

無線 LAN 用 RF/IF チップセット

RF/IF Chip Set for Wireless LAN Application

伊藤 信之 石塚 慎一郎 大高 章二

ITOH Nobuyuki

ISHIZUKA Shin-ichiro

OTAKA Shoji

5 GHz 帯を用いる無線 LAN 用の RF(高周波)IC として、RF 信号を IF(中間周波数)信号に、あるいは、IF 信号を RF 信号に変換する RF IC と、IF 信号を復調しベースバンド I/Q(同相/直交)信号に、又はベースバンド I/Q 信号を変調し IF 信号に変換する IF IC とから成るチップセットを開発した。RF IC には高周波特性の良い $f_T = 45$ GHz の SiGe-BiCMOS(Silicon Germanium Bipolar Complementary Metal-Oxide Semiconductor)プロセスを用い、IF IC には精度の高い Si-Bipolar プロセスを用いることにより、チップセットにおける EVM(Error Vector Magnitude) = -32.4 dB の高性能を、受信時消費電流 41 mA、送信時消費電流 60 mA の低消費電力で実現した。

Toshiba has developed a radio frequency/intermediate frequency (RF/IF) chip set for 5 GHz-band wireless LAN application. The functionality of the RF chip consists of down- and up-conversion between an RF signal and IF signal, while that of the IF chip is demodulation and modulation between an IF signal and baseband I/Q signal. Excellent high-frequency performance was achieved by using $f_T = 45$ GHz SiGe-BiCMOS technology for the RF chip and Si-bipolar technology for the IF chip. An error vector magnitude (EVM) of -32.4 dB was obtained with 41 mA and 60 mA current consumption for receiving (RX) and transmitting (TX), respectively. This result is excellent for a 5 GHz wireless LAN chip set.

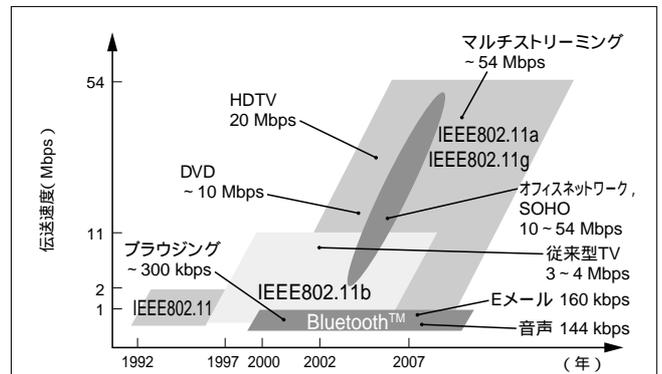
1 まえがき

近年、無線 LAN を用いたデータ伝送が身近になってきている。主に 2.4 GHz 帯の IEEE802.11b(米国電気電子技術者協会規格 802.11b)を用いたものであるが、オフィス及び家庭内の LAN はもとより無線 LAN スポットなどにおいて、Eメールやウェブブラウジングなどの目的で急速に拡大しつつある。

元来、無線 LAN の規格はオフィスなどにおける有線ネットワークの代替として考えられてきたが、IEEE802.11a/g のような 54 Mbps に及び伝送速度の高速化、あるいは伝送するコンテンツの多様化により、高品位テレビ(HDTV)や映像のマルチストリーミングといった目的にまで広がりつつある(図1)。

90年代後半の規格策定期間に、米国、欧州、日本で独自に考えられてきた 5 GHz 帯のいくつかの規格(米国: IEEE802.11a, 欧州: HiperLAN2, 日本: HiSWANa)についても、2001年ころから IEEE802.11系を中心に統一化が進んでいる。

IEEE802.11系の規格には、表1に示すようにいくつかのバージョンがあり、54 Mbps の伝送速度を得られるのは 11a 規格あるいは 11g 規格である。現在もっとも流通している規格は 11b 規格であるが、伝送速度に対する要求から、早晚 11a 規格又は 11g 規格に遷移していくものと考えられている。11a 規格の特徴は、①最大 54 Mbps の伝送速度が得られる、



SOHO : Small Office Home Office

図1 無線 LAN のアプリケーションとデータ伝送速度 - 無線 LAN 各方式の伝送速度の高速化と、伝送するコンテンツの伸長と拡大は著しい。
Wireless LAN applications and data transmission speeds

表1 無線 LAN の各無線方式と特徴

Wireless LAN specifications

周波数帯	方式	最大伝送速度	変調方式	周波数
2.4 GHz	IEEE802.11	2 Mbps	DS/FH	2,400 ~ 2,497 MHz
	IEEE802.11b	11 Mbps	DS	
	IEEE802.11g			
5 GHz	IEEE802.11a	54 Mbps	OFDM	5,150 ~ 5,350 MHz 5,725 ~ 5,825 MHz (4,900 ~ 5,000 MHz)

DS : Direct Spread system FH : Frequency Hopping system

② 変調方式は高速伝送に適したOFDM(直交周波数分割多重)を用いている,といった11b規格に対して有利な点のほかに,
 ③ 5 GHzの周波数帯を選ぶことにより,アマチュア無線,電子レンジ,コードレス電話,BluetoothTM(注1),リモコン機器などにより混雑している2.4 GHz帯よりも実効的に大きな伝送速度が得られ,11g規格に対する優位性も兼ね備えている。

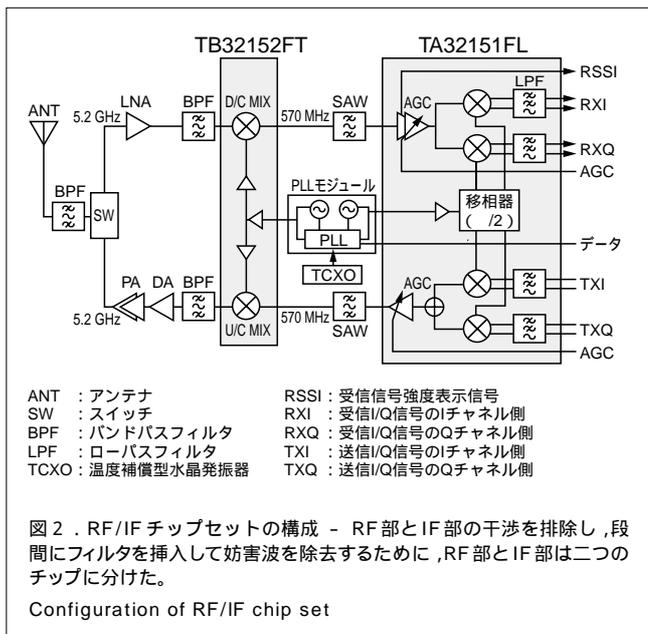
このような特徴を満足するために,RF回路は低雑音,低ひずみな特性が,IF回路は広範囲な利得可変(ダイナミックレンジ),低ひずみ,高精度な集積回路が求められる。なお,表1で示したように,11a規格の現在の周波数帯は5,150 ~ 5,350 MHz,5,725 ~ 5,825 MHzとなっているが,国内では4,900 ~ 5,000 MHzなどの周波数領域も使用できるようになった。

2 RF/IFチップの構成

2.1 システム構成

RF/IF部の構成を図2に示す。このチップセットにおいて,5 GHz帯における低雑音,低ひずみな高周波特性を要求されるRF回路と,広ダイナミックレンジ,低ひずみ,高精度を要求されるIF回路を実現するために,トランシーバ回路全体をRFチップとIFチップの二つに分けたチップセットとした。このようにすることで,RF回路とIF回路の干渉を防ぐことができると考えられる。そして,RFチップとIFチップの間にはSAW(Surface Acoustic Wave)フィルタを挿入することにより,妨害波を除去することとした。

送信・受信部の構成は,IF周波数を570 MHzとしたスー



(注1) Bluetoothは, Bluetooth SIG, Inc.の商標。

パヘテロダイン方式を用いた。前述したように,5 GHz帯の無線LANの周波数は国内において,4,900 ~ 5,000 MHz及び5,150 ~ 5,350 MHzなどであり,IF周波数自体はその領域すべてを補完できることとした。一般に,局部発振器(LO)周波数が前記周波数帯に重なると,LO信号の漏えいにより様々な妨害が起こることが考えられるため,LO周波数は上記周波数帯の外に設定しなければならない。例えばLOの周波数を f_{LO} とした場合,

$$5,350 \text{ MHz} - 4,900 \text{ MHz} = 450 \text{ MHz} < f_{LO} \quad (1)$$

を満たす必要がある。更にLO信号の高調波スプリアス,LO部の消費電力や雑音特性などを勘案し,LO周波数を決定した。

受信部及び送信部に要求される主な仕様を表2に示す。伝送速度54 Mbpsを達成するためにはEVMを-25 dB以下にする必要があり,これをI/Qの誤差として換算すると5.6%以下にする必要がある。

表2. 受信部と送信部の主な仕様
 Typical requirements for Wireless LAN transceiver

項目	仕様	
周波数	5,150 ~ 5,350 MHz	
チャンネル間隔	20 MHz	
受信部	入力電力	- 82 ~ - 30 dBm
	隣接チャンネル感度抑圧	16 dB以上
	次隣接チャンネル感度抑圧	32 dB以上
	EVM	- 25 dB以下
送信部	送信電力	- 15 ~ 16 dBm
	変調精度	- 25 dB以下
	隣接チャンネル漏えい電力	- 25 dBc以下
	EVM	- 25 dB以下

2.2 受信部

このチップセットでは,外付けの低雑音増幅器(LNA)として,利得13 dB,雑音指数(NF)3 dBのものを用いることを仮定した。表2の仕様を満たすためには,ダウンコンバージョンミキサ(D/C MIX)の利得を11 dB,NFを10 dBとする必要がある。また,入力のダイナミックレンジは64QAM(Quadrature Amplitude Modulation)時には35 dB必要であるが,BPSK(Bi-Phase Shift Keying)の場合は62 dB必要であるため,集積回路上のAGC(自動利得制御)としては,マージンなどを考えあわせて70 dBのダイナミックレンジが必要となった。また,マージンなどを考慮したI/Qの位相誤差を, $\pm 2^\circ$ 以内とする必要がある。

2.3 送信部

このチップセットを用いたときの外付けPA(Power Amplifier),DA(Driver Amplifier)の総合利得として36 dBのものを用いることを仮定した。表2の仕様を満たすために,

アップコンバージョンミキサ U/C MIX の利得を 8 dB とした。送信のダイナミックレンジが約 31 dB 必要であるため、集積回路上の AGC としては、マージンなどを考えあわせて 40 dB のダイナミックレンジとした。また、マージンを考慮した I/Q の位相誤差として、受信部と同様に $\pm 2^\circ$ 以内とする必要がある。更に、表 2 の EVM から計算されたローカルリークは -25 dBc 以下としなければならない。

3 製品概要

3.1 TB32152FT (RF IC)

TB32152FT は前記の仕様に沿って設計された、D/C MIX と U/C MIX から成る集積回路である。5 GHz という高周波において前記の特性を満たすために、ミキサ本体は寄生素子の影響を軽減できる平衡型ミキサ(ダブルバランストミキサ)の構成を採用した。使用したプロセスは npn トランジスタとしての f_T (カットオフ周波数) = 45 GHz を持つ 0.6 μm ルールの SiGe BiCMOS プロセスである。このプロセスでは、nnpn 及び pnp のバイポーラトランジスタ、CMOS、抵抗、MIM (Metal Insulator Metal) コンデンサ、内蔵スパイラルコイルなどを形成することが可能である。また使用したパッケージは薄型の TQON (Thin Quad Outline Non-leaded) パッケージである。

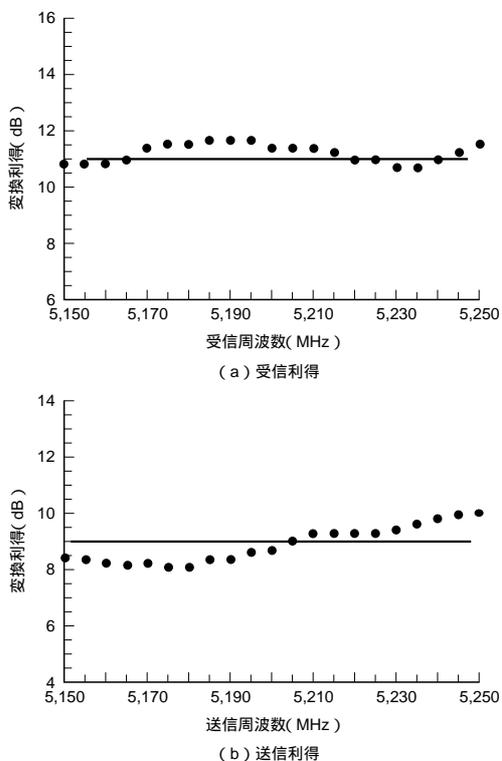


図 3 . TB32152FT の受信利得と送信利得 - 受信利得が約 11 dB , 送信利得が約 9 dB と目標どおりの特性が得られた。
RX and TX gain of TB32152FT chip

ジである。

図 3 に受信側利得の受信周波数依存性 (a) と送信側利得の送信周波数依存性 (b) を示した。5,150 ~ 5,250 MHz において、受信利得が約 11 dB , 送信利得が約 9 dB と、目標どおりの特性を得られていることが確認できた。また、受信側の NF , IIP3 (Input-referred third-order Intercept Point) は、それぞれ 10 dB , -6.4 dBm , 送信側の NF , OIP3 (Output-referred third-order Intercept Point) は、それぞれ 7.3 dB , 6.8 dBm を得ることができた。これらの特性は、仕様を満たすものである。

消費電流は、電源電圧 2.8 V において、受信時が 9 mA , 送信時が 24 mA であり、低消費電力を実現できた。TB32152FT のチップを図 4 に示す。

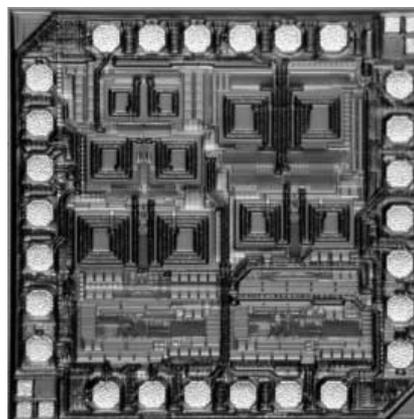


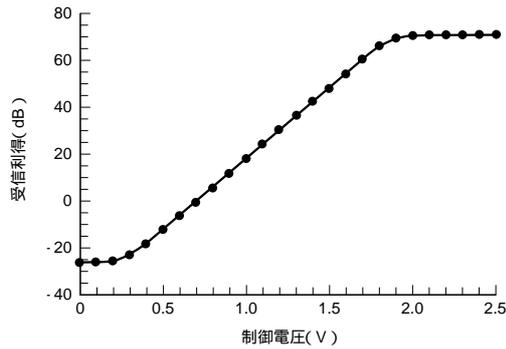
図 4 . TB32152FT のチップ写真 - ダウンコンバージョンミキサとアップコンバージョンミキサから成る 0.6 μm ルールの RF IC である。
Die photograph of TB32152FT chip

3.2 TA32151FL (IF IC)

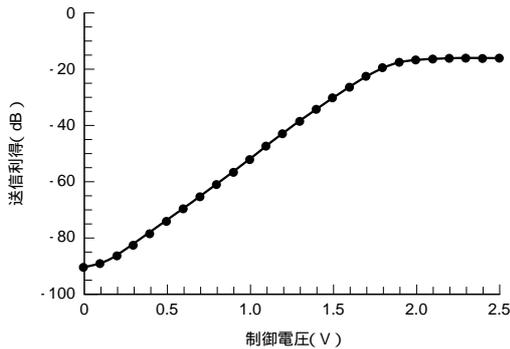
TA32151FL は、受信 AGC 増幅器と I/Q 復調器、送信 AGC 増幅器と I/Q 変調器、更に外部 LO 入力から 570 MHz の LO 周波数を生成する分周器により構成している。

LO 周波数を IC 内部で 2 分周したのは、パッケージ、シリコン基板などの寄生素子によるローカルリークを防ぐための一手段である。プロセスは、nnpn トランジスタとしての $f_T = 10$ GHz の Si-Bipolar プロセスを用いた。パッケージは薄型の 36 ピン QON パッケージを用いた。受信側 AGC 増幅器と送信側 AGC 増幅器の制御電圧-利得特性を図 5 に示す。受信側の AGC 増幅器では約 -10 ~ 60 dB の間で制御電圧に対して線形の特性を示しており、ダイナミックレンジとして 70 dB を得ることができた。一方、送信側 AGC 増幅器では、約 -75 ~ -35 dB の間で制御電圧に対して線形の特性を示しており、40 dB のダイナミックレンジを得ることができた。

受信側、送信側の I/Q 信号の位相誤差の IF 周波数依存性を図 6 に示す。受信側及び送信側ともに、位相誤差 $\pm 2^\circ$ を



(a) 受信AGC増幅器



(b) 送信AGC増幅器

図5 . TA32151FLの受信AGC増幅器と送信AGC増幅器における利得の制御電圧依存性 - 受信AGC増幅器で70dB, 送信AGC増幅器で40dBのダイナミックレンジが得られた。

RX and TX automatic gain control characteristics of TB32151FL chip as function of control voltage

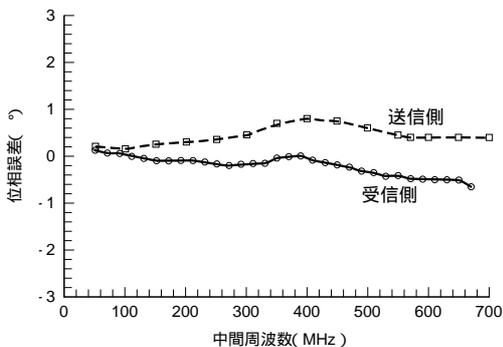


図6 . TA32151FLのI/Qチャンネルの位相誤差 - TA32151FLのIチャンネルの位相とQチャンネルの位相の差(位相誤差)を受信側, 送信側について測定したデータで, 位相誤差 $\pm 2^\circ$ を十分満たしている。

Phase error between I/Q channels of TB32151FL chip

十分に満たすことが確認された。

また, ローカルリークも -30 dBc 以下であることを確認することができた。

3.3 無線部全体特性

TB32152FTとTA32151FLの両チップに, 外付けのPLL-VCO (Phase Locked Loop - Voltage Controlled Oscillator), LNA,

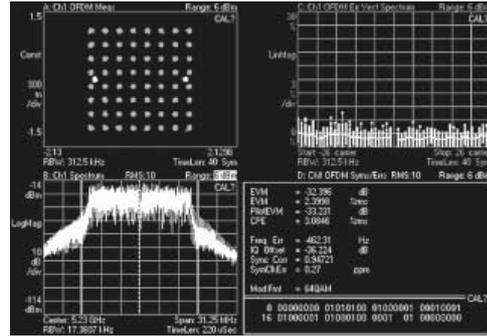


図7 . RF/IFチップセットの全体特性 - 両ICを用いたトランシーバ特性を示しており, コンスタレーション(左上), スペクトラム(左下), エラーベクトル(右上)ともに良好な結果を得た。

Overall radio function characteristics

PAなどを接続し, 無線部全体の特性を評価した。その結果, 図7に示すように良好なコンスタレーション特性を得ることができ, EVMとしては -32.4 dBを得た。この結果は, 表2に示した54 Mbpsの伝送を行うための必要条件を上回る良好な結果であり, このチップセットの無線LANへの適用が十分に可能であることを示している。なお, チップセットの消費電流は受信時41 mA, 送信時60 mAであった。

4 あとがき

5 GHz帯の無線LANに適用するRF/IF ICとして, TB32152FTとTA32151FLのチップセットを開発した。両ICとも仕様どおりの良好な特性を得ることができ, 無線LAN用のチップセットとして今後の活用が期待される。

現在RF ICとして, IEEE802.11a/b/gに対応したRFフロントエンド部及びPLL-VCO部を集積化したTB32153を開発中である。この集積回路を用いることにより, 更なるシステムの集積化, 小型化に寄与することが可能と考えられる。



伊藤 信之 ITOH Nobuyuki

semiconductor社 システムLSI事業部 アナログペリフェラル統括部参事。RF LSIの開発に従事。電子情報通信学会, IEEE 会員。

System LSI Div.



石塚 慎一郎 ISHIZUKA Shin-ichiro

semiconductor社 システムLSI事業部 アナログペリフェラル統括部主務。RF LSIの開発に従事。電子情報通信学会 会員。

System LSI Div.



大高 章二 OTAKA Shoji, D.Eng.

研究開発センター モバイル通信ラボラトリー主任研究員, 工博。無線アナログICの研究開発に従事。電子情報通信学会 会員。

Mobile Communication Lab.