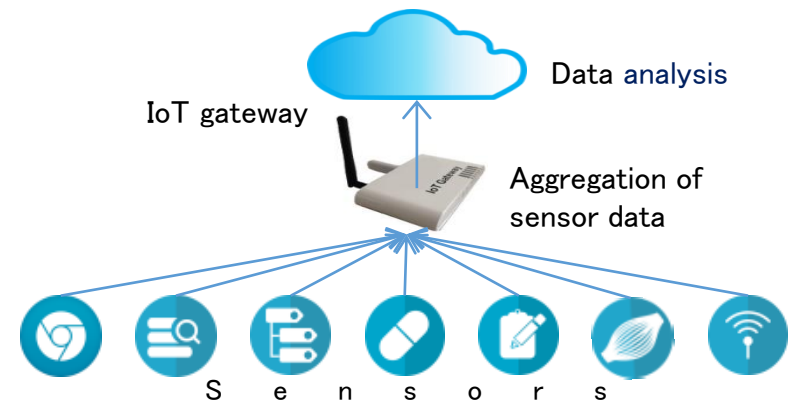


# 非統計的集約個数最適制御方式の 安定化に関する研究

日本工業大学 電気電子工学科 吉野研究室

大久保 智之 人見 弘太



# 研究の背景：遅延に厳しいIoTアプリ・データ集約

大量で空間的な広がりを持つセンサデータの活用

IoTゲートウェイにおけるデータ集約機能が必須

代表的な“Latency critical IoT applications”の遅延要件

- ファクトリーオートメーション ⇒ 0.25 - 10 ms
- スマートグリッド ⇒ 3 - 20 ms

遅延要件の厳しいIoTアプリケーションの実現  
⇒ IoTゲートウェイにおける遅延抑制が重要課題

# 研究課題と目的

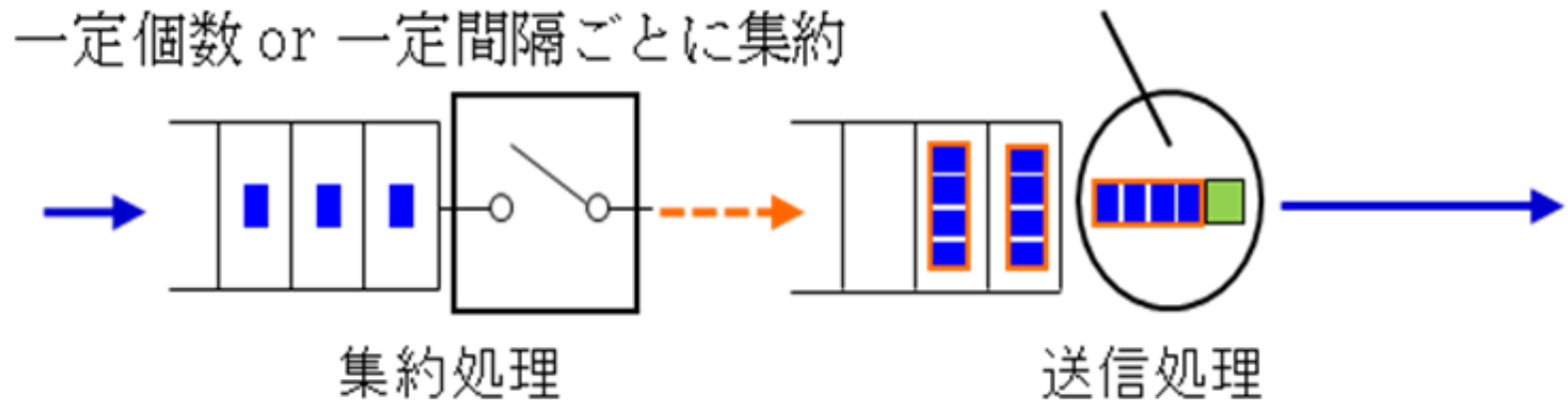
先行研究では、非統計的データ集約方式に対して時間変化するポアソン到着のもと、集約個数最適制御方式のシミュレーション評価を実施した。その結果、制御が不安定となる問題があり、制御を行わない一定個数集約方式の方が制御特性が優れていた。

本研究では、到着率に対する平均遅延時間の境界値に基づく非統計的データ集約の適応的制御方式の性能評価を行う。

また、集約個数最適制御方式の制御を安定化させる改良制御方式を提案し、その特性を明らかにすることを本研究の目的とする。

# センサデータ集約モデルの概観

本研究で扱うセンサデータ集約モデルを以下に示す。このモデルでは、大量のセンサデータを集約処理で一定個数集約した後に、送信処理でクラウド等に送信する。

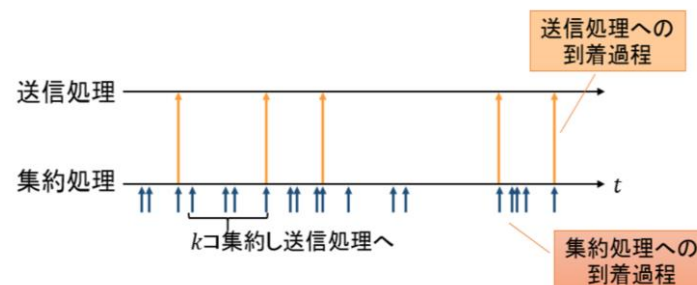


# 集約処理におけるデータ集約方式

## (i) 一定個数集約方式

集約個数 $K$ を設定し、集約処理に $K$ 個のデータが到着した時点で集約し、送信処理へ送る方式である。

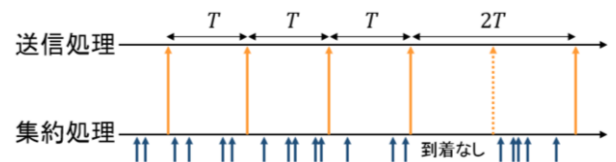
本研究では、この方式を基本とする。



一定個数集約方式の時間推移例( $K=4$ )

## (ii) 一定間隔集約方式

集約間隔 $T$ を設定し、一定間隔 $T$ 毎にデータの集約処理を行い、送信処理へ送る方式である。

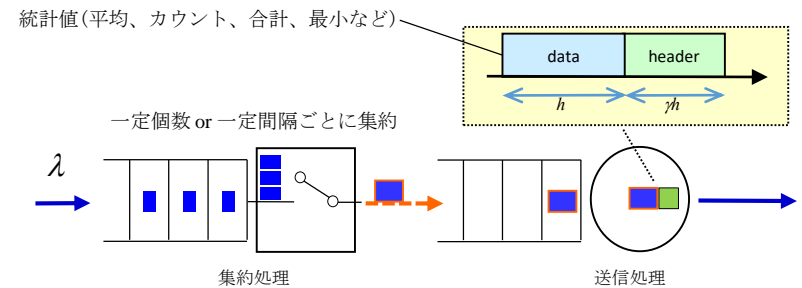


一定間隔集約方式の時間推移例

# 送信処理におけるデータ集約方式

## (i) 統計的データ集約方式

非可逆(lossy)集約とも呼ばれ、複数のセンサデータを統計値(平均、カウント、合計、最小など)に圧縮して送信する方式である。

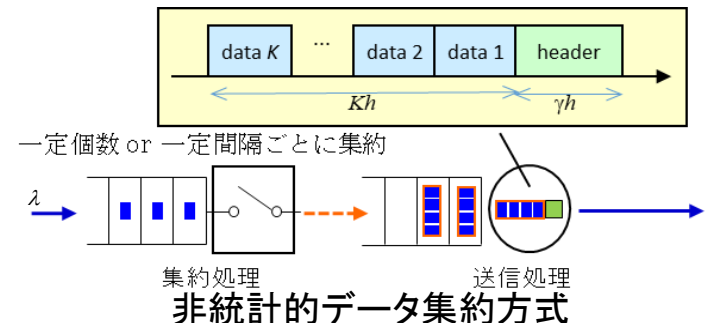


統計的データ集約方式

## (ii) 非統計的データ集約方式

可逆(lossless)集約とも呼ばれ、複数のデータを圧縮せずに一つの塊に束ねて送信する方式である。

本研究では、この方式を対象とする。



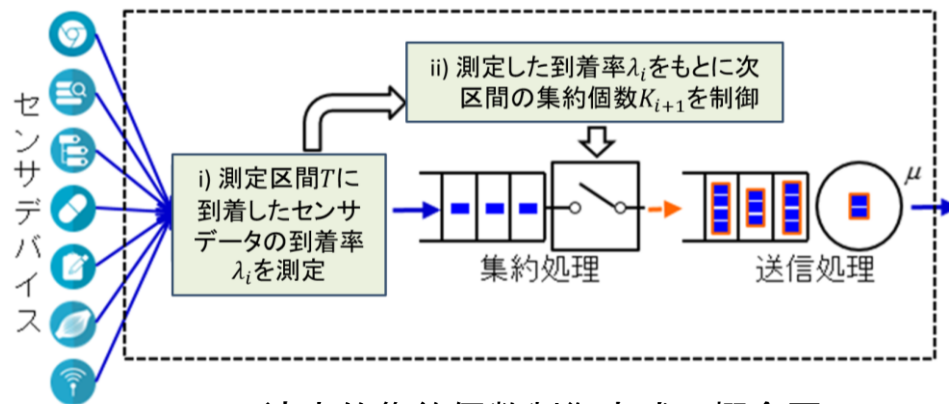
非統計的データ集約方式

$h$ : 集約データの送信時間

$\gamma$ : オーバヘッド率( $h$ に対するヘッダ送信時間の割合)

# 適応的集約個数制御方式

適応的集約個数制御方式の概念図を以下に示す。この方式では、あらかじめ設定しておいた測定区間 $T$ の間に集約処理へ到着したセンサデータの到着率 $\lambda_i$ をもとに、次区間の集約個数 $K_{i+1}$ を制御する。この方式では、到着に時間的な変動があったとしても、適応的に集約個数を制御することによって、遅延抑制が可能である。



適応的集約個数制御方式の概念図

# 最適集約個数推定式に基づく適応的制御方式

- ・以下の文献で導出された最適集約個数推定式により次区間の集約個数を定める方式
- ・測定した到着率 $\lambda_i$ および平均送信処理時間 $1/\mu$ により次区間の集約個数 $K_{i+1}$ を定める

$$\hat{K}_{i+1} \approx \left\lceil 0.778 \left( \frac{\hat{\rho}_i}{1 - \hat{\rho}_i} \right)^2 \right\rceil + 1$$

吉野秀明 大田健紘 平栗健史, 非統計データ集約方式の系内時間特性と最適集約個数, 信学技報, CQ2018-55, Aug, 2018.



# 平均遅延時間の近似特性

前述の文献で導出した平均遅延時間に対する近似式を以下に示す。また、到着率に対する近似式の特性を下図に示す。

$$E[W] \approx \frac{K-1}{2\lambda} + E[\tilde{W}_{q(M/D/K)}] + (K + \gamma)h$$

$E[W]$ : 平均遅延時間,  $\frac{K-1}{2\lambda}$ : 平均集約処理時間

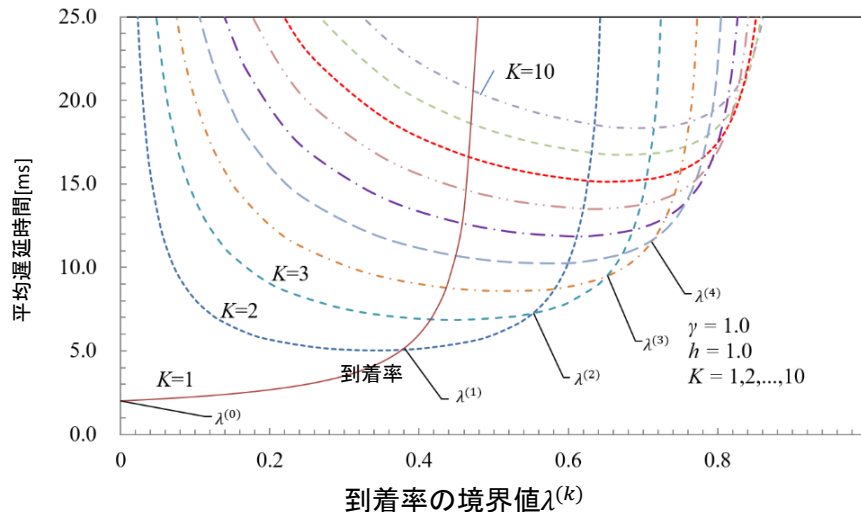
$E[\tilde{W}_{q(M/D/K)}]$ : M/D/K待ち行列の平均待ち時間の近似式\*

$(K + \gamma)h$ : 平均送信処理時間,  $\gamma$ : オーバヘッド率

\*T. Kimura, "Approximations for the delay probability in the M/G/s queue," Mathematical and Computer Modelling, vol.22, Issues10–12, pp.157–165, 1995.

# 提案方式:到着率の境界値に基づく適応的制御方式

測定した到着率 $\lambda_i$ の値から、平均遅延時間を最小とする集約数の境界値に基づき次区間 $i + 1$ の集約個数を決定する。すなわち、 $K = k$ と $K = k + 1$ の平均遅延時間の交点を与える到着率の境界値を $\lambda^{(k)}$ ,  $k = 1, 2, \dots$ ;  $\lambda^{(0)} = 0$ として  
 if  $\lambda^{(k-1)} < \lambda_i \leq \lambda^{(k)}$  then  $K_{i+1} = k$  により次区間の集約個数を定める。

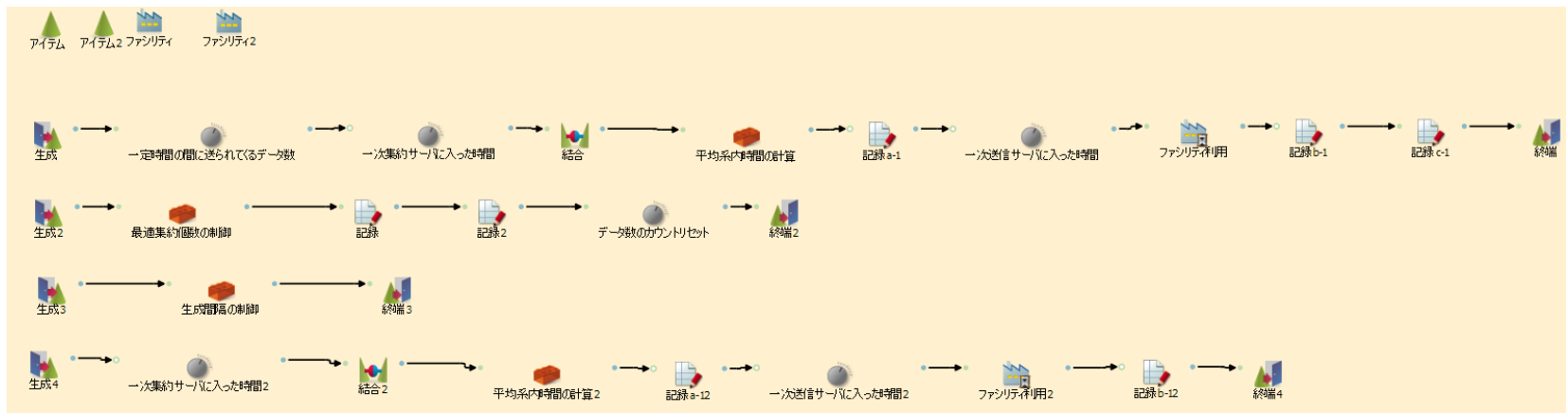


到着率の境界値 $\lambda^{(k)}$ 一覧

$k$	$\gamma=1.0$
1	0.3769
2	0.553
3	0.652
4	0.714
5	0.758
6	0.79
7	0.815
8	0.834
9	0.85
10	0.863

# 研究手段(1)

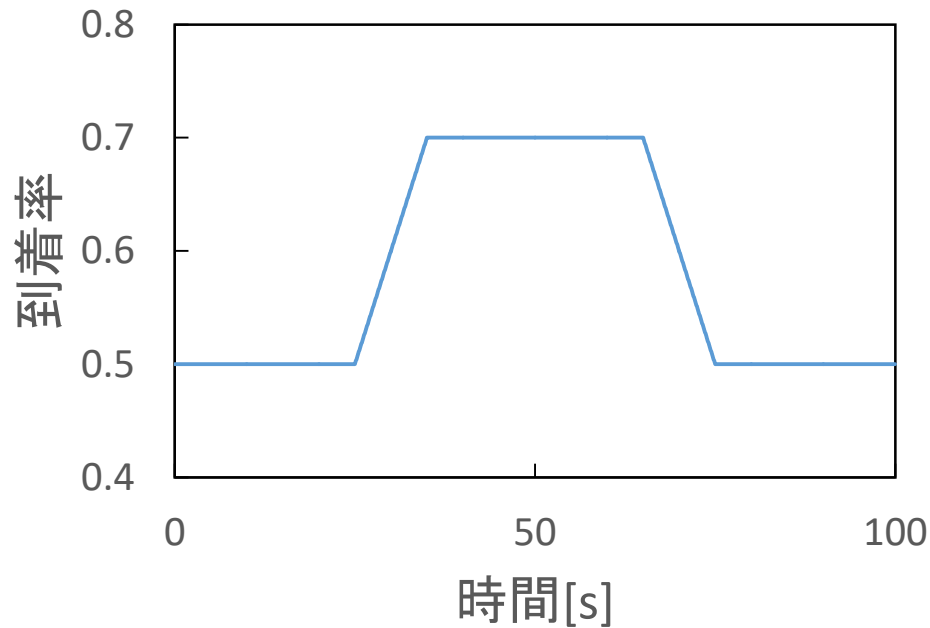
汎用シミュレーションツールであるS-Quattro Simulation Systemを用いて、制御方式の過渡特性及び平均特性を明らかにする。



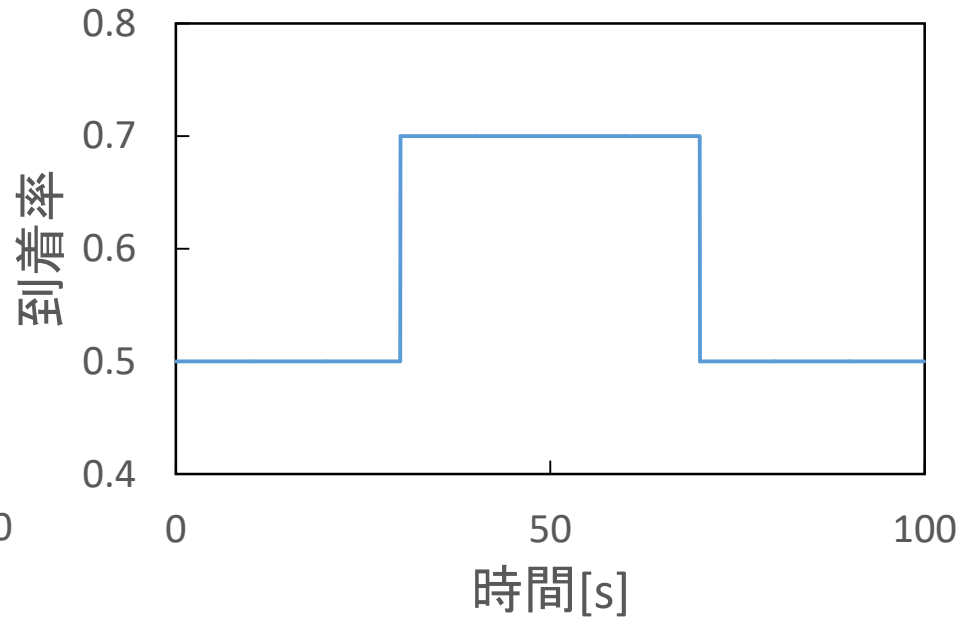
非統計的集約個数最適制御方式のモデル図

# 到着率の入力条件

到着率の時変入力パラメータとして以下のstep型とlinear型を使用する。



linear型の入力パラメータ



Step型の入力パラメータ

# シミュレーション条件

測定間隔:  $T=0.5, 0.05$  [s]

提案方式: 境界線適応制御を使用

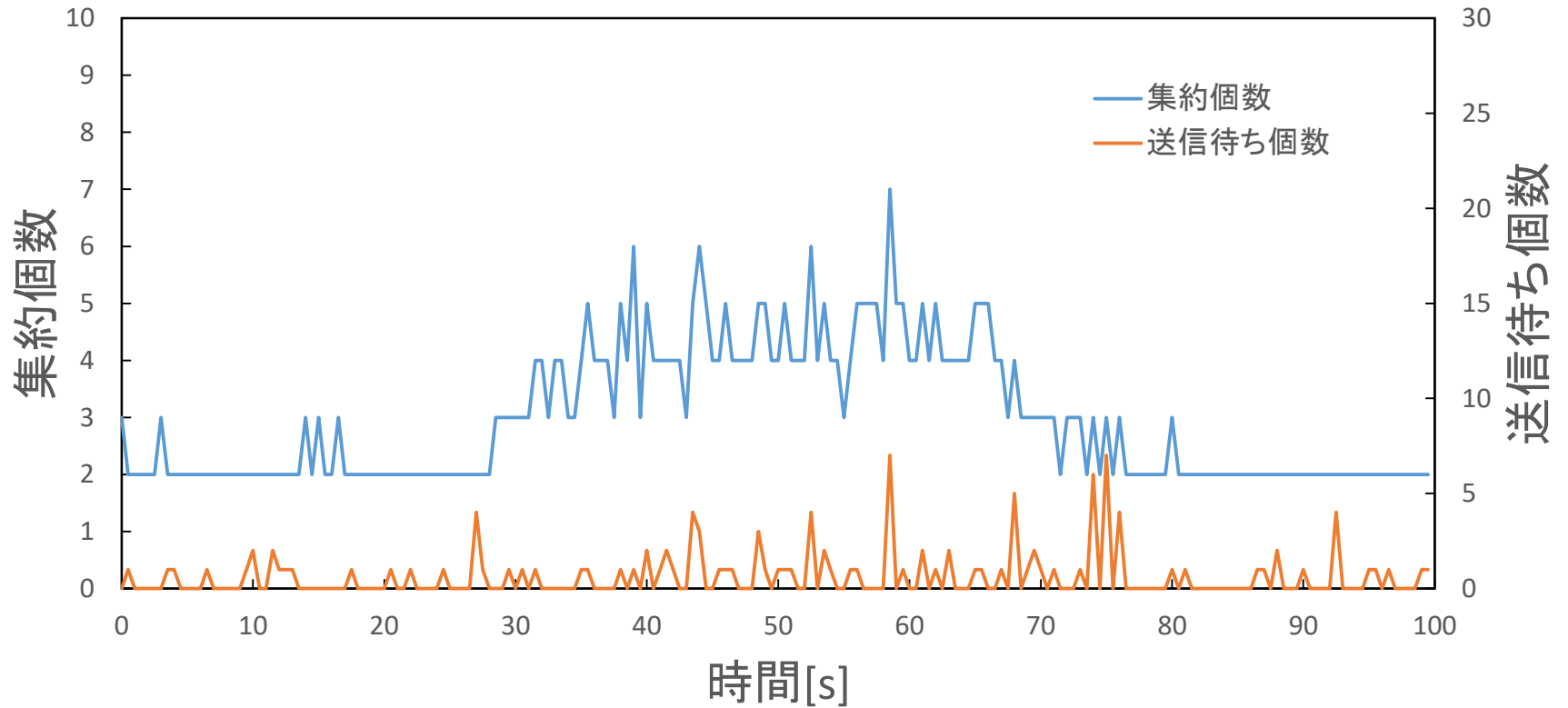
シミュレーション時間: 100 [s]

到着率はlinear, step型で変動: 0.5~0.7

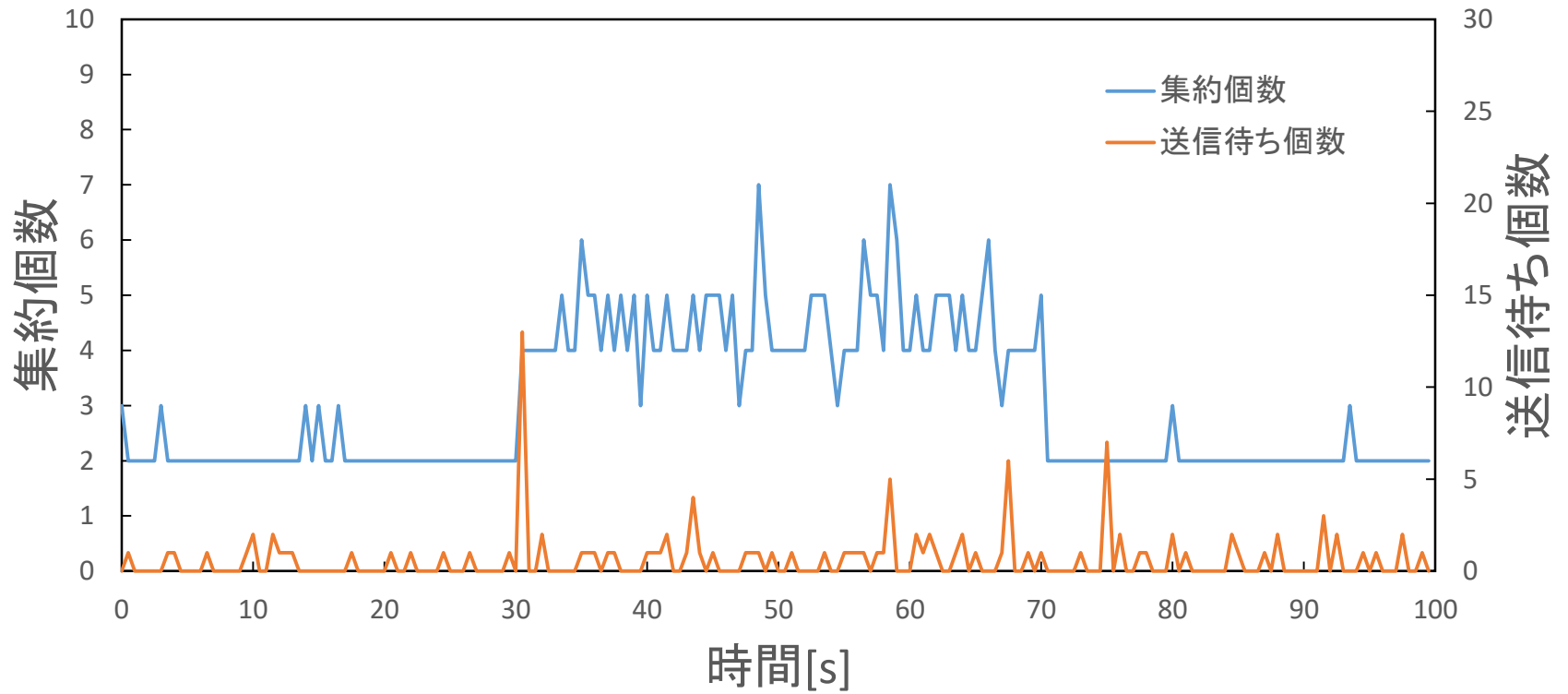
オーバーヘッド率:  $\gamma=1$

単位データあたりの送信時間:  $h=1$

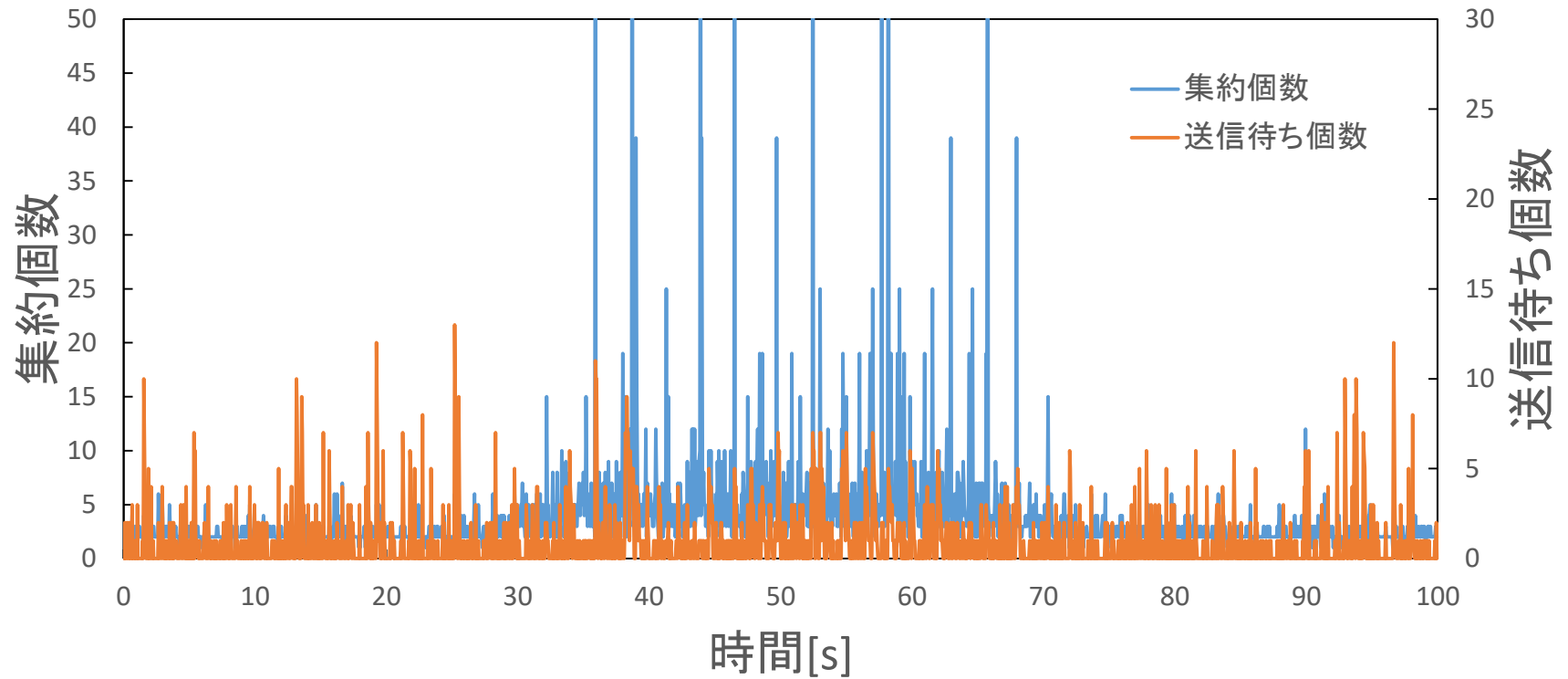
# linear型の過渡特性( $T=0.5s$ )



# step型の過渡特性( $T=0.5s$ )



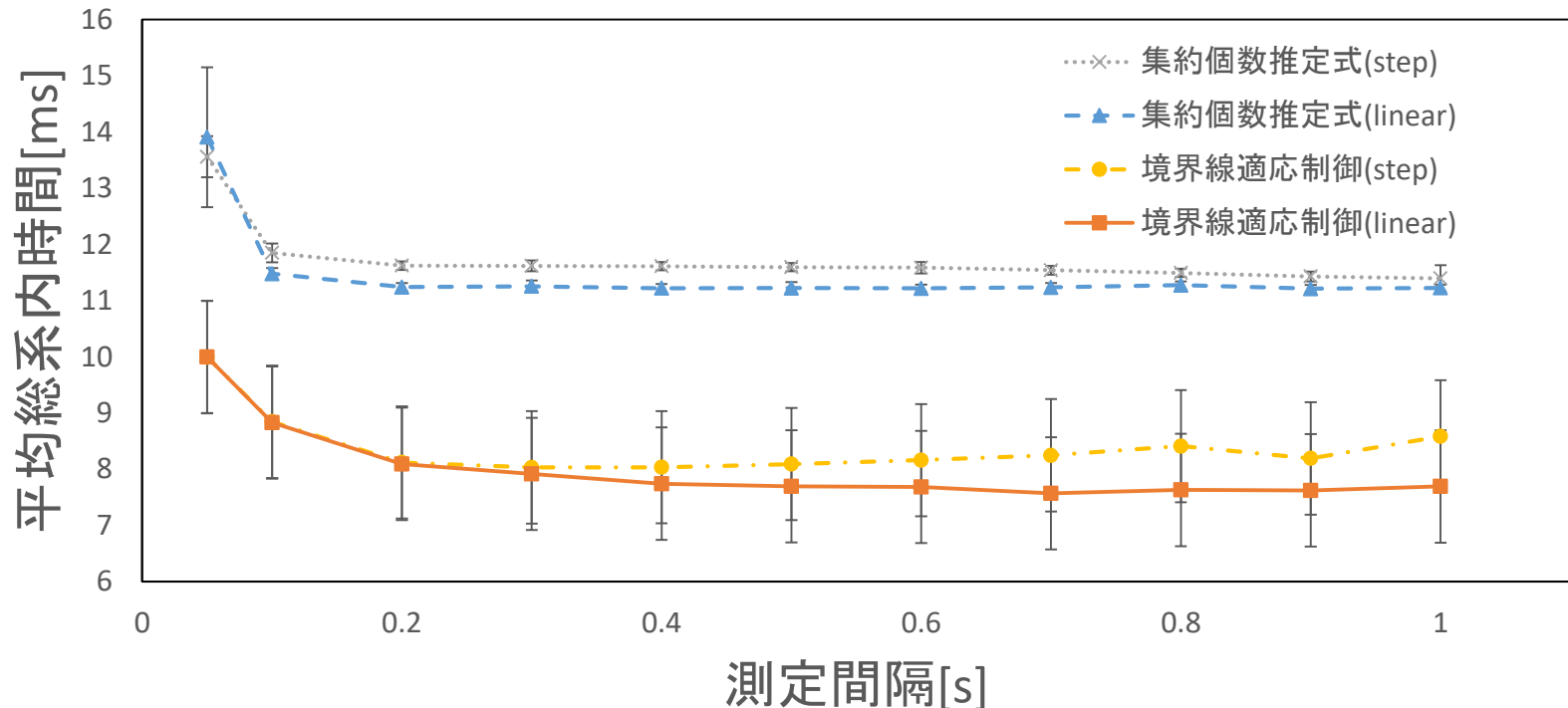
# step型の過渡特性( $T=0.05s$ )





# 平均総系内時間

- ・測定間隔をパラメータとし、100sのシミュレーションを乱数を変更して10ラン実行し、平均遅延時間を算出
  - ・集約個数推定式と境界線適応制御の平均総系内時間を比較
- ⇒提案方式の境界線適応制御が優れた特性を示す。



## まとめ

- ・測定間隔0.5sの場合、step変化では、到着率が急増した直後において送信待ち個数が増大し、制御が一時不安定となる。
- ・集約個数推定式と比べ境界線適応制御の方が平均総系内時間が短く、優れた特性を示す。
- ・測定間隔が短い場合やstep型の急激変化時に制御が安定しないため、これを改善する必要がある。

## 今後の予定

到着率の移動平均を用いた制御の安定化