



エンタープライズ向けの プライベートWANとマネージド ネットワークサービスのTCO比較

ピーター・フェテロルフ博士

概要

プライベートエンタープライズネットワークには、通常、MPLS、SD-WAN、またはキャリアアイーサネットサービスを使用します。マネージドネットワークサービスは、ユビキタスで簡単に導入できますが、ダークファイバーを利用したプライベートネットワークの構築を検討することが理にかなっている場合もあります。特に、以下の要件のうち1つ以上が該当するエンタープライズでは、ダークファイバーを採用したプライベートWANを検討する必要があります。

- 70 Gbpsを超えるリンク速度
- 超低遅延
- ネットワークトポロジーの高可用性

ダークファイバーを活用するプライベートWANにより、拡張性が高く、遅延が少なく、可用性の高いネットワークを構築できます。マネージドネットワークサービスのコストは、通常、接続のポート速度と保証された帯域幅に基づいていますが、ダークファイバーのコストは、ファイバーの場所とエンドポイント間の距離に基づいています。つまり、マネージドネットワークサービスのコストは帯域幅の増加に伴って上昇し続けますが、ダークファイバーを利用するプライベートWANのコストは、帯域幅が増加しても比較的横ばいになります。したがって、このようなプライベートネットワークは、費用が大幅に増えることなく、非常に高い帯域幅に拡張できます。さらに、ダークファイバーは、エンタープライズのエンドポイント間にキャリア機器がないため、超低遅延を実現でき、ファイバーレートを選択して遅延を最小限に抑えることができます。また、リングトポロジーまたはメッシュトポロジーでファイバーネットワークを設計して、高可用性ネットワークを構築することもできます。本ホワイトペーパーの財務分析では、北米の価格データを使用していますが、分析結果はグローバルにも適用できます。ネットワークの需要と要件がダークファイバーの使用を正当化できる場合、その地域と都市におけるファイバーの可用性と価格を調査する必要があります。

ダークファイバーによるプライベートWANの導入に適していると思われる企業は、以下のとおりです。

- ファイナンシャルサービスおよびプログラム開発企業
- ハイパースケール事業者および大規模なウェブサービス会社
- 政府機関

本ホワイトペーパーでは、プライベートWANの概要、およびダークファイバーによるプライベートWANとマネージドネットワークサービス（キャリアアイーサネット）の総所有コストモデルを比較した結果について説明します。キャリアアイーサネットは、非常に高い帯域幅（10 Gbps以上）を必要とするサイトにとって最も費用対効果の高いネットワークサービスであるため、比較対象として使用します。

エンタープライズネットワークの背景

エンタープライズでは、長年、プライベートネットワークを構築してきました。プライベートネットワークは、1990年代のリース型T1回線とフレームリレー仮想回線から始まり、MPLS、SD-WAN、およびキャリアイーサネットサービスへと移行しました。エンタープライズネットワークの要件は、組織のタイプとサイズ、および特定のアプリケーションとユースケースの要件によって決まります。エンタープライズネットワークの要件は、以下の3つのカテゴリーに分類されます。

- セキュリティ
- 保証帯域幅、ジッター、および遅延
- ネットワーク可用性

各種ネットワークサービスの帯域幅とセキュリティの相対的なレベルは、図1に示されているとおりです。家庭向けおよび中小企業サービス向けのブロードバンドインターネットは、低～中程度の帯域幅レベル（1Gbps以下）で動作する、最も安価で安全性の低いサービスです。ダイレクトインターネットアクセスは、ベストエフォート型のトラフィック配信と低レベルのセキュリティを備えた高レベルの帯域幅（最大10 Gbps）を提供する、高速の商用インターネットサービスです。従来のMPLSおよびSD-WANサービスは、高レベルのセキュリティを備えた低～中程度の帯域幅を提供します。キャリアイーサネットサービスは、中レベルのセキュリティを備えた、より高い帯域幅に拡張できます。超高帯域幅や高いセキュリティ要件を定めているエンタープライズの場合、ダークファイバーによるプライベートWANは、もう1つの選択肢です。ダークファイバーを使用すると、1つ以上のサービスプロバイダからリースしている既存のファイバーの上にプライベートネットワークを構築できます。

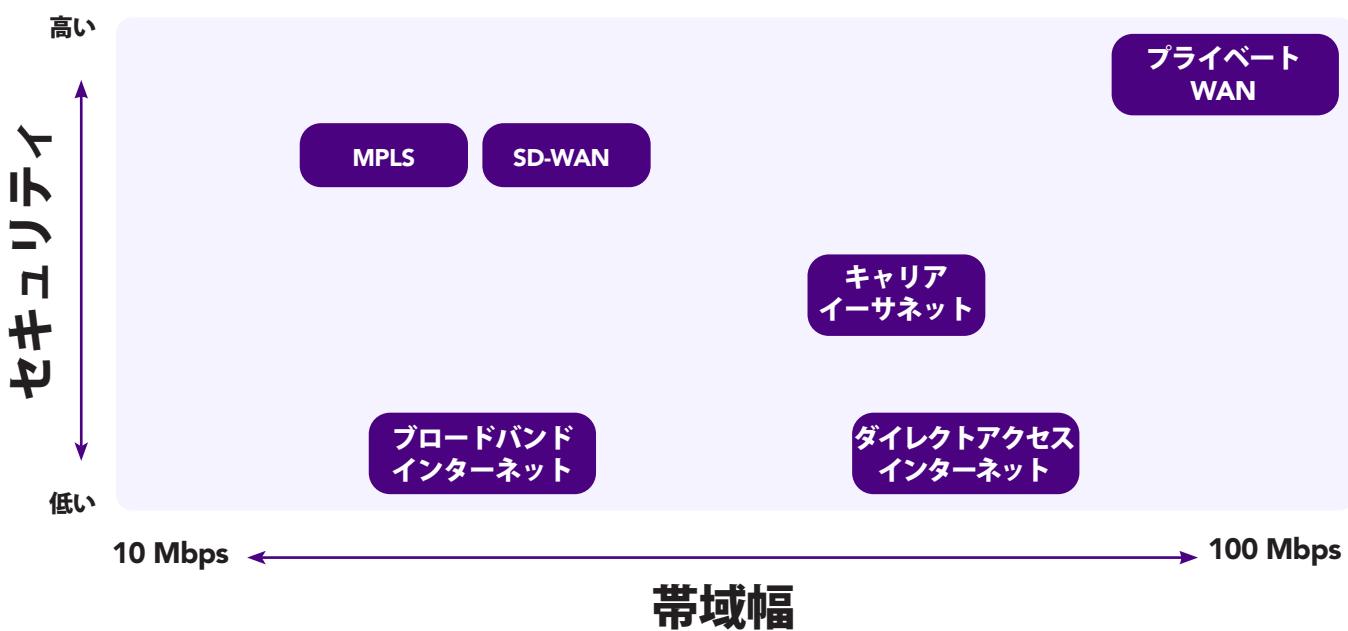


図1：ネットワークサービスと帯域幅およびセキュリティの分布図

ダークファイバーによるプライベートWANの構築には高いコストが伴うため、以下のネットワーク要件のうち1つ以上に該当するエンタープライズにのみ適用できます。

- 超高帯域幅
- 超低遅延
- 高可用性

ダークファイバーによるプライベートWANの構築について、組織別の例を表1に示します。

組織	ネットワーク要件
プログラム開発企業	プログラム開発企業では、プログラムアルゴリズムを効果的に機能させるために、超低遅延が必要です。これらの企業では、遅延を最小限に抑えるためにプライベートファイバーネットワークを構築しています。ファイナンシャルネットワークでは、精度の高い記録管理が必要とされ、正確なTime-Of-Dayタイムスタンプが必要です。
ファイナンシャルサービス企業	ファイナンシャルサービス企業は、特にムーディーズなどのパートナーに接続する場合、超高帯域幅と高セキュリティの要件を定めていることがあります。一部の企業では、ダークファイバーを使用したプライベートWANにより、これらの要件に対応すると同時に、超高帯域接続のネットワークにかかる費用を削減しています。
ハイパースケール事業者	ハイパースケール事業者には膨大な帯域幅要件が定められており、帯域幅の急激な増加に対応できるよう、長年にわたりダークファイバーによるプライベートネットワークを構築してきました。
国防総省	国防総省の一部の組織では、高セキュリティ、低遅延、および高帯域幅が要件とされています。
諜報機関	諜報機関の一部の組織では、高セキュリティ、低遅延、および高帯域幅が要件とされています。

表1. ダークファイバーを必要とする組織の例

ネットワークサービスに関する決定は、組織のタイプ、ユースケース、およびアプリケーション要件に大きく依存します。次のセクションでは、ダークファイバーベースのプライベートWANの概要と検討すべき最も重要な領域について説明し、プライベートWANとマネージドキャリアアイーサネットサービスの経済性に関する比較を示します。

ダークファイバーによるプライベートWAN

超高帯域幅、低遅延、およびセキュリティを必要とするエンタープライズでは、ダークファイバーを使用したプライベートネットワークの構築を検討する必要があります。ダークファイバーは、導管内に光信号が通っていない、未使用の余剰ファイバーで、リースが可能です。大量のダークファイバーが存在する理由は、ファイバーネットワークの構築にかかるコストの大部分が敷設費であるためです。ケーブルのファイバーペアにかかるコストは、溝掘りや導管の敷設、ファイバーケーブルの引き上げにかかるコストよりもはるかに少なくて済みます。ファイバーケーブルは、1本のケーブルに最大864個のファイバーストランドを含めることができます。各ファイバーペア（2個のストランド）は、最大で96の波長に対応でき、各波長は最大400 Gbpsのトランスポート容量に対応できます。シングルファイバーペアの帯域幅は38.4 Tbpsですが、この数字は実質的に無制限であることを意味します。先進国や開発途上国の多くでは、ネットワーク事業者は未使用かつ余剰のファイバーストランドを大量に抱えており、プライベートファイバーネットワークを必要とするエンタープライズや他の事業者にファイバーペアを積極的にリースしています。

ダークファイバーをリースするネットワーク事業者の例：

- AT&T, Telefonica, Eurofiber, euNetworksなど、広範なファイバーネットワークを持つ、国内およびグローバルの大規模なサービスプロバイダ
- 卸売サービスプロバイダ
- 公道用地にファイバーネットワークを構築している電気、ガス、水道の公益事業会社
- 特定の地域でファイバーを構築している地方自治体
- 地元地域でファイバーネットワークを所有するローカルサービスプロバイダ
- 鉄道用地の線路の横にファイバーを敷設している鉄道会社

ダークファイバーの主なメリットを表2に示します。

ダークファイバーのメリット 説明

拡張性

シングルファイバーペアは、超高速データレートに拡張できます。ルーターを100 Gbpsまたは400 Gbpsでファイバーペアに接続できます。追加の帯域幅が必要な場合は、実質的に無制限で拡張可能なDWDMを使用できます。CバンドDWDMは、ファイバーペアで最大96の波長をサポートし、各波長は最大400 Gbpsに対応できます。これは、ファイバーペアあたり38.4 Tbpsに相当します。ファイバーペアのリース費用は、ネットワークトランスポートに必要な帯域幅に関係なく同一です。

ネットワーク帯域幅の拡張に対する予測可能なコスト構造

ダークファイバーペアをリースする場合の主なコストは、ファイバーの設置場所と接続が必要なエンドポイント間の距離によって異なります。ファイバーペアのリース費用は、ネットワークトランスポートに必要な帯域幅に関係なく同一です。帯域幅の増加に伴い、ネットワーク機器の追加コストが発生しますが、ファイバーリースのコストおよびそれに匹敵するキャリアアイーサネットやMPLSサービスのコストと比較してもごくわずかです。

低遅延

MPLS、インターネット、キャリアアイーサネットなどのマネージドネットワークサービスによる接続は、ルーター、スイッチ、DWDM ROADMなどのアクティブなネットワーク機器による複数のホップトラバースが発生します。これとは対照的に、ダークファイバー接続にはアクティブなネットワーク機器がないため、遅延が低減されます。ダークファイバーによるプライベートWANを構築している場合、ファイバールーターを選択して、ネットワークの距離と遅延を最小限に抑えることができます。

セキュリティ

ダークファイバーベースのネットワークは、エンタープライズのエンドポイント間にサービスプロバイダのルーターやスイッチがないため、本質的に高いセキュリティを備えています。エンタープライズでは、ルーターは制御していますが、ファイバーが切断されない限りファイバーを監視することはできません。そのため、切断が発生すると、エンタープライズネットワーク事業者にアラートが通知されます。

冗長性と信頼性

さまざまな導管のファイバーを多様なルートで使用できるため、ダークファイバーを使用することで、ネットワークの冗長性と信頼性を高めることができます。また、ファイバーの切断に対して本質的に耐障害性のある、リングネットワークやメッシュネットワークを設計することもできます。また、ネットワークにはサービスプロバイダの機器がないため、サービスプロバイダの機器の障害やサービスの中止について心配する必要はありません。自社の機器は管理が必要ですが、可視性と制御性は向上します。

表2. ダークファイバーによるプライベートWANのメリット

ダークファイバーによるプライベートWANとキャリアイーサネットの TCO比較

本セクションでは、キャリアイーサネットサービスのTCO（総所有コスト）をダークファイバーネットワークによるプライベートWANと比較します。より高いレベルの帯域幅では、キャリアイーサネットサービスの方がMPLSやSD-WANよりも費用対効果が高くなります。したがって、キャリアイーサネットをダークファイバーとの比較に使用しています。キャリアイーサネットとプライベートWANダークファイバーの価格は、地域やサービスプロバイダによって大きく異なります。ここでは、これらのサービスの北米における平均コストを使用しています。エンタープライズは、高速ルーターを使用して、キャリアイーサネットとプライベートWANダークファイバーサービスに接続しています。ルーター自体は同じであっても、ルーターの構成とコストはネットワークアーキテクチャごとに異なります。

キャリアイーサネットサービスの料金は、ポート速度とCIR（認定情報速度）に基づいています。ここでは高帯域幅接続のコストを比較しているため、キャリアイーサネットは10 Gbps CIRで10 GEポートを使用することを想定しています。この数値は、通常、ほとんどのキャリアイーサネットサービスのポート速度とCIRの最大値です。また、10GEポートの数が増えた場合、キャリアイーサネットサービスの割引も想定しています。いわゆる数量割引です。ダークファイバーの価格は、メトロネットワークと長距離ネットワークでは異なります。ダークファイバーペアの価格は、通常、1マイルあたりの価格です。北米の業界平均を参考に、サービス価格を表3のように想定しています。

伝送技術	価格
キャリアイーサネット月額料金：10 Gbps CIRおよび10 GEポート（3年契約）	1,300
10 GEポート追加の1ポートあたりのキャリアイーサネット割引	2%
1マイルあたりのダークファイバーペアの月額料金：長距離	9
1マイルあたりのダークファイバーペアの月額料金：メトロ	29

表3. サービス価格の想定

キャリアイーサネットとダークファイバーの価格は、両方とも北米および世界の地域や都市によって異なることに注意してください。本ホワイトペーパーの財務分析では、北米の価格データを使用していますが、分析結果はグローバルにも適用できます（ダークファイバーはヨーロッパ、日本、韓国で豊富に入手できます）。ネットワークの需要と要件がダークファイバーの使用を正当化できる場合、その地域と都市におけるファイバーの可用性と価格を調査する必要があります。

TCO分析のもう1つの重要な要素は、ネットワークトポロジーとリンクデータレートです。分析を単純化および標準化するために、単純な3ノードネットワークを検討し、すべてのノード間のトラフィックが同一であると想定しています。キャリアアイーサネットとダークファイバーのトポロジーを、それぞれ図2と図3に示します。キャリアアイーサネットネットワークでは、各ルーターが1つ以上の10 GEポートを使用してキャリアアイーサネットサービスに接続されていることを想定しています。3つのノードはすべて、10 GbpsのCIRを使用してイーサネット仮想回線に接続されています。物理ファイバーリングを使用するダークファイバーネットワークは、3つのノードのそれぞれのルーターを接続します。

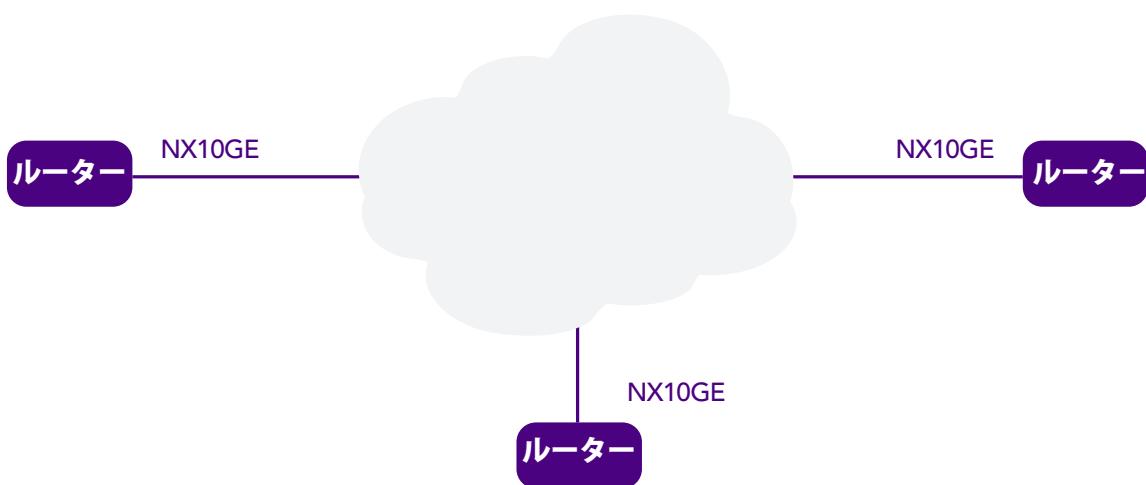


表2. キャリアアイーサネットネットワークのトポロジー

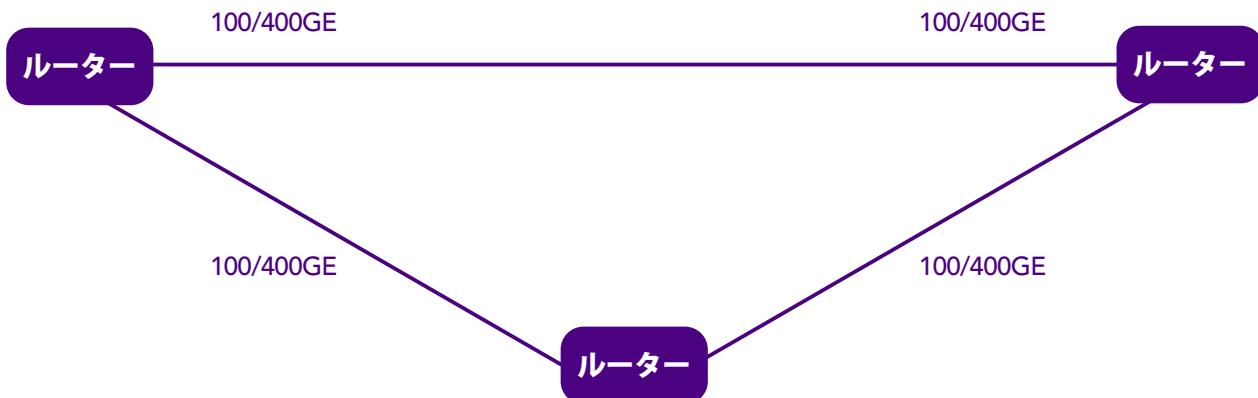


表3. ダークファイバーネットワークのトポロジー

また、TCOモデルではルーターの費用も考慮しています。分析には、ジュニパーMX 240ルーターを使用しています。キャリアイーサネットネットワークでは、MX 240で複数の10 GEポートを使用します。ダークファイバーネットワークでは、リンクに必要なデータレートに応じて、100 GEポートまたは400 GEポートのいずれかを使用します。また、MPLSソフトウェアライセンス費用も考慮しています。

TCO分析のもう1つの要素は、人件費（OpEx）です。キャリアイーサネットネットワークの管理よりもダークファイバーネットワークの管理の方が人件費が高いことを想定しています。この例の小規模な3ノードネットワークについては、想定される人件費を表4に示します。

価格	
年間のFTE（フルタイム当量）費用（全額）	\$150,000
キャリアイーサネットサービスに必要なFTEの人数	0.25
ダークファイバーサービスに必要なFTEの人数	1

表4. 想定される人件費

ほとんどのエンタープライズネットワークは、TCOモデルで使用されている単純なネットワークよりも複雑であることは明らかですが、高帯域幅や低遅延の要件を定めた特定のリンクでは、ダークファイバーのメリットがあるため、この分析結果は、より大規模で複雑なネットワークにも適用されます。ネットワークの多くは、一部のリンクでダークファイバーを使用し、他の接続についてはキャリアイーサネットやMPLSなどの従来のマネージドネットワークサービスを使用するハイブリッドアーキテクチャである場合もあります。

TCO結果

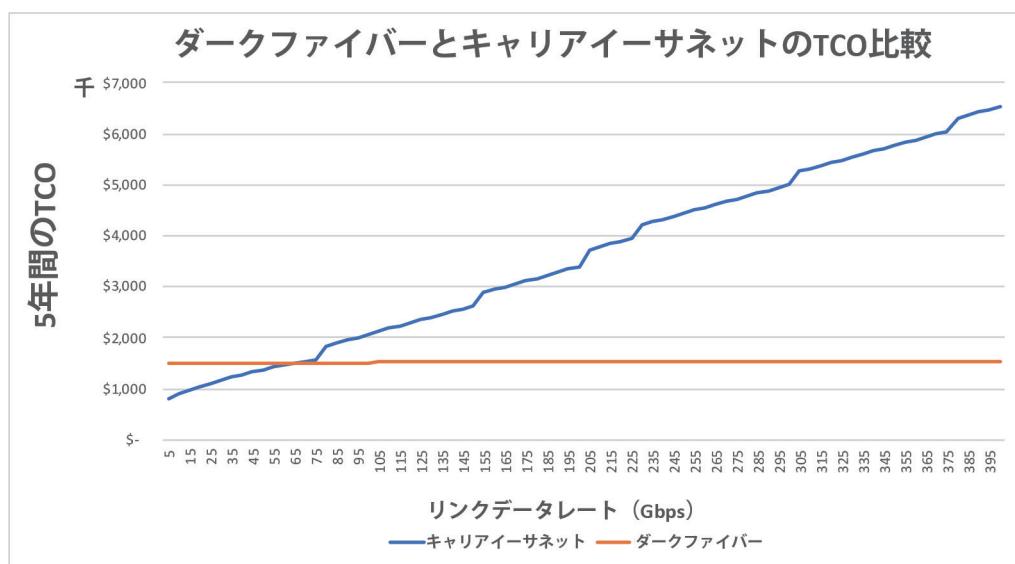
TCOには、以下のコンポーネントが含まれています。

- トランスポートの費用（キャリアイーサネットまたはダークファイバー）
- ルーターの費用
- 人件費（OpEx）

以下の2つのシナリオを3年間で比較します。

- リンク距離が75マイルのメトロネットワーク
- リンク距離が500マイルの長距離ネットワーク

メトロネットワークの3年間の累積TCOを図4に示します。分析結果では、さまざまなレベルのリンク帯域幅に対するダークファイバーとキャリアイーサネットの両方のシナリオのTCOを示しています。リンク帯域幅の範囲は5 Gbps～400 Gbpsです。このモデルでは、これが3つのルーターのすべてに必要な帯域幅であると想定しています。TCOモデルは、ネットワーク内の各リンクのクロスオーバーポイントが70 Gbpsであることを示しています。つまり、70 Gbpsを超える帯域幅のメトロネットワークリンクでは、ダークファイバーネットワークで実行する方がより費用対効果が高いことを意味します。トランスポート費とルーティング費の内訳をそれぞれ図5と図6に示します。キャリアイーサネットとダークファイバーのトランスポート費（ルーターや人件費を含まない）のクロスオーバーポイントは20 Gbpsです。5 Gbpsを超えるキャリアイーサネットネットワークでは、ルーターの費用は常に高くなりますが、帯域幅が75 Gbpsを超えるまで、その差はわずかです。また、TCOには人件費の違いも含まれています。これはグラフには示されていませんが、TCOクロスオーバーポイントをトランスポート費のクロスオーバーポイントよりも高い帯域幅に押し上げることになります。



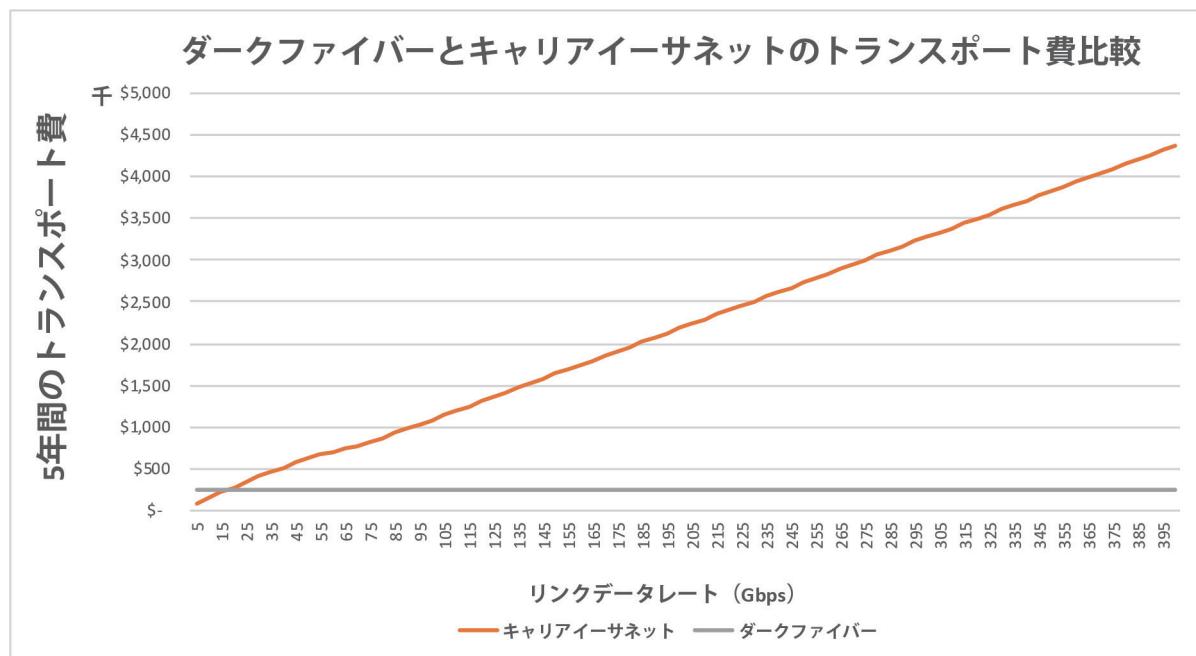


図5. メトロネットワークの3年間のトランスポート費比較 - ダークファイバー対キャリアアイーサネット

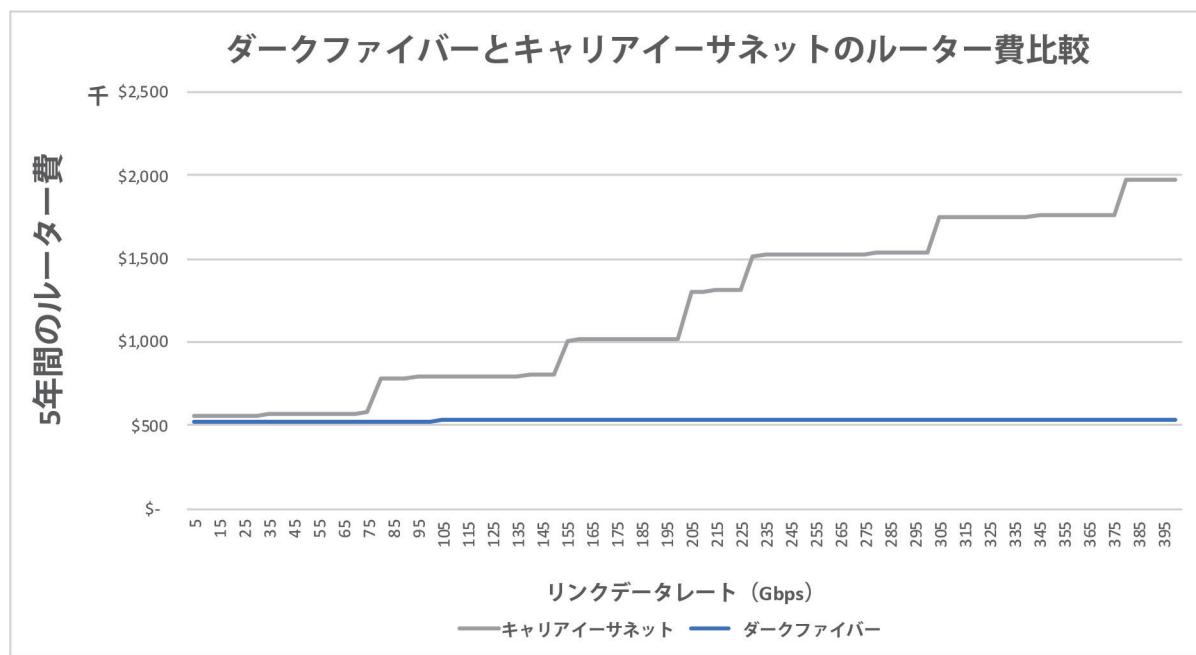


図6. メトロネットワークの3年間のルーター費比較 - ダークファイバー対キャリアアイーサネット

長距離ネットワークの3年間の累積TCOを図7に示します。結果はメトロネットワークと大差ありません。ダークファイバーがキャリアアイーサネットよりも費用対効果が高くなるクロスオーバーポイントは75 Gbpsです。トランスポート費とルーター費の3年間のTCOを、それぞれ図8と図9に示します。

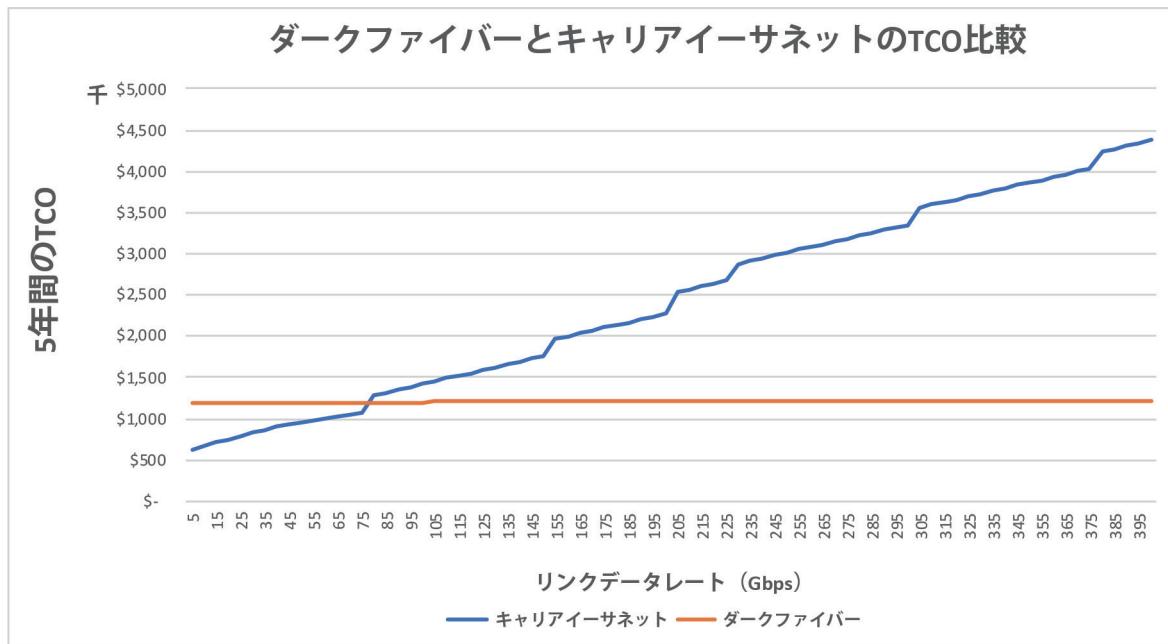


図7. 長距離ネットワークの3年間のTCO比較 - ダークファイバー対キャリアアイーサネット

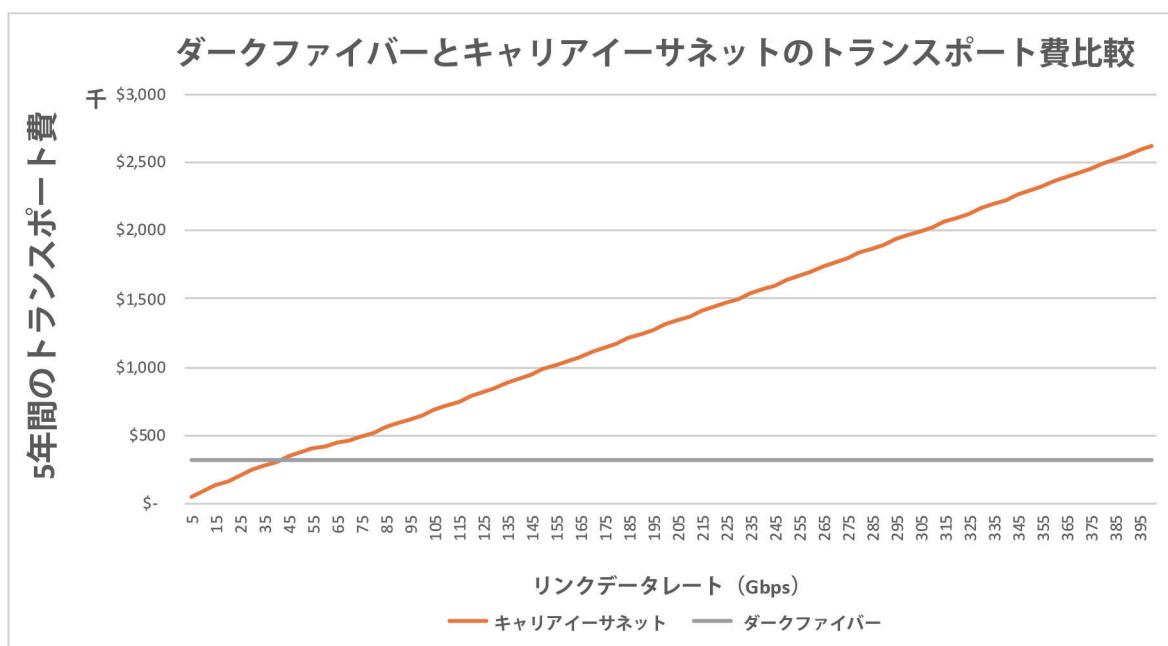


図8. 長距離ネットワークの3年間のトランスポート費比較 - ダークファイバー対キャリアアイーサネット

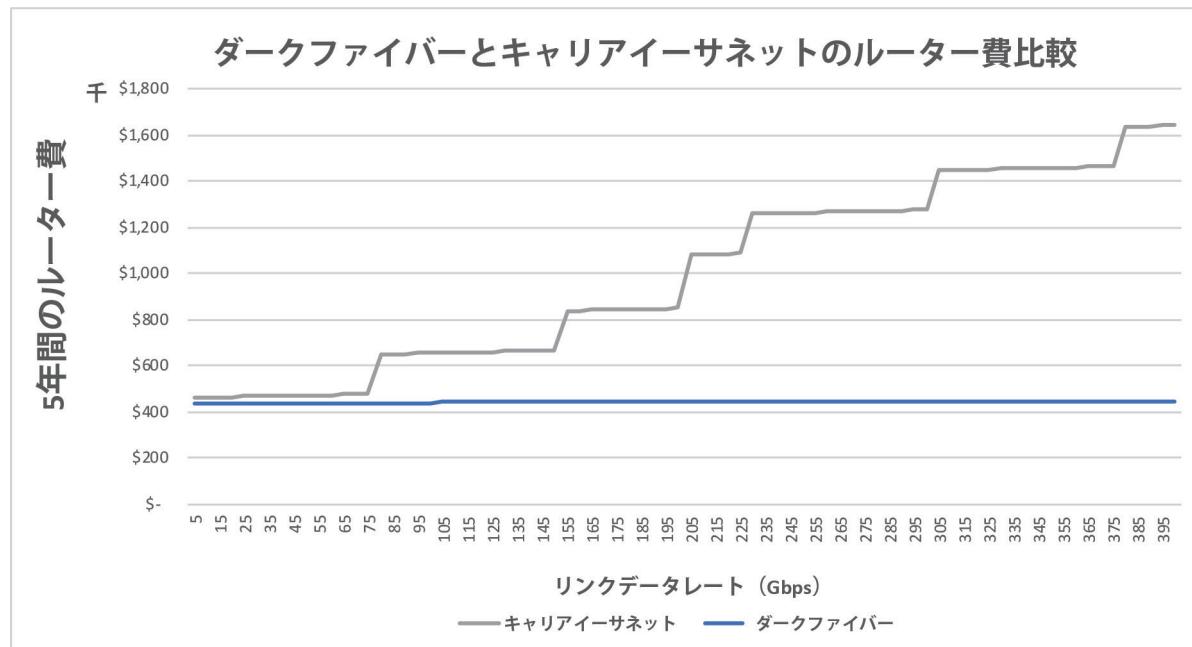


図9. 長距離ネットワークの3年間のルーター費比較 - ダークファイバー対キャリアイーサネット

結論とまとめ

エンタープライズネットワークの多くは、MPLS、SD-WAN、キャリアアイーサネットなどの標準ネットワークサービスに適していますが、クラスによってはダークファイバー上にプライベートネットワークを構築することを正当化できる特定の要件を定めているものもあります。以下にあげる1つ以上の項目が該当する場合は、プライベートダークファイバーネットワークを検討する価値があります。

- 70 Gbpsを超えるリンク速度
- 超低遅延
- ネットワークトポロジーの高可用性