

産官学連携「サステイナブル ITS」プロジェクト

池内克史, 桑原雅夫, 須田義大, 田中敏久, Edward Chung, Staffan Nordmark, 影沢政隆, 岩佐崇史, 田中伸治, 平沢隆之, 堀口良太, 白石智良, 花房比佐友, 石川裕記, 大貫正明, 織田利彦, 加納誠, 見持圭一, 坂井蘭美, 辻 求, 古川誠, 本多建, 増山義人, 丸岡勝幸, 山本隆嗣

東京大学 国際・産学共同研究センター

本稿は、交通工学、制御機械工学、情報電子工学といった分野を横断する産官学連携によって開始したサステイナブル ITS プロジェクトの概要を紹介するものである。本プロジェクトは、3層構造を持ち、第1層が「複合現実感交通実験スペース」、第2層が「ヒューマンファクターに関する基礎研究」、第3層が「ITS 応用研究」となっている。第1層の「複合現実感交通実験スペース」は、仮想体験を実現する「仮想実験室」と、ITS 機器により実交通を効率的に観測する「実観測実験室」の有機的な結合によって構成されている。第2層では、そこで観測・解析されるヒューマン・ファクター特性（利用者の交通選択行動、運転挙動、情報レスポンス）に関する基礎研究を行うフェーズである。さらに第3層は、これらの成果に立脚した各種応用研究のフェーズで、サステイナブルな交通社会を目指す ITS の設計・評価を行う。

Public-Private-Academia Partnership 'Sustainable ITS' Project

K.Ikeuchi, M.Kuwahara, Y.Suda, T.Tanaka, C.Edward, S.Nordmark,
M.Kagesawa, T.Iwasa, S.Tanaka, T.Hirasawa, R.Horiguchi, T.Shiraishi, H.Hanabusa,
H.Ishikawa, K.Maruoka, K.Honda, M.Furukawa, M.Kano, Y.Mashiyama,
T.Oda, T.Yamamoto, K.Kenmotsu, M.Onuki
Center for Cooperative Research, University of Tokyo

This manuscript briefly introduce the Sustainable ITS project recently initiated under Public-Private-Academia Partnership on inter-disciplinary research environment consisting of traffic, control, computer and communication. The project aims to provide advanced ITS services, to create new ITS industries and to help to achieve liveable societies. The project has a three-layer structure. The first layer is a mixed reality based transportation space. The second layer is basic research on the human factor using the environment, and the third layer is ITS application research utilizing the research results.

Keyword: ITS, 仮想空間, 複合現実感, ヒューマンファクター

1. サステイナブル ITS の背景

ITS (Intelligent Transport Systems) の開発を推進するためには、交通工学、制御機械工学、情報電子工学など既存の工学分野の研究開発の総力を合わせる必要があることは言うまでもない。ただ、これら既存の工学各技術分野に閉じこもった開発だけでは不十分で、これら工学各分野間やさらには経済学や心理学などといった異分野の学問領域の間で横断的・

融合的に研究テーマを設定し、協力して技術開発を進めてゆく必要がある。

さらに、Intelligent Transport Services と称されることから判るように、従来型のシーズに根ざした研究ではなく、サービスを確立するためのニーズ志向の研究開発をする必要がある。このため、単に「産」や「官」や「学」が単独で要素技術開発するだけでは目的達成が不可能で、広く「産」と「官」と「学」

の政策技術計画者や技術開発者が目標設定のために高密度にディスカッションを行い、共同して技術開発を行う必要がある。

サステイナブル ITS プロジェクトは、交通工学・制御機械工学・情報電子工学といった異技術分野間の融合を縦系、産・官・学の連携と協力を横系とする collaborative research を推進し、真に役に立つ ITS 技術を開発/提供、豊かな社会の形成、新しい ITS 産業の創出、研究開発を通しての人材育成に寄与したいと考えている。

2. プロジェクトの目的

2-1 CCR 産学連携プロジェクト制度

国際・産学共同研究センター (CCR; Center for Collaborative Research) は、駒場リサーチキャンパスに立地する生産技術研究所および先端科学技術研究センターが中心となって設立した東京大学の共同研究施設であり、産学連携にかかわる全学的な課題に対して研究組織として取り組んでいる。研究活動を担う研究組織としては、“特徴のある大型の産学連携・産学共同研究の実施と拡大展開”を、また学内共同研究施設としては、学内共通課題として“東京大学の研究成果の事業化、実用化の支援”を掲げ、CCR 産学連携プロジェクト制度、および CCR インキュベーション・プロジェクト制度を実施している。

本プロジェクトは、このうち、CCR 産学連携プロジェクトとして実施しており、2003 年 4 月に民間企業 7 社の参加により開始した：アイシン・エイ・ダブリュ株式会社、アジア航測株式会社、株式会社社会システム研究所 株式会社長大 株式会社東芝、松下電器産業株式会社、三菱重工業株式会社、三菱プレシジョン株式会社。

また、本プロジェクトに関連して、文科省科学技術研究費補助金の交付を受けているほか、以下の官庁、団体、企業、大学の支援を受けている：警察庁、経済産業省、国土交通省、日本道路公団、首都高速道路公団、トヨタ自動車株式会社、日産自動車株式会社、日本大学、千葉工業大学、東京都立大学、埼玉大学。

ITS は、安全・環境・効率化などの社会貢献が期待されているが、ITS が今後も持続的に発展していくためには、利用者に受け入れてもらうこと、ビジネ

スとして成立できることが重要である。本研究プロジェクトでいう「サステイナブル」とは、通常の持続可能性も含めて、次の 2 つの意味を含んでいる：1) 利用者に受け入れられ、ビジネスとして成立する ITS、2) 持続可能な交通社会に貢献する ITS。

2-2 プロジェクトへの期待

プロジェクトの推進により、以下が期待される。

- (1) 異分野の研究者との交流、分野融合研究により新たな価値の創出が期待できること
- (2) ITS の事業化を図りつつある企業研究開発者と研究分野を越えた大学の研究スタッフが、既存の実験設備を活用しながら共同研究を実施することにより、研究の効率化が期待できること
- (3) 基礎研究部分を民間企業が共同で行なうことにより、研究開発の効率化が図れること
- (4) 多くの要素技術を持つ民間企業との共同研究により、新たなアライアンスの構築、新たな ITS ビジネス発掘の機会となること
- (5) 研究開発者の人材育成と開発プロセスの自社への展開が可能となること
- (6) 公的機関の所有するデータ類等の使用が可能となり、研究開発、事業化の近道となること
- (7) 本プロジェクト専属の外国人客員教授をはじめ、海外の研究者との交流が図れ、国際化が期待できること

3. プロジェクトの全体構造

本プロジェクトは、現実の交通空間とバーチャル空間を複合した「複合現実感交通実験スペース」を構築し、そこで観測・解析されるヒューマン・ファクター特性（利用者の交通選択行動、運転挙動、情報レスポンス）に基づいて、サステイナブルな ITS の設計・評価を行うものである。

図のように 3 層構造を持ち、第 1 層が「複合現実感交通実験スペース」、第 2 層が「ヒューマンファクターに関する基礎研究」、第 3 層が「ITS 応用研究」となっている。第 1 層の「複合現実感交通実験スペース」は、仮想体験を実現する「仮想実験室」と、ITS 機器により実交通を効率的に観測する「実観測実験室」の有機的な結合によって構成される。「仮想実験室」では、シミュレータと交通シミュレーションを組み合わせたシステムを開発し、これによってシミュレータ被験者と周辺の交通主体（車両、歩行

者等), およびインフラとの相互作用(注)を考慮することが可能になる。一方、「実観測実験室」は、現象を観測する実フィールドを含めた形で定義され、複数の異なるデータを収集・融合/処理・解析・蓄積して、実現象の理解に努める実験室である。

これを「仮想実験室」と組み合わせることにより、観測された実交通の中に人為的に制御された仮想空間を作り出して実験を行うことが可能となる。ここで提案している観測と実験の有機的結合は、今後の交通解析のあるべき方向を目指すものであり、本来実施すべきではあるが、容易に実現できない社会実験への橋渡しをするものとして位置づけられよう。

第2層は、交通施策の評価に当たって一番のボトルネックとなっているヒューマンファクターに関する基礎研究を行うフェーズである。ITS 機器を搭載した車両の運転挙動、交通情報に対する人間の反応、経路やトリップ時刻の選択行動などを「複合現実感交通実験スペース」を利用して解析する。

第3層は、これらの成果に立脚した各種応用研究のフェーズで、サステナブルな交通社会を目指すITS の設計・評価を行う。

(注)インフラとの相互作用とは、インフラの構造等によって被験者および周辺の交通主体が影響を受ける事だけでなく、被験者を含む交通主体群の行動によって、道路が渋滞する、安全性が低下する、インフラが提供する交通情報が変化する、交通制御が行

われるといったインフラ側の反応との相互作用も含まれる。

4. 第1層の詳細

4-1 概要

サステナブルITSの第1層では、ヒューマンファクタや応用研究を行うための基盤作りを行う。その概要を図2に示す。

実世界のさまざまな情報を取得し、データベースを構築する部分を実観測実験室と呼ぶ。種々のセンシングデータや道路形状のみならず、街の3次元情報、すなわち、道路や建築物の形状、テクスチャ情報の取得、をも行う。

こうしたデータは、データベースに蓄積される。データベースには、様々なソースから様々な形式で情報が届くので、これらの整合性をとり、応用目的毎に最適な精度のデータを生成する必要がある。

このように構築された実世界の情報を元に、人間(ドライバ)の判断や、車載機器等の実験を行うのが仮想実験室である。仮想実験室では、ドライビングシミュレータを、運転者の挙動を取得するセンサとして利用する。より現実感の高い挙動を取得するため、より現実感の高い映像を被験者に提示する仕掛け(IMG とよぶ)を作成する。このようにして得られたデータは、上述のデータベースへと蓄積され、仮想実験室の新たなモデルの作成にフィードバック



図1 サステナブルITSプロジェクトの全体構造

される。応用目的に応じて、こうしたフィードバックを何度も繰り返すことで、仮想実験室で得られる結果をより信頼性の高いものにすることができる。

以上をまとめると、実観測実験室が取得する実世界のデータを基礎にデータベースを作成し、これに現状では取得が困難であるデータを仮想実験室を利用することで補足し、最終的にヒューマンファクタ

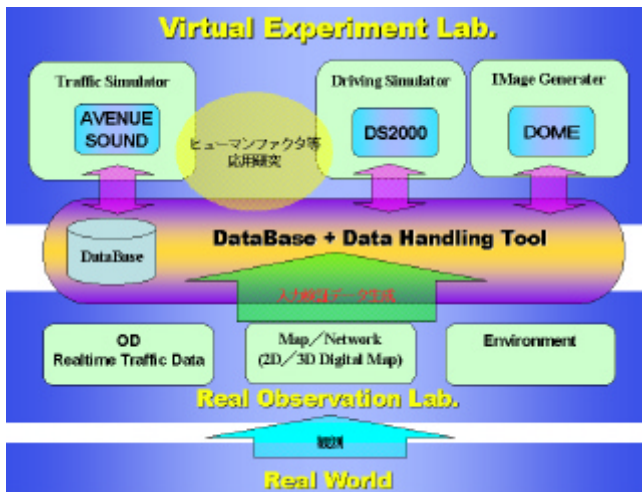


図 2：第 1 層の概念図

などの応用研究に必要なだけのデータが取得できる仕掛けを用意するのが第 1 層である。

実観測実験室、仮想実験室について以下で詳細を説明する。データベースについては両者と密接な関連があるため、それぞれの項目について適宜説明を行う。

4-2 実観測実験室

実観測実験室の主目的は情報取得である。交通情報に関しては、道路交通センサス（数年に一度国交省が行う交通情報調査）等により取得される大域的な静的情報、および、道路管理者が設置した種々のセンサや、プローブカーにより得られる動的情報の取得が考えられる。これらは交通流シミュレーションへの入力パラメータとして使われることになる。

この他に交通流シミュレーションを行うために必要なデータとして、道路ネットワークがある。通常交通流シミュレーションに必要なネットワーク情報としては、従来使われてきたデジタル道路地図をはじめとする 2 次元地図で十分であるが、本プロジェクトでは、運転者により現実感のある画像を提示するために 3 次元地図も必要となる。ここでいう 3 次元地図には、単純な道路形状のみならず、道路周辺の街路の情報、すなわち、道路に沿った建物の形

状、テクスチャ、あるいは、ガードレールや道路標識、道路標示、信号機等の見え方を含むものとする。

現状こうした 3 次元地図の自動作成は行われていないので、本プロジェクトの一環として街の 3 次元モデル自動生成を行うつもりである。図 3 に街のモデルを取得するための計測実験車両を示す。

最後に、こうして得られた種々のデータ（2D / 3D 地図を含む）は、一般には異なるソースから得られるため、その精度もまちまちである。かつ、仮に同じ精度のデータであったとしても、データ相互間での整合性は、必ずしも保証されていない。したがって、こうしたデータを統合し、応用目的に応じて適切な、整合性のあるデータを提供するためのデータベースを作成する必要がある。どのような形式でデータを蓄積し、提供するかについては、現在検討中である。

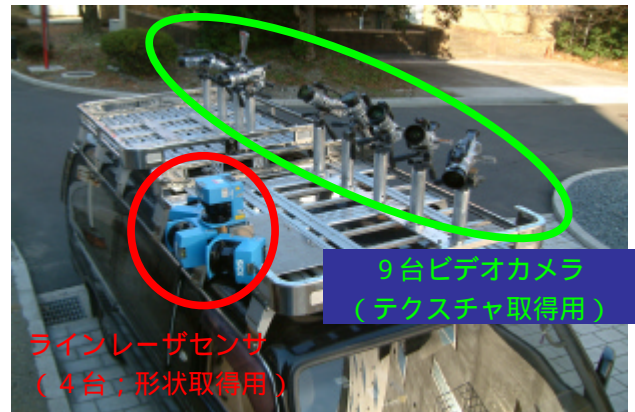


図 3 実観測実験室の 3 D マップ生成用実験車両（屋上部分）

4-3 仮想実験室

仮想実験室は、実世界のデータを利用した交通流シミュレータの中を、人間がドライビングシミュレータを通じて実際に走行できる環境を提供するために使われる。その概要を図 4 に示す。

図から分かるとおり、その主要な部分は、TS（トラフィックシミュレータ）、KAKUMO、DS（ドライビングシミュレータ）、IMG であり、実世界との融合やデータ取得・解析用にデータベースと密接な連携を保つという構造をしている。以下これらのパーツについて説明する。ただし、文中に現れる数字については 2003 年 7 月現在の予定であり、今後変更の可能性もある。

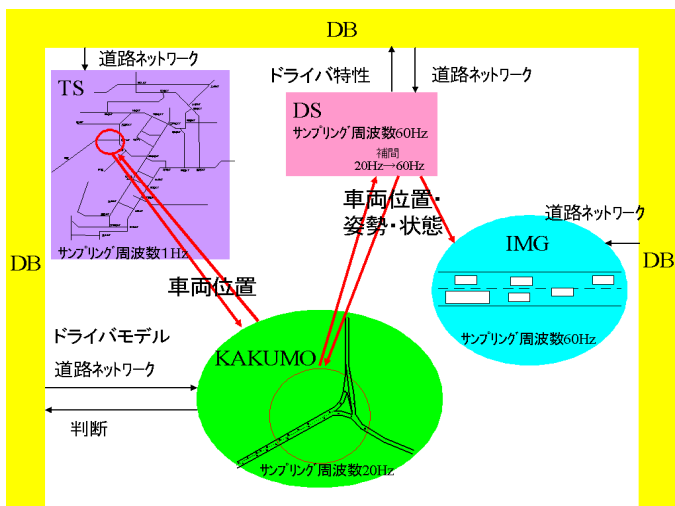


図4 仮想実験室の概要

4-3-1 TS (トラフィックシミュレータ)

TSは、交通工学の分野で使われるものをベースとするが、本プロジェクトでは、次の性質を満たすものとする:

1. 車両を1台1台区別できるマイクロ型である
2. タイムスキャン方式を採用し、その周期は1秒である
3. シミュレーションの実行速度は、1周期につき1秒未満(1周期未満)である
4. 個々の車両の経路を決定する権限をもつ
5. 信号を含む交通管制一般を司る
6. 必要ならその一部のリンクを他のシミュレータに置き換えることができる
7. 交通工学上重要なデータ(交通量、空間速度等)をきちんと制御できる
8. 規模は、都市内程度(東京都でいえば首都高速道路全線程度)とする

すなわち、一言で言えば、ここでいうTSとは、それ自体交通工学分野で立派なシミュレータとして機能するのみならず、そのリンクの一部を他のシミュレータに置換可能な機能を持つものである。ここで、置き換えられるシミュレータは、TSと同程度かより細かいシミュレーションが行えるマイクロ型シミュレータで、かつ、車両位置を交換し合うことでお互いの交通状況を反映できるものとする。この置換領域は、最終的には、その大きさ、位置、数ともに可変(シミュレーション実行中に動的に変更可能)とする予定である。

この提案方式で特に重要なのが、リンクを完全に置換えるという部分である。これにより置換可能なリンク部分をDSとすることで、ドライビングシミュレータでTSの内部を走行することが可能とな

る。その結果、被験者(ドライバ)の挙動が反映された交通流が、TS側に反映されることとなる。

しかしながら、2つのシミュレータの境界部分では、両者の細かい仕様の違いから様々な矛盾が発生する可能性があり、かつ、DS自体を交通流シミュレータとしてみた場合、交通工学的見地からは望ましくない(上記7を満たさない)ため、たとえば、TSのリンクの1つをそのままDSに渡すというような構成をすると、木に竹をつないだような、DS側から見ると極めて不自然なシミュレーションになることが容易に予想される。細かい仕様の差異の例として、TSは1秒周期であるが、DSは1/60秒周期であることがあげられる。他にも車両位置の表現(TSではリンク端までの位置、DSでは3次元座標)の違いなど、TSの粗さとDSの細かさの間には非常に大きな隔たりが存在する。

この問題点を解決するべく、本プロジェクトでは、KAKUMOと名づけるマイクロ交通流シミュレータを作成し、これをDSとTSの仲介役とすることにした。

4-3-2 KAKUMO

KAKUMOは、一言で言えばマイクロシミュレータであるが、DSとTSを仲介するため、次のような性質をもつ。

1. 車両を1台1台区別できるマイクロ型である
2. タイムスキャン方式を採用し、その周期は1/20秒である
3. 1周期のシミュレーションを行うのに要する時間は1/20秒未満(1周期未満)である
4. TSとの間で走行車両の位置を交換する
5. DSへは、走行車両の位置、姿勢、状態を送る
6. DSからは被験者車両の状態取得し、反映させる
7. TSの一部を置換えるに足る十分なモデルを採用する
8. 1つのKAKUMOが扱うエリアは3キロ四方くらいの狭いエリアである
9. 車線変更等、目的に応じて必要なデータを蓄積し、最後にデータベースに送る機能をもつ

上記4からもわかる通り、マイクロシミュレータKAKUMOが、被験者車両を除くすべての車両のシミュレーションを行い、その結果として得られる車両の位置、姿勢、状態(ブレーキランプやウインカーの点灯状況等)をDSに伝える。その際、DS側が表示で困らないように、本プロジェクトで利用する既存DSと同程度の精密さで車両の位置、姿勢を

伝達する必要がある。結果として、KAKUMO では、道路の詳細な形状、車線内での位置、車両の姿勢(向いている方位角、上下角)というものまでシミュレートする必要がある。

また、既存 DS の周期が 1/60 秒であることから、DS 側で表示した時にあまり不自然な動きにならないよう、KAKUMO の周期を 1/20 秒とすることにした。TS - KAKUMO 間の情報交換は 1 秒毎なので、TS と情報交換しない間は、直前のデータを使って補間することになる。

このように、KAKUMO は大変精巧なマイクロシミュレータであり、しかも 1 周期 1/20 秒のシミュレーションをこの時間内に実行し、DS とは 1/20 秒間隔で、TS とは 1 秒間隔で情報を交換する必要がある。そのため、KAKUMO が扱うエリアは比較的小さいものとする。

実際の所、KAKUMO は、DS1 台につき 1 つ生成され、DS の表示部分よりは若干広い範囲をその担当エリアとする予定である。

4-3-3 DS (ドライビングシミュレータ)

DS 部分は、既存のドライビングシミュレータを利用する予定であるが、これと TS や KAKUMO のような交通工学的観点を取り入れたシミュレータとしての機能は十分ではないため、ここを KAKUMO によって補完することとする。また、映像生成については、現状の DS でも可能ではあるが、本プロジェクトでは、街の 3D マップ生成技術と連携してよりリアリスティックな映像を生成する手法をも開発している。DS が生成する画像と、次に述べる IMG が生成する現実感の高い映像をブレンドして被験者に現実感の高い映像を提供する。DS は、被験者のデータを取得するセンサとしての役割と TS、KAKUMO が生成するシミュレーション世界を被験者により現実的に提供する役割とを担うことになる。前者の役割から得られたデータは、データベースに蓄積され、TS や KAKUMO への新たなモデルや入力としてフィードバックされることになる。以上 DS の仕様・機能をまとめると次のようになる。

1. タイムスキャン方式を採用し、その周期は 1/60 秒である(注:内部では 1/120 秒で動作可能)
2. KAKUMO から 1/20 秒毎に車両の位置姿勢等を取得し、反映させる
3. KAKUMO には 1/20 秒毎に被験者車両の位置姿勢を送る
4. IMG で必要な情報(被験車両の位置姿勢等)を

1/60 秒周期で送る

5. 被験者のデータを蓄積し、データベースに送る

4-3-4 IMG (イメージ生成)

本プロジェクトの次の段階は、DS を利用したヒューマンファクタの取得にある。その際、DS 上により現実感のある映像を表示することで、より質の高いデータが得られると期待できる。既存 DS の表示は CG であることが多いため、ここでは、実際の街路の映像をできる限り利用したより現実感のある映像を提供する装置を開発し、これを DS の表示系と協調させる。この映像提供装置のことを IMG と呼ぶ。

IMG の実装として、モデルベースのシステム(CAD モデルにテクスチャをつけたもの)の拡張および、イメージベースのシステム(実画像列のみから現実感の高い画像を生成する)の拡張が考えられる。ここでは、高速(30fps 以上)、かつ質の高い映像を生成する必要があるため両者を組み合わせた手法を利用する予定である。具体的には、背景となる建物はほぼ道路に垂直な平面とみなし簡単な幾何モデルを用意する。各平面にイメージベースレンダリングの手法でテクスチャを載せていくことを考える。この際に必要な実写画像のテクスチャは、街の 3D 地図を生成する際に取得したものをを用いる。

なお、こうしたテクスチャは、実験車両がほぼ等速で計測しさえすれば、自動取得可能である。

5. おわりに

本稿では、電気・機械・土木といった工学分野を横断する産官学の連携プロジェクト「サステナブル ITS」の概要を紹介した。特に、その第 1 層で構築している仮想実験室と実観測実験室の有機的結合は、今後のヒューマンファクター分析のあるべき方向を目指すものであり、本来実施すべきではあるが、容易に実現できない社会実験への橋渡しをするものとして位置づけられる。本プロジェクトは、本年度から当面 3 年計画で開始されたものであり、平成 15 年度末までに仮想実験室及び実観測実験室を概ね完成させ、次年度からは第 2 層のヒューマンファクターに関する基礎研究と、第 3 層の ITS 応用研究に中心を移行させていく予定である。

謝辞: 本プロジェクトをご支援いただいている関係官庁、公団、民間企業、大学(文中参照)の方々に深く感謝いたします。