

千葉市民のための安全・安心な歩道空間を活用した パーソナルモビリティ等自動運転の実現に向けた研究

【概要版】

1 共同研究に取り組む背景

幕張新都心は、東京都心や成田空港のほぼ中間に位置し、各々へ30分程度という優れた立地条件を有している街である。

近年では、観光庁の「グローバル MICE 強化都市」への選定、レッドブル・エアレース千葉の開催、さらには幕張メッセが2020年東京オリンピック・パラリンピックの競技会場に決定するなど、非常に注目されており、大きな期待が寄せられている。このような中、これからも新たな価値を創造し続けていくことが幕張新都心の「魅力」であり「使命」にもなっている。

本市では、2020年東京オリンピック・パラリンピックが開催される幕張新都心において、近未来技術を活用したまちづくりを推進し、「オリンピック・パラリンピックレガシーの創出」及び「ユニバーサル未来社会の実現」を目指しているところである。

平成28年1月には、ドローン宅配や自動運転モビリティに関する規制改革提案を盛り込んだ幕張新都心を中核とした「近未来技術実証・多文化都市」の構築を掲げ、東京圏に追加されるかたちで国家戦略特区に指定された。これまで規制改革メニューの積極的な活用を推進するほか、近未来技術を活用した実証実験を実施するなど新たな規制改革の提案に向け取組みを進めているところである。

2 共同研究の目標等

幕張新都心は、機能ごとに計画的に整備されている一方で、施設間に一定の距離があるため、来街者の多くが駅と目的施設との単純往復となっており、街の回遊性に乏しい。拠点間の移動負担が要因の1つと考えられることから、その問題を解決する手段として、パーソナルモビリティシェアリングサービスを実現し、街の回遊性を向上させ、交流人口の増加による賑わいの創出、経済活動の活性化を図りたいと考えている。

市の目指すパーソナルモビリティシェアリングサービスを実現する上で最も重要なことは、利用者や周囲の人や物の安全を確保することであり、地域住民が安心してサービスを受け入れることができるような基準が必要である。

しかしながら、現状ではその基準がないことから、幕張新都心内の歩道空間を活用して、日常環境での小型の自律走行ロボットを走行させることによりパーソナルモビリティの自動走行を安全に実施するための一定の要件を整理し、必要な規制改革事項の洗い出しを行うことで、地域住民の安全・安心の視点を盛り込んだ国家戦略特区を活用した道路交通法の規制緩和やリスクマップに相当する「パーソナルモビリティのための地図作成」を目指す。

また、パーソナルモビリティを活用した公道（歩道）での試乗体験ツアーなどを実施し、事業化に向けた利用者の視点に立った調査研究や民間事業者がビジネスとして

運営していくため、参入を促すためのより具体的なビジネスモデルの提案を行う。

3 共同研究の実施内容・結果

(1) 実証実験の場の確保、地域住民への理解促進

有効な情報を得るため、幕張新都心内の様々な場所で実証実験を実施する必要があった。そこで、実証実験の実施日ごとに走行ルートを事前に定め、所轄の警察署や地域住民等への事前周知及び必要な手続等を行った。

実証実験の実施にあたって、安全に配慮したこと、丁寧な事前説明及び実施結果の報告を行ったことで、本市の取組みに対し、千葉県警察本部、千葉西警察署からのご理解をいただくことができた。

また、地域住民等へ丁寧な対応を心掛けたことや、周囲への安全に配慮した走行を行うことで、地域住民や来街者等とのトラブルが一度も発生することなく実証実験を進めることができた。実証実験実施中、足を止めて見学する住民の方や、「ぜひ実現させてほしい」など取組みに対し肯定的な声を多くいただくなど、本市の取組みに対し地域住民の理解促進が図られた。

(2) 自律走行の基本性能の検証と三次元地図の作成

本実験では安全を重視し、人が搭乗するパーソナルモビリティではなく、図1に示す小型軽量である対向二輪型の移動ロボットを使用する。実験機の前輪は従輪であり、後輪は駆動輪である。大きさは長さ460mm、幅410mm、高さ840mmであり、地面からの高さ420mmの位置に外界センサとして、図2に示すLiDARミラーユニットが設置してある。また、内界センサとしてジャイロセンサとロータリエンコーダを搭載しており、ジャイロオドメトリとして用いることでロボットの角度と走行距離を取得できる。

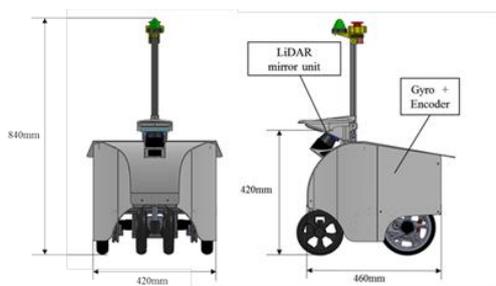


図1 自律走行に用いた移動ロボット

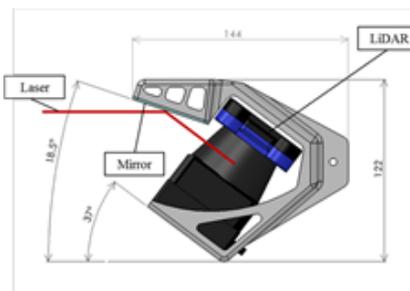


図2 LiDAR ミラーユニット

ロボットに搭載したこれらのセンサを統合し、三次元地図を作成した。自律走行時には、この三次元地図を用いて、ロボット自身の位置推定を行う。

幕張新都心内の様々な場所で自律走行ロボットによる実証実験を行い、多くのルートにおいて問題なく自律走行できることが確認できたが、道路横断をする際には自己

位置推定が悪くなることが分かった。走行中のログを解析したところ、二つの問題があることが分かった。

一つ目の問題は、路面の凹凸である。ロボットは基本的に歩道を走行しているが、一般に、車道は歩道よりも低い位置にある。また、車道と歩道がほぼ同じ高さにあったとしても、その境界部分は、道路の雨水が側溝へ流れるように凹んでおり、完全な平坦とはなっていない。つまり、ロボットが道路を横断する際には、必ず姿勢が変化してしまうため、自己位置推定に重要となる地図が歪んでしまうことが判明した。この問題の対策として、三軸ジャイロの利用が考えられるが、姿勢変化は短時間であることから高価な高精度ジャイロを用いる必要があり、それを使う価値については検討が必要である。

もう一つの問題は、自己位置推定として有効な障害物の少なさである。道路を横断している間のロボットの側方は、障害物のない道路もしくはロボットの横断を待っている車両である。車両の有無や形、位置は、走行のたびに異なるため、自己位置推定には使えない情報である。この問題への対策として、道路横断中は、ジャイロと車輪の回転数から移動量を推定するジャイロオドメトリのみに切り替える必要があるかもしれない。なお、車線の多い交差点などでは、道路を横断する距離が長くなり、ジャイロオドメトリでは対応ができないかもしれない。この場合には、横断歩道の白線が道路に記されていることが多いと考えられるため、この白線を頼りに走行するのが良いかもしれない。

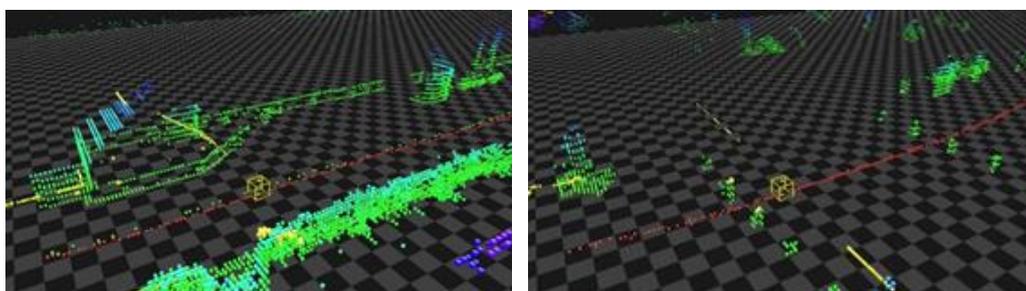


図3 作成した三次元地図の一例

(3) 走行エリアごとの回避方法、ロボットのサイズや速度の違いによる安心感等の検証

パーソナルモビリティの利用は必ずしも一人とは限らず、友達などの複数人で利用することが考えられる。複数人によるパーソナルモビリティの利用では、個々に移動するのではなく、グループとしてある程度集まって走行することが望ましいと考えられることから、追従走行について実証実験を行った。

実証実験の結果、追従するロボットが前方の自律走行ロボットを見失わない工夫が必要であることが分かった。対象を見失うのは、追従のために追従ロボットが急に旋回することによって追従対象の見え方が急激に変わることが原因と考えられる。追従ロボットは、自身が旋回することを把握しているので、追従対象の位置を予測して検出するこ

とで、この問題は改善できると考えられる。また、ロボットに搭載した LiDAR は対象までの距離だけでなく受光強度（レーザが対象に当たって戻ってきたセンサ値の強さ）も計測できるため、対象に反射テープをバーコードのように貼っておくことで、周囲の人を対象と誤って検出する問題に対処できると考えられる。

次に、車体の大きさによって、走行にどのような影響があるのか、また、周囲の人にとってどんな印象を与えるのかについて調査するため、歩行補助車の最大となる大きさのカバーを作成し、これまで用いてきたロボットに搭載することで、車体の大きさに対する検証を行った。

実証実験の結果、屋内など狭い場所においては相当な圧迫感が感じられた。ただし、移動速度を遅くすることで、これらの問題は少なくなることも確認できたことから、大きさはある程度小さくすることが望ましく、狭い場所では十分に減速して走行することが安全・安心のために重要であることが分かった。

なお、屋外ではそれほど圧迫感は感じられなかったが、ロボットの横幅が大きくなったことから、歩道上に設置されている二本のボラードの間を通過するときに、余裕が少ないことが分かった。具体的には、自己位置推定に誤差が生じると、二本のボラードの中央を通ることができず、減速するだけでなく、場合によってはボラードを障害物のように回避する動作も確認できた。

将来的には、ボラードの部分も円滑に走行できる必要があると考えられる。なお、後述する手法によって、ロボットがボラードを認識することができれば、その領域においては経路追従ではなく、二本のボラード間の中央を目指して走行する手法に切り替えることで対応できると考えられる。

次に、スロープ等の限られた空間において、歩行者とすれ違う等の状況に対処する障害物回避の検証を行った。スロープのような道幅が狭い通路内において、ロボットが進む予定の経路上に移動障害物が存在すると判断された場合、スロープの欄干に寄せた新たな走行経路を設定し、それを追従させることで、障害物を回避するものとした。実証実験の結果、歩行者が近づくとロボットは遠くから回避を始め、円滑にすれ違えることを確認した。ロボットが回避方向に向きを変えることから、歩行者も「このロボットは自分の右側を回避する」ということがわかるため、狭い場所ではあるが安心してすれ違いが実現できた。

(4) 自律走行に必要な技術検証

横断歩道を走行中は、前述のとおり、自己位置推定に有効な固定障害物が少なく、位置推定が破綻する可能性がある。そこで、ロボットに搭載したカメラを用いて、横断歩道の認識を試みた。具体的には、深層学習の一種である畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network、以後、CNN) を用いて学習し、認識を行う。

実証実験の結果、横断歩道の概形が認識可能であれば CNN による自動認識が可能で

あることが分かった。

また、横断歩道走行に必要となる歩行者用信号機の検出及び赤信号か青信号かを自動識別する手法について実証実験を行った。

実証実験の結果、CNN を用いた取得画像内の信号機の有無の判定及びその領域に対するテンプレートマッチングによる信号機の切出し手法の有効性を確認することができた。信号色の識別に関しても、色情報での識別ではなく、「明るさ」の要素を正規化した上で行う明度比較による手法を用いることで、天候による明るさの変化に影響されにくく有効であることを確認することができた。

なお、本共同研究で使用したカメラでは 20 m 離れた信号機の認識は可能であるが、30 m 離れた場合は認識が不可能であると判明した。解像度が低く、望遠機能がないことが原因であるため、使用するカメラの性能に左右されるといえる。

(5) ヒヤリハット事例の蓄積及び安全安心のためのモビリティ用地図の作成

本共同研究では、実証実験の際、安全確保の観点から、ロボットの前方に幟を持った人を配置していたため、ヒヤリハット事例はほとんどなかったが、唯一、幕張海浜公園の周りを自律走行している際に、公園から自転車搭乗者が飛び出てきて、ロボットに接触しそうな状況があった。公園側には「飛出し禁止」の看板とアーチ型のボラードが、車道側には数本のポール型のボラードが存在している。

そこで、これらのボラードが存在する場所を「危険なエリア」と定義し、CNN によるボラードの自動検出及び「危険なエリア」情報をモビリティ用地図へ自動的に付加することをを行った。



図4 ボラードの一例

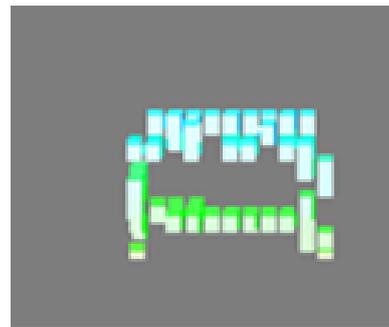


図5 三次元地図でのボラードの一例

実証実験の結果、ロボットの走行を妨げる障害物が存在しない状況であってもボラードの付近では減速して走行することが確認できた。

幕張新都心での実証実験においては、実証実験を行っていることを示す幟を持った人をロボットの前方に配置していることもあり、緊急停止をする状況は非常に少なかったため、千葉大学構内にて幟を持った人を配置しない状態で実証実験を行った。

実証実験の結果、走行すればするほど、緊急停止する機会が増え、危険なエリアを

地図に記録し蓄積できることを確認した。今後は、幕張新都心において、ヒヤリハット事例を蓄積し、これらの情報を他のロボットにも共有することで、安全・安心な走行が実現できるようになる。

(6) 利用ニーズの把握、受益者負担の検討

利用ニーズの把握や市民意識の醸成、事業化を見据えた受益者負担の適切な設定料金などを検証するため、本市WEBアンケートによるアンケート調査、パーソナルモビリティを活用した試乗体験及び参加者へのアンケート調査を実施した。

アンケート調査の結果、試乗体験に参加した者の大半から大変満足（72.7%）、満足（22.7%）との回答が得られた。家族連れ、友人同士、カップルなど、複数人での隊列走行により、相乗的な効果があったと推測されることから、パーソナルモビリティを活用したツアーの有効性はあると考えられる。

また、試乗体験ツアー参加者へのアンケートとWEBアンケートを比較すると、パーソナルモビリティを利用したい距離が2倍となっており、その差異については、約15分程度の試乗体験ツアーを通じ、乗り心地も含め中距離移動にも適していると判断したものと推測される。海浜幕張駅を中心に2km圏内に主要施設がある幕張新都心の特性に合致しており、移動手段として有効性があるものと考えられる。

受益者負担の観点では、実際に乗車することで、ある程度の利用料金を払う価値のあるものと判断されたと推測できる結果が得られ、パーソナルモビリティが移動手段の選択肢の一つとなりうることを示していると考えられる。

ただし、今回の試乗体験ツアーは一過性のものでありサンプル数も少ないため、今後も市民や来街者が実際に体験できる機会を提供し、社会認知度の向上を図っていく必要がある。

(7) 事業化を想定した取組み及びビジネスモデルの検討

試乗体験ツアーを通じて、パーソナルモビリティを初めて操作する参加者の中には、コントロールを失い障害物にぶつかりそうになる事例も見受けられた。利用するモビリティの操作性にも左右されるが、実際にパーソナルモビリティを活用したサービスを提供する際には、安全停止機能が必要であることが再認識された。

また、羽田空港でのユニバーサルデザインのコンセプトを取り入れた、PRM (Passengers with Reduced Mobility) の方の安全で快適な移動を実現するための取組みを視察したが、民間事業者主導により、実際のサービスインを見据えた取組みとなっている。このような民間事業者主導の取組みについても注視しながらビジネスモデルの検討を進めていく必要がある。

4 まとめ（政策提言）

本共同研究の目標の一つである、リスクマップに相当する「パーソナルモビリティのための地図作成」にはヒヤリハット事例の蓄積が必要となるが、実証実験の際、安全対策として自律走行ロボットの前方に幟を持った人を配置したため、ヒヤリハットに関する十分なデータを得ることができなかった。安全性の確保は最も優先すべき事項であり、走行エリアを所轄する警察署の指示にも従う必要があるが、将来的には安全確保のための人員を配置しない状況での運用を目指すのであれば、何らかの安全性を確保した上で、いずれ完全自律走行による無人の実験をするべきと考えられる。具体的には、遠隔でロボットを停止できる機能を追加搭載した上で、幟を持った人の排除、走行管理者の排除など、段階的に安全確保のための人員を減らしていくことが重要と考えられる。

なお、2020年の東京オリンピック・パラリンピックの開催期間中は、非常に混雑した環境で動作しなければならない。このような状況で想定される問題としては、周囲にいる人などによって物体が隠されてしまい、位置推定に必要な情報があまり得られないこと、周囲の人の流れに合わせた走行の必要性などが考えられる。

将来的にパーソナルモビリティをビジネスとして運用する際は、自律走行に関するノウハウを持っていない企業が新規参入しても、千葉市民の安全・安心を確保できるような仕組みが必要であり、安全・安心を確保するための遵守事項を策定し、千葉市で走行するためにはその遵守事項に沿ってもらうことを条件にするなどの技術課題が必要であると考えられる。

ビジネスモデルの検証に関しては、WEBアンケートや試乗体験ツアーの結果から、サービス利用者側のパーソナルモビリティシェアリングサービスの実用化に対する期待感はいかがだが、サンプル数が不足していることから、本共同研究終了後も引き続き試乗体験イベントやツアーを実施し、利用ニーズの収集、社会受容性の向上を図る必要がある。

一方で、パーソナルモビリティシェアリングサービスを実現するためには、実際にサービスを提供する事業者を確保する必要がある。今後は、サービス提供事業者を確保するため、例えば、産官学連携による検討体制を構築し、具体的な利用シーンを想定した実証実験や実際に利用料を徴収するモデル事業を実施するなど、導入台数や走行エリア、季節、気象による利用への影響など更なるビジネスモデルの検証が必要である。

また、本共同研究の結果を踏まえた、パーソナルモビリティを活用した有人での自律走行の実証実験及び無人での自律走行の実証実験の段階的な実施による将来の事業化を見据えた課題抽出なども必要であり、国家戦略特区内に設けられる「地域限定型の規制のサンドボックス制度」の活用も検討し、必要な規制緩和の実現を目指していく。