

[招待講演] ノーマリオフコンピューティング 課題と挑戦

清水徹[†]

ノーマリオフとは、処理が必要な時、必要な部分に、必要な期間だけ電力を供給し、処理が必要ないときには電力供給をストップするというコンピューティングシステム的设计方針である。この講演では、ITシステムのグリーン化に向けてノーマリオフの考え方を整理し、それに基づいたコンピューティングアーキテクチャの開発の意義と課題について議論する。

Challenge of the Normally-off Computing

Toru Shimizu[†]

The Normally-off Computing is a design policy of computing architecture for low power, in which the electric power is supplied to a component only when, where and while its data processing is necessary. In other words, the power supply is cut off for the component as long as its processing is unnecessary. I would like to clarify the concept of the Normally-off and discuss importance and challenges of the research and development of the computing architecture based on it.

1. はじめに

地球全体の人口増加と新興国を中心とした経済規模の拡大に伴い、限られたエネルギー資源の有効活用、すなわち地球レベルでの社会システムのグリーン化が必須である。そして、社会システムのグリーン化を抜本的に推進するには次の二つの切り口での技術開発が必要である（図1）。

- ① IT自身のグリーン化：社会基盤としてのITシステム自身のグリーン化
- ② グリーン化のためのIT：社会基盤をスマートに制御してグリーン化する為のIT

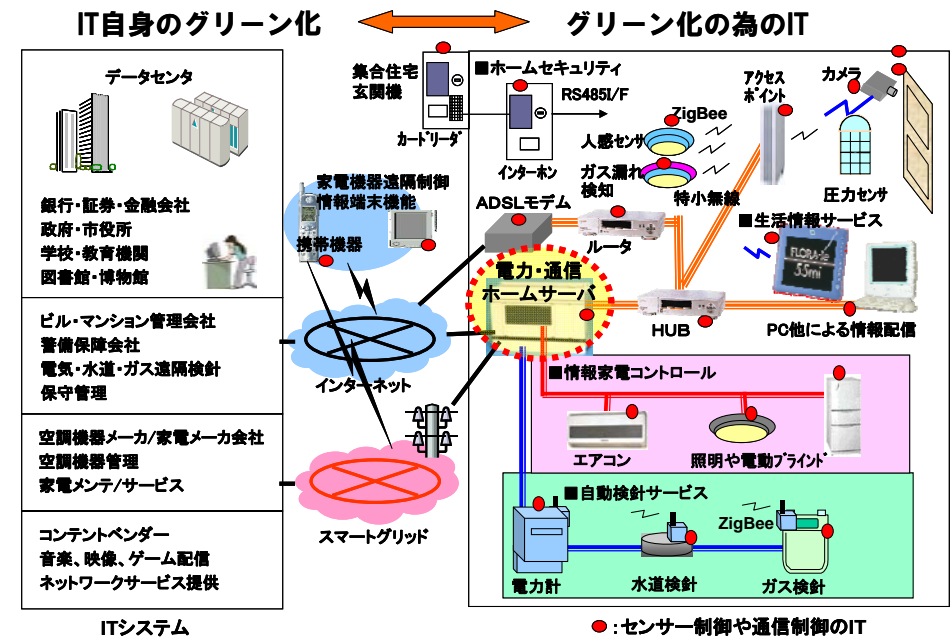


図1 グリーン化におけるITと社会基盤の関係

①の「IT自身のグリーン化」は、社会基盤のIT化が急速に進むとともに待ったなしの状況である。情報端末や情報機器の台数が急増し、大量のビデオやサウンドを処

[†] ルネサス エレクトロニクス株式会社
 Renesas Electronics Corporation

理するための高性能化も著しい。更に、それらを結ぶ情報ネットワークは地理的にも密度の点でも拡大し、また 24 時間常時接続の割合を高めている。その結果、情報の処理量や通信量は増加する一方で、それを支える IT システムが消費する電力もますます増大する。

②の「グリーン化の為の IT」も、社会基盤の IT 化に伴ってカバー範囲を広げてきた。交通、製造、オフィス、住居、社会インフラなどの様々なシステムが IT システムに接続され、その接続ノードは急激に増加している。その結果、「グリーン化の為の IT」自身が消費する電力も増大する一方である。

①にしても②にしても、IT 自身のグリーン化の為に取るべき方針は本来、シンプルである。情報処理するときにはその処理効率をできるだけ良くして消費電力を減らすことと、必要ないときには処理を止めて電気を切ることである。前者のような処理効率の改善は、これまで半導体の微細化技術によってこれが継続的に実現されてきた。また、後者のように不要な処理はせずに電気を切ることについても、半導体の回路技術によって実現されてきた。

しかし、現在、社会基盤の IT 化は、半導体のチップのグリーン化を上回るスピードで進行しており、これに対抗するにはチップ単体のグリーン化では不足である。チップを複数組み合わせ、その動作を制御するソフトウェアを組み合わせたシステムレベルでグリーン化を追求することが必要である。更に、①や②のシステム単体ではなく、①と②を組み合わせるその間のネットワークも含めた総合的なグリーン化の挑戦も不可避である。

複数のチップやソフトウェアを組合せ、更に複数のシステムを組み合わせるグリーン化を達成するには、その間のインタフェースやプロトコルを定めるアーキテクチャの開発が重要である。こうした IT システムの総合的なグリーン化のアーキテクチャの設計方針が「ノーマリオフコンピューティング」である。この講演では、IT システムの総合的なグリーン化に向けたノーマリオフコンピューティングのコンセプトと課題について考えてみたい。

2. チップの低電力化1

先に説明したように、グリーン化の基本方針は処理時の電力効率向上と処理不要時の電力カットである。この方針はチップ設計でもまったく同じである。

チップの消費電力は、よく知られている次の式 (1) で計算される。この式 (1) に基づき、チップの電力効率向上側では、必要な性能を維持した上で回路の規模や面積の削減 (C の縮小)、回路の低電圧化 (V の低下) がおこなわれてきた。また、必要な性能に対して動作周波数 (f) と動作電圧 (V) を最低限に制御する DVFS や AVS という回路技術もある。

$$P = \Sigma (1/2) \alpha C V^2 f + \Sigma I_{leak} V \quad (1)$$

α : 動作比率 (0~1 の値)

C: 容量

V: 動作電圧

f: 動作周波数

I_{leak} : 回路のリーク電流

一方、チップの電力カット側では、クロック信号を止めて回路動作をストップするクロックストップやクロックゲーティング (f の制御)、そして回路の一部への電力供給をストップすることによってリーク電流 (I_{leak}) も止めてしまうパワーゲーティングという回路技術が使われている。

3. ノーマリオフ

ノーマリオフとは、パワーゲーティングなどの電力ストップを積極的に活用して低電力化、すなわちグリーン化を実現するシステム設計方針である。ノーマリオフでは、処理が必要な時、必要な部分に、必要な期間だけ電力を供給するという方針でシステムを設計する (図 2)。例えば、マイクロプロセッサで、命令コードが来た時だけ命令デコーダに電力が供給され、デコード後は電力ストップされる、またデコード結果が演算命令だった時だけ演算器に電力が供給され、演算後は電力ストップされる、といった具合である。

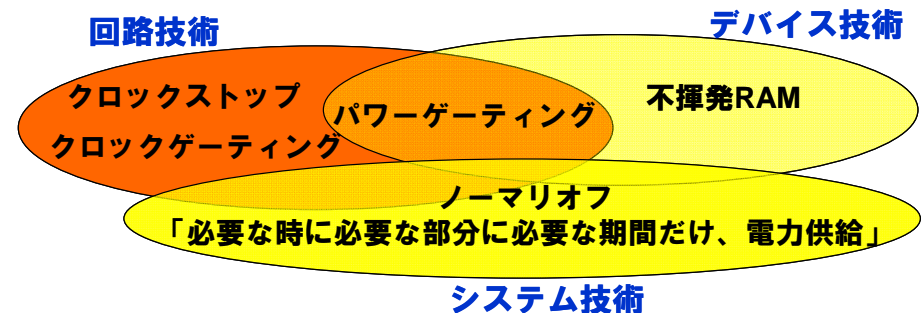


図 2 ノーマリオフを実現する技術

4. 不揮発 RAM の必要性

ノーマリオフのシステム設計方針では、各々の処理を単位として電力が供給される。この時に問題になるのは、処理と処理の間で処理状態の情報やデータを受け渡す為の手段である。再びマイクロプロセッサの例で、命令デコードの後に命令が実行されるのだから、命令デコードの間は命令デコーダだけに電力が供給され、命令実行の間は必要な演算器だけに電力が供給されれば良い。ただ、デコード結果を格納したメモリの値が電力ストップと伴に消えてしまえば、次の段の命令実行に情報を伝えることができなくなってしまう。

ノーマリオフのシステム設計で、このように処理と処理と間で情報やデータを受け渡す為の手段となるのが不揮発 RAM (Random Access Memory) である。このような不揮発 RAM は、自由に読み書きできて、電力がストップされても値が保持される必要があり、MRAM (Magnetic RAM) などが有力な候補になる。

5. おわりに

筆者は、ノーマリオフの方針に基づくコンピュータ処理がノーマリオフコンピューティングだと考えている。マイクロプロセッサの命令処理パイプラインのステージ単位でノーマリオフにすることもあるだろうし、マルチコアのコア単位でノーマリオフにすることも考えられるだろう。また、分散処理コンピュータのコンピュータ単位でノーマリオフにすることもあるだろう。一言でノーマリオフコンピューティングと言っても、様々なレベルがある。

また、このようなレベルの違いは、何を処理の単位として電力を供給するかという単位の違いでもある。その単位の大きさによって処理に必要な電力の量や時間が異なり、ある処理から別の処理に受け渡すデータの量や手続きが異なり、その結果、ノーマリオフによる低電力化の効果も異なる。

謝辞 日頃、ノーマリオフの技術開発について示唆に富んだ議論をさせていただいているルネサスエレクトロニクスの有本和民博士とノーマリオフ開発チームの皆さまに、謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- 1 Shimizu, T., Arimoto, K., Nishii, O., Otani, S. and Kondo, H.: Low Power Platform for Embedded Processor LSIs, IEICE Trans. Electron., Vol.E94-C, No.4, April 2011

-- 正誤表 --

P2 左下 下から 2 行目

正：動作周波数 (f) と動作電圧 (V)
誤：動作周波数 (f) と動作周波数 (V)