

超高速衛星回線を有効利用する 基盤技術の研究開発(092308002)

広島市立大学大学院

○石田 賢治

小畑 博靖

高野 知佐

舟阪 淳一



研究背景

- WINDS等による衛星回線の高速化
 - 地上回線と同様に、ギガビット級の高速通信
- 衛星回線を利用したインターネットで用いる多くのアプリケーションはデータ送信量制御技術として、TCPを利用
 - 従来のTCPは衛星回線の性質(長い遅延時間、ビット誤りによるパケットロス)に対応できない



研究目的

- 超高速インターネット衛星WINDSを利用して、**超高速衛星回線用TCPの開発、および、従来TCPと開発TCPを相互変換する代理サーバ技術**の研究開発を行う

高速衛星回線経由で高画質画像の受信

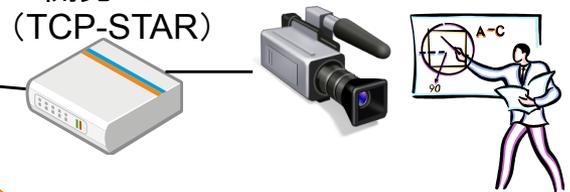


超高速通信衛星WINDS

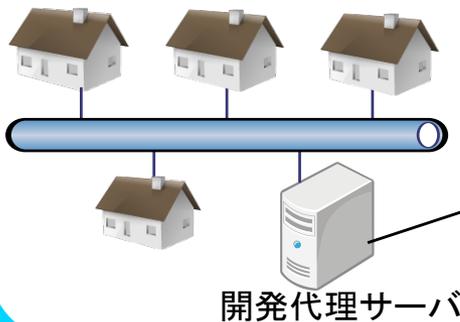


高速衛星回線用の開発TCPを利用した高画質の遠隔講義など(送信)

開発TCP
(TCP-STAR)



僻地等でのネットワーク構築



開発代理サーバ(TCP-gSTAR)



既存TCPを利用して高速衛星インターネット

超高速衛星回線に適したTCPの開発 および実証実験



超高速衛星回線用TCP (TCP-STAR)

- 従来TCP (NewReno) を基に拡張したTCP
- 測定帯域を利用してデータ転送レートを制御
 - 帯域の測定はABE (Available Bandwidth Estimation) を利用
- データ送信端末のみTCP制御を変更

- TCP-STARの3つの機能
 - LWC (Lift Window Control) [ABEを利用]
 - CWS (Congestion Window Setting) [ABEを利用]
 - AEN (Acknowledgement Error Notification)

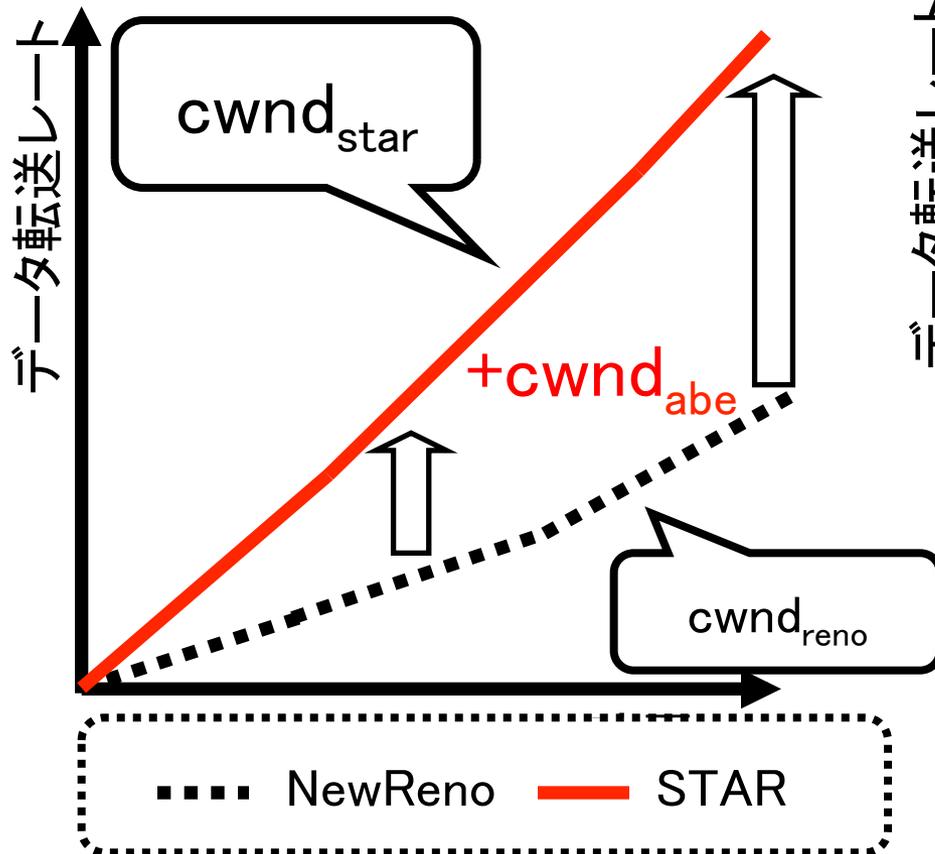


TCP-STARの輻輳ウィンドウ(送信量)制御

■ 測定帯域 ($cwnd_{abe}$) を利用してデータ転送レートを制御

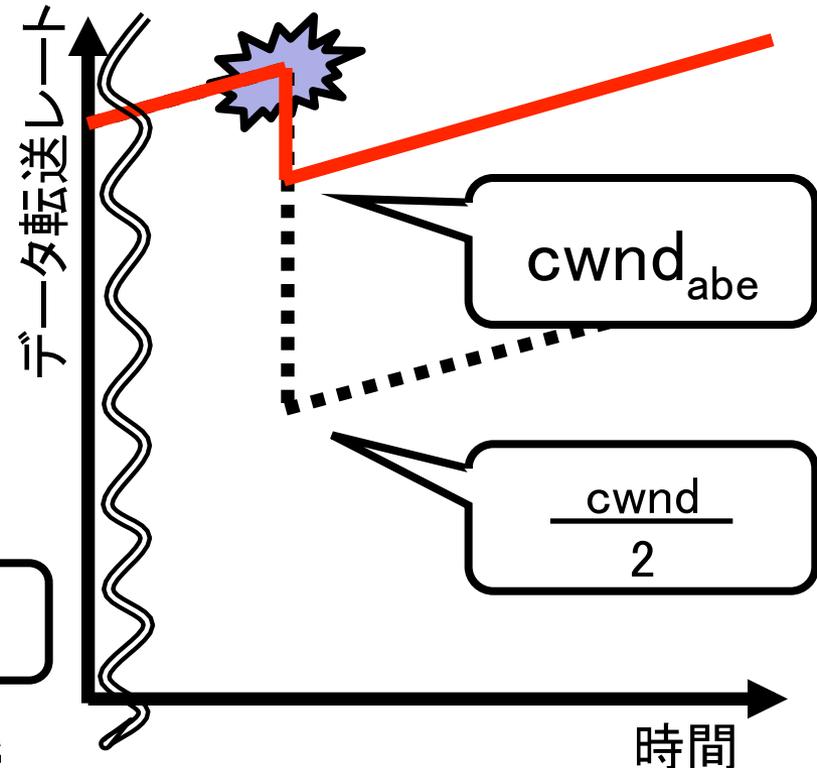
ウィンドウ増加制御

- LWC(Lift Window Control)



ウィンドウ減少制御

- CWS(Congestion Window Setting)



■ 実験場所

- JAXA筑波宇宙センター(茨城県つくば市)
- NICT鹿島宇宙技術センター(茨城県鹿嶋市)
- NICT本部(東京都小金井市)

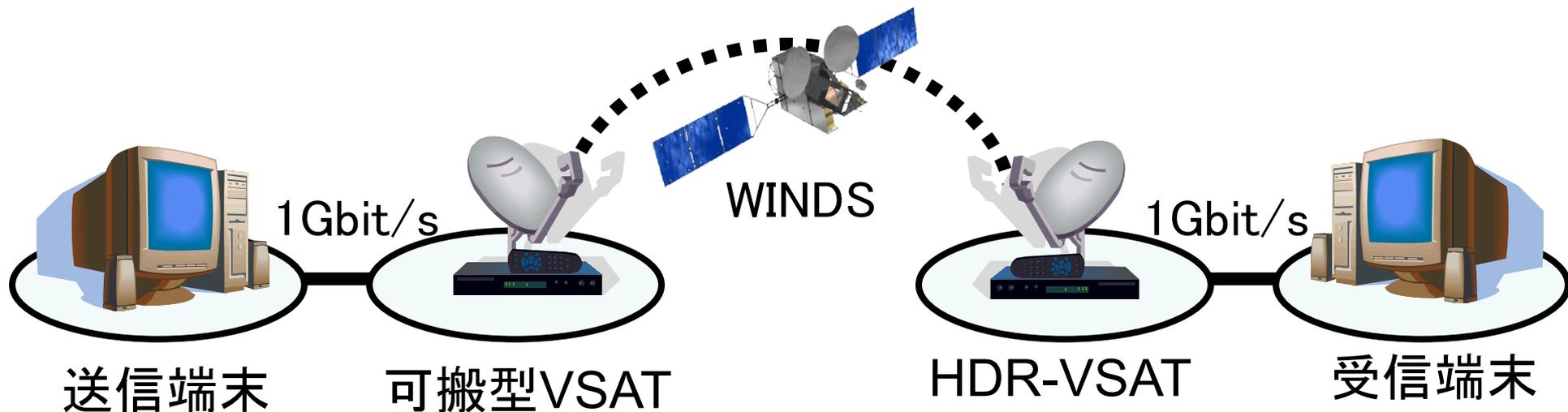
■ 利用した地球局

□ 動作検証

- ◆ HDR-VSAT(アンテナ径1.2m)、および、可搬型VSAT(アンテナ径1.0m)

□ 最大性能評価

- ◆ 大型地球局(LET)(アンテナ径5.0m)、および、SDR-VSAT(アンテナ径2.4m)



■ 帯域設定 (制御局から割り当てられた値)

送信端末 ⇒ 受信端末 <u>Data Path</u>	受信端末 ⇒ 送信端末 <u>ACK Path</u>
42 Mbit/s	6.9 Mbit/s

実験内容(動作検証)

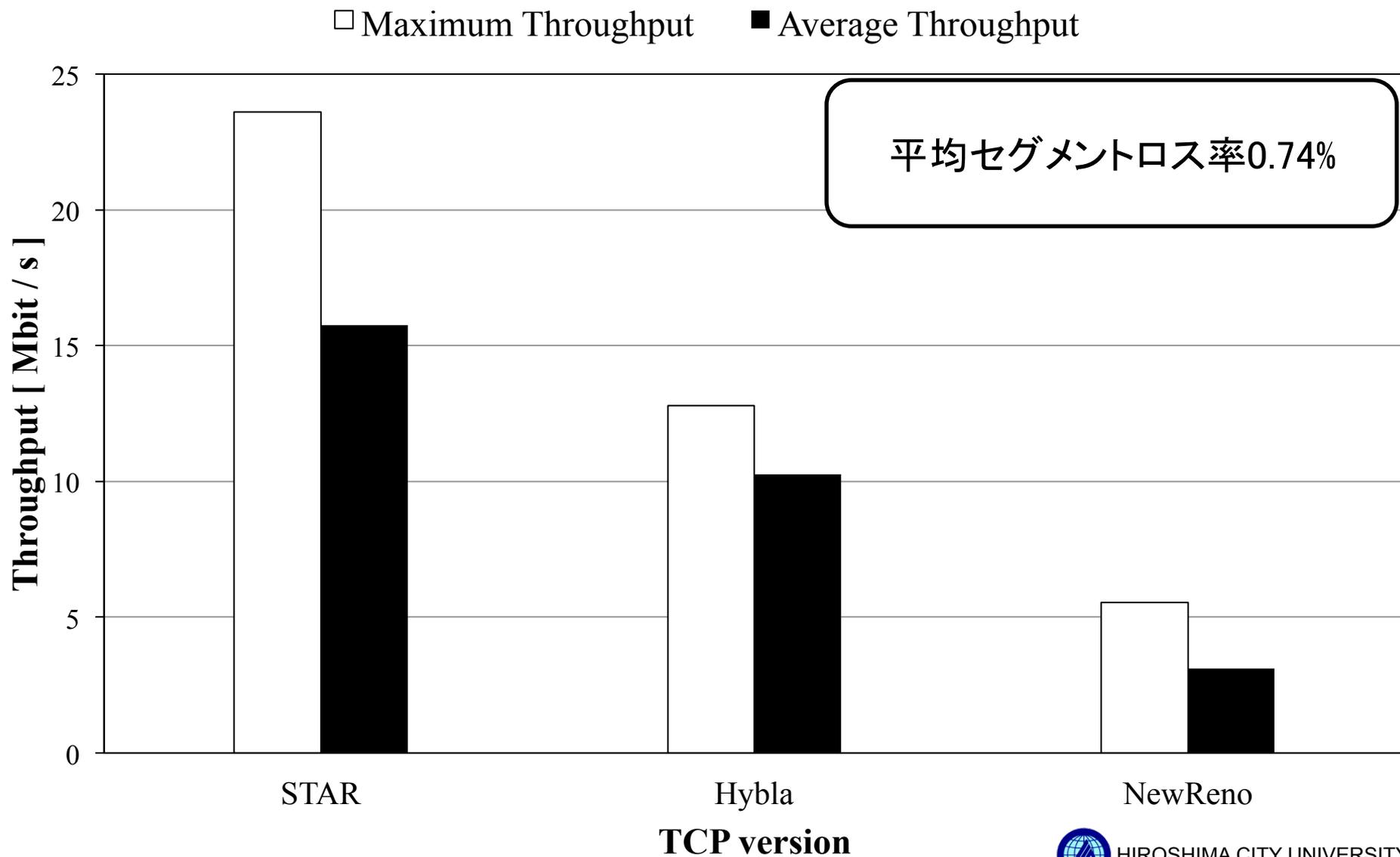
■ スループット測定

- 各TCPの最大、平均スループットを比較
 - ◆ TCP-STAR(開発TCP)
 - ◆ TCP-Hybla(従来の衛星回線を考慮して開発されたTCP)
 - ◆ TCP-NewReno(従来TCP)
- スループット評価ツールIperfを利用
 - ◆ 最大性能を評価するため、コネクション数は1

■ 動画像ストリーミング実験

- セグメントロスが発生する環境において、TCP-NewRenoとTCP-STARを比較

実験結果(動作検証:スループット測定)

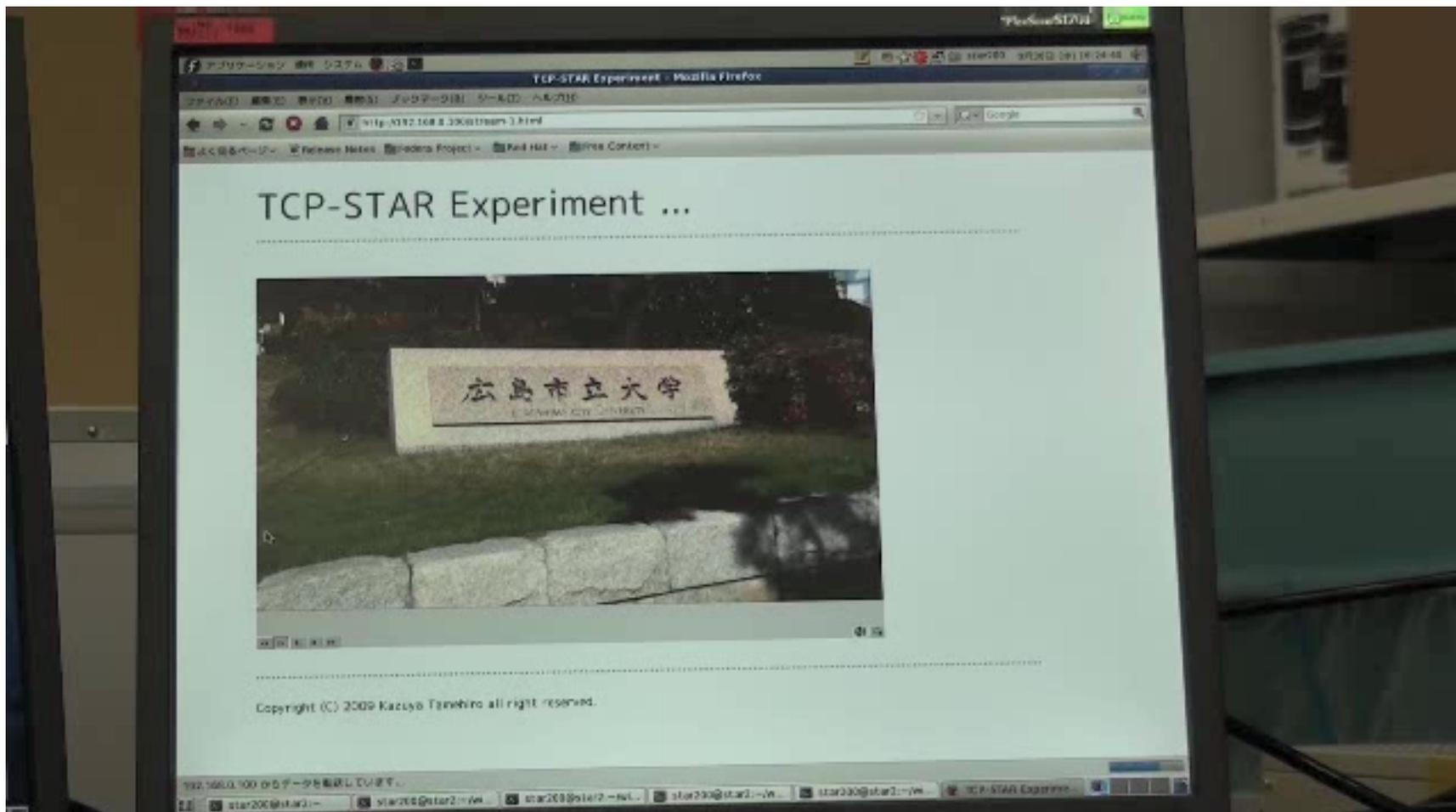


実験結果(動画像ストリーミング:元の動画)

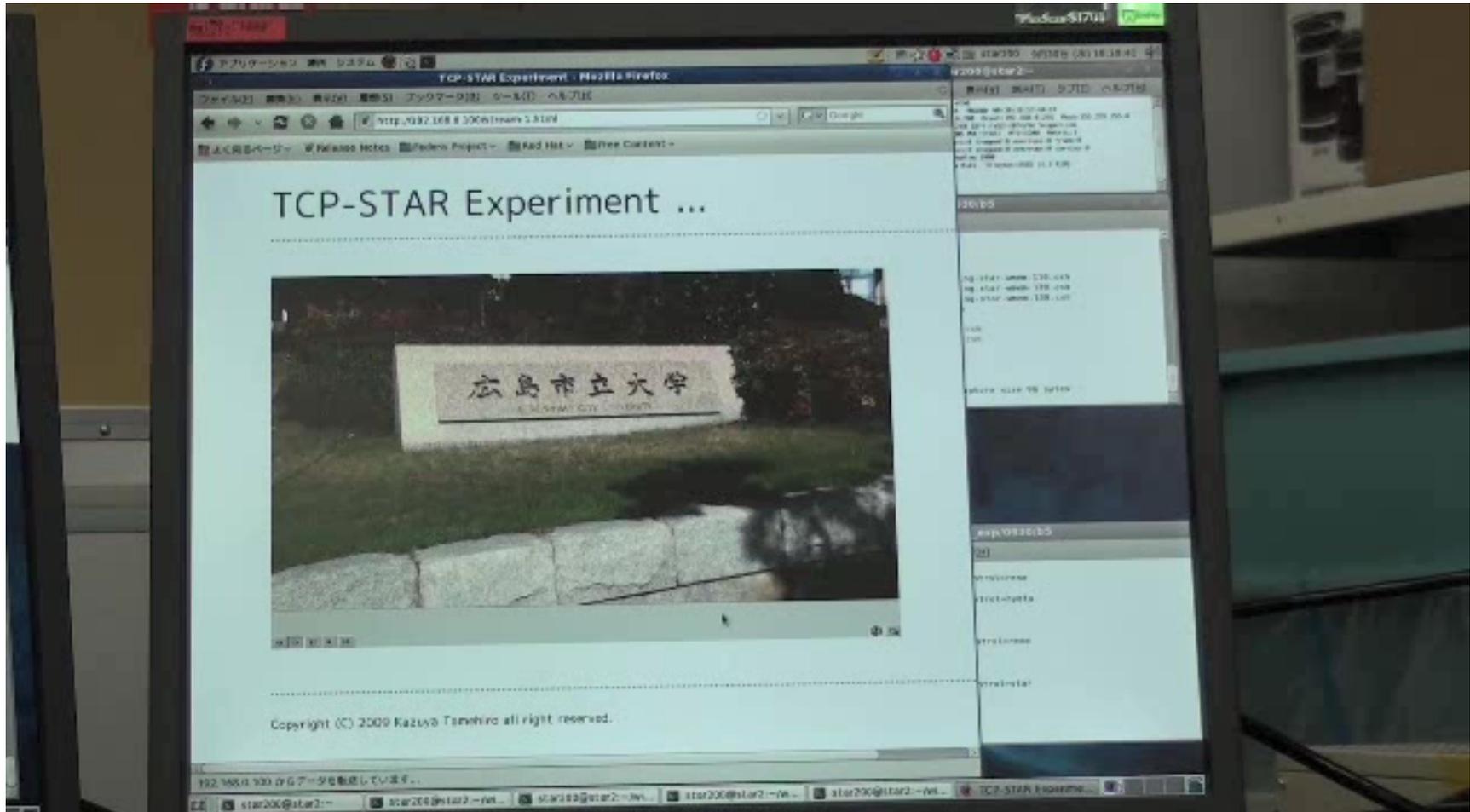


実験結果(動画像ストリーミング: NewReno)

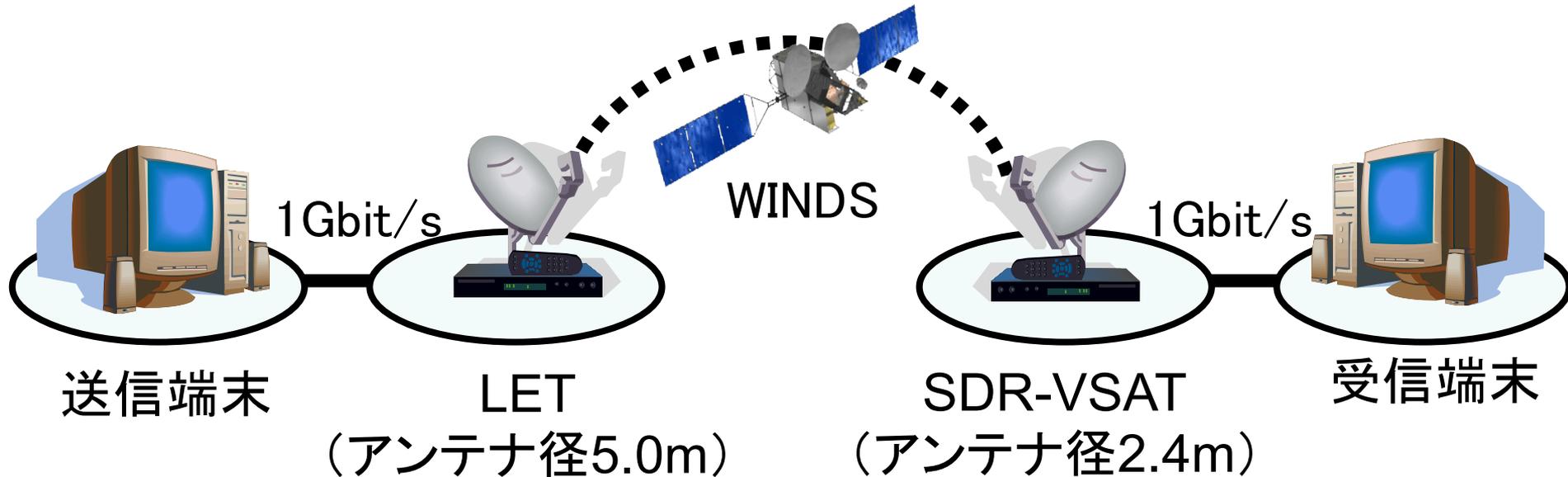
12



実験結果(動画像ストリーミング:STAR)



実験環境(最大性能評価)



■ 帯域設定(制御局から割り当てられた値)

送信端末 \Rightarrow 受信端末 <u>Data Path</u>	受信端末 \Rightarrow 送信端末 <u>ACK Path</u>
462 Mbit/s	66 Mbit/s

実験内容(最大性能評価)

■ スループット測定

- iperfにより10分間のTCPトラフィックを発生
- 1フローのみ発生

■ 通信環境

- RTT (Round Trip Time) : 517 ms
 - ◆ pingコマンドによる測定
- 平均パケットロス率 : 0.0005 %



実験結果(最大性能評価)

■ 10分間の平均スループットおよび標準偏差

Average Throughput [Mbit/s]	281.9
Standard Deviation [Mbit/s]	29.6

■ 衛星回線を利用した従来のTCP通信における最大スループット

- NASAのACTS(Advanced Communications Technology Satellite)を利用した127.87 Mbit/s
- 従来の速度記録を更新していることを確認



超高速衛星回線に適した代理サーバ技術 TCP-gSTARの開発および実証実験



代理サーバ技術 (TCP-gSTAR)

■ 衛星回線用TCPであるTCP-STARを基に開発したTCPプロキシ技術

(1) TCP-STARの輻輳ウィンドウ制御

(2) 通信環境に応じた動的転送制御

◆ 定期的にネットワークの状況 (パケットロス率) を監視し状況に応じて送信方法を変更

– パケット長制御 (PLC: Packet Length Control)

– バルクリポート再送 (BR: Bulk Repeat retransmit)

▶ ロス環境下におけるデータ送信の効率化を目指す



通信環境に応じた動的転送制御： パケット長制御 (PLC: Packet Length Control)

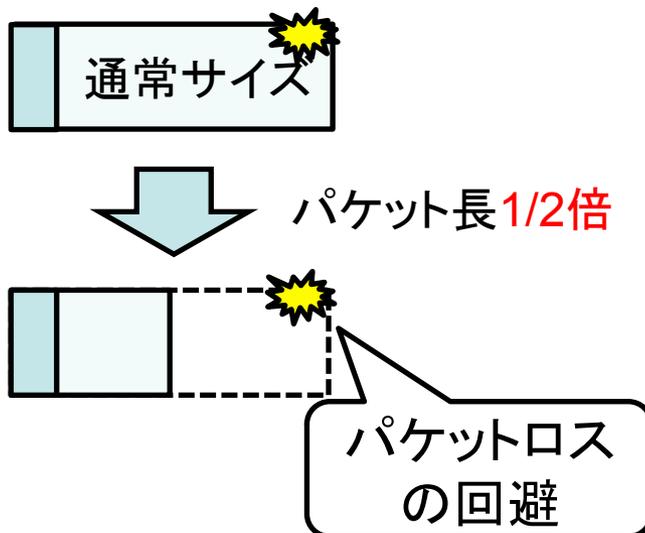
■ 無線環境におけるパケットロス率とビット誤り率 (BER) の関係

$$\square \text{パケットロス率} = 1 - (1 - \text{BER})^{\text{パケット長} \times 8}$$

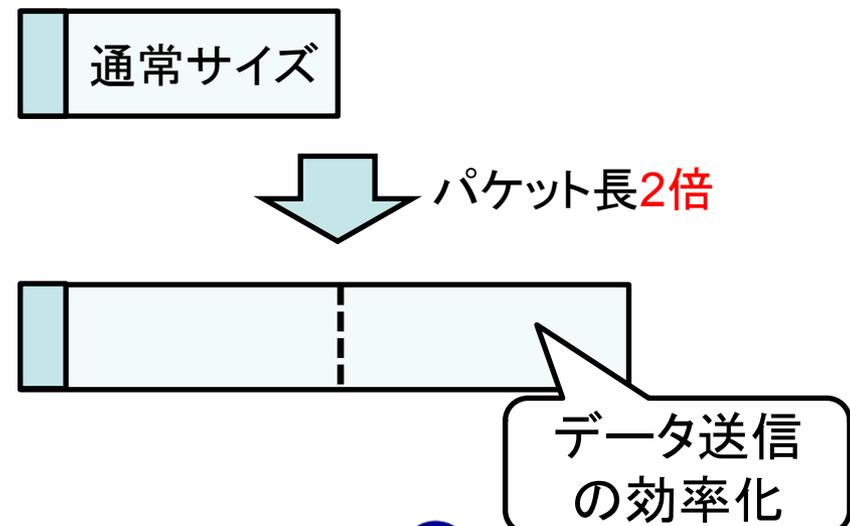
※ **パケット長**によりパケットロス率変動

➡ 通信環境に合わせて**パケット長**を変更し、送信効率を向上

見積りパケットロス率 > 閾値 α

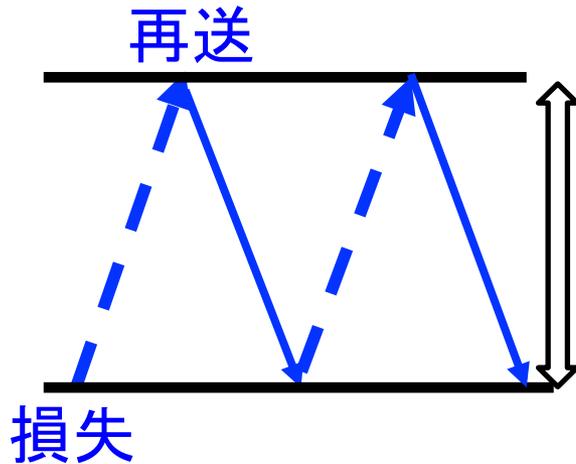


見積りパケットロス率 < 閾値 β



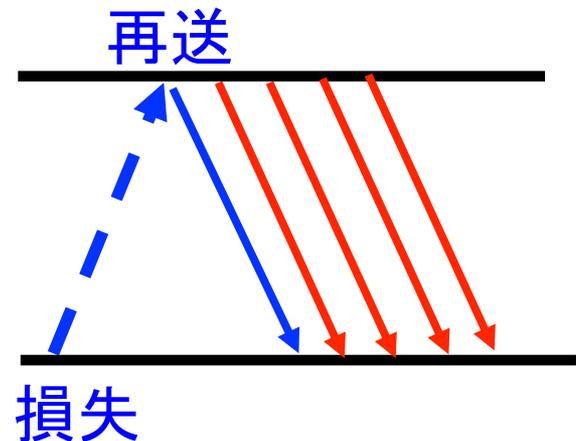
通信環境に応じた動的転送制御： バルクリピート再送 (BR: Bulk Repeat retransmit)

- 通常の再送 (SACK) : 1パケットずつ再送



高遅延環境において、パケットロスが多数発生すると、再送時間が長くなる

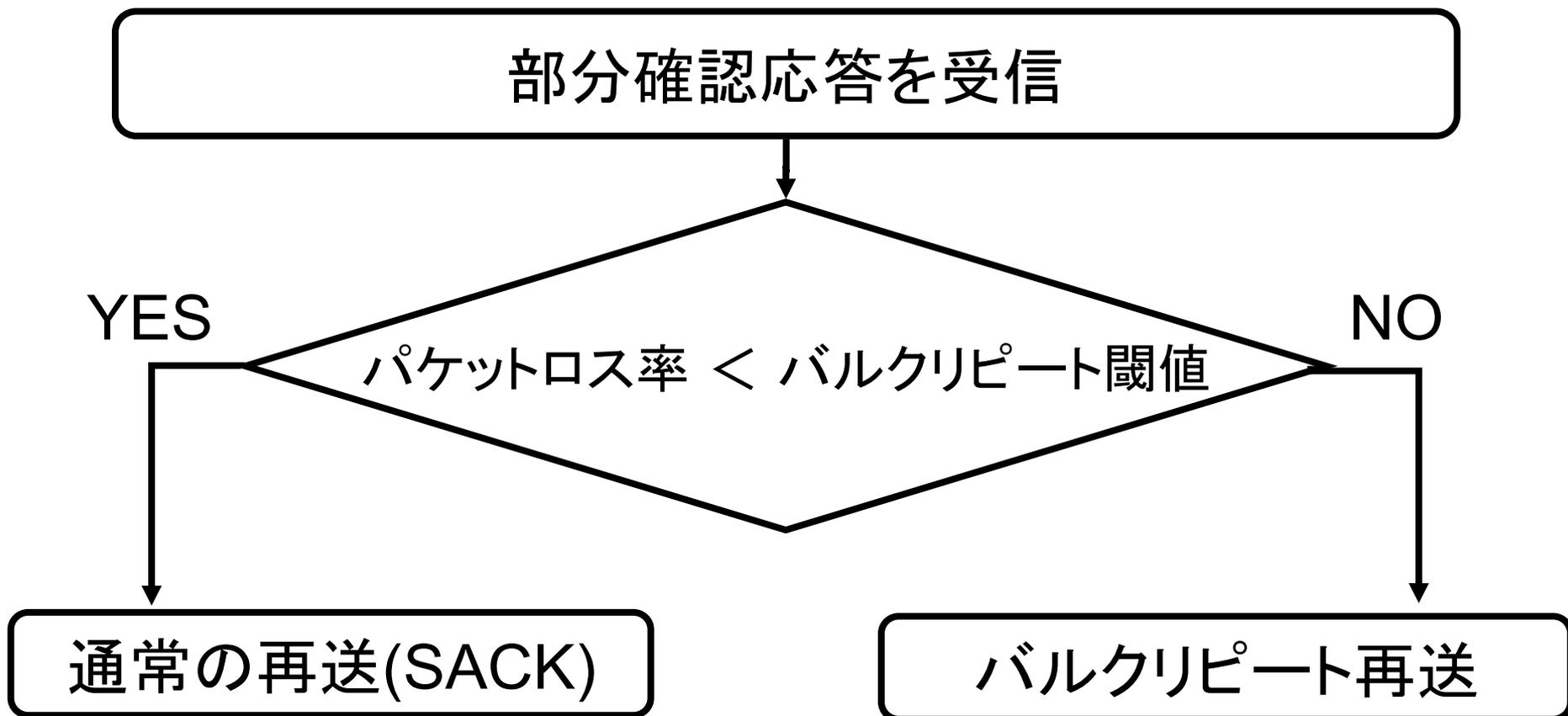
- バルクリピート再送: 損失したパケットから送信済みパケットを含むすべてのパケットを再送



損失パケット数が少ない場合、重複して届くパケットの割合が増えるため、帯域を無駄に消費する

■ 見積りパケットロス率に応じて再送方法を変更

- バルクリピート閾値：再送の制御を変更する閾値



WINDSを利用したTCP-gSTARの実証実験

■ 実験場所

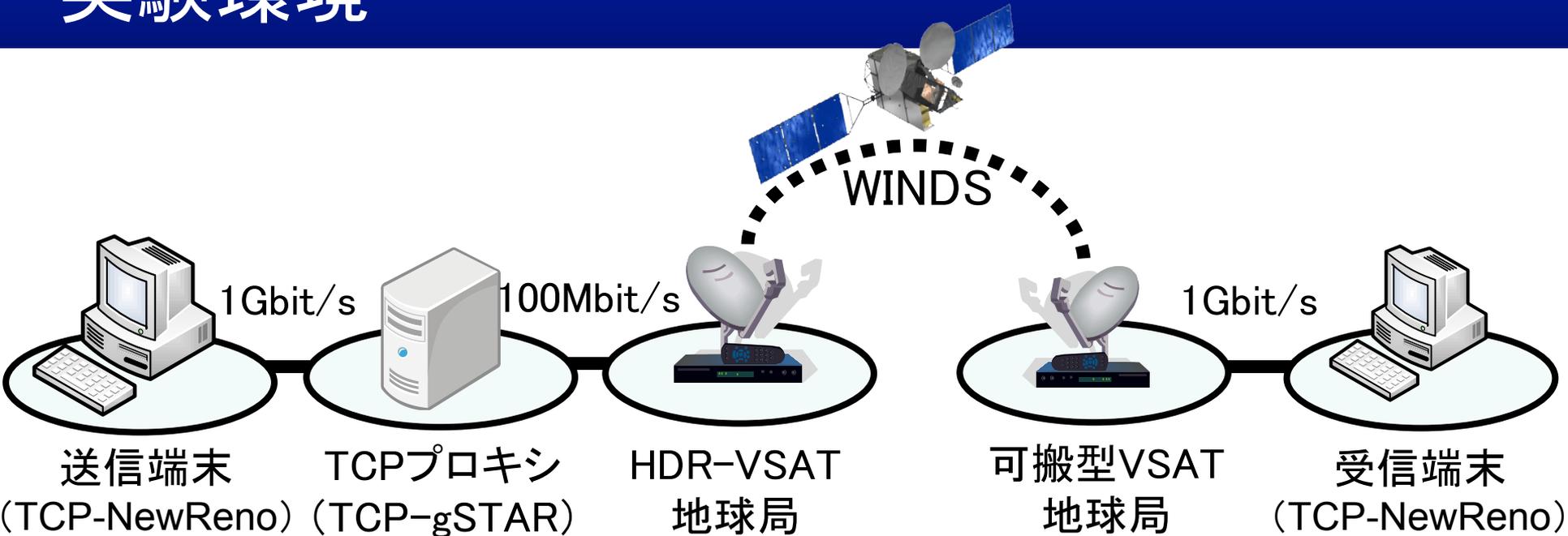
- JAXA筑波宇宙センター(茨城県つくば市)
- NICT本部(東京都小金井市)

■ 利用した地球局

- HDR-VSAT(アンテナ径1.2m)、および、可搬型VSAT(アンテナ径1.0m)



実験環境

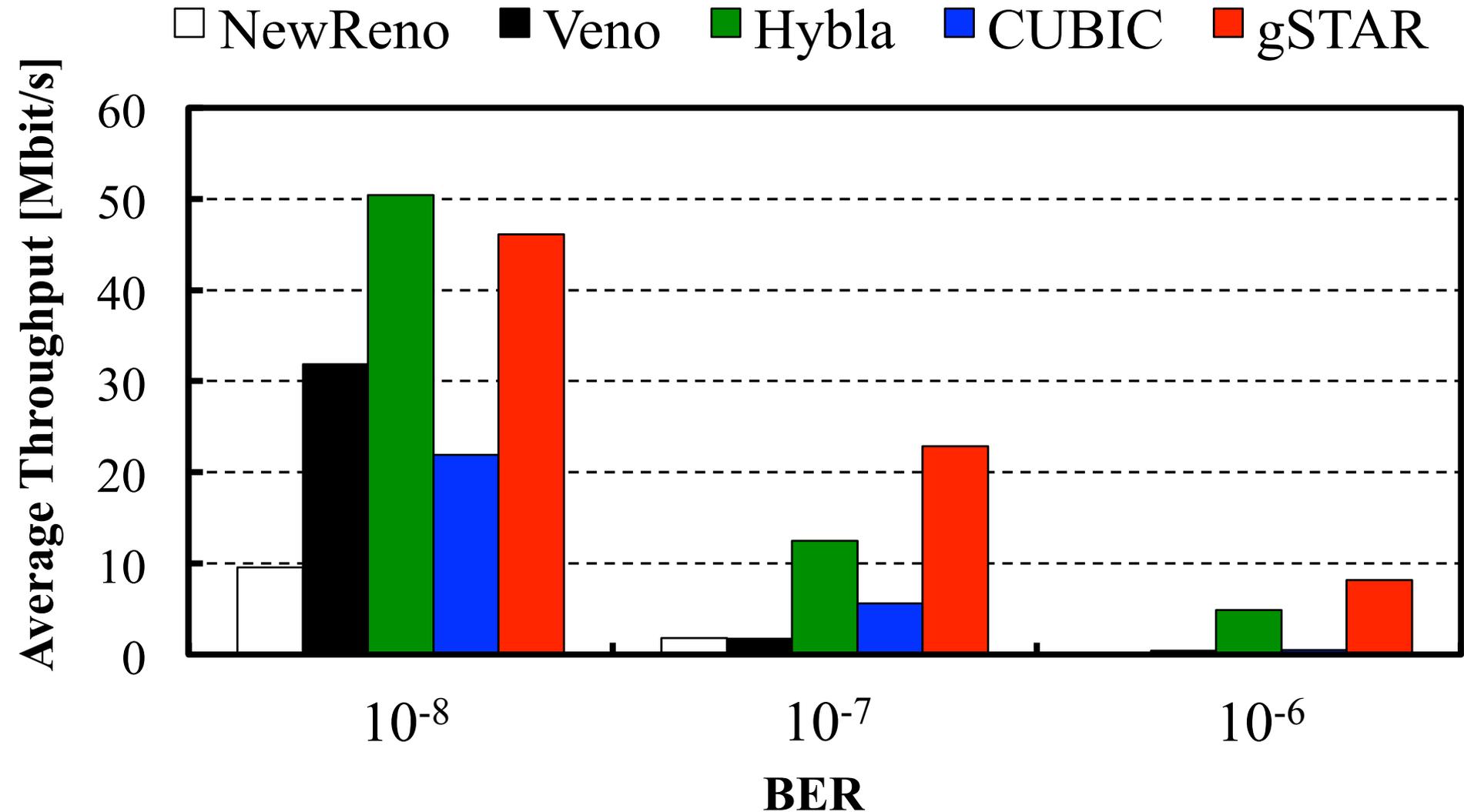


※送受信端末間の平均RTT=585ms

■ 帯域設定 (制御局から割り当てられた値)

送信端末 ⇒ 受信端末 Data Path	受信端末 ⇒ 送信端末 ACK Path
96 Mbit/s	9.2 Mbit/s

実験結果 (平均スループット)



まとめ

- 超高速衛星回線の帯域を有効利用するTCP輻輳制御 (**TCP-STAR**) および代理サーバ技術 (**TCP-gSTAR**) を開発
- 超高速インターネット衛星WINDSを利用し、実証実験を実施
 - 従来技術よりも高いスループットが得られることを確認

