

# スマートメータ向け 高精度電力計測用 マイクロコントローラ TPM061FWFG

TPM061FWFG Microcontroller for Smart Meters Incorporating High-Accuracy AD Converters

吉田 満                      烏田 裕

■ YOSHIDA Mitsuru                      ■ KARASUDA Hiroshi

近年の省エネ意識の高まりと先の東日本大震災の影響による電力需給の逼迫(ひっばく)に直面し、電力有効活用の必要性が急速に高まったことに伴い、国や電力事業者によるスマートグリッドの導入に向けた様々な計画が加速している。その重要構成要素の一つで電力需要を正確に把握できるスマートメータには、高精度な電力量の計測のみならず、非常に低消費電力の動作も要求される。

東芝は、大手スマートメータメーカーや最大市場である中国のニーズに応えるため、高精度アナログ技術を用いたセンシング技術と超低消費電力のCPUを組み合わせた高精度電力計測用マイクロコントローラ TPM061FWFGを開発した。24ビット $\Delta\Sigma$  (デルタシグマ) 型A/D (アナログ/デジタル) コンバータを3ユニット搭載して電流と電圧を同時に測定でき、CPUとしてARM<sup>(注1)</sup> Cortex<sup>TM</sup>(注2)-M0を採用し、更に内部バスの性能を大幅に改善することで、低消費電力と高パフォーマンスを両立させた高精度電力計測を実現している。

Efforts toward the early introduction of smart grids through demonstration projects planned by the government and electricity companies have been accelerating, reflecting the increased awareness of the need for energy conservation and the tight electricity supply and demand situation caused by the Great East Japan Earthquake. Smart meters, which are a key component for accurately determining the electricity demand in such systems, must be capable of not only providing highly accurate energy measurements but of operating on very low power.

In response to the requirements of smart meter manufacturers and the smart grid market, Toshiba has developed the TPM061FWFG microcontroller for smart meters incorporating three high-accuracy 24-bit  $\Delta\Sigma$  analog-to-digital (AD) converters to measure the current and voltage of AC power simultaneously and an ARM Cortex<sup>TM</sup>-M0 processor, in addition to a significant improvement in bus architecture. The TPM061FWFG achieves a balance between high performance for accurate electricity measurement and reduced power consumption.

## 1 まえがき

2009年に米国でグリーン ニューディール政策が発表されて以来、次世代送電網としてスマートグリッドが世界的に注目を集めている。従来型の送電網では、一定の電力需要予測をもとに発電電を行っており、発電量が需要より大きい場合には電力の余剰が発生しエネルギー資源の非効率的な使用につながり、逆に発電量が少ない場合には電力不足や大規模な停電を引き起こす可能性があった。

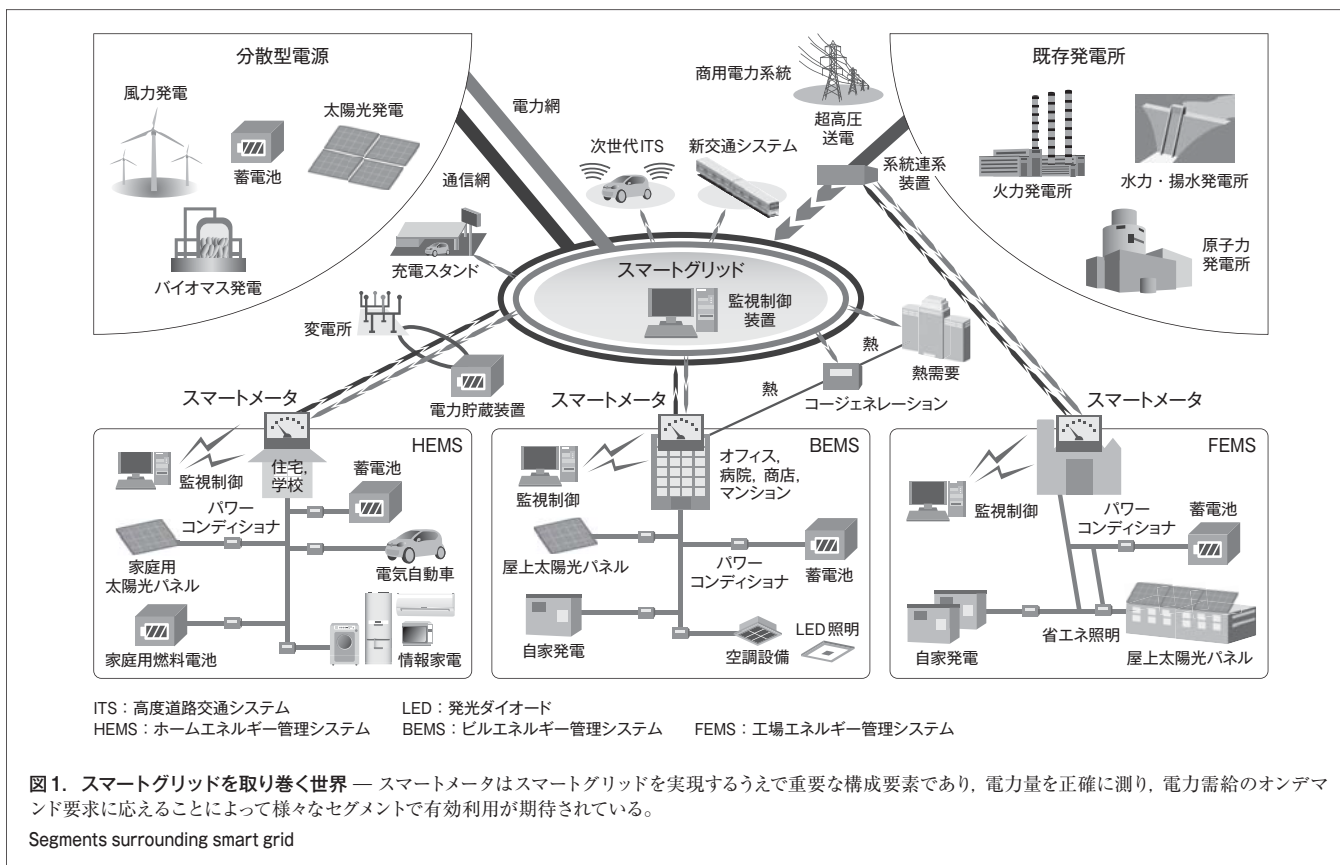
図1に示すように、スマートグリッドでは需要家の電力消費量を通信ネットワークによりリアルタイムに収集することで発電量の調整を行う。更に、様々な電源の稼働状況や発電効率を把握し、電力を効率よく分配することも可能である。これらの特徴からスマートグリッドでは、ピークカットなどリアルタイムに需給を調整するデマンドレスポンス、太陽光発電など再生可能エネルギーの活用、及び送電網の高信頼性化が期待されている。

スマートグリッドを実現するうえで、重要な構成要素として

挙げられるのが電力量計である。スマートグリッドの高品質なデマンドレスポンスを実現するには、電力量をこれまで以上に正確に計測し、リアルタイムに系統に伝達する通信機能を装備する必要がある。従来の電力量計は電磁誘導を応用した誘導型の装置であったが、スマートグリッドにおける電力量計は電力量計測を電子的に行う電子型の装置が主流である。このような機能を装備したスマートグリッド用の電力量計は、一般にスマートメータと呼ばれ、2020年には全世界のスマートメータ市場の規模は年間2億台が見込まれている<sup>(1)</sup>。また、従来の電力量計を置き換えるだけではなく、太陽光発電などの再生可能エネルギーを売電する場合や蓄電池の蓄電計測にも同様の技術が用いられるなど、電力量計測は今後の必須技術であり大きなニーズが見込まれる。

東芝は、これらのニーズに応えるため、スマートメータ向けに高精度アナログ技術を用いたセンシング技術と超低消費電力のCPUを組み合わせた、高精度電力計測用マイクロコントローラ TPM061FWFGを開発した。ここでは、スマートメータの市場動向と、当社がその市場ニーズに応じて今回開発したTPM061FWFGの特長について述べる。

(注1)、(注2) ARM, Cortexは、英国ARM Limitedの商標。



## 2 スマートメータの市場動向

スマートメータの実装は欧州で先行しており、イタリアやスウェーデンでは全ての電力量計が既にスマート化されている。現在そのほか、欧州各国も実装を進めており、米国もグリーンニューディール政策のもとスマートグリッドの整備に合わせてスマートメータが普及してきている。一方わが国では、既存の電力インフラの信頼性が諸外国に比べて高く、再生可能エネルギーの導入以外の用途ではスマートグリッドの必要性は低いとされてきた。しかし、東日本大震災を契機に電力不足の懸念から省エネの意識が高まっており、スマートグリッド構築及びスマートメータ導入が加速されつつある。東京電力(株)では2018年に約1,700万台のスマートメータを家庭などに集中導入することを検討している<sup>(2)</sup>。

世界最大の市場である中国でも、12次5か年計画の一つにスマートグリッドを設定し、以下の3段階に分けて構築する計画を発表した<sup>(3)</sup>。

- |                          |                        |
|--------------------------|------------------------|
| (1) ステージ1 (2009 ~ 2010年) | スマートグリッドの計画及び実証        |
| (2) ステージ2 (2011 ~ 2015年) | スマートグリッドの構築の加速         |
| (3) ステージ3 (2016 ~ 2020年) | “Strong Smart Grid”の達成 |

現在はステージ2の構築段階で、年間約5,000万台の電力量計がスマートメータに置き換えられている。

当社は、世界的な普及期にある大きな置換え需要に加えて中国がスマートグリッド計画を強力に推し進めている背景から、家庭用单相2線式電力量計向けのTMPM061FWFGを開発した。

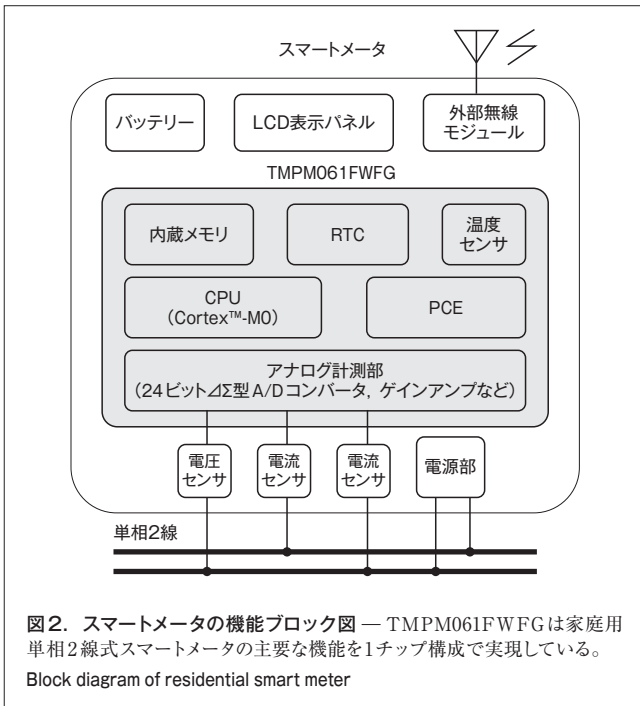
## 3 TMPM061FWFGの主な特長

スマートメータの機能ブロック図を図2に示す。

TMPM061FWFGは、高精度24ビット $\Delta\Sigma$ 型A/Dコンバータを内蔵するとともに、低消費電力ながら32ビットアーキテクチャによる高いパフォーマンスを実現するARM Cortex™-M0をCPUとして採用し、1チップ構成を実現した。以下に、中国市場での要求をベースに、主な特長について述べる。

### 3.1 電力量の高精度計測

中国の電力量計規格<sup>(4)</sup>はIEC(国際電気標準会議)規格に準じており、家庭用で2%の測定精度が要求される。更に定格電流や始動電流(測定を開始する必要がある最小電流)などを考慮すると、電流計測用A/Dコンバータの分解能は22~24ビット程度が必要になる。また、信号に対するノイズとひずみの比を表すSINAD(Signal to Noise and Distortion Ratio)は、3kサンプル/s時に84dB程度が求められる。



一般に、電力量計測では電圧と電流の測定が必要であるが、中国などの新興国では不平衡盗電検出用に更に1系統の電流測定が必要になる。このため、前述の性能を満たす高分解能を得ることができる $\Delta\Sigma$ 型A/Dコンバータを3ユニット搭載した。また、電力演算用の電流・電圧測定には完全な同時性が求められるため、システムクロック単位で同時計測が可能であり、更に電流センサの応答遅延に対応する位相補正回路も搭載した。

24ビット $\Delta\Sigma$ 型A/Dコンバータで計測した電流・電圧値は、乗算・フィルタ演算などを経て有効電力量に変換する必要があるが、スマートメータでは更に無効電力量や、力率、電流及び電圧の実効値、周波数計測などの演算が必要になる。これらの演算処理をCPUの演算機能を用いた場合、処理負荷が高くなりアプリケーションの機能を阻害するおそれがある。これを防ぐため、TMPM061FWFGでは図2に示す電力演算エンジン (PCE: Power Calculation Engine) を搭載し、これらの電力量演算を単独で実施することができる。これにより、CPUはアプリケーションの制御に専念することができる。

### 3.2 温度補償型RTCによる正確な時間管理

スマートメータ導入による効果の一つとして、時間帯別料金への対応が挙げられる。需要家にとっても非常に重要な機能かつ効果であるが、これを実現するには厳格な時間管理が必要になる。中国のメータセットに求められる時間精度は、常温環境下で日差0.5秒、全温度範囲で日差1秒であることから、スマートメータ向け電力計測用マイクロコントローラに内蔵されるリアルタイムクロック (RTC) 回路には全温度範囲で日差0.5秒の時間精度を求められる。

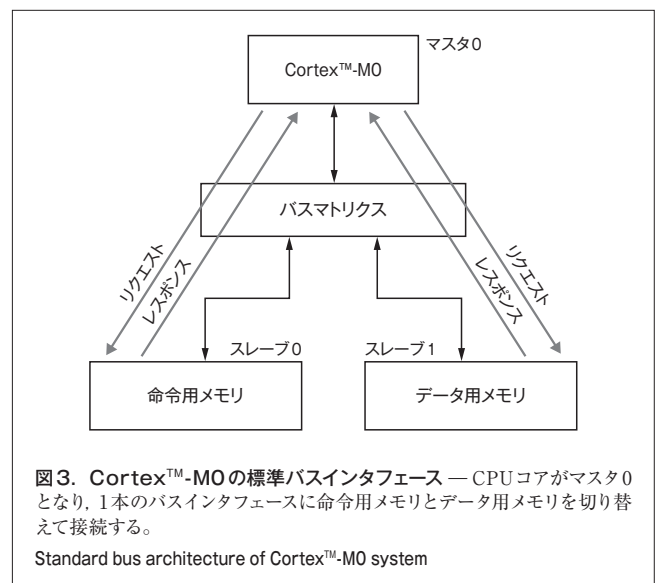
しかし一般に、RTCのベースになる32.768 kHzの低速音響型水晶発振子は温度変化に対して周波数変化が起こるため、全温度範囲で日差0.5秒を実現するには温度補償を行う必要がある。そこでTMPM061FWFGでは、温度センサと微調整可能なRTC機能を搭載することで音響型水晶発振子の温度補償を行い、日差0.5秒を実現した。

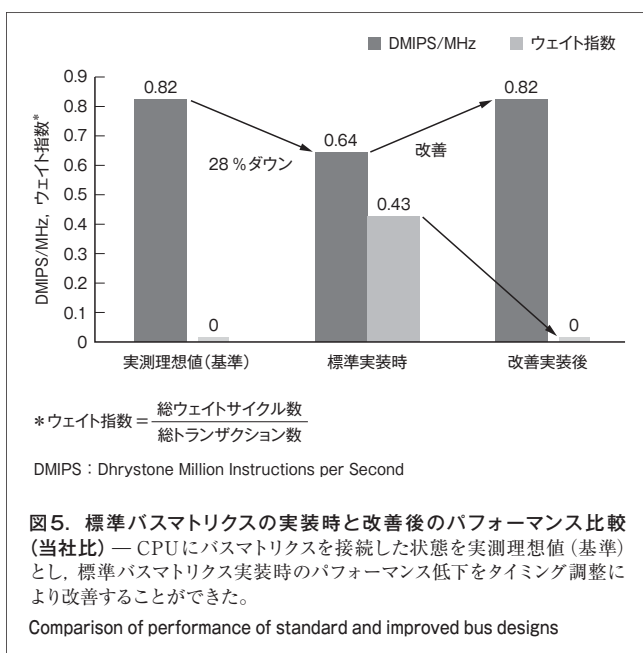
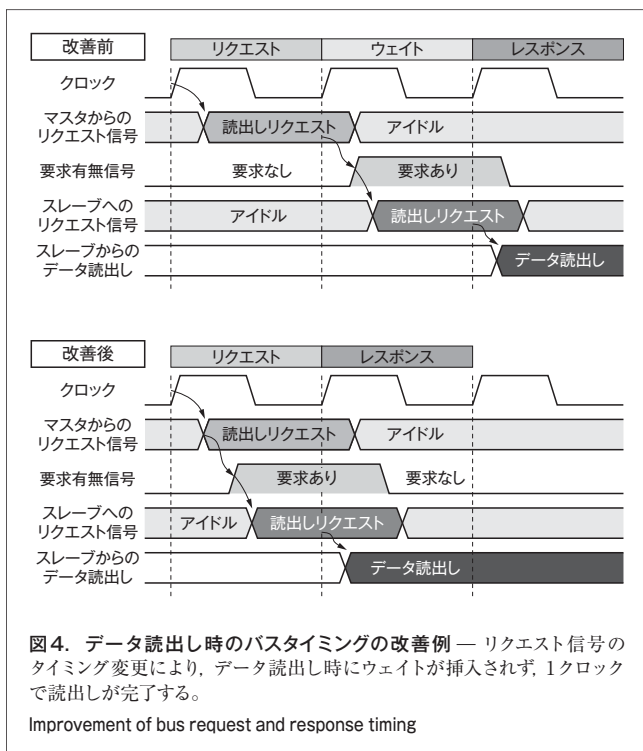
### 3.3 低消費電力とパフォーマンスの両立

スマートメータは通常交流電力線に接続されており、AC (交流)/DC (直流) コンバータ、レギュレータを経由して電源が供給される。しかし、停電発生時には電源供給が断たれるため、積算電力量情報や時間情報が失われることを防ぐためにバックアップ電池を搭載する。中国では1,200 mAh以上のバックアップ電池を搭載することが義務付けられており、停電中でも時計カウント及び液晶ディスプレイ (LCD) 画面を点灯し更新したうえで5年間バックアップ電池だけで動作し続ける必要がある。

これを満足するには、RTC動作、LCDドライバ駆動、及び周期的な表示更新を行って平均電流を20  $\mu$ A未満に抑える必要がある。マイクロコントローラ内部の電源システムを分けて、不要な回路の電源を切ることで電流を抑えることも可能であるが、回路規模の増大に伴うコストアップを考慮すると現実的ではない。そのため、不要回路ではクロックを停止して電流を削減し、更に回路規模を極力絞り込むことでリーク電流も減らす必要がある。周辺IP (Intellectual Property) の回路規模を抑えることは当然であるが、CPUの回路規模も大きく影響する。これらを考慮してTMPM061FWFGでは、ARM Cortex™-M0をCPUに採用し、十分な性能を保ったままで回路規模を最適化し、停電時の電流を20  $\mu$ A未満に抑えることに成功した。

一方、省電力化をベースとしながらも、電力量計測のための





アナログ入力機能と内部演算機能、及び通信機能などを動作させるためにアプリケーションのパフォーマンスをできるだけ落とさないことも重要なポイントである。そのために不用意にCPUの動作周波数を上げると、消費電力の増加とノイズ問題が顕著化する。そこで、内部バスに着目し、その効率を計測した。

従来の標準設計ツールを用いてバスマトリクスを構成した場合(図3)、ARM Cortex™-M0はノイマン型アーキテクチャの

ため、命令アクセスとデータアクセスの切替えが生じ、その際、一般的なバスマトリクスではウェイト(待機)が発生する。これは、バス接続時の実測理想値を基準に比べた場合、当社比で約28%のパフォーマンスダウンが生じることがわかった。そこでTMPM061FWFGでは、内部バス切替え時にウェイトが生じないようにアクセスタイミングを図4に示すように調整した。その結果、図5に示すように、消費電力に大きく影響するCPUの動作周波数を上げることなく、改善実装後のパフォーマンスを実測理想値まで改善することに成功した。

このような施策は、特にスマートメータをはじめとする低消費電力が厳しく要求されるバッテリー駆動アプリケーションなどには有効な手段であり、今後特定用途向け製品を中心に展開を進める。

## 4 あとがき

当社は、グローバルに導入が進むスマートメータ向け高精度電力計測用マイクロコントローラ TMPM061FWFGを開発した。TMPM061FWFGでは、中国の市場ニーズに対応した性能と機能を実現することができた。引き続き、スマートグリッド化を進める世界各国のニーズに対応しながら、更なる高精度化、低消費電力化、及び仕様の最適化を図った製品を順次開発してラインアップを拡充する計画である。

今後、これらの製品開発を通じてスマートコミュニティの発展に寄与するとともに、世界の省エネ、並びにスマートグリッドの推進に貢献していく。

## 文献

- 日経BPクリーンテック研究所. 世界スマートハウス・ビル総覧. 東京, 日経BP社, 2011, 348p.
- 東京電力. "RFCを踏まえたスマートメーター仕様に関する基本的な考え方". <[http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12\\_j/images/120712j0101.pdf](http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu12_j/images/120712j0101.pdf)>. (参照: 2012-09-11).
- 三菱総合研究所. "アジア・オセアニアのスマートメーターに関する動向". 経済産業省ホームページ. <<http://www.meti.go.jp/committee/materials2/downloadfiles/g100831a06j.pdf>>. (参照: 2012-09-12).
- Q/GDW 364:2009. Technical specification for single phase smart electricity meters. (国家电网公司企業標準)



吉田 満 YOSHIDA Mitsuru

東芝マイクロエレクトロニクス(株) アナログシステムLSI統括部 ミックスシグナルコントローラ応用技術部参事。スマートグリッド向けマイクロコントローラの開発に従事。  
Toshiba Microelectronics Corp.



烏田 裕 KARASUDA Hiroshi

東芝マイクロエレクトロニクス(株) アナログシステムLSI統括部 ミックスシグナルコントローラ応用技術部主務。スマートグリッド向けマイクロコントローラの開発に従事。  
Toshiba Microelectronics Corp.