

**sevensix** 第1回プライベートセミナー 2020年5月27日

『もっと身近な光伝送の活用と仕組みのお話』

## 『光伝送の仕組み：損失・増幅・分散』

セブンシックス技術部部长 中村亮介

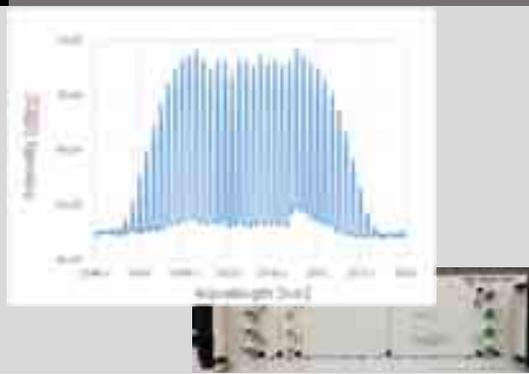
# 技術部の紹介

高い技術力が支える自社製品開発、ソリューション提案、サポート

ファイバーレーザー

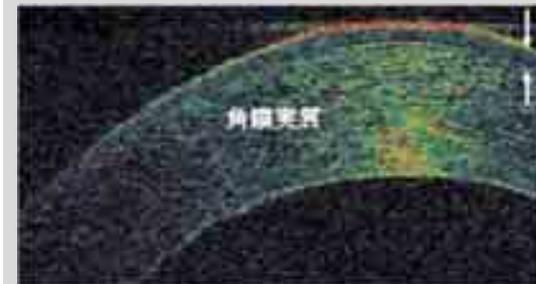


光周波数コム光源



光コヒーレンストモグラフィ (OCT)

断層光計測、表面凹凸光計測



ソフトウェア

AI搭載による機能強化



アプリケーション

自社・取扱製品を実装した分析機器



大学・研究機関共同研究

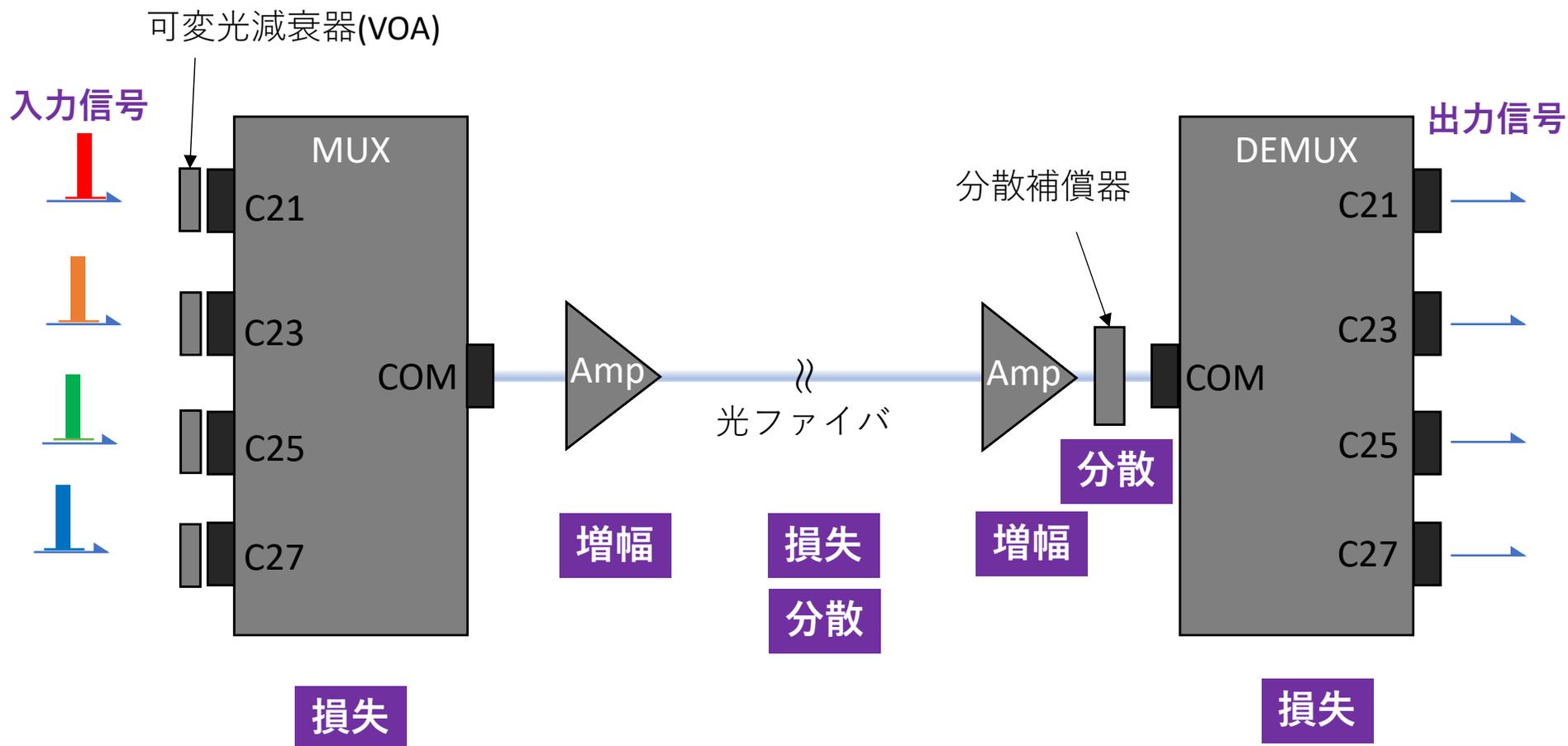
大学等の技術シーズを製品化



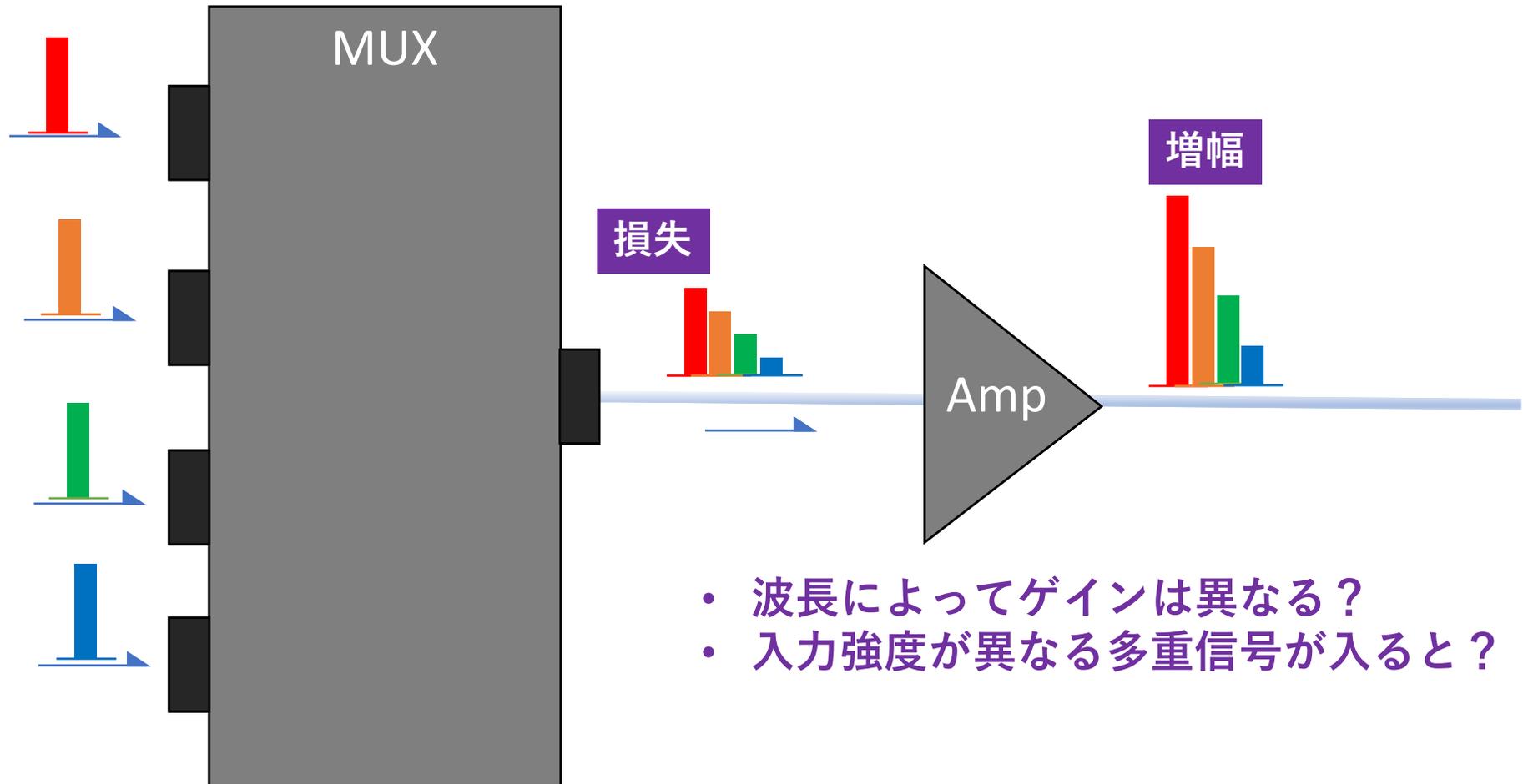
# アウトライン

- 1. 光伝送の構成、全体像**
  - 損失、増幅、分散によって信号がどうなるか
- 2. Mux/Demuxのしくみと損失**
  - AWG, TTFの構造と損失
- 3. 光アンプのしくみ**
  - なぜゲインは波長に依存するのか
- 4. 光ファイバの損失**
  - なぜ損失が起こるのか
  - 距離に対してどの程度損失するか
- 5. 光ファイバの分散**
  - 分散とは？（光の伝搬、屈折率、群速度）
  - 分散があると光信号はどうなるか
  - 距離によってどうなるか
- 6. （光トランシーバに使われるレーザ）**

# 光伝送の構成



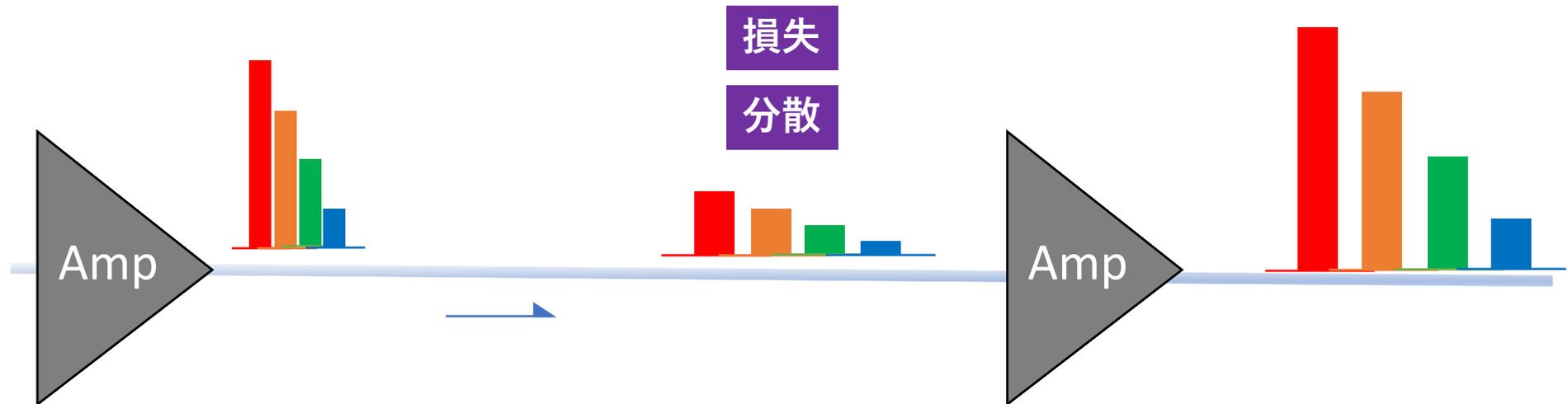
# 光伝送の構成



- 波長によってゲインは異なる？
- 入力強度が異なる多重信号が入ると？

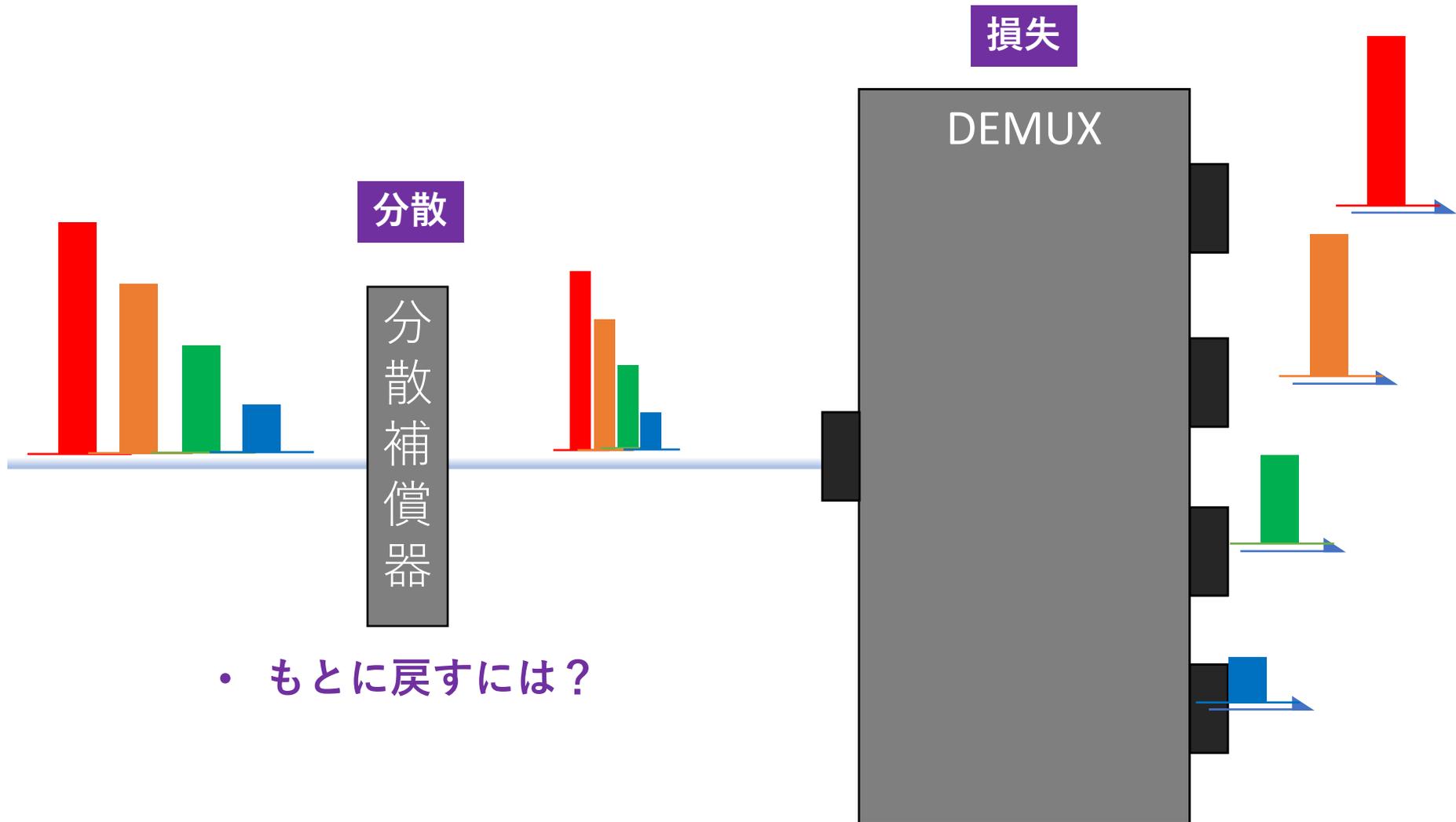
- チャネルごとに損失が違う？

# 光伝送の構成



- ファイバー伝搬距離に対して損失はどれくらい？
- 分散によって信号の時間幅、ピーク強度、信号間隔はどうか？

# 光伝送の構成



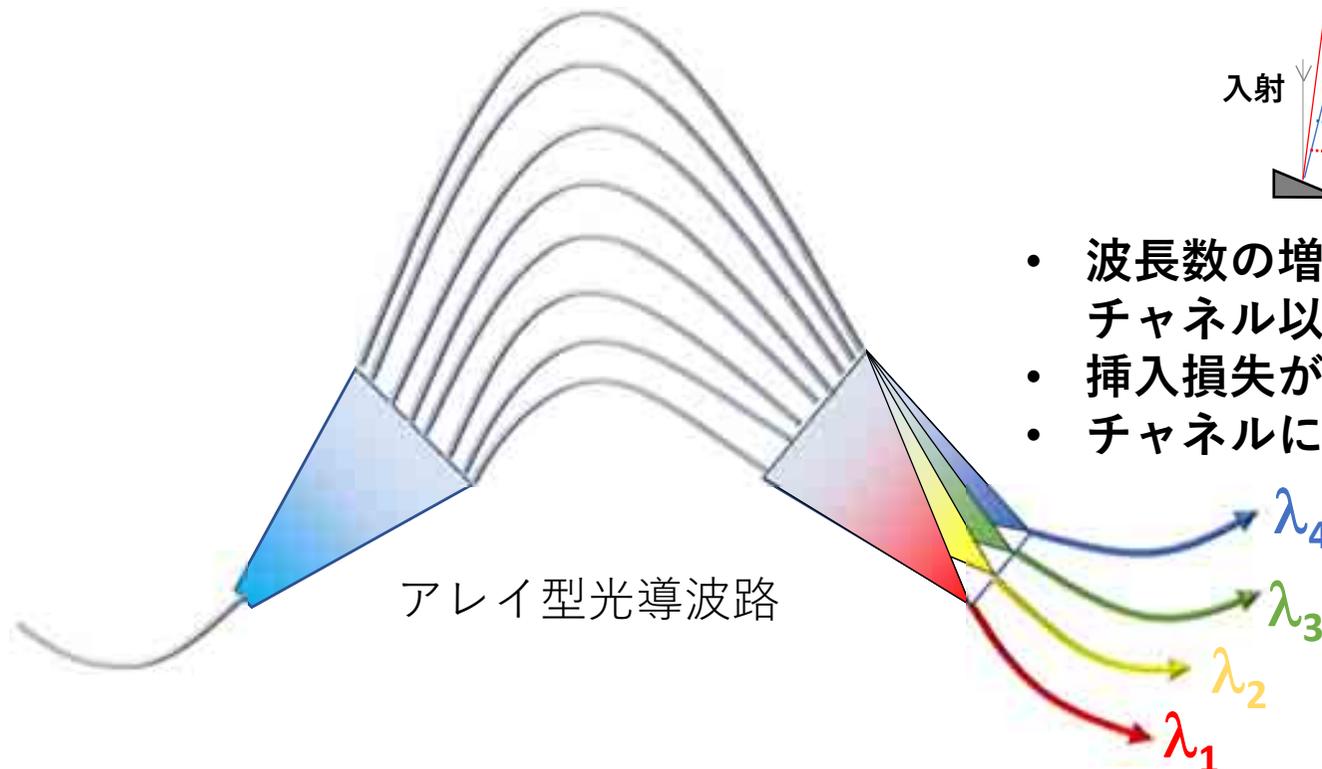
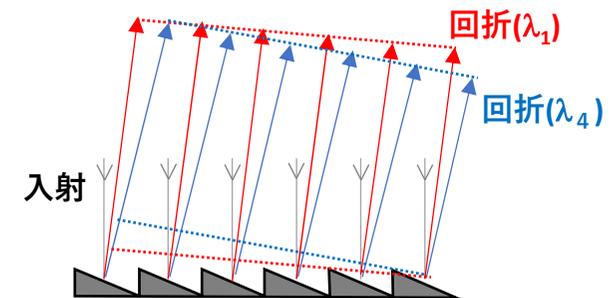
• もとに戻すには？

• チャンネルごとに損失が違う？

# MUX/DEMUXの構造と損失

## ① Arrayed Waveguide Grating (AWG)

伝搬距離が異なる光を重ね合わせると、色が異なる角度に分離する。

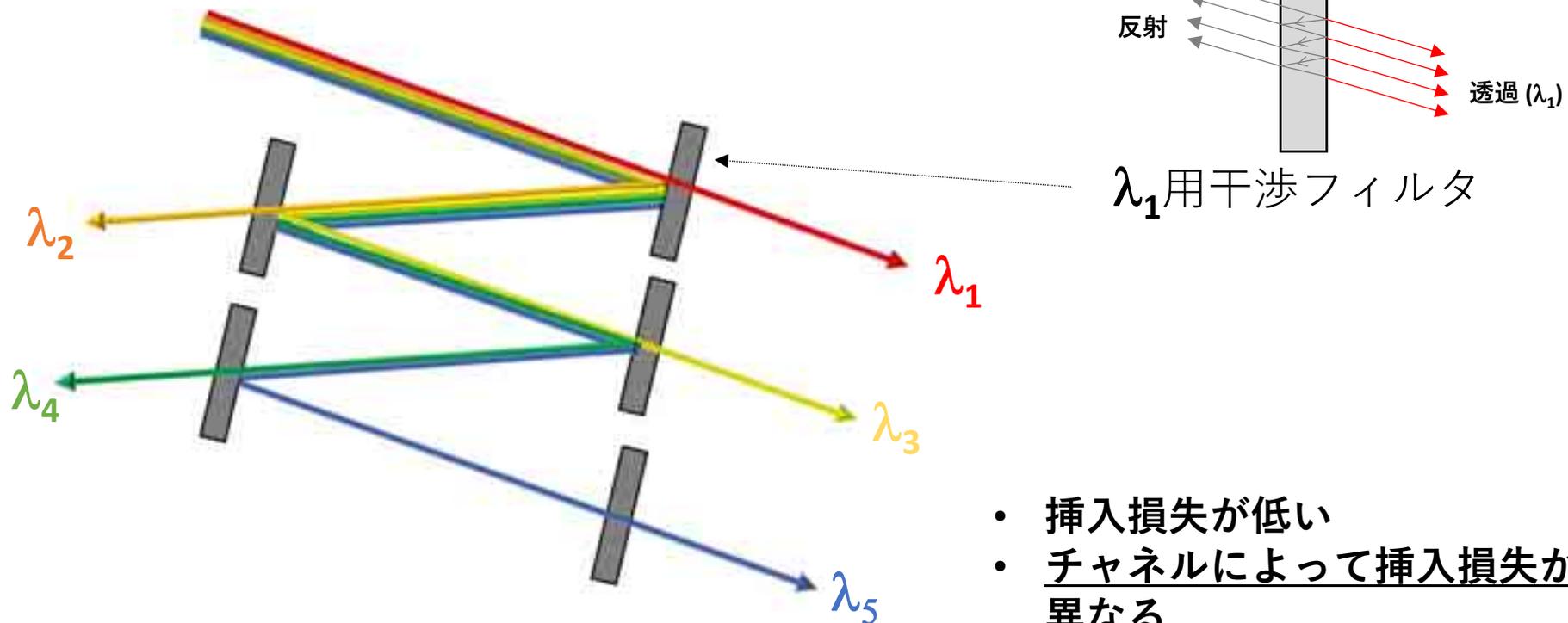
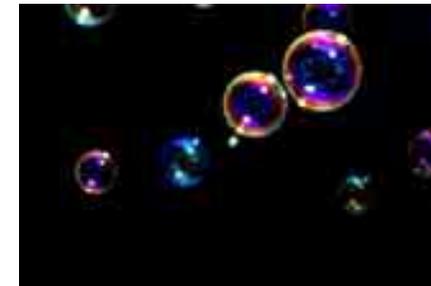


- 波長数の増加にも対応できる（16チャンネル以上）
- 挿入損失が大きい
- チャンネルによる損失依存性はない

# MUX/DEMUXの構造と損失

## ② Thin Film Filter (TFF)

薄膜干渉フィルタを複数使って、  
順に色を分けていく。



- 挿入損失が低い
- チャンネルによって挿入損失が異なる

# 1芯4chDWDM MUX/DEMUX サイドA データシート

Thin Film Filter (TFF)タイプ

Optical WDM Data Sheet

PN: MUX-DWDM-4CH-C45-C52-Side A



PERFORMANCE SPECIFICATIONS:

Parameter											
Operating Wavelength (nm)		C45	C46	C47	C48	C49	C50	C51	C52	EXP	
Insertion Loss (dB)		<2.5	0.38	0.60	0.87	0.85	1.24	1.43	1.89	2.16	1.48
Channel Ripple (dB)											
Polarization Dependent Loss (dB)		低損失 ←————→ 高損失									
PMD (ps)		<0.20									
Isolation	Adjacent (dB)	>30									
	Non-adjacent (dB)	>45									
Directivity (dB)		>50									
Return Loss (dB)		>45									
Fiber Length (m)		0.50									
Fiber Type		SMF-28e with 2.0um Loose Tube									
Connector		WAVES:LC/UPC LINE:SC/APC									
Operating Temperature		- 20~+70℃									
Storage Temperature		- 40~+85℃									
Package Dimension (mm)		111									

チャンネルによって挿入損失が違う

# 光アンプの種類

## 1. エルビウム添加光ファイバアンプ (EDFA)

光ファイバのコア部にエルビウム・イオンを添加した光増幅器。  
高利得、低雑音、偏波無依存、C-band用。

## 2. ファイバラマンアンプ (FRA)

光ファイバ内での誘導ラマン散乱を利用した光増幅器。  
利得帯域が広く、励起光の波長により自由に設定可。低利得。

## 3. 光半導体アンプ (SOA)

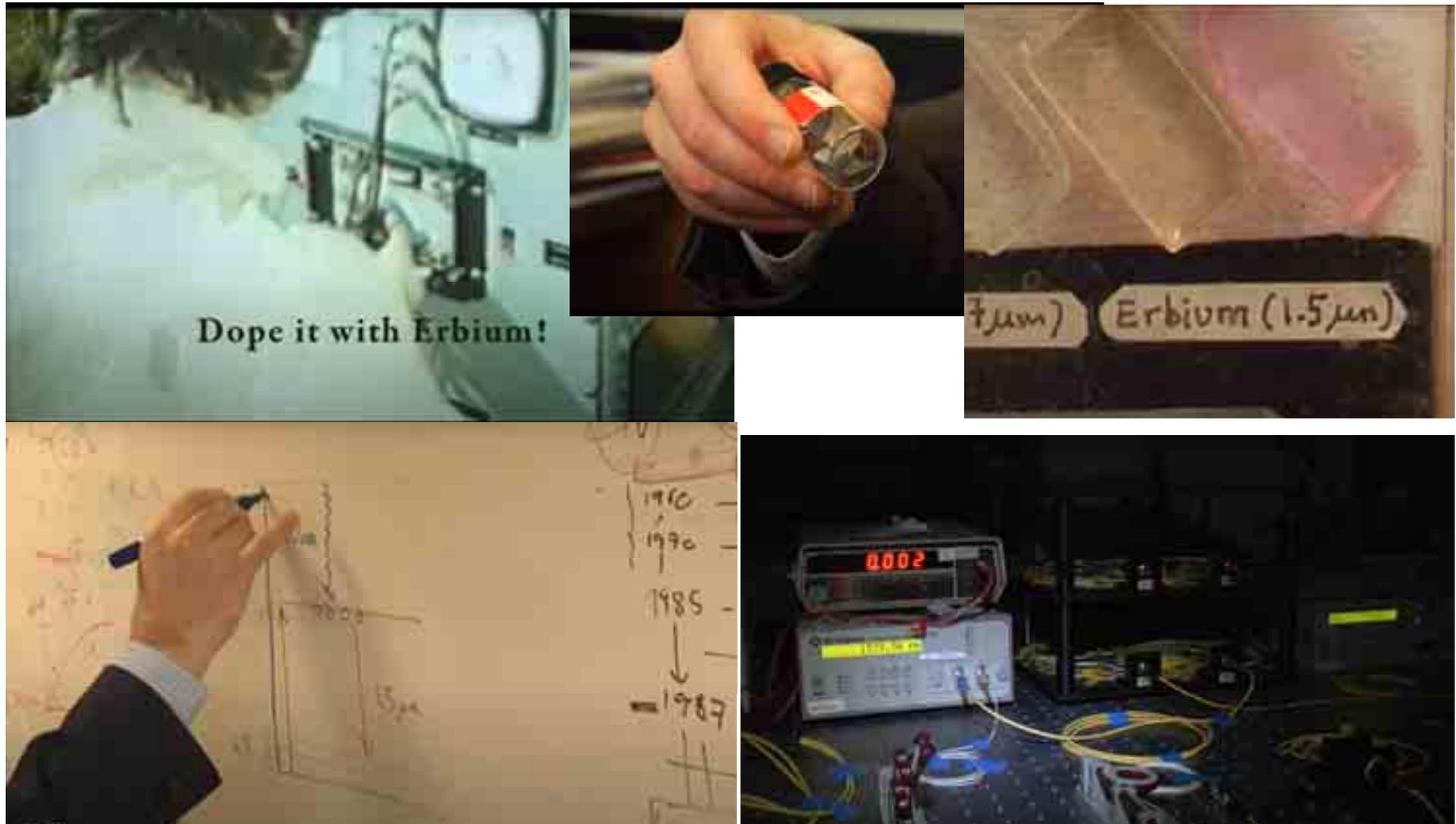
半導体レーザと同様の構造 (共振器構造はなし)  
小型、O-band用。

# The EDFA - how it was developed

sevensix  
第1回プライベートセミナー

Optoelectronics Research Center, University of Southampton

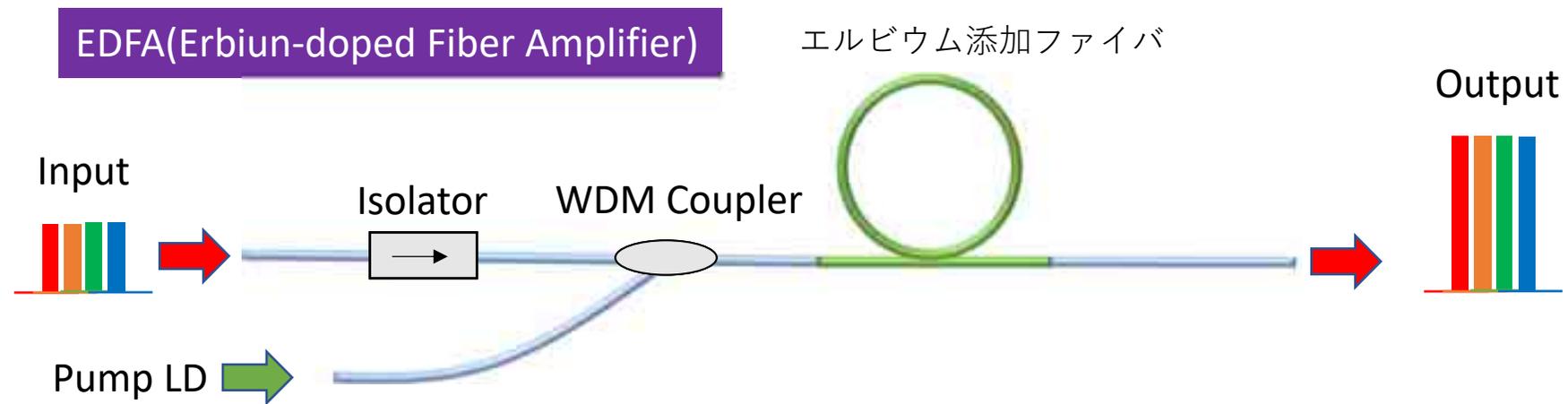
[https://www.youtube.com/watch?v=v\\_Xkn14XWcQ](https://www.youtube.com/watch?v=v_Xkn14XWcQ)



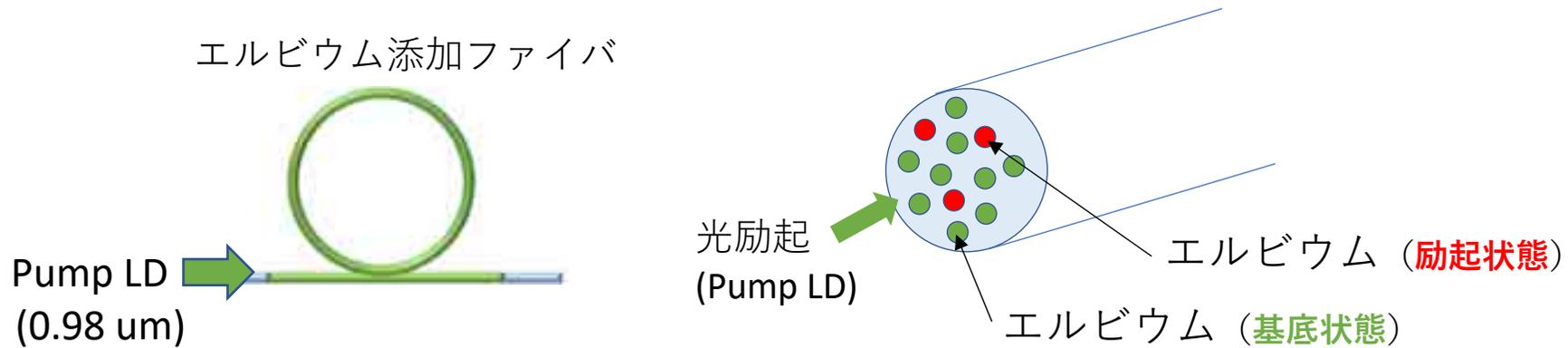
# EDFAの概要

- 波長によってゲインは異なる？
- 入力強度が異なる多重信号が入ると？

波長依存なく均一に増幅したい



# EDFAの原理



## エルビウムは基底状態か励起状態かの2状態

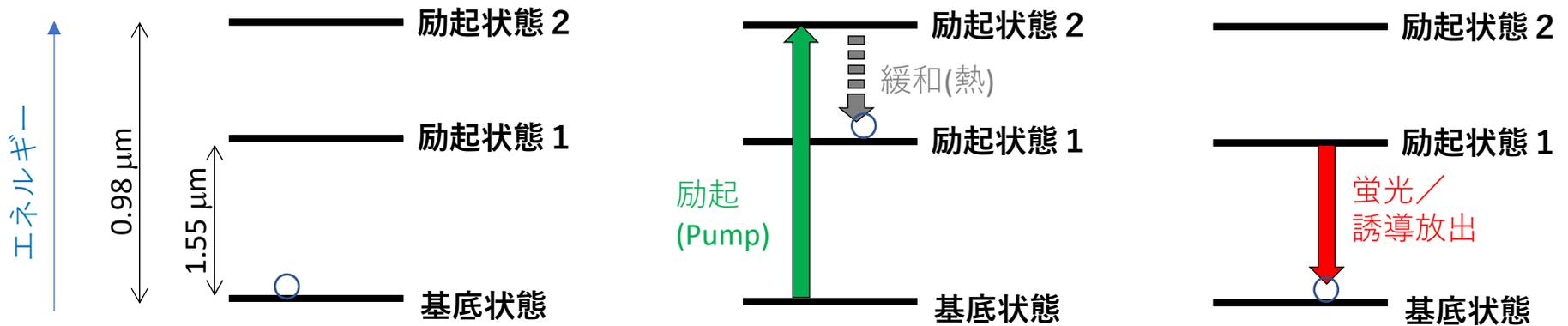
①基底状態



②励起状態

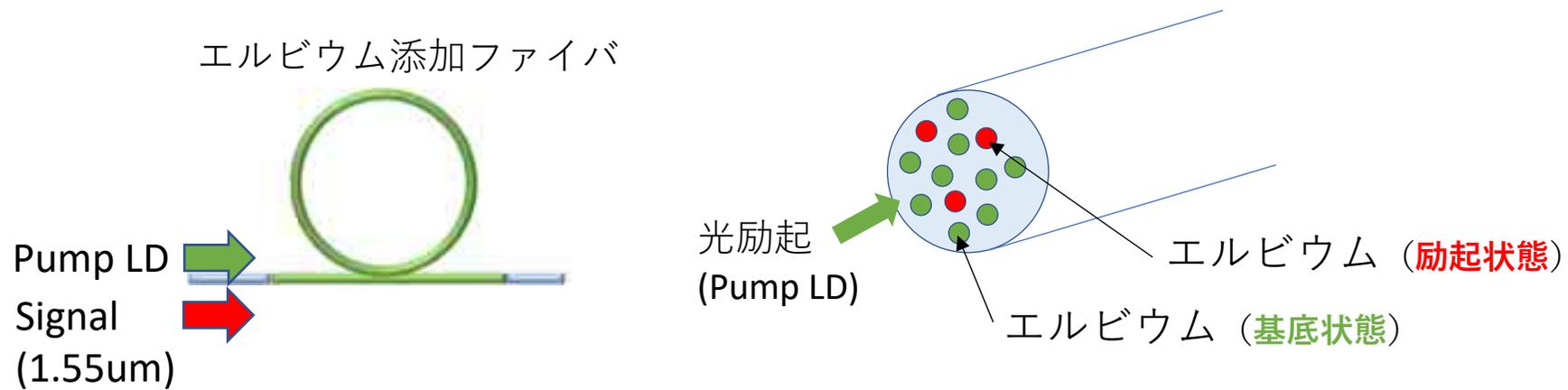


③基底状態



エルビウムのエネルギー準位

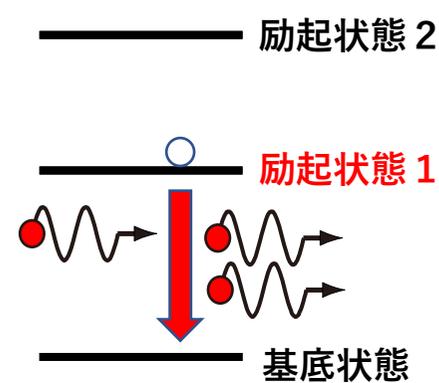
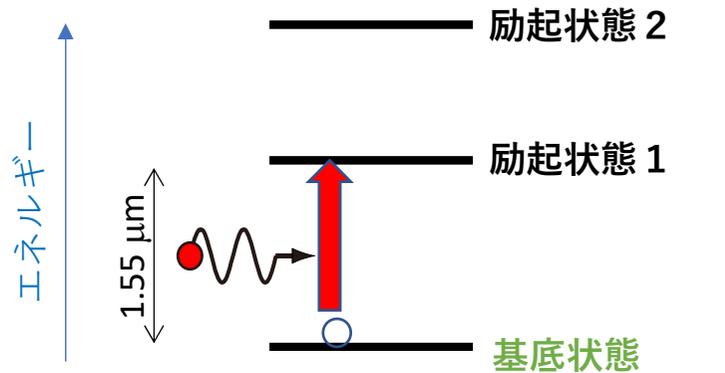
# EDFAの原理



各状態のエルビウムに1.55umのSignal光が入射すると？

吸収 (損失)

誘導放出 (増幅)

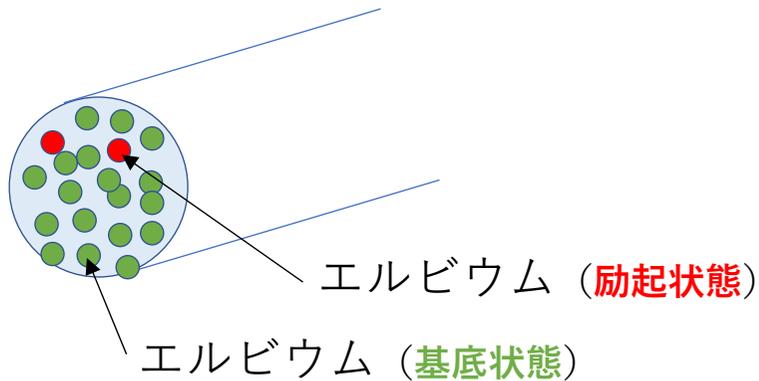


エルビウムのエネルギー準位

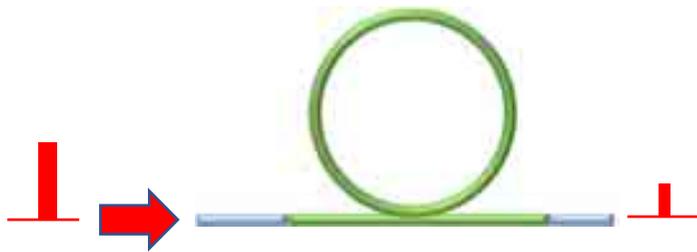
# EDFAの原理

## 基底状態が多い

- ・ Pump光が弱い
- ・ 添加量が多い

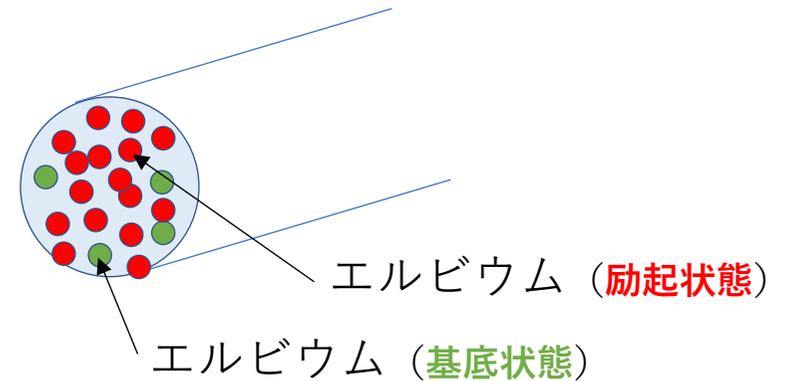


## 損失

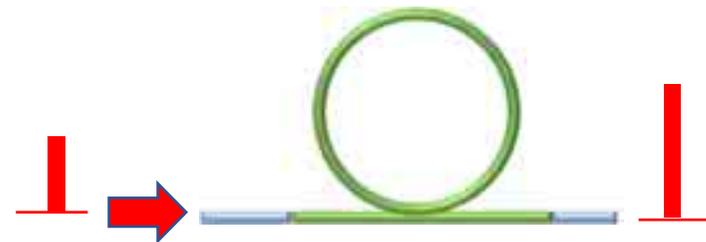


## 励起状態が多い

- ・ Pump光が強い
- ・ 添加量が少ない



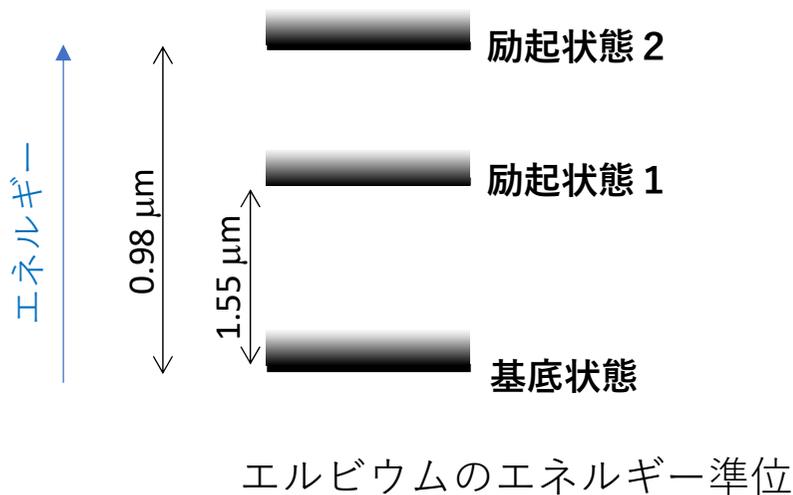
## 増幅



# EDFAの原理

- 吸収と蛍光／誘導放出にはエネルギー幅がある。
- 吸収と蛍光(誘導放出)の生じやすさ（遷移確率）に波長依存性がある。  
⇒吸収・蛍光スペクトル

各エネルギー準位は“幅”がある



エルビウムの吸収・蛍光（誘導放出）  
スペクトル

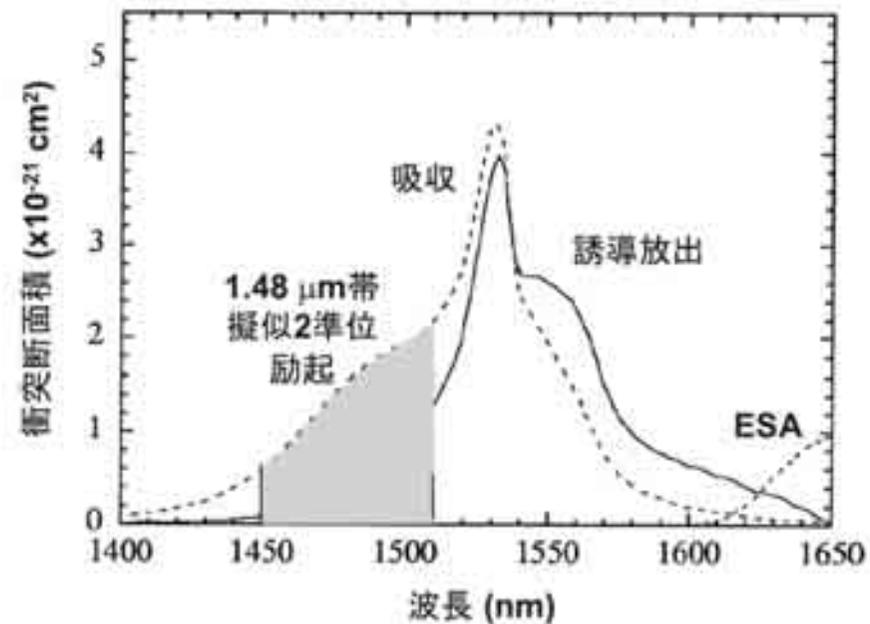
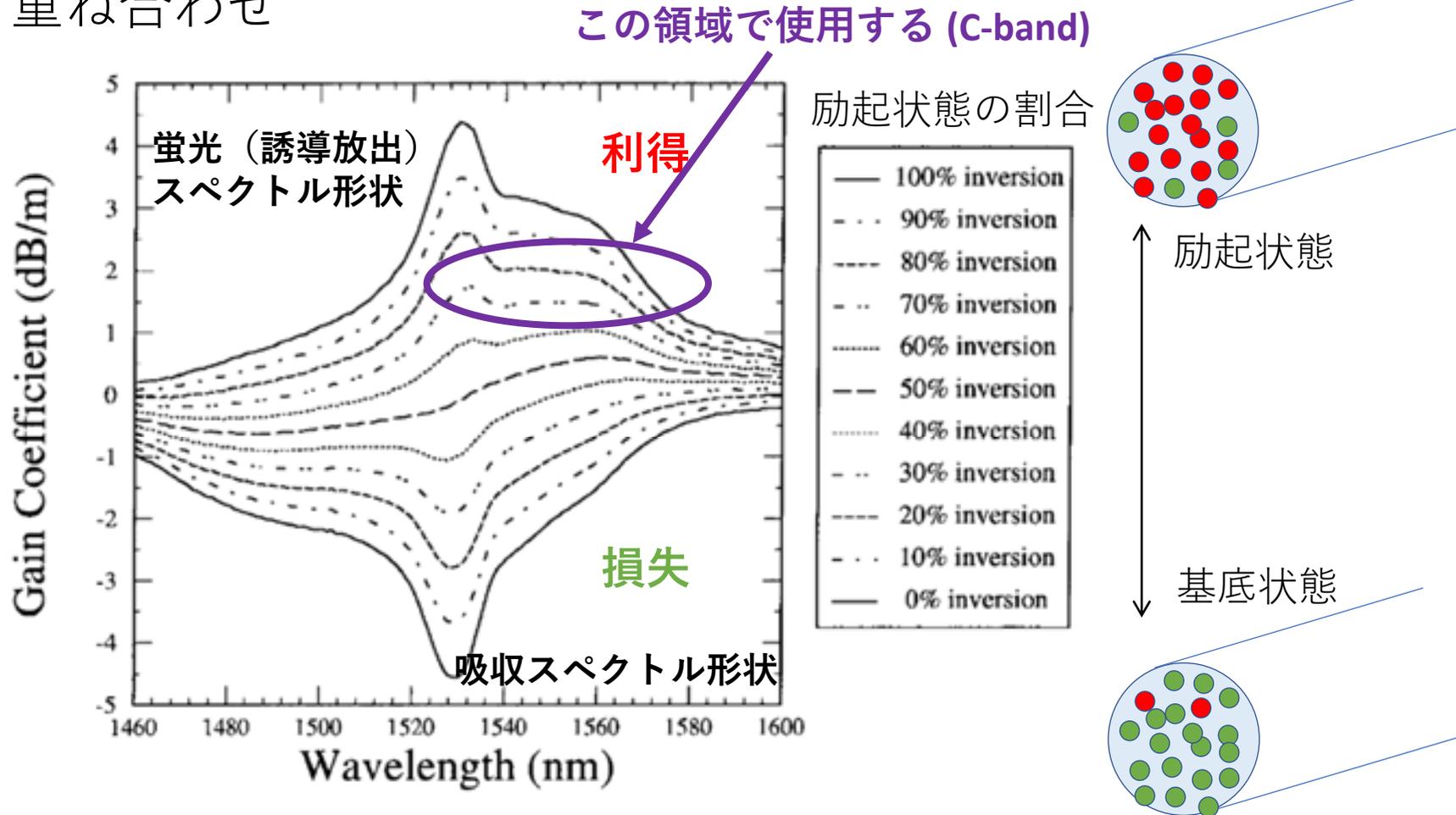


図4  $\text{Er}^{3+}$ イオンの吸収・誘導放出断面積及びESA断面積

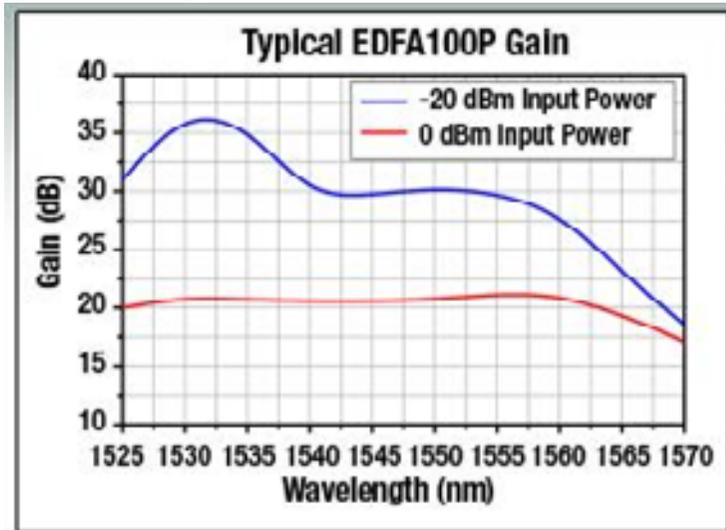
# EDFAの原理

形状は吸収スペクトルと蛍光（誘導放出）スペクトルとの重ね合わせ

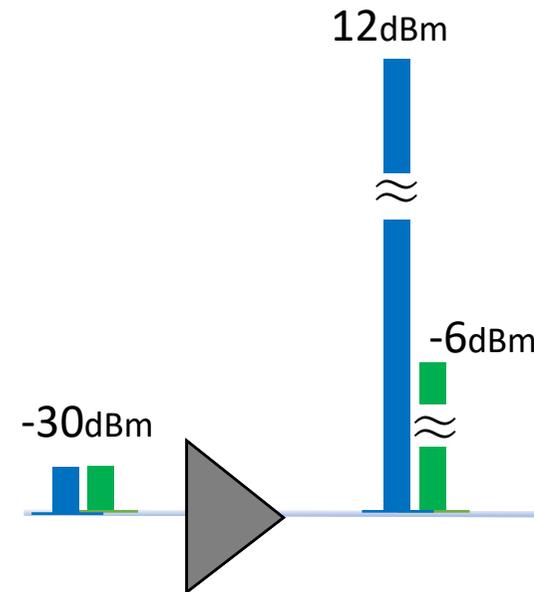
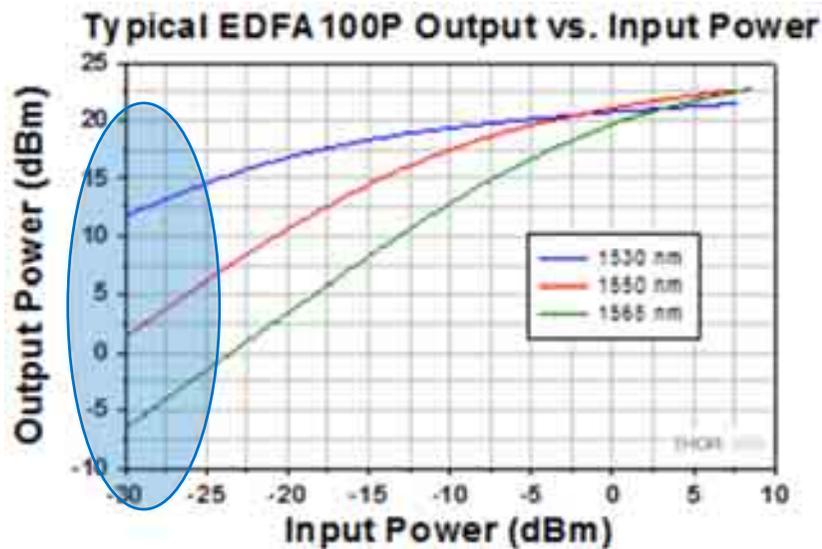


反転分布の割合と利得係数

# EDFAの特性例

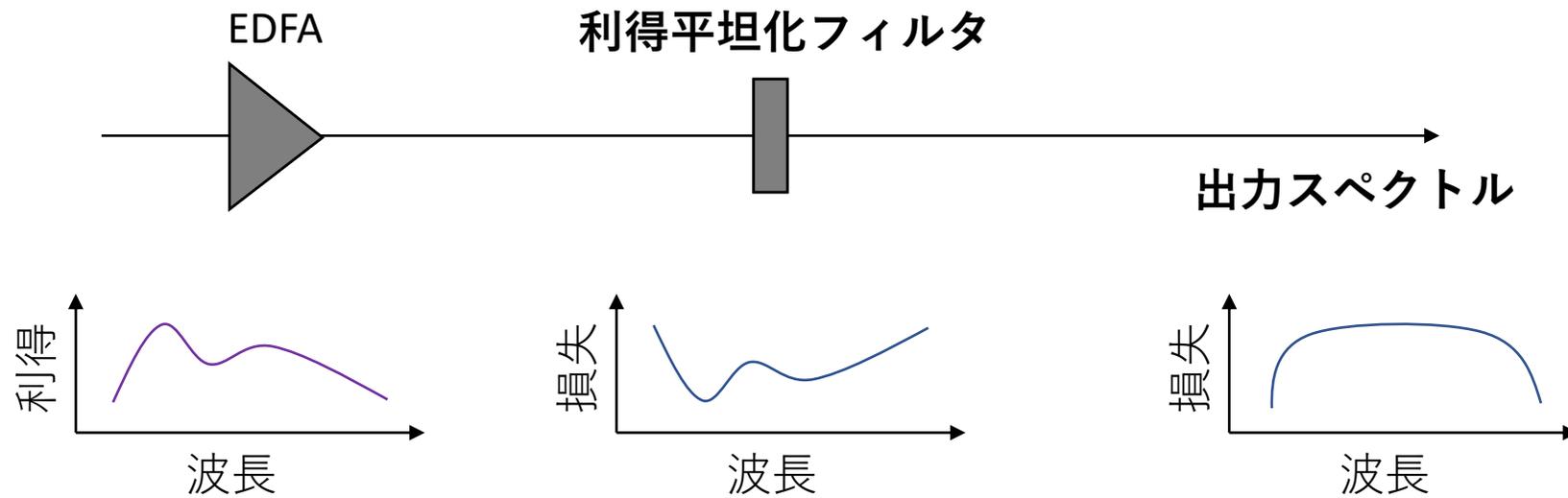


実験研究用の光増幅器(EDFA)



利得は、  
信号の波長、入力レベルに  
依存する

# 利得の平坦化



# EDFA製品の仕様

## EDFA

3C optics



### 1.1.1 Specifications

Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
Operating Wavelength Range	1529.55	-	1560.61	nm
Working Wavelength Type		40CH		
Input Power	-30	-7	-5	dBm
Output Power	-13	13	13	dBm
Gain	17	20	23	dB
Flatness @Gain=20dB	-	1	2	dB
PDG	-	-	0.5	dB
PMG	-	-	0.5	ps
Input /Output Isolation	45	-	-	dB
Noise Figure @Gain=20dB	-	-	5.5	dB
Operating Mode	-	AGC (default), APC, ACC		

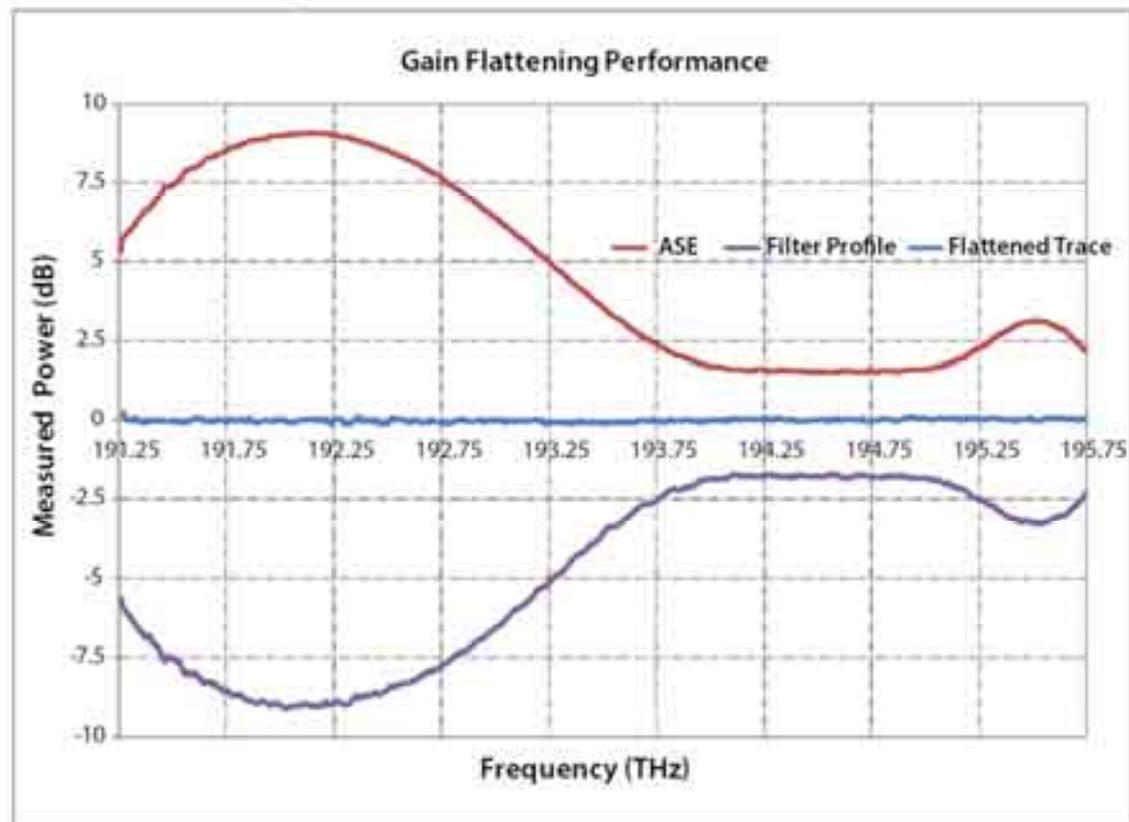
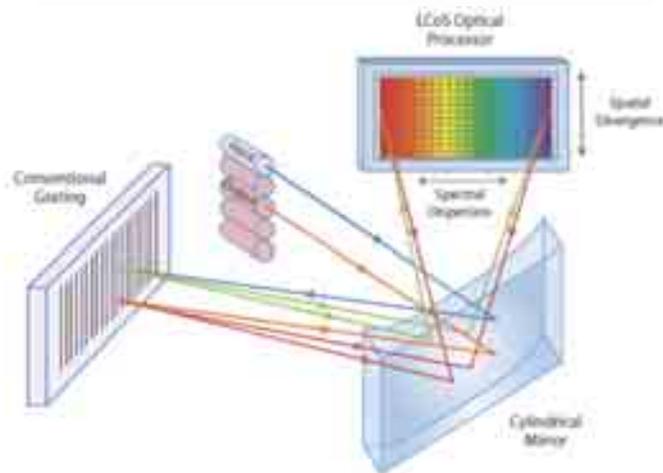
# 究極の平坦化フィルタ

各波長ごとに細かく減光量を設定できる

II-VI



## WaveShaper 500A

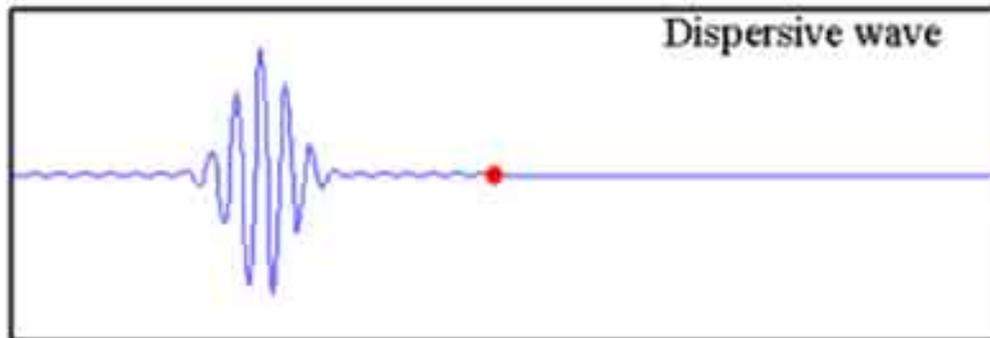


# 光ファイバの分散



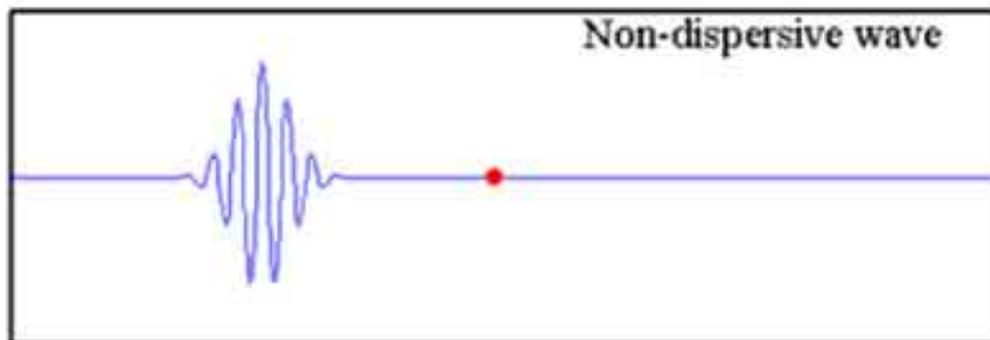
分散によって信号の時間幅、ピーク強度、信号間隔はどうか？ なぜ？

分散性媒質中（群速度が波長依存性を持つ）



時間幅：広がる  
ピーク強度：低下

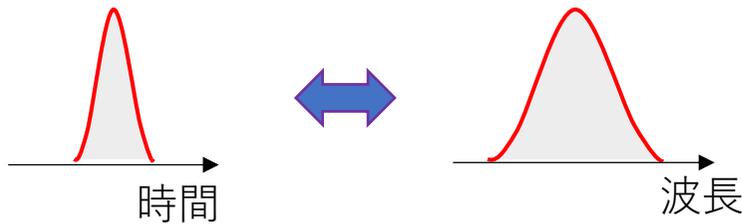
非分散性媒質中



引用：  
UNIVERSITY OF SOUTHAMPTON  
“Animations of Acoustic Waves”  
<http://bit.ly/e5oTA5>

# なぜ分散が生じるか

パルス信号は波長分布がある

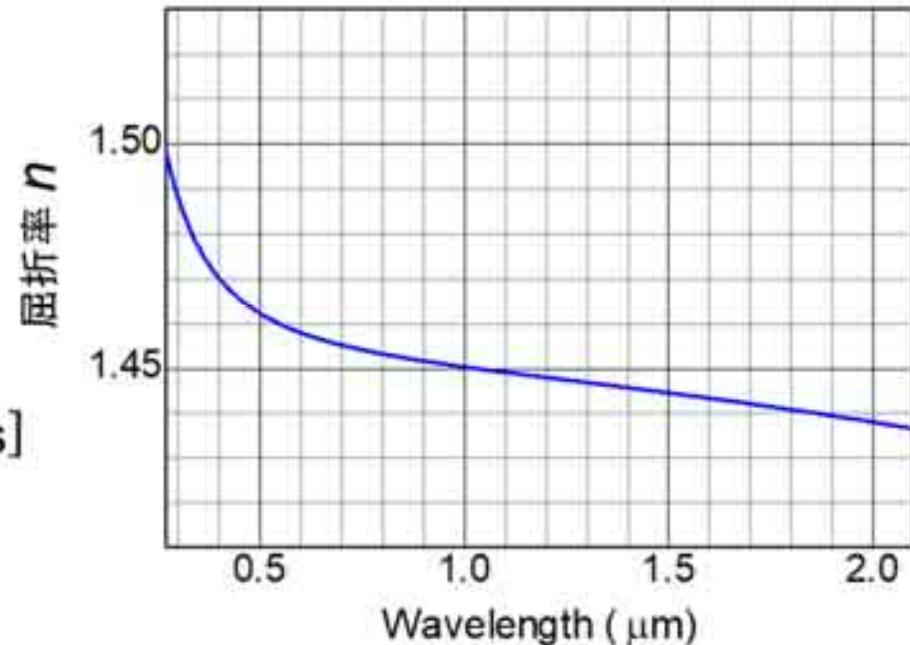


波長によって速さが異なる

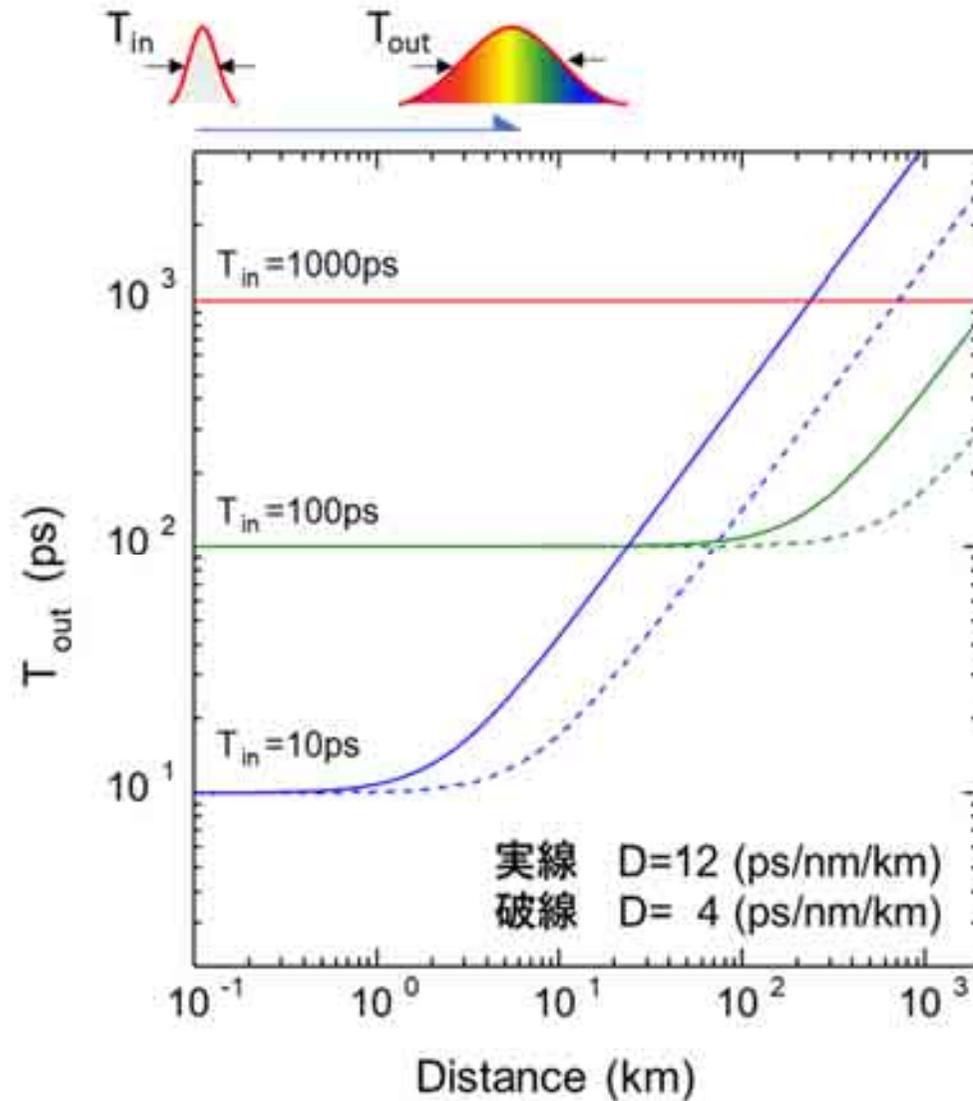
真空中の光速： $c = 2.99979 \times 10^8$  [m/s]

物質中の光速： $\frac{c}{n}$   
(位相速度)

熔融石英の屈折率分散



# パルス信号の時間幅広がり



(おまけ)

# 光トランシーバ

sevensix

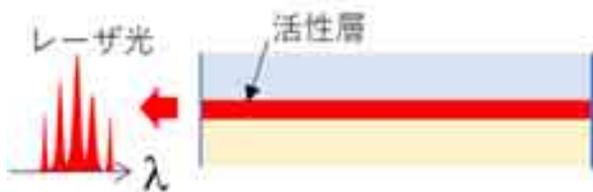
第1回プライベートセミナー



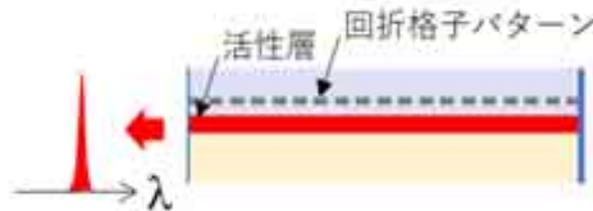
## レーザの種類と特長

種類	波長	アプリケーション	特徴
VCSEL	850 nm	< 200m	小型、低消費電力、低価格、高結合効率、短距離通信
FP	1310/1550 nm	500m-10km	最もシンプルな構造、長距離伝送に向かない
DFB	1310/1550 nm	40km	高い単一波長選択性、広波長帯域、高速変調
EML(DFB)	1310/1550 nm	40km	外部変調、高速変調、長距離伝送

FP(ファブリーペロー)



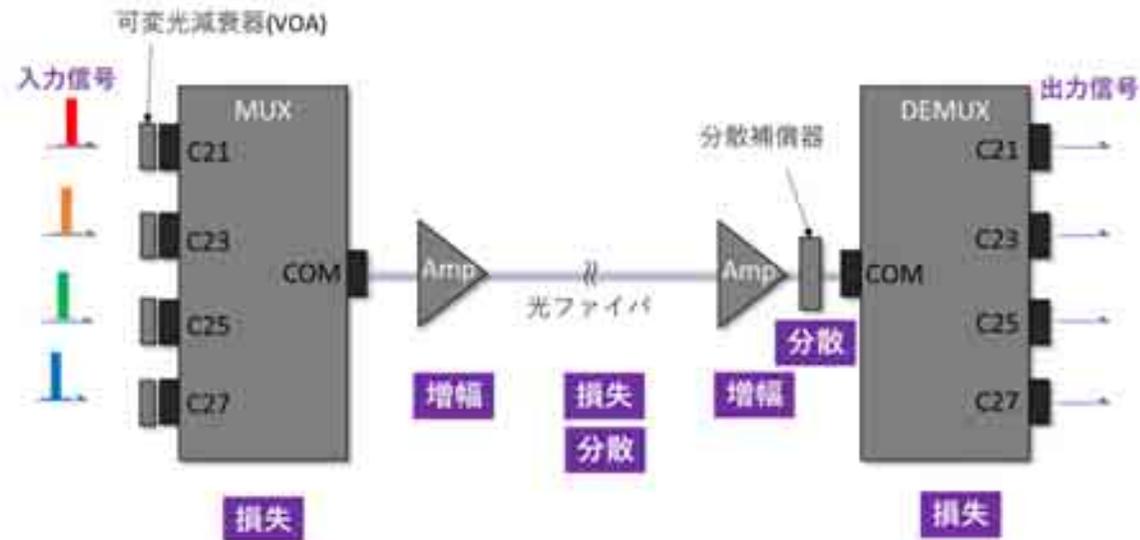
DFB(分布帰還形)



EML(DFB + 電界吸収型変調)



# まとめ



1. Mux/Demuxのしくみと損失：AWG、TTF
2. 光アンプ(EDFA)の原理、ゲインと損失、波長依存性
3. 光ファイバの損失
4. 光ファイバの分散：パルス信号がなぜ、どのように劣化するか
5. (光トランシーバに使われるレーザとディテクタ)

## お願い事項

本資料の情報は、貴社内における情報共有及び活用以外（改変、掲示、配布、外部サイトへの転載などを含む）でのご利用はお控えください。もし、ご利用可能範囲外でのご希望がある場合には、事前に弊社にご連絡の上、許諾を得ていただくようお願いいたします。

## お問い合わせ窓口

セブンシックス 株式会社 大久保・叶

電話番号：03-6721-1077/e-mail：info@sevensix.co.jp