

Bluetooth^(†)と無線LANの車載用コンボチップ

Bluetooth^(†) and Wireless LAN Combo Chips for Automotive Applications

小藤 剛 堀崎 耕司 藤本 竜一

■ KOTO Tsuyoshi ■ HORISAKI Koji ■ FUJIMOTO Ryuichi

従来、自動車内における無線通信といえば携帯電話やスマートフォンのハンズフリーに用いるBluetooth^(†)が主流となっていたが、近年、高速データ通信や、クラウドサービスとのスマートフォン連携などで無線LANの需要も増えてきている。

東芝は、デジタル歪み(ひずみ)補償技術や、送信キャリブレーション技術、5 GHz低雑音増幅器など、車載用に独自の回路技術を使用したBluetooth^(†)と無線LANのコンボチップ(統合型チップ) TC35662IXBGを開発した。このチップは、自動車内での様々なアプリケーションやユースケースにおいて快適な環境を提供できる。

Bluetooth^(†) has traditionally been the mainstream technology for onboard automotive wireless communication systems to realize hands-free mobile phone operation. Recently, however, the demand for onboard wireless LAN systems has increased to provide high-speed data communication capability and access to cloud services via smartphone.

Toshiba has developed automotive-grade combo chips for Bluetooth^(†) and wireless LAN employing proprietary technologies such as digital predistortion (DPD) and transmitter calibration as well as low-noise amplifier capability in the 5 GHz band, to meet the demand for various onboard communication requirements.

1 まえがき

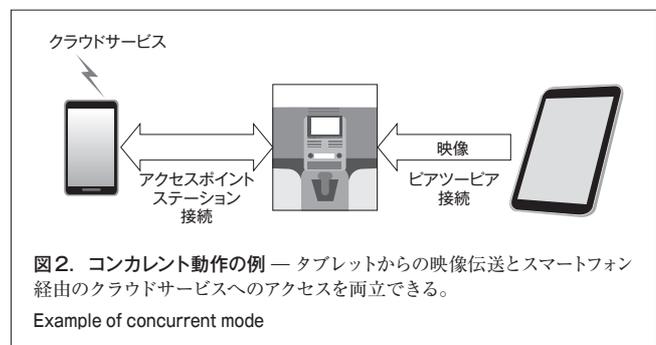
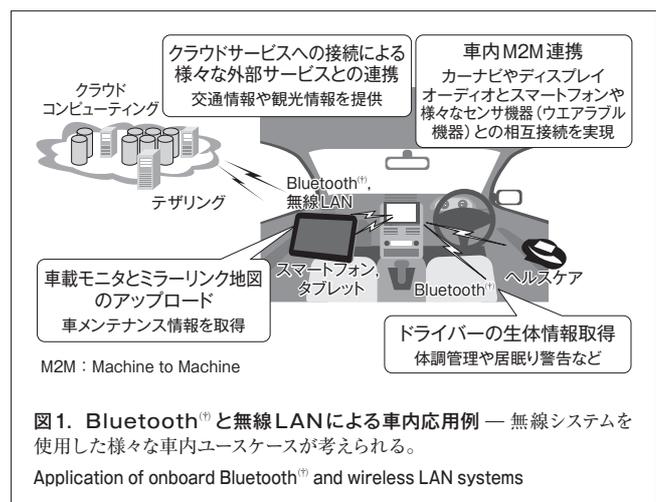
ハンズフリー通話や音楽ストリーミング再生など、Bluetooth^(†)規格の無線車載アプリケーションが広く普及しているが、近年スマートフォンの普及により、更なる高速データ通信として無線LANの需要が高まってきている。

スマートフォンと連携したアプリケーションでは、スマートフォンにあるテザリング機能^(注1)を利用し、カーナビなどの車載機器がスマートフォンを経由してクラウドサービスとつながり、様々な情報を授受したりスマートフォン内にあるコンテンツを車載モニタに転送(動画再生)したりするなど、様々な使われ方が想定されている(図1)。

Bluetooth^(†)と無線LANのコンボチップは、このような自動車内での様々なユースケースにおいて、Bluetooth^(†)と無線LANの同時動作を実現し、快適な環境を提供することができる。例えば、車内でBluetooth^(†)機能でハンズフリー通話しながら、無線LAN規格でテザリングしてクラウドサービスから情報を取り出すなど、応用範囲は広がっていく。

また、タブレット内にある映像コンテンツを車載モニタに伝送しながら、スマートフォンを経由してクラウドサービスにアクセスするような利用シーンでは、タブレットとの間のピアツーピア接続と、スマートフォンとの間のアクセスポイントステーション型の接続を同時に維持する必要がある(図2)。このような動作はコンカレント動作と呼ばれ、一つのハードウェアが二つ

(注1) スマートフォンなどをモデムとして用いて、パソコンなどをインターネットに接続させる機能。



の接続を時分割に制御して実現することができると、実用性が高い。

2 コンボチップ TC35662IXBG の特長

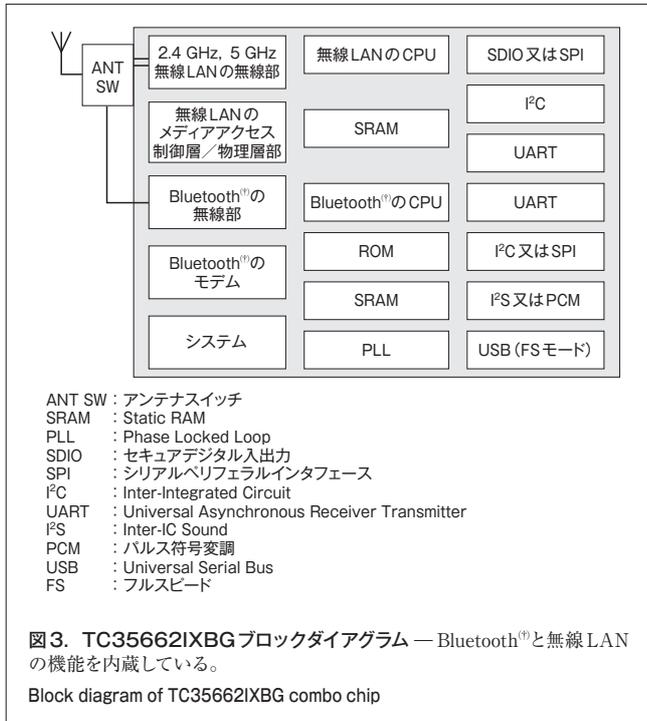
前述した背景のなかで、東芝は車載用 Bluetooth[®] と無線 LAN のコンボチップ TC35662IXBG を開発した。TC35662IXBG のブロックダイアグラムを **図3** に示す。

Bluetooth[®] チップでの高い信頼性を備えた車載用製品として実績があり、接続互換性及び受信感度などの面で優れた性能と高周波特性を特長として持っている。

以下に、無線 LAN 部と Bluetooth[®] 部それぞれの機能の特長を示す。

- (1) 無線 LAN 部機能
 - (a) 2.4 GHz と 5 GHz の Dual Band に対応 (SISO (Single-input Single-output))
 - (b) IEEE 802.11a/b/g/n (電気電子技術者協会規格 802.11a/b/g/n) に準拠
 - (c) 40 MHz 帯域に対応 (最大転送速度 = 150 Mビット/s)
 - (d) 2.4 GHz 電力増幅器を内蔵
- (2) Bluetooth[®] 部機能
 - (a) Bluetooth[®] Smart Ready^(注2) に対応
 - (b) Bluetooth[®] V4.0 に準拠
 - (c) EDR (Enhanced Data Rate) と LE (Low Energy) の Dual Mode をサポート

また、前述のピアツーピア接続とアクセスポイントステーション接続の二つの接続を制御する際のソフトウェア処理を軽減するハードウェアを備えており、効率よくコンカレント動作を



(注2) Bluetooth[®] の極低電力で動作する規格 LE に対応すること。

実現できる。

このチップで採用した主な独自技術として、無線 LAN について以下に述べる。

3 アナログデジタル協調設計技術

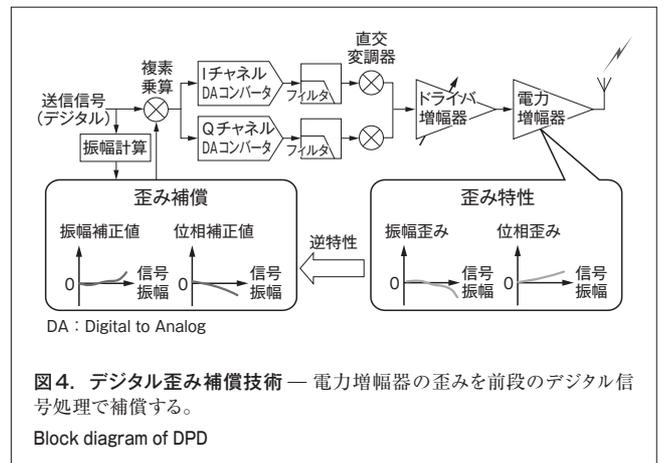
3.1 デジタル歪み補償技術

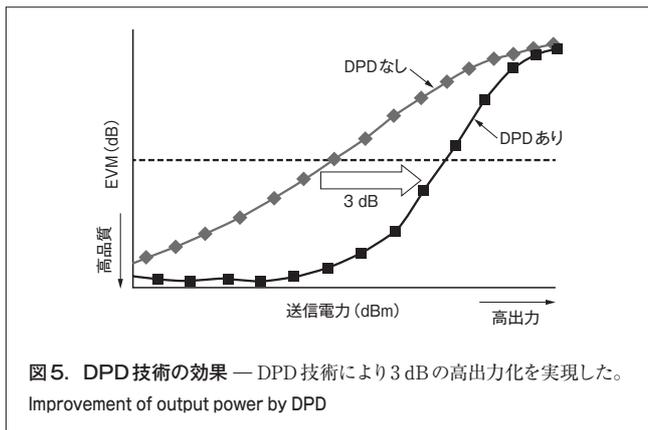
IEEE 802.11a/g/n などの無線 LAN 規格では、複数のサブキャリアを用いて並列にデータ伝送を行う OFDM (直交周波数分割多重) 変調方式が採用されている。OFDM 変調方式は、空間伝搬における反射波による受信性能の劣化を排除しやすいという特長があるが、複数のサブキャリアを重ね合わせた信号波形であるため、平均信号レベルに対するピーク信号レベル (PAPR : Peak to Average Power Ratio) が増大する。OFDM 信号を線形性の低い電力増幅器を用いて送信した場合、不要な漏えい電波が発生するほか、送信信号の品質が劣化するため、送信機の電力増幅器には高い線形性が要求される。

無線 LAN 規格では、送信信号の品質を EVM (Error Vector Magnitude) と呼ばれる指標で規定するが、IEEE 802.11a/g 規格では EVM < -25 dB を要求しているのに対し、IEEE 802.11n 規格では EVM < -27 dB と 35 % 以上厳しい要求があり、新しい規格ほど高い信号品質が求められる傾向がある。

一方、デジタル回路との混載には CMOS (相補型金属酸化膜半導体) プロセスを用いる必要があるが、電力増幅器の線形性を高めることは困難である。そこで、電力増幅器自体の歪みは許容しながら、デジタル信号処理により電力増幅器の歪みの逆特性を与えることで出力信号の歪みを抑える DPD (Digital Pre-Distortion) 技術 (**図4**) を実装し、CMOS プロセスによる電力増幅器 (2.4 GHz 帯) の混載を可能にしている。

電力増幅器の歪み特性には、振幅歪みと位相歪みがあり、それらは信号振幅により異なるため、信号振幅ごとにそれぞれの歪み特性を取得し、逆特性 (補正值) を用意しておく。送信時には、信号振幅を測定して補正值を決定し、信号に対し



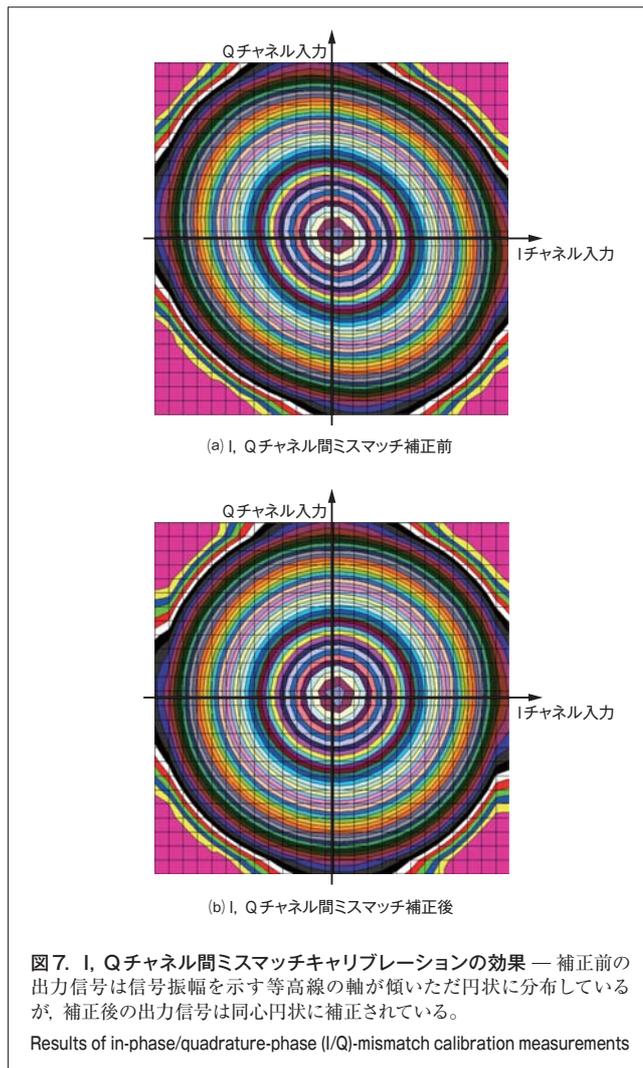
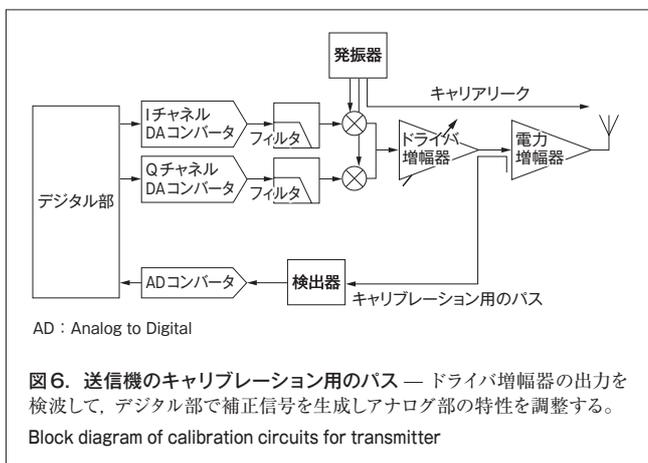


て複素乗算を行うことで電力増幅器出力信号の歪みを補償する。一般に、出力が高いほど、歪み特性の影響による送信信号品質の劣化が大きくなる傾向があるが、DPDM技術により劣化が抑えられ、所定の送信信号品質を確保しながら、3 dB、2倍の高出力化(図5)を実現し、外付けの電力増幅器(2.4 GHz帯)を不要にしている。今後は、産業機器向けなどの分野で培われた歪み補償技術^{(1), (2)}を無線LANに応用することで、いっそうの高品質化と高効率化を実現していく。

3.2 送信キャリアレベリング技術

CMOSプロセスの微細化が進むと、それに伴い素子のばらつきが大きくなることが知られており、無線LANで要求される信号振幅特性を満たすために各種のキャリアレベリング技術が採用されている⁽³⁾。TC35662IXBGにも様々なキャリアレベリング技術を搭載しているが、ここでは送信機のキャリアリーク補正とチャンネル間ミスマッチ補正のためのキャリアレベリング機能の概要を説明する。

キャリアリークは、図6に示すように発振器で生成されたキャリア信号がLSIの外部に漏れいするものであり、無線LANの規格で規定されたリーク量以下に抑制する必要がある。システム的には回路で使われている素子特性が完全にマッチングしていればキャリアリークは発生しないが、実際の



集積回路内部では用いる素子にミスマッチがあるため、キャリアリークが問題となる。

TC35662IXBGの送信機では図6に示すように、IチャンネルとQチャンネルの二つの送信チャンネルを持っており、これら二つのチャンネルの信号が合成されたドライバ増幅器の出力信号を検出するキャリアレベリング用のパスを内蔵している。このキャリアレベリング用のパスを用いて、アナログ部の特性を調整することによりキャリアリーク補正を実現している。具体的には、Iチャンネル及びQチャンネル用の基準信号をデジタル部で生成し、ドライバ増幅器の出力信号を検出することにより、チャンネルごとにデジタル部から補正信号を供給している。

送信機において良好なEVMを達成するためには、IチャンネルとQチャンネル間の振幅誤差と位相誤差は非常に小さく抑える必要があり、ここにもキャリアレベリング機能を活用している。キャリアリーク補正の場合と同様に、図6のドライバ増幅器の出力信号を検出するキャリアレベリングパスを用いている。I, Qチャンネル間ミスマッチ補正の場合も、デジタル部で生成する振幅誤差及び位相誤差補正用の基準信号との比較により、ド

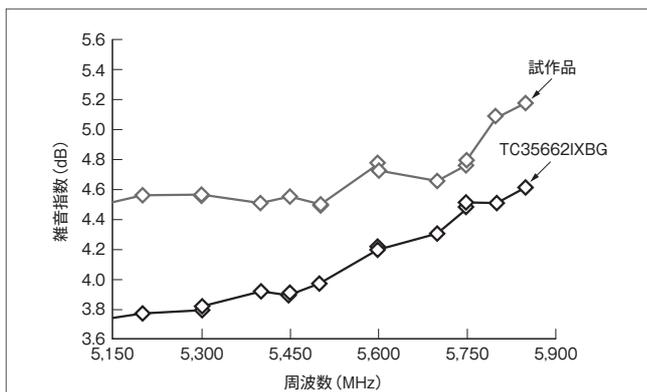


図8. 5 GHz帯受信機の雑音特性 — TC35662IXBGは、試作品に対して様々な特性劣化要因を対策することにより雑音特性が改善した。
Results of noise figure measurements for 5 GHz-band receiver

ライブ増幅器の出力信号を検出し、デジタル信号を調整することにより振幅誤差と位相誤差を補正している。

キャリアレーション前後のI、Qチャンネル間ミスマッチのようすを図7に示す。図7(a)はチャンネル間ミスマッチ補正前のI、Qチャンネルの出力信号のようすであり、縦軸がQチャンネル、横軸がIチャンネルの入力信号振幅を示している。図中の各ます目は出力信号振幅によって色分けしており、同じ出力信号振幅である同じ色の等高線を見ると、軸が傾いただ円形になっていることがわかる。ここで軸が傾いていることはI、Qチャンネル信号間に位相誤差があることを示しており、だ円形になっていることはI、Qチャンネル信号間に振幅誤差があることを示している。これに対し、図7(b)に示すキャリアレーション後の結果では、出力信号の等高線は同心円になっており、I、Qの振幅誤差及び位相誤差が正しく補正されていることがわかる。

3.3 5 GHz帯低雑音増幅器

5 GHz帯の低雑音増幅器 (LNA) や電力増幅器をICに内蔵した場合、LSI内部の部品の性能制約などにより、良好な特性を実現することが難しく、外付けのLNAや電力増幅器を用いることも多い。一方、システム全体の小型化や低コスト化を実現するためには、外付け部品を削減することが求められる。TC35662IXBGでは、LNAは集積回路内に内蔵することとしたが、無線LANの5 GHz帯は用いる周波数帯域が5.18 GHzから5.845 GHzまでと広いため、この周波数帯域を複数に分割し、分割したそれぞれの周波数帯域ごとに良好な特性を実現するようにLNAの設定をデジタル回路から制御している。

LNAにおける重要な特性は、利得、雑音、及び歪みの三つであるが、中でもLNAの雑音特性は受信機全体の感度に大きく影響する重要な指標である。TC35662IXBG及び試作品の5 GHz帯受信機の雑音特性を図8に示す。TC35662IXBGでは受信機の感度を改善するため、受信機のシステム設計を調整するとともに、LNAの雑音特性の改善に取り組んだ。

一般にLNAは、レイアウトやパッケージに起因する抵抗や、インダクタンス、静電容量といった寄生素子の影響を受けやすく、設計段階で正確な雑音特性を見積もることが困難な回路ブロックの一つである。今回は、レイアウトに起因する寄生素子を広範囲にわたって抽出するとともに、パッケージに起因する寄生素子を電磁界解析でモデリングすることにより、設計段階でLNAの特性を見積もる精度を向上させた。このような精度の高い設計環境を構築したうえで、LNAの雑音特性を劣化させる複数の要因を特定し、個別にレイアウト修正を実施することにより、TC35662IXBGではLNA及び受信機全体の雑音特性を改善している。

4 あとがき

近年の様々な無線システムの普及に伴って、車載用機器にもBluetooth[®]や無線LANなど様々な無線システムの需要が高まっている。今後、更なる高速無線技術が規格化されており、タイムリーな開発を行い、高性能で高品質かつ高効率な製品を車載市場へ投入していく。

文 献

- (1) 東芝. “高効率電力増幅器システム”. 東芝ホームページ. <http://www.toshiba.co.jp/rdc/detail/10_p06.htm>, (参照 2014-07-17).
- (2) 東芝. “東京スカイツリー[®]向け 地上デジタル放送用送信機のメモリ歪補償技術”. 東芝ホームページ. <http://www.toshiba.co.jp/rdc/detail/11_t08.htm>, (参照 2014-07-17).
- (3) Behzad, A. et al. A Fully Integrated MIMO Multiband Direct Conversion CMOS Transceiver for WLAN Applications (802.11n). IEEE J. Solid-State Circuits. 42, 12, 2007, p.2795 – 2808.

• Bluetooth[®]ワードマーク及びロゴは、Bluetooth SIG, Inc.の登録商標。



小藤 剛 KOTO Tsuyoshi

セミコンダクター&ストレージ社 ミックスドシグナルIC事業部 ミックスドシグナルIC応用技術部参事。無線通信用LSIの商品企画及び開発に従事。
Mixed Signal IC Div.



堀崎 耕司 HORISAKI Koji

セミコンダクター&ストレージ社 半導体研究開発センター 先端ワイヤレス・アナログ技術開発部主査。無線通信用LSIの研究・開発に従事。
Center for Semiconductor Research & Development



藤本 竜一 FUJIMOTO Ryuichi, D.Eng.

セミコンダクター&ストレージ社 半導体研究開発センター 先端ワイヤレス・アナログ技術開発部主幹、博士(工学)。無線通信機器向けアナログLSIの研究・開発に従事。
Center for Semiconductor Research & Development