

## 災害発生時の VoIP 音声品質の検討と評価

大熊 秀明<sup>1</sup> 小野寺 充<sup>1</sup> 菊川 泰士<sup>1</sup> 砂原 秀樹<sup>1,2</sup> 下條 真司<sup>1,3</sup>

1 通信・放送機構 奈良 IP ライフラインリサーチセンター  
〒630-0101 奈良県生駒市高山町 8916-19

2 奈良先端科学技術大学院大学 情報科学センター  
〒630-0192 奈良県生駒市高山町 8916-5

3 大阪大学 サイバーメディアセンター  
〒567-0047 大阪府茨木市美穂ヶ丘 5-1

E-mail: hokuma@cisco.com, onodera@toyo.co.jp,  
y-kikukw@kowa.co.jp, suna@wide.ad.jp, shimojo@cmc.osaka-u.ac.jp

あらまし VoIP の音声品質については、通常時の音声品質基準についての検討が ITU-T 等で審議されているが、災害時における緊急通報等を対象とされていない。災害時にネットワークが輻輳した状況で、音声品質にどのような影響がでるのか、どの程度までの品質が利用に耐えるか、などについて、検討および実験結果を報告する。

キーワード VoIP, SIP, H.323, PESQ, Voice Quality, Congested Network

## Voice over IP Quality at Congested Network under Disaster and/or Emergency

Hideaki Okuma<sup>1</sup>, Mitsuru Onodera<sup>1</sup>, Yasushi Kikukawa<sup>1</sup>, Hideki Sunahara<sup>1,2</sup>, Shinji Shimojyo<sup>1,3</sup>

1 Nara IP Lifeline Research Center, Telecommunications Advancement Organization of Japan  
Takayama 8916-19, Ikoma City, Nara, 630-0101, Japan

2 Nara Institute of Science and Technology  
Takayama 8916-5, Ikoma City, Nara, 630-0192, Japan

3 Cyber media center, Osaka University  
Mihogaoka 5-1, Ibaraki City, 567-0047, Japan

E-mail: hokuma@cisco.com, onodera@toyo.co.jp,  
y-kikukw@kowa.co.jp, suna@wide.ad.jp, shimojo@cmc.osaka-u.ac.jp

**Abstract** ITU-T and other organization are discussing about the standard of voice quality at normal network environment. However, no research has been made on the voice quality under emergency situation. This paper reports the data of voice quality at the congested network simulated experimental environment.

**Key words** VoIP, SIP, H.323, PESQ, Voice Quality, Congested Network

## 1. はじめに

固定電話から IP ネットワークやインターネットを使用した VoIP は、総務省により 2001 年 9 月から 050 電話番号の交付が開始され、既に数十社が番号を取得し商用サービスがなされている。しかしながら、VoIP を従来の固定電話と同様のライフラインとして根付かせていくには様々な問題を解決して行かなくてはならない。

そのような課題の一つが緊急・重要通信機能である。現在 110 番通話や 119 番通話などへの適用については関係各所の間でどのように適用していくか議論されているが、そもそも VoIP の品質そのものが、長い歴史と経験を持つ固定電話のように災害発生時もライフラインとして機能するのか、未知数な部分が多い。例えば、災害発生時の大量に電話呼が集中した場合にどの程度電話の品質が確保されるのか、電話をかけることがどの程度成功するのか等である。

本研究では、VoIP における緊急・重要通信機能のなかで、災害発生時のネットワーク音声品質の変化に特化し、VoIP ネットワークの品質劣化要因によって音声品質はどう変化するかについて、測定器を使用した客観評価と人間の耳での主観評価を行った結果について報告するものである。

## 2. 背景

IP ネットワークやインターネットを使用して VoIP をパブリックに提供しようとする、ライフラインとして根付かせる為の品質確保に充分留意しなくてはならない。

VoIP での音声品質については ITU や TTC で議論されているが[1][2][3]、通常の運用時を仮定しており、非常時は考慮の対象外であるうえ、110 番や 119 番等の特番の処理は、標準化団体は取り扱っていない。

総務省では 050 番号取得の条件として VoIP ネットワークの品質について、R 値を用いた品質評価を義務付けている。しかしながら、緊急通信についての条件は記載されておらず、災害時の音声品質については事業者に依存している。固定電話と異なり、VoIP において災害時にライフラインとして機能したかどうかの経験は多くない。災害発生時に予想される大量の電話呼発生とそのためにおこる品質劣化によって、音声品質がどう変化するかデータを得て、実際の環境にフィードバックして行くことが必要である。

## 3. 解決すべき課題とアプローチ

音声品質の標準化は、ネットワークが正常な状態であることを前提に、音声品質の測定方法やサービスを提供する条件を設けている。

それに対して、ライフラインという観点では、極端な輻輳状態などにおいて、VoIP の品質がどのように変化するのか、緊急通報に必要な最低限の音声品質はどの程度のネットワーク品質で達成できるのかといった視点で標準を作成する必要がある。

音声品質の評価には、測定器を用いる方法と被験者による主観評価を実施する方法の二つがあるが、既存の測定器が緊急通報を意識して作られたものではないこと、客観評価のベースは主観評価であること、から、本検討・試験では被験者による主観評価を採用することとした。ただし、事業者がその品質基準を満たすために品質の評価を行うには主観評価より、客観評価の基準による方が望ましい。そのため、主観評価時に同時に既存評価技術での客観評価も行い、既存評価技術の問題点、緊急通報の品質評価のための既存技術の利用指針などの検討することとした。

また、実際の緊急状態がどのようなものになるかはケースバリエーションであるため、どのようなシナリオで試験するかというシナリオの作成が自体も課題である。

以上の方針に基づき、災害などを想定した非常時通信に置ける通話品質と接続品質、特に発呼時の接続遅延について実験したので、以下にその結果と報告を述べる。

## 4. 非常時通信での通話品質評価

災害発生などの理由で IP ネットワークに「異常」が発生した場合を想定して、試験ネットワークにネットワークシミュレータにより遅延及びパケットロスを加え、さらにトラフィックジェネレータにより RTP/UDP パケットを大量発生させ、ネットワーク品質を極端に劣化させた環境下で通話品質評価を実施した。

通話品質の評価は、一般の被験者による主観的な通話品質評価と測定器によるデータ評価（客観的な評価）の両方で実施した。

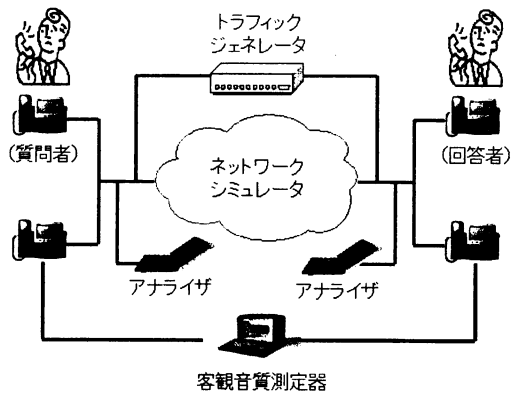


図 4-1: 試験構成図

#### 4.1 試験方法

主観評価は、緊急・災害時などの状況下において IP 電話を利用して警察・消防等へ電話連絡をする際に、自分の意思が相手にすばやく正確に伝わるか、相手の話す内容を理解できるか、という観点で被験者を質問者（警察・消防）と回答者（通報者）の役割に分け、事件や急病を仮定したシナリオに基づいて会話試験を行った。通話終了後、被験者に対して「音声の聞き易さ」、「会話のし易さ」、「理解のし易さ」、などを問う設問や「総合評価」を問う設問のアンケートを実施した。アンケートの各設問には、“0”を携帯電話相当の通話品質として評価の基準とし、“-3”から“+3”の7段階評価で回答する形式にした。被験者は、3ペア（6人）の2セット、計12人用意し、試験を実施した。

客観評価は、客観的音声品質評価指標である PESQ 値 (ITU-T P.862) が測定できる測定器を用意し、主観評価と並行して各評価条件で測定した。PESQ の評価に用いる原音声は男声と女声のサンプルを用意して、それぞれの音声に対して評価を行った。

また、ネットワークエンドに LAN アナライザを用意して、主観評価の通話音声パケット (RTP) をキャプチャして、取得データからパケットロスやジッタの評価を行った。

以下の試験結果に掲載したグラフでは、横軸は試験ネットワークの帯域に対するトラフィックジェネレータから発生させる RTP パケットの流量の割合であり、これが輻輳のレベルに対応している。本 RTP パケットの中身は、非試験通話と同様、G.711 に基づく VoIP トラフィックである。

上記の RTP パケットを背景負荷とし、非試験通話に対してネットワークシミュレータによる遅延及びパケットロス (D: 遅延[msec], L: パケットロス[%]) を加えて通話品質を測定した。

#### 4.2 試験結果

はじめに、主観評価の試験結果の一例を示す (図 4-2)。被験者が感じる総合的な通話品質が、遅延とパケットロスの両方に影響され、ネットワーク品質の劣化に伴って悪化していく様子が分かる。負荷が 80% を超えると急激に品質が劣化するが、遅延とロスとある程度以下に抑えれば (遅延<300ms、ロス<3%)、負荷が 90% でも評点 0 (携帯電話相当) を確保できている。なお、図 4-2 及び本稿内の他の図中の遅延、パケットロスの値はネットワークシミュレータによって発生させた遅延とロスの値であり、RTP パケットの背景負荷による遅延・負荷の値は反映されていない。

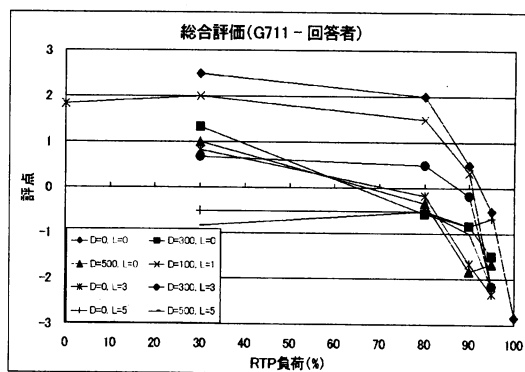


図 4-2: 主観評価結果 (総合評価)

次に、PESQ による評価結果の一例を示す (図 4-3)。PESQ は受聴音声品質を表す品質指標であるので、遅延による影響は小さく、パケットロスによって値が変化している。この結果と上記の主観評価結果からすると、特に負荷が大きい状況において、PESQ のみによる評価は遅延とロスの影響を正確には反映しておらず、運用にあたっては注意が必要であろう。

なお、パケットロス 3% と 5% で PESQ 値がほとんど同じであるのは、CODEC のパケット損失補償によるものと思われる。パケット損失補償のメカニズムは CODEC の実装に依存するが、この例ではロスの 5% までには同じに扱っていい、と言える。

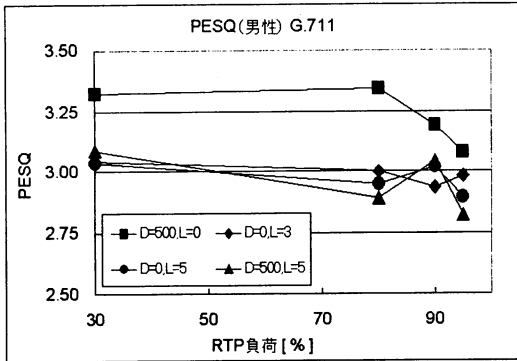


図 4-3: PESQ 評価結果

次に、これらの試験における遅延とロスについてのアナライザによる測定結果の一例を示す(図 4-4、図 4-5)。ジッタは、RFC1889 (RFC3550) で規定される J 値の平均値である。ネットワークシミュレータによる遅延及びパケットロスの設定に関わらず、RTP 負荷による輻輳の影響を受けてジッタが大きくなっていることが分かる。パケットロスについては、RTP 負荷が 80% まではネットワークエミュレータで設定した値として測定されたが、80% を超えると輻輳によりパケットロスが発生していることが分かる。

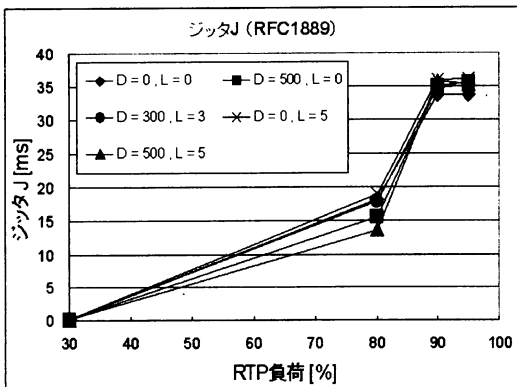


図 4-4: アナライザ測定結果 (ジッタ)

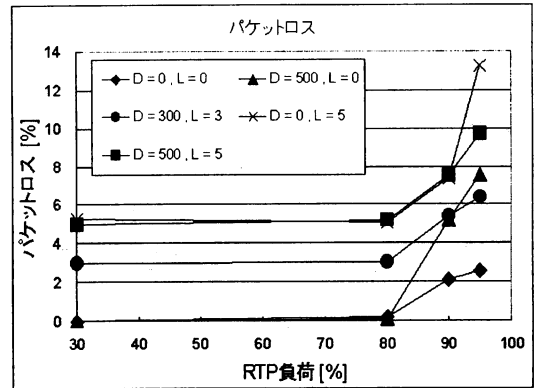


図 4-5: アナライザ測定結果 (パケットロス)

### 5. 非常時通信での発呼特性評価

前節の試験では、IP ネットワークに「異常」を人為的に発生させ、通話品質の評価試験を実施したが、ある試験条件では通信自体が確立できないケースがあった。

ネットワークの品質劣化に伴い、シグナリングの特性がどのように変化するのか、その様子进行评估するための試験を実施した。試験は、VoIP の代表的プロトコルである SIP と H.323 のそれぞれについて行った。

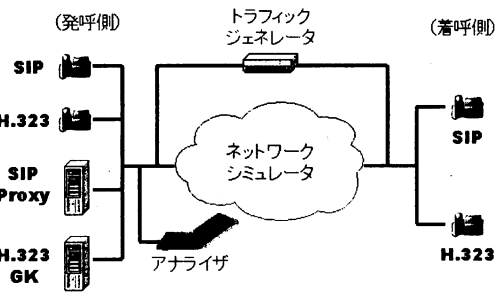


図 5-1: 試験構成図

#### 5.1 試験方法

試験は、通話品質評価試験と同様に、試験ネットワークに対し、ネットワークシミュレータにより遅延及びパケットロスを加え、さらにトラフィックジェネレータにより RTP/UDP パケットを大量発生させた環境下で行った。SIP 及び H.323 の端末をそれぞれ 2 ペア用意し、各試験条件で 10 コール試みた。

発呼端末側に接続された LAN アナライザで通話確立の様子をキャプチャし、取得したデータから

SIP 及び H.323 の各プロトコルでの通話確立までの経過時間を集計した。

集計した時間は、SIP では「INVITE」、H.323 では「RAS ARQ (Admission Request)」を基準として、SIP では「180 Ringing」及び「ACK」までの経過時間、H.323 では「ALERTING」及び「CONNECT」までの経過時間を集計した。

## 5.2 試験結果

SIP の INVITE から 180 Ringing までの経過時間を図 5-2 に、また、INVITE から ACK までの経過時間を図 5-3 にそれぞれ示す。横軸には試験ネットワークの帯域に対するトラフィックジェネレータから発生させる RTP パケットの流量の割合とし、ネットワークシミュレータによる遅延及びパケットロスの設定毎にプロットした (D: 遅延[msec], L: パケットロス[%])。

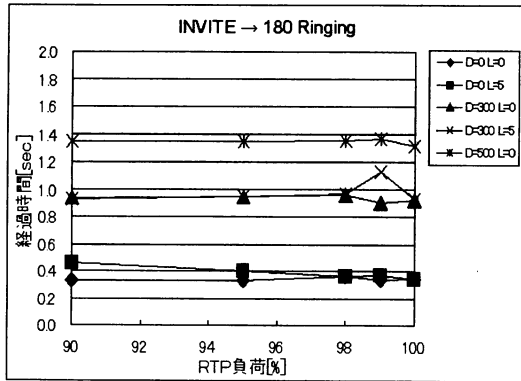


図 5-2: SIP INVITE->180 Ringing の経過時間

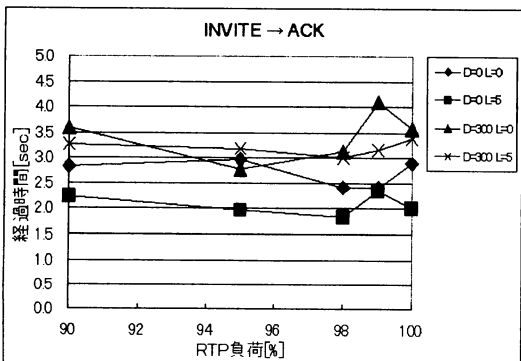


図 5-3: SIP INVITE->ACK の経過時間

図 5-2 と図 5-3 から、SIP のシグナリングは RTP

の負荷の増大やパケットロスにはあまり影響は受けていないが、遅延が増大するにつれて、経過時間が増大していることが分かる。

次に、H.323 の RAS:ARQ から ALERTING を図 5-4 に、RAS:ARQ から CONNECT を図 5-5 にそれぞれ示す。

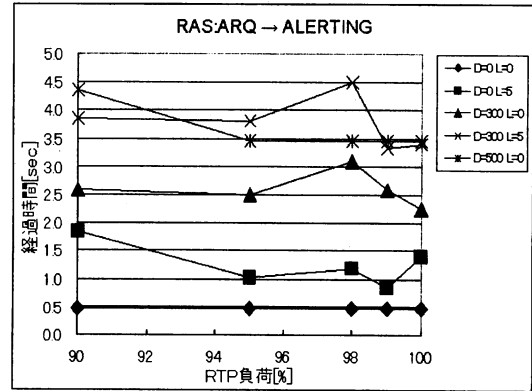


図 5-4: H.323 RAS:ARQ->ALERTING の経過時間

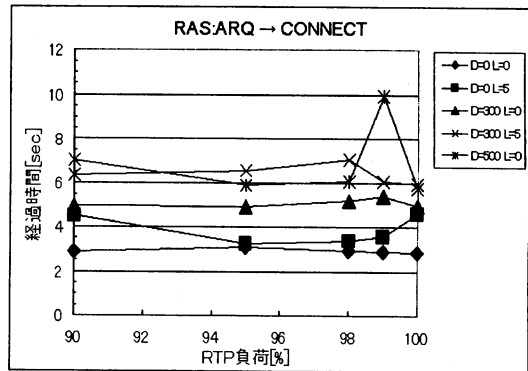


図 5-5: H.323 RAS:ARQ->CONNECT の経過時間

H.323 も SIP と同様に、遅延が増大するにつれて接続までの経過時間が増大していることが分かる。

SIP に関しては通信自体が確立できなかった確率も、遅延が増大するにつれて増えている (表 5-1)。

表 5-1 通信成功率(SIP)

遅延(msec)	成功数	失敗数	成功率 (%)
0	76	4	95.0
300	51	29	63.8
500	0	80	0

ただし、H.323についてはSIPとは異なり、遅延が増大しても成功率はほぼ100%となっている。

SIPとH.323の結果の違いについては、実験で使用する機器が異なることから、プロトコルの特性というより実装仕様の違いであると推測しているが、プロトコル毎の特性に着目した検証は今後必要である。また、SIPで通信が失敗した原因(シグナリングの packets がロスした時点での失敗、再送をトライしたが機器に設定されたタイムアウトによる失敗、シミュレータの遅延時間が大きいためパケットロスに関係なくタイムアウトしたことなど)の特定についても、今後の検討及び検証が必要である。

## 6. まとめ

本実験では、インハウスでの環境で行ったため環境的にも時間的にも充分とは言えないが、災害が発生したと想定し、大量のRTPが集中した場合に、VoIPの音声品質がどのように変化するののかについて、一定の傾向を捉えることができた。

- バックグラウンドのRTP負荷を増加させると、ネットワーク品質は急激に低下する傾向がある。同時に、主観評価とPESQによる客観評価の評点は低下する傾向がある。特に主観評価では遅延とパケットロスの影響を大きく受ける傾向がある。
- 発呼試験についてはその接続時間に関してはネットワーク品質の低下の影響を受けている。

## 7. 今後の課題

今回の実験で得た結果は、限定した環境で得たものである。制約があった中での実験だったため結果についてはその妥当性を明確にしていかなければならないし、範囲を広げて実験を重ねる必要がある。今回の実験結果については、妥当性や確実性を明確にするために次の分析を重ねていく。

- より詳細な傾向を掴む為に、今回の実験結果を更に分析する。
- 今回の実験設備を再検証し、VoIPを構成する機器や電話機などの仕様や設定を明確化と実験結果との関連性を分析する。
- 実験結果の妥当性を掴む為に、測定器の設定と接続点の再検証を行う。

次に、VoIPの実際の環境に照らしながら今回の実験結果を反映させるために、以下に示す検討が必要と考えられる。

- RTP負荷のみならず、シグナリングによる発呼の集中状態下による、緊急通信の発呼状態の確認と音声品質の変化を調査する。
- 本実験環境に近い実際のネットワーク下における同様の実験を行う。
- 音質劣化要因を改善するためのQoSを反映したネットワーク下で同様の実験を行う。更には、位置情報把握や認証など緊急通信で必要とされる機能を追加した場合での実験を行う。

これらを実行していくために、今後は本TAOライフラインプロジェクトの他の実験プロジェクトとも連携していく予定である。

## 8. 謝辞

本研究は通信・放送機構のIPライフラインプロジェクトの一部として実施したものであり、プロジェクトの関係各位の皆様にご感謝いたします。特に、本プロジェクトの野呂正明研究員、菊地隆弘研究員、及びVoIP推進協議会のTAO研究WGの次の皆様には、研究内容についての検討、実証実験の実施、取得データ解析に多大な支援を頂きました。ここに記して感謝します。

長谷部雅彦 (三洋電機(株))

中野 稔男 (株東陽テクニカ)

岩岸 優希 (シスコシステムズ(株))

芳村 淳 (沖電気工業(株))

川西 素春 (沖電気工業(株))

森山 貴史 (沖電気工業(株))

柳田 洋邦 (日本電気(株))

佐々木一郎 (アジレント・テクノロジー(株))

尾崎 祐二 (アジレント・テクノロジー(株))

島本 真幸 (関西マルチメディアサービス(株))

中野村太樹 (関西マルチメディアサービス(株))

(敬称略)

## 文 献

- [1] ITU-T Recommendation G.107, "The E-model, a computational model for use in transmission planning" July 2002.
- [2] ITU-T Recommendation P.862, "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ), an objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs", February 2001.
- [3] TTC 標準 JJ-201.01, 「IP電話の通話品質評価法」, 2003年4月.
- [4] 野呂, 菊池, 大熊, 砂原, 下条: "インターネットにおけるライフライン機能の実現" 信学技報 IA2003-15 (200-07)