

# 無線端末用の高精度変調器

2011年2月3日(木)

会津大学

コンピュータ理工学部

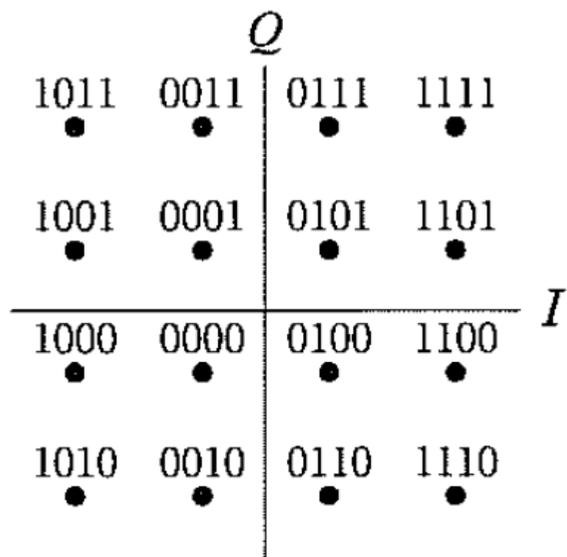
コンピュータ工学部門

教授 東原 恒夫

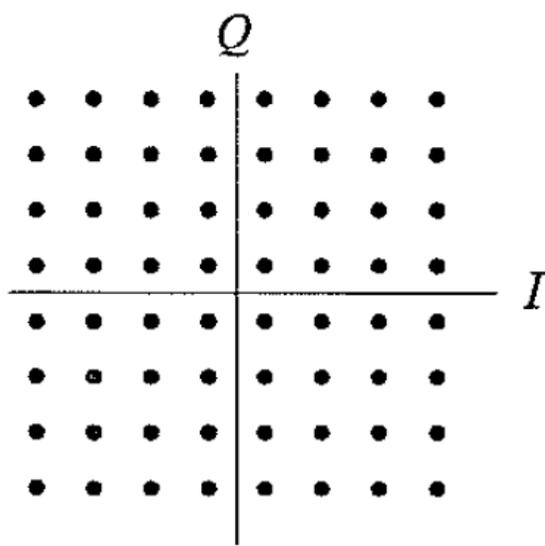
# 研究背景

- 無線LAN、第4世代携帯電話、デジタル・テレビを中心に、多ビット変調方式(QAM: Quadrature Amplitude Modulation)が採用され、変調精度(EVM)も厳しくなる傾向(1%以下)
  - 端末用LSIも高精度化が必要。
- 無線通信用LSIのテストに不可欠な高精度直交変調器をCMOSを適用して、低コストで実現したい。
  - 被測定LSIの変調精度が数%であればテストにはその1/10程度の高精度性が要求される。

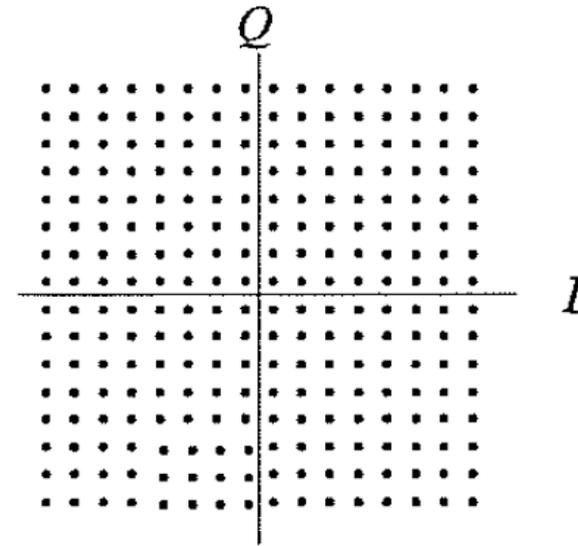
# QAM変調方式



(a) 16QAM ( $4 \times 4$ )



(b) 64QAM ( $8 \times 8$ )



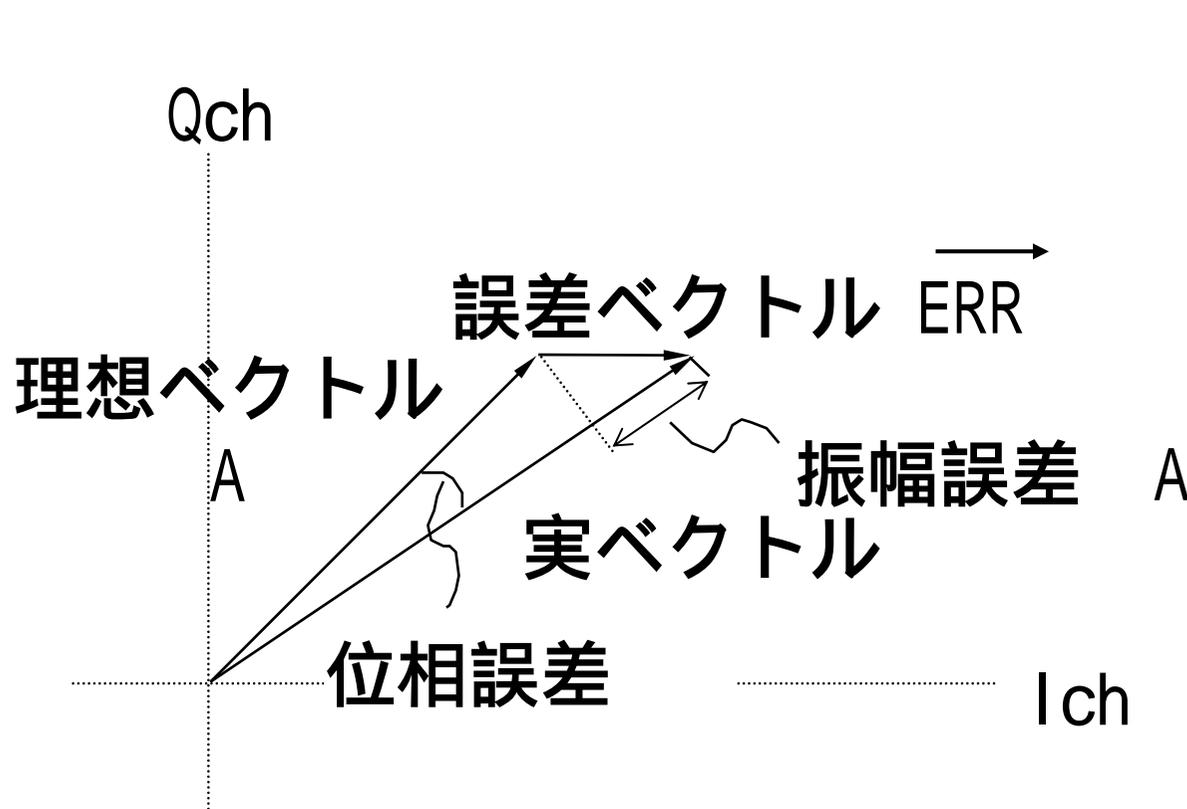
(c) 256QAM ( $16 \times 16$ )



高速伝送が可能

RF回路の高精度化が必須

# 変調精度 (ベクトル誤差, EVM\*)



$$\begin{aligned} EVM (\%) &= \frac{|\overrightarrow{ERR}|}{A} \times 100 \\ &= \frac{\sqrt{(\phi A)^2 + \Delta A^2}}{A} \times 100 \\ &= \sqrt{\phi^2 + \left(\frac{\Delta A}{A}\right)^2} \times 100 \\ &= \sqrt{\phi^2 + \delta^2} \times 100 \end{aligned}$$

\*EVM: Error Vector Magnitude

→ EVMの劣化によりBER (Bit Error Rate)が増加

# 新技術の基となる研究成果・技術

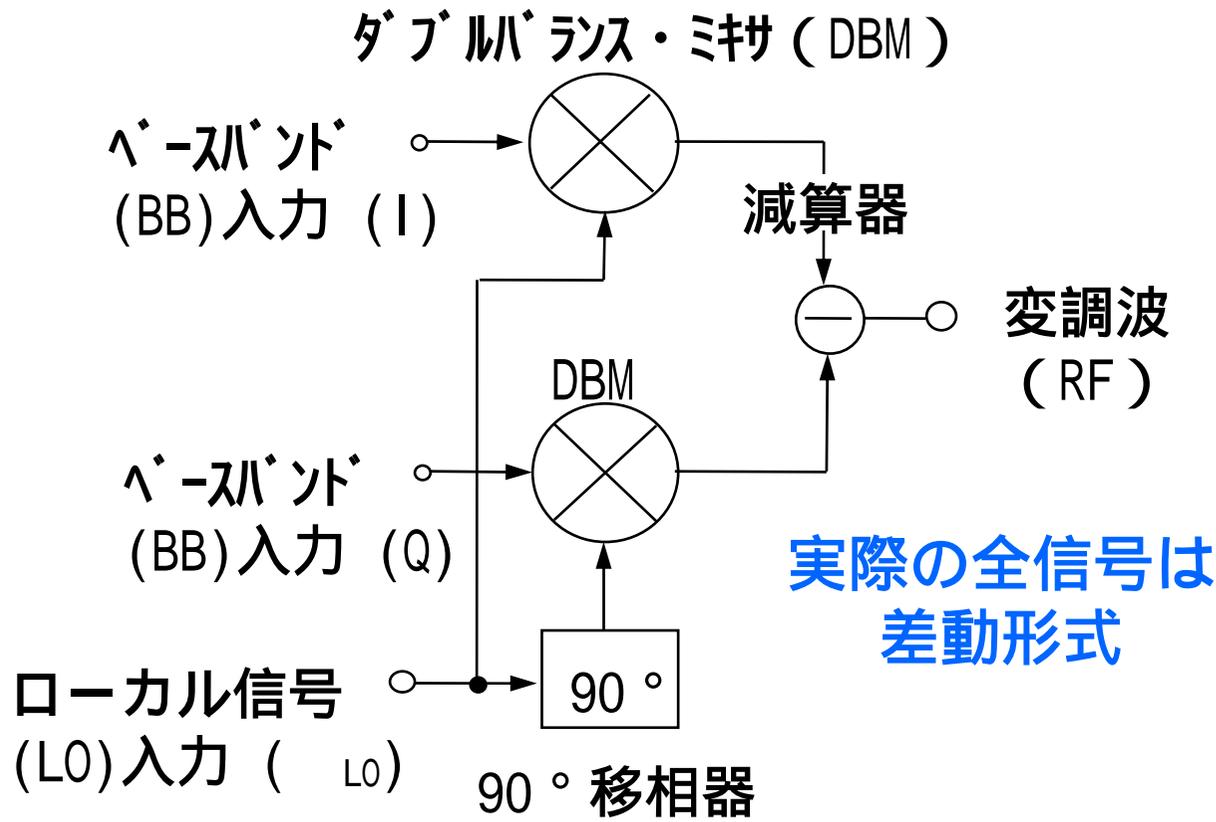
## - 高精度・複素型直交変調器 -

(High-precision complex quadrature modulator: HP-CQMOD)

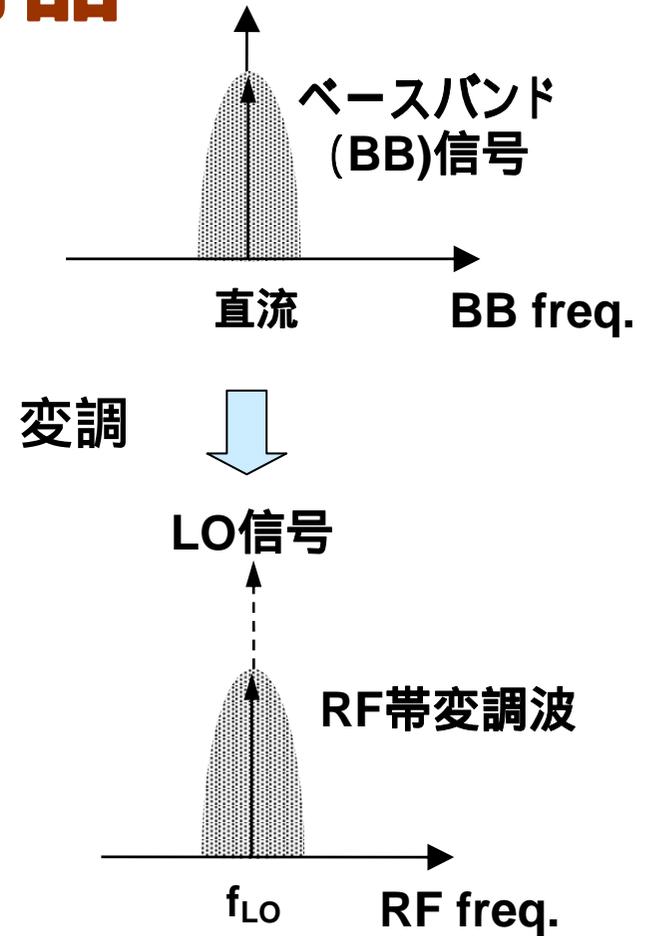
### 特長

- ローカル発振 (LO) 信号の位相誤差を自動補償  
→ ベースバンド部の回路を共通化した直交ミキサ  
(アクティブ型ミキサ、パッシブ型ミキサ)
- LO信号の振幅誤差 (アンバランス) を自動補償  
→ RCポリフェーズ・フィルタや複素バンドパスフィルタなどの複素フィルタをRF出力に付加

# 従来の直交変調器



(a) 直交変調器



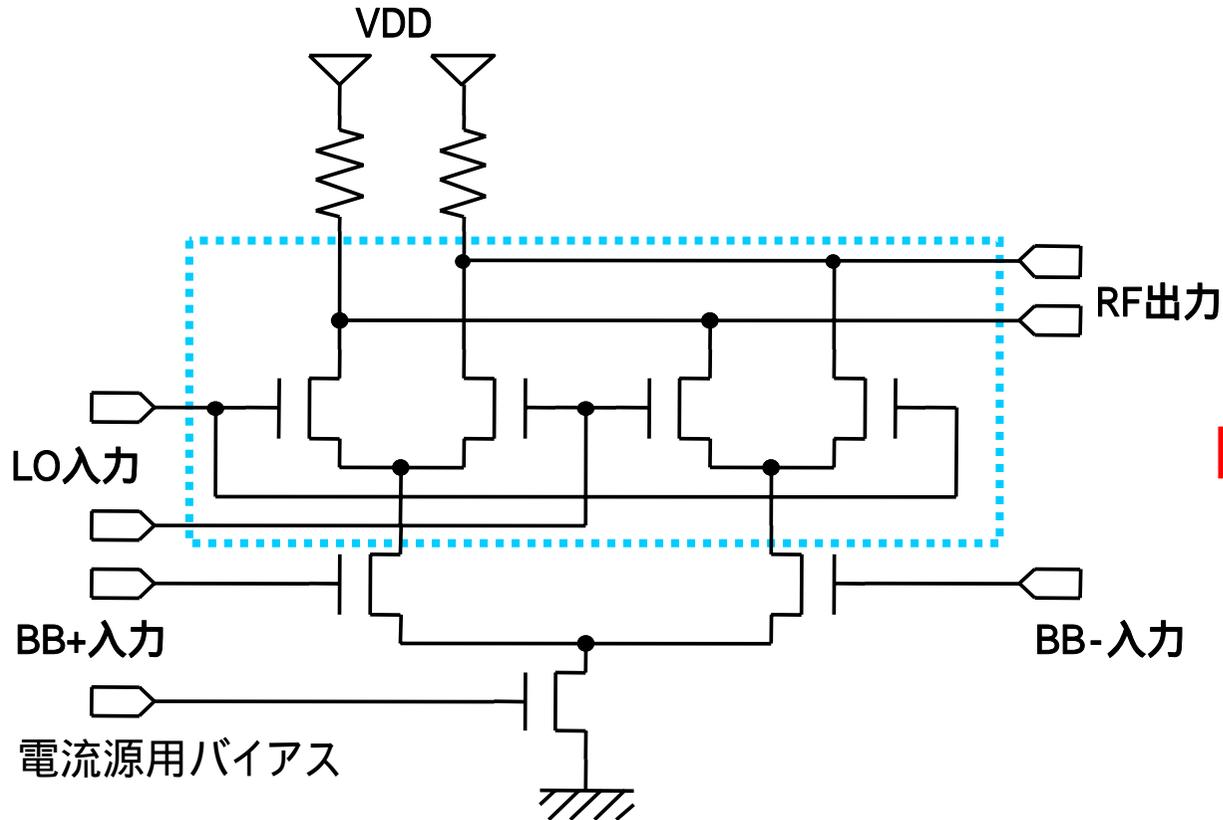
(c) スペクトルがRF帯へ移動

$$A(t) \cos[\omega_{LO} t + \phi(t)] \quad : \text{一般化した変調波}$$

$$= \cos \omega_{LO} t \underbrace{\{A(t) \cos \phi(t)\}}_I - \sin \omega_{LO} t \underbrace{\{A(t) \sin \phi(t)\}}_Q$$

(b) 直交変調の基本式

# 従来使われている Gilbert型ダブルバランス・ミキサ (DBM)



$$RF = BB \times LO$$

トランジスタレベルの回路は、差動入出力形式

# 従来技術とその問題点

- 従来の直交変調器では、IchとQch用のミキサが独立に存在していた。
    - ・ ローカル発振(LO)信号の位相誤差が変調精度(EVM)に直接影響
    - ・ LO信号の振幅誤差(アンバランス)が変調精度(EVM)に直接影響
- EVMの実現レベルとして2~3%が限度であり、多ビット化するQAM変調への適用には、いずれ、限界が来ると予想される。

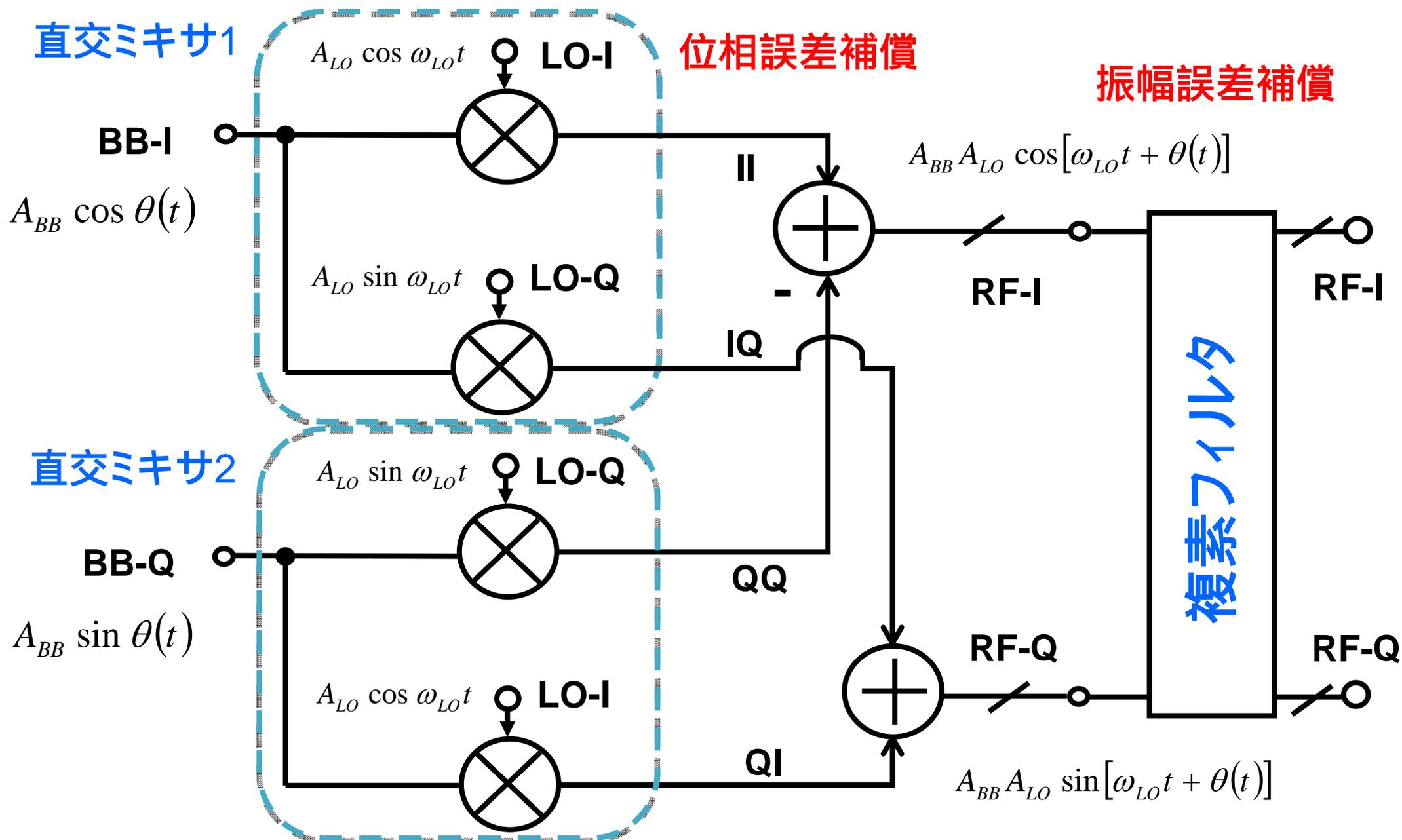
# 新技術の紹介

回路シミュレーションによる効果の確認

プロセス: Rohm 0.18  $\mu\text{m}$  CMOS (VDEC経由)

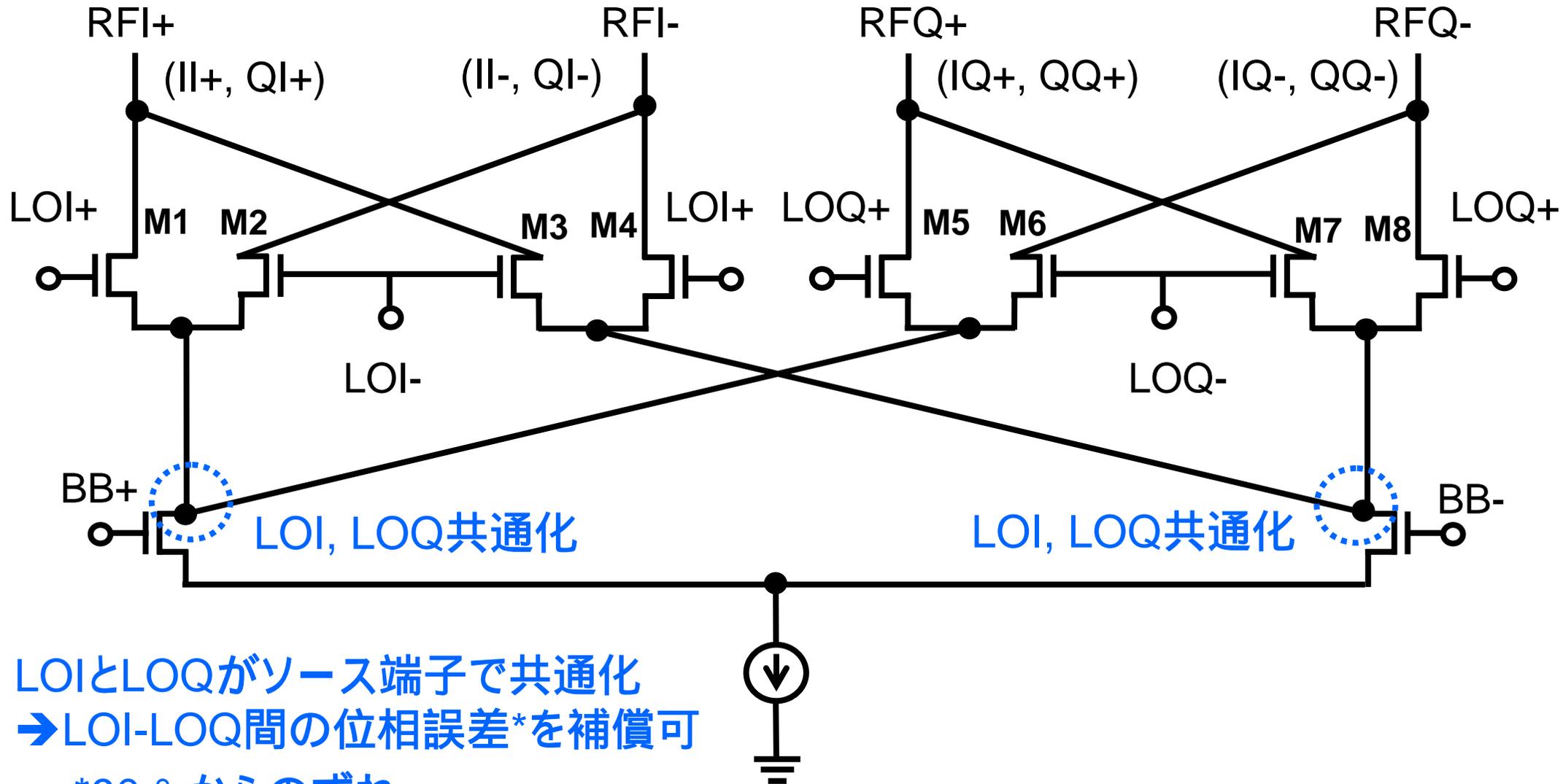
- ローカル発振(LO)信号の位相誤差を自動補償  
→ ベースバンド部の回路を共通化したアクティブ型直交ミキサの例で紹介
- LO信号の振幅誤差(アンバランス)を自動補償  
→ RCポリフェーズ・フィルタの例で紹介

# 高精度・複素型直交変調器

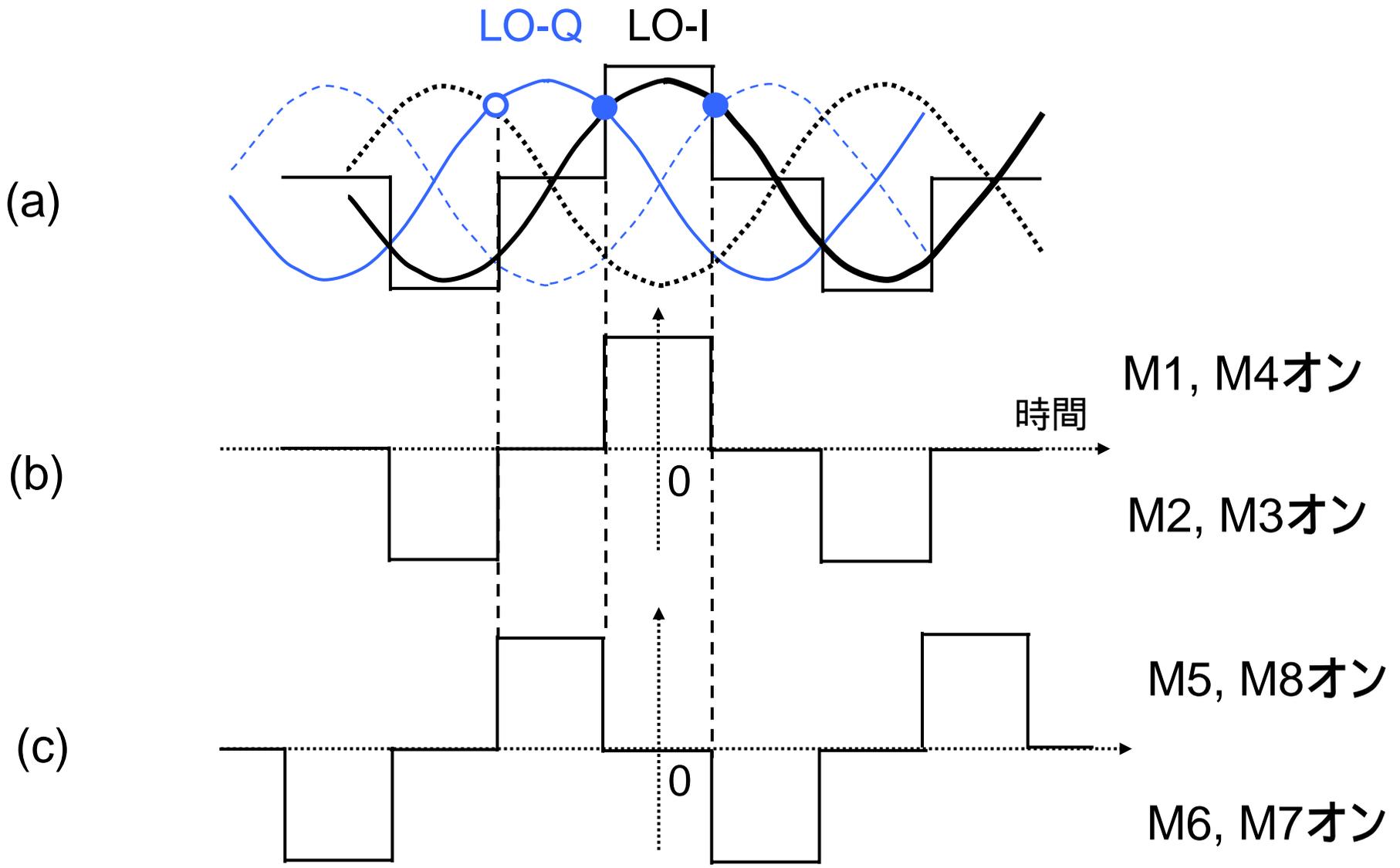


# 変調器に用いるアクティブ直交ミキサ

RF信号はオープンドレイン形式で電流加算・減算

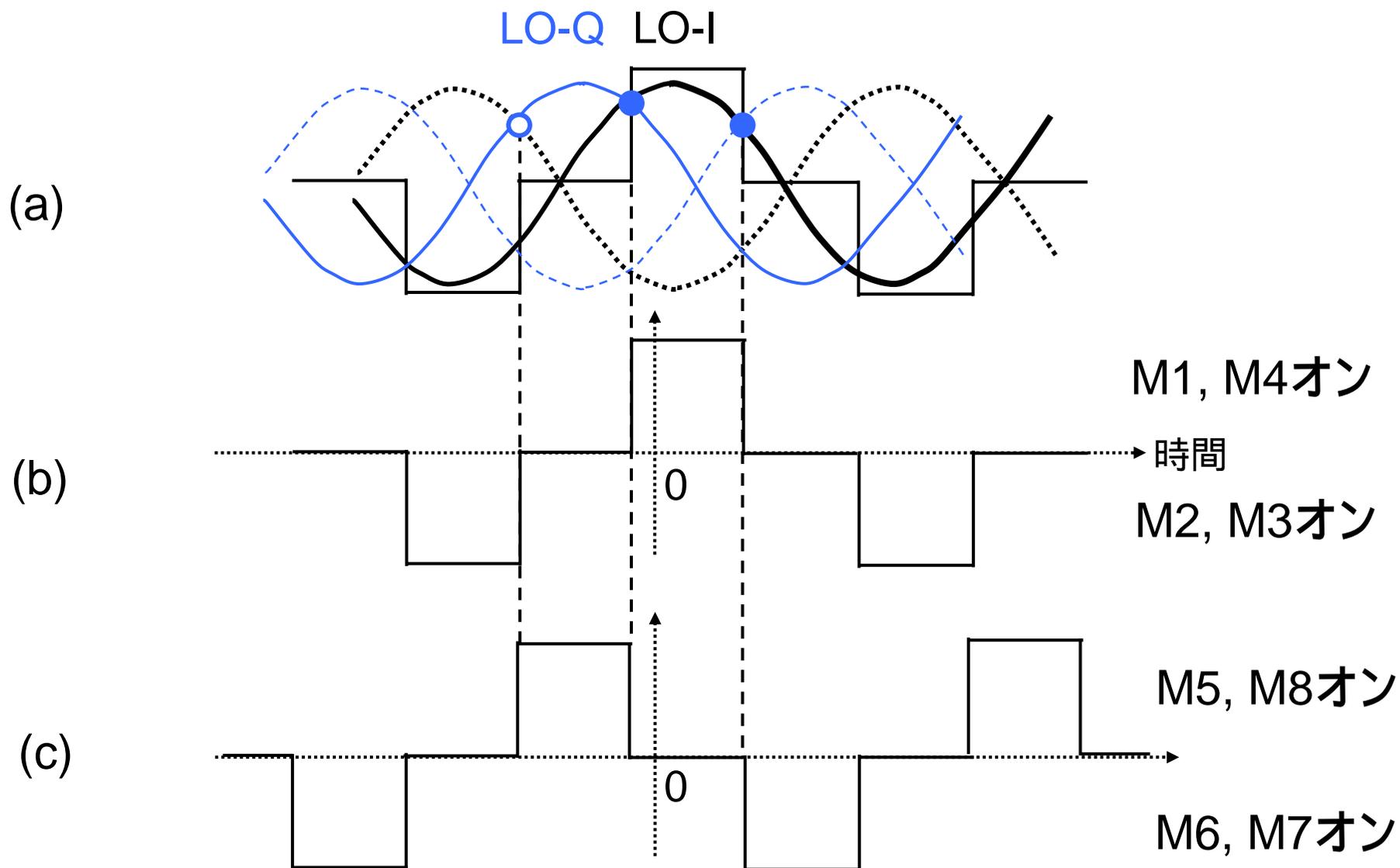


# 位相誤差が無い場合のLO信号とミキサ出力差動電流



LO-I側のトランジスタに電流が流れるときLO-Q側の電流はゼロ。  
逆もまた同様。

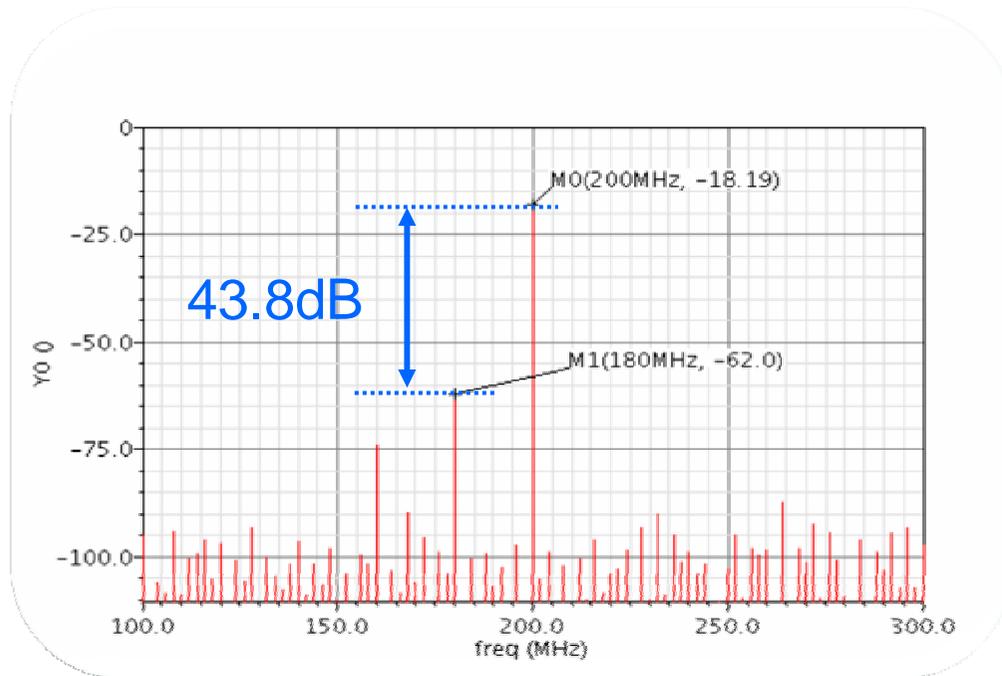
# 位相誤差がある場合のLO信号とミキサ出力差動電流



位相誤差がある場合→LO-IとLO-Qの交点が並行シフト  
電流(b), (c)の相対関係は不変

# 変調器の送信スペクトル

- ・SSB (Single Sideband)変調のサイドバンド抑圧比SRRで評価
- ・希望波はUSB側、振幅誤差は0.1dB、位相誤差は3°



Ampl ERR : 0.1dB

Phase ERR : 3 degrees

SRR (Sideband Rejection Ratio)

従来例の理論値\* : 31.5dB

本発明 : 43.8dB

**12.3dB 改善**

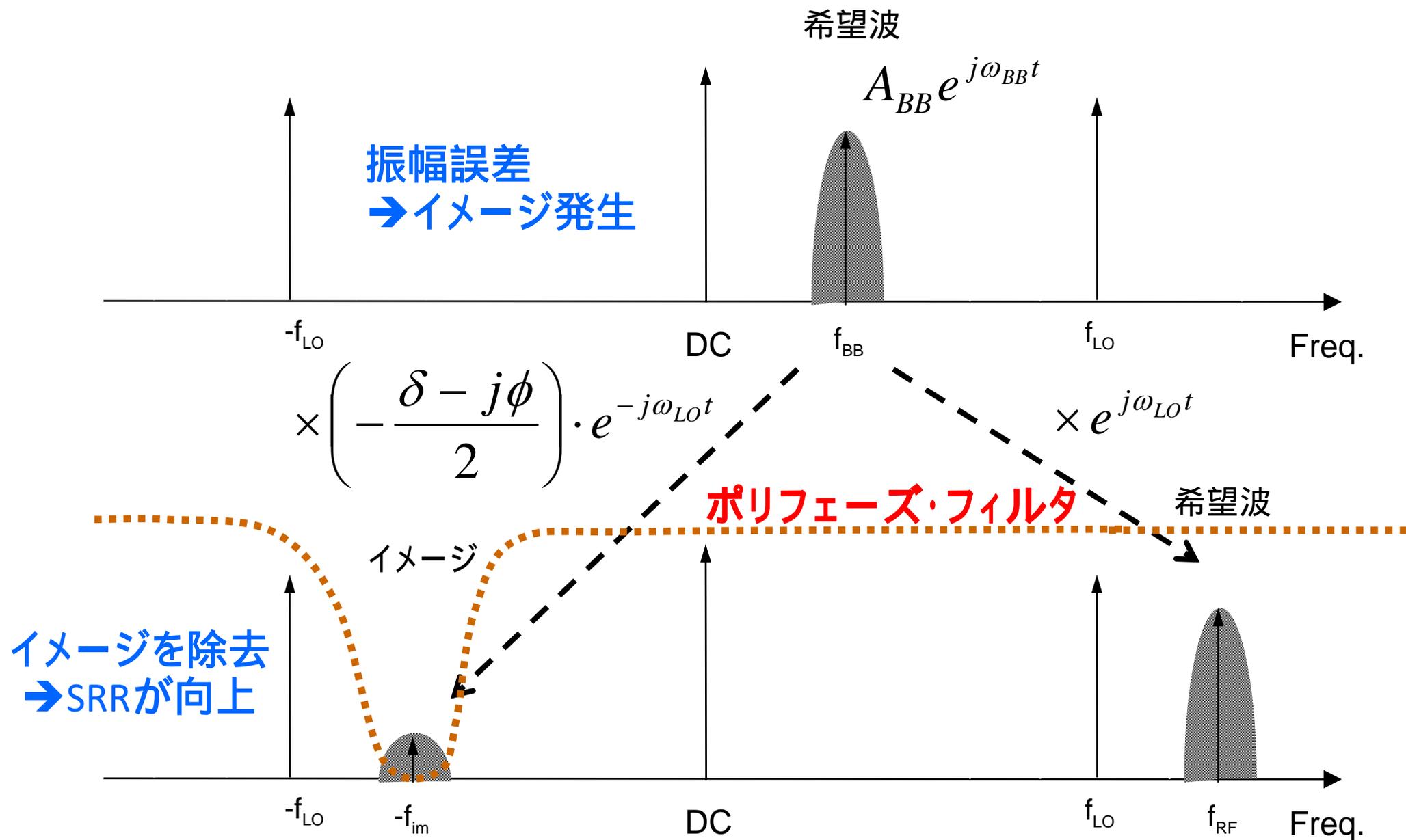
**振幅誤差の影響残る**

\*理論式

$$SRR (dB) = 6 - 10 \log_{10} (\delta^2 + \phi^2)$$

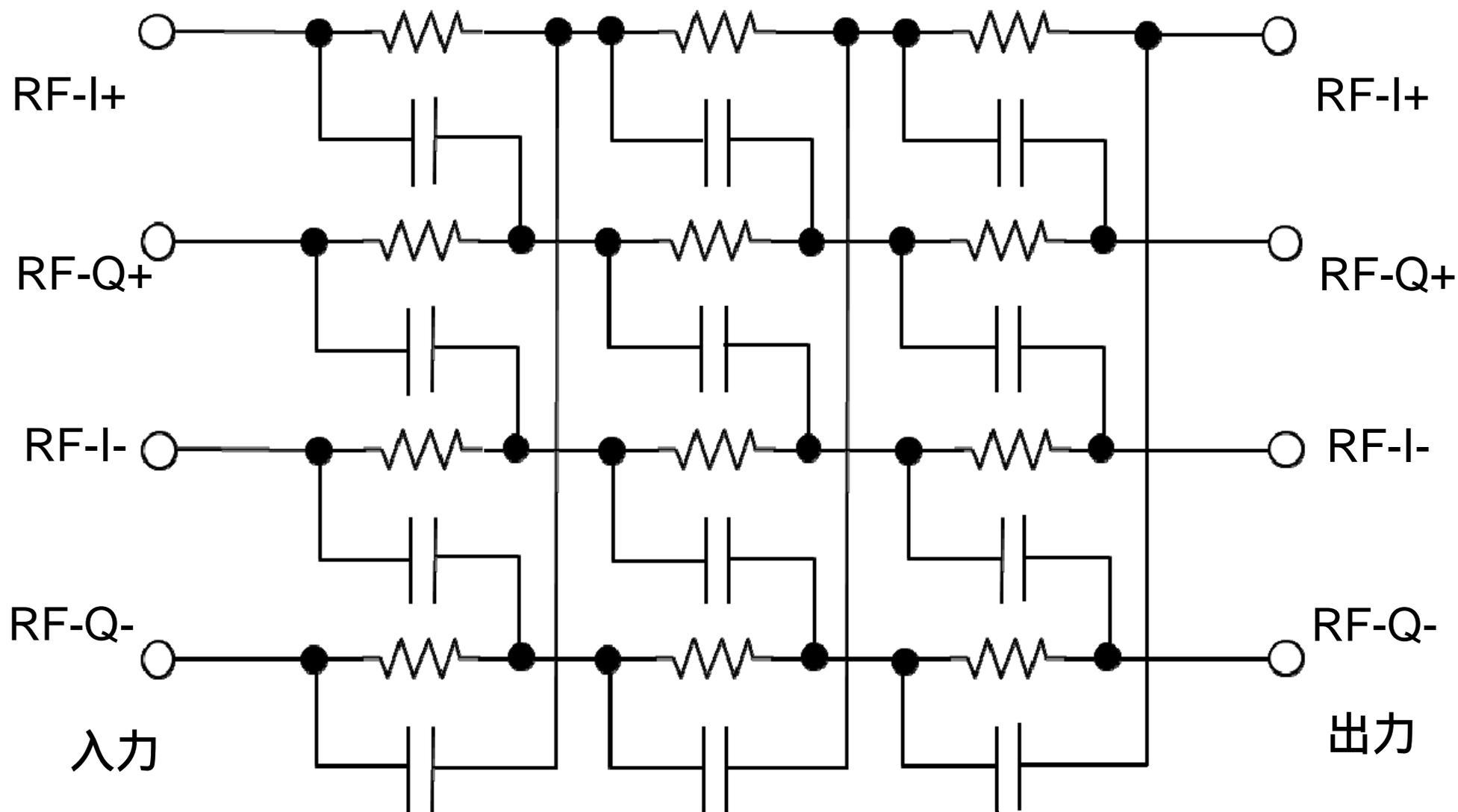
位相誤差 (rad)、振幅誤差 (振幅比のアンバランスを1+ とする)

# 振幅誤差の影響を抑圧する複素フィルタの例



# 3段構成のRCポリフェーズ・フィルタ

直交変調器のRF出力に付加

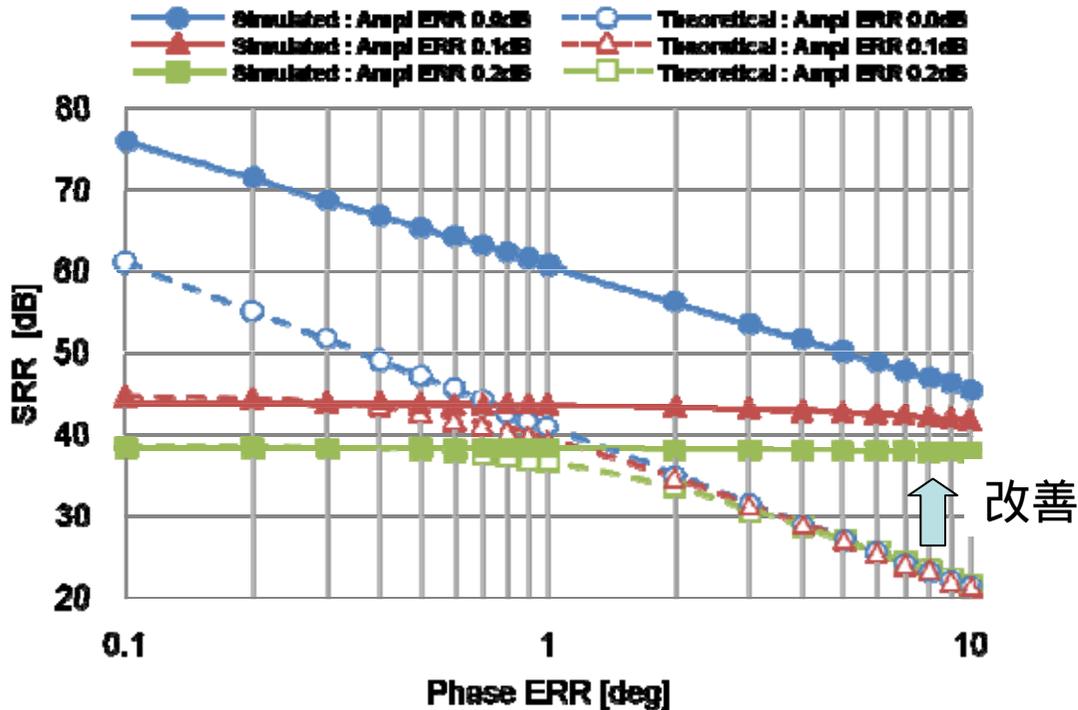


# ポリフェーズ・フィルタの効果

BB: 10MHz  
LO: 190MHz  
I-Phase only

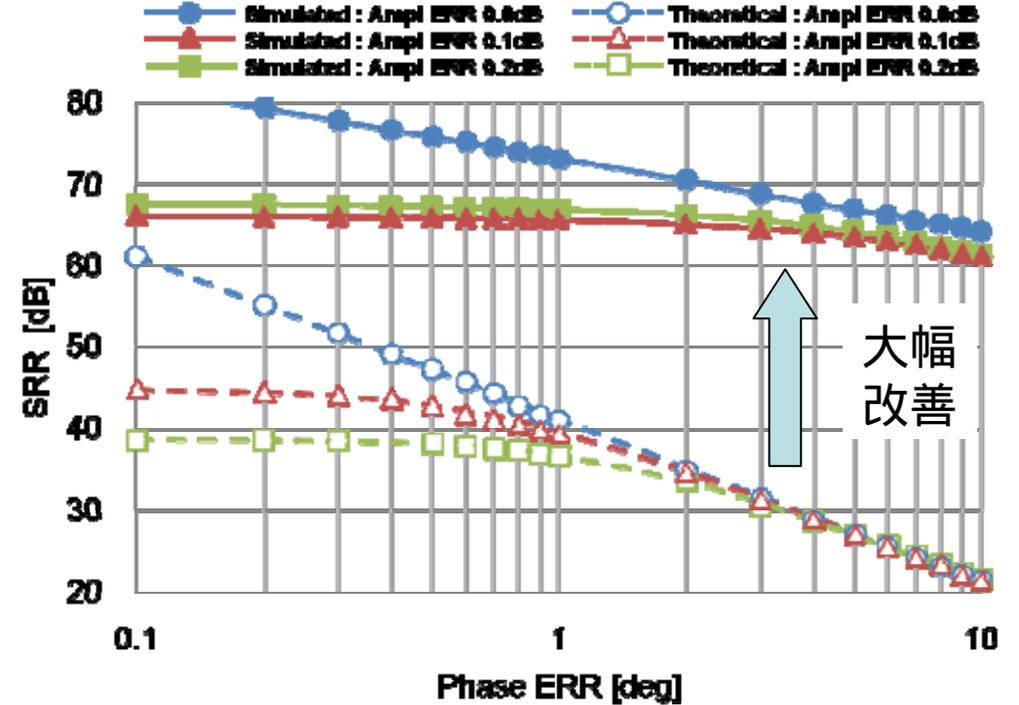
実線: 本発明

破線: 従来例の理論値



(a) ポリフェーズ・フィルタなし

位相誤差の補償



(b) ポリフェーズ・フィルタ有

位相・振幅誤差の補償

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、LO信号の位相・振幅誤差を自動的に補償することに成功した。
- 従来は変調精度 (EVM) の点で、QPSKや16QAMへの適用に限られていたが、EVMで1桁以上の高精度化の見通しが得られたため、64QAMや256QAMなど、より多値化した変調方式まで適用することが可能となった。
- 本技術の適用により、QAM変調が6～8ビットと、さらに多値化できるため、**伝送レートが1.5～2倍程度**まで向上することが期待される。
- また、LSIテスト用途では、CMOSデバイスを用い低コストで高精度な変調信号発生器を実現可能である。

# 想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、CMOSプロセスを用いたチップに適用することで低コスト化のメリットが大きく、**携帯電話や無線LAN**などの無線端末への導入効果が大いと考えられる。
- 上記以外に、微細CMOSを用いることで、デジタル回路も含んだ**SoC (System on a chip)**化による大規模集積化の効果も期待される。
- また、達成されたEVMの高精度性に着目すると、より高精度が要求される**無線基地局やLSIテスト装置**といった用途に展開することも可能と思われる。将来的に必要とされる**ソフトウェア無線機**にも適した技術である。

# 想定される業界

- **利用者・対象**

- ・無線機器用LSIの製造メーカーまたはLSI設計会社
- ・無線機器用モジュールメーカー

- **市場規模**

無線LAN、携帯電話用半導体分野 → 250億ドル  
(半導体全体2,500億ドルの10%)

(<http://www.rbbtoday.com/article/2008/12/18/56615.html> 参照)

# 実用化に向けた課題

- 現在、本変調器の補償効果について実プロセスパラメータを用いた回路シミュレーションで効果を確認できるところまで開発済み。しかし、実チップを試作しての実験による確認が未解決点である。
- 今後、VDECを利用した0.18  $\mu\text{m}$  CMOSによるチップ試作を行い実験データを取得し、無線端末に適用していく場合の条件設定を行っていく。
- 実用化に向けては、キャリア(LO信号)リークを抑える技術を確立する必要もあり。

# 企業への期待

- 未解決の実験による効果の確認については、当面、VDECを用いたチップ試作により実行できると考えている。
- RF回路の設計または製造技術を持つ企業との**共同研究**を希望。本格的なチップ試作と実験評価技術に期待。
- また、自社内技術との相乗効果を考えている企業には、**本技術の導入(特許使用)**が有効と思われる。

# 本技術に関する知的財産権

- **発明の名称**：  
複素型直交変調器、複素型直交復調器  
及びこれらに用いる直交ミキサ
- **出願番号**：特願2010-170828
- **出願人**：公立大学法人会津大学
- **発明者**：束原 恒夫

# お問い合わせ先

会津大学

産学官連携コーディネーター（本杉 常治）

T E L 0 2 4 2 - 3 7 - 2 5 1 1

F A X 0 2 4 2 - 3 7 - 2 5 4 6

e - mail [ubic - adm@ubic - u - aizu.pref.fukushima.jp](mailto:ubic-adm@ubic-u-aizu.pref.fukushima.jp)