伝送速度	100kbps~400kbps
外部表示	LED 3灯
入出力インタフェース	RS-232C, LAN(RJ-45) ※LANインタフェースは未使用
電源	12V DC電源 (入力電圧範囲7~36V)
消費電流	受信時:0.07A 送信時:0.7A
外形	160mm(W)×100mm(H)×180mm(D)