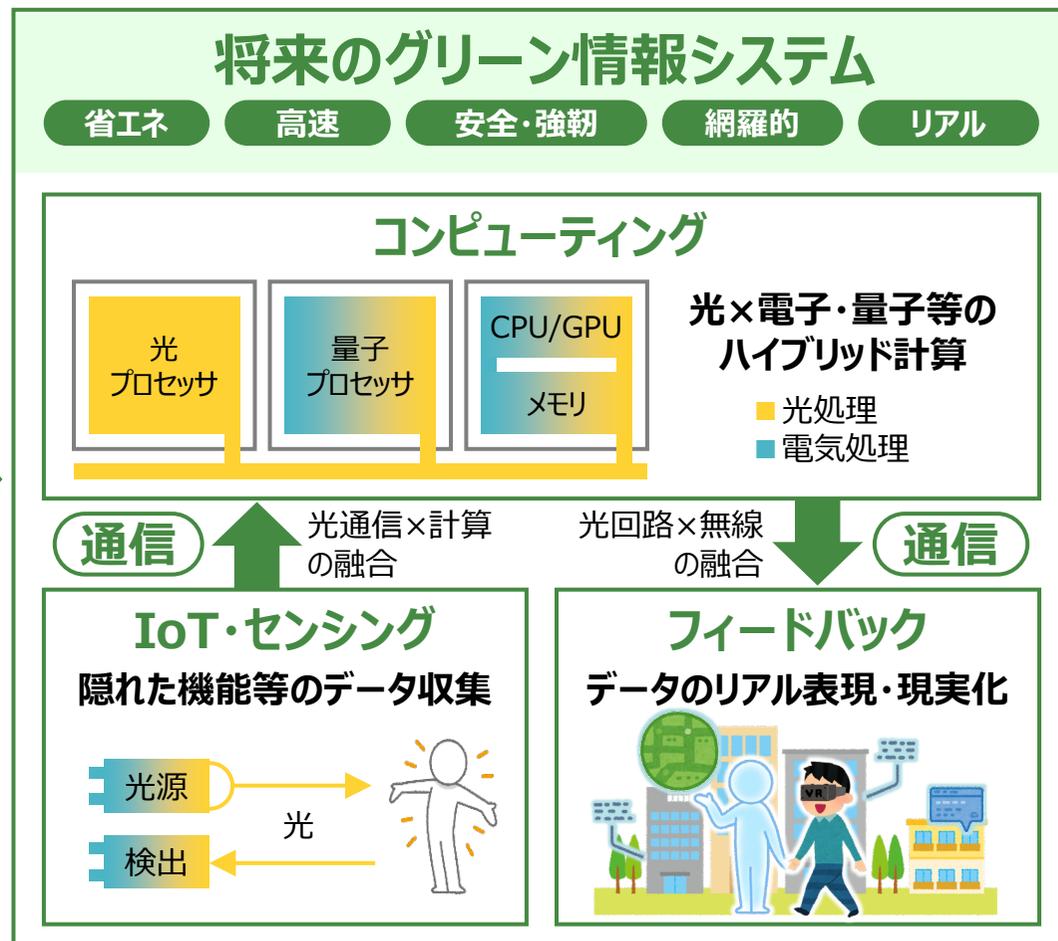
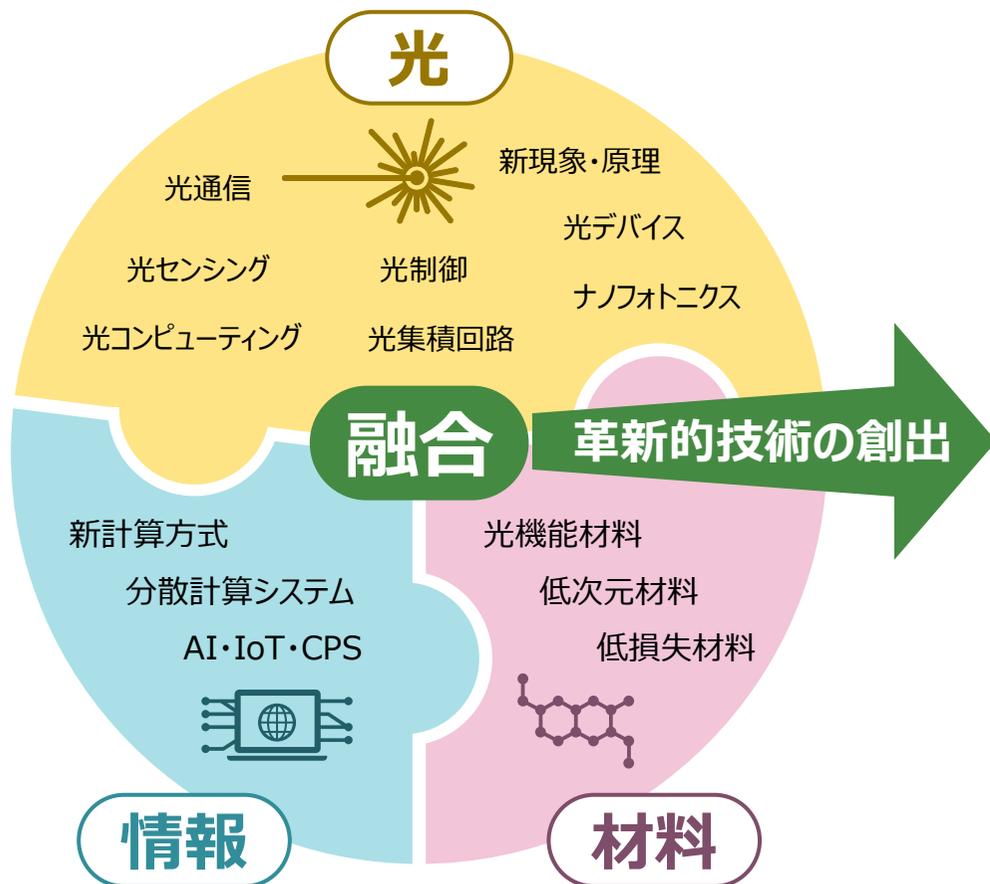


3 持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓

電子に依存する従来技術の限界打破へ向けて
光と情報・材料等の科学を融合



将来のグリーン情報システム実現の鍵となる
革新的な基盤技術・利用技術を創出



将来像

グリーン情報システムによる社会課題解決を通し、人と自然が共存する持続可能な社会に貢献

健康増進・リスク検査

食料安定供給

生産性最大化

移動経路等最適化

災害予測

環境負荷低減・管理

生物多様性保全

など

令和6年度戦略目標

1. 目標名

持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓

2. 概要

AI・DXの進展に伴うエネルギー消費の急増が問題となる中、従来技術での効率化には限界が近く、光を駆使した情報技術の刷新が必要である。さらに将来の様々な社会課題解決につながるには、情報システムで実世界のあらゆる情報を収集・活用する機能の拡張が望まれ、このためにも光を駆使した技術革新が鍵となる。こうした技術刷新へ向け、従来の光技術のみに頼ると物理的な限界がありえるが、光と情報・材料等の科学的英知を結集できれば、その限界をも超えられると期待できる。そこで、持続可能な社会へ向けて情報システムの在り方を刷新すべく、光と情報・材料等の科学を融合し、従来限界を超える革新的な融合技術のフロンティアを開拓する。

3. 趣旨

AI活用やDXの進展に伴って、情報処理・通信に係るエネルギー消費量の急増が世界的な問題となりつつあるが、従来の電子技術に頼った効率化には限界が近づいている。このため、高効率・高速といった利点のある光を駆使して情報システムの電力効率を抜本的に改善できるような情報処理・通信技術を革新し、カーボンニュートラルを実現するグリーン情報システムにつながる必要がある。さらに将来、こうした技術を様々な社会課題解決に結びつけるには、実世界のあらゆる情報をサイバー世界であるコンピューター内に収集し、分析した後に実世界へフィードバックして活用できるように情報システムを拡張していくことが望まれる。しかし、このように情報システムを実世界と密に連携させるには、実世界のあらゆる情報を収集・活用するための入出力機能が圧倒的に不足しており、この解消のためにも高精細・リモートといった光の利点を発揮・利用する技術の革新が重要である。

こうした光を活用した情報システムの刷新へ向けて、従来の光技術のみに頼っていたのでは効率性・高速性・集積性等に係る物理的なトレードオフに制約され、やはり限界があると考えられる。このような限界を極めることはもちろん重要であるが、光科学と情報・材料等の異分野の科学の英知を結集すれば、互いの科学の力を相補的に発揮してその限界を超えることも可能と期待できる。実際、欧米では分野横断的な事業体制が複数組織され、その下に光と情報等の研究者が集まりデバイス等の開発を加速している。しかしながら我が国では、個々の分野の研究は強い一方で、分野融合的な枠組みや取り組みは欠如しており、本来の強みやポテンシャルを生かし切れていない。

そこで本戦略目標では、持続可能な社会を支える将来のグリーン情報システムの実現に必要な基盤技術を創出するため、我が国が強い光科学と情報・材料等の異分野の科学を融合し、従

来技術の限界を打破する革新的な融合技術のフロンティアを開拓する。この際、分野融合に基づき大小のデバイス・システムに係る要素技術を開発すると共に、この革新につながる現象・物性・材料・理論等に係る基礎科学を探究し、両者を有機的に結合することで、この新たな融合領域における知識・技術の基盤体系を構築していく。さらに、このような融合的な研究が将来、より広範な分野へと拡大していくように、本融合領域で創出される知識・技術の潜在的な利点を明示し、それらの利用を促進するための革新的な利用技術も開拓する。このように、分野間と階層間の融合を組み合わせ、革新的な技術創出と期待拡大の好循環の実現を目指す。

4. 達成目標

本戦略目標では、持続可能な社会を支える将来のグリーン情報システムの基盤技術の確立へ向けて、光科学と情報・材料等の異分野の科学との融合と基礎研究から利用技術開拓までの階層間の融合を通して、革新的な技術創出と期待拡大の好循環の実現を目指す。具体的には、以下の達成を目指す。

(1) 光の真価を発揮する原理・要素技術の創出

将来のグリーン情報システムでの活用を見据えて、光の潜在能力を最大限引き出せる究極的な光電変換・制御等の要素技術を、新たな理論・材料等を導入して創出する。また、光の基礎原理・新現象等を物性や量子性に踏み込んで追究する。

なお、本項目には、光デバイスのスケーラビリティ・制御性・効率等を極限まで高めるための原理・要素技術の創出が含まれる。

(2) 光と異分野のハイブリッド技術の開発

光科学と情報等の異分野の科学との融合により、電子技術のみでは突破できなかった情報システムの性能や機能に係る従来限界を超える光×電子・量子等のハイブリッド技術を開発する。この際、物性物理・材料科学等に基づく光デバイスに係る研究と情報科学に基づく数理モデル・アーキテクチャ・ソフトウェア等に係る研究の相補的な協調・融合が欠かせない。このような異分野科学の融合により、光と電子・量子等の従来は個別に扱われていた物理系を統一的に扱える設計理論・実装方法等を創出し、それらを適材適所で活用することで従来限界を超えられる革新的な知識・技術の基盤体系を構築していく。

なお、本項目には、光と他方式の計算資源の協調により従来計算機の効率・速度を圧倒する技術、光と電子の自在な相互変換により有線と無線の光通信をシームレスにつなぐ技術、従来未利用の光の性質・波長帯等を活用可能とする新たなデバイスとアルゴリズムが融合したセンシング等の技術の開発が含まれる。

(3) 持続可能な社会へ向けた光の革新的利用技術の開拓

将来のグリーン情報システムにおいて重要となるコンピューター・通信・IoT デバイス等の要素間の連携やサイバー空間と実世界の連携を強化するため、光の革新的な利用技術を開拓する。さらに、環境・食料・医療・製造等の様々な分野に関する社会課題を、光を駆使した情報システムで解決するコンセプトを提示する。

なお、前者には、クラウド側とエッジ側のコンピューティングやセンシング及びそれらをつなぐネットワークが融合した大きな情報システムにおいて、光を適材適所に活用して情報システム全体を効率化する技術の開拓が含まれる。後者には、本融合技術に基づく大小の情報システムと様々な社会課題に係る研究の融合による課題解決策の提示が含まれる。

5. 見据えるべき将来の社会像

4. 「達成目標」の実現を通じ、光科学と材料・量子等の異分野の科学との融合により、新たな原理・現象の発見や革新的デバイスの創出が期待される。これら要素技術を活用して将来のグリーン情報システムの在り方を研究する過程で、情報科学上の重要な成果の創造が期待される。さらに、ムーアの法則から飛躍的な進歩を遂げた超高速かつ超省エネルギーなグリーン情報システムや光の新現象に基づき格段に高度化された IoT デバイス等の応用上も重要な基盤技術の創出が期待できる。

これらの要素技術・基盤技術は将来、サイバー空間と実世界の連携を可能とする CPS（サイバー・フィジカル・システム）の高効率化・高度化・大規模化等の進展を通して、環境保全を前提とした社会課題解決や経済成長へとつながりえる。つまり、本融合技術の開拓と CPS への利活用により、自然と人が共生・共栄する持続可能な社会が実現しうる。

6. 参考

6-1. 国内外の研究動向

光を利用するコンピューティングに関して世界的に様々な方式の研究が、異分野連携のチームで活発に行われている。それに応じて、学問的な注目度が高まると共に、実用性が議論される状況も整いつつある。例えば、実用化の鍵となるシリコンフォトニクス等の光集積回路の技術発展が著しく、このような要素技術を活用した通信・センシング等の用途へ展開できる光デバイス等の研究も活発である。

光科学分野においては、次々と新しい現象やデバイスが提案・実証されている状況である。例えば、フォトニック結晶やトポロジカルフォトニクス等のナノフォトニクス、量子光学、テラヘルツ・非線形光学、メタサーフェス、光渦、光コム等の長期的には色々な用途への展開が期待されるシーズが生まれている。また、光音響・光散乱・近接場等の光の新奇な性質を利用して従来は観察不可能であったものをセンシング・イメージングする技術の研究も進展している。

材料科学分野においては光デバイスへの活用が期待できる材料として、量子ドット・ナノチューブ・ナノシート等の低次元材料、発光・受光・変調等に有用な半導体・強誘電材料、相転移材料等の光機能材料等の幅広いシーズが形成されている。

情報科学分野においては、脳型計算・近似計算・リザーバ計算等の新たな計算方式が注目され、関連する数理モデリング・アーキテクチャ等の研究が進展している。また、CPS 実現へ向けて IoT・センシングやネットワーク コンピューティングに関連する要素技術の研究開発が進

展している。例えば、AI を活用した信号処理技術や制御最適化技術は急速に発展しており、材料・デバイス・システムの最適化・設計等へ応用するための研究開発も進んでいる。

（国内動向）

これまでの戦略的創造研究推進事業・科学研究費助成事業等により、大学等の研究機関を中心として、光科学・情報科学・材料科学に関する幅広い基礎研究が実施され、知識が蓄積されてきている。

また、総務省の通信用途へ向けた「Beyond 5G 研究開発促進事業」「革新的情報通信技術（Beyond 5G（6G））基金事業」、経済産業省の計算環境に関する「次世代デジタルインフラの構築」の事業、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）が実施している事業・プロジェクト等において、それぞれ社会実装に近い研究開発が複数進められている。

（国外動向）

米国では、フォトリソの製造の強化や計算・通信のパフォーマンス向上を目的に国防総省（DoD）の後援で設立された公共-民間コンソーシアム「AIM Photonics (American Institute for Manufacturing Integrated Photonics)」がこの分野の研究開発基盤の一つとなり、その後の国防高等研究計画庁（DARPA）等のもとで立ち上がった複数の大型プロジェクトと相まって、光技術に関する研究開発が活発化している。また、民間企業（Lightmatter 等）による光コンピューティングの実用化へ向けた開発も加速している。

欧州では、Horizon2020 の枠組みで集積フォトリソに関する大型プロジェクトが進んでいるほか、コンピューティング応用に関するプロジェクトも複数動いている。

6-2. 検討の経緯

「戦略目標の策定の指針」（令和元年7月科学技術・学術審議会基礎研究振興部会決定）に基づき、以下のとおり検討を行った。

1. 科学研究費助成事業データベース等を用いた国内の研究動向に関する分析及び研究論文データベースの分析資料を基に、科学技術・学術政策研究所科学技術予測センターの専門家ネットワークに参画している専門家や科学技術振興機構（JST）研究開発戦略センター（GRDS）の各分野ユニット、日本医療研究開発機構（AMED）のプログラムディレクター等を対象として、注目すべき研究動向に関するアンケートを実施した。
2. 上記アンケートの結果及び戦略的創造研究推進事業・科学研究費助成事業等での研究テーマ、著名な科学誌、有識者ヒアリング等を参考にして分析を進めた結果、光科学と異分野科学との連携・融合が重要であるとの認識を得て、注目すべき研究動向「持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓」を特定した。

3. 令和5年12月に、文部科学省とJSTは共催で、注目すべき研究動向「持続可能な社会を支える光と情報・材料等の融合技術フロンティア開拓」に関係する産学の有識者が一堂に会するワークショップを開催し、取り組むべき研究領域や課題設定の観点等について議論を行い、ワークショップにおける議論や有識者へのインタビュー等を踏まえ、本戦略目標を作成した。

6-3. 閣議決定文書等における関係記載

「第6期科学技術・イノベーション基本計画」（令和3年3月26日閣議決定）

第2章 Society 5.0の実現に向けた科学技術・イノベーション政策

1. 国民の安全と安心を確保する持続可能で強靱な社会への変革

(1) サイバー空間とフィジカル空間の融合による新たな価値の創出

(c) 具体的な取組

④ デジタル社会に対応した次世代インフラやデータ・AI利活用技術の整備・研究開発

- 国土全体に網の目のように張り巡らされた、省電力、高信頼、低遅延などの面でデータやAIの活用に適した次世代社会インフラを実現する。このため、5G/光ファイバの整備を進め、5Gについては、2023年度末には98%の地域をカバーし、光ファイバについては、2021年度末には未整備世帯数が約17万世帯に減少すると見込まれる。さらに、宇宙システム（測位・通信・観測等）、地理空間（G空間）情報、SINET、HPC（High-Performance Computing）を含む次世代コンピューティング技術のソフト・ハード面での開発・整備、量子技術、半導体、ポスト5GやBeyond 5Gの研究開発に取り組む。

「脱炭素成長型経済構造移行推進戦略」（令和5年7月28日閣議決定）

2. エネルギー安定供給の確保を大前提としたGXに向けた脱炭素の取組

10) 脱炭素目的のデジタル投資

デジタル化や電化等の対応に不可欠な省エネ性能の高い半導体や光電融合技術等の開発・投資促進に向けた支援の検討を進める。

「半導体・デジタル産業戦略」（令和5年6月経済産業省改定）

5. 個別戦略

(1) 半導体分野

先端ロジック半導体戦略

次世代ロジック半導体技術を活用し、通信量が大幅に拡大するポスト5G時代において不可欠な、高度な処理機能・省エネ性能を有する次世代の情報通信技術を実現。グリーン・省エネ分野で世界の主導権を握り、市場にゲームチェンジを起こす。

- ✓ 高度な処理機能・省エネ性能を有する光電融合（パッケージ内光配線、光コンピューティング等）の実用化に向けた技術開発
- ✓ アカデミアの中核となる拠点における先端技術開発（革新的設計技術、2D 材料技術等）

先端パッケージ戦略

- ✓ ゲームチェンジ技術として光チップレット、デジタルチップとアナログチップを混載するアナデジ混載 SoC 技術を確立。
- ✓ こうした先端パッケージング技術をグリーンデータセンター、基地局、自動運転等に社会実装。

(2) 情報処理分野

(i) 情報処理基盤産業政策の方向性

- ✓ 様々に高度化していく計算需要に対して、多くの需要家が使いやすい形でその需要に応える計算能力を提供することで、持続的に成長していく産業の絵姿を目指していく。
- ✓ 情報処理の高度化は、低消費電力化を大前提としつつ、需要家視点で、大量・高速処理、低遅延性、セキュリティの観点で大別される。

「量子未来社会ビジョン」（令和4年4月統合イノベーション戦略推進会議決定）

I. 各技術領域の取組

(1) 量子コンピュータに関する取組

(iii) 量子コンピュータの大規模化・実用化に向けたブレークスルー技術の戦略的な研究開発や基礎研究の推進

- ✓ また、レーザー等の光科学技術は、量子状態の高度な制御、高精度な微細加工や材料開発等に大きな革新をもたらし、量子コンピュータ、量子ネットワーク、量子計測・センシング等の研究開発・実用化や、これらの部品・材料（量子チップや量子中継器等）や周辺半導体の製造など、量子技術を横断的に支える不可欠な重要な技術基盤であることから、戦略的な研究開発や人材育成も含む裾野の広い基礎研究の充実・強化を図っていく。

7. その他

本戦略目標の推進のためには、これまで蓄積してきた光科学・情報科学・材料科学に関する取り組みやプロジェクトの知見を最大限に活かすことに加え、電子技術・数理学・物理・化学等の各種科学技術や応用先となりえる環境・食料・モビリティ・医療・製造等に係る多岐にわたる研究分野間の連携が必要である。また、光デバイス・システムの作製、計測・分析、シミュレーション、プロトタイプを試作・検証が行えるような共通設備の活用が重要であり、例えば国立研究開発法人産業技術総合研究所「プラットフォームフォトニクス研究センター」・文

部科学省「マテリアル先端リサーチインフラ」等の先端設備の利用が想定される。

本戦略目標においては、光科学・情報科学・材料科学に関する戦略的創造研究推進事業（例えば、「最先端光科学技術を駆使した革新的基盤技術の創成」、「情報担体と新デバイス」、「新たな半導体デバイス構造に向けた低次元マテリアルの活用基盤技術」等）や、科学研究費助成事業（例えば、学術変革領域研究(A)「光の極限性能を生かすフォトリソグラフィの創成」等）との密接な連携により、新たな研究進展や成果創出の加速を促すことが望まれる。併せて、諸外国の動向等に応じて、国外の研究者との積極的な連携も期待される。