

第八回 次世代コンピューティング=デバイスサイエンス×コンピュータサイエンス～超伝導コンピューティングの場合～ 井上 弘士 田中 雅光

2022年5月14日(土) 9:00～ モデレータ 石川 健治

概要

次世代コンピューティングへ向けての取り組みが紹介された。シリコン半導体によるコンピュータの始まりは、1970年代の卓上電子計算機向けのマイクロプロセッサの発明に遡る。2020年代現在に至る50年間に飛躍的な発展を遂げた。驚くほどの指数関数的な産業発展は他に類を見ない。それでも間断なく課題に直面し、「消費電力の壁」では並列処理や専用計算の台頭から凌いでいる。今後も訪れる課題を前に、次世代コンピューティングの到来が待望される。

基本中の基本、コンピュータの構造はメモリとマイクロプロセッサが組み合わさり、メモリ上の命令とデータをプロセッサに伝え、演算が実行される。単純な演算の積み重ねによって、アプリケーション・ソフトウェアが動いている。この一連の演算を如何に高速かつ低消費電力に実行できるかが重要課題であり、現代コンピュータが基本とするCMOS回路ではなく、『単一磁束量子回路』を使うコンピューティングが、「デバイスサイエンス(超伝導工学)×コンピュータサイエンス(計算機工学)のアプローチ」で進められている。

『単一磁束量子』とは超伝導のリングを貫く磁束が、超伝導の巨視的波動関数(波)の性質により量子化されて現れる最小単位である。プラズマプロセスによって微小な超伝導リングと、輪の中にジョセフソン接合という超伝導電子対のトンネル素子を作製し、超伝導リング内の単一磁束量子の有無、つまり“0”か“1”の状態を用いて情報の保持や演算を行うデジタル回路をつくる。単一磁束量子がこのジョセフソン接合を通過すると、パルス状の高速微弱な電圧が発生する。この磁束量子のやりとりは、質量ゼロであり、配線の充放電を伴わないので、原理的に高速で低消費エネルギーである。このデバイスに最適なアーキテクチャーをコンピュータサイエンスに基づき構築することで、従来のコンピュータとは全く異なる実装形態(具体例の一つに、極めて細分化された流れ作業を超高速に実行)に基づく情報処理基盤の構築を目指している。例えば、本実装形態を採用した50ギガヘルツ級の超高速動作が可能な演算器の実証に世界ではじめて成功した(23rd ISLPEP, 2017)。また最近では、ニューラルネットワークに応用し、メモリとマイクロプロセッサの最適バランスの設計に成功し、2020年のコンピュータアーキテクチャ分野の注目論文に選出されている(SuperNPU, IEEE Micro May 2021, p.19)。

現在のコンピューティングは間違えを極力排し『厳密』な計算実行する一方で、無駄とも言える有効桁数での演算やエラー訂正、マージンを確保する過剰なエネルギー消費が存在する。エラー(ビット誤り率)を許容し、非厳密なコンピューティングに応用の道が開かれているかもしれない。技術の善し悪しは、その使われ方によって千差万別である。専門を近視眼的に追求するだけでなく、別の専門のレイヤーとの接点に生まれる議論を通して新しい発想の研究を勧めたい。



単一磁束量子回路を用いた超伝導コンピューティング(コンピュータサイエンス×デバイスサイエンス)の成功物語と少しの失敗談