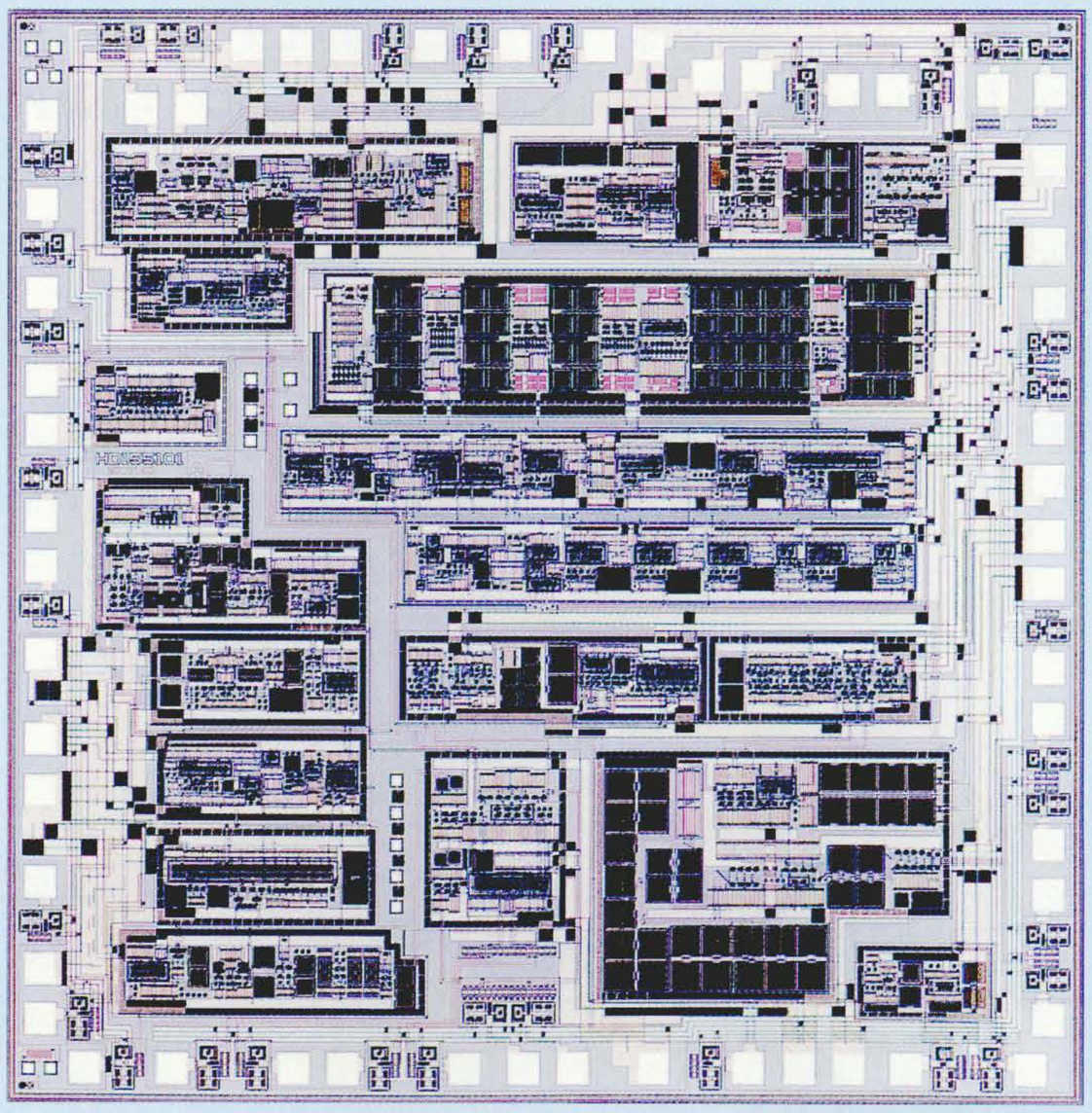
ディジタルセルラ規格“GSM/EGSM”用 高周波部アナログ信号処理IC

—送信系にオフセットPLL方式を採用してシステムの小型化，低コスト化を実現—

High-Frequency Analog Signal Processing IC for Digital Cellular Standard “GSM/EGSM”

遠藤武文 *Takefumi Endô*　山脇大造 *Taizô Yamawaki*
入江　清 *Kiyoshi Irie*　清水吉美 *Yoshimi Shimizu*



GSM/EGSM(Global System for Mobile Communications, Extended GSM)用高周波部アナログ信号処理ICのチップ写真
0.6 μm Bi-CMOS(Bipolar Complementary Metal-Oxide Semiconductor)プロセスを使って，携帯電話の高周波アナログ部を1チップに集積した。

GSM(Global System for Mobile Communications)はヨーロッパを中心に開発，構築されたディジタル セルラ システムで，アジアやオセアニア，それにアメリカの一部などの世界各地に導入されており，すでに3千万人が加入する世界最大の市場を持つシステムである。GSMで使われる携帯電話機器には，小型・軽量化，および通話・待ち受け時間の長時間化が求められており，機器に用いられる電子部品に対していっそうの高集積化と低消費電力化が要求されている。

そこで日立製作所は，イギリスのGSMシステムコンサルタント会社The Technology Partnership plc社と共同で，GSM/EGSM(Extended GSM)用高周波送受信部信号処理ICを開発し，製品化した。このICでは，送信側の送信周波数変換にオフセットPLL(Phase-Locked Loop)方式を採用することで，送信帯域外雑音の大幅な低減を実現し，雑音対策用のデュプレクサを不要として，システムの小型化，低コスト化を可能にした。

この製品はGSMの高周波版規格“PCN(Personal Communications Network)”への技術展開も考慮して設計しており，PCN用ICを同一パッケージ，同一ピン配置で開発中である。今後はこの技術を基に，AMPS(Advanced Mobile Phone Service)，CDMA(Code Division Multiple Access)，PDC(Personal Digital Cellular Telecommunication System)などの他システムへも展開を図っていく。

1. はじめに

携帯電話が急速に普及している理由に，小型・軽量でいつでもコミュニケーションが図れるという利便性があげられる。また，充電の煩わしさから，通話・待ち受け時間の長い携帯電話が好まれる。

このような市場要求に対するソリューションを提供するため，ベースバンド部に比べて外付け周辺部品が多く，実装面積の比較的大きな高周波信号処理部に着目した。この高周波信号処理部の小型化，低コスト化，低消費電力化を目的に，イギリスのGSM(Global System for Mobile Communications)システムコンサルタント会社のThe Technology Partnership plc社と共同で，送受信部を1チップに集積したGSM用高周波アナログ信号処理IC“HD155101F”を開発し，製品化した。

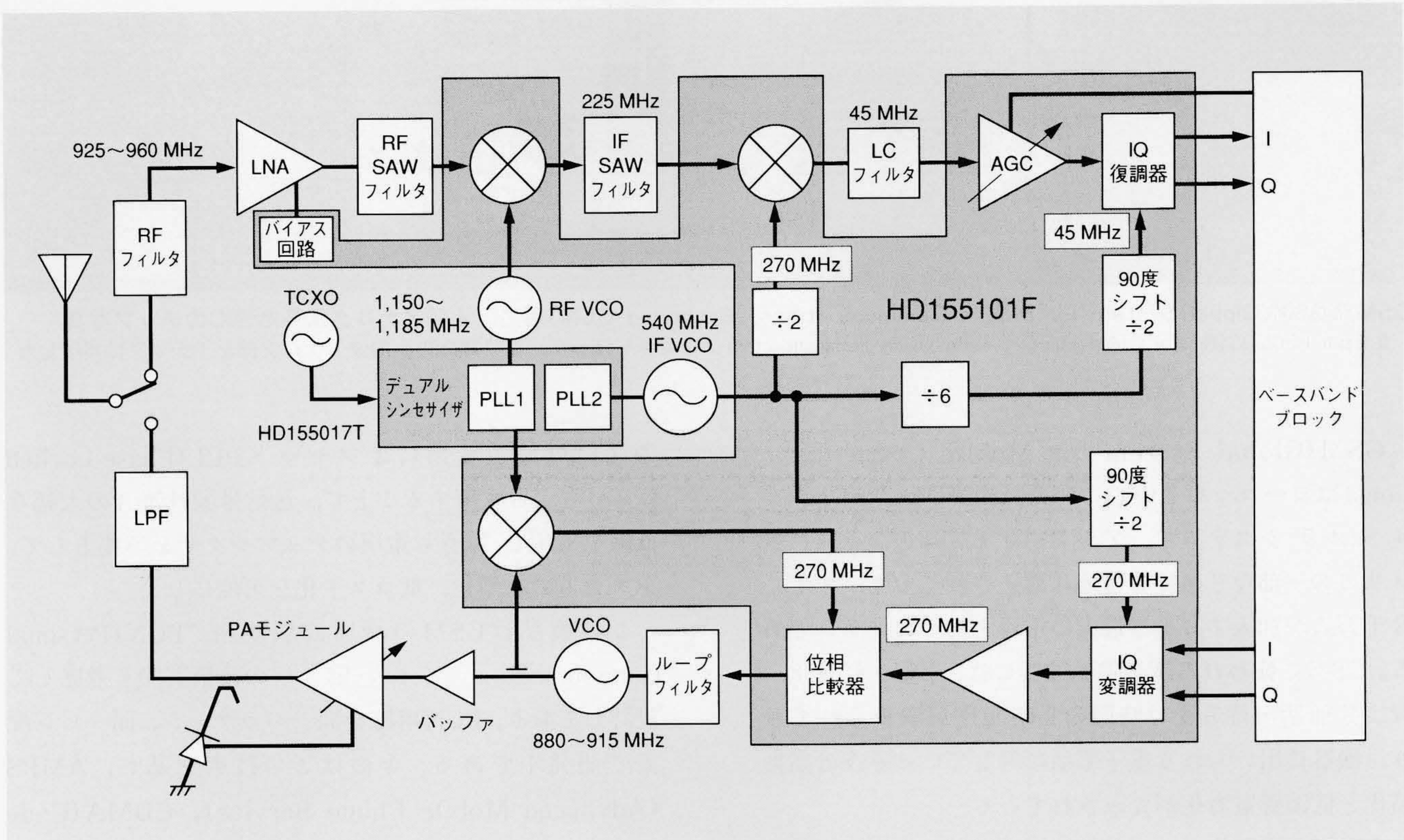
ここでは，HD155101Fの開発コンセプト，このICの構成と特徴，システム評価ボードに搭載した評価結果について述べる。

2. 開発のねらい

携帯電話の高周波信号処理部は部品点数が多く，またそのサイズも比較的大きい。そのため，小型化，低コスト化を実現するために，(1)高周波部の集積化，(2)外付け部品点数の低減，低コスト化の2点に着目した。

まず，チップ構成では，このICとデュアルPLL(Phase-Locked Loop)シンセサイザ(以下，PLLと略す。)の2チップ構成を選択した。これは，PLLを内蔵した1チップICと比べて実装面積がほとんど変わらないということと，1チップICの場合はPLLのディジタル系のノイズがアナログ系にリークし，キャリヤ近傍のノイズ劣化が問題になるからである。

次に，外付け部品では，実装面積とコストの両面でウエイトの大きいデュプレクサを不要にすることを目標にした。これを実現するためには送信出力の雑音を低減する必要があり，送信系には雑音の抑圧が可能なオフセットPLL方式を採用した。



注：略語説明 RF(Radio Frequency)，LPF(Low-Pass Filter)，LNA(Low Noise Amplifier)，TCXO(Temperature Compensative Crystal Oscillator)
PA(Power Amplifier)，SAW(Surface Acoustic Wave)，IF(Intermediate Frequency)，VCO(Voltage-Controlled Oscillator)
LC(Inductor, Capacitor)，AGC(Automatic Gain Control)，I(I信号)，Q(Q信号)

図1 HD155101Fのブロック図
携帯電話の高周波アナログ部の大部分を集積した。送信系にオフセットPLL方式を採用したことにより，デュプレクサを不要にした。

3. HD155101Fの構成と特徴

このICは0.6 μm Bi-CMOS(Bipolar Complementary Metal-Oxide Semiconductor)プロセスを使い，携帯電話の送受信に必要な高周波アナログ部の大半の機能を内蔵している(**図1**参照)。パッケージはLQFP(Low Profile Quad Flat Package)48ピン〔9.0×9.0(mm)〕を使用している。内部は，低雑音増幅器(以下，LNAと略す。)用バイアス回路，第一ミキサ，第二ミキサ，AGC増幅器，IQ復調器から成る受信部と，IQ変調器，オフセットPLL回路，ローカル信号分周回路から成る送信部で構成している。また，送受信ブロックを独立で動作させて消費電力を低減するパワーコントロール回路も内蔵しており，受信時34 mA＋LNAバイアス電流5.6 mA，送信時31 mAで動作する。これにより，このICにPLL，電力増幅器ほかのわずかな部品を加えるだけで，高周波アナログ部のすべての機能を実現する。

3.1 受信系

受信系の特徴は次のとおりである。

(1) デュアルIF(Intermediate Frequency)方式を採用
(2) LNA用の負帰還バイアス回路を内蔵
(3) 線形利得制御型AGCを採用
(4) IQ復調器に妨害波抑圧用LPFを内蔵

3.1.1 デュアルIF方式

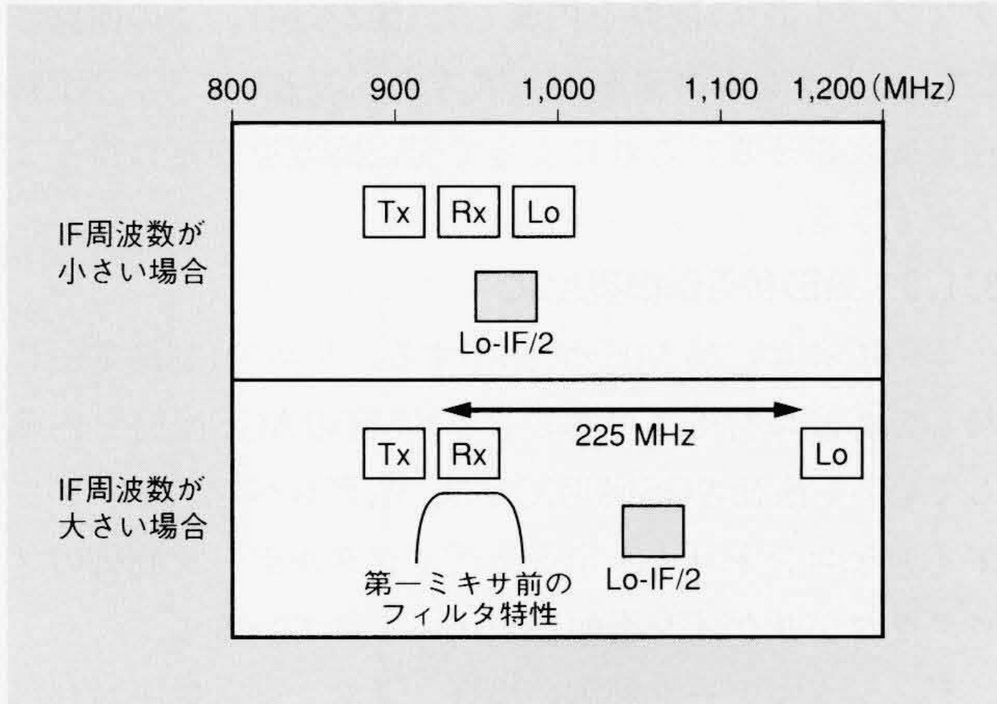
受信系には周波数変換のためのミキサ回路があり，ミキサ回路のひずみ特性による混変調によって折り返され，IF信号(希望波)に重なってくる周波数成分がある。これらの周波数に対する特性をスプリアス感度特性と呼ぶ。このICでは，このスプリアス感度特性を向上させるために，IF周波数に225 MHzと45 MHzの二つを使うデュアルIF方式を採用した。

スプリアス感度の周波数の一例として，ローカル信号周波数からIF周波数の$\frac{1}{2}$だけ低い周波数(以下，Lo-IF/2と略す。)がある。この成分は，次式でIF信号に折り返される。

$$2 \times \mathrm{Lo} - 2 \times (\mathrm{Lo\text{-}IF}/2)$$

これは第一ミキサのひずみ特性によって起こる。一般的に，ミキサ回路のほかの特性を犠牲にしないで，ひずみ特性だけを向上させるのは困難である。

そこでこのICでは，IF周波数を225 MHzに選ぶことにより，第一ミキサ前のフィルタで簡単にLo-IF/2成分を除去できるようにした(**図2**参照)。また，第二ミキサで45 MHzに変換し，45 MHzでAGC増幅器とIQ復調器を動作させることによって消費電流を小さく抑えた。第二ミキサのローカル信号はIC内の分周回路から発生させて供給しているため，ユーザーにとって使い方はシングルIF方式と変わらない。



注：略語説明
Tx(Transmitter)，Rx(Receiver)，Lo(Local Signal)

図2 IF周波数の選択方法
IF周波数を225MHzに選ぶことにより，第一ミキサ前のフィルタでLo-IF/2成分を簡単に除去できる。

3.1.2 LNA用負帰還バイアス回路

GSM用の携帯電話は受信感度の仕様が厳しく，受信系の低雑音化が重要課題である。システムの雑音は初段のフィルタの挿入損失とLNAの雑音指数(以下，NFと略す。)で決まっており，システム上，このNFをどのような条件下(温度－20～80℃，電源電圧2.7～3.6 V)でも安定化させる必要がある。

このICでは，外付けのLNA用トランジスタのバイアス電流をモニタし，基準電圧と比較してバイアス電流が一定になるようにコントロールする負帰還バイアス(アク

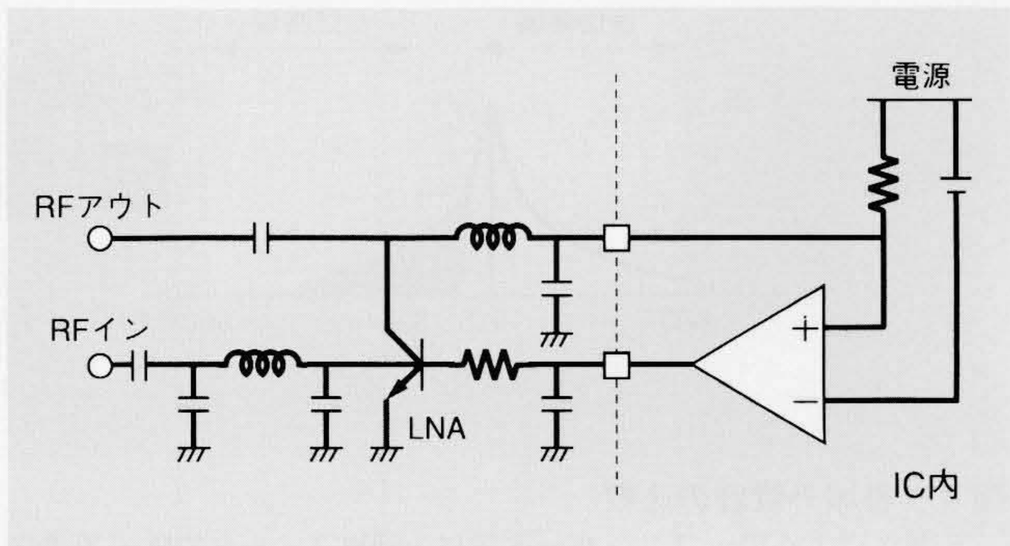


図3 アクティブバイアス回路
基準電圧と比較してバイアス電流が一定になるようにコントロールし，LNAのNF特性を安定させる。

ティブバイアス)回路を内蔵した(**図3**参照)。この回路でLNA用トランジスタをバイアスすることにより，NF特性を安定させる。これによって受信感度を安定に得ることができる。

3.1.3 線形利得制御型AGC

このICには，45 MHzで動作する，リニア(制御電圧に対して線形に利得を可変できる)制御のAGC回路を内蔵している。他社のGSM用ICでは，数デシベルステップでゲインをコントロールする，ディジタルデータ制御のプログラマブルゲイン増幅器が用いられている[1)]。

ディジタルデータ制御の場合，通常，制御電圧対利得の関係をベースバンド部のメモリに記憶し，希望の利得を得るときには，記憶したデータを参照して制御データを出力する必要がある。これに対して線形制御である場合，ゲインの設定データ(電圧)を出力するのに，線形であれば初期値と傾きのデータにより，いかなる利得に対する制御電圧も計算で求めることができ，メモリの負荷を大幅に軽減できる。

3.1.4 IQ復調器に妨害波の抑圧用LPFを内蔵

ベースバンド部の最大入力許容レベルに対する妨害波を抑圧するため，一般的に外付けで対応していたLPFを内蔵した。これにより，IQ復調器出力を直接にベースバンドICへ接続すればよく，実装面積の低減が可能となった。

3.2 送信系

送信系の特徴は次のとおりである。

(1) 周波数変換にオフセットPLL方式を採用し，送信信号の帯域外雑音を大幅に低減した。

(2) デュプレクサを不要としたことにより，実装基板の小型・低コスト化を実現した。

(3) デュプレクサでの送信電力の損失がなくなったため，低消費電力化が実現できた。

3.2.1 ミキサによる周波数変換の問題点

送信系の周波数変換には一般的にミキサを用いた間接変調方式が用いられるが，この場合，帯域外雑音が課題となる。これをSAWフィルタで除去したとしても，送信帯域内に分布する雑音成分が電力増幅器のひずみ特性によって混変調され，送信帯域外の隣接周波数帯に折り返される(**図4**参照)。これが受信帯域に重なってくるため，電力増幅器とアンテナの間に，送信帯域だけを通す急峻(しゅん)なフィルタが必要になる。

このため，通常，デュプレクサを用いてフィルタリングする。デュプレクサは，送信・受信用の急峻なフィルタを内蔵しており，アンテナスイッチを内蔵しているものもある。これは一般的に高価で，しかも実装面積が大きい。そのため，携帯電話の高周波アナログ部の小型，

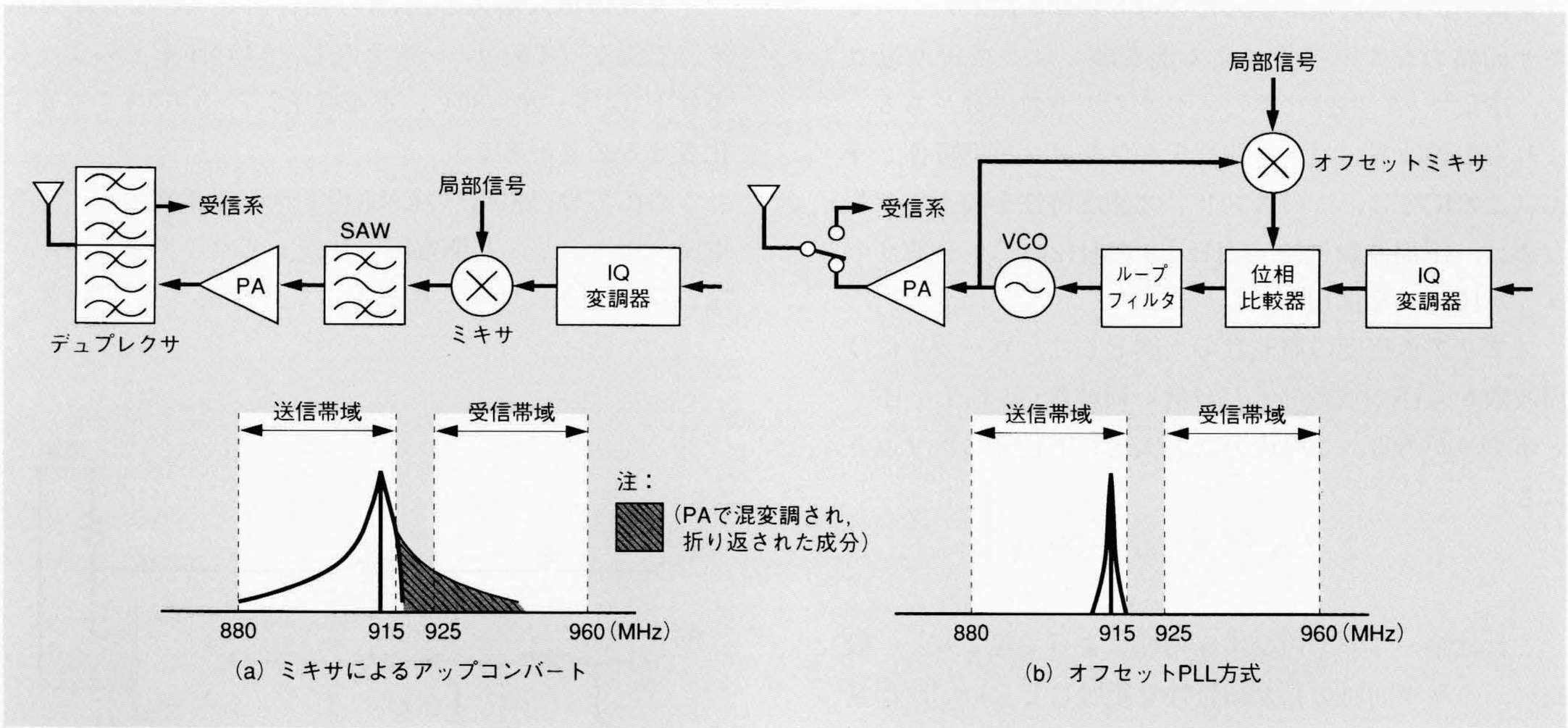


図4 帯域外雑音の比較

ミキサによるアップコンバートでは，SAWフィルタで除去できない送信帯域内の雑音がPAのひずみ特性によって混変調され，受信帯域内に折り返される。したがって，PAとアンテナ間に，これを除去する急峻なフィルタ，すなわちデュプレクサが必要になる〔(a)参照〕。一方，オフセットPLL方式では，VCO出力がループフィルタの帯域(約1 MHz)の2倍に帯域制限されるため，受信帯域への雑音の漏れ込みがなくなる。したがって，デュプレクサが不要になり，アンテナスイッチだけでよい〔(b)参照〕。

低コスト化の大きなネックになっていた。

そこで，このデュプレクサを不必要にするソリューションを提供することをIC開発の目標とした。

3.2.2 オフセットPLL方式

デュプレクサを不要にするために，送信周波数変換にオフセットPLL方式を採用した。この方式では，VCO出力から位相比較器へのフィードバックパスにミキサ(オフセットミキサ)を配置することにより，周波数変換を実現する。周波数シンセサイザ用PLLとの違いは，オフセットPLLの参照信号の周波数変調が，出力でスケーリングなしに再現されることである。

VCOから直接出力する送信信号はループフィルタの帯域(約1 MHz)の2倍に帯域制限されるため，送信帯域外雑音だけでなく，帯域内の雑音成分も抑圧される。これにより，前節で示した電力増幅器での混変調ひずみによる受信帯域への雑音の漏れ込みがなくなるため，電力増幅器とアンテナの間に急峻な特性のフィルタを必要とせず，デュプレクサを不要にできる。これによってシステムの小型化，コスト低減を実現する。また，周波数帯域を拡張するだけで，送信帯域と受信帯域間が10 MHzしかないEGSM(Extended GSM)システムにも容易に対応できる。

デュプレクサを不要にしたことによるもう一つのメリットは，送信時の低消費電力化である。デュプレクサを不要にしたことで，約1 dBのパワー損失を防ぐことができる。つまり1 dBに相当する送信電力分，低消費電力化が図られ，通話・待ち受け時間の長時間化が可能となる。

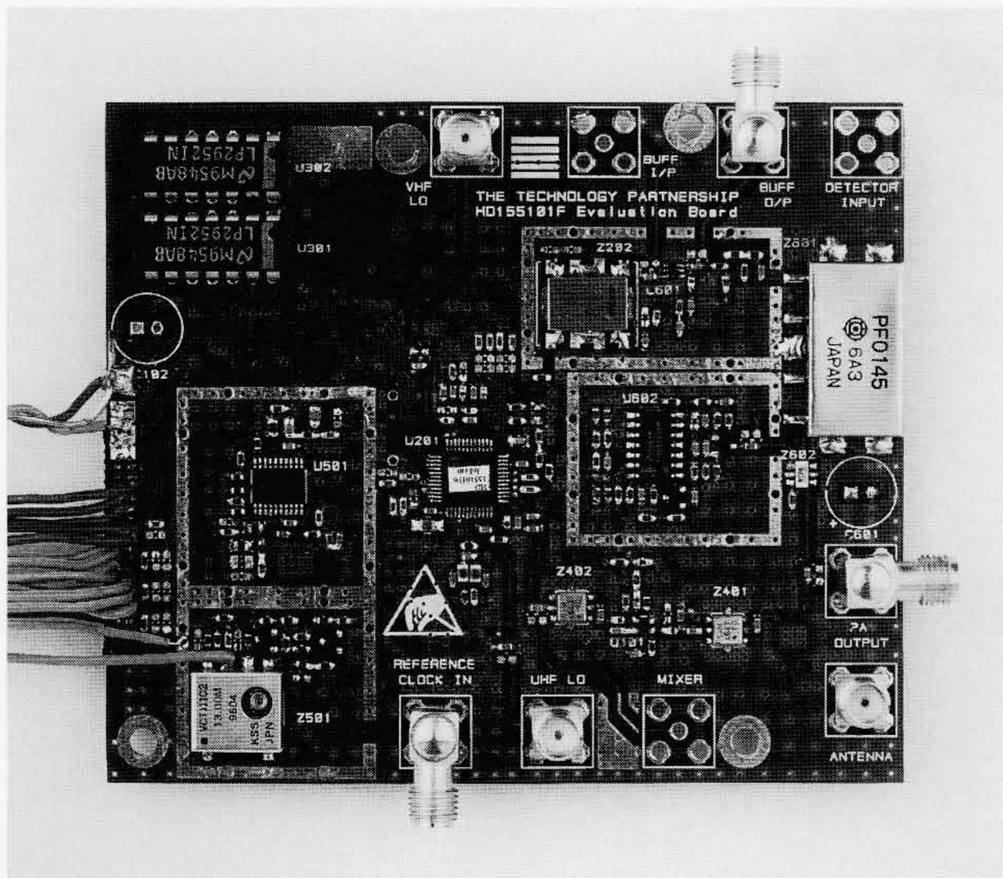


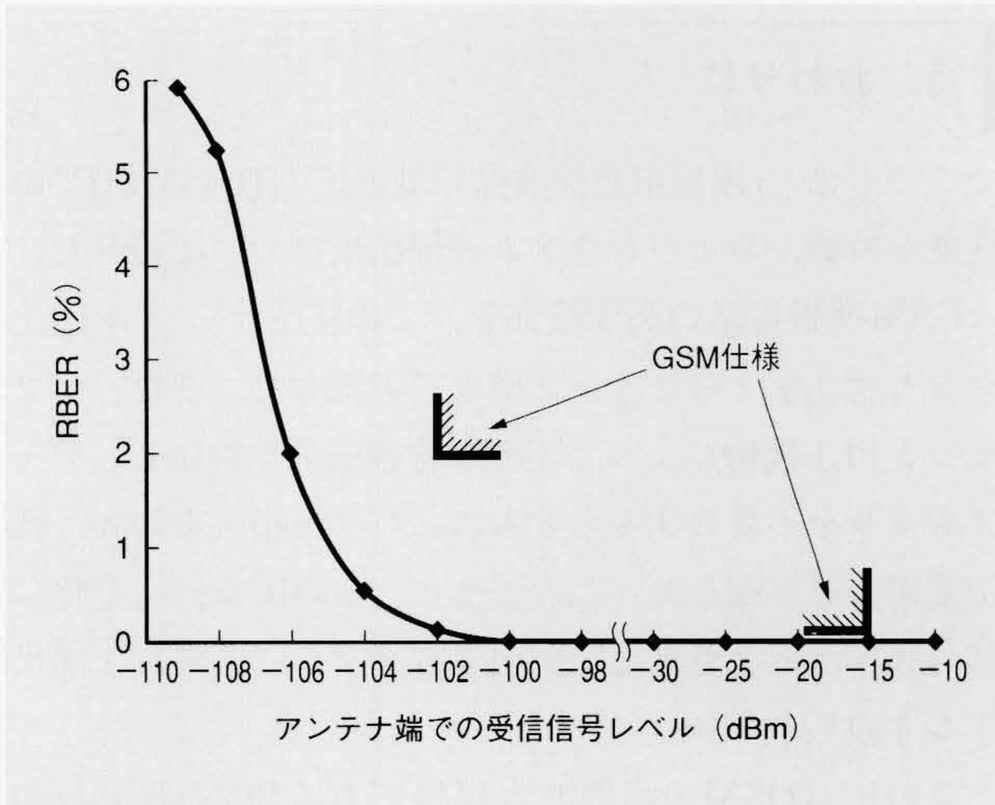
図5 システム評価ボード

この評価ボードにベースバンドプラットフォームを組み合わせることにより，GSM端末の機能が実現できる。

4. システム評価

HD155101Fの評価では，個別ブロックのだけでなく，GSMのシステム仕様(GSM11.10)を満足することを確認する必要がある。このために，The Technology Partnership plc社と共同でシステム評価ボードを開発した(**図5**参照)。

評価ボードには6層プリント基板を使用し，システム全体の評価だけでなく，各ブロックごとの評価も行える



注：略語説明 RBER(Residual Bit Error Rate)

図6 受信信号レベルに対するRBER特性

受信感度−102 dBmをクリアし，強入力レベル時もRBERの劣化はない。

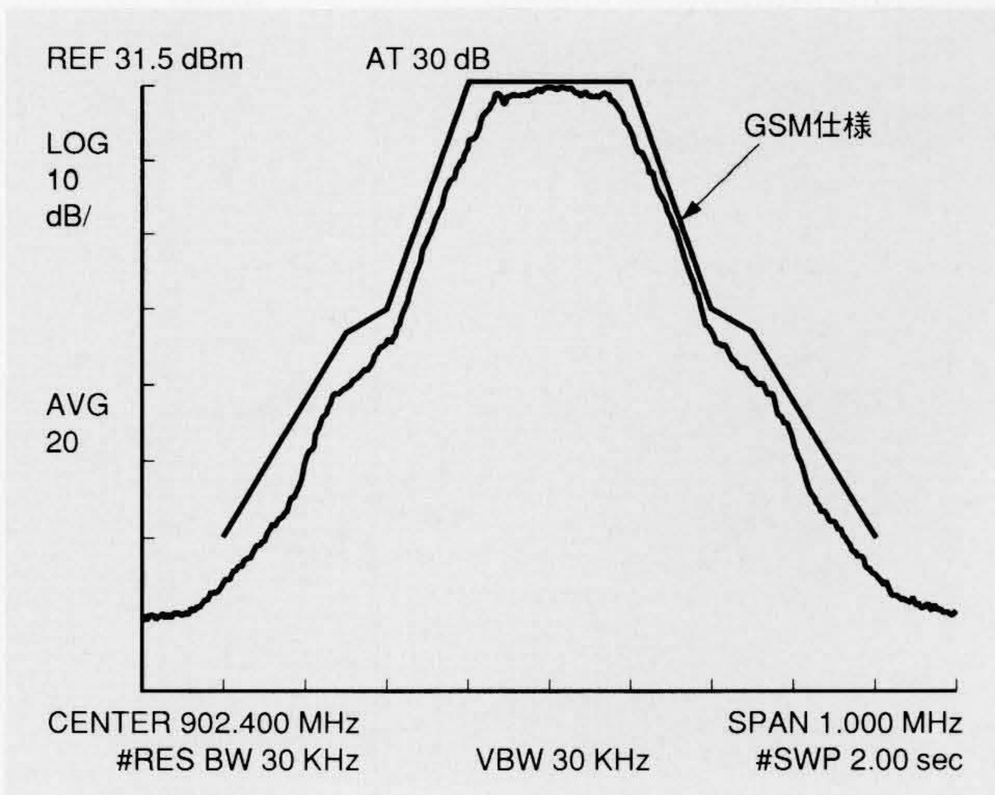


図7 送信スペクトラム特性

IQ信号に疑似ランダムパターン(PN9)を入力したときの送信スペクトラムを示す。GSM仕様を満足している。

ように構成している。この評価ボードには，このIC(HD155101F)，高効率送信増幅器(PF0145)，デュアルPLL-IC(HD155017T)，VCO用可変容量ダイオード(HVU355)のほか，TCXO，VCO，SAWフィルタなど，GSM用高周波部に必要な機能をすべて搭載している。この評価ボードにベースバンド部を接続するだけで，GSM端末の機能が実現できる。

評価ボードとThe Technology Partnership plc社で実績のあるベースバンドプラットフォームとを組み合わせて，受信感度，送信スペクトラムなどについてGSM規格に沿った総合システム評価を実施し，仕様を満足することを確認した(**図6**，**図7**参照)。

5. おわりに

ここでは，GSM用高周波信号処理IC“HD155101F”の機能と特徴，およびシステム評価結果について述べた。

GSM携帯電話の高周波部を，このICとデュアルPLLシンセサイザとの2チップ構成で実現した。また，オフセットPLL技術によって不要な雑音成分を抑圧し，デュプレクサを不要にするとともに，パワー損失を防ぎ，低消費電力を実現した。このように，このICは，小型化，低コスト，低消費電力を実現するソリューションを提供するものである。

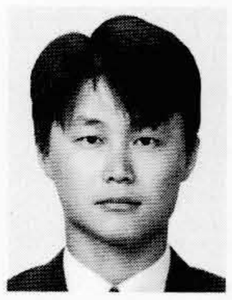
このICはGSMの高周波版規格であるPCN(Personal Communications Network)への技術展開も考慮して設計しており，PCN用ICを同一パッケージ，同一ピン配置で開発中である。今後はこの技術を基に，AMPS(Advanced Mobile Phone Service)，CDMA(Code Division Multiple Access)，PDC(Personal Digital Cellular Telecommunication System)などの他システムへ展開を図っていく考えである。

参考文献

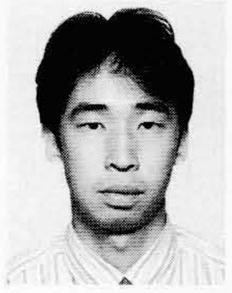
1) T.D.Stetzler, et al.：A 2.7V to 4.5V Single-Chip GSM Transceiver RF Integrated Circuits, IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol.30, No.12(1995-12)

執筆者紹介

遠藤武文
1986年日立製作所入社，半導体事業部 汎用半導体本部 アナ・デジLSI設計部 所属
現在，GSM/PCN方式携帯電話用高周波ICの開発に従事
E-mail：endouta@cm.musashi.hitachi.co.jp



入江 清
1991年日立製作所入社，半導体事業部 半導体技術開発センタ マルチメディアLSI開発部 所属
現在，GSM/PCN方式携帯電話用高周波ICの開発に従事
E-mail：iriek@msrd.hitachi.co.jp



山脇大造
1995年日立製作所入社，中央研究所 通信システム研究部 所属
現在，GSM/PCN方式携帯電話用高周波ICの開発に従事
電子情報通信学会会員
E-mail：tyamawak@crl.hitachi.co.jp

清水吉美
1991年株式会社日立マイコンシステム入社，応用技術部 所属
現在，移動体通信分野応用システム開発に従事
E-mail：shimiys@hitachi-mc.co.jp