

デジタルコンテンツとしてのデジタル教科書の配信基盤の整備事業
「先進自治体を検証しインターネット接続を高速化する多様なネットワーク
トポロジー（接続形態）の実証研究事業」

成果報告書

令和5年3月
日本コムシス株式会社

目次

第1章 緒論	2
第1節 背景	2
第1項 自治体、学校における現状把握と改善に向けた課題	2
第2項 自治体、学校のネットワーク接続形態	3
第3項 自治体、学校のインターネット高速化に向けた施策の検討	4
第2節 目的	7
第3節 構成	7
第2章 実施体制	8
第3章 実証研究概要	9
第4章 実証校におけるネットワーク調査	9
第1節 対象自治体	9
第2節 デジタル教科書等の活用状況に関する調査	10
第3節 実証校におけるネットワーク調査方法	10
第4節 ネットワーク調査結果	13
第5章 インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態の検証	31
第1節 通信速度の測定方法	32
第2節 検証結果	34
第1項 単一通信網複数ISP型における検証結果	34
第2項 同一通信網複数型における検証結果	38
第3項 複数通信網型における検証結果	42
第3節 通信網・ISPの通信速度と費用比較	46
第6章 自治体へのネットワーク接続形態の適用	47
第1節 ネットワーク接続形態の前提	47
第2節 ネットワーク接続形態の選択	48
第3節 ネットワーク構成毎の参考費用	50
第7章 まとめ	52

第1章 緒論

「コロナ克服・新時代開拓のための経済対策」（令和3年11月19日閣議決定）において、「教育分野については、GIGA（Global and Innovation Gateway for ALL）スクール構想の一層の推進等により、教育のICT（Information and Communication Technology）環境の整備等に取り組むとともに、オンラインを活用し、個に応じた学びを実現する」、「GIGAスクール運営支援センターの整備や、先端的教育用ソフトウェア（EdTech）の活用普及などGIGAスクール構想の一層の推進等により、教育のICT環境の整備等に取り組む」とされ、「個別最適な学びを実現するためのGIGAスクール構想の推進」が定められている。

中央教育審議会初等中等教育分科会個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に向けた学校教育の在り方に関する特別部会の「個別最適な学びと協働的な学びの一体的な充実に向けた教科書・教材・ソフトウェアの在り方について～審議経過報告～」（令和5年2月20日）においても、学校現場における通信環境等の改善が必要とされている。

このことから、デジタルコンテンツとしてのデジタル教科書の配信基盤の整備事業「先進自治体を検証しインターネット接続を高速化する多様なネットワークトポロジー（接続形態）の実証研究事業」において、自治体や学校における通信環境等の改善方法を提示する。

第1節 背景

第1項 自治体、学校における現状把握と改善に向けた課題

自治体や学校では、「現状の実効速度や通信帯域の余剰が不明である」「デジタル教科書・デジタル教材・ソフトウェア（以降、「デジタル教科書等」とする。）の活用に必要な通信帯域が不明である」「専用線は費用負担が大きく導入が難しい」「ネットワークアセスメントに関して専門業者への依頼方法がわからない」、等の意見があり、現状把握と改善施策の両方に課題があると考えられる。ここで示す実効速度とは、理論上の最大速度ではなく、インターネット接続を行う際に実際に利用できる通信帯域である。

GIGAスクール構想の実現標準仕様書（令和2年3月3日）の必要帯域の算定の項目において、学習活動内容における1台当たりの使用帯域目安が示されている。ここでは、1台当たりの使用帯域の目安として、遠隔授業の実施（テレビ会議）が2.0Mbps、NHK For Schoolが0.7Mbps、YouTube（HD720p画質）が2.5Mbpsとされている。自治体や学校では上記目安を基にネットワーク整備を進めてきたが、正確に実効速度や必要帯域を把握することは高度なネットワーク知識や測定器等が必要となる。

また、通信環境の改善方法として、帯域保証型回線の導入等が挙げられるが、自治体の費用負担が大きいことや地域により対応が難しいといった実情がある。

第2項 自治体、学校のネットワーク接続形態

自治体や学校で使用されるネットワーク接続形態は、大きく集約接続型と直接接続型に分類できる。集約接続型のネットワーク接続形態は、複数の学校のネットワークを集約してインターネットに接続する形態であり、直接接続型はそれぞれの学校が直接インターネットに接続する形態である。

集約接続型に分類される接続形態として、集約拠点型、集約拠点 SINET 接続型がある。集約接続型のネットワーク接続形態を図1に示す。

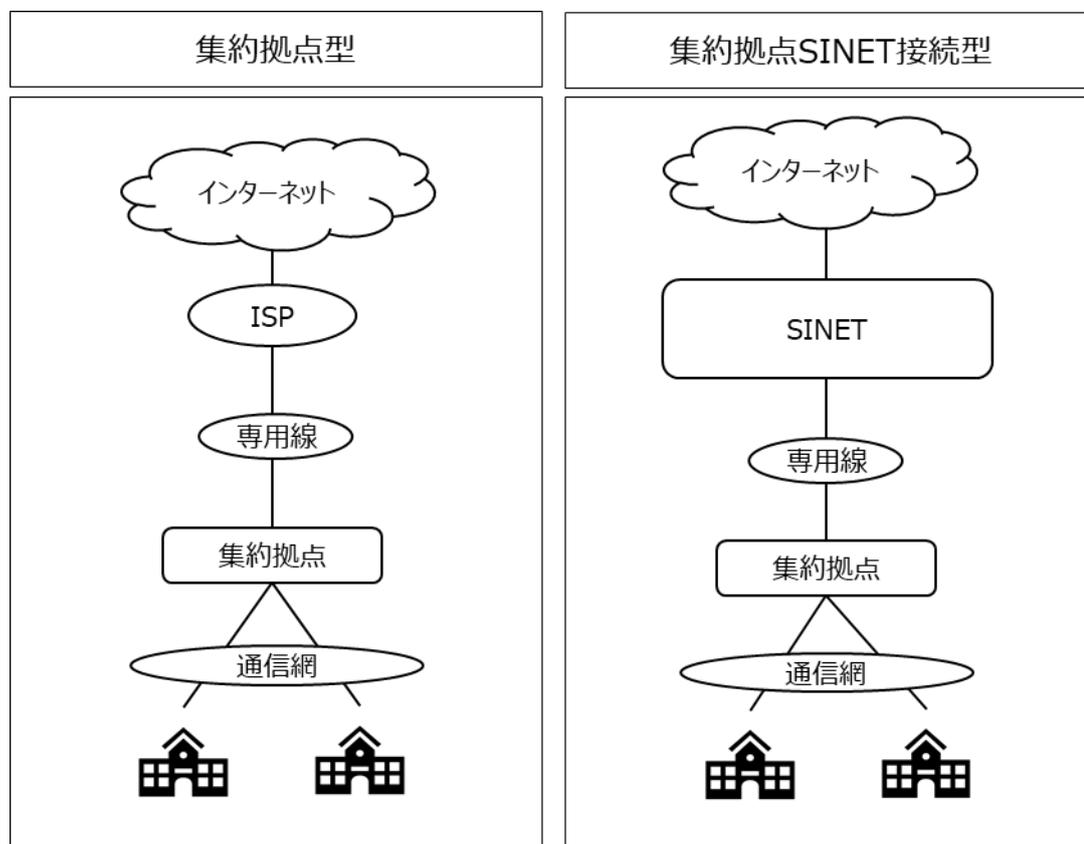


図1 集約接続型のネットワーク接続形態

集約接続型のネットワーク接続形態の中で示している集約拠点型とは、複数の学校の通信経路を集約拠点に集約し、集約拠点からISP（Internet Service Provider）を経由してインターネットへ接続する形態である。集約拠点 SINET 接続型は複数の学校の通信経路を集約拠点に集約し、集約拠点からSINETを経由してインターネットへ接続する形態である。

図1で記載している通信網とは、通信事業者が提供する一般的な公衆向けインターネット回線のこと、専用線とは、自治体等が独自に専有している回線、或いは利用者が専有するために通信事業者と契約したものである。集約拠点とは、複数の学校から通信網を経由したネットワークを1か所に集約する拠点である。ISPとは、インターネットを利用するために必要となるインターネット接続サービスを提供する事業者である。図1に記載しているSINETとは、学術情報ネットワークで日本全国の大学、研究機関等の学術情報基盤として、国立情報学研究所(NII)が構築、運用している情報通信ネットワークで、大学、研究機関等に対して先進的なネットワークを提供するとともに、多くの海外研究ネットワークと相互接続している。

直接接続型のネットワーク接続形態として、インターネット直接接続型、ローカルブレイクアウト型の2種類がある。ここで、直接接続型のネットワーク接続形態を図2に示す。

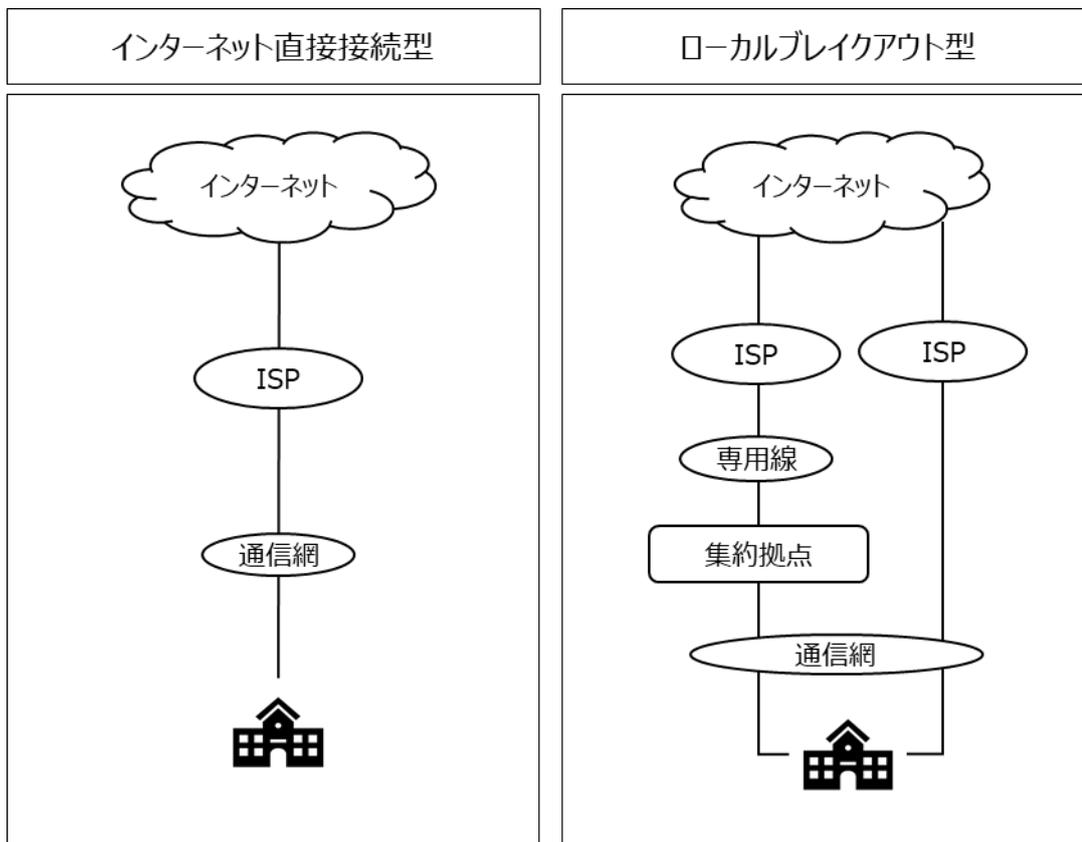


図 2 直接接続型のネットワーク接続形態

インターネット直接接続型は、学校からISPを経由してインターネットへ直接接続する形態である。ローカルブレイクアウト型は特定の通信先については、集約拠点などに設けられたインターネットとの接点を使わず、各拠点から直接インターネットへ接続するネットワーク接続形態である。直接接続型の通信網は、一般的に比較的安価とされるベストエフォートの通信網が利用されることが多い。ベストエフォートの通信網とは、専用線とは異なり複数の利用者が共用して通信網を利用するネットワーク接続形態である。

第3項 自治体、学校のインターネット高速化に向けた施策の検討

自治体、学校における現状把握と改善に向けた課題から、「デジタル教科書等の活用に必要な通信帯域」、「必要な通信帯域を実現するためのネットワーク接続形態」「現状の自治体・学校のネットワークアセスメントの方法」の3点の調査、検証を行う必要がある。

まず、「デジタル教科書等の活用に必要な通信帯域」に関しては、学校のデジタル教科書等を活用した授業を実践するために必要となる通信帯域を示すために、積極的にデジタル教科書等で授業を行っている学校にて実効速度と使用帯域を測定することが必要である。

次に、「必要帯域を実現するためのネットワーク接続形態」に関しては、費用対効果が高く地域特性に依存しない、他自治体への適用可能性のあるネットワーク接続形態を調査することが必要である。しかしながら、机上検討では効果を判断することが難しいため、検証環境等で通信網やISPを準備・検証することで費用対効果を実測・比較検証を行う。また、個別最適なネットワーク接続形態を示すだけでなく、自治体・学校へ適用するためのガイドラインを示すことが重要である。

最後に、「現状の自治体・学校のネットワークアセスメント方法」に関しては、デジタル教科書等を活用する際に、現状のネットワークにおける実効速度や使用帯域の調査方法等を記した自治体や学校向けの手引きを作成することによって、自治体や学校が現状のネットワークの課題の特定、判断できるようにする。

以上より、本実証研究を通じて「デジタル教科書等の活用に必要な通信帯域」、「必要な通信帯域を実現するためのネットワーク接続形態」「現状の自治体・学校のネットワークアセスメント方法」の調査と研究を行う。

なお、本事業では、「必要帯域を実現するためのネットワーク接続形態」の実現方法として、直接接続型におけるネットワーク接続形態に関して調査研究を行う。直接接続型におけるネットワーク接続形態の選択肢に関して、図3に示すインターネットの高速化の接続形態が考えられる。前提とするネットワーク接続形態については、インターネット接続方式（直接接続型）のインターネット直接接続型とローカルブレイクアウト型を対象とする。インターネット接続の高速化の有効性については、机上検証に加え、実際の検証結果を基に検証、考察を行う必要がある。

また、インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態の概要を記載する。

「単一通信網複数ISP型」は単一の通信網に対して、ISPを複数社契約し利用するネットワーク接続形態である。通信網が1契約分で利用できるため安価であり、全国に対応しているISPも存在するため地域差が少なく全国へ適用可能である。通信網のインターネット通信速度がISPより高速である場合に有効である。なお、通信事業者のサービス形態により本方式が対応していない場合も存在する。例を挙げると、通信事業者とISPが単一のサービスで一括提供している場合である。

「同一通信網複数型」は同一の通信網を2契約し、それぞれISPと契約を行うネットワーク接続形態である。同一の通信網を利用し、ISPも全国に対応しているため地域差が少なく、既存で通信網を敷設している学校については、全国へ適用可能である。通信網とISPが単一のサービスで一括提供している場合でも適用が可能である。

「複数通信網型」は複数の通信網をそれぞれ契約するネットワーク接続形態である。複数の通信網を混在して利用する構成で、インターネット接続の実効速度が各通信網とISPの組み合わせの合計値になることが推察される。既存で学校が契約している通信網とISPを継続し、費用対効果の高い通信網とISPの組み合わせを選択し追加することが可能である。ISPは特に制約はなく、通信網の会社に対応するISPを利用する形態である。

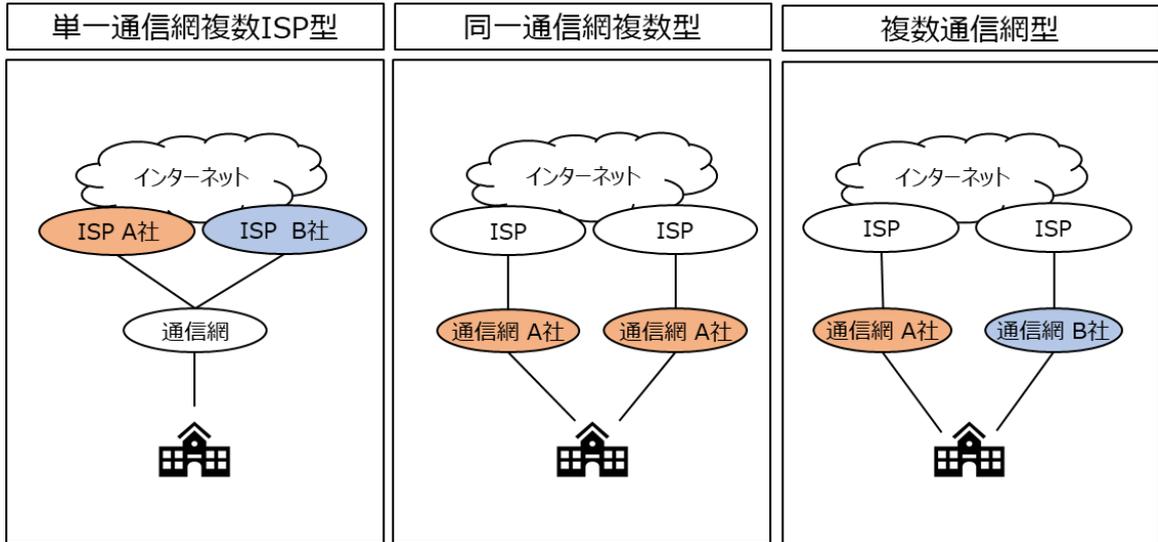


図 3 インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態

第2節 目的

自治体・学校におけるデジタル教科書等を活用した際の通信環境の調査、及びインターネット接続を高速化するためのネットワーク接続形態を検証し、調査検証結果を踏まえて自治体・学校へ費用対効果に優れた個別最適なネットワーク接続形態の選択肢を提示する事業を実施する。

実地調査では、標準的なデジタル教科書等を積極的に活用している2自治体（対象校2校）を選定し、インターネット接続の実効速度と使用帯域の調査を行う。より詳細な情報として学校全体よりも学級単位の使用帯域、及びデジタル教科書等のアプリケーションの利用比率等について通信データを基に分析を行う。

また、インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態を複数検討し、それぞれ検証環境で実測値を計測することで有効性を検証し、通信網とISPの費用対効果、及び前提条件等の調査を行う。

自治体と学校の調査結果とネットワーク接続形態の検証、調査結果から、実際に自治体と学校に導入することを前提とした条件や必要環境の提示、全体に係る費用を本事業で提示することを目的とする。

第3節 構成

本書の構成を表1に示す。

第1章では、緒論にて実証研究に至った背景、目的、構成、実施体制を記載する。第2章では、実証研究の実施体制について記載する。第3章では、実証研究の概要を記載する。第4章では、自治体（実証校）におけるネットワークの調査を記載する。第5章では、インターネット接続を高速化するネットワーク接続形の検証を行い、第6章では、自治体が適用可能なネットワーク接続形態の提示を行う。第7章では、全体の総括と考察を記載する。別紙として、「ネットワーク高速化に関するガイドライン」を添付する。

表1 本書の構成

章	内容
第1章	緒論(背景、目的、構成)
第2章	実施体制
第3章	実証研究概要
第4章	実証校のネットワーク調査
第5章	インターネット接続の高速化における有効性の検証
第6章	自治体へのネットワーク接続形態の適用手法
第7章	まとめ
別紙	インターネット接続の高速化に関するガイドライン

第2章 実施体制

本事業における実施体制図を図4に示す。

「デジタル教科書の配信基盤の整備に関する総括事業」と連携しながら進める事業となるため、文部科学省、統括事業者へ各種報告を実施した。有識者に関しては、東京大学大学院情報理工学系研究科情報セキュリティ教育研究センター 関谷勇司教授、東京通信大学情報マネジメント学部 加藤泰久学部長、慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科工藤紀篤特任助教へ事業計画、及び事業結果に関する意見を聴取し事業を推進した。

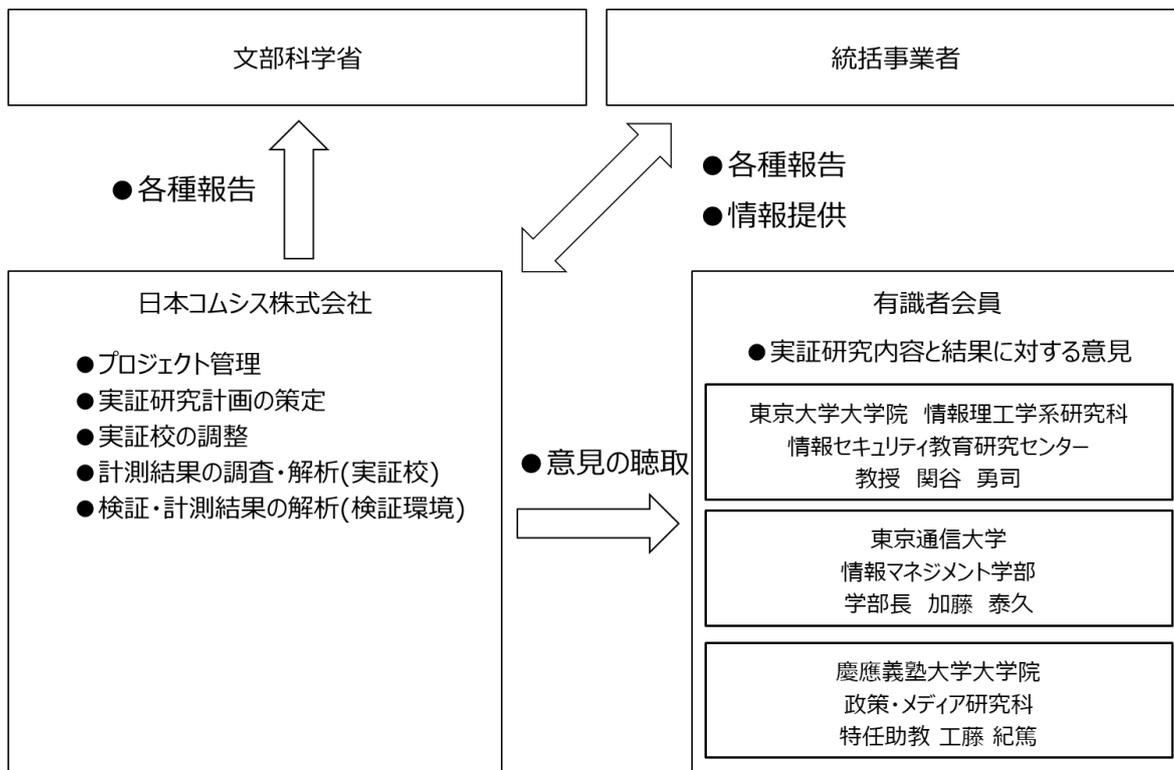


図 4 実施体制図

第3章 実証研究概要

背景にて記載した内容から「デジタル教科書等の活用に必要な通信帯域」、「必要な通信帯域を実現するためのネットワーク構成」「現状の自治体・学校のネットワークアセスメント方法」について調査、研究を進めて行く。本実証研究では第4章から第6章までに分けて検証を行う。

第4章「実証校におけるネットワーク調査」ではデジタル教科書等を活用している2自治体に対して、実際に測定器を設置し、デジタル教科書等の活用に必要な通信帯域の検証を行う。また、本研究で実施した測定方法を基に、自治体向けのネットワーク帯域調査に関するガイドラインの作成を行う。

第5章「インターネット接続の高速化における有効性の検証」については、検証環境を利用して実際に通信網とISPを契約し、高速化の構成毎に有効性の検証を行い、自治体を選択可能なネットワーク接続形態を示す。

第6章「自治体へのネットワーク接続形態の適用手法」については、第5章のインターネット接続の高速化の構成に対し、自治体が適用するための手法を机上検討にて実施する。

「現状の自治体・学校のネットワークアセスメント方法」については、本実証研究の検証方法を基に、別紙「ネットワーク高速化に関するガイドライン」にて、ネットワークの調査方法と評価方法を記載する。

第4章 実証校におけるネットワーク調査

実証校のネットワーク調査では、デジタル教科書等を積極的に活用している2自治体に対して実際に測定器を設置し、デジタル教科書等の活用に必要な通信帯域に関する検証を行う

第1節 対象自治体

調査対象の自治体の選定基準について、デジタル教科書等を積極的に活用し、ネットワーク環境の改善も一定以上進んでいる自治体を前提とした。

自治体の選定方法として都市部と郊外において規模の異なる自治体と学校を比較検討することでデジタル教科書等のネットワーク環境に与えるネットワーク通信量の違い等を明確にする。上記の選定方法を基に町田市（東京都）、大刀洗町（福岡県）の2つの自治体を選定した。

町田市は大規模・都市部、大刀洗町は小規模・郊外の位置づけとなる。事前調査においてヒアリングした自治体の状況については、表2に示すとおりである。

町田市は先進的なネットワークインフラを保持しデジタル教科書等を活用しており、大刀洗市はデジタル教科書等を積極的に活用している。クラスで一斉にインターネットへ利用すると接続できなくなるケースが発生しているとの状況があり、原因も含め調査を行う。

表 2 自治体の事前調査

	町田市（東京都）	大刀洗町（福岡県）
種別	大規模 都市部	小規模 郊外
規模	人口：43万人 学校数：小学校42校／中学校20校	人口：1.5万人 学校数：小学校4校／中学校1校
デジタル教科書等の活用状況	先進的なネットワークインフラを保持し、デジタル教科書等を積極的に活用した授業を行っている。	デジタル教科書等を積極的に活用しているが、クラスで一斉に利用するとサイトに接続できなくなるケースがある。
ネットワーク接続形態	直接接続	直接接続

第2節 デジタル教科書等の活用状況に関する調査

自治体や学校におけるデジタル教科書等の活用状況について、学校の教員に直接ヒアリングを実施し調査を行った。結果は表3に示す。

町田市立町田第一小学校（以降、「町田第一小学校」とする。）は、外国語が指導者用デジタル教科書・学習者用デジタル教科書を活用し、算数が指導者用デジタル教科書を活用しており、復習用として主要5科目でデジタルドリルを活用している。外国語、算数・理科・社会等主要科目において全体的に Google Jamboard を広く活用している。

大刀洗町立大刀洗小学校（以降、「大刀洗小学校」とする。）は、外国語が指導者用デジタル教科書・学習者用デジタル教科書を活用し、Web教材コンテンツも積極的に授業に取り入れている。算数も同様に指導者用デジタル教科書・学習者用デジタル教科書を活用し、授業支援ツールも授業に取り入っていた。町田市同様に復習用として主要5科目でデジタルドリルを活用している。

表 3 デジタル教科書等の活用状況

実証校	町田第一小学校 (25学級689人)	大刀洗小学校 (6学級174人)
実証校詳細	特別支援学級 5学級 31人 1年生 3学級 104人 2年生 3学級 104人 3年生 4学級 113人 4年生 3学級 98人 5年生 4学級 137人 6年生 3学級 102人	特別支援学級 19人 ※各学年人数に含む 1年生 1学級 34人 2年生 1学級 20人 3年生 1学級 22人 4年生 1学級 32人 5年生 1学級 36人 6年生 1学級 30人
デジタル教科書等の活用状況	外国語：指導者用/学習者用デジタル教科書 A社 デジタルドリル 算数：指導者用デジタル教科書 B社 デジタルドリル 主要5科目にてデジタル教材やICTツールを活用 全体的にGoogle Jamboardを広く活用して授業を実施している。	外国語：指導者用/学習者用デジタル教科書 C社 デジタルドリル、Web教材コンテンツ 算数：指導者用/学習者用デジタル教科書 D社 デジタルドリル、授業支援ツール 主要5科目にてデジタル教材やICTツールを活用 先進的な自治体の無償教材等を調査し、積極的に授業に取り入れている。
ICT機器	指導者用端末：Chromebook 学習者用端末：Chromebook	指導者用端末：Chromebook 学習者用端末：Chromebook

第3節 実証校におけるネットワーク調査方法

町田第一小学校、大刀洗小学校におけるネットワークの測定装置の構成について図5に示す。図の太枠が測定を行うために設置した装置である。町田第一小学校の測定構成は、既存ネットワーク環境のスイッチの設定変更により、通信データを複製して測定データ保管サーバに転送することで測定を行う構成である。

大刀洗小学校ではルータとスイッチの間に TAP (Terminal Access Point) を挟み、TAP を通過する通信データを複製して測定データ保管サーバに転送することで測定を行う構成である。

通信内容を細かく分析するため、通過する全データの取得を行った。また、インターネット回線における実効速度の測定については、学習用端末から実行速度を取得する場合、無線通信の速度がボトルネックとなる可能性があるため、学校のインターネット接続への通信が集約されるスイッチと速度測定用端末を接続し、速度測定用端末からインターネット上の速度測定用サーバまでの通信経路にて、実効速度の測定を行った。実効速度の測定は、通信負荷による授業への影響を考慮し学校の授業開始前、休み時間、放課後の時間帯にて測定を実施した。

図 5 で記載した機器の説明は表 4 に示す。

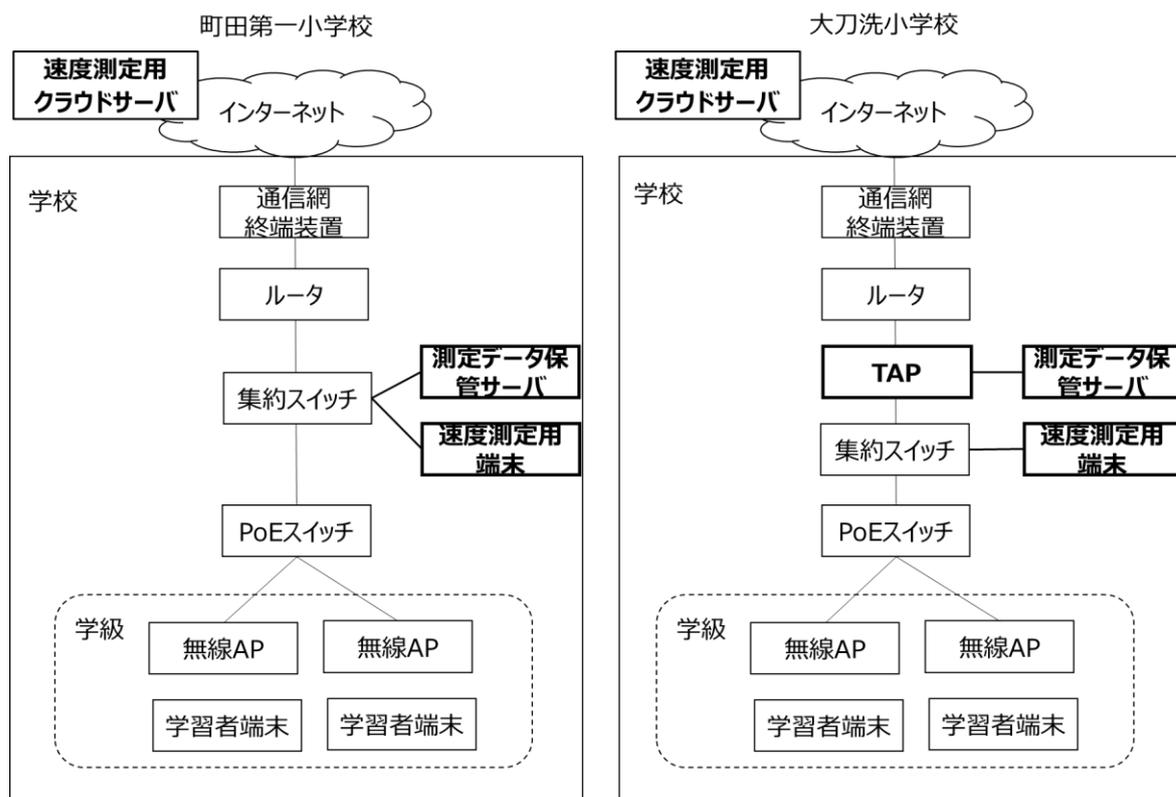


図 5 ネットワークの測定構成

表 4 機器の説明

対象	内容
通信網終端装置	通信事業者が提供するインターネット接続の終端装置
ルータ	インターネットへのネットワーク通信を行うためのネットワーク中継装置
TAP (Terminal Access Point)	通過する通信データを複製して別装置へ転送する装置
集約スイッチ	複数のスイッチを集約接続しているネットワーク中継装置
PoE(Power over Ethernet) スイッチ	LANケーブルを通じて無線APに給電する機能を有したネットワーク中継装置
無線AP(Access Point)	無線アクセスポイント、無線ネットワークを経由してICT機器と通信を行う装置
測定データ保管サーバ	ネットワークを行き来する全データを受信し保管する装置
速度測定用クラウドサーバ	クラウドサーバに通信測定用の仕組みを実装した装置
速度測定用端末	速度測定用クラウドサーバと通信データの送受信を行う装置

学校の時間割を基に、デジタル教科書等を活用した学級数から学級単位の必要な通信帯域の計算を行うことも可能であるが、どこの学級がどのサイトを利用しているかが推測となるため、学級で必要となる通信帯域の計算の信憑性に欠けると考えられる。そのため、デジタル教科書等を活用した授業における使用帯域と学校全体のインターネット接続の実効速度を測定し、比較することで必要な通信帯域を計算した。

デジタル教科書等を活用した授業における使用帯域を図4に示したネットワークの測定構成で測定するためには、学級で利用される学習者端末のIPアドレスを割り出し、通信データの解析を行う必要がある。また、授業観察による端末の操作を記録することにより、測定した通信データの宛先と利用したデジタル教科書等の教材のアプリケーションと照合を行うことで、各アプリケーションの使用帯域の分析を可能とする。

大刀洗小学校では学習者用端末の学級で利用される学習者端末のIPアドレスを割り出しが可能なため、学校全体のインターネット接続の実効速度と使用帯域の測定に加え、授業観察時間帯における各アプリケーションの使用帯域の分析を行った。なお、町田第一小学校では、授業観察時における学級で利用される学習者端末のIPアドレスを特定することができないため、学校全体のインターネット接続の実効速度と使用帯域の測定を行った。IPアドレスとは、ICT機器等ネットワーク上の機器に割り当てられ、データの送信元や宛先を指定するための識別子である。

第4節 ネットワーク調査結果

本調査においては、インターネットから学校内へのダウンロードにおける通信と学校内からインターネットへのアップロードにおける通信を全て測定データ保管サーバで1週間分の通信データを記録している。測定データ保管サーバで記録しているデータは、授業で使用している通信データと速度測定用端末及び、速度測定用サーバで実行速度を測定するために発生させた通信データである。

速度測定用端末、及び速度測定用サーバでは、学校の授業開始前、休み時間、放課後などの授業が行われていない時間帯に、実行速度を測定するための通信データを発生させて、相互に通信させることでダウンロードとアップロードの実行速度を測定した。

学校の授業開始前、休み時間、放課後でも微量の通信データが流れていることもあるが、本調査の手法では、全ての通信データを測定データ保管サーバで記録しているため、記録した通信データの送信元と宛先を気にせず、単位時間で通信量だけを合計したものが実行速度となる。

また、測定データ保管サーバで記録した通信データから速度測定用端末、及び速度測定用サーバが送信元又は、宛先となっている通信データを除外することで使用帯域を測定することができる。

測定結果として、大刀洗小学校のインターネット接続の実効速度と使用帯域の結果を図6～図15に示す。町田第一小学校のインターネット接続の実効速度と使用帯域の結果を図16～図25に示す。

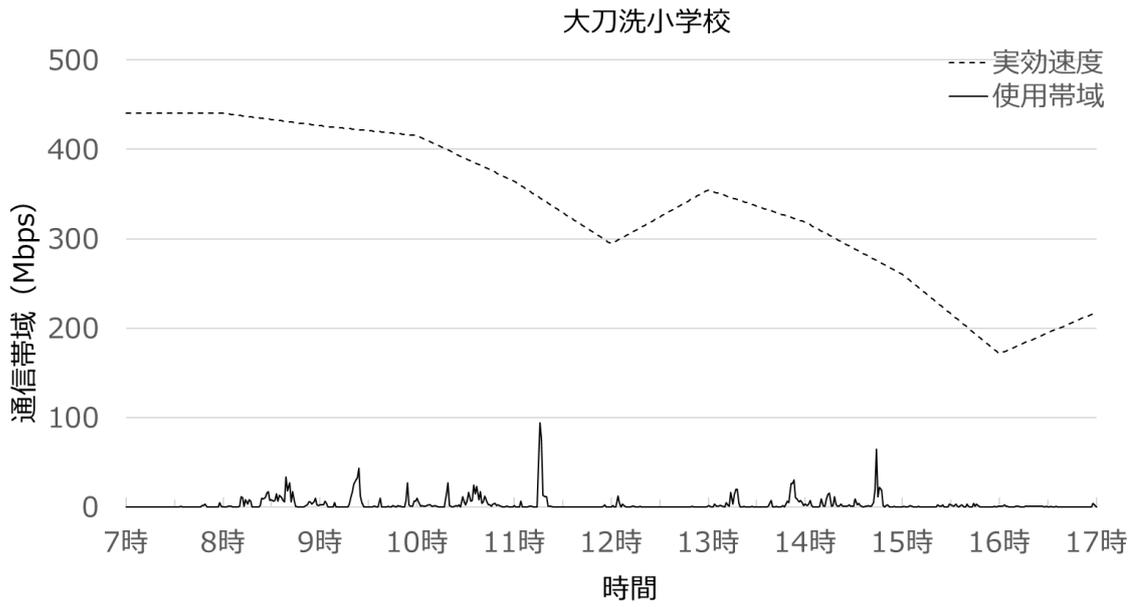


図 6 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月16日)

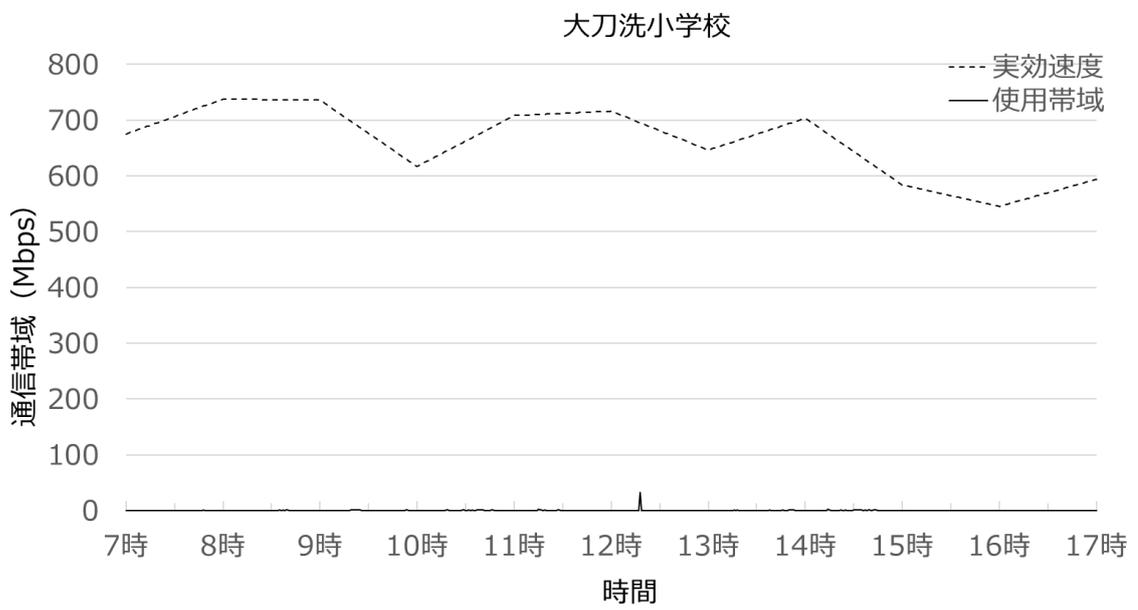


図 7 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月16日)

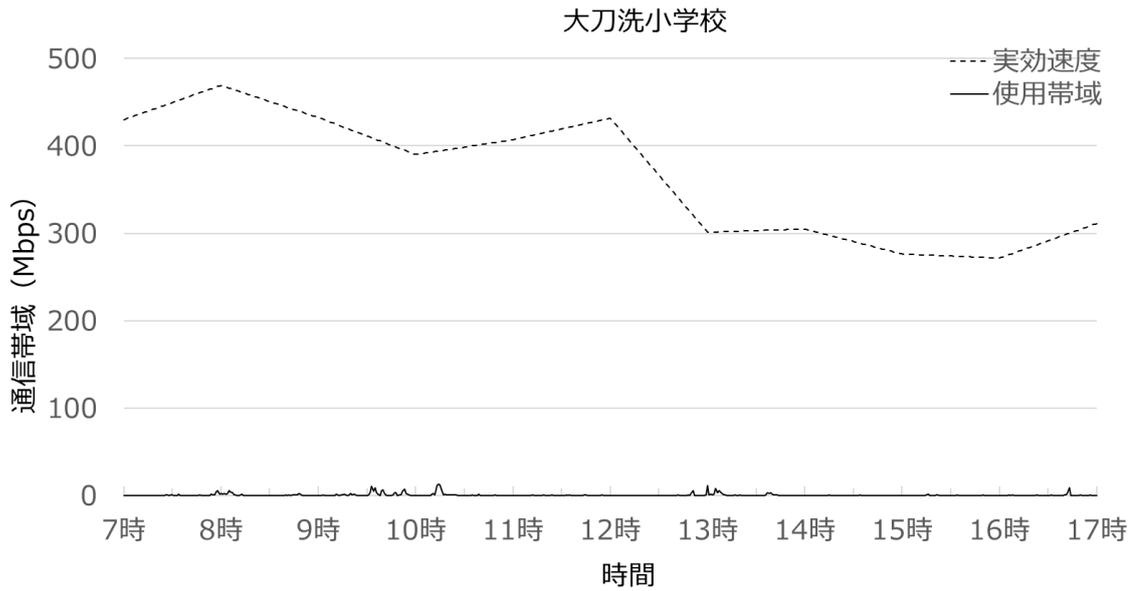


図 8 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月17日)

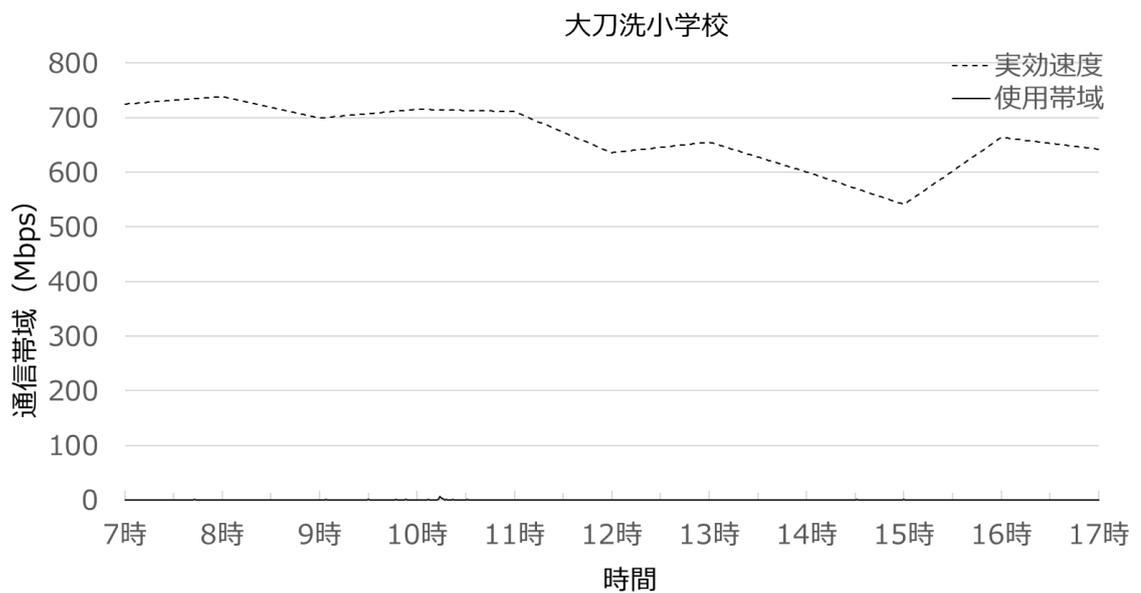


図 9 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月17日)

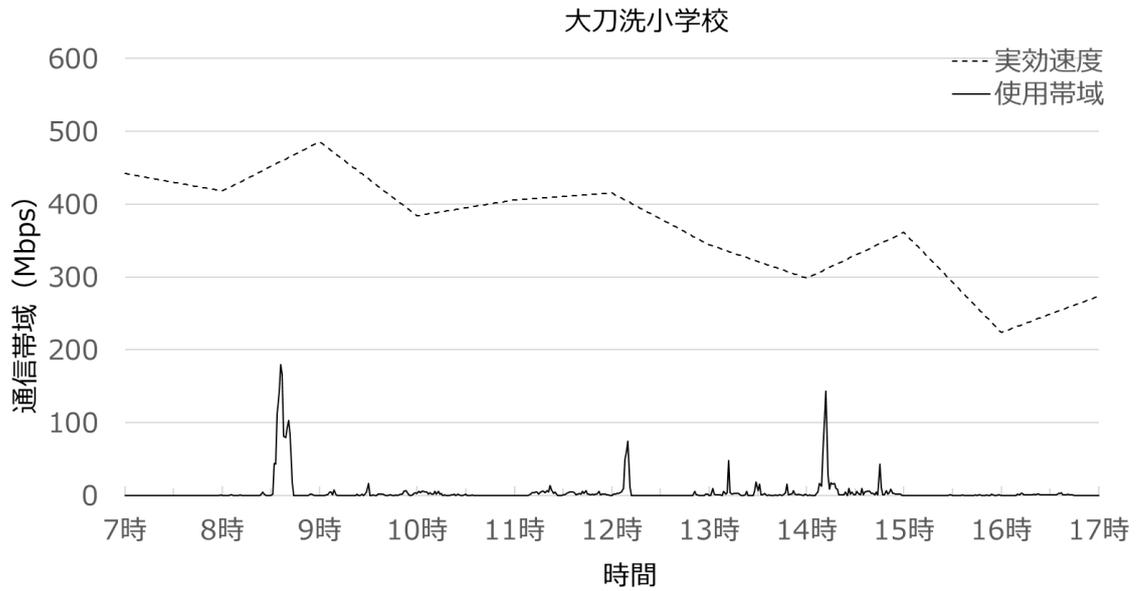


図 10 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月18日)

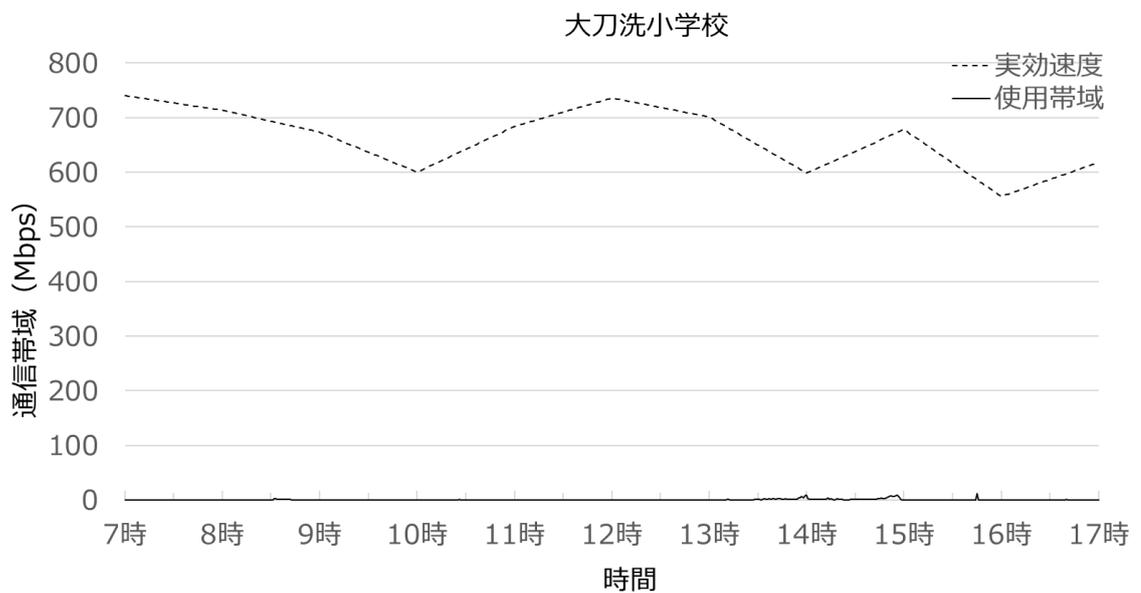


図 11 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月18日)

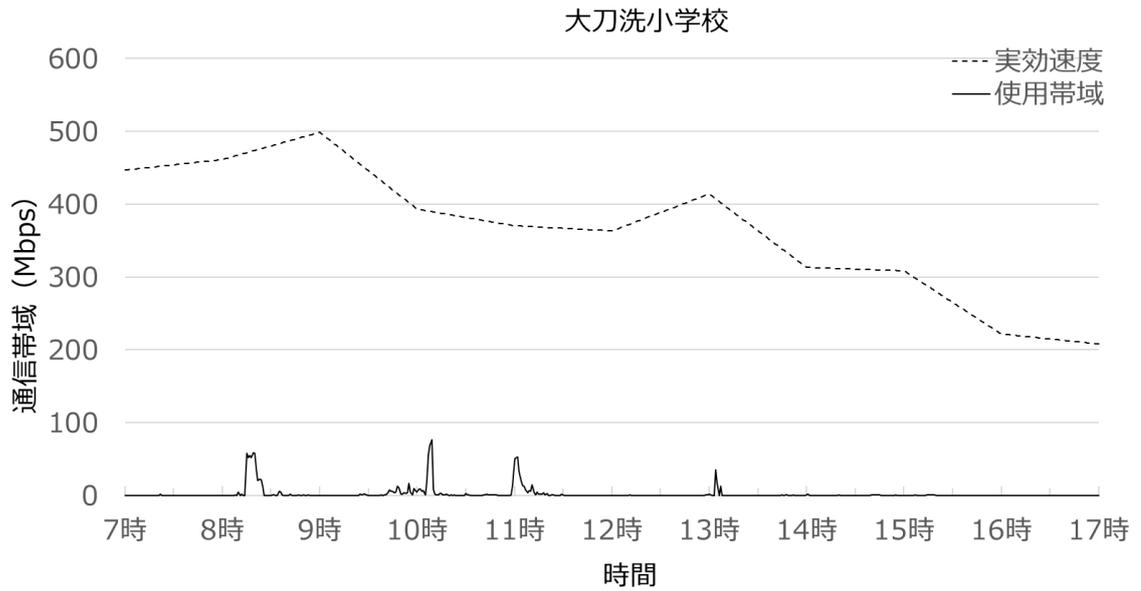


図 12 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月19日)

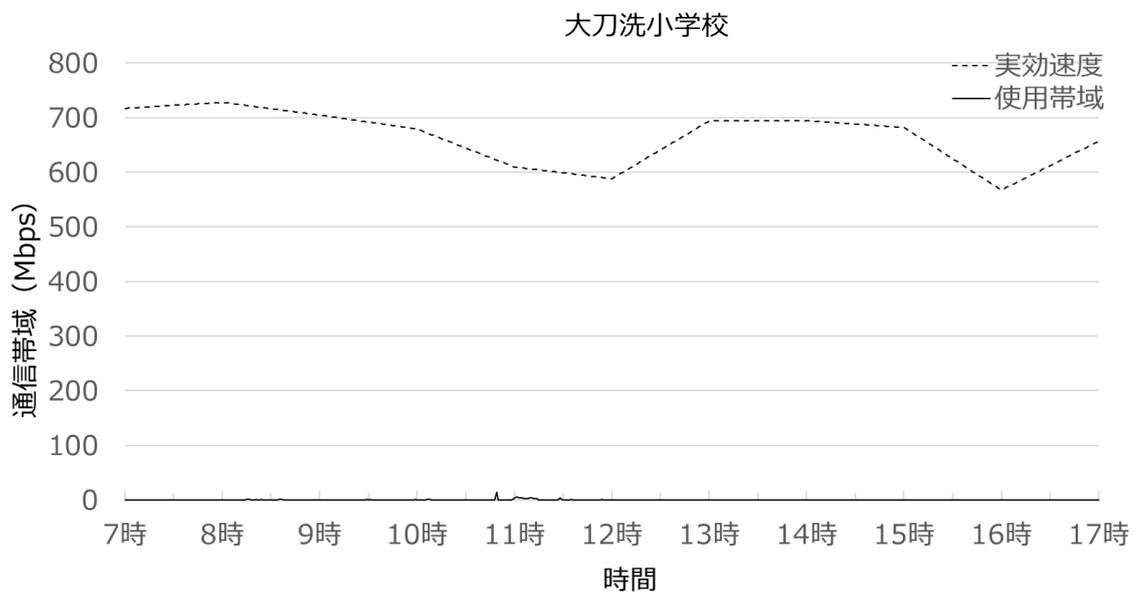


図 13 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月19日)

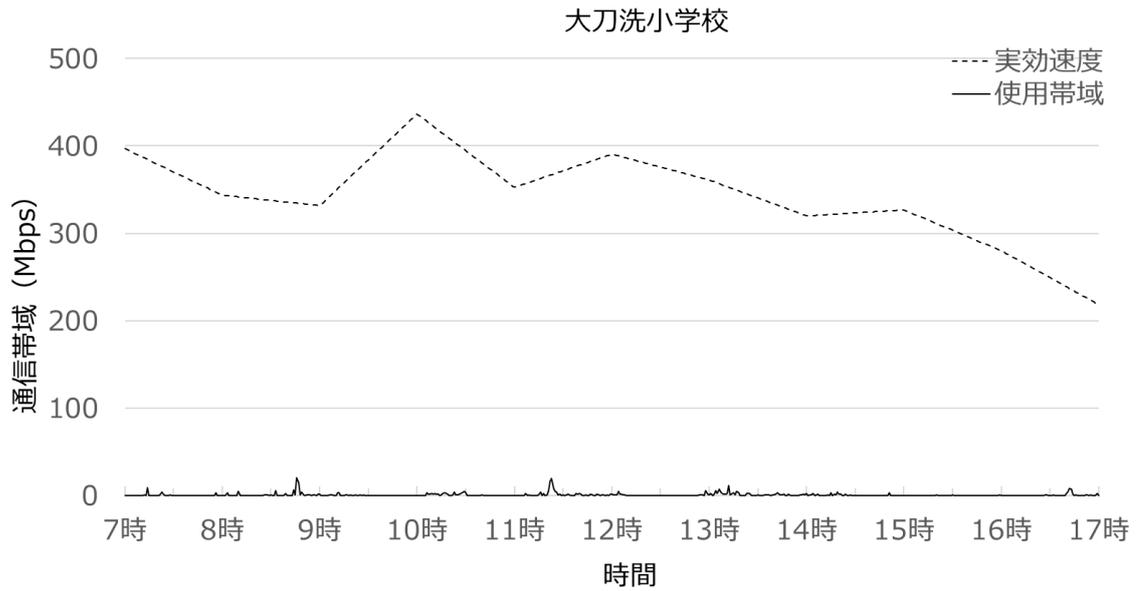


図 14 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月20日)

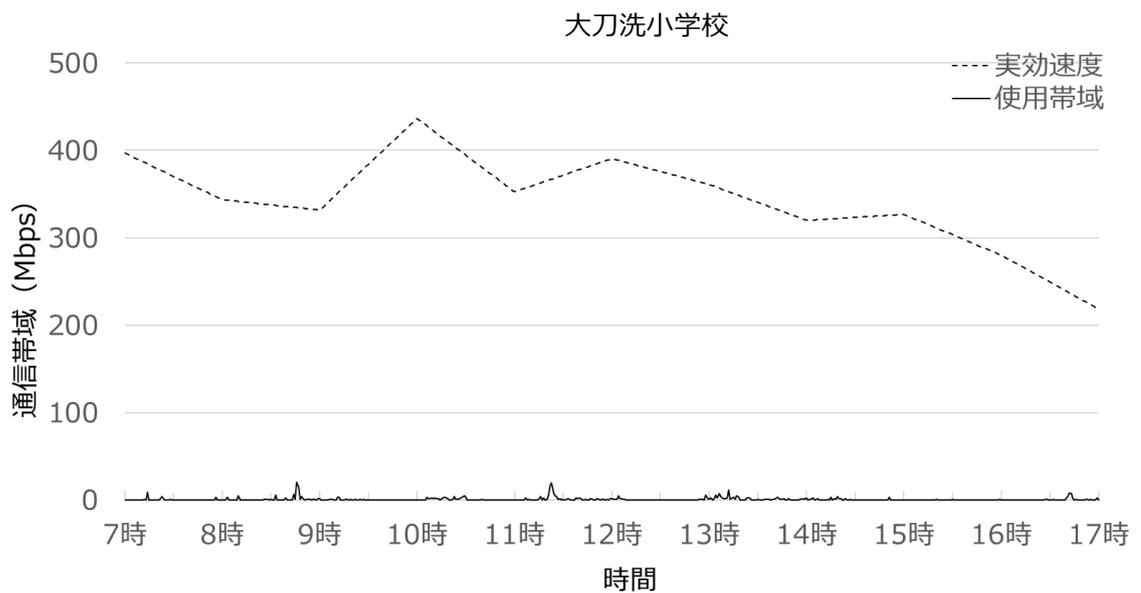


図 15 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月20日)

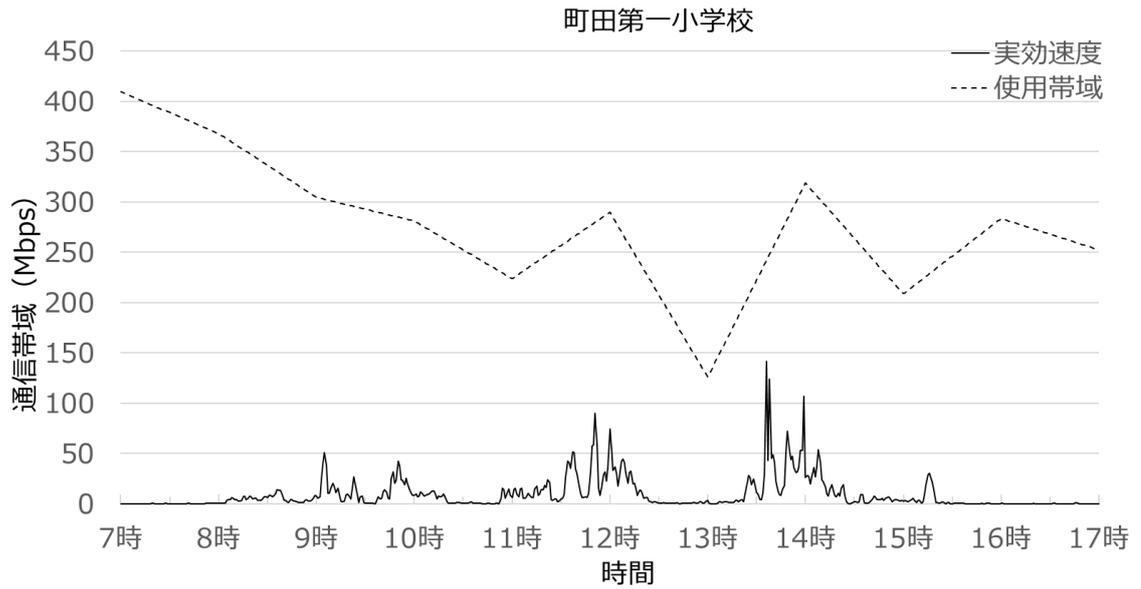


図 16 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月30日)

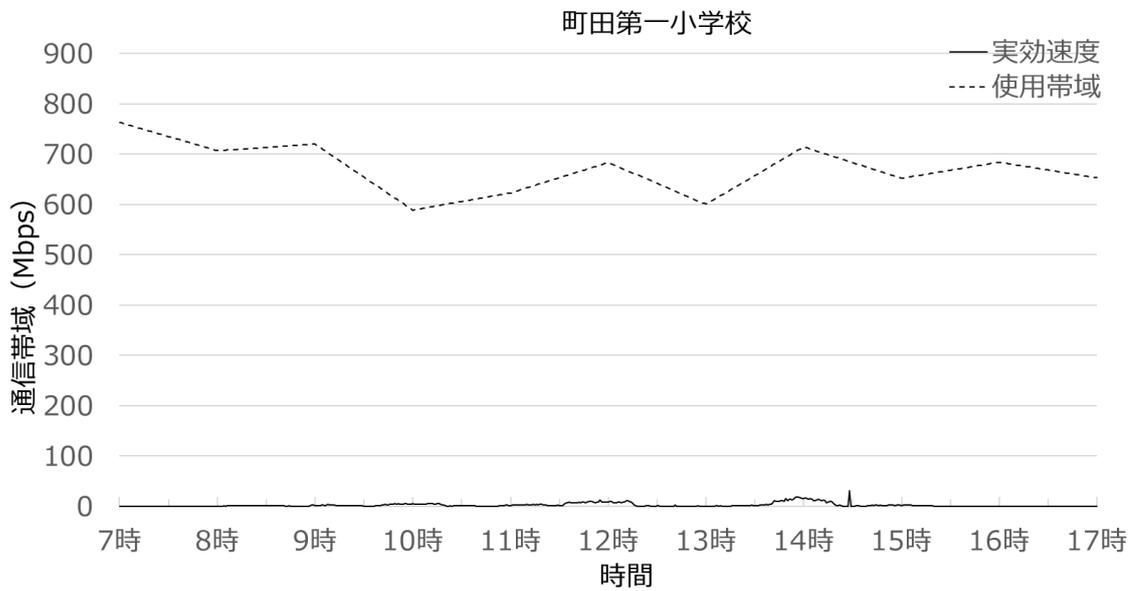


図 17 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月30日)

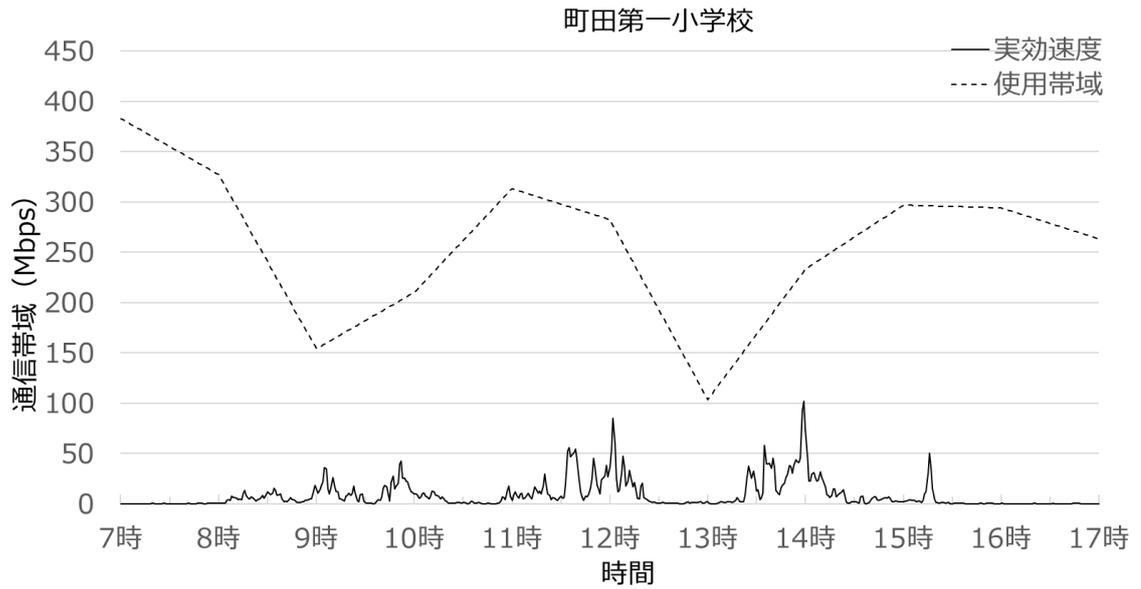


図 18 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月31日)

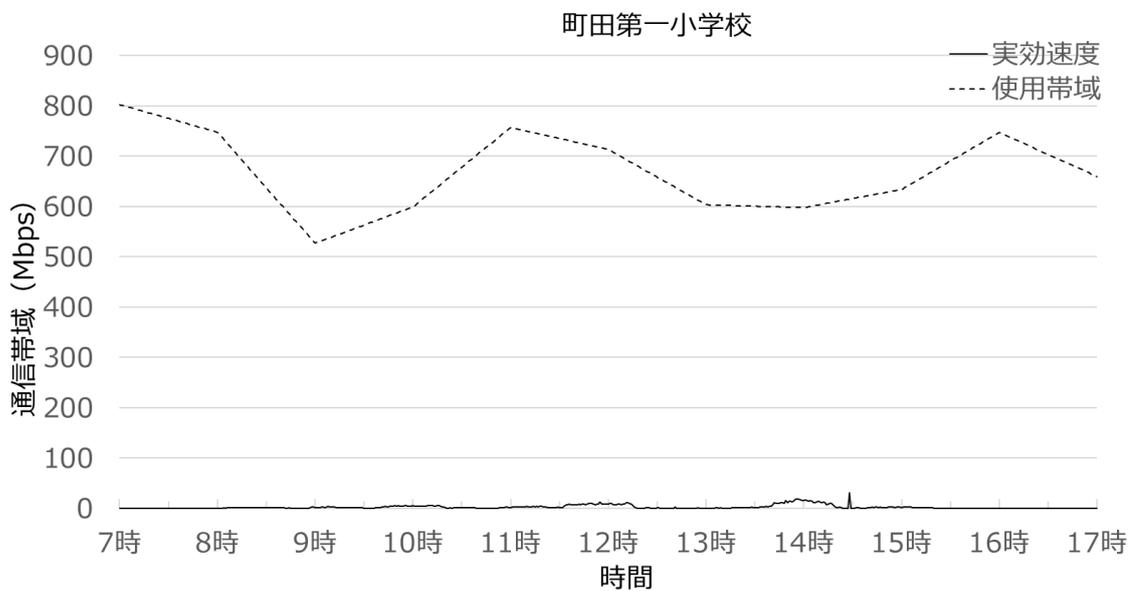


図 19 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(1月31日)

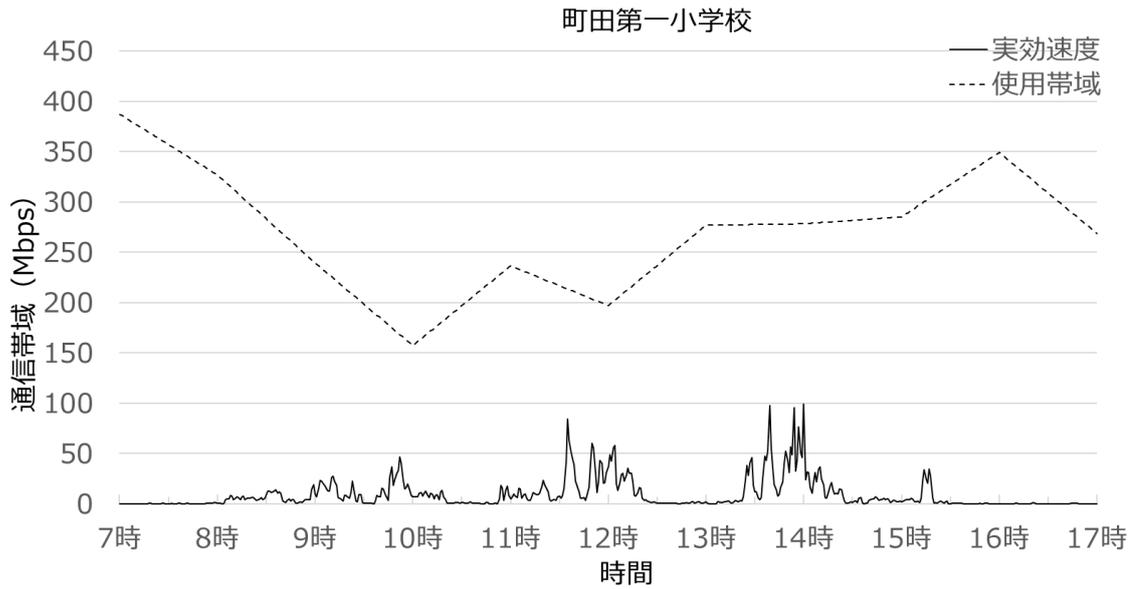


図 20 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(2月1日)

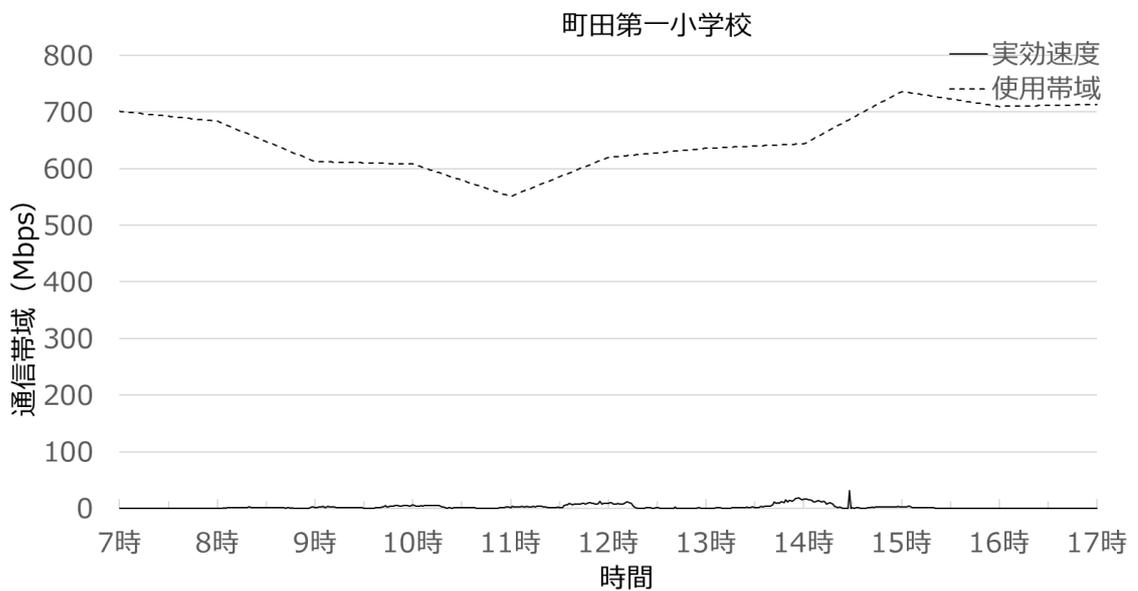


図 21 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(2月1日)

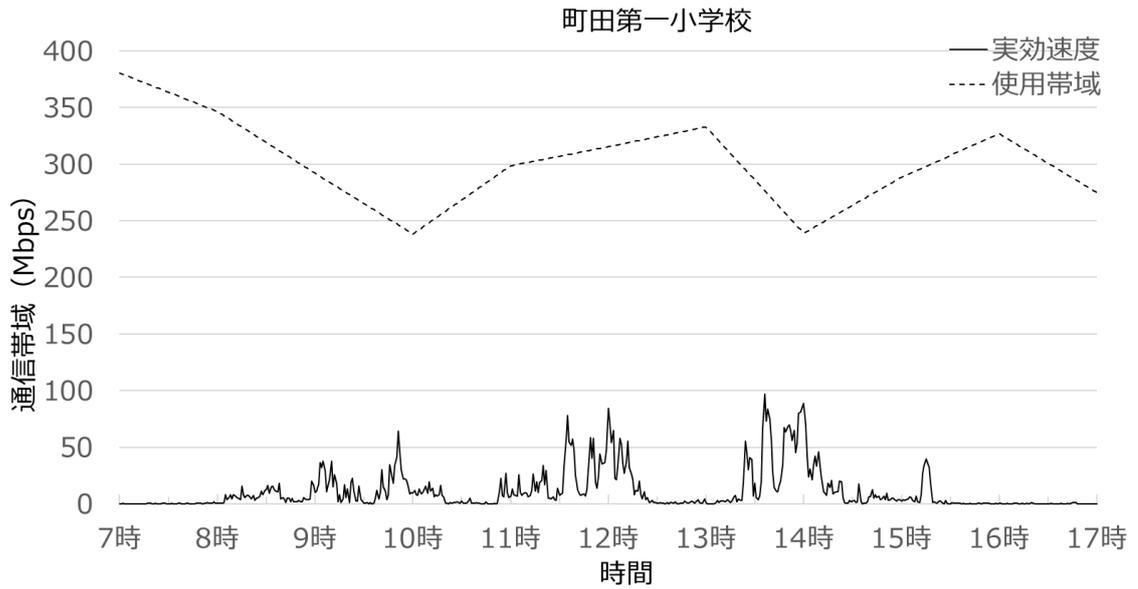


図 22 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(2月2日)

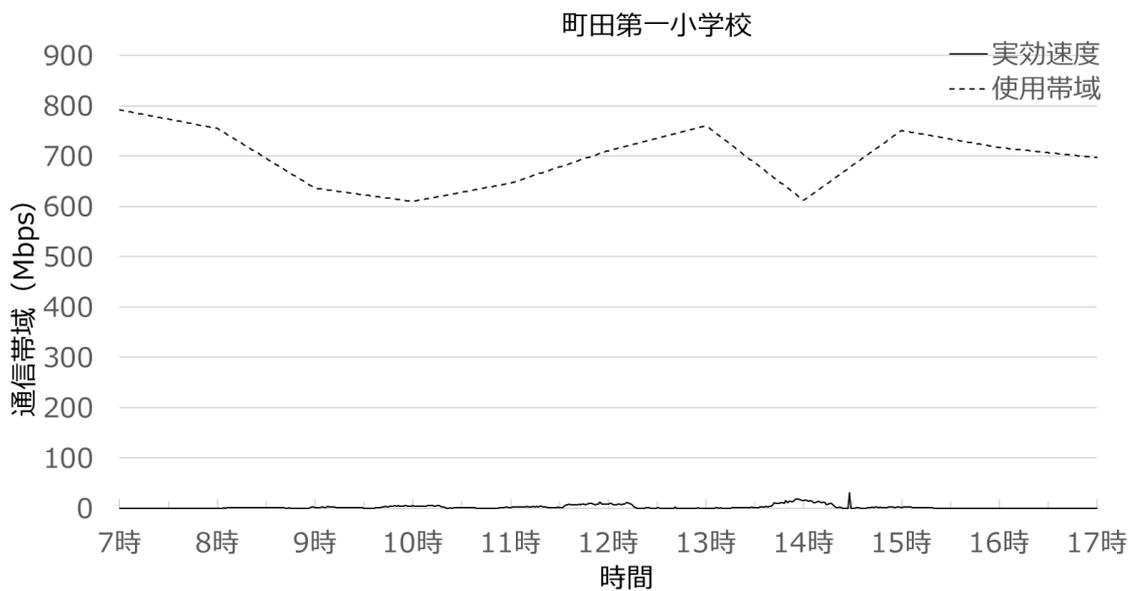


図 23 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(2月2日)

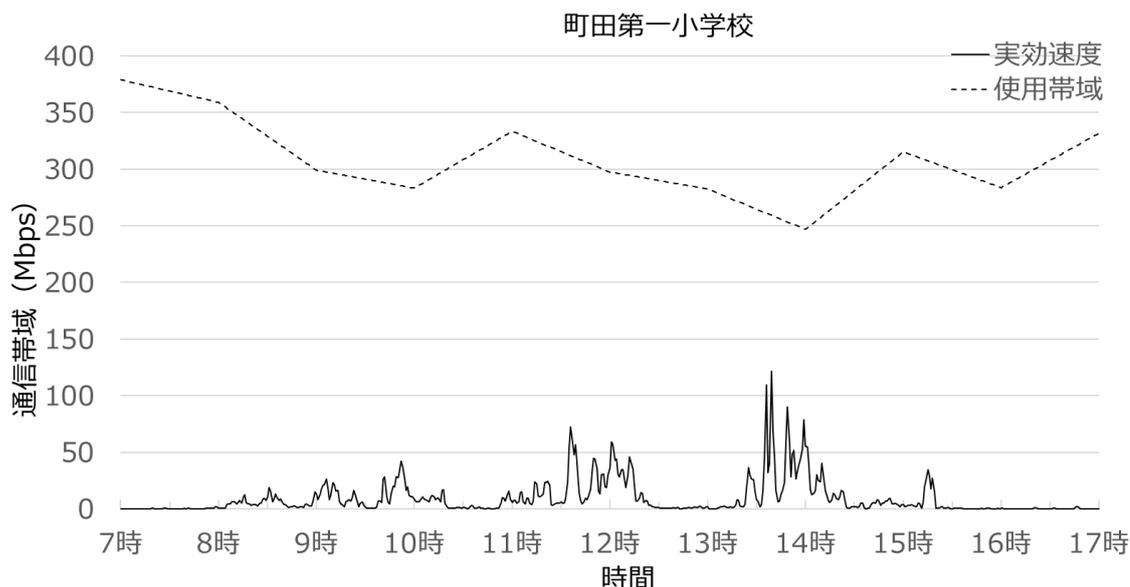


図 24 ダウンロードにおける実効速度と使用帯域の推移(2月3日)

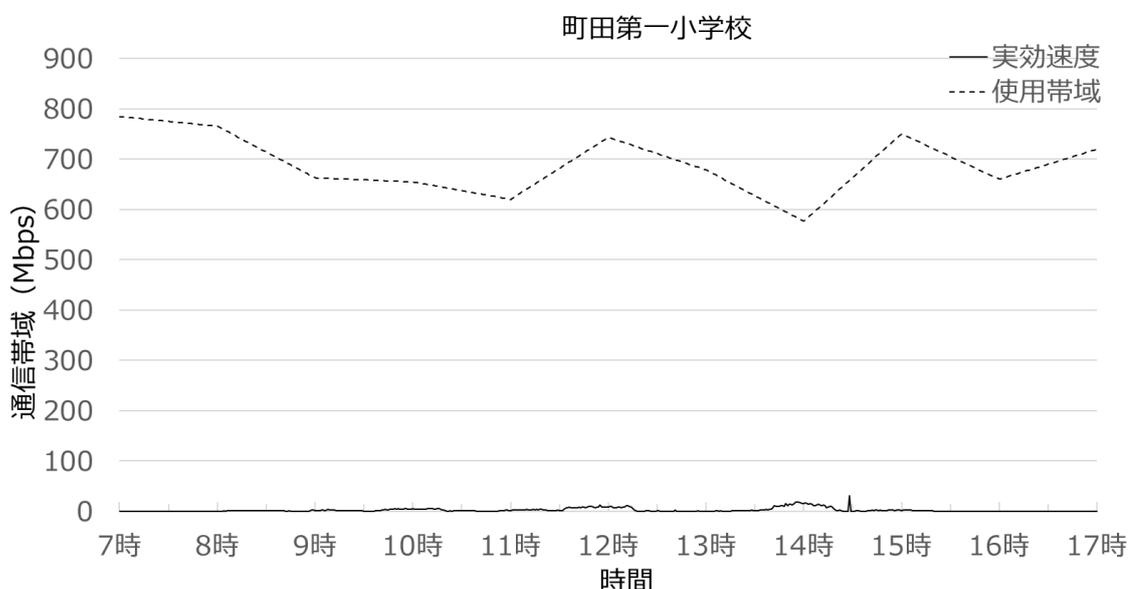


図 25 アップロードにおける実効速度と使用帯域の推移(2月3日)

上記結果より大刀洗小学校の学校全体のインターネット接続の実効速度はダウンロードが 114.1~498.6Mbps、アップロードが 509.2~744.4Mbps となり、使用帯域はダウンロードが最大で 135.2Mbps、アップロードが最大で 11.4Mbps という結果となった。インターネット接続の実効速度のダウンロードについて、1月30日の13時頃に 114.1Mbps に下がっているが、本時間帯を除けば 200Mbps 程度の通信速度であった。アップロードについては、現状ほとんど使用帯域が使われていないことが確認できる。1週間分のデータの中では、使用帯域は実効速度の推移まで到達しておらず、インターネット回線の通信帯域に余剰があることが確認できる。

町田第一小学校の学校全体のインターネット接続の実効速度はダウンロードが 103.7~420.1Mbps、アップロードが 526.9~809.2Mbps で、使用帯域はダウンロードが最大 138.0Mbps、アップロードが 21.3Mbps という結果であった。大刀洗町小

学校と同様に使用帯域が実効速度を下回っており、現時点でインターネット接続の通信速度に問題がないことが確認できる。

使用帯域に関して、授業で必要とされる通信や管理上必要となる通信帯域以外にも利用している可能性があるため、実際に必要とされる通信帯域については、大刀洗小学校の授業観察時におけるデータ分析で確認を行う。

大刀洗小学校の授業観察時における使用帯域を図26～図29に示す。授業の対象は、小学5年における1月16日の算数、外国語、1月23日の算数、外国語の計4授業を対象とする。各図に教員・児童が実際に行った操作を記載する。1月16日、1月23日の授業における児童の人数は33人である。

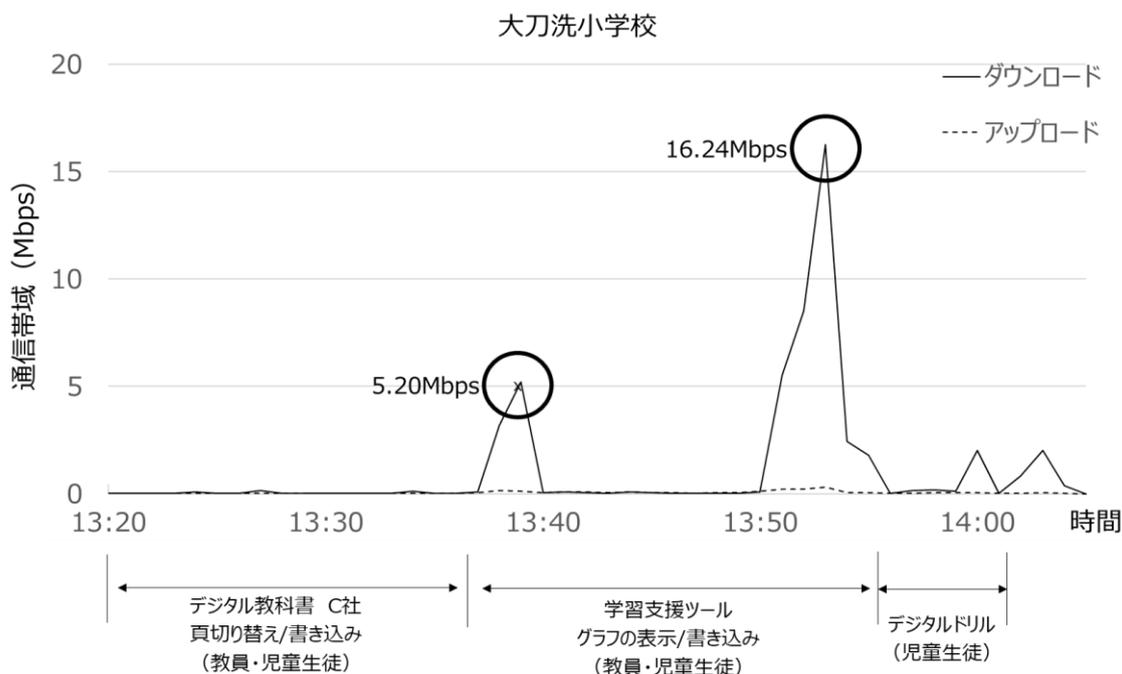


図 26 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月16日 算数)

図26 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月16日 算数) では、授業開始直後からデジタル教科書を利用していたが、通信帯域はほぼ使用されていない。

学習支援ツールはグラフの表示や書き込み操作によりダウンロードが最大16.2Mbps、アップロードが最大0.3Mbpsの使用帯域が使用されていた。

授業後半で復習用に使用したデジタルドリルはダウンロードが最大で2.0Mbps、アップロードが最大で0.1Mbpsの通信帯域が使用されていた。

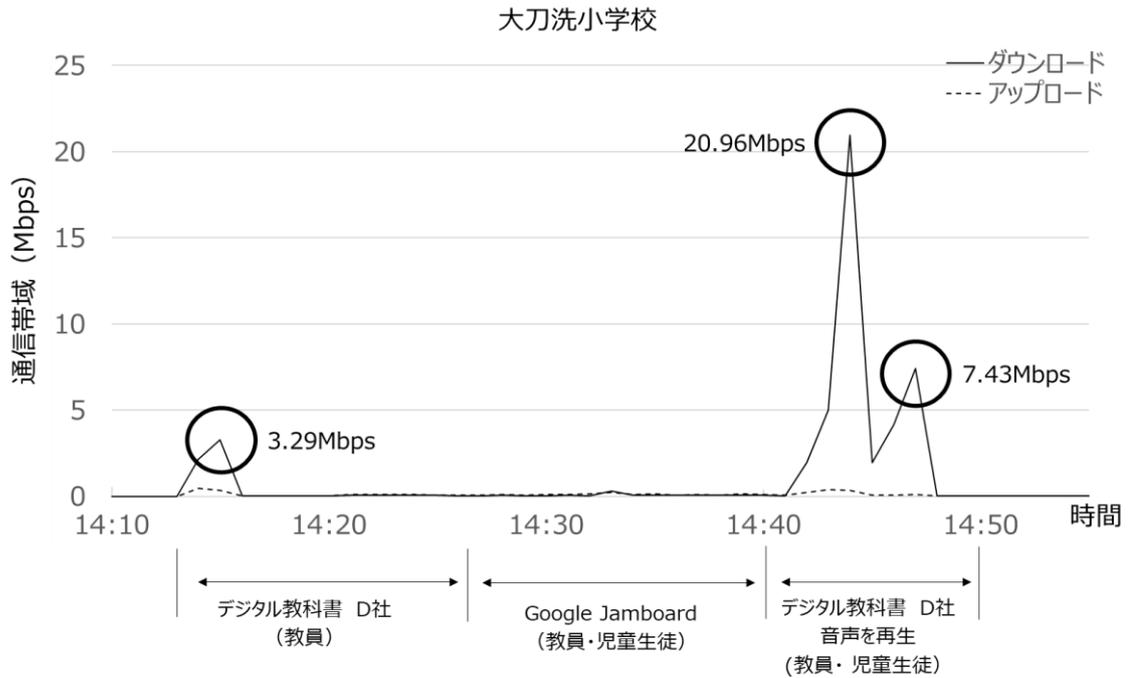


図 27 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月16日 外国語)

図 27 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月16日 外国語) では、授業開始後に教員がデジタル教科書を使用し、ダウンロードが最大で 3.3Mbps、アップロードが最大で 0.4Mbps の通信帯域が使用されていた。

次に Google Jamboard を教員と児童が起動し、事前に準備された教材を児童が 2 人 1 組で利用していたが、通信帯域の利用はほぼなかった。その後、デジタル教科書を使用し、音声の再生を児童全員で実施した。このときの使用帯域はダウンロードが最大で 21.0Mbps、アップロードが最大で 0.4Mbps であった。

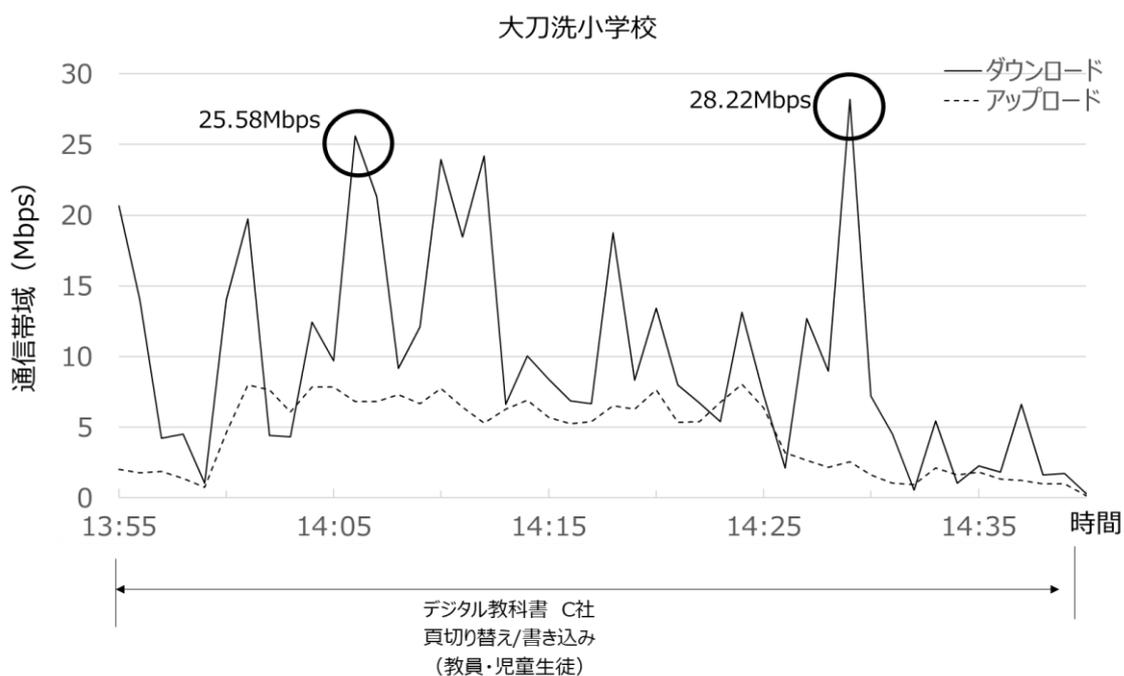


図 28 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月23日 算数)

図 28 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月23日 算数) では、デジタル教科書を授業時間中に頁切り替えや書き込みを行っていた。このときの利用通信帯域はダウンロードが最大で 28.2Mbps、アップロードが最大で 8.1Mbps であった。

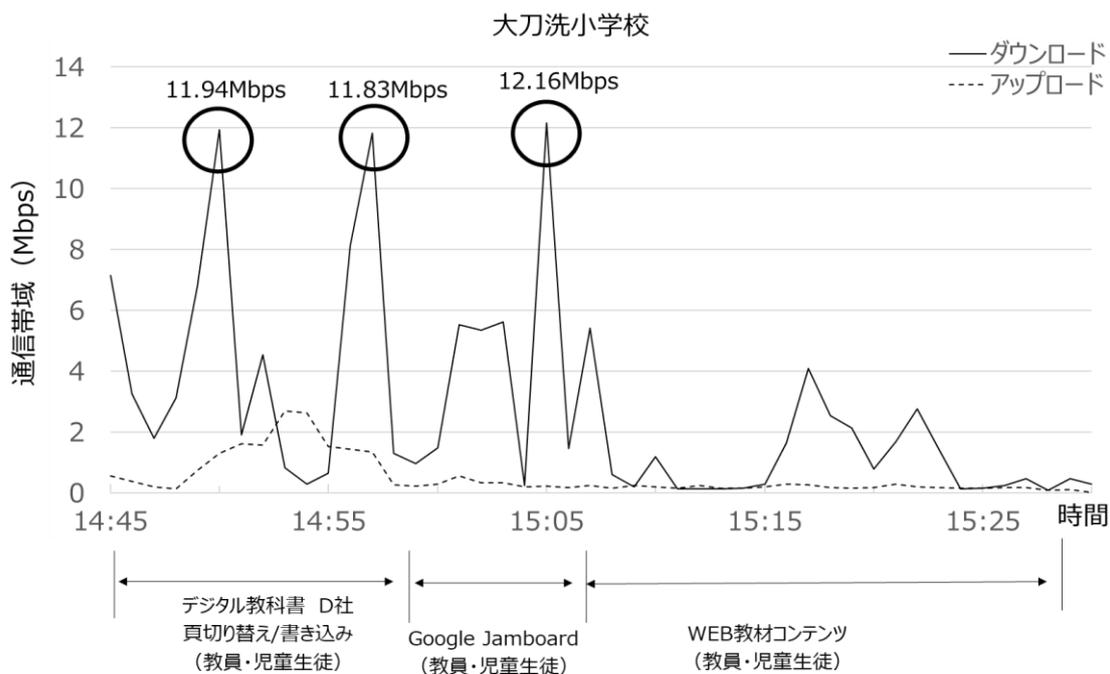


図 29 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月23日 外国語)

図 29 学習者用端末の操作内容と使用帯域 (1月23日 外国語) では、授業開始後にデジタル教科書の頁切り替えや書き込みを行っていた。このときの利用通信帯域はダウンロード最大が 11.9Mbps、アップロードが最大で 2.6Mbps であった。

次に Google Jamboard を使用した際の使用帯域のダウンロードが最大で 12.2Mbps、アップロードが最大で 0.6Mbps であった。その後、WEB 教材コンテンツを使用し、使用帯域はダウンロードが最大で 4.1Mbps、アップロードが最大で 0.2Mbps であった。

上記より小学 5 年を対象とした授業において、児童数 33 名の学級内でデジタル教科書等を利用した場合、使用した通信帯域は最大でダウンロードが 28.2Mbps、アップロードが 8.2Mbps であった。学級の児童数で割ると、1 人あたりの使用帯域はダウンロードが 0.85Mbps、アップロードが 0.25Mbps であった。算数、外国語の授業合計 4 回の授業観察におけるデジタル教科書等の使用帯域は比較的にかさかったが、動画等を利用するアプリケーションがある場合は使用帯域が増加することが推察される。

図 26～図 29 の使用帯域におけるアプリケーション分類を図 30～37 に示す。

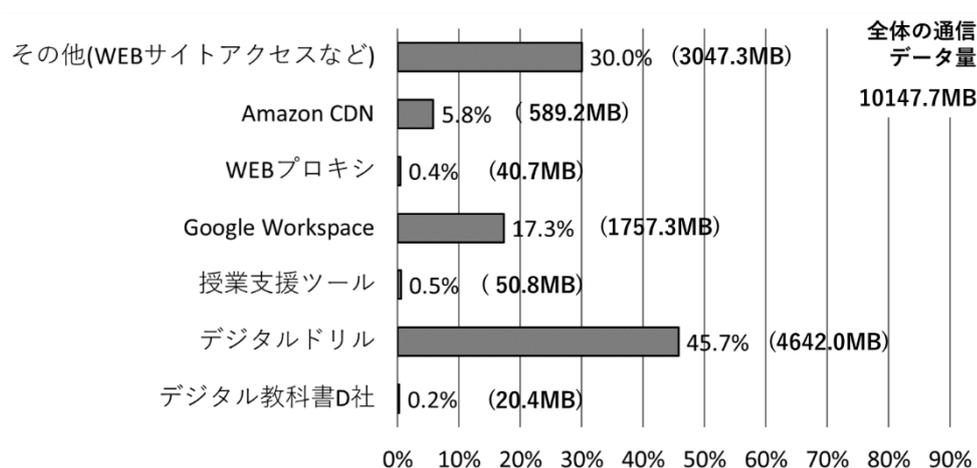


図 30 通信先の使用割合 (1月16日算数 ダウンロード)

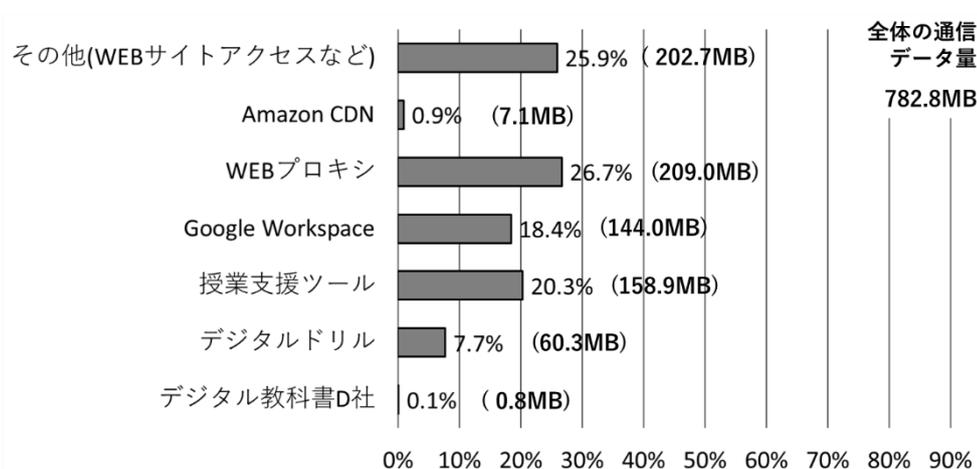


図 31 通信先の使用割合 (1月16日算数 アップロード)

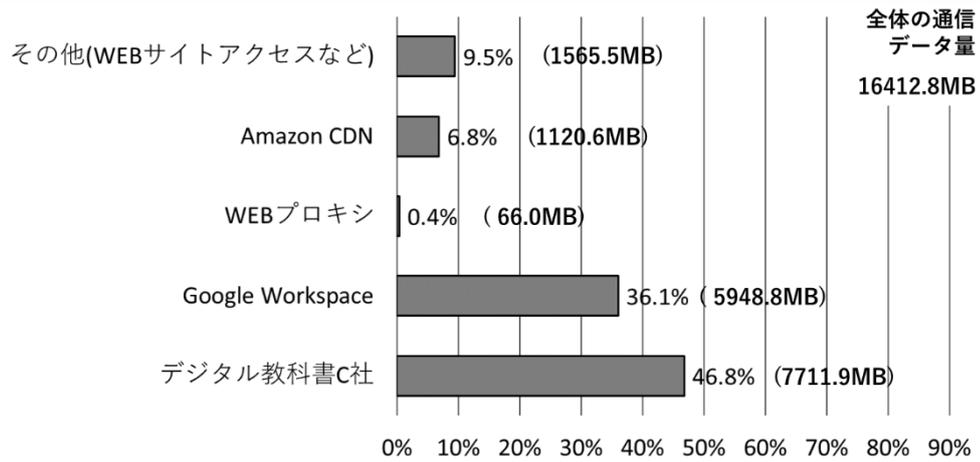


図 32 通信先の使用割合 (1月16日外国語 ダウンロード)

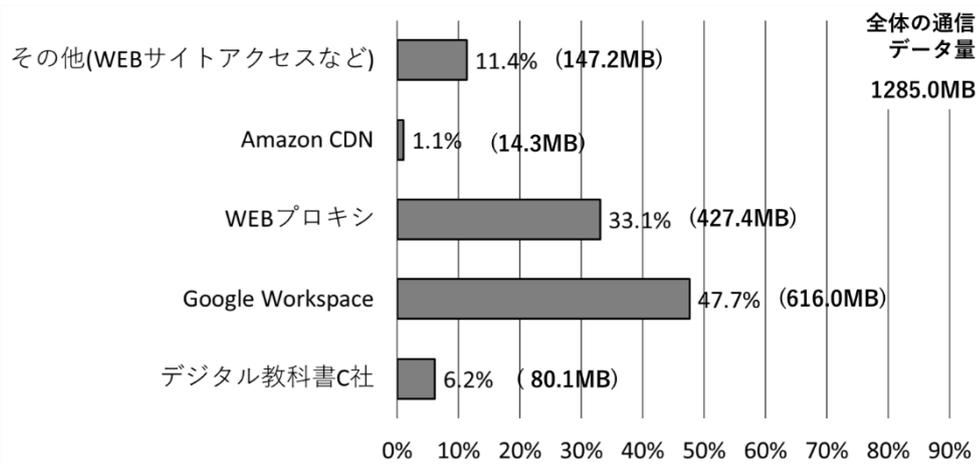


図 33 通信先の使用割合 (1月16日外国語 アップロード)

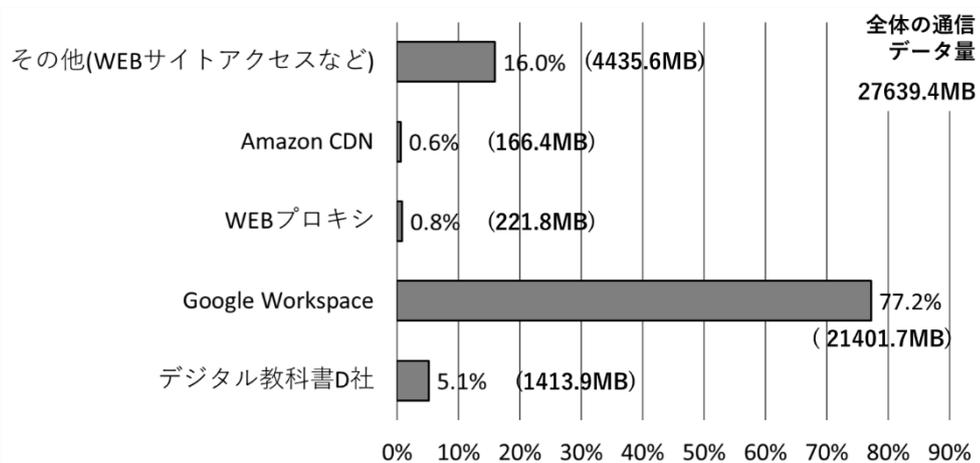


図 34 通信先の使用割合 (1月23日算数 ダウンロード)

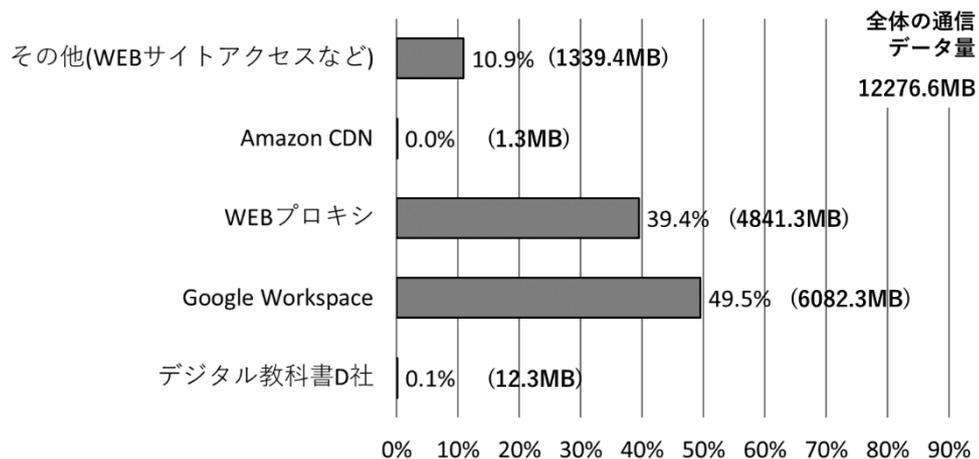


図 35 通信先の使用割合 (1月23日算数 アップロード)

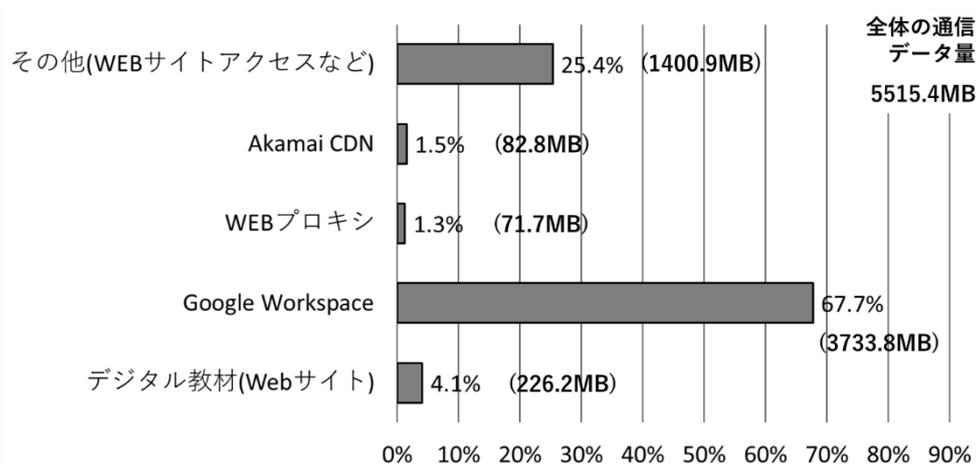


図 36 通信先の使用割合 (1月23日算数 ダウンロード)

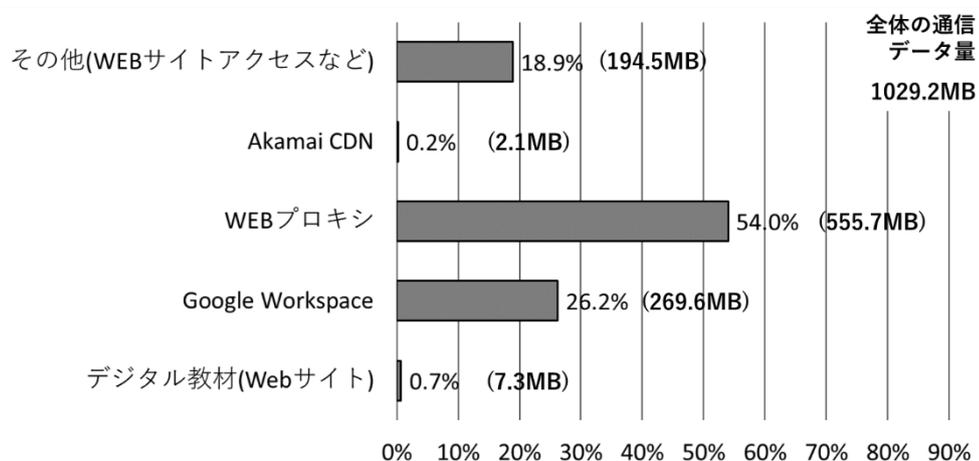


図 37 通信先の使用割合 (1月23日算数 アップロード)

授業観察時間帯における利用通信帯域のアプリケーション分類を行ったが、常に突出したデータはなかった。また、アプリケーションの使用割合を算出したが、通信先として CDN(Content Delivery Network) を利用している場合、宛先の通信情報が正確に取得できないため、授業中に ICT 端末を操作した内容と通信データを照合して解析した結果である。

CDN とは、コンテンツデリバリーネットワークの略で、大容量のデジタルコンテンツをインターネット上で大量配信するためのネットワークの仕組みである。

第5章 インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態の検証

インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態に関して、「単一通信網複数ISP型」、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」を検証環境にて、実際に自治体や学校で利用が想定される通信網とISPを選定し、各ネットワーク接続形態における有効性の検証と通信速度に対する費用対効果の調査を行う。

ネットワーク接続形態の特徴をまとめたものを表5に示す。

「単一通信網複数ISP型」は、単一の通信網で複数社のISPと接続を行う。ISPは異なる事業者を選択する。

「同一通信網複数型」は単一の通信網とISPの組み合わせを複数使用する。通信網は同じ事業者を選択する。

「複数通信網型」は、通信網とISPの組み合わせを複数使用する。通信網は異なる事業者を選択する。

表 5 ネットワーク接続形態の特徴

ネットワーク接続形態	特徴
単一通信網複数ISP型	・単一の通信網で複数社のISPと接続 ・ISPは異なる事業者を選択
同一通信網複数型	・単一の通信網とISPの組み合わせを複数使用 ・通信網は同じ事業者を選択
複数通信網型	・通信網とISPの組み合わせを複数使用 ・通信網は異なる事業者を選択

第1節 通信速度の測定方法

検証環境における測定構成について、図38～図40に示す。学校の授業時間帯を想定して、平日日中帯（8:00-17:00）で測定した。

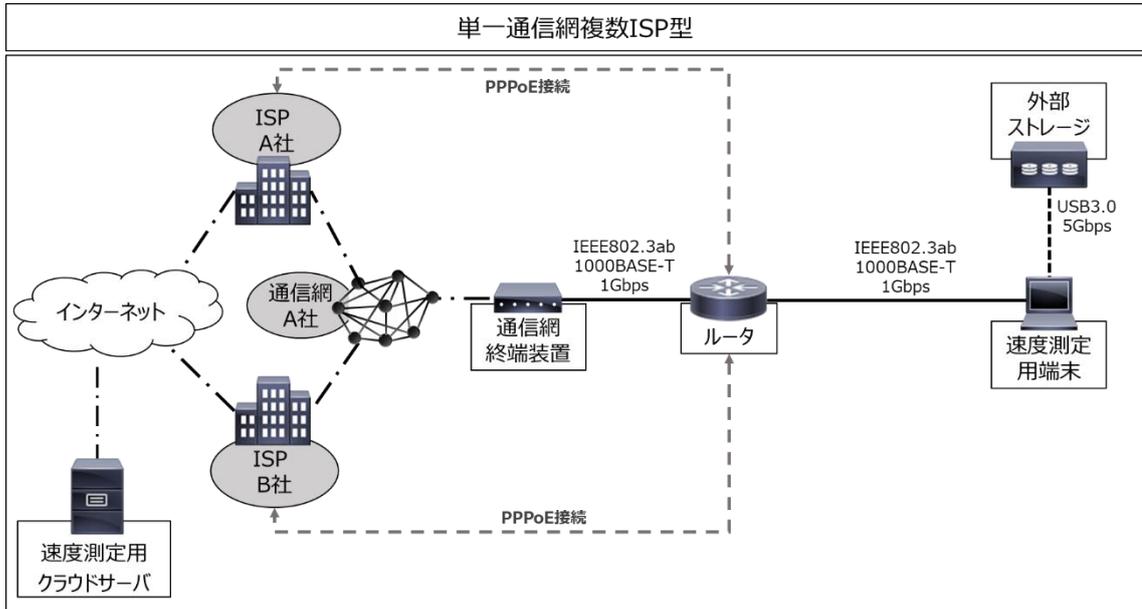


図 38 検証環境における測定構成「単一通信網複数 ISP 型」

図38「単一通信網複数ISP型」は、同一の通信網を使用し、ルータからISP A社、ISP B社に接続し、ルータに搭載された機能で送信元IPアドレスを基に接続先の通信を振り分ける。速度測定端末と速度測定用クラウドサーバ間で負荷テストを実施し、実効速度の測定を行う。外部ストレージとは通信速度の測定データの保管場所である。

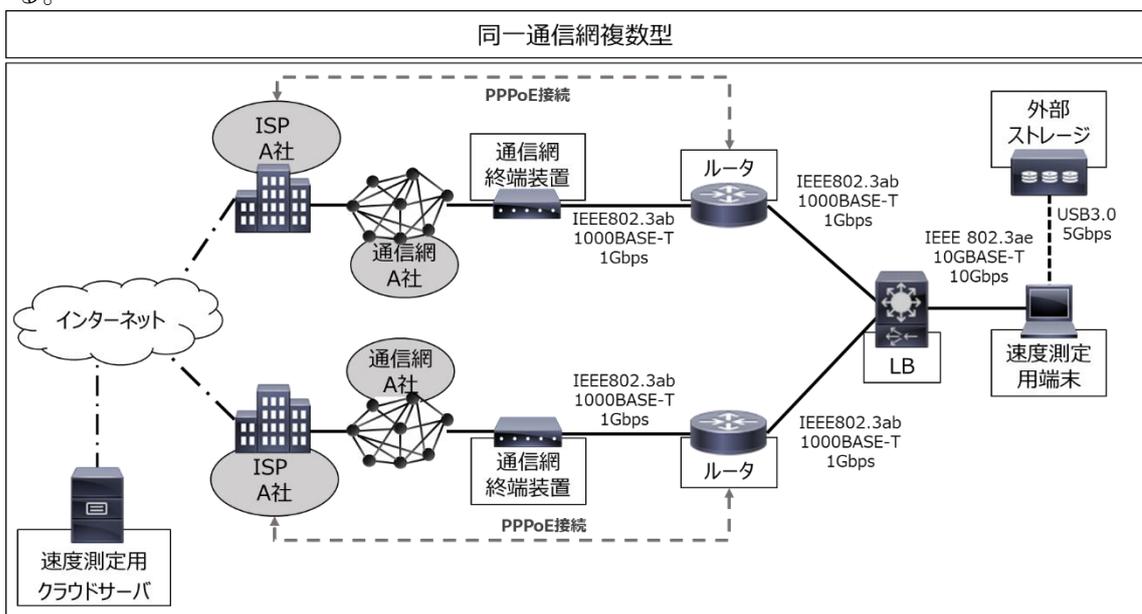


図 39 検証環境における測定構成「同一通信網複数型」

図39「同一通信網複数型」は、単一の通信網とISPの組み合わせを複数使用する構成で、通信網は同じ事業者を選択した。

LBによりルータへの通信を振り分け測定を行う。LBとは、ロードバランサの略称を示しており、接続先の通信を振り分ける機能を有した装置である。

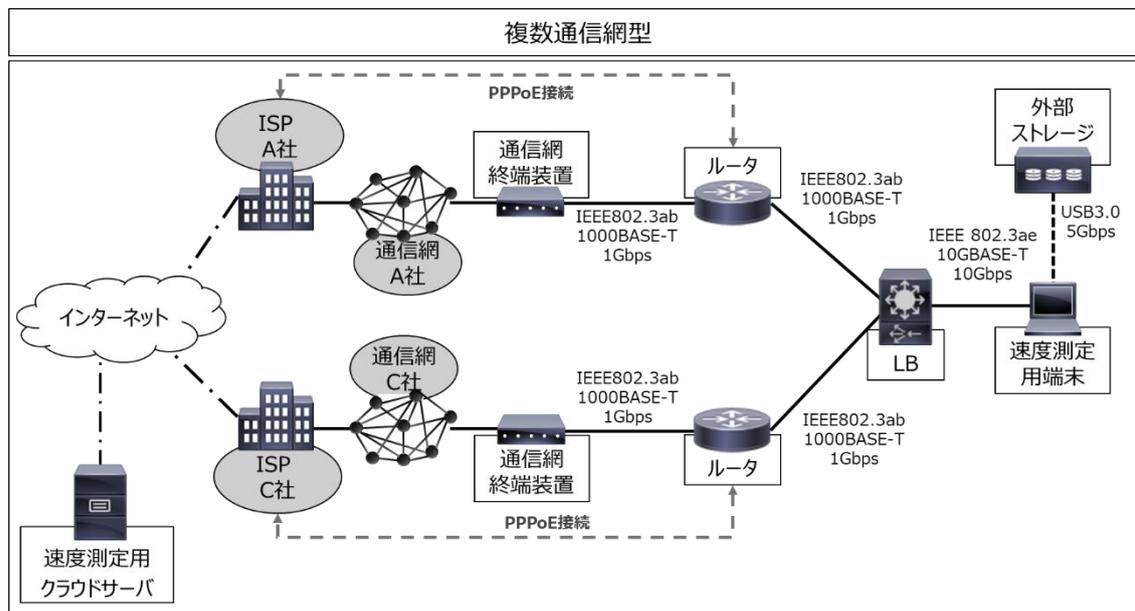


図40 検証環境における測定構成「複数通信網型」

図40「複数通信網型」は、異なる通信網とISPの組み合わせを複数使用する構成で、通信網は異なる事業者を選択した。LBによりルータへの通信を振り分け測定を行う。

第2節 検証結果

インターネット接続を高速化するネットワーク接続形態に関して、「単一通信網複数ISP型」、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」にて通信網やISPを組み合わせた場合の実効速度を取得することで通信効率を算出する。通信効率とは実測値/理論値をパーセントで示したものである。

第1項 単一通信網複数ISP型における検証結果

単一通信網複数ISP型における実効速度の測定範囲を図4-1～図4-3に示す。図中に記載している点線矢印が速度測定用クラウドサーバと速度測定用端末の間で測定する通信データの流れを示している。ISP A社を使用した場合の測定値をA、ISP B社を使用した場合の測定値をB、ISP A社とB社を使用した場合の測定値をCとする。

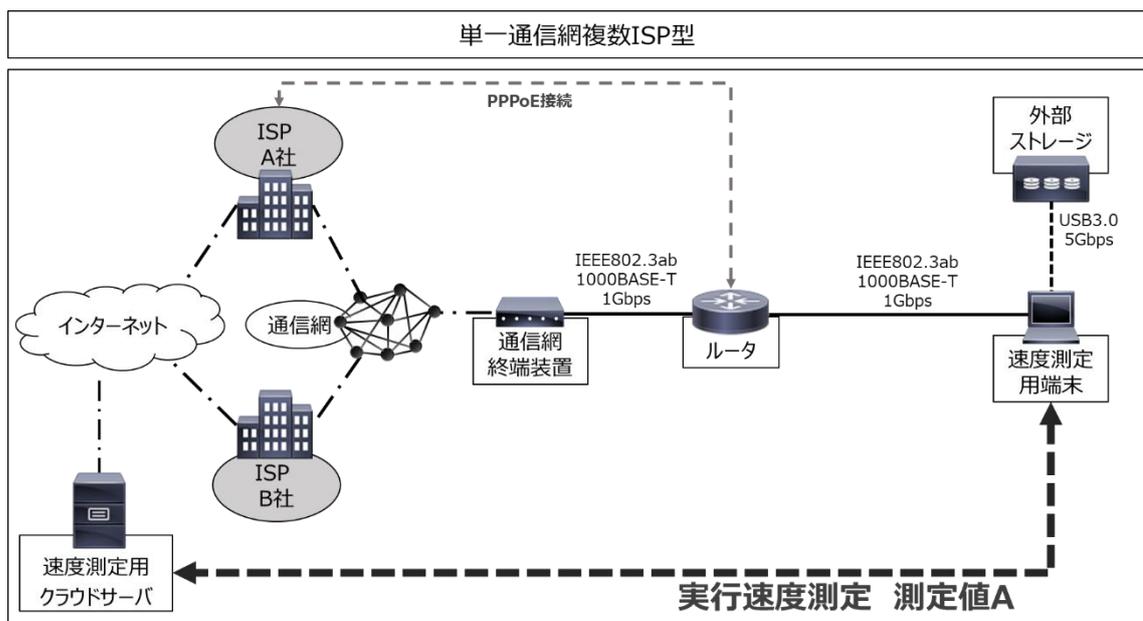


図 41 単一通信網複数ISP型における実効速度の測定範囲（1）

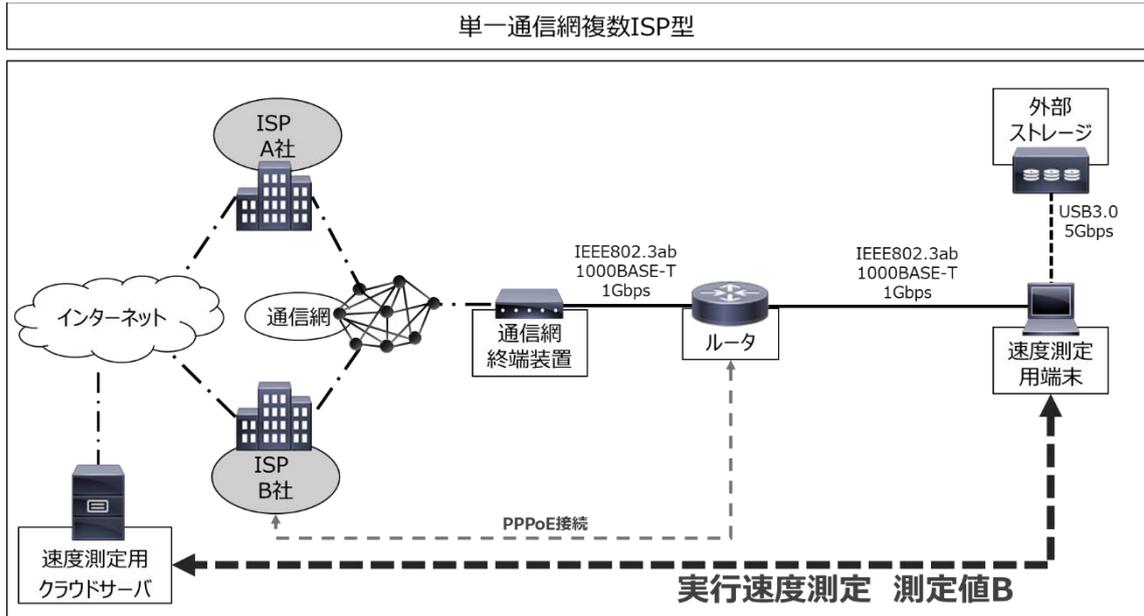


図 42 単一通信網複数 ISP 型における実効速度の測定範囲（2）

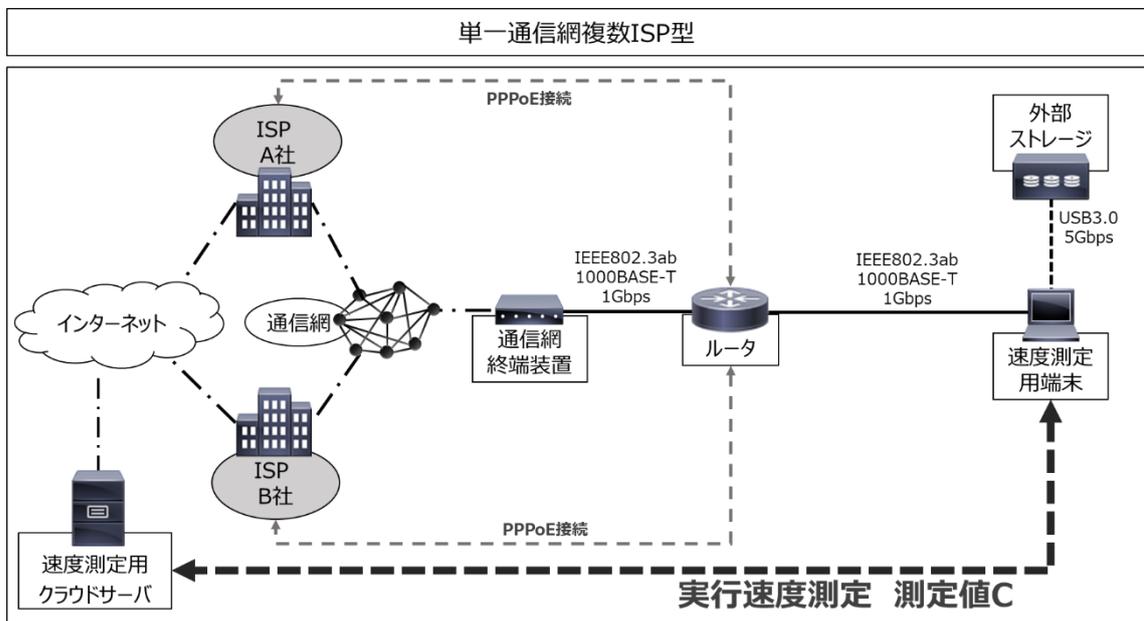


図 43 単一通信網複数 ISP 型における実効速度の測定範囲（3）

実効速度の測定結果を図 4 4～図 4 5 に示す。

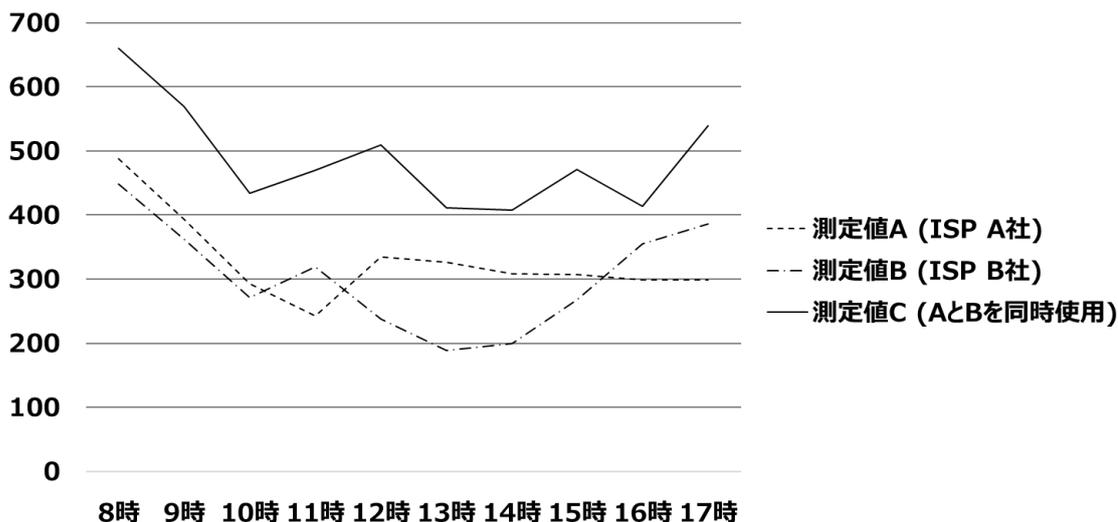


図 44 単一通信網複数 ISP 型 実効速度 (ダウンロード)

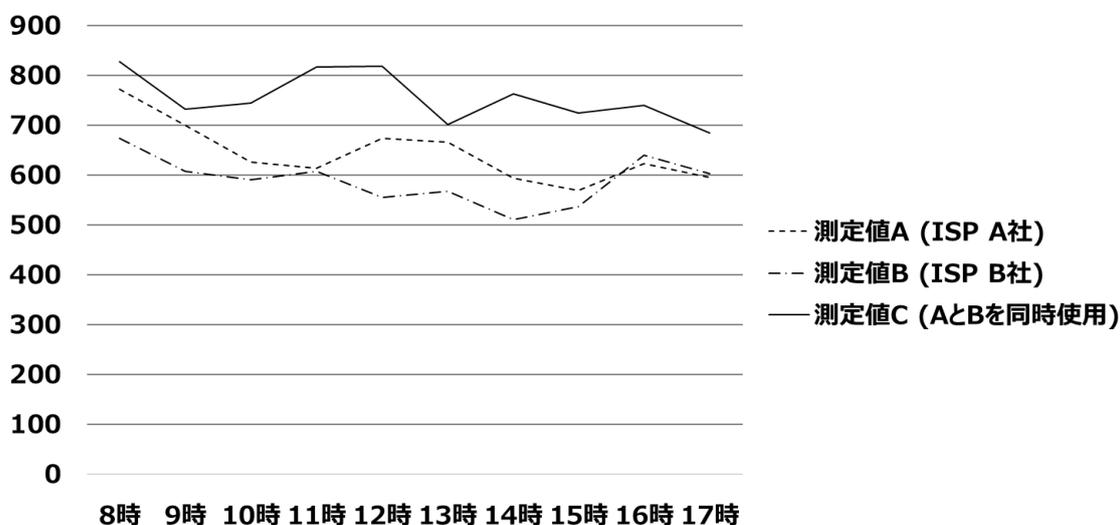


図 45 単一通信網複数 ISP 型 実効速度 (アップロード)

測定時間帯における実効速度、最小通信速度、平均通信速度を実測値とし、各通信速度の実測値 A と実測値 B を合計した理論値及び、理論値に対する実測値 C の実際の通信速度の割合を通信効率として表 6 に示す。

表 6 単一通信網複数 ISP 型 実効速度

測定内容	ダウンロード					アップロード				
	実行速度(測定値)			理論値	通信効率	実行速度(測定値)			理論値	通信効率
	A	B	C			A	B	C		
平均速度[Mbps]	328.9	303.8	488.7	632.6	77%	643.0	589.0	754.9	1232.0	61%
最低速度[Mbps]	242.3	188.9	407.4	431.2	94%	569.5	509.8	683.6	1079.3	63%
最高速度[Mbps]	487.5	448.4	660.5	936.0	71%	772.6	674.2	826.8	1446.7	57%

※通信効率 = 測定値C / 理論値(A + B)

単一通信網複数 ISP 型の検証結果として、ダウンロード、アップロードの両方における実効速度、最小通信速度、平均通信速度の全てにおいて実測値 C が実測値 A と実測値 B の通信速度よりも高速であることからインターネット接続の高速化において有効であることが確認できる。なお、通信網の実効速度が I S P の実効速度より早いことが前提となる。

第2項 同一通信網複数型における検証結果

同一通信網複数型における実効速度の測定範囲を図46～図48に示す。図中に記載している点線矢印が速度測定用クラウドサーバと速度測定用端末の間で測定する通信データの流れを示している。

異なる2つの通信網を個別に使用した場合の通信速度の測定値をそれぞれ測定値Aと測定値Bとし、2つの通信網を同時に使用した場合の通信速度の測定値を測定値Cとする。

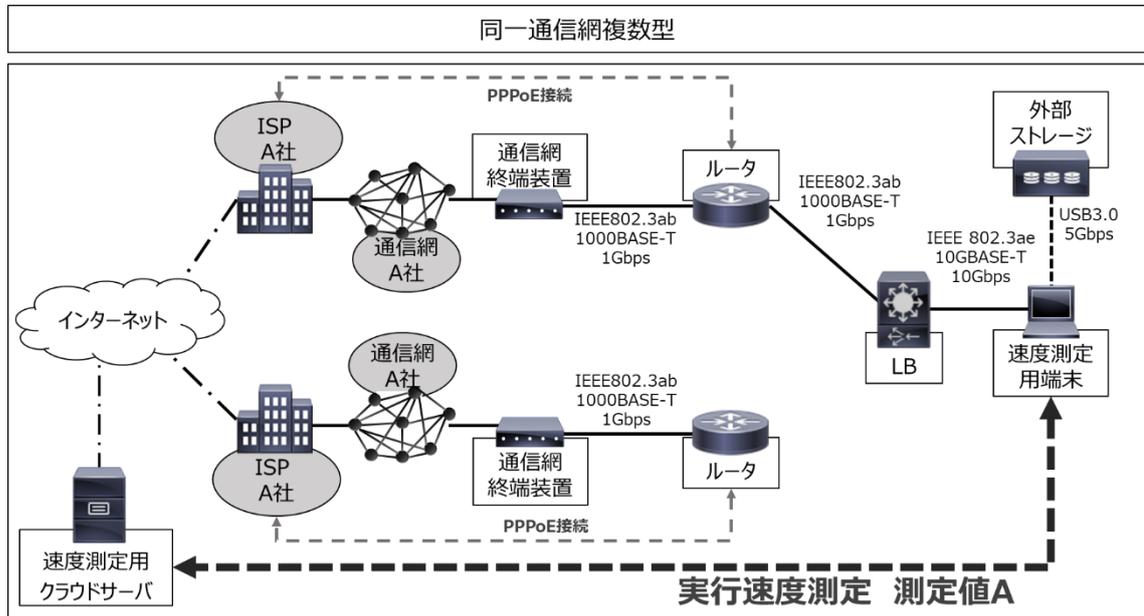


図 46 同一通信網複数型における実効速度の測定範囲（1）

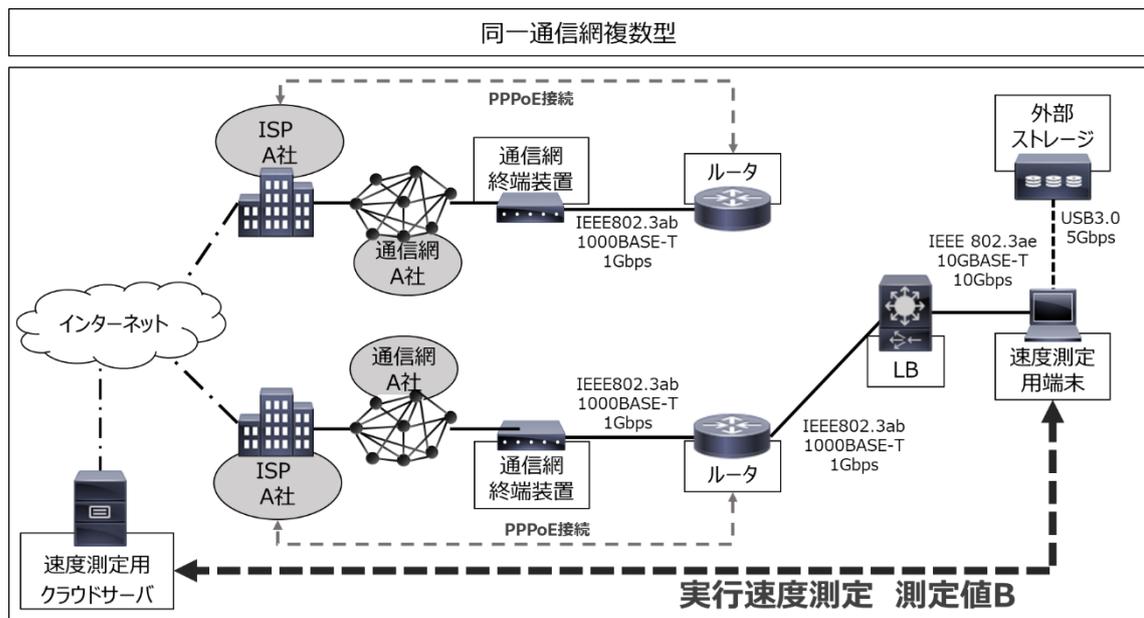


図 47 同一通信網複数型における実効速度の測定範囲（2）

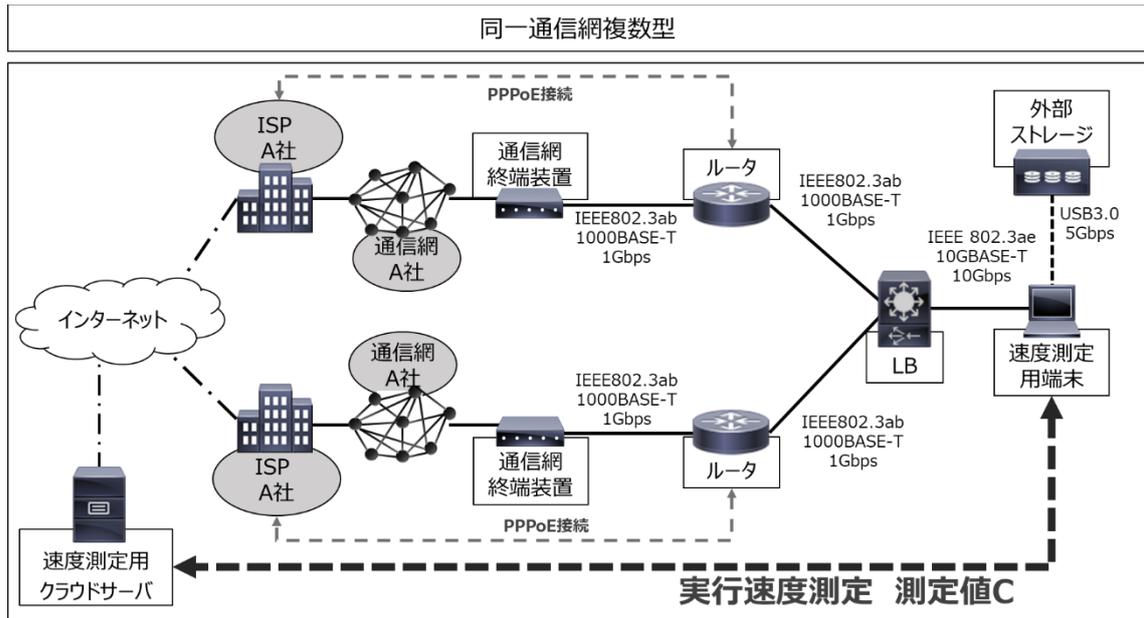


図 48 同一通信網複数型における実効速度の測定範囲 (3)

実効速度の測定結果を図49～図50に示す。

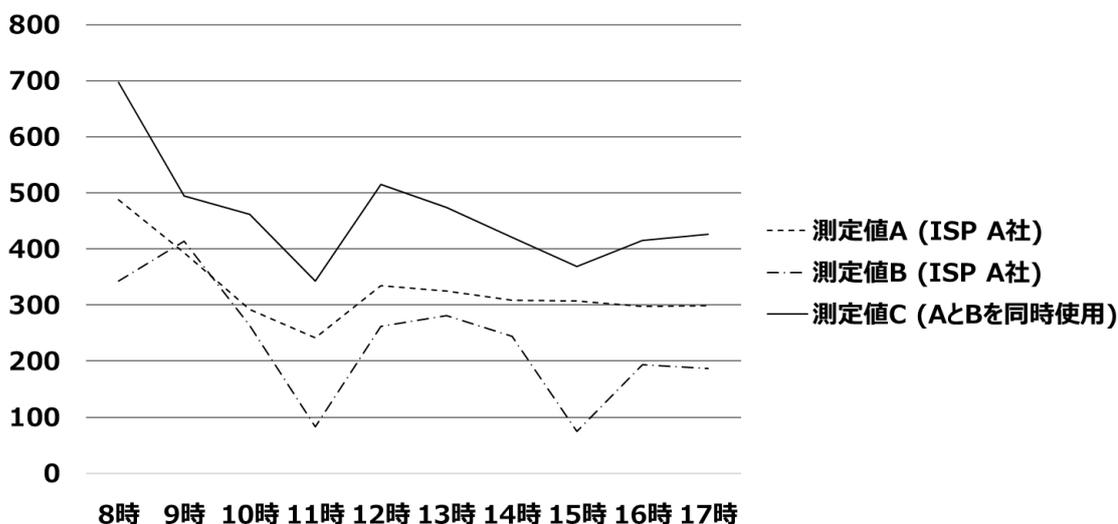


図 49 同一通信網複数型 実効速度 (ダウンロード)

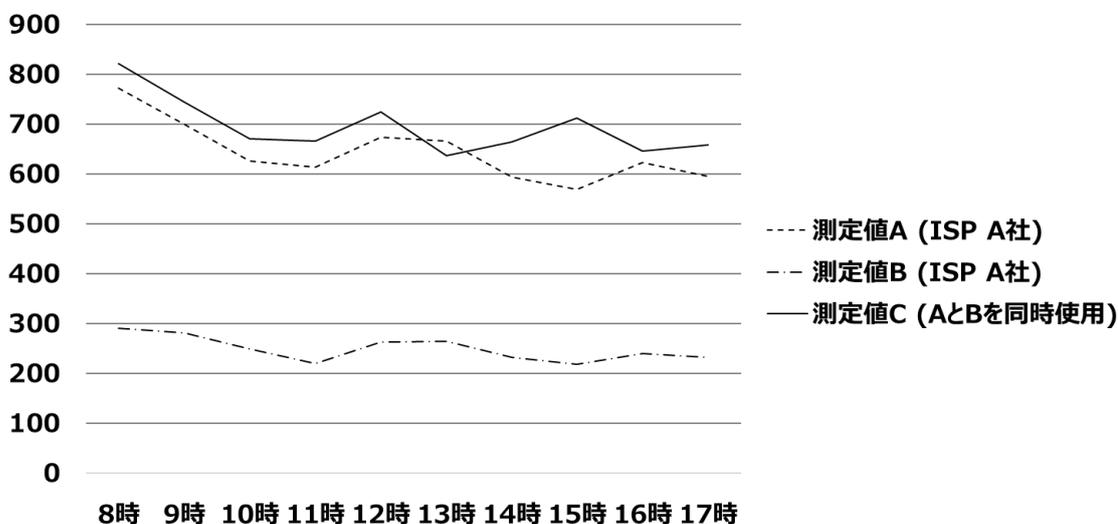


図 50 同一通信網複数型 実効速度 (アップロード)

測定時間帯における実効速度、最小通信速度、平均通信速度を実測値とし、各通信速度の実測値 A と実測値 B を合計した理論値及び、理論値に対する実測値 C の実際の通信速度の割合を通信効率として表7に示す。

表 7 同一通信網複数型 実効速度

測定内容	ダウンロード					アップロード				
	実行速度(測定値)			理論値	通信 効率	実行速度(測定値)			理論値	通信 効率
	A	B	C	A+B		A	B	C	A+B	
平均速度[Mbps]	328.9	234.7	461.9	563.6	82%	643.0	248.7	694.1	891.7	78%
最低速度[Mbps]	242.3	74.6	343.1	316.9	108%	569.5	218.5	636.3	788.0	81%
最高速度[Mbps]	487.5	413.5	697.2	901.1	77%	772.6	289.6	821.6	1062.2	77%

※通信効率 = 測定値C / 理論値(A+B)

同一通信網複数型の検証結果として、ダウンロード、アップロードの両方における実効速度、最小通信速度、平均通信速度の全てにおいて実測値Cが実測値Aと実測値Bの通信速度よりも高速であることからインターネット接続の高速化において有効であることが確認できる。帯域保障がされていないベストエフォート型の通信網は、通信網（ISP含む）の通信データを使用者で共有する仕組みであるため、通信網（ISP含む）への接続回線が多く使用できるほど通信網（ISP含む）の実効速度に近づくと考えられる。

第3項 複数通信網型における検証結果

複数通信網型における実効速度の測定範囲を図5 1～図5 3に示す。図中に記載している点線矢印が速度測定用クラウドサーバと速度測定用端末の間で測定する通信データの流れを示している。

異なる2つの通信網（ISP 含む）を個別に使用した場合の通信速度の測定値をそれぞれ測定値 A と測定値 B とし、2つの通信網（ISP 含む）を同時に使用した場合の通信速度の測定値を測定値 C とする。

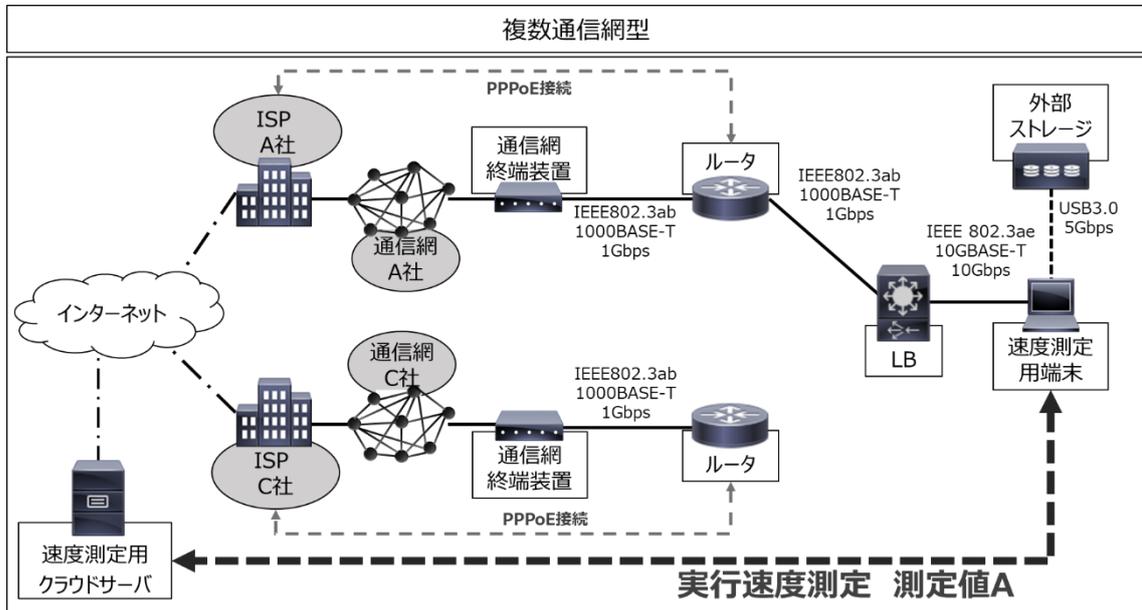


図 51 複数通信網型における実効速度の測定範囲（1）

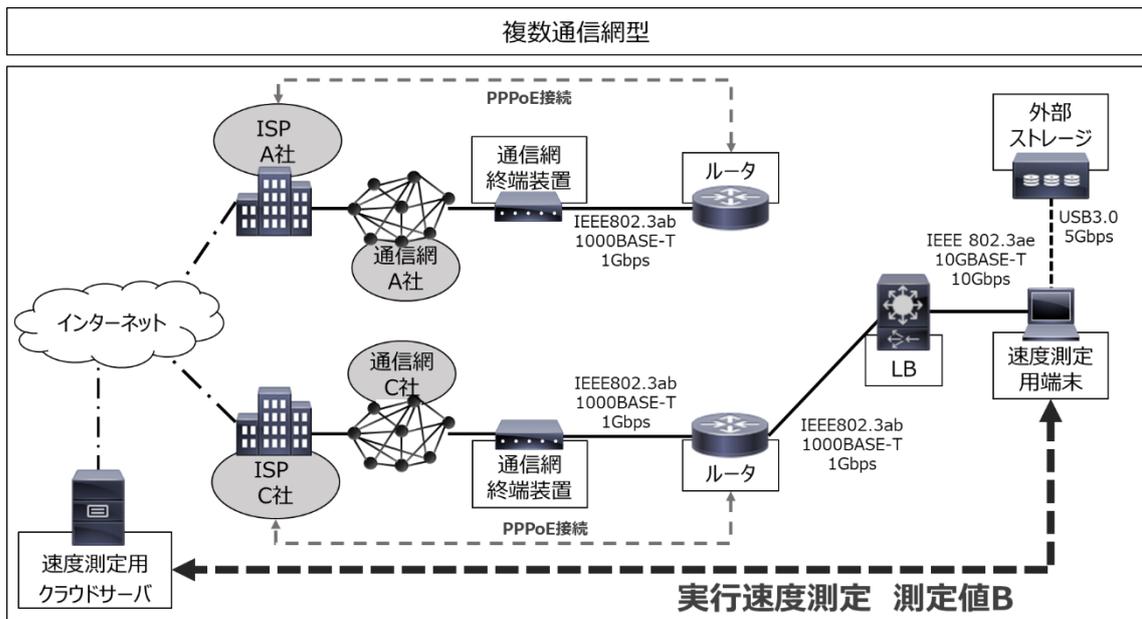


図 52 複数通信網型における実効速度の測定範囲（2）

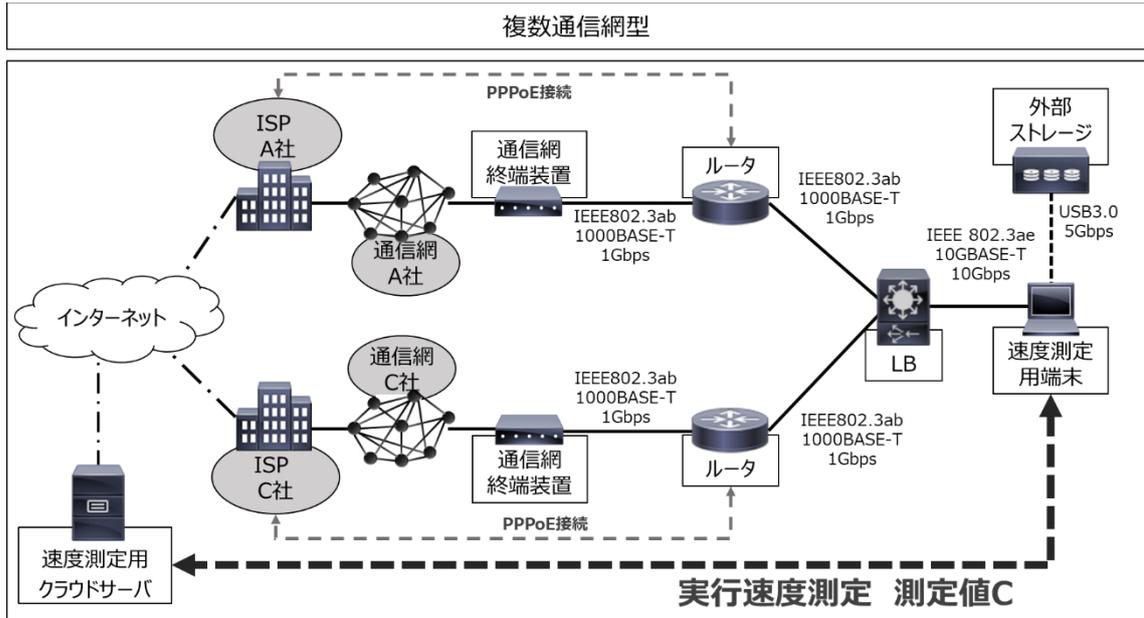


図 53 複数通信網型における実効速度の測定範囲 (3)

実効速度の測定結果を図 5 4～図 5 5 に示す。

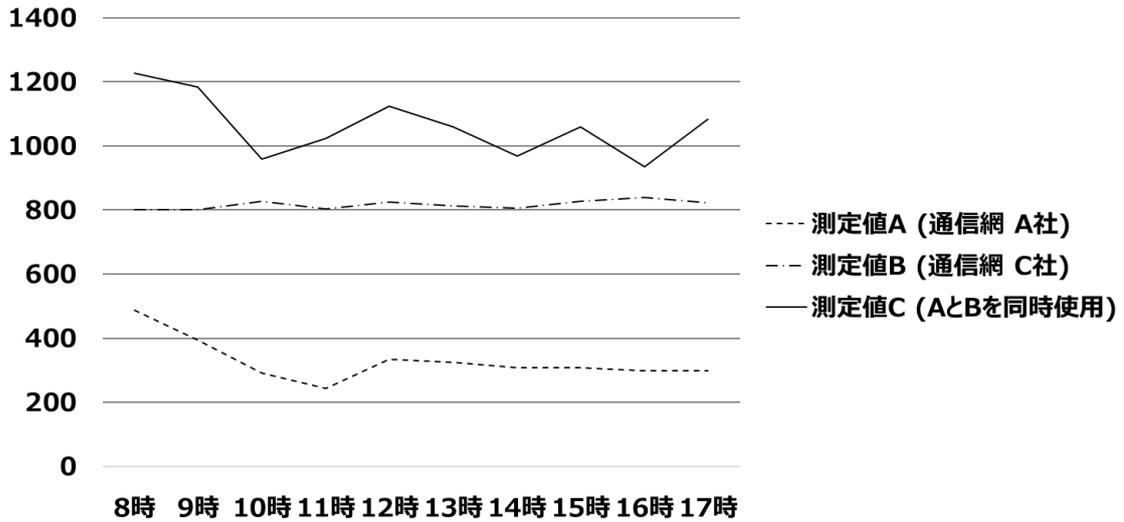


図 54 複数通信網型 実効速度 (ダウンロード)

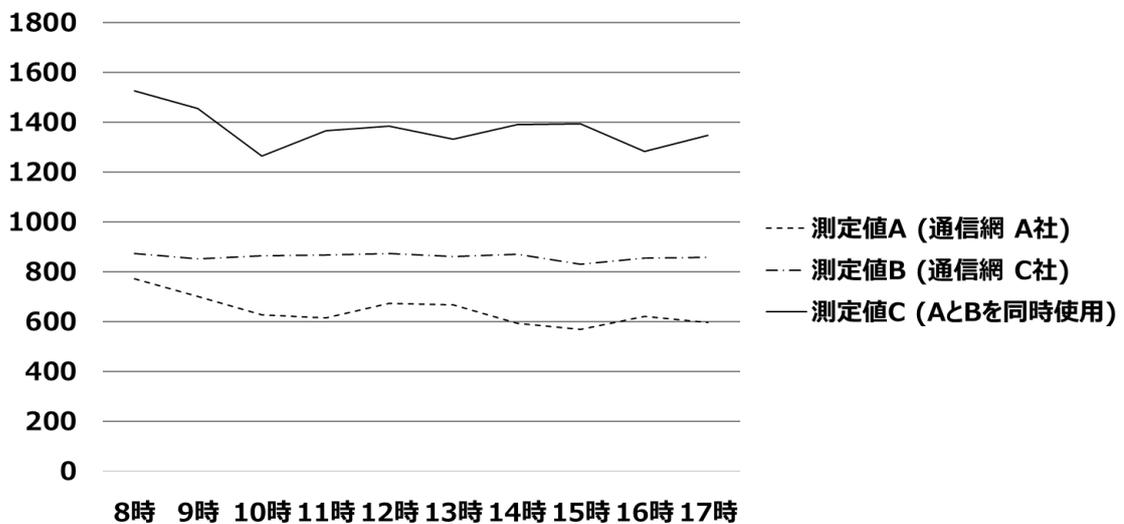


図 55 網複数通信網型 実効速度 (アップロード)

測定時間帯における実効速度、最小通信速度、平均通信速度を実測値とし、各通信速度の実測値 A と実測値 B を合計した理論値及び、理論値に対する実測値 C の実際の通信速度の割合を通信効率として表 8 に示す。

表 8 複数通信網型 実効速度

測定内容	ダウンロード					アップロード				
	実行速度(測定値)			理論値 A+B	通信 効率	実行速度(測定値)			理論値 A+B	通信 効率
	A	B	C			A	B	C		
平均速度[Mbps]	328.9	816.6	1062.6	1145.5	93%	643.0	860.0	1373.4	1503.0	91%
最低速度[Mbps]	242.3	801.8	934.0	1044.2	89%	569.5	829.6	1264.9	1399.1	90%
最高速度[Mbps]	487.5	839.4	1226.3	1326.9	92%	772.6	873.3	1525.3	1645.9	93%

※通信効率 = 測定値C / 理論値(A+B)

複数通信網型の検証結果として、ダウンロード、アップロードの両方における実効速度、最小通信速度、平均通信速度の全てにおいて実測値 C が実測値 A と実測値 B の通信速度よりも高速であることからインターネット接続の高速化において有効であることが確認できる。

複数通信網型の特徴として、異なる通信網（ISP 含む）を利用することから実測値 A と実測値 B の通信速度における関連性が低いと考える。図 5 4～図 5 5 からも実測値 A と実測値 B が連動した動きを示していないことが確認できる。このことから、単一通信網複数 ISP 型や同一通信網複数型の測定構成と複数通信網型の測定構成の実測値を比較すると、最低通信速度と最高通信速度の差異が少なかったと判断できる。結果として、複数通信網型は安定した通信速度が得られた。

第3節 通信網・ISPの通信速度と費用比較

検証環境における測定構成の「単一通信網複数ISP型」、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」の3種類において、通信速度と費用比較を行った結果を表9に示す。なお、本費用は通信事業者やISPの種類、導入環境、導入時期により異なる可能性があるため参考値として記載する。(費用は令和5年3月時点となる)

検証環境においては、複数通信網型における通信速度の効率が一番高い結果となり、単一通信網複数ISP型における1Mbpsあたりの月額費用が14.32円と費用対効果が高い結果となった。また、同一通信網複数型は、通信速度の効率と費用対効果がともに中央となった。なお、ベストエフォート型の通信網の特徴として、通信網の事業者の設備状況により通信速度が変わるため、必ずしも検証環境と同様の結果になるとは限らない。

概算初期費用として記載している費用については、通信網を引き込む建物の構造や作業条件などにより別途費用が発生する可能性がある。

このことから、表9の内容は検証環境における通信速度と費用比較を参考としている。ネットワーク接続形態の特徴は表10で示す。

表9 通信速度と費用比較

ネットワーク接続形態	単一通信網複数ISP型		同一通信網複数型		複数通信網型	
概算初期費用 ※千円単位切り上げ	¥19,000		¥30,000		¥25,000	
概算月額費用 ※千円単位切り上げ	¥7,000		¥11,000		¥25,000	
通信方向	ダウンロード	アップロード	ダウンロード	アップロード	ダウンロード	アップロード
平均通信速度 [Mbps]	488.7	754.9	563.6	694.1	1062.6	1373.4
効率[%] (実測値/理論値)[Mbps]	77 (488.7/632.7)	61 (754.9/1232.1)	82 (461.9/563.7)	78 (694.1/891.8)	93 (1062.6/1145.6)	91 (1373.4/1503.0)
1Mbpsあたりの月額費用 [円/Mbps]	¥14.32	¥9.27	¥19.52	¥15.85	¥23.53	¥18.20

表10 ネットワーク接続形態の特徴

ネットワーク接続形態	特徴
単一通信網複数ISP型	通信網1本、ISP2つの環境を整備するものです。 ・単一の通信網で複数社のISPと接続 ・ISPは異なる事業者を選択
同一通信網複数型	同一の社の通信網2本、ISP2つの環境を整備するものです。 ・単一の通信網とISPの組み合わせを複数使用 ・通信網は同じ事業者を選択
複数通信網型	異なる社の通信網2本、ISP2つの環境を整備するものです。 ・通信網とISPの組み合わせを複数使用 ・通信網は異なる事業者を選択

第6章 自治体へのネットワーク接続形態の適用

第5章の検証結果を基に、インターネット接続における高速化手法を実際に自治体や学校が導入した場合のネットワーク接続形態の適用方法と費用について記載する。本章ではインターネット接続の通信網とISPだけでなく、必要となる機器や構成の組み合わせ、概算費用について記載を行う。

接続形態	単一通信網複数ISP型	同一通信網複数型	複数通信網型
構成			
メリット	比較的安価に通信速度の向上が見込める	既存環境の通信網と同じ通信網を利用するため、地域差がなく導入が可能	ネットワーク接続形態の中で最も通信効率が高く確実に通信速度の向上が見込める費用対効果が高い
デメリット	通信網がISPよりも通信速度が速いことが前提となる。	複数通信網型に比べると通信効率と費用対効果が低い	既存環境と別の通信網の事業者を探す必要があり、事業者には地域差がある

図 56 ネットワーク接続形態の比較

図 5 6 に「単一通信網複数 ISP 型」、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」のネットワーク接続形態の比較を示す。

「単一通信網複数 ISP 型」は比較的安価に通信速度の向上が見込めるが、制約として通信網が ISP よりも通信速度が速いことが前提となる。

「同一通信網複数型」は既存環境と同じ通信網を利用するため、地域差がなく導入が可能ではあるが、複数通信網型に比べると費用対効果が低い。

「複数通信網型」はネットワーク接続形態の中で最も通信効率が高く、確実に通信速度の向上が見込める。

通信速度が不足している、或いは今後不足が見込まれる自治体に対して、安定した通信速度の向上が見込める「複数通信網型」の選択が有効である。なお、人口が少ない自治体や離島等は複数の通信網が対応していない場合があるため、その場合は「同一通信網複数型」の選択を行う必要がある。

また、アセスメントを実施した結果として、通信のボトルネックが ISP となっている場合は、費用対効果の高い「同一通信網複数 ISP 型」の選択が有効である。

第1節 ネットワーク接続形態の前提

インターネット接続における高速化の構成に関して、図 5 7 に示す通り直接接続型のネットワーク構成を対象とする。図で記載するFWとは、ファイヤウォールの略で、ルータ機能を持ちUTM（統合脅威管理）機能を搭載したセキュリティ機器を指すが、ここではルータ機能を持つ通信機器も含むものとする。

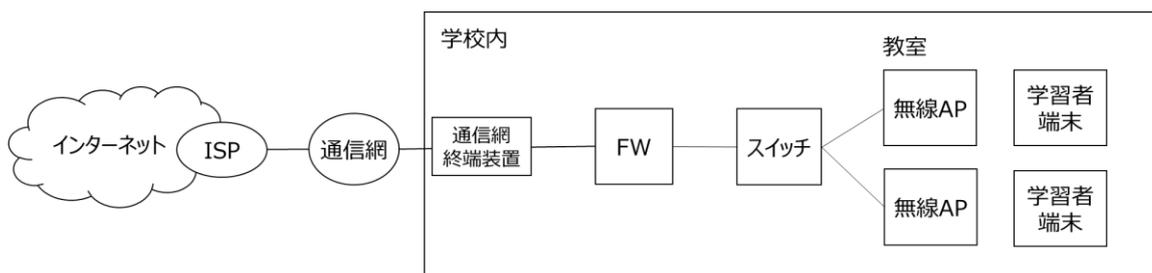


図 57 直接接続型のネットワーク構成

「単一通信網複数 ISP 型」を選択する場合は、単一の通信網に対して ISP を複数社契約する必要があるため、既存の通信網の事業者へ ISP を複数契約の対応可否について確認を行う。

第2節 ネットワーク接続形態の選択

ネットワーク接続形態の適用を行うためのフローチャートを図 5 8～図 5 9 に示す。新規導入とは新規に「単一通信網複数 ISP 型」、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」の構成を新規で導入する場合を指す。既存環境を流用する構成を組む場合は、新規導入の「NO」を選択する。

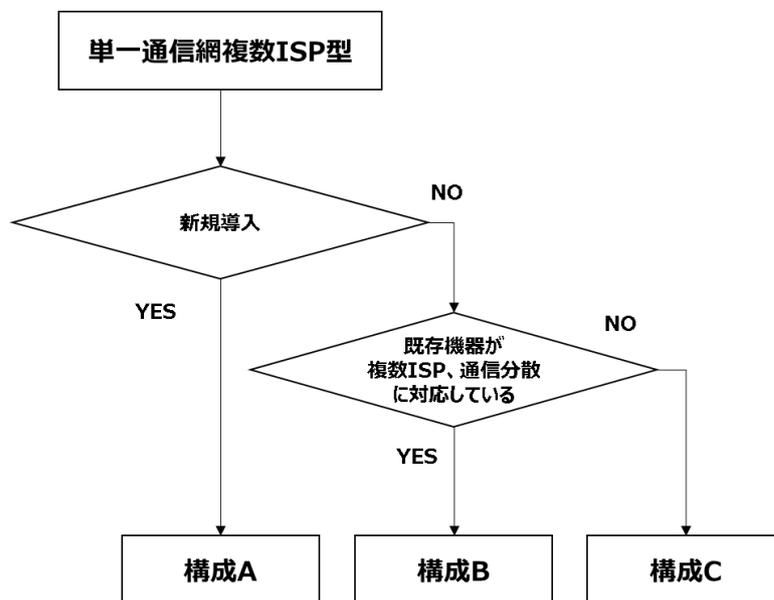


図 58 ネットワーク接続形態の適用（単一通信網複数 ISP 型）

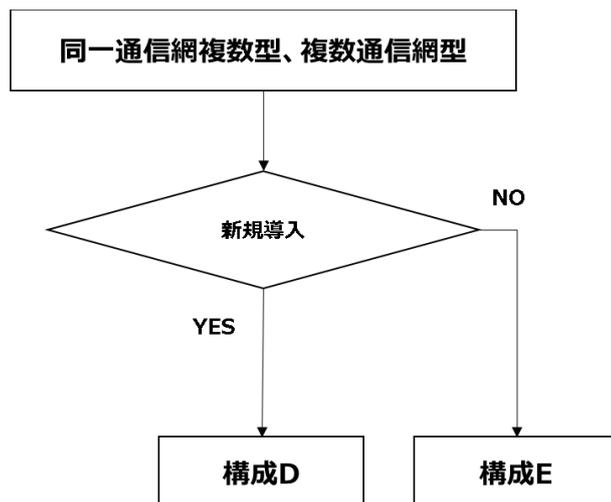


図 59 ネットワーク接続形態の適用（同一通信網複数型、複数通信網型）

図 6 0～図 6 4 にネットワーク接続形態を適用するための手法を記載する。

図 6 0 構成 A は、「単一通信網複数 ISP 型」を新規に適用するための構成である。通信網を 1 契約、ISP 複数社の 2 契約を行う。学校内で必要となる機器は FW である。ここで記載する FW にて必要となる機能に関して、ISP を複数接続する機能と接続先を ISP 単位で通信の分散を行う機能が必要である。

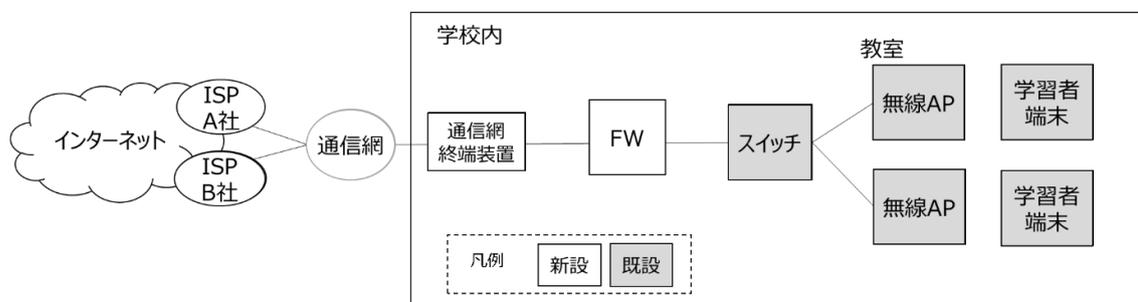


図 60 構成 A

図 6 1 構成 B は、既設環境に「単一通信網複数 ISP 型」を適用するための構成である。

既設 ISP に追加で ISP の契約を行う。学校内の既設 FW にて ISP を複数接続する機能と接続先を ISP 単位で通信の分散を行う機能が搭載されている場合、FW の設定を変更することで適用が可能である。

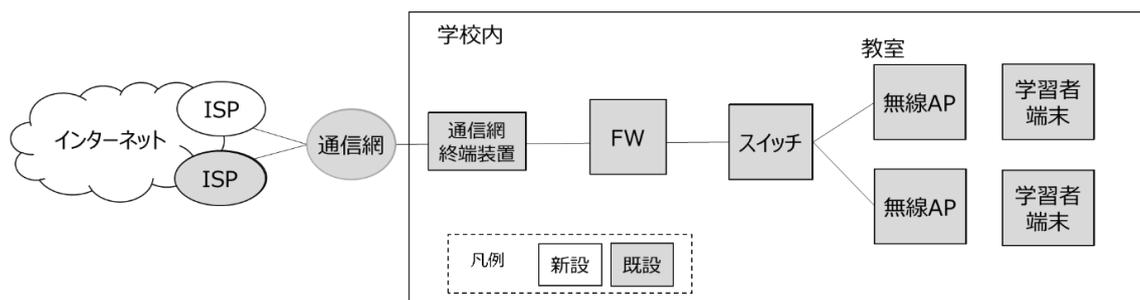


図 61 構成 B

図 6 2 構成 C は、既設環境に「単一通信網複数 ISP 型」を適用するための構成である。

既設 ISP に追加で ISP の契約を行う。既設機器が複数 ISP、通信分散に対応していない場合、学校内で必要となる機器は新設 FW である。ここで記載する FW で必要となる機能に関して、ISP を複数接続する機能と接続先を ISP 単位で通信の分散を行う機能が必要である。

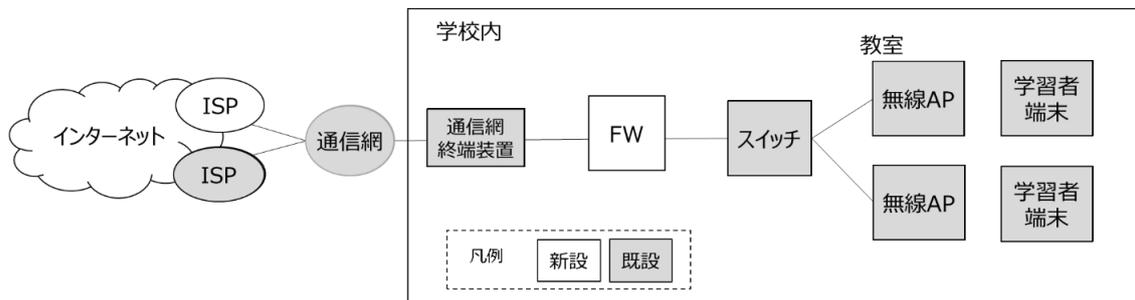


図 62 構成 C

図 6 3 構成 D は、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」を新規に適用するための構成である。新規に通信網と ISP の組み合わせにて複数社分契約を行う。地域差により同一通信網となる場合は通信網と ISP の組み合わせにて 2 契約を行う。学校内の設備では FW、LB が必要となる。本構成以外でも FW と LB の機能が搭載された製品も存在するため、その場合は FW 2 式、LB の機器が 1 台の機器で代用が可能となる。

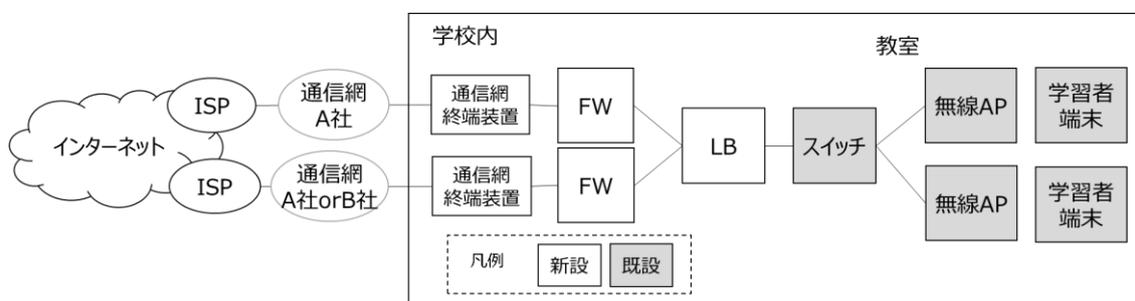


図 63 構成 D

図 6 4 構成 E は、既存環境に「同一通信網複数型」、「複数通信網型」を適用するための構成である。通信網と ISP の組み合わせにて追加契約を行う。学校内の設備では FW、LB が必要となる。本構成以外でも FW と LB の機能が搭載された製品も存在するため、その場合は FW 2 式、LB の機器が 1 台の機器で代用が可能となる。

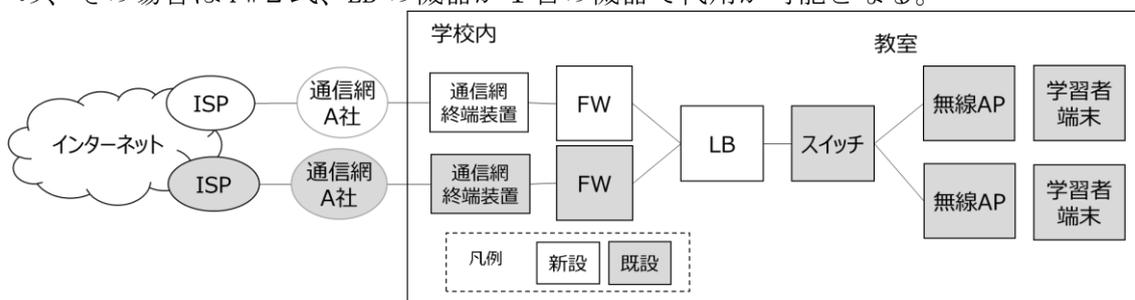


図 64 構成 E

第3節 ネットワーク構成毎の参考費用

前提として、利用する通信網とISPの費用目安として表11に示す。通信網とISPの価格は事業者により異なるため参考費用とする。

表 11 通信網とISPの費用

	通信網	ISP
初期	¥20,000～	¥3,000～
月額	¥4,000～	¥1,000～

ネットワーク接続形態の選択で記載した構成A～構成Eの条件下において、ネットワークを構築・変更する際に追加でかかる参考費用を表12に示す。

表 12 ネットワーク構成毎の参考費用

	対象	構成A	構成B	構成C	構成D	構成E
初期費用	通信網※1	(1契約※5) ¥20,000～	-	-	(2契約※5) ¥40,000～	(1契約※5) ¥20,000～
	ISP※1	(2契約※5) ¥6,000～	(1契約※5) ¥3,000～	(1契約※5) ¥3,000～	(2契約※5) ¥6,000～	(1契約※5) ¥3,000～
	機器費用※2	¥300,000～	-	¥300,000～	¥300,000～	¥300,000～
	作業費用※3	¥300,000～	¥200,000～	¥300,000～	¥400,000～	¥400,000～
初期費用合計		¥626,000～	¥203,000～	¥603,000	¥746,000～	¥723,000～
月額費用	通信網※1	(1契約※5) ¥4,000～	-	-	(2契約※5) ¥8,000～	(1契約※5) ¥4,000～
	ISP※1	(2契約※5) ¥2,000～	(1契約※5) ¥1,000～	(1契約※5) ¥1,000～	(2契約※5) ¥2,000～	(1契約※5) ¥1,000～
	保守費用	※4	※4	※4	※4	※4
月額費用合計		¥6,000～	¥1,000～	¥1,000～	¥10,000～	¥5,000～

※1 通信網とISPの費用は事業者により異なるため、参考価格（令和5年3月時点）とする。

※2 機器費用に関して、学校規模やセキュリティ機能の有無等で価格差が大きいため、参考価格とする。

※3 作業費用に関して、対象の台数により作業費が異なると考えられるため、1台あたりの作業費の参考価格とする。

※4 保守や更新費用に関して、保守費用は地域や提供する事業者により価格差があるため、事業者の確認が必要である。

※5 契約数に関して、構成A～Eの環境下における追加契約分の数量である。

第7章 まとめ

本実証研究を通じて、自治体と学校の授業で使用されているネットワークの状況、及び通信帯域が不足した場合において、高速化を行うためのネットワーク接続形態の調査研究結果を示すことができた。

自治体や学校におけるネットワークの調査では、対象が2自治体のため参考情報ではあるが、実証校のインターネット接続の実効速度に対して、使用帯域には余剰があり、大刀洗小学校においてはネットワークが遅いという原因は学校内のネットワーク環境が原因ではないことが確認できた。

ネットワークが遅いという原因として、デジタル教科書等やクラウド型の Web プロキシ等による様々な要因が考えられ、インターネット接続や学校内のネットワーク以外にも今後さらに調査範囲を拡張する必要がある。また、学級の使用帯域の測定に関して、デジタル教科書等のクラウドサービスは CDN が利用されているケースが多く、通信経路で取得できる通信データでは各アプリケーションの正確な情報の取得が難しいため、授業観察で操作を確認することで正確な利用帯域を導き出した。

学級単位での授業の使用帯域は、小学5年生の授業4回での測定結果であり、同様に参考情報とはなるが、学級単位の使用帯域は最大でダウンロードで28Mbps程度、アップロードは少なく8Mbps程度であった。授業観察では音声データは使われていたが、動画の利用がなかったため、今後のデジタル教科書等の利用促進により、さらに必要帯域が大きくなる。

通信帯域が不足する場合のネットワーク高速化を行うためのネットワーク接続形態については、「単一通信網複数ISP型」、「同一通信網複数型」、「複数通信網型」の3つの方式にて有効性の検証と費用対効果の調査を行った。結果としては、いずれの構成も一定の効果があり、「単一通信網複数ISP型」では通信網がISPの実効速度を上回っている前提はあるが、地域差がなく費用対効果が高い結果が出ている。「同一通信網複数型」についても地域差がなく、検証結果からも確実に実効速度が増えることが確認できる。「複数通信網型」は地域により敷設できる通信網が限られるが、最も通信効率が高く「同一通信網複数型」よりも費用対効果が高い。

検証結果を踏まえ、3方式に関して自治体・学校へ適用する方法と導入に必要な概算費用を算出し、「ネットワーク高速化に関するガイドライン」へ反映した。

本事業では、対象が2自治体かつ授業観察も小学5年を対象にした参考データとなるが、今後、地域性を考慮したネットワーク環境や調査対象の自治体数、初等中等高等教育の授業科目等網羅的に研究を行う必要がある。