

提言

より良い近未来創造のための
ロボット/AIの理解と人材育成



令和2年（2020年）7月21日

日本学術会議

機械工学委員会

ロボット学分科会

この提言は、日本学術会議機械工学委員会ロボット学分科会の審議結果を取りまとめ公表するものである。

日本学術会議機械工学委員会ロボット学分科会

委員長	川村 貞夫	(連携会員)	立命館大学理工学部教授
副委員長	金子 真	(第三部会員)	名城大学理工学研究科教授
幹事	荒木 稚子	(連携会員)	埼玉大学大学院理工学研究科准教授
	浅間 一	(第三部会員)	東京大学大学院工学系研究科教授
	大西 公平	(第三部会員)	慶應義塾大学グローバルリサーチインスティテュート 特任教授
	萩田 紀博	(第三部会員)	大阪芸術大学アートサイエンス学科学科長・教授
	新井 民夫	(連携会員)	技術研究組合国際廃炉研究開発機構副理事長
	川口 孝泰	(連携会員)	東京情報大学看護学部教授
	國吉 康夫	(連携会員)	東京大学情報理工学系研究科知能機械情報学専攻教授
	西田 豊明	(連携会員)	京都大学大学院情報学研究科教授
	福田 敏男	(連携会員)	名城大学理工学部メカトロニクス工学科教授
	増澤 徹	(連携会員)	茨城大学大学院理工学研究科長・教授・工学部長
	光石 衛	(連携会員)	東京大学大学執行役副学長・大学院工学系研究科教授
	萩原 一郎	(連携会員)	明治大学研究・知財戦略機構特任教授、東京工業大学 名誉教授

本提言の作成にあたり、以下の職員が事務を担当した。

事務	犬塚 隆志	参事官(審議第二担当)
	五十嵐 久留美	参事官(審議第二担当)付参事官補佐
	柳原 情子	参事官(審議第二担当)付審議専門職

要 旨

1 作成の背景

ロボットは、センサ、コンピュータ、アクチュエータなどの要素を統合したシステムである。近年、各要素の性能は向上し、オープン化によって一般に利用し易い状況となっている。このようなロボット要素の技術的な発展に伴って、様々なロボットの実現可能性が近年急速に高まっている。一方で、先進諸国では、労働人口減少問題や製造業国内回帰、各国での GDP 拡大、災害対応、環境変化対応などへのロボットの利活用が期待されている。

2 現状及び問題点

現在の AI は深層学習から情報通信技術にわたる広範な技術によって実現されている。AI は膨大なデータを利用して学習し、統計的な処理のもとに、妥当な解を見出すソフトウェアである。弱点は、未定義な問題、未整理な問題への対応である。一方、ロボットはセンサ、コンピュータ、アクチュエータからなる物理システムにソフトウェアが組み込まれた統合システムである。昨今のロボットの要素の充実と AI の急速な発達により、AI を搭載したロボットの実現が現実となりつつある。これに伴って、誤った理解によるロボット/AI に対する過度な期待と将来に対する不安を持つ場合もある。さらに、AI を搭載したロボットが人類に危害を加える可能性も指摘されている。

現状のロボットと AI がユーザーに正確に理解されているとは言えない状況がある。今後、どのようなロボットを実現して、どのような倫理観をもって利用するかは、ユーザーに託されている。ユーザーの理解を促進するために、科学者/技術者は現状のロボットと AI とは何か？どのような能力があり、どのような問題を発生する可能性があるかを十分に説明する責務がある。しかし、ロボットや AI の言葉が意味する世界が多様であり複雑であるために、十分にユーザーの理解が深まっていない。

今後、ロボット/AI は社会に大きな変革をもたらすと想定される。日本の産業としてもロボットが重要であることは言うまでもない。このような産業基盤を支える研究開発人材の育成では、従来の機械工学、電気電子工学、情報学、材料学など多岐に渡る分野を学習し、ロボットシステムとして統合する必要がある。しかし、高等教育では既存の学問分野での人材育成が中心であり、分野横断的な人材育成は極めて少ない。また、ロボット/AI 分野の国際競争は激しく、人材育成が急務となっているが、教育機関からは産業界を含む社会全体に対して十分な人数の専門家を輩出できていない。さらに、今後はロボットの利用から法律、心理などの人文社会科学分野の研究者も重要な役割を果たさなければならないが、人材育成の協力体制は十分ではない。

3 提言の内容

将来、ロボット/AI の研究をさらに高度化し、正しく利用するために以下を提言する。

(1) ユーザーがロボット/AI を正確に理解して正しく利用するために

AI を含む要素を統合した人工物がロボットであり、ロボット/AI を道具として理解す

ることが重要となる。今後、行政を含めて一般ユーザーが、ロボット/AI の利用法を決定する。その際、ロボット/AI の技術の本質部分や技術の限界/弱点などを理解する必要がある。また、道具としてのロボット/AI の利用に関する倫理についての理解を深めることが重要である。その結果、現状のロボット/AI 技術が正しく利用され、ユーザーからの正確なニーズが研究開発者側に効率的にフィードバックされることによって、人類にとってより良い未来が構築できると期待される。

この目的のために、ロボット/AI の研究者は、今まで以上に一般ユーザーに対して、単に最先端技術の公開のみならず、ユーザーの正しい理解を促進するための情報提供活動を行うべきである。また、ユーザーのニーズ、社会的価値観などを共有できる体制を構築すべきである。

教育現場においても、ユーザーとしての持つべき知識をカリキュラムに反映すべき段階である。高等教育において、ロボット/AI を専門としない人文社会科学分野を含む他分野における教育内容にも盛り込むべきである。特に、人との関わり合いの大きい医療、看護、介護における専門基礎教育としての導入は必須である。文系と理系の両方に、より具体的で実用の視点をも含めたカリキュラムとするために、ロボット/AI を専門としない分野におけるカリキュラム改革は当然のこととして、ロボット/AI 分野の教育者/研究者との教育活動における連携協力を強化し、この課題を解決すべきである。

また、関連する学協会は、ロボット/AI をユーザーが適切に利用できるような啓発活動を積極的に実施すべきである。関連する学協会主催の様々な協働活動によって、ロボット/AI を一般ユーザーが正確に理解し、正しく利用するために貢献すべきである。

(2) ロボット/AI 研究開発者育成のために

ロボット/AI の研究開発者を育成するためには、工学分野に限定しても機械工学、電気電子工学、情報学、材料学など多岐に渡る分野の分野横断的な教育カリキュラムの整備が重要となる。現実的なカリキュラムとするためには、各分野の教育内容の基礎を明確にし、共通概念を抽出するなどの知の精選と知の統合の作業が必要となる。また、ロボットの社会実装を目的とすれば、社会的課題、倫理、法律などについて一定の知識を有する人材を育成すべきであり、人文社会科学分野との連携が有用となる。そのためには、将来のロボット/AI の研究開発者育成を目的として、文部科学省を始めとする国の関係機関は初等教育から高等教育における教育プログラム開発と教育者の育成を急ぐべきである。また、新しいロボット/AI 技術開発を担える人材を育成できる国家プロジェクトなどを文部科学省、経済産業省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省、総務省、内閣府など関係する国の機関が実施すべきである。たとえば、初等中等教育からロボット/AI の研究開発者としての人材育成プログラムを開始し、幅広い分野を効率的に学習できるように、知の精選と知の統合の成果を生かして、連続的で一貫した教育カリキュラムによって大学、大学院へ繋げるなどが挙げられる。また、学際的で新しい分野の開拓のために、分野の異なる若手研究者の自発的集まりによる研究プロジェクトも新しいロボット/AI 技術開発に効果的と思われる。そのような国家プロジェクトの評価として、課題解決型のシステム統合の研究を新しい基準で評価すべきである。

目 次

1	背景	1
(1)	要素技術の充実を基盤とする新しいロボット実現可能性の高まり	1
(2)	多様なロボットの実現	1
(3)	世界的課題解決のためにロボットに寄せられる期待	1
(4)	操縦型と自律型ロボットの利用環境	2
(5)	ロボットにとってのAI	2
(6)	現状のAIをロボットに搭載する課題	2
(7)	ロボットとAIによる社会不安	3
(8)	AIとロボットの正しい理解と利用法について	3
(9)	新しいロボット/AI技術開発を担う人材育成	4
2	課題	5
(1)	ユーザー理解の促進	5
(2)	研究開発者育成の充実	5
3	提言	7
(1)	ユーザーがロボット/AIを正確に理解して正しく利用するために	7
(2)	ロボット/AI研究開発者育成のために	7
	<参考文献>	9
	<参考資料1>審議経過	10
	<参考資料2>シンポジウム開催	11

1 背景

(1) 要素技術の充実を基盤とする新しいロボット実現可能性の高まり

ロボットという言葉は広く利用されているものの、厳密な定義は困難である。ロボットは、センサ、コンピュータ、アクチュエータなどを統合したシステムである。長年のMEMS¹技術の進歩によりセンサが小型、軽量、低価格となった。コンピュータは、演算速度と記録量が急激に向上し、ネットワークによるビッグデータ利用が促進している。また、アクチュエータの材料改良、作り込み技術などによって性能が向上している。近年、ニューラルネット型のAIの好成績を出せる能力が注目を集めている。さらに、それらの要素の利用方法は、オープン化され、一般に利用し易い状況となっている。このようにロボット要素の技術的な発展を盛り込んだロボットシステムを実現できる可能性が近年急速に高まっている。一方で、それらの要素を統合するシステム設計については、十分な科学的成果を得るに至っていない現状がある。

(2) 多様なロボットの実現

20世紀後半から最も多く利用されているロボットは、製造業などで利用される産業用ロボット（アーム）である。工場など限定された環境において、あらかじめ定められた目標位置を再現する教示再生方式となっている。21世紀になり、前述のように各要素技術の充実によって、様々なものがロボット化されている。たとえば、ドローンや無人運転自動車などの技術は、まさにロボット技術であり、広義の意味ではロボットと見なすことができる。単機能ではあるが、掃除ロボットは「ロボット」として社会認知されている。従来のロボット利用分野以外にも農林水産業、サービス業、災害対応などにもロボット利用が広がりつつある。また、以前から産業用ロボットを利用してきた製造業においても、より難しい作業をロボットで実現する試みが進行中である。今後、様々な人工物がロボット化（Robotization）すると予想される。ただし、現状の技術的、予算的、法律的制約条件を満足するロボットから実用化される傾向がある。役立つロボットの実現のために様々な社会ニーズを研究開発に取り込み、利用者の理解を促進する方法が重要となっている。

(3) 世界的課題解決のためにロボットに寄せられる期待

人にとって過酷、危険な労働や人では不可能な作業を代替する機械として、ロボットに寄せられる期待は大きい。先進諸国では、人口減少に伴って、労働力不足、介護人材不足が共通課題となっており、各国でGDPを増大または維持して、高福祉社会を実現するためにロボット技術が有力な解決法と考えられている。また、地球温暖化対策や災害対応などの世界的規模の課題に対して、危険な領域でのデータサンプリングや人命救助など人では実現できなかった作業をロボットが達成すると期待されている。このような

¹ MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 微小電気機械システム

背景から、欧米や中国では国家的プロジェクトが数多く実施されており、研究開発競争となっている [1] ~ [3]。これらのプロジェクトや関連分野企業では、ロボット/AI の研究者や技術者を多数雇用することが世界的な傾向となっている。一般に、人材供給は世界的に十分ではなく、ロボット/AI 分野での人材育成が喫緊の課題となっている。

(4) 操縦型と自律型ロボットの利用環境

ロボットは操縦型と自律型に分けられる。ただし、操縦者の負担を減じるように一部が自動化された操縦型ロボットもあり、人が一部に介入できる自律型ロボットもある。現在多く利用されている産業用ロボットでは、一度教示すれば自律的に作業を繰り返し、人の作業負担を低減している。その際、ロボットの作業に問題が発生しないように、ロボットの動作環境は工場内の限定された空間となっている。今後、ロボットは自律性を高め、非限定環境で利用することが期待されている。たとえば、人と作業空間を共有する産業用ロボットや無人運転なども該当する。ロボットにどのような自律性を持たせ、どのような環境に限定して利用するかなどの決定が重要となる。現状では、対象作業について、操縦型とするか自律型とするかの境界設定は明確でない。この境界設定は、技術開発側のみでは設定できず、どのような未来社会を創造するかに関わる。たとえば、自律型ロボット導入に伴うリスクを、誰がどのように責任を負うかなどを解決しなければならない。そのために、技術開発のみならずユーザーの理解、安全基準整備、法整備、社会設計などが必要となっている。しかし、多様なロボットの様々な作業を想定すると、ユーザーを含めた幅広い分野での議論が必要となり、現状では十分に対応できていない。

(5) ロボットにとっての AI

現在の AI は深層学習から情報通信技術にわたる広範な技術によって実現されている。ロボットは、前述のようにセンサ、コンピュータ、アクチュエータからなる物理システム（ハードウェア）にソフトウェアが組み込まれた統合システムであり、ソフトウェアとして AI が組み込まれる。近年の AI の学習機能、統計処理能力の急速な向上により、利用者のニーズに沿ったロボット機能が実現されつつある。ロボットにとって、既存の要素の組み合わせを最適化するシステム統合は、AI によって高度に発達すると期待される。一方、ロボットの性能を飛躍的に発展させるためには、AI の高度化のみでは不可能であり、システムとして求められる新しいセンサ、アクチュエータ、機構などの要素開発が必須となる。この事実は、人材育成、産業育成に決定的な差異を生み出す。現状での一般的理解ではロボットと AI の関係は不明確である。その結果、AI を利用するロボットの能力を過大評価するなどの理由で、ロボットと AI の導入を阻害する場合もある。

(6) 現状の AI をロボットに搭載する課題

現在の AI は、膨大なデータを利用して、統計的な処理のもとに、妥当な解を見出す技術となる。特定の課題であれば、専門教育を受けた人間のレベルと同等またはそれ以上のパフォーマンスを発揮するに至った。弱点は、未定義な問題、未整理な問題への対

応である。また、現状の AI には、敵対的画像の存在、報酬設計問題、データバイアスなどの問題が指摘されている。そのため、AI の答えに誤りが含まれる。ロボットは質量を有する物体の運動を伴うため、人や環境への安全などをより一層厳しく保障する必要がある。AI が誤る可能性を想定して、自律型ロボットの場合には AI 利用環境を限定することや操縦型ロボットの場合には最終的に人が判断することなどが重要である。このような課題を解決するためには、共通基盤となる AI 先端研究の加速が必要であることは言うまでもない。さらに、ロボットと AI のシステム化の研究やロボットに必要とされる AI 研究などを担える専門人材を一定の規模で育成しなければならない。

(7) ロボットと AI による社会不安

一般には、ロボットが数多く利用されるために、自らの職業を奪われるとの理解もある。事実、産業用ロボットの草創期では、終身雇用制でない欧米で雇用問題がロボットの利用の阻害要因であった。現在のロボットと AI も、我々から職を奪う可能性は否定できない。しかし、歴史的に見れば、文明の発達によって人の労働内容が変化することは事実である。問題は、過去の変化に比して今回の変化が我々の予想をはるかに超える早いスピードで進行し、対応策を準備する時間的猶予を与えない可能性にある。

一方、ロボット技術が進歩すれば、ロボットが人類に危害を加えるなどのサイエンスフィクションの延長として漠然とした不安もある。不十分な理解が不必要な不安を煽っている面もある。しかし、現実には単なる不安ではなく、既に自律型致死兵器システム (LAWS²) [5] を大量に実現可能な技術的段階に達している。LAWS の利用を制限する世界的な動きも見られるものの、LAWS の拡散によって人類にとって極めて深刻な状況も予想される。そのような状況に陥らず、真に人類に役立つ道具としてのロボットを正しく利用する方法の理解と実行が重要となる。

このような社会不安を解消し、ロボット/AI を利用した望まれる未来を創造するためには、非専門家の多くの人たちが技術的概要、技術限界、LAWS など現実に迫っている脅威について正確に理解することが必要となる。この目的の活動は一般に十分実施されているとは言い難い。

(8) AI とロボットの正しい理解と利用法について

AI とロボットは今後の人類に大きな影響を与えると予想され、どのように利用するかが極めて重要な時期となっている。AI に関しては、令和元年5月に OECD 諸国及びパートナー諸国は、人工知能(AI)に関する初の国際的な政策ガイドラインを正式に採択し、AI システムが健全、安全、公正かつ信頼に足るように構築されることを目指す国際標準を支持することで合意した [4]。人類の高度な道具としてのロボット/AI をどのように理解し、どのように利用するかが問われている。ロボット/AI の利用目的や利用分野が多岐に渡ることもあり、具体的で共通の行動指針を作成することは容易ではない。この

² LAWS (Lethal autonomous weapons systems) 自律型致死兵器システム

ため、現状ではロボット/AI に関する行動指針は策定されていない。今後、人文社会科学分野の専門家、ユーザー、行政なども含めた活動が必要となっている。

(9) 新しいロボット/AI 技術開発を担う人材育成

ロボットの要素の充実と AI の発展によって、多様なロボットの実現が現実的段階にある。また、世界的課題解決のためにロボット/AI に寄せられる期待も大きい。しかし、現在のロボット/AI 技術は、世界的な社会課題を十分に解決できるレベルに到達していない。今後、ロボット/AI をどのように利用すべきかなどの深い理解の上に、新しい要素技術を基盤とする新しいロボット/AI を開発できる人材を育成すべき段階にきている。ロボットに適した新しい要素（センサ、コンピュータ、アクチュエータ、エネルギー源など）開発と要素をシステムとして統合する技術の両方が必要となる。このような幅広い分野の人材育成方法は、新しい専門教育プログラムと評価法が有用であるが、現状では十分に実施されていない。ロボット/AI を製品として作り出す民間企業においても、新しい要素や新しいシステム統合の技術を有する人材の育成は、関連する専門分野の広がり多様性から困難となっており、産業界が求める規模で専門技術者を教育機関は輩出できていない。

特に、ロボット/AI によって差し迫った社会課題の解決が求められている状況では、課題解決型のシステム統合研究分野における人材育成が必要となる。この分野の人材育成が急務であることは、日本学術会議平成 26 年の提言「ロボット活用による社会課題解決とそれを支える先端研究の一体的推進方策～社会共創ロボティクス～」[6]においても強調され、その方策も示されている。その結果、産学官の協力体制で 2015 年に設立されたロボット革命・産業 IoT イニシアティブ協議会に「未来ロボティクスエンジニア育成協議会」が 2020 年から設立され、人材育成の活動が産官学連携で立ちあがりつつある。

2 課題

(1) ユーザー理解の促進

今後、ユーザーの多様なニーズを正確に研究開発に結び付ける必要がある。このためには、ユーザーのロボット/AI への理解を深めることが重要となる。また、どの作業を自律型ロボットで、どこまでを人の作業や操縦型ロボットとするかを幅広い議論を経て決定しなければならない。

ロボットやAI のユーザーは、ロボットとAI が作り出す未来に対して大きな期待を持つと同時に恐れを感じている場合が多い。ロボットも AI も言葉が広義から狭義までの定義が存在し、内容の誤解を生みやすい。特に一般的には、サイエンスフィクションなどの世界観が多くの人に共有されている。一方で、LAWS などの差し迫った世界的課題も拡大している。また、ロボットとAI を同一と考えることから生じる問題もある。

必ずしも現状のロボットとAI がユーザーに正確に理解されているとは言えない状況がある。今後、どのようなロボットを実現して、どのような倫理観をもって利用するかは、ユーザーに託されている。望ましい未来を創造できるか、または望まれざる未来となるかは、ユーザーの選択となっている。科学者/技術者は、ユーザーに対して現状のロボットとAI とは何か? どのような能力があり、どのような問題を発生する可能性があるかを十分に説明する責務がある。しかし、ロボットやAI の言葉が意味する世界が多様であり複雑であるために、十分にユーザーの理解が深まっていない。

(2) 研究開発者育成の充実

今後、AI を含むロボットは社会に大きな変革をもたらすと想定される。日本の産業としてもロボットが重要であることは言うまでもない。このような産業基盤を支えるロボットの研究開発人材の育成では、従来の機械工学、電気電子工学、情報学、材料学など多岐に渡る分野を学習し、ロボットシステムとして統合する必要がある。しかし、高等教育では既存の学問分野での人材育成が中心であり、分野横断的な人材育成は極めて少ない。従来から異分野の専門家がチームを形成してロボットを実現する場合もある。ただし、ロボットが次第に大きなシステムで複雑になるに従って、専門分野ごとの知識が膨大となり、他の専門分野を理解するよりも、担当する専門分野を深掘りする傾向もあり、システム全体を理解して、有用で効率的なロボットを実現する方法は困難となっている。特に、AI をロボットに搭載するシステム化の先端的技術開発やロボットの利用に適したAI 技術開発を担える人材育成が重要である。前述のようにロボット/AI 分野の国際競争は激しく、人材育成が急務となっているが、教育機関からは産業界を含む社会全体に対して十分な人数の専門家を輩出できていない。さらに、今後はロボットの利用から法律、心理などの人文社会科学分野の研究者も重要な役割を果たさなければならないが、人材育成の協力体制は十分ではない。

日本学術会議平成 26 年の提言「ロボット活用による社会課題解決とそれを支える先端研究の一体的推進方策~社会共創ロボティクス~」では、課題解決型のシステム統合

研究分野の人材育成の方策として、研究機関や学会などでのこの分野の評価方法として、システム統合や実用化の視点を加える重要性を指摘している。その結果、社会に役立つロボットをユーザーを含む社会全体で共同作業によって実現することを目指している。このような動きの中で、例えば一般社団法人日本ロボット学会ではシステム統合や実用に特化した部門を従来分野とは独立させて新しい査読基準を設けた。しかし、この査読基準によって多くの論文が生まれ、人材育成の構造を変えるには至っていない。さらに、大学等の研究機関で研究評価においても課題解決型のシステム統合研究の評価基準は設定されず、従来型の評価基準では低い評価を受ける場合が多い。

高等教育以前の教育においては、ICT³教育特にAI、AR⁴、VR⁵教育は、比較的低価格な教材で実施可能である一方、センサ、アクチュエータなどを有するロボットの教材は一般に高価格となり、教育密度は低くなる傾向にある。また、ハードウェアのものづくりではロボットコンテストが有効な方法となるが、教員側の企画内容、指導内容などによって、教育効果が大きく左右される。予算や人員の制約から十分な教育内容とならない場合もある。

³ICT (Information and Communication Technology) 情報通信技術

⁴AR (Augmented Reality) 拡張現実

⁵VR (Virtual Reality) 仮想現実

3 提言

(1) ユーザーがロボット/AI を正確に理解して正しく利用するために

AI を含む要素を統合した人工物がロボットであり、ロボット/AI を道具として理解することが重要となる。今後、行政を含めて一般ユーザーが、ロボット/AI の利用法を決定する。その際、ロボット/AI の技術的詳細までを理解せずとも、技術の本質部分や技術の限界/弱点などを理解する必要がある。また、道具としてのロボット/AI の利用に関する倫理についての理解を深めることが重要である。その結果、現状のロボット/AI 技術が正しく利用され、ユーザーからの正確なニーズが研究開発者側に効率的にフィードバックされることによって、人類にとってより良い未来が構築できると期待される。

この目的のために、ロボット/AI の研究者は、今まで以上に一般ユーザーに対して、単に最先端技術の公開のみならず、ユーザーの正しい理解を促進するための情報提供活動を行うべきである。また、ユーザーのニーズ、社会的価値観などを共有できる体制を構築すべきである。そのために、研究開発の開始時に、ユーザーと共同して開発技術の利用方法や社会においてあるべき姿などを明示し、研究終了時には研究成果についてユーザーの正しい理解を促進する説明を行うべきである。

教育現場においても、ユーザーとしての持つべき知識をカリキュラムに反映すべき段階である。高等教育において、ロボット/AI を専門としない人文社会科学分野を含む他分野における教育内容にも反映すべきである。特に、人との関わり合いの大きい医療、看護、介護における専門基礎教育としての導入は必須である。大学の導入教育として文系と理系の両方に、ロボット/AI の基礎教育が始まりつつある。より具体的で実用の視点をも含めたカリキュラムとするために、ロボット/AI を専門としない分野におけるカリキュラム改革は当然のこととして、ロボット/AI 分野の教育者/研究者との教育活動における連携協力を強化し、この課題を解決すべきである。

また、関連する学協会は、ロボット/AI をユーザーが適切に利用できるような啓発活動を積極的に実施すべきである。従来、各学協会は自らの専門分野内での研究と人材育成を中心に活動してきた経緯がある。しかし、本課題解決のためには、分野横断的な協力関係が必須であり、関連する学協会主催の様々な協働活動によって、ロボット/AI を一般ユーザーが正確に理解し、正しく利用するために貢献すべきである。たとえば、関連する学協会が、教育機関からの要請に応じて、ロボット/AI 教育の講師派遣を組織的に実施するなどには検討に値する。

(2) ロボット/AI 研究開発者育成のために

ロボット/AI の研究開発者を育成するためには、工学分野に限定しても機械工学、電気電子工学、情報学、材料学など多岐に渡る分野の分野横断的な教育カリキュラムの整備が重要となる。現実的なカリキュラムとするためには、各分野の教育内容の基礎を明確にし、共通概念を抽出するなどの知の精選と知の統合の作業が必要となる [7]。また、ロボットの社会実装を目的とすれば、社会的課題、倫理、法律などについて一定の

知識を有する人材を育成すべきであり、人文社会科学分野との連携が有用となる。そのためには、将来のロボット/AI の研究開発者育成を目的として、文部科学省を始めとする国の関係機関は初等教育から高等教育における教育プログラム開発と教育者の育成を急ぐべきである。高等教育を中心として既にロボット/AI に特化した教育プログラムを実施している機関も存在するが、研究開発のスピードに遅れることなく先端的な教育プログラムの向上を図る必要がある。特に、社会実装を想定して人文社会科学分野との協働により社会問題意識を重視したバランスの良いカリキュラム構築が急がれる。また、新しいロボット/AI 技術開発を担える人材を育成できる国家プロジェクトなどを、文部科学省、経済産業省、厚生労働省、農林水産省、国土交通省、総務省、内閣府など関係する国の機関が実施すべきである。たとえば、初等中等教育からロボット/AI の研究開発者としての人材育成プログラムを開始し、幅広い分野を効率的に学習できるように、知の精選と知の統合の成果を生かして、連続的で一貫した教育カリキュラムによって大学、大学院へ繋げるなどが挙げられる。また、学際的で新しい分野の開拓のために、分野の異なる若手研究者の自発的集まりによる研究プロジェクトも新しいロボット/AI 技術開発に効果的と思われる。そのような国家プロジェクトの評価として、課題解決型のシステム統合の研究を新しい基準で評価すべきである。

<参考文献>

- [1] 欧州委員会 Horizon2020 プロジェクト Web ページ
<http://horizon2020projec.com/il-ict/robotics-research-and-innovation-under-horizon-2020/>
- [2] 総務省 情報通信白書 補論 欧米の事例 インダストリー4.0 Web ページ
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/html/nd135210.html>
- [3] 中国製造 2025 経済産業省 平成 29 年度製造基盤技術実態等調査 (中国製造業の実態を踏まえた我が国製造業の産業競争力調査)
Web ページ https://www.meti.go.jp/meti_lib/report/H29FY/000403.pdf
- [4] OECD Web ページ
<https://legalinstruments.oecd.org/en/instruments/OECD-LEGAL-0449>
- [5] 新保史生「自立型致死兵器システム (LAWS) に関するロボット法的視点からの考察」
電子情報通信学会基礎・境界ソサイエティ Fundamentals Review 2020 年 13 巻 3 号
p.217-230 Web ページ
https://www.jstage.jst.go.jp/article/essfr/13/3/13_217/_article/-char/ja/
- [6] 日本学術会議第 22 期 提言 「ロボット活用による社会課題解決とそれを支える先端研究の一体的推進方策 ～社会共創ロボティクス～」平成 26 年 9 月 29 日
日本学術会議 機械工学委員会 ロボット学分科会 Web ページ
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-22-t201-2.pdf>
- [7] 日本学術会議 23 期 報告 「知の統合の人材育成と推進」平成 29 年 9 月 20 日
日本学術会議 総合工学委員会 工学基盤における知の統合分科会 Web ページ
<http://www.scj.go.jp/ja/info/kohyo/pdf/kohyo-23-h170920-1.pdf>

<参考資料1>審議経過

平成30年

2月8日 ロボット学分科会（第1回）

- ・前期までの分科会活動及び今期の設置経緯報告
- ・役員（委員長・副委員長・幹事）の選出
- ・分科会活動計画

8月27日 ロボット学分科会（第2回）

- ・公開シンポジウムの件
- ・ロボット学の情勢と今後の方向性の議論
- ・分科会活動計画

12月13日 ロボット学分科会（第3回）

- ・公開シンポジウムの内容事前議論
- ・公開シンポジウムの成果のとりまとめ方法の検討
- ・提言、報告などを含めた今後の分科会活動の議論

令和元年

10月8日 ロボット学分科会（第4回）

- ・ロボット学をめぐる状況の意見交換
- ・提言、記録の24期のとりまとめ方法の検討

令和2年

1月14日～1月17日 提言及び記録の承認

6月25日 日本学術会議幹事会（第293回）

提言「より良い近未来創造のためのロボット/AIの理解と人材育成」について承認

＜参考資料 2＞シンポジウム開催

上述のように、SI が今後の技術と科学に重要であり、ロボット学は SI の技術と科学を
探求すべき分野である。特に、ロボットの SI 科学は、十分に検討されていない。そこで、
24 期ロボット学分会では以下のような公開シンポジウムを開催した。

「ロボットのシステムインテグレーション科学を目指して」

主 催：日本学術会議機械工学委員会 ロボット学分会

共 催：一般社団法人 計測自動制御学会

後 援：一般社団法人 日本ロボット学会 一般社団法人 日本ロボット工業会
ロボット革命イニシアティブ協議会

日 時：平成 30 年 12 月 13 日（木） 13：30～17：00

場 所：大阪工業大学梅田キャンパス セミナ 204 室

（第 19 回 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会会場にて開催）

開催趣旨

ロボットは、多くの要素の集合体としての巨大なシステムと想定できる。今後、IoT 時代
を迎えて、より多くの情報をロボットに取り込む必要が高まっている。このような状況に
おいて、センサ、アクチュエータ、コンピュータなどの要素をどのように選定し、どのよ
うにシステムとして構築するかは技術と科学が重要となる。このためには、従来から議論
されてきた設計科学、System of Systems、モデルベース/データベース、要素還元的手法、
AI などさまざまな視点があるものの、ロボットのインテグレーションとしての考察が十分
ではない。そこで、本シンポジウムでは、現状の整理と今後の可能性を検討したい。

次 第：

司 会 金子 真（日本学術会議会員 大阪大学大学院工学研究科 教授）

13：30～13：50 川村貞夫（日本学術会議連携会員 立命館大学理工学部 教授）

「本シンポジウムの趣旨とロボティクスのシステムインテグレーション科学の可能性」

13：50～14：10 原 辰次（日本学術会議連携会員 中央大学・研究開発機構 教授）

「System of Systems：「わ」の実現に向けた制御の視点」

14：10～14：30 金子 真（日本学術会議会員 大阪大学大学院工学研究科 教授）

「システムインテグレーション設計における盲点」

14：30～14：50 國吉康夫（日本学術会議連携会員 東京大学研究科 教授）

「現代 AI の問題点とその解決：実世界に開かれた人間中心システムへ」

14：50～15：10 松原崇充（奈良先端科学技術大学院大学先端科学技術研究科 准教授）

「End-to-end 強化学習とシステムインテグレーション」

15：10～15：20 休憩

15：20～15：40 大西公平（日本学術会議会員 慶應義塾大学 GRI 特任教授）

「力制御のシステムインテグレーション」

15：40～16：00 本田幸夫（大阪工業大学ロボティクス&デザイン工学部 教授）

「福祉ロボットのデザインとシステムインテグレーション」

16：00～16：20 青山和浩（東京大学大学院工学系研究科 教授）

「システムの俯瞰技術としての構造化分析」

16：20 総合討論

（司会）川村貞夫（日本学術会議連携会員、立命館大学理工学部教授）

17：00 閉会