

第XIII部

自動車を含むインターネット環境の 構築

第13部

自動車を含むインターネット環境の構築

第1章 はじめに

2002年はテレマティクス分野が加速的に進化した年であった。

日産自動車(株)は2002年3月にCarWings[108]と呼ばれる第2世代テレマティクスサービスを開始した。CarWingsではドライバが自動車に持ち込んだ携帯電話を車載機に接続し、これを介してCarWingsセンタに接続する。サービスとしてはネットワーク型ナビゲーションや気象情報などの情報提供、コンセルジュサービス、E-Mailなどのサービスを提供している。CarWingsのサービスは通常の回線交換の携帯電話を利用するため、通信コストが高く、利用は負担を強いられる。しかし、日産自動車は、平均すると一般のユーザは通信回数が少ないため、常時接続方式よりコストを低く抑えることができるとしている。

また、トヨタ自動車(株)は2002年10月にG-Book[109]と呼ばれるサービスを始めた。G-Bookのシステムでは、車載機に予めパケット通信型の携帯電話通信機器を内蔵しており、携帯電話などを接続することなく通信機能を利用することができる。車載機の通信機器はトヨタ自動車が発行するG-BookセンタにIPv4を使って接続されているが、他のISPに接続することはできない。また、通信費用はG-Bookの利用料に含まれており、ユーザが気にすることなくサービスを受けられるように配慮されている。G-BookでもCarWingsと同様にネットワークナビゲーション、気象情報などの情報提供、E-コマース、カラオケなどのサービスをおこなっている。

本田技研工業(株)は、2002年8月にInterNavi Premium Club [107]をアナウンスした。InterNaviもCarWings同様、自動車に持ち込んだ携帯電話を車載機に接続してネットワークサービスをうける。InterNaviの特徴はそのコンセプトにあり、ネットワーク上の個人情報サイトと自動車の車載機が連係

して動作する仕組みになっている。自宅のPCで目的地を設定すると車載機側にそれが伝わり、ナビゲーションが始まるなどのサービスが提供されている。

このように自動車のネットワークによる支援は加速的に進んでいる。WIDE Project インターネット自動車WGではこれらの背景を鑑み、昨年度に引き続きインターネットを使ったテレマティクス基盤の構築を推進してきた。本報告書では、次章においてこれまでのWIDE Projectでの自動車の情報化に関するアーキテクチャの総まとめをすると同時に、次々章において、本年度実施したIETFおよびNetworld+Interopでの実験結果についてまとめる。

第2章 インターネット自動車概要

本章では、インターネット自動車の概念およびそのアーキテクチャについて整理し、1996年ころからこれまでに渡って研究を進めてきたインターネット自動車システムの外観を明らかにする。

2.1 はじめに

従来、自動車はさまざまなタイプの通信(意志伝達)と共に利用されてきた。ドライバは近辺の自動車に対して手を振ったりパッシングをしたりして意志を伝達している。また、交通管理者は信号機や標識、電光掲示板などを利用してドライバに情報を提供し、安全な交通システムの実現を目指している。更に、ラジオなどを通して渋滞情報や道路管理情報を提供し、自動車がより円滑な交通手段となるような社会環境が構築されている。これらの意志伝達の直接的な目的は、非常に多岐にわたっている。このため、目的または情報の提供者毎に多くの通信手段が用意されており、通信システムは非常に複雑なものとなっている。このような通信を高度化し、近年になって問題視されるようになった安全性や環境の問題を解決し、更には自動車交通の快適性の向上を図る目的で、現在自動車の分野では高度道路交通シ

システム (Intelligent Transport Systems: ITS) と総称される交通のシステム化に関する研究開発、システム導入が盛んに進められている。高度道路交通システムは図 2.1 に示すように、人、自動車、道路を情報通信で結ぶことにより、交通に携わる各主体が十分な情報を利用して交通システム全体の効率を向上させることを目指すシステムである。

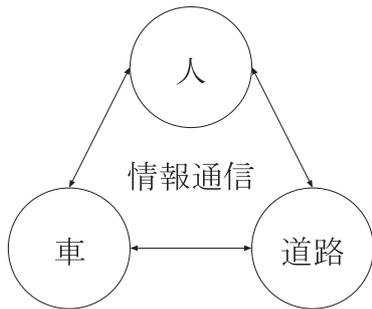


図 2.1. ITS の概念図

一方で、近年になって、社会システムのデジタル情報通信基盤として、インターネットの利点が広く認知されるようになった。複雑になりがちな情報通信社会の通信基盤をシンプルに保ち、誰もが利用できる環境を提供することを可能としたからである。インターネットの特徴は、実際の通信手段として多数の通信メディアを利用することができるのと同時に、アプリケーションに対してただ一つの通信インターフェイスを提供していることである。このことによって、通信と情報の分離を可能にし、多くの通信メディアで同様のサービスを提供できる通信システムの実現に成功した。更に、移動体通信技術は時刻や場所、利用者を問わず、情報通信社会基盤へアクセスすることを可能とした。現在では、国内における PHS を含む携帯電話の契約数は約 7800 万台 (財団法人 電気通信事業協会 発表) となっている。このうち約 5800 万台 (財団法人 電気通信事業協会発表) がインターネット接続機能 (Mail 機能や Web ブラウジング機能) を有している。このことは、国民の多くが時刻や場所を問わずにデジタル情報を交換できる環境下にあることを示している。

これらの事実を背景としてとらえると、情報通信によって強化された自動車交通システムと移動体通信によって高度化されつつある情報化社会の二つが融合することによって、新たな社会システムが実現される可能性が高いことがわかる。本研究では、こ

の新たな社会システムの集合を、「インターネット自動車社会システム」と呼ぶ。上で述べたように、自動車交通システムにとって情報通信の高度化は不可欠である。一方で、移動体通信は情報通信社会をより柔軟なものに高度化することを目指して発展している。インターネット自動車社会システムは単にこの二つが重なる部分を指し示すのではなく、二つのシステムの相乗効果によって生まれる新たな分野全体を指し示す言葉として定義される。

2.2 インターネット自動車社会システム

本節では、本研究が対象とする「インターネット自動車」の概念を説明し、このシステムが自動車交通システムおよび移動体インターネットに与える影響について述べる。

2.2.1 インターネット自動車社会システムの概念

本研究では「インターネット自動車社会システム」を、情報通信によって強化されつつある自動車交通システムと移動体通信によって高度化されつつある情報化社会の融合する新しい分野と定義している。

インターネット自動車社会システムの例として、プローブカー [161, 19] や Extended Floating Car Data (FCD) [66] と呼ばれるシステムを挙げることができる。これらのシステムは、自動車が持つ情報を情報通信を用いて収集し、生活に役立つ交通情報や気象情報などに転化している。このシステムでは、自動車が持つセンサ情報やスイッチの状態を自動車側で 1 次加工したものを情報通信により 1 ヶ所に収集し、統計処理などの 2 次加工によって必要な情報を生成している。図 2.2-(a) は、自動車から取得した位置や速度の情報を基に交通情報を生成し、Web を介して提供している例である。また、図 2.2-(b) は自動車のワイパの動きをエリア毎に集計して、降雨情報として Web で情報提供している例である。以上の 2 例はインターネット自動車社会システムを構築することにより、これまで利用されなかった自動車が持つ膨大な情報を、人間の生活に還元することが可能となることを示している。特に 2.2-(b) の例は自動車が持つ情報を自動車のためだけではなく、他の分野に応用できることを示した特徴的な例である。

また、近年のテレマティクス事業では家庭と自動車の融合が注目され始めている。家庭に存在するオーディオやビデオストレージとカー AV 機器の移動体

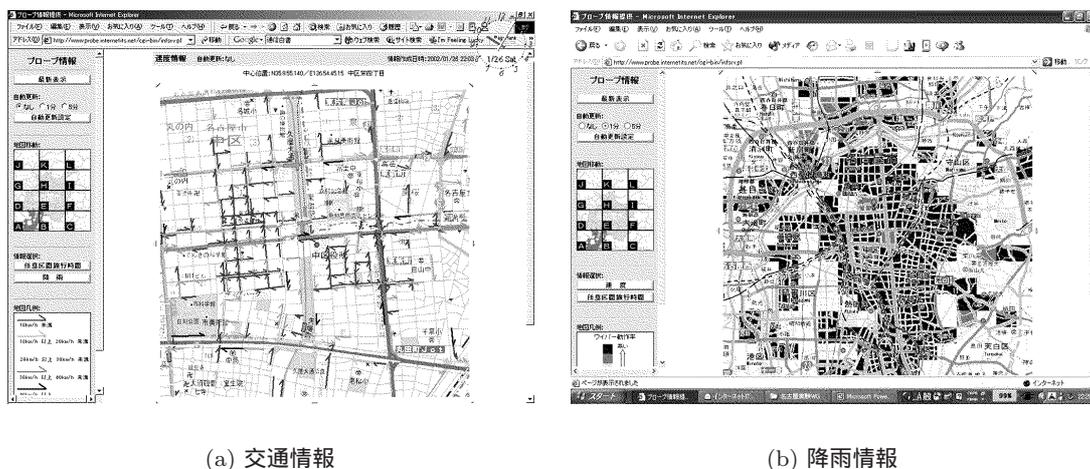


図 2.2. プローブカーを用いた情報提供の例

通信による接続や Web や Mail のカーナビゲーションシステムとの連携、家電と自動車の連携などである。これらの分野も、デジタル機器と通信、自動車の情報化が進んだことによって可能となった、生活スタイル改善の提案と捉えることができる。

このように、インターネット自動車社会システムは単に自動車交通システムの高度化や移動体通信の通信範囲の拡大に寄与するだけではなく、新たな社会システムとして発展する可能性をもっており、下記の 3 つの分野に寄与することができる社会システムである。

- 情報通信による自動車交通 (安全、環境保全、快適) への寄与
- 情報化社会の恩恵を受けることが可能な場所の拡大
- 自動車を含む (源とした) あらたな情報化社会サービスの創出

2.2.2 自動車交通システムに与える効果

情報通信が自動車交通に直接与える効果については ITS の分野で多く議論されている。ITS では多岐にわたる数多くのサービスが検討されており、全体のシステムは非常に複雑なものとなる。このようなシステムの構築を円滑に推進するため、現在、世界各地において ITS のシステムアーキテクチャがまとめられつつある。日本においても 1999 年に ITS 関連 5 省庁 (警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省、建設省) によって、日本版システムアーキテクチャがまとめられている [175]。これによると ITS サービスのうち多くのものは情報通信を前提としている。こ

れらのサービスは、広域放送を前提としているもの、信頼性のある実時間通信を前提としているもの、1 対 1 の直接通信を前提としているものなど、多種多様な情報通信技術を必要としている。このため、多くの場合、既存の通信技術では ITS サービスの要求に応えることができず、ITS で利用される情報通信技術はサービス毎に専用に開発されている。本研究で提案している自動車交通システムにおける情報通信の共通の盤の構築のメリットは、これらの多くのサービス (アプリケーション) を安価に実現できることにある。本研究を進めることにより、自動車交通をより安全かつ快適で環境にもやさしいものとする ITS に寄与することができる。

また、ITS のシステムアーキテクチャにおける 21 番目のサービス分野である「高度情報通信社会関連情報の利用」は、近年の情報通信の急速な成長を受けて新設された項目である。本分野はまさにインターネットの普及によって新たに可能になったサービスの集まりである。このように、インターネット自動車社会システムは情報通信と自動車情報化の分野が相互にポジティブフィードバックを掛け合うことによって大きく発展する分野である。

2.2.3 移動体情報通信に与える効果

現在の移動体情報通信の主流は携帯電話である。国内では 7800 万台の携帯電話が利用されており、人口カバー率は 99.9% を越えるまでになっている。しかし、実際には建物の内部や電車の中などの利用できない場所も多い。特に交通機関を使った高速移動中は安定した通信環境を得ることが難しい。また、携

帯電話を始めとする移動体通信用の通信システムは固定のシステムに比べておおよそ 1~2 桁程度通信速度が劣る。現在の家庭向けの固定通信システムではおおよそ 1.5 Mbps から 100 Mbps 程度の通信速度を実現しているが、移動体通信では広域で 384 Kbps 程度が限界である。このため、現在の情報通信社会システムでは、アプリケーションが限定されていることも多く、携帯電話網は電話の為に最適化されたシステムとして構築されている。

しかし、移動体情報通信の応用範囲は広範にわたり、アプリケーション開発者は様々な環境に対応できる移動体情報通信システムの普及を求めている。そこで、明確に自動車で利用可能なことを目標としたシステム開発を推進することにより、非常に厳しい通信環境でも利用可能な通信システムの構築を加速することが可能となる。

2.3 インターネット自動車システムの実現

本研究では、インターネット自動車システム実現にあたり、インターネットの持つ通信アーキテクチャを踏襲したシステムアーキテクチャを提案する。インターネット自動車システムの実現にあたり、全体のアーキテクチャをまとめることが重要となる。携帯電話を始めとする既存の移動体情報通信システムでは、特定のアプリケーションに最適化されているため、自動車の様に広範囲を移動して様々なアプリケーションを利用することは難しい。そこで、新たな移動体用の通信アーキテクチャが必要となる。

インターネットにおける移動体支援技術を検討する際に留意すべき点が大きく 2 点存在する。1 点は通信アーキテクチャ的視点、もう 1 点はデータアーキテクチャ的視点である。通信アーキテクチャ的視点では、インターネットの通信技術そのものに関する考察が必要となる。インターネットはエンド-エンドでの通信を基本として設計されており、それぞれのノードは IP アドレスで一意的に識別される。一方で、IP アドレスアーキテクチャは、ノードが接続されているネットワークの論理的位置に依存しており、ここに矛盾が生じる [156, 157]。そこで、これを解決するための仕組みが必要となる。また、現在、すべての地域にサービスを行うことが可能な移動体通信メディアが存在しないことから、複数の通信メディアを切替えながら、或は同時に利用する為の仕組みも必要となる。この問題に関しては現在のインター

ネットが通信メディアに依存しないことから、インターネットのアーキテクチャを踏襲しつつ解決可能であると考えられる。もう一方のデータアーキテクチャの視点では、通信と情報を分割することが重要である。インターネットは基本的にはデジタル情報を相手のノードまで届ける機能のみを提供しており、その内容には介在しない。移動体インターネットではノードが移動するため、特に動的な情報を扱う可能性が高く、この部分のアーキテクチャをきちんと切り分けて定義しておくことが重要である。

2.3.1 通信アーキテクチャ

本研究では、インターネット自動車社会システムの通信アーキテクチャとして下記のような項目を前提とする。これらの項目を満たすことによって、インターネットとの親和性を保つことが可能となる。

- 自動車用のネットワークは特殊なものとして構築せず、広く一般に運用されるインターネットの一部を担うものとする。
- 自動車が接続されるネットワークは、閉じたイントラネットではなく、グローバルなインターネットとする。
- 自動車を接続するインターネットは双方向から常時接続可能なものとする。
- 想定するインターネット環境は Internet Protocol version 4 (IPv4) および Internet Protocol version 6 (IPv6) のどちらか、または両方で運用されるものとする。ただし、将来的にはインターネットは IPv4 から IPv6 へ移行することを前提とする。

また、下記のような事項を満たすことにより、ITS アプリケーションをインターネット自動車社会システム上に構築する際、通常のインターネットと同様に扱うことが可能となる。

- インターネット上の一般ノードと同様に、自動車内のコンピュータからインターネットノードへ通信できること。
- インターネット上の一般ノードと同様に、インターネット上のノードから自動車内のコンピュータへ通信できること。
- 自動車は、多様な通信メディアを利用し、できるかぎり広範な場所や時刻において通信可能であること。

これらの前提項目を基にして、本研究ではインター

ネット自動車社会システムの通信基盤の基本アーキテクチャを要求仕様として下記のように提案する。

- アプリケーション層プロトコルおよびトランスポート層プロトコルは、現在広く利用されているインターネットで使われているものに準ずる。
- 自動車をインターネットに接続するためのプロトコルとしてはインターネットプロトコル (IPv4 または IPv6) を利用する。
- 自動車をインターネットに接続する際には、1台の自動車につき1つ以上のグローバルなIPアドレスを割り振る。割り振られたIPアドレスは動的に変更されることは無いものとする。

これらのアーキテクチャ仕様を満たすための方法は数多く提案できる。本研究では実現の方法には特に拘らず、場合によっていくつかの方法を採用し、これらのシステムが矛盾無く動作することを示し、提案の妥当性を検証するものとする。

2.3.2 データアーキテクチャ

インターネット自動車社会システムでは、自動車もつセンサ情報やスイッチ類の状態を利用するためのアーキテクチャを規定しておくことが重要である。近年の自動車は約120種類のセンサ情報やスイッチの状態を持つ。これらの情報はアプリケーションによって様々な目的に利用できる反面、自動車によってその形式が違うなど多くの問題を抱えている。

本研究では図2.3に示すようにデータ辞書を導入することにより、車種やメーカーによって異なるデータ形式を吸収すると同時に、多くのアプリケーションで自由に情報を利用できる環境を提供することを提案する。

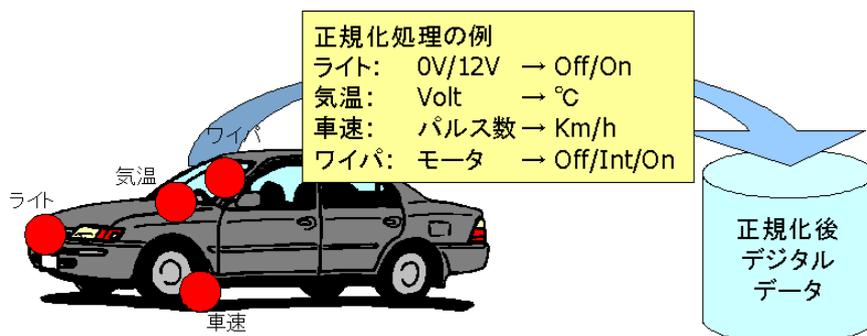


図 2.3. データ辞書によるセンサ情報等の正規化

2.3.3 位置依存アプリケーション支援アーキテクチャ

自動車は移動体であるため、位置に依存したアプリケーションが多く利用される。しかし、一方でインターネットは位置に依存しない通信の実現を目指しているため、ここに矛盾が生じる。このため、何らかの仕組みを用意する必要がある。第2.5節では、実証実験としていくつかのトータルシステムを構築している。この中には位置依存アプリケーションを支援するための仕組みも組み込まれている。

2.4 システムの設計

本節では、前節までに述べたアーキテクチャを基に実際のシステムの設計をおこなう。

2.4.1 移動体通信技術

前章で提案したインターネット自動車社会システムのアーキテクチャを踏まえた、自動車をインターネットに接続するシステムのモデルとして、Single computer model、Single router model、Multiple router mode の3つを提案する。

Single computer model は図2.4に示すように自動車内に一つの計算機があり、その計算機に直接通信メディアが接続されているモデルである。このモデルはカーナビゲーションシステムなどが直接インターネットに接続されることを想定している。本モデルを実現するためには、車載計算機に対して固定のIPアドレスを付与する仕組みを実現しなければならない。この問題に関しては、[156]や[157]で提案されているVirtual Internet ProtocolやRFC2002で策定されているMobile IP、更には現在IETFで議論されているMobile IPv6などを利用することにより実現可能である。また、単一の広域通信メー

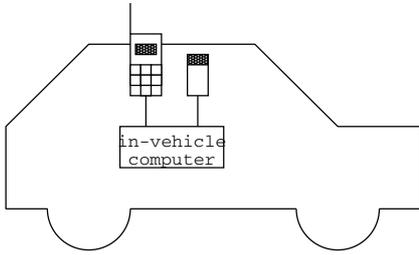


図 2.4. Single computer model

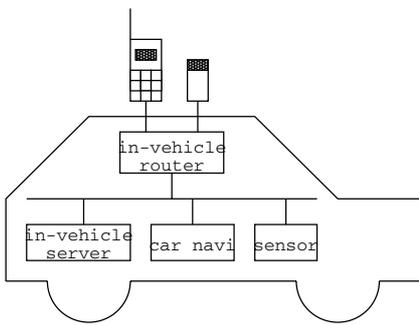


図 2.5. Single router model

アシカ存在しない場合は、予め固定の IP アドレスを付与しておくことにより、この問題を解決することもできる。

Single router model は図 2.5 に示すように自動車内に 1 台の移動ルータを設置し、この移動ルータが外部のインターネットとの接続を管理するモデルである。このモデルでは移動ルータ以外は外部との接続状態に影響されることはない。このため、センサノードなどの低資源の計算機を車内に設置する場合に向いている。また、PDA などの機器を外部から車内に持ち込む場合にも有効である。本モデルを実現するためにはトンネリングや IETF で議論され始めている Network Mobility(NEMO) 技術が必要と

なる。

Multiple router mode は Single router model における移動ルータを複数もつモデルである。このモデルはルータ機能内蔵の携帯電話などを車内に持ち込むことを想定している。このモデルを実現するためには Single router model の機能に加えてルータ間の協調機能が必要となる。

2.4.2 データシステム

インターネット自動車社会システムのアーキテクチャにおいては、データ辞書を用いることで車種によって異なる情報を予め正規化した上で利用することを提案した。本節では、これを利用するためのシステムを設計する。

本研究では図 2.6 で示すようなシステム構成を提案する。このシステムでは、データ辞書と通信を独立させ、複数のアプリケーションでそれぞれにより適した通信プロトコルを利用できる仕組みを提供している。

2.5 実証実験とその他の活動

2.5.1 Network Environment for Continuous Mobility

第 2.3 節で提案した通信アーキテクチャを検証するために、1997 年に慶應義塾大学湘南藤沢キャンパスにおいて、(株) 東芝、(株) ソニーコンピュータサイエンス研究所、電気通信大学、奈良先端科学技術大学院大学、米国 Sun Microsystems および Stanford 大学の移動体インターネットの研究者が参加する自動車 5 台を使った移動体インターネットプロトコルの通信実験を行った。この実験では複数の移動体インターネット通信プロトコルを用い、それぞれが矛盾なく動作することを確認した。ここで利用したプロトコルおよび実装は表 2.1 の通りである。Toshiba

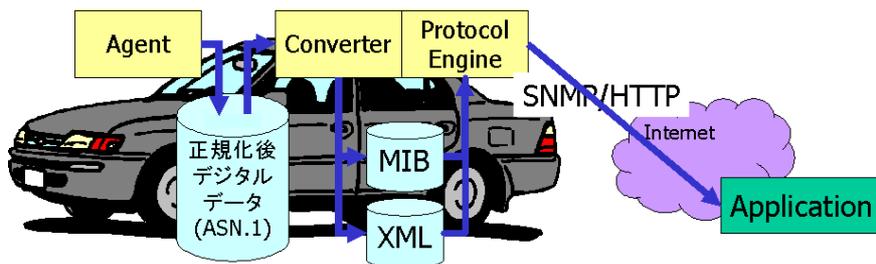


図 2.6. データ辞書アクセスシステム

MIPv4、Stanford MIPv4、Sun MIPv4 はそれぞれの組織が実装した RFC2002 に準拠した Mobile IP を利用していることを示している。また、VIP は [156] や [157] で提案されている Virtual Internet Protocol を利用していることを、LWP は [182] で提案されている Light Weight Protocol を利用していることを示している。

表 2.1. 実験に使用した車両の設定

番号	プロトコル	IF SW	GLI	PFS
1	Toshiba MIPv4	自動	有	有
2	Stanford MIPv4	手動	有	有
3	Sun MIPv4	手動	有	有
4	VIP	手動	有	有
5	LWP	N/A	有	有

この実験では、5 台の自動車を利用して異なる移動体通信プロトコル間での交互通信実験およびその上での地理位置情報アプリケーション (GLI) と分散ファイルシステム (PFS) の動作検証をおこなった。また、LWPA を除く 4 つの移動体通信プロトコルでは携帯電話 (DoPa) および無線 LAN 間の切替え実験をおこなった。いずれも良好な動作 (通信の継続) が確認された。

また、この実験は翌年、[158] で示す様に更にアプリケーション部分とミドルウェア部分を強化する形で再実験を行っている。ここでも 1997 年の実験と同様に通信システムの良好な動作が確認されている。

2.5.2 IPCar: プロープ情報システム

第 2.5.1 節で説明した実験では、多くの移動体インターネットの研究者が参加してプロトコルの動作検証が行われた。しかし、これらの実験では依然として自動車社会システムとしての利用可能性や社会的受容性は確認されていない。そこで、本研究では次の段階として自動車業界と協調した実証実験を計画した。

IPCar と呼ばれるプロジェクトは (財) 自動車走行電子技術協会を中心として 1999 年より 3 年間の期間をかけて実施されたプロジェクトであり、プロープ情報システムの実現を目指している。プロープ情報システムとは、自動車が持つセンサの情報やスイッチの状態をネットワークを介して収集し、さらに統

計処理をして、社会に有用な情報として提供するシステムである。このプロジェクトは (株) 日本電気、(株) デンソー、(株) カルソニック、(株) 三菱総合研究所などが参加して推進された。このプロジェクトの中で、本研究の提案はアーキテクチャ検討の骨子として採用され、実際の実証実験の場で検証されることとなった。

IPCar プロジェクトでは、1 年目に 10 台の自動車を利用してプロープ情報システムの実現可能性が検証された。この間、異分野の研究者が協調して議論をする場を得ることができ、移動体インターネットをより広い視点で机上検証することができた。同時に自動車分野の研究者にインターネット技術を理解してもらうことができ、インターネット自動車社会システム実現の進展を促進することができた。本プロジェクトの 2 年目以降では、横浜において約 280 台の自動車をを用いた実証実験を実施した。実証実験は多くの運送事業者や公共交通機関の協力を得て実施された。また、生成された交通情報や降雨情報の一般への提供が行われた。インターネット自動車社会システムの視点からは結果としては、下記のような成果が上がった。

- 協力事業者へのインセンティブの重要性が確認された。
- 実社会で有望視されているプロープ情報システムの通信基盤として移動体インターネットが利用できることがわかった。
- 情報の一般への提供において、道路交通法の改正が必須であることがわかった。
- インターネット自動車社会システムの導入による新サービスの構築ができた。

2.5.3 InternetITS: インターネットを用いた自動車のための情報基盤

IPCar の実証実験により、プロープカーシステムの問題点がいくつか明らかになった。その中でも、システム構築コストの高さによるビジネスモデルの欠如が大きな問題となった。そこで、インターネット自動車社会システムのアーキテクチャを鑑み、複数のアプリケーションを基盤システムの上に構築することによってコストを複数のアプリケーションで分担する InternetITS 実証実験を計画した。

InternetITS 実証実験は、経済産業省支援の下、慶應義塾大学を中心に、(株) トヨタ自動車、(株) デ

ンソー、(株)日本電気の 4 組織により推進された。InternetITS 実証実験は大きく次のように分類することができる。

- 名古屋市におけるタクシーを利用した実験
 - プローブ情報システム
 - 運航管理などの事業者向けシステム実験
 - 乗客への情報提供実験
- 川崎市における一般車を利用した実験
 - 乗員への情報提供実験
 - 駐車場やガソリンスタンドにおけるホットスポットサービス
- 高機能実験車を利用した実験

名古屋の実験においては、約 1570 台のタクシー車両の協力を得て実験を行った。1570 台のうち、1500 台は携帯電話のみを利用した IPv4 インターネット接続機能を持ち、上で述べた 3 つのサービスのうち、上 2 つを実現している。また、残りの 70 台は携帯電話と DSRC (Dedicated Short Range Communication) を通信メディアとしてもち、Mobile IPv6 を利用して第 2.3 節で提案した要求仕様を満たすシステムを構築している。更にこの 70 台はタッチパネル付きの後部座席用ディスプレイを持ち、乗客への情報提供を可能としている。図 2.7 に乗客に対して情報提供を行っている様子を示す。



図 2.7. タクシー乗客に対する情報提供の様子

この実験結果では、携帯電話を通じた通信の半分がプローブ情報に関するもの、残りの半分が乗客への情報提供に関するものであった。更にプローブ情報に関する通信の内訳は図 2.8 に示すようになった。ここで SS、ST はそれぞれ Short Stop、Short Trip を表す。本実験では、自動車は移動する際に停止 (Short Stop) と移動 (Short Trip) を繰り返すが、このタイミングと自動車が 300m 移動し続けた時にデータを

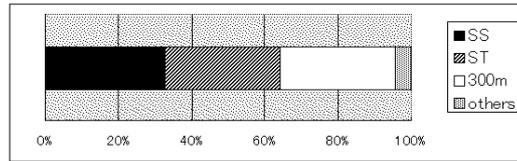


図 2.8. プローブ情報用通信の内訳

送信した。

一方で、川崎市における実験では後部座席にディスプレイを持つタクシーのシステムと同じシステムを用いて乗員への情報提供の他、DSRC を用いたホットスポットサービスを行った。具体的な主なサービスとしては、駐車場とガソリンスタンドでそれぞれキャッシュレス自動決済 (図 2.9)、ガイダンス (図 2.10) を実施した。これらのシステム構築にあたっては、本研究で提案するシステムアーキテクチャを採用することによって大幅にシステム構築時間を短縮することができた。

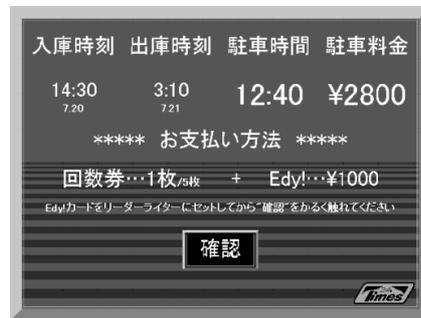


図 2.9. キャッシュレス自動決済



図 2.10. メンテナンスガイダンス

また、高機能実験車においては Single router model を採用し、自動車内に移動サブネットを構築した。移

動サブネットには 12 の計算機が接続されており、基本的にはこれらが一つの移動ルータを通してインターネットに接続されている。また、移動ルータは 5 つの通信メディア、すなわち DoPa、CPA、PHS、AirHTM、無線 LAN を持ち、環境に応じて自動的にこれらを切替える仕組みが実装されている。高機能実験車では、各自が個別に開発した計算機を自由に持ち込むことが可能であり、Single router model の有用性を示すことができた。

第 2.3 節で提案したアーキテクチャを精査するため、本研究では標準化活動を行った。標準として採用されるには至っていないが、世界的な専門家の意見を取り入れ、提案したアーキテクチャをより一層現実的なものとすると同時に、本研究に関する世界的認知を促すことができた。標準化活動はインターネット分野の標準化団体である IETF および ITS 分野の標準化団体である ISO で行った。

2.6 評価

本章では、これまでの研究を振り返って、インターネット自動車システムの評価をおこなう。

2.6.1 社会的認知および可用性

本節では、本研究を通してインターネット自動車社会システムアーキテクチャの社会認知がどのように変わったかを評価する。

まず、直接的な成果としてインターネット ITS 協議会の設立を挙げることができる。本研究を進めることにより、インターネット業界と自動車業界の双方が参加し、更に官や学の協力も得たインターネット ITS 協議会を設立することができた。2002 年 12 月現在、協議会参加者は 97 組織にのぼり、インターネット自動車社会システム分野が十分に社会に認知されたといえることができる。また、この協議会を通じて今後の本分野の発展を支える基盤を作ることができた。

2 つ目の成果としては道路交通法の改正を挙げることができる。本研究におけるプローブカーに関する実証実験は世の中にも広く認知されるに至り、警察庁との意見交換も実現したことから、道路交通法改正にあたり少なからず影響を与えていると考えられる。

更には、一般の人々に対してもこのような分野の存在の認知を促進することができた。実証実験中、

多くのメディアからの取材依頼を受けた一方で、一般の方々からの問い合わせも多く、これらの事実は本研究がインターネット自動車社会システムの認知促進に寄与できたことを示している。

2.6.2 技術的先進性とシステムの適合性

実証実験などを通じて第 2.3 節で提案したシステムアーキテクチャの可用性、有効性を確認することができた。基本的なアーキテクチャを変更すること無くすべての実証実験で多くのアプリケーションを実現することができた。このことより、提案したアーキテクチャが先進的であり、多くのシステムに適合可能であることが確認できた。

ただし、システムの性能面など、個々の技術においては解決しなければならない点も多く、より高度な研究成果を待つ必要がある。

2.6.3 新規分野の創出と今後の発展の可能性

最後に本研究が提案している新規分野の創出とその今後の発展の道筋をつけることができたかについて評価を行う。

第 2.6.1 節で本研究の成果としてインターネット ITS 協議会の設立を挙げた。本協議会は様々な分野の会員を養っており、十分に新たな産業/研究分野の成長を助長することが可能である。また、このような様々な分野の会員を集めることができた背景には、本研究が新たな産業/研究分野の片鱗を示すことに成功したことを表している。

2.7 結論

本研究では、インターネット自動車社会システムという移動体インターネットと自動車社会の協調した新たな社会システムを定義し、その実現のためにシステムアーキテクチャおよび展開ストラテジの提案を行った。提案したアーキテクチャは、多くの環境で適用可能とするためのインターネットを利用した柔軟な要求仕様という形をとった。また、インターネット自動車社会システムの実現に向けたコミュニティ形成の場として実証実験を計画し、自動車の分野とインターネットの分野を結びつけることに成功した。本研究によって、移動体インターネットと自動車社会の双方に、技術的社会的な指針を示すことができた。

第 3 章 IPCar プロジェクト

本章では、2002 年度に行われた IPCar 実証実験について報告する。IPCar 実証実験とは、自動車の持つ情報を収集加工し、これらの情報が新たなサービス等に有効活用できることを実証するための実験である。本年度の実験は、NETWORLD+INTEROP 2002 及び、横浜で行われた第 54 回 IETF 会議の期間中に行われた。各イベントではデモンストレーションも行われ、非常に多くの方に関心を持って頂くことができた。また、新たな試みとして、GLI システムの導入と IPCar システムの通信機能に関する評価を行った。

3.1 はじめに

IPCar とは、自動車を実世界を動き回るセンサーとして捉え、様々な情報を自動車から収集し、センタ側で処理することにより、新しい情報を生み出す枠組である。IPCar プロジェクトは 1999 年度に始まり、今年度で 4 年目を迎えた。

1999 年度は、システムの可能性の検証を行った。10 台の自動車を用いて港北地区の指定した道路を線的にスケジュール走行し、システムの動作確認、外気温やワイパー情報、速度情報などから得られるプローブ情報の実際の値との対比などを行った。この結果、正確に渋滞情報が把握出来ること、外気温やワイパー情報より得られる気象情報が有用であることが確認できた。更に、システム構築や通信プロトコルに関する様々な知見を得ることができた。

2000 年度は、横浜地区で社会実験を行った。約 270 台の自動車（タクシー、バス、トラック、営業車、塵芥車など）を利用し、面的に広域の情報を生成して、一般市民への情報提供を行った。この実験では、社会的な有効性が確認できたばかりではなく、車種別の取得データの特徴の抽出、事業化への課題の整理、GPS の不感マップの作成、交通流通解析用基礎データの蓄積などの成果を得ることができた。

2001 年度は、精度向上のために取得情報の質の向上と情報自体の追加を試みた。2000 年度の実験ではある時刻での瞬間速度を取得していた。しかし、実

際の交通流は自動車の流れであり、線の情報である。そこで、自動車の動きに着目し、自動車が走っている時間、自動車が止まっている時間という形の情報を収集した。また、ウインカー情報とサイドブレーキ情報を追加した。ウインカー情報は、自動車の右左折を検出するために利用される。多くの場合、右左折レーンは直進レーンに比べて混んでいる。このため、2 車線以上あるような道路では交通流にムラが出てくる。右左折を検出することにより、このような雑音を別事象として処理することができた。サイドブレーキ情報は自動車の駐車を検出するために利用された。この結果、より正確に道路の状況を把握でき、より正確な交通情報を生成できた。

3.2 2002 年度の活動概要

本年度の実験は、広報活動と新たな実験を目的とした。NETWORLD+INTEROP 2002 及び、横浜で行われた第 54 回 IETF 会議の期間中にデモンストレーションを行うことを念頭に、2002 年 7 月 1 日から 7 月 20 日までに実験を行った。

平和交通（株）と横浜市の協力により、実験車両として、タクシーとバス合計 100 台を使用した。車載機とセンタシステムは従来のものである。すべての実験車両は、桜木町駅を起点とし運航していた。

新たな実験としては、GLI サーバの導入と通信特性に関するデータ収集を行った。

3.3 広報活動

3.3.1 NETWORLD+INTEROP 2002

NETWORLD+INTEROP 2002 では、IPv6 ShowCase ブースにて展示広報を行った。IPv6 ShowCase は、IPv6 を中心にして広がっていくサービスやビジネスを展望できることを目的に企画された。昨年度の Network+Interop 2001 では、「IPv6 for everything」というテーマで主に家庭内のデジタル情報家電への適用などを通じて IPv6 の可能性を紹介していたが、今年はずでに実際に製品化されているプロダクトも多いことから「IPv6 for market」というテーマのもとに、IPv6 が実現する世界をさまざまな視点から紹介した。

IPv6 ShowCase のブースは、3 つのゾーンで構成されていた。出展各社の製品を相互接続して IPv6 ネットワークを構築し、最新機器を用いたデモンストレーションを行う ISP/IDC ゾーン、P2P アプリ



図 3.1. NETWORLD+INTEROP 2002 におけるデモンストレーションの様子

ケーションや広域データセンター処理サービスなど、実際の製品、サービスを交えながら家庭やビジネスが変貌する世界を紹介する家庭ゾーン、どこでも必要な情報をやりとりできるモバイル IP ゾーンである。本 IPCar プロジェクトのデモンストレーションは、モバイル IP ゾーンで行われた。

図 3.1 は、NETWORLD+INTEROP 2002 におけるデモンストレーションの様子である。NETWORLD+INTEROP 2002 全体で、151,480 名の来場者を迎え、IPCar ブースも非常な賑わいを見せた。想定していたよりも IPCar の認知度が高かったようで、サービス開始時期や導入コストに関する質問が多くみられた。NETWORLD+INTEROP の特徴として、通信関連業やシステム・インテグレーターの来場者が多い。したがった、システムの開発運用に携わる方々には、IPCar システムは広く認知され興味を持たれていることが確認できた。

3.3.2 IETF 54th 横浜会議

IETF(Internet Engineering Task Force) は、TCP/IP や IPv6 等、インターネットプロトコルの標準化を推進するオープンな国際組織である。IETF で策定された標準仕様は、RFC として知られており、そのメーリングリスト上では、誰もが自由に、インターネットの標準化作業に参加することが出来る。また、年 3 回開催される国際会議では、最新の技術に関する活発な議論が行われ、今回、アジアでは初めて日本で行われることになった。

図 3.2 は、IETF 54th 横浜会議におけるデモンストレーションの様子である。会場には図のような大型ディスプレイを 6 台設置し、参加者が休憩中などにデモンストレーションが観れる形をとった。ディ



図 3.2. IETF 54th におけるデモンストレーションの様子

スプレイに表示された専用クライアントは、自動的に表示している情報を更新するように調整した。このクライアントを介して、会議参加者は常に最新の桜木町駅周辺の交通情報が確認できた。IETF は、インターネット上の標準仕様を策定する会議であり、横浜会議でも各国のトップエンジニアが参加していた。そのような世界のエンジニア達に対してデモンストレーションをし、その結果本プロジェクトの試みに関心を持って頂けた。

3.4 IPCar 実証実験における GLI システムの利用

GLI(Geographical Location Information) システムは、移動するホストの地理位置情報をインターネットにおいて管理するシステムである。GLI システムでは、移動するホストの地理位置情報と識別子のみを管理する汎用性と、任意の地理位置に関する検索である逆引き検索により、より柔軟で自由度の高いアプリケーションを実現でき、アプリケーションが効率化できる。

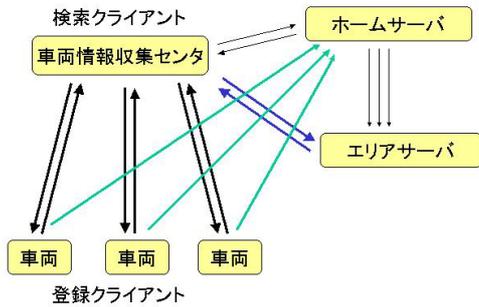


図 3.3. GLI システム概要

本年度の IPCar 実証実験において、GLI システムを連携させることにより、GLI システムの汎用性とその効果の検証を行った。具体的には、GLI システムを利用した降雨情報サービスを構築する。

3.4.1 GLI システム概要

GLI システムでは、ホストの識別子であるホスト名と、ホストの地理位置情報として緯度・経度を登録し、サーバにおいて管理する。検索者からは、ホスト名による検索（正引き検索）と地理位置情報による検索（逆引き検索）の問い合わせを行うことが可能で、検索結果として、ホスト名と地理位置情報の組をリストとして得る。逆引き検索には、任意に指定した点から最も近い位置にあるホストを検索する「最近接検索」と、任意に指定した 2 地点に囲まれた矩形内に存在するホストを検索する「範囲検索」をサポートしている。

図 3.3 に、GLI システムの概要を示す。正引き検索はホームサーバが担当し、逆引き検索はエリアサーバが担当する。エリアサーバは、地理的なメッシュに基づいた分散管理を実現し、規模性を考慮している。システム構成は、最小構成では図のようになるが、複数のホームサーバやエリアサーバによる構成も可能である。

今後インターネットに接続される対象が持つ情報は多種多様となるが、全てを一元的に管理することは現実的ではない。ホストがもつ情報はホストで保持管理されるべきである。例えば、MIB の形式での SNMP による管理が考えられる。GLI システムでは、ホストの識別子であるホスト名と、地理位置情報のみを管理する。検索の結果としてホストの識別子が得られるので、直接該当するホストへ問い合わせることで、ホストが持つ情報へアクセスすること

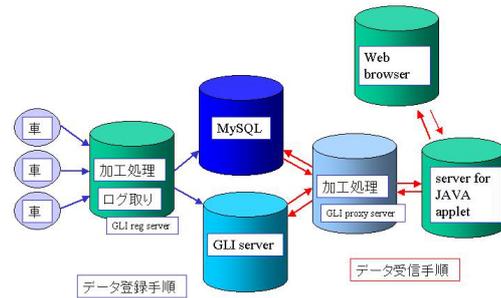


図 3.4. GLI システム構成

ができる。任意に指定した範囲を検索して得られた識別子を持つホストに対して、ワイパー情報を問い合わせることで取得することが考えられる。すべてのホストの情報を常に管理するのではなく、検索の結果問い合わせが必要なホストに対してのみ問い合わせることができ、通信量の低減による運用の効率化が可能となる。

3.4.2 GLI システム構成

IPCar において GLI システム評価実験では、車載機上のソフトウェアなど既存の IPCar システムを変更せず、IPCar のセンタシステムに蓄積されるデータをリアルタイムに GLI システムへ送信するインターフェースを設けた。また、検索者から車に対する情報要求（ワイパー情報）を直接行えるような環境とする。今回のシステム構成を図 3.4 に示す。

GLI reg server は、実験車両から車両の情報を取得する。取得する情報は、車両の位置情報、ワイパー情報、車両 ID、温度などである。取得した情報を加工し、ログとして記録する。また、車両 ID をもとに、車両の位置情報を GLI サーバに登録する。また、車両 ID をもとに、車両のワイパー情報を SQL サーバに登録する。

GLI proxy server は、server for JAVA applet から、検索要求を受け付ける。検索キーは、検索範囲の位置情報である。検索範囲は緯度経度の対で表される。取得した検索範囲の中に存在する車両を検索するために、GLI サーバへ検索要求を送信する。検索結果として、GLI サーバから要求した検索範囲の中に存在する車両のリストが返信される。取得した車両リスト中の車両が持つ降雨情報を取得するために、SQL サーバへ検索要求を送信する。検索結果として、SQL サーバから各車両の降雨情報を取得する。取得した降雨情報とその車両 ID のリストを、検索

結果として、applet へ返信する。

利用者は Web browser を Viewer として本システムを利用することができる。Viewer は Java applet の形で Graphical User Interface を提供する。あらかじめ組み込まれた地図のなかから 1 つを選び、その地図上でポインティングデバイスのドラッグ&ドロップさせ、矩形のエリアを切り出す。その矩形エリアの中に存在するのタクシーの諸情報 (車体シリアルナンバー、位置、ワイパーの稼働状況) を GLI proxy server より取得し、地図上にプロットするとともにリスト表示する。

3.5 通信状態に関するデータ収集

IPCar システムは、既存の TCP/IP スタックを利用して構築されている。これまでの実証実験を通じて、その有効性や可能性が十分に検証できた。しかし、自動車が置かれている通信環境は、PC やワークステーションとは全く異なる環境であり、既存の TCP/IP スタックが適しているかどうかかわからない。そこで、実験車両がどういう通信状況を把握することで、環境に応じたプロトコル設計などに役立つとれないかと考えた。

通信特性に関連する情報としては、例えば次のようなものが挙げられる。

- RTT や接続切断状況など、通信状態に関する情報
- GPS 情報 (緯度、経度、高さ) など、位置に関する情報

する情報

- GPS 情報や内蔵時計など、時刻に関する情報
- DOP や衛星数など、GPS に関する情報
- 車速や加速度など、速度に関する情報
- ワイパー情報など、天候に関する情報

上記のような情報同士の相関を取り、通信プロトコルの設計やシミュレータ・エミュレータ環境に役立てる。

3.5.1 実験概要

今回の実証実験では、IPCar センタから車両までの遅延と車載機に蓄えられる通信ログを収集した。遅延を測定するためには ping プログラムを用いた。実験は、2002 年 7 月 1 日から 7 月 4 日にかけて行われた。

図 3.5 に、実験のトポロジを示す。実験車両は DoPa 網を用いてセンタシステムと接続されていた。データ収集用のサーバは、センタシステムのネットワークに接続し、このサーバから ping プログラムの実行や通信ログの収集を行った。

ping プログラムは、30 秒に一回のペースですべての車両に対して行った。通信ログは、FTP を用いて収集した。車載機に蓄積される通信ログは、送信受信日時、送受信区分、メッセージ区分、車両 IP アドレス、センタ側通信サーバ IP アドレス、メッセージ内容が記録されている。メッセージ内容には、センタとの通信開始、センタとの通信終了、センタとの

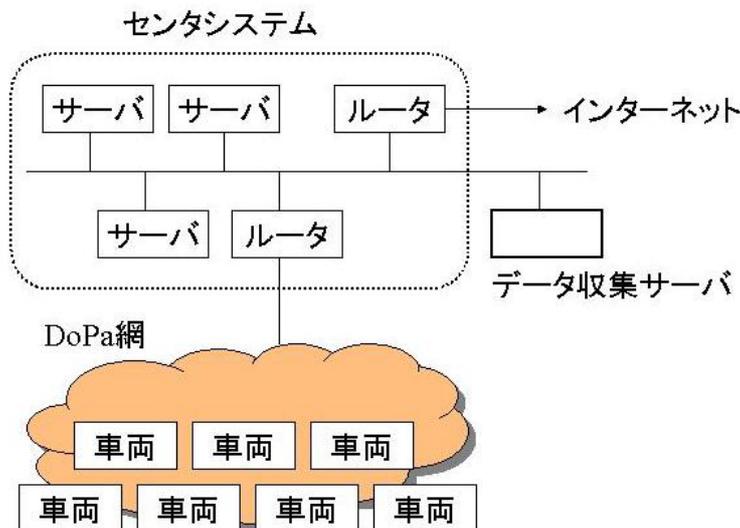


図 3.5. IPCar 実証実験トポロジ

通信結果（成功、失敗）、PPP のセッション情報（接続、切断）、FTP のセッション情報（接続、切断）、UDP/IP の送受信結果などがある。

3.5.2 実験結果

データ収集対象となった車両は 60 台で、車両の通信速度は 9600Kbps である。センタシステムと車両を接続しているルータの通信量は、1Mbps から 1.9Mbps 程度であった。

図 3.6 は、通信可能な場所をプロットしたものである。通信ログから通信可能場所を特定した。首都圏ほぼ全域で通信可能であることが分かる。

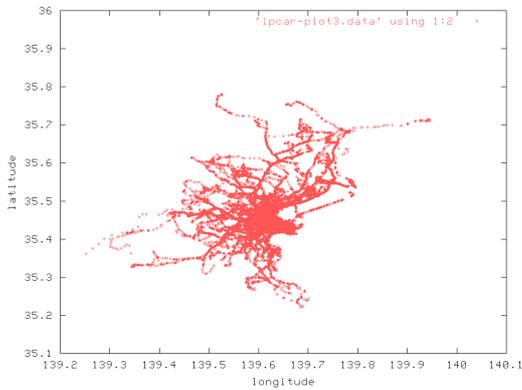


図 3.6. 通信可能エリア

次に、ping プログラムを用いて測定した結果について述べる。ping プログラムの総送受信回数は各車両それぞれに対して 960 回ずつで、平均成功回数 433 回、標準偏差 188 であった。通信ログの解析より、22.2%は駐車につきシステムが稼働していない時間であることが分かっている。平均パケットロス は 57.2%であることから、走行時間全体の 35%は、なんらかの理由で車両まで到達できないことがわかる。平均 RTT は 878.88 ms で、標準偏差 892.39 であった。遅延に関してもかなりのばらつきがみられる。

走行時間全体の 35%が到達できないことが確認できたが、通信ログから詳細な理由を判別できるだろう。また、地理位置情報と通信遅延の関係、車両速度と通信遅延の関係、より詳細地域での通信状態なども導きだせる。今後の課題する。