

# 待機電力ゼロの電子機器を目指す 不揮発ロジック技術の開発

杉林直彦

## 要旨

NECはスピントロニクス素子を使った不揮発ロジック技術により、利便性と待機電力ゼロを両立した電子機器を目指しています。その技術をエネルギーマネジメントシステムなどで使われる無線センサ端末に適用することで電池交換間隔を大幅に伸ばし、実質的なメンテナンスのフリー化を目指しています。

## キーワード

●スピントロニクス ●不揮発 ●省エネルギー ●論理回路 ●エネルギーマネジメントシステム (EMS)

## 1. まえがき

地球環境を保護し、持続可能な社会を実現するための対策として、更には東日本大震災以降の電力不足への対策として、省エネルギー技術に対する期待が非常に高まってきています。そのなかでも、電子機器の待機電力は本質的には不要なものなので、限りなくゼロに近づけることが求められています。電子機器の待機電力は、コンセントを抜くことによりユーザー側でも対策は可能ですが、機器の利便性が犠牲になります。NECは、ここで紹介する不揮発ロジック技術を使って、電子機器の待機電力ゼロと利便性の両立を目指しています。

この技術の適用先としてはエネルギーマネジメントシステム (Energy Management System : EMS) の端末機器も想定しています。本特集号でも取り上げているように、弊社では各種端末用機器を使って、EMSを提供しています。端末機器の消費電力を下げるとは、EMSの導入による節電効果を帳消しにしないためにも必要ですが、更に重要な意味があります。まず、センサ端末は、そのEMSにとってセンシングすべき物理量 (温度や消費電力など) が、センシングできる場所に配置することが何よりも優先されます。このため、電池駆動でセンサ情報を無線で伝送するものを使用し、配置の自由度を上げる場合があります。電子機器の待機電力ゼロが実現すると、このようなセンサ端末の電池交換の間隔を延ばすことができます。電池交換の間隔を10年以上にできれば、システムによっては実質上の電池交換不要 (メンテナンスフリー) と言えます。センサ端末の配置において電池交換作業をも考慮しなくてもよくなり、より高度で多様なEMSを実現できるようになります。

第2章ではまず不揮発ロジック技術がシステムの中でどのように利便性と電力削減を両立するかについて説明します。一方、不揮発ロジック技術の核となる不揮発性素子技術はスピントロニクスです。これは、従来使われてこなかった電子の微細な磁石としての性質を利用したものです。その動作原理については第3章で説明します。第4章では、これまで開発してきた不揮発ロジック技術の開発成果について述べます。

## 2. 不揮発ロジック技術の効用

図1に電子機器の構成例を示します。ユーザーが電源をオフにしたつもりでも、多くの電子機器は待機電力を消費しています。その理由は、それまでの計算の途中結果を論理回路の中に保持するためです。一方、待機電力を無くすために、フラッシュメモリやハードディスクのような、電源をオフに

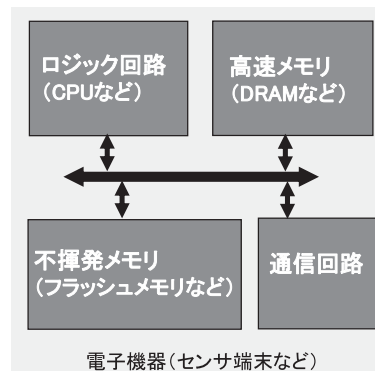


図1 電子機器の構成例

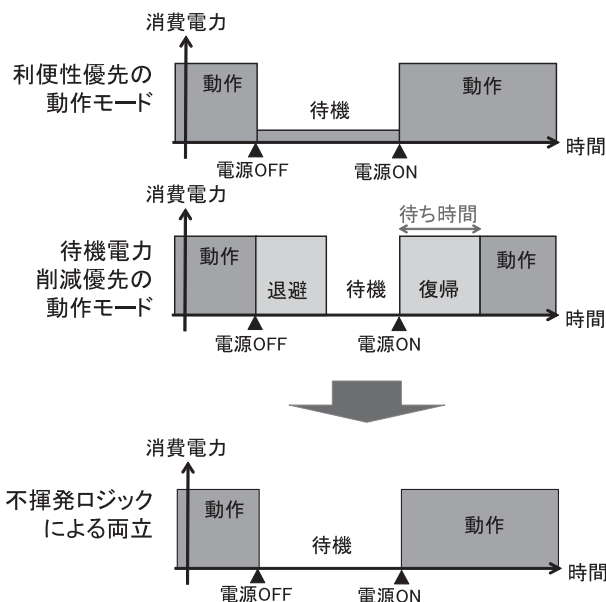


図2 不揮発ロジック技術による両立

しても記憶が消えない不揮発メモリへ途中結果を退避すると、退避したものを復帰させるための時間も必要となり、電源をオンにしてから実際に使えるようになるまでの時間が長くなり、利便性が低下してしまいます。図2に示すように、利便性と待機電力のどちらかを優先させているのが現状です。利便性のために必要な途中結果は、高速メモリとロジック回路の両方に残っており、これらが電源をオフにしても前の状態を覚えているようにすると（すなわち不揮発にすると）、待機状態で電源を完全に切って待機電力をゼロにしても電源復帰時の待ち時間が不要なため、復帰時の利便性の低下が起きないようにすることができます。

不揮発のロジック回路は、退避及び復帰動作が不要なため、人間が感じ取れる限界を基に設定された映画1コマの間隔（約0.04秒）よりも、更に100分の1以下の短時間に電源のオン/オフ動作が可能となります。これにより、ユーザーに気付かれることなく、機器が自分自身で判断して、こまめに電源を切ることができ、結果として大幅な節電が可能になります。例えば、ユーザーが“ABC”とキーボードを打つ“A”と“B”の間でも、電子機器の内部ではこまめに不要な場所の電源をオフにして節電をすることが可能になります。EMS用のセンサ端末の場合も、扱う温度や照度などは人間の動作と同様に、

不揮発ロジック回路の動作と比べると非常に変化が遅いので、同様の節電効果を得ることができます。

ここまで、ロジック回路の不揮発化について、最適な動作が行われることを想定しながらその利点を述べました。しかし、今の電子機器のソフトウェアは、ロジック回路の途中経過は電源を切った際に失われることを前提に作られています。したがって、不揮発ロジック技術を完成させるには、単なる素子、回路技術だけではなく、ソフトウェアや制御アルゴリズムに至るまでの総合的な技術開発が必要となります。

### 3. スピントロニクス

次に、不揮発ロジックの素子技術を説明します。図3にスピントロニクスの概念図を示します。電子はマイナスの電荷と微細な磁石という2つの性質を持っています。電子機器の基盤となる電子技術（エレクトロニクス）では、このスピンと呼ばれる微細な磁石の性質を積極的に使ってきませんでした。最近、磁性体材料技術が大きく進歩したことを受けて、スピンの性質を積極的に利用しようとする電子技術であるスピントロニクスが進展しています。スピントロニクス素子及び回路技術の開発においては、弊社は国家プロジェクトである、内閣府の最先端研究開発支援プログラム（題名：「省エネルギー・スピントロニクス論理集積回路の研究開発」、中心研究者：東北大学 大野 英男教授）に参加し、最先端の研究開発を行っています。

スピントロニクス素子の特徴は、電源をオフにしても前の状態を覚えていることができる不揮発素子でありながら、書き換え回数制限がないことです。従来のロジック回路内で使われている不揮発記憶素子は、フラッシュメモリに代表されるように内部で使っている高電圧が素子にダメージを与えることから、書き換え回数が10万回程度に制限されていました。これは、デジタルカメラのメモリカードとして使用する分には、ユーザーが10万回もシャッターを切ることはないので問題ありませんでしたが、電子機器の中で電子機器自身を制御

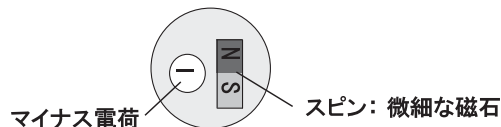


図3 電子が持つ2つの性質

するロジック回路を不揮発化するための素子の書き換え回数としては不十分でした。微細な磁石の向きで記憶を保持するスピントロニクス素子は、低電圧下の小さな電流で書き換えることができるので、素子にダメージがなく、書き換え回数の制限が必要ありません。

弊社では、不揮発ロジック技術において利用するスピントロニクス素子として、**図4**に示すような磁性体に対して垂直な磁化を持つ垂直磁壁素子を開発しています。「自由層」と呼ばれる磁性体の両端の磁化が、「固定層」と呼ばれる磁性体によって反対方向に固定されているため、自由層の中央付近に磁化の方向が急激に変化する場所ができます。これを磁壁と呼びます。磁化が固定されていない範囲で、磁壁の位置が右側にあるか左側にあるかで“1”か“0”のデータを記憶させます。データの書き換えは電流によって行います。

磁性体の両端から電流を流し込むと、電流と逆方向に電子流が生じます。電子のspin同士は同じ方向を向きたがる性質があるため、自由層において電子が流れこんでくる側の磁化方向の領域が広がります。このとき、あたかも電子の流れに押されて、磁壁が移動したかのように見えます。この磁壁移動技術は、**図5**に示すように1個1個の電子が持っている磁石の性質同士の相互作用と、電子がマイナスの電荷を持つ

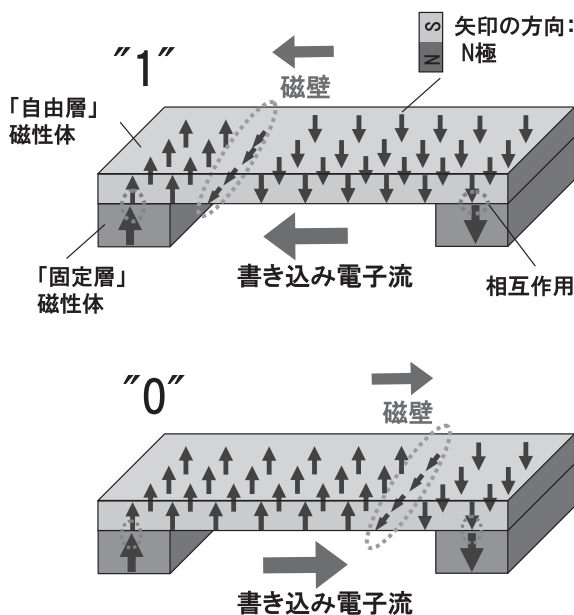


図4 垂直磁壁素子の磁壁移動

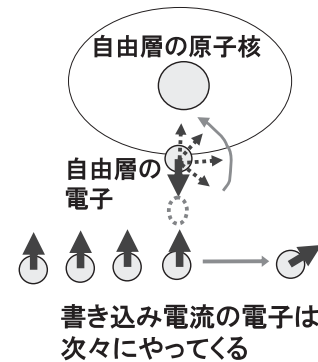


図5 スピン相互作用による磁化反転

からこそ流れる電流を利用しており、まさに典型的なスピントロニクス技術です。

垂直磁壁素子の“1”、“0”のデータは、ロジック回路の中では抵抗値に変換されて読み出されます。この読み出しのための素子も、磁気トンネル接合（Magnetic Tunnel Junction：MTJ）と呼ばれるスピントロニクス技術を使ったものです。

不揮発ロジック回路は、一般的な集積回路の上にスピントロニクス素子を作り込むことで実現します。これは、ロジック回路の中に自由に不揮発の記憶機能を持った素子を組み込めるということになります。従来は、メモリとロジック回路を分離することが、情報処理に関するコストパフォーマンスを上げると考えられ、主流となっていました。ところが、不揮発のロジック回路とメモリを一体的に作れるようになることは、情報処理の仕組みの主流を変える可能性があり、集積回路技術の中にとどまらず電子機器の主流の構成を変える可能性があると考えられています。

#### 4. 不揮発ロジック回路技術

弊社は最先端プログラムの中で、CPU内で使用される電子回路（Content Addressable Memory（CAM）：連想メモリプロセッサ）において、世界で初めて、既存回路と同等の高速動作と、処理中に電源をオフにしてもデータを回路上に保持できる不揮発動作を両立する技術を、開発・実証しました。弊社が以前から開発を進めている前述の垂直磁壁素子を利用することで、一時保存用メモリのデータ参照に必要な回路であるCAMで処理中のデータをメモリに記憶することなく、CAM

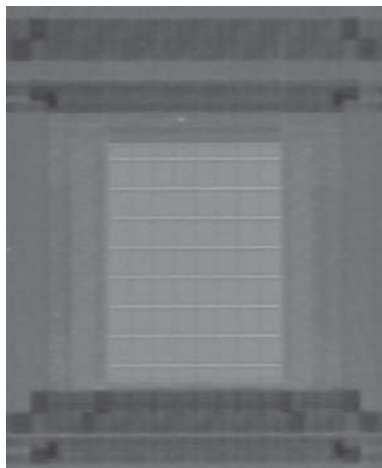


写真 140nm幅の垂直磁壁素子を適用した連想メモリプロセッサ回路

の電源をオフにしてもそのままの状態で行路上に保持することを実現しました。写真 は垂直磁壁素子を適用した連想メモリプロセッサ回路です。

不揮発ロジック技術の動作実証にCAMを選んだのは、CAMの回路がロジック回路とメモリ回路の混合でできており、この動作を実証すれば、CPU全体の不揮発化も見えてくると考えたためです。

このCAMの特長は、従来と同等の高速なデータ検索が可能であることです。高速性を保ったままCAMを不揮発化するために、半導体の1つのセル内に、スピン方向が互いに逆となる2つのスピントロニクス素子を接続しました。回路の構造上、2つの素子の直列接続ができず各素子へのデータの一括書き込みが困難な他のスピントロニクス素子に比べ、今回開発した垂直磁壁素子では、書き込み電流経路と読み出し電流経路を分けることで、2つの素子を直列接続し、1度に書き込み可能になっています。

これにより、素子ごとに必要であった書き込みスイッチのうち1つが省略可能となり、セルをコンパクト化できるとともに、CMOSトランジスタのみで構成した従来のCAMと同等となる5nsの高速な検索時間と低消費電力も実現しました。

## 5. むすび

このように電子機器の中をすべて不揮発にする不揮発ロ

ジック技術の開発は進んでいます。今後、弊社は、素子技術・回路技術を東北大学と連携して完成させることを目指します。一方、電子機器全体が不揮発であることを生かした制御アルゴリズムやソフトウェア開発についても既に取り組みを始めています。開発成果は順次、公表してまいります。

不揮発ロジック技術はユーザーが直接使用する電子機器においては、省エネルギーと利便性を両立するものです。一方で、EMSにおいては、電池交換の制約がなくなり、センサ端末の配置を最適化でき、その性能を向上させることができます。このように、情報通信分野において省エネルギーに貢献する不揮発ロジック技術を、弊社では2015年までに完成させ、提供することを目指して開発してまいります。

## 執筆者プロフィール

杉林 直彦  
中央研究所  
グリーンイノベーション研究所  
研究部長

## 関連URL

<http://www.nec.co.jp/press/ja/1106/1302.html>

# NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧くださいありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご覧ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.65 No.1 スマートエネルギー特集

スマートエネルギー特集によせて  
NECのスマートエネルギー事業  
特別寄稿：情報と電力の融合したデジタルグリッドとその適用

### ◇ 特集論文

#### EV充電インフラ

電気自動車向け充電インフラ整備を支える技術開発  
蓄電・充電統合システム(BCIS)の開発  
電気パワートレインを試験評価するEV開発試験装置  
充電インフラを形成する大容量急速充電器「TQVC500M3」とCHAdeMOプロトコル  
EV充電サービス用充電コントローラの開発

#### 蓄電システム

効率的な電力管理と環境対応を実現した家庭用蓄電システム  
大規模蓄電システムの開発とグローバル展開の戦略  
高い安全性と長寿命を実現したリチウムイオン二次電池技術とその応用  
リチウムイオン二次電池の長寿命化技術  
多様なエネルギーを高効率で活用するマルチソースパワーコンディショナー

#### エネルギーマネジメントシステム(EMS)

HEMSソリューションへの取り組み  
業務改善につなげるエネルギー見える化の推進  
オフィスの省エネを支援する「エネパル Office」  
エネルギー需要を最適に制御するBEMS「スマートビル」  
ICTを活用したエネルギーマネジメントシステム  
電力検針自動化に向けた取り組み

#### エネルギーデバイス

表面実装対応焦電型赤外線センサ  
有機ラジカル電池の開発  
待機電力ゼロの電子機器を目指す不揮発ロジック技術の開発

### ◇ 普通論文

省エネに貢献するLEDシーリングライト連続調光・調色照明器具  
低損失金属磁性材“センティクス”を用いた大電流用チョークコイル「MPCG」

### ◇ NEC Information

#### C&Cユーザーフォーラム& iEXPO2011

人と地球にやさしい情報社会へ～みんなの想いが、未来をつくる～  
NEC講演  
展示会報告

#### NEWS

2011年C&C賞表彰式開催

#### NECグループ会社紹介

電気自動車から蓄電システムまで広がる用途独自技術で高い安全性と高出力を両立



Vol.65 No.1  
(2012年2月)

特集TOP