

センタレスプローブシステム適用時における CO2 削減効果評価

小宮 粹史 堀口 良太 小出 勝亮
(株) アイ・トランスポート・ラボ

本研究では、車車間通信により情報を共有・流布するセンタレスプローブシステム (CLP) のシミュレーション評価プラットフォームを開発し、CLP により共有された情報により周辺の交通状況を把握し渋滞を回避する経路選択を可能とした。CLP は、周囲の車両から受信した情報を統合処理し、信頼性の高い交通情報として周囲の車両に配信する分散型車両情報ネットワークが形成される。本編では、シミュレーション評価プラットフォームの概要を紹介するとともに、CLP が普及したケースでのシミュレーションケーススタディを 3 種類の混入率で実施し、CLP による経路誘導によって効率的な道路利用がなされた場合の CO2 削減量を定量的に評価し、CLP 運用時の有効性を評価する。

Estimation of CO2 reduction with the 'Center-less' probe system

Tadashi Komiya Ryota Horiguchi Katsuaki Koide
i-Transport Lab. Co., Ltd.

This paper describes the knowledge simulation platform in the Center-Less Probe Vehicle System (CLP), which disseminates and shares the traffic information via vehicle-to-vehicle communication. The reliability of the traffic data such as section travel speed measured by only one vehicle is small because of its large variability. One of the features of CLP is the knowledge integration which merges more than two traffic data measured by different CLP vehicles into one information in order to increase the reliability of the information. This paper describes the functions and the structure of the simulation platform for virtual CLP experiment and discusses the relationship between the penetration rate of CLP and the improvement of traffic efficiency and CO2 reduction through the computational experiment using traffic simulation.

Keywords: *Center-less Probe, vehicle to vehicle communication, traffic simulation*

1 はじめに

近年、プローブ情報システムの実用化が進みつつあるが、インフラ設備を伴う通信基盤やセンタシステムの整備コストや情報を収集・配信するための通信コストの負担が課題となっている。一方、車車間通信を利用し、分散处理的に車載機だけで交通情報の生成から収集、提供を行うセンタレスプローブシステム (CLP)¹⁾が提案されている。これは、自車情報を情報センタに集約して交通情報を処理、配信する「センタ型」に対比される形態で、自動車のセン

サ情報を周辺車両との車車間通信によって共有し、移動しながら新たな情報を伝達・中継・収集する過程で、より価値のある「交通情報」を統合処理により生み出すものである。CLP では、大規模なインフラ整備が不要なため、比較的簡便な機器構成で実現可能であり、地域の状況に合わせた車両情報ネットワークの構築が可能である。

本研究では、CLP の交通情報を適用した経路誘導を交通シミュレーションに組み込み、混雑緩和による CO2 削減効果を評価した結果を報告する。

2 シミュレーションによる評価

CLPアプリケーションは、複数の車両が協調して効果を生み出す分散システムであり、その効果の評価するためには、少なくとも数百から数千台の規模で実験することが求められるが、この規模で実証実験を行うには現状では困難であるため、数千台規模のCLPがネットワーク状を走行するシミュレーション実験が必要となる。

そこで、本研究ではCLPを既存の交通シミュレーションソフトウェアに反映させると共に、交通シミュレーションと連携するCLP通信シミュレータの開発を行い、CLPによる情報共有を模擬する評価プラットフォームを構築し、シミュレーションによる評価実験を行い、CO2削減効果の評価を行う。

シミュレーション実験に当たっては、現実に近い状況を再現できるよう適切なデータセットを選定すると共に、フィールド実験で得られる通信要件パラメータを反映させる。評価においては、CLPの混入率を段階的に変えることで、将来の普及状況に応じたCO2削減効果を推計する。

2.1 CLP評価プラットフォームの構成

図-1にCLP評価プラットフォームの概念図を示す。

CLP評価プラットフォームは交通シミュレータとCLP通信シミュレータにより構成される。交通シミュレーションには広域交通流シミュレータ「SOUND」²⁾を適用する。「SOUND」は車両移動モデルと経路選択モデルが交互に逐次動作する時間スキャン型のシミュレーションモデルである。これにより、車両移動モデルで再現された交通状況を基に、各道路リンクの渋滞状況を考慮した経路選択を実現している。CLP通信シミュレータは「SOUND」が生成した車両用情報のコピーを保持し、SOUNDから1

スキャン毎に送信されるプローブ車両の位置と速度に基づき、CLPアプリケーションの駆動、リンク情報の交換、統合、削除を行う。経路選択に当たっては「SOUND」からの経路選択要求に対しCLPアプリケーションが持つ交通情報を使用した最適経路プランを与える。

2.2 CLP通信シミュレータの開発

CLPによる情報共有の模擬にあたり、本研究では、CLP通信シミュレータを新たに開発した。CLP通信シミュレータは下記の機能を実装している。

1) 車両の状態管理

交通シミュレータが生成したプローブ車両と同期した車両情報をCLP通信シミュレータが持つ車両クラスに格納し、車両個々の走行リンク、及び速度情報をシミュレーション内の時刻情報と共に走行状態履歴として保持する。

車両クラスは交通シミュレータで車両が生成された時点でCLP通信シミュレータ内にも同一IDで生成され、出発地、目的地の情報が格納され、目的地到着時に両者から消滅する。

車両クラスはリンク情報生成機能と、情報交換のための近隣車両リストを持つ。

リンク情報は、走行リンクの走行状態履歴が変化した場合に生成され、リンク情報を管理するMP(車両個々のメッセージプール)に登録される。リンク情報の交換に際しては、交換対象となる近隣車両のリストを参照する。近隣車両リストにはリンク情報交換可能距離内を走行する全ての車両IDが保持される。

2 車間距離は図-2の様に、リンク上の道のり距離で計算され、自車位置から2回以上交差し到達するリンクは電波到達距離内にあってもリンク情報交換

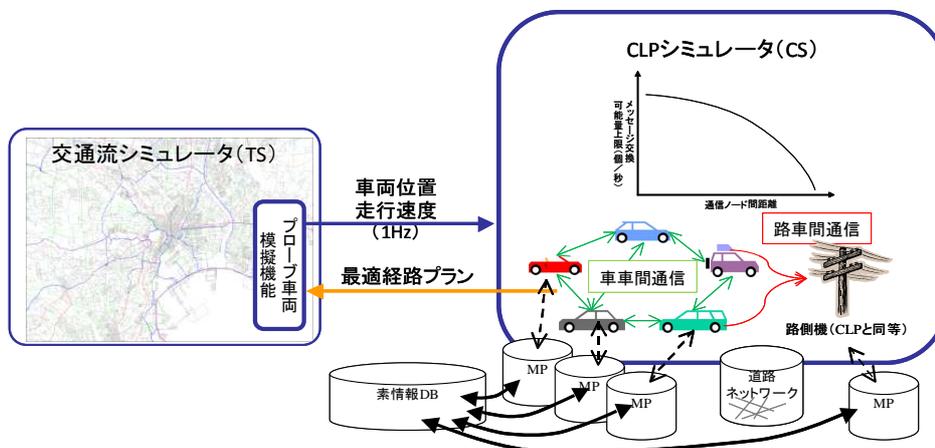


図-1 CLP評価プラットフォーム

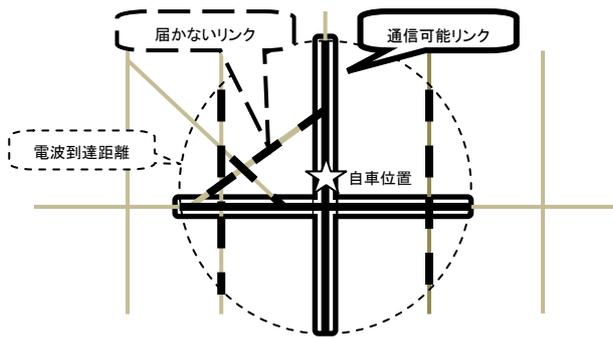


図-2 リンク情報交換可能距離の計算

不可とし、建物による電波の遮蔽を考慮した。近隣車両リストの生成は以下の手順で行われる。

- ① 自車周辺 9 メッシュに含まれるリンクを交換可能リンクとし、探索用リンクリストを作成する。
- ② 探索用リンクリストのリンクに対し道のり距離を求め、リンク情報交換可能距離内に存在する車両 ID を近隣車両リストに追加する。

2) 情報生成アプリケーションの実装

走行リンクが変化した車両クラスに対し、前リンクの走行履歴に基づく素情報の生成を行う。生成されたリンク情報は、消費メモリの抑制のため、素情報 DB (CLP 通信シミュレータが持つ各車共通のデータベース) にユニークなメッセージ ID と共に記録され、さらに MP (車両個々のメッセージプール) にメッセージ ID を記録する。図-3 に素情報生成の概念図を示す。

3) 情報の交換

車両の位置情報に基づき、情報の交換可能範囲に走行している車両とリンク情報の交換を行う。情報の交換は以下の手順で行われる。

- ① MP に保持されているリンク情報を生成時間や生成地点との距離等の優先度順に並べ替える。
- ② 車両クラスの持つ近隣車両のリストを走査し、情報交換対象車両を特定する。
- ③ 情報交換対象車両に対して、MP 内のメッセージ ID を優先度順に送信する。送信に際し、2 車間

の距離に基づく通信エラーレートに応じて、送信されないリンク情報がランダムに発生する。リンク情報を受信した車両は、送信されたメッセージ ID をバッファに一時蓄積する。これを、全ての車両クラスで繰り返す。

- ④ 受信バッファに蓄積されたメッセージ ID を MP にコピーする。その際、重複する ID は無視される。

4) 情報の統合 (情報統合アプリケーションの実装)

MP 内のメッセージ ID を走査し、同一リンク情報がある場合に統合処理³⁾を行う。統合処理では、同一時間帯の重複する同一リンク情報に異常値除外、及び平均、分散等を求める統計処理を施し 1 つのリンク情報に更新する。重複する情報を除去することで、通信リソースの節約のみならず、情報の信頼性向上が図られる。この統合情報も、素情報と同様に素情報 DB にユニークなメッセージ ID と共に記録され、さらに MP にメッセージ ID を記録し、統合に適用した素情報のメッセージ ID を MP から削除する。

5) 情報の削除

シミュレーション時刻に従い、有効期限が過ぎたリンク情報を素情報 DB とから削除し、各車の MP から該当するメッセージ ID を消去する。

6) 最適経路の計算

走行リンクが変化した車両クラスに対し、現在地から目的地までの最適経路プランを、ダイクストラ法による最短経路探索を適用し計算する。各リンクのコストは、MP に保持されるメッセージ ID から参照される素情報 DB のリンク情報に従い設定される。

「SOUND」は、車両ごとの最適経路のプランを CLP 通信シミュレータから受信し、「SOUND」における CLP 車両の経路を更新する。以降、車両の更新、経路の更新がシミュレーション終了時刻まで繰り返される。

3 シミュレーションケーススタディ

CO2 排出量の評価は、交通情報提供サービスが全

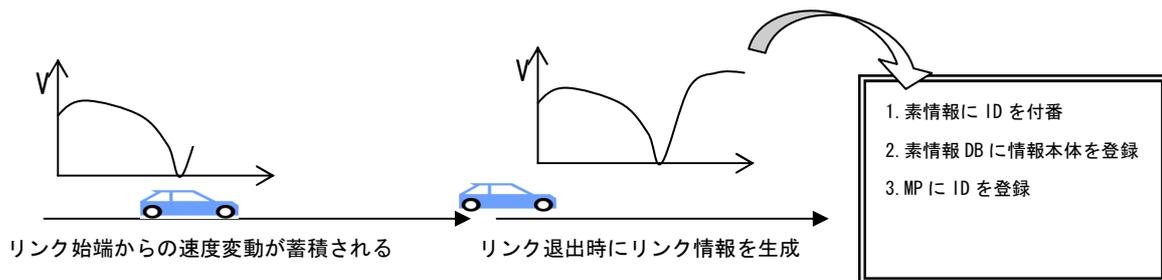


図-4 素情報の生成



図-5 車種構成と利用出来る交通情報

くない状況を想定し、情報利用層をゼロとした場合をベースに CLP 普及ケースと比較する。

ケーススタディの情報利用層と利用可能な交通情報の種類を図-5 に示す。

CLP はセンタ型との協調を「理想型」としていることから、センタ型交通情報を利用する幹線交通情報利用層が幹線交通情報+CLP 利用層に置き換えられた物として評価する。幹線交通情報利用層は、「SOUND」の経路選択ロジックにおいて、幹線道路を情報提供リンクとして設定し、情報利用層はすべての情報提供リンクの最新の交通状況を認知できるものとして最短時間経路選択を行う。CLP 利用層は、この幹線交通情報の他、情報提供の無いリンクにおける CLP による通信で取得した交通情報を加味した最短経路選択を行うものとする。

評価に当たっては情報利用層の混入率を変え、ベースとの差分で改善効果を確認する。効果のうち、CLP の寄与分を把握するために、現況から幹線交通情報利用層の混入率を変えたケースも評価を実施する。実際の交通状況下においては、運転者が必ずしも最適経路案内に従うとは限らないが、推奨経路の受容割合について今回は、CLP 技術の環境改善ポテンシャルを知るために情報利用層は CLP による推奨経路を 100% 受容するとして評価する。

4 シミュレーションデータセットの概要

本データセットのリンク数は 17535 本、道路総延長 2530km、交差点数 3401 箇所、そのうち信号制御交差点は 1766 箇所である。その内、幹線交通情報利用層が情報提供を受けるリンクは、リンク数 8832 本、総延長は 1290km である。データセットの概要を表-1 に示す。

交通需要は、エリア内発生交通量の他、に矢印で示すリンクを出発地とするエリア外からの発生交通

量を作成した。これは、H17 センサ OD 表に基づき関東圏で情報利用層なしのシミュレーションを実施⁴⁾した上で、出発地とした境界リンクを通過する交通量を交通需要として設定し、時間帯別 OD 表は、交通乗用とした境界リンク交通量を時間帯別、目的地別に集計し、これらの合計値が当該リンクのセンサ交通量と同数となるように補正を行い作成した。

車車間通信における情報伝播については、最大通信距離 800m、最大メッセージ交換率 14 メッセージ/秒とし、2 車間距離が 0m で 100% 受信、800m で 0% となる 1 次式で距離による減衰を考慮した。

4.1 現況再現ケースの実施

4 で構築したデータセットで、現況再現ケースのシミュレーションを実施した。にシミュレーション時間帯の平均速度、合計交通量を示す。

表-2 シミュレーションデータセットの概要

シミュレーション範囲	東京都区部環七以内の主要道路
現況ケース（ベース）の経路選択モデル設定	交通情報非利用層：90% 幹線交通情報利用層：10%
交通需要	H17 センサ OD 表に基づいて設定 →ピーク時で約 4 万台の車両がネットワーク上を走行
対象時間	平日 5 時間 (AM6:00~AM11:00) (AM4:00~AM6:00 でプレラン)
CLP 混入率	小型車の 3%, 10%, 20%

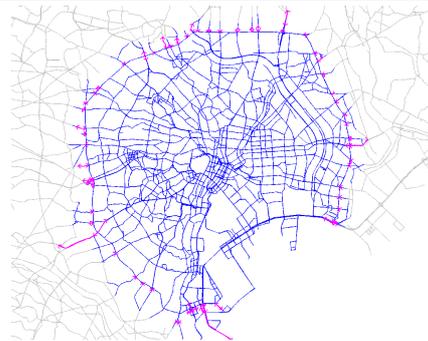


図-6 シミュレーション範囲と交通需要作成リンク

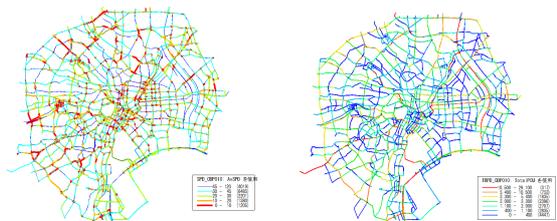


図-7 現況ケースの速度分布(左)と交通量分布(右)

4.2 ケーススタディの実施

4で構築したデータセットで、CO2 排出量削減効果のケーススタディを行った。混入率別の CLP 車両の瞬間走行台数を図-8 に示す。混入率 20% で 9000 台程度の CLP が走行していることがわかる。

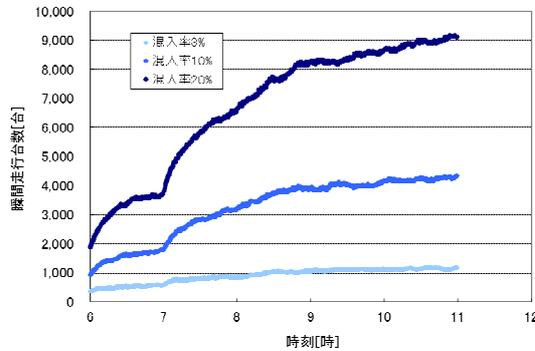


図-8 CLP車両の瞬間走行台数

台キロあたりの素情報の交換数は、混入率 3% で 160 個、混入率 10% で 120 個、混入率 20% で 80 個程度、統合情報の交換数は、混入率 3% で 60 個、混入率 10% で 80 個、混入率 20% で 90 個程度であった。これは、CLP 混入率が高いほど車々間通信の機会数が増え、情報の生成から統合情報の生成までのタイムスパンが短くなることから高い混入率の方が確度の高い交通情報を取得できていることを表す。

4.3 速度・交通量の改善効果

全時間帯におけるリンクごとの交通量の CLP 普及ケースとベースケースの比較を、混入率 10% を例に図-9 に、混入率別の全リンク平均速度を図-10 に示す。各混入率共に CLP 普及ケースの交通量が増加し、リンク平均速度が向上する結果となった。これは、ボトルネックである信号交差点での捌け残りが減少し、流率の向上、並びに停止時間の減少を反映した結果であり、渋滞リンクが減少したことを意味する。このことから、CLP の混入により、効率的な道路利用が行われたことがわかる。

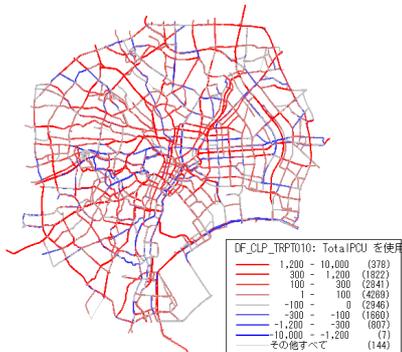


図-9 交通量の比較 (混入率10%)

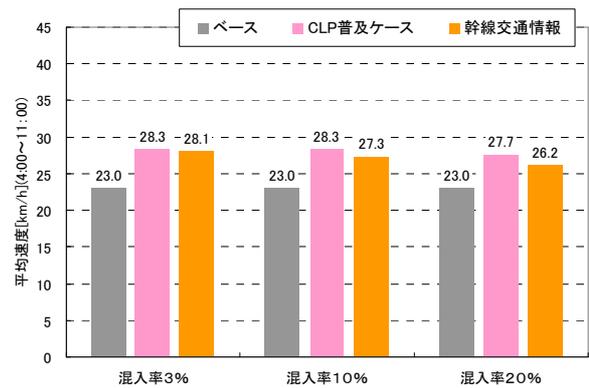


図-10 混入率別平均速度

5 CO2 排出量の削減効果

CO2 削減効果評価に当たっては、各車のリンク平均旅行速度から (式 1)、(式 2) に示す推計式⁵⁾を利用して燃費・CO2 排出量を求める。

大型車類 CO2 排出係数: (式 1)

$$FC_l = \frac{50.2788}{v} - 27.321 \times v + 0.20876 \times v^2 + 1592.69 [\text{g/km}]$$

小型車類 CO2 排出係数: (式 2)

$$FC_s = \frac{1427.33}{v} - 2.8375 \times v + 0.02360 \times v^2 + 191.762 [\text{g/km}]$$

本研究では (式 1)、(式 2) の v にリンク毎の 15 分平均速度を適用し、これに 15 分間の通過台数、リンク長を乗じリンクの CO2 排出量を推計した。さらに、シミュレーション範囲内の全リンクの排出量の総計をとり、CO2 排出量とした。

図-11、図-12 に CO2 排出量の全車種合計値、削減率を、図-13、図-14 にプローブ車の CO2 排出量、削減率を示す。なお、ベースケースの排出量は、小型車の排出量合計に混入率を乗じて求めた。

全車種合計では、混入率 3%、10%、20% 共に、CLP 普及ケースと幹線交通情報利用ケースの両者ともにベースケースからの CO2 削減率は約 2% となった。プローブ車のみに着目すれば、より、CLP 普及ケースの方が全ての混入率において幹線交通情報利用ケースよりも大きな削減率となった。

プローブ車の排出量が情報利用なしのケースに比べ削減率が大きいのは、適切な経路誘導によって渋滞を回避でき、より短い旅行時間で目的地へ到着できるためである。高い混入率で削減効果に若干の低下が見られるのは、CLP の交通情報を 100% 受容するため、車車間通信で受信した情報に従い経路選択を行った結果、最適な効果が得られなかったものと考え

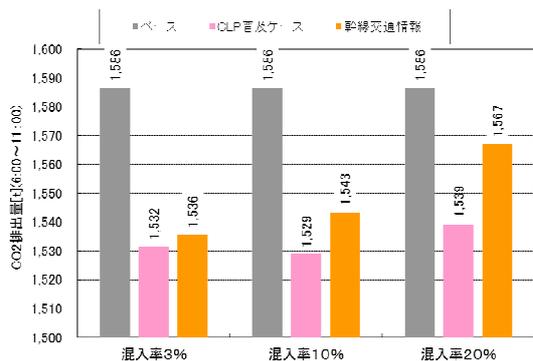


図-11 CO2 排出量 (全車種合計)

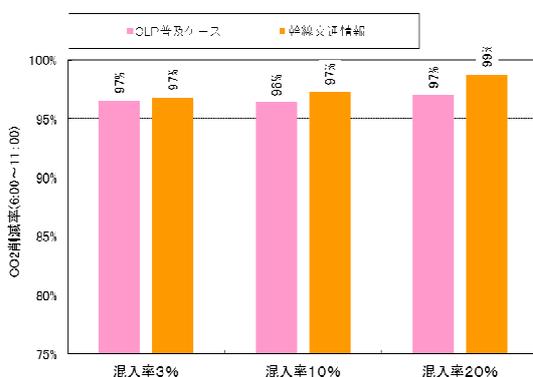


図-12 CO2削減率 (全車種合計)

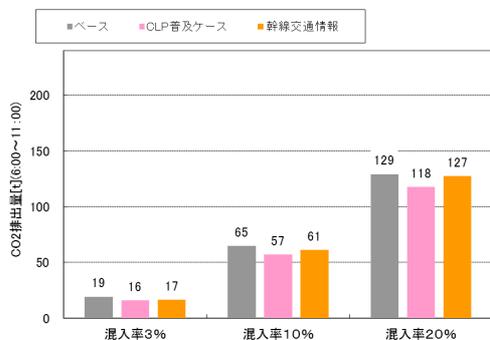


図-13 CO2排出量 (プローブ車)

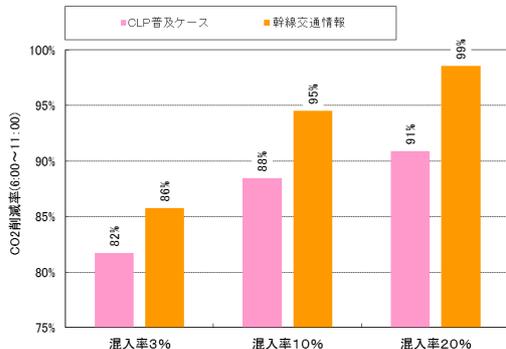


図-14 CO2削減率 (プローブ車)

えられる。そのため、幹線交通情報利用ケースに着目すると、ベースケースはプローブ 0%であるので、0%と 3%の間に削減率が最大となる混入率が現れる。一方、CLP 普及ケースの幹線交通情報利用ケースからの削減量を見た場合、混入率 20%での低減率が最大であるので、CLP 普及ケースにおいては上記の集中は低減されているものと考えられる。

これは、CLP は幹線道路については、幹線交通情報利用ケースと同じ情報を、それ以外の区間について個々の車両が車車間通信による情報を利用して経路誘導を行っているため、選択される経路が幹線交通情報利用ケースに比べ分散されたためと考えられる。従って、全体削減効果は普及率に依存しない結果ではあるが、既存プローブシステムに比べ CLP の方が CO2 削減効果は大きいと考えられる。

6 まとめと今後の課題

シミュレーションによる CO2 削減効果評価を検証するため、CLP 評価プラットフォームを構成し、数千台規模でのシミュレーションケーススタディを実施した。

CLP 評価プラットフォーム構築に当たっては、広域交通流シミュレータ「SOUND」と今回新たに開発した CLP 通信シミュレータを結合した。これにより、実際の交通状況を再現した車両の生成、更新、及び経路選択を実現した。

ケーススタディの実施では、CLP 車のみに着目した場合、混入率 10%で CO2 排出量が 12%削減される結果となった。

今後は、混入率 100%ケースや、より実現可能性の高いセンタシステムを接続したケースでの評価を行う予定である。

本研究は、平成 22 年度総務省委託業務「ネットワーク統合制御システム標準化等推進事業（環境負荷低減を実現するためのワイヤレスシステムに関する要件）」の一環で実施したものである。

【参考文献】

- 1)和田光示：センタレスプローブの活用，自動車研究，第 29 巻，第 10 号，pp535-538，2007. など
- 2)http://i-transportlab.jp/products/sound/
- 3)小宮粹史ほか：センタレスプローブシステムにおける交通情報統合による信頼性向上の評価，第 9 回 ITS シンポジウム 2010 予稿集，pp.359-364，2010.12.
- 4)飯島護久ほか：首都圏ネットワークにおける動的シミュレーションの適用可能性，第 27 回日本道路会議論文集，CD-ROM，2007 年 11 月
- 5)大城温ほか：自動車走行時の燃料消費率と二酸化炭素排出係数，土木技術資料，vol.43, NO.11, pp.50-55, 2001 年 11 月