

A 4 - 4

直交周波数分割多重無線信号の 光単側波帯ファイバ伝送技術の研究開発

山形大学 大学院 理工学研究科
高野 勝美

研究の背景

■ 無線信号の形態

□ CDMAからOFDMAへ

□ デジタル無線伝送のOFDM化

- ・ マルチパスに強い 密に周波数多重が可能

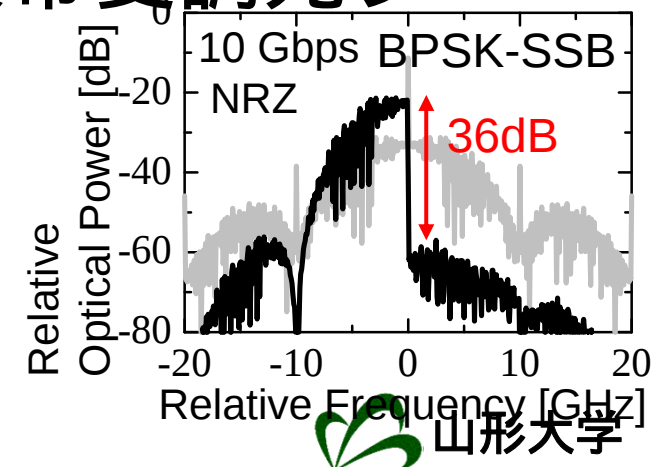
■ 無線信号の光ファイバへのオフロード

■ 周波数利用効率の高い光ファイバ伝送

■ OFDM無線信号の光単側波帯変調光ファイバ伝送

□ 無線信号を終端せずに

□ 既存光チャネルに影響少



直交周波数分割多重無線信号の光単側波帯ファイバ伝送技術の研究開発

研究目的：

- ・ 直交周波数分割多重無線信号を光ファイバで高品質に中継伝送するための光単側波帯変調技術の開発

(光SSB)

研究開発の結果及び成果

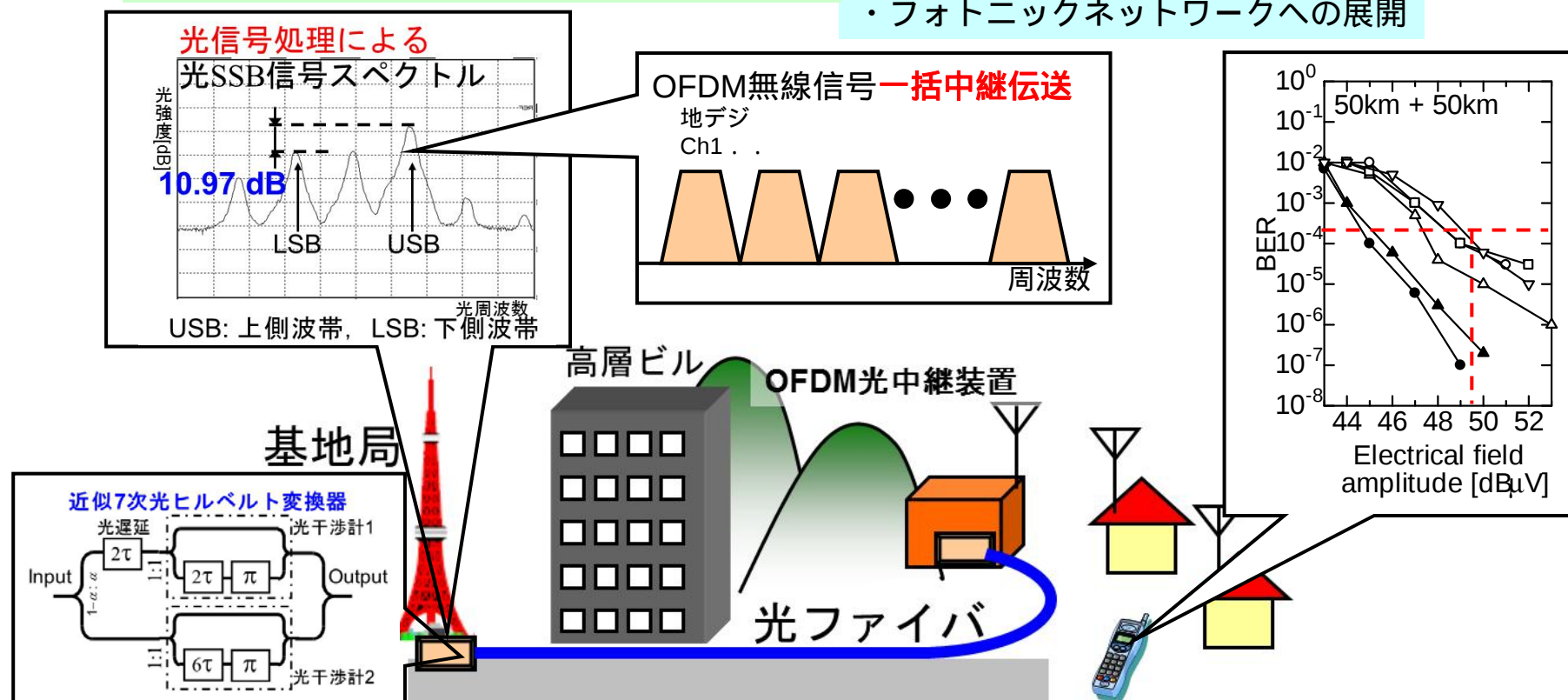
- ・ 光SSB変調を利用したOFDM無線信号の光ファイバ中継伝送：光周波数利用効率向上、分散耐性
- ・ 光領域位相推移型光SSB変調の実証：伝送速度や符号変調形式に無依存な光SSB変調方式
- ・ 光信号処理を利用した光ヒルベルト変換器：高速、広帯域に対応
- ・ 光ファイバの非線形現象に起因した波形歪み低減方法

社会への波及効果

- ・ OFDM無線伝送エリアの拡大
- ・ 品質差の少ない複数OFDM信号一括中継方式
- ・ 全光処理信号処理技術の確立

社会的意義

- ・ 情報格差・デジタルデバイドの解消
- ・ 地デジ難視聴地域の解消
- ・ 新しい伝送技術の確立
- ・ フォトニックネットワークへの展開



成果の概要

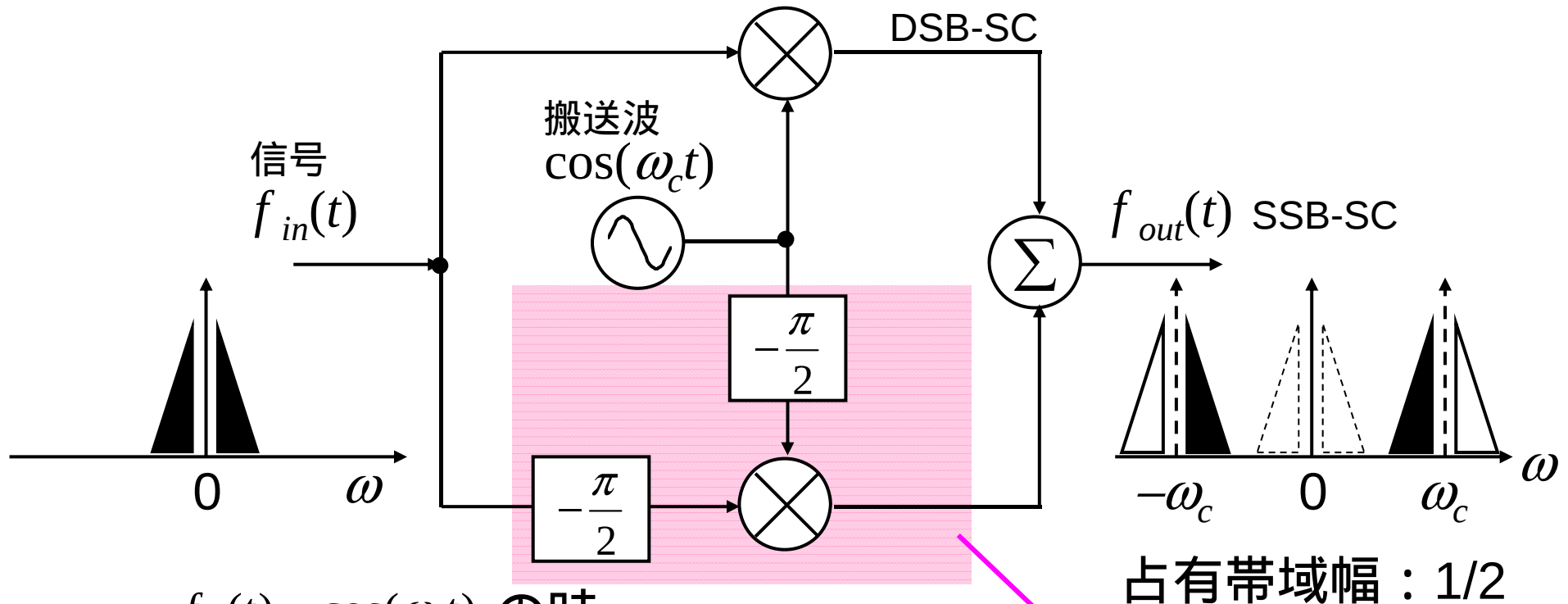
- 地デジ放送波の光SSB変調光ファイバ増幅中継伝送
 - 光ファイバ増幅器の動的利得変動
 - 地デジ放送波100km増幅中継伝送
- 光領域位相推移型光SSB変調方式の実証
 - 光ヒルベルト変換器（OHT）
 - ・ 広帯域，光領域処理，EHTからの脱却
 - OHTを用いた光SSB変調信号生成
 - 光ファイバ非線形に強いOHTを用いた光SSB変調方式
- 査読付き論文，国際会議：11件
- 口頭発表：29件

光単側波帯(SSB)変調

	電気領域処理	光領域処理
フィルタ法	(1) 電氣的SSBフィルタ光変調	(2) 光バンドパスフィルタによる側波帯除去
位相推移法	(3) 電気領域位相推移型光SSB変調	(4) 光領域位相推移型光SSB変調

HT: Hilbert Transformer (ヒルベルト変換器, 直交位相変換器)

位相推移型SSB変調



$f_{in}(t) = \cos(\omega_s t)$ の時

$$\begin{aligned} f_{out}(t) &= \cos(\omega_s t) \cos(\omega_c t) + \sin(\omega_s t) \sin(\omega_c t) \\ &= \cos(\omega_c - \omega_s) t \end{aligned}$$

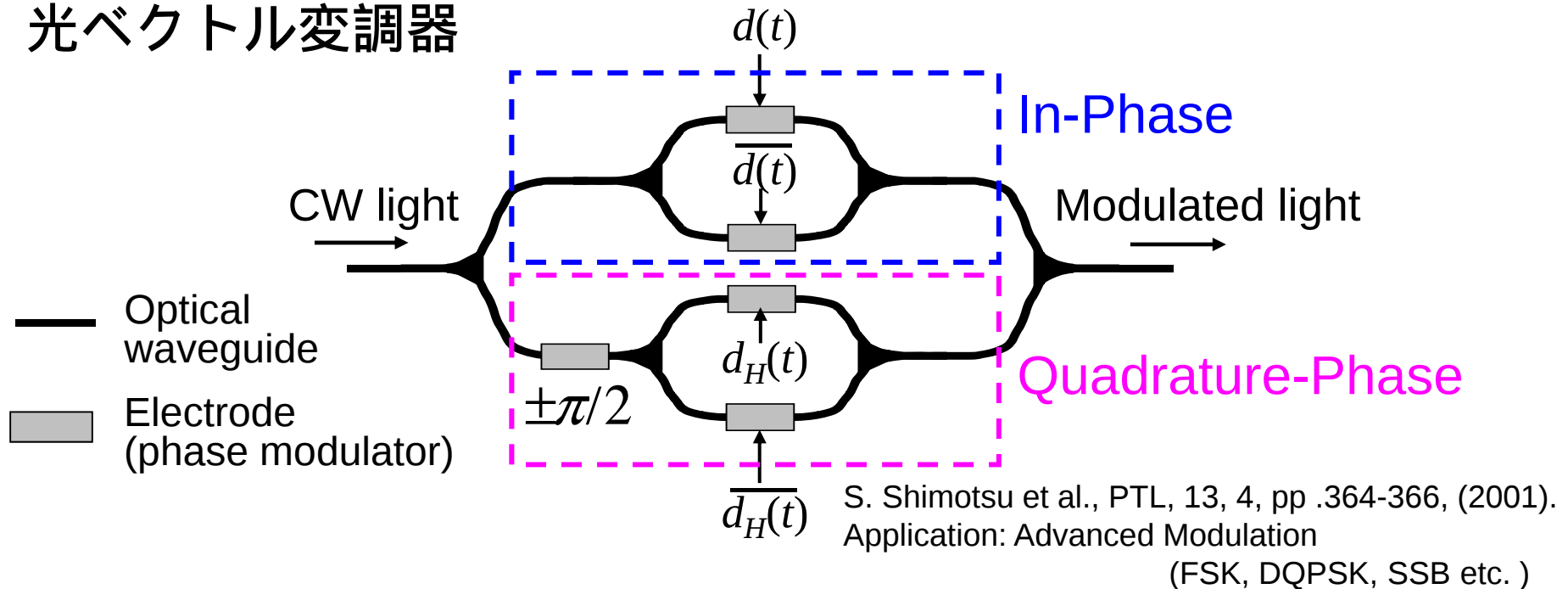
ヒルベルト変換

- ベクトル変調器(周波数シフト処理)
- ヒルベルト変換器が必要

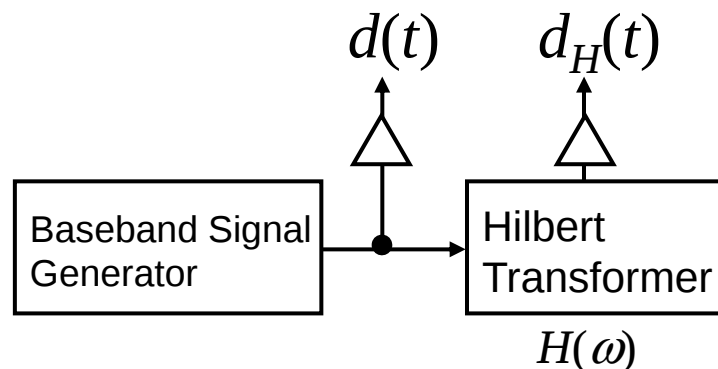
すべての周波数に対して
位相を $\pi/2$ シフトする変換

光SSB変調：電気領域位相推移型

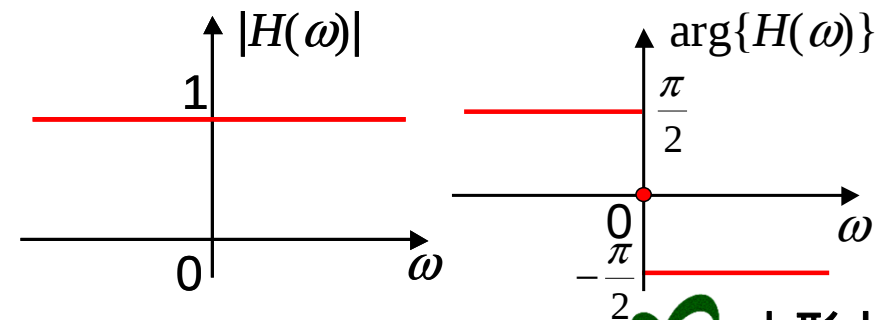
光ベクトル変調器



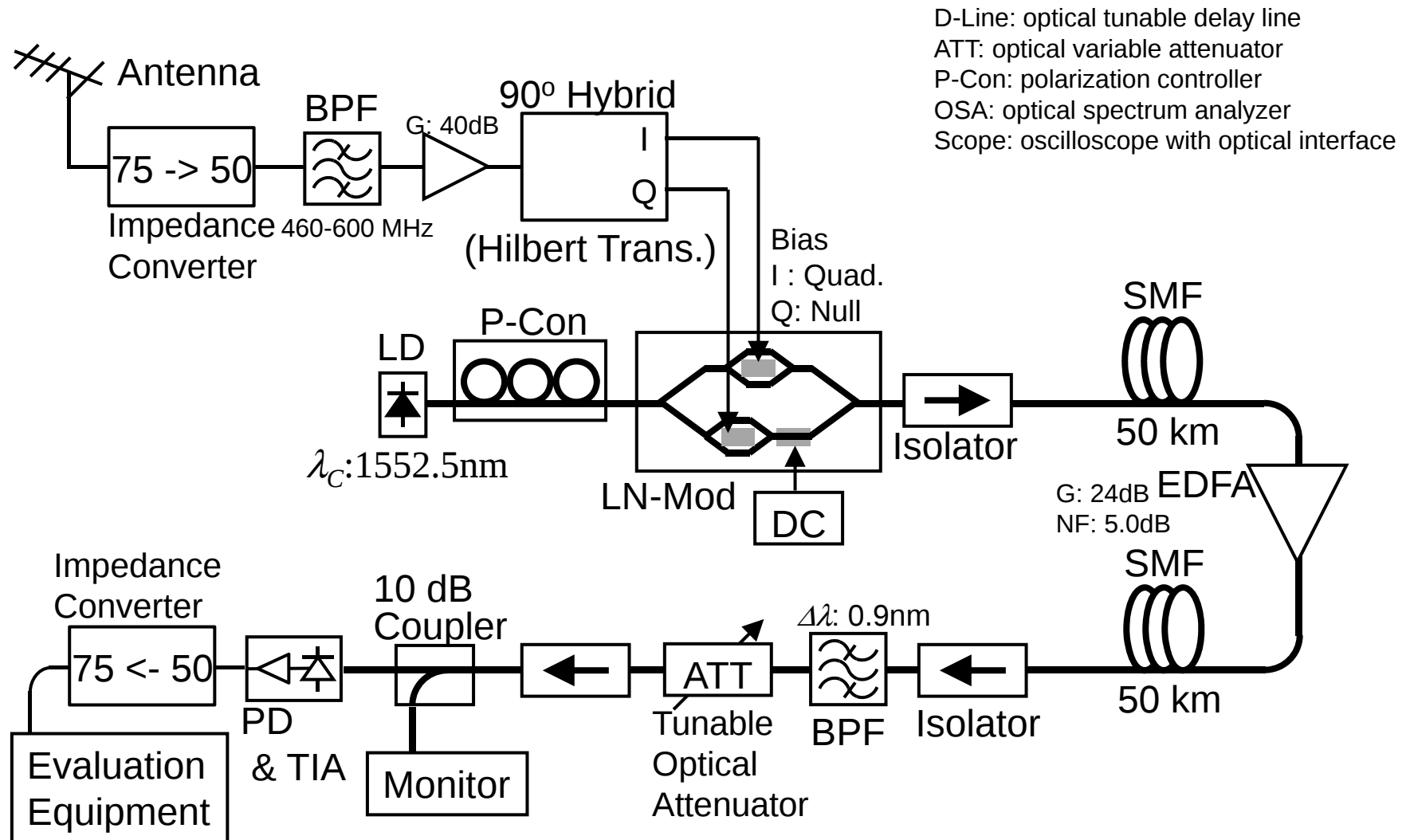
ヒルベルト変換：電気領域（E/O変換前）



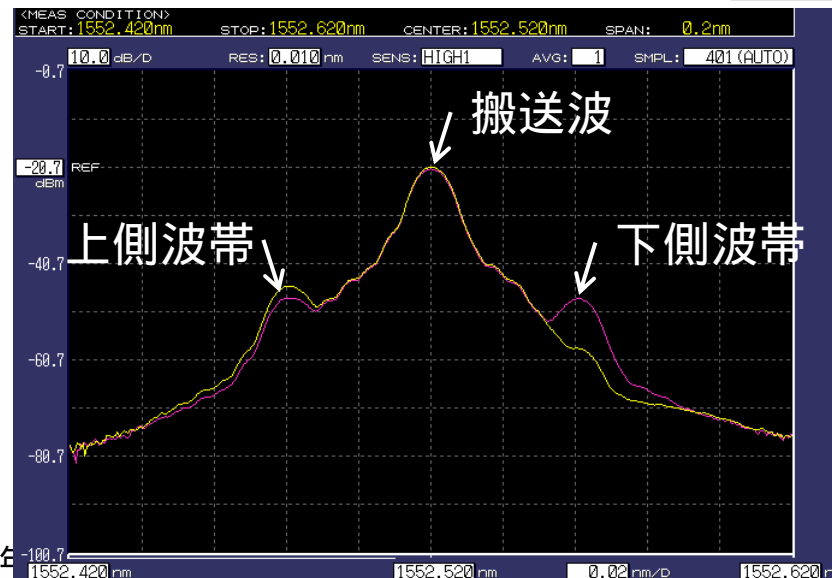
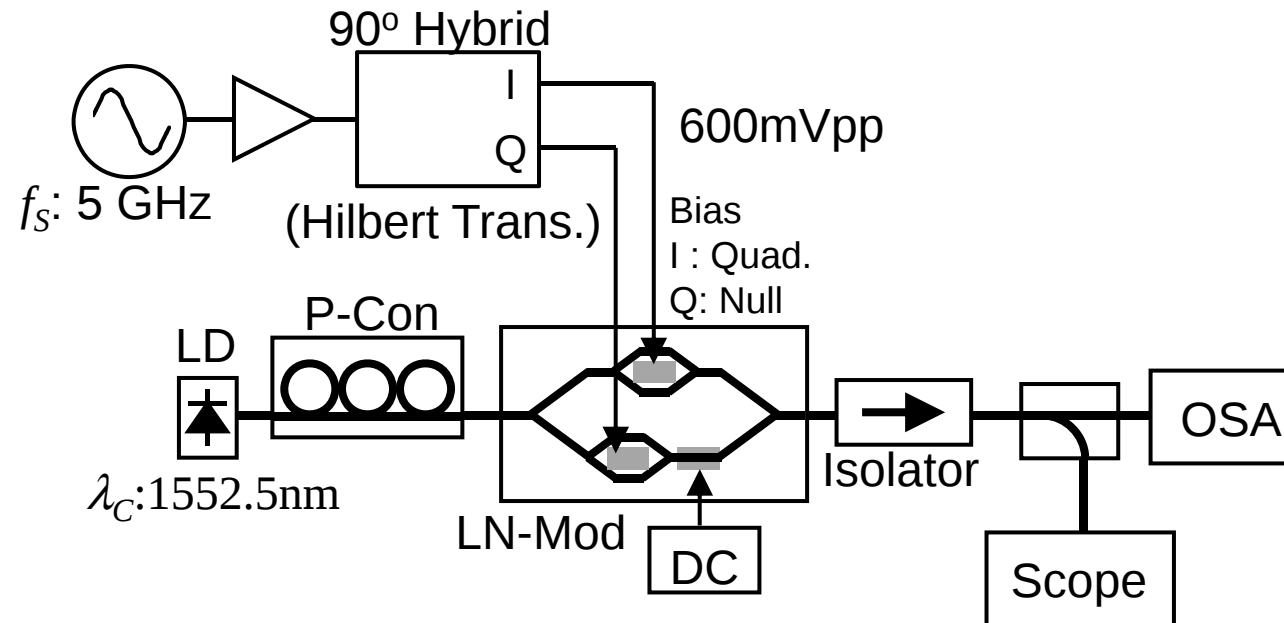
理想的な信号直交位相変換器



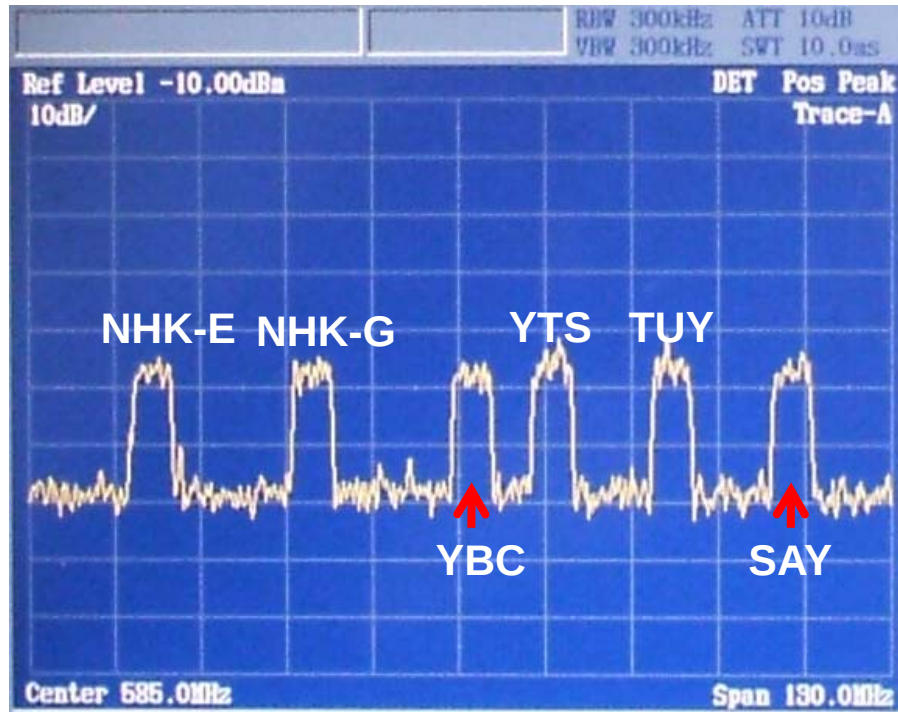
地デジ放送波の光ファイバ伝送



電気領域位相推移型光SSBスペクトル



受信アンテナ，チャンネル周波数，スペクトル



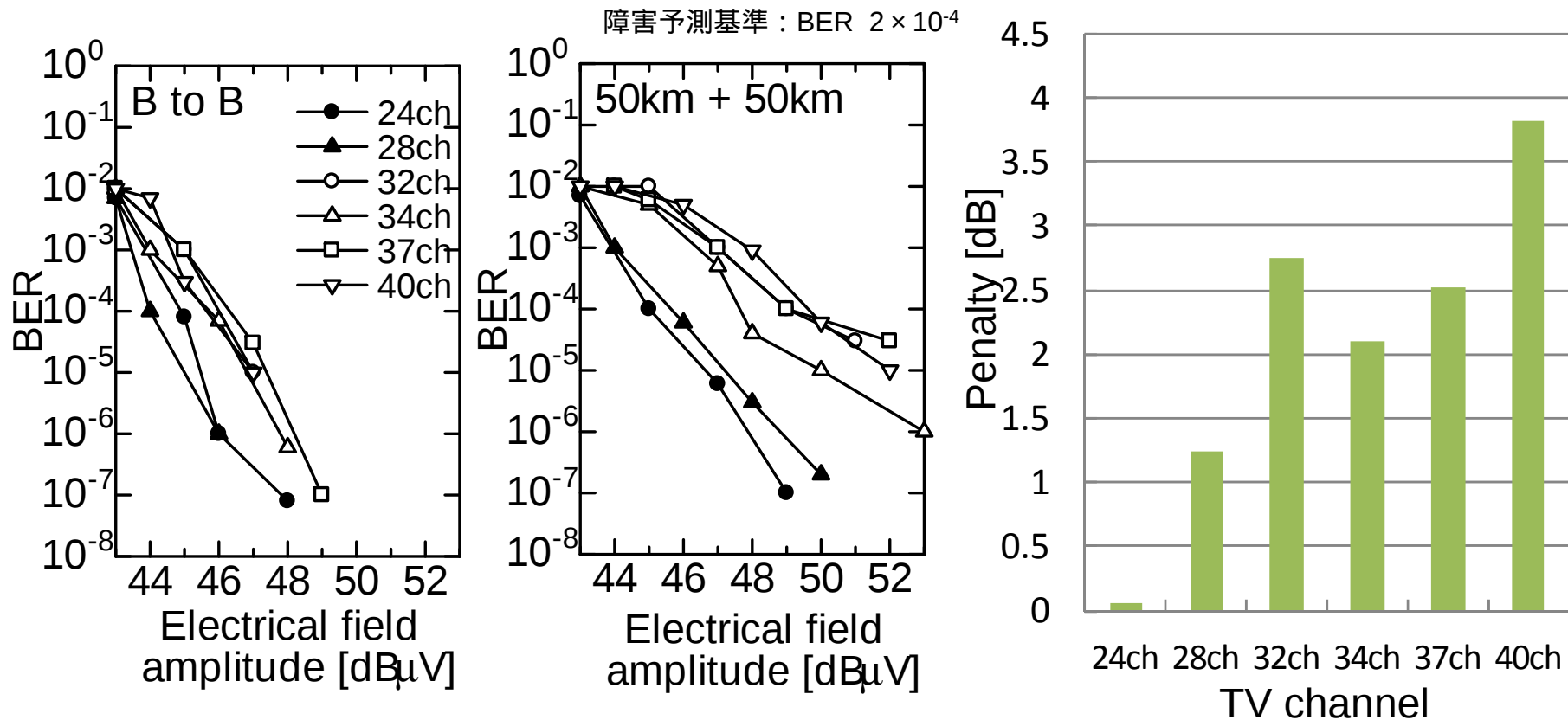
米沢天元台局（見通し可能）



Ch. No.	TV ch.	Freq. MHz
24	NHK-E	536-542
28	NHK-G	554-560
32	YBC	584-590

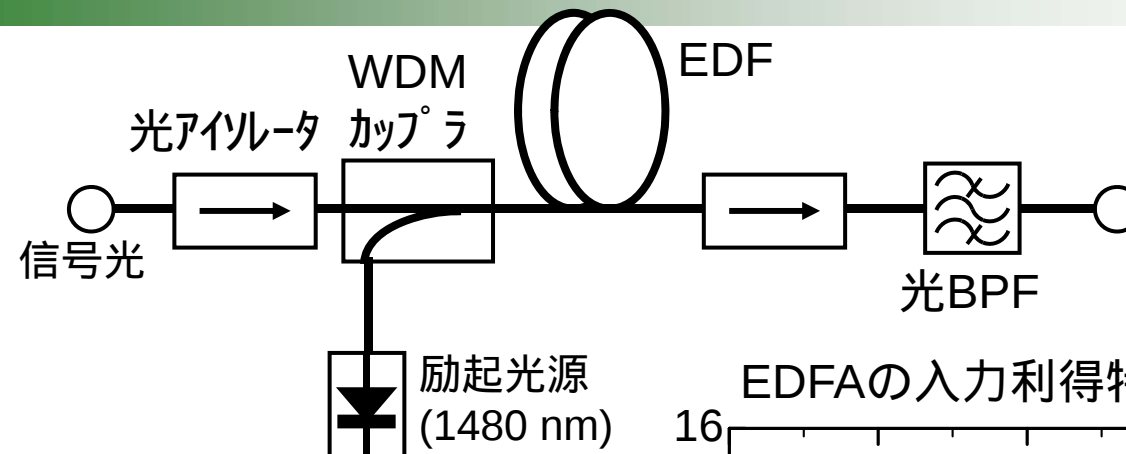
Ch. No.	TV ch.	Freq. MHz
34	YTS	596-602
37	TUY	614-620
40	SAY	632-638

ビット誤り率，ペナルティ



- RF周波数の高い方がペナルティ大
- チャンネル間隔が狭いchでペナルティ大

OFDM信号入力に対するEDFA利得変動解析

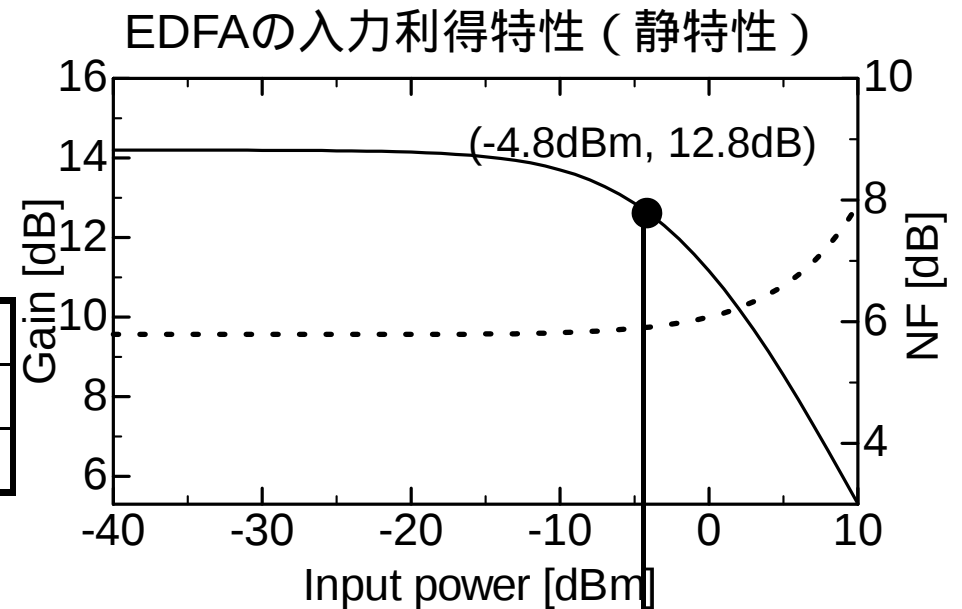


シミュレーション条件

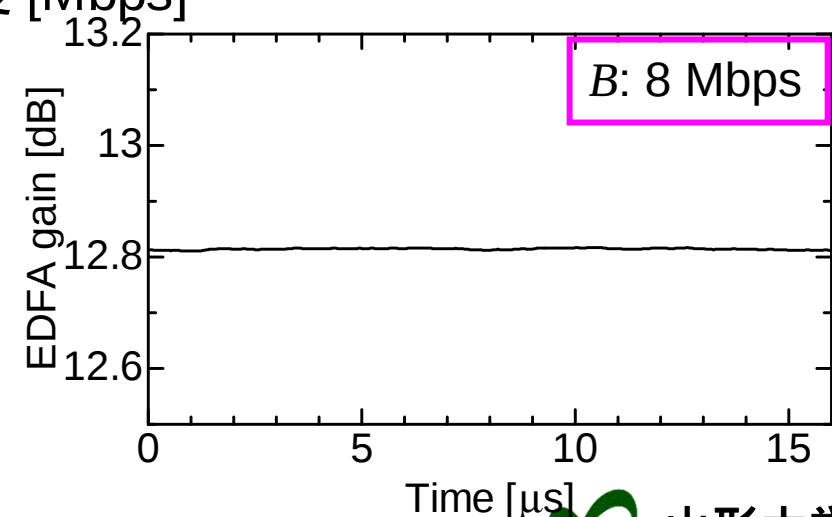
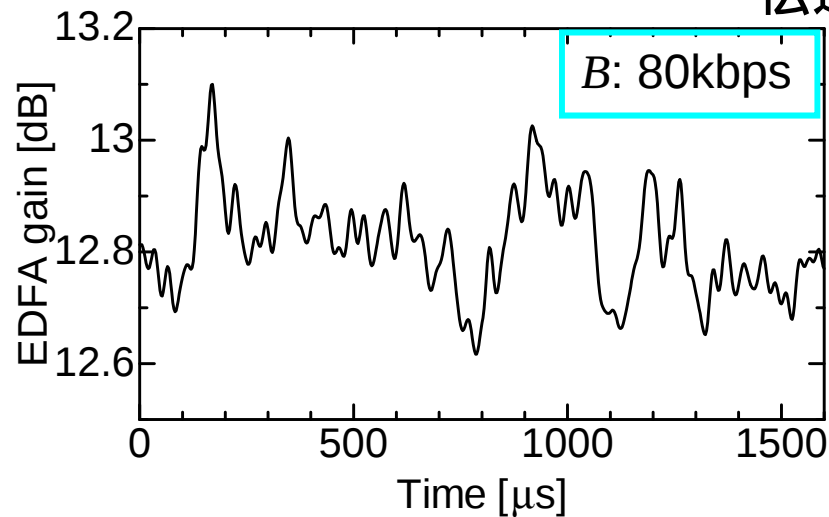
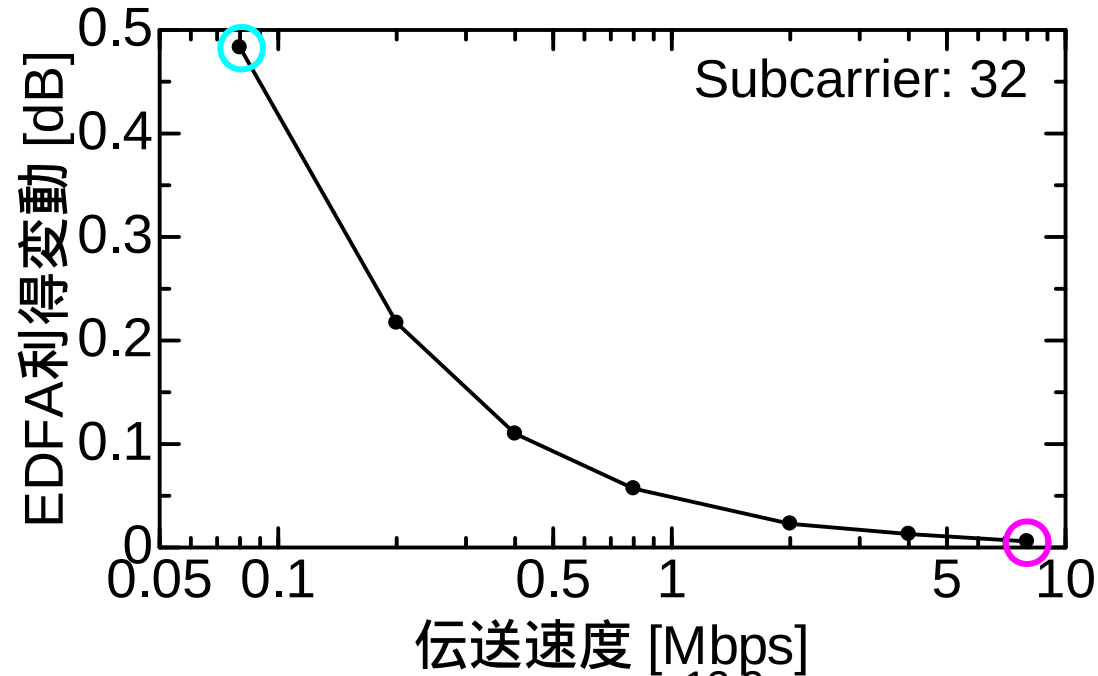
	波長 [nm]	α [dB/m]	g [dB/m]	P_{SAT} [mW]
励起光	1480.0	0.961	0.286	0.640
信号光	1552.5	1.380	2.078	0.220

蛍光寿命：9.9ms，励起強度100mW，前方励起
EDF長: 14m

小信号利得：14.3dB，飽和出力：14dBm
NF：6dB

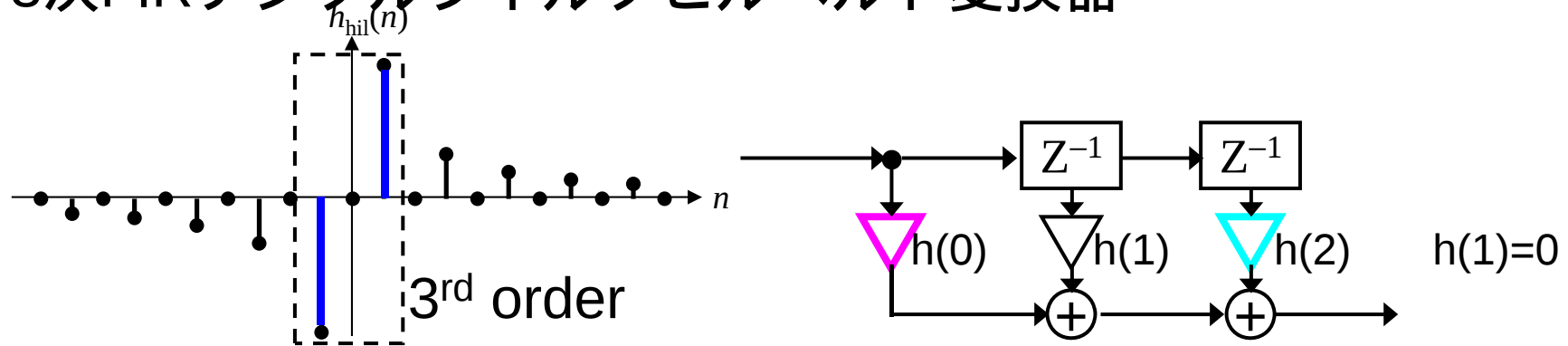


EDFA利得変動の解析結果



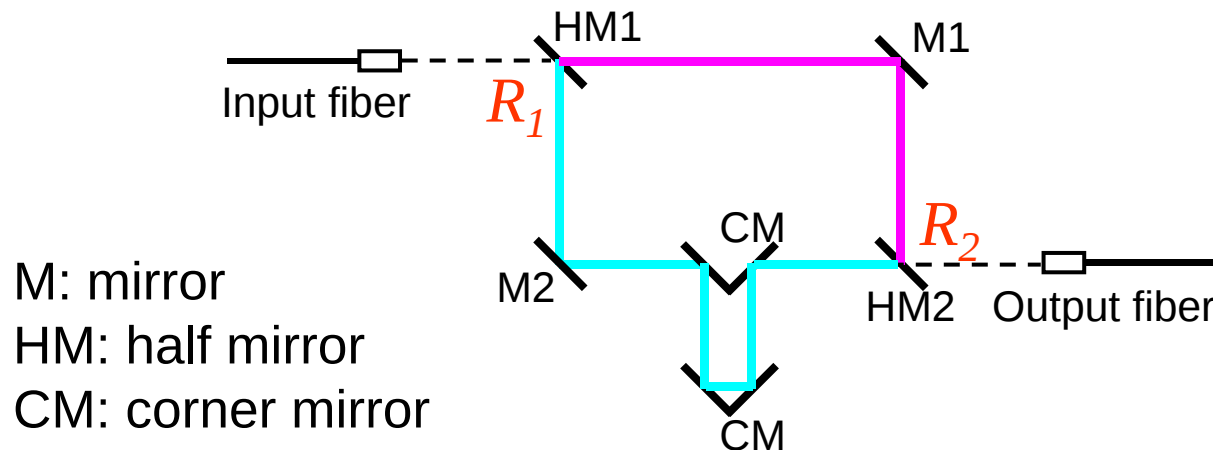
3次光ヒルベルト変換器

3次FIRデジタルフィルタヒルベルト変換器



光回路による実現

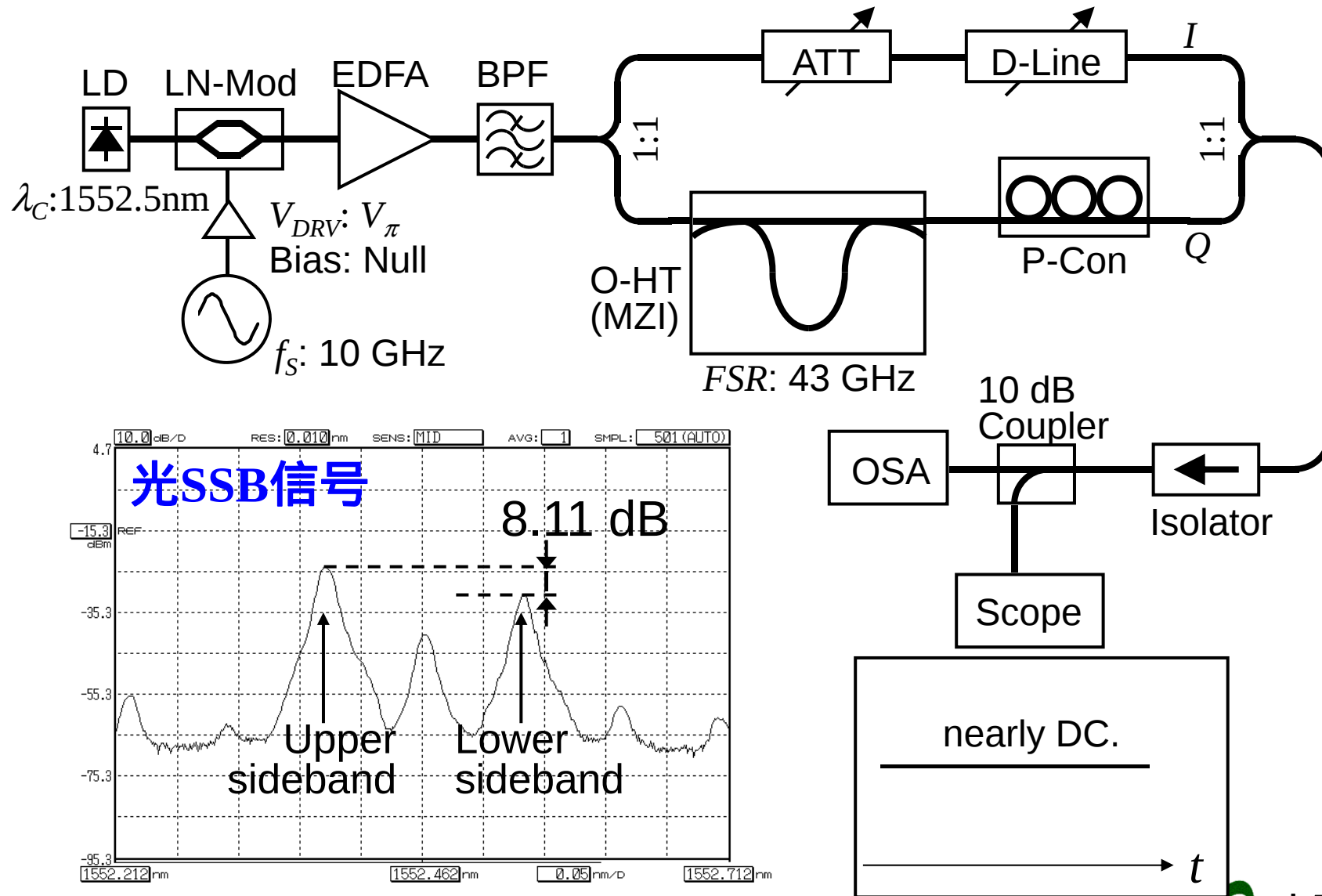
Mach-Zehnder 干渉計 (MZI)



$$\begin{cases} \frac{c}{\Delta L} > B \\ \Delta L = (2i-1) \frac{\lambda_c}{2} \end{cases}$$

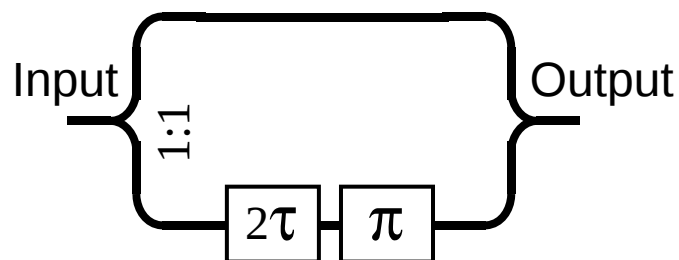
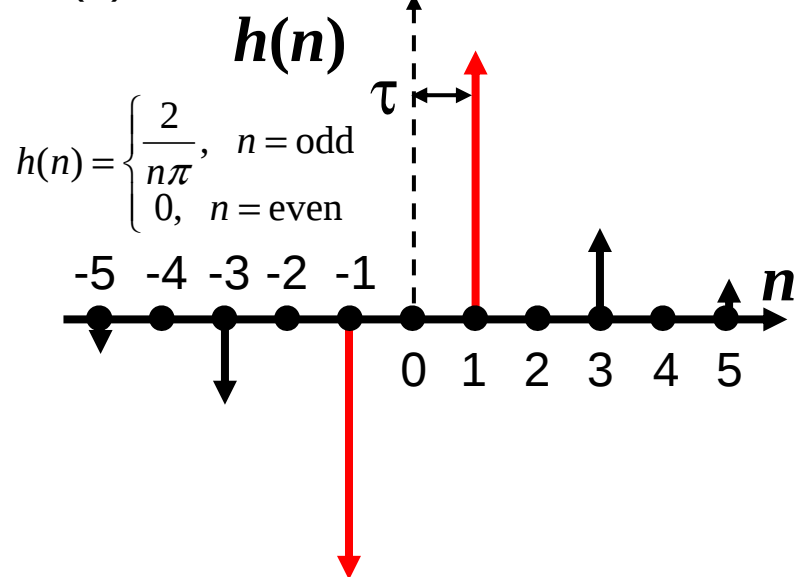
ΔL : path difference
 B : bit rate
 i : integer

SSB変調信号

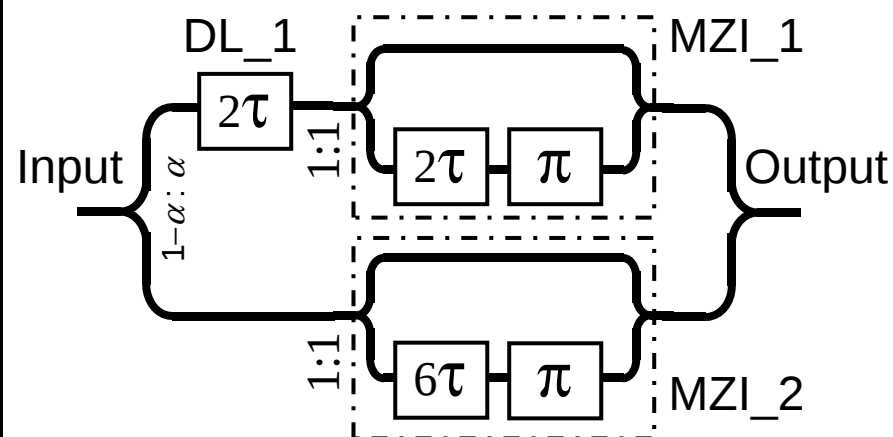
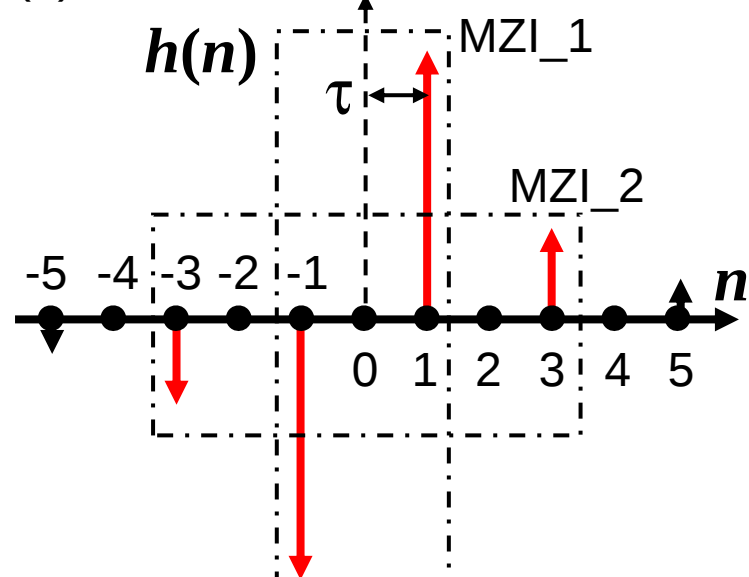


OHTの次数拡張（3次，7次）

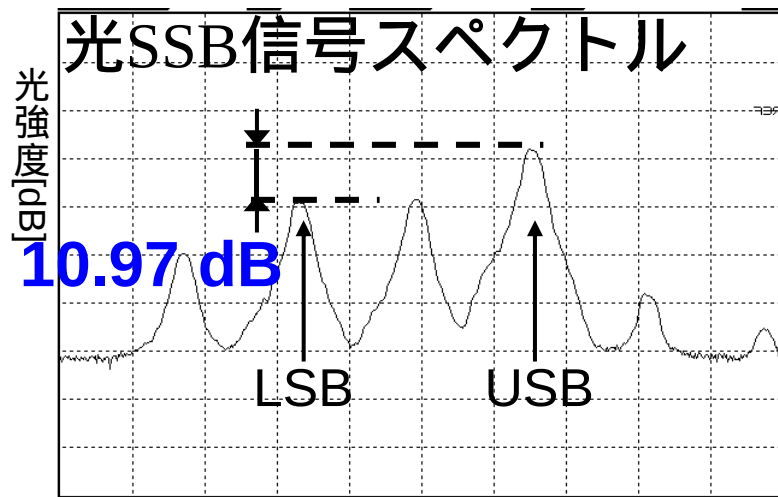
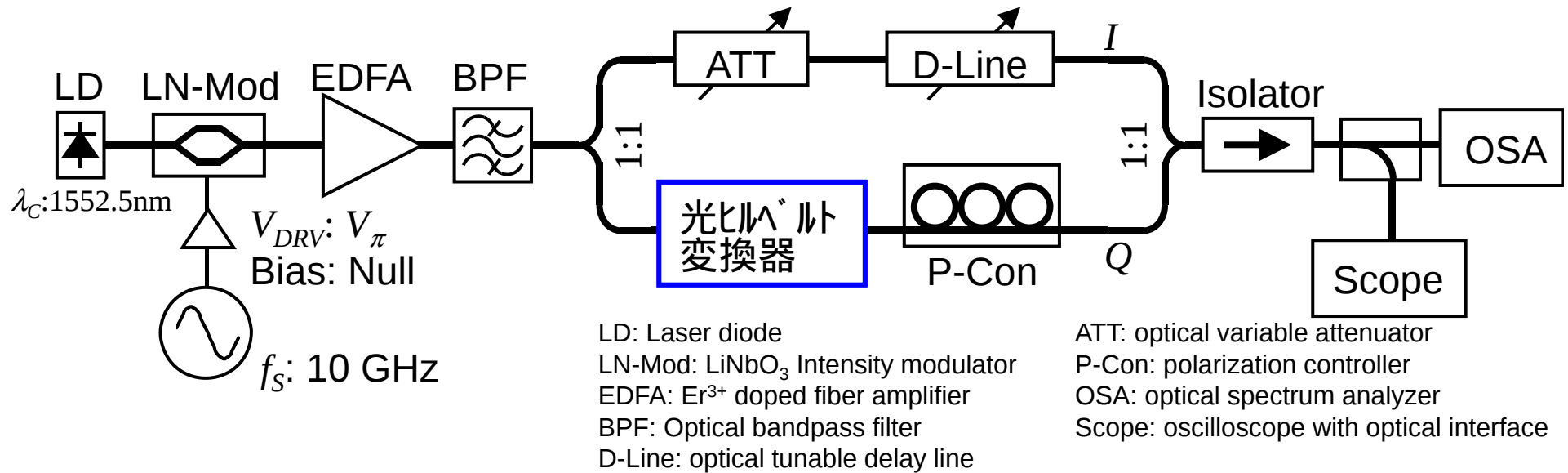
(a) 3次ヒルベルト変換器



(b) 7次ヒルベルト変換器



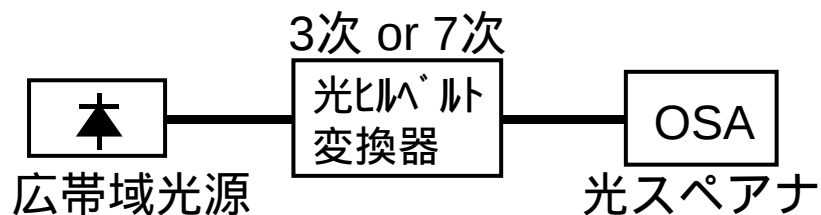
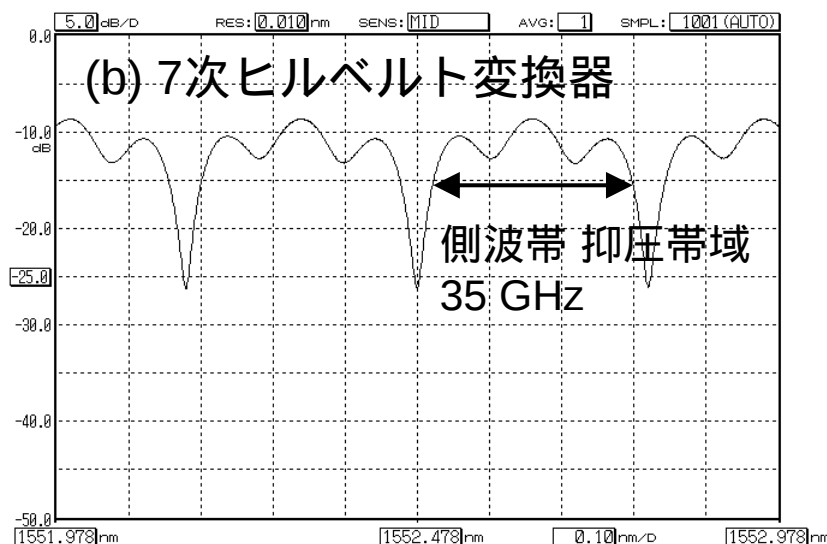
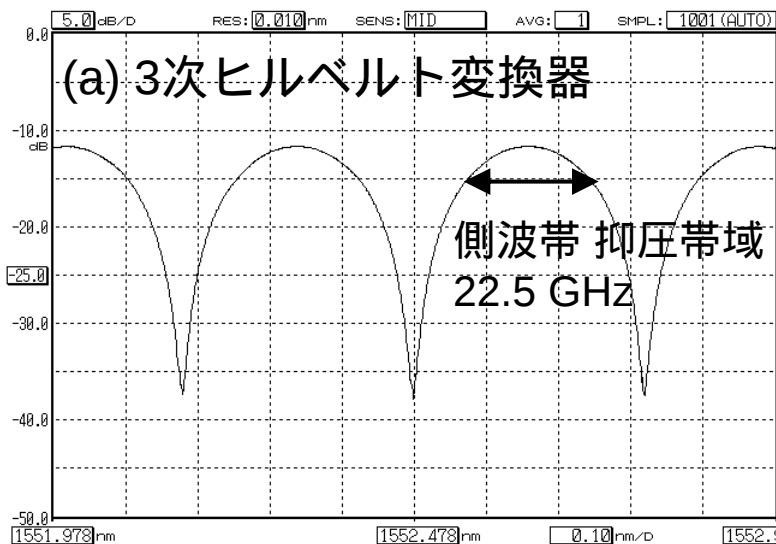
光SSBスペクトル（7次OHT）



光周波数
 USB: 上側波帯, LSB: 下側波帯

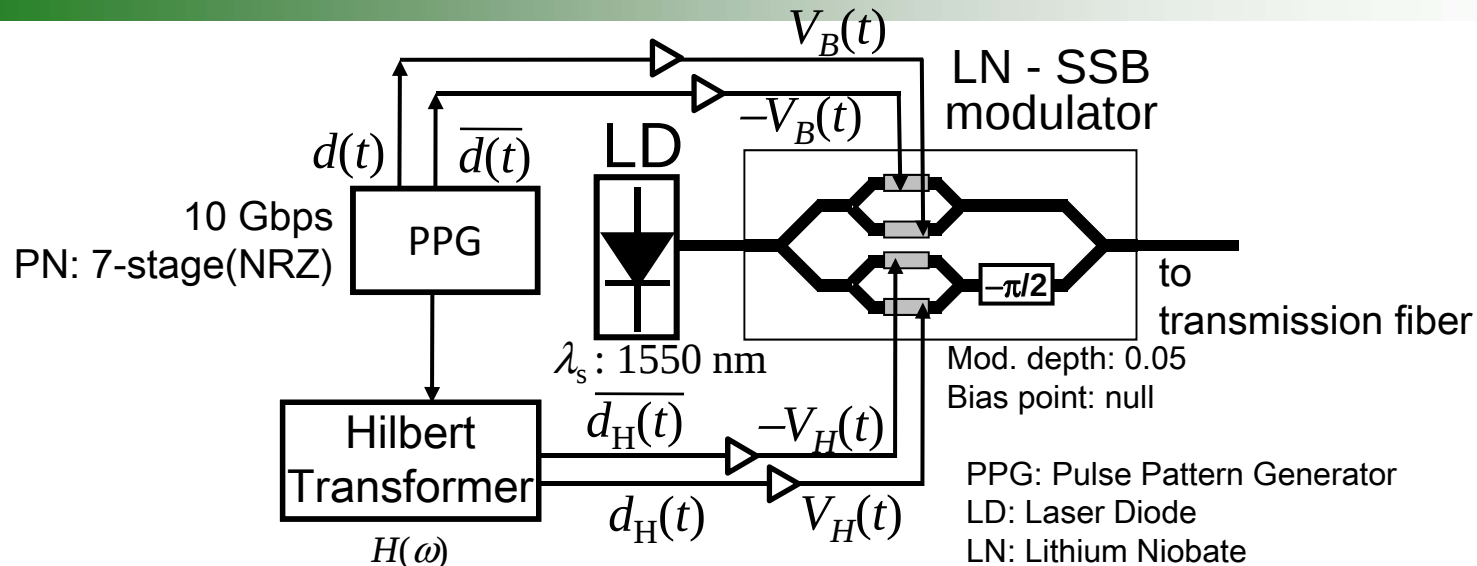


3次, 7次光ヒルベルト変換器振幅特性

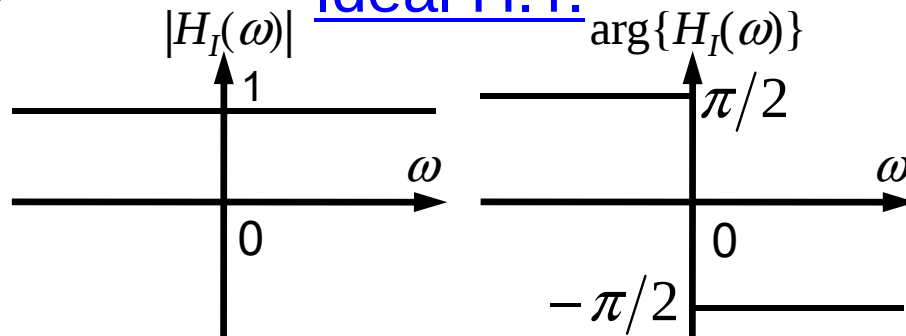


光ファイバ非線形歪みの低減 -高域通過型ヒルベルト変換器-

19

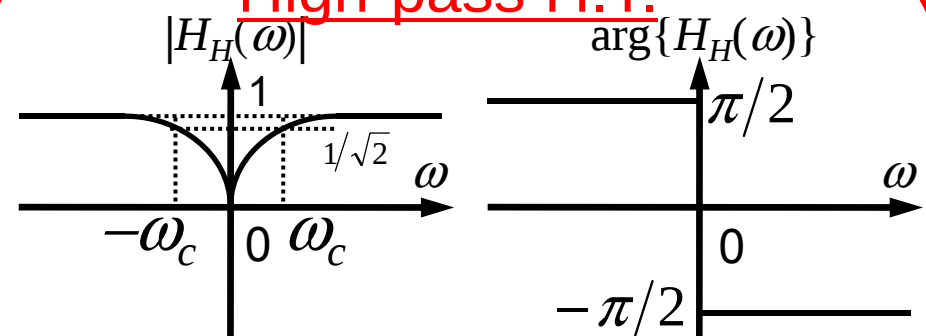


Ideal H.T.



$$H_I(\omega) = \begin{cases} -j \operatorname{sgn}(\omega) & (\omega \neq 0) \\ 0 & (\omega = 0) \end{cases}$$

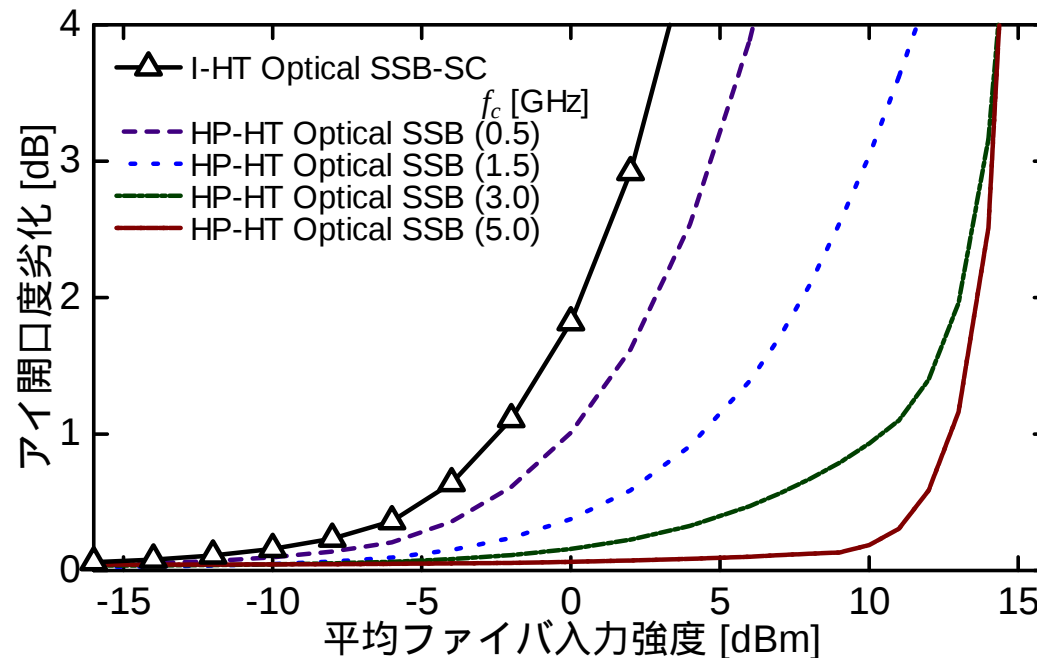
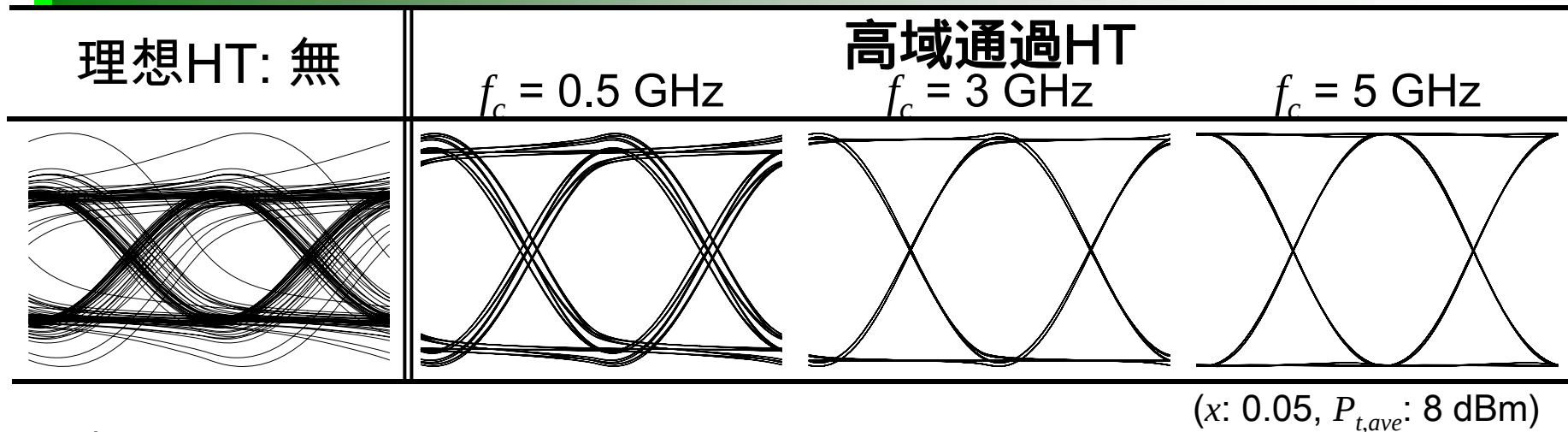
High-pass H.T.



$$H_H(\omega) = \begin{cases} -j \operatorname{sgn}(\omega) & (|\omega| > 2\omega_c) \\ -j \operatorname{sgn}(\omega) \sin\{2\pi(|\omega|/8\omega_c)\} & (|\omega| \leq 2\omega_c) \end{cases}$$

$$\omega_c = 2\pi f_c, \quad f_c: \text{Cut-off frequency}$$

高域通過型HT光SSB光ファイバ伝送



SPM発生閾値入力強度
(EOD = 1dB)
15.3 dB改善

SPM効果対策に有効