

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム（SATREPS）

研究領域「低炭素社会の実現に向けた高度エネルギーシステムに関する研究」

研究課題名「マルチモーダル地域交通状況のセンシング、ネットワーキングとビッグデータ解析に基づくエネルギー低炭素社会実現を目指した新興国におけるスマートシティの構築」

採択年度：平成28年（2016年）度/研究期間：5年/

相手国名：インド

令和元（2019）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2017年 6月 26日から2022年 6月 25日まで

JST 側研究期間^{*2}

2016年 6月 1日から2022年 3月 31日まで

（正式契約移行日 2017年 4月 1日）

*1 R/D に基づいた協力期間（JICA ナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JST との正式契約に定めた年度末

研究代表者： 坪井 務

名古屋電機工業株式会社・プロジェクトリーダー

I. 国際共同研究の内容（公開）

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	参考	2016年度 (6ヶ月)	2017年度	2018年度	2019年度	2020年度	2021年度 (12ヶ月)
研究題目1: マルチモーダル交通センシングとモニタリング	名	現状把握	車両センシング技術の選定・システム活用	既存データ、既存システム活用			
研究活動1-1: 対象都市におけるマルチモーダル交通センシングに関する研究	日		車両センシング方法のインド工科大学ハイデラバード校キャンパスと日大構内で画像センシング基礎的実験および環境モニタリングデータ解析（認識率向上）		■（学会発表）		
研究活動1-2: ITHキャンパス内の基本的な車両センシングの実証実験	日						車両センシングの標準化案
研究活動1-3: 実フィールドへのマルチモーダルトラフィックセンシングの実装	日		アーメダバード市で既設画像装置・プローブ、Bluetoothなどを活用した車両・人の移動情報の収集（データ収集）				
研究活動1-4: 他都市への展開と応用の検討	名		— IITテストベッド構築期間影響 —			他都市への拡張	
研究題目2: マルチモーダル交通流のビッグデータ解析	日	現状把握	情報収集・分析				
研究活動2-1: ビッグデータ解析の全体およびダイナミック交通解析の研究	日		ビッグデータ解析環境の確立		■（学会発表）		
研究活動2-2: 基礎テストベッド（ITH/日大）におけるビッグデータによる交通解析と評価に関する研究	日		交通ビッグデータ解析のインド工科大学ハイデラバード校キャンパス内での基礎的実験（NH-65、WiFi/BLEプローブ、環境ガスセンシングCO2、NOx、PM2.5データ収集）				
研究活動2-3: マルチモーダルトラフィックに利用可能な交通情報収集及び解析手法の検証	日			アーメダバード市での交通情報収集・ビッグデータ解析（交通流解析）			ビッグデータ処理の提案書
研究活動2-4: マルチモーダルシフトの推進と、交通量を最適化するマルチモーダルアプリケーションの開発	名					実運用・改良	
研究題目3: マルチモーダル交通管理と情報提供	名	現状把握	シミュレーションモデルの開発				
研究活動3-1: IoT技術を活用した交通情報に基づく信号の制御のフィールド試験評価	日				（シミュレーションモデル）		信号制御・情報提供アプリ実運用のための提案書
研究活動3-2: 収集する交通情報に基づく交通制御の基礎的フィールド実験による評価	名		交通情報と交通制御の基礎的フィールド実験評価		（データ解析）		
研究活動3-3: 交通情報のプッシュ型提供による交通行動の変容評価	名		プッシュ型交通情報提供ツール（IoT）の行動変容実験と評価			（手法確認）	
研究活動3-4: 収集交通データによる動的信号制御とシミュレーション評価の実施	名					実運用・改良の検討	
研究題目4: スマートシティ構築	日	現状把握	取り組み方策のレビューと交通施設整備の方向性の把握	方向性の把握			
研究活動4-1: 低炭素都市に向けた取り組みなどのレビューと今後の交通施設整備の方向性の把握	名		現地調査	現地調査(2)	（テストベッド・デモカット）		スマートシティ構築の提案ハンドブック
研究活動4-2: 「IoT交通制御に基づく自動車交通適正化によるエネルギー消費削減と低炭素化の推計	日		交通制御に基づく低炭素化改善量の推計（マイクロシミュレーション）		（シミュレーション評価）		
研究活動4-3: IoT交通制御とマルチモーダル対応型交通情報提供の連携による低炭素化量の推	日		交通制御・交通情報提供連携に基づく低炭素化改善量のモデルによる推計		（モデル検証）	※改善量XX%	
研究活動4-4: センシング・ネットワーク・ビッグデータ解析によるスマートシティ構築の提案（ハンドブック）作成のインド国メカ都市への	名				（アプリリリース手法）	他都市への拡張	
関係者参加によるワークショップの実施	名		国際学会（11月）ワークショップ（1月）	国際学会（5月）ワークショップ準備	実施	フィードバック	実施
プログラム成果報告	全				中間報告		最終報告

名:名古屋電機、日:日本大学、全:全体、※改善量は2030年目標に対するバックキャストを検討

— 太線は実施済み — :黒線はオリジナル — 赤線は見直し

前年度部分運用していたインド工科大学テストベッド（環境・装置設置）は12月に工完し、構内に開設したラボ（M2SmartLab）の本格運用を開始した。JST 現地中間評価視察（1月17日）に日本側研究機関含め、内容紹介とテストベッド視察を実施し、全体の理解を得られた。アーメダバード市では1月19日にAMCの新体制の下でワークショップを行い、地域公共交通（新メトロ、バス会社）の

【令和元年度実施報告書】【200529】

参加により意見交換を行った。

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

信号機制御について、安全性の観点から実際のアーメダバード市における実地での信号機制御は対象としないこととした。但し、使用されているインド交通信号機の調査を行い、現地の状況・ニーズの把握を行った。なお、ミクロ交通シミュレーションを用いたエネルギー消費量の削減可能性に関しては引き続き検討していく。また、長距離無線による信号機制御への可能性評価として考えていた無線 680MHz 帯から、免許不要の 860MHz 帯にて検討する方針に切り替え、インド電波管理局への実験許可を頂き、IITH フィールドでの試験準備が完了した。

2. プロジェクト成果の達成状況とインパクト (公開)

(1) プロジェクト全体

IITH テストベッド、アーメダバード市交通モニター環境、マルチモーダルアプリケーションの準備が整い、実際にデータ取得を開始した。アーメダバード市設置の 10 台の交通モニタカメラデータは 1 年分集まり、Paldi 交差点の交通モニタカメラ 4 台と、中央に設置した高精細度交通ビデオカメラの画像認識による交通量データの蓄積が着実に進んでいる。

インパクトとしては、Paldi 交差点における交通画像認識では目標とする交通量 80%の認識率に対し、車種によって異なるが総台数に対して 88%と目標値を上回る技術構築を進めてきた。また、市内 10 ヶ所に設置された交通モニタカメラによる交通データの収集も 1 年分蓄積され、今後アーメダバード市の年間単位での交通推移の解析を行い、これまでに明らかにされてこなかった交通量の変動特性を明らかにした。それに合わせ、交通解析の対象とした Ashram 道路における交通ミクロシミュレーション環境を、実際の交通データとのキャリブレーションを行うことで、構築することができた。これにより、今後の市内の交通量変化に伴う交通シミュレーションを進めることが可能となった。

インド工科大学内に構築したテストベッドでは、車両各種センサの設置、接近車両の注意や交通速度制限に対する注意喚起表示を行うと共に、正門前の公道に交通モニタカメラ 6 台（総延長 20 km 範囲）と通過車両内の携帯端末とのブルートゥース信号を受信する路側基地局の設置による運転挙動の確認を行う試験環境が整い、具体的な交通量の把握技術の構築を果たした。

本プロジェクトの狙いは、新興国での経済の発展に伴い交通渋滞に激しさを増すという状況に対し、最新のセンシング技術で正確に観測し、1 年以上の交通データ解析から交通渋滞のヒントをつかみ、日本政府が推進しているインドでの公共交通構築によるモーダルシフトに向けた動きと連携を可能とする総合的な交通マネジメントに応用できる技術確立することにある。特に、交通カメラによる画像認識、AI やディープラーニングによる最新のセンシング技術の向上は、交通マネジメントを効果的に行うことを可能にし、新興国特有の急速に増加する交通に対しインフラ整備への制約の中で、地域の交通課題解決に資する重要な技術開発となるといえる。加えて、マルチモーダルな交通情報を活かし、自動車の増加を抑えつつ、バス、メトロ等の公共交通への利用を高める仕組みと

解析手法を構築することは、交通マネジメントの高度化に大いに資するといえる。

日本政府によるインドでの公共交通インフラ整備に加え、国内自動車メーカーにとっても重要な市場でもあるインドにおける交通システムの最適化は、重要な課題となっている。先進国を中心とした都市におけるモビリティサービスの向上として検討が進められている MaaS (Mobility as a Service) に対する関心度はアーメダバードの市行政においても非常に高い。本プログラムで構築するマルチモーダルアプリケーションなどの仕組みやそれらのデータ解析から得られる最適な移動手段の選択を促進することができる我々の知見は、新たなモビリティサービスを標榜する都市において学術上の有効な示唆となると期待している。

また、本プログラムにて解析された交通情報から地域市民への公共交通利用を促すための最適な情報提供とその手法を検討し、提供できる手法を「ハンドブック」としてまとめ上げることで、今回の対象として検討するグジャラート州アーメダバード市以外にも応用される効果が期待できる。

科学技術の独創性・新規性については、以下の 3 点があげられる。①実際の市民の行動 (Active Base) をもとにビッグデータ解析を行っている点。②スマートフォンによるマルチモーダルな交通情報の収集、提供による交通行動変容の解析を行っている点。③新興国特有の 2 輪車やリキシャーといったオート 3 輪車を含む準公共交通機関 (インフォーマル交通) の画像認識を AI 等の技術を用いた解析を行う点があげられる。

研究運営体制としては、IITH の研究者、Ahmedabad Municipal Corporation (AMC) の関係者などと継続的に推進できる環境を維持している。アーメダバード市において人事変更があり、AMC のコミッショナー、副コミッショナーがいずれも交代したが、継続的に連絡を取り、現地行政側の継続的支援を頂いている。更に 1 月 19 日に実施した AMC 新体制でのワークショップにおいてもその確認を行うことができた。

若手研究者の育成として、2019 年度は相手国から 2 名の研究員が日本大学に派遣を受け入れている。1 名は 2018 年に IITH でドクター取得後、2019 年で 2 年目となり、もう 1 名は 2019 年 10 月より派遣を受け入れている。IITH が毎週実施する研究打ち合わせに、日本側からも継続的に参加し、IITH で雇用する RA (リサーチアシスタンス) の研究討議に加わり、若手研究者の育成を支援している。更に国際学会に積極的に参加することで、学会を通じての交流も深めている。2019 年度は世界交通学会、東アジア交通学会などに 35 歳以下の若手研究者 (2 名) が参加するなど、研究者のグローバル化を支援している。

(2) 研究題目 1 : 「マルチモーダル交通センシングとモニタリング技術の開発」

研究グループ 1 (リーダー : Prof. C. K Mohan IITH)

研究グループ 1 (Co-リーダー : 高橋聡 主事 名古屋)

①研究題目 1 の当初の計画 (全体計画) に対する成果目標の達成状況とインパクト

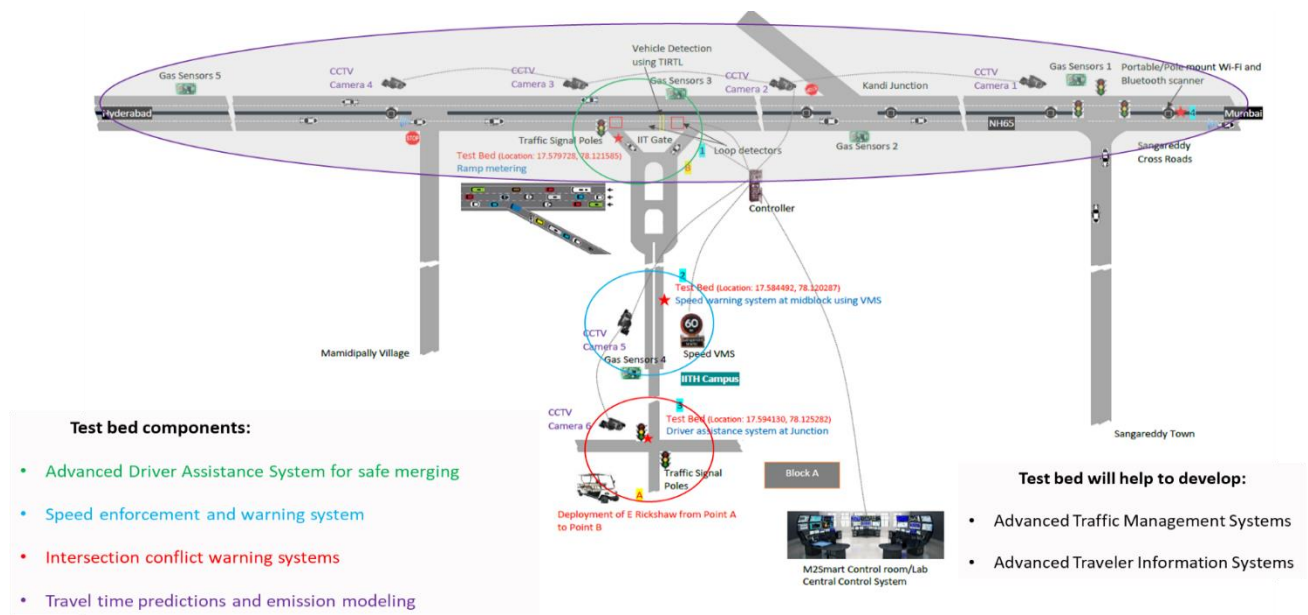
研究題目 1-1 「対象都市におけるマルチモーダル交通センシングに関する研究」 に対して、本研究課題特有の問題として 3 輪のオートリキシャや 2 輪車のセンシングを中心に日印双方にて車両・交通センシング技術の検討及び選定を実施した。日印共通で検討する技術として、交差点に設置する

【令和元年度実施報告書】【200529】

CCTV 等の可視カメラから画像認識によるセンシングを行うこととした。また、2 輪車両等が密集し、画像上における分離が困難な状況や、可視カメラではセンシング条件に限られる夜間への対応として、レーザーセンサから得られる距離データを基にした交通センシングを行うこととした。路側に設置した ToF (Time of Flight) センサにより、センサから照射するレーザー光が車両などの物体で反射してセンサに到達するまでの時間差から距離画像（面的な距離情報）を取得し、距離画像から通過車両の有無の判定に加え、交通量及び車種（2 輪車・4 輪大型車・4 輪普通車）等の交通センシングを行う。交差点中央等に設置する LiDAR (Light Detection and Ranging) を用いて得られる交差点周囲 360° の測距データを解析し、交通量及び車種等の交通センシングを行う。

また IITH テストベッドで採用する交通センシング技術として、Bluetooth 信号や環境ガスセンサの利用検討を実施した。IITH テストベッドにて実際の信号機での確認は難しい無線ネットワークによる制御の確認を実施し、無線技術の活用性を評価する。環境ガスセンサでは、環境要因（気温、湿度、ガス）に対する車両からの影響について直接測定は困難であるため、路側機の設置により環境全体と交通車両数の関係性を踏まえて判定する方式を開発した。

研究題目 1 - 2 「IITH キャンパス内の基本的な車両センシングの実証実験」に対して、IITH キャンパスに設置するテストベッド仕様の最終決定し、完成に向けた活動を推進して 2019 年 5 月末にテープカットを迎えることができたが、機材導入に関し各種手続き、工事に伴う現地当該機関からの承認および保障の確保に時間を要したため約 1 年半の遅れをもっている。IITH テストベッドには、画像認識のための CCTV に加え、超音波検知器やループコイルセンサなども設置することで、正確な交通流の把握に役立てる。これらのセンシングにより速度抑制・注意喚起システム、交差点コンフリクト注意喚起システムなどを実装した（図 1）。さらに IITH テストベッドに加え、IITH 正門前の公道（National Highway R-65）への車両モニタカメラ設置による実交通流の把握及び正門前道路に車両密度判定を行うループコイルセンサを設置することでテストベッドに身近な交通の把握が可能になった。これらの車両センシングによって得られた車両検知情報から行動への流入を制御するためのドライバーへの注意喚起システムの構築に至った。



全体図



CCTV による車両検知



接近している車両への注意喚起

図 1 IITH テストベッド

また IITH テストベッドにおける環境モニタリングとして CO2 センサの実験環境の構築を行った。これは交通分野におけるカーボンフットプリントを明らかにするために有用であり、空間的な排出状況を把握することが可能となった。これらの環境モニタリング研究によって開発された技術と並行して、研究題目 2-2 ではアーメダバードにおいて可搬型のセンサを用いて大気環境の計測を行い、交通との関連性の検討を行うことができた。

また、画像認識において利用する動画像データ取得方法として交差点に設置する CCTV に加え、交差点を上空から俯瞰できるドローンの映像を活用する研究を行った。さらに、IITH テストベッド内の交差点において 64ch の LiDAR データを取得し、得られた 360° の測距点からの雑音除去手法を構築し、リアルタイムでの雑音除去を実現した。現在は、雑音除去後に残った測距点のグループ化（クラスタリング）による車両検出手法、及び追跡に基づく速度推定手法などを検討し、リアルタイム交通センシングの実現を目指している。

【令和元年度実施報告書】【200529】

ToF センサの研究について、まず日本国内における片側一車線の道路交通データを用いて、背景差分処理による移動体検出と距離に基づく路面接地判定を利用した車両検知を検討した。1つの問題点として、3D センサは赤外線を用いるため、黒色車体による赤外線の吸収で、センサの距離情報が欠落するという問題点がある。対策として、背景差分処理時に差分の絶対値を取ることで、手前側車線の領域を限定した条件においては、約90%の高い精度で車両検出ができるアルゴリズムを構築できた。この結果を踏まえ、同じく日本国内における片側一車線の道路交通データから、奥側車線に対する車両検知を検討した。センサの性質上、手前側車線に車両が存在する場合に奥側車線の通過車両は遮蔽され、検知が難しいが、車両は運動物体であり、渋滞時などセンサの前で完全に止まる場合以外、奥側車線の車両検知が可能である。しかし、奥側車線を含む複数車線に対し同様なアルゴリズムで車両検知実験を行ったところ、奥側車両の接地条件、また複数車線の車両重なりなどに影響されて検出精度が低下し、車両台数845台（手前：413台、奥：432台）に対し、手前側の検出率86.7%、奥側の検出率71.3%となった。問題点に関しては、ある程度特定できているため、アルゴリズムの修正による改善していく予定である。ToF センサを用いた車両検知研究では、交通量の計測を主目的としているため、検出精度は90%以上を目指している。インドの実環境適用を見据えた前段階としての国内フィールド検討は2019年度までにある程度の精度を達成する計画であったが、2018年度の研究者の交代などもあり、片側一車線の場合における奥側への検討に時間を要してしまった。ToF センサは、特に夜間での車両検知において期待され、さらにインドの実環境に合わせるため、片側複数車線の夜間実験データの取得を行った。今後は、早急に片側複数車線のアルゴリズム検討や夜間のデータを用いて車両検出精度の検証を行い、同時にインドの実フィールドデータの取得に向けた取り組みを、2020年度中を目途に行う。

屋外駐車場の駐車マスの空き状況を把握するシステムに関して、LTE ベースの伝搬路情報と畳み込みニューラルネットワーク(CNN:Convolutional neural network)を用いて構築した。本システムにおいて、リアルタイムで駐車マスの空き状況を把握することができる。従来のサポートベクターマシンを用いた方式では、精度は50%程度であったが、CNNを組み合わせることで90%まで向上させることができた。従来の伝搬路情報のシステムと比較して、優れた結果を示すことができた。

研究題目 1-3「実フィールドへのマルチモーダル交通センシングの実装」に対して、日印共同でディープラーニングを用いた画像認識による、インドのような複雑な環境における交通状況センシング技術の確立に向けて研究を行った。まず、アーメダバード市からレンタルする交差点等に既設の画像装置の動画画像や、アーメダバード市のPaladi 交差点に新設した360°撮影可能な画像装置(CCTV)などにより、リアルなインドの交通状況・情報の取得を開始し、非常に有益かつ貴重なデータを基にした研究を実施する環境を整えた。インド特有の交通状況に対応した学習及び検証環境づくりとして、Paladi 交差点のCCTV から二輪車やオートリキシャを重点とする注釈付きデータを作成し、これらのデータをセキュアかつ迅速に日印合同の研究グループ内で共有する枠組みを策定し、日本大学においてネットワークストレージ(NAS)の設置・運用を開始したほか、日本大学が契約するGoogleのG Suite サービスの一環である共有ドライブを利用したグループ間のデータ及び成果の共有体制を構築した。これらの実データに対して、ディープラーニングを用いた画像認識により矩形で物体を検出するための代表的なモデルである「YOLO: You Only Look Once」や「SSD: Single Shot multibox

【令和元年度実施報告書】【200529】

Detector」を用いた車両検出を日印で行った。また、日本大学においてはさらに「SSD」をベースに小さい物体への検出性能を高めたモデルである「M2Det」の検討を行いその有効性を確認した。さらに、ディープラーニングを用いた画像認識による車種ごとの車両検出結果を基に車両追跡を行い、トリップワイヤを用いて車種ごとの通過台数を計測する枠組みを日印において構築・検討した(図 2)。この結果から、連続するフレーム間で僅かに生じる車両の見え方の変化によって誤検出や未検出となり、車両検出が安定しない問題を確認できた。この解決が研究の独創性・新規性に繋がると考えるため、先述の学習データ不足解消に向けた取り組みに加え、日本大学において特に誤りやすいオートリキシャとトラックを分類するための新しい手法や、特定の分類問題に強くするための新しい学習テクニック等について検討し、最終的な成果を IITH と技術共有する。



図 2 トリップワイヤを用いた車種別通過台数の計測（アーメダバード・パルディ交差点）

実環境適応における検出精度の課題の一つは学習のためのデータ不足であり、こちらは日印共同で注釈付きデータを作成し、共有することで解決を図る。これに関し、特に不足するオートリキシャの学習データ拡充を目的にインド情報技術大学が提供する「IDD : India Driving Dataset」の利用を日本大学において検討した。また、Paldi 交差点の映像から対象のクラスに対して数フレームおきに labelImg というソフトでアノテーション（位置情報や正解ラベルをタグ付けすること）して自作のデータセットを作成し、それぞれでの計測精度を比較した。表 1, 表 2 にデータセットの内訳を示す。

表 1 IDD

クラス名	オブジェクト数
オートリキシャ	32280
バス	9723
普通車	54258
バイク	63121
自転車	1420
トラック	15305

表 2 自作データセット

クラス名	オブジェクト数
オートリキシャ	784
バス	156
普通車	328
バイク	556
自転車	15
トラック	40

PalDI 交差点の学習に使用していない 30 分程度の映像で計測精度の比較を行った結果を表 3 に示す。なお各精度は以下の手順で算出した。

- ① 映像から Ground truth (A) を目視で作成
- ② システムの計測出力 Out result (B) に対して、計測時の目視で誤計測を確認
- ③ 誤計測した分だけ Out result (B) から除いて、Correct result (C) を算出
- ④ 計測できた割合を示す Recall (C/A) と、システムの計測精度 Precision (C/B) を算出

表 3 計測結果 (青文字は 80%以上, 赤文字は 80%未満)

		リクシャー	バス	普通車	二輪車	トラック	総台数
Ground truth (A)		575	90	320	976	26	1987
IDD モデル	Out result (B)	405	71	352	1321	59	2208
	Correct result (C)	369	59	286	877	18	1609
	Recall(C/A) [%]	64.2	65.6	89.4	89.9	69.2	81.0
	Precision(C/B) [%]	91.1	83.1	81.3	66.4	30.5	72.9
自作データ セットモデル	Out result (B)	490	68	319	980	20	1877
	Correct result (C)	438	66	291	845	16	1656
	Recall(C/A) [%]	76.2	73.3	90.9	86.6	61.5	83.3
	Precision(C/B) [%]	89.4	97.1	91.2	86.2	80.0	88.2

IDD モデルはリクシャーとバス、トラックの Recall が 80%を下回った。また、二輪車とトラック、総台数の Precision が 80%を下回った。自作データセットモデルはリクシャーとバス、トラックの Recall が 80%を下回ったが、Precision はすべて 80%を超えた。Recall のみがリクシャーとバス、トラックで 80%を下回る結果となったが、Precision は全項目で 80%を超えていることから、誤計測は少ない。Recall が低いことから、取りこぼしが精度低下の要因であることが分かる。これを改善するために適切なトリップワイヤ設置位置の検討やデータセットを拡充することによる Recall の向上を目指す。

もう一つ大きな課題として、インドのように二輪車等の小型車両で混雑する環境を可視カメラで撮影する際に生じる隠れ問題、すなわちオクルージョン問題があり、この解決が研究の独創性・新規性に繋がると考える。これは日本大学においてオクルージョンを考慮した新しい学習データ生成及びデータ拡張の方法等を検討して解決を図り、最終的な成果を IITH と技術共有することでインド側への科学技術向上に貢献する。

さらに、矩形で検出した車両位置からより詳細な画素単位の車両領域を推定する、インスタンスセグメンテーションと呼ばれる技術についても日印双方において検討を開始している。これは、より高精度な車両検出の実現に資する研究となるが、学習データの生成にかかる人的コストが膨大となるため、本研究課題への効率的な適用方法等を検討する必要がある。また IITH においては、交通量計測よりも先の交通センシング技術検討を開始しており、二輪車検出の延長としてのノーヘルメットの検出や、効率的な駐車による移動時間の短縮と渋滞軽減による CO2 排出削減を駐車可能箇所の検出の手法を構築・検討している。

交差点を上空から俯瞰できるドローンの利用に関して、交通調査のために購入したアーメダバー

ドの交差点上空からのドローン映像に画像処理技術を試験的に適用し、それらの画像の利用可能性と手法の適用可能性に関して検討を行った。交通量をカウントするためには、ある道路横断面を通過するラインを設定しカウントすることが一般的であるが、上空にホバリングするドローンが前後左右に動いてしまうことによって、ダブルカウントしてしまうことが発生した。それらを克服するためにある横断面に固定されず、車両の軌跡を逐次追跡することによって連続的にとらえる手法を構築している。具体的には、SSD を用いた車両検知を行い、マルコフ決定過程 (MDP) モデルを用いて、車両の軌跡を特定している。また別のアプローチとして、「GAN : Generative Adversarial Network」やソーシアルフォースモデルを援用し車両間の相互関係から、車両の軌跡を推定する手法を構築している。

日印双方の検討により、課題は残るものの、研究題目 2 - 3 における解析や、研究題目 4 - 2 における交通シミュレーションに利用可能な、アーメダバード市のより正確な交通情報作成のための基本となる交通センシング手法を構築することができた。

研究題目 1 - 4「他都市への展開と応用の検討」に対して、当初の計画通り本年度の成果を踏まえて、次年度より検討を開始していく予定である。

②研究題目 1 のカウンターパートへの技術移転の状況

お互いに研究中の画像認識技術やレーザーセンサ情報解析技術に基づく交通センシング手法に関する技術的な要素を IITH 研究メンバーらとの face-to-face の研究打ち合わせやスカイプでのネットミーティングを通して、お互いに確認・共有した。また、データ共有に関する体制の構築及び、ネットワークストレージを用いたデータ共有環境実装において日本側が主導して行い、セキュアアクセスに関する共通認識を得た。さらに、ディープラーニングを効率的に行う上で不可欠な計算資源である GPU をハイエンドなレベルで 2 基搭載したワークステーションを日本大学内に配置し、アクセスするための環境を整備した。

また、画像認識技術の成果は、インターネットのウェブサイト公開し、整理したデータや開発した手法を共有することで技術移転を進めた。

URL:<https://github.com/debadityaroy/SkyEye/>

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

- ・ IITH キャンパスに設置するテストベッドのほか IITH 正門前の公道 (National Highway R-65) への車両モニタカメラ設置による実交通流の把握及び正門前道路に車両密度判定を行うループコイルセンサを設置した。
- ・ レーザーセンサを利用した 3D センシング研究として IITH で LiDAR 64ch を利用した検討が開始された。また、動画像の取得方法として交差点に設置する CCTV の利用に加え、ドローンにより撮影する動画像を利用した検討が開始された。
- ・ 交通センシングとして交通量計測に関連する項目を主目的に据えながらも、混雑度の可視化手法、車両の軌跡を逐次追跡する手法、駐車可能領域の検出手法、交通事故の検出手法など、多角的に交通状況を把握するための研究が開始された。これは把握した多角的な交通状況を、交通の円滑

【令和元年度実施報告書】【200529】

化に活かすことで、車両の移動時間の短縮と渋滞軽減による CO2 排出削減を目指すものである。

- ・ドローンの映像の解析技術の向上が、交差点の方向別交通量の推定、飽和交通流率の算出、オートリキシャや二輪車その走行軌跡の特定による走行の円滑性、安全性の評価などに活用された。

④研究題目 1 の研究のねらい（参考）

本研究では、一般的な交通流把握のための測定カメラと CCTV により、研究題目 2 における交通解析や、研究題目 3 における交通シミュレーションにおいて利用可能な精度として、対象交差点での進行方向などを含めた交通流の 80%以上の認識を目指す。また、一般的に使用される交通トラフィックカメラによる対象である 4 輪車両のセンシングに加え、インド特有の環境としてオートリキシャや 2 輪車も含めた、車線や検出ゾーンに依存しない、交通センシング技術の確立を図り、時間帯や天候による日照や交通量の変化等、複数の条件を網羅するような実環境データを取得し、本研究で確立した交通センシング技術の実環境における実用性の検証を行う。

⑤研究題目 1 の研究実施方法（参考）

IITH キャンパス内の IITH テストベッドに設置した画像センサや超音波センサなどの各種センサ、アーメダバード市でレンタルする交差点等に既設の画像装置や、Paladi 交差点に新設する 360° 撮影可能な画像装置(CCTV)などにより、リアルなインドの交通状況・情報を取得し、それらのデータを日印で共有のうえ、各々が持つ技術を利用、融合してセンサ情報の解析を通じた交通状況の解析を行う。センサ情報の解析から得られたデータを再度日印で共有し、それぞれの解析手法の課題を洗い、共同で課題の解決を図りながら、それぞれのセンサの最終的な利活用方針の策定に向けて継続的に検討を行う。また、センシングデータを研究題目 2 などへ提供するため、要求されるセンシング情報や、新たに必要となるセンシング情報を適宜確認しながら、研究題目を超えた日印研究メンバー合意の基、課題達成に必要な交通センシング技術を確立していく。

(3) 研究題目 2 : 「マルチモーダル交通流のビッグデータ解析」

研究グループ 2（リーダー：石坂哲宏 日大）

研究グループ 2（Co-リーダー：A. Prof. M. S. Desarkar IITH）

①研究題目 2 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

研究課題 2-1「ビッグデータ解析の全体およびダイナミック交通解析の研究」に関連して、研究課題 2 はビッグデータソース、推計・予測、結果の考察の 3 つに分類しているが、研究課題 2-1 はビッグデータソースの整理と研究環境の構築を目指し進めてきた。ビッグデータ解析を行う上での研究環境の構築は日印共に完了している。

研究課題 2-1 ではアーメダバードで運用されている交通カメラのうち 10 か所（図 3）から、長期間にわたる交通量データを継続的に取得し、それらのビッグデータを相手国研究機関とも共有する体制を整えた。なお、可変情報掲示板（VMS）による交通情報提供範囲を包含し、マルチモーダルアプリの主なターゲットであるメトロを含めたマルチモーダル環境を想定した地域を包含して設定された。これらのデータは、研究課題 1 と同様に日印でデータを共有する環境を整えた。

【令和元年度実施報告書】【200529】



図 3 アーメダバード・Paldi 交差点と 10 か所の交通カメラ

研究課題 2 - 2「基礎フィールドテスト (IITH/日大) におけるビッグデータによる交通解析と評価」に関連して、IITH テストベッドおよびアーメダバードで計測した基礎データの解析とその解析の可能性に関して検証した。IITH テストベッドの導入に伴い 2018 年度より実行段階に移行している。

交通量の予測技術として、研究課題 1 からのビデオからのデータなどに対して、深層学習の一つの手法である「LSTM: Long short-term memory」を用いて、時間変動をトレースできる手法を構築した。学習用データと検証用データを用いて、深層学習における損失関数を確認すると過学習などの状態に陥っておらず、本手法の有効性が確認された。

交通状態の変動に影響するインシデント情報（天候の変化、交通事故、ストライキなど）を検出するため、ソーシャルメディアのキーワード、位置情報などの解析技術を構築している。現時点では、デリーなどの他の都市のデータソースを利用して解析技術の構築を行っている。

交通の改善に伴う大気環境の影響を評価するために大気汚染指数 (AQI: Air Quality index) を用いた。ハイデラバードで観測された 5 か所の観測データに対して、LSTM を適用し、AQI を予測する手法を構築した。過去の AQI データのみを利用する場合より、過去の AQI データと速度データを利用することで、RMSE が大幅に改善されることが確認された。一方、アーメダバードにおいては、可搬可能な環境ガスセンシングデバイスをアーメダバードで用いて、PM2.5 のモバイル観測を行った。マルチモードを促進するうえで本プロジェクトにて重要な端末交通手段としての役割を期待しているオートリキシャでの PM2.5 の被ばく量を簡易的に測定することができた。PM2.5 の被ばくに起因する排出源は、一般に交通から起因する割合は少なく、沿道や周辺地域からの排出が大きく寄与している。

そのため観測結果からも、交通に起因する傾向より沿道環境（路面のレストランからの排煙）などからの影響を強く受けているとデータより読み取ることができた。

IITH のテストベッドで構築した車両走行位置検知システムを用いて、IITH キャンパスと市内を結ぶバスの到着時間予測技術の構築を進めている（図 4）。GPS から得られる位置情報から推定される旅行時間や到着時間に対して、マップマッチングのアルゴリズムの構築、データの集計方法、予測モデルの構築などの技術開発を行っている。本手法は、後述する BRT の運行データの解析にも同様の手法を用いており、アーメダバードへの実データへの適用において技術的な交換を行っていくことに関して日印で共通の認識を保有している。



図 4 バスに取り付けた GPS 装置

研究課題 2 - 3「マルチモーダル交通に利用可能な交通情報収集及び解析技術の検証」に関連して、アーメダバード市の BRT 運行データ（GPS による車両走行位置）から、BRT の運行遅れの個所の特定、原因の推定、一般交通の渋滞箇所の特定を路線ごとに行った。本研究課題に関しては、解析結果が得られ、アーメダバードにおけるフィールド調査よりそれらの解析結果の妥当性が確認されている。

BRT 運行データの基本的なデータ処理として、マップマッチング、分析対象区間への区間データへの転換（集計化）など、研究課題 2-2 の基盤技術を利用している。マルチプルセンサから収集されるトラフィックデータの分析として、アーメダバードの BRTS の走行軌跡データを用いた交通状態の把握に取り組んだ。BRTS の走行軌跡データから、BRTS のサービス水準（旅行時間や遅れ、団子運転などの走行状態）を推定する技術の開発を行った。その結果、位置情報の取得間隔が路線や状態によって、5 秒から 1 分、それ以上になることもあり、単一的なマップマッチング手法では、区間の特定に困難状況が生じた。そのため、通常のマップマッチング手法ではなく、短区間（10m）程度で、線バッファを引き、当該バッファ区間に含まれる走行データから区間の情報に置き換えるなどの、処理プログラムの開発を行った。これらのプログラムを用いて、BRTS の速度低下（遅れ発生地点）の視覚化（3DGIS による表示）、速度低下（遅れ発生地点）の特定を行うことができた。マルチモーダルなナビゲーションを実施するうえで、BRTS の走行状態を把握し、信頼性の高いデータをユーザーに提供することは、提示された交通手段の選択肢を選択するうえで、また、その選択と行動によって得られた実際の旅行サービスの享受の差異によって、マルチモーダルアプリの有効性、継続性に大きく寄与してくるといえる。これらを検討するうえで基礎的な研究成果が得られたといえる。

具体的な解析の手法としては、包絡線分析（DEA）を用い、BRT の運行データ（バスの走行軌跡）

を区間ごとに、データを集計し、様々な角度から集計されたデータをもとに BRT のバス運行の効率性の分析を行った。BTI の分析結果からは、17 時から 20 時 30 分までの時間帯の旅行時間が最も低下していることが分かった（図 5）。DEA 分析では、細分化した区間の 6、11、10 が最も運行の効率性が低下していることなどが判明した。既存の旅行時間信頼性指標（BTI）とは異なるデータの集計方法でその特性を把握することができた。BRT の旅行時間の安定性に関する本研究成果は、マルチモーダルアプリで提供される旅行時間の信頼性を検討するうえで必要なデータであるといえ、今後のアプリでの提供データ（静的な時刻表テーブルデータ）と利用者の行動の変化を把握する上での知見となると考える。

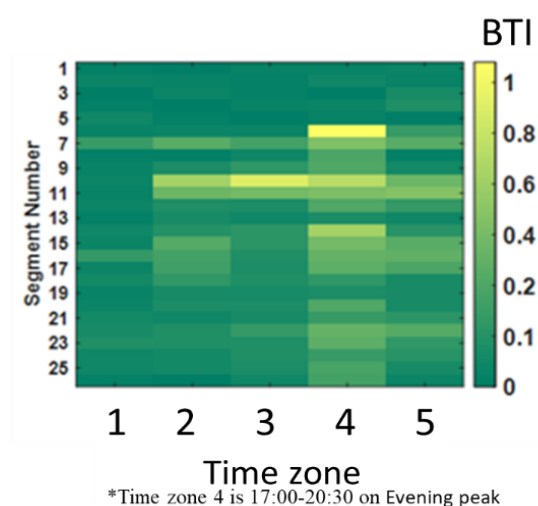


図 5 旅行時間信頼性指標（BTI）による BRT の運行パフォーマンスの分析

アーメダバードの 10 か所の交通カメラで収集した 2018 年 8 月から 2019 年 8 月までの 1 年間の 5 分間別交通量を用いて、アーメダバードにおける交通量の変動特性を分析した。交通量の変動係数を算出すると 7 月と 6 月の変動係数の値が大きくなり、それ以外の月は比較的分動係数の値が低い結果となった。月別の変動特性を明らかにすることができた。次に、時間別交通量を算出すると 9 時と 19 時ごろにピークを向かえていることが分かった。月変動が大きかった 7 月の時間交通量を確認すると、9 時から 20 時ごろの時間帯で標準偏差が大きく表され、交通量のばらつきが大きく表されていたといえる。最後に時間帯交通量に関する時系列成分分析を行い、時間変動成分（24 時間変動）、トレンド成分、残差成分に分解した。図 6 に 7 月の時間帯別交通量（上段、生データ）、時間変動成分（中上段）、トレンド成分（中下段）、残差（下段）を示した。7 月の平均時間別交通量は 1800 ほどであるので、時間変動成分が -1000 から 1500 まで幅広く、トレンド成分が 600~1200、残差が -500~500 となった。トレンド成分とベースとなり、時間変動成分との差分を取ると、概ね時間帯別交通量が推定できることが示せた。

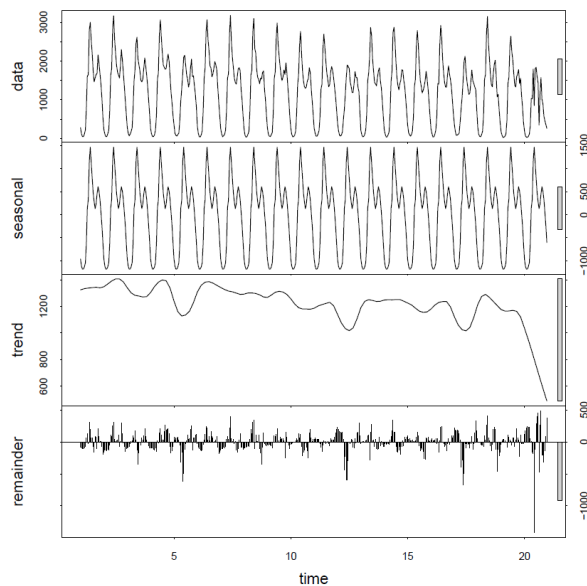


図 6 時間帯交通量の時系列成分分析結果（7月）

1分間で集計した交通量に対して、畳み込みニューラルネットワーク（CNN）を用いて、交通量の短期予測を行う仕組みを構築した。現在、予測手法の精度確認を行っている段階である。

研究課題 2-4「マルチモーダルシフトの推進とマルチモーダルアプリケーションの開発」に関して、マルチモーダルアプリケーションに実装するナビゲーションで実施する RCT（ランダム化比較試験）に関する既存研究の整理とそれを実装するナビゲーションの設定要因の検討を行い、実装した。同様にエコルート探索システムに関しても同様に、RCT を前提とした研究の実施に向けた検討を行った。

②研究題目 2 のカウンターパートへの技術移転の状況

マルチモーダルな交通情報の分析手法として、BRTS の走行データの解析手法、CCTV からの画像、交通センサからの交通量からの交通状態分析（時系列分析、機械学習）に関する技術的な要素を IITH 研究メンバーらと研究打ち合わせを通して、お互いに共有した。

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

特になし

④研究題目 2 の研究のねらい（参考）

開発するマルチモーダル交通流の計測技術を適用し、アーメダバードにおける交通流の特徴の把握並びに施策実施時の効果計測（交通状態への改善・変化を計測）することが狙いである。また、車両感知器や CCTV などの路側設置の観測装置による情報だけでなく、BRTS の走行軌跡データなどを融合してアーメダバード市の交通状態を明らかにし、研究題目 3 における導入効果を得るうえで必要となる交通状態を把握することがねらいである。

⑤研究題目2の研究実施方法（参考）

研究課題3の成果と関連し、マルチモーダル推進（アプリやVMSによる交通情報提供）が交通行動変容に促す影響を見定めて、それらのキーとなる要因をビッグデータから抽出、解析、提供できる手法を構築していく予定である。

(4) 研究題目3：「マルチモーダル交通管理と情報提供」

研究グループ3（リーダー：A. Prof. Digvijay Pawar IITH）

研究グループ3（Co-リーダー：坪井務 名古屋）

①研究題目3の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

研究課題 3-1「マルチモーダル交通管理に関する評価手法の構築及びフィールド試験評価」に関しては、IITH テストベッドにおけるフィールド試験評価とマルチモーダルな交通管理を評価するためのマイクロ交通シミュレーションの構築を行っている。

研究課題3-2、3-4における交通改善評価、および研究課題4におけるエネルギー消費量削減効果、二酸化炭素排出量の削減効果の推計のために、マイクロ交通シミュレーションとマクロな排出量モデルの構築をIITHテストベッドより行っている。特にアーメダバードでのマルチモーダルな交通環境の構築に重要な役割を果たすオートリキシャに関して着目している。インドにおいて車両からの大気汚染物質に関してオートリキシャは主要な排出源の一つであり、これを電気バッテリー式のオートリキシャ（e リキシャ）に変更することで19%の二酸化炭素排出量の削減が期待されている。これらを定量的に評価するために、ハイデラバードにおけるe リキシャの走行エネルギー消費量を推計するドライビングサイクルの構築を行っている（図7）。IITH キャンパスからNH65を走行する13.6kmの走行ルート上を50往復し、ドライビングサイクルを抽出した。平均速度、最大加速度などの特性を明らかにして、エネルギー消費量の推計モデルを構築している。IITHではマイクロ交通シミュレーション（SUMO/VISSIM）との比較で、これらのドライビングサイクルの特徴の検証を行う予定である。

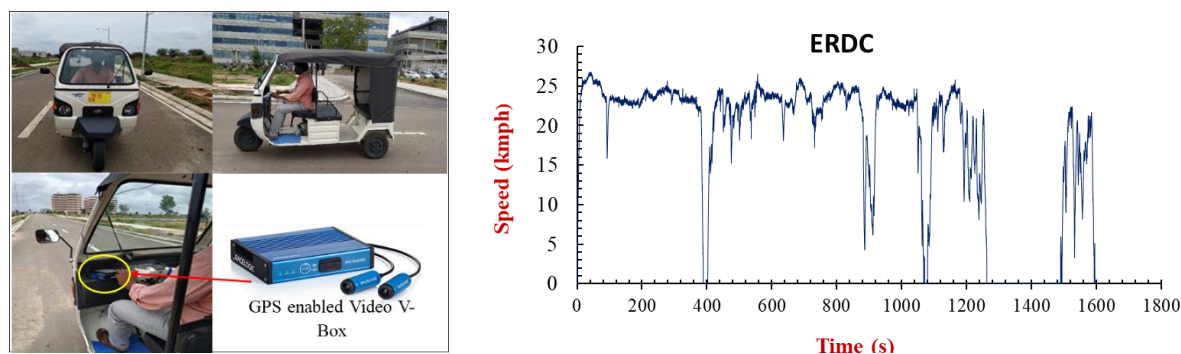


図7 eリキシャとドライビングサイクルの構築

マイクロ交通シミュレーションとしてVISSIMを用いたアーメダバードの道路ネットワーク、走行挙動の構築を行っている。特に交通工学のアプローチからオートリキシャや二輪車などを含む混合交

通における交差点の飽和交通流率（信号交差点の停止線で達成される最大の流量、つまり、さばける最大の交通量）に関して、研究課題 1 による画像解析の成果を踏まえて検証した。これらはミクロ交通シミュレーションにおける車両の再現性の検証に利用している。また、インドに多く見られる円形の交差点の走行挙動を明らかにして、ミクロ交通シミュレーションに反映させた。マルチモーダルな交通管理を評価する上での基盤をフィールド実験の成果と合わせて、構築できた。

研究課題 3-2「可変情報板（VMS）での交通情報提供に基づく交通制御に関する評価」に関して、アーメダバード市内に複数設置されている可変情報板（VMS: Variable Message Sign）について、ピーク時の交通混雑抑制および公共交通転換を促進する表示方法を検討するため、本年度はプレ調査として国内でウェブ調査を実施した。「エコ交通手段への転換」、「運転中のスマートフォン禁止」、「シートベルトの装着」、「飲酒運転の禁止」の 4 項目に対して、文章と図（ロゴ）による表示のどちらがより行動変容を促す上で効果的か分析した結果、「シートベルトの装着」と「飲酒運転の禁止」については文章による表示の方が運転者の理解が高く、行動変容を促す可能性も高いことが分かった。「エコ交通手段への転換」と「運転中のスマートフォン禁止」については文章と図で有意な差は見られなかった。

研究課題 3-3「マルチモーダルアプリケーションによる交通行動変容の評価」に関して、アーメダバード市で 2018 年に実施したマルチモーダルフィールド試験（第 1 弾のトライアル）、端末交通手段としてのオートリキシャとアプリケーションとの連携を想定した交通情報収集の在り方に関して知見を得ることができた。2019 年 2 月に実施した第 2 弾のトライアルにて、さらにアプリケーション上の課題を修正してきた。

昨年度まで、マルチモーダルアプリ利用の基礎分析として、公共交通非利用者（自動車利用者）が公共交通を利用しない要因について、アンケート調査で収集したデータから構造方程式モデルを援用して解明した。また、公共交通利用者に対しても追加アンケート調査を実施し、公共交通の利用者と非利用者の公共交通に対する意識差を分析した。これにより、公共交通非利用に関する基礎的な分析を完了した。本年度は昨年度までの行動分析を踏まえて、マルチモーダルアプリ利用者のアプリ利用状況（いつ、どこで、誰が、どのような目的でアプリを利用するか）とアプリの使用感について、アクティビティダイアリー調査とアンケート調査によりデータを収集し、分析した。その結果、アプリを利用する場合は自宅が起終点になっていないトリップが多いことが分かった。また、バスを利用する際にアプリを利用しやすい傾向があることが分かった。アプリに求める機能としては、現在地を知り合いとシェアできる機能や最新の地図情報であることが明らかとなり、これらの強化がアプリの普及を促進するものと示唆される。渋滞予測の情報もアプリに求められる機能の一つであることが分かった。

研究課題 3-4「収集交通データとシミュレーションにおける信号制御に関する評価」に関して、Paldi 交差点で取得した交通量データより、ミクロ交通シミュレーションを用いて制御方式に関して評価を行った。現状の交通量と現状より 1.5 倍に増やしたときの交通量、現状の信号現示と現状の交通量より青信号時間を再配分した信号現示の計 4 パターンを設定し、シミュレーションで再現された渋滞長を比較した。交通量を据え置き、信号サイクルを変更した場合、青時間を 30 秒固定周期の現況より、交通量によって青時間を再配分したパターンが渋滞は平準化されていることがわかる。ま

た最大待ち行列も平均 20m 程短縮された。このように交通シミュレーションにより現在の交通信号制御方式から、交通カメラで取得するリアルタイムの交通量データを反映した信号制御方式に変更することで、当該交差点の渋滞緩和を図れることが示唆された。

また、IITH テストベッドで導入されたセンシングデバイスや交通流の制御装置などを用いて、速度抑制・注意喚起システム、交差点コンフリクト注意喚起システムなどの評価を行っていく予定である。

②研究題目 3 のカウンターパートへの技術移転の状況

構築したマルチモーダルアプリケーションの設計関連図書を英訳し、IITH と共有することで技術移転を促進した。交通ビッグデータの取り扱い方、ルートナビゲーション方法、アーキテクチャー、二酸化炭素排出量推計方法などが含まれる。

③研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

個人情報端末による移動手段選択を可能にするマルチモーダルアプリケーションが完成し、2 回にわたる現地でのトライアルを実施した。現地企業の社員や、現地大学生による 1～2 週間の試行で、延べ 75 サンプルの獲得することができたが、継続性に関して課題が発生した。原因は、住民に対して、アプリケーションの継続するためのモチベーションの提供が見いだせていない点にある。今後は、現地行政側との連携および現地でのアプリケーション支援が可能な体制を検討する必要がある。

信号制御の検討の一部として長距離無線モジュールの評価を計画していたが、当初予定使用帯域の 680MHz 帯での実験許可が困難として、免許不要周波数帯域の 860MHz 帯へ変更し、認可には 6 ヶ月以上の時間インドでの実験局免許の取得ができ、IITH テストベッドを含め次年度でのインドでの無線通信評価を行う。

④研究題目 3 の研究のねらい（参考）

最終的な目標は、マルチモーダルアプリと VMS を通じて、公共交通非利用者を実際にモーダルシフトに促すための効果的な情報提供手段を検討することである。

⑤研究題目 3 の研究実施方法（参考）

マルチモーダルアプリ利用実態データ収集についてはアクティビティダイアリー (AD) 調査を実施する。AD 調査を実施することにより、被験者が 1 日の生活全体の中でトリップを実施するタイミングを把握できる。また、その際にアプリの利用・非利用がトリップ別に判別可能となる。それにより、アプリ利用要因が分析可能となり、アプリによるモーダルシフト最大化の方策が検討できる。モーダルシフトを促す VMS の表示方法については、本年度については来年度に向けたプレ調査的な位置付けであるため、まずは日本においてアンケート調査を実施・分析し、来年度以降にアーマダバードで調査を行う。

(5) 研究題目 4 : 「交通インフラ整備との連携を軸としたスマートシティ構築の提案 (ハンドブック) 作

【令和元年度実施報告書】【200529】

成と実施」

研究グループ 4（リーダー：福田敦 教授 日大）

研究グループ 4（Co-リーダー：Prof. Soumya Jana IITH）

①研究題目 4 の当初の計画（全体計画）に対する成果目標の達成状況とインパクト

研究活動 4-1「取り組み方策のレビューと交通施設整備の方向性の把握」では、IITH のテストベッドの完成に伴い、IITH にてハイデラバード交通関係機関（Hyderabad Municipal Corporation、交通警察等）を招いたテープカットを実施し、意見交換を行った。意見交換では、ハイデラバード市における交通施設整備の方向性の把握や研究活動 4-4 の他都市への拡張に向けた活動のための情報収集を行った。

研究活動 4-2「収集した交通データによる交通制御と VMS での交通情報提供に基づく自動車交通適正化によるエネルギー消費量削減と低炭素化の推計」では、エネルギー消費量と CO₂ 排出量推計のためのマイクロ交通シミュレーションの道路ネットワークの構築と複数のシナリオによる CO₂ 排出量への影響の試算を行った（図 8）。本シミュレーションは研究題目 1 で測定された交通量データを用いて、各出発地から目的地までの交通量をシミュレーションから推定した（図 9）。シミュレーションの実行に必要となる入力データ（交通量、車両挙動に関するパラメータ等）は、現段階では CCTV や過去の調査結果に基づいたものであり、今後は研究題目 1 でのセンシング結果を踏まえつつ、入力データの精度を上げていく必要がある。

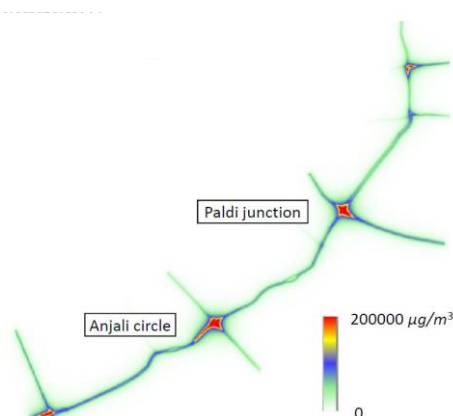


図 8 対象道路区間の CO₂ 排出量



図 9 作成されたマイクロ交通シミュレーション

IITH のテストベッドでは、車両からの二酸化炭素排出量の推計方法の精度向上のため、ガスセンサを用いた観測ベースと車両のパイプライン上での排出ソースベースの 2 つのデータに対して、機械学習を適用して、センサの感度の最適化などを行っている。両データソースを用いて時空間的な大気汚染物質の拡散マップなどの構築を行っている。研究課題 2 のビッグデータをデータソースとして、実際の大気汚染物質や二酸化炭素の排出量の観測技術の向上がなされている。VMS、マルチモーダルアプリ、的確な交通データによる交通制御による二酸化炭素排出量の削減効果を検証する上で、現況の交通状況・環境状況を示す重要な情報であるといえる。これらに対して、推計・予測ベースの研究課題 4-2、4-3 の研究成果が得られることで、総合的な交通分析につながるといえる。

研究活動 4-3「マルチモーダルアプリケーションによる低炭素化の推計」については、研究活動 3-
【令和元年度実施報告書】【200529】

1、4-2 で構築するシミュレーションをベースに研究活動 4-3 におけるアプリケーションからの情報提供による交通行動（手段選択、経路選択など）の変化も踏まえて実施する。当初の予定では、当該年度より研究活動の実施となっているが、アプリケーションのリリースが遅れているため、リリース後に研究題目 3 においてデータを取得する予定であるので、その結果を受けて実施する予定である。

研究活動 4-4「スマートシティに向けたマルチモーダルのためのハンドブックーセンシング・ネットワーク・ビッグデータ解析の応用」の作成については、当該年度はハンドブックの全体構成（目次）の作成を行い、その構成に基づいて、各研究題目で得られた研究活動成果を収集し、随時編集を開始した。全体構成は以下の図 10 に示す。現時点のハンドブックのタイトル（仮）は、「Handbook of Multimodal Transport for Smart City -Application of Sensing, Networking and Big Data Analysis」である。

Ver. 1.0
Handbook of Multimodal Transport for Smart City -Application of Sensing, Networking and Big Data Analysis
Contributors Preface
Part I Role of Multimodal Transport for Smart City
Chapter 1. Introduction Chapter 2. Concept of Smart City in India Chapter 3. Measurement of Impacts on GHG Emission Reductions by Smart City Chapter 4. Achievement of SDGs Targets by Smart City Chapter 5. Approach for Smart City by Multimodal Transport
Part II Advanced Technologies to Realize Multimodal Transport
Chapter 6. Fundamental Concept of Multimodal Transport Chapter 7. Video Image Processing with AI Chapter 8. Vehicle Detector Chapter 9. On-board GPS (BTSC) Chapter 10. Measurement of Emission Factor Chapter 11. Mobile Measurement of Roadside Emission and GHG Chapter 12. VMS Chapter 13. Mobile Application for Multimodal Transport Chapter 14. Big Data Analysis Chapter 15. Behavior Change by Traffic Information Chapter 16. Mobility as a Service (MaaS)

図 10 ハンドブックの全体構成

②研究題目 4 のカウンターパートへの技術移転の状況

研究活動 4-2 に関わるシミュレーションによる評価において、IITH の研究メンバーとシミュレーションに関する技術的な検討課題について、研究打合せを通して情報の共有を図った。

③研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

IITH のテストベッドが当該年度の初めに完成し、研究活動 4-2 で実施するモデルシミュレーションの構築及び研究活動 4-3 で実施するモデルの検証のために、実フィールドやテストベッドにおけるデータの収集が必要となる。

また、研究活動 4-2 に関わるシミュレーションによる評価に関する事項として、対象フィールド内の一部の交差点において現在立体化の工事が進められている。したがって、シミュレーションの評価においては、立体化の完成前後での交通状況の変化も見据えたシナリオ設定を行う必要がある。立体化工事に関する情報については、適宜、アーメダバード市より情報提供を受ける予定である。

④研究題目 4 の研究のねらい（参考）

エネルギー消費量と温室効果ガス排出量のモデル開発を行い、マルチモーダル対応型交通情報の提供がなされた際の温室効果ガス排出量の推計とその削減量を求めることで低炭素社会の実現に貢献する。

⑤研究題目 4 の研究実施方法（参考）

自動車交通によるエネルギー消費量の推計および自動車から排出される温室効果ガスを推計する方法を選定し、対象都市であるアーメダバード市への適用に必要なデータの収集、エネルギー消費量と温室効果ガス排出量を推計するモデルの開発を行う。さらに、研究題目 3 で得られる交通情報提供によるマルチモーダルの推進の成果を基礎に、情報提供による交通行動（手段選択、経路選択など）の変化を推計に組み込み、想定しているマルチモーダル対応型交通情報の提供がなされた場合の温室効果ガス排出量とその削減量を推計する。

Ⅱ. 今後のプロジェクトの進め方、および成果達成の見通し（公開）

2020 年度で配布を予定しているスマートフォンを用いたアプリケーションを使った社会実験を予定している。但し、当初1万人に配布を予定していたが、これまでの予備実験の成果を踏まえて、配布人数に関しては段階を追って設定していくこととした。また、2020～2021 年にはアーメダバード市の初となるメトロサービスが開始となることから、行政にとっても公共交通機関へのモダルシフトの期待が高まっている。また、AMC の推進するスマートシティ構想をまとめるコンサルタント会社（PWC）からも、将来への展開として交通料金徴収や予約システムへの展開とした地域交通をサービスとした MaaS（Mobility as a Service）としての検討へのコメントを頂くなど、社会的なインパクトも期待できる。

研究機材・システムが 2019 年度で完了し、本格データ収集と実証試験の開始を行っている。公道へのカメラ設置（アーメダバード市）では行政関係機関とのコミュニケーションも活発に行われることができ、実証環境を構築できている。また、公道のカメラ設置によりリアルタイムで当該道路の交通状況がリモートで確認でき、インドと日本双方において、情報の共有の円滑化が図れるシステム環境が構築できた。今後は、画像解析を中心に推進する。

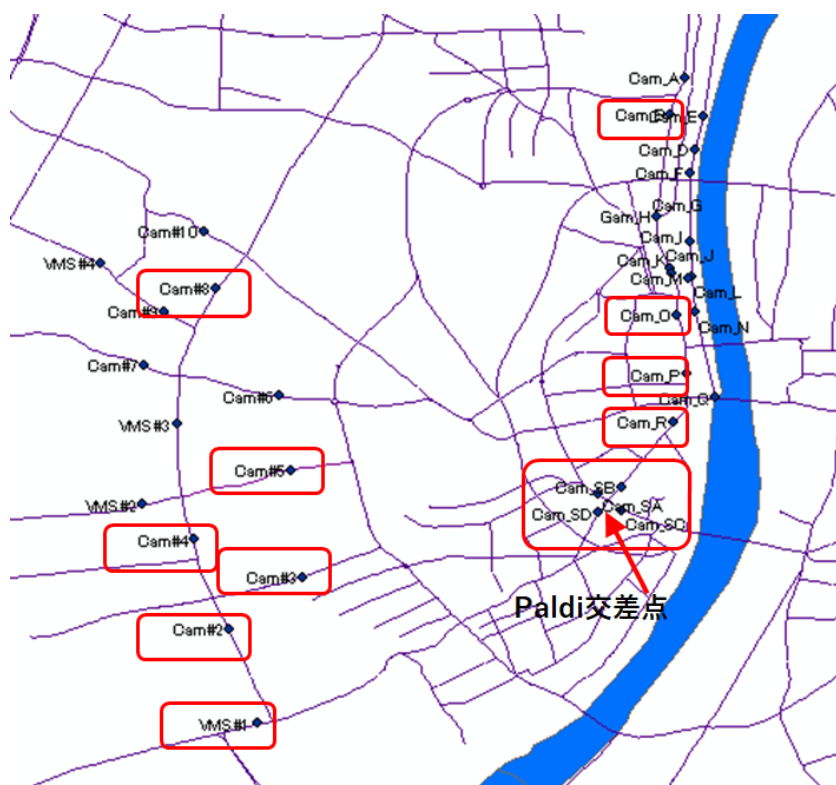


図 11 アーメダバード実証フィールド（赤枠利用カメラ位置）



図 12 交差点カメラとモニター装置

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

(1) プロジェクト全体

本プログラムでは、インドにおける交通事情の把握を、先進的なセンシング技術の活用と交通の見える化のための各種交通情報提供手段の効果的活用を、インドでも普及している携帯端末向けのアプリケーションを実証することで、インド政府による BRT やメトロなどの公共交通拡大の流れに沿ったマルチモーダル展開を進めることで、新興国での低炭素都市実現に向けたハンドブックを完成させ、対象となるインド各地のメガ都市への活用を促すことにある。このため、今回の実証の中でどの程度交通面での低炭素化が、どのようにしたら実現できるかの方向性を先端のセンシング技術と大量のビッグデータの解析により定量的に指し示すことと、その具体策としてのマルチモーダルアプリケーションの活用および交通状況の効率の良い住民への提供を交通情報板等の活用を実フィールドでの検証を行うことで、より実現性の高い手法の確立を目指している。

新興国特有の事情により先進国の開発された技術そのものではなく、地域性にあった仕組み作りは、IITH のみならず、対象都市における現地関係機関との関係構築が極めて重要であり、課題である。更に IITH と国際共同研究を実施するうえで、センシング、電気・通信工学、情報工学、交通工学、都市・交通政策などの幅広い学術分野を理解し、プロジェクトの定める目標へ協調していくことが課題であった。

これらの課題に対応するため、アーメダバード市行政、交通警察、公共交通機関を交えて行った 2018 年 7 月のワークショップでは、行政側の具体的な悩みや課題の共有をいただけ、参加した IITH 教員からも実際の行政の意見を聞ける機会を得たことで、交通問題の抱える課題への理解が深まるとともに、自らの研究や活動に対する勇気づけを与える機会となった。更に 2020 年 1 月に第 2 回目のアーメダバード市でのワークショップを実施し、AMC 新副コミッショナー参加のもと、さらなる対象都市の行政からの協力と支援を要請することができた。また、IITH と定例で行っているミーティングや Newsletter の発行、お互いのデータや成果、論文などを共有するデータ共有環境の構築が研究推進上の課題を克服することにつながったといえる。

研究課題に必須となる交通情報の共有化においては、アーメダバード市内に設置したカメラ画像がリアルタイムで、日印で同時に観測・共有化できたことで、研究材料の同一化でお互いの研究内容およびその精度や信頼性への比較検討となる環境ができたことは、共同研究を進める上で重要な試みとなった。本プログラムで対象とした交差点（Paldi）における交通量の把握目標の 80% は学術的な達成目標としては非常に高いが、日印の若手技術者の相互の交流（データの共有から人的、成果の共有まで）が目標達成に大きく寄与したといえる。加えてハンドブックの作成に向けたこれまでの日印での議論は、異なる専門分野を持つ研究者の共通基盤を構築することに資しており、今後も認識向上に向けた努力を継続する。

(2) 研究題目 1：「マルチモーダル交通センシングとモニタリング技術の開発」

研究グループ 1（リーダー：Prof. C. K Mohan IITH）

研究グループ 1（Co-リーダー：高橋聡 主事 名古屋）

IITH との共同研究において、研究プロジェクトの有効性を高めるために開発環境その成果を比較しやすくするために入力とする画像データの共通化、出力として交通量のカウント結果の共通化などの共通基盤の検討を両者で調整し行った。特に、入力となる画像データの共有体制の構築は重要であり、膨大な容量とセキュアアクセスが課題となるが、物理的なネットワークストレージを利用した共有に加え、日本大学で契約する G Suite サービスにより容量無制限となる Google の共有ドライブを利用してデータ共有環境を整備し、アクセス可能なメンバーをアカウント単位で制限することでデータ共有問題の解決を図った。双方向アクセス可能な基盤が構築できたことで、画像処理におけるアノテーションデータの共有、ベンチマークデータの共有、認識した画像のサンプル共有などを行うことができた。これらは機械学習の世界で情報公開サイトとして有名なサイトにアップし、一般にも公開されており、本プロジェクトの研究者だけではなく、同様の研究を志す研究者への問題克服を可能としている。

URL:<https://github.com/debadityaroy/SkyEye/>

IITH との共同研究において、研究プロジェクトの有効性を高めるために開発環境その成果を比較しやすくするために入力とする画像データの共通化へ向けた 360° カメラの新設と日印の各キャンパスにおけるカメラ情報取得の環境が整った。しかし、カメラソフトウェア側でアクセスの排他制御などが期待できない点や、月毎の通信容量制限などがあるため、計画的な運用プランが一つの問題となっている。現在は、Google カレンダーを利用してデータ取得計画を研究グループ内で共有する枠組みを整備し、同時アクセスなどの抑制を図っている。通信容量に関しては、管理会社からのメールなどによる報告を待つほかないため、厳密に容量制限を考慮した運用に向けては課題が残っている。

2018 年 1 月に行った公開ワークショップ（場所：日本大学駿河台キャンパス）において、交通状態の推定において重要なことは多様なセンシングデバイスにおける情報源を基にしたデータフュージョンであるとの指摘を受けた。マルチモーダルな交通状態を推定する上で欠かせないセンシング技術の開発において、類似プロジェクトが存在するケースにおいては、各々の研究のアイデンティティは担保しつつ、必要な交通データのフュージョン、高度な分析手法に関するデータフュージョンないし、実用に向けてはセンサそのものを含めた選定を実施することが有効と考えるため、データテーブルとしての取得情報の共有化が重要といえる。この指摘を受けて両研究機関の研究者は検討を進め、個別のセンシング技術の開発にとどまらず研究題目 2 を意識した共通のシステムデザインの必要性を確認し、考慮した。

(3) 研究題目 2：「マルチモーダル交通流のビッグデータ解析」

研究グループ 2（リーダー：石坂哲宏 日大）

研究グループ 2（Co-リーダー：A. Prof. M. S. Deskar IITH）

ビッグデータ解析においてデータの共有を図り共通のプラットフォームをベースに解析を進めていくことが重要である。共通のプラットフォームに関しては、IITH テストベッド及びアーメダバードの交通カメラの映像、交通観測データなどの共有を図る仕組みを構築することができた。一方、今

【令和元年度実施報告書】【200529】

後はそれらのデータをもとにお互い解析作業を進めていくことになるが、研究の効率化のために、相互の解析において可逆性を確保しておくことが重要であると考ええる。

このように種々の交通ビッグデータを統合し、共通プラットフォームで解析できる環境が整えられたが、相手国研究機関においては今後、自立して取り組む際には、データを統合してどのようなメリットが発生するのか、それを的確にデータの保有者（行政サイド）に提示できるかにかかっているといえる。研究成果を踏まえて、研究課題 1 で指摘のあったデータフュージョンがどのようなインパクトを持ち得ることができるのかの知見を、相手国研究機関と創造していく必要があるといえる。

(4) 研究題目 3：「マルチモーダル交通管理と情報提供」

研究グループ 3（リーダー：A. Prof. Digvijay Pawar IITH）

研究グループ 3（Co-リーダー：坪井務 名古屋）

マルチモーダルアプリの利用状況の分析についてはモニターのフィードバック情報が重要である。昨年度、試験的にモニターにアプリを利用してもらい、使用感などの情報をフィードバックしてもらった。その結果に基づいて本年度のアクティビティダイアリー調査を実施する。なお、モニターについては一昨年の反省を活かし、信頼性の高い日系企業に勤める現地市民に協力いただき実施した。これにより、今後の 1 万人市民への展開を現地行政側の連携のもと進める計画である。

(5) 研究題目 4：「交通インフラ整備との連携を軸としたスマートシティ構築の提案（ハンドブック）作成と実施」

研究グループ 4（リーダー：福田敦 教授 日大）

研究グループ 4（Co-リーダー：Prof. Soumya Jana IITH）

昨年度は、アーメダバード市で実施、計画されている交通情報提供、交通制御を含む交通施設整備について交通関係のステークホルダーにヒアリング等を行って整理する活動の一環として、2018 年 7 月にワークショップを開催し、SATREPES で目指すべきマルチモーダルに向けた活動の方向性が正しいことをアーメダバード市の交通関係機関と確認をした。当該年度は、シミュレーションによる評価において、各研究課題の成果を踏まえたインプット・アウトプットが必要であることから、IITH 側を含め各グループの研究者と密に連携を取って進めていく。

ハンドブックの作成においては、その取りまとめの方向性を相手国研究機関と一致させるために、過去に研究参画者らが作成した各国の二酸化炭素削減のためのモデルケースをお互いにレビューを行った。研究課題 1 から 4 において、また、相手国研究機関においても異なる専門分野を超えて、取りまとめていく上では、このような形でベースを構築し、それぞれの研究分野の強みを付加していく手法が妥当であるといえる。

IV. 社会実装（研究成果の社会還元）（公開）

(1) 成果展開事例

現時点では、研究のための交通データの集積と解析を行っている段階であり、まだ研究成果の社会還元までの段階にない。

(2) 社会実装に向けた取り組み

先進国を中心とした都市におけるモビリティサービスの向上として検討が進められている MaaS（Mobility as a Service）に対する関心度はアーメダバードの市行政においても非常に高く、社会実装への期待は高い。現時点において本プログラムのマルチモーダルアプリケーションを構築する過程で、交通ビッグデータを共有し、アプリ上で統合を図る産官学の連携を実施できたことは非常に大きな成果といえる。今後、これらのデータ解析から得られる最適な移動手段の選択を促進することができる我々の知見は、新たなモビリティサービスを標榜する都市において学術上の有効な示唆となると期待している。MaaS の概念は本プロジェクトの申請時点では広く普及した概念ではなく、本プロジェクトの目標とするところではないが、マルチモーダルアプリケーションはその概念を構成する重要な要素を含んでおり、本研究プロジェクトの成果は行政サービスの向上に十分寄与できるといえる。そして、本プログラム終了後における持続可能な活動に向けた布石になると考える。

アーメダバード市行政（Ahmedabad Municipal Corporation）および専用レーンバス（BRT）運営会社 JANMARG 社、交通警察、メトロ会社（GMRC）を含むワークショップを 2018 年 7 月 9 日アーメダバードにて開催（計 30 名）に続き、第 2 回ワークショップを 2020 年 1 月 29 日に IITH、日大および現地 JETRO、メトロ建設会社（日本信号）の関係者（計 25 名）の参加にて意見・情報交換を実施し、プログラムへの期待を頂いた。



図 13 アーメダバードワークショップ（第 1 回）



図 14 第 2 回ワークショップ（第 2 回目）

研究成果の公開として専用 Web サイトを構築し、その成果を随時アップデートし、その成果を提供している。(http://m2smart.org/)

また、関係機関の研究成果として外部への発信としてニュースレターを発行し、適宜配布・情報提供を行っている。

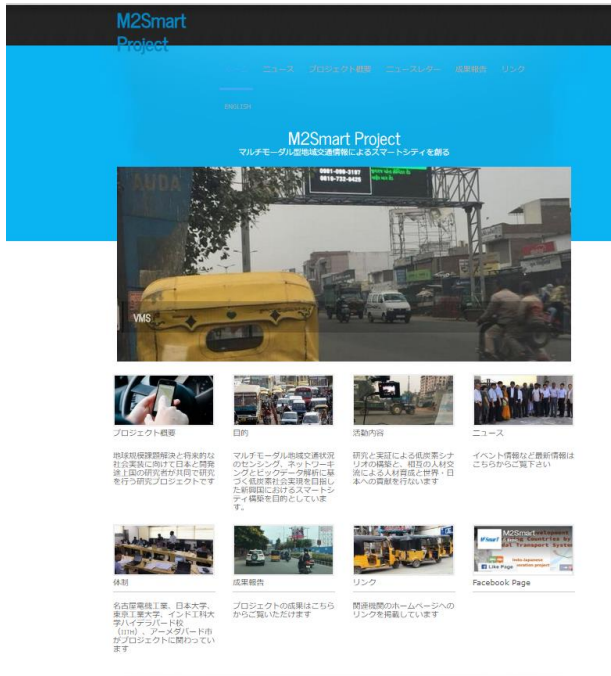


図 15 M2Smart プロジェクト Web ページ表紙

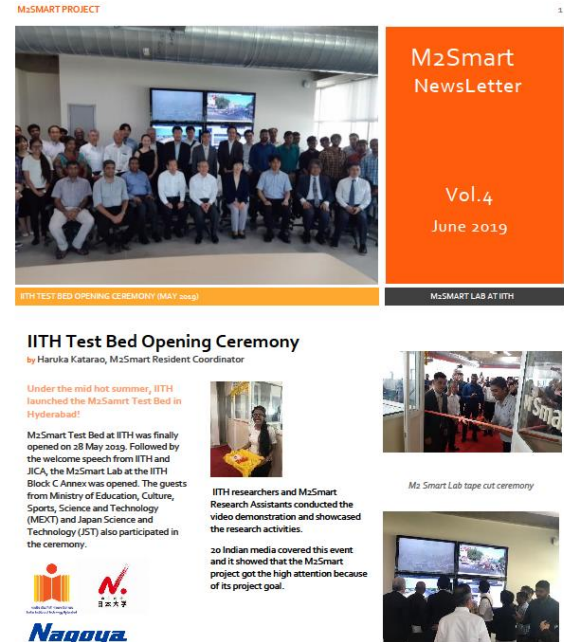


図 16 ニュースレター例 (Vol.4)

V. 日本のプレゼンスの向上 (公開)

実施内容に関する現地側の関心が高いことで、SATREPS の活動および紹介に関するメディア紹介を頂いている。

- 1) IITH のテストベッドが完成し、2019 年 5 月 28 日に文科省戦略官および JST 理事、フェロー参加のもとオープニングセレモニーを開催した。このセレモニーについては地元新聞、教育関係記事として 17 紙に詳細された。
- 2) 2019 年度外務省開発協力 (ODA) 白書にて、本プログラムの紹介を頂けた。(出典：<https://www.mofa.go.jp/mofaj/gaiko/oda/shiryo/hakusyo.html>)

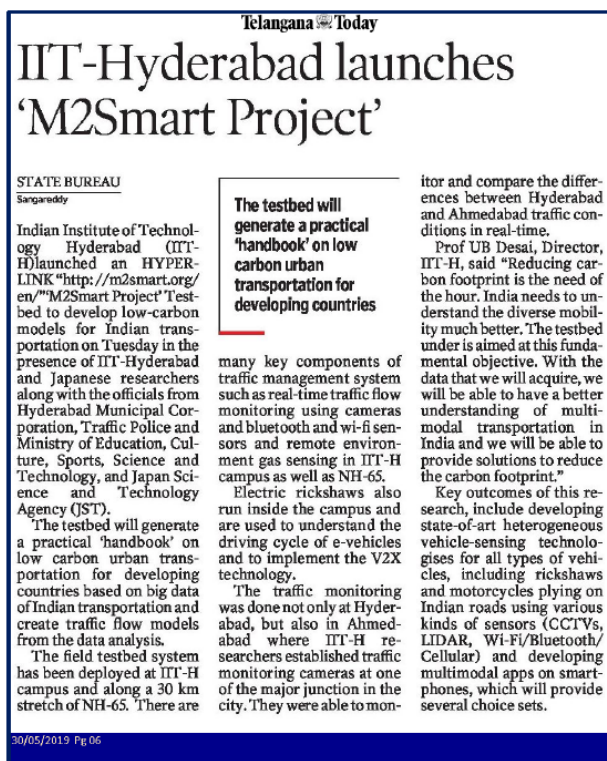


図 18 テストベッド紹介記事例
(2019年5月30日付 TelanganaToday 紙より)



図 19 ODA 白書掲載(p.100)

VI. 成果発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

以上

VI. 成果発表等

(1)論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数0件

うち国内誌0件

うち国際誌0件

公開すべきでない論文0件

②原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2018	Hiraide, T., Kawasaki, T. and Hanaoka, S.: Clarification of Public Transport Usage Conditions in Ahmedabad, India, WIT Transactions on the Built Environment, Vol.182, pp.61-72	10.2495/U T180061	国際誌	発表済	
2019	Tsutomu Tsuboi: Quantitative Traffic Safety Analysis for India by Japanese Experience,Sociology Study Volume 10, Issue 1, Pages 1-14	10.17265/2 159- 5526/2020. 01.001	国際誌	発表済	
2019	Tsutomu Tsuboi, Noriaki Yoshikawa: Traffic flow analysis in Ahmedabad (India), Case Studies on Transport Policy Volume 8, Issue 1, March 2020, Pages 215-228	10.1016/j.c stp.2019.06 .001	国際誌	発表済	

論文数3件

うち国内誌0件

うち国際誌3件

公開すべきでない論文0件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数0件

公開すべきでない著作物0件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ		出版物の 種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2016	坪井務、小森英樹、辰上義彦、PPPビジネスモデルを用いたインドITSプロジェクトによる交通情報可視化を実現したスマートモビリティ、交通工学、Vol.51. No.4、pp.28-31		機関誌	発表済	SATREPSにつながる研究成果の報告
2016	坪井 務、辰上義彦、小森英紀「インドにおける道路交通情報提供システムの導入」、日本道路交通協会 道路、Vol.908、11月号、pp.26-29		機関誌	発表済	同上

著作物数2件

公開すべきでない著作物0件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

①学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2019	国際学会	Keisuke YOSHIOKA, Tetsuhiro ISHIZAKA, Atsushi FUKUDA (Nihon university), Digvijay S. PAWAR (Indian Institute of Technology, Hyderabad), A Trial of OD Traffic Volume Estimation through the Fusion of Various Types of Traffic Data and CO2 Emissions Estimation by Microsimulation, The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, Colombo, 2019.9	ポスター発表
2019	国際学会	Ryohei Hashimoto(Nihon University), Anand Kakarla(IITH), Tetsuhiro Ishizaka, Atsushi Fukuda(Nihon University), “Analyzing Route Segment Performance Based on Multiple Indicators Using DEA: A Case Study on Ahmedabad BRT”, The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2019.	口頭発表
2019	国際学会	Tetsuhiro Ishizaka, Anand Kakarla, Atsushi Fukuda(日本大学), Digvijay S. Pawar(IITH), Hiroki Kikuchi(日本大学), Behavior Analysis on Last One-Mile Connectivity by Providing Auto-rickshaw Feeder Service and Navigation in India, The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2019.	ポスター発表
2019	国際学会	A. Kakarla, V. S. K. R. Munagala, A. Qureshi, S. Thatikonda, S. De(IITH), T. Ishizaka, A. Fukuda, S(日大). Jana(IITH), “Comprehensive Air Quality Management System for Rapidly Growing Cities in Developing Countries”, Accepted in IEEE Global Humanitarian Technology Conference, Seattle, October17–20, 2019.	口頭発表
2019	国際学会	Debaditya Roy, Tetsuhiro Ishizaka(日本大学), C. Krishna Mohan(IITH), and Atsushi Fukuda(日本大学), “Vehicle Trajectory Prediction at Intersections using Interaction based Generative Adversarial Networks,” IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC), Auckland, New Zealand, 27 Oct– 30 Oct, 2019	口頭発表
2019	国際学会	ANAND KAKARLA, RYOHEI HASHIMOTO, TETSUHIRO ISHIZAKA, ATSUSHI FUKUDA(日本大学), SOUMA JANA (IITH), Exploring the Affect of Mixed Traffic Zones on BRTS: A case study on Ahmedabad BRTS, 15th World Conference on Transport Research, Mumbai, India, 2019/5/27	口頭発表

招待講演	0 件
口頭発表	4 件
ポスター発表	2 件

②学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2017	国内学会	坪井務(名古屋電機)、新興国における道路混雑と交通サービス定量評価主張、電気・電子・情報学会東海支部大会、名古屋大学、9月7日	口頭発表
2017	国際学会	Tsuboi.T(名古屋電機)、Traffic Flow Analysis in Emerging Country (India)、CODATU17/UMI (Urban Mobility India)、Hyderabad、Nov/4-6	口頭発表
2017	国際学会	Pawar.D(IITH)、Modeling Crossing Behavior of Drivers and Pedestrians at Uncontrolled Intersections and Mid-block Crossings、Nov/4-6	口頭発表
2018	国際学会	坪井務(名古屋電機)、Quantitative Analysis Method of Traffic Service by Traffic Congestion under Developing Country、ISTS&IWTDCS 2018、日本(松山)、8/3-6	ポスター発表
2018	国内学会	橋本、石坂哲宏(日大)、IITHインド・アーメダバードにおけるBRTSの走行特性・遅れに関する分析、土木学会第73回年次学術講演会(全国大会)、北海道、8/29-30	口頭発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Service Quantitative Analysis Method under Developing Country、ICACCI 2018、India(Bengaluru)、9/19-27	口頭発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Dynamic Macro Numeric Analysis of Fatal Traffic Accident、ICACCI 2018、India(Bengaluru)、9/19-27	口頭発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Flow and Vehicular Lanes Effect Analysis in Emerging Country、Urban Transportations 2018、Spain(Barcelona)、11/25-27	ポスター発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Congestion Visualization by Traffic Parameters in India、ICICC 2019、Check(Ostrava)、3/21-22	口頭発表
2018	国際学会	Takashi Hiraide, Tomoya Kawasaki, Shinya Hanaoka (Tokyo Institute of Technology), Clarification of Public Transport Usage Conditions in Ahmedabad, India, 24th International Conference on Urban Transport and the Environment, Seville, 2018.9	口頭発表
2018	国内学会	橋本諒平(日本大学大学院)、石坂哲宏、福田敦:インド・アーメダバードにおけるBRTSの走行特性・遅れに関する分析、土木学会第73回年次学術講演会、日本・北海道、2018.8	口頭発表
2018	国内学会	石坂哲宏(日本大学)、高橋文哉、福田敦:乗合タクシーをアクセス交通に考慮した際の交通手段選択に関する基礎的研究、土木学会第73回年次学術講演会、日本・北海道、2018.8	口頭発表
2018	国内学会	福田敦(日本大学)、マルチモーダル地域交通状況のセンシング、ネットワーキングとビッグデータ解析に基づくエネルギー低炭素社会実現を目指した新興国におけるスマートシティの構築、日本環境共生学会20周年記念学術大会、三重、2018.9	ポスター発表
2018	国際学会	Ryohei Hashimoto(Nihon University) and Anand Kakarla, "Analyzing the effect of variation of intersection delays on total travel time in Bus Rapid Transit Systems", Honda Y-E-S Forum, Tokyo, Japan, July, 2018.	ポスター発表
2018	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Flow and Vehicular Lanes Effect Analysis in Emerging Country, Urban Transitions, 11/25-27, 2018	ポスター発表
2018	国内学会	Suhel Magdum, Mehul Sharma, Srikanth Manas Kala, Antony Franklin A, and Bheemarjuna Reddy Tamma, "Evaluating DTN Routing Schemes for Application in Vehicular Networks", in Proc. of 5th workshop on Intelligent Transportation Systems (ITS), co-located with COMSNETS, Bengaluru, India, January 2019	口頭発表
2018	国内学会	Subrahmanyam Kalyanasundaram(Indian Institute of Technology), M. V. Panduranga Rao, and Thamilselvam B, "Coordinated Intelligent Traffic Light using Uppaal Stratego", in Proc. of 5th workshop on Intelligent Transportation Systems (ITS), co-located with COMSNETS, Bengaluru, India, January, 2019.	口頭発表
2018	国際学会	Mehul Sharma(Indian Institute of Technology), Suhel Magdum, Antony Franklin A, Bheemarjuna Reddy Tamma, and Digvijay S. Pawar, "VISIBLE:Application for Vehicle Visibility and Incident Reporting in Real-Time", in Proc. Of Internet Conference, Tokyo, Japan, November 2018.	ポスター発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Time Zone Impact for Traffic Flow Analysis of Ahmedabad city in India, 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, 5/3-5, 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Traffic Flow and Vehicular Lanes Effect Analysis in Emerging Country, 5th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems, 5/3-5, 2019	口頭発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Dynamic Macro Analysis for Traffic Safety Experience, World Conference on Transport Research 5/26-31, 2019	ポスター発表
2019	国際学会	Anjani Josyula, Bhaskar Anand, P. Rajalakshmi,(IITH), "Fast Object Segmentation Pipeline for Point Clouds Using Robot Operating System", IEEE 5th World Forum on Internet of Things, 15-18th April, 2019,	口頭発表
2019	国際学会	Bhaskar Anand, Vivek Barsaiyan, Mrinal Senapati, P. Rajalakshmi, "Real Time LiDAR Point Cloud Compression and Transmission for Intelligent Transportation System", 1st International Workshop on Internet of Autonomous Vehicles (INAVEC) with VTC2019, 28th April - 1st May, 2019,	口頭発表
2019	国際学会	Tsutomu Tsuboi(名古屋電機)、Dynamic Macro Analysis for Traffic Safety Experience, 21st European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, 9/5-9, 2019	口頭発表
2019	国際学会	Xin Guo, Tomoya Kawasaki, Shinya Hanaoka, (東工大), "Clarification of the characteristics of Auto-rickshaw passengers in Ahmedabad", The 13th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies", 2019.	ポスター発表
2019	国際学会	Amala Sonny, Prabhat Kumar Rai, Abhinav Kumar, Mohammed Zafar Ali Khan(IITH), Deep Learning-Based Smart Parking Solution using Channel State Information in LTE-based Cellular Networks, 12th International Conference on Communication Systems & Networks (COMSNETS), Bengaluru, India, 2020	口頭発表
2019	国内学会	田代大智, 石坂哲宏, 福田 敦(日本大学), 画像解析による二輪車・オートリキシャ等の車種別交通量の推計手法の構築、(公社)土木学会第47回関東支部技術研究発表会、千葉、日本、2020年3月	口頭発表
2019	国内学会	藤枝和津, 石坂哲宏, 福田 敦(日本大学), インド・アーメダバードのパルディ交差点における二輪車・オートリキシャの挙動を考慮した信号制御の検討、(公社)土木学会第47回関東支部技術研究発表会、千葉、日本、2020年3月	口頭発表

2019	国内学会	木内康晴、川村嘉郁、坪井務、アーメダバード市街地における交通流解析と交通特性の年次比較、情報処理工学第28回全国大会 2020年3月	口頭発表
			招待講演 0 件
			口頭発表 20 件
			ポスター発表 9 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する外国出願 ※
No.1													

国内特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者 所属機関	関連する国内出願 ※
No.1													

外国特許出願数 0 件
公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等
(4)受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2017	2017/11/6	Best Ph.D Paper	Modeling Crossing Behavior of Drivers and Pedestrians at Uncontrolled Intersections and Mid-block Crossings	Pawar.D	CODATU	3.一部当課題研究の成果が含まれる	

1 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項
2019	2019/5/29	Indian Education dairy (online)	IIT-H Launcges intergrated database on infra projects		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/29	UNI (online (online)	Indo-Japant joint research programme on severe traffic congestion launched in Hyderabad		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/29	BW Education (pnlne)	IIT Hyderabad Launches 'M2Smart' Testded To Research Low-Carbon Models For Indian Transportation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Times of India (online)	New app to help you pick best multi-mode ride-hailing options		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Edex (online)	IIT-Hyd launches 'M2Smart Project' testbed to develop low-carbon models for Indian Transportation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Dainik Jagran (online)	IIT Hyderabad launched M2Smart Testbed to develop low-carbon transprot models		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Study Buzz (online)	IIT Hyderabad launces 'M2Smart' Testdeb to research low-carbon models for Indian transportation		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/31	Hans India (online)	India-Japan joint R&D project launches at IIT		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/31	The Hindu Business Line (online)	India-Japan research Project to ease traffic congestion		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The New Indian Express	IIT-H launches testbed for low-carbon transprotaiion		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Telangana Today	IIT-Hyderabad launches 'M2System Project'		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Hindu	IIT-H launches testbed for low-carbon transprotation models		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Pioneer	M-2 Smart to develop low-carbon transprotation models		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	Deccan Chronicle	IIT-H to collect traffic information		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Hindu Business Line	IIT-H Lauches integrated database on intra project		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/30	The Tmes of India	New app to help you pick best multi-mode ride-hailing options		1.当課題研究の成果である	
2019	2019/5/31	The Hindu Business Line	India-Japan research Project to ease traffic congestion		1.当課題研究の成果である	
2019	2020/3/10	2019年度開発協力白書	開発協力白書・参考資料集	2019年版 開発協力白書 {日本の国際協力 世界を結び、未来を紡ぐJP100	1.当課題研究の成果である	

18 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】（公開）

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 （開催国）	参加人数 （相手国からの招聘者数）	公開/ 非公開の別	概要
2017	1月29日	M2Smart公開ワークショップ	東京（日本）	59名（6名）	公開	外部有識者（アドバイザー）を招待し、本プロジェクトの研究内容、進捗等に関してアドバイスを頂きつつ、一般参加者を含めて議論を行った。
2018	6月6日	Massive Earth Summit	Delhi（インド）	290	公開	インド環境団体主催によるインド課題解決に向けたサミットに日本代表として研究代表が招待出席し、プログラム紹介を行った。
2018	7月9日	アーメダバードワークショップ	Amedabad（インド）	18(6)	非公開	インド交通関係行政（AMC、交通警察、BRT、メトロ）を交えたプログラムに関する意見情報館の実施。
2019	1月29日	アーメダバードワークショップ	Amedabad（インド）	24(10)	非公開	アーメダバード市行政（AMC、メトロ社、バス会社）およびJETROを交え、JST現地中間評価視察一環として実施した。

4 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録（開催日、議題、出席人数、協議概要等）

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2017	2017/6/5-7	研究機関合同会議	19名	年会合とした全研究機関合同会議（首都高速管制センター現場見学含む）、研究内容紹介および情報の共有の実施。
2017	2017/8/24	第1回JCC	16名	プログラム全体の方向性の確認とこれまでの双方の現地調査活動を含めた内容の紹介を実施し、PDM/POの修正と確認を行った。
2018	2018/6/15	第2回JCC	25名	プログラム全体の方向性の確認を実施。各グループにおけるメンバーの見直しと各グループのリーダーを決定した。研究機材項目の確認と調達状況の確認を行った。さらに機材移管責任を明確化した。
2019	2019/4/5	第3回JCC	24名	プログラム全体の方向性の確認を実施。各グループの活動にてお一体管理を行うべく、今回から日印それぞれから各研究グループにリーダー、Coリーダーを任命し、研究グループ内の相互情報交換を密に行える体制を確立した。
2019	2019/10/17	第4回JCC	18名	プログラム各グループの進捗の確認と今後の計画の設定確認を行った。IITHテストベッドにて追加項目が発生し、対応としてリサーチアシスタントおよび今後の出張計画等の見直しにより、予算範囲にて対応する計画を確定した。今回はIITH新学長を迎えての会議となり、プログラムディレクターに新学長、前学長はプログラムなメージャーとして継続支援頂くことを確認した。
2019	2020/1/27	現地中間評価研究報告会	23名	現地中間評価研究報告会をIITHにて実施した。これまでの研究成果を各グループ単位にて成果報告を行った。

6 件

JST成果目標シート

研究課題名	マルチモーダル地域交通状況センシングとビッグデータ解析に基づくエネルギー低炭素社会実現を目指した新興国におけるスマートシティの構築
研究代表者 (所属機関)	坪井 務 (名古屋電機工業)
研究期間	H28採択(平成29年4月1日 ～令和4年3月31日)
相手国／主要 相手国研究機 関	インド国／インド工科大学 (ハイデラバード校)

付属的成果

日本政府、 社会、産業 への貢献	・低炭素の都市・地域づくり(スマートモビリティ)の実現 ・日本企業による成果の事業化
科学技術の発 展	・地域ITSと適応信号制御によるインド国(新興国)に最適な交通管理システムの構築 ・新興国への地域最適化技術の応用
知財の確保、 国際標準化の 推進、生物資 源へのア クセス等	・地域最適化適応信号制御方式 ・交通量評価用センシング技術 ・信号機、制御機器 ・地域インフラ道路情報へのアクセス
世界で活躍で きる日本人材 の育成	・国際的に活躍可能な日本側の若手研究者の育成(国際会議での指導力、レビュー付雑誌への論文掲載など)
技術及び人的 にネットワー クの構築	・日本企業によるインド地元企業との協働ビジネスの確立(Make in India & Made in Indiaの実現) ・アーメダバード市行政との連携を足掛かりに、他都市への展開を目指す
成果物(提言 書、論文、プ ログラム、デ ータなど)	・交通量に応じた適応信号システム(アルゴリズム、試作、実証、提言) ・交通システムと情報ネットワークの連携(実証、提言) ・インドの渋滞ニズムの解明(データ、論文) ・プローブ応用技術(実証、論文)

上位目標

インドでのスマートモビリティの仕組みを他の同様な交通渋滞問題で悩む新興国にも紹介し、日本企業のインドを含む連携を強化することで、新興国での国際事業への展開の足掛かりとする。

アーメダバード市での地域交通最適化検討したハンドブックによるスマートモビリティの仕組みの展開として、その規模をインド全体に拡張することでインドスマートシティ施策への支援とする。

プロジェクト目標

マルチモーダル交通渋滞による環境破壊・経済損失・社会損失への対策として、交通情報の可視化とICTの活用によるマルチモーダルシフトを都市レベル(アーメダバード市)で検証し、地域交通システムの交通部門での低炭素化改善目標10-15%@2030年を目指せるスマートモビリティのハンドブックの作成とその推進に向けた持続可能な取り組み展開への仕組みを構築する。



① Field testing in Ahmedabad

② Field testing in IITH