

ファイルのモビリティを高めるミリ波無線通信技術

High-Speed File Transfer Based on Millimeter-Wave Wireless Communication Technologies to Enhance File Mobility

瀬戸 一郎 笠見 英男 坂 耕一郎

■ SETO Ichiro

■ KASAMI Hideo

■ BAN Koichiro

デジタル機器の進展とともに、動画や高精細画像のファイルを含む大容量コンテンツを手にする機会が増え、それらを転送するための高速通信インターフェースとして、ミリ波無線通信システムが期待されている。ミリ波無線が市場へ普及し浸透していくためには、微細化CMOS（相補型金属酸化膜半導体）プロセスを用いたトランシーバICの実現が鍵となる。

東芝は、CMOSプロセスによるアナログ回路や、機器実装を容易にするパッケージ内蔵アンテナに加え、機器の筐体（きょうたい）で発生する電波反射の影響を回避する変復調・符号方式も含めた、ミリ波無線通信技術の研究開発を進めている。これらの技術が開発されると、モバイル用途も含めたデジタル機器への内蔵が容易で、1 Gビット/s超の高速伝送速度を提供可能なトランシーバICを実現できる。

With increasing opportunities to handle large volumes of video contents and high-definition (HD) picture files on constantly evolving digital consumer electronics (CE) products, millimeter-wave (mmw) communication systems using the 60 GHz frequency band are expected to serve as a high-speed wireless interface for transferring such data between individual CE products. To further expand the market for mmw communication systems, the realization of a mmw transceiver integrated circuit (IC) using an advanced complementary metal-oxide semiconductor (CMOS) process technology is required.

Toshiba has been engaged in research and development of mmw wireless communication technologies, including built-in antennas that can be easily mounted in CE products, as well as mw-band analog circuits and analog-to-digital converter circuits using CMOS process technology, in addition to communication schemes and protocols to reduce the radio reflection effects of CE product housings. Through these technologies, we are aiming to realize an easily implementable mmw CMOS transceiver IC with a high transmission rate exceeding 1 gigabit per second (Gbps) for various types of CE products including mobile phones, digital cameras, and so on.

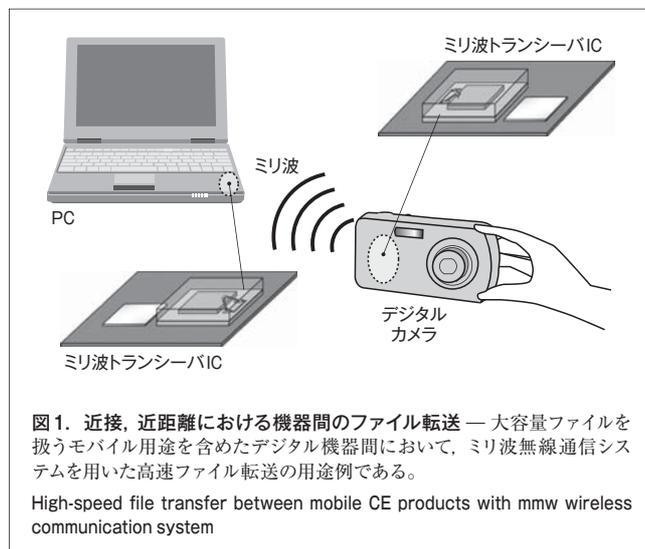
1 まえがき

デジタル機器の高機能化が著しく進展しており、高精細な動画や写真などの大容量ファイルを誰でも手にできるようになってきた。これらファイルのモビリティ（持ち運びやすさ）を高めるためには、機器間での簡単なファイル転送が重要である。そのため的高速転送インターフェースとして、60 GHz帯のミリ波無線通信技術が世界中で注目されている。

60 GHz帯という帯域には、次のような特徴がある。

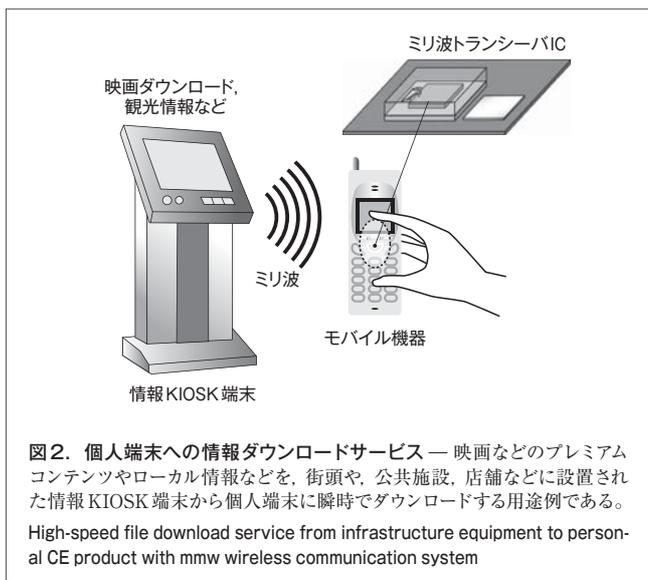
- (1) 通信免許が不要 2 GHzを超えるチャンネル帯域が世界中どこでも通信免許不要で開放されている
- (2) 高速化に最適 普及している無線LANの100倍に相当する周波数資源があり、伝送速度1 Gビット/sを超える高速化に適している
- (3) 秘匿性が高い 直進性が強く伝搬損失が大きいため遮蔽物や壁を越えないという特徴があり、数cm～数十cmの近接・近距離通信において、漏えいがない高秘匿性の無線インターフェースとなる

高速インターフェースの需要が高い用途として、近接、近距離に配置されたパソコン（PC）とデジタルカメラなどデジタル機器どうしのファイル交換（図1）に加え、映画及びローカルの観



光やショッピングの動画コンテンツをインフラからモバイル機器に取り出す“情報KIOSK”（図2）が期待されている。

このような用途において無線通信を実現するトランシーバICに要求される条件としては、量産に適したプロセスで製造されること、実装面積が小さいこと、及びバッテリー駆動機器にも内蔵可能な低消費電力であること、などが挙げられる。



更に、機器どうしが近接、近距離の範囲内であっても、波長が短いミリ波には、機器の筐体がマイクロ波における屋内と同じ伝搬環境となり、筐体内外で電波反射が発生する。この反射は、電波どうしが干渉し合って信号帯域内で受信電力密度がばらつく原因となり、伝送特性を劣化させる。デジタル機器の筐体や内部には反射を強める金属が含まれることが多いため、厳しい反射環境下においても伝送の誤り率特性が劣化しない耐性を備えた通信技術が要求される。

2 ミリ波無線通信技術の研究開発

図1、図2の用途例で使われる無線通信の需要と無線通信技術への要求を踏まえ、東芝は、CMOSプロセスによるミリ波回路設計、実装面積の小さいアンテナ、及び反射耐性のある変復調・符号方式に着目して、研究開発を進めている。

2.1 微細化CMOSプロセス

国際半導体技術ロードマップ (ITRS)⁽¹⁾によるアナログ回路向けトランジスタの遮断周波数 (f_T)^(注1)の推移によれば、2010年以降、微細化CMOSプロセスで形成された回路の f_T 特性は200 GHzを超えてきた。これにより、CMOSプロセスによるミリ波アナログ回路の設計が可能となる^{(2), (3)}。この微細化CMOSプロセスは、高速デジタル信号処理を必要とするアナログ デジタル変換回路 (ADC)⁽⁴⁾や通信変復調回路においても、低消費電力化を促進させる。

現在、無線 LAN や無線 PAN (Personal Area Network) の多くが量産に適した CMOS プロセスによる IC で実現されており、微細化技術の進展により、ミリ波無線通信システムでも、CMOS プロセスによるトランシーバ IC の実現が見えてきた。

(注1) 電流利得が1となる周波数。

2.2 ICパッケージ内蔵アンテナ

60 GHzは波長が5 mmと短く、アンテナがICパッケージに内蔵可能なサイズとなる。当社は、通常のCMOSプロセスで製造が可能なボンディングワイヤを用いたアンテナの開発を進めている⁽⁵⁾。アンテナを内蔵できれば、ICを機器に実装する際、ICからミリ波信号を基板に取り出す必要がなく、ミリ波帯の基板配線が必要なくなり、実装面積を小さく抑えられる。また、実装基板は無線LANなどのトランシーバICと同等の樹脂でよく、ミリ波特有の厳しい実装上の制約が生じない。

2.3 変復調・符号方式

ミリ波無線通信技術の標準化は、現在、IEEE (電気電子技術者協会) や企業間のコンソーシアムで様々な議論されている。変復調・符号方式はシングルキャリアとマルチキャリアに大別されるが、ここでは、マルチパスに耐性があるマルチキャリアとしてOFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) について述べる⁽⁶⁾。

OFDM方式の信号処理部の主要パラメータを表1に示す。近接・近距離通信を想定したマルチパス環境下においても高速伝送が可能なパラメータを採用している。更に、OFDMで必要な高速フーリエ変換 (FFT) のポイント数を64としてデジタル回路規模の増加を抑えており、低消費電力化にも適した構成が特徴である。変復調・符号方式を支える誤り訂正符号 (MCS) には2種類を想定し、各伝送速度は2.61 Gビット/sと1.74 Gビット/sになる。この方式は、バッテリー駆動機器への内蔵を可能とする低消費電力特性を持ち、筐体内外のマルチパス条件にも耐性があり、1 Gビット/sを超える高速伝送が可能である。

2.4 ミリ波トランシーバICの構成

パッケージに内蔵されたアンテナを含め、CMOSプロセスによるアナログ回路、ADC、及びOFDM方式を処理するデジタル回路がワンチップで構成される (図3)。IC上の給電箇所とIC内部の基板をつなぐループ状になったボンディングワイヤと

表1. OFDM方式の信号処理部の主要パラメータ

Parameters of signal processor using orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) method

項目	仕様・パラメータ
通信方式	OFDM
サンプリング周波数	2.8 GHz
FFTポイント	64
データサブキャリア数	48
GIポイント	8
変調方式	QPSK
外符号	リードソロモン
内符号	畳込み符号 (拘束長=3) MCS1: 符号化率3/4 MCS2: 符号化率1/2
フレームサイズ	1,058 バイト
伝送速度	MCS1: 2.61 Gビット/s MCS2: 1.74 Gビット/s

GI: Guard Interval QPSK: Quadrature Phase-Shift Keying

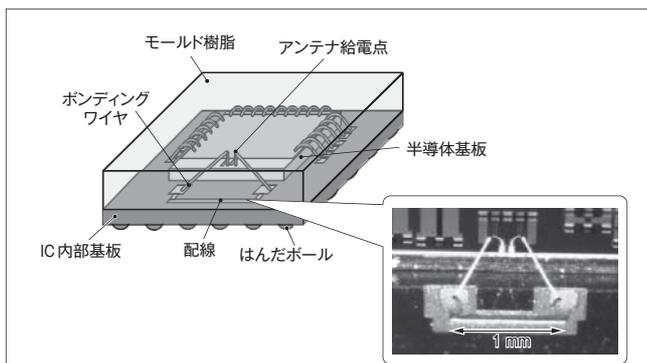


図3. ミリ波トランシーバICの構成 — パッケージに内蔵されるアンテナ、ミリ波アナログ回路、ミックスドシグナル回路、及び無線通信信号処理部のデジタル回路を含めたオールインワンチップの構成である。
Internal structure of mmw wireless transceiver IC

配線がアンテナの機能を果たす。

3 機器内蔵時のミリ波無線通信特性

機器間でファイルを転送するには、例えば、モバイル端末を手を持ってノートPCに近づけながら、あるいは、ノートPCの横に置いて通信させることが想定される。そのため、ユーザーの利便性を考慮すると、数cm～数十cmの近接・近距離エリア内で、どのような場所からでも高速で安定して通信できることが重要となる。ここでは、100 mm四方の近接・近距離エリア内で、ミリ波トランシーバICを機器に内蔵した際の電波反射の影響と、OFDM方式の反射耐性について述べる。

3.1 実験による伝搬特性の評価

ミリ波トランシーバICを機器に内蔵した際の電波反射の影響を見るために、図4の実験環境で伝搬特性を評価した⁽⁷⁾。ICパッケージ内蔵アンテナを含む60 GHz帯のアナログ回路ICを実装した基板を、デジタルカメラとノートPCに内蔵してミリ波信号を出力させ、2 GHzの受信帯域における電力分散を測定した。受信側のノートPCは固定し、送信側のデジタルカメラを100 mm四方で移動させた各位置で測定を行った。今回、送信側のデジタルカメラは金属製の筐体、受信側のノートPCはプラスチック製の筐体である。

帯域内における電力密度のばらつきを示す電力密度の分散を測定した結果を図5に示す。比較のためアナログ回路ICの実装基板を筐体に内蔵しない場合では、帯域内の電力密度の分散はほとんどが1 dB以下と小さい。しかし、基板を筐体に内蔵した場合、電力密度の分散が5 dB以上となるエリアも増えて、著しく大きくなっている。これは、金属筐体で反射が発生した影響である。

3.2 数値計算による誤り率特性の評価

OFDM方式の反射耐性を見るために、100 mm四方内の伝搬エリアを区域化した各位置でのフレーム誤り率 (FER) 特性

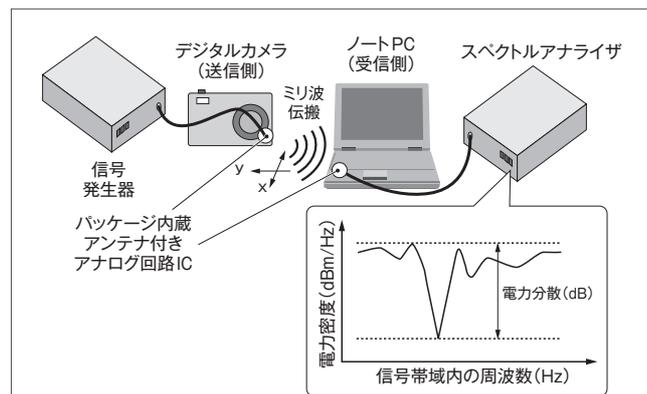


図4. IC内蔵機器のミリ波伝搬特性評価環境 — ボンディングワイヤアンテナとアナログ回路で構成されたICをデジタルカメラやノートPCに内蔵し、ミリ波信号を送信及び受信して、2 GHz 超の信号帯域内における電力密度の分散を評価する実験システムの構成で、ミリ波が筐体で反射することにより顕在化する信号帯域内の電力密度の分散を測定する。

Experimental setup to evaluate propagation characteristics including multipath effects through CE product housings

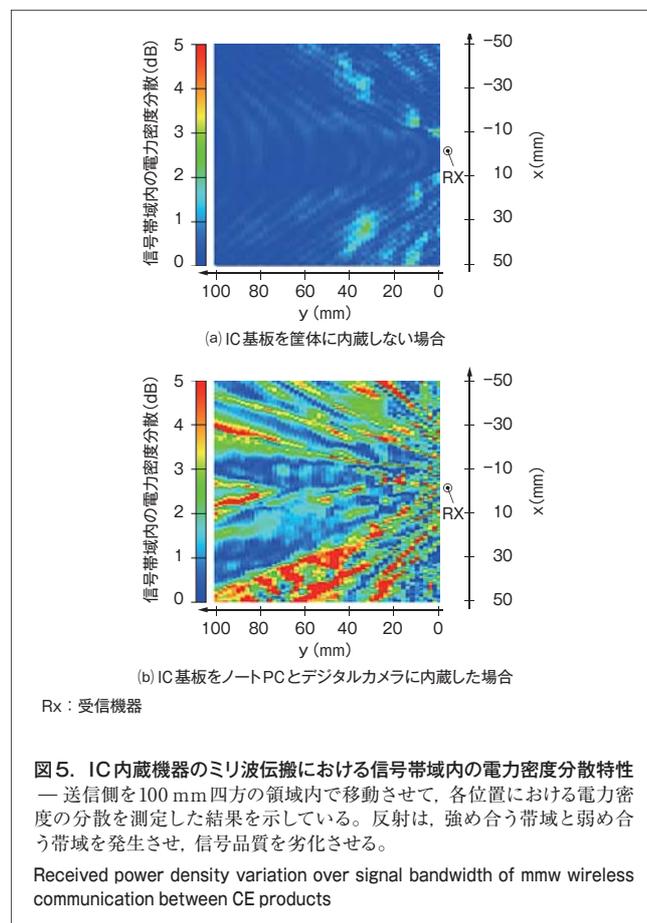


図5. IC内蔵機器のミリ波伝搬における信号帯域内の電力密度分散特性 — 送信側を100 mm四方の領域内で移動させて、各位置における電力密度の分散を測定した結果を示している。反射は、強め合う帯域と弱め合う帯域を発生させ、信号品質を劣化させる。

Received power density variation over signal bandwidth of mmw wireless communication between CE products

を数値計算で評価した⁽⁶⁾。表1のパラメータを用いて計算した結果を図6に示す。一般的な伝送品質の目安として、FERが1%以下であれば最高伝送速度が可能であり、10%以上になると伝送速度が著しく劣化する。この方式では電力密度の分散が大きい場合、MCS 1においてはFERが10%を上回る区

域も散在するが、MCS2においてはFER特性が改善されていることがわかる。

デジタルカメラとノートPCに基板を内蔵した場合と内蔵しなかった場合につき、FERが1%以下となる区域の割合(場所率)を表2に示す。これにより、この方式では、金属筐体の機器における反射環境下においても、85%以上の場所率でMCSの最高伝送速度が可能であり、MCSを調整することにより、99%以上の場所率で反射の影響をほぼ回避できることがわかった。

以上のような場所率の向上と1Gビット/sを超える伝送速度は、機器を近接、近距離に配置すれば瞬時にファイル交換を可能にする。また、ここで述べた変復調・符号方式は高い反射耐性を備えているため、金属の有無に影響されずにICを機器に内蔵することが容易となり、ミリ波無線の普及、拡大につながる。

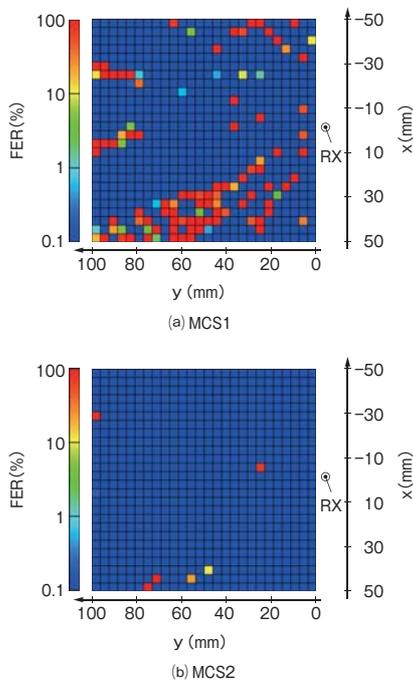


図6. IC内蔵機器のミリ波伝搬におけるFER特性 — 送信側を100mm四方の領域内で移動させて、各位置におけるFERを数値計算した結果、85%の場所率で最高伝送速度が可能であることがわかる。
Received power density variation over signal bandwidth of mmw wireless communication between CE products

表2. FERが1%以下となる場所率

Coverage area ratio achieving FER of 1% or less

内符号	FERが1%以下となる場所率 (%)	
	IC基板を筐体に内蔵しない場合	IC基板をノートPCとデジタルカメラに内蔵した場合
MCS 1	99.9	85.2
MCS 2	100	99.1

4 あとがき

当社は、数cm～数十cmの近接、近距離における機器間のファイル転送の用途を想定し、微細化CMOSプロセスによるIC設計、パッケージ内蔵アンテナ、変復調・符号方式を含めたミリ波無線通信技術の研究開発を進めている。

ここで述べたICの構成や変復調・符号方式は、アンテナまで内蔵したパッケージであるため機器への実装が容易で、かつ、金属筐体でも、その金属で強められる反射に対して耐性がある。数値計算によりFER特性を評価した結果、99%以上の場所率で1Gビット/sを超える伝送速度が実現できることがわかり、近接・近距離通信を想定した用途において、ユーザーに高い利便性を提供できることが期待される。

この研究開発の一部は、平成22年度(2010年度)総務省電波資源拡大のための研究開発「超高速近距離無線伝送技術等の研究開発」の一環として実施された。

文献

- (1) 国際半導体ロードマップ委員会 (ITRS委員会). International Technology Roadmap for Semiconductors. <http://www.itrs.net/>, (参照2011-02-09).
- (2) Mitomo, T. et al. A 60-GHz CMOS Receiver Front-End With Frequency Synthesizer. IEEE J. Solid-State Circuits. **43**, 4, 2008, p.1030-1037.
- (3) 三友敏也 他. CMOS技術で実現したミリ波レーダ用ワンチップ受受信IC. 東芝レビュー. **65**, 8, 2010, p.44-47.
- (4) Ito, T. et al. A 3-Gs/s 5-Bit 36-mW Flash ADC in 65-nm CMOS. IEEE ASSCC. 2010, p.181-184.
- (5) Tsutsumi, Y. et al. A Triangular Loop Antenna Mounted Adjacent to a Lossy Si Substrate for Millimeter-wave Wireless PAN. IEEE AP-S. 2007, p.1008-1011.
- (6) 堀川征一郎 他. “近距離ミリ波通信の伝搬測定値に基づく特性評価(3)～OFDM PHYにおける誤り率評価～”. 電子情報通信学会総合大会. 東京都市大学. 2011-03, 電子情報通信学会 (CD-ROM).
- (7) 秋田耕司 他. “近距離ミリ波通信の伝搬測定値に基づく特性評価(2)～筐体内蔵時の伝搬測定～”. 電子情報通信学会総合大会. 東京都市大学. 2011-03, 電子情報通信学会 (CD-ROM).



瀬戸 一郎 SETO Ichiro

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主幹。無線通信システムのRFシステム及び信号処理の研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE会員。
Wireless System Lab.



笠見 英男 KASAMI Hideo

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主務。無線通信システムの信号処理及びLSIの研究・開発に従事。電子情報通信学会, IEEE会員。
Wireless System Lab.



坂 耕一郎 BAN Koichiro

研究開発センター ワイヤレスシステムラボラトリー研究主務。無線通信システムの信号処理及びLSIの研究・開発に従事。IEEE会員。
Wireless System Lab.