

ヒト型ロボット

西澤 美結 石原 知憲 日和 悟 廣安 知之

2016年4月29日

IS Report No. 2016042814

IS Report

Medical Information
System Laboratory

Abstract

近年、介護や教育、商業など様々な場面でヒト型ロボットは活躍している。しかし、人間はヒト型ロボットに対して冷たいと感じたり、不気味だと感じてしまうことがある。この現象はヒト型ロボットの外見と機能のギャップが原因である。社会の様々なニーズに対応するため、そして人間を脳科学だけでなく工学的な分野から解明するためにも、ヒト型ロボットは必要である。こうしたヒト型ロボットの必要性を担うために、人間により似せる技術の開発・研究が行われている。今後、技術は発展し、人間とロボットが協働・共生をする社会が実現可能になると考えられる。

keywords : ヒト型ロボット, 不気味の谷, アンドロイド, 表情生成システム, 対話生成システム, ASIMO, MEEBO

目次

第1章 はじめに	2
第2章 ヒト型ロボットとは	3
第3章 アンドロイドとは	4
3.1 表情と対話機能に優れた ERICA	4
3.1.1 表情生成システム	5
3.1.2 マルチモーダルな対話システム	5
第4章 2足歩行に優れた ASIMO	8
4.1 歩行機能	8
第5章 検温機能を持つ MEEBO	9
5.1 検温機能	9
第6章 今後の課題と展望	10
第7章 まとめ	11

第1章 はじめに

近年、これまで日本が開発を進めてきた産業用ロボットに代わって、姿形や振る舞いを人間に似せたロボットであるヒト型ロボットが社会に進出し始めている。この背景には、様々な要因が考えられる。1つは人工知能の発達である。人間の脳が行う知的な作業をコンピュータで模倣したソフトウェアやシステムのことを人工知能 (AI) という。AI がプロの棋士に囲碁の対決で勝利したことは記憶に新しい。近年、AI の成達は著しく、教師あり学習や強化学習だけで、世界最強と言われるプロの棋士を破るまで成長した。人工知能は人間の脳に近づくように発達しており、囲碁の領域では技術的特異点 (シンギュラリティ) を超えたとまで言われている [1] [2]。このように人間の知能の再現において、技術の成達が著しい。ロボットは人工知能といった中身の発展に対して、外見や振る舞いといった部分もより人間に似せる技術を開発してきた。こうしてロボットはヒト型ロボットに変化したと考えられている。また2つ目の要因として、人間がロボットに対して、親近感や温かみを求めるようになったことが考えられる。教育や介護、商業などではそれぞれニーズがあり、そのニーズを達成するためにロボットが必要であった。しかし、人間と密接に関わるこれらの分野では、機械的なロボットは、冷たく感じられ、人間はストレスを感じる。より人間に似たロボットを開発することで親近感や温かみが生まれ、ヒト型ロボットが、社会的ニーズを担うとされる。こうしたことから、ロボットは、知能だけでなく、姿形や振る舞いにおいて人間に似たヒト型ロボットの開発が行われている。

今後、ヒト型ロボットはより人間性を備え、人間とヒト型ロボットが協働・共存していく社会を目指している。本稿では、ヒト型ロボットの概要、技術、課題、今後の展望について述べる。

第2章 ヒト型ロボットとは

「ヒト型ロボット」には明確な定義はないが，人間社会の様々なニーズに対応した姿形や機能を持ち，社会で活躍し始めている．例として，教育の現場では，保育士の代わりに園児を見守る為の MEEBO がある．介護の現場では，高齢者孤立解消の為の PALRO がある．商業の現場では，従業員の代わりに客に対応する為の Pepper がある．災害現場では，人間の代わりに危険な場所にへ立ち入る為の Atlas がある．

ここで，「不気味の谷」と呼ばれる心理現象を紹介する．不気味の谷現象とは，ロボットが人間に似てくるにつれて，そのロボットに対する好感度や共感度は徐々に上昇していくが，ある地点でそれが強い嫌悪感に変わってしまい，さらに類似度を上昇させ，人間の見た目や動きと見分けがつかなくなるほどまでになると，人間に対するものと同じような親近感・共感を取り戻すであろうという仮説である．言い換えれば，外観や動きが中途半端に人間に似たロボットは人間にとって不気味な存在となってしまうという仮説である．この仮説を，縦軸に親近感・共感度を，横軸に人間への類似度(人間らしさ)を取ると Fig. 2.1 のような曲線をとると考えられている．Fig. 2.1 において，急激に親近感・共感度が落ち込んだ部分が，「不気味の谷」である．不気味の谷は，心理学的・大脳生理学的にも，その存在が確認されている．不気味の谷現象は，機能と外観のギャップが不気味さの一因とされており，ヒト型ロボットがよりヒト型に近づくためには，こうしたギャップの解消が求められる [3] [4]．

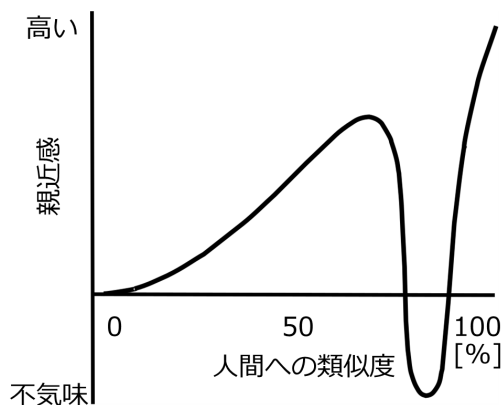


Fig. 2.1 不気味の谷 (参考文献 [3] より自作)

また，第1次産業や第2次産業といった製造分野では産業用ロボットが多く活用されてきたが，第3次産業ではヒト型ロボットが活用されている．第3次産業のような人間とコミュニケーションを行う場面において，不気味の谷現象が生じないためにも，ヒト型ロボットの表情生成と対話生成という機能は，必要とされる機能である．他にも，人間に似せたロボットの技術として，2足歩行技術や認識技術をはじめ，センサー技術などが挙げられるが，本稿では，アンドロイド ERICA での表情と対話機能，ASIMO の2足歩行機能，MEEBO の認識機能について述べる．

第3章 アンドロイドとは

ヒト型ロボットの中でも、表情や外見をより人間らしさにこだわったロボットに、「アンドロイド」がある。アンドロイドは、人間にそっくりな外見を持ち、笑ったり眉をひそめたりすることが可能である。

アンドロイドロボットとして、世界で初めて観光案内所に設置されたロボットに、東芝の地平ジュンコがある。このアンドロイドは、利用者がタッチパネルで言語を選択した後、それに合わせて音声案内を動作付きで開始する [5]。また、芸能人の顔そっくりのアンドロイドが登場したこともあり、アンドロイドに注目が集まっている。このように、アンドロイドもまた社会に普及し始めている。

この背景には、認知科学において、人間の脳が人間に対して敏感に反応するということが関連していると考えられている [6]。また、人間は対話相手を常に擬人化することも証明されている。ヒト型ロボットは、擬人化の対象として他の物体よりはるかに、擬人化しやすい姿形を持つ。そのため、アンドロイドは、人間にとって話しやすい対象であり、人間としての興味を引きやすい対象となっている [7]。また、ヒト型ロボットの研究をすすめていくことで、人間をより深く知る基盤となる。

3.1 表情と対話機能に優れた ERICA

ERICA は、自律型対話を実現するための研究基盤として開発されているアンドロイドである。ERICA の見た目は、コンピューターグラフィックスで抽出した美人顔で構成され、振る舞いは最先端の音声認識、音声合成、動作認識、動作生成の技術を統合し実現している。下に、ERICA に搭載されたシステムを示す。本稿では、コミュニケーションにおいて重要である、表情生成システム、対話システムについて詳しく述べる。

- 音声認識システム

ジュリアスとよばれる日本で最も利用されているオープンソース音声認識エンジンにディープラーニング (深層学習) を投入し、多様な発音の音声の認識が可能なシステム。

- 動作生成システム

発声から唇の動きや頭部の動きを自動的に再現することで、発話と一致した自然なしぐさを生み出すシステム。

- マイクロフォンアレイ技術

複数のマイクロフォンを備えた機器により、音声分離や雑音除去などを行うシステム。

- 合成音声

コンピューターを用い、音声を人工的に作り出すシステム。

- 人追跡システム

複数の 2 次元レーザー距離センサーにより人の位置を計測するシステム（時間分解能 33ms，空間分解能 10cm）。

- 発話者追跡システム

複数の 16 チャンネルマイクロフォンアレイと人追跡システムの連携により発話者の発話区間を検出するシステム（時間分解能 100ms，音源の 3 次元位置分解能 20cm） [8]。

3.1.1 表情生成システム

ERICA のデザインコンセプトとして，親しみやすさと人間としての存在感を併せもつことを目指している。姿形は美人に見られる特徴を参考にして，コンピューターグラフィックにより人工的に合成されている。アンドロイド本体の動作生成のために，頭，頭部，肩，腰の 19 箇所にも動関節があり，空気圧アクチュエーターで動作している。空気圧アクチュエーターとは，空気圧を利用した動力装置である。空気圧アクチュエーターには空気圧シリンダや空気圧モーターがある。Fig. 3.1 に示したとおり，空気圧シリンダは密閉された容器の中で，圧縮空気によりピストンを移動させ，ピストンに連結されたピストンロッドで外部に力を取り出す [9]。顔の自由度は眉，瞼，唇，眼球，舌と多様であり，様々な表情を生成することができる。近い将来，空気圧アクチュエーターを 30 本まで増やし，腕も含めた上半身が人間らしく動くように改良されるとされている。ERICA を用いた対話では，音声による応答だけでなく，視線，うなずき，表情などのマルチモーダルな応答が可能である [10]。

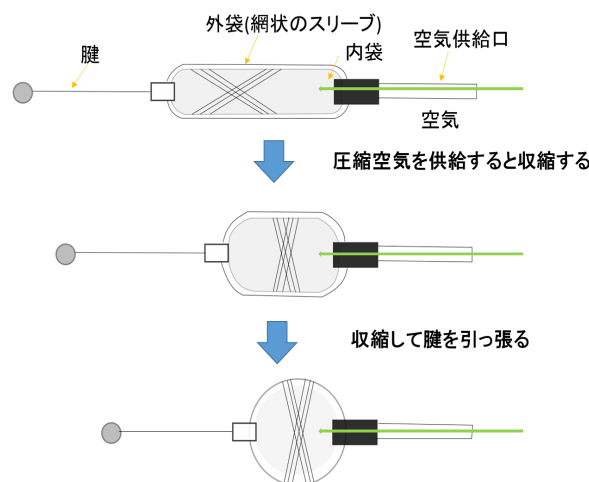


Fig. 3.1 空気圧アクチュエーターの仕組み (参考文献 [9] より自作)

3.1.2 マルチモーダルな対話システム

アンドロイド ERICA の対話においては，言語的な応答だけでなく，非言語を含めたマルチモーダルな応答を実現するため，様々なセンサ情報を統合および理解し，多様な振る舞いを協調的に動作させている。システム構成を Fig. 3.2 に示す。

入力としてレーザーレンジファインダ，マイクロフォンアレイ，接話マイクがある。レーザーレンジファインダにより ERICA の周囲にいるユーザーの空間的位置，マイクロフォンアレイにより音源方向を検出している。また現時点では，接話マイクから入力される音声信号から音声認識と韻律特徴

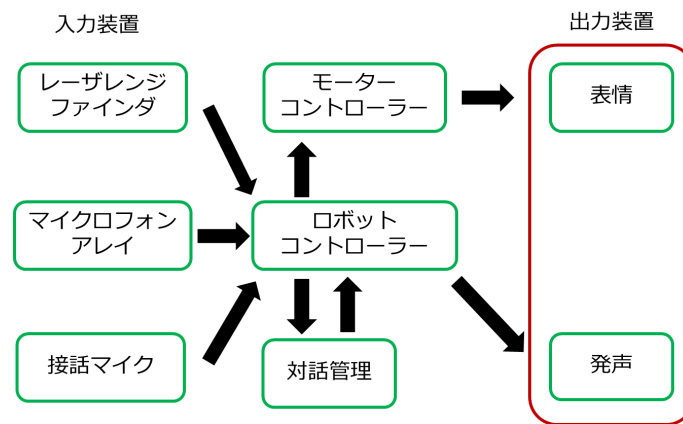


Fig. 3.2 システム構成 (参考文献 [10] より自作)

の抽出を行う。音声認識は JuliusDNN バージョンによって行っている。これら複数のセンサから得られる情報を、ロボット操作部において統合し、以下の動作生成を選択的に行う。

- ユーザーの空間位置と音源方向から、どのユーザーが発話しているかを特定し、そのユーザーへ頭部方向と視線を向ける。
- 韻律特徴を基に、ユーザーの発話に合わせて頷く。
- 音声認識結果から、対話管理部において応答文などの動作情報を生成する。
- ERICA 本人の発話に合わせて、頭部などの付随動作を行う。

生成された動作情報は、アクチュエーターへの操作量に変換され、最終的に ERICA の身体動作として表出する。また、応答発話は、ERICA 用に設計・開発された音声合成により再生され、同時に口唇動作も生成される。

対話を成立するために、Erica の対話管理部ではユーザーからの質問トピック推定、ユーザーの応答に対する評価応答の決定が行われる。言語理解は、対話状態に応じて 2 種類あり、ユーザーから ERICA に対して質問をしている場合と ERICA からの質問に対してユーザーが応答している場合である。前者の場合、31 種類のトピックのうち、発話がどのトピックに関するものであるかを推定する。後者の場合、特定の内容を含むか否かの 2 種類の応答タイプ分類である。ここでのトピックおよび応答タイプの推定は、3 種類のテンプレートマッチングにより行う。Fig. 3.3 に処理の流れを示す。はじめに、音声認識結果と、あらかじめ定義されたユーザーの想定発話文との完全マッチングを行う。一致しない場合は、あらかじめ定義されたキーワードすべてが音声認識結果に含まれているか照合する。すべてのキーワードが含まれていない場合には、ベクトル空間モデルによる想定発話文との距離比較を行う。形態素解析を行い、名詞、副詞、形容詞などの特定の品詞のみに絞った単語の頻度ベクトルを作成し、文同士のコサイン距離を計算して閾値処理を行う。

応答文生成では、トピックおよび応答タイプごとにあらかじめ応答文を用意する。トピック推定において、いずれのトピックにも当てはまらなかった場合、応答文として「え」や「うん」などの相槌を用いる。これにより、音声認識や言語理解に失敗した場合でも、ユーザーの次の発話を自然に促すこ

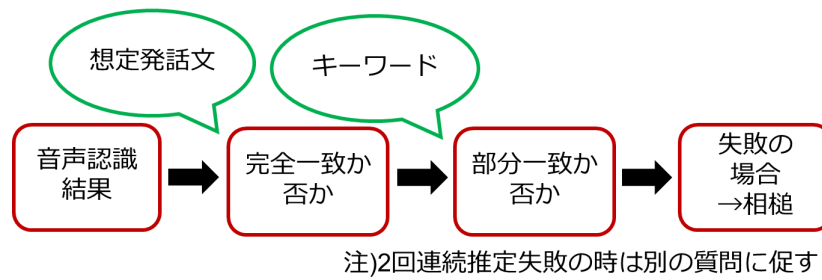


Fig. 3.3 言語理解の処理の流れ (参考文献 [10] より自作)

とが出来る。ただし、2ターン連続していずれのトピックにも当てはまらなかった場合は、相槌ではなく、「すみません。別の質問にして頂けますでしょうか。」などと応答し、別のトピックについて質問してもらうようにする [10].

第 4 章 2 足歩行に優れた ASIMO

HONDA はヒト型ロボットである ASIMO を発売し、近年改良が進んでいる。ASIMO は周囲の人の動きに合わせて自ら行動する判断能力を備えたことによって、自律機械へと進化してきた。自律機械とは、周囲の環境や状況を把握し、判断し、行動が可能なロボットのことであり、ASIMO が自律機械として動くために必要な要素は以下の 3 つである。

1. とっさに足を出して姿勢を保つ「高次元姿勢バランス」。
2. 周囲の人の動きなどの変化を複数のセンサーからの情報を統合して推定する「外界認識」。
3. 集めた情報から予測して、人の操作の介在なしに自ら次の行動を判断する「自律行動生成」[11]。

本稿では、ASIMO が自律機械ロボットとして活躍するために必要な要素のうち、歩行機能や身体バランスの仕組みについて述べる。

4.1 歩行機能

歩行する上で重要なことは、ASIMO が ASIMO 自身の体重を支えることである。そこで重要となるのが、脚の関節の配置である。また、指の付け根やかかとの関節部も体重を支えるうえで大切な仕組みになっている。関節は大きく股関節、膝関節、足関節の 3 つに分かれる。足関節が前後と左右に曲がるおかげで、通常の歩行時には前後方向が安定し、坂を横切る場合には左右方向の路面との接触が高まる。膝関節と股関節は階段での歩行や、またぐ動作のために重要である。ASIMO が二足歩行を行う際に必要な関節の可動範囲や脚の長さなども、人間を参考にして作られている。

安定した歩行を実現する 3 つの姿勢制御として、床反力制御、目標 ZMP 制御、着地位置制御がある。床の凹凸を吸収しながら、足裏で踏ん張る制御を床反力制御、足裏で踏ん張り切れないときに、上体を倒れそうな向きに加速させ、姿勢を保つ制御を目標 ZMP 制御、目標 ZMP 制御によって生じた上体のズレを歩幅により調整する制御を着地位置制御という。

また、ASIMO には i-WALK という技術が組み込まれており、次の歩行パターンを予想し、重心をあらかじめ移動させて、転ばないようにしている。リアルタイムに歩行パターンを生成し、任意に着地位置と旋回角を変更することも可能である [12]。

最近では、脚力の上昇や脚の可動範囲を拡大したことに加え、動作中に着地位置を変更できる新たな制御技術を取り入れたことで、歩行や走行をはじめ、ジャンプなども連続して行うことも可能になった。この技術によってより俊敏に動くことができ、凸凹のある路面でも安定姿勢を保って歩くことが可能となった。

第 5 章 検温機能を持つ MEEBO

MEEBO はユニファが保育士の代わりとなり園児を見守るために開発した世界初のロボットである。体長は 28cm, 重さは約 1kg である。MEEBO には, 園児の命を守る, 園児の様子を記録する, 園児と一緒に遊ぶといった大きく 3 つの役割がある。この 3 つの役割を満たすために, 地震アラート機能により地震を知らせたり, 園児との日常会話などのコミュニケーションを行ったり, 表情を認識して自動で写真を撮ることなど, 様々な機能がある。また, 園児と安全に触れ合うために, 腕などの可動部分は園児が触っても指が挟まりにくい設計になっており, ロボットが動くモーターも何かを挟んだと検知した際はすぐに停止する [13]。本稿では, 命を守るための機能である検温機能について紹介する。

5.1 検温機能

MEEBO が撮影したサーモグラフィーカメラと顔認識機能のある Web カメラの写真を重ね合わせて, 発熱状態にある園児を識別している。その仕組みを Fig. 5.1 に示す。Web カメラで撮影した画像から顔画像認識エンジンで個人特定し, サーモグラフィーカメラで温度を計算した画像を組みあわせることで, 発熱があるかどうか認識できるシステムである。

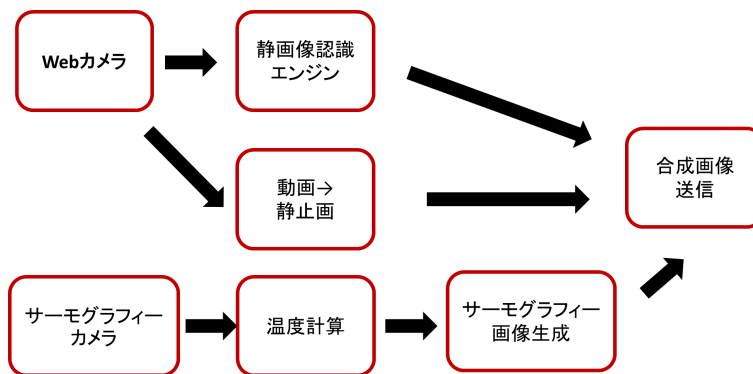


Fig. 5.1 MEEBO の検温機能の仕組み

第 6 章 今後の課題と展望

2015年夏にハウステンボスに開業した「変なホテル」は、受付やコンシェルジュ、客室への案内、ロッカーでの荷物預かりなど、専用開発したロボットが担当するホテルである。人間の従業員はロボットのトラブル時などの緊急対応やロボットでは難しい部屋の掃除だけを行う。通常なら30~50人の従業員が必要とされるが、ロボットの導入により現在10人超で運営が可能であり、運営費を半分に抑えている [14]。このように、ヒト型ロボットは様々な社会のニーズのに適応する為に、それぞれに特化した機能を持ち合わせている。それぞれ特化した技術が1つに統合されることで、本当の意味の人間と協働・共生が可能な社会となると考えられる。

また、日本の人口減少は加速しており、2040年には自治体の数が半減し、労働力も大きく減少するとされている。全産業で586万人、必要就業者の約11%が不足すると予想されている。産業別で分類すると、教育や福祉、サービス、宿泊業などの第3次産業で422万人の不足に達すると考えられている [14]。こうした労働力不足の解消のために、ヒト型ロボットが人間の代わりに働くことが期待されている。国内ロボット市場は2035年までに10倍以上に拡大し、2020年にはサービス用ロボットは産業用ロボットを逆転するとされている。日本では、2020年までにサービス用ロボットの市場規模を20倍にする予定であり、今後もロボット産業は発展していくと考えられる [15]。また、ヒト型ロボットは労働力不足の解消だけでなく、少子高齢化による高齢者孤立の解消や、災害によって人間が立ち入ることのできない場所への救援など、社会のニーズに対応し、生活・公共の場でより身近な存在として役立つことも期待されている。

第7章 まとめ

本稿では、ヒト型ロボットの概要、技術、課題と展望について述べた。人工知能の発達の影響や、社会の様々なニーズに応えるために、ヒト型ロボットは開発が進められてきた。人間に似せた機能をもつ技術が開発され、社会のニーズにあったヒト型ロボットは、それぞれ特化した機能を持ち合わせている。これは、人間を解明することにも繋がっており、工学的な部分だけでなく脳科学の発展にも貢献している。ヒト型ロボットは教育、介護、商業などコミュニケーションを必要とする第3次産業で導入が始まっており、人間とロボットの円滑なコミュニケーションは今後更に重要になると考えられる。また、現在の特化した技術が統合されることで、人間と協働・共生が可能な社会へと発展していく。

参考文献

- [1] “「アルファ碁」が世界トップ級棋士に勝ち越し 人間の「大局観」を超える人工知能 (木村正人),” <http://bylines.news.yahoo.co.jp/kimuramasato/20160313-00055372/>, 閲覧日:2016年4月22日.
- [2] “日本経済新聞,” <http://www.nikkei.com/article/DGXMZO98496540W6A310C1000000/>, 閲覧日:2016年4月22日.
- [3] 畠山真一, “カワイイ概念と不気味の谷現象について,” 尚絅大学研究紀要. A, 人文・社会科学編, vol. 1, no. 46, pp. 29–42, 2014.
- [4] 西尾修一, 石黒浩, “人として人とつながるロボット研究,” 信学誌, vol. 91, no. 5, pp. 411–416, 2008.
- [5] “人型ロボット最前線 アンドロイドは人を癒す存在へ toshiba clip,” <http://www.toshiba-clip.com/detail/618>, 閲覧日:2016年4月13日.
- [6] 石黒浩, どうすれば「人」を創れるか, 第1版, 新潮社, 2014.
- [7] 石黒浩, アンドロイドは人間になれるか, 文藝春秋, 2015.
- [8] “共同発表:研究基盤としてのアンドロイド「ERICA (エリカ)」を開発～自然な対話が可能な自律対話型アンドロイドの実現に向けて～,” 閲覧日:2016年4月15日.
- [9] 石黒浩 浅田稔大和信夫, はじめてのロボット工学 製作を通じて学ぶ基礎と応用, 第1版, オーム社, 2013.
- [10] 井上昂治, 河原達也他, “自律型アンドロイド erica のための音声対話システム,” *SIG-SLUD=SIG-SLUD*, vol. 5, no. 02, pp. 21–24, 2015.
- [11] “Honda asimo 新型 asimo,” <http://www.honda.co.jp/ASIMO/about/>, 閲覧日:2016年4月14日.
- [12] “Asimo,” <http://www.honda.co.jp/factbook/robot/asimo/200011/index.html>, 閲覧日:2016年4月13日.
- [13] “園児見守りロボット meebo (みーぼ) について,” <https://unifa-e.com/news/pr/chardin.js-master/meebo/0805.html>, 閲覧日:2016年4月9日.
- [14] “日経ビジネス,” 閲覧日:2016年4月3日.
- [15] “2035年には10兆円市場に 数字で見るロボット産業の未来月刊「事業構想」2015年1月号,” <http://www.projectdesign.jp/201501/robotbiz/001839.php>, 閲覧日:2016年4月7日.