

ウェアラブル端末向け低消費電力プロセッサ TZ1201XBG

TZ1201XBG Processor Offering Low Power Consumption for Wearable Devices

井上 達雄 串田 宗平 今井 茂夫

■INOUE Tatsuo ■KUSHIDA Sohei ■IMAI Shigeo

IoT (Internet of Things) デバイスの応用分野の一つであるウェアラブル端末の市場は、今後拡大していくと予想されている。このような市場動向を受けて、東芝デバイス&ストレージ(株)は、ウェアラブル端末向けに高機能かつ低消費電力のプロセッサ TZ1201XBGを開発し、2017年7月から量産を開始した。このTZ1201XBGは、ウェアラブル用途に求められる様々な機能を1チップに搭載し、多彩な低消費電力技術を適用して約70 μ A/MHzという低電流動作を実現した。また豊富なアナログ機能により、外付け部品をほとんど追加することなく最大4ch(チャンネル)の電圧、電流、及びインピーダンスのセンシングを可能にした。TZ1201XBGの低消費電力モードと組み合わせて使用することで、汎用の外付け部品構成でのセンシングに比べて約1/4の低電力センシングを実現できる。

The market for wearable devices, which constitute one category in the Internet of Things (IoT) field, is expected to expand in the future.

In response to this market trend, Toshiba Electronic Devices & Storage Corporation started mass production of the TZ1201XBG processor for wearable devices, offering both high functionality and low power consumption, in July 2017. The TZ1201XBG incorporates various functions for wearable applications integrated in one chip, while at the same time achieving a low current consumption of 70 μ A/MHz in active mode due to the application of various low-power technologies. The numerous analog functions provided by this device make it possible to perform up to four-channel voltage/current/impedance multi-sensing operations with a minimized external circuit, resulting in one-quarter the power consumption in low-power mode compared with the case of using an external circuit.

1 まえがき

腕などの身体に装着して使用する情報機器のウェアラブル端末は、IoTデバイスの応用分野の一つであり、例として腕時計型のウェアラブル端末や、各社から製品化されているリストバンド型活動量計などがある。IoT技術の進展に伴って、これらのウェアラブル端末が普及してきており、様々な種類のデバイスが発表され製品化されている。ウェアラブル端末の市場規模は、2015年の47億ドルに対して、2020年には133億ドルにまで拡大すると予想されている。

このような市場動向を受けて、東芝デバイス&ストレージ(株)は、ウェアラブル用途に求められる様々な機能を搭載した低消費電力プロセッサTZ1201XBGを開発し、2017年7月から量産を開始した。ここでは、TZ1201XBGの概要、適用した低消費電力技術、及びTZ1201XBGで実現できるセンシング技術について述べる。

2 TZ1201XBGの構成と主要仕様

TZ1201XBGの主要仕様を表1に示す。CPUにARM[®]Cortex[®]-M4Fプロセッサを採用しており、演算や制御などの処理を、高速かつ低消費電力で実行できる。また、2.2M

表1. TZ1201XBGの主要仕様

Main specifications of TZ1201XBG

項目	仕様
CPU	ARM [®] Cortex [®] -M4Fプロセッサ (動作周波数: 96 MHz)
内蔵SRAM	2.2 Mバイト
グラフィックアクセラレーター	2次元
アナログ機能	DC-DCコンバーター・LDOレギュレーター内蔵、 LEDドライバー、オペアンプ、 12ビットADC/DAC、24ビット $\Delta\Sigma$ 型ADC
暗号・圧縮/伸張エンジン	AES/SHA2/RNG 暗号エンジン 圧縮/伸張エンジン
ディスプレイI/F	DBI-タイプB/CディスプレイI/F MIPI DSI I/F (2レーン)
周辺I/F	USB 2.0 FSデバイス e・MMC/SDIO/SDカード QSPI NOR型/NAND型フラッシュメモリー パラレルバスI/F I ² S/PDM/UART/I ² C/SPI/GPIO タイマー/WDT/PWM/RTC
パッケージ	P-UFBGA210 (8×8×0.6 mm, 0.4 mmピッチ)

DC : 直流 LDO : Low Drop Out LED : 発光ダイオード
 ADC : アナログデジタル変換器 DAC : デジタルアナログ変換器 $\Delta\Sigma$: デルタシグマ
 AES : Advanced Encryption Standard SHA : Secure Hash Algorithm
 RNG : Random Number Generator DBI : Display Bus Interface
 MIPI : Mobile Industry Processor Interface DSI : Display Serial Interface
 USB : Universal Serial Bus FS : フルスピード
 e・MMC : Embedded Multi Media Card SDIO : セキュアデジタル入出力
 QSPI : Quad Serial Peripheral Interface I²S : Inter-IC Sound
 PDM : Pulse Density Modulation
 UART : Universal Asynchronous Receiver Transmitter
 I²C : Inter-Integrated Circuit GPIO : 汎用入出力
 WDT : Watch Dog Timer PWM : Pulse Width Modulation
 RTC : Real Time Clock
 P-UFBGA : Plastic Ultra-Thin Fine Pitch Ball Grid Array

バイトの内蔵SRAM (Static RAM) を搭載し、そのうちの1.1 MバイトはCPUの命令を待ち時間なしで実行できる。

そのほか、外部記憶拡張用のメモリーインターフェース (I/F)、ディスプレイ表示用のコントローラーや描画エンジン、音声入出力用のI/F、更にセンサーなどの外部デバイス接続用のシリアルI/Fなど、ウェアラブル端末に求められる一通りの周辺機能を搭載している。更にアナログ機能として、センシング用途に必要な機能も各種装備しており、これについては4章で述べる。

これらの機能を、8.0 (幅) × 8.0 (奥行き) × 0.6 (高さ) mmの小型パッケージに封止しており、リストバンドなどウェアラブル端末の小さな筐体 (きょうたい) に実装可能である。

3 低消費電力技術

TZ1201XBGは、外部から3.3 Vの単一電源供給とするため、電源回路を内蔵しており、内部は更に低電圧で動作する。また、様々なクロックソースを持ち、通倍や分周などにより必要に応じた周波数のクロックを生成できる。これらの電力管理制御を行うのがPMU (Power Management Unit) で、このPMUが備えている四つの低消費電力技術について、以下に述べる。

- (1) **ダイナミッククロックゲーティング (DCG)** 各ブロックが動作状態のときだけクロックを供給することで、消費電力を削減する技術である。TZ1201XBGでは、ブロック別及び用途別にクロックを細分化しており、クロックごとにDCGを適用している。
- (2) **ダイナミック電圧スケーリング (DVS)** TZ1201XBGはDC (直流) -DCコンバーターとLDO (Low Drop Out) レギュレーターの二つの電源回路を内蔵しており、PMUはこれら二つの電源回路管理と、電圧変更制御 (1.3/1.2/1.1/0.9 V) を行う。必要な処理に応じてDVSにより電圧を下げることで、消費電力の削減を図っている。
- (3) **ダイナミック周波数スケーリング (DFS)** TZ1201XBGは、複数のクロックソース (発振器やPLL (Phase Locked Loop) などの5種類) を内蔵している。PMUは、これらのクロックソースの管理、クロックソースの切り替え、周波数スケーリングの制御などを行う。DFSにより、実行中の処理に支障がないときは各ブロックに供給する周波数を低く抑えることで、消費電力を削減できる。
- (4) **電源ドメインコントロール** TZ1201XBGは、26個の電源ドメインに分かれている。各電源ドメインには最大三つの状態 (オン/オフ/リテンション状態) があり、オン状態は通常動作状態で電源が入った状態、オフ状態は電源が遮断されている状態、リテンション状態はSRAMやFF (フリップフロップ) の値を保持するのに必要な電源が入った状態である。PMUは、各電源ドメインについ

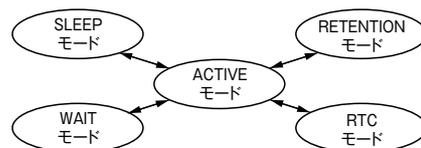


図1. パワーモードの状態遷移 — TZ1201XBGのパワーモードには、ACTIVEモードのほかに四つの低消費電力モードがある。
Transitions between power modes

てこれら三つの状態の遷移を管理する。動作が不要なドメインをオフ状態やリテンション状態にすることで、全体の消費電力を抑えることができる。

PMUは、これらの四つの低消費電力技術を適用した低消費電力モードを持つ。

TZ1201XBGのパワーモードには、通常動作状態であるACTIVEモードのほかに、四つの低消費電力モードが存在する。CPUのWFI (Wait for Interrupt) 命令を起点として、ACTIVEモードから四つの低消費電力モードに遷移する (図1)。それぞれの低消費電力モードについて、以下に説明する。

- (1) **SLEEPモード** CPU コアクロックを停止するモードで、その他のクロックは動作/停止の設定を選択できる。電圧はACTIVEモードと同じで、動作が停止する箇所も限定的なため、消費電力は他の低消費電力モードに比べて大きい。
- (2) **WAITモード** RTC (Real Time Clock) 用以外のクロックソースを全て停止し、更に電源をDC-DCコンバーターからLDOレギュレーターに切り替えて電圧を0.9 Vに低下させることで、消費電力を削減するモードである。0.9 Vの電圧が供給されるため、SRAMやFFのデータは保持される。
- (3) **RETENTIONモード** WAITモードと同様に、RTC用以外のクロックソースを全て停止し、更に電源をLDOレギュレーターに切り替え、電圧を0.9 Vにまで低下させるモードである。また、全電源ドメインをオフ若しくはリ

表2. TZ1201XBGの消費電流

Current consumption of each mode of TZ1201XBG

パワーモード	条件	消費電流 (Typ.)
ACTIVEモード	PLL 96 MHz, DC-DCコンバーター 1.2 V Coremarkベンチマークプログラムで動作	6.7 mA
SLEEPモード	PLL 96 MHz, DC-DCコンバーター 1.2 V	2.8 mA
WAITモード	クロックソース32.768 kHz, LDOレギュレーター 0.9 V	113 μA
RETENTIONモード	クロックソース32.768 kHz, LDOレギュレーター 0.9 V	26.2 μA
RTCモード	クロックソース32.768 kHz	4.2 μA

テンション状態にすることで、削減できる電力はWAITモードよりも更に大きい。

- (4) RTCモード 内部電源回路を遮断し、外部からの3.3V単一電源でRTC回路及びウェイクアップ回路だけが動作するモードである。消費電力が最も低いモードであるが、復帰時間は他のモードに比べて最も長い。

各モードでの消費電流を、表2に示す。前述の機能により、TZ1201XBGでは、ACTIVEモードで6.7mA (70 μ A/MHz)、RETENTIONモードで26.2 μ Aという低消費電流での動作を実現した。

4 センシング技術

4.1 コンフィギュラブルAFE

TZ1201XBGには、計装アンプ (IA)、トランスインピーダンスアンプ (TIA)、プログラマブルゲインアンプ (PGA)、オペアンプ、デジタルアナログ変換器 (DAC)、振幅検出回路、アナログデジタル変換器 (ADC)、LED (発光ダイオード) 電流ドライバーなどの豊富なアナログフロントエンド (AFE) 機能を搭載している。

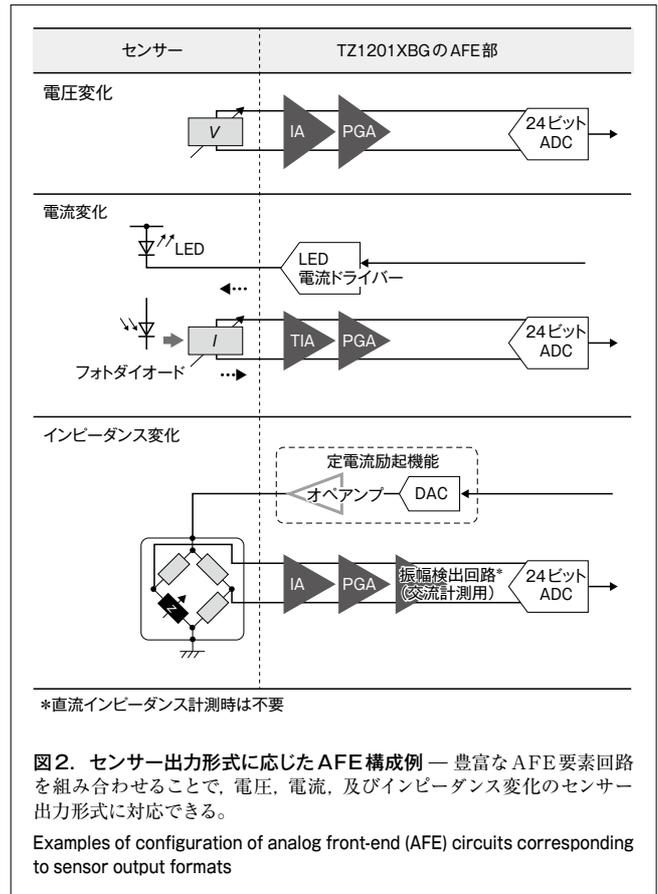
図2に示すように、これらのAFE要素回路を計測用途、すなわちセンサーに応じた接続構成に設定することで、外付け部品をほとんど追加することなく、センサーの3大出力形式である電圧、電流、及びインピーダンスの計測が可能になる。

電圧変化型センサーに用いる場合には、高入力インピーダンス特性のIA、信号増幅用のPGA、及びADCでAFEを構成する。フォトダイオードに代表される電流変化型センサーに用いる場合には、電流-電圧変換用のTIA、PGA、ADC、更にADC変換タイミングと同期制御可能なLED電流ドライバーでAFEを構成する。また、DACとオペアンプを用いて定電流励起機能を構成することで、インピーダンス変化型センサーのインピーダンス変化を電圧変化として計測できる。

4.2 高精度ADCによる低電力センシング

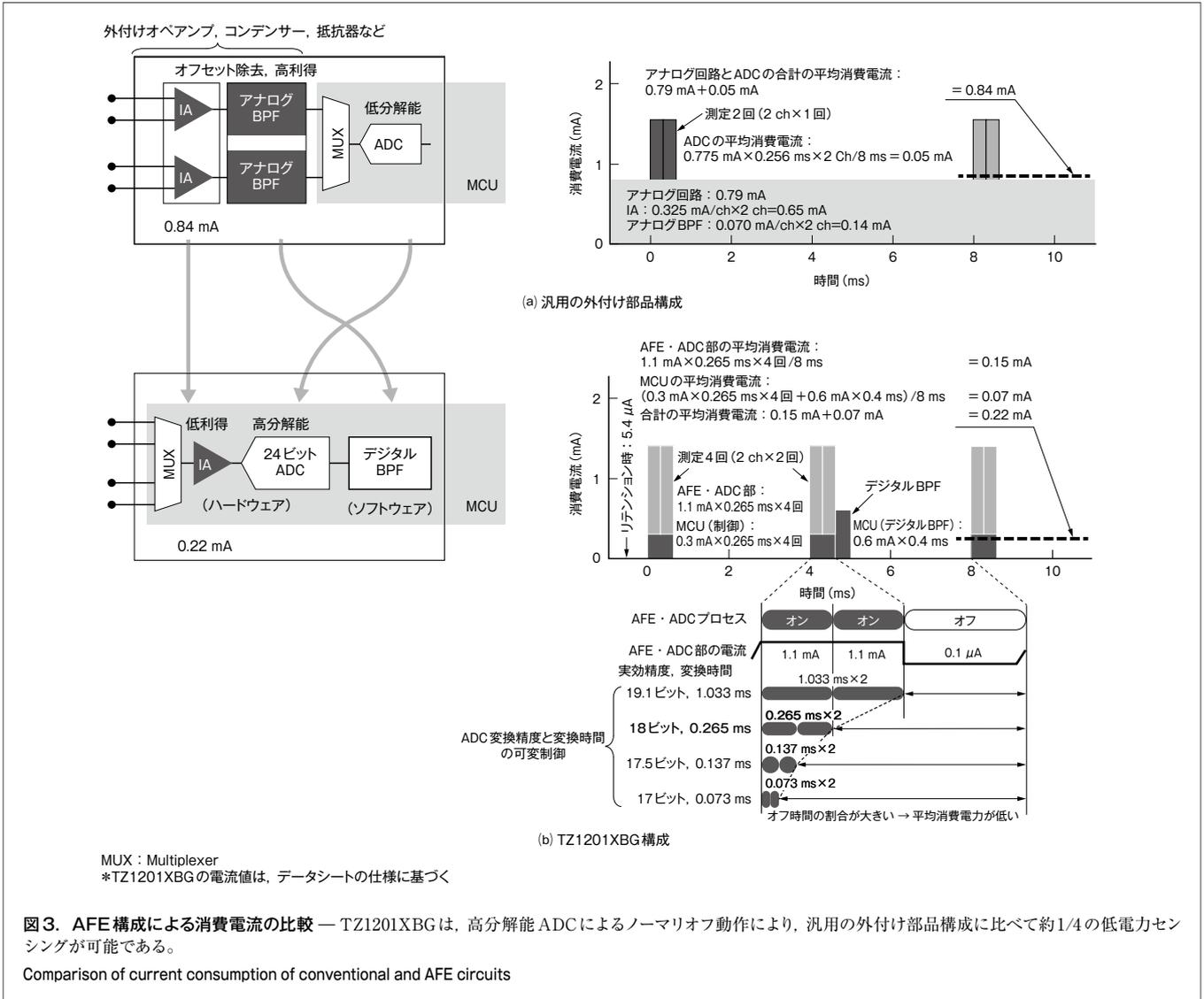
TZ1201XBGにおけるAFEの大きな特長の一つとして、ADC単体で有効ビット数が最大19.1ビット、出力ノイズ電圧が11.8 μ Vrmsという24ビット $\Delta\Sigma$ (デルタシグマ) 型ADCの搭載が挙げられる。

図3に、ADCの分解能が異なるAFE構成による消費電流の比較を示す。8msごとに2ch分の電圧変化のセンサー信号をセンシングした場合について比較している。図3(a)には一般的なマイクロコントローラーユニット (MCU) に搭載されている10~12ビット程度の低分解能ADCを用いたAFE構成 (汎用の外付け部品構成) とその消費電流の時間変化を、図3(b)にはTZ1201XBGに搭載している24ビット高分解能ADCを用いたAFE構成 (TZ1201XBG構成) とその消費電流の時間変化をそれぞれ示す。



汎用の外付け部品構成では、ADC前段で高入力インピーダンスのIAとアナログバンドパスフィルター (BPF) 処理による高利得の信号増幅をする必要がある。生体信号のような低周波数信号帯域 (数Hz ~ 数百Hz) を処理するIAとアナログBPFから成るアナログ回路は、一般に常時オン状態のオペアンプで構成されるため、汎用の低電力タイプのオペアンプで構成しても0.79mAを消費することになる。低分解能ADCの平均消費電流は0.05mAと小さいが、アナログ回路とADCの合計の平均消費電流は0.84mAになる。

一方、TZ1201XBG構成では、24ビットADCが低ノイズ特性を持つため、汎用の外付け部品構成におけるADC前段でのアナログBPF処理と高利得の信号増幅は不要となり、変換精度を最大化するための低利得な信号増幅だけでセンサー信号のデジタル化が可能になる。BPF処理はCPUなどのデジタル回路で実行するが、前述のPMUのパワーモードを使用することで、オペアンプ部も含めた徹底的なノーマリオフ制御が可能になり、AFE・ADC部の平均消費電流は0.15mAと小さい。それらの制御とデジタルBPF演算を行うためのMCUの平均消費電流を合わせると、合計の平均消費電流は0.22mAと見積もられる。これは汎用の外付け部品構成に対して、センシング電力を約1/4に削減できることを示している。更に、TZ1201XBG搭載のADCは変換精度と変換時間を可変制御



できるため、必要な変換精度に応じて計測時間を短縮することで、徹底した低消費電力化が可能になる。

5 あとがき

当社は、ウェアラブル端末向けの低消費電力プロセッサとしてTZ1201XBGを開発し、2017年7月から量産を開始した。TZ1201XBGでは、ウェアラブル用途に求められる多彩な機能の搭載と、バッテリー駆動のシステムに必要な低消費電力の実現を両立させた。

今後、ウェアラブル端末をはじめとして、低消費電力技術やセンシング技術が求められる様々なIoTデバイス市場向けに、この製品の応用展開を図っていく。



井上 達雄 INOUE Tatsuo

東芝デバイス&ストレージ (株)
ロジックLSI統括部
ロジックLSIハードウェア開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



串田 宗平 KUSHIDA Sohei

東芝デバイス&ストレージ (株)
ロジックLSI統括部
ロジックLSIハードウェア開発部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.



今井 茂夫 IMAI Shigeo

東芝デバイス&ストレージ (株)
ロジックLSI統括部
ロジックLSI製品設計部
Toshiba Electronic Devices & Storage Corp.

• ARM及びCortexは、ARM Limited (又はその子会社)のEU又はその他の国における登録商標。