

理工学部電気電子情報通信工学科／グリーンナノ LSI 回路システム研究室
集積回路システム工学

竹内 健 教授

【プロフィール】 竹内 健(たけうち けん)▷1967年、東京都生まれ。1991年、東京大学工学部物理工学科卒業。1993年、東京大学大学院工学系研究科修士課程修了。同年株式会社東芝に入社。フラッシュメモリの実用化に成功し、世界最大容量の製品を6度にわたり商品化。世界で210件の特許を取得。2003年、米国スタンフォード大学経営大学院修士課程修了。2006年、東京大学大学院工学系研究科 電子工学専攻 博士取得。2007年、東京大学大学院工学系研究科 電気系工学専攻 准教授。2012年より中央大学理工学部教授。超消費電力かつ大容量なメモリやコンピュータシステムの研究を続ける。著書に「世界で勝負する仕事術 最先端 IT に挑むエンジニアの激走記」(幻冬舎新書)。



インターネットやモバイル端末において、爆発的に増加するデータ量とエネルギー消費を半導体メモリの開発を通して解決していく

データを携帯する USB メモリやデジカメなどの記憶媒体として使われるフラッシュメモリから、パソコンの主記憶装置であるランダムアクセスメモリまでを含む「半導体メモリ」の開発が、竹内先生の研究領域です。いま、この分野には、より低電力かつ大容量で高速、しかも壊れない信頼性の高さが求められています。ネットワーク社会が進むなかで、半導体メモリの重要性はますます高まり、巨大なデータセンタも出現しています。したがって、竹内先生の研究は実用化と密接に結びついており、その成果への期待も高いのです。いま、まさに時代の象徴ともいえる最先端の技術領域では、何が起きているのでしょうか。

インターネット社会が生んだ莫大な電力消費の低減に向けて

インターネット社会には膨大なデータセンタが必要です。大手のオンライン通販や SNS、ポータルサイトでは、1日に数ペタ(10の15乗)バイトのデータが作られています。それは、東京ドームクラスの巨大な施設にメモリがびっしり並んでいるイメージ。そして、数ペタバイトの情報量を蓄積するには、そうした施設が何十個も必要になるのです。当然そこでは莫大な電力量を消費しているわけですが、竹内先生は、そうした現代社会に警鐘を鳴らします。

「世界中のデータセンタを集めると、日本一国で消費する電力とほぼ同等の電量を消費するほどになります。また発熱量も膨大なため、地球規模で環境に深刻な影響を与えています。

24時間時間利用できる便利なインターネット上のサービスは、その裏側に莫大な電力を24時間消費するインフラがあって初めて可能になるわけですが、なかなかそれを意識することはできません。だからこそ、消費電力を下げるような新たなメモリが必要なのです」

いま、エネルギー問題への声が高まるツイッター自身が、大量のエネルギーを消費しているという矛盾を竹内先生は、低電力の半導体メモリの開発で解消しようとしているのです。

▶爆発的に増加するインターネット上の情報量は、それを管理するデータセンタによる深刻な環境負荷を引き起こしている。その問題を低減するのに重要な役割を果たすが、この半導体メモリだ。



シリコンに代わる新たな材料が求められている時代

省電力をはじめ、いま半導体メモリに求められる条件をクリアするために、超えなければいけない一つの壁が半導体を支えるシリコンの次の材料の開発です。

「例えば現在のフラッシュメモリは、20Vという非常に高い電圧が必要なのですが、これもシリコンに起因する限界なのです。ただ、材料開発は何千億円もかかる分野ですので、研究室では新たに作られた材料を、CADソフトを用いた回路設計やソフト開発を通して“使いこなす技術”を開発しています。これまでの日本は、ものを作る分野では実績を残してきましたが、使いこなすことはあまり重視されてきませんでした。また、新材料の物性(物質の物理的性質)から取り組めるのも当研究室の強みです」

竹内先生の研究室には、様々な材料が持ち込まれるそうですが、それぞれの物性に長所と短所があり決め手がないまま新たな材料の開発が続けられている状態だそうです。

「現在はその意味で面白い時代です。ただそれは物性だけで解決できないだろうと思っています。全ての条件を満たす夢の物質ができれば別ですが、物性だけで完璧にコントロールはできないですね。したがって、ある程度弱点を考えながら、その弱点を補っていくシステムを最初から作っていくことが重要だと考えています」

メモリの長所・短所をカバーしたり エラー訂正をするソフトの重要性

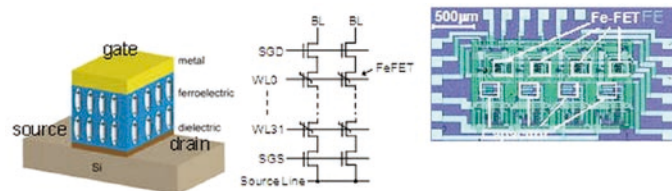
例えば壊れやすい材料があれば、それを補うソフトを開発していく。これも竹内先生の研究室の一つのテーマです。

「電源を切ってもデータを蓄えておけるメモリ（不揮発性メモリ）は、書きやすくと壊れやすくなるのです。そこで、壊れた際にソフトの力でエラーを検知し訂正する方法が、信号処理技術を用いた『エラーコレクティングコード』です。0と1で動くデジタルの情報の特性を用いて、仮に偶数を1、奇数を0とし、1ビット、エラーが出た際に偶数、奇数が逆になる仕組みを利用してエラーを検出し、同時に訂正まで行うことができます」

もちろんソフトの役割はエラー訂正だけではありません。メモリには、物質が温度や圧力により液相（液体）、固相（固体）、気相（気体）と状態を変化させる「相変化」を利用した「相変化メモリ」や、金属の酸化還元による抵抗の変化を利用した「抵抗変化メモリ」などありますが、これらとフラッシュメモリを組み合わせた記憶媒体が「ストレージ」です。

「ストレージはデータセンターやスマートフォンでも使われていますが、大容量だが低速、あるいは大容量ではないが高速など、それぞれのメモリに得手不得手があります。これらのメモリを、よく使うデータだから高速メモリに、あるいは使う頻度は少ないが量が多いので大容量メモリに、許容量がいっぱいになったからメモリを移動しよう、など適材適所にデータを動かすファイルシステムも重要です」

パソコンでよく起きるフリーズも、こうしたソフトのアルゴリズムの不備によって生じるケースがあるため、商品の信頼性を左右する大切な部分となります。



▲フラッシュメモリをより一層大容量化する可能性を持った Fe-NAND フラッシュメモリを 2008 年、世界で初めて提案。メモリトランジスタのゲート絶縁膜を、従来の LSI では使われていない強誘電体膜 SrBiTaO と絶縁膜 HfAlO の積層で構成している。

何百万回もテストを繰り返し 理想のメモリを追求し続ける

特に新たな材料で行われる半導体メモリの開発では、テストを繰り返すことによる詰めが欠かせません。それは、新たな材料を作る人たちとの共同作業でもあります。



▲材料の物性などハード的な側面を検証する実験室。日本の大学有数の実験環境で、ハード的な側面と回路設計やソフトの開発が補完し合って新たな技術を生み出す。

「設計された回路が最初から期待通りに動くことはありません。一度できた回路を実験室でテストし試行錯誤を繰り返しながら改善していきます。もちろん設計す

る前に想定を立ててテストし、進めていくわけですが、 μm （マイクロメートル）、 nm （ナノメートル）単位のサイズなので、材料にも物性に由来する予想外の変化が数多く生じるのです。

また、メモリ回路は例えば携帯電話では何百万個単位で使われており、それが何億本か販売されているわけで

す。したがって、書き換えを何百万回も行うなど、膨大なテストを繰り返す必要があります。エラーの発生は材料によって変化する場合もあるので、その傾向をテストで明らかにし、材料に応じた信号処理技術を開発していきます」

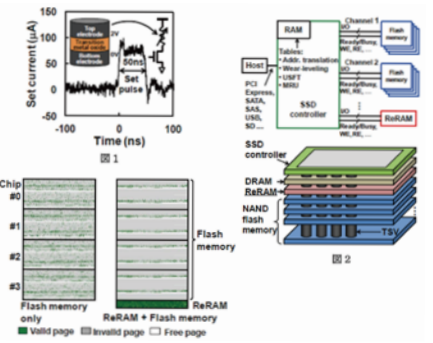
実験室には、テストの自動化をプログラミングできる専用の機器が完備しており、その設備の充実度は、日本の大学でもトップクラスを誇ります。

竹内先生の最近の開発事例は、新聞各紙で取り上げられ注目を集めました。それは、ストレージの一種である SSD（ソリッド・ステート・ドライブ）。新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託事業「高速不揮発メモリ機能技術開発」で誕生したものです。

高速に書き換えが可能で、低電力、長寿命を特長としますが、これも大容量ながら書き換え速度が遅いフラッシュメモリと、フラッシュメモリの 1 万倍もの高速書き換えが可能な抵抗変化型メモリの組合せで実現しました。

この技術により、スマートフォンにおける画像やデータの高速度ダウンロードが可能になり、低電力や寿命化は環境負荷低減やデータセンターのコスト低減に結びつきます。

インターネット社会やスマートフォン・携帯電話など、いま最も注目を集める分野で、半導体メモリを通じて利便性と低電力を追求する竹内先生の研究には、実用化も見据えた大きな期待が寄せられています。



▲SSDの性能を11倍化、電力を93%削減、寿命を7倍化することに成功。データセンターでのSSDの交換の頻度を1/7に下げ、コストを劇的に低減することが可能に。また、頻繁に書き換えられるデータを高速なReRAMに記憶することで、フラッシュメモリの断片化を抑制する。

Message ~受験生に向けて~

私は、横と縦に伸びるTの字のように視野が広く、しかも特定分野について奥行きが深い“T字型人間”の育成を目指しています。したがって、基礎から深く掘り下げて勉強すること、自分の研究領域以外にも幅広い領域に興味を持ち見識を広めることが大切です。いまは、専門外に思える分野でも、実は相互につながっているのです。当研究室では、知的財産戦略やマーケティングなどの技術経営（MOT）や、シリコンバレーなどのベンチャー企業の動向まで視野に入れて研究できます。