慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	Driverless Carのデザインと実装 : 南伊勢町における実証実験を通して
Sub Title	Design and implementation of the Driverless Car : proof of concept in Minamiise-cho
Author	浦瀬, 裕基(Urase, Hiroki) 奥出, 直人(Okude, Naohito)
Publisher	慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科
Publication year	2016
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2016年度メディアデザイン学 第519号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40001001-00002016-0519

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文 2016年度（平成28年度）

Driverless Carのデザインと実装：南伊勢町における実証実験を通して

慶應義塾大学大学院
メディアデザイン研究科

浦瀬　裕基

本論文は慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科に
修士 (メディアデザイン学) 授与の要件として提出した修士論文である。

浦瀬　裕基

審査委員：

奥出 直人 教授　（主査）
石戸 奈々子 准教授　（副査）
古川 享 教授　（副査）

修士論文 2016年度（平成28年度）

Driverless Carのデザインと実装：南伊勢町における実証実験を通して

カテゴリー：デザイン

論文要旨

本論文では、Last One Mileにおいて利用者が自在に移動ができるようにするDriverless Carのデザインと設計・実装について述べる。Driverless Carは、歩行者空間も走れるような車両とこうした環境にむけた自律走行機能を搭載することで、Last One Mileにおいて人々に移動体を提供する。本研究では、三重県南伊勢町で行われたフィールドワークをもとにDriverless Carのコンセプトを設計した。また、設計したコンセプトから実装を行い、これを用いて、南伊勢町における実証実験を行い、その有効性を実証した。

キーワード：

ドライバーレスカー, ラストワンマイル, 自律走行車, モビリティサービス, サービスデザイン

慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科

浦瀬　裕基

Abstract of Master's Thesis of Academic Year 2016

Design and Implementation of the Driverless Car : Proof of Concept in Minamiise-cho

Category: Design

Summary

This paper describe design and implementation of driverless car which enables users to freely move in Last One Mile. Driverless Car offers vehicles that can run pedestrian space and autonomous driving functions for such environments to provide people with mobiles in Last One Mile.

In this research, we designed the concept of driverless car based on the fieldwork conducted in Minamiise cho, Mie Prefecture. In addition, we implemented from the designed concept and used it to demonstrate the experiment in Minamiise cho and demonstrated its effectiveness.

Keywords:

Driverless Car, Last One Mile, Autonomous Car, Mobility Service, Service Design

Keio University Graduate School of Media Design

Hiroki Urase

目　　次

第 1 章　序論 **1**

第 2 章　関連研究 **7**

2.1. 自律走行車 7

2.2. モビリティサービス 9

2.3. モビリティの社会への貢献 13

2.4. 本論文が貢献する領域 14

第 3 章　デザイン **15**

3.1. コンセプト 15

3.2. 設計 19

コントロールボード 19

ソフトウェア設計 22

3.3. 実装 24

ラジコンカーを用いたプロトタイピング 24

Driverless Car 実装 27

実証実験の改善点の改良 31

第 4 章　Proof of Concept **37**

4.1. Proof of Concept 37

南伊勢町における実証実験 37

改良した Driverless Car の実証実験 40

観察・検証、結果の考察 41

4.2. 実証実験のまとめ 42

Proof of concept 42
Driverless Car の改善点 43

第 5 章　結論と今後の展望 **54**
5.1. 結論 54
5.2. 今後の課題 56
5.3. 今後の展望 57

謝辞 **58**

参考文献 **59**

図　目　次

1.1　南伊勢町 2

2.1　Stanley 8
2.2　iRoad 10
2.3　ROPITS 10
2.4　Autonomous Golf Car 12

3.1　システム構成図 19
3.2　コントロールボード構成 20
3.3　コントロールボードによるメリット 21
3.4　LRF を用いたマップ 22
3.5　LIDAR を用いたマップ 22
3.6　コントロールボードブロック図 23
3.7　ラジコンカーのハードウェア構成図 25
3.8　実装したラジコンカー 25
3.9　ラジコンカーを使ったマッピング 26
3.10　協生館 3F の地図 26
3.11　自己位置推定 27
3.12　自己位置推定が上手くいかないとき 28
3.13　HONDA モンパル 29
3.14　ハードウェア構成図 29
3.15　ステッピングモーターの固定 30
3.16　モータードライバー 31
3.17　アクセル部の取り外し 32

3.18 コントロールボード 33
3.19 モンパルへ移植 34
3.20 CVD245B-K 34
3.21 コントロールボードの改良 35
3.22 コントロールボード取付台 36
3.23 Car Like Robot の経路計画 36

4.1 南伊勢町棚橋竈集落 38
4.2 コントロールボードの取り付け 39
4.3 Driverless Car プロトタイピンプ 1 40
4.4 Driverless Car プロトタイピンプ 2 41
4.5 マッピングをの様子 1 42
4.6 マッピングをの様子 2 43
4.7 マッピングをの様子 3 44
4.8 地図を作成する上で配置した車両 45
4.9 作成した地図 46
4.10 Y さんが乗車している様子 47
4.11 A さんが乗車している様子 48
4.12 中西金属工業株式会社 48
4.13 作成した地図 (屋内) 49
4.14 作成した地図 (屋外) 50
4.15 H さんが乗車している様子 (屋内) 51
4.16 K さんが乗車している様子 (屋内) 52
4.17 H さんが乗車している様子 (k さんが前を通り、検知して止まっている) 52
4.18 K さんが乗車している様子 (屋外) 53

第1章
序　　論

20世紀では自動車を所有することが社会的なステータスであったらしい。20世紀社会は、内燃機関を使って移動体をデザインし、それを「自動車」と命名して、この新しい機械を軸に新しい生活をデザインして人々に提供した時代であり、商業施設、住宅地も自動車を中心として都市計画が進められた。こうした時代背景から、その移動体経験は「機械の所有」と「移動のスピード」であり、多くの人が社会的なステータスとして自動車を所有するライフスタイルを送っていた。しかし、現在の日本社会を見てみると「所有」と「スピード」という移動体経験に魅力を感じる人々は少なくなってきており、私もその一人であるが若者の車離れといった話をよく耳にするようになった。実際に、日本では新車の自動車需要が年々減ってきており、今後もこの流れが加速していくことが見込まれている。

しかし、移動体が不要になったわけではない。少子高齢化が進む日本では、特にLast One Mile[1] といった領域で移動体を必要としてる人が増えている。

少子高齢化、過疎化地方では、労働人口の減少などによりこうしたLast One Mile問題が良く見られる。そうした少子高齢化の進む地域のひとつに、三重県南伊勢町がある。南伊勢町は、日本において過疎化が進む町の一つであり、人口に14080人で1万人を超えた市町村では全国で4番目の高齢化率を持つ町である。東西に伸びた長い形をしていて、唯一の国道260号線に沿って、38の集落が点在し

1　普段の生活の移動においては、バス・電車といった公共交通から最後の目的地までの移動手段がない状態

図 1.1: 南伊勢町

ている（図 1.1）。公共交通機関は、路線バスとデマンドバスがあるが自動車が入れる国道 260 号線に近い場所に停留所があり、自宅までの移動体が提供されていない。これらの交通機関は、本数が少なく、最終のバスが早く、国道までしかアクセスできない、といった不便さがある。2016 年 9 月 28 日に南伊勢町行政経営課若者定住対策係の山本さんの講演の聴講とヒアリングを通して、南伊勢町は大きなスーパーが 38 の集落の内 2 箇所しかなく、日用品などは数日分の買いだめが必要であり、Last One Mile を重たい荷物を持って歩いて移動しなければならないという実態であることが分かった。また、お年寄りだけではなく町外の学校へ通う学生にとっても移動に不便を感じているという方が多いが分かった。

もちろん移動は買い物や通学だけではない。2016 年 8 月 18,19 日の南伊勢町にてインタビューを行った路線バスの運転手の中田さんは、週末に釣り出かけ、2016 年 7 月 14 日,15 日に南伊勢町にてインタビューを行った南伊勢町で写真館を営む橋川さんもまた、町内での寄り合いや毎週友人とカラオケに行ったり、週に 3 回ほどは外出している。このように、多くの住人が外出して余暇を楽しんでいる。地元の人が余暇を楽しく過ごすにも移動体が不可欠であることが分かる。また、

こうした地域では豊富な観光資源があるが、移動が不便といった理由で活用されないでいる。例えば、南伊勢町は三重県で漁獲高第 1 位で、釣り名所とし有名だ。堤防釣り、筏釣り、海上釣り堀、磯渡しといった、東京近郊などでは楽しめない釣りができる[2]。しかし、観光客はこうした場所に移動するにも自分で移動しなければいけないことは明白である。

しかし、こうした過疎地では移動サービスは、ドライバー不足や運営コストの抑制といった問題がある。2016 年 8 月 18,19 日に南伊勢町においてデマンドバスを運営している大新東株式会社の南伊勢営業所所長の古市さんへのインタビューでは、デマンドバスの利用率が約 100%であるが台数を増やせないと述べていた。それは、町の高齢化推移から見ると、今後利用者層が 45 50%減少することが人口減少によって予測されているため、長期的に見ると台数を増やすという決定ができないといった理由を挙げていた。そのため、デマンドバスの台数を増やすことは、費用対効果が低いと古市さんは述べていた。運営コストの抑制やドライバー不足があっても、高齢化が進む過疎地域では、高齢者等の移動手段の確保が重要な課題としてあり、国や地方自治体が補助金や助成金を提供する制度が設けられている[3]。南伊勢町で提供されている、デマンドバスや路線バスはこういった制度を利用しているが、前述のように現状運行数を多くすることは難しい。

そこで本研究では、Last One Mile 問題が顕著な過疎地域の人々が地域内の好きなところへ自由に移動できるようにする Driveless Car のデザイン、制作を行った。Driverless Car は、利用者が乗り降りしたい場所まで送迎し、特定の区間だけの運行ではなく、設定した目的地までの移動できる。そのため利用者は、自宅まで Driveless Car に来てもらい、自分が行きたい目的地まで移動でき、通院、通学以外にも、釣り場や町の寄り合いといった利用もできる。Driverless Car は、これまでドライバーが担っていた運転やサービスを自律走行機能を搭載したコントロー

2 南伊勢町ホームページ,http://www.minami-ise.jp/index.html

3 経済産業省,「地方公共団体における買物弱者支援関連制度一覧」, http://www.meti.go.jp/policy/economy/distribution/28fyjichitai.pdf,(2016 年 4 月)

ルボードが担い、利用者に提供する。また、自律走行車を利用することで、ドライバー不足を解決が期待できる。

自律走行は、近年実用化にむけて大きな動きがある。グーグルは、2009 年から自律走行車のプロジェクトに取り組んでおり、すでに何万マイルの走行テストを行っている。また、MIT からスピンアウトしたヌートノミーは、2016 年 8 月に自律走行配送サービスの公道における実証実験を行っている。しかし、こうした自律走行車は、今日多くの人が運転する自動車に自律走行機能を搭載し高速道路や町の公道を移動を目的としている。

一方で南伊勢町などの過疎地域における Last One Mile の移動は、前述したものとは異なる。これまでの公共交通機関が行き届かなかった道や、自動車が入り込めないような歩道などがある。Driverless Car は、このような Last One Mile を走れるようなコンパクトな車体を利用し、こうした環境まで配車できるような自立走行システムを搭載する。これにより利用者は、いつでもどこでも移動体を使うことができ、買い物、通院・通学が快適になり、地域との交流など移動を使った余暇を楽しむことができる。

本研究は、中西金属工業株式会社及び南伊勢町と共同研究プロジェクトであり、Last One Mile に向けたモビリティサービスデザインを行う慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 OIKOS で発足した MaaS プロジェクトによるものである。Driverless Car をデザインするにあたり、プロジェクトメンバーによって 3 つのフィールドワーク調査が行われた。この調査をもとに、Driverless Car のコンセプトを設計し、そのプロトタイピングを行った。本研究では、自律走行機能をもつコントロールボードを実装するにあたりラジコンカーを用いた。Driverless Car の開発は、ソフトウェアの開発が多くの部分占める。ソフトウェアの中核となる自律走行機能をラジコンカーで実装することで、機能の開発と検証を早く行える。そのため、この方法を使うことで Driverless Car のプロトタイピングを早期に実装でき、テストを繰り返すことができる。本論文では、私が担当した Driverless

Car のデザイン・設計、また Driverless Car のプロトタイピングを実際に南伊勢町に住む方に利用してもらい、Driverless Car が有効であるか否かについて述べる。

本研究では、三重県南伊勢町で行われた 3 つの調査をもとに「Driverless Car」のデザインを行った。1 つ目の調査は、2016 年 6 月 15 日,16 日に三重大学社会連携特任教授の川口さん 84 歳が、どのように移動しながら町内で生活しているかをフォーカスポイントに行われた。この調査では、Driverless Car のデザインにおいて大きな公道でのスピードの速い移動ではなく、坂道や狭い道でゆっくり安全に移動できる車体を選択することにつながった。2 つ目の調査は、2016 年 7 月 14 日,15 日に南伊勢町迫間浦にてデマンドバスを利用している羽根さんと、原付を使って普段から利用している写真館を営む橋川さんが、集落に住む人々がどのように助け合って、買い物や通院、通学のために移動し、離れた町との交流をしているかをフォーカスポイントに行われた。この調査では、Driverless Car のデザインにおいて、荷物などのを簡単に載せれるような柔軟に利用できる車体が選択できるようにし、送迎は家の前の細い道までできるよう無人でも送迎が行えるような自律走行システムを組み込むことにつながった。3 つ目の調査では、2016 年 8 月 18,19 日に南伊勢町迫間浦にてデマンドバスを運営している古市さんがデマンドバスや町営バスを利用してどのように移動しているか、またデマンドバスの運営者がどのように利用者とコミュニケーションをとって、日程や走る場所のマネジメントをしているかをフォーカスポイントに行われた。この調査では、複数の Driverless Car がサービスとして機能するよう、オペレーションセンターやサーバーとのやりとりを想定し、情報伝達を決められたデータセットとして出力できるような仕組みにつながった。

本論文は全 5 章で構成される。

第 2 章では、本研究でデザインした Driverless Car に関連する研究事例を、移動体サービス、自律走行サービス、自律走行要素技術の 3 領域から概観し、それらを引き合いに出した上で本研究の位置付けを明文化する。

第 3 章では、Driverless Car のコンセプトやその設計アプローチ、行った調査内

容、及びシステム実装の詳細について述べる。

第 4 章では、Driverless Car のプロトタイプを用いて開発した Driverless Car を南伊勢町の方に実際に乗車してもらいコンセプトの価値を検証、及びその結果から考察と評価を行う。

第 5 章では、本論文における結論と課題、及び今後の展望について詳述する。

第2章
関 連 研 究

第2章では、本研究でデザインしたDriverless Carに関連する研究事例を、自律走行、パーソナルモビリティ、モビリティサービスの3領域から概観し、それらを引き合いに出した上で本研究の位置付けを明文化する。

2.1. 自律走行車

センサーを搭載した自律走行車

従来の車両に環境認識のセンサーを取り付けることで、自律走行車を作ることができる。自律走行は、これまで人間が行っていた車両の操作をロボット[1]が代替することによって実現する。ロボットは、センサを通じて環境の情報を知覚し、物理的な力を介して何らかの操作を行う。自律走行車の場合は、周辺の環境を認識するための距離センサーと、ロボット自身がどう動いているかを認識するセンサーを搭載することで、モーターやステアリングの操作を行う。米国のDARPA Grand Challenge 2005[2]において、スタンフォード大学のStanleyは、Volkswagen Touareg R5に、環境情報と自分の動きを知覚するためのGPS、LRF、RADAR、IMU、Cameraの4種のセンサーとWheel Encorderを用いて自律走行を実装し初の完走を果たした(Thrun et al. 2006)(図2.1)。

---

1 ここでは、自律走行を行う車体

2 DARPAグランド・チャレンジは、国防高等研究計画局（DARPA）によるロボットカーのロボットカーレースである。

図 2.1: Stanley

自律走行における自己位置推定

ロボットは、こうした周辺の環境や自分の動きを認識するセンサー情報を利用することで、自分の位置を推定する。ロボットが自立走行するためにはまず、自分の位置を知る必要がある (Cox 1991)。なぜなら、環境の地図を持っていても、自分の位置が定まらないとどこに進んでいいか分からないからだ。そのため、これらのセンサー情報を利用して内部モデルを作ることで自己位置推定を行う。Monte Carlo Localization(MCL) は、ロボットがマップ内において自己位置推定を行うための手法である (Fox et al. 1999)。

自律走行車の経路計画

自律走行ロボットは、環境の地図と自分の位置が分かることにより、経路計画ができるようになり自在に動けるようになる。経路計画アルゴリズムは、数多く提案されているが、すべてのアプローチに類似したものとなっている (Siegwart et al. 2011)。提案されて手法のなかでも、A*アルゴリズムは多くの自律走行者の経路計画に使われいる。前述したスタンフォード大学の Stanley の後継機であ

る Jounor も、A*アルゴリズムを応用した経路計画計画を用いており、DARPA Grand Challenge 2007 Urban Challenge[3]において完走を果たした。

本研究では、前述した関連研究を踏まえて自律走行のためセンサー、自己位置推定、経路計画を用いて Drierless Car の設計を行った。これらの手法を利用するにあたり、Robot Opereting System(ROS) を利用した (Quigley et al. 2009)。ROS は、プロセスのスケジュールがマネジメントを行うロボット用のミドルウェアである。また、Open Source の BSD ライセンスとして公開されており、前述した MCL[4]や A*[5]などのアルゴリズムも同様に BSD ライセンスで公開されている。

2.2. モビリティサービス

前節では、自律走行の要素技術を概観し、それらを組み合わせることで、Driverlees Car が環境内を自在に移動できるようになるとを述べた。Lawrence Burns は、新しいモビリティは、Driverless Car、適した形でユーザーにモビリティを提供する Tailored vehicles、車両同士が情報のやり取りを行う Connected vehicles、駐車場の予約などを行う Coordinated vehicles、といった考え方が組み合わさることによって達成できると述べている (Burns 2013)。そこで本節では、Tailored vehicles、Connected vehicles、Coordinated vehicles について概観し、これらの技術を用いることで Driverless Car を設計することによって、利用者がいつでもどこでもモビリティを利用できるようになることを述べる。

3　3 度目の DARPA グランドチャレンジは”アーバン チャレンジ”として知られ、2007 年 11 月 3 日に今では閉鎖された南カリフォルニア物流空港で開催された。コースは市街地を想定した総延長 96km で 6 時間以内に完走することが求められた。

4　`http://wiki.ros.org/amcl`

5　`http://wiki.ros.org/global_planner`

Tailored vehicles

Tailored vehicles は、その場所や利用人数に適したモビリティを提供することである。日本においては、TOYOTA の iRoad のように、Personal Mobility Vehicle(PMV) として発展を遂げてきている (図 2.2)。さらにこうした、PMV に自律走行機能を搭載しものとして、株式会社日立製作所の山本らは、「ROPITS」という次世代近距離移動システムを提案し、歩行者空間での移動を提供する。つくば特区において実証実験を行った (山本健次郎 2015)(図 2.3)。「ROPITS」は、歩行者空間における「ドア to ドア」での自律走行ができる。速度は 10km/h 以下の走行を行い、歩行者空間におけるモビリティとして開発された。実証実験では、茨城県つくば市のモビリティロボット実験特区[6]において、102 人に搭乗してもらい、アンケートを調査を実施した。この結果、必要性の意識に関するアンケート項目は、80%が肯定的であり、否定的な意見は 3%であった。このように、自律走行を搭載したパーソナルモビリティは、これまでモビリティが提供されていなかった歩行者空間における移動手段を提供し、人々が移動しやすさを向上させている。

図 2.2: iRoad

図 2.3: ROPITS

6　ロボット特区実証実験推進協議会 http://council.rt-tsukuba.jp/

Connected vehicles

Connected vehicle は、モビリティを IOT として扱い、車両情報をクラウドに上げ、ハンズフリーの電話やナビゲーション、緊急時のレスポンスといったサービスを提供する。自律走行を搭載した車両では、自分の位置や目的地、現在の状態などを上げることによって、デマンドサービスを提供できる。自律走行機能を搭載した事例としては、National University of Singapore の Scott Pendleton らが開発した自律走行機能を搭載した Golf Cart がある (Pendleton et al. 2015)(図 2.4)。この Golf Car は、アプリケーションを使ってモビリティの予約でき、公園内の決められたポイントまで配車し利用できる。この Golf Car を用いて、2014 年に 10 月 23 日から 11 月 1 日にかけて、Chinese and Japanese Gardens において実証実験が行われた。実験では、公園内にいた人々223 人にに乗ってもらい、自律走行車の認知度や安全面、もう一度乗ってみたいかといったアンケート調査を行った。この結果、自律走行車について知識があるかどうかという問いに対して 2.5 であり、自律走行車の社会的な認知度低いものであった。そして、自律走行車に乗る前の安全面に関してするアンケート結果は、自律走行車が安全だと思うかというアンケートに対して 5 段階中の 3.7 であった。しかし、実際に乗車してからの結果は 4.4 であり、自律走行車が快適であったかに対しては、4.4 であった。また、もう一度乗ってみたいかという項目は 98%の人々が「Yes」と回答し、この公園に自律走行車が今後もあったら利用するかという項目に対して、95%の人が利用したいと答えている。この事例から自律走行車をアプリケーションを使って予約などをするデマンドサービスを利用することで、広範囲の公園を快適移動をするができることが分かる。

Coordinated vehicles

Coordinated vehicles は、モビリティだけはなく駐車場の情報もまたクラウドに上げることで、車両を使ったサービスだけではなく、駐車場の予約、店の予約といったサービスまで連携を行える。このようなサービスを行うために、モビリ

図 2.4: Autonomous Golf Car

ティサービスのための通信プロトコルも規格化された (Melia et al. 2009)。また、Wang らは、Zigbee を搭載したセンサーを駐車場に埋め込むことで、空き情報や価格などの情報を Server にアップロードし、ユーザーはスマートフォンから駐車場の予約が行えるシステムを提案してる (Wang and He 2011)。こうした、サービスは利用するセンサーを代替することで、駐車場だけではなく、買い物やアクティビティの予約やユーザー間でのやり取りといった様々なことへの応用が考えられる。

以上で示したように、Driverless Car に、Tailored vehicles、Connected vehicles、Coordinated vehicles、といった考え方を組み合わせることで、モビリティサービスが提供でき、いつでもどこでもモビリティを利用できるようになる。本研究においては、Driverless Car がこのような考え方に適した情報のやり取りができるようにデザインを行った。Connected vehicles、Coordinated vehicles の考え方については、同プロジェクトを行っている慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の福岡、吉本がデザイン、設計・開発を行った。

2.3. モビリティの社会への貢献

都市におけるモビリティ

前項までにみてきた Driverless Car は、都市空間において人々やモノの移動を効率的にし持続可能的なものにする。Nam らは、これまでのスマートシティに関するいくつかの研究から Smart City の要素をまとめ、スマートシティのまちづくりにおける戦略的な要素をまとめた (Nam and Pardo 2011)。その一つとして、Smart Transportation がある。Smart Transportation は、人やモノの移動が ICT でつながりことで、より効率的に、持続可能に、様々なところへアクセスできるようにする。

過疎地域における移動のしやすさ

過疎地域においてもまた移動のしやすさは、快適な生活を送るの重要な要素となる。広島大学大学院国際協力研究科の森山らは、高齢化率が 56.8%である島根県大社町鵜鷲地区を対象にアンケート調査を行い、QOL(Quality of Life:生活の質)を定義し、移動のしやすさと生活の質の関係性の分析を行った (森山昌幸他 2002)。これによると、医療、買物、交流と言った各種活動のしやすさが生活の質を向上させることが分かった。しかし、移動に制約を持つ高齢者は行動範囲が狭くサービス水準が低い各種活動を選択せざるを得なく、移動のしやすさが向上することによって、各種活動のしやすさが向上する。

2.4. 本論文が貢献する領域

本研究では、利用者がいつでもどこでも自由に移動ができるようにする Driverless Car のデザインと設計・実装について述べた。

本章第 1 節では、自律走行の基礎となるセンシング、自己位置推定、経路計画について概観し自律走行車は地図上のエリアを自在に移動できることを示した。また、ROS を利用することで、これまで提案されてきた数多くのアルゴリズムが利用できることを述べた。

本章第 2 節では、Burns が述べた Tailored vehicles、Connected vehicles、Coordinated vehicles、といった考え方を概観し、Driverless vehicle と組み合わせることで、モビリティサービスが提供でき、いつでもどこでもモビリティを利用できるようになることを述べた。また、本研究においてはこれらの考え方をもとに、Driverless Car のデザインを行うことを示した。

本章第 3 節では、モビリティサービスが都市において効率的、持続可能的にアクセシビリティを向上させることを述べ、都市だけではなく過疎地域においてもまた、モビリティサービスが人々の QOL を向上させることを述べた。

しかし、自律走行車を使ったモビリティサービスの事例はまだ少ない。そこで、本研究では Driveless Car のデザイン、設計・開発を行い、どういったサービスを提供することで利用者に価値を感じてもらえるか検討すべく、Last One Mile 問題というコンテキストにおいて、その実証を行った。続く次章では、Driverless Car のデザイン、設計・開発について述べる。

第3章
デ ザ イ ン

3.1. コンセプト

前章では、自律走行走行機能を搭載したパーソナルモビリティを使ったサービスは、歩行者空間における移動を提供し、人々がより効率的に、様々な場所にアクセスできるになることが分かった。しかし、こうした移動体を実際にモビリティサービスに向けてデザイン、実証された例は少ない。そこで、本研究ではLast One Mileにおけるコンテキストにおいて、Driverless Carがどのような価値をユーザーに提供でき、どのような価値を感じてもらえるかを実証するため、Driverless Carのデザインを行った。

本研究でデザインしたDriverless Carは、Last One Mile問題がある過疎地域の人々が、地域内を自由に移動できるようにする移動体である。利用者は、自宅まで Driveless Car に来てもらい、自分が行きたい目的地まで移動でき、通院、通学以外にも、釣り場や町の寄り合いといった利用もできる。Driverless Carは、過疎地におけるLast One Mileに適したコンパクトな車体を利用し、こうした環境まで配車できるよう自律走行システムを搭載することで、Last One Mileを自由に移動できるようにする。利用者は、いつでもどこでも移動体を使うことができ、買い物、通院・通学が快適になり、地域との交流など移動を使った余暇を楽しむことができる。

本研究では、三重県南伊勢町で行われた3つの調査をもとに「Driverless Car」のデザインを行った。南伊勢町は、人口14080人で、人口が1万人を越えた市町

村では、全国で 4 番目の高齢化率を持つ町である[1] 。1 つ目の調査は、2016 年 6 月 15 日,16 日に三重大学社会連携特任教授の川口さん 84 歳が、どのように移動しながら町内で生活しているかをフォーカスポイントに行われた。川口さんの自宅は山肌の険しい坂に立ち並ぶ家であり、自宅から外出するときは、自宅の前の階段と階段まで続く狭く険しい坂を登る必要があった。また、川口さんに南伊勢町の観光地を案内してもらった場所も、南伊勢町の主要産業である漁業にまつわるものだが、実際に漁港にいくのではなく、展望台から太平洋や漁港、海水浴場などが一望できるところだった。南伊勢町は、東西に国道 160 号線があり車での移動が簡単であるが、南北の移動は入り組んだ道や狭い坂道が多いといった理由から、車での移動が困難であることが分かる。こういった狭い坂道や半島の地形であるためカーブが多いためか、川口さんは車にのるときは手すりに捕まっていた。川口さんは車に乗った移動中でも知り合いに会うとまどを開けて挨拶をしており、集落の人々とのコミュニケーションを行っていた。以上のフィールドワークから「知り合いを見つけると、話しかける」、「車に乗ると、安全のため手すりにつかまる」とうメンタルモデルを抽出した。このメンタルモデルは、Driverless Car のデザインにおいて大きな公道でのスピードの速い移動ではなく、坂道や狭い道でゆっくり安全に移動できる車体を選択することにつながった。

2 つ目のフィールドワークは、2016 年 7 月 14 日,15 日に南伊勢町迫間浦にてデマンドバスを利用している羽根さんと、原付を使って普段から利用している写真館を営む橋川さんが、集落に住む人々がどのように助け合って、買い物や通院、通学のために移動し、離れた町との交流をしているかをフォーカスポイントに行われた。羽根さんは、運転には自信があったが 2015 年 10 月に対向車が居眠り運転をしており衝突した事故以降は怖くて運転をしなくなった。羽根さんが、伊勢へパソコン教室や買い物に行くときは、デマンドバスを利用したり、旦那さんに軽自動車で送ってもらっており、近場は自転車や原付を利用している。この地域では原付きで、近所を移動するときはヘルメットを利用していなかった。南伊勢町のデマンドバスは、1 周間前に予約が必要であり決まっている発着所までの送

1　南伊勢町役場,http://www.town.minamiise.mie.jp

迎しかできない。そのため、発着所の近くに住んでいる人は利用するが、近くない人は不便を感じていた。写真館を営む橋川さんも普段自分で原付を使って町内を移動している。橋川さんは、寄り合いや毎週友人とカラオケに行ったりと普段から外での活動が多く、週に 3 回ほど原付を利用いる。羽根さん、橋川さんともに魚や野菜をご近所のかたからいただいたり、訪問販売を利用したりしているが、必要なものは週に一回ほど自分で買い物に行っている。以上のフィールドワークから、「地元で運転するときは、ヘルメットを使わずささっと移動する」、「必要なものは自分でお店まで行き、買い物をする」といったメンタルモデルを抽出した。これらのメンタルモデルは、Driverless Car のデザインにおいて、荷物などのを簡単に載せれるような柔軟に利用できる車体が選択できるようにし、送迎は家の前の細い道までできるよう無人でも送迎が行えるような自律走行システムを組み込むことにつながった。

3 つ目のフィールドワークは、2016 年 8 月 18,19 日に南伊勢町迫間浦にてデマンドバスを運営している古市さんがデマンドバスや町営バスを利用してどのように移動しているか、またデマンドバスの運営者がどのように利用者とコミュニケーションをとって、日程や走る場所のマネジメントをしているかをフォーカスポイントに行われた。古市さんは、大新東株式会社の南伊勢営業所の所長を勤めている。営業所では、利用客からの予約を管理しデマンドバスのマネジメントを行っている。デマンドバスの利用者は一日に 70 80 人ほどおり、乗り合いをしてオペレーションをしている。利用者の多くは学生や病院へ行く方多く事前に決まった予定があるひとが多い。オペレーションは電話予約とフルデマンドシステムを用いて行っているが、天候によっての影響や利用者のメモの取り間違いによってうまくいかないこともあるとのことだった。またインタビュー では、デマンドバスの利用率が約 100%であるが台数を増やせないと述べていた。それは、1 つ目は決定権が町にあること、2 つ目町による高齢化推移から見ると、今後利用者層が 45~50%減少することが人口減少によって予測されているため、長期的に見ると台数を増やすという決定ができないといった理由が挙げられる。そのため、デマンドバスの台数を増やすことは、費用対効果が低いと古市さんは述べていた。以上

のフィールドワークから、「管理システムを使って利用者の予約を上手く配分する」、「電話で利用者とコミュニケーションをとって、空いてる時間を勧める」といったメンタルモデルを抽出した。これらのメンタルモデルは、複数の Driverless Car がサービスとして機能するよう、オペレーションセンターやサーバーとのやりとりを想定し、情報伝達を決められたデータセットとして出力できるような仕組みにつながった。また、自律走行機能を搭載することで、運営コストの抑制やドライバー不足に対応できるようにした。

以上の 3 つ調査を元に、「Driverless Car」のデザインを行った。Driverless Car は、一般車両が入りづらい細く傾斜のある道で移動できるようなコンパクトで低速な登坂性能がある車体を利用する。これにより、お年寄りから学生も利用できるように自動車免許が不要に低速な移動体を利用する。また、自律走行システムを搭載することで無人での送迎をすることで、ドライバー不足を解決する。さらに、低速の利用であることから、自律走行に必要なセンサーとして、高価で高機能な LADAR に比べ、センシング範囲が狭いが安価に利用できる LRF などのセンサーを搭載することで、Driverless Car のコストも自律走行車と比べ安価に実現する。

次節からは、このコンセプトを踏まえて、本研究で行ったプロトタイピングのシステムの設計・実装について述べる。

3.2. 設計

システム全体は、車体、自律走行処理を行うための処理をおこなう Raspberry Pi、Jetson TK1 コントロールボード、環境認識を行う LRF や IMU 等のセンシングから構成されている (図 3.1)。

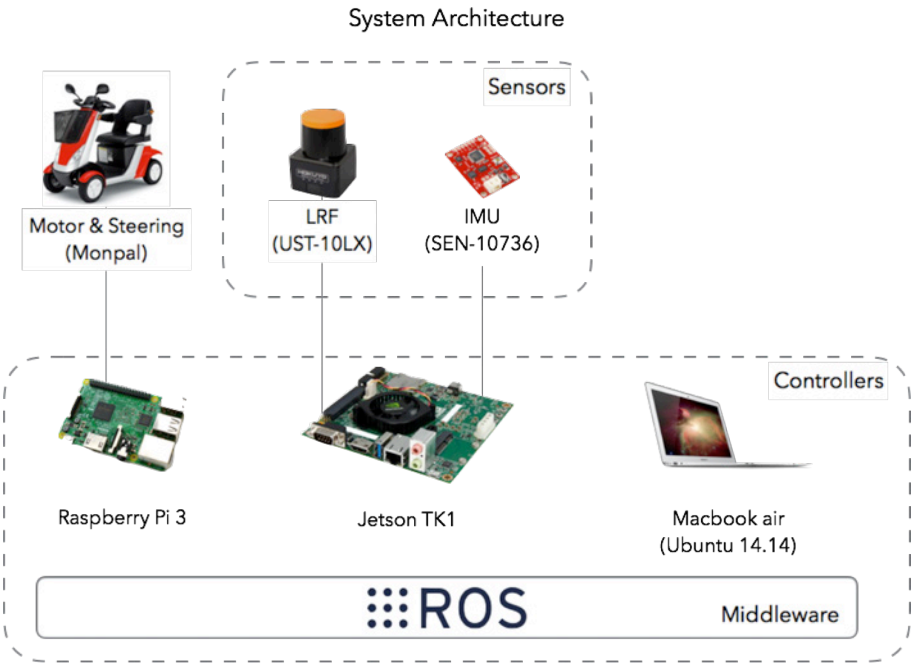

図 3.1: システム構成図

コントロールボード

コントロールボードは、Raspberry Pi と Jetson TK1 を利用している (図 3.2)。Raspberry Pi は、GPIO を使って様々なセンサーやアクチュエータに向けたプログラミングがしやすく、センサー、エンコーダやモーター、ステアリングなどに繋いでいる。一方、Jetson TK1 は、GPU を用いて高速処理ができる組み込みコンピュータである。Jetson TK1 は、リアルタイム処理が必要な自律走行の経路計画や自己位置推定の演算をするために Jetson を利用している。経路計画や動作計

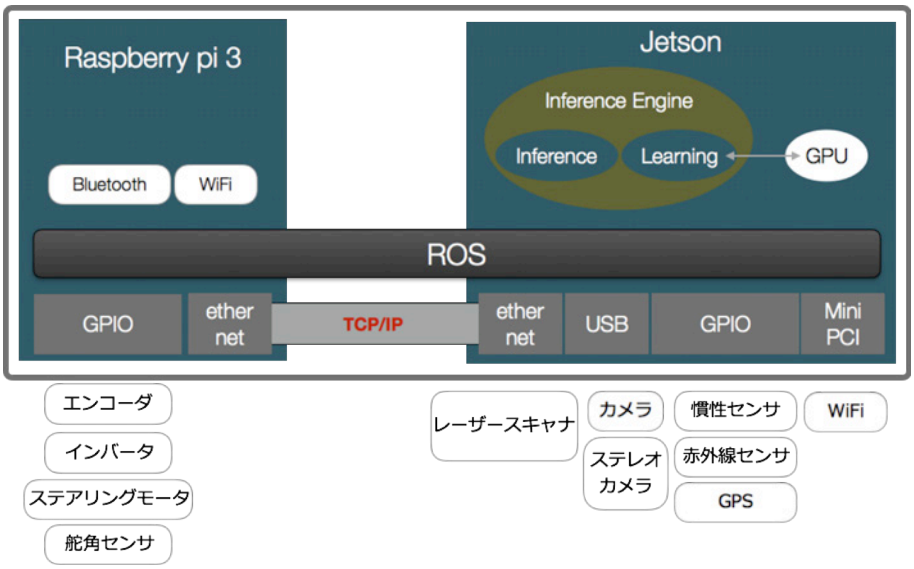

図 3.2: コントロールボード構成

画には GPU による計算は利用しておらず、カメラなどを使った障害物検知等の追加をする際に用いる。

それぞれ、OS は Rasbian jessie と Ubuntu 14.04 を利用しているおり、Robot Operating System(ROS) というロボット用のオープンソースミドルウェアを利用している。ROS は、世界でもっとも利用されているロボット用のソフトウェアのひとつである。もともと産業用ロボットに使われることが多くロボットアームなどに使われていることが多かったが、現在 HERE 社の測量車で利用されていたり、スタンフォード大学の自律走行車、ボストンロボティクスなどにも ROS が利用されている。そして、ROS で提供されているプログラムのほとんどが BSD ライセンスであり、営利・非営利関係なく利用できるオープンソースになっている。

また、この構成を使うことによって、簡単にハードウェアの追加ができる。ROS では、同一ネットワークにつなぐことによって、作成したノード[2]間の通信が担保

2 ノードは ROS パッケージ内の実行ファイルであり、ROS クライアントライブラリを使用して他のノードとやりとりする。

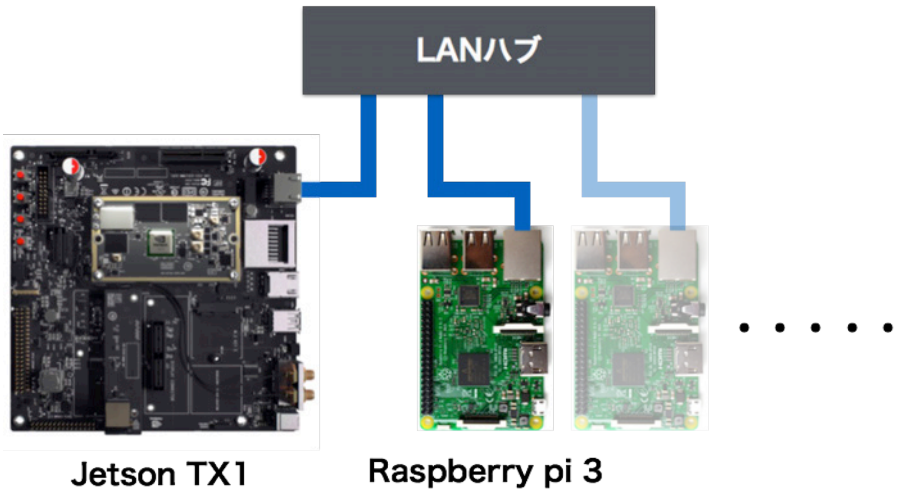

図 3.3: コントロールボードによるメリット

される。これにより、新しく Raspberry Pi やを増やすことができる (図 3.3)。そのため、新しくセンサー、アクチュエーターを取り付けるときに、そのハードウェアごとに Raspberry Pi を付け加えることができ、ハードウェア面でも柔軟なシステム開発ができる。またノードのひとつひとつがパッケージ化されたものになるので、再利用が高くなり、Driverless Car のアップデートを容易にできるといった利点がある。そして、この構成を使うことで、一部アクチュエータや電源回路を除き、コントロールボードを車体に取り付けるだけで自律走行車ができる。

センサー

環境認識のセンサーは、LRF と IMU を搭載した。現在多くの自律走行車は、環境認識センサーとして、車体の周りにある物体との距離を測定する LIDAR を搭載している。一般車両の自律走行では、高速道路などで利用し早いスピードでの制御が求められるため、遠方まで見通せる距離センサーが必要になる。一方、歩行者が利用するような場所で利用する目的である Driverless Car は、低速での運用であるためスキャン範囲は狭くなるが LIDAR と比べ価格を抑えることができる LRF が利用した。IMU は、Adaflutes 社の SEN-10736 を利用し 9 軸情報をオド

メトリ情報に変換して利用するために搭載している。。

図 3.4: LRF を用いたマップ

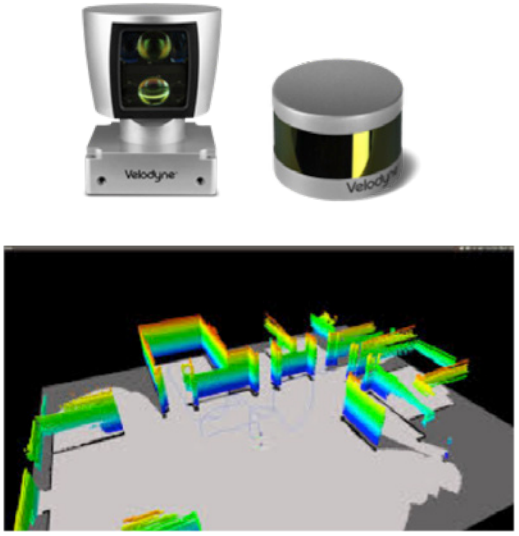

図 3.5: LIDAR を用いたマップ

以上をもとに、コントロールボードの設計を行った。図 3.6 にコントロールボードのブロック図を示す。

ソフトウェア設計

自律走行をを達成するためには、環境のマッピング、事故位置推定、経路計画が必要となる。ソフトウェアは、ROS で提供されているオープンソースのものを利用することで、多くの自律走行車や Mobile Robotics の領域で利用されている自律走行システムを設計した。

マッピングは、ROS のパッケージとして提供されている slam_gmapping を利用した。Simultaneous Localization and Mapping(SLAM) は、現在、多くの Mobile Robotics や自律走行の分野で利用されているアルゴリズムである。SLAM では、地図の生成と自己位置推定を同時にすることで、環境情報と自己位置の情報を補間しながら自己位置推定することで、自己位置推定の精度を高めることができる。

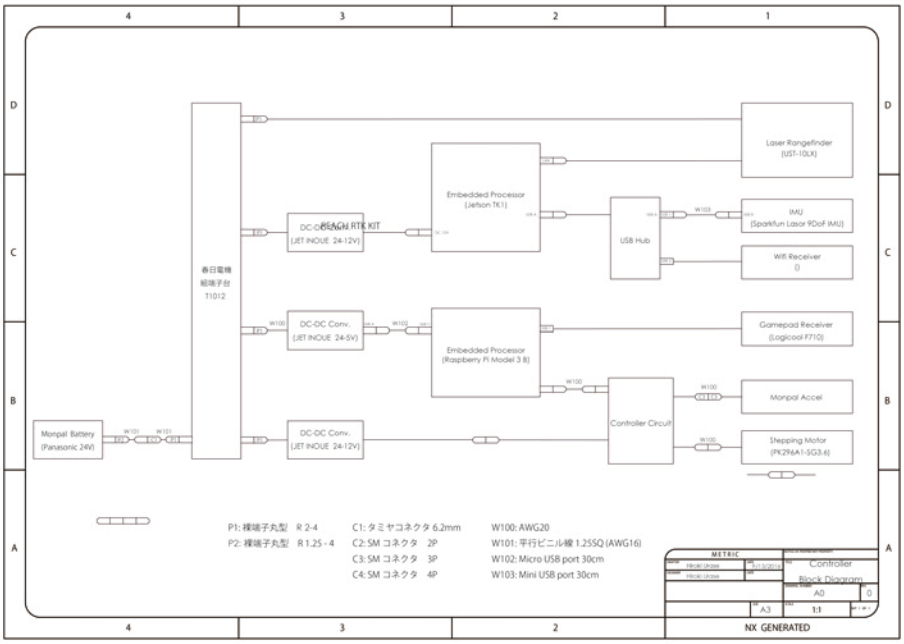

図 3.6: コントロールボードブロック図

自己位置推定には、ROS のパッケージとして提供されている amcl を用いた。amcl は、Adaptive Monte Carlo Localization アルゴリズムを用いたパッケージある。AMCL は、自己位置をある一点ではなく、尤度として表しており、事前に与えた環境情報をセンシング情報と比較することで、最も尤度の高い場所を確率空間としてもつことで、高い自己位置推定の制度が得られる。

経路計画には、ROS パッケージとして提供されている move_base 及び teb_local_planner を利用した。move_base は、動作計画用のパッケージであり、経路計画パッケージを内包しており、initial の自己位置と Goal を設定することで、事前に取得したマップから最敵な経路とアクチュエーションへの司令を出力する。

3.3. 実装

本研究では、Driverless Car のプロトタイピングをするにあたり、まず自律走行機能をもつコントロールボードを実装した。Driverless Car の開発は、ソフトウェアの開発が多くの部分占める。ソフトウェアの中核となる自律走行機能をラジコンカーで実装することで、機能の開発と検証を早く行える。また、前節で設計した、コントロールボードの構成をすることにより、コントロールボードを移植をすることで、車体の変更が行える。そこで、本研究ではまずラジコンカーを用いてコントロールボードの開発を行い、次に Driverless Car に適したモンパル ML200 にコントロールボードを移植しプロトタイピングを行った。

ラジコンカーを用いたプロトタイピング

ラジコンカーは、TAMIYA の 1/10 XB シリーズ No.167 ネオ スコーチャー (TT-02B シャーシ) を用いた。ラジコンカーに、前述したコントロールボード、センサーを搭載し、コントロールボードを動作させるために必要なバッテリーとして、Jetson TK1 及び Rapberry Pi の電源電圧を出力できる Energizer 社の外付バッテリー Energizer XP8000A を搭載し、自律走行に必要なソフトウェアの開発を行った (図 3.7,3.8)。開発プロセスは、ROS を利用したラジコンカーのマニュアル走行、マッピング、自己位置推定、経路計画の順に進める。

マニュアル走行

マニュアル走行は、ラジコンカーのリモコンから ESC に送られる信号を Raspberr Pi からの信号として補間する。ラジコンカーに搭載されている、リモコンのレシーバーから ESC に送られる信号をオシロスコープを用いて解析し、Raspberry Pi から PWM 出力するを行った。マニュアル走行を行うために Logicool の F710 GamePad を使った。

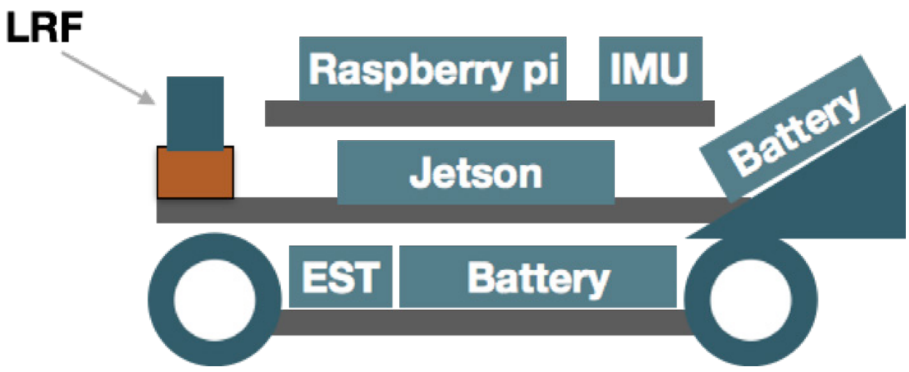

図 3.7: ラジコンカーのハードウェア構成図

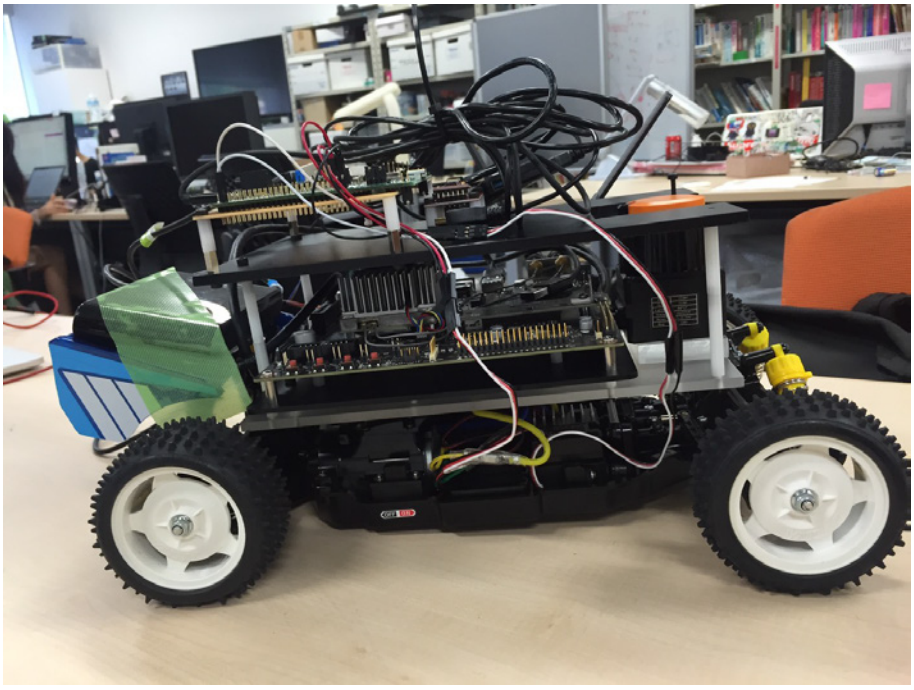

図 3.8: 実装したラジコンカー

マッピング

続いて、マッピングを行った。レーザーカッターで作ったアクリル板とその上に LRF,IMU を搭載し、マニュアル走行をしながら、協生館 3F の北館エリアを slam_gmapping を用いて作成した図 (3.9,3.10)。

図 3.9: ラジコンカーを使ったマッピング

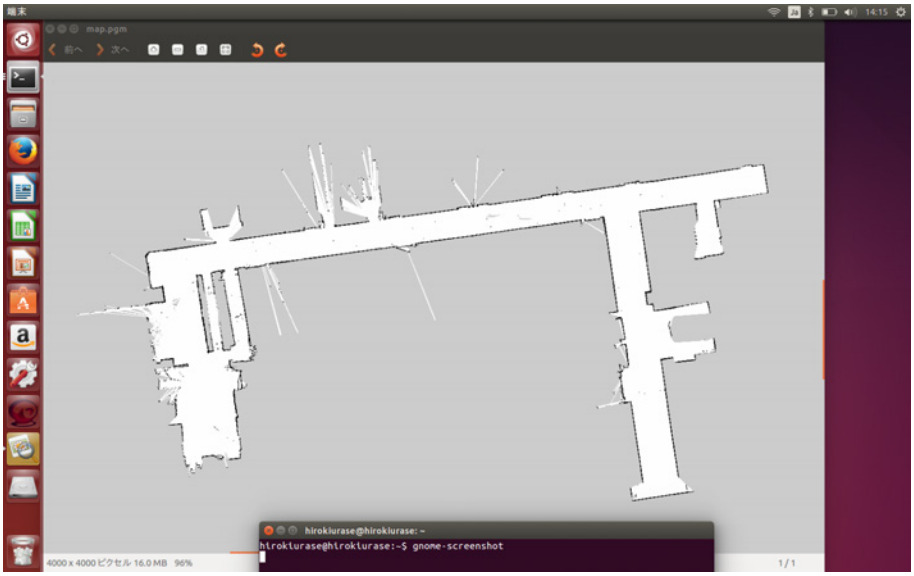

図 3.10: 協生館 3F の地図

自己位置推定

次に、先程作成した地図を用いて自己位置推定の実装とテストを行った。AMCL は、椅子やゴミ箱などの物体がある環境が複雑になっているエリアでは、確率が収束し自己位置がきれいに取れることができた (図 3.11)。しかし、壁が続く廊下のエリアでは、似たような形状が続くため自己位置推定の制度が下がってしまった (図 3.12)。

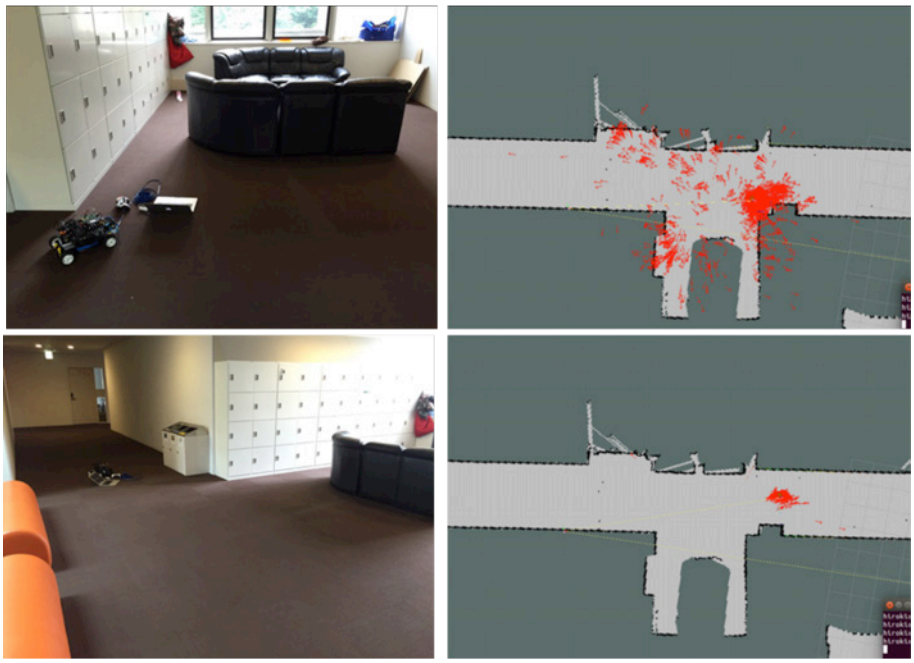

図 3.11: 自己位置推定

Driverless Car 実装

前節では、ランジコンカーを用いて自律走行システムの実装を行った。本節では、実装したコントロールボードの移行を行い、Last One Mile に向けた Driverless Car の実装を示す。

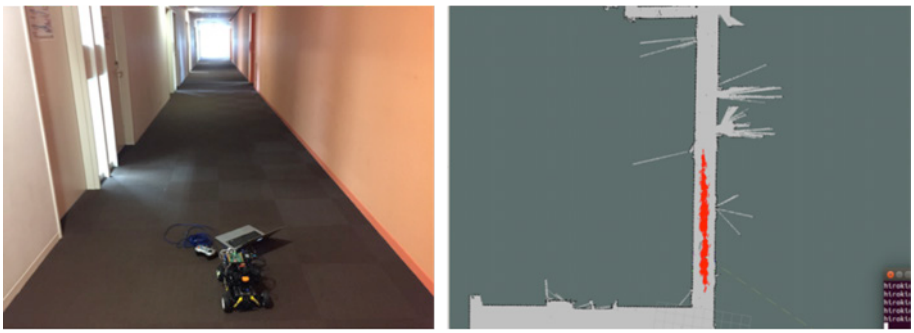

図 3.12: 自己位置推定が上手くいかないとき

プロトタイプの設計

Driverless Car のプロトタイピングに用いる車体は、Honda の出しているモンパル ML200 を利用した (図 3.13)。モンパル ML200 は、もともとシニアカートとして提供されており利用者に高齢者が多い。また、従来機のモンパル ML100 からその登坂性能の良さから中山間地域を中心に利用者が多い[3]。また、構造が簡単でインバーターなどを内蔵している EV と比べると改造がしやすいといった利点がある。車体をモンパル ML200 へ移行するにあたり、ラジコンカーから再利用できないアクチュエーションと電源回路を実装した。図 3.14 にハードウェア構成図を示す。

アクチュエータ

モンパルの ML 200 をコントロールボードから動作させるために、ステアリングとモーターのアクチュエーションの実装を行った。

モンパル ML200 のステアリングは、ハンドルから手動によって行われている。そこで、コントロールボードからステアリングの制御を行うために、オリエンタルモーター株式会社の 2 相ステッピングモーター PK296A1-SG3.6 を用いた。こ

3 市川勝久 電動カート「モンパル ML200」の開発, Honda R&D Technical Review, Vol.18, 2006

図 3.13: HONDA モンパル

図 3.14: ハードウェア構成図

のステッピングモーターを取付用の台を制作し、ステアリング部に固定する (図 3.15)。

次に、ステッピングモータをコントロールボードから制御を行うためい、モータードライバーの実装を行った。アクチュエータの制御に利用する Raspberry PI

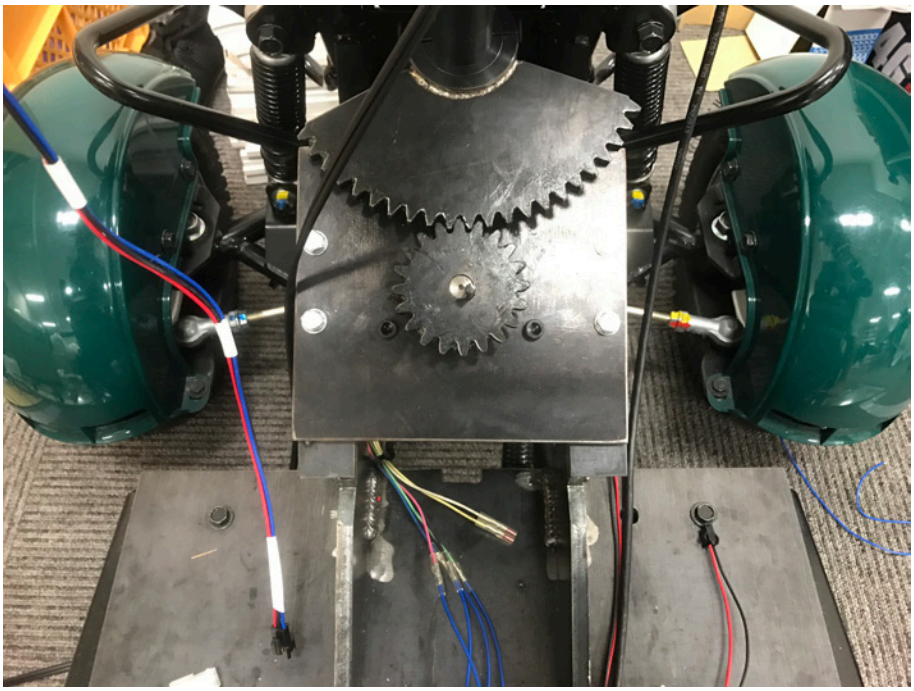

図 3.15: ステッピングモーターの固定

の GPIO は、最大出力電流が GPIO ピン 1 本あたりの最大電流は 16mA であり、1.5A の電流を利用するモーターには利用できない。そこで、MOS FET を用いてモータドライバーを実装した (図 3.16)。

モンパル ML200 のモーターは、ブラシレス DC モーターを利用している。ブラシレス DC モーターの動作は、アクセルの開閉をコントロールパネル部に搭載されているマイコンが読み取り、と Controller Area Network(CAN) によってから Electronic Speed Controller(ESC) へ送られ、ESC からブラシレス DC モーターに制御信号を送ることで動作している。モンパル ML200 は、ESC に環境ごとに適切なトルクで目標値のスピードで走れるよう制御が行われている。そこで、可変抵抗によって、アクセルの開閉を入力してる場所を Raspberry Pi からの信号に置き換えることで、モーターの制御を行った (図 3.17)。

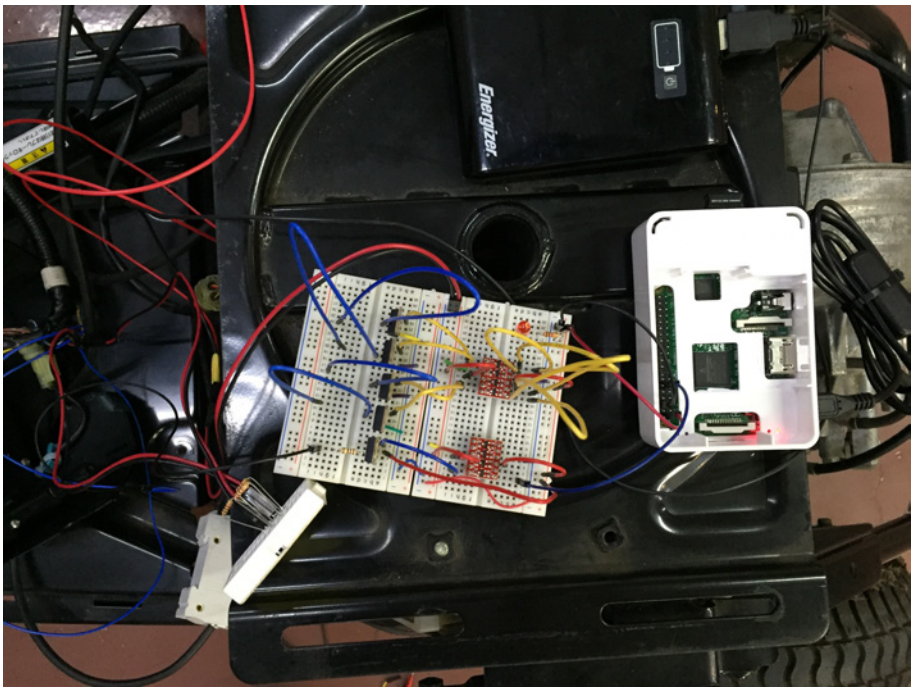

図 3.16: モータードライバー

電源装置

モンパルは、鉛電池 12V が二つ搭載されており、24V の直流で動作する。コントロールボードには、12V で動作する Jetson、5V で動作する Raspberry Pi が搭載されており、ステッピングモーターは、3.3V で動作する。それぞれが動作するよう DCDC コンバーターを使って電源回路を実装した。これらの電源装置を用いて、コントロールボードの設計を行い、ラジコンカーで利用したセンサー、Jetson TK1、Raspberry Pi の移行を行った。

実証実験の改善点の改良

本節では、前節で設計したプロトタイプを用いて、2016 年 8 月 31 日に南伊勢町において行われたフィールドワークから得られた改善点をもとに改良について述べる。

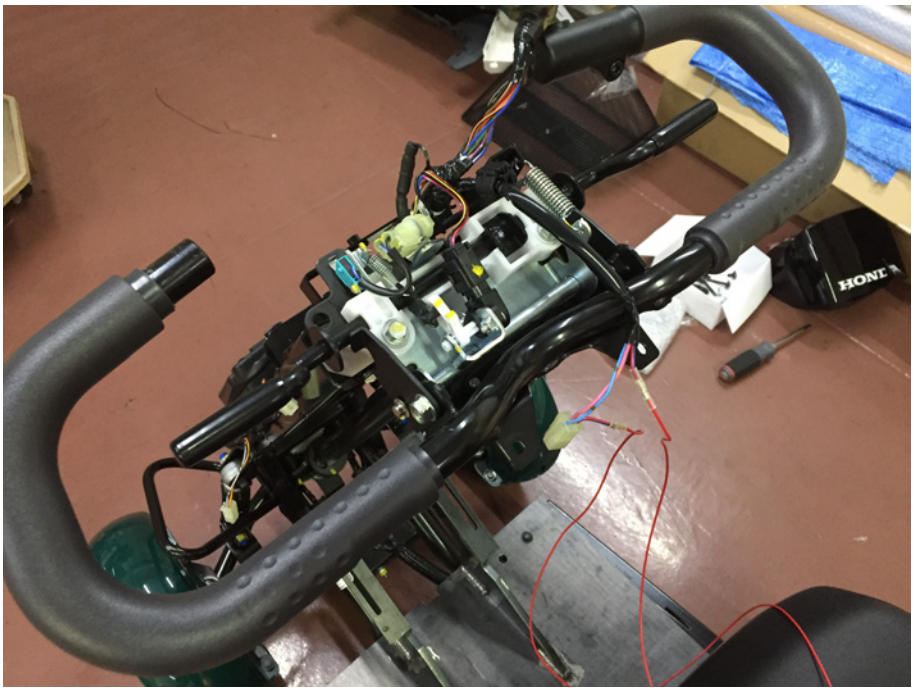

図 3.17: アクセル部の取り外し

モータードライバーの変更

南伊勢町での実証実験では、ステアリングの応答速度が遅いといった問題が見受けられた。そこで、これまで自作で利用していたドライバーをオリエンタルモーター株式会社 2 相ステッピングモーター用バイポーラ駆動ドライバ CVD245B-K へ置き換えた (図 3.20)。また、ドライバーの置き換えにともないコントロールボードも改良及びコントロールボード取付台の制作を行った (図 3.21,3.22)。

Car-Like Robot の経路計画

前節で実装したプロトタイプでは、ROS が提供する経路計画パッケージをそのまま利用しており、4 輪の移動体用に経路計画及び動作計画を行っていなかった。経路計画の改良に、ROS のパッケージとして提供されている teb_local_plannner を

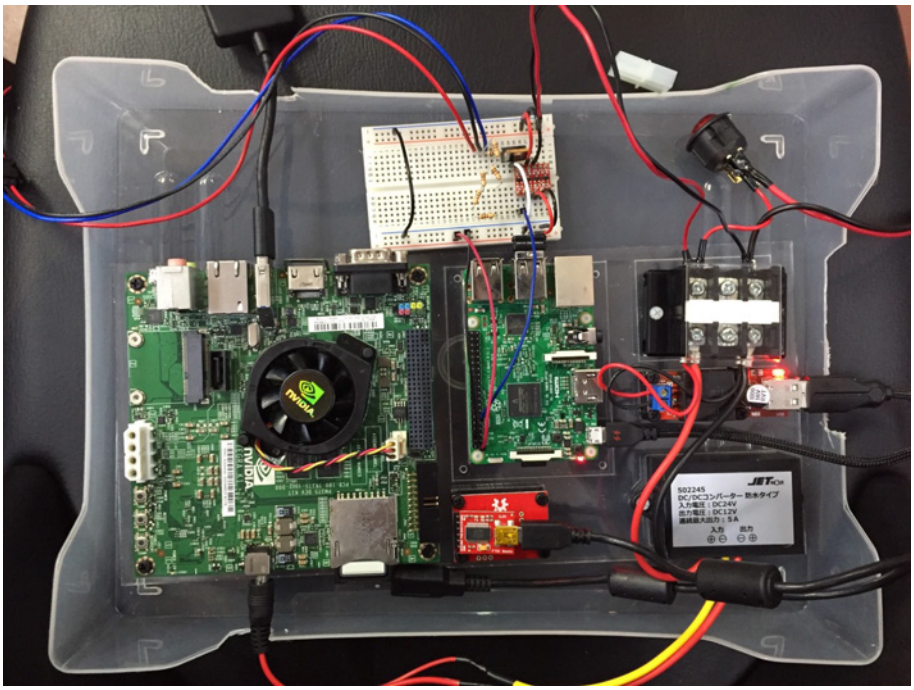

図 3.18: コントロールボード

用いた[4]。teb_local_plannner は、ロボットの最小回転半径を考慮した経路計画を行う。実際の経路計画しているときの様子を図 3.23 に示す。また、teb_local_plannner を用いることによって、障害物検知も実装される。

4 http://wiki.ros.org/teb_local_planner

図 3.19: モンパルへ移植

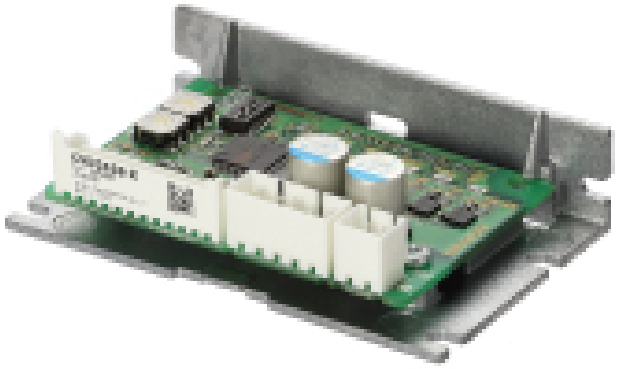

図 3.20: CVD245B-K

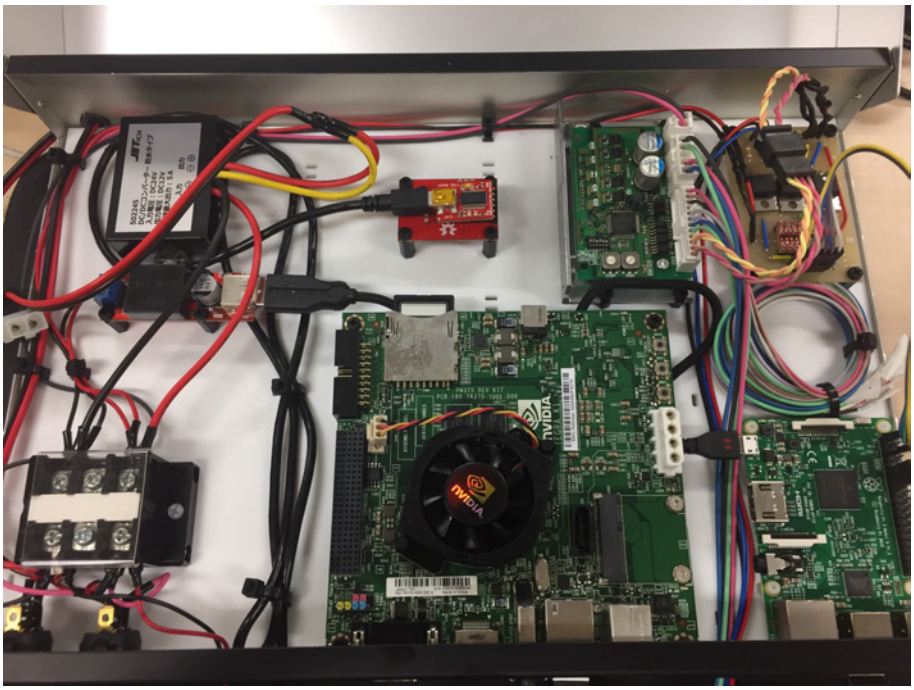

図 3.21: コントロールボードの改良

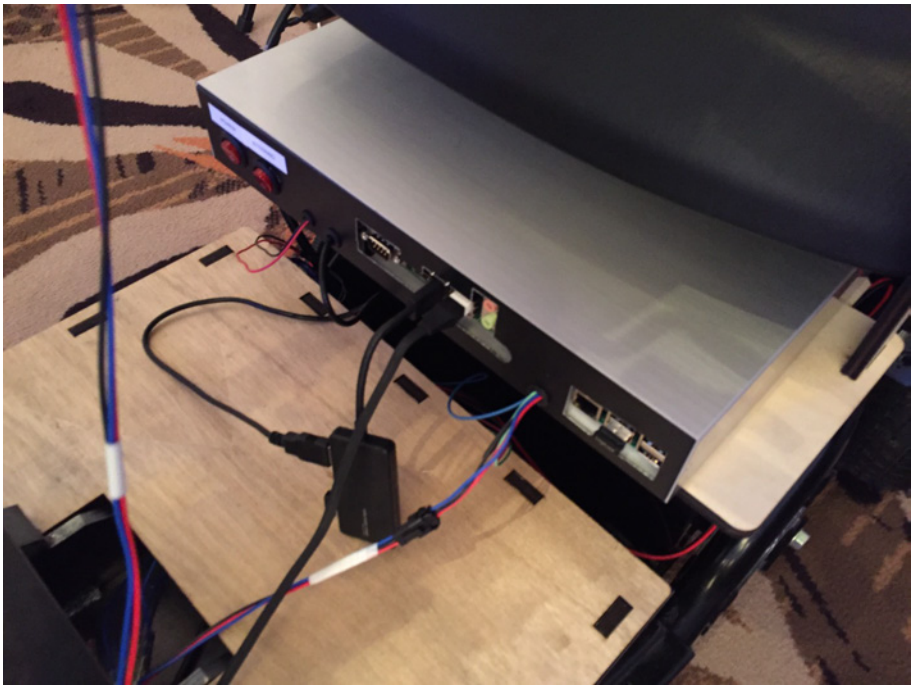

図 3.22: コントロールボード取付台

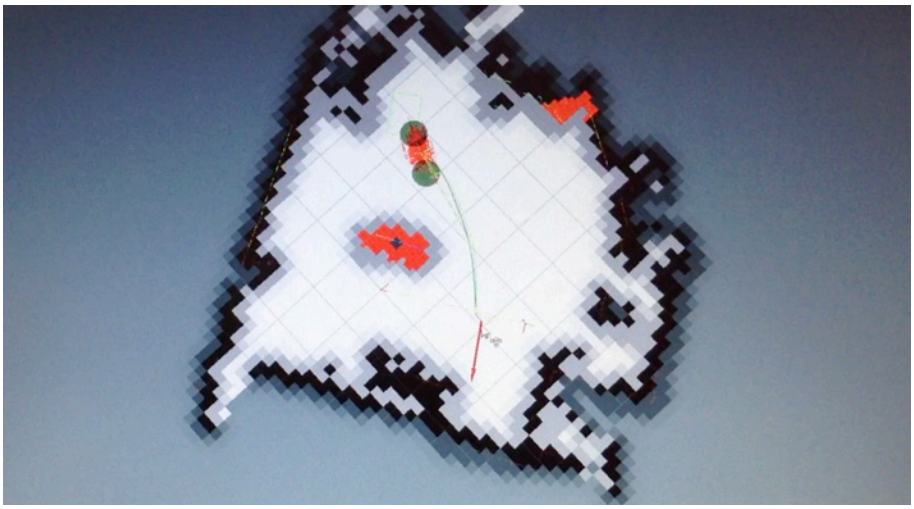

図 3.23: Car Like Robot の経路計画

第4章
Proof of Concept

4.1. Proof of Concept

本章では、Driverless Car の 2 回の実証実験を通してコンセプトが証明されたか評価する。1 回目は、2016 年 8 月 31 日に南伊勢町棚橋竈集落付近の国道 260 号線の一部を封鎖してていただき、自律走行の実証を行った。実証実験は、まず自律走行をするエリアのマッピングを行い、地図を生成する。次に、プロトタイプを今後の開発に活かすため、Driverless Car の屋外での性能テストを行った。その後、南伊勢町の住民の方に Driverless Car に乗車してもらい、自立走行を行い作成した地図内の移動をした。2 回目は、2016 年 9 月 24 日に共同研究を行っている中西金属工業株式会社の敷地内において、1 回目と同じ手順で、改善点をもとに改良した Driverless Car のプロトタイプを用いて実証実験を行った。その様子を映像・音声データで記録し、乗車しているときの感想を文字に起こした資料に基づき、本研究のコンセプトの有効性の評価を行った。

南伊勢町における実証実験

実証実験のプロセス

2016 年 8 月 31 日に南伊勢町棚橋竈集落付近の国道 260 号線の一部を封鎖してていただき、自律走行の実証を行った (図 4.1)。南伊勢町棚橋竈集落付近の国道 260 号線は、片側が道路沿いにガードレールがあり、片側が山と隣接しており茂みが広がっている。まず、この環境で地図を生成するにあたり、周辺環境のセンシン

グを行う LRF をガードレールの高さに合うように取りつけた。実証実験に向けて改良した Driverless Car のプロトタイプを図 4.3,4.2,4.4 に示す。

図 4.1: 南伊勢町棚橋竈集落

次に、自律走行をするエリアのマッピングをマニュアル走行しながら行った (図 4.5,4.6,4.7)。しかし、前章のラジコンカーの実装のときにも問題となった特徴点の少ないエリアにおける自己位置推定の精度が低く、地図の生成が行えなかった。そこで、道路の端に自動車を 3 台横付けし特徴点とすることで、地図を生成することができた (図 4.8)。作成した地図を図 4.9 に示す。

最後に、この地図を用いて、自律走行のテストを行った。テストでは、作成した地図内であれば直進して自律走行が可能なことが確認し、ユーザビリティテストを行った。

図 4.2: コントロールボードの取り付け

実証実験の結果

実証実験では、南伊勢町役場に務めるＹさん及びＡさんに Driverless Car に乗車してもらい、自律走行で走行を行った。乗車していただいた様子を図 4.10,4.11 に示す。Ｙさん、Ａさんともに乗車しているときは、「いいですね！」と繰り返し述べていて、自律走行車を楽しんでいる様子が伺えた。

Ｙさん・Ａさんの感想乗車中

- いいすね！、これええやん！
- 楽しそうやね
- すごくいいですよ
- なにもしなくても動くっていうのが、おもしろいですね

乗車後

図 4.3: Driverless Car プロトタイピンプ 1

- 南伊勢に家を借りて作ってほしい
- これにのって釣りにいって、持って帰って海鮮のバーベキューしたい

改良した Driverless Car の実証実験

実証実験のプロセス

2 回目の実証実験では、前節行った実証実験の改善点をもとに改良した Driverless Car のプロトタイプを用いて実証実験を行った (図 4.12)。2016 年 9 月 24 日に共同研究を行っている中西金属工業株式会社の敷地内において屋内及び屋外において行った。図 4.13,4.14 に作成した地図を示す。

図 4.4: Driverless Car プロトタイピンプ 2

実証実験の結果

実証実験では、K さん及び U さんに Driverless Car に乗車してもらい、自律走行で走行を行った。乗車していただいた様子を図 4.15,4.16,4.17,4.18 に示す。実証実験では、改良によって、南伊勢町の実証実験では行えなかった、カーブや障害物検知ができた。

観察・検証、結果の考察

1 回目の実証実験では、Driverless Car に乗車とき、終始楽しんでいる様子が伺えた。乗車を楽しんでいることが分かる。また、乗車後に Y さんが「これに乗って釣りに行って帰ってバーベキューをしたい」と述べたように、Driverless Car を使うことで、利用者の潜在的な移動の向上したことが分かる。自律走行機能については、自己位置推定ができない点、ステアリングの動作が悪い点があった。しかし、直線での移動においても、前述したように Driverless Car のコンセプトを

図 4.5: マッピングをの様子 1

理解してもらい楽しんでいただけた。2 回目の実証実験では、ステアリングの改善、経路計画・動作計画の改良、障害物検知の追加により、これらの機能がうまく動作していることが確認できた。

4.2. 実証実験のまとめ

Proof of concept

前節で述べたように、実証実験の結果は限定的な範囲であるが、Driverless Car が自律走行することで、利用者が楽しく移動ができることが分かった。また、Driverless Car を利用することで、利用者の潜在的な移動的の向上させた。このことから、Driverless Car のコンセプトの有効性が実証できたとする。

図 4.6: マッピングをの様子 2

Driverless Car の改善点

自己位置推定の向上

本研究でおこなった実証実験では、特徴点の少ないエリアにおいて自律走行車が自己位置推定の精度が低くなってしまう問題があった。この改善に向けて、wheel odometry や GNSS を取り付ける作業を行っている。wheel odometry は、現在搭載している IMU と比べ実際のモーターの回転数が取れるため、ロボットが自身の動きをモデル化する際に大きな情報量を与える。また、GNSS は自律走行においては捕捉的なものとして利用されることが多いが、今後ユーザーへの配車と行ったサービスとの連携の上で重要な役割を担う。

図 4.7: マッピングをの様子 3

センサー追加や障害物検知の向上

本研究では、早いサイクルでプロトタイプをユーザーに利用してもらいながら開発することとしていた。そのため、自律走行においてもまずはロボットを前進することだけを達成するためにセンサーなどの選択を行った。そのため、LRF は自律走行車の周辺全体をカバーしておらず、後進やサイドの障害物の検知を行えない。また、現在 Deep Learnig 技術の発展とともの い、歩行者がこれからどのような動きをするか詳細なところまでわかってきた。本研究では、より快適な自律走行を達成するために、新たにセンサーを取り付ける必要がある。

サービスとの連携

実証実験では、Driverless Car 単体で A 地点から B 地点の移動を行った。しかし、Driverless Car のサービスを検討すると、複数の車両が自在に動き、ユーザー

図 4.8: 地図を作成する上で配置した車両

に適したいつでもどこでも配車を利用できるようなサービスの仕組みが必要である。こうした On-Demand サービスとうとの連携を図っていく必要がある。

図 4.9: 作成した地図

図 4.10: Y さんが乗車している様子

図 4.11: A さんが乗車している様子

図 4.12: 中西金属工業株式会社

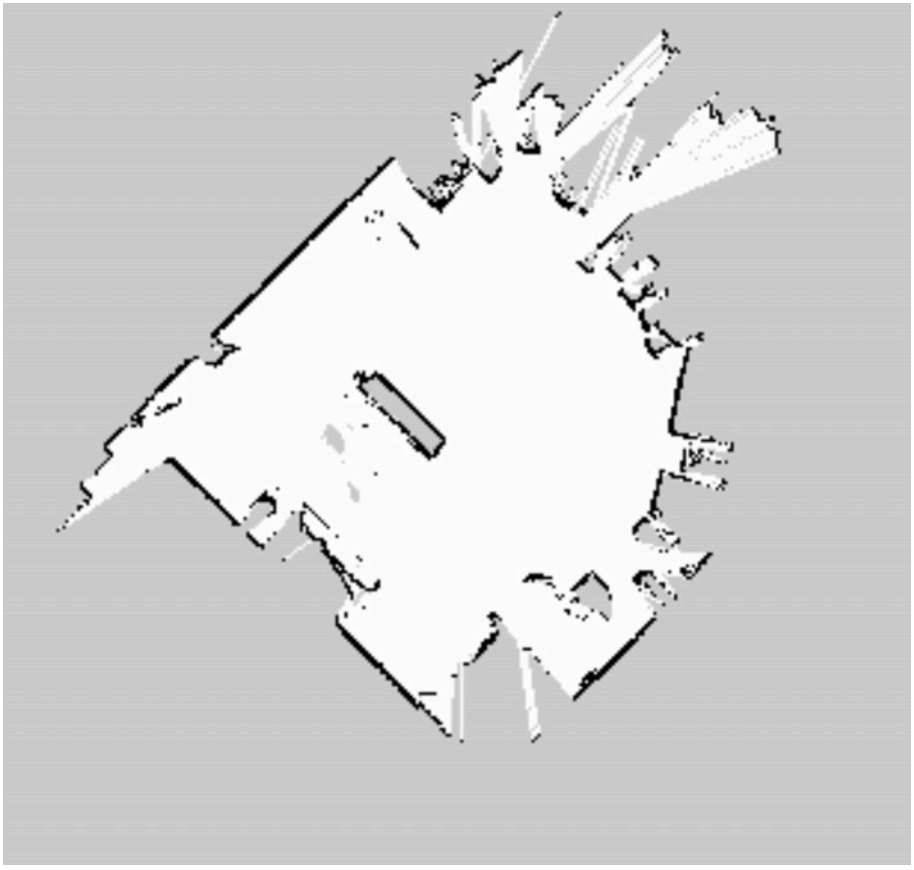

図 4.13: 作成した地図 (屋内)

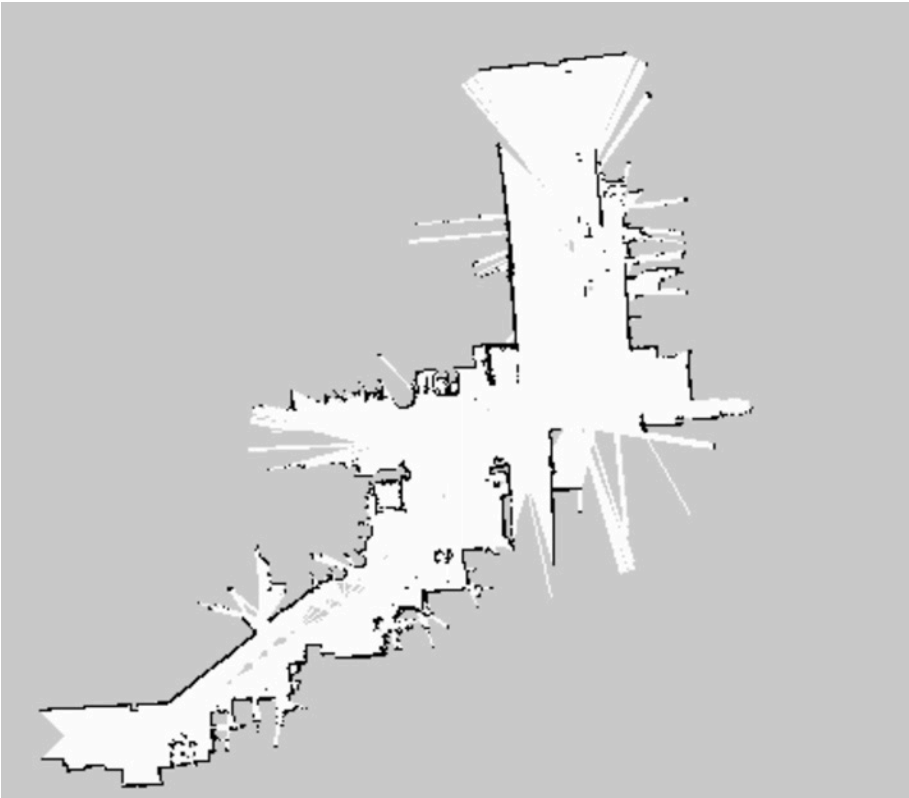

図 4.14: 作成した地図 (屋外)

図 4.15: H さんが乗車している様子 (屋内)

図 4.16: K さんが乗車している様子 (屋内)

図 4.17: H さんが乗車している様子 (k さんが前を通り、検知して止まっている)

図 4.18: K さんが乗車している様子 (屋外)

第5章
結論と今後の展望

5.1. 結論

本論文では、Last One Mile において利用者が自在に移動ができるようにする Driverless Car のデザインと設計・実装について述べた。また、Driverless Car が、Last One Mile 問題というコンテキストにおいて、どのような価値を提供することができるか、2016 年 8 月 31 日に三重県南伊勢町棚橋竈集落付近において実証実験行った。その結果、Y さんは「これで釣りに行って、そのあとにバーベキューしたいな」と述べていたように、Driverless Car は、歩行空間でも自在に動くコンパクトな車体と、いつでもどこでも配車によって利用できる自律走行機能によって、利用者の移動したて様々なことをしたいという潜在的な欲求の向上が見ることができた。以上の結果から、Driverless Car のコンセプトは、利用者の潜在的な移動に対する向上させることが明らかとなった。

本研究は、中西金属工業株式会社及び南伊勢町と共同研究プロジェクトであり、Driverless Car を使ったモビリティサービスデザインを行う慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科 OIKOS で発足した MaaS プロジェクトによるものである。関連研究を通して、パーソナルモビリティのような歩行者空間を移動する自立走行車を使うことで、人々の生活の質を向上させることを概観した。しかし、こうした Driverless Car を使ったモビリティを使った実証はこれまでされて来ていない。そこで、本研究では Last One Mile というモビリティサービスが期待される領域において、Driverless Car が利用者にどのような価値を与えるか Driverless Car のデザイン及び、設計・実装を行った。

Driverless Car をデザインするにあたり、プロジェクトメンバーによって 3 つのフィールドワーク調査が行われた。この調査をもとにコンセプトデザインを行い、Last One Mile における移動は、従来車両のような大きな公道でのスピードの速い移動ではなく、坂道や狭い道といった歩行者空間を安全に移動できる車体を選択、送迎は家の前の細い道までできるよう無人でも送迎が行えるような自律走行システムの搭載、複数の車両がサービスとして機能するような仕組みのデザインといった要素を Driverless Car に組み込むことへつながった。

最後に、2016 年 8 月 31 日に三重県南伊勢町棚橋竈集落付近の国道の一部を封鎖してもらい、Driverless Car を使った実証実験を行った。実証実験では、南伊勢町役場に務める Y さんに Driverless Car に乗車していただた。実証実験では、Driverless Car のステアリングの動作不良や、自己位置推定の精度が低いといった改善点が見受けられた。しかし、乗車中の利用者は終始楽しんでおり、Driverless Car は Last One Mile のコンテキストにおいて、A 地点から B 地点の移動だけではなく、利用者の潜在的な移動に対する向上させることが明らかとなった。さらに、この実証実験を踏まえ、ステアリング動作、4 輪車両に適した経路計画、障害物検知といった改良行い、2016 年 9 月 24 日に大阪市天満の共同研究を行っている中西金属工業株式会社の敷地ないにおいて、U さんと K さんに乗車してもらい実証実験を行った。この結果、細い通路などでも問題なく動作し、分かった。

5.2. 今後の課題

自己位置推定の向上

本研究でおこなった実証実験では、特徴点の少ないエリアにおいて自律走行車が自己位置推定の精度が低くなってしまう問題があった。この改善に向けて、wheel odometry や GNSS を取り付ける作業を行っている。wheel odometry は、現在搭載している IMU と比べ実際のモーターの回転数が取れるため、ロボットが自身の動きをモデル化する際に大きな情報量を与える。また、GNSS は自律走行においては捕捉的なものとして利用されることが多いが、今後ユーザーへの配車と行ったサービスとの連携の上で重要な役割を担う。

センサー追加や障害物検知の向上

本研究では、早いスパンでプロトタイプをすることを目標としていた。そのため、自律走行においてもまずはロボットを前進することだけを達成するためにセンサーなどの選択を行った。そのため、LRF は自律走行車の周辺全体をカバーしておらず、後進やサイドの障害物の検知を行えない。また、現在 Deep Learnig 技術の発展とともものい、歩行者がこれからどのような動きをするか詳細なところまでわかってきた。本研究では、より快適な自律走行を達成するために、新たにセンサーを取り付ける必要がある。

サービスとの連携

実証実験では、Driverless Car 単体で A 地点から B 地点の移動のみの提供であった。しかし、Driverless Car のサービスを検討すると、複数の車両が自在に動き、利用者に適したいつでもどこでも配車を利用できるようなサービスの仕組みが必要である。こうした On-Demand サービスとうとの連携を図っていく必要がある。

5.3. 今後の展望

2016 年 12 月 13 日、Google がこれまで進めてきた運転席のない完全自動運転型自動運転車のプロジェクトがスピンアウトする形で、同社の親会社である Alphabet 傘下の独立企業として waymo が創立した。これまで、Google が開発していた車は、これまでドライバーが行っていたサービスをロボットに代替するという哲学をもとにデザインされたものであり、Driverless Car と呼べるものであった。しかし、今後 Fiat クライスラーと提携して、Self-Driving Car の開発を進めていくことが予測されている[1]。また、グーグルだけではなく、多くの既存の自動車産業も自立走行技術を自社製品に取り入れるべく開発を進めてきている。

本研究は、ドライバーが行っていたサービスをロボットに代替するという哲学をもととしたサービスデザインし、従来の自動車に自律走行を搭載したモビリティサービスではなく、モビリティを提供するコンテキストに適した形で移動の自由が提供できるようなサービスの開発を行っていきたい。本論文を書き終えたころに博士課程への受験をして、今後のこうしたサービスに向けた Driverless Car の開発していきたい。

また、本論文では Last One Mile 地域のコンテキストにおける実証実験であった。今後、共同研究として株式会社 DENSO と指宿白水館が加わり Driverless Car が観光地のコンテキストにおいて人々にどのような価値を提供し、人々にどうような価値を与えることができるのか実証していきたい。

1 http://www.theverge.com/2016/12/13/13938314/google-waymo-fiat-chrysler-rideshare-autonomous

謝　　辞

本研究は、多くの方のご指導・ご協力の元に行われました。本研究の指導教員であり、幅広い知見から的確な指導と暖かい励ましやご指摘をしていただきました慶應義塾大学大学院メディアデザイン研究科の奥出直人教授に心から感謝いたします。研究の方向性について様々な助言や指導をいただきました慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科の石戸奈々子准教授に心から感謝いたします。研究指導や論文執筆など数多くの助言を賜りました慶應義塾大学大学院 メディアデザイン研究科の古川享教授に心から感謝いたします。

また、本研究は中西金属工業株式会社との共同研究であり、Driverless Car の開発資金を支援していただいた。中西金属工業の山千代さん、河内さんには Driverless Car を実装するにあたり、多くの助言をいただいた。厚くお礼を申し上げます。

そして、本プロジェクトを通して様々な支援や助言をいただいた、竹居さん、藤井さん、共に汗をかいた OIKOS プロジェクトメンバーの仲間、ありがとうございました。

最後に、研究活動に関するご理解とともに、経済面や生活面において支援していただきました家族に心から感謝いたします。

参 考 文 献

Burns, Lawrence D (2013) "Sustainable mobility: a vision of our transport future," *Nature*, Vol. 497, No. 7448, pp. 181–182.

Cox, I. J. (1991) "Blanche-an experiment in guidance and navigation of an autonomous robot vehicle," *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, Vol. 7, No. 2, pp. 193-204, Apr.

Fox, Dieter, Wolfram Burgard, Frank Dellaert, and Sebastian Thrun (1999) "Monte carlo localization: Efficient position estimation for mobile robots," *AAAI/IAAI*, Vol. 1999, pp. 343–349.

Melia, T, G Bajko, S Das, N Golmie, and JC Zuniga (2009) "IEEE 802.21 mobility services framework design (MSFD),"Technical report.

Nam, Taewoo and Theresa A Pardo (2011) "Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions," in *Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times*, pp. 282–291, ACM.

Pendleton, Scott, Tawit Uthaicharoenpong, Zhuang Jie Chong, Guo Ming James Fu, Baoxing Qin, Wei Liu, Xiaotong Shen, Zhiyong Weng, Cody Kamin, Mark Adam Ang et al. (2015) "Autonomous golf cars for public trial of mobility-on-demand service," in *Intelligent Robots and Systems (IROS), 2015 IEEE/RSJ International Conference on*, pp. 1164–1171, IEEE.

Quigley, Morgan, Ken Conley, Brian Gerkey, Josh Faust, Tully Foote, Jeremy Leibs, Rob Wheeler, and Andrew Y Ng (2009) "ROS: an open-source Robot

Operating System," in *ICRA workshop on open source software*, Vol. 3, p. 5, Kobe, Japan.

Siegwart, Roland, Illah Reza Nourbakhsh, and Davide Scaramuzza (2011) *Introduction to autonomous mobile robots*: MIT press.

Thrun, Sebastian, Mike Montemerlo, Hendrik Dahlkamp, David Stavens, Andrei Aron, James Diebel, Philip Fong, John Gale, Morgan Halpenny, Gabriel Hoffmann et al. (2006) "Stanley: The robot that won the DARPA Grand Challenge," *Journal of field Robotics*, Vol. 23, No. 9, pp. 661–692.

Wang, Hongwei and Wenbo He (2011) "A reservation-based smart parking system," in *Computer Communications Workshops (INFOCOM WKSHPS), 2011 IEEE Conference on*, pp. 690–695, IEEE.

山本健次郎 (2015) 「歩行空間を自律走行する搭乗型移動支援ロボット」,『日本ロボット学会誌』，第 33 巻，第 8 号，577–582 頁.

森山昌幸, 藤原章正, 杉恵頼寧 (2002) 「高齢社会における過疎集落の交通サービス水準と生活の質の関連性分析」,『土木計画学研究・論文集』，第 19 巻，725–732 頁.