

## DSRC IPv6 網による車輛位置追跡機構の実現

水越 康博<sup>†</sup>

守屋 安治<sup>‡</sup>

自動車における情報システムでは、GPS を利用したカーナビゲーションシステム、VICS による交通情報サービス、POIX などによる位置情報サービス、ETC などが実用化されてきている。しかし、自動車からのデータ通信環境はまだ充実しているとはいえず、IMT-2000 の実現に期待がよせられている。

本稿では、自動車のための高速な通信環境として期待されている DSRC を使った IPv6 ネットワーク構築の検討と、DSRC IPv6 網上で車の移動管理技術および位置追跡技術について述べる。

## Automobile Tracking System by using DSRC IPv6 network

Yasuhiro Mizukoshi<sup>†</sup>,

Yasuharu Moriya<sup>‡</sup>

In the information systems for the automobiles, there are many services such as car navigation systems by GPS, traffic information services by VICS, location information services by POIX or something, and Electronic Toll Collection system. However, the ability of the current data communication systems for the automobiles is insufficient. IMT-2000 is expected as the next generation communication.

In this paper, we describe that the study of IPv6 network by using DSRC expected as fast communication system for the automobiles, the mobility management of the automobiles in this DSRC IPv6 network, and the automobile tracking system by using DSRC IPv6 network.

### 1. はじめに

自動車交通の発展により、現代社会において自動車は欠かせない存在となっている。しかし、交通事故、交通渋滞、環境汚染などの多くの問題を抱えている。これらの問題を解決する手段の1つとして、ITS(Intelligent Transport System)の実現が望まれている。

自動車における情報システムは、GPS(Global Positioning System)を利用したカーナビゲーションシステム、VICS(Vehicle Information and

Communication System)による交通情報サービス、POIX(Point Of Interest eXchange language)などによる位置情報サービス、ETC(Electronic Toll Collection System)などがすでに実サービスとして運用され、発展してきている<sup>1),2)</sup>。近年のインターネットの発展により、さまざまな情報はインターネット上のサーバから配信されるようになってきた。しかし、自動車からの通信環境はまだ充実しているとはいえない。今後、自動車からインターネットに高速に接続できる環境を提供できるかどうかITS実現の鍵となる。

現在の自動車の通信環境は、携帯電話の利用が中心であるが、IMT-2000の実現により、通信速度の面で充実していくと期待されている。

自動車の通信環境として期待されるもう1つの通信システムとしてDSRC(Dedicated Short

<sup>†</sup> NEC ネットワークス開発研究所  
Development Laboratories, NEC Networks,  
NEC Corporation

<sup>‡</sup> 通信・放送機構 横須賀 ITS リサーチセンター  
Yokosuka ITS Research Center, Telecommunications  
Advancement Organization of Japan

Range Communication)がある。DSRC は、自動車に設置された車載無線機(OBE (On Board Equipment))と道路上に設置した無線基地局(RSU (Road Side Unit))との間の路車間無線通信システムのことであり、現在は車載無線機と特定の無線基地局との間のスポット通信をおこなう ETC に利用されている。RSU がカバーするセルは直径が 3m~30m と狭いので、たとえば ETC の無線伝送方式では、OBE は 10mW 程度の低い出力で、1Mbps の通信がおこなえる<sup>3)</sup>。今後、伝送方式の改良により、10Mbps という高速な通信の実現が期待されている。しかし、現在の DSRC ではネットワークが考慮されておらず、OBE と RSU の 1 対 1 のアプリケーションしか実現することができない。DSRC のためのネットワーク構築方式の実現が望まれている。

ETC の普及により、OBE を備える自動車が増えると予想されるが、現在の OBE は ETC 専用の装置としてしか利用できない。

DSRC を利用した、高速なインターネット接続環境を実現することで、自動車の情報システムを高度化することが可能となる。また、自動車の走行中におけるインターネット接続環境を可能とするためには、DSRC ネットワークと、ハンドオーバ技術が必要である。

本稿では、DSRC ネットワークおよび自動車が走行中でも利用可能なインターネット接続環境の実現と、この DSRC 網を利用した自動車の位置追跡システムを実現したので報告する。

## 2. システムの概要

本システムの概要図を図 1 に示す。DSRC で使用される 30m 程度の狭域セルを複数個連続させて連続通信をおこなう IP 通信方式を実現した。本システムは次のような特徴を持つ。

- ・ すべての車両が固定の IP アドレスを持つ。
- ・ 経路制御情報の通信量を削減する。
- ・ 車両の IP アドレスから位置を検索できる。

### 2.1. DSRC IPv6 網

DSRC は ETC で使われる ARIB STD-T55 を前提とし、RSU のお互いのセルが重ならないように道路に並べて設置する。複数の RSU を最下位層のルータに接続し、中間層や最上位層のルータへと階層的に接続し、DSRC IPv6 網を構築する。ここでは最下位層のルータをゾーンルータ、中間層のルータをエリアルータ、最上位層のルータをリージョンルータと呼ぶ。階層が増える場合は、

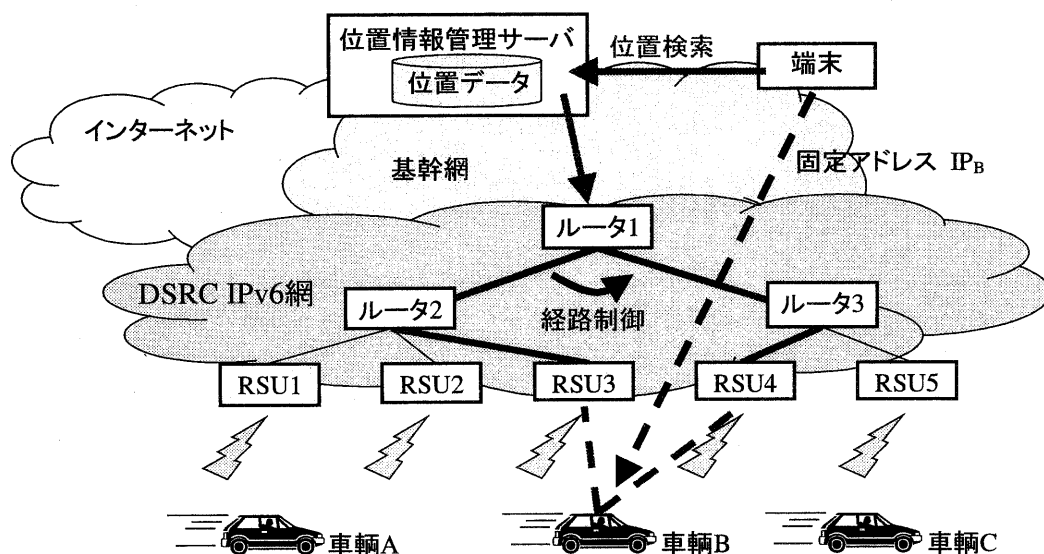


図 1：システム概要図

エリアルータが階層化され、階層が減る場合は、エリアルータが省略される。ルータを階層化することにより、地域情報を配信するサーバの配置を容易にするとともに、各ルータが処理する位置登録メッセージ数と管理車輛数の積を抑えることができる。

車輛が同時に接続する RSU は 1 つであり、車輛は RSU が切り替ると、車輛にあらかじめ割当てられていた IPv6 アドレス  $IP_B$  を含む位置登録メッセージを送信する。位置登録メッセージを処理するルータ群を使って DSRC IPv6 網内の車輛に対する経路を維持し、車輛のインターネット接続を実現した。

## 2.2. 車輛位置追跡

ネットワークから特定の車輛の位置を追跡することにより、道路の交通管理、トラックの運行管理、グループ旅行などに応用することができる。

DSRC IPv6 網内に存在する車輛の地理的位置を検索するために、車輛に割当てられた IP アドレスと、DSRC IPv6 網内で管理されている経路テーブルを利用する。車輛の地理的位置を検索する場合、車輛宛に検索メッセージを送信すると RSU で折り返され、RSU の IP アドレスを取得できる。この IP アドレスから位置データに登録されている地理的位置情報を取得する。車輛の位置追跡は特定の車輛に対する検索を周期的に実行することで実現した。

## 3. DSRC IPv6 網

ここでは DSRC による IPv6 ネットワークの実現について述べる。

### 3.1. 路車間無線通信

DSRC の無線通信システムは ETC, AHS などの方式が検討されているが、すでにサービスが始まっている ETC 方式, ARIB STD-T55, をベースにした。

T55 の伝送方式の諸元を表 1 に示す。また、スロット構成を図 2 に示す。

表 1: 伝送方式の諸元

| 項目       | 諸元                |
|----------|-------------------|
| 無線アクセス方式 | TDMA-FDD          |
| TDMA 多重数 | 8 以下 (2, 4, 8)    |
| フレーム長    | FCMS を含め 9 スロット以下 |

|            |                   |
|------------|-------------------|
| スロット長      | 100 オクテット(固定)     |
| 伝送速度       | 1024kbps          |
| 媒体アクセス制御方式 | アダプティブスロットエドアロハ方式 |
| 変調方式       | ASK               |
| 使用無線周波数帯   | 5.8GHz 帯          |
| キャリア周波数間隔  | 10MHz             |
| 送受信周波数間隔   | 40MHz             |

1 つのフレームは、スロット割当てをおこなう FCMS (Frame Control Message Slot), データ転送用の MDS (Message Data Slot), リンク接続用の ACTS (Activation Slot) から構成される。個々の OBE は、起動時に決定する 32bit の LID (Link Address) を持ち、ACTS において基地局にスロット割当て要求をおこなう。基地局は MDS を各 OBE に割当て、どの LID の OBE がどの MDS を使用できるのかを、FCMS を使って報知する。各 OBE は割当てられた MDS のタイミングで受信または送信をおこなうことができる。LID は同報を目的としたアドレスも定義されており、1 つの MDS で複数の OBE にデータを送信することも可能である。

図 2 のフレーム構成の場合、フレーム長は 500 オクテットで約 4ms 間である。この間、ある OBE

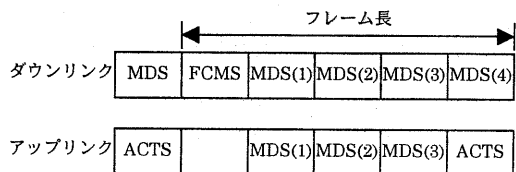


図 2: スロット構成

に 1 つの MDS だけしか割当てられないとしても、MDS の PDU (Protocol Data Unit) は 65 オクテットなので、約 127kbps の通信が可能である。

### 3.2. IP アドレス

DSRC 網内のルータ、RSU および OBE を搭載した車輛に 128 ビット長の IPv6 アドレスを割当てる。IP アドレスを使って車輛を識別できるように、車輛の IP アドレスは固定的に割当てる。

国内の自動車保有台数は 7,000 万台以上であるが、これは 27 ビット分に相当する<sup>4)</sup>。

国内の高規格幹線道路の総延長は 14,000km であり、30m 間隔で RSU を設置したときの RSU

の台数は 46.6 万台になるが、これは 19 ビット分に相当する。さらに、一般道路の総延長は 1,146,092km なので、RSU の台数は 3820 万台で 26 ビット分に相当する<sup>5)</sup>。

国内のすべての自動車および、道路に設置したすべての RSU に IP アドレスを割当てするには IPv4 ではアドレス長が不十分であり、IPv6 が必要である。したがって、本研究では IPv6 を用いた。

### 3.3. ネットワーク構成

ネットワーク構成を検討するために、東京大阪間の高速道路を 1 つのモデルとして検討した。ここで仮定した値を表 2 に示す。

表 2: 東京大阪間の高速道路モデル

| 項目       | 値                      |
|----------|------------------------|
| 総延長      | 600km                  |
| RSU 間隔   | 30m                    |
| 車線数      | 3 車線                   |
| 平均車速     | 90km/h (=25m/s)        |
| 車間距離     | 45m (=平均車速÷2k/h と仮定)   |
| 同時利用車数   | 4 万台 (=600km÷45m×3 車線) |
| RSU 数    | 2 万台                   |
| 1RSU の車輛 | 2 台                    |
| RSU 通過時間 | 1.2s                   |

1 つの RSU が受信する位置登録メッセージ数は、

$$1\text{RSU の車輛} \div \text{RSU 通過時間} = 1.6 \text{ 件/s}$$

である。車間距離を「平均車速÷2k/h」と仮定した。これは、時速 120km/h なら車間距離は 60m、60km/h なら 30m となる。この場合、平均車速の大小にかかわらず位置登録メッセージ数は一定となる。

したがって網全体の位置登録メッセージ数は、

$$1.6 \text{ 件/s} \times \text{RSU 数} = \text{約 } 33,000 \text{ 件/s}$$

となる。仮に位置登録メッセージのサイズが 64 バイトとすると、位置登録メッセージのためだけに約 16Mbps の帯域が必要となる。そのため、位置登録メッセージの処理を分散し、地域毎の情報配信サーバの設置を考慮した結果、図 3 に示す階層型ネットワークを考えた。

T はルータ間に必要な回線帯域を示す。R は先に述べた位置登録メッセージの数である。DSRC

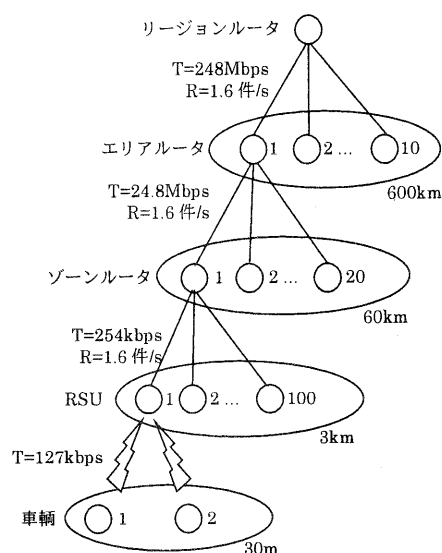


図 3: DSRC ネットワークの構成例

IPv6 網内のルータの階層化によって、上流に通知する位置登録メッセージの数を集約することができる。

また、ゾーンルータ、エリアルルータ、リージョンルータの各階層にエニキャストアドレスを割当ててことで、車輛から 3km、60km、600km の、任意のエリアを選択し、地域情報の配信を受信することが可能である。

### 3.4. 移動管理

本システムは、前述の通り、車輛に対して固定的な IPv6 アドレスを割当て、階層型ネットワークを用いるが、固定の IPv6 アドレスを割当てられた車輛に対して経路を維持するには、網内で車輛の移動を管理する必要がある。移動をサポートする IP モビリティサポート技術は、インターネット上の移動を管理するマクロモビリティ技術と、局所的な移動を管理するマイクロモビリティ技術とに分類されている。

マクロモビリティ技術は MobileIP である。MobileIP は移動するたびに車輛からホームエージェントに移動を通知する必要がある。本システムのように 1.2 秒毎に 1 回という速度で局所的に移動する場合には適していない<sup>6),7)</sup>。ホームエージェントへの通知を最適化する方式も提案されているが、別に局所的な移動を支援する技術が必要である<sup>8)</sup>。マイクロモビリティ技術にはいくつか

の方式が提案されている<sup>9)</sup>。

本システムでは、リージョンルータ配下の車輛の移動はマイクロモビリティ技術を用い、リージョンルータ間の車輛の移動は MobileIP を用いることにした。そこで DSRC IPv6 網用のマイクロモビリティ技術を開発した。

DSRC IPv6 網の各ルータの経路制御はホストルーティングを用いる。表 2 の通り、リージョンルータは同時利用車数分の 4 万エントリを持つが、既存ルータが処理できる規模である。

車輛が移動したときは図 4 のように位置登録メッセージが処理される。ここで、リージョンルータは R1、エリアルルータは A1~An、ゾーンルータは Z1~Zn、RSU は B1~Bn、車輛は M1、の IPv6 アドレスが付いている。また、L1 は M1 が DSRC で通信するときの LID である。処理手順を次に示す。

- ① 車輛 M1 の移動により、接続している RSU が B1 に切り替る。
- ② DSRC の同報チャンネルで報知されるビーコンを受信し、車輛は移動を検知する。
- ③ 車輛は DSRC により位置登録メッセージを RSU B1 に送信する。
- ④ B1 は M1 の LID L1 を付けて位置登録メッセージをゾーンルータ Z1 に転送する。
- ⑤ Z1 は M1 への経路テーブルを作成する。
- ⑥ Z1 は位置登録メッセージをエリアルルータ A1 に転送する。
- ⑦ A1 は M1 への経路テーブルを作成する。
- ⑧ A1 は位置登録メッセージをリージョンルータ R1 に転送する。
- ⑨ R1 は M1 への経路テーブルを作成する。

このように車輛が移動しても即座に DSRC IPv6 網内の経路が作成される。

さらに M1 が移動し B2 に接続したときも同様に位置登録メッセージによって経路テーブルが更新される。

このように、DSRC IPv6 網は車輛に対する経路を維持し、車輛の接続性を確保する。

#### 4. 車輛の位置追跡

ここでは車輛の位置追跡方式について述べる。

##### 4.1. 位置情報について

DSRC IPv6 網はネットワークの経路テーブルを

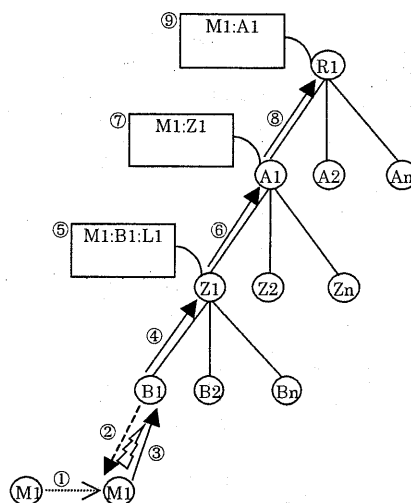


図 4: 位置登録メッセージ

使って、車輛のネットワーク的位置を管理していた。しかし、車輛の位置追跡には車輛の地理的位置の取得が必要である。

地理的位置の取得はカーナビで広く使われているように、GPS を使って緯度経度を取得することが一般的である。また、電波が届かないところの位置を求めるためにセンサーを駆使した技術も使われている。これらは車輛側で地理的位置情報を利用する際には有効な方法である。しかし、ネットワーク側から車輛の位置を知るためには、車輛が現在の位置を通知し続けなければならない、通信コストがかかる。

カーナビほどの地理的位置の精度が要求されない用途向けに、携帯電話や PHS の基地局情報を利用して、利用者の地理的位置を取得するサービスが実現されている。これは GPS のような特別な受信機を用意する必要がないので、歩行者に持たせて歩行者の位置を管理するものに向いている。本システムでは、DSRC の RSU の間隔である 30m 程度の精度で地理的位置が取得でき、通信コストが大きくなりすぎないことを考慮し、DSRC IPv6 網で管理する車輛のネットワーク的位置から車輛の地理的位置を取得する方式を開発した。

##### 4.2. 位置問い合わせ処理

図 5 に位置問い合わせ処理を示す。Web ブラウザからの位置問い合わせ要求を処理し、DSRC IPv6 網に位置問い合わせをするために位置管理サーバを使う。

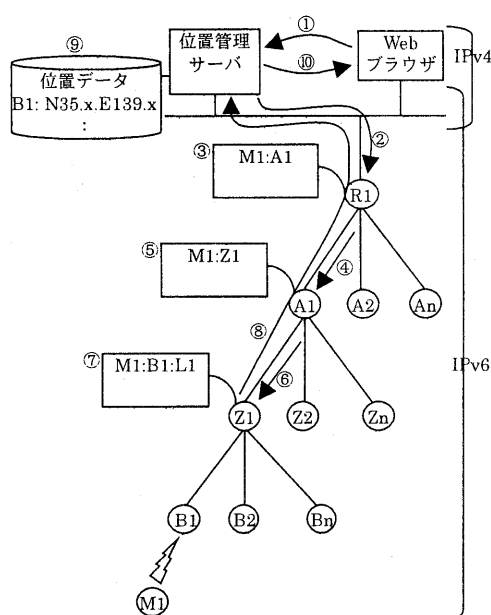


図 5: 位置問い合わせ処理

特別なクライアントアプリケーションを用意しなくても済むように、位置管理サーバは Web の CGI で要求を受け、車両の地理的位置情報は POIX を使って Web ブラウザに回答するようにした。位置管理サーバは v4/v6 デュアルスタックで構成したので、既存の IPv4 Web ブラウザからの位置検索要求を受け、DSRC IPv6 網に位置問い合わせ処理をすることもできる。POIX は XML を利用した位置情報交換言語なので、スタイルシートを利用することで Web ブラウザにさまざまな処理をさせることができる。

次に位置問い合わせ処理の手順を示す。

- ① Web ブラウザから位置管理サーバに車両 M1 の位置問い合わせ要求を送信する。
- ② 位置管理サーバはリージョンルータ R1 に位置問い合わせメッセージを送信する。
- ③ R1 は M1 への経路を検索し、エリアルータ A1 の配下にいることを見つける。
- ④ R1 は A1 に位置問い合わせメッセージを送信する。
- ⑤ A1 は M1 への経路を検索し、ゾーンルータ Z1 の配下にいることを見つける。
- ⑥ A1 は Z1 に位置問い合わせメッセージを送信する。

- ⑦ Z1 は M1 が接続している RSU を検索し、RSU B1 に接続していることを見つける。
- ⑧ Z1 は M1 が B1 に接続していることを位置管理サーバに通知する。
- ⑨ 位置管理サーバは B1 の IP アドレスから B1 の緯度経度情報を取得する。
- ⑩ 緯度経度情報を POIX 形式に変換し Web ブラウザに返信する。

位置問い合わせ処理は、各ルータに位置検索サーバを置き、このサーバが上流から受けた UDP による位置問い合わせメッセージを処理し、経路テーブルから適切な転送先を見つけ、転送するようにした。最下位層のゾーンルータに達すると、位置管理サーバに直接 UDP の応答を送信する。

位置検索サーバが経路テーブルから車両のエントリを見つけられなかった場合、位置問い合わせメッセージは破棄される。位置管理サーバは一定時間の間に応答がない場合は車両が DSRC IPv6 網に存在しないものとして処理する。また、複数の応答を受信した場合、応答メッセージに含まれる時間が一番新しいものを現在の位置として扱う。この時間は、車両が位置登録メッセージに設定する車両の時間を利用している。2 番目以降は車両の移動軌跡として扱う。

図 6 に POIX 形式の例を示す。

```
<?xml version="1.0"?>
<?xml-stylesheet type="text/xsl" href="loc_srv.xml"?>
<!DOCTYPE poix PUBLIC
    "-//MOSTEC//POIX V2.0//EN" "poix.dtd">
<poix version="2.0">
  <format>
    <datum>tokyo</datum>
    <unit>dms</unit>
    <type object="move" />
    <time>2000-02-01T15:40:00+09:00</time>
  </format>

  <poi>
    <point>
      <pos>
        <lat>35,13,16.9</lat>
        <lon>139,40,18.3</lon>
      </pos>
    </point>
    <name>
      <nb>5ffe:1::1</nb>
    </name>
    <note>DSRC</note>
  </poi>
</poix>
```

図 6: POIX の例

POIX 形式の位置情報に、Web ブラウザが表示処理をするためのスタイルシート loc\_srv.xml を追加してある。移動体の位置情報を示すために、type タグで move 属性を指定した。各車輛間の時間の同期が取れない場合を考慮し、time は車輛が通知している時間ではなく、位置管理サーバの時刻を使った。name は車輛の IPv6 アドレスを使った。また、付加的情報として、note に DSRC 網に居ることを示す情報を入れた。移動軌跡がある場合は、POIX の route タグで表記した。

#### 4.3. 車輛の位置追跡

車輛の位置追跡を評価するために、DSRC IPv6 網と位置管理サーバを開発した。図 7 に開発したシステムの構成図を示す。

基幹網に位置管理サーバ、端末、リージョンルータ R1 を接続し、リージョンルータの配下にエ

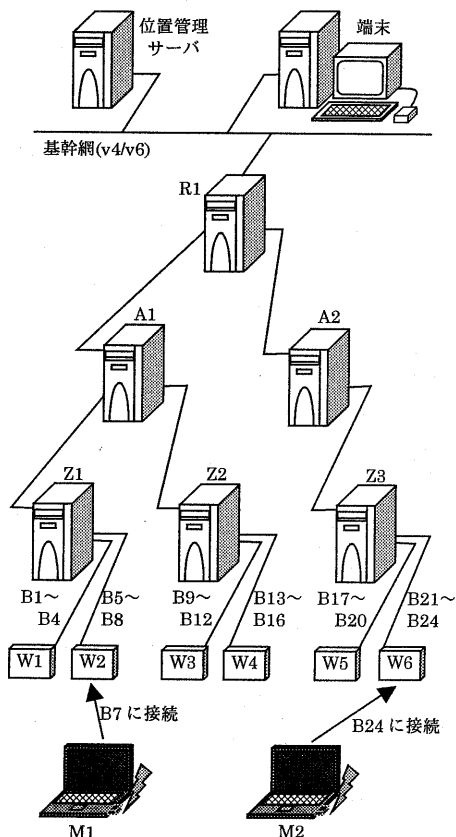


図 7: 位置追跡評価システムの構成

リアルータ A1,A2 とゾーンルータ Z1~Z3 を接続し、DSRC IPv6 網を構築した。ゾーンルータには ESS ID が異なる 2 基ずつの無線 LAN 基地局 W1~W6 を接続し、ノート端末 M1 と M2 から接続する基地局を制御できるようにした。位置管理サーバ、各ルータおよびノート端末のソフトウェアは FreeBSD 上に実装し、基幹網上の端末は XML を処理するために、MS IE5 が動作する Windows 端末を用いた。

1 つの無線 LAN 基地局につき、4 つの擬似的な DSRC 基地局 B1~B24 をソフトウェアで実装し、対応するゾーンルータ内のプロセスとして実行した。同様に、ノート端末には任意の擬似的 DSRC 基地局に接続できる擬似的な DSRC 移動局をソフトウェアで実装し、ノート端末上から擬似的 DSRC 移動局を使って、無線 LAN 基地局を切り替え、任意の擬似的 DSRC 基地局に接続することにより、車輛の移動を再現した。ここでは周回道路上に DSRC 基地局が設置されていると想定し、B1~B24 の擬似的 DSRC 基地局を 5 秒毎に順に切り替えるようにした。また、擬似的 DSRC 基地局が報知するビーコンの間隔は 300ms にした。

車輛の位置追跡は、CGI による位置問い合わせ処理と XML のスタイルシートを使って実現した。M1 の位置追跡をする場合、まず、端末から M1 の位置検索要求を出し、POIX 形式の応答を取得する。name タグの IP アドレスからスタイルシ

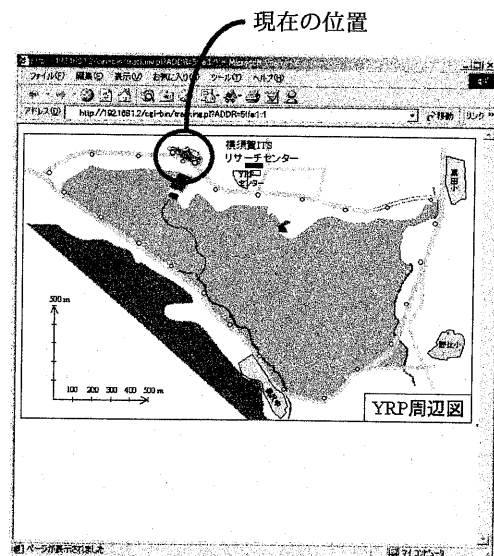


図 8: 位置追跡中の画面例

ートを使って、次の位置検索要求の URL を生成し、HTML の Refresh タイマーを使って 1 秒後に位置検索が再び実行されるようにした。この繰り返しで車輛の位置追跡を実現した。Web ブラウザの画面例を図 8 に示す。

画面上の地図もスタイルシートを使って、緯度経度から対応する画像ファイルの URL を生成し、インライン画像として取り込むようにした。画像上、道路沿いに描かれた丸印が RSU の位置を示し、自動車の印が現在位置を示している。

Web ブラウザで実現したため、画像の描画処理が目立ち、1 台の車輛しか追跡できないという課題がある。

## 5. まとめ

本稿では、DSRC による IPv6 ネットワークの実現や、DSRC IPv6 網内の車輛の位置管理や、車輛の位置問い合わせ処理について述べ、DSRC IPv6 網および車輛の位置問い合わせ処理の開発と、位置問い合わせ処理と XML のスタイルシートを応用した車輛の位置追跡システムについて述べた。

今後、DSRC IPv6 網内の位置管理および位置問い合わせ処理の改良、擬似的 DSRC 基地局および擬似的 DSRC 移動局のハードウェア化をおこなっていく予定である。

## 参考文献

- 1) <http://www.vics.or.jp/>
- 2) <http://mostec.aplix.co.jp/>
- 3) ARIB: “有料道路自動料金収受システム”, ARIB STD-T55, Nov. 1997.
- 4) <http://www.motnet.go.jp/hakusho/HEISEI11/data/frame.html>
- 5) <http://www.moc.go.jp/road/index.html>
- 6) C. Perkins: “IP Mobility Support”, RFC 2002, Oct. 1996.
- 7) D. Johnson and C. Perkins: “Mobility Support in IPv6”, Internet Draft, work in progress, draft-ietf-mobileip-ipv6-12.txt, Apr. 2000.
- 8) H. Soliman, et al.: “Hierarchical MIPv6 mobility management” Internet Draft, work in progress, draft-ietf-mobileip-hmipv6-00.txt, Oct. 2000.
- 9) <http://comet.ctr.columbia.edu/cellularip/>