解 説

次世代ヒューマンロボットインタラクションデザイン研究の
展望と課題

Visions for the Next Generation Human Robot Interaction Design

中小路 久美代^{*1*}^{*2} ^{*1}京都大学学際融合教育研究推進センターデザイン学ユニット ^{*2}株式会社 SRA 先端技術研究所Kumiyo Nakakoji^{*1*}^{*2}^{*1}Unit of Design, Center for the Promotion of Interdisciplinary Education and Research, Kyoto University^{*2}Key Technology Laboratory, Software Research Associates, Inc.

1. はじめに

私は、インタラクションデザインという分野において、ヒューマンコンピュータインタラクション (HCI) という分野におけるソフトウェアとそのデザインの研究を行っている。人間の知的創造作業（例えば文章執筆の初期段階や、実験データの探索的分析）のための、ソフトウェアシステムの表現系と操作系のデザインをナレッジインタラクションデザインと呼び、ツールやモデルの構築を行ってきた [1]。

人間が使用するコンピュータシステムを構築するということに、二つの世界を同時に構築することになると考えている [2]。一方は、構築するシステムの世界、もう一方は、構築したシステムを利用する人間にとって出来上がる世界、である (図 1)。私はこれまで、前者を the world of making (作るモノの世界)、後者を the world of using (使うコトの世界) と呼び、この二つは密接に連携しながらも別の世界であり、これらを区別して作り上げる必要があると考えてきた。前者は、プログラムで表される世界であり数学的一貫性に基づいて正しく実装され実行される必要がある。後者には、人間がそのシステムとやりとり (インタラクション) を行う際に、人間から見たときの認知的な一貫性が求められる。後者の造形は、システムの表現系と操作系がどうあるべきかという観点から、2000 年代の初頭以降はインタラクションデザインと呼ばれている。

コンピュータシステムをロボットに置き換えても、まったく同じ構図が成立するように感じている。ここで「ロボット」という言葉は、外部環境のコンテキストに応じて自律的に物理的な様相 (位置や姿勢、形状) を変化することのできる機構を指し示す名称として用いている。

主としてディスプレイ上の表示をインタラクションのメ

使うコトの世界
the world of using

作るモノの世界
the world of making

図 1 <作るモノの世界> (右) と <使うコトの世界> (左)

ディアとして想定しているソフトウェアシステムとは異なり、ロボット (注: 上記の定義によるロボット) は、物理的様相を伴う。人間の身体のサイズに対して、微小なものから巨大なものまでがあり得る。人間の身体の中に入り込むこともあれば、人間を包み込むこともあるであろう。

日本が先導するヒューマンロボットインタラクション (HRI) という研究分野がある。人間が、ロボットという個体と、どのようにやりとり (インタラクション) をすべきかを探求している研究分野であるように見受けられる。

本論では、人間の営為の一部にロボットが入り込んだり、人間のアクションを包み込んだりするような位置づけのロボットを考え、そのコンテキストでの HRI デザインを展望してみる。ロボットが個体として認識されないようなところである。10 年後、20 年後、あるいは 50 年後を見据えた話である。

下記に示すスケッチは、図 1 に示したところの、<使うコトの世界> の展望に相当するところである。このような左側の世界を考える際に、作るモノの世界、すなわち技術的課題として何を考えるべきか、ということの考えの一助となれば幸いである。

2. ロボットを <使うコトの世界> の展望

2.1 人間が造形するメディアとなるロボット

人間は、創造的な創作活動において、紙とペンを使ってスケッチしたり、ホワイトボードとマーカーを使ってディ

原稿受付 2014 年 9 月 24 日

キーワード: Human-robot Interaction Design, The World of Using, Socio-technical Systems, Design Visions

^{*1}〒 606-8501 京都市下京区吉田本町

^{*2}〒 171-0022 豊島区南池袋 2-32-8

^{*1}Sakyo-ku, Kyoto-shi, Kyoto

^{*2}Toshima-ku, Tokyo

図2 人間が造形するためのメディアとなるロボットのイメージ

スカッションしたり、段ボールを使って low-fidelity なプロトタイプを使ったり、粘土を使って模型を作ったりする。デザインプロセスの、特に初期段階においては、人間がこのように作り出すビジュアルな表現からの語りかけ (talk-back) を聞き、表現と対話を行うことが重要であるとされている [3]~[5]。

こういったメディアがロボットになることを考える。例えば粘土が、微小なツブツブのロボットで構成されているとする。仮に粘土ロボットと呼ぶ。

粘土ロボットは、人間が作っていく過程を記憶する。こうして、ああして、といった人間が作り出した形のプロセスを逐一記録する。そのプロセスを、再現することができる。離れたところにいるデザインプロジェクトのメンバーが使っている遠隔の粘土ロボットに、自分の今の形状をコピーすることができる。人間が適当に平らにした表面や、手で作り出したカーブを、数学的に美しい平面や曲面としてスムーズにして整形 (rectify) する。作り出された形状のシーケンスを連続して再生することで、物体の動きのアニメーションを作り出すことができる。

物体に対して行った操作の undo や、遠隔地にいる人に対して、作り出しているモノの形状とその動きをそのまま伝えられるようになる。画面上で手描きしたガタガタの線を滑らかな線にしたり、また元のガタガタに戻したりといったことを、物理的な粘土が自動的にしてくれる。動きを伴う物理的なモノのデザインのためのメディアとしては画期的なメディアである。

粘土ロボットのポイントは、机の上において、人間が椅子に座って素手で、様々な形を作り出していけるくらいの大きさである点である。痛かったり重かったり熱かったり通電したりする危険性があると当然使えない。紙とペンや、土や、布と同様に、人間が自分の創作メディアとして感じられるようになっていなければならない。もちろん、解像度も重要である。

2.2 机の上を片付けてくれるロボット

机の上で活動できるロボットを考える。人間の多くの営みは、「机の上」で行われる。食事が済んだ後の食卓の上の片付けをしてくれる、大人が仕事をした後の散らかったデスクを片付けてくれる、子供が塗り絵をして遊んだ後を片

図3 机の上を片付けてくれるロボットのイメージ

付けてくれる、といったことを物理的にしてくれるロボットを考える。

机の上にある様々な形状の物理的なものを、壊さず、かつ種類や用途ごとに、重ねたり、並べたりして、片付ける。人間がしばしば尋ねるであろう、「さっきここに置いた鍵はどこにいった?」といったことに対応できるように、片付けたものは、時間を遡って元の場所に戻すこともできる。

机の上からさらに別の場所に移動するようなことは、別のロボット (あるいは人間) に任せる。あくまで、机の上だけが仕事場であるようなロボットを考える。机の上にとっというので、自分自身が大きいと邪魔になる。自分自身はこじんまりしている必要がある。かつ、机の上の、狭かったり、ベタベタだったり、平らな場所がなかったりする、そのような環境内を安定して移動できる必要がある。書類、食べかす、腕時計、小銭、お皿といった、日々置かれる様々なものを、人間にとって、一緒にしてはいけないもの、分けておくべきもの、といった視点で識別する必要がある。物理的にそれらをうまく把持したり移動できたり重ねたりする必要がある。人型ロボットで、ちょっと跨いで移動したり、カップをちょっと動かして自分の移動場所を作り出すようなロボットだと、かなり愛着がわく。

2.3 身体内で人工組織となるロボット

人工骨や人工関節といった、体内に組み入れる機構の一部を、ロボットで作ることを考える。年齢を経るに従って変化していく身体の機構に合わせて、体内環境をセンシングしつつ、自律的にその物理特性を調整するようなロボットである。ロボットで作ることのポイントは、身体他の部分とのバランスをみつつ、その弾性や塑性を、年齢に応じた身体の変化に合わせて制御し変更できるようにすることにある。

人体に取り込まれて身体組織とインタラクションを行うようなロボットである。人間が意思でインタラクションしたり制御したりするようなロボットではない。人体の原理、身体内環境センシング、主体の外部環境のセンシング (家の中を歩いている、石畳を歩いている) といったことが必要となるであろうことは明らかである。今から電車で飛び乗ろうとしている、といった意図のセンシングが必要となるかもしれない。

2.4 即時適応性を有した建造物になるロボット

階段や地面をロボットで作る。近づいて来た人のニーズ

図4 身体内で人工組織となるロボットのイメージ

図6 身の回りを浮遊するロボットのイメージ

図5 即時適応性を有した建造物になるロボットのイメージ

に合わせて、自律的にその形状を即時に変化させる。

公園につながる階段の一段ずつの高さを、お年寄りが近づいてきたら若干低めに再構成するロボットや、ヨーロッパに見られる石畳を、車椅子が走行する際にはその溝を自律的に埋めてくれるようなロボットである。

人間は、物理的な世界で生きていて、物理的な環境から、多くの親しみや安らぎや不安といったものを汲み取っている。これらの物理的な環境は、その多くが、地理的な制約や、物理的な制約から長い時間をかけて培われたものである。と同時に、それらの制約は、人間が生活をしていく上で、必ずしも都合が良いとは限らない。都合の悪さを楽しんでいる側面も大いにある。しかしながら時と状況に応じて、それをなんとかしたい場合が少なからずある。ロボット、特に人間を包み込むレベルでの大きさで環境の一部となるロボットは、うまく使えばこの不都合を補ってくれるようになる。

現状でも、建物の機構として、壁の位置を変更できたり、バルコニーを室内に変更するといったことが可能となりつつある。ここでは、さらに細かい時間的、空間的粒度で、個々人に合わせて環境が素早くその状況に合わせるロボットを考えている。

即時適応性を有した建造物ロボットにとって最も大きな課題は、物理環境には、複数人、大勢の人々が存在し得る、ということであろう。一人のひとに合わせて階段の段の高さが低くなったとしても、別の人にとってはそれが低い長

い階段になって面倒であろうし、何より自分が上っている階段の高さが変化したら恐ろしい。変形中は通行不可などするのは安直で論外である。ソフトウェアの世界においては、システムを利用する直接のユーザに加えて、それを見ている第三者の体験を考えるという、spectator experience design という分野がある[6]。物理的な環境レベルでのロボットでは、これが、クリティカルとなる。

人間は、物理世界は動きや形状に一貫性がある、という大原則に基づいて、乳児期から物理世界とのインタラクションを学習する。そしてその学習に基づいて、雨の歩道を歩き、椅子に腰をかけ、箸でモノを食べる。停止中のエスカレータに足をかけた途端にガクっとなるのも学習の結果である。これらが動的にその形状を変え始めるというのがロボットである。そういったことに対して人間の脳が成長の過程において順応できていくのであろうか？ 非常に興味深い。

2.5 身の回りを浮遊するロボット

中空にモノを留めることを可能にしてくれるロボットを考える。

立食のレセプションなどで、左手でお皿を持ち、右手で飲み物のグラスを持って、もう1本手が欲しいものだとしばしば思う。人間の手が届く腰から胸までの間の高さで、モノが中空に静止して、なおかつそれが自分について来れば、人間の営為のかかなりのところが、非常に楽になる。

直径10[cm]くらいのdroneロボットを考える。部屋の中で、それらのロボットがしずしずと浮遊しながら人間の少し後を着いてくる。ちょっとモノを置きたくなったら、その浮遊するロボットの上にモノを置く。お皿やグラスを置く。そのままそれらのモノが中空に留まる。人間が移動するとそれらがついてくる。

四六時中そういうホバリングロボットが個々の人間の周りにいるとする。座っていて、机の上に書類や本を重ねて置くのではなく、中空に置くことができる。現状は、机の上、棚の上、という二次元空間上に積み重ねて置いている物を、三次元的に置いていくことができる。

このロボットは、ある意味で、人間を重力から部分的に解放してくれる。と同時に、どこに置いたかを思い出す、と

いったことがどのくらい認知的に大変になるのか、という興味が湧く。おそらく ISS などではそういうことをしているのかなとも思うが、日常で、二次元ではなく三次元にモノを置けるようになったときに、ヒトの暮らしはどのように変わるか、といったことを考えることは、おそらく 2, 300 年のうちには可能になるであろう宇宙空間での居住を考える際にも役立ちそうだ。

3. お わ り に

外部環境のコンテキストに応じて自律的に物理的な様相を変化することのできる機構が、人間の身の回り、あるいは自分の中に入り込むとき、どんなことが可能となり得るかを考えてみた。そして、人間がすること、していることに、そのような機構が融合した世界を、〈使うコトの世界〉の展望として描いてみた。

どれも現状では魔法的かもしれない。まさに Sir Arthur C. Clarke の言どおり、sufficiently advanced technology は magic と見分けがつかないだろう。上に説明した浮遊ロボットが進化すれば、手を伸ばすと欲しいものが手元に飛んでくるようになる。まさに魔法使いの杖だ。

課題となるのは、以下の、相互に依存する三点と考える。

(1) 人間の脳が学んできている物理世界のモデルとの共存：脳が拠り所としている物理的な世界の機構が、ロボットによりダイナミックに変容するようになるとき、人間は対処できるのか？ 両者に順応できるのか？

(2) ロボットの使い手とそうでない人との共存：物理的な存在であるロボットは、その使い手でない人にとっても、物理的に存在する。怖かったり、不安に感じたりすることは容易に想像できる。普及する世界が広がるまでの過程においては、この両者は必ず存在する。

(3) これら二つの課題を踏まえながらヒューマンロボットインタラクションをデザインしていくための手法や技術、ツールやプロセスはどのようにあるべきか？

動きまで含めてプリントされる 4D プリンティングや、kilobots といった大規模なスウォームロボット群、claytronics を実現するような、プログラムすることのできる材質 (programmable matter) といったものの技術はすでに開発され始めている。自動運転のクルマが人々が運転するクルマにすでに混在している。技術の多くは、できてからその利用 (アプリケーション) を考える、といった風に培われてきた。魔法とも言えるような〈使うコトの世界〉の展望から、〈作るモノの世界〉の技術的課題を考えてみることも面白いのではないだろうか。

謝 辞 本文を執筆するにあたりディスカッションいただいた山本恭裕氏 (東京大学)、Eva-Lotta Sallnaes Pysander 氏 (スウェーデン王立工科大学) に感謝する。

参 考 文 献

- [1] 中小路久美代, 山本恭裕: ‘創発のためのソフトウェア’, 「知の科学」シリーズ知性の創発と起源 (鈴木宏昭編), pp.111-131, オーム社, 2006.
- [2] 中小路久美代: “ソフトウェアにおける 2 つの世界”, 情報処理, 巻頭コラム, vol.52, no.12, 2011.
- [3] D.A. Schoen: The Reflective Practitioner: How Professionals Think in Action. Basic Books, 1983.
- [4] B. Lawson: Design in Mind. Architectural Press, 1994.
- [5] B. Buxton: Sketching User Experiences: Getting the Design Right and the Right Design. Morgan Kaufmann, 2007.
- [6] S. Reeves, S. Benford, C. O'Malley and M. Fraser: “Designing the Spectator Experience,” Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI '05), pp.741-750, 2005.

中小路久美代 (Kumiyo Nakakoji)

京都大学学際融合教育研究推進センターデザイン学ユニット特定教授。1986 年大阪大学基礎工学部情報工学科卒業。株式会社 SRA 入社。1993 年米国コロラド大学より Ph.D. 取得。奈良先端大学院大学情報学研究科、東京大学先端科学技術研究センターを経て 2013 年より現職。2006 年コロラド大学より DEAA を受賞。