

光の極限性能を生かすフォトニックコンピューティングの創成（極限光システム）



領域代表者	東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授 成瀬 誠（なるせ まこと）	研究者番号:20323529
研究領域情報	領域番号：22A401 キーワード：フォトニックコンピューティング、光情報処理、光デバイス、システムアーキテクチャ	研究期間：2022年度～2026年度

なぜこの研究を行おうと思ったのか（研究の背景・目的）

●研究の全体像

光は、高度情報通信社会を支える重要な基盤であり、今日、通信や計測のみならず、コンピューティングにまでその役割が期待されている。特に、情報通信量の爆発的増大や人工知能(Artificial Intelligence: AI)に見られるコンピューティング需要の拡大と高度化、さらには、グリーントランスフォーメーションに見られる環境性能の重要性の高まりに伴い、新たな物理系を活用するコンピューティングが活発に研究されるようになった。そのなかで、光とコンピューティングの関わりー**フォトニックコンピューティング**ーが改めて見直され、その可能性が精力的に研究されている。光科学や光技術が長足の進化を遂げる一方、情報科学技術も飛躍的な発展を見るに至り、その接点に学術変革が期待されている（図1）。

本研究領域では「光の極限性能を生かす」という視点から、光とコンピューティングを高度に融合する新たな学術の創成を目指す。現在、フォトニックコンピューティングの最前線は、極めてダイナミックに展開している。特に、AIやBeyond 5G(次世代移動通信システム)との強い繋がりを持つ光アクセラレータの研究が進展する一方、光の多様な性質を情報処理と融合させる新たな基礎研究が次々に現れている。

本研究領域では、このような研究の多様性と先駆性を高いレベルで実現すると同時に、シンポジウムやスクールなどのアウトリーチ活動を充実させ、「光とコンピューティング」という領域の一体性とその発展を追求する。

●「光の極限性能を生かすフォトニックコンピューティング」への3個の視座

本研究領域の基軸は、「光の極限性能ーUltimate Nature of Lightー」である。これを次の3個の視座で捉える(図1、図2)。

- 視座A：光の利活用を阻む構造的限界の克服 → **光の極限性能を生かすシステム構造の創成**
- 視座B：光の限界性能のコンピューティングへの活用 → **光の極限性能を生かすコンピューティングメカニズムの創成**
- 視座C：未踏の潜在能力の開拓 → **光の極限性能を生かす材料・デバイスサブストレートの創成**

この3個の視座で研究を有機的に連携させ、将来の情報通信社会に貢献できる、光と情報の新たな学術創成を目指す。その実現のため、情報科学、数理科学、光科学、物理学、光電子デバイス、通信工学などの多様な研究領域の研究者を公募研究を含めて結集させ、フォトニックコンピューティング研究の発展性の拡大と充実を指向する。

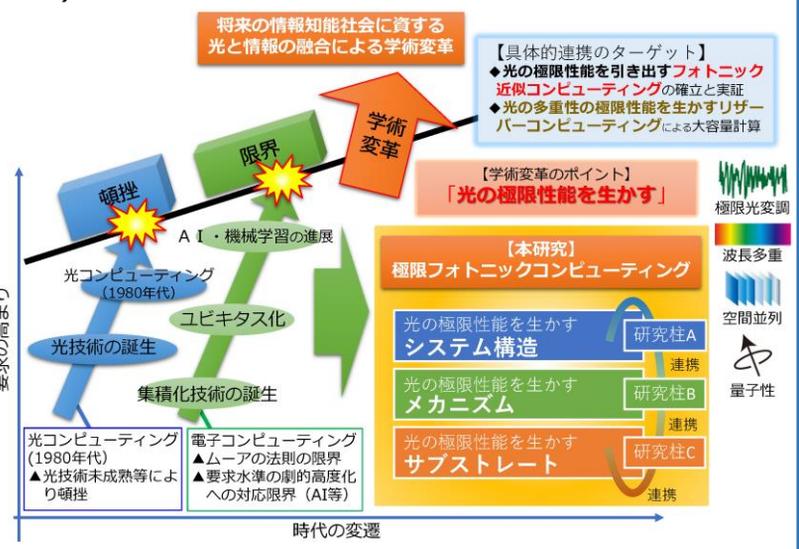


図1 本研究領域の位置づけ・道筋



図2 本研究領域の全体概要

この研究によって何をどこまで明らかにしようとしているのか

●「フォトニックコンピューティング創出」のための3つの研究柱

本研究領域では、「光の極限性能を生かす」を基本概念とし、光の様々な特徴－伝搬高速性・低損失性・広帯域性・多重性・実世界接触能等－を追求し、光科学技術と情報科学技術を高度に融合したフォトニックコンピューティングを創出する。それに向け、本研究領域は前述の3つの視座に対応した3つの研究柱を設定し、その目標や内容を下記のように定める(図3、図4)。

- **研究柱A(計画研究A01、A02)：光の極限性能を引き出すシステム構造**；光のコンピューティングへの利用の障壁となっている構造的限界(Architectural limit)に焦点を当て、光本来の性能を発現させるシステムアーキテクチャを研究する。具体的には、光の高速性や多重性を最大限に引き出すフォトニック近似コンピューティング、光と電子系の最適結合を実現するタスク分解、などである。
- **研究柱B(計画研究B01、B02、B03)：光の極限性能に基づくコンピューティングメカニズム**；光の時空間多重性、多値表現能力など光の限界性能(Physical limit)を活用するコンピューティングメカニズムを開拓する。具体的には、光リザーバーコンピューティング、極限的光変調のコンピューティングへの展開、光意思決定などの高次光機能の創出、などである。
- **研究柱C(計画研究C01、C02)：光の極限性能を引き出す新たなデバイス基盤**；光の未開の潜在能力(Potential)を引き出すための重要課題に焦点を当て、デバイス基盤の革新に取り組む。具体的には、光の多重性をコンピューティングに活用する集積光デバイス、光と電子系とのボトルネック解消に向けた超高速周波エレクトロニクスとフォトニクスの融合、などである。

●研究の推進

いずれの研究も、応用との繋がりを視野に入れ、各研究項目を連動・融合させつつ推進する。

特に、「近似コンピューティングとフォトニックコンピューティングの融合」と「光の多重性とリザーバコンピューティングの融合」は、課題の共有を含めて領域全体が協働した連携研究を実現する(図3)。

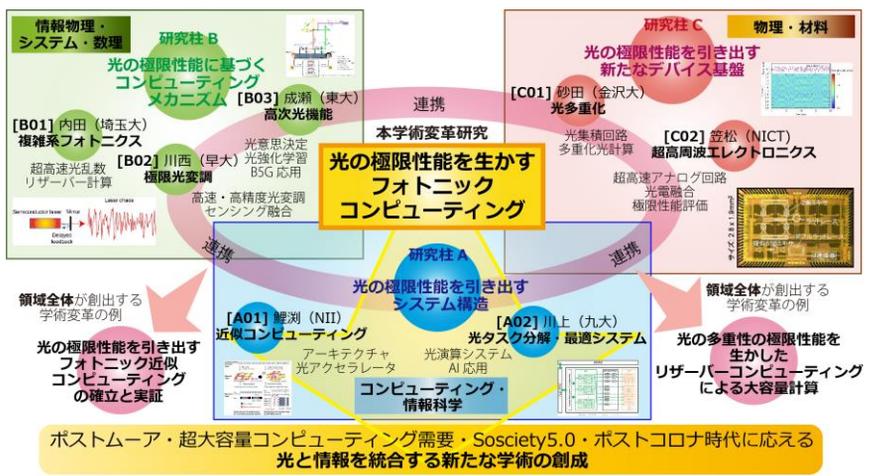


図3 本研究領域推進の概要

学術変革領域研究(A)
光の極限性能を生かすフォトニックコンピューティングの創出

領域代表 総括班
成瀬 誠(東京大学・教授)

アウトリーチ活動・融合研究領域の創成
シンポジウム/セミナー/スクール/国際活動支援
融合研究/ネットワーク
領域会議/産学連携 他

B03 光の極限性能による強化学習の変革と応用開拓
動的な不確実環境での意思決定などの高次機能の光による高度化を目指す。光の高速性や量子性を活用した協調的意思決定などの機能の確立と応用実証研究を行う。
意思決定 × 光

C01 砂田哲(金沢大学・教授)
光多重化によるフォトニックコンピューティングデバイスの変革
光の著しい特長である信号の多重性の極限を活用するデバイスアーキテクチャを明らかにする。さらに研究柱A、Bと連携し、具体的な光機能を実験的に実証する。
光多重化 × コンピューティング

研究柱A：システム構造 構造的限界の克服

A01 鯉淵 道紘(国立情報学研究所・教授)
極限光技術を生かすフォトニック近似コンピューティング
近似コンピューティングとフォトニックコンピューティングの融合を世界に先駆けて実現し、光の極限性能を生かすアーキテクチャを明らかにする。
近似コンピューティング × 光

A02 川上哲志(九州大学・准教授)
光基盤と応用の最適結合を実現するシステム構造研究
光の極限性能・フォトニクスの物理限界・AIなどの応用を総合したフレームワークを構築し、光と周辺系の最適なタスク分解論を世界に先駆けて明らかにする。
光 × 電子系の最適結合

研究柱B：メカニズム 極限性能の利活用

B01 内田淳史(埼玉大学・教授)
複雑系フォトニクスによるフォトニックコンピューティングの変革
レーザーの高速・複雑ダイナミクスを活用したリザーバーコンピューティングを、予測機能に留まらず転移・類推・生成などの新たなコンピューティングに展開する。
複雑系フォトニクス

B02 川西哲也(早稲田大学・教授)
極限光変調によるフォトニックコンピューティングの変革
基幹光通信網の多値光変調は、通信能力だけでなく情報処理に大きなインパクトを与える。光の広帯域性の極限を生かしたコンピューティングを世界に先駆けて切り拓く。
極限変調 × 光

研究柱C：サブストレート 潜在能力の開拓

C02 笠松章史(情報通信研究機構・センター長)
超高速シリコンアナログ回路と超高速光回路の融合
数10 GHzオーダーアナログ回路とフォトニクスの融合に挑戦する。非線形性を近似コンピューティングと連動させ、光の極限性能を生かす光電融合の新学術を創成する。
光の極限性能 × エレクトロニクス

図4 計画研究・総括班の研究代表者及び研究の概要