

## 災害時における携帯電話の通信時間規制による 再呼への受付規制の効果

深井 健一† 岡田 和則‡ 大野 浩之‡

†電気通信大学大学院 情報システム学研究所  
〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

‡独立行政法人 通信総合研究所 横須賀無線通信研究センター  
〒239-0847 神奈川県横須賀市光の丘 3-4

E-mail: † fukai@crl.go.jp, ‡ {okada,hohno}@crl.go.jp

あらまし 大地震等の災害が発生した場合、安否確認等のため通信需要が急増する。有限な周波数資源を用いる携帯電話は、余分な容量の確保が難しく、多くの呼損が生じると考えられる。この問題について、各通信要求の通信時間に上限を設けて、それ以上経つと通信を強制的に切断する通信時間規制制御が検討され、呼損を十分に少なくできることが示されている。しかし、強制切断する以上、再呼が発生し、それにより呼損が増加することが考えられる。本研究では、再呼が通信時間規制制御に与える影響を調べ、再呼の発生により呼損率等が上昇することを示した。さらに、その対策として、通信要求毎にシステムが受け付ける再呼回数に上限を設ける再呼受付規制を提案し、呼損率の低下等、再呼の影響を十分に少なく出来ることを示した。また、適切な再呼受付上限回数についての設定方法の検討も行った。

キーワード 再呼、通信時間規制、再呼受付規制、携帯電話、非常時通信

### Performance of an admission control method for call re-attempts resulting from limiting holding time in mobile cellular systems during disasters

Kenichi FUKAI†, Kazunori OKADA‡, and Hiroyuki OHNO‡

† Graduate School of Information Systems, The University of Electro-Communications  
Chofugaoka 1-5-1, Chofu-shi, Tokyo, 182-8585 Japan

‡ Communications Research Laboratory, Independent Administrative Institution  
Hikarinooka 3-4 Yokosuka-shi, Kanagawa, 239-0847 Japan

E-mail: † fukai@crl.go.jp, ‡ {okada,hohno}@crl.go.jp

**Abstract** When a natural disaster occurs, there is a huge increase in the number of calls placed through mobile cellular systems and many are blocked due to limited radio-frequency resources. To reduce the number of blocked calls, a method limiting the holding time of calls, that reduced the call-blocking rate considerably, was proposed. However, the forced termination of some calls results in call re-attempts. We have now examined the influence of these re-attempts on the performance of the method to limit holding time. The results showed that the call-blocking rate increased greatly with call re-attempts. Thus, we proposed an admission control method for call re-attempts that significantly reduced the call-blocking rate. We also give a consideration on an appropriate number of admissions for call re-attempts.

**Key words** Call re-attempt, Limiting holding time, Admission control for call re-attempts, Cellular phone, Emergency communications.

## 1. はじめに

大規模な地震等の災害が発生した場合、安否確認等のための通信需要が急激に増加する。1995年1月17日に発生した阪神・淡路大震災では、全国から兵庫県への固定電話の呼量は通常の約20倍、ピーク時で約50倍となった<sup>[1]</sup>。当時は、携帯電話の輻輳については、さほど普及していなかったこともあり、固定電話ほど大きな問題にはならなかった。しかし、今日のように、携帯電話が通信手段として一般に広く普及している状況下では、災害時には通信需要が集中することが予想される。実際、2001年9月11日にアメリカで発生した同時テロ事件においては、主な被災地であるニューヨーク等で固定電話、携帯電話共に非常に繋がりにくい状態になった<sup>[2]</sup>。

また、同テロ事件では、瓦礫の中に閉じこめられた人が携帯電話を使って救助を求めて救出された例があり<sup>[3]</sup>、通信手段の中でも、通常携帯していることが多い携帯電話が、突発的に起こる災害や極めて緊急を要する場合には、特に有効であることがうかがえる。災害が発生し通信要求が急増した場合でも携帯電話を使えるようにすることは、安否確認だけでなく、救助や復旧の上でも重要であると考えられる。

しかし、携帯電話ネットワークの場合、通信要求が大幅に増加すると通信網の有線区間、無線区間ともに輻輳して回線(チャンネル)を割り当てられず、多くの呼損が生じてしまう。特に、無線区間は有限な周波数資源を使用しているため、あらかじめ余分な容量の確保によって呼損を減少させることが難しい。

災害時の安否確認や救助の要求は、平常時の一般的な内容を伝えるための要求と比較して必要性の強いものであり、輻輳によって通信ができないことは非常に問題である。そこで、短時間でも多くの通信要求の接続を実現することが必要であると考えられる。この観点から各通信要求の通信時間に上限を設けて、それ以上経つと強制的に通信を切断する通信時間規制制御が検討され、呼損を十分に少なく出来ることが示されている<sup>[4][5]</sup>。

この方法では、通信時間の上限(通信規制時間)前に複数回の警告音を鳴らし、通信者にもうすぐ通信が切断される旨を伝えることで、通信切断後の再度の接続(再呼)を極力防ぐことを提案している。しかし、強制的に切断する以上、再呼が発生することは避けられな

いと考えられる。そして、発生した再呼が接続されるとチャンネルが使用されるため、その分、呼損が増えることになると考えられる。そこで、本研究では、通信時間規制制御による強制切断によって生じる再呼が呼損率等に与える影響を調べる。その後、再呼に対する対策として、各通信要求の再呼受付回数を規制することを提案し、その効果を計算機シミュレーションを用いて評価する。さらに、適切な再呼受付上限回数についての考察も行った。

なお、本研究では、再呼を考えるに当たり、以下のように定義する。通信したい端末(人)からの要求を通信要求とし、その通信要求が初めて行う接続要求が損失となった場合を呼損とする。また、再呼による通信時間規制制御への影響を調べるため、再呼は通信時間規制制御によってのみ起こることとする。

## 2. 通信時間規制制御と再呼受付規制

### 2.1 通信時間規制制御

通信時間規制制御の目的は、システムに全く受け入れられない通信要求を減らし、なるべく多くの通信要求を短い時間でもシステムに受け入れることである。このため、チャンネルが割り当てられた通信要求に対し、システム側で通信規制時間を設定して、通信時間がそれ以上になった場合は強制的に通信を切断し、チャンネルを解放して、新たな通信要求を受け入れられるようにする。図1にその流れを示す。

通信の切断に関しては、いきなり切断されるのでは通信者にとって不便であり、再呼の原因にもなる。このため、通信規制時間になる前に複数回の警告音で通信者にもうすぐ通信が切断されることを知らせる。これにより、通信者に通信を手短に切り上げさせ、切断後も再呼をしないことを促進できると考えられる。

災害時の呼量は、その災害の規模、昼夜の変化、時間等が原因で大幅に変動する。このため、固定された通信規制時間では、規制が弱すぎて呼損が十分に減少しなかったり、逆に過規制となったりする。そこで、通信規制時間を呼量に応じて段階的に変化させる。呼量を短時間で正確に計測するのは困難なため、生起呼数に応じて通信規制時間を変化させる。生起呼数が通常の $n$ 倍に増加(減少)したら、通信規制時間を通常の平均通信時間の $1/n$ 倍にして規制を強化(緩和)する。

通信時間規制制御の性能としては、1セル当たりの

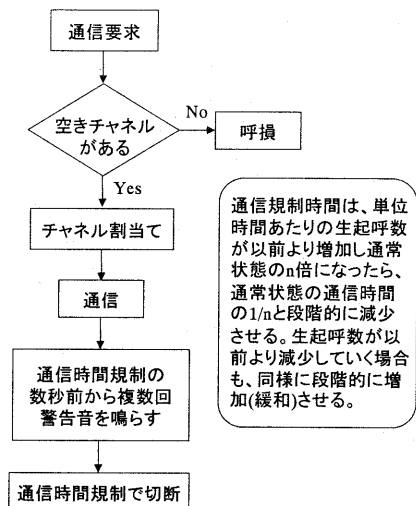


図1 通信時間規制制御の概要

チャネル数を10とし、生起呼量を5.6[erl/cell](通信時間規制制御を行わないで呼損率が3%になる状態)から5倍の28[erl/cell]、10倍の56[erl/cell]とした場合、それぞれ59%、77%になった呼損率が、通信規制時間を26.5[s]、12.5[s]にすることで元と同じ3%にまで抑えられたという報告がある[4]。

## 2.2 通信時間規制制御による再呼

通信時間規制制御により強制的に通信を切断された場合、たとえ警告音を鳴らすようにしていても、状況によっては必要なことを完全に伝えきれなかった等の理由で再呼を試みることがあると考えられる。

再呼が行われチャネルが割り当てられた場合、その通信要求にとっては通信時間が増加するという利点はあるものの、通信要求数が多い場合や再呼が各通信要求で何度も繰り返されると、接続要求の発生数が大幅に増えてシステムに大きな負荷を生じさせてしまう。さらに、再呼にチャネルが割り当てられた場合、その分新たな通信要求に対してチャネルが割り当てられなくなるために、呼損が増加する問題点もあると予想される。

再呼を考えるにあたっては、様々な場合を考える必要がある。通信時間規制制御により切断された通信要求でも、通信した内容に満足したら必ずしも再呼をするわけではない。そこで、再呼するかしないかは再呼発生率として確率により指定することとした。また、

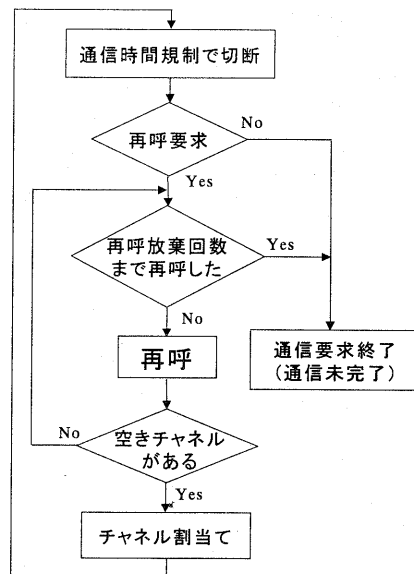


図2 通信時間規制制御と再呼

再呼をすると決めた通信要求は、チャネルが割り当てられ接続されるまで再呼を繰り返すが、それでもチャネルが割り当てられない場合は、通信を諦めて放棄してしまうことも考えられる。そこで、再呼回数の上限(再呼放棄回数)を設定することにした。さらに、再呼するまでの時間間隔(再呼発生間隔)も考える必要がある。これは、一般の携帯電話のようにリダイヤル機能を用いて数秒~数十秒で行うものから、自動発信装置などのように数分間隔で行うものもあり範囲が幅広い。そこで、簡単に指数分布で近似することにした。図2に通信時間規制制御による再呼の流れを示す。

## 2.3 再呼受付規制

再呼による再接続が急増することによる呼損の増加を低減させるため、再呼受付規制を提案する。通信要求が通信時間規制制御による強制切断後から、再びチャネルが割り当てられるまでに発することの出来る再呼回数に上限(再呼受付上限回数)を設け、それ以上は何度再呼してもシステム側で空きチャネルの有無に関わらずチャネル割り当てを行わないようにする。

これにより、システムが受け付ける再呼数(再呼受付数)を減少させ、新しい通信要求にチャネルを割り当てられやすくして呼損の減少を図る。図3に通信時間規制制御下における再呼受付規制、及び再呼を伴った通

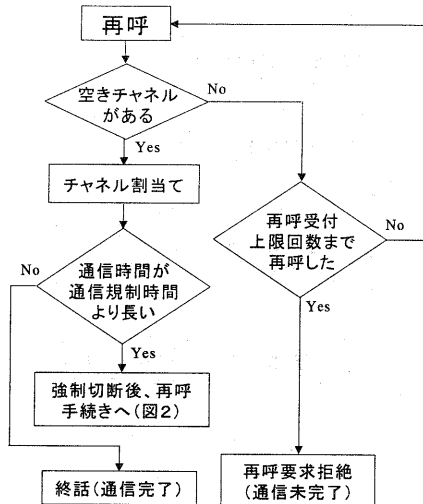


図3 通信時間規制制御と再呼受付規制

信の完了(終話)の流れを示す。

### 3 シミュレーションモデルと条件

#### 3.1 シミュレーション条件

表1にシミュレーション条件を示す。

生起呼量は、1セル当たりのチャンネル数を10とした場合に、呼損率を3%にする生起呼量(5.6[erl/cell])を通常時の呼量として、その5倍(28.0[erl/cell])、10倍(56.0[erl/cell])とした。通信規制時間はそれぞれ26.5[s]、12.5[s]とした。これらの値については、再呼が無ければ呼損率を通常時と同じ約3%にまで抑えられたという報告があり<sup>4)</sup>、再呼の発生や再呼受付規制によってこの値がどのように変化するかを比較検討できるように同じ値に設定した。

再呼については、本研究では、通信時間規制制御における再呼の影響を調べることを目的としているので、通信時間規制制御によって強制切断された通信要求だけが行うものとした。再呼放棄回数は5回と10回、再呼発生間隔は平均10[s]の指数分布に従う値とした。

#### 3.2 シミュレーションモデル

図4にシミュレーションモデルを示す。

サービスエリアは、1辺1[km]の正方形セルを144個(12×12)並べた平面モデルを用いて、そのうち中心部16セル(4×4)を統計収集エリアとした。各セルには

- ・サービスエリア…12×12正方形セル  
(1辺1.0[km])
- ・チャンネル数…各セル10チャンネル
- ・生起呼量…28.0[erl/cell]、56.0[erl/cell]
- ・移動体速度…0~20[km/h]、4方向
- ・チャンネル割当て…固定チャンネル割当て
- ・通信規制時間…26.5[s]、12.5[s]
- ・通信時間…平均120[s]の指数分布  
(生起呼、再呼とも)
- ・再呼発生条件…通信時間規制による  
強制切断時のみ
- ・再呼放棄回数…5回、10回
- ・再呼発生間隔…平均10[s]の指数分布

表1 主なシミュレーション条件

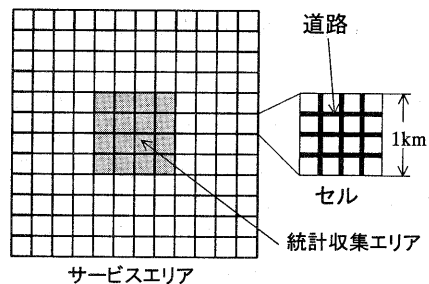


図4 シミュレーションモデル

格子状に道路が走っており、移動体はこの道路上のみ存在し、隣接するセルにも移動するものとした。サービスエリアの端のセル内からエリア外に出た移動体については、反対側の端のセルへ再び進入するものとした。

## 4 結果及び考察

#### 4.1 通信時間規制制御に対する再呼の影響

ここでは、再呼発生率を変化させた場合の再呼発生数、呼損率、通信要求当たりの平均合計通信時間の特性について述べる。

図5に再呼発生数の特性を示す。再呼発生率が高くなるにつれて再呼発生数が増加している。シミュレーション中の全通信要求数は生起呼量28[erl/cell]のとき約67500、56[erl/cell]のとき約135000であるが、再呼放棄回数10回で切断された通信が全て再呼した場

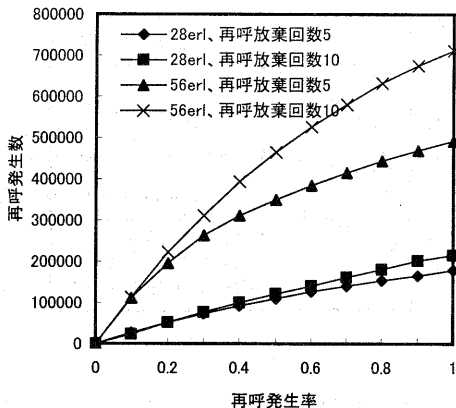


図5 再呼発生数特性

合の再呼発生数はそれぞれ約 210000(28[erl/cell])、約 710000(56[erl/cell])である。それぞれ通信要求数の約 3 倍、約 5 倍と非常に多くの再呼が発生することがわかる。また、再呼放棄回数 5 回と 10 回の再呼発生数の差について見ると、生起呼量が 56[erl/cell]の場合、再呼放棄回数 10 回と 5 回の差がはっきり現れる。これは、接続要求数が多いので、チャンネルを割り当てられるのが難しく再呼放棄回数まで再呼することが多いためであると考えられる。生起呼量が 28[erl/cell]の場合は、再呼放棄回数による差が小さい。これは、比較的接続要求数が少ないためにチャンネルが割り当てられやすく、再呼放棄回数を 10 回としても、ほとんどがそこまで再呼することなく終了する通信要求数が多いためであると考えられる。

図 6 に呼損率特性を示す。再呼が発生しない場合、通信時間規制制御で約 3%に抑えられていた呼損率が再呼発生率の増加に伴い高い値を示すようになるのがわかる。これは、再呼が発生し、それにチャンネルが割り当てられることで、その分新しい通信要求にチャンネルが割り当てられなくなるためであると考えられる。また、生起呼量が等しい場合は、再呼放棄回数が多い方が再呼発生数も多いために呼損率も高くなっている。生起呼量 56[erl/cell]の方が再呼放棄回数による差が大きいのは、再呼発生数による差が大きいためであると考えられる。

図 7 に通信要求当たりの平均合計通信時間特性を示す。再呼が発生しない場合、最大でも通信規制時間までしか通信できなかったものが、再呼をして、チャンネルが割り当てられることで更に通信時間を得たために

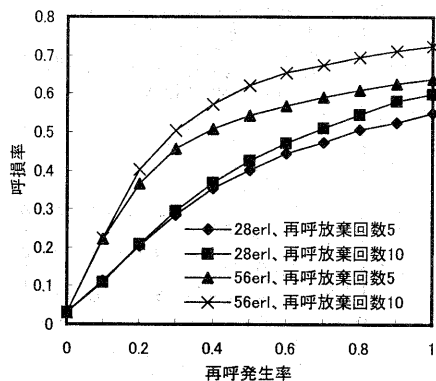


図6 呼損率特性

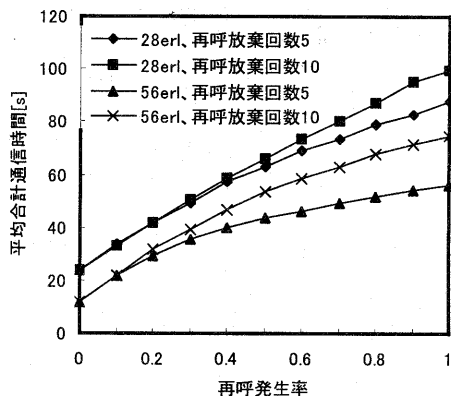


図7 通信要求当たりの平均合計通信時間特性

平均合計通信時間が増加していることがわかる。再呼発生率が高いほど、また、同じ生起呼量では再呼放棄回数が多いほど平均合計通信時間が長くなる。これらは共に、再呼発生数が多いためであると考えられる。

#### 4.2 再呼受付規制の効果

ここでは、4.1 節で示した再呼の影響に対して、再呼受付規制がどのような効果を与えるかを調べる。表 1 のシミュレーション条件において、再呼放棄回数を 10 回、再呼発生率を 0.2 と 0.6 に固定した条件で再呼受付規制を行う。再呼受付上限回数を変化させた場合のシステムが受け付けた再呼数(再呼受付数)、呼損率、通信要求当たりの平均合計通信時間の特性、及び再呼受付規制率特性を示す。

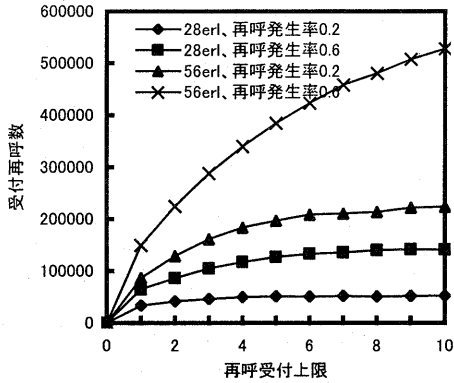


図8 再呼受付数特性(再呼放棄回数 10回)

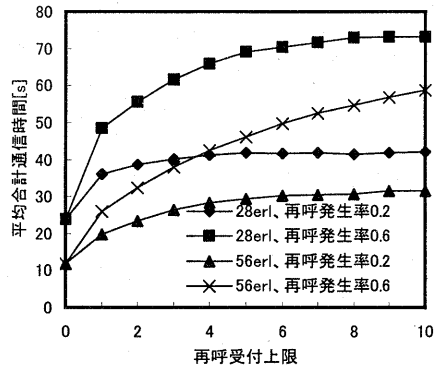


図10 通信要求当たりの平均合計通信時間特性(再呼放棄回数 10回)

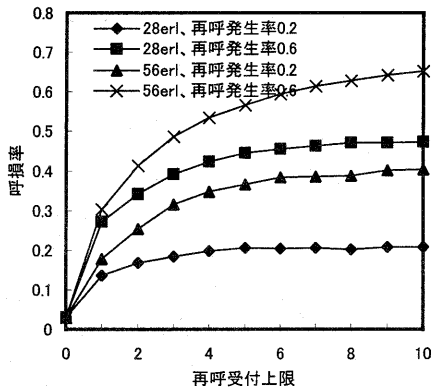


図9 呼損率特性(再呼放棄回数 10回)

図8に再呼受付規制を行った場合の再呼受付数の特性を示す。再呼受付規制を行うことで、再呼受付数が減少するのがわかる。再呼受付上限回数を少なくして規制を強化すると再呼受付規制の対象になる再呼数が増加するため、再呼受付数が減少する。生起呼量56.0[erl/cell]、再呼発生率0.6の場合、生起呼量が多く、再呼発生率が高いため再呼放棄回数まで再呼をする通信要求が多く、再呼受付規制による減少が著しい。

図9に再呼受付規制を行った場合の呼損率特性を示す。再呼受付上限回数を少なくすると、呼損率が減少するのがわかる。これは、再呼受付規制によって再呼受付数が減少し、接続要求数が減少してチャネルの空きが多くなり、その分新しい通信要求にチャネルが割り当てられたためであると考えられる。生起呼量56

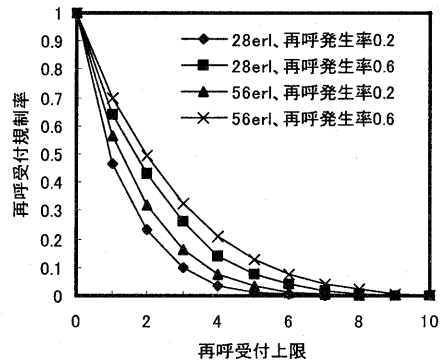


図11 再呼受付規制率特性(再呼放棄回数 10回)

[erl/cell]、再呼発生率0.6の場合は、再呼受付上限回数を少なくするにつれて、再呼受付数が大きく減少する。このため、最も呼損率が低下している。

図10に再呼受付規制を行った場合の通信要求当たりの平均合計通信時間特性を示す。再呼受付上限回数が減少すると、再呼受付数が減少し、再呼による通信時間の増加分も減少するために、通信要求当たりの平均合計通信時間が減少してしまうことがわかる。

再呼受付上限回数の減少(規制の強化)に伴う平均合計通信時間の減少の割合を見ると、生起呼量が28[erl/cell]の場合は56[erl/cell]と比較して減少率が小さい。これは、生起呼量が多いと再呼受付上限回数まで再呼する通信要求が多いため、再呼受付上限回数を少なくするとそのまま合計通信時間に影響してしま

うのに対して、生起呼量が少ないとこのような通信要求が少なく、再呼受付上限回数を少なくしても影響を受けずに通信を終了するものが多いためであると考えられる。

図 11 に再呼受付規制率特性を示す。再呼受付規制率とは、再呼受付規制によってシステムに受け入れられなかった再呼の数を全再呼発生数で割った値である。再呼がどの程度規制されているかを示している。

再呼受付上限回数を少なくするほど、規制される再呼が多くなり規制率が高くなる。また、生起呼量 28[erl/cell]、56[erl/cell]の場合とも、再呼発生率が高い方が規制率も高い。すなわち、同じ生起呼量であれば、再呼受付規制は再呼の発生率が高いほど規制の効果が強いことがわかる。

#### 4.3 適切な再呼受付上限回数

ここでは、4.2 の結果を基に、適切な再呼受付上限回数についての考察を行う。

通信時間規制制御の目的は、短時間でもできるだけ多くの通信要求を通信させることである。この観点でのみ考えれば、再呼受付規制を行う場合、再呼が全く発生しない場合が呼損率が最も低く通信を一度でも出来た通信要求数が最も多くなるため、再呼受付上限回数を 0 にするのが適切である。しかし、再呼は今まで行った通信では不足であり、もっと通信を行いたいという要望から発生するものであり、再呼を完全に抑えてしまうことも問題であると考えられる。

そこで、ここでは、従来の「できるだけ多くの通信要求を通信させる」ことの他に、「できるだけ長く通信させる」ことも評価基準として考えることとする。その上で、再呼受付規制を行った際、呼損にならなかった通信要求数(接続成功通話数)と通信要求当たりの平均合計通信時間の両方が最大になる点に最も近い再呼受付上限回数値を適切な値として考える。

図 12 は、生起呼量 56[erl/cell]、再呼発生率 0.6 の場合において、再呼受付上限回数を変化させたときの接続成功通話数及び通信要求当たりの平均合計通信時間の変化を表したものである。

グラフより、接続成功通話数が最大になるのは再呼受付上限回数が 0 回の時で、平均合計通信時間が最大になるのは再呼受付上限回数が 10 回の時であることがわかる。

接続成功通話数、通信要求当たりの平均合計通信

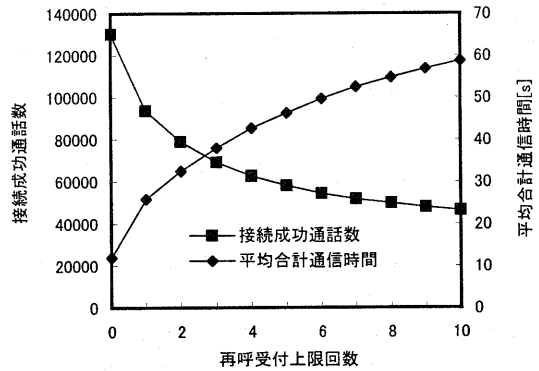


図 12 接続成功通話数及び通信要求当たりの平均合計通信時間特性 (生起呼量 56[erl/cell]、再呼発生率 0.6)

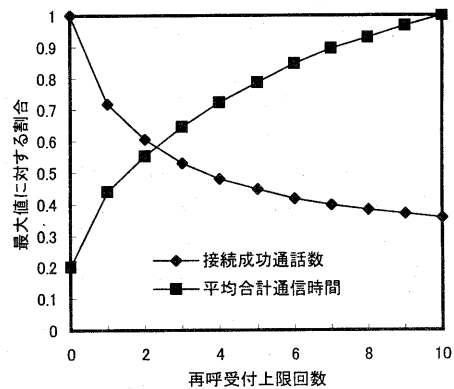


図 13 最大値に対する割合 (生起呼量 56[erl/cell]、再呼発生率 0.6)

時間のそれぞれがとりうる最大値を 1 とし、各値を最大値に対する割合で表したのが図 13 である。2 つの曲線の交点が最大値に対する割合が等しくなる点で適切な再呼受付上限回数値となる。

グラフより、生起呼量 56[erl/cell]、再呼発生率 0.6 の場合は、2 つの曲線の交点から最も近い 2 回が、適切な再呼受付上限回数であることがわかる。

接続成功通話数や通信要求当たりの平均合計通信時間は、生起呼量や再呼発生率によって変化するため、この適切な再呼受付上限回数値も生起呼量や再呼発生率によって変動することになる。

ここでは単純に考えたが、システムのオペレータや

利用者の立場によって適切な再呼受付上限回数のお考え方は異なると考えられる。また、災害の種類によっても要求条件は異なると考えられる。十分な検討が今後必要である。

## 5. まとめ

本研究では、災害時などの携帯電話の輻輳問題に対して、通信時間を規制して短い時間でも多くの通信を実現しようとする通信時間規制制御に対する再呼の影響と、再呼受付規制の効果について調べた。

その結果、再呼を考慮すると、通信時間規制制御下においても再呼にチャンネルが割り当てられることで、一つの通信要求に対して複数回の通信が可能になり、通信要求当たりの合計通信時間が増加するが、再呼にチャンネルが割り当てられる分、新しい通信要求にチャンネルが割り当てられにくくなって呼損率が大幅に増加する。

これに対し、再呼受付規制を行うことでシステムが受け入れる再呼数を減少させ、呼損率の増加を十分に抑えられることを示した。これは、通信をしていない通信要求が大幅に減少することを意味し、再呼受付規制が有益なものであることがわかる。

災害が発生した場合、安否確認等のため、たとえ短い時間でも通信ができることの要望は高いと考えられる。また、何度接続要求をしても一度もチャンネルが割り当てられず、最終的に通信を諦めてしまうようなことになれば、通信要求している人にさらなる心的不安をも与えかねない。これらを考えると、通信時間規制制御は重要であり、同時に再呼受付規制もその効果を損なわないようにするために必要であると考えられる。

再呼は、実際は呼損やハンドオーバー時の強制切断によっても発生することが考えられる。そのような再呼の発生を考慮した場合の検討が今後の課題として挙げられる。

## 文 献

- [1] 武井: “阪神・淡路大震災における通信サービスの状況” 信学誌, Vol.79, No.1, pp.2-6, 1996/1.
- [2] [http://www.zdnet.co.jp/0109/12/news/e\\_terror1.html](http://www.zdnet.co.jp/0109/12/news/e_terror1.html)
- [3] 毎日新聞 2001年9月13日付 朝刊, 第29面.
- [4] 岡田: “災害等における携帯電話の通信時間規制の提案” 2000年信学会総合大会予稿, B-5-235, 2000/3.
- [5] 岡田: “災害等における携帯電話の通話時間規制の検討” 信学技報, RCS2000-103, pp.81-86, 2000/9.