



CRDSシンポジウム

IoT/AI時代にむけた テクノロジー革新 —大変革時代の新機軸とは—

報告書

日時

2017年3月7日(火)

13:00~17:40

会場

丸ビルホール

(東京都千代田区丸の内2-4-1丸ビル7・8階)

JR「東京駅」徒歩約1分

東京メトロ 丸ノ内線「東京駅」・千代田線「二重橋前駅」直結

主催 国立研究開発法人科学技術振興機構 (JST) 研究開発戦略センター (CRDS)
後援 内閣府、文部科学省

開催趣旨

情報通信技術 (ICT) の急激な進歩により、Internet of Things (IoT) や人工知能 (AI) などの科学技術が社会・経済に大きな影響を与え始めている。IoT/AIを実現するためには、その根幹をなす情報のセンシングとコンピューティングの大幅な機能向上が喫緊の課題である。

本シンポジウムではIoT/AI時代の展望を語るとともに、求められる情報のセンシングとコンピューティング機能を提供するアーキテクチャー、それらを実現する半導体を中心とした次世代デバイスとそのシステム化に必要なキーテクノロジーに焦点を当て、わが国がこの大変革時代にどのように舵を切っていくべきなのかを考える。

PROGRAM

開会挨拶 13:00~13:20

主催者挨拶 濱口 道成 科学技術振興機構 (JST) 理事長

来賓挨拶 久間 和生 総合科学技術・イノベーション会議 議員

伊藤 洋一 文部科学省 科学技術・学術政策局 局長

第1部講演 IoT/AI時代の社会像

13:20~14:40

曾根 純一 JST/CRDS 上席フェロー

基調講演「IoT/AI時代への技術潮流と日本の課題」

木村 康則 JST/CRDS 上席フェロー

「IoT/AI時代のサービスプラットフォームを支える“新計算原理”」

村上 憲郎 元Google米国本社副社長 兼 日本法人社長

「IoT/AI時代の社会と技術」

齊藤 元章 (株) PEZY Computing 社長

「日本独自の技術によりプレ・シンギュラリティ、シンギュラリティ実現を目指す、研究開発型ベンチャー企業群の取り組み」

休憩 14:40~14:55

第2部講演 テクノロジー・デバイス開発の課題と方向性

14:55~16:15

田中 秀治 東北大学 教授

「スマート社会のためのMEMSセンサ」

本村 真人 北海道大学 教授

「AI応用がもたらすプロセッサLSIのゲームチェンジ」

河野 崇 東京大学 准教授

「ニューロメテリックコンピューティング - 脳相互AIを目指して -」

遠藤 哲郎 東北大学 教授

「IoT/AIチップの革新的集積システム開発プラットフォーム」

休憩 16:15~16:30

第3部 パネルディスカッション

16:30~17:30

モデレーター: 永野 智己 JST/CRDS フェロー

パネリスト: 村上 憲郎 元Google米国本社副社長 兼 日本法人社長

齊藤 元章 (株) PEZY Computing 社長

遠藤 哲郎 東北大学 教授

金山 敏彦 産業技術総合研究所 副理事長

曾根 純一 JST/CRDS 上席フェロー

閉会挨拶 17:30~17:40

野依 良治 JST/CRDS センター長

主催者挨拶



濱口 道成

科学技術振興機構（JST） 理事長

現代において、ICT（情報通信技術）は必要不可欠な生活の一部となっており、IoT（Internet of Things；モノのインターネット）やAI（Artificial Intelligence；人工知能）といったキーワードを毎日聞くようになっている。2016年4月からスタートした第5期科学技術基本計画では、Society 5.0という新しい将来像が打ち出され、IoTやAIはその基盤技術として重要な役回りを期待されている。これらの技術は第4次産業革命を迎えていると言われる現代のキーテクノロジーの一つになっていることは明らかである。CRDSの2016年度シンポジウム「ICTがもたらす新たな社会」では、近い将来おとずれる超スマート社会が、社会、産業、個人の生活などにどのような変化をもたらすかを議論した。今回のシンポジウムでは更に踏み込み、超スマート社会の実現に必須である、IoT/AIの根幹を成す情報センシングや、コンピューティングの大幅な機能向上について、特に次世代デバイスとそのシステム化に必要な技術に焦点をあて、わが国は今後どのような舵を切っていくべきなのかを議論し、考えていきたい。本シンポジウムが、新しい時代のテクノロジーの将来を見据えた契機となることを期待する。





久間 和生

総合科学技術・イノベーション会議（CSTI） 議員

CSTI では、わが国の今後5年間の科学技術計画である第5期科学技術基本計画を策定し、2016年4月からその実行段階に入っている。第5期基本計画では、将来のあるべき産業構造と社会構造としてSociety 5.0の実現を打ち出した。この概念は、CSTI が産業界、そしてCRDSの岩野前上席フェローなどの協力を得て構築したものである。

Society 5.0とは、狩猟世界、農耕社会、工業社会、情報社会に続く社会のことで、近年飛躍的に進歩するICTを活用して経済成長と社会的課題の解決を両立し、人間中心の社会を築くという新たなコンセプトである。Society 5.0では、我々の身の回りの空間であるフィジカル空間と、膨大な情報を蓄積し処理するサイバー空間を融合して、新たな価値を創造する。Society 5.0実現のためのプラットフォーム構築において、IoT/AI 技術は、極めて重要なコアテクノロジーの一つだと考えている。

日本の科学技術イノベーション政策について2点考えを述べたい。今、欧米発のインダストリー4.0や、インダストリアルインターネットなどがもてはやされているが、実はサイバーフィジカルシステム（CPS）の概念は、2004年にCRDSから提言されたIRT（Information and Robotics Technology）の概念と極めて類似している。しかし、残念なことに、IRTは当時のわが国では全く受け入れられなかった。人工知能も同様だ。ディープラーニングは1960年代の第一期、1980年代の第二期ニューラルネットワーク興隆期に、甘利先生や福島先生が開拓されたアルゴリズムがベースになっているにも関わらず、第二期興隆期後、空洞の時代が20年も続いてしまった。こういう文化を変えて、わが国から発信された独創的なコンセプトは、実用化まで継続し実践して、世界に手本を示すことが必要である。

二つ目は、組織間、個人間の連携の重要性である。成果の出口に向かって基礎から実用化までをつなぐこと、さらにグローバルコラボレーションを強化することが重要だ。国民が住みやすい豊かな社会、世界から尊敬される国家を築くには、産学官、各省庁がそれぞれの役割と責任を明確にし、同じ高い目標に向かって連携することが必要である。

本シンポジウムのテーマであるIoT/AI技術は、まさにSociety 5.0実現のための重要な基盤技術である。実りある議論を通した素晴らしい提言がなされることを期待する。

来賓挨拶



伊藤 洋一

文部科学省 科学技術・学術政策局長

近年のICT技術の発達によってもたらされた情報化社会では、サイバー空間とフィジカル空間が融合し、そこで新たな産業やサービスが次から次へ生まれていく。我が国においては、第5期科学技術基本計画において超スマート社会、Society 5.0を実現させるために目指すべき未来社会の姿について国全体でビジョンを共有し、必要となる基盤技術を戦略的に強化していこうとしている。

最近の取組として、例えば、文部科学省では、総務省、経済産業省と連携し、政府全体の人工知能研究の司令塔である「人工知能技術戦略会議」の下で、人工知能の研究開発目標、産業化のロードマップを年度内に取りまとめることとしている。また今年度からは、理化学研究所を中心として「人工知能／ビッグデータ／IoT／サイバーセキュリティ統合プロジェクト」、いわゆるAIPをスタートさせるとともに、JSTにおいてファンディング事業もスタートさせたところである。さらに Society 5.0を支える基盤技術の1つとして量子科学技術の検討を進めている。

さらにこの「大変革時代」に向けて我が国の競争力強化のために研究開発のファンディングについても大きく見直していこうという動きもあり、平成29年度から JST において経済社会にインパクトのあるターゲットを明確に据え、かつ挑戦的な目標を設定した、いわゆるハイリスク・ハイインパクト研究に着手する「未来社会創造事業」を始めたところである。

本日のシンポジウムは昨年に続き IoT/AI をテーマにし、さらにその中で基盤技術の現状課題、将来展望について深掘りするシンポジウムと聞いている。本日の議論により、この大変革時代に向けた様々なヒントが得られることを期待する。



第1部 IoT/AI 時代の社会像



IoT/AI 時代への技術潮流と日本の課題

曽根 純一

JST/CRDS 上席フェロー

IoT/AIが生み出す巨大なサイバー空間とリアル空間が融合した新しいビジネスが出現し、大きく発展しようとしている。例えば2025年までに AI をベースにしたクラウドのサービス、デバイス、機器等を含めると30兆円近くの新しいビジネスが出現すると期待されている。またIoTは色々な製品に付加されるために、製品を多く出荷している企業、すなわち製造業に大きなビジネスチャンスが生まれると考えられる。IoT を付加することで、サプライチェーンの全体最適あるいは IoT/AI を介して生産性の向上、コスト削減、リスク最小化などが可能になると考えられ、製造業への恩恵は非常に大きいと期待される。

日本には、国際的に競争力のある製造業、ロボット産業、自動車産業、工作機械産業があり、さらに、関連する電子部品・機器企業も集積している。IoT の導入により、少量多品種の製品を柔軟かつ効率的に生産する事が可能になるとの意味でも日本にとって大きなビジネスチャンスが生まれると考えられる。

AIは今、第3次ブームに入っている。AIの発展をサポートしているのは、コンピュータ能力の驚異的な増大もさることながら、ビッグデータの充実、深層学習などのアルゴリズムの進展である。しかし今の AI はまだ初歩段階であり、アルファ碁でも大量のデバイス群を駆使し、大量のエネルギーを消費することで学習している。そういったことから、人間に学ぼうというニューロコンピュータ、あるいは量子コンピュータという新たな研究開発の流れが生まれている。このような新しいアーキテクチャには必ず新しいデバイスの登場が要求されていくだろう。

新しいサービスが新たな市場をドライブしていくことと同時に、それをどう実現するかというテクノロジーのレイヤーも重要だ。IoT/ AI を可能にしているのは、センシング、ネットワーキング、コンピューティングという機能であり、その中で中心的な役割を果たすのは半導体である。半導体は単なる部品ではなく、そこに組み込みソフトウェアが搭載されることで、高機能なシステムそのものになっていく。半導体の世界では、ムーアの法則が崩壊し、微細化の限界が到来している。そういう中で、GPU (Graphics Processing Unit)、FPGA (Field-Programmable Gate Array) といった専用チップが低消費電力化をもたらすとの意味でこれからの時代の主役になる可能性がある。このような IoT/AI 時代を見据えて、世界では企業間での大型 M&A が進展している。

将来のコンピューティングに向かって、新しい動作原理のデバイスの出現が期待されている。新しいデバイスには必ず新しい材料の登場が必要であり、合わせて新しいアーキテクチャが非常に大事になるだろう。将来のコンピューティングに向かう研究開発として、材料デバイスからアーキテクチャ、実装の統合的なアプローチが必要になっている。

その実現に向けて、新たな研究開発の仕組みが必要になっている。基礎研究が市場までシームレスに繋がる、あるいは成果が蓄積されることで、論文で終わりではなく再利用できる研究開発の循環システム、あるいは材料、デバイス、アーキテクチャ、ソフトウェアといったレイヤーを、チップあるいは電子システムとして具現化する、さらにそこで生まれた回路の知的財産が資産化でき再活用できるような、産学官による新たな研究開発のエコシステムを作る必要がある。ここでは、夢をもった若い人達を吸引して彼らの教育、育成を可能とする場にすることが重要である。



IoT/AI 時代のサービスプラットフォームを支える“新計算原理”

木村 康則

JST/CRDS 上席フェロー

Society 5.0では、フィジカルの世界のデータを様々なデバイス、コンピュータ、センサを使ってサイバーの世界に上げ、そこで価値のあるものに組み替え、それをまたフィジカルの世界に提供するようなことが行われる。このようなことをいかにして実現するかについてお話したい。

デバイスでは、様々な種類のデバイスから得られる種々のデータ処理のリアルタイム性や、省電力、小型、安価といった点が要求される。インターネットでは、低レイテンシ（すぐ届く）、高バンド幅などが要求される。クラウドでは、デバイスから得られる様々なデータを加工し、新たな意味に作り替える処理が必要であり、その膨大な処理を行うためのさらなる性能向上が求められる。

デバイス、インターネット、クラウドの求められる性能について少し詳しくお話したい。

IoTが進んでいくと、膨大な数のデバイスが必要になり、それら全てのデータをクラウドに上げていくことは現実的でない。そこで、定型的な処理はエッジ側（デバイス側）である程度行うという処理が必要になるだろう。これをどうやるかについては、まだ様々な取り組みがなされている段階である。またデバイスの種類によって、頻繁にサンプリングされるデータや、1日1回の処理でいいものなど様々であり、それによってアーキテクチャもかなり変わってくる可能性がある。これに対応するためには、柔軟なシステム構成を可能にする仕組みが必要である。さらにデバイスは日々進歩しており、それに合わせてセキュリティシステムも変えていく必要がある。

クラウドでは、AI、ビッグデータ、IoTによってデータ量が非常に増えていると同時に、それを使って新たな価値を出そうという計算ニーズが爆発的に増えてきている。従来のフォンノイマン型のアーキテクチャがそろそろ限界になりはじめている。我々はもう少し制約を緩くして別のアプローチを考えていく時期に來ていると理解している。

これらに関連して、現在CRDSでは「新計算原理」の研究開発を検討している。これには、3つくらいのフェーズがあると考えている。一つは、近似計算（Approximate Computing）である。シリコンCMOS回路の設計ルールや設計指針を少し緩くして、その分だけ低消費電力にしようというアプローチである。2つ目は脳に学ぶ、あるいは自然の摂理に学ぶことによって、新たな計算モデルができるのではないかというものである。3つ目が「森羅万象コンピューティング」と名付けているもので、こういうものの全体をコーディネートして、Society 5.0あるいは超スマート社会を実現するための基盤技術の全体像を明らかにしたいと考えている。新原理計算の関係では、量子アニーリングに関する論文を初めて出した西森秀稔先生、ネオコグニトロンというニューラルネットの初期に素晴らしい研究をされた福島邦彦先生、世界初のマイクロプロセッサを作った嶋正利氏を中心としたチームなど、日本人の先駆者がおり、日本が自信を持って進めていけるものと考えている。

またこのような研究開発は、システム、デバイス、アプリケーションなど全体がある程度分かっているとベストなソリューションが提案できない。それぞれの研究者が、アーキテクチャの専門家だ、デバイス設計しかやらない、というのではなく、双方の議論ができる人材育成を並行して進めていくことが必要である。



IoT/AI 時代の社会と技術

村上 憲郎

元 Google 米国本社副社長 兼 日本法人社長
株式会社エナリス代表取締役会長

タブレット PC やスマートフォンを使って、移動しながらでもインターネットが使える時代を迎えた。さらに身に付けられるウェアラブルという段階に差し掛かりつつあり、例えばグーグルグラスと呼ばれる眼鏡型のデバイスやスマートウォッチなどが登場している。この先はインプラント、つまり埋め込めるデバイスという方向性だと言われ始めている。先鞭を切ったのはグーグルのコンタクトレンズのデバイスである。眼球に張り付けている形なので埋め込んではいないが、微細な電子回路が組み込まれていて、涙を分析して糖尿病患者の血糖値を常時観察することができる。将来的には、体の中にいろいろなデバイスが浸透していこうと言われている。その方向性としては、健常者の機能補強と身体障害者の機能回復という二つの方向が目指されていこう。さらに、例えば BMI（ブレイン・マシーン・インターフェース）のような、神経系統とマシンをつないでいくようなことが進んでいこう。

もう一つ、スマート化の方向性を進めているものの一つにスマートグリッドがある。これは賢い電力網という意味で、米国ではオバマ政権第 1 期の経済政策として打ち出された、グリーンニューディールにおける IT の 3 本柱の一つである。日本でも 2020 年東京オリンピックに向けた改革の中で、電力網をスマートグリッド化するという方向性も示されている。オバマ政権がスマートグリッドを打ち出した時、これを IT に分類したのは、これが IoT を押し開くきっかけになることが分かっていたからだろう。日本でも IoT を使った電力システム改革が進んでいる状況で、例えば 2017 年 4 月 1 日からネガワット取引市場が開設される。ネガワットとは、節電した電力をあたかも発電したかのように取引するという新しい方向性のもので、ネガワット発電する仮想的な発電の仕組みはバーチャルパワープラント（VPP）と呼ばれている。

またドイツでは Industry 4.0、米国では Industrial Internet という動きがあるが、8 年前に米国が出した Smart Grid Architecture Model は、今ドイツの Industry 4.0 で打ち出されている RAMI（Reference Architecture Model Industry）4.0 にそっくりである。つまり、米国は 8 年前にこの事態を見通していたということであり、そういうことを我々は心してかかる必要があるだろう。

アルビン・トフラーが 1980 年に「第三の波」の中で言っていたプロシューマーがいよいよ誕生する。特注品一品生産を一品種大量生産と同じコストで実現するためには、消費者の嗜好を製造計画の初期に、更には、製造途中であっても、いかに取り入れていくかが重要となる。一方、この新しい産業革命の結果として、雇用に対する深刻な影響も考えられる。これに対するセーフティネットを、十分考慮しながら進めていく必要があるだろう。



日本独自の技術によりプレ・シンギュラリティ、 シンギュラリティ実現を目指す、 研究開発型ベンチャー企業群の取り組み

齊藤 元章

株式会社 PEZY Computing 社長

スーパーコンピュータは探索、解析、モデリング、シミュレーション、最適化などができるが、これを使うことで各種の社会課題の解決が期待されている。中国では2016年からの第13次5カ年計画で5つのグランドチャレンジ(エネルギー問題、食糧問題、軍事と安全保障問題、医療と生命科学、公害・天災)を明確に謳い、対応を進めている。直近のスパコンランキング(2016年11月期)の台数シェアでは、米国と中国が171台で並んで1位、日本は27台で、31台のドイツの後塵を拝して4位であった。2017年6月の予想では、世界の500台のスーパーコンピュータのうちの半数を超える台数を中国が稼働させてくるという予測もある。また中国は、京の100倍の性能を持つ次世代スパコン(1ExaFLOPS)の開発として、独自のCPUを開発し、2020年までに稼働させる予定である。

次世代のスーパーコンピュータとは、100年かかる計算が1年でできるという高速性だけでなく、複雑な計算ができることが特徴である。今のスパコンの100倍複雑な計算ができないと解けない問題には、例えば熱核融合炉やタンパク質解析など多々あり、これらへの適用が期待されている。次世代スパコンを作ることのもう一つ重要な意味は、次世代スパコンを作らないと次世代のスパコンはもう作れないということである。

PEZYでは独自開発の6台の液浸冷却スパコンを稼働させ、消費電力性能で世界一になっている。今後、第5世代時点で5nmプロセスを用いた16,000コアのプロセッサにより、消費電力効率100GFLOPS/W、「京」の1万倍の体積効率・性能密度を目指している。目指す先は数年後、10PetaFLOPSを個人レベルでも専用使用できる社会だ。特に日本の場合にはものづくりの現場で、匠の技と融合していくことで、新しく多様性にあふれた革新的なものづくりの創出が可能になるだろう。

人工知能による革命はまだ序章だが、ディープラーニングによる機械学習は、抽象的概念を獲得して、猛烈な勢いで進化しており、人間の創造性を一部超えてきている。人工知能エンジンで仮説の立案を行い、検証を次世代のスーパーコンピュータで行い理論を形成していくといったことも可能になるだろう。

人工知能による革命はまだ序章であり、これから本格的に使われていくに従い、人工知能エンジンの開発が重要課題となる。また、量子計算の1形態である量子ニューラルネットワークも組合せ最適化で重要である。人工知能エンジンによる仮説の立案と、次世代スパコンによる仮説の検証、量子ニューラルネットワークで組合せ最適化を可能にすることで、最強の科学技術基盤ができると考えられる。

第2部 テクノロジー・デバイス開発の課題と方向性



スマート社会のための MEMS センサ

田中 秀治

東北大学 教授

今日の話の中心である MEMS (Micro Electro Mechanical Systems; メムス) は、最近その言葉を知られるようになってきた。例えば携帯電話でアドレスを交換する時に携帯電話を振ったりする。これは、携帯電話の中に MEMS の加速度センサが入っていて、振る動作を感知している。そのような MEMS が、携帯電話一つあたり10個以上は入っている。MEMS がなぜこんなにたくさん使われるようになったかという、技術の向上により小さくなり、それによって安価になったためである。

どうやって小型化が可能になったかと言うと、集積化技術による。数年前に、3 ミリ角程度だったセンサが今ではたった1 ミリ角になった。面積にすると約10分の1、つまり同じ面積から10倍の個数のセンサが取れる。単純計算では、10分の1の価格にできる。安価になると、従来使われていなかったようなアプリケーションにも使われるようになり、そして新しいイノベーションが生まれる可能性がある。

センサはインフラモニタリングにも利用される。例えば日本には老朽化した橋など、50年越えのインフラストラクチャーがたくさんある。そういうものに多数のセンサを付けて振動を測ればよいが、橋に比べて寿命ではセンサのほうが短い場合が多く、またセンサのメンテナンスにもコストがかかる。一方、橋は毎日多くの車や人が渡る。今では多くの人がスマートフォンを持っていて、それにはセンサが入っていて、クラウドに繋がっている。そのスマートフォンが取得するデータをたくさん集めて解析すれば、橋の状況も分かるかもしれない。このように、これまでとは違ったスマートフォンの使い方が出てくる可能性がある。

このようにスマートフォンが使われるようになると、大事なことはセキュリティである。例えば今の指紋認証のセンサは、実は簡単にだますことができる。これに対して MEMS が有効である。例えば、MEMS の超音波センサをたくさん並べて集積化した指紋センサを作れば、超音波は表面の皮膚の情報だけではなく真皮の下の情報もとることができるため、セキュリティの度をかなり上げることができる。

また、スマートフォンの音声認識の性能向上にも活かすことができる。通常、スマートフォンに話しかける時の口とマイクロフォンの距離は数センチだが、今後、ロボットや家電に話しかけるような時には、距離がもっと長くなり、またノイジーな環境も考えられる。高性能なマイクロフォンが必要になるが、これは単純な研究開発ではない。一方、音声認識の性能を上げることで、例えばエンジン音を AI で調べることができれば、どこが劣化してきているかが分かり、交換が必要な部品が自動的に注文されるといったことが近い未来実現するのではないかと考えている。最近、MEMS マイクロフォンアレイを搭載した対話型情報端末が普及しはじめ、音声でピザを注文できるようになっているが、もしかすると、体音を拾うことでお腹が空いていることが分かり、自動的にピザが注文される日も来るかも知れない。

そのほか MEMS の性能向上により、バーチャルリアリティやロボットへの活用も期待される。MEMS は Society 5.0 のキーデバイスになるものであり、これからも研究開発を加速していきたい。



AI 応用がもたらすプロセッサ LSI の ゲームチェンジ

本村 真人

北海道大学 教授

人工知能革命が急速に進んでいること、ムーアの法則が終焉を迎えつつあることで、ポストノイマン時代とポストムーア時代がシンクロして同時に訪れており、情報処理ハードウェアの革新が求められている。このゲームチェンジは日本にとってのチャンスになる。

ニューロモルフィックが脳模倣型あるいは脳型の情報処理を探索する分野である一方、ニューラルネットワークはシナプスとニューロンを抽象化したモデルに一度置き換えて、ソフトウェアの世界で乗算と加算の繰り返しでシミュレーションするという分野である。ディープラーニングは深いニューラルネットワークを大量のデータで学習させ、それを使って推論する方法であり、2010年代に爆発的に発展してきた。ディープラーニング型情報処理の特徴は、処理手順があらかじめ定義されていて、その通りに演算器間やメモリー演算器間のデータをやり取りすることにある。従来の情報処理では処理「手順」をプログラムして逐次に行い、これを並列化していくという逐次ネイティブ型のアプローチで発展してきた。一方、ディープラーニングにおいては、上記の特徴から、処理「機構」をプログラムし、その上にデータを流して並列処理する並列ネイティブ型の「リコンフィギュラブル（再構成可能）ハードウェア」アプローチが極めて良く適合する。つまり、AI応用で情報処理アーキテクチャに変革の好機がおとずれており、ディープラーニングという新しい分野に応じて新しい形のプロセッサの必要性が生じている。

このような時代背景を受け、2016年以降、AI向けプロセッサの新しい提案が急増しており、カンブリア紀のようなプロセッサの種の爆発という現象が起きている。主要な計算機・FPGA・LSI 関係学会の AI プロセッサ関連のセッションでは、北米や中国などから多くの口頭発表がなされているが、日本の姿が見当たらない。その背景には、日本では、ハードウェアとソフトウェアの境界にあるアーキテクチャ領域の研究があまりフォーカスされていないことがある。言い方を変えると、システムウェアなハードウェアの研究が日本の重要課題であると考えられる。

このような観点で、私は JST の ACCEL プロジェクト「近接場結合集積技術による革新的情報処理システムの実現と応用展開」の中で、メモリとロジックの高バンド幅接続を利用してリコンフィギュラブルハードウェア型 AI プロセッサへの展開を目指して研究を行い、成果を出し始めている。

AI は情報処理ハードウェアのゲームチェンジャーであり、ポストノイマンとポストムーアの共時性を大きなチャンスと感じた各国のアーキテクチャの研究者がゴールドラッシュのようにこの分野に集まっている。この世界的状況の中で日本は周回遅れであり、アーキテクチャ領域に対してあまり注目が集まらない国内状況が続いている。しかし、本来のアーキテクチャ技術蓄積は厚く、リコンフィギュラブルハードウェアやニューラルネットワークは元々日本の得意分野であり、今起こっているゲームチェンジは日本にとっての大きなチャンスである。日本からのより多くのプレイヤーの参画を期待したい。



ニューロミメティックコンピューティング ー脳相互 AI を目指してー

河野 崇

東京大学 准教授

脳神経系は非常にエネルギー効率の高いシステムである。人の脳は20W程度の消費エネルギーで五感のセンサから常に入り込んでいる大量で複雑な入力情報を統合し、その中から重要な情報だけを瞬時に取り出して、それに対して効果器官を適切に駆動することができる。遺伝子的に引き継がれている部分もあるし、訓練によって獲得することもできるし、環境が変わるとそれに応じて修正することもできる。そして100年近くの長期にわたって特段のメンテナンスをすることもなく動作することができる。ニューロミメティックシステムとはこのような脳と同等の原理のコンピュータを作ること、このような優れた情報処理の特性を引き継いだシステム構築を目指すアプローチである。

ニューロミメティックコンピューティングの基盤技術はシリコン神経ネットワークである。これは神経細胞・シナプスのレベルで神経ネットワークを模倣し、脳神経系の電気的な活動をリアルタイムあるいはそれ以上の速度で再現しようとする電子回路である。神経細胞やシナプスの電気的特性を、互換性を持ちながら実装していこうというアプローチであり、人工ニューラルネットワークのようなニューロインスパイアードなアプローチとは全く異なっている。

人工ニューラルネットワークでは人工ニューロンをベースに複雑なネットワークを組み上げていき、随時、脳神経科学の成果をヒントとして取り込みながら複雑なシステムを目指す。1940年代人工ニューロンが考案されてから70年経った昨今、人間の能力を超えるパターン認識能力を持つに至った。これに対してシリコン神経ネットワークは、脳の階層構造の各レベルで互換性を保ちながら、最終的には脳に匹敵するような情報処理システムを目指そうというアプローチである。AIのような情報処理システムの応用に加えて、バイオシリコンハイブリッドシステムと言われている医療向けのデバイスや、非常に大規模な神経ネットワークの高速なシミュレーターとしての応用分野がある。

シリコン神経ネットワークによって実現される脳互換AIは、脳と同等の形式で情報を表現するために感覚を直接扱える。医療デバイスなどへの応用も可能で、少ないデータから学習ができる、低消費電力で壊れにくく壊れても自然に治るようなものが予想されている。一言で言うと、脳と共生するコンピュータである。世界では、欧米を中心としてたくさんのグループが研究を行っており、シリコン神経ネットワークの回路を設計するための技術は着実に進歩している。シリコン神経ネットワークの課題は、脳科学において、脳の動作するメカニズムがはっきりとは分かっていない点にある。

1980年代、世界でシリコン神経ネットワークの研究が始まる約四半世紀前に日本で世界初のシリコン神経回路である南雲回路が東京大学で開発された。この回路においても定性的神経モデリングの数学的手法を応用している。この回路の精神を引き継いで、世界をリードする研究を進めていきたい。



IoT/AI チップの革新的集積システム開発プラットフォーム

遠藤 哲郎

東北大学 教授

半導体を中心としたエレクトロニクス産業は大規模な投資の判断を必要とするため、あるテクノロジーが数年先も使われることを説明（5W1H）する必要がある、時間軸が重要である。それに対応していくためには、新しい時代に即したテクノロジープラットフォームを作らなければならない。

IoT や AI が価値を生み出すためには、越えるべき壁が三つある。一つはデータ爆発の問題だ。これから人類が生み出す情報量に対してハードディスク容量が足りなくなる。そのため、メモリやストレージの分野でこれまで蓄積技術を開発してきたが、今後は、データを取捨選択する、つまりデータを捨てる技術を開発していかなければならない。二つ目はエネルギーの壁である。今のままでは、全電力を通信インフラに振り向けたとしても、エネルギーオーバーになってしまう。三つ目はリアルタイム性の壁である。サーバーに送って結果が出るのでは遅い。スマートフォンなどその場で判断するようなハードウェアが必要である。つまり、エッジ側のところで低消費電力の AI チップ、つまりリアルタイムに学習し、リアルタイムに判断するという技術が必要になるだろう。

IoT や AI に必要な性能を考えれば、従来の CMOS 回路に何かを付け加える「X on CMOS」が重要になる。例えば、スピントロニクス技術をシリコン技術に融合させるスピン注入 MRAM（STT-MRAM）を用いた不揮発コンピュータを作れば、二桁消費電力が落ちる。また AI ではリアルタイムに学習しリアルタイムに判断することが求められる。これは LSI 化、つまりハードウェアプラットフォームが必要である。IBM の True North は脳との比較で、 10^3 倍集積化が足りず、 10^4 倍の消費電力となっている。しかし CMOS ではなくスピントロニクスを使った我々が開発した AI チップでは、 10^2 倍の集積化と、 10^3 倍の低電力化が可能となる。

人間は、目を見た時に一番近いグループはどれかというデータマッチングを行い、グループが一緒のものを判断している。これと同様のことが、スピントロニクスを使ったエッジコンピューティングでは、低消費電力で実現できる可能性がある。エッジ側だけでなくデータセンターにも適応すると、データセンターの消費電力も半分くらい落とせる可能性がある。ムーアの法則の持続が困難になりつつある中、新しいテクノロジーやサイエンスを組み込んでいけば、まだまだ企業側が安心して 5 年後 10 年後も発展する仕組みを提供していけるだろうと考えている。

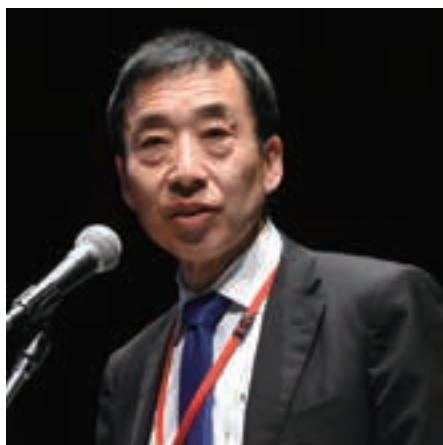
東北大学国際集積研究開発センターではキャンパス内にプロセスラインを整備し、スピントロニクスと 3D-CMOS のハイブリッドチップを開発できる世界で唯一の公的研究拠点を構築している。現在 50 社以上の国内外の企業と技術開発を行っており、昨年には、産学官功労者表彰で内閣総理大臣賞もいただいた。15 年ぶりにエレクトロニクス分野に内閣総理大臣賞が戻ってきたことは、IoT と AI に対する社会的要請の追い風があると思う。エレクトロニクス産業に向けたハードウェアプラットフォームを今後も推進していきたい。

第3部 パネルディスカッション

IoT/AI時代のテクノロジー革新の潮流の中、これからの産学連携やオープンイノベーションの在り方などについて、世界の動き、その中での日本の課題などについて議論を行った。

- モデレーター：** 永野 智己 JST/CRDS フェロー
- パネリスト：** 村上 憲郎 元 Google 米国本社副社長 兼 日本法人社長
- 齊藤 元章 (株) PEZY Computing 社長
- 遠藤 哲郎 東北大学 教授
- 金山 敏彦 産業技術総合研究所 副理事長
- 曽根 純一 JST/CRDS 上席フェロー

●ポジショントーク



金山 敏彦

産業技術総合研究所 副理事長

半導体は、微細化に加えて新材料や構造の新たな方向が出てきている。また、超低消費電力デバイス、不揮発メモリ、光インターコネクト、センサーネットワークといった新機能や、脳型アーキテクチャなどの多様な方向性についても、研究開発が進められてきている。

日本にはこの分野に関して大きくかつ多層の研究コミュニティや研究の蓄積がある。今後は、それらをいかにインテグレーションしていくかが課題だろう。産総研では、AIに特化したクラウドで世界最高水準のものを用意しつつあり、これを共通プラットフォームとしてAIの社会実装のために使っていきたいと考えている。また新しい原理デバイスの技術開発・実証のプラットフォームも提供していきたい。さらに、この両者をつなぐアーキテクチャ、言い換えると回路システムの設計のプラットフォームを作っていくことも今後必要である。実際に多くの方に活用していただき、様々なアイデアが育って行って実際の社会に出て行くという仕組みを作っていくこと、つまり全体がエコシステムとして機能していくことができれば、日本の将来は極めて明るいと考えている。

●ディスカッション



村上：D-Waveやグーグルでは、既に量子コンピューティングの研究開発に大きな投資を傾けつつある。研究開発の投資配分あるいはマネジメントの戦略という観点が重要だ。米国では DARPA（米国国防高等研究計画局）あるいは ARPA-E（米国エネルギー高等研究計画局）といった研究開発マネジメントの方式がある。日本でもそれと拮抗しうような方法を考える必要がある。

齊藤：追加で2点お話したい。1）脳型コンピューティングを進めるうえで、脳機能の解明がまだまだなされていないということは非常に大事。脳機能の解明は人間に果たして解明しうるのかという問題がある。これも次世代のスーパーコンピュータと次世代の人工知能エンジンを使わないと難しいのではないと思う。また、グリア細胞という神経細胞よりもはるかに数の大きい細胞が何をしているかがほとんど分かっておらず、この部分の解明も今後の課題だろう。もう1つの可能性は、量子ニューラルネットワークであり、これは人間の脳のコネクトームをはるかに上回る可能性がある。2）シリコンバレーでは経済的なものづくりのエコシステムがきちんと回っている。日本でも、ものづくりのエコシステムは、世界で類を見ない素晴らしいものがある。ものづくりに関する品質や技術へのこだわり、匠の技、ものづくりに対する姿勢など、これだけ優れた地域は日本以外にはおそらくない。半導体の部分は、日本人のオタク的な気質も併せてこれから非常に伸ばせる余地があり、これを生かさない手はないだろう。

遠藤：LSI の研究開発の黎明期は、良い技術を持っているところが winner だったが、その後、大きなキャッシュフローを生み出すような量産効果を出していけるシステムのプラットフォーマーが勝つ時代になってきた。しかし、IoT では2桁、3桁の低消費電力化が求められたり、AI では今までとは違う情報処理や判断が求められるようになる。つまり、良い技術を持っている人が再びwinnerになれる時代が来ているのではないか。そういう意味では日本にとってもチャンスである。また、IMEC の例を見ても、選択と集中、そして周囲と連携するエコシステムをうまく構築している。日本でも人材育成を含めた研究開発のエコシステムを成立させるためのプラットフォーム構築が重要になるだろう。

金山：AI、IoT という新しい潮流をどう捉え、そこに我々がどう挑んでいくのか。アイデアと技術のタネさえ持っていれば、多様なチャンスがあり、資本が無くても非常に大きなインパクトを及ぼす活動が可能になってくる。世

界的なオープンイノベーションの中で、従来とは違う技術開発の仕組みをうまく作っていけば、若い研究者がチャレンジできるような環境が作れるのではないかと考えている。そのためには、グローバルなエコシステムあるいはバリューチェーンがどう展開できるかを広い視野で考えて行く必要があるだろう。

曾根：オープンイノベーションの流れの中で、文部科学省のナノテクノロジープラットフォームというプログラムの活動は非常に活発化している。10年前にはほとんど見向きもされなかったものだが、時代の流れの中で存在感を増している。一方、産学連携の実際の運営は相当難しい。学の人はいい論文を書き、世界に発信したい、産業界は生まれた技術を独占したいというように、ベクトルが全く異なっている。その意味でオープンとクローズの戦略が非常に大事になってくる。そこをうまくやっている例が IMEC であるが、日本でもうまく設計すれば、人が集まるオープンイノベーションの場の形成ができると考えている。

齊藤：AI の技術進歩は日進月歩。人工知能とスパコンが連携する時に、人知を超えた色々な新しい理論がそこから生まれてくると言われている。おそらく想像以上の大きなインパクトがあるだろう。我々を取り巻く社会環境が激変するのと同時に我々自身も変わって来る。それに対して今から備えをしておくことが重要だろう。

村上：よく話題になるグーグルの20%ルールは、20%の時間は何をやってもいいという意味で捉えられがちだが、単に時間ではなく、個々人が8割の力を注げば達成できる目標を設定してよいと解釈されるべきだ。その残った2割の力で何かとんでもないことを考えればいい。グーグルなどはそういう考え方で、色々なアイデアにチャレンジしている。また、DARPA の自動走行の基本的なところは、長年コンペを開き、米国中の若者たちや大学などの研究機関が夢をもってそれに参加する中で培ってきた。日本人は生真面目に研究開発をやっているが、国際競争という観点からは、研究をより自由闊達に思うようにできる環境をセットすることが必要だ。20%は放し飼いにするというルールが大事だと思う。

遠藤：かつて所属していた東芝において、20%ルールを使って今日お話しした3D NANDの開発をしていたことが、現在大化けしている。余裕は大事なことだと思う。今は、予算をとるために出口志向が強まっており、この技術は何年後どこまでいけるかを問われることが増えている。それに連動して、学生に対しても修士を何年で終わらせるためにはこれくらいしなければいけないという思考になってきてしまっている。本来、若いうちはもっと自由に研究をすればいいはずだが、余裕がなく、小さくまとまってしまっている可能性がある。いい意味で、あまり後先考えずに、鈍感に自分の信じるところを上の人に温かく見守ってもらいながらバカ騒ぎできるような環境はぜひとも残していかなければいけないと思う。それには、異分野融合によるシナジー効果や、ある程度自由になる時間などが非常に大事だと思う。

金山：国研の役割が変わってきており、オープン・クローズドのバランスを考え、最後のビジネスまでやりきることも含めた拠点としての機能も考える必要がある。将来のエコシステムづくりにおいて、意味のあるプラットフォームづくりが現在の課題である。

曾根：かつて NEC の基礎研究所にいた頃、役に立たないと言われたことからたくさんのものが生み出されてきた。例えば、量子コンピュータが超電導を用いた固体素子で原理的にできるということを立証したのは NEC であった。当時の企業には、いろいろな発想を許してくれる余裕があった。世界的に企業間の競争が激化し、企業に余裕がなくなっている現状では新しいアイデアを本物にするには新しい仕組みが必要であり、橋渡しができるようなエコシステムを国研には期待している。

閉会挨拶



野依 良治

JST/CRDS センター長

アルビン・トフラーが「第三の波」の中で、農業革命、工業革命に次ぐ情報革命の到来を予見したのが1980年のことである。本日の議論から、この革命の波が本格的に押し寄せていることを実感した。また、IoT/AIにおける日本人研究者の活躍や、ビジネスの観点でも日本に商機ありの状況が分かり、大変心強く思った次第である。

AIの進展が経済成長のエンジンになりつつあるが、やがてこの影響は社会全体に及ぶと考えられる。AIの活用により、9兆ドルの人件費の削減、8兆ドルの製造、医療費の削減、2兆ドルの自動運転とドローンによる効率化など、毎年14兆から33兆ドルに影響が及ぶと言われている。2045年には、人知を超えたスーパーインテリジェンスが現れるとも言われているが、その社会は果たして、ユートピアなのか、ディストピアなのか、色々議論があらうかと思う。気になる点としては、科学技術の関係者の多くが、自分たちの職業は安泰であると思いがっているところである。400年続いた現在の科学研究の手法が、全く無力になるかも知れない状況であり、研究開発コミュニティはいかに創造的であり続けるかということをもっと謙虚に考えていかなければならない。

IoT/AIは技術的には発展し続けるが、その品質と用途の社会的な影響を今から慎重に見守っていかなければならない。例えば原子核の歴史に鑑みて、例え当初の目的が正当であり善意のものであっても、破滅的な結果を招くことがある。またAIは公共財なのか私財なのか、その行方を制御するのは国家なのか企業体なのか個人なのか。社会環境に与える影響は極めて大きいだけに、成り行き任せではあってはならない。端的に言うと、Back to Nature、Back to Humanity ということに尽きる。自然の摂理の尊重あるいは人間性への回帰にあらがうことは極めて不適切だと考えている。

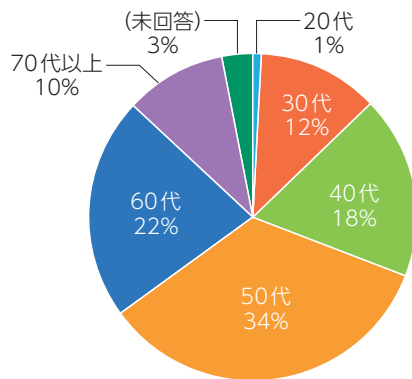
わが国の科学社会には国力の源泉としての科学技術、イノベーションの振興、経済成長への貢献とともに、2015年の国連で採択された「持続可能な開発目標（SDGs）」への積極的な対応が託されている。このような地球規模の極めて深刻な問題の軽減あるいは解決には、従来のアプローチや一国での対応は困難あるいは不可能である。世界中のあらゆる知識や知恵を結集する必要がある、AIやIoTを十分に駆使していくことが必要であろう。

本日は多くの方にCRDSの活動に関心を寄せていただき感謝している。本日の大変貴重なそして意義のある議論を参考にさせていただき、CRDSとしての的確な戦略の提言をしていきたい。

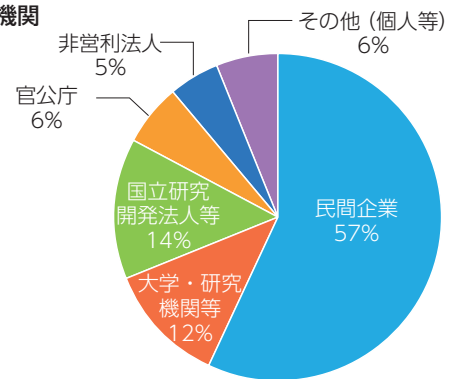
アンケート集計結果

1. 事前登録者内訳（計710名）

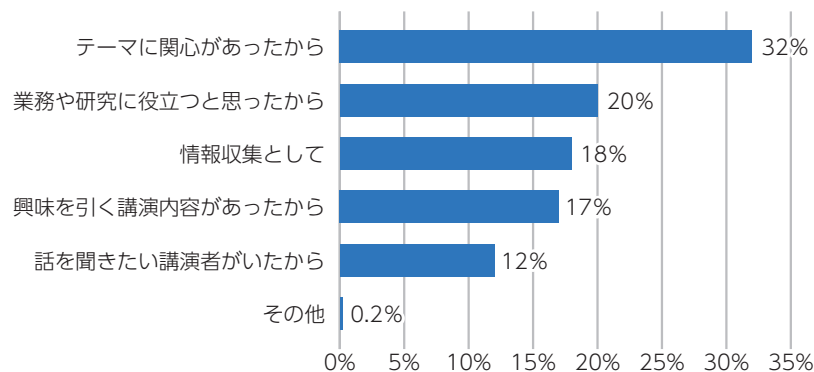
1-1. 年代



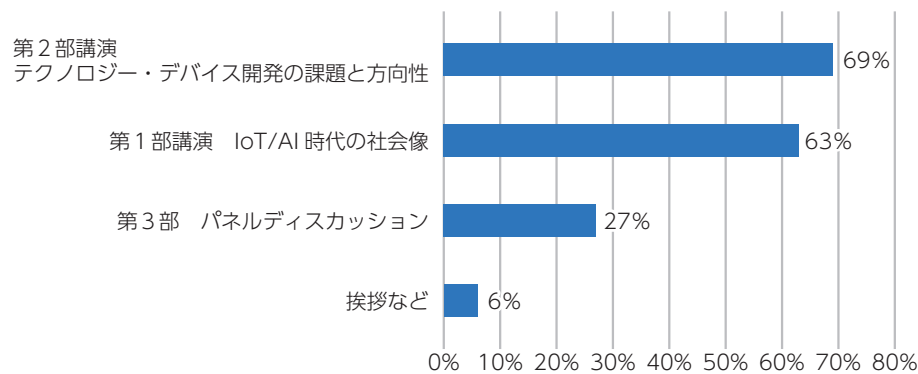
1-2. 所属機関



2. 本シンポジウムに興味を持った動機は何ですか（複数回答、回答数延べ926件）



3. 印象に残ったプログラムは何ですか（複数回答、回答数延べ243件）



4. シンポジウムの内容に関する主なコメント

- IoT/AIの技術的進展、及びその人間社会的応用の進展の中で人間教育の今後のあり方について、具体的検討を進めていただきたい。
- AI では日本は遅れているという話が出たが、国の支援で挽回して欲しい。
- 産学官がどのように連携すると日本の技術開発分野が維持・発展ができるのか。より具体的な知見、提案があるとよい。
- モノ（技術）の賞味期限はせいぜい5年だが、人への投資賞味期限はもっと長い。人材教育へ投資すべきであり、出口戦略だけの投資では新しいモノは生まれてこない。
- IoT/AIを基礎研究（数学、物理、化学、生物など）に応用する話は良く聞くのに、逆の流れができないのはなぜか。境界に新しい研究分野があるように思う。
- 「日本国産」に固執しすぎではないか。企業は既にグローバルベースで考えて動いているため、エコシステムはグローバルで考えて、地球課題の解決を目指した議論をしていただきたい。
- 国際的な協力や輸出を考えると国際標準化・規格化が見えない所で効いてくるが、国もメーカーも関心が少ない。過去の反省を踏まえ、IoT分野でも官民ともに十分な配慮が必要となる。
- ビジョンをアクションとプランにつなげていくことが重要。絵だけに終わらないように。この分野では世界トップを目指してほしい。



[後 援]



国立研究開発法人 科学技術振興機構 研究開発戦略センター

東京都千代田区五番町7 K's 五番町10階
電話：03-5214-7481 E-mail：crds@jst.go.jp
CRDS ホームページ：http://www.jst.go.jp/crds