



世界初、空間分割多重技術を用いた伝送容量拡大と消費電力低減の両立に成功

～マルチコア構造を用いた一括光増幅器により消費電力を67%低減～

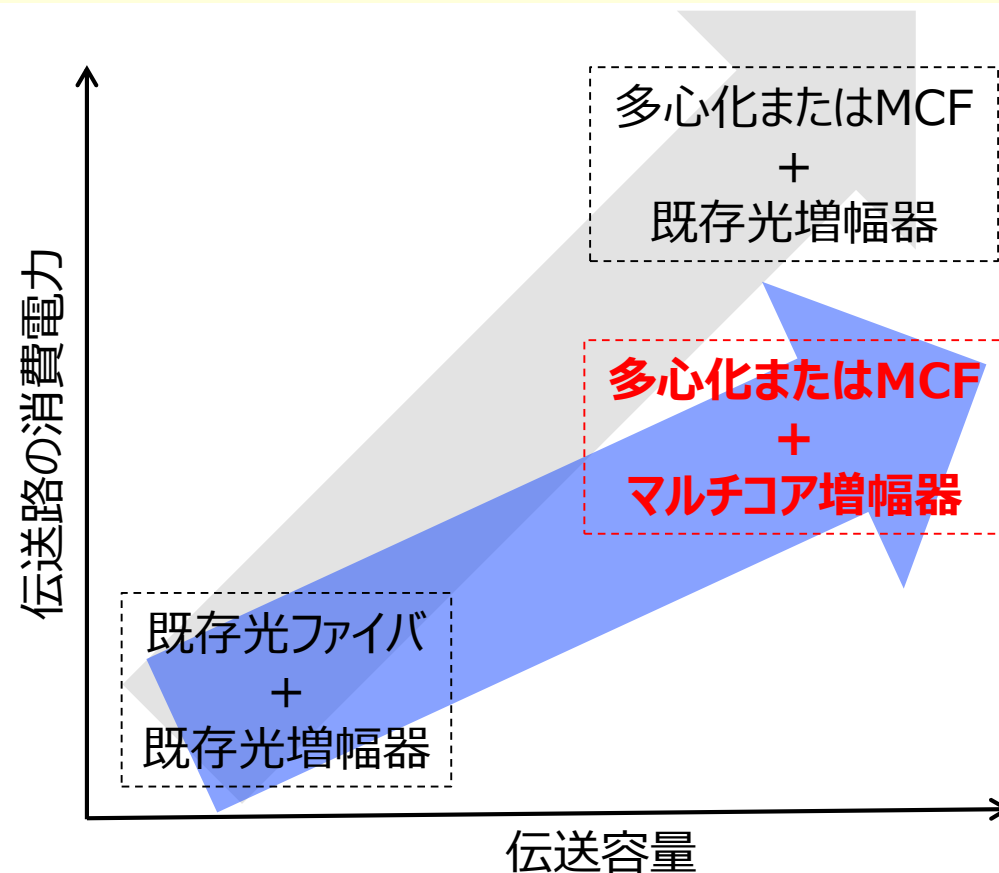
2023年9月27日

日本電信電話株式会社 アクセスサービスシステム研究所

研究の背景

- 通信需要の増大に対応するため、空間分割多重技術（マルチコアファイバ:MCFなど）を用いた大容量化を研究開発中
- しかしながら、MCFあるいは既存光ファイバ多心化による容量拡大に比例し消費電力(増幅器台数)も増大
- 提案技術により、伝送路の大容量化と省電力化を両立(空間分割多重技術による新たな付加価値の創出)

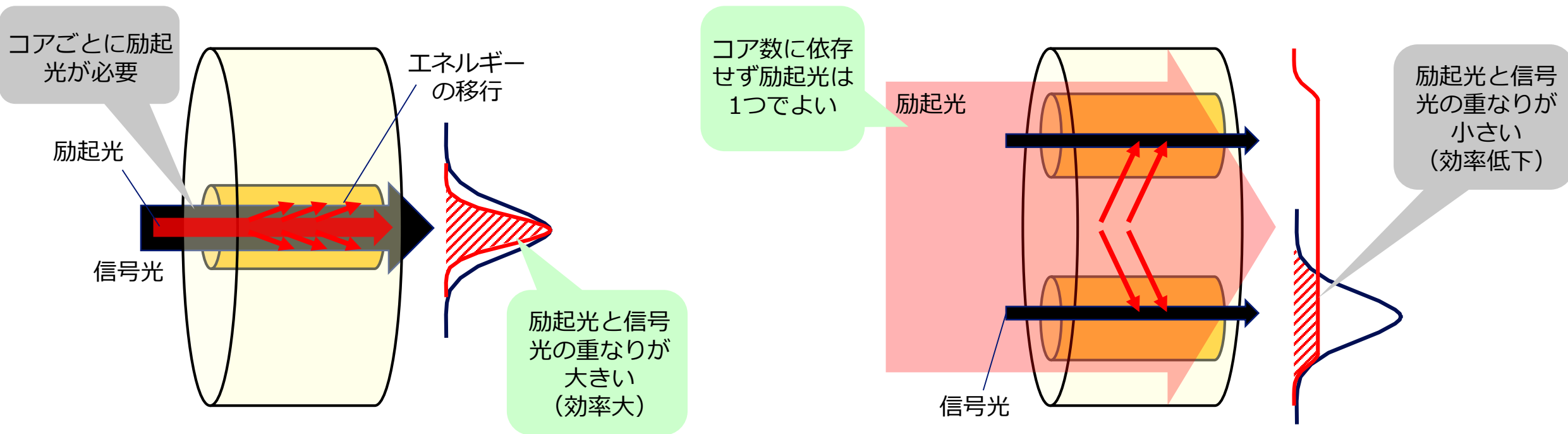
伝送路	<p>既存光ファイバ</p>	<p>多心化またはMCF</p>	
光増幅器	<p>従来の光増幅器</p>	<p>従来の光増幅器</p>	<p>マルチコア一括光増幅器 (本技術)</p>



伝送路光ファイバの多心化/マルチコア化と光増幅器構成（左図）、伝送容量と消費電力の関係の概要（右図）

マルチコア一括増幅への期待と課題

- コア励起方式では信号光と励起光が同一コアを伝搬するため効率よく励起光エネルギーが信号光に移行(増幅効率が**高い**)するが、**コアごとに励起光が必要**
- クラッド励起方式では1つの励起光を**複数コアで共有**が可能だが、信号光と励起光の重なりが小さいため(増幅効率が**低く**)、より多くの励起光パワーが必要となり、期待される省電力性が確認されていなかった



コア励起方式の概要 (左図)、クラッド励起方式の概要 (右図)

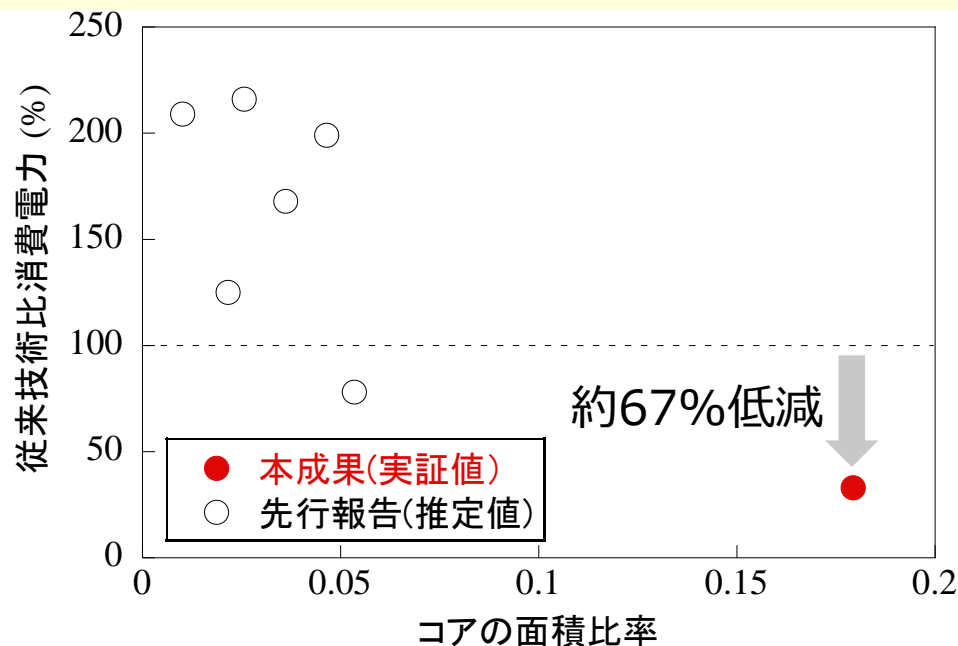
マルチコア構造で世界で初めて省電力性を実証



増幅用光ファイバに12コアを高密度に配置したマルチコア構造を用い、主要な通信波長帯であるC帯（波長1550 nmの近傍）において世界で初めてマルチコア一括増幅による伝送容量拡大と省エネルギー化を両立。従来技術に比べ消費電力を67%低減できることを世界で初めて実証し、マルチコアファイバ(MCF)を用いた伝送容量拡大技術に省電力化の付加価値を見出した。

【本技術のポイント】

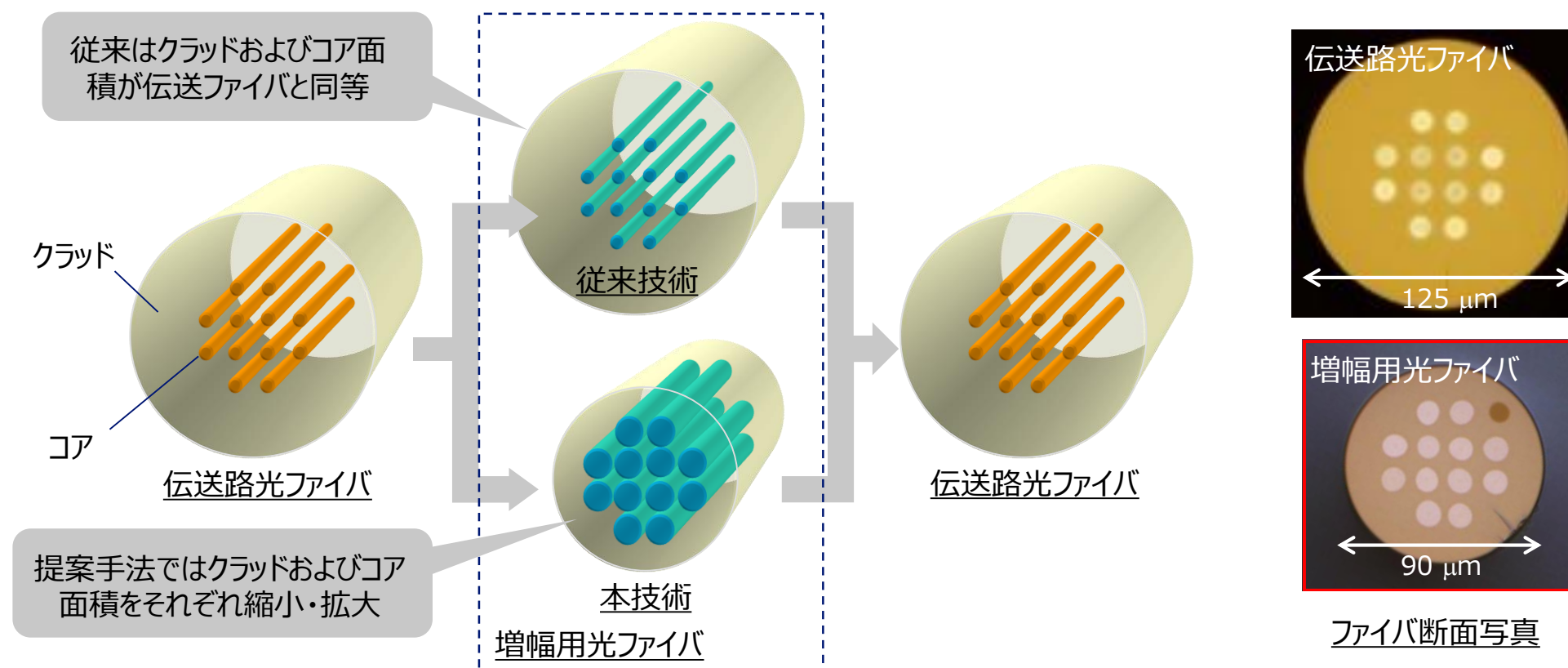
- 1) 増幅用光ファイバ断面内におけるコアの面積比率(コア密度)を最大化(従来技術から消費電力52%低減)
- 2) 光増幅器構成の最適化により励起光の損失を最小化(さらに15%低減)



コアの面積比率と従来技術比消費電力の関係

ポイント1： コア面積比率(コア密度)の最大化

- 伝送路光ファイバと同等のマルチコア配置(コア数およびコア間隔)を維持したまま、増幅用光ファイバの外径とコア直径を、それぞれ縮小および拡大することでコアの面積比率を最大化し励起光の使用効率を向上(従来技術から消費電力**52%低減**)

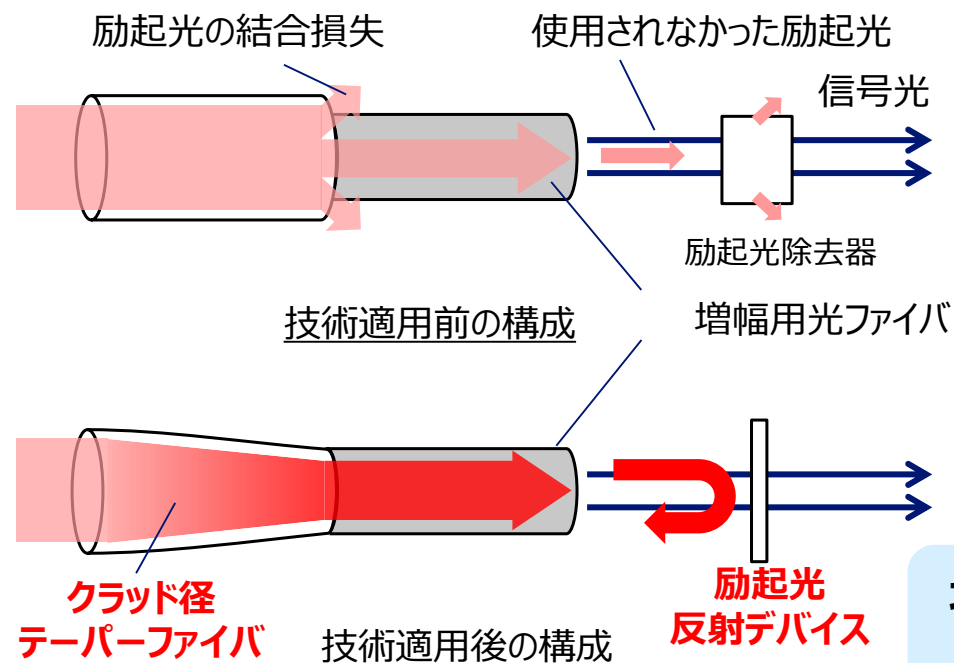


コアの面積比率(コア密度)の最大化設計の概要

ポイント2： 励起光損失の最小化

コアの面積比率の増加のためのクラッド直径縮小により、接続点で**励起光の一部が損失**する課題が発生、また、**使用されない励起光**が存在。これに対し以下の技術によりさらに光増幅の効率を高めることに成功

- 【テーパ構造】 増幅用光ファイバのクラッド径縮小により新たに発生する励起光の結合損失を最小化 (テーパ構造無しの場合に比べ消費電力**11%低減**)
- 【反射デバイス】 光増幅に使用されなかった励起光を再活用することで未使用励起光の割合を最小化 (反射デバイス無しの場合に比べ消費電力**4%低減**)

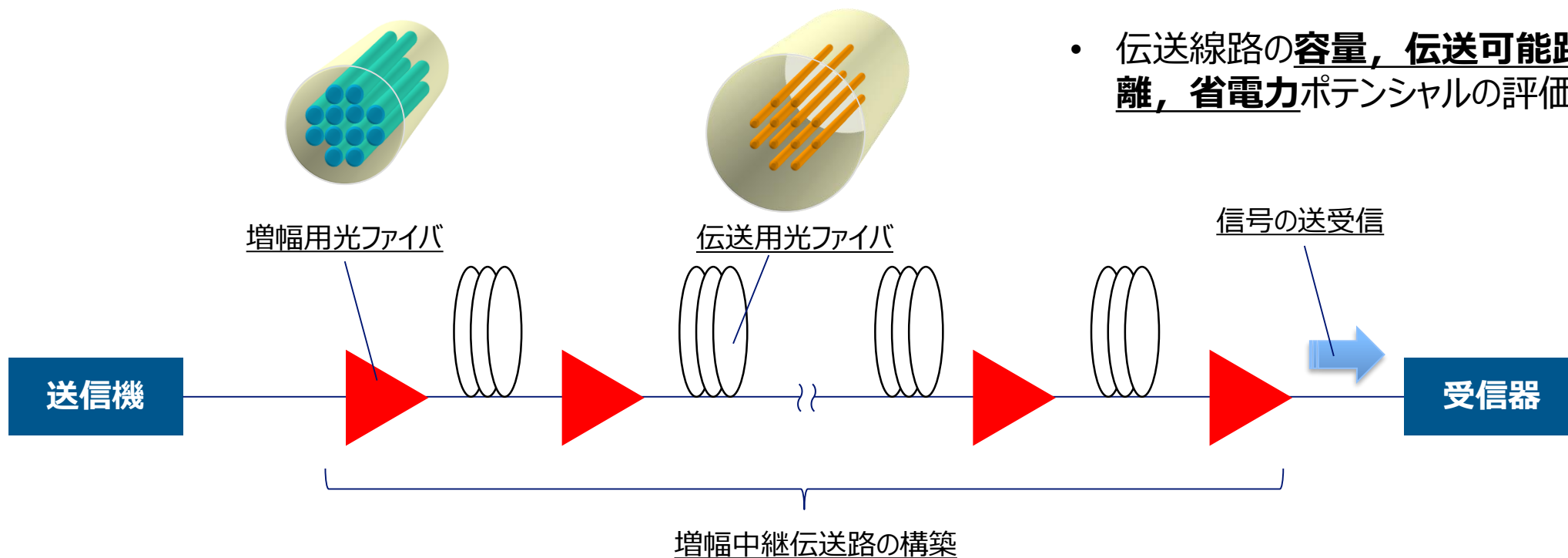


クラッドを伝搬する励起光を高効率に増幅用光ファイバに結合

増幅に使用されなかった励起光を再活用

励起光結合損失および残留励起光の最小化のイメージ

- 伝送ファイバと本増幅器を組み合わせた中継伝送路を構築し、**伝送容量・通信距離と省電力性の両立**を実証
- 我々が目指す10チャンネルを超える空間分割多重伝送路の一候補として2030年までに技術確立していく予定

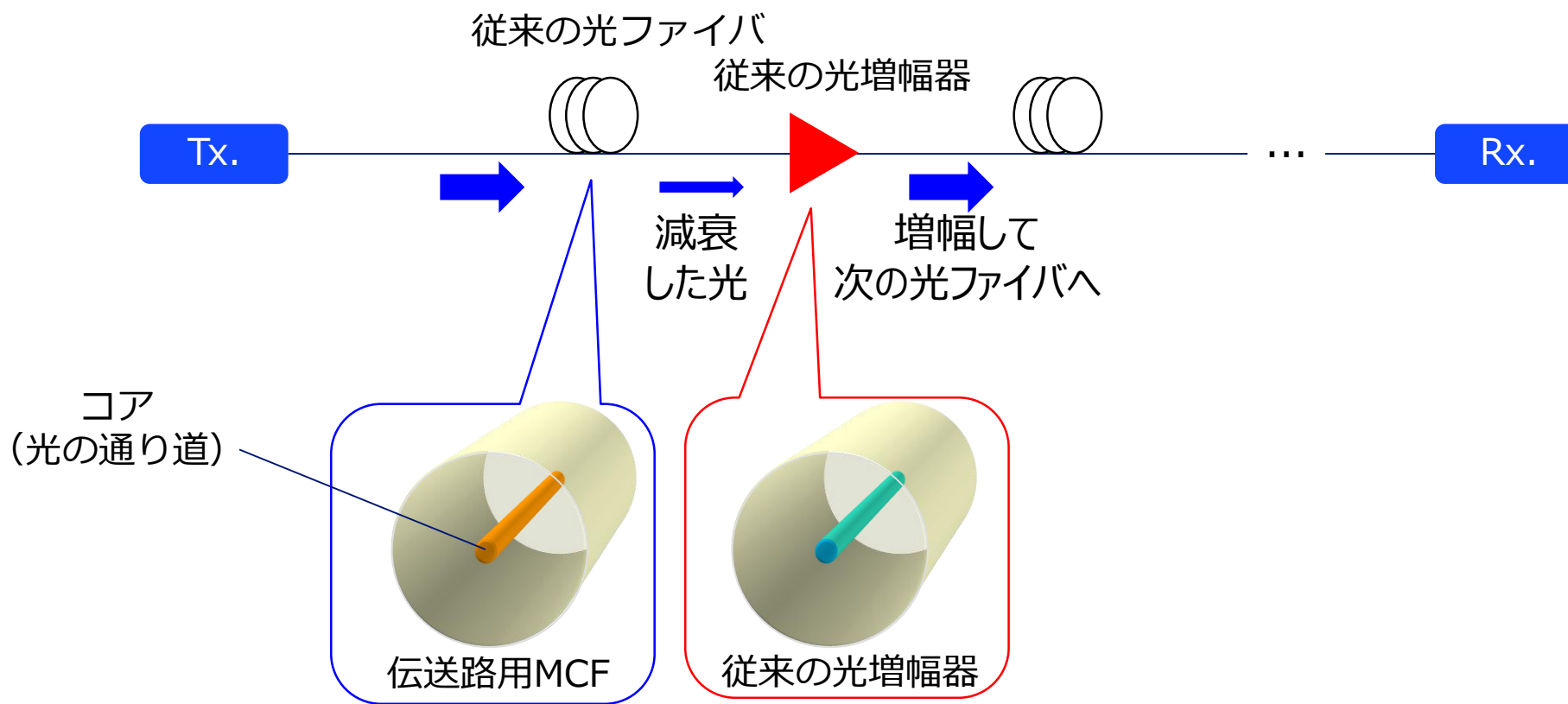


- 伝送線路の容量, 伝送可能距離, 省電力ポテンシャルの評価

以下、補足資料

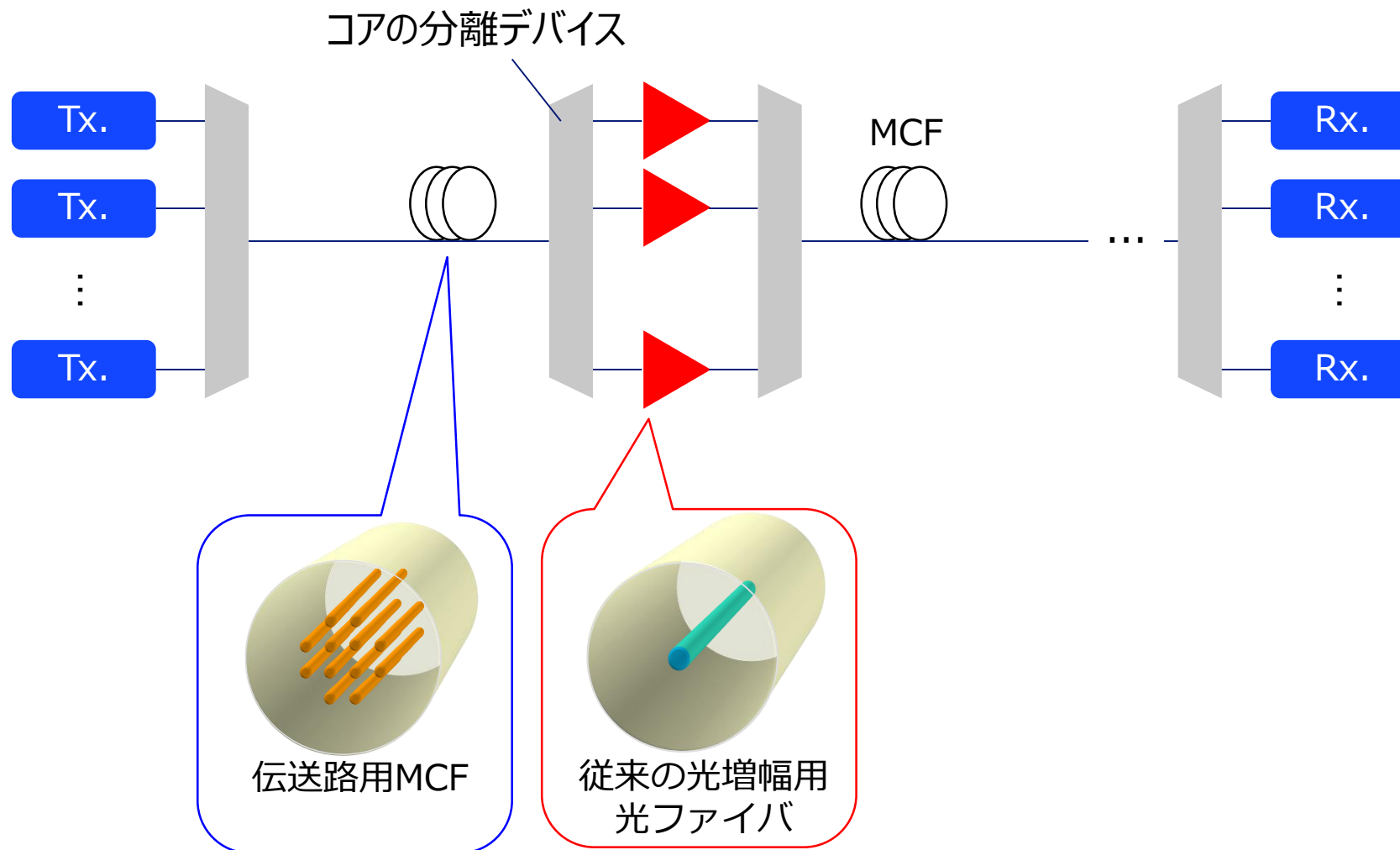
従来の伝送システムの概要

- ファイバ当たりにコアが1つ（光の伝搬が1つ）で、ファイバごとに光増幅器が一定間隔で設置される
- 伝搬によって減衰した光を光増幅器によって増幅することにより長距離の伝送が実現される



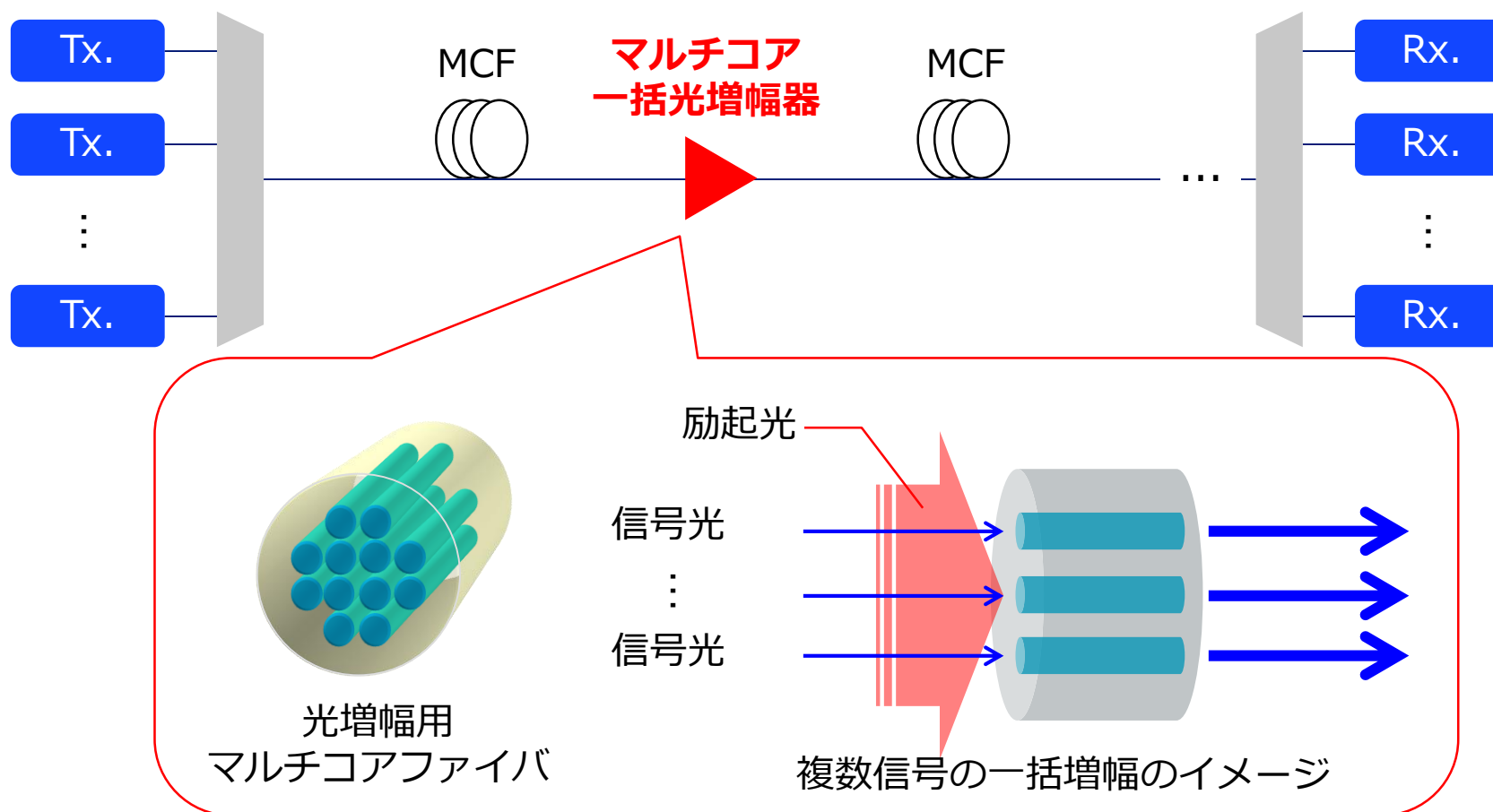
マルチコアファイバを伝送路とした場合

- 伝送路がマルチコアファイバとなりファイバ当たりの容量が拡大するが、ファイバ当たりの光増幅器の数は増大しファイバ当たり必要な増幅器全体の消費電力が大きくなる



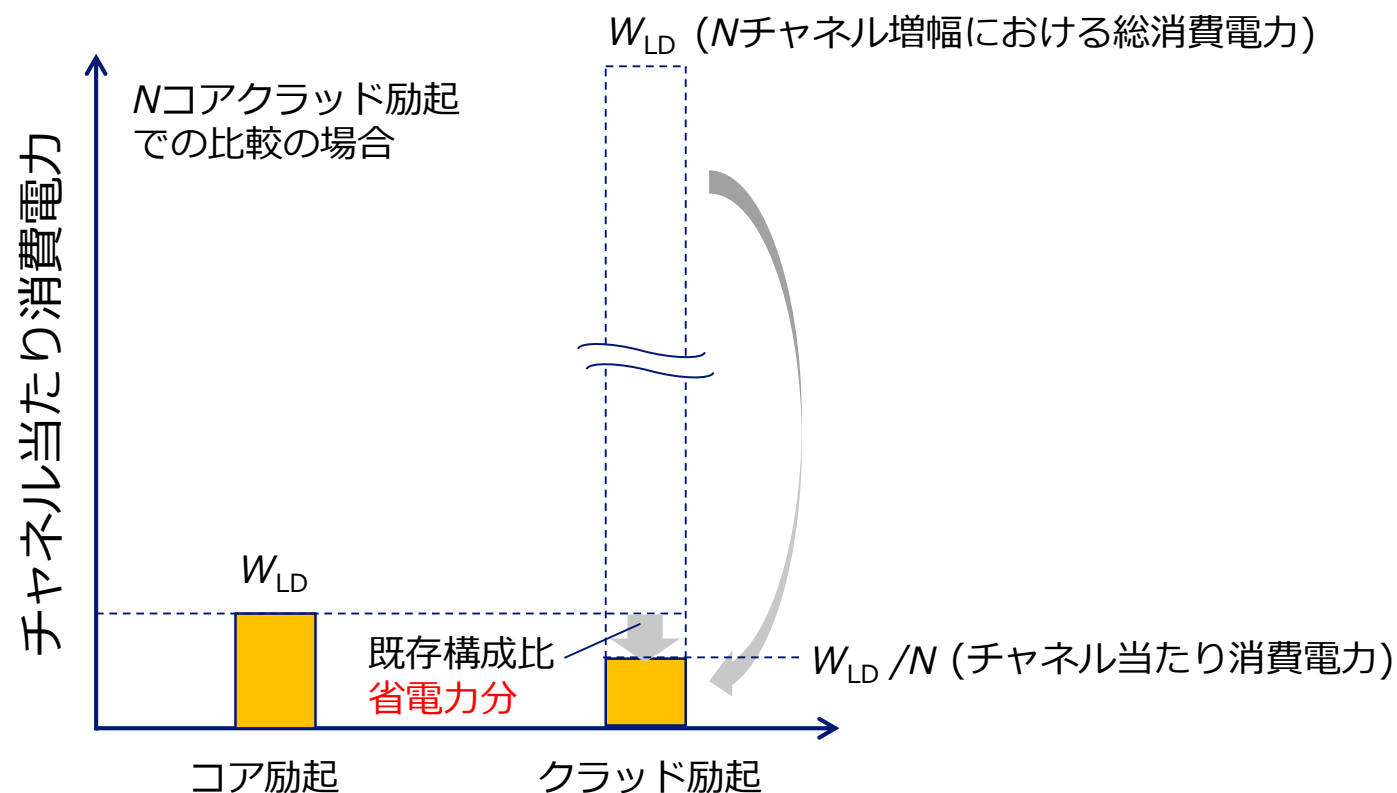
マルチコア伝送＋一括増幅システムの概要

- 伝送路と合わせて増幅用光ファイバにもマルチコア構造を適用し、マルチコア一括技術を採用することで容量の拡大と消費電力の低減を両立可能



参考1：従来技術比消費電力の概要

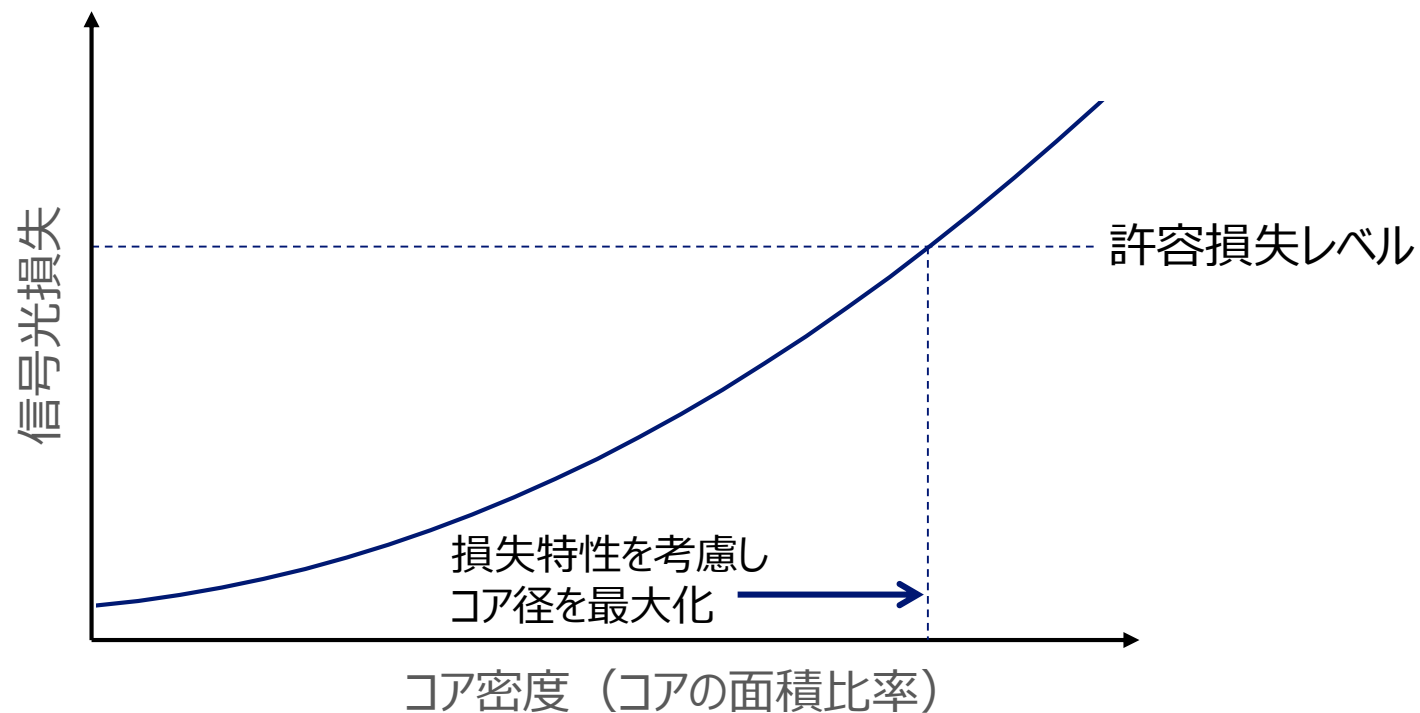
- 所望の増幅量を得るために必要な励起光パワーから、励起用レーザーの消費電力 W_{LD} を決定し、コア励起では $W_{LD} / 1$ 、 N コアのクラッド励起では W_{LD} / N を光増幅器の消費電力として定義



参考図 コア・クラッド励起増幅器の消費電力比較の概要

参考2：コア高密度化の制限要因

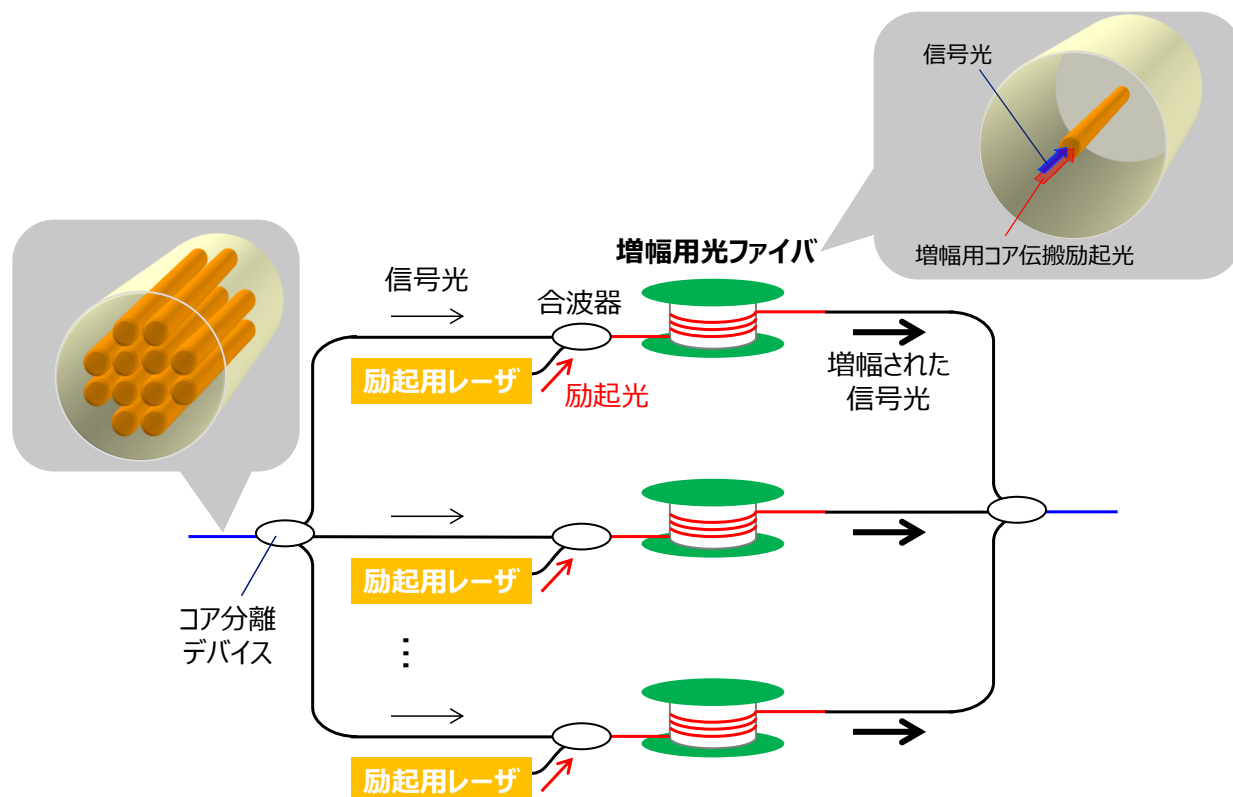
- コア高密度化(コア径縮小およびクラッド径縮小)に伴い、信号光損失も増大してしまい、過度な信号光損失の発生により光増幅効率が低下してしまうので、コア高密度化には限界が生じる



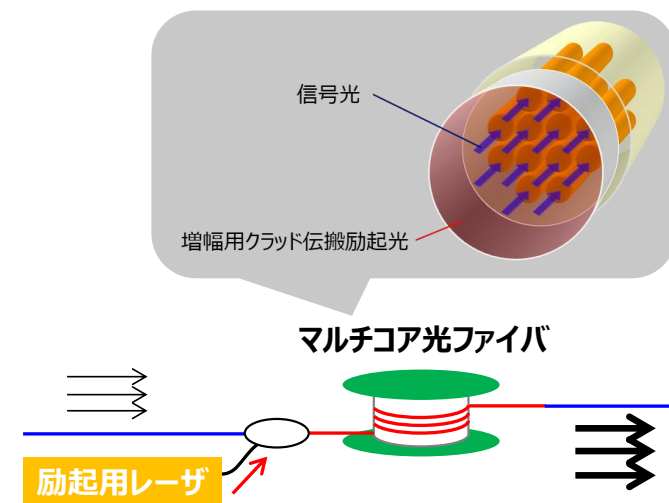
参考図 コア半径と信号光損失のトレードオフ関係の概要

参考3 : クラッド励起方式による一括増幅技術

- 既存のコア励起方式(左図)では、コア単位で励起光を入射してコア内の信号光を増幅
- クラッド励起方式(右図)では、ファイバ断面全体に励起光を入射して断面内の複数コアを伝搬する全ての信号光を一括で増幅



参考図 従来の光増幅器構成



参考図 クラッド励起方式による一括増幅器構成