

第9回

ファイバの伝送特性 (分散補償技術)

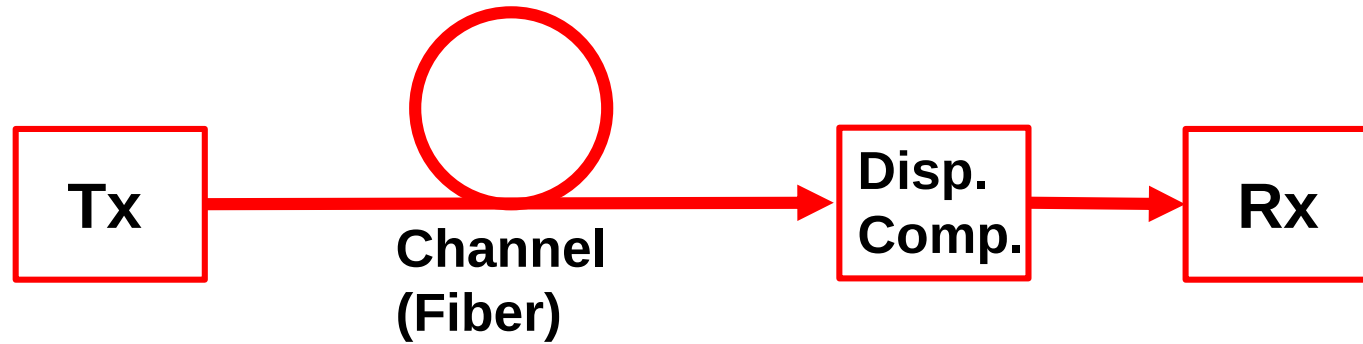
講義スケジュール(1)

	日付	内容
第1回	10/6	光通信システム(基礎・長距離基幹系)
第2回	10/13	光通信システム(メトロ・アクセス・LAN・インターコネクション)
第3回	10/20	光変調符号
第4回	10/27	光変復調技術(強度変調・位相変調)
第5回	11/10	光変復調技術(デジタル・コヒーレント関連技術)
第6回	11/17	光ファイバのモード特性(波動方程式)
第7回	11/24	光ファイバのモード特性(偏波)
第8回	12/1	ファイバの伝送特性(分散による伝送限界)

講義スケジュール(2)

	日付	内容
第9回	12/8	ファイバの伝送特性(分散補償技術)
第10回	12/15	光増幅器
第11回	12/22	ビット誤り率(強度変調・直接検波)
第12回	1/5	ビット誤り率(コヒーレント、多値変調、光増幅)
第13回	1/19	波長多重(WDM)伝送(分散マネジメント技術)
第14回	1/26	波長多重(WDM)伝送(変調技術)
第15回	2/2	光スイッチング技術・最新の光通信関連技術

分散補償の考え方



$x(t)$

$h(t)$

$r(t)$

$y(t)$

$X(\omega)$

$H(\omega)$

$R(\omega)$

$Y(\omega)$

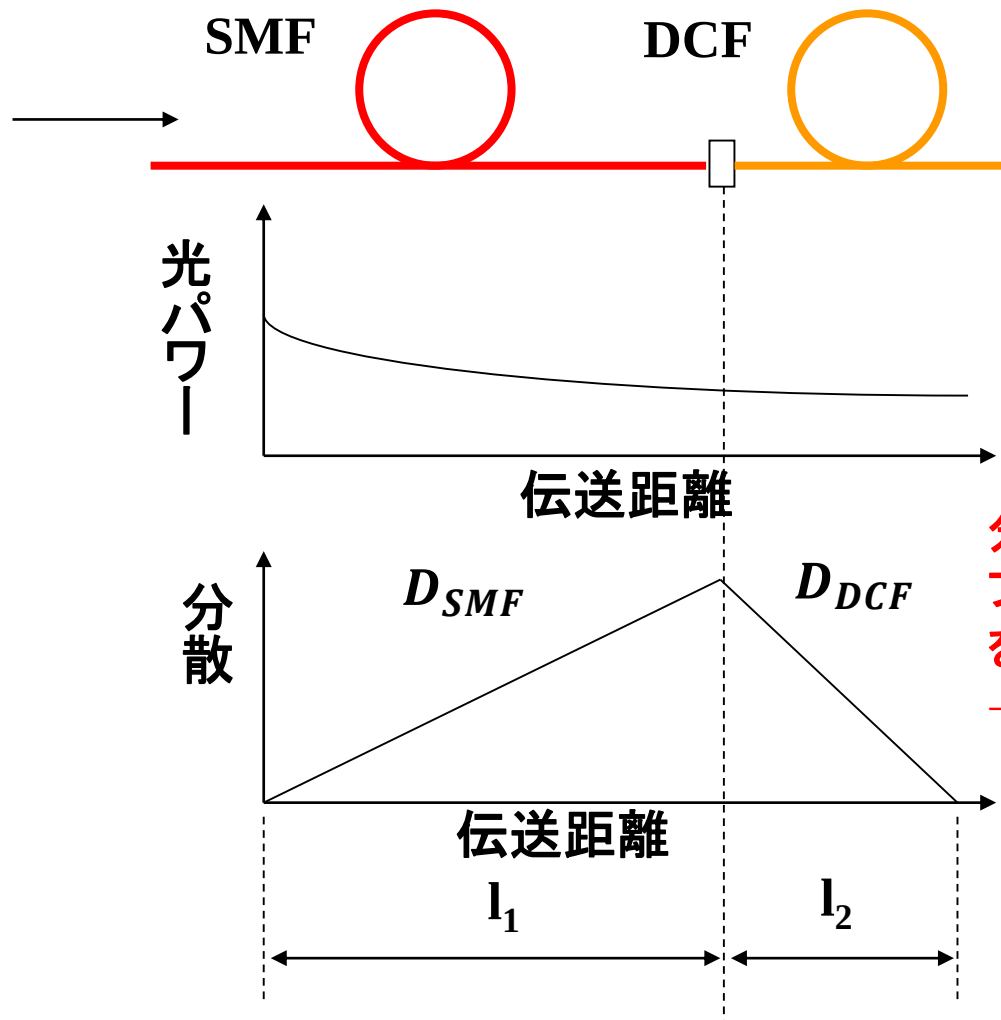
フーリエ変換

逆フーリエ
変換

$$Y(\omega) = R(\omega)H(\omega)X(\omega) = X(\omega)$$

$$R(\omega)H(\omega) = 1$$

分散補償ファイバによる等化

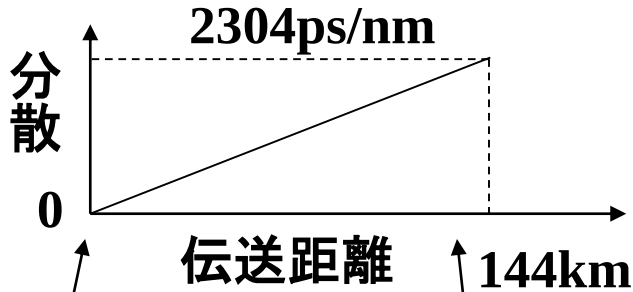


分散スロープの符号が逆の
ファイバを追加して、累積分散値
を0にする。
→ 分散補償ファイバ
(Dispersion Compensation Fiber,
DCF)

$$D_{SMF} \times l_1 + D_{DCF} \times l_2 = 0 \quad \text{となるように} l_2 \text{を設計}$$

ただし、3次の分散特性(分散スロープ:分散特性の波長微分特性)が補償しきれない

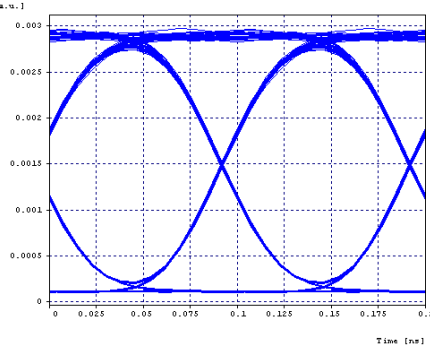
分散補償伝送路の効果(解析例)



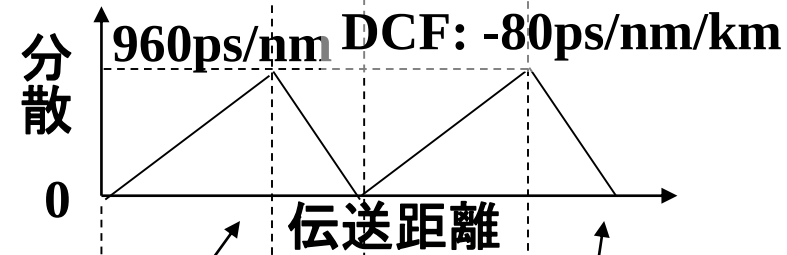
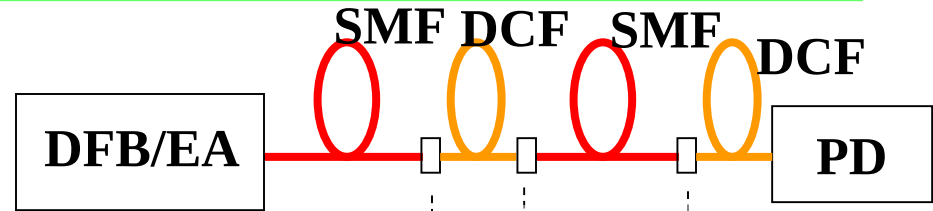
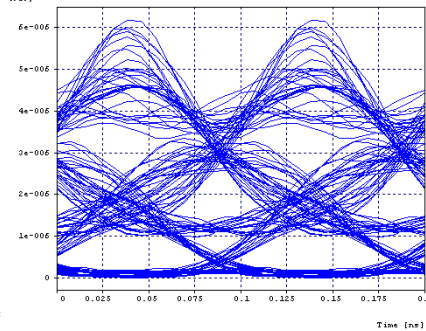
0km

144km

— LD-EAMOD-EDFA: Eye Diagram at b66, Run 1



— LD-EAMOD-EDFA: Eye Diagram at b66, Run 1

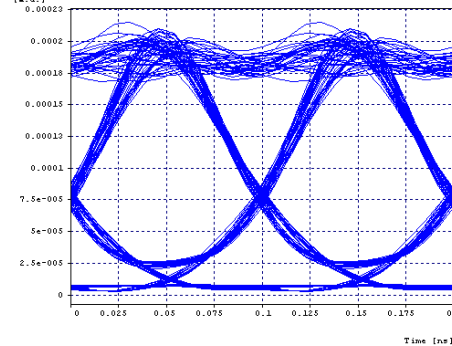


$(l_1=60\text{km}+l_2=12\text{km}) \times 2\text{スパン}$

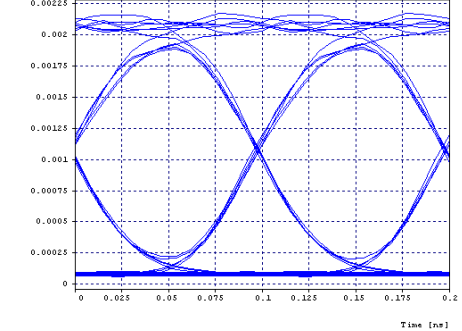
60km

144km

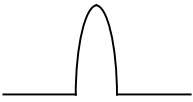
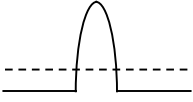
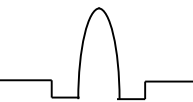
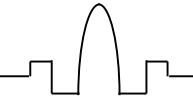
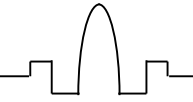
— LD-EAMOD-EDFA: Eye Diagram at b66, Run 1



— LD-EAMOD-EDFA: Eye Diagram at b13, Run 1

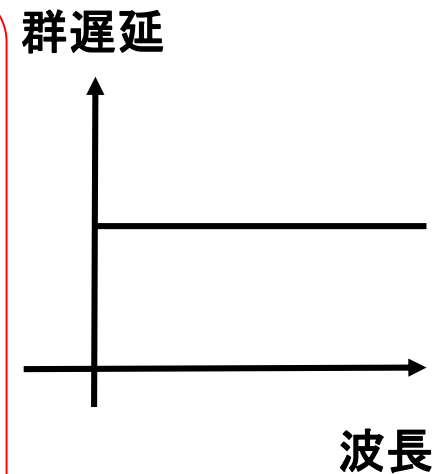
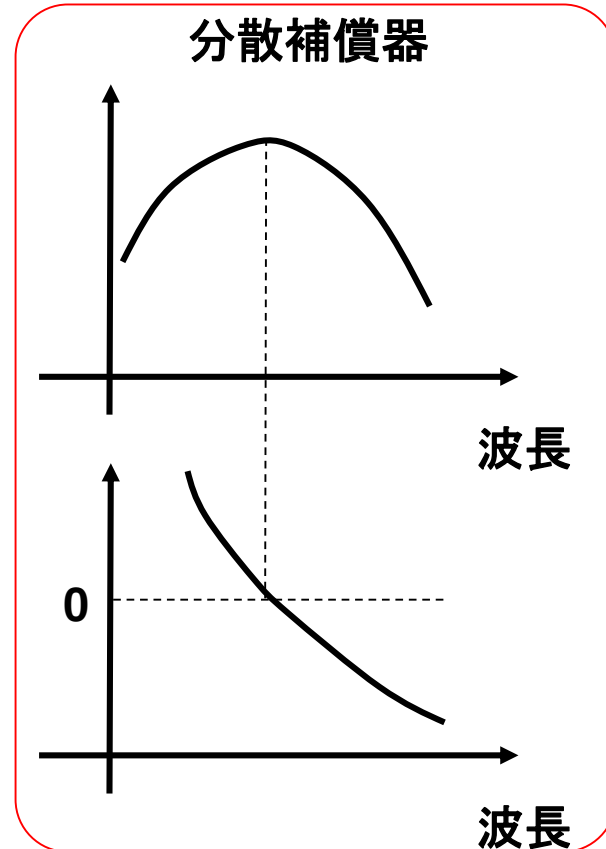
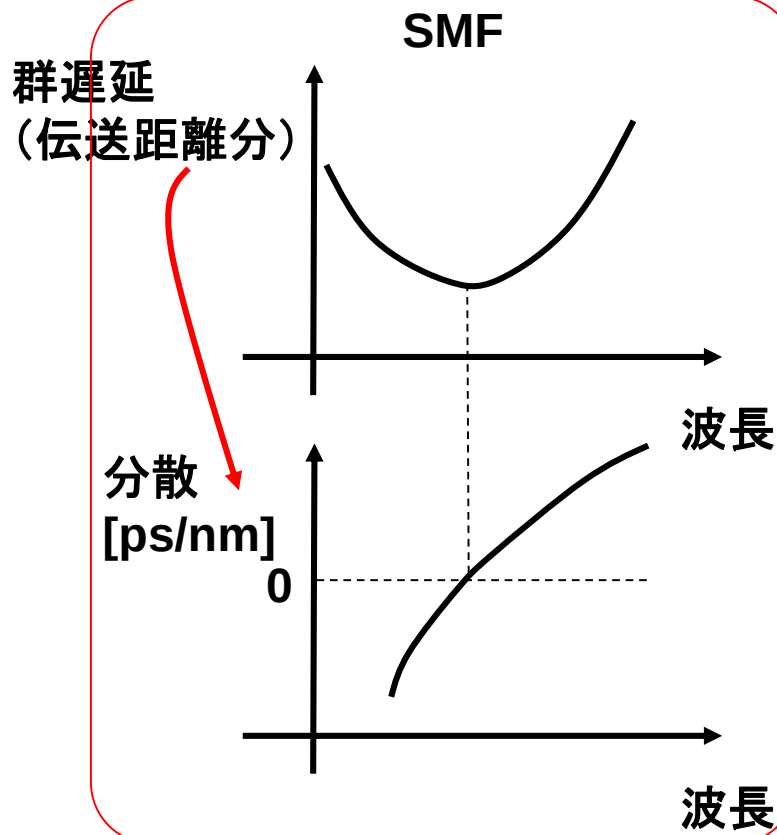
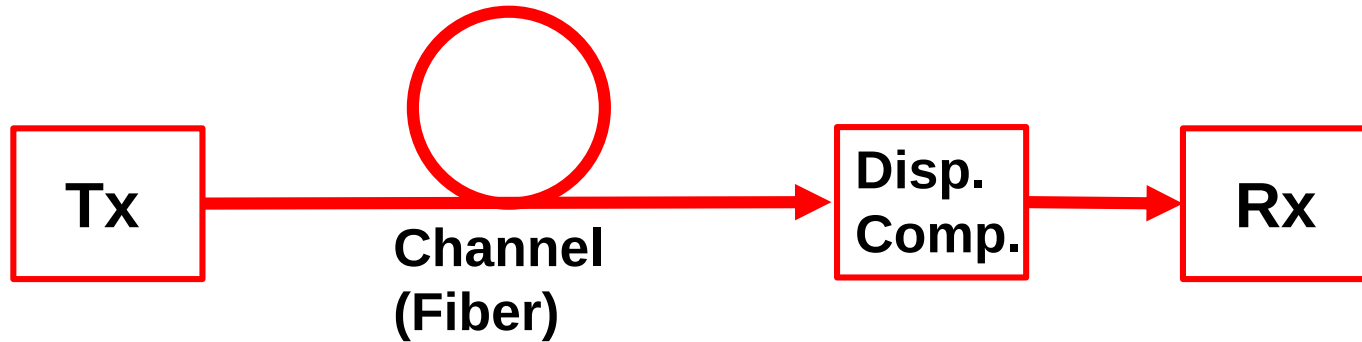


分散補償ファイバ

屈折率分布	MFD (μm) @ 1550nm	波長分散 (ps/nm/km)	分散スロープ (ps/nm/km) @ 1550nm	性能指数 (ps/nm/dB) @ 1550nm
	5.0	-70~-90	+0.08	200~250
	5.0	-70~-90	+0.08	200~250
	4.5	-100~-135	-0.2~-0.5	200~300
	RDF 5.8	-15.6	-0.046	62
	5.0	-100~-300	-0.15	300~400

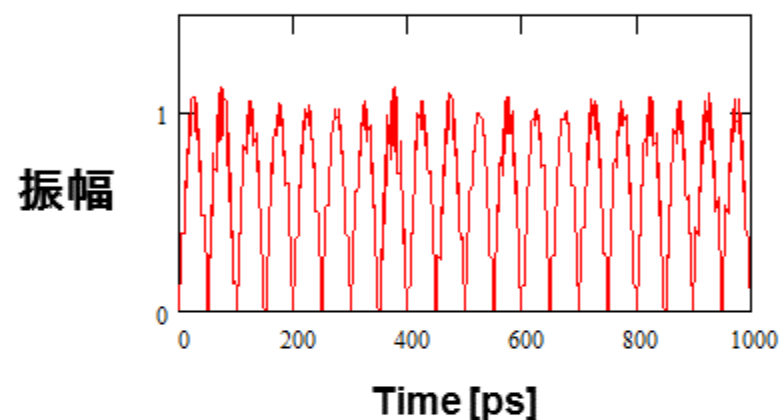
和田 朗, “光ファイバー研究開発の最新動向”, O plus E, pp.68-73 (1999).

受信側での分散補償の考え方

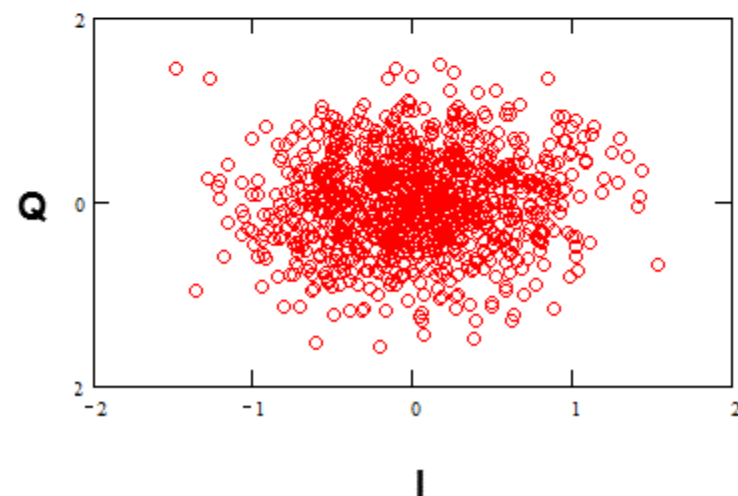
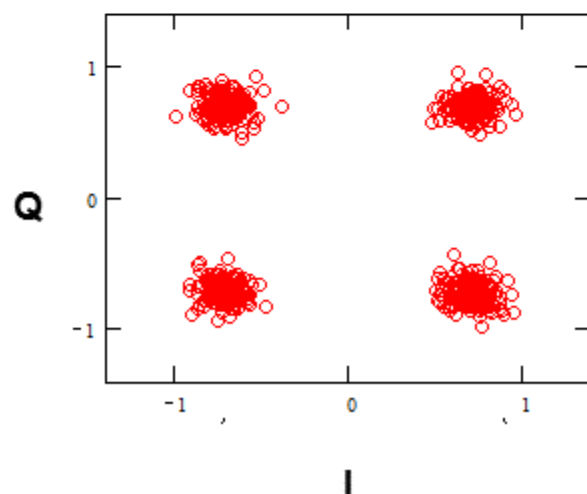
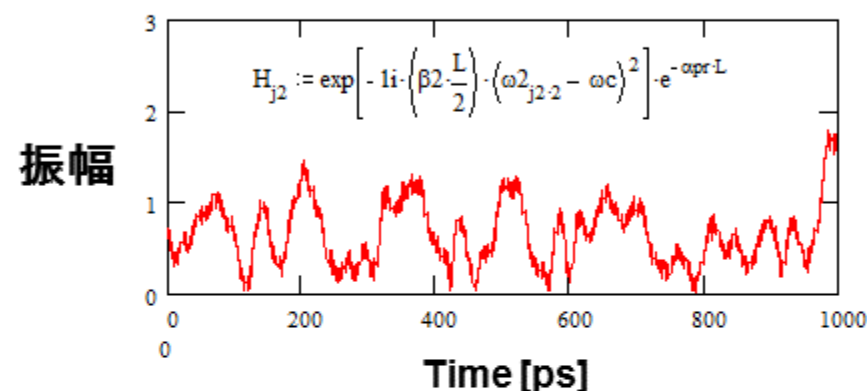


40Gbaud, RZ-QPSK, -6dBm, SMF 1000km伝送後の時間波形・分散補償

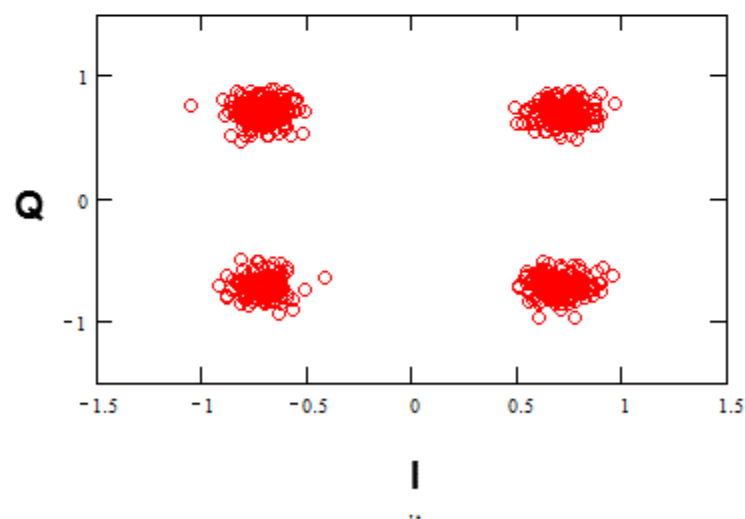
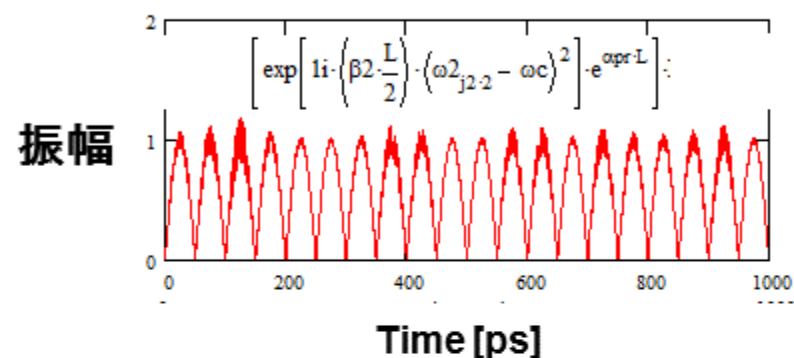
送信信号

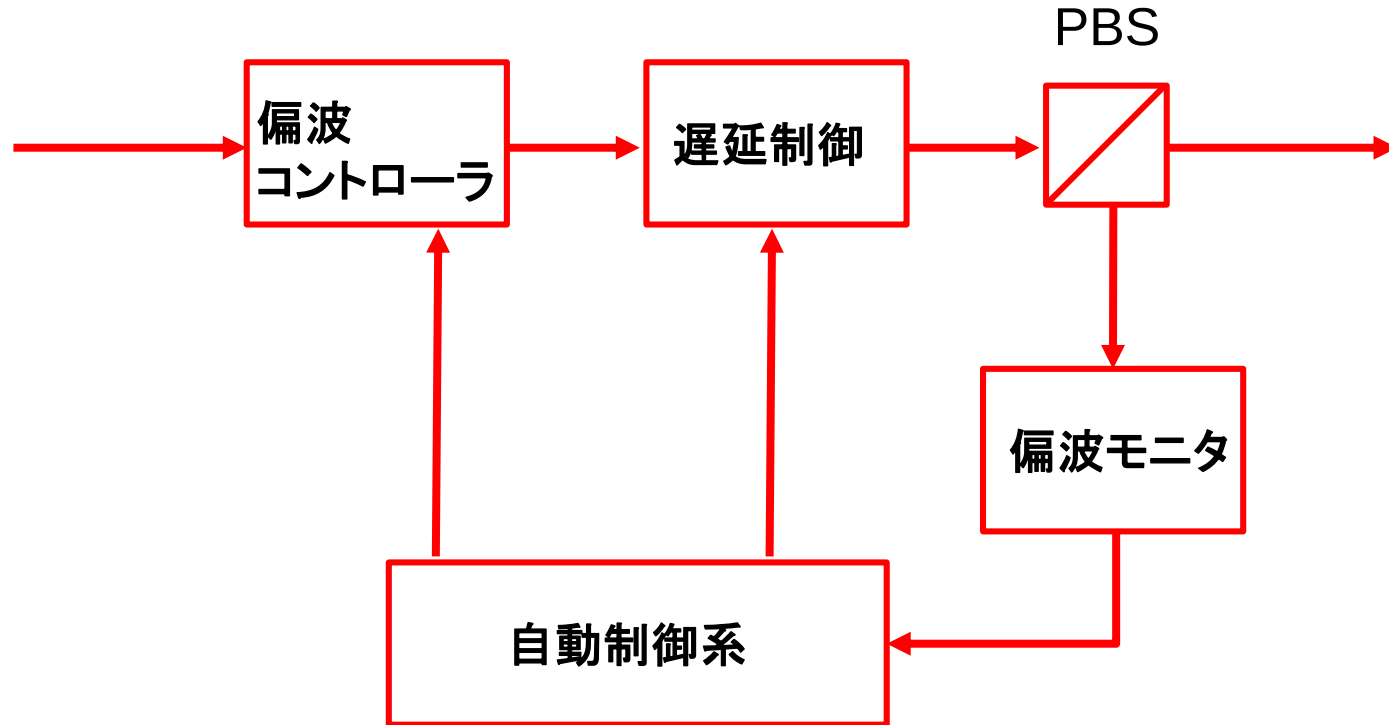


SMF1000km伝送後

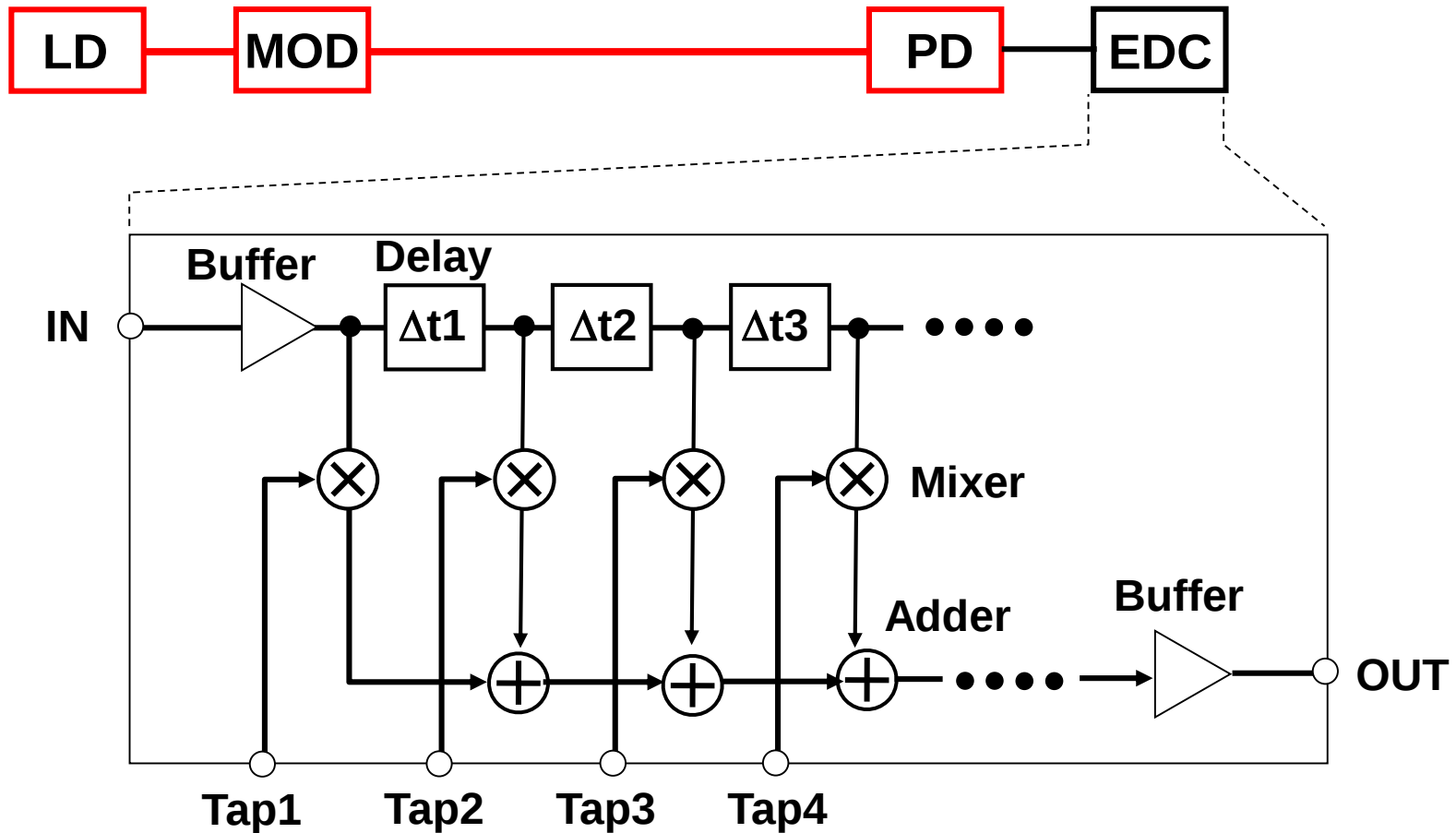


100%線形分散補償後



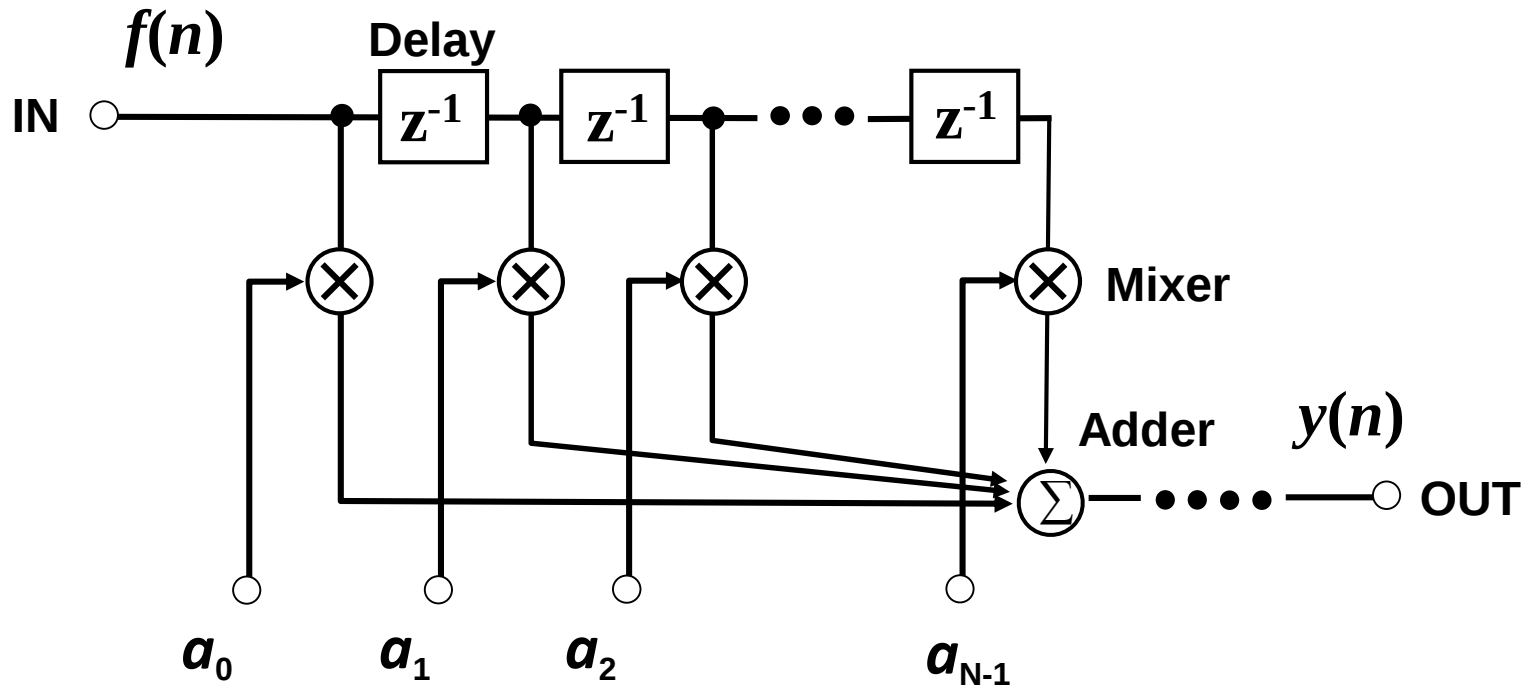


電気分散補償技術



FIR (Finite Impulse Response)フィルタで構成することが多い

FIRフィルタ(1)



FIRフィルタの伝達関数

$$\frac{Y(z)}{X(z)} = H(z) = b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \cdots + b_{N-1} z^{-(N-1)}$$

ここで $z = e^{sT_s}$ であり、 s はラプラス変換の変数で、標本化周期 T_s ごとに遅延している状態(遅延演算子)に相当する。

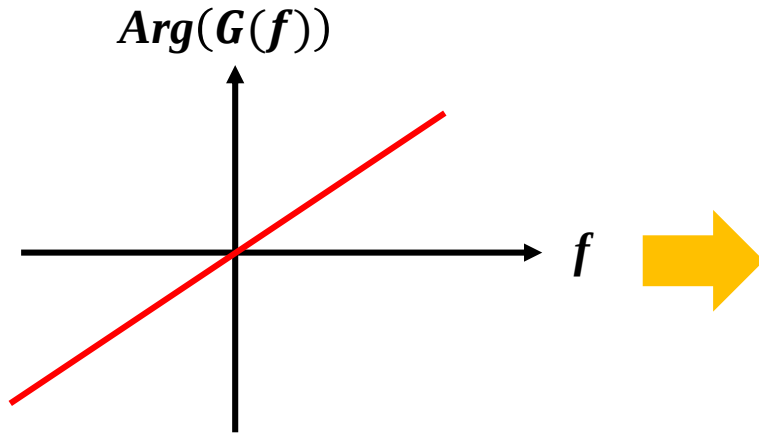
上式のインパルス応答は、逆 z 変換で求め、

$$h(n) = \mathcal{Z}^{-1}[H(z)] = \sum_{i=0}^{N-1} b_i \delta(n-i) = y(n)$$

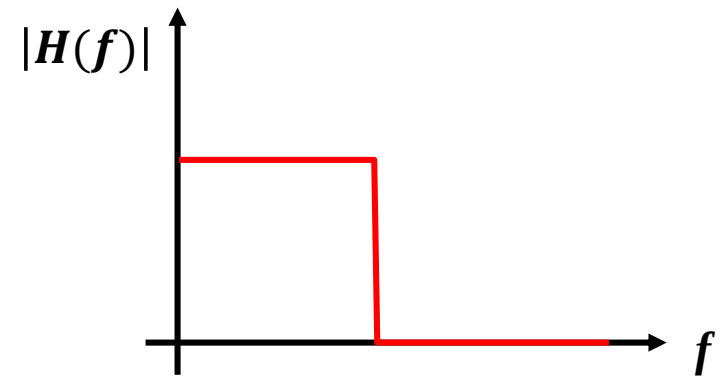
 インパルス応答はFIRフィルタの係数に等しい。

FIRフィルタの設計

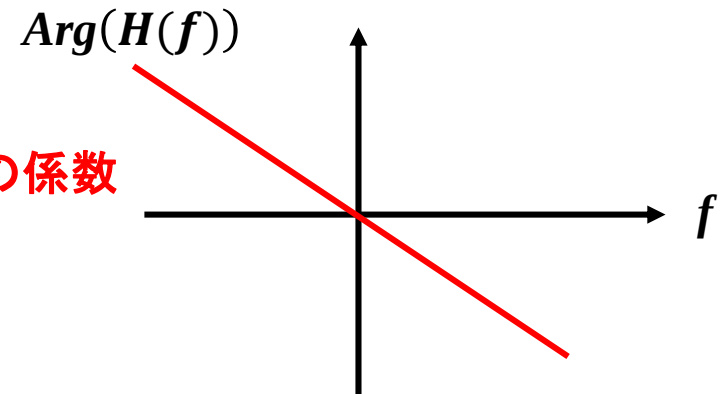
SMFの位相特性



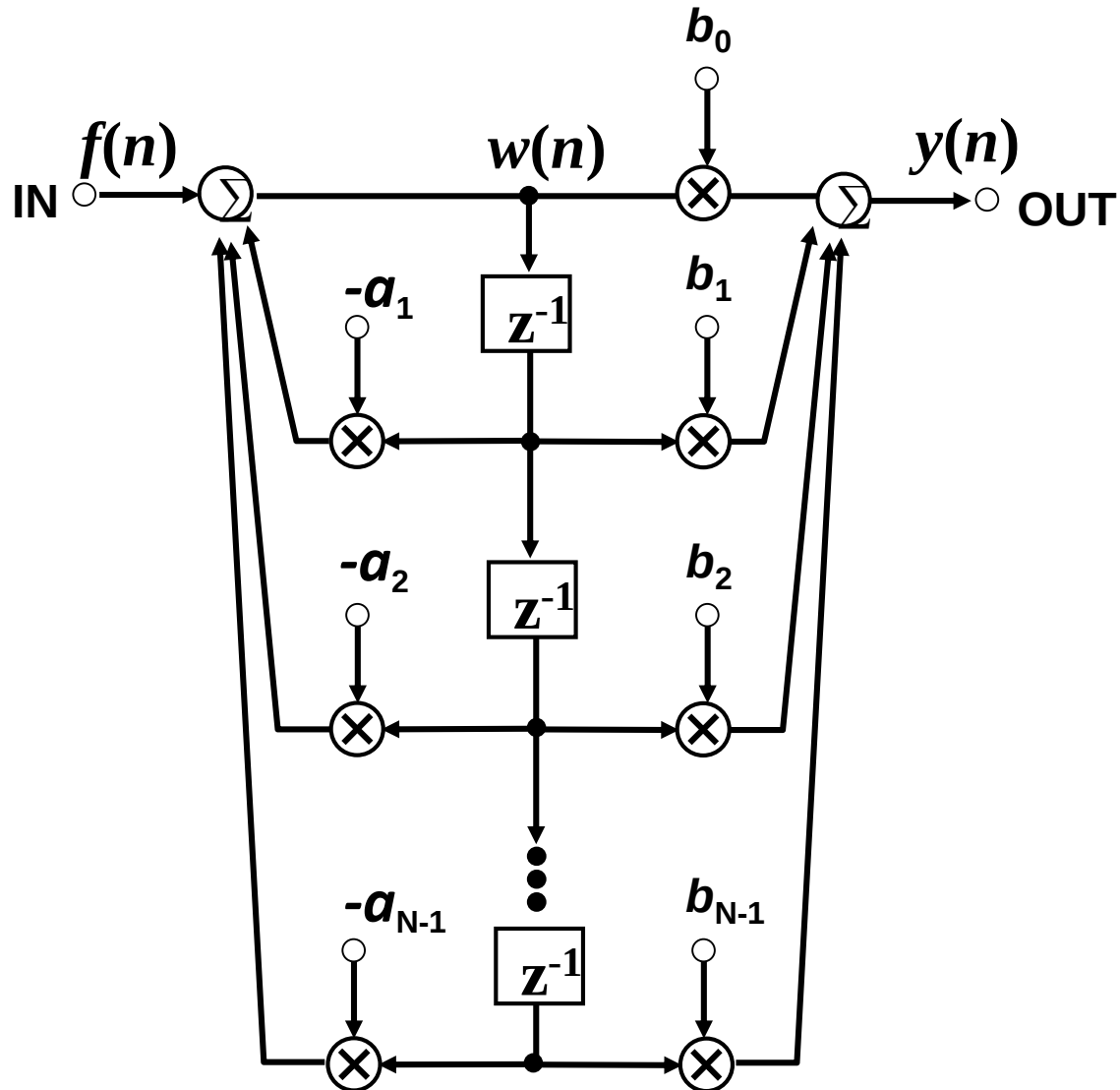
FIRの伝達関数



波形を整形する伝達関数から、
そのインパルス応答を実現するFIRフィルタの係数
を設計。



IIRフィルタ(1)



IIRフィルタ(2)

図より、

$$w(n) = f(n) - \sum_{k=1}^{N-1} a_k w(n-k)$$

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} b_k w(n-k)$$

$$\left. \begin{aligned} W(z) &= F(z) - W(z) \sum_{k=1}^{N-1} a_k z^{-k} \\ Y(z) &= W(z) \sum_{k=0}^{N-1} b_k z^{-k} \end{aligned} \right\} \text{整理して、}$$

$$Y(z) = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^{N-1} a_k z^{-k}} F(z)$$

$$\therefore H(z) = \frac{Y(z)}{F(z)} = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^{N-1} a_k z^{-k}}$$

上式のインパルス応答は、
逆 z 変換で求まる