

平成 30 年度
博士後期課程学位論文

論文題目

ロボットテクノロジーの応用による“夢”の実現
—宅配ロボットによる生活創造—

研究作品題目

宅配ロボット「CarriRo® Deli」のデザインと実証実験

東京藝術大学大学院美術研究科デザイン専攻
機能・設計研究室

谷口 恵恒

論文指導教官

主査 東京藝術大学美術学部

教授 長濱雅彦

作品副査 東京藝術大学美術学部

准教授 山崎宣由

論文副査 沖縄科学技術大学院大学

教授 北野宏明

副査 東京藝術大学美術学部

准教授 鈴木太朗

論文要旨

人々のくらしが楽しく便利になるロボットを作ることが筆者の夢であり、それを仕事にもしてきたが、長期的な自身のライフワークとして取り組み、その活動手法を体系的に整理することによって、同じ志を持つ開発者に参考にしてもらい、世の中に広めることが将来にわたって持続的に楽しく便利なロボットが提供されていくことであると確信し、それを実行したいと思ったのが本研究のきっかけであり、論文の目的である。そしてその手法の鍵となるのがアート思考ではないかと考え、本学の博士課程の研究をスタートさせた。ロボットテクノロジー（以降 RT）とデザインが開発段階から融合する事は、言葉で言うほど簡単ではない。筆者は 15 年間 RT をベースに仕事をしてきたが、最良のコラボレーションを生みだせなかった。自ら芸術・デザイン領域に飛び込み、RT とデザインを同時並行に進めることによって、それぞれの研究領域の差異や利点、欠点が理解でき、はじめて両者のより良き関係を見出せる。RT とデザインが開発段階から融合することは、学際を超えた視点がなければ難しい事が分かったのである。

20 年ほど前からインターネットの普及に伴って IT(Information Technology) が時代をけん引してきた。IT はパソコンやスマートフォンの画面で好きなものを探したり注文できる大変便利なツールであるが、画面上のバーチャルな体験であり、実際に触ったりにおいをかいだり周辺の環境を体感するといったことはできない。もっとも近年は VR (Virtual Reality : 仮想現実) や AR (Augmented Reality : 拡張現実) 技術の発展により将来はバーチャルワールドがリアルワールドに近い体験をもたらすことは否定しないが、パーソナルかつ疑似体験の領域から脱する事は出来ないでいる。一方、RT は実際にモノや人を運ぶ、移動するといったリアルな働きかけや体験ができる上で道具的な側面があり、人と人、社会と人をつなぐポテンシャルを持った社会的かつ実体験領域のテクノロジーであると言える。

日本のロボットの歴史は 1983 年の日本ロボット学会の設立からみても 40 年くらいであり、主に工場の生産ラインで働く工作機械、産業用ロボットからスタートしているが、筆者がロボットベンチャーを創業した 2001 年あたりから、民生用のサービスロボットの研究開発が本格的にスタートした。近年 RT も AI の進化と伴っていよいよ実用化が進み、IT の基盤の上に RT が実装され、サービスとして社会に浸透する技術的環境が整った。加えて人手不足や高齢化、過疎化など、不安定な社会状況が、民生用ロボットのニーズを掻き立て、いよいよ開発を加速させる時代を迎えたと言える。

民生用ロボットの開発は、テクノロジー思考とアート思考が融合した情緒的ロボットを創りあげることが大切であると考え。 (図 1) テクノロジー思考とは、知識や技術、データが重要であり、最先端トレンドを追う現在価値であり、従来の日本の製造業が得意とする工業製品を中心とした機能的サービスであり、それらは量産化され、またアナログからデジタル化され

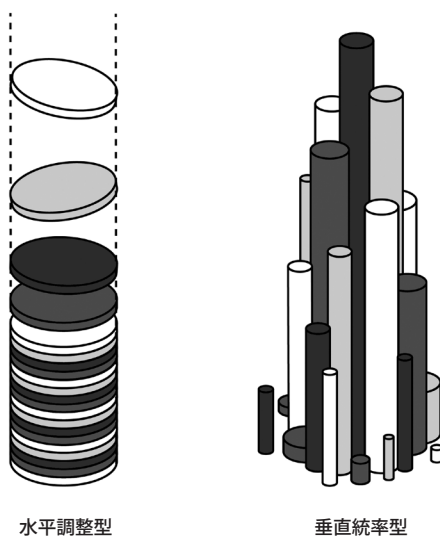
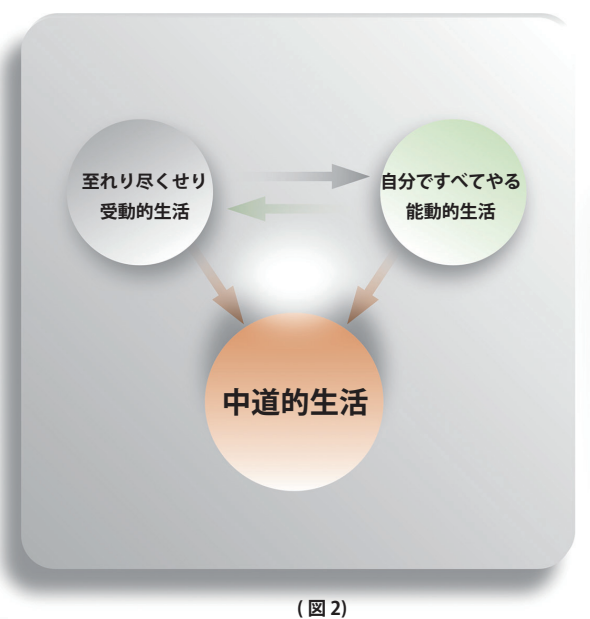
ると一気にコモディティ化される。さらに近年急速にテクノロジーのフラット化が進んでおり、特徴を出すことが益々難しい時代になっている。一方、アート思考とは、感性や表現、体験が重要であり、人間のプリミティブな不変の価値であり、本能的に感じる楽しさ、面白さ、美しさなど感性によって生み出される情緒的サービスである。具体的にはITやAI、ヒューマン・マシーン・インターフェイスに現れる。そして便利で魅力的なサービスは日常的に使われ必要不可欠になり、いち早く普及した地域でローカライズ化が起り、国に広がり世界に広がり、ときとして市場を占有する強い力を持つ。

情緒的ロボットの創出で鍵となるのが、至れり尽くせりと一方的にサービス提供を受ける受動的な生活でもなく、自分でサービスを選び、使うといった、すべてやる能動的な生活でもない、第三の中動的な生活という生活シナリオである。(1)、(図2) 中動的な生活とは、サービス提供者がサービスを受ける者からのフィードバックを受け、双方一緒になって信頼関係を構築し、より良いサービスを探し創りだしていくことである。例えば過度にロボットに依存せず人の自立を促し、便利であるが利便性のみの追求にならない楽しい、人間が中心の暮らしである。特に健康促進を大切に考え、例えば歩くのを手助けし、時には買い物にも出かけるように支援する。人と話す機会や景色を楽しむ機会を提供するといった人がゆとりを持てるように手助けし、人間本来が持っているプリミティブな感性を大切に考えデザインしていくことが重要であると考えられる。また、ギリシャ哲学のアリストテレス「ニコマコス倫理学」(2)の中で人間の行為や感情における超過と不足を調整する徳として中間、つまり中庸にあることが述べられているが、ロボットによるサービスは過剰でもなく、不足でもない、中庸を心がけた。中動的な生活と同様、デザインの基礎的思考とした。

具体化するためには社会実証を通じて技術的に機能を満たすように技術革新を促し、さらにそれに改良を加えて信頼性を高めていくことに加え、ロボットに触れた際の人々の反応を随時繊細に観察し、ロボットの外観や立ち居振る舞いなどにいかす数値化し難い手法で、エスノグラフィ(Ethnography)的(3)、アート思考からまとめあげていく総合的な手法を用いた。

本研究全般の進め方として、日本の伝統的産業に見られる既存技術の改善・改良ではなく、全く新しい発想や技術でデザインしていく手法であり、筆者は前者を水平調整型、後者を垂直統率型と呼び(図3)、この垂直統率型を実践して最先端のデザイン、テクノロジーを強力なリーダーシップをもって束ねて完成させていった。本研究の対象は日々の買い物に不便を感じている人々に楽しく便利な買物体験を提供する宅配ロボットである。こうした機能性を持つロボットは現時点でも日本ではいまだ実施例がなく、海外でも実験が始まってきた全く新しい試みであるため、未熟な点、仮説、検証が十分でない点は多々あると思うが、それらを含め多くの試行錯誤も、のちに同様な開発を行う際には参考になると考え、本論文にはリサーチ記録をなるべく削除せずに記載した。

最後に、実証実験において日本国の法整備が整っていないという大きな課題があり、それを保守的に解釈すれば全く実験など行うことができないため、筆者は「叩けよ、さらば開かれん」との思いで、自身のリスクで大胆に、先陣を切って実験を試みた。事例が少ない民生用ロボットの実証例として、ご興味いただければ幸いである。



目次

第1章 序論

- 1-1. 研究の背景と目的
- 1-2. 労働人口問題と物流効率化について
- 1-3. RT が可能にする未来
- 1-4. 研究の先駆け、ロボットコンピューター [ホタル] の提案
RT とデザインの新しい関係図
スペキュラティブ・デザイン
- 1-5. 研究の具体的内容の流れ

第2章 RT の実用化についての考察 過去作品

- 2-1. 民生用ロボットの黎明期 人型二足歩行ロボット [nuvo®/ヌーボー]
- 2-2. 民生用自律移動音楽ロボット [miuro®/ミューロ]
- 2-3. 自動運転ロボット・カー [RoboCar®/ロボカー]
 - 2-3-1. 目に見えない RT 自動運転の世界へ
 - 2-3-2. 立ちほだかる規制に向かって
 - 2-3-3. 実証例 移動に困っている人々をサポート
 - 2-3-4. 実証例 RoboCar® 以外の他の事例
- 2-4. 産業用無人飛行機ドローン [マルチローター・VTOL]
 - 2-4-1. 実証例 土木測量を変える
 - 2-4-2. 実証例 農業・林業への応用
 - 2-4-3. 実証例 ワクチン、血清など医薬品の緊急搬送

第3章 物流支援ロボット CarriRo®

- 3-1. 実証例 倉庫や工場での人手不足、きつい労働を支援
- 3-2. 新しいデザインメソッド
 - 3-2-1. ムービープロトタイピング手法の効果
 - 3-2-2. 実証実験を重ね製品化へ
 - 3-2-3. 自律移動機能へ
 - 3-2-4. IoT(Internet of Things) 端末としての CarriRo® に応用活用
 - 3-2-5. 大規模な倉庫での実例
 - 3-2-6. CarriRo® が伝える人とロボットの関係

第4章 作品：宅配ロボット CarriRo® Deli の実証実験

- 4-1. 宅配が目的、プロトタイプ1号機
ムービープロトタイピングによるデザイン開発
- 4-2. 研究プロジェクトチームを組成する

- 4-3. 法規制の課題
- 4-4. 千葉県幕張ベイタウンでのチャレンジ
- 4-5. 高層ビル、高層マンションでの縦の移動の問題
- 4-6. 福島県南相馬市での実証実験
- 4-7. 寿司の宅配実験
- 4-8. 海外での類似サービス

第5章 作品：宅配ロボット CarriRo® Deli のデザイン

- 5-1. CarriRo® Deli G2 実生活でのラストワンマイルへの挑戦 G1 と G2 の違い
- 5-2. ロボットらしさを表現
 - 5-2-1. デザイン思考の変化と推移
 - 5-2-2. アイコン化デザインと機能化デザインそして擬人化デザインへ
 - 5-2-3. ロボットは目が命
 - 5-2-4. 目を補完する声
 - 5-2-5. ロボカラー
 - 5-2-6. 三河屋さんをモデルに
- 5-3. 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスでコンビニの配達にチャレンジ
 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
 「AI システム共同開発支援事業」に採択
- 5-4. 東京大学本郷キャンパスで歩行者との共存を研究

第6章 まとめと今後の展望

- 6-1. 受容性について
- 6-2. 無人走行の管理
- 6-3. 遠隔監視での応用として高齢者の安否確認
- 6-4. 見回り・安全セキュリティ
- 6-5. 商品の注文・受取に関するユーザビリティ
- 6-6. まとめ
 - 6-6-1. ロボットからアプリへ
 - 6-6-2. 社会問題の解決から新たな楽しさの発見へ
 - 6-6-3. RoboCar® と CarriRo®, CarriRo®Deli の連携
 - 6-6-4. ミニマルな店舗、ロボストアー
 - 6-6-5. 持続可能なロボットとの暮らし

謝辞	93
APPENDIX 作品の時系列まとめ	94
参考文献	97
参考図	98
参考写真	99

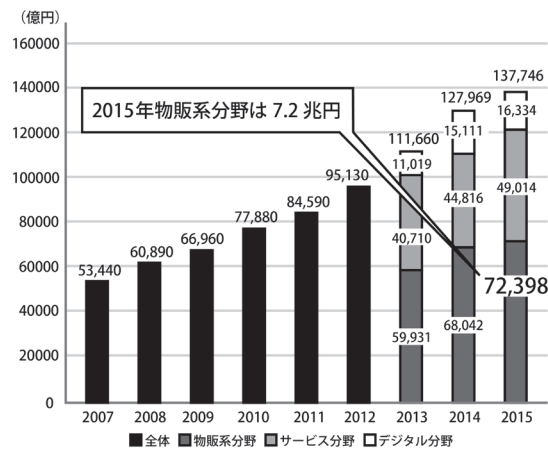
第1章 序論

1-1. 研究の背景と目的

全国で700万人超(4)といわれる買物弱者は、日常の買い物に困難を感じており、簡便で手ごろなコストで買物を代行してくれる手段を求めている。一方、近年の目覚ましいEC(電子商取引)市場の成長は、2015年には全体で13.8兆円規模、5年間で1.8倍の規模に拡大しており(図4)、それに伴い宅配便の取扱件数は5年間で12%の増加(約5.3億個)している(図5)。更には共働きの増加、一人暮らしの女性の夜間配達への不安(3割以上の人「ドアを開けることに不安」)などによる不在再配達は全体の約2割(7.4億個/年)発生している。(5)、(図6)

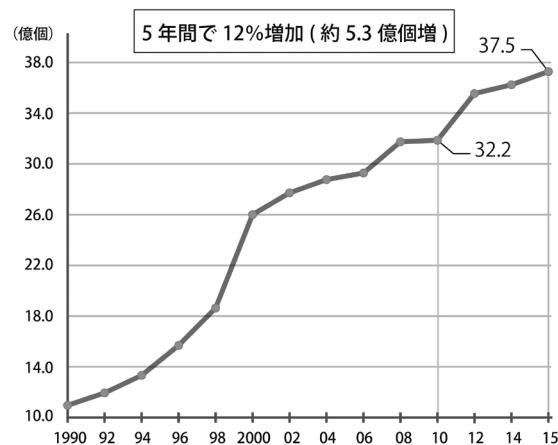
物流業者は少子高齢化の影響を受け、人手不足の問題が深刻化している。そのような背景で大手宅配業者はこぞって送料の値上げをするなど、ユーザの利便性の低下が危ぶまれており、物流クライシスともいわれる大きな社会問題となっており、新たな解決手段が求められている。

本研究はこれらの課題を、これまで屋外物流の分野で使われてこなかった新技術であるRTを用い、生活を楽しく便利にするロボットをデザインすることで解決していくことを目的としている。



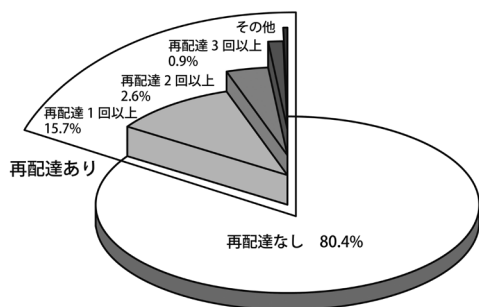
(図4)

出典: 経済産業省「電子商取引実態調査」



(図5)

出典: 国土交通省「平成27年度宅配便等取扱個数の調査」



(図6)

配達完了までに要した再配達回数

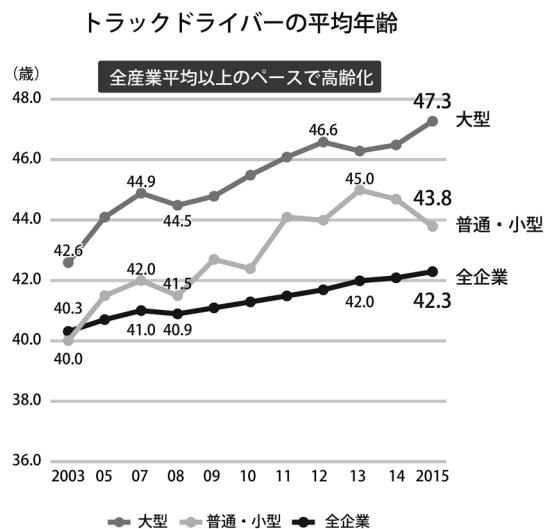
1-2. 労働人口問題と物流効率化について

先にも触れたが、少子高齢化の影響による労働人口の減少と物流の効率化は喫緊の課題である。そしてこれらを解決するために筆者が研究するRTは年々大いに注目されている。ここではいかにこうした諸問題の解決にロボットが必要かについて詳しく述べてみたい。

日本の総人口は2005年を境に減少局面に入り、2050年には総人口の約40%が65歳以上になり、生産年齢人口は2010年比約3,000万人減となる見通しである。(図7)例えばトラックドライバーは全産業平均以上のペースで高齢化が進んでおり、高齢層の退職等を契機として今後更に労働力不足が深刻化する恐れがある。(図8)

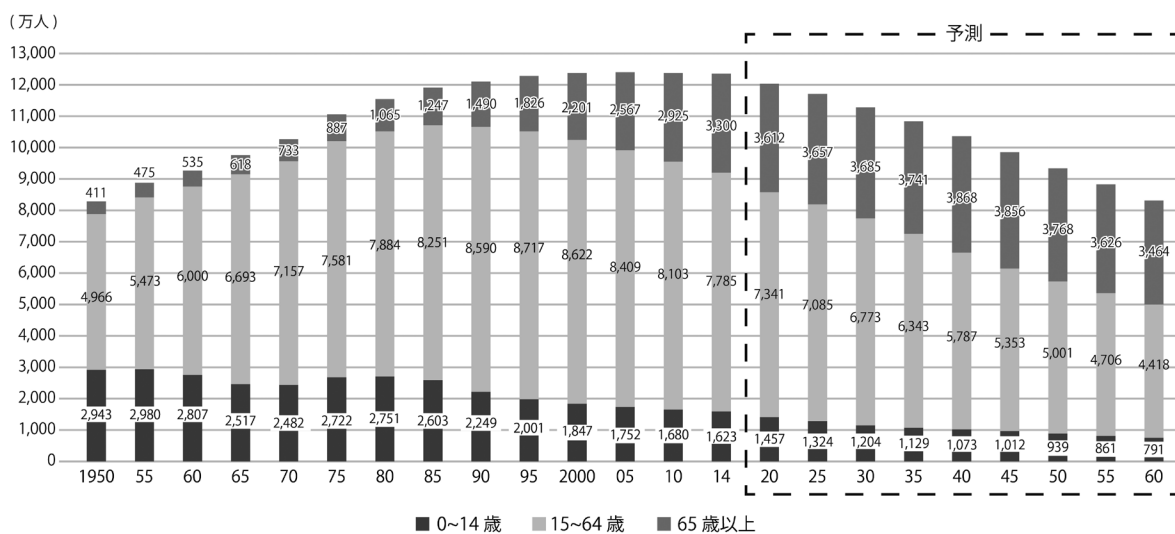
1-1で述べた不在再配達問題、人手不足問題を解決するためには、人に代わりに配達するロボットの必要性が求められている。高速道路など幹線道路での人手不足を補うトラックの自動運転は政府主導で研究が始

まっているが、法規制の問題、また万が一事故が起きた場合の影響が甚大であるために、トラックメーカーとしても実用化にはだいぶ時間を要する見通しである。筆者は不在再配達の問題を抱えるラストワンマイルの物流効率化に着目し、宅配ロボットの提案を行う。



(図8)

出展：厚生労働省 賃金構造基本統計調査より 国土交通省物流政策課作成



(図7)

出典：国立社会保障・人口問題研究所【我が国の人口推移と今後の予想】

1 - 3. RT が可能にする未来

様々な自動化技術の総称でもあるロボット技術の中で、筆者が特に自律移動技術に着目したのは第2章2 - 2miuro® (6) を開発したときである。ロボットが自らやってきて好みの音楽を聞かせてくれる、つまり音楽を運んでくれる自律移動機能にこれまでにない新しい価値に気付いたからである。2007年から2008年にかけて、miuro® の応用編としていくつかの実験を行った。

オフィス内で、音楽の代わりにお菓子や文房具、メッセージカードを入れて同僚まで運ばせた。これは後の物流ロボットの原案といえる。また miuro®2 台を用意して、その上に片足ずつ乗せ、ローラースケートの未来形として自律移動シューズ miuro-skate の実験をした。(写真1) 後に近い例として、Segway社が“e-Skates”と名付け2018年8月30日にドイツ・ベルリンで開催された世界最大の国際家電見本市「IFA2018」にてお披露目された。(7) (写真2)

更に miuro® 自体を人間が入り乗れるサイズに拡大して未来の乗り物として miuro-car (図9) を考案した。後の自動運転カーの原案といえる。その後、2章2 - 1の人型ロボットの目と頭脳と miuro® の自律移動技術を統合し、それをRTとして応用すれば、現在人が操縦している機械は、人が操縦しなくても自動的に動き、人の代わりに作業をこなしてくれるのではないかと確信し、その可能性を探求していきたいという考えに至った。



(写真1)

miuro-skate のコンセプトを再現



(写真2)

Segway Drift W1 e-Skate

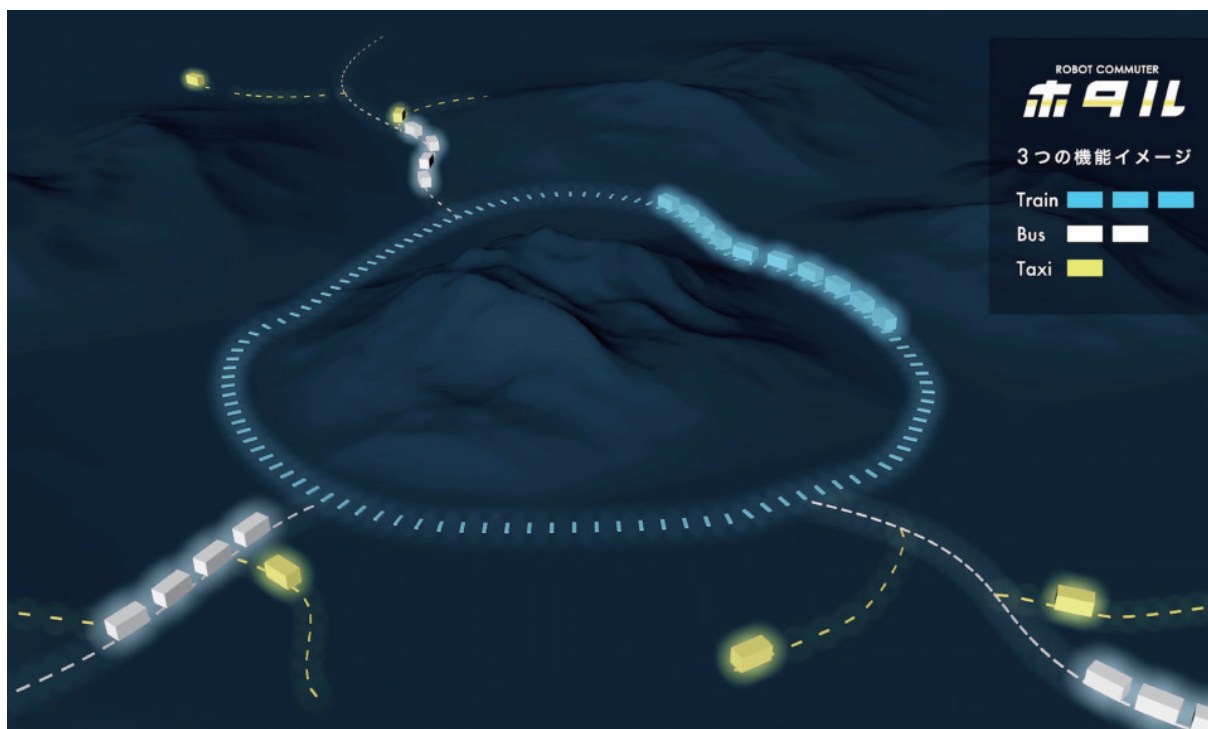


(図9)

miuro-car のコンセプト

1-4. 研究の先駆け、ロボット通勤ター [ホタル]の提案

ホタルと名付けられたこのロボット通勤ターを考えたのも、先に述べた日本社会の様々な歪みを感じたからに他ならない。特に都会と地方の格差は、年々深刻になっている。先の買い物難民、労働問題など地方では既成事実であり、商店街はシャッター街化し壊滅状態である。地方創生という言葉が生まれてもう10年近い年月が経つが、それを解決する具体的な方策はどこ自治体も未だなされていないのが現状である。このプロジェクトは2014年、東京藝術大学長濱研究室と共同で、RoboCar®のみらいのカタチ、Robot Commuter ホタルのコンセプトムービーを製作することからスタートした。(8)



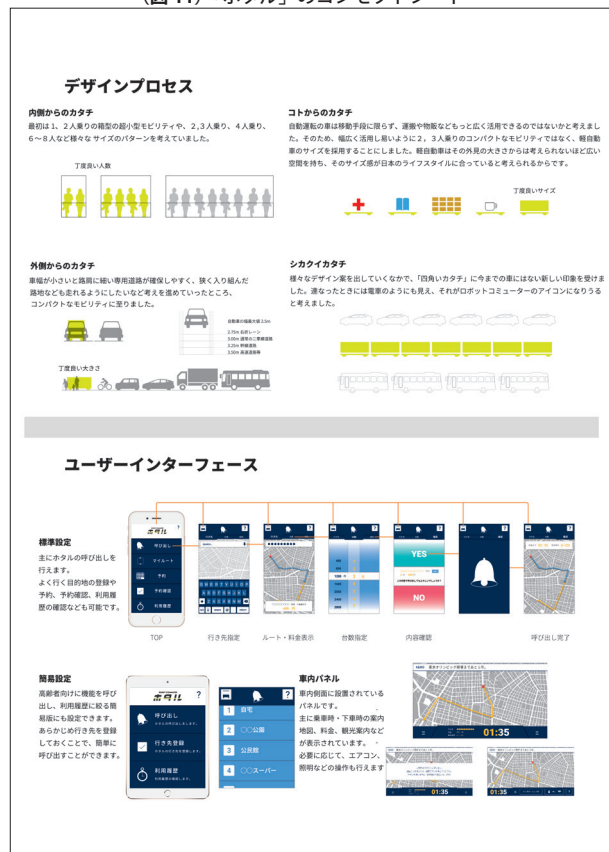
(図10)

ホタルと名付けられたこのロボット通勤ターのイメージビジュアル

これまで工学部の学生との交流しか持たなかった筆者にとって、美術専攻の学生の、社会、技術、常識にとらわれない発想とさらにそれを最初に絵にする、ミニチュアを造形するなど、理性を超えて形にする力を目の当たりにして、興奮を覚えた。ホテルの構想は、スマホで誰でも簡単に車を呼び出し乗れる最小ユニットで軽自動車のワゴンのようなサイズの無人走行の電気自動車にした。人が少なく需要が少ない地方や、狭い道ではこのユニットが単体で走行し、幹線通りはそれらを複数連結し、バスのように運用する。さらに需要が多い地域や高速道路では電車のように連結していくといった、需要に合わせて柔軟に対応できるものである。



(図 11) 「ホテル」のコンセプトシート

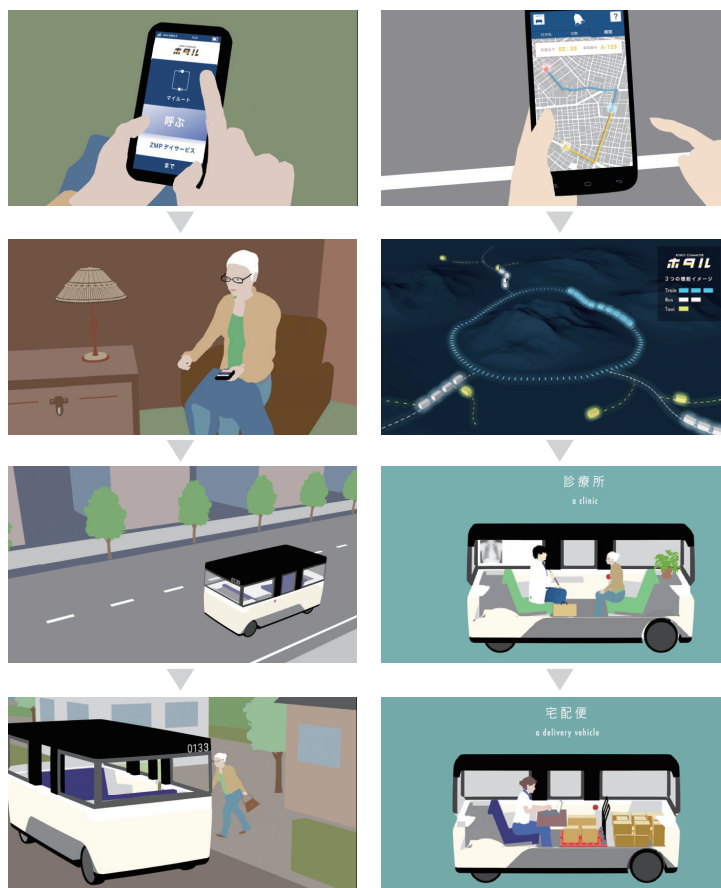


(図 12) 「ホテル」のコンセプトシート

利用形態としては、宅配便で物を輸送する、子供を送迎するスクールバス、レストランのように食事ができる食堂車、アイスクリームなど露店で見かけるような店舗、医者が往診や訪問診療を行う診療所、見回りをする交番など様々な活用をもち込んだ移動体として提案している。成果発表は2014年のZMPフォーラムで発表された。

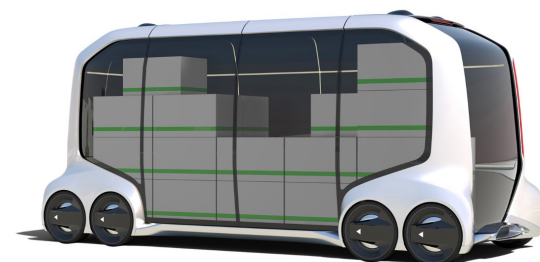
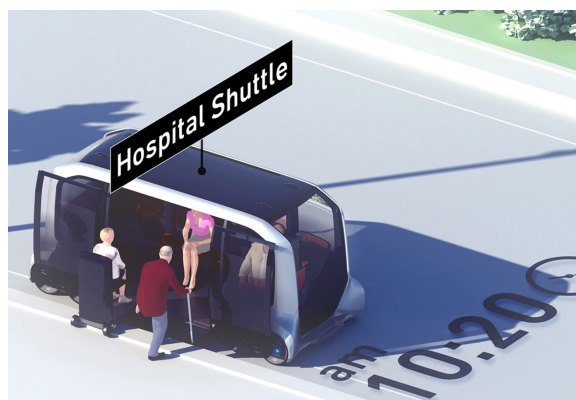


(図13)「ホタル」のコンセプトシート



(図14)「ホタル」コンセプトムービーの画像抜粋

ホテルに近いコンセプトとしては、2018年1月9日～12日トヨタ自動車株式会社は米国ネバダ州ラスベガスで開催された2018 International CESにおいて、移動、物流、物販など多目的に活用できるモビリティサービス（MaaS）専用次世代電気自動車（EV）、「e-Palette Concept」を出展した。移動や物流、物販など様々なサービスに対応したものだ。また複数のサイズバリエーションをもつ車両による効率的な輸送システムやサービス事業者のニーズに対応した内装を設定できるとしている。(9) (図 15)



(図 15)

トヨタグローバルニュールールのホームページより

スペキュラティブ・デザイン

このプロジェクトの経験は、デザイン学の持つ自由で将来の可能性を可視化する技術が、いかにこれからのロボット作りに必要かを認識する良き機会であった。昨今注目を集めているスペキュラティブ・デザイン(10)的手法、“問題解決でなく問題提起”は、将来に向けたビジョンの提案がいかに大切か身をもって実感することができ、本研究の構築する際に大変参考になった。ロジカルシンキングに偏りがちな工学手法に対し、ビジュアルシンキングから始まる手法は、生活創造が目的のロボット開発には最適なやり方である。

具体的には人々が将来ロボットにどのような働きを期待するのか、を思索して教授、研究室の学生とアイデアを出しあっていった。そしてそれを絵コンテにしてビデオ化した。その後そのビデオを想定するユーザや講演で一般の人々に見せて反応を聴いていった。並行してそのビデオをユースケースとして今度は私が経営するZMPのエンジニアたちと要件定義をして基本設計仕様書を作成し、ロボットの製作を行った。ロボットが完成すると街での実験を開始した。この行為はまさにスペキュラティブ・デザインである。これまで街に存在しなかったものを送り出す問題提起である。実際にいくつかの問題が生じた。まず法規制の問題。海外ではすでに実験が開始されていたが、日本国では実績にないものは、まず受け入れられない。規制緩和として政府に提案をしたが、様々な部署を回り、相当な時間を要している。

1-5. 研究の具体的内容の流れ

ムービープロトタイピング

2016年は宅配ロボットに対して、人々がどのような潜在的な期待をされているかの仮説を立て、それに対する解決案とともに、これまでにない暮らしを少しでも楽しくしたい自らの夢を加えて未来構想として表現したCGムービー（11）を製作した。想定ユーザに見せて実際の現場からの様々なフィードバックを受け設計構想・仕様へと具体化していった。

プロトタイプG1の制作と実験

2017年はムービーのフィードバックの結果を反映したプロトタイプ1号機 CarriRo® Deli G1を2台製作した。走行性や可搬性能、センシングを含めた自律移動機能など基本的な機能を、実験を行いながら確認し、問題点を改良、修正を重ね屋外でのフィールドテストができるレベルまで仕上げていった。これまでロボットが歩道を走行する前例がないため、法規制の問題と安全面を十分確保する必要があったので、自ら実験ガイドラインを作り、歩行者や自転車、横断歩道においては自動車やバイクとの共存を目指した実験を行った。

インターネットでパートナー募集

2016年に制作したムービー（11）を2017年にはインターネットで公開し、広く一般からフィールドテストの共同開発パートナーを公募した。

パートナーと実験

パートナー数社を選定し、仕上がったG1で屋外での実証実験を行った。走行安定性、自律移動機能などを、実験を重ねることによって向上させていった。

遠隔管理システムの構築

並行してインターネット経由で遠隔地からロボットの所在地、状態（速度、走行距離、ロッカーの施錠状態、商品の入出庫や状態、ロボットの異常の有無）、走行中の周辺の映像をリアルタイム監視、また異常時には遠隔操縦できるようなシステムを構築していった。

搬送物の品質確認

実際のユーザの商品を搬送する。運搬中に商品の損傷がないこと、フードの場合は衛生面も含め、データを取得して品質管理の検証を行った。

G1を改良してG2を制作

2018年は以上の様々な改良点を反映した量産前の CarriRo® Deli G2を製作し、最終作品とした。

第2章 RTの実用化についての考察

過去作品

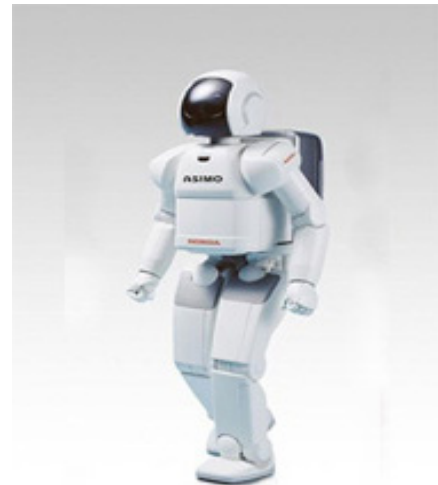
2-1. 民生用ロボットの黎明期

人型二足歩行ロボット [nuvo®/ヌーボー]

筆者がロボットベンチャー株式会社 ZMP を創業した 2001 年は、本田技研工業株式会社が ASIMO (アシモ) (12) (写真 3) を、ソニー株式会社が SDR-3X (13) (写真 4) を、株式会社 ZMP が文部科学省所管の科学技術振興機構 ERATO 北野共生システムプロジェクト (統括責任者 北野宏明博士) (14) から技術移転を受けた PINO (ピノ) (15) (写真 5) を、それぞれ人型二足歩行ロボットを世の中に送り出し、ロボットブームが沸き起こった黎明期であった。

当時人型ロボットはイベントでのデモが中心であったが、筆者はいち早く家庭に届けたいと考え、2002 年から量産に向けた開発を工業デザイナー奥山清行氏とともに開始し、2004 年に家庭用二足歩行ロボット nuvo® (ヌーボー) (16) (写真 6) を世界で初めて発売した。

二足歩行ロボット nuvo® はエンターテインメント性として歩く姿が魅力的なコンテンツであったが、実用性においては、例えば玄関に行き鍵が閉まっているかを確認めたり、ペットのそばにいて様子を確認めるといった留守番機能を搭載した。しかし移動性能においては、二足歩行ロボットは両足で少なくとも 12 個のモータが必要であり、あらゆる床面でも倒れないように制御することはコスト的にも技術的にも困難であった。



(写真 3)

2001 年 ASIMO



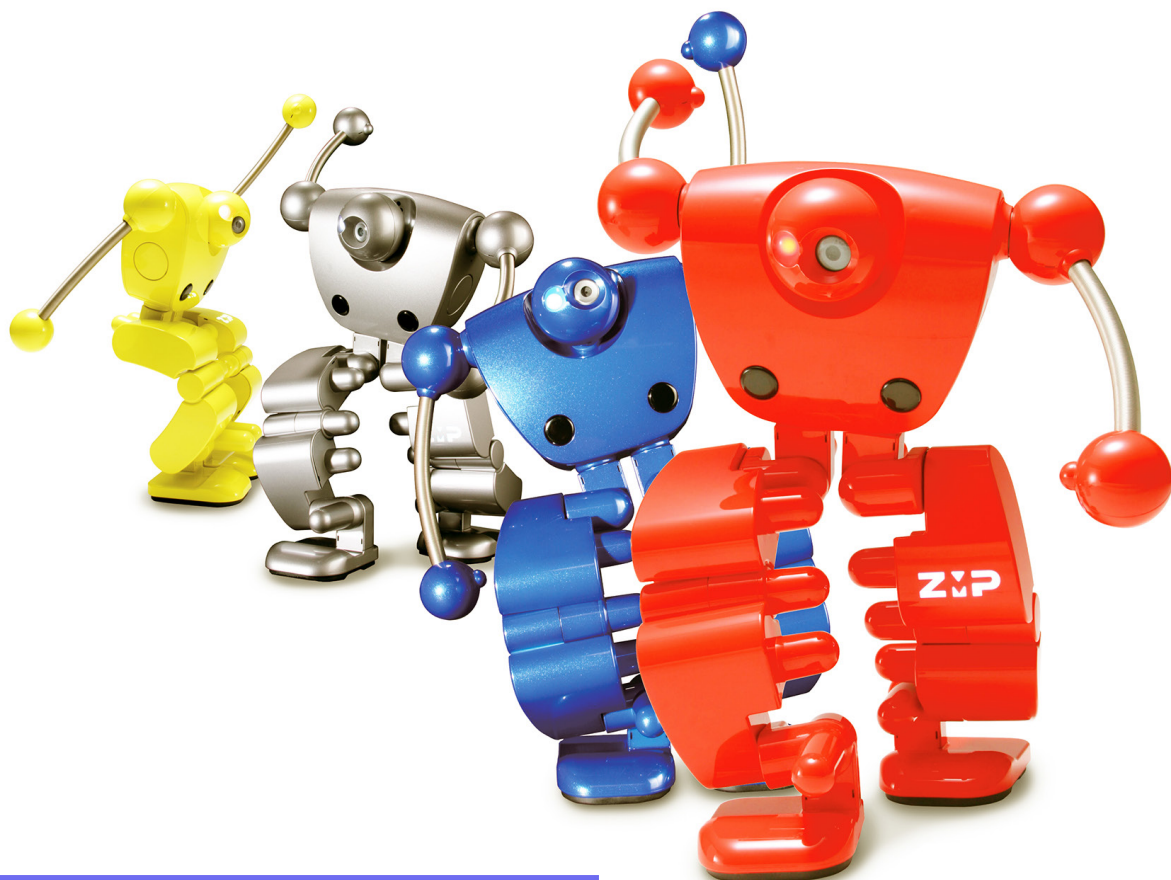
(写真 4)

2000 年 SDR-3X



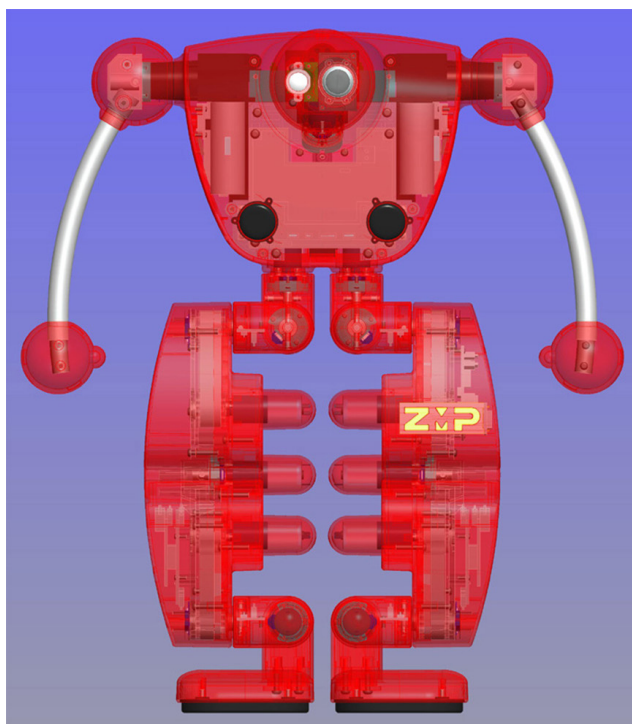
(写真 5)

2000 年 PINO



(写真6)

家庭用二足歩行ロボット nuvo® (ヌーボー)



(図16)

家庭用二足歩行ロボット nuvo® (ヌーボー) 2004年

2-2. 民生用自律移動音楽ロボット

[miuro®/ ミューロ]

移動性能をより省エネルギーで機動的にするために2005年より二輪ロボットの開発に着手し、2007年に世界で初めて自律移動型の音楽ロボット miuro®(ミューロ)(17)(写真7)を発売した。ロボットが自分のところにやってきて好みの音楽を聞かせてくれる新しいミュージックライフを提案した。デザインの基本コンセプトは筆者が考案し、製品化の意匠においてはグラフィックデザイナー原神一氏と共同開発し、筆者も細部にわたりデザインディレクションを行った。また音質にこだわり株式会社ケンウッド(の

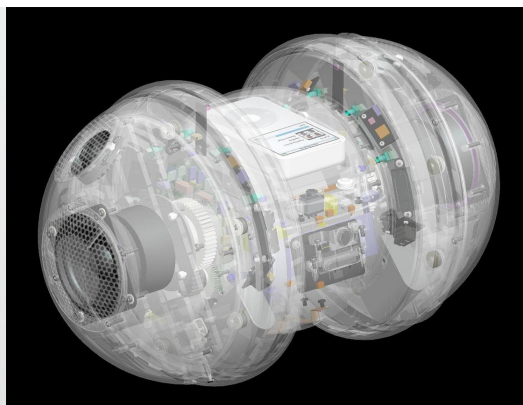
ち株式会社 JVC ケンウッド)の音質マイスター早川純一氏と音響設計について共同開発をした。この時に自分のところにロボットが自らやってくる技術として、自律移動技術 SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) を実装した。のち、車の自動運転に応用することになる。

その後も人型ロボットを代表とする「象徴的なカタチ」のあるものがロボットとして発表されている。最近では、ソフトバンクの Pepper (18) やシャープのロボホン (19) など人型は依然としてメディアがこぞって取り上げ、大衆を惹きつけるコンテンツと言える。



(写真7)

家庭用自律移動型音楽ロボット miuro® (ミューロ) 2007年



(図17)

家庭用自律移動型音楽ロボット miuro® (ミューロ)
3DCAD 図面

2-3. 自動運転ロボット・カー

[RoboCar®/ ロボカー]

2-3-1. 目に見えない RT 自動運転の世界へ

一方、筆者は「象徴的なカタチ」をもつロボットからいったん離れて、RTとして自動運転技術の応用(20)を研究してきた。

様々な自動化技術の総称でもあるロボット技術の中で筆者が自動運転技術にフォーカスしたのは、miuro®を開発した際に、ロボットが自らやってきて好きな音楽を聞かせてくれる、これまでにない新しい価値に気付いたからである。人型ロボットの目と頭脳、そしてmiuro®の自律移動技術を、自律移動ロボットテクノロジーとして、人間の行動プロセスを機械に置き換え自動化したものである。それはセンサ(目や耳)で周りの環境を認識し、その情報をもとに人工知能とそれを処理するコンピュータ(脳)で判断する、そして判断結果に基づいて手や足で操縦する部分を機械が自動で行う技術である。

現在の人型ロボットは、手と足が未だ人間の子供の機能までも届かず、発展途上であり、今後の更なるイノベーションを期待されている研究分野であるといえる。人型ロボットで手足を使った作業をロボットに期待するのではなく、現状では動作する様子がかわいらしい、面白いというエンターテインメント性を期待したロボットが世に送り出されている。

筆者は、社会課題である少子高齢化、人手不足の問題を解決し、さらに生活をこれまでにない、より楽しくする人の代わりに働くためのRTを応用した製品とサービスを

作りたいと考えている。

その実現のためには、現在人が使っている機械にRTを搭載することによって、人が操縦しなくても機械が自動的に動き、人の代わりに作業をこなしてくれるものを作ることが、確実な解決になると考えている。

つまり「象徴的なカタチ」をもつロボットではなく、目に見えないロボットであってもよく、RTとしてとらえることが、様々な分野に応用できるという考えである。

例えば、筆者が2008年からZMPで開発しているRoboCar®(ロボカー)シリーズ(21-24)(写真8-12)は、見た目は普通の自動車である。認識する部分、人の目に当たるカメラRoboVision®(ロボビジョン)(図19,20)、(写真13,14)と判断をつかさどる人工知能とそれを処理するコンピュータIZAC®(アイザック)(図21)の開発にフォーカスし、その他の機能である走る、曲がる、止まるをつかさどるアクセルやハンドル、ブレーキは自動車メーカーですでに一部車種では電動化されているシステムをそのまま利用することによって、IZACから信号を送るだけで、走る、曲がる、止まるが実行される。つまり人型ロボットで例えると未だ困難と言われている手足の開発をする必要がなく、認識と判断の開発に専念することができる。



(写真 8)
RoboCar 1/10



(写真 9)
RoboCar MV

(写真 10)
RoboCar MV2



(写真 11)
RoboCar HV



(図 18)
RoboCar® の内装イメージ



(写真 12)
RoboCar® MiniVan (日の丸交通とのコラボ) シリーズ

RoboVision®



(写真 13)

ステレオカメラ RoboVision® 2s

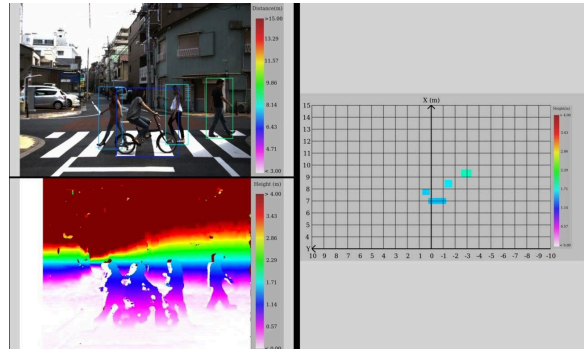
イメージセンサ：ソニー製カメラ向け 1/3 型有効 127 万画素
CMOS イメージセンサ IMX224 × 2
解像度：1280 × 960 ピクセル (30fps)、640 × 480
ピクセル (120fps)
水平画角：45°



(写真 14)

ステレオカメラ RoboVision® 3

イメージセンサ：ソニー製車載カメラ向け 1/2.7 型有効 245 万画素
CMOS イメージセンサ IMX390CQV*
解像度：1920 × 1080 ピクセル (30fps)
水平画角：広角部：100° / 望遠部：40°



視差画像から算出した距離情報に加え、検出した物体の大きさ(幅、高さ、奥行き)、物体のカメラからの位置座標をリアルタイムにビジュアル表示します。

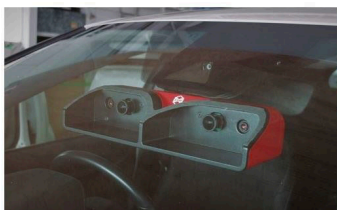


最大約 70m 先の車両の検出と追跡を最大 15FPS で処理が可能で、検出結果として、物体の ID 番号・位置・大きさ・相対速度・方向が出力されます。

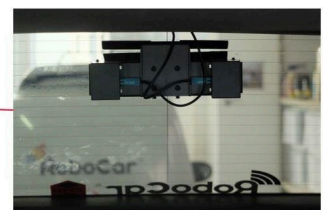
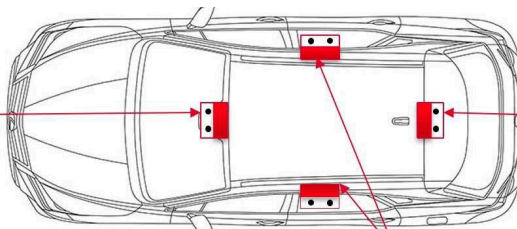
(図 19)

RoboVision® 画像処理

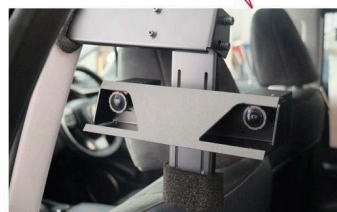
従来では難しかった交差点右折時の遠方からの対向車の検出や、交差点右左折時の歩行者や車両などの広範囲な検出が可能。イメージセンサは最新のソニー製車載向け高感度 CMOS イメージセンサ IMX390 を採用し、HDR と LED 信号のフリッカー抑制の同時処理が行われ自動運転で重要な認識や判断機能の大幅に向上。出力は、視差画像に加え、ポイントクラウドに対応し自己位置推定や物体検出、機械学習やディープラーニングによる検出結果の認識を行う。



4眼ステレオ



2眼ステレオ



2眼ステレオ

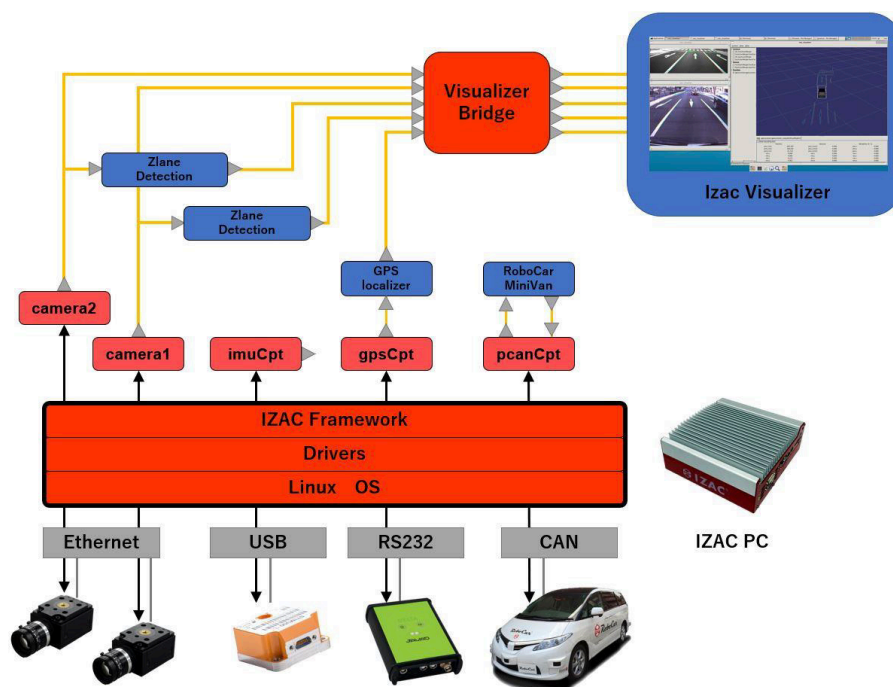
フロントに4眼のステレオカメラ1つ、両サイドのバックに2眼のステレオカメラ3つから構成される。5つのステレオカメラで時間同期したイメージを最大30fpsで取得、計測したステレオカメラ画像から視差を使った周辺物体の距離計測や物体の検出が可能。

(図 20)

360°全周囲画像計測 Surround RoboVision(サラウンドロボビジョン)



IZAC®の制御コンポーネントを通じて判断を行い、制御することであらゆる機械をコントロールすることが可能。機械を動かすために必要な、認知・判断・操作のすべてを行える。また IZAC® は自動車を公道で自動運転させるために特化したミドルウェア及び開発環境として一から独自設計され開発され、自動運転車両・建機・バス・宅配ロボットと様々なプロジェクトで横断的に活用されている。



(図 21)

自動運転用のソフトウェアプラットフォーム IZAC®(アイザック)

2-3-2. 立ちどころ規制に向かって

現在道路交通法では運転席にドライバーが載っていないといけないことになっているが、2015年11月5日行われた官民対話(写真15)で、著者が安倍総理大臣に提言し、総理からの発言で2017年には無人運転で実証できる環境を作る、2020年に無人タクシーがオリンピック・パラリンピックにお越しのお客様の足になることを目指すとされ、規制緩和が急速に進みつつある状況である。無人運転の実現のカギは、二つのアプローチで進められており、遠隔操作・監視ができること、ともう一つはハンドル、アクセルのない車両で実証実験を通じて、技術的な検証とともに社会の受容性も確認していく方向である。



(写真15)

赤い破線で囲まれたのが筆者



(写真16)

アイサンテクノロジー株式会社、名古屋大学発ベンチャーの株式会社ティアフォー他、愛知県幸田町 車両はRoboCar® MiniVan

無人走行の許認可

2017年6月1日に、警察庁から遠隔型自動運転システムの公道実証実験に係る道路使用許可のガイドラインが示された。筆者らは本申請を行い各省庁と実現に向け調整を行った結果、12月14日、愛知県ではアイサンテクノロジー株式会社、名古屋大学発ベンチャーの株式会社ティアフォー他、東京では株式会社ZMPが日本初の公道での遠隔無人走行の公開実証デモンストレーションを実現した。

当日は東京都猪熊副知事とともに記者会見を行い、テレビ、新聞などマスコミに対して日本初の実証実験の説明と理解を図った。また本実証実験は日本科学未来館との共同イベントとしての位置づけもあり、22日から24日には一般の参加者に対してデモと説明会を開催し、自動運転への理解啓蒙活動を行った。



(写真 17)

ZMP、東京都お台場 車両は RoboCar® MiniVan

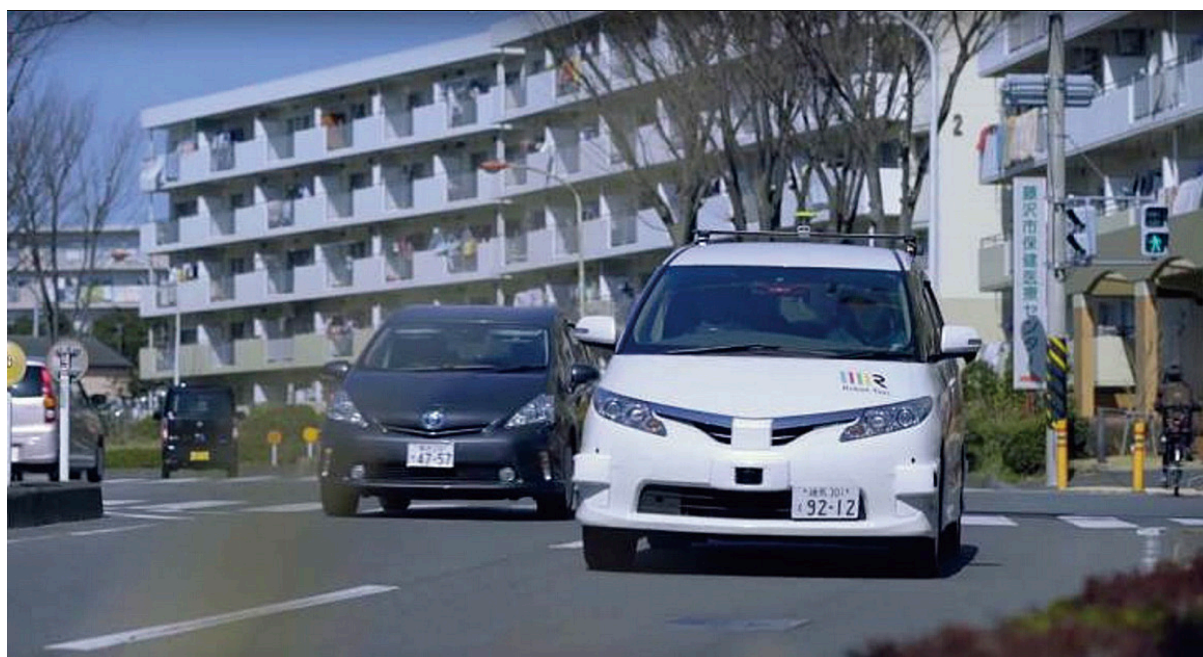
2-3-3. 実証例 移動に困っている人々 をサポート自動運転の現状と可能性

移動に困っている人々をサポートするサービスに関する実証実験を紹介し、自動運転の現状と可能性を提示する。

マンモス住宅地

全国の大都市周辺の住宅地は多摩ニュータウンをはじめとした多くのマンモス住宅地は若い世代の団塊の世代向けに作られ、足腰の弱った高齢者には住みづらくなっており、それを補う移動手段や介護福祉サービスが求められている。一方それを賄える財源や人材が不足しており、それを解決するために一刻も早くロボットの活用が叫ばれている。

2016年2月29日～3月11日の平日（10時～15時）に、藤沢市の湘南ライフタウンの北部バスロータリーとイオン藤沢店間の全長約2.4kmの実験ルートで、時速40キロで走行した。実験車両はトヨタ自動車のエスティマのハイブリッド車（HEV）をベースにしたRoboCar® MiniVanを使用した。日本初の地域住民をモニターとしたサービス実証実験を行った。近隣の住民の方を公募して10組・延べ51名を選び、RoboCar®に乗ってイオンで買い物をして帰るといった送迎サービスを行った。計20回、推定で27.7kmの自動運転による走行を行った結果、交通事故はゼロであった。ほぼすべてのモニターからロボットテクノロジーの進化への感動と本サービスへの高い期待が寄せられた。



(写真 18)

湘南ライフタウンでの実験風景

イベントの送迎

2017年9月6日・7日・8日に東京で開催されたシンギュラリティ大学初の日本でのサミットで、ZMPは参加者が宿泊するグランドニッコー東京台場と開催地である日本科学未来館の間1.5キロを三日間送迎を行った。ホテルと連携してイベントでの送迎といった、実際サービスの例としては日本初であった。(23)



(写真 19)

グランドニッコー東京お台場の車寄せから公道に出るところ

2-3-4. 実証例

ロボカー以外の他事例

2017年4月27日と28日の二日間、ディー・エヌ・エー（DeNA）と横浜市は神奈川県横浜市の金沢動物園で、自動運転バスである「Robot Shuttle（ロボットシャトル）」の一般向け試乗イベントを実施した。車両はフランスのEasymile（イージーマイル）社製を輸入したものを使用した。午前10時から午後3時まで、1時間に5～6本運行する。片道約180mを往復し、時速約5km程度のゆっくりとしたスピードで走る。

2017年12月22日、ソフトバンクと三菱地所は、東京都千代田区丸の内仲通りで運転席のない自動運転バスの走行実証実験を行った。車両は運転席がなく、レーザースキャナーで周囲の障害物を検知するフランスのナビヤ（Navya）社製の「NAVYA ARMA（ナビア アルマ）」ですでに世界25カ国で走行実績がある車両を輸入したものを使用した。走行距離は40メートルで、時速5キロで走行した。走行ルートは見通しの良い直進で周囲を金属の柵で囲った条件での実験であった。



(写真20)

「Robot Shuttle（ロボットシャトル）」の一般向け試乗イベント出典：
トラベルWatch



(写真21)

「NAVYA ARMA（ナビア アルマ）」出典：businessnetwork.jp

2-4. 産業用無人飛行機ドローン

[マルチローター・VTOL]

筆者が創業し代表を務める、株式会社 ZMP とソニー株式会社との合弁会社エアロセンス株式会社は、以下のいくつかの分野でドローンを用いて社会問題を解決し、サービスビジネスとして実用化を進めている。

機体のタイプは、4つのプロペラを持つマルチローターと、固定翼を持ち垂直離着陸可能な VTOL (Vertical Take-Off and Landing) (25)。いずれのデザインも東京藝術大学長濱教授と共同開発をした。



(写真 22)
エアロセンス社製マルチローター



(写真 23)
エアロセンス社製 VTOL



(写真 24)
エアロセンス社製 VTOL

2-4-1. 実証例 土木測量を変える

土木建築分野での人手不足と公共事業のコストダウンを実現した。

甚大な被害を被った東日本大震災から南三陸町を迅速に蘇らせ、災害に強い健全で良好な市街地形成を図るため、南三陸の復興事業において、飛島・大豊・三井共同建設コンサルタント 南三陸町震災復興事業共同企業体は南三陸町での震災復興工事を行っている。それは町の広大なエリアをかさ上げする、壮大なもので山をいくつも削り、それをもって低地を盛り上げる。膨大な土との戦いは、その切り盛りだけではなく、土量の計測が課題となっていた。山を削って低地をかさ上げする際に、土が不足すれば困り、また余れば搬出しなければならない。この搬出もほんの少しの見積りもずれがトラック数百台分にもなってしまう。また、土の体積は一定だと思われがちだが乾燥したり水を吸ったりすることでそれは大きく変動する。工事によって扱われる土の体積の推定は、大規模な土木工事において工事の成否を左右する非常に大きな問題である。

ここで最先端のテクノロジーであるエアロセンスの自律型ドローンを活用して、震災復興工事をしている約90ha（東京ドーム19個分）の土地を3Dモデル化し、3D CADの造成計画図と合成して切盛土量を自動計算した。人間が測量すると6週間かかるところを1台のドローンでは3日の飛行で完了し、従来手法比1/3の工期で、90ha

全域の工事進捗を高精度・高密度に定量化・可視化を実現した。

また政府が推進する建設現場の生産性向上の為にi-Constructionも追い風となっており、三次元データによる土木測量は、将来更なる需要拡大が期待される。

2-4-2. 農業・林業への応用

農業、林業の後継者不足、人手不足は、日本の食糧供給の点からも大きな社会問題である。農業のIT化が大幅な生産性を上げると期待されており、その一つにドローンによる発育状態や害虫被害のモニタリングが注目されている。近年スマートフォンの急速な画質向上に貢献しているソニーのCMOSセンサは、従来の発育状態をモニタリングする高価で大きく重たいスーパーспекトルカメラに対して、小型軽量、安価なマルチスペクトルカメラが可能となり、ドローンへの搭載を進めている。

例えば稲の発育はマルチスペクトルカメラで水分量の変化を計測することによって、最適な刈り取り時期に収穫することができる。さらにカメラによる三次元測量を行い農機が自動運転するための三次元地図に変換すれば、実ったところを自動運転用地図上で指示をして農機が自動で刈り取るといったことも将来的には可能となる。

また森林においては松くい虫の問題も赤くなり始めた個所を発見すれば、がんのように早期発見としてその部分を切除すれば被害の拡大を防ぐことができる。

2-4-3. ワクチン、血清など医薬品の緊急搬送

一般の4枚羽のマルチロータタイプの問題は、飛行時間、飛行距離が短いことがあげられる。

エアロセンスは国内では唯一、固定翼の垂直離着陸機（VTOL）を開発しており、滑走路なしで、遠方まで輸送できる。国内では緊急時の医薬品の輸送を目指し、医薬品大手MSDと医薬品物流大手アルフレッサと提携して実証実験をしている。

2016年10月24日

エアロセンス株式会社、MSD株式会社、アルフレッサ株式会社とドローンによる災害時医薬品配送の飛行試験を、国家戦略特区である福岡市で開始した。飛行試験は、福岡市西区小戸の海岸から、同市能古島に向け、約2.3キロの区間でマルチコプター型ドローンを用いて行われ、検証目的である長距離飛行、電波送受信、および、積載物の状態に問題ないことが確認されました。災害時の孤立地に確実に医薬品を届けることは今後解決すべき社会課題のひとつであり、実用化されれば、有力な輸送手段のひとつとなる。今後も様々な状況における飛行試験を継続し、2017年中をめどに、垂直離着陸型の固定翼ドローン（VTOL）による実用化を想定した実証実験の実施を目指していく。

2016年11月16日

エアロセンス(株)、佐川急便(株) (物流全般)、(株)サンキュードラッグ (運搬対象物品提供) が北九州市において労働人口減少社会のサービス向上に向けてへき地におけるドローン宅配の可能性の実証実験を行った。

場所は畑貯水池周辺 (八幡西区大字畑) で、ドローンによる日用品の搬送を行い、住民代表が物資受領した。

道路、トラックなど物流インフラがほとんど整っていないアフリカからの切実なニーズにこたえるべく、2017年はじめに外務省所管の JICA (国際協力機構) のアフリカ支援事業としてザンビアで実証実験を実施した。

アフリカでの実証実験の意義は、発展途上国の医療支援に貢献することと、リープフロッグと呼ばれている、法整備、インフラが整備されていないところでは、一足飛びにドローンや自動運転カーなどの最先端技術が導入されるチャンスと言える。特に法規制に関しては、日本では目視外飛行に関して知見がほとんどなく、まして医薬品の

輸送に必要な数十キロ、数百キロの飛行実験をする機会は極めて困難と言えるが、アフリカでの実績をもとに、アフリカと日本の国土交通省が連携した法規制の確立にもつなげると期待されている。

2016年11月30日、日本全国における包括目視外飛行承認を取得。

2017年3月4日竹富島—石垣島間、5km強 (高速船で20分のところ、VTOLで3分) を離陸から飛行、着陸まで完全自律飛行を成功させた。NHK 沖縄で O.A. された。



左 (写真 25) エアロセンス実験チーム、右 (図 22) 石垣島と竹富島 出典：Google MAP

第3章 物流支援ロボット CarriRo®

3-1. 実証例 倉庫や工場での人手不足、きつい労働を支援する 物流支援ロボット

これまでRTの実用化や様々な取り組みを紹介してきたが、この第3章からは筆者の今回の研究作品についてより詳細に論述していく。

きっかけは著者が2013年に街角で宅配従事者が一人で二台の台車を押している光景を見て、RTを応用すれば無理をしなくても解決できると着想し、物流支援ロボット CarriRo® (キャリロ) を考案した。(26)

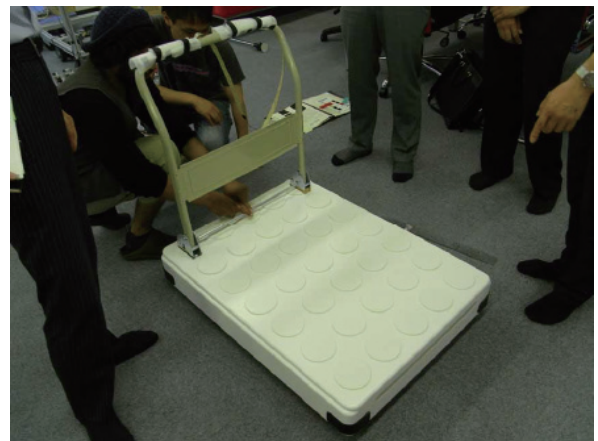
この台車の考案が、デザイン学とRTの融合の具体例で、この研究の第一歩に他ならない。

一般の倉庫、工場では台車をつかって人がモノを運んでいる。手押し台車を生産する企業によると国内では年間約100万台が出荷されていると聞き、その何パーセントかでもロボット化すれば、人手不足の原因であるラストワンマイルの解決になると確信し2014年から開発を開始した。



(写真26)

街角で宅配従事者が一人で二台の台車を押している光景



(写真27)

2014年 CarriRo® プロトタイプ



(写真28)

2015年は改良を重ね実証実験を行い、
2016年8月に量産化、出荷開始となった。

最初は技術的な検証の為に原理試作を製作した。アルミの角材を使って台車の土台を作り、モータと電池、コンピュータ、最小限のセンサを取り付けたシンプルなものを作成した。技術の実現性が確認できたあとは、ユーザに使ってもらおうプロトタイプを作る段階になった。世の中にないものなので、大学との共同研究が良いと考え、東京藝術大学の門を叩いた。

2014年にプロトタイプを発表をおこなったところ、経済産業省から先進技術として“Innovative Technologies 2014”に採択された。それは経済産業省が作成している「技術戦略マップ」の方向性に基づき、その実現に大きな貢献が期待できる先進的な技術を発掘・評価するもので、採択された技術は、産学連携の場で共有され、社会へ発信された。

CarriRo の3つの機能

CarriRo's 3 major functions

CarriRo には、2つの主な特徴があります。それはドライブモード、カルガモモードです。これらにより、物流・製造の現場での負荷軽減・効率化が可能になります。また現在開発中の自律移動モードが組み合わさることにより劇的な省力化・少人化を実現します。

There are two distinctive features in CarriRo, Drive mode and Following mode. With these, you can reduce the burden on Human workers, as well as boosting overall efficiency in the field of logistics and manufacturing. Furthermore, it can enable dramatic labor-saving when incorporating a new self-navigation mode which is currently under development.

01 ドライブモード Drive mode



作業負荷をゼロにします

ジョイスティックを操作すると、CarriRo が前後左右に走行しほとんど力を使うことなく荷物を運ぶことができます。

Zero-stress Transportation
With the control stick, CarriRo can be maneuvered effortlessly with heavy load.

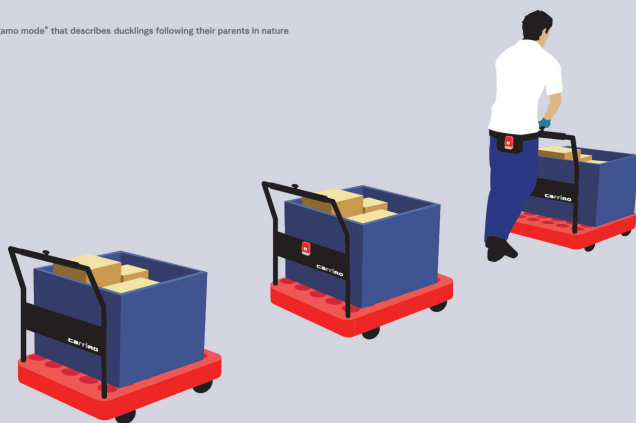


02 カルガモモード Following mode / also known as "Karugamo mode" that describes ducklings following their parents in nature

複数台分の運搬ができます

CarriRo はビーコンに反応し、作業員や親機となる CarriRo に追従することができます。作業員の負担なく一度に数台荷物を運ぶことができます。

More Times the Productivity
The CarriRo can identify each beacon and is able to precisely track and follow the leading human user or any preceding CarriRo. When linked up as a train of each human user can deliver as much as, more times the usual load.



03 自律移動モード (開発中) Self-navigation mode

無人で運搬ができます

必要なルートを予め教えておくと、教えられたルートを自動で移動し荷物を搬送させることができます。

Unmanned autonomous transportation
By defining a transportation route with CarriRo, it can navigate and carry its load to any destinations automatically.



(図 23)

CarriRo® コンセプトシート

CarriRo の使用イメージ

CarriRo Use Case Examples

CarriRoは、さまざまなシーンで活用することが可能です。ピッキング・館内物流・工程間搬送・小売店舗での品出しの4シーンにおいて機能を発揮し、これまでかかっていたコストや時間を削減することが可能です。

CarriRo can be utilized in a variety of cases including inventory picking, Intra-facility logistics, inter-process transportation, and stock distribution in retail stores. CarriRo can enable optimum efficiency and productivity in the 4 cases above, leading to reduced cost and time.



01 物流センター内ピッキング

Inventory picking in warehouse

フリーハンドやタブレットを操作しながら CarriRo を追従させて荷物を運搬させることが可能です。それによりピッキング時間を削減し、作業負荷を大きく減らすことができます。

Workers can pick and deliver each load using Drive or Following mode to reduce physical workload and improve overall efficiency and speed.

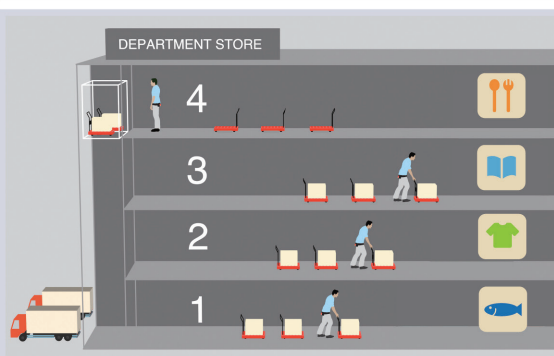


02 館内物流

Intra-facility logistics

商業施設（ショッピングセンター等）における館内物流でカルガモモードを活用することにより1日の運搬回数を減らすことができます。

This showcase the key benefit of CarriRo's Following mode. By utilizing the full capacity of CarriRo as a train, the number of round-trips are need to complete each task.

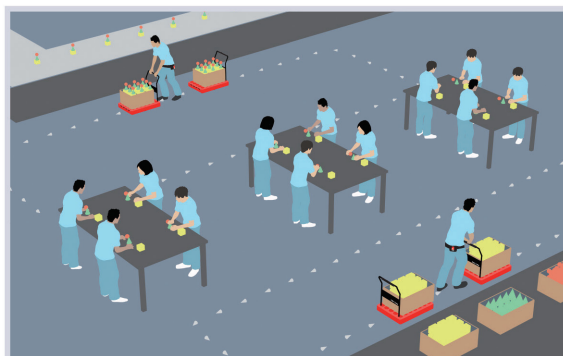


03 工場の工程間搬送

Inter-process transportation

工場の中での工程間搬送にカルガモモードを活用することでベルトコンベアや AGV の代替として利用できます。

AGV or conveyor belt can be replaced with the more flexible CarriRo in Following or Self-navigation mode.



04 小売店舗での品出し

Stock distribution in retail stores

スーパーマーケットや小売店舗での商品の品出し業務で CarriRo を活用することにより、作業者の負担なくスムーズな作業をすることができます。

Workers can efficiently distribute and add stocks in retail stores with significantly less physical load using CarriRo.



(図 24)

CarriRo® 活用シーンイメージ

3-2. 新しいデザインメソッド

3-2-1. ムービープロトタイピング 手法の効果

長濱教授と研究室の学生と議論を重ねることによって、様々なアイデア、構想が生まれてきた。従来であれば設計仕様書にするが長濱教授からは、そのアイデアのまま、絵コンテにしていき、シンプルなアニメーションムービーの制作を提案いただいた。それは物を作る前に、この台車が生活シーンでいかに使いやすさをシミュレーションするものであった。これまでにないメソッドに新鮮さを覚えた。これならば誰が見てもこの台車の機能性、魅力がわかる。ロボットの名前は物を運ぶ Carry と Robot

を掛け合わせた CarriRo® (キャリロ) とした。CarriRo® が将来どのような働きをして社会に溶け込んでいくかを構想したビデオを完成させ、お披露目をしたところ、予想以上にものすごくわかりやすい、と大きな反響を得た。(27) (図 25)

それを設計構想図として、仕様に落としていった。いきなり文字だけの仕様書であれば、ユースケースに漏れがあったり、文章を書く人の表現力、文章力によって、製品のポテンシャルが左右されるが、様々な用途の可能性をビデオにすることによって、直接的に伝わりさらに想像も膨らむことからエンジニアにも広くとらえられるようになった。



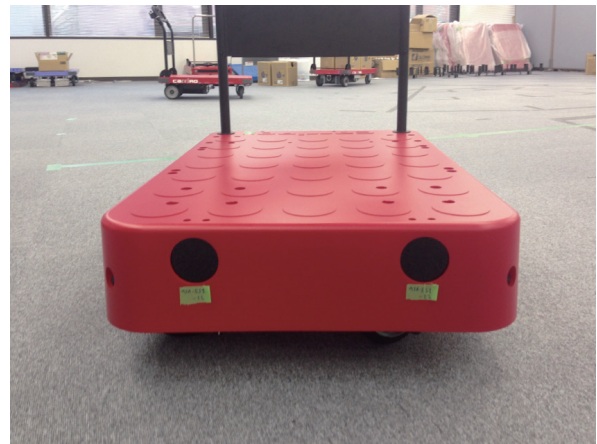
(図 25)

CarriRo® コンセプトムービーの画像抜粋

3-2-2. 実証実験を重ね製品化へ

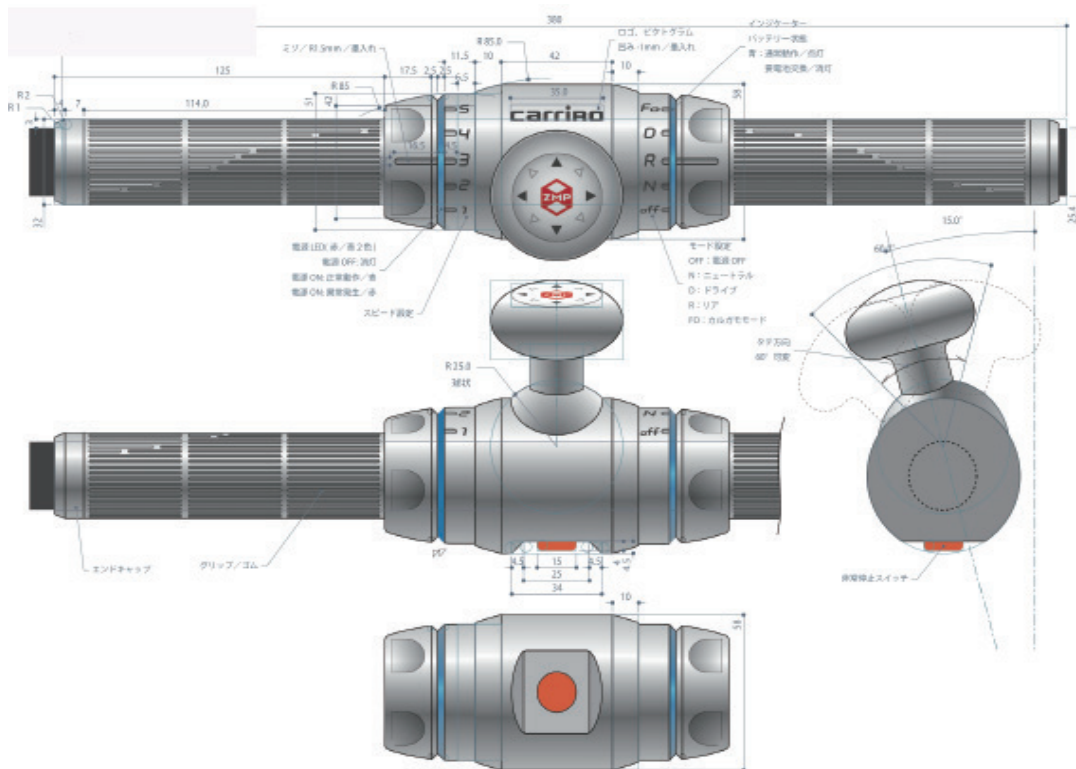
2014年のプロトタイプは主にカルガモ機能を実現することを中心にデザインしていった。まず、前方を歩く人を補足して追従するセンサは、すぐに入手でき比較的開発が容易なソナーセンサを用いた。また人がロボットを押したり操作するためのハンドルは、外観的に極力シンプルに、かつ直感的に扱えるようにタッチセンサを内蔵したハンドルにした。具体的には前方に押しと進み、後方に押しと後退する。

その後実験を重ねると、追従機能が不十分であることがわかり、確実に追従できること、また作業現場で他の作業員もいるので、特定した作業員に追従する必要がわかり、新たに独自の赤外線ビーコンとそれを補足し追従するステレオカメラシステムを開発した。(写真28)



(写真 29)

CarriRo® フロントのステレオカメラ



(図 26)

ハンドル部分の操作インターフェイス前方に押しと進み、後方に押しと後退する。

ハンドルは作業現場では分厚い手袋をつけている人もおり、また押すと前に進むという直感的なインターフェイスは動かないスマートフォンや家電であれば使い勝手がよく有効であるが、自重 55kg に最大 150kg の積載量という大きな力で動くロボットは、例えば誤って手で寄りかかると動いてしまうので大変危険である。最終的には普段なじみのあるバイクや自動車のように前方に進む D（ドライブモード）、それに速度を 1, 2, 3, 4 と番号をうち 4 段階に変えられるようにした。左右の操舵は、ゲームコントローラなどのようにジョイスティックにした。またカルガモモード (Fo) への切り替えもハンドルを回すことによってモードチェンジできるようにした。(写真 29) (図 26)

性能、使い勝手、信頼性を高めて、2016 年 8 月に量産化し出荷開始となった。



(写真 30)
ゲームコントローラのようなジョイスティック

導入事例は、物流倉庫においては、株式会社セブン - イレブン・ジャパンの倉庫業務を担っている物産ロジスティクスソリューションズ株式会社や食品トレー容器メーカー大手、株式会社エフピコなど、工場においてはソニーセミコンダクタマニュファクチャリング株式会社、河西工業株式会社、自動車メーカ、その他宅配業者など物流業者、海外ではシンガポールのチャンギ空港や中国、韓国など 100 社以上に導入が進んでいる（2018 年 12 月時点）。150 キロまでの荷物をハンドルにあるジョグダイヤルを操作するだけで楽々と運べるドライブモードと作業員の後を別の荷物を載せた台車が追従してくるカルガモモードを搭載した CarriRo[®] が導入されている。これはこれまでロボットを使ったことがない作業現場のスタッフが簡単な説明と操作で、すぐに使い仕事が楽になり、効率化されることを実感してもらうことが重要である。過去に複雑な操作が必要な機械や VR 機能を搭載したゴーグルなど様々な導入が試みられたが、現場のスタッフが扱いにくかったり、装着など煩わしいなどの理由で反対になり失敗したという経験を現場の責任者からヒヤリングしたので、その点を考慮した。



(写真 31)

CarriRo のカルガモモードのデモンストレーションを行う様子



(写真 32)

CarriRo の工場での導入されている様子



(写真 33)

2016 年 9 月テレビ東京ワールドビジネスサテライトにて放映。

3-2-3. 自律移動機能へ

カルガモ機能でロボット導入に慣れていただいた顧客に対して、次の段階は、例えばバラ積み倉庫では、商品のピッキングにおいては、現時点の技術では依然人間が圧倒的に早いので、その箇所だけ人を配し、それ以外の人歩く移動する部分は無駄な作業であるために、カルガモ機能の先頭の人を押している CarriRo[®] を人が押さない完全な自動で賄う自律移動機能を搭載した CarriRo[®] AD を、導入見込み先顧客とともに開発をして、2018 年 7 月の ZMP フォーラムで発表を行った。

自律走行の仕組みは、路面に貼られたステッカー（ランドマーク）を識別し、自己位置及び走行指示情報をロボットの底部に搭載されたカメラによる画像認識により取得し、その指示に沿った安定したルート走行を行うことが可能だ。走行ルートは一般的な無人搬送車（AGV：Automatic Guided Vehicle）のように走行ラインの床面に磁気テープや磁気棒を敷設し、それらが発する磁気により誘導される方式ではなく、本システムは 10m～20m 毎にランドマークを貼るだけですみ、敷設工事のコストを大幅に削減でき、さらにランドマーク毎に停止、直進、右左折、右左 U ターン、一時停止（時間設定可能）など様々な走行指示を設定できる柔軟性を持ち合わせている。更にランドマークでの走行指示はタブレットを通じて CarriRo[®] との無線通信によって自由に変更できる。

筆者はデモの内容については、新機能である縦横無尽に移動できる特徴をいかし会場の限られたスペースでアピールできるように、「あみだくじ」をコンセプトに三台の CarriRo[®] AD が交差しながらゴールに進むものを考案した。実際の発表では大変わかりやすく効果的なプレゼンテーションとして成功を収めた。（写真 34）

量産化設計を進め、製品は 11 月から出荷された。



(写真 34)

ZMP フォーラム 2018 でのデモ風景



(写真 35)

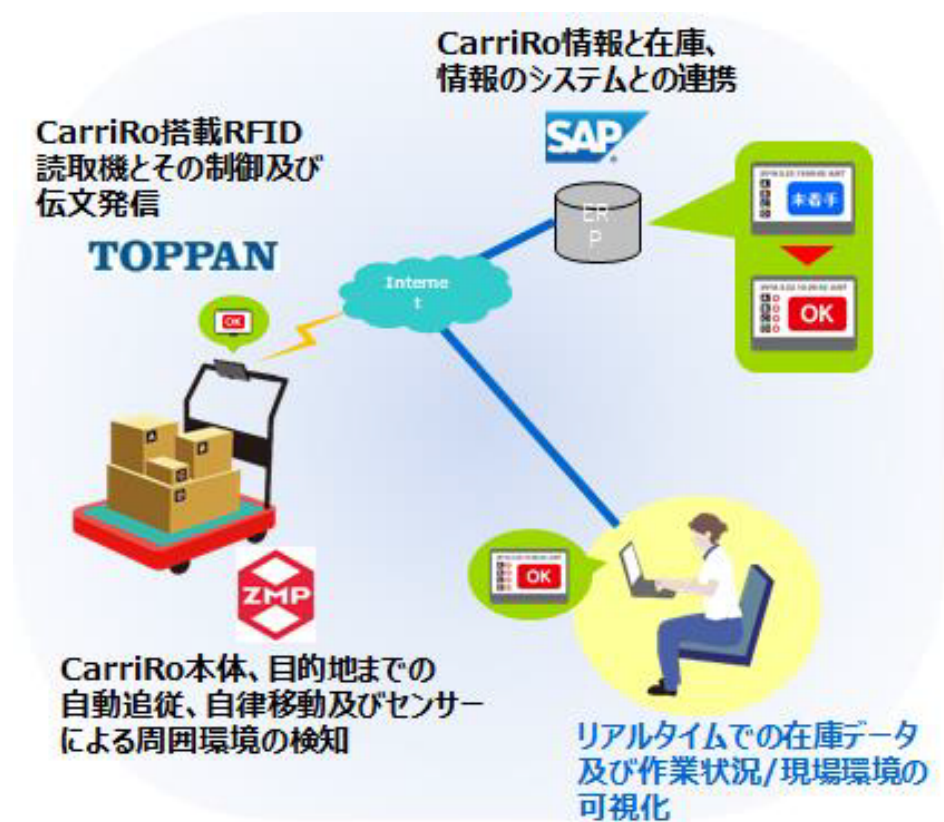
CarriRo[®] AD 本体と床に貼るマーカー

3-2-4. IoT (Internet of Things) 端末としての CarriRo® に応用活用

これまではプラスチックの手押し台車がつかわれており、すべて人間が運び、その仕事はデータとして見える化されていなかった。しかし CarriRo® にはコンピュータと通信機器、様々なセンサが搭載されており、それによって移動距離、稼働時間、障害物で停止した回数など様々なデータが取得できる IoT 端末ともいえる。

また積み下ろしする貨物に RFID タグをとりつけ、それを読み取るリーダーを開発している凸版印刷株式会社と共同開発して、RFID リーダーを CarriRo® に搭載すれば、貨物を台車に乗せたところからどのように、どこまで運ばれたかをデータで記録できる。

つまりこれまで見えなかった作業を見える化できる。そしてその取得したデータを基幹系情報システム（ERP：Enterprise Resources Planning）の大手 SAP ジャパン株式会社と共同で、倉庫管理システム（WMS：Warehouse Management System）と連携して在庫管理の効率化から、作業の効率化、ひいては ERP との連携をして経営の効率化まで提案するソリューションを共同開発している。



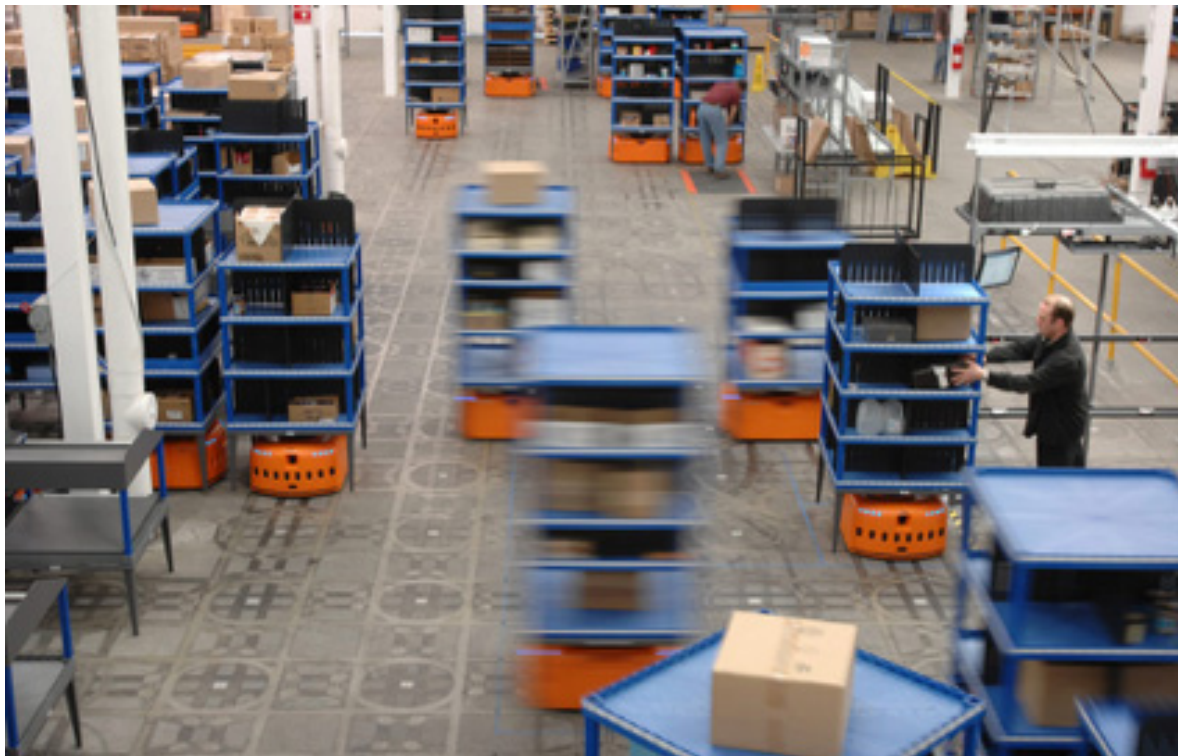
(図 27)

CarriRo®、凸版印刷の RFID タグ、SAP の WMS・ERP との連携

3-2-5. 大規模な倉庫での実例

アマゾン・ドット・コムは、2012年に買収したキバ・システムズのロボットを導入している。床面に三次元バーコードが設置され、それを読み取ることによって荷物を載せたケースごと輸送するシステムである。棚を持ち上げるロボットで大規模な物流倉

庫は生産性を上げ始めている。しかし、それが担う割合は、全体の6割程度といわれており、それ以外は依然人が介在している。その一部に CarriRo® も連携して協働する計画をしている。



(写真 36)

アマゾン・ドット・コムでのロボット導入例

3-2-6. CarriRo® が伝える人とロボットの関係

筆者は本デザインを構想する段階から、作業現場に単に便利な道具を提供するだけでなく、楽しくなるパートナーのような存在にしたいと考えていた。具体的には色は普段作業現場にはない明るい赤色にした。そして操作したり稼働しているときに、音や音声を発する。音声は女性の声優に依頼して4種類のキャラクター（標準、アニメ風萌え系、少年風母性本能をくすぐる萌え系、お姉さん風癒し系）を設定し、ユーザが選べるようにした。

ユーザの反応を見ると、色は特に女性の作業員には職場が明るくなる、かわいいと言っている。また作業現場でこれまでにないロボットが動くので、視認性が高く安全上もよいのでは、という意見もいただいている。音声は例えば充電が必要な時やビーコンを見失ったときなど、ロボットの状態を50種類の音声でしらせてくれるので使用上便利であるという実用面と、特に男性の方はロボットに名前を付けたり愛着が持てるといった印象面でも好評のようだ。

まだまだこの程度ではあるが、今後さらに機能を高め、知能化を進めていくことによって、作業員の方から頼りになるパートナーとなれるように継続して研究開発を進めていきたいと考えている。

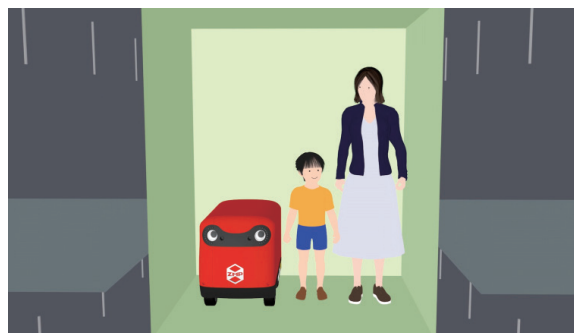
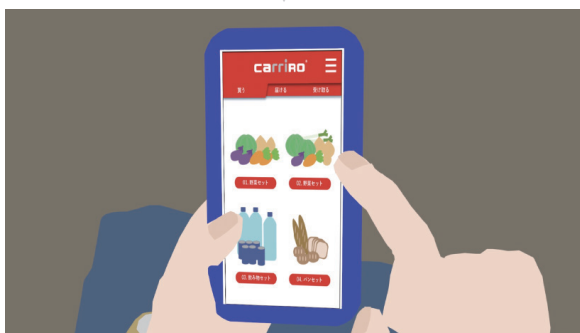
第4章 作品：宅配ロボット CarriRo® Deli の実証実験

4-1. 宅配が目的 CarriRo® Deli G1 ムービープロトタイピングによる デザイン

CarriRo® のデザイン開発により、物流のさらなる可能性が見えてきた。生活支援という、もう少し暮らしに近いロボットの提案である。買い物弱者のためのストーリーは、CarriRo® のデザインメソッドの経験により、すぐに筆者の脳裏に浮かんできた。早速そのアニメーション作りをスタートさせた。名前も自動運転技術を用いてモノを運ぶミッションから CarriRo® の延長線上に位置づけ CarriRo® Deli (キャリロデリ) と決めた。アニメーションの舞台は、千葉市にある幕張ベイタウンを想定した。この町は 1995 年に生まれた集合住宅群で、ヨーロッパ風のデザインで統一され、電柱もなく、廃棄物空気輸送システムなどが採用された新しい街である。特に歩道が 4メートルもあり、ほぼバリアフリーなのでロボットの走行路を確保でき、しかも商店街などは住宅群の入り口付近のみのため、買い物弱者の存在が予想され、リサーチなどにも好条件が揃っていた。



(図 28)
CarriRo® Deli G1 の CG 画像



高齢者が日用品をスマートフォンで注文、CarriRo® Deli で配達される様子を説明するアニメーション

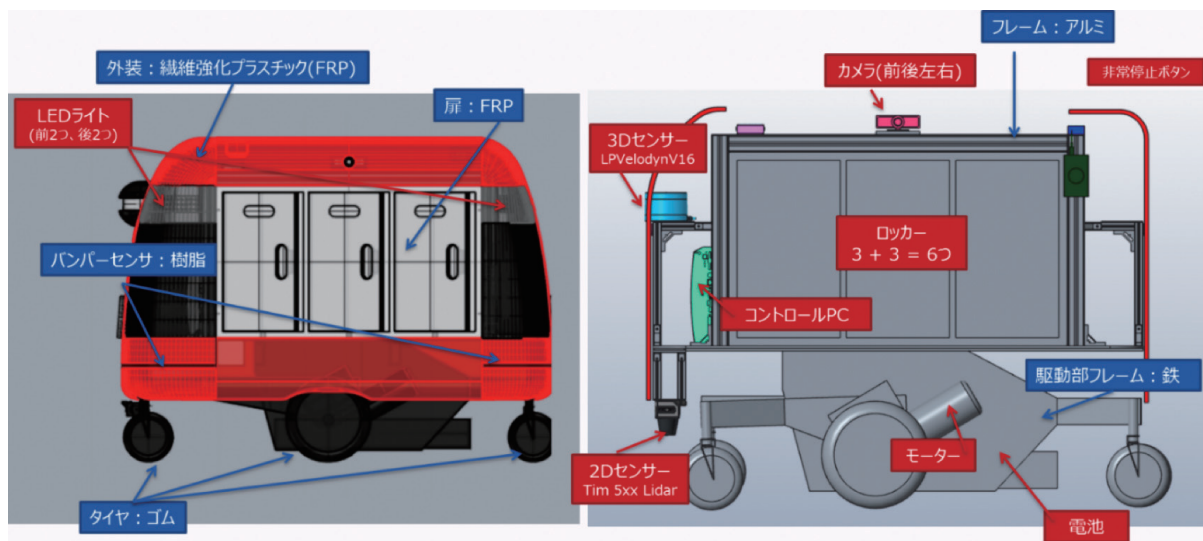
スマートフォンもしくは IC カードをかざすと希望するロッカーボックスのカギが解除できるシステムを説明するアニメーション

(図：29)

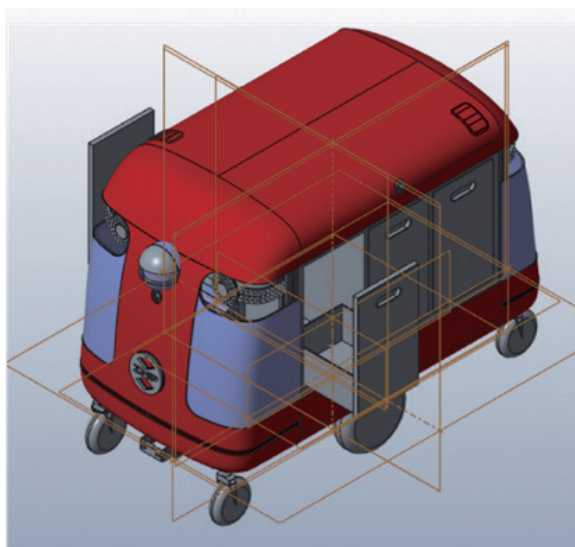
CarriRo®Deli のコンセプトムービーから画像抜粋

宅配ロボット 概要

- ・自動運転ロボット 6輪（中央2輪駆動（独立）4輪従輪） 6つの宅配ボックス、ライト、カメラ等安全装置あり



基本機能は、1号機のサイズとしては様々な潜在的な用途に対応できるために、JIS規格内で最大として、可搬重量も余裕を見て100kgとした。電池はリチウムイオンバッテリーで入手しやすいものを使用し、実験レベルであるために暫定的に4時間程度の連続稼働時間とした



- ・16個レーザ受信センサ内蔵
- ・全方位360° / 垂直視野角30° or 20°
- ・イーサネット出力インターフェイス
- ・ビューソフトウェア & 組み込み対応
- ・小型Φ 103.3mm x 71.7mm

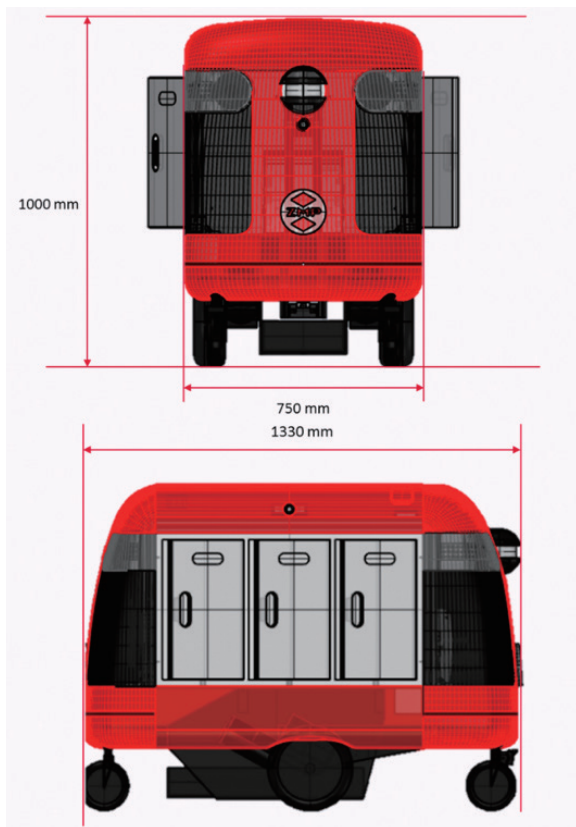
360度周囲をセンシングして、歩行者、自転車にぶつからない、また横断歩道を走行する際は、さらにバイク、自動車ともぶつからない衝突防止機能を搭載した。

なるべく早く実験を開始するために、自律移動に必要な自己位置推定に用いるセンサは高価ではあるが比較的容易にセンシングが行える三次元レーザセンサを前方の上部に設置することにした。前方の障害物や走行可能な歩道や横断歩道、信号などを認識するステレオカメラを使用した。

夜間に前方を照らす照明としてLEDを用い、目のイメージとして丸い形状に加工した。前方と後方の両サイドにロボットが右折するか左折するかを歩行者、自転車に知らせる方向指示器を搭載した。またロボットが停止することを後方からやってくる歩行者は自転車に知らせる停止ランプも取り付けした。

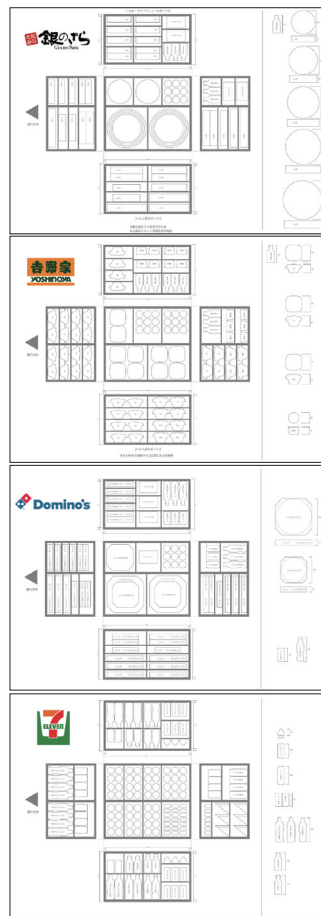
(図 30)

CarriRo® Deliの主要機構、機能部図



CarriRo® Deli の外形寸法

サイズとしては様々な潜在的な用途に対応できるように、JIS規格内で最大として、1000mm × D1330mm × H750mm とした。
なるべく広くカバーするように、総重量が 100 キロ以内で、一般の宅配の荷物から食品までを仮定した



CarriRo® Deli の想定する荷物



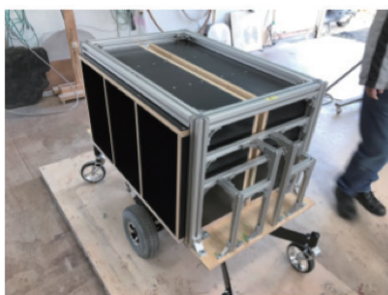
ロッカー部分は、加工しやすい木材でボックスを製作し、それに電子ロックを取り付け、ロック解除にはソニー製の非接触 IC カード技術方式「FeliCa」の読み取り機と接続し、スマホ、もしくは IC カードをかざすと希望するロッカーボックスのカギが解除できるようなシステムにした。

(図 31)

CarriRo® Deli の仕様図



(写真 37)
CarriRo® Deli G1 の模型検討



(写真 38)
CarriRo® Deli G1 の製作過程



オフィスの自動ドアを通過して1F 踊り場に配送



車が通れない細い通路も走破



夜間のライトで、配達と見回り・防犯役としても期待されている

(写真 39)

CarriRo® Deli G1 の実証実験の様様



千川通りは写真のように道幅 2m 弱であるので、すれ違いなど十分な注意して道をゆずる



2m 弱の狭い道幅の上にさらに工事がある場合は、道幅が 1m くらいになる場合、端を走行



横断歩道も道幅が十分にあると余裕がある



播磨坂の歩道は幅も 4m くらいあり、極力端を走行し人や自転車とすれ違う際にはロボット側が一旦停止する

(写真 40)

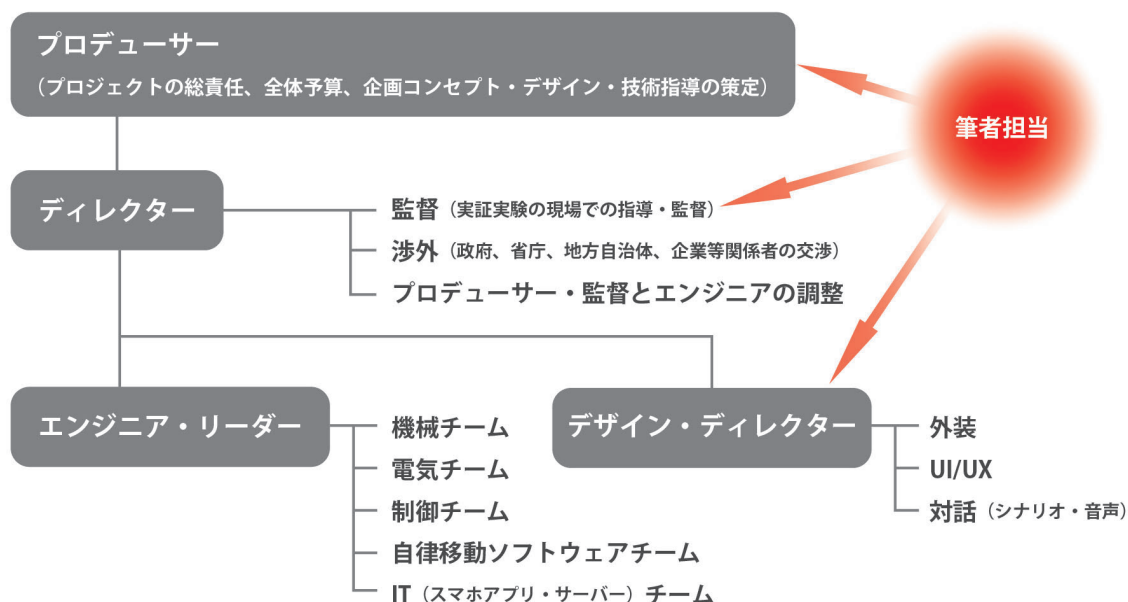
CarriRo® Deli の実証実験の様様

4-2. 研究プロジェクトチームを組成する

本研究を行うプロジェクトチームを組成するためには、映画製作に例えるとわかりやすく(図32)にまとめた。まず、プロジェクト全体を統括し、責任を持つプロデューサー、次に実際の現場での指導を行う監督の役割を担うのディレクター、本研究の宅配ロボットは法規制の問題があり、また実験を行う場所の関係者や運ぶ製品を提供する企業などの交渉、調整をする渉外の役割を担うディレクター、プロデューサーと実際の開発を行うエンジニアとの調整を行うディレクターが必要だ。

制作側は、開発をするエンジニアとして機械、電気、制御、自律移動ソフトウェアチーム、ユーザのスマホアプリ、またサーバー側のソフトウェアを担当するITチーム、そしてそれらのエンジニアチームをまとめるエンジニア・リーダーが必要である。制作側のエンジニアと連動して外装やUI/UX、対話をデザインしていくデザインチームがあり、それらをまとめるデザイン・ディレクターが必要である。

筆者はプロデューサーと監督を担うディレクター、デザインを統括するデザイン・ディレクターを担当した。



(図 32)

ロボットの研究プロジェクトチーム

4-3. 法規制の課題

本実験はロボットが歩道を低速で走行し、マンションの玄関、もしくはなるべく近いところまで到達することを計画している。電動車いす、シニアカーは道路交通法では、車両ではなく歩行者扱いとなり、歩道の走行は認められているが、本研究でデザインした宅配ロボットは、欧米諸国を中心に法改正が進み実証実験が行われているが、日本ではまだ法律上の定義が定まっておらず、筆者としては次のような見解を持っている。第一に、先例としてセグウェイ（28）があるが、それは小型特殊自動車とみなされ公道での実験を行うためには、走行する範囲と期間を事前に警察署へ届け出を行い道路使用許可の手続き、運輸局へ使用車両の保安基準緩和申請とナンバーの取得を行い走行時は誘導員の配置が必要になる。また普通自動車免許証又は普通自動二輪免許証の所持が必要となり、このような条件下では日常の配達で使えなくなる。筆者は小型特殊自動車扱いにならないようにしたい。第二に、道路運送車両法の対象外であり、適用される現行法がない状況であるが、道路交通法第76条の禁止行為（一般交通に著しい影響を及ぼすような行為やみだりに道路に物件を置く行為）に該当するものではないこと。オフィスビル、ショッピングモール、交通公園などの私有地で技術検証を十分に行い、安全性を確認済みであること。約1年間ロボットを有線ケーブルでつないだ状態で実験を実施し安全面や受容性を確認したこと。公道実験に当たっては、当ロボットの取り扱いを熟知したスタッフがついており、必要時にはいつでもすぐに

ロボットを停止もしくは操作することができる状態であること。

以上より、進め方としては、安全性を実証しショッピングカートに含まれると政令（内閣総理大臣決裁）で認めてもらうアプローチが良いとの判断をした。また車の自動運転に関するガイドラインが2017年6月1日に発表されたので、それを参考にして遠隔での監視、操縦を条件に許認可を取得できるように進めている。（2018年4月時点）



(写真 41)
Segway I2 SE

4-4. 千葉市幕張ベイタウンでのチャレンジ

2016年には千葉市熊谷市長へのプレゼンを行い、双方のビジョンの共有が確認され、また市職員による内閣府や警察など関係省庁への調整が必要となり、適宜説明に回った。2017年にはいり、日本では前例がないために、まずはベイタウンそばの交通公園でデモを行う提案がなされ、千葉県警が立ち会い安全面などを確認することとなった。安全確認後、ベイタウンで実験が行えるかはいまだ未定である。現在、経済産業省自動車課、内閣官房 情報通信技術 (IT) 総合戦略室「政府 CIO」、警察庁、国土交通省等各省庁に規制緩和への協力を仰いでいる。また歩道での実証許可が下りた際には、実際の店舗の協力と住人の説明会などを開催し、安全面を含めた理解と協力をいただく予定である。



(図 33)

赤線で囲った部分が幕張ベイタウンのエリア 出典：Google マップ



(写真 42)

幕張ベイタウンの現地調査

幕張ベイタウンの現地調査

イベント実施による実証実験

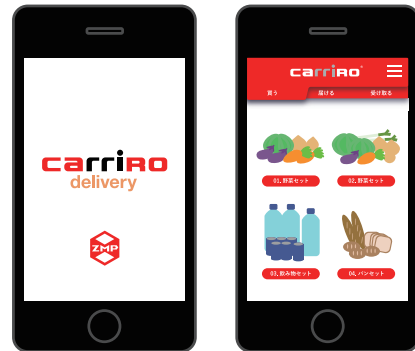
千葉市の協力を得て、幕張のベイタウンにて実証実験の検討を行った。当地区は、先端のライフスタイルを求める人々が住んでおり、被験者の新しい技術への受容性も高いと思われる。

また、ほとんどのエリアが、段差の低い車いすで自由に移動できるバリアフリーとなっており、ロボットの移動がスムーズである。ベイタウン内のスーパー、コンビニ、薬局、クリーニング店、ビデオレンタル店をネットワーク化し、ネットで注文したものが、自宅付近まで届けられ、最終的にはスマホをかざして宅配ボックスのスマートキーを解除し、取り出せるとともに決済、配達済みにできるシステムを構築した。



(写真 43)

幕張ベイタウン内の交通公園（千葉県警視察）



アプリトップ画面
(必要がありましたら使用して下さい)

野菜注文



野菜が届くまで



キャリロが到着した時に知らせる



薬注文



薬剤師とテレビ電話



スマホキーで解除



街中を走るキャリロたち

(図 34)

スマホで注文、CarriRo®Deli が配達するところまでのインターフェイスデザイン

4-5. 高層ビル、高層マンションでの縦の移動の問題

宅配業者やフードデリバリーの業者によると高層ビル、高層マンションでの縦の移動は、入退室でのセキュリティチェック、エレベータの待ち時間などで通常の半分以下に生産性が落ちると言われている。人手不足も相まって、大きな問題となっている。2016年にロボットとトラックが連携してその問題を解決する構想をアニメーションとして制作し、物流業者や店舗、不動産ディベロッパーなど様々な業種に対してヒヤリングを行い潜在ニーズが確認できたため2017年に公開した。(29)その後、森ビル株式会社と共に六本木ヒルズで2017年10月8日から2018年4月4日まで実証実験を行った。エレベータメーカーの協力により、地下の物流センターから14階の森ビルのオフィスまで宅配物を届けたり、地下1階のスターバックスから33階のオフィスまでコーヒーを届けることに成功した。一般的に宅配業者はスタッフの交代も多く、セキュリティゲートで警備員による確認作業に時間がかかるが、ロボットはあらかじめ専用セキュリティキーをもたせておけば、ゲートで無線通信によるセキュリティチェックが行われスムーズに通過することができる点でも有利といえる。課題はエレベータ会社の協力と対応する時間、コストがかかるため、理想的には新たに建設されるビルには当初からロボット対応にすることが望ましいと考える。日本だけでなく海外の都市部も益々高層化が進んでおり、世界に向けたソリューションをいち早く確立したいと考えている。



(写真 44)

六本木ヒルズの1階入り口の自動ドアから入るところ



(写真 45)

高層エレベータでの移動

4-6. 福島県南相馬市での実証実験

2017年12月21日、日本郵便株式会社（配送商品（ゆうパック等）の提供、仮想局員のアサイン）、ローソン株式会社（配送商品（店頭販売商品）の提供、仮想店員のアサイン）、株式会社東北日立・株式会社日立製作所・株式会社日立コンサルティング（実証実験（デモ）のコーディネート、結果の取りまとめ）、ZMP（実機（CarriRo[®]Deli）の貸与、実証実験（デモ）の実施）、南相馬市（実証場所の提供）で将来における配送ロボットによる郵便物等の無人配送の実現可能性を検証した。配送ロボットの活用が見込まれる

配送ルートとして、郵便局の集配拠点とコンビニ・個人配達先での無人配送を想定した。公道での許認可が不確かな現時点において、私有地であるが、南相馬市のスポーツセンターの周りの道路上を公道と見立て、郵便局、コンビニ、ユーザ宅①、ユーザ宅②の4か所を移動した。



(写真 46)

南相馬市での宅配実験のコース概要



(写真 47)

日本郵便のゆうパックの配送シーン

実験準備を入れると合計7日間で、小雨、小雪がちらつくとき、夕方日が落ちて暗くなった時も自律走行機能は全く問題がなかった。課題として考えられるのは、積雪で路面の区別がつかないところは自律機能における自己位置推定など研究が必要だ。またタイヤもスタッドレスや積雪の深いところではクローラータイプなどが必要になるであろう。

スマホでタッチしてドアの施錠解除し、荷物を取り出すことを行ったが、今後は解除とともに

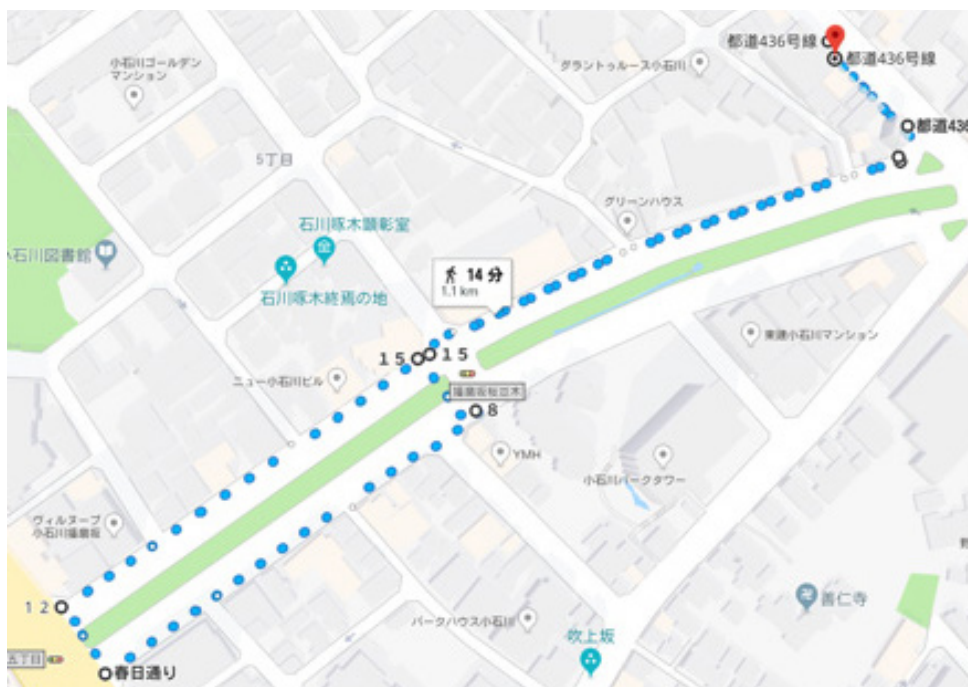
決済など機能を追加することによりさらに利便性を高めることも検討していく。

郵便局も人手不足、配送コストの上昇などロボットによる宅配ニーズは今後ますます高まっていく。また相馬市桜井市長からも東日本大震災の被災地であり、いち早く最先端の物流技術を実用化する発信源として市民に希望を与え、外からも人が集まる場所にしたいと発言されたが、そういったニーズも確認できた。

4-7. 寿司の宅配実験

2017年9月以降、全国で宅配すしの銀のさらを運営する株式会社ライドオンエクスプレスホールディングスと寿司の宅配の共同研究を行っている。振動で寿司ネタが剥

がれたり、ひっくり返ることがないように、また温湿度、細菌の増殖の有無など、様々なセンサを取り付けデータ収集を行っている。



(図 35)

寿司を配達したコース出典：Google マップ

1) 日中での輸送実験

以下配送ルート 1 (往復 1.1km) である。

テスト期間：2017年11月23日、30日、12月15日、26日、2018年1月11日 計5回

合計走行距離：6km

合計自動走行時間：120 mins

場所：文京区播磨坂周辺

温度：現在使用されている宅配用バイクと同様

振動：配達前後で寿司ネタに変化なし

味覚：バイクと変わらず、ロボットによる劣化は認められない

配達シナリオ：1回 (1か所に届ける) 3回 (3か所に届ける)

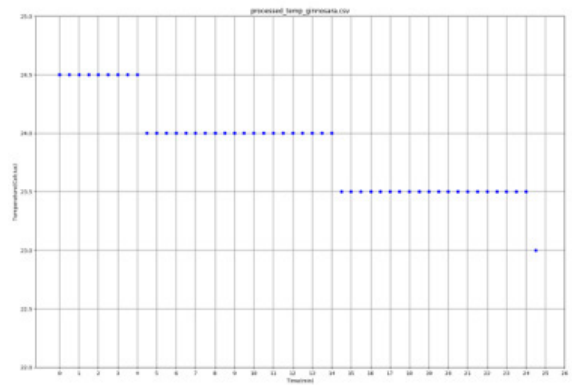
配達時刻：午前11時

天候：曇りと晴天 (平均気温10度程度)

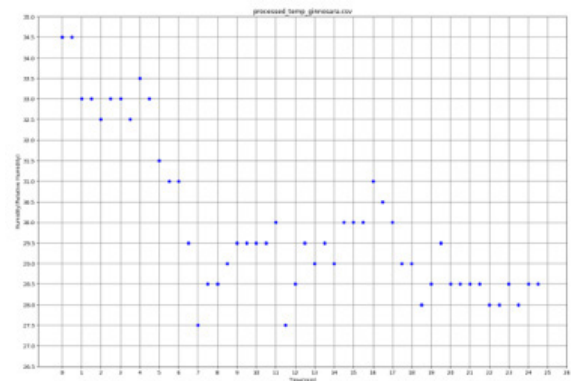
2017年12月26日 12:13 開始 12:37 終了 24分間 走行距離 1.2km



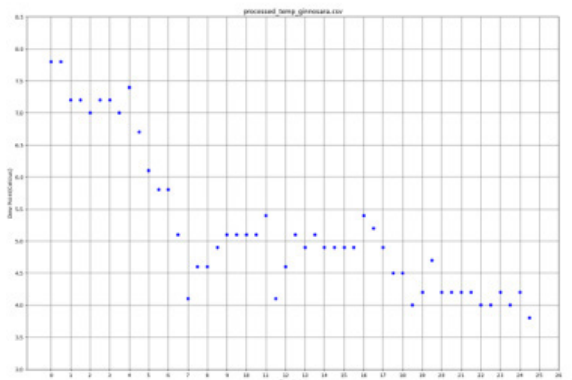
(写真 48)
運搬前と運搬後の寿司の様子



ロッカー内の温度



ロッカー内の湿度



ロッカー内の Dew point 露点温度

(図 36)
ロッカー内の温度、湿度、露点温度計測データ

2) 夜間混雑した状況での輸送実験

2018年3月29日文京区小石川の桜の名所である播磨坂でお花見会場に寿司を運ぶ実験を行った。出発点は、文京区小石川五丁目41番10号の(株)ZMPオフィスの玄関からスタートした。実験開始時間は19時、

気温17度と温かくお花見日和で多くの人が混みの中を移動することとなった。



(図 37)

配達したコース 出典 Google マップ



(写真 49)

実装実験の様子

花見会場からスマホで注文し、インターネットを経由してZMP オフィスで注文を受けて係員が注文通りにロボットに寿司を詰め込む。寿司を詰め込んだ後は、ロッカーの扉を閉じると自動ロックされ、そのロック解除キーとこれから配達に向かう旨の連絡が会場の注文した人のスマホに届く。ロボットは会場に向かい出発。ZMP オフィスから会場付近まで完全自律走行で移動するが、会場付近は大変な人混みなので、その部分だけはZMP オフィスの管制室から遠隔操縦をして会場の注文した人のところまでゆっくり安全を確認しながら着地点まで近づいていく。到着するとスマホには注文した寿司が入っているロッカーのロック解除キーが送られているので、スマホをかざすとロックが解除され、寿司が取り出される。実験は本番の一回だけで何も問題なく無事成功した。

この実験を通じて、人間の目では暗くて操縦しにくい夜間でもロボットのセンシング能力が高いため、その強みを発揮して容易に移動できること。ある程度混雑したところでもロボットと人が共生して、役立つことが示せた。特にここ、小石川近辺の歩道では一年くらい走行実験をしているので、近所の方から以前にも見た、という発言も確認され少しは受け入れられているのではないかと感じ取れた。初めて見る方からは、先端技術への驚き、かわいいロボットが寿司を運んでる様子に感動され、多くの声援も頂いた。

課題としては大きく二つわかった。一つ目は、花見の演出の為に普段の街頭の照明が消され歩道はかなり暗かったが、そのよう

な場合は周囲からロボットの存在がわかりにくいことが分かった。これを解決するために、ロボットの下部に路面を照らす間接照明的な機能を入れて周囲の環境で目立ち過ぎず存在を示せるようなデザイン要素を付加する。

二つ目は、狭い道路では前方からくる歩行者が、ロボットが向かってくる様子を見て自ら道を譲って空けて下さる状況があった。本来はロボットが道を譲ることが必要であり、またもし人に譲っていただいたときはキチンと音声と外観の表示で、お礼を伝えることが重要と考え、デザインに追加する。



(图 38)
様々なシーンで活躍するイメージ

4-8. 海外での類似のサービス

2016年から歩道を走行し宅配する実証実験が始まっている。Starship Technologies(写真50)はヨーロッパ5都市の大手宅配業者やスーパーマーケットと組み、ピザの自動配達するテストの開始を発表、ドミノピザ(写真51)はオーストラリア・クイーンズ

ランド州の一部エリアにてデリバリーの実験を開始、2018年にはDHL(写真52)、6月には中国通販大手・京東(写真53)は、北京市の海淀区全域を対象に、ロボットを使った無人配送を開始した、と報じられた。



(写真50)
Starship Technologies



(写真51)
ドミノ・ピザ



(写真52)
Sidewalk by Superum



(写真53)
京東

第5章 作品：宅配ロボット CarriRo®
Deli のデザイン



(写真 54) マンションわきの細い通路を走行。東京都文京区小石川



(写真 55) 高齢者とすれ違う様子。東京都文京区小石川の播磨坂の歩道

5 - 1. CarriRo® Deli G2

実生活でのラストワンマイルへの挑戦

G1 と G2 の違い

第4章での CarriRo® Deli G1 を使った実験を通じて、CarriRo® Deli G2 の仕様を見直し、図 38 の通り、全面的にデザインを作り替えた。

	基本機能	安全面	サイズ	想定荷物	センサ類	ロボットの意思・状態	顔	色
G1	積載重量100kg 稼働時間4時間 速度:最大時速6キロ 荷台:6ボックス 鍵認証:FeliCa 目の形状をしたLEDライト	360° センシング、衝突防止機能 周囲にバンパーセンサ 遠隔監視、操縦機能 伴走者1は無線緊急停止ボタン、伴走者2は無線コントローラによる二重のフェールセーフ機能	W1000 × D1330 × H750	総重量が100kg以内で、一般の宅配の荷物から食品までボックスが固定されておりその範囲の容量となる	三次元レーザセンサを前方の上部に設置 ステレオカメラ 全周囲を遠隔地からモニタリングするために単眼カメラを前後左右に設置	従来の車のような方向指示器、リアにブレーキランプ	顔を間接的に表現、可愛さも加味した	可愛さと安全上目立つように赤街並みに過度に浮かないように明度を落として落ち着いた色 メタリックを入れて高級感を持たせた
G2	積載重量50kg 稼働時間12時間 速度:最大時速6キロ 荷台:1、4、8ボックス 鍵認証:画像認識によるQRコード 目の形状をしたLED表示器	360° センシング、衝突防止機能 周囲にバンパーセンサ 遠隔監視、操縦機能 伴走者1は無線緊急停止ボタン、伴走者2は無線コントローラによる二重のフェールセーフ機能	W654 × D962 × H1090	総重量50kg 一般の宅配の荷物から食品までボックスが自由にカスタマイズでき、様々な用途に対応	三次元レーザとステレオカメラの両方を搭載し、ステレオカメラのみで実現した場合は三次元レーザを外し大幅なコストダウン可能とした	目に相当部をフルカラーLEDにし意思表示 耳に相当部を橙色の方向指示器、リアにフルカラーLEDで意思表示	顔を表現、愛くるしさを強調	ポップで軽快なレッドとクールなメタリックを加えたライトシルバー存在感を持たせた

(図 39)

CarriRo® Deli G1 と G2 比較

宅配ロボット1号機 CarriRo®Deli G1 のサイズとしては、様々な潜在的な用途に対応するハンドル型電動車いすの JIS 規格内 (30) で全幅 1000mm × 全長 1330mm × 全高 750mm とし、可搬重量も余裕を見て 100kg とした。荷物の収納部は、宅配ボックスのようなロッカー構造になっており、スマホでロック解除できるスマートロック機構を搭載した。ロック解除には非接触 IC カード技術方式「FeliCa」(31) の読み取り機と接続し、スマホ、もしくは IC カードをかざすと希望するロッカーボックスのカギが解除できるようなシステムにした。

一方 2 号機 CarriRo® G2 は、これまでの実証実験の結果を反映して、一般のマンションの標準的なエレベータ (32) (W800mm × D1100mm × H2090mm 積載 600 kg, 定員 9 名) (31) に乗れるように G1 より一回り小さく、全幅 654mm × 全長 962mm × 全高 H1090mm とした。高さにおいては低すぎると歩行者、自転車から視野に入りにくく安全上危ない点と、作業者がしゃがんだりしなければならぬ作業性の面と収納する対象物を基準とした。最大可搬重量も G1 の半分の 50 キロとした。荷物の収納部は、G1 同様に宅配ボックスのようなロッカー構造にし、スマホでロック解除できるスマートロック機構を搭載した。電子ロックは G1 の非接触 IC カード方式から汎用性の高いカメラによる QR コード (33) 読み取り方式に変更した。表示された QR コードをかざすと希望するロッカーボックスのカギが解除できるようなシステムにした。更にユーザの商品のサイズに合わせてワンボックス、4 ボックス、8 ボックスを用意した。(図 41)

センサ類は、G1 では自律移動に必要な自己位置推定に用いる高価ではあるが容易にセンシングが行える三次元レーザセンサを前方の上部に設置した。また前方の障害物や走行可能な歩道や横断歩道、信号などを認識するステレオカメラを搭載した。

G2 では自己位置推定用センサとしてステレオカメラとバックアップの為に三次元レーザの両方を搭載し、ステレオカメラのみで実現した場合は三次元レーザを取り外し、コストダウンができるようにした。

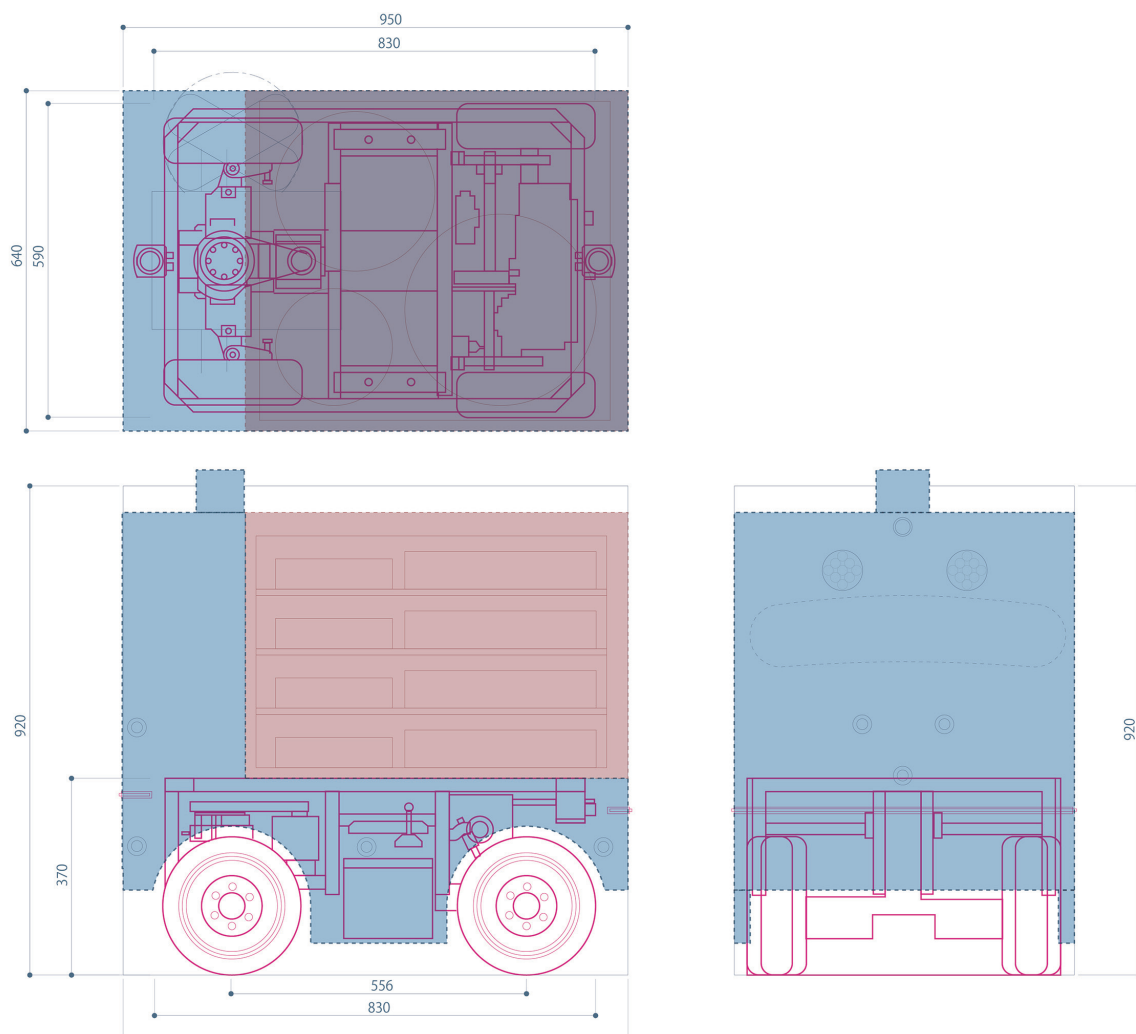
G1、G2 ともに全周囲を遠隔地からリアルタイムにモニタリングするために単眼カメラを前後左右に 1 個ずつ設置した。通信においては、将来は 5G 活用が考えられるが、現時点で入手性の高い 4G の通信モジュールを搭載した。

G1 では時間がなく搭載できなかったロボットの意思・状態表示を G2 で実装した。歩行者、自転車、横断歩道ではバイクや車に乗った人と、アイコンタクトをし、ロボットがどのようなことをしようとしているかの意思表示やどのような状態であることを示すインターフェイス機能を追加した。

視覚的には主にフロントの目の部分のフルカラー LED ディスプレイとリアのフルカラー LED ディスプレイで表現した。また音声では簡単な定型文章は音声合成で表し、遠隔地にいるオペレータとのコミュニケーションはインターネット電話の機能を搭載した。人とのコミュニケーションの必要が生じたり、異常が起こった際に、遠隔地から停止をしたり安全な場所に移動させたりする遠隔監視、操縦機能を搭載した。

安全面の対策では、CarriRo®Deli G1 は、360 度周囲をセンシングして、歩行者、自転車にぶつからない、また横断歩道を走行する際は、さらにバイク、自動車ともぶつからない衝突防止機能を搭載した。またセンシング機能が故障したり、異常が生じて万が一ぶつかったときも直ぐに止まるように周囲にバンパーセンサを取り付けた。人とのコミュニケーションの必要が生じたり、異常が起こった際に、遠隔地から停止をしたり安全な場所に移動させたりする遠隔監視、操縦機能を搭載した。地域周辺の方の反応を見ながら、歩行者よりゆっくりした

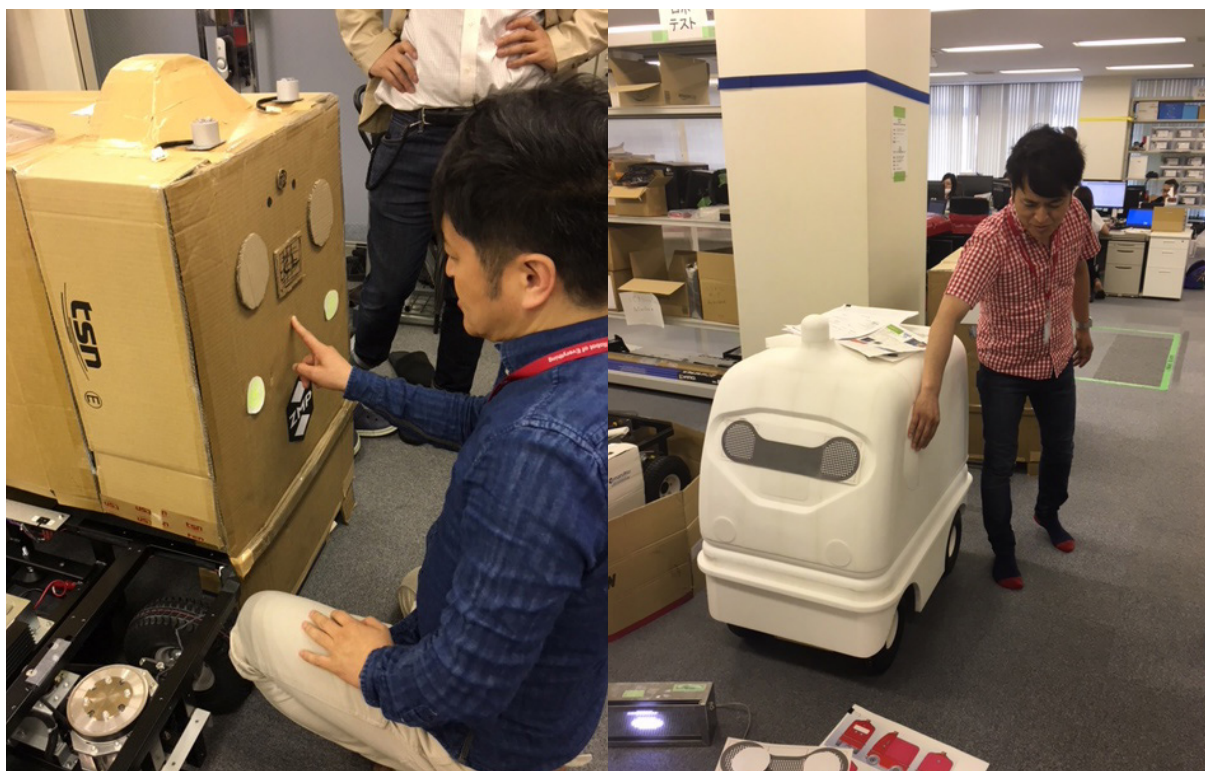
速度、時速 2 キロから実験を開始し安全とロボットの信頼性を確認しながら段階的に速度を上げていき最大 6 キロまで走行可能とした。前方に 1 名、後方に 2 - 3 名伴走者をつけた。後方の伴走者の一人はロボットとケーブルでつないだ非常停止ボタンをもっており、ロボットが歩行者や自転車を認識せず衝突する可能性が高まったり、何らかのバグによって誤作動したときなど緊急時にボタンを押すように常に注意している。後方のもう一人は無線のコントローラを持っており、問題が起きた際に、回避するように二重のフェールセーフ機能



(図 40)

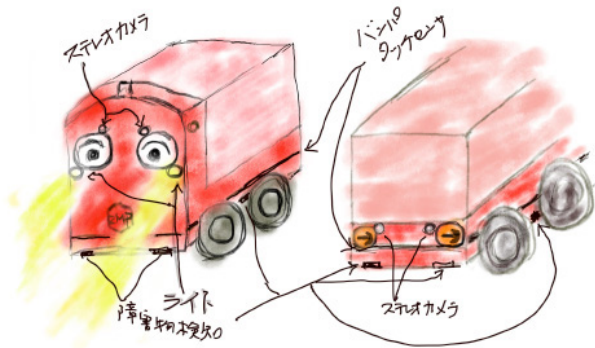
CarriRo® Deli G2 CAD 三面図

を設けたが、CarriRo®Deli G2 でも CarriRo®Deli G1 同様の機能を搭載し、さらにバンパーセンサをより信頼性の高いものに変えた。速度は、人より少し早い時速 4.5 キロに設定をし、込み具合によっては速度を落とし、また人がいない、すいているときは最大速度の時速 6 キロまで上げていき配達時間の短縮を図った。後方の伴走者の一人はロボットと無線で接続された非常停止ボタンをもっており、ロボットが歩行者や自転車を認識せず衝突する可能性が高まったり、何らかのバグによって誤作動したときなど緊急時にボタンを押すように常に注意している。後方のもう一人は無線のコントローラを持っており、問題が起きた際に、回避するように二重のフェールセーフ機能を設けた。

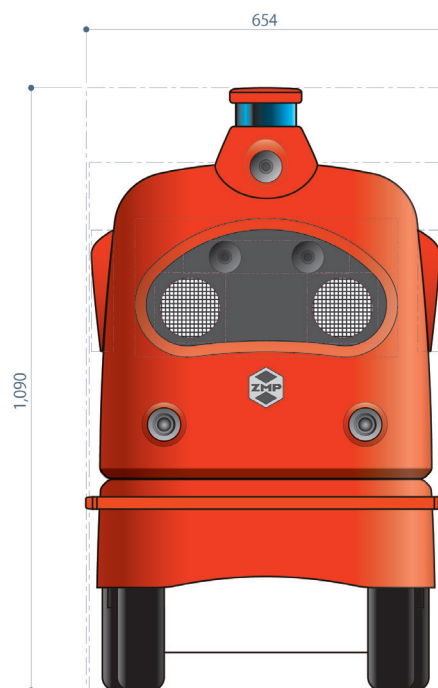
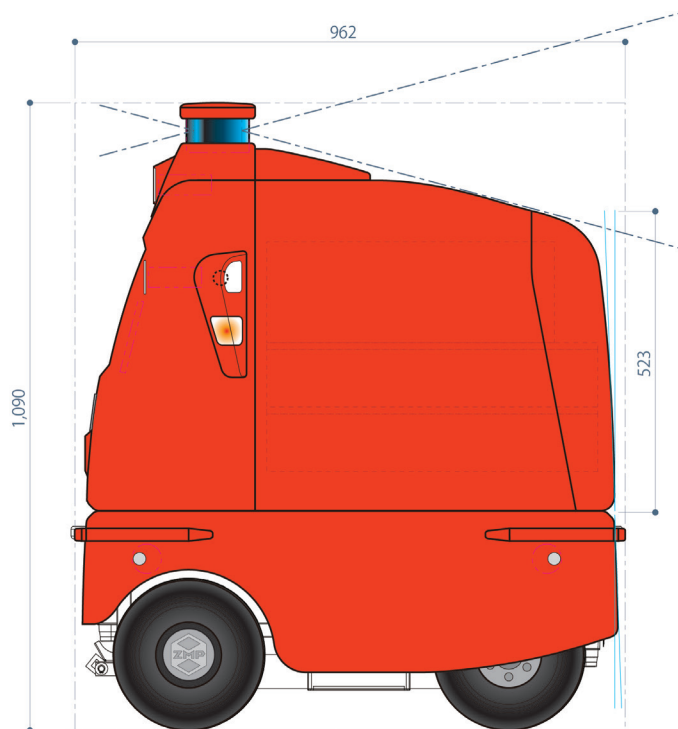
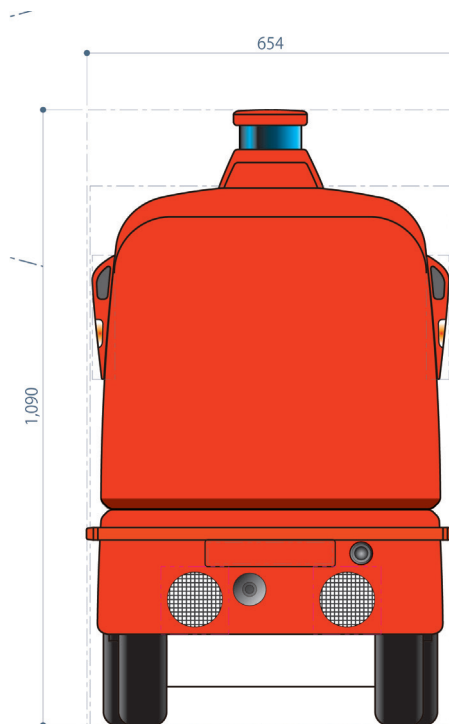


(写真 56)

CarriRo® Deli G2 模型による検討の様子



(図 41)
G2 の原案スケッチ



(図 42)
CarriRo® Deli G2 デザイン図

運ぶのがきつい重い荷物、例えば水の
2リットルペットボトル1ケース6本入は、
縦 281mm×横 328mm×高さ 315mm、
重量は 13.1 キロ。

ビール 350ml 1 ケース 24 本入は、
幅 279mm×横 408mm×高さ 131mm
重量は 9.2 キロ。

大瓶 633ml×20本 (1 ケース)15 キロ。
縦 450mm×横 350mm×高さ 300mm
重量は最大 27 キロ。

米 10 キロ
が搭載できることを想定した。



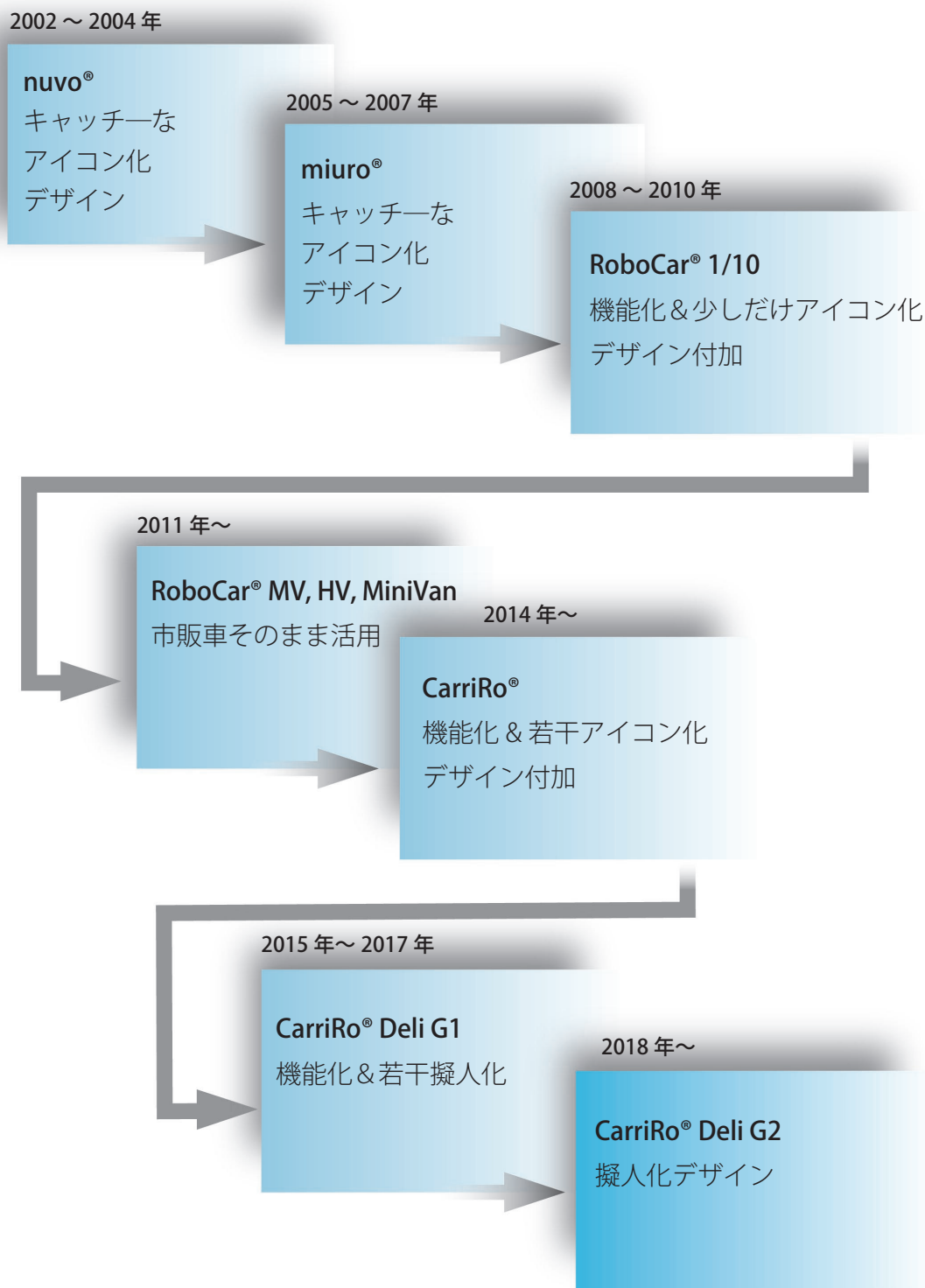
(図 43)

CarriRo® Deli G2 宅配ボックスと想定する収納イメージ図

5-2. ロボットらしさを表現

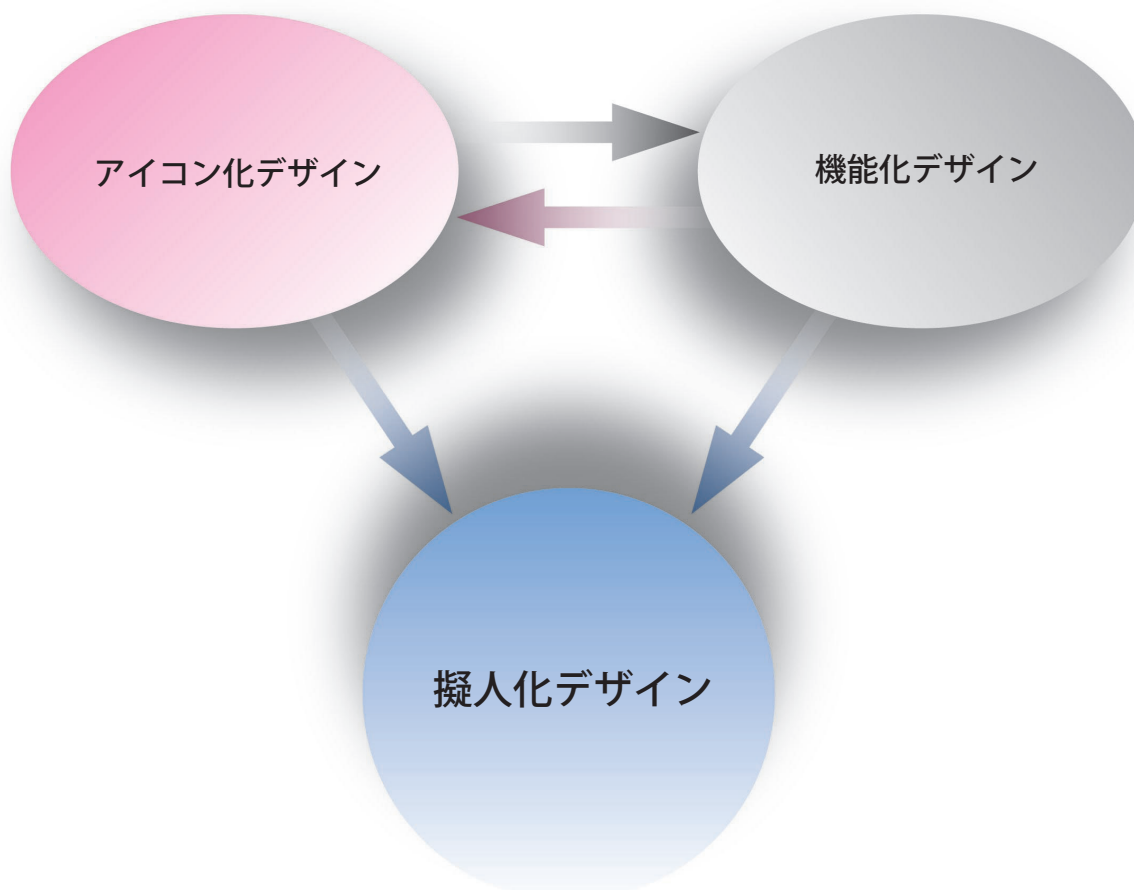
5-2-1. デザイン思考の変化の推移

筆者の過去 2002 年からの作品に対するデザイン思考の移り変わりを (図 44) にまとめた。



(図 44)
デザイン思考の変化の推移

5-2-2. アイコン化デザインと機能化デザイン そして擬人化デザインへ



(図 45)
擬人化デザイン

5-2-1. のように筆者は人型ロボット nuvo[®] や音楽ロボット miuro[®] では、キャッチーで人にインパクトを与えるようにアイコン化デザインを模索し、市販車をベースにした RoboCar[®] で実用面を重視した機能化デザインを模索してきたが、物流支援ロボット CarriRo[®] はその融合を目指した。しかし CarriRo[®] Deli G1 は、街に溶けこみ街の人たちに威圧感を与えない、

むしろ共感を得られるよう擬人化を取り入れ始め、G2 では思い切って擬人化デザインに舵を切った。

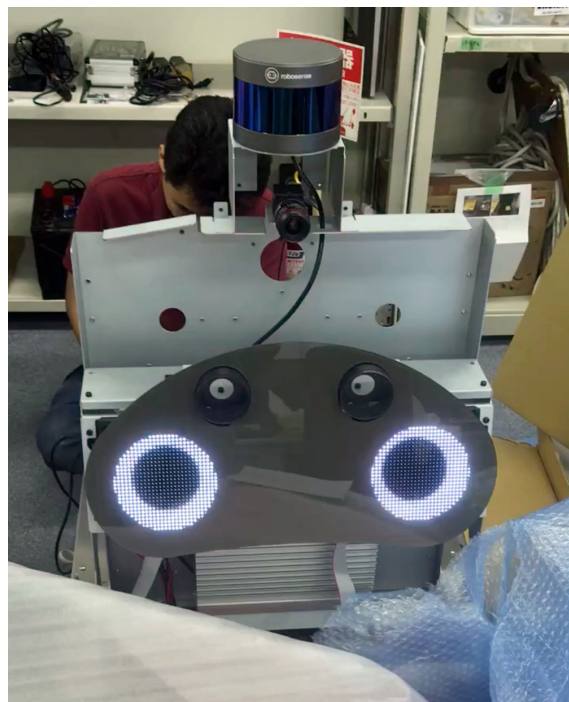
宅配ロボットはこれまでの生活空間に存在しなかった新参者であり、それがこれから人々と生活を共にし、社会に受け入れられるようにするためには、人間に近い存在、仲間として受け入れられる擬人化が重要と考えたからである。擬人化され、愛らしく振

舞って人と仲良くなることが重要と考えた。
擬人化で参考にしたのは、世界中の子供たちから愛されている、きかんしゃトーマスです。私は、これを機械と人（動物）をミックスした擬人化であり、メカニマルと称した。



(図 46)
きかんしゃトーマス

G2は全体的に愛くるしさを表現した。特に重要なフロント部分は顔を表現した。自律移動に必要なセンサ（ステレオカメラ、信号認識カメラ、三次元レーザ）、ロボットの目のLED、夜間のライト、前、側面、背面から曲がる方向がわかる方向指示器、斜め後方を確認するカメラを顔を表現してデザインした。目の上のステレオカメラは広角まで見るために大きく目立つのでグレーのマスクで覆い目立たないようにスッキリさせた。高い位置に置きたい三次元レーザや信号認識用カメラは額と頭部に配置して煙突のようなイメージに仕上げた。方向指示器と後方を認識するカメラは耳のイメージに仕上げた。



(写真 57)
組み立て、制作風景

5-2-3. ロボットは目が命

ロボットをデザインするうえで最も重要と
考えた一つが目だ。一般的にデザイナーは
目を入れたくないと考える。擬人化同様、

更に目を入れた途端、ダサイとかチープな
感じや遊具、玩具のようだとされる恐れ
である。それはクールで洗練された今風の



(図 47)

CarriRo® Deli G2 の様々な表情、フロントの目、リアのディスプレイのパターン図

デザインでは決してないからだ。つまりタブーともいえる目を入れることに挑戦した。これに踏み切った理由の一つは、ようやく満足が行く技術を見つけたからである。それは高輝度 LED を高密度に並べたディスプレイだ。外観的には動的でみずみずしく生き生きした表現ができ、またソフトウェア次第で多様な表現パターンを追加修正したりして進化させることができる。機能的には、ロボットの意思表示や人とのアイコンタクト・インタラクションが可能である。表情は(図 47)のようにパターンを表示した。

目のデザインが一番の特徴は、従来のロボットの目のように黒目が固定されたものではなく、常に大きさや位置を動的に変化させている。実際に人間の目も常に動いているので、より親近感を与えると考えた。また、筆者の分析では目には癒し系と意志系があると考えられる。癒し系の特徴は、目が比較的小さいことと白目はなく黒目だけのつぶらな瞳であり、意志系は比較的目が大きく白目があり様々な表現をしている。G2 の目は意志系に決めた。

機能的には、ロボットが行おうとしていることを人に示す意思表示がある。

前進をするとき生き生きとガングン進む表現をした目のパターン、右折・左折するとき、視線を右方・左方に向ける目のパターン、信号や人又は障害物を検知して停止したときに、走行停止中であることを示す目のパターンと後方のディスプレイのパターンなどである。

人とのインタラクション機能としては、前方、側方及び後方を撮影するカメラで人を検知し、人の座標と目の高さに関する位置情報を検出し、視線が人を追従するようにアイコンタクトで挨拶を示す目のパターン、人を検知して走行を停止し、人が道を譲る動作をし

た場合に謝意を示す目のパターンなどがある。

また人は 8 割以上視覚から得られる情報に依存し (34)、また人とのコミュニケーションの 9 割以上がノンバーバルコミュニケーションであり (35)、さらに笑顔で目が合うと好感度、親密度があがるためアイコンタクトは非常に重要なコミュニケーションであると言える。

2019 年に入り、中国では京東が YouTube 公式チャンネルに最新のロボット (36) (写真 58) を公開し、またアメリカではラスベガスで開催された CES (コンシューマー・エレクトロニクス・ショー) で Postmates 社が「Serve」(35) (写真 59) を発表した。いずれもこれまでの車輪型ロボットにはなかった目が搭載されており、愛らしい表現をしている。これは筆者が 2018 年 7 月に ZMP フォーラムで発表した CarriRo® Deli が国内外のメディアで紹介され、目の重要性として少しは影響を与えたのかもしれない、と勝手に想像して喜んでおり、またこれからロボット開発に目の研究が加わってくると嬉しいことであり、新たな発展になることを期待している。



(写真 58)

京東公式 YouTube より画像抜粋



(写真 59)

Postmasters Inc. ロボット Serve

5-2-4. 目を補完する声

狭い道ですれ違う場合は、これまではロボットの意思がわからなかったので人がゆずるケースが多々見られたが、CarriRo®Deli G2からはディスプレイで人が行うアイコンタクトを担い、加えて音声で挨拶やお礼を伝える機能を追加した。例えば、道を譲る際には「どうぞお先にお通りください」とか、右側に避ける場合は、「右側に避けます」な

どと目の LED ディスプレイと音声で示して反応を確かめる実験も行っている。

当初の実験は、大学内でユースケースが限定しているため、ロボットの感情表現が豊かに出せるように、音声合成ではなく声優によるシナリオの録音を再生することにした。シナリオは、(図 48)のように日本語と英語で作成した。

No	テキスト	No	Text
1	これから配達に行ってきます！	1	I'm going out for a delivery. See you soon!
2	おはようございます！	2	Good morning!
3	こんにちは！	3	Hello!
4	こんにちは！	4	Hello there!
5	こんばんは！	5	Good evening
6	夜分にすみません	6	I'm sorry for disturbing you so late at night.
7	おやすみなさい！	7	Good night!
8	みなさん、ごきげんよう！	8	Hi everyone!
9	みなさん、元気ですか？	9	How are you all doing?
10	ZMP のキャリロデリです	10	I'm ZMP's CarriRo Deli. Nice to meet you.
11	赤信号で待っています	11	I'm waiting at the red light now.
12	ロボットが走行しています	12	Robot is currently in movement.
13	すみませんが道を譲ってください	13	I'm sorry but could you give way for me, please?
14	ありがとうございます！	14	Thank you very much!
15	右に曲がります	15	I'm turning right.
16	左に曲がります	16	I'm turning left.
17	ご迷惑をおかけしますが、ご注意お願いします	17	I'm sorry but please be careful.
18	お待たせしました！	18	Thank you for waiting!
19	ご注文の品をお届けに参りました！	19	I'm here with your order.
20	スマホをかざしてください	20	Please hover your phone over me.
21	ロッカーを開けて商品を取り出してください	21	Please open the locker to take out your order.
22	商品を取り出したらロッカーを閉めてください	22	Please close the door once you have taken out your order.
23	すみませんがロッカーを閉めてください	23	I'm sorry but can you please close the door?
24	ご利用ありがとうございました。またのご注文をお待ちしています。	24	Thank you for ordering! I'm looking forward to receiving your requests again.
25	よろしければ評価をお願いします！	25	Can you give me some feedback?
26	星 5 つ	26	5 stars
27	星 4 つ	27	4 stars
28	星 3 つ	28	3 stars
29	星 2 つ	29	2 stars
30	星 1 つ	30	1 star
31	(星 N つに続くように) ありがとうございます！	31	(connecting to N stars)Thank you very much!
32	ただいま戻りました！	32	I'm back!
33	停止中です。ご迷惑をおかけしてすみません	33	I'm making a temporary rest. I'm sorry for getting in your way.
34	今日も元気に頑張りましょう！	34	Let's all work together to have a great day together!
35	今日も元気に頑張ります！	35	I'm going to make this a great day!
36	今日も一日お疲れさまでした！	36	Than you for your hard work today.
37	お疲れさまでした	37	Great work!
38	明日もよろしくお願いします！	38	Let's have another great day tomorrow

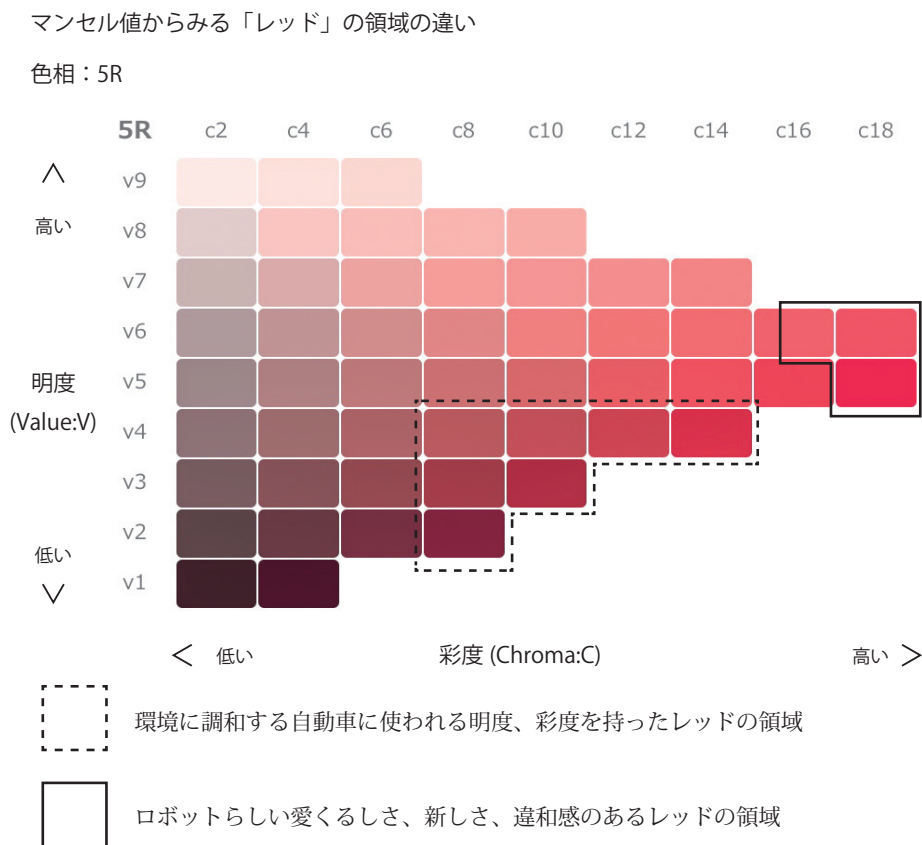
(図 48)

CarriRo® Deli G2 の音声一覧

5-2-5. ロボカラー

デザイン要素として、カラーも大変重要と考える。G1は、環境に溶け込むように既に存在している動く機械、自動車に近い色を選択した。可愛さと安全上目立つように赤にした。街並みに過度に浮かないように明度・彩度を落として落ち着いた色としメタリックを入れて高級感を持たせた。しかし、実験を通じて人々の反応を観察すると新しさ、存在感に乏しいと感じた。そしてG2は、これまで街に存在しない新参者だから故、もっとフレッシュさを表現した。ロボットを見ると楽しくなる、元気になる、ポップなカラーにした。筆者はこれを

ロボカラーと称した。ロボットらしいロボカラーとして、ポップで軽快なレッドとクールなメタリックを加えた明度の高いライトシルバー、レモンのようなミント系のイエロー、鮮やかなメタリックブルーの四色とした。不思議な存在感のあるデザインとした。工業製品としても、歴史がなくこれから実績を積み上げていく未熟な存在ともいえる故、筆者はこれまでの工業製品とは違うように、かわいく存在を示していきながら、人々に受け入れられていくような目的で色を選んだ。



(図 49)

環境に調和する自動車に使われる明度、彩度を持ったレッドの領域 ロボットらしい愛くるしさ、新しさ、違和感のあるレッドの領域

例えばイエローは、作家 梶井基次郎（写真 60）の小説『檸檬』（36）（写真 61）にも、得体のしれない憂鬱な気持ちが、みずみずしい黄色いレモンを見つけ、心を压えつけていた不吉な塊がそれを握った瞬間からいくらか弛ゆるみ、非常に幸福になったように記載されているが、このロボカラーのイエローもレモンのような少し緑が入ったミント系イエローにした。小説にもあるように、色は人の気分を変える働きがあるといえる。筆者は今後も、ロボカラーを探求していきたいと思っている。



（写真 60）
引用：読書生活



（写真 61）
引用：新潮文庫

5-2-6. 三河屋さんをモデルに

宅配ロボットの想定ユーザを、例えば主婦や高齢者とする、イメージとしては漫画のサザエさん(37)に出てくる三河屋さん(図50)のように、かわいがられ頼りにされる存在をモデルとした。単に注文されたものを運ぶだけでなく、配達先とのコミュニケーションを密にとり、外出中の子供の安否を見守ったり、留守中の防犯の役割を果たすような付加機能も将来は入れていきたいと考えている。周囲の人々から、かわいいロボットだと感情移入されペットのように母性をもって接してもらえるように考慮した。



(図50)

サザエさん 三河屋のサブちゃん

5-3. 慶應義塾大学湘南藤沢キャンパス (SFC) でコンビニの配達にチャレンジ

一年半以上の活動の成果が評価され、2018年7月13日、経済産業省所管 国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO の「AI システム共同開発支援事業」に採択された。筆者が企画立案した SFC 内の学生、教職員の食環境の改善を宅配ロボットが担うものだ。ローソンの協力を得て実施した。最初に学生や教職員はスマホにアプリをダウンロードしてクレジットカードなどユーザ情報を登録する。アプリを起動し、弁当やサンドイッチ、お菓子、スイーツ、飲み物など好みの商品を選んで注文する。

ローソンの倉庫ではスタッフが注文内容を大型ディスプレイやタブレットで確認し、注文された商品を袋に詰め、指定のロッカーに詰め込む。扉を閉じると注文内容とロッカーのカギである QR コードが発注者のスマホに送信される。発注者は自分の商品が運ばれている様子が地図上で確認できる。到着するとスマホの QR コードをロボットの頭部にかざすと自分の商品が入ったロッカーが開き商品を取り出し、最後に扉を閉めると決済完了する。2019年1月から2月に本サービス実証を実施した。



(図 51)
サービス実証の役割図

5-4. 東京大学本郷キャンパスで歩行者との共存を研究

東京大学工学系研究科精密工学専攻研究室と、本郷キャンパスにおいて2018年10月より共同研究を開始した。CarriRo®Deliのカメラと三次元レーザセンサで歩行者の計測を行い、軌道と姿勢のデータを機械学

習させ、歩行者の軌道予測モデルを構築する。ロボットが公共の場で安全でスムーズに移動できることを目指す重要な研究と考えている。



(写真 62)

遊びに来ていた子供の好奇心と喜びの反応。東京大学本郷キャンパス



(写真 63)

学生が立ち話をしているところ道を譲ってと依頼。東京大学本郷キャンパス



(写真 64)

学生とすれ違いにアイコンタクトをする様子、東京大学本郷キャンパス

第6章 まとめと今後の展望

6-1. 受容性について

2017年11月六本木ヒルズで実証実験を行った際には、休日で親子連れも多く、子供の中には時速1～2キロでゆっくりと走行するロボットを追いかけて、ロボットが止まったときによじ登るシーンも見られた。小石川での実験では、平均時速4キロ程度で走らせているが、人の歩行速度と同等か少し早いくらいの速度で走行させているときには、よじ登る子供はまだ見受けられていない。おそらくある程度の速度で走行していると、よじ登ることは少ないかもしれない。

今後は様々な場所、シチュエーションでの確認が必要と考える。

子供がいたずらを始めたときは、ロボットに搭載された加速度センサ、速度センサ、また周囲を見渡すカメラによって検知して遠隔地の監視センターからネット電話機能で周囲の様子を見ながら具体的な注意をして中止を促す工夫を盛り込むことも可能である。



(写真 65)

六本木ヒルズにおじいちゃんと一緒に遊びに来ていた子供がよじ登ったシーン

6-2. 無人走行の管理

遠隔地に公衆回線 4G を経由して、ロボットから周辺環境のリアルタイム映像とロボットに搭載された様々なセンサから得られる状態を映し出すモニターとロボットに搭載されたマイクとスピーカを介してネット電話ができ、遠隔操縦できるコントローラが設置された管制塔の機能を備えた。盗難を防止するためには、ロボットが異常な状態を示す、例えばロックをこじ開けようとした場合やロボットを壊そうとした場合やロボット自体を車に乗せて奪おうとした場合などは、本体に内蔵された加速度センサやロック部分についてのセンサ、商品の有無や状態を示すセンサ、ロボットの速度センサなどが異常を検知し、周囲の映像と音声を録画するとともに遠隔地のオペレータが注意・警告を促すとともに最寄りの契約している警備会社に通報して警備員に駆けつけてもらうことを考えている。ロボットごと車に乗せて奪おうとした場合は、ロボットに搭載された GPS による位置情報をもとに、遠隔地のオペレータがロボットに警告音を発する指示をして、同時に警備会社にその情報を逐一送信し追跡できるようなサービス体制の整備が必要である。

6-3. 遠隔監視での応用として高齢者の 安否確認

宅配時に荷物を届ける際に、カメラを通じて高齢者の様子を確認し、ネット電話機能で声がけを行うことによって安否確認と心のこもったコミュニケーションをすることによって幸せを運ぶサービスを行いたいと思っている。高齢者とのあいさつのパターンはロボットに学習させることによって実際に遠隔地でオペレータがすべての高齢者にリアルタイムに対応しなくても、ロボットのAIが簡単な会話に対応していき、異変、異常を検知した際に人による遠隔からの確認に切り替え、状況によって近所の人を確認にいたり、ヘルパーを派遣したり、深刻な場合は医者や救急車を出動させるなど対応できる人的なネットワークの構築も必要になってくるであろう。

6-4. 見回り・安全セキュリティ

公開したビデオを見た方や実際にロボットのヘッドライトを見た方から、夜間の見回りをしてほしいという希望が寄せられた。配達とともに周囲の様子を確認していたり、夜間ライトをつけた監視カメラ付きロボットが街を巡回していると防犯や抑止力にもなるのではといった潜在的なニーズも確認できた。移動する監視カメラという観点では、地域の住民へのプライバシーの理解と映像データの取り扱い、管理を十分に考慮する必要がある。



(図 52)

CarriRo® Deli のコンセプトムービーからの見回り・セキュリティシーンの画像切り出し

6-5. 商品の注文、受取に関する ユーザビリティ

現在スマホを使って商品をネットで注文し、受取の際はロボットにスマホをかざす仕組みになっているが、高齢者の場合はスマホを使っていない、またインターネットも利用していない方もいる。総務省の2016年1月から2月にかけて行った「通信利用動向調査」では、60歳から69歳までの人のネット利用率は76.6%という高い数値があるが、まだ2割強はネット利用もないことが確認できる。

解決案としては、パソコンでネットをやっている方に対しては、メールでロボットのロック解除番号を通知する。全くネットをやっていない方に対しては、例えばコンビニに牛乳とパンを注文する場合、電話をかけて注文を行い、お店側からロック解除番号を電話で伝えることを考えている。なるべく使いやすいキー入力装置や取り付け場所など考慮する必要がある。

6-6. まとめ

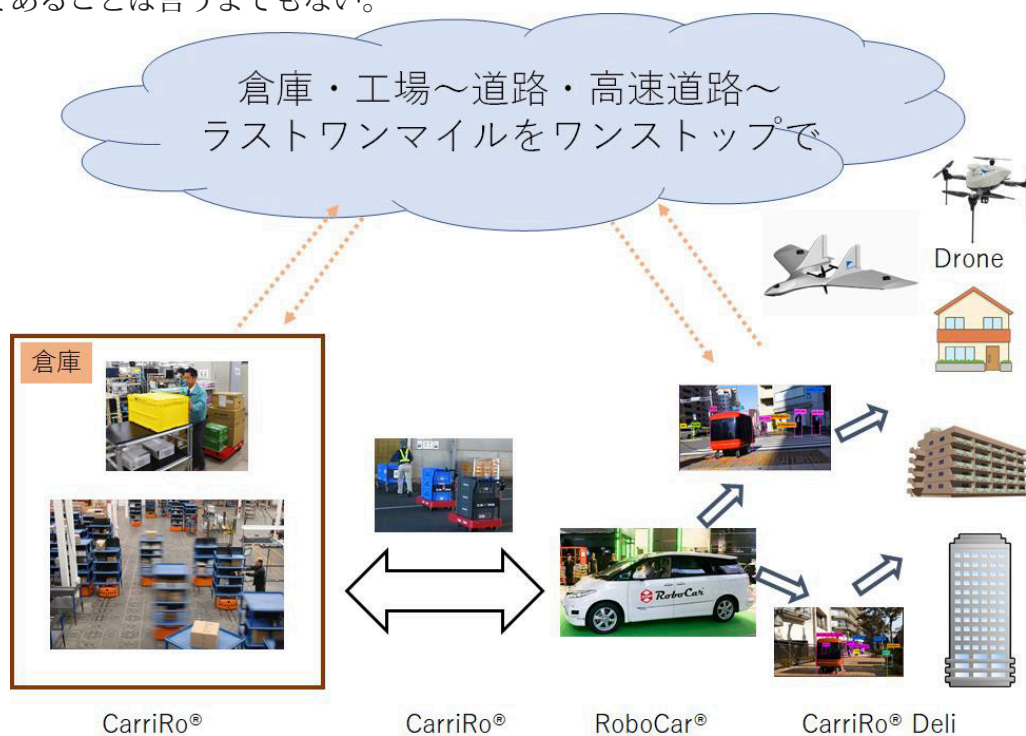
6-6-1. ロボットからアプリへ

筆者はロボット技術を使って人々の生活が変わるサービスへと社会実装していくことが最終の目標である。それは、単にロボットを制作して提供するだけでは社会へ実装したことにはならない。人々がいつも手元に持って自分の欲していることを叶えるインターフェイスであり、それは究極的にはアプリを提供することであると考え。人がスマホやパソコンのアプリに欲しいものを伝え、ロボットはそれを運んでくれる存在である。ただしそれは単なる運搬車両ではなく、人々が行き交う街を移動し、注文した人へ気持ちよく受け渡すことが重要であり、その際にはいくつかの会話を交わすなどコミュニケーションも行うために、それにふさわしい外観やインターフェイスが重要であることは言うまでもない。

6-6-2. 社会問題の解決から新たな楽しさの発見へ

社会問題である少子高齢化、人手不足が及ぼす問題を解決するところから、これまであきらめていたことができるようになる、新たな発見で心躍る瞬間を体験し生き生きとした人生を送れるようになるといった新たな価値を生み出したい。

日本は世界的にも最も早く高齢化が進み、独居高齢者が増加しているが、筆者は単に便利さを提供するアプローチはとらない。人間を中心にデザインしていく。



(図 53)

自律移動技術で物流のワンストップ化構想図

6-6-3. RoboCar® と CarriRo®, CarriRo® Deli の連携

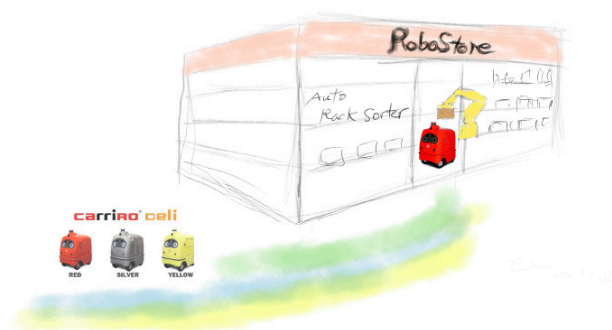
安価で利用できる RoboCar® が、高齢者を自宅から外に連れ出してスーパーに買い物に出してもらうことを第一に考える。スーパーに行くと新鮮な野菜、フルーツ、好物のスウィーツ、さらに見たことがない食べ物に出会う発見・感動が人を元気にさせる。また店員や来店のお客とのコミュニケーションも生まれ孤独感が緩和される。筆者は宅配ロボット CarriRo®Deli は、米やみそ、飲料など日々決まったものを定期配達する役割が良いと思っている。自宅で完結し引きこもってしまわないことが大切であると考ええる。

6-6-4. ミニマルな店舗、ロボストアー

日本では 1970 年代にコンビニが登場したが、それはスーパーよりも低コストで運営でき今や全国津々浦々で 55,695 軒 (38) 存在する。しかし、それでも市街地から離れた大学や過疎地ではコンビニの経営が成り立たず存在しない。現状のコンビニ運営コストをさらに低減すればこれまでなかった地域に市街地と同じような豊富な商品を身近で購入することができる。筆者はミニマルな店舗としてロボストアー (図 54) を提唱する。レジでの会計、対面販売を行わない。慶應 SFC での成果を応用すれば、倉庫の在庫管理、倉庫から商品を取り出しロボットに積み込む作業は一人で可能だ。将来は倉庫からロボットに積み込むピッキング作業もロボットが行うようになれば、無人店舗、つまり筆者が提唱するロボストアー

となり更に運営コストが下がる。

これまで不便といわれた地域でもこのイノベーションを実現することによって、少しでも人々の生活の質の向上に貢献したいと願っている。



(図 54)

ロボストアー構想イメージ

6-6-5. 持続可能なロボットとの暮らし

宅配ロボットは、都市部ではユーザがスマホを使い簡単に注文を行い、ラストワンマイルでの食品やモノの輸送において人手不足を補う役割を担うと考えられるが、地方で高齢者が多い過疎地域では、電話によるオペレーションも必要になる。近年、とくし丸(39)をはじめ軽トラックを使った移動スーパーも徐々に浸透し始めている。とくし丸のようなサービスがまさに中動的生活を提供しているといえる。店員がおじいちゃん、おばあちゃんとのコミュニケーションを通じて、単にほしい商品を販売するだけでなく、普段会話がないうち高齢者も話すことによって元気づけられたり、移動スーパーに集う人たちと井戸端会議の場を作るような、双方一緒になって信頼関係を構築し、より良いサービスを探し創りだしている持続可能な暮らしを提供しているといえる。しかし、移動スーパーは大変きつい労働でもあるため、よほど志が高く、顧客が喜ぶ姿を励みに頑張れる人でないとなかなか務まらないという課題もある。また移動スーパーも収益性を考えて、需要の少ない収益性の低いところはサービスを提供できないといった課題もある。

例えば、そこに宅配ロボットが補完する役割を担うことも考えられる。週に二回届けていたところを輸送費が安くなるので三回に増やせるとか、週に二回のうち一回をロボットに代わってもらう。ロボットにはなじみの店員の声で対応することもでき、遠隔で御用聞きもできることによって店員の労働を軽減するアイデアだ。また収益面を考えると移動スーパーではいけなかった地域

にも、移動スーパーの店員が月に一回は訪問し、その他の日はロボットに代わってもらうことによってより多くの買い物弱者のもとにサービスを届けられると考える。

以上のような過疎地であっても移動スーパーが存在しているところはそれを活用して宅配ロボットと連携することによって、持続可能な暮らしの推進力になりうるかもしれない。

さらに発展させると、移動スーパーも存在しないところでも、移動スーパーとの連携で中動的生活をサポートしてきた知見がロボットのAIとなり、ミニマルな店舗、ロボストアと連携することによって、さらに広範囲な買い物弱者のもとにサービスを届けられると考える。

いずれも筆者が目指すロボットは、機械ではあるが、感情的なコミュニケーションができるようにした顔、特に目を付け擬人化し、気持ちも明るくワクワクするようなポップなカラーにした情緒的ロボットである。それは単に外観だけでなく、声にも優しさや勇気、希望をもちシーンごとに感情が伝わる工夫をし、かつ、会話の内容やサービス全体も、これからデータの蓄積が必要ではあるが移動スーパーの店員のような中動的生活をサポートし、人とロボットが持続可能な暮らしができることが筆者の夢であり、それを今後も探求し続けたいと考えている。

謝辞

主査として3年間にわたり御指導戴いた東京藝術大学美術学部 教授 長濱雅彦先生には、作品作りだけでなく人生においても、芸術という視点を加えて戴き、筆者自身の視座を高めることができましたこと、ここに甚謝の意を表す。

東京藝術大学美術学部作品副査 准教授 山崎宣由先生、論文副査 沖縄科学技術大学院大学 教授 北野宏明先生、副査 東京藝術大学美術学部 准教授 鈴木太朗先生からのご助言を戴き、深謝の意を表す。

ロボットの研究には作品としてデザインし、研究全体を統括した筆者だけでできるものではなく、ロボットの制作には株式会社 ZMP のメカ、エレキ、ソフトウェア、自律移動の制御アルゴリズムのエンジニア、ロボットでサービスを実施するためにはスマートフォンやサーバーのソフトウェアエンジニアなど多数の社員の働きにより実現した。ここに感謝の意を表す。

共同研究先の慶應義塾大学 SFC 研究所、同・大前研究室の教授 大前学先生、塾生の皆様、東京大学工学系研究科精密工学専攻浅間研究室の教授 浅間一先生、特任准教授 田村雄介先生、学生の皆様の多大なる協力を戴いたことに感謝の意を表す。

実証実験においては、ローソン、日本郵便、日立製作所、また自治体としては神奈川県藤沢市、福島県南相馬市、東京都の多大なる協力を戴いたことに感謝の意を表す。

尚、本研究のロボットの研究費の一部は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 NEDO の「AI システム共同開発支援事業」から株式会社 ZMP に御支援戴いた。ここに感謝の意を表す。

APPENDIX 作品の時系列まとめ

	年代		意匠
アイコン	2002～2005年		<p>愛らしく、かつシンプル キャラクター性を持たせ、かつ 機能を満たす工業デザイン 色はポップな赤、黄色と上品な メタリックシルバーとメタリッ クブルー</p>
			<p>技術</p> <p>二足歩行制御 画像による環境認識、判断 遠隔制御・監視</p>
アイコン	2006～2007年		<p>機能重視しシンプル 音響&工業デザイン 色はスタイリッシュな白、ポッ プな黄色、シックで上品な黒</p>
			<p>技術</p> <p>遠隔制御・監視 画像、赤外線測距センサによる 自律移動</p>
機能 + アイコン	2008年～		<p>意匠</p> <p>1/10スケールの車だが目の部分 にかわいさを感じさせるキャラ クター性を持たせた 色は、ポップな赤と黄色</p>
			<p>技術</p> <p>遠隔制御・監視 画像、赤外線測距センサ、レー ザレンジファインダーによる屋 内での自律移動</p>

	年代		意匠
機能	2011年～		<p>市販車にセンサを搭載しただけで、デザインはなし 色は市販車の色をそのまま</p>
			<p>技術</p> <p>屋外、テストコースでの自律移動技術</p>
機能	2012年～		<p>意匠</p> <p>市販車にセンサを搭載しただけで、デザインはなし 色は市販車の色をそのまま</p>
			<p>技術</p> <p>屋外、テストコースでの自律移動技術</p>
機能	2014年～		<p>意匠</p> <p>市販車にセンサを搭載しただけで、デザインはなし 色は市販車の色をそのまま</p>
			<p>技術</p> <p>屋外、公道での自律移動技術</p>

機能+アイコン	年代		意匠
	2014年～		<p>既存の台車をベースにフロントのステレオカメラの処理と荷台の部分にデザイン性を持たせた 色はポップな赤、工場、倉庫での視認性、注意をひく目的も</p> <p>技術</p> <p>基本仕様は、前方の光ビーコンと距離を保ちながら自動追従する技術 屋内での自律移動技術</p>
アイコン+擬人化	2016年～2017年		<p>意匠</p> <p>フロントのライト部分を目に見立てて少しキャラクター性を持たせた 色は、街角になじむように落ち着いた赤と黒</p> <p>技術</p> <p>屋外、歩道での自律移動技術</p>
	2018年～		<p>意匠</p> <p>フロント全体を顔に見立て、特に目をフルカラーLEDで表情を出すキャラクター性を持たせた 色は、ポップな赤、黄色、上品なメタリックシルバーとメタリックブルー</p> <p>技術</p> <p>屋外、歩道での自律移動技術</p>

参考文献

- (1) 中動態の世界意志と責任の考古学、國分功一郎 (著)
- (2) ニコマコス倫理学〈上・下〉(岩波文庫) 文庫 アリストテレス (著)、高田三郎 (翻訳)
- (3) エスノグラフィー 京都大学大学院情報学研究所社会情報学専攻辻高明 (著) <http://www.aisoc.i.kyoto-u.ac.jp/field/chapter5.html>
- (4) 平成 29 年 7 月総務省行政評価局, 買物弱者対策に関する実態調査結果報告書
http://www.soumu.go.jp/main_content/000496982.pdf
- (5) 一般社団法人日本物流団体連合会 2017 年 6 月 29 日
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/023_02_01.pdf
- (6) 谷口恒: ユーザの好みの場所に移動し, 音楽を再生するロボット miuro (ミューロ), 日本ロボット学会誌
- (7) セグウェイがスケート型になった「DriftW1」<https://www.gizmodo.jp/2018/07/drift-w1-e-skates.html>
- (8) 未来の Robot Commuter 「ホテル」<https://youtu.be/2XbrZ5me2E4> 谷口恒, 東京藝術大学長濱研究室: 宅配ロボット CarriRo® Deli 構想, 2016 年制作, <https://youtu.be/QpGTOZRdwCI>, 最終アクセス日 2018 年 12 月 8 日
- (9) トヨタグローバルニュースルームホームページ <https://newsroom.toyota.co.jp/jp/corporate/20508200.html>
ビデオ <https://youtu.be/-z09mlA2mLU>
- (10) スペキュラティブ・デザインは、RCA (=ロイヤル・カレッジ・オブ・アート) の教授であるアンソニー・ダン (英語版) が提唱したデザインの立場
- (11) 谷口恒, 東京藝術大学長濱研究室: 宅配ロボット CarriRo® Deli 構想, 2016 年制作
<https://youtu.be/QpGTOZRdwCI>, 最終アクセス日 2018 年 12 月 8 日
- (12) 本田技研工業株式会社ホームページ <http://www.honda.co.jp/ASIMO/history/asimo/index.html>
- (13) ソニー株式会社ホームページ <https://www.sony.co.jp/SonyInfo/CorporateInfo/History/sonyhistory-j.html>
- (14) JST ホームページ http://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/kks2_PJ.html Vol.26, No.1, p .34-35 (2007)
- (15) 「PINO」 JST ホームページ http://www.jst.go.jp/erato/research_area/completed/kks2_PJ.html, Kitano, H, Yamasaki, F, Matsui, T, Endo, K, Matsuoka, Y, Kaminaga, H and Kato, Y, The Story of PINO, International Journal of Humanoid Robotics, Vol. 01, No. 03, pp. 449-463 (2004)
- (16) 「nuvo」の記事 PC Watch <https://pc.watch.impress.co.jp/docs/2005/0413/zmp.htm>
- (17) ロボット工業会 No.197 音楽ロボット「miuro® (ミューロ)」2010.11, ITmedia <http://www.itmedia.co.jp/lifestyle/articles/0704/26/news068.html>
首都大学東京久保田直行教授 http://www.comp.sd.tmu.ac.jp/kubota-lab/hp/robot/miuro/miuro_jp.htm
- (18) Pepper ホームページ <https://www.softbank.jp/robot/special/pepper/>, 最終アクセス日 2018 年 4 月 18 日
- (19) ロボホンホームページ <https://robohon.com/>, 最終アクセス日 2018 年 4 月 18 日
- (20) 谷口恒 松田光平 鯉坂志門: 自動運転技術の応用, 自動車技術会, 2017 年 5 月発行 No.4-17
- (21) 谷口恒: カーロボティクス研究用プラットフォームロボット・カー自動車技術会, Vol.64, No.5, p.83-86(2010)
- (22) 谷口恒: カーロボティクス・プラットフォーム RoboCar® シリーズロボット工業会, Vol.199, No.1, p .54-57(2011)
- (23) 谷口恒: ロボット技術が切り拓く新しいクルマ産業 自動車技術会, Vol.66, No.6, p .9498(2012)
- (24) ZMP の 2017 年のお台場走行の様子 <https://youtu.be/Nw4R28bp9e4>, シンギュラリティ大学ジャパンサミットでの送迎の様子
<https://youtube/6YrtG47JmD4>
- (25) エアロセンス株式会社ホームページ <http://www.aerosense.co.jp/vtol>, 最終アクセス日 2018 年 7 月 31 日
- (26) ZMP Inc.: 物流支援ロボット「CarriRo」, <https://www.zmp.co.jp/carriro/>, 最終アクセス日 2018 年 1 月 14 日
- (27) 2014 年キャリロ構想ビデオ https://www.youtube.com/watch?v=U2ahfGX_h4
- (28) セグウェイのホームページ <https://www.segway-japan.net/>
- (29) 谷口恒, 東京藝術大学長濱研究室, 2016 年制作, CarriRo Express 構想
<https://youtu.be/qR8-yBp-j80>, 最終アクセス日 2018 年 1 月 14 日
- (30) 経済産業省ハンドル形電動車いすの仕様について http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha04/01/010108_2/04.pdf
- (31) FeliCa はソニー株式会社の登録商標である
- (32) 日本工業規格 JIS A4301-1983 エレベータのかご及び昇降路の寸法 <http://kikakurui.com/a4/A4301-1983-01.html>
- (33) QR コードはデンソーウェーブの登録商標 (第 4075066 号) である
- (34) 「視覚 83.0%、聴覚 11.0%、臭覚 3.5%、触覚 1.5%、味覚 1.0%」と図示されている。
『屋内照明のガイド』(照明学会編 電気書院 1980)
- (35) 人間のコミュニケーションの 93% は非言語によるものである
<https://blog.hubspot.com/marketing/effectiveness-infographics>: Lindsay Kolowich (著)
- (36) 新潮文庫 <https://www.shinchosha.co.jp/book/109601/>
- (37) 長谷川町子による日本の漫画を原作とするテレビアニメホームページ <https://www.fujitv.co.jp/sazaesan/index.html>
- (38) 一般社団法人日本フランチャイズチェーン協会加盟店舗数 <http://www.jfa-fc.or.jp/particle/320.html>
- (39) 村上稔 著書「買い物難民を救え - 移動スーパーとくし丸の挑戦」 緑風出版

参 考 図

- (図 1) 情緒的ロボットの創出
- (図 2) 中動的な生活出展：経済産業省「電子商取引実態調査」2013
- (図 3) 水平調整型、垂直統率型出展
- (図 4) 経済産業省「電子商取引実態調査」2013
- (図 5) 国土交通省「平成 27 年度宅配便取扱個数の調査」
- (図 6) 一般社団法人日本物流団体連合会 2017 年 6 月 29 日
http://www.meti.go.jp/committee/sougouenergy/shoene_shinene/sho_ene/pdf/023_02_01.pdf
- (図 7) 国立社会保障・人口問題研究所
- (図 8) 厚生労働省 賃金構造基本統計調査より 国土交通省物流政策課作成
- (図 9) miuro-car のコンセプト、谷口恵恒
- (図 10-14) ロボットコンピューター「ホタル」<https://youtu.be/2XbrZ5me2E4>
- (図 15) トヨタグローバルニューズルームホームページ
<https://newsroom.toyota.co.jp/jp/corporate/20508200.html> ビデオ <https://youtu.be/-z09mlA2mLU>
- (図 16) ZMP 家庭用二足歩行ロボット nuvo® の 3DCAD 図面
- (図 17) ZMP 家庭用自律移動型音楽ロボット miuro® 3DCAD 図面
- (図 18) ZMP 自動走行車 RoboCar® の内装イメージ
- (図 19) ZMP 車載ステレオカメラ RoboVision® 画像処理
- (図 20) ZMP 車載ステレオカメラ RoboVision® 3 サラウンドビューシステム
- (図 21) ZMP 自動運転用ソフトウェアプラットフォーム IZAC® システム構成図
- (図 22) エアロセンスの VTOL が輸送に成功した石垣島と竹富島、出典：Google マップ
- (図 23) ZMP 物流支援ロボット CarriRo® コンセプトシート
- (図 24) CarriRo® 活用シーンイメージ
- (図 25) CarriRo® コンセプトムービーから画像抜粋
- (図 26) CarriRo® ハンドル部分の操作インターフェイス
- (図 27) CarriRo®, 凸版印刷の RFID タグ、SAP の WMS・ERP との連携
- (図 28) CarriRo® Deli の CG 画像
- (図 29) CarriRo® Deli のコンセプトムービーからの画像抜粋
- (図 30) CarriRo® Deli の主要機構、機能部図
- (図 31) CarriRo® Deli の仕様図
- (図 32) ロボットの研究プロジェクトチーム
- (図 33) 幕張ベイタウンのエリア、出典 Google マップ
- (図 34) スマホで注文、CarriRo® Deli が配達することことまでのインターフェイスデザイン
- (図 35) 寿司を配達したコース、出典 Google マップ
- (図 36) 寿司配達時のロッカー内の温度、湿度、露点温度計測データ
- (図 37) 寿司配達コース、出典 Google マップ
- (図 38) CarriRo® Deli が様々なシーンで活躍するイメージ
- (図 39) CarriRo® Deli G1 と G2 の比較
- (図 40) CarriRo® Deli G2 CAD 三面図
- (図 41) G2 の原案スケッチ、谷口恵恒
- (図 42) CarriRo® Deli G2 デザイン図
- (図 43) CarriRo® Deli G2 宅配ボックスと想定する収納イメージ図
- (図 44) デザイン思考の変化の推移
- (図 45) 擬人化デザイン
- (図 46) きかんしゃトーマスホームページ <http://www.thomasandfriends.jp/about/original.html>
- (図 47) CarriRo® Deli G2 の様々な表情、フロントの目、リアのディスプレイのパターン図
- (図 48) CarriRo® Deli G2 の音声一覧
- (図 49) 環境に調和する自動車に使われる明度、彩度を持ったレッドの領域とロボットらしい愛くるしさ、新しさ、違和感のあるレッドの領域
- (図 50) サザエさん 三河屋のサブちゃん 長谷川町子の漫画を原作とするテレビアニメホームページ
<https://www.fujitv.co.jp/sazaesan/index.html>
- (図 51) 慶應 SFC でのサービス実証の役割図
- (図 52) CarriRo® Deli のコンセプトムービーからの見回り・セキュリティシーンの画像切り出し
- (図 53) 自律移動技術で物流のワンストップ化構想図
- (図 54) ロボストア構想イメージ

参 考 写 真

- (写真 1) miuro-skate のコンセプトを再現、谷口恵恒
- (写真 2) セグウェイがスケート型になった「DriftW1」
<https://www.gizmodo.jp/2018/07/drift-w1-e-skates.html>,
Segway 社ホームページ
<http://www.segway.com/products/consumer-lifestyle/segway-drift-w1>
- (写真 3) 本田技研工業株式会社ホームページ
<http://www.hondaco.jp/ASIMO/history/asimo/index.html>
- (写真 4) ソニー株式会社ホームページ
<https://www.sony.co.jp/SonyInfo/CorporateInfo/History/sonyhistory-j.html>
- (写真 5) 「PINO」 JST ホームページ
<http://www.jst.go.jp/>
- (写真 6) ZMP 家庭用二足歩行ロボット nuvo®
- (写真 7) ZMP 家庭用自律移動型音楽ロボット miuro®
- (写真 8) ZMP 自動走行車 RoboCar® 1/10
- (写真 9) ZMP 自動走行車 RoboCar® MV
- (写真 10) ZMP 自動走行車 RoboCar® MV2
- (写真 11) ZMP 自動走行車 RoboCar® HV
- (写真 12) ZMP 自動走行車 RoboCar® MiniVan
- (写真 13) ZMP 車載ステレオカメラ RoboVision® 2
- (写真 14) ZMP 車載ステレオカメラ RoboVision® 3
- (写真 15) 2015 年 11 月 5 日に開催された官民対話
出典：日刊工業新聞
- (写真 16) トーチュウ F1 EXPRESS 出典：中日新聞
http://f1express.cnc.ne.jp/flash/index.php?cat_id=248&teiko_id=291816&archive_flg=&now_page=4#
- (写真 17) 出典：朝日新聞 DIGITAL
<https://www.asahi.com/articles/photo/AS20171214003987.html>
- (写真 18) 出典：NEWSPICKS、日刊自動車新聞
<https://newspicks.com/news/1421405/body/>
- (写真 19) ZMP YouTube 動画から画像抜粋
<https://www.youtube.com/watch?v=6YrtG47JmD4>
- (写真 20) 「Robot Shuttle (ロボットシャトル)」の一般向け試乗イベント
出典：株式会社インプレストラベル watch
<https://travel.watch.impress.co.jp/docs/news/1056703.html>
- (写真 21) 出典：businessnetwork.jp
<https://businessnetwork.jp/Detail/tabid/65/artid/5853/Default.aspx>
- (写真 22) エアロセンス株式会社ホームページ
<http://www.aerosense.co.jp/multicopter>,
最終アクセス日 2018 年 12 月 12 日
- (写真 23) エアロセンス株式会社ホームページ
<http://www.aerosense.co.jp/vtol>,
最終アクセス日 2018 年 12 月 12 日
- (写真 24,25) エアロセンス株式会社
- (写真 26) 撮影：谷口恵恒
- (写真 27-32) 株式会社 ZMP
- (写真 33) 出典：テレビ東京ワールドビジネスサテライト
- (写真 34,35) 株式会社 ZMP
- (写真 36) アマゾン・ドット・コムでのロボット導入例
出典：cache.boston.com
- (写真 37,38) 株式会社 ZMP
- (写真 39,40) 撮影：谷口恵恒
- (写真 41) セグウェイ社ホームページ
<http://www.segway.com/products/professional/segway-i2-se>
- (写真 42) 株式会社 ZMP
- (写真 43) 撮影：谷口恵恒
- (写真 44) 出典：TBS テレビ「N スタ」
2017 年 10 月 9 日放映より抜粋
- (写真 45) 出典：TBS ニュース「あさチャン」
2017 年 10 月 9 日放映より抜粋
- (写真 46,47) 出典：テレビ東京「ワールドビジネスサテライト」2017 年 12 月 21 日放映から抜粋
- (写真 48) 株式会社 ZMP
- (写真 49) 撮影：谷口恵恒
- (写真 50) Gigazine
<https://gigazine.net/news/20160707-starship-test-self-driving-delivery/>
- (写真 51) AFPBB News
<http://www.afpbb.com/articles/-/3080875>
- (写真 52) Robotics & Automation News
<https://roboticsandautomationnews.com/2016/06/14/dhl-launches-robotics-challenge-to-build-self-driving-delivery-cart/5157/>
- (写真 53) 人民網日本語版
Record China <https://www.recordchina.co.jp/b615798-s0-c30-d0035.html>
- (写真 54,55) 撮影：谷口恵恒
- (写真 56,57) 株式会社 ZMP
- (写真 58) 中国 京東の公式 Youtube
<https://youtu.be/Hi42EwKAM4U>
- (写真 59) Postmasters Inc. のロボット Serve
BIGLOBE ニュース https://news.biglobe.ne.jp/trend/0110/kpa_190110_0983188119.html
- (写真 60,61) 新潮文庫 <https://www.shinchosha.co.jp/book/109601/>
- (写真 62-63) 撮影：谷口恵恒
- (写真 64) 2017 年 10 月 13 日 The Japan Times
公開ビデオからの画像抜粋
<https://youtu.be/UuvNOUmLxa0>