

社会とのかかわり

ユビキタスコンピューティング環境の進化とネットワークロボット

～スマートフォン, クラウド, IoT, スマートシティとの連携～

1

コンピューティング環境の進化

我が国では、2003年からのu-Japan計画のもと総務省ユビキタスネットワークプロジェクトやネットワークロボットフォーラム¹⁾とともに、ネットワークロボット(以下NR)プロジェクトが開始された。それまで一般的に考えられていたロボットの特徴である「身体性を持ったもの」という枠組みを広げ、サイバー空間で動作するバーチャル型ロボット、部屋や空間そのものがロボットといったような環境埋込み型ロボット、そして従来からの身体性を持ったロボットとしてのビジブル型ロボットも含め3つのタイプに拡張した。さらに、それらがユビキタスネットワークに接続され、相互に連携し、プラットフォーム間を乗り移れる三位一体型に拡張した点がユニークであった。

それから10年、ユビキタスネットワークプロジェクトが目指していたユビキタスコンピューティング環境は大きく進化した。人々はスマートフォンを常に携帯し、音声でのWeb検索や、コンシェルジュ的な機能を持った「しゃべってコンシェル」「Siri」のようなソフトが、いつでも、どこでも利用できる環境になってきている。また、スマートフォンを支えるモバイル通信網も3GからLTEへと進化し、最高100Mbit/秒程度の帯域を提供することが可能となっている。さらに、10年前には予測できなかったクラウド環境の普及も加速され、利用している端末に依存せず、誰もが容易に情報を集積し、共有する機能がコモディティ化され、さまざまなクラウドサービスが構築されている。

本稿では、スマートフォンやクラウドコンピュー

ティングの普及といった身のまわりに浸透したユビキタスコンピューティング環境の変化とNRを取り巻く新しい課題について議論する。

NR技術の研究開発

NR技術の研究開発の流れを簡単に振り返ってみよう。第1フェーズの総務省NRプロジェクトは2004年度からスタートし、次の4つのサブプロジェクトからなりユビキタス環境とNRとの融合を目指していた²⁾。

- 1) ロボット間通信・協調・連携技術の研究開発
- 2) ロボットプラットフォーム構築技術の研究開発
- 3) 行動・状況認識に関する技術の研究開発
- 4) 状況依存型高度対話技術の研究開発

ロボット間通信・協調・連携技術の研究開発は、異機種でかつ、ビジブル型、環境埋込み型、バーチャル型NR間での協調・連携を、ある場所において実現する。ロボットプラットフォーム構築技術の研究開発は、ユビキタスネットワークに接続でき、安全・安心にコンテンツを送受信できるプラットフォームを確立するためのロボット認証、ロボットコンテンツ生成配信プロトコルに関する技術を開発する。行動・状況認識に関する技術は、人物の認証、人物の行動・状況認識、周囲環境や社会的関係理解にかかわる技術を開発する。状況依存型高度対話技術は、誘導案内や注意喚起など状況に依存した人との高度対話技術を開発することを目指していた。これらの技術開発が進み、2009年1月には、ユニバーサルシティウォーク大阪にて設置されたNRプラットフォームを利用したロボット協調・連携実験が実施さ

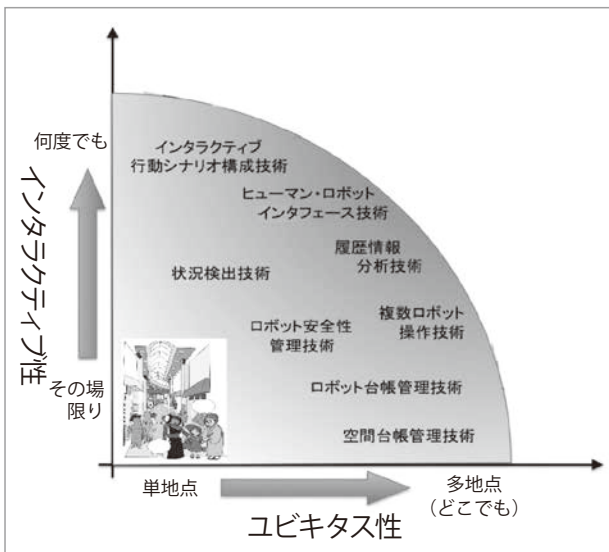


図-1 ネットワークロボットの研究開発におけるユビキタス性とインタラクティブ性の向上

れ、EU版NRであるDustBotプロジェクト³⁾のロボットと我が国のロボットの連携などが実証された。

第2フェーズの開発は、内閣府総合科学技術会議における生活支援ロボットの期待も受けて、2009年度からは、高齢者・障がい者の生活支援・社会参加を実現するために、案内支援・情報提供、見守り、生活支援、介護者負担軽減などのサービスを実現するためのNR技術の研究開発に発展している。特に、技術的には、図-1に示すように、NRの持つ空間的ユビキタス性とインタラクティブ性を向上し、実世界認識や人とのコミュニケーション能力の大幅な水準向上を目指している。

ユビキタス環境の進化

ここでは、ユビキタス環境の進化を牽引しているスマートフォン、クラウド、IoT (Internet of Things)、スマートシティとNRとの連携における課題を議論する。

★スマートフォンとの連携

従来のケータイでは、計算リソースが乏しく、バーチャル型NRを実行するプラットフォームとしては、不十分な環境であった。しかし、現在普及しているスマートフォンでは、PCで利用されていた



(a) 家での買い物リスト作成 (バーチャル型) (b) 店舗での遠隔操作による買い物支援 (ビジュアル型)

図-2 ATRによるネットワークロボットの実証実験

複数コアを持ったCPUが使用されるとともに、LTE経由でさまざまなリモートプログラム(リモートブレイン)と連携できるよう進化してきている。計算リソース的にまだ十分ではないものの、バーチャル型ロボットのプラットフォームとしては、ますます重要になってきている。

実際、2009年12月に行われたATR((株)国際電気通信基礎技術研究所)のNRの公開実証実験では、図-2(a)(b)のように、独居老人がショッピングする際に、まず自分のスマートフォン上のバーチャル型NRと対話し、その後、ショッピングセンタ内で遠隔操作されているビジュアル型ロボットと連携して、シームレスなショッピング支援を実現している。

人とNRのコミュニケーションといった本質的なインタラクティブ性の向上も従来からの重要な課題であるが、一般の人々が持ち歩くスマートフォン上で、他のいろいろなタイプのNRやWebサービスとシームレスに連携できる技術の確立が重要な課題である。また、Webサービス上で実現されているサービスの発見、サービスのマッシュアップと同等のことが異なるNR間でも実現することが課題であり、ロボット台帳管理技術やユニバーサルサービス記述言語USDLのさらなる発展が課題である。

★クラウドとの連携

人々が持ち歩くスマートフォンやタブレットで作成した情報を、クラウド上に格納し、他の人々と共有し、共同作業を容易に行う環境が整備されてきている。一般のユーザと同様に、NR自身がアカウントを持ち、これらのコンピューティング環境を容易

に使えるようにすることも重要な機能的の1つである。このようなNR間での共同作業環境の整備は、人と人の共同作業と同様に重要であり、さまざまなレベルのセキュリティの確保が課題となる。

また、NRの場合、三位一体型機能の実現に効率よくクラウド環境を活用できるかということも課題である。たとえば、バーチャル型で動作しているNRをあるバーチャルマシン（VM）上に実装する。そして、このバーチャル型NRがシームレスにビジブル型NRへ乗り移る機能は、VMのライブマイグレーション機能を利用して効率的な実装ができるかが鍵となる。たとえば、家庭内のTV画面を通じて人と会話していたバーチャル型NRが散歩を支援する際には、一緒に屋外を移動できるビジブル型NRへと瞬時にマイグレーションすることが理想である。この遅延を最小にするためには、このVMレベルだけでなく、プロセスレベル、スレッドレベルなど小粒度での手法を含めたハイブリッド方式マイグレーション手法などを検討する必要がある。

また、ライブマイグレーションの課題に加えて、NR用のリモートブレイン共有化をクラウド上で確立することも課題である。これにより、複雑なバックアップ、リストアといった手順を経ずに、ハードウェアプラットフォームの故障に対しても、スムーズに別の新しいプラットフォームで実行することが可能となる。このような技術的枠組みは、スマートフォンやタブレットを利用しているユーザが認知し、実践しているモデルであり、同様の枠組みでいろいろなタイプのNRに対しても実行できることが望ましい。

★ IoTとの連携

インターネット上にサーバ、PC、スマートフォンに加えて、さまざまなセンサ群が接続されてきている。しかし、まだ実世界に存在する多くのモノ（Things）は、インターネットには接続されておらず、その割合は、99%のモノが未接続と言われている⁵⁾。欧米では、我が国のユビキタスネットワークプロジェクトと同様の趣旨で、あらゆるモノをインタ

ーネットに接続するIoTプロジェクトが加速されている^{4), 5)}。また、同様にモノとモノの通信プロトコル（M2M）に関する研究開発も活発に行われてきている。このような中でNRがその対象として考えられているかということ、残念ながら含まれていないのが現状である。

一方、東芝のApriAlpha™などのビジブル型NRは、無線LANと赤外線リモコンの送受信器を使って、ネット家電やリガシー家電を制御できるような機能をすでに備えている。このようなサービス連携機能があらゆるモノに拡張されれば、部屋のライトを消すといった単純作業でも、ライトがインターネットに接続されているスマートオブジェクトであれば、室内を移動せず作業を完了できることになる。M2Mに関しては、LTE-MといったLTEをベースにM2Mに向けて拡張したプロトコルがFP7のEXALTEDプロジェクトで開発されているが、このようなM2MプロトコルをNRが吸収し、連携機能を強化することが必須である。NR関連の標準化活動は、「位置情報」と「人とインタラクションにかかわるコマンドや情報」に関する議論が主であるが、M2Mで議論されている「モノとモノのインタラクション」に関しても相互運用性をさらに向上していく必要がある。

★ スマートシティとの連携

NRのプロモーションビデオ 2005 では、2015年の日本の都市を想定し、ビジブル型ロボットとともに散歩している老婦人が横断歩道を渡る際に、横道から進入してくる車をNRが察知し、注意喚起をして横断歩道を渡るタイミングを遅らせている場面がある。

現在は、このように都市レベルでの交通インフラの情報がオープン化され、人々が利用しているNRと安全に通信ができる状況には、残念ながらなっていない。一方、自治体などの所持しているデータ（災害マップ、ボーリングデータ、気象データなど）をオープン化し、新しいサービスを提供する試みは進んできており、プロモーションビデオで表現された

リアルタイム通信が可能となることが重要な課題である。また、パーソナルモビリティ支援としてのビジブル型 NR の視点としては、現在検討されている車車間通信機能も将来公道を移動する NR にとっては搭載すべき必須な機能といえる。

スマートシティを構成する新しい社会インフラと NR との連携は、インフラ側のデザインと NR 側のデザインの両面からの議論が必要であるが、実空間とサイバー空間の融合が進むことにより、より安全な形での社会インフラとの連携が実現されることが望まれる。

社会実装力の課題

NR の社会実装に関しては、実験室や整備された環境だけでなく、人々のリアルな生活空間といったオープンでかつ複雑な環境下で安全に動作し、人々の生活支援を実現していかなければならないといった重要な使命がある。社会レベルで NR 技術が受け入れられるには、リアルワールドコンテキストにおいて NR をどのような形に変容（シェーピング）させていくかといった課題とともに、我々を取り巻くさまざまな制度の改革といったソーシャルイノベーションを同時に進めていくことが重要な課題である。

いくつかの参考事例を紹介しよう。イタリアにおける Dustbot プロジェクトでは、ペッチオリ市の中心部に世界初のロボットレーンを設置し、街中で人、車、NR との共生のあり方について市民を巻き込み、市レベルで実証実験を行った³⁾。市民には大変好評であったが、人と違って NR がなかなか道を譲ってくれないといった興味深いコメントなども車のドライバから出ている。

デンマークの Danish Technological Institute の

ロボット技術センターの CareLab では、産業技術総合研究所が開発したロボット“パロ”を輸入し、認知症患者の治療用ロボットとして利活用を進め、販売を開始している。15,000 人以上の治験ユーザを持ち、国立の介護施設などと協力して国の認可を取得し、実際の治療用プログラムとともに、介護の現場で利用されている。

まとめ

NR 技術の研究開発は 10 年を迎えた。人と NR とが共生できる社会を目指すには、テクノロジー・シェーピングを意識した技術イノベーションと新しいライフスタイルや新しい社会インフラを実現可能とするための制度改革を進める社会イノベーションの両方を推進していく必要がある。技術開発の長い道程を経て、NR の社会実装が進むかどうかは、この 2 つのイノベーションにかかっている。スマートフォン上のバーチャル型 NR を突破口に、三位一体型を実践できる NR が社会に浸透していくことを期待している。

参考文献

- 1) ネットワークロボットフォーラム, <http://www.scat.or.jp/nrf/>
- 2) 徳田英幸：ユビキタス環境とネットワークロボットの融合, 岩波講座ロボット工学 <5> ロボットインフォマティクス, 安西祐一郎他著, 第 3 章, 岩波書店 (2005).
- 3) Dustbot プロジェクト, <http://www.dustbot.org/>
- 4) IoT-A プロジェクト, <http://www.iiot-a.eu/public>
- 5) CISCO IoT World Forum Steering Committee (2013), <https://www.seeuthere.com/rsvp/invitation/invitation.asp?donotrefresh=1>

(2013 年 4 月 12 日受付)

徳田英幸 (正会員) hxt@sfc.keio.ac.jp

1975 年慶應義塾大学工学部卒業。1983 年ウオーターラー大学計算機科学科博士。カーネギーメロン大学計算機科学科研究准教授を経て、1990 年慶應義塾大学環境情報学部勤務。専門は、OS やユビキタスコンピューティングシステム等。