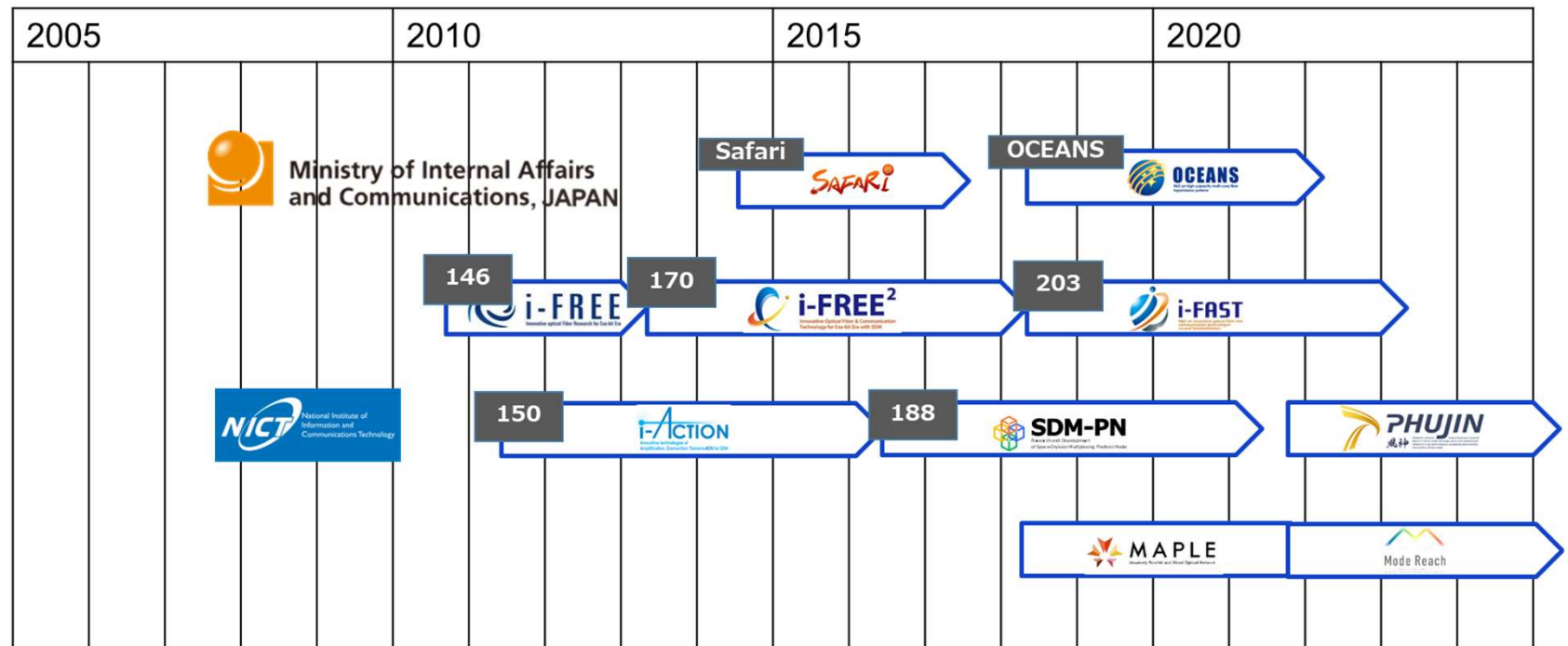


# 【フォトニックデバイス・応用技術研究会】 マルチコア光ファイバの標準化展望

NTTアクセスサービスシステム研究所

中島 和秀

# 空間分割多重(SDM)



[https://opg.optica.org/directpdfaccess/87cb89d9-f8cd-4ced-9e6b3fe91fb8e2ed\\_92947/ofc-1979-wb1.pdf?da=1&id=92947&uri=OFC-1979-WB1&seq=0&mobile=no](https://opg.optica.org/directpdfaccess/87cb89d9-f8cd-4ced-9e6b3fe91fb8e2ed_92947/ofc-1979-wb1.pdf?da=1&id=92947&uri=OFC-1979-WB1&seq=0&mobile=no)  
[https://opg.optica.org/directpdfaccess/13120529-e0d8-43ed-b69d2bca8aa153a7\\_25841/ao-21-11-1950.pdf?da=1&id=25841&seq=0&mobile=no](https://opg.optica.org/directpdfaccess/13120529-e0d8-43ed-b69d2bca8aa153a7_25841/ao-21-11-1950.pdf?da=1&id=25841&seq=0&mobile=no)

# 講演内容

- 1. 光線路技術の国際標準化**  
変遷と近年の動向
- 2. マルチコア光ファイバの国際標準化**  
標準クラッド径と後方互換  
幾何学構造とクロストーク
- 3. マルチコア光ファイバの実用展開**  
アプリケーションと要素技術  
マルチコア光ファイバのエコシステム
- 4. むすび**

# 光線路技術の国際標準化



国際電気通信連合  
電気通信標準化部門

## 【相互接続標準】

Study Group 15

└ Working Party 2

└ Question

- 5 光ファイバ・ケーブル
- 6 陸上光システム
- 7 屋外設備と光接続
- 8 海底光システム



国際電気標準会議



## 【製品規格】

Technical Committee 86



└ Sub Committee

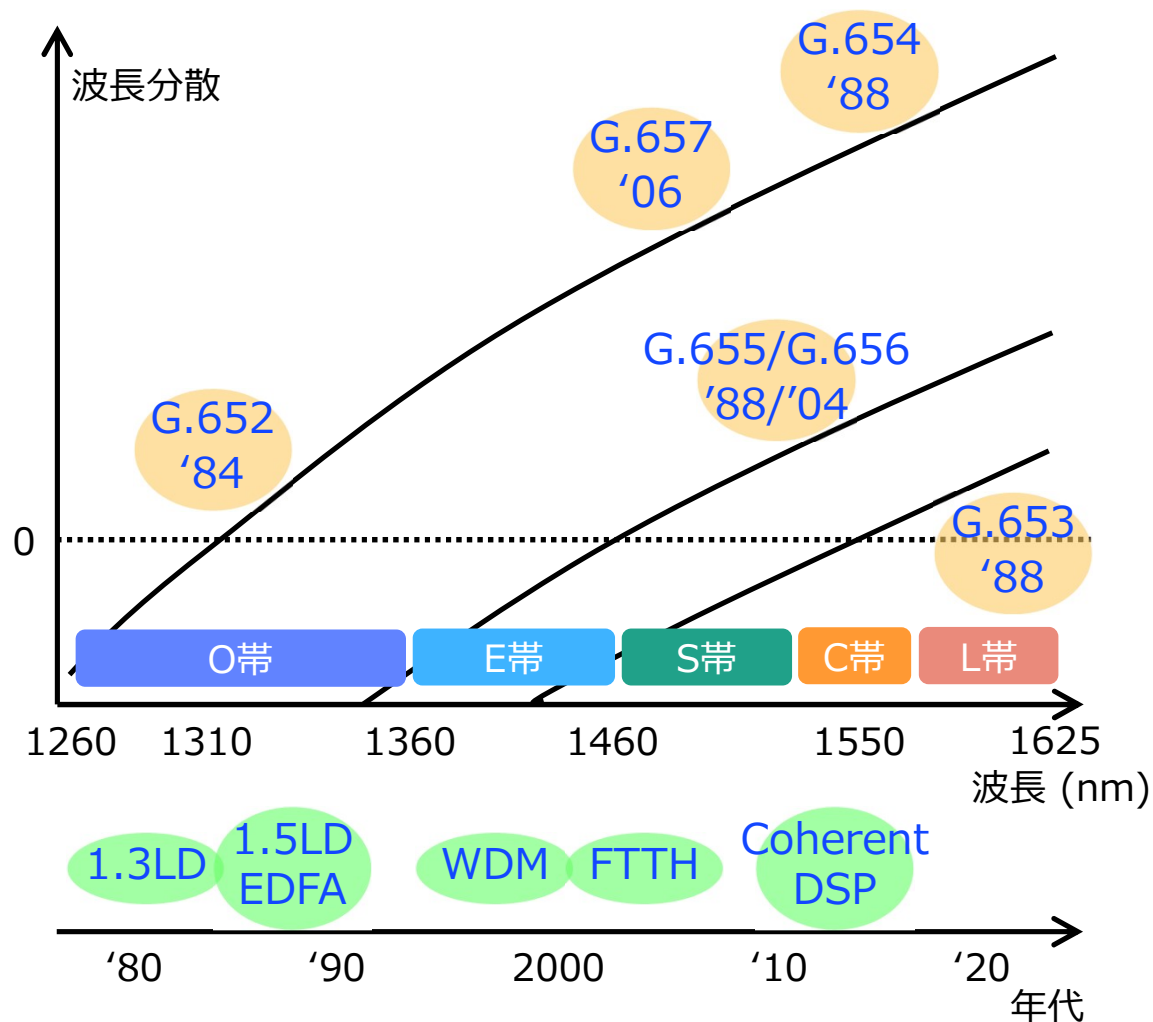
- 光ファイバ・ケーブル 86A
- 接続・受動部品 86B
- 能動部品・センシング 86C
- ・サブシステム

# 光ファイバ標準の変遷

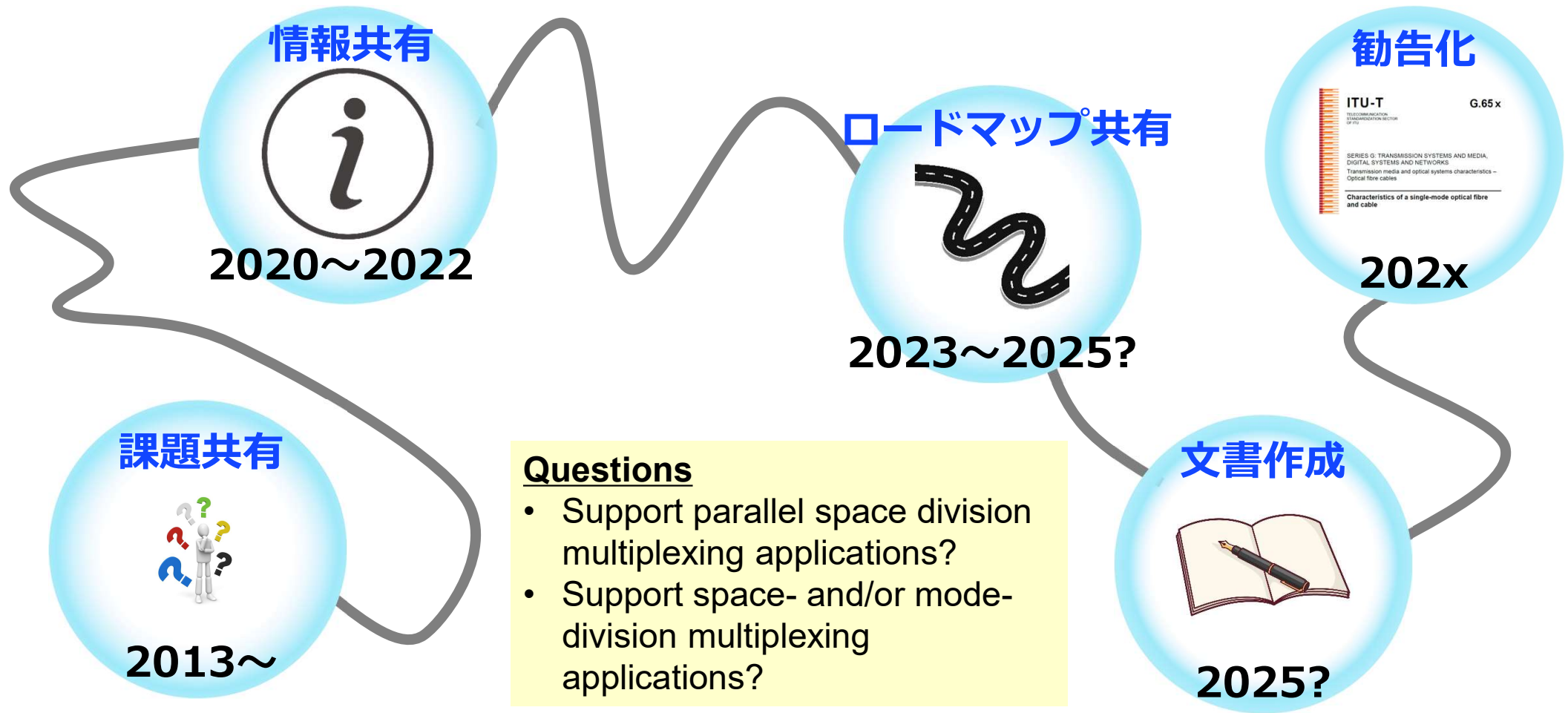
既存単一モード光ファイバ  
(SMF)標準

- 勧告G.652 汎用SMF
- 勧告G.653 分散シフトSMF
- 勧告G.654 カットオフシフトSMF
- 勧告G.655 ノン零分散SMF
- 勧告G.656 広帯域ノン零分散SMF
- 勧告G.657 低曲げ損失SMF

使用波長 波長分散

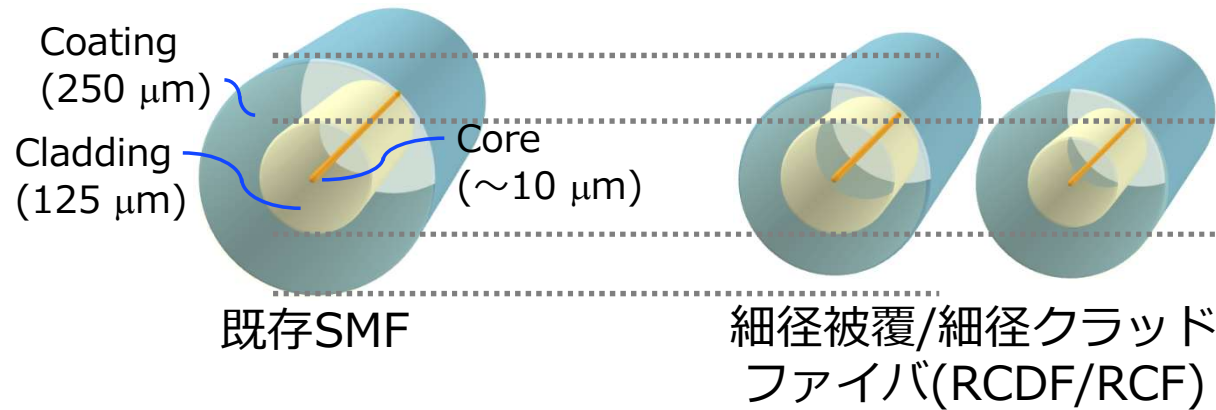


# 空間分割多重(SDM)と国際標準

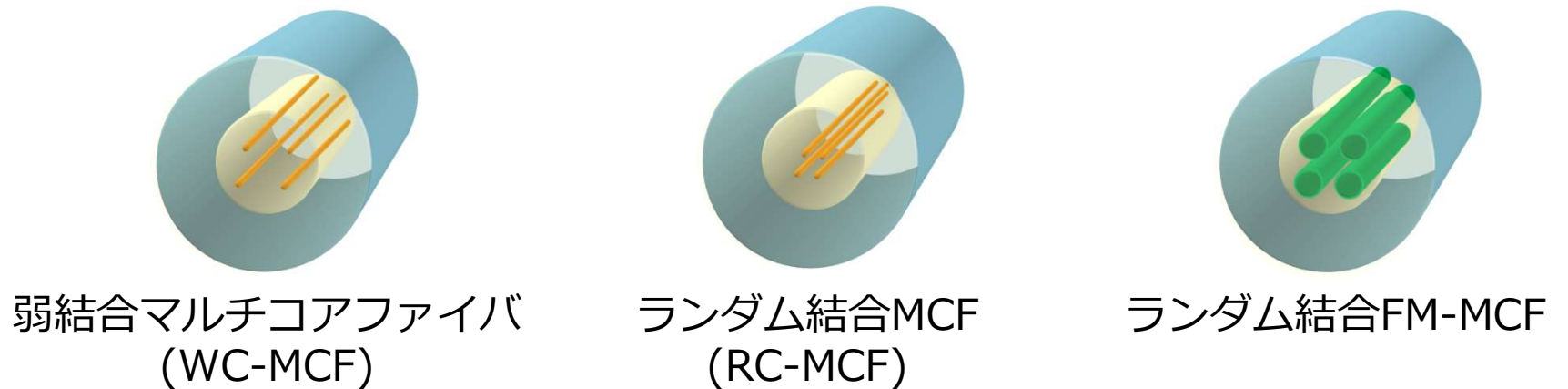


# 様々なSDM光ファイバ

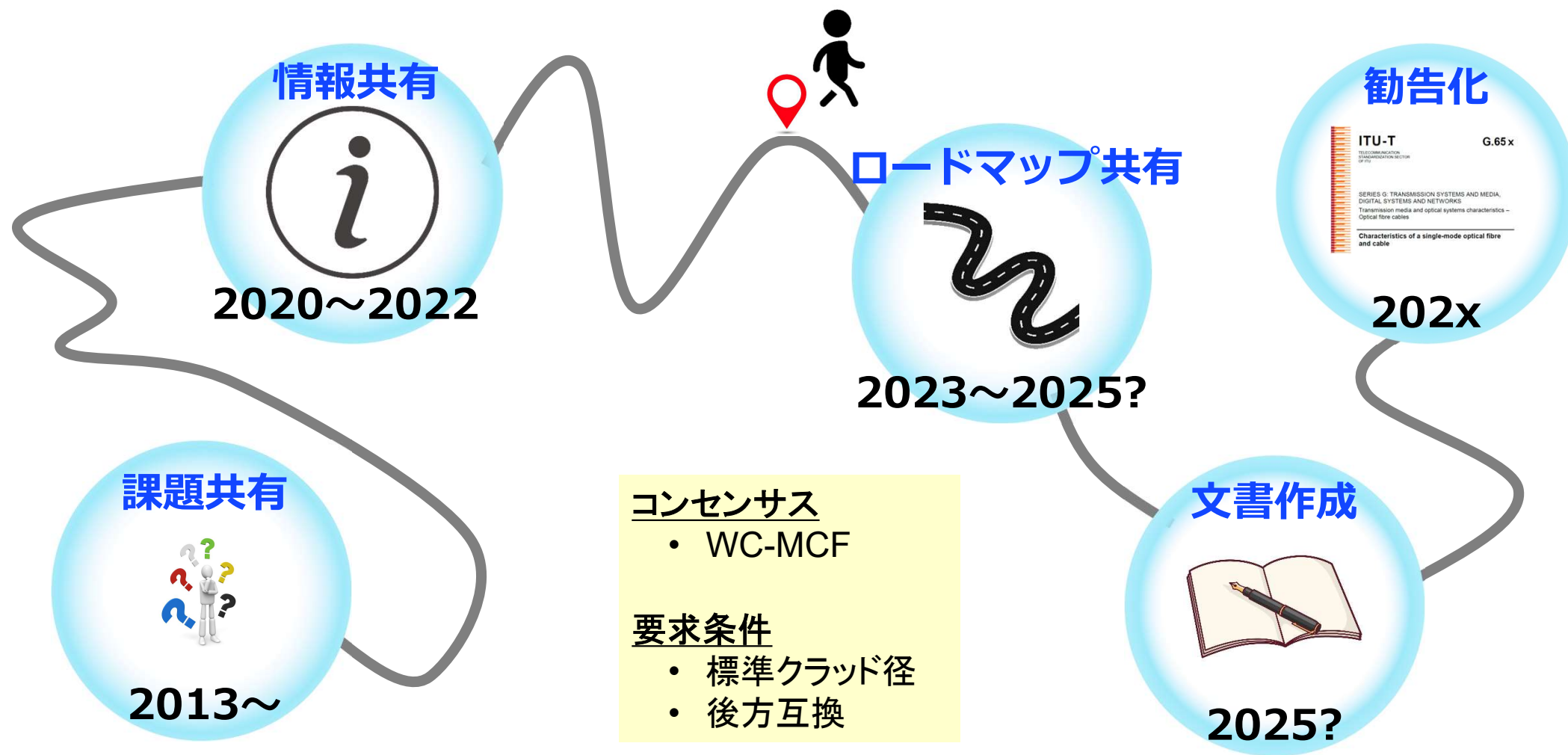
## 単一コア 構造



## マルチコア 構造



# 2024年末時点の議論状況

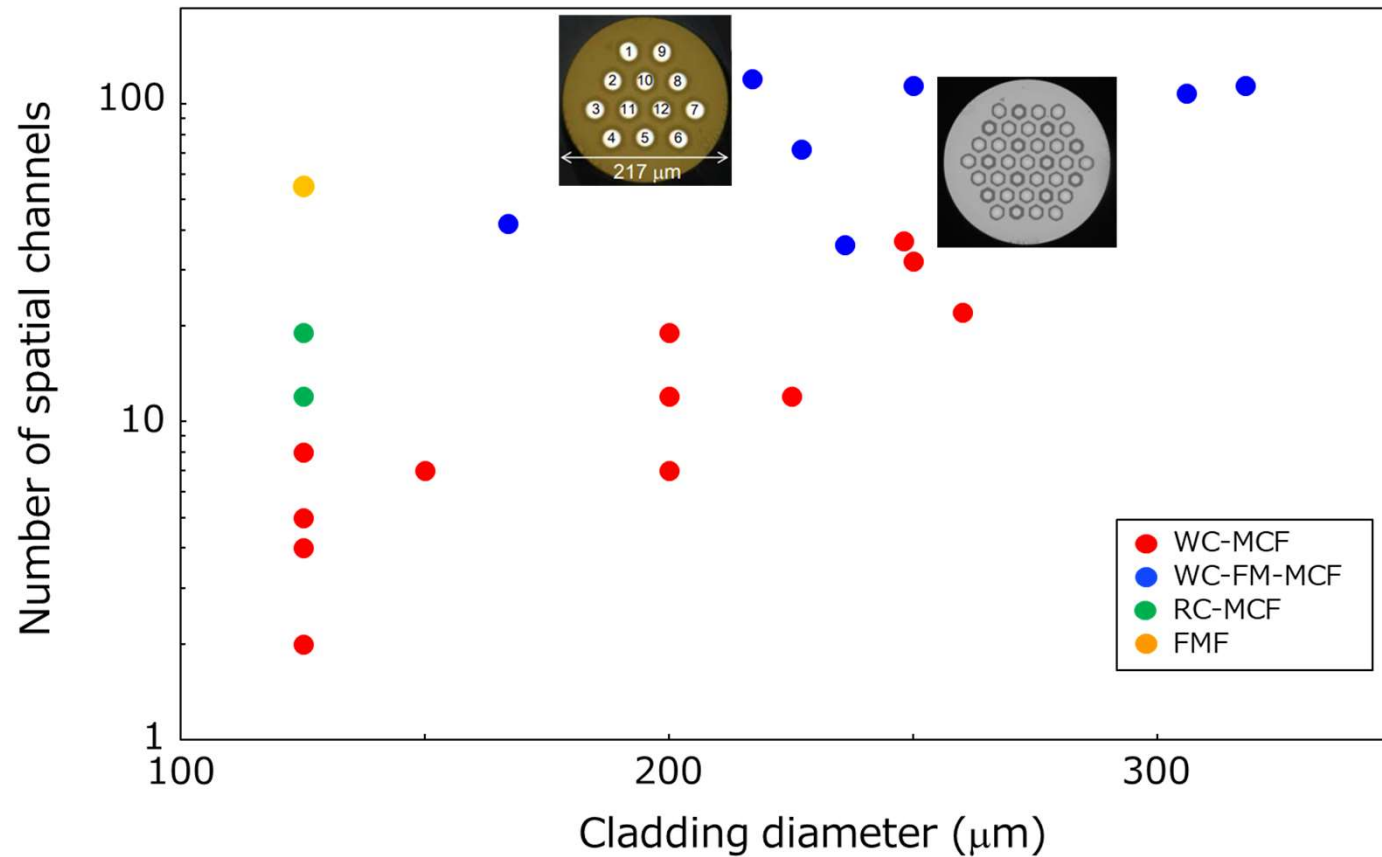




# 講演内容

1. 光線路技術の国際標準化  
変遷と近年の動向
2. マルチコア光ファイバの国際標準化  
標準クラッド径と後方互換  
幾何学構造とクロストーク
3. マルチコア光ファイバの実用展開  
アプリケーションと要素技術  
マルチコア光ファイバのエコシステム
4. むすび

# 各種MCFの研究事例



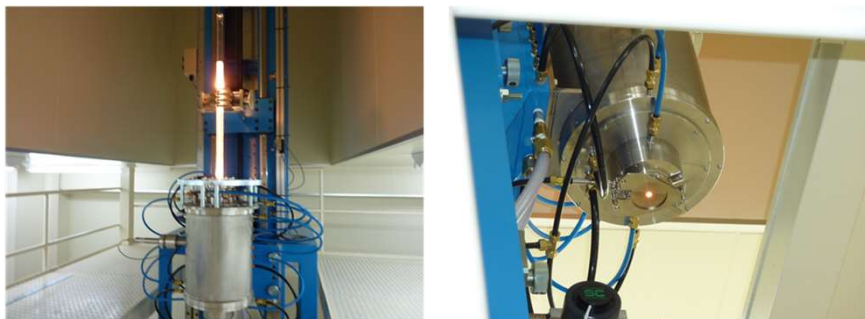
[Weakly Coupled Multicore Fiber Technology, Deployment, and Systems | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)

[Single-mode 37-core fiber with a cladding diameter of 248  \$\mu\text{m}\$  | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)

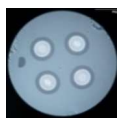
[120 Spatial Channel Few-Mode Multi-Core Fibre with Relative Core Multiplicity Factor Exceeding 100 | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)

# 標準クラッド径？

## 【製造性】



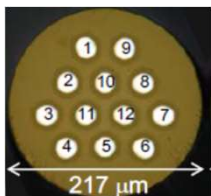
光ファイバ500 km分の母材長？



125 μm-MCF



φ10 cm  
L0.8 m

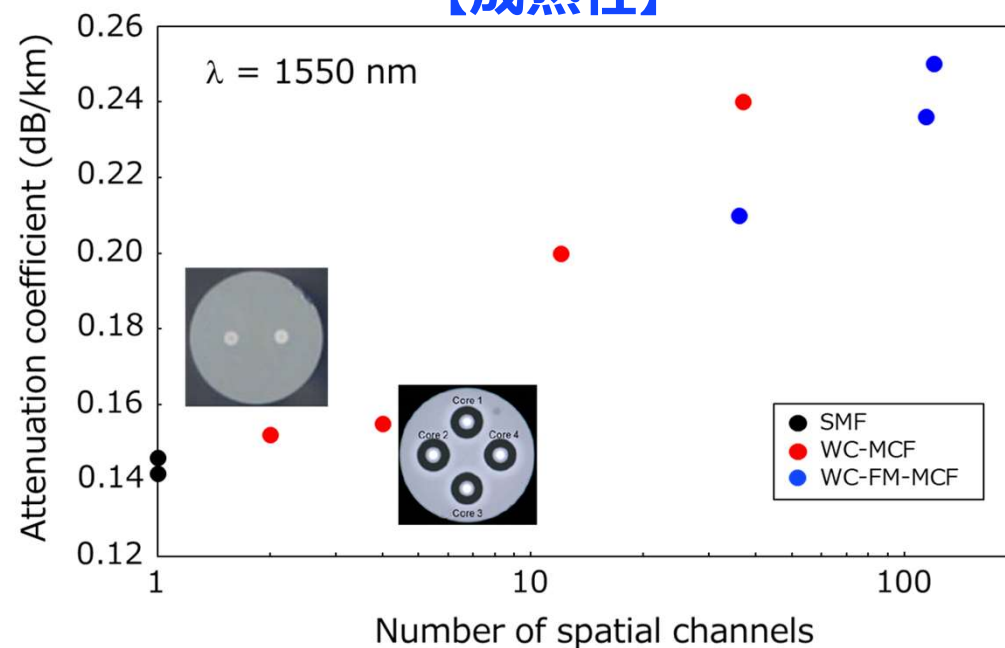


217 μm-MCF

φ10 cm  
L2.4 m

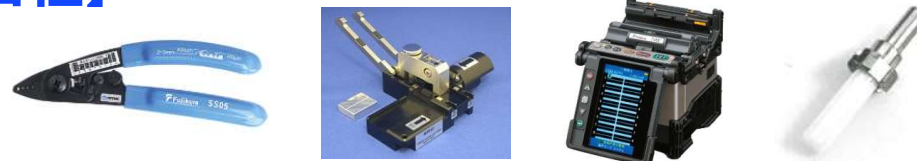


## 【成熟性】



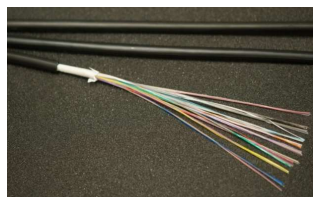
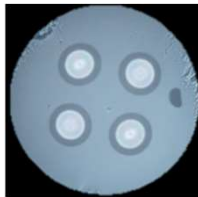
[Weakly Coupled Multicore Fiber Technology, Deployment, and Systems | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore](#)  
[Uncoupled 4-core Fibre with Ultra-low Loss and Low Inter Core Crosstalk | IEEE Conference Publication | IEEE Xplore](#)  
[Optical Fibers for High Fiber Count Submarine Cable Systems \(sumitomoelectric.com\)](#)

## 【整合性】

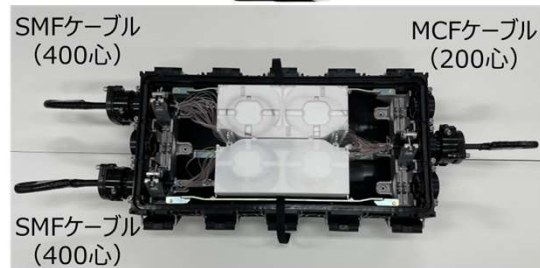
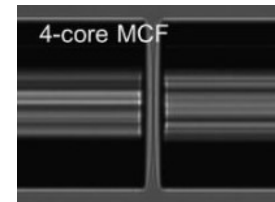


# WC-MCF周辺技術

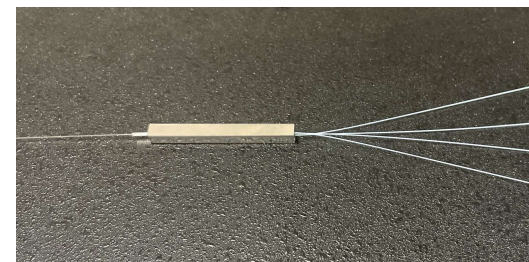
標準クラッド径MCFおよび多心MCFケーブル



側面画像調心技術



地下クロージャ  
(MCF光ケーブル分岐・接続部)



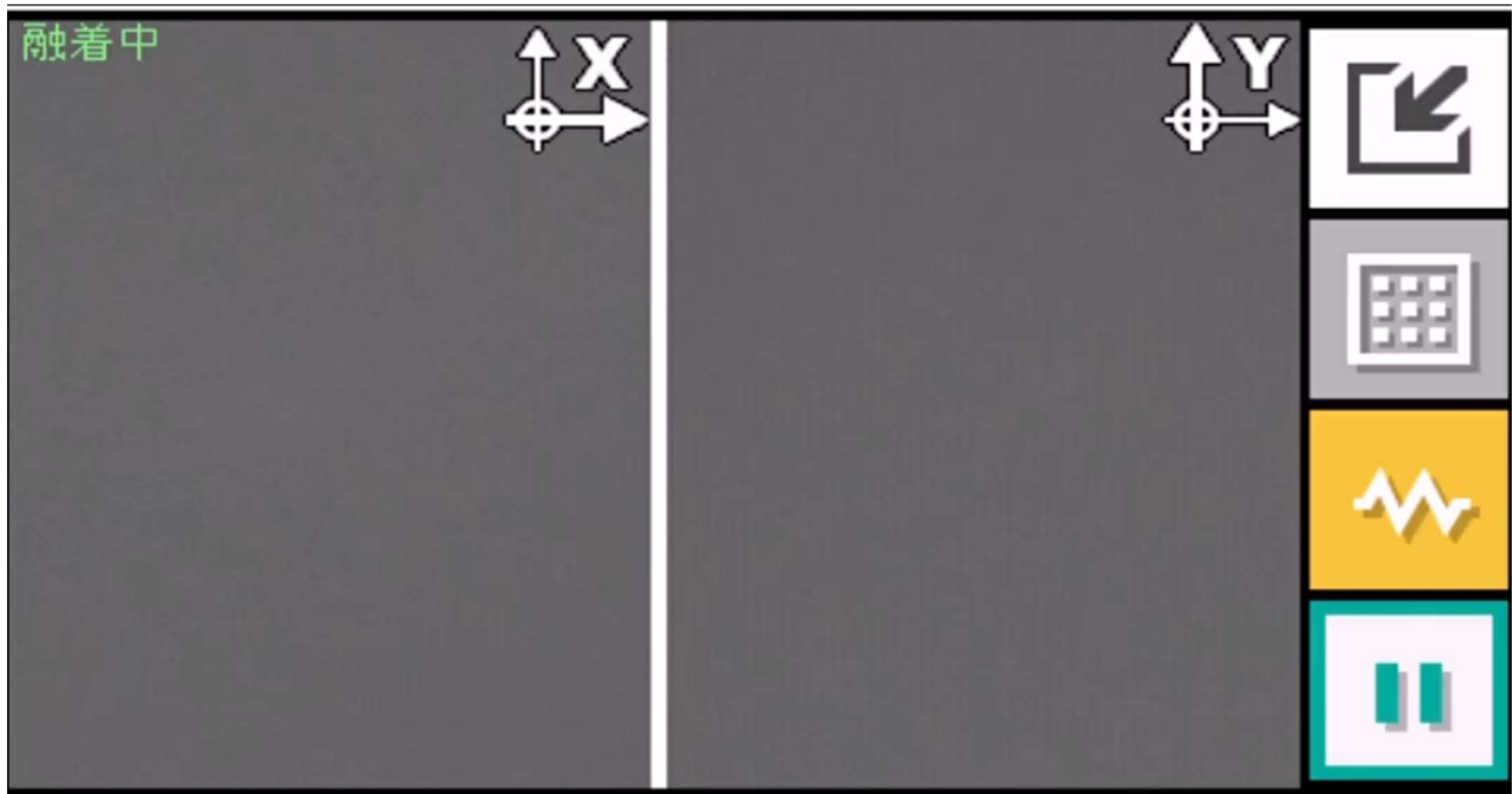
FIFOデバイス  
(MCF-4SMF接続デバイス)



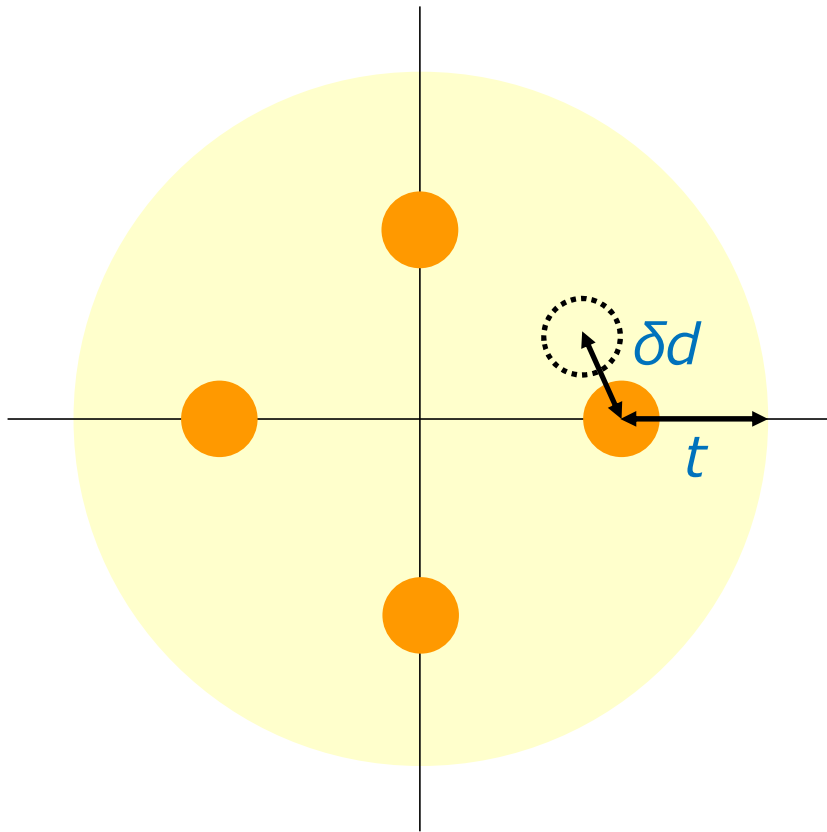
局内接続架

<https://group.ntt.jp/newsrelease/2024/11/15/241115a.html>

# WC-MCFの融着接続



# MCFの幾何学構造



## 必須パラメータ

クラッド径	$D (= 125 \text{ } \mu\text{m})$
コア数	$N$
コア間隔	$\Lambda$
コア位置	$(x_i, y_i), (i = 1 \sim N)$

## 性能パラメータ

コア位置誤差	$\delta d$
--------	------------

## 設計パラメータ

最小クラッド厚	$t$
---------	-----

後方互換

# ユニバーサルSMF

**ITU-T**

TELECOMMUNICATION  
STANDARDIZATION SECTOR  
OF ITU

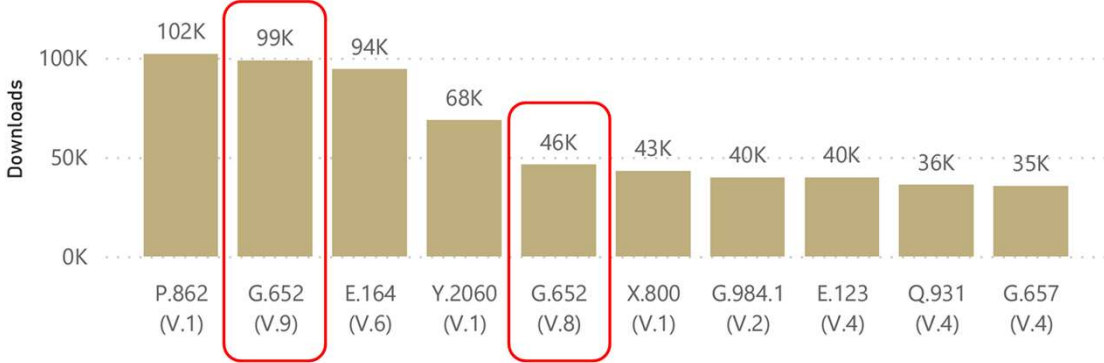
**G.652**

(11/2016)

SERIES G: TRANSMISSION SYSTEMS AND MEDIA,  
DIGITAL SYSTEMS AND NETWORKS

Transmission media and optical systems characteristics –  
Optical fibre cables

**Characteristics of a single-mode optical fibre  
and cable**



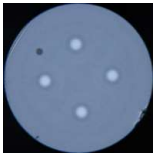

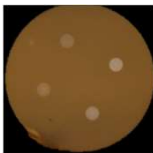



<https://www.itu.int/md/T22-TSAG-230530-TD-GEN-0192/en>

Editions					
Related Supplement(s)					
Related technical papers and reports					
Ed.	ITU-T Recommendation	Status	Summary	Table of Contents	Download
10	G.652 (08/2024)	In force	-	-	<a href="#">here</a>
9	G.652 (11/2016)	Superseded	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
8	G.652 (11/2009)	Superseded	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
7	G.652 (06/2005)	Superseded	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
6	G.652 (03/2003)	Superseded	-	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
5	G.652 (10/2000)	Superseded	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
4	G.652 (04/1997)	Superseded	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
3	G.652 (03/1993)	Superseded	-	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
2	G.652 (11/1988)	Superseded	-	<a href="#">here</a>	<a href="#">here</a>
1	G.652 (10/1984)	Superseded	-	-	Not available



# 後方互換標準クラッド径MCF

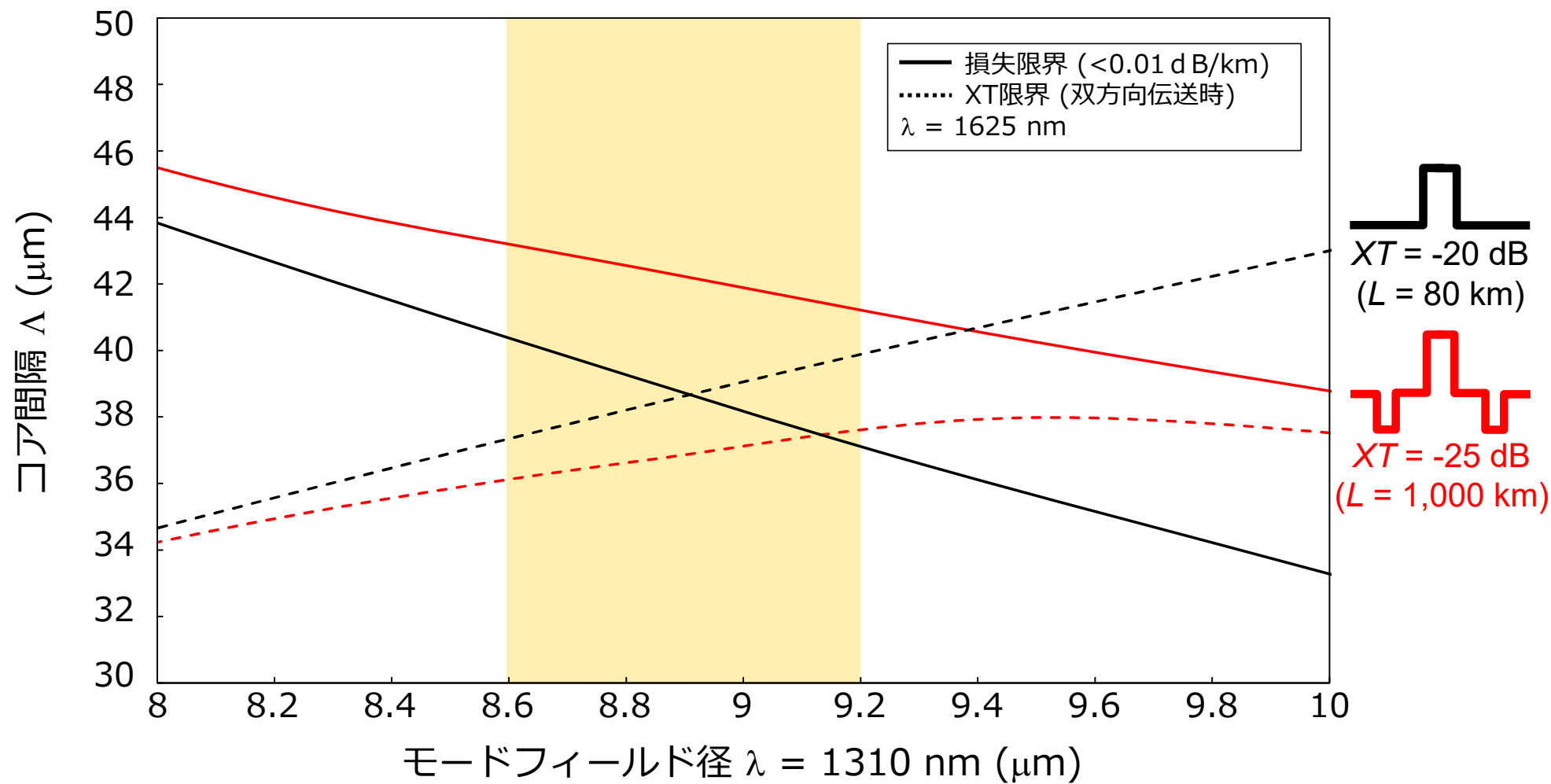


使用波長帯 (nm)	1260~1625		1530~1625
断面写真			
屈折率分布			 <div>SiO<sub>2</sub></div>
後方互換性	ITU-T G.652/G.657		ITU-T G.654
伝送距離 (km)	<80*	~1,000	~10,000
適用領域	アクセス/短距離	メトロ/コア	海底

\*) 双方向伝送を仮定



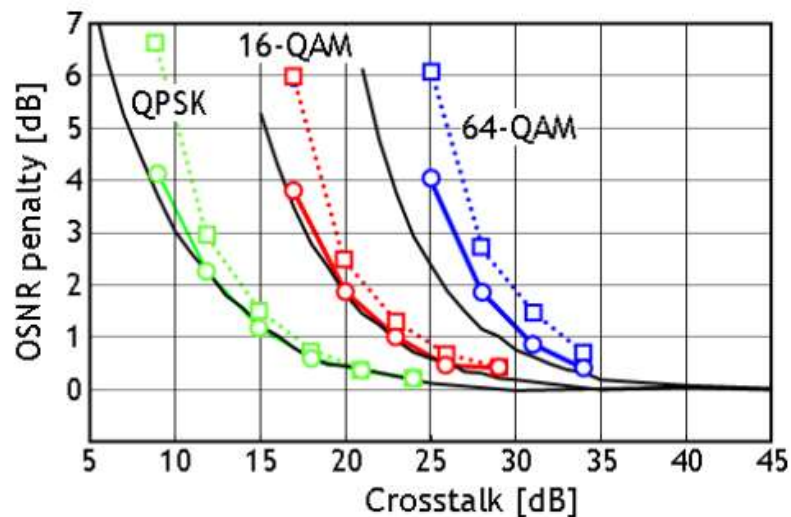
# コア間隔標準の指針



# クロストーク標準

コア*i*からコア*j*へのクロストーク $XT$

$$XT_{ij}(\lambda, L) = \frac{P_{ij}(\lambda, L)}{P_{ii}(\lambda, L)}$$



<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6065992>

勧告G.657(低曲げ損失光ファイバ)  
におけるクラス分け

クラス1	許容最小曲げ半径	15 mm
クラス2	許容最小曲げ半径	7.5 mm
クラス3	許容最小曲げ半径	5 mm

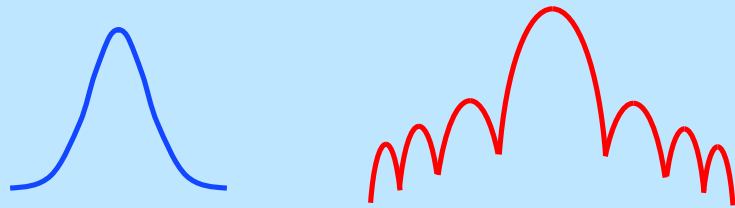
WC-MCFのXT標準におけるクラス分けのイメージ

クラス1	1 km当たり許容XT	x dB
クラス2	1 km当たり許容XT	y dB
クラス3	1 km当たり許容XT	z dB

# 試験法の国際標準

## 定義

(事例：モードフィールド径)



(WC-MCFの場合)

- ・ 幾何学構造  
一般化(任意コア配置)
- ・ クロストーク  
同方向／双方向

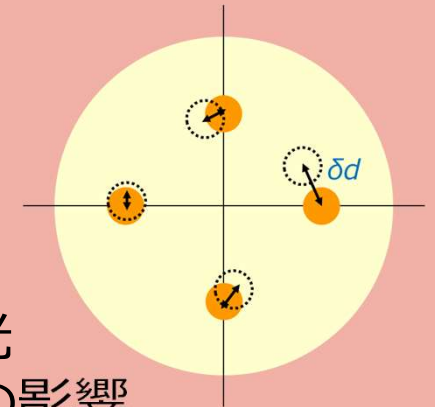
## 試験法 参照試験法(RTM) 代替試験法(ATM)

(事例：モードフィールド径)

——●  
遠視野分布  
開口可変、近視野分布、  
双方向OTDR法

(WC-MCFの場合)

- ・ 近視野画像など  
評価手順
- ・ 透過法、後方散乱光  
Fan-in/Fan-outの影響



# ITUとIECの相互連携



国際電気通信連合  
電気通信標準化部門

国際電気標準会議



## 【相互接続標準】

Study Group 15

Working Party 2

Question

- 5 光ファイバ・ケーブル
- 6 陸上光システム
- 7 屋外設備と光接続
- 8 海底光システム



ラウンドロビン

現場(遠端)

測定場所

工場(効率)

## 【製品規格】

Technical Committee 86

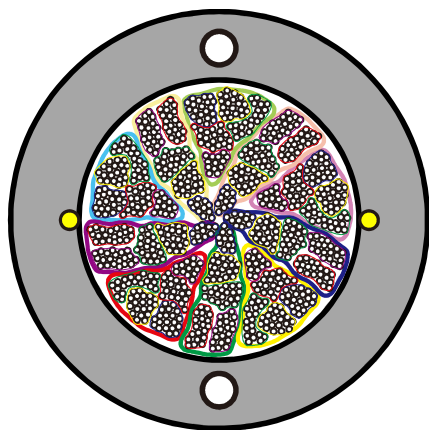
Sub Committee

- 光ファイバ・ケーブル 86A
- 接続・受動部品 86B
- 能動部品・センシング 86C
- ・サブシステム

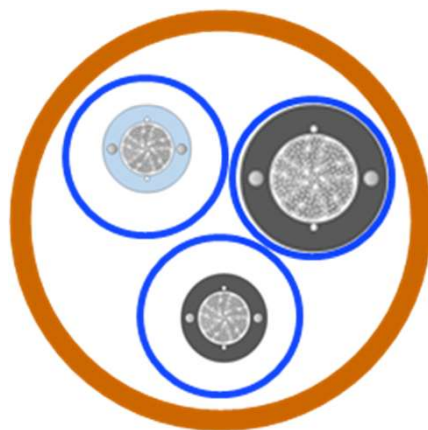
# 講演内容

1. 光線路技術の国際標準化  
変遷と近年の動向
2. マルチコア光ファイバの国際標準化  
標準クラッド径と後方互換  
幾何学構造とクロストーク
3. マルチコア光ファイバの実用展開  
アプリケーションと要素技術  
マルチコア光ファイバのエコシステム
4. むすび

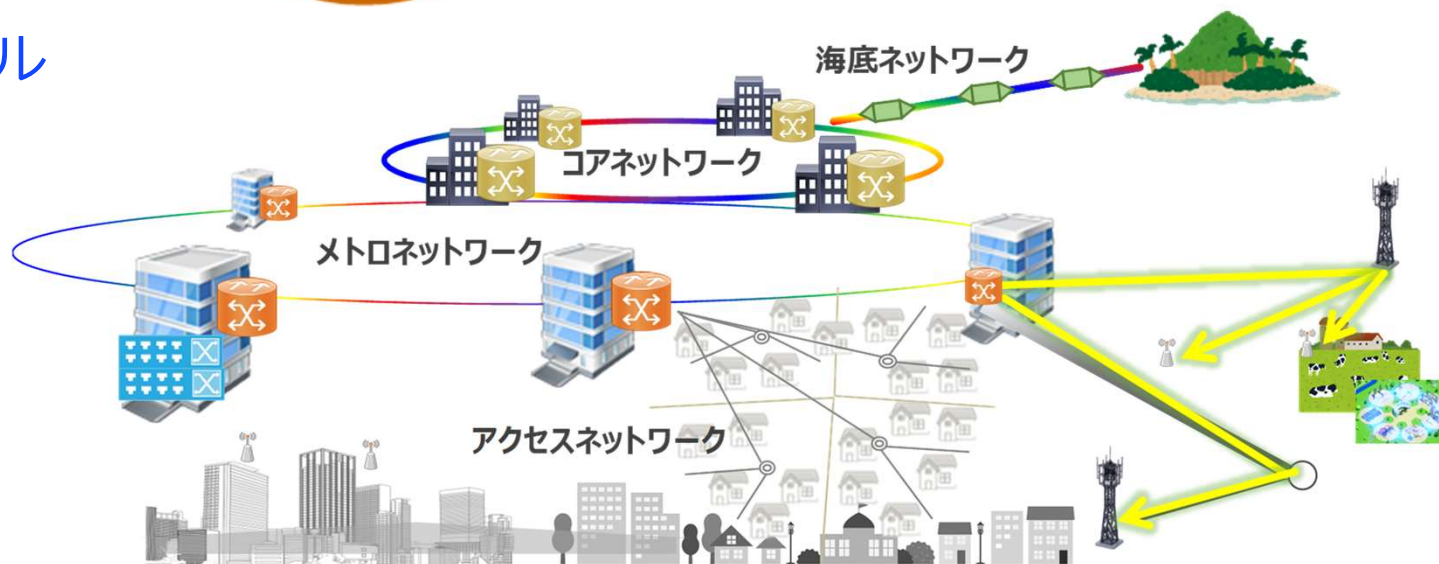
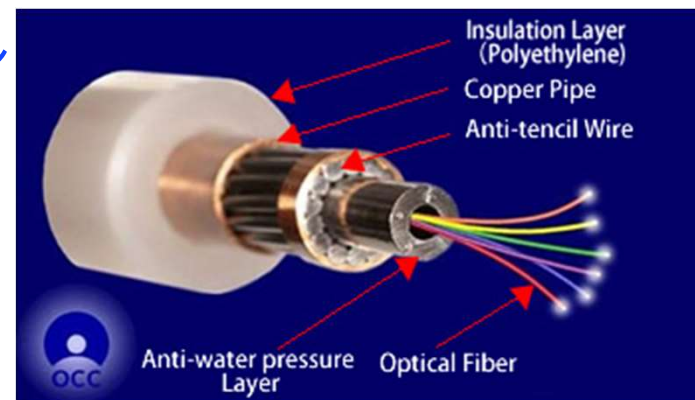
# 適用領域：空間



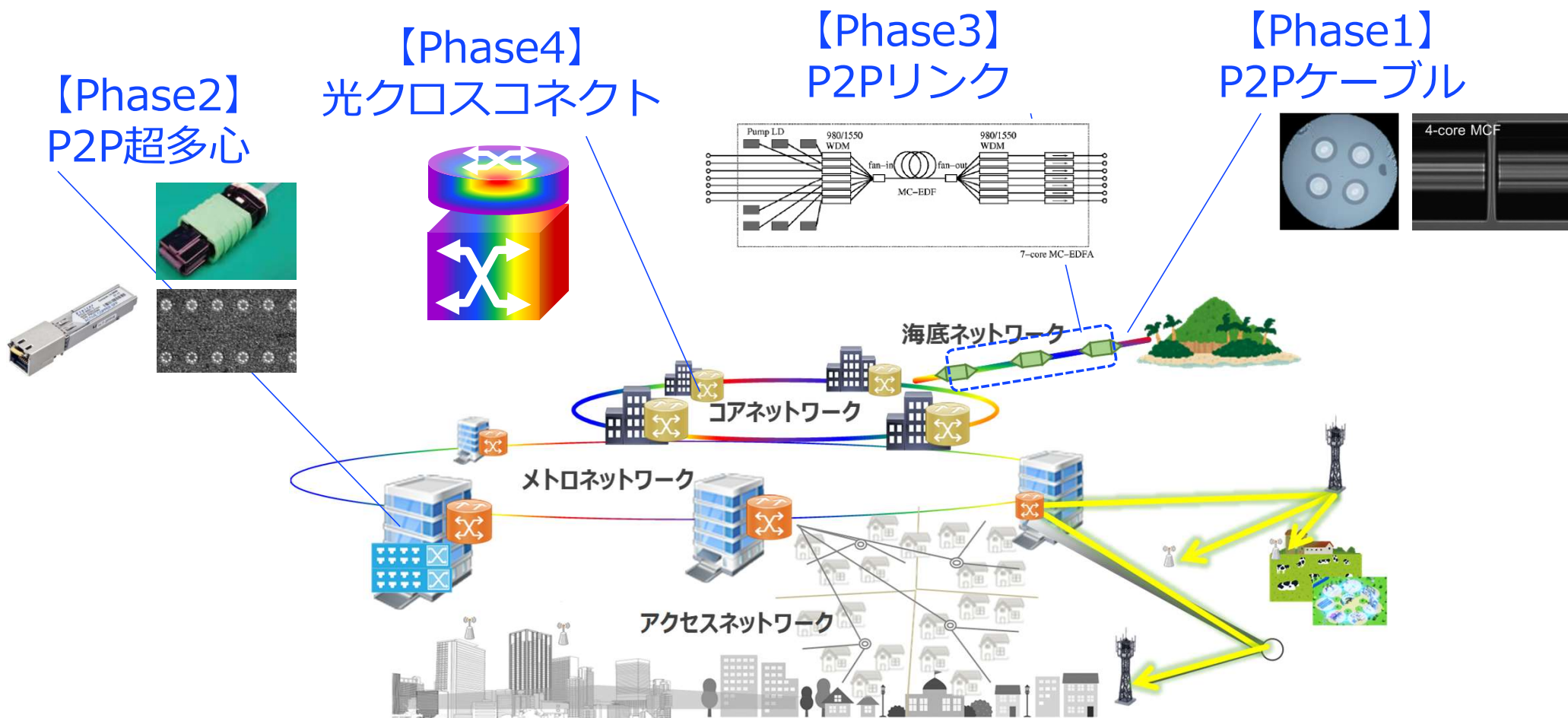
陸上ケーブル



海底ケーブル



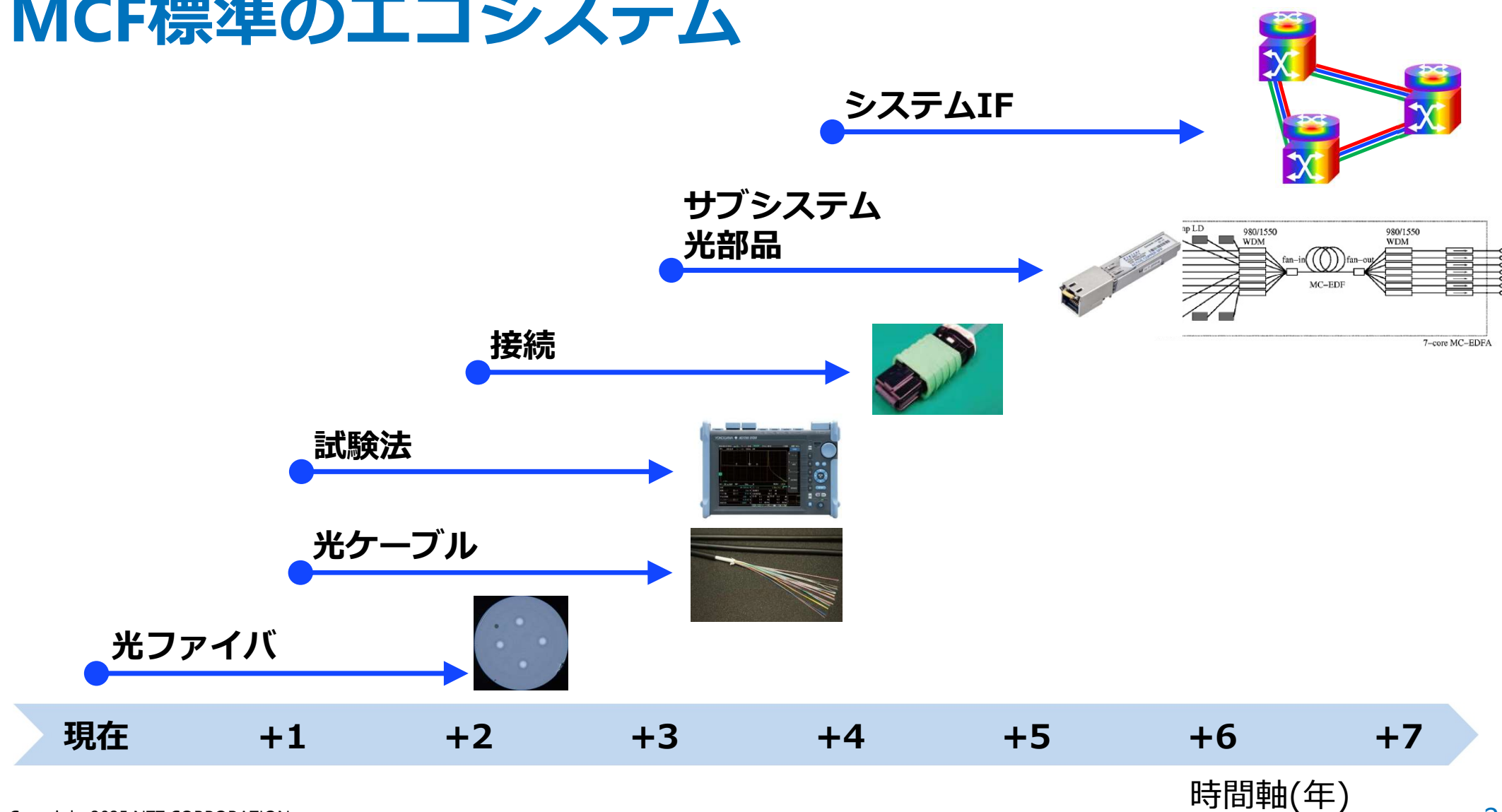
# 適用領域の拡大と要素技術



<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7937164>  
[https://www.furukawa.co.jp/what/2012/comm\\_120920.htm](https://www.furukawa.co.jp/what/2012/comm_120920.htm)



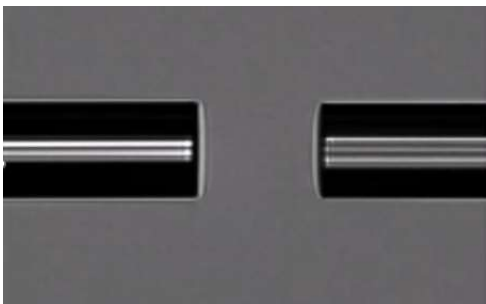
# MCF標準のエコシステム



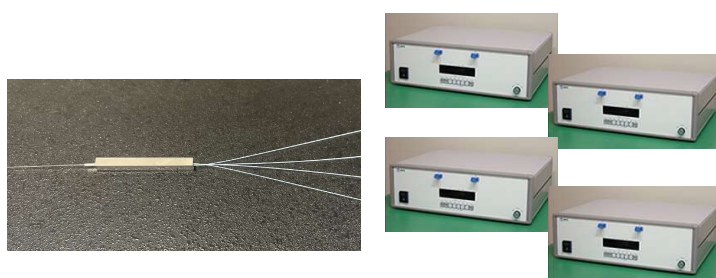


# MCFリンクの要素技術

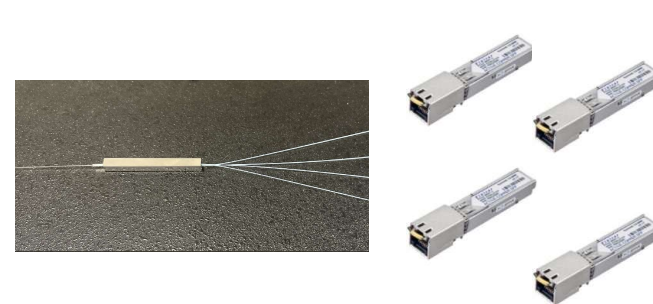
多心融着接続



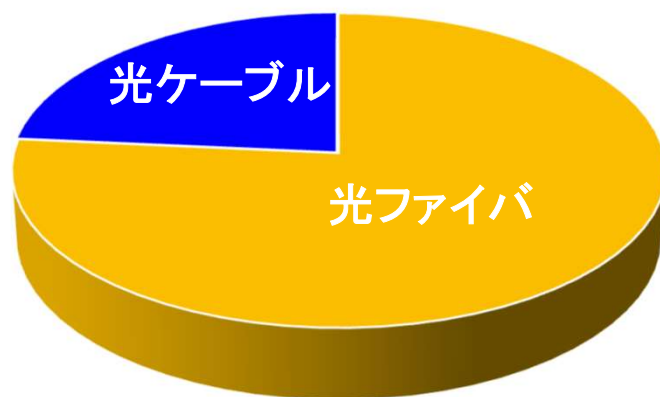
MCF一括増幅



MCF送受信器

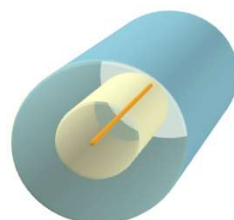


# MCFと環境負荷

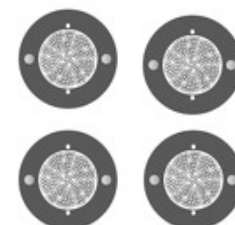
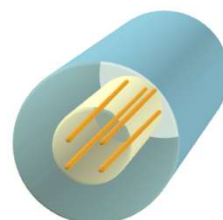


CO<sub>2</sub>排出量の70%以上は  
光ファイバ製造で発生

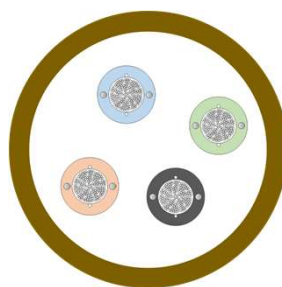
<https://jectec.or.jp/03cable/data/LCA333.PDF>



紡糸回数とクラッド  
材料の削減による  
負荷低減



MCFケーブル  
ケーブル本数の削減  
による負荷低減



設備の循環運用  
による負荷低減



一括光増幅  
による負荷低減

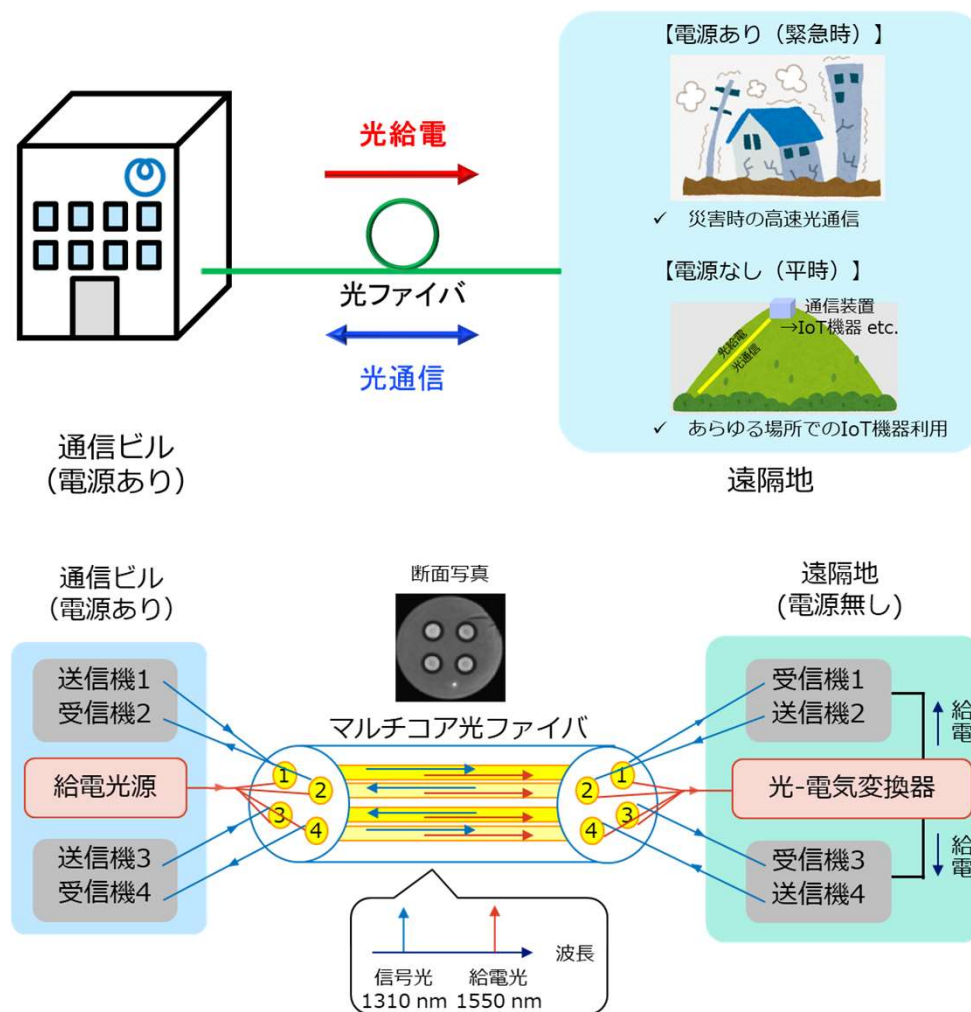


集積化による  
負荷低減

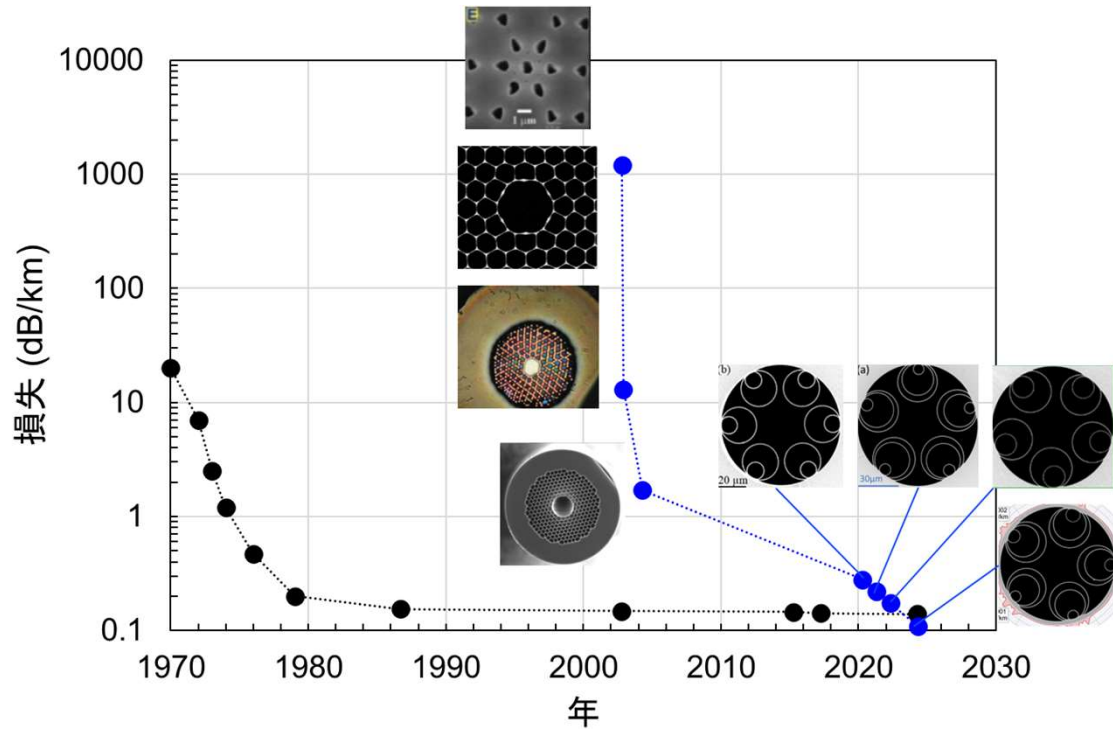
# MCFと自然災害



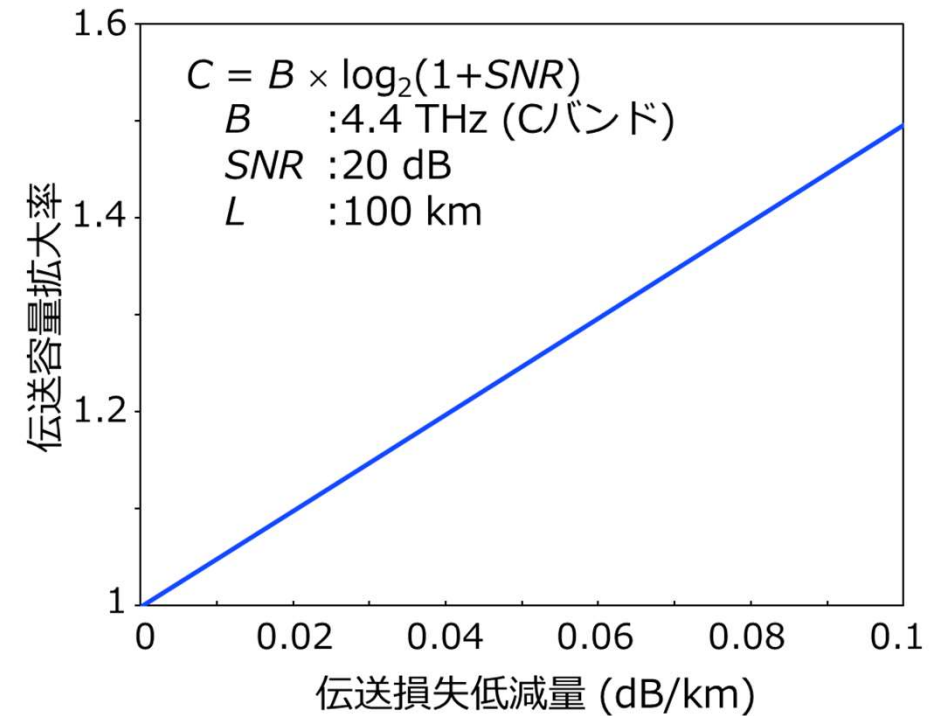
<https://www.nhk.or.jp/gendai/articles/4334/>  
<https://group.ntt.jp/newsrelease/2023/08/29/230829a.html>



# Hollow Core Fiber ?



低遅延 : 330  $\mu$ s/100km、500  $\mu$ s/100km  
 高入力 : kW超、数W



<https://www.science.org/doi/full/10.1126/science.1079280>  
<https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.1076408>  
<https://www.science.org/doi/epdf/10.1126/science.1076408>  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1601381>

[ofc-2020-th4b.4.pdf \(optica.org\)](#)  
[Microsoft Word - OFC2021\\_PD\\_Final.docx \(optica.org\)](#)  
<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=9748272>  
 Y. Chen et al., PDP Th4A.8, OFC (2024).

# むすび

- ◆ 2025年以降、標準クラッド径かつ後方互換を有するマルチコア光ファイバの勧告化作業が、ITU-Tで開始される見通し
- ◆ MCFリンク標準のエコシステム確立に向け、ITU-T・IEC連携による日本主導の標準化活動に期待