



5.

センサ、デバイスによる 新たな情報と 高度交通システム

屋代 智之 千葉工業大学 梅津 高朗 大阪大学

高度交通システムにおけるセンサ、 デバイス技術の位置付け

2011年の連続セミナー「コンシューマが切り拓くデジタル化社会の新しい潮流～2010年代のコンシューマ向けサービスの新たな展開～」の第6回として「センサ、デバイスによる新たな情報と高度交通システム」のコーディネートを依頼された。そこから、本会高度交通システム (ITS) 研究会の運営委員を中心として、どのような講演が必要であるのか、我々を含めて高度交通システム (ITS) 関係の研究者が知りたい情報というのは何か？という点について検討を繰り返した。

当初、コンシューマ向けのサービスやセンサ、デバイスが生み出す情報と ITS の関係をどのようにまとめるのか、ということにかなり悩まされた。しかし、そもそも ITS とは、移動するさまざまなものに対して ICT を活用して、より安全、快適な環境を提供しようというものである。当然、移動するさまざまなものは、自身の状態や周辺の状況をセンシングする必要がある。現時点では多くの乗り物において、人間の知覚がその役割を果たしているが、これらの自動化、人間の知覚の補助あるいは拡張というのはまさに ITS に求められている技術である。このようなことを考えると、多くのセンシング技術は ITS にかかわっていると考えることができる。さらに、一台一台の車両から得られるセンシング情報を集約することで提供できる新たなサービスの創造というの

は、今後の ITS の普及促進を考えると避けて通れない方向である。

そこで、これらの検討を踏まえて5件のセミナーを構成した。「OSS 分散処理基盤 Hadoop の概要と交通分野での応用」では、今後 ITS でも大量のデータ処理が必須になることから、深いかかわりが考えられる Hadoop に関して紹介する (講演者: (株) NTT データの濱野賢一朗氏)。「センシングによる列車運行の安全性向上への取り組み」では、列車においてセンシング技術が果たす役割について述べる (講演者: 公益財団法人鉄道総合技術研究所の関清隆氏)。「センサネットワークとヒューマンプローブによる街の可視化」ではヒトの周辺環境に対するセンシング技術について、実際に行われているプロジェクトベースで紹介する (講演者: 東京電機大学 (当時) の戸辺義人教授)。「ドライバに安全を提供する車載カメラ応用システム～安心・安全なクルマ社会に貢献～」では、近年注目を集めているクルマに関するセンシング技術およびその関連情報について述べる (講演者: (株) 日立製作所の川股幸博氏)。「東日本大震災における ITS Japan の取り組み～通行実績・道路規制情報～」では、クルマに関する大規模なデータ処理および情報提供の例として、通行可能な道路情報を集約した形で提供した震災時の情報提供に関する技術を述べる (講演者: ITS Japan の林昌仙氏)。全体の関係を図-1 に示す。

OSS 分散処理基盤 Hadoop の概要と交通分野での応用

Google の基盤技術のクローンとして誕生した Hadoop について紹介する。Hadoop は、Google の基盤技術（図-2）のうち、分散処理フレームワークである MapReduce と分散ファイルシステムである Google File System（GFS）を参考にして、Yahoo! Research の Doug Cutting 氏（現在 Cloudera 社）が Java で開発し、オープンソース版クローンとして提供しているものである。

Hadoop 自体は、MapReduce に相当する Hadoop MapReduce Framework と、GFS に相当する Hadoop Distributed File System（HDFS）で構成され、低価格サーバを大量に使用した分散処理環境で動作することが想定されている。低価格サーバを利用するために、故障が発生することも想定してデータを多重化する技術を採用するとともに、サーバ数が増えても性能が向上するように作られている。実際に少なくとも 5,000 台程度の規模であれば台数増加に合わせて性能も向上することが知られている。現在でも Yahoo! や DeNA 社、VISA、国立国会図書館サーチなどで利用されている。

Hadoop の登場により、大量のデータをバッチ処理的に解析するシステムへの分散処理フレームワークの適用が広く行われるようになった。

ITS に関連した分野では、2009 年度に経済産業省による技術開発・実証事業が行われた。ここでは 100 台規模のクラウドを構築し、渋滞解析アプリケーションを開発して、技術の有効性を確認した。また、Hadoop の分散処理基盤が利用している各種リソースを可視化することで、スケーラビリティを検証する技法が開発された。実際に確認された有効性としては、スケーラブルな運用手法が実現できること、大量の機器に対応できること、さまざまな機器が混在した環境に対応可能なこと、機器の故障時に効率的に復旧・再構築できること、などが挙げられる。さらに、実証アプリケーションレベルでは、約 400 万本の対象道路について、24 時間すべての時

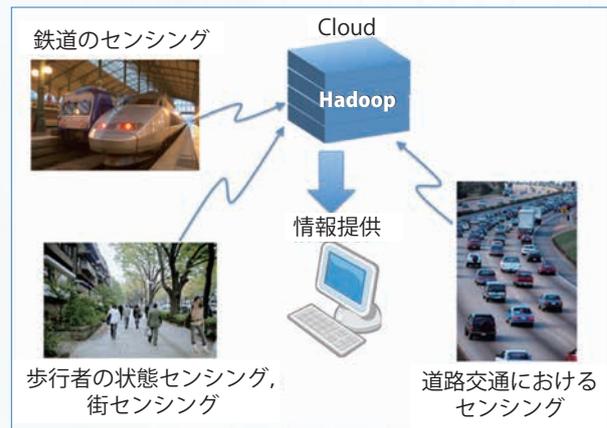


図-1 本セミナーの構成イメージ

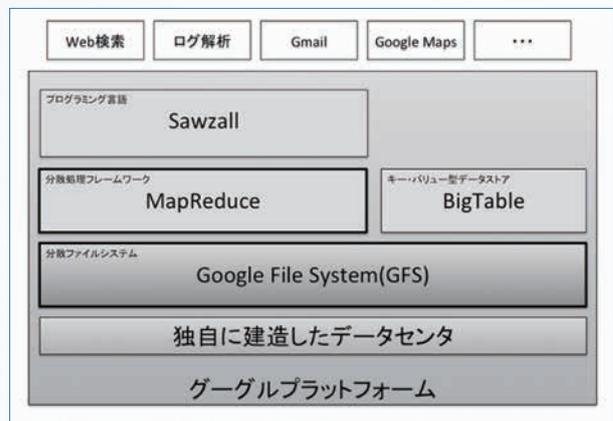


図-2 Googleの基盤技術（講演資料より）

間帯で5分以内に渋滞情報生成処理が完了することが確認された。

渋滞解析アプリケーション以外でも、ITSにおけるさまざまなアプリケーションにおいて、取り扱うデータがますます膨大になることは確実であり、このような分散処理フレームワークを適用して大規模なデータ処理を実現することは必須であると思われる。

センシングによる列車運行の安全性向上への取り組み

鉄道システムにおいて、普段利用者があまり意識していない箇所を含めて、用いられているセンシング技術とその制約条件について紹介する。また、これらのセンシング技術の発展系として考えられている「知能列車」について述べる。

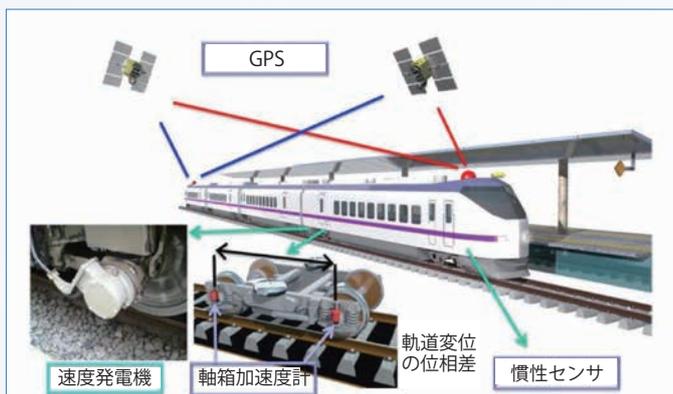


図-3 高精度複合型列車位置検出装置¹⁾

日本では、鉄道などの公共交通機関は特に重要な役割を担っている。鉄道は、リッチなインフラの構築と車両への機器搭載が(道路交通と比較すると)容易であるという特徴がある。今後、道路交通において車載機器などが普及すると、鉄道網におけるセンシング技術の検討は、ほかの交通機関への適用の参考事例として重要な意味を持つてくると考えられる。また、現状では、鉄道はその公共性の高さから、我々が自動車に対して考えるセンシング技術に比べて、遥かに高い信頼性・フェイルセーフの概念が求められる。これらの信頼性に関する検討・知見は、これから自動車などにおいて、さまざまなセンシング技術を導入する上で参考になることは間違いないと思われる。

現在の鉄道網におけるセンシングの基本的な役割は、列車運行の安全確保である。このため、基本となる区間(閉そく区間と呼ぶ)には1列車のみが存在するように制御し、閉そく区間を単位に信号機が設置されている。閉そく区間に1列車のみが存在するように制御するためには、列車がいまどこを走行中であるかを検知し、その上で列車の速度を最適に制御する必要がある。

列車の位置を検出する際には、軌道回路(レールおよび車軸で構成される回路)を用いて、車軸によりレール間が短絡されることを検出する手法がとられている。ここでもしもレールが破断した場合などは、自動的に信号が赤を現示するように軌道回路を構成する必要がある。

さらに、運転士が停止信号を見逃した場合に、列車を安全に停止させる必要がある。現在はこのための技術としてATS(Automatic Train Stop:自動列車停止装置)が利用されている。これは、運転士が確認動作を行わなかった場合に、自動で非常ブレーキを作動させて閉そく区間内で列車を停止させるシステムである。しかし、信号機の設置位置で制約された閉そく区間により、ブレーキ性能などの車両特性の違いを考慮することが難しく、結果として高密度、

高効率運転の実現を困難にしている。そこで、次世代の信号システムでは、無線通信を活用し、信号情報をベースに車上主体で列車を制御する手法が考えられている。

さらにこれらを推し進めた形態として、「知能列車」が提唱されている。これは列車内および外部に設置されたセンサを活用し、車両自体が事故を回避するよう自身を制御するシステムである。

「知能列車」では、事故などのさまざまなインシデントが発生した場合に、車両が可能な最大限の速度で減速を行うのか、あるいは乗客を考慮して安全な速度で減速を行うのか、といった判断を車両が行うことが可能となる。

ここで重要となる技術のうち、たとえば列車の位置・速度の検出は、フェイルセーフの観点も含めて考える必要がある。たとえば速度発電機+慣性センサ、ミリ波測距・速度計、道路交通などでも広く利用されているGPSなどを複合することによって、一般の区間では5m以内、駅構内などでは30cm以内の精度で位置を検出し、速度の誤差を±1km/h以内に抑えることが可能となる(図-3)。

このように複数のセンサを組み合わせ、さまざまなハザードを検知して対応可能とすることで、安全性の向上を目指す必要がある。さらにヒューマンエラーの防止やメンテナンス不良による事故の防止などを進めていくことが今後の課題である。

センサネットワークと ヒューマンプローブ による街の可視化

センサネットワークに関する研究の歴史、特に大規模にセンサを使った事例について述べ、あわせて、海外を含むフィールド実験の動向や、それらを用いて「まち」を可視化する試みを紹介する。さらにこれを進め、人の動きなどもセンシングするヒューマンプローブを概説する。

センサネットワークは一般に運用規模によってその特性が異なる。実ノードを用いたフィールド実験では、森林の環境センシングを行っている中国の GreenOrbs や、パイプラインや国境線などへの人や乗り物等の侵入検知を目的として行われた米国の CENS testbed ExScal などでも 1,000 超ノードが用いられている。これらのセンサネットワークは形態としては Web と同様の進化を行っており、当初のさまざまな手法によるデータ収集が社会インフラ化するとともに、今後はそれらのデータの流通基盤を整備する方向へと進むことが予想される。また、収集されるデータもより動的なもの(実時間・実世界を反映したもの)に変化していくと考えられる。

そのような中で、人の流れのセンシング(人流センシング)が幅広く検討されている。たとえば、中央大学梅田研究室では、人流センサを開発し、集団で移動する人の流れを可視化する検討を行っている。また、アキバテクノクラブや東京大学生産技術研究所と東京電機大学の共同研究では、人の流れを計測することで「まち」の活性力を見るプロジェクトを行っている。ここでは複数のレーザーレンジスキャナを用いて即時性のあるデータを収集し、さまざま指標から「まち」の活性度を数値化している。

さらにこれらのセンシングを別の観点から考えると、ヒューマンプローブという概念となる。これは人を中心に生体情報、行動情報、外界の環境情報な

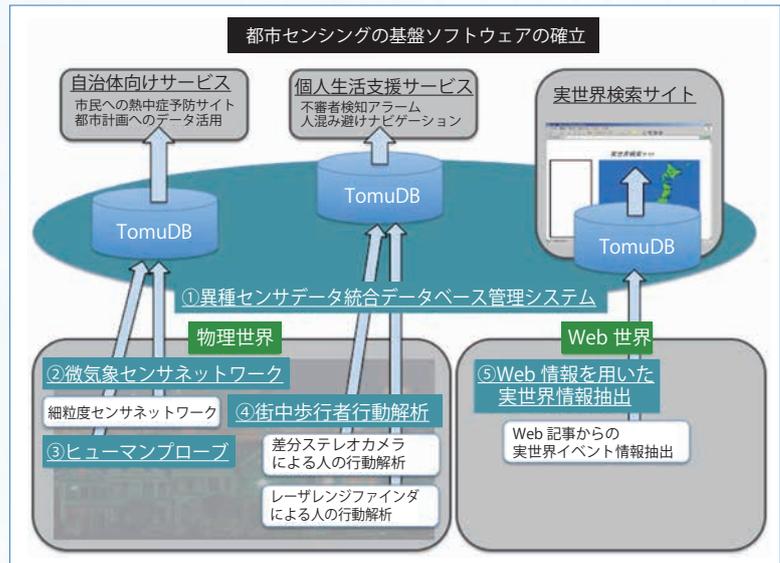


図-4 都市センシングの基盤ソフトウェアの確立 (講演資料より作成)

どを集めるというものである。たとえば、東京電機大学のシステムでは、ウェアラブルデバイスを用いて、人の外界の環境情報を収集し、雨が降っている地域の情報を収集する。また、携帯電話を用いたクラウドソーシングとして、Askusというシステムを実装している。さらに、さまざまな店舗などにおける行列を可視化するシステムとして Qviz というシステムが提案されている。

最後に、東京電機大の戸辺教授を中心に実証実験を行った OSOITE プロジェクトに関して紹介する。このプロジェクトは、都市センシングの基盤ソフトウェアを確立するために、自治体向けサービス、個人生活支援サービス、実世界検索サイトからなっている(図-4)。これらのサービスを実現するために、異種センサデータ統合データベース管理システムとして TomuDB の実装、微気象センサネットワークの展開、ヒューマンプローブ、街中歩行者行動解析、Web 情報を用いた実世界情報抽出などを行っている。これにより、街中などでより安全安心な情報提供アプリケーションを展開することが可能となる。実際に OSOITE プロジェクトでは、群馬県館林市に館林統合センシング協議会を設置し、センサネットワークを構築した。これにより、たとえば簡易熱中症危険指数の提示などのサービスを実現することができた。



ドライバに安全を提供する車載カメラ 応用システム

～安心・安全なクルマ社会に貢献～

最近市販車に搭載されだして注目を集めている、カメラを用いた画像処理による周囲の状況認識技術を紹介する。

近年の交通事故の発生状況を見ると、死者数は減少を続けているものの、事故件数はほとんど減少していない。これに対して、事故対策技術はシートベルトやエアバッグなど衝突時に安全を確保するためのパッシブセーフティ（衝突安全）から、ABS（Antilock Brake System）や衝突被害軽減システムなど事故が起きるまでの安全措置であるアクティブセーフティ（予防安全）へと進化してきた。今後はこれらをさらに進化させ、ぶつからないクルマを実現する必要がある。

ぶつからないクルマを実現するためには、危険な状況を高い信頼性でセンシングする必要がある。利用可能デバイスとしては、レーダ（レーザ・ミリ波、遠距離・近距離など）やカメラ（単眼・ステレオ、可視光・赤外線、モノクロ・カラーなど）などがある。それぞれに適性があり、単一のデバイスですべてをカバーできるわけではなく、今後のセンサ性能の向上やセンサフュージョンなどが求められる。

それらの中で、ここでは車載カメラによる自動車の予防安全技術として、リアビューカメラによる路面表示認識、フロントのステレオカメラによるプリ

クラッシュセーフティや先行車検知、側方接近車検知システムを紹介する（図-5）。

リアビューカメラでは、車両走行時の後方路面を撮影し、路面のペイントなどを認識することで自車両位置を補正することを可能にしている。たとえば横断歩道を認識することにより、自車が横断歩道を走行した直後であることを判断し、地図データとマッチングをとることによって高精度位置計測に用いることが可能である。また、レーン間の白線などを検知することにより、レーン移動を検出することも可能である。

フロントにステレオカメラをつけたケースでは、先行アプリケーションの段階で、遠方の道路線形を計測し、カーブを安全に走行できる知的加減速制御が可能となった。また、縁石を検出することで、白線がない道路でも路外逸脱事故を防止することが可能である。同様に、平面性に基づく走行路の検出、進行方向の走行可否のロバスト判定などを実現している。これをさらに進めて、画像認識技術によって、車両周囲の障害物、走行可能領域を検出し、最近テレビCMなどで注目を集めている予防安全アプリケーションを実現した。カメラによる車両検出についてはさまざまな検討が行われているが、本アプリケーションでは車両のエッジ情報を用いた頑健な認識ロジックを用い、カメラのみでの距離推定を実現している。

側方接近車検知システムは、車両の先頭部に搭載したノーズビューカメラを利用し、出会い頭事故を回避することが目的である。このシステムでは、画像認識技術を活用し、車両の周囲にあるさまざまな物体のうち、車両に接近するもの（危険事象）のみを警報する必要がある。そこで、移動領域を抽出し、DP（Dynamic Programming：動的計画法）マッチングによるパターン伸縮計測を用いて接近判定を行っている。

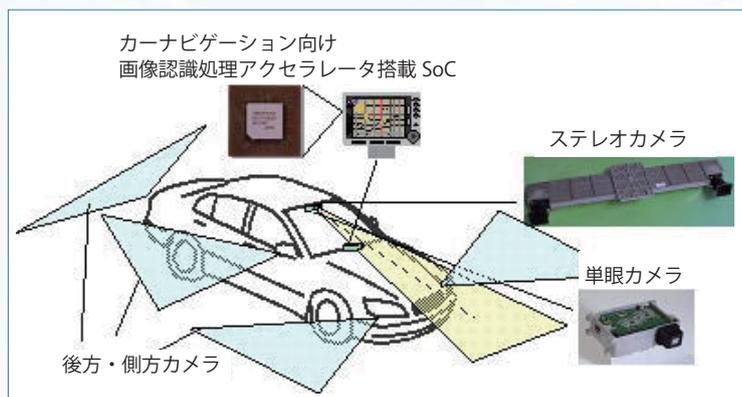


図-5 自動車の全方位をセンシングする車載カメラ²⁾

東日本大震災における ITS Japan の取り組み

～通行実績・道路規制情報～

2011年の東日本大震災後に、被災地域の道路の通行可能情報を提供したシステムをどのように構築したか、という話を中心に紹介する。

ITS Japan は特定非営利活動法人であり、総合科学技術会議が中心となって行っている社会還元加速プロジェクトの道路交通システム (ITS) タスクフォースに参加している。この推進体制として ITS Japan に新交通物流特別委員会を設けている。この中に、プローブ情報システムの共通基盤のための分科会があり、そこで各社が実施しているプローブ情報の共通基盤を作成するための検討を行っている。プローブ情報システムとしては、すでにホンダのインターナビプレミアムクラブ、トヨタの G-BOOK、日産のカーウィングス、パイオニアのスマートループなどが実用化されている。ただし、各社が独自に収集した情報をもとにサービスの差別化を行っているため、これらの情報を共通の基盤上で利用することはこれまで困難であった。

2010年度にこれら民間事業者が収集するプローブ交通流情報を集約する評価を行ったところ、集約によって交通情報を提供できるリンクののべ延長距離は最も情報量の多かった事業者の約2倍となり、もともと情報量の多い事業者であっても十分に集約の効果を享受できることが分かった。

2011年3月に発生した東日本大震災においては、東北地方を中心に、多くの道路が通行できなくなった。さらに、どの道路が通行できるのか、という情報が十分に集まらなかったため、災害復興支援などに支障をきたす状況となった。そこで、道路の通行可否を判断するために、震災翌日の3月12日に、ITS Japan から民間各社にプローブ情報の提供を要請した。同日、ホンダはパイオニアのプローブ情報を含め一般提供を開始。次いで3月16日にトヨタが一般提供を開始した。これらを受けて、3月19日には、ITS Japan がホンダ・

パイオニア・トヨタ・日産の4社統合のプローブ情報を作成し一般提供を行った。さらに3月31日には、国土交通省と ITS Japan において双方が保有する通行止め情報と通行実績情報の統合について検討を開始し、4月6日には、これらを活用した形で ITS Japan が通行実績・通行止め情報として提供を開始した(図-6)。

4社の情報の統合により、通行実績を提供できる道路が大幅に増加した。また、官民連携によって、たとえば通行止めの原因が橋にある、などより詳細な情報提供サービスが可能となり、通行実績、通行止め情報の表現内容がより明確なものになった。

同様のサービスは2011年9月の台風12号の上陸時にも行った。この際には、トラックの通行実績も提供するために、いすゞのプローブ情報も加えた「乗用車+トラック通行実績・道路規制情報」の提供を行った。

東日本大震災では、4社統合情報の提供は震災後1週間で開始し、官民統合情報の提供は3週間半後であった。台風12号では、官民統合情報は震災後1週間半、乗用車+トラックの情報提供は2週間半であった。今後は今回のような取り組みを確実に実

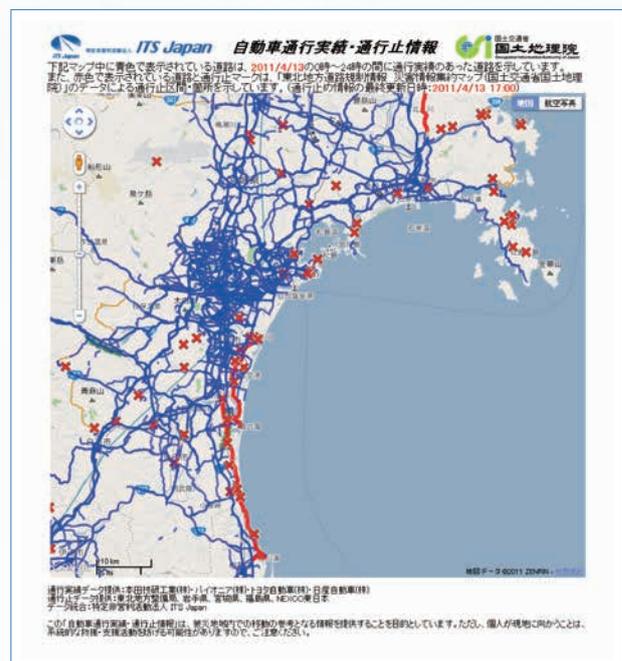


図-6 ITS Japan の提供した情報サンプル³⁾



施できるようにするとともに、発災後すみやかにサービスを提供できるように運用ルール、手順を策定していく必要がある。

セミナーを終えて

本セミナーは最終的に61名の参加者であった。比較的幅広い分野からの参加者を集められたように思う。その代わり、「センサ、デバイスによる新たな情報と高度交通システム」というテーマで比較的幅広い講演を集めてしまったために、各講演の全体的なつながりをとることが難しかった。実は参加者からのコメントで言われたことなのだが、これらのテーマをつなげて新しい情報の創出といった観点から、たとえばパネルディスカッションのようなものを企画すれば、もう少し突っ込んだ議論ができたように思う。この点は今回の反省点である。また、参加者の中には、一部の講演だけを聴講するために見えた方も見受けられ、このような場での情報提供の難しさを感じた。しかし、総じて見れば、多くの研

究者にとって有益な情報提供ができたのではないかと考えている。

末筆ではあるが、ご講演いただいた講師の方には、こちらの都合によりかなり無理なお願いをしたにもかかわらず、大変興味深いご講演をいただいた。この場をお借りして謝意を表したい。

参考文献

- 1) <http://bunken.rtri.or.jp/PDF/cdroms1/0011/2010/0011001965.pdf>
- 2) http://www.hitachi.co.jp/rd/research/hrl/vts_04.html
- 3) <http://www.its-jp.org/saigai/>

(2012年7月2日)

屋代智之 (正会員) | yashiro@net.it-chiba.ac.jp

1988年慶應義塾大学大学院博士課程修了。現在、千葉工業大学情報科学部情報ネットワーク学科教授。ITS、モバイルコンピューティングなどの研究に従事。博士(工学)。2010年よりITS研究会主査。

梅津高朗 (正会員) | umedu@ist.osaka-u.ac.jp

2005年大阪大学大学院情報科学研究科にて博士号(情報科学)を取得。現在、同大同研究科助教。分散システムの記述方法や、車間通信などのITSの研究に従事。2010年よりITS研究会幹事。

