

次世代人工知能技術社会実装ビジョン

- 全体版
- 分野別
 - ✓ ものづくり
 - ✓ モビリティ
 - ✓ 医療・健康、介護
 - ✓ 流通・小売、物流

次世代人工知能技術社会実装ビジョン作成検討会
平成28年4月21日

- 次世代の人工知能技術の発展に伴い、我が国主要分野(出口分野)においてどのような効果がもたらされるかについて、人工知能技術の進展予測とともに時間軸上に可視化する社会実装ビジョンを作成。なお、本ビジョンは、技術的観点からのみ検討したもの。

- 出口分野として検討を進めたのは、以下の4分野。
 - 1)ものづくり
 - 2)モビリティ
 - 3)医療・健康、介護
 - 4)流通・小売、物流

- 検討にあたっては、有識者をメンバとした「次世代人工知能技術社会実装ビジョン作成検討会」を設置。

【構成員】敬称略、50音順

麻生 英樹 産業技術総合研究所人工知能研究センター 副研究センター長
川上 登福 株式会社 経営共創基盤 パートナー 取締役マネージングディレクター
株式会社 IGPI ビジネスアナリティクス&インテリジェンス 代表取締役 CEO
松尾 豊 東京大学大学院技術経営戦略学専攻 特任准教授

【共催】

経済産業省産業技術環境局研究開発課

【事務局】

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

技術戦略研究センター(TSC)新領域・融合ユニット(ロボット・AI)

ロボット・AI部人工知能・中核技術グループ

【開催実績】

第1回 平成27年12月 4日

第2回 平成27年12月22日

第3回 平成28年 1月 8日

第4回 平成28年 1月21日

※このほか、平成28年2月29日、平成28年3月3日、平成28年3月29日、平成28年3月31日に構成員と個別に意見交換を実施。

【今後の予定】

本ビジョンを基に、産業界、学术界等さまざまな方面と意見交換を行い、本ビジョンをブラッシュアップしながら、政府において設置された人工知能技術戦略会議において行われる予定の人工知能の産業化のロードマップ策定にむけた議論にも貢献していく予定です。

人工知能及びその関連技術の進展（全体版）



TSC Frontier & Fusion Area Unit

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> 静止画像・動画からの一般物体認識が人間レベルに到達 3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達 人間の表情、感情の認識が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を考慮した認識が可能に スモールデータでの学習による認識が可能に 	<ul style="list-style-type: none"> 特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に（シンボルグラウンディング問題の解決）
運動能力関係	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング（DL）と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行（プランニング）が人間レベルに到達 運動に関するプリミティブ、構造（オントロジー）を自動生成する技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 人間の運動・モノの操作・動画像から概念階層を自動で獲得（運動からの自動的なオントロジー獲得技術の確立） 	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達
	<ul style="list-style-type: none"> DL＋強化学習の進化により、剛体物マニピュレーション制御のほか、柔軟物マニピュレーション制御を学習 	<ul style="list-style-type: none"> 安全マニピュレーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するマニピュレーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される
	<ul style="list-style-type: none"> 自律移動しながら3Dマップを生成し、周辺環境を構造化 不整地等非構造化環境におけるロコモーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> 安全ロコモーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するロコモーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> 移動が社会の中に組み込まれ、社会全体に移動ソリューションが提供される
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> 画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立 特定ドメインにおいて、会話が成立するための発話計画を自動で生成 	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルな情報、運動に関するプリミティブとテキストを相互変換する、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、新聞等のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に フォーマルなテキストに限らず、インフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 機械翻訳が人間レベルに到達 機械が仮説や要約を生成 音声対話が人間レベルに到達
数値データの処理、人間やシステムのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> センサからの大量データの取得・活用が進む（IoT） 認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速 	<ul style="list-style-type: none"> センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に 認知発達モデルが部分的に構築 脳の情報処理原理が部分的に解明 	<ul style="list-style-type: none"> 認識能力、運動能力、言語・意味理解能力の向上とあわせて、社会全体の最適化が可能に 認知発達モデルが概ね構築 脳の情報処理原理が概ね解明
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ワンショット3D計測やハイパースペクトルカメラなどのセンサ 省電力高性能小型プロセッサ 触覚センサなどセンサ類の高度化 高度マニピュレータ 	<ul style="list-style-type: none"> イジングモデル型デバイス スマートアクチュエータ あらゆるデバイスが超低消費電力駆動 	<ul style="list-style-type: none"> 人の脳にせまる脳型デバイス

人工知能技術の進展によりものづくり分野にもたらされる効果



TSC Frontier & Fusion Area Unit

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> 静止画像・動画像からの一般物体認識が人間レベルに到達 3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達 人間の表情、感情の認識が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を考慮した認識が可能に スモールデータでの学習による認識が可能に 	<ul style="list-style-type: none"> 特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に（シンボルグラウンディング問題の解決）
運動能力関係	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング（DL）と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行（プランニング）が人間レベルに到達 運動に関するプログラム構造（オントロジー）を自動生成する技術の確立 DL+強化学習の進化により、剛体物マニピュレーション制御のほか、柔軟物マニピュレーション制御を学習 自律移動しながら3Dマップを生成し、周辺環境を構造化 不整地等非構造化環境におけるロコモーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 人間の運動・モノの操作・動画像から概念階層を自動で獲得（運動からの自動的なオントロジー獲得技術の確立） 安全マニピュレーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対する技術が確立 安全ロコモーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対する技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される 移動が社会の中に組み込まれ、社会全体に移動ソリューションが提供される
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> 画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立 特定ドメインにおいて、会話が成立するための発話計画を自動で生成 	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルな情報、運動に関するプリミティブとテキスト、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、新聞等のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に フォーマルなテキストに限らず、インフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 機械翻訳が人間レベルに到達 機械が仮説や要約を生成 音声対話が人間レベルに到達
数値データの処理、人間やシステムのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> センサからの大量データの取得・活用が進む（IoT） 認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速 	<ul style="list-style-type: none"> センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に 認知発達モデルが部分的に構築 脳の情報処理原理が部分的に解明 	<ul style="list-style-type: none"> 認識能力、運動能力、言語・意味理解、全体の最適化が可能に 認知発達モデルが概ね構築 脳の情報処理原理が概ね解明
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ワンショット3D計測やハイパースペクトルカメラなどのセンサ 省電力高性能小型プロセッサ 触覚センサなどセンサ類の高度化 高度マニピュレータ 	<ul style="list-style-type: none"> ijingモデル型デバイス スマートアクチュエータ あらゆるデバイスが超低消費電力駆動 	<ul style="list-style-type: none"> 人の脳にせまる脳型デバイス

ティーチングボックス等でのプログラム作業量が減少

異常を知識とセンサ情報に基づき判断

機械で扱えるものが更に拡大

特定のタスクに関する背景知識を踏まえて必要な作業を自ら学習し、的確な動作を出力

特定のタスクに限らず必要な作業を自ら学習

機械で扱えるものが拡大

過去の事故事例や作業員の会話を理解

販売データ等も踏まえ、何をいくつどの工場で作るか計画

出口分野	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
ものづくり	<ul style="list-style-type: none"> DL+強化学習や認識技術の向上やマニピュレーション能力の向上により、ばら積みそのままのピッキング、熟練工の技術、検品などを機械で実行可能に 認識技術により得られたデータと既存知識を融合させて生成されたオントロジー等に基づき、工場内や機械の異常検知・予測精度が向上 以上によって、自動化率が向上するとともに設備老朽化に起因するダウンタイムが減少し、生産性が1割改善 	<ul style="list-style-type: none"> 文脈、背景知識を考慮した認識技術と作業の目標を自ら獲得する技術により、製造設備が自らが作業計画を立案可能に センサ情報や、ヒヤリハットに関するテキスト情報から自動生成されるオントロジー、人間の会話等に基づき、オペレーションミス等の検知・予測精度が向上し、ミスを防止 以上に加え、マニピュレーションやロコモーションの安全性の向上により、ラインの設計や（再）配置の柔軟性が増し、設備稼働率が1割向上 	<ul style="list-style-type: none"> 製造プロセスの要点を自律的に認識しつつ柔軟に設備が動作するとともに、設備稼働に関するデータ（経験）をコピー・共有することで、「製品開発～販売・消費（～修理・補修）の一連の流れ」が個別企業・系列の垣根を越えて、リアルタイム及び予測的に全体最適で運用される

人工知能技術の進展によりモビリティ分野にもたらされる効果



TSC Frontier & Fusion Area Unit

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> 静止画像・動画からの一般物体認識が人間レベルに到達 3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達 人間の表情、感情の認識が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 背景知識に基づくシミュレーションにより先の状況を予測 スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に（シンボルグラウンディング問題の解決）
運動能力関係	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング（DL）と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行（プランニング）が人間レベルに到達 運動に関するプリミティブ、構造化（タスク）を自動生成する技術の確立 特定の環境での制御規則を学習によりあらかじめ取得 DL+強化学習の進化により、軟物マニピュレーション制御を学習 自律移動しながら3Dマップを生成し、周辺環境を構造化 不整地等非構造化環境におけるロコモーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 人間の運動・操作・動作・画像から概念階層を自動で獲得（運動からの自動的タスク獲得技術の確立） 熟練運転手の危険予知・事故回避能力がモデル化 安全ロコモーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するマニピュレーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される 危険予知・事故回避能力を走行データ交通情報等から日常的に向上 移動が容易に提供される
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> 画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立 特定ドメインにおいて、会話から3次元地図情報と交通（事故）情報を照らし合わせて危険を予測 	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルな情報、運動に関するプリミティブとテキストを相互変換する、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立 原始的シンボルグラウンディング問題のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意交通法規を理解 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に フォーマルなテキストに限らず、インフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 機械翻訳が人間レベルに到達 機械が仮説や要約を生成 音声対話が人間レベルに到達
数値データの処理、人間やシステムのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> センサからの大量データの取得・活用が進む（IoT） 認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速 	<ul style="list-style-type: none"> センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に 認知発達モデルが部分的に構築 脳の情報処理原理が部分的に解明 	<ul style="list-style-type: none"> 認識能力、運動能力、言語・意味理解能力の向上とあわせて、社会全体の最適化が可能に 認知発達モデルが概ね構築 脳の情報処理原理が概ね解明
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ワンショット3D計測やハイパースペクトルカメラなどのセンサ 省電力高性能小型プロセッサ 触覚センサなどセンサ類の高度化 高度マニピュレータ 	<ul style="list-style-type: none"> ijingモデル型デバイス スマートアクチュエータ あらゆるデバイスが超低消費電力駆動 	<ul style="list-style-type: none"> 人の脳にせまる脳型デバイス

出口分野	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
モビリティ	<ul style="list-style-type: none"> ○高精度化した一般物体認識技術によって把握したもののや情報をあらかじめ定められた制御規則に当てはめることで、限られた敷地内／高速道路等の整備された区画での完全自動運転や隊列走行が可能に ○交通情報と3Dマップ情報に基づき、事故の可能性をあらかじめ言葉も使いながら注意喚起することで、自動車事故が減少（事故死者数2000人以下） 	<ul style="list-style-type: none"> ○認識された事象に最新の交通法規を当てはめ、モデル化された熟練運転手の危険予知能力や事故回避能力に基づき、対向車に危険の気づきを与えるなどしつつ、郊外の幹線道路での完全自動運転が可能に ○走りながら30秒先の状況をシミュレーションするとともに運転技能を向上させることで、自動での事故回避や注意喚起の精度が向上し、自動車事故が減少（事故死者数1000人以下） 	<ul style="list-style-type: none"> ○環境中の重要物を自律的に取捨選択するとともに、走行データからの学習が進み、熟練運転手以上の技能を自動車が共有することで、市街地を含むあらゆる道での完全自動運転が可能に

人工知能技術の進展により医療・健康、介護分野にもたらされる効果



TSC Frontier & Fusion Area Unit

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> 静止画像・動画からの一般物体認識が人間レベルに到達 3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達 <p>医療画像から異常を認識、手術動画を認識</p>	<ul style="list-style-type: none"> 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を考慮した認識が可能に スモールデータでの学習による認識が可能に <p>手術動画の深い認識</p>	<ul style="list-style-type: none"> 特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に（シンボルグラウンディング問題の解決）
運動制御	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング（DL）と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行（プランニング）が人間レベルに到達 運動に関するプリミティブ、構造（オントロジー）を自動生成する技術の確立 <p>制御技術を学習する手術支援ロボット</p> <p>個々のプリミティブから一連の動作を生成</p>	<ul style="list-style-type: none"> スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 人間の運動・モノの操作の自動的なオントロジー獲得技術の確立 安全マニピュレーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するマニピュレーション技術が確立 <p>ビッグデータに頼らない未病支援</p> <p>医療画像＋学術論文による診察</p>	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される 移動が社会の中に組み込まれ、社会全体に移動ソリューションが提供される <p>人間の専門家チームに入って議論</p>
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> 画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立 特定ドメインの知識を自動で生成 <p>定型パターンに基づく診察支援エンジン</p> <p>海外文献からの知識獲得</p>	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルな情報、運動に関するプリミティブとテキストを相互変換する、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、新聞等のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に フォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識 機械翻訳が人間レベルに到達 機械が仮説や要約を生成 音声対話が人間レベルに到達 <p>人間の専門家チームに入って議論</p> <p>論文から仮説を生成</p>
数値データの処理、人間やシステムのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> センサからの大量データの取得・活用が進む（IoT） 認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速 	<ul style="list-style-type: none"> センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に 認知発達モデルが部分的に構築 脳の情報処理原理が部分的に解明 <p>BMI</p>	<ul style="list-style-type: none"> 認識能力、運動能力、言語・意味理解能力の向上とあわせて、社会全体の最適化が可能に 認知発達モデルが概ね構築 脳の情報処理原理が概ね解明
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ワンショット3D計測やハイパースペクトルカメラなどのセンサ 省電力高性能小型プロセッサ 触覚センサなどセンサ類の高度化 高度マニピュレータ <p>手術支援ロボ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ijingモデル型デバイス スマートアクチュエータ あらゆるデバイスが超低消費電力駆動 <p>高分子人工筋肉</p> <p>スマートウェアラブル</p>	<ul style="list-style-type: none"> 人の脳にせまる脳型デバイス

出口分野	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
------	----------	-------------	---------

医療・健康、介護	<p>【医療・健康】</p> <ul style="list-style-type: none"> 医療画像、バイタルデータ、遺伝子データ、環境データにより、医師の診療・診断支援（遠隔診療支援、画像診断支援等）、新たなヘルスケアサービス（未病、生活習慣病の予測・予防支援等）が可能に 手術支援ロボットのスマート化 	<p>【医療・健康】</p> <ul style="list-style-type: none"> ウェアラブル端末などの進化により、重篤な病気の大部分について、予防・延命が可能に（未病対策の高度化） 医療オントロジー構築により、精緻な病状診断支援が可能に <p>【介護】</p> <ul style="list-style-type: none"> 柔軟物マニピュレーション等の進展により、介護を支援できるロボットが開発される BMI技術、高分子人工筋肉により、不自由となっていた手足を動かすことが可能に 音声認識技術、会話エンジンの高度化、表情認識により、コミュニケーションロボットの開発が可能に 	<p>【医療・健康、介護】</p> <ul style="list-style-type: none"> 長期的・継続的な個人医療データの蓄積及び医師の診療・診断支援の適用範囲拡大により、ホームロボットドクターが実現するとともに、病院では医療チームの一員としてAIが参加 義手・義足の高度化や脳の活性化等の実現により、健康寿命が拡大（ピンピンコロリの実現） 意味情報を外部から脳に入力する技術により、自閉症、認知症、引きこもりなど精神疾患の病状回復・コミュニケーションが可能に 手術ロボットの普及
----------	--	---	--

人工知能技術の進展により流通・小売、物流分野にもたらされる効果



TSC Frontier & Fusion Area Unit

分類	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
認識能力関係	<ul style="list-style-type: none"> 静止画像・動画像からの一般物体認識が人間レベルに到達 3次元情報からの環境認識が人間レベルに到達 人間の表情、感情の認識が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインにおいて、文脈や背景知識を考慮した認識が可能に スモールデータ等による認識が可能に 	<ul style="list-style-type: none"> 特定ドメインに限らず、一般ドメインにおいて、文化や社会的背景などを考慮した認識が可能に（シンボルグラウンディング問題の解決）
運動能力関係	<ul style="list-style-type: none"> ディープラーニング（DL）と強化学習の融合が進化し、人間が設定した報酬体系の下、高度なゲームなどのタスクの遂行（プランニング）が人間レベルに到達 運動に関するプリミティブ、構造（オントロジー）を自動生成する技術の確立 DL+強化学習の進化により、剛体物マニピュレーション制御のほか、柔軟物マニピュレーション制御を学習 	<ul style="list-style-type: none"> スモールデータでの学習により、深い背景知識を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 人間の運動・モノの操作・動画像から概念らの自動的なオントロジー獲得技術の確立 安全マニピュレーション技術の確立 ハードの進化とあわせて、さまざまな実用的タスクに対するマニピュレーション技術が確立 	<ul style="list-style-type: none"> 文化や社会的背景を必要とするタスクの遂行が人間レベルに到達 マニピュレーション機能がモジュール化され、社会全体で最適配置される
言語・意味理解	<ul style="list-style-type: none"> 画像とテキストを相互変換する原始的シンボルグラウンディング技術の確立 特定ドメインにおいて、会話が成立するための発話計画を自動で生成 	<ul style="list-style-type: none"> マルチモーダルな情報、運動、より本格的なシンボルグラウンディング技術の確立 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、新聞等のフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 原始的シンボルグラウンディング問題の解決を背景に、特定ドメインの機械翻訳が人間レベルに到達 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の言語知識と、画像や運動を介したグラウンディングが融合し、大規模な知識獲得が可能に フォーマルなテキストに限らず、インフォーマルなテキストの分類、情報検索、含意関係認識等が人間レベルに到達 機械翻訳が人間レベルに到達 機械が仮説や要約を生成 音声対話が人間レベルに到達
数値データの処理、人間やシステムのモデル化	<ul style="list-style-type: none"> センサからの大量データの取得・活用が進む（IoT） 認知発達モデル、脳の情報処理の研究が加速 	<ul style="list-style-type: none"> センサデータにより、社会の部分的最適化が可能に 認知発達モデルが部分的に構築 脳の情報処理原理が部分的に解明 	<ul style="list-style-type: none"> 認識能力、運動能力、言語・意味理解能力の向上とあわせて、社会全体の最適化が可能に 認知発達モデルが概ね構築 脳の情報処理原理が概ね解明
計算機システム等の必要なハードウェア	<ul style="list-style-type: none"> ワンショット3D計測やハイパースペクトルカメラなどのセンサ 省電力高性能小型プロセッサ・触覚センサなどセンサ類の高度化 高度マニピュレータ 	<ul style="list-style-type: none"> イジングモデル型デバイス スマートアクチュエータ・あらゆるデバイスが超低消費電力駆動 	<ul style="list-style-type: none"> 人の脳にせまる脳型デバイス

デバンニング・パレタイジング・バンニングロボット

無人レジ

自動運転技術による隊列走行

人型ロボットによるおもてなし顧客対応

ロボットによる物品搬出

半構造化環境でのピッキング

無人店舗
無人流通センター
完全無人配送

人型ロボット

調理ロボットほか、
一般コンシューマ向け
各種販売用ロボット

人型ロボットによるおもてなし顧客対応

出口分野	現在～2020年	2020年～2030年	2030年以降
------	----------	-------------	---------

流通・小売、物流	<ul style="list-style-type: none"> 【小売店舗自動化】 ○顧客購買行動や突発的な周辺状況の変化（天候・イベント開催など）を察知し商品需要を予測する機械学習が進展し、小売り店舗での発注最適化が可能に。 ○画像認識により、ベルトコンベア式の無人レジが可能に 【流通センタ】 ○強化学習などにより、専用設備を有する流通センタにおいて、デバンニング（積荷下ろし）・パレタイジング・バンニングのロボット化が進展 ○危険認識・回避により、ハブ空港での無人荷物搬送が可能に 【小売・生産一体化】 【ロボット導入】 ○体内信号認識技術の高度化により、ウェアブル端末・パワースーツの普及による倉庫・物流作業員の機械化・知能化が進展 	<ul style="list-style-type: none"> 【小売店舗自動化】 ○バックヤード等の半構造化環境での搬送・ピッキングが進展 【流通センタ】 ○強化学習などにより獲得した知識をもとに、物品搬出などの一部ロボット化とともに、ドローン等の集配ロボットが自律的に移動・商品を把持できるようになる 【小売・生産一体化】 ○強化学習などにより、柔軟物を扱うことが可能となり、定型化可能な作業に関して、次のような応用分野での利用が進展 ・食肉/野菜加工（ジャガイモの芽取り等）および袋詰め、パック詰め作業のロボット化 ・無人調理、単純な料理盛り付けのロボット化 【ロボット導入】 ○強化学習などを通じたロボット知能化により、インドア、アウトドア問わず、ロボットによる物品搬出が可能に ○自動運転技術の高度化等により、幹線輸送における隊列走行が実現し、地上大量輸送が可能に 	<ul style="list-style-type: none"> 【小売店舗自動化】 ○強化学習などを通じた自律移動型のアーム&ハンド付きロボットの知能化により、商品陳列が可能となり、無人店舗化が進む 【流通センタ】 ○ピッキングロボットの知能化により、多様な商品（サイズ不揃い、割れ物・生鮮食料品等取扱注意商品含む）の混合高速梱包が実現し、流通センタが無人工化 【ロボット導入】 ○デバイス（ドローン、ロボット台車など）の知能化により、ラストワンマイル配送の無人配送が実現。流通経路は配送条件に応じ、多様な配送手段（配達ロボット、長距離・短距離配達用ドローンほか）から自動で選択
----------	--	---	--

【一般物体認識】

画像や動画に映っている物体のカテゴリを認識する情報処理課題(物体認識)のうち、認識対象のカテゴリの数が 1,000～数万程度と大きく、幅広く一般的な物体を対象とする場合をこのように呼ぶ。

【ディープラーニング(深層学習)】

層の数が多い(深い)ニューラルネットワークを用いた機械学習手法。層の間のニューロンの結合の強さなどのパラメータの値を学習用のデータを使って調整し、望ましい振る舞い(入出力関係や情報の確率分布)を獲得させる。隠れ層に階層的な特徴表現を獲得することによって、一般物体認識などの課題で従来手法を大きく上回る性能を達成したため、研究や応用が進められている。

【プランニング】

ある目的を達成するための一連の作業や動作の計画を立てること。たとえば、ゲームを解く手順や、ロボットにある課題を達成させるための各関節の一連の動きを作ること。反射のような即時的なものではなく、一連の手順を計画するためには未来の状態変化のシミュレーションを必要とすることから、自分の身体を含む環境世界のモデルを持つことが前提となる。

【オントロジー】

明示的な知識を表現するための標準的な基本概念体系で、基本概念(語彙)の集合、概念間の基本関係(たとえば is-a 関係や has-property 関係等)の集合、それらを用いた基本概念間の関係の定義、から成る。例えば、リンゴという概念と、甘い、酸っぱい、赤い、という概念、has-property 関係が定義されていれば、それらを用いて、あるリンゴは甘い、別のリンゴは酸っぱい、といった個別的な知識や、赤い色をしたリンゴは甘い、といったより複雑な知識を、共通の語彙で統一的に表現できるようになり、コンピュータで知識を利用しやすくなる。

【強化学習】

機械学習の課題設定の一種で、環境中で報酬(罰も含む)を得ながら試行錯誤を繰り返すことを通じて、未来にわたる報酬の期待値を最大化するような行動戦略を学習する課題。例えば、掃除などの作業が素早く終わるように、試行錯誤しながら適切な動き方を学ぶこと。

【マルチモーダル】

画像(視覚)、音声(聴覚)、テキスト(言語)などの異なる種類(モダリティ)の情報を含んでいること。たとえば、映画はマルチモーダルな情報である。

【運動のプリミティブ】

運動の構成単位。プリミティブを組み合わせて複雑な運動を計画・作成したり、複雑な運動をプリミティブに分解して理解したりすることができる。対象とするさまざまな運動の観測データから適切な運動のプリミティブを獲得することは、人工知能の重要な課題の一つ。

【シンボルグラウンディング(記号接地)問題】

記号的に表現された概念(たとえば「リンゴ」や「赤くて甘いリンゴ」)を、実世界の観測データ(リンゴの視覚情報や味覚情報)と結びつける問題。この問題が解決されると、単語や句、文章からイメージを想起したり、観測データからそれを表す単語や句、文章を想起したりすることが可能になり、コンピュータが概念を理解したとみなせる。本稿における「原始的シンボルグラウンディング」とは、深い背景知識を必要としない、観測データと比較的単純な概念の結びつけを指している。

【含意関係認識】

ある概念が、別の概念を論理的に含意するか否かを判断する情報処理課題。例えば、札幌に行くことは、北海道に行くことを含意する。自然言語処理における代表的な意味処理課題の一つとして最近研究が盛んになっている。

【認知発達モデル】

(主に人間の)知的な発達(成長)過程のモデル。認知発達モデルを組み込んだロボットは、人間のように自律的に認知能力を発達させ、知識を獲得してゆくことが期待される。

【イジングモデル型デバイス】

磁性体のモデルの一種であるイジングモデルの最小エネルギー状態の探索問題を高速に解くためのデバイス。多くの組み合わせ最適化問題は最小エネルギー状態の探索問題に変換できるため、こうしたデバイスを用いることで、通常のコンピュータでは計算できないような複雑な組み合わせ最適化問題の厳密解を飛躍的に短時間で求めることが可能になると期待されている。特に、量子アニーリングという量子的なトンネル効果を用いるデバイスは、量子コンピュータの一種として注目されている。

【スモールデータでの学習】

少ない量のデータ(スモールデータ)から複雑な課題を学習すること。課題についての事前知識や、類似した課題の学習結果を利用する。

【高度マニピュレータ】

多指ハンドなどを備え、人間が扱う物体全般を汎用的に扱うことが可能なマニピュレータ。

【ロコモーション】

車移動などを含めたロボットの移動技術のこと。