


高分解能光パワーメータ

島根大学 学術研究院理工学系
大学院自然科学研究科

教授 増田 浩次

平成30年11月8日

アウトライン

- 
- 新技術の概要
 - 従来技術との比較
 - 新技術の特徴
 - 想定される用途

新技術の概要

- フォトダイオードなどの光電変換デバイスの前段に、光増幅帰還形の光回路を配置するという**新原理で動作する光パワーメータ**である。
- **光スペアナなどの分光器内に設置される光パワー検出モジュール**としても適用可能である。
- 前記光回路は、**レーザ発振閾値近傍以下で動作**する。光増幅器およびレーザとは異なる。
- 本提案の光パワーメータの**光パワー分解能は、従来技術の10～100分の1程度**である。

従来技術との比較（1/2）

- 本提案技術は、微弱光測定における高感度化（最小光パワーの低減）を図ったものではなく、**光パワーの微小変化量測定における高分解能化**（最小光パワー変動量の低減）を図ったものである。
- 本提案技術により、レーザ光源出力パワーの微小変動、および光部品や各種媒質（液体など）の損失の微小変動を**極めて高い分解能（従来技術の10～100分の1）**で測定できる。

従来技術との比較（2 / 2）

- 従来技術の光パワーメータにおける光パワー分解能は、フォトダイオードなどの光電変換デバイスモジュールの光・電気特性によって制限されており、その**典型値は0.01dB程度**である。
- 一方、**本提案の光パワーメータの光パワー分解能**は、従来技術の10～100分の1、すなわちその**典型値は0.001～0.0001dB程度**である。

アウトライン

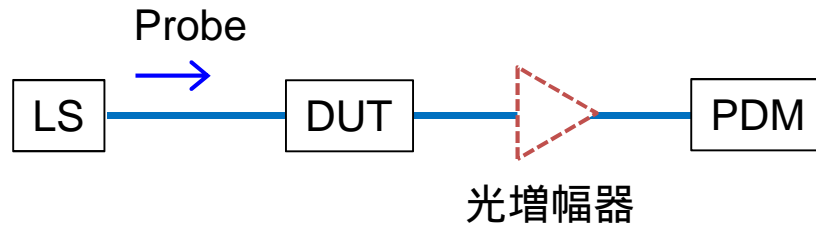
- 新技術の概要
- 従来技術との比較
- 新技術の特徴
- 想定される用途



新技術の特徴

- 光パワーの極めて小さな変化を検出可能である。
- 本提案の光増幅帰還形の光回路内で、波長選択性を有する波長変換が行われるため、**多点一括計測が可能**である。
- **全光形の光回路によって構成される光パワーメータのセンサヘッドが構築可能**である。

従来技術の問題点



DUT: センシング対象

LS: 光源

PDM: フォトダイオードモジュール

- 直接測定, もしくは光増幅器を利用
- 検出器の感度の典型値 = 0.01dB程度
- 線形応答を用いるため, 光パワー分解能特性は向上しない

[光パワー分解能の変化]

■ 光増幅器を用いた従来方式:

PDMの感度 = 0.01dB → 0.01dB

■ 光増幅帰還回路方式(本提案方式)の例:

PDMの感度 = 0.01dB → 0.0001dB (1/100倍の場合)

0.01dB = 0.23%, 0.0001dB = 0.0023%

光パワー分解能の仕様例

- A社, パワーメータ 211B

センサ素子	InGaAs
分解能	0.01dB

<http://www.photom.hakuto.jp/japanese/products/index.html>

- B社, パワーセンサ・モジュール, 81636B

センサ素子	InGaAs
相対不確かさ :	
偏波による	0.015dB
スペクトル・リップル (干渉による)	0.015dB

<https://www.keysight.com/ja/pd-88109-pn-81636B/fast-optical-power-sensor?nid=-536900353.536883113&cc=JP&lc=jpn>

光パワー（ P ）と光パワー分解能（ ΔP ）

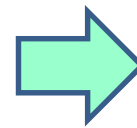
(1) 光増幅器を用いた場合：

$$P[\text{dBm}] = 10 \cdot \log_{10} P_0[\text{mW}]$$

利得： G_0

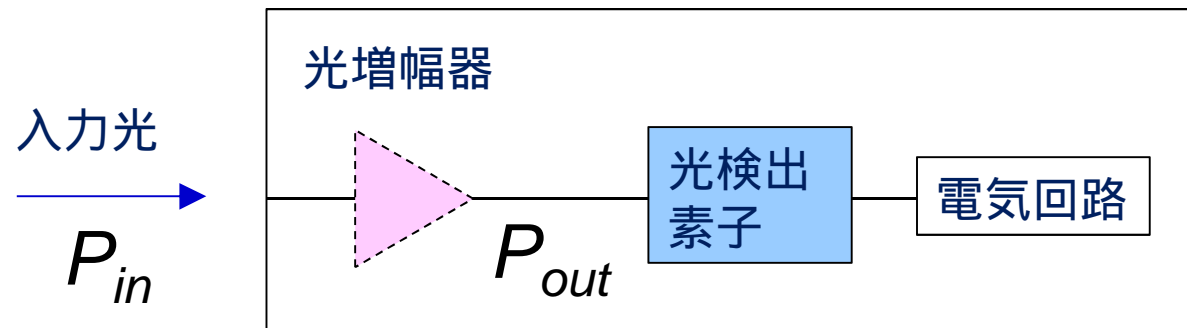
$$\frac{\Delta P_{out0}}{P_{out0}} = \frac{G_0 \Delta P_{in0}}{G_0 P_{in0}} = \frac{\Delta P_{in0}}{P_{in0}}$$

$$\Delta P_{out}[\text{dB}] = \Delta P_{in}[\text{dB}]$$



分解能特性は，改善しない

光パワーメータ

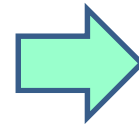


スロープ: $S \equiv \frac{\Delta P_{out}}{\Delta P_{in}}$, 分解能低減率: $R \equiv \frac{\Delta P_{in}}{\Delta P_{out}}$
従来技術では, $S = R = 1$

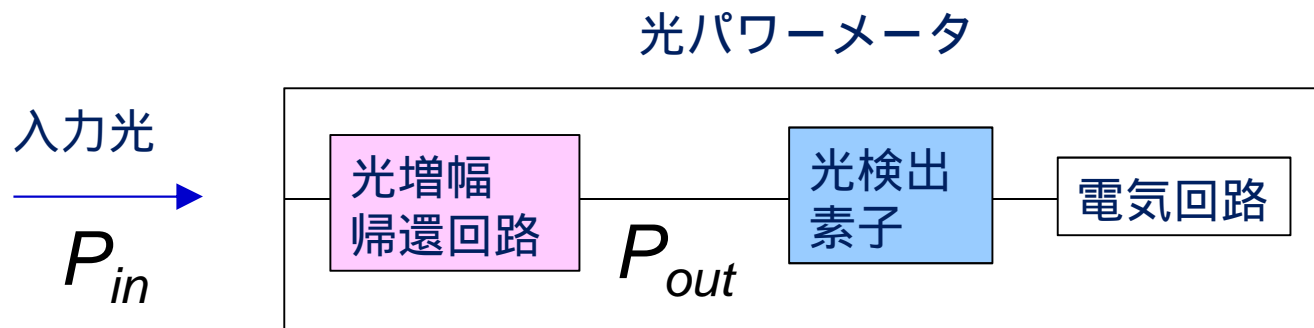
(2) 光増幅帰還回路 (本提案)
を用いた場合:

$$\Delta P_{out} \gg \Delta P_{in}$$

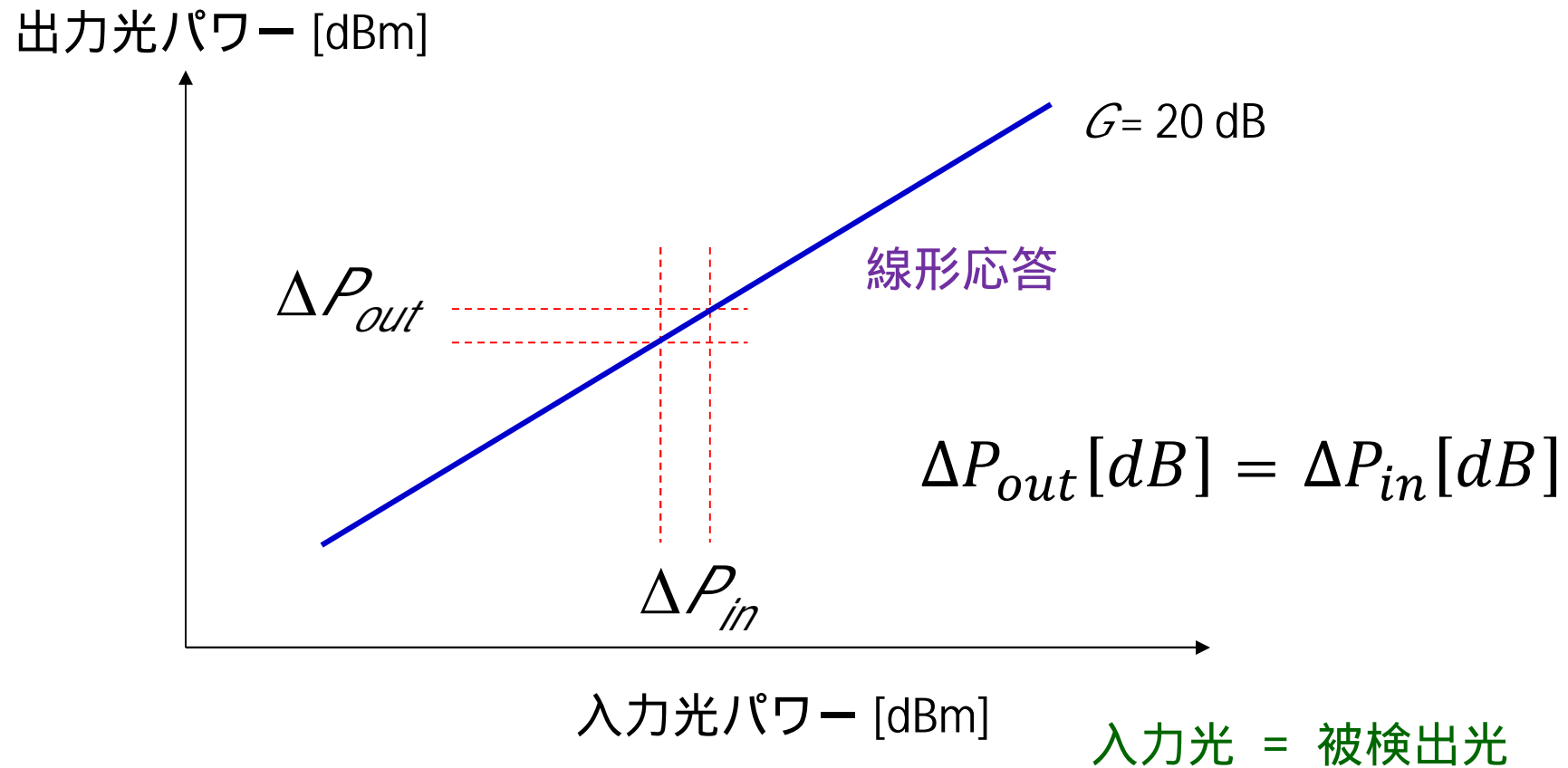
$$S \gg 1, R \ll 1$$



分解能特性は, 顕著
に改善する

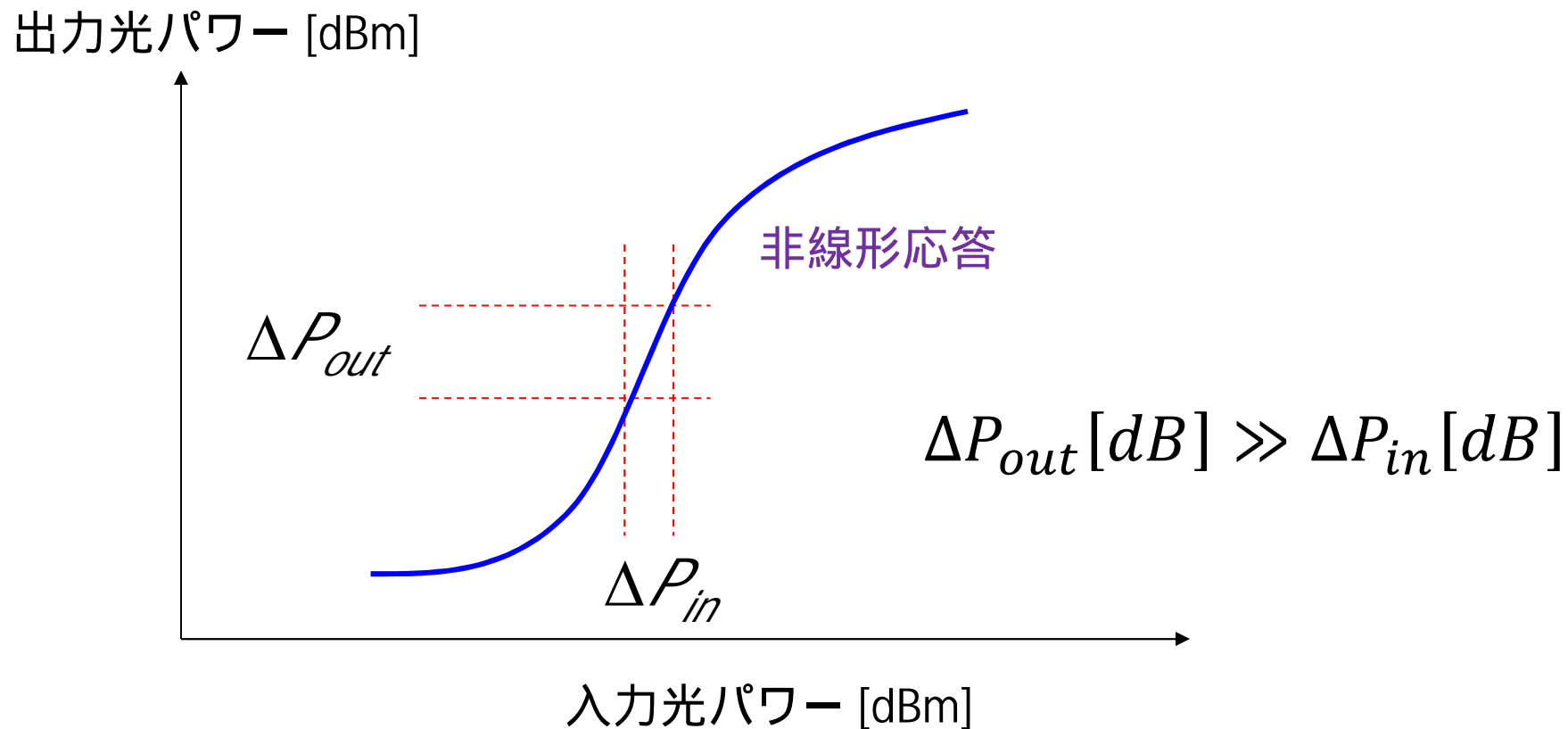


入出力光パワーの特徴： 従来技術



- ✓ 分解能低減率 = 1
- ✓ 分解能は改善しない

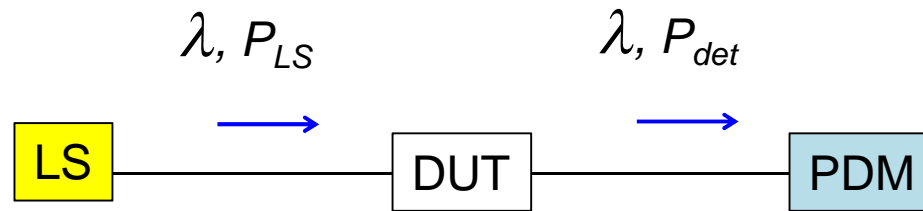
入出力光パワーの特徴： 光増幅帰還回路方式（提案技術）



- ✓ 分解能低減率 $\ll 1$
- ✓ 分解能は顕著に改善する

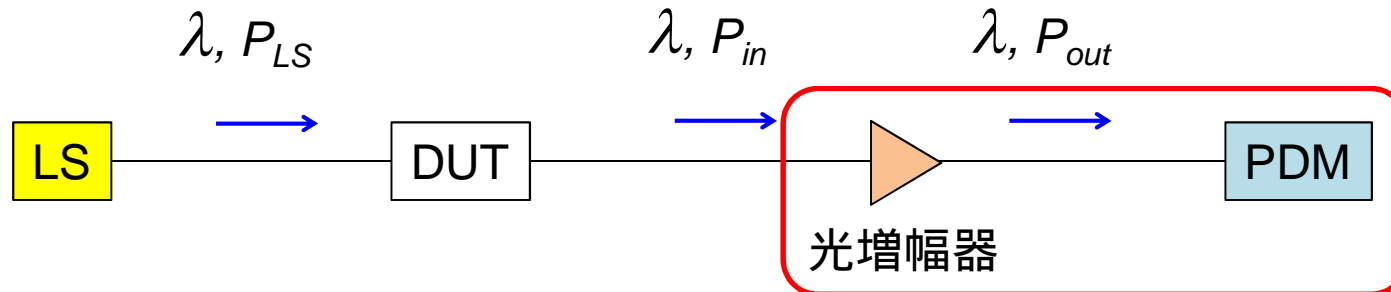
光パワーメータの基本構成

従来技術



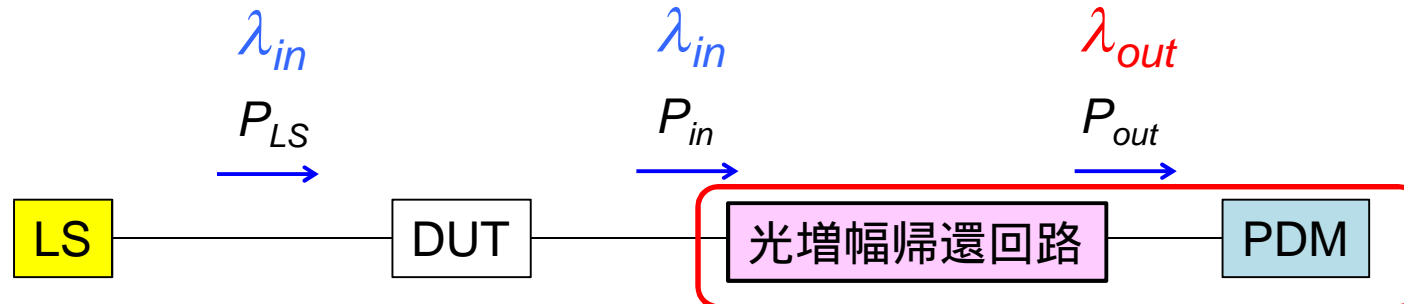
光パワーメータ

光増幅器を有する従来技術



光パワーメータ

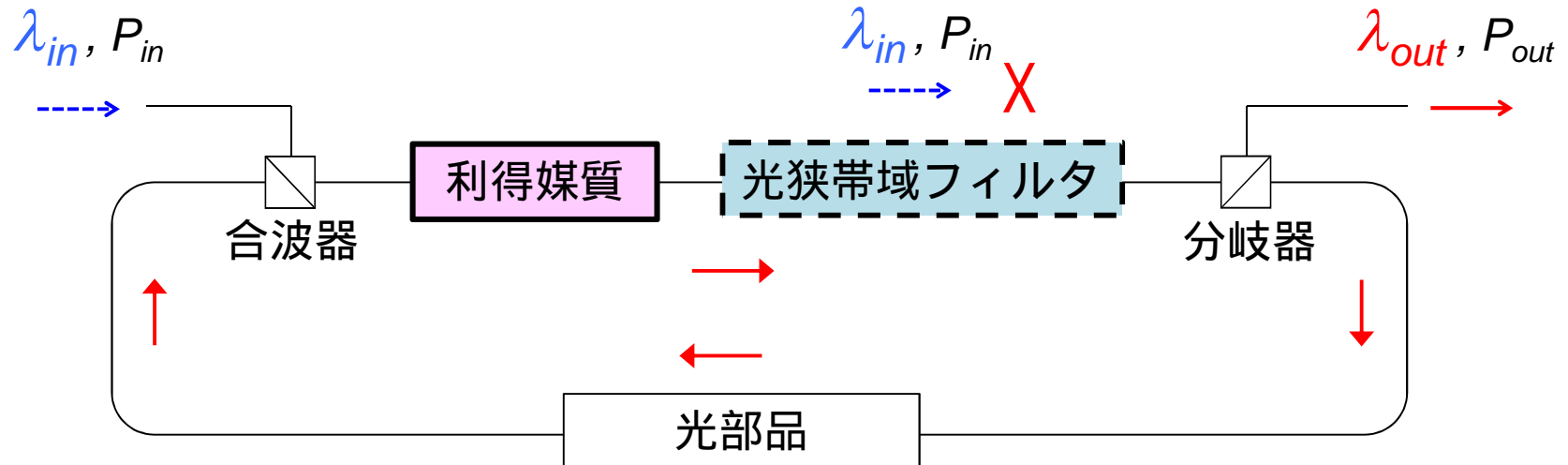
光増幅帰還回路方式（本提案方式）



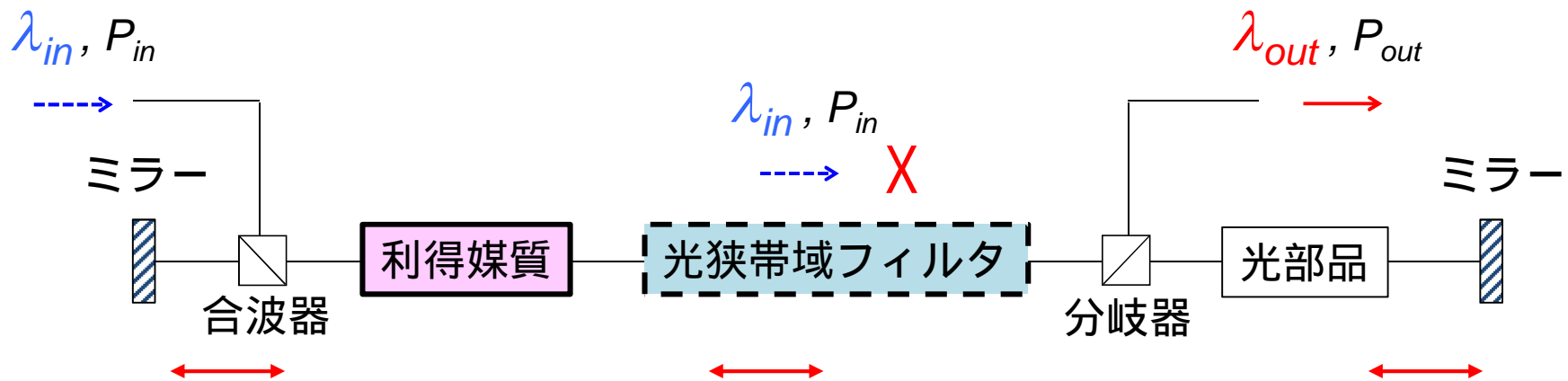
光パワーメータ

光増幅帰還回路の基本構成

リング共振器配置



リニア共振器配置



利得媒質による分類と資料情報

エルビウム添加ファイバ (EDF)

- 増田, 北村, 信学総合大会, B-13-11, 2018
- 増田, 北村, 信学総合大会, B-13-12, 2018
- H. Masuda, K. Kitamura, APOS, Wed-6, 2018
- 加納, 吉本, 増田, 北村, 信学ソ大会, B-13-3, 2018
- 吉本, 加納, 増田, 北村, 信学ソ大会, B-13-4, 2018

レーザダイオード (LD)

- 北村, 増田, 応用物理学会, 19a-C303-12, 2018
- K. Kitamura, H. Masuda, OECC, 3C1-3, 2018
- K. Kitamura, H. Masuda, MOC, P-26, 2018

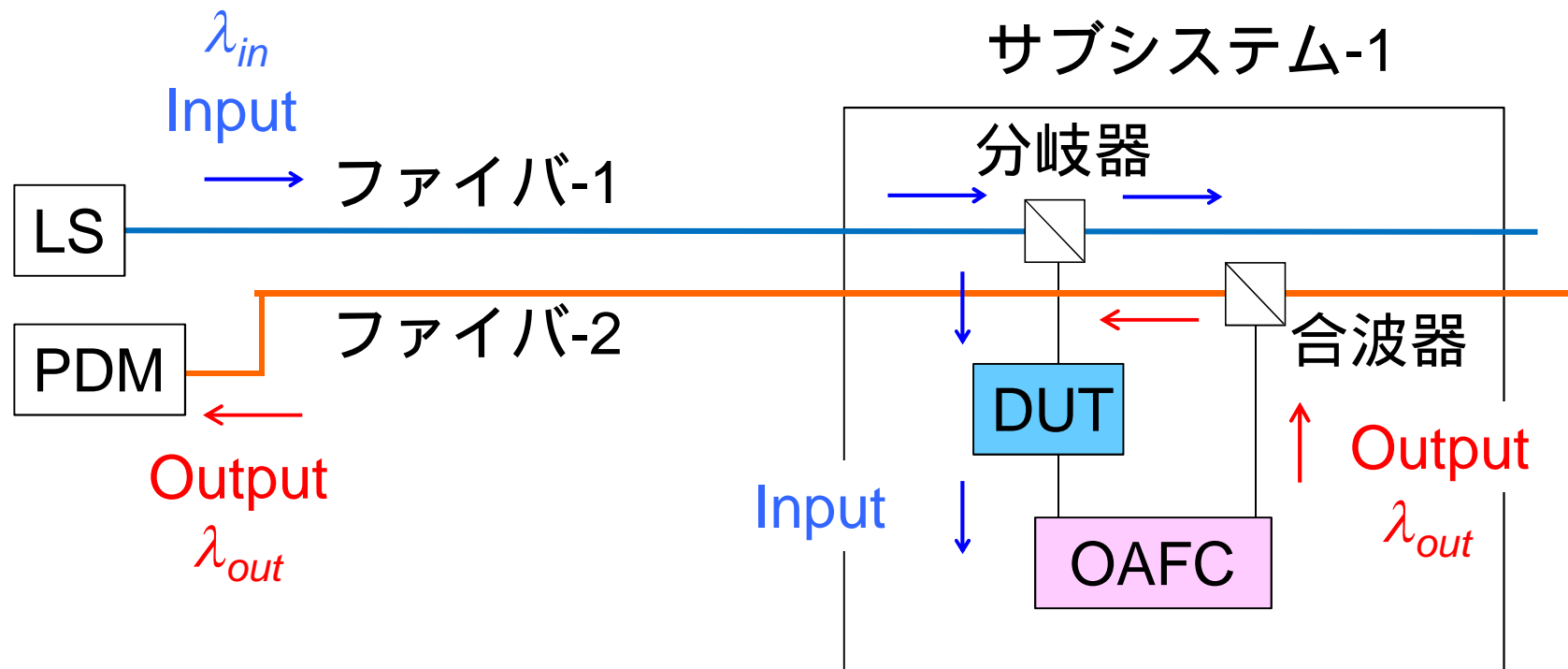
EDF, LD, その他の利得媒質

- 北村, 増田, 信学ソ大会, BI-6-3, 2018 (依頼シンポジウム講演)
- 増田, 北村, 信学ソ大会, B-13-2, 2018
- 特願2018-101058

光増幅帰還回路の入力光と出力光

- 光増幅帰還回路の動作
 - レーザ発振閾値近傍以下で動作する。
- 入力光
 - 利得媒質の信号光または励起光帯域内の波長を有する。
- 出力光
 - 利得媒質の利得帯域内の波長を有する。任意の波長を選択できる。
 - 入力光の波長 出力光の波長
 - 低コヒーレンスな光

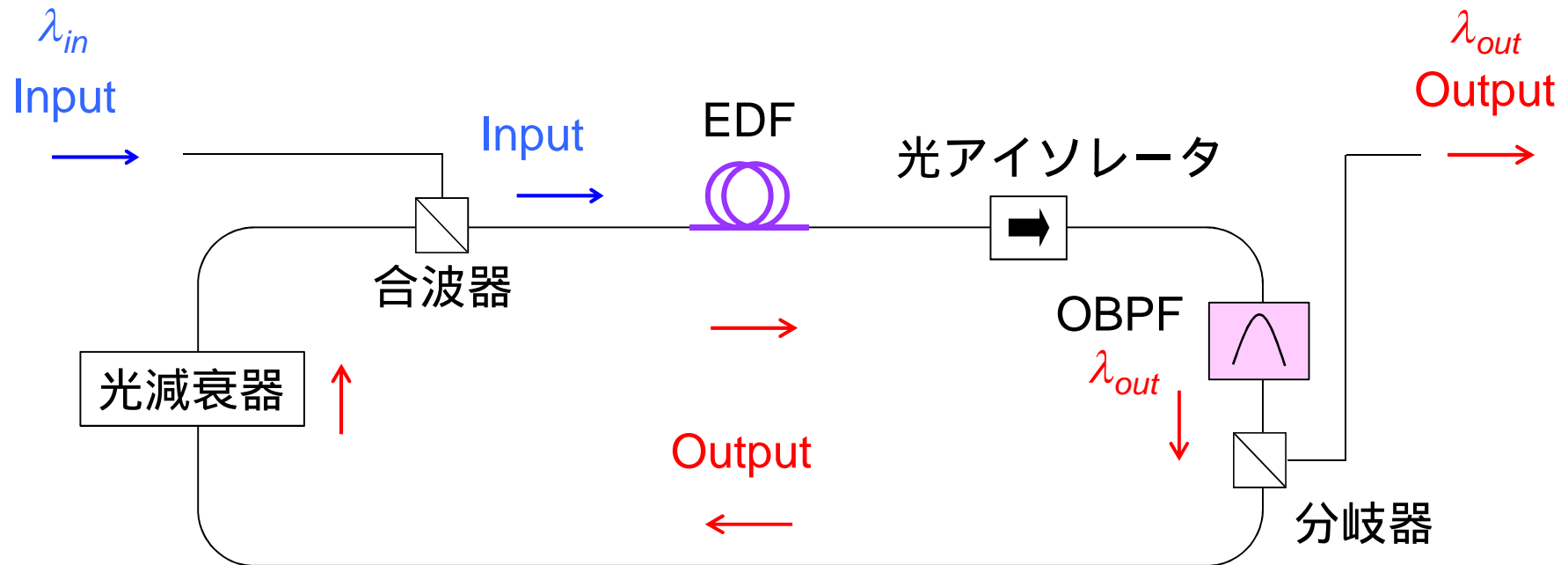
提案システムの基本構成



- ✓ 光源 (LS) と光増幅帰還回路 (OAFC) の間に, センシング対象 (DUT) を設置し, DUT 出力の光パワーをフォトダイオードモジュール (PDM) でセンシングする.
- ✓ DUT の損失の微小変化を検出する.
- ✓ 複数のセンシング・サブシステムを構築可能.

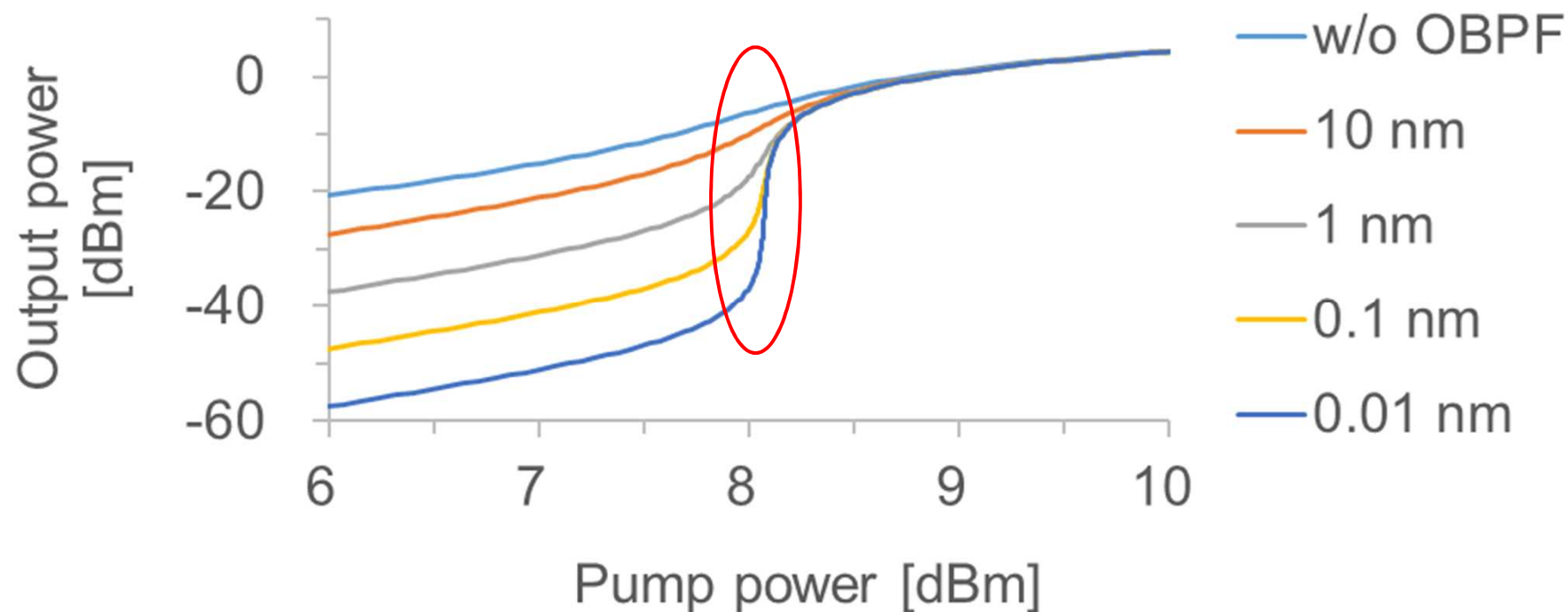
光増幅帰還回路の構成例

利得媒質 = EDFの場合



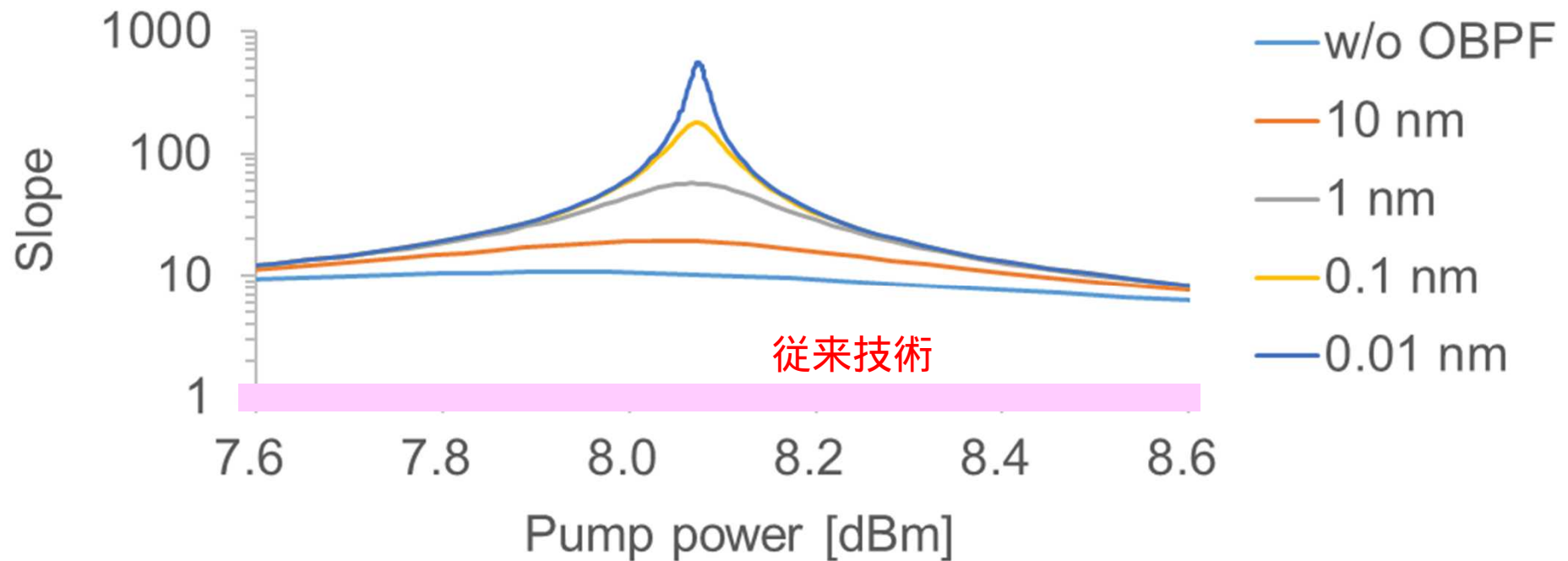
- ✓ 入力光の波長 = EDFの励起光波長である1480nm
- ✓ 必要に応じて, 光狭帯域フィルタ (OBPF) を設置
- ✓ OBPFの透過中心波長 (出力光の波長) = 1558nm

入出力光パワー特性： 理論計算（シミュレーション）結果



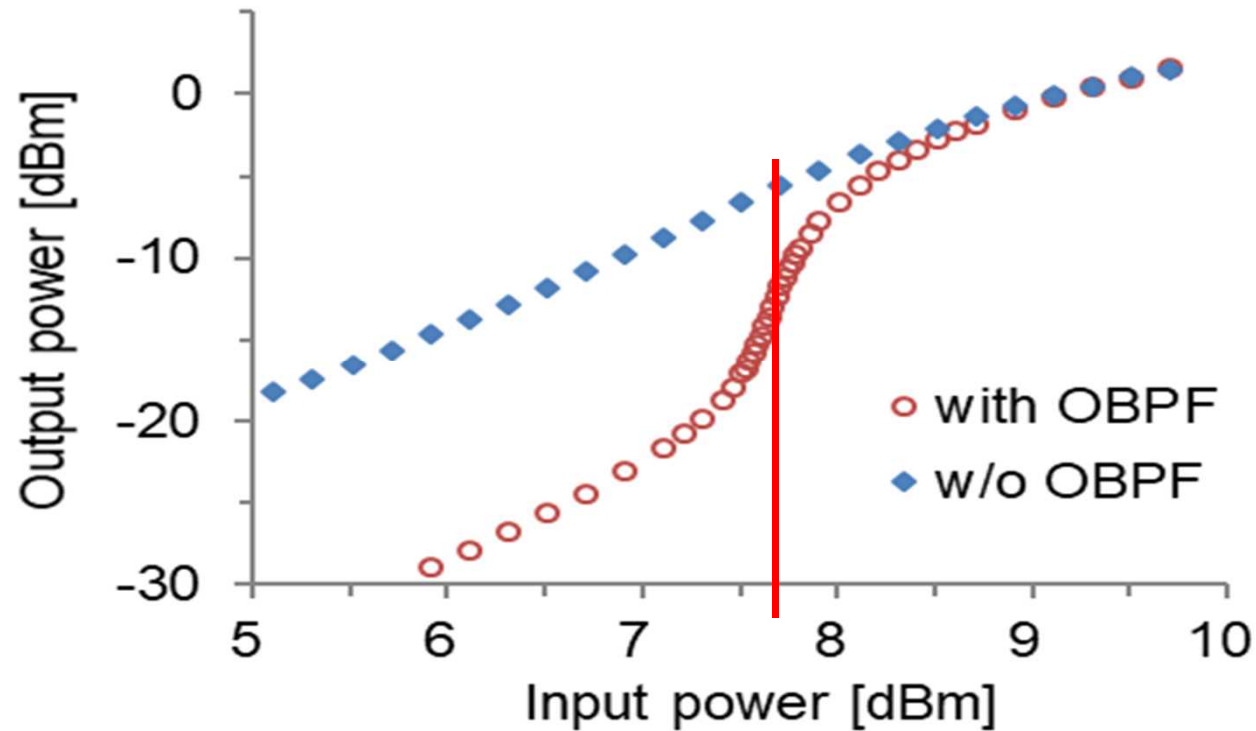
- ✓ 光増幅帰還回路内に設置した光狭帯域フィルタ (OBPF) の透過帯域幅 (BW = 0.01 ~ 10nm) が小さいほど、発振閾値近傍におけるスロープが急峻になっている。

スロープ特性



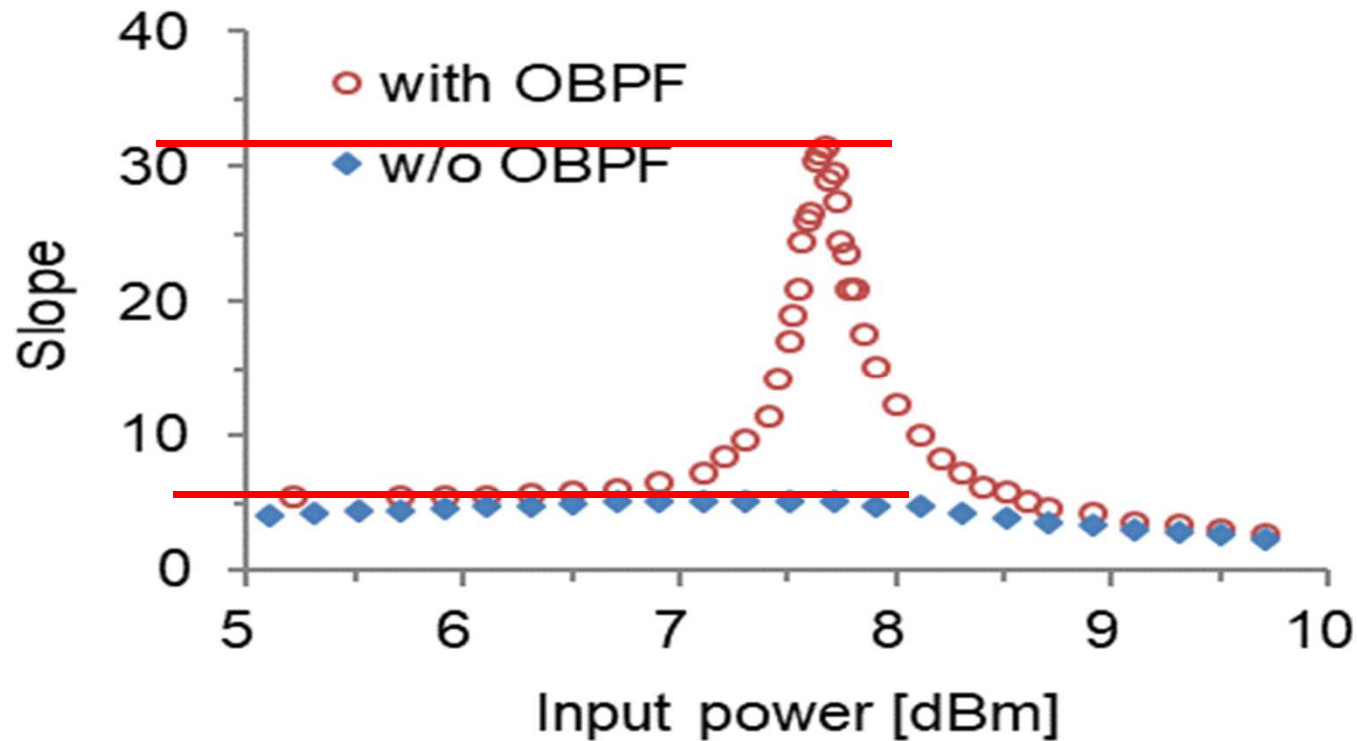
- ✓ スロープのピーク値の例:w/o OBPF および BW = 0.1nm の場合に,それぞれ 10.8 および 179
- ✓ 従来技術では,スロープ $S = 1$
- ✓ 本提案方式のスロープ S 従来技術のスロープ S の10 ~ 100倍

入出力光パワー特性： 実験結果



- ✓ スロープが最大となる入力光パワーの値は、約7.7dBm

スロープ特性



- ✓ スロープの最大値は, OBPF有り (with) とOBPF無し (w/o) の場合で, それぞれ約32および約5.2

今後の研究課題

- 出力光の偏波特性
- 出力光パワーの強度雑音特性
- 出力光の信号対雑音特性 (SNR特性)
- 波長特性, 帯域特性
- 実装技術, 装置化技術

アウトライン

- 新技術の概要
- 従来技術との比較
- 新技術の特徴
- 想定される用途



想定される用途

1. **光通信システム**における超高分解能(光パワー)の光パワーメータなどの**光計測器**
2. **バイオ・医療・食品・環境分野**などにおける超高分解能(光パワー)の**光検出器**
3. 多波長型の**多点センシングシステム**
(センシングポイント数は最大で100程度)

実用化に向けた課題

1. 光パワーメータや光スペアナなどの**光検出機器**の製品化を考慮した**設計技術**の確立。
2. 光検出機器の**実装技術**および**性能評価技術**の確立。
3. **具体的な応用分野**および**適用例**とそれらにおける特長の明確化。
本提案技術の**従来技術に対する優位性**の明確化。

企業への期待

- 「実用化に向けた課題」の1～3の課題に関する共同研究および開発。
- フォトダイオード(光検出素子)の後段に配置する電子・電気回路に関する設計、実装および評価などの研究開発。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 光検出装置
- 出願番号 : 特願2018-101058
- 出願人 : 島根大学
- 発明者 : 増田浩次、北村心

お問い合わせ先

島根大学 地域未来協創本部 産学連携部門
産学連携マネージャー 服部大輔

T E L 0852-60-2290

F A X 0852-60-2395

e-mail crcenter@ipc.shimane-u.ac.jp