

CREST「Society5.0を支える革新的コンピューティング技術」
研究領域中間評価報告書

1. 研究領域としての成果について

(1) 研究領域としての研究マネジメントの状況

本研究領域では、情報処理を質的に大転換させる新たなコンピューティング技術の創出、およびアルゴリズム、アーキテクチャ等の技術レイヤーを連携・協調させた高効率コンピューティング技術の開発を大きな2つの目標に掲げている。この広範な目標に対し、1)新しい計算原理とその実現、2)安全・安心のための新原理とその実現、3)センサからの多様かつ大量のデータを実時間処理するための基盤技術、4)超スマート社会の基盤となる情報システム、5)セキュリティ、ディペンダビリティとプライバシーを担保する情報システム、6)IoTと人間社会を高度に結びつけるための実時間処理を行う情報システムの6つのテーマに絞り設定したことは適切である。量子計算そのものの分野への手薄感はあるが、これらに沿った研究課題のポートフォリオを組み、高水準でバランスの取れた研究チームを採択し組織したことは高く評価できる。

領域アドバイザーの構成に関しては、ブレインモルフィック、量子計算、ディペンダブル、デバイス、LSI、計算機アーキテクチャ、システムLSI、プログラミング言語、ソフトウェア、HPCシステム、データベース・スマート社会、ビッグデータの専門家が名を連ねている。理論から応用、デバイスからシステムまでの広範な分野を、アカデミアと産業界、ジェンダーのバランスにも配慮した人選である。ただし、領域アドバイザーの人選が研究課題採択前というものもあるが、採択されたスピントロニクス素子、抵抗変化素子、光デバイスなど用いた素子技術の専門家がやや不足していると思われる。適切な助言や研究課題評価が行われているか若干の懸念があるため、今後、新たな追加の人選が望まれる。

研究進捗状況把握・評価とそれに基づく指導に関しては、特徴的な施策を実施しており適切と評価できる。

本研究領域は、研究対象のレイヤー（計算原理、デバイスからアプリまで）、実装場所（エッジからクラウドまで）、実用化時期（2030年から2050年）の3点に関して、大きなダイバーシティを持つ。これに対し統一された物差しで個々の研究課題を評価せず、個々の特性に合わせた評価を実施している。また、各研究チームには、実施期間中の研究計画だけでなく、ロードマップの作成を課し、意識付けを行っている。2030年から2050年という遠い将来までを見据えてロードマップを作成することは、情報処理を質的に大転換させる新たなコンピューティング技術の創出と謳っている上において適切である。これを基に各研究チームが、マイルストーンとなる要素技術・システム技術を設定し、毎年その達成度をサイトビジット、領域会議で報告、研究総括・領域アドバイザーの評価を受け、研究の加速や改善、統廃合を行っており高く評価できる。ただし、遠い将来を目標とすると、本領域の期間内で

の近い目標が客観的に検証できない懸念もあり、検証可能な客観的な目標設定が必要ではないかと考えられる。広範な分野の研究課題評価に際して、現状よりさらに目標達成のための戦略的な評価基準を研究領域内で定め(例えば論文では目標とする投稿雑誌を定めるなど)推進することを期待したい。ロードマップに関しては、研究課題間の比較や評価、社会に対しての訴求などを考慮すると研究課題間で様式を統一することが望まれる。技術の進展が非常に速いことも加味し、適宜、柔軟に修正しつつ、最終年度に客観的評価が可能な研究成果の創出を期待する。

サイトビジット・領域会議は、コロナ禍もありオンラインも併用しながら実施し、これらを通して、きめ細やかなマネジメントが実施されていると評価できる。研究チーム間連携や他のプロジェクトとの連携なども適切なマネジメントがなされていることが認められる。

本研究領域は、システムとハードウェア寄りの研究課題間で技術レイヤーの距離が大きいため、両者間のシナジー効果をさらに出す工夫や、具体的な研究成果を明示する工夫を期待する。

国際連携・協力は、各研究チームの自発性に任されており、現状でも十分な成果が期待される。領域アドバイザーがより関与するなどして、これらの可能性をさらに拡大させることを期待したい。

研究費配分上の工夫に関しては、研究員・補助員の雇用や実験装置の購入・改良など妥当であり、研究課題中間評価結果など反映し、課題毎に濃淡をもった配分、柔軟な予算配分が実施されている。

人材育成に関しては、研究参加者の40人程度がキャリアアップしており非常に多く、本研究領域が間接的に日本の当該分野の人材育成に貢献していることが認められる。また、各研究課題が高水準の研究者によって組織されている証左でもある。

アウトリーチ活動・イベント、プレスリリースも推進され順調である。今後、コロナ禍の落ち着きを見計らい、当該分野に新規参入する学生などの掘り起こしにつながるイベント開催などを研究者の負荷の少ない形で開催されることを期待する。

本研究領域は、研究課題によって理論面の研究、応用面の研究など研究方針が異なる。前者は必ずシステム系の研究を入れるように、後者は従来手法の延長では達成できない目標を立てるように厳しい条件を課している。研究課題のほとんどで、その条件が達成可能と判断されていることは特筆に値する。ただし、課している厳しい条件、数値について、環境条件、計測条件、比較対象などより丁寧な説明が望まれる。

本研究領域の戦略目標は「Society5.0を支える革新的コンピューティング技術の創出」となっている。一般の生活に身近なSociety5.0を支える要素技術として、社会との対話が重要であり、本研究領域の研究成果が主体の国際的にも高い水準の論文の訴求や、本研究領域で行われている各々の研究とSociety5.0の関連を一般にも分かりやすく提示、情報発信していくことなど、研究成果の普及、社会受容性の醸成に向けた活動を期待したい。

(2) 研究領域としての戦略目標の達成に向けた状況

①研究成果の科学的・技術的な観点からの貢献

本研究領域の応用研究は、厳しい条件の目標(電力性能比 100 倍など)を課しており、採択した研究課題のほとんどで、その厳しい条件が達成可能と判断されていることは特筆に値する。

原著論文は、国際 252 報、国内 13 報、口頭発表は、国際 81 件、国内 191 件と順調に行われている。また、招待講演は国際 88 件、国内 122 件と多く、国内外で本研究活動が認知されていると認められる。これらのことから、国際的な研究水準は高く、高いインパクトのある研究が行われていると評価できる。

新しい計算原理とその実現を目指した特筆すべき研究成果例として、鈴木チームの世界初の FRET(蛍光共鳴エネルギー移動)現象による量子ドットネットワークを用いたリザーバー計算、深層学習とリザーバー計算融合による Hidden-fold network の提案とこれによるメモリ効率約 30 倍のニューラルネットワークモデルの実現、井上チームのエッジでのスパイキングニューラルネットのリザーバー計算について、人工ニューロンを時定数の長い素子とアナログ CMOS 回路で開発、筆跡認証デモでのコンセプト実証、FPGA によるデジタルニューロンの 10%の消費電力の実現、佐藤チームのスピンエッジ AI ハードウェアについて、世界初の確率動作スピン素子を用いたボルツマン機械学習の実証、戸川チームの二つ、あるいはそれ以上のスピンを結合して一つのスピンとして扱う手法によるイジング計算機の高速度化(1桁~2桁)、世界初の実地理空間情報処理のイジング計算機による解法などが挙げられる。

超スマート社会の基盤となる情報システムを目指したものとしては、本村チームの従来高速化が困難であった全結合型アニーリングプロセッサ LSI を、高速化モデル「ストカステイック・セルラー・オートマタ(SCA)」を適用し、世界初のアニーリングプロセッサ LSI 「STATICA」として開発、従来比で少なくとも数倍の処理性能、2 桁以上のエネルギー効率向上を達成などが挙げられる。

IoT と人間社会を高度に結びつけるための実時間処理を行う情報システムを目指したものとしては、天野チームの高機能・高速・低消費電力のエッジ情報処理を実現する MEC(Multi-access Edge Computing)について、提案した Crust-Core アーキテクチャ(内部に FPGA と CPU を持ち、転送遅延と帯域を保証する高速双方リンクの HUB に価格性能比に優れた中規模 FPGA を複数接続したマルチコア環境)によるプロトタイプ検証、専用 ASIC 開発での目標達成(従来比の 100 倍の電力性能比)見込みの具現化などが挙げられる。

②研究成果の社会的・経済的な観点からの貢献

ほとんどの研究課題が、社会的に注目を集めている課題にチャレンジしており、また、アウトリーチ活動・イベント、プレスリリースも各々10 件以上あり、社会的・経済的な貢献は十分に期待できるものと考えられる。

研究成果の社会実装へ向けた取り組みでは、電機、情報通信、機械、製薬、地図、インターネット関連企業や海外研究機関、自治体などと 16 以上の技術移転や連携などが進んでいる。これらの特筆すべき例として、近藤チームのエッジでのグラフ処理の高速・省電力化技術のスマート工場配送最適化、データ格付サービス、LP ガス配送最適化への応用、天野チームのマルチ FPGA を前提とした高位合成技術、リソース管理ソフトウェア、およびこれらを適用した FPGA ボード(製品名 M-KUBOS)の商用化、佐藤チームの超低消費電力リザーバ計算技術の車載応用、戸川チームの熱海市と連携したイジング計算機による観光ルートの自動作成・提案を行う旅程最適化サイトの無償公開などが挙げられる。また、本間チームの耐量子計算機暗号(PQC)を含む秘匿計算、各種物理的観測や操作による暗号解読攻撃の評価など可能なセキュリティ評価ボードの開発は、米国立標準技術研究所(NIST)で選定される PQC の国際標準暗号の実現方法に影響を与えるため注目に値する。

上記の社会実装への取り組みが数多くなされる中、現時点での特許出願件数が多いとは言えないと思われる。本研究領域での開発技術が我が国にとって有効となるようオープン、クローズを棲み分け、独自性を発揮できる技術は特許出願をさらに進めることが望まれる。

応用寄りの研究課題では、具体的な社会実装までを最終年度までに成果として見せることができれば理想的である。研究開発成果のキラーアプリケーションの具体化、基本特許取得、産業界のパートナー探索やベンチャーの創出などを期待したい。

以上より、本研究領域は戦略目標の達成に資する成果の創出に十分な貢献が期待できると評価できる。

以上