

再試行トラヒックが異なるサービス時間を持つ場合の 準静的アプローチ適用可能性の研究

石井 良幸[†] 渡部 康平[†] 本間 裕大[†] 会田 雅樹[†]

[†] 首都大学東京大学院 システムデザイン研究科

〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 6-6

E-mail: [†]{ishii-yoshiyuki,watabe-kouhei,yudai,maida}@sd.tmu.ac.jp

あらまし 我々はこれまで、再試行トラヒックを考慮した通信システムの安定性を調べる手法として「準静的アプローチ」を提案してきた。準静的アプローチとは、再試行トラヒックをユーザとシステムの相互作用と捉え、両者の動作速度に大きな違いがあることを利用してシステムの安定性を評価するための準静的な分析法である。これまでの研究では、再試行トラヒックを含む全ての入力転送系において同じサービス時間分布を持つ場合の安定条件が調べられてきた。しかし、実際には再試行を含む全ての入力トラヒックが同じサービス時間分布を持つのは現実的とはいえない。本報告では、再試行トラヒックの動作特性について考察を行った後、再試行トラヒックが異なるサービス時間分布を持つと想定した場合に適用可能な準静的アプローチの拡張法について検討する。

キーワード 再試行トラヒック, 輻輳, 準静的アプローチ

Quasi-static approach for retrial traffic with different service time

Yoshiyuki ISHII[†], Kohei WATABE[†], Yudai HONMA[†], and Masaki AIDA[†]

[†] Graduate School of System Design, Tokyo Metropolitan University

6-6, Asahigaoka, Hino-shi, Tokyo 191-0065, Japan

E-mail: [†]{ishii-yoshiyuki,watabe-kouhei,yudai,maida}@sd.tmu.ac.jp

Abstract We have proposed “Quasi-static approach” as a analysis method to evaluate the stability of the telecommunication system with retry traffic. In our previous studies, all traffic including retrial traffic have the same holding-time distribution of calls. However, it is not natural to assume that all the calls including retries have the same holding-time distribution. In this report, we consider a generalization of the quasi-static approach for retry traffic with different holding-time distributions.

Key words retry traffic, congestion, quasi-static approach

1. はじめに

インターネットでは、転送系リソースの過負荷による輻輳だけでなく、制御系リソースの過負荷による輻輳が問題となってきた。近年相次いで報告された商用 IP 電話システムの障害は、制御系の過負荷が原因の一つになっている可能性が高い。特に、ユーザによる再試行動作が制御系の性能に与える影響は大きく、再試行トラヒックによる輻輳を回避することは重要な課題である。一般に再試行トラヒックは、転送系のリソース不足により通話チャネルの確保要求が破棄されることによるものと、制御系の処理能力不足により呼処理の応答時間が増大することに起因する心理的なものの双方の要因により発生す

る。再試行トラヒックが増大すると、それらは再びネットワークリソースを消費するため、転送系と制御系に起因する再試行トラヒックを共に考慮したりリソース管理が求められる。これまで、これらの再試行トラヒックを考慮した通信システムの安定性を調べる手法として、著者らは準静的アプローチを提案してきた [1], [2]。準静的アプローチとは、システムの動作速度がユーザの体感可能な時間スケールに比べて極めて速いという条件を用い、ユーザが体感するネットワーク状態はある時間内にシステムが示す挙動の平均的な振舞いであると看做し、システムの経時変化をユーザの体感可能な時間スケールを単位とした離散時間でモデル化する手法である。これまでの研究では、再試行トラヒックを含む全ての入力転送系において同じサービ

ス時間分布 (保留時間分布) を持つ場合を対象とした研究が行われてきた。しかし、再試行を含む全ての入力トラヒックが同じサービス時間分布を持つと仮定するのは一般的ではない。特に、制御系の処理能力不足によるユーザの心理的な要因に起因する再試行トラヒックの発生は、既に入力しているサービス要求を取り消すことなく重複して行われるため、転送系において異なるサービス時間分布を持つとしたモデル化を行う必要がある。本稿では、制御系からの再試行トラヒックが異なるサービス時間分布を持つ場合を想定し、準静的アプローチを適用するための拡張法について考察する。

本稿の構成は以下の通りである。まず、2 節で従来の準静的アプローチの概要を説明し、3 節では再試行トラヒックの動作特性について考察を行った後、再試行トラヒックが異なるサービス時間分布を持つ場合に対して適用可能な準静的アプローチの拡張法について議論する。そして、4 節で拡張法の適用評価を行い、結果について考察する。最後に、5 節でまとめる。

2. 準静的アプローチの概要

2.1 基本モデル

転送系と制御系それぞれのリソース不足に起因する再試行トラヒックを記述するため、転送系の $M/M/s/s$ と制御系の $M/M/1$ を直列に組み合わせたモデルを考える (図 1 参照)。通話要求が Poisson 過程で発生し、まずは制御系の $M/M/1$ に入力する。ここで呼処理が行われた後、通話要求は後段に配した転送系の $M/M/s/s$ に入力し、サーバ (通話チャネルを表す) の一つを保留時間に渡って占有して通話を行い、通話終了後はサーバを開放して退去する。このシステムにおいて、二種類の再試行トラヒックを考える。通話要求が転送系に到着した際に、 $M/G/s/s$ のサーバが全て使用中である場合に通話チャネルの確保ができず、通話要求が棄却される。このとき、棄却された通話要求は retrial queue に格納され、ある時間だけ待機した後、再び通話要求としてシステムに入力する動作を考える。これが一種類目の再試行トラヒックであり、転送系リソースの不足により発生するものである。このような、転送系からの再試行トラヒックを考慮したモデルは $M/G/s/s$ retrial queue model と呼ばれ、既に多くの研究がなされている [3], [4]。二種類目の再試行トラヒックは制御系から発生するものである。入力する通話要求が増大して呼処理のサーバ能力が不足すると、呼処理の応答時間が増大する。これは制御系の $M/M/1$ の系内客数が増大することに対応する。このとき、呼処理を待ちきれないという心理的な要因により、ユーザが再度通話要求を発生させることにより、制御系からの再試行トラヒックとなる。制御系からの再試行トラヒックのレートについては、後続の準静的な再試行トラヒックモデルの説明の中で詳細を記す。また、制御系からの再試行トラヒックの発生は、既に入力している通話要求を取り消すことなく行われることに注意する。

2.2 準静的な再試行トラヒックモデル

まず、図 1 の制御系部分から発生する再試行トラヒックの生起特性について考察する。一般に、大規模な通信システムでは、

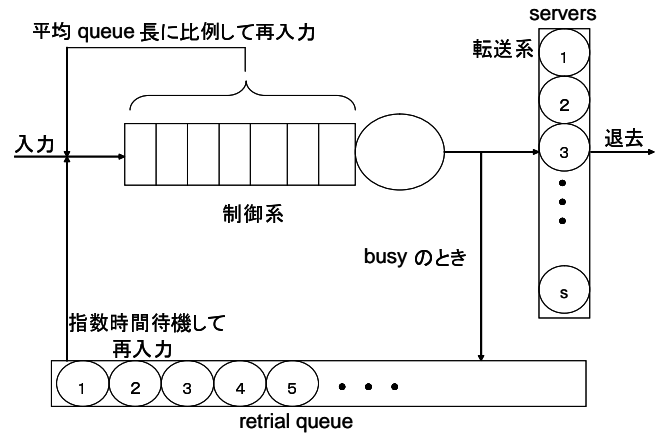


図 1 転送系及び制御系を組み合わせたモデル

ユーザが体感可能な時間スケールに比べて極めて速い状態変化が起こっており、システムの瞬間の状態がユーザの動作に影響を与えるとは考えられない。従って、呼処理時間の増大によってユーザが待ちきれずに再試行を行う動作を考える場合、ユーザは制御系の系内客数の瞬間の値に敏感に反応しているのではなく、人間が動作したり体感したりすることができる比較的長い時間スケールでシステムの状態に反応していると考えのが自然である。そこで、人間が反応したり体感したりすることができる時間スケールを T を導入し、人間は T より短い時間スケールの変化は認識できないとする。また、 T の間に非常に数多くの状態遷移が起こるようなシステムを考える。これは、システムが非常に高速に動作していることを意味する。 T がシステムにとって十分長い時間であり、その間にほぼ定常状態に達するとすれば、ユーザからの再試行トラヒックは、ユーザが観測可能な T 時間の「定常状態」における平均的な振舞いで決定され、その再試行トラヒックの変化によってシステムの変化が駆動される。つまり、ユーザの再試行トラヒックは T より長い時間スケールでシステムをゆっくり変化させていると考えることにする。

以上の考え方に沿って、本稿では、制御系および転送系からの再試行トラヒックの発生に関して、以下のような準静的な取り扱いを行う。

- 適当な時間スケール T 以下では制御系システムは「ほぼ」定常状態とみなせるとする。
- T を時間の単位として離散時間で制御系システムの時間変化を扱う。
- 離散化されたある時刻 $t = k$ での制御系からの再試行トラヒックは、時刻 $t = k - 1$ での制御系システムの定常状態確率から決まる平均系内客数に比例するとする。
- ある時刻 $t = k$ での転送系システムからの再試行トラヒックは、時刻 $t = k - 1$ での転送系システムの定常状態確率から決まる呼損率に比例するとする。

文献 [6] では、人間の体感できる時間スケールを調べて、い

くつかのケースに分類した研究がなされている．これより，人間が処理待ち時間の増大を体感できる程度の時間スケールであるとする，本稿では時間スケール $T = 1$ 秒程度とする．

準静的な取り扱いを行うことで，時刻 $t = k$ での再試行トラヒックを含む入力負荷を λ_k とするとき，時刻 $t = k + 1$ の入力レート λ_{k+1} は以下のように書くことができる．

$$\lambda_{k+1} = \lambda_0 + \lambda_k B(\rho_k, s) + \varepsilon \frac{\rho_k/a}{1 - \rho_k/a} \quad (1)$$

ここで， λ_0 は再試行を含まないトラヒック入力， $1/\mu$ は転送系の平均サービス時間（平均保留時間）， $\rho_k = \lambda_k/\mu$ ， a は $1/\mu$ と制御系の処理時間の比であり， $B(\rho_k, s)$ はサーバ数 s の Erlang B 式， ε は制御系からの再試行トラヒックの生起の強さを表す正の定数である．右辺第 2 項は転送系からの再試行を表し，時刻 $t = k$ で呼損となった発呼要求数が，時刻 $t = k + 1$ における再試行トラヒックの入力レートになるものとしている．また，右辺第 3 項は制御系からの再試行を表し，時刻 $t = k$ での M/M/1 の平均系内客数に比例したレートで時刻 $t = k + 1$ における再試行トラヒックが発生するものとしている．

2.3 システム動作速度の高速極限での安定性

準静的な再試行トラヒックモデルを用いて，システム動作速度の高速極限を考えたときのシステムの安定性を調べる．システムが安定であるとはシステムが発散しないこと，つまり $\lim_{k \rightarrow \infty} \lambda_k < \infty$ であるとする．システムの安定性を調べるためには λ に関する 2 つの関数

$$f(\lambda) = \lambda_0 + \lambda B(\rho, s) + \varepsilon \frac{\rho/a}{1 - \rho/a}, \quad g(\lambda) = \lambda \quad (2)$$

の交点の有無を考えればよい（図 2 参照）．ある時刻での入力トラヒックが λ で与えられたとすると，次の時刻の入力トラヒックは $\{g^{-1} \circ f\}(\lambda)$ となり，一般に n 単位時間経過後の入力トラヒックは $\{g^{-1} \circ f\}^n(\lambda)$ となる．一方，制御系システムからの再試行トラヒックが無視できない場合（ $\varepsilon > 0$ かつ $a < \infty$ ）には， λ が十分大きい領域で制御系システムからの再試行トラヒックは必ず発散することから， $f(\lambda)$ と $g(\lambda)$ は二点で交わる，1 点で接する，交点を持たない，のいずれかになる．交点がない場合は，どの λ に対しても $\lim_{n \rightarrow \infty} \{g^{-1} \circ f\}^n(\lambda) = \infty$ となるため不安定となる．また，交点がある場合は右側の交点よりも左の領域の λ に対してシステムが安定であるが，右側の交点よりも右の領域ではシステムが安定しない．

これまでの準静的アプローチは，再試行トラヒックを含む全ての入力が転送系において同じサービス時間分布を持つとしていたため，転送系全体のサービスレートは常に一定であるとして考えられてきた．そのため，サービスレートが一定ではなく，常に変化していく状況に対応するためには，準静的アプローチを拡張する必要がある．

3. 準静的アプローチの拡張

本節では，まず制御系からの再試行トラヒックの動作特性について詳しく考察し，再試行トラヒックが異なるサービス時間を持つ理由について説明する．その後，再試行トラヒックが異

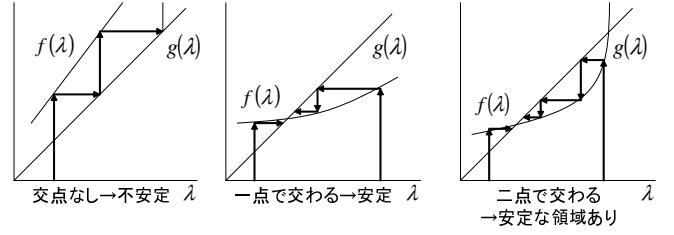


図 2 交点の有無による安定性の違い

なるサービス時間を持つ場合のサービスレートの変化過程を追うことにより，準静的アプローチの拡張を行う．

3.1 再試行トラヒックの動作特性の考察

第 1 節で述べたように，制御系からの再試行は既に入力している要求を取り消すことなく，重複して行われる．もし処理待ち時間の増大を感じてユーザが複数回の再試行動作を起こし，複数個の通話チャンネルが確保されたとしても，ユーザにとって通話は 1 回行われれば良いので，それ以外は通話をする意思の無い発呼要求と考えられる．したがって，通常の入力と呼損による再試行入力とは明らかに通話チャンネルの占有パターンが異なる．通話チャンネルの占有・開放パターンは次の 2 通りである．

- 通話チャンネルの設定時に通話をする意志のないことを検出して，短時間で通話チャンネルを開放．
- 通話チャンネルを確保した後，通話開始されないためタイムアウトによりシステムがチャンネルを開放．

なお，通話チャンネルの開放までの時間の長短は，前者の処理では短く，後者は長いと考えられる．また，通話チャンネルが全て使用中で，制御系からの再試行による発呼要求が呼損となった場合，制御系からの再試行が再びシステムに再入力するとは考えにくい．よって本稿では，制御系からの再試行による発呼要求が呼損となった場合は，システムに再入力することなく退去することとする．

3.2 サービスレートの変化過程

再試行トラヒックの動作特性を踏まえ，実際にサービスレートの変化過程を追っていく．時間は T を単位とした離散時間の扱いに加え， k 番目の離散時刻の開始時点から $k + 1$ 番目の離散時刻の開始直前までを t ($0 \leq t < T$) で表し，単位時間内の状態変化を考える．つまり，離散的な時刻が k で，そこでの時刻 t を指定したとすると，時刻 0 からの経過時間は $k \cdot T + t$ を表す．

初めに，入力の特性により通話チャンネルの占有パターンが異なることを考慮し，2 種類のサービスレートを用いる．制御系からの再試行が他の入力と異なる平均サービス時間を持つ場合，再試行を含まない入力と転送系の不足による呼損に起因した再試行を持つ転送系でのサービスレートを μ_1 ，ユーザの心理的な要因に起因した制御系からの再試行を持つ転送系でのサービスレートを μ_2 とする．次に，離散時刻 k の時刻 t において，転送系サーバを占有しているサービスレート μ_1 を持った発呼要求の総数を $n_k(t)$ とし，同様に，同時刻で転送系サーバを占有

しているサービスレート μ_2 を持った発呼要求の総数を $m_k(t)$ とする．このとき，離散時刻 k の時刻 t における転送系全体の平均サービスレート $\mu_k(t)$ は以下のように表せる．

$$\mu_k(t) = \frac{\mu_1 \cdot n_k(t) + \mu_2 \cdot m_k(t)}{n_k(t) + m_k(t)} \quad (3)$$

これを基に，発呼要求（入力トラヒック）の到着レートが転送系の処理能力以上，もしくは未満である場合に分けて考察していく．

3.3 転送系への入力処理能力未満の場合

転送系への負担が小さい状況 $\lambda_k < s\mu_k(t)$ を考える．但し離散時間の幅 T 内で λ_k は一定である． $\lambda_k < s\mu_k(t)$ のとき，転送系サーバが全て占有されていることによる呼損は小さく，転送系からの再試行は無視できる．従って，転送系サーバを占有するサービスレート μ_1 を持った通話要求の数 $n_k(t)$ の時間変化は，以下のように表せる．

$$\frac{d}{dt}n_k(t) = \lambda_0 - n_k(t)\mu_1 \quad (4)$$

右辺第 1 項はサービスレート μ_1 を持つ発呼要求が新たに転送系サーバを占有するレートを表していて，転送系からの再試行を無視しているので，再試行の無い入力レート λ_0 で与えられる．右辺第 2 項はサービスレート μ_1 を持つ発呼要求が転送系サーバから減少するレートである． $n_k(t)$ の一般解は以下のようになれる．

$$n_k(t) = C_k e^{-\mu_1 \cdot t} + \frac{\lambda_0}{\mu_1} \quad (5)$$

ここで，

$$C_k = C_{k-1} e^{-\mu_1 \cdot T} \quad (6)$$

次に，転送系サーバを占有するサービスレート μ_2 を持った通話要求の数 $m_k(t)$ の時間変化を考えると

$$\frac{d}{dt}m_k(t) = \varepsilon \cdot \frac{\lambda_{k-1}/\eta}{1 - \lambda_{k-1}/\eta} - m_k(t)\mu_2 \quad (7)$$

となる．式 (7) の右辺第 1 項は離散時刻 k においてサービスレート μ_2 を持つ発呼要求が新たに転送系サーバを占有するレートを表しており，時刻 k で発生する制御系再試行トラヒックのレートである．右辺の第 2 項は離散時刻 k の時刻 T において，サービスレート μ_2 を持った発呼要求が転送系サーバから減少するレートを表している． $m_k(t)$ の一般解は以下のようになれる．

$$m_k(t) = C_k e^{-\mu_2 \cdot t} + \frac{\varepsilon \cdot \frac{\lambda_{k-1}/\eta}{1 - \lambda_{k-1}/\eta}}{\mu_2} \quad (8)$$

ここで，

$$C_k = C_{k-1} e^{-\mu_2 \cdot T} + \frac{\varepsilon \cdot \frac{\lambda_{k-2}/\eta}{1 - \lambda_{k-2}/\eta} - \varepsilon \cdot \frac{\lambda_{k-1}/\eta}{1 - \lambda_{k-1}/\eta}}{\mu_2} \quad (9)$$

である．

以上より，転送系への入力処理能力未満の場合について，

離散時刻 k の時刻 t において転送系サーバを占有するサービスレート μ_1 を持った発呼要求の数 $n_k(t)$ と，同時刻において転送系サーバを占有するサービスレート μ_2 を持った発呼要求の数 $m_k(t)$ が陽に得られた．これらを式 (3) に代入することにより， $\lambda_k < s\mu_k(t)$ の場合の離散時刻 k の時刻 Zt におけるサービスレート $\mu_k(t)$ が得られる．

3.4 転送系への入力処理能力以上の場合

転送系に大きな負荷が掛かっている状況 $\lambda_k > s\mu_k(t)$ を考える．但し離散時間の幅 T 内で λ_k は一定である．このとき，転送系の全サーバは常に使用中であると看做すことで，転送系からの再試行を以下のように近似できる．

$$\lambda_k B(\rho, s) \approx \lambda_k - s\mu_k(t) \quad (10)$$

また， s 個の転送系サーバが常に占有されていると看做すことができるので，

$$n_k(t) + m_k(t) \approx s \quad (11)$$

と考えることができる．

このとき，転送系において呼損とならずに，転送系サーバ（通話チャネル）を占有することのできる確率は

$$\frac{s\mu_k(t)}{\lambda_k} \quad (12)$$

となる．

離散時刻 k の時刻 t において，転送系サーバを占有するサービスレート μ_1 を持った通話要求の数 $n_k(t)$ の時間変化は

$$\frac{d}{dt}n_k(t) = A_k \cdot \frac{s\mu_k(t)}{\lambda_k} - n_k(t)\mu_1 \quad (13)$$

と表すことができる．ここで，右辺第 1 項はサービスレート μ_1 を持った発呼要求が転送系サーバを新たに占有するレートを表したものであり，サービスレート μ_1 を持った発呼要求の発生レート A_k に対して，式 (12) で与えられる確率を乗じたものである．サービスレート μ_1 を持った発呼要求の発生レート A_k は以下のように与えられる．

$$A_k = \lambda_0 + (\lambda_{k-1} - s\mu_{k-1}(t)) \left(1 - \frac{\varepsilon \cdot \frac{\lambda_{k-2}/\eta}{1 - \lambda_{k-2}/\eta}}{\lambda_{k-1}} \right) \quad (14)$$

ここで， A_k の右辺第 1 項は再試行を含まない入力，右辺第 2 項は離散時刻 k において，転送系再試行のうちで転送系サーバを新たに占有するレートを表している．因に，既に述べたように，制御系再試行が呼損となった場合には，それが転送掲載試行として戻ってくることはない，というモデルを考えており，式 (14) はそれを考慮済みである．式 (13) の右辺第 2 項は離散時刻 k の時刻 t において，転送系サーバからサービスレート μ_1 を持った発呼要求が減少するレートを表している．

次に，離散時刻 k の時刻 t において，転送系サーバを占有するサービスレート μ_2 を持った発呼要求の数 $m_k(t)$ の時間変化は以下のように表すことができる．

$$\frac{d}{dt}m_k(t) = \varepsilon \cdot \frac{\lambda_{k-1}/\eta}{1 - \lambda_{k-1}/\eta} \cdot \frac{s\mu_k(t)}{\lambda_k} - m_k(t)\mu_2 \quad (15)$$

式 (15) の右辺第 1 項は、離散時刻 k で発生する制御系再試行のレートであり、離散時刻 k において転送系への入力するサービスレート μ_2 を持った発呼要求のレートを表している。右辺の第 2 項は離散時刻 k の時刻 t において、転送系サーバを占有しているサービスレート μ_2 を持った発呼要求の減少レートを表している。

式 (13)、式 (15) の解を求める際に、それぞれの式の中に t に関する関数が 2 つあることから、 $\lambda_k < s\mu_k(t)$ の場合とは異なる取り扱いが必要になるように見える。しかし、式 (3) と式 (11) の関係を用いると本質的には式 (15) に含まれる t の関数は 1 つである。そこで、 $\mu_k(t)$ について取り扱うこととする。式 (3)、(11) より、

$$n_k(t) = \frac{s\mu_k(t) - s\mu_2}{\mu_1 - \mu_2} \quad (16)$$

$$m_k(t) = \frac{s\mu_k(t) - s\mu_1}{\mu_2 - \mu_1} \quad (17)$$

となる。次に、式 (3) を t で微分したものに式 (16)、(17)、(13)、(15) を代入し、 $\mu_k(t)$ についてまとめると以下のように表せる。

$$\frac{d}{dt}\mu_k(t) + \alpha_k \cdot \mu_k(t) = \mu_1\mu_2 \quad (18)$$

ここで、

$$\alpha_k = \mu_1 + \mu_2 - \frac{\mu_1 \cdot A_k + \mu_2 \cdot \varepsilon \frac{\lambda_{k-1}/\eta}{1-\lambda_{k-1}/\eta}}{\lambda_k} \quad (19)$$

これより、時刻 k におけるサービスレート $\mu_k(t)$ は以下のように得られる。

$$\mu_k(t) = C_k e^{-\alpha_k \cdot t} + \frac{\beta}{\alpha_k} \quad (20)$$

$$C_k = C_{k-1} e^{-\alpha_{k-1} \cdot T} + \frac{\mu_1\mu_2}{\alpha_{k-1}} - \frac{\mu_1\mu_2}{\alpha_k} \quad (21)$$

以上により、入力トラヒックの到着レートが転送系の処理能力未満である場合のサービスレートが得られた。

4. 準静的アプローチの拡張法の評価

4.1 サービスレートの変化過程の再現性

前節で得られたサービスレートが実際のサービスレートの変化過程を再現できるか確認するためにシミュレーションを行った。シミュレーションでは、システムの動作速度が有限、かつ時間を連続に扱う場合の動作を行う。なお、今回は制御系からの再試行が転送系において他の入力よりも長いサービス時間を要して退却する場合の評価結果を示す。評価条件を $\lambda_0 = 15000$ 、 $\varepsilon = 50$ 、 $\eta = 20000$ 、 $s = 300$ 、 $\mu_1 = 100$ 、 $\mu_2 = 1$ としたとき、サービスレートの変化過程の再現性を表した結果を図 3 に示す。縦軸は転送系でのサービスレート、横軸が時刻を表し、シミュレーションによる実際のサービスレートの $T = 1$ 秒経過毎の推移をプロットで、準静的アプローチにより得られる予測したサービスレートの推移を実線で表している。結果より、初めは全体の入力数に対して転送系の処理能力が十分であるため、 μ は緩やかに減少しているが、制御系からの再試行の増加に伴い、全体の入力数が転送系の処理能力を超え始め、次第にサー

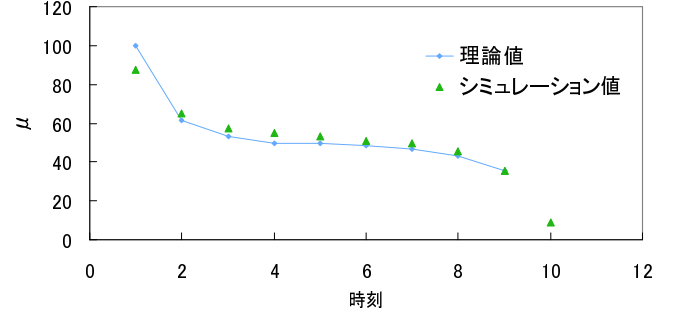


図 3 サービスレートの変化過程の再現性

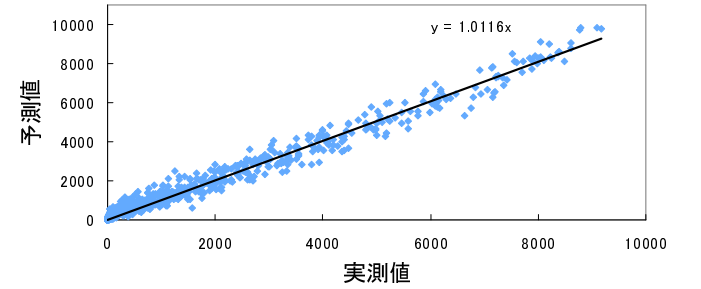


図 4 転送系からの再試行数の予測精度

ビスレートの減少していく幅が大きくなっていく過程を再現できていることが分かる。

4.2 転送系再試行数の予測精度

ここでは、拡張した準静的アプローチにより実際に入力数の予測を行う。まずは、予測に用いるサービスレートの適切な決定法について述べる。サービスレートが常に変化していく状況では、離散時刻 k でのサービスレートは離散時刻 $k-1$ でのサービスレートの影響を受けている。そのため、離散時刻 $k+1$ の入力数を予測する場合、離散時刻 k における $T = 1$ 秒間の平均サービスレートをを用いて予測を行うこととする。

$$\int_0^1 \mu_k(t) dt \quad (22)$$

なお、式 (1) よりサービスレート μ が関わるのは右辺第 2 項の転送系からの再試行のみである。よって、転送系からの再試行数の予測を行う。結果を図 4 に示す。縦軸は準静的アプローチにより得られた $T = 1$ の転送系再試行数の予測値、横軸は同時刻にシミュレーションで観測した $T = 1$ 秒間の実測値である。結果より、プロットされた点から得られる近似直線の傾きが 1 に非常に近いことから、 $T = 1$ 秒間の平均サービスレートをを用いることにより、予測が可能になることが分かった。

5. おわりに

本稿では、制御系からの再試行トラヒックが異なるサービス時間分布を持つ場合を想定し、準静的アプローチを適用するための拡張法について考察した。準静的アプローチの拡張を行うことによって、制御系からの再試行が長いサービス時間分布を持つ場合の転送系全体のサービスレートの時間変化に対応し、

さらに適切なサービスレートを決定することで、 $T = 1$ 秒後の入力数の予測が可能になることを確認した。

しかし、制御系からの再試行トラヒックが転送系において短いサービス時間分布を持つ場合の評価は行っていない。今後は、通話チャネルの設定時に通話をする意志のないことを検出して、短時間で通話チャネルが開放される場合の評価を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は、科学研究費補助金 基盤研究 (S) 18100001 より研究費の援助を受けて実施したものです。

文 献

- [1] Masaki Aida, Chisa Takano, Masayuki Murata and Makoto Imase, “A study of control plane stability with retry traffic: Comparison of hard- and soft-state protocols,” *IEICE Transactions on Communications*, vol. E91-B, no. 2, pp. 437-445, February 2008.
- [2] 会田 雅樹, 高野 知佐, 村田 正幸, 今瀬 真, “再試行を含む通信システムのための準静的な安定性評価法,” 日本オペレーションズリサーチ学会誌 (特集 インターネット性能評価の新潮流), vol. 53, no. 6, pp. 334-339, June 2008.
- [3] J.R. Artalejo, Accessible bibliography on retrial queues, *Mathematical and Computer Modeling*, 30, 1-4 (1999).
- [4] G.I. Falin and J.G.C. Templeton, *Retrial Queues*, Chapman & Hall, London (1997).
- [5] Ren-Hung Hwang, Chia-Yi, James F. Kurose and Don Towsley, On-call processing delay in high speed networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 3(6), 628-639 (1995).
- [6] Jakob Nielsen “Response times : the three important limits.” Excerpt from Chapter 5 of Usability Engineering by J.Nielsen, Academic Press, 1993