

インドベンガルール中心地区への高度道路交通システム導入計画

IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS IN CORE BENGALURU, INDIA

大塚 雄一郎 *・戸谷 浩也 **・奥田 真人 ***・高橋 雅人 *・田原 照博 *・伊関 道夫 **
Yuichiro OTSUKA, Hiroya TOTANI, Masato OKUDA, Masahito TAKAHASHI, Teruhiro TAHARA and Michio ISEKI

This paper reports on the preparatory survey in the project for implementation of ITS (Intelligent Transport Systems) in core Bengaluru, India. The project for the implementation of the ITS equipment comes from a Japanese ODA Grant and an Indian fund project. It is followed by the project for O&M (Operation and Maintenance) from a Japanese ODA Grant. The paper introduces the advanced technologies of Japanese ITS and discusses some important topics in the implementation of ITS targeting inside a city in a developing country.

Keywords : ITS (Intelligent Transport Systems), Traffic Management, Traffic Congestion, MODERATO (Management by Origin-Destination Related Adaptation for Traffic Optimization), Operation and Maintenance

1. はじめに

ベンガルール市は、インド国カルナタカ州の州都であり、人口約 850 万人を擁する同国を代表する経済都市である。同都市は、経済成長も相まって車両登録台数は過去 10 年間で平均 10% 以上の増加率を記録し、特に通勤時において激しい交通渋滞が発生し、経済活動への支障が出ている。この状況に対し、周辺環状道路の建設計画の他、放射道路の改良やメトロの延伸などハード面の対策が進んでいる。更に、これらハード面の対策に加え、既存の道路交通インフラの有効活用を目的とするソフト面の対策にも期待が高まっており、情報通信技術を道路交通管理分野に適用する高度道路交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems) の導入が注目を集めている。

こうした背景の下、国際協力機構 (JICA: Japan International Cooperation Agency) が、同都市圏へ段階的に ITS を整備する「インド国ベンガルール及びマイソール都市圏 ITS マスタープラン (2013 年 6 月)」を策定した。同マスタープランでは、ベンガルール市の中心地区を対象とした ITS 整備が最優先事項として位置づけられ、実施機関であるカルナタカ州都市交通局 (DULT : Directorate of Urban Land Transport) からの要請により、同市を対象とした ITS 整備が無償資金協力事業 (以下、無償事業) として実施されることとなった。

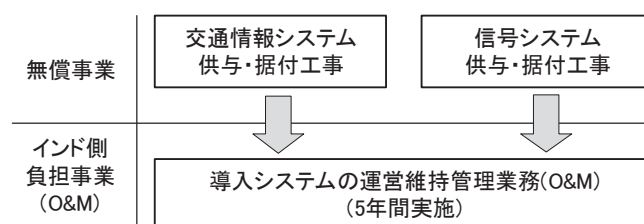
本論文は、本無償事業の概略設計として実施した「ベンガルール都市圏 ITS 機器供与計画準備調査 (2017 年 11 月)」

の報告を中心に、都市内の一般道路を対象とする ITS として主要なシステムである交通情報システムおよび信号システムの概要とベンガルール市への導入計画を述べる。また、都市内の一般道路を対象とした ITS 事業における実施上の課題と対策、インドでの事業実施上の留意事項、および今後の展望についても述べる。

2. 事業コンポーネント

本事業は、図－1 に示すとおり無償事業とインド側負担事業から構成される。無償事業では、ITS として導入する後述の交通情報システムおよび信号システムにおける機材供与および据付工事が含まれる。インド側負担事業では、無償事業により導入したシステムの運営維持管理 (O&M : Operation and Maintenance) を実施するものである。O&M の実施期間は 5 年間である。

また、本事業で導入予定の交通情報システムおよび信号システムの概要を表－1 に示す。



図－1 事業コンポーネント

* 電力事業本部 プラント事業部 情報通信技術部

** コンサルタント海外事業本部 交通・都市事業部 交通計画室

*** 電力事業本部 プラント事業部

表－１ 導入する ITS 設備と目的

導入設備名称	数量	目的
センターシステム	1式	交通データの蓄積・管理
プローブシステム	1式	道路利用者に提供する交通情報生成 交通データの統計処理等
渋滞長計測システム	12箇所(72基)	交通データ(渋滞長)の収集
交通量計測システム	8箇所(16基)	交通データ(交通量)の収集
可変情報システム	3基	道路情報板による交通情報の提供
インターネットシステム	1式	インターネット上での交通情報の提供
信号システム	29交差点	交通状況に応じた信号機の最適制御

3. 交通情報システム

(1) 交通情報システムの概要

交通情報システムは、実際の交通情報の収集に基づく道路利用者への情報提供および蓄積した情報に基づく交通計画の改善支援を実現することを目的としたシステムである。

日本では、1961年に東京で交通情報センターが発足され、現場の警察官からの電話、無線を介して交通情報を収集し交通対策を実施していた。1960年後半からは、道路上の車両感知器による交通渋滞の自動検出に関する研究が始められ、交通情報収集のシステム化が進められた。また、1970年には、交通情報の自動収集化を組み込んだ交通情報センターが初めて神奈川県に構築された。さらに近年においては、情報通信技術の著しい進展に伴い、日本を始めとする先進諸国では、様々な交通情報（交通ビックデータ）を人工知能により解析するなどの高度な分析手法も盛んに研究されている。

(2) ベンガルール市内への導入

1) 導入の目的

ベンガルール市内では、車両登録台数の急増に伴う交通渋滞や交通事故等が問題となっている。しかしながら、道路管理者が交通状況を適切に把握するためのシステムの構築が遅れており、また、DULTや交通警察（BTP：Bengaluru Traffic Police）では、交通計画の基礎情報となる交通データの収集および蓄積が十分に行われていない状況である。

本事業で導入する交通情報システムは、同市内における長期的な交通情報の収集および蓄積、道路利用者への交通情報の提供、将来の交通計画への活用を可能とするものである。

2) 交通情報の収集・蓄積

① バスプローブデータの収集・蓄積

ベンガルール市内を運行する市内バスは、ベンガルール都市圏交通公社（BMTC：Bengaluru Metropolitan Transport Corporation）が運営、管理を行っている。BMTCは、現在6,700台のバスを保有しており、バス路線は、市内の全幹線道路をカバーし運行頻度も高い。BMTCは、これら全てのバスにGPSを設置しており、バスプローブデータ（バスの位置情報）を収集することで運行状況を把握し、バスの定時運行の調整に役立てるバスロケーションシステムを整備している。このバスプローブデータには、バスの位置情報に加え、速度情報等も含まれており、実際の市内の交通状況を把握する上で有用な

データである。したがって、BMTCから当該データの提供を受け、本事業で整備するプローブシステムに取込むことで交通状況の把握に活用する。なお、バスプローブデータは、バス停での一時停止が含まれるため一般車両と走行挙動が異なる。そのため、利用にあたっては予め登録したバス停データに基づき、バス停での停止を補正、一般車両の走行挙動に近似し利用する計画とした。

② 渋滞長の収集・蓄積

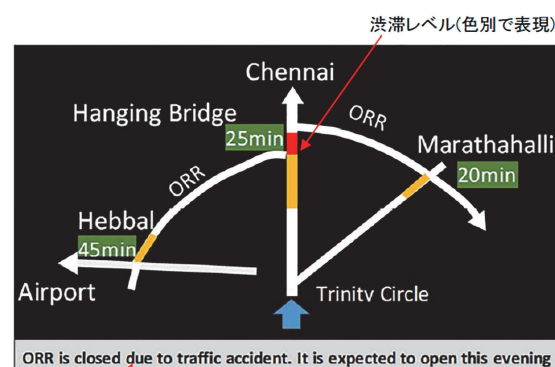
渋滞長計測システムにより市内の主要交差点における渋滞長を計測する計画とした。計測原理は、交差点停止線から一定の間隔（300m、600mおよび900m）で超音波式車両感知器を設置し、車両の有無および存在時間を計測し、渋滞長を判断する。渋滞が顕著な主要交差点付近では交通流が停滞し、上記のプローブデータの欠損が発生する可能性がある。渋滞長データはこのようなプローブデータの欠損を補完する目的で使用する。

③ 断面交通量の収集・蓄積

交通量計測システムにより市内の主要交差点の各路線における断面交通量を計測する計画とした。計測原理は、交差点に画像処理式車両感知器を設置し、複数交差点における交差点への流入車両を画像処理により計測する。当該交通量は、基礎的な交通データとして蓄積する。

3) 交通情報の提供

収集した交通データは、プローブシステムにより道路利用者へ提供可能な道路交通情報の形式へ処理される。道路利用者への交通情報の提供は、道路上に設置される道路情報板およびインターネットを介して行う。道路情報板は、模式的な地図上に、主要な目的地までの所要時間および渋滞レベルを表示する。これにより道路利用者の渋滞迂回を促し、交通の分散化による交通渋滞緩和を図る。道路情報板による交通情報配信例を図－2に示す。



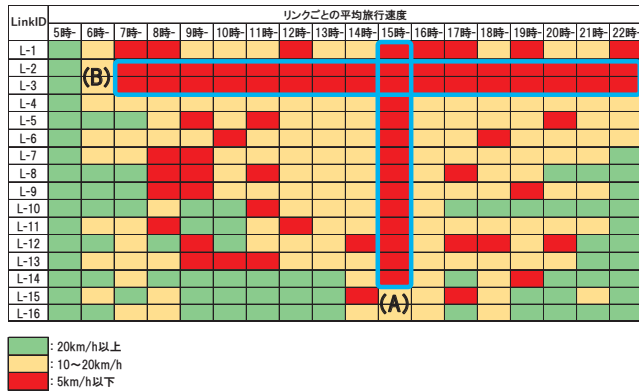
必要に応じて交通警察が情報を入力する

図－2 道路情報板による交通情報の配信例

4) 交通計画への活用方法

交通情報システムによる蓄積データは将来の交通計画の策定において有用である。市内バスの走行履歴に基づくプロー

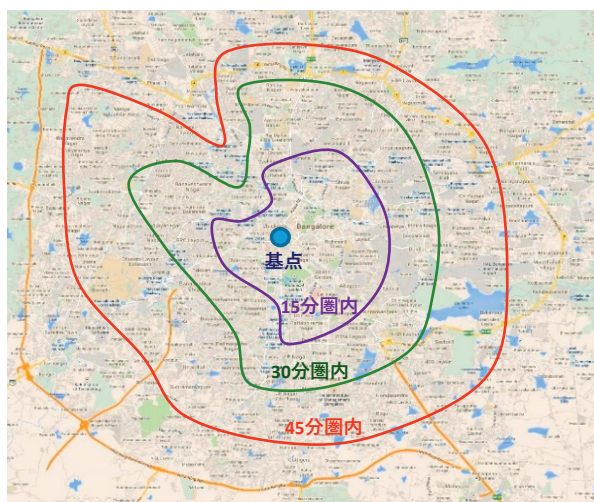
ブデータを蓄積・解析し、可視化することによりベンガルール市内道路ネットワーク上の交通状況の傾向を把握することが可能となる。図－3 の例は、指定された起終点間における道路リンク（電子道路地図の最小単位）ごとに 1 時間単位で、過去の一定期間の平均旅行時間を表示したものである。



図－3 道路リンクごとの旅行時間（例 1）

(A) の場合、道路リンク L1 ～ L14 についてはオフピーク時間帯にもかかわらず速度低下が発生している。(B) の場合、道路リンク L2 および L3 については一日を通じて恒常的な速度低下が発生している。対策としては、露天商やオートリキシャ溜まりなどの交通障害要因の排除、信号の設置、信号現示の見直し等が考えられる。

よりマクロな観点では、例えばある指定された基点から放射方向への到達性の傾向分析も可能となる。図－4 の例では、市内の中心部から概ね北東方向へのアクセス性が悪いことが分かり、フライオーバーの建設、道路情報板の設置による交通の分散化等の対策が考えられる。



図－4 基点からの平均到達時間（例 2）

上記に示したものはあくまでも代表的な例であるが、蓄積されたプローブデータを基に様々な統計分析が可能となり、ベンガルール市内における交通計画への活用が可能となると考え

られる。なお、交通障害要因の特定および対策は別途詳細な調査を行った上で実施する必要がある。

4. 信号システム

(1) 信号システムの概要

1) 渋滞の原因と信号システムの役割

交通渋滞は、「交通容量上のボトルネックにその地点の交通容量を超える交通需要が流入しようとするときに、ボトルネックを先頭にしてその上流区間に生じる車両列（渋滞車列）における交通状態（待ち行列）」¹⁾と定義される。都市内の一般道路で発生する渋滞原因、即ち交通のボトルネックは、交通容量が低下する交差点が殆どである。つまり、都市内の渋滞は、主に交差点にその交通容量を上回る交通需要が到着することで発生する。交通需要は常に一定でなく、時間的および空間的に偏在することが渋滞対策を困難にする。

信号システムは、手動または自動で信号現示の秒数変更等の制御を行うことにより、交通需要の変動にあわせ円滑な交通を実現するものである。

2) 信号制御の基本的な分類

信号システムにおける信号制御方式は、制御の対象範囲および信号制御パラメータ（サイクル長、スプリット、オフセット）の算出方法によって、次のように整理できる。

【制御対象範囲による分類】

信号システムが制御対象とする交差点の範囲によって、地点制御、系統制御および広域制御に分類される。

① 地点制御（点制御）

地点制御とは、複数の交差点間で信号現示を連動させるのではなく、単独交差点を独立に制御する方式である。地点制御は、隣接交差点との距離が離れ、後述する系統制御の効果が期待できない場合や、交通需要の変動が著しい等の理由でその交差点のサイクル長やスプリットを独立に制御する方が効果的な場合に用いられる。

② 系統制御（線制御）

系統制御とは、連続した道路上の交差点の信号を連動させて制御する方式である。系統制御は、比較的交通量が多い主要路線で、車両をなるべく停止させずスムーズに走行させる方式である。

③ 広域制御（面制御）

広域制御とは、縦横の道路を含む面的に広範囲な交差点の信号を連動させて制御する方式である。広域制御は、道路が網の目のように張り巡らされた大都市等の中心部に主に適用され、渋滞改善に効果的である。

【制御パラメータの設定方法による分類】

信号制御パラメータの算出方式によって、定周期制御および交通感応制御に大別される。

① 定周期制御

定周期制御とは、予め交通量調査を実施し、一日の時間帯ごとの交通需要の変動パターンを把握した上で、それに合わせた信号制御パラメータを設定する方式である。具体的には、一日の時間帯ごとの交通需要に合わせたサイクル長およびスプリットを予め設定し、時間帯によって切り替える制御方式である。

② 交通感应制御

交通感应制御は、道路に設置した車両感知器により実際の交通需要を観測し、その時々交通状況に合わせた最適な信号制御パラメータを自動生成し制御する方式である。実際の交通需要に応じた最適制御が可能な高度な制御方式である。

3) 日本の代表的な信号システム

現在の日本における代表的な信号システムは、MODERATO (Management by Origin-Destination Related Adaptation for Traffic Optimization) と呼ばれるものである。MODERATO は、時々刻々と変化する交通状況に応じて、動的に信号制御パラメータが更新され、また非渋滞時から渋滞時までの各交通状態に対応可能である点が特徴である。MODERATO の制御動作のイメージを図-5に示す。道路に設置した車両感知器により、交差点における車両流入流量および待行列量を計測し、交差点に掛かる負荷交通量を算出する。そして、交差点の交通容量に対する負荷交通量の割合である負荷率を路線ごとに算出し、それぞれの負荷率を平準化し、全体の交通処理能力を最大化する信号制御パラメータを算出する。交差点の交通容量については予め交通量調査により計測される。

また、上記の交通処理能力の最大化は、交通需要が近い連続するエリアで実施する程効果が高い。MODERATO では、交通量や交通流等の交通特性が近いエリアをサブエリアとし、サブエリア単位で信号制御処理を行う。また、時間的な交通需要の変動に応じて動的にサブエリアを変化させることが可能である。

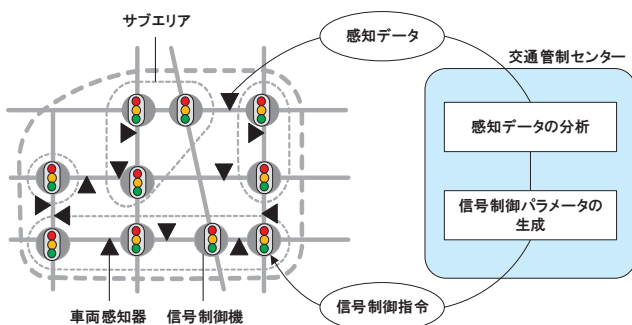


図-5 MODERATO の信号制御フロー図

(2) ベンガルール市内への導入

1) 既存の信号制御

ベンガルール市内において交通量の変動は顕著に確認されている。図-6にベンガルール市内の幹線道路交差点における時間別方向別流入交通量を示す。図-6から一日のうちの時間帯また日によっても交通需要が大きく変動していることが分かる。一方、ベンガルール市内の既存の信号機による信号現示は、予め設定された固定秒数によって制御されており、このような交通需要の変動に連携したものではないため、市内では時間帯または日によって、信号待ち時間に起因する渋滞が発生している。一方、図-7に示すように、市内の主要交差点では信号が青にも関わらず車両が1台も通過しない無駄青時間の割合が多くなっている。即ち、ベンガルール市内では実施の交通需要に応じた最適な信号制御がなされていない状況であると言える。

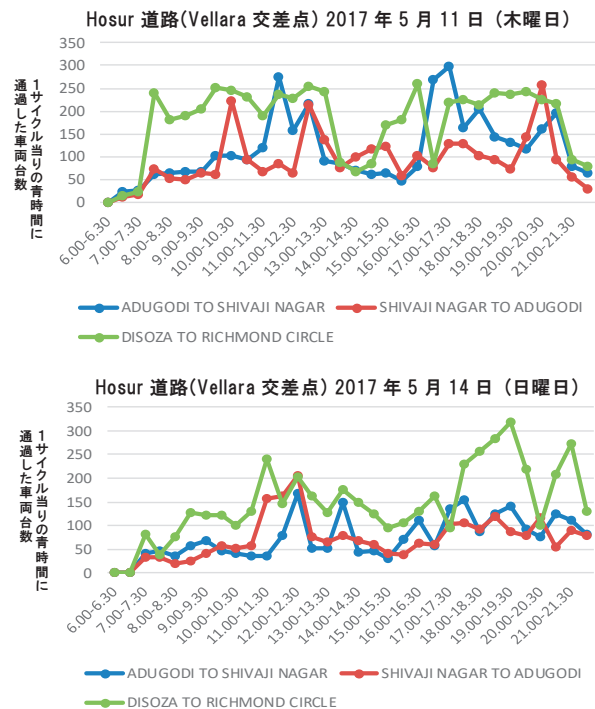
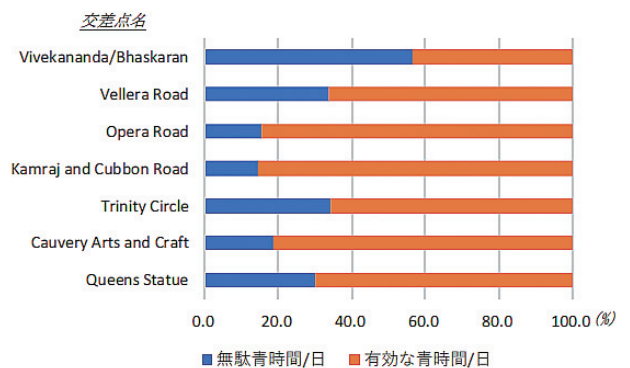


図-6 交差点通過交通量の変動



※有効な青時間/日：青時間合計/日 - 無駄青時間/日

図-7 主要交差点の無駄青時間の割合

2) 日本式信号システムの導入と効果目標

ベンガルール市内における渋滞抑制および緩和の実現には、広域を対象とした交通需要に応じた適切な信号制御が可能な日本の MODERATO が最適であると考えられ、本事業での導入を計画した。MODERATO の導入により期待される交通改善効果を表－2 に示す。

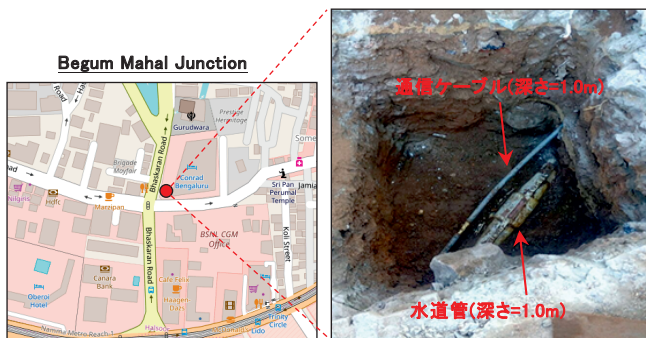
表－2 日本式信号システムの導入効果

指標名	基準値 (2016 年調査実績)	目標値
渋滞長 (ピーク時 9:00～10:00)	対象交差点の流入路 ごとの最大値の合計: 844.8m	590m(30%減)
平均旅行速度 (ピーク時 9:00～10:00)	13km/h	15km/h

5. 路側設備の導入位置計画

信号機、車両感知器および道路情報表示板といった路側設備の設置の計画にあたっては、地下埋設物と干渉しない位置を予め選定する必要がある。ベンガルール市は大都市であるため、市内中心地区には、非常に多くの地下埋設物が輻輳している。しかし、地下埋設物の正確な埋設位置情報は記録されていない状況であった。

したがって、本事業では、基本設計の段階で、埋設物探知機による埋設物調査および試掘調査を実施し、地下埋設物を回避した路側設備の導入予定場所を計画した。図－8 に試掘調査で検出された対象交差点における地下埋設物の状況を示す。当該交差点では、深さ 1m で通信ケーブルや水道管等の埋設物が検出された。



図－8 ベンガルール市内交差点の地下埋設物確認状況

6. 運営維持管理

DULT によれば、これまでカルナタカ州に新しく導入されてきた多くの設備が、適切な O&M が実施されず、使用が困難な状態で放置されているケースが少なくないという。ベンガルール市内の信号制御機の一例を図－9 に示す。定期的なメンテナンスが行われておらず、中には盤の鍵がかかっていないものも確認された。



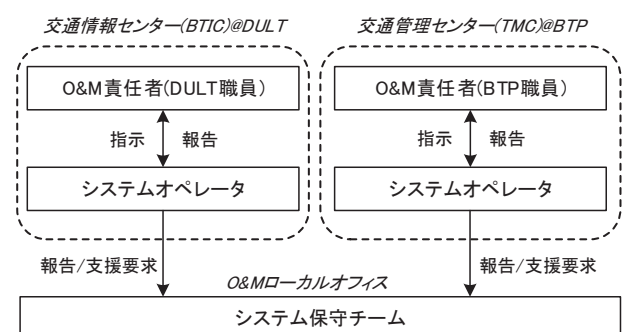
図－9 ベンガルール市内の信号制御機

このような背景から、DULT と協議の結果、本事業で導入する ITS 設備の O&M をインド側負担事業で実施する計画とした。DULT からの要望により、O&M の実施者（契約者）は無償事業で機器を納入する日本企業とし、実施期間は 5 年間とした。

(1) O&M の実施体制と基本業務

DULT には、交通データを収集、蓄積および活用するための交通情報センター（BTIC: Bengaluru Traffic Information Centre）を設営し、また、BTP には、信号システムを中央監視する交通管理センター（TMC: Traffic Management Centre）を設営する計画とした。

DULT および BTP には、O&M の実施責任を果たす職員をそれぞれ配置する。本事業で整備するシステムは故障時の交通影響が大きく早期の復旧が求められるため、コントラクターのシステムオペレータを BTIC および TMC へ常駐させ、システムの故障時に原因の特定や対処等の一次対応を実施する。システムオペレータで対処不可の場合、コントラクターのシステム保守チームがリモートアクセスや技術者派遣等を実施し、問題解決を図る体制を計画した。O&M の実施体制の概要を図－10 に示す。



図－10 基本業務の流れ

(2) O&M サービスの評価（SLA）

SLA（Service Level Agreement）とは、サービス品質の保証値、サービス品質の評価方法やサービス提供者が保証値を達成できなかった際の支払いの減額等を定めた、サー

ビス提供者と顧客間の合意文書である。日本では、総務省が2003年に「公共ITにおけるアウトソーシングに関するガイドライン」を制定しSLAの適用方針を示して以降、公共ITシステムの維持管理契約を中心にSLAの導入が図られてきた。一方、海外の開発支援事業ではSLAを導入している事例は少ないが、本事業では受注者の努力を促しO&Mサービスの品質を確保するためSLAを定める方針とした。

本事業でのO&Mサービスの評価指標は、システムの常時稼働が要求されるITSの性質を考慮し、総稼働時間に対する稼働時間の割合を示す稼働率で評価する。日本では、公共部門のシステムのクラウド化が進んでおり、システムサーバは企業のデータセンターのサーバ室等で厳重に管理されており、稼働率は概ね99.9%以上（8.8h/年以下の停止）と高いものである。本事業で導入するシステムは、サーバ設備のみならず道路上に設置する路側設備も含まれており、更に良好な設置環境を望めないため、目標稼働率は99.0%以上（87.6h/年以下の停止）を設定した。また、ベンガルルール市では、交通事故や停電等、コントラクターの責任によらない稼働停止が想定されるため、次の計算式に示すとおり、これらを許容される稼働停止時間として総稼働停止時間から減じ、稼働率に影響しないよう考慮した。一方、コントラクターの責任による不具合に対しては、目標稼働率と実績との差に基づいて評価し、目標値に到達しなかった場合、雇用主はO&Mサービスの支払いから計算した金額を削減する方針とした。

稼働率の計算式

$$\text{稼働率} = \left(1 - \frac{\text{稼働停止時間} - \text{許容される稼働停止時間}}{\text{総稼働時間} - \text{許容される稼働停止時間}} \right) \times 100$$

7. 本事業の契約方式

本事業は、無償事業でITSの導入を行い、インド側負担事業で導入後のO&Mを実施するものである。

(1) 契約の前提条件

本事業の契約は、次の2条件を満足する必要がある。

前提条件①：DULTからの要望

インド側負担事業（O&M）は、無償事業で機器を納入した日本企業が契約者となることで、高品質なサービスが実施されるようにしたい。

前提条件②：インドにおける契約慣行

インドでは競争入札を重視するため、インド側負担事業（O&M）の契約において随意契約を採用できない。

(2) 契約の具体的な方法

前提条件①から、インド側負担事業（O&M）では契約者を指定する必要があるが、前提条件②のため随意契約が採用

できずこれらは矛盾した条件であると言える。したがって、本事業では、「無償事業とインド側負担事業（O&M）を同一入札とし落札者を決定する方式」を採用した。これは、無償事業では前例のないものだが、他に有効な選択肢がないことから、JICAとの協議の結果、採用を決定した。図-11に両事業の同時入札の手順を示す。これは、無償事業の標準入札方式である一段階二札方式を基本とし、技術審査を通過した応札者のうち、価格審査で最低価格の札を入れた業者を落札者とするものである。

無償事業では応札者が高い技術力を有する日本企業に限られるため、落札者決定は、価格評価に委ねられる場合が多い。価格評価にて、無償事業およびインド側負担事業（O&M）の両価格を評価した場合、本体事業である無償事業の落札者選定に、従属事業であるインド側負担事業（O&M）が影響することが懸念された。したがって、技術評価では無償事業およびインド側負担事業（O&M）の両方を評価するが、価格評価では、無償事業の入札価格のみを評価することとした。インド側負担事業（O&M）の金額決定は無償事業の入札価格に対する入札図書で規定する定率（%）を乗算する方針とした。

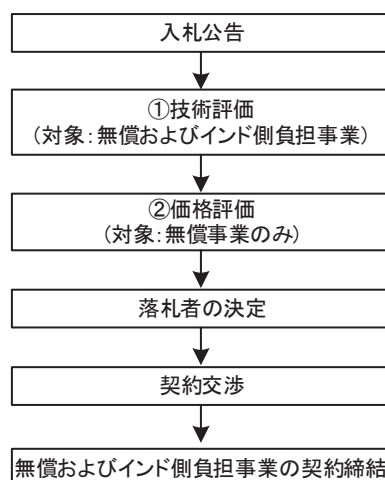


図-11 本事業の入札手順

8. 実施上の課題と対策

本事業を踏まえ、途上国における都市内の一般道路を対象とするITS事業における実施上の留意事項、課題および対策について述べる。

(1) 信号制御用通信回線の選定

1) 実施上の課題

日本のMODERATOを始め中央からの遠隔制御を行う信号システムでは、管制センターの中央処理装置と路側の信号制御機間での通信が必要となる。具体的には、路側から中央側への収集データの伝送および中央側から路側への信号制御指令の伝送である。当該通信回線は、信号制御の要となる重

要回線であり、日本においては、都道府県が管理する専用線を使用し、回線品質を確保している。一方、途上国や新興国では、通信インフラ整備が不十分な場合が多いことから、当該通信回線の選定には留意が必要である。

2) 対策 1 (通信回線の品質確認)

当該通信回線の整備にあたり、行政機関の専用線を活用することが第一に考えられる。しかし、途上国では、その回線品質は日本と同様に高品質とは限らない。過去の同種案件 (JICA 無償事業による信号システム整備案件) においても、当初、行政機関の専用光回線を計画したものの、施工段階で当該回線に多数の断線が検出され使用不可であることが判明し、新規に専用回線を敷設するといった設計変更を余儀なくされた事例もある。

したがって、途上国にて行政機関の専用線を信号制御へ利用する際には、事前の回線品質の確認が望ましい。方法としては、光パルス試験機 (OTDR : Optical Time Domain Reflectometer) を用いることで、光ファイバーの伝送損失や断線箇所の検出等を比較的容易に確認できる。計画・基本設計の段階で回線の問題を把握し改修方法を整理可能であれば、実施段階で改修することも可能と考えられる。

行政回線が改修不可である場合、代替策として通信事業者回線の使用が考えられる。しかし、通信事業者回線の品質試験は許可されない場合が殆どであり、公表されている SLA (Service Level Agreement) やヒアリングにより確認をせざるを得ない。しかし、これらの情報は実際の品質と乖離している危険性を孕んでいる点に留意が必要であり、その国の通信インフラの整備レベル等からの総合的判断が必要であると考えられる。

信号制御用回線は交通安全に直結するため、その品質を調査、計画段階で適切に見定めることが望ましい。また、当該回線の品質確保が困難な場合は、通信回線の新設自体を事業スコープに追加するなどの判断も必要であると考えられる。また、通信の異常や損傷が発生することを前提とし、通信異常時の保安動作などフェールセーフなシステムの機能要件を入札図書で定めることが重要である。

3) 対策 2 (無線通信による信号制御)

既存通信回線が利用できない場合、信号制御用の回線 (有線) を新設する対策もあり得るが、都市中心部交差点までのケーブル布設工事が伴い、これは地下埋設物との干渉等からも容易ではなく、それなりの工期および費用を要すると考えられる。一方で、無線通信により信号制御が可能であれば、都市内環境下における有効な通信手段の一つになり得ると考えられる。

信号制御用無線として適用可能性がある方式はいくつか考えられる。無線電波の使用に免許が不要な方式として、2.4GHz 帯または 5GHz 帯を利用する無線 LAN や 900MHz 帯前後のサブギガヘルツ帯を利用する Wi-Sun、LPWA (Low Power Wide Area) 等が挙げられる。これらは、使用可能な

周波数チャンネルが国によって僅かに異なる場合があるが、多くの国で免許不要で利用可能であり、比較的システム構築が容易である。しかし、大都市内での利用は電波の混信が懸念される。

また、携帯電話の通信規格を利用する方法も考えられる。これは、既存キャリアによる携帯電話サービスを利用する方法と信号制御用に局所的な独自ネットワークを構築する方法とが考えられる。前者は SIM カードと伝送装置を用意するのみで導入が可能であるが、信頼性は通信事業者に委ねられ、通常の携帯電話と同様、トラフィック増大時に通信不可となる懸念がある。後者は、独自ネットワークのため信頼性を確保しやすく信号制御に適すると考えられる。日本では信号制御に特化したものではないが、防災や減災等への利用を想定した導入パッケージ (LTE 基地局装置等) を製品化しているメーカーが存在する。しかし、これはまだ導入コストが高いこと、海外導入時は各国で LTE に利用可能なバンドクラスが異なるため各国のバンドクラスに合わせた装置改造が必要である等の課題を残す。

今後も信号制御に利用可能な無線通信技術の動向には注視が必要である。

(2) 信号システムの相互接続性

1) 実施上の課題

途上国の車両台数増加は著しいため、ITS 導入後も交通状況の変化に応じて、郊外にも信号機や車両感知機等を増設するなどの追加拡張が必要となる状況が想定される。拡張を実施するコントラクターは、随意契約のみならず入札で選定される可能性もあり、ガラパゴス仕様では、他社または他国製品との相互接続が不可となり拡張できない。したがって、途上国への信号システム導入においては、相互接続性の確保が課題である。

2) 対策

相互接続性確保のためには、路側設備と中央処理装置間の通信のプロトコルおよび API (Application Programming Interface) が標準的で他社でも構築可能なものであることが必要となる。そのためには、信号システムの当該プロトコルおよび API を国際標準規格に準拠させることが有効な手段であると考えられる。また、日本の信号システムの海外展開という観点からも、国際標準化されたシステムは導入対象国に対して、透明性があり、高いアピール度を有すると考えられる。

日本の信号システムについては、一般社団法人 UTMS (Universal Traffic Management System) 協会がその通信規格を整備するとともに国際標準化を進めている。UTMS 協会規格と国際標準規格との対応を表-3に示す。表-3のとおり、通信のプロトコルは既に OSI 参照モデルの全階層で国際標準規格に準拠している。一方、API に相当するメッセージ規格は、「交通信号 DATEX-ASN メッセージ規格」として日本国内でのみ標準化がなされている。このような信号制

御用のメッセージ規格については、未だ国際標準規格が定まっていない状況である。したがって、日本式信号システムの海外導入にあたって、相手国から相互接続性を保証するため、当該メッセージ規格の開示が要求される状況が想定される。

当該メッセージ規格を開示することは、安価で低品質な海外製信号路側設備の逆輸入につながる等の意見もあり、慎重な議論が必要であるが、日本の信号システムを軸とした都市内 ITS の質高インフラ輸出の海外展開のためには、当該規格の開示またはメッセージ規格の国際標準化は推進されるべきであると考えられる。

表－3 UTMS 協会規格と国際規格の対応

	日本規格(UTMS規格)	同等の国際規格
メッセージ規格	交通信号DATEX-ASNメッセージ規格	対応規格なし
プロトコル	(7/6)アプリケーション/セッション層	DATEX-ASN Communication Application Standard ISO14827-1,2 ISO15784-1,3
	(5)プレゼンテーション層	UD型伝送 Encoding Standard ISO/IEC8824-1, 8825-1, 10646-1, NTCIP1102v01.06
	(4/3)トランスポート/ネットワーク層	UD型伝送 Transporting Standard IP: IAB STD51, RFC791 UDP: RFC768
	(2)データリンク層	UD型伝送 Interface Standard PPP: IAB STD51, RFC1661/IEEE802.3 S9 Interface Standard PPP: IAB STD51, RFC1661
	(1)物理層	UD型伝送 Interface Standard V.32, JT-1430-aまたはJT-G961/IEEE802.3 S9 Interface Standard EIA-422-A

(3) 日本製品の価格競争力

1) 実施上の課題

本事業で導入を予定している日本式信号システムである MODERATO は、他国システムと比べて高機能である。表－4 に MODERATO と代表的な他国システムである英国の SCOOT およびオーストラリアの SCATS との比較を示す。SCOOT および SCATS は、交差点の流入または流出交通量を観測し、交通需要に応じた信号制御が可能だが、渋滞長の計測は不可のため渋滞発生時に渋滞を削減する制御ができない。しかし MODERATO は、交差点の流入交通量に加え、渋滞長を計測することで渋滞時の渋滞削減制御が可能である。

一方で、MODERATO は、高機能である分、他国システムと比べ高価であると考えられる。他国システムの価格に関する情報は限られているためあくまでも目安であるが、ミャンマー国のマンダレーへ同国の自国資金事業にて導入された SCATS と比較した場合、MODERATO はおよそ 1.7 倍高価と言える。

信号システムは、都市内を対象とした ITS 事業の中核システムである。将来の本事業分野に係る円借款事業等において、日本企業が優位性を得るためには、信号システムの低価格化が課題であると考えられる。

表－4 海外の信号システムとの比較

制御方式	MODERATO	SCOOT	SCATS
開発国	日本	英国	オーストラリア
主目的	・重要交差点の渋滞長の軽減 ・重要交差点を核としたサブエリア制御 ・非渋滞から渋滞時までの交通状態へ適用可	・上流側交差点との信号タイミングの調整 ・非渋滞の交通状態への適用	・単独交差点の青時間の最適化 ・非渋滞の交通状態への適用
感知器設置場所	・重要交差点 ・重要交差点の流入部の他、渋滞計測用感知器を159m,300m,500m,1,000m等の間隔で設置	・原則全ての対象交差点 ・上流側交差点出口	・原則全ての対象交差点 ・交差点流入部
サブエリア制御	・重要交差点を中心に設定 ・交通状況に応じ自動的に結合と分離	・固定で設定	・なし

参照：「日本の交通管制」2018 年 日本交通管理技術協会²⁾

2) 対策

本事業にて国内の信号メーカー各社から徴収した機器費見積から、信号システムの価格内訳の中でソフトウェアの開発費が高いことが明らかとなった。これは、日本の信号システムが高機能であることに加え、海外導入へ向けた英語ベースのユーザインタフェース構築が必要なため、開発の工数・コスト増につながっていると考察できる。更に、これら開発には人件費単価の高い日本人が加わっており、他国製品との価格差に影響しているものと推察される。

日本の信号システムの低価格化のためには、主要な機能のみに絞った簡易版 MODERATO の検討が有効であると考えられる。現行の MODERATO は、信号制御に熟達した日本人オペレーター向けに多くの機能が用意されている。しかし、それら全機能を途上国のオペレーターが使いこなすことは難しいと考えられる。したがって、導入国にとって必要な機能のみに絞った簡易版 MODERATO は運用維持管理の観点からも途上国に受け入れられやすく、かつ低価格化が可能であり有効であると考えられる。また、インドを始めとした技術力の高い新興国での OEM (Original Equipment Manufacturer) 生産による製品価格の低減も検討の余地がある。

(4) 都市内を対象とした ITS 工事

1) 実施上の課題

ベンガルルール市のように多くの人口を抱える大都市圏の中心部には、電力や通信ケーブル、水道管等の多くの地下埋設物が輻輳している。また、多くの途上国ではそれらの埋設位置情報は適切に管理、把握されていない場合が多いと考えられる。工事段階で、地下埋設物が新設される路側設備の障害となれば、やむを得ず設計変更が生じ、工事の遅延や工費の追加といったリスクに繋がる。

2) 対策

このようなリスクを低減するためには、調査または計画段階において、地下埋設物位置を大凡把握した上で、路側設備の設置位置を決定することが有効であると考えられる。地下埋

設物位置を把握するためには、現地行政機関から工事記録を入手する必要があるが、このような記録がない場合には、本事業で実施したような、埋設物探知機を使用した調査を実施することが望ましいと考えられる。

9. インドにおける事業実施上の留意事項

(1) オープンソースポリシー

インド通信情報技術省（Ministry of Communication and Information Technology）は、システムの柔軟性や拡張性、コスト削減等の目的から、行政部門のあらゆるシステムでオープンソースソフトウェアを導入する方針を推進している。このようなインド国内の流れから、インドにシステムを導入する場合は、他国への導入に比べて、ソースコードや通信規格の情報開示が強く求められる傾向にあると考えられる。本事業でも、当初 DULT から、システムソースコードの開示要求がなされたが、ソースコードは各社の知的財産のため開示は困難であることを説明し理解を得た。

このような背景を踏まえ、本邦 ITS のインド展開を図る場合は、通信規格について競争阻害となる独自規格を採用するのではなく、国際的な標準規格を採用することが必要であると考えられる。前述した信号システムのメッセージ規格のように国際標準規格がない場合には、日本規格を標準化する戦略も可能であり、これはインド市場における日本製品の優位性に繋がるとも考えられる。

(2) 高い技術力の活用

インドは新興国の中でも特に著しい経済成長を遂げている BRICs（Brazil, Russia, India, China）の一員であり、加えて、IT 分野において高い技術力、多くの優秀な技術者を有している。インドのような新興国においては、日本企業はこのような高い技術力を有効に活用し、長期的な事業戦略を検討することも可能である。例えば、本事業ではベンガルルールにて 5 年間の O&M を日本企業が実施する計画であるが、この間に現地企業へ技術移転を実施し、優秀な技術者を育成、確保し OEM 等によるインドでの生産拠点の確立などを視野に入れた長期的な戦略なども検討の余地があると考えられる。

10. おわりに

近年、ITS 分野における日本の政府開発援助は高速道路が主流であった。しかし、昨今は渋滞改善を目的とする市内の一般道路を対象とした ITS 事業への関心が高まっている。本事業を含め、JICA により事業化されている案件はほんの一端であり、車両台数の急増が見られる多くの途上国で同様の需要があることは明らかであり、信号システムを始めとする日本の優れた ITS 技術はこのような需要に応えることが可能である。今後は、途上国や新興国への生産拠点の移転等も視野に入

れた長期的な戦略を立て、日本の ITS 技術の展開を図っていくことが重要である。

参考文献

- 1) 一般社団法人 交通工学研究会：道路交通技術必携 2018
- 2) 公益財団法人 日本交通管理技術協会：日本の交通管制