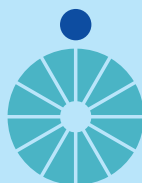
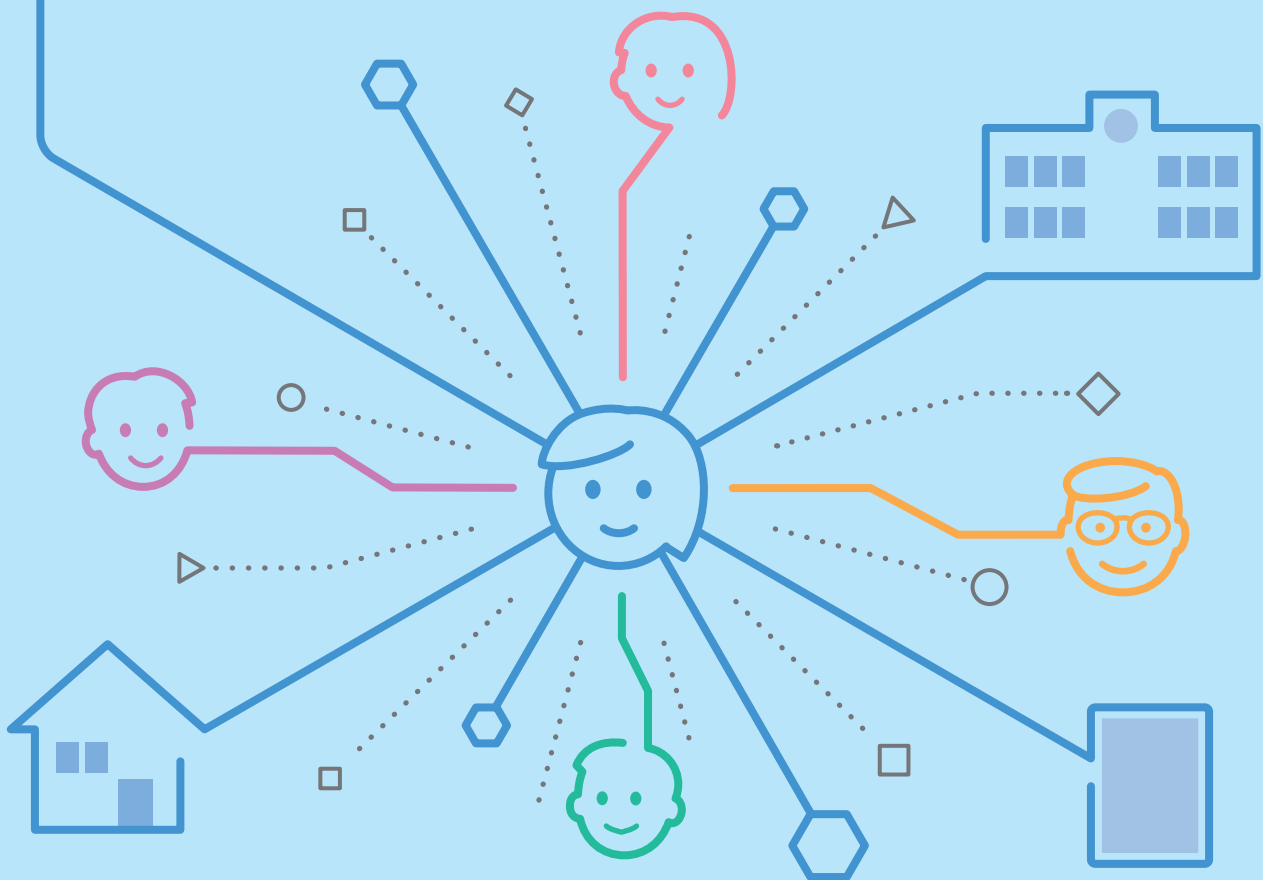




学習系ネットワークにおける 通信環境最適化 パンフレット



新時代の学びにおける先端技術導入実証研究事業
(多様な通信環境に関する実証)



文部科学省

◎ はじめに

(1) 背景

文部科学省では、GIGA スクール構想を推進し、教師の指導や子供の学習の質をさらに高め、「子どもの力を最大限引き出す学び」を実現するため、さまざまな先端技術の効果的な活用方法の整理・普及と、その基盤となるICT^{*1}環境整備を推進しています。その中で、令和2年度に実施した、新時代の学びにおける先端技術導入実証研究事業（多様な通信環境に関する実証）では、多様な学校の規模・ニーズ等に対応できるよう、さまざまな通信環境・ネットワークの構成とその活用モデル等について実証を行いました。本パンフレットでは、「児童生徒・教職員が快適かつ安定的にネットワークを使用できること」を目指した、適切な学習系ネットワーク整備を検討する際に参考となる手順や関連情報の提供を目的としています。

解説

^{*1}:「Information and Communication Technology (情報通信技術)」の略で、通信技術を活用したコミュニケーションをさす。情報処理だけではなく、インターネットのような通信技術を利用した産業やサービスなどの総称。

(2) 主な読者層

・学習系ネットワーク・ICT環境を構築する立場の教育委員会職員（施設設置者・情報管理者）

1. 学習系ネットワーク設計の考え方

(1) 学習系ネットワークとは

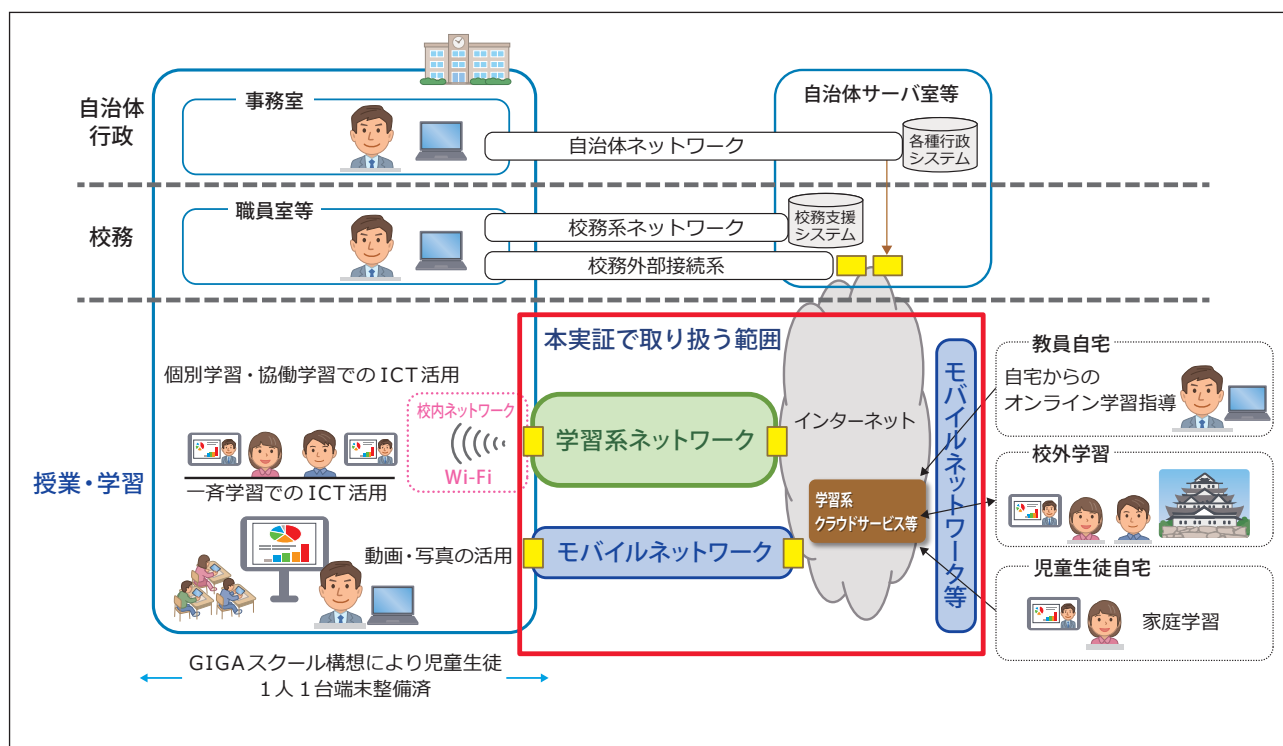
学校には、事務系、校務系、学習系の3種のネットワークが存在します。

学習系ネットワークとは、児童生徒や教員が授業や学習目的で利用するネットワークで、インターネット上の学習系クラウドサービスや各種サイトにアクセスするために利用されます（図1参照）。学習系ネットワークの構成は2種あります。ひとつは、教室内のWi-Fi^{*2}（無線LAN）通信を利用し、固定ネットワーク経由でインターネット接続する構成、もうひとつはモバイルネットワークを利用する構成です。

解説

*2: 「Wireless Fidelity」の略。パソコンやスマートフォンなどの端末を無線でネットワークにつなげる技術。

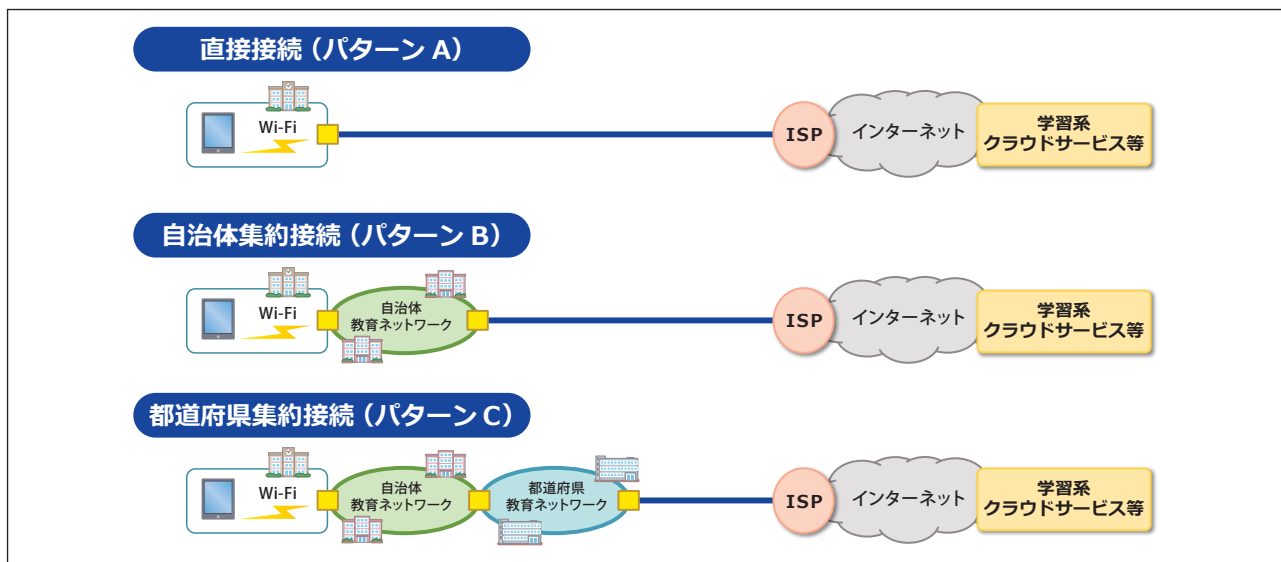
図1 学校で利用されるネットワーク



(2) 学習系ネットワークの構成

全国の自治体で現在構築・運用されている学習系ネットワーク構成は、図2に示すとおり、学校からのインターネット接続環境において、直接接続、自治体集約接続、都道府県集約接続の3種があります。

図2 学習系ネットワーク構成



※ ISP (Internet Service Provider)

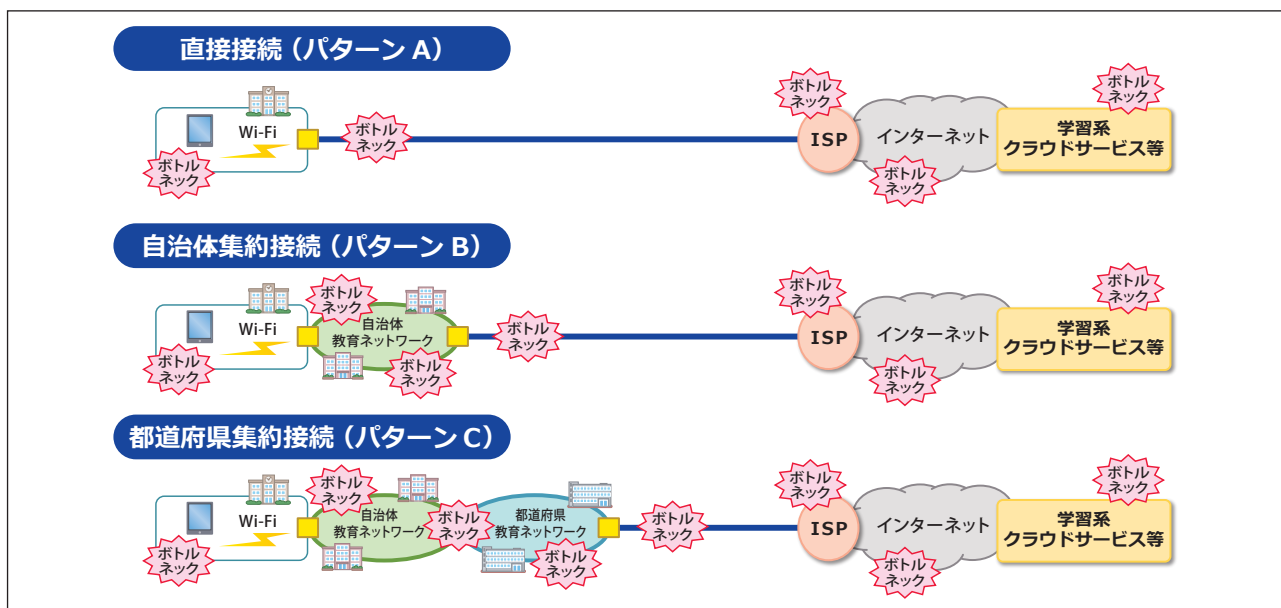
(3) ボトルネックについて

児童生徒1人1台端末利用においては、快適にインターネットアクセスできることが必要です。通信帯域が不足することで以下のような課題があると想定しています。

- 学習系クラウドサービスにアクセスしたり、Webサイトを閲覧する場合、クラスで一斉にアクセスすると表示されるまでに時間がかかったり、表示されないことがある。
- クラスで一斉に動画を閲覧すると、動画がなかなか表示されない。表示されてもコマ送りになったり、途中で止まることある。

そのため、どこがボトルネックになり得る箇所かをあらかじめ把握しておき、確認することが必要です。各パターンのボトルネックになり得る箇所を図3に示します。

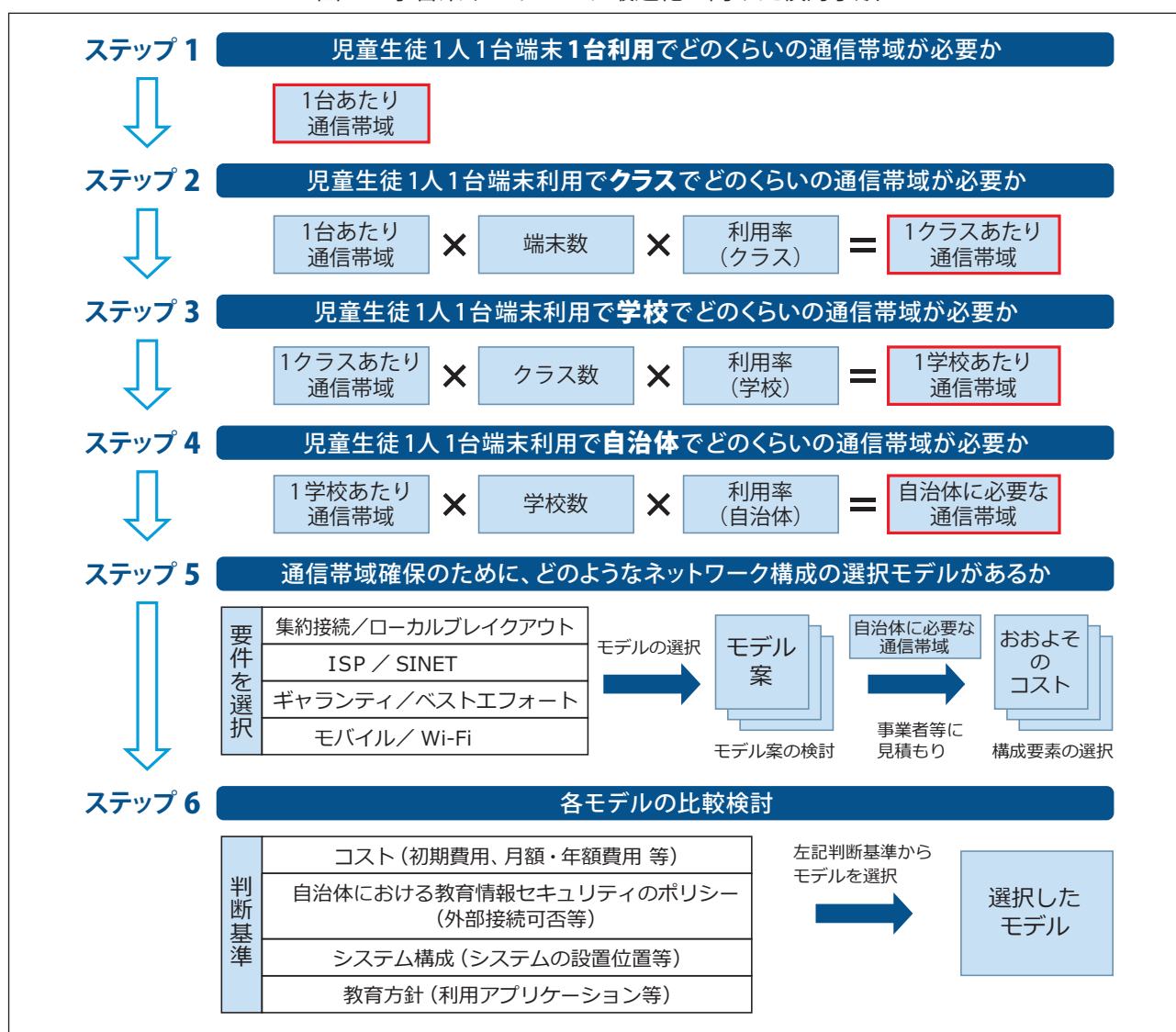
図3 各パターンの構成におけるボトルネックになり得る箇所



2. 学習系ネットワーク最適化に向けた検討の手順

児童生徒1人1台端末利用において、学校・自治体ではどのくらいの帯域を確保する必要があるのかを算出します。図4に示すように、ステップ1からステップ4で、端末単位からクラス単位、学校単位、自治体単位と必要な通信帯域を積み上げ、ステップ5とステップ6で最適なネットワーク構成モデルを検討します。

図4 学習系ネットワーク最適化に向けた検討手順



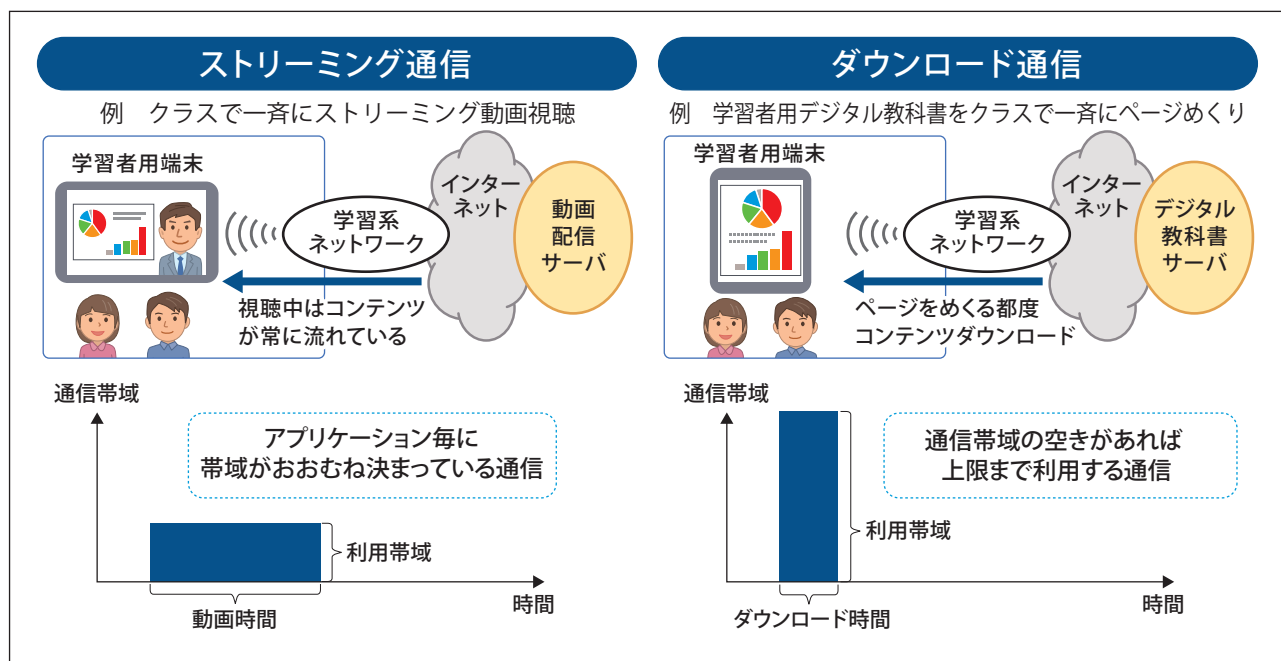
(1) ステップ1：端末1台利用で必要な通信帯域

児童生徒が学習者用端末を使って学習する形態はさまざまです。帯域を必要とする典型的な使い方として、図5に示すストリーミング^{*3}通信とダウンロード通信の2つのケースを想定します。

解説

*3：待つことなく動画や音声を再生できる配信方式のこと。

図5 通信帯域を必要とする使い方



●ストリーミング通信

NHK for School など動画サイトで動画を見る場合には、視聴中、動画配信サーバから端末に、情報を流し続けるストリーミング通信が使われます。ストリーミング通信での通信帯域は以下の式を用います。

$$\text{通信帯域} <\text{Mbps}> = \text{アプリケーションの利用帯域} <\text{Mbps}>$$

●ダウンロード通信

Web サイトを閲覧する場合、閲覧の度に Web サーバから端末にサイト情報をダウンロードする形になります。例えば、学習者用デジタル教科書においては、ページをめくるごとにネットワーク経由でコンテンツをダウンロードする形となります。ダウンロード通信の場合では、どのくらいの通信容量（単位：Byte）をどのくらい時間をかけてダウンロードするかで通信帯域が変わります。そのため、ダウンロードする通信容量を必要な通信帯域に換算するために下記の式を用います。

$$\text{通信帯域} <\text{Mbps}> = \text{ダウンロード通信容量} <\text{MByte}> \times \frac{8}{\text{Byte/bit 換算}} \div \text{ダウンロード時間} <\text{秒}>$$

(2) ステップ2：クラスで必要な通信帯域

授業ではデジタル教科書の閲覧や動画資料など、クラスの児童生徒が一斉に同じ使い方をすることが想定されます。そのため、クラスで必要な通信帯域は、端末あたりに必要な通信帯域に同時に利用する児童生徒数を掛けた値になります。

$$\text{クラス単位で必要な通信帯域} <\text{Mbps}> = \text{端末単位で必要な通信帯域} <\text{Mbps}> \times \text{クラス内児童生徒数} \times \text{クラス内同時利用率}$$

●ストリーミング通信

例えば、クラス 40 人が一斉にストリーミング動画（2Mbps）を視聴する場合は、
 クラスで必要な通信帯域 = 2Mbps × 40 人 × 100% = 80Mbps

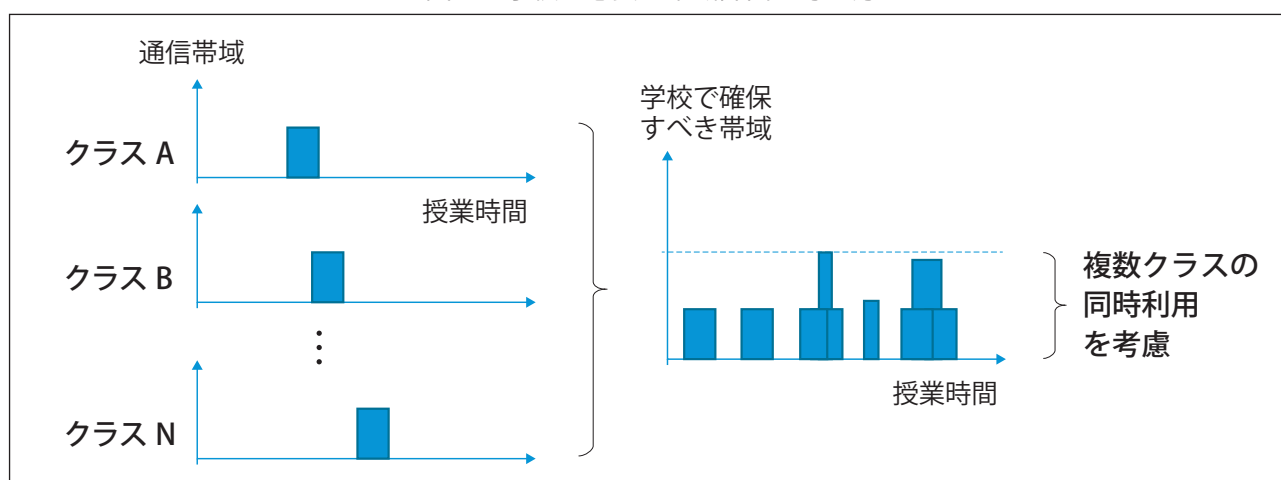
●ダウンロード通信

例えば、40 人のクラスで、デジタル教科書 1 ページ 2MB を 3 秒かけて一斉にダウンロードする場合は、
 クラスで必要な通信帯域 = 端末あたりで必要な通信帯域 (2MB × 8 ÷ 3 秒) × 40 人 × 100% = 213Mbps

(3) ステップ3：学校で必要な通信帯域

各クラス別々の授業でICTを活用するため、複数クラスで同時に使用される時間帯が発生します。学校で必要な通信帯域を求めるには、利用されるクラスの重なりを考慮する必要があります。図6に示すとおり、複数クラスでの同時利用に基づいた瞬間最大帯域を想定します。ただし、今後の利活用が進んだ際の同時利用率を求めることは難しいことから、本パンフレットではアプリケーションの利用時間の割合から、利用率をもとめ、同時に利用するクラス数を算定する方法を説明します。

図6 学校で必要な帯域算出の考え方



①複数クラスの時間的な重なり

同時利用クラス数を求めるにあたり、一例として、授業1コマでのなかで、どのくらい複数クラスの時間的な重なりが発生するかを算出します。1クラスでの利用時間（通信時間）を求め、学校の全クラスが同じ行動をした場合の総時間が授業1コマの時間を超えていれば、複数クラスで時間的な重なりがあることと想定しています。

$$\begin{aligned}
 \text{複数クラスの時間的な重なり} &= \frac{\text{複数クラスにおける利用時間の合計} \text{ <秒>}}{\text{授業1コマ時間} \text{ <秒>}} \\
 &= \frac{\text{1クラスにおける利用時間の合計} \text{ <秒>} \times \text{学校のクラス数}}{\text{授業1コマ時間} \text{ <秒>}}
 \end{aligned}$$

例えば、学校10クラスで、各クラスが5分のストリーミング動画を授業1コマ45分で1回視聴する場合の複数クラスの時間的な重なりは、下記のとおりになります。

$$\text{複数クラスの時間的な重なり} = 300 \text{ 秒 (5分)} \times 1 \text{ 回} \times 10 \text{ クラス} \div 2700 \text{ 秒 (45分)} = 1.11$$

②同時利用するクラス数

この数は、授業1コマのなかで2クラスが同時視聴している時間帯が存在することを意味します。以上から、学校で同時に通信帯域を消費するクラス数 (n) は下記の式で表すことができます。

$$\text{同時利用するクラス数 (n)} = \text{小数点切り上げ} \left\{ \text{複数クラスでの時間的な重なり} \right\}$$

③学校で必要な通信帯域

同時利用するクラス数 (n) がわかれば、学校で必要な通信帯域は下記の式で表すことができます。

$$\text{学校で必要な通信帯域} \text{ <Mbps>} = \text{1クラスに必要な通信帯域} \text{ <Mbps>} \times \text{同時利用するクラス数 (n)}$$

学校で必要な通信帯域の算出では、ストリーミング通信とダウンロード通信の2つを比較して、通信帯域が大きいほうが学校で必要な通信帯域になります。

④学校で必要な通信帯域の具体的算出例

算出例を以下に示します。通信帯域算出の前提条件は表 1 に、算出結果は表 2 に示します。

表 1 通信帯域算出の前提条件

変数種別	項目	変数 (単位)
学校変数	授業 1 コマ時間	45 (分)
	1 クラスの児童生徒数	40 (人)
	1 学校のクラス数	10 (クラス)
	クラス内同時利用率	100 (%)
ストリーミング通信変数	ストリーミング動画通信速度	2 (Mbps)
	動画視聴時間	5 (分)
	授業中での動画視聴回数	1 (回)
ダウンロード通信変数	デジタル教科書の見開きデータ容量	2 (Mbps)
	ダウンロード時間	3 (秒)
	授業でのページめくり回数	10 (回)

表 2 通信帯域算出例

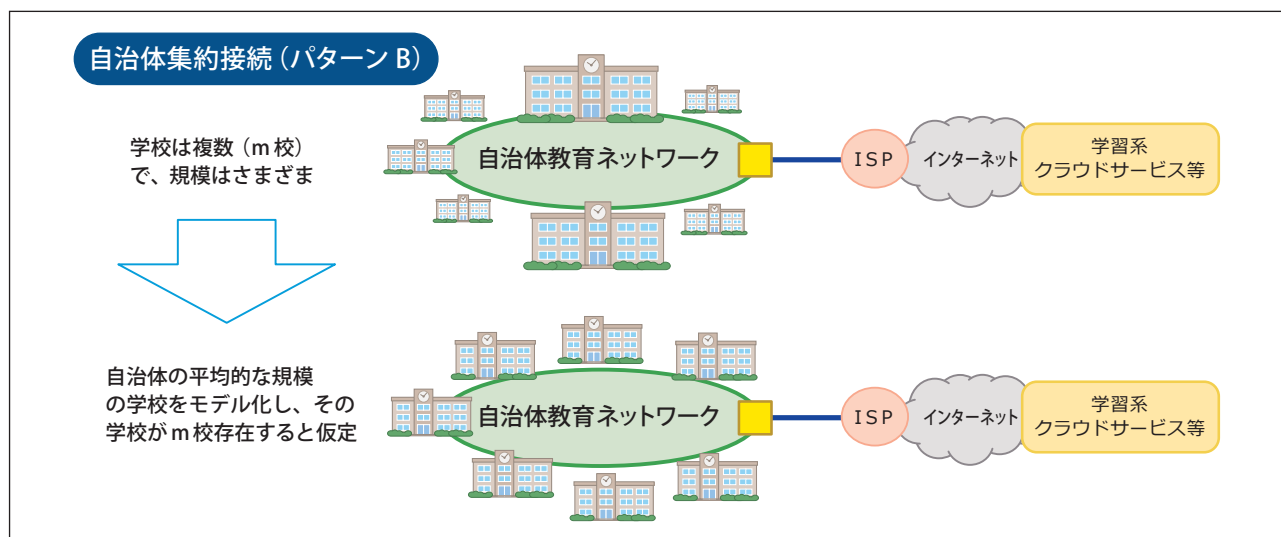
算出項目		ストリーミング通信	ダウンロード通信
端末あたりの通信帯域		2Mbps	$2 \text{ MB} \times 8 \text{ (Byte/bit 換算)} \div 3 \text{ 秒} = 5.33 \text{ Mbps}$
クラスあたりの通信帯域		$2 \text{ Mbps} \times 40 \text{ 人} \times 100\% = 80 \text{ Mbps}$	$5.3 \text{ Mbps} \times 40 \text{ 人} \times 100\% = 213 \text{ Mbps}$
学校で必要な通信帯域	①複数クラスでの時間的な重なり	$(300 \text{ 秒} \times 1 \text{ 回}) \times 10 \text{ クラス} \div 2700 \text{ 秒} = 1.11$	$(3 \text{ 秒} \times 10 \text{ 回}) \times 10 \text{ クラス} \div 2700 \text{ 秒} = 0.11$
	②同時利用クラス数 (n)	小数点切り上げ (1.11)=2	小数点切り上げ (0.11)=1
	③学校で必要な通信帯域	$80 \text{ Mbps} \times 2 = 160 \text{ Mbps}$	$213 \text{ Mbps} \times 1 = 213 \text{ Mbps}$
学校で必要な通信帯域		213Mbps (ダウンロード通信)	

(4) ステップ 4：自治体で必要な通信帯域

自治体全体での同時利用クラス数を求めるため、前提として自治体の学校数が m 校存在し、全ての学校は自治体教育ネットワークで集約されているモデルを考えます。図 7 に示すように、簡易的に、平均的な規模の学校が自治体内に m 校存在するものとします。

- 1 クラスの児童生徒数 = 自治体内における児童生徒総数 ÷ 学校の総クラス数
- 学校のクラス数 = 自治体内における学校の総クラス数 ÷ 学校数 (m)

図7 自治体集約接続での通信帯域算出モデル(例)



①自治体として必要な帯域算出の考え方

各学校でのICT活用により、同時利用の時間的な重なりが生じますので、複数校での同時利用を考慮した瞬間最大帯域を算出する方法になります。考え方は、学校での帯域算出同様に、学校複数クラスでの時間的な重なりを求めます。

$$\text{自治体全体におけるクラスの時間的な重なり} = \frac{\text{1クラスの通信時間} \langle \text{秒} \rangle \times \text{学校のクラス数}}{\text{授業1コマ時間} \langle \text{秒} \rangle}$$

$$\text{自治体全校で同時利用するクラス数 (N)} = \text{小数点切り上げ} \left\{ \text{自治体あたりの学校数 (m)} \times \text{自治体全体におけるクラスの時間的な重なり} \right\}$$

②自治体全校で必要な通信帯域

$$\text{自治体で必要な通信帯域} \langle \text{Mbps} \rangle = \text{1クラスで必要な通信帯域} \langle \text{Mbps} \rangle \times \text{全校で同時利用するクラス数 (N)}$$

③自治体で必要な通信帯域の算出例

自治体内の学校が10校とした場合の通信帯域算出の前提条件を表3に、算出結果は表4に示します。

表3 自治体で必要な通信帯域算出の前提

変数種別	項目	変数 (単位)
自治体の学校変数	授業1コマ時間	45 (分)
	1クラスの児童生徒数	40 (人)
	1学校のクラス数	10 (クラス)
	クラス内同時利用率	100 (%)
	1自治体の学校数	10 (校)
ストリーミング通信変数	ストリーミング動画通信速度	2 (Mbps)
	動画視聴時間	5 (分)
	授業中での動画視聴回数	1 (回)
ダウンロード通信変数	デジタル教科書の見開きデータ容量	2 (MB)
	ダウンロード時間	3 (秒)
	授業でのページめくり回数	10 (回)

表4 通信帯域算出例

算出項目		ストリーミング通信	ダウンロード通信
端末あたりの通信帯域		2Mbps	2 MB × 8 (Byte/bit 換算) ÷ 3 秒 = 5.33Mbps
クラスあたりの通信帯域		2 Mbps × 40 人 × 100% = 80Mbps	5.3Mbps × 40 人 × 100% = 213Mbps
自治体で必要な帯域	複数クラスでの時間的な重なり (ステップ3参照)	(300 秒 × 1 回) × 10 クラス ÷ 2700 秒 = 1.11	(3 秒 × 10 回) × 10 クラス ÷ 2700 秒 = 0.11
	学校内の同時利用クラス数 (n)	小数点切り上げ (1.11)=2	小数点切り上げ (0.11)=1
	全校で同時利用するクラス数 (N)	10 校 × 1.11=11.1 ⇒ 12 (小数点切り上げ)	10 校 × 0.11=1.11 ⇒ 2 (小数点切り上げ)
	自治体で必要な通信帯域	80Mbps × 12=960Mbps	213Mbps × 2=426Mbps
自治体で必要な通信帯域		960Mbps (ストリーミング通信)	

ストリーミング通信、ダウンロード通信と比較したとき、ストリーミング通信の利用帯域が大きいことから、必要な通信帯域は、960Mbpsとなります。

(5) ステップ5：通信帯域確保のために、どのようなネットワーク構成の選択モデルがあるか

①ネットワーク構成の選択

ここで、ネットワーク構成によるメリット、デメリットを図8に示します。直接接続、集約接続に加え、集約接続しながら学校から直接別ネットワークでインターネット接続するローカルブレイクアウトという手法があります。

図8 ネットワーク構成のメリット、デメリットの比較

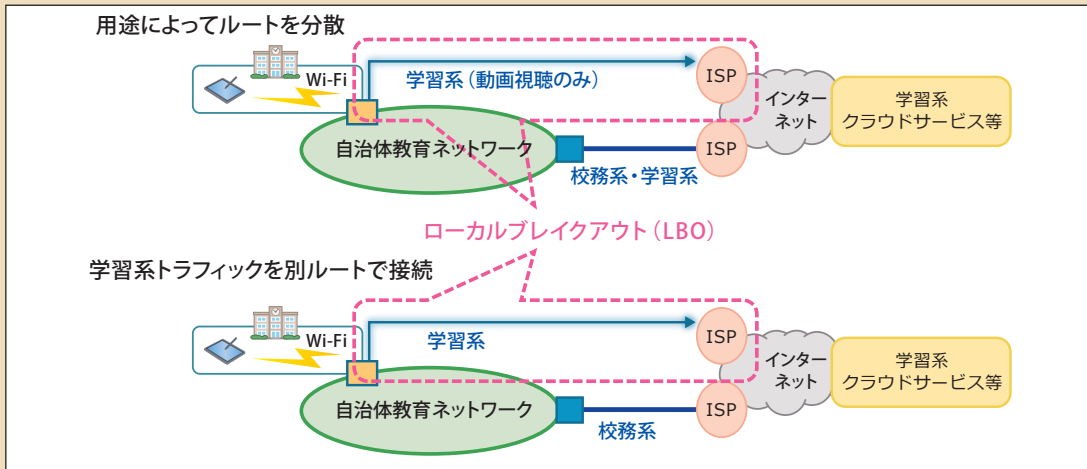
区分	直接接続型	集約接続型	ローカルブレイクアウト
イメージ	<p>インターネットに直接接続</p>	<p>学校からVPNなどで自治体やデータセンターへ接続</p>	<p>既存ボトルネックを回避した経路を新設(直接接続/集約接続)する</p>
メリット	<ul style="list-style-type: none"> ✓他の学校の通信の影響を受けにくい ✓ボトルネックになり得るセンター回線や機器がない 	<ul style="list-style-type: none"> ✓一元的にセキュリティ対策やトラフィック監視ができる 	<ul style="list-style-type: none"> ✓既存のセンター設備を利用する通信のみ集約接続させ、その他の通信はブレイクアウトさせることでトラフィックの分散が可能 ✓ブレイクアウトさせた経路が直接接続の場合は直接接続型を参照、集約接続の場合は集約接続型を参照
デメリット	<ul style="list-style-type: none"> ✓各拠点で適切にセキュリティ対策を実施する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> ✓通信を集約するためボトルネックが発生しやすい 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ブレイクアウトさせた経路が直接接続の場合は直接接続型を参照、集約接続の場合は集約接続型を参照

Local Break Out (LBO) とは、学校のルータ*4などで通信を識別し、その内容によってトラフィックを振り分ける方式です。通信内容が校務系であれば既存ネットワークに流し、学習系を新たな経路に流すといった考え方や、学習系の中でもクラウドサービスのみ新たな経路に流すといった考え方があります。(図9参照)。

解説

*4：2つ以上の異なるネットワークをつなぐ中継機器。

図9 ローカルブレイクアウト



②インターネット接続方法の選択

インターネット接続の方法としてはISP利用以外で、SINETを利用する方法もあります。図10にISPとSINETの特徴を示します。SINETは国立情報学研究所(NII)が運用する日本全国の大学や研究機関を接続する超高速通信ネットワークで、全国100Gbpsで接続されています。初等中等教育機関のSINET利用は、現在、大学等の調査研究や実証研究を目的として接続しており、将来的な活用については、文部科学省において検討を進めているところです。

図10 ISPとSINETの特徴について

区分	ISP		SINET
	(ベストエフォート型)	(ギャランティ型)	
想定する接続構成・帯域	各学校から直接接続 インターネット ISP 代表例：100Mbps/1Gbps/10Gbps	学校のアクセス回線を集約しISP事業者指定のデータセンター等から接続 インターネット ISP ISP事業者指定データセンター VPN 代表例：10Mbps/100Mbps/1Gbps/10Gbps/100Gbps	学校のアクセス回線を集約しSINETデータセンターから接続 インターネット SINET SINET接続データセンター VPN 10M/100Mbps/1Gbps 10Gbps/40Gbps/100Gbps
通信品質	利用環境や回線の混雑状況の影響を受ける	インターネット接続点までの帯域を保証	超高速ネットワークのため高品質な通信が可能
提供サービス	ホームページサービス、メールサービス、DNSサービス、固定IPアドレス、ドメイン、セキュリティ対策等オプションで提供可能	ホームページサービス、メールサービス、DNSサービス、固定IPアドレス、ドメイン、セキュリティ対策等オプションで提供可能	クラウド接続サービス、L2VPN、SINETで利用可能なIPアドレス割当等
納期	数週間	数ヶ月	1～2ヶ月
初期費用	数千円～/1契約	数十万円～/1契約	無償
月額費用	数千円～/1契約	数万円～/1契約	無償

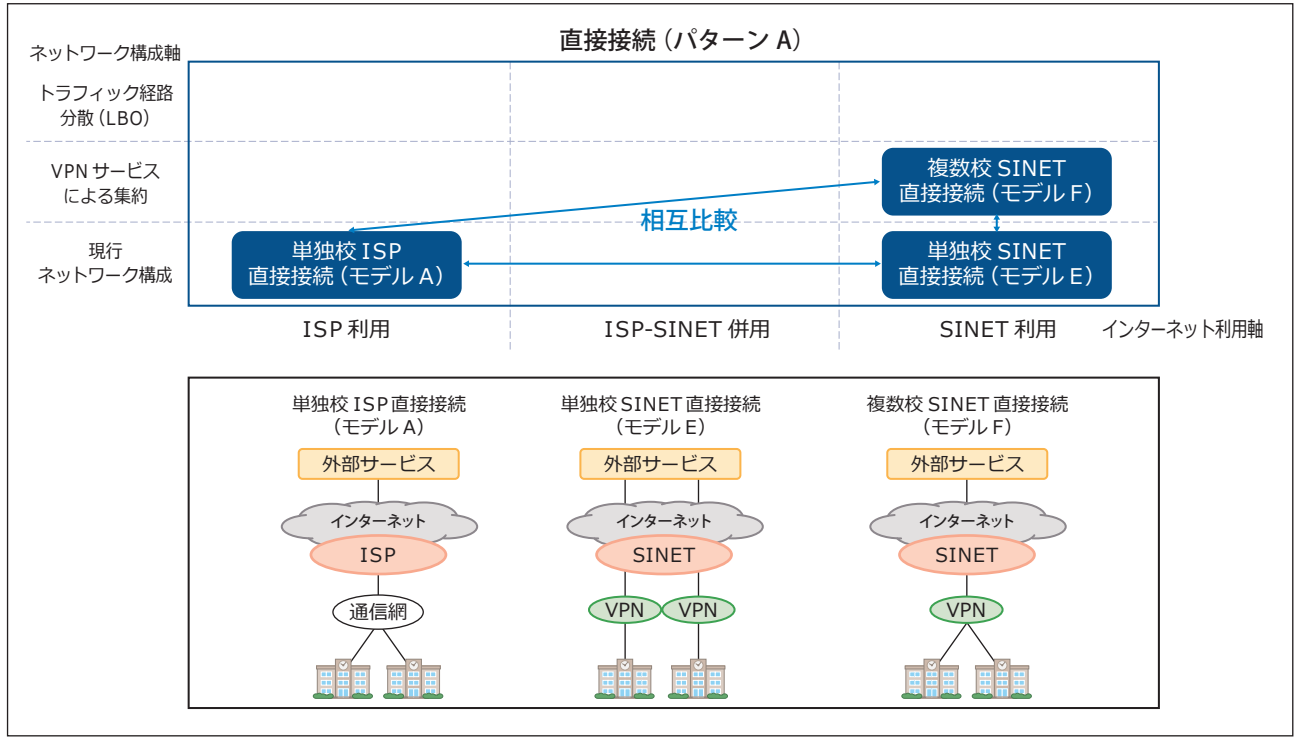
※拠点～ISP事業者指定データセンター/SINET接続データセンターまでの回線費用等が別途必要になります。またギャランティ型の回線を用意する場合、開通までに半年以上かかる場合があります。

③接続モデルの検討

●直接接続モデル

ネットワーク構成及びインターネット接続方法の選択モデルとして、現行構成の継続を含めて3つあります（図11参照）。

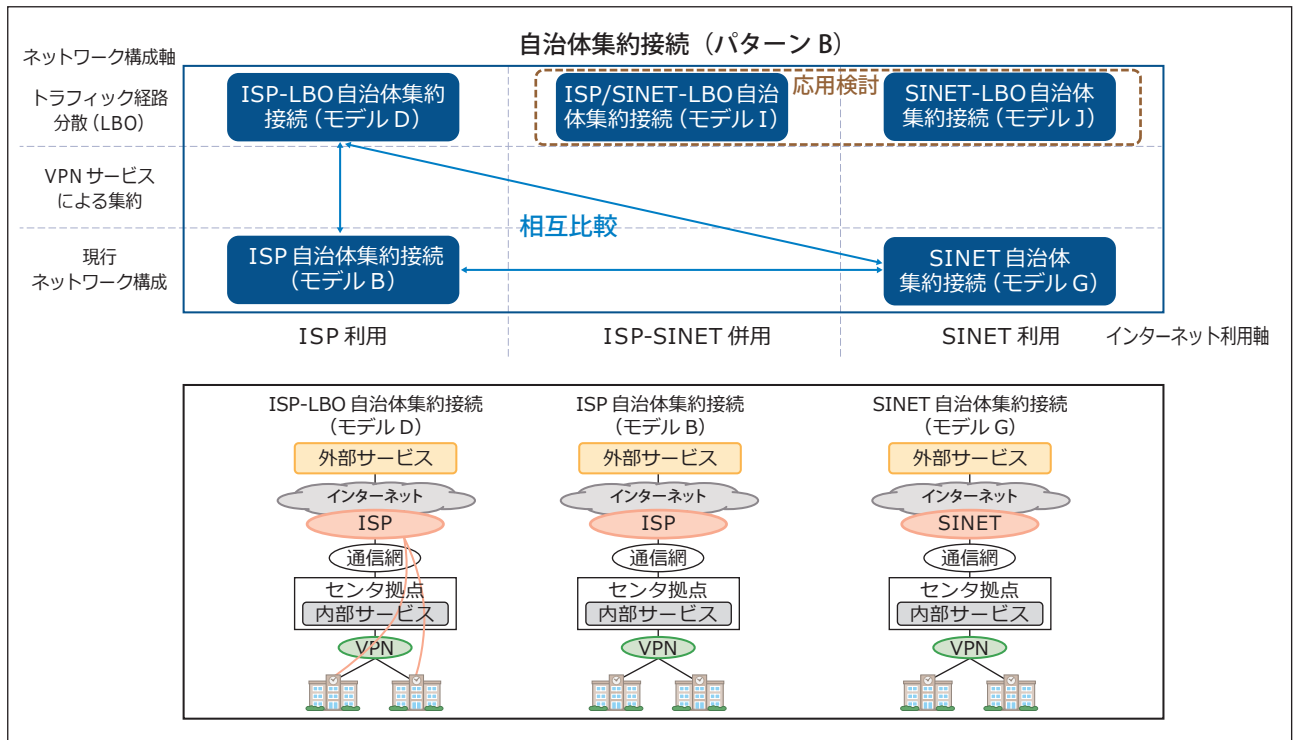
図11 直接接続でのネットワーク構成見直し選択モデル



●自治体集約接続

ネットワーク構成及びインターネット接続方法の選択モデルとして、現行構成の継続を含めて5つあります（図12参照）。

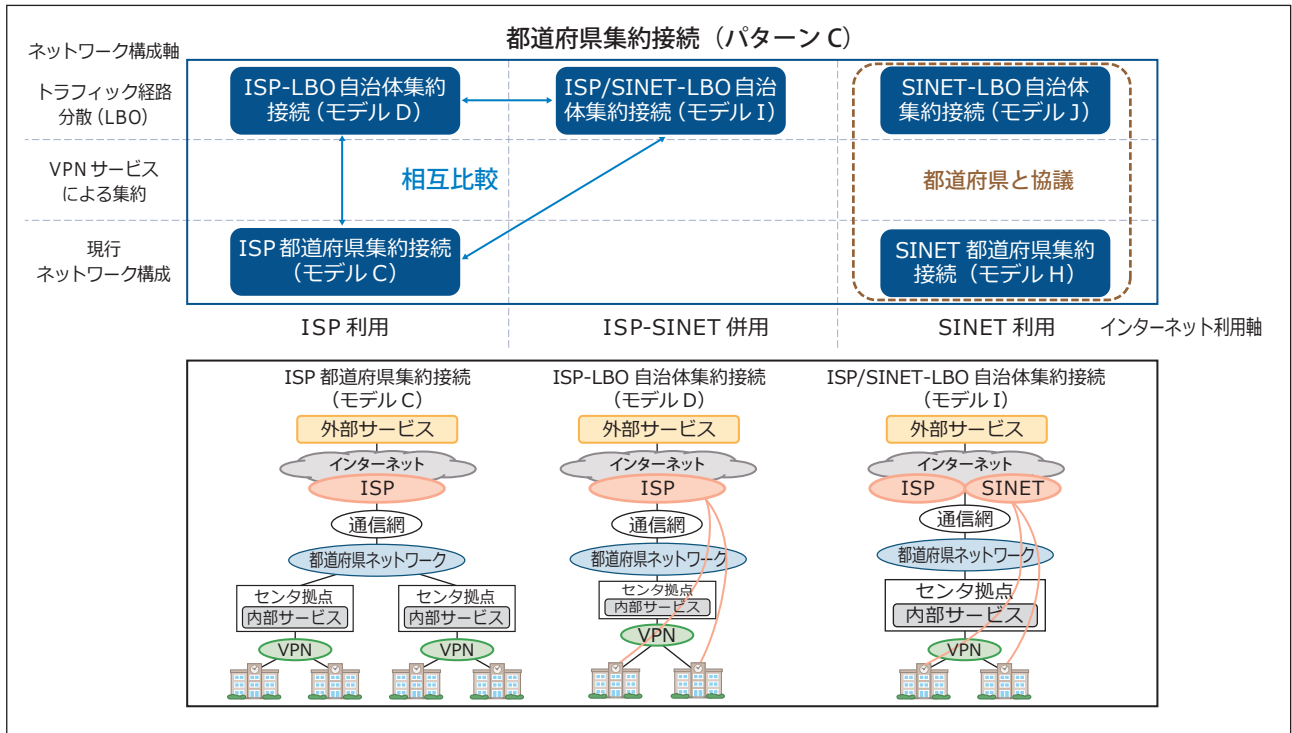
図12 自治体集約接続でのネットワーク構成見直し選択モデル



●都道府県集約接続

ネットワーク構成及びインターネット接続方法の選択モデルとして、現行構成の継続を含めて5つあります（図13参照）。自治体集約接続と異なる点は、都道府県教育ネットワークからインターネット接続するISPの接続が都道府県設置となることから、都道府県と協力してネットワークの検討を行う必要がある点です。

図13 都道府県集約接続でのネットワーク構成見直し選択モデル



(6) ステップ6：各モデルの検討手順

①自治体がネットワーク構成モデルを判断する基準

モデルを選択するうえで、必要な通信帯域が確保できるかは必要条件ですが、経済性や自治体のポリシー、教育方針に沿っているかを含めた総合的な判断が必要です（図14参照）。

図14 最適なネットワーク構成を選定する判断基準

		必要な通信帯域が確保できること（ステップ1からステップ4）	
		区分	項目
必要条件	経済性	イニシャルコスト	全てのモデル
		ランニングコスト（保守性・運用性含む）	全てのモデル
十分条件	自治体のポリシー	セキュリティ	ローカルブレイクアウト構成の可否
		パブリッククラウド接続可否	全てのモデル (否の場合は集約接続) (SINET 閉域でのクラウドサービス接続)
		故障対応、運用適応範囲	全てのモデル
システム構成	利用システムの設置位置（集約センター／クラウド）	ローカルブレイクアウト構成の可否	
教育方針	近隣大学との教育連携	SINET 接続	
	利用アプリケーション	全てのモデル	

3. モバイルネットワーク活用

(1) モバイルネットワーク利用の検討にあたり

モバイルネットワーク利用では端末から直接モバイルネットワークを経由して、インターネットに接続される構成のため、校外利用が可能になる他、下記のような特徴があります。

- 料金構造：端末、学校あるいは自治体の単位で使った通信容量をベースに利用料が課金されます。
- 端末から先のネットワークはモバイル通信事業者に委ねる構造になります（一部フィルタリング等は除く）。

モバイルネットワーク利用を検討される場合は、ランニングコスト以外にも自治体の意向がどこまで反映できるかをモバイル通信事業者を確認することに加えて、自治体ポリシーや校内ICT環境整備、これからの教育ICT利活用の方向性などを考慮することが必要です。

(2) モバイルネットワークに必要な通信容量の考え方

Wi-Fi利用を前提とした固定ネットワークでは通信帯域をどう確保するかがポイントでしたが、モバイル利用の場合は、通信容量に応じた料金構造になります。ここで、通信容量の算出にあたり、ストリーミング通信とダウンロード通信で1か月間の利用シーンを想定し、変数を定めて必要なデータ量を試算します。

●ストリーミング通信

$$\text{1回の動画再生に必要な通信容量} < \text{MB} > = \frac{\text{動画の通信帯域 (Mbps)}}{8 \text{ (Byte/Bit 換算)}} \times \text{動画視聴時間} < \text{秒} >$$

$$\text{1か月の動画再生に必要な通信容量} < \text{MB} > = \text{1回の動画再生に必要な通信容量} < \text{MB} > \times \text{視聴回数/日} \times \text{視聴日数/月}$$

●ダウンロード通信

ダウンロード通信での帯域算出では、1回のダウンロード通信容量が月に何回発生するかを求めます。

$$\text{1か月のダウンロードに必要な通信容量} < \text{MB} > = \text{1回のダウンロード通信容量} < \text{MB} > \times \text{ダウンロード回数/月}$$

●モバイル通信容量

上記のストリーミング通信とダウンロードの通信容量の総和がモバイル通信に必要なデータ量となります。なお、上記は授業利用を想定した場合の計算であり、アプリケーションやOSのアップデート等の授業以外の通信は考慮していないのでご注意ください。

4. セッション数の確保

(1) セッション数とは

ネットワーク通信において、端末がサーバに接続してから、切断するまでの、一連の操作や通信手順のことをセッションと呼びます。児童生徒1人1台端末では、インターネットアクセスが増加することが想定されるため、セッション数が増加し、機器が保持する記録数の上限を超えてしまう恐れがあります。そのため、児童生徒1人1台端末での学習系ネットワークを導入するうえで、通信帯域とセッション数の確保を考慮することが必要です。

(2) どのくらいのセッション数確保が必要か

セッション数は端末からのアクセス回数だけではなく、端末種別やダウンロードするコンテンツにも依存するため、定量モデルで算出しても、なかなか実態を反映しないのが実情です。図15は、GIGAスクール構想により1人1台数端末を整備した自治体の約200校でのChromebookによる学習活動を1ヶ月実測した結果です。横軸は、ダウンロードに要した通信帯域で、縦軸は使われたセッション数です。

図15 通信帯域とセッション数の相関

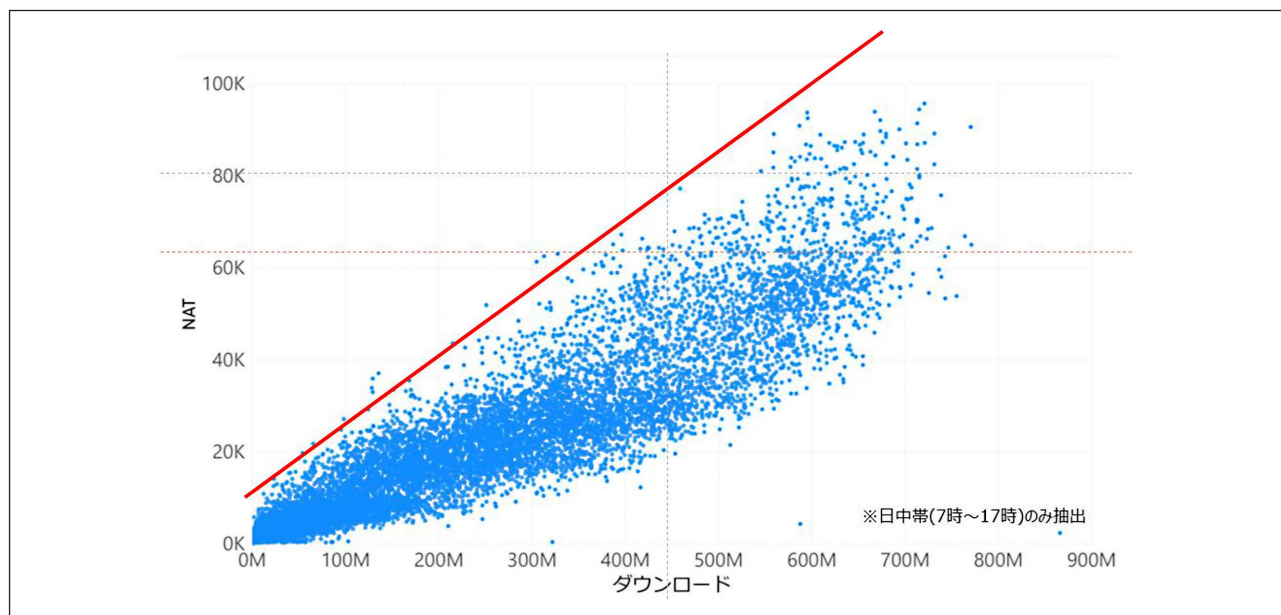


図15に示すとおり、通信帯域とセッション数は概ね正相関がありますので、学校・自治体で確保すべき通信帯域に基づいて、確保すべきセッション数を想定することができます。

上記事例の赤線は、

$$\text{セッション数 } S = \text{確保すべき帯域 } \langle \text{Mbps} \rangle \times 150 + 10000$$

で表現されます。ただし、セッション数は、端末種別、使い方などで異なるため、この式はあくまで目安であり、詳しくは通信事業者や導入事業者にご相談ください。

