

波長ルーティングネットワークにおける ソフトステート型波長予約プロトコルの性能解析

大阪大学大学院 情報科学研究科
情報ネットワーク学専攻
石田 晋哉
s-isida@ist.osaka-u.ac.jp



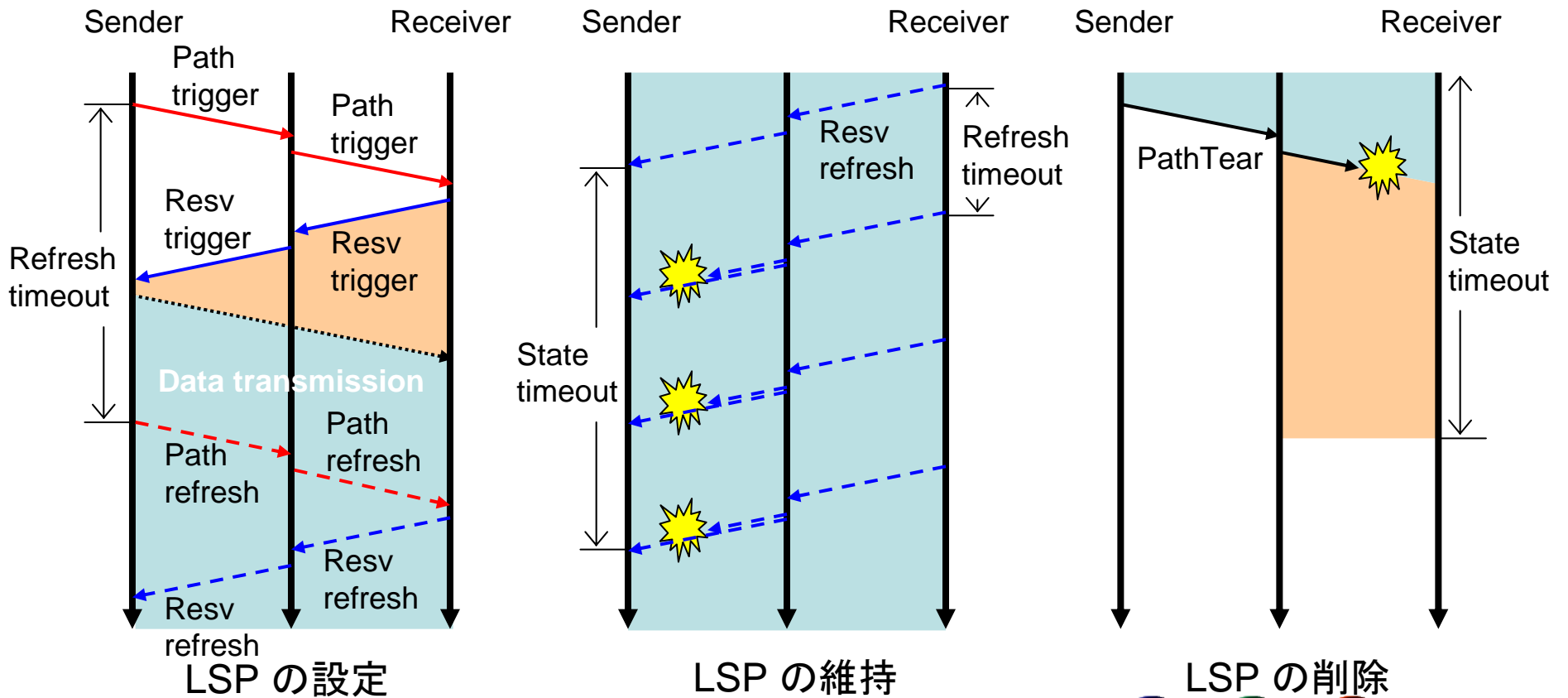
波長ルーティングネットワークとシグナリング

- 波長ルーティングネットワーク
 - 光ファイバと光スイッチで構成
 - 光パスを設定して通信
 - 波長ごとに光スイッチを切り替えて設定
 - シグナリングで光スイッチの切り替えを制御
- GMPLS (Generalized Multi-Protocol Label Switching)
 - 波長ルーティングネットワークを制御するためのプロトコル群
 - RSVP-TE (Resource reSerVation Protocol – Traffic Engineering)
 - GMPLS で使用されるシグナリングプロトコル
 - ソフトステート型のステート制御



RSVP-TE の基本的な動作

- タイマとリフレッシュによるステート制御
 - タイムアウト時間が経過すると制御ステートを削除
 - リフレッシュによりタイムアウト時間を越えて制御ステートを維持
 - タイムアウト時間までにリフレッシュメッセージを受信するとタイマをリセット



ソフトステート型シグナリングの長所と短所

■ 長所

- 制御ステートが必ず初期状態に戻ることを保証
 - 制御プレーンで通信障害が発生した場合でも予約資源を解放

■ 短所

- 資源の利用効率が低下
 - 制御ステートのリフレッシュによる制御メッセージ量の増加
 - 予約した資源を解放するまでに最悪でタイムアウト時間かかる
- False removal
 - リフレッシュメッセージが届かないことにより維持すべき制御ステートを削除
 - リフレッシュメッセージを受信すれば回復



波長ルーティングネットワークでの波長予約に関する従来研究

- 従来研究では制御メッセージを損失しないと仮定
 - ハードステート型シグナリングプロトコルとして性能を評価
 - 制御メッセージによってステートを明示的に制御
 - ソフトステート型に比べて資源の利用効率が高い
- 実ネットワークでは制御メッセージを損失することがある
 - 制御プレーンの障害, バッファ溢れなど
 - ハードステート型シグナリングでは対応できない
 - 制御メッセージを受信しない限りステートを変更できない
 - ソフトステート型のステート制御が必須

制御メッセージの損失および制御プレーンの障害が発生する場合
におけるシグナリングプロトコルの性能評価が必要



関連研究

- マルコフ過程を用いた解析によるシグナリングの比較評価 [1]
 - 5種のシグナリングのクラスをモデル化
 - SS (純ソフトステート), SS+ER, SS+RT, SS+RTR, HS (純ハードステート)
 - 評価指標は不整合率
 - 送受信ノード間で制御ステートに不整合がある状態確率の和
- 本研究の文献 [1] との違い
 - GMPLS RSVP-TE を対象としたモデル化と評価
 - 波長ルーティングネットワークを想定したパラメータ値で評価
 - 不整合率よりも詳細な指標での評価
 - 不整合な状態のうち、ネットワークの性能に影響を及ぼす部分で評価
 - 制御プレーンの障害発生を含むモデルへの拡張

[1] P. Ji, Z. Ge, J. Kurose, and D. Towsley, "A Comparison of Hard-state and Soft-state Signaling Protocols," in Proceedings of ACM SIGCOMM '03, (Karlsruhe, Germany), Aug, 2003.



研究の目的

- GMPLS RSVP-TE の制御パラメータが資源の利用効率に与える影響を明らかにする
 - タイマのタイムアウト時間
 - ステートタイムアウトタイマ, リフレッシュタイマ
- 比較するシグナリングプロトコル
 - 標準の GMPLS RSVP-TE (RSVP-TE)
 - 制御メッセージの再送機能を追加した RSVP-TE (RSVP-TE/Ack)
 - ハードステート型のバックワード波長予約方式 (HS DIR)



マルコフ過程を用いた GMPLS RSVP-TE のモデル化 (1)

- シングルホップの LSP を設定する場合をモデル化
 - 文献 [1] のマルコフモデルを拡張
 - マルコフ過程によりモデル化するために以下を仮定
 - LSP の保持時間, 制御メッセージの伝播遅延時間は指数分布に従う
 - ノードにおける制御メッセージの処理遅延は 0
 - 波長予約の棄却率は定数で与えられる
 - RSVP-TE の動作に関して以下を仮定
 - 各タイマのタイムアウト時間は指数分布に従う
 - リフレッシュタイマ, ステートタイムアウトタイマ, 再送タイマの平均タイムアウト時間はそれぞれ一定とする



マルコフ過程を用いた GMPLS RSVP-TE のモデル化 (2)

- 使用するパラメータ
 - 送受信ノード間の制御メッセージの伝搬遅延時間: D
 - リフレッシュタイマのタイムアウト時間: T
 - リフレッシュ回数: k
 - ステートタイムアウトタイマのタイムアウト時間: $X = kT$
 - LSP の平均接続時間: $1 / \mu$
 - 制御メッセージのロス率: p_l
 - 波長予約の棄却率: p_b
 - 制御メッセージの再送タイマのタイムアウト時間: R
 - 最大の再送回数: m
 - False removal の発生率:
 - RSVP-TE: $\lambda_f = p_l^k / X$
 - RSVP-TE/Ack: $\lambda_f = p_l^{(k-1)(m+1)+1} / X$

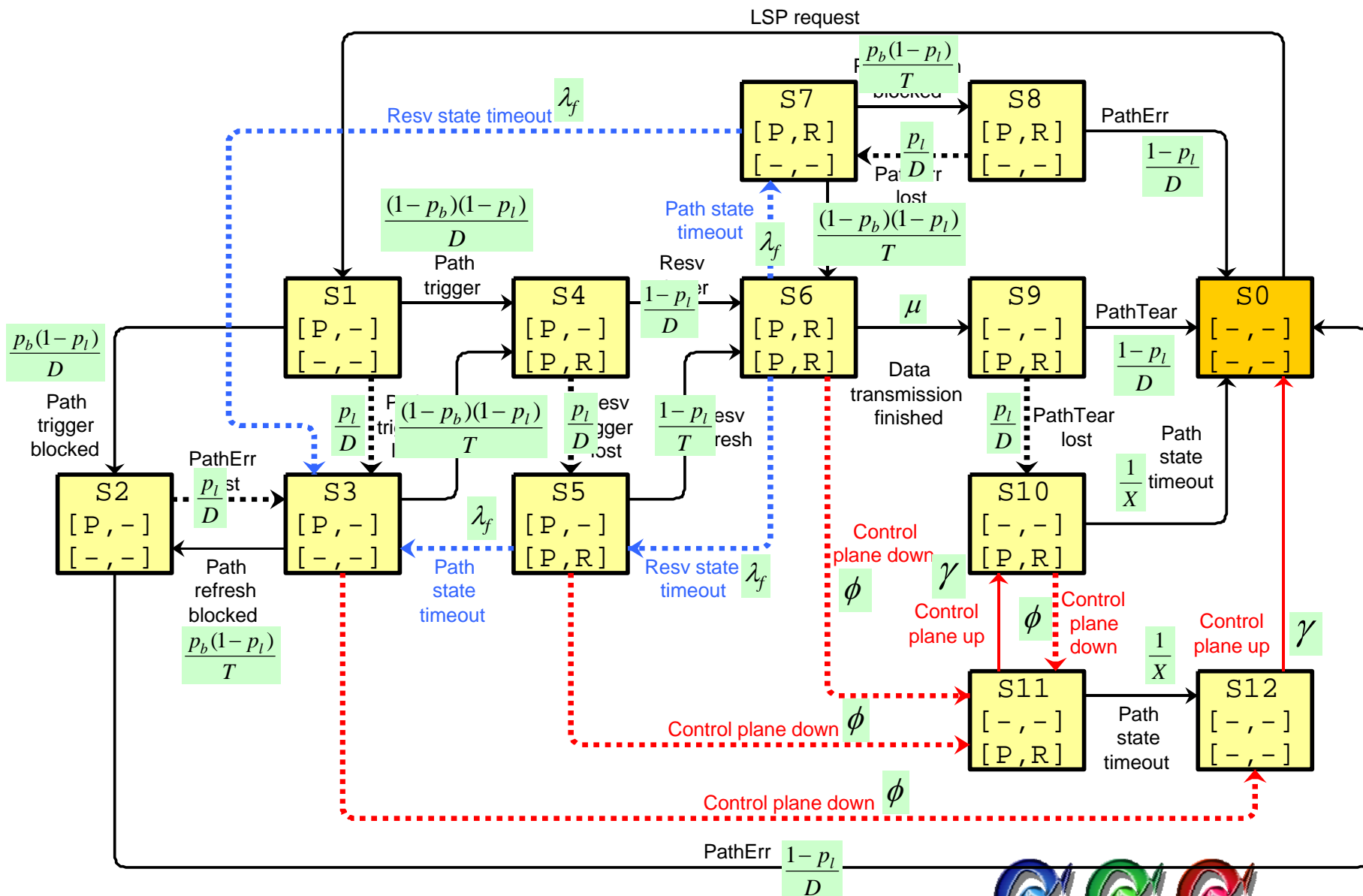


制御プレーンの障害発生を含めたモデル

- 制御プレーンの障害発生をマルコフモデルに追加
 - 制御プレーンの障害発生に関して以下を仮定
 - 障害発生時は制御メッセージの送受信が不可能
 - 障害が発生後は LSP を削除する (制御ステートを回復しない)
 - 制御プレーンの障害はポアソン過程に従い発生する
 - 制御プレーンの障害回復に要する時間は指数分布に従う
 - 追加するパラメータ
 - 制御プレーンの障害の発生率: ϕ
 - 制御プレーンの平均障害回復時間: $1/\gamma$



各遷移の遷移率



RSVP-TE/Ack および HS DIR の場合の状態遷移

■ RSVP-TE/Ack の場合

- 制御メッセージを損失した場合に再送を行う
 - 再送メッセージの送信レートは $\frac{1}{R}$
- RSVP-TE の状態遷移において以下の置換を施す

$$\frac{1}{T} \rightarrow \frac{1}{T} + \frac{1}{R}$$

$$\frac{1}{X} \rightarrow \frac{1}{X} + \frac{1-p_l}{R} \quad (\text{状態 } S_{10} \text{ から状態 } S_0 \text{ への遷移のみ})$$

■ HS DIR の場合

- タイマを用いない
- RSVP-TE/Ack の状態遷移において以下の変更を施す
 - タイムアウトの遷移を削除
 - 到達不可能となった状態とその状態から出る遷移を削除



予約波長の遊休時間の算出

- 予約波長の遊休時間
 - 波長を予約しているが通信に使用していない時間
 - 予約波長の遊休時間が長いほど波長の利用効率が悪い
- 定常状態確率の比から算出
 - 状態 S_i の定常状態確率を π_i とする
 - 平均通信時間は $\frac{1}{\mu}$ であることから、予約波長の遊休時間 T' は次式で得られる

$$T' = \frac{\pi_4 + \pi_5 + \pi_7 + \pi_8 + \pi_9 + \pi_{10} + \pi_{11}}{\mu\pi_6}$$



マルコフモデルを用いた RSVP-TE の解析

- 制御メッセージのロス率に対する予約波長の遊休時間を評価
 - パラメータ設定
 - 伝搬遅延時間: 0.001 秒
 - 平均通信時間: 100000 秒 (約 28 時間)
 - 波長予約の棄却率: 0.001
- 5 種のシグナリングで比較

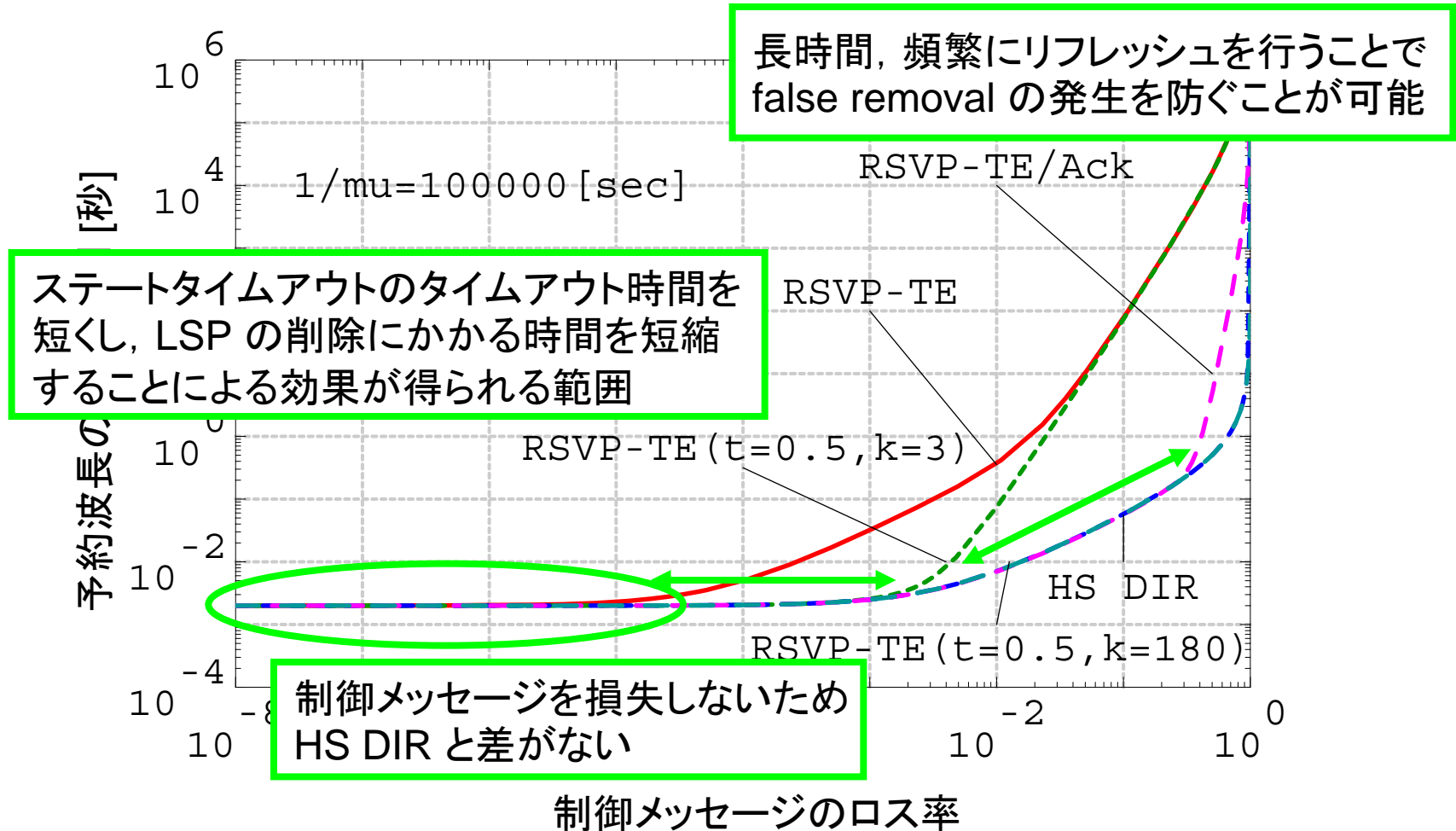
シグナリング	RSVP-TE	RSVP-TE(A)	RSVP-TE(B)	RSVP-TE/Ack	HS DIR
リフレッシュ間隔 [秒]	30 *	0.5	0.5	30	-
リフレッシュ回数	3*	3	180	3	-
再送間隔 [秒]	-	-	-	0.5**	0.5
再送回数	-	-	-	3**	∞

*: RFC2205 記載の標準値

** : RFC2961 記載の参考値

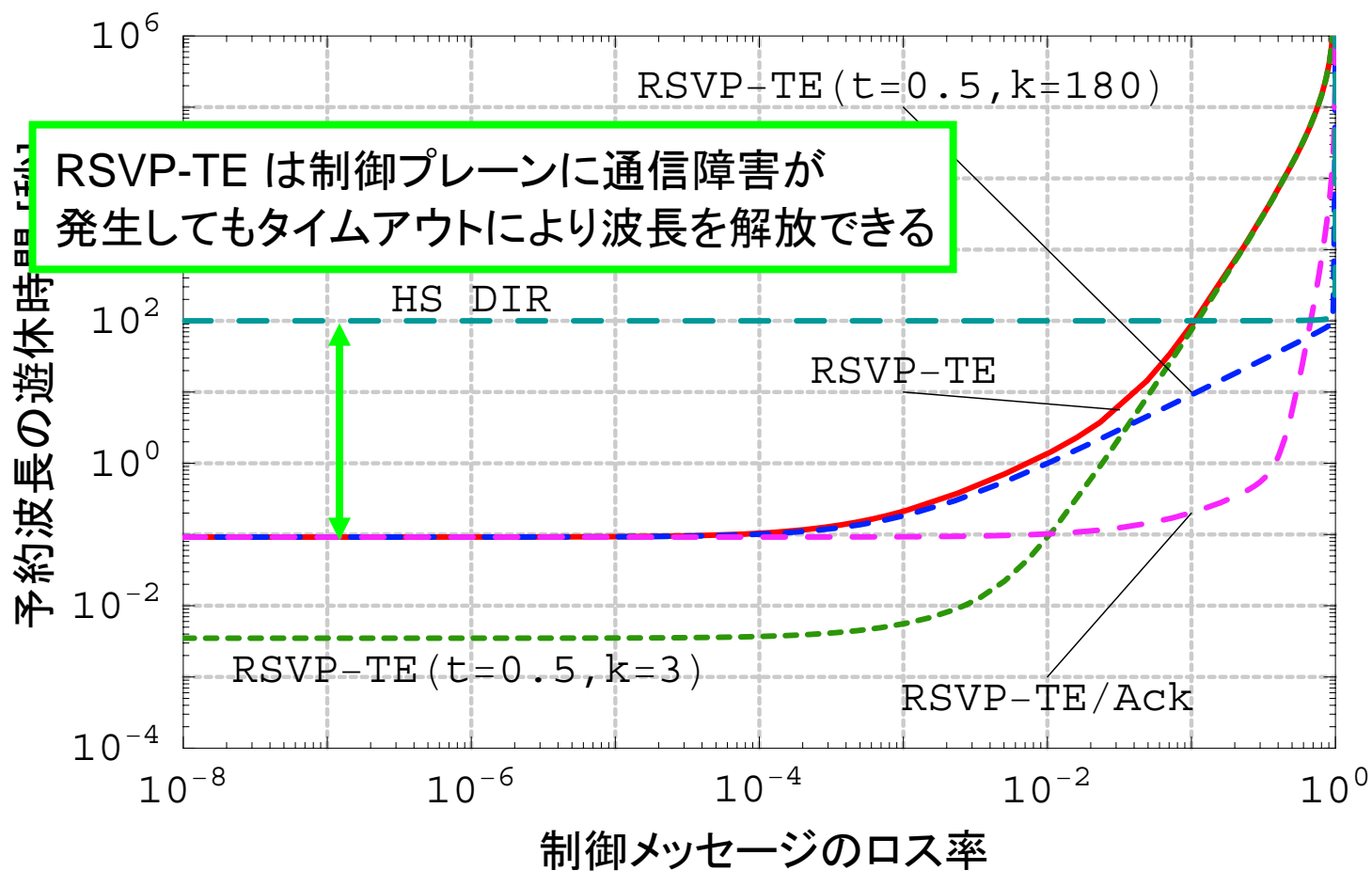


制御プレーンに障害が発生しない場合



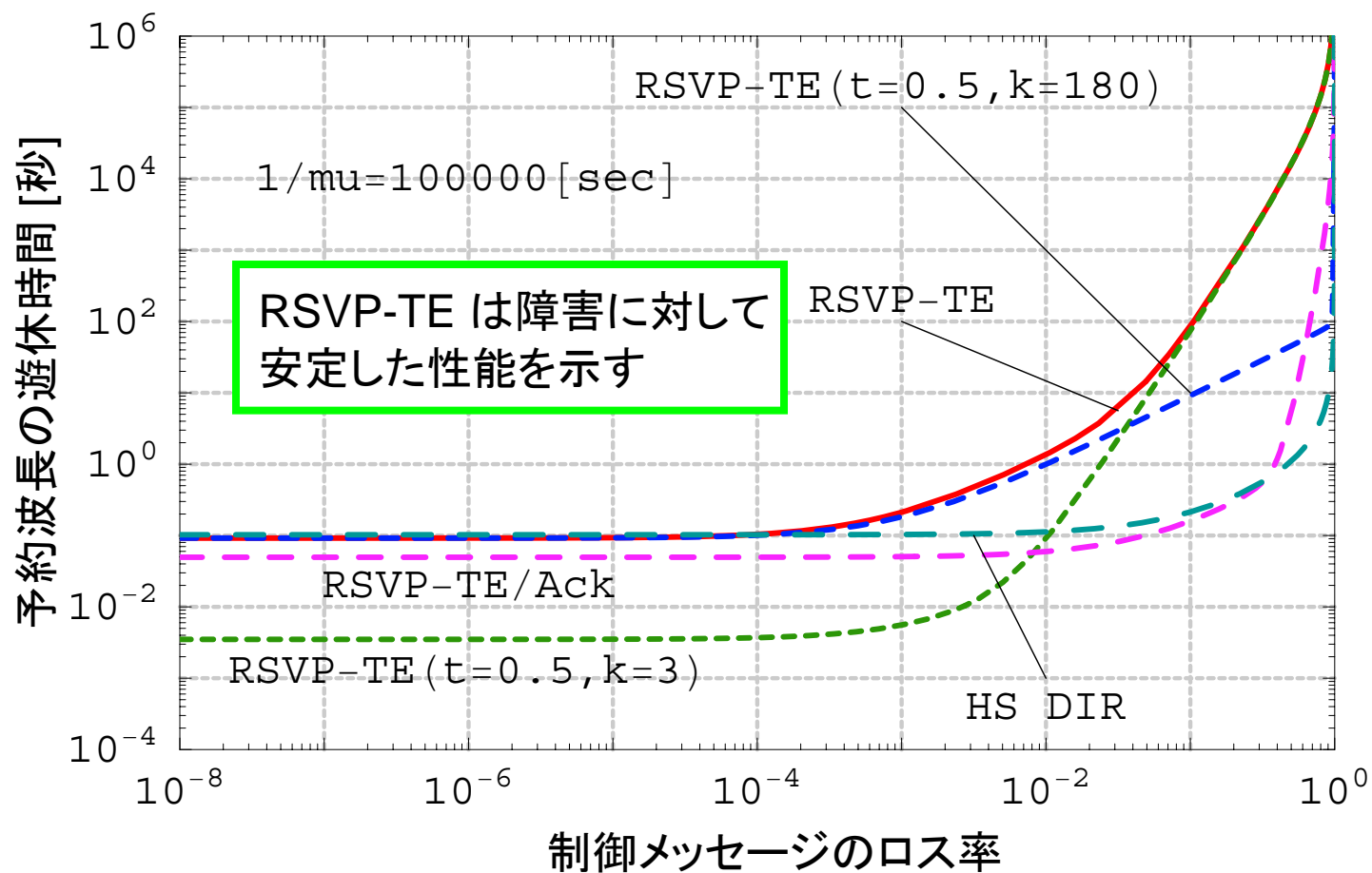
ケース 1: 障害が稀に発生し, 回復までの時間が長い場合

制御プレーンの障害発生率: 0.00000001 (約 3 年に 1 回)
平均障害回復時間: 100000 秒 (約 28 時間)



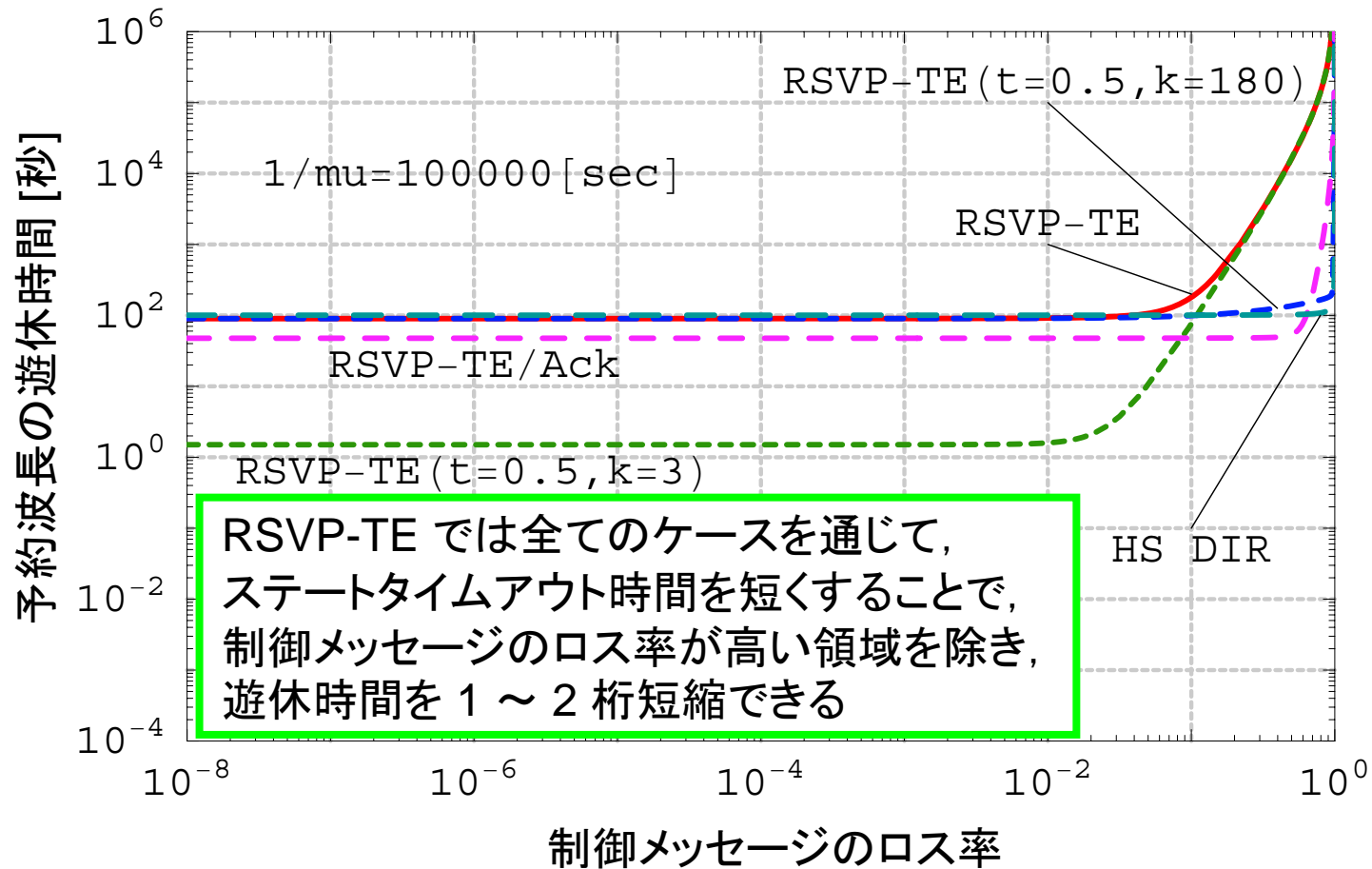
ケース 2: 障害が稀に発生し, 回復までの時間が短い場合

制御プレーンの障害発生率: 0.00000001
平均障害回復時間: 100 秒



ケース 3: 障害が頻繁に発生し, 回復までの時間が短い場合

制御プレーンの障害発生率: 0.00001
平均障害回復時間: 100 秒



まとめと今後の課題

■ まとめ

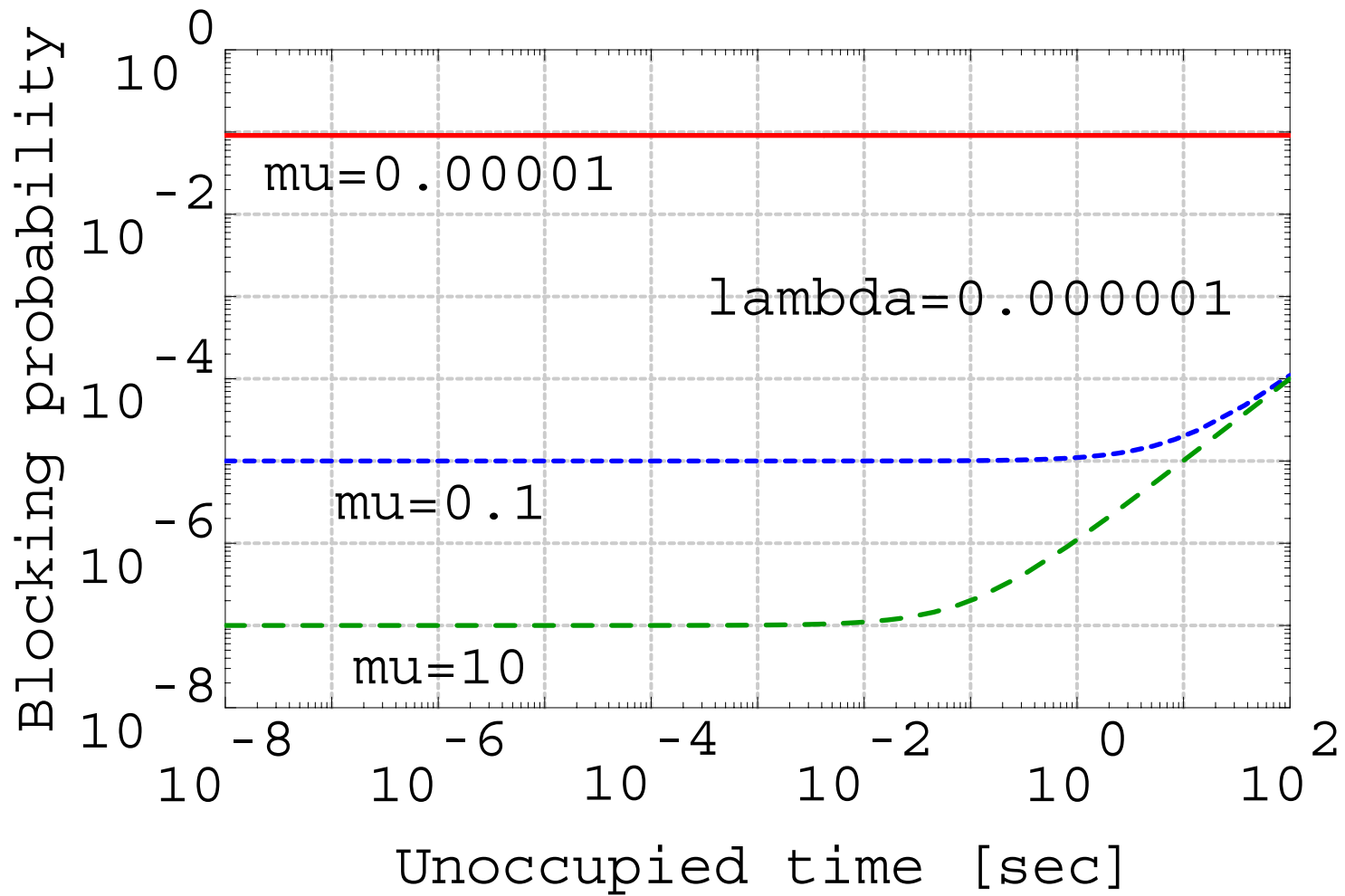
- シングルホップの LSP を設定するときの GMPLS RSVP-TE の動作をマルコフ過程を用いてモデル化
- 作成したモデルを用いて GMPLS RSVP-TE の性能を解析
 - 制御メッセージのロス率が低い場合 (約 0.00001 以下):
標準のパラメータ設定でハードステート型と同等の性能が得られる
 - 制御メッセージのロス率が中程度の場合 (約 0.00001 ~ 0.001 程度):
タイムアウト時間を短縮すると予約波長の遊休時間が 1 桁程度短くなる
 - 制御メッセージのロス率が高い場合 (約 0.01 以上):
標準の RSVP-TE に再送機能を拡張する効果が得られる

■ 今後の課題

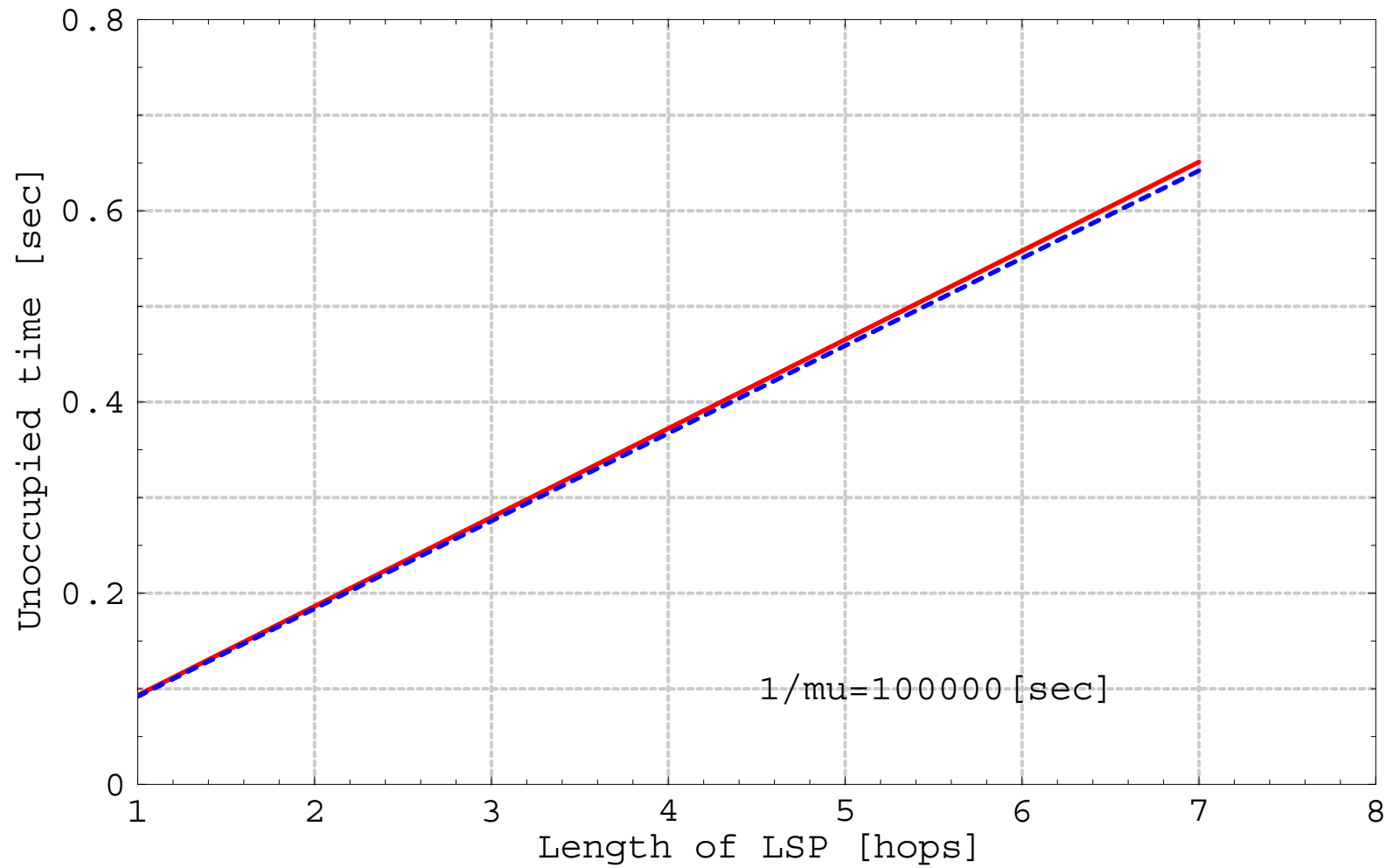
- マルチホップの LSP を設定するときの GMPLS RSVP-TE の解析



予約波長の遊休時間と棄却率の関係

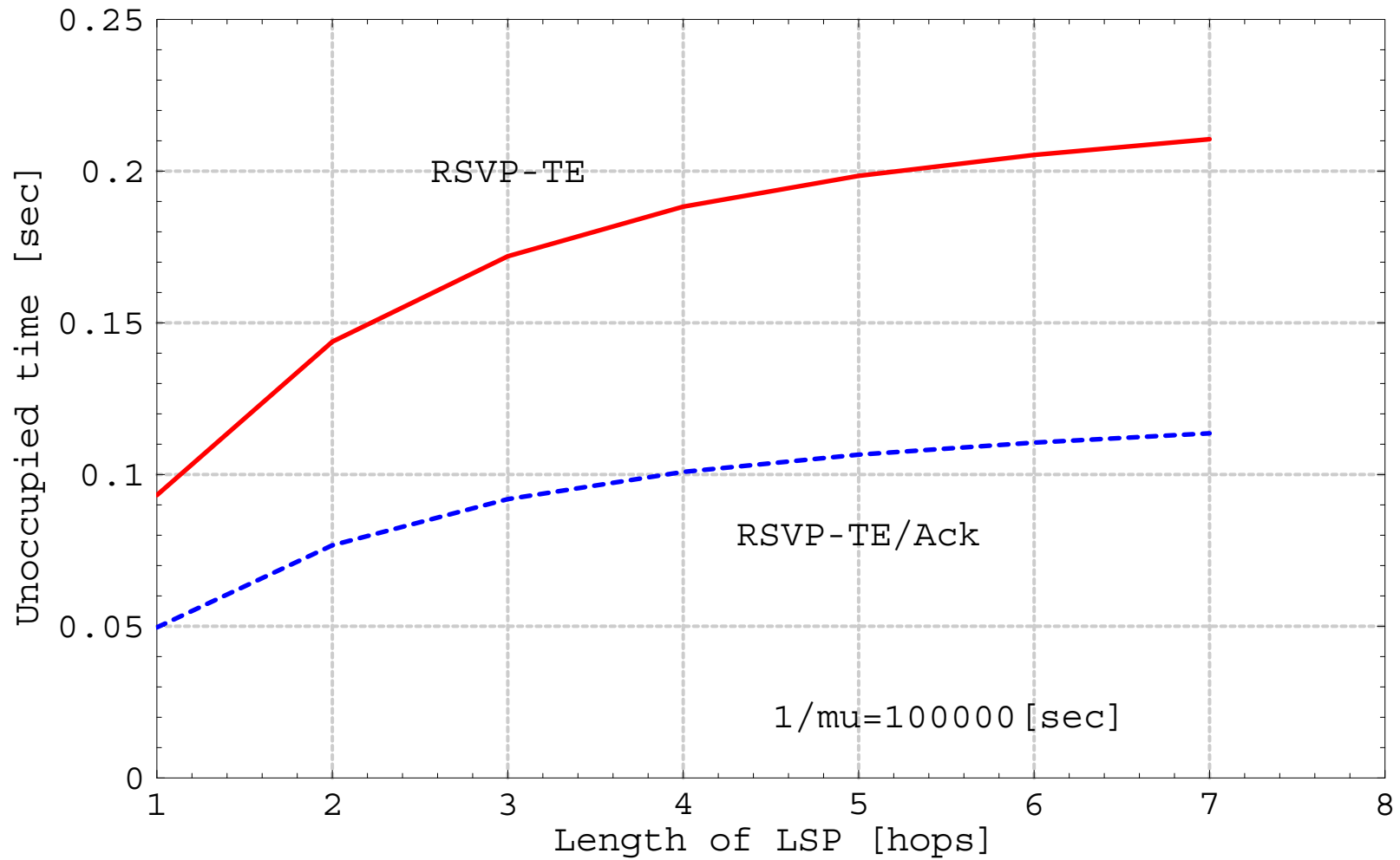


■ ケース 1



マルチホップ LSP を設定する場合の結果

■ ケース 2



■ ケース 3

