

センサ端末における ノーマリーオフ コンピューティング



林越正紀¹ 清水 徹¹ 松原 仁²

¹ ルネサスエレクトロニクス (株) ² 公立はこだて未来大学

スマート社会におけるセンサ端末の 低電力化要求

インターネット上のサーバやクラウドによる大規模データ処理と、センサやアクチュエータを制御するセンサ端末をネットワークで結合したいわゆるサイバーフィジカルシステムが、次世代の組込みシステムが目指す姿である¹⁾。

今後は、情報機器+人+モノがネットワークでつながる時代へと移行し、その結果、膨大なデータが扱われることになる。

サイバーフィジカルシステムは、スマートコミュニ

ニティの基盤技術であり、センサからインターネットに実時間で流し込まれる社会環境や自然環境のデータを処理することで、高度なサービスの実現を目指している(図-1)。

このように、社会環境・自然環境の情報をリアルタイムに収集するために、多種多様なセンサ端末が広範に使用されることになる。センサ端末は、現状でも年100億台規模の生産量を有しており(図-2)、サイバーフィジカルシステムの発展とともに膨大化するセンサ端末をいかに低電力化するかが性能面で重要となる。

本稿では、センサ端末の低電力化に向けて、センサでの環境データ取得の特徴を活かしたノーマリー

オフコンピューティング制御による低電力化の実現性を示すとともに、このようなセンサ端末の応用例としてオンデマンド型バスのバス停への適用検討とそのシステムレベルでの低電力化の可能性について説明する。

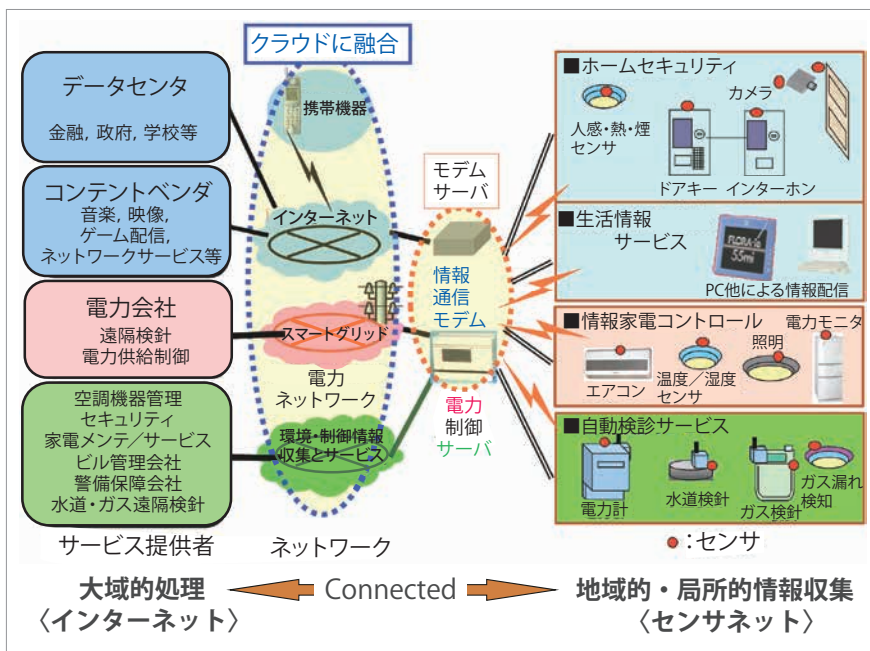


図-1 スマートコミュニティにおけるサイバーフィジカルシステム

センサ端末の 低電力化課題

従来のセンサ端末の構成

センサ端末は、センサモジ



図-2 各応用機器の生産規模

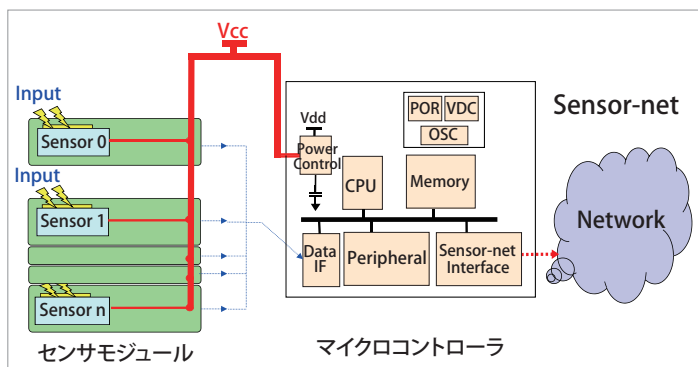


図-3 従来のセンサ端末の構成

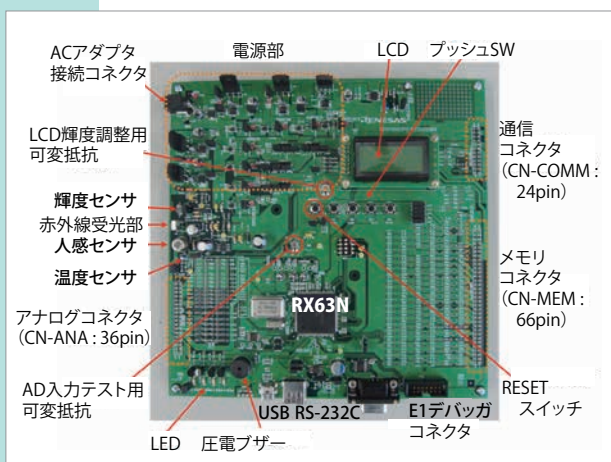


図-4 センサ端末の電力評価ボード

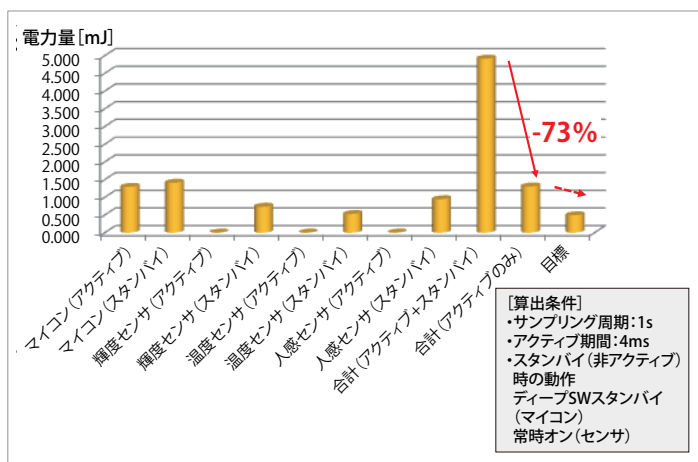


図-5 センサ端末の消費電力量内訳

ジュール, マイクロコントローラ (マイコン) で構成される (図-3).

従来のセンサ端末は, センサモジュールとマイコンには常時電源が供給されており, 定期的にマイコンでセンサからのデータのサンプリング, 平均化等のシステムからの要求に応じた処理が行われ, センサネットへのインタフェースを通じて, データを送り出す.

スマートコミュニティにおいて, 広範に使われる環境系センサ (温度, 輝度, 人感センサ等) では, 通常, データのサンプリングは数 10ms ~ 数 s 間隔で行われるが, センサモジュールとマイコンへは常時電源が供給されているため, 処理をしていない期間に不要な電力が消費されている.

センサ端末の低電力化可能性

センサ端末の低電力化可能性の評価として, 現状のセンサ端末システムの消費電力量の要因分析を,

評価ボード (図-4) を用いて実施した.

評価ボードの構成は,

- ・センサ (温度, 輝度, 人感センサ)
- ・マイコン (ルネサス製マイコン: RX63N)
- ・その他, 周辺回路

である.

評価ボードは, 従来のセンサ端末と同様にセンサとマイコンへ常時電源が供給されている.

評価結果を図-5に示す. 図中, センサからのデータをマイコンが処理している期間をアクティブ, それ以外の期間をスタンバイと定義し, マイコンと各センサの電力量の内訳を評価した.

本評価では, センサは常時電源オン, マイコンはスタンバイ時にディープソフトウェアスタンバイモード (RX63N に搭載されている間欠動作時のスタンバイ待機モードの1つで, 一部の内蔵 RAM と RTC (リアルタイムクロック) のみ給電, CPU とほかの周辺回路は電源遮断) への移行を前提とした.

2. センサ端末におけるノーマリーオフコンピューティング

センサ端末の低電力化へのアプローチ

ノーマリーオフアーキテクチャ

前章で述べたとおり、センサ端末の低電力化には、センサモジュール、マイコンを必要と時のみ電源オンする、および、マイコンのアクティブ時の電流を低減することが課題である。

そのためには、電源復帰時のオーバーヘッド（電力、時間）を最小化する必要がある、マイコンの処理負荷を軽減（動作頻度を低減）し、できるだけ電源オフ時間を最大化し、電源オン領域を最小化するこ

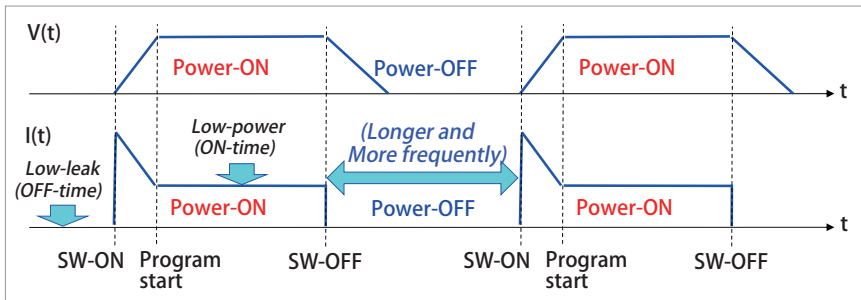


図-6 間欠動作時の波形

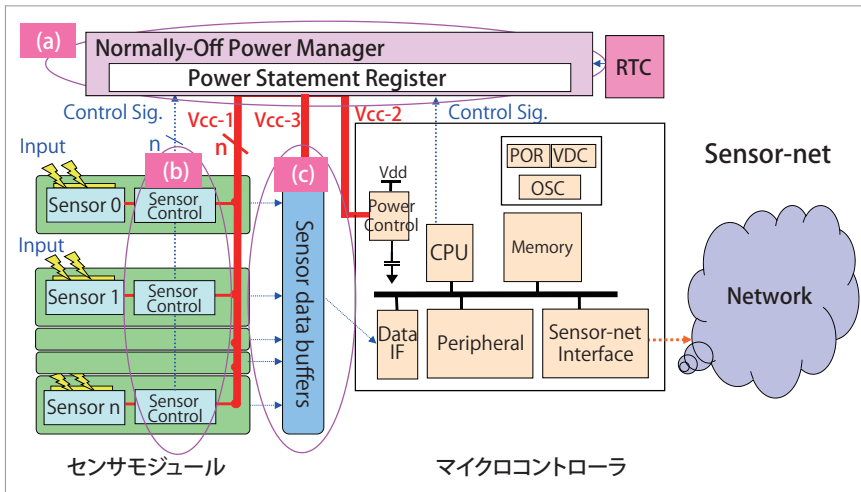


図-7 センサ端末におけるノーマリーオフアーキテクチャ

センサからのデータをマイコンが処理している期間（アクティブの期間）のみセンサ、マイコンともに電源オン、それ以外の期間を電源オフ（＝ノーマリーオフ動作）した場合のセンサ端末の電力量は、従来に対し73%削減できる。さらに、マイコンの動作時間（頻度）を減らし、アクティブ時の電流を低消費化することで、さらなる低電力化が可能となる。

電源復帰時のオーバーヘッド

低電力化には、処理を行わない期間に電源を遮断し、間欠動作させることが有効であるが、そのためには、電源復帰時のオーバーヘッド（電力、時間）を最小化する必要がある（図-6）。

電源復帰時のオーバーヘッド電力量を最小化するためには、マイコンの処理負荷を軽減（動作頻度を低減）し、できるだけ電源オフ時間を最大化し、電源オン領域を最小化することが重要である。

とが重要となる。

それを実現するための方策として、ノーマリーオフアーキテクチャを提案し、センサ端末におけるノーマリーオフコンピューティングシステムの実現を目指す。

センサ端末におけるノーマリーオフアーキテクチャは、

- ノーマリーオフ電源マネージャ（図-7 (a)）
- センサモジュール（センサ、センサコントローラ（図-7 (b)）
- センサデータバッファ（図-7 (c)）
- マイコンコントローラ（マイコン）から構成される（図-7）。

これらの各要素の処理の一例と役割を示す。

(1) ノーマリーオフ電源マネージャ（図-7 (a)）

ノーマリーオフ電源マネージャは、センサモジュール（センサとセンサコントローラ）、センサデータバッファ、マイコンの電源制御とタスクスケジューリングを管理する。

(2) センサコントローラ (図-7 (b))

従来のセンサ端末の構成で述べたように、データサンプリング等の比較的簡単な処理も、従来はマイコンで実施していた。これらの処理をセンサコントローラに持たせる。

(3) センサデータバッファ (図-7 (c))

センサコントローラ (図-7 (b)) で処理したデータを一時的にセンサデータバッファにバッファリングし、平均化処理等の必要なときのみ、マイコンに処理させることで、マイコンの動作頻度を低減させて、マイコンの電源オフ時間を最大化する。

本提案のノーマリーオフアーキテクチャにより、センサ端末を効果的に低電力化するためには、ハードウェア技術(電源復帰時のオーバヘッド最小化(電源遮断領域の最適化)とその電源制御技術)、ソフトウェア技術(タスクスケジューリングによる電源オフ時間の最大化)の協調設計が不可欠であり、現在開発を進めている。

ノーマリーオフの応用例

本章では、ノーマリーオフ技術の応用例として、交通、環境計測での応用例を示す。

デマンド交通システム

多数のセンサ端末とそのネットワークは、スマートシティ等を支える基本的なインフラである。実効性、持続性の高いスマートシティを実現するためには、これらのセンサネットワークが、年単位で持続的に動作可能なシステムとして構築する必要がある。ここでは、そのサンプルケースとしてデマンド交通システム (図-8) を取り上げ、それを支えるバス停システムについて検討する。

デマンドバスは、利用者の要求に応じて運行する形態のバスであり、特に過疎地域を対象として、バス運行の効率化と運行コスト削減の手法として期待

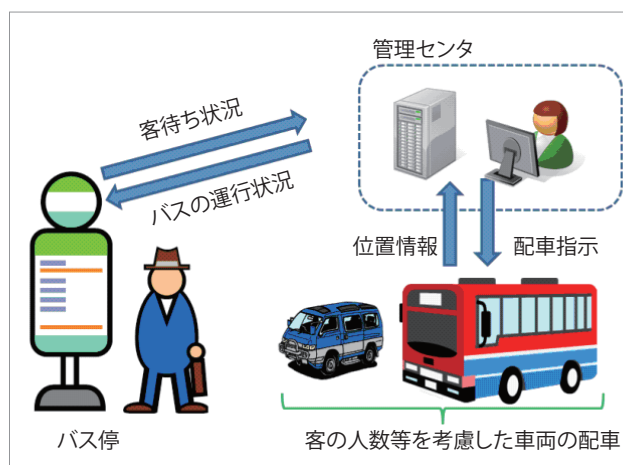


図-8 デマンド交通システム

されている。デマンドバスではさまざまな運行形態が提案されているが、ここでは迂回型バスを対象とする。これは、バスの基本路線に加えて迂回路線を定義し、利用者の要求が発生した場合のみ迂回路線を経由した運行を行うものである。要求が発生しない場合は、迂回路線を経由させないことで、バス運行の効率化を実現できる。利用者の要求の伝達方法は、電話、ファックス、専用端末など、さまざまであるが、いずれにしても現状のバス利用手順に含まれない「(利用者側からの) 予約」手続きが不可欠であり、利用者の利便性を損ねている。

そこで、現状のバス利用手順に準拠し、利用者がバス停に赴き、軽微な操作をするのみで迂回型バスを実現する知的バス停システムについて検討する。知的バス停システムは、人感センサを搭載し、停留所に利用者が接近したときのみ動作する。利用者は、停留所に到着後、知的バス停システムを利用して行き先を指示した後は、現状のバス利用手順と同様に、停留所にて到着するバスを待つのみでよい。

この知的バス停システム (図-9) で想定している動作概要は以下の通りである。

1. ソフトウェアが人感センサを常時もしくは間欠動作させ、人の接近を監視する。操作パネルやCPUなど、通常オフの部分は電源をオフしておく。
2. 人の接近を検出した後、ソフトウェアは操作パネルの機能を動作させ、人の行き先等の入力

2. センサ端末におけるノーマリーオフコンピューティング

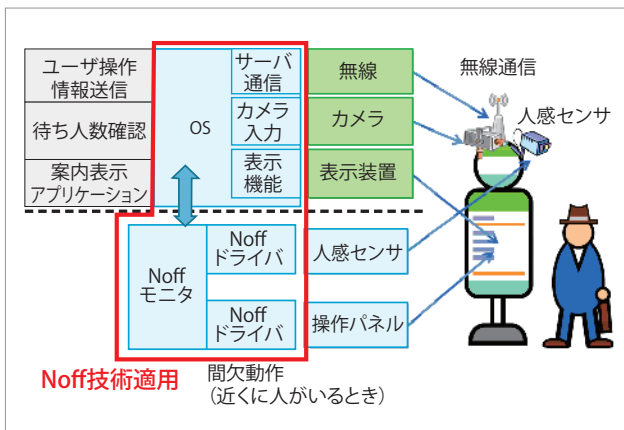


図-9 知的バス停システムへのノーマリーオフ技術適用 (Noff: ノーマリーオフ)

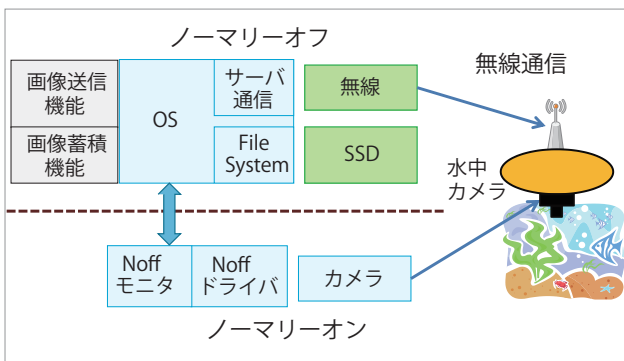


図-10 水産業支援のための水中映像取得・記録カメラシステム

受け付ける。

3. 入力後、ソフトウェアはCPU等の通常オフの部分起動し、運行管理サーバと通信する。
4. ソフトウェアは、運行管理サーバから受け取った運行情報を表示装置に表示し、通常オフの部分の電源をオフする。なお、公共交通を支えるバス停等のシステムは「屋外設置」、「多点」、「メンテナンスフリー」を理想とし、非整備環境におけるユビキタス環境の具体的課題と位置付けることが可能である。

環境計測・モニタリングシステム

カメラを用いた環境計測・モニタリングシステムは、屋内外でのセキュリティ利用やスマートシティ、スマートビル、スマートカー等を支える技術であるとともに、近年では農業や水産業などの一次産業支援、屋外生物の観察や行動解明など生物学的な学術応用、震災、火災等の災害防止や状況把握、さらに

それに伴う風評被害対策に至るまで、幅広い利用が期待されている。このようなモニタリングシステムは正にセンサネットワークの一応用分野であり、その構築にあたっては、「十分な数の計測拠点」で「計測事象に対して十分な計測頻度」で「計測事象に対して十分な計測期間」、「可能な限りメンテナンスの手間なく動作可能である」ことが求められている。このようなモニタリングシステムは、蓄積メディアの大容量化やセンサの堅牢化/耐久性上昇により実現可能な環境が整いつつある一方で、カメラシステムは一般的に高消費電力機材であり、バッテリー問題が大きな課題となっている。

カメラに限らずセンサネットワークシステムでは、バッテリー問題は依然として抜本的に解決されていない重要な課題だが、特にカメラシステムではその傾向が顕著である。今後さらに導入が進むことが見込まれる屋外環境、特に山岳地帯や広域での農畜産地、海洋といった環境下では、バッテリー交換等のメンテナンス作業自体が困難なケースも多く、低消費電力のカメラモニタリングシステムの実現は重要な課題である。現状では、バッテリー容量や電力効率がカメラモニタリングシステム全体のボトルネックとなっており、計測回数(=計測頻度×計測期間)を決定付けてしまっている。電力消費が大きい通信機能を使わずに蓄積型システムとして運用を行っている例も多いが、設置場所が屋外の場合、機材故障や盗難、自然災害等で機材そのものが失われる場合も多く、獲得した画像データを保全するためにも定期的な通信機能が必須と考えるのが妥当である。

ノーマリーオフ技術の適用により、従来実現が困難であった長期間、必要頻度の撮影とメンテナンスフリーを両立させたカメラモニタリングシステムが可能となる(図-10)。

その他の応用として、漁業、医療、FA、車載モニタリング等、広範な応用が期待できる。

さらなる低電力化への挑戦 (次世代不揮発メモリの活用)

現状のマイコン混載用のメモリ (SRAM, Flash) は、

- 微細化に伴う SRAM のリーク電流
- Flash へのデータ退避による間欠動作時の電源遮断復帰時のオーバーヘッド (電力, 時間) の課題がある。

次世代不揮発メモリ (NVRAM) を用いることで、上記課題を克服でき、

- 頻繁な間欠動作が可能 (超低消費電力化)
- 待機時完全電源断による周辺回路の素子信頼性向上の実現が期待できる (図-11)。

しかしながら、頻繁な間欠動作はかえって消費電力を増大してしまう可能性がある。低電力効果を向上させるためには、1回の電源遮断時間を損益分岐点となる時間以上にし、かつ、できるだけ長くする必要がある。このためには、動作アクティビティを時間軸上で局所化させるタスクスケジューリング技術が重要となる (図-12)。

真の「ノーマリーオフコンピューティング技術」とは、電源遮断制御 (パワーゲーティング) と不揮発性メモリの相乗効果により、システムとしては動作中であっても、真に動作すべき構成要素以外の電源を積極的に遮断し、超低消費電力を実現可能とする技術である。

STT-MRAM (スピン注入型磁気メモリ) をはじめとする次世代不揮発メモリは、Flash メモリに比べ、書き込み速度が速い特徴があり、データ退避時間の大幅な短縮が可能となり、間欠動作に伴うオーバーヘッド時間が最小化できるため、効率的にシステムの間欠動作が可能となる。

つまり、細粒度のパワーゲーティング (頻繁な間欠動作) が可能となり、次世代不揮発メモリ搭載マイコンの出現により、ノーマリーオフ技術への要求が高まり、次世代不揮発性メモリ時代へのパラダイムシフトが期待できる。

図-13 に不揮発性メモリへの書き込み時間と書き込みエネルギーのマッピングを示す。スマート社会、

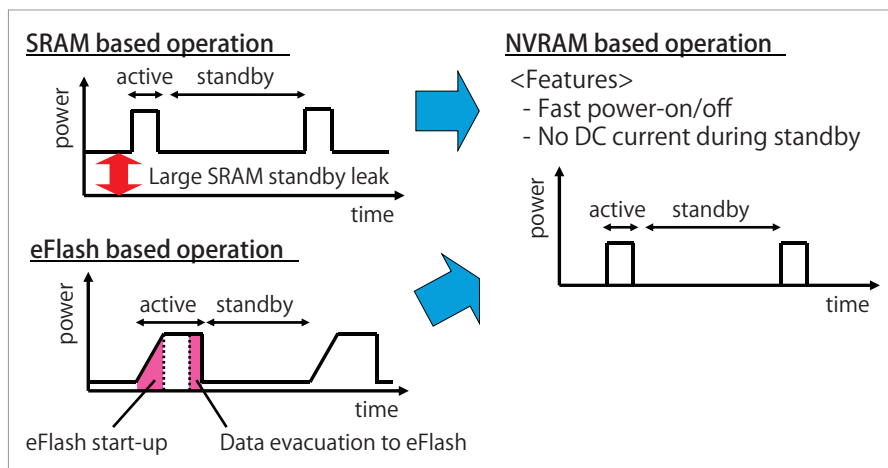


図-11 低電力化におけるパラダイムシフト (eFlash: マイコン混載用のFlashメモリ, NVRAM: 次世代不揮発メモリ)

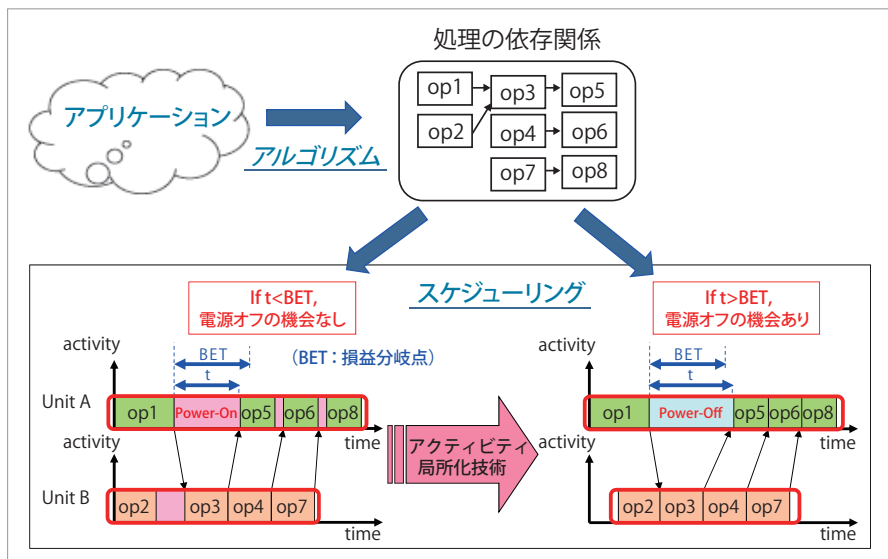


図-12 動作アクティビティの局所化によるノーマリーオフコンピューティング

2. センサ端末におけるノーマリーオフコンピューティング

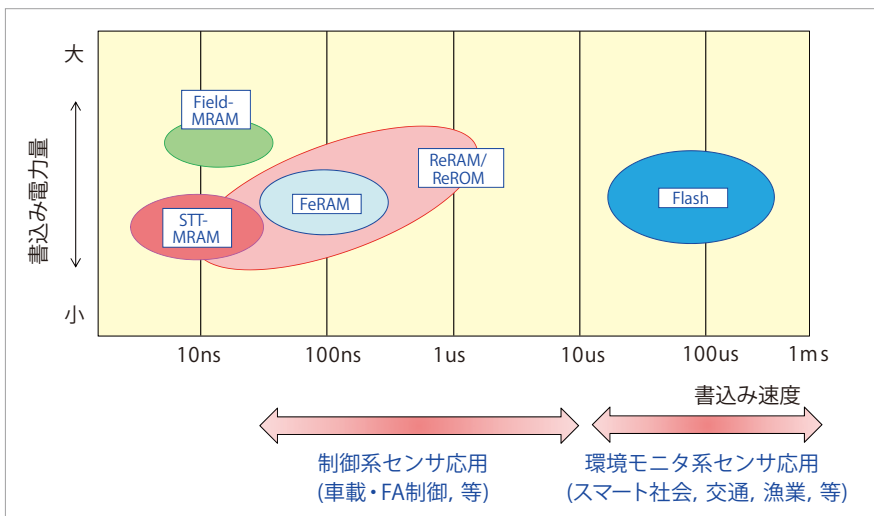


図-13 不揮発性メモリの特性と応用分野

交通、漁業等の環境モニタ系センサ端末では、現状の Flash メモリでもノーマリーオフ効果が期待できる。車載、FA 等の制御系センサでは、高速な不揮発性メモリが必要となり、次世代不揮発性メモリへの期待が大きい。さらに高速領域では、スマートフォン等の携帯機器向けプロセッサ応用への期待も高まる。

計により、実現が期待できる。

また、次世代不揮発メモリとの相乗効果により、センサ端末システムから高速プロセッサ用途等まで広範な応用が期待できる。

参考文献

- 1) Cyber-Physical Systems Executive Summary, Prepared by the CPS Steering Group (6th Mar. 2008).

(2013年3月4日受付)

まとめ

センサ端末の低電力化のアプローチとして、電源オフ時間の最大化と電源オン領域の最小化が重要であり、それを実現するための方策として、センサ端末におけるノーマリーオフアーキテクチャを提案した。本技術は、ハードウェア技術（電源復帰時のオーバーヘッド最小化（電源遮断領域の最適化）とその電源制御技術）、ソフトウェア技術（タスクスケジューリングによる電源オフ時間の最大化）の協調設

林越正紀 | masanori.hayashikoshi.cj@renesas.com

1986年神戸大学大学院工学研究科修士課程修了。同年三菱電機入社。現在、ルネサスエレクトロニクスにて、次世代 NVRAM の開発に従事。

清水 徹 | toru.shimizu.xn@renesas.com

1986年東京大学大学院理学系研究科博士課程修了。同年三菱電機入社。現在、ルネサスエレクトロニクスにて、主管技師長として国内外の研究機関・大学との連携構築を担当。

松原 仁 (正会員) | matsubar@fun.ac.jp

1986年東京大学大学院情報工学博士課程修了。同年電総研（現産総研）入所。2000年公立はこだて未来大学教授。スマートシティの研究に従事。