

米国の人工知能とロボットに関するロードマップ

2017年5月17日
NEDO ワシントン事務所

人工知能（AI）、特に深層学習（deep learning）の進歩により、ロボットの用途は、これまでの従来型産業ロボットから、自動走行車、ドローン及び医療分野等にも急速に拡大。ロボット産業の世界市場は年率17%で成長し、2019年には現在の710億ドルから1,350億ドルまで拡大すると推定¹されている。

こうした中、産業ロボットの製造・導入においてアジア・欧州に遅れ²をとってきた米国では、2008年、アトランタで開催された「ロボット科学とシステムズ（Robotics Science and Systems）」会議を契機に、ロボットのロードマップ策定作業が開始された。翌2009年5月、産学120名から成るグループが『米国ロボットのロードマップ（A Roadmap for U.S. Robotics）』を連邦議会及び連邦省庁に提示。これが基となり、2011年6月、オバマ大統領が「国家ロボットイニシアティブ（National Robotics Initiative =NRI）」を設置するに至った。

2013年、同ロードマップは、UCサンディエゴ校 Contextual Robotics Institute の Director である Henrik Christensen 氏が中心となり、NSF 及び CCC（Computing Community Consortium）の支援の下で更新。更にその後の、自動走行車やドローン、製造や医療用途のロボット技術、カメラやディスプレイ、通信システムや基礎コンピューティングといったコア技術の急速な進歩を反映すべく、再度改訂され、2016年11月に再改定版が発表された。

再改定版である『米国ロボットのロードマップ：インターネットからロボットまで』（*A Roadmap for US Robotics: From Internet to Robotics*。以下、『2016年米国ロボット・ロードマップ』）は、NSF、UCサンディエゴ校、オレゴン州立大学、ジョージア工科大学の支援の下、ロボット工学分野の学者150名が研究・執筆したもので、連邦議会及び連邦政府がとるべき具体策として、以下を提言している。

¹ 市場調査会社 UDC 社の予測。

² Reuters Technology News, ‘China to have most robots in world by 2017’ (Feb 6, 2015) は、ロボット市場で最大のシェアを有するのは日本のロボットメーカーで、これに中国と欧州のメーカーが続き、工場生産ラインへのロボット導入率は、韓国（労働者1万人に対して437）、日本（323）、ドイツ（282）の順であると報告。

『2016年米国ロボット・ロードマップ』における主な提言

- 産業ロボット、医療ロボット、自動走行車や業務用ドローンといった新技術を日常生活に安全に活用できるための政策枠組みの確立
- 高齢者の自宅ケアを可能にするインテリジェントな機械を開発するため、人間-ロボット相互作用（インタラクション）に関する研究活動の拡大
- 小学生から成人学習者までのSTEM教育の強化
- 自動車から家電製品までありとあらゆる物の製造で増えているカスタマイゼーションのニーズに対応できる、より柔軟なロボットシステムを構築する研究

『2016年米国ロボット・ロードマップ』は、AIによって変貌している4分野、すなわち①自動走行車、②産業ロボット、③医療/介護技術、④ドローン、について、市場、技術、動向、基準/データセット、政府政策、及びR&Dロードマップを分析・概説している。

ここでは、同4分野のうち、「産業ロボットとAI」及び「医療ロボットとAI」に関するR&Dロードマップをとりあげ、各々の重要課題と5年・10年・15年先のマイルストーンを報告する。

研究開発ロードマップ

1. 産業ロボットと人工知能 (AI)

	重要な課題	ロードマップ		
		5年	10年	15年
適応性のある、再構成可能な組立	<ul style="list-style-type: none"> 新製品の概念設計から生産までの、タイムラグ (例えば、新車のリードタイムは最高 24 ヶ月) の短縮 製造に使われる一連の組立ライン・サブシステムを新製品に合わせて適応・配置・設置する能力の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 新製品用に、特定の産業ロボットアーム・工作機械・マテリアルハンドリング補助装置を装備した基本的な組立ライン作業を 24 時間以内に配置・設定・プログラミングする能力の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 新製品用に、特定の産業ロボットアーム・工作機械・マテリアルハンドリング補助装置を備えた基本的な組立ライン作業を 1 シフト 8 時間で配置・設定・プログラミングする能力の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 新製品用に、特定の産業ロボットアーム・工作機械・マテリアルハンドリング補助装置を備えた基本的な組立ライン作業を 1 時間で配置・設定・プログラミングする能力の確立
人間に近い器用な操作	<ul style="list-style-type: none"> 速度・強度で人間をしのぐ一方、器用な操作が必要な作業では未だに劣るロボットの手と腕の向上のため、知覚能力、high-fidelity センシング、プランニング、コントロールといった主要技術分野におけるギャップの解消 	<ul style="list-style-type: none"> 少数の関節を持つ複雑度の低い手 (手全体で物を握って取得可能) 	<ul style="list-style-type: none"> 数十の関節及び斬新なメカニズムとアクチュエータを持つ中複雑度の手 (手全体で物を握って取得したり、限られた器用な操作が可能) 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の手に近い触覚アレイと卓越した動的パフォーマンスを持つ高複雑度の手 (手全体で物を握って取得したり、人間の作業者が製造環境において使用するオブジェクトを器用に操作することが可能)
モデルに基づいたサプライチェーンの統合と設計	<ul style="list-style-type: none"> 部品とサブシステムと高品質製品の相互運用性、コスト削減、配送迅速化を可能にする、物理的生産工程の論理実証とモデル作成 	<ul style="list-style-type: none"> 製造施設建設時にバグが発生しないよう、個別部品の製造・組立に適合する、安全で的確な設計 	<ul style="list-style-type: none"> 製造サプライチェーンの策定時にバグが発生しないよう、多重時間 (multiple time)・多倍長 (multiple length) スケールにおいても製造サプライチェーン全体に適合する安全で的確な設計 	<ul style="list-style-type: none"> 次世代製品の生産：マイクロスケール・ナノスケール科学技術の進歩、及び新しい組立方法によって、あらゆる製品ラインに適合する安全で的確な設計
ナノマニュファクチャリング	<ul style="list-style-type: none"> 従来型製造パラダイムに取って代わる、斬新なナノマニュファクチャリング方法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 有機材料を使った斬新な製造方法を開発するため、自己集合・生物学を利用した超並列 (massively parallel) アセンブリー技術の研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> 次世代の分子エレクトロニクスや有機コンピューターを可能にする、ポスト CMOS の製造技術の研究開発 	<ul style="list-style-type: none"> ドラッグデリバリー・治療・診断に使用するナノロボットを生産する、ナノマニュファクチャリング技術の研究開発

体系化されていない環境の認知 (Perception for Unstructured Environments)	<ul style="list-style-type: none"> 作業環境が高度に体系化されている固定オートメーションと異なり、小ロットサイズのオートメーションには体系化されていない環境を人間の作業員と共有して安全に作業できるスマートで柔軟なロボットが必要 	<ul style="list-style-type: none"> バッチ生産工程に従事する、体系化されていない典型的ジョブショップにおいてもオートメーションを可能にする三次元認知(3-D perception) 	<ul style="list-style-type: none"> 特殊な医療補助器具、車いすのフレーム、ウェアラブルな福祉用具といった、小ロットサイズのオートメーション支援の認知 	<ul style="list-style-type: none"> カスタムメイドの補助器具、オーダーメイドの家具、特殊な水上艦・水中船、惑星探査・植民用の宇宙船といった、真にユニークな製造の認知
人間と一緒に働く、本質的に安全なロボット	<ul style="list-style-type: none"> 製造環境にロボットを加えることが危険度の増大につながるにならないよう、安全を第一として、ユーザーが明示したニーズに対する協調的解決策の策定を促進 	<ul style="list-style-type: none"> 工場現場で作業する固定または移動型の組立ロボット用に、プログラミングが簡単で適応性のある安全適合ソフト軸ガード(safety-rated soft-axis guarding)を幅広く導入 	<ul style="list-style-type: none"> 一貫したパフォーマンスを維持しつつ、作業現場で人間の適合/不適合な行動を自動的に検知し、適切に対応するロボットシステム 	<ul style="list-style-type: none"> 体系化されていない環境(建設区域や新設定されたばかりの生産セル等)で、人間や他のロボットの行動を認識し、連携・適応が出来るロボットシステム

2. 医療ロボットと AI

	重要な課題	ロードマップ		
		5年	10年	15年
手術支援ロボット	<ul style="list-style-type: none"> 人間の行動及び人間工学 (human dynamics) のモデリング 人間の物理的挙動を多次元で認識 人体の内腔や組織平面(tissue plane)に沿って動くことで、付随的な組織損傷を最小限に抑えることが可能な、極めて器用な手術ロボット エンドエフェクタ(手先効果器)と奇形しやすい細胞組織との間の近接度(proximity)と相対方向(relative orientation)の認識 人間とロボットの物理的相互作用に対する直観的インターフェース(intuitive interface) 細胞組織のモデリングと特性評価 	<ul style="list-style-type: none"> 人間とロボットの間における情報・エネルギーの相互作用を可能にする新たなデバイスとアルゴリズム リアルタイム・センサーとデータベース情報を融合する制御インターフェースとナビゲーションシステム ロボット装置を操作する外科医に対する一連のフィジカルフィードバック 人間が何をしていてもロボットが適切に人間と交流することを保証する、ロボットの行動の開発 不確実性の管理 	<ul style="list-style-type: none"> 人間とロボットの直観的でトランスパレントな相互作用 ユーザーの命令を単純に実行するのではなくむしろ、ユーザーの意向を推定するインターフェース 	<ul style="list-style-type: none"> 人間の動きを感知し、意向を推察 状況に適した力を人間オペレーターに提供するアルゴリズムの開発

	<ul style="list-style-type: none"> • 内視鏡の操作及びターゲットの位置合わせ (alignment) • 三次元画像で、患者の変形組織 (deformable tissue) または不変形 (non-deformable) 組織と機器のリアルタイム・レジストレーション(位置合わせ)を持続 			
臨床技師支援ロボット	<ul style="list-style-type: none"> • 臨床業務の流れを予想だにしない方法で変造したりすることのない技術 • 局地的で各々に異なる医療環境へのロボット配備に伴う、社会的・技術的問題への対応 • 臨床医の技術リテラシー・レベルが比較的低いことへの対応 • カオス的でストレスの多い業務に従事する多忙な臨床医に対する認知的支援 (cognitive support) 	<ul style="list-style-type: none"> • 明確に定義された限定的な仕事 (物資の配達、廃物の除去、薬の投与等) をこなすことにより、臨床医を自律的に支援 • 農村や家庭やインディアン保留地といった様々な医療環境で遠隔精神診断、遠隔皮膚診断、遠隔健康推進維持の為に使用するテレプレゼンス・ロボット 	<ul style="list-style-type: none"> • 危険を伴うタスク (患者のベッドから椅子への移動、患者の可動性、イボラのように感染性の強い病気の治療等) で臨床医を支援 • 臨床医の訓練や再訓練の際に研修者に忠実度の高い経験を提供できる、表情豊かで「賢い」対話型患者ロボット 	<ul style="list-style-type: none"> • 携帯電話のように、臨床業務の流れにスムーズに統合されるロボット • 技術リテラシー・レベルの低い技師でも容易に使えるロボット • 検査のスケジュールや患者の診察スケジュールの調整、患者の移動といった事務的業務で、臨床医に認知的支援を提供するロボット • 新しいインタラクティブ・パラダイムを即時に学び、臨床業務の邪魔にならないロボット
高齢化及び生活の質の向上を目的とする、社会面での人間支援ロボット	<ul style="list-style-type: none"> • 微妙に異なる複雑な社会的インタラクション (相互作用) パターンを正確にとらえる、人間行動モデルの開発 • 日々の社会的インタラクションに典型的な、複雑な参加構造 (集団エクササイズや集団治療、全参加者の役割の把握等) への適応 • ユーザーの健康状態の変化、ロボットとユーザーの間に培った関係の変化に適応しつつ、ロボットがユーザーとの関係を長期的に維持する能力 • 画像・音声通信を行う現行テレプレゼンス・ロボットの能力を拡大し、患者の診断・治療・慰安等で必要となる次のレベルの物理的インタラクションを可能にする操作能力 	<ul style="list-style-type: none"> • 社会的距離 (social distance) やジェスチャーや表情、及び、その他の非言語シグナルといった人間の適切な意思疎通規範に従い、狭義の特定分野で一回限りの相互作用 (問診等) 又は短期相互作用 (特定のエクササイズ等) を自律的に続けるロボット 	<ul style="list-style-type: none"> • 管理された環境ながら、より広範な分野で、長時間にわたり反復した相互作用を自律的に続けるロボット • 対話やジェスチャーや視線行動といったオープンな対話を使って、人間主導、及びロボット主導の相互作用を行うロボット 	<ul style="list-style-type: none"> • 広範な分野で数週間・数ヶ月にわたって、複数の相互作用を自律的に続けるロボット • 様々な社交状況に該当し得る複合的 (multi-modal) 行動モデルを堪能に使いきなせ、複雑な混合主導型 (mixed-initiative) 対話を行うロボット • 僅かな情緒変化、健康や認知力のゆっくりとした低下や向上、及び、予想外の急変、といった変化に合わせて経時的に自らの行動を変え、ユーザーのニーズに適った相互作用を具現化するロボット