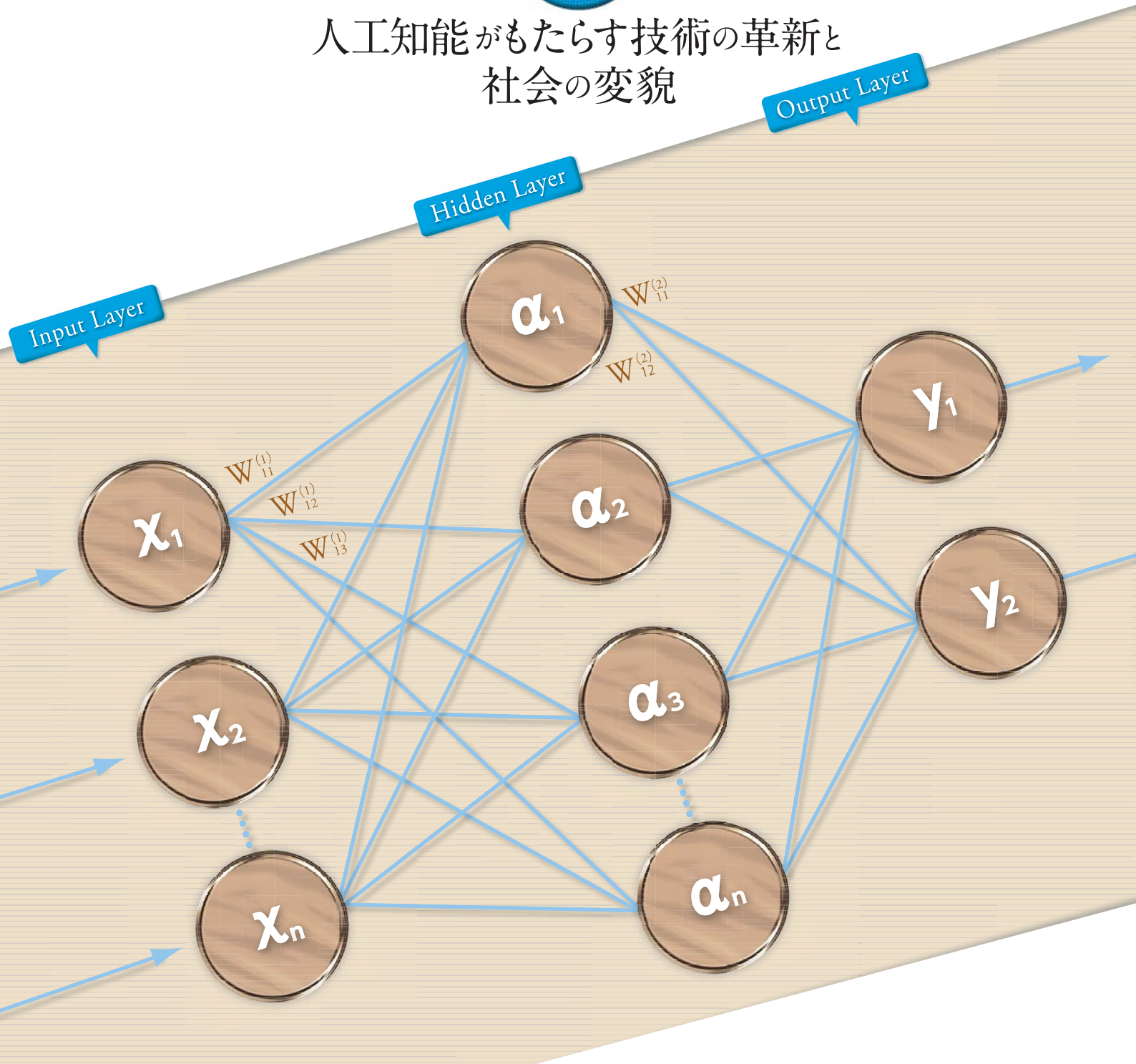


AI 白書

Artificial Intelligence White Paper

2017

人工知能をもたらす技術の革新と
社会の変貌



本書のポイント

『AI白書 2017』は、全部で4つの章で構成される。

第1章でAIの最新技術動向を明らかにしたあと、第2章の利用動向ではその技術をもとにどのような利用が、すでになされているのか／考えられているのかを解説。第3章では知財などの制度面での課題とその対応の状況について、そして第4章では国内はもちろん、海外での政策面での取り組みを紹介する。

各章に記載されている内容のポイントを、以下で解説する。

第1章

「技術動向」

ポイント

- 「ディープラーニング」（深層学習）の進展によって、音声・画像認識等のパターン処理では、人間を上回るレベルの認識精度が達成されつつある。
- ディープラーニングによる画像認識は「目」の技術であり、生物が目を得た時と同じく、ロボットや機械の世界でも“カンブリア爆発”的なインパクトになり得る。
- AI及び脳科学等の研究者層の厚みを背景とし、リアル空間のデータを持つ製造業の強みを利用したビジネス開発など、我が国の既存の強みを活かした戦略が求められる。
- ディープラーニングで必要とされる計算インフラの供給によって研究開発・産業応用を加速し、事業開発による利益創出と技術への再投資のサイクルを構築していくことが必要。

概要

ディープラーニングによるAIの進展、ハードウェアの研究開発の活発化

AIの研究開発は、記号的処理の研究からスタートした。言語の発明と使用が、高度な知的社会を人間が構築できた理由であり、記号的処理からAIの研究がスタートしたのは自然な流れだ。だが、こうした方向においてはパターン処理がきわめて弱く、特に視覚的な入力の問題は顕著だった。けれども、ディープラーニングは画像認識や音声認識で大きなブレークスルーを起こした。人間の認識精度とほぼ同等、もしくは超えるという、目覚ましい精度向上が実現された。

このディープラーニングによる精度向上を受けて、機械学習用のハードウェアの研究開発も活発化している。特に、ディープラーニングで、ビッグデータに基づいた学習をさせる際には大規模な計算が必要となり、汎用のCPUとは異なる専用の計算用ハードウェアの開発も活発化している。

パターン認識と記号的処理の融合に向けて

ディープラーニングを利用したとしても、現状においてすぐに汎用的なAIが実現するという訳ではな



囲碁AI「AlphaGo」が 世界最強のプロ棋士に勝利

Google DeepMindが開発したAI囲碁プログラム「AlphaGo」(アルファ碁)は、2017年5月、世界最強とも言われる中国のプロ棋士、柯潔(か けつ)と対戦。3番勝負で3連勝し、中国囲碁協会から名誉九段を贈呈された。(写真提供: Google)



く、継続的な研究開発が必要だ。今後のAIのソフトウェアに関する研究開発の方向性として、ディープラーニングを基盤的なアルゴリズムとして活用する記号的処理と、暗黙知の処理の統合が挙げられる。

ディープラーニングによる機械翻訳をはじめとして、推論や計画作成等、この方向性に沿った研究開発が萌芽的には存在している。AIの研究開発を支えるハードウェアの研究開発の方向性としては、既存のアーキテクチャのデバイスだけでなく、脳の仕組みを模倣することにより、計算速度向上や消費電力低減を図る試みが挙げられる。これらの研究開発の成果が相乗的に効果を発揮し、AIが継続的に発展していくことが期待されている。

今後、AIのどのような応用がどのような順番で実現していくかについては、必要とされる記号の意味がどの程度深いものであるかによって決まる。画像認識に代表されるパターン認識と、ロボットの動きの学習などは、さほど記号の深い意味に踏み込まずに処理できる領域であり、研究開発と社会実装が進むものと考えられる。その後については、記号の意味を実世界の事物へ関連付ける「シンボルグラウンディング」というハードルを乗り越えることが必要となる。

シンボルグラウンディングは、AI分野で長い間困難と認識されてきた課題であるが、ディープラーニングによる新しいアルゴリズムと、実世界や人間とのインターフェースを持つロボティクスの組み合わせにより、解決への糸口が見えて来たところである。

我が国の強みを活かした研究開発が期待される

ネット上のビッグデータに基づくディープラーニングへの取組については、米国等のIT企業が先行した。だが、今後必要となるのは、機械学習用のハードウェアやロボティクス等の、我が国が強みを持つ分野が威力を発揮し得る技術である。現在、経済産業省、総務省、文部科学省が連携して研究開発を推進しているところであり、AIの研究開発が大きく前進することが期待されている。

第1章

技術動向

1.1 “ディープラーニング”がAIを大きく変えた

1.1.1 AIの研究動向とディープラーニングの登場

人工知能 (Artificial Intelligence; AI) 分野でのこの数年の大きなブレイクスルーは「ディープラーニング」(深層学習)である。海外のAIに関する会議でも、ディープラーニングに関する話題はここ数年で急激に増えた。ディープラーニングがマサチューセッツ工科大学 (MIT) の「10 Breakthrough Technologies」(注目すべき10個の革新的技術)に選ばれたのは2013年であったが、画像認識、音声認識、自然言語処理、ゲームなど、様々な領域に飛ぶ鳥を落とす勢いで広がっている。本節では、ディープラーニングに焦点を当てて議論を進めていく。

ディープラーニングとは、深い層を重ねることで学習精度を上げるように工夫した「ニューラルネットワーク¹」を用いる機械学習 (1.2.2項参照) 技術のことである。ディープラーニングについては、2006年にカナダ・トロント大学のジェフリー・ヒント (Geoffrey Hinton) 氏らが精度を上げることに成功して以来、様々な手法が提案され、2011年には音声認識のタスクで優勝、2012年にはILSVRC (ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge) という一般物体認識のコンテストで圧勝するなど、数多くのコンペティションで成果を収めてきた。

2013年には、ヒント氏とその学生らが立ち上げたベンチャー企業DNNresearch (カナダ) をGoogleが買収。そして2014年初頭には、ディープラーニングの先進的技術を有するDeepMind (現Google DeepMind、英国) も、Googleは4億ドル (約445億円) で買収した。

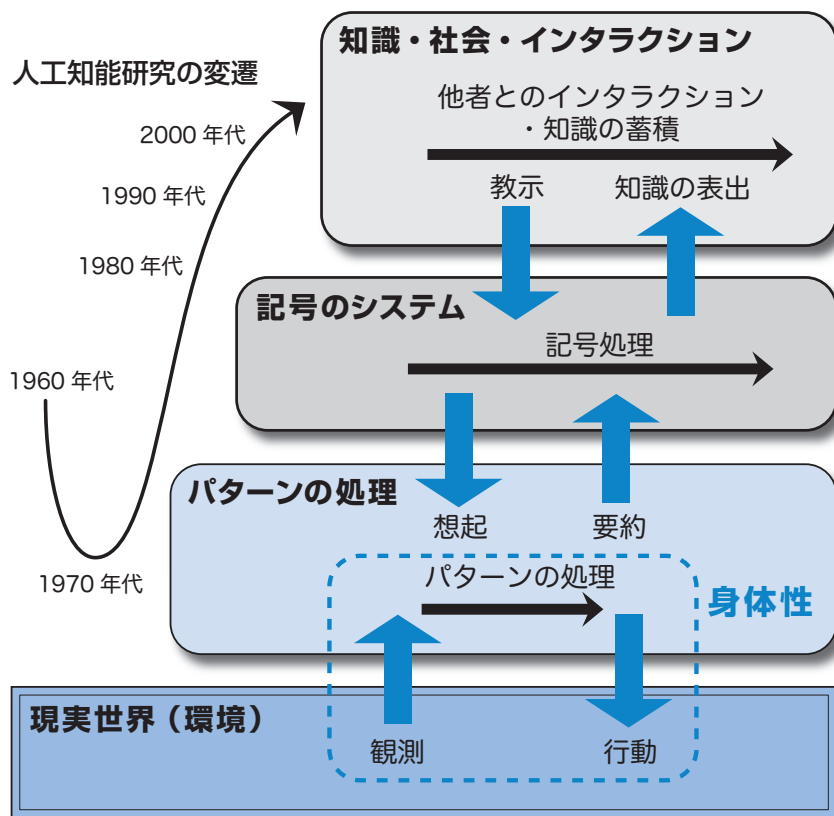
一方、中国のインターネット検索最大手のBaidu (バイドゥ、百度) は、スタンフォード大学でGPU (Graphics Processing Unit) を使ったディープラーニングの研究を進めていたアンドリュー・エン (Andrew Ng) 氏を招き、2013年にディープラーニング研究所を設立した²。Facebookは、ディープラーニングの主要な研究者であるニューヨーク大学のヤン・ルカン (Yann LeCun) 氏をトップに据えてAI研究所を設立し、その後もニューヨーク、シリコンバレー、パリに拠点を広げている。

なお、ICLR (International Conference on Learning Representations)、NIPS (Neural Information Processing Systems)、ICML (International Conference on Machine Learning) などのディープラーニングと関連する国際会議も、ここ数年は急激にその参加者を増やしている。

ディープラーニングがこのように注目されている状況がこのまま続くかどうかに関し、二つの立場からの見解がある。一つ目の立場から見ると、AIあるいはニューラルネットワークに関するブームは、歴

※1
脳の神経回路網で見られる特性を計算機上で再現することを目指した数理モデル。

※2
2017年3月時点でBaiduを辞職している。“Opening a new chapter of my work in AI,” Andrew NG Blog Medium.com Website <<https://medium.com/@andrewng/opening-a-new-chapter-of-my-work-in-ai-c6a4d1595d7b>>



■図1 知能の全体像とAI研究の変遷

たチェスというゲームをする。言語の発明と使用は、外部記憶とその共有を可能にした。このことが、人間以外の種がなし得なかった高度な知的社会を人間が構成できた理由であり、また、多くのAI研究者が当初、自然言語や推論の研究を志向した理由でもある。したがって、ここからAIの研究がスタートしたのは、自然な流れといえる。

なお、記号といっても様々なレベルがあり、内的な記号と外的な記号（コミュニケーションに用いる記号）を分ける場合もある。例えば、我々が次の打合せに移動しようという行動計画を立てる場合には、ミクロなレベルの身体の動かし方から、マクロなプランニングまで、異なる階層で行うわけである。だが、少なくとも上の方はかなりの部分、記号を用いた処理を行っているように思える。なぜ記号が、良い行動選択や学習速度の向上につながるのでしょうか。記号はある種の再サンプリングや条件設定の効果、あるいは転移学習⁸の効果があると考えられるが、機械学習の観点から見た記号の意義は、未だに明らかにされていない。

そして、その上に、記号を用いた他者とのコミュニケーションがあり、知識の蓄積がある。この両者はほぼ同じ現象の表裏であり（例えば、オントロジーとコミュニティは同じものであるという議論がある）、知識の取得や蓄積の側に目を向けると、情報検索や知識抽出で研究されてきた分野に当たる。コミュニケーションの側に目を向けると、ソーシャルネットワークやソーシャルメディアの研究ということになる。

ここで述べた全体像は、必ずしも全てのAI研究者が同意するものではないが、大まかにはAI研究者の見方の概観を表すものである。

※8
新規タスクを効率的に処理するためにほかのタスクで学習した知識を適用することで得られる効果。

第2章

利用動向

2.1 総論

昨今のインターネットサービスやIoT分野におけるビッグデータの増大は、AIの性能を飛躍的に向上させるとともに、AI活用の可能性を高め、産業応用の適用領域を拡大させている。本章では、企業等における最新のAIの利用動向や基盤整備の状況、AIが産業に及ぼす影響や今後の展望について示す。

2.1.1 AIによって何がかわるか

AIの効果を最大化するためには、質の高い学習用データを基に付加価値を生み出す学習済みモデルを生成することが重要となる。先行する企業では、開発した一部の学習済みモデル、学習用データセット、アルゴリズムを公開・共有し、集合知のプラットフォーム形成を進めている。共有された学習済みモデル（共有モデル）や学習用データ（共有データ）を流用するだけでなく、これらを初期状態として再利用することで、比較的少数の学習データから極めて優れた性能を持つ派生モデルを得ることができる。このため、共有モデルや共有データを基に派生モデルを開発し、更にそのモデルを公開・共有することで新たな派生モデルが開発される、といった技術開発の加速度的な連鎖が生じている。

また、質が高く競争の源泉となるデータを独占しようとする動きも見られる。なかでも、サービスのインターフェースにAIを組み込むことで、消費者との接点を押さえて多様なデータの独占を試みるなど、AIをデータ獲得の武器としても利用する企業も現れており、今後もデータ獲得競争が激化する可能性もある。

先行する企業の多くが具体的なビジネスモデルを描けていない中、これらの企業は将来のAI関連市場で競争優位を得るために、プラットフォームの形成やデータの独占を進めている。その一方でアルゴリズム、学習用データ、学習済みモデル等の公開や共有も更に進展する可能性もあり、そうした場合には様々な企業がデータやアルゴリズム等にアクセスできるようになり、学習用データや学習済みモデルは競争優位を得るための差別化領域ではなくなるなど、競争構造が大きく変わる可能性を秘めている。

産業応用の観点では、ディープラーニングは画像認識や音声認識の領域で実用性の高い技術として応用が進められている。画像認識は、自動走行における車外走行環境の認識や医用画像からの疾病等の診断支援で利用が進んでいる。音声や言語の認識は、家庭や自動車内での音声対話や音声アシスタントに応用されているほか、機械翻訳の飛躍的な精度向上も実現している。また、ビッグデータの増大によるAI全般の精度向上により、ものづくり、モビリティ、インフラ、農業、健康・医療・介護、防犯・防災、エネルギー、学習、金融、物流など、多様な産業におけるAIの活用が進展している。

2.1.2 基盤整備状況

AIの利用によるイノベーションを生み出すための、基盤（人材、計算資源、標準化、オープンデータ等）の整備が進んでいる。企業等も、人材や計算資源を確保するために積極的な投資を行っている。例えばト

第3章

制度的課題への対応動向

3.1 総論

人工知能（AI）は、将来に向けて高い機能を有するものと期待されることから、その普及による社会へのインパクトや対応について、学会等により議論がされてきた。昨今、現実社会への実装が本格化しつつあることを背景に、政府や民間企業等、社会政策や実ビジネスの実行機関による検討が本格化している。

そうした検討においては、AI社会実装の推進にあたって、その存在を想定していなかった既存の法制度等との調和（ハーモナイズ）を図る必要が指摘されている。また、従来の技術に比べて、「知性」という人間の本質に近いところで「人間の代替」になるという側面を持つAIに対しては、不安や社会における位置づけの難しさへの懸念が、漠然としたものから具体的なものまで様々にあると想定されている。このようなリスクの整理、明確化とそれに対する対応の検討も、AIの社会への実装を推進する際の大きな課題であると指摘されている。

本章ではこのような課題に対応する制度的基盤としての「知的財産」、「倫理」、「規制緩和・新たなルール形成」に関する社会的議論や対応の動向を述べる。

3.1.1 知的財産

知財に関わる動向については、国内では知的財産戦略本部等における議論が進行しており、2017年3月には「新たな情報財検討委員会 報告書」としてとりまとめられている。

この中では①AIが創作に関わる「AI生成物」の知財制度上の扱い、②「学習済みモデル」「学習用データ」の活用と保護に向けた議論等がされている。

AI生成物の知財制度上の扱いについては、学習済みモデルの利用者の創作的寄与が認められないような簡単な指示に留まる場合は、AIが自律的に生成した「AI創作物」と整理され、現行の著作権法上は著作物と認められないとされている。一方、AI生成物を生み出す過程において、学習済みモデルの利用者に創作意図とAI生成物を得るための創作的寄与があれば、当該AI生成物には著作物性が認められるとされている。

ただし、実際にはどこからが「創作的寄与」があり、どこからがそれが無い「簡単な指示」かは様々な場合があることが想定されるため、今後のAIによる創作事例の積み重ねの中で、社会的な合意が図られていくものと考えられる。

「学習済みモデル」については、既存の学習済みモデルにデータの入出力を繰り返すことで得られる結果を基に学習することにより、同様のタスクを処理する別の学習済みモデルが効率的に作成できるいわゆる「蒸留モデル」は元のモデルへの依拠性の認定及び立証が難しく著作権による保護は困難であるため、特許権や契約による保護等の在り方について議論がされている。

「学習用データ」については、インターネット上のデータ等の著作物を元に学習用データを作成・解析することは、営利目的の場合も含めて著作権法47条の7に基づいて著作権侵害には当たらないとされてい

第4章

政策動向

4.1 総論

先端技術である人工知能（AI）の研究開発の発展と産業への適用を促進し、国際的な産業競争力の強化を図るためには、政府においても研究開発、社会への実装や制度的な整備に関わる政策を推進することが重要と考えられる。

このような中で、我が国、海外のいずれにおいても関連する政策が次々と打ち出されている。本章では、このような政策の最近の動向について概説する。

4.1.1 国内の政策動向

AIの研究開発に関しては、安倍総理の指示の下で産学官が結集して、関係省庁や関係研究機関における研究の総合調整や産業連携を図るものとして「人工知能技術戦略会議」が創設され、研究開発目標と産業化のロードマップの策定等が行われている。また、内閣府、経済産業省、総務省、文部科学省等の各省においても、研究開発事業や制度的な課題への対応に関わる検討等の政策が実施されている。

4.1.2 海外の政策動向

米国では2016年にAIに関わる研究開発戦略、社会的課題の整理・対応、経済的なインパクトの分析・対応の三つの包括的な報告書が発表されており、AIの活用を本格的に推進する環境が整えられている。

EUでは、研究開発については欧州全体研究開発プログラムである「Horizon 2020」の中で、多数のAIに関わる研究開発プロジェクトが採択され、実施されている。また、欧州議会においてAIの倫理的な問題や法的な位置づけに関する報告書が作成され、それを受けた検討が進行している。

英国では、下院科学技術委員会において社会的・倫理的・法的問題を検討したレポートが発表され、雇用への影響等について論じられている。

ドイツでは国策である「Industry 4.0」の中で、AIが重要技術の一つとして位置づけられている。また、ドイツ人工知能研究センター（DFKI）が研究開発の中心を担っており、企業との共同研究やスピントアウトなども盛んに行っている。

中国では2016年にAI推進の3か年行動計画が策定され、1,000億元（約1.6兆円）級のAI活用市場の創出が目指されるとともに、研究開発とその環境整備についても言及されている。

資料編

資料1 AIの取組状況に関するアンケート調査結果

以下に示すグラフは、国内外の人工知能（AI）に関わる取組状況を把握するために実施した、アンケート調査結果に基づくものである。

(1) 国内アンケート調査概要

国内企業におけるAIの取組状況及びその変化の動向、取組を進める上での課題の把握等を目的として、民間企業宛てにアンケート調査を行った。調査の概要は以下のとおりである。

- 調査方法：郵送調査
- 調査期間：2017年3月
- 調査対象：上場企業 3,787企業
- 業種区分：情報処理実態調査の調査業種26業種
- 回収数：有効回収数 296企業（有効回収率 7.8%）
- 主な調査項目：
 - AIに関する認識
 - AIに関する取組状況
 - AIの推進体制やデータ整備の状況
 - AIに関する投資状況、等

(2) 海外アンケート調査概要

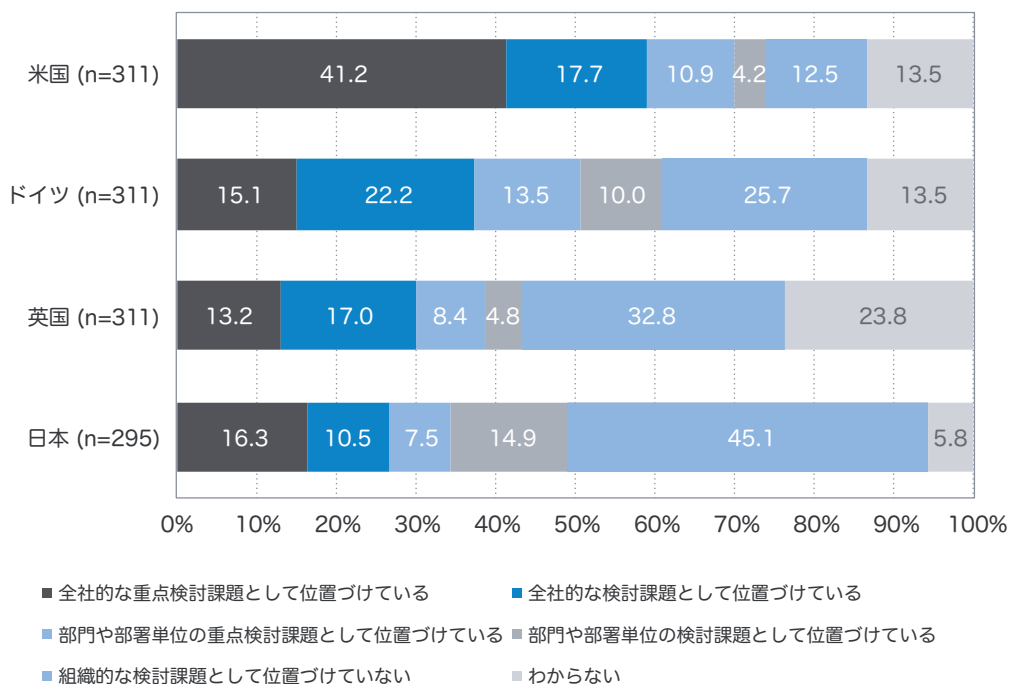
海外企業に対しても国内企業と同様の目的でアンケート調査を実施した。なお、海外アンケート調査は、ウェブモニタを通じて回答を得た。調査の概要は以下のとおりである。

- 調査方法：ウェブアンケート調査
- 調査時期：2017年3月
- 対象国：米国、英国、ドイツ
- 対象者：民間企業に勤めるマネジメント層
- 回収数：各国311件（日本の上場企業の従業員規模比率をもとに割り付け*）
- 主な調査項目：国内企業アンケート調査と同様

* 各国の回収数は従業員規模別に、1,000人超：130件／500人～1,000人未満：57件／100～500人未満：94件／100人未満：30件。

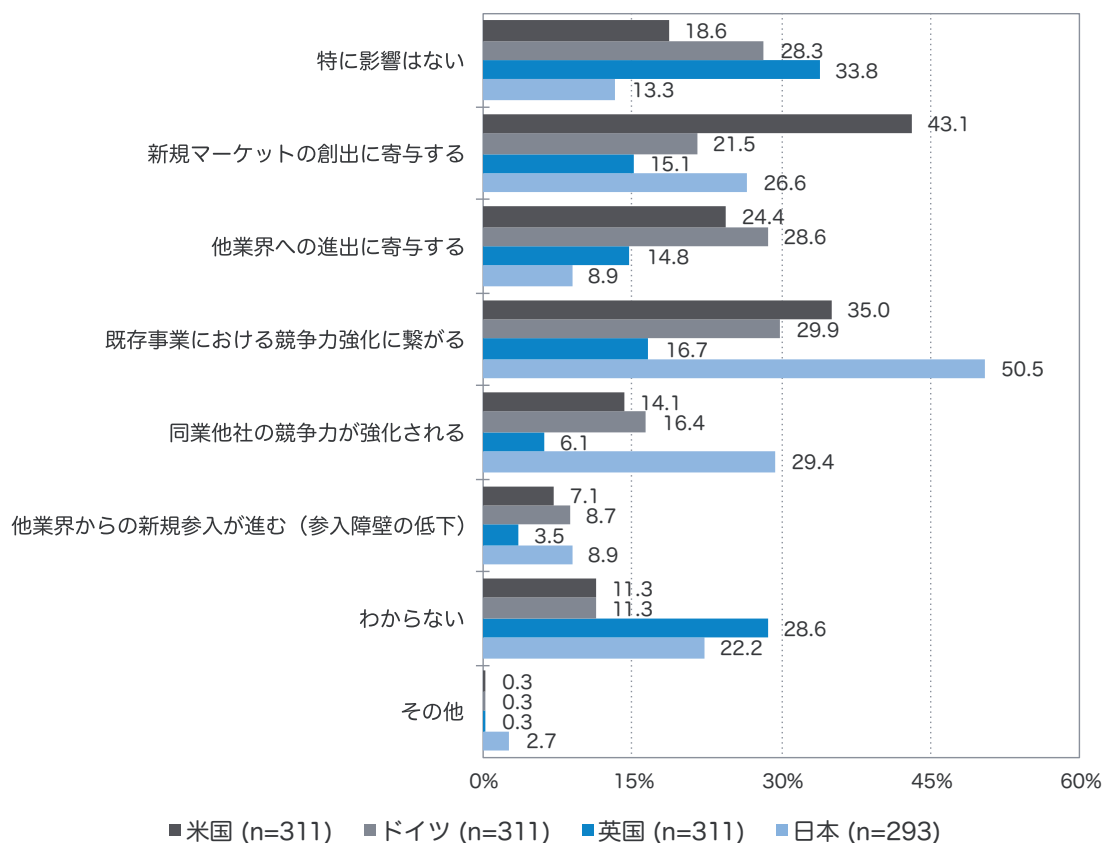
1.1 組織におけるAIの位置付け

[問] 貴社では、人工知能の取組（業務での活用や製品・サービス供給など）を組織的課題として位置づけていますか。当てはまるものを1つ選んでください。



1.2 事業への影響に関する認識

[問] 人工知能は貴社の事業にどのような影響を及ぼすと認識していますか。当てはまるものをすべて選んでください。（複数選択可）



委員名簿

編集委員

(敬称略、五十音順)

委員長 中島 秀之

東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 特任教授

1983年、東京大学大学院情報工学専門課程修了(工学博士)。通産省工業技術院電子技術総合研究所に入所後、産総研サイバーアシスト研究センター長、公立はこだて未来大学学長を経て、2016年6月より現職。人工知能を状況依存性の観点から研究。マルチエージェントならびに複雑系の情報処理とその応用に興味を持っている。



委員長代理 浅田 稔

大阪大学 大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻 教授

1982年、大阪大学大学院基礎工学研究科修了(工学博士)。大阪大学工学部教授を経て現職。同大学先導的学際研究機構システム知能学部門長。国際的なロボット競技会「ロボカップ」の提唱者の一人(2002~8年までプレジデント)。認知発達ロボティクスを提唱し推進している。日本赤ちゃん学会理事。NPOダ・ヴィンチミュージアムネットワーク理事長。



委員 川上 量生

株式会社ドワンゴ 代表取締役会長

1991年、京都大学工学部卒業。1997年にドワンゴを設立、2000年代表取締役会長就任。2006年に「ニコニコ動画」を開始。その後も「ニコニコ超会議」や「プロマガ」など、数々のイベントやサービスを生み出している。2014年に、ドワンゴ人工知能研究所を設立した。



委員 北野 宏明

株式会社ソニーコンピュータサイエンス研究所 代表取締役社長

1984年、国際基督教大学教養学部理学科卒業、1991年京都大学博士号(工学)取得。1993年にソニーコンピュータサイエンス研究所へ入社。2011年より現職。また2001年にはシステム・バイオロジー研究機構を設立し、会長を務める。「ロボカップ」提唱者の一人で、国際委員会ファウンディング・プレジデント。World Economic Forum(世界経済フォーラム)AI & Robotics Council委員。ソニー株式会社 執行役員コーポレートエグゼクティブ。



委員 喜連川 優

国立情報学研究所 所長、東京大学生産技術研究所 教授

1983年、東京大学大学院工学系研究科情報工学専攻博士課程修了(工学博士)、同年東京大学生産技術研究所入所。2007年8月~2008年3月、経済産業省「平成19年度情報大航海プロジェクト」戦略会議議長を務める。2013年に国立情報学研究所所長就任。ビッグデータの第一人者で、そのブームの8年前に情報爆発を提唱。情報処理学会会長等を歴任。



委員 辻井 潤一

国立研究開発法人産業技術総合研究所 フェロー 人工知能研究センター 研究センター長

1973年京都大学大学院修士課程修了。1978年同大学博士号(工学)取得。質問応答システム、言語理解の研究に従事。1979年京都大学助教授、1988年マンチェスター大学教授、1995年東京大学大学院教授、2011年マイクロソフト研究所(北京)首席研究員を経て2015年より現職。マンチェスター大学教授兼任。計算言語学会(ACL)、国際計算言語学会(ICCL)の会長を歴任。



委員 松尾 豊

東京大学 大学院工学系研究科 技術経営戦略学専攻 特任准教授

2002年東京大学大学院工学系研究科電子情報工学専攻博士課程修了。博士(工学)。同年産業技術総合研究所研究員、2005年スタンフォード大学言語情報研究センター客員研究員、2007年東京大学大学院工学系研究科 准教授就任。2014年より現職。人工知能とウェブ工学を専門とし、人工知能学会の編集委員長、倫理委員長を歴任。

