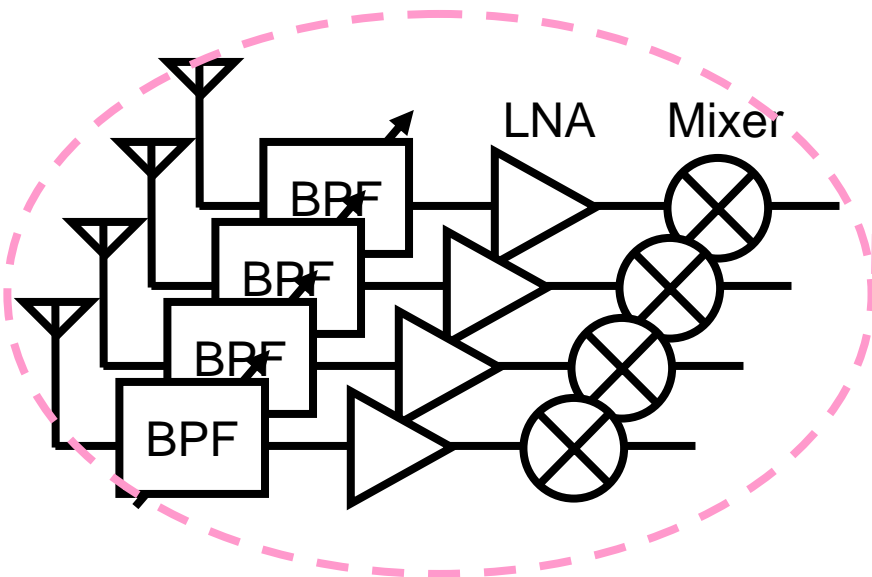


広帯域受信機における 高調波および相互変調歪の検討

金丸正樹, 伊藤 猛, 岡田健一, 松澤 昭

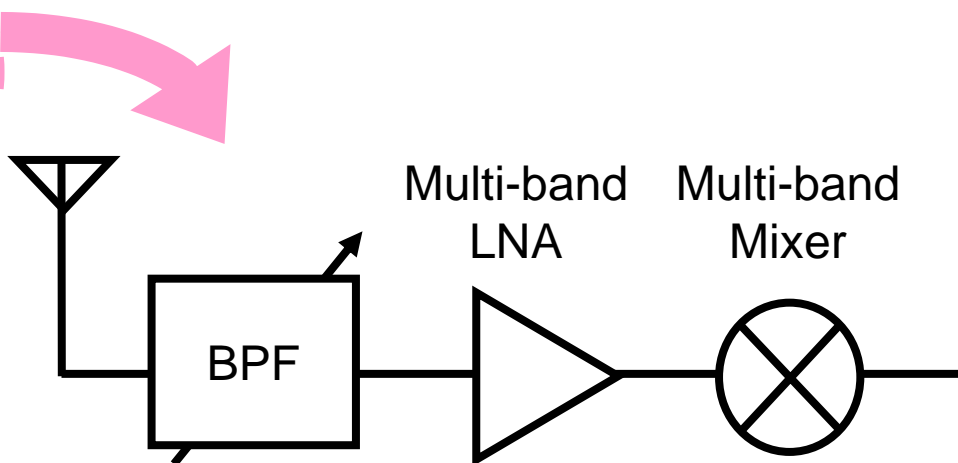
東京工業大学大学院理工学研究科

- ・研究背景
- ・マルチバンドシステムにおける課題
- ・3次高調波の影響
- ・2次高調波の影響
- ・まとめ



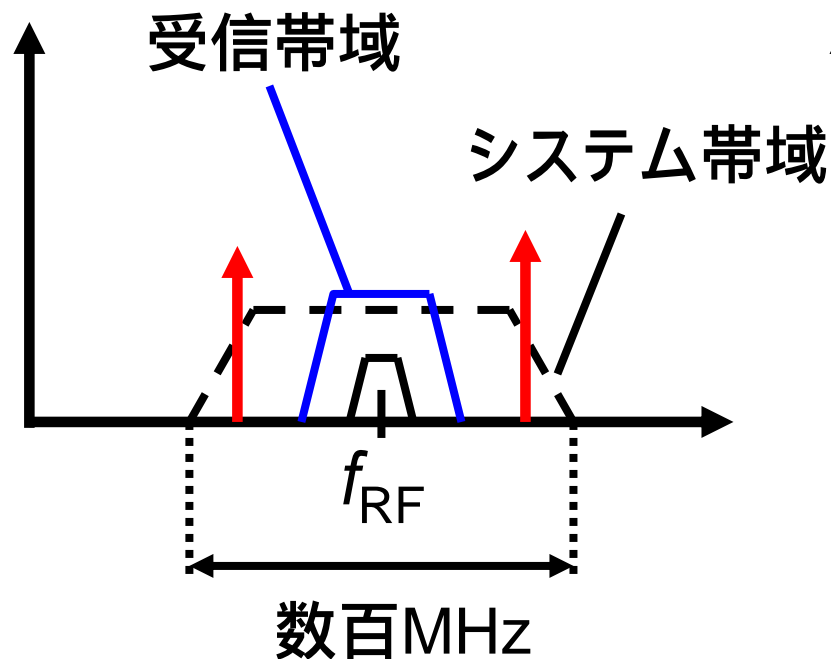
コスト大

マルチバンドRF送受信機の
オンチップ集積化

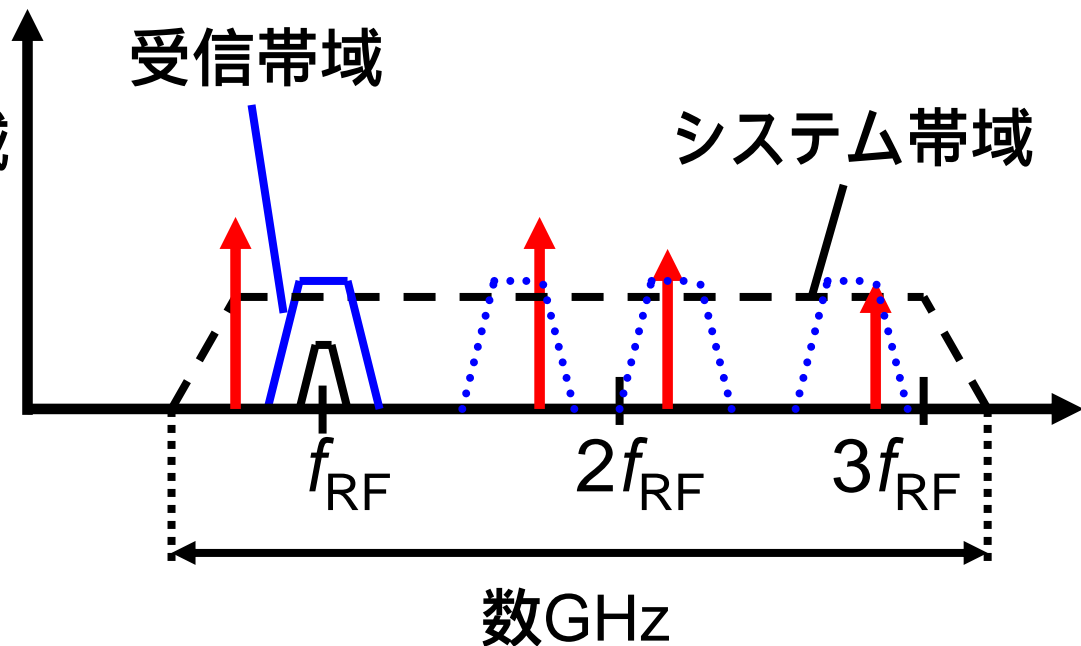


各コンポーネントの広帯域化
+ 低雑音化, 高線形化, 低消費電力化

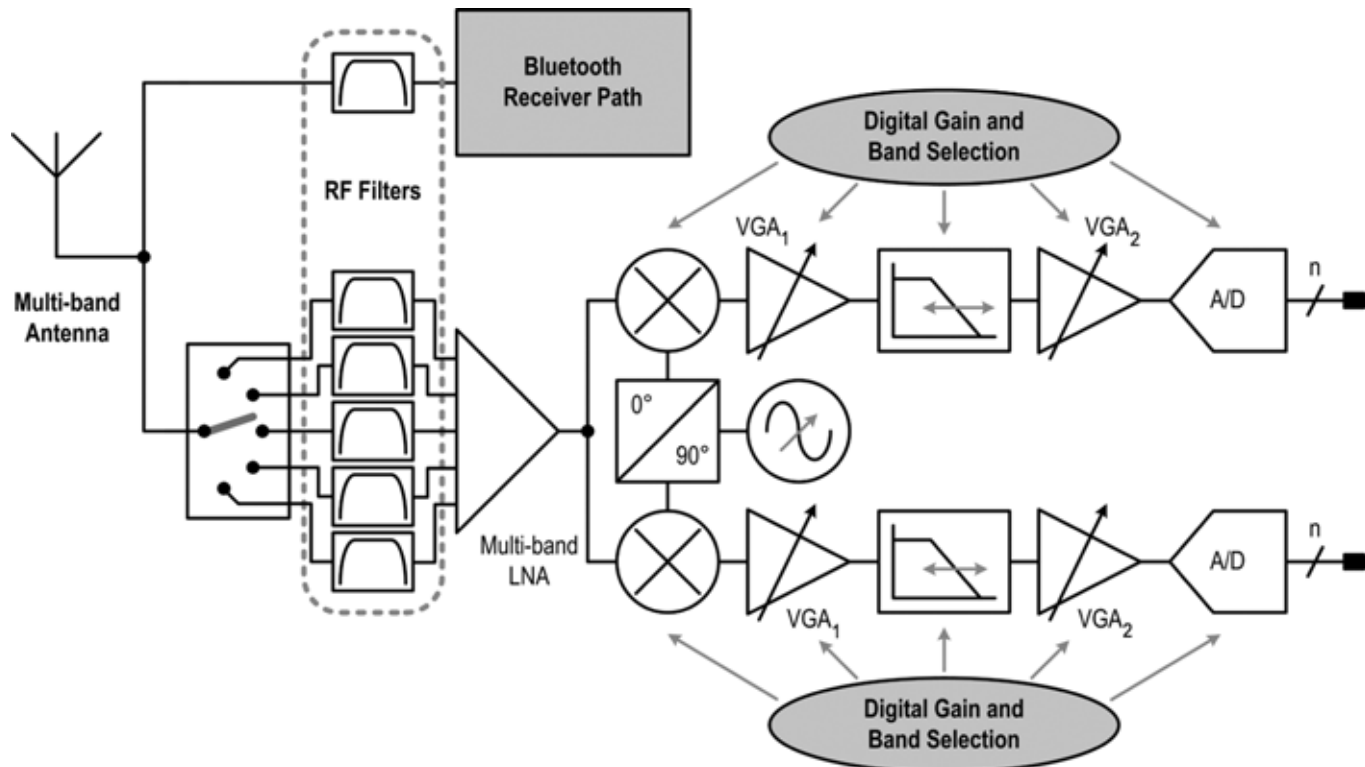
シングルバンド



マルチバンド



広範囲での妨害波の影響を考慮する必要がある

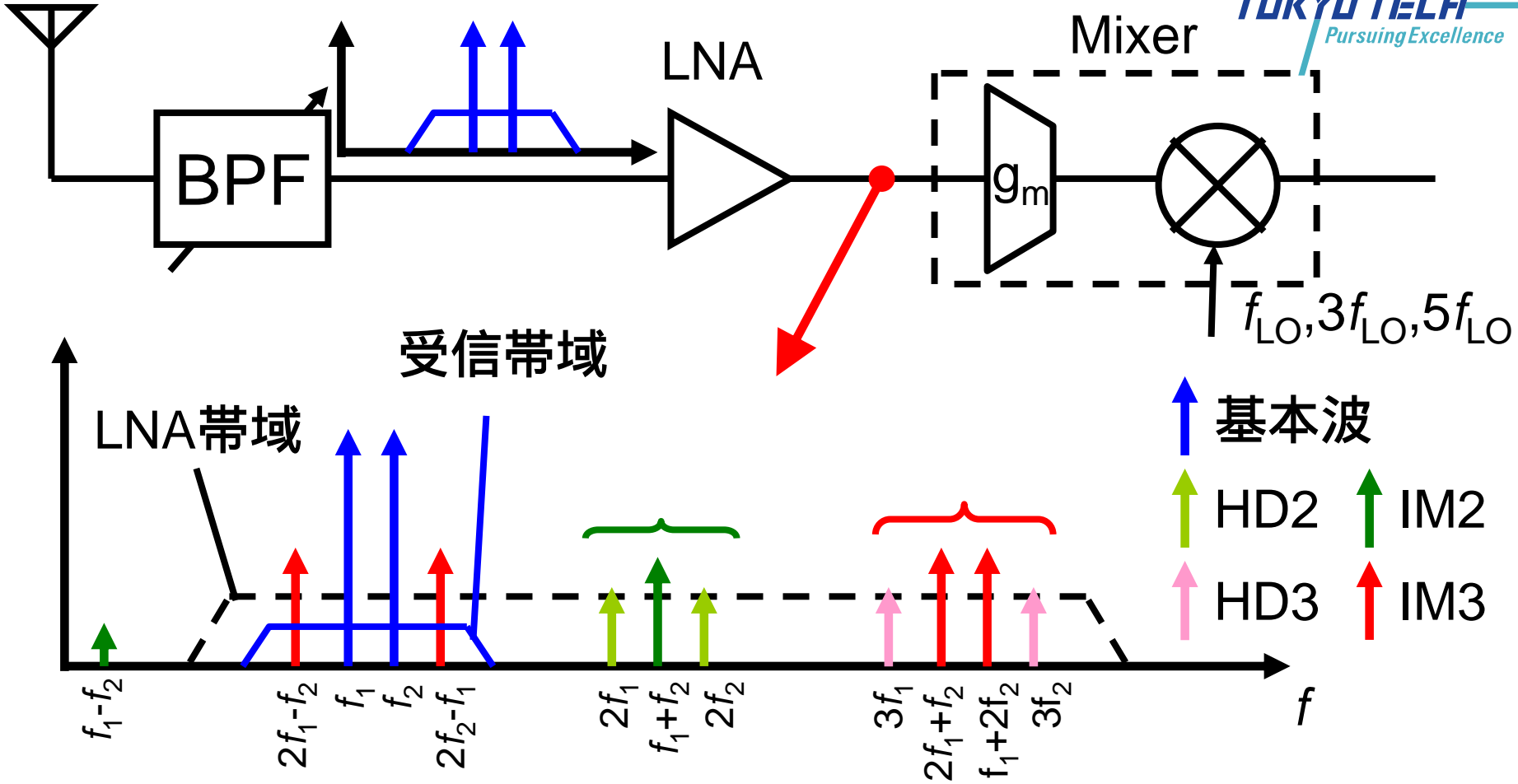


M. Brandolini, P. Rossi, D. Manstretta, F. Svelto "Toward Multistandard Mobile Terminals—Fully Integrated Receivers Requirements and Architectures" IEEE TMTT 2005

フィルタバンクによりブロッカの影響を低減

LNAで発生する歪みの影響は低減できない

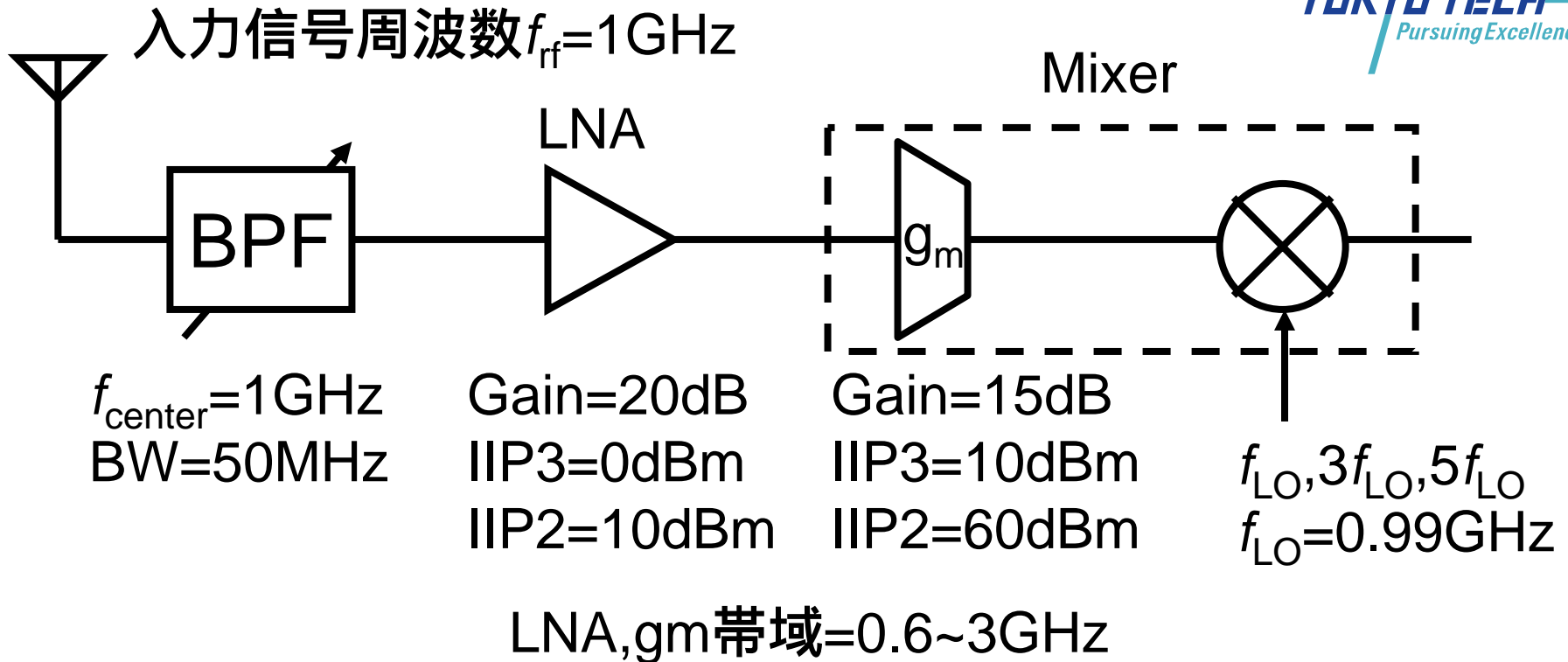
LNAで発生する高調波・相互変調歪



$3f_{LO}$ によりベースバンドへダウンコンバージョン

基本波との2次相互変調により受信帯域内に現れる

3次高調波の影響

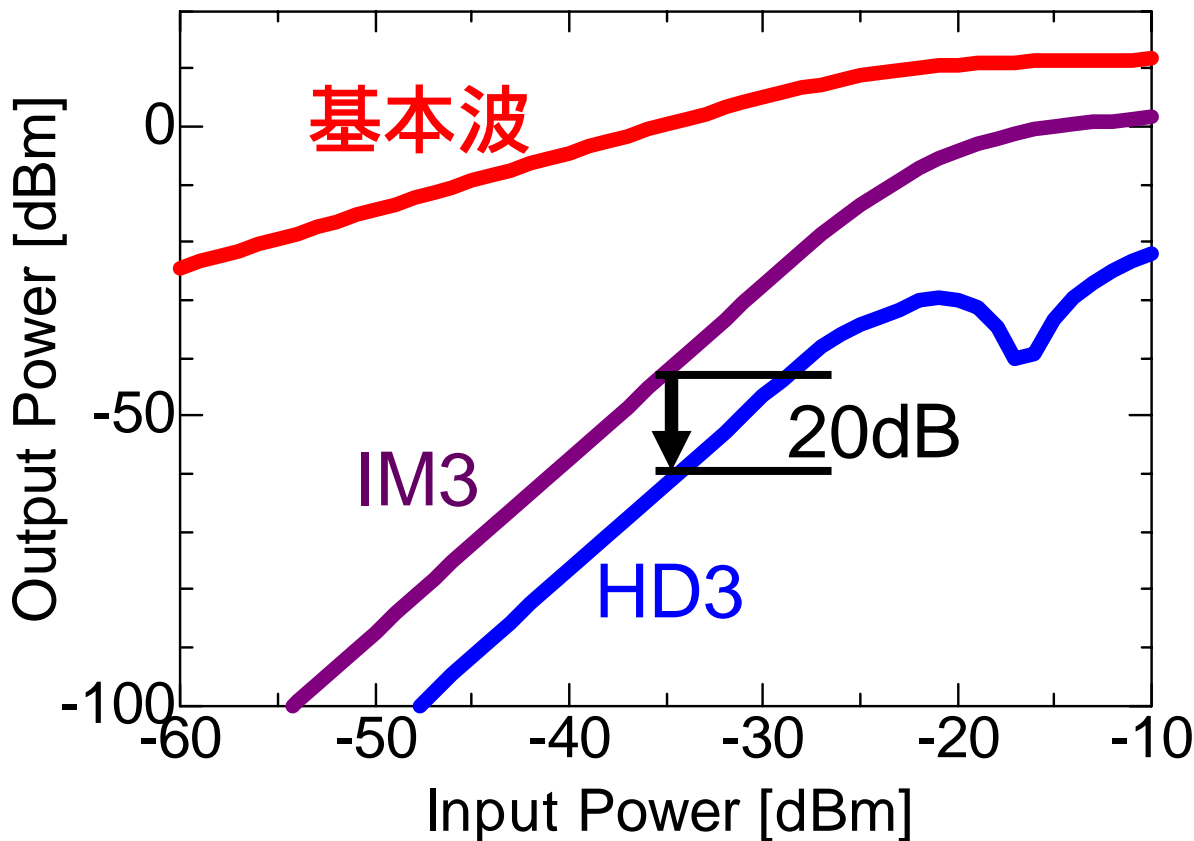


Mixer出力において

$3f_{rf}-3f_{LO}=3-2.97=0.03\text{GHz}=30\text{MHz}$ のレベルを評価

比較のため1GHz, 1.02GHzの2波入力時のIM3出力も評価

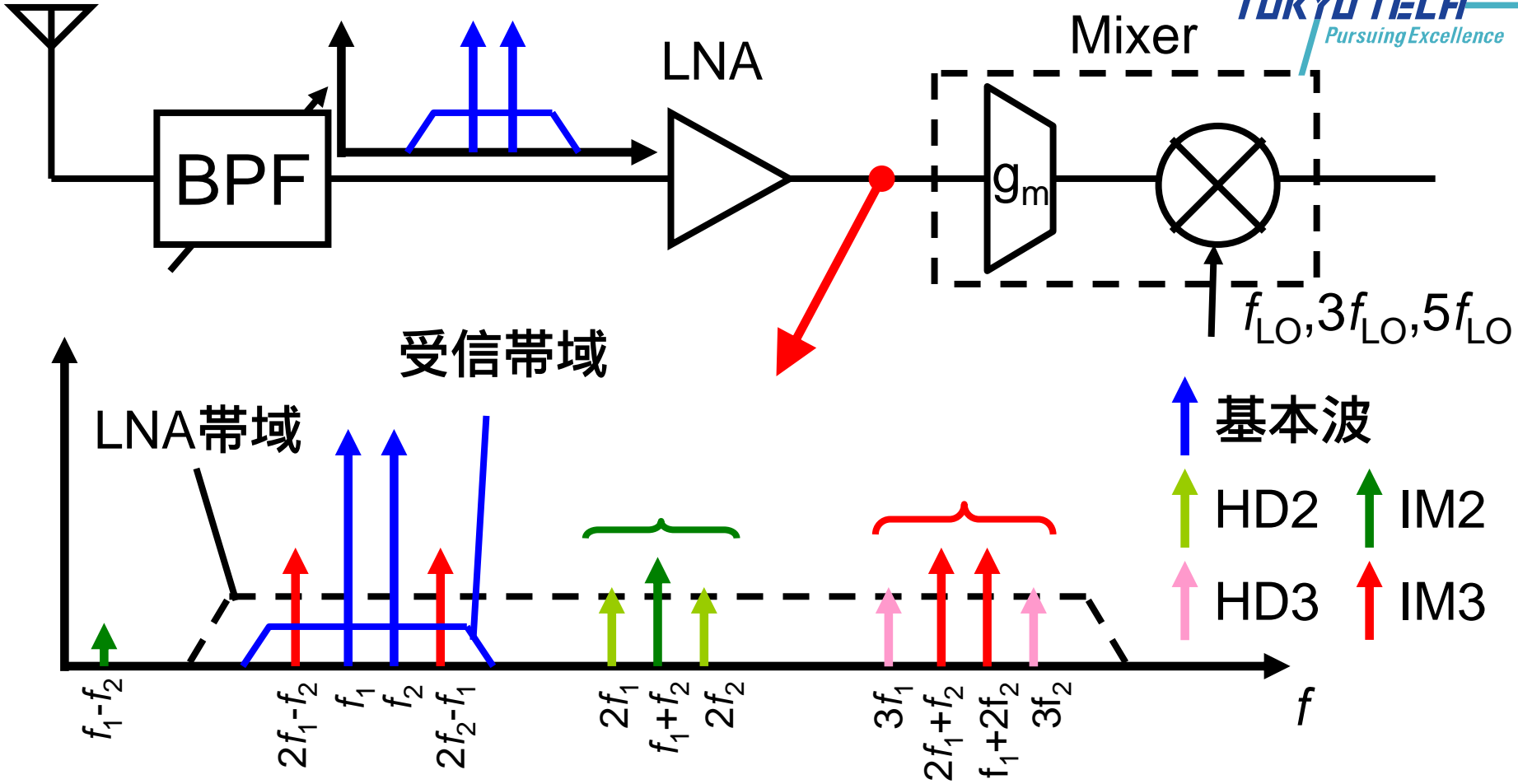
$3f_{LO}$ での振幅ゲインは基本波の1/3を仮定



IM3と比較して-20dB

IM3のキャンセリングなどの際には注意が必要

LNAで発生する高調波・相互変調歪



$3f_{LO}$ によりベースバンドへダウンコンバージョン

基本波との2次相互変調により受信帯域内に現れる

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{LNA} \quad v_{out}(t) = \alpha_1 v_{in}(t) + \alpha_2 v_{in}^2(t) + \alpha_3 v_{in}^3(t) \\ \text{Mixer} \quad v_{out}(t) = \beta_1 v_{in}(t) + \beta_2 v_{in}^2(t) + \beta_3 v_{in}^3(t) \end{array} \right.$$

LNA+Mixer

$$v_{out}(t) = \alpha_1 \beta_1 v_1(t) + (\alpha_2 \beta_1(t) + \alpha_1^2 \beta_2) v_1^2(t) + (\alpha_3 \beta_1 + \alpha_1^3 \beta_3 + 2\alpha_1 \alpha_2 \beta_2) v_1^3(t)$$

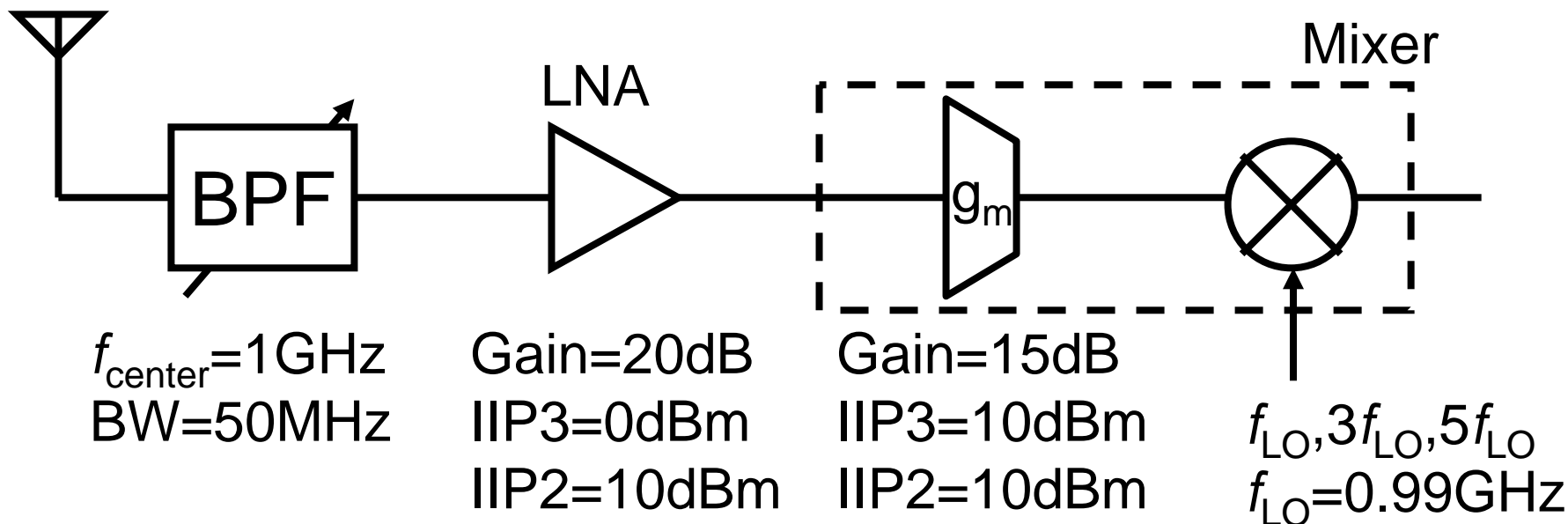
$$v_{in}(t) = A \cos \omega_1 t + A \cos \omega_2 t$$

$$\text{IM3}(2\omega_1 - \omega_2) : \frac{3A^3}{4} \left(\underbrace{\alpha_3 \beta_1 + \alpha_1^3 \beta_3}_{\text{3次非線形性に起因}} + \underbrace{2\alpha_1 \alpha_2 \beta_2}_{\text{2次非線形性に起因}} \right) \cos(2\omega_1 - \omega_2)t$$

3次非線形性に起因 2次非線形性に起因

IIP3からの見積もりよりも大きく見える

入力信号周波数 $f_1=0.985\text{GHz}$, $f_2=1.015\text{GHz}$

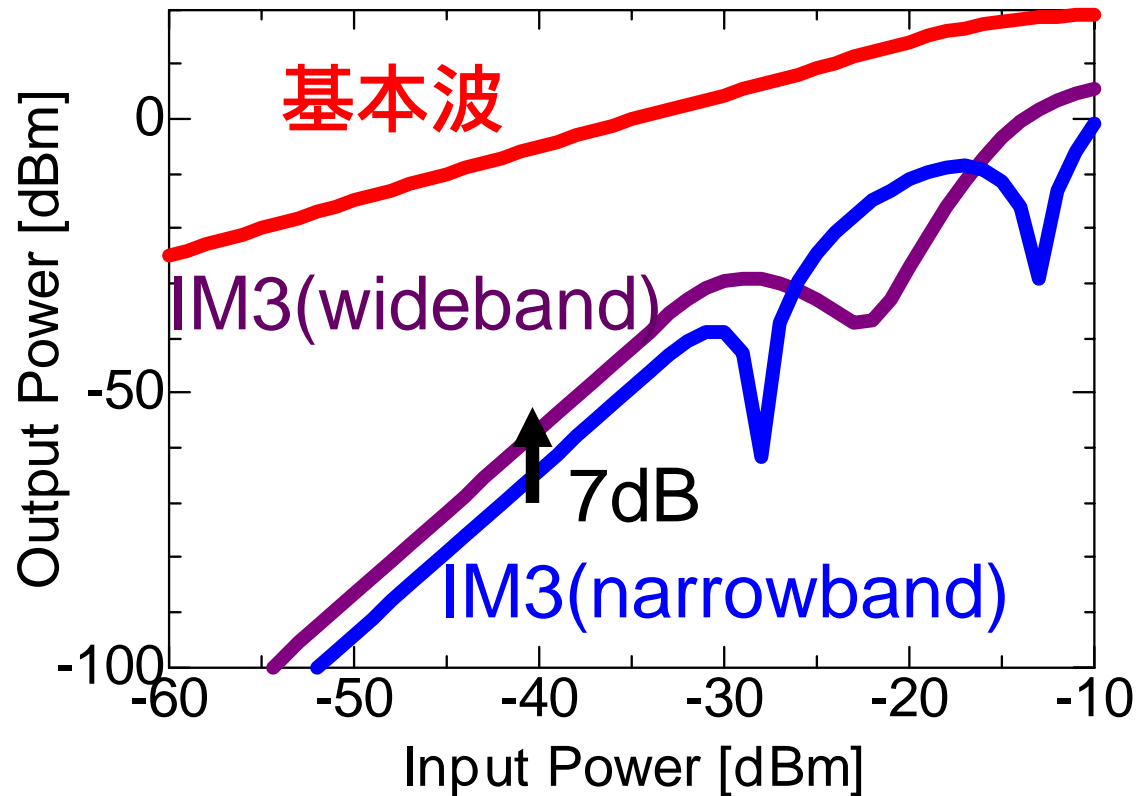


Mixer出力において

$|(2f_1 - f_2) - f_{\text{LO}}| = 0.99 - 0.955 = 0.035\text{GHz} = 35\text{MHz}$ のレベルを評価

システム帯域0.8~1.2GHzおよび0.6~3GHzのときを比較

IIP2はシングルエンドでの見積もり



2次高調波が帯域内に含まれるときIM3のレベルが7dB上昇
IIP2の大きさによりIM3のレベルが変化

広帯域システムでは妨害波の影響が増大

受信帯域の2倍,3倍の妨害波まで考慮する必要性がある
LNAで発生した高調波が後段での歪に影響

・3次高調波と $3f_{LO}$ のミキシング
IM3に比べ小さく通常は無視できる

・2次高調波の折り返しによるIM3の増加
IM3の改善にはLNA,Mixer共に2次非線形性の抑制が必要

非線形システム

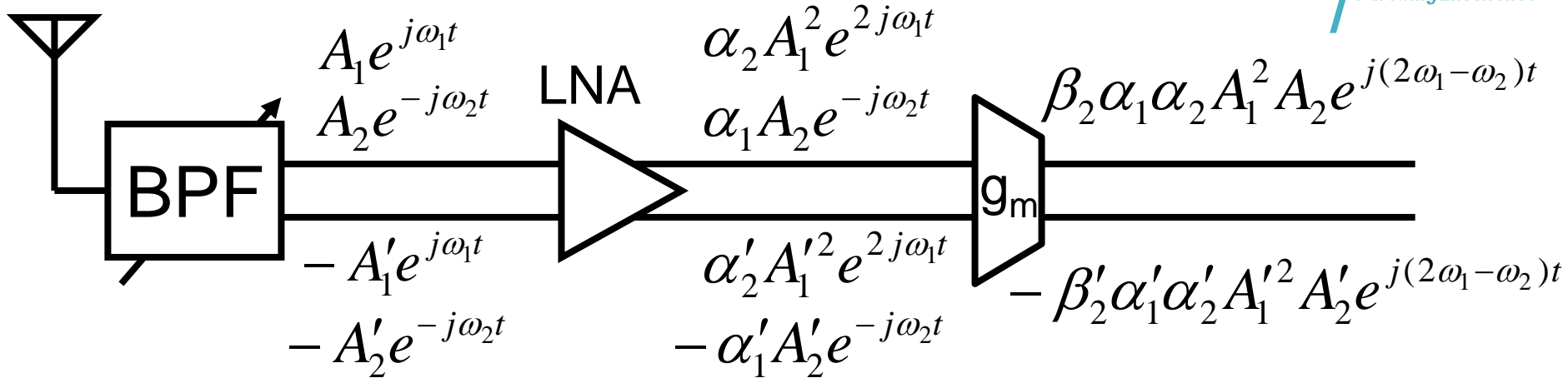
$$v_{out}(t) = \alpha_1 v_{in}(t) + \alpha_2 v_{in}^2(t) + \alpha_3 v_{in}^3(t) \quad v_{in}(t) = A \cos \omega_1 t + A \cos \omega_2 t$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{HD3}(3\omega_1, 3\omega_2) : \frac{\alpha_3 A^3}{4} (\cos 3\omega_1 t + \cos 3\omega_2 t) \\ \text{IM3}(2\omega_1 + \omega_2, 2\omega_2 + \omega_1, 2\omega_1 - \omega_2, 2\omega_2 - \omega_1) : \\ \frac{3\alpha_3 A^3}{4} [\cos(2\omega_1 + \omega_2)t + \cos(2\omega_2 + \omega_1)t + \cos(2\omega_1 - \omega_2)t + \cos(2\omega_2 - \omega_1)t] \end{array} \right.$$

$$A_{\text{HD3}} = A_{\text{IM3}}/3$$

3fLOでの振幅ゲインは基本波の1/3

➡ IIP3(α_3)の大きさにかかわらず出力振幅はIM3の1/9(-20dB)



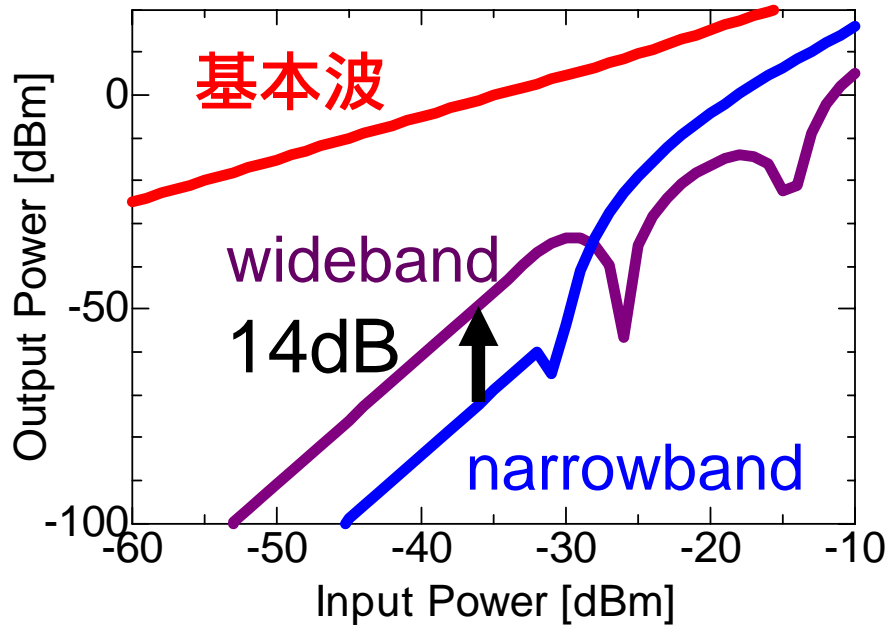
LNA $v_{out}(t) = \alpha_1 v_{in}(t) + \alpha_2 v_{in}^2(t) + \alpha_3 v_{in}^3(t)$

g_m セル $v_{out}(t) = \beta_1 v_{in}(t) + \beta_2 v_{in}^2(t) + \beta_3 v_{in}^3(t)$

差動LNAのIIP2 差動ミスマッチ $(\alpha_2 A_1^2 - \alpha_2' A_1'^2)$ に依存
 α_2 によって一意に定まらない

g_m の出力 $(\beta_2 \alpha_1 \alpha_2 A_1^2 A_2 + \beta_2' \alpha_1' \alpha_2' A_1'^2 A_2') e^{j(2\omega_1 - \omega_2)t}$

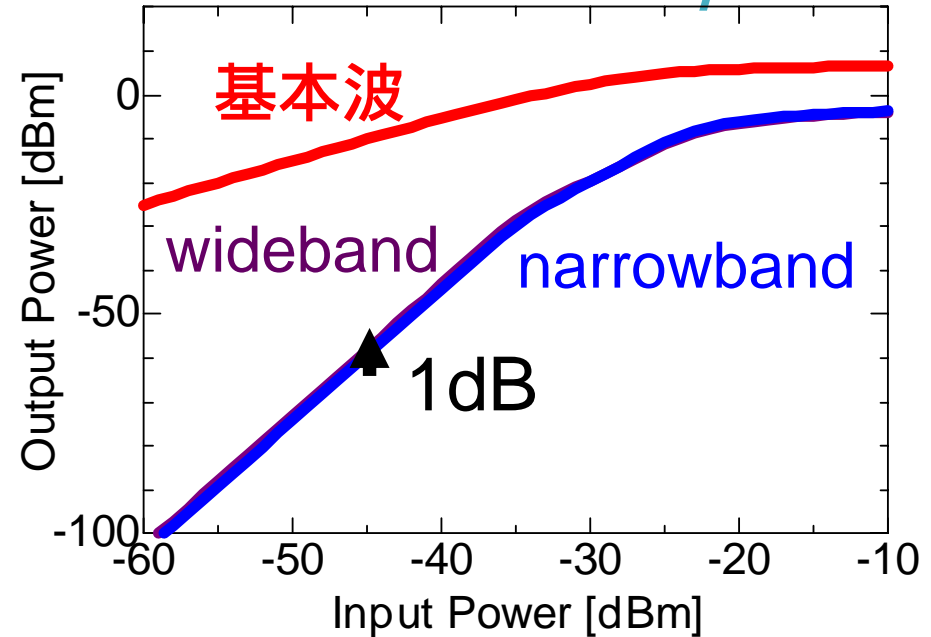
α_2 によって決定. シングルエンドのIIP2から見積もり可能



$IIP3_{LNA}=10\text{dBm}$

$IIP3_{gm}=20\text{dBm}$

$IIP3_{LNA}=0\text{dBm}$, $IIP3_{gm}=10\text{dBm}$ の時は7dBm差



$IIP3_{LNA}=-10\text{dBm}$

$IIP3_{gm}=0\text{dBm}$

2次歪, 3次歪の大きさによってどちらかが支配的
3次歪のみでの改善には限界がある