

vEPCのC/D-plane仮想化における 最適リソース割当に関する検討

†田辺 和輝 ‡中山 裕貴 †林 經正 †山岡 克式

†東京工業大学

‡株式会社ボスコ・テクノロジーズ

研究背景

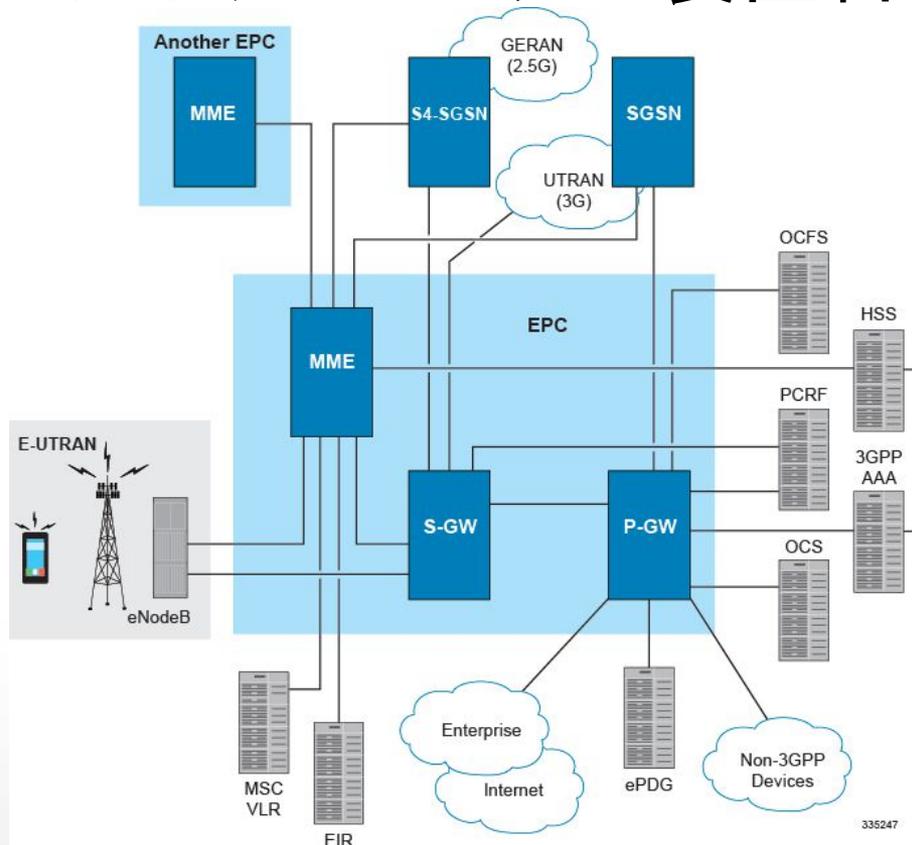


- モバイルネットワークにおけるトラフィック増大
- 5Gネットワークの開発・移行
- M2M通信の増大
 - Machine-to-Machine, IoT(Internet-of-Things)
 - 路車間通信, ウェアラブルデバイスetc.
 - 許容遅延 **小**
 - データパケット **小**
 - シグナリング頻度 **高**
 - D-planeだけでなく, C-planeに輻輳の可能性

EPC(Evolved Packet Core)



➤ モバイルコアネットワークの装置群



(MME Administration Guide, StarOS Release 21: Mobility Management Entity Overview

http://www.cisco.com/c/en/us/td/docs/wireless/asr_5000/21/MME/b_21_MME_Admin/b_21_MME_Admin_chapter_01.html)

EPCの主要機能(Entity)

> eNodeB (Evolved NodeB)

>> 無線基地局

> MME (Mobility Management Entity)

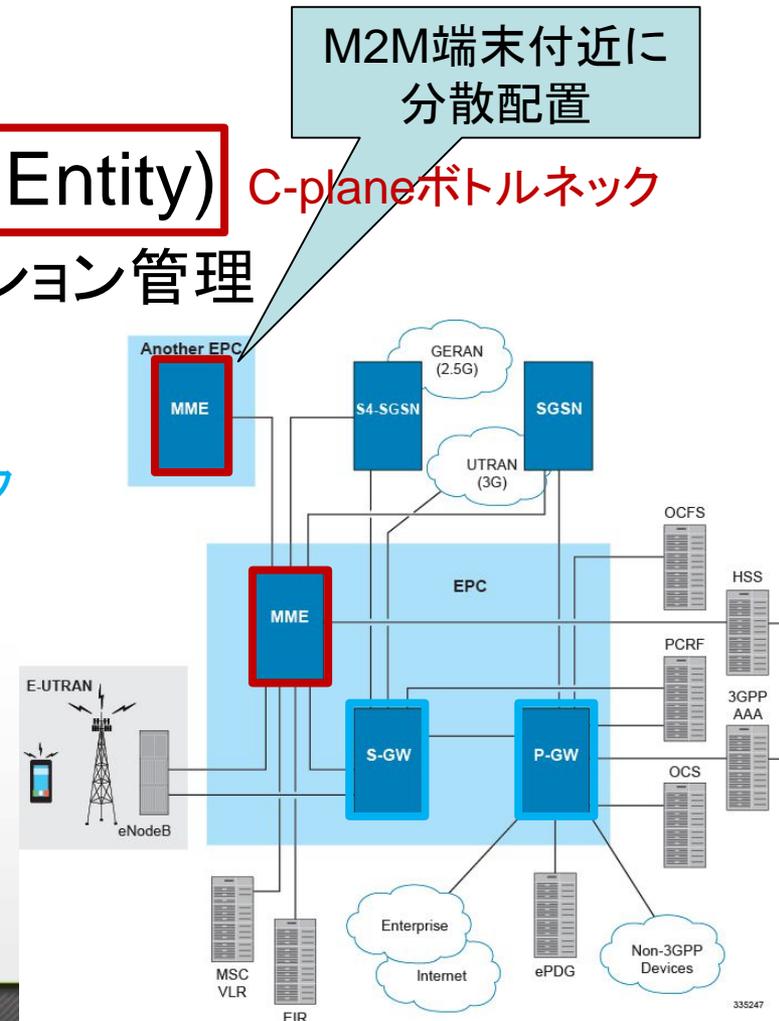
>> 端末のシグナリング処理, セッション管理

> S-GW (Serving Gateway)

>> 3G網との接続 D-planeボトルネック

> P-GW (PDN Gateway)

>> 外部インターネット等との接続





Virtualized EPC[2]

» EPCの機能を仮想環境で実現



NFV

(Network Functions Virtualization)

» 様々な実装が研究・提案



C-planeのみ, C/D-plane

» 設備・運用コスト低減可能



両planeの仮想化により効果大

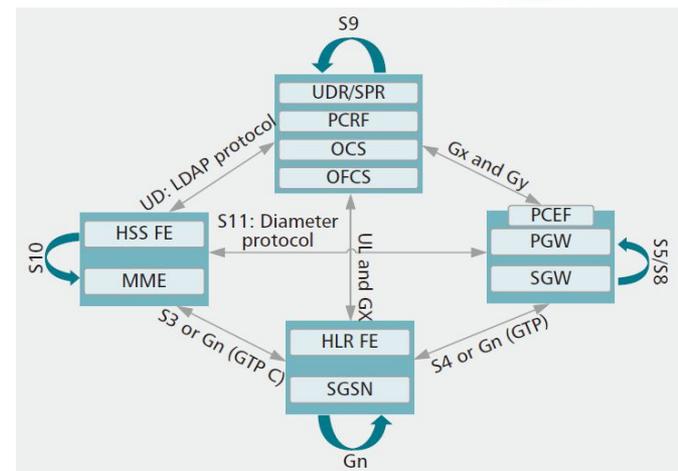
» トラヒックに応じた

C-plane, D-planeの柔軟なデプロイが可能

» 一部キャリアでサービス化



MME, S-GW, P-GWをセットで提供



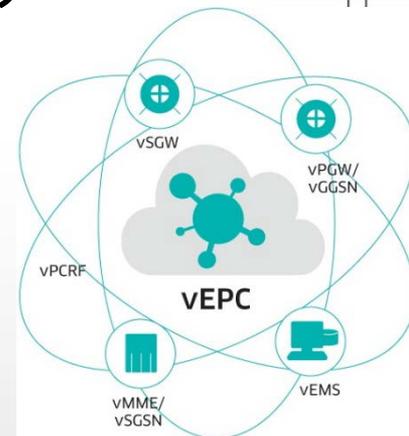
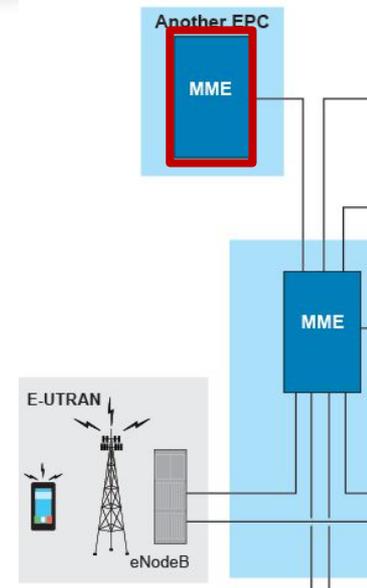
[2]H. Hawilo, A. Shami, M. Mirahmadi, and R. Asal, "NFV: State of the Art, Challenges, and Implementation in Next Generation Mobile Networks (vEPC)," IEEE Network, vol.28, no.6, pp.18–26, Nov. 2014.

vEPCの問題点(1/2)

➤ M2M通信の許容遅延への対処

- 従来EPCでは
MMEをM2M端末付近に分散配置
- vEPCではその他端末と
同一のMMEリソースを共有

➤➤ 輻輳時、シグナリング処理能力低下により
許容遅延満足困難



(NOKIA TechBlog, "vEPC: Starting the Journey," <https://insight.nokia.com/vepc-starting-journey>)

vEPCの問題点(2/2)



▶ vEPCサーバのプレーンリソース競合

▶▶ C/D-plane仮想化された単一vEPCでは
両プレーンで一定リソース共有

▶▶ 異種通信のトラヒック要求を考慮した
適切なリソース割当が必要

▶▶ シグナリング頻度: M2M **高** スマートフォン **低**

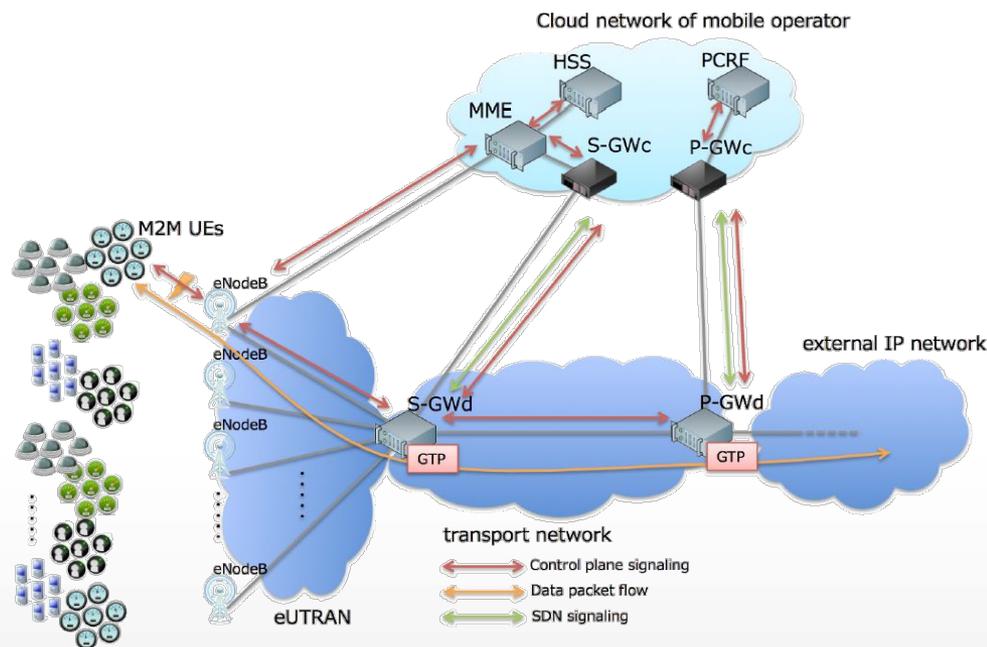
▶▶ データパケット: M2M **小** スマートフォン **大**

▶▶ 許容遅延: M2M **小** スマートフォン **大**

既存検討

▶ C-planeのリソース割当[3]

- ▶▶ MME, S/P-GWのC-planeをクラウドネットワーク上に配置
- ▶▶ クラウド内での処理性能融通により収容端末数向上
- ▶▶ D-planeは仮想化せず
 - ▶▶ コスト低減効果 小
- ▶▶ 全ての端末がM2M端末
 - ▶▶ C/D-plane仮想化ではスマートフォン等の大量データパケットも考慮必要



[3]長谷川剛, 村田正幸, "M2M通信収容のための仮想モバイルコアネットワークアーキテクチャに関する一検討,"
信学技報(NS2015-03), vol.114, no.160, pp. 51-56, 2014年7月.

研究目的

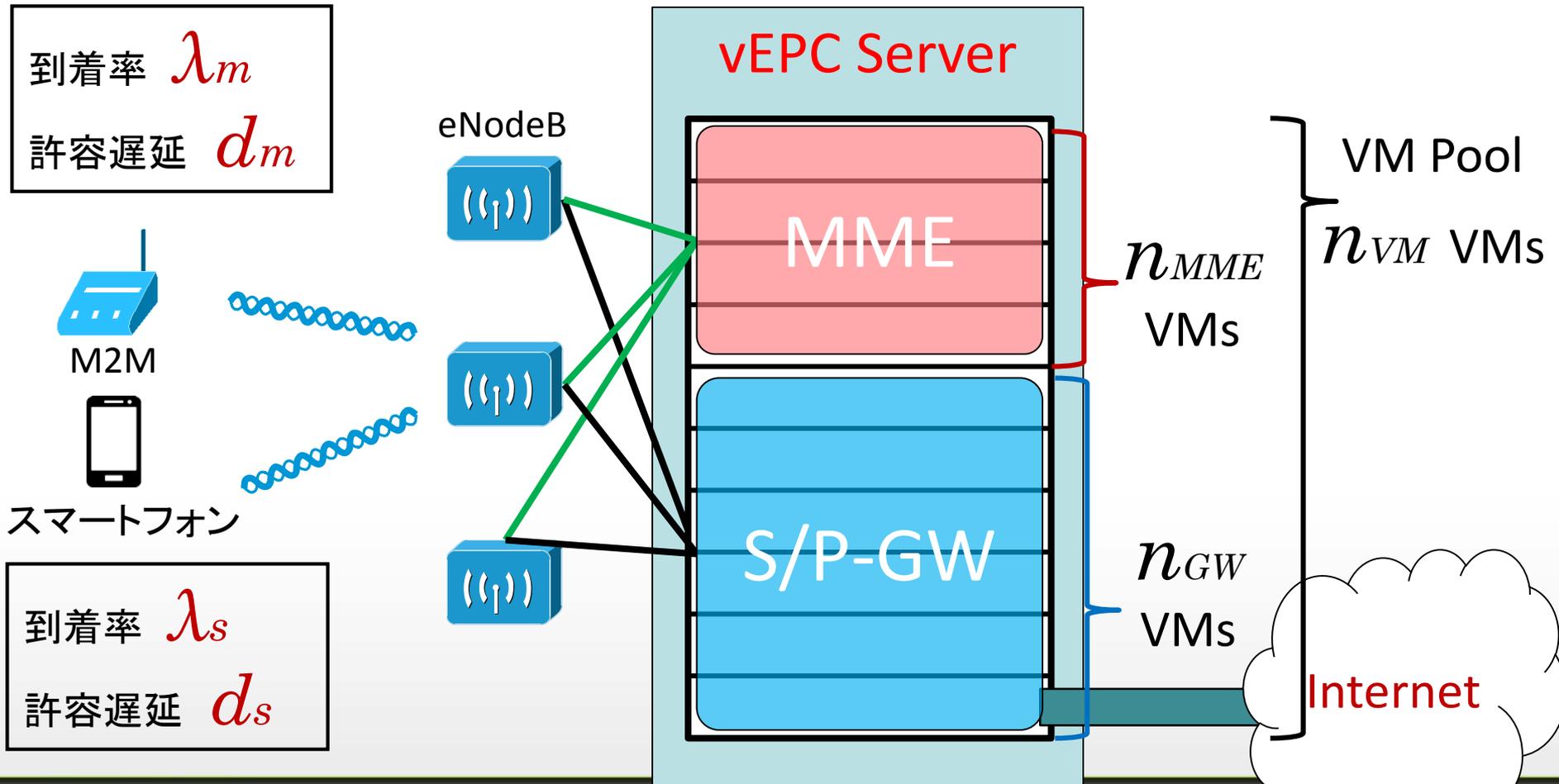


- 単一vEPCサーバにおける
MME, S/P-GWの最適リソース割当方式
 - M2M通信, スマートフォン通信を区別
 - 4G, 5Gを想定
 - D-planeの平均パケット処理時間を
各通信の許容遅延以内に抑えつつ,
M2Mセッションの呼損率最小化

提案モデル(1/2)



▶ vEPCサーバのモデル化

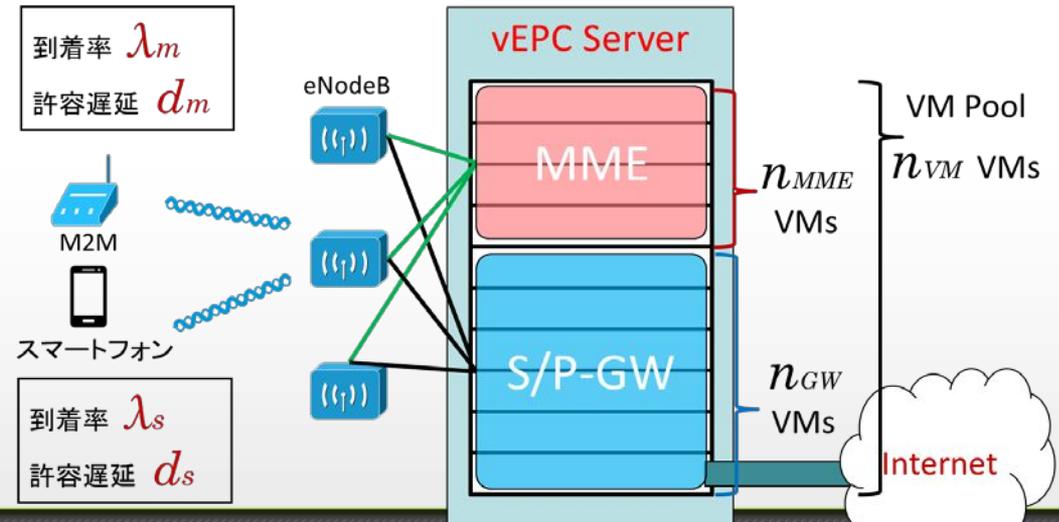


提案モデル(2/2)



▶ vEPCサーバのモデル化

- ▶ 単一のvEPCサーバにVNFを収容
- ▶ n_{VM} 台分リソース収容可能なVMプールにモデル化
- ▶ S-GW, P-GWは単一のS/P-GWとする
- ▶ MMEは n_{MME} 台, S/P-GWは $n_{GW}(=n_{VM}-n_{MME})$ 台分のリソース使用





➤ MMEのモデル設定

➤➤ C-planeのボトルネックはMME

➤➤ 処理性能指標

➤ C-planeパケット処理遅延

➤ 通信中のセッション管理用メモリリソース etc.

➤➤ シグナリング所要時間 ≠ パケット処理時間

➤ MME-各要素間のシグナル伝搬遅延

➤➤ セッション継続時間はM2Mとスマートフォンで差異



パケット処理時間以外の指標も考慮した
モデル化が必要

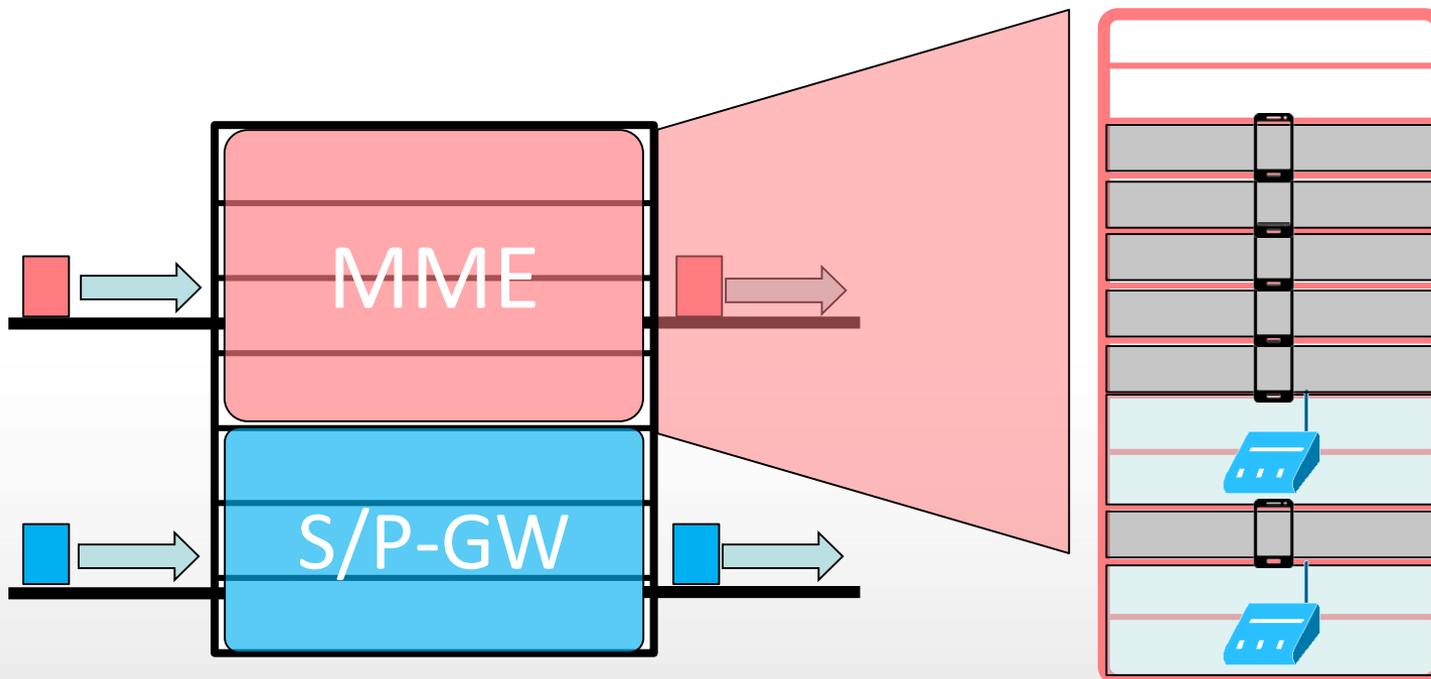
モデル設定(2/4)



➤ MMEのモデル設定

➤ セッションを収容するセッションプールとしてモデル化

➤ 単位セッション当たりの消費セッションリソースは
M2M通信とスマートフォン通信で異なる

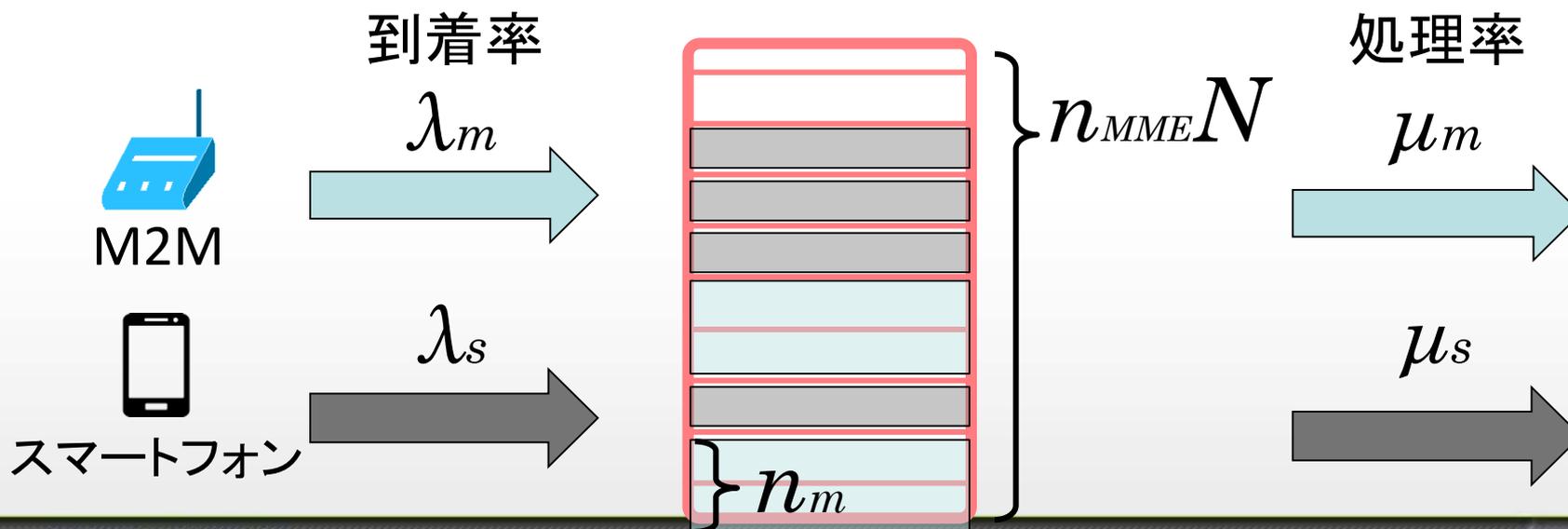


モデル設定(3/4)



セッションプール

- » $M_1, M_2 / M_1, M_2 / n_{MME}N / n_{MME}N$ 待ち行列
- » 単位VM当たりセッションリソース N
 - » MMEのVMリソース n_{MME} のとき, $n_{MME}N$ セッション分収容
- » M2M通信は1セッションで n_m セッション分使用
 - » C-plane遅延減少のため, 多くの処理性能が必要と仮定
- » セッション保留時間は指数分布
 - » M2M端末: 平均 $1/\mu_m$, スマートフォン: 平均 $1/\mu_s$



モデル設定(4/4)



➤ S/P-GWのモデル設定

- M₁, M₂/D/1待ち行列のスイッチにモデル化
- 到着率はMMEでの呼損率に依存
- スマートフォン通信は単位セッションあたり n_s 個の packets 到着

到着率
(ポアソン分布)

$$(1 - Br_m)\lambda_m$$

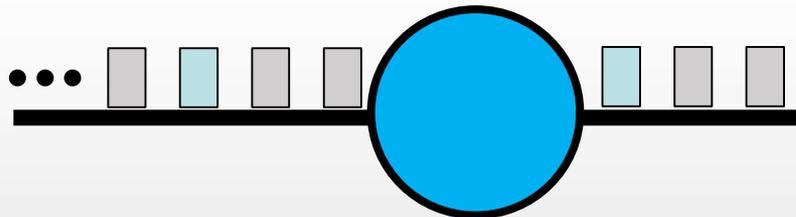


M2M



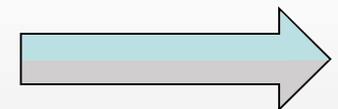
スマートフォン

$$(1 - Br_s)n_s\lambda_s$$



処理率
(一定分布)

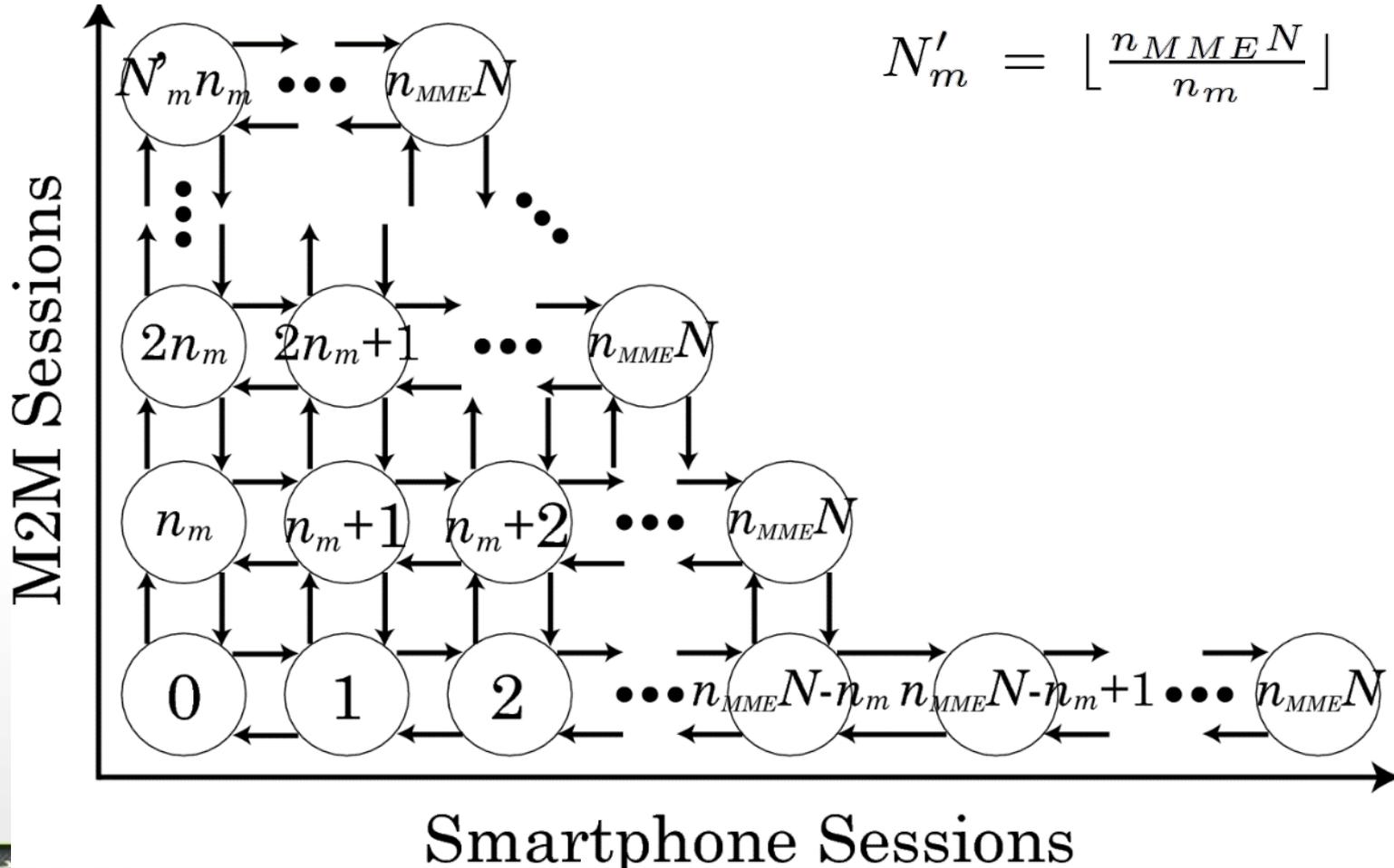
$$n_{GW}\mu_{GW}$$



提案方式(1/5)



▶ MMEセッションプールの状態遷移図



提案方式(2/5)



➤ 定常状態確率 $P(i,j)$

➤ M2Mセッション*i*本, スマートフォンセッション*j*本



$$P(i, j) = \frac{a_m^i}{i!} \frac{a_s^j}{j!} P(0, 0)$$

where $a_m = \frac{\lambda_m}{\mu_m}, a_s = \frac{\lambda_s}{\mu_s},$

$$P(0, 0) = \left[\sum_{i=0}^{N'_m} \sum_{j=0}^{n_{MME} N - n_m i} \frac{a_m^i a_s^j}{i! j!} \right]^{-1}$$

提案方式(3/5)



呼損率

» M2M呼損率 Br_m , スマートフォン呼損率 Br_s

$$Br_m = \left(\sum_{i=0}^{N'_m-1} \sum_{j=n_{MME}N-n_m(i+1)+1}^{n_{MME}N-n_m i} \frac{a_m^i a_s^j}{i! j!} + \frac{a_m^{N'_m}}{N'_m!} \sum_{j=0}^k \frac{a_s^j}{j!} \right) P(0, 0)$$

where $k = n_{MME}N \bmod n_m$

$$Br_s = \left(\sum_{i=0}^{N'_m} \frac{a_m^i}{i!} \frac{a_s^{n_{MME}N-n_m i}}{(n_{MME}N-n_m i)!} \right) P(0, 0)$$

提案方式(4/5)



➤ S/P-GWの平均パケット処理時間 W

➤ 利用率 ρ より, ポラチェック・ヒンチンの公式で導出

➤

$$\rho = \frac{(1 - Br_m)\lambda_m + (1 - Br_s)n_s\lambda_s}{n_{GW}\mu_{GW}}$$

$$W = \frac{\rho}{2(1 - \rho)n_{GW}\mu_{GW}}$$

➤ $d_m < d_s$ より, $W \leq d_m$ および $n_{GW} > 0$ を解くと

$$n_{GW} \geq \frac{\Lambda + D}{2\mu_{GW}}$$

where $\Lambda = (1 - Br_m)\lambda_m + (1 - Br_s)n_s\lambda_s,$

$$D = \sqrt{\Lambda^2 + \frac{2\Lambda}{d_m}}$$



➤ 最適リソース割当導出 S^*

➤ MMEとS/P-GWの最適リソース割当
 $S^* = \{n_{MME}^*, n_{GW}^*\}$ は以下で導出可能

$$S^* \in \arg \min_{n_{MME}, n_{GW}} Br_m$$
$$s.t. \quad n_{MME} + n_{GW} = n_{VM}, \quad n_{GW} \geq \frac{\Lambda + D}{2\mu_{GW}}$$

$$\left(\begin{array}{l} \Lambda = (1 - Br_m)\lambda_m + (1 - Br_s)n_s\lambda_s, \\ D = \sqrt{\Lambda^2 + \frac{2\Lambda}{d_m}} \end{array} \right)$$



- C/D-plane仮想化における最適割当の評価
 - n_{MME} , n_{GW} の総当たりによる数値解析
 - 最適割当導出法によるリソース割当最適性を確認
 - 許容遅延を満足しつつ,
MMEの収容可能セッション数最大化
 - 評価指標
 - MMEのセッション呼損率 B_{rm} , B_{rs}
 - S/P-GWにおける平均パケット処理時間 W

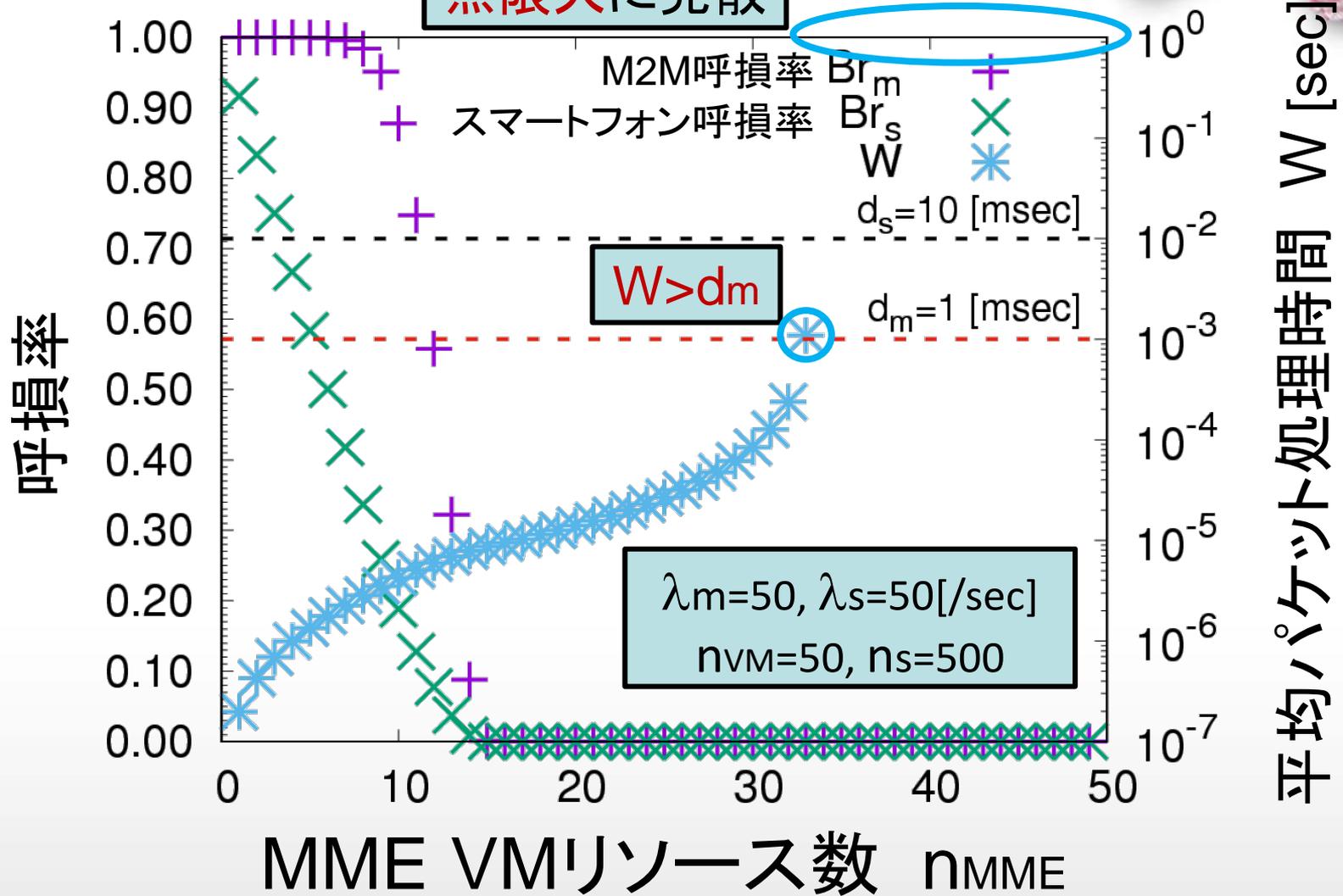
パラメータ設定



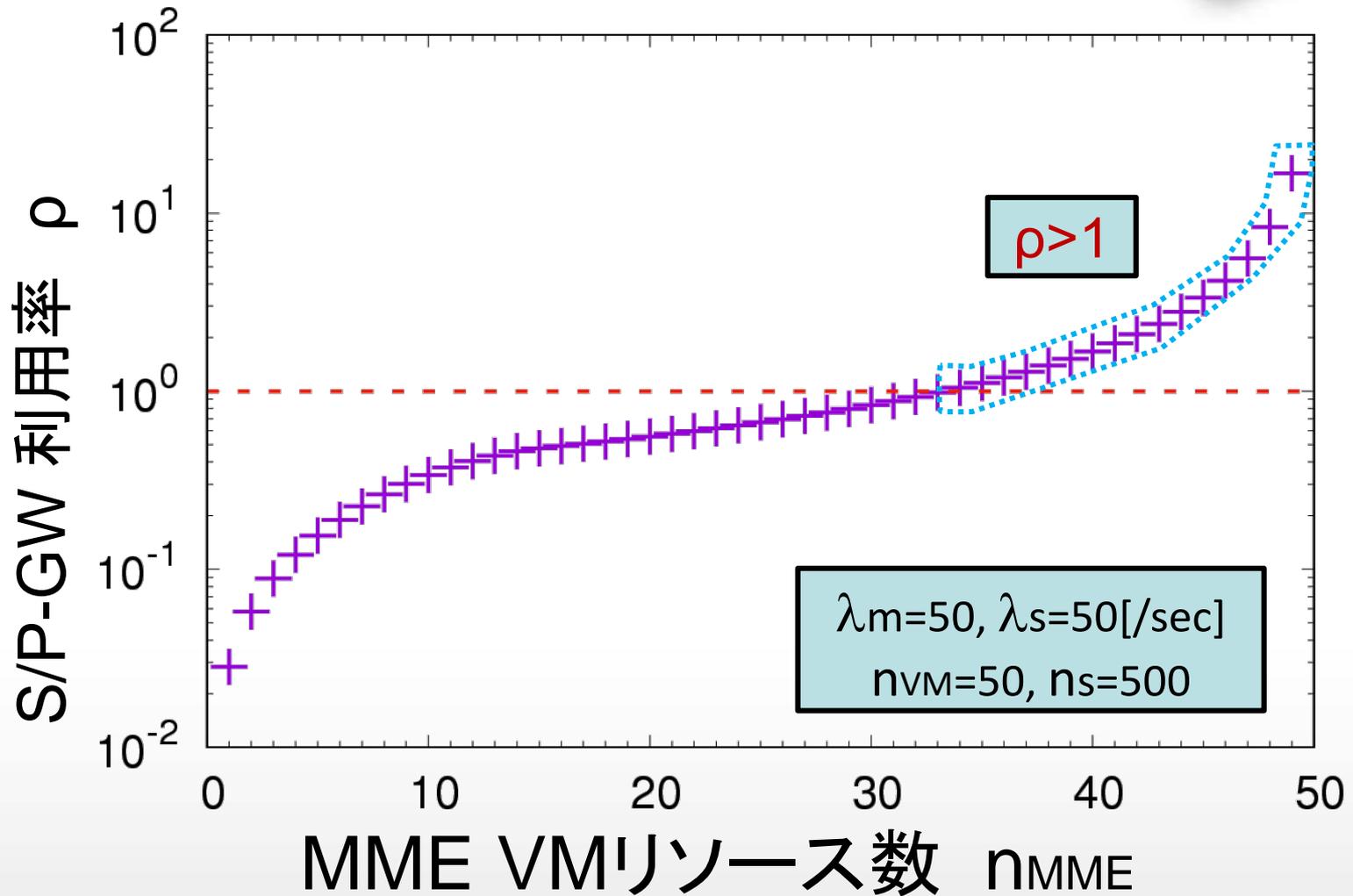
VMリソース数 n_{VM}	10, 20, 30, 40, 50
単位VM当たりMMEセッション数 N	250
単位VM当たりS/P-GW処理率 μ_{GW}	1500 [pps]
M2Mセッション保留時間 μ_m	1[sec]
スマートフォンセッション保留時間 μ_s	60[sec]
M2M許容遅延 d_m	1 [msec]
スマートフォン許容遅延 d_s	10 [msec]
M2M占有セッション n_m	10 ($=\lfloor d_s/d_m \rfloor$)

評価1-1: 呼損率・平均パケット処理時間

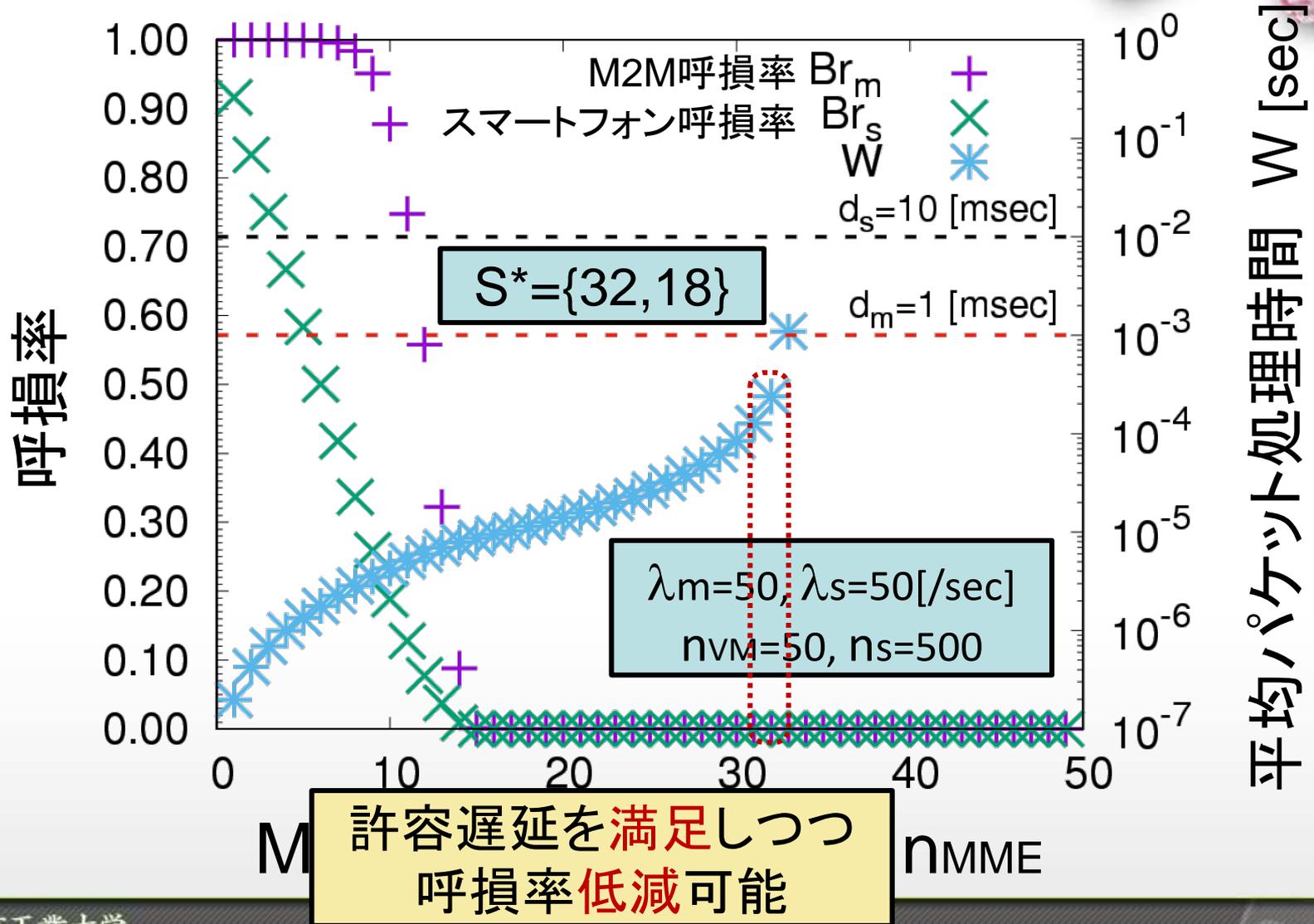
無限大に発散



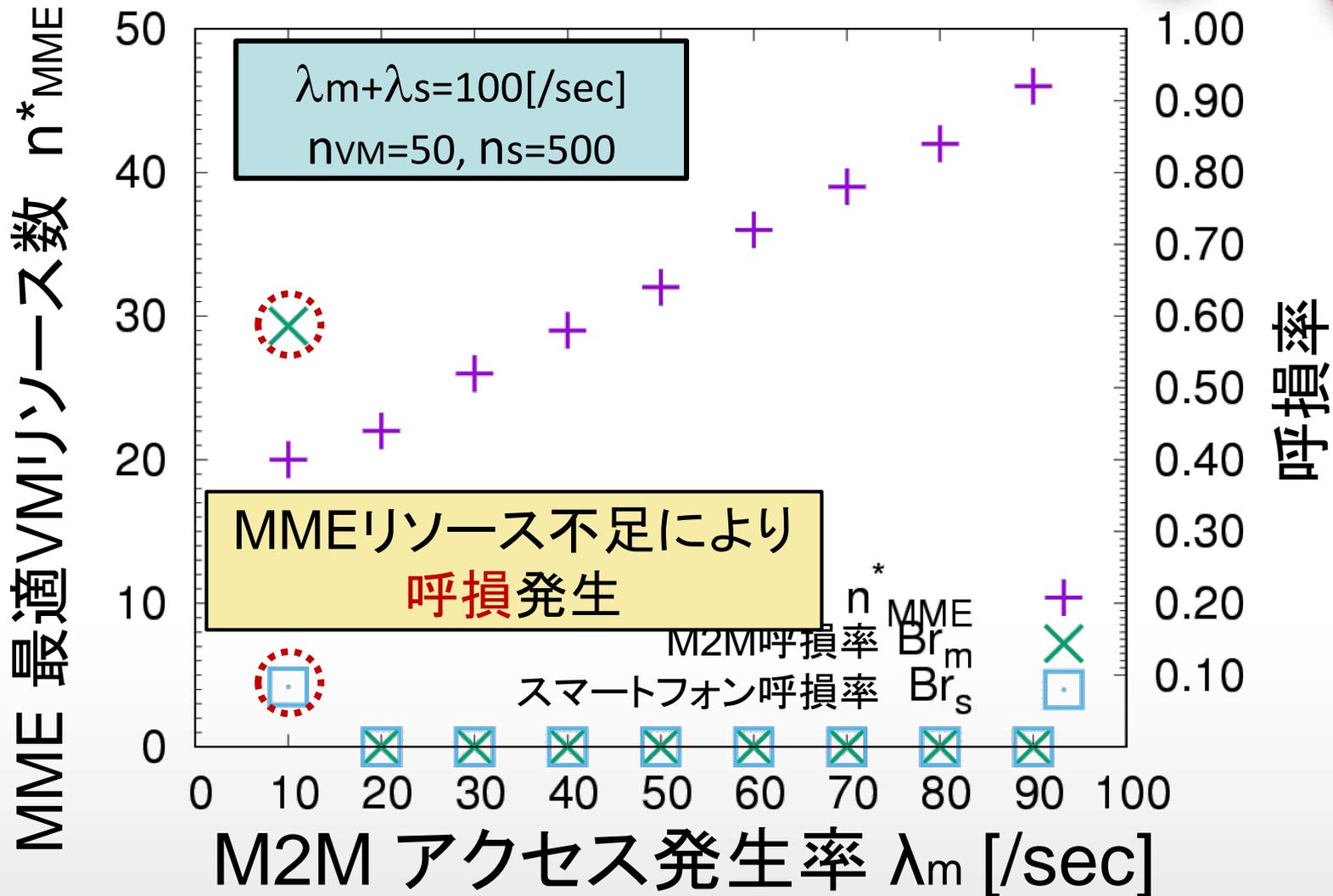
評価1-2: S/P-GWの利用率 ρ



評価1-1: 呼損率・平均パケット処理時間



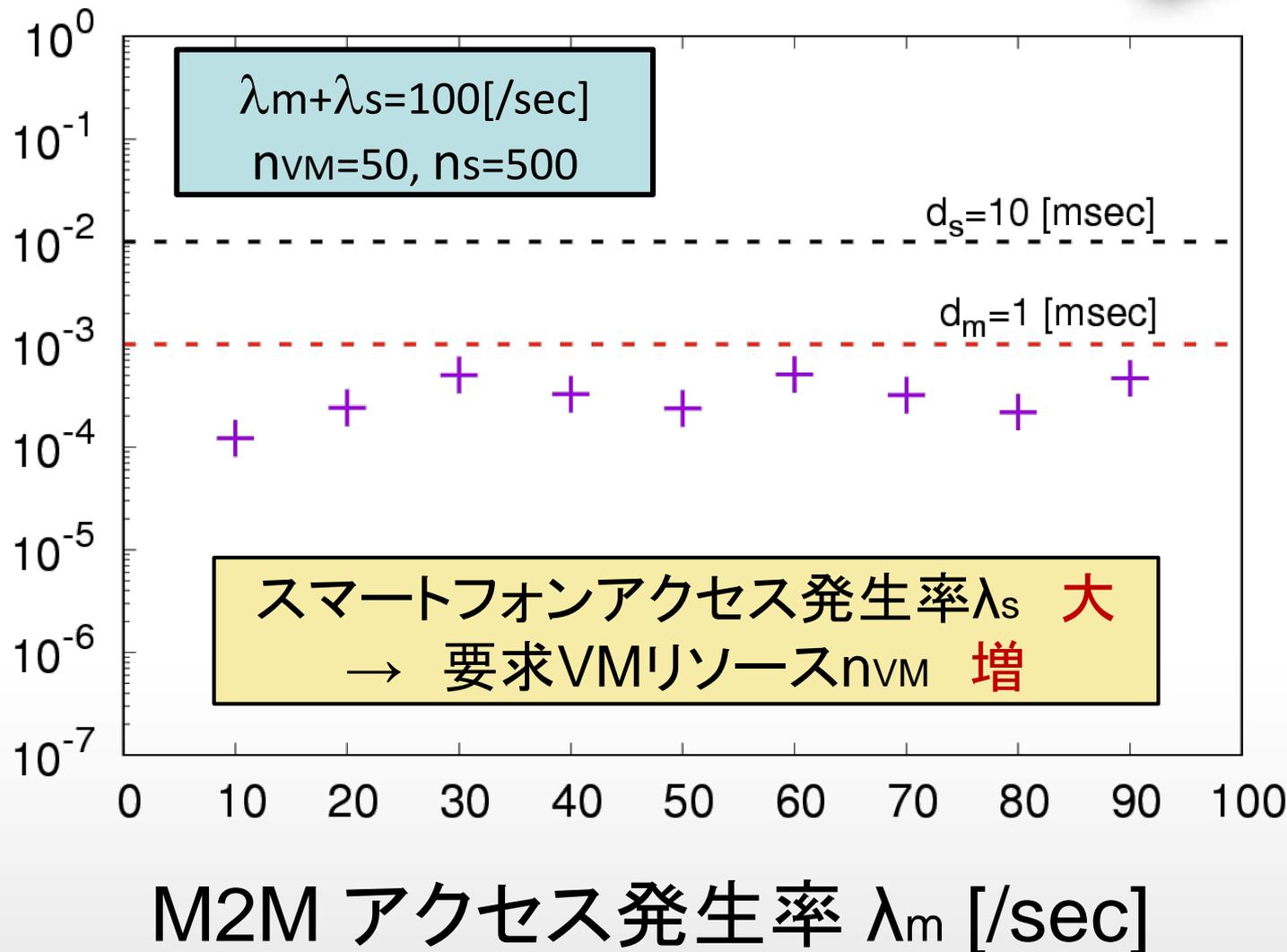
評価2-1: アクセス発生率と呼損率



評価2-2: アクセス発生率と平均パケット処理時間



平均パケット処理時間 W [sec]



まとめ・今後の課題



▶ まとめ

- ▶ vEPCネットワークにおけるC/D-planeの最適リソース割当方式を提案
- ▶ M2M通信およびスマートフォン通信を区別し、MMEおよびS/P-GWを待ち行列モデル化
- ▶ 数値解析により、平均パケット処理時間を許容遅延以内に抑えつつセッション呼損率を低減

▶ 今後の課題

- ▶ M2M通信,スマートフォン通信ごとのMMEリソース分離
- ▶ スマートフォン通信に対する待時式受付制御