

# 集積回路設計特論(12)

## -デジタル信号処理回路-

AWCC 山尾 泰

# 内容

通信とデジタル信号処理

送信信号処理

デジタルプリディストーション

# 通信とデジタル信号処理

- 無線通信では送信スペクトルを整え、また伝搬路の雑音や歪みを受けた信号を処理するためにフィルタや演算を用いるものが多い
- このための多くの処理がデジタル信号処理になりつつある

例) 変調

符号化, 高速フーリエ変換(FFT), 複素包絡線生成

復調

最尤推定, ベクトル演算, 等化/整合フィルタ, 誤り訂正復号

など

- 特に消費電力とコストへの要求が緩い基地局装置でデジタル信号処理の比率が高かったが、最近では端末でもかなりの部分がデジタル信号処理で行われるようになっている

# 無線通信向けデジタル信号処理への要求条件

## 共通

- 信号のブロードバンド化 ~100MHz以上 特にLTE以降
- 複数方式対応(地域による方式の違い)

## 送信機

- 線形性と電力効率の双方の追求(DPD, PWM増幅など)
- 帯域外輻射(スプリアス)の条件

## 受信機

- 伝搬チャネルの高速変動をトラッキングできるアダプティブフィルタ
- MIMOをはじめとする高度な信号分離アルゴリズムと並列処理

# 携帯電話システムで用いられる無線信号形式

	第2世代 (1990～)			第3世代 (2001～)	第4世代 (想定) (2010?～)
システム名	GSM	PDC	PHS	IMT-2000 (例 ; DS-CDMA)	LTE, IMT-Advanced
無線周波数帯	900 MHz 1.8/1.9 GHz	900 MHz 1.5 GHz	1.9 GHz	2 GHz (900 MHz, 1.7 GHz, 2.5 GHz)*1	3GHz 帯ほか
変調方式	GMSK	π/4シフトQPSK		下り : QPSK 16QAM*2 上り : BPSK-HPSK	マルチキャリア 多値変調?
変調速度	270.833 kbps	42 kbps	384 kbps	3.84Mcps ~14.4 Mbps*2	100 Mbps ~ 1 Gbps
占有帯域幅	200 kHz	32 kHz 以下	250 kHz 以下	5 MHz 以下	~ 100 MHz
端末最大 送信電力*3	2 W (*4) 1 W (*5)	0.8 W	80 mW	0.25 W	未定
端末送信電力 制御範囲*3	20 dB (*4) 17 dB (*5)	20 dB	—	74 dB	未定

\*1 IMT追加バンド

\*2 3.5世代技術 (HSDPA[14])

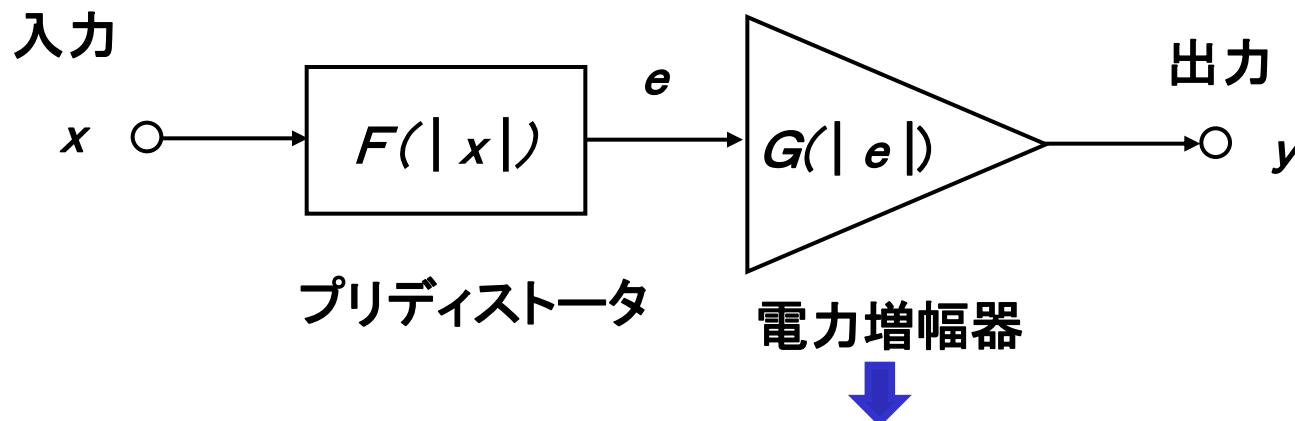
\*3 携帯電話端末で用いられる移動局クラスでの値

\*4 900 MHz 帯 \*5 1.8/1.9 GHz 帯

# 送信信号処理

## デジタルプリディストーション(DPD)

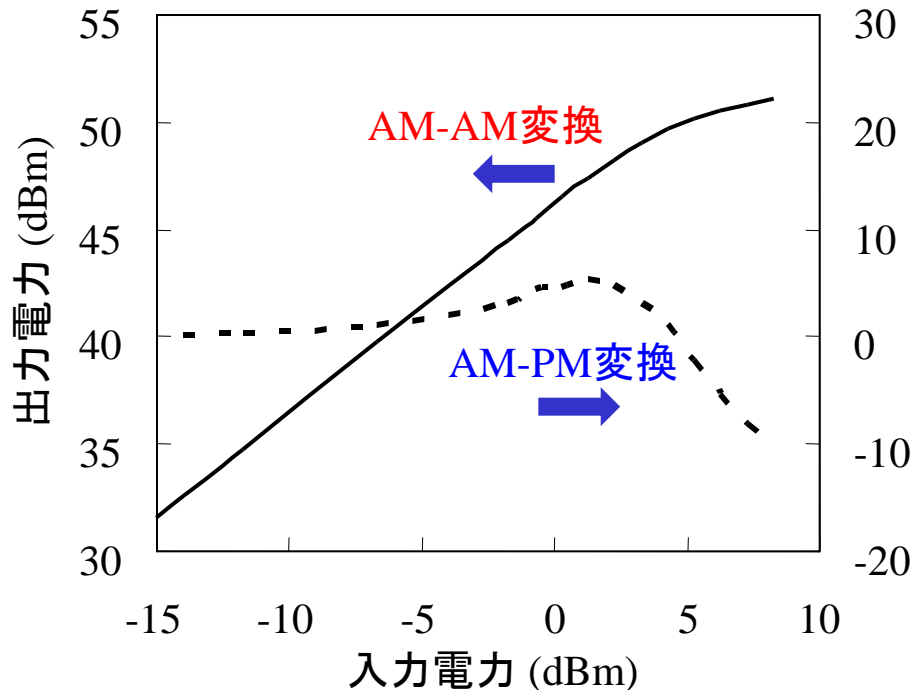
- 電力増幅器の持つ非線形性によって発生する歪み成分を抑えるため、予め逆特性の歪みを付加したベースバンドの変調信号(複素包絡線)をデジタル信号処理技術で発生する



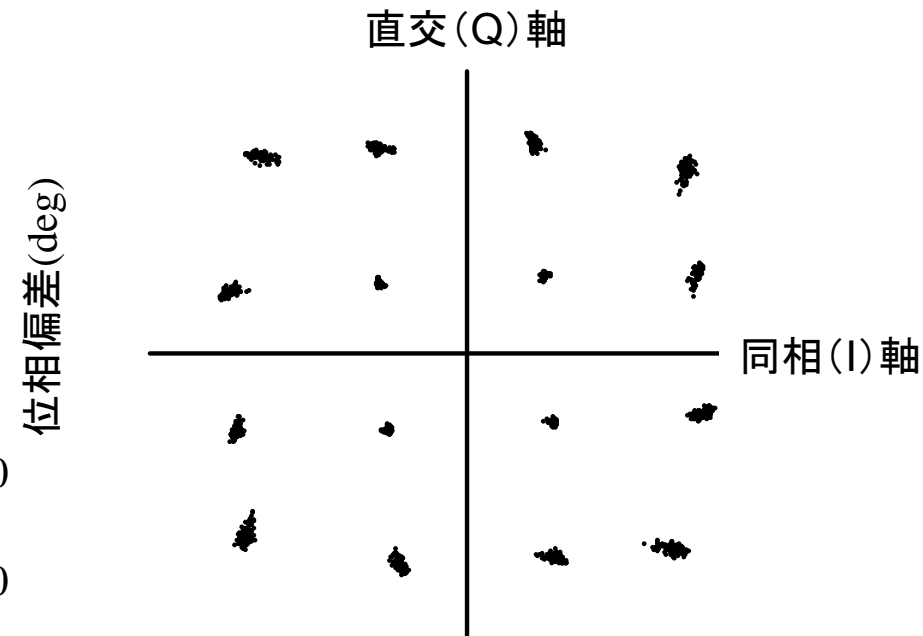
非線形性は一般に極座標で取扱える

# 一般的な増幅器の入出力非線形特性とその影響

- 増幅器の飽和領域での非線形の程度は、一般に入力信号振幅に依存し、極座標で表せる → AM-AM変換, AM-PM変換



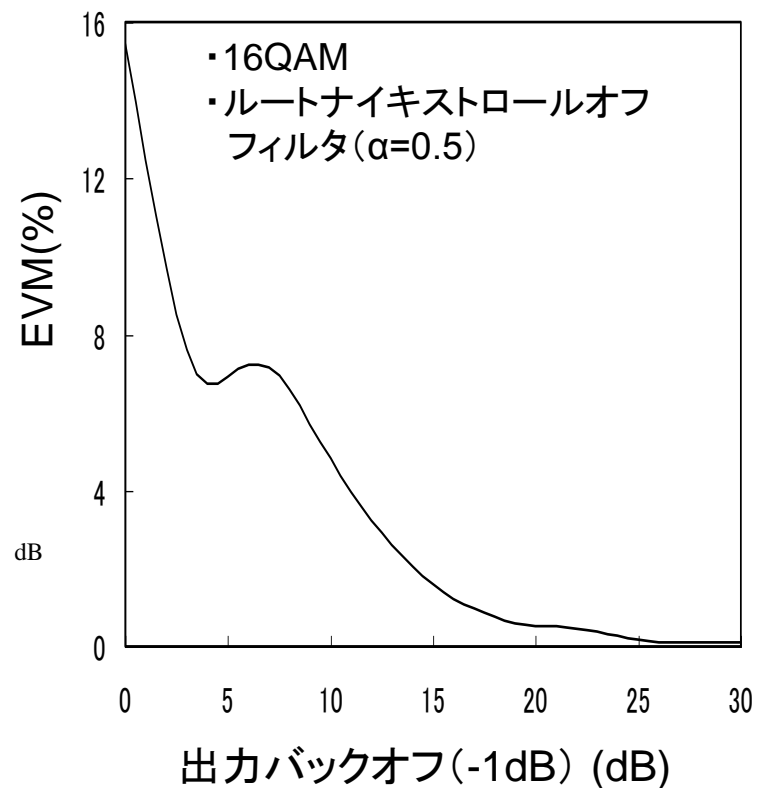
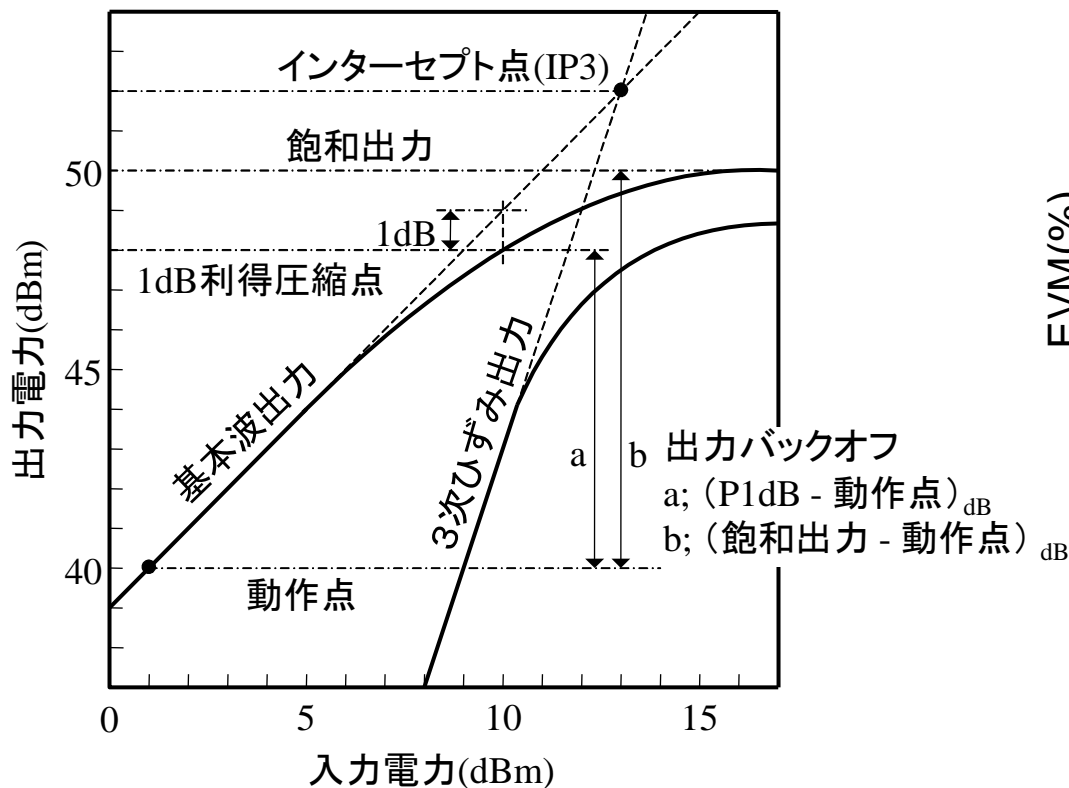
(a) 入出力特性

(b) 16QAM信号の信号空間配置  
出力バックオフ(-1dB) = 3dB

# 出力バックオフとEVM劣化特性の例

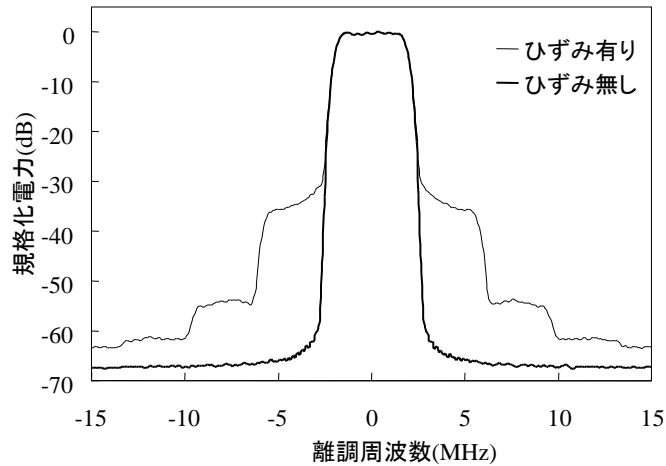
## ● 出力バックオフには2つの定義がある

- ① 増幅利得が線形利得から1dB低下した点である1dB利得圧縮点 (1dB gain compression point)を最大出力とした場合のバックオフ値
- ② 飽和出力電力(saturation output power)を最大出力とした場合のバックオフ値

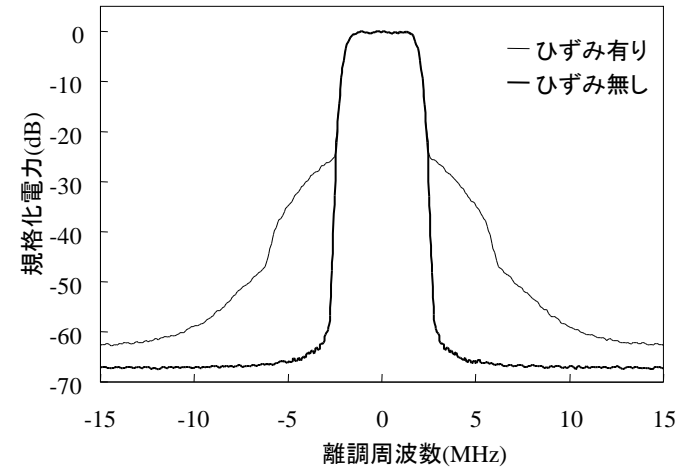




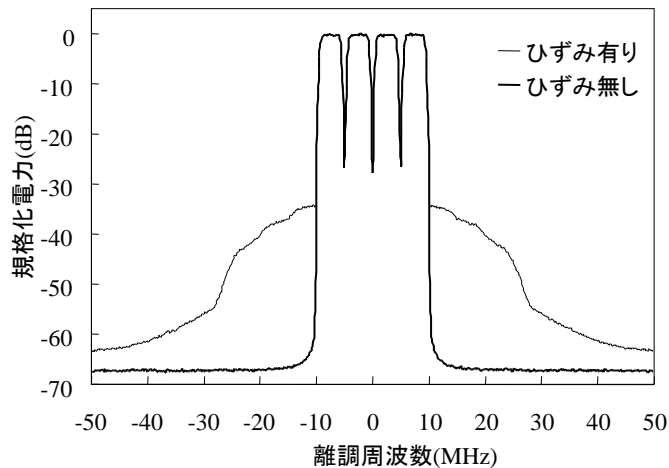
# 非線形ひずみによるW-CDMAスペクトル例



(a) QPSK(1キャリア/1コード)

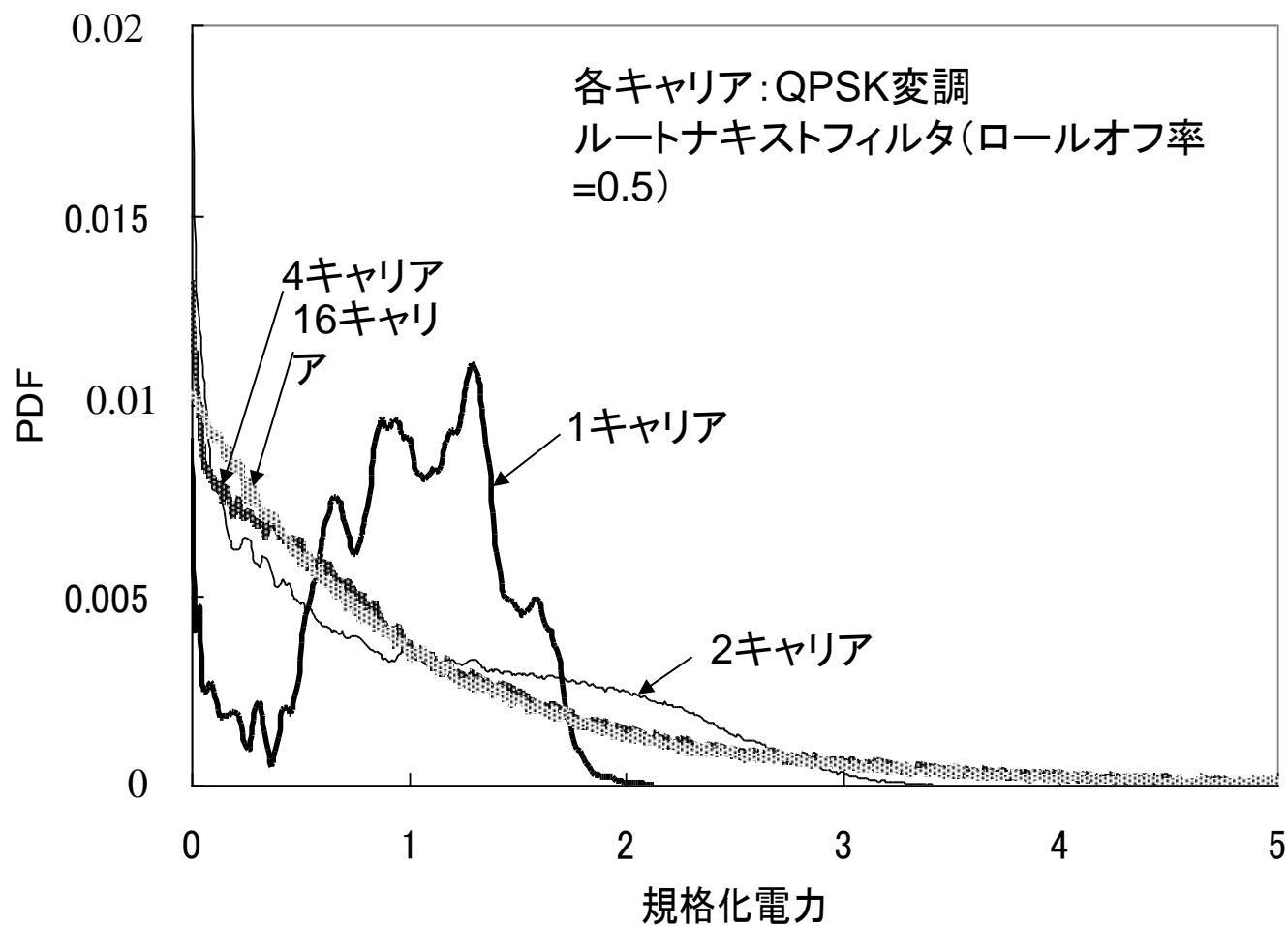


(b) QPSK(1キャリア/64マルチコード)

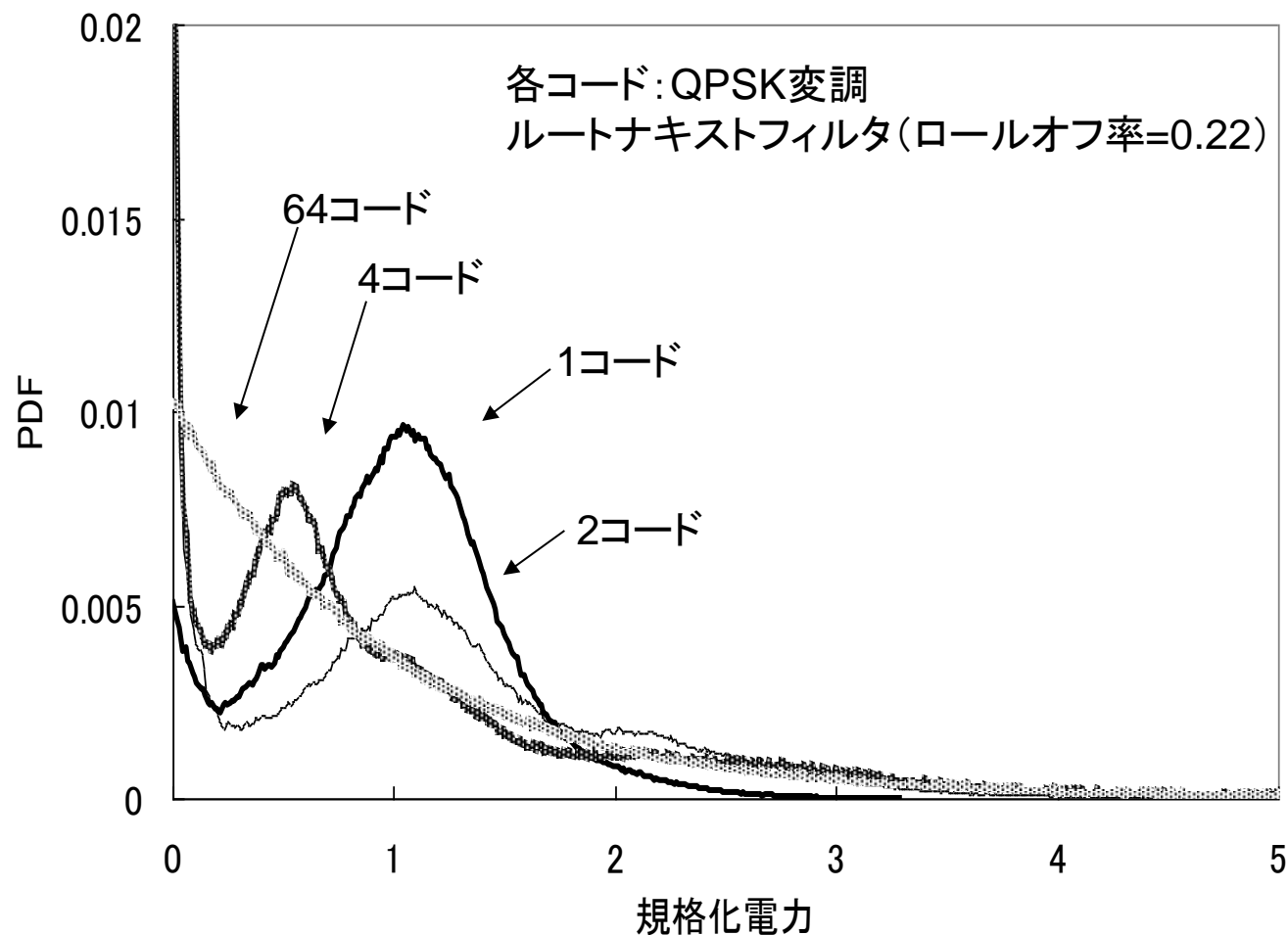


(c) QPSK(4キャリア/64マルチコード)

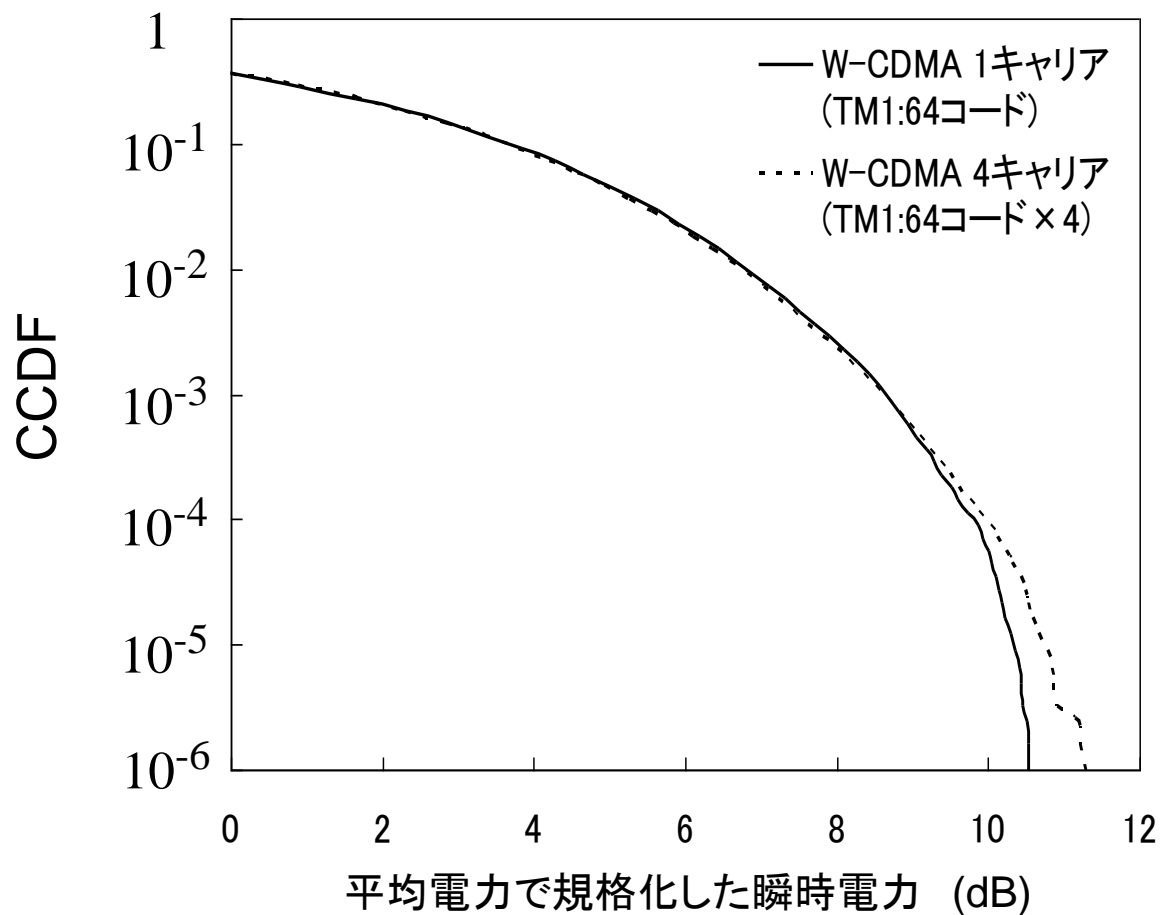
# QPSK変調マルチキャリア信号の電力PDFの例



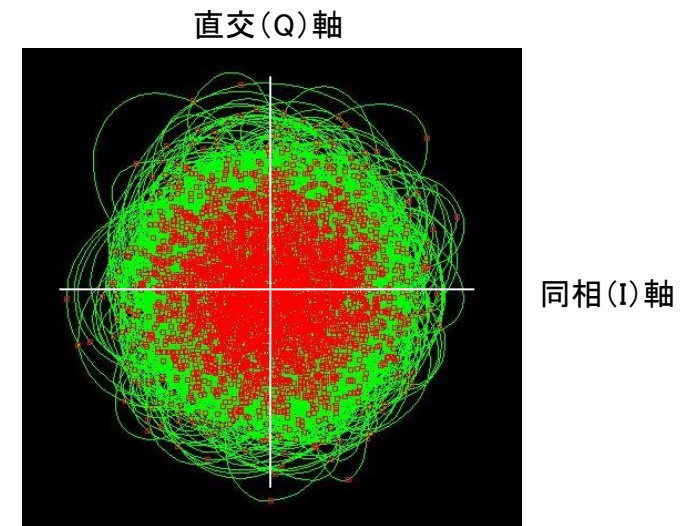
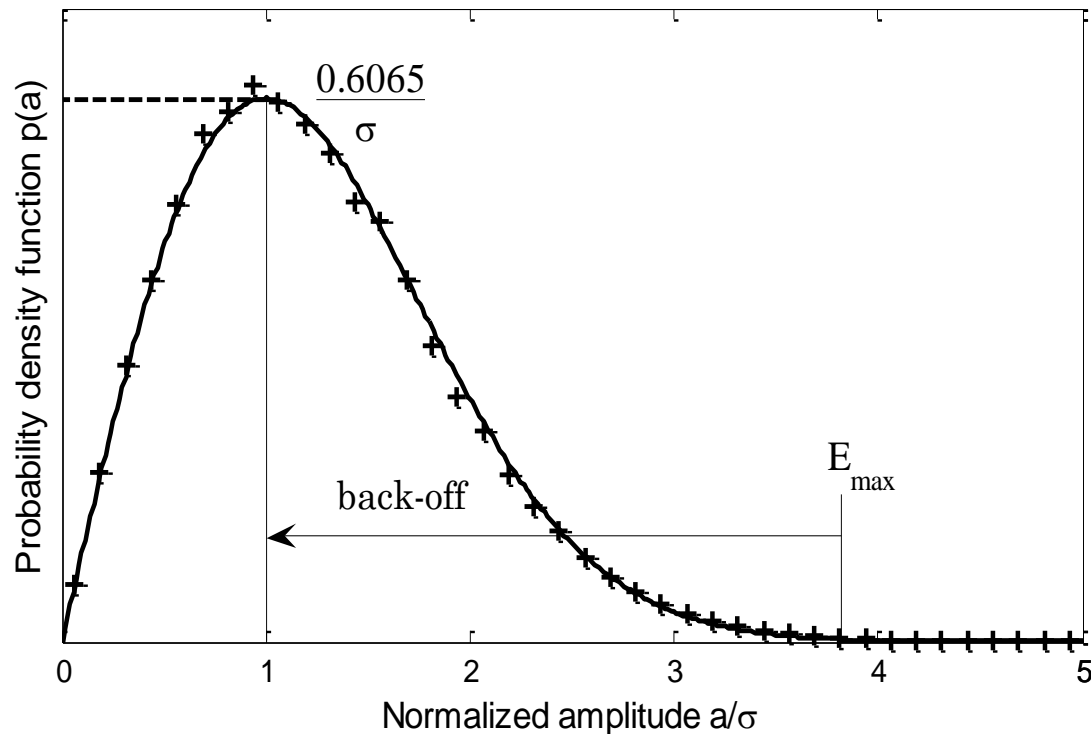
# DS-CDMAマルチコード信号の電力PDFの例



# 平均電力で規格化した瞬時電力のCCDF特性例



# OFDM信号の振幅分布

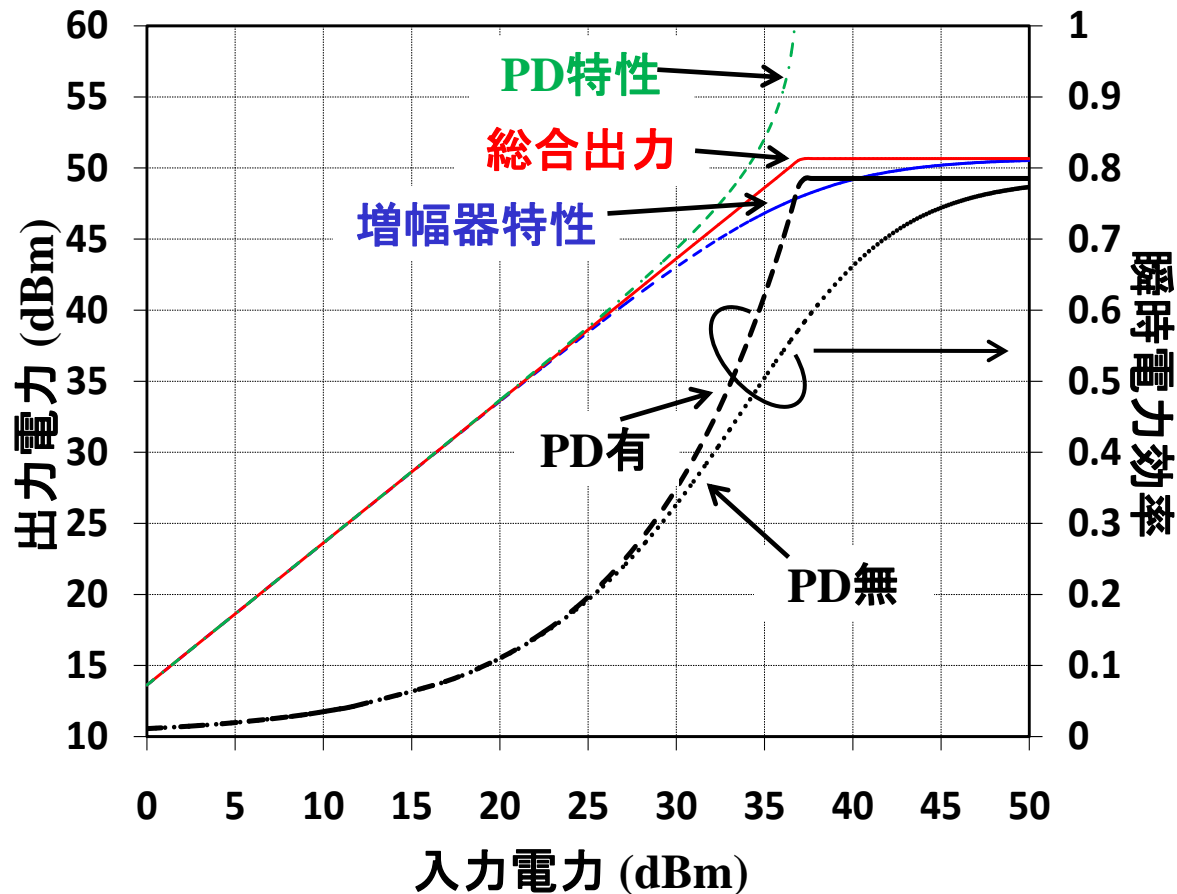


(b) 送信信号空間軌跡

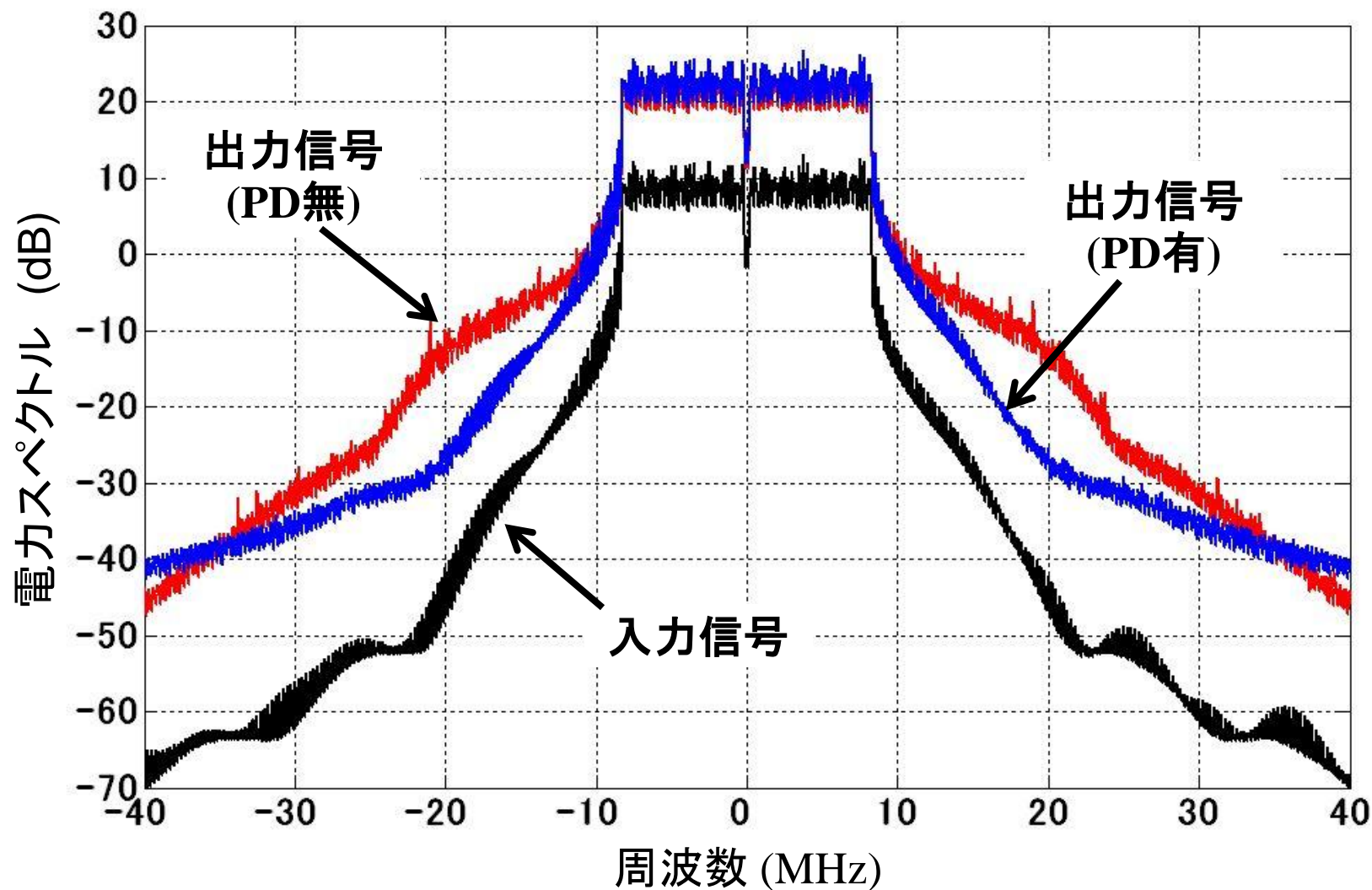
● 識別タイミング  
における信号点

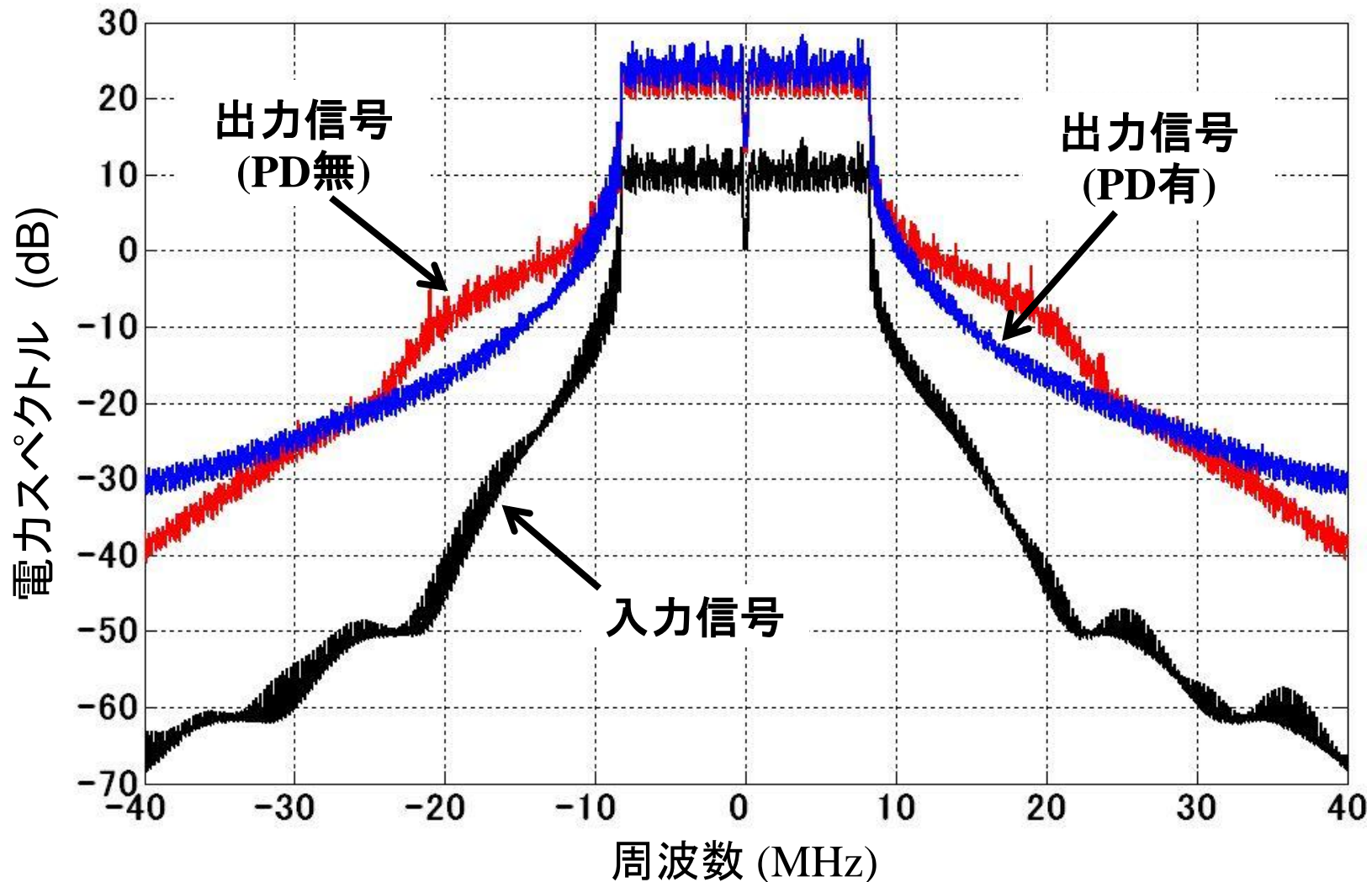
多数のキャリアが独立に変調を受ける  
OFDM信号の振幅分布はRayleigh分布となり、  
最も高いピーク電力を有する

# プリディストーションによる入出力非線形特性の補償



PDでは利得が圧縮された分を入力レベルを上げて補償するため、見掛けの電力効率が上がるように錯覚するが、出力側で見ると同じバックオフ点では効率は変わらない。より飽和に近い点にバックオフ点を設定することで多少効率の向上が可能であるが、クリッピングによる歪みを抑えることは困難

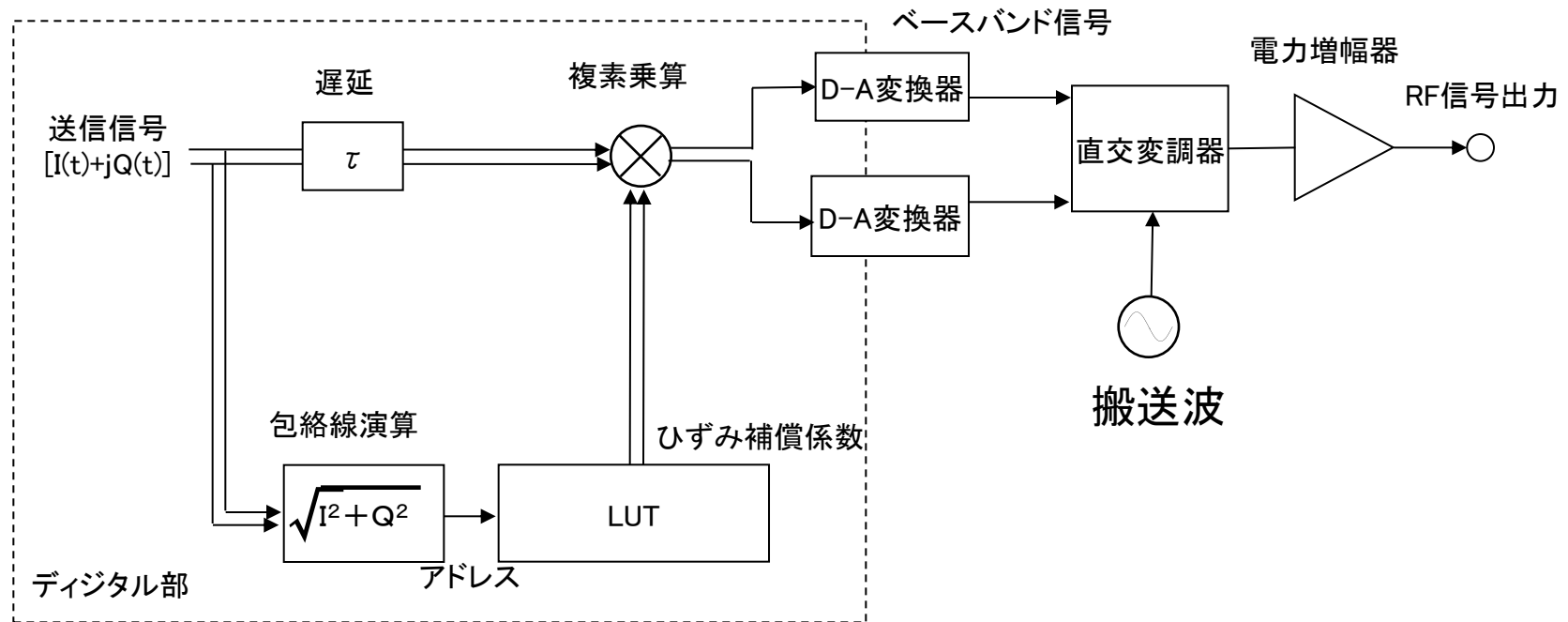
OFDM信号スペクトル (BOR=0.27 /  $P_{clip}=10^{-3}$ )

OFDM信号スペクトル (BOR=0.33 /  $P_{clip}=10^{-2}$ )

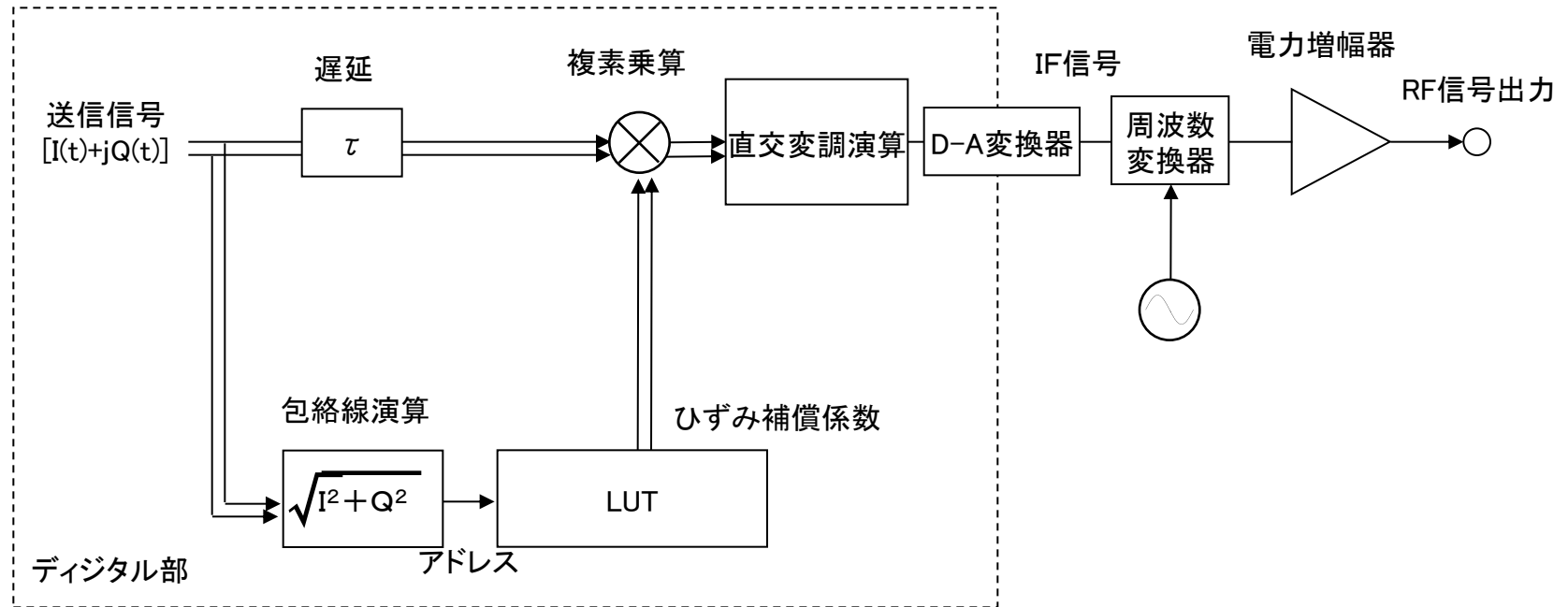
信号帯域からある程度離調すると, PD有りの方が特性悪化



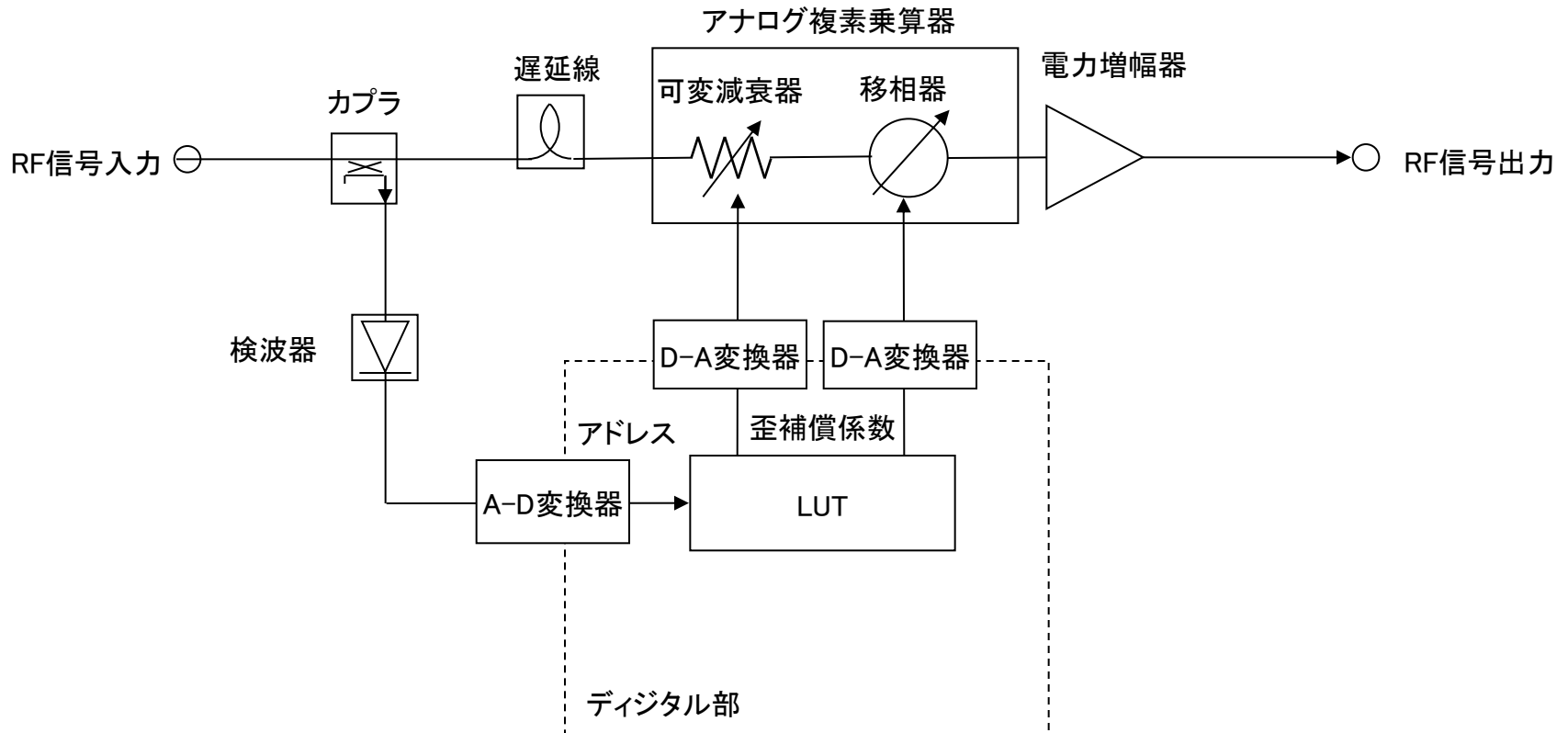
## ベースバンドデジタルプリディストーション(1)



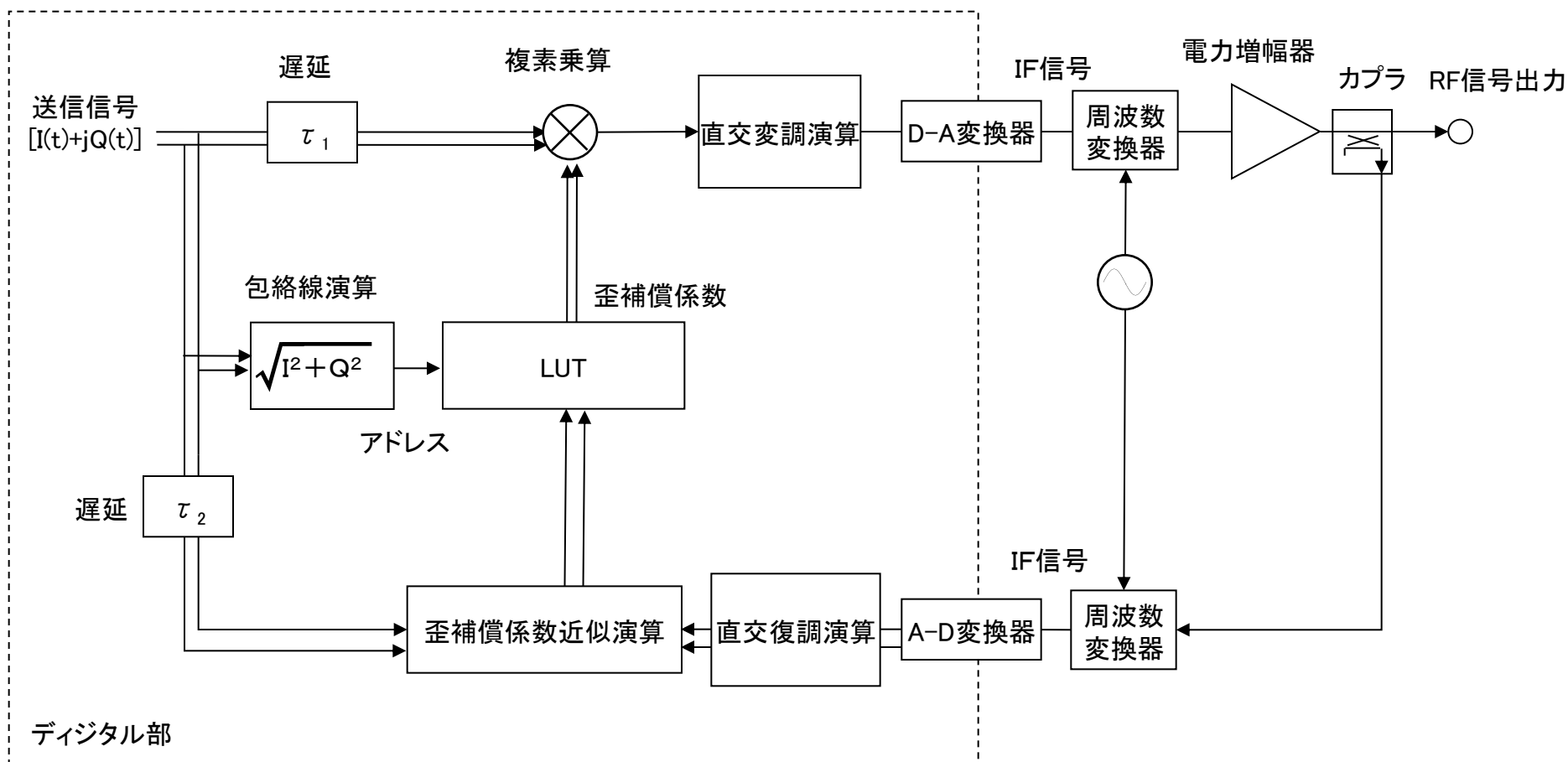
## ベースバンドデジタルプリディストーション(2)



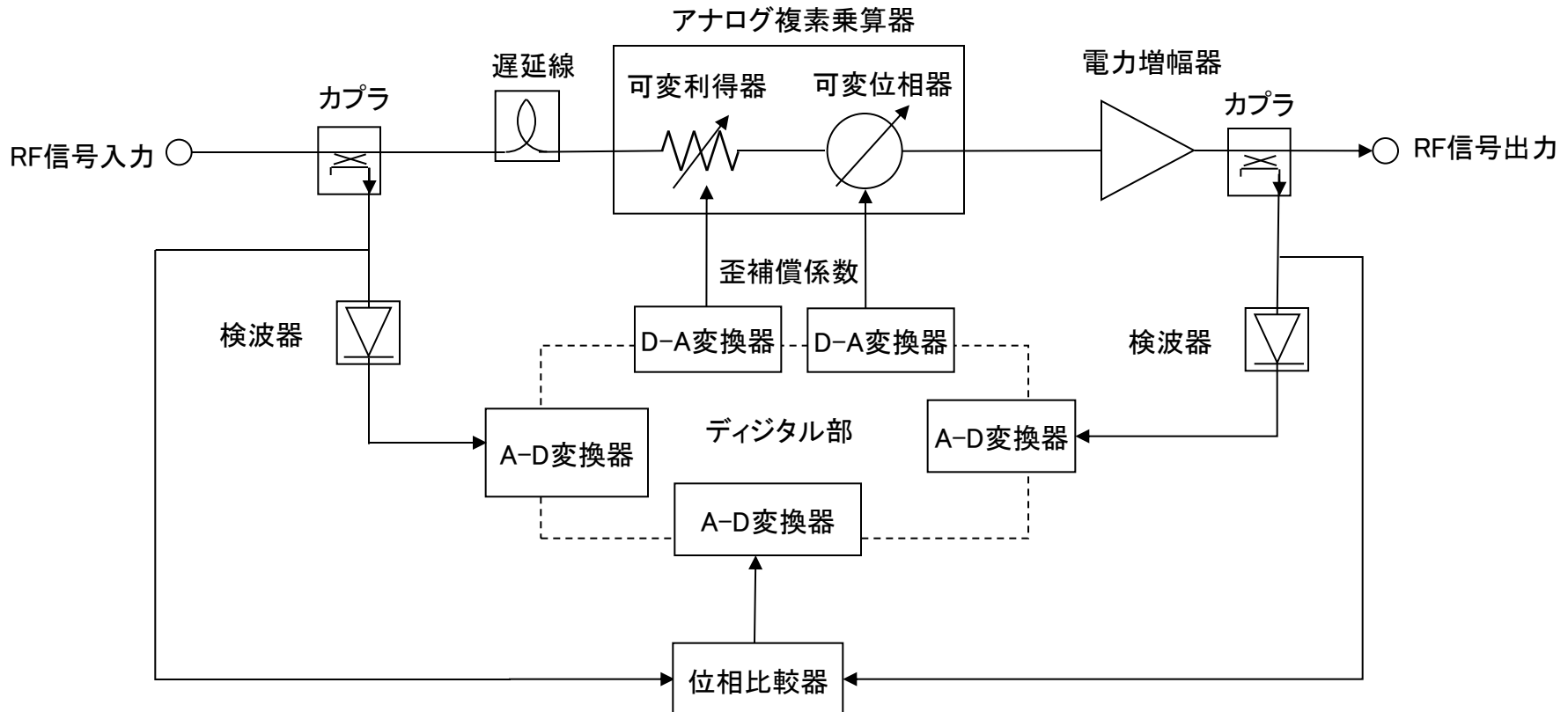
# RFプリディストーション(デジタル制御)



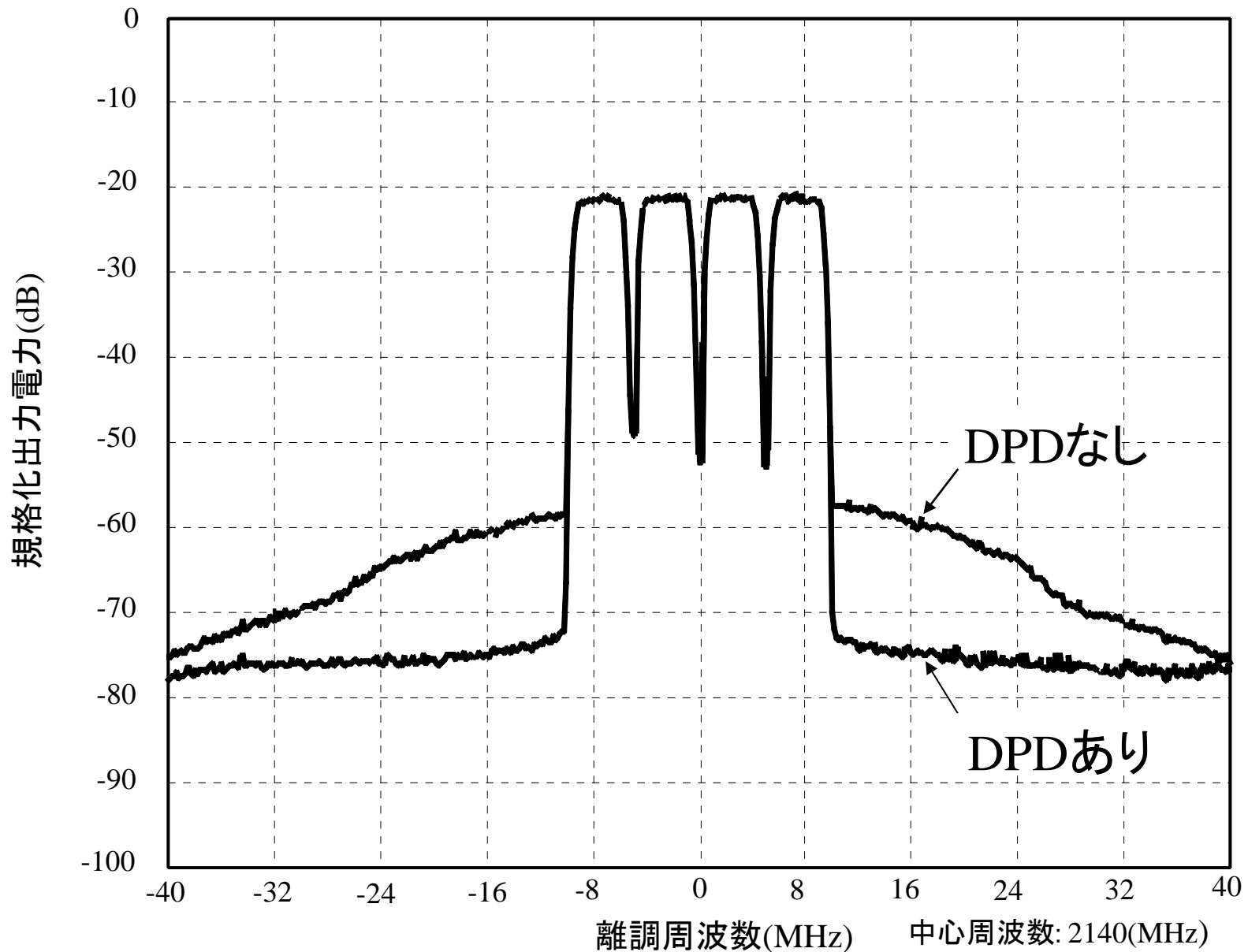
# 歪補償係数の補正 (BB-DPD)



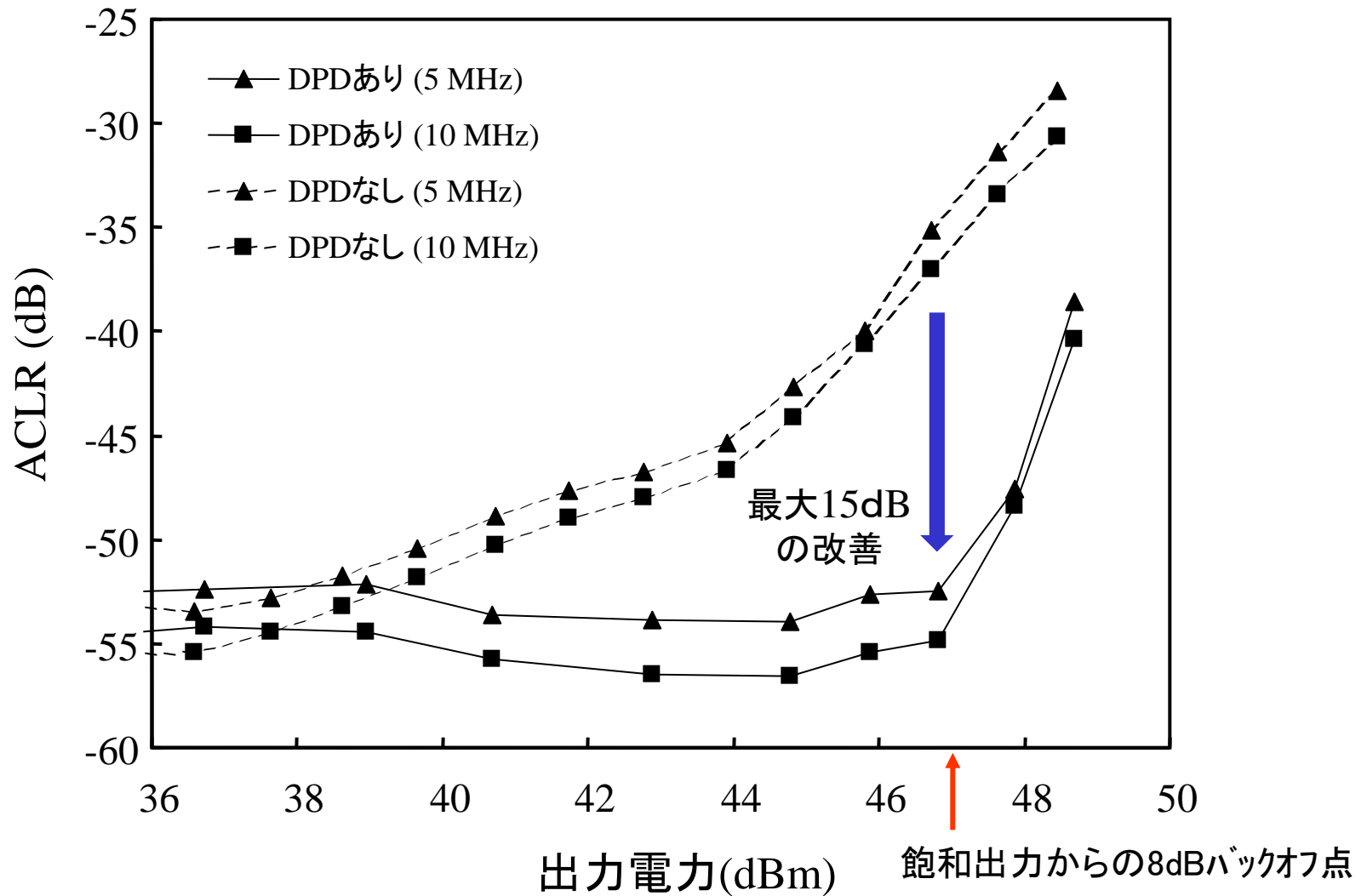
# 歪補償係数の補正 (RF-DPD)



## W-CDMA4キャリア送信電カスペクトル

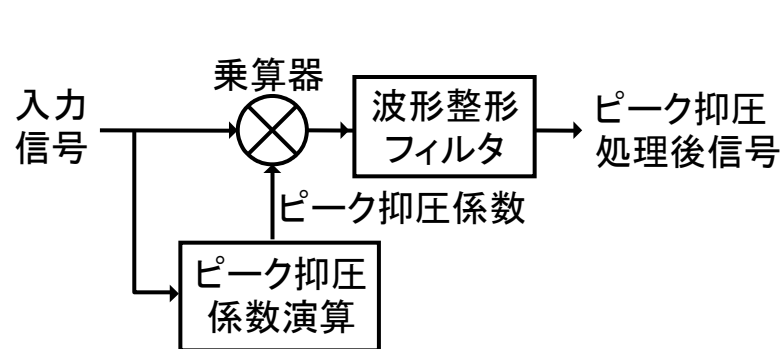


## 出力電力対隣接チャネル漏えい電力比

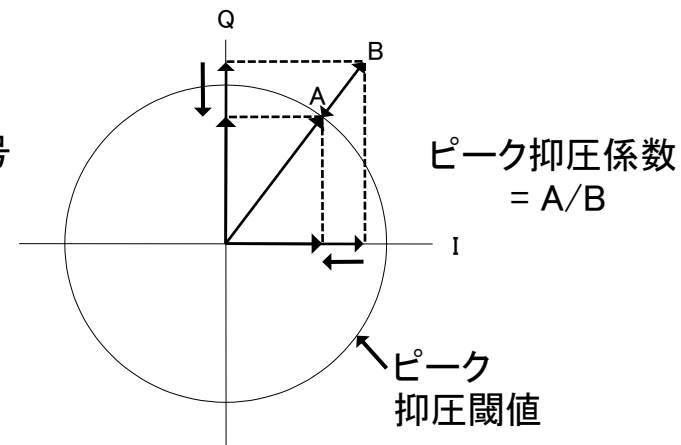


# ピーク抑圧回路

- DPD増幅器でクリッピングを起こす以前に、予め信号のピークをクリッピング&フィルタリングにより抑えることで、バックオフ量を少なくできることが知られている



(a) 構成例



(b) 原理説明図



# ピーク抑圧特性例

