

グリーンITの世界的動向と産総研が取り組む意義、分野

ITの省エネ、グリーンIT実現に向けた産総研の技術開発

グリーンITとは

地球温暖化ガスの排出を抑えるために、社会のあらゆる場面での省エネ、高効率化が求められています。ITが消費する電力は、照明、空調、電車に比べて少ないと思われがちですが、すでに、わが国の総発電量（年間約1兆kWh程度）の4-5%を消費しています。さらに、広く普及したPCをベースに、年率40%で伸びるインターネット通信量の上昇カーブに沿って、高い増加率を示しています。

自動車や冷蔵庫に投入したエネルギーは、人を運んだり、食品を冷やしたりと、何らかの物理的効果を生みます。コンピューターに投入した電力は100%が熱になりますが、人やほかの機器に情報を届けることができます。その情報は、人を運んだり、食品を冷やす仕事を減らすことで、エネルギーを節約することにつながります。例えば、TV会議や天気予報のように、情報の通信・処理には、エネルギーを消費するという側面と、ほかのエネル

ギー消費を減らすという、二つの側面があります。経済産業省は、この二つをGreen-in-ITとGreen-by-ITとし、合わせてグリーンITと呼ぶ技術開発を推進しています。グリーンIT推進協議会は、適切な技術開発によって、2020年に1.3億トンのCO₂削減が可能になると予測しています（2007年の日本の総CO₂排出量は、約13億トン）。この特集では、産総研におけるグリーンIT関連の研究を紹介します。

産総研グリーンITのターゲット

産総研のグリーンIT研究の多くは、Green-in-IT、すなわちIT機器の省エネに分類されます。IT機器の中心には、CPU（プロセッサ）とメモリーがあり、電源や冷却器などは、CPUをうまく動作させるための補器に当たります。CPUとメモリーの電力（=発熱）を減らせば、電源や冷却器もそれに伴って省力できます。CPUを構成するのは、億を超えるスイッチ（トランジスタ）で、メモリー（DRAM）

を構成するのは、電荷を蓄えるキャパシターです。グリーンITの第1のターゲットは、低電力で動作するトランジスタや、リフレッシュの不要な不揮発メモリーです。不揮発メモリーについては、DRAMの置き換えを狙ったスピンRAMをこの特集で紹介いたします。またITだけでなくTVなど大量に使われるディスプレイの省エネにつながる、有機ELの研究を紹介いたします。

図2に、グリーンIT推進協議会が予測するIT機器別のエネルギー消費増加傾向を示します。インターネットでは、E-mailやhttpでのテキストや静止画コンテンツに代わって、動画のトラフィックが急増しつつあります。また、高速化、大容量化、ユビキタス化に伴ってネットワークおよびデータセンターのエネルギー消費が増大しています。産総研では、映像の大容量通信に適したオール光通信方式（光パスネットワーク）を提案し、それに必要となるデバイスの研究を行っています。

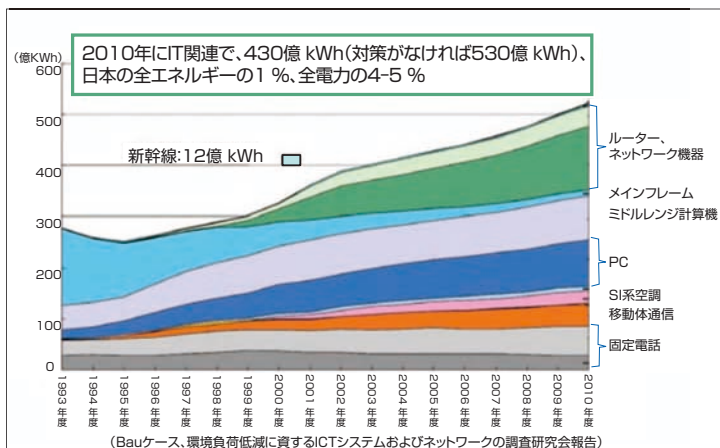


図1 ITのエネルギー需要

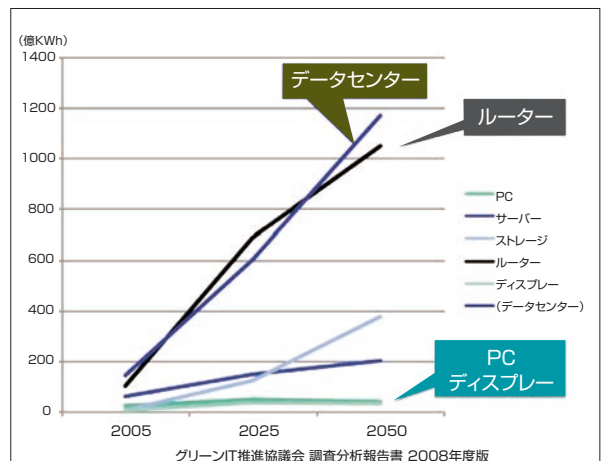


図2 IT機器別エネルギー消費予測
シナリオB-普及率中、電力増加率中。
省エネ技術革新が進展しない場合の予測。

野連携、国内外連携

90年代には、ネットワークによって、情報処理は世界に分散すると予測されました。わが国のPCの世帯普及率は85%に達し、オフィスや家庭にPCは不可欠の存在になっていますが、ストレージやデータ処理は、データセンターへの集中化が進んでいます。これはあたかも地域活性化を狙った交通網の整備によって、都市への集中が再加速するのと似ています。省エネの観点からは、データセンターへの集中は、機器の更新が速く、高度な管理が行え

るので効果が期待できます。この特集では、特にデータセンターの電源・空調の省エネと、クラウドコンピューティングの省エネを解説します。

グリーンイノベーションに向けて

グリーンITは、ITの省エネ、ITによる省エネを図る技術開発です。ものやサービスの価格には、その製造・提供に必要なエネルギーコストが含まれるので、省エネが成功すれば、ものやサービスの価格を下げることで

き、経済の活性化につながります。この特集で述べるグリーンITの技術開発が核となって、新しいネットワークの普及や新しい使い方のコンピューターが生まれ、制度の組み替えや人材育成などを巻き込んで、イノベーションにつながることを期待します。

研究コーディネータ
まつい としひろ
松井 俊浩

消費電力の可視化技術

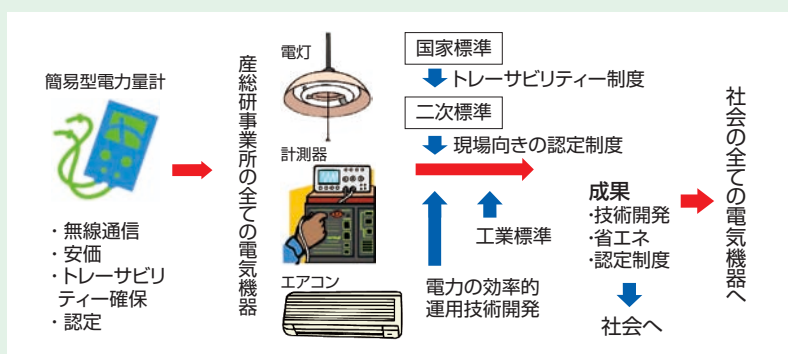
計測標準研究部門
たかつじ としゆき
高辻 利之

家庭のコンセントに差し込むと、時々刻々と消費電力を表示してくれる機器、電力量計が売られています。消費電力だけではなく、電気代やCO₂消費量に換算した値を表示するものもあります。昨年の夏には、同じ機能をエアコンにあらかじめ組み込んだ商品も発売されました。消費電力量が「見える化」されるため消費者の省エネに対する意識が向上し、結果的に消費エネルギーの削減につながることが期待されます。

企業の生産事業所で適用すると、どの事業にどれだけの電力が消費されているかを個別に把握・管理することができ、よりシステムティックに省エネ策を講じることができるようになります。

消費電力量の見える化を大規模に行うためには、電力量を計測する装置の小型化と低価格化が必須です。また、測定データの伝送方法や大量に得られるデータの処理、測定結果の信頼性確保などの技術開発も必要であり、それに加えて広く社会で利用するための制度整備（計量トレーサビリティ、型式承認、検定規則などの整備）なども行う必要があります。

これら一連の技術開発・制度整備は、幅広い分野の研究・業務を行っている産総研の複数の研究ユニットが協調することにより可能です。2009年度から分野融合テーマの一つとして実施中であり、今後、試作品を実際に産総研に取り付け、「見える化」の実現とその効果を検証します。



消費電力の可視化技術に関するプロジェクトの概要と普及のための方策



光ネットワーク低エネルギー化技術

ネットワークの課題

今日、私たちは通信ネットワークなしには仕事や生活ができないほどネットワークに依存しています。また、ネットワークを流れる情報量は年率40%で増大を続けています(図1)。これは、YouTubeやGoogleビデオなどを代表例とする映像情報の増大が要因となっています。映像情報は、メールやウェブ閲覧に比べて情報量が多いのが特徴です。今後、映像の高精細化に伴い情報量はさらに増えていきます。一方ネットワークのルーターの消費電力は2006年に80億kWhで、これはネットワークの情報量に比例して増えると考えられており、このままのペースで情報量が増大していくと、消費電力の制約からネットワークの利用を制限されることになってしまいます。このため、ネットワークの作り方を変えて大幅な低消費電力化が可能な技術を開発

することが要請されています。

光パスネットワークによる超低消費電力化

現在のインターネットでは、IPパケットという小さい情報のパケットをルーターの中で電子的に処理して、行き先を決めるという方式を取っています。ルーターの中で最も電力消費が大きいのがこの部分で、消費電力の1/3を占めるといわれています。私たちの構想は、映像情報などの巨大情報を光パスネットワークという新しいネットワークで対応して、超低消費電力化しようというものです。光パスネットワークでは、電子的に行き先を決めるのではなく情報を光のまま光スイッチで回線交換する方式で、ユーザー間を光パスで繋がります。光スイッチは低消費電力で動作するものを開発することが可能で、情報量あたりの消費電力を現状

のルーターに比べて3-4桁下げることができると考えています。10年後のネットワークは、メールやウェブ閲覧に便利な現在のIPパケットネットワークをより低消費電力化したものと、高精細映像情報などを扱う光パスネットワークを組み合わせたものになると考えています(図2)。

研究開発プロジェクトと将来

私たちは、光パスネットワークの実現のため科学技術振興調整費による「光ネットワーク超低エネルギー化技術拠点」で、シリコン微細光導波路を用いた光スイッチ、光パスでの伝送の品質を維持する技術やルート制御技術、ネットワークの資源を管理する技術などを企業と連携して開発しています。また、パケット方式、パス方式など種々のルーティングの方式を組み合わせたネットワークの省エネルギー化の可能性の評価をNEDOのグリーンITプロジェクトで推進しています。さらに、超高精細映像時代に備えて、画素数がこれまでのハイビジョンの16倍のスーパーハイビジョン(NHKが開発中)にも対応できる超高速LANの研究開発をNEDOプロジェクト「次世代高効率ネットワークデバイス技術」で進めています。

これらの研究開発から、ネットワークの利便性を高め、高精細映像による高臨場感テレビ会議、遠隔医療などの新規サービスを超低消費電力で受けることができ、さらにネットワークによる省エネルギー化にまでつなげる技術の実現を目指します。

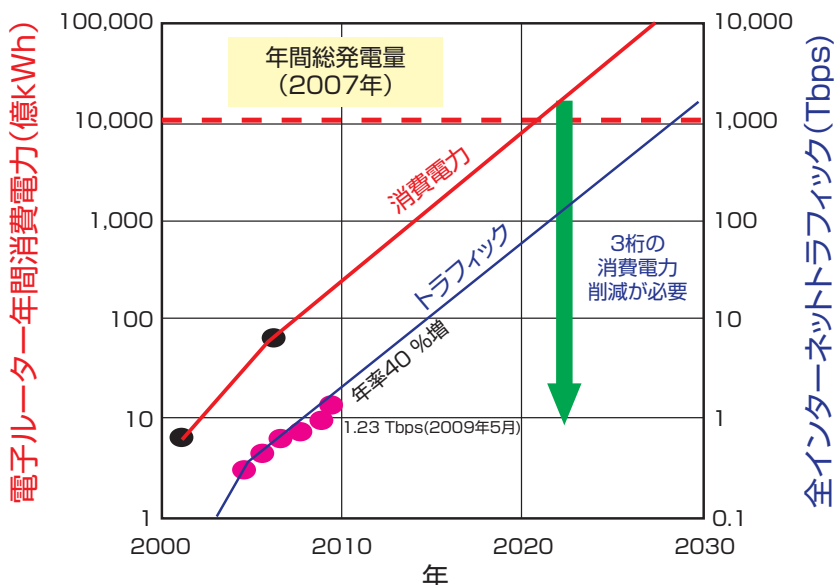


図1 日本におけるインターネットの情報量(トラフィック)と電子ルーターの消費電力

グリーンITの世界的動向と産総研が取り組む意義、分野連携、国内外連携

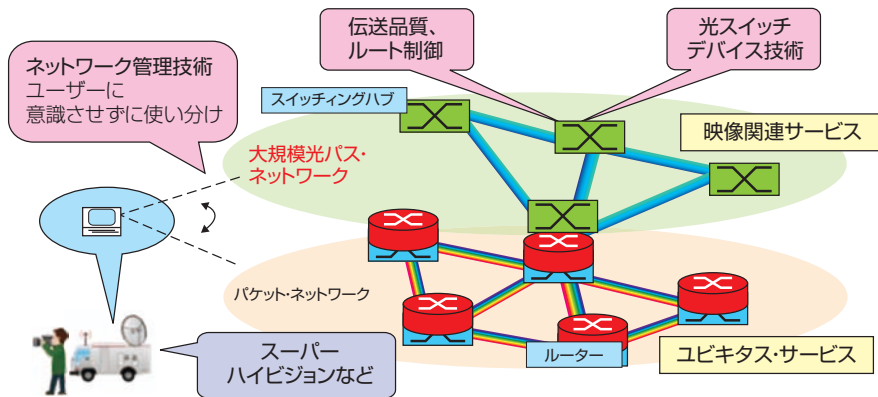


図2 将来のネットワークイメージ
サイズの小さい情報はパケットネットワークで、映像などの巨大情報は光バスネットワークを使う。

ネットワークフォトニクス研究センター

いしかわ ひろし
石川 浩
なみき しゅう
並木 周

情報技術研究部門
くどう ともひろ
工藤 知宏

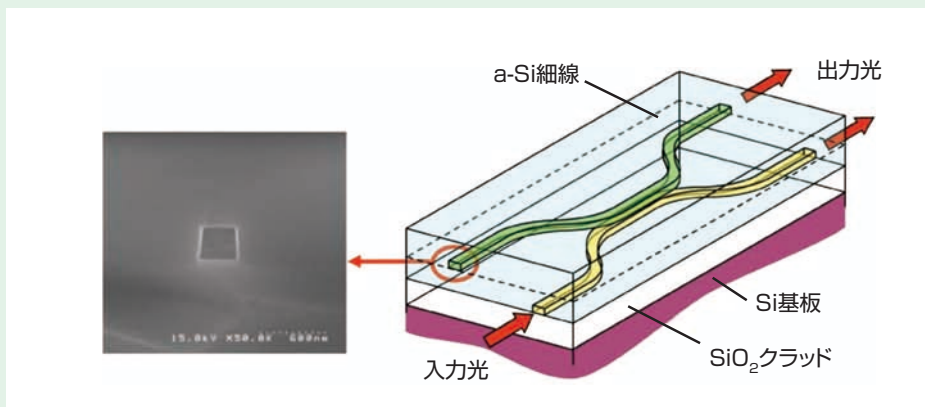
光インターコネクション

光技術研究部門
もり まさひこ
森 雅彦

現在、処理すべき情報量はとどまることなく増大し、ネットワークだけでなく、それを扱う情報機器(高性能コンピューターやデータセンターの主要機器であるサーバーなど)の内部においても消費エネルギーの増大が深刻な問題を引き起こしつつあります。これを解決する技術として光インターコネクションが期待されています。具体的には、機器内における第一のボトルネックとなるのがLSIチップのパッケージとプリント基板の間の接続で、したがってチップ間の光インターコネクションが第一の検討課題となります。同時に長期的な取り組みが必要と

されるチップ内の接続技術開発も開始する必要があります。

近年、光インターコネクションのための光・電子集積に向け、電子回路プロセス技術を転用したシリコンフォトニクス技術が注目されていますが、私たちもレーザー光源とシリコン光導波路との集積技術や、立体光配線を可能とするアモルファスシリコン光導波路技術開発に取り組んできました。今後は、より高機能なデバイス・モジュールの実現やシステム実証を目指し、産学官連携を図りつつ上記の課題解決に向け研究開発を進める予定です。



積層型光分岐素子(方向性結合器)の概念図とアモルファスシリコン光導波路の断面写真

コンピューターの省エネ化 - 不揮発メモリー -

○スピントロニクスとノーマリーオフコンピューター

コンピューターを省エネ化する二つの意義

私たちの日常生活に欠かせないコンピューターは今後、家電や壁・道路に埋め込まれる無数の微小電子機器などを含め、さまざまな形態で利用されるようになります。その省エネ化は二つの側面をもっています。一つはエネルギー総消費量の観点です。データセンターの巨大な電力消費だけでなく、パソコン以下の小型電子機器の電力も、その膨大な数のために無視できないものとなってきます。もう一つの側面は、長時間使用による利便性の観点です。現在はノートパソコンでも1回の充電で数時間しか使用できませんが、これが1週間、数ヶ月、数年と延びれば新しい利用形態の出現も期待できます。

スピントロニクスの利点は情報の不揮発記憶

スピントロニクスはナノメートルスケールの磁石を使う新しいエレクトロニクス技術で、コンピューターの省エネ化に大きな役割を果たすことが期待されています。磁石を使う電子デバイスの最大の強みは、エネルギーを全く使わずに情報を記憶する能力（不揮発記憶）です。しかし、これまでは磁気と電気の結合に古典的な電磁コイルを使わざるを得なかったため、性能向上が困難という原理的な問題を抱えていました。ここ10年ほどの間に急速に発達してきたスピントロニクス技術は、この問題を根本的に解決する新技術です。量子力学レベルで磁気と電気を高効率に結合することを可能にしました。

その代表的な成功例は、2004年に産総研とキャノンが共同開発したCoFeB/MgO/CoFeBトンネル磁気抵抗 (TMR) 素子です^{[1][2]}。これにより記録密度を飛躍的に向上させた小型HDDが可能となり、アイドル電力がこれまでの1/5程度までに削減可能となりました。現在、世界中のHDDに、産総研のこの技術が搭載されており、データセンターのIT機器の発熱量の約1/3を占めるHDDの省エネ化にも貢献しています。

不揮発メモリーと超低消費電力コンピューター

スピントロニクス技術の次のターゲットは、コンピューターメモリーの不揮発化です。最近のCPUはとても強力なため、フルパワーで使用される頻度は少なくネットブックなどでは数%程度ともいわれています。そのため最先端のCPUでは、仕事がないときには1/1000秒以下の速さで、論理演算部の電源を頻繁にOn/Offして消費電力を削減する技術が一般化してきました。しかし、コンピューター自体の電源を切ることはできません。メモリーとして使用されているDRAMとSRAMの情報を保持するために電気を供給し続けなければならないことが大きな原因です。DRAMとSRAMの待機電力は今後の微細化に伴ってさらに増大するため、メモリーの省エネ化は重大な問題となっています。

メモリーを不揮発化することができれば、ユーザーに気付かれずに、高い頻度で電源を完全に遮断することが可能となります。そのようなコンピューター

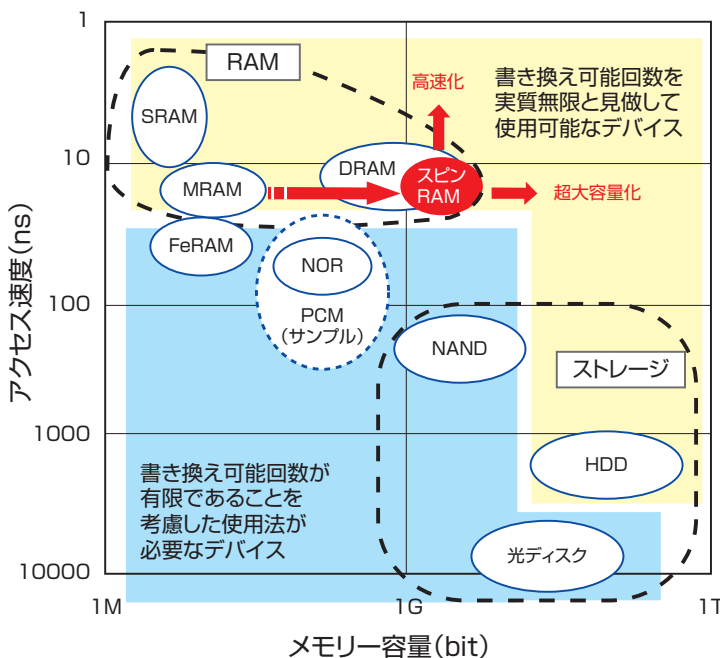


図1 各種メモリー・ストレージデバイス製品 (PCMはサンプル) の現状^[3]とスピントロニクス開発の狙い

グリーンITの世界的動向と 産総研が取り組む意義、分野連携、国内外連携

ターに電源スイッチは不要です。私たちはノーマリーオフコンピューターと名付けてその実現を目指しています。

ただし、コンピューターは高性能なメモリーを必要とします。DRAMには30 ns程度の動作速度と 10^{15} 回以上の読み書きに耐えることが求められます。容量も1 Gbit以上が必要です。現在一般的な大容量不揮発メモリーであるフラッシュメモリーの動作速度は数 μ s程度、書き換え耐性は 10^5 回程度であることを考えると、これはとても高いハードルです。現状ではDRAM、SRAMを置き換えられる不揮発メモリーは存在しません^[3]。

スピンRAM

磁石を使うメモリーは電子スピンの向きの変化だけで情報を記憶するため、ほかの不揮発メモリーのような原子の移動がなく原理的に書き換え回数は無限です。またスピンは1 nsよりも速くその向きを変えることもできます。初期のコンピューターに使用されていた磁気コアメモリーは情報の読み書きに使用していた電磁コイルのために、高集積化ができず姿を消しました。しかし、スピントロニクス技術の出現により情勢が一変しました。すでにDRAM並みの速度で動作する磁気RAM (MRAM) が市販されています。ただしその記憶容量は現状で16 Mb、原理的

にも256 Mb程度が限界でDRAM置き換えは不可能です。この限界は、情報の読み出しにはTMR素子を用いているものの、書き込みには依然として電磁コイルが用いられていることから生じています。書き込みにもスピントロニクス技術を用いれば、Gbitを超える大容量化が可能と期待されます。その鍵となる技術は、ベクトル量であるスピンがもたらす量子力学的トルクを利用するスピン注入磁化反転です。この次世代のMRAMはスピンRAMと呼ばれます。産総研は東芝、大阪大学、東北大学、電気通信大学と共同で大容量スピンRAM開発を目指したNEDOプロジェクトを実施中です。これまで、スピンRAMの心臓部であるTMR素子には、産総研が開発したCoFeB/MgO/CoFeB-TMR素子を用いることが当然視されてきました。しかしこのTMR素子は、HDDヘッド用に開発されたもので、スピンRAMには適していません。1 Gbitに相当する65 nm以下のサイズに微細化するとCoFeBが磁石としての性質を失うからです。私たちはこの問題にいち早く気づき、垂直磁化膜と呼ばれる磁石としてきわめて強力な性質をもつ材料を用いた新しいTMR素子の実現に挑戦してきました。その結果、世界で初めて1 Gbitを超えるスピンRAMの実現に目処をつけました^[4]。この成功により、SRAMを置換する高

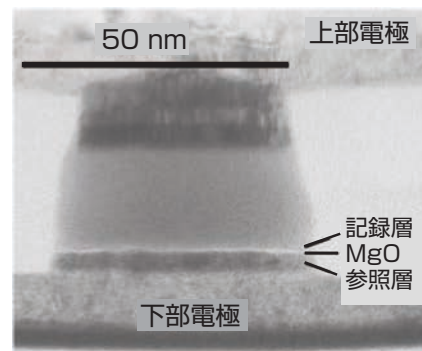


図2 50 nm径の垂直磁化TMR素子の電子顕微鏡写真^[4] (東芝ほかとの共同開発)

速スピンRAMや、ストレージ用の超大容量スピンRAMの可能性も見えてきました。実際、私たちはサブナノ秒のスピン注入磁化反転の実証にも初めて成功しています。

ノーマリーオフコンピューターの実現に向けて

高性能不揮発メモリーはノーマリーオフコンピューター実現のために不可欠ですが、それとともにディスプレイ、周辺回路、電源、メモリーアーキテクチャ、OSなどの広範な技術との連携が求められています。私たちは、スピントロニクス技術を核として、コンピューターの低消費電力化とそれによる利便性の向上を追求していきます。

エレクトロニクス研究部門
あんどう こうじ
安藤 功兒

参考文献

- [1] S. Yuasa, T. Nagahama, A. Fukushima, Y. Suzuki, and K. Ando: *Nature Materials*, 3, 868 (2004).
- [2] D. D. Djayaprawira, K. Tsunekawa, M. Nagai, H. Maehara, S. Yamagata, N. Watanabe, S. Yuasa, and K. Ando: *Appl. Phys. Lett.*, 86, 092502 (2005).
- [3] NEDO 電子・情報技術ロードマップ2009, http://www.nedo.go.jp/denshi/roadmap/2009/kaisetsu_memori.pdf
- [4] T. Kishi, H. Yoda, T. Kai, T. Nagase, E. Kitagawa, M. Yoshikawa, K. Nishiyama, T. Daibou, M. Nagamine, M. Amano, S. Takahashi, M. Nakayama, N. Shimomura, H. Aikawa, S. Ikegawa, S. Yuasa, K. Yakushiji, H. Kubota, A. Fukushima, M. Oogane, T. Miyazaki, and K. Ando: *IEDM Tech. Dig.*, 309 (2008).



IT 機器の省エネ化

○低消費電力トランジスタ

背景

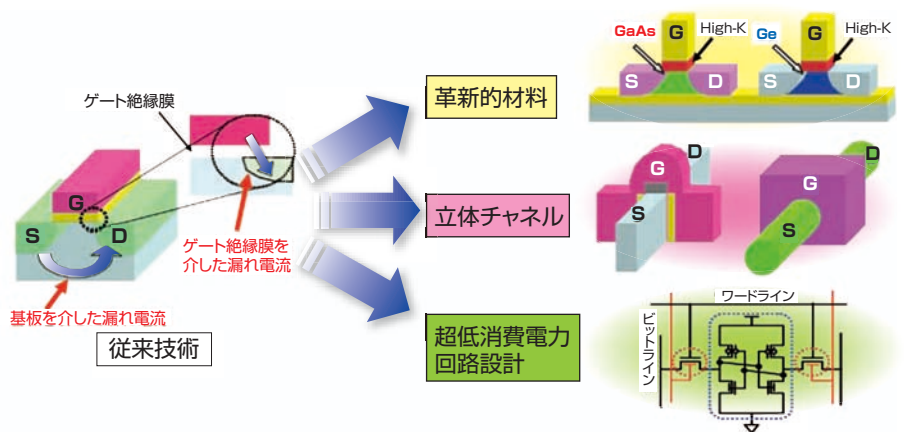
IT 社会の進展や IT 機器の驚異的な低消費電力化は、トランジスタの微細化によって実現されてきたといっても過言ではありません。しかし、トランジスタの微細化を進める上での困難さはますます増大しており、結果として消費電力は逆に増大する傾向にあります。産総研では、革新的な材料開発、新しい立体構造、そして超低消費電力化を実現し得る新しい回路構成を提案・実証することで、トランジスタ微細化をはばむ問題の解決とさらなる大幅な低消費電力化を目指しています。

大幅な漏れ電流削減と性能向上を可能にする材料技術

トランジスタ微細化に伴い、ゲート絶縁膜を介して漏れてしまう電流に起因した消費電力の増大が大きな問題となっています。産総研では、膜厚を薄くしたまま漏れ電流を大幅に削減できる新しい高誘電率ゲート絶縁膜の開発を行っています。同時に、微細化の推進に頼らずに性能向上を可能にする新しいチャンネル材料開発にも取り組んでいます。具体的には、ゲルマニウムやガリウムヒ素などの材料を用いて、シリコンの性能を凌駕するトランジスタ開発を行っています。

さらなる微細化を可能とする立体チャンネルマルチゲートトランジスタ

トランジスタ微細化に伴い発生するドレイン-ソース間の大きな漏れ電流を構造的に抑制する手法として、産総



トランジスタのさらなる微細化・高性能化と低消費電力化の実現のための産総研の取り組み
材料面、構造面、回路面からの革新的技術の導入により、高性能化の推進とともに、超低消費電力化を目指す。

研では、これまでの電流経路を平面構造から立体にし、それを覆うように複数の制御電極(ゲート)を設けたトランジスタ(立体チャンネルマルチゲートトランジスタ)を提案しています。この構造の導入により、20 nm以下のゲート長においても漏れ電流の増大がなく理想的な特性が得られることを確認しています。また、さらなる微細化を可能とする nm オーダーの直径のワイヤー状チャンネルトランジスタの開発にも取り組んでいます。

超低消費電力化を実現する新しい回路構成と新原理デバイス

複数の制御電極を一つ一つ独立に制御できれば、素子製造後の自在な特性制御が可能になります。産総研では、このトランジスタレベルでの自在な特性制御性を有効に活用できる新しい回路も提案しています。例えば、回路機能に対し貢献していないトランジスタ

特性を待機状態にすることで、回路全体の静的漏れ電流を 1/100 まで削減することに成功しています。また、量子力学的なトンネル効果を活用した新原理デバイスによる電源電圧の一層の低減を目指す研究開発を進めています。

以上のような材料面、構造面、そして回路面からの革新的技術の導入により、トランジスタ微細化の推進とともに、これまでの LSI に対し 1/100 以下の低消費電力化が可能となります。私たちは、これらの技術により、高性能かつ低消費電力な VLSI を実現するための基盤技術を開発し、わが国の IT 社会と半導体産業に寄与することを目指しています。

エレクトロニクス研究部門

まさはら めいしよく
昌原 明植

ナノ電子デバイス研究センター

おた ひろゆき
太田 裕之

グリーンITの世界的動向と産総研が取り組む意義、分野連携、国内外連携

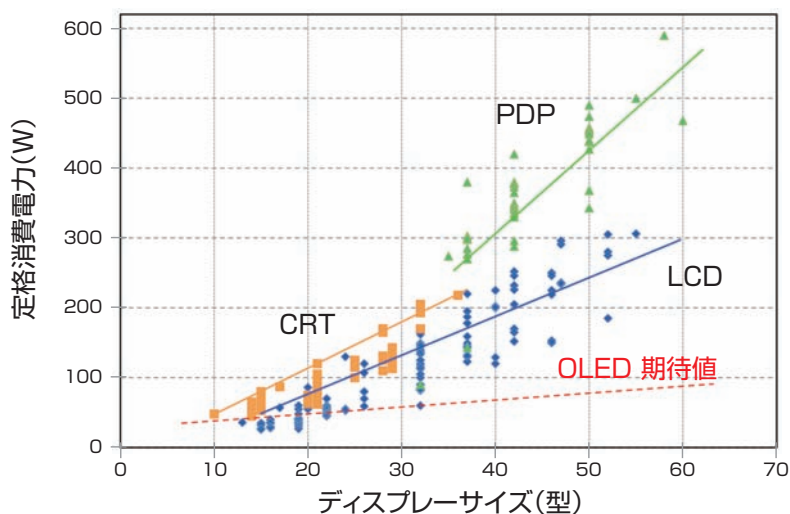
○有機 EL ディスプレー

ディスプレイの発展動向

テレビに代表されるディスプレイは、今日の日常生活において電子情報を受信するための最も重要な端末機器となっており、その利便性や使用時の快適性に対する要求はきわめて強く、大型化、高精細化、高速動作化などの機能高度化が図られています。しかし、こうした機能高度化は、同時に消費電力の増大をもたらすこととなり、現状では高機能機への買い替えが行われていくだけで、テレビの年間総消費電力量が年5～7%も増加してしまっています。今日、わが国のテレビの消費電力量は、総電力消費量の約2%を占めるに至っているのですが、このままだと20年後には現在の約3～4倍もの電力が消費されるようになると予測されています。

ディスプレイの超低消費電力化を実現する有機 EL 技術

今日、液晶 (LCD) およびプラズマ (PDP) に代表されるディスプレイの低消費電力化技術の開発は盛んに行われています。しかし、上記のような機能高度化と低消費電力化を同時に満たすためには、ディスプレイの表示原理の根本的な革新が必要です。近年、特に低消費電力化の視点から有機 EL (OLED) 技術が注目されており、ディスプレイのみならず照明としての開発も盛んになり、国際的な技術開発競争が激化してきています。有機 EL は自発光素子なので、表示パネルにした際もフィルターなど光の利用効率を落と



各種ディスプレイのサイズと消費電力の関係
CRT: ブラウン管、PDP: プラズマ、LCD: 液晶、OLED: 有機 EL

してしまう部品が少なく済み、また発光効率自体も内部量子効率にして100%に近い値を得ることができるため、高度な映像情報を表示しつつも超低消費電力型ディスプレイを実現できます。また、真空や液状部品を使わない全固体素子であることから、超薄軽量ディスプレイが実現でき、大型化しても省スペース軽量化となる期待も大きくなっています。

大型素子製造技術の開発

有機 EL ディスプレーを市場展開するための最大の技術課題は、大型素子を生産性高く製造する技術の開発です。メートル級の面積の薄膜素子を μm 台の高加工精度で製造するというワイドレンジの製造技術が必要です。

LCD などと異なり、小型器の製造技術をそのまま拡張して使用することができないのです。そこで、私たちは、大面積素子を高均質、低損傷、高精細、高速に製造する大面積薄膜固体素子製造技術を開発することで、ディスプレイの高機能低消費電力化を実現することを目指しています。こうした大型薄膜素子の製造技術は、ディスプレイのみならず照明、太陽電池などほかの大面積型機器の製造にも共通する基盤技術であるため、産学官一体となって開発していくことが必要となっています。

光技術研究部門
かまた としひで
鎌田 俊英

データセンター電源・空調の省エネ化

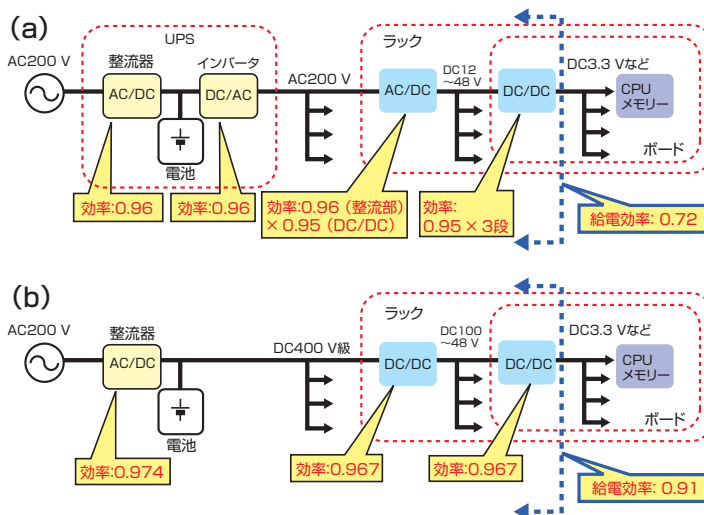
○ SiC パワーデバイス

データセンターにおける電力供給の実情

通常のデータセンターでは、交流電力をUPS(無停電電源装置)経由でラックなどの設備に配ります。配られた交流電力は、ラック側の電源で48Vなどの直流に変換された後、ボード上の電源でさらに低い電圧(3.3Vなど)へと変換され、メモリーやCPUなどで消費されます。これら電源の単体での変換効率は約95%と高いものの、電圧の変換比を大きくできないため、変換を多段階で行う必要が生じます。その結果、受電端から負荷端までのトータルの給電効率は必ずしも高くなりません(図(a))。したがって、各電源の一層の効率向上と給電過程での変換段数の削減が重要です。

SiC パワーデバイスの導入効果

SiC(炭化ケイ素)パワーデバイスは、現在の主力であるSi(ケイ素(シリコン))パワーデバイスに比べ、低損失性、高速動作性、耐高温性などに優れるといった特徴をもち、電源の効率向上と変換段数削減の両方に寄与できる有望技術です。例えば、SiC変換器の導入で、1) 変換損失が現用Si変換器の約65%に低減、2) 高電圧(400V級)直流給電への対応、3) 変換段数が7段から3段に削減、といった高効率化ができるようになります。この結果、受電端から負荷端までの給電効率が72%から91%へと大きく改善されるといった効果



データセンターの給電効率

(a) 現行方式による給電システムの例

(b) SiCパワーデバイスの適用による給電システムの例

SiCパワーデバイスの適用により、変換損失が65%に削減される。これに加え、高電圧(400V級)直流給電への対応や変換段数の削減ができるようになる。

が期待できます(図(b))。エネルギー半導体エレクトロニクス研究ラボでは、これまで低損失かつ高速なパワーデバイスの開発と、それらを用いた高出力パワー密度の電力変換器の開発を行ってきたことから^[1]、パワーデバイスと高温動作電力変換器についての研究開発^[2]を担当しています。

電源マネジメント技術

情報通信機器用の電源では、並列冗長(*)による高信頼化が図られます。冗長運用は負荷容量に比べて常に過剰な電源容量を必要とするので、給電効率の面からは不利になります。そこで、部分負荷時の効率低下防止や負荷状況

に応じた電源容量の動的調整(アダプティブマネジメント)技術への対応といった運用面も考慮に入れた電源の検討を行っています。

(*) 必要電源容量を複数の電源ユニットで確保した上で、予備電源ユニットも常に稼働させる運用方式。例えば、100の負荷容量に対して、50の容量をもつ電源ユニット3台で供給を行うこと。一部ユニットの停止時でも必要電源容量が確実に確保できるため、供給信頼性が向上します。

エネルギー半導体エレクトロニクス研究ラボ
やまぐち ひろし
山口 浩

参考文献

- [1] 産総研エネルギー半導体エレクトロニクス研究ラボホームページ：<http://unit.aist.go.jp/eserl/ci/index.html>
- [2] NEDOホームページ：<http://www.nedo.go.jp/activities/portal/p09004.html>

グリーンITの世界的動向と 産総研が取り組む意義、分野連携、国内外連携

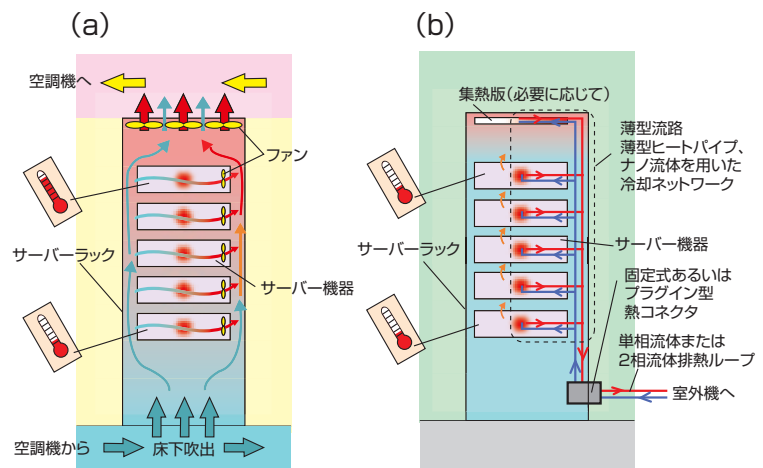
○先進冷却ネットワークシステム

はじめに

データセンターの消費電力の内訳は、規模、立地条件などによっても異なりますが、30%～40%程度が空調電力で、ほぼ同じくらいの電力がデータセンターのサーバー本体で消費されています。サーバーでの消費電力の内訳では、CPUが70%程度を占めておりほとんど全て熱エネルギーとして散逸します。現在のサーバーのCPU（すでに1ヶあたりの消費電力が100Wを超えています）の発熱は、基本的に空調装置から供給される冷気と個別のファンで空冷、除去されています。したがって、データセンターで消費される多大な空調の大半はサーバーのCPUの冷却に費やされているといってもいいでしょう。

サーバー冷却方式

図は、サーバーラックにおける現状の空冷システムと、産総研が取り組んでいる先進冷却ネットワークシステム¹⁾とを模式的に比較しています。空冷方式では、通常サーバーラックの床下から冷気を供給し、ラック内を循環、冷却します。しかし、サーバー内での発熱量が多いため空調下流側での空気温度は著しく上昇し、その結果、CPUなどを所定の温度に冷やすために、過度に空調温度を下げ空気流量を増大、すなわちファンの動力を増大させているのが実状です。このように、本来はCPUなどの発熱デバイスのみ



サーバーラックの冷却システムの比較
(a) 現行冷却システム (b) 先進冷却ネットワークシステム

を冷却すればよいはずの空調が、実は部屋全体、建屋全体も必要以上に冷やすような無駄な使われ方をしています。これに対して先進冷却ネットワークシステムでは、まずCPUをターゲットとして直接液冷（相変化を伴わない単相流、または気液相変化を伴う沸騰2相流）、あるいは高性能ヒートパイプにより間接的に液冷し、CPUから発生する熱の大半を液体の顕熱、あるいは気化した潜熱として回収しサーバーラック内への散逸を極限まで抑制します。図ではサーバーラック単機の除熱のみを示していますが、サーバーラック内のサーバーラック群はあたかもLANケーブルでネットワーク化されているように、熱移動ケーブルの接続により構築された冷却ネットワーク

で統合的に冷却、廃熱されます。

省エネルギー効果

サーバーを冷却し、温度が上昇した冷却液体は別途室外チラーなどで冷却されますが、除熱の効率を控えめに見積もりチラーの消費電力を加味しても、サーバーラックの空調消費電力は現状の35%～45%程度を削減できます。さらに、除熱の効率を高めることにより、60%以上の削減を目指しています。

エネルギー技術研究部門
あべ よしゆき
阿部 宜之

参考文献

[1] Y. Abe et al.: *Advanced integrated cooling systems for thermal management in data centers*, Proc. IPACK2009, IPACK2009-89009 (2009).

クラウドコンピューティングの省エネ化

○クラウド向きストレージ

IT機器の消費電力の低減にはさまざまなアプローチが考えられますが、その一つとしてクラウドの活用があります。クラウドは、ITサービスとそれを提供する機器を、個人もしくは個々の会社が抱え込むかわりに、ネットワーク上のサービスとするものです。GmailなどのWebメールもクラウドサービスの一つです。サービスは巨大なデータセンターで集中的に管理され提供されています。IT機器を大量のユーザーで共有することや集中による効率化によって、全体としての消費電力が少なくなります。

クラウドを実現する上で重要なのが、データを保存するディスクなどのストレージです。クラウドではこれま

どとは比較にならないほど大量のデータを保存し、大量のユーザーに提供しなければなりません。もちろん信頼性もこれまで以上に重要です。複数のストレージデバイスを並べ、自動的にデータを複製することでこれらの要件を満たしています。

私たちは、今後のクラウドの発展のために性能保証が重要であると考えています。インターネットの世界では、性能を保証しないことが一般的ですが、今後さらにリッチになっていくであろうビデオのストリーミング配信などのアプリケーションでは、データを保管しているストレージ、データを転送するネットワーク、ユーザーのクライアントまでの性能を保証することが

必要になります。

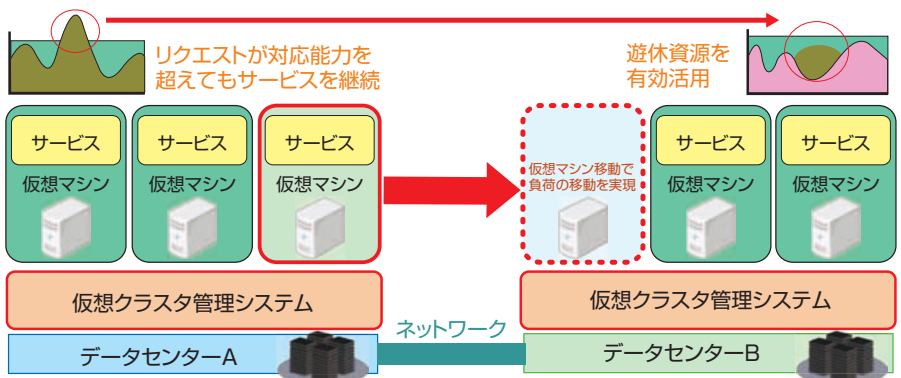
もう一つ重要なテーマは、昨今急激に一般的になった半導体ストレージへの対応です。半導体ストレージはいわゆるハードディスクよりもアクセススピードが速く、消費電力が低いという特徴があります。しかし、ディスクを半導体ストレージで置き換えるだけではネットワーク速度がボトルネックとなり、半導体ストレージの高速性を十分に活用することができません。私たちは、データの移動を最小限にすることで半導体ストレージを十分活用する技術の研究を行っています。

情報技術研究部門
なかだ ひでもと
中田 秀基

○仮想化によるグリーン化

近年、多くの情報システムがデータセンターで運用されるようになり、データセンターにおける消費電力および熱が大きな問題となっています。特にサーバーは高密度化が進み、単位面積あたりの消費電力が増えています。しかし、ビジネスで使用されるサーバーの多くは、季節、週、日単位で稼働状況に変動があり、平均の稼働率は30%程度と、能力を十分発揮していない状況にあります。省エネの観点からは、使わないサーバーの電源は落とし、電源を入れているならばできる限り稼働率を高めるのが効率的となります。

SaaS (Software as a Service) やクラウドコンピューティングが登場・普及し始めたことにより、利用者は物



仮想計算機のライブマイグレーション（動的移動）技術によって、データセンターの負荷をネットワークを通じてバランスし、その稼働率を常に一定に保つことができる。

理的なサーバーを全く意識することなくさまざまなサービスを楽しむことができるようになってきました。このようなサービスを提供するデータセンターでは、仮想化技術を用いることに

よって物理サーバーを複数の仮想サーバーに分割し、稼働率を高めることができます。同じサービスを提供するのに稼働させる物理サーバーを減らし、消費エネルギーの低減に貢献すること

グリーンITの世界的動向と 産総研が取り組む意義、分野連携、国内外連携

ができます。しかし、現状の仮想化技術だけでは効率向上に限界があるのが実情です。一般にデータセンターの稼働率は時間的に変動するため、常に高い稼働率を維持することは困難であるという問題があります。

私たちは、一歩進んだ効率化を目指して拠点横断的なデータセンター仮想化技術を開発しています。離れた拠点にあるデータセンター同士をネットワークで結んで、あたかも単一のデータセンターであるかのように統一的に

管理できます。また、あるデータセンターで稼働中のサービスを止めることなく、離れた拠点にあるほかのデータセンターに移動することができます。

データセンター内部においては、サービスの稼働場所を変更するために、仮想計算機のライブマイグレーション（動的移動）という仕組みが用いられています。しかし、この仕組みを離れた拠点間で用いることは、ネットワークの遅延による性能低下のために困難とされてきました。私たちは、

ネットワークの遅延を克服するデータ転送手法を新たに提案することでこの問題を解決しています。仮想計算機のストレージデータを透過的に遠隔拠点に移動することで、ネットワーク遅延による性能低下を防ぎます。また、仮想計算機のメモリーデータの転送手法を最適化することで、1秒以内でのサービス移動を実現します。

情報技術研究部門
ひろふみ たかひろ
広瀬 崇宏
いとうさとし
伊藤 智

キロヘルツ帯PLCによる電力監視

情報技術研究部門
ひぐち てつや
樋口 哲也

高速電力線通信連携研究体では、東京電力とともにキロヘルツ帯電力線搬送方式（PLC: Power Line Communication）の研究開発を進めています。PLCには、伝達したい信号を載せる搬送波としてメガヘルツ帯を用いるものと、キロヘルツ帯を用いるものの2種類があります。メガヘルツ帯PLCは、高速な伝送速度をもつものの、わが国では屋内だけの使用に限られます。しかしキロヘルツ帯PLCは、伝送速度は低速ながら、屋内外での使用が許されています。このため、わが国のように電力量計が戸外に置かれる状況においては、キロヘルツ帯PLCを電力量計に内蔵させることにより、各家庭での電力消費量を読み取って監視したり、消費者に電力消費量を提示して省エネ意識を喚起させることが有効と考えられます。また、各家庭のリアルタイムの電力消費量を外部に送って配電の最適化に利用したり、電力量計内のPLC親機によって、家電機器に内蔵するPLC子機と通信することで家庭内の家電の制御ができるようになり、新たな家庭内ネットワークを構築することができます。

ただし、キロヘルツ帯PLCは、搬送波として450 kHz以下の周波数を用いるため、この周波数帯に集中

する家電機器からの激しい雑音への対処がきわめて重要になります。これまでキロヘルツ帯PLCは家電からの雑音のために低い伝送速度しか得られませんでした。これに対し産総研と東京電力によるPLCはこの問題を解決し、雑音に対して頑健であるとともに、世界最速の200k bpsの伝送速度を達成しました（2009年3月プレスリリース）。

上記のようにPLCなどの通信機能を内蔵する電力量計をスマートメーターと呼んでおり、これは昨今注目を集めている次世代電力網（スマートグリッド）の基幹技術の一つです。アメリカではPLCだけではなく、近距離無線技術のZigBeeを用いる動きが盛んです。しかし、無線では地下など異なる階にある機器との通信に問題があるなど、ZigBeeだけですべての電力量計の通信インフラとすることは現実的ではありません。またスマートメーターにより家庭内に新たな通信インフラが構築されることを米国では第二のインターネットと捉え、新たなビジネスチャンスと認識していることから、ベンチャーから大手企業まで、続々とこの分野へ進出しています。