

研究領域「情報システムの超低消費電力化を目指した技術革新と統合化技術」の取り組み

情報システムの消費電力を 100分の1～1000分の1に低減せよ!

これまであまり着目されることのなかった情報システムの消費電力を、大幅に削減する研究が進められている。

これは世界的な潮流となっている「グリーン・イノベーション」と合致するだけでなく、さらに大きな世界を切り開く可能性を秘めた研究なのだ。

領域が目指す成果「ULP統合システム」とは何か?

盲点となっていた 情報システムの低電力化

「情報システムの超低消費電力化」と言われても、すぐにはピンとこない人が多いかもしれない。情報システムは、たとえば自動車や家電のように具体的に使っていることを意識させるものではなく、情報を保存、管理、流通させるためのコンピュータやネットワーク、それを制御するソフトウェアなどを含む仕組みを指す。この研究領域を総括するキャノン株式会社顧問の南谷崇氏（東京大学・東京工業大学名誉教授）はこう語る。「電力総需要に対して情報機器の消費電力が占める割合というのが、2000年は1.4%程度でしたが、2010年には6.4%ぐらい、2020年になると20%に達する見込みなのです。過去10年に発電量は10%程度しか増えていないのですが、情報機器の消費電力は5倍増えている。だから、情報シス

テムの消費電力を抑えることが、そのまま国の電力総需要を抑制することにつながるのです」

現代は情報社会で、あらゆる活動が情報システムに依存している。となれば、その部分での電力需要がかさむのは当然の話なのだが、情報システム全体の消費電力を抑えるということは盲点となっていたのだ。

「情報システムの研究者、とくに上位レベルのネットワークの研究者は、電力のことなんてあまり考えたことがなかった。ソフトウェアが電気なんか食うのか、とみんな思っていたわけですから（笑）」

消費電力を抑えることで 「省エネ」にとどまらない成果を

しかし、この研究は単なる「省エネ」だけを目指すものではない。そこにはもう1つ、もっとポジティブな側面がある。情報システムの高品質化だ。

「たとえば、マイクロプロセッサは年々クロックスピードを上げて高性能化されてきたのですが、その傾向が数年前に止まったのです。理由は発熱量が大きくなりすぎたこと。これまでムーアの法則(*)の通りどんどん高品質化してきたのですが、それが物理的な限界に達する前に、発熱量の限界とか、集積化による信頼性の低下といった問題に突き当たったのです」

*ムーアの法則

インテルの創設者の1人、ゴードン・ムーア博士が1965年に提唱した半導体技術の進歩に関する経験則。「半導体チップの上集積されるトランジスタの数(集積密度)は、18カ月から24カ月で倍増する」というもの。

これは逆に言うと、消費電力量を減らすことができれば、もっと半導体の性能を上げることができるということ意味する。そしてそれは、情報機器に新たな付加価値を持たせることにつながるのだ。

「たとえば携帯電話の場合、買ったその製品の寿命がくるまで、ずっとバッテリー寿命がもつことが理想的です。だから消費電力を減らすというのは、製品の品質を高め、競争力を増すことになる。そうすると、情報システムはスーパーコンピュータから携帯電話まで、いろいろなレベルがあるわけですが、新しい産業分野を創ることになる。そういう信念のもとに、この研究を進めているのです。電力の使用量を抑制するということだけなら、使わなければいい、生活の質を落とせばいいということになる。でも、それは現代の生活の質を保つためには難しい。むしろ消費電力を下げることによって、もっと豊かな生活ができるようにしたいと考えているのです」

情報システムの
省電力化というのは
総合技術なのです。



研究総括

南谷 崇 なんや・たかし

1946年生まれ。東京大学大学院工学系研究科計数工学専門課程を終了後、1971年、日本電気に入社。1981年に東京工業大学工学部情報工学科の助教授に就任。89年に同大学工学部電気電子工学科教授、95年に東京大学大学院工学系研究科計数工学専攻教授、96年に同大学先端科学技術研究センター教授、2001年から2004年まで同センター長・東京大学評議員。2010年からキャノン(株)顧問。東京大学・東京工業大学名誉教授。

情報システムの各階層で消費電力を100分の1から1000分の1に

では、具体的にこの領域ではどのような形で研究が進められているのだろうか？

「情報システムというのは階層構造になっています。いちばん下はデバイスと回路。そしてその上にはコンピュータのアーキテクチャ、システム、ソフトウェア、ネットワーク、その上に乗っかるアプリケーションなど、いろいろな階層があるのです。デバイスに関してはもともと消費電力を抑えることができる程度意識されていたので、それなりに研究は進んでいたのですが、階層の上のほうではあまり

その技術を統合して、全体として最適化する。そうやってシステム全体として低電力化を実現する、そういう狙いを持っています」

情報システムのユビキタス化を実現するULP統合システム

ここで特徴的かつ重要なのが「連携」という言葉だろう。この領域では、各チームの成果はもちろんだが、それを持ち寄って、1つの統合的なシステムを作りあげることにも主眼が置かれているのだ。

「むろん、発足当時からそういう構想はありましたが、それを具体化するのがULP (Ultra

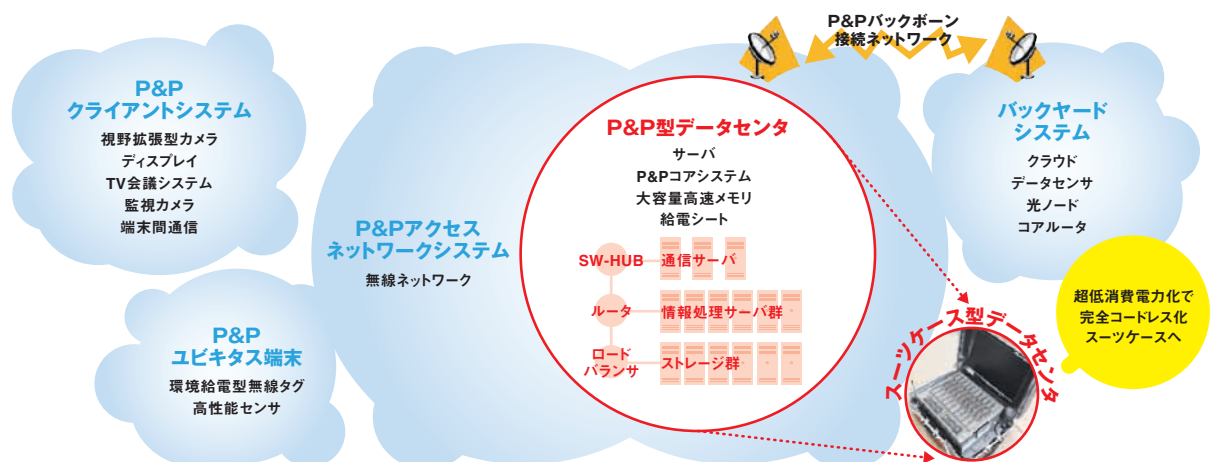
すり合わせも考えてくれています」

それにしても消費電力を100分の1から1000分の1に減らすというのは、あまりハードルが高すぎるように思えるのだが……。

「たしかに消費電力あたりの処理性能を従来の10倍にするだけでも画期的なことですから相当ハードルが高いといえるでしょう。でも、100倍、1000倍ぐらいを目指すと研究者は本気になる。周辺の技術も進んできませんから、工夫次第では2倍や3倍にはできません。でも、2倍3倍ではすぐに陳腐化してしまうでしょう。2桁3桁だと今までと同じことを考えてはダメだし、そこにブレイクスルー

ULP 統合システム (Place & Play情報システム)

どこにいても情報端末をPlace (置く) だけでPlay (駆使) できるようにするためのシステム概略。このシステムを実現するためには、クライアントシステム、ユビキタス端末、アクセスネットワークシステム、バックヤードシステムといった個々のシステムでの超低消費電力化が必須となる。



考えられていなかった。ネットワークの研究者はプロトコルやトラフィックのことは一生懸命考えているけど、そこで電気を消費していることなど、あまり考えていなかった。従って情報システムの階層のうち上位ほど、低電力化の余地がたっぷりあるのです」

この研究領域は、回路・デバイス、アーキテクチャ、コンパイラ、OS、アルゴリズムなど、情報システムのさまざまな階層をカバーする12のチームで構成されている。

「各階層で消費電力あたりの処理性能を従来の100倍から1000倍にする、同じ性能であるなら消費電力を従来の100分の1から1000分の1にする。これが目標です。各階層の個別課題の数値目標をまず設定しています。それに加えて、上から下まで連携し、

Low Power＝超低消費電力) 統合システムなのです。情報社会というのは、雲(クラウド)の中にデータセンターがあって、雲の外には端末がある。そして、そのネットワークの上でいろいろなサービスが提供されている。そのあらゆるところで低消費電力化を実現できれば……Place & Play。どこにいても置くだけでコンピュータが使えるようになるのです。生活空間の隅々に埋め込まれたセンサがあって、情報をネットワークから取り入れられる。しかも低消費電力化することによって、センサも無給電で動くし、端末の動力も無線給電だけでまかなえるようになる。こういう未来像を描き出すのに2年かかりましたが、今は研究者がそれぞれの課題に取り組みると同時に、この全体的なシステムとの

を期待しています」

この研究領域の成果を紹介するシンポジウムを開催します。ULP統合システムの紹介と研究成果のデモ展示も行われますので、ふるってご参加ください。

研究成果公開シンポジウム

グリーンITが創る豊かな社会と強い産業

日時: 2010年11月26日(金) 13:00~17:15

場所: 秋葉原 UDX 南ウイング6階

詳細、参加登録はHPをご覧ください。

<http://www.ulp.jst.go.jp/topics/101126WS.html>

ワイヤレス積層チップで消費電力1000分の1を実現!

1000分の1というハードルをすでにクリアしてしまったチーム

南谷氏が総括する研究チームのなかで、消費電力を1000分の1に減らすという「高すぎるハードル」をすでにクリアしたチームが1組存在する。それが慶應義塾大学理工学部の黒田忠広教授を中心とする「高性能・超低電力短距離ワイヤレス可動情報システムの創出」チームだ。

チームの目標は「ワイヤレスネットワーク接続による可動情報システムの構築に向け、短距離データ無線通信技術とエネルギー無線給電技術を従来の1000分の1の電力で実現」(公式資料より)することだが、今回成功したのは前者の「短距離データ無線通信技術」。大規模集積回路(LSI)内に積み重ねられたチップ間のやりとりを無線(ワイヤレス)で行うことで、データ通信にかかる電力を、従来の1000分の1まで減らすことを可能にしたのである(具体的にはボタン電池1個分の電力で、2時間の映画600万本分のデータをチップ間で伝送することができる)。

ユビキタスにはワイヤレスワイヤレスにはローパワー

黒田教授は、もともと企業の研究者だった。企業で研究に携わっていた頃から低電力技術には大きな関心を寄せていたが、残念ながら当時、その技術は研究開発の主流ではなかった。

「低消費電力化はいつもオマケで、その頃は、情報処理速度のほうが重要だったので。インテルが1ギガのプロセッサを出した、2ギガのプロセッサを出したというと、みんな高いお金を出してそれを買うのですが、20%のローパワーになったといっても誰も購入してくれなかったのです」

だが現実には、デバイスの世界では、早くから低電力化が大きな鍵を握っていた。現在のLSIでは、CMOSという回路が主に使われているが、これは先行するバイポーラやNMOSという回路よりも通信のスピードが遅い。それなのになぜ使用されているのかというと、低電力だからということに尽きる。

「集積回路というのは、ちっちゃいチップの中にたくさんトランジスタを集積することに意味があります。今、何十億、何百億個という

レベルになっていますが、これが集積できなくなるときはいつも電力が原因なのです。電力消費量が増えて熱が発生し、これ以上集積すると冷却が追いつかなくなってしまう。平常時はスピードが重要といわれますけど、壁に当たるときにはいつも電力が問題となっているのです」

そこで2000年に慶應大学に移ったのを機に、黒田教授は「生活に溶け込むエレクトロニクスを目指す」というテーマを掲げ、低電力化とワイヤレスの研究に力を注いできた。

「ユビキタス(*)という言葉を最初に使ったマーク・ワイザーは、完璧な技術は目に見えない技術だ」と書いています。日常生活という織物のなかに完全に織りこまれていて、わたしたちの目には見えない、と。でも、そのためにはワイヤレスであることが必須です。機器をいちいちAC電源につないでいるようでは全然ダメですね。となると、電池を使うにせよ、無線給電を使うにせよ、低電力であることが重要になってくるのです」

* ユビキタス

それが何であるかを意識せず、いつでも、どこでも、誰でもが恩恵を受けるインターフェイスや環境のこと。

つまり、ユビキタスなエレクトロニクス社会にはワイヤレスが必須だし、ワイヤレスには低電力が必須だということだ。なかでも、黒田教授は至近距離での無線通信を専門としている。

「昔だったら、短い距離ならばコードでつながっていました。でも今はさまざまな情報機器が身のまわりにある。それがバラバラにあっても意味がないので、ネットワークにすることが重要なのですが、そうなったときコードで機器がつながっていたらわざわざいいでしょう?」

生活に溶けこまないでしょう? ですから、通信はどんどん無線になってつながっていくものになるだろうと思うのです」

「辺」だけではなく「面」を効率よく使うためには

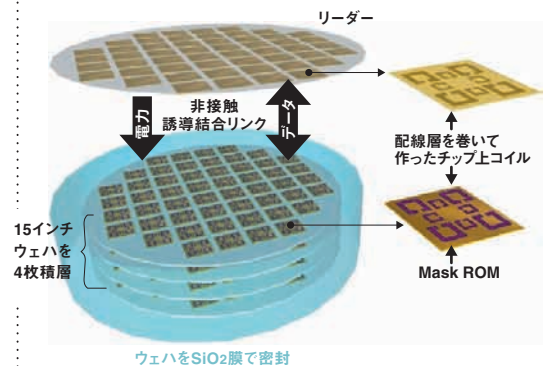
その極めつけともいえるのが、今回のワイヤレス積層チップだろう。先述のパワーの問題もあるが、この30~40年、人類が経験し

ワイヤレス通信の実用例

デジタルロゼッタストーン

ナポレオンがエジプト遠征で発見し、古代エジプト語解読のきっかけとなったロゼッタストーン。それと同様に、現在の文化を未来に伝えるためのメディアとして開発されたのが、このデジタルロゼッタストーンだ。

「現行のDVDやブルーレイは数十年しか持ちません。しかし、これはメモリに情報を書きこんだら完全に密閉してしまいますから、一切外部の影響を受けません。半導体というのは基本的に石ですから、配線さえ酸化しなければいくらかでも長持ちするものなのです。では、密閉してしまっただけで情報の読み取りはどうするのかというと、ワイヤレスでデータ通信をするのです。これで1000年は持つという研究レポートもあります」



黒田忠広

くらだ・ただひろ

1959年生まれ。1982年に東京大学工学部電気工学科卒業。同年、東芝に入社し半導体の研究に携わる。1988年から90年にかけてはカリフォルニア大学パークレイ校にて客員研究員。1999年に工学博士号取得。2000年に慶應義塾大学に移り、2002年より教授。

たことがないほどのスピードで、半導体を成長させてきたムーアの法則にも、鈍化の傾向が見えてきた。これまでは1つのチップにどれだけトランジスタを載せられるかの勝負だったが、それが頭打ちになってくると、当然のように、平面のチップを積み上げ、それによって性能を上げようとする考えが生まれてくる。

「現にもうチップは重ねる時代に入っています。ただ問題は、積み上げたチップをチップの周辺だけを利用してワイヤボンディングという技術で結んでいること。いくらチップの性能が上がっても、そこに入出力する情報速度が上がらなかつたら、性能を持てあましてしまう。チップの性能が面積に応じて向上するのに、情報は辺だけからしか通信されないで、速度が上がる余地が少ないうえに、無理に増やすと電力も余計に消費してしまうのです」

では、辺だけでなく面を使う方法は？

「あります。縦に穴を開けて通信できる信号の通り道をつくる。これが貫通シリコンビアという技術です。この技術が15年以上前から研究開発されていて、いまだにかたちになっていない。なぜか？ コストが高いのです。1チップ当たり20円。メモリなどのチップは今300円ぐらいで販売されています。コストは200円ぐらいでしょう。ということは貫通シリコンビアにするだけで製造コストが10%も上がるわけで、薄利多売のこの世界ではとても許されることではありません」

だったら物理的に穴を開ける代わりに、回路技術でやっつけてしまおうという発想で開発されたのが、チップを通り抜けるインターフェイス、スルーチップインターフェイス(TCI)だった。

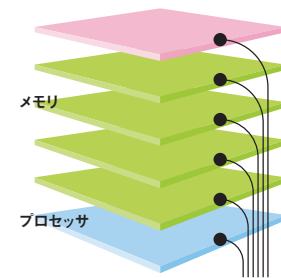
「これは非常に単純で、まずはコイルを作ります。チップにはトランジスタを結線して回路を作るための配線がたくさん用意されているので、その配線を使ってコイルにするだけです。コイルが2つ重なるとトランスのように結合してくれるんですね。片方に流れる電気が変化すると磁界が変化して、磁界が変化するともう片方のコイルに電圧が発生して、データの通信ができる。これはもう非常に単純な理屈です。新しい原理や技術を追加するだけがテクノロジーではありません。回路は、みなさんがよく知っているデジタルCMOS回路。これもなにも変える必要がない。ただ新しいのは、磁界結合をデジタルデータ転送に使うという発想。これはどこにもなかったことなんですよ」

まさにコロンブスの卵。これについて黒田教授は、「大学という環境が良かったです。

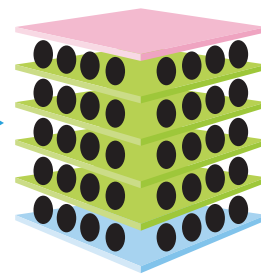
積層チップ間の通信技術は周辺から面へ、機械式から電子式へ

ワイヤボンディングは安価な技術ですでに実用化もされているが、チップの周辺部分でしか情報のやりとりができないため、処理速度が上がらない。その欠点を解消した貫通シリコンビアは製造コストが高い。しかし、誘導結合によるワイヤレス通信なら、スピード、コストの両面で、チップの性能を格段に上げることができる。

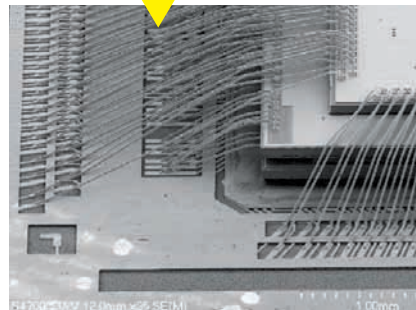
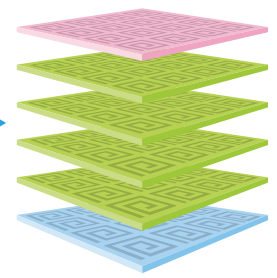
①ワイヤボンディング



②貫通シリコンビア



③誘導結合通信



電磁気学の初心者ともいえる学生たちに囲まれていたおかげで、新鮮な発想ができたのです」と語る。

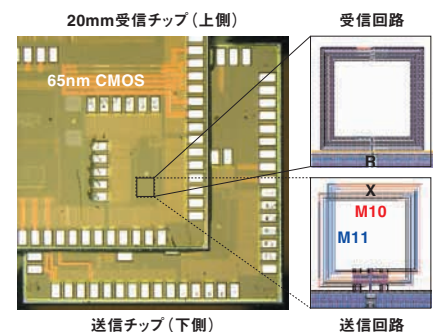
ビジネスの壁を乗り越えれば いつでも実用化が可能な技術

それにしても1000分の1まで消費電力を下げるというのは、並み大抵の苦勞ではなかったはずだが……。

「最初は口をすべらせてしまったようなものです(笑)。南谷先生のプロジェクトに参加したくて、ですから、あとでしまったと思いましたが、なんとか実現させるべく考えました。究極的には回路をできるだけ削ぐ。トランジスタをできるだけ使わない。でも、回路というのは工夫すればするほどトランジスタを使うのです。ここがジレンマで、むずかしいところでした。本当の工夫ですよ、いかにして余分な物を削ぎ落とすか。目標達成まで最後の3分の1とか2分の1にするあたりは本当に辛かった。でも、目標があるとなんだかんだで頑張ってしまうものですね」

技術的な問題はすべてクリアしている、あとはビジネスの壁だけだと語る教授。「メモリ

今回開発した電力量削減効果実証用の 試作チップ



巻き方向が逆向きのコイルを2つ重ね合わせた2層のコイルを開発し、0と1のデジタルデータを別々のコイルで送ることで、電力の使用効率を向上。消費電力量は1ビット当たり100兆分の1ジュールで、従来方式に比べると1000分の1に減った。通信速度は毎秒1ギガビット。写真下は、試作チップの性能等を確認するための計測器。



というのは競争が激しい業界で、非常に保守的な部分もありますからね。でも一点突破できたら、みんなバタバタバタついてくると思いますよ。もし10年経ってもまだ実用化されていなかったら、あいつは嘘ついたなと思ってください(笑)」