

## ROF 路車間通信技術を用いた ITS コンテンツ配信プラットフォームの提案

吉原 貴仁<sup>†\*</sup> 堀内 浩規<sup>†</sup> 児島 史秀<sup>‡</sup> 佐藤 勝善<sup>‡</sup> 藤瀬 雅行<sup>‡</sup>  
<sup>†</sup>株式会社 KDDI 研究所, <sup>‡</sup>独立行政法人 通信総合研究所

\* 〒 356-8502 埼玉県上福岡市大原 2-1-15

TEL:049-278-7330 FAX:049-278-7510

E-Mail: yosshy@kddilabs.jp

あらまし 本稿では広帯域 ROF(Radio on Fiber) 路車間通信システムを応用した ITS(Intelligent Transport System) コンテンツ配信プラットフォームを提案する。コンテンツはユーザからの予約に基づいて配信される。ユーザは携帯端末や車載機などの予約端末を使い、要求するコンテンツ、予約時刻、予約場所、ならびにコンテンツの配信先となる端末を指定する。予約登録直後、要求されるコンテンツは ROF 基地局と光ファイバで接続されるキャッシュに一時保存される。予約時刻になると、例えばサービスエリア付近など、予約場所に指定された ROF 基地局を経由してキャッシュから配信先端末にコンテンツが高速に配信される。また、提案プラットフォームでは、交通渋滞等が原因で配信先端末が予約時刻に予約場所に着けなくても、配信先端末の位置に応じた別のキャッシュにコンテンツを移動してから配信する信頼性の高い配信機能を提供する。提案プラットフォームに基づくプロトタイプシステムを試作し、予約からコンテンツの配信までに要する時間や制御メッセージ量の観点からの評価を行った。その結果、高信頼配信機能はスケラビリティの観点から有効であることが分かった。また、評価結果を基に将来展開の際に必要なネットワーク帯域の目安を与えるとともに、今後の課題を検討する。

キーワード Intelligent Transport System, Radio on Fiber, コンテンツ配信

## Proposal on Content Delivery Platform over ITS Road-Vehicle Communication System based on Radio on Fiber

Kiyohito YOSHIHARA<sup>†\*</sup>, Hiroki HORIUCHI<sup>†</sup>,  
Fumihide KOJIMA<sup>‡</sup>, Katsuyoshi SATO<sup>‡</sup>, and Masayuki FUJISE<sup>‡</sup>  
<sup>†</sup>KDDI R&D Laboratories Inc., <sup>‡</sup>Communications Research Laboratory

\*Ohara 2-1-15, Kamifukuoka-Shi, Saitama 356-8502, JAPAN

TEL:049-278-7330 FAX:049-278-7510

E-Mail:yosshy@kddilabs.jp

**Abstract** In this paper, we propose a new content delivery platform over the ITS (Intelligent Transport Systems) road-vehicle communication system based on ROF (Radio on Fiber), leveraging its broadband access capability. Content is delivered on per reservation basis. After the reservation, the required content is stored in a cache connected with a ROF local station via optical fiber. When the designated time arrives, the content is delivered from the cache to a target terminal by way of the ROF local station in a high-speed manner. It can also be done by moving the content from the cache to another one depending on the target terminal location in a flexible way, even if the target terminal could not reach the place designated in the reservation. We implement a preliminary system for the purpose of feasibility. We evaluate the basic performance of the preliminary system from the viewpoints of 1) processing time from logging into the system for a reservation to delivering content to the target terminal and 2) amount of control traffic required for the delivery. The results emphasize the content delivery domain providing the flexible content delivery function, and give a measure of the bandwidth required when the platform would be widely deployed as one of promising ITS service platforms. The paper is concluded with some future works toward more promising and practical system.

**Key words** Intelligent Transport System, Radio on Fiber, content delivery

## 1 はじめに

ITS (Intelligent Transport Systems) が生活基盤として広く受け入れられるためには、高速かつ高信頼な ITS 通信システムの開発とともに、ITS 通信システムの特徴を活用した新たな ITS 通信アプリケーションの提供が重要な課題の一つとなる。近年、ITS 通信システムの一つとして、ROF (Radio on Fiber) 通信技術に基づく ROF 路車間通信システムの開発が進められている [1, 2]。本システムでは 36~37 GHz ミリ波帯を用い、例えば、ROF 基地局から車載機などへの広帯域通信が特徴の一つとなっている。

そこで本稿では、ITS 通信アプリケーションの一つとして、ROF 路車間通信システムの広帯域通信を活用した ITS コンテンツ配信プラットフォームを提案する [3]。コンテンツはユーザからの予約に基づいて配信される。ユーザは携帯端末や車載機などの予約端末を使い、要求するコンテンツ、予約時刻、予約場所、ならびにコンテンツの配信先となる配信先端末を指定する。予約登録直後、要求されるコンテンツは ROF 基地局と光ファイバで接続されるキャッシュに一時保存される。予約時刻になると、例えばサービスエリア付近など、予約場所に指定された ROF 基地局を経由してキャッシュから配信先端末にコンテンツが高速に配信される。また、提案プラットフォームでは、交通渋滞等が原因でユーザが予約時刻に予約場所に着けなくても、配信先端末の位置に応じた別のキャッシュにコンテンツを移動してから配信する、信頼性の高い配信機能を提供する。

次いで、提案プラットフォームの実現性検証を目的にプロトタイプシステムを試作する。試作に際しては、プラットフォームへの機能拡充や新規機能追加を容易に可能とするため、Jini 技術 [4] を用いてプロトタイプシステムの構成要素を構築する。また、プロトタイプシステム単体でコンテンツ配信に関する評価を可能とするため、配信先端末の移動、ならびに ROF 基地局やキャッシュの配置を仮想的に行うシミュレータを設ける。

最後に、本プロトタイプシステムを用いて、予約からコンテンツの配信までに要する時間や制御トラフィック量の観点からコンテンツ配信に関する基本性能評価を行う。評価結果を基に将来展開の際に必要なネットワーク帯域の目安を与えるとともに、今後の課題を検討する。

以下、2 章では提案するプラットフォームのアーキテクチャとコンテンツ配信手順の概要を述べる。3 章では提案プラットフォームに基づくプロトタイプ

システムの実装概要を示し、4 章ではプロトタイプシステムの基本性能を評価する。5 章では将来展開に向けた課題の検討とともに本稿を結ぶ。

## 2 ITS コンテンツ配信プラットフォームのアーキテクチャとコンテンツ配信手順の概要

### 2.1 ITS コンテンツ配信プラットフォームのアーキテクチャ

図 1 に ITS コンテンツ配信プラットフォームのアーキテクチャを示す。本アーキテクチャは 1) サービスアクセスドメイン、2) サービス仲介ドメイン、3) コンテンツ提供ドメイン、4) コンテンツ配信ドメイン、ならびに 5) 外部ドメインの五つの機能ドメインから構成される。ここで、ユーザは携帯端末や車載機などの予約端末を使い、要求するコンテンツ、予約時刻、ならびに予約場所をあらかじめ指定し、例えば、付近に ROF 基地局が設置されたサービスエリアなどに停車する際にコンテンツは配信されるものとする。

#### 2.1.1 サービスアクセスドメイン

PSTN (Public Switched Telephone Network) や ISP (インターネットサービスプロバイダ) ネットワークなどから構成される本ドメインはユーザに対してコンテンツ配信の予約機能を提供する。具体的な手段として、ホームやオフィスからのダイヤルアップ、あるいは、携帯電話や車載機などからの無線アクセスがある。予約は 2.1.2 節で述べるサービス仲介ドメインのスケジュールサーバに登録される。

#### 2.1.2 サービス仲介ドメイン

本ドメインはユーザ管理、コンテンツ配信の予約管理、ならびに課金等に必要となるログ管理機能を提供する。プロフィールサーバはユーザ認証やユーザ権限の承認などのユーザ管理を行う。

コンテンツ配信の予約管理を目的に、スケジュールサーバ、位置管理サーバ、ならびに時間管理サーバが設けられる。スケジュールサーバは現在有効なコンテンツ配信予約に関する情報、具体的には、予約登録ユーザの識別子、要求されるコンテンツの識別子、予約時刻、ならびに予約場所を管理する。位置管理サーバはコンテンツの配信先となる配信先端末の位置情報 (緯度と経度の組) を常時監視する。監視結果はユーザが予約時刻に予約場所に着いているか否かを判断するために利用される。時間管理サー

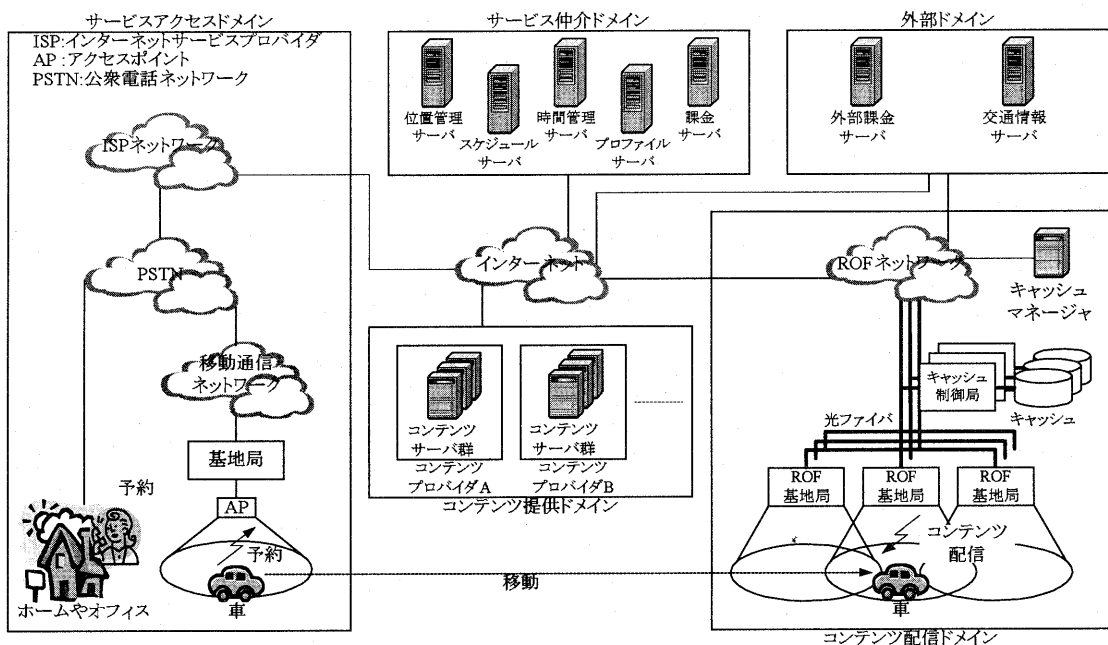


図 1: ITS コンテンツ配信プラットフォームのアーキテクチャ。

は予約時刻になるとその旨をスケジュールサーバに通知する。

課金サーバはコンテンツ配信が正常終了したか否かをスケジュールサーバから受信し、課金等に必要となるログとして保存、管理する。

### 2.1.3 コンテンツ提供ドメイン

本ドメインは、例えば、すでにインターネット上でサービスを提供しているコンテンツプロバイダなど、複数のコンテンツプロバイダから構成される。ユーザから要求されるコンテンツが 2.1.4 節で述べるコンテンツ配信ドメインのいずれのキャッシュにも保存されていない場合には、コンテンツ配信ドメインとの間であらかじめ交わされる契約に基づいてコンテンツを提供する。

### 2.1.4 コンテンツ配信ドメイン

アーキテクチャの中で中心的な役割を担う本ドメインは、キャッシュ制御局、キャッシュ、およびその配下の ROF 基地局群 (以下、これらをまとめて ROF 制御局と呼ぶ) が地理的に分散配置されており、これらを用いたコンテンツの配信機能を提供する。

予約登録直後、スケジュールサーバからキャッシュマネージャへの指示を契機に、予約場所に指定された ROF 基地局と光ファイバで接続されるキャッシュに要求されるコンテンツを一時保存する。その後、キャッ

シユマネージャはスケジュールサーバからコンテンツ配信の実行指示を受信すると、ROF 基地局を経由してキャッシュから配信先端末にコンテンツが配信される。ここでは ROF 路車間通信システムの広帯域通信を活用した高速なコンテンツ配信が可能である。

高速な配信に加え、キャッシュマネージャは信頼性の高い配信機能を提供する。例えば、交通渋滞等が原因で、配信先端末が予約した時刻に予約した場所に着けない場合が想定される。しかしながら、たとえこのような場合であっても、配信先端末が別の ROF 基地局から通信可能な範囲に存在すればコンテンツの配信が可能である。キャッシュマネージャは予約場所に指定された ROF 基地局に接続されるキャッシュから配信先端末と通信可能な ROF 基地局に接続されるキャッシュに要求されたコンテンツを移動してコンテンツを配信する。

### 2.1.5 外部ドメイン

本ドメインはサービス仲介ドメインをはじめとする他ドメインに対して付加的な機能を提供する。例えば、課金サーバの場合、代行課金を目的に外部課金サーバにコンテンツ配信のログを送信する。また、より高信頼なコンテンツ配信を目的に、例えば、配信先端末の経路予測サーバをサービス仲介ドメインに設け、渋滞情報を実時間で管理する外部の交通情

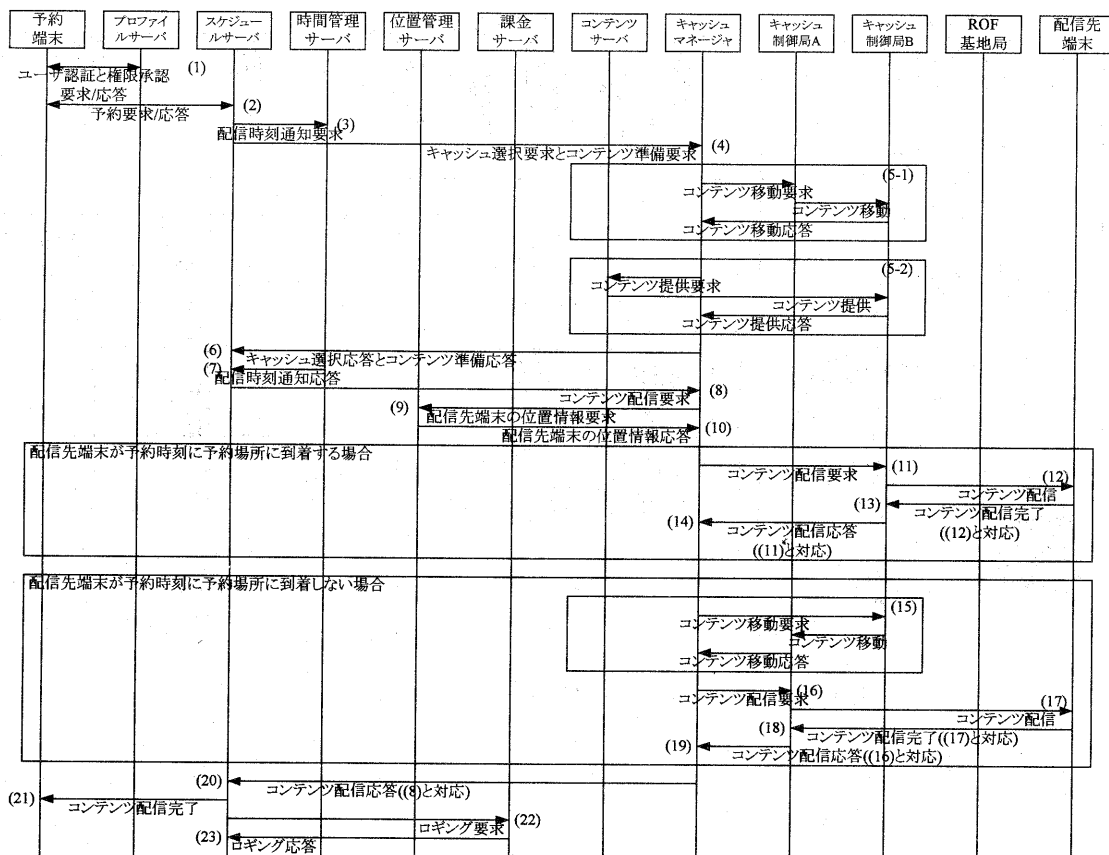


図 2: 提案プラットフォームにおけるコンテンツ配信のシーケンス。

報サーバとを連携する。

## 2.2 コンテンツ配信手順の概要

図 2 に提案プラットフォームにおけるコンテンツ配信正常系のシーケンスを示す。なお、外部ドメインとの連携は省略する。

予約端末を使ってユーザがプラットフォームにアクセスすると、プロフィールサーバはユーザ認証とユーザ権限の承認を行う (図 2(1))。ユーザは、例えば、MPEG 形式の映画や MP3 形式の音楽などのコンテンツとともに、予約場所、予約時刻、ならびに配信先端末を指定し、スケジュールサーバに対して予約要求を行う (図 2(2))。

予約が登録されると、スケジュールサーバは予約時刻の通知を時間管理サーバに要求する (図 2(3))。また、スケジュールサーバはコンテンツ識別子と予約場所をキャッシュマネージャに通知し、コンテンツを一時保存するキャッシュの選択、ならびにキャッシュへ保存するコンテンツの準備を要求する (図 2(4))。こ

こではキャッシュ制御局 B が選択されるものとする。コンテンツは次の三つの場合に応じてそれぞれ異なる手順で準備される。

1. 選択されたキャッシュに保存されている場合
2. 選択されたキャッシュとは別のキャッシュに保存されている場合
3. いずれのキャッシュにも保存されていない場合

コンテンツが選択されたキャッシュに保存されている場合、キャッシュ選択応答とコンテンツ準備応答をスケジュールサーバに応答する (図 2(6))。選択されたキャッシュとは別のキャッシュ、例えば、キャッシュ制御局 A に保存されている場合、キャッシュマネージャはキャッシュ制御局 A のキャッシュからキャッシュ制御局 B のキャッシュへコンテンツを移動して一時保存する (図 2(5-1))。いずれのキャッシュにも保存されていない場合、キャッシュマネージャはコンテンツサーバに対してコンテンツ提供要求を行い、コンテンツをキャッシュ制御局 B のキャッシュに一時保存する (図 2(5-2))。最初の場合と同様に、最後の二つの

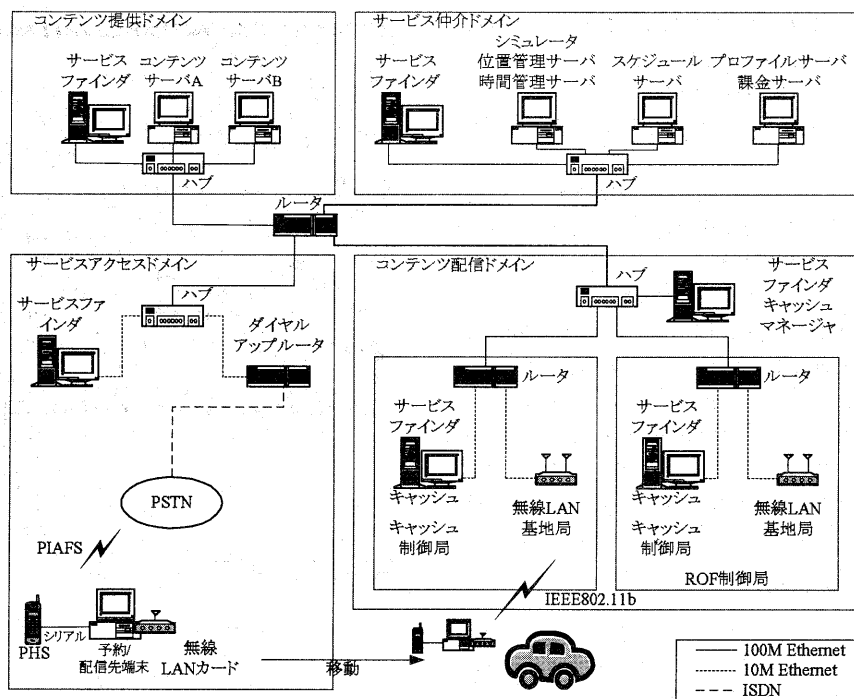


図 3: プロトタイプシステムの構成。

場合、キャッシュ制御局 B のキャッシュへコンテンツを一時保存した後、キャッシュ選択応答とコンテンツ準備応答をスケジュールサーバに回答する (図 2(6)).

スケジュールサーバは時間管理サーバからコンテンツ配信時刻を告げる通知を受信する (図 2(7)) と、キャッシュマネージャにコンテンツ配信を要求する。実際に配信する前に、キャッシュマネージャは送信先端末の位置情報を位置管理サーバに要求し (図 2(9)), 端末が予約場所に到着しているか否かを判断する (図 2(10)).

配信先端末が予約時刻に予約場所に到着する場合、キャッシュマネージャは配信先端末にコンテンツを配信するようにキャッシュ制御局 B に要求する (図 2(11), (12), (13), ならびに (14)). 配信先端末が予約場所に到着しない場合、キャッシュマネージャは配信先端末が別の ROF 基地局から通信可能な範囲に存在するか否かを判断する。例えば、キャッシュ制御局 A の配下の ROF 基地局と通信可能な範囲に存在する場合には、キャッシュマネージャは予約場所に指定されたキャッシュ制御局 B のキャッシュからキャッシュ制御局 A のキャッシュに要求されたコンテンツを移動して (図 2(15)). 移動後、先の場合と同様にコンテンツの配信をキャッシュ制御局 A に要求す

る (図 2(16), (17), (18), ならびに (19)).

スケジュールサーバはキャッシュマネージャからコンテンツ配信完了の応答を受信すると (図 2(20)), これを契機に、予約端末に e-mail などコンテンツ配信の完了を通知する (図 2(21)). 最後に、課金等に必要なログが課金サーバに保存、管理される (図 2(22) ならびに (23)).

### 3 プロトタイプシステムの実装概要

提案プラットフォームの実現性検証を目的に試作したプロトタイプシステムの構成を図 3 に示す。

#### 3.1 実装方針

- 2.2 節の手順にしたがってコンテンツを配信する。
- プラットフォームへの機能拡充や新規機能追加を容易に可能とするため、Jimi 技術を導入して各種サーバをはじめとするプロトタイプシステムの構成要素を構築する (3.2 節参照)。
- プロトタイプシステム単体でコンテンツ配信に関する評価を可能とするため、配信先端末の移動、ならびに ROF 基地局やキャッシュの配置を仮想的に行うシミュレータを導入する (3.3 節参照)。

4. サーバ等間の通信には TCP/IP ならびに Java RMI (Remote Method Invocation) を用いる。
5. 実装時点で ROF 路車間通信システムは一般に広く利用可能でないため、IEEE802.11b を代用する。
6. 例えば、プロファイルサーバと課金サーバなど、同一ドメインにおける複数の構成要素を同一ハードウェア上で動作させる。
7. 外部ドメインは実装の対象外とする。

予約端末と配信先端末は同一とし、CPU 866MHz、メモリ 128Mbytes、OS を Windows98 SE とする PC 上に実装した。キャッシュ制御局は CPU 866MHz、メモリ 128Mbytes、OS を WindowsNT4.0 とする PC 上に、その他のサーバや後述するサービスファインダはすべて CPU 866MHz、メモリ 384Mbytes、OS を WindowsNT4.0 とする PC 上に実装した。

### 3.2 Jini 技術の導入

Jini 技術 [4] は複数のサーバからなる分散システムを構築するための技術である。サーバが提供するサービスや機能に関する情報を管理し、サーバにアクセスする際に必要となるメソッドをクライアントに提供する、ルックアップサーバ (図 3 ではサービスファインダ) と呼ばれるサーバを設け、クライアントが要求するサービスや機能の自動発見機能や、新規に追加されたサービスや機能をクライアントに通知し、システム全体を停止させることなく利用可能とする機能などを提供する。

2 節に示したように、提案プラットフォームではユーザ管理を行うプロファイルサーバやコンテンツ配信の予約管理を行うスケジュールサーバなど、様々な機能を提供する複数のサーバがあり、図 2 に示したように、これらの中で多数の要求や応答がある。また、各サーバの独立性を高め、プラットフォームへの機能拡充や新規機能追加を容易に可能とするため、Jini 技術を用いてプロトタイプシステムの構成要素を構築する。これにより、システム全体を停止することなく、例えば、外部ドメインに新たなサーバを追加することができる。

図 3 に示すように、本実装では IP サブネットに対応する各ドメインにサービスファインダを導入する。

### 3.3 シミュレータの導入

ITS 通信システムとその特徴を利活用した ITS アプリケーションプラットフォームの開発が互いに歩調を合せて進めば、これらを統合した実環境に近い理想的な評価や検証が可能となるが、実際には困難

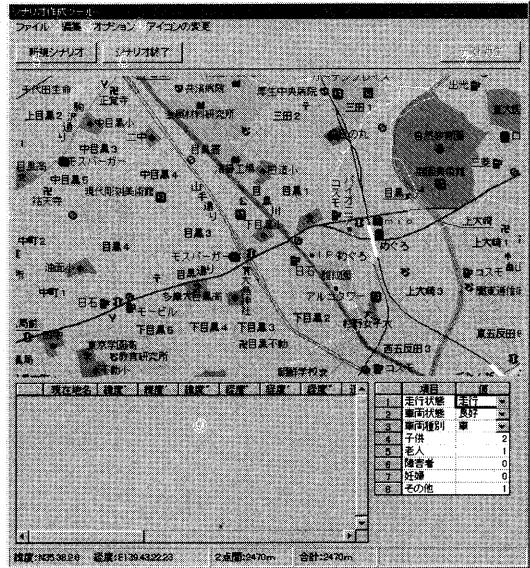


図 4: シミュレータの画面。

である場合が多い。そこで、提案プラットフォームの実現性検証や、検証結果を反映した機能拡充を ROF 路車間通信システムの開発と独立して行うためのシミュレータを導入する。

本シミュレータでは緯度と経度からなる多数の位置情報を編集することなく、地図上の操作だけで配信先端末の移動シナリオを容易に作成できる。シミュレータは移動シナリオに基づく配信先端末の位置情報をあらかじめ指定された周期で位置管理サーバに提供する。また、ROF 制御局を地図上の任意の場所に仮想的に配置し、各局の通信範囲を様々な値に変化させた場合の評価ができる。

本シミュレータを用いた評価や検証を通じ、ITS コンテンツ配信プラットフォーム実現の観点からの技術要件を ROF 路車間通信システムの開発にフィードバックし、互いに独立性を保ちつつ歩調を合わせた開発が可能となる。

## 4 基本性能評価

図 3 のプロトタイプシステムの基本的な性能を以下の二つの観点から評価する。なお、評価で用いるコンテンツのサイズは 1 MBytes とした。

1. コンテンツ配信の予約から配信先端末にコンテンツを配信するまでに必要となる処理時間
2. 上記 1. で必要となる制御トラフィック量

図 5 に評価結果を示す。同一のコンテンツを同一の予約時刻、同一の予約場所、ならびに同一の予約

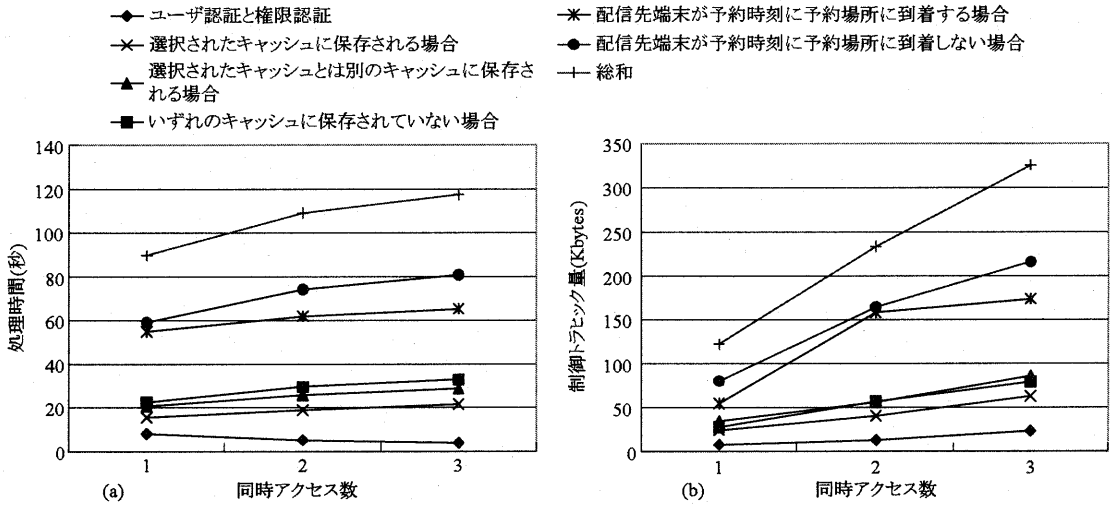


図 5: 処理時間と制御トラフィック量。

端末とする予約の数を同時アクセス数(図5の横軸)とする。また、コンテンツの準備に関しては、2.2節で示した三つの場合に応じた手順に要する処理時間と制御トラフィック量を評価する。さらに、コンテンツ配信に関しては、配信先端末が予約時刻に予約場所に到着する場合とそうでない場合の処理時間と制御トラフィック量を評価する。総和は、処理時間および制御トラフィック量ともに、上記で最大となる場合とした。

#### 4.1 処理時間

図5(a)に処理時間を示す。図2(6)の“キャッシュ選択応答とコンテンツ準備応答”から図2(7)の“配信時刻通知応答”までの時間はシステムが配信時刻の到着を待機するため処理時間に含めない。

評価の結果、配信先端末が予約時刻に予約場所に到着しない場合に生じるコンテンツの移動に要する処理時間が同時アクセス数の増加とともに増大しており、支配的と考えられる。ここで、処理時間の総和  $F$ (秒)が同時アクセス数  $N$  に比例して増加すると仮定すると、 $F$  は  $N$  を用いて式(1)のように近似できる。

$$F = 10.83N + 49.84 \text{ (秒)}. \quad (1)$$

式(1)で  $N=1,000$  の場合、 $F=10,879.84$ (秒)(3時間超)となる。しかしながら、キャッシュ間ならびにキャッシュから ROF 基地局を経由した配信先端末に至る ROF 路車間通信システムの広帯域通信を利活用することができれば、処理時間の総和を削減できる。

例えば、156Mbps の帯域が提供されれば、 $N=1,000$  の場合、処理時間の総和  $F$  は約 12 分まで短縮され、サービスエリアでの平均停車時間等の比較から実用上問題ないと言える。

同時アクセス数の増加とともに処理時間を実際に支配すると思われるのは、むしろ、要求されたコンテンツがいずれのキャッシュにも保存されてなく、コンテンツ提供ドメインのコンテンツサーバからコンテンツの提供を要求する場合である。この場合の処理時間  $C$ (秒)が同時アクセス数  $N$  に比例して増加すると仮定すると、 $C$  は  $N$  を用いて式(1)のように近似できる。

$$C = 2.96N + 12.75 \text{ (sec)}. \quad (2)$$

式(2)で  $N=1,000$  の場合、 $C=2975.75$ (秒)(約 49 分)となる。コンテンツ提供ドメインのコンテンツサーバからコンテンツの提供を要求する場合、一般に、評価で用いた 10 Mbps Ethernet よりも狭帯域の回線を用いることが想定されるため、実際には、処理時間  $C$ (秒)は上記の結果よりもさらに長くなる。

以上、コンテンツ配信ドメインに地理的に分散配置したキャッシュを設けてコンテンツを配信する提案プラットフォームはスケーラビリティの観点から有効と言える。

#### 4.2 制御トラフィック量

図5(b)に制御トラフィック量を示す。配信するコンテンツのサイズは制御トラフィックに含めない。

評価結果から、将来展開の際に必要なネット

ワーク帯域の目安を与える。制御トラフィック量の総和  $R$ (Kbytes) が同時アクセス数  $N$  に比例して増加すると仮定すると、 $R$  は  $N$  を用いて式 (3) のように近似できる。

$$R = 101.34N + 24.66 \text{ (Kbytes)}. \quad (3)$$

式 (3) で  $N=1,000$  の場合、 $R=101.36$ Mbytes となる。これより、コンテンツ配信ドメインの構築には、上記以上の広帯域 ITS 通信システムが必要であり、ROF 路車間通信システムは有力な候補の一つと言える。

## 5 おわりに

本稿では、ROF (Radio on Fiber) 通信技術に基づく ROF 路車間通信システムの広帯域通信を利活用した、ITS コンテンツ配信プラットフォームを新たに提案した。コンテンツはユーザからの予約に基づいて配信される。ユーザは携帯端末や車載機などの予約端末を使い、要求するコンテンツ、予約時刻、予約場所、ならびにコンテンツの配信先となる配信先端末を指定する。

提案プラットフォームは地理的に分散配置した複数のキャッシュを設けたアーキテクチャであり、コンテンツの配信先となる端末が予約場所に到着しない場合であっても、複数のキャッシュ間でコンテンツを融通することにより、信頼性の高い配信が可能である。

提案プラットフォームに基づくプロトタイプシステムを実装した。本システムは複数のサーバの独立性を高め、プラットフォームへの機能拡充や新規機能追加を容易に可能とするため、Jini 技術を用いて実装した。また、提案プラットフォームの実現性検証や、検証結果を反映した機能拡充を ROF 路車間通信システムの開発と独立して行うためのシミュレータを導入し、互いに独立性を保ちつつ歩調を合わせた開発を可能とした。本シミュレータでは地図上の操作だけで配信先端末の移動シナリオを容易に作成でき、また、ROF 制御局を地図上の任意の場所に仮想的に配置し、各局の通信範囲を様々な値に変化させた場合の評価が可能である。

提案プラットフォームの実現性検証を目的に、1) コンテンツ配信の予約から配信先端末にコンテンツを配信するまでに必要となる処理時間、ならびに 2) コンテンツ配信の予約から配信先端末にコンテンツを配信するまでに必要となる制御トラフィック量の観点から、プロトタイプシステムの基本的な性能を評価した。その結果、コンテンツ配信ドメインに地理

的に分散配置したキャッシュを設けてコンテンツを配信する提案プラットフォームはスケーラビリティの観点から有効であり、また、将来展開の際に必要なネットワーク帯域の目安を与えた。

予約方法の改善、配信先端末からの情報の利活用、ならびに実際の ROF 路車間通信システムと統合したフィールドトライアルが今後の課題である。

## 謝辞

日頃御指導頂く (株)KDDI 研究所浅見所長、松島副所長、ならびに水池執行役員に感謝する。

## 参考文献

- [1] 児島 他. ITS 路車間通信におけるマルチメディア・レーン & ステーションの提案. 信学技報, ITS99-106, pp.97-108, February 2000.
- [2] M. Fujise et al. Millimeter-wave ROF Multiple Service Road-Vehicle Communication Experiments. In *Proc. of ITST2000*, pp.71-76, October 2000.
- [3] K. Yoshihara et al. Content Delivery Platform over ITS Road-to-Vehicle Communication System based on Radio on Fiber. In *Proc. of ITST2001*, pp.285-290, October 2001.
- [4] Jini<sup>TM</sup> Network Technology Developer Center. <http://developer.java.sun.com/developer/products/jini/>.