

ロボティクスにおけるブリコラージュ ～ 研究／技術／教育 ～

Bricolage in Robotics - Research, Engineering and Education -

正 荒井 裕彦 (産総研)

Hirohiko ARAI, AIST, h.arai@aist.go.jp

Bricolage, which French anthropologist Levi-Strauss firstly raised as a primitive style of creative thinking, means making do with limited and available materials and tools at hand to create new things or to solve problems. It is shown that various forms of bricolage can be widely observed in the field of robotics, based on the author's own experience and several examples, i.e., humanoids using servos for radio control models, robots used in Fukushima nuclear disaster, and constructionism theory in robot education. It is emphasized that bricolage plays a key role at practical scenes of creative activities in robotics.

Key Words: robotics, bricolage, engineering, science of concrete, constructionism

1. 緒言

ブリコラージュ bricolage とは、フランスの文化人類学者レヴィ＝ストロースが創造的な思考活動の原初的な形態として取り上げた概念である。手持ちの道具や材料を組合せて新たなものを作り上げることをいう。本稿では、ロボットに関する研究／技術／教育の実践的な創造活動の現場において、ブリコラージュが広く観察されることを、著者自身の経験及びいくつかの事例から示し、ロボティクスにおいてブリコラージュが重要な役割を果たしていることを論じる。

2. ブリコラージュとは何か

レヴィ＝ストロースは、著書「野生の思考」[1]において、いわゆる未開部族の持つ自然に関する知識体系に、精緻に構成された秩序を見出した。それは西欧近代科学とは異なっているが、未熟な発展段階ではなく、独自の価値を持つ別の科学のあり方「具体の科学」であるとした。のみならず、こうした「具体の科学」の思考形態は、現代社会に生きる我々の間にも残っている。その典型的な例がブリコラージュである。

ブリコラージュとはフランス語で「器用仕事」や「日曜大工」を意味し、あり合わせの道具や材料を工夫して組合せ、自分の手でものを作ることをいう。「野生の思考」[1](pp.23-24)ではブリコラージュを次のように描いている。

- (ブリコラージュ=ブリコラージュをする人は) エンジニアとはちがって、仕事の一つ一つについてその計画に即して考案され購入された材料や器具がなければ手が下せぬというようなことはない。彼の使う資材の世界は閉じている。そして「もちあわせ」、すなわちそのときそのとき限られた道具と材料の集合で何とかするというのがゲームの規則である。
- 「もちあわせ」の内容構成は、目下の計画にも、またいかなる特定の計画にも無関係で、偶然の結果できたものである。
- (ブリコラージュは) いままでに集めてもっている道具と材料の全体をふりかえってみて、何があるかをすべて調べ上げ、もしくは調べなおさなければならない。
- 道具材料と一種の対話を交わし、いま与えられている問題に対してこれらの資材が出しうる可能な解答をすべて並べだしてみる。しかるのちその中から採用すべきものを選ぶ。

ブリコラージュの概念は人類学を超えて人文科学全般に大きなインパクトを与え、特に哲学[2,3]や芸術の分野で注目されることが多かった。一方、近年は経営学の分野でも、技術経営や知識管理、組織論等の立場から、事業創出やイノベーションにおけるブリコラージュの実利的な効用が議論されている[4-9]。Ciborra[5]は、企業の経営戦略を支援する情報通信

システムの多くが、必ずしも分析的な計画に基づいてではなく、ブリコラージュによりボトムアップで作り上げられたことを指摘した。Garud と Karnoe[6]はデンマークと米国における風力タービン開発を比較し、ブリコラージュと現場からのフィードバックを重視して漸進的に開発を進めたデンマークが、トップダウンの大規模な研究開発プロジェクトでブレークスルーを狙った米国に打ち勝つプロセスを描いている。

Baker と Nelson[8]は制約された経営資源のもとでの事業創出におけるブリコラージュの役割を論じているが、その中でブリコラージュを「新たな問題や機会に対して手持ちの資源の組合せを用いて間に合わせる」と再定義した。ここで資源とは単に道具や材料等の物的資源だけでなく、技術や人材等を含む広い意味に拡張されている。またブリコラージュを構成する主要な要素として、1) 目下の問題とは関係なく集められた持ち合わせの資源を利用すること、2) 本来の用途から外れた使い方も含む組合せで既存の資源から新たな価値を生み出すこと、3) 制約に立ち向かい、問題に対し積極的行動を指向することの3点を挙げている。こうした経営学的な観点からのブリコラージュの様々な分析は、研究開発の分野にも十分通用すると考えられる。

3. 著者自身の経験

本講演会でこうしたテーマを扱うことは読者に違和感を与えるに違いないが、あえてブリコラージュをロボティクスに深く関わりあるものとして取り上げた最大の理由は、著者自身が長年にわたりロボット研究として従事してきた活動の多くが、ブリコラージュにほかならないという実感を抱いていることにある。研究の現場では、まず実験室において文字通りのブリコラージュ - 実験室にストックしてある装置の残骸から取り出した部品を寄せ集め、実験装置を組み立てたり改造したりということ - を日常的に繰り返してきた。

例えば文献[10,11]等で用いたスピニング加工の実験装置では、力センサは2足歩行ロボットの足首に用いていたものを譲り受け、サーボドライブも昔の装置のジャンクを再利用して、約100万円の材料費で作ることができた。また制御用のパソコンは他の研究者から貰った中古品にISAバスの入出力ボードを搭載し、Windows98のDOSモードでTurbo C++を使ってプログラミングを行った。装置を動かすためのプログラムや制御則等も過去のロボット研究で用いたものを改造して流用した[12]。

また制御のためのプログラムも、研究テーマが変わるたびに一から作るということではなく、以前の研究に由来する位置制御や力制御等のルーチンを手持ちの素材として持っていて、

それらを組み合わせて実験目的に合わせたプログラムを作っている。例えば力制御スピニングで用いたインピーダンス制御は、もともと人間とロボットの協調作業の研究[13]に用いていた制御則をアレンジしたものである。

さらに、アイデアに関するブリコラージュも行ってきた。例えば前出の論文[13]では、人間とロボットによる協調作業において、ロボットに仮想的な非ホロノミック拘束を与えることによって、操作を容易にする方法を提案している。これは、それ以前の非駆動関節マニピュレータの研究を通じて身につけていた非ホロノミック系の理論と、それまで協調作業で用いていたインピーダンス制御を組み合わせて、研究の中心的なアイデアとしたものである。つまりそのとき取り組んでいた研究テーマとは無関係に、それに使うために習得したのではなく偶然持ち合わせていた知見を、道具として組み合わせることから、新たな手法が生み出された。

上記の例はほんの一部であり、(意識してブリコラージュを行ってきたわけではないが) 研究活動そのもの、それも創造的行為の根幹に関わる部分が、ブリコラージュとなっていると感じる。次章では、ロボティクスの分野でブリコラージュが観察される(と著者が考える)いくつかの事例を紹介する。

4. ロボティクスにおけるブリコラージュの事例

4.1 [事例1] 模型用サーボによるヒューマノイド

ラジコン模型用のサーボを用いた小型のヒューマノイドは、現在ではホビー、教育、研究等の場面で広く普及している。模型用サーボを、モータ・ギア・制御回路をパックして位置決め機能を有し、構造部材まで兼ねたモジュール部品として使うことは、こうした分野では既に標準的なロボットの作り方の一つとなっている。最近でこそロボット専用のサーボも販売されているが、当初はラジコンの自動車や飛行機用のサーボを、入手しやすく廉価な部品としてヒューマノイドに流用しており、典型的なブリコラージュであったと言える。

模型用サーボによるヒューマノイドは、おそらく文献[14]の研究が最初である。ただしそれ以前に MIT の Brooks による 6 足歩行ロボット Genghis[15]も模型飛行機用サーボを脚の駆動に用いている。東京大学の稲葉雅幸教授によれば、1992 年頃に研究室で使う知能ロボットプラットフォームのためにラジコン模型用の無線制御と計算機の結合を試みる間に、1990 年頃にオックスフォード大学で見かけたラジコンサーボによるセンサの方向制御を思い出し、サーボのカタログを取り寄せて利用し始めたのが最初だったとのことである[16]。ただし人間型が目的というより多種多様なロボットを動かせるプラットフォームを目指していて、その一つに人間型もあるというスタンスだった。一連のリモートブレインロボットの研究では、「特注品ではなく、市販品のレベルで試作でき、交換可能なモジュールでシステムを構成」という観点から、ラジコン模型用サーボばかりでなく低価格で入手しやすい様々な市販部品のブリコラージュでロボットを作っていた[17]。

模型用サーボの採用によって、ASIMO のような人間型のロボットを作りたいという欲求に対する技術的なハードルが一気に下がった。2002 年に開催された二足歩行ロボットによる格闘競技大会 ROBO-ONE の第 1 回大会には 38 台のロボットがエントリーし、そのほとんどが模型用サーボを用いたものだった。もし模型用サーボが使われなければ、ロボットの製作には機械加工・回路設計等に高い技術が要求され、ごく限られた人にしか手の届かないものだっただろう。したがって大会を開くほどにホビーとして普及することもなく、ロボットキットやロボット用部品等の製造販売に乗り出す企業もな

かったに違いない[18]。

またラジコン模型という、より産業規模の大きな市販製品から供給される部品を流用することにより、価格抑制の点でも大きな効果があった。例えばこうしたロボットとほぼ同じ大きさと自由度を持つが、完全にカスタマイズ設計された富士通の研究用小型ヒューマノイド HOAP-1 は 575 万円で、普通の個人には到底購入できない価格だった。また SONY の SDR-4X も仮に販売するとすれば高級車 1 台分の価格と言われていた。その数分の一から数十分の一の費用で曲がりなりにも歩くロボットが作れたことが、ホビーとしての草の根的な広がりを誘引したと言える。

このように、ラジコン模型用サーボで実際に歩くヒューマノイドが作れるという、ブリコラージュを通じた「発見」は、小型ヒューマノイドが商品ジャンルとして定着し、ホビー・教育ロボットがある程度のボリュームを持つ産業に成長するうえで重大な技術的意義があったと考えられる。

4.2 [事例2] 原発災害対応ロボット

災害等の緊急事態への対応においては、限られた時間内に手に届く資源のみを用いて目前の問題を解決せねばならず、適切なブリコラージュができるかどうかがかまに生死を分けると言える。Weick[4]は山火事に巻き込まれて生還した消防隊員の行動をブリコラージュとして分析している。また Cunha[8]は有人宇宙船アポロ 13 号の事故対応をブリコラージュの例として挙げている。そこでは船内に積み込まれたあらゆる物資を組み合わせて乗組員の生還のために利用した。小惑星探査機「はやぶさ」も、数々のトラブルに見舞われながら、壊れた 2 基のエンジンの正常な部分をつなぎ合わせて推力を得る等のブリコラージュで切り抜け、ミッションを成功させた。

福島第一原子力発電所で事故が発生した時点では、こうした原子力災害に対応可能なロボットは日本には存在しなかった。その後に原発建屋内の状況把握等のために投入された、いくつかのロボットは、その目的で設計されたロボットをそのまま運用したのではなく、いずれもなんらかの形でブリコラージュが加えられている。

千葉工業大学/国際レスキューシステム研究機構/東北大学による災害対応ロボット Quince は、元々は原子力災害に対応するために作られたロボットではなかった。福島での事故発生後、手持ちのロボットに多数の改造を加えて投入が行われた。無線が届かない建屋内での遠隔操縦のために通信ケーブルの巻き取り装置を備え、操縦用及び計器読み取り用の数台のカメラや線量計、水位計を装備し、本体中央にそれらを支持する支柱を立てた[19]。

千葉工業大学の小柳栄次教授によれば、投入された Quince には現場の知恵とも言える様々な工夫が盛り込まれている。

「たくさんカメラ情報やロボットの姿勢を表示するメータを付けても、オペレータは操縦がなかなかうまくならなかった。そこで、われわれは苦肉の策で何をしたらかという、リバースモードを設けました。Quince の前後は対称につくられているので、リバースモードキーを押すだけで運転席が 180 度反転したかのように、ソフトで対応しています。ジョイスティックの方向も画像表示もすべて反転するのです。これならば、袋小路に入ってもリバースモードキーを押すだけでバックの操作をする必要がなくなります。」[20]

「PackBot が最初に 2 号機原子炉建屋に入った際、湿度はほぼ 100% でカメラが一気に曇ったとの報道があり、私たちは千葉工大の寮の風呂場でボイラの温度を 65 度、湿度 100% で実験しました。当初はあつという間に曇ってしまいましたが、カ

メラ内部の湿気を抜き密閉することと、レンズを事前に暖めておくことで解消できることがわかりました。このように、ロボットというのは現実の環境に出来るだけ近いところで走らせない限り、まったく問題解決はできません。」[20]

また日本原子力研究開発機構では、1999年のJCO事故後に原子力災害支援ロボット RESQ-A, B, C 及び RaBOT が作られていたが、維持管理が続けられていなかったため福島原発事故の時点ではいずれも不可動で、RaBOT は廃棄されていた。そこで2台の RESQ-A をリストアし、除染用の水スプレーまたはブラシ、γ線可視化計測カメラ、耐放射線性カメラの搭載等の改造が加えられた。ところが、同機構の川妻伸二氏によれば、こうした改造には多くの障害があった[21,22]。

「潤沢な予算で作られていた原子力災害ロボットは贅沢な設計が行われており、部品には良いものが使われていたが、逆にいえば簡単には手に入らないような部品ばかりだった。しかも本体の設計がギチギチで、パーツを入れ替えるにしても余裕や遊びがほとんどない。制御系には海外製の部品が使われておりブラックボックス同然だった。電池すら交換が非常に難しい設計になっていた。要するに現場での使用経験がなく、開発にはまったくフィードバックされていなかった」[22] その結果、開発したメーカーには事実上修理を断られ、既に退職したメンバーも含め同機構内でチームを組んで修理・改造に当たったとのことである。

災害の現場では常に人間の想定を越えた事態が生じうる。おそらく災害のシナリオを完全な形で描くことは不可能であり、特定のシナリオのみに対応して最適化したロボットは条件の変化に脆い。例えば原子力安全技術センターの防災モニタリングロボットは、原子力防災訓練等に参加していたにも関わらず、福島第一では瓦礫のため稼働することができなかった。一方で考えるシナリオの数だけのロボットを揃えることも、予算の制約から困難である。

したがって現場の状況と要請に応じた迅速なブリコラージュを許す、改造を前提としたロボットが望ましいと考えられる。前出の川妻氏は「事故現場は様々で、予め全てに対応できるロボットを開発するのは非現実的。複数のプラットフォーム（移動体）とツールを用意しておき、事故現場にあわせて臨機応変に組合せを変えて改造ができる即応性が必要」と主張した[21]。またロボットには極力入手しやすい国産の汎用部品を用い、特注品はストックを用意すべきと提案している。

またもちろんロボットを素材としてブリコラージュを行う人間の側も重要である。それは普段から現場にロボットを配備して訓練によりロボットを使いこなせるオペレータの必要性ということと同時に、悩ましい点ではあるが、機微にわたるブリコラージュが行えるのはロボットを隅から隅まで知り尽くした設計者本人のみであるということも、数々の事例から類推できる。

4.3 [事例3] ロボット教育とコンストラクショニズム

ロボット教育の現場にも色々な形でブリコラージュが観察される。まず、教える側が教材を用意する際に行うブリコラージュがある。ロボット教材は価格の抑制と教育効果を両立させなくてはならず、特に商品となったロボットキットではなく手作りの教材を用いる場合には、身近に手に入るものをロボット教材の材料として利用する様々な工夫が見られる。昨年の本講演会の「ロボメカを使った教育」に関するセッションにおいても、PCのUSB端子、カセットガスエンジン、振動モータ、段ボール等、普通にはロボットに使われないものを利用したロボット作りが行われている[23]。事例1のラジ

コン模型用サーボの利用も広い意味ではこうした目的のブリコラージュに含めることができる。

また、ロボットコンテストを通じた教育において、ロボットの材料として学習者に与えられる資材には、金額や種類の面で限定が加えられるのが普通である。これは上に述べたような予算の制限による都合もあるが、一方で資源が限定されることによりロボット作りにおいて学習者がブリコラージュを行い、それを通して創造性や問題解決能力を涵養することを期待しているとも言える。こうした学習者の側のブリコラージュは、ロボット「を」教えるのではなくロボット「で」教える場合、すなわちロボットに関する工学教育を行うというよりも、ロボットを題材として用いて創造的な人材を育成する場合に特に重要であると考えられる。それにはおそらく動作原理の授業を受けマニュアルに沿ってキットを組み立てるというやり方ではなく、より自由度が高く目標志向的な課題設定に学習者を置くことが必須だろう。

Sullivan[24]は小学校でのロボットを課題とした創造性育成のための授業において、問題解決に至る場面での生徒や教師の会話内容を分析した。それに基づいて、生徒たちが協力してトラブルに対する創造的な解決法を見つけるには、「真面目」と「遊び」の2つの態度の切り替えを許す雰囲気が必要であり、また遊びのモードでは、その場にあるものを機転を利かせて使うブリコラージュが観察されると述べている。

比較的低年齢の児童生徒を対象としたロボット創造教育においては、教材として LEGO Mindstorms が非常に広く用いられている。MIT メディアラボの Seymour Papert による教育理念「コンストラクショニズム」がこの製品コンセプトの基盤となっている。コンストラクショニズムとは、「人が何かを行動する（特に、何かをつくる）過程において、周りの環境にある材料を使って、さまざまな概念や知識を自ら学び取る」といった、主体的・積極的な学習観をいう[25]。Papert はコンストラクショニズムの要素として、問題解決の過程で学習者が行うブリコラージュの重要性にしばしば言及している。

Turkle と Papert による「認識論的多元主義と具象の再評価」と題した文献[26]では、大学初年級における計算機プログラミングのコースや小学校におけるロボット工作及び Logo プログラムの課題において、学習者に2通りの思考様式が見られるとした。一方は伝統的な構造化プログラミングの教育課程に適合した分析的・計画的なアプローチを好む。他方の「ブリコラージュ」スタイルでは、抽象的な概念やトップダウンの計画に基づいてではなく、慣れ親しんだ具体的な要素を組み合わせ、下からの積み重ねでプログラミングが進められる。そこでは学習者が心に描くイメージが重要な役割を果たし、芸術家と似たような漸進的なやり方を取る。しかし後者の結果が前者の「正しい」方法に劣るとは限らないとした。さらにこの文献ではこれら2つの思考様式とジェンダーとの関係を論じ、前者は男性、後者は女性に多く見られるとしている。なおこの文献はコンピュータ教育・ロボット教育の分野に大きな影響を与え、欧米の研究者に頻りに引用されている。

Sullivan ら[27]は発見学習法を導入したロボット教育に関連して、技術的な教材の導入と活用のためには、教材の設計の背景となっている教育理念を教師が十分に理解することが大切であると指摘している。著者はロボット教育には門外漢ながら、日本のロボット教育はやや技術面に偏りがちという印象を受けている。創造的な人材の育成を目的としてロボット教育を行う場合には、教える側において教育理念であるコンストラクショニズムや、ひいてはブリコラージュへの関心も必要ではないかと考える。

5. ブリコラージュの効用

元来ブリコラージュは近代的な科学技術と対立する思考様式として文献[1]に登場する。しかしここまで見てきたように、ロボティクスの研究／技術／教育に関わる活動には、ブリコラージュが深く浸透して重要な役割を果たしている。ブリコラージュは既存かつ有限の資源から出発するが、各資源のもつ属性を読み替えて、意図された機能とは異なる機能をも引き出して使うことにより、無限の組合せが生じ、新たな価値が創造される[9]。新製品の開発においても、本質的に新しい要素技術は通常ほんの一部であり、大半は既存技術で構成されるため、そこにはブリコラージュが要求される。またブリコラージュでは一般に使い慣れた手に入りやすい構成要素を使うため、信頼性が高く低価格で実用化の敷居の低い技術が得られると考えられる[6]。

ロボティクスとブリコラージュの親和性について考えると、ロボット技術は本質的にはローテクであって、だからこそ役に立つということが要因となっているのではないか。初期投資が小さくて済み、誰でも手軽に利用できる。ナノテクやバイオ等、専用の建物を建てることから始めなくてはならないようなハイテク技術では投資の桁が違い、そもそもブリコラージュは成立しない。ロボット技術は使うのに高度な専門知識を必要としない点でも敷居が低い。むしろ実用上は場面に応じた創意工夫の方がものをいう。設備投資よりもマンパワーが勝負の、人間臭い手作りの技術である点が、ブリコラージュとの近さの原因となっているように思われる。

油田[28]は先端技術の負の側面を念頭に置きつつロボット技術の今日的意義について次のように述べている。

「このような身近で想像のしやすい技術は、いわゆるハイテクとは逆の方向を向いており、最先端の科学というより、基本的な一歩ずつを地道に積み上げることによって成果が生まれて来るといった性格が強い。現在の社会に求められている技術は、ハイテクより、むしろ、このような技術ではないだろうか？」

この観点は哲学者の中村雄二郎が、暴走する現代の巨大技術と対比して「技術的製作が同時に芸術的創造でもあるようなものに立ち帰る」「等身大の技術としてのブリコラージュ」に注目すべき[3]とした問題意識と通底しているように感じる。

6. 結言

本稿では、著者の個人的体験及びいくつかの分野の事例から、ロボティクスとブリコラージュとの関わりについて考察した。理系の研究者が見慣れた科学上の概念の明確な定義とは異なり、ブリコラージュが曖昧で多義的であることは否めない。しかしそれは人間の姿を捉えようとする言葉だからであり、だからこそ人文系の多くの分野に豊かなイマジネーションを与えたと言える。ロボティクスにおいても「ロボットを創る」という行為に研究者／技術者／教育者／学習者が人間として向き合う場面においてこそ、ブリコラージュは本領を発揮する。ブリコラージュはより原初的で人間の本性に根ざした創造活動とも言えるので、研究者も多かれ少なかれ無意識のうちにブリコラールの性格を帯びているように思われる。ロボティクスがより生き生きと面白く役に立つものであるために、内なるブリコラールの声に耳を傾け、ブリコラージュの持つ意味を再考してみてもはどうか。

文献

[1] クロード・レヴィ=ストロース (大橋保夫訳), "野生の思考", みすず書房, pp.22-28, 1976. ("La Pensée sauvage", 1962.)

- [2] 中村雄二郎, 山口昌男, "知の旅への誘い", 岩波書房, pp.23-33, 1981.
- [3] 中村雄二郎, "問題群 哲学の贈りもの", 岩波書房, pp.144-156, 1988.
- [4] Weick, K.E., "Making Sense of the Organization," Wiley-Blackwell, 2000.
- [5] Ciborra, C., "The Labyrinths of Information: Challenging the Wisdom of Systems," Oxford University Press, pp. 29-53, 2002.
- [6] Garud, R. and Karnoe, P., "Bricolage versus breakthrough: distributed and embedded agency in technology entrepreneurship," Research Policy, vol.32-2, pp.277-300, 2003.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048733302001002>
- [7] Baker, T., and Nelson, R.E., "Creating Something from Nothing: Resource Construction through Entrepreneurial Bricolage," Administrative Science Quarterly, vol.50-3, pp.329-366, 2005.
- [8] Cunha, M. P., "Bricolage in organizations," FUEL Working Paper Series, no.474, Universidad Nova de Lisboa, 2005.
<http://ideas.repec.org/p/unl/unlwp/wp474.html>
- [9] 三宅秀道, "ブリコラージュと製品開発", 東海大学紀要政治経済学部, no.43, pp.161-175, 2011.
http://www.u-tokai.ac.jp/undergraduate/political_science_and_economy/kiyou/index/pdf/2011/12_mitake.pdf
- [10] 荒井裕彦, "ロボットによるスピニング加工の研究—カフィードバック制御を用いたしごきスピニング—", 日本ロボット学会誌, vol.22-6, pp.798-805, 2004.
- [11] 荒井裕彦, "ロボットによるスピニング加工の研究—カ制御を用いた非軸対称製品の成形—", 日本ロボット学会誌, vol.24-1, pp.140-145, 2006.
- [12] 荒井裕彦, "ロボット技術を用いたスピニング加工 (へら絞り) —手作りの現場密着型ものづくり—", Synthesiology (シンセシオロジー) - 構成学, vol.5-3, 2012. (掲載予定)
- [13] 田窪朋仁, 荒井裕彦, 谷江和雄, 林原靖男, "人とロボットによる長尺物の協調運搬 (仮想非ホロノミック拘束による水平面内の制御手法)", 機論C編, vol.66-648, pp.2677-2684, 2000.
- [14] 稲葉雅幸, 金広文男, 井上博允, "脳を持ち歩かない2足2腕ロボットの開発", 日本ロボット学会第 11 回学術講演会予稿集, pp.623-624, 1993.
- [15] Brooks, R., "A Robot that Walks; Emergent Behaviors from a Carefully Evolved Network," Neural Computation, vol. 1-2, pp.253-262, 1989.
- [16] 稲葉雅幸, 私信, 2012.
- [17] 稲葉雅幸, "行動研究とプログラマブル玩具", 日本ロボット学会誌, vol.18-2, pp.15-18, 2000.
- [18] 森山和道, "ホビーロボット市場立ち上げの中核企業～近藤科学株式会社", Robot Watch, 2006.
<http://robot.watch.impress.co.jp/cda/column/2006/05/29/2.html>
- [19] 田所諭, 小柳栄次, 吉田智章, "QUINCE による福島原発対応", 福島原発対策緊急研究開発 記者発表資料, 2011.
<http://www.rescuesystem.org/IRSwweb/document.pdf>
- [20] 小柳栄次, セミナー「大規模複合災害における被害管理と科学技術の活用」におけるコメント, (先川原正浩, ロボナブル), 2011.
<http://www.robonable.jp/column/2011/10/51furo.html>
- [21] 川妻伸二, "日本原子力研究開発機構の原子力災害ロボット—福島第一原子力発電所事故における対応と教訓—", 同上セミナー配布資料, 2011.
<http://www.cpdnp.jp/pdf/kawatsuma.pdf>
- [22] 森山和道, "原子力災害ロボットのこれまで、現状、そしてこれから", ROBOCON Magazine, no.77, pp.18-21, 2011.
- [23] セッション"ロボメカを使った教育", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2011 講演論文集 DVD-ROM, 2011.
- [24] Sullivan, F.R., "Serious and Playful Inquiry: Epistemological Aspects of Collaborative Creativity," Educational Technology and Society, vol.14-1, pp.55-65, 2011.
- [25] 山内祐平, 佐藤朝美, 石原正雄, 森 秀樹, "知育玩具-創造的製作活動をアフォードする人工物-", BEAT (東京大学情報学環ベネッセ先端教育技術学講座) 公開研究会, 2007.
<http://www.beatiii.jp/seminar/030.html>
- [26] Turkle, S. and Papert, S., "Epistemological Pluralism and the Revaluation of the Concrete," Constructionism (Harel, I., and Papert, S., Eds.), Ablex Publishing Corporation, pp.161-191, 1991.
<http://www.papert.org/articles/EpistemologicalPluralism.html>
- [27] Sullivan, F.R., and Moriarty, M.A., "Robotics and discovery learning: Pedagogical beliefs, teacher practice and technology integration," J. of Technology and Teacher Education, vol. 17-1, pp.81-114, 2009.
- [28] 油田信一, "私論・ロボット学", 日本ロボット学会誌, vol.10-1 pp.60-62, 1992.