

低消費電力マイコンの基盤開発

興津俊幸 Toshiyuki Okitsu
 小野一史 Kazushi Ono
 越谷 涼 Ryo Koshiya
 斉藤将士 Masashi Saito

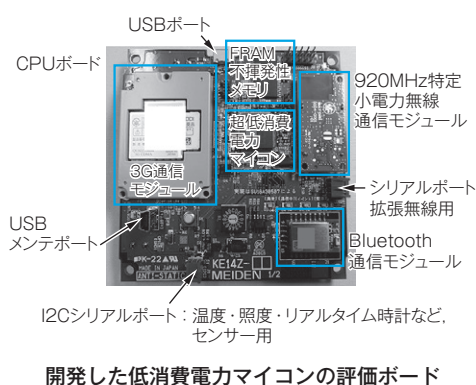
キーワード 超低消費電力マイコン, エネルギーハーベスト, 特定小電力無線, Bluetooth, 携帯電話網通信, 監視装置

概要

設備の老朽化対策や故障予兆検出のために、これまで以上に設備データの集約とデータ分析による新しいサービスの提供が期待されている。

当社は、これまで監視することが困難であった環境下での監視を実現するために、低消費電力技術・エネルギーハーベスティング技術に注目した。

近年、携帯電話・スマートフォン・タブレット端末などの発達とともに、コンピュータシステムの低消費電力化が容易となった。また、システムが低消費電力化することで、環境に存在するエネルギーを収穫（ハーベスト）し、電源として活用することでシステムを動作させることができるようになった。そこで、この低消費電力技術とエネルギーハーベスティング技術を用いた監視装置を試作した。



開発した低消費電力マイコンの評価ボード

1 まえがき

当社のコンピュータ製品は、各産業分野の需要に適した製品を創出してきた。その分野ごとに、必要となる情報を集約して、最適なソリューションを提供してきた。

近年、これまで自動化できず人間系の経験と勘に頼っていた分野で、効率化・省力化の要求が高まっている。この要求に対応するため、コンピュータによる情報の収集・分析・見える化を行った新たなサービスの提供が求められている。

これまで計測できなかった情報を取得するため、容易に情報を集約できる手段が必要である。その一つの方策として、電源工事レスでその環境における自然エネルギーで動作するセンサ情報端末が話題となっている。

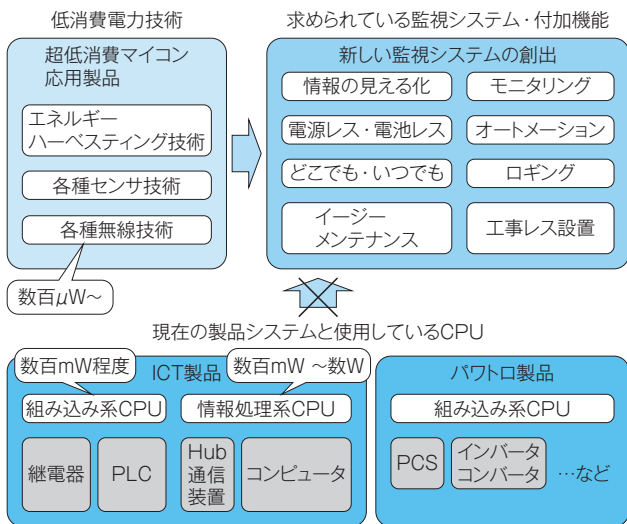
このような要求を満たすため、超低消費電力マイ

コン技術とエネルギーハーベスティング技術とを組み合わせた評価ボードを開発したので、本稿で紹介する。熱・振動・光など、環境に存在するエネルギーを「収穫」（ハーベスト）して、電力に変換する技術が、エネルギーハーベスティング技術である。

2 低消費電力マイコンの基盤

当社の組み込み系コンピュータ・情報系コンピュータに使用されているマイクロコンピュータは、高機能化を実現するために、高速化・大容量化の一途をたどって多機能へと進化してきた。

例えば、高速化・大容量化した情報系製品である産業用コントローラをはじめ、シーケンス機能に特化した PLC (Programmable Logic Controller) や、保護演算に特化した継電器、インバータや PCS (Power Conditioning Subsystem) などの電力変換



第 1 図 当社の製品群

当社の ICT 製品・パワートロ製品と異なる超低消費電力マイコンの応用製品が指向する「新製品・新機能」の需要を示す。

装置も同様である。

第 1 図に当社の製品群を示す。低消費電力マイコン基盤開発は、これまでのコンピュータと異なり、消費電力を下げる設計を主眼におき、コンピュータが動作するためのエネルギーを自立的に確保できる電源システムを備えた監視システムを創出することを目指した。

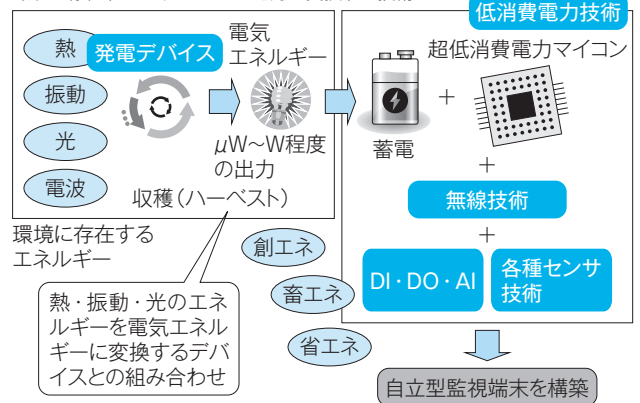
3 評価ボードの開発コンセプト

第 2 図に低消費電力マイコン基盤開発のコンセプトを示す。消費電力を下げるためには、マイクロコンピュータをはじめとする各部品の低消費電力化、更には稼働時と非稼働時（以後、スリープ時）の低消費電力化が重要である。また、監視装置としての機能を有するために搭載した無線・入出力回路などの周辺回路も電力を消費する。この電力エネルギーを確保する電源回路の設計を検討した。

開発した評価ボードは、稼働時の消費電流以外にスリープ時の消費電流を大幅に低減した。スリープ時に限りなく低消費電力であることと、コンピュータシステムを間欠動作させることで、システムの省エネルギー化に大きく貢献する。

つまり、コンピュータ回路の稼働エネルギーを低

低消費電力技術とエネルギーハーベスティング技術
エネルギーハーベスティング技術とは
環境に存在するエネルギー → 電力に変換する技術



第 2 図 低消費電力マイコン基盤開発コンセプト

低消費電力マイコンを採用し、低消費電力設計をし、監視装置としての入出力機能を備え、無線技術で情報を集約できる仕組みとこれらの稼働するためのエネルギーを環境に存在するエネルギーで稼働させることのできる自立型監視端末の開発を目指す。

減させ、電池動作だけでなく環境に存在するエネルギーで動作できる監視装置（評価ボード）を試作する。

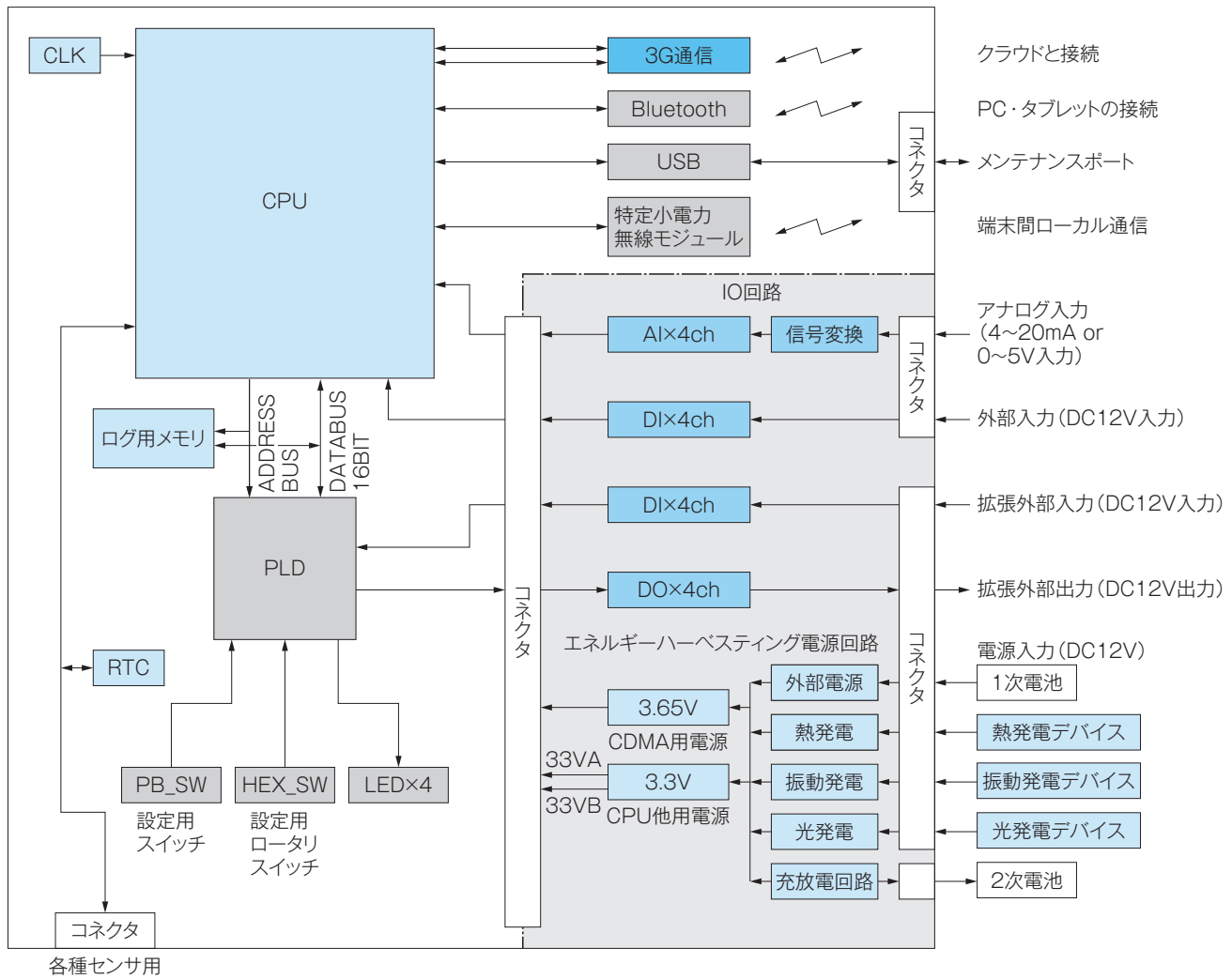
3.1 評価ボードのシステム構成

第 3 図に開発した評価ボードのシステム構成を、第 1 表に仕様一覧を示す。監視装置として適用できるようにデジタル入力（DI）回路、デジタル出力（DO）回路、アナログ入力（AI）回路を備え、各種センサを接続可能とし、測定対象の多様化を考慮したインタフェースを備えた。

また、監視した情報を有効に伝達するために、3つの無線通信機能を搭載した。電源回路は、エネルギーハーベスティング技術を搭載し、評価ボード内の回路を分割してシャットダウンすることで、電源消費を低減化できる構成とした。また電源回路は熱・振動・光の3種のエネルギーを選択して、2次電池に蓄電できる構成とした。

3.2 低消費電力マイコン

超低消費電力向けに設計された32bitRISCマイコンを採用した。低消費電力マイコンは、動作時10mA、スリープ時約1μAまで低消費電力動作をすることができる。



第 3 図 評価ボードのシステム構成

低消費電力マイコンを採用した監視システムの入出力機能を備え、熱・振動・光による発電デバイス又は一次電池で稼働できる構成とした。

第 1 表 仕様一覧

低消費電力マイコンの開発した評価ボードの仕様を示す。

項目	仕様	項目	仕様
CPU	CPU	32bitRISC	48MHz
	内蔵フラッシュメモリ	1024KB	
	内蔵SRAM	128KB	
	SRAM	512KB	
	FRAM	256KB	
	A/D変換器	12bit 8ch	
無線/有線	3G通信	クラウド接続	
	920MHz通信	端末間ローカル通信	
	Bluetooth通信	PC・タブレット接続	
	USB	メンテナンス用シリアル	
監視・制御	AI	4ch (0 ~ 5V又は4 ~ 20mA), 電源電圧*1	
	監視・制御		
		監視・制御	DI 8ch*2
			DO 4ch
			I2C 1ch
		電源回路	3.3VA, 3.3VB, 3.65V, 24V*3
		エネルギーハーベスティング電源	熱発電 30 ~ 500mV
			振動発電 2.6 ~ 23V
			光発電 0.3 ~ 4.75V, 2.6 ~ 23V
		2次電池	リチウム電池各種
		1次電源	14.4V, 5V
			リチウム電池3.6V 4直列パック
		OS	μT-Kernel 2.0
		プロトコルスタック	TCP, UDP, IP, FTP, FILEsystem, 6LoWPAN

注. ※1. 一部Wakeup可能 ※2. 一部Wakeup可能 ※3. 一部電源シャットダウン可能

評価ボードは、監視装置として適用できるように、スリープ状態から、DIの状態変化による起動、AIのアナログ値があらかじめ設定したしきい値を逸脱したことによる起動、また内蔵のカレンダーICによる定周期起動など多彩な起動条件を用意した。

3.3 無線通信機能

評価ボードの通信機能の適用例を紹介する。当社のクラウドシステムにTELEMOT^{テレモット}通信規約で通信する。そのために、KDDI(株)の携帯通信網を使用した3G通信機能を搭載した。

また、評価ボード間の無線によるローカルネットワークを構築するため、920MHz特定小電力無線を搭載した。現場でのパソコン・タブレットとの無線通信機能として、Bluetoothを搭載した。

3.4 ソフトウェア体系

第4図に低消費電力マイコンシステムのソフトウェア体系を示す。組み込み系のOSとして、当社のTELEMOTで採用してきた組み込みリアルタイムOS μ ITRONからの移植性を考慮して、互換性・拡張性・省資源性に優れたリアルタイムOSの μ T-Kernel2.0を採用した。

μ T-Kernel2.0を採用することで、汎用IPプロトコルスタック・6LoWPAN (IPv6 over Low-power

Wireless Personal Area Networks) プロトコルスタックを搭載させ、当社のローカル通信システムを構築した。

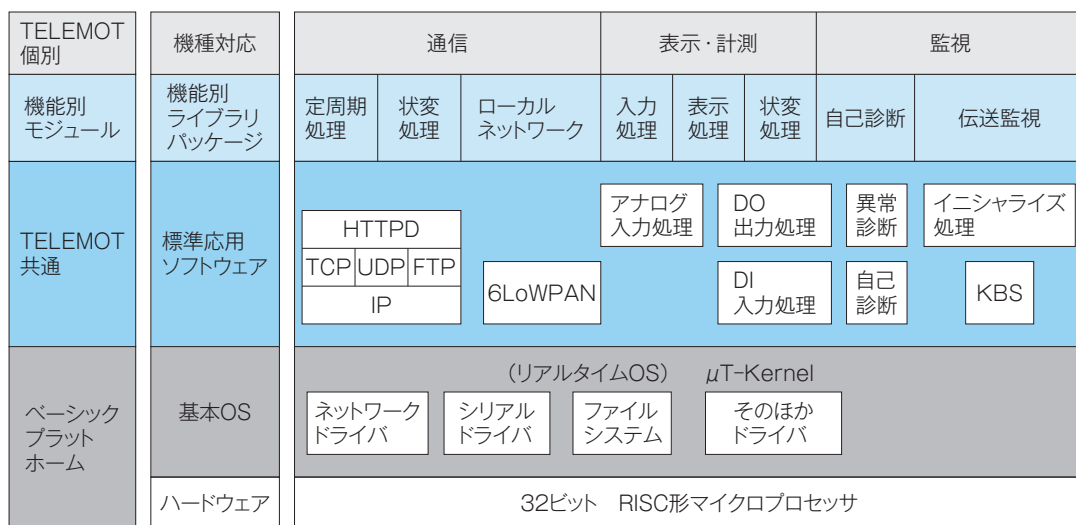
3G通信では、携帯電話の基地局経由でインターネット網に接続してIP通信を行う。920MHz無線モジュールを介して構成されるローカルネットワーク上で、IPv6に基づく通信を実現することができる。また電力資源や信頼性の限られたネットワーク上で、IPv6パケットを効率的に伝送する。

3.5 エネルギーハーベスティング技術と電源回路

電源回路は、稼働時数百mA、スリープ時約1mAまでの全領域にかけて自己損失の少ない同期整流式降圧レギュレータ(広い入力電圧2.7~17V)を採用した。電池で動作させる場合、計測系の電源24Vを供給可能な電源とするために、リチウム電池3.6Vの4直列接続で、14.4Vを定格とした電池駆動電源回路も備えた。

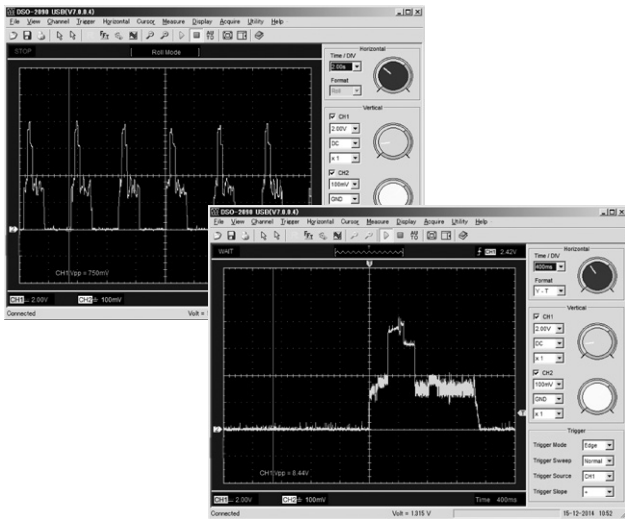
評価ボードのエネルギーハーベスティングは、熱・振動・光の発電デバイスと組み合わせ発電する電源回路・充電回路・蓄電回路を備え、エネルギー自立型のシステムとした。

発電デバイスとして、ピエゾ振動発電素子・熱電変換モジュール・マクロファイバーコンポジット・色素増感型室内光発電モジュールなどを組み合わせられる。



第4図 低消費電力マイコンシステムのソフトウェア体系

開発した低消費電力マイコンシステムのソフトウェア体系として、リアルタイムOSのソフトウェア階層を示す。



第5図 間欠動作例

評価ボードのスリープ時と稼働時の消費電流遷移を示す。

4 低消費電力動作

4.1 間欠動作例

間欠動作時、スリープ状態と稼働状態の切り替えは、 $2\mu s$ で行われる。さらに稼働時間を極力短くし、スリープ時の消費電力を下げることで、エネルギー量を最小に抑えることができる。

エネルギーハーベスティング技術で限られたエネルギーを使用する場合、短時間でアクティブな処理を完結させることは、限られたエネルギーを有効に使用する上で重要なことである。

第5図に評価ボードの間欠動作例を示す。スリープ時は、ほとんど消費電流が発生していない(約1mA)。起動後、処理に必要な回路の電源をアクティブにして、最低の消費電流で動作するように設計した。

4.2 エネルギーハーベスト適用例

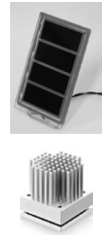
第2表にエネルギーハーベスティング技術適用例を示す。室内光発電モジュール(株)フジクラ製色素増感型)で、2000luxの明るさの室内(窓際室内)で発電し、負荷(動作時20mA、スリープ時0.1mA)を10秒間動作させた場合、3.5分間隔の間欠動作ができる。また、同様に熱電発電モジュール(ヤマハ製)では、温度差約 $60^{\circ}C$ を維持した環境下で、2.5分間隔の間欠動作ができる。

第2表 エネルギーハーベスティング技術適用例

室内光発電・熱発電にエネルギーハーベスティング技術を適用した実験結果を示す。

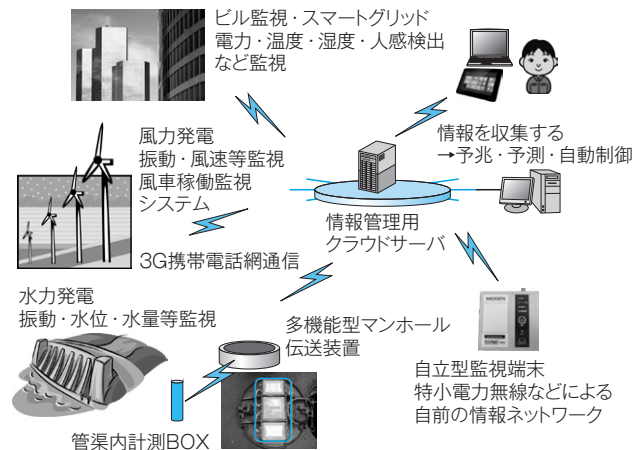
発電素子→電源IC→二次電池への充電動作を確認

項	評価項目	充電動作	充電電流
1	室内光発電	OK	約1.1mA (約2000lux)
2	熱発電	OK	約1.4mA (温度差約 $60^{\circ}C$)



間欠動作センサ端末を二次電池+発電デバイスで実現可能

消費電流		動作時間	間欠動作周期	
動作時	待機時		室内光発電	熱発電
20mA	0.1mA	10s	3.5分間隔	2.5分間隔



第6図 応用製品の創出

低消費電力マイコンを応用した自立型監視端末の計測・監視・モニタリングの応用例を示す。電源工事・通信工事を不要として、敷設後短時間で稼働させることができる。

稼働時とスリープ時の消費電力の合計が、発電エネルギー量内で動作可能な間欠動作条件を設計すれば、電源レスで計測対象物の遠隔モニタリングができる。

5 応用製品の創出

第6図に低消費電力マイコン技術を応用した製品を紹介する。

5.1 多機能型マンホール伝送装置

マンホールにリチウム電池と組み合わせた低消費電力版伝送装置を配置して、水位・硫化水素・pHなど管渠内を自動計測する。定周期で起動され、

クラウドシステムに3G通信で情報が集約され、どこからでもブラウザで監視できる。マンホール内で監視対象を拡張する場合、複数の装置間を特定小電力無線で中継して情報を集約する。

5.2 風車稼働監視システム

風車タワーの振動成分を分析し、風車の稼働判定を行い、中継可能な特定小電力無線を使用して、稼働情報を集約する。

6 むすび

低消費電力マイコン基盤技術は、これからの「創エネ」、「蓄エネ」、「省エネ」を必要とした製品を実現するための技術であり、その概要を紹介した。

本技術は、これまで電源工事を必要とした場所に、電源工事レスで監視・測定が行える伝送装置・端末装置に適用され、発展することが期待される。

今後も、超低消費電力・エネルギーハーベスティング技術を融合させた、新しい市場要求に即した製品開発を進めていく所存である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

《執筆者紹介》



興津 俊幸
Toshiyuki Okitsu
製品技術研究所
デジタルリレーの開発・新製品開拓業務に従事



小野 一史
Kazushi Ono
製品技術研究所
通信関連機器の開発に従事



越谷 涼
Ryo Koshiya
製品技術研究所
通信関連機器の開発に従事



斉藤 将士
Masashi Saito
ICT製品・サービス統括本部開発部
通信関連機器の開発に従事