

EAJ 報告書_2018-01

2030年の超スマート社会に向けた 次世代計算機技術開発戦略



平成30年(2018年)6月11日

公益社団法人日本工学アカデミー
次世代コンピューティング技術プロジェクト

2018年10月1日
公益社団法人日本工学アカデミー

日本工学アカデミーは、工学・科学技術全般の発展に寄与する目的で設立された産学官の指導的技術者を会員とする団体です。会員の豊かな経験や知識、幅広いネットワークを活用したプロジェクトチームを中心に、広く会員外からの協力も得て、調査提言活動を進めています。その成果をまとめ、社会が目指すべき方向性に関して、官公庁、立法府、産業界、学会、研究機関等に先導的、創造的な施策を提言し、社会実装を目指します。

「次世代コンピューティング技術プロジェクト」は、期待が高まっているスマートフォンやIoT機器などで汎用されるコンピュータを対象を絞り、検討を進めてきました。今般、本報告書の原案がまとめられ、政策提言委員会での査読を受け、理事会での審査を経て、最終版を確定しましたので、工学アカデミーとしての発出を理事会で決めました。広くご活用いただくことを期待します。

なお、本報告書は、「京」やポスト「京」のような汎用スーパーコンピュータは対象としておりません。このテーマについて検討する機会が確実に訪れるものと考えています。

また、近年高い関心を集めている量子コンピュータについては、現在、別のプロジェクトチームが検討を進めています。その成果は近い内にまとめて、公開する予定ですので、ご期待ください。

本報告は、公益社団法人日本工学アカデミー次世代コンピューティング技術プロジェクトの調査研究結果を取りまとめ公表するものである。

公益社団法人日本工学アカデミー次世代コンピューティング技術プロジェクト

リーダー	金山 敏彦	正会員、国立研究開発法人産業技術総合研究所 特別顧問
P0	中村 道治	正会員、国立研究開発法人科学技術振興機構 顧問
幹事	石内 秀美	株式会社先端ナノプロセス基盤開発センター 代表取締役社長
	内山 邦男	正会員、株式会社日立製作所 研究開発グループ 技術顧問
	木村 康則	正会員、株式会社富士通研究所 フェロー
	曽根 純一	正会員、国立研究開発法人科学技術振興機構 上席フェロー
	水野 弘之	株式会社日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センター 主管研究長
委員	青木 孝文	正会員、東北大学大学院 情報科学研究科 教授
	浅井 哲也	北海道大学大学院 情報科学研究科 教授
	石川 裕	国立研究開発法人理化学研究所 計算科学研究センター システムソフトウェア研究チーム チームリーダー
	遠藤 哲郎	正会員、東北大学 国際集積エレクトロニクス研究開発センター センター長・教授
	笠原 博徳	正会員、早稲田大学 理工学術院 基幹理工学部 情報理工学科 教授 アドバンスト・マルチコア・プロセッサ研究所 所長
	加藤 真平	東京大学大学院 情報理工学系研究科 コンピュータ科学専攻 准教授
	黒田 忠広	正会員、慶應大学 理工学部電子工学科 教授
	郷治 友孝	株式会社東京大学エッジキャピタル 代表取締役社長 マネジングパートナー
	桜井 貴康	東京大学 生産技術研究所 教授
	佐橋 政司	内閣府 革新的研究開発推進プログラム プログラムマネージャー、東北大学 工学研究科 教授
	竹内 健	中央大学 理工学部電気電子情報通信工学科 教授
	土井 美和子	国立研究開発法人情報通信研究機構 監事

	中村 祐一	日本電気株式会社 中央研究所理事
	西山 彰	東芝メモリ株式会社 メモリ技術研究所 技監
	服部 健一	株式会社産業革新機構 戦略投資グループ マネージングディレクター
	日高 秀人	ルネサスエレクトロニクス株式会社 フェロー
	松井 俊浩	情報セキュリティ大学院大学 情報セキュリティ研究科 教授
	松岡 聡	国立研究開発法人理化学研究所 計算科学研究センター センター長
	本村 真人	正会員、北海道大学大学院 情報科学研究科 教授
	安浦 寛人	正会員、九州大学 理事・副学長
	安田 孝美	正会員、名古屋大学大学院 情報学研究科 教授
事務局	萩島 功一	国立研究開発法人産業技術総合研究所
	更田 裕司	国立研究開発法人産業技術総合研究所

本報告の作成にあたり、以下の方々に御協力いただいた。

オブザーバ	有本 健男	正会員、政策研究大学院大学 客員教授
	川上 景一	一般社団法人電子情報技術産業協会 常務理事
	吉村 隆	一般社団法人日本経済団体連合会 産業技術本部長

意見聴取	岡村 淳一	株式会社 Trigen Semiconductor 代表取締役会長
	中野 恵一	オリンパス株式会社 人事本部 教育統括部 部長代理
	金子 敏文	日本ケイデンス・デザイン・システムズ 社長
	広瀬 文保	日本ケイデンス・デザイン・システムズ 技術統括 バイスプレジデント
	森脇 暢	日本ケイデンス・デザイン・システムズ 営業本部 グループディレクター
	杉本 英樹	株式会社デンソー 電子基盤技術統括部 IP 開発室 室長
	森 裕司	株式会社デンソー 電子基盤技術統括部 IP 開発室 担当次長
	長田 健一	日立オートモティブシステムズ株式会社 主幹技師
	檜山 徹	株式会社日立製作所 研究開発グループ 基礎研究センター アドバイザ
	広津 鉄平	株式会社日立製作所 研究開発グループ ユニットリーダ主任研究員
	木野 亨	富士フィルムソフトウェア株式会社 ソフトウェア開発本部
	丸田 智彦	富士フィルムソフトウェア株式会社 ソフトウェア開発本部
	中 一郎	ルネサスエレクトロニクス株式会社 コアテクノロジービジネス開発部
	谷 奈穂子	株式会社セミコンダクタポータル 代表取締役

要 旨

1 背景と目的

超スマート社会に向けて、従来限界を越える計算機技術の開発競争が世界的に活発化している。この技術転換点に当たり、2030年の社会を想定し、わが国の取り組むべき戦略に関して検討と提言を行うことを目的とした。

2 未来社会における計算機技術の役割と方向性

(1) 未来社会における意義

2030年の超スマート社会 Society 5.0 では、産業・社会生活のあらゆる場面で、計算機による情報処理が全ての活動を支える存在になる。遍在する無数の計算機がネットワークを介して大規模高性能計算機(サーバ)群に接続し、実世界(フィジカル空間)から大量のデータを計算機ネットワーク上の仮想世界(サイバー空間)に収集して、様々な目的に解析・運用することが、一段と進む。国際社会共通の課題である SDGs の追求にも、高度な計算機技術の援用が欠かせない。

(2) 技術の方向性

AI(人工知能)を始めとして、社会や産業が扱うべき情報量は膨大になる一方で、これまで計算機の高性能化を支えてきた半導体集積回路の指数関数的な高集積度化(ムーアの法則)が、維持困難になっている。そのため、計算機の高性能化の要求に今後も応えるには、目的とする用途を特定した上で、アーキテクチャを中核に、材料・デバイスからソフトウェア、応用システムに至る、総合的な研究開発を行うことが、必要である。

3 事業モデル

(1) 現在の趨勢

大量のデータを仮想世界へ集約し、サーバ上での情報処理に基づいてサービスを提供する事業モデルが、世界の趨勢となっている。この事業モデルは大規模化の効果が大きく、大量のデータを集約できるほど、よりの確なサービスを広範囲な対象に提供できるようになる。そのため、下部構造として様々な事業モデルを生み出しながら、巨大化を続け、世界の産業構造を大きく変革させている。結果として、仮想空間へ集中するデータを束ねる世界的巨大企業が、他を圧倒する大きな力を持ちつつある。

(2) 将来の方向性

現モデルが巨大化する他方、実世界の現場近くで情報処理を行うトレンドが、動きはじめている。自動運転やロボット・機器制御のような即応性の必要な目的には、現場での対応が必須になる。これは、わが国の優位性を伸ばす好機であり、この機会を捉えて新たな事業モデルを開拓すべきである。そのためには、実世界を構成する機器で、信頼性の高いデータ処理を低消費電力で実現することが起点になる。必要に応じて相互にあるいは仮想世界ともつながりながら、現場近くで的確に処理できる計算機技術を開発し、明確な課題に応える事業モデルを開拓して世界展開することに、挑戦すべきである。

4 グランドチャレンジ

新規な計算機技術の開発と市場創成を先導するために、国あるいはその他の事業主体が、特定の応用分野と目標性能を指定して挑戦を募り、達成度を競わせることが、有効である。明確な用途(自動車・ロボット、医療・ヘルスケア、など)や課題(大地震などの災害対策、高齢化、都市過密・地方過疎、気候変動、など)に即した計算機システムの要求性能と利用法を設定し、これに向けて挑戦者が競い合うことで、わが国の強みを活かして先進国に共通の課題解決を先取りし、新市場と新産業を開拓する道筋が拓ける。

5 研究開発課題

ソフトウェア、コンパイラ、アーキテクチャからデバイス・材料に至る、広範な階層に亘る技術を集積統合して、現場近くの処理に十分な性能を低消費電力で実現できる計算機を開発する必要がある。実課題に対応した信頼性の高い分散的な即応処理を、2030年頃には、現行の100倍以上の消費電力当たり処理性能で実現することが、一つの指標となる。

6 イノベーションエコシステムとその促進施策

このような多階層に亘る垂直連携的な開発を効率的に組織し事業化につなげる戦略として、ベンチャを始めとする有望技術を持つ企業が中心となってイノベーションエコシステムを構成することを勧める。新しい事業モデルの創出には、既存の大企業だけではなく、新しいプレーヤ、特にベンチャ企業の参入・育成が欠かせない。中心となる企業の提案を基に、複数他社の技術資源を連動させ、国際的な価値連鎖を獲得することが目的である。

開放的で創造的なエコシステム型企业連携を活発化させるために、国や公的機関による支援施策を要望する。市場原理に従う自律性を保ちながら、新規参入者がエコシステムを構成しやすい条件を整え、新しい挑戦を誘導する。連携相手の情報提供や機会創出に加え、研究開発プロジェクトの一環として、海外企業を含む広い範囲への市場化活動まで支援対象とすることが、一例である。同時に、成果知財(IP)を死蔵させずに流動させる制度や方策が、重要である。半導体回路IPを広く流通させる市場の整備が、これに当たる。また、巨額に上るLSI開発費の負担軽減のために、多くの開発者が共用できる設計・試作・実証の仕組みを国の支援の下に整備することが、有効である。さらに、融合分野の創出を触発するために、関連する学会が共同して分野を越えた議論を組織的に活発化することを望む。

7 人材育成

計算機技術が従来の潮流を超える新展開を迎えている中で、システム全体を見渡して事業モデルや社会実装までを構想できる人材や、それに向かって推進できる人材の育成が、急務となっている。経験豊富な人材も活用しながら、所属や国籍を問わず意欲的な人材を呼び込んで、ソフトウェアとハードウェアを統合的に俯瞰できる若手人材を養成する機会を設けることが、わが国の状況に即している。さらに、継続的な人材育成のためには、大学での基礎教育は元より、より若年層にも、システム設計についてきちんとした基礎知識を身につけさせる仕組みを充実させて行かねばならない。

目 次

1	本プロジェクトの背景と目的	1
2	未来社会における計算機技術の役割と方向性	2
	(1) 未来社会における意義	2
	(2) 技術の方向性	3
3	事業モデル	5
	(1) 現在の趨勢	5
	(2) 将来の方向性	6
4	グランドチャレンジ	9
5	研究開発課題	10
6	イノベーションエコシステムとその促進施策	12
7	人材育成	15
	<用語の説明>	16
	<参考文献>	19
	<参考資料> 審議経過	21

1 本プロジェクトの背景と目的

わが国は Society5.0 を掲げ、サービス、インフラ、製造・運輸、サイエンス、その他の社会のあらゆる分野において、必要な情報が必要な時に人工知能(AI)により提供されるようにすることで、第4次産業革命を推進しつつある[1][2]。これに必要なAI技術を府省横断的に開発するために人工知能技術戦略会議が設立され、理研¹、産総研²、NICT³、JST⁴、JSPS⁵、NEDO⁶で新たな体制が構築された[3]。AIの基盤となる数理科学、計算機科学やAIの実課題適用に至る研究については、この体制に基づいて国家プロジェクトが稼働しており、先行する米国[4][5]や中国[6]を急追する動きが始まっている。一方、ハードウェアに関しては、IoT (Internet of Things)やAIなどの用途からの要求が急増していて、計算機技術の進展を維持することが、超スマート社会の実現に不可欠な要件であり、従来の指導原理であるムーアの法則とノイマン型コンピュータ⁷の限界突破が急務になっている[7][8]。この状況の下、米国を中心に新世代コンピューティングに向けた戦略策定と先端研究開発が進んでいる[9][10][11]。欧州でも、Horizon 2020[12]やNEREID[13]を始めとする様々なプロジェクトが進行している。また、中国はこの分野に重点的な資源投入を加速している[6]。一方、わが国の関心はまだ十分とは言えない。

わが国がIoT/AI時代に先頭集団に位置するためには、ハードウェアに関して最先端の知識と経験を常に保持し、応用システムからアルゴリズム、ソフトウェア、ハードウェアを包括的に開発する体制を構築すると共に、グローバルなバリューチェーンに枢要な位置を占める高い技術レベルの関連産業を維持し続ける必要がある。わが国は、自動車や公共交通・ロボット・医療機器など、高度な計算機を組み込んだシステムで高い産業競争力を維持している。併せて、優れた材料、製造・計測装置、デバイス技術があり、アーキテクチャからシステム実証に至る研究開発を総合的に強化すれば、この大きな変曲点で世界の研究開発競争の中に割って入ることが可能である。そのためには、研究開発から産業化に至る新しいシナリオづくりが求められる。

これに応えるため、本プロジェクトでは、コンピューティング技術の大きな転換点にあたって2030年の社会を想定し、わが国の取り組むべき戦略に関して検討と提言を行うことを目的とした。

¹ 国立研究開発法人理化学研究所

² 国立研究開発法人産業技術総合研究所

³ 国立研究開発法人情報通信研究機構

⁴ 国立研究開発法人科学技術振興機構

⁵ 独立行政法人日本学術振興会

⁶ 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

⁷ ムーアの法則とノイマン型コンピュータについては、用語の説明20、32を参照。

2 未来社会における計算機技術の役割と方向性

(1) 未来社会における意義

超スマート社会 Society 5.0 は、多種大量の情報を的確に収集・処理し、最大限に活用することで成立する[1][2]。そこでは、情報の処理を担う「計算機」が社会・産業のあらゆる場面で全ての活動を支える存在になる。パソコン、サーバやスーパーコンピュータに限らず、スマートフォンや家電、自動車、ロボット、医療機器の中に組み込まれて、デジタル情報を処理している装置は、全て「計算機」である。Society5.0の5つの戦略分野⁸の中核技術(自動診断、自動運転、AI、ロボット、ブロックチェーンなど)の基盤は計算機技術であり、その重要性は誰もが認めるところである。

計算機が行う情報処理は、実世界にある現場端末や機器でのエッジコンピューティングと、ネットワーク接続された大規模計算機群(サーバ)上でのクラウドコンピューティングに大別される。2030年には、遍在する無数の計算機がネットワークを介して大規模高性能計算機(サーバ)群に接続し、実世界(フィジカル空間)から大量のデータを計算機ネットワーク上の仮想世界(サイバー空間)に収集して、様々な目的に解析・運用することが、一段と進む。計算機は、その存在を主張することなく日常生活に溶け込み、使う側の人間も仮想空間と実世界の境目を意識しなくなる。計算機と人間の関わりも、より密接になってゆく。計算機は、人間の五感の全てにつながるようになり、将来的には、脳に直接働きかけことも構想されている。世界中の人々は人工知能(AI)に代表される高度な情報処理を随所で利用可能になり、これまでに無い能力と機会を獲得する。

人類が抱える地球規模の課題の解決にも、計算機技術が欠かせない。国連は2015年に開催された持続可能な開発サミットにおいて、「我々の世界を変革する：持続可能な開発のための2030アジェンダ」を採択した。そこには、2030年までを期限とする17の目標と169のターゲットからなる「持続可能な開発目標(SDGs)⁹」が掲げられている[14]。2030年、世界人口は現在の76億人から約86億人に増加し、その約60%が都市に居住すると予想されている[15]。これによる食料・水およびエネルギーや都市インフラの不足が顕在化する。資源の枯渇、自然災害の増加、地球温暖化も喫緊の課題である。日本の総人口は、現在、緩やかに減少しているが、2030年には1.2億人を下回り、それ以降は100万人/年の急速な減少率となって高齢化も深刻度を増す(2030年には65歳以上が30%以上)。日本の都市人口率は既に90%を越えているが、その多くは、大都市圏、特に東京圏に集中する[16][17]。高齢化と都市への集中は、世界共通の課題である。この状況を放置すれば、様々な場面で、人、物、エネルギー・資源、情報の「渋滞」が発生し、効率を低下させる。超スマート社会は、このような課題を情報技術によって解決することも目的の一つであり、そこにも、計算機技術が欠かせない。例えば、需要に即して水や食料、資源やエネルギー

⁸ 「未来投資戦略2017 Society 5.0の実現に向けた改革」[2]では、次の5つの戦略分野を定めている：1. 健康寿命の延伸、2. 移動革命の実現、3. サプライチェーンの次世代化、4. 快適なインフラ・まちづくり、5. FinTech。

⁹ 国連の持続可能な開発目標 Sustainable Development Goals (SDGs) は、次の17目標で構成される：1 貧困、2 飢餓、3 保健、4 教育、5 ジェンダー、6 水・衛生、7 エネルギー、8 経済成長と雇用、9 インフラ、産業化、イノベーション、10 不平等、11 持続可能な都市、12 持続可能な生産と消費、13 気候変動、14 海洋資源、15 陸上資源、16 平和、17 実施手段。わが国は、SDGs推進本部会合において、SDGsと連動するSociety 5.0の推進を柱とする「SDGsアクションプラン2018」を決定している。

などを的確に供給することで、ロスを最小化し効率化が図れる。自動車を始めとする様々な対象に、シェアリングが進展し、資源の効率的な利用が常態となるが、ここでも、シェアリング対象の運行状況の的確な把握と利用要求への対処に、高度な計算技術を必要とする。災害対応時には、状況を把握し、正確な情報を周知して、的確な誘導や対策を講じることが、生死を分ける重要性を持つ。

また、産業分野では、計算機とりわけ AI の進歩により、多くの業務を機械に任せられるようになり、人類の生産性をさらに高める大きな力になる。世界に先駆けて超高齢化社会を迎える日本には、こうした問題解決に関わる新市場を創出する機会も大きい。

このため、計算機のハードウェア技術は、新産業創出のトリガーにも、プラットフォームの主導権を握る武器にもなる。スマートフォンの機能が、情報を処理するアプリケーションプロセッサと、通信を担うベースバンドプロセッサに基づいており、SoC チップの性能が決定的な差異化要因になっているのが、その先例である。AI などの競争力の源泉はハードに移行しつつあり、AI コンピューティング資源が政治・経済的に決定的意味を持つようになる。但し、今日では多くの事業がサービス事業にシフトして、ハードウェアもソフトウェアもそれらのサービスを実現する「手段」になっている。従って、ハードウェアとソフトウェア、アプリの一体になった開発が必要になる。さらに、IoT 技術や AI 技術により、データがハードウェアやソフトウェアと並ぶ新たな IT 基盤として重要になっている。ハードウェアのコモディティ化やソフトウェアのオープン化が進む中で、実世界から収集したデータが価値創生の源泉になりつつある。

(2) 技術の方向性

計算機技術は、大きな技術転換点にさしかかっている。2030 年、社会や産業が扱うべき情報量は膨大になり、高速で電力効率の高い大量・並列情報処理と分散情報処理系としての端末機能が必要になる。世界の情報流通量は 2015 年からの 5 年間に年率 22% で 2.7 倍に増加し、2020 年には年間 2.3 ゼットバイト(ZB)¹⁰に達すると予測されている[18]。この傾向は、IoT が普及し、Machine-to-Machine のデータ転送が増加すると、一層、加速されることになる。2016 年現在の世界の IoT デバイス数は、コンシューマ用と通信機器を主体として 173 億個と見積もられているが、今後、産業用途が急増することで 2021 年には 350 億個(内、産業用は 95 億個)になると見込まれる[19]。これによってデータ量の爆発的増加が今後も続き、計算機の能力がいくらあっても足りない状況が生まれる。処理すべきデータ量の増加により、計算機システムが消費する電力が急増していることが、深刻な課題である。

一方で、これまで計算機の高性能化を実現してきた指導原理である、半導体集積回路の指数関数的な高集積化(ムーアの法則)を維持し続けるのが困難になっている。ムーアの法則は、処理速度や消費電力、コストなど、集積回路のほぼ全ての性能指標の向上に有効であったが、これに替わるような、絶対的な高性能化の新指導原理を見いだせる可能性は低い。また、AI や IoT などの、大量のデータに一定の処理を加える新たな分野の台頭により、

¹⁰ 1 ZB = 10 の 21 乗バイト

処理方式の評価指針が変わり、ノイマンアーキテクチャに替わる「ポストノイマン」アーキテクチャの競争が始まっている[20]。

そのため、計算機の高性能化の要求に今後も応え続けるためには、目的とする用途を特定してそれに必要な性能を見据えた上で、アーキテクチャを中核に、センサや半導体集積回路、メモリ/ストレージなどの基盤技術から、計算機の応用システムまでを貫く形で新たなコンセプトを作り上げ、技術開発を加速しなければならない。中でも、徹底した低消費電力ハードウェア技術に向けて、超低消費電力・高性能のプロセッサや不揮発性メモリから、アーキテクチャ・アルゴリズム・ソフトウェアに至る、総合的な研究開発を展開していく必要がある。

同様な趣旨に基づいて、JST 研究開発戦略センターから、「革新的コンピューティング」の基盤技術創出を目的として、特定の計算ドメインを志向する戦略プロポーザルが、2018年3月に提起された[21]。計算機システムは社会や産業の全てを支える基盤であり、その技術向上に今後の人類社会の発展が掛かっていると看做しても過言ではない。国産自動車、国産コンピュータの立ち上げ時に行なったような大きな国策を必要とする。

3 事業モデル

(1) 現在の趨勢

現在、大量のデータを仮想世界へ集約し、サーバ上での情報処理に基づいてサービスを提供する事業モデル(図1(a))が、世界の趨勢となっている。この事業モデルは大規模化の効果が大きく、大量のデータを集約できるほど、よりの確なサービスを広範囲な対象に提供できるようになる。そのため、下部構造として様々な事業モデルを生み出しながら、巨大化を続け、世界の産業構造を大きく変革させている。結果として、仮想空間へ集中するデータを束ねる OTT (Over The Top) と呼ばれる世界的巨大企業が、他を圧倒する大きな力を持ちつつある。GAFA (Google, Apple, Facebook, Amazon)の頭文字で代表される巨大 IT 企業は、中堅国家より大きな経済力を持ち始めている。2018年4月現在、発行株式時価総額上位の5社は全て米国の、7・8位は中国の ICT 企業で、今後も急成長が続くと見込まれる¹¹。GAFA に代表される巨大 IT 企業はそれぞれが提供しているサービスをもとにプラットフォームを形成している。そこに実世界のデータが集約・蓄積されることで、サービスの寡占化が進んでいる。

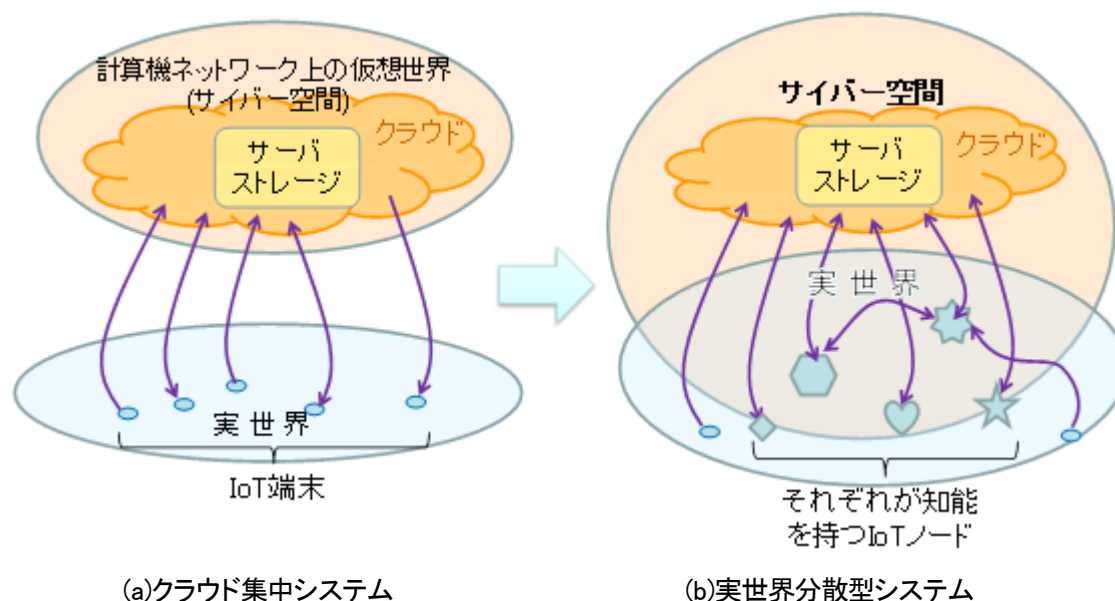


図1 実世界とコンピュータネットワーク上での仮想空間でのデータ処理を融合した新たな事業モデルへの移行

これを支える手段としてのコンピュータの設計開発と製造は、巨大化を続けるサービス提供側

¹¹ 2018年4月末時点の時価総額ランキングは、次の通りである(括弧内は10億米ドル単位の時価総額)。1. アップル(839)、2. アマゾン(760)、3. マイクロソフト(719)、4. アルファベット(グーグル 707)、5. フェイスブック(498)、6. パークシャー・ハサウェイ(478)、7. テンセント(476)、8. アリババ(452)、9. JP モルガン・チエース(373)、10. サムスン電子(348)。

の主導により、水平分業から垂直統合的な囲い込みに移行する傾向がある。半導体集積回路の微細化は限界に近づきつつあり、ムーアの法則に沿った開発は巨額の資金を要するが、計算機の役割は、ますます拡大し続けており、その差異化が競争力の源泉となりつつある。このため、汎用的なプロセッサやメモリに替えて、利用目的に即した半導体集積回路を開発する方が、有利な状況が生まれている。アップル社がアプリケーションプロセッサの自社開発に基づいて、優位性を保ち続けていることに加えて、Google 社が TPU (Tensor Processing Unit) と呼ばれる深層学習専用プロセッサを開発するなど、世界的な IT 企業がこぞって、サービスの提供に留まらず、企業買収や独自の専用チップ開発によって使用する計算機の基本仕様の決定や設計・製造に業容を拡大しつつある[22]。アップル社が、2017年に同社製のスマートフォン用 SoC である A11 に、ニューラルエンジンと称する深層学習用の推論コアを搭載したことも話題を呼んだ[23]。結果として、デバイスからサービスに至る水平分業の各層で、巨大 OTT を中心とする寡占化が進んでいる。

(2) 将来の方向性

図 1 (a) のような、クラウド優先の事業モデルは現在の主戦場であり、これを支えるグローバルなバリューチェーンの中で、存在感を発揮している日本企業も数多い。しかし、IoT がより大規模化すると、処理と通信の容量およびコストが、クラウドでの集中処理で対応できる規模を越えるので、エッジと呼ばれる現場でのコンピューティングやエッジとクラウドの中間に位置するフォグへの分散化が、追求され始めている。自動運転やロボットなどの機器制御のように、即応性が要求される目的には、クラウドまでの通信遅延が致命的になり得る。また、全ての情報がクラウドに集中してしまうことへの弊害も顕在化していて、情報の流用やセキュリティに対する警戒感も高まっている。さらに、ブロックチェーンのような、集中的な管理システムに依らない分散的な管理手法も、急速に普及し始めている。言い換えれば図 1 (b) のように、実世界の現場近く、即ちエッジで、課題に即応した情報処理を行うトレンドが動きはじめている。

この新しい趨勢は、わが国の優位性を伸ばす好機であり、この機会を捉えて新たな事業モデルを開拓するべきである。そのためには、実世界を構成する機器に、クラウド処理に対抗できる高度な知能を与えて信頼性の高いデータ処理を実現することが起点になる。特に自動運転やロボット・機器制御のような即応性の必要な目的には、現場での対応が必須になる。そのためには、図 2 に示すシステム製品やソフトウェア、アーキテクチャからデバイスに至る、広範な階層に亘る技術を集積統合して、現場近くの処理に十分な性能を低消費電力で実現できる計算機を開発する必要がある。

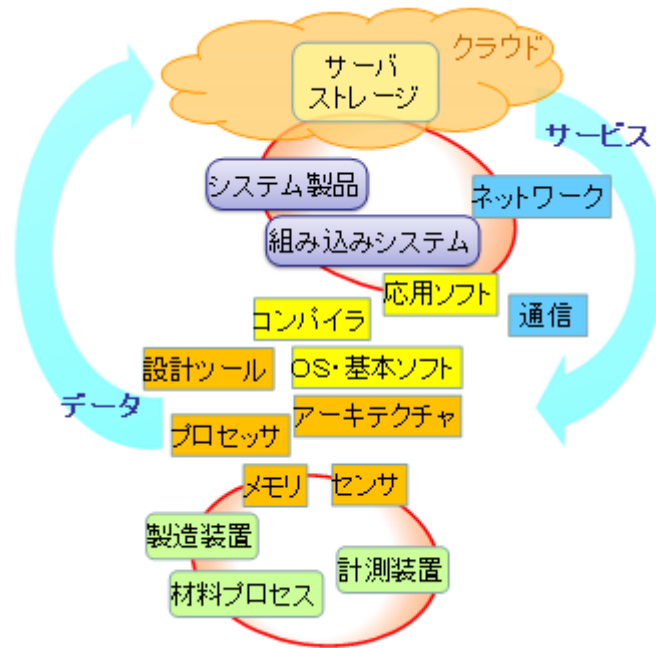


図2 サイバーフィジカルシステムを構成する技術要素

実世界のデータをクラウドと呼ばれる大規模計算機群(サーバ)に集約し、そこでの処理結果に基づいてサービスを提供する。わが国が強みを保有している分野は、赤く囲った部分であるが、これ以外にも優れた開発成果や技術が散在している。

わが国には、自動車や公共交通・ロボット・医療機器での高品質な検知や制御など、実世界における様々な事業で培ってきた優れた知見や技術があり、これらに用いられる組み込みシステムに強みがある。このような分野では、高い信頼性が求められるので、強い材料技術を活かした優位性の確保と、ハード・ソフト融合のシステムを動かす品質管理技術が重要である。但し、単独の組み込み機器で実現できる機能には限界があるので、必要に応じて仮想世界ともつながりながら相互に連動させて、課題を的確に処理できる計算機技術を確立する必要がある。

この時、全ての用途への対応を狙う汎用性よりも、明確な課題に応える市場訴求力が重要である。クラウド集中的ではない分散的な処理では、課題の特性に応じて必要な処理機能や性能が異なる。そのため、Wintel 時代のように、一つのシステムが世界を席卷する状況にはなりにくい。この機会を捉えて、明確な課題に応えられる計算機システムとそれを用いた事業モデルを開拓して世界展開することに、挑戦すべきである。

対象とすべき課題には、上記に例示した組み込みシステムの他に、わが国で顕在化しつつある、人口減少・高齢化問題(少ない労働力によるインフラ維持)などの課題がある。超高齢化社会の問題解決に関わる医療、健康、保険などに集中することにより、これらの課題を解決すると共に、海外に展開することで、先進国に共通の新市場の開拓が図れる。また、大地震などの災害対応も、わが国にとって喫緊の課題であると同時に、世界的にも緊急度が高い。

ここで、今世紀初頭の日本製の携帯電話の活況と衰退が、大きな教訓となる。日本企業

の製品は、単なる電話の範疇を超越し、インターネットに接続できる機能やカメラを搭載するなど、技術的に優れていただけで無く、新しい市場を創出する役割を果たした。これらは、スマートフォンに至る世界の潮流を開拓したとも言えるが、世界市場を制覇することはなく、ガラ携と呼ばれて競争力を失っていったことは記憶に新しい。

実世界の課題に対応するには、特定のサービスに対応できる応用システムやソフトウェア、アーキテクチャからデバイスに至る、広範な階層に亘る技術を集積統合する必要がある。これらの全てを、垂直統合的に日本国内で占有することは現実的ではない。また、世界的な市場展開を目指さなければ、技術の普及と事業の成功に結びつかない。Made in Japan から Created in Japan への構図に早急に移行すべき所以である。特定の課題への対応力が重要であるが、限定された用途へのカスタムシステムでは、市場規模が限られており、技術開発の原動力とはなりにくい。最初に市場投入する製品やサービスを中核として、それに周辺技術や利用環境も整えてグローバルなバリューチェーンを醸成するエコシステムを形成し、市場を拡大してゆく挑戦が求められる。

上記の戦略をとる場合、新規な計算機技術の開発において、わが国が優位性を発揮できる技術階層には、次のような可能性がある。

アーキテクチャ：各応用分野で使われる主要なアルゴリズムやソフトライブラリ機能を高速かつ低消費電力で実現するアーキテクチャを構築して LSI として実装する。さらに、そのアーキテクチャを活用するためのツールや開発環境を開発、提供して、エコシステムを構築する。

LSI 設計：アプリケーションと連携した LSI 設計。自動運転・ドローン・医療などの分野に特化したチップ設計と、開発したハードウェア製品・システムのユーザーと連携した用途開発。

IP：LSI を構築する CPU コア、メモリコントローラ、インタフェース回路などの IP 開発。組込み系主導の IP 関連産業の育成と IP 流通システムの確立。AI アクセラレータ、メモリやインターコネクト回路などの IP を先鋭化し、それらをグローバルなエコシステムの中で流通させる。

LSI 開発：IoT の普及で多様化するアプリに対応して、様々な材料や構造のデバイスが必要となる。この要求に応えた半導体チップを開発する。大学や研究機関での、ナノテクおよびセンサなどの研究成果も活用する。現状では、開発実証後の最先端微細化技術に基づく大規模量産は、海外ファウンドリでの生産が現実的である。

4 グランドチャレンジ

新規な計算機技術の開発とそれに基づく市場開拓を先導するために、国あるいはその他の事業主体が、特定の応用分野と目標を指定して挑戦を募り、達成度を競わせることが、有効である¹²。明確な用途(自動車・ロボット、医療・ヘルスケア、など)や課題(大地震などの災害対策、高齢化、都市過密・地方過疎、気候変動、環境・エネルギー、など)に即した計算機システムの要求性能を設定し、これに向けて挑戦者が競い合うことで、わが国の強みを活かして先進国に共通の課題解決を先取りし、新市場と新産業を開拓する道筋が拓ける。これらの課題に共通する技術的な目標は、遠隔地にある大規模計算機群(クラウド)に頼り切らずにセキュリティ・プライバシーを保持しながら、複数のセンサ(画像・音声・測距・測位など)からのデータを統合して、信頼性の高い判断・制御を現場近くで即時に実行する、極低消費電力で自律的な計算機システムである。利用者側の立場から課題と目標を明確に提示することで、最適なハードウェアとソフトウェアの組み合わせを見極めた開発を促進することができる。

具体的な課題の選定には、次のような手掛かりがある。例えば、未来投資戦略 2017 における Society5.0 の次の 5 つの戦略分野[2]をブレイクダウンして目標を設定する。即ち、健康寿命の延伸：自動医療診断、リアルタイム治療最適化技術、 移動革命の実現：自動運転(レベル4 , 5)、 サプライチェーンの次世代化：ドローンによる自動荷物配送、 快適なインフラ・まちづくり：建設ロボット、インフラ点検・災害対応ロボット、 FinTech のための自動ビックデータ解析、などである。また、日本が課題先進国となる高齢化、介護問題、都市問題に対応する、人間共生ロボット、ブレイン・マシン・インターフェース、マン・マシン・コミュニケーション、新しい移動・物流手段などである。これらの分野に対応して、計算機システムのブレイクスルーとなる性能仕様を設定すれば、格好の目標となる。あるいは、課題に応える計算機システムの目標性能と利用法の提案を募ることも、競争の対象として興味深い。

¹² 2011年1月に成立したアメリカCOMPETES再授權法(The America COMPETES Reauthorization Act of 2010)では、技術・教育・科学における機会促進のために、懸賞金競争(Prize competitions)を財政支出の方法の一つとして規定しており、米国では政府全体で多様な懸賞金競争が実施されている(<https://www.challenge.gov/list/>)。

5 研究開発課題

ここで目指す計算機システムの実現には、ソフトウェア、コンパイラ、アーキテクチャからデバイス、材料に至る多層の技術を総合した開発が必要である。従来の指導原理であった半導体集積回路の微細化による指数関数的な集積度向上(ムーアの法則)が限界に近づく中、多種多様な技術が、開発対象になり得る[10][13][20][21]。単一の要素技術の高度化が、単独で今後の発展を牽引する指導原理になる可能性は低い。アーキテクチャやソフトウェアの革新を含む総合的な開発によって、多くの選択肢の組み合わせの中から、実世界での課題解決に的確に対応した発展方向を生み出すことが、最大の目標である。この時、全ての用途に対応できる汎用性を目指すと、解決策が見いだしにくい懸念がある。明確な課題に応えられる技術開発が重要であるが、特定の用途のみへの専用化では、市場が限定され事業化が困難になる。

2030年頃までは、CMOS集積回路が情報処理の主流であり続ける[20]。CMOS LSIの集積度向上は、微細化に加えて、多種の材料の導入や3次元的なトランジスタ構造の採用など、様々な技術を用いて未だ一定のペースを保っている。しかし、2030年頃には、一段と技術開発が困難になって、集積度向上は減速に至ると予想される。それ以降は、CMOSの情報処理機能に、メモリ、センサ、通信などの異種機能の集積や新しい動作原理のデバイス、実装技術の採用で、高機能化・低消費電力化を継続するのが、1つの可能性である。また、これまで用いられているノイマン型アーキテクチャ(プログラム内蔵方式)では、メモリとプロセッサ間のデータ転送速度で性能が限定されるので、これを解消できるアーキテクチャの研究開発が世界中で進められている。

仮に1.5~2年ごとに2倍の、これまでの趨勢を継続するとすれば、2030年には概ね100倍の性能向上が必要となる。実課題に対応した信頼性の高い分散的な即応処理を、2030年頃には、現行の100倍以上の消費電力当たり処理性能で実現することが、一つの指標となる。ハードウェア技術の開発から製品化と普及には、少なくとも数年を要する。特に、新材料開発に基づく場合には、原理実証から製品化まで20年を超えることも珍しくは無い。2030年の普及を目指すために、技術開発に残された期間は長くない。逆に、現時点は、これまでの学術研究で蓄積されてきた成果を精査し、実用システム化を検討し直すには、良い機会である。

大規模データを高い電力効率で扱うために、CMOSを補完して、高速の不揮発メモリ、および3次元集積技術などの異種チップを高速・低消費電力で接続するインターコネクタ(データ転送の加速)技術が、重要性を増している。特に、Flashメモリよりも大幅に高速で低消費電力な不揮発メモリに対する期待は高い。不揮発メモリが渴望されている用途は、計算機システムの主記憶とストレージのアクセス時間のギャップを補完するSCM(Storage Class Memory)と、機器制御用のチップなどでの組み込みメモリとしての用途に大別される。特に後者は、エッジで動作する計算機が低消費電力で大容量のデータを扱う際に、重要な技術となる。マイコンへの組み込み不揮発メモリとしてReRAMの導入例があるが、広範な普及には至っていない。STT MRAMへの期待は高く、その利点を生かせるような用途と仕様

を設定することにより、組み込み不揮発メモリとしての導入を目指す動きが現実味を帯びている。言い換えれば、全ての要求に応えられる卓越した特性の要素デバイスを発見できる可能性は低く、新しい不揮発メモリの採用には、用途やアーキテクチャに明確に位置づけられた戦略を必要とする。組み込み不揮発メモリではないが、Intel 社が昨年、GeSbTe の PCRAM (相変化メモリ)に基づく SSD を Optane の製品名で市場投入したが[24]、これが計算機システム全体の中で優位性を発揮する構成となっているのも、その証左である。既存の CMOS からの乖離が大きな技術ほど、実用化までにはアーキテクチャやソフトウェアを含む多くの技術階層に亘る総合的な開発を必要とし、難度は高い。

近年の AI の目覚ましい新潮流は、深層学習の実用によりその有用性が広く受け入れられたことに基づいている。そのため喫緊の課題として、深層学習を高速化・高効率化する技術が激しい競争の対象となっている。例えば、必要な演算ビット数を限定して高速化・低消費電力化を図ることや、さらにこの方向を進めて、近似計算や確率的計算の可能性が注目されている。ここでアーキテクチャ開発の競争優位を確保するためには、具体的なアプリケーションを見込んだ、ソフトウェアや利用技術と一体的な開発を必要とする。中長期的には、深層学習技術の先をにらんで、既知の機械学習では対応できない思考問題・判定問題やデータマイニング等の知識情報処理などを対象とし、現状の AI とは隔絶した性能の AI システムの開発を進める必要がある。脳型(ニューロモルフィック)計算機は、その候補の一つである。これに適した新動作原理デバイスや新材料の提案は、学会で注目度の高い話題となっているが、この場合でも、技術的優位性を判断するには、アーキテクチャやアプリケーションに至る実証を待つ必要がある。また、サーバについては、光インターコネクタを使ったデータセントリック・コンピューティングや、超低消費電力ベクトルマルチコアアーキテクチャと自動ベクトル化・並列化・電力削減コンパイラの開発への期待が高い。

現状の 2 値論理回路に基づく計算機の限界を根本的に超えられる方式に、量子力学的状態の重ね合わせで大規模な並列演算を行う量子計算がある。量子計算機には、長い基礎研究の歴史があるが、一般的な量子計算が実行できる計算機の実用化までには、a)演算の単位である量子ビットが量子力学的なコヒーレンス(可干渉性)を保てる時間の大幅な拡大、b)ビット数の向上、c)誤り訂正、d)アルゴリズム開発など、多くの課題にブレークスルーが必要である。また、超電導素子や光子の量子状態を利用して、イジングモデルを取り扱う量子アニーリング方式計算機が開発され、組み合わせ最適化問題などへの応用可能性が検討されている。特に、D-Wave Systems 社(カナダ、ブリティッシュコロンビア州バーナビー)が 2011 年に 128 個の超電導磁束量子ビットを用いたアニーリング計算機を製品化し[25]、それ以降も 2017 年の 2048 個まで量子ビットの数を 2 年ごとに倍増を超えて増加させていることが話題を呼んでいる[26]。しかし、量子計算機は、アニーリング方式を含めて、実問題に利用されるには至っていない。2030 年に産業や社会に実装される存在になるかどうかを見通すには、研究の加速が必要である。

6 イノベーションエコシステムとその促進施策

図2に示したような多階層に亘る垂直連携的な開発を効率的に組織し事業化につなげる戦略として、有望技術を持つ企業が中心となってイノベーションエコシステムを構成することを勧める。中心となる企業の提案を基に、複数の企業や事業体が参加して、応用システム、ソフトウェア、ハードウェアからデバイス・材料に至る技術資源を連動させ、新事業を創出して国際的な価値連鎖を獲得することが目的である(図3)。超巨大企業といえども、この多階層の全てを自前でまかなうことはできない。また、この連携の全体を予め計画し、多数のプレーヤを組織して一体的に推進することは不可能に近い。有望な技術やその種があれば、それをオープンな場にさらして、連携を募ることが早道である。各々の技術階層では開発の時間軸が異なることも大きな課題である。サービスモデルの事業化では、数ヶ月単位の展開の早さが重要である一方、新しい原理に基づく材料やデバイスは、探索から実用化までに多年を要するのが通例である。このような時間軸の異なる垂直連携を、構成各社(機関)が自発的に参画することにより、必要な機動性を確保し、タイミングを整合させることが可能となる。

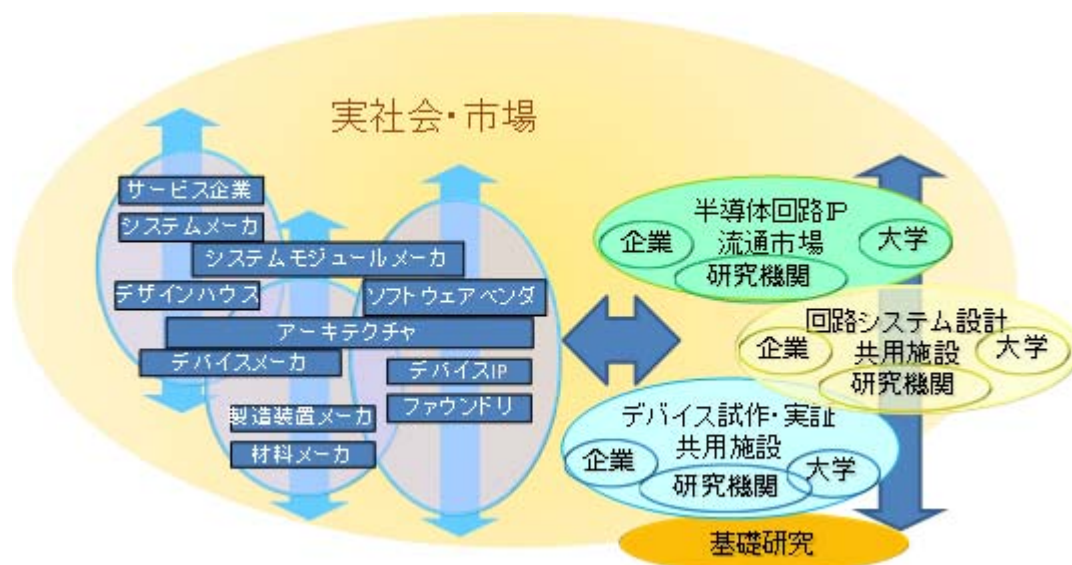


図3 エコシステム型企业連携とLSIの開発実証を支援する共用設計・試作施設

新しい事業モデルの創出には、既存の大企業だけではなく、新しいプレーヤ、特にベンチャ企業の参入・育成が欠かせない。大企業からのカープアウトベンチャーも、エコシステム作りと市場創出の重要な担い手である。ベンチャ企業は、エコシステムの構成に乗り出すだけの十分な余力が無い場合が多い。そこで、スタートアップによるチャレンジを促すことに向けた施策(投資、優先的な国プロ卒など)に加えて、グローバルなコラボレーションに対する支援が必要である。ネットワーク作りやパートナー探しに対する情報提供およびアドバイスや機会設定が、有効である。また、ベンチャ企業の保有技術やビジネス提案の中から、国際競争で勝てるネタをいち早く選択して、ファイナンスモデルやライフタ

イムデザインをサポートすることが欠かせない。その他の支援策として、ベンチャ企業、特に社会課題解決型の会社に、技術の社会実装を積極的に任せる仕組みを設けるべきである。

このように開放的で創造的なエコシステム型企业連携を活発化させるために、国や公的機関による支援施策を要望する。市場原理に従う自律性を保ちながら、新規参加者がエコシステムを構成しやすい条件を整え、新しいプレーヤの挑戦を誘導することが目的である。例えば、研究開発プロジェクトの委託や助成に際しては、その一環として、プロジェクトの外部と連携を構築する活動も、シームレスに支援の対象とする。プロジェクトの成果物をエンジニアリングサンプルとして外販することが、この例に当たる。これによって、開発の最終段階まで公的資金に頼り切る事態を避け、できるだけ早い技術開発の段階から市場原理に基づく活動への移行を促すことができる。この時、連携の対象は、海外企業にも広く門戸を開く必要がある。同時に、成果知財(IP)を死蔵させずに流動させる制度や方策が、重要である。半導体回路 IP を広く流通させる市場の整備が、その一例である(図3)。わが国では、日本版バイ・ドール法によって公的プロジェクトの成果知財が受託企業の帰属になっているが、プロジェクト成果が活用されずに死蔵される例が、散見される。第三者が実施許諾を容易に求めることができるように、制度の運用を改める必要がある。

また、巨額に上る半導体 LSI 開発費の負担軽減のために、多くの開発者が共用できる設計・試作・実証の仕組みを国の支援の下に整備することが、有効である。特に、新規参加ベンチャにとって、設計・試作・実証の負担は過大である。既存の設計ツールやファウンドリ企業の試作サービスを共通的に利用できる仕組みを整えることで、大半の要求には応じられるものと予想する。

さらに一歩進んで、半導体チップの設計・試作ができる共用施設の整備が望まれる(図3)。半導体チップ製造でのファウンドリの利用は、世界共通の事業モデルになっている。わが国でも、設計受託とファウンドリへの製造委託など、ファブレス水平分業モデルを支える産業構造が浸透しつつある。これらのチップ製造や IP 利用のサービスを利用しながら、既存ファウンドリでは対応困難な境界領域の研究開発を実行できる共用施設を整備する。特に、新材料や新原理デバイスを含む試作には、既存のファウンドリは応じないので、試作できる施設の有無が正否を決定する要因となる。既存ファウンドリでは困難な新材料対応の設計・試作施設の整備により、わが国の強みである材料・デバイス技術とアプリシステム分野を連携させ、IoT/AI 時代の要求に応える様々な半導体開発が迅速に行える手段が確保できる。

そこにはソフトウェア設計などを含む開放的な周辺開発環境も整えて、既存企業だけではなくベンチャ企業や大学・研究機関などを全世界から呼び込み、多様な技術やアイデアの相乗効果を図ると共に、新しい事業プレーヤを醸成する。これによって市場を開拓し、そこで得た利益で新たな技術開発を創発する好循環を生み出す。このような仕組みは、グローバルオープンであることが、不可欠な要件である。日本の技術開発・産業化環境の魅力度を高め、世界から人材と情報を集めることで、さらに開発力を強化できる。これを担保するために、日本の国家施策・国家プロジェクト実行、国立研究所の運営などに、もっ

と外国人を入れるべきである。

この共用施設は、多様な用途に応える開発と実証が主たる目的である。このためには必ずしも最先端技術世代である必要は無いが、研究開発から量産までに至る全過程を包含して、複数の応用システムや応用分野にまたがる課題に対し、統合して対応できる共通基盤となっていることが必要である。具体例として、3次元集積システム拠点の整備により、多分野で必要とされるヘテロジニアスな集積化や高速低消費電力のデータ転送に解決策を提示でき、世界的に吸引力が獲得できる。また、例えば、医療システムへの適用を目的とした、生命科学とコンピュータ科学とナノテクの融合研究拠点の整備が有効である。拠点設置は、国立研究開発法人に期待される役割の一つだが、利用者の利便性を最大化できるように、法人自身の大胆な経営改革と会計処理などの法人運営上の制約の緩和が必要である。

将来に至る長期的な技術開発を継続するためには、探索的な基礎研究の裾野を確保する必要がある。このために、大学や研究機関における基礎研究や若手研究者の研究に、重点的に公的資金を配分し、技術の芽を育成すべきとの意見も強い。さらに、融合分野の創出を触発するために、関連する学会が共同して分野を越えた議論を組織的に活発化することを望む。

7 人材育成

計算機技術が従来の潮流を超える新展開を迎えている中で、システム全体を見渡して事業モデルや社会実装までを構想できる人材や、それに向かって推進できる人材の育成が、急務となっている。特に、ソフトウェアとハードウェアのエンジニアリングを橋渡しできる人材の養成策を講じる必要がある。このため、次のような仕組みの導入を提案する。

有能な人材を誘引するためには、計算機分野の技術開発が明るい未来を生み出すことを喧伝すると共に、大きなプロジェクトで実例を積み上げることが、早道である。全ての分野に共通のことだが、中核となる研究者の育成には、大学・企業・公的研究機関に安定した研究ポストを確保することが必要である。今では、大学の学部あるいは大学院の学生に、ベンチャ志向は育ってきていて、ベンチャ企業に参加する抵抗感はなくなっているが、ベンチャの経営実行者は、まだ不足している。このため、ベンチャの経験を早期に共有化する仕組みを作り、ベンチャの活躍に学生を巻き込んでゆく必要がある。世界的に成功したスタートアップを創出し、若い人達がそれを目標として続々と挑戦する状況を作ることが、目標である。

具体策として、上記の共用開発拠点に所属や国籍を問わず意欲的な人材を受け入れ、キャリアパスを確保した上で挑戦的な課題に取り組みさせる制度を提案する。また、国全体としては、日本の計算機産業やエレクトロニクス産業の成長期に新技術を開拓した研究者、技術者が残っているので、これらの人材の知識、経験と、若手の能力を結び付け、人材育成の仕組みを作ることが得策である。経験豊富な人材も活用しながら、ソフトウェアとハードウェアを統合的に俯瞰しながら開発に当たれる若手人材を養成する機会を設けることが、わが国の状況に即している。シニア人材には、エコシステム構築をサポートする役割も期待できるが、その活動に若手人材も関わらせることで、俯瞰的な知識の獲得機会とすることもできる。

さらに、継続的な人材育成のためには、大学での基礎教育は元より、より若年層にも、システム設計についてきちんとした基礎知識を身につけさせねばならない。既に一部では行われているが、中学・高校生を対象に計算機システムの利用や関連する研究を体験させるなど、裾野を広げる活動を充実させて行く。この場合も、教育の仕組みに積極的に海外からの参加を呼び込む、あるいは、海外の企業や機関を体験させるなど、国際的な人材循環を主導する戦略を忘れてはならない。

<用語の説明>

アルファベット順

1. アクセラレータ (Accelerator) : 計算機の処理能力を高めるために付加されるハードウェアやソフトウェア。グラフィック表示を高速化するグラフィックアクセラレータなどがある。
2. アーキテクチャ (Architecture) : 計算機の基本設計のこと。原義は建築様式だが、1964年に IBM が最初の汎用コンピュータの設計思想を表現するためにこの語を用いたことに由来する。
3. AI (Artificial Intelligence) : 人工知能。
4. バイ・ドール法 (Bayh-Dole Act) : 米国で 1980 年に、民主党バーチ・バイ上院議員と共和党ロバート・ドール上院議員を中心とした超党派議員が成立させた改正特許法。政府資金による研究開発から生じた特許権を民間企業・大学等に帰属させることを骨子とし、企業の技術開発が加速され新たなベンチャー企業が生まれるなど、米国産業が競争力を取り戻す原因となった。これを受けて、わが国では、1999年に産業活力再生特別措置法の第 30 条で、政府資金を供与して行う全ての委託研究開発に係る知的財産権について、100%受託企業に帰属させることを可能とした。条件として、当該知的所有権について、公共の利益のために必要な場合に無償で国に実施許諾することと、相当期間利用していない場合に国の要請に基づいて第三者に実施許諾することが、求められている。
5. CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) : 相補型金属酸化膜半導体。電子が多い n 型と正孔が多い p 型の MOS トランジスタの組み合わせで構成される半導体回路の一種。消費電力が少ない、小型化・高集積化に適するため製造コストを安くできるといった利点から、現在のコンピュータに使用されている CPU のほとんどが CMOS を採用している。
6. クラウドコンピューティング (Cloud Computing) : ネットワーク接続された大規模計算機群(サーバ)上での計算処理のこと。利用者から見て、通信ネットワークの先にある雲(クラウド)の中から各種のサービスが提供されることを象徴する。
7. コンパイラ (Compiler) : 人間が理解できる言語や数式で記述されたプログラムを、コンピュータが解釈・実行できる機械語に変換するプログラムのこと。
8. 第 4 次産業革命 : 18 世紀末以降の水力や蒸気機関による工場の機械化である第 1 次産業革命、20 世紀初頭の分業に基づく電力を用いた大量生産である第 2 次産業革命、1970 年代初頭からの電子工学や情報技術を用いた一層のオートメーション化である第 3 次産業革命に続く、産業革命で、これにより超スマート社会が実現するとされる。
9. 深層学習 (Deep Learning) : 計算が行われる層が多数積み重なったニューラルネットワーク (Neural Network) による機械学習手法のこと。深層学習は最近の人工知能 (AI) の発展に大きなブレークスルーをもたらした技術の一つである。
10. エッジコンピューティング (Edge Computing) : クラウドコンピューティングに対比して、利用者の端末に近い場所で行う計算処理のこと。エッジとはコンピュータネット

ワークの末端部を意味する。

11. FinTech(Financial Technology) : 英語の金融と技術を組み合わせた造語。最先端の情報通信技術を金融サービスに応用し、革新的金融サービスを生み出す技術という意味で使われる。
12. Flash メモリ : 不揮発性メモリで、一括消去が可能なものをさす。携帯電話やデジタルカメラの記憶素子として多用されている。SSD の記憶素子としても使われる。
13. ファウンドリ(Foundry) : 半導体集積回路の受託生産を、顧客からの設計情報に基づいて行う会社。最先端集積回路の製造設備や製造プロセス開発には、膨大な費用を要するので、1990 年代以降、製造設備を持たないファブレス企業と、製造に集中するファウンドリの分業化が進んだ。
14. GAFA : Google, Apple, Facebook, Amazon.com の頭文字を組み合わせた造語で、インターネット業界の米国大手 IT 企業群をさす言葉。
15. ICT (Information and Communication Technology) : 情報通信技術。
16. IoT (Internet of Things) : いろいろな「物」がインターネットに接続され、「物」が人の介在なく、ネットワークとの情報のやりとりをする仕組みのこと。
17. IP (Intellectual Property) : 本来の意味は知的財産であるが、半導体集積回路の中で使われる、まとまった機能ブロックの回路設計情報という意味でも使われる。IP Core ともいう。半導体集積回路を設計する際、既存の IP を機能部品として使い、これに対して対価を支払うという契約をすることが多い。
18. LSI (Large Scale Integration) : 大規模集積回路。
19. Machine to Machine : 機械同士が人間の介在無しに通信して動作するシステムのこと。M2M と略される。
20. ムーアの法則 (Moore's Law) : ゴードン・ムーアが 1965 年に下記論文で提唱した「半導体集積回路に含まれる素子数は毎年 2 倍になる」という経験則。現実には、1970 年から今日にいたるまで、「半導体集積回路に含まれる素子数は 18 ヶ月から 2 年で 2 倍になる」というペースで集積度が増加してきている。半導体素子の寸法には限界があり、「ムーアの法則」がいつ終焉を迎えるのか、あるいは、他の技術的ブレークスルーで実質的にムーアの法則が延命されるという議論が活発になっている。
Gordon E. Moore, "Cramming more components onto integrated circuits,"
Electronics vol. 38, no. 8, pp. 114-117 (1965).
この論文は次に再録されている。: Proc. IEEE vol. 86, no. 1, pp. 82-85 (1998)
21. 脳型(Neuromorphic ニューロモルフィック)計算機 : 脳の神経系の構造と信号伝達の仕組みを模倣した回路に基づき、脳機能の再現を目指すコンピュータ。
22. OTT (Over The Top) : 通信事業者ではないけれども、いわば通信事業者の頭越し(over the top)に、動画や音声などのサービスを提供する事業者、または、その事業者が提供するサービスのこと。
23. PCRAM (Phase Change Random Access Memory) : 相変化メモリ。PRAM あるいは PCM とも呼ばれる。Ge₂Sb₂Te₅ などのカルコゲナイド化合物の電気抵抗が、非晶質状態で高く、

結晶状態で低いことを利用するメモリ。通電加熱による結晶化と急熱急冷による非晶質化で動作させる。

24. ポストノイマン (post Neumann) : フォンノイマンアーキテクチャと異なるコンピュータまたはコンピュータアーキテクチャを指す。フォンノイマンアーキテクチャのも限界を突破するものとして研究開発が進んでいる。
25. ReRAM (Resistive Random Access Memory) : 抵抗変化型メモリ。抵抗素子の抵抗値の高低を使って情報を記憶する不揮発性メモリの総称。
26. SCM (Storage Class Memory) : 計算機で主記憶として使われている DRAM とデータを保管するフラッシュメモリやハードディスクなどのストレージには、データの書き込み読み出し時間に大きな差異がある。このギャップを埋められると期待されるメモリが SCM と呼ばれ、MRAM や ReRAM が研究開発の対象となっている。
27. Society 5.0 : 日本政府による科学技術政策の基本指針のなかで、狩猟社会、農耕社会、工業社会、情報社会に続く 5 番目の社会として位置づけられ、サイバー空間と現実空間を高度に融合させたシステムにより経済発展と社会課題解決の両立が実現される豊かで持続可能な社会。超スマート社会として説明されることもある。
28. SoC (System on Chip) : 単一のシリコンチップ上にマイクロプロセッサや各種入出力回路など複数の機能ブロックを集積化し、それ自体で一つのシステムとなるような大規模集積回路。
29. SSD (Solid State Drive) : 記憶装置として半導体不揮発性メモリを使った装置で HDD (Hard Disk Drive) の代替として使われる。HDD に比べ高速であるが、記憶容量あたりの価格は高い。不揮発性メモリとしては Flash メモリを使うことが多いが PCRAM (Phase Change Memory、相変化型メモリ) を使った SSD も最近商品化された。
30. STT MRAM (Spin Transfer Torque Magnetic Random Access Memory) : スピン注入磁化反転型の磁気メモリ。磁気メモリ (MRAM) の一種で、特定方向のスピンを持つ電子を注入することで情報を書換えるもの。高速な読み書きが可能な不揮発性メモリとして研究開発が進んでいる。
31. Wintel : マイクロソフト社の Windows オペレーティングシステムとインテル社の Intel 組み合わせた造語。Windows とインテル社のマイクロプロセッサを搭載したコンピュータを指す。この市場を席卷した 2 社の総称としても使われる。
32. フォンノイマンアーキテクチャ (von Neumann Architecture) : フォンノイマン型。ジョン・フォン・ノイマン (John von Neumann) によって提唱されたとされるコンピュータの基本構成。プログラム内蔵方式のデジタルコンピュータであって、演算装置、制御装置、メモリ、入力装置、出力装置とこれの間を接続するデータ転送機構から構成されている。今日の一般的なコンピュータシステムのほとんどが、このノイマン型である。

<参考文献>

- [1] 内閣府「第5期科学技術基本計画」(2016)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/index5.html>
- [2] 首相官邸「未来投資戦略2017 Society 5.0の実現に向けた改革」(2018)
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/kettei.html>
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017_t.pdf
- [3] 「人工知能技術戦略会議」の議事録と「人工知能技術戦略」の本文(2017)
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/index.html>
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP2_100064.html
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/jinkochino/6kai/sanko1.pdf>
- [4] 米国 大統領令、“Executive Order -- Creating a National Strategic Computing Initiative,” (2015)
<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2015/07/29/executive-order-creating-national-strategic-computing-initiative>
- [5] The National Strategic Computing Initiative Executive Council, “National Strategic Computing Initiative Strategic Plan,” (2016)
<https://www.whitehouse.gov/sites/whitehouse.gov/files/images/NSCI%20Strategic%20Plan.pdf>
- [6] 趙 瑋琳「AI 大国に躍り出る中国 AI エコシステムの形成に向けた動向」富士通研
ニューズレター (2018)
<http://www.fujitsu.com/jp/group/fri/report/newsletter/2018/no18-008.html>
- [7] “International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS) 2.0,” (2016)
<http://www.itrs2.net/itrs-reports.html>
- [8] “International Roadmap for Devices and Systems (IRDS) 2017 Edition,” (2018)
<https://irds.ieee.org/roadmap-2017>
- [9] SIA and SRC, “Rebooting the IT Revolution: A Call to Action” (2015)
<https://www.src.org/newsroom/press-release/2015/758/>
<https://www.src.org/newsroom/rebooting-the-it-revolution.pdf>
- [10] SIA and SRC, “Semiconductor Research Opportunities: An Industry Vision and Guide” (2017)
https://www.semiconductors.org/news/2017/03/30/press_releases_2017/semiconductor_industry_sets_out_research_needed_to_advance_emerging_technologies_unleash_next_generation_semiconductors/
https://www.semiconductors.org/clientuploads/Research_Technology/SIA%20SRC%20Vision%20Report%203.30.17.pdf
- [11] DARPA Electronics Resurgence Initiative (ERI)
<https://www.darpa.mil/work-with-us/electronics-resurgence-initiative>
- [12] Horizon 2020 <https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/>

- [13] NanoElectronics Roadmap for Europe: Identification and Dissemination (NEREID),
“NEREID Mid-term Roadmap” (2018)
<https://www.nereid-h2020.eu/content/nereid-mid-term-roadmap-download>
- [14] Sustainable Development Goals, <https://www.un.org/sustainabledevelopment/>
- [15] United Nations, “World Population Prospects, 2017 Revision” (2017)
https://esa.un.org/unpd/wpp/Publications/Files/WPP2017_KeyFindings.pdf
- [16] 内閣府 「高齢社会白書」(2017)
<http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/index-w.html>
- [17] 国土交通省国土審議会政策部会「国土の長期展望」中間取りまとめ(2011)
http://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/kokudo03_sg_000030.html
- [18] 総務省「平成 29 年版情報通信白書」(2017)p.55
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n2100000.pdf>
- [19] 総務省「平成 29 年版情報通信白書」(2017)p.126
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h29/pdf/n3300000.pdf>
- [20] “IRDS 2017 Edition” 前掲 [8]のうち、下記の3文書を参照のこと：
“Application Benchmarking”, “Beyond CMOS”,
“Roadmapping Cryogenic Electronics and Quantum Information Processing”
- [21] 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 「戦略プロポーザル
革新的コンピューティング ～計算ドメイン志向による基盤技術の創出～」
CRDS-FY2017-SP-02 (2018)
<https://www.jst.go.jp/crds/pdf/2017/SP/CRDS-FY2017-SP-02.pdf>
- [22] EE Times Japan, 「Google が「TPU 3.0」を発表、1ポッドで100PFLOPS」(2018)
<http://eetimes.jp/ee/articles/1805/11/news079.html>
- [23] EE Times Japan, 「iPhone 8 Plus の心臓部「A11 Bionic」の中身」(2017)
<http://eetimes.jp/ee/articles/1710/03/news075.html>
- [24] Intel, Newsroom, “Blazing-Fast Gaming with Intel’s First Optane SSD” (2017)
<https://newsroom.intel.com/news/blazing-fast-gaming-intels-first-client-optane-ssd/>
- [25] M. W. Johnson, et al., “Quantum annealing with manufactured spins”, Nature
473 (2011) p.194.
- [26] <https://www.dwavesys.com/d-wave-two-system>

<参考資料> 審議経過

平成 29 年

6月12日～7月3日

委員全員から文書で意見提出、これを纏めて提言・報告骨子案を作成

7月14日 プロジェクト会議（第1回）

第一次の意見集約、および今後の進め方について

8月28日 個別企業へのヒアリング（第1回）

ベンチャ企業支援について

8月31日 個別企業へのヒアリング（第2回）

自動車への応用について

9月11日 個別企業へのヒアリング（第3回）

半導体 IP の流通市場について

9月14日 個別企業へのヒアリング（第4回）

自動車への応用について

9月19日 個別企業へのヒアリング（第5回）

LSI 設計ツールについて

9月20日 個別企業へのヒアリング（第6回）

医療機器への応用について

9月29日 個別企業へのヒアリング（第7回）

医療機器への応用について

10月～11月 幹事による提言案の作成

「2030年に向けた次世代計算機技術開発戦略」

11月29日 JST CRDS 革新的コンピューティングワークショップ

当該分野の専門家へ提言・報告の検討状況の紹介

12月6日～15日 委員全員へのアンケート調査

提言案についての意見照会

12月20日 個別企業へのヒアリング（第8回）

半導体設計ツールの共用化について

平成 30 年

1月18日 プロジェクト会議（第2回）

意見集約と提言文の修正および確定

6月11日 日本工学アカデミー政策提言小委員会

報告書(最終版)を提出。査読作業に回すことを決定

7月24日 日本工学アカデミー政策提言委員会

査読意見に基づく報告書(最終版)の改訂版提出。審議了を確認し、企画運営会議にその旨を報告することを決定

8月 2日 日本工学アカデミー企画運営会議

審査結果を報告し、了承される。

8月29日 日本工学アカデミー理事会

審査結果を報告し、概ね了承されたが、対象を限定していることが分かりにくいという指摘があり、対応策を講じることとなった。

10月2日 日本工学アカデミー理事会

まとめられた対応案について全理事に諮り、それを反映した最終版の発出を決定した。公表の一環として、ホームページに掲載される。

本資料の内容の転載を希望される場合は、（公社）日本工学アカデミー事務局までご相談ください。

編集発行

（公社）日本工学アカデミー

〒108-0014 東京都港区芝 5-26-20 建築会館 4F

TEL : 03-5442-0481 FAX : 03-5442-0485

E-mail : academy@ej.or.jp

URL : <http://www.ej.or.jp/>

注：事務所を移転する予定です（2018年10月27日）。電子メールアドレス、URL には変更ありません。