

# 700MHz帯ITS無線リソース割当アルゴリズム 評価と路側機設置運用法の考案

Evaluation of 700 MHz Band Radio Resource Allocation Algorithm and  
Installation Operation of Roadside Units

諏訪 晃\*  
Akira Suwa

竹嶋 進  
Susumu Takeshima

石丸 弘之  
Hiroyuki Ishimaru

岸本 健吾  
Kengo Kishimoto

浅尾 啓貴  
Hiroki Asao

700MHz帯ITS無線の普及期に向け、路側機が密に設置されるような都市部において、限られた無線リソースを干渉なくかつ効率よく割り当てることで、より多くの路側機の設置を可能とする設置運用方法の考案が必要とされている。今回はシミュレーションを活用した無線リソース割当アルゴリズムの評価結果と、それに基づき考案した設置運用方法について紹介する。

In the urban area where the wireless roadside units of 700 MHz band intelligent transport systems (ITS) are densely installed, the operation method is required to install the units as many as possible by efficiently allocating limited radio resources without interference. This paper introduces the evaluation result of the radio resource allocation algorithm that utilizes simulation and an installation operation method devised based on the evaluation result.

キーワード：700MHz帯、ITS無線、シミュレーション、無線リソース割当

## 1. 緒 言

自動車産業業界ではコネクティッドカーや自動運転車 (Connected and Autonomous Vehicle : 以下CAV)、電気自動車の研究開発が世界各地で進められている。そのCAV領域の中の1つにITS (Intelligent Transport Systems : 高度道路交通システム) と呼ばれる、人/車両/インフラ間で無線通信を行うことで事故や渋滞などの道路交通が抱える問題を解決するためのシステムがあり、この開発が盛んに行われている<sup>(1), (2)</sup>。特に日本では2011年12月にITS用の無線通信に700MHz帯を割り当てる旨が公表され、これに準ずる標準通信規格 (ARIB STD T-109) が発行された。ITSの活用ケースとして例えば、道路脇に設置される基地局 (ITS無線路側機) と車両 (車載通信機) 間で無線通信を行うことで、目視や車載センサだけでは認識が困難な道路情報を把握することのできる路車/車車間通信システムが実用段階に入っている。しかし、ITS用に割り当てられた700MHz帯無線通信の周波数幅は10MHzと限定されることから、同じ周波数帯を用いるITS無線路側機が面的に多数配置される環境では比較的容易に路側機間の干渉が生じ得る。そのためITS無線の普及が進むにつれて、効率的に路側機を設置しなければ無線リソースが不足するのではないかという懸念があった。そのため、ITS無線路側機に効率的に無線リソースを割り当てる方法について検討<sup>(3), (4)</sup>が進められてきた。しかし、実際に路側機の設置運用を行うとなると効率的に割り当てを実施するだけでなく、時間経過とともに路側機が新設される状況に対する運用の容易性も考慮すべき重要な観点となる。

本稿では、ITS無線路側機の無線リソース割当方法として提案されている主要な2つのアルゴリズムをマルチエージェントシミュレータ<sup>(5)</sup>により比較評価している。加えて、東京都中央区銀座の区画を対象に、実道路環境模擬した条件下での路側機設置限界数について検証を実施。これら結果をもとに、①資源割当の規則性 (管理の容易性) と、②路側機設置可能台数の2点を考慮した新たな路側機設置運用方法について提案している。

## 2. 前提条件

### 2-1 無線リソース

本稿ではITS FORUM RC-012 (700MHz帯高度道路交通システム実験用路路間通信ガイドライン<sup>(6)</sup>) にて提案されている通信帯域の時分割方法を用いて、無線リソースを定義している (図1)。この手法では、路車/車車間通信 (V2I/V2V通信) のデータ送信周期 (100ms) を1つの制御周期単位としてフレームと呼び、そのフレームをあらかじめ決められた間隔で時分割する。具体的にITS無線路側機では、フレーム中に最大16個のV2I用通信期間を設けており (以下、無線スロット)、車両間ではそれ以外のタイミングでV2V通信を行う。ここではさらに、ITS無線路側機間の通信 (路路間通信) により信号情報等をやり取りすることで運転支援の高度化を図る検討も進められており、特定の無線スロットをさらに路路間通信用に時分割し、複数の路側機で共用するものとしている。ITS無線路側機の設置時には、如何に簡単に効率よくこの16個の無線スロット

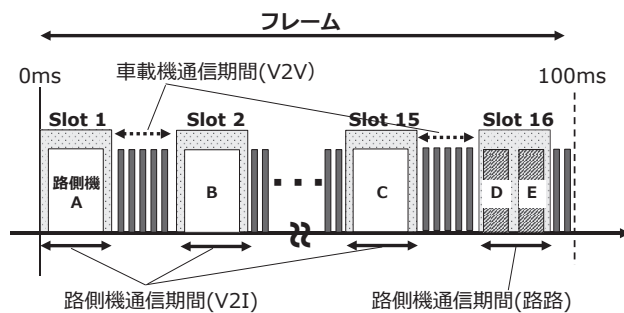


図1 700MHz帯ITS無線の通信方法

を割り当てることができるかが課題となる。

## 2-2 無線リソース割当アルゴリズム

今回評価実施した2つの主要な無線リソース割当アルゴリズムについて簡易的に紹介する。まず1つ目は Prioritized Station-based Greedy (以下、PSG) アルゴリズムと呼ばれるもので、路側機を設置すると全路側機間の干渉関係を明らかとし、干渉しない無線スロットを順次割り当てるアルゴリズムとなる。2つ目は Vector-based Cell Cover (以下、VC) アルゴリズムと呼ばれるもので、割当の手順としてはまず初めに、図2(1)のように路側機が想定される地区(エリア)を特定のサイズ(セル)でメッシュ状に区切る。その後、各セルに路側機を1台設置した場合に路側機が干渉しない、かつ最小の無線スロット数で割り当てられるように各セルに無線スロットを割り当て、図2(2)のようにVC割当用マップを作成する。この際、セル内に設置される路側機は1台とは限らないため、セルに割り当てられなかった未使用の無線スロットを余剰リソースとして確保しておく。もしセル内に2台目の路側機が設置される場合は、VC割当用マップ作成時に確保した余剰リソースで図2(3)のように割当を行う。

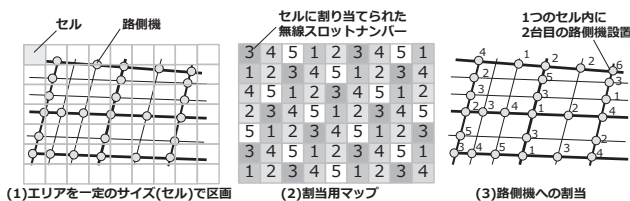


図2 VCアルゴリズムによる割当例

## 3. シミュレーション実験 (格子状道路環境)

### 3-1 シミュレーション条件

2つの無線リソース割当アルゴリズムの特徴を明らかにするべく、シミュレーションを用いて比較評価実施した。

ITS無線路側機の送信データ量等の無線通信条件は、700MHz帯高度道路交通システムの高度化に関する技術的条件の検討<sup>(7)</sup>と同じものを用いており、この検討<sup>(7)</sup>において評価実施されている主要な4つの道路構造パターンについて各々評価を行った(図3)。

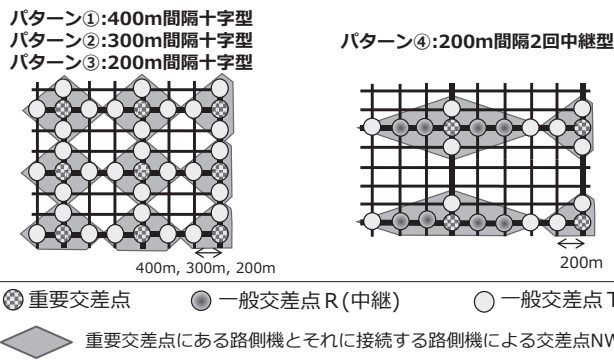


図3 道路構造パターン

道路構造パターン①②③は、交差点間隔がそれぞれ一律400m、300m、200mの格子状道路構造であり、路路間通信により5つの路側機を十字型に接続した交差点ネットワーク(以下、交差点NW)を構築している。道路構造パターン④は、上記検討<sup>(7)</sup>において路側機の通信量が最も多くなることが想定されたパターンであり、隣り合う路側機のデータを中継する路側機(図3の一般交差点R)が交差点NW内に4つ配置される。

本稿では、交差点NWの中心かつ交通管制センターと接続のある路側機が設置される幹線道路同士などの交差点のことを重要交差点と定義し、この路側機(以下、重要交差点路側機)はそのほかの交差点に設置される路側機(以下、一般交差点路側機)と異なり、より多くの情報を送信する。交通管制用語としての重要交差点の定義とは必ずしも一致してはならず、送信情報量の多寡でモデル化したものである。

### 3-2 比較評価結果

上記道路構造パターン①②③にて、PSGとVCアルゴリズムの比較評価実施した結果を図4に示す。横軸は時間経過による路側機設置数の増加を表しており、設置が進められる想定パターンを便宜上“世代”として定義している。図5に例を示す。第1~3世代では重要交差点への設置、第4~6世代で一般交差点への設置、第7世代で主道路と幹線道路沿い交差点に設置、第8世代で全交差点に設置される。縦軸は必要無線スロット数を表す。

比較結果より、道路構造パターン①②③では最終的な必要無線スロット数はVCの方がPSGより少ないものの、道

路構造パターン③においては無線スロットの上限数（16スロット）を超えてしまっていることがわかる。また、上限を超えない世代での必要無線スロット数を比較すると、PSGが有利であることが見て取れる。次に道路構造パターン④における結果を図6に示す。

図6の結果を図4の道路構造パターン③の結果と比べると、VC割当の必要無線スロット数が増加していることがわかる。これは通常の路路間通信に加え、もう1つ先の路

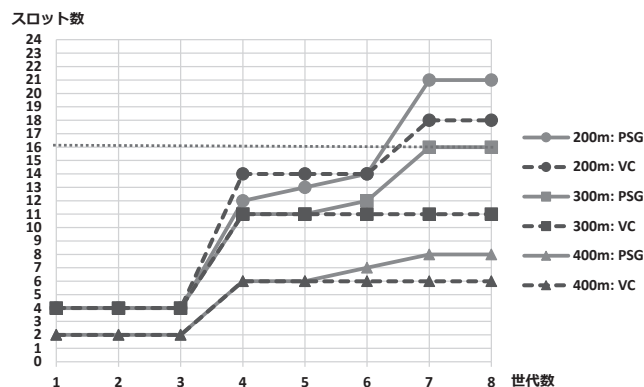


図4 十字交差点シナリオ割当結果

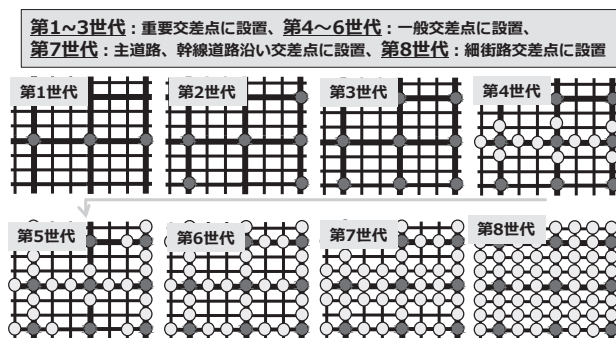


図5 路側機設置シナリオ

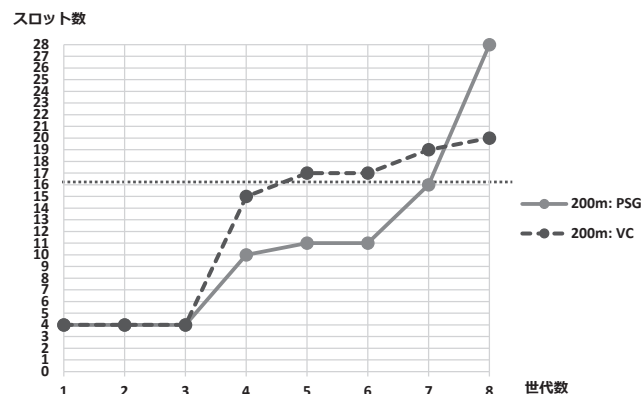


図6 200m十字交差点(データ中継有)シナリオ割当結果

側機の中継を行うため、必要無線スロット数が増えたことに起因する。逆に図6のPSG割当については、第7世代までVCよりも少ない無線スロット数で割当が実施できている。この図6の道路構造パターンでは、重要交差点と重要交差点の間にデータ中継を行う路側機が設置されることから、図5の道路構造パターン③に比べ結果的に重要交差点間隔が広がったため、重要交差点路側機同士の干渉を考慮する必要がなくなったことに起因する。これら結果をもとに割当アルゴリズムの特徴をまとめると下記となる。

①交差点間隔が広い(400m, 300m)場合、VCによる割当に必要な無線スロット数がPSGと比べて少なく有利。

②交差点間隔が狭い(200m)場合、PSGによる割当に必要な無線スロット数がVCと比べて少なく有利。

ただし、交差点間隔が狭い場合は、路側機設置可能数に限界が発生し、全交差点に路側機を設置できなくなる。

#### 4. シミュレーション実験(実道路模擬環境)

重要交差点路側機間隔が必要無線スロット数に影響を与えることがわかったため、実道路環境下にて運用が想定される重要交差点定義パターン別に路側機設置限界をシミュレーションにより測定した。

##### 4-1 シミュレーション条件

路側機の設置密度が高くなることが想定される東京都中央区銀座の道路構造をシミュレーション上で再現。路側機が設置される交差点は2017年9月時点で信号機が既設されている交差点とし、交通量の多い交差点から順次路側機の設置が進められると仮定。重要交差点の定義としては2パターンを想定し、

重要交差点定義パターン①：幹線道路同士の交差点。

重要交差点定義パターン②：幹線道路同士の交差点と、幹線道路と主要道路の交差点。

この2パターンにおいて割当アルゴリズム別に路側機設置限界がどのように変化するか、比較評価を実施した。

##### 4-2 無線スロット割当結果

重要交差点定義パターン①の結果を図7に示す。VCによる割当では、幹線道路交差点すべてに路側機(計12台)を設置するタイミングが路側機設置限界となり、PSGによる割当では全対象交差点に路側機(計47台)設置することが可能であることがわかった。図8では重要交差点定義パターン②における結果を示しており、VCによる割当では、重要交差点に隣接する交差点に路側機(計10台)を設置すると路側機設置限界となり、PSGによる割当では幹線道路すべてに路側機(計12台)を設置したタイミングで路側機設置限界を迎えることが明らかとなった。

結果として、重要交差点路側機を幹線道路同士の交差点1カ所に設置するとした場合のみ、PSGによる無線リソース割当で全対象交差点に路側機を設置することが可能であることがわかった。

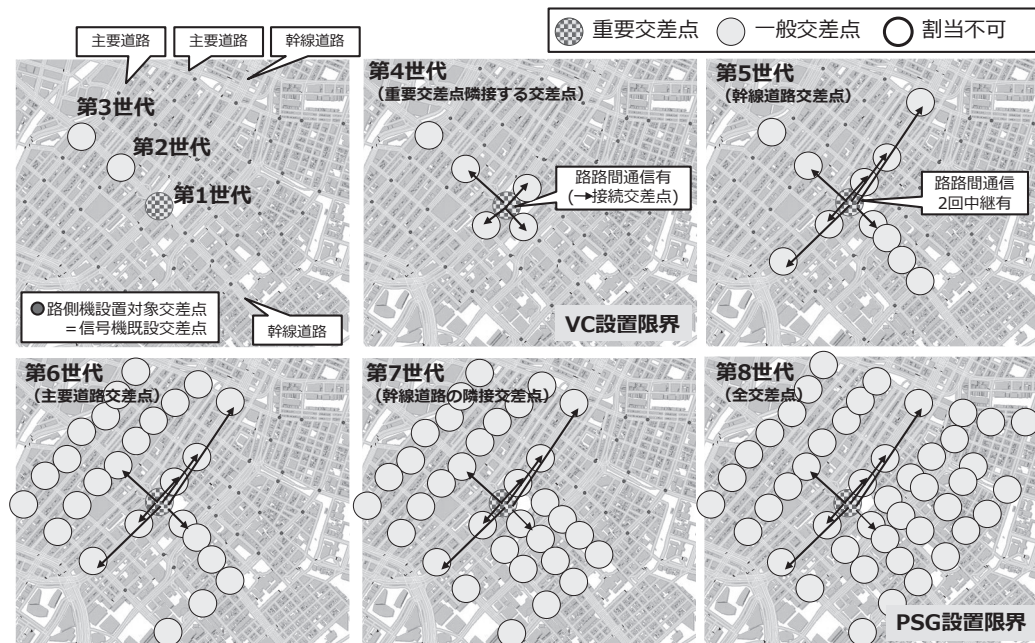


図7 重要交差点定義パターン①（幹線道路同士の交差点）評価結果

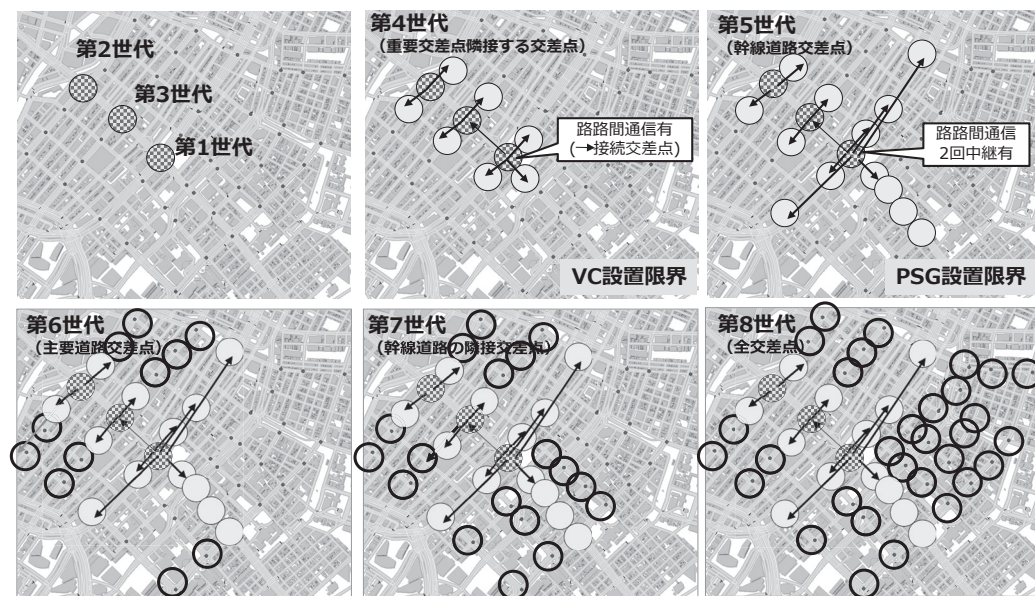


図8 重要交差点定義パターン②（幹線道路同士の交差点+幹線道路と主要道路交差点）評価結果

## 5. 設置運用案の考案

前章までの評価により明らかとなった2つの無線リソース割当アルゴリズム特性を踏まえ、設置運用時に必要とされる①資源割当の規則性（管理の容易性）と、②必要無線リソース数の2点を満たすITS無線路側機の設置運用方法（以下、PSG/VC併用方式）について、ここで新たに提案する。

### 5-1 PSG/VC併用方式の運用手順

PSG/VC併用方式では、あらかじめセルサイズが一様となる全国一律のVC割当用マップを作成する。このマップをもとに無線スロットの割当を実施することが基本的な設置運用方針となり、例外的に、セル内に複数の路側機が設置される地域ではPSG割当を実施することとしている。この手法ではVCによる割当を基本とすることにより資源割

当管理の容易性を実現しており、総務省により定義された4分の1地域メッシュ<sup>(8)</sup>と呼ばれる、緯度経度に基づいて日本地域を一辺約250m四方のメッシュに分割する基準をVC割当用マップに用いるなど、あらかじめ日本全国で定められた区画基準を用いることで資源割当管理の容易性をさらに向上させることも可能となる。また、セル内に複数の路側機が設置されるような路側機設置密度の高くなる地域ではPSG割当を実施することで、可能な限り路側機設置数を増やすことのできる設置運用方法となっている。図9に運用の具体例を示す。

図9(a)では、ある交差点パターンにおける最終的な路側機設置状況を図示しており、これら路側機を1台ずつ順次設置する状況において、PSG/VC併用方式を実施したときのシナリオを図9(b)～(f)に示している。基本的には図9(b)のようにVC割当用セル内に1台の路側機を設置し、VC割当を実施する。図9(c)ではVC割当用セル内に2台以上の路側機設置となる過密地域用の割当例を示している。図9(c-1)では、まず2台目の路側機に対してPSG割当を実施。その後、PSG割当実施した路側機が干渉するエリア(以下、干渉エリア)ではVCによる割当が実施できなくなるため、図9(c-2)のようにPSG割当実施した路側機の位置するセルから干渉エリアより広いスペースを持つPSGエリアを定義。以降、図9(c-3)のようにPSGエリア内に路側機を新設する場合はVC割当ではなくPSGによ

る割当を実施する。再度PSG割当が実施された場合、同様にPSGエリアを定義し、図9(c-4)のようにPSGエリアが拡大していくこととなる。PSG/VC併用方式ではこれら図9(b)と図9(c)の手続きを繰り返す。

図9(d)、(e)に重要交差点路側機設置時の割当方法を示す。4章の結果より、重要交差点路側機同士が干渉すると極端に路側機設置可能数が減少することがわかっているため、PSG/VC併用方式においては可能な限り隣接する重要交差点路側機へ干渉する範囲(以下、重要交差点干渉範囲)に設置しないものとし、なおかつ使用する無線スロットは一般交差点とは別のスロットを使用するものとしている。そのため図9(d)のように重要交差点干渉範囲外であれば、自由な位置に設置することができる。しかし、重要交差点干渉範囲に新たに重要交差点路側機を設置しなければならない場合は、図9(e)のようにPSG割当により新設する路側機に一般交差点用の無線リソースを割り当てることとし、上記手順と同様にPSGエリアを拡大する必要はある。

割り当てる無線リソースが上限数(16スロット)を超えてしまう場合は、図9(f)のように新設路側機の干渉エリアを再割当エリアと定義し、そのエリア内の路側機全ての無線リソースをPSG割当により再割当実施し、上記手順と同様にPSGエリアを拡大する。

前章までの実験と同じ条件で東京都中央区銀座に路側機

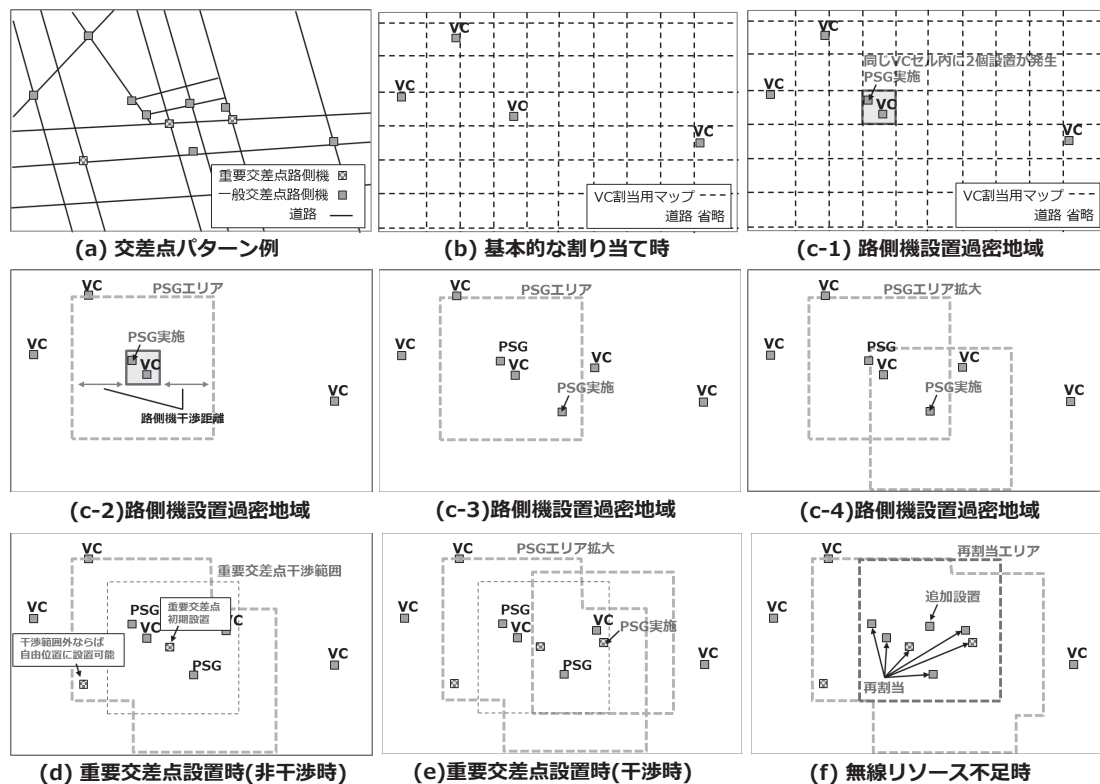


図9 PSG/VC併用方式手順例

が設置されるシナリオに対して、PSG/VC併用方式を用いて割当を実施した場合、図8のPSGによる割当結果と同じように、全対象交差点に路側機を設置できることがシミュレーションの結果によりわかっている。これにより提案手法を用いることで、路側機の密集する状況でもPSG割当と同等の路側機数に割当を実施でき、なおかつ、密集しない状況では運用が容易なVC割当を実施することができることがわかった。

## 6. 結 言

本稿では、ITS無線路側機が将来的に密に追加設置されるような地理空間環境において、2つの主要な無線リソース割当アルゴリズムを比較評価し、特性を明確化。それをもとに①資源割当管理の容易性と、②路側機設置可能台数の2点を考慮した新たな路側機設置運用方法を提案した。

また、東京都中央区銀座の区画を対象に提案手法による割当を実施し、上限スロット数16を下回る資源割り当てにより全対象交差点に路側機を設置することが可能であることを確認できた。

## 参 考 文 献

- (1) 一般社団法人UTMS協会、「安全運転支援システム」、2018-11-06、  
<http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>
- (2) 国土交通省、「自動車総合安全情報」、2018-11-06、  
<http://www.utms.or.jp/japanese/system/dsss.html>
- (3) Amdouni, I., Minet, P. and Adjih, C.: Node Coloring for Dense Wireless Sensor Networks, 2011, Technical Report, INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE
- (4) 山口弘純 他、「密な基地局群の無線相互干渉調停のための空間分割スケジューリング技術」、情報処理学会論文誌、vol.55、No.2、826-837 (2014)
- (5) Space-Time Engineering, Scenargie High Quality System Simulation Framework,  
<https://www.spacetime-eng.com/en/>
- (6) ITS情報通信システム推進会議、「700MHz帯高度道路交通システム実験用路路間通信ガイドライン」、ITS FORUM RC-012、  
[https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p59/ITS\\_FORUM\\_RC-012\\_v11.pdf](https://itsforum.gr.jp/Public/J7Database/p59/ITS_FORUM_RC-012_v11.pdf)
- (7) 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会、2018-11-06、  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000455914.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000455914.pdf)
- (8) 総務省統計局、「地域メッシュ統計」、2018-11-06、  
[https://www.stat.go.jp/data/mesh/m\\_tuite.html](https://www.stat.go.jp/data/mesh/m_tuite.html)

## 執 筆 者

諏訪 晃\* : 自動車新領域研究開発センター



竹嶋 進 : 自動車新領域研究開発センター  
グループ長



石丸 弘之 : システム事業部 部長



岸本 健吾 : システム事業部 主席



浅尾 啓貴 : システム事業部



\*主執筆