

誰でも使える人工知能で働くロボットをつくる



やまぐち たかひら
山口 高平
慶應義塾大学 理工学部 教授
2014～19年 CREST研究代表者

専門知識がなくても簡単に人工知能 (AI) プログラムを作成し、働くロボットを自在に操るツールを開発したのが、慶應義塾大学理工学部の山口高平教授だ。日本語で業務プロセスを記述すると、自動的にプログラムが生成されて、ロボットが動き始める。人間とロボットの調和関係や他の仕事現場への応用可能性を探るため、喫茶店での接客や小学校の授業支援の実証実験を積み重ねてきた。目指すのは、誰もがAIを使いこなせる未来社会だ。

人間と連携する統合知能機械との多様な調和関係

AIは人間の仕事を奪う脅威ともいわれるが、「リスクを気にして使わないのではなく、とにかく技術に触れてみてほしい」と、慶應義塾大学理工学部の山口高平教授は語る。第3次AIブームを牽引する深層学習によって、製品検査や医療画像診断といった目を使う仕事はAIに置き換えられつつある。「深層学習を基盤とするAIはいわば単一知能で限界があり、まだまだ人間の方が圧倒的に優れています。人間との協働を可能にするのは、複数の知能が連携する統合知能です」。

山口さんは言葉の概念を分類して関係付けるオントロジーの研究に長らく取り組み、インターネット上の百科事典ウィキペディアの知識を基に、さまざまな言葉との関連性をネットワークで示す1千万ノード(ネットワークの個々の要

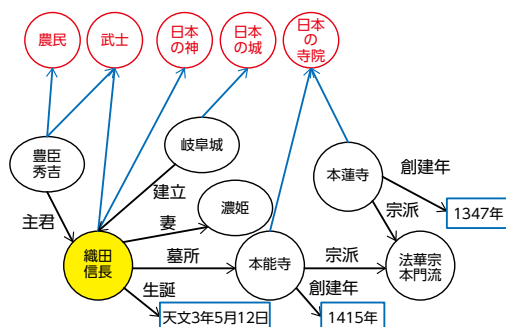
素)以上から構成されるナレッジグラフを開発してきた。例えば「織田信長」と入力すると、ウィキペディアに記載がある「豊臣秀吉」や「本能寺」にリンクが張られる(図1)。

ナレッジグラフを組み込んだオントロジー人型ロボット「NAO」(表紙写真)がどれくらい人間とコミュニケーションできるかを試したことがあった。いつ(when)、どこで(where)、誰が(who)、何を(what)について聞くと、NAOがほぼ完璧に答えることに人間は感動するが、対話は長続きしない。どんな(how)、なぜ(why)に関する質問になると答えられなくなるため、山口さんは知的相互作用の継続の難しさを感じていた。

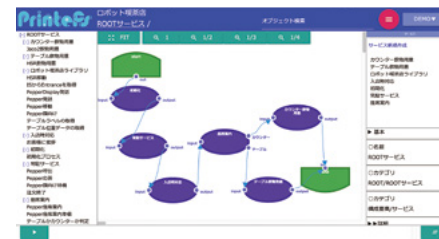
転機となったのが、NAOと哲学者との対談だった。哲学者の「神は存在しますか」という問いに、NAOは「神と存在は関係ないみたいだよ」と返した。「神」のナレッジグラフを検索しても「存在」に連

なるリンクが見つからず、「Not found」とNAOは答えたに過ぎないが、哲学者は自身が持っている知識で深く推論し、「哲学的に深い答えだ」と感心した。

ロボットは事実だけなら1千万は知っているが、因果関係の知識がないために推論ができない。一方で人間は少ない情報量を基に深く推論できる。『「わからない」という答えが、人間にとっては刺激になることもあります。調和とは一律に定義できるものではなく、多様な関係があるのだと感じました」。



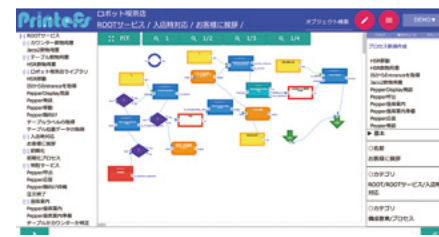
■図1 「織田信長」のナレッジグラフ。ウィキペディアの知識に基づき、言葉のネットワークが形成される。



PRINTEPSによるロボット喫茶店ワークフロー



ロボット喫茶店ワークフローにおける業務プロセス「入店時対応」の記述



業務プロセス「入店時対応」からソフトウェアモジュールへの展開



ソフトウェアモジュールからプログラムコードへの展開

■図2 ロボット喫茶店の業務手順を記載したワークフローエディター。サイドメニューに「注文」「座席案内」など入店時対応のサービスや、「両手を高く上げて話す」「手で行き先を指示する」などの業務プロセスが日本語で提示される。エンドユーザーが必要な業務をドラッグ・アンド・ドロップするだけでワークフローを作成できる。

ユーザーが日本語で編集業務プログラムを自動生成

「人間とAIの協働を実現するには、AIの専門家ではなく、現場で仕事をするエンドユーザーがAIを使いこなせないといけません」。山口さんは、エンドユーザーの使いやすさに配慮して、誰もがAIアプリケーションを開発できるツール「PRINTEPS (PRactical INTElligent aPplicationS、プリンテプス)」を作り上げた。

PRINTEPSは、知識推論、音声対話、対話継続、人と物体の画像認識、手足の知的動作、機械学習・深層学習の要素知能を連携させた統合知能を開発するためのプラットフォームである。あらかじめ用意された業務プロセスを日本語で編集するだけでワークフローが構築され、ロボットを動かすプログラムであるROS (Robot Operating System) 上で実行可能なPythonのソースコードに自動変換される(図2)。エンドユーザーにプログラミングの専門知識がなくても、自らの手でロボットの発話や動作を開発・修正できる点が特長だ。

「プログラムの自動生成技術の開発は1970年代から取り組まれているが、200～300行程度の生成が精いっぱい、ロボットに複雑な作業は

させられませんでした。約1年半をかけて数千行のプログラムを自動生成できるようになり、これがブレイクスルーとなってPRINTEPSの開発に成功しました」。

山口さんは、知識処理、言語処理、画像認識・理解、対話制御、ヒューマンロボットインタラクションの個別タスクに分けて、それぞれで開発したソフトウェアを統合することで、PRINTEPSを開発した。「プログラムの開発環境やデータ構造が全く異なるので、うまく組み合わせることに大変苦労しました」。

PRINTEPSのソースコードは4年間で10万行を超えた。大規模AIシステムとして英国の科学雑誌「Impact」などに取り上げられ、海外からの反響も大きい。

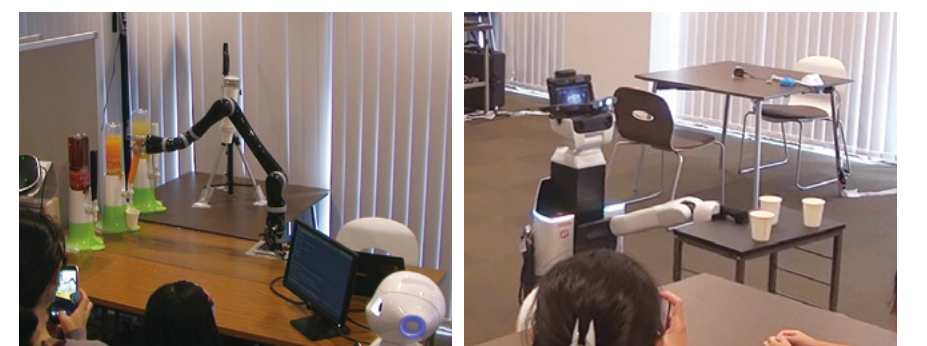
ロボットが喫茶店の店員に状況に応じて接客を変化

PRINTEPSの実践として、山口さんはロボットによる喫茶店の運営を試みた。「喫茶店の業務には、聞く、話す、見る、考える、学ぶ、動く、統合知能の実現に必要な全ての要素がそろっています」。ロボット店員の動きを観察した現役の喫茶店オーナーは、接客サービスの改善点1個につき平均5分と短い時間で修正し、PRINTEPSがロボットの専門家でなくとも使いやすいツールであることが実証された。

初回の実験は研究室内で行われた。2種類のロボットを連携させて、入店時のあいさつ、座席案内、注文、飲み物の準備や配膳、見送りまで、一連の接客ができるかどうかを確認した。その後、場所を研究室から食堂に変えたり、ロボットの種類や客の人数を増やしたりするなど、実験規模を拡大している。

2017年から2年連続で学園祭に出店し、9台のロボットが約100組の一般来場者の接客に挑戦した(図3)。他のロボットや障害物を見事に回避しながら、客から注文を取り、飲み物が注がれたコップを運び、使用済みの食器を片付けるなど、それぞれの役割を務める姿に、多くの客が感嘆の声を上げた。

「いらっしゃいませ」と声をかけて席に案内するといった基本の接客のみならず、小さな子供だけで来店した場合はすぐには席に案内せず「お父さんとお母さんはどこにいるの?」と尋ねるなど、状況に応じて接客方法を変化させた。「どれも人間なら当たり前に行えること



■図3 2018年に出店したロボット喫茶店での接客の様子。(左)ロボットアーム「Jaco2」は、客が注文した種類・サイズの飲み物を準備する。(右)生活支援ロボット「HSR」がテーブルまで移動して飲み物を配膳したり、空の紙コップを片付けたりする。

ばかりですが、予想以上に来場者は喜んでくれました。ロボットとの働き方やロボットに任せる仕事を考えるヒントになります」と山口さんは話す。

理科実験の授業支援 教師・児童と相互作用

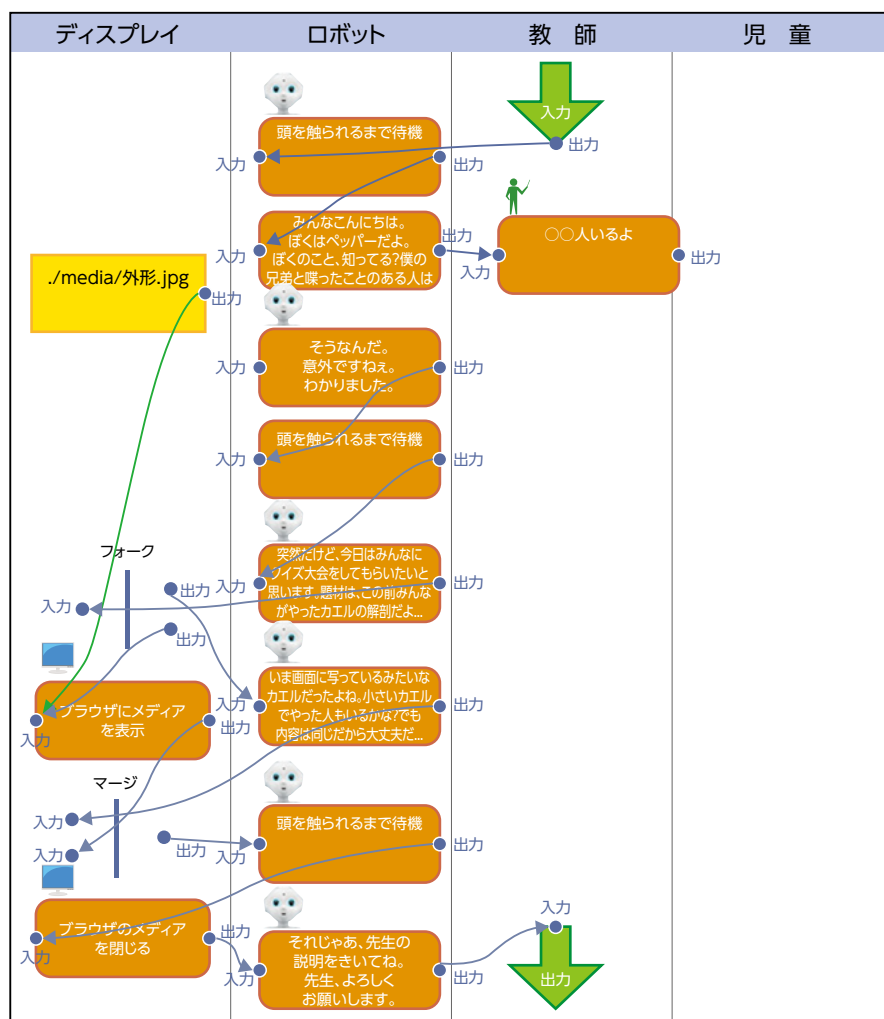
小学校では複数のロボットが教師と連携して理科実験の授業を行った。「喫茶店はロボットの動作制御が対象でしたが、授業では聞く、話すというコミュニケーション知能が中心となります」。

喫茶店でも状況に応じた接客が求められるが、授業では児童の反応次第でロボットが取るべき行動はさらに多岐にわたり、喫茶店の業務プロセスだけでは足りなかった。さらに教師側から、教師、児童、ロボットの振る舞いを分けて記述できるようにしてほしいと要望があった。1本線のワークフローだと、同時並行で進む三者間の相互作用が不明確となり、授業全体を見通せないという理由からだ。そこで、教師、児童、ロボットの相互作用を並列して記述できるシナリオエディターを組み込むようにPRINTEPSを改善した(図4)。

「授業が格段に面白くなったという意見が児童から多く上がり、ロボットとの連携は新しい授業形態になる可能性があると感じています」と山口さん(図5)。「初めて使う人がどこでつまずくかもわかってきました。教師1人でも使いこなせるツールに仕上げていきたい」と意気込む。

得手と不得手を理解 互いを補いながら協働

授業支援で思いがけない出来事があった。「アームロボットが重りをぶら下げようとしたところ、なかなかうまくいかず、手間取っていました」。次第に児童から批判が聞こえ始めた。機転を利かせた先生が、人間なら簡単にできる動作でもロボットには難しい作業なのだと、ロボットの仕組みを解説すると、一転して声援に変わったという。「それぞれの得手、不得手を理解して、お互い



■ 図4 教師用シナリオエディターで作成したカエルの解剖の授業シナリオの開始部分。教師、児童、ロボットの相互作用を記述できる。



■ 図5 顔の中にLED電球が埋め込まれた人型ロボット「SociBot」。顔色や表情を変化させながら、教師と息の合った対話をしたり、児童の間を動き回って解説したりする。



■ 図6 うどん板前ロボット。具材の要不要や増減など客の希望を聞きながら、ロボットアームと5本指ロボット手を駆使して最適なメニューを作る。

に補えるように関連付ければ、単独のシステムよりも良い協働関係ができるに違いありません」と確信している。

「ずっと世の中に継承される新しいことを常に考えたい」と語る山口さん。2つの実証実験を経て新たに開発したのは、うどん板前ロボットだ(図6)。対話を通して客の要望に合わせたうどんを作り、運搬と配膳を行うロボットで、動作知能とコミュニケーション知能を連携させた。

PRINTEPSは他の仕事にも適用可能であり、汎用性が高いと期待されている。すでに農業分野への適用が始まっており、環境や作業内容に応じてロボットが支援できるように、農作業に固有の業務プロセスを洗い出しているところだ。「さまざまな現場にロボットを連れていって、試してみることが重要です」と山口さん。それこそが人間とロボットが協働する第一歩だ。