

生成AIの 将来技術動向

2035年への技術変化を見据え、今、日本企業がなすべきこと



はじめに ー本レポートを執筆した背景ー

- 昨今の生成AIブームにより、巨大IT企業によるLLM (Large Language Models: 大規模言語モデル) 精度向上の発表や、各社からの過熱気味なリリースが相次いでいます。
- 情報が錯綜する中、PwCコンサルティング合同会社は公平な立場から、現在の技術レベルを整理し、研究開発の最前線や議論の焦点を俯瞰しました。
- さらに、今後5年・10年を見据えた生成AIの進化と社会・ビジネスへの影響について展望します。
- 本レポートが、皆さまの中期経営計画や事業戦略の見直し、生成AIの本質的な理解に資することを願っています。

エグゼクティブサマリー

3つの潮流

①

ベースモデル自体のさらなる精度向上



- マルチモーダルな入力情報の統合により、複雑な感情の理解力が向上し、それに伴って半永続的な記憶力も向上
- 複雑な問題を分解し、その背後に潜むパターンを発見できる思考の連鎖により、アナロジーを用いた汎化能力が向上。それに伴って、自己学習や知識創造の発展余地あり

②

デジタル空間：エージェントの普及



- 従来の受動的なAIとは異なり、ユーザーの目的に応じて自律的にタスクを設計・実行する能動的なAIが登場
- 現状はワークフロー型が主流だが、ベースモデルの精度向上によって2035年には完全自律型エージェントが実現する見込み

③

フィジカル空間：フィジカルAIの誕生



- ロボティクス発展は近年SWの発展により知能化が進んでおり、今後はソフトウェア(SW)とハードウェア(HW)が一体化したフィジカルAIが登場
- AIの進化により、従来のロボット制御とは異なるEnd to End制御が可能になり、既存技術では実行困難であった汎用かつ高度なタスク操作が可能に

企業の在り方の変化



- 従来のヒトが主体の企業からAIエージェントが主体となり、多様な役割を自律的に担うことで、企業運営の効率化・高度化にとどまらず、抜本的な企業改革が進む

Agenda

I. LLMの進化と現在地(限界点)

II. 3つの潮流を踏まえた5~10年後の技術動向

II-① マルチモーダル・推論モデル技術動向

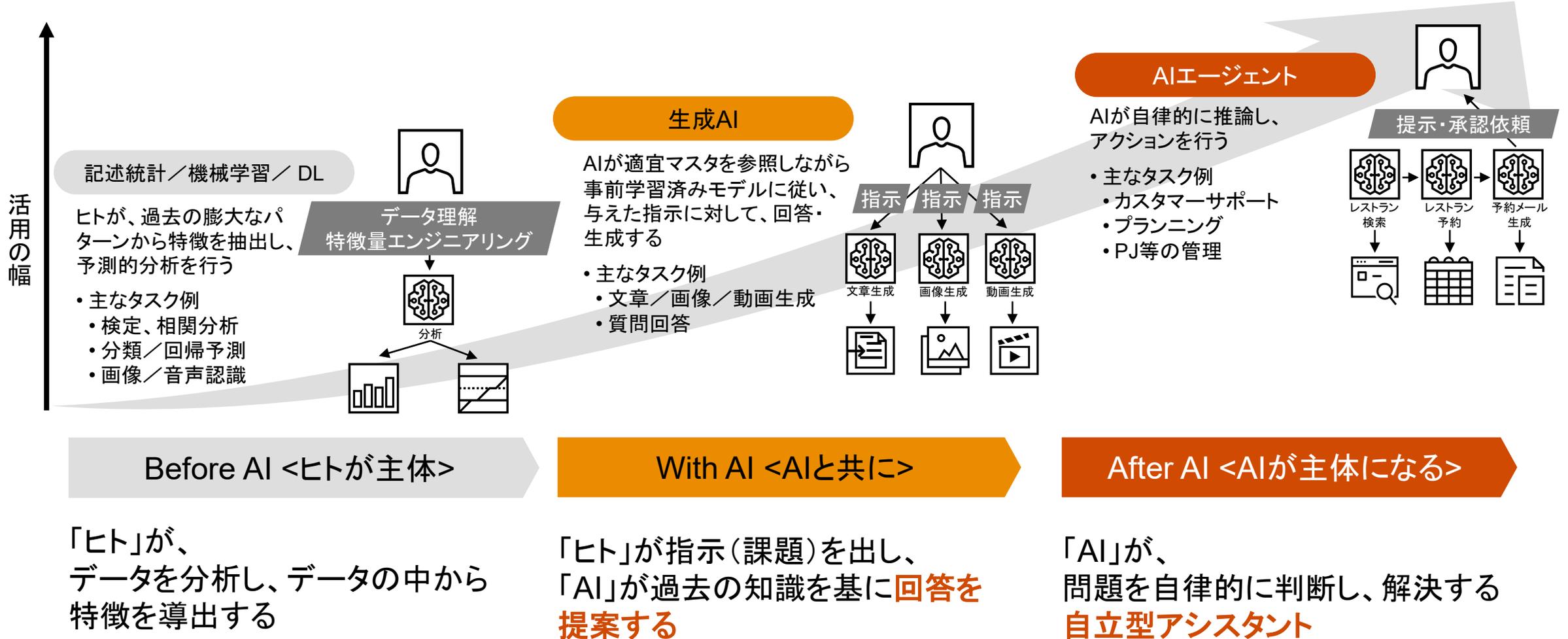
II-② AIエージェント技術動向

II-③ ロボティクスにおける生成AI技術動向

III. 技術動向を踏まえたAIエージェント時代の企業の在り方

AI全般のトレンド

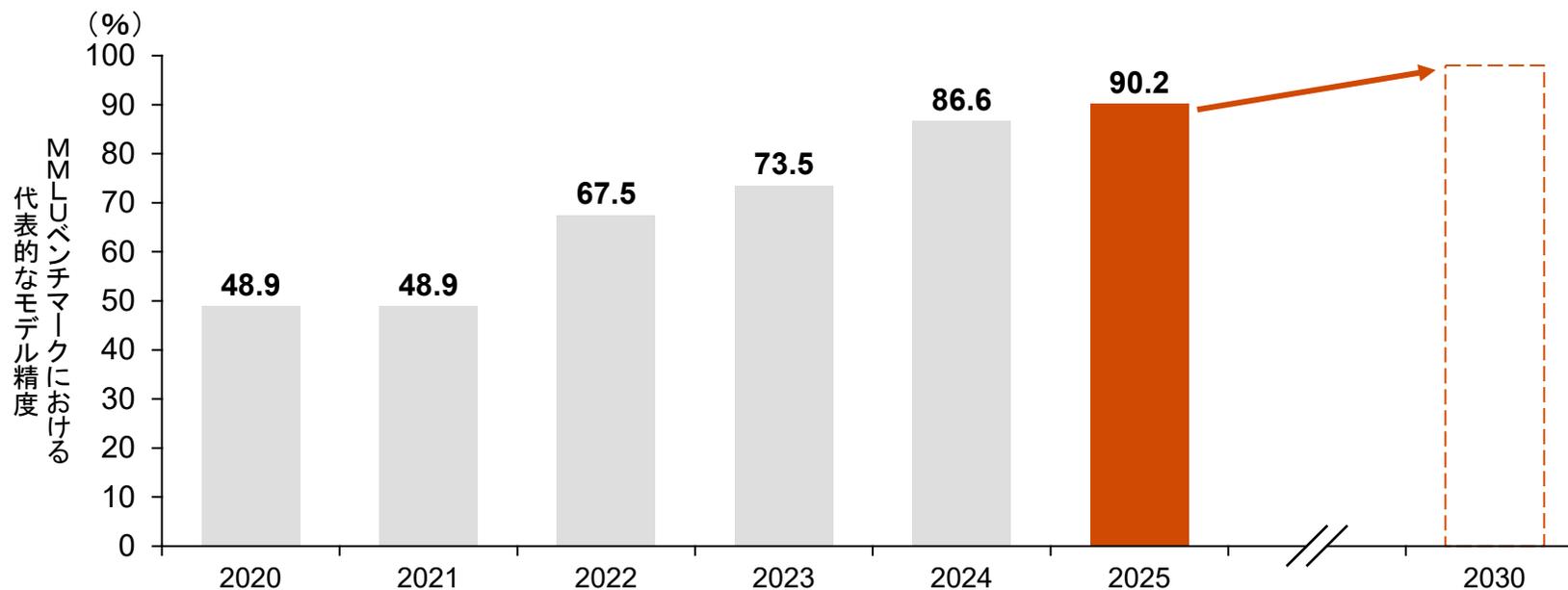
Before AIはヒトがデータを理解・分析し、特徴量を抽出していたが、After AIは単に指示(問題)を与えるだけでアクションが可能になり、AIが主体となり始めている



LLMの技術進展のスピード

LLMの精度向上は事前学習と推論のスケールリング則に支えられて高速に進展しており、今後も推論スケールリングによりさらに向上すると考えられる

MMLUベンチマーク*における各年度の代表的なモデル精度(%)の推移



過去5年
最高精度は右肩上がりに推移
「巨大なモデルの開発が終わりに近づいている」という識者も存在し、事前学習スケールリングには限界があることを指摘

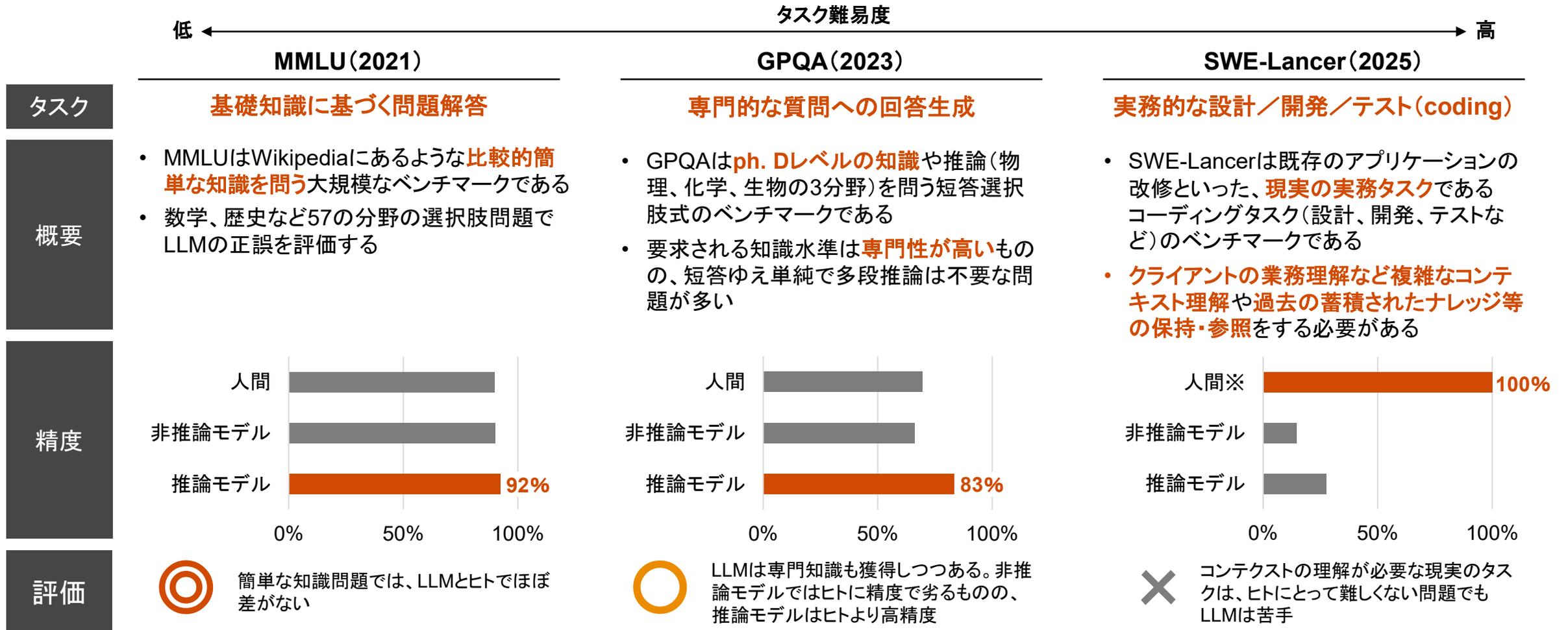
今後は、推論時スケールリングによって最高精度はさらに向上していくと予測

精度向上要因	カテゴリ	事前学習スケールリング	推論スケールリング
	概要	大規模な文書データを活用してLLMに知識を与えるステップにおけるスケールリングのこと	予測をしたいデータを事前学習済みモデルに当てはめ、結果を導くステップにおけるスケールリングのこと
	効果	モデルのサイズ、訓練データ、訓練時間を大きくするとモデル精度が向上する	推論時間を長くするとモデル精度が向上する

*MMLUベンチマーク: 様々な分野のタスク(数学、歴史、コンピュータサイエンス、法律など)に対する言語モデルの性能を評価するためのベンチマーク

LLMの現状の精度

LLMの急激な進歩により、難易度の低いタスクではすでにヒトを超える精度を達成している。一方で、コンテキスト理解が必要な複雑なタスクは依然として苦手な分野である

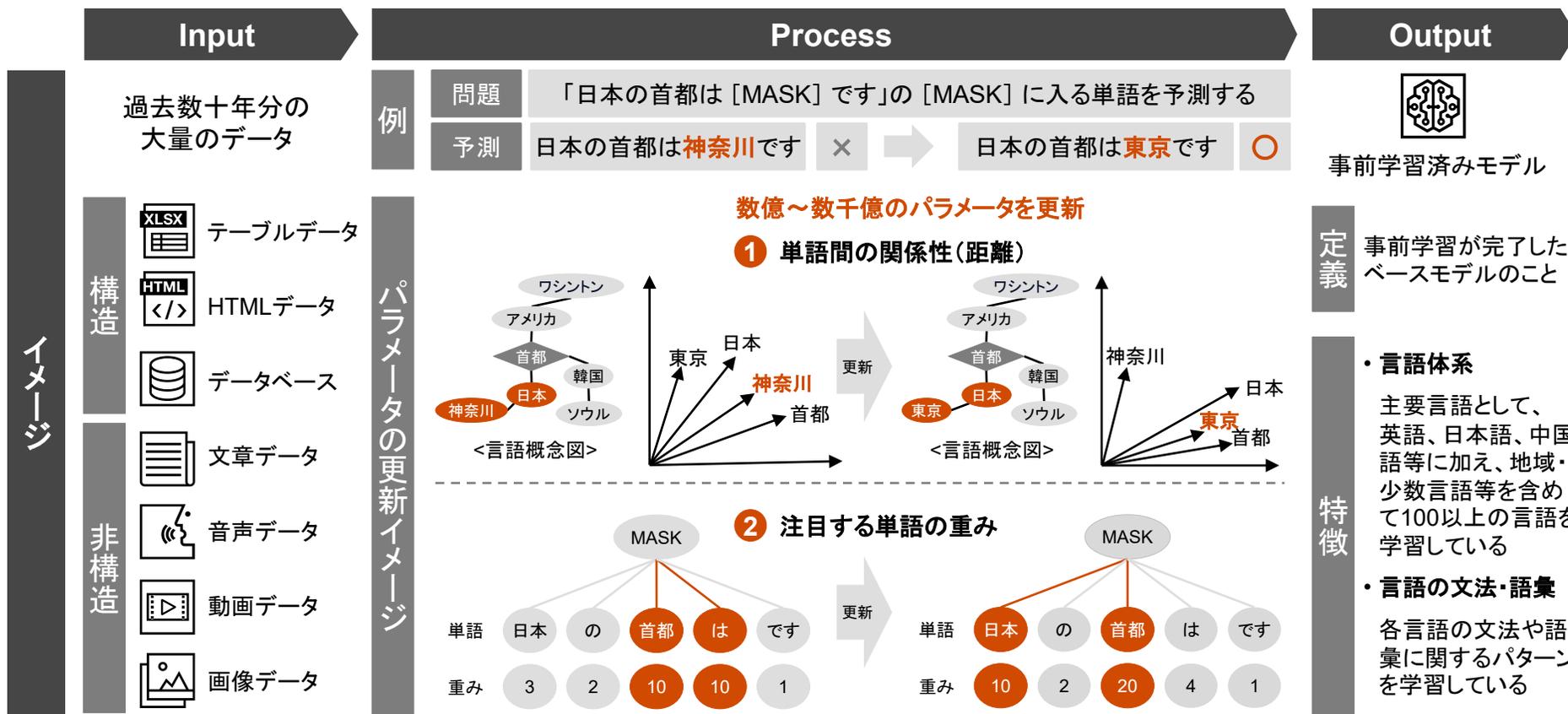


※SWE-Lancerは全てヒトによって解かれている実タスクであるため、精度を100%とした

[参考] Large Language Modelとは

大量の学習データを用いて、単語間の関係性や注目する単語の重み等を最適化し、LLMのベースモデルを構築する
LLMの学習方法

ポイント(MLとの違い)



1 埋め込みベクトル

LLMでは、単語や文が「意味空間」と呼ばれる高次元の空間内で表現できるため、文や単語の意味を解釈可能

2 Attention

入力全体を見渡し、文脈の中で本質的に重要な部分に集中する仕組みがあるため、複雑なテキストからでも関連性の高い情報を効率的に抽出し、文脈に応じた自然で一貫性のある応答を生成することが可能

概要

- 過去数十年分の大量の文章データを入力する

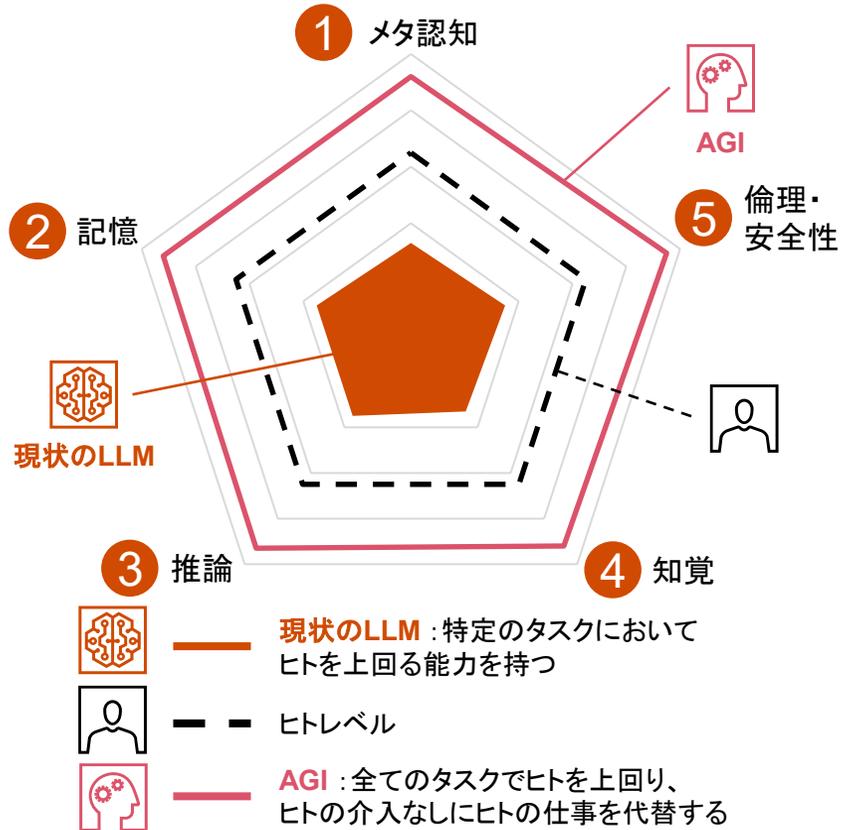
- 文章データの正確な穴埋めをできるように単語間の関係性(各単語に対する埋め込みベクトル)や注目する単語の重み(Attention)等のパラメータを更新し、最適化する自己教師あり学習を行う

- 学習されたベースモデルが出力される

現状のLLMの精度の問題点

現在のLLMが抱える問題として、コンテキスト理解や自己改善における①メタ認知、さらには長期的な知識の保持に関する②記憶のハードルを越えることが、精度アップの秘訣

現状のLLMとAGI(汎用人工知能)のレベル感



参考: Feng, Tao, et al. "How Far Are We From AGI: Are LLMs All We Need?." arXiv preprint arXiv: 2405.10313 (2024).

さらなるLLMの精度アップへ向けて必要な項目

精度アップのポイント

解決しつつある領域

①メタ認知

- 現在のLLMは、**コンテキストを踏まえた事象の抽象化**やその概念的なメタ情報の理解に**限界がある**ことに加え、**自己改善能力はまだ見られない**。
- AGIレベルでは、自意識を獲得する可能性があり、自己改善によって継続学習する可能性がある。

②記憶

- 現状のLLMはプロンプトウィンドウ内のみで短期的な記憶を保持可能。一方で、膨大な過去の情報を全て参照することができず、**長期的な知識の保持に課題**がある。
- AGIレベルでは、純粹に記憶を効率的に管理するにとどまらず、知識の自動更新や検索と推論の統合による記憶の長期保持を行える可能性がある。

③推論

- 現状のLLMは推論モデルの登場で今まで苦手としてきた数学などの**多段階の推論が可能**となりつつある。
- AGIレベルでは、根本的な因果関係の理解、複雑で長いコンテキストを持つ推論、ハルシネーションの低減を行う可能性がある。

④知覚

- LLMは言語ベースの理解が主であったが、画像、音声、触覚などの**マルチモーダルな知覚も可能**となりつつある。
- AGIレベルではさらに多くのモダリティを同時に統合し、より堅牢で信頼性が高くなる可能性がある。

⑤倫理・安全性

- 現状のLLMは、**ガードレール**の設定などにより、学習データに含まれるバイアスから不公正や差別的な言動を避けるための制御が可能となりつつある。
- AGIレベルでは、ヒトや他のLLMとのかかわりにおいて倫理・安全性に関連する問題をより起こさなくなる可能性がある。

[参考] ベンチマークの種類と内容について

近年ではLLMの性能向上に伴い、一般的な知識を問うものからより高度な専門知識や推論能力を問うものまでさまざまなベンチマークが存在する

分類	ベンチマーク	概要	問題例
一般知識	MMLU	57の多様なタスク(歴史、数学、法律など)でLLMの知識と推論力を測定する選択問題集	複素数平面 z において、 $z^2= z ^2$ を満たすのは以下のうちどれか。(A) 2つの点 (B) 円 (C) 半直線 (D) 直線
	TriviaQA	WikipediaなどWeb上から収集されたファクトベースの大規模質問応答タスク	エル・アライメンの戦いはどこの国で起こったか。
専門知識	GPQA	物理、化学、生物の専門家によって作成された、各分野別のph. Dレベルの難易度を持つ問題群	二つの量子状態が 10^{-9} , 10^{-8} 秒の寿命を持つとき、これらのエネルギーを明確に区別できるようなエネルギー差は以下のうちどれか。 10^{-4} eV, 10^{-8} eV, 10^{-9} eV, 10^{-11} eV。
	MedQA	米国の医学試験(USMLE)の過去問を使用した医学知識のベンチマーク	57歳の男性が、右上肢と右下肢の脱力を2カ月前から自覚し、かかりつけ医を受診した。(中略)この患者の症状の原因として最も可能性が高いのはどれか。A: HLA-B8ハプロタイプ、B: HLA-DR2ハプロタイプ、C: SOD1の変異、D: SMN1の変異、E: ウイルス感染
数学(競技)	MATH	AMC, AIMEなどの高校生以下を対象とした競技数学の問題を含むデータセット	正の実数 a と b が $a>b$ および $ab=8$ を満たす。 $(a^2+b^2)/(a-b)$ の最小値を求めよ。
推論	BIG-Bench Hard	言語理解・論理・創造性などさまざまな能力を測定するベンチマークであり、その中でも従来のLLMが苦手とする多段階の推論を必要とする問題群	以下の単語をアルファベット順に並べ替えよ。 Burley, bela, Arapaho, bacteria, book
	DROP	長文の読解と離散的推論(数値計算、比較)を必要とする質問応答タスク	「1517年、17歳の王はカスティーリャへ航海した。(中略) 1518年5月、チャールズはアラゴンのバルセロナへ旅行した」。チャールズが先に旅行したのはカスティーリャか、バルセロナか?
実務	SWE-lancer	フリーランスエンジニアが実際に受注するような現実のコーディングタスクを集めた問題群	既存の〇〇というアプリケーションに、ウェイポイントエディタで、次のフローを追加してください:ドットメニューアイコン -> メニューポップアップ -> 削除確認 実現すべき最終デザインのスクリーンショットについては、このコメント(省略)を参照してください。
	GAIA	現実に遭遇する可能性のある短答問題を主に集めたもの	尋常性瘡瘡(じんじょうせいざそう)におけるピロリ菌に関する臨床試験のNIHのウェブサイトに掲載されている2018年1月~5月の実際の登録者数は?

Agenda

I. LLMの進化と現在地(限界点)

II. 3つの潮流を踏まえた5~10年後の技術動向

II-① マルチモーダル・推論モデル技術動向

II-② AIエージェント技術動向

II-③ ロボティクスにおける生成AI技術動向

III. 技術動向を踏まえたAIエージェント時代の企業の在り方

3つの潮流

①ベースモデル自体のさらなる精度向上が、②エージェントの普及や③ロボティクスとの融合へと繋がるという3つの潮流が存在する

LLMにおける課題

長期記憶保持とアクセス性の限界

メタ認知的抽象化と自己学習能力の欠如

①ベースモデル自体のさらなる精度向上

マルチモーダルなインプットの拡充

マルチモーダルなインプット情報の統合により、複雑な感情の理解力が向上し、それに伴って半永続的な記憶力も向上

パターン認識から推論モデルへの変化

思考の連鎖により、アナロジーを用いた汎化能力が向上し、それに伴って、自己学習や知識創造が発展する見込み

3つの潮流

ベースモデルの進化に伴う、活用の幅の広がり

②デジタル空間: エージェントの普及

実務的なタスクを自律的に実行

従来の受動的なAIとは異なり、ユーザーの目的に応じて自律的にタスクを設計・実行する能動的なAIが普及



③フィジカル空間: フィジカルAIとの誕生

SWとHWが一体化

SWの発展により知能化が進んでおり、今後はSWとHWが一体的となり、汎用かつ高度なタスク操作を実行するフィジカルAIが誕生



Agenda

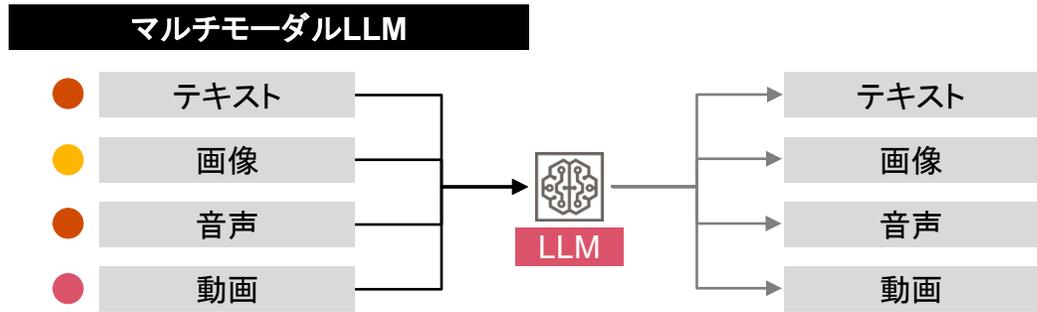
- I. LLMの進化と現在地(限界点)
- II. 3つの潮流を踏まえた5~10年後の技術動向
 - II-① マルチモーダル・推論モデル技術動向
 - II-② AIエージェント技術動向
 - II-③ ロボティクスにおける生成AI技術動向
- III. 技術動向を踏まえたAIエージェント時代の企業の在り方

マルチモーダルの現状と今後

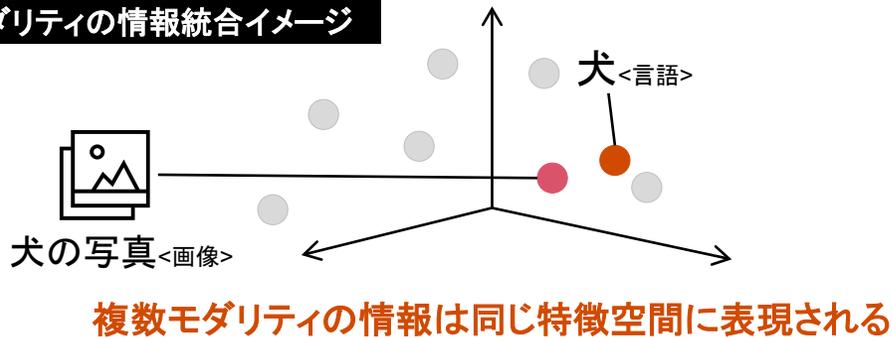
マルチモーダルLLMは、複数モダリティの情報の統合・出力が可能。多様な情報の統合により、感情理解能力が向上し、重要な情報を選別することで永続的な記憶力も向上

マルチモーダルLLMとは

- マルチモーダルLLMは、画像や音声など**複数モダリティの情報を同じ特徴空間で表現できるため、情報の統合や変換が可能**

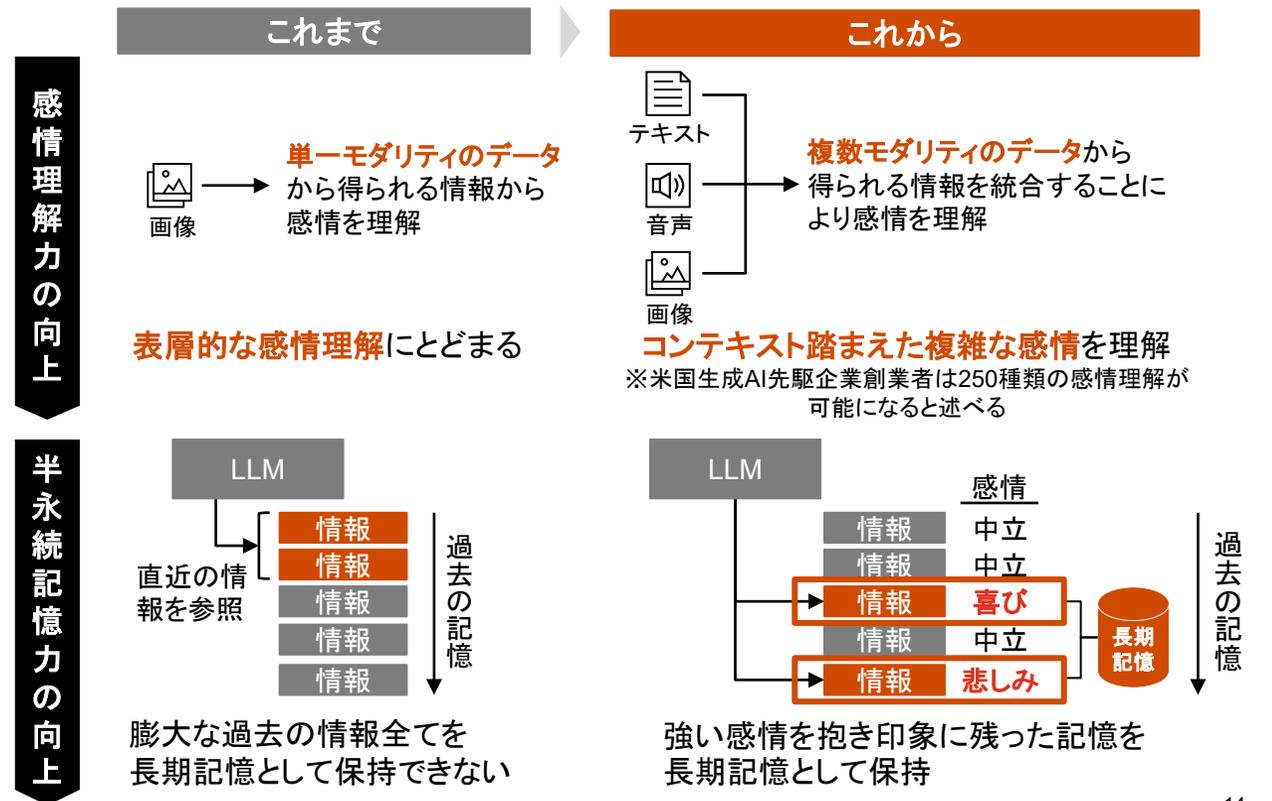


複数モダリティの情報統合イメージ



マルチモーダルLLMの未来

- マルチモーダルLLMによる情報統合されたことで、表層的な感情理解を超え、**複雑な感情を捉えることが可能**
- さらに、重要な感情を捉えやすくなるため、**情報の引き出しや保存すべき情報が明確になり、長期記憶が可能**

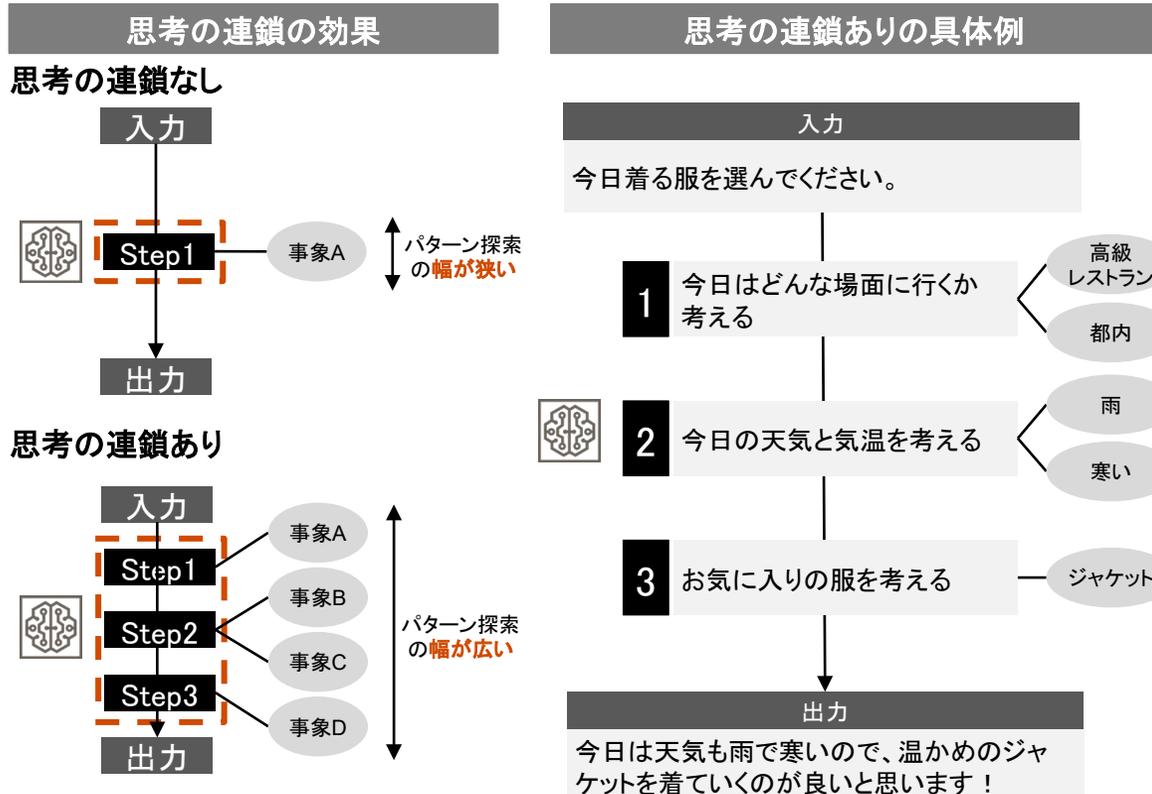


推論モデルの現状と今後

問題(指示)を理解・分解してより深い回答をこなすことが可能になり、今後は問題(指示)のコンテキストや文脈・意図を推察した上での知識創造や自己学習へ発展が見込まれる

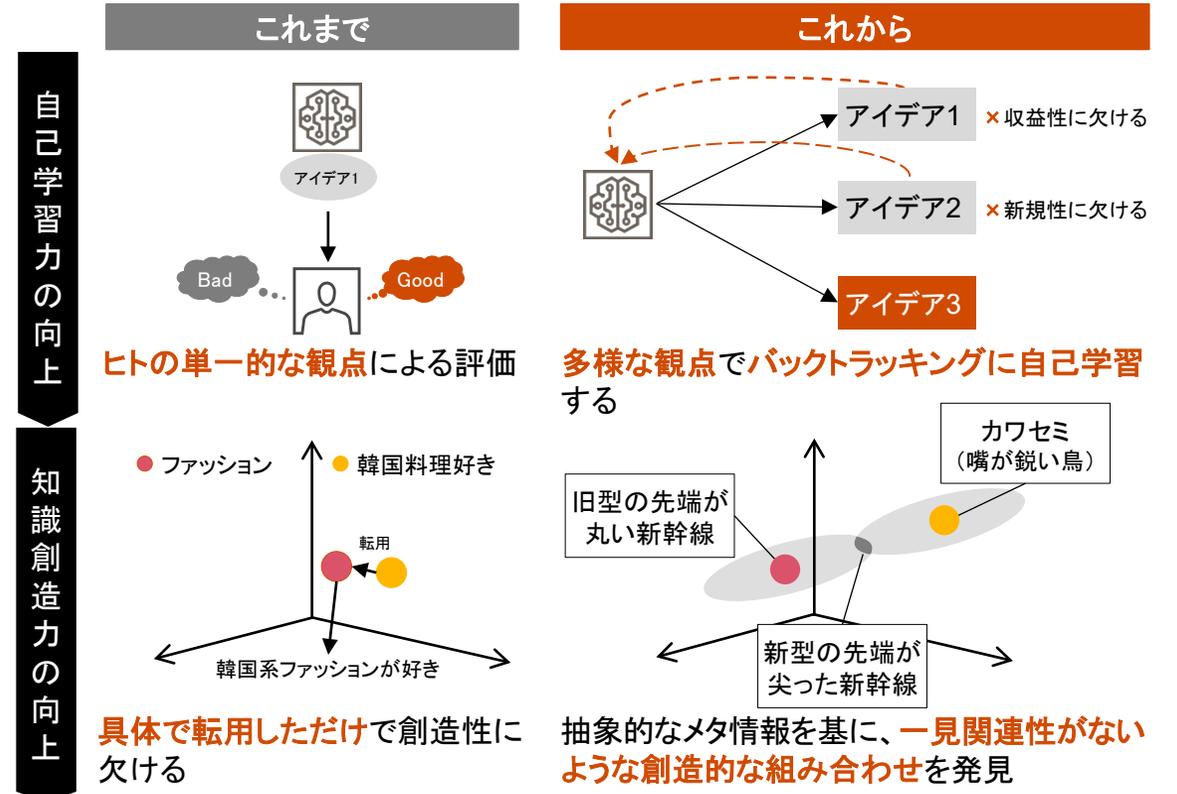
推論モデルの特徴

- 推論モデルは、思考の連鎖(Chain of Thought, CoT)を通常のLLMよりも長く生成することで、複雑な問題を分解し、その背後に隠れたパターンや意図を発見できるため、アナロジーによる汎化力が向上



今後の発展余地

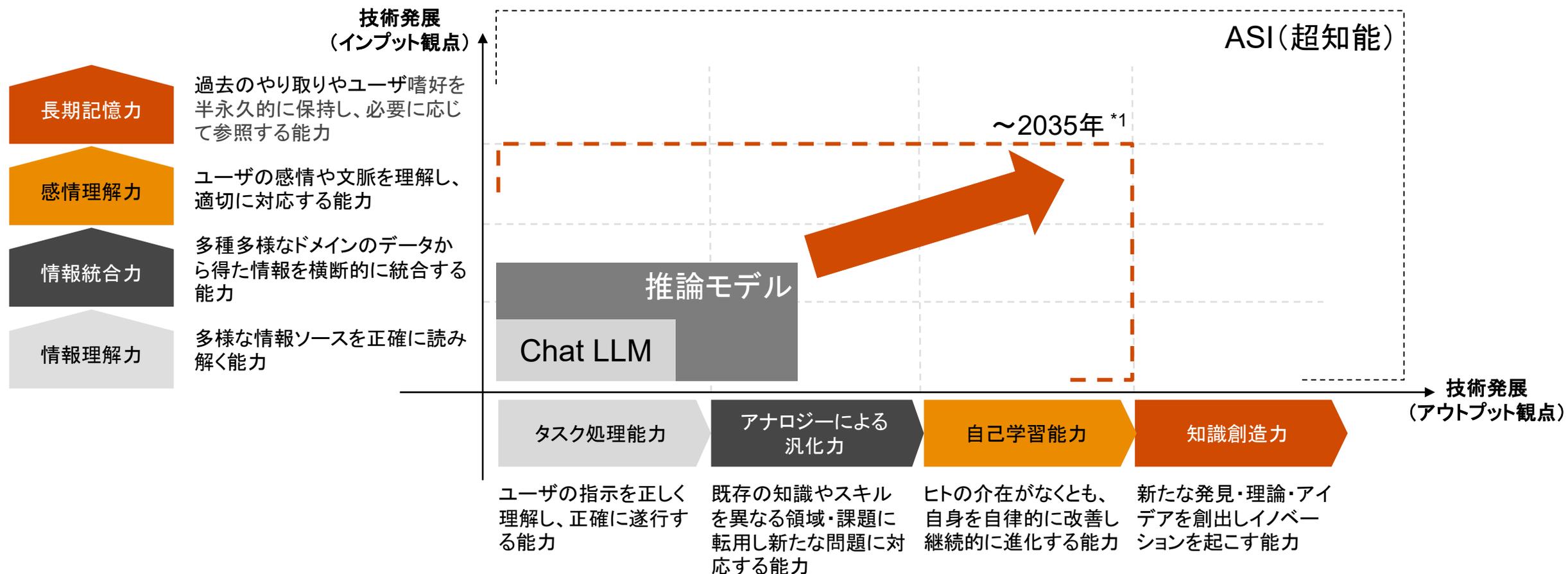
- アナロジーを使って知識の汎化力を高め、多様な観点でバックトラッキングを活用して試行錯誤を行うことで、自己学習能力が向上
- 自己学習能力の向上により、抽象的な概念や情報構造を深く把握できるようになり、知識創造力が飛躍的に向上



LLMの進化の方向性

LLMの能力は、インプットの観点では、より幅広い情報を統合する方向へと進化する。
アウトプットの観点では、より「深く」思考ができる方向へと進化する

AI技術発展のマッピング

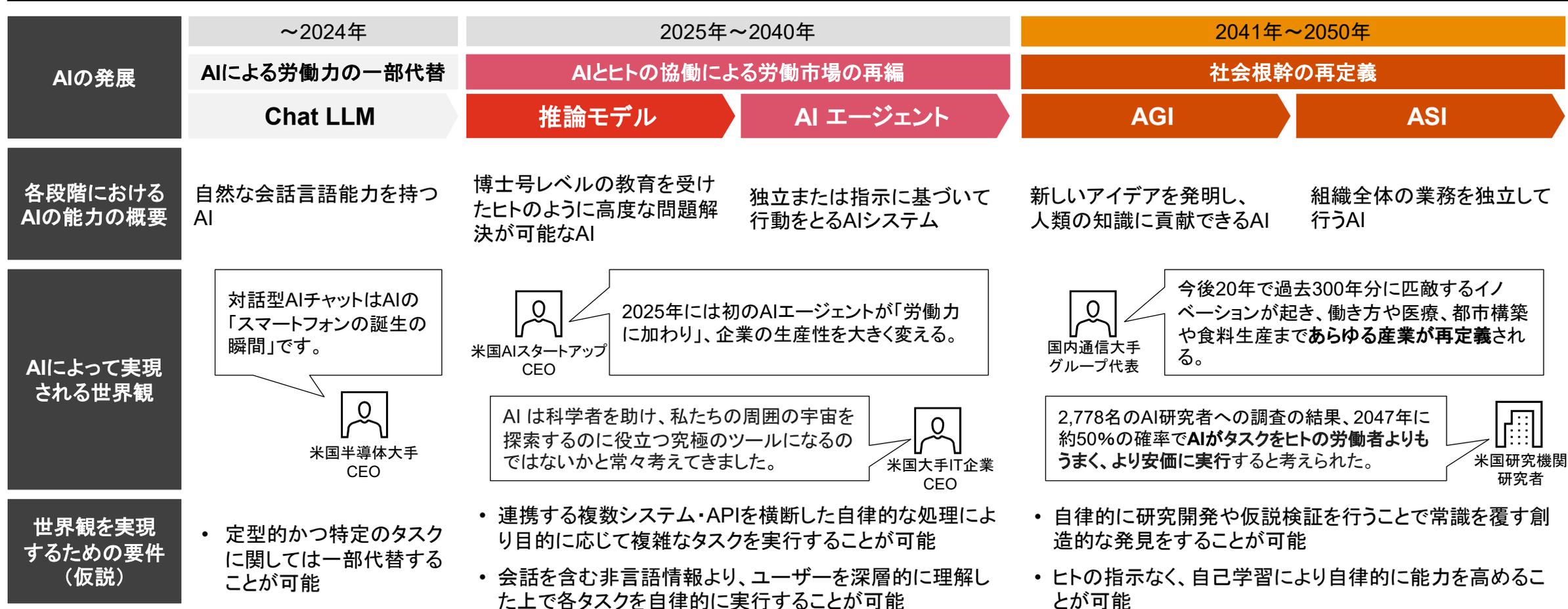


*1: 汎用AIの実現に期待感が高まり、今後10年以内に汎用AIが登場するとの見方が増えている

[参考] 各社や著名人におけるAGIのレベルとは

社会の根幹を再定義する可能性が高いAGI(汎用人工知能)やASI(超知能)は、2040年以降に登場すると予測される

各社や著名人が定義するAIの段階的發展



*1: 複数の公開資料よりPwCが作成

[参考] SLMの発展・普及とは？

SLMはLLMと比較し、パラメータ数を数千分の1に小型化したモデルで、特定タスクでは同等の性能を発揮。軽量で機密性の高い分野での活用が期待される

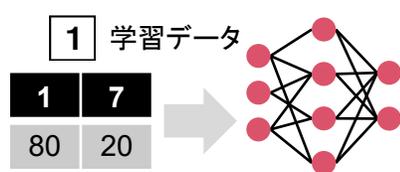
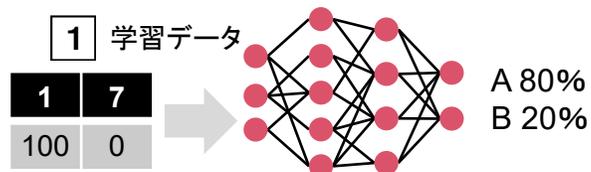
言語モデルのサイズ削減手法

学習済み大規模言語モデル (LLM)

小規模言語モデル (SLM)

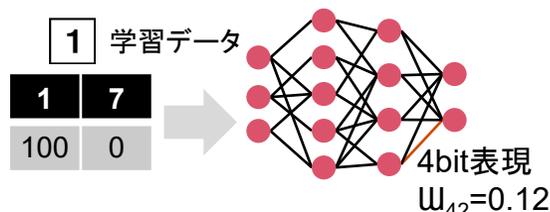
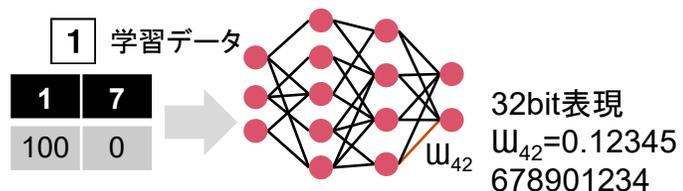
蒸留

学習済みの大規模モデルの確率分布を学習データとすることで、よりサイズの小さいモデルで同様の推論を実現し、モデルダウンを果たす手法



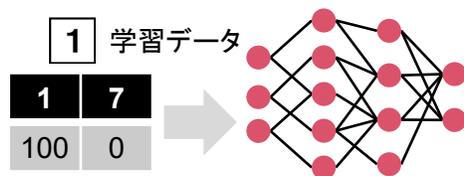
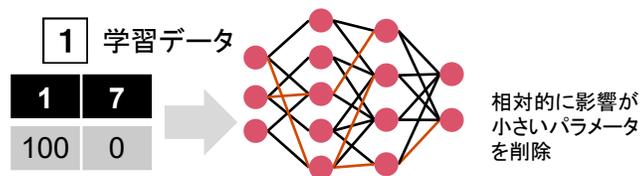
量子化

ニューラルネットワークの重み(パラメータ)の数値をより低精度の低ビットで表現することで、モデルダウンを果たす手法



枝刈り

ニューラルネットワークの影響の小さいパラメータや層を削除することでモデルダウンを果たす手法



LLMとSLMの比較

比較観点	LLM	SLM ^{*1}
得意領域	大規模なデータセットでトレーニングされており、生成される文章の精度や自然さが高く、幅広いタスクに対応	精度を大きく損なわない形でモデルのサイズが削減されており、メモリや計算資源が限られた環境でも動作可能。開発・運用コストが低い
苦手領域	開発時のトレーニングには大量のデータと計算リソース、時間が必要。運用コストも高い	パラメータ数が少ないため、LLMに比べて生成される文章の精度や自然さが劣り、汎用性が低い
モデル精度	最先端推論モデル	特定タスクではLLMと同等
事前学習時間	数カ月	数日
推論速度	数分(タスクに依存)	数秒
実行環境	クラウド(API提供)	クラウド、エッジデバイス
普及領域	ネットワーク接続されたあらゆる領域で活用可能	<ul style="list-style-type: none"> プライバシーが求められる医療や秘匿性の高い特定ドメイン IoTやスマートフォン
企業特化	<ul style="list-style-type: none"> RAG^{*2}による参考情報の追加で可能 事前学習は困難 	<ul style="list-style-type: none"> RAG^{*2}による参考情報追加 学習コストが低いため企業データで事前学習も可能

*1: Microsoft『Phi-4 Technical Report』を参考にPwCが作成

*2: Retrieval-Augmented Generationの略で、LLMのもつ知識を外部知識で補完する技術

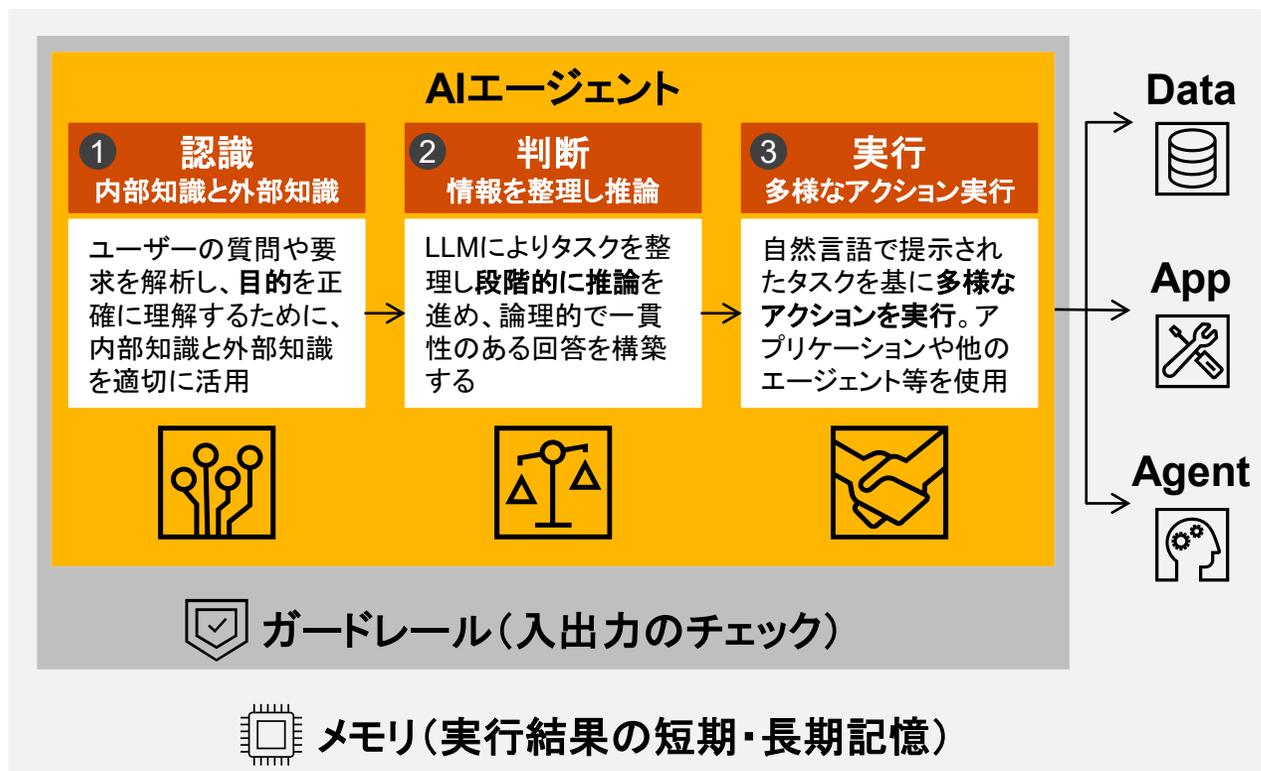
Agenda

- I. LLMの進化と現在地(限界点)
- II. 3つの潮流を踏まえた5~10年後の技術動向
 - II-① マルチモーダル・推論モデル技術動向
 - II-② AIエージェント技術動向
 - II-③ ロボティクスにおける生成AI技術動向
- III. 技術動向を踏まえたAIエージェント時代の企業の在り方

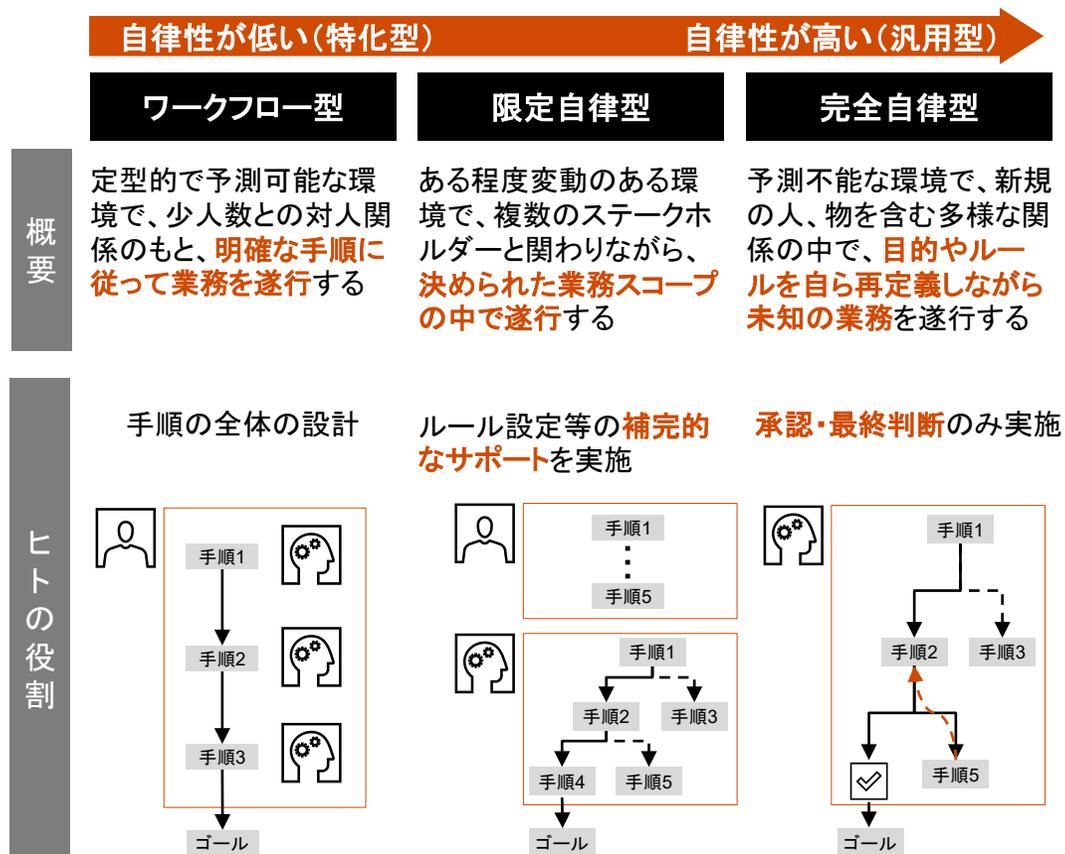
エージェントとは

従来のユーザー指示(プロンプト)を必要とする受動的なAIと異なり、ユーザーの目的に応じて自律的にタスクを設計、実行し、ユーザーに価値を提供する能動的なAIを指す

AIエージェントの概要

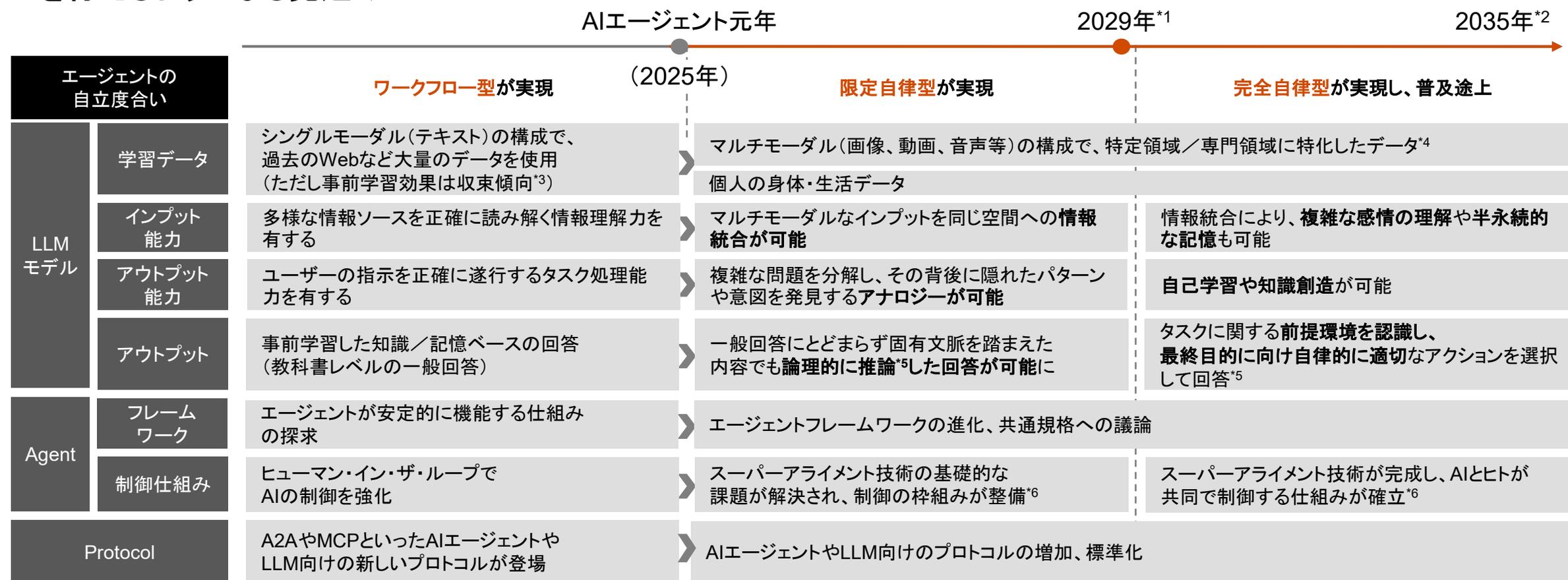


AIエージェントの自律度合い



AIエージェントの発展シナリオ

2035年には、モーダルの種類や学習データの増加、LLMの精度アップにより幅広い文脈を踏まえた自律的なアクションを行えるようになる見込み



*1: Gartnerは2028年までに、企業のソフトウェアエンジニアの90%がAIコードアシスタントを使用するようになる予測 (<https://www.gartner.com/doc/reprints?id=1-2IKO4MPE&ct=240819>, 24'8)

*2: 汎用AIの実現に期待感が高まり、今後10年以内に汎用AIが登場するとの見方が増えている (P22参照)

*3: Open AI共同創設者イリア氏がデータ枯渇を警鐘。現在のLLM大規模化の限界を指摘し、今後はLLMに専門性高い事象を思考させるフェーズへの意向を示唆 (<https://www.geeky-gadgets.com/ilya-sutskever-future-of-ai-2025/>, 24'12)

*4: OpenAIが強化学習によるファインチューニングによって、特定分野にAIを特化させることを目的とした研究プログラム(Reinforcement Fine-Tuning Research Program)を公開 (<https://openai.com/form/rft-research-program/>, 24'12)

*5: Google (Gemini), OpenAI (o1, o1 pro, o3)と思考するモデルをリリースし、思考が必要な競技プログラミング、博士レベル数学、数学オリンピックのベンチマークのテストで過去最高成績を出した(各社HP, 24'12)

*6: OpenAIはヒトよりもはるかに賢いAIシステムを制御し、その意図に従わせるための新プロジェクト「Superalignment」を立ち上げ (<https://openai.com/index/introducing-superalignment/>, 23'7)

[参考]汎用AI(完全自律型AIエージェント)実現への見通し

生成AIの登場で汎用AIの実現への期待が高まり、今後10年以内に登場するとの見方が増える一方、実現時期は不透明で時間がかかるという意見もある

専門家／企業	発言時期	予測時期	予測時期に関する発言
米国大手IT企業CEO	2023年5月	2033年以内	「ここ数年の進歩はかなり驚くべきものであり、その進歩が鈍化する理由は見当たらない。むしろ加速する」と述べ、あと数年や10年以内には到達する可能性がある」と指摘。
米国大学名誉教授	2023年5月	2043年以内	「汎用AIができるまで20～50年かかると思っていたが、今では20年かそれ以下かもしれないと考えている。さらに、AIが人類を絶滅させる可能性は考えられないことではない」と述べる。
米国研究機関研究者	2023年8月	2047年 (※50%の確率)	AI研究者2,778人へのアンケート調査によると、ハイレベル機械知能は2047年には50%の確率で実現するという結果であった。
国内通信大手グループ代表	2023年10月	2033年以内	ヒトの知能を超える汎用AIが「10年以内の実現し全人類の英知の10倍を達成する」と述べる。
米国AIスタートアップCEO	2024年1月	適度に近い未来	世界経済フォーラムにて「汎用AIは適度に近い未来 (reasonably close-ish future) に実現する」と述べる。
米国電気自動車大手CEO	2024年4月	2029年以内	「おそらく来年末頃には、どのヒトよりも賢いAIが登場する。今後5年以内に、AIの能力はおそらく全てのヒトの能力を超える」と述べる。

[参考] AIエージェントの自律性の発展における重要な設計要素

現時点でのエージェント型システム構築は与えられた目標とその環境の複雑さに応じた設計が必要。技術発展のためには環境への適応や独立した実行能力の向上、ヒトの制御のバランスが必須

観点	AIエージェントの設計上の難しさ		ヒトの介入余地とモニタリング	
	自律的な目標達成の複雑さ	環境の複雑さ	新規の状況への適応	独立性
概要	<p>トライアンドエラー</p>		<p>通常タスクでAと想定していたが、状況の変化が起きてBになった</p>	<p>✓ タスクプラン ✓ 実行過程 ✓ 実行結果</p>
注目観点	<ul style="list-style-type: none"> システムに求める目標がどれほど複雑かつ広範なものであるか 目標達成に必要なタスクが多いほど失敗しやすく、ユースケースごとに適切なタスク計画と評価を行う ヒトが期待する目標は曖昧性を含むため、システムへの適切かつ具体的な目標の写像が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 目標に対してシステムが直面する環境がどれだけ複雑であるか システムが動作する環境は、接続先のデータベースや活用するツール、その他エージェントなど複合性の要素で構成されるため、環境の複雑さを認識が可能か、環境に応じた振る舞いが可能かを検討 	<ul style="list-style-type: none"> システムが新規の事象や予想しない条件でどれだけ適切にふるまえるか リアルデータでの検証を通して、開発／テスト段階でシステムが直面し得る環境や状況を事前に確認。 モニタリング中に適応能力を超えると判断した際はヒトの指示を仰ぐことや中断、委任の余地を残す 	<ul style="list-style-type: none"> システムがどれだけヒトの介入を受けず、独立して目標を達成できるか エージェントは自律的に動作が求められるが、合わせて実行状況の監視と、エージェントに一意の識別子を設定して追跡性を高める安全性設計が必要 実行スピードと信頼性、安全性はトレードオフの関係
対応策	<ul style="list-style-type: none"> 目標に対してのタスク適合度合の評価 	<ul style="list-style-type: none"> 行動範囲の制限 デフォルト動作の設定 	<ul style="list-style-type: none"> 自動モニタリング ヒトによる制御権の保持 	<ul style="list-style-type: none"> 透明性の確保 固有の識別子の付与
現在地点	<ul style="list-style-type: none"> 単純な目標である一部用途に限定してシステムを構成 	<ul style="list-style-type: none"> 環境の認識自体の手段が限られており、システム設計で複雑さの事前定義が必要 	<ul style="list-style-type: none"> 思考型モデルの登場により、新たな状況での振る舞いを考えることは可能だが、評価は不完全 	<ul style="list-style-type: none"> 完全に独立して実行するシステムは意思決定や現実世界への影響がないタスクに限定

*1: Open AI 『Practices for Governing Agentic AI』を参考にPwCが作成

[参考] エージェントフレームワークとは

現在はLLMの性能やツールの制約から状態遷移型フレームワークが主流であるが、今後はより自律的なエージェント型フレームワークが実装される

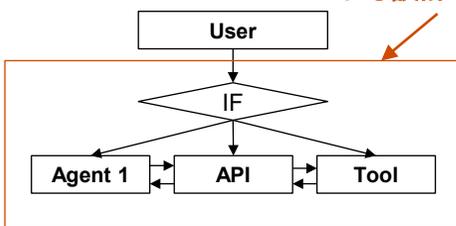
ワークフロー型制御が可能

より自律的なエージェントらしい振る舞いが可能

状態遷移型

OSSフレームワーク等に含まれる、グラフ化して状態管理する仕組み。有向グラフを繋げていくことで状態の管理やサイクルの管理を行う。

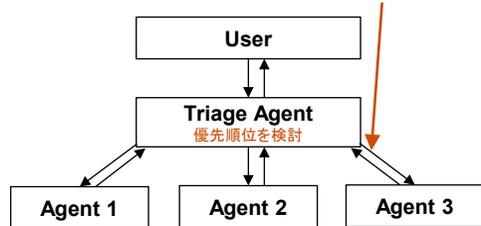
条件やフローはヒトによる設計が必要



汎用SDK型

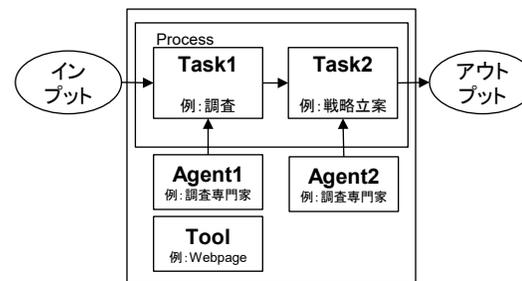
エージェントとツールの統合、エージェント間のタスク受け渡し、入出力の検証機能、実行過程の可視化を提供し、複数エージェントの協調動作や安全性の確保する。

条件やフローはエージェント自体が判断



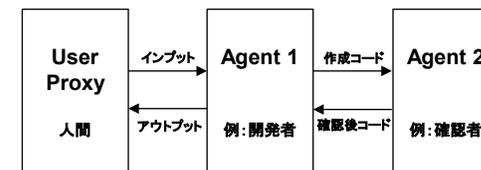
協調型

エージェントをバックボーンや役割ベースで定義する。目標を共有し、複数エージェントで協調的にタスクを遂行する。



自己駆動型

User Proxy Agentというユーザーの代理エージェントが起点となり、タスク完了まで、複数のエージェントとやり取りを行う。



概要

メリット

- フロー・条件の設定や外部ツールとの連携など視覚的・直感的に把握が可能
- ワークフローの細かい調整が可能で、エージェントの動作をヒトの想定通りに制御しやすい

デメリット

- グラフが肥大化するとノードとエッジが増えてわかりにくくなるリスク
- グラフの人手による設計が必要で工数がかかりやすい

- エージェント自体がタスクの振り分けを決定するため、自律的で効率的
- 大手モデル提供者が公式に提供するパッケージで、提供モデルシリーズと相性が良く、実装もシンプルでわかりやすい。

- エージェントが増えた場合の振り分け難易度が高い
- 特定モデル以外のモデルを利用できない

- 役割別の専門エージェントを用意することで、設計がわかりやすくなり、それぞれの強みを生かしやすい
- 一部オープンソースライブラリを利用して実装されており、オープンソースライブラリとの親和性が高い

- エージェントが増えたときの管理が煩雑

- 大手プラットフォームのエコシステムで他のパッケージと統合して扱える
- エージェントの定義など高度なカスタマイズが可能で、複雑な制御を要する研究開発などに活用しやすい

- 複数エージェントを協調させるための設計・設定がやや複雑
- 会話ベースでタスクをすすめるため、他ツールと比べて制御の難易度が高い

Agenda

- I. LLMの進化と現在地(限界点)
- II. 3つの潮流を踏まえた5~10年後の技術動向
 - II-① マルチモーダル・推論モデル技術動向
 - II-② AIエージェント技術動向
 - II-③ ロボティクスにおける生成AI技術動向
- III. 技術動向を踏まえたAIエージェント時代の企業の在り方

ロボティクスの変遷と今後の発展余地

ロボティクスは近年SWの発展により知能化が進んでいる。今後はSWとHWが一体的に発展することにより、より高度なタスクが遂行可能になると予想される

	1960～70年代	1980～90年代	2000年代～2020年	2020～2025年(現在)	2025～2030年	2030年～	
系譜	腕(HW)の発展		脳(SW)の発展			脳と身体の一體的発展	
	ITシステム		AI・デジタルの進化			高度なAIの進化	
	座標等のルールベースでの制御		従来制御+デジタルとの連携 認識技術の発展			HW/SWの統合 (End to End制御)	
	HW製造技術の確立		精密操作HWの製造技術の普及				
実装事例	産業ロボットの発展	精密分野への進展	ロボットの多様化	ロボットの知能化	AIロボットの民主化	ヒューマノイドの普及	
	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自動車産業を中心に産業用ロボットの導入 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 電子・電器産業の半導体製造や電子組み立て等精密分野でのロボット利用が拡大 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 家庭用ロボット掃除機や民間向けドローン等のロボットの多様化が進む 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ 自動運転やロボットの高次元意思決定機能が実験されている 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ End to End制御による汎用ロボットの出現 ✓ 汎用ロボットの発展によりBtoB以外の領域にもロボットが浸透 	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ヒトと同等程度のパフォーマンスが可能なヒューマノイドが実現 	
	〈ユニメーション社〉 ・世界初産業用ロボット(1961)	〈山梨大学他, SCARA〉 ・高速・高精度な電子部品組立ロボット(1981)	〈Amazon社, Kiva〉 ・倉庫ロボットシステム(2012)	〈Waymo社, Waymo One〉 ・完全自動運転タクシー(2018)	〈Neura Robotics社, MiPA〉 家庭用協調ロボット(2025) 〈Standard Robotics社〉 移動式協働ロボット(2022)	〈サンクチュアリAI社, Phoenix〉 ・汎用人型ロボット(実証実験段階)	

ロボティクスの進化における生成AIによる頭部分(認識、制御、実行)の重要性

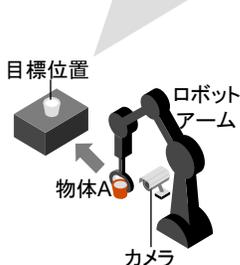
AIの進化により、従来のロボット制御とは異なるEnd to End制御が可能になり、既存技術では実行困難であった汎用かつ高度なタスク操作が実現する

従来の逐次処理によるルールベース制御

処理	一方向	・ 指令から実行まで指定ルールに従い逐次的にタスクを実行
指令	具体/特定	・ 状況が限定された特定のタスクのみ実行可能
頑健性	低い	・ 想定外のイベント発生によりエラーが生じるリスクが高い
構成	独立	・ 認識・計画・制御・実行が機能ごとに独立されており逐次的に実行 ・ 直列的な処理であるため、環境のあらゆる制約に配慮した並列的な思考が困難

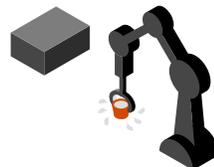


物体A(液体の入った紙コップ)を指定座標・指定姿勢 $(x, y, z, \psi, \theta, \phi)$ まで移動してください



- ルールベース制御**
1. カメラによる現在位置と目標位置の差分を計算
 2. ロボットアームの目標姿勢を計算
 3. 目標姿勢までに必要な各関節のトルク・電流値を計算

想定外の変化(対象物の形状変化、液体の飛散)に対応できない

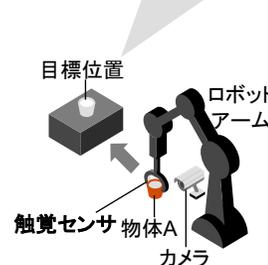


AI技術の発達によるEnd to End制御

双方向	・ 環境変化に合わせてタスクを調整しながら実行
抽象/汎用	・ 環境差分を一定許容できる汎用的なタスク
高い	・ 一定程度までは状況の変化に対応し適切な対応が可能
統合	・ 複数のセンサ情報と最終的なロボット出力を統合して学習させることにより、各処理が統合された一気通貫制御を実行 ・ 複数の情報を統合した思考が可能であるために、環境のあらゆる制約に配慮した対応が実現可能に

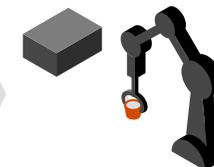


コップを台の上に置いておいてください



- End to End制御**
- ✓ コップは見たところ液体が入っており、こぼさないように運ぶ必要がある
 - ✓ コップは触った感覚で紙でできており潰さない程度の力で持たなければならない
 - ✓ ...

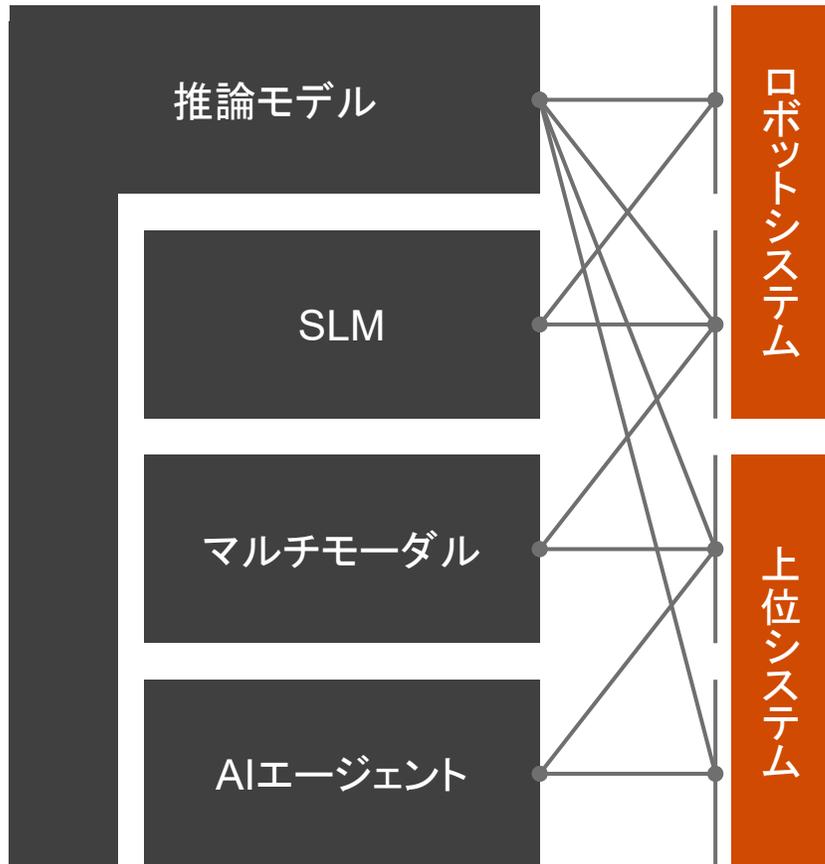
センサ全体の情報から起こりうる事象・起きた事象への柔軟な対応が可能



生成AI発展(脳)によるロボティクス・上位システム進化シナリオ

汎用パッケージ化、複雑タスク対応といったロボットシステムの進化と、群制御やIT+OT連携といった上位システムの進化を想定

生成AI(脳)技術



AI技術発展により影響する技術進化シナリオ

汎用ロボ化

モバイルマニピュレータ、セミヒューマノイド、ヒューマノイドなどのHW / SWの統合や**推論モデル(脳)の高度化**、**SLM(小脳)の高速化**により、ルールベースのタスク実行から汎用タスクの遂行が可能になる

実行タスクの高度化

力触覚などのセンシングを含めた**マルチモーダルAIの一体的高度化**、**End to EndでのAIの統合的制御**により、従来技術的に自動化が難しかった高度なタスクの自動化が可能になる

ロボ自律化

スマート工場等の作業現場においてロボットがIT+OTと連携し、**現場の機器やIoTのデータからの情報に基づきながらロボットが自律的に判断・作業**する。逆に、ロボットからのセンシングデータや作業結果もデータ統合され、現場全体がシステムとしてループがまわる

ロボ間協調

工場ラインの多数台ロボット連携に加え、幅広い業界で移動ロボットやモバイルマニピュレータの多数台連携するために、**タスク・役割を分担・協調するシステムの活用が進む**。**中央司令塔的知能システムによる群制御**と、ロボット各々が自律的に判断する**マルチエージェントシステム**の大きく2つの技術の進化を想定

Agenda

- I. LLMの進化と現在地(限界点)
- II. 3つの潮流を踏まえた5~10年後の技術動向
 - II-① マルチモーダル・推論モデル技術動向
 - II-② AIエージェント技術動向
 - II-③ ロボティクスにおける生成AI技術動向
- III. 技術動向を踏まえたAIエージェント時代の企業の在り方

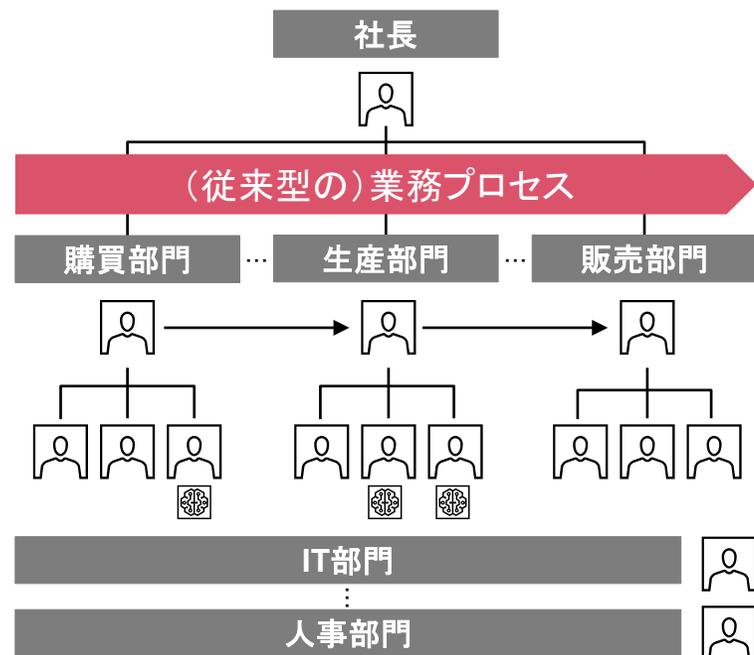
AIエージェント時代の企業の在り方の変化

ヒトを起点に回っていたピラミッド型組織と固定化された業務フローは、AIを起点にホラクラシー型組織へと刷新され、業務フローはリアルタイムで動的に最適化される

～2025年

現在

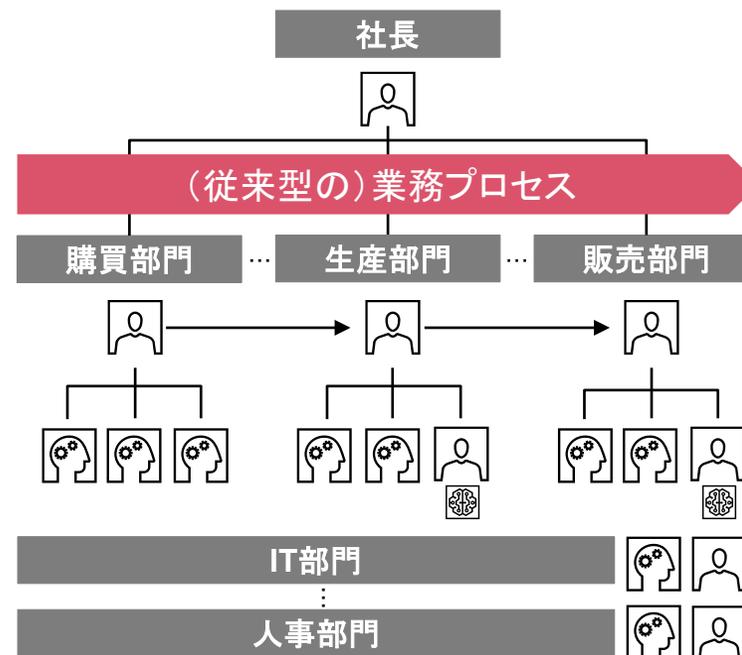
ピラミッド型組織で、「ヒト」が固定された業務フローを実行



2025年～2030年

シンビオティック・エンタープライズ

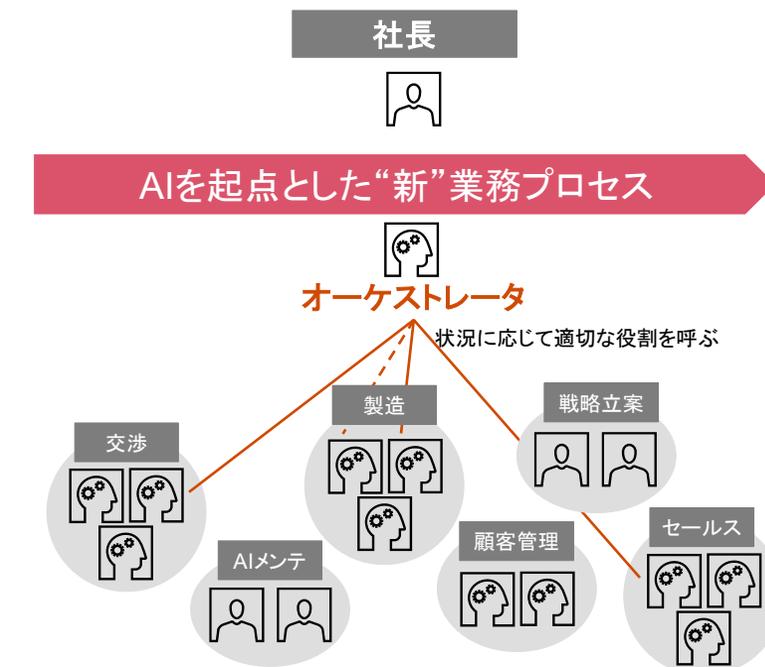
ピラミッド型組織で、「AIとヒト」が固定された業務フローを実行



2035年～

シンギュラリティ・エンタープライズ

ホラクラシー型組織で、「AI」が動的再編される業務フローを実行



※ 各AI Agentとヒトはそれぞれ役割を持つ

シンビオティック・エンタープライズにおけるAIとヒトの役割

AIが実務を担い、ヒトはヒューマンタッチやイノベーション創出に加え、AI制御を通じて、組織文化と倫理観を守り、戦略的かつヒト的な価値を創出する役割を担う

AIの代替可否

主要な役割(例)

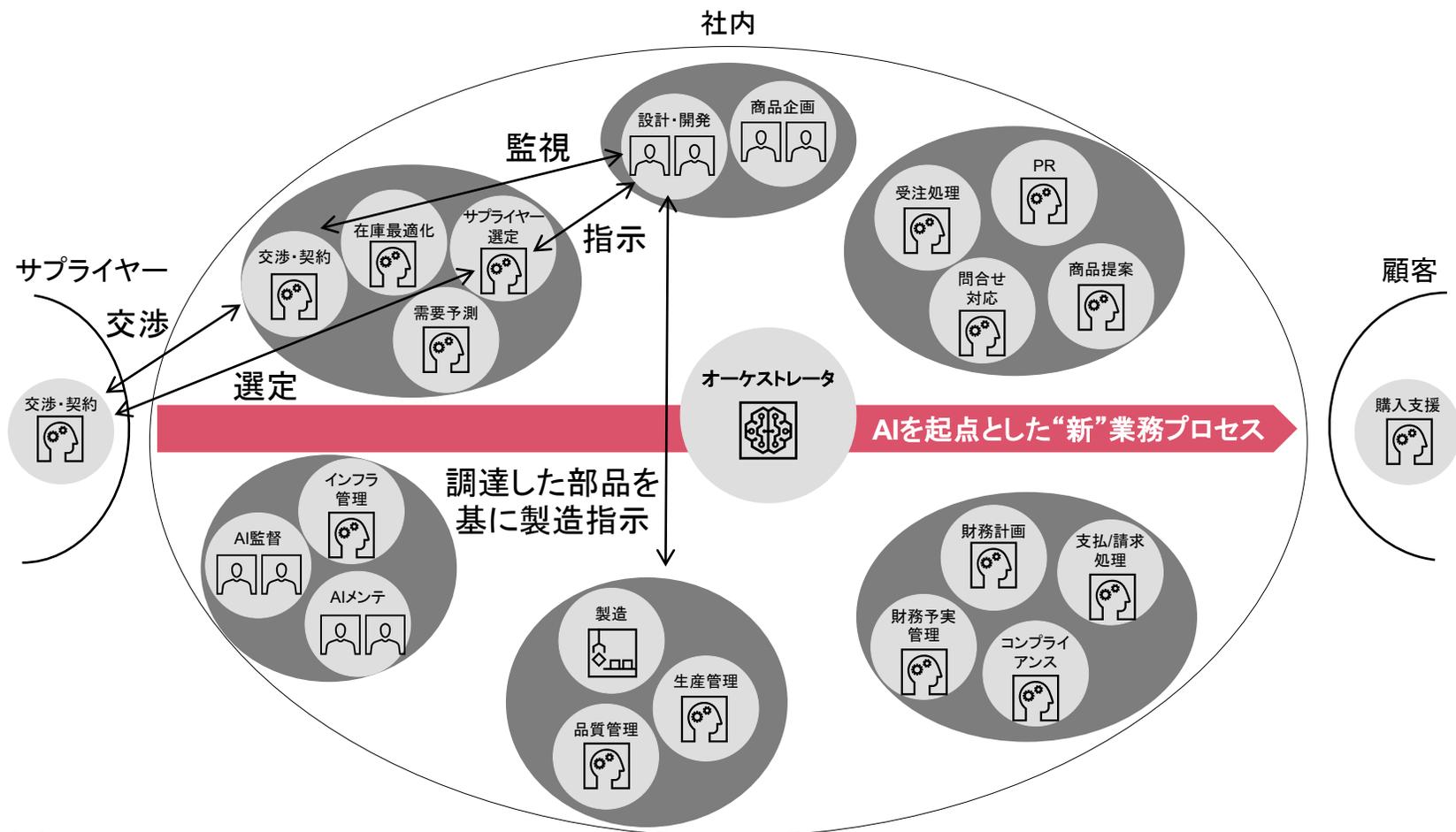
AIの代替可否の理由

AIの代替可否	主要な役割(例)	AIの代替可否の理由
ヒトの 既存役割	代替可能 実務作業の実行	<ul style="list-style-type: none"> 情報の収集と提供 契約書等の文章作成 データ入力・整理 データ処理・分析 システム設計～運用・保守 問合せに対する回答 スケジュールの作成・進捗管理 経営層の意思決定補助 製品の外観・性能の評価 業務の執行や財務状況の監査 組み立て作業等のフィジカル実行 <ul style="list-style-type: none"> 6つのベースモデルの能力(情報理解力、情報統合力、感情理解力、タスク処理能力、アナロジーによる汎用力、自己学習能力)の向上やフィジカルとAIの融合により、従来ヒトが担当していた単純作業や定型的・準定型な業務がAIによって代替可能となった これにより、業務は効率化・高度化され、ヒトにしかできない戦略的かつヒト的な価値を創出する役割へシフト。ヒトは、単純作業や反復作業から解放され、創造力や戦略的判断、対人スキルを活かす業務に専念することが可能となる
	代替不可 ヒューマンタッチなコミュニケーション 創造的なイノベーション創出	<ul style="list-style-type: none"> 心のケアを重視した人材育成 価格交渉・納期調整 プロジェクト計画・管理、問題解決 新しいアイデアの創出と社会応用 <ul style="list-style-type: none"> 長期記憶力の不足: 過去のやり取りからの信頼感等の長期的なコンテキスト(=“心のつながり”)を捉えることが難しいため、ヒューマンタッチが必要な役割は担えない 知識創造力の不足: アナロジーによる汎用力により具体での転用は可能だが、イノベーションを生み出すための抽象的なメタ情報で組み合わせを検討できないため、創造性が必要な役割は担えない
ヒトの 新規役割	AIとビジネスの紐づけ	<ul style="list-style-type: none"> AIの業務要件設計 AIの業務への浸透推進
	AI制御	<ul style="list-style-type: none"> フィジカルAI/AGTへの作業指示 AIの出力に対する最終的判斷 AIの倫理性・透明性の評価・監視 AIガバナンスの策定 <ul style="list-style-type: none"> 責任所在が曖昧: AIは出力に対して責任を持っていないため、ヒトの関与が必要である 非倫理的偏見や差別の生産リスク: AIは過去のデータをもとに学習するため、無意識に社会的偏見を反映した判断をする可能性があり、ヒトの関与が必要である

シンギュラリティ・エンタープライズの在り方

AIエージェントが主体となり、多様な役割を自律的に担うことで、企業活動の効率化・高度化とどまらず、組織構造や業務プロセスの抜本的な変革が起こる

シンギュラリティ・エンタープライズの在り方



再編のポイント

組織構造

ピラミッド型組織から ホラクラシー型組織へ

- 機能別部門ではなく、業務ごとのエージェント・タスクフォース単位に再編
- 意思決定者と作業者のピラミッド構造が撤廃されたフラット組織に再編され、意思決定スピードが向上

業務プロセス

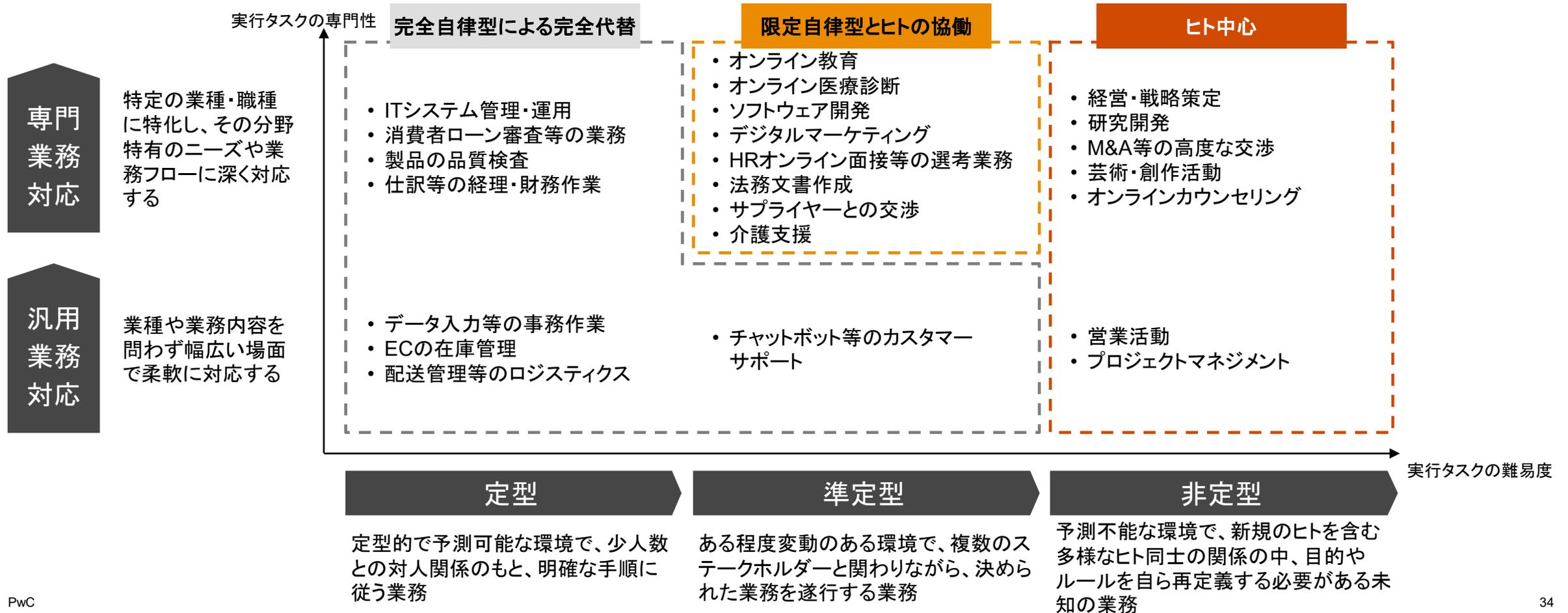
静的業務フローから 動的業務フローへ

- 「購買→生産→販売」のフローが、AIエージェント同士の連携を踏まえた業務プロセスに進化
- 必要な業務に合わせて、動的に業務フローが再編され、最適化される

2030年までのAIエージェントが活用される業務範囲

AIエージェントが定型・準定型業務においてますます重要な役割を果たす一方で、創造性や高い判断力を必要とする非定型業務は引き続きヒト主体で行われると予測

AIエージェントが活用される業務範囲



専門
業務
対応

特定の業種・職種に特化し、その分野特有のニーズや業務フローに深く対応する

汎用
業務
対応

業種や業務内容を問わず幅広い場面で柔軟に対応する

ロボティクスと生成AIによる発展の方向性

現在は特定作業に特化したロボットに軸足が置かれているが、AI技術の進化により、今後さらに複雑なタスクや汎用的なタスクを実行可能になると予想される

AIとの組み合わせによるロボティクス発展の方向性



AI時代における働きかた変化

従来はヒトが主体であり、AIはあくまで補助的な役割を担っていたが、今後はAIが主体となって業務を遂行し、ヒトの業務を代替・補完する、あるいはヒトと協働する形へと働き方が変化していく

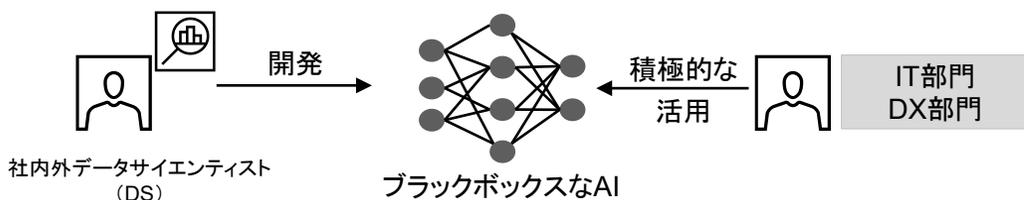
“これまで”の働き方

概要

- ヒトが主体となり業務を進め、AIはヒトをサポートする役割を果たしていた
- 一定の効果はあるものの、活用範囲が特定ユーザーに限定され、ヒトが主体で進めるため、影響範囲は限定的

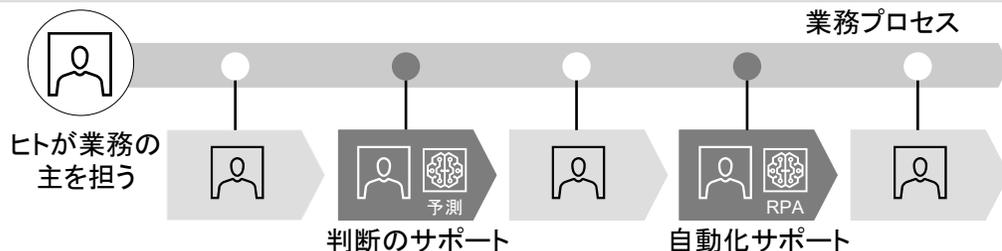
AIの利用者

ブラックボックスなAIのため専門知識を持つ限られたヒトのみ利用可能



ヒトが業務を主導し、AIはサポート

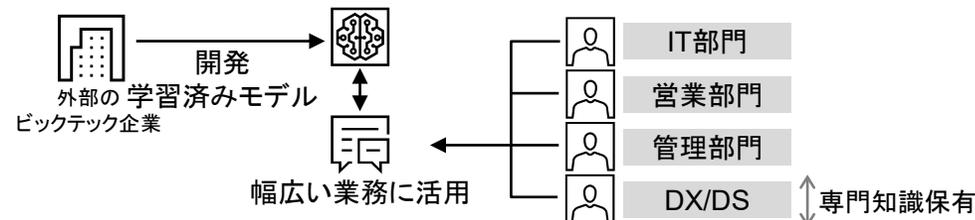
働き方



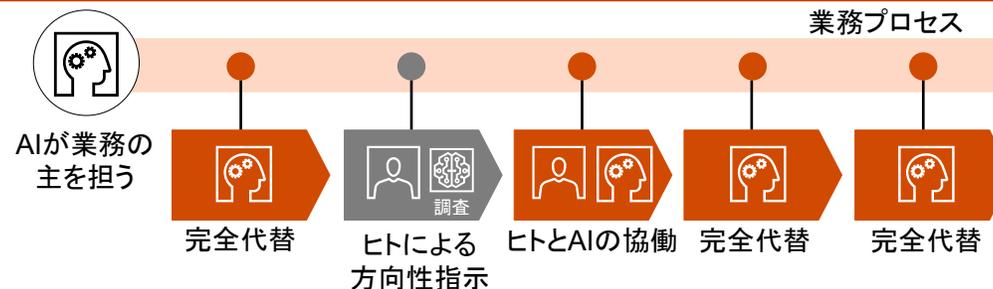
“これから”の働き方

- AIが主体となり、デジタルとフィジカルの両空間で自律的にタスクを設計・実行することで業務を代替し、高度なタスクにおいてはヒトと協働する
- 高度なタスクにおいてはヒトと協働するものの、基本的にはフィジカルAIやAIエージェントが自律的に実行するため、効率化・高度化による効果は大きい

事前学習済みモデルAIのため専門知識を持たない全ての人が利用可能



ヒトの業務代替・ヒトとの協働・ヒト中心の3パターン



www.pwc.com/jp

お問い合わせ先

PwC Japanグループ
www.pwc.com/jp/ja/contact.html



PwC Japanグループは、日本におけるPwCグローバルネットワークのメンバーファームおよびそれらの関連会社（PwC Japan有限責任監査法人、PwCコンサルティング合同会社、PwCアドバイザリー合同会社、PwC税理士法人、PwC弁護士法人を含む）の総称です。各法人は独立した別法人として事業を行っています。

複雑化・多様化する企業の経営課題に対し、PwC Japanグループでは、監査およびブローダーアシユアランスサービス、コンサルティング、ディールアドバイザリー、税務、そして法務における卓越した専門性を結集し、それらを有機的に協働させる体制を整えています。また、公認会計士、税理士、弁護士、その他専門スタッフ約12,700人を擁するプロフェッショナル・サービス・ネットワークとして、クライアントニーズにより的確に対応したサービスの提供に努めています。

PwCは、社会における信頼を構築し、重要な課題を解決することをPurpose（存在意義）としています。私たちは、世界149カ国に及ぶグローバルネットワークに370,000人以上のスタッフを擁し、高品質な監査、税務、アドバイザリーサービスを提供しています。詳細は www.pwc.com をご覧ください。

発刊年月：2025年6月 管理番号：I202505-18

© 2025 PwC. All rights reserved.

PwC refers to the PwC network member firms and/or their specified subsidiaries in Japan, and may sometimes refer to the PwC network. Each of such firms and subsidiaries is a separate legal entity. Please see www.pwc.com/structure for further details.

This content is for general information purposes only, and should not be used as a substitute for consultation with professional advisors.