

# Society5.0を支える 革新的コンピューティング技術

2023年2月14日

CREST総括

東京大学 坂井修一

# 本日のアウトライン

---

---

- 背景： Society5.0の情報処理
- 戦略目標と採択方針
- 領域アドバイザーと課題採択まで
- 研究マネジメント
- 戦略目表達成へ
- まとめ
- 付録) 課題の概要



# 背景： Society5.0の情報処理

# 背景： Society5.0 = 超スマート社会



出典：内閣府ホームページ

([http://www8.cao.go.jp/cstp/society5\\_0/index.html](http://www8.cao.go.jp/cstp/society5_0/index.html))

- クラウド
  - 広域分散化されたビッグデータ
- フォグ
  - 実時間処理
- エッジ
  - センサ
  - アクチュエータ
- 基盤技術としてのAI、量子

⇒

- 個別的かつ総合的なサービス
- 曖昧・抽象的な問合せに時間内に対応
- メタバース

ウェアラブルデバイス、介護ロボット、スマートモビリティ、スマート工場、スマートプラント、スマートシティ、、、



# 戦略目標と採択方針

戦略目標 / 戦略目標の総括による具体化 / 採択方針

# 戦略目標（文部科学省） 2018.3.26

---

---

## 【戦略目標】

Society5.0を支える革新的コンピューティング技術の創出

## 【達成目標】

本戦略目標では、高速処理、低消費電力化、低コスト化等による情報システム全体の高効率化に向けて、従来性能を圧倒的に凌駕する新たなコンピューティングの基盤技術の研究開発を推進する。具体的には以下の達成を目指す。

- (1) 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
- (2) 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

# 達成目標（総括による具体化）

---

---

(1) 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

- 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

(2) 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

- ① 超スマート社会の基盤となる情報システム
- ② 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
- ③ 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

# 採択方針

## 必須項目（明確に述べられているか）

1. 提案する技術が何であるかブレークスルーの鍵は何か
2. これが超スマート社会の中でどのような役割を果たすか
3. 従来技術の延長ではなぜこれを果たせないか
4. 社会展開が具体的に示されていること
  - 研究期間全体5.5年間で達成する具体的な目標
  - 研究期間前半3年間で達成する具体的な目標
  - 研究が実装される時期と社会貢献のありかた
  - ロードマップ

- 計算原理に研究の主力を置く場合
  - 研究目標が達成されたときに開発されるシステムの具体的なイメージ
- システム技術を中心とする場合
  - 提案技術で目標が達成される理由
  - 性能・電力などの定量的な予測： **100倍以上**の性能電力比
  - 超スマート社会でのキラーアプリケーション
  - 提案技術がSociety5.0に向けてどのように開発・社会実装されていくかのロードマップ





# 領域アドバイザーと課題採択

領域アドバイザー / 応募件数・採択件数 / 採択課題一覧 / 採択課題のポートフォリオ

# 領域アドバイザー：領域のダイバーシティに応じた人選

氏名	所属	専門
井上 美智子	奈良先端科学技術大学院大学 情報科学研究科	ディペンダブル、テスト 設計
清水 徹	東洋大学 情報連携学部情報連携学科	OS、アーキテクチャ
住元 真司	東京大学 情報基盤センター (着任時 富士通株式会社)	ソフトウェア、HPCシス テム
谷 誠一郎	日本電信電話株式会社	量子コンピュータ、量子 計算
千葉 滋	東京大学 情報理工学系研究科	プログラミング言語
中川 八穂子	株式会社日立製作所	アーキテクチャ
西 直樹	株式会社理研鼎業企業共創部	システム L S I
伏見 信也	三菱電機株式会社	データベース、スマート社 会
堀尾 喜彦	東北大学 電気通信研究所	ブレインモルフィック
山名 早人	早稲田大学 理工学術院	ビッグデータ

# 応募件数 採択件数

---

---

採択年度	応募件数	書類選考 採択件数	面接選考 採択件数
2018年度	33	8	3
2019年度	28	12	5
合計	61	20	8

採択率： 13.1%

# 採択課題一覧

採択年度	研究代表者	所属・役職 (採択時 <sup>2</sup> )	研究課題	レイヤー	実装場所	実用化時期
2018年度	近藤 正章	慶應義塾大学 理工学部・教授 (東京大学 大学院情報理工学系 研究科・准教授)	エッジでの高効率なデータ 解析を実現するグラフ計算 基盤	アルゴリズム アーキテクチャ システムソフト アプリ	エッジ フォグ	現在～ 2030
	鈴木 秀幸	大阪大学 大学院情報科学研究科・教授	光ニューラルネットワーク の時空間ダイナミクスに基 づく計算基盤技術	原理 デバイス	フォグ クラウド	2050
	本村 真人	東京工業大学 科学技術創成研究院・教授	学習/数理モデルに基づく 時空間展開型アーキテク チャの創出と応用	原理 デバイス アーキテクチャ アプリ	フォグ クラウド	2040
2019年度	天野 英晴	慶應義塾大学 理工学部・教授	MEC用マルチノード統合 システムの開発	アーキテクチャ システムソフト アプリ	エッジ フォグ	2030
	井上 公	産業技術総合研究所 電子光基礎技術研究部門・ 上級主任研究員	スパイキングネットによる エッジでのリアルタイム学 習基盤	原理 デバイス アプリ	エッジ	2050
	佐藤 茂雄	東北大学 電気通信研究所・教授	スピンエッジコンピュー ティングハードウェア基盤	原理 デバイス	エッジ	2040
	戸川 望	早稲田大学 理工学術院・教授	地理空間情報を自在に操る イジング計算機の新展開	原理 アプリ	クラウド	2030
	本間 尚文	東北大学 電気通信研究所・教授	耐量子計算機性秘匿計算に 基づくセキュア情報処理基 盤	原理 アプリ	エッジ フォグ クラウド	2040

# 採択課題のポートフォリオ

	センサ/実時間処理	新原理/ 基盤システム	セキュリティ/ ディペンダビリティ
新たなコンピューティング技術	<p><b>近藤チーム</b> エッジグラフ処理</p>	<p><b>佐藤チーム</b> スピンエッジコンピューティング</p>	<p><b>鈴木チーム</b> 光ニューラルネットワーク</p> <p><b>井上チーム</b> スパイクングネット</p>
技術レイヤーの連携・協調による高効率コンピューティング技術	<p><b>天野チーム</b> マルチアクセスエッジコンピューティング</p>	<p><b>戸川チーム</b> イジング計算機</p>	<p><b>本間チーム</b> 暗号化状態コンピューティング</p>
			<p><b>本村チーム</b> 時空間展開型アーキテクチャ</p>



---

# 研究マネジメント

採択のポイントと総括からの要請 / 行事 / 論文 / アウトリーチ / 社会連携の例 /  
重点化・実証・国際強化 / チーム間連携

# 採択のポイントと総括からの要請(1/2)

---

---

- 採択にあたって
  - アドバイザーの評点 + 総括の評価 → 審議
  - 同じカテゴリーの場合は、総括の示した目標に沿うものを優先
- 各課題の評価ポイントと総括からの要請（2018年度）
  - 近藤チーム：エッジでの高効率なデータ解析を実現するグラフ計算基盤
    - 評価ポイント： エッジでの省エネ・実時間グラフ処理（電力性能比100倍）
    - 総括要請：（実世界で有効な）**実時間性の検証**
  - 鈴木チーム：光ニューラルネットワークの時空間ダイナミクスに基づく計算基盤技術
    - 評価ポイント： ニューラル + 光 = 新世代計算技術 で 新しい情報処理領域開拓
    - 総括要請： **システム研究者を追加**し、実証実験を行うこと → 橋本グループ
  - 本村チーム： 学習/数理モデルに基づく時空間展開型アーキテクチャの創出と応用
    - 評価ポイント： 時空間展開型の知能コンピュータアーキテクチャおよびソフトウェア基盤の確立
    - 総括要請： 基礎からシステムまでスペクトルが広いので、代表は**全体の統一感**を持たせるのに注力すること

# 採択のポイントと総括からの要請(2/2)

---

---

- 各課題の評価ポイントと総括からの要請（2019年度）
  - 天野チーム：MEC用マルチノード統合システムの開発
    - 評価ポイント：エッジコンピューティングにおける統合環境の構築
    - 総括からの要請：限られた**予算・人数**でできることに限界があるのではないか？
  - 井上チーム：スパイキングネットによるエッジでのリアルタイム学習基盤
    - 評価ポイント：スパイキングネットワークを物理的に構成し、アトラクタを用いて学習するエッジコンピューティング手法の開発
    - 総括からの要請：**キラーアプリの設定**（× じゃんけん → ○ 個人認証）
  - 佐藤チーム：スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤
    - 評価ポイント：スピントロニクス技術を用いた新たなメモリデバイスの創出
    - 総括からの要請：実用化に向けた**コンピュータアーキテクチャの視点**での検討
  - 戸川チーム：地理空間情報を自在に操るイジング計算機の新展開
    - 評価ポイント：量子計算理論を用いた新しい地理空間情報処理
    - 総括からの要請：**特定ハードウェアに依存しない理論の一般化** + Society5.0での**アプリケーションの拡大**
  - 本間チーム：耐量子計算機性秘匿計算に基づくセキュア情報処理基盤
    - 評価ポイント：ストカスティック演算と秘匿演算を融合させることによる耐量子情報処理の実現
    - 総括からの要請：**実装**による実証と**国際発信**



# 行事

---

---

- サイトビジット： 16回
  - 研究者による発表
  - 研究環境視察
  - 成果物・デモの展示
  - 総括・領域アドバイザーによる評価、討論
- 領域会議： 年1回、（2022年度までに）計5回
  - 研究代表者による発表・質疑応答
  - 総括・領域アドバイザーによる評価、アドバイス
- 公開シンポジウム： 2022年9月11日
  - 8研究代表による一般向けの報告
  - 招待後援者、招待パネリストによる評価
  - 一般社会に向けたアピールとフィードバック
- 学会イベントでのアウトリーチ： 10回
- プレスリリース： 10件
- 企業との連携事例

# 公開シンポジウム： 2022.9.11 (アーカイブ映像公開)

---

---

## ■ 招待講演

- 徳田 英幸(情報通信研究機構 理事長) Beyond 5GとCPSが拓く未来社会のかたち ～安全安心なSociety 5.0をめざして～

## ■ 研究代表発表

- 近藤 正章 エッジでの高効率なデータ解析を実現するグラフ計算基盤
- 鈴木 秀幸 光ニューラルネットワークの時空間ダイナミクスに基づく計算基盤技術
- 本村 真人 学習/数理モデルに基づく時空間展開型アーキテクチャの創出と応用
- 天野 英晴 MEC用マルチノード統合システムの開発
- 井上 公 スパイキングネットによるエッジでのリアルタイム学習基盤
- 佐藤 茂雄 スピンエッジコンピューティングハードウェア基盤
- 戸川 望 地理空間情報を自在に操るイジング計算機の新展開
- 本間 尚文 耐量子計算機性秘匿計算に基づくセキュア情報処理基盤

## ■ パネルディスカッション Society 5.0を支えるコンピューティング技術とは何か？

- モデレータ: 中川 八穂子 (領域アドバイザー)
- 研究代表者 8名
- 井上 弘士 (九州大学 大学院システム情報科学研究所 教授)
- 加藤 真平 (東京大学 大学院情報理工学系研究科 准教授)

# 公開シンポジウム補足



公開シンポジウム配信会場の様子

新型コロナ対策のため、聴衆は完全オンライン配信会場でも、席を離すなどしている

公開シンポジウム「Society 5.0を支える革新的コンピューティング技術」のウェブサイトスクリーンショット。JSTとCRESTのロゴが上部に見え、イベントのタイトルと開催日時（2022年9月11日）が記載されています。また、「アーカイブ動画公開中」という告知も含まれています。

開始	終了	講演者(敬称略)/ 機関
9:25	9:30	【甲府県よりご講演】
9:30	9:40	開会のご挨拶
9:40	10:20	新講演 講演: 坂井 修一(研究総括/東京大学 副学長・大学院情報理工学系研究科教授) (40分) <a href="#">Society 5.0と「PSI」から社会の未来へ</a>
10:20	10:30	休憩
10:30	12:00	セッション1 2018年度採択講演 講演: 西 潤康(筑波大学 工学部 教授) (30分) <a href="#">Society 5.0を支える革新的コンピューティング技術</a>

当日の講演・パネルディスカッション動画をJSTのシンポジウム ウェブサイト上でアーカイブ公開

# 論文件数

		論文		特許出願		口頭発表	
採択年度	研究代表者	国内	国際	国内	海外	国内	国際
2018年度	近藤 正章	6	26	1	0	28(18)	14(8)
	鈴木 秀幸	0	20	1	1	15(2)	10(1)
	本村 真人	1	40	3	0	68(23)	37(26)
2019年度	天野 英晴	3	74	0	0	60(24)	37(9)
	井上 公	1	11	1	0	24(14)	10(4)
	佐藤 茂雄	2	44	2	0	61(30)	53(37)
	戸川 望	0	12	1	0	21(4)	5(0)
	本間 尚文	0	25	1	1	36(7)	3(3)
研究領域全体		13	252	10	2	313(122)	169(88)

- ・ 研究課題中間評価時点
- ・ 論文数の研究領域合計は、研究課題間の共著論文があるために各年度の単純合計とは一致しない
- ・ 特許出願数は研究者からの報告によるもので、公開前の出願も含まれる
- ・ 招待講演数は括弧で口頭発表数の内数として記載

# アウトリーチ活動・イベント

イベント名/シンポジウム名	日時	場所	入場者数	特記事項
FIT イベント企画「革新的コンピューティング」 (領域アナウンス/紹介)	2018/9/18	福岡工業大学	-	坂井総括・本村PI 講演
MICRO51 ブース設置 (CREST/さきがけ紹介)	2018/10/22-24	福岡 グランドハイ アット	-	
ISPJ連続セミナー 第5回：人工知能時代のコン ピューティング基盤 (CREST/さきがけ紹介)	2018/11/27 10:00～16:45	一橋大学	-	本村PI講演
情報処理学会全国大会 ブース設置 (CREST/さきがけ紹介)	2019/3/14-16	福岡大学	-	
電子情報通信学会ソサイエティ大会 (CREST紹介)	2019/9/11	大阪大学	-	坂井総括特別講演
JST CRDS コンピュータアーキテクチャ俯瞰ワー クショップ(非公開) (CREST/さきがけ紹介・報告)	2021/5/31	オンライン	-	坂井総括による CREST報告
FIT2021 イベント企画「 Society5.0を支える革 新的コンピューティング技術」 (CREST/さきがけ紹介・報告)	2021/8/27 9:30-12:00	オンライン	約40	坂井総括、近藤PI、 本村PI、天野PI、 本間PIによる講演
CEATEC2021/JST(CREST「コンピューティング 基盤」) (オンライン展示会への出展)	2021/10/19- 10/22	オンライン	603	本村PI/天野PIの連 携での出展
豊田工業大学開学40周年記念 第1回スマート情 報技術研究センターシンポジウム /第17回ジョイ ントCSセミナー (CREST紹介・報告)	2021/11/11 9:00-12:00	オンライン	-	坂井総括による講 演
Society5.0を支える革新的コンピューティング技 術 公開シンポジウム (領域単独のシンポジウム)	2022/9/11 9:25-18:00	ハイブリッド (講演・パネル討議を 会場から配信し、聴 講者はオンライン)	約80	並行してオンライ ンのポスターセッ ションも開催

# プレスリリースの一覧

(JSTとの共同発表に限らず、研究機関単独での発表も含む)

日付・機関	チーム	グループ	タイトル
2020年2月18日 東京工業大学	本村	本村	組合せ最適化問題を高速に解く新しいアニーリングマシンを開発 世界初の全結合型アニーリングプロセッサLSIで高いエネルギー効率を実現
2021年3月29日 ゼンリンデータコム	戸川	高山	ゼンリンデータコムの「いつもNAVIラボサイト」で、東芝のシミュレーテッド 分岐マシンを活用して 最適なルートを提案する“旅程最適化サイト”を無償公開
2021年3月18日 東北大学/JST	佐藤	深見	スピントロニクス疑似量子ビットを従来比100倍超に高速化 ～エントロピーを用いた磁化のブラウン運動の 新しい理解に基づき演算速度の向上に道筋～
2021年11月30日 東北大学/JST	佐藤	深見	スピントロニクスで脳型コンピュータ向け新素子を開発 ～ニューロンとシナプスの機能を一体化～
2022年2月2日 東北大学	本間	本間	量子コンピュータにも耐性を持つ次世代暗号 を安全に実現する技術を開発・実証
2022年4月1日 東北大学/JST	佐藤	羽生	大規模な組み合わせ最適化問題を解く確率的計算技術を開発 ～解収束時間を3桁以上低減し実時間で社会還元できる道を開く～
2022年5月30日 早稲田大学/JST	戸川	戸川	イジング計算機で組み合わせ最適化問題の「真の最適解」を高精度に探索～局所 最適解から効率よく脱出する技術を開発～
2022年12月7日 東北大学	佐藤	深見	確率動作スピン素子と半導体回路を用いた高性能・省電力「P」コンピューター を実証 ～機械学習や組合せ最適化に適した高い演算性能と電力効率が明らかに～
2023年1月26日 早稲田大学/JST	戸川	戸川	制約を持つ組み合わせ最適化問題をイジング計算機で効率的かつ高精度に解くた めの新たな手法を開発 ～変数の個数を削減し性能向上、ソフトウェアへの応用に期待～
2023年2月X日	本村	本村	発表準備中

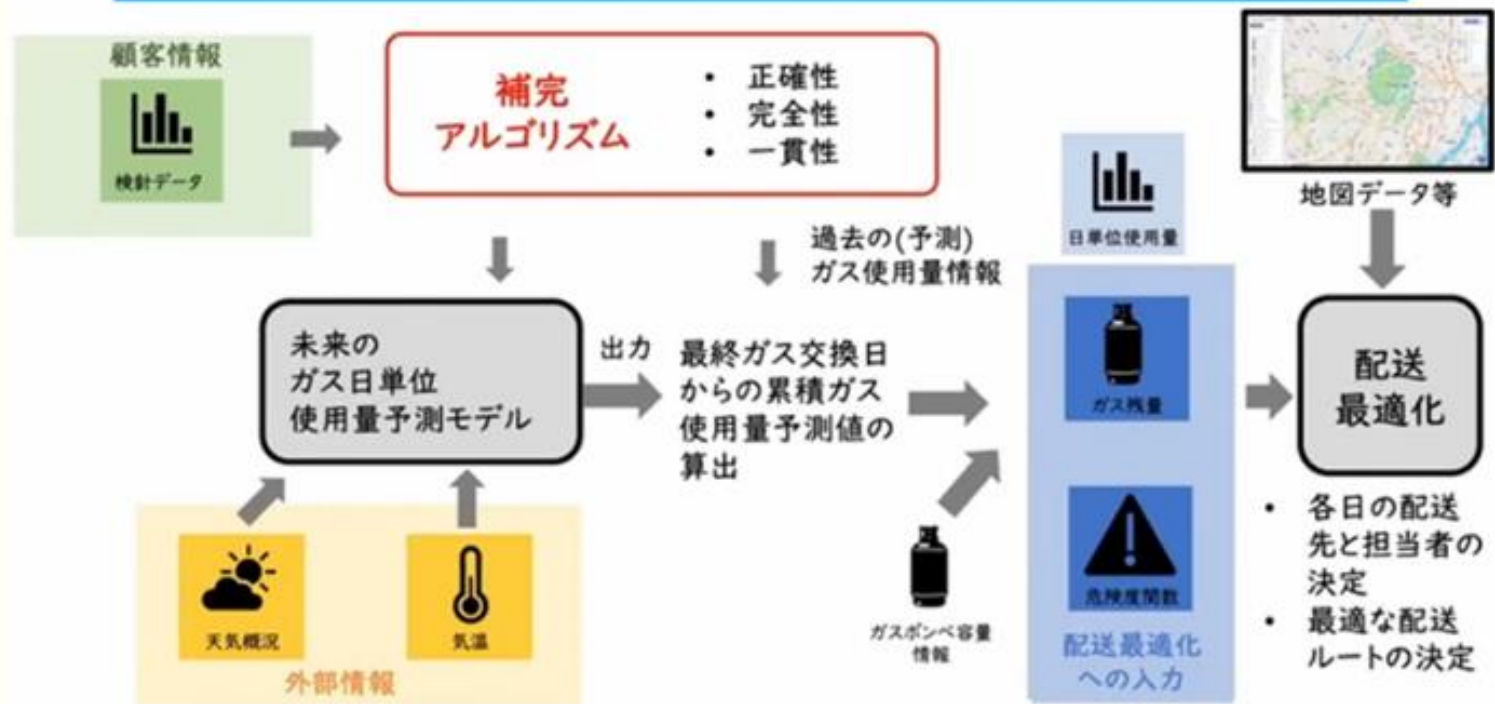
# 成果の社会実装へ向けて

チーム	技術移転先など	内容
近藤	富士通株式会社	グラフ処理・疎行列処理向けアクセラレータ機構
	ヤフー株式会社(Yahoo! Japan)	Webアクセス履歴によるユーザの潜在的興味度判定
	パナソニック株式会社 & ロート製薬株式会社	工場のCPS化
	NTTコンピュータ & データサイエンス研究所	コヒーレントイジングマシンの性能評価
	ソフトバンク株式会社	LPガス容器の配送最適化
	理化学研究所 & 株式会社フィックスターズ	Graph500ベンチマーキング最適化
	OpenStreet株式会社	バイクシェアリングにおける再配置最適化
	ソフトバンク株式会社 & 株式会社豆蔵	データ格付サービス
	ドイツ国立研究所 ZIB	格子暗号の安全性を検証する最短ベクトル問題に対する解読
鈴木	ドレスト光子研究起点	量子ドットネットワーク内部におけるエネルギー伝搬の様相に関する量子ウォークモデルの適用
本村	株式会社日立製作所	プログラミングコンテスト 社会応用
天野	株式会社PALTEK	M-Kubos ボード販売
戸川	株式会社ゼンリンデータコム	地理空間情報アプリ
本間	NTT社会情報研究所	耐量子計算機性暗号の耐タンパー化手法の研究開発で連携

これら以外にも、企業等との連携で非公開の案件あり

# 公開の連携事例（1）

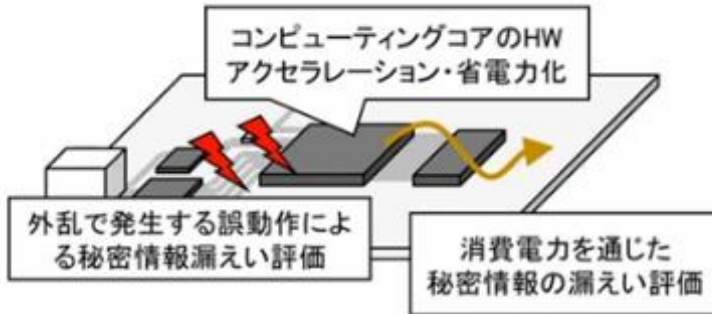
## LP ガス配送サービス：現在のアルゴリズムとサービス



近藤チーム（藤沢グループ）の企業連携：ソフトバンクLPガス



# 公開の連携事例 (2)



## 開発ボードの特長

- ✓ PQCを含む秘匿計算を搭載可能
  - 多倍長演算を多数実装可能
- ✓ 各種物理攻撃評価可能
  - 電力解析攻撃評価
  - フォールトインジェクション攻撃評価
- ✓ 解析・評価インターフェース搭載



開発した評価ボード(第2版)

国際会議(IEEE EMC2022)にて  
特別セッションを企画・実施

本間チームのセキュリティ評価ボード

# 総括による指導： 重点化・実証・国際強化・チーム間連携

---

---

## ■ 課題重点化

- 本村チーム： 新コンピューティングモデルのシステム基盤作り
- 天野チーム： 実時間エッジコンピューティングのシステム基盤作り

## ■ 実証

- 佐藤チーム： スピントロニクス素子によるエッジコンピューティング用AI HWの事業化
- 本間チーム： プラットフォーム作成による秘匿計算の有効性検証

## ■ 国際強化

- 佐藤チーム： 欧州研究機関 {からの招聘／への派遣}
- 鈴木チーム： 米国研究機関への派遣

## ■ 課題内の重点化

- 井上チーム： （現在検討中： デバイスと応用の時定数ギャップ）

## ■ コロナ感染に関する追加的研究

- 近藤チーム、戸川チーム

## ■ チーム間連携

- 天野チームと近藤チーム： エッジコンピューティング基盤の上での実時間処理
- 本村チームと戸川チーム： 本村プラットフォーム上の戸川イジング処理



---

# 戦略目標達成へ

達成目標 / 戦略目表達成へ / 領域全体へのフィードバック

## (1) 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

- 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

## (2) 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

- ① 超スマート社会の基盤となる情報システム
- ② 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
- ③ 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

# 戦略目標達成の現状

## (1) 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

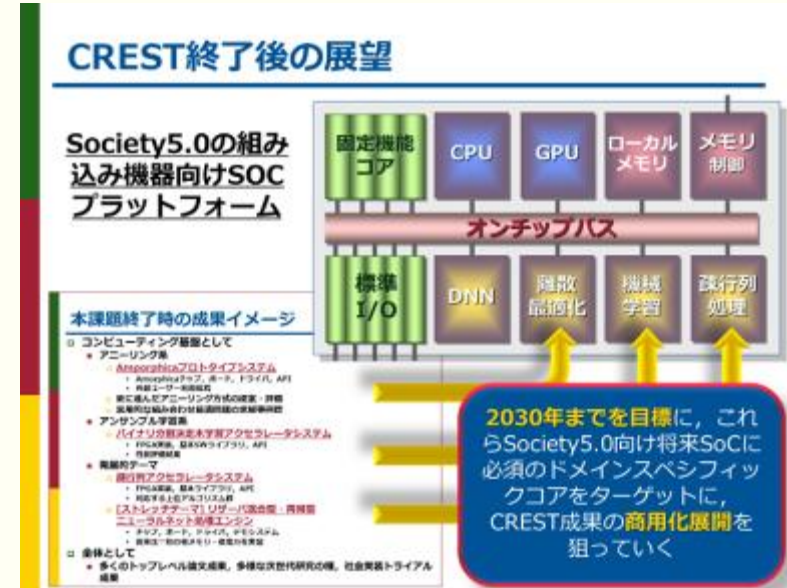
- ① 新しい計算原理とその実現 → ◎ (鈴木、井上、佐藤、戸川)
- ② 安全・安心のための新原理とその実現 → ○ (本間)
- ③ センサからの多様かつ大量のデータを実時間処理するための基盤技術 → ○ (近藤)

## (2) 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

- ① 超スマート社会の基盤となる情報システム → ◎ (本村、天野)
- ② 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 → ○ (本間)
- ③ 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 → ◎ (天野)

# 領域全体へのフィードバック： Society5.0の情報処理基盤

- Turing Model と 物理現象活用 の融合 による  
新しい計算インフラ
  - 新計算モデルのフィージビリティ (鈴木T, 佐藤T, 井上T)
  - 量子コンピュータと計数型コンピュータ の最適な融合 (本村T)
  - NP問題への挑戦 (戸川T)
- エッジ、フォグでの高度な実時間処理
  - グラフ処理などの実時間化 (近藤T)
  - ネットワーク処理との融合 (天野T)
- 耐量子計算： 準同形暗号の実用化 (本間T)



本村Tの成果イメージ

本CRESTの成果によって、Society5.0の情報処理基盤の具体像が見えつつある



---

---

# まとめ

まとめ / 展望と課題

# まとめ

---

---

- 研究進捗・成果： 各課題ほぼ順調
  - 深化を課した課題： 鈴木T、佐藤T
  - 拡大を課した課題： 天野T、戸川T
  - さらなる実証を課した課題： 近藤T、本村T、天野T、本間T
  - 重点化を課した題： 井上T
- 行事、発表、アウトリーチ
  - サイトビジット、領域会議、公開シンポジウム
  - 論文発表、学会等イベント
  - プレスリリース
  - アウトリーチ： 企業との共同研究開発への展開
- 戦略目標達成に向けて
  - 目標達成の現状
  - 領域全体へのフィードバック： Soceity5.0の情報基盤



# 展望と課題

---

---

## ■ CREST後半

- 各課題の目標達成、デモ・展示
- チーム間連携
- 国際シンポジウム： 2024年度(最終年度)予定
  - 成果発表
  - 総合的知見の披露
- 新計算原理～情報基盤構築への見通し（総合的な知見）
  - システムとしての展望
- 実時間処理の可能性（アプリの領域の拡大）

## ■ 中長期

- 国際協力
  - 共同研究
  - イベント
- 社会展開
  - 共同研究
  - A-STEP
  - 起業： 特に若手研究者
- 文理融合型研究開発
  - モビリティ
  - セキュリティ

→ 法律、経済、マネジメント、国際関係論、社会心理などとの融合



---

# 付録 各課題の概要

---

研究代表者: 近藤 正章 (慶應義塾大学 教授)

主たる共同研究者: 藤澤 克樹 (九州大学)、石原 亨 (名古屋大学)

戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

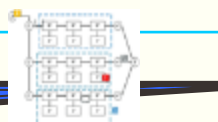
背景: エッジで生成される**大量の時空間グラフデータ構造の解析**需要の増大

目的: エッジでのグラフ処理の**高速・省電力化** / Society5.0アプリの**社会実装**

提案: **エッジ指向高効率グラフ処理基盤 (HW/SW) の開発**

企業連携による Society5.0 関連の**実アプリでのコデザイン**と**社会展開**

応用領域: CPSモビリティ(ヒト・モノ・情報の移動)最適化

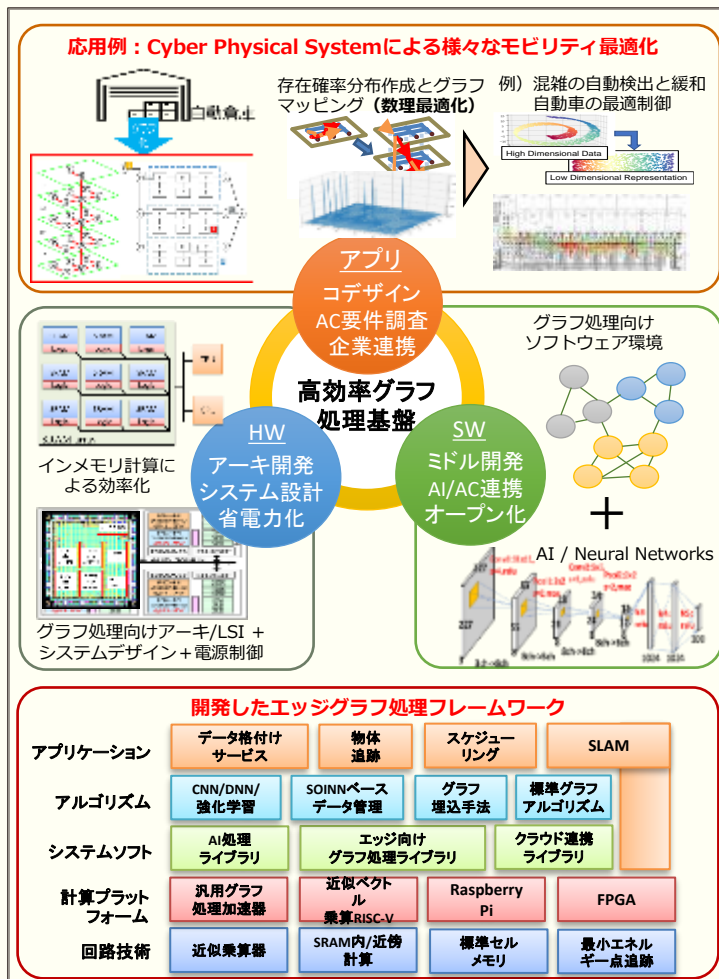


## 研究成果とインパクト

- HW化によりSLAM応用ではSW版に比べて**100倍超のエネルギー効率達成**
- 開発エッジグラフ処理ライブラリは**少中規模データでほぼ最速**(ラズパイ上)
- すでに**社会実装済み・ビジネス化に成功**した応用例も多数あり  
(スマート工場配送最適化、データ格付サービス、LPガス配送最適化など)

## 今後の展開等

- 開発した**ソフトウェア資産**はできる限り**オープン化**して社会展開へ
- 研究成果の社会実装を目的とした**大学間・企業間連携の場を創設**予定
  - CPS技術の活用シーズを持つ**研究者と企業間のマッチング**
  - 将来的な社会展開を目指して**開発ハードウェアIPはここでPoCを実施**
- さらなる進化を目指しエッジ・クラウドを協調させたフレームワークへ



研究代表者: 鈴木 秀幸 (大阪大学大学院情報科学研究科 教授)

主たる共同研究者: 谷田 純 (大阪大学大学院情報科学研究科)、橋本 昌宜 (京都大学大学院情報学研究科)

戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

最先端のニューラルネットワーク計算技術と光計算技術を組み合わせることにより、新世代の光ニューラルネットワーク計算技術を開発することを目的としている。時空間ダイナミクスの観点から、光実装の特性を考慮したリカレントニューラルネットワークモデルを構築して、新しい光ニューラルネットワーク計算原理を提案するとともに、光ニューラルネットワークのハードウェア実装を提案する。

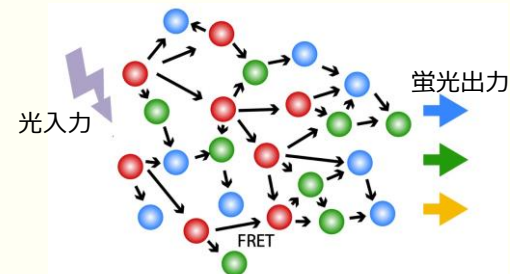
## 研究成果とインパクト

- 世界初のFRET現象による量子ドット(QD)ネットワークを用いたリザバー計算
- 深層学習とリザバー計算の融合によるHidden-fold networkの提案 (メモリ効率約30倍のニューラルネットワークモデル)
- 空間光イジングマシンの拡張により適用可能な最適化問題を飛躍的に拡大

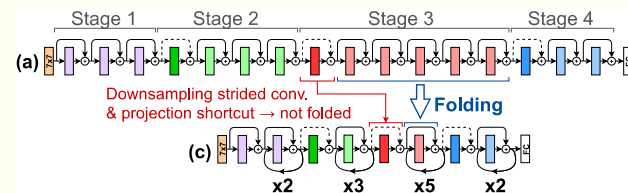
## 今後の展開等

FRET/QDネットワーク、リザバー計算、空間光イジングマシンに関して、物理実装を提案するとともに、数理モデル・数理手法・ソフトウェアの公開を進め、光ニューラルネットワーク計算基盤技術の書籍を発行することにより、学術・産業界に広く研究成果をアピールする。

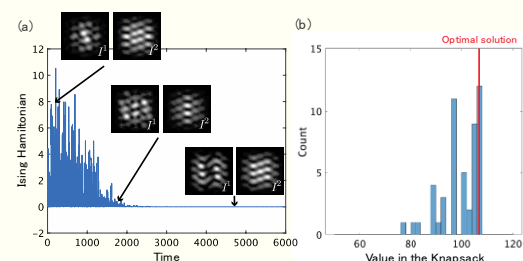
## ■ ナノスケールFRET/QDネットワーク



## ■ Hidden-fold networkの提案



## ■ 空間光イジングマシンの拡張



研究代表者: 本村 真人(東京大学 教授) 主たる共同研究者: 坂井 哲(北海道大学)、中村 篤祥(北海道大学)、湊 真一(京都大学)  
 戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

本課題では、アンサンブル機械学習分野とアニーリング最適化分野の研究を並行して進めるとともに、分野間を横断するアルゴリズム-アーキテクチャ技術の探索を進めてきている。アンサンブル機械学習分野では、推論処理の高速化や高信頼化に向けた各種アルゴリズム研究と、それを踏まえたハードウェア研究を並行して進め、各種国際会議で多数発表した。アニーリング分野では、従来のシミュレーテッドアニーリングにおける逐次処理コンセプトを覆し、並列にエネルギー最小化計算を行うことができる画期的な確率的セルラーオートマトン(SCA)を提案してその基本原理を数学的に解明しつつある。

## 研究成果とインパクト

<優れた基礎研究としての成果>

- ・整数計画法を用いた説明可能機械学習のための反実仮想説明の生成手法と因果推定を用いたその拡張手法を開発した。日本経済新聞や各種メディア等で報道されるなど社会的関心を集めた。
- ・シミュレーテッドアニーリングに対し、拘束項を導入することで逐次性の呪縛を破り並列スピン更新を可能とした確率的セルラーオートマトン(SCA)の数理モデルを提案し、その基本的な挙動や収束性の数学的な解明を進めた。

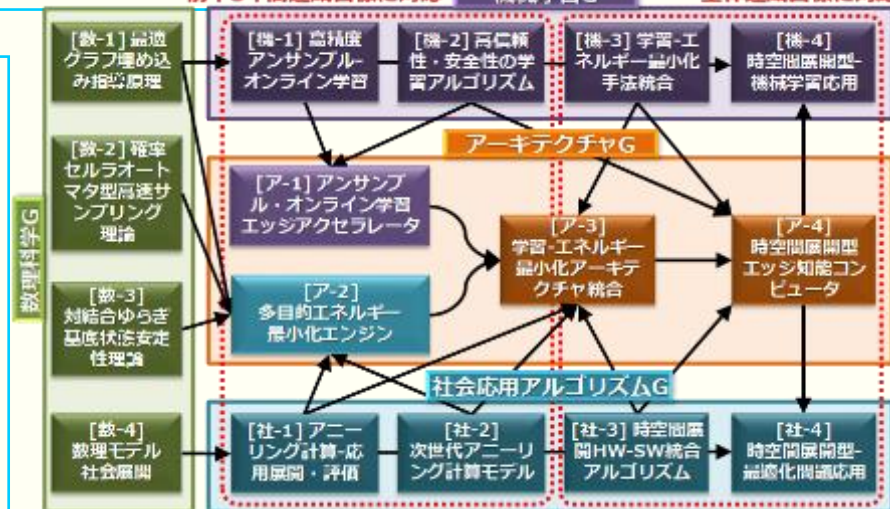
<科学技術イノベーションに大きく寄与する成果>

- ・超低メモリアクセスかつ高精度な決定木アンサンブル手法として、既存技術と比べてメモリアクセス回数を約1/20に減らすことが可能なExtraFernsを提案した。今後新たなアンサンブル機械学習技術のトレンドを構築できる可能性を秘めている。
- ・SCAの数理モデルに基づく全並列スピン更新アーキテクチャを考案し、STATICICAチップとしてハードウェア実現した。ISSCC2020で発表・デモを行い組合せ最適化問題の新たなソルバエンジンとして大きな注目を集めている。

## 今後の展開等

- ・本CREST領域の戸川教授(早稲田)の「地理空間情報を自在に操るイジング計算機の新展開」チームと多面的なアニーリング最適化処理の連携を行っている。
- ・アニーリング最適化に関しては、本プロジェクトで提案したSCA技術を、国内の主要なアニーリング技術の関係チーム(企業及び大学)5者以上に既に紹介し、今後の協業の道筋をつけている。
- ・アーキテクチャGrメンバーの高前田准教授(東大)の提案が「信頼されるAIシステムを支える基盤技術」領域に採択された。今後連携して、同分野でのアルゴリズム-アーキテクチャ協創型の研究を進めていく予定である。
- ・社会応用アルゴリズムGrリーダーの湊教授(京大)の科研費・学術変革(A)「アルゴリズム基盤」がスタートし、一部の社会応用アルゴリズムGrメンバーが双方に参加。こちらともアルゴリズム-アーキテクチャ連携が始まっている。
- ・アーキテクチャGr中核メンバーの劉准教授は、鈴木教授(阪大)の「光ニューラルネットワークの時空間ダイナミクスに基づく計算基盤技術」メンバーでもあり劉准教授を介して相互創発的な研究を進めることができている。

前半3年間達成目標に対応 機械学習G 全体達成目標に対応



# JST MEC用マルチノード統合システムの開発

研究代表者: 天野 英晴 (慶應義塾大学 教授)

主たる共同研究者: 飯田 全広 (熊本大学)、菅谷みどり (芝浦工業大学)、西宏章 (慶應義塾大学)、若林一敏 (東京大学)

戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

ロボット制御、工場のキャリアのスケジュール、スマートシティの交通制御などの準リアルタイム処理、個人情報の匿名化を、クラウドまでネットワークを介して情報を上げることなしに5G基地局に装備した計算環境で実行するMEC (Multi-Edge access Computing) が注目されている。このMEC用システムをアプリケーション、システムソフトウェア、設計用CAD、ハードウェアプラットフォーム、専用ASICの垂直統合で実現し、Society5.0の実現に貢献する。

## 研究成果とインパクト

Crust-Core型と呼ばれるアーキテクチャを当初はFPGAクラスタで実現し、さらに専用のASICを開発することで、通常のPCを利用するのに比べて100倍以上のエネルギー効率を実現する。アプリケーション、システムソフトウェア、CADの各レイヤにおいてそれぞれ実社会で利用可能なソフトウェア、ツールを開発している。すでにFPGAボードの製品化に成功している。

## 今後の展開等

- プロジェクトの成果を拡張した分散MECシステムは、NICT Beyond 5G研究開発促進事業の一部として採択され、2022年10月より実施されている。
- 本研究で開発中のマルチFPGA用高位合成ツールは、NECの設計ツールCyberで利用される予定である。
- 本研究で開発中のASIC内の組み込みFPGAは、不揮発技術を取り入れ商品化を計画している。



研究代表者: 井上 公 (産業技術総合研究所 上級主任研究員 / 筑波大学大学院 教授)  
 主たる共同研究者 藤原寛太郎 (東大IRCN)、飯塚哲也 (東大工)、堀田育志 (兵庫県立大工)、矢嶋赳彬 (九大工)  
 戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

Society5.0の重要課題「人間が人間らしく生きられる情報社会の構築」には「人に寄り添うデバイス」が必須。プライバシーを守ってリアルタイムに低消費電力で学習と推論を行うエッジデバイスです。実現の鍵はスパイキングニューラルネットでのリザーバ計算。長い時定数の人工ニューロンを機能性物質とアナログCMOS回路で開発しリザーバ回路を構築します。コンセプトの正当性は筆跡認証のデモで実証。さらに深層学習など使わずに、アトラクタを用いて隠れた決定論性を抽出する方法も確立します。

## 研究成果とインパクト

FPGAによる概念実証デモで筆跡の癖を読み取り本人認証に成功。計算機シミュレーションでは深層学習のわずか1.4%の時間で認証できた。アナログCMOS回路による人工ニューロンは、FPGAのデジタルニューロンのおよそ10%の消費電力。機能性素子も5個でリザーバ構築に成功。リアルタイム+低消費電力実現に前進。アトラクタ生成はまず豚の心拍で成功。

## 今後の展開等

JST他事業や科研費等、基礎研究系の大型グラントの獲得を目指す。将来の展開に備えて、基礎研究部分はさらに充実させなければならない。  
 [SEP]「時間情報を用いたアナログCMOSニューロン」は特許申請した。製品開発を視野に入れ知財を充実させ、企業との共同研究の道を探りたい。  
 共同研究は拒まない。新しいアイデアや技術との交流を積極的に行う。

**人に寄り添うデバイスに必要なのは**  
 ネットやクラウド 低消費電力  
 使わずその場で

**素子は生体のニューロン/シナプスを模倣**  
 →非常に長い時定数のリーク積分素子

**機能性物質** で模倣

**アナログCMOS回路** で模倣

**回路はSNNのリザーバ+RLS**

**アトラクタも導入へ**

**FPGAでコンセプト実証**

**筆跡認証に成功**

研究代表者： 佐藤 茂雄（東北大学電気通信研究所 教授）

主たる共同研究者 羽生 貴弘（東北大学電気通信研究所）、深見 俊輔（東北大学電気通信研究所）

戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

Society5.0の実現に向けて、エッジコンピューティングシステムに求められる低消費電力性や常時学習機能などの要件を満たすために、不揮発アナログ記憶機能や豊富なダイナミクスを有するスピントロニクスデバイスと、それらを最大限に活用するアナ・デジCMOS集積回路や最適化アーキテクチャを追究し新しいAIハードウェアの原理実証ならびにシステム応用を行う。

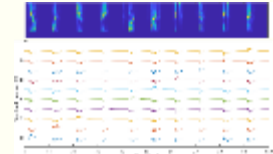
## 研究成果とインパクト

アナログ集積回路による**超低消費電力リザバー計算**、**ストカスティックコンピューティングを利用した超高速アニーリング**、**スピン素子を用いた学習機能内蔵ボルツマンマシン**など、実応用で求められる高性能化や高機能化を可能とするハードウェア基盤技術を構築している。

## 今後の展開等

- ・超低消費電力リザバー計算ハードウェアの実用化（産学連携、佐藤）
- ・スピン集積回路設計ツールの整備（NEDOプロジェクト、「CMOS/スピントロニクス融合技術によるAI処理半導体の設計効率化と実証、及び、その応用技術に関する研究開発」、羽生）
- ・半導体集積回路技術との融合研究（東北大 スピントロニクス融合半導体創出拠点、深見）

### アナログ集積回路による超低消費電力リザバー計算



音声認識課題においてスパイクニューラルネットワークの超低電力性（約40 TOPS/W）を実証

### ストカスティックコンピューティングを利用した超高速アニーリング

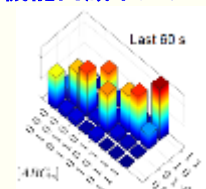
	SC-SA	CIM	SB	STATICA
Avg.	33,262	32,459	32,768	33,073
Max	33,337	33,191	N/A	N/A

Best known maximum value: 33,337

大規模Max-cut問題（K2000）の高速化とそのカット値の最高値の求解に成功

K. Katsuki, et al., Proc. 29th IEEE ICECS, Oct. (2022).

### スピン素子を用いた学習機能内蔵ボルツマンマシン



全加算器の入出力関係を学習

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を実証

J. Kaiser et al., Phys. Rev. Appl. 17, 014016 (2022) Editor's Suggestion



研究代表者: 戸川 望 (早稲田大学・教授)

主たる共同研究者: 高山 敏典 (ゼンリンデータコム)

戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

本研究はSociety5.0の実現に不可欠な「地理空間情報処理」の高度化に焦点をあて、ノイマン型コンピューティング技術によるプログラムパラダイムを抜本的に変革、地理空間情報処理向けイジングプログラミングを確立する。地理空間情報処理問題をイジング模型にマッピング、実イジング計算機により解法する。これまでの成果として、旅程最適化や最適配置APIの構築など、世界に先駆けて実地理空間情報処理をイジング計算機により解法することに成功している。

## 研究成果とインパクト

イジングプログラミングの確立、実地理空間情報処理のイジング計算機による解法に向け、以下の成果を上げている:

- 実地理空間情報処理問題に対して、1桁~2桁程度処理時間を高速化したイジング計算の確立
- 旅程最適化や最適配置APIの構築など、世界に先駆けて実地理空間情報処理をイジング計算機により解法

## 今後の展開等

- 領域内他グループと連携して、アプリケーションレイヤから「イジング計算機アーキテクチャを最適化
- 複数の知財出願を行い、産業化を促進、事業化を目指す



研究代表者: 本間 尚文 (東北大学 教授)

主たる共同研究者: 林 優一 (奈良先端科学技術大学院大学)、橋本 昌宜 (京都大学)、佐藤 高史 (京都大学)

戦略的創造研究推進事業 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

## 研究概要

本研究では、耐量子計算機性暗号に基づく秘匿計算を極めて高速・高効率かつ頑健に実行可能とするセキュア情報処理基盤技術の理論構築とそれを集積化したセキュア秘匿計算プラットフォームの開発を目的とします。また、当該プラットフォームが拓く新たな応用として、確率的秘匿計算に基づく高速秘匿情報処理や機械学習の入出力とモデルを秘匿する高効率秘匿推論、さらに入出力とプログラムの両方を秘匿する秘匿汎用プロセッシング技術を創出します。

## 研究成果とインパクト

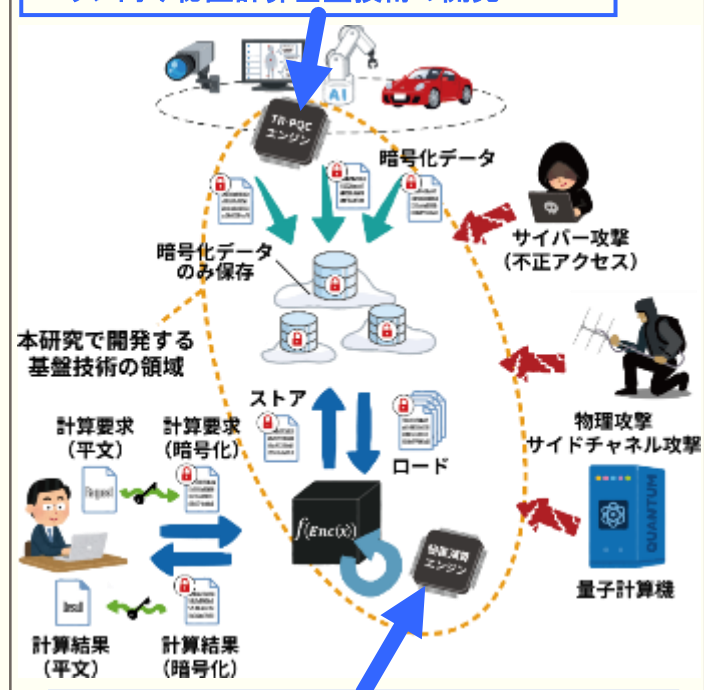
- ① 従来比2桁の計算時間削減を達成する確率的暗号化状態処理理論の構築
- ② 世界初の耐量子計算機性暗号SW/HW設計・評価プラットフォームの開発
- ③ 第三者による計算委託の安全性を大幅に高める秘匿推論技術の開発
- ④ 入出力とプログラムの保護を両立する秘匿汎用プロセッシング技術の開拓

## 今後の展開等

- ・開発した確率的暗号化状態処理の特許ライセンス供与による技術移転
- ・設計・評価プラットフォームを中心とした国際的連携研究ネットワークの形成
- ・高安全な実装技術の開発による耐量子計算機暗号の国際標準化への貢献
- ・秘匿汎用プロセッシング技術のOSSライブラリ公開による展開研究の促進
- ・高効率・高安全な秘匿推論を基盤とする新たなAIセキュリティ技術の開拓

サイバー攻撃・物理攻撃・量子計算機への耐性を兼ね備えたセキュア情報処理技術の開拓

耐量子計算機性(PQC)・耐タンパー性(TR) エッジ向け秘匿計算基盤技術の開発



データとデータ構造(プログラム)の保護を両立するクラウド向け秘匿計算基盤技術の開発