

ワイヤレスLSI商品を実現する RF回路技術

太矢 隆士
髭本 信雅

伊藤 秀二

ワイヤレス機器において、アンテナとの高周波信号のやりとりを行う部分がRF（Radio Frequency）回路である。素子の微細化による集積度の増大に伴い、ワイヤレス機器においても、内部回路のデジタル化が進んでいるが、RF回路には高度なアナログ回路技術の適用が必要である。

RF回路は従来、トランジスタ、コイル等の個別部品で構成されていたが、近年、モノリシックLSIとしての集積化が急速に進んでおり、ワイヤレス機器の小型化、低消費電力化、そして「いつでも・どこでも・誰とでも」の利便性が一段と向上することが期待されている。

本稿では、沖電気で開発を進めてきたCMOSデバイスによるRF回路技術について解説し、低消費電力、高感度で使いやすいワイヤレスLSI商品開発における有効性について述べる。

RF回路の機能

テレビ・ラジオ、携帯電話、電波時計、無線LANなどワイヤレス機器にはすべてRF回路が用いられている。用途により、用いられている電波の周波数と、情報を電波に載せる方法すなわち変調方式はさまざまであり、それぞれに適したRF回路が用いられる。

図1に主な用途に使用されている電波の周波数について示す。RF回路は扱う周波数によりそれぞれ最適なデバイスおよび回路方式を選択する。従来、各周波数領域においてバイポーラデバイスやガリウム砒素デバイスが用いられてきたが、現状ではCMOSトランジスタによっていずれの周波数領域のRF回路も実現することができる。

ワンチップに集積回路化されたRF回路の代表例として、2.4GHz帯の周波数を用いる近距離無線通信用LSIの構成例を図2に示す。アンテナに信号を出力する送信回路と、アンテナからの信号を入力として動作する受信回路と、それぞれに基準となる2.4GHz帯の信号を提供する周波数シンセサイザ回路とから構成されている。

送信回路では、まず変調回路において、入力デジタル情報を位相変化などの方法によって重畳した2.4GHz帯の

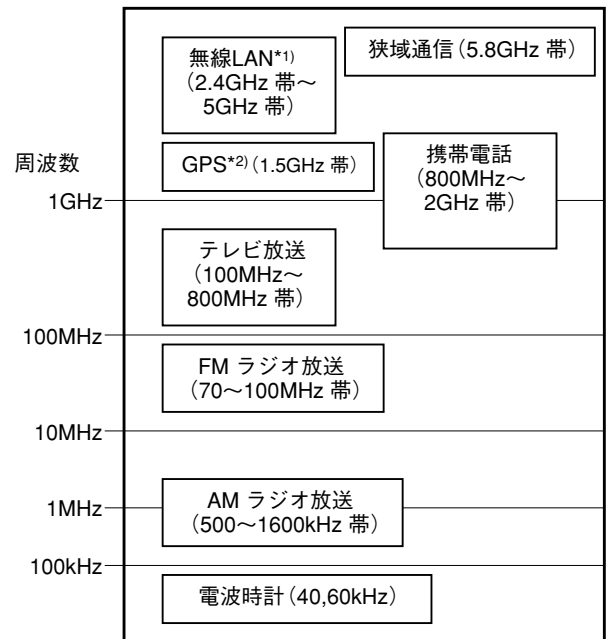


図1 主なワイヤレス機器に用いられる電波の周波数

信号を生成し、パワーアンプによって十分な電力まで増幅してアンテナから電波として放射する。

受信回路では、アンテナで捉えられたさまざまな強度の受信信号を入力とし、まず低雑音アンプで微小信号を増幅し、次にミキサにおいて2.4GHz帯の周波数から数MHz程度の周波数（中間周波数信号）に変換する。中間周波数信号はフィルタ回路に入力されて所望のチャンネルの信号のみが選択され、高利得アンプによってさらに信号振幅を増幅し、復調回路によって電波に載せられていたデジタル情報を取り出す。

周波数シンセサイザ回路は、送信回路および受信回路それぞれに安定な2.4GHz帯の正弦波信号を供給するもので、チップ内に配置されたインダクタによって構成されたVCO（Voltage Controlled Oscillator,電圧制御発振器）と、PLL（Phase Locked Loop,位相同期ループ）とから構成されている。

表1に各回路要素に求められる性能項目について示す。

*1) LAN : Local Area Network *2) GPS : Global Positioning System

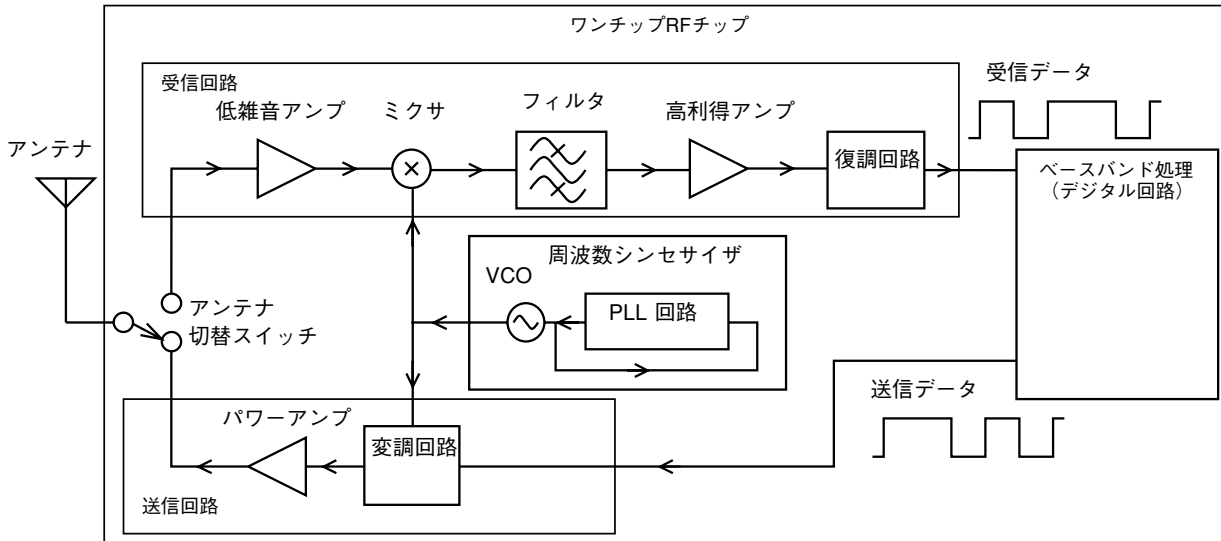


図2 RF回路の構成例

表1 回路要素の主な要求特性項目

	回路要素	主な要求特性項目
送信回路	変調回路	変調精度
	パワーアンプ	出力電力、歪み特性
受信回路	低雑音アンプ	雑音特性、歪み特性
	ミキサ	雑音特性、歪み特性
	フィルタ	周波数特性、歪み特性
	高利得アンプ	電圧利得
	復調回路	エラーレート特性
共通	周波数シンセサイザ	位相雑音特性
	アンテナ切替スイッチ	アイソレーション

送信回路においては、法規制に従い、安定でクリーンな電波を放射するための性能が求められる。変調回路では入力されたデジタル信号に従い、正確な変調（位相変化、周波数変化、振幅変化）を行い、パワーアンプでは変調回路の出力を歪ませることなく、所定の電力まで安定に増幅してアンテナから電波を放射させる。

受信回路においては、単に感度が高いというだけでなく、数多くのワイヤレス機器が近接して使用されている昨今の状況では、多数の強力な妨害波が存在するなかでも微弱な受信信号を捉えるため、回路の歪み特性が重要になってきている。低雑音アンプやミキサにおいて微小信号を扱うために雑音特性は重要であるが、同時に入力される妨害波による歪み成分の発生も重大な感度劣化要因であり、雑音特性とともに重要な性能項目である。

周波数シンセサイザにおいては、位相雑音特性（出力

正弦波信号スペクトルのクリーンさ）が送信変調信号の精度と、受信感度・耐妨害波特性の確保のために重要である。

沖電気のRF回路技術の特徴

RF回路は従来よりバイポーラトランジスタやガリウム砒素デバイスなどの個別部品で構成された装置が使用されてきており、送信機能・受信機能をワンチップ集積回路化した例は少ない。沖電気ではCMOSデバイスによってRF回路を構成することにより、ワンチップでワイヤレス機器に必要なRF回路機能を実現する技術開発を進めてきた^{1) 2)}。図3に沖電気のRF回路技術の特徴と有効性についてまとめ、以下に解説する。

(1) CMOSデバイスの適用

沖電気では、CMOSデバイス、SOI^{*3)} デバイス、SOS^{*4)} デバイスを用いたRF回路の開発を進めている。いずれもCMOSトランジスタによってRF回路を構成する。

デバイス技術の進歩による微細化により、CMOSトランジスタの性能が格段に向上し、従来バイポーラトランジスタやガリウム砒素デバイスの適用分野であった数GHz帯においても十分な性能を発揮できる。

CMOSトランジスタを用いることにより、2ボルト以下の電源電圧でも回路を動作させることができるほか、RFスイッチ等を容易に構成できる。さらにスイッチトキャパシタ回路などCMOSでなければ実現できない高機能なフィルタ回路技術やアナログデジタル変換回路技術を活用できる。

*3) SOI : Silicon On Insulator *4) SOS : Silicon On Sapphire

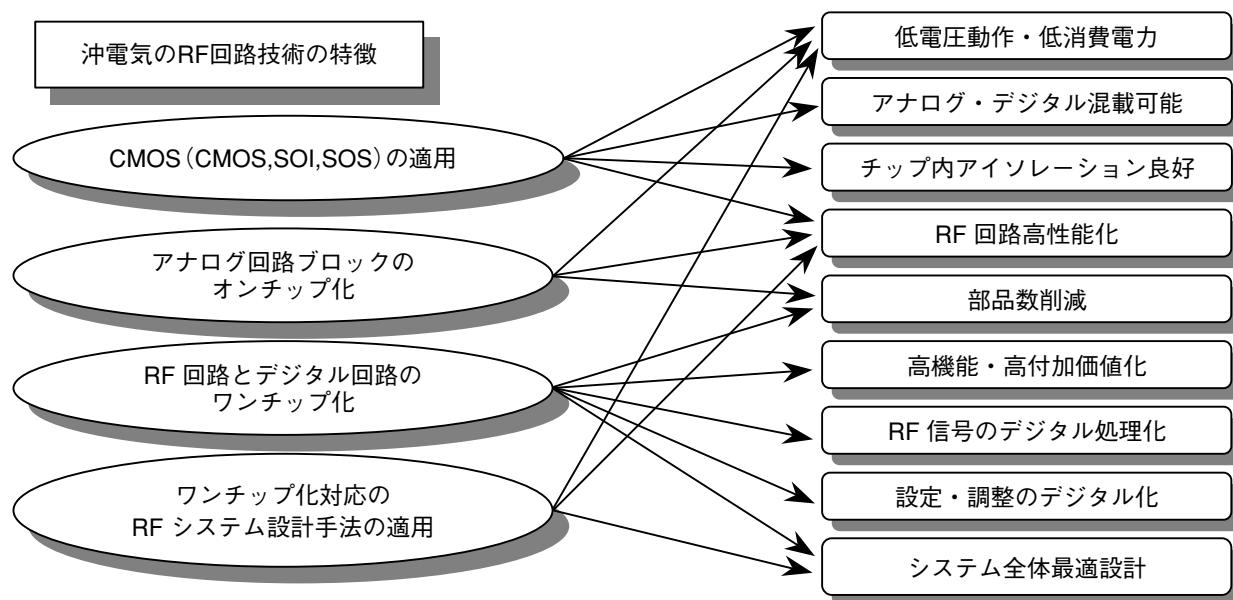


図3 沖電気のRF回路技術の特徴と有効性

SOIデバイスにおいてはシリコン酸化膜上にCMOSトランジスタを形成し、SOSデバイスにおいてはサファイア基板上のシリコン層にCMOSトランジスタを形成している。いずれのデバイスにおいても基板の絶縁性が高いことにより、性能の良いオンチップインダクタを実現でき、かつ回路間のアイソレーション（信号の漏れの防止）が向上できるため、極めて高性能のRF回路を構成することが可能である。

(2) アナログ回路ブロックのオンチップ化

従来RF回路はトランジスタ以外に、インダクタやフィルタなど数多くのアナログ個別部品で構成されていたが、CMOSトランジスタを用いた回路構成の工夫や高機能回路のチップ内取り込みにより、外付部品を最小限に抑えることができる。表2に個別部品で実現されてきた機能のチップ内での実現例を示す。アンテナスイッチ、VCO、チャネルフィルタ、電源レギュレータなどが挙げられ、機器の部品点数削減に貢献できる。外付フィルタなどをチップ内に取り込むことにより、フィルタ等とやりとりされる信号電力も格段に小さくすることができ、電氣的

表2 個別部品の機能のチップ内回路での実現

個別部品	チップ内回路
RFスイッチ	CMOSアナログスイッチ
発振回路モジュール	チップ内発振回路
セラミックフィルタ	アクティブフィルタ回路
電源レギュレータ	チップ内蔵レギュレータ

特性および消費電力の両面において有利な構成となる。

(3) RF回路とデジタル回路のワンチップ化

RF回路とデジタル回路との集積化は、デジタル回路が発生する雑音によるRF特性劣化のため実現困難と従来考えられていた。しかし、雑音発生源であるデジタル回路の微細化・低消費電力化により生成される雑音レベルが低減されてきたこと、基板を通した雑音の伝達をSOIデバイスやSOSデバイスの活用によって防ぐこと、RF回路として雑音の影響を受けにくい差動回路技術等を採用することにより十分実用性のあるLSIを構成できるようになってきた。百キロゲート以上の大規模デジタル回路とのワンチップ化も実現できており、RF回路とともに、デジタル信号処理や通信プロトコル処理までを取り込んだ高付加価値チップも構成できる。

RF回路とデジタル回路とをワンチップ化することにより、単なる組合せ以上の効果が期待できる。RF回路に必要な、調整・設定について、同一チップ内のデジタル回路によって高度な制御を行うことができる。たとえば、送信電力の調整や温度特性の補正は、従来半固定抵抗を手で回して調整したり、外部制御チップのデジタルアナログコンバータ出力電圧を用いたりといった方法がとられていたが、ワンチップ化された場合には、同一チップ内のデジタル回路からRF回路の調整・設定を直接行うことができる。デジタル回路による調整・設定が有効なRF回路ブロックとしては増幅回路、発振回路、フィルタ回路、変調回路などがある。

デジタル回路の高速化により、アナログ回路で実現されてきた機能のデジタル処理への置き換えも進んでいる。特に比較的周波数の低い、受信回路の中間周波数信号を扱う部分へのデジタル回路の適用は有効である。たとえば位相変調された信号の復調は、従来遅延素子やコイルを用いてアナログ回路によって構成されていたが、デジタル回路で構成することにより、アナログ部品を削減して無調整かつ安定動作を実現でき、さらにアナログ部品の特性で制約されていた回路動作の高速化・高機能化も可能となる。

(4) ワンチップ化対応のRFシステム設計手法の適用

RF回路をワンチップ化することにより高性能なチップを実現するためには、個々の回路ブロックの性能の向上とともに、無線システム全体としての設計技術が重要である。

個別部品の性能を積み上げていくディスクリートRF回路の設計アプローチと異なり、ワンチップ化RFチップにおいては、RF回路全体をシステムとしてトップダウン的な手順で設計を行う。

たとえば受信回路全体に必要な増幅利得を、回路を構成する構成要素それぞれにどう配分するかによって、雑音特性や歪み特性は大きく変動する。ワンチップ化RF回路においては、受信回路、送信回路それぞれ全体のシステムとしての機能・特性について最適設計されることにより、高性能かつ低消費電力のワイヤレス機器を実現できる。

設計環境としては、高周波回路、フィルタ回路、PLL回路、デジタル回路などが混在した大規模回路が対象であり、シミュレーション実行環境などハードルが高いが、いったん環境構築ができれば、全体最適に作りこむことは個別部品による設計より有利である。

ま と め

沖電気で開発を進めてきたCMOSデバイスによるRF回路技術について解説し、ワイヤレスLSI商品開発における有効性について述べた。CMOS、SOIおよびSOSデバイスを用いてRF回路を構成することにより、従来の個別部品による構成では実現できない小形、低消費電力で高性能なワイヤレス機器の実現に貢献できる。

本稿で解説したRF回路技術を活用して表3^{*)}に示す。

ZigBee[®]^{*)} 対応2.4GHzワンチップLSIや電波時計用ワンチップLSIを開発した。いずれもRF回路と高度なデジタル処理回路とのワンチップ化に成功しており、CMOSおよびSOIデバイスの特長を生かして低消費電力で高性能

表3 RF回路技術の適用例

ZigBee [®] 対応2.4GHzワンチップLSI(ML7065)	
用途	近距離無線ネットワーク用LSI
機能	IEEE802.15.4準拠 2.4GHz RF機能、物理層処理機能、 MAC(Media Access Control)機能
特長	0.22 μ m低リークCMOSプロセスによる 高機能の実現と 乾電池での長時間駆動可能な低消費電力
電波時計用ワンチップLSI(ML6191)	
用途	電波時計用LSI
機能	電波受信機能、デコード機能、 リアルタイムクロック機能
特長	SOI-CMOS技術により高感度受信回路とデ コード機能、リアルタイムクロック機能と をワンチップ化 低電圧動作：1.1～3.6V 低消費電流：検波待機32kHz 動作時0.25 μ A

なRF特性を実現している。

今後さまざまな分野でRF回路の集積化、ワンチップ化が進むと考えられており、RF回路技術の一層の高度化を進めていく予定である。 ◆◆

参考文献

- 1) Aruna Ajikuttira *et al.* : A Fully-Integrated CMOS RFIC for Bluetooth Applications, ISSCC (IEEE International Solid-State Circuits Conference) Digest of Technical Papers, 13.2, Feb. 2001.
- 2) J. Yanagihara *et al.* : An SOI Technology Based Time Code Receiver for High Sensitivity and Extremely Low Power Consumption Radio Controlled Clock, Proceedings of COOL Chips VII (International Symposium on Low-Power and High-Speed Chips) , p.211, April 2004.
- 3) 沖電気工業Webページ <http://www.oki.com/jp>, プレスリリース2004年4月8日, 2004年5月13日.

● 筆者紹介

太矢隆士 : Takashi Taya. シリコンソリューションカンパニー デザイン本部 RF商品開発部 部長
伊藤秀二 : Shuji Ito. シリコンソリューションカンパニーデザイン本部 RF商品開発部 RF設計第1チーム チームリーダー
髭本信雅 : Nobumasa Higemoto. シリコンソリューションカンパニー デザイン本部RF商品開発部 RF設計第2チーム チームリーダー

*) ZigBeeは、Koninklijke Philips Electronics N.V.の登録商標です。