

災害時の重要通信確保のための研究 —通信時間制限と非常時マルチシステムアクセス—

情報通信研究機構

通信時間制限の研究背景

新潟県中越地震(平成16年10月)において

- ・固定電話で、全国から新潟県への通信需要は、最大50倍となり、全国の中継交換機において**約75%の呼が規制**
- ・携帯電話で、全国から新潟県への通信需要は、最大45倍となり、新潟県の携帯電話基地局において**87.5%の端末からの発信が規制**

厳しい規制により、一般端末の通信は、通信不可能になるが、一般の人の通信需要も強く、通信の機会を与える必要がある。

- ・現在は、重要通信関係機関毎に与えられる**優先端末数には限りがある。**
- ・重要通信の需要は、**災害の規模や、地域によっては、非常に大きなものになる可能性がある。**(例えば、首都圏大地震時の渋谷で、電車が脱線、ビル火災多数、負傷者多数、エレベータ閉じ込め多数のような場合、渋谷エリアの重要通信需要は、膨大なものになる可能性があると考えられる。)

優先端末にも制御を加え、重要通信の高度化を図る必要がある。

災害時に多くの人々が携帯電話を使えるために — 通信時間制限概説 —

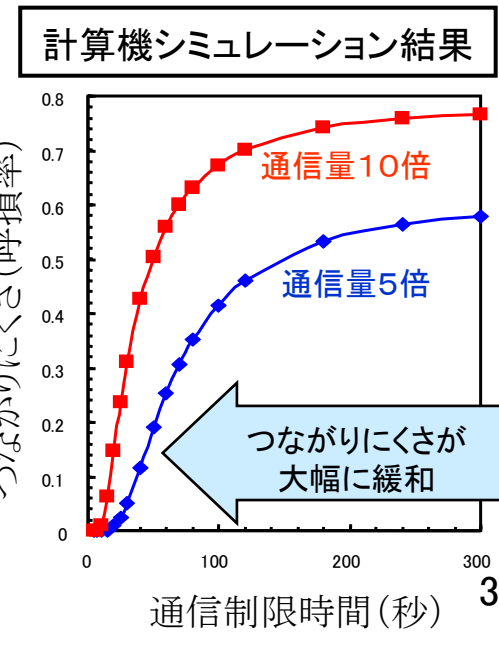
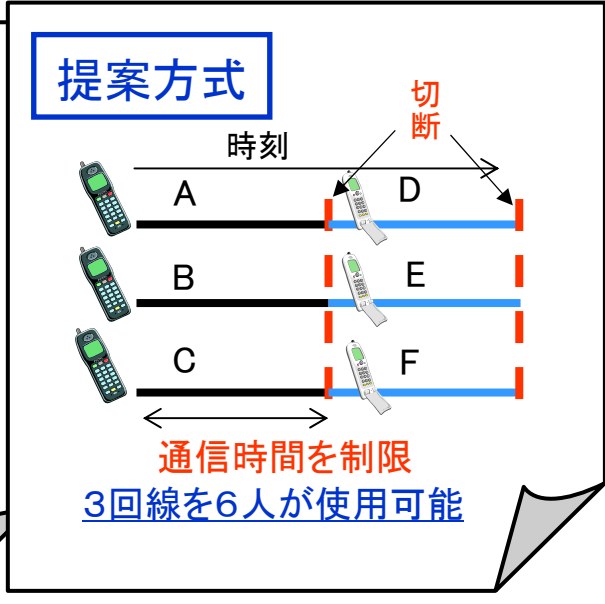
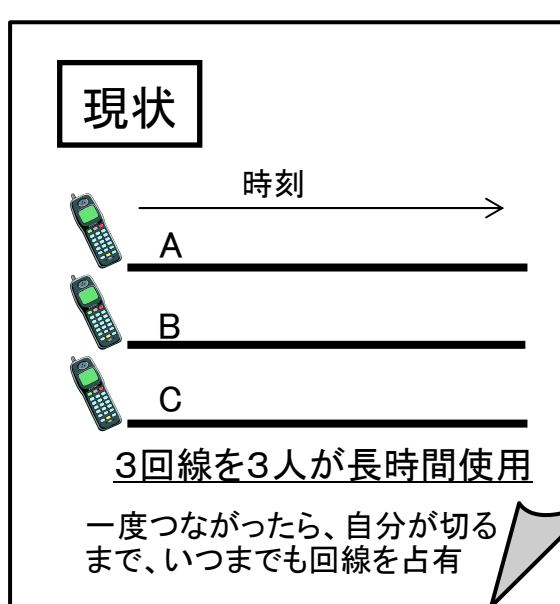
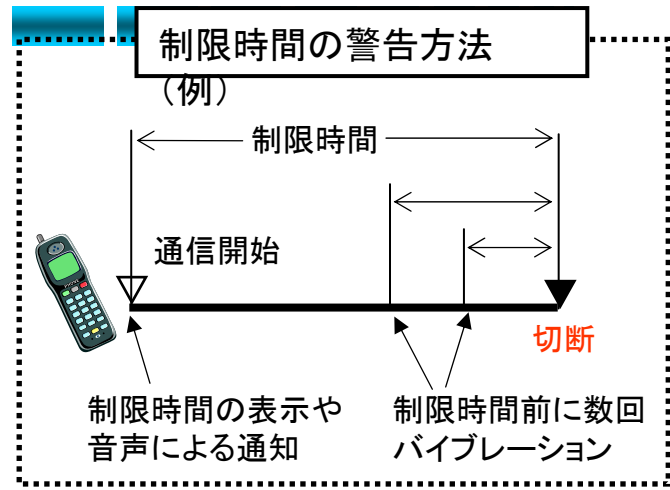
大規模災害時は安否確認等で通信量が急増

携帯電話使える電波は有限で、
一般の多くはつながらない状態に



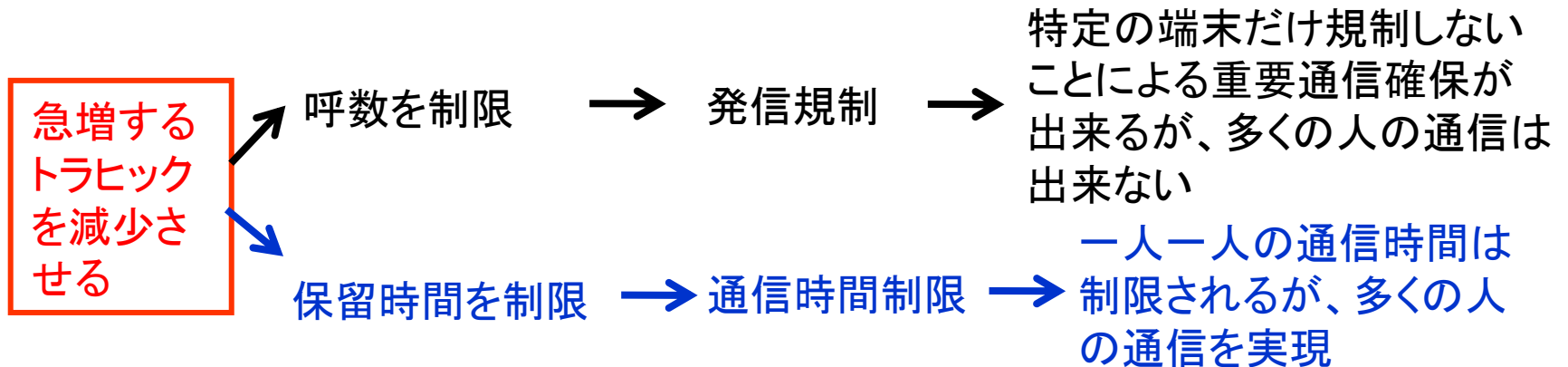
普段持ち歩いている携帯電話で安否確認をしたい！

通信時間を制限して皆で通信回線を分け合い、
短時間でも多くの人々の通信を実現する仕組みが必要



通信時間制限の原理と検討課題

トラヒック(呼量) = 単位時間当たりの呼数 × 平均保留時間



検討課題

(1) どの位の通信時間を制限すれば良いのか → 通信制限時間の見積り

(2) トラヒックに合わせて適切に通信時間を規制するには →

呼量追従型通信時間制限制御

(3) 重要通信確保に役立てる → クラス分け通信時間規制

(4) 交換機容量や信号網の容量の問題 → 発信規制との組合せ

(5) IP環境での検討



通信制限時間の見積りと シミュレーション評価

通信制限時間の見積もり I

通信制限時間をどのくらいにしたら良いか？

↓
呼損率を通常状態と同じにする通信制限時間 α を求める

[仮定]

・呼の発生:ランダム ・通信時間:指数分布 ・移動体の動き:静止
災害によって増加するのは生起呼数で、通信時間は
通常と同じ平均値を持つ指数分布

呼量 $a = \frac{\text{生起呼数 } C \times \text{平均通信時間 } h}{\text{観測時間}}$

生起呼数 C が n 倍

↓
平均通信時間 h を $1/n$ にすると元の呼量に等しくなり、
呼損率も等しくなる。

通信制限時間の見積もりII

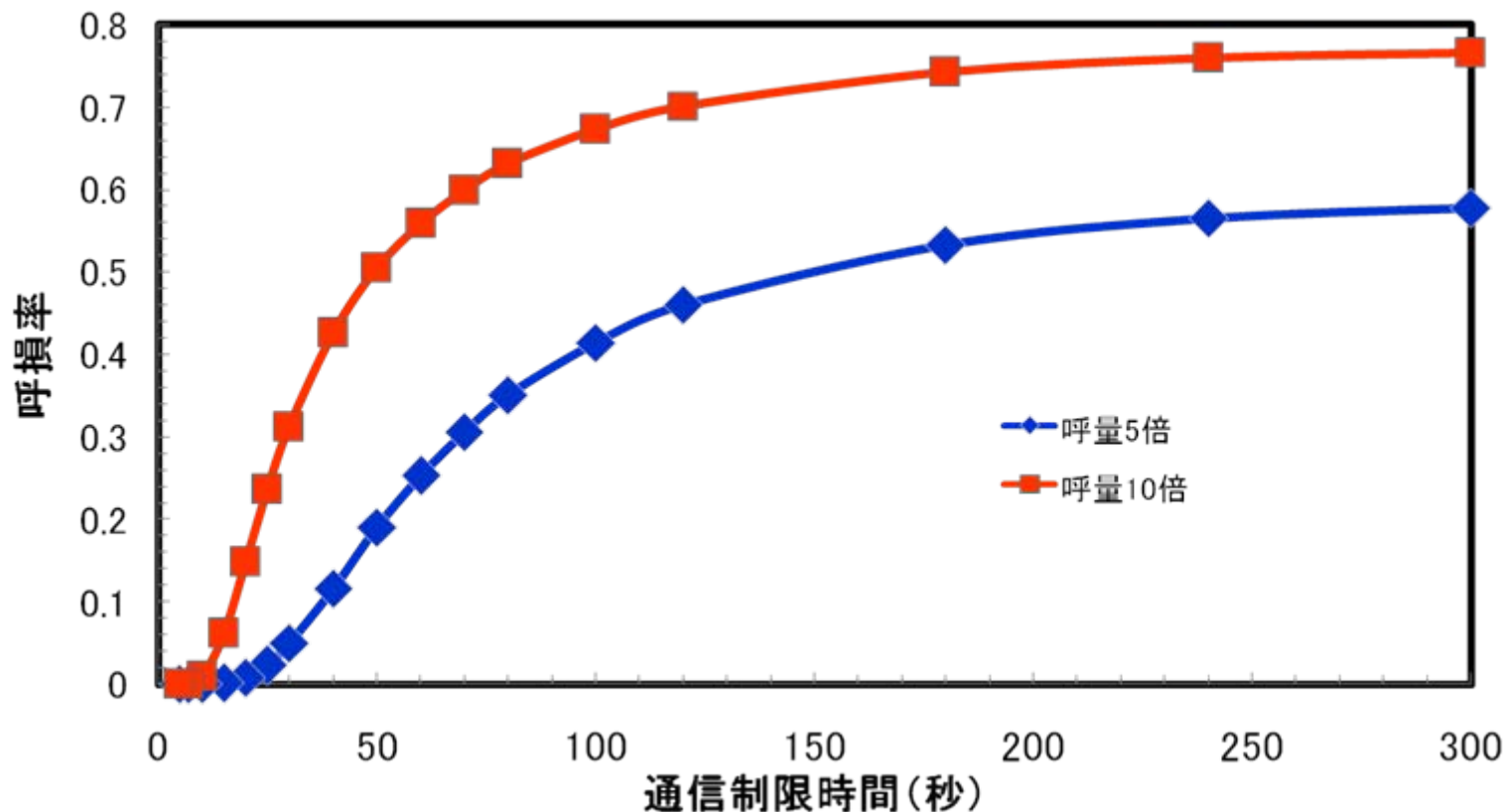
平均通信時間 h を $1/n$ にする通信制限時間 α を求めると

$$\alpha = -1 / \lambda \log_e (1 - \lambda h)$$

例 平均通信時間 $1/\lambda$: 120秒であるとする。呼数が5倍になった場合、平均通信時間を $120/5 = 24$ 秒にすれば同じ呼損率3%となる。計算により、必要な規制時間 $\alpha = 26.77$ 秒が得られる。

移動体が移動し、ハンドオーバー時の強制切断が起こると、強制切断による通信時間の減少が加わるので、誤差が生じる。

シミュレーション評価 呼損率vs. 通信制限時間

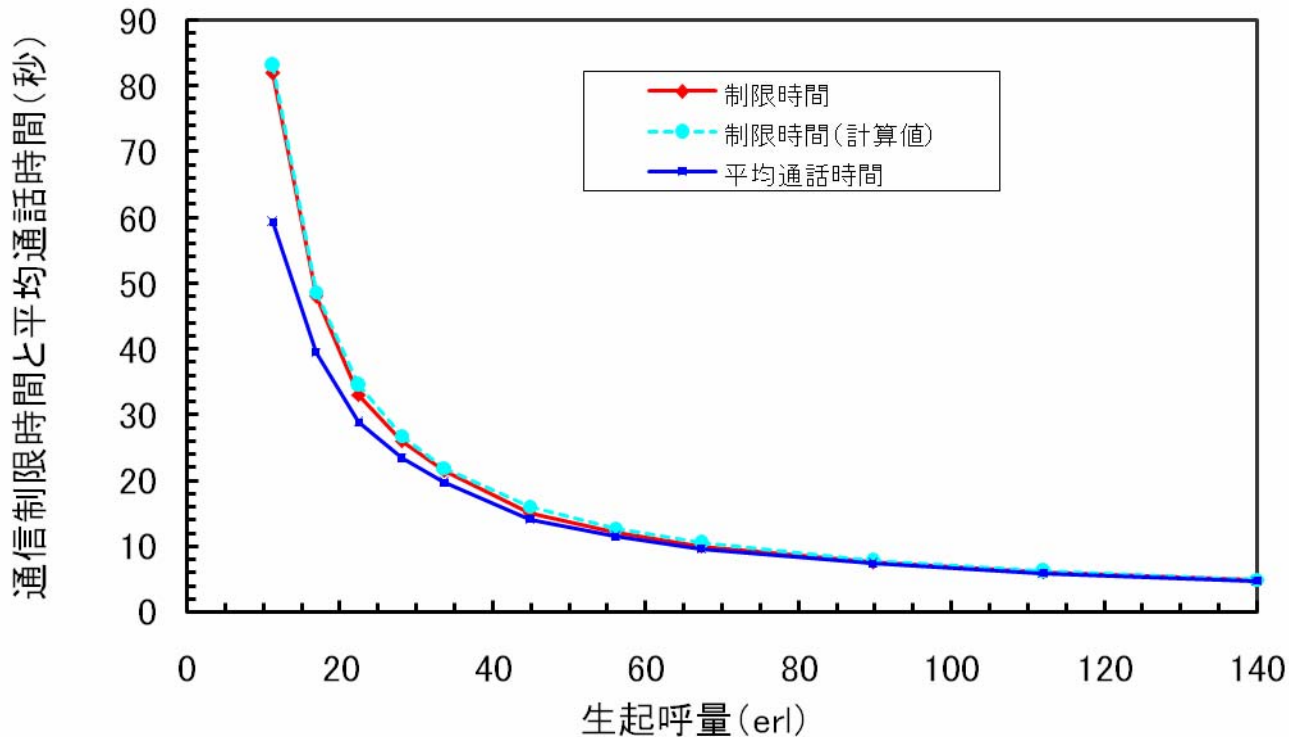


・生起呼量: 通常の生起呼量を5.6erl/cell (呼損率が3%となる値)とし、その5倍と10倍
・規制しない場合の呼損率: 約59% (呼量5倍)
約77% (呼量10倍)

・通信時間制限を適応することで、呼損率が低減。
・通信制限時間26.5秒 (呼量5倍)、12.5秒 (呼量10倍)の時に通常時と同じ呼損率約3%を実現。

シミュレーション評価

呼損率3%を実現する通信制限時間

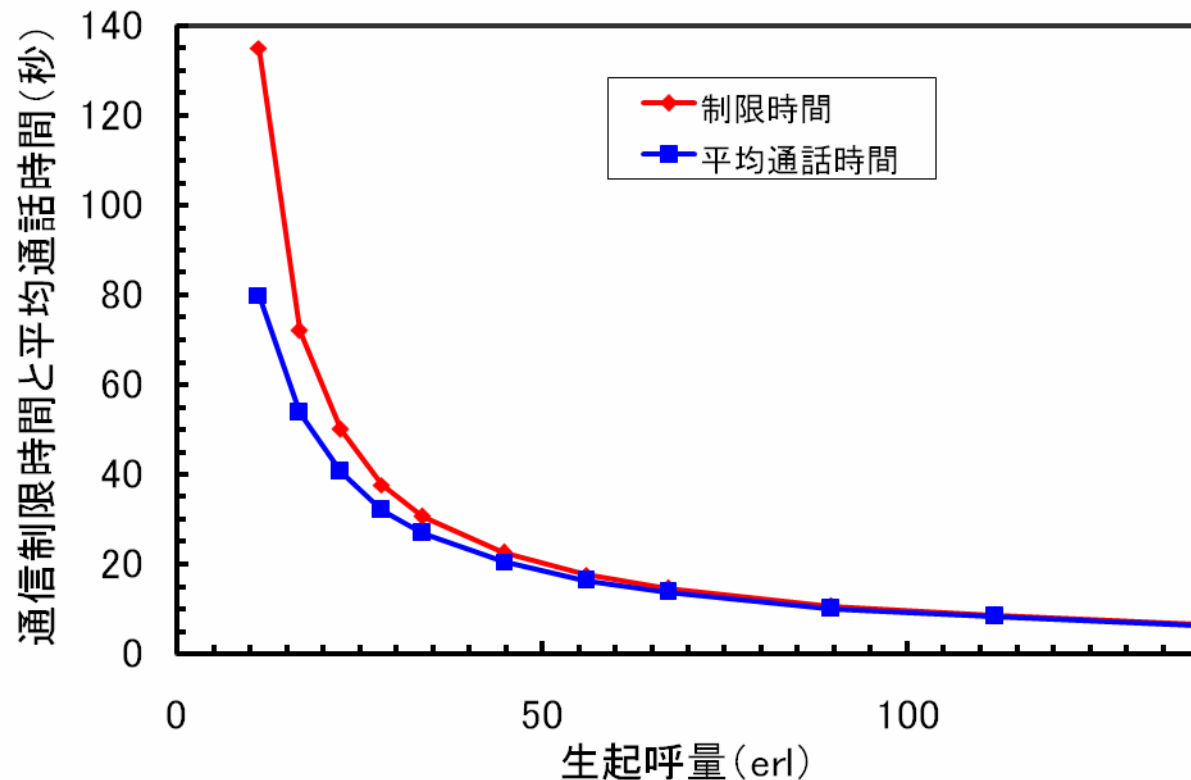


呼損率3%を実現するには、

- ・生起呼量が約25erl(通常の約4.5倍)の時:通話制限時間30秒
- ・生起呼量が約45erl(通常の約8倍)の時 :通話制限時間15秒
- ・生起呼量が約67erl(通常の約12倍)の時 :通話制限時間10秒

シミュレーション評価

呼損率10%を実現する通信制限時間



呼損率10%を実現するには、

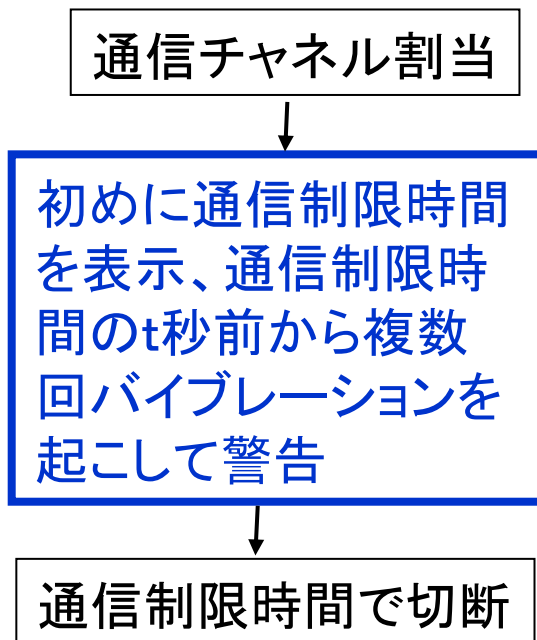
- ・生起呼量が約34erl(通常約6.1倍)の時 :通信制限時間30秒
- ・生起呼量が約63erl(通常約11.3倍)の時:通信制限時間15秒
- ・生起呼量が約90erl(通常約16.1倍)の時:通信制限時間10秒



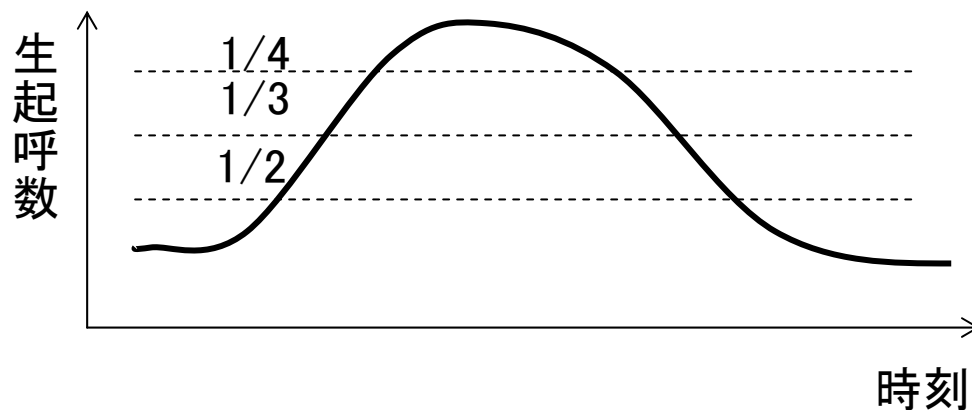
トラヒック変動に追従した 通信制限時間制御

呼量追従型通信時間制限制御 (DHTL: Dynamic Holding Time Limit)

- ・呼量に合わせて適切に通信時間を制限する
- ・現在の制限時間を初めに表示、切断する前に警告し、通話の中途切断を回避



制限時間は、生起呼数をカウントし、通常状態のn倍になったら、通常状態の平均通話時間の1/nに段階的に減少させる。
生起呼数が以前より減少していく時も、同様に段階的に増加(緩和)させる。





通信時間制限による重要通信の確保 —クラス分け通信時間制限—

通信時間制限と重要通信の確保

- ・携帯電話の重要通信の確保は、現在、発信規制で実現。
- ・通信時間制限は、少ない時間でも多くの人が携帯電話で通信できることを目的に提案。

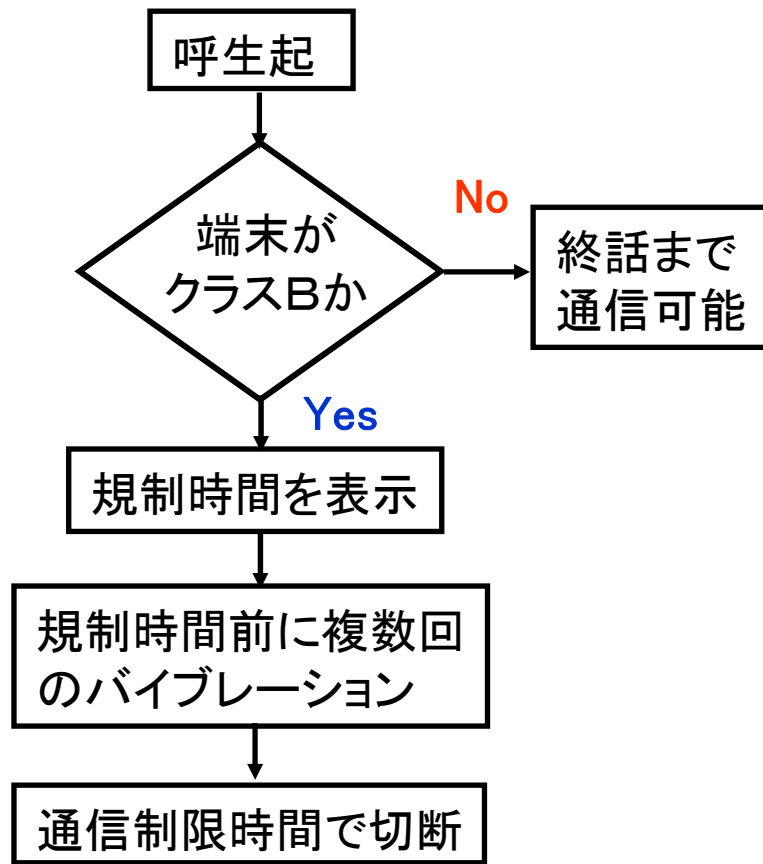
- 1) 一般端末に通信時間制限を加えることで重要通信の確保を図ることを検討
- 2) 今後の優先端末数の増加や災害の規模等によって急増したりすることを考えると、重要通信にも輻輳問題が発生する可能性がある。このため、重要通信内でも通信時間制限を検討

・例えば、A、Bの2クラスに分け、Aクラスには通信時間制限を適応せず、Bクラスに通信時間制限を適応するクラス分け通信時間制限の提案。

- 1) 優先端末と一般端末のクラス分け
- 2) 優先端末(番号)内のクラス分け

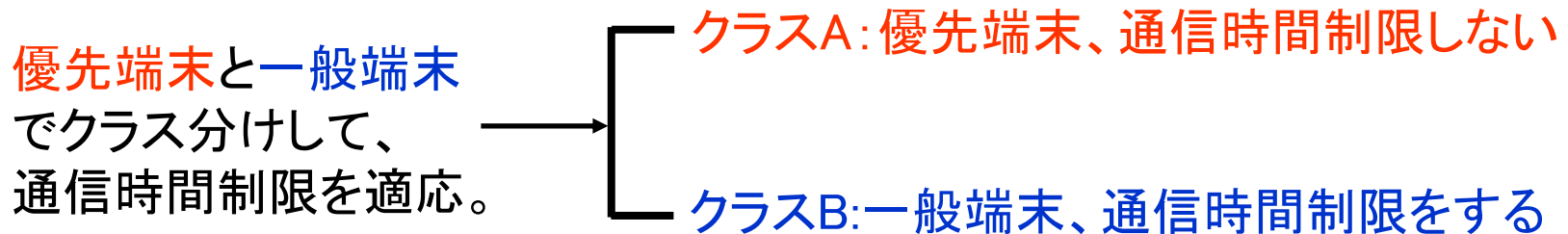
<繋がりにくい状態から、通信時間は制限されるが、繋がりに易い状態へ>

クラス分け通信時間制限



- ・ **クラスA: 通信時間規制をしないもの**
クラスB: 通信時間規制をするもの
- ・ 予め登録されている端末番号、発信番号(110、119、118)によりクラスを判別
- ・ **チャンネルを分けないので、分割損が発生しない。また、クラスAとクラスBの呼損率は同じになる。(接続し易さは同じになる。)**

優先と一般端末クラス分け通信時間制限

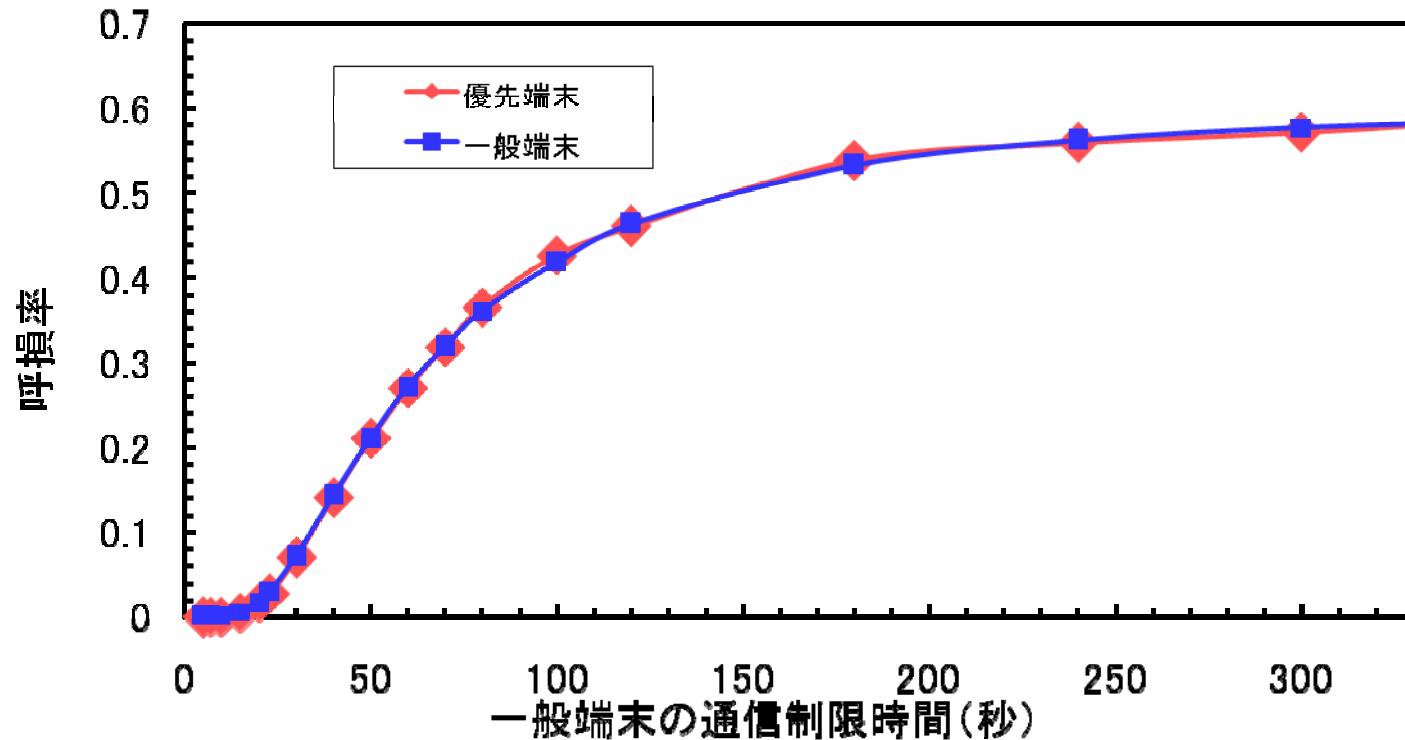


一般端末は、繋がらない状態

一般端末の通信時間は制限されるが、繋がりが易く、優先端末は、通信時間制限がない状態。

シミュレーション評価

呼損率vs.一般端末の通信制限時間

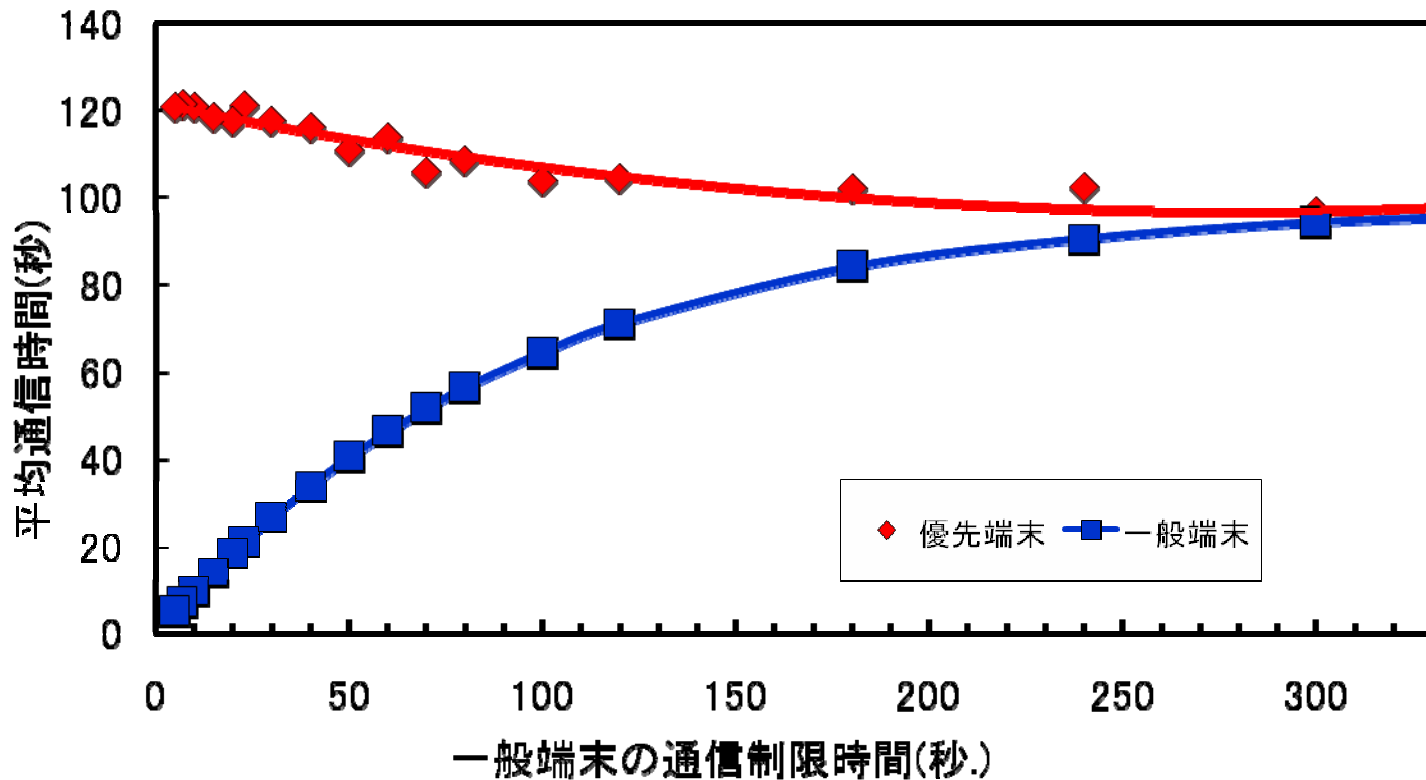


- ・生起呼量: 通常の生起呼量を5.6erl/cell (呼損率が3%となる値)とし、その5倍
- ・優先端末と一般端末の端末数比: 0.03:0.97
- ・規制しない場合の呼損率: 約59%

- ・一般端末に通信時間制限を適応することで呼損率が低減
- ・優先端末と一般端末ともほぼ同じ呼損率。
- ・通信制限時間23秒の時に通常時と同じ呼損率約3%を実現。

シミュレーション評価

平均通信時間vs.一般端末の通信制限時間



- ・一般端末は、通信規制時間とともに平均通信時間が少なくなる。
- ・優先端末は、減少せずに、強制切断が少なくなるため、少し増加する。

優先端末クラス分け通信時間制限

発信規制されない
優先端末を2つに
クラス分け

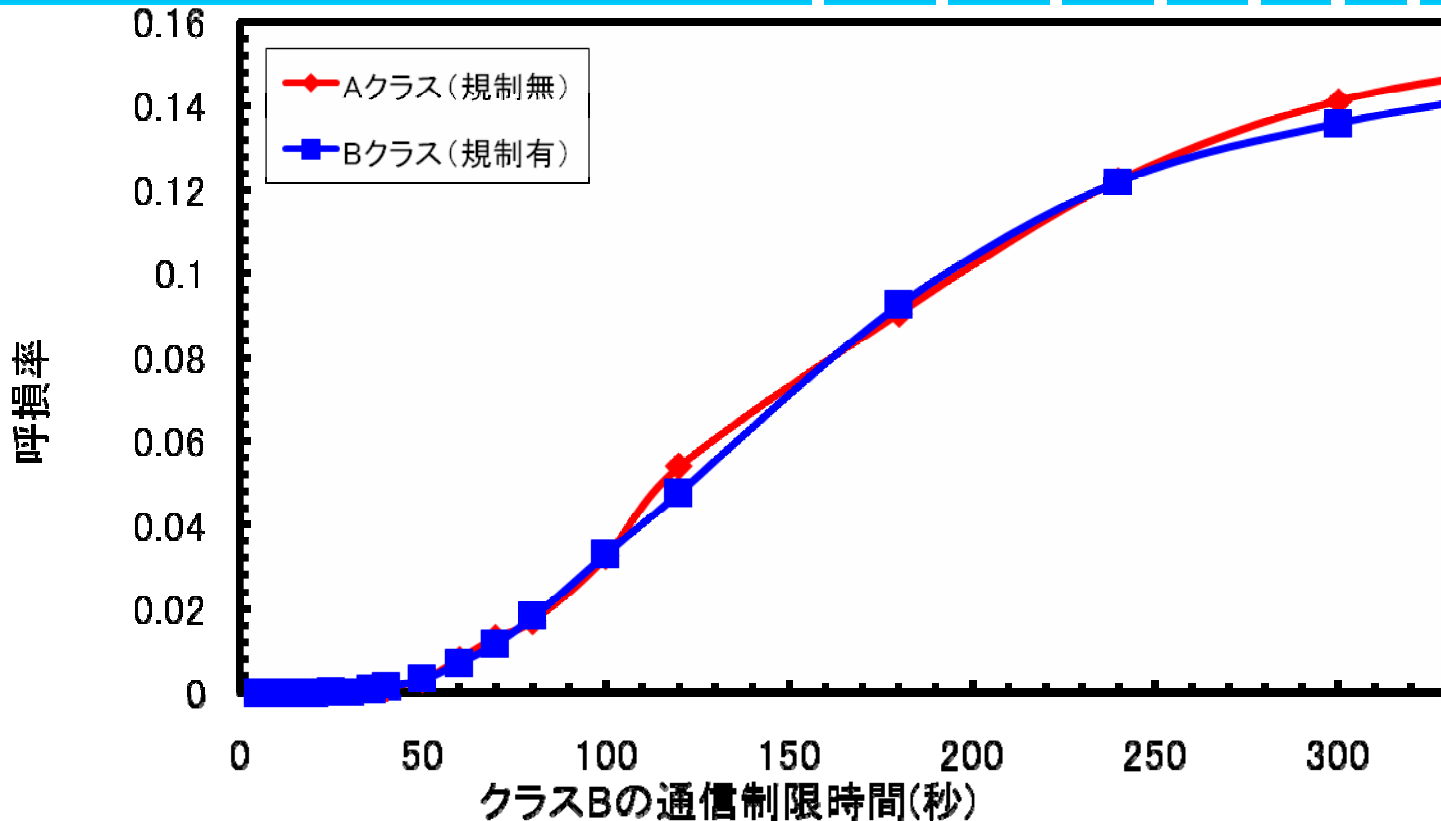
- クラスA: 通信時間制限しないもの
(規制を受け入れられない特別なもの)
- クラスB: 通信時間制限をするもの
(短くてもいいが使いたいもの)

優先端末でも繋がりにくい状態

通信時間は制限されるが、繋がりが易く、
さらに、一部は、通信制限がない状態

シミュレーション評価

呼損率vs.クラスBの通信制限時間

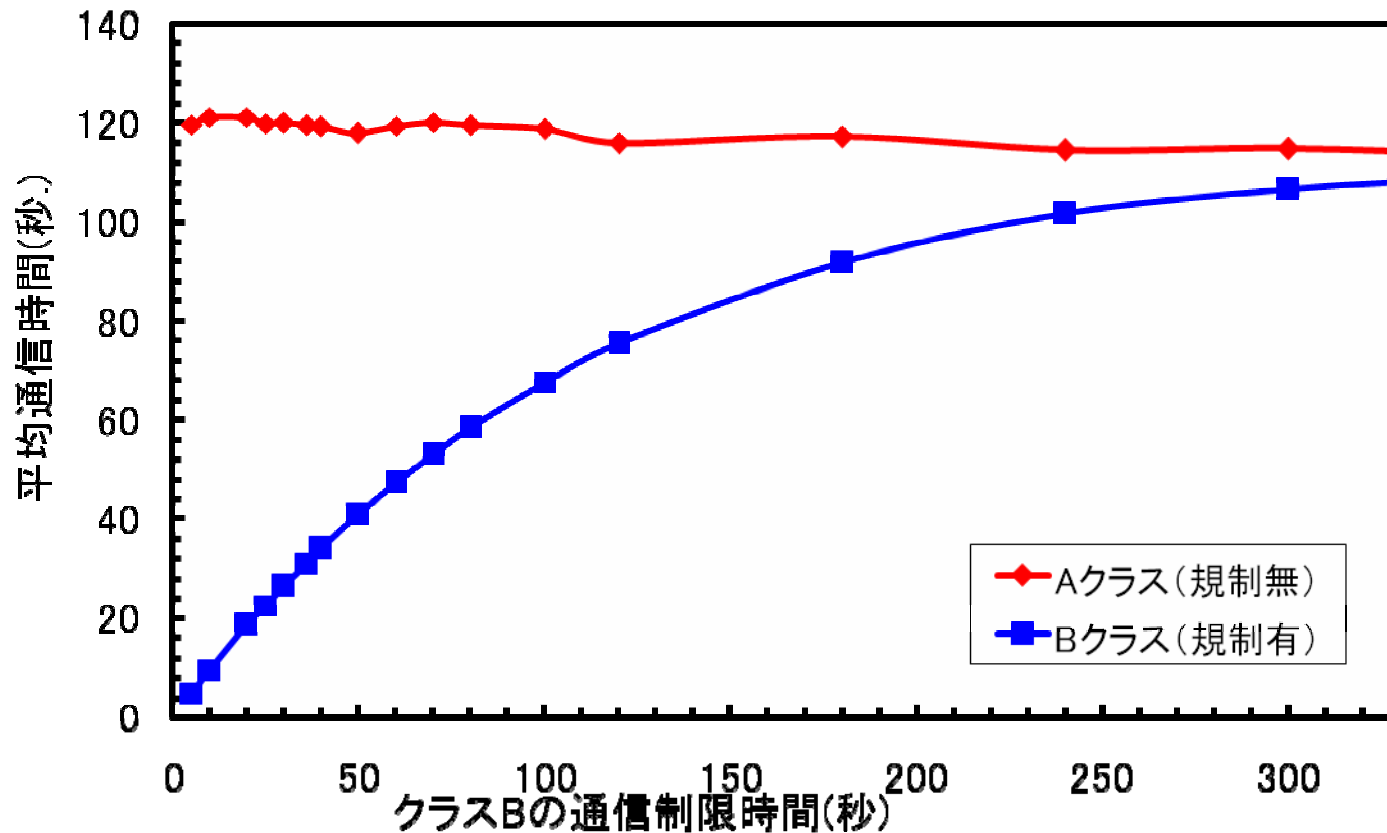


- ・生起呼量: 通常の生起呼量を3.1erl/cell(呼損率が0.1%となる値)とし、3倍の呼量
- ・クラスAとクラスBの端末数比: 0.1:0.9
- ・規制しない場合の呼損率: 約16%

- ・クラスBに通信時間制限を適応することで呼損率が低減。
- ・クラスA, Bともほぼ同じ呼損率。
- ・クラスBの通信規制時間36秒の時に通常時と同じ呼損率約0.1%を実現。

シミュレーション評価

平均通信時間vs.クラスBの通信制限時間



- ・クラスBは、通信制限時間とともに平均通信時間が少なくなる。
- ・クラスAは、減少せずに、強制切断が少なくなるため、少し増加する。



発信規制と通信時間制限の組合せ

発信規制と通信時間制限の特徴

発信規制

長所

- ・交換機容量や信号網の容量以内に抑えられる。
- ・重要通信確保に利用出来る。

短所

- ・多くの一般のユーザーの通信が出来ない。
- ・通信できないユーザーが通信できるまで掛け直すため、なかなか通信需要自体が減らない。

通信時間制限

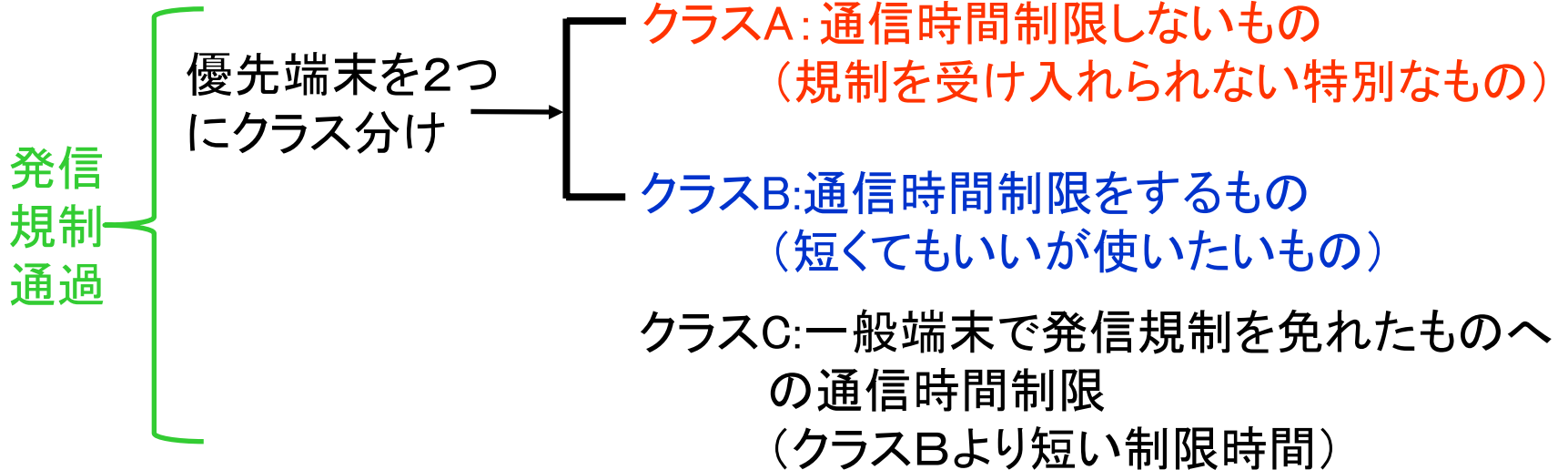
長所

- ・一般のユーザーが多く通信が可能。
- ・通信できたユーザーは、満足して掛け直ししなくなるため、通信需要自体の減少が見込まれる。
- ・重要通信確保に利用出来る。
- ・重要通信関係機関内の一般端末から優先端末への通信も掛かりやすくなる。

短所

- ・通信時間が短い。
- ・交換機容量や信号網の容量以内での制御にする必要有り。

発信規制と通信時間制限の協調



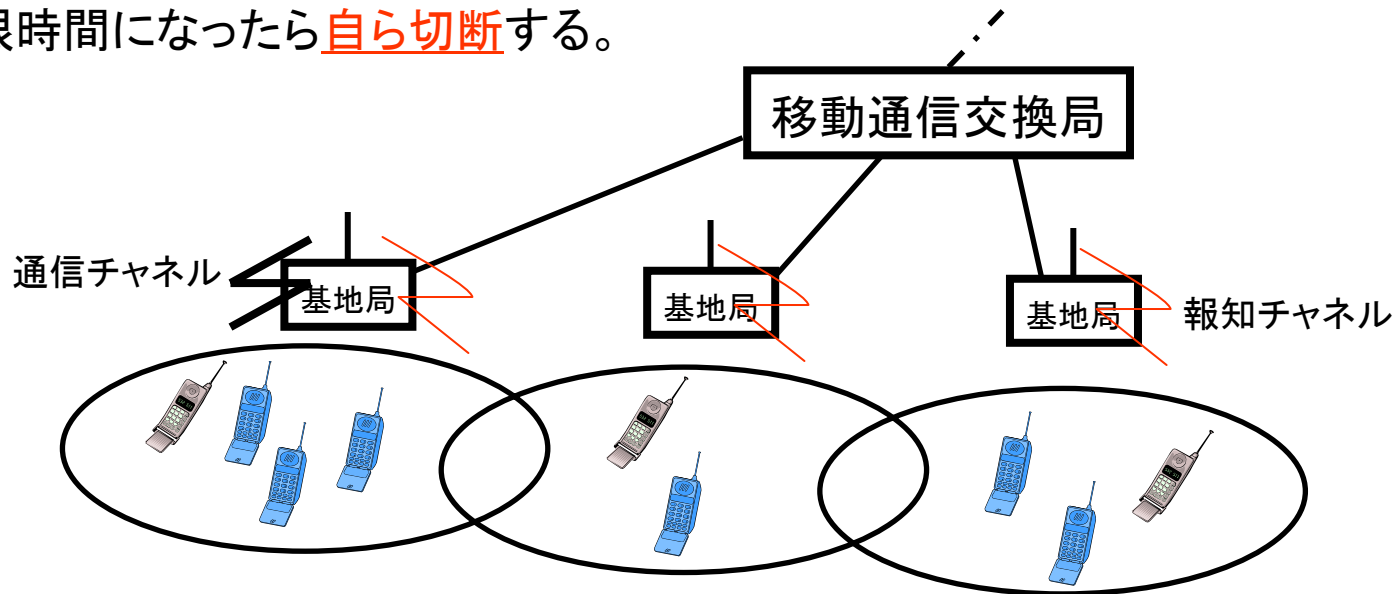
優先端末でも繋がりにくい状態

通信時間は二段階で制限されるが、交換機容量や信号網の容量以内で、一般端末も通信機会が多くあり、さらに、特別な優先端末は通信制限がない状態

実施制御方法の例

—端末との協調制御—

- 移動通信交換局(オペレーションセンターでの処理も考えられる。)
 - ・配下の基地局が受ける生起呼数をカウント。
 - ・非常時(規制中)であることや通信制限時間を**報知チャンネル**を使って報知する。
- 端末(端末に非常時モードの動作をインストールして置く)
 - ・通信開始時に報知情報から通信制限時間を表示。
 - ・通信制限時間前にバイブレーション等を起こす。
 - ・通信制限時間になったら**自ら切断**する。



通信時間制限の検討課題

【通信時間制限】

- (1) 通信時間制限へのコンセンサス
 - ・どのくらいの規制時間まで許容できるのかの調査及び検討
- (2) 実施制御方法の検討
 - ・ネットワーク側で制御するか、端末にソフトを組み込んでネットワーク側からの報知情報に基づき自律的に規制時間で切断させるかなど制御方法の検討
- (3) 切断警告手段の検討

【優先端末クラス分通信時間制限】

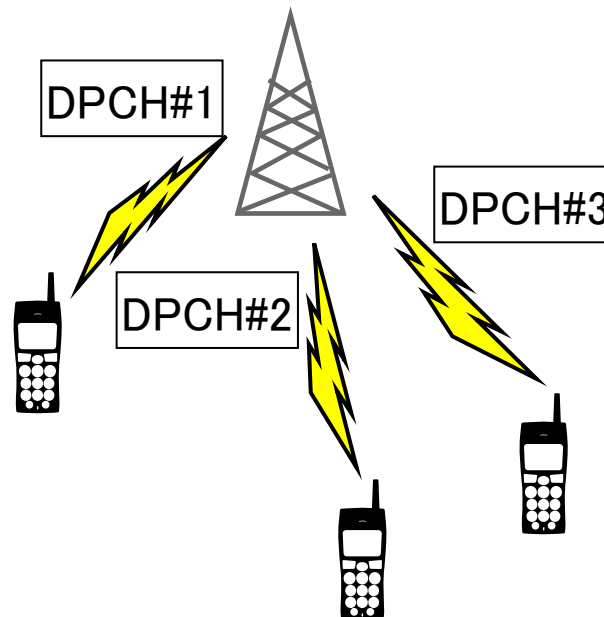
- (1) クラス分けへのコンセンサス
 - ・通信時間を規制することが適切でない対象機関の調査及び検討
- (2) 重要通信呼の特性
 - ・どれだけの保留時間になっているかの調査及び検討(機関毎も含む)
 - ・呼損率をどのくらいに設定する必要があるのかの調査及び検討
- (3) 通信時間制限の効果
 - ・重要通信の各クラスの呼量は、どのくらいの比率で増え、どのくらいの通信時間規制の効果があるのかの調査及び検討
- (4) 大規模シミュレーション等による詳細な検討が必要

携帯IP電話システムでの検討I

ユーザごとに個別チャネルを設定するDPCH
(Dedicated Physical Channel)を使用し、VoIP
パケットを流す場合

無線区間のQoSが保てる

通信時間規制の効果は、回線交換
の場合と同様と見込まれるが、
シミュレーション検討等は今後の研
究課題



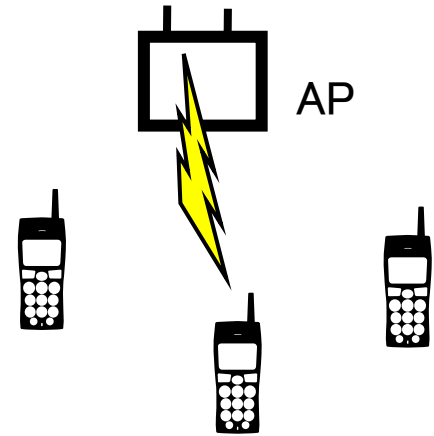
携帯IP電話システムでの検討II

共通チャネルを各端末が使用する場合
(無線LANのCSMA等)

IEEE802.11e

- ・EDCA(Enhanced Distributed Channel Access):
Voice, Videoなど4つのアクセスカテゴリに呼を分類し、送信間隔の優先制御により、QoSを保障

- ・HCCA(Hybrid coordination function Controlled Channel Access):
APが送信権となるTXOP(Transmission Opportunity)を調整して割り当てることにより、QoSを保障



通信時間制限のトラヒック減少効果は、
見込まれるが、今後の研究課題



非常時マルチシステムアクセス
(Emergency Multi-System Access, EMSA)
による携帯電話の重要通信確保

事業者の枠を超える問題意識

- ・地震の時に停波する基地局は、各事業者で異なる。(新潟県中越地震では、発災当日、A社で、24局、B社で、6局、C社で、61局となった。)
- ・装置故障などが起きた事業者では、優先接続ができない。(H17年3月の福岡県西方沖地震の時、A社の災害時優先電話が、制御装置故障のため掛かりにくくなった。)
- ・災害時の通信トラヒックは、各事業者で異なる。(新潟県中越地震では、発災直後からの6時間、A社で、通常時の45倍、B社で、17倍、C社で、3~4倍となった。)
- ・重要通信機関の優先電話端末の増加や、一般端末からの緊急通報によるトラヒックの増加により、今後は、優先携帯電話でも輻輳が問題になる可能性大。
- ・優先携帯端末は、各事業者ネットワークの中での優先接続である。



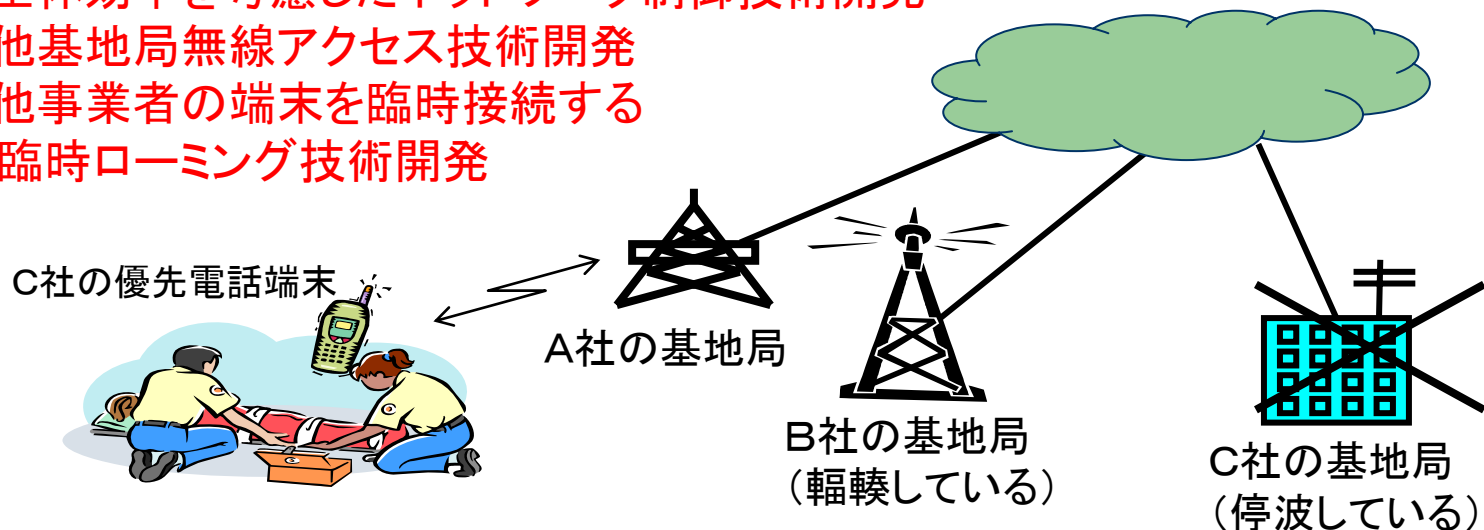
- ・混雑している事業者の基地局や故障などした基地局のエリアにいる優先電話端末からの重要通信や一般端末からの緊急通信を高信頼に確保
- ・事業者枠を超えた、通信資源の有効利用


EMSAによる重要通信確保の高信頼化

大規模災害などの非常時には、優先電話端末及び緊急通報呼を発生させる端末は、普段接続する事業者のネットワークの基地局にアクセス出来なければ、他事業者のネットワークの基地局にアクセスし通信出来るマルチシステムアクセスを可能にし、接続の高信頼性を確保する。

検討課題

- ・EMSAの効果の検証
- ・事業者を跨ったネットワークでの重要通信
トラフィック設計方法の確立
- ・全体効率を考慮したネットワーク制御技術開発
- ・他基地局無線アクセス技術開発
- ・他事業者の端末を臨時接続する
臨時ローミング技術開発





安心・安全な社会の実現に向けた情
報通信技術のあり方に関する調査
研究会
報告書
平成19年3月19日

概要

激甚災害等による広範囲なネットワーク障害、アクセス障害の状況下においても重要通信の確保を可能とするネットワーク制御技術、アクセス制御技術の研究開発を行い、実証実験にて効果を検証する。

対応ニーズ

災害対策機関の情報伝送

- ・災害用ネットワーク特有の条件を考慮した制御方式を実現することで、耐災害性の向上、確実な相互通信を実現
- ・災害時において、重要度の高い通信をより確実に確保

研究開発の必要性

〔現状の技術的課題〕

- (対策機関の基幹網について)
- ・各種有線ネットワーク(光ファイバなど)や無線ネットワーク(マイクロ波や衛星通信など)が各々独立したネットワークとして動作
- (携帯電話網について)
- ・優先携帯端末は、無線チャンネルが全部塞がっているときに次に空いたチャンネルを重要通信に優先的に割り当てる優先接続
 - ・装置故障などが起きた事業者では、優先接続ができない

研究開発

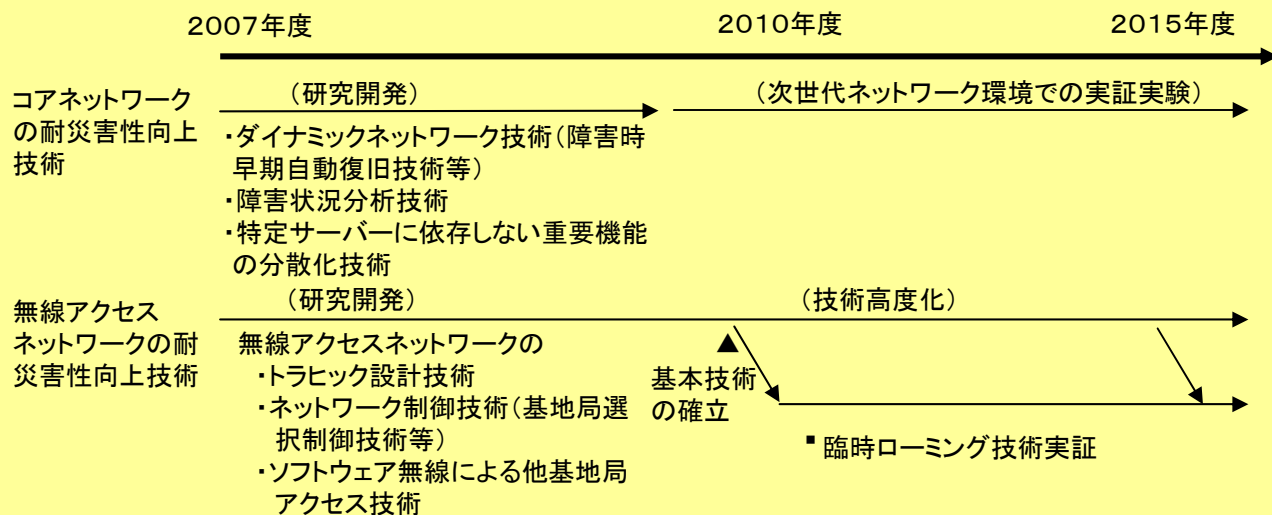
〔到達目標〕

- ・災害用基幹ネットワークに関し、以下の技術を用いて、耐災害性を向上
 - －ダイナミックネットワーク技術(障害時早期自動復旧技術等)
 - －障害状況分析技術
 - －特定サーバーに依存しない重要機能の分散化技術
- ・ソフトウェア無線技術(コグニティブ無線技術)やネットワーク制御技術などにより、無線アクセスネットワークの通信資源を最大限有効活用して、災害時にあるネットワークが障害を受けても携帯電話の高い可用性を実現するための共通基盤的な技術を開発

ロードマップ

・オーバーレイネットワーク技術を用いたダイナミックネットワーク構築技術の研究開発と並行して、災害時に多数発生する障害箇所を容易に発見・修復対応可能とする障害状況分析技術や特定サーバーに依存しない重要機能の分散化技術の開発を推進。

・2010年までにトラヒック設計技術、適切基地局選択制御技術、ソフトウェア無線(コグニティブ無線)による他基地局アクセス技術等の非常時におけるマルチシステムアクセスの基本的な制御技術を確立。





付 録

通信制限時間の見積式導出

[仮定]

・呼の発生:ランダム ・通信時間:指数分布 ・移動体の動き:静止
災害によって増加するのは生起呼数で、通信時間は
通常と同じ平均値を持つ指数分布

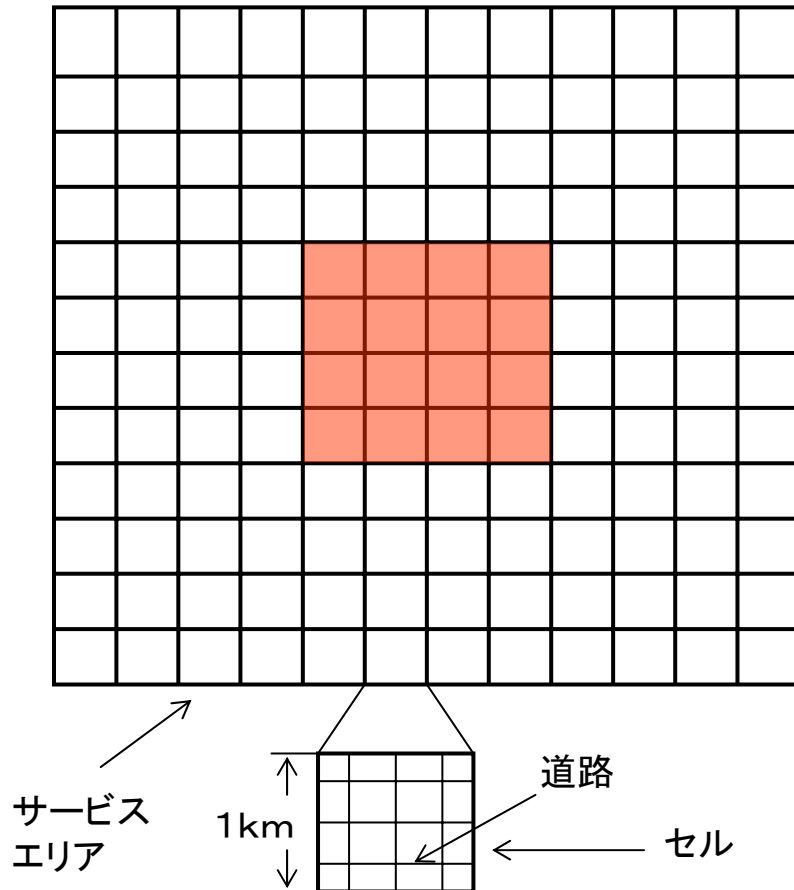
平均通信時間 h を $1/n$ にする通信制限時間 α を求める
通信制限時間 α の時の平均通信時間は、通信時間が通信制限時間 α
までと、 α 以上とに分けて考える。制限の無い通信時間は、指数分布
を仮定しているので、通常時の平均通信時間を $1/\lambda$ とすると、
以下のようなになる。

$$h = \int_0^{\alpha} x \lambda e^{-\lambda x} dx + \int_{\alpha}^{\infty} \alpha \lambda e^{-\lambda x} dx$$

これから α を計算すると、以下の式が得られる。

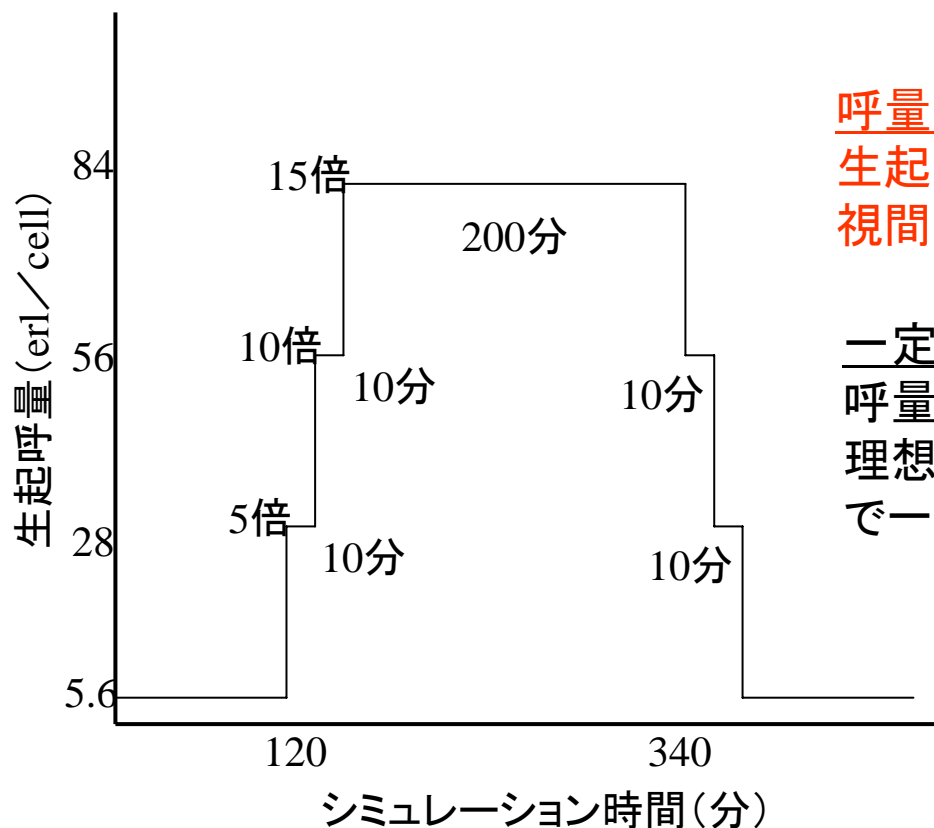
$$\underline{\alpha = -1/\lambda \log_e(1 - \lambda h)}$$

評価に用いたシミュレーションモデル



- ・サービスエリア: 2次元格子モデル
(12*12セル)
- ・セルの形状: 正方形で一辺の長さ1km
- ・統計対象エリア: 中央部16セル
- ・呼の発生: ランダム
- ・繰り返しセル数: 16セル
- ・チャンネル数: 160チャンネル
(1セル当たり10チャンネル)
- ・移動体の速さ: 0~20km/h
- ・移動体の方向: 4方向
- ・チャンネル割当: 固定チャンネル割当法
- ・規制しない場合の通信時間:
平均120秒の指数分布
- ・生起呼数の監視間隔: 120秒

呼量追従型通信時間制限制御のシミュレーション評価I —呼量モデル—



呼量追従規制:

生起呼数が2倍となった時から、監視間隔の生起呼数に応じて規制。

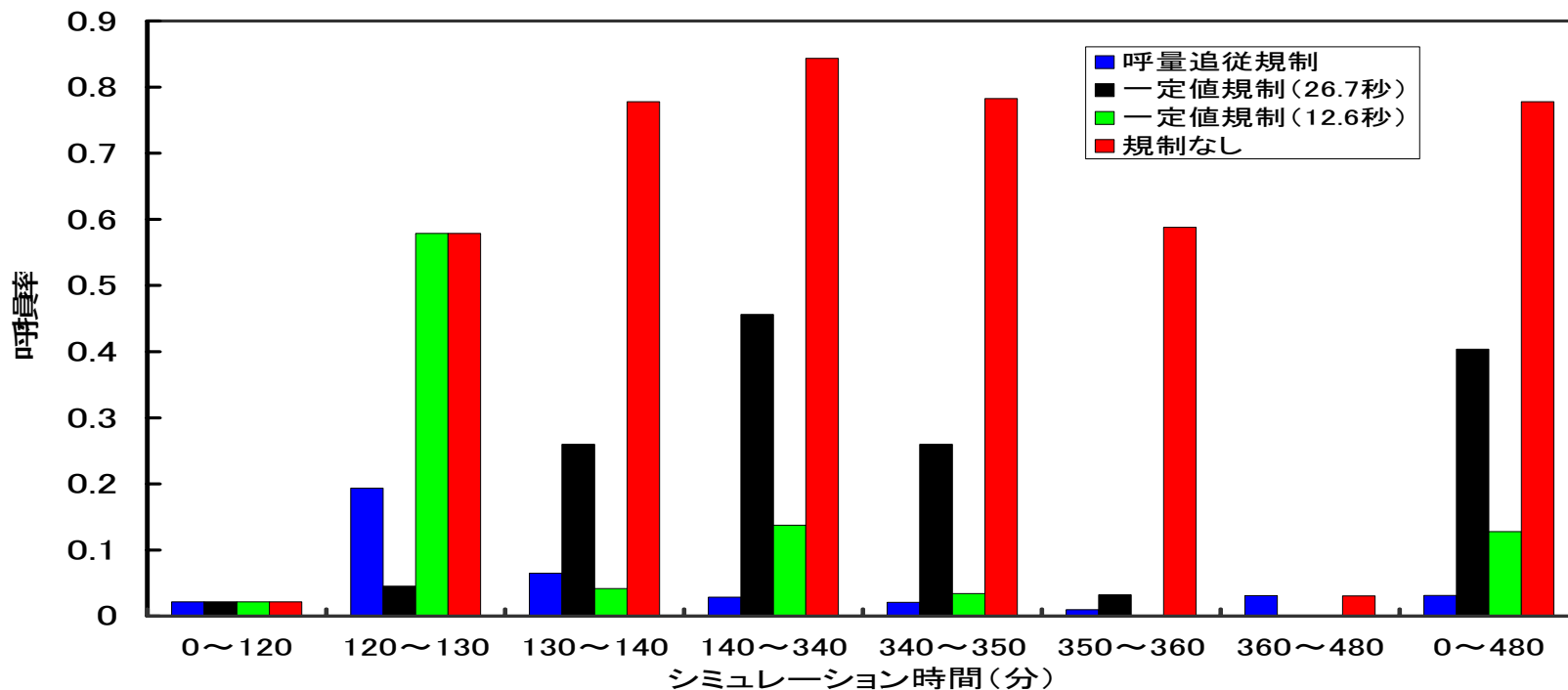
一定値規制:

呼量がある値となった時点から、その時の理想的な規制時間(呼損率を3%にする)で一定値規制。

その他のシミュレーション条件は、他と同じ

呼量追従型通信時間制限制御のシミュレーション評価II

—呼損率特性—



- ・全体を通して見ると呼量追従規制制御が最も低くなる。
- ・一定値規制は、目的の呼量の時は最もよいが、呼量変動に対応せず呼量減少時は過規制になる等が起こる。