

安全運転支援のための車車間通信中継方式の検討^{*1}

A Study on the Relay Function of Inter-vehicle Communication for Safe Driving Support

関 馨^{*2}
Kaoru SEKI

1. はじめに

現在IT新改革戦略のもとで「世界一安全な道路交通社会」を目指すイニシアティブが政府主導のもと進められる中で、車車間通信も含む路車協調システムの実用化に向けた動きが民間を含めて活発に行われている。2007年5月にはITS情報通信システム推進会議の「車々間通信システム専門委員会」（2008年度から運転支援通信システム専門委員会と改称）がASV（Advanced Safety Vehicle）推進検討委員会と連携しながら、「5.8GHzを用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン（1.0版）」（以下、「実験用ガイドライン」という）を策定し、今後の車車間通信実験システム構築のためのリファレンスとなるものができ上がりつつある。

JARI/ITSセンターでは、これまでも「車々間通信システム専門委員会」と協力しながら5.8GHz帯の車車間通信の電波伝搬実験や見通し不良域における中継実験などを実施してきた。こうした実験の成果は「実験用ガイドライン」策定に役立てられている。

車車間通信における中継機能は、情報提供範囲の拡大あるいは情報の信頼性向上のために有効な手段と考えられ、安全運転支援の分野においても利用が検討されている。ただし、ASVなどが対象としている緊急的な安全情報提供は、不特定車両への緊急的な情報提供であり、従来から多く検討されているアドホックネットワークにおけるマルチホップ通信とは異なる新たなアプローチが必要と考えられる。

JARI/ITSセンターは「ITSの規格化事業」を経済産業省から委託され、その中で車車間通信の規格化を支援する事業を進めてきた。2006年度には

「実験用ガイドライン」に掲載されることとなった安全運転に適した中継方式であるRCP（Relay Control Protocol）方式について、その動作の検証をフィールドで行った。しかし、この検証では全体的な機能の確認にとどまり、そのプロトコル動作の検証にまでは至っていない。

RCP方式は安全運転支援向けの中継方式の候補の一つと考えられ、主として通信環境の変化が契機となって中継を開始する受動的な方式である。ASVなどで検討されている安全のための情報交換では、定期的（例えば100msec毎）に各車両の位置や運転情報を交換することが基本となっている。すなわち、各車両は自車の位置情報に加え、把握している他車の位置情報を利用することが可能であり、これにより状況に応じた、より能動的な中継ができることとなる。例えば、アプリケーションの要求に従って、自車の情報を見通し不良域等に展開するといったことが可能となる。こうした位置を利用した能動的な中継方式も安全運転支援に適用できると考えられることから、JARI/ITSセンターでは大型交差点など車両の密集する地帯での情報提供の有効性をシミュレーションで評価することとした。

こうした背景から、2007年度の規格化事業の一環として行った車車間通信関連の研究として、

- ①RCP中継方式のフィールドでの動作検証
- ②位置情報を利用した中継方式の有効性シミュレーション

の2テーマを取り上げた。

本稿はこれらの結果を合わせて紹介するものである。

2. RCP中継方式の動作検証

2.1 RCP方式の概要

RCP（Relay Control Protocol）の詳細機能について

*1 原稿受理 2008年9月9日

*2 (財)日本自動車研究所 ITSセンター

ては参考文献1), 2) によるとして, ここではその機能を以下①~③に簡単にまとめておく. なお, 通信に参加する車両は固有のIDを持ち, それらを送信, あるいは中継するパケットに付加できることとする.

- ①パケット中継を開始する, あるいは開始を要求できること
- ②重複したパケット中継を検出できること
- ③パケット中継を停止する, あるいは停止を要求できること

以上の機能により, 新たに出会った車両のパケットは無条件に中継する, 直接通信が可能となった時点で中継を中止する, 直接通信が途切れた場合は周囲に当該車両からのパケット中継を要求する, 周囲の車両が同じ送信元からのパケット中継を始めた場合は, それを検出し中継を停止する, などが可能となる.

2.2 実証実験における観測データ

2006年度の実験は, JARIつくば研究所構内にて車両を4台用意し, 見通し内と見通し外の実験環境で行った. この環境でRCP方式が不要なホッピング(中継)の抑止をどの程度行っているかを静止状態, 及び移動状態で確認した.

2007年度はプロトコル動作解析用の情報を取得可能な機器の構成で実証実験を実施し, 動作を評価することとした. 主な取得データは, 車速パルス, 中継元ID 1~3 (自車両が中継している車両のIDを送信データの一部として送信し, 受信状況を記録), パケットホップ数, 受信フローホップ数, 受信率, 中継要求車IDである.

2.3 実験条件

見通し外環境で4台の車両(A~D)を使用し, RCP方式の中継機能の評価を実施する. 比較のため, 単純中継方式(規定回数以内の条件で受信パケットを全て中継)のデータも取得する.

- ・車両A: 非優先道路側の車両を想定
- ・車両B: 優先道路側の車両を想定
- ・車両C, D: 中継車両

単純中継の場合は, 自車両のデータ送信の他に中継を実施し, RCP方式中継の場合は, その機能に基づいた中継を実施する.

図1に実験における車両配置のイメージを示す.

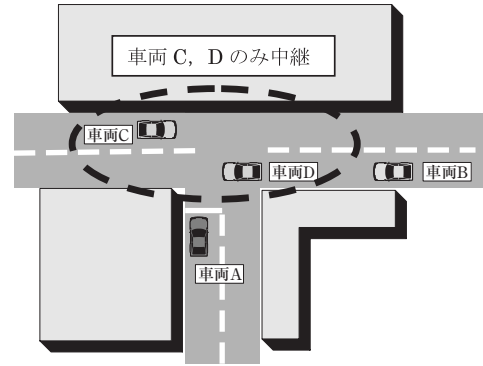


図1 車両配置イメージ

ここで, 車両Aと車両Cは実験中停止しており, 見通し環境にあり, 車両Bと車両Dは実験中車間を一定に保ちながら, 見通し環境で走行する.

2.4 実験結果

2.4.1 トラフィック量

単純中継方式, 及びRCP方式でのトラフィック量の代表例を図2, 3に示す. 両実験中の受信トラフィック量は下記のように, 1車両辺りの送信パケット数で正規化したものである.

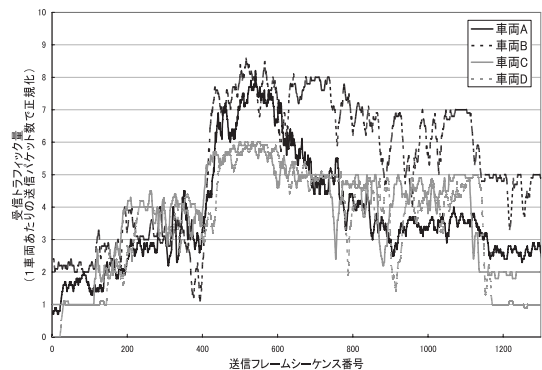


図2 単純中継方式における通信トラフィック実測値

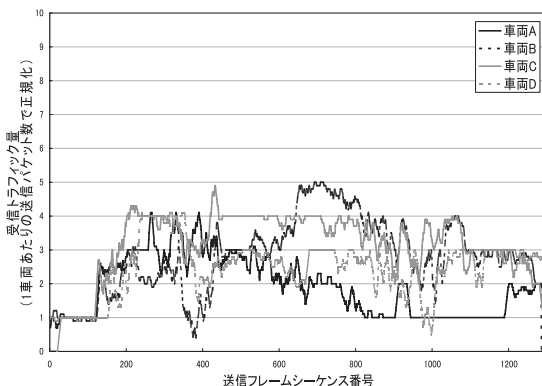


図3 RCP方式における通信トラフィック実測値

正規化受信量 = (100msec毎に10回送信する
(1sec) に受信したパケット数) / 10

上記数値は送信タイミング毎 (100msec) の移動平均で求めた。なお、横軸はパケットシーケンス番号であり、従って、車両毎に実際の時刻は厳密には同期していない。

単純中継方式では、パケットシーケンス番号 400～1,000 で大きなトラフィックが発生している。これは、車両B、Dが交差点にかかり、見通し環境になったときに、最大の中継が発生したためと考えられる。

一方、RCP方式では、車両、時間帯に応じ、トラフィック量が、2, 3, 4, 5といった値に抑えられていることが見て取れる。これは、それぞれの時間帯で、効果的に不要な中継が抑止されていることを意味すると考えられる。

2.4.2 中継動作

更に、RCP方式においてどの程度の中継抑止が効いているかを確認するため、RCP方式のデータで、中継したパケット数 (RCP中継数) と受信したが中継しなかったパケット数 (中継抑止パケット数) を測定した。その結果を図4に示す (単純中継方式では受信した全てのパケットが中継される)。

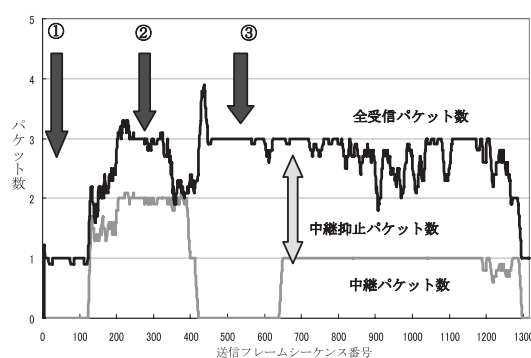


図4 RCP方式での車両Cの中継動作

図4は車両C (位置については図1参照) の全受信パケット数と中継パケット数を示している。

例として図4の①～③で示される通信状況を図5～7の車両配置に対応させて説明する。

図5は初期状態で車両A、C及び車両B、Dがそれぞれ個別に通信を行っている。2つの車両の組は建物により直接通信ができず、車両CはAのパケットを受け取るのみである。

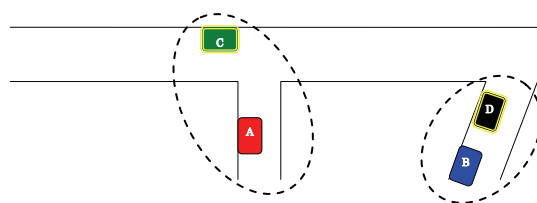


図5 初期状態：個別のグループで通信

図6は車両Bが角を曲がっている状況を示す。車両Dは車両B、Cと直接通信できるが車両Aとは車両Cを介して中継を行うことになる。したがって車両Cは車両A、Dのための中継を開始する。

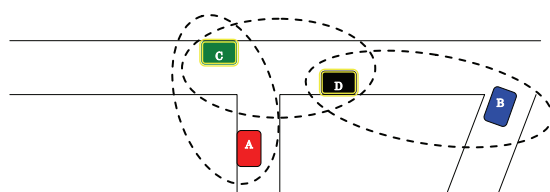


図6 車両D、A、C間の通信が可能、車両Dは車両Bのパケットを中継

図7は車両Cと車両A、B、Dが直接通信可能となり車両A、Dの中継を止める。ただし、車両Dが車両A、Bの中継を行っている。

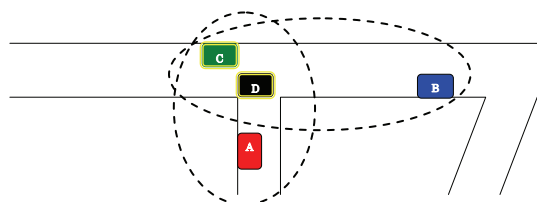


図7 車両Cと車両A、B、Dの直接通信が可能、車両DはA、Bの中継を実施

以上、図4の通信トラフィックの変化の一部を車両の位置に対応させて説明したがこうしたことから、2007年度の実験では、RCP方式は単純中継方式に比べ、トラフィックが抑制されていることが再確認できた。更に、中継状態を示す情報を分析することにより、例外はあるものの、直接通信の成否が変わるタイミングで、適切に不要な中継が抑止されていることが確認できた。その一方で、必要な中継が始まらなかったり、中継が止まらなくなったりする事象も発見された。また、伝搬環境がプロトコル動作に大きな影響を与えていることが観察された。

3. 位置情報を利用した中継方式の有効性検証

3.1 位置利用方式について

自車が保有している位置情報を使った中継方式を想定して、そのトラフィック抑制効果をコンピュータシミュレーションにより検証する。中継方式の具体的なプロトコルは構築していないが、何らかのアプリケーションからの指示によって中継地域または中継車両を指定した packets を発信する。こうした中継方式により、情報を展開したい地域を当該車両が能動的に指定することができると考えられ、中継の利用範囲が拡大することが期待される。

位置情報を利用した中継動作については以下のシミュレーション条件の項で述べる。

3.2 シミュレーションの条件

本稿では交差点での見通し不良の領域での情報交換シミュレーションについて述べる。まず、位置情報を利用した中継機能は以下のようにまとめられる。

- ①全ての車両が自車両及び情報を交換した他車両の位置情報を把握

シミュレーションにおいて他車両からのパケット受信した後、その受信パケットに含まれる位置情報は、次の送信タイミングに利用できるものとする。

- ②アプリケーション指示により、情報配信範囲の指定が可能

情報配信範囲は、送信車両からみて情報を展開させたいエリアである。本検証では、交差点のアプリケーションを想定し、交差点周囲の見通し不良域を考えている。

- ③中継車両または地域の指定が可能

情報配信範囲に情報を届けさせる場合、必要であれば中継車両、または中継地域を指定することが可能（地域を指定した場合は地域内の車両がみずからが地域内にいることを判断し中継を行う）。

シミュレーション実施時の車両配置モデルを図8に示す。データ送信元車両、データ受信先車両、中継車両の合計14台を基本車両として配置し、中継を実施しない周辺車両を追加する。

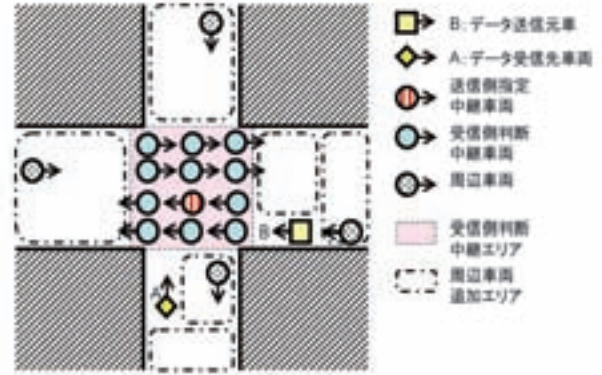


図8 交差点における中継シミュレーション車両配置基本モデル

3.3 車両台数と中継実施条件

システム収容台数は実験用ガイドラインにて目標としている80～90台程度を想定して、最大台数を150台まで実施する。

送信元からの指定範囲に存在する車両が中継を実施する。複数車両が存在する場合は、その範囲の全員が中継する場合（受信側判断）と1台のみ中継する場合（送信側指定）を実施する。

シミュレーションの条件を表1に示す。

表1 シミュレーション条件

項目	条件
伝送速度	4.096 Mbps
パケットサイズ	100byte
データ更新周期	100 msec
基本車両台数	通常車両：2台 中継車両：12台（送信側指定の場合1台、11台は通常車両）
周辺車両台数 （全て通常車両）	0, 5, 10, 30, 50, 100, 150台
通信品質測定対象	車両B（送信元車両）から車両A（受信先車両）へ送信されるパケットのエラーレート
各車両の送信パケット数	1e+4パケット送信を10回実施

システム収容台数性能を、コンピュータシミュレーションにより評価する。表1のシミュレーション条件により、通信台数に対する送信元車両（以下、「車両B」という）から受信先車両（以下、「車両A」という）への通信品質（パケット到達率）のシミュレーション評価を行い、通信トラフィックの増加が通信品質に与える影響を検証する。

シミュレーションは、自車両データに関するパケットのみを送信する「通常車両」と、自車両データに関するパケット送信に加え、他車両から受信したパケットを中継する「中継車両」で構成されるものとし、上に示した車両配置条件にて実施する。

3.4 評価パラメータ

3.4.1 パケットエラー率 (PER)

本シミュレーションでは、PERに関して評価を行う。PERの定義を以下に示す。

[パケットエラー率 (PER)] =

$1 - [\text{受信車両のパケット受信成功回数}] / [\text{送信車両のパケット生成回数}]$

3.4.2 中継機能

本シミュレーションにおける中継の機能を以下に説明する。中継実施の判断は以下の3パターンとする。

1) 送信側指定による中継

データ送信元が自分の位置と周辺車両の位置に基づいて特定の車両に中継動作を指示する方式。定期的に送信されてくる周辺車両の位置を把握し、自車の最遠端の車両に中継を実施させることがエリア拡大の観点からは理想的となる。車両同士の位置関係がある程度継続する単路等の環境での適用が容易と考えられる。RCP方式に近い結果が得られると予想される。

2) 受信側判断による中継

データ受信車両が、そのデータの送信元の指示と自車の位置から判断して中継を実施する方式。受信側判断の場合は、中継する車両が1台とは限らないものとする。交差点等、中継車両の位置が重要となる環境での適用が効果的と考えられる。

3) 全車両が中継を実施

データ受信車両全てが中継する方式。実用的ではないが、比較対象として最大のトラフィックが生じる方式として検証する。2006年度実施した単純中継方式に該当する。

本シミュレーションでは通信エリアの想定を含め、中継回数は1回とした。位置情報を利用する中継の場合、レイヤ3以上に位置情報管理を実施し、判定結果を下位レイヤ（例えばレイヤ2）に伝える仕組みが考えられる。周囲車両との位置関係を使

用する場合は、受信データによる周辺車両のテーブルを作成し管理する必要があるが、これら位置情報を利用する際に発生する遅延時間は今回のシミュレーションでは考慮しないものとした。

3.5 シミュレーション結果

3.5.1 パケット発生、PER特性

図9に、車両台数－発生パケット数特性、図7に交差点モデルにおける車両台数－PER（車両B→車両A間）特性を示す。ただし、PERのシミュレーション結果が $PER \leq 1E-4$ のときは $PER = 1E-4$ としてプロットしている。

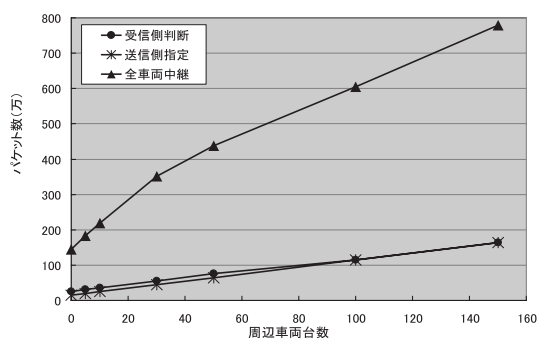


図9 周辺車両台数－発生パケット数特性
(基本車両台数14台に対する周辺車両台数の影響)

3.5.2 シミュレーション結果の解析

1) トラフィック量

当然予想されることであるが、図9の車両台数－パケット数特性より、位置情報を利用した中継（受信側判断、送信側指定）は、全車両中継と比較してトラフィック量削減に大きな効果があることがわかる。

受信側判断と送信側指定を比較すると、中継車両数は12:1であるため、中継により発生するパケット数は、受信側判断が12倍となるが、図6より周辺車両が増加して全体のパケット数が中継パケット数に比べて極めて大きくなってくると、その差が減少する。

2) パケットエラーレート

図10における周辺車両台数－車両B→車両A間PER特性より、位置情報を利用した中継（受信側判断、送信側指定）は、全車両中継と比較してPERにおいても改善効果があることがわかる。周辺車両10台（総車両数24台）の時と比較すると、位置情報を利用した中継（受信側判断、送信側指

定)は共に $PER=1.0E-1$ 程度であるが、全車両中継は $PER=8.0E-1$ 程度となっている。

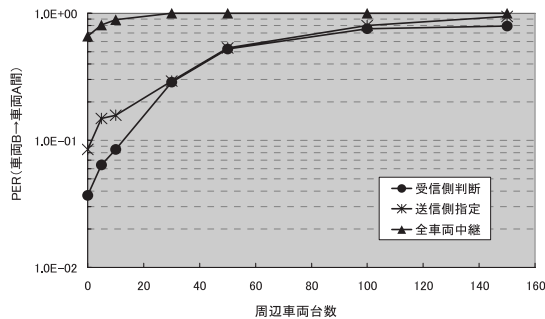


図10 周辺車両台数—車両B→車両A間PER 特性
(基本車両台数14台に対する周辺車両台数の影響)

また中継方式で比較すると、 PER が $2.0E-1$ (パケット到達率80%)より劣化する周辺車両台数を見ると、送信側指定中継の場合、周辺車両が5~10台の間となるが、受信側判断は10~20台となった。本来なら中継パケットの発生が少ない送信側指定が通信品質面ではより良い結果となることが想定されるが、隠れ端末によるパケット衝突が発生する状況下では、帯域に十分余裕がある周辺車両台数30台以下の場合、受信側判断は中継する車両数が多い事が結果にあらわれたと考えられる。

3.5.3 2006年度RCPシミュレーションとの比較分析

2006年度に実施したRCP方式と送信側指定中継のシミュレーション結果の比較を図11に示す。このグラフの周辺車両台数は、車両A、車両B、中継車両を含めたシミュレーションに係わる全ての車両であり、昨年度と今年度のシミュレーションの横軸の定義を合わせたものである。結果を見ると、車両60台以下の場合、送信側指定中継の方が通信品質は若干良い傾向にあるが、全体的に非常に近い傾向を示している。これは、RCP方式は安定状態になると、中継車両が1台に収束するためと考えられる。

また、昨年度は車両A、B以外全て見通し内環境に配置したが、今年度は見通し外環境にも周辺車両を配置したため、隠れ端末の発生状況含め、シミュレーション条件に差が発生しているものと想定される。

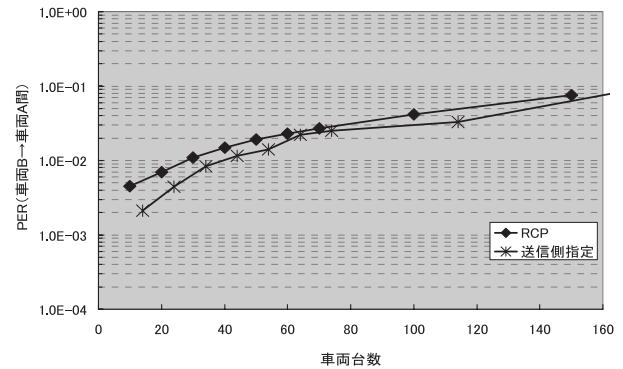


図11 位置情報利用型中継 (送信側指定) とRCP方式のPER比較

3.6 シミュレーション評価まとめ

2007年度は、2006年度に実施したシミュレーションを拡張して、位置情報を用いた中継の検証を実施した。以下に結果をまとめる。

1) 通信トラフィック量の検証 (図9参照)

- ・全車両中継と比較し、位置情報を利用した中継を適用した場合、通信トラフィックは大きく削減できる可能性がある。送信側指定中継でみると、周辺車両台数が50台 (総車両台数64台) の場合、通信トラフィック量は全車両中継に比べて約1/7に削減できる結果となった。
- ・受信側判断中継に比べて送信側指定中継は通信トラフィック量をより削減できている。これは送信側指定により中継車両を1台に限定できると想定したためである。

2) PERの検証 (図10参照)

- ・全車両中継と比較し、位置情報を利用した中継を適用した場合、通信品質は改善できる可能性がある。
- ・周辺車両台数が5~20台と少ない場合、受信側判断中継の方が送信側指定中継より通信品質は良い傾向が見られる。本来なら中継パケットの発生が少ない送信側指定がより良い結果となることが想定されるが、隠れ端末によるパケット衝突が発生する状況下では、帯域に十分余裕がある周辺車両台数30台以下の場合、受信側判断は中継する車両数が多い事が良い結果にあらわれたと考えられる。
- ・RCP方式が理想的に動作する場合、送信側指定と性能的に極めて近い結果となっている。車両

60台以下の場合、送信側指定中継の方が通信品質は若干良い傾向にあるが、全体的に非常に近い傾向を示している。これは、RCP方式は安定状態になると、中継車両が1台に収束するためと考えられる。

4. 全体まとめ

緊急的な安全運転支援のための車車間通信の特徴としては、①通信における遅れが小さい、②通信相手が特定できない、③通信範囲が狭い（300m程度）などが挙げられる。このことから、なるべく中継などは行わず車同士の直接通信で互いの存在や運転意思の交換を行うのが望ましい。しかし、道路交通の環境によっては中継を行って確実に情報交換を行わなければならない場面も想定されることから最大1回の中継動作を含む通信方式の可能性を検討してきた。中継を行うデメリットは通信パケットの輻輳である。2007年に策定された「実験用ガイドライン」のレイヤ3の機能として中継制御方式が掲載されているが、その主たる機能は外部の通信環境の変化を契機とした受動的なパケット中継抑制方式であった。本年度の検証実験からこの方式により不要な中継が抑制されることが確認された。

緊急的な安全運転支援においては情報交換を開始した時点で互いの位置情報やID情報などを知る

ことが可能である。このことから自車位置及び周囲車両の位置を中継指示に利用する能動的な中継方式も考えられる。指示の仕方は、地域を指定してその中に存在する単数または複数の車に中継を判断させる方法と、最初から特定の車を指定する方法が考えられる。本研究においては中継におけるパケット輻輳を軽減する観点からこの2つの方式に関して車両増加との関係をシミュレーションで確認した。両者はほぼ車両増加に対し同じ程度のパケット抑制効果を持つことが示され、さらにRCP方式との比較に関しても同程度の効果を持つことが示された。特に、最初から特定の車を指定する中継方式に比べ、地域を指定して、その地域内に存在する車両に中継を判断させる方式が通信品質（PER）の面で有利であることが示された。

本研究では、位置情報を利用した通信プロトコルの構築には踏み込んでおらず、こうした方法の有効性をシミュレーションで確認した段階であり、本格的な検討は今後に残されている。

参考文献

- 1) ITS情報通信システム推進会議，車々間通信システム専門委員会「5.8GHzを用いた車々間通信システムの実験用ガイドライン（1.0版）RC-005」（2007）
- 2) 関 馨ほか，「車車間通信におけるパケット中継制御方式の検証実験」，情報処理学会，29回ITS研究会（2007）（2007-ITS-29（4））