JR-EAST Innovation 2015　基調講演

「自動運転・IoT時代の交通オペレーション」

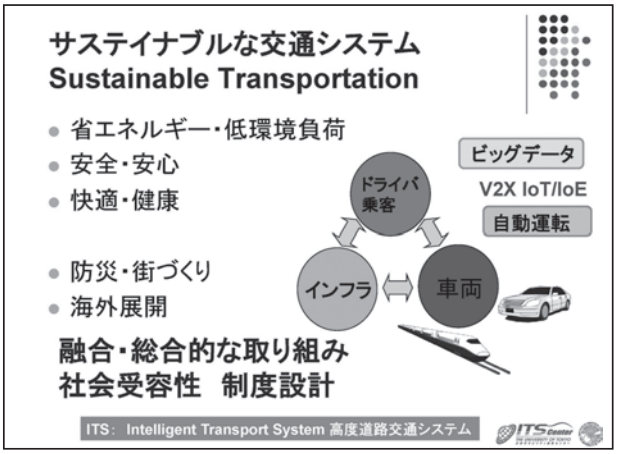
Mobility operation in self-driving / IoT era

東京大学　生産技術研究所　教授　**須田　義大　氏**

1982年東京大学工学部機械工学科卒業、1987年、同大学大学院博士課程修了（工学博士）。法政大学工学部機械工学科専任講師、助教授、カナダ・クイーンズ大学客員助教授などを経て、2000年より東京大学生産技術研究所教授。現在、次世代モビリティ研究センター長、千葉実験所長。鉄道車両、自動車、ITS（高度道路交通システム）等の研究に従事。国土交通省等の審議会委員、鉄道総合技術研究所理事、自動車技術会理事、ITS Japan理事などを務める。

今日、ご紹介します話題は「自動運転・IoT時代の交通オペレーション」になります。最初に、私の所属する「次世代モビリティ研究センター」の紹介から始まりまして、「ITSと自動運転」で、IoT、AIに至る前の交通分野の動きを説明した後に、NEDOプロジェクト以降の「最近の自動車の自動運転の動向」を紹介したいと思います。最後にシンポジウムの主題である、AI、IoTに関連して「AI、IoTが交通システムもたらすもの」ということで私見を述べ、後半のパネルディスカッションに引き継ぎたいなと思っております。

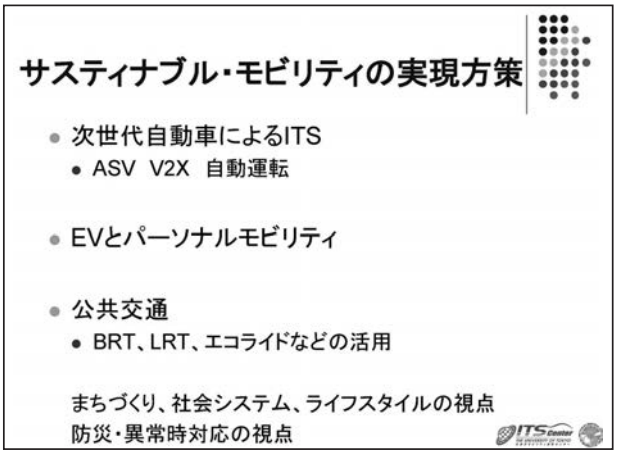
1. 次世代モビリティ研究センター



私どもの次世代モビリティ研究センター（ITSセンター）が目指すものは、サスティナブルな交通システムになります。どこの国においても交通で消費されるエネルギーは、全エネルギー消費の約20%と言われています。省エネルギーで「低環境負荷」は、地球上の大きな課題です。それと「安全・安心」、これはまさに交通の必要条件になります。特に自動車分野では、多発する交通事故が課題になっております。このように「低環境負荷」と「安全・安心」がITSセンターの目的ですが、これらの目的はマイナスをゼロにする話ですので、若い人には魅力がない。そこで、プラスに展開するテーマも必要であると判断し、目的に「快適・健康」も加えて、ITSセンターの活動を進めてまいりました。

この図の三つの丸に書かれた「ドライバー乗客」、「インフラ」、「車両」とその間の矢印、すなわち輸送の主役である人間、インフラ、車両、これらを情報通信で融合していく、これが図の一番下にありますITS（高度道路交通システム）の取り組みになります。上記の人間、インフラ、車両の融合、総合的な取り組みだけではなく、社会受容性、制度設計ま

で踏み込んだ展開をしております。東日本大震災以降、防災・町づくりに関係し、交通は目的ではなく目的達成のための手段とする取り組みも進めてきました。



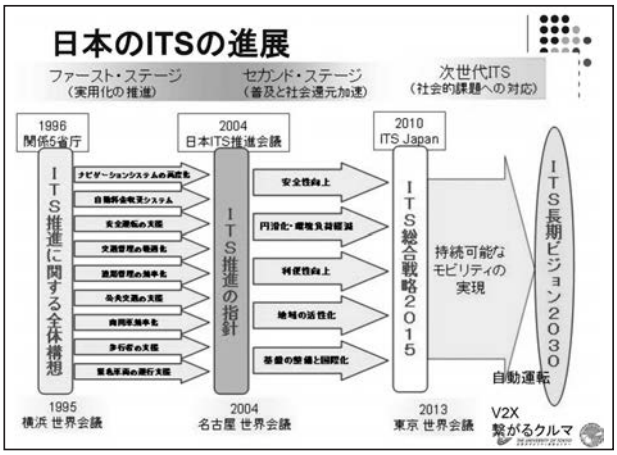
具体的には、次世代自動車によるITSになります。また、EV、パーソナルモビリティという、より小型の低環境負荷の乗り物のコンセプトも重要です。一方、公共交通も非常に重要な役割を果たすであろうと思っています。今までITSの技術開発、政策展開に産業界としては自動車メーカー、あるいは自動車部品メーカーの他、電気、電子、情報通信関係のメーカーだけではなく通信キャリアも関わってきました。一方、行政側は多岐にわたります。鉄道の場合、国土交通省鉄道局だけですが、ITSの場合は、交通信号など交通管理をしている警察庁、電波を管理している総務省、自動車産業を管轄している経済産業省、さらに国土交通省なども関わってきます。地域で展開すると、地方自治体の役割が非常に大きくなってきます。NPOとか協議会も関わる場合もあります。

2. ITSと自動運転

ITSと鉄道

	鉄道	道路・自動車
分野融合	単一企業 インフラ・信号・運行管理	複数組織
制度	単一官庁	4省庁5局
コスト	少量・低コストには不利	大量・低コスト・競争原理
信頼性	事業者の責任	ドライバの責任
耐久性	長寿命を要求	低寿命を容認
センシング	?	MEMSテクノロジー
通信	?	750MHz 5.8GHz専用周波数
ビッグデータ	入手と利用は容易	仕組みが必要
マインド	2番手を好む	世界初・日本発を好む

この表はITSと鉄道について、道路・自動車と比較したものです。有利な方には色を付けました。「コスト」の点では道路・自動車が有利です。「通信」も、自動車の場合は750MHzと5.8GHzという専用の通信周波数帯を確保しています。一方、「ビッグデータ」については、鉄道がデータの入手・利用の面で有利と言えます。私は自動車業界と鉄道業界の両方の方とお付き合いしておりますが、マインドとしては、自動車業界の方は世界初、日本発を盛んにPRされます。一方、鉄道業界の方は新しいことをやろうとするマインドよりも、過去の事例の参考など確実性を重視される傾向があるかなと思います。その意味で、IoT、AIに着目されたJR東日本主催の本日のシンポジウムは、お話を頂いた時点から私にとって非常に魅力がある、興味深いイベントだと思って参加させて頂きました。



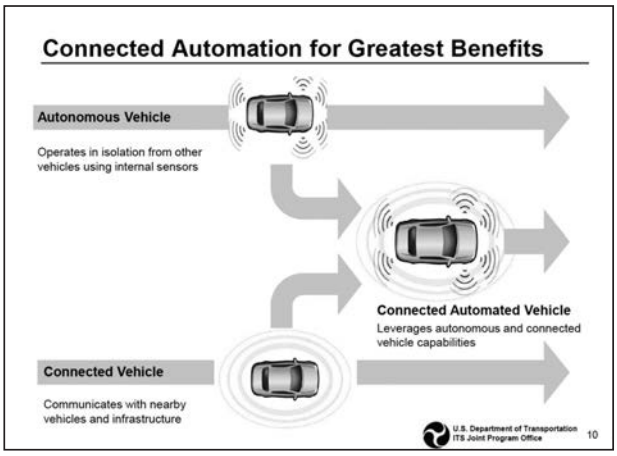
（出典：ITS Japan）

ITSが始まったファーストステージでは、九つの技術分野で研究が進められました。カーナビゲーション、ETC、安全運転支援、自動ブレーキ等になります。この中で普及していない技術は、歩行者支援と緊急車両管理くらいで、これ以外は、かなり実現しました。次のビジョンは2030とありますが、前倒しでオリンピックに向けて2020という話も聞こえていますが、これが「自動運転」とか、「V2X」すなわち情報通信でつながる自動車（Connected Vehicle）になります。

自動運転がこれだけ注目されるようになったのは、2013年の東京モーターショーからです。2013年5月に安倍総理が成長戦略のスピーチで、自動運転をもっと日本でも推進しろとの発言が契機となっています。アメリカではGoogleカーの自動運転の走行実験が話題になりました。このスピーチの背景としてこのGoogleカーの話題がありますが、一方で、私が関わったNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）の隊列走行、自動運転のプロジェクトが、実は2013年の3月に成功したこともありました。

GoogleカーとNEDOプロジェクトですが、共通のルーツがあります。アメリカ国防高等研究計画局が、2015年までに軍用車両を自動化する目的で、2007年にアーバンチャレンジという無人自動車の市街地レースを実施しました。アメリカ中の大学、研究機関が自動車メーカーと組んで開発競争を実施したのが、非常に大きな影響を与えています。当然、我々もこの情報をつかんでいましたので、日本でも産・官・学で自動運転の技術開発をするべきということで、NEDOプロジェクトが誕生しました。

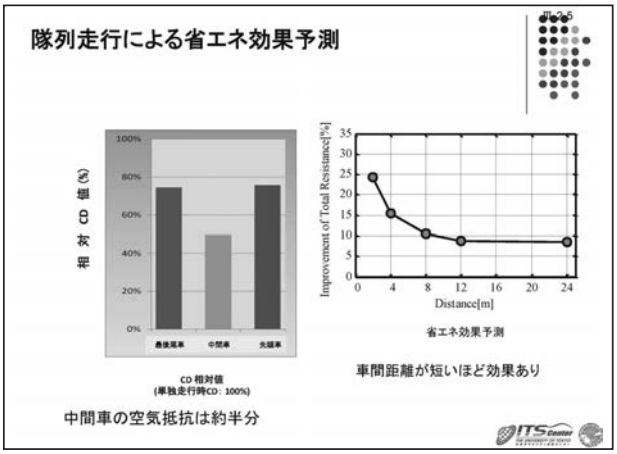
Googleカーの技術開発は、Google自前の技術ではなく、アーバンチャレンジの優勝チームと準優勝チームがまるごとGoogleのメンバーとなり、さらにアメリカの道路交通安全局のナンバー2をGoogleに招聘し、Googleカーの旗振り役になっています。Googleは、交通事故や交通渋滞による損失の回避、あるいは交通弱者の移動の自由を謳い文句にGoogleカーの開発を進めています。さらにGoogleのお膝元のカリフォルニア州が率先して、これを制度化し自動運転車両を走らせることをやりました。これが2013年のことで、今年の2015年からルール・制度ができています。メーカーによる公道実証実験が制度化され、例えば5万ドルの保険をかけ、必ずドライバーが着席しいつでも安全に対処できる、このようなルールを守ればカリフォルニア州では自動運転の走行実験が可能となりました。



（出典：U.S. Department of Transportationプレゼン資料）

今、アメリカでは、自動運転の取り組みが進んでいます。これはU.S. DoT（U.S. Department of Transportation）というアメリカの運輸省、日本でいうと国土交通省になりますが、ここが自動運転だけではなく、Connected Vehicleも含めて推進しています。さらに大学では、2015年の7月にはミシガン大学が自動運転の実験場を開設しました。大学発のベンチャー企業も取り組んでいますし、今話題のウーバーという会社が無人運転車の開発をしようと、カーネギーメロン大学の自動運転の研究グループを買収したと聞いています。このように自動運転に関する技術開発は、非常に大きな流れ・動きが今まさにあるということです。

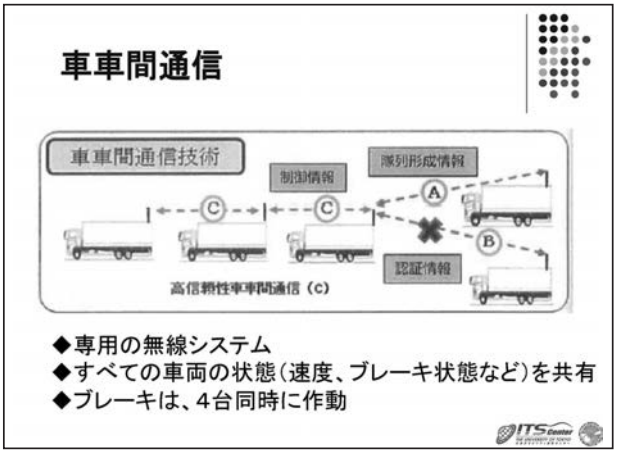
アーバンチャレンジ以降、2008年から我々はNEDOプロジェクトにより大型トラックによる自動運転隊列走行の研究を始めました。大型トラック4台、車間距離4mで隊列走行させるというプロジェクトです。当時、自動運転を公道でできる状況ではなかったため、専用道とか、例えば新東名高速道路の未開業区間やテストコースで実験をしました。このプロジェクトでは、自動車研究所の他、大学、メーカーが関わり、私がこのプロジェクトのリーダーをした関係上、現在も自動運転の旗振り役をやっています。



このプロジェクトの目的は、自動化して得られる省エネ効果をターゲットにしていました。鉄道と同じで、連結して走ることによる効果です。車間距離を短くすれば、隊列の中間のトラックの空気抵抗が約半分になります。ドライバーによる車間距離は10mぐらいが限界ですが、この場合、省エネ効果はほとんどありません。

具体的な自動操舵方法は、一つはGPSとデジタル地図を用いました。これは鉄道と同じ考え方で、あらかじめ線路を引いて、それに合わして走行することです。一方、局所的な制御が必要ということで、カメラで白線を認識し、それで車線からの逸脱を検出して修正操舵をするようにしました。いわゆるフィードフォワード制御とフィードバック制御になります。

NEDOプロジェクトですので、特殊な車両を作っても仕方ないということで、市販のトラックを購入し、自動操舵装置、センサー、アクチュエーター、GPSのアンテナなどを後付けで取り付け、隊列自動走行車に改造しました。さらに、単に走るだけではなく、安全に走らす必要がありますので、障害物の検出もやりました。



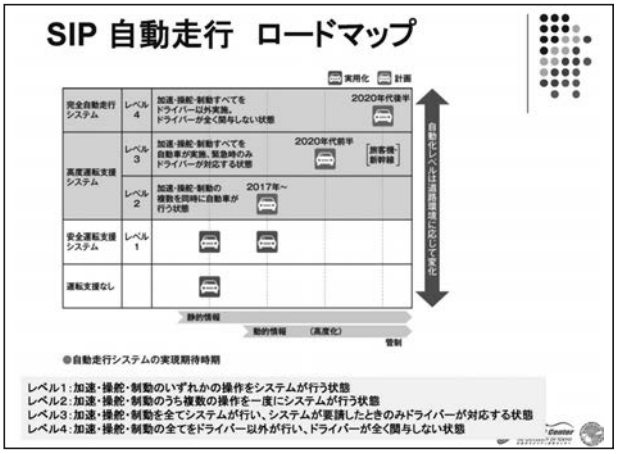
もう一つ特徴的なのが、車・車間通信技術による制御です。鉄道でも当然列車無線をやっていますが、これを制御に使うことをやりました。5.8GHzの専用の無線周波数を使って、4台のトラック間で速度、ブレーキの状態とかの情報データを共有化しました。ブレーキを掛けるのであれば同時にブレーキを掛ける、ということをやったわけです。ただ、このとき情報セキュリティの話がありますので、違う隊列ペアでは情報のやり取りはできないという仕組みもつくりました。

3. 最近の自動車の自動運転の動向

（出典：SIP-adus 資料）

2013年にNEDOプロジェクトは終わりましたが、2014年から5年間の予定で内閣府主催の「戦略的イノベーション創造プログラム」が始まりました。これは省庁横断により経済産業省、国土交通省、総務省、警察庁の4省庁が同時に一緒に取り組むプロジェクトで、内閣府が要になっています。「Strategic Innovation Promotion Program」ということで「SIP」と言っています。NEDOプロジェクトでは、主要なメンバーに自動車メーカーが入っておらず、部品メーカー、大学と研究機関で推進しましたが、SIPは国のプロジェクトですが、自動車メーカーも主要なプレイヤーになっています。そのため、競争領域は自動車メーカーが独自で実施し、自動車メーカー単独では難しい周辺領域はみんなで一緒にやりましょうと、このようなスキームでプロジェクトを進めています。私としてはこの競争領域に非常に興味がありましたが、今は「次世代都市交通への展開」という協調領域のテーマで研究開発を進めています。

（出典：SIP-adus 資料）



（出典：SIP-adus 資料）

「次世代公共交通システム」をARTと呼んでいます。ARTは、「Advanced Raipd Transit」の略です。さらに、2020年の東京オリンピック・パラリンピックの際、これを実用化する、あるいはショーケースにするということで、今いろいろな開発を進めています。私が特に関係しているのが、正着制御といってピタリと停留所に着ける技術です。また、ARTと信号との通信をして、信号現示をコントロールしてARTを優先させるPTPSという警察庁がやっている「Public Transport Priority System」というのがありますが、そのシステムを高度化して自動走行に適するようにする、このようなことをITSセンターで実施しています。

これらはオリンピックで終了するというわけではなく、この技術をいろいろなところに活用するのが我々の希望です。例えば、JR東日本の大船渡線のBRTにこういう技術が展開できるのではないかと期待しているところです。車線維持制御をすれば狭いトンネルも入口から出口まで速度を落とさずに高速で走れますし、先ほどのPTPSの技術を使うと専用道とそうではない道路の交差点もスムーズに通過できます。停留所にピタリと着ければ、バリアフリー対策になります。さらに隊列走行の技術を使って、ラッシュ時にひとりの運転手で複数台のバスまで運行可能です。SIPは国のプロジェクトですので、いろんなところにお役に立てればと思っています。

自動走行のレベルは、段階的に完全自動システムへ移行するということで、この段階を主に乗用車を念頭にレベル1、2、3、4に分けています。将来的にはレベル4の完全自動運転ですが、当面2020年のレベル3が直近の目標になっています。最新の情報になりますが、レベル3とは、加速、操舵、制動、いわゆるアクセルとハンドルとブレーキ、それの操作の全てをシステムが行い、システムが要請したときだけドライバーが手動運転するというものです。

（出典：日本自動車工業会ホームページ）

（出典：日本自動車工業会ホームページ）

（出典：日本自動車工業会ホームページ）

昨日の11月8日に終わった東京モーターショーで、日本自動車工業会が自動運転ビジョンを発表しています。日本自動車工業会では運転支援技術の高度化をやってきましたが、これらの技術を当然自動運転に適用することになります。特に自動車メーカーの場合、高速道路を最初のターゲットにし、2020年実用化・導入期には市街地や駐車場で自動運転を実用化していくロードマップを描いています。

（出典：経済産業省・国土交通省　自動走行ビジネス検討会資料）

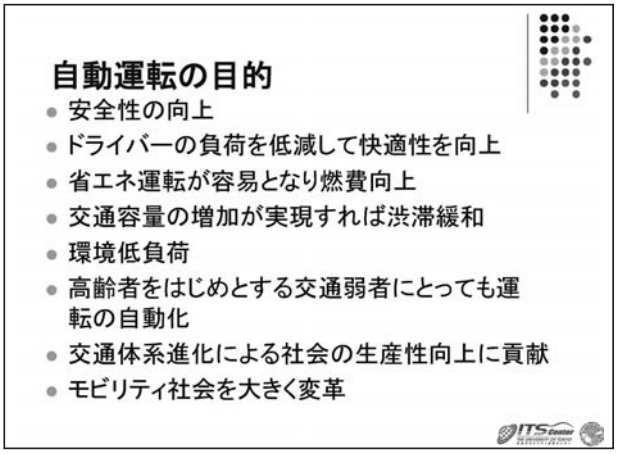
国のレベルでも経済産業省と国土交通省、この二つの省がジョイントして検討会をつくりました。自動運転をビジネスとして考えていくことを念頭にビジネス検討会としています。私もこの検討会の委員をやっていまして、今年の6月の中間取りまとめでは、自動走行の将来像の共有と産・官・学の連携を謳っています。具体的なターゲットとして四つのアプリケーションが既に提案され、その一部は既に動き出しています。

一つは、NEDOプロジェクトの隊列走行をより高度化するものです。これはドライバー不足や低環境負荷対応を目的としています。この他にドライバーの急な体調不良対応を目的とした、デッドマンシステムです。それと苦手な操作支援や都市内の自動駐車があります。四つ目がラストワンマイル自動走行です。公共交通の駅を降りた後の末端の交通手段で、最近は「ファースト・アンド・ラストワンマイル」と言っています。ビジネス検討会では、このような具体的な例示がされ、研究開発と実用化をしていこうということになっています。

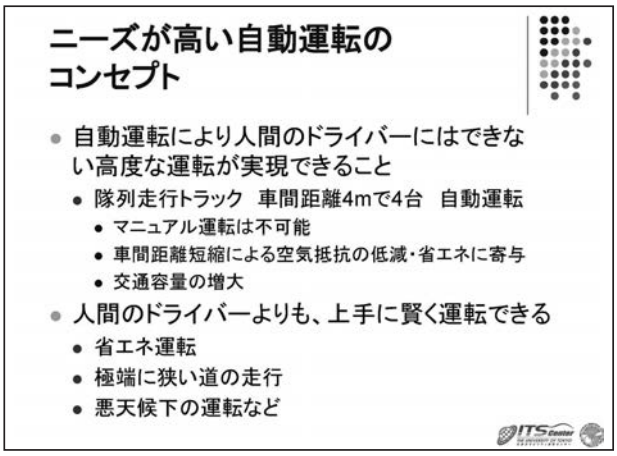
（出典：SIP国際シンポジウム資料）

「ファースト・アンド・ラストワンマイル」に関しては、ヨーロッパで盛んに研究開発がされています。「CityMobil2」というEUプロジェクトでは、10人乗り程度の小型バスの完全自動運転に取り組んでいます。この特徴は、低速で歩行者空間を使用しています。日本では歩道を無人自動車が走行することに拒否反応を示しそうですが、ヨーロッパですと歩行者空間は公道ではないので、完全自動運転可能というルールになります。

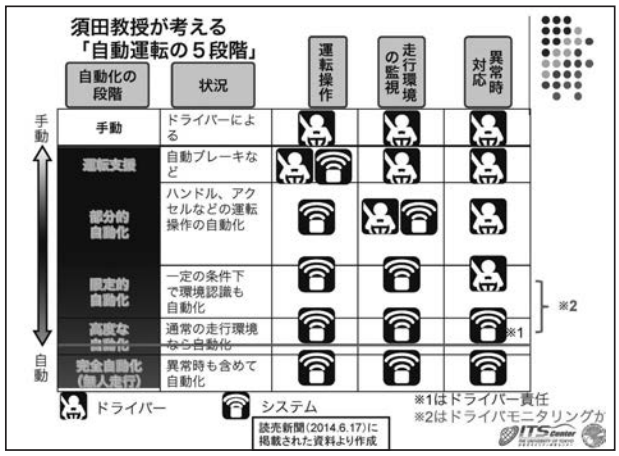
先月の10月にITS世界会議がフランスのボルドーで開催され、公道での完全自動走行の実証実験が実施されました。フランスのメーカーが実施しましたが、公道で9人乗りの小型バスを完全自動運転し、デモンストレーションでは、正確に歩行者を検出し安全だということを示していました。私もこの車両に乗せてもらい公道を走りましたが、まだ粗削りな部分はありますが、レベル4の完全自動運転の実用化に向けた実証実験が既に進められています。



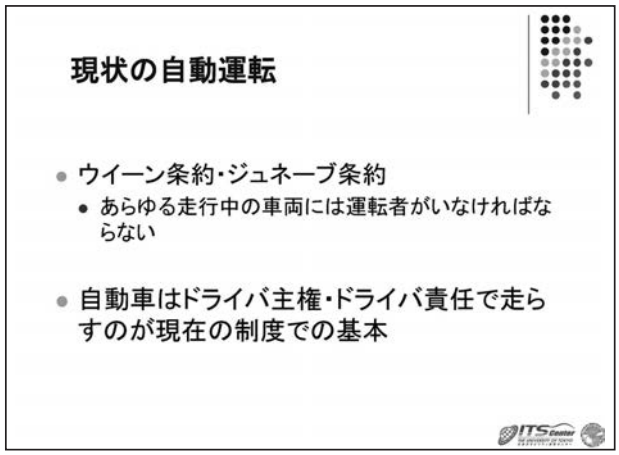
このように自動運転の技術は進展していきますが、目的を明確にしないと一般のユーザーのためにはなりませんし、ビジネスとして成立しない可能性もあります。加えて社会制度や社会受容性を構築・確保していかなければなりません。自動運転の目的から考えますと、第一は「安全性の向上」です。自動車の交通事故のほとんどはヒューマンエラーと言われています。いわゆるわき見運転、見落とし、判断ミス、操作ミスにより生じています。この他にドライバーの「快適性の向上」があります。さらに先に述べたNEDOプロジェクトの隊列走行や渋滞緩和のように「省エネ運転・低環境負荷」もあります。最終的に、自動運転による「交通弱者対応」や自動運転による「社会生産性の向上」や「モビリティ社会の変革」につながる可能性も秘めています。



自動運転のコンセプトはというと、人間にはできない「高度な運転が可能」か、人間よりも「上手に賢く運転が可能」に集約できるかと思います。このような自動運転は普通の健常者にとっても非常に魅力あるものになり得ます。



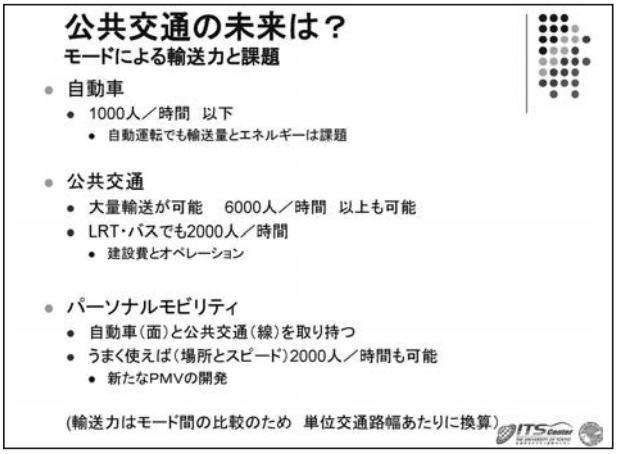
この表は私なりに自動車の自動運転のレベルを5段階に分類したものです。「運転操作」、「走行環境の監視」と「異常時対応」の要素に切り分けて、それを人間がやるのかシステムがやるのかと、このような形で分類しています。当然、運転操作の自動化が、最も容易で、既にクルーズコントロールとかいろいろな技術が実用化されています。次に走行環境の監視がやりやすく、最も難しいのは、異常時の対応になります。そうすると、5段階のうち4段階あたりが今、自動車メーカーなどが狙っている自動運転になります。なぜ一番下の5段階まで含めないかと言うと、この境界に大きな壁があって、完全無人というのは非常に難しいレベルにあります。



世界中の道路交通法というのがウィーン条約・ジュネーブ条約で決まっていまして、自動車はドライバーの責任で走らせる、無人自動車はあり得ないということになっています。ところが、ウィーン条約の改正案が今出ていて、自動運転を容認しようという動きがあります。この改正案ではレベル3までの自動運転のようですが、先に説明しましたフランス・ボルドーのITS世界会議でのレベル4とも考えられる自動運転も視野にはいっており、今後の対応が興味深いところです。

このような状況のなかで2週間ぐらい前の話ですが、我が国の警察庁が、自動運転に対して積極的な取り組みを始めました。公道での自動運転の制度を構築する勉強会を始め、私もこのメンバーに入っています。また、国土交通省でも車両保安基準を個別に大臣認定することによって公道での実証試験ができるようになってきています。ある意味、自動運転の走行実験が最も実施しやすい国は、今、日本になりつつあるとも言え、2013年の段階とは大きく様変わりし、日本における自動運転の環境整備が進行しつつあるというのが、私の印象です。

この制度の変更ができないと、公道での無人運転の実証実験はできないことから、現状ではやはり人間（ドライバー）とシステムの共存ということになります。したがって、ドライバーのモニタリングが必要で、先ほど説明したデッドマンシステムが必要となります。つまり、自動運転に関係する研究者の中で今最もホットな話題が、自動運転におけるヒューマン・マシン・インターフェースになっています。しかしながら、一般ユーザーのニーズを考えると早く制度を変え、最終的には無人タクシー、あるいは無人物流の実証実験を公道で実施し、実用化する、これが一般ユーザーのニーズに合致するようにも感じているところです。



このように考えると将来的に公共交通は無くなるのではないかと飛躍的な話になる可能性もありますので、私の知見を説明致します。これは、交通モードによる単位交通路幅当たりの輸送力と課題を示したものです。自動車の輸送力は1時間に1000人程度になります。自動車の自動運転でも輸送量とエネルギーは依然として課題ですので、大量に運ぶ需要があるところは公共交通、特に鉄軌道系公共交通は不可欠になります。単位交通路幅当たりの輸送力は、自動車と比較して公共交通は6倍あり、比較的小さいと言われるLRTやバスでも、自動車の2倍の輸送力があります。このようなニーズのところは、当然公共交通が必要になるだろうと思います。私の注目は、パーソナルモビリティです。自転車やセグウェイのような小型の個人乗り物で、占有面積が小さいため使い方によってバスなみの輸送力も可能となります。このようなことを勘案すると、自動車が全て自動運転となっても、公共交通がなくなることはないわけです。ファースト・アンド・ラストワンマイルでは自動運転の活躍の場があるのではないかと考えています。

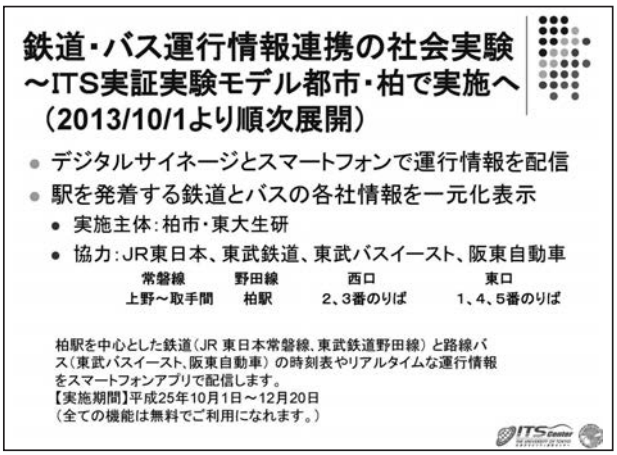
もう一つの話題が「自律システム」と「インフラとの協調」です。鉄道ですとインフラとの協調は当たり前と思われますが、自動車の自動運転をやっている立場ではインフラに頼るなんてとんでもないという話もあります。ただし、自律システムはインフラのコストが安価な分、全ての道路環境に適応するには非常に高度な技術が必要となります。例えば、信号の認識などです。今、自動車メーカーが積極的に活用しているデジタル地図やGPSによる自己位置認識ですが、これらもそもそもインフラとの協調の一つとも言えます。

通信技術の方法として、「路・車間通信」、「車・車間通信」があります。2013年に路面電車と自動車の間で760MHzの通信帯を使って車・車間通信をやりました。ドライバーへの支援、路面電車への支援になります。この分野においても実用化の動きは非常に速く、今年から「ITS Connect」という車・車間通信、路・車間通信が実用化し、既にトヨタが通信装置を装備した自動車を売り出しました。実際、信号機からの電波を受信して、自動車に信号情報が表示されます。

4. AI、IoTが交通システムにもたらすもの

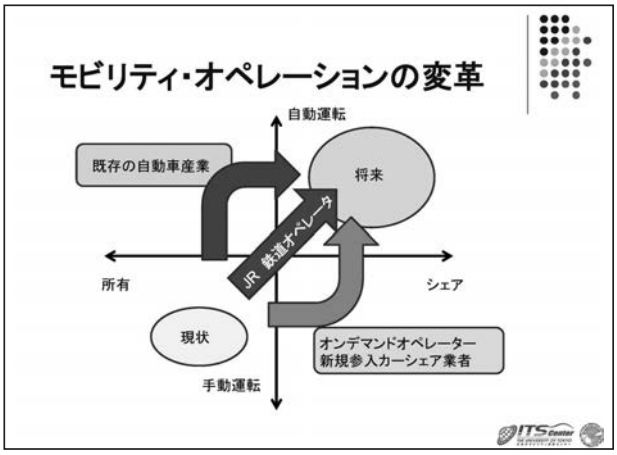
最後に、今日の重点テーマのAI、IoTについて話をしたいと思います。自動運転が進展してきた一つの大きな理由に、AI、人工知能があります。当然、センシング技術が非常に高度になったということもありますが、やはり判断のアルゴリズムの向上も大きな理由になっています。人工知能も、ビッグデータを使って機械学習をする手法が進展し、人間にできない判断が可能にもなり、いろんなところで活用されています。私も今この研究をやり始めています。

それともう一つが、インターネット通信技術です。携帯電話網も3Gから4Gになって、今度5Gになって、ここらあたりになりますと、専用の無線周波数は必要ないぐらいの大容量の通信が可能となるような話になりつつあります。もちろん、地デジ化によって開放された専用の周波数帯を活用していくという道筋もあります。

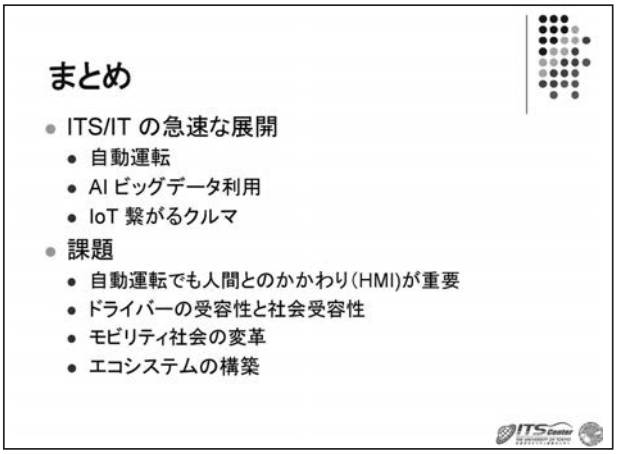


私が関わった話ですが、東大の柏キャンパスがある柏市に「柏ITS推進協議会」を設立し、公共交通とITSで連携する取り組みなどを実施しました。柏市にはJRの常磐線の他、私鉄やバスがあります。2013年に鉄道とバスの運行情報の連携という社会実験を実施しました。柏市、東京大学、JR東日本、東武鉄道、東武バスイースト、阪東自動車が連携し、運行情報などを集めてスマホに提供する実証実験です。常磐線の電車のロケーションも提供しました。JR東日本アプリにつながっています。さらにITS地域情報センターを立ち上げて一層推進していこうとしているところです。

IoT、自動運転時代になると、パラダイムシフトが多分起こるだろうと考えています。自動車の所有から自動車の利用へと。そうすると公共交通の概念が変わって、モビリティのオペレータの主役は誰かということです。利用者、車両をマッチングさせ、さらに「エコシステム」をどのように構築するか、これは糸久先生からご紹介いただけると思いますが、ここらあたりがキーワードになるだろうと思います。



これに対して、非常に面白いイメージ図を先週頂きました。先週お台場でSIP-adus 国際ワークショップが開催されましたが、そのときに、議論に参加したルノーの方がこんなイメージ図を持ってきていました。横軸に自動車を所有するかシェアするか、縦軸に手動運転か自動運転かにしています。そうすると、現状の自動車は所有で手動運転になります。既存の自動車産業は、今一生懸命自動運転の技術開発をやっています。一方、オンデマンドオペレーターとか新規参入カーシェア業者は、シェアリングをやっています。そうすると、自動車産業やオンデマンドオペレーター等、これらみんなが将来、自動車の自動運転でシェアの領域に移行していくのではないかと、このように考えられるわけです。では、この領域の主役は誰になるのかということですが、この図面をよく見ると全てをやっている事業主体があります。それは鉄道事業者で、車両も持っているし、シェアもしています。手動運転や自動運転もやっています。全てに関わっているのは、実は鉄道オペレーターということですので、将来、このような自動運転・IoT時代では、鉄道が非常に重要な役割を果たすのではないかと考えております。



最後にまとめをお示しします。ご清聴どうもありがとうございました。