

今後の情報科学技術分野に関する研究開発課題の方向性

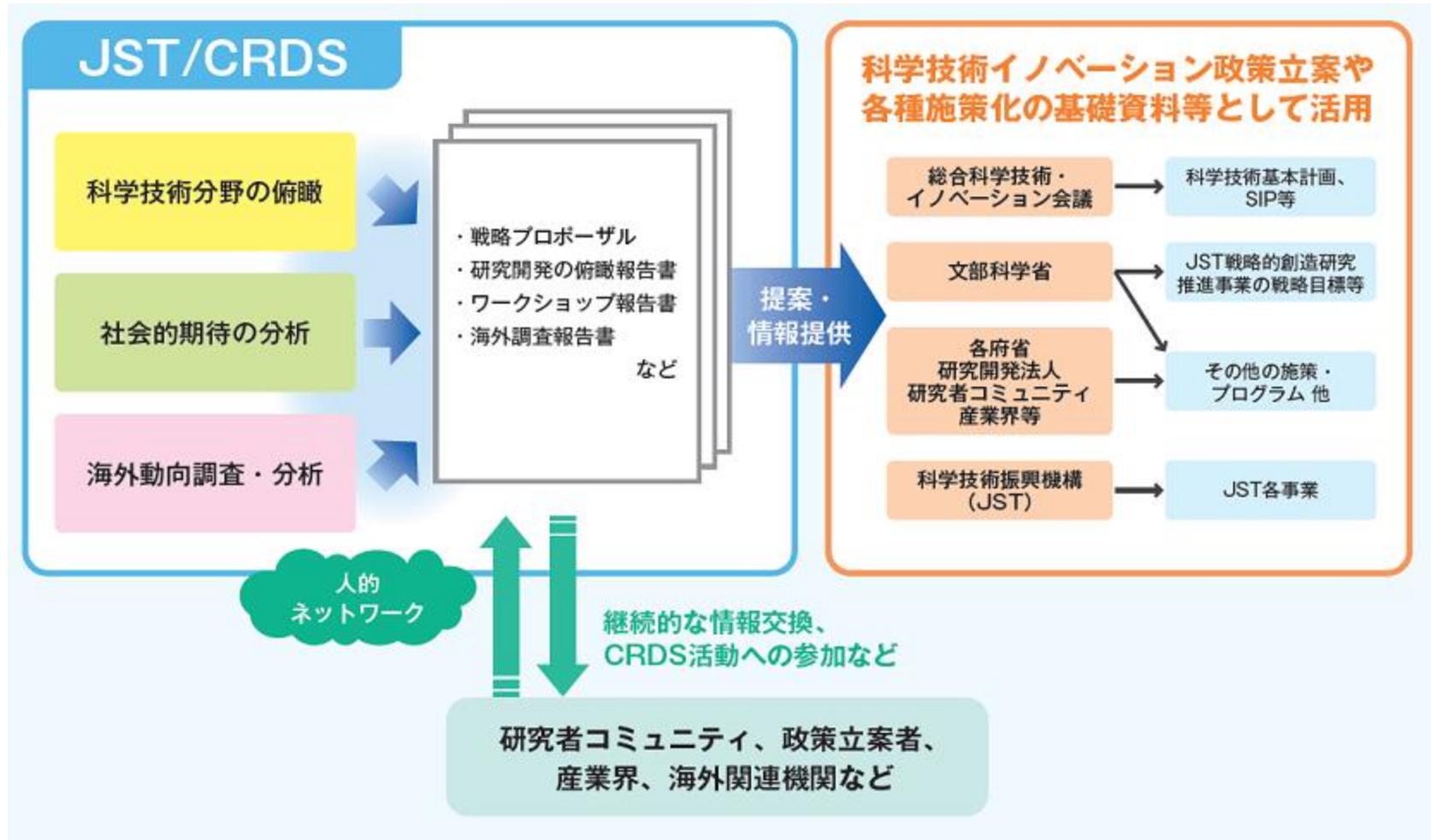
CRDSが注目する研究開発動向

CRDS システム・情報科学技術ユニット



俯瞰報告書・戦略プロポーザル

「戦略プロポーザル」「俯瞰報告書」などとして提案・情報提供

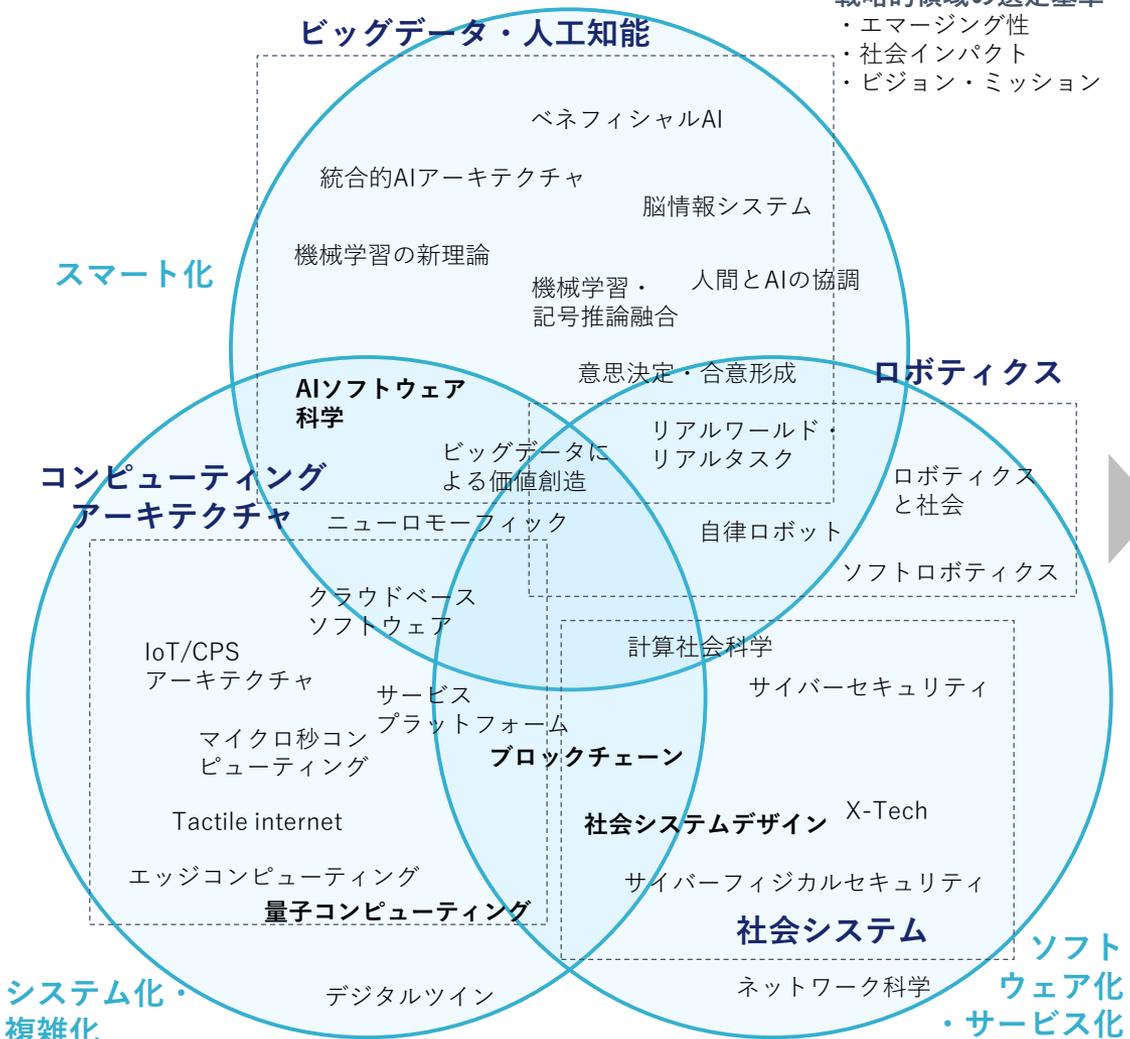


推進すべき重要テーマ

戦略的研究開発領域の俯瞰から、国が推進すべき重要テーマを抽出

戦略的領域の選定基準

- ・エマージング性
- ・社会インパクト
- ・ビジョン・ミッション



革新的コンピューティング
(→H30戦略目標)

意思決定・合意形成

AIソフトウェア科学

社会システムデザイン

ブロックチェーン

量子コンピューティング

計算社会科学

ベネフィシャルAI

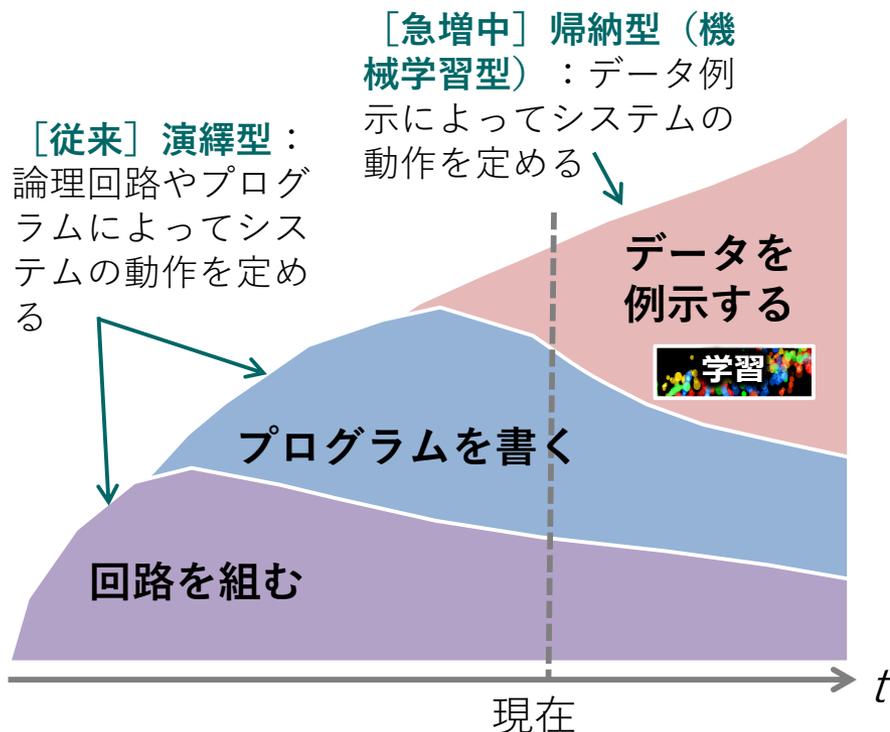
脳情報システム

ソフトロボティクス

IoT+ブロックチェーン

システム開発のパラダイム転換

- 第3次AIブームを機械学習が牽引、**機械学習技術は様々なシステムに埋め込まれ**、実社会での応用・実用化を急速拡大
- 機械学習型システム開発は従来型と異なる帰納的アプローチであり、システム開発の**パラダイム転換が起きている**



特に実世界との接点を持つIoTやCPSの分野は機械学習型への移行がはやい

システム開発のパラダイム転換の歴史

対応遅れが招く社会的・産業的ダメージ

- 品質保証・動作保証の考え方が整備されないまま、機械学習技術を組み込んだシステムの社会実装が急激に進むと、そこで発生した問題や事故が思わぬ社会問題にもつながる。
- 動作保証ができず安全性に問題があると、製造物責任法(PL法)やリコール制度の対象になってしまう懸念も。

Adversarial Examples攻撃

深層学習が停止標識と認識できていたものを、小さな表示加工によって、速度制限標識と騙すことができてしまった例

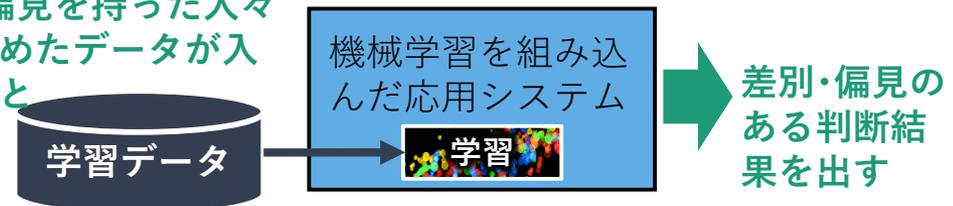


Microsoft Tay公開停止

Microsoftが開発した機械学習型チャットボットTayが、悪意のあるユーザーによって差別と陰謀論に染まってしまい、不適切な発言を繰り返したため、わずか一日で公開を停止

学習データに潜む差別・偏見

差別・偏見を持った人々から集めたデータが入り込むと



[出典] <https://arxiv.org/pdf/1707.08945.pdf>

- 【例1】 特定人種の再犯率を高めにも予測してしまう
- 【例2】 特定人種の就業機会を制限してしまう

国内外の状況・動向

産業界

- **問題意識が急速に高まっている**が、根本的な**解決策はまだ**見えていない
- 自動運転分野で問題意識が高く、欧州のPEGASUS PJ、デンソーのAI品質基盤、JAXA + JAMA(日本自動車工業会)の共同検討等が始まっている

日本は、**開発法という視点からいち早く検討を開始し、海外に先行**

AI研究コミュニティ

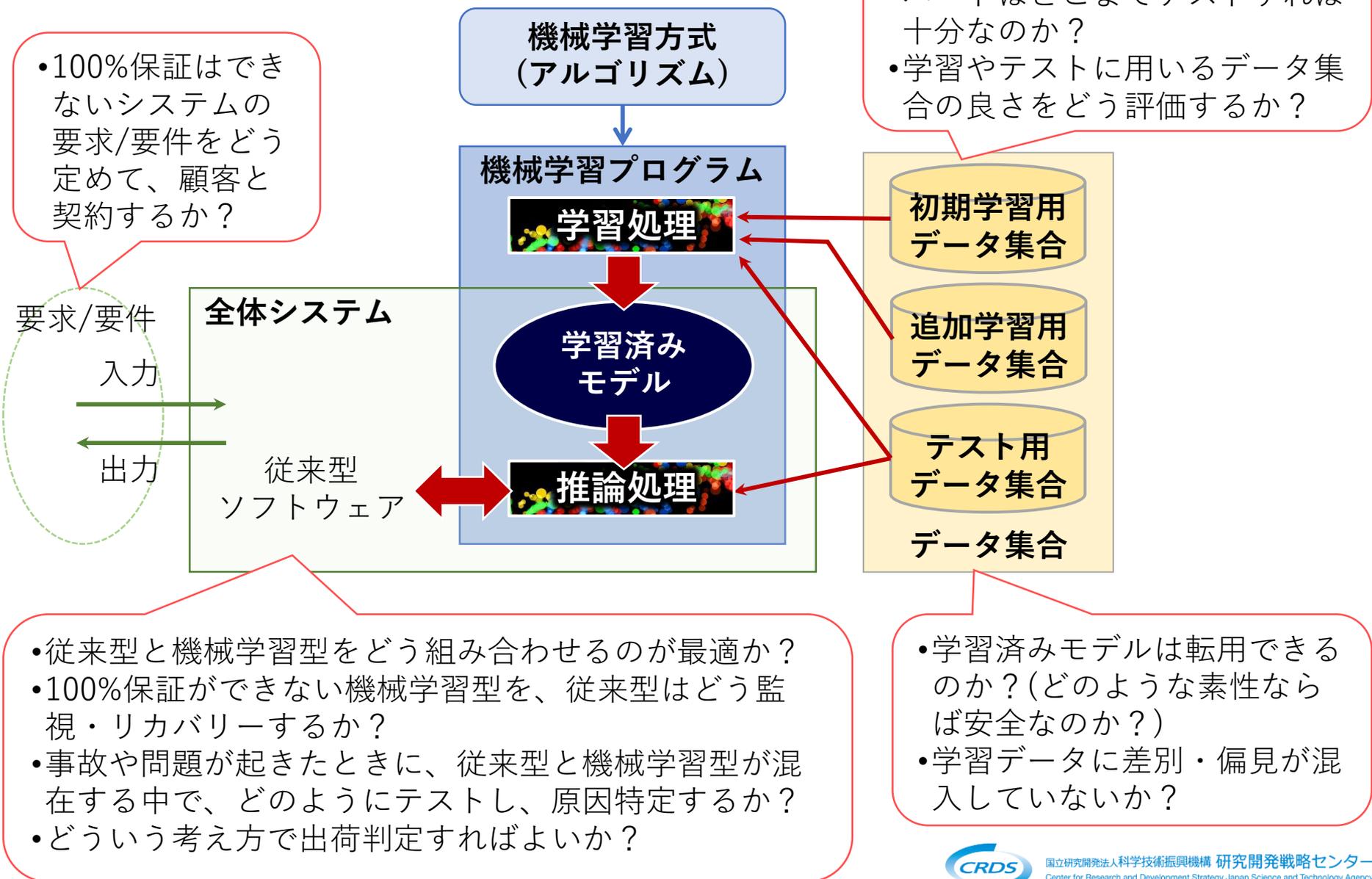
- 機械学習の精度・性能を高める競争が激しく、**開発法への関心は低い**
- 社会×AIの議論が活性化し、**AIの脆弱性や限界テスト**、ブラックボックス問題が検討され始めた(DARPAが**解釈可能AI「XAI」**に投資等)
- **深層学習と記号推論の融合**が次の重要課題(東大でのシンポジウム等)

これらは開発法そのものの研究ではないが、開発法を設計する上での指針になり得る

ソフトウェア工学研究コミュニティ

- 日本では海外に先行して**2017年初めからワークショップ等での議論が活性化**(Software Japan、JEITA WS、SES等)
- 2018年4月に日本ソフトウェア科学会に**機械学習工学研究会MLSEが発足**、5月のキックオフシンポジウムには500名殺到(即満席)、7月のWSも満席
- 同4月にQA4AIコンソーシアムも発足
- 海外でも、新しいパラダイムを**Software 2.0**や**Machine Teaching**と呼ぶ動き
- 6月カナダにSEMLAイニシアティブが発足

構成要素と研究開発課題



背景

- Society5.0では、先端技術を社会システムに取り入れ、人々のニーズに合わせたサービスを提供することができる。
- しかし、新たな社会システムの導入や既存システムの革新には、要素技術の研究開発のみならず、そもそもの社会の要求の明確化、システムの統合化、社会適用への配慮などが極めて重要。
- 10年前の第一次スマートシティブームと比べると、IoTなどの技術進歩による実現性の向上とともに、環境・都市問題への危機感の高まりが感じられる。
- 一方で、民間投資への配慮、法律的問題への対処などの重要性への認識が高まっている。



上記のような問題を解決し、政治、経済、金融、教育、芸術等あらゆる分野の社会システムを刷新するための**手法の確立**が必要



国内外の状況・動向

国内

- 内閣府：地理空間、環境、セキュリティに関するデータ統合化（2017年～）
- SIP：インフラ維持管理・更新・マネジメント技術（2014年～）
- 九州大学COI：都市OS（2013年～）
- CREST DEOS(Dependability Engineering for Open System)（2006年～）

海外

米国

- NIST：Global City Teams Challenge（2014年～）、世界120以上の自治体

欧州

- HORIZON2020 – Work Programme 2016-2017：Smart Cyber-Physical Systems、Smart System Integration
- European Commission：Alliance for Internet of Things Innovation（2015～）
- Manchester Cityverve、Bristol Is Open、Copenhagen Connecting…、20件以上

中国

- 中国科学技術部：次世代人工知能発展計画スマートシティプラットフォーム、杭州、福州、珠海、重慶、上海…、約500のパイロットプロジェクト

シンガポール

- Smart Nation

研究開発課題と推進方策

研究開発課題

1. 社会システム構築および革新技術

- 新たな社会システムまたは既存システムの改善に向けたデータ収集と要求獲得、要件定義
- 上記で定義されたシステムの社会への影響のシミュレーション
- 社会システムで特に重要なプライバシー保護のための技術

2. 社会システムの共創

- 社会の求める要件を実データから明確化
- 社会に与える影響をすべてのステークホルダーとともに検討し、共創を実現

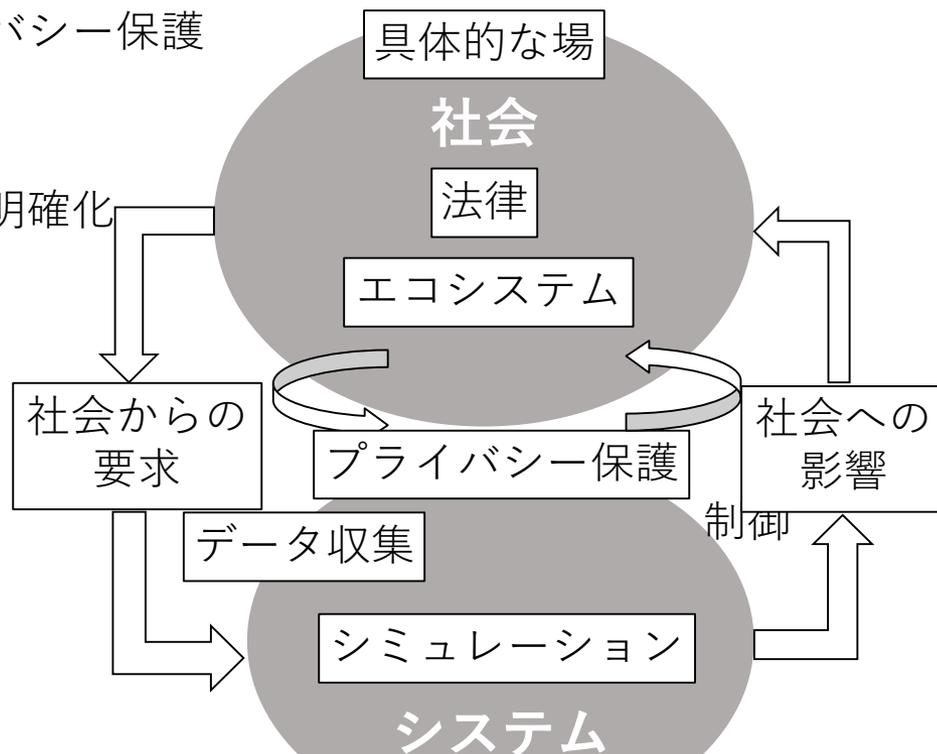
推進方策

1. 制度

- エコシステム確立による持続性の確保
- 法的な視点の取り込み、新たな法制度の検討

2. 進め方

- 具体的な場、自治体との協働



統合化技術、システム連携

ヒアリング・セミナーでの論点

技術・共創・制度・進め方の様々な論点を統合しプロポーザルにまとめる

技術

- ・ 技術はない
- ・ 枯れた技術
- ・ 統合化
- ・ データ収集、解析、ビジネスモデル
- ・ 因果関係と相関関係
- ・ マーケットデザイン
- ・ 位置情報の活用
- ・ 時刻と位置情報
- ・ 仮説検証型分析
- ・ 社会シミュレーション
- ・ モデリング
- ・ 人間のモデル
- ・ 社会心理学
- ・ 限定合理的な個人の集合としての行動
- ・ 創造性を高める技術
 - ・ プライバシー保護
 - ・ セキュリティ
 - ・ 個人情報保護
 - ・ 見守り
 - ・ IDと認証
 - ・ 計測

共創

- ・ 社会受容性だけでは弱い
- ・ 適正技術
- ・ 社会アーキテクチャとしての選択
- ・ 社会の求めるものを明確化
- ・ 技術導入による格差の拡大
- ・ 技術の帰結まで考える
- ・ 共創
- ・ コデザイン
- ・ 人には選択肢が重要
- ・ 個人の生活に立ち入ってはいけない
- ・ サービス提供者の仕組みを市民に理解してもらう

制度

- ・ 個と全体
- ・ エコシステム
- ・ 資金源 エコシステム
- ・ 利害関係の明確化
- ・ 制度設計における一元性と多元性
- ・ 人が参加しやすい制度 副業可
- ・ 既得権の問題
- ・ 法律問題の明確化
- ・ 法律は作るもの
- ・ 法律専門家の参加
- ・ エリアマネジメントの法律化

進め方

- ・ 具体的に進める
- ・ 現実と理想のギャップの認識
- ・ デザイン可能な社会システム
- ・ 社会システムはデザインできる
- ・ 人を社会システムに埋め込む
- ・ ICTを活用した都市のバリューアップ
- ・ 経路依存性
 - ・ 自治体のケーススタディ
 - ・ 市民やユーザを巻き込むこと
 - ・ 市場を作るファンディング
 - ・ 実装への研究費
 - ・ 文理融合のファンディング
 - ・ 人の集まる場の形成
 - ・ 標準化、規格化
- ・ 創ることが重要
- ・ 仮説が重要
- ・ 社会システムの価値の見える化
- ・ 社会システムの定義
- ・ 点ではなく関係性に注目
- ・ 段階的な社会システム普及施策
- ・ ステークホルダーに対する理解

- ・ 長期ビジョンとの整合性が必要
- ・ 思いがけない発想を可能にすること
- ・ 住民の理解を得る
- ・ 市民との対話が必要
- ・ 暗黙知を形式化しておくこと
- ・ 摩擦に対する社会受容性を持たせること

- ・ 個人の生活に立ち入らない
- ・ 技術の影響を考慮しておくこと
- ・ 説明しなくても直感的に正しい
- ・ マルキシズムにならない
- ・ 効率化、最適化だけではない

基本となる考え方

背景

- 現状、仮想通貨や資産の共有などの試みが産業界を中心に始まっているが未だ初期段階。応用や技術そのものの課題や懸念も多い。
- 将来的には、人や組織、モノを信頼でつなぐ新たな情報基盤となることが期待されており、本質的な課題の解決と基盤技術の創出・高度化・体系化が求められる。

ブロックチェーン技術の俯瞰



《ブロックチェーンとは》
インターネット上に「ブロック」と呼ばれるデータの単位を鎖（チェーン）のように連結していく追記型の台帳である。
ブロックチェーンの共有により、第三者の管理に依存することなく、さまざまな情報・価値を安全に交換することができる。

社会的期待と研究開発の方向性

社会的期待

銀行や公証人、国家などの中立的な第三者機関の介在を前提とした社会契約への挑戦

- 既存の通貨以外の新たなデジタル資産の分配
- 公正で安全な価値移転
- 自己統治型のサービス
- 自動機械の参画によるスマートコントラクト

研究開発の方向性

ブロックチェーン基盤技術の開発

- 秘匿ブロックチェーン（プライバシー保護）
- 高信頼分散型合意形成アルゴリズム
- スケールアウトするIoTブロックチェーン
- ポスト量子時代のブロックチェーン
- 分散アプリケーションプラットフォーム

ブロックチェーン利活用の推進

- キラーアプリケーションの創出
- 電子政府（例：登記、投票、予算可視化）
- 永続的個人記録（EHR、住民記録）
- 小規模SCM（例：第1次産業、特産品）

国内外の状況・動向

国レベル

- 米国NSF：Cybersecurity Innovation for Cyberinfrastructureにて、ブロックチェーン技術を使った**サイバーセキュリティ**技術の開発を募集(2017)
- エストニア：ブロックチェーンによる**エネルギー取引**実施へ(2017)

企業レベル

- 楽天：ブロックチェーン活用の「**J-クレジット**」取引システム(2017)
- 英国DeepMind社による**患者データの情報管理**システムや、米MITの**電子カルテ「MedRec」**などブロックチェーン技術を用いた研究が進展 [日経テクノ]
- 米JPモルガンは暗号通貨の適用を模索（**完全な匿名性をもつ取引**）、国連公的な裏付けが不要な**電子身分証明**を検討 [MITテクノロジー]

コンソーシアム

- 日本：2016年中に、**ブロックチェーン推進協会**（BCCC）と**日本ブロックチェーン協会**（Japan Blockchain Association, JBA）が相次いで発足

革新的コンピューティングへの期待

応用のトレンド

Society5.0



SDGs

革新的コンピューティング

新計算原理
&
計算機システム

ビッグデータ
解析

フォン・ノイマン型 (プログラム方式)

2D実装

デジタル回路 (CPU、GPU)

CMOS シリコン

機械学習
特徴量抽出

近似計算

2.5D・3D実装

布線論理回路 (FPGA、DRP)

TFET メモリスタ

画像・メディア処理

ニューラル ネット (深層学習)

近接場結合

原子スイッチ、強誘電体素子、抵抗変化素子

組合せ最適化

ニューロモルフィック

光配線

アナログ回路

イジングモデル

液冷、低温動作

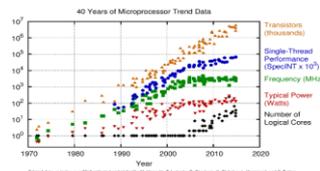
超伝導SFQ、光回路

暗号処理
符号化・復号

量子計算

超伝導素子、ナノフォトニクス素子、NVセンター

ムーアの法則の終焉 技術のトレンド



IEEE REBOOTING COMPUTING

Goal: Rethink Everything: Turing & Von Neumann to now

Why IEEE? Pre-competitive, Inclusive, Worldwide

新デバイス、
非フォンノイマン

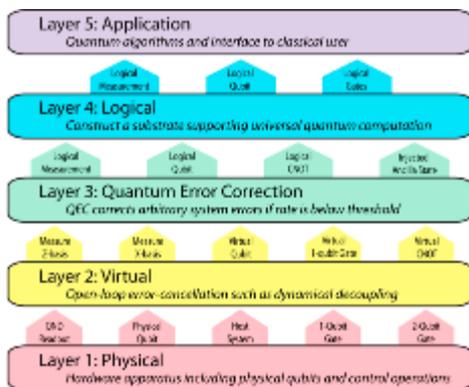
“量子コンピューター”の種類

誤り耐性万能 デジタル量子コンピュータ

因数分解や検索など量子プログラムの実行により様々な用途に利用可能な汎用デジタル量子コンピュータ。量子加速あり。

TRL 3~4

量子誤り訂正の実装オーバーヘッドのため、100万~数億量子ビットの集積化が必要。現在、実現めどのある系はない。

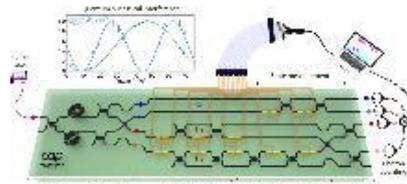
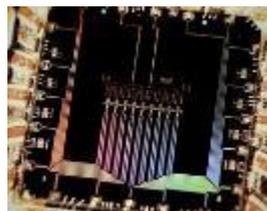


近似量子コンピュータ 量子シミュレーター

限定的エラー耐性・小中規模のハードウェア (NISQ) によるデジタル/アナログの量子シミュレーター。量子の優位性は分からない。

TRL 3~4

50量子ビット、20ステップ程度での限定的な計算能力で意味のある結果を出せる問題設定の探索が必要。



アナログ量子コンピュータ

組合せ最適化問題など特定の問題にハードウェア特化したアナログコンピュータ。エラー訂正は実装されず、量子加速はない。

TRL 8~9

実用的な問題設定での応用探索が進む。量子性が計算速度にどう寄与しているかの基礎研究は課題。



構成要素と研究開発課題

1950年代の
コンピュータ

現代の
コンピュータ

20XX年
量子コンピュータ

CRDS調査チーム
の注目範囲

アルゴリズム

量子コンピューティングの現状
(e.g. pythonで量子回路を書く)

アセンブリ言語
低レベルプログラム

リレー回路
配線 (ワイヤー)

アルゴリズム

プログラミング言語
(高級言語)

コンパイラ

アーキテクチャ
(メモリ、算術演算、制御命令、通信)

HWビルディングブロック
(ゲート、ビット)

VLSI回路

半導体トランジスタ
配線

アルゴリズム

(古典+量子ハイブリッド)

プログラミング言語
(高級言語)

コンパイラ

量子コンパイラ

アーキテクチャ
(メモリ、算術演算、制御命令、通信)

量子アーキテクチャ
(システム制御、接続トポロジ、通信、量子ビット、量子ゲート)

HWビルディングブロック
(ゲート、ビット)

VLSI回路

誤り訂正符号
制御信号

半導体トランジスタ
配線

量子基盤技術
(超伝導、イオン etc.)

国内外の開発状況・動向

1. 量子技術に対する政府R&D投資

- 欧州：「Quantum Manifesto」に基づき、フラッグシッププロジェクトが開始
- 米国：「National Quantum Initiative」でグラント・研究センター新設予定
- 中国：国家重点研究計画で大規模グラント実施。研究所を合肥市に建設中。
- 日本：MEXT「量子科学技術の新たな推進方策」を発表。Q-LEAPプログラム開始。

2. 量子コンピューター「いかに作るか？」のフェーズに。

- 理論・実験ともに、工学的チャレンジに。
- 短期的ハードウェアターゲットはNISQ（100量子ビット、エラー率0.1%）
- ソフトウェア（ライブラリ・SDK）充実中（MS QDK, IBM QISKit, Rigetti Forest, Project Q, Google Cirq）
- 米国IT企業が投資拡大（Google, IBM, MS, Intel etc.）

3. コンピュータサイエンス系プレイヤーの参加

- スタートアップ多数（Rigetti, IonQ, 1Qbit, QCware, etc.）
- 応用ドメイン（量子化学、機械学習、最適化 etc.）
- オンラインコースで教育の裾野拡大（MIT, TU Delft, Keio）