文部科学省

参考資料3-1
科学技術・学術審議会
基礎研究振興部会（第17回）
令和7年1月31日

資料2
科学技術・学術審議会
基礎研究振興部会（第16回）
令和6年8月6日

フィジカル・インテリジェンス研究（革新的なAIロボット研究）について

令和6年８月

文部科学省

基礎・基盤研究課

AIの進化 と 物理世界への融合

- **AI基盤モデル**（GPTなど）は社会に大きなインパクトをもたらした。**世界は次のステージへ**。
- これらAI技術の飛躍的な進展は、**新たなイノベーションとして、機械（ロボット、IoT等）との融合に注目**。

  - ✓ AIが学習したデータをもとに環境に適用した動作を推定できる技術（AIアルゴリズム）
  - ✓ 先端半導体によりエッジで推論計算するAIチップ（エッジの知能化・計算資源）
  - ✓ 知能ロボットと産業用ロボットの融合

  ➡ **変化する実環境に柔軟に対応できるPhysical Intelligence※の開発・実装へ**

  ※エッジの知能化等により、AI（知能システム）と機械（ロボット、IoT等）が高度に融合することで実現する、AIが物理的動作を行うためのシステム。これにより、AIの利活用が現実世界（Real World）に拡がることで、リアルタイムに高付加価値を還元することを目指す

- AIが物理的な身体機能（ロボット等）を獲得することで、**AIの利活用が、デジタル世界（Digital）からこれまで不可能であった物理世界（Physical）へ拡大**。
- 世界はこの動向を捉え、大規模な投資を行う向き。**いち早く重要技術を獲得し、この変革のイニシアティブを取っていくべき**。これにより、**GX社会への移行と省人化に大きく貢献**。

融合
Physical intelligence

Physical Intelligence（これから）
- ➢ AIと機械が融合
- ➢ **AIが物理動作を可能になる**

現在のAI
- ➢ スマホなどデバイスに装備
- ➢ **それ自体で物理的動作は出来ない**

AI利活用の飛躍的拡大に向けた パラダイムシフト

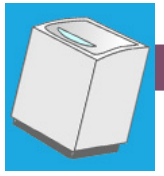
技術シナリオ と 今後の社会経済イノベーション（概観）

文部科学省

- 半導体、AI、ロボットの技術進展により知能と身体機能システムの融合が進み、**エコ（省エネ）で省人化可能な“AIロボット”**が登場。**どのような社会経済環境から導入され、破壊的イノベーションをもたらすか**。

【社会経済のイノベーション・シナリオ】

家電
(1980年代)



PC・インターネット
(1990年代)

スマートフォン
(2010年代)

EV
(現在～)
自動運転
(レベル４ サービス開始)
(2025年度以降)※1

Physical Intelligence
（AIロボット）
の登場？

エコ
（省エネ）

省人化

1980 1990 2000 2010 2020 **現 在** 2030 2040 2050

【技術シナリオ】

○半導体

ノード：130nm
（2000年頃）
→ ノード：3nm
（2023年）

Rapidus社
ノード：2nm
（2027年）
短TATパイロットラインの構築
（汎用から）専用チップへ
（2020年代後半）※2

→ **更なる微細化**
省エネ
専用チップ（専用・多品種）

○AI

エキスパートシステム
（1980年代）
→ Deep Learning
（2010年代）
→ AI基盤モデル
ChatGPT
（2022年）

→ 推論計算の進展
マルチモーダル化

→ **エコなエッジでの知能化**
（2032年以降）※3

○ロボット

知能ロボット
（例：アシモ 2000年、
お掃除ロボット 2002年）
→ アバターロボット
（例：OriHime 2016年）
開かれた環境で限定的な利用

実験自動化
融 合
→ **非定型・多品種・少量生産を中心とした幅広い分野へ※4**

産業用ロボット
（1980年代）
工場などの閉じた環境で利用
自動車産業や電機電子産業等の定型・大量生産に導入

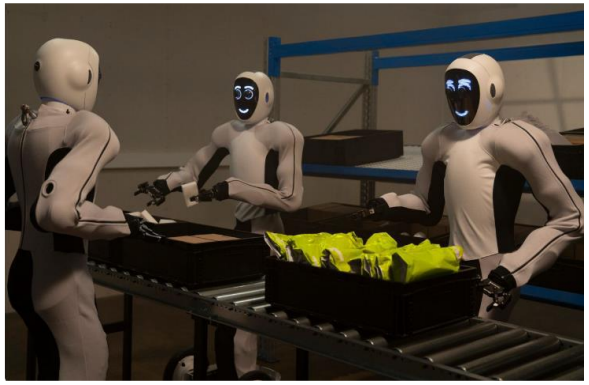
※1 （出典）自動走行の実現及び普及に向けた取組報告と方針 version7.0 参考資料（2023年4月28日 自動走行ビジネス検討会事務局）
※2 （出典）半導体・デジタル産業戦略（改定案） （令和５年５月 経済産業省 商務情報政策局）
※3 （出典）省エネAI半導体及びシステムに関する技術開発事業／革新的AI半導体・システムの開発 基本計画（NEDO事業）（2023年）
※4 （出典）ロボット分野における研究開発の社会実装の大局的なアクションプラン（ロボットアクションプラン） （2023年4月 NEDO）

研究開発が加速する “AIロボット”

Tesla（米国）Optimus ＜2023年12月＞

- 自動運転技術を応用
- 推論処理によって歩く、物をつかむなどの基本的な動作は可能なヒューマノイドロボット
- 危険なタスク、反復的なタスクなどを実行するには、高度な動作・高速性（スムーズな動き）、AIと身体機能のリアルタイム性などが課題

（出典） https://www.tesla.com/ja_jp/AI



（出典）https://www.1x.tech/

1X（ノルウェー） EVE･NEO ＜2024年1月＞

- OpenAIが、１Xに、2023年に2350万ドル、2024年に1億ドルの資金提供
- 物を持ち運んだりドアを開けて移動したりするなど、特定の作業を行う人型作業ロボット
- 遠隔操作を必要とせず、すべて視覚ベースのニューラルネットワークで制御
- セキュリティ、物流、製造など産業タスクを実行するには、 高度な動作・高速性（スムーズな動き）、AIと身体機能のリアルタイム性などが課題

スタンフォード大 Mobile ALOHA ＜2024年1月＞

- 大規模言語モデルを活用
- 人間が示すデモンストレーションから学習し、料理や掃除などの限定的な動作が可能な模倣ロボット
- 家事手伝い用ロボットの開発に向けて、自ら学習し進化する汎用AI技術、高度な動作・タスク増大などが課題

（出典）https://mobile-aloha.github.io/

フィジカル・インテリジェンス構想：革新的なAIロボット研究

文部科学省

- AI推論計算が今後技術的に進展することで知能と身体機能システムが融合し、**研究の潮目が大きく変わる**。
- これまでのロボット研究は**社会的受容性が課題**。知能と身体機能システムの融合により、社会的受容性が高く、エコ（省エネ）で省人化可能な**“AIロボット”が破壊的イノベーションをもたらす可能性**。

知能と身体機能システムの融合
- エコ（省エネ）なエッジの知能化
- 知能と身体機能のリアルタイム性
- 適応・発達する知能

高い社会受容性※2をもつ AIロボットの実現

（出典）五神理事長説明資料（次世代半導体のアカデミアにおける研究開発等に関する検討会２回資料）

限界突破
開かれた環境に対応

知能ロボットとして発展

情報科学的なアプローチ

知能ロボットとして活用
開かれた環境※1で限定的な利用

柔軟性
機能性

しかし・・・
開かれた環境での高速性、信頼性などに懸念
大幅な利用拡大につながらない

推論計算が今後進展
研究の潮目が変わる！

半導体の微細化、３Dチップレット、十分なデータ取得、AI基盤モデルの登場

産業用ロボットとして発展

機械工学的なアプローチ

産業用ロボットとして活用
工場などの閉じた環境で利用

高速性
完全性

しかし・・・
開かれた環境への対応が困難
閉じた環境どまり

※1　開かれた環境とは、多様性や動的な環境
※2　社会受容性とは、信頼性、確実性、ELSI、安全性などの観点を踏まえ、ヒト・社会が受容すること

考えうる導入シナリオ と 目指すべき目標

文部科学省

＜実環境で利用拡大につながる導入課題＞

- **社会受容性**：高い社会受容性がある
  （例：人との関わりが少ない環境から。肉体的負担が大きい労働環境から）
- **経済性**：合理的な経済的コストである
  （例：半導体チップ数が比較的多く出る業種から。人が作業担うよりも経済性が高い業種から）
- **拡張性**：明確なタスク（課題設定）からマルチタスクへの拡がりが見込める
- **データ**：質の高いデータが集まりやすい環境である

×

＜地球規模課題／社会課題＞

- **省エネ（エコ）**
  （カーボンニュートラル）
- **省人化、省力化**
  （予想を上回る少子高齢化と労働力人口減少）

など

→

＜目指すべき目標＞

高い社会受容性をもち、
- ✓ **実環境**（開かれた環境）で
- ✓ **能動的に学習・進化**する
- ✓ **汎用 人工知能 機械**
- ✓ **（AIロボット）**
  の研究・実装。

これにより、GX社会への移行と付加価値生産性の向上の両立を実現

※1　人の搭載は関係なく、自動運転機能そのものを指す
※2　タスクの種類は、ある程度限定されているが、環境や条件に多様性・複雑性・変動性・不完全性があっても、ロバストにタスクを実行可能
※3　ある程度限定された環境のもとで、1台のシステムが様々なタスクを実行可能。タスクに応じた高速な操作などが可能

考えうる導入シナリオ と 目指すべき目標を踏まえた重要技術課題

※1 人の搭載は関係なく、自動運転機能そのものを指す
※2 タスクの種類は、ある程度限定されているが、環境や条件に多様性・複雑性・変動性・不完全性があっても、ロバストにタスクを実行可能
※3 ある程度限定された環境のもとで、1台のシステムが様々なタスクを実行可能。タスクに応じた高速な操作などが可能

フィジカル・インテリジェンス研究　重要技術課題

文部科学省

ターゲットにする技術課題

課題・現状		重要技術課題		
		短期（～5年程度）	中期（5～10年程度）	長期（10年程度以上）
知能コアシステム開発	・AI基盤モデルは、エネルギー効率が良くなく（消費電力が大きい）、省エネ化が課題 例：AI基盤モデルで画像生成を行うと、スマホのフル充電と同程度の消費電力 ・開かれた環境での頑健性（ロバスト性）が課題	＜重要基盤技術＞ ・身体性に基づく（模倣型）AIモデル開発 ＜シナリオBの重要技術＞ ・ 能動的に学習・進化する特定の業種・環境に対応する頑健性のあるAIモデル開発(例：AIとの融合が進んでいる業種・環境)	＜重要基盤技術＞ ・身体性に基づく知能基盤（能動的に学習）開発 ・分散モデルを統合した分散知能開発 ＜シナリオAの重要技術＞ ・ 自動運転技術をベースに能動的に学習・進化するマルチ機能を有するAIモデル開発(例：高度な環境認識技術) ＜シナリオBの重要技術＞ ・能動的に学習・進化する特定の業種・環境に対応する頑健性のあるAIモデル開発（例：農業・建設等の業種に拡大）	＜重要基盤技術＞ ・ 超高効率な知能システム開発（例：エッジで学習、知能とロボットシステム全体） ・ 能動的に学習・進化し続けるAGIモデル開発
知能と身体機能システムの融合	・高機能性・柔軟性を維持しつつ、リアルタイム性の追求が課題 ・人の感覚をベースにした柔軟かつ強靭な身体を持つ身体機能が課題	＜重要基盤技術＞ ・ AIと身体機能システムのリアルタイム性を実現（例：リアルタイムで高速推論）	＜重要基盤技術＞ ・ センシング・プロセッサーの高度化、運動系のアクチュエーターの改良などによる超高速制御技術開発 ・AIと身体機能システムのリアルタイム性を実現（例：感覚と運動制御のループの頑健性かつ高速性）	＜重要基盤技術＞ ・ 物理世界(摩擦などの物理現象）とサイバー空間の融合（シミュレーション技術の高速化・高精度化） ・ 身体・感覚器を実現する身体機能システムの開発
AIロボット開発	・情報科学（AI）と機械工学（ロボット工学）の融合が課題	＜シナリオBの重要技術＞ ・能動的に学習・進化する特定の業種環境に対応するAIロボット開発（例：AIとの融合が進んでいる業種・環境）	＜シナリオAの重要技術＞ ・マルチ機能を有するモビリティ型AIロボット開発 ＜シナリオBの重要技術＞ ・能動的に学習・進化する特定の業種・環境に対応するAIロボット開発（例：農業・建設等の業種に拡大）	＜重要基盤技術＞ ・ AGIを最大限に活かせる形状のAGIロボット開発

フィジカル・インテリジェンス研究プログラム（革新的なAIロボット研究）

文部科学省

概　要

- **AI基盤モデル**（GPTなど）は社会に大きなインパクトをもたらした。**世界は次のステージへ**。
- これらAI技術の飛躍的な進展は、**新たなイノベーションとして、ロボット（身体機能）との融合に注目**。AIが物理的な身体機能（ロボット）を獲得することで、**AIの利活用が、デジタル世界（Digital）からこれまで不可能であった物理世界（Physical）へ拡大**。
- **いち早く重要技術を獲得し、この変革のイニシアティブを取っていくため、革新的なAIロボット研究を実施。**これにより、**社会課題解決（例：省人化）やGX社会への移行に大きく貢献。**

研究内容

能動的に学習・進化する革新的なAIを開発、搭載し、エッジの知能化により、**エコ**で知能と身体機能システムの**リアルタイム性**を有する**AIロボット（フィジカル・インテリジェンス）**の実現に向けた研究開発を推進

○中核拠点

①革新的な知能コアシステム開発

・能動的に学習し、進化する知能システムの構築
・超高効率・省エネな知能システムの構築
・少ないインストラクションで、マルチタスクをエコに実行　等
※①～③のための良質なデータの整備

②知能と身体機能システムの融合

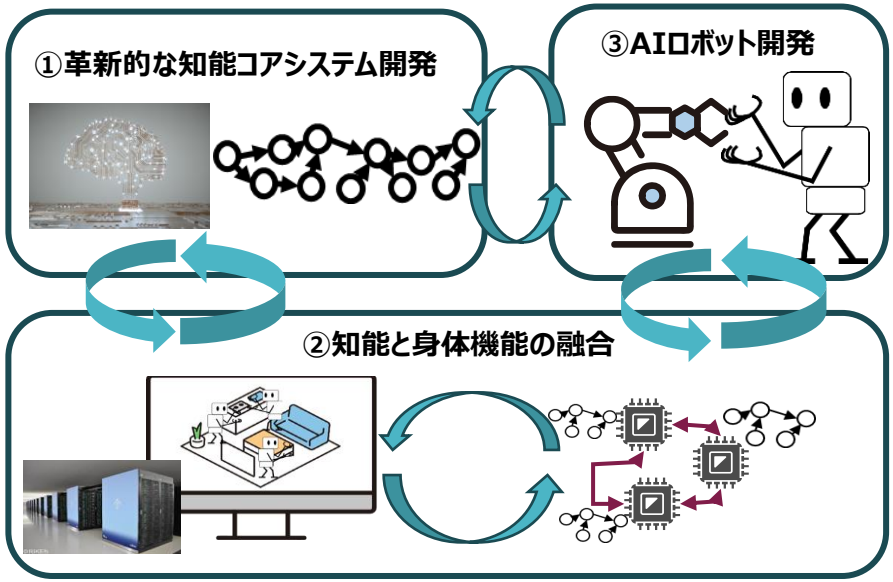
・超高効率でスムーズな動きを実現するためのエッジの知能化及びエッジ間の処理・通信システム開発
・現実世界をサイバー空間に高精度に再現する技術（シミュレーション技術）開発
・センシング・プロセッサー・アクチュエータの高度化等による超高速制御技術開発　等

③AIロボット開発

・AIを最大限に活かせる、頑健かつ柔軟なロボットハードウェア開発　等

○ユースケースチーム

・自動運転技術をベースにしたAIロボット開発、産業ロボットの知能化、革新的なアプローチによるAIロボット開発



※“良質なデータセット”については、フォーマットの互換性を含め関係機関と連携
※GX社会移行のための革新的技術を糾合する仕組みもあわせて構築

知能と身体機能のリアルタイム性と**マルチタスク**を兼ね備えたAIロボットの実現
ロボットのマルチタスク化により、**省人化**や**GX社会への移行**等に貢献

参考資料

政策文書におけるAIロボットの研究推進

文部科学省

- **新しい資本主義のグランドデザイン及び実行計画2024改訂版（2024年６月４日　閣議決定）**

Ⅴ．投資の推進

3．AI

（１）ＡＩのイノベーションとＡＩによるイノベーションの加速

①研究開発力の強化

- **労働力不足の解消やＧＸ等に資する革新的なＡＩロボット等の研究開発・実装等を官民で加速する**

4．半導体投資

①成長けん引領域への政策支援の集中投入

- クラウドを利用した生成ＡＩサービスの提供・利用と**エッジデバイスへのＡＩ機能の搭載の両面で、生成ＡＩの高度化と消費電力の削減の最適化を実現する。**

内閣官房HPより

- **経済財政運営と改革の基本方針2024　～賃上げと投資がけん引する成長型経済の実現～（2024年６月21日　閣議決定）**

第２章　社会課題への対応を通じた持続的な経済成長の実現 ～賃上げの定着と戦略的な投資による所得と生産性の向上～

2．豊かさを支える中堅・中小企業の活性化

（１）人手不足への対応

- **運輸業、宿泊業、飲食業を始めとする人手不足感が高い業種において、ＡＩ、ロボット等の自動化技術の利用を拡大する**ため、業界団体による自主行動計画の策定を促す。それらの業種において導入が容易なロボットについて、**ハード・ソフト両面の開発を促進する。**

３．投資の拡大及び革新技術の社会実装による社会課題への対応

（１）ＤＸ

（ＡＩ・半導体）

- **ＡＩに関する競争力強化と安全性確保を一体的に推進するため、「統合イノベーション戦略2024」に基づき、官民連携の下、データ整備を含む研究開発力の強化**や利活用の促進、計算資源の大規模化・複雑化に対応したインフラの高度化、個人のスキル情報の蓄積・可視化を通じた人材の育成・確保を進める
- 産業競争力の強化及び経済安全保障の観点から、**ＡＩ・半導体分野での国内投資を継続的に拡大していく必要がある。このため、これらの分野に、必要な財源を確保しながら、複数年度にわたり、大規模かつ計画的に量産投資や研究開発支援等の重点的投資支援を行うこととする。**

政策文書におけるAIロボットの研究推進

文部科学省

● **AIホワイトペーパー 2024　ステージⅡにおける新戦略― 世界一AIフレンドリーな国へ ―**
（2024年4月11日　自由民主党デジタル社会推進本部　AIの進化と実装に関するプロジェクトチーム）

第2章 AIを活用した日本の競争力強化のための戦略
急速な環境変化を味方につける柔軟な対応

○ 研究開発力の強化

・労働力不足等の社会課題を解決するため、変化する環境に柔軟に対応するなど、**現在のAI では実現できない革新的なAI を搭載したロボット等の研究開発を、官民で抜本的に強化**すること

● **統合イノベーション戦略（2024年６月４日　閣議決定）**

２．３つの強化方策
（３）　ＡＩ分野の競争力強化と安全・安心の確保
① ＡＩのイノベーションとＡＩによるイノベーションの加速
（研究開発力の強化（データ整備含む）
・労働力不足の解消やＧＸ等にも資する環境変化に柔軟に対応可能な革新的なＡＩロボット等の研究開発・実装を官民で進める。

別添 Society 5.0の実現に向けた科学技術・イノベーション政策
４．官民連携による分野別戦略の推進
（戦略的に取り組むべき基盤技術）
（１）　ＡＩ技術
今後の取組方針
・ＡＩ基盤モデル、半導体の微細化等による推論計算の進展を見据え、**社会受容性が高く、労働力不足の解消やＧＸ等にも資する、エコかつ省人化可能な、革新的なＡＩとロボット（身体機能システム）の融合による身体機能の知能化（フィジカル・インテリジェンス）の研究開発を推進**。さらに、最先端ＡＩ学習理論を実世界に適用する研究を推進。

第73回総合科学技術・イノベーション会議の様子

政策文書におけるAIロボットの研究推進

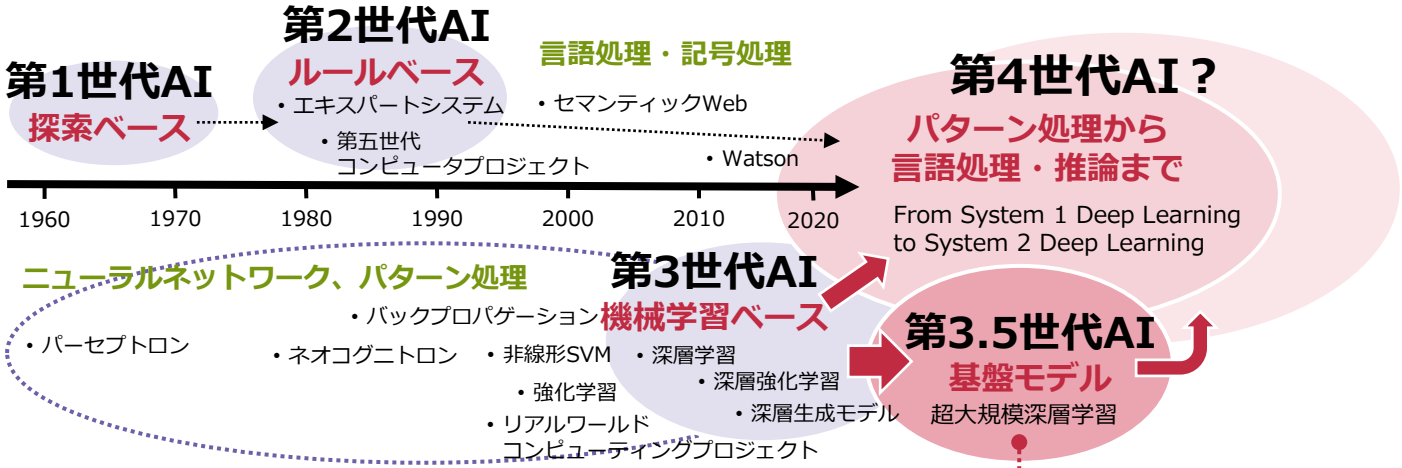
文部科学省

- **日本産業の再飛躍へ～長期戦略にもとづく産業基盤強化を求める～（2024年4月16日 一般社団法人日本経済団体連合会）**

第２章 産業基盤強化に向けた具体的施策
2．デジタル
（1）産業DX

少子高齢化が他国に先行して進むわが国においては、**AIやロボットなどのデジタル技術の社会実装によって産業DXを早急に進めるべき**である。**「AI・ロボット大国」を目指し、研究開発**や積極的な活用、ルール整備・規制改革、人材育成などを**産学官連携で取り組む必要**がある。
製造業をはじめ、健康・医療、育児・介護、エンターテインメント・コンテンツ、物流、建設、小売、飲食、自動車・移動、防災・減災、インフラ維持などあらゆる分野において**AI・ロボットを導入し生産性向上を図ることが不可欠**である。**国産技術も含めたAI・ロボットの徹底的な導入推進に向けて、今後3年程度を集中投資期間として、大胆な予算や税制、規制改革などあらゆる施策を総動員すべき**である。
AIやロボットの開発・利用にあたっては、わが国が強みとしてきたモノづくりや質の高いリアルの知識と掛け合わせ、融合することで価値を高める視点が重要である。こうしたハードの強みを活かしつつ、ソフトウェアへの積極的な投資・開発により、各領域における高付加価値なアプリケーション・ソリューションを国内外に提供することで、エコシステムの構築・展開に取り組むことが勝ち筋となる。とりわけ、**各領域に特化したAIやエッジAI**、産業用ロボットのプラットフォーム**開発を主導するとともに、将来的なAGI（汎用人工知能）の進展を見据えて産学官による開発・実装を行うべき**である。

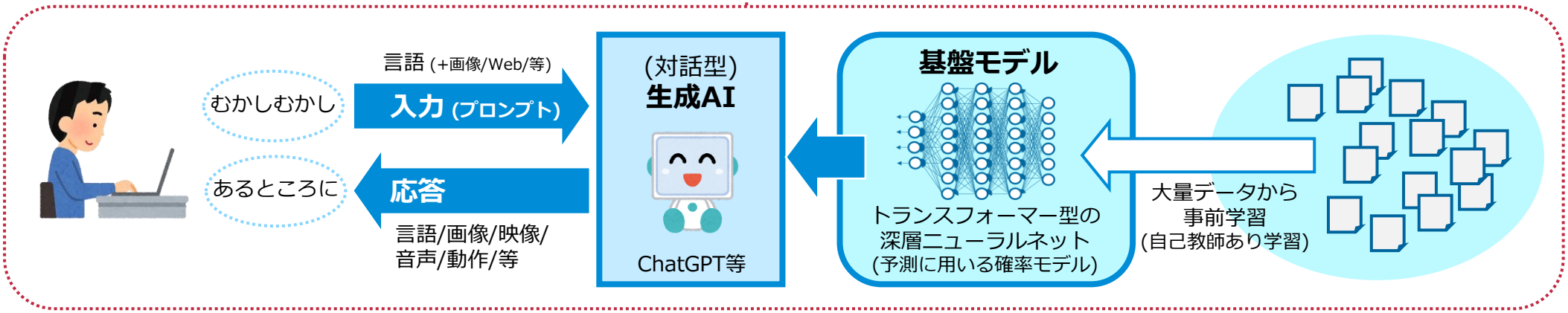
AIモデル発展の流れと現在の基盤モデル



現在の基盤モデル・生成AIは、超大規模学習で作られた確率モデルに基づく、いわば「高度なオートコンプリート機能」であることから来る問題・限界がある

次頁に記載

それらの問題・限界を克服するのが「次世代AIモデル」のチャレンジ



（出典：第１４回基礎研究振興部会 CRDS 福島俊一フェロー 御説明資料 ）

©2024 CRDS

現在の基盤モデルの技術課題

■ それ以前のAIが目的特化型だったのに対して、高い汎用性を実現したことは画期的だが、
(人間の知能と比べると) 原理的に以下のような点に技術課題がある

資源効率	極めて大規模なリソース(データ、計算機、電力等)が必要 • 最先端の基盤モデルは、1回の学習実行に数十億円の計算費用がかかる • 一方、人間の脳と消費電力は20ワット程度だといわれている
実世界操作(身体性)	動的・個別的な実世界状況に適応した操作・行動が苦手 • 基盤モデルの学習データは、いわば仮想世界での経験であり、実世界状況の動的変化や個別性に必ずしも適応できていない
論理性	論理構築・論理演算や大きなタスクのサブタスク分解が苦手 • 確率モデルに基づいて可能性の高い予測結果(応答)を返すものなので、論理構築や論理演算は行っていない
信頼性・安全性	人間と同じ価値観・目的を持って振る舞うと必ずしも信じられない • 基盤モデルはブラックボックスであり、どのような傾向・バイアスを持ったものか分からない • 確率モデルに基づくので、どうしても不安定性は残り、結果の100%保証はできない
自発性	行動の動機や目的を自ら生み出すことができない • 基盤モデルに限らず、現在のAIモデルは目的や価値基準は外部から与えるものである【これを求めるかは要議論】

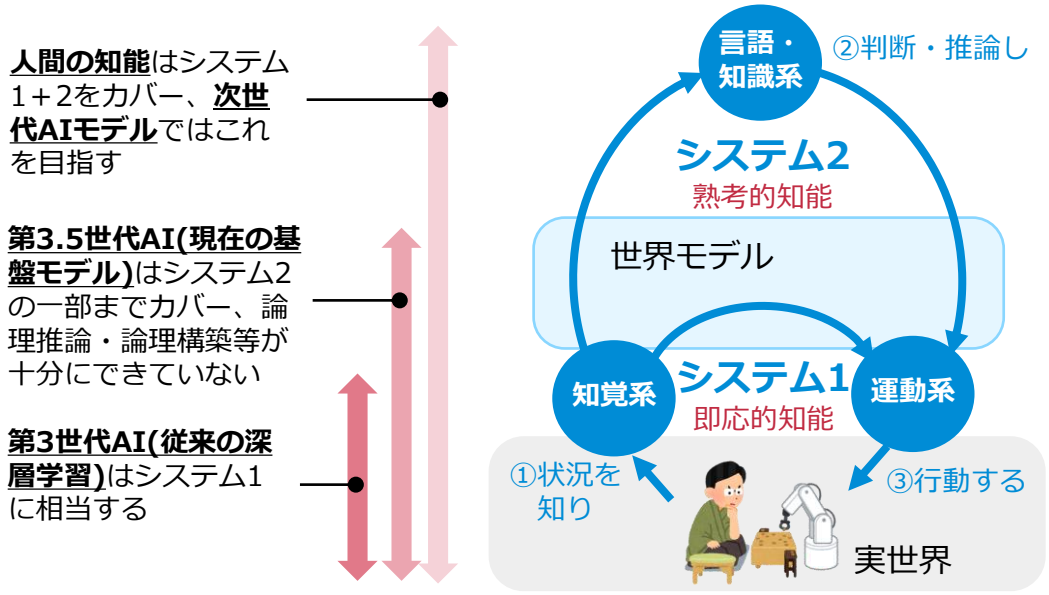
（出典：第１４回基礎研究振興部会 CRDS 福島俊一フェロー 御説明資料 ）

©2024 CRDS

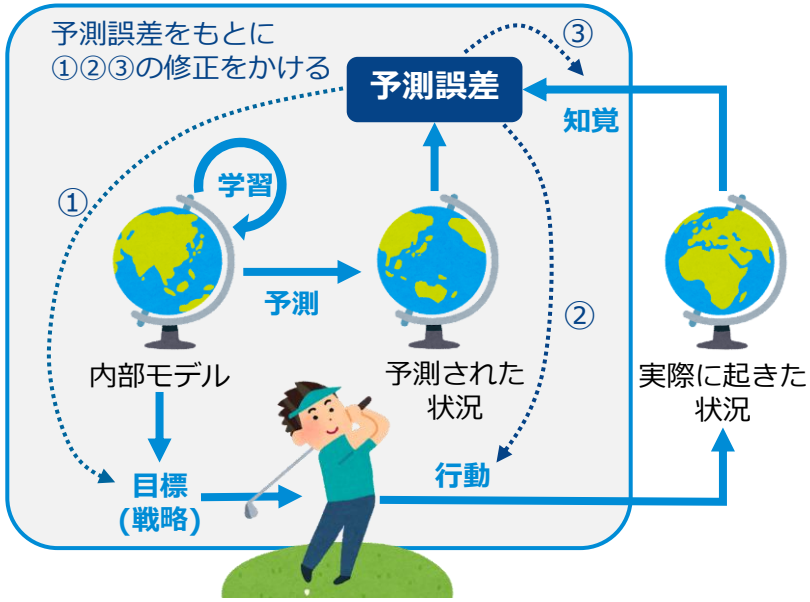
必ずしも大量事前学習を必要としないAIモデルの可能性

- 人間の知能自体は未解明だが、様々な知見が得られつつあり、現在のAIの課題克服につながり得る
- 現状の帰納型(ボトムアップ)AIでは膨大な事前学習を必要とするが、必要な範囲のみ能動的(トップダウン)に取りに行くような仕組みによって、資源効率を改善し得る
- 予測誤差からモデルを修正する仕組みは、大量の教師あり事前学習を必ずしも必要としない

二重過程理論：経験に基づいた即応的な情報処理を担うシステム1と、抽象化されたモデル・知識を参照した熟考的な情報処理を担うシステム2から成るという知能のモデル



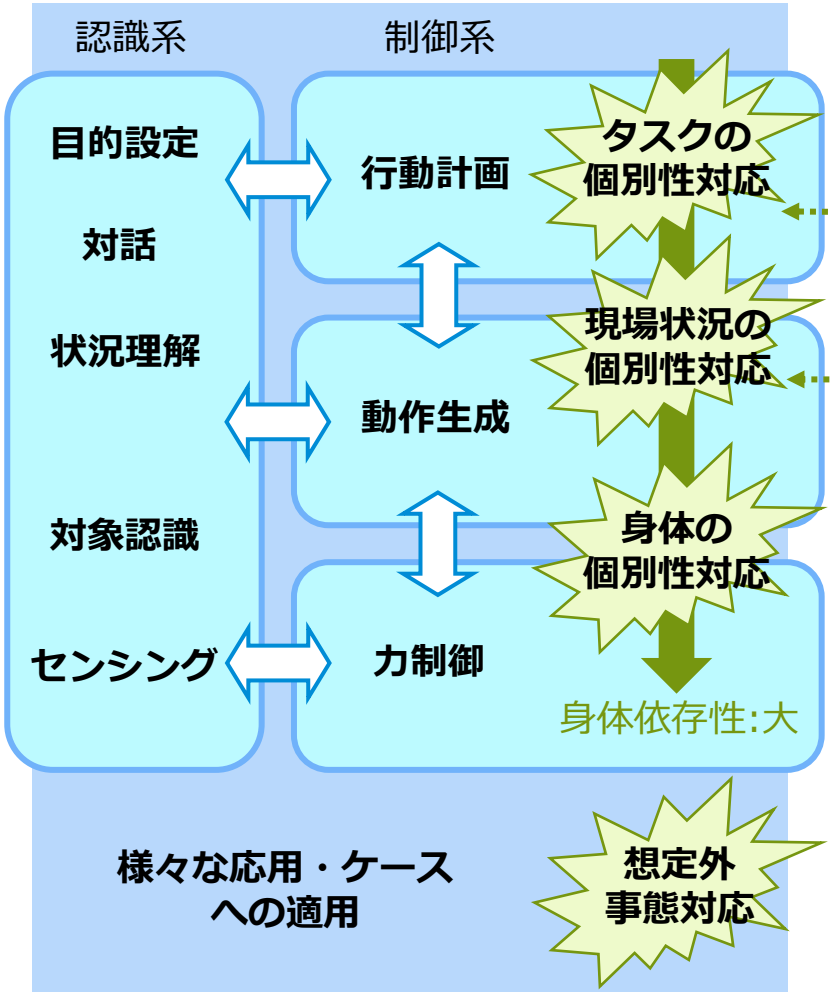
予測符号化理論：乳幼児からの成長のように、他者や環境との相互作用を通じて、自己・環境の認知、言語獲得、行動・推論等の認知機能を発達させていく過程を、予測誤差最小化原理(自由エネルギー原理)によって統一的に説明

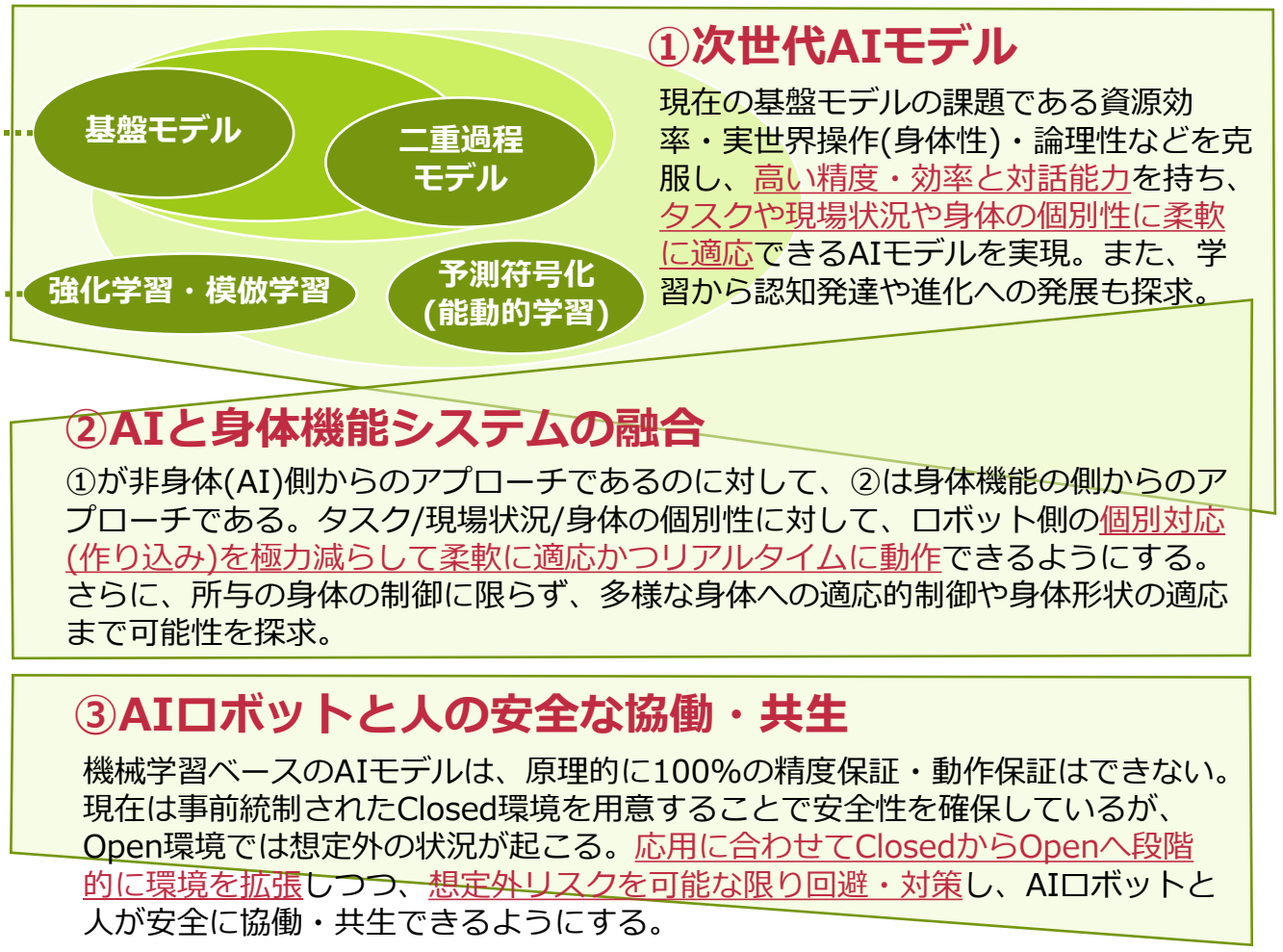


（出典：第１４回基礎研究振興部会 CRDS 福島俊一フェロー 御説明資料 ）

©2024 CRDS

AI×ロボットへの技術発展における課題と方向性





（出典：第１４回基礎研究振興部会 CRDS 福島俊一フェロー 御説明資料 ）

©2024 CRDS

フィジカルAIシステムの発展の方向性・シナリオ

（物理的な身体機能を獲得したAIシステム）

シナリオA: 多様な実世界環境で稼働するフィジカルAIシステム

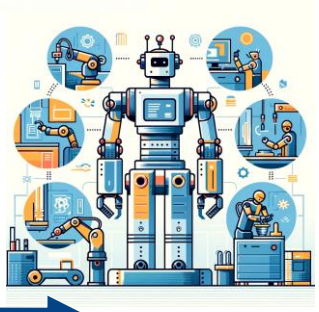
タスクの種類は、ある程度限定されているが、環境や条件に多様性・複雑性・変動性・不完全性があっても、ロバストにタスクを遂行できるようにする。人間が立ち入れない環境でさえ稼働可能。

[想定する適用例] 屋外ロボットの知能化 (農業、インフラ保守点検など)

シナリオC: 実世界で人間と協働・共進化するフィジカルAIシステム

人間のような知能・身体性・対話能力等を備え、人間の代わりに／人間と協働で様々なタスクを担えるようにする。人間自体を理解するためのサイエンス研究面も含み、能動的に学習し、発達・共進化するフィジカルAIシステムへと発展させる。

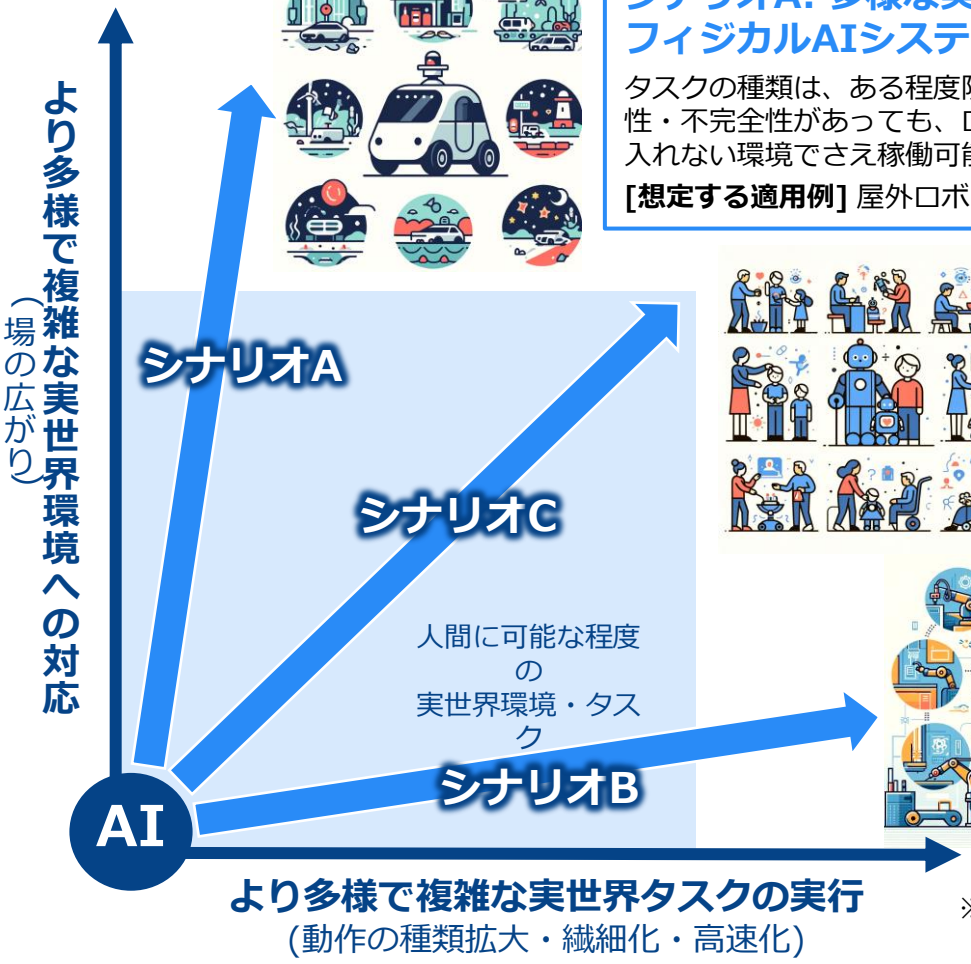
[想定する適用例] 発達・共進化 (日本発の認知発達ロボティクス研究)



シナリオB: 多様な実世界タスクをこなすフィジカルAIシステム

ある程度限定された環境のもとで、1台のシステムが様々なタスクを実行できるようにする。タスクに応じた様々な動作、繊細な動作、高速な動作を追求する。人間にはできないようなタスク・動作まで実現。

[想定する適用例] 産業用ロボットの知能化 (セル生産、職人技の学習など)



※上記画像は生成AIを用いて作成した

［CRDS資料をもとに文科省にて一部改変］

（出典：第１５回基礎研究振興部会 CRDS 茂木強フェロー 御説明資料 ）

フィジカルAIシステムの発展研究がもたらす社会的価値

AIが物理的な身体機能を獲得すると、デスクワークから現場作業まで幅広く労働市場に波及、
大きな社会・経済的インパクトをもたらすことが期待できる

シナリオ	現状の実用レベル	現状の研究レベル	最終的な目標レベル
A	**専用機による作業** • 人間による機器の操作 • 限定環境での自動運転 **実用例** • 建設現場における重機ロボット • 農業における収穫ロボット	**限定環境で働くフィールドロボット** • 不整地対応ロコモーション • 移動とマニピュレーションの統合 **研究事例** • 米Agility Robotics社 Digit • スイスETH Zurich大 ANYmal C	**多様な実世界環境で稼働するシステム** • 多様・複雑・不完全性への頑強性 • 環境変化や想定外への適応 **事例：フィールドロボット** • 農業やインフラ点検作業など高負荷／危険な作業を人間に代わってこなす
C	**単機能サービスロボット** • 限定環境での安全な定型作業 • 限定的話題や定型的対話(案内受付等) **実用例** • 飲食店における配膳ロボット • 病院における搬送ロボット	**対話的サービスロボット** • タスクに応じた行動計画推論 • 自由対話による指示理解・説明 **研究事例** • 米Figure AI社 Figure 01 • 米Google社 PaLM-SayCan	**実世界で人間と協働・共進化するシステム** • 人間同様の知能・身体・対話能力 • 能動的に学習し発達する **事例：サービスアシスタントロボット** • 家事やサービス業などで人間の作業を能動的に支援
B	**タスク毎の作り込み** • 強く統制された現場環境 • 個々のタスクのプログラミング **実用例** • 自動車製造ラインの溶接ロボット • 半導体製造でのウェハ搬送ロボット	**タスク毎の事前学習** • 個別タスクの模倣学習と強化学習 • 熟練者技能の学習 **研究事例** • 米Covariant AI社 RFM-1 • 米Google社 RT-1/RT-2	**多様な実世界タスクをこなすシステム** • 1台でさまざまなタスクを実行 • 繊細な操作、高速な操作を追求 **事例：汎用型組立ロボット** • 車種やモデルごとに異なる部品の組み立てを1台のロボットで対応

（出典：第１５回基礎研究振興部会 CRDS 茂木強フェロー 御説明資料 ）

フィジカルAIシステムの研究開発課題の全体観

フィジカルAIシステムが高い汎用性を実現するためには多くの課題がある。ここでは、①AIモデル、②身体機能との融合、③安全性の側面から、これらの課題と今後の研究方向性を示す。

推進すべき領域

	現状の実用レベル	個々の現場ニーズに高度に応える技術開発研究レベル	高い汎用性をもたらす基礎研究
①次世代AIモデル	**限定定環境での認知・行動計画** • カメラによる環境認識 • 環境認識に基づく行動計画	**限定環境で働くフィールドロボット** • 多様なタスクの学習と自律実行 • 動的な環境認識による自律移動	**現状の課題を克服したAIモデル** • 高い精度・効率と対話能力 • タスクの現場状況や身体の個別性に柔軟に適応 • 能動的推論によりエッジで自律学習
②AIと身体機能システムの融合	**現場データからの学習** • 限定された環境での定型作業 • 個々のタスクのプログラミング	**タスク毎の事前学習** • 個別タスクの模倣学習と強化学習 • 熟練者技能の学習	**身体機能システムと融合するAIモデル** • タスク／現場状況／身体性の個別対応を極小化しオープン環境に適応 • リアルタイム動作
②'身体機能システム	**工場の生産ライン用のロボット** • 固定式の単腕または双腕ロボット • 車輪または二足で平面移動可能 • クライアントサーバ型の開発環境	**自律移動モバイルロボット** • 不整地移動対応ロコモーション • 精密かつ器用なマニピュレーション • 柔軟な身体の数理基盤と制御 • 高速低遅延通信	**自律的に動作可能な身体機能システム** • 環境認識に必要なセンシング機構 • エッジ対応推論チップ • 必要な時間動作可能な電源機構 • 他の個体やシステムとの通信機構
③人に安全なフィジカルAIシステム	**閉じた環境での特定タスクの実行** • 強く統制された現場環境 • 共存環境では安全な動作のみ実行	**限定環境での協働ロボット** • 自然言語による包括的な指示理解 • 人間の意図を把握した安全動作 • 想定内のリスクへに対応	**想定外に対応可能なフィジカルAIシステム** • 正確かつ詳細な環境認識 • 安全な行動計画可能な状況判断 • 最適な行動を即時で意思決定

（出典：第１５回基礎研究振興部会 CRDS 茂木強フェロー 御説明資料 ）