

フレッツ 光クロスによる複数附属学校収容回線増強とその評価

安本 太一, 福井 真二, 中西 宏文

愛知教育大学 ICT 教育基盤センター

tyasu@aecc.aichi-edu.ac.jp

Evaluation of the Throughput of WAN Connecting the Affiliated Schools to the University using FLET'S HIKARI CROSS

Yasumoto Taichi, Fukui Shinji, Nakanishi Hirobumi

Center for Information and Communication Technology, Aichi University of Education

概要

愛知教育大学は、2024 年 2 月に、3 つの附属学校地区 LAN を大学 LAN へ収容するのに使用している WAN 回線 4 本全てを、NTT 西日本フレッツ 光ネクスト準 (最大 1Gbps) から同社フレッツ 光クロス (最大 10Gbps) に変更することによって増強した。この WAN 回線増強に伴いルータを全て更新したが、費用対効果を踏まえた総合的な判断から、4 台全てを 10Gbps 対応にしたのではなく、大学側 1 台のみ 10Gbps 対応のルータにし、附属学校地区の残り 3 台のルータは 1Gbps 対応のものにとどめた。このようなネットワーク構成変更より得られた各附属学校地区と大学の間の拠点間接続の実効速度の向上について報告する。本報告に技術的新規性はないが、特定のベストエフォート型 WAN 回線とルータを用いた実際の構築例とその性能評価は拠点間接続を構築する際の参考になると思われる。

1 はじめに

刈谷市にある愛知教育大学の大学キャンパス外にある附属学校 5 校は、名古屋市大幸地区、岡崎市明大寺地区、岡崎市六供地区の 3 つに別れて設置されている^{*1}。

GIGA スクール構想などを背景として、附属学校でインターネットが利用されるようになってきているが、附属学校からインターネット接続が遅いとの指摘があったことや、3 つの附属学校地区それぞれの児童生徒数に対してインターネット接続の帯域が不足していると判断したため、3 つの附属学校地区 LAN を大学 LAN に収容する WAN 回線を増強することにした。

本稿では、3 つの附属学校地区 LAN を大学 LAN に収容する WAN 回線の増強前と増強後の構成、増強による各附属学校地区と大学の間の拠点間接続の実効速度の向上の状況、NGN 閉域 IPv6 網と IPsec VPN を利用した拠点間接続のオーバーヘッド (実効速度低下と往復時間増) について述べる。

2 回線増強前の各附属学校地区 LAN の収容

2.1 増強前の WAN 回線とルータ

図 1 に回線増強前の附属学校地区 LAN を大学 LAN に収容する構成を示す^{*2}。図を見やすくするため、ルータや ONU は施設の外に記載し、本稿の議論と関係ないネットワーク機器は記載を省略している。名古屋市大幸地区には 2 校、岡崎市明大寺地区には 1 校、岡崎市六供地区には 2 校の附属学校が設置されている。厳密には、各附属学校地区 LAN の大学 LAN への収容は、大学の情報システムが設置されているデータセンターのある名古屋市栄地区 LAN に WAN で接続することによって実現されている。刈谷市地区にある大学 LAN もデータセンターのある名古屋市栄地区 LAN へ WAN で接続している。

各附属学校地区と名古屋市栄地区の間の拠点間接続に、NTT 西日本のフレッツ 光ネクスト準^{*3}(最大 1Gbps)、NTT 西日本の NGN 閉域 IPv6 網および IPsec VPN を用いている。拠点間接続設定のために

^{*1} 5 校以外に、名古屋市大幸地区に附属幼稚園、大学と同じ敷地に附属高等学校があるが、これらは本稿で述べている拠点間接続の実効速度にほとんど影響を与えないと考え一切言及しない。

^{*2} 図 1 と図 4 中のルータのなどのアイコンは、ネットワーク構成図 作成用アイコン (© ヤマハ株式会社 クリエイティブ・コモンズ (表示 - 改変禁止 4.0 国際)) を使用している。

^{*3} 正式名称はフレッツ 光ネクスト スーパーハイスピードタイプ 準である。

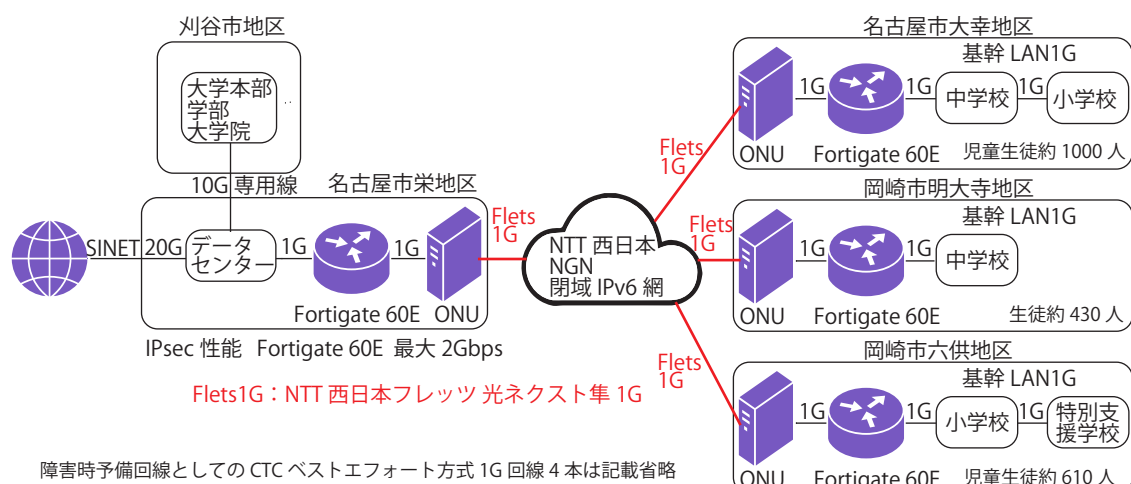


図 1 回線増強前の附属学校 LAN を大学 LAN に収容する構成

NTT 西日本のフレッツ・SDx というサービスを契約した結果、各附属学校地区と名古屋市栄地区にフレッツ・SDx 基本サービス専用ルータとしてフォーティネット社製 Fortigate 60E(レンタル品) が設置された。

障害時予備回線として、NTT 西日本フレッツ 光ネクスト集 (最大 1Gbps) に加え、従来から契約していた中部テレコミュニケーション (CTC) のベストエフォート型 1Gbps 回線 4 本も継続して契約し (CTC 回線用ルータを介して)Fortigate 60E に接続してデュアル構成としていたが、通常時使用比率は前者 100 : 後者 0 としていた。フレッツ 光ネクスト集回線に障害は発生せず CTC 回線に切り替わることはなかったので、図 1 に記載していない。CTC 回線が予備になっているのは、フレッツ 光ネクスト集より実効速度が遅いからである (業者からの報告による)。

2.2 各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度の重要性

図 1 に示すとおり、附属学校の児童生徒および教職員のインターネットアクセスは名古屋市栄地区のデータセンター経由 SINET 接続である。グループウェアなどの組織運営のための大学情報システムは、名古屋市栄地区データセンターと刈谷市地区大学本部にあるので、各附属学校地区の教職員は刈谷市地区への通信の頻度も高い。SINET 接続はデータセンター内での 20Gbps の LAN 接続、名古屋市栄地区と刈谷市地区の間の接続は 10Gbps 専用線 (帯域保証型) によって実現されており、フレッツ 光ネクスト集より十分速い。

したがって、附属学校からのインターネットアクセスや大学情報システムへのアクセスに支障がないか否か (快適さ) は、各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度に左右される。一方、著者が知る限り、異なる附属学校間のホスト同士が直接通信することはほ

とんどない。そこで、本稿では、各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度に焦点をあてる。

2.3 増強前の各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度の測定結果

各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度を iperf3 により計測した。名古屋市栄地区のデータセンター側は仮想基盤上の Red Hat Enterprise Linux (10Gbps の LAN 接続) の iperf 3.5 をサーバモードで使用した。各附属学校地区側はアップル社製 MacBook Pro Retina 13 インチ 2015 macOS Sonoma 14.5 (OCLP 1.5.0 使用、純正 Thunderbolt 1Gbps Ethernet Adapter による LAN 接続) 上の IperfUtil 1.9.2^{*4}の iperf3 クライアント機能を使用した。

図 2 に名古屋中学校下りの結果を示す。IperfUtil では時間の経過に伴う実効速度の変化がグラフ表示される。実効速度は右から左に流れる形で刻々と追加されグラフに記録され、左端に達するのに約 3 分 30 秒を要する。縦軸は実効速度の最大値がグラフの上端になるようにスケーリングされる。縦軸の上限としての最大値はグラフの左上に灰色の小さな数字で、平均値はグラフの下に黒い太字で表示される。図 3 に名古屋中学校上りの結果を示す。下りの平均値は 262.96Mbps、上りの平均値は 340.06Mbps で下りの方が平均値が遅く、下りの方が実効速度の変動 (ゆらぎ) が大きい。全ての附属学校の平均値と最大値をまとめたものを、表 1 に示す。表において名古屋中学校は名中というように短縮しているので、図 1 と付き合わせて参照されたい。

計測は学校の授業がほぼ終わっている時刻から第一著者が学校を巡回を開始して行った。計測のために学校の教職員や児童生徒にはネットワークを利用する

^{*4} Mac App Store からインストール可能。

ことを控えてもらうような指示は出していない。1つの地区に2つの学校があるところではルータが配置されている学校だけ計測すれば良さそうなのだが、学校間を接続する LAN が正常に動作していることの確認をしたかったことや、データが多い方が良くと考え、ルータが置かれていない学校の方も計測した。全ての附属学校で同時に速度計測することは行っていない*5。

附属学校全体からは、実効速度の平均速度は、下りは 200Mbps 台、上りは 300Mbps 台、下りの方が遅く、実効速度の変動は下りの方が大きいという傾向がみられる。紙面の都合で全ての附属学校分のグラフを掲載していないが、下りの方が上りに比べて平均値が最大値から離れていることから、実効速度の変動が下りの方が大きいことが推測できるであろう。上りと下りの関係はデータセンター側では反転するので上りと下りの関係は対等であるはずなのに、下りの方が平均値が遅い理由は不明である。

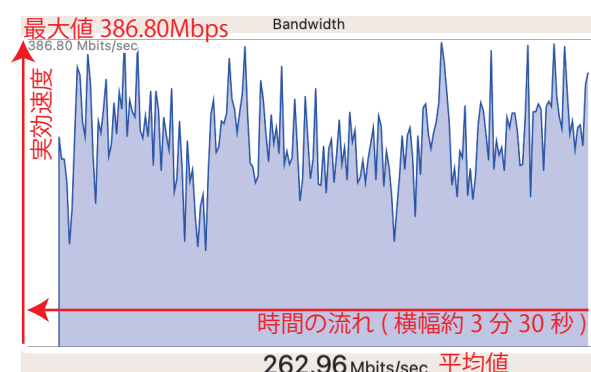


図2 名古屋中学校増強前下り結果 (2023/7/11 15:38)

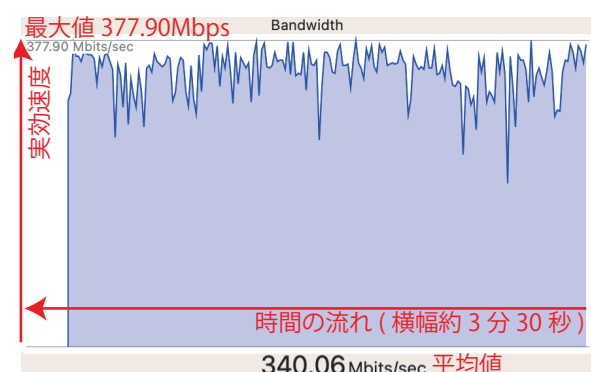


図3 名古屋中学校増強前上り結果 (2023/7/11 15:42)

2.4 増強前の実効速度の評価と WAN 回線増強判断

増強前、実際に附属学校からインターネットへの接続が遅いとの苦情が大学側に寄せられていた。

先述の下り 200Mbps 台上り 300Mbps 台という数値は、各附属学校で授業がない時間にタイミングをず

表1 附属学校と名古屋市栄地区の間の増強前の実効速度

計測地点	方向	平均値	最大値	計測日時
名中	下り	262.96	386.80	7/11 15:38
	上り	340.06	377.90	7/11 15:42
名小	下り	255.76	377.57	7/11 16:37
	上り	332.93	376.10	7/11 16:33
岡中	下り	207.80	412.31	7/25 14:22
	上り	324.02	382.72	7/25 14:38
岡小	下り	268.80	419.20	7/25 15:11
	上り	343.52	376.68	7/25 15:16
特支	下り	275.02	415.91	7/25 16:01
	上り	331.50	379.46	7/25 16:05

(速度の単位は Mbps、計測日時の年は 2023)

らして計測した結果であるから、各附属学校地区と名古屋市栄地区の帯域と判断した。先述の計測方法は厳密ではないという指摘があるかもしれないが、5校とも同じような数値であるから、全ての児童生徒と教職員のネットワーク利用を一時的に禁止して計測して得られる結果と大差ないだろう。

確固たる基準があったわけではないが、図1に示す児童生徒の人数や、複数の附属学校が同時にインターネットを活用した授業を同時に行う可能性を考えて、下り 200Mbps 台上り 300Mbps 台は遅すぎると判断して、各附属学校地区を収容する WAN 回線を増強することにした。

増強後に発行された資料ではあるが、文部科学省は、学校のネットワーク現状について (令和6年4月) [1] という資料の3枚目の表において、学校規模ごとの当面の推奨帯域は、児童生徒数1015人で698Mbps、455人で482Mbps、630人で553Mbpsと提示している (図1と合わせて参照)。また、ヤマハ社は学校向けネットワークカタログの中で、学校向けの児童生徒数に対する必要帯域について、小/中規模学校 (生徒数250~500名) で625Mbps~2.5Gbps、大規模学校 (生徒数400~1000名) で1.0Gbps~5.0Gbpsと提示している [2]。これらの2つの資料からも、下り 200Mbps 台上り 300Mbps 台では著しく不足していることは明白である。

3 回線増強後の各附属学校地区 LAN の収容

3.1 WAN 回線の増強とルータの更新

次に示す経緯及び理由から、図4に示すように、各附属学校地区 LAN を収容する WAN 回線をフレッツ

*5 iperf3 サーバは複数の iperf3 クライアントからの同時接続を受け付けない。

り下り合計 4Gbps 以上の通信をすれば IX 2310 で不足となるが、インターネット利用の通常のトラフィックは下りが支配的であるという常識から考えれば IP Sec 性能を超えるような通信は現実の利用ではほとんどないと考え、提案されたルータの IPsec 性能で通常の利用では十分であると判断した。

先述のように、附属学校地区間の直接通信はほとんどないので、4 つ全てではなく名古屋市栄地区だけ 10Gbps 対応のルータにすることは、予算面から考えた現実的な選択である。

3.2 増強後の各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度の測定結果

増強後の各附属学校地区と名古屋市栄地区間の実効速度を、2.3 節と同じ方法で計測した。図 5 に名古屋中学校下り、図 6 に名古屋中学校上りの結果を示す。

増強前(図 2 と図 3) と比べると、実効速度の平均値は、下りが約 3.16 倍、上りが約 2.46 倍と大幅に向上している。また、実効速度の時間に対する変動も少なくなっており、通信が安定するようになったことがうかがえる。全ての附属学校の実効速度の平均値と最大値をまとめたものを表 2 に示す。他校でも、名古屋中学校と同様、実効速度が向上するとともに、実効速度の変動が少なくなった。

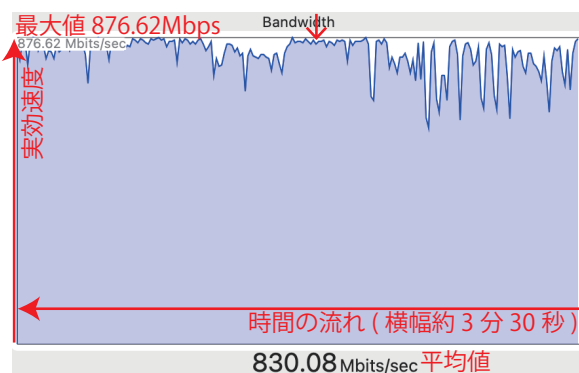


図 5 名古屋中学校増強後下り結果 (2024/5/31 14:20)

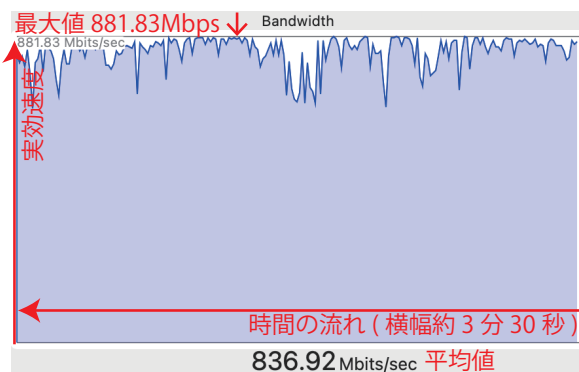


図 6 名古屋中学校増強後上り結果 (2024/5/31 14:25)

表 2 附属学校と名古屋市栄地区間の増強後の実効速度

計測地点	方向	平均値	最大値	計測日時
名中	下り	830.08	876.62	5/31 14:20
	上り	836.92	881.83	5/31 14:25
名小	下り	838.20	887.52	5/31 15:43
	上り	867.99	887.06	5/31 15:47
岡中	下り	812.41	875.50	5/21 14:08
	上り	804.02	879.68	5/21 14:12
岡小	下り	886.60	894.62	5/21 15:22
	上り	861.70	893.64	5/21 15:17
特支	下り	886.15	897.41	5/21 16:21
	上り	872.75	897.27	5/21 16:25

(速度の単位は Mbps、計測日時の年は 2024)

3.3 増強後の実効速度の評価

全ての各附属学校地区において、下り上りともに実効速度の平均値は 800Mbps 以上になり、最大値は 900Mbps 近くになった。

図 5 と図 6 のグラフの上方に赤色下向き矢印を配置しているところは、実効速度が頭打ちになっている*6ように見える。この傾向は岡崎小学校において顕著である(図 7 と図 8 参照)。同じ岡崎市六供地区の特別支援学校でも同様である。岡崎市六供地区で頭打ちの様子が顕著に観察されるのは、岡崎市六供地区は名古屋市大幸地区や岡崎市明大寺地区と比べると郊外(田舎)であり、他の顧客との光ファイバーの共有の度合いが少ないなどの理由があると推測される。岡崎市六供地区でみられる実効速度は、図 4 のようにフレッツ光クロス、10Gbps ルータ IX 2310、1Gbps ルータ IX 2107 の組み合わせで拠点間接続をした場合の性能限界を示しているのかもしれない。

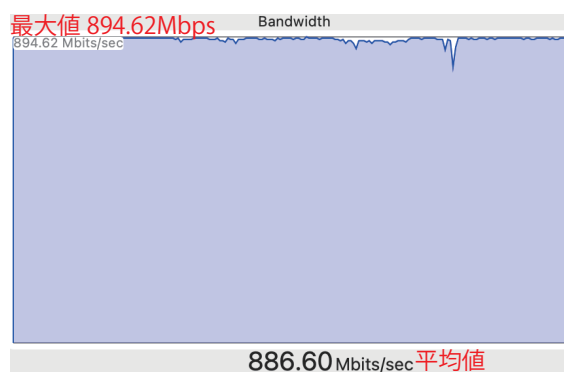


図 7 岡崎小学校増強後下り結果 (2024/5/21 15:22)

*6 そのような箇所は複数あるが代表的なところの一つを示した。

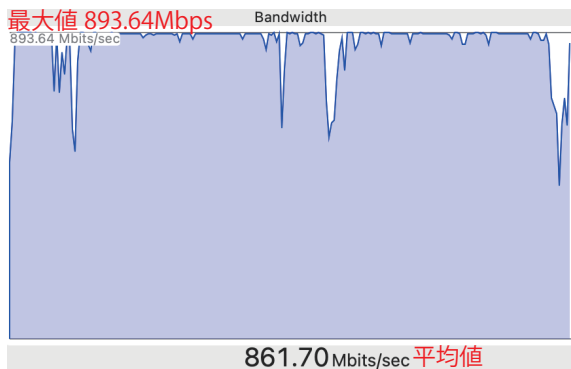


図 8 岡崎小学校増強後上り結果 (2024/5/21 15:17)

4 増強後の各附属学校地区と名古屋市栄地区の間の往復時間の測定結果とその評価

増強後の各附属学校地区と名古屋市栄地区の間の往復時間 (RTT:Round Trip Time) を表 3 に示す。往復時間の計測は、先述の実効速度と同様、名古屋市栄地区のデータセンター側は仮想基盤上の Red Hat Enterprise Linux のホスト、附属学校地区側はアップル社製 MacBook Pro を用い、macOS 側から Red Hat Enterprise Linux 側へ向けて 10 回 ping パケットを送ることを 3 回繰り返すことによって行い、表 3 には 3 回のうち平均が最小の回のもを載せている*7。全ての附属学校地区においてパケットロスは観測されなかった。この後の 5 章の議論のために、大学との間 (専用線) の往復時間も載せておく。表 4 は、各附属学校地区と名古屋市栄地区データセンターの間の距離感がわかるように、Google マップにおける車での地下鉄栄駅までの最短距離を示したものである*8。

表 3 附属学校・大学と名古屋市栄地区の間の往復時間

計測地点	最小	平均	最大	標準偏差	計測日時
名中	4.069	4.408	4.722	0.229	21 15:10
名小	4.227	4.470	4.793	0.184	21 15:45
岡中	7.067	7.405	7.737	0.204	20 15:14
岡小	5.200	5.430	5.786	0.180	20 16:01
特支	5.007	5.292	5.689	0.215	20 15:43
大学	1.454	1.711	2.334	0.234	20 13:01

(往復時間の単位は ms、計測日時の年月は 2024 年 8 月)

全ての附属学校地区において往復時間は 10ms 未満に収まっているとともに、(著者の主観的な評価ではあるが) 標準偏差が平均と比べて十分小さいことから往

*7 macOS において `ping -c 10 ホスト名` を各計測地点につき 3 回行った。`-c` オプションは送信回数。

*8 データセンターではなく地下鉄栄駅としているのはセキュリティ上の配慮からデータセンターの場所が明らかにならないようにするためである。

表 4 Google マップにおける車での栄駅までの最短距離

計測地点	距離
名古屋市大幸地区 (名古屋中学校)	5.9km
岡崎市明大寺地区 (岡崎中学校)	39.5km
岡崎市六供地区 (岡崎小学校)	39.8km
刈谷市地区 (大学)	21.8km

復時間のゆらぎが少なく安定している。

名古屋市大幸地区の往復時間が他の 2 地区より短いのは、データセンターまでの距離が他の 2 地区より大幅に短いので、NTT 西日本の NGN の閉域 IPv6 網内における通過ルータ数が少ないからだと推測される*9。岡崎市明大寺地区と岡崎市六供地区はデータセンターまでの距離がほぼ同じなので、NTT 西日本の NGN の閉域 IPv6 網内における通過ルータ数は同じと考えられる。それでも、岡崎市六供地区の方が岡崎市明大寺地区より往復時間が短いのは、岡崎市六供地区が郊外 (田舎) にあり、岡崎市六供地区を担当する NGN の収容ルータ付近のトラフィックが (岡崎市明大寺地区に比べて) 少ないからだと推測される。

5 フレッツ 光クロスによる拠点間接続のオーバーヘッド

フレッツ 光クロスによる拠点間接続のオーバーヘッドについて考察する。

図 9 と図 10 は、刈谷市地区の大学教員室において附属学校地区で用いたのと同じ方法と同じコンピュータで計測した下りと上りの実効速度である。図 7 と図 8 と同様、頭打ちの様相で測定環境下の性能限界とみられる。大学の基幹 LAN は 10Gbps であるが教員室へは 1Gbps の支線 LAN となっているので、速度計測用コンピュータを接続している LAN は 1Gbps という点では附属学校地区の場合と同じである。各附属学校地区と名古屋市栄地区の間はフレッツ 光クロスによる拠点間接続であったが、刈谷市地区と名古屋市栄地区の間は 10Gbps 専用線 (帯域保証型) である。10Gbps 専用線の経路には、IPv6 によるカプセル化や IPsec による暗号化はない。

フレッツ 光クロス (岡崎小学校: 図 7 と図 8) と専

*9 NTT 西日本の NGN の閉域 IPv6 網の構成が、文献 [4] の 44~47 ページあたりの記載と同様に頂点のコアルータから階層的に枝分かれして末端の収容ルータに至る構成になっているのであれば、ネットワーク的に離れているホスト間の通信は通過ルータ数が多くなり、ネットワーク的に近いホスト間の通信は通過ルータ数が少なくなる。

用線 (大学教員室：図 9 と図 10) で、実効速度の平均値を比較すると、専用線の方が下りは 46.21Mbps 上りは 72.32Mbps 速い。最大値を比較しても専用線の方が下りは 44.7Mbps 上りは 49.28Mbps 速い。フレッツ 光クロスは、専用線と比べると、実効速度が抑制されていると判断される。

次に往復時間について述べる。刈谷市地区の大学教員室において附属学校地区で用いたのと同じ方法と同じコンピュータで計測した往復時間を、表 3 の下に示す。刈谷市地区から名古屋市栄地区へは 10Gbps 専用線接続だが大学教員室へは 1Gbps の支線 LAN であることは、先述の実効速度のところでも述べたことと同じである。各附属学校地区の方が大学より往復時間の平均時間が 3～6ms 弱長くなっている。

今回のフレッツ 光クロスによる拠点間接続が、専用線より実効速度が低下したり、専用線より往復時間が増えるのは、拠点間接続の方法のオーバーヘッドによるもので、その原因は IPv6 によるカプセル化、IPsec VPN、NGN 閉域 IPv6 網通過であろう。

1Gbps 専用線 (帯域保証型) の月額料金が高額であること [7] を考えれば、上記で観察された程度のオーバーヘッドがあっても 900Mbps 弱の実効速度が得られ往復時間の増加が 3～6ms 弱程度であるならば、フレッツ 光クロスによる拠点間接続は十分経済的であると判断できる。

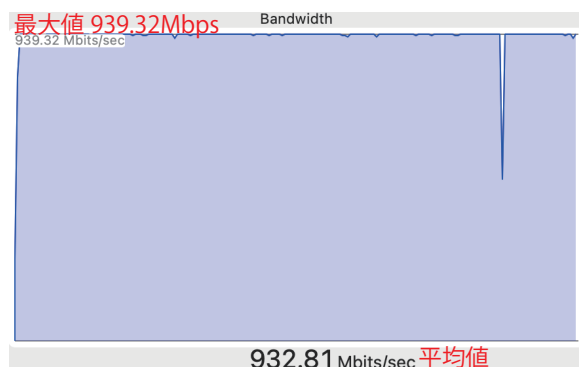


図 9 大学教員室下り結果 (2024/6/6 14:20)

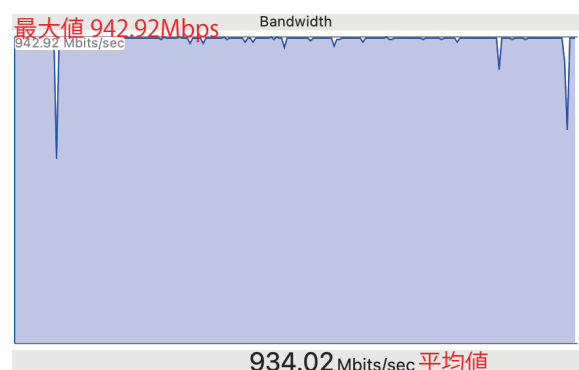


図 10 大学教員室上り結果 (2024/6/6 14:16)

6 増強した拠点間接続の安定性について

2024 年 2 月の拠点間接続の増強後の構成は先述の通りで、本稿執筆の時点で約半年になる。その間、一度だけ、附属学校の運営に支障をきたす障害があった。それは 3 月 18 日 (月) の午後約 2 時間にわたって発生した名古屋市中区のフレッツ 光クロスサービスの故障に起因するもので、拠点間通信を復旧させるために 4 つのルータを再起動した。これ以外は障害は発生していない。

NTT 西日本の光フレッツの障害は、NTT 西日本のホームページの工事・故障情報から、誰でも閲覧できる。著者が愛知県名古屋市中区の 2024 年 2 月 1 日から 7 月 31 日までのフレッツ 光クロスの故障という条件で検索して調べたら、2 件の故障情報が出てきた。故障情報の状況説明には、「フレッツ 光クロスをご利用の一部のお客様の通信ができませんでした。」と記載されていた。1 件目は 2 月 21 日 (水) の 5 分で回復した故障で本学は影響を受けなかったか気づかなかったものである。2 件目の本学が影響を受けた 3 月 18 日 (月) 午後約 2 時間の故障の方は、同期間の愛知県のいくつかの他の市の故障状況も調べた上で、減多に起きない長時間の障害であったと著者は判断した。

ONU やルータについては安定性を疑うような出来事はなかった。

7 まとめ

3 つの附属学校地区 LAN を大学 LAN に収容するための拠点間接続を、WAN 回線とルータの変更によって増強した。WAN 回線は、フレッツ 光ネクスト集 (最大 1Gbps) からフレッツ 光クロス (最大 10Gbps) に変更した。拠点間接続は、NTT 西日本の NGN 閉域 IPv6 網と IPsec VPN を用いて実現している。そのためのルータは、大学側は 10Gbps 対応、3 つの附属学校地区側は費用を抑えるため 1Gbps 対応という組み合わせに変更した。その結果、大学側と各附属学校側の実効速度の平均値は、下り 200Mbps 台と上り 300Mbps 台から、下り上りとも 800Mbps 台に向上した。増強後の実効速度の時間に対する変動を観察すると、894Mbps あたりでほとんど頭打ちになっているとみられることがあり、その原因は附属学校地区側のルータが 1Gbps 対応だからである。附属学校地区の基幹 LAN が 1Gbps の現状では無意味であるが、附属学校地区側のルータを 10Gbps 対応にすれば、拠点間接続のさらなる実効速度の向上が期待できる。本稿の

一連の計測結果からは、1Gbps 専用線 (帯域保証型) より実効速度や往復時間 (遅延時間) の点で性能が少し落ちるが、フレッツ 光クロス (最大 10Gbps) と NGN 閉域 IPv6 網と IPsec VPN を用いて拠点間接続する方が、1Gbps 専用線 (帯域保証型) の拠点間接続よりはるかに経済的であると考えられる。

今後の課題としては、3つの附属学校地区が同時に名古屋市栄地区と目一杯通信をした場合 (例えば iperf3 による実効速度計測を 3 区間同時に行った場合) の実効速度を計測することや、フレッツ 光クロスの性能は他の顧客の利用状況に左右されることから各附属学校地区と名古屋市栄地区の間の実効速度を定期的に計測して注視することが挙げられる。これらの課題を (技術に詳しい者が附属学校を巡回するというように) 人手で行うの現実的ではないので、計測を自動化する必要がある。各附属学校地区に Raspberry Pi といった iperf3 クライアント用小型コンピュータを常置することと、名古屋市栄地区データセンター内に iperf3 サーバを 2 つ追加して計 3 つにする必要がある。

最後にお断りを述べておく。本稿で示した拠点間接続の実効速度は、著者の環境において測定したものであり、使用する機器や NGN を利用する地点や時間に左右される可能性が十分あるので、あくまでも参考にとどめていただきたい。本稿でいくつかの箇所で費用について触れていても具体的な価格や料金を記述していないのは、間違いを避けるためであるのでご理解いただきたい。

謝辞

本学の要望を丁寧に聞きフレッツ 光クロスによる拠点間接続を提案・実装した西日本電信電話株式会社ビジネス営業本部エンタープライズビジネス営業部第二営業部 (文教) の本学担当者に感謝します。また、著者として名前を連ねていない本学総務・企画部企画課情報企画室の各位に拠点間接続増強に関わる附属学校とのスケジュール調整などで協力していただいたので感謝の意を表します。

参考文献

- [1] 文部科学省、学校のネットワークの現状について 令和 6 年 4 月、https://www.mext.go.jp/content/20240426-mxt_jogai01-000035663_1.pdf (2024 年 8 月 5 日閲覧)。
- [2] ヤマハ株式会社、新時代の学びを支えるヤマハ

ネットワーク機器、https://network.yamaha.com/solution/education/education_solution_leaflet_202403.pdf (2024 年 8 月 5 日閲覧)。

- [3] 日本電信電話株式会社、GE-PON 技術 ― 第 1 回 PON とは、NTT 技術ジャーナル Vol.17 No.8、pp.71–74、2005、<https://journal.ntt.co.jp/backnumber2/0508/files/jn200508071.pdf> (2024 年 8 月 5 日閲覧)。
- [4] 登大遊、秘密の NTT 電話局、フレッツ光、およびインターネット入門 (1)、2023/06/10 総務省「西日本横断サイバーセキュリティ・グランプリ」講演第 1 部 (登 大遊) ― 参加者向け配布資料 その 1、pp.48–55、[https://dnobori.cyber.ipa.go.jp/ppt/download/20230610_soumu/230610%E8%AC%9B%E6%BC%94%20%E7%AC%AC1%E9%83%A8%20\(%E7%99%BB\)%20-%20%E9%85%8D%E5%B8%83%E8%B3%87%E6%96%99%E3%81%9D%E3%81%AE1%20-%20%E7%A7%98%E5%AF%86%E3%81%AE%20NTT%20%E9%9B%BB%E8%A9%B1%E5%B1%80%E3%80%81%E3%83%95%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%84%E5%85%89%E3%80%81%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%82%BF%E3%83%BC%E3%83%8D%E3%83%83%E3%83%88%E5%85%A5%E9%96%80.pdf](https://dnobori.cyber.ipa.go.jp/ppt/download/20230610_soumu/230610%E8%AC%9B%E6%BC%94%20%E7%AC%AC1%E9%83%A8%20(%E7%99%BB)%20-%20%E9%85%8D%E5%B8%83%E8%B3%87%E6%96%99%E3%81%9D%E3%81%AE1%20-%20%E7%A7%98%E5%AF%86%E3%81%AE%20NTT%20%E9%9B%BB%E8%A9%B1%E5%B1%80%E3%80%81%E3%83%95%E3%83%AC%E3%83%83%E3%83%84%E5%85%89%E3%80%81%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%82%BF%E3%83%BC%E3%83%8D%E3%83%83%E3%83%88%E5%85%A5%E9%96%80.pdf) (2024 年 8 月 5 日閲覧)。
- [5] NEC プラットフォームズ株式会社、Net-Meister ダイナミック DNS サービスを利用し IPv6 の NGN 網を活用した VPN 構築手順、https://jpn.nec.com/univerge/ix/Support/custom-gui/NetMeisterDDNS_NGNIPv6-VPN.pdf (2024 年 8 月 5 日閲覧)。
- [6] 吉本直人、新たな時代を拓く光アクセスシステムの研究開発、NTT 技術ジャーナル Vol.24 No.3、pp.34–37、2012、<https://journal.ntt.co.jp/backnumber2/1203/files/jn201203034.pdf> (2024 年 8 月 5 日閲覧)。
- [7] ソフトイーサ株式会社、他社の既存の専用線・広域イーサネットサービスとの比較、<https://www2.softether.jp/jp/hardether/compare/others.aspx> (2024 年 8 月 5 日閲覧)。