



クラウドおよびAIデータセンターを支える 光ファイバ技術の将来展望

2024年11月19日

株式会社フジクラ





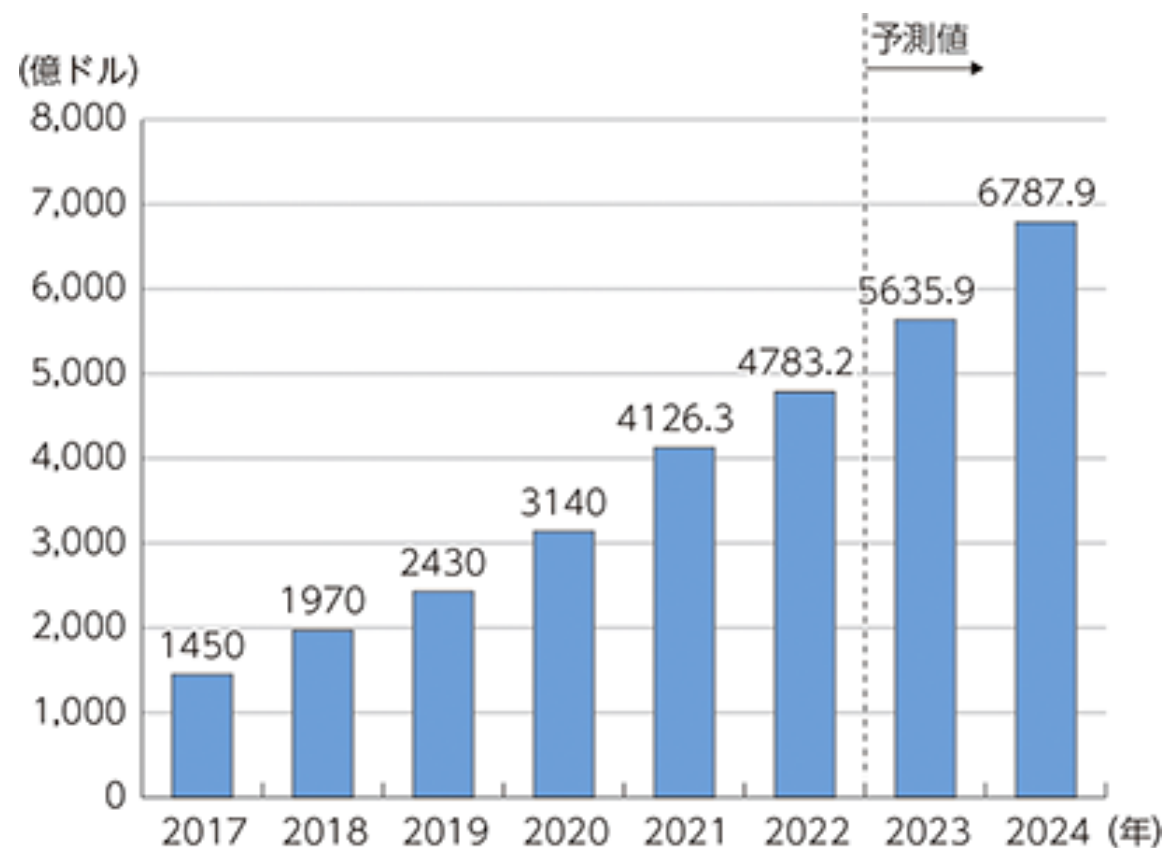
アジェンダ

1. 光通信から見るデータセンタの動向
2. AIシステムの技術動向
3. 光ファイバ関連技術の動向
4. クラウド & AIデータセンターへの光ファイバ関連技術の適用例
5. まとめ

1.光通信から見るデータセンターの動向：クラウドの浸透

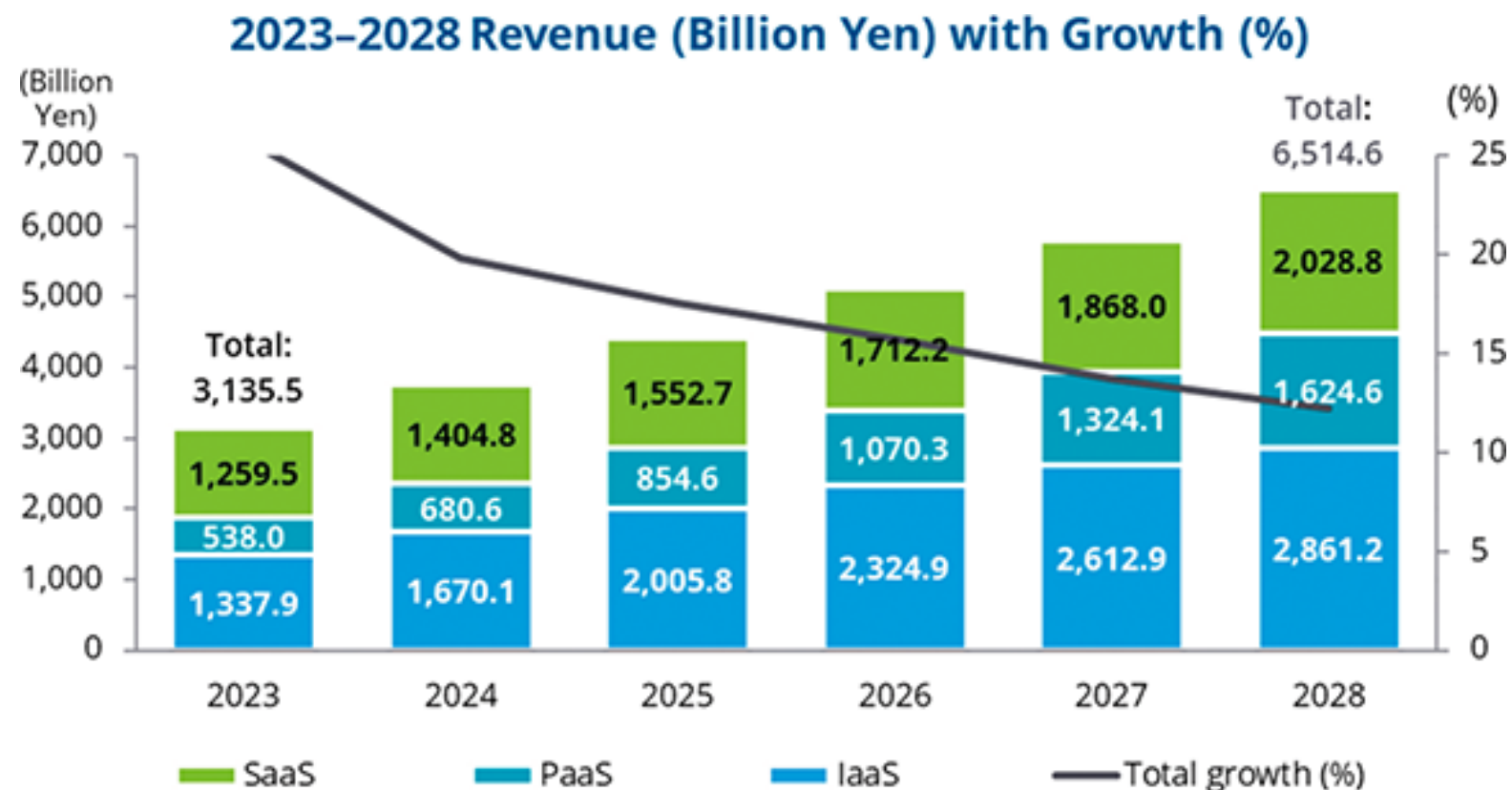
・データセンターマーケットにおけるクラウドサービスは継続成長

世界のパブリッククラウドサービス市場規模(支出高)の推移と予測



(出典) ガートナー(Statistaより引用)

日本のパブリッククラウドサービス市場規模(売上高)の推移及び予測

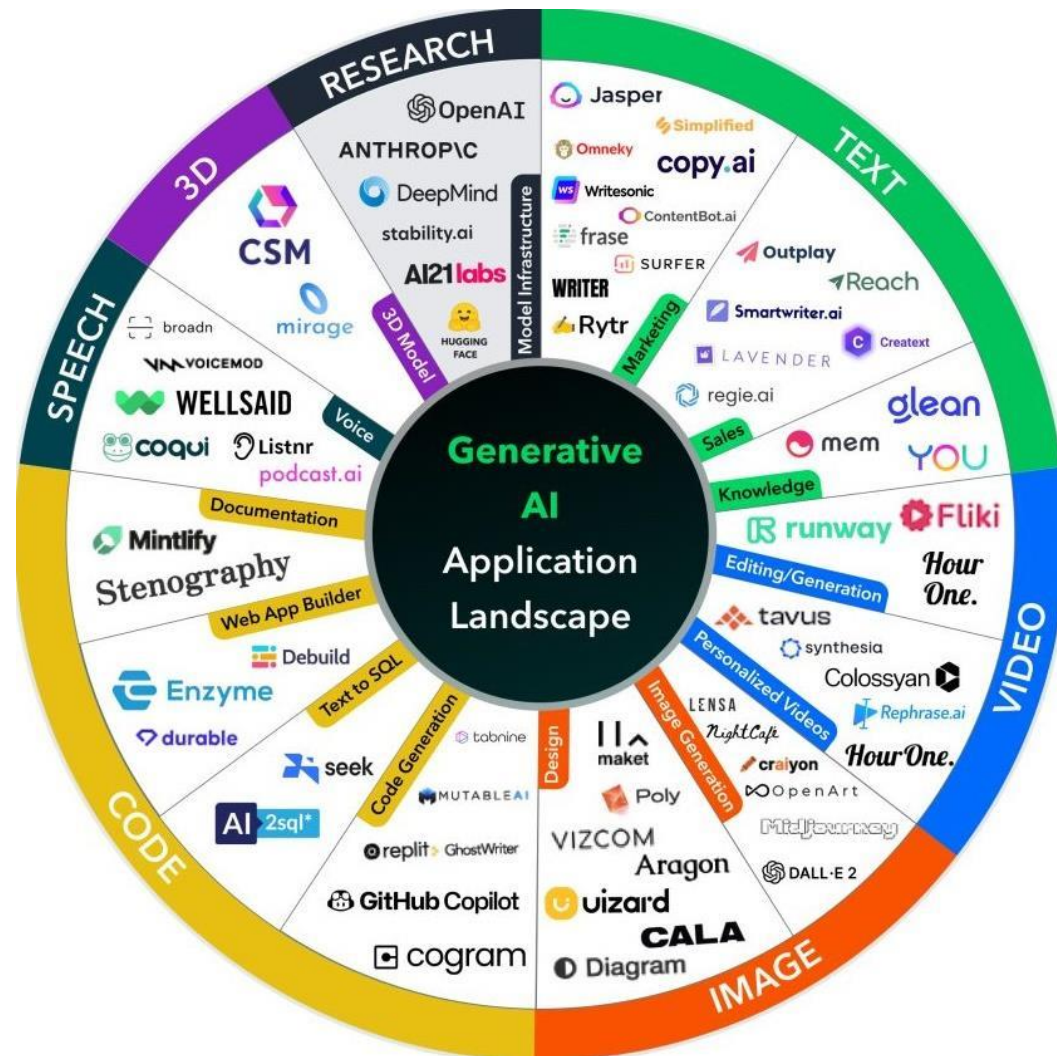


(出典) IDC Japan, 2024年2月「国内パブリッククラウドサービス市場予測、2024年～2028年」(JPJ50706624)

1.光通信から見るデータセンターの動向：AI市場の急成長

- ・2030年代頃までの生成AIの展開予想は、テキスト、コーディング、画像、動画・3D・ゲーム分野の番で活用
- ・世界全体の生成AIの市場規模は2030年までに約14兆円にまで拡大し、2022年～2030年の期間のCAGR（年平均成長率）は35.6%と予測

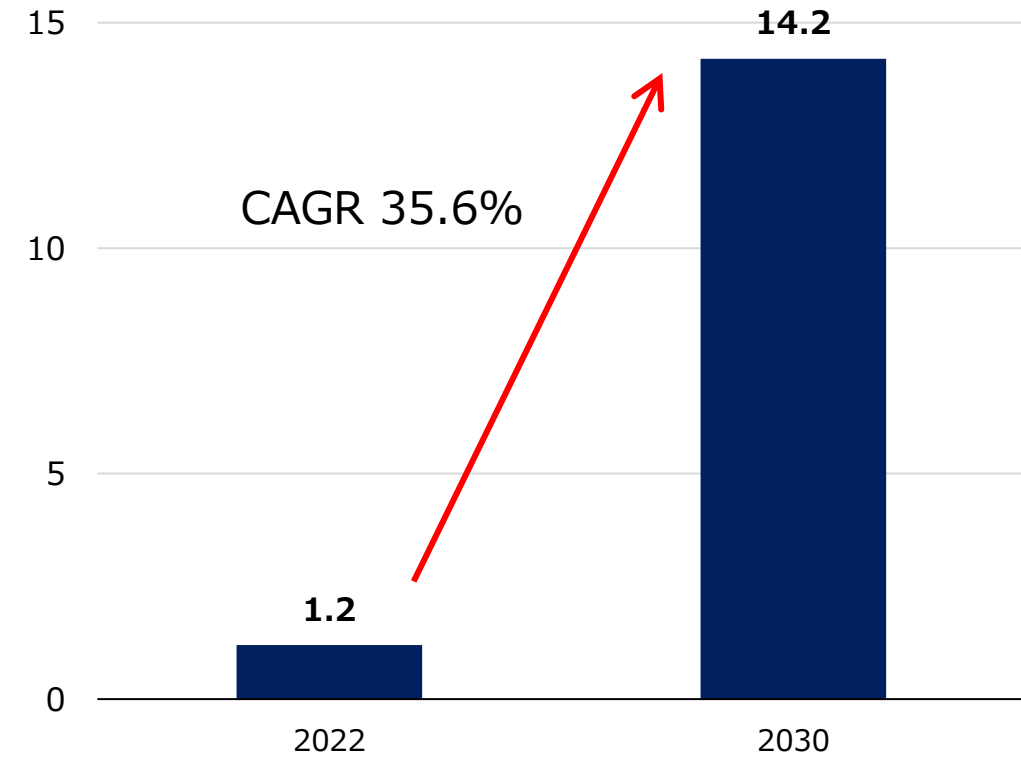
生成AI用途：Open AI ChatGPTは氷山の一角



出典：Rapidops

世界の生成AI市場規模

2030年：14兆円



出典：Rapidops, Generative AI Application Landscape (2023/03)
総務省, 令和5年版情報通信白書 (2023/07)
上記総務省/Grand View Researchデータより当社にてチャートを作成

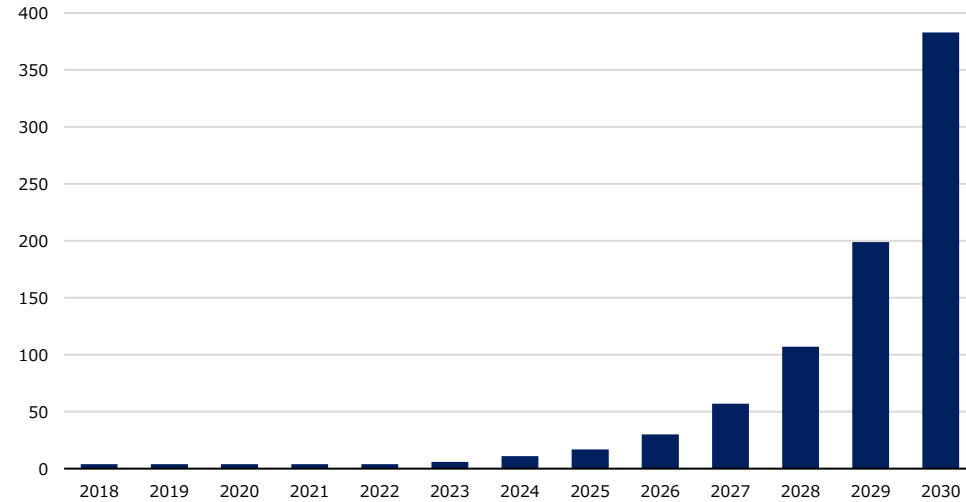
1.光通信から見るデータセンターの動向：データトラフィック量の増大

- データトラフィックは2020年以降の10年間で約400倍に増大
- トラフィック増大に伴いDC内外における光通信が拡大

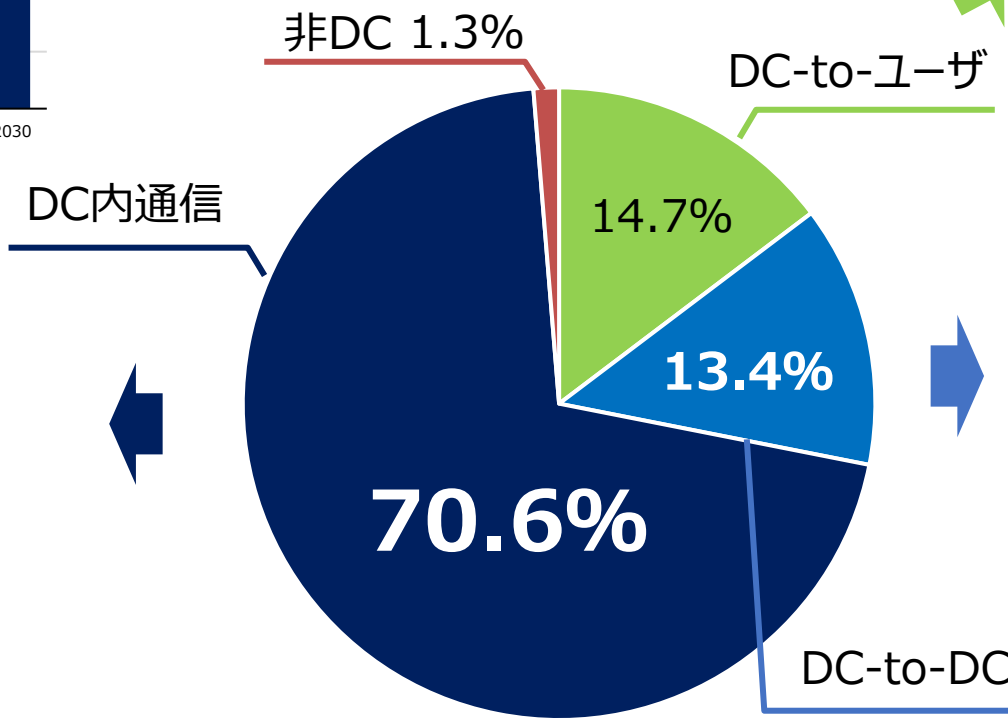
データトラフィックの予測

単位:ゼタバイト※

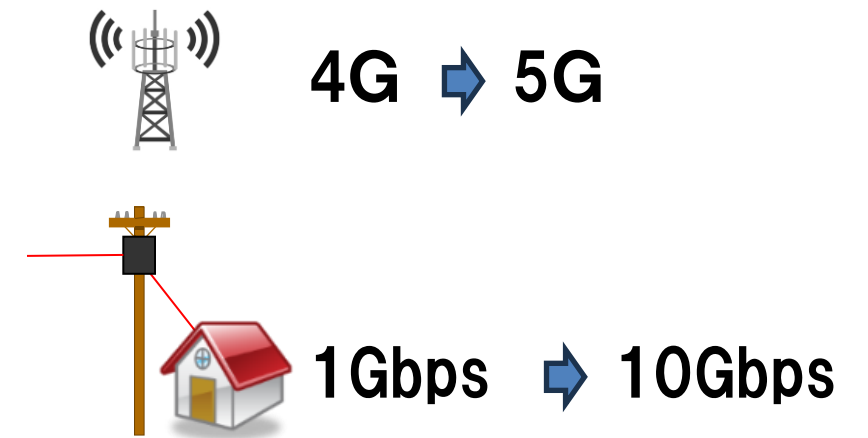
※ゼタバイトは、10の21乗



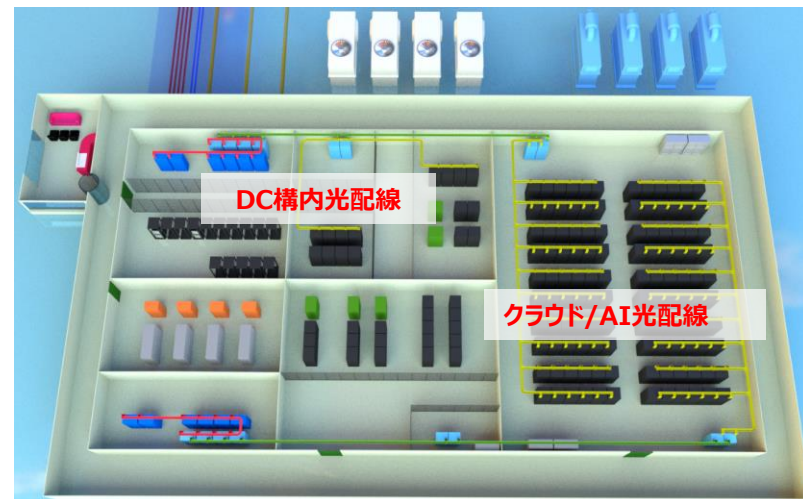
世界のIPトラフィック内(2021年)



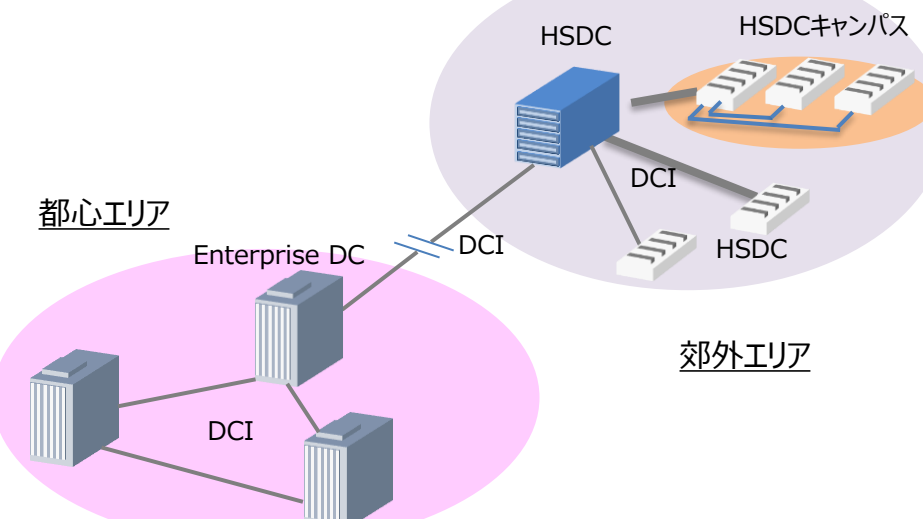
アクセス系ネットワークの高速化



クラウド/AI光配線、DC構内配線の光化



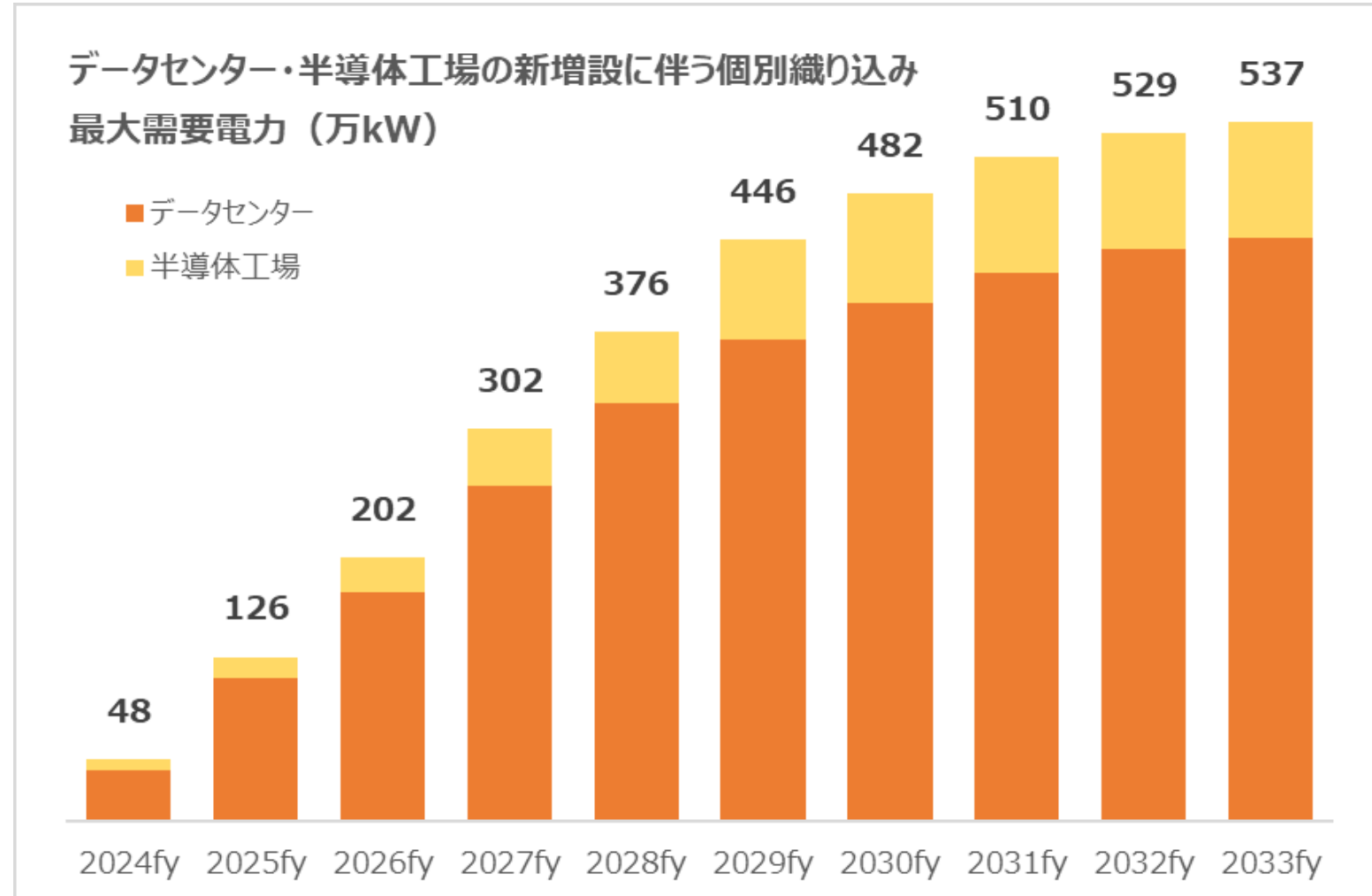
データセンターインターコネクトの成長



出典: IoT Times, How to Avoid HPC Data Traffic Jams with High-Speed Interface IP (2020/12); IBS, Impact of AI on Electronics and Semiconductor Industries (2020/04)
Cisco Systems, Cisco Global Cloud Index: Forecast and Methodology, 2016-2021 (2018/02); Cisco Systems, The Zettabyte Era: Trends and Analysis (2017/06)
上記Ciscoデータより当社にてパイチャートを作成

1.光通信から見るデータセンターの動向：電力消費量の増大

- ・データセンターの新增設によりデータセンターに必要な需要電力が増大
- ・データセンターによって排出されるCO₂が社会問題になりつつある



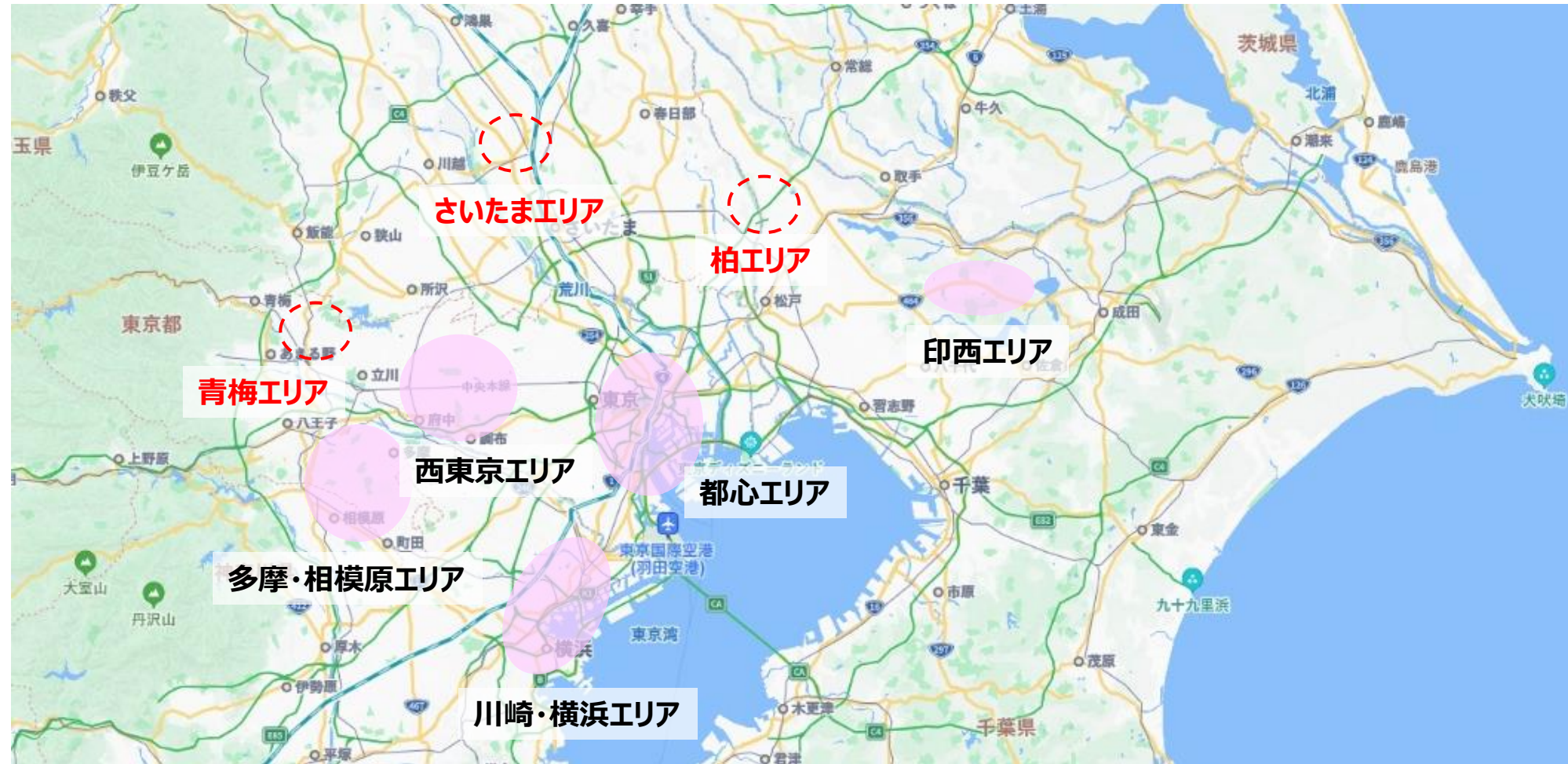
出展: OCCTO 全国及び供給区域ごとの需要想定(2024年度)

- ・データ通信における省電力技術のニーズの高まり

1.光通信から見るデータセンターの動向：クラウド/AI用DCの周辺エリアへ拡大

- ・消費電力増大に伴う電力容量の確保
- ・データセンターエリアの地価高騰による安価な土地の確保

東京周辺のクラウド/AIデータセンターのロケーション



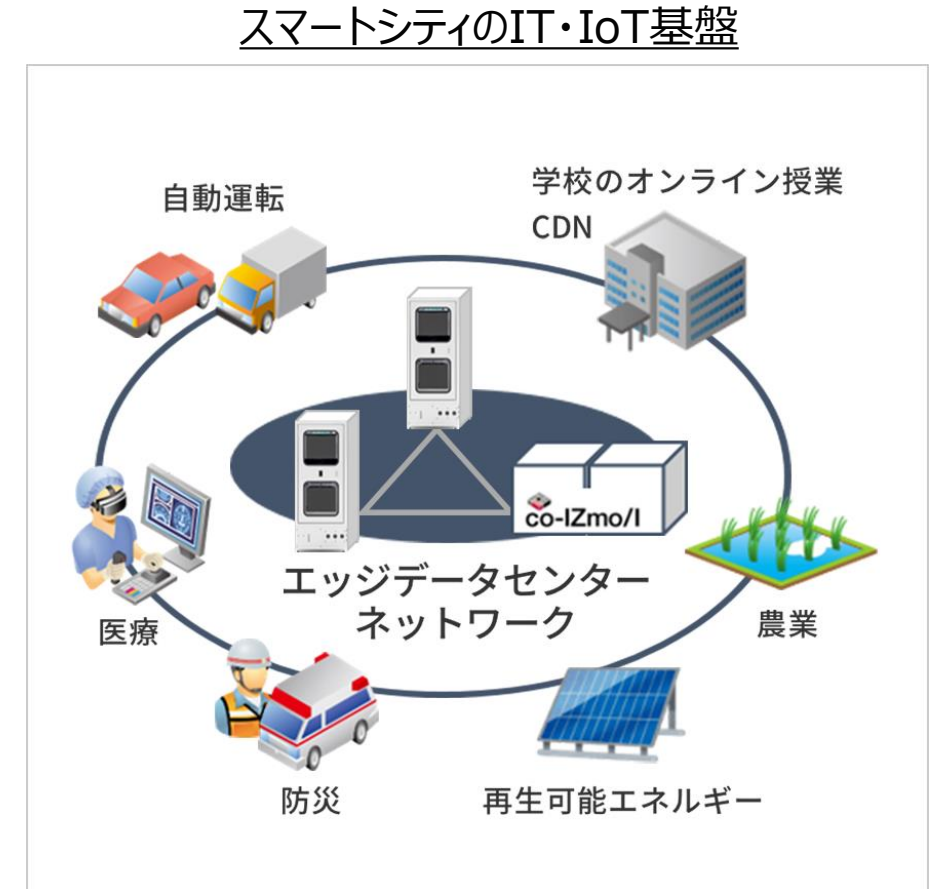
- ・都心～クラウド/AI用DCエリア間、クラウド/AI用DCエリア間のデータセンターインタコネクットの延伸
- ・低損失 & 低遅延を実現する光ネットワークのニーズの拡大

1.光通信から見るデータセンターの動向：データセンターの地方分散

- ・データ処理地の分散、自然エネルギーの確保によるデータセンターの地方へ拡大
- ・低遅延通信サービスを提供するエッジデータセンターが次世代インフラに成長すると予測



出典：さくらインターネット ホームページより https://www.sakura.ad.jp/datacenter_advisory/

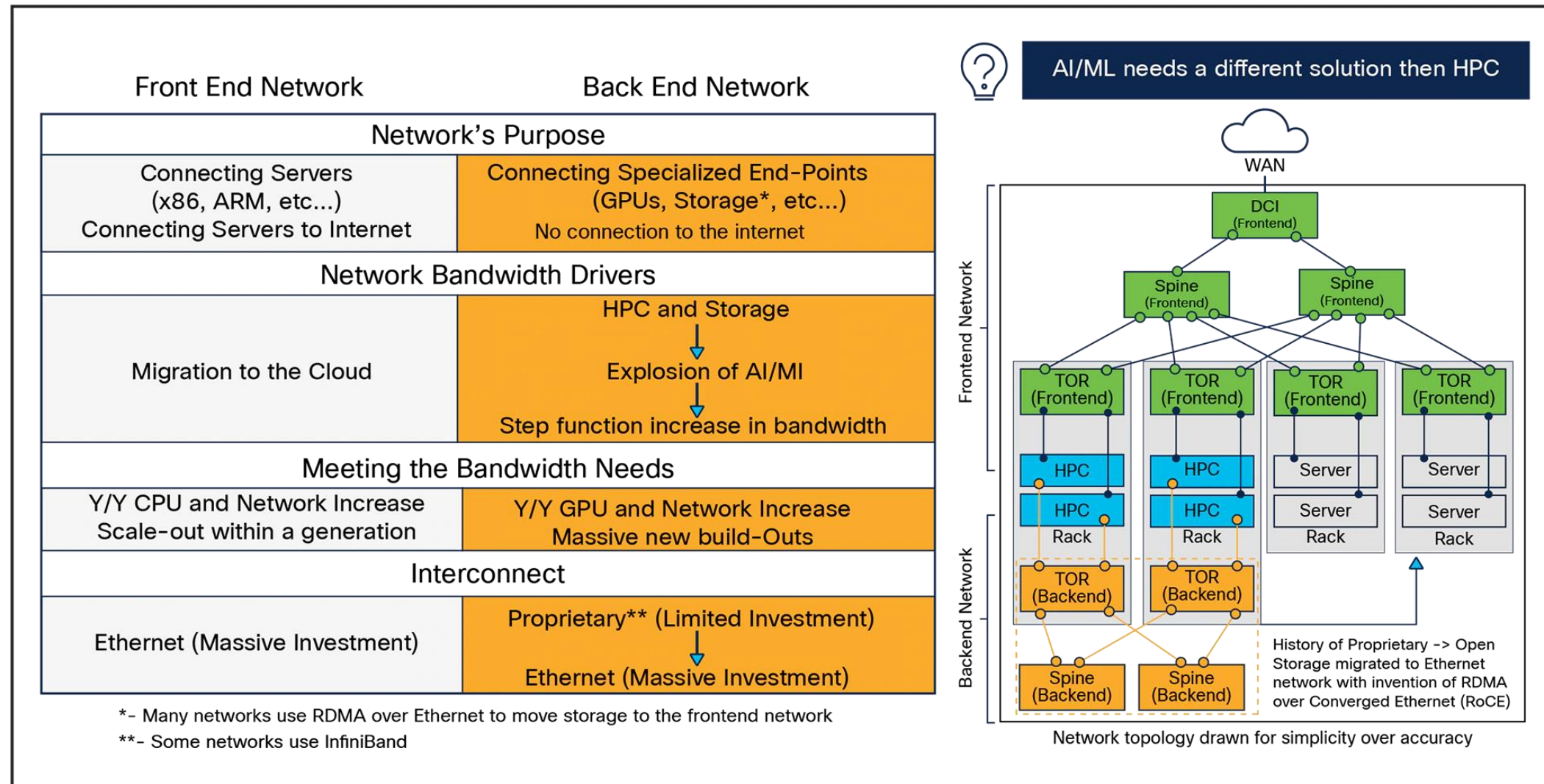


出典：IJJ ホームページより <https://www.ijj.ad.jp/datacenter/tech/ijjdc/mdc.html>

- ・都心部（東京、大阪）～ 地方の光バックボーンが増強
- ・低遅延を実現する光ネットワークのニーズの拡大

2. AIシステムの技術動向：ネットワーク構成の変化

- AI/MLの必要リソースの増加により、ネットワーク構成にも変化
- ⇒ Backend Networkと呼ばれるAIサーバ用ネットワークの大幅な拡大
- ⇒ Hyperscale DC内部で通信トラフィックが大幅に増大



出典：Evolve your AI/ML Network with Cisco Silicon One ,June 8, 2023

2. AIシステムの技術動向：データー伝送の高速化①

・次世代GPUの登場により伝送速度も高速化 400G ⇒ 800G ⇒ 1.6T

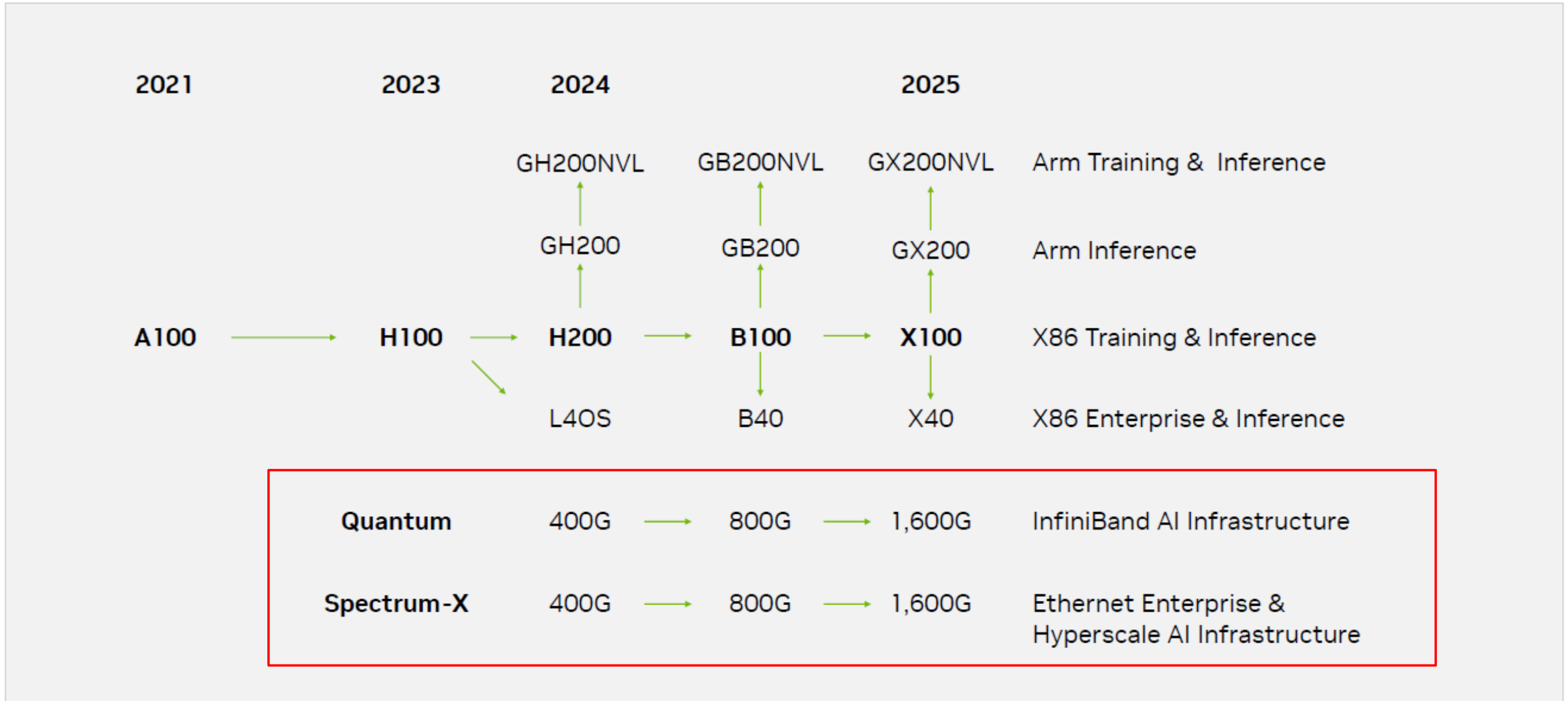


Image Source: NVIDIA

<https://wccftch.com/nvidia-accelerates-gpu-cpu-ai-roadmap-new-chips-launch-each-consecutive-year/>

2.AIシステムの技術動向：データー伝送の高速化②

- ・ファブリックスイッチのシリコンスイッチ帯域の増大
- ・トランシーバーは800Gが上市、将来的には1.6T、3.2Tへ移行

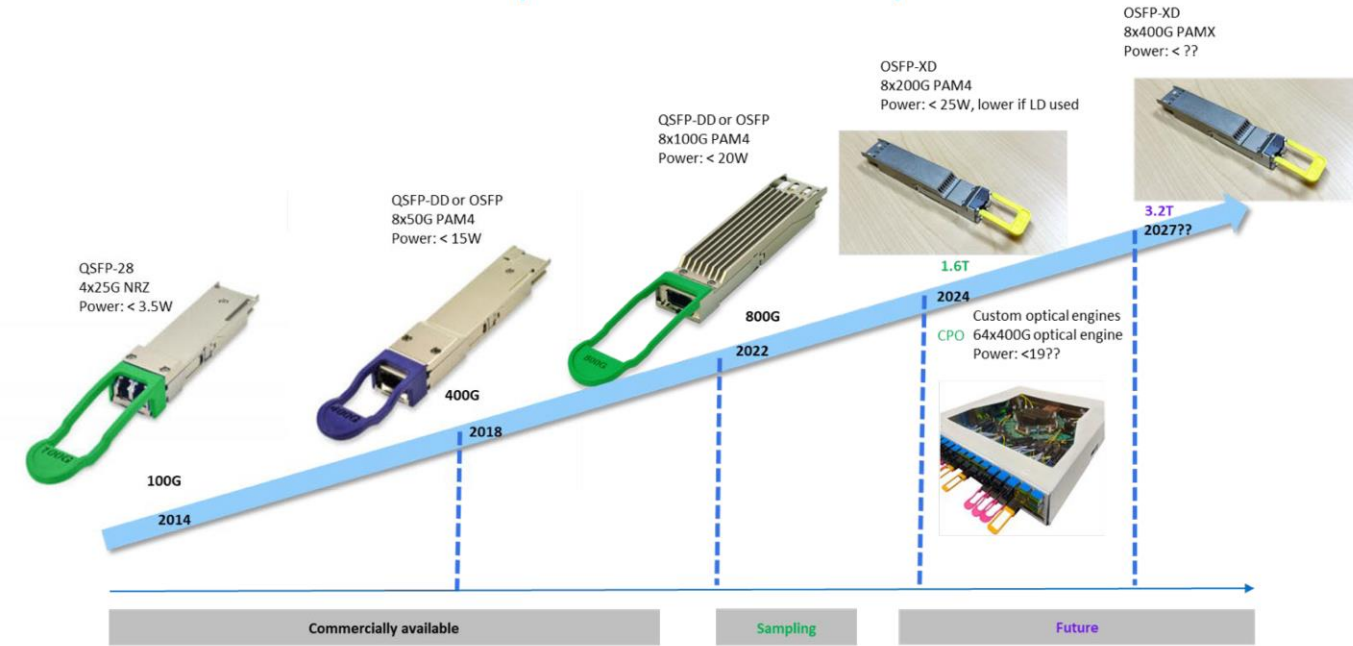
Relentless Advancement – Switch Silicon Bandwidth

Represents a combination of multiple chip families and architectures to provide historical context and future projections



- 2010-2022:
- 80X Switch Silicon Bandwidth Increase
 - 10X Optics Bandwidth Increase
 - Result: 8X fiber (or λ) increase per switch

ICP data center transceiver product roadmaps



Source: Module pictures provided by Coherent; CPO switch images provided by Cisco

© 2023 Omdia

出典：Cisco Systems, SP360: Service Provider Co-Packaged Optics and an Open Ecosystem (2021/01)
US Conec, Optical Connectivity Considerations for Co-Packaged Optics (2021/05)

出典：Omdia, Optical and Networks Market and Technology Update (2023/05)

- ・スイッチシリコン帯域：80倍、オプティクス帯域：10倍、光ファイバ(or 波長)：8倍
- ・トラフィック量増大を支える光トランシーバの大容量高速化と平行伝送のニーズの高まり

光ファイバの増大

2.AIシステムの技術動向：液冷サーバの導入促進

- GPUの消費電力増大により液冷サーバの導入が促進
- ラック内に実装するGPU数が増加
→ GPUラック～バックエンドSWラック間の光ファイバ数が増大



液冷システムのAI/LLMラック



液冷システムのGPUサーバー

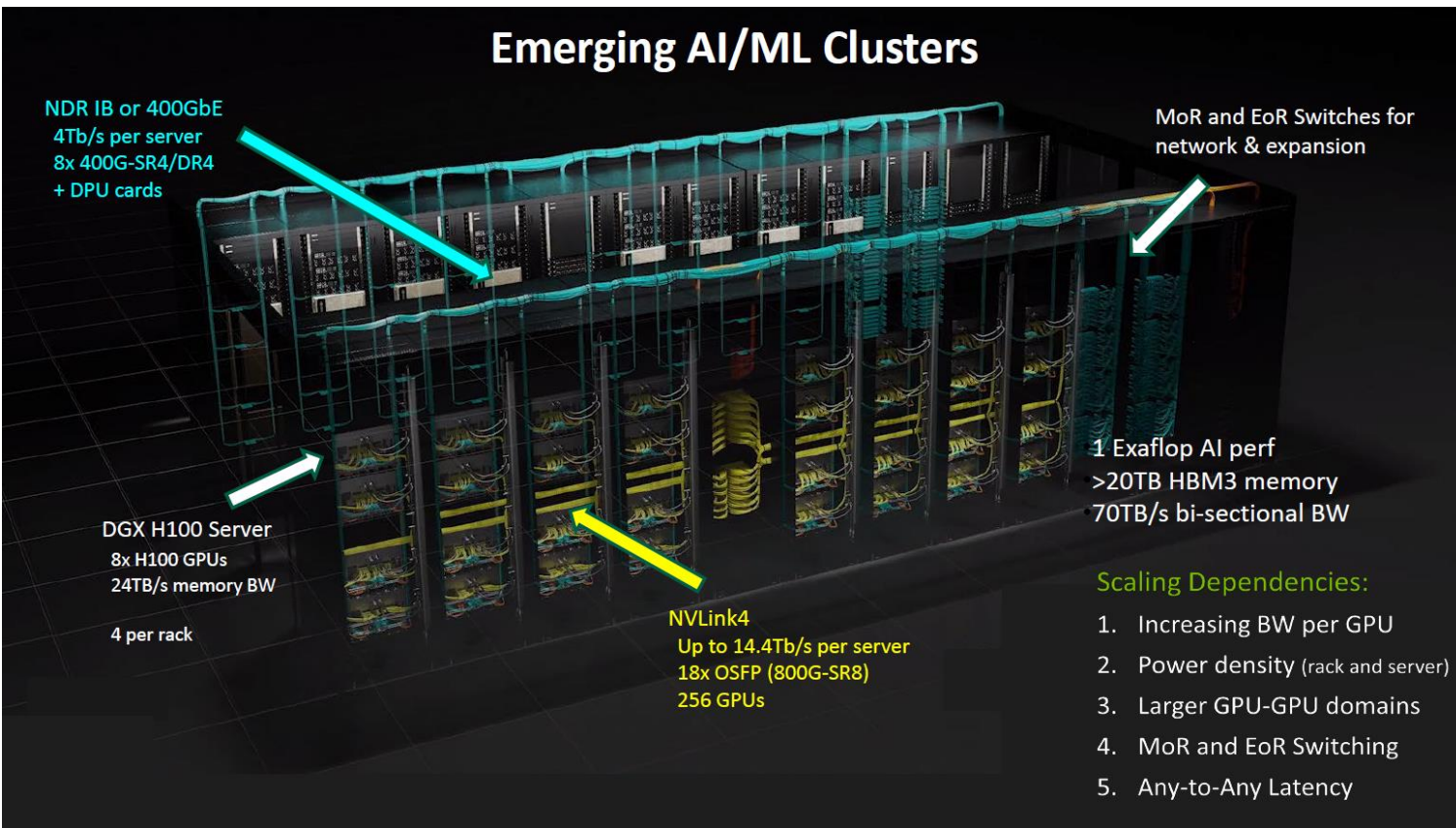
2. AIシステムの技術動向：光インターコネクットの増大

・光インターコネクット数の増加 (Ex. Meta 5~10倍) → 多心高密度光配線が必要

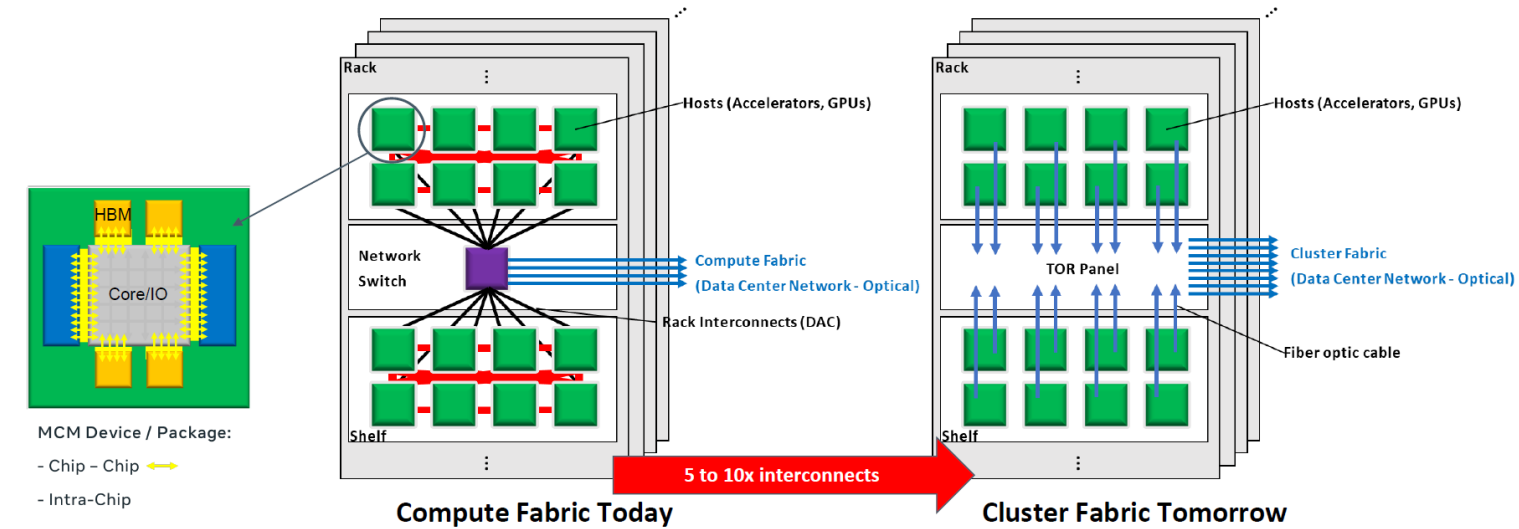
高性能AIサーバ、高速GPU、高速 & 低遅延リンク、低消費電力、MoR & EoRスイッチ

光インターコネクット数の増加 (Ex. Meta 5~10倍)

Emerging AI/ML Clusters



Interconnect Scaling Challenges



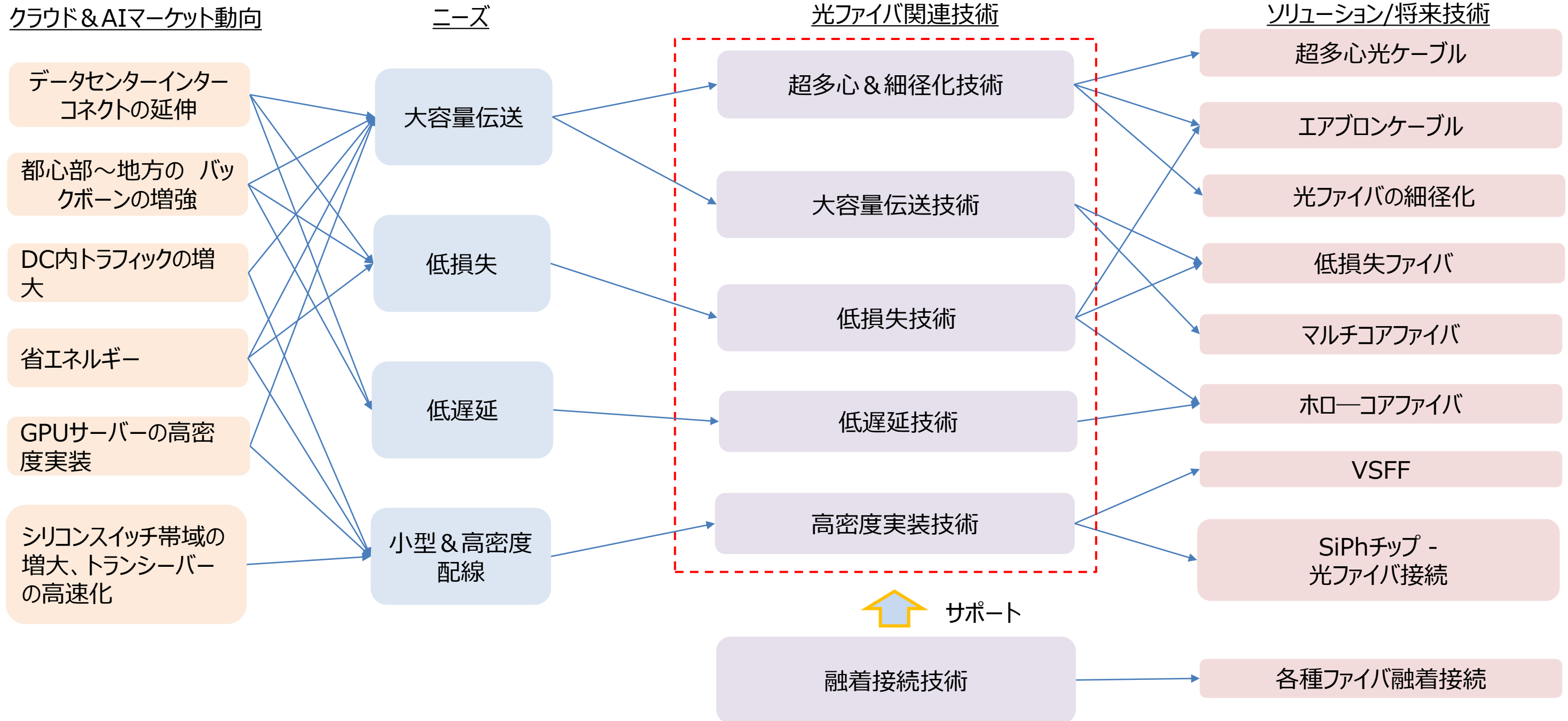
- The growth in AI/ML model size leads to increased cluster size & IO demand
 - Distance creates opportunity for new IO fabric architectures



(出典) Nvidia, What's Next for Optics in Artificial Intelligence / Machine Learning Systems (2022/12)
Meta, AI/ML - Opportunities for CPO Optical Interconnects (2022/12)

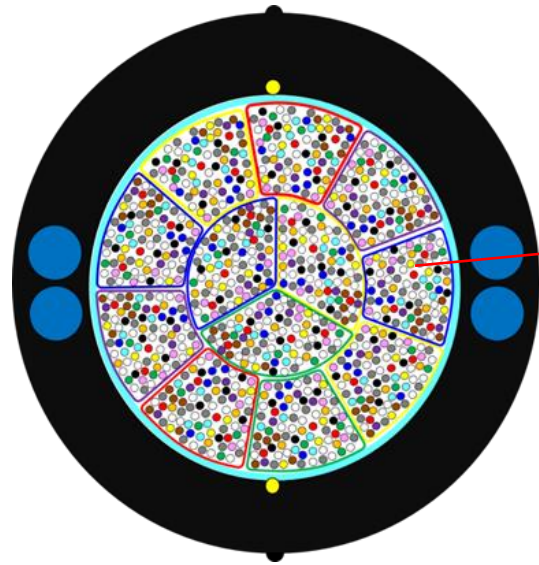
3.光ファイバ関連技術の動向

・データセンター間、データセンター内、装置内への光配線の浸透が進み、新たな技術が求められている

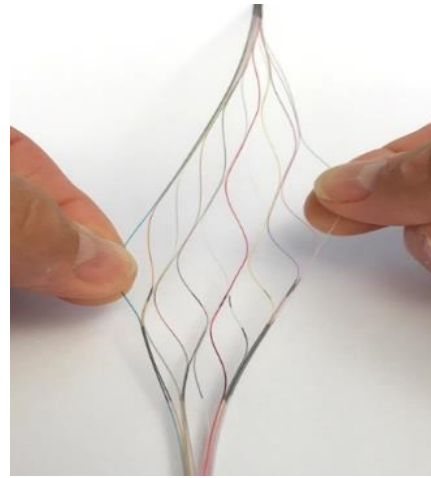


3.光ファイバ関連技術の動向：超多心光ケーブル SWR[®]/WTC[®]

・SWRおよびWTC技術により従来ケーブルより細径化と超多心化を実現

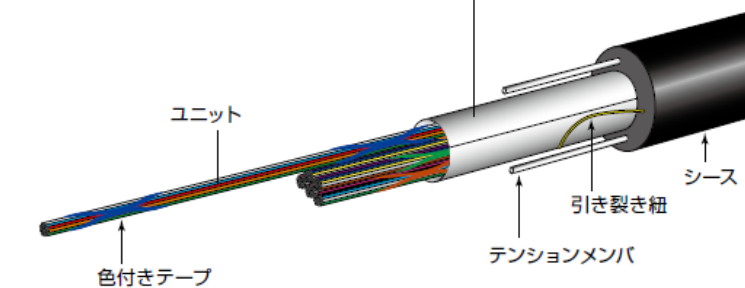
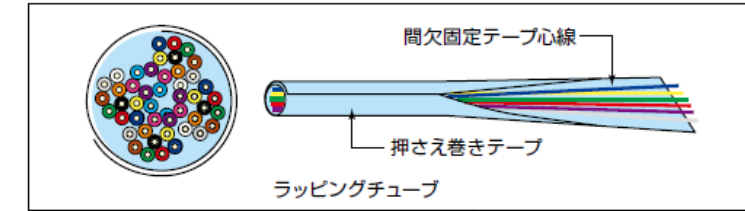


超多心光ケーブル：SWR[®]/WTC[®]



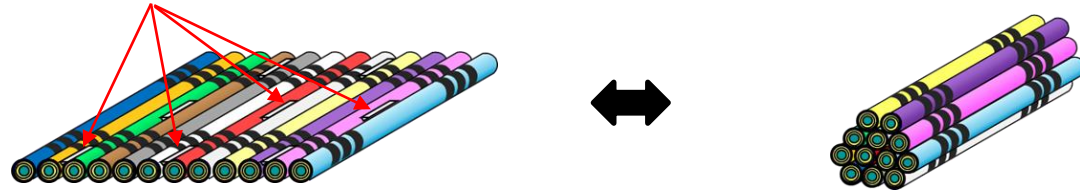
SWR[®]：Spider Web Ribbon[®]

+



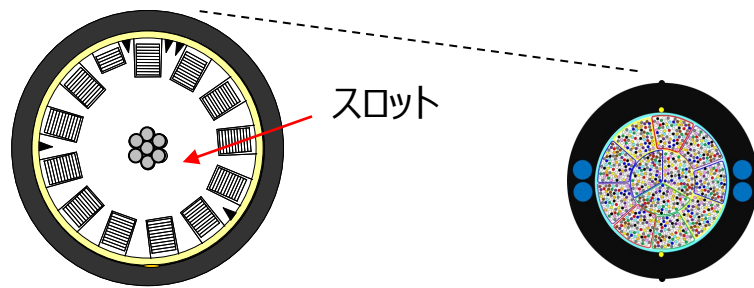
WTC[®]：Wrapping Tube Cable

ファイバを間欠的に接着



容易に変形するためスロット構造不要

1000心ケーブル
スロット型：φ23mm
SWR[®]/WTC[®]：φ18.5mm



スロット型ケーブルとの構造比較

SWR[®]/WTC[®] 超多心光ケーブルの外径寸法

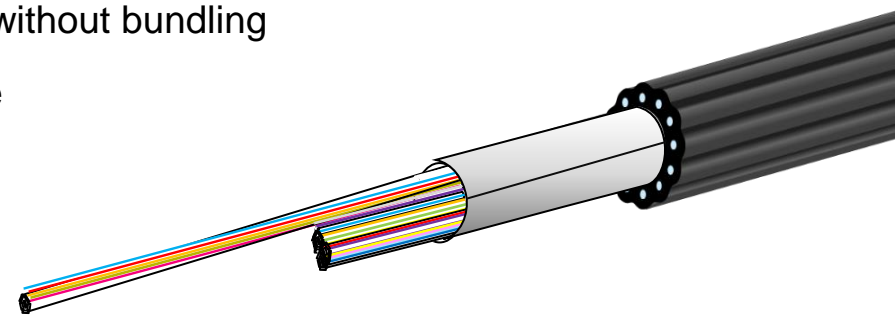
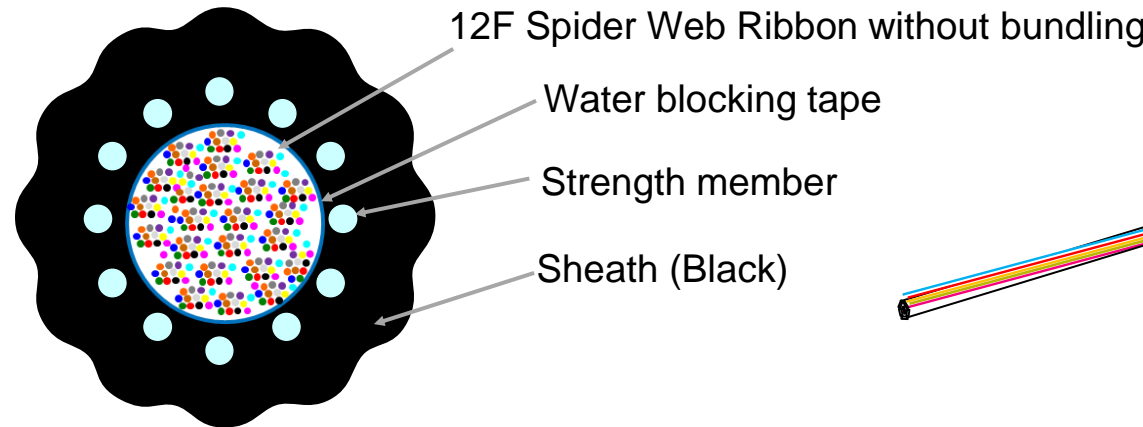
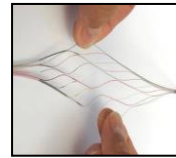
ファイバ心数	1,728f	3,456f	6,912f
断面構造			
外径	21.5mm	26.5mm	29.8mm

*200μmファイバ使用

3.光ファイバ関連技術の動向：エアブロンケーブル(AB-WTC™)

- ・ケーブル敷設ダクトの使用効率から細径高密度エアブロンWTCのニーズの高まり
- ・ケーブル延線長の延伸による融着接続箇所削減（ロス低減、施工費削減）

Air Blown Wrapping Tube cable™ (AB-WTC™)



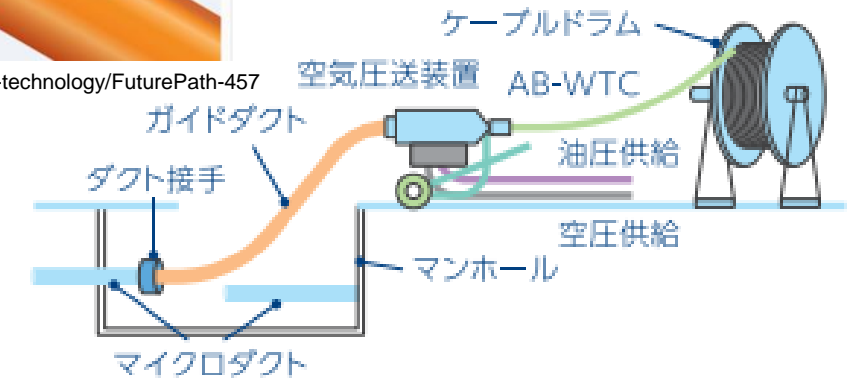
AB-WTC™の外径寸法

ファイバ心数	144F	288F	432F	864F
外径(mm)	6.6	8.1	9.7	11.5
ダクト内径(mm)	10	12	12	14



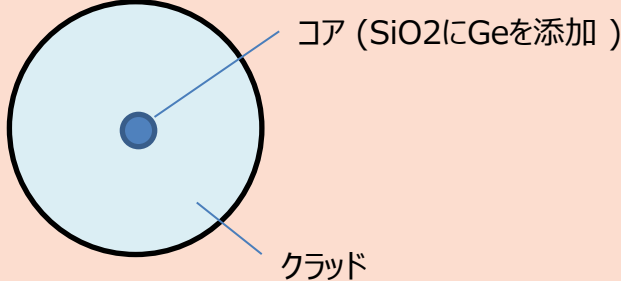
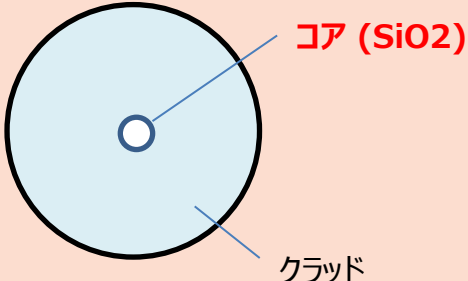
<https://www.duraline.com/micro-technology/FuturePath-457>

空気圧送工法



3.光ファイバ関連技術の動向：CSFファイバ(ITU-T G.654.E)

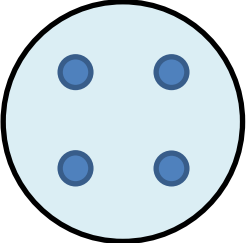
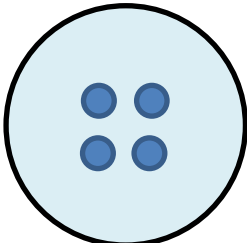
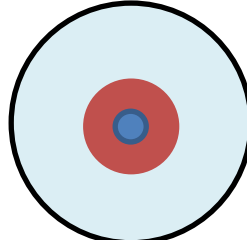
- コア材料をPure silicaとすることで更なる伝送損失低減を実現
- モードフィールド径を拡大することで、パイパワーの伝送が可能 ⇒ 大容量伝送向け

項目	標準SMファイバ ITU-T G.657.A1	Long Haul向け ITU-T G.654.E
使用波長	1310nm,1550nm, 1625nm	1550nm, 1625nm
モードフィールド径 (MFD)	8.6 μm @1310nm (9.6 μm @1550nm *参考値)	12.0 μm @1550nm
ケーブルカットオフ波長	1260nm以下	1530nm以下
伝送ロス @1550nm	0.185 dB/km (参考値)	0.166 dB/km (参考値)
構造		
特徴	複数波長で適応可能のため 流通量が多く比較的安価	1550nm帯で低損失 長距離のDWDM伝送に適している

3.光ファイバ関連技術の動向：マルチコアファイバ(MCF)

- 大容量伝送実現のために空間分割多重(SDM)伝送用ファイバを検討
- マルチコアファイバ(MCF)はSDMファイバの一つで1つのファイバに複数のコアをもつ構造

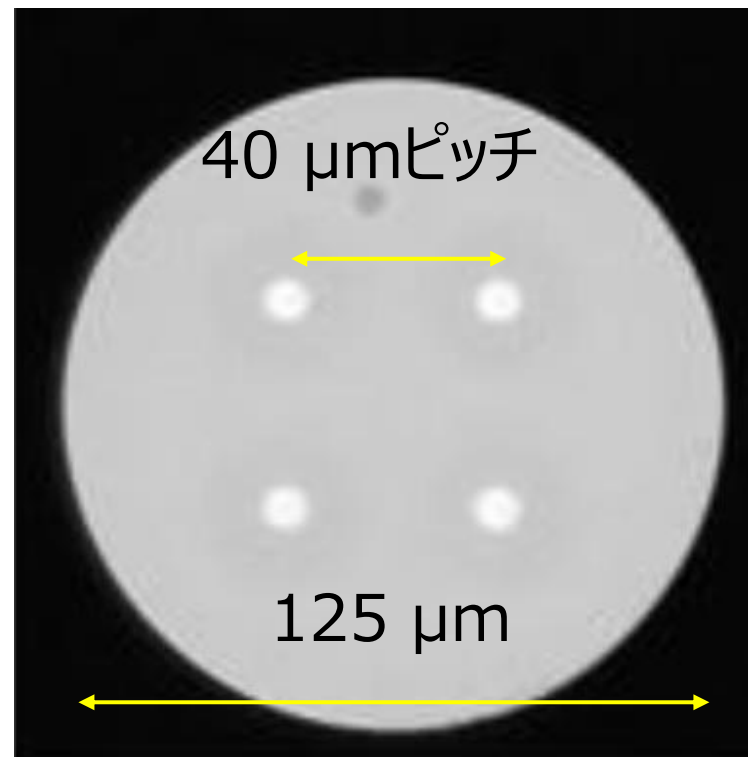
空間分割多重 (SDM) ファイバ

		空間多重 拡張性	信号処理 容易性
SMF (通常の光ファイバ)	<p>弱結合型マルチコアファイバ (Weakly-Coupled Multi-Core Fiber : WC-MCF) いわゆるMCF</p>  <p>1つの伝搬モードを有する 複数のコア</p>	小	大
1つの伝搬モードを有する1つのコア	<p>結合型マルチコアファイバ (Coupled-Core Multi-Core Fiber : CC-MCF)</p>  <p>結合しながら伝搬するモードを有する 複数のコア</p>	中	中
	<p>フューモードファイバ (Few Mode Fiber : FMF)</p>  <p>複数の伝搬モードを有する 1つのコア</p>	大	小

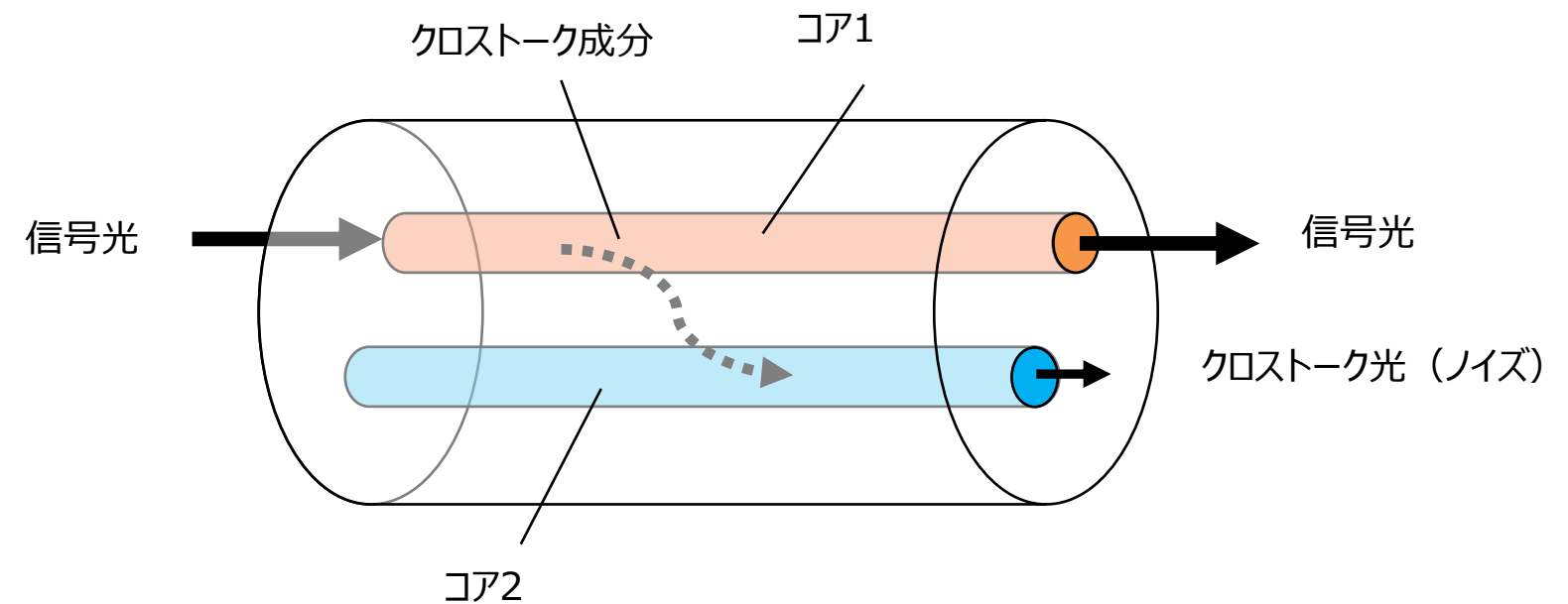
3.光ファイバ関連技術の動向：マルチコアファイバ(MCF)

- 信号処理が容易な弱結合型のMCFが実用化のフェーズ
- 既存装置や治工具との親和性の高い標準クラッド外径(125 μm)をもつ

標準クラッド外径4コアMCF



コア間クロストーク

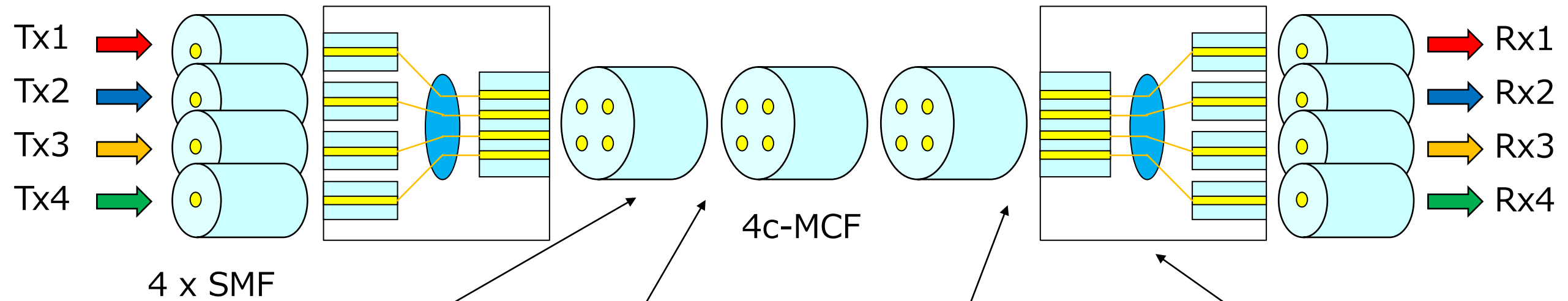


- 既存の光ファイバと同じ細さ
- 細径被覆 (200 μm) も適用可
- コア間クロストークを考慮し、4つのコアを正方配置 \rightarrow 4倍の空間利用効率
- 光学特性は汎用SMFとの互換性を維持

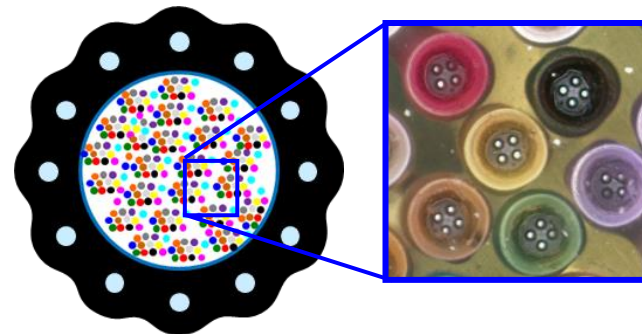
3.光ファイバ関連技術の動向：マルチコアファイバ(MCF)

- 4コアマルチコアファイバはファイバ4本分を1本のファイバで伝送
- 端末はFan-in Fan-outデバイスで集約および分離を行う

4c-MCFによる伝送の概略



MCF / ケーブル



融着接続



Fusion splicer

コネクタ

MCF-LC connector



MCF-MPO connector



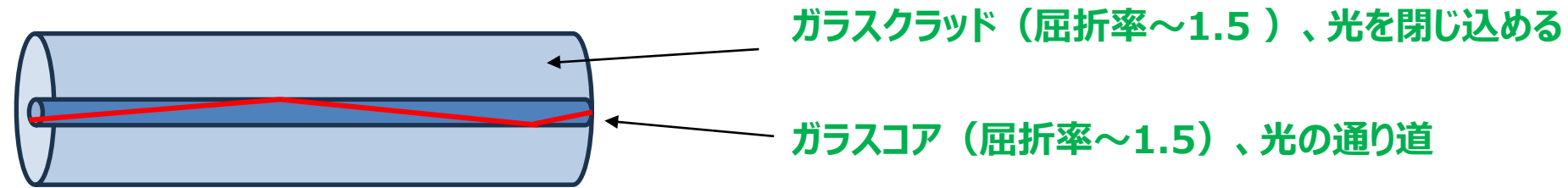
ファンインファンアウトデバイス
Fan-in Fan-out (FIFO) device



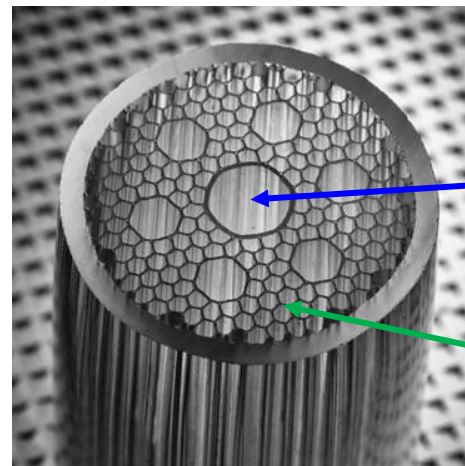
3.光ファイバ関連技術の動向：中空コアファイバ(HCF)

- 光の伝搬部に空洞をもつ光ファイバ
- ガラスコアと比較して1.5倍速く信号が伝搬するため通常光ファイバより低遅延で伝送が可能

- 通常の（全個体型）光ファイバは、コアの屈折率をクラッドよりもわずかに高くすることで全反射の原理を利用して光を導波する。



- ホローコアファイバは、中心に位置する空洞の周囲に形成したガラスの周期構造が光の通過を遮断し、光を閉じ込めて導波する。→ガラスコアと比べて1.5倍速く信号が伝搬

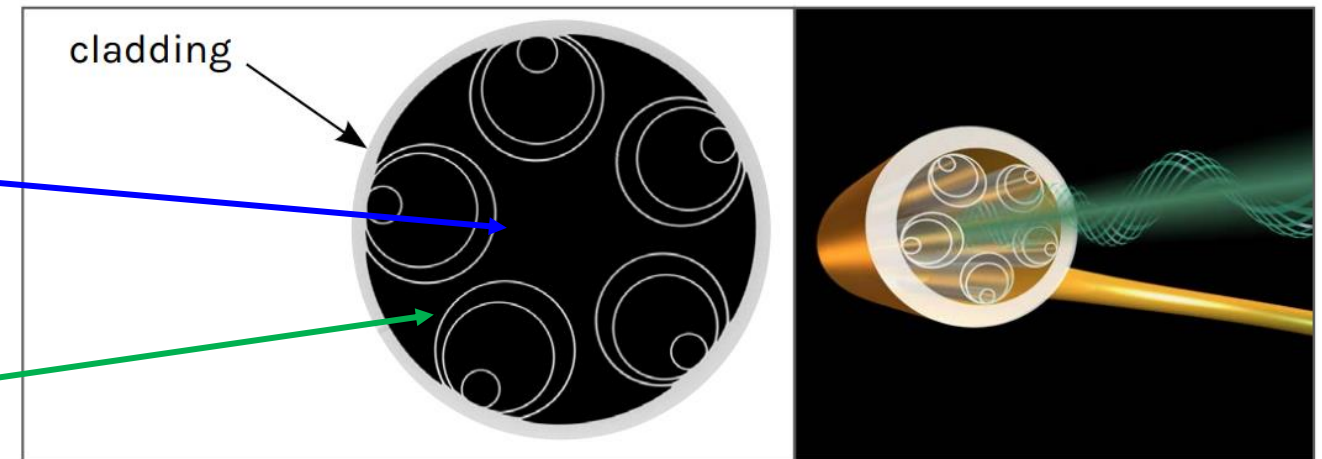


空洞（屈折率～1）
光の通り道

ガラス（屈折率～1.5）
光を閉じ込める周期構造

フォトリックバンドギャップ型

出典：<https://www2.ofsoptics.com/accucore-hcf>



NANF(Nested Anti-resonant Nodeless Fiber)型

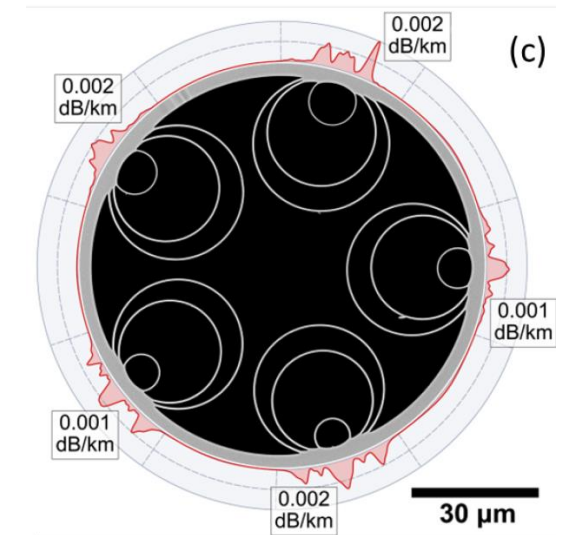
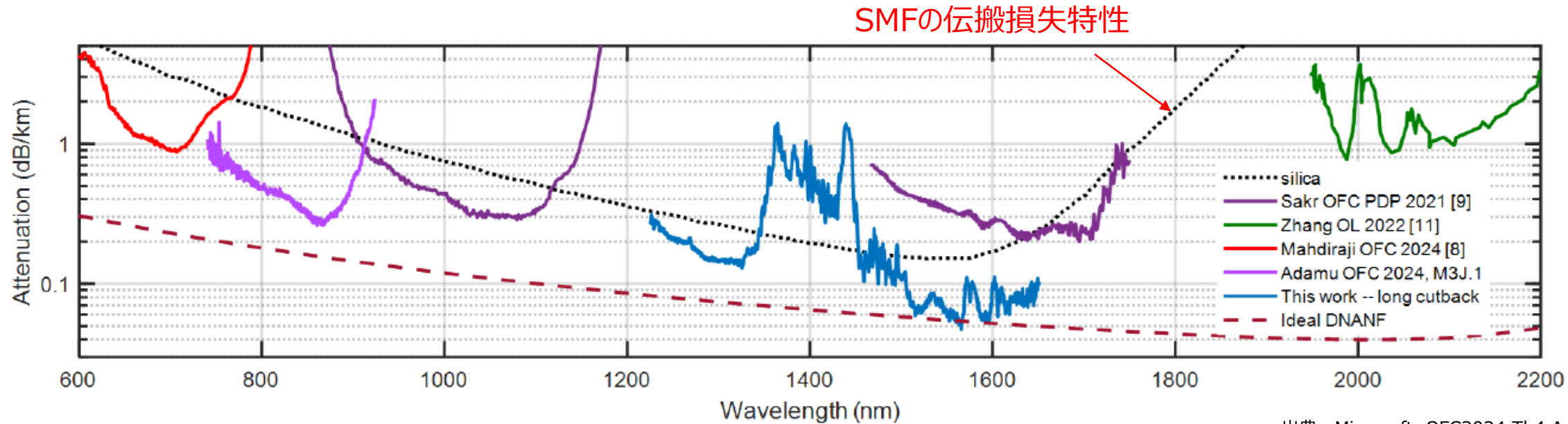
出典：Lumenicity, white paper

3.光ファイバ関連技術の動向：中空コアファイバ(HCF)

- NANF型の登場により劇的な損失性能の改善
- SMFを上回る低損失性

HCFの最低損失記録の変遷

Year	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Loss (dB/km)	1.3	0.65	0.28	0.22	0.17	0.11



出典：Microsoft, OFC2024 Th4.A.8

○課題

- 周辺技術：ケーブル・コネクタ・融着接続など
- ファイバの生産性

3.光ファイバ関連技術の動向：超小型フォームファクタ(VSFF)

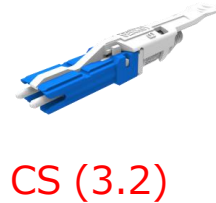
・トランシーバの高速化に伴いVSFF(Very Small Form Factor)のインターフェースが登場

OSFP-XD 1.6T光トランシーバ用光コネクタ/MSA

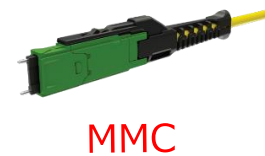
OSFP: SFF (Duplex LC) + MPO + VSFF (CS, MDC, SN) に加えて、
OSFP-XD: VSFF (MMC, SN-MT) を追加

() : Ferrule Pitch [mm]

デュプレックス
1.25 mm径
フェルール



マルチファイバ
MTフェルール



OSFP-XD(1.6T)

PMD*	Notes	Fiber	Connector	Remarks
1600G DR16 (1λ SMF)	16 x 1λ x 100G	32	(Dual) MPO/MMC/SN-MT	500 m
1600G DR8 (1λ SMF)	8 x 1λ x 200G	16	MPO, MMC, SN-MT, 8xMDC/SN	500 m
1600G 4FR2 (2λ SMF)	4 x 2λ x 200G	8	MPO, MMC, SN-MT, Quad MDC/SN	2 km
1600G ZR2 (2λ SMF)	1 x 2λ x 800G	2	Duplex LC, Mini-LC, CS	80 km
1600G 4FR4 (4λ SMF)	4 x 4λ x 100G	8	MPO, MMC, SN-MT, Quad MDC/SN	2 km
1600G 2FR4 (4λ SMF)	2 x 4λ x 200G	4	Dual CS/MDC/SN/Duplex LC	2 km
1600G 2FR8 (8λ SMF)	2 x 8λ x 100G	4	Dual CS/MDC/SN/Duplex LC	2 km
1600G FR8 (8λ SMF)	1 x 8λ x 200G	2	Duplex LC, Mini-LC, CS	2 km

MTフェルールを持つ
VSFFが使われる

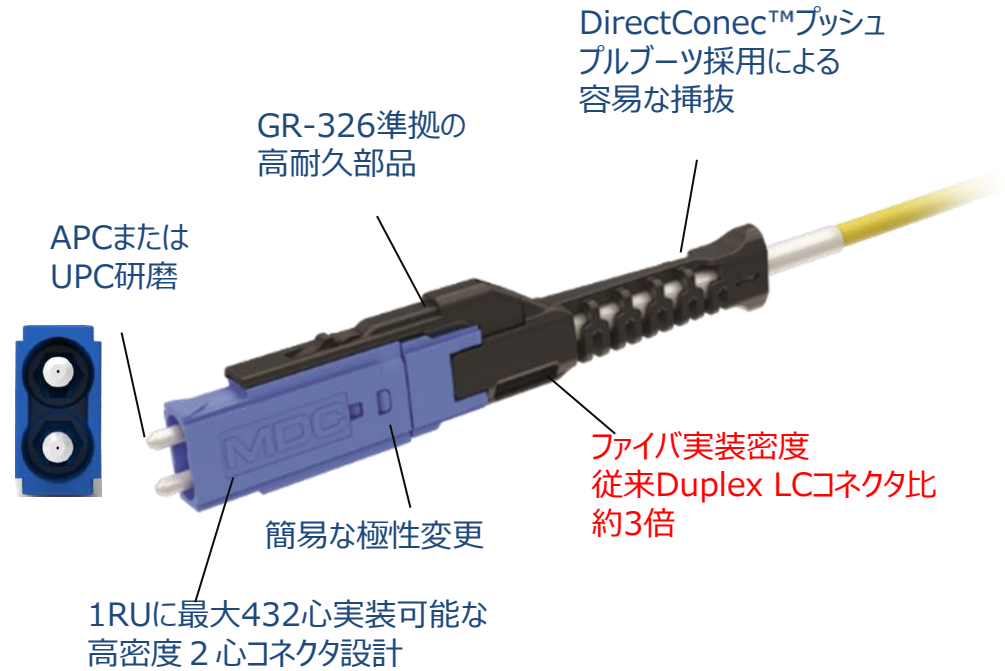
*Other PMDs: 1600G-SR16, SR8.2, FR16, LR16, ER16

*Physical Medium

(出典) OSFP-MSA, Specification for OSFP-XD, Octal Small Form Factor eXtra Dense Pluggable Module (2023/03)

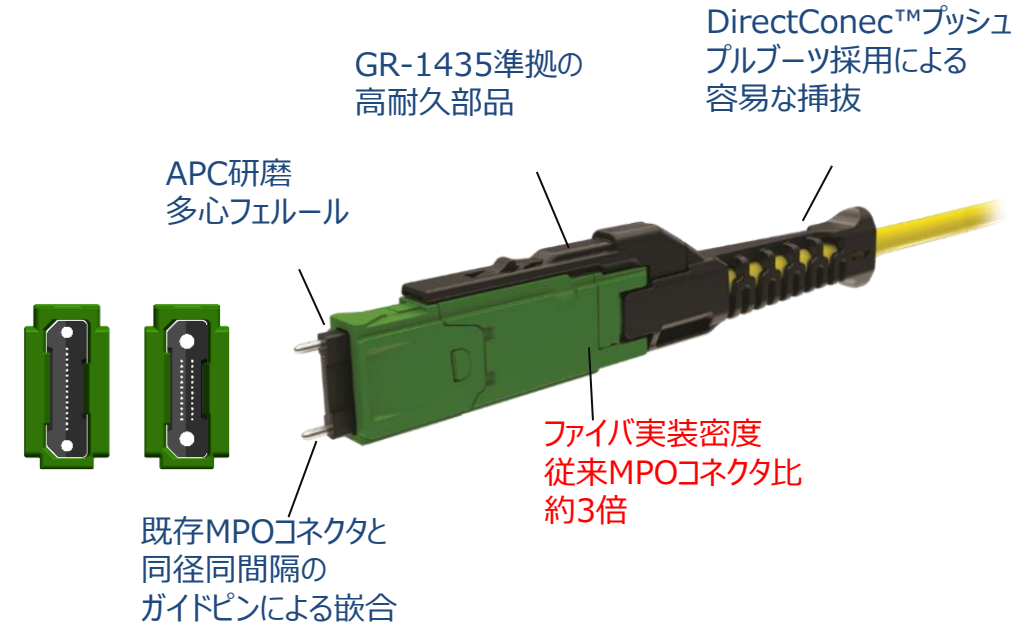
3.光ファイバ関連技術の動向：超小型フォームファクタ(VSFF)

- ・超小型フォームファクタ VSFF MDC/MMC光コネクタ
- ・高密度プラットフォームで、Duplex LC/MPOコネクタの3倍のポート密度を実現



MDCコネクタ

特徴	ELiMENT™ MDCコネクタ
心数	2心 (Duplex)
挿入損失	0.25 dB @ ≥ 97%値

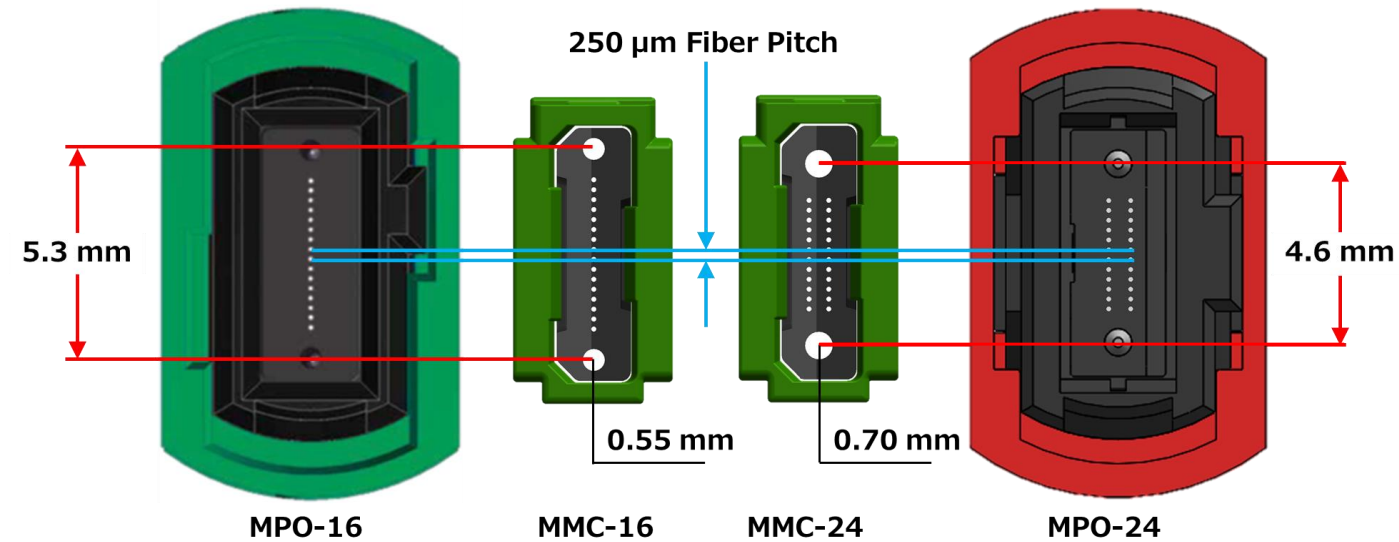


MMCコネクタ

特徴	MMCコネクタ
心数	16心、24心
挿入損失	0.25 dB @ ≥ 97%値
光ファイバ間隔	250μm間隔対応 (200, 165um間隔対応可)

3.光ファイバ関連技術の動向：超小型フォームファクタ(VSFF)

- ・MMCコネクタは既存および次世代のファイバシステムに対応可能



互換性：

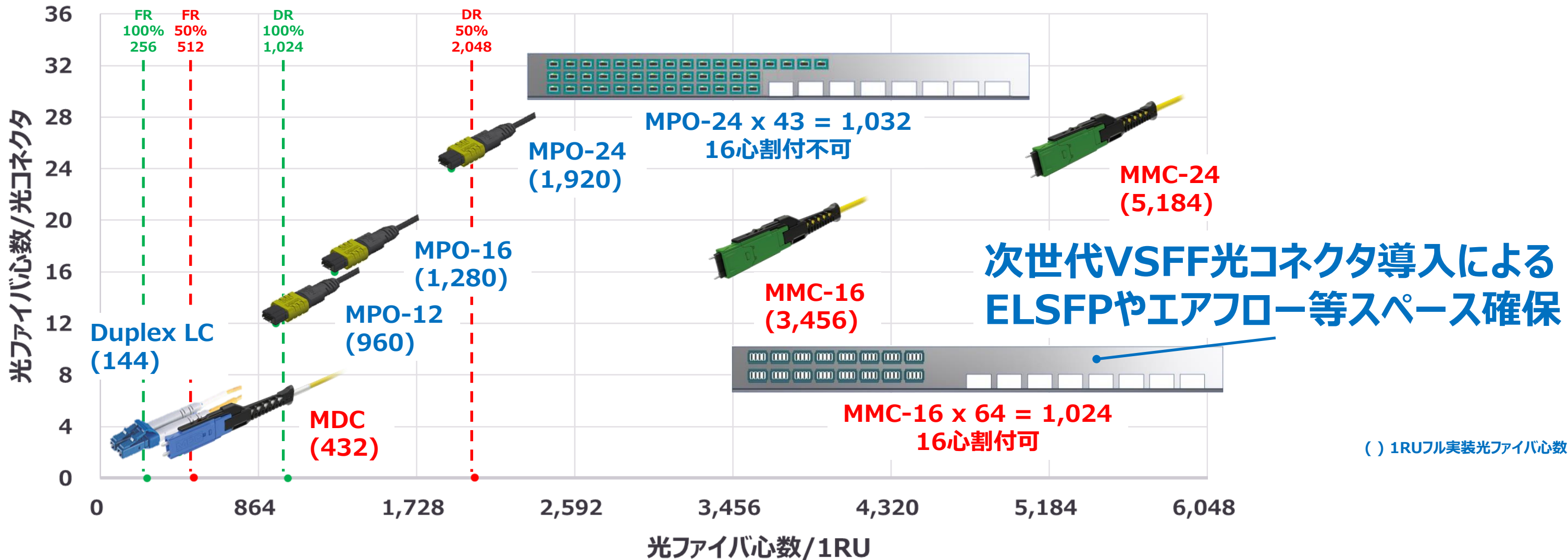
既存システム：250 μm径光ファイバ/ピッチ光ファイバリボンに対応可

次世代システム：200/165 μm径光ファイバ/ピッチ光ファイバリボンに対応可

3.光ファイバ関連技術の動向：超小型フォームファクタ(VSFF)

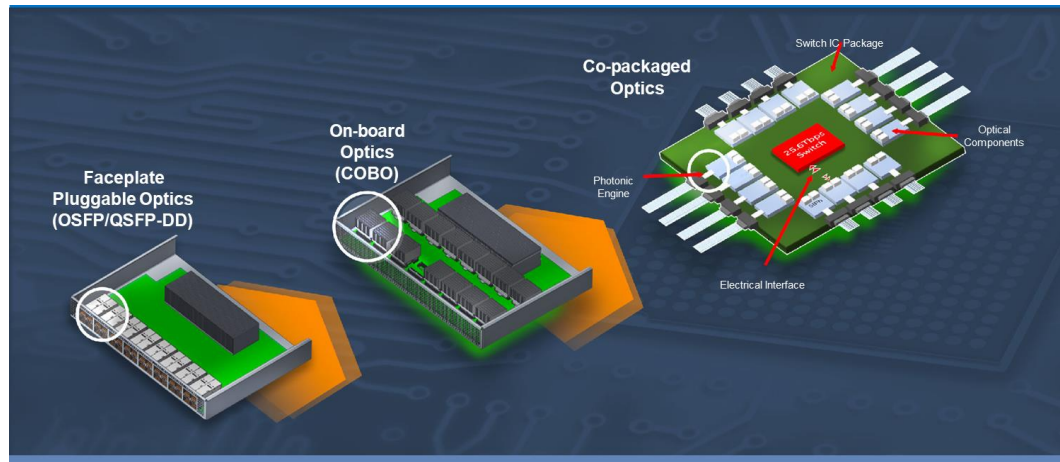
・CPOスイッチフェイスプレート必要光ファイバ心数とそれを実現する次世代VSFF光コネクタ

ELSFP等実装スペース確保の為、51.2T CPO FR/DRスイッチ1RUフェイスプレート約半分のスペースで256心/1,024心を実現可能な次世代VSFF光コネクタ：Ex. MDC/MMC-16

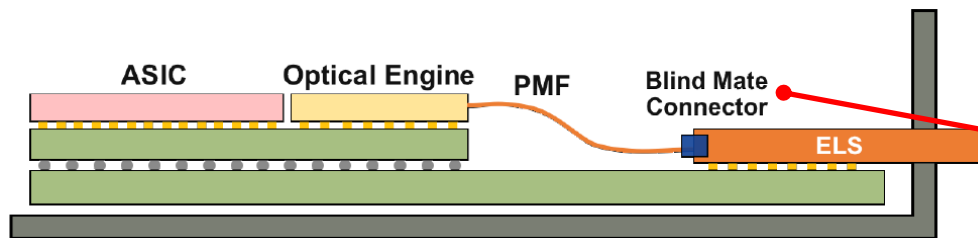
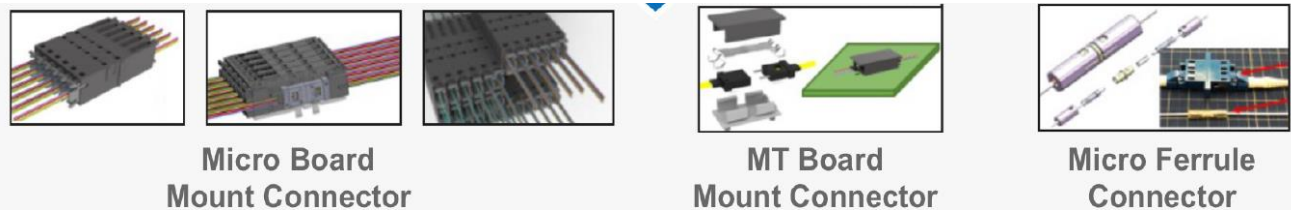


3.光ファイバ関連技術の動向：光電融合技術

・Co-packaged Optics (CPO) において光接続技術は重要な要素



Pluggable → OBO → CPO

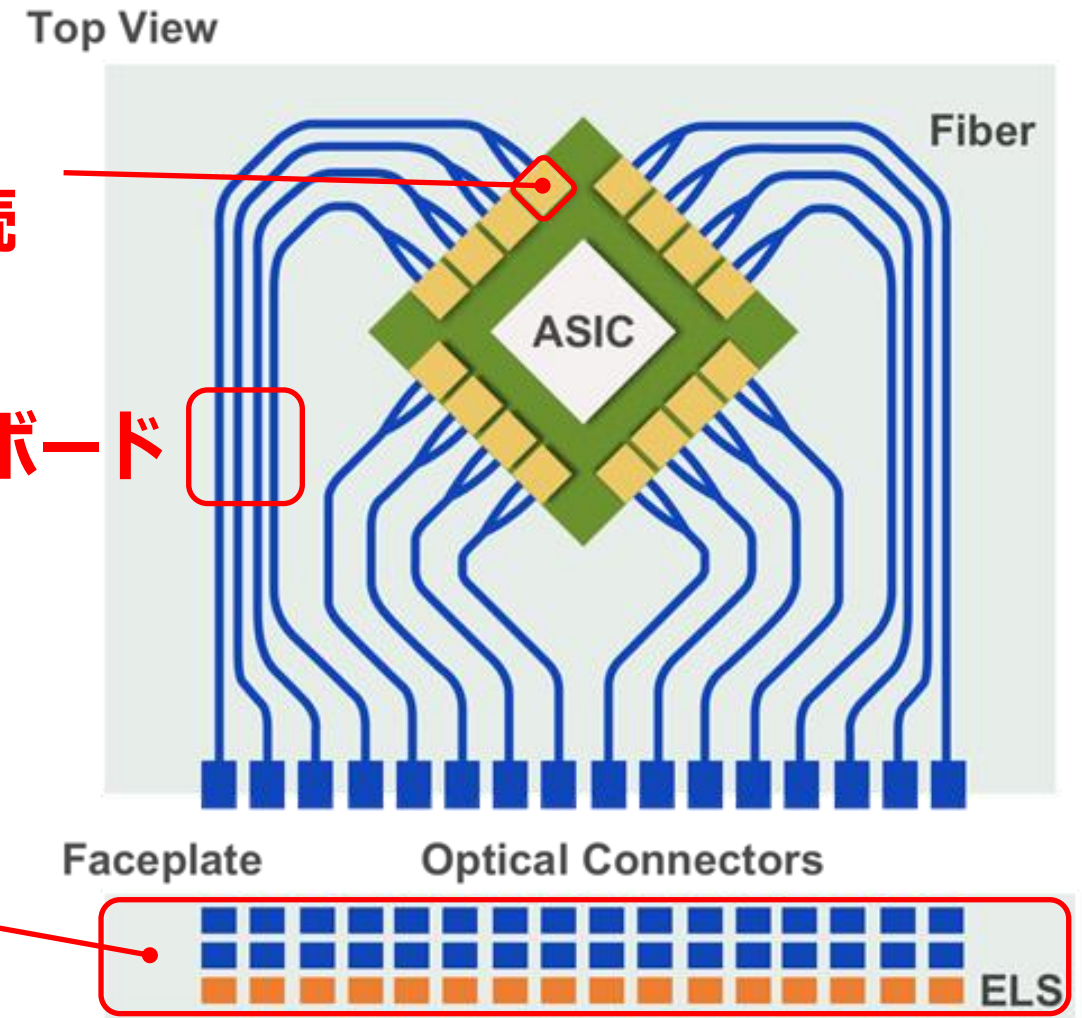


SiPhチップ
光ファイバ接続

ミッドボード

フェースプレート
外部光源ELSFP*

*External Laser Small Form Factor Pluggable

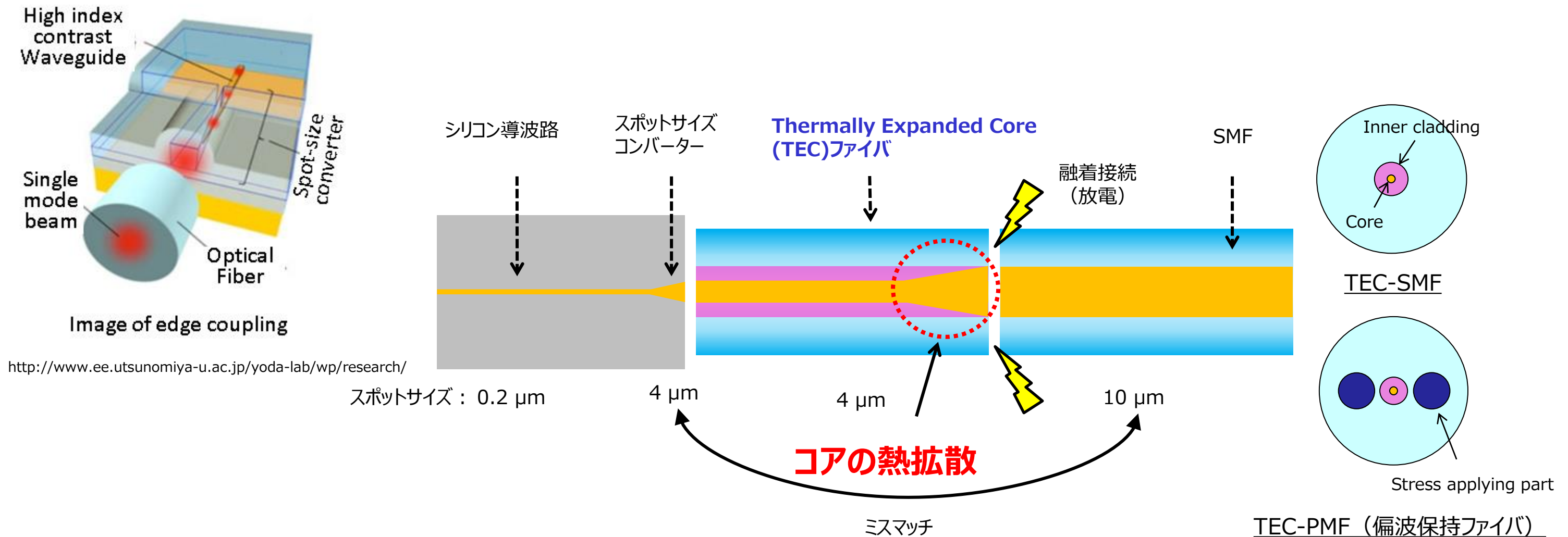


51.2 Tbps switch CPO layout example

(出典) COBO, Whitepaper Progress Update: Design Considerations of Optical Connectivity in a Co-Packaged or On-Board Optics Switch (2022/07)

3.光ファイバ関連技術の動向：光電融合技術

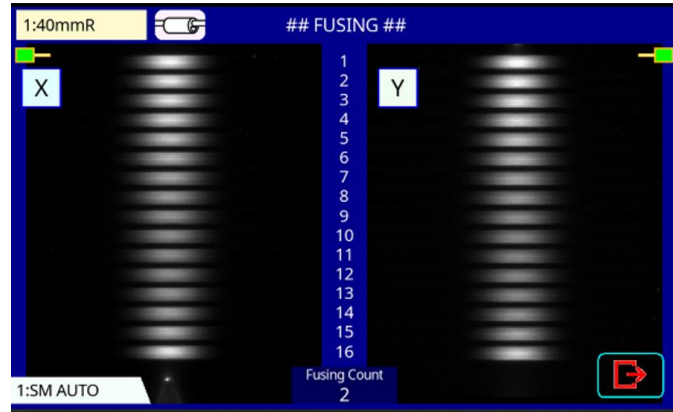
・シリコンフォトニクス分野においてシリコン導波路と光ファイバの接続技術を検討



- Si導波路とSMFのコア径ミスマッチを解消し、低損失なチップーファイバ接続を実現
- TECファイバとSMFの融着損失：0.1～0.3 dB

3.光ファイバ関連技術の動向：融着接続技術

・様々なファイバやファイバリボンの融着接続技術の検討を進めている

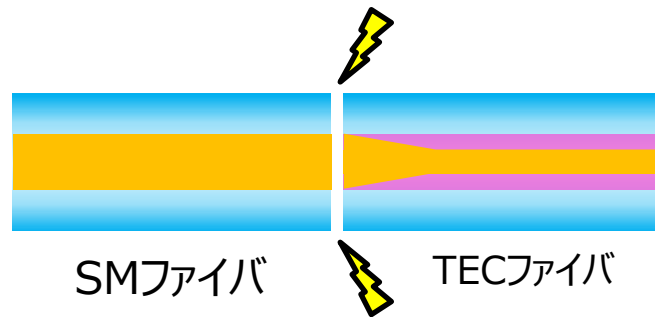


多心一括接続技術 16心SWR接続

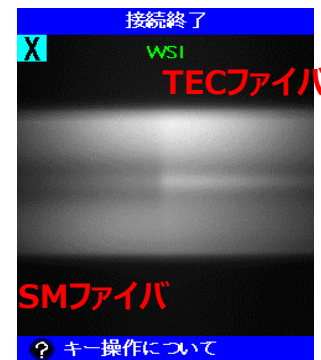


細径ファイバ融着接続

融着接続（放電）

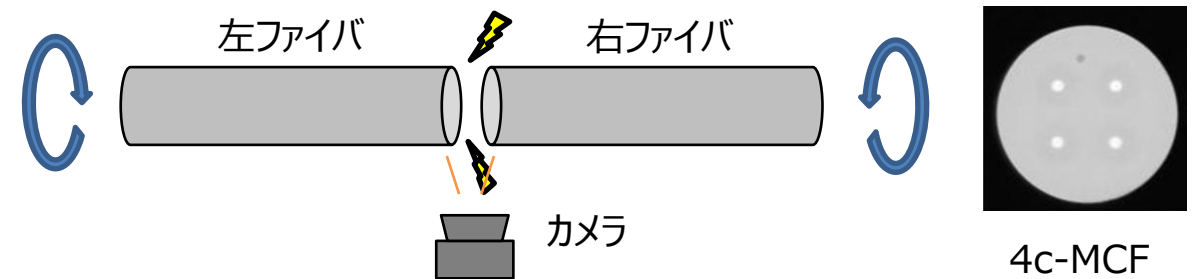


TECファイバ - SMファイバ接続



融着接続機

融着接続（放電）

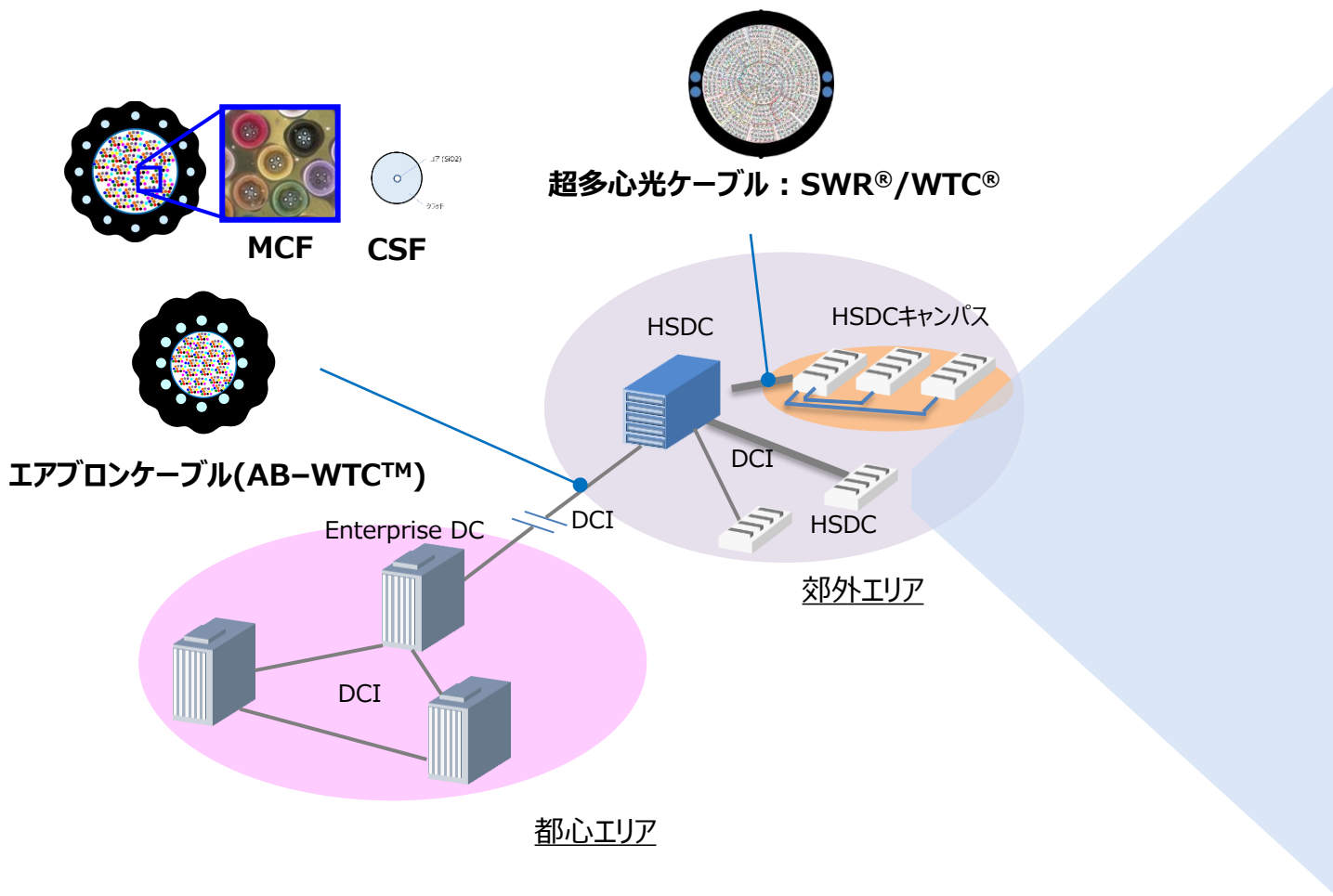


マルチコアファイバ接続

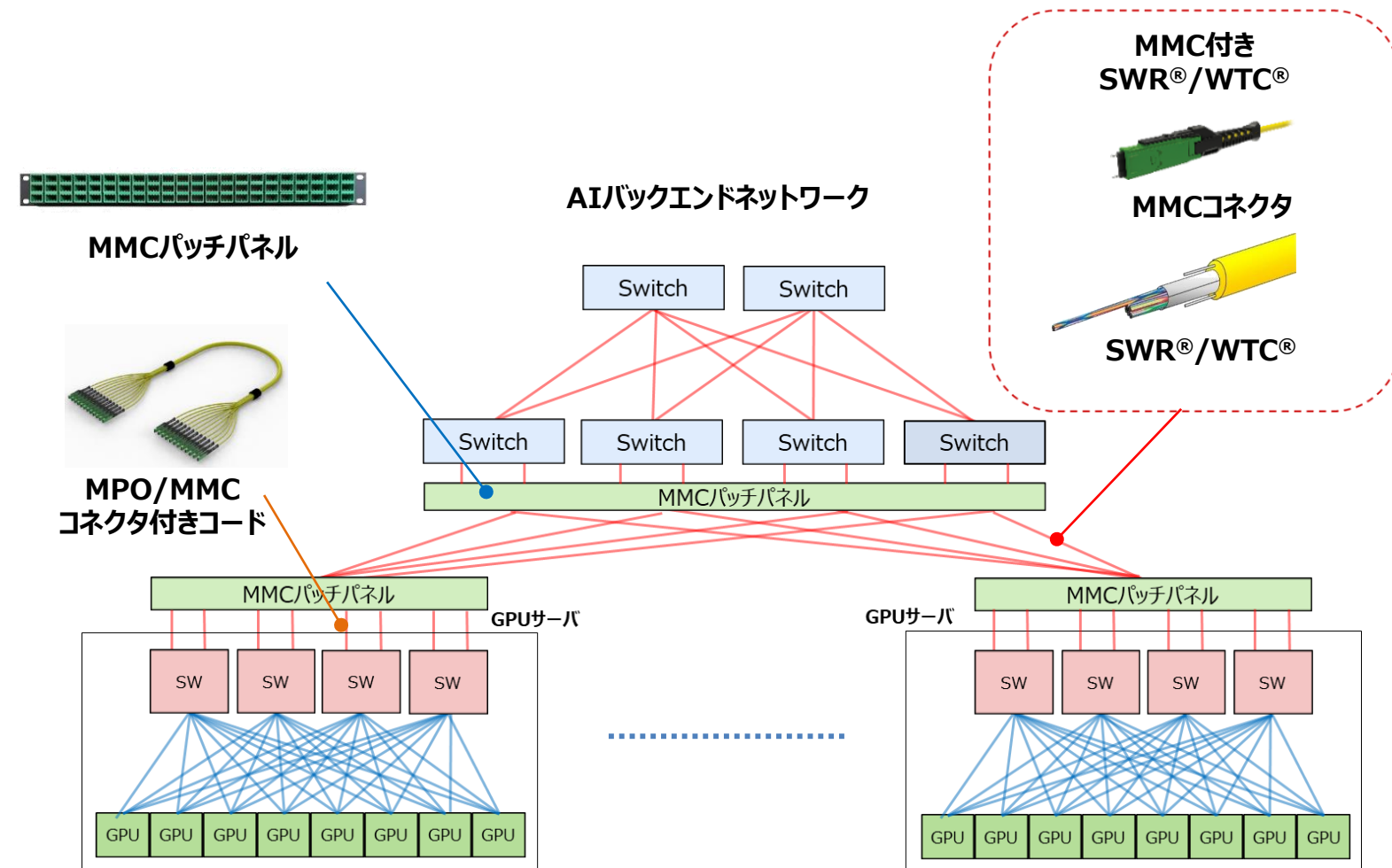
4.クラウド&AIデータセンターへの光ファイバ関連技術の適用例

・データセンター内外で光ファイバ関連技術の導入が促進

データセンターインターコネクト



データセンター内配線(AIシステム Backend側)





5.まとめ

- ・クラウドが浸透し継続成長、背景にはAI市場の急成長がある
- ・データセンター内外においてデータ量は増大し、データ伝送の分野で長距離～極短距離まで光配線の浸透が加速
⇒ 光ファイバ関連において新技術が求められている
- ・光ファイバ関連技術におけるキーワードは**超多芯&細径化、大容量伝送、低損失、低遅延、高密度実装、高度なファイバ接続技術**
- ・これらを実現するための研究開発、製品化が今後進展していく



ご清聴ありがとうございました