

自動運転技術の概要とその社会導入に向けた課題

金沢大学 高度モビリティ研究所 教授・副所長

菅 沼 直 樹

金沢大学の菅沼と申します。ご紹介いただきまして有り難うございます。今日ですけれども、私の方からは自動運転技術の概要とその社会導入に向けた課題ということで、その知る限りの知見ということで、今現在の国内外の取り組みですとか、自動運転技術の概要、自動運転技術を先ほどバスに導入するという話もありましたけれども、社会に導入するに当たっての課題というのは、こういったことがあるのではないかということを私なりの視点で少しお話をさせていただきたいと思っております。

本日のアジェンダーですけれども、先ず最初に少し恐縮ではございますが、我々の大学の取り組みが中心にはなりますけれども、これまで日本国内でどのような取り組みが行われてきたのかということとを少しだけお話しさせていただこうと思います。その後、せっかくの機会ですので、自動運転技術にはどのような技術が必要なのかということと、その大変さを含めてご理解いただければいいかということで、自動運転システムの概要という部分を説明させていただきます。またその後、色々な所で使われるということが今まさに検討されているという話がありましたけれども、これまで世界各国で様々な取り組みが行われていますので、いくつかの事例について紹介させていただきます。そして最後まとめでございますけれども、自動運転技術を社会に実際に入れていくに当たって、こういったことをやっていかなくてもいけないのではないか、ということとを私なりの視点で説明をさせていただこうと思っております。

まず最初になりますけれども、最近、今お話があったような運転技術、様々な活用に向けて動いているという状況でございます。日本国内でいくと自動運転の技術開発というのは、いつぐらいから始まったのか、こういったところから振り返ってみますと、今から大体60年前、1960年代ぐらいから自動運転技術の開発が始まっているというふうに聞いております。当然ですけれども、私はその時代にこの世界におりませんけれども、私の大先輩のお話をお聞きする限りですと、そういったかなり昔の時代から自動運転に関する研究というのは行われていたというふうに聞いております。ただ、これは誰が考えても直ぐに分かると思うのですが、今から60年前の時代にそもそもテレビもアナログですし、白黒放送だった時代の時に自動運転技術ができていて、ちゃんと動いていたという話は当然ない訳でして、では何をやっていたのかという話なのですが、当時の自動運転システムというのは、車の知能化というのは実はあまり目指していなかったのです。車だけで知能化をするわけではなくて、道路と車が一体になって道路交通全体を賢くしていこうという考え方が一般的だったというふうに聞いております。いわゆる路車協調という言い方をするのですが、例えば、どのようなやり方があったのかというと、道路の中心に磁石を埋めていって、その磁石を辿って行くとハンドルが勝手にきれます。また、磁石ではなくても電線を埋めて電流を流すと磁界が発生しますので、電磁誘導線といいますが、インフラに何かを敷設することによって、自動運転システムの不完全さ、そもそも困難

さというものもありますがそういったものを何とかして補おうというのがこれまでの取り組みだったというふうに聞いております。こういった取り組みですが、最初はどっぴりとインフラがないとそもそも走れないということですので、基本的にはこの右上にあるようなテストコースで走るとか、高速道路で自動運転しますというプロジェクトが多かったわけですが、徐々に時代の進展と共に同じ高速道路ではあっても、インフラを必ずしも敷設しなくても技術が発達してきて、白線をカメラで認識すれば自動運転できます、もしくは運転支援ができます、というのが増えてきましたので、今、商業ベースにもかなり高級車には運転支援なる自動運転に近いようなものが一般的になってきていると思うのですが、そういった古い時代からの技術が徐々に進展して行って、今の時代に繋がっていると理解しております。ただ、一方で昨今、注目を集めている自動運転システムは残念ながら日本国内はほんという遅れているのですが、特に世界的に注目を集めている自動運転システムというのは、必ずしも高速道路に限らず、一般道であっても運転できる。尚且つ、インフラにもそれほど頼らない自動運転システムが開発されている状態になっております。そういった一般道まで自動運転ができることになると、当たり前なのですが、走行の自由度が非常に高くなると。今日の最後の方にもお話ししますが、アメリカのアリゾナ州フェニックスという町では、空港まで無人のタクシーが来てくれて、そのタクシーがダウンタウンまで運んで行ってくれるという、いわゆるドア to ドアの移動が、ほとんど完成されている状態になっているので、そういったことを考えると、走行空間の自由度が高いというのは、我々ユーザーにとっても、ビジネスをする人にとっても、非常にメリットが高いというのが容易に想像できると思います。ただ、一方で当たり前なのですが、そういった自由度の高い自動運転をしようとすると、技術開発それから信頼性の向上について、非常にハードルが高くなるわけなのですが、ただ一方で60年前と比べると例えばコンピューターがよくなっている。今回の講演に使っているコンピューターですが、60年前に当然このようなコンピューターはなかったわけですが、そういう進展もありますし、それから何よりもセンサーですが、昔はカメラもアナログだったのがデジタルになっているように、他にもレーダーですとか、ライダーという様々なセンサーが出て来ておりますので、そもそものハードウェアの能力が向上しているというのが一つあります。それからコンピューターがよくなってセンサーが手に入ると、要はデータが手に入る状態になるのですが、そのデータを処理するための、いわゆる頭、人口知能 AI という言われ方をよくしておりますけれども、いわゆる機械学習ですとか、ディープニューラルネットワーク深層学習のことです。こういった技術がかなり進展してきておりますので、これまで認識判断というのが、なかなか専門家のアイデアに基づいて設計をするという概念でやってきたものが、ソフトウェアをもしくはデータを収集して、それを学習させることによって自動運転ができてしまう。そういう時代がきてしまっているわけですので、それによってかなり自動運転のハードルが下がっているというのが現状だと思います。それからもう一つ大きいのが、昨今、高精度デジタル地図を活用するという取り組みが多く行われておりまして、高精度地図があると何が嬉しいのかというと、これから走ろうとしている道路空間がどのような構造になっていて、例えばどこにガードレールがあるのか、停止線があるのか等、事前にわかりますので、我々が運転する時も知らない土地に行って直ぐに運転しなさいと言われても少し困ってしまう場合があるかもしれませんが、そういったことでデジタル地図があることによって、その難しさのハードルが非常に下がっている状態になっております。考え方を少し変えると、昔の自動運転システ

ムというのは、ここにハードインフラという言い方をしておりますけれども、フィジカルインフラを物理的に敷設して、それで自動運転をしていたものが、ソフト的なインフラ、デジタルデータですが、デジタルデータを収集しておくことによって自動運転ができるようになってきた。要はハードインフラからソフトインフラにシフトしてきたという考え方があって、これによって一般道での自動運転というのが非常に身近になってきたという状態になったと思っております。実際に右下の動画ですけれども、我々が内閣府のSIP事業という事業を受託しております、昨年度までやっていた取り組みなのですが、その中で東京のお台場で自動運転をしている時の様子ですけれども、こういった自動運転も我々のような一大学であったとしても、データを用意してコンピューター、それからセンサーを用意すると自動運転ができてしまうような時代になってきておりますので、非常に技術的には発展してきていることが何となくご理解いただけるのではないかと思います。

こういった自動運転技術、先程も言いましたように60年ぐらいの歴史がある中で、私共、金沢大学の取り組みについても少しだけ紹介をさせていただければと思います。金沢大学ですけれども、今から26年ぐらい前になりますが、1998年頃から自動運転の技術開発というのをスタートしております、当時、私、実はまだ修士の学生だったのですが、その頃に我々の大学の研究室の上司だった先生が、車を買ってこられて、それを改造して自動運転の研究をしたというのがスタート地点になってございます。実は98年ぐらいから研究開発をしているのですが、3年か4年ぐらい前の段階で日本国内でいきますと、ちょうど上信越自動車道という道路が開通する少し前ぐらいのタイミングに、自動車メーカーの方々が沢山集まって開通前の上信越自動車道に磁石を埋めて、その磁石を辿って自動運転をしていくというようなニュースがありまして、そういったものを横目で見ながら面白そうだなということからスタートしました。ただ一方で初めて研究する時というのは、大学にお勤めする人ですとよく分かると思いますが、研究費というのはそんなに沢山あるわけではないので、我々が直ぐにインフラに何かを敷設してください、といってもお金があるわけでもなく、そういうパワーがあるわけでもなく、そういったインフラに頼った自動運転というのは、そもそも研究としてできないというところがベースにあって、ではどうしようかということから、車を改造して車だけでできることをしようというのが実はスタート地点になっております。ですので、自律型という書き方をしておりますけれども、我々、インフラに頼るものとインフラに頼らないものとを区分けするために、敢えて自律型という言葉を使わせていただいております。最近、この自律型という言葉が市民権を得てきたかなというふうに思っておりますけれども、インフラに非依存の自律型の自動運転システムを開発しようという、そのための認識技術、判断技術を作り始めたというのが今から四半世紀前ということになっております。

研究開発の当初ですけれども、先程も言いましたように先ずお金がない。それから、誰も伝手が無い、そういうところがスタート地点でしたので、先ずは細々と車にコンピューターやカメラを乗せて、何とか周りの環境が見えるような研究をしようと、それは許認可等はいらないので、その程度だったら出来るでしょうということ、右上にあるようなカメラを乗せたシステムですが、これは移動物を抽出している例になっております。こういった認識をするような研究を行ったり、それから大学の中は公道ではないので、許認可はいらないですけれども、大学の構内で取り敢えず左下の動画のように何か物を避けて行くようなシステムを作ってみよう。それから右下の動画、研究開始してから

10年ぐらい経った段階だと記憶しておりますが、大学の構内で無人で走らせるようなことを少しイベント的にしたり、こういったことをやりながらまずは無人に走るための技術開発としてこういったものが必要なのか、こういったことを研究開発として行ってきたという形になっております。

そして研究が少し進んでいきますと、少しだけ政府のお金等もいただいておりますので、その関係で車を新しく作り、センサーももう少しいいものを購入させていただくということで、その当時ですと周辺環境を三次元的に、しかもリアルタイムに測ることができるようなセンサーというのが少し高いですが、入手可能になりましたので、それで例えば左下の動画でいきますとこれも大学構内の動画ではあるのですが、交通ルールに基づいて走っていくようなシステムというのが大学構内で運用しました。それから右上の動画ですが、大学の近くに自動車学校があり、その自動車学校のご協力をいただき自動車学校のテストコースの中で、そもそもの信号機に対する振る舞いや、交通ルールに従うためにはどういったことをしなければいけないのかを研究として2年少し行ってきました。

そして2015年以降になりますけれども、ここ最近8年9年ぐらいの取り組みとしては、まさに公道で自動運転を行うことを様々な関係者の方々のご協力をいただきながら進めておりまして、2015年2月末からになります。その当時は国内の大学では初めてということになりましたけれども、今では東京都内、千葉県、石川県、北海道ですとか、フルスピード60kmで走行可能な自動運転システムを作っているということで、一部は国の方々と協力し、もしくは企業の方と協力しながら、そういった形で研究開発を行っているような研究グループでございます。

こちらに出ておりますのが、我々の大学で開発しております最新の自動運転システムを表しております。右上に少し動画が出ておりますけれども、これがこの車に付いておりますLiDARというセンサーで周りの環境を見た時の映像を示しています。正確にいうと若干間違っております。この車に付いている一つ前の世代の古いライダーの映像をお示ししております。この車のLiDARで見ると更にリッチな三次元環境が実は見えております。用意の都合でお見せすることができず申し訳ございませんが、三次元的な環境がご覧いただけると思います。最近の自動運転システムには、LiDAR、これレーザー光線を使ったシステムでございまして、レーザー光線を周りの物体に飛ばして、レーザー光線が戻って来るまでの時間、非常に短い時間ですけれども、時間と光の速度をかけると距離が分かるという原理で三次元環境を見ているのですが、こういったセンサーですとか、同様に電波を出して戻って来る時間を計るミリ波レーダー。それから皆様、よくご存じのようにカメラ。このように複数のセンサーを組み合わせながら自動運転を行うというのが、一般的になっております。その他にも、GNSSと書いてございますけれども、これも衛星測位をするためのアンテナであり、IMU（イナーシャルメジャーメントユニット）慣性計測装置といいまして、回転する速さや加速度を測るセンサーになります。このようなものを活用しながら車の状態、それから周りの環境を見て自動運転をしていくという形になってございます。

こういった車を活用しながら、色々な場所で自動運転を行っているのですが、一台買うとどれぐらいかかるのかわかる方いらっしゃいますか。先ほどのこの車ですが。大学ですので、人件費が無料という計算になるので、本当は更に高いのですが、この車一台買うとどれくらいだと思いますか。例えば、1,000万円ぐらいだと思われる方、どれくらいいらっしゃいますか？有り難うございます。3,000万円ぐらいだと思われる方？では5,000万円？1億円？

有り難うございます。実は一台当たり5,000万円ぐらいかかります。何が高いかといいますと、一つ一つのセンサーが物凄く高く、上に付いている LiDAR 一つで1,000万円ぐらいます。それから衛星測位やジャイロという車の動きを測るセンサーだけでも1,000万円します。そもそも一つ一つのセンサーが物凄く高いという状態になっております。あくまで研究用として構築しているので、研究用のセンサーだから高いという側面はあるのですが、これが半分か最終的には1/10ぐらいに安くなると思うのですが、現状ですとこれぐらいかかっていて、メーカーの方が開発すると人件費がかかるので数億円かかるのが普通だと聞いております。そう聞くと普通こう思うと思うのですが、そんな高いセンサーを買えば自動運転できるのではないかとよく言うわれるのですが、残念ながらそんなことはないのです。何が難しいのかということについて、次からご説明していこうと思います。

難しさなのですが、ありとあらゆる所に難しさというものがあまして、ここに少しまとめさせていただいているのが、市街地で自動運転をしようと思った時に今の技術レベルで自動運転をしようとするならば、こういったことをしないと自動運転できませんということをまとめたのがこちらのスライドになっております。詳しくは次のスライドでご説明しますので、ここでは概略に留めておこうと思うのですが、この青点が三つほどあります。この三つが大枠で、自動運転の車にシステムで搭載しないといけない機能をまとめたものになっているわけなのですが、自動運転をするシステムのことを認知、判断、操作という言い方をするのですが、まさにそれに近いようなことをやっているのですが、もう少し細分化するとここに書いてあるような中身になるというふうにご理解ください。先ず一つ目、地図生成と自己位置推定技術と書いてございます。これ何を意味しているのかというと、今、開発されている自動運転システムのもちろん全部ではないのですが、多くのものは基本的には、高精度地図、最近、日本ではダイナミックマップという言い方をする場合もありますが、一般的にはHD マップと言いつ方が世界的には正しいと思うのですが、高精度地図を用意しておくというのが一般的になっていて、それに基づいて自動運転をするというのが基本スタイルになっております。ただ、容易に想像できるのが、例えば先ほど、バスに活用しようという話が冒頭に出ておりましたが、バスの路線全ての高精度地図を作ろうと思ったら、高精度地図を作るための測量機器が当然必要になって、一回作ればおしまいではなく、それを常に更新していかなければ環境というのはどんどん変わってしまいますので、そういったものを常にやるようなことを考えていかなければいけない。バスならいいとして、普通の乗用車は走ろうと思うと、ありとあらゆる所を走るわけですから、地図を一回作っただけではなくずっと更新し続けるということを考えると、とんでもないコストがかかってしまうわけです。ですので、これをいかに自動的かつ安く作れるかということがポイントなのですが、これもかなり難しさがあるってそもそも地図を作るためには、衛星の情報等で測量車両の正確な位置が分かっていないといけないのですが、そもそも測量車両の位置ってどのようにもとめるのですか。というような話もあるので、そんなに簡単ではないというのがあります。また地図があったとしても、車が地図の中のどこにいるのかというのが分かっていないと自動運転ができないわけなのですが、いつでもどこでも車の位置がわかるのであれば、そもそも何の問題もないのですが、それが出来ないから困っているということで、地図生成と自己位置推定、これだけでも非常に難しさが存在しているということになります。それから周辺環境の認識ですが、これもかなりハードルがあって、信号機それから周りの物体、色々なものがあるわけなのですが、そういった物体を見間違えることが極力

ないような状態にしながら、尚且つ移動している物体に対して単にものを見つけるだけではなくて、それがどのような動きをしているのか。また将来どこへ行こうとしているのかということとを予測しないと自動運転ができないということになります。ですので、例えば、ここの予測ということ一つを取ったとしても、先程のような高価なセンサーを付けたとしても、今現在の状態はわかるのですが、何秒後にどうなるのか、そんなのは高価なセンサーを付ければわかるということは当然なくて、未来のことがわかるセンサーがもしあったとすれば、何に使おうかという、当然、宝くじを買うのですが、そんなことってできないことが想像できるように、高いセンサーを付けたからといって自動運転というのは簡単には出来ないというのが想像できると思います。そして最後に、何をしなければいけないのか。目的地に到達するためには、どのような動きをしなければいけないのか。これを考えなければいけません。これも非常に難しい話で、目的地に着くということだけを考えるならば、普通にカーナビのようにルート選択しておしまいでないかというふうに思うかもしれませんが、当たり前ですが、信号機があれば止まらなくてはいけないという交通ルールがありますし、それからマナーに従うという概念もあれば、障害物が飛び出してきたら避けなければいけないと。そういうことを考えていくと、非常に細かなことからマクロなことまで多くのことを考えなければいけないということになるので、やはりどれを取っても簡単ではなさそうだとすることが想像できるのではないのでしょうか。恐らくなのですが、この辺の技術ですが、トータルでやると結構なボリューム感になるのですが、多分メディアの方が自動運転技術って何で出来ているのですか、というのを説明する時に一言AIですということと言うと思うのですが、そんな簡単なものではなくて、AIというものを活用することによって、今までの技術をもう少しランクアップするという使い方はするのですが、中で隠れている技術というのは昔からあるような情報処理の世界ですとか、移動ロボットの技術、こういうのが中心になっているので、昨今のこういった移動ロボット技術自体もAIの技術によって進展しておりますけれども、そういった技術革新を含めながらやっていかないと単にAIですよという一言では解決できないということが容易に想像いただけるのではと思います。

せっかくの機会ですので、あまり深入りすると難しくなりますので、比較的わかりやすい範囲でこういった一つ一つの技術が、どのように出来ていてどのような難しさがあるのかということとを少し説明していこうと思います。先ほど、三つほど技術があるというふうに説明したかと思うのですが、先ず一つ目の自己位置推定技術です。これについて説明していきたいと思います。先ほど、高精度地図があるというお話をしたかと思います。高精度地図というのはどぐらい高精度なのかというと、簡単に言うと、ここから岡山駅に行こうとか、場合によっては京都や大阪へ行こうとなった時に、そこまでどのような道の形状になっていて、どの車線がどれくらいの幅であって、そこが走行速度がどれくらいなのか、もしくは停止線がどこにあるのかということが全部書いてあるような地図があるので、そういったものが用意できていれば、何となく自動運転できそうだとすることが想像できると思うのですが、物凄く簡易的に考えるとこういうことだと思っていただきたいのが、Present locationというふうに書いておりますけれども、今現在ここにいたとして、今から例えば岡山駅にいかうと思った時に、こういう道のりがありますよということが書いてあるので、悪い言い方をするとここにいたとするならば、例えばハンドルを左にきらなければいけない。ここだと右にきらなければいけない、ということが予め分かっている、この地図に書いてある通りにハンドルをすればよいという

のが、基本的な考え方です。これは何かに似ていないかという、実はこれは例えば鉄道の線路等と似たような概念で、ひかれてある線路にただ沿っているだけということに近いので、鉄道と似ていると思いがちなのですが、一番大きく違うのは、鉄道の場合は線路がどこにあるのかという、フィジカル空間、物理空間にひいてあって、鉄輪がそこを沿うように物理的な拘束がついているということです、何も考えなくても動いてくれる。もちろん鉄道技術者の方は物凄く考えているのですが、運転手さん自体はハンドルをきるという概念がないと思うのです。ですので、鉄道の場合には目的地に行けるということなのですが、自動運転システムの場合には、地図がどこにあるのかという、フィジカル空間ではなくてサイバー空間にあります。デジタルデータとして地図を持っているわけなので、この道のりというのは物理的な空間にはなくて、何かのデータとしてただ持っているだけということになります。そうするとこの道を辿ろうとした時に、例えばここで右に曲がらなければいけないということが分かっていたとしても、今、自分がどこにいるのかということが正確に分かっていないと高精度地図があっても、そもそも高精度地図を使えないということになってしまうわけです。ということを見ると高精度な位置はどうやって求めたらいいのかということですが、自己位置推定技術（localization）という技術が非常に重要になるということがお分かりいただけると思います。車の位置というのは、どのように求められるのかということを少し考えてみますと、恐らく一般の方々が一番容易に想像するのが、GPSに代表されるような衛星測位システムだと思うのですが、車にお乗りの方はカーナビが付いてる車が多いと思いますので、カーナビを使っていれば大体車の位置は分かっているので、GPSを使えば正確な位置がわかると思われると思いますが、残念ながら例えばトンネルの中ですとか、ビル谷間ですとか、そういった所では衛星の電波がきちんと入って来ないので正確な位置が全くわからない。ですので、実はそこでは自動運転が出来ないということになってしまいうわけですので、衛星測位だけで自動運転をするというのは、あまり技術を知らない人が使う場合もあるのですが、今、市街地向けの自動運転をやっている人は補助的にしか使わず、GPSというのはほとんど使っていないという状態になっております。では、どうするのかというと、地図を活用して車の位置を求めるというのが一般的にはよく用いられておりまして、走行する空間の例えば三次元的なビル位置関係だとか、我々の場合、実は三次元的な情報を持ってなくて、道路の路面の模様、白線や横断歩道ですとか、そういったパターンを予め持っておいて、そのパターンを照合することにより、過去に走った時と今走った時と似たような模様がある。もしくは、似たような建物があるという情報を基に、高精度位置測定をすることで位置がわかるという状態になっております。

例えばこちらが、先程言った我々のシステムの場合には、という話になるのですが、我々の場合は二次元地図、オルソ画像というふうに言うておりますけれども、この動画の中にもあるように、道路にひかれてある白線のパターンですとか、それから横断歩道予告表示のひし形のマークがあると思うのですが、全て含めて走る空間の道路の模様を画像化して保存しておきまして、実際に走る時と過去に走った時の画像パターンを照合することによって車の位置を求めることをしております。こういった技術ですが、一例にしか過ぎないのですが、少なくともこの技術の場合でいきますと、大体10cmぐらいの精度で車の位置がわかるということになっておりまして、衛星測位が全くない状態でも全く問題ないですし、昼でも夜でも全く問題ないということになっており、こういった技術を活用することによって広い範囲でしかも広い時間帯で自動運転ができるということになっております。

それから続いて、周辺環境認識という技術についても説明させていただきます。周辺環境の認識、こちら色々な技術が必要ですので、今日、全部ご説明するわけにはいかないのですが、頭が痛くなることをいくつかお話ししていきますと、例えば、多岐にわたる物体を認識しなくてはいけないのですが、静止物体と移動物体に分けて説明した時でも、静止物体だけ見ても信号機、標識、障害物、路面の凸凹、スピード抑制用のバンプのようなものもあると思うのですが、それも認識できていないとそもそも車が壊れてしまいますし、それから白線、横断歩道といったものも認識しなくてはけません。それから、移動物も先ほど言いましたように、物体をただ見つけるということではなくて、例えば、車ですとか人ですとか、二輪車ですとかそういう物体があったとすると、それがどんな物体なのかということを識別するということが必要であり、どれくらいの速度で走っているのかということも認識しなくてはけません。非常に多岐にわたるようなことが必要になるのですが、信号機を例として、考えてみたいと思います。ちょうど右下の動画が、東京のお台場で実際に自動運転している時の信号認識システムの認識結果を表しておりますけれども、ご覧いただくとまだ出ておりませんが、近距離でしたら信号機が見えるのですが、100mや150m先の信号機になりますと、画像の中で信号機って物凄く小さな点でしか映らないのです。数画素や10数画素数でしか映らないのですが、そういった小さい信号機を遠距離からどうやって見間違えることなく認識するのか、それだけ考えてもかなり頭が痛いのですが、そういった細かい所を含めて多岐にわたる技術を開発しなければいけないので、その辺のところの難しさというのは何となく想像していただけるのではないかと考えています。ただ、難しいとばかり言っても仕方がないので、やり方は色々あり、例えば信頼性の向上というように書いてありますけれども、地図で解決できるようなもの、高精度地図があれば、あまり全部やる必要はないということもあって、例えばこの静止物体の中で言えば、白線、横断歩道の位置関係や、制限速度、一旦停止の標識、これは必ずしも認識する必要はなくて、高精度な位置がわかっていて、高精度マップがあったとすると道路の環境が変わらない限りは必ずしも認識する必要はないので、全部を認識しなければいけないということもないです。それから信号機に関しても、我々、カメラだけで認識することもできますが、例えば東京都内でいきますと、お台場ですとほとんどの信号機は今の信号機の色の情報や残りの秒数が無線通信で取得できるように今はなっております。ですので、そういったものを使えば、難しさのハードルは下げることも出来るのですが、そうはいつでも全国色々な所でやろうと思うと、結構難しさがあったり、それからカメラだけだと難しいので他のセンサーも活用したり、色々なことを考えてしなければいけない。ということはご理解いただきたいと思っています。

詳しい技術についてご説明しても本当に難しくなってしまうので、認識している様子を少しだけ例を示しますけれども、非常に古いデータですので、本当は最新のデータを持参したらよかったのですが、信号機を認識している様子ですとか、カメラで物体を検出している様子。それからLiDARというセンサーを使って、物を見つけて見分けるような技術というのを提示しておりますけれども、今の技術でいきますと、信号機を認識するというようなもの、例えば信号機で言えば120mや150mぐらい先からきちんと見えていますし、物体でも100m、200m先から見えるようになっているので、かなりの所まで出てきているのですが、よりそれをロバストに頑健にやるためにはどうしたらいいのかということが一つポイントになってくるかと思っています。

そして最後になりますが、少しに留めておきますが、車の動かし方を考える技術、パスプランニングという技術ですが、先程の説明だと走行軌道生成と車両制御技術だったでしょうか。3番目の青点の部分になりますけれども、ここの所について最後に説明します。こういった技術、総合してパスプランニングという言い方を技術的にはするのですが、自動運転の車に乗った人が自動運転の車に対して指令する中身って何かというと、すごく単純なのですが「ここに連れて行ってください。」と要はタクシーに乗っていることと全く同じことを自動運転システムに入力するので、例えば、アメリカで自動運転システムに乗ると、ウーバー等とほとんど一緒なのですが、目的地をスマートフォン等で「ここをお願いします。」とやって現在地ここですと識別すると、そこまで勝手にしてくれるという形になるのです。要は目的地を入力すると後は載っている人は何もタッチしないということが基本なのです。そうすると、しなければいけないことが本当に多くあって、目的地に到達するためにはどうしたらよいのかというルート選択から、交通ルールに従うということもあれば、安全性を加味して走って行かなければいけない。全部を考えていかなければいけないので非常に大変になるということになります。特に高速道路と比べると、一般道は非常に難易度が高くて、例えば右下の動画をご覧くださいなのですが、自動で、止まっている車を回避している様子を示しておりますけれども、分かり易い例で一つ載せております。一般道の場合というのは、道の中心をただ走っているだけだと、走れない場合って結構多いんです。何かものが止まっている。何かがはみ出してきている。というのがあるので、何か車線の中に物体があったら、例えば、止めるみたいなことをやると、これだけでも止まらなければいけなくなりますし、交差点にいくと道幅が狭いとトラックが少しはみ出しているということがよくあると思います。それだけで全く動けないとなると、交通ルールどころではなくて、物凄く大渋滞になって迷惑になってしまいます。ということになりますと道の中心を走るという概念では、そもそも成立しないので、道の左側を走るのか右側を走るのか。それから今の速度を維持するのか。もしくは加速するのか減速するのか。こういった様々なパターンを組み合わせで考えた上で、どの動き方だったら安全が高いのかという事前にシミュレーションをしながらしていくわけです。その上で無数に考えたパターンの中から、どれだったらなめらかに走れて、しかも安全性が高いのかという判断の元で、そのパターンを選択してハンドルをきっていく。アクセル、ブレーキを制御することになるので、実はコンピューターパワーが必要になりますので、そういったことをやっていかなければいけないことになります。これも作ればできるというようなことを言いましたけれども、実はこれも簡単ではなくて、例えば、隣に車がいた時にどれぐらい避けて走らなければいけないのか、どれぐらい避けていたら、どれぐらいのスピード感で走っていけばいいのか、ということが結構なノウハウになってまして、そういったことを色々とやるというのが、昔は人手で頑張ってやっていたところが、今ではデータドリブンで沢山データを取ってきて、学習によって解決できるところも増えてきたということで、そういったデータをいわゆる学習によって走り方を賢くするみたいなことも増えてきて、昔のような難しさというのが、今はデータを取るという大変さに変ってきているという状況になってきております。

難しい話はなるべく抑えたつもりではあるのですが、そうはいっても面倒くさい話を色々とさせていただきますけれども、こういう様々な技術というのを培いながら、それを高度に組み合わせてシステム化していく。これが自動運転システムであって単純に少し何かをすれば、研究として自動運転

システムが出来るというレベルではないですということを何となくご理解いただけたのではないかと思います。次にこういった自動運転の技術開発が国内外でどのように進められてきて、どんなふうに今の状態に繋がってきたのかということを少しだけ振り返ってみたいと思います。

先ず、海外についての取り組みについて、少し見ていきたいと思います。もちろん、ここで紹介しきれないようなすごく古くから色々なことをやられているので、あくまでここに書いてあるのは、市街地向けの自動運転でどの辺からどのような盛り上がりを見せて来て、今に繋がっているのか。そこだけでまとめていますので、少し誤解のないようにお願いしたいわけなのですが、先ず最初に一番注目を集めたコンテストがありまして、それがアメリカの DARPA という機関、米国の国防高等研究計画局という名前だったと思いますけれども、そこが企画した Grand Challenge というコンテストがありました。これが2004年と2005年に開催されております。今から20年弱前になりますけれども、当時、何があったのかと言いますと、アメリカが当時イラク戦争を行った時代になっておりまして、その時にイラクに派遣される米軍の兵士が、なるべく安全にそこに戦闘に加わるようにということで、無人で搬送できるような車を作らなくてはいけないという政府の目標がありまして、それに則ったプログラムが Grand Challenge というものでした。当時、ここでやっていたのは、アメリカのネバダ州の砂漠の中、大体200kmと言われていますけれども200kmの区間を無人で走る車で走破するというコンテストを行ってまして、単に走るだけではなくて障害物やトンネルや狭小の道路、色々な道路がある中で、自動運転で走破しようという試みがあって、2004年に参加していた研究機関、残念ながらクリアできた機関が一つもなかったのですが、2005年にやった時には、かなりの機関がクリアしたというのがあって、それで自動運転に対するブームに火がついてきたということになっております。そして、その2年後、これも同じく DARPA が行った Urban Challenge というのがありますけれども、こちらはちょうど予選会の様子が右上の動画に出ておりまして、こちら Stanford 大学の研究室のホームページからお借りしてきた動画で、Stanford 大学の Sebastian Thrun 先生ですが、周りに色々な車が走り回っている環境の中で、自動運転をするというシステムを開発されたりですとか、それから Stanford 大学だけではなくて、カーネギーメロン大学 (CMU) ですとかバージニアテック大学ですとか、世界に名立たる研究機関、大学がこういった自動運転の開発をして、尚且つ普通に走れるということが実証されたというところがあって、そこからかなりの資金が投入されるようになってきたという状態になっております。最新でいきますと、自動運転というのは、Cruise というアメリカの会社が事故を起こしてしまっただけで若干下火になっている会社もありますけれども、私が先ほどからお話しております米国の WAYMO という Google 系の会社ですけれども、Urban Challenge で開発を行っていた Stanford、CMU 等の研究者を根こそぎ引っ抜いていって、研究開発をして莫大なお金を投資したという状態なので、今、世界で WAYMO というのが最も進んでいるというふうに言われています。一部アメリカの技術も参考にしながらという噂だけは聞いておりますけれども、そういったところから、今、中国が技術的にはかなり進展してきている状態になっております。これがアメリカの動きなのですが、その他でも当然ヨーロッパでも動きがあって、今日は一つしかお持ちしておりませんが、真ん中の The Bertha Benz Drive@2013 というように書いておりますけれども、これも少し注目を集めたイベントがございまして、Bertha Benz というのは、Benz の創業者の奥様で、今から100年ぐらい前にドイツ国内を一般道で、当時は自動車、内燃機関を持った車というのを、セ

ンセーショナルに売り出したのですが、その方がドイツ国内100kmを自ら運転して走破をしたというメモリアルな道路がありまして、同じ道路を自動運転の車で走破しようというのをやっております、Mercedes Benz S500 Intelligent Drive、この名前で検索していただくと恐らく YouTube 等に引っかけられると思うのですが、Daimler 社ですとかドイツのカールスルーエ工科大学（KIT）と書いておりますけれども、この辺の研究者の方々がこのコースを走破するということで、かなり国際学会ではその中、どこを見てもその話だらけということで盛り上がっていたという記憶がございます。

こういう盛り上がり方が、アメリカ、ヨーロッパで行われている一方で日本はどうだったのかということをし少し振り返ってみようと思います。日本ですが、正直に言うと、かなり否定的な意見が昔は多かったです。特に2010年ぐらいまでですが、我々、研究者の中でも学会や学内の説明でも、自動運転という言葉を出すと何故そのような遊びをやっているんだというお叱りを受けたり、自動運転というのはどうせ使われないからやる価値がない。それから、運転支援であれば価値があるが。そういう言い方をよくされていて、ほとんど自動車メーカーの方々も裏ではやっていたと思うのですが、ほとんどの人が運転支援という言い方で説明をしてきた時代がありました。世の中ががらっと変わったのが、ちょうど2013年ぐらいだったでしょうか。右上に出ている動画、トヨタ自動車さんが東京モーターショーの中でデモンストレーションをしていた時の様子になっておりまして、我々も横で同じようなデモをしておりましたが、何をやっていたのかというと、当時、高速道路での運転支援だけしか日本のメディアではほとんど注目を集めていなかったのですが、トヨタ自動車さんですが、ここでは止まっている車をすいすい避けていって、最後、無人で自動駐車するという、そういうデモをされておられて、自動車会社さんでもそういったデモをするんだとセンセーショナルだったのですが、その辺のところからかなり盛り上がりが出てきました。また、その近辺には、国会議事堂周辺、霞が関の近辺ですが、トヨタ、日産、ホンダの3メーカーの方々が、当時の安倍首相、ご存命だった頃に自動運転の車で走行デモをするようなことがあって、かなり注目度が集まってきたというのがあって、その先に色々な盛り上がりを見せてきたということがあります。2013年ぐらいに一旦盛り上がってそのまま盛り上がり続けたというわけではなく、例えば2015年ぐらいから我々の大学が公道で走行実験をしたりですとか、一部そういった自動車メーカーではない所も含めて自動運転を行うといった試みが出てきたので、2016年ぐらいに我々もヒアリングに呼ばれましたけれども、警察庁様が自動走行システムの公道実証実験のためのガイドライン、これご承知のとおりかもしれませんが、これを出していただいたというのがあって、日本国内において自動運転の実験をするにあたって、運転席にドライバーが乗っている状態であれば、基本的には許認可の必要はないと言っていて、ガイドラインは出しているのだけれども、ガイドラインに従う必要すらないけれども、推奨すると言いつにされている。こういったチャレンジングなガイドラインというのは、世界的に見てもレアだというふうに私の中では認識をしております、アメリカ国内であってもしっかりとした許認可が必要ですし、中国でも許認可は必要ですし、こんなに自由にやらせていただいている国って実は日本しかないのではないか、と思っているのですが、日本は法律のハードルが高いと言われ方をしている、その辺は不思議な印象を持っております。ただ、無人の時は法律のハードルは高いのですが、有人の場合はハードルがきわめて低いのが日本の状況になっております。更にガイドラインが出されて以降、全国各地でラストマイル実証と言われるような実証が特に進展しておりまして、日本国内でいくと、低速

モビリティ、ゆっくり走るようなものであって、インフラに依存したようなタイプというのが現状だと残念ながらほとんどなのですが、そうは言っても様々な取り組みが行われているのはご承知のとおりかと思っております。

一方でこういった実証実験というのは、大体はサービスカーに向けた実証実験というのがほとんどなのですが、オーナーカーにおける自動運転の導入、そういったところについて官民の動きがかなり進んでおります。特にその中でも、内閣府が行ってございました戦略的イノベーション創造プログラム（通称 SIP）と言われておりますけれども、第1期、第2期ということで2014年～2022年までかなり長い間続いておりますけれども、こういった取り組みの中で府省連携で取り組みを行いながら、産学官連携で研究開発をしてきたという実績があって、これもご承知のとおりで2020年4月には道路交通法、それから道路運送車両法が一部改正になるということがあったりですとか、それに伴って、世界初Lv3車両がホンダから発売されました。それから2021年11月には新車限定ではありますが、衝突被害軽減ブレーキ装着の義務化。かなりの盛り上がりを見せてきたというのが国内の動きだと承知しております。

これが国内外の流れということですが、では我々は何をしてきたのかと残りの時間でご説明をさせていただこうと思います。我々の大学は今から25年ぐらいまで研究開発をしてきたというところがありますけれども、2015年ぐらいから公道走行で色々な取り組みをするというところ、そこが今のベースになっておりますけれども、公道走行がいきなり出来たということではなくて、その前には結構な努力をしておりまして、先程も動画でご紹介しましたけれども、自動車学校さんのテストコースを2年と少しぐらいお借りしまして、自動運転に関する様々な機能を作りこんできたという実績がございます。金沢に行かれたことがある方がどれくらいいらっしゃるのか分らないのですが、金沢は駅前ですと町中がそれなりに栄えているのですが、少し歩離れると田舎でございまして、残念ながら人もそんなに多くないのですが、我々にとって田舎って嬉しいなと思うのが、我々、自動車学校さんにテストコースをお借りしたいという相談にいったら、社長さん、校長先生が出て来られて「どうぞ。どうぞ。勝手にどうぞ。」とおっしゃられるので、「おいくらでしょうか。」とお聞きしたら「どうぞ勝手に。」とおっしゃれまして、非常にお優しい方々で「土曜日の午後と日曜日がまるまる休講にしているので、空いているから勝手に使ってください。」と言われ、大学にとってはお金がないということもありますので非常に有り難かった記憶がございます。そういう取り組みがあって、当時、自動走行に関するガイドラインが出る前ではあったのですが、関係省庁の方々に説明をしても、当時の安倍首相の方針もあったと聞いてございますけれども、比較的、事前調整をかなり協力的にしてくださったり、それから自動車会社の方々も自動走行するにあたって、保安基準に抵触しないような車の提供をいただきました。保険会社の方々、地元の自治体の方々の協力もあって、当時、公道走行に繋がられたという実績がございます。

公道走行でございますけれども、冒頭でも申し上げたとおり、2015年に国内の大学では初として行ってきたわけなのですが、当時、最初に自動運転を行っていたのは石川県珠洲市という自治体になってございます。珠洲市という自治体ですが5月ぐらいに大地震が起きたので、もしかしたらニュースにご覧になられた方もおられるかもしれませんが、その自治体、残念ながら高齢化、過疎化がかなり進展してございまして、当時の国政調査を見たところ高齢化率が46%だったのですが、今

はもう多分50%を超えているような所になっております。かなり高齢化、過疎化が進んでいる背景の元で、鉄道が廃止済み、バス、タクシーがないような状況になってきているというところで、自治体としても公共交通機関のニーズがあるということ、それから我々、大学としてもまずは自動運転の公道テストをするにあたって、交通量が少ないところの方が安全性が高いということもあって、ここで行ってきたという実績がございます。下に動画がいくつか出ておりますけれども、これは実際に自動運転をしている時に内部のカメラで捉えたものをお示ししております。本当にありとあらゆる交通環境があって、様々なテストをさせていただいたということで大変有り難かったと思っております。また2017年9月～10月ぐらいの週末の土日限定だったと記憶しておりますが、総勢800人ぐらいの一般の方々に自動運転の車にご試乗いただくということも、警察の方々にもご許可いただきながらやりましたけれども、社会重要性に関する向上を目指す取り組みも行ってきたという実績がございます。

それから過疎地で自動運転を行うというのがスタート地点ではあったのですが、その後、当然、交通量が多い所で自動運転というのがどこまで出来るのかというのが技術的な興味もあって、これは金沢市内の例でございますけれども、例えば、下の動画でいきますと金沢駅の目の前の交差点、上の動画でいきますと兼六園という金沢の名所がございますけれども、その近辺で走行している時の様子です。そういった所で複数車線ですとか、交通量が多い時、それから交差点のサイズや矢印信号がある時などの難しさというのを見てきました。

ここに出ている地図ですけれども、金沢市内で走行しているルートの一例ですけれども、ご存知の方もいらっしゃると思いますが、金沢大学というのは駅から離れた辺鄙な場所にございまして、山奥にあるのですが、山奥から幹線道路を走って行きまして、トンネル、ジャンクション、町中、金沢駅があり、往復35km。これぐらいの距離間も完全自動で達成し、かなりの精度感を上げてきている状態になってきております。

他にも色々な取り組みを行っておりまして、こちら北海道で取り組んでいる時の様子でございます。毎年、北海道に行きながら網走近辺で自動運転を行っているわけなのですが、これも今日、お話ししたとおりではありますが、道路がこの例では雪で覆われている時に、当然、白線が見えなくなるわけですけれども、そういう状況でもGPSを使わずに車の位置の精度要求を求められるのかということを試した例ですけれども、これも世界ではかなりレアケースでこういった雪の環境の中で自動運転ができたということで、当時、電波を使ったシステムだったのですが国際学会でも大きな賞をいただいたという形になってございます。

それから、先程もお話した内閣府、SIP事業の中で我々が取り組んできた時の例になっておりますけれども、東京都お台場、羽田エリアでも一部走っていたのですが、それで自動運転をしている様子になっておりまして、こういった東京都内のようなそれなりに車や人がいるような状況の中で、認知判断というのはどのような条件できちんと出来て、逆にいうとどのような課題があるのかというのを見たり、更に左下にグラフが出ておりますけれども、何をしているのかという信号機から無線で信号機の色の情報とそれから信号機の残りの秒数を知らせていただくというシステムが東京都内に整備されているのですが、そういったシステムを活用した時に交差点進入直前に突然、青信号から黄色信号を経て赤信号に変わった時に、普通のドライバーですと急ブレーキを踏まざるを得ないシーンであると思うのですが、これをグレンマゾーンといいます、これが無線通信で事前情報を得たとする

と、周りの車にはあまり気付かれないレベルで事前に減速をしておきながら、実際に信号機の色が変わったタイミングでは、緩やかに減速ができる、滑らかに止まって、交通に迷惑をかけないということが実証できておりまして、インフラとの協調の効果のようなことも東京都内で確認してきたという実績がございます。

以上、我々としても取り組みを行っていますし、日本国内、世界各国で様々な取り組みが行われていて、技術的に完璧かどうかは分かりませんが、今の段階ではそれなりに普通に動くような自動運転システムが、まさに目につくような状態にはなってきたというのはご承知のとおりかと思います。

一方でというお話もさせていただこうと思っておりますが、すごい例を少しご紹介しようと思っております。今日もお話の最初の方でさせていただいたと思うのですが、アメリカのネバダ州フェニックスで自動運転のシステムに実際に乗ってきた時の様子ですけれども、右側に出てるのは米国の WAYMO という会社、Google 系の会社ですけれども、この会社が実際に無人で自動運転を行いながら、いわゆるロボタクのサービスをフェニックスやサンフランシスコでやっているのですが、それに乗った時の様子を示しております。まさにこの例では、フェニックスの空港に着くと無人で走ってくる WAYMO の車が迎えに来てくれて、スマートフォンで呼び出すのですが、近づくと到着したということでボタンを押すと扉が開いて乗り込んで、GO と押すとそこから無人で走ってくれてホテルまで連れて行ってくれるという状態になっていて、簡単どころしか走っていないのかというと、例えば、真ん中の動画でいけば日本という右折をしているところですが、ばんばん車が走っているところに普通に左折（日本という右折に相当）していきます。右下の動画、ちょうど止まっている車がいて車線変更するのですが、車線変更する前に左側から車が来ているので減速してから車線変更して、この車をちゃんとやり過ぎすとか、難しい環境ですのに普通に運転ができてしまう状態になっております。結構センセーショナルで、私、仕事する必要がないのではないかと逆にショックを受けたりしました。ですが残念ながら、オフレコではないのですが、日本国内ではこういうレベルまで到達しているものってあまりないので、世界に比べると若干遅れてはいるのですが、一方で世界的にこういう状況にあるということは、そう遠くない未来で日本でもこういう状況が起きるというふうに思っております。ただ、こういうものが世の中に入ってくる時って、当然、若い人のように受け入れやすい人もいれば、若くないからとか関係ないと思うのですが、受け入れにくい人も色々いらっしゃると思うのですが、結局何なのかというと、そのシステムが世の中に受け入れていただけるほどの安全性がちゃんとあって、それが本当に便利なのか、というところが訴求できないと、きちんとしたサービスには実は結び付いていかない、社会実装に繋がっていかないというふうに考えております。よく言われる言われ方で、私が考えたわけではないのですが「How safe is safe enough?」という言葉があって、要はどこくらい安全だったら十分に安全なのか、というのを誰か定義ができるかという話で、それは人が考える考え方によって安全性の定義って全然違うので、これを単一的に言うのは非常に難しいと思います。ただ、唯一、単一的に言えるとすればという言葉は国連 WP29 のところで定義されていまして、よく言われる言葉ですけれども「合理的に予見可能かつ防止可能な範囲で交通事故を発生させてはならない」。わざとぶつかってくる車にぶつかってしまうとかはしょうがないかもしれませんが、普通に考えて事故にならないようなものを起こさない。真面目に定義しているようで真面目に定義していないような曖昧な言い方なのですが、そういうことを一応定義している

ので、それに従っているということはきちんと言える必要はあるということだと思います。では、どうやってそれを証明するのですかというのが、非常に難しく、古くからのやり方言えば、何100万km、何1,000万km、車を走らせて事故にならないから安全ですという立証の仕方もあったのですが、残念ながら、今、そんなことをやっていたら手遅れになるというふうに思っておりまして、アメリカではそういう取り組み、もちろんプラスアルファ他もやっていたのですが、既にこんなサービスが実現できている。しかもちょっとこの前、事故があってどこまで実現性があるのかわからないけれども、今から2年後の2026年の1月からはアメリカのCruiseという会社が、日本のお台場をスタート地点として東京都内で自動運転サービスを開始すると言っているわけですので、黒船が来てしまって日本国内で駆逐されていることが見える状態の中で、いかにスピードアップして世の中に受け入れていただくものを作っていくかということが非常に重要になってくると思っております。それを考えた時に、ここに書いてありますけれども実道で評価をするだけではなくて、いわゆるデジタルツインの世界、仮想環境で様々な評価をすることによって安全性を論証していくことが非常に重要なのではないかと、いうふうに考えております。ここに網羅的かつ効率的な検証手段が必要というふうに書いておりますけれども、要は世の中に受け入れられていっただけに十分な価値の持ったシステムが開発できるのか、ということをとどのように謳っていくのが必要になってくるかと思えます。

それに向けた取り組みというのが、一部、国の支援もいただきながら今やっているところなのですが、少し紹介をさせていただきますと、昔、自動運転システムを開発する時には、昔といたしてもここ数年ですが、こういった実道で色々なデータを取ってきて、例えば下にありますけれども、LiDARというセンサーでお台場を走った時に取得したデータを元にどこに車やトラックがいたのか、そういったものを物凄いお金と人手をかけてタグ付けをしてもらう。タグ付けをしてもらうと昔はそれを使ってAIで学習して人工知能がよくなるので、認識がちゃんとできました、判断がよくなりました、という世界だったのですが、最近開発されている仮想空間での評価手法というのを使用すると、こういった実際に走ったところの環境、これは人手でタグ付けをした結果ですけれども、こういったタグ付けをしてやりますと、そうするとバーチャルの世界で再現をすることが今できるようになってきています。ただ単に再現をした例で、左がリアル、右がバーチャルなのですが、こういった再現ができるだけではなくて、例えばセンサーとしては、どんなデータが出てくるのですか、というのをシミュレーションしたり、それからセンサーのデータだけではなくて、当時、走っていた時はいなかったようなバイクですとか、突然、雨が降ってきた時にどうなるのか等、様々な環境をバーチャルに付加的にシミュレーションすることができるといわけです。そうすると実際に走るよりも更に早い周期で色々なシミュレーションができるので、もっと付加価値がでるのではないかと、いうのがあります。また更には従来は人手でタグ付けで、シナリオのデータを作っていたところも今、自動運転の認識システムもかなり高度化しておりますので、例えばこの例でいくと、我々の自動運転のシステムで手動で走行した時のデータをシナリオが完全自動でやっている例ですけれども、ご覧いただいて何となくお分かりのように人や車や自転車、どこでどんな動きをしていたのかを辿れるようになっておりまして、こういったシナリオを自動収集するという機能とバーチャルに環境を再現する、こういったものを組み合わせるとより効率的かつ安全に網羅的な検証ができるのではないかと、いうことを考えております。

更に今では、ここに DIVP、SAKURA、AD-URBAN と書いてございますけれども、AD-URBAN というのが我々が参加している国プロで自動運転システムを開発している取り組みですけれども、先程、ご覧いただいたようなバーチャルの環境で色々な表現をするようなシステムを開発しているような DIVP という国のプロジェクト。それから様々なシナリオとはどういうシナリオのパターンがあるのでしょうか、と色々とデータを収集しながら解析をしている SAKURA というプロジェクトがありますけれども、これら全部、経済産業省様のご支援によって行ってるプロジェクトでございますけれども、こういったプロジェクトが連携しながら安全性を評価する基盤を作ろうというプロジェクトを今、回しております、安全安心な自動運転技術を作って、これを社会に導入していくにあたって、リアルとバーチャルを融合して評価する環境を作っていこうということで取り組んでいるという状況になってございます。こういうことをやりながら、世に自動運転システムを入れていくための評価基盤を作っていくことで、よりスピーディーに世界に追い付けないかということで今、取り組んでおります、こういった取り組みをとおして、日本社会の中で自動運転システムの導入というところに少しでも貢献したいということで取り組んでいるのが現状でございます。

少し長くなりましたけれども、私からの講演は終了とさせていただきます。

どうもご清聴いただき有り難うございました。

〔資料1〕



自動運転技術の概要と その社会導入に向けた課題

金沢大学 高度モビリティ研究所 副所長
教授 菅沼 直樹

231223 @岡山行政法実務研究会




1

〔資料3〕

自動運転の歴史(高速から一般道へ)

- 高速道路の自動運転(インフラ依存型)
 - 走行空間の限定
 - ハードインフラに依存
 - 比較的単純で整備された道路
 - 日米欧で古くから盛んに研究
- 一般道での自動運転(自律型)
 - 走行空間の自由度が高い
 - 多種多様な環境が存在
 - 近年になり急速に進展
 - ハードウェア処理能力
 - コンピュータ、センサ
 - 人工知能
 - 機械学習, DNN
 - 高精度デジタル地図の活用
 - ソフトインフラへのシフト



エネルギーITS事業



SIP事業(東京都臨海部)

3

〔資料2〕

目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 自動車の自動運転の現状
 - 国内外の取り組み
 - 金沢大学の取り組み
- まとめ
 - 仮想環境を用いた自動運転技術の安全性評価
 - 自動運転技術の社会への導入に向けて

2

〔資料4〕

金沢大学 自律型自動運転車両



- 安全かつ自然に市街地を走行可能な認識・判断能力
 - 1998年頃から研究開始
- インフラ非依存の自律型



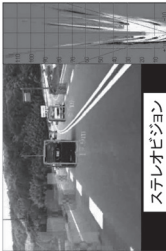
4

〔資料5〕

研究初期の自動運転車両

(1998~2008年)

- 自動運転に必要な基礎技術の開発
 - 公道でのセンサデータ収集
 - 閉鎖環境での自動運転



ステレオビジョン



障害物回避走行(2倍速)

無人走行(2008年頃@金沢大学祭)



〔資料7〕

近年の取り組み(2015以降)



- 市街地での公道走行実験開始(2015年2月24日@石川県珠洲市)
 - 過疎地での実証実験(国内の大学初)
 - 約9年の公道走行実績(60km/hで走行可能)
 - 現在東京都、千葉県、石川県、北海道などで実証中

〔資料6〕

研究中期の自動運転車両

(2008~2015)

- 非公道での走行試験
 - 学内道路(非公道)
 - テストコース(自動車学校)



〔資料8〕

現在の試験車両

LiDARx5, レーダx9, カメラx11

全方位LiDAR

GNSSアンテナ

全方位カメラ

LFM-HDR
カラーカメラ

側方LiDAR

IMU

車速センサ

全方位
ミリ波レーダ



LEXUS RX450hL

〔資料11〕

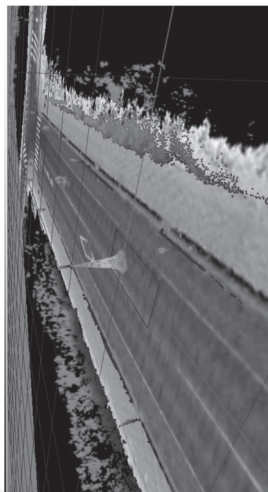
自己位置推定技術

- 地図を用いた自動運転システム
 - 自己位置推定 (Localization) が重要
- GPSを用いた位置計測
 - 簡単に位置計測が可能
 - RTK-GPSならcmオーダー
 - ただし常時インターネット接続が必要
 - トンネル内、高層ビル群付近
 - 高精度計測が難しい
- 地図を利用した自己位置推定手法
 - 走行空間の情報をあらかじめ取得
 - 走行時のセンサーデータと照合
 - 車速、ジャイロ等を併用して安定化

11

〔資料12〕

自己位置推定の様子



- 2次元地図 (オルソ画像との照合)
- 約10cm程度の精度で推定可能
 - GNSS未使用、昼夜関係なし

12

〔資料9〕

目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 自動車の自動運転の現状
 - 国内外の取り組み
 - 金沢大学の取り組み
- まとめ
 - 仮想環境を用いた自動運転技術の安全性評価
 - 自動運転技術の社会への導入に向けて

9

〔資料10〕

市街地における自律型自動運転に必要な技術

- 地図生成と自己位置推定技術
 - 自己位置推定地図と道路ネットワーク地図の生成と更新
 - 「地球上のどこ」ではなく「地図上のどこ」にいるのか？
- 周辺環境認識技術
 - 認識＝検出＋識別＋予測
 - 予測＝潜在（死角検出）＋顕在（軌道予測）リスク把握
- 走行軌道生成と車両制御技術
 - 目的に到達するにはどのような経路で進むべきか？
 - 交通ルール、マナーに従うためにはどうすればよいのか？
 - 障害物に衝突しないためにはどんな行動をとるべきか？

自動運転＝情報処理、移動ロボットの技術開発

10

〔資料13〕

周辺環境認識技術

認識に必要な情報

- 静止物体
 - 信号機(灯色、矢印)、
 - 標識(制限速度、一旦停止など)
 - 障害物(立体物)
 - 路面の凹凸、白線、横断歩道
- 移動物体
 - 自動車、二輪車(自転車、バイク)、歩行者
 - 物体種別、運動状態推定
 - 緊急車両
- 移動物の認識
 - 検出＋識別＋予測
- 信頼性(認識能力)の向上
 - 地図で解決できるものもある
 - センサフュージョン
 - LIDAR、ミリ波レーダー、カメラ



AI, 機械学習技術



13

〔資料15〕

市街地走行における軌道計画

パスプランニング

- 目的地、交通ルール、安全性

自由度の高い走行が必要

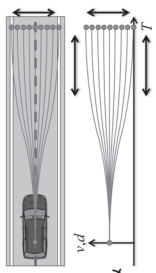
- 高速道路とは異なる
 - 道路の中心の走行のみではダメ
- 路上駐車、障害物など

移動物との衝突の考慮

- 軌道(座標・時間)の計画が必要
 - 経路パターン、速度(距離)パターンの組合せ
 - 安全性の事前シミュレーション
- 滑らかな軌道パターンを選択

安全性の高い走行

- 衝突リスクの考慮
 - 物体種別・回避幅などの考慮



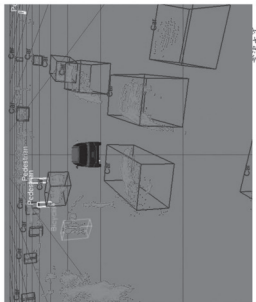

15

〔資料14〕

周辺環境認識の例

- LIDAR, カメラによる認識
 - 信号認識、物体認識
 - 移動物の追跡など



14

〔資料16〕

目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 自動車の自動運転の現状
 - 国内外の取り組み
 - 金沢大学の取り組み
- まとめ
 - 仮想環境を用いた自動運転技術の安全性評価
 - 自動運転技術の社会への導入に向けて

16

〔資料17〕

海外の取り組み

- Grand Challenge@2004, 2005
- Urban Challenge@2007
 - 世界の自動運転チームの火付け
 - Stanford, CMU, Virginia Tech, など
 - Velodyne社のLIDAR開発のきっかけ
 - 優秀な研究者の発掘
 - ほとんどは大学が開発
- The Bertha Benz Drive@2013
 - Mercedes Benz S500 Intelligent Drive
- Daimler, KIT
- Google/WAYMO
 - 世界で最も進んだ自動運転システム
 - 無人サービスも展開中



Stanford大学



Google

17

〔資料19〕

オーナーカーにおける自動運転・運転支援技術の導入に向けた官民の動き

- 2014～2018年度(第1期), 2018～2022年度(第2期)
 - 内閣府 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)
 - 府省連携の取り組み
 - Strategic Innovation promotion Program
 - 東京臨海部実証実験(2019年～)
 - 2020年4月
 - 道路交通法 一部改正
 - 道路運送車両法 一部改正
 - 2021年3月
 - 世界初, LV3車両の発売(ホンダ)
 - 2021年11月
 - 衝突被害軽減ブレーキ装着義務化(新車)



19

〔資料18〕

日本の取り組み

- イベントにおける各種デモ
 - TMS2011, 2013
 - ITSWC2013
- 一般道自動走行の開始
 - 国会議事堂周辺での自動運転
 - トヨタ・日産・ホンダ@2013
 - 大学による自動運転
 - 金沢大学など@2015
- 自動走行システムの公道実証実験のためのガイドライン
 - 警察庁@2016
- 全国各地でのラストマイル実証
 - 低速モビリティ
 - インフラ依存型がほとんど



トヨタ自動車 (TMS2013)



金沢大学@珠洲市(2015)

18

金沢大学の取り組み ～公道走行評価前の各種調整～

- 模擬市街路テストコース
 - 東部自動車工業株式会社殿
 - 金沢 東部自動車学校
 - 長期走行試験
 - 2013年1月～2015年2月(2年)
 - その後、公道評価へ移行
- 公道走行前の調整
 - ガイドライン策定前の試み
 - 自動車会社様への協力要請
 - 各省庁への事前調整
 - 保険会社との協議(車両保険)
 - 地元自治体との連携など



〔資料21〕

高齢過疎地域における実証 (石川県珠洲市全域)

- 2015年開始(国内の大学初)
 - 自動運転の初期テスト(交通量少)
 - 公共交通としての実証(過疎地のニーズ)
- 石川県珠洲市(H27国勢調査)
 - 人口総数 14,631人(高齢化率 46.4%)
 - 鉄道廃止済み、バスタグシーの不足
- 奥能登国際芸術祭
 - 2017年9月～10月(約800人の一般人の試乗)






〔資料22〕

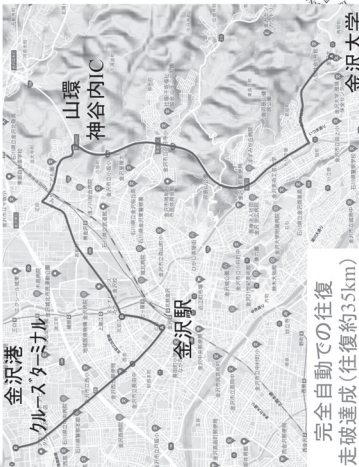
都市部における実証 (石川県金沢市中心部など)

- 都市部の走行
 - 複数車線、交通量
 - 交差点(矢印/信号、サイズ)
- 走行の難しさ
 - 都市部vs.過疎地




〔資料23〕

金沢市内の現在の走行ルート例



完全自動での往復
走破達成(往復約35km)

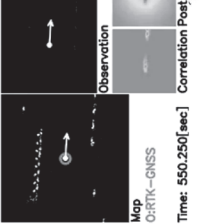
金沢大学

〔資料24〕

寒冷地における例 (北海道網走市、大空町周辺)

- 冬の寒冷地での走行
 - 積雪、降雪時の課題解決
 - 網走市市街地
- 電波を用いた自己位置推定
 - ミリ波レーダ(76GHz)を使用
 - 積雪時でも衛星測位未使用





Map
GNSS-CNSS
Time: 550.250[sec]
Correlation Post. Prob.

〔資料27〕

自動運転技術の社会への導入に向けて

- LV4車両のサービスカーへの導入
 - 自律型自動運転の技術向上
 - 車載センサーによる認知・判断技術の向上
- How safe is safe enough?
 - どこまで安全なら十分に安全か？
 - 人が考える安全の定義は千差万別
- 自動運転システムの安全性の検証
 - 合理的に予見可能かつ防止可能な範囲で交通事故を発生させなければならない(国連WP29)
 - Reasonably foreseeable and preventable
 - 実道＋仮想環境での安全性評価
 - 網羅的かつ効率的な検証手段が必要



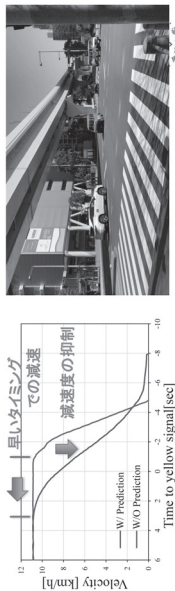
米国内でのL4サービスの例(WAYMO©2023)
ODD: Operational Design Domain

27

〔資料25〕

無線インフラを活用した実証 (東京都臨海部)

- SIP第2期 自動運転
 - 自動運転技術(レベル3、4)に必要な認識技術等に関する研究
- 信号認識の限界調査
 - 逆光、順光、背景同化、夜間
- 無線インフラとの協調
 - 東京以外の地域も調査
 - インフラ支援が必要な条件
- 無線インフラでの減速抑制
 - ジレンマゾーンでの減速抑制



25

〔資料28〕

目次

- 金沢大学のこれまでの取り組み
 - 高速道路から一般道へ
 - 自律型の自動運転システムの構築
- 自動運転システムの概要
 - 自動運転システムの全体概要と必要技術
 - 自己位置推定の課題
 - 周辺環境認識として必要な情報
 - 自動運転におけるパスプランニング
- 自動車の自動運転の現状
 - 国内外の取り組み
 - 金沢大学の取り組み
- まとめ
 - 仮想環境を用いた自動運転技術の安全性評価
 - 自動運転技術の社会への導入に向けて

26

SIP AD-URBAN

仮想環境での安全性評価に向けた取り組み

- アノテーションの重要性
 - 各種AIモデルの学習
 - 認識・予測・判断結果の評価
 - 仮想環境での安全性評価
- 公道走行データのタグ付け
 - 人手によるアノテーション作業
 - 物体種別・形状向き等



28

〔資料29〕



〔資料31〕



〔資料30〕

