

## 小型アクセシブルモビリティ活用サービスの有効性検討

桑原昌広<sup>1</sup> 吉岡顕<sup>1</sup> 山田匡規<sup>2</sup> 鈴木昭太郎<sup>2</sup> 城殿征志<sup>2</sup>

**概要：**近年新たなモビリティサービス導入の動きが活発化している中、SIP-adus（自動走行システム）で小型アクセシブルモビリティが提案されている。小型アクセシブルモビリティシステムを活用した観光地向けモビリティサービス案を検討し、シミュレーションにより、タクシーハイヤー及びタクシーサービスと比較し、サービス成功率/稼働率/効率性の観点で有効性があることを確認した。

### Effectiveness evaluation of Small Accessible Transport service

MASAHIRO KUWAHRA<sup>1</sup> AKIRA YOSHIOKA<sup>1</sup>  
MASAKI YAMADA<sup>2</sup> SHOTARO SUZUKI<sup>2</sup> MASASHI KIDONO<sup>2</sup>

#### 1. 背景

近年新たなモビリティサービスの動きが活発化してきている。カーシェアリング、バイクシェアは世界的に普及期に突入し、Uber、Lyftのようなライドソーシング、BridjなどのDRTサービス（又はマイクロトランジットサービス）は北米、欧州を中心に様々な動きがみられてきている。

更にLocal Mortsors等自動運転機能保有した小型バスを利用した実証は世界的に始まってきており、北米のTRB（Transport Research Board）でのホットトピックスとしてSAV（Shared Autonomous Vehicle）があげられ、この流れは今後も進むと考えられる。

その他新しい動きとして、MaaS Globalがヘルシンキ等で提供を始めている都市内モビリティサービスをバンドルしてフラットレートで提供しようとする動きも出てきている。

逆に地方都市では採算が合わないためバスのような公共交通自身なくなりつつある現実もある。

そのような環境の中、今後将来に向けて下記に示す3点の対応の必要性が高まってくると推察される。

1点目は、端末交通での高齢化対策も含めたダイバーシティへの対応である。その理由として、高齢化問題が叫ばれている中、特に端末交通では対応できていない。更に日本では、駅の構造の問題、バスと自転車のような端末交通同士の連携が不十分であるという課題があるためである。

2点目は、都市内交通は全体で最適化が必要である。その理由として、オンデマンドサービス増、更に個別モード最適化したものをユーザとマッチングしていく動きがみられてきているが、都市交通にかかる公共資金は限られて来

ており、最適な形にして投資を少なくする方向へいくと想定されるためである。

3点目は、モビリティサービスのサステナブル化である。その理由として、過疎地だけではなく地方都市では、交通事業として成立しなくなってきたこと、自動車だけに依存した交通体系は、サステナブルな都市になりえないこと等が挙げられる。

上記必要性をクリアしていく手法の一つとしてSIP-adus（自動走行システム）の中で提案されている小型アクセシブルモビリティシステム[1]の適用が考えられる。

小型アクセシブルモビリティとは、高齢者、ハンディキャップを持たれた方々も含めた全ての人に対して、電車等のマストランジットとフレキシブルにつなぐことによってFirst/Last mileをサポートするシステムコンセプトである。HeadとCabinから構成され、Headには運転者が乗車し、後方に連なり乗客がのるCabinは電子連結でHeadを追随できる。更に、Cabinはステーション近くのみでドライバレスの運用が可能とする。そのため、乗客はCabinから降りずにフレキシブルにかつ簡潔なコネクションが可能であるシステムコンセプトである。

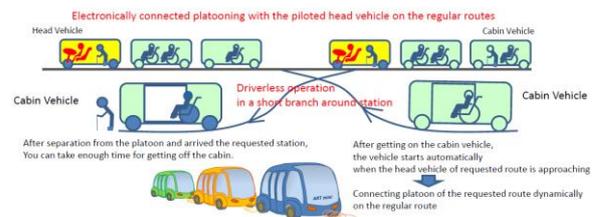


図1 小型アクセシブルモビリティのコンセプト[1]

<sup>1</sup> (株)トヨタ IT 開発センター  
TOYOTA InfoTechnology Center, Co.,Ltd  
<sup>2</sup> トヨタ自動車 (株)  
TOYOTA Motor Corporation

将来必要性の高まると注目した点に関して小型アクセシブルモビリティが解決可能性のあるシステムの特徴はユーザ視点及び事業者視点で複数あると想定される(表 1)。

表 1 注目した小型アクセシブルモビリティの特徴

視点	内容
ユーザ視点	キャbinは低床で高齢者、ハンディキャップを持たれた方々にも対応できる
	乗り換えが不要で目的地まで行くことができる
事業者視点	キャbinにはドライバがないため、新たな使い方ができる可能性がある(停車時に休憩所として利用できるなど)
	フレキシブルにHeadとCabin、CabinとCabinを切り離し可能であるため、複数のサービスを1つのシステムで実現できる可能性があり、単独サービスよりも効率的に運営が可能

## 2. 目的

本システムを活用したサービス案を検討し、そのサービスを実現した際の有効性をシミュレーションによって検証し、小型アクセシブルモビリティシステムの可能性について検討する。

## 3. 適用サービス案

有効性を検証するため、まず想定利用シーンを表 2 のように設定した。

### 3.1 想定利用シーン

表 2 小型アクセシブルモビリティ想定利用シーン案

想定利用シーン	課題
①観光都市	<ul style="list-style-type: none"> <li>観光客増加(含むインバウンド対応)</li> <li>二次交通不足</li> <li>観光回遊データが不足</li> </ul>
②地方都市 中心市街地	<ul style="list-style-type: none"> <li>スプロール化と中心部の空洞化対策</li> <li>自動車の過度な依存からの転換</li> <li>高齢者移動問題が顕在化</li> <li>コミュニティバスがあってもルートが固定、ルートが長い</li> <li>公共交通は赤字体質</li> </ul>
③オールド ニュータウン	<ul style="list-style-type: none"> <li>高齢者移動問題が顕在化</li> <li>交通弱者の移動手段の確保</li> <li>買い物難民対応</li> </ul>

その中でも直近課題として、2次交通手段が不足していること、高齢者及びインバウンドも含めた多様な観光客を

増加させていきたいニーズがある観光都市を題材に有効性を検討するサービスイメージを検討した。

観光都市での2次交通環境は、バス/レンタル自転車/徒歩は低コストであるが、回遊性及び頻度の点で課題を抱えている。バスはルートが固定かつ長く、観光中心の都市では、頻度が低いことが課題である。レンタル自転車は、観光エリアがある程度コンパクトであれば回遊性が高いが、数kmを超えてくると移動手段としては厳しく、高齢者等全ての人が便利に使えないという課題を抱えている。徒歩も同様の課題を抱えている。

一方、人力車、ハイヤーは、回遊性及びオンデマンド対応力は高いが、高コストであり、気軽に利用できる環境ではない(図 2)。

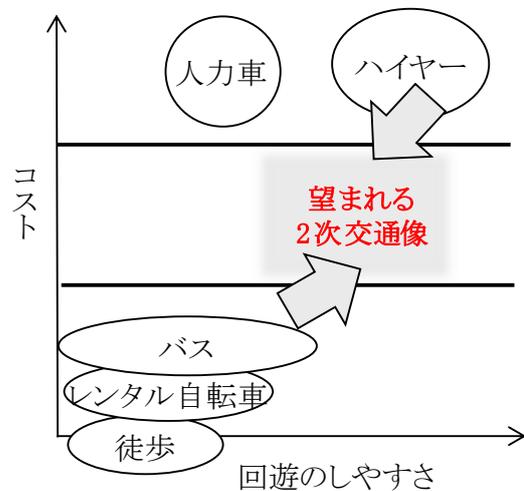


図 2 観光都市での2次交通状況

また、観光都市が抱えている課題として観光客がどのように回遊しているかのデータが不足していることが挙げられる。日本では観光立国を目指しインバウンドを含めた観光客増加に向けた施策が様々検討されているが、効果を検証するためのデータを獲得することは難しい。もちろんアンケート及び専用アプリを用いた回遊性行動評価などでユーザー行動を把握しているが、サンプリング調査であること、継続的な調査が難しいこと、言語対応が必要なことなどから、十二分にデータを獲得できていないことが現状であると推察される。

### 3.2 システム活用案

そこで、本システムの活用案として、観光都市で“外国人、高齢者に対応できる回遊性/効率性の高い交通システムプラットフォーム”とする。

ユーザ視点からは、観光都市の2次交通状況から想定される課題である(タクシー)ハイヤーよりも安価でありつつ、高い回遊性/オンデマンド性を維持し、高齢者等にも優しいサービスが提供されるシステムであること。

事業者視点からは、(タクシー)ハイヤーとしてだけではなく、オンデマンドニーズ等にも1つのシステムで対応できるため効率的にかつ事業成立性の高いシステムであること。将来の視点としては、交通としての回遊に関するデータだけではなく、購買等様々なデータを集約し全体で最適な環境を構築できるようなプラットフォームへと拡張することを視野に入れる(図3)。

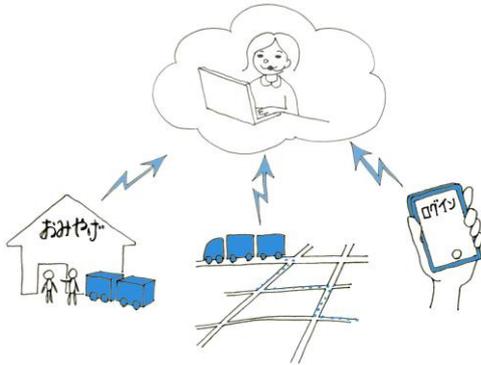


図3 将来のプラットフォームイメージ

今回検証を行う具体的なサービスとして、安価かつ便利なハイヤーサービス及びオンデマンドサービスの2つを対象とする。

### 3.3 安価かつ便利なハイヤーサービス

目指すサービスの特徴を下記に示す。

1. 図2に示す望まれる2次交通像のエリアを想定し、ハイヤーよりも少し遅延する可能性があるが安価に提供される。
2. 本システムの特徴であるドライバーのいないCabinを“あなたのスペース”として提供する。例えばCabinを家族専用に活用でき、高齢者、幼児等がいても便利等の利便性を提供することでCabinが停車している際にも気軽に活用できる。



図4 安価かつ便利なハイヤーサービスイメージ

### 3.4 オンデマンドサービス

目指すサービスの特徴を下記に示す。

1. バスよりも自由度があり、バスとタクシーの間の料金で提供される。

2. Cabinはスペースがあるため、荷物があってもバスや一般的なハイヤーよりもスムーズに持ち込み可能である。

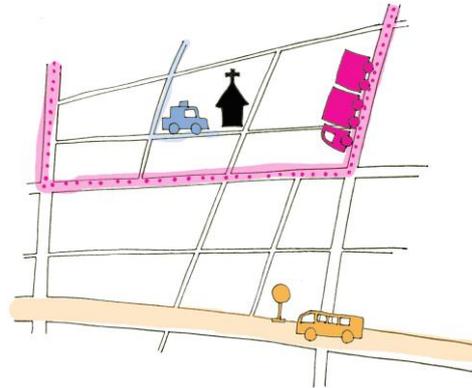


図5 オンデマンドサービスイメージ

### 3.5 有効性検証方法

3.3. 及び 3.4 で示すサービス案をベースにシミュレータを構築し、有効性を検証する。

目指すサービスの特徴を実現するため、2つのサービスを1つのシステムで提供し、HeadとCabinを効率的に活用することを目指す。

そこで有効性の検証は本システムで提供する2つのサービスと、タクシーによるハイヤーサービスと空いた時間で実施するタクシーサービスよりも有効であることを検証する。

具体的には、想定した需要に対するサービス成功率、稼働率(本システムはHead/Cabin双方を対象で、タクシーは車両のみを対象)、遅延時間(出発/到着時)を比較することで有効性を検証する(図6)。

$$\text{サービス成功率} [\%] = \frac{\text{サービス成功数}}{\text{予約(需要)の総数}} \times 100$$

$$\text{稼働率} [\%] = \frac{\text{車両移動時間} [\text{min}]}{\text{シミュレーション時間} [\text{min}]} \times 100$$

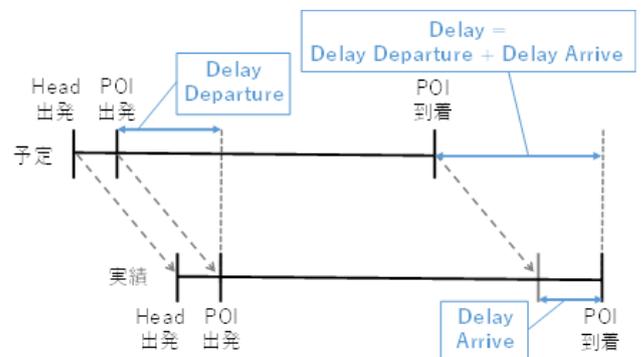


図6 指標の定義

#### 4. シミュレータ仕様

シミュレータに実装するサービスイメージをそれぞれ示す。今回実装するサービスは動きがかなり複雑であることが想定されるため、Cabin 連携数は最大 3、Cabin での相乗りはしない、ユーザの乗降時間はユーザの種類によって変動しないなどの制約条件を付けてシミュレータを構築した。

下記 4.1.4.2 で訪問場所: POI-A~D の 4 か所に複数需要に対するサービス提供詳細イメージを示す。リソースは Head1 台、Cabin3 台でサービスするものとする。

##### 4.1 安価かつ便利なハイヤー詳細サービスイメージ

ハイヤーユーザが A から出発し、B,D でそれぞれ 60 分滞在し、A に戻ってくるとすると、Head は Cabin1 を連結して A を出発する。B に到着し、ユーザが下車し、60 分滞在した後 Head が迎えに来て、B から D へ移動を開始する。D に到着し、ユーザが下車し、60 分滞在した後 Head が迎えに来て、D から A へ移動する (図 7)。

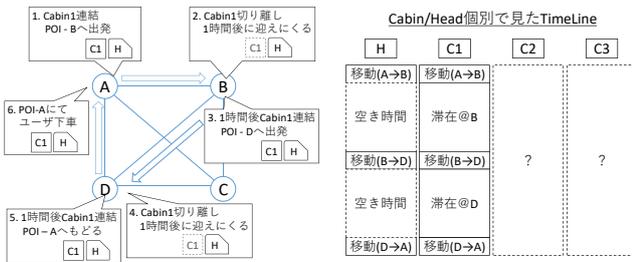


図 7 詳細サービスイメージ (その 1)

##### 4.2 オンデマンド詳細サービスイメージ

図 7 の 2 と 3 の間にオンデマンド予約が来た場合、B にてハイヤーユーザが下車した後に A にてオンデマンド予約が発生するため、A 近くの Cabin2 を連結し、ユーザが乗車する。Cabin はハイヤーユーザの出発に間に合うように、C から B へと移動する (図 8)。

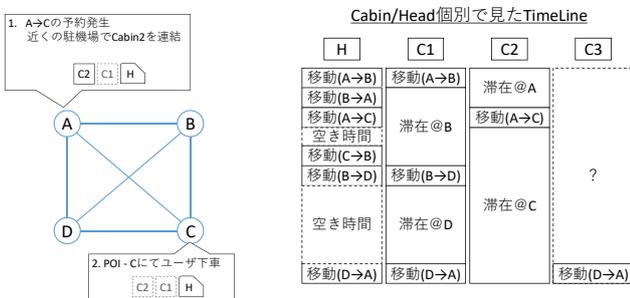


図 8 詳細サービスイメージ (その 2)

更に図 7 の 4 と 5 の間にオンデマンド予約が来た場合、ハイヤーユーザが D を出発する前に D にてオンデマンド予約が発生するため、D 近くの Cabin3 を新たに連結し、Cabin1

のユーザと同時に Cabin3 のユーザも乗車し、A へ移動を開始する。A にて Cabin1 のユーザが下車し、B へ出発を開始する。B にて Cabin3 のユーザが下車する (図 9)。

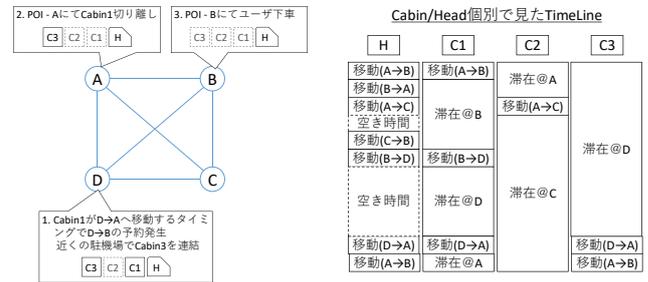


図 9 詳細サービスイメージ (その 3)

##### 4.3 シミュレーション全体像

本シミュレータでは、需要データに基づいた予約を受けて処理を行う。予約処理によって予約が成立した後、各車両が移動を行う。図 10 にシミュレーション全体の概略図を示す。

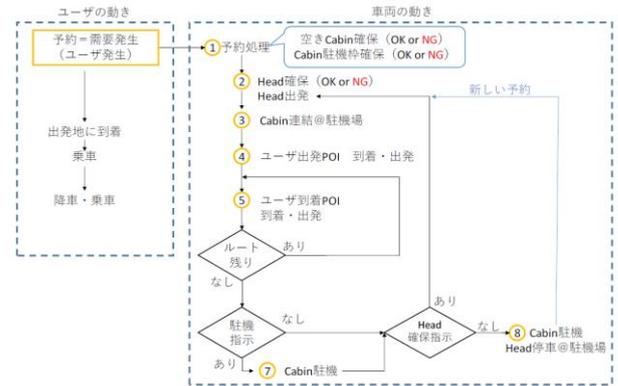


図 10 シミュレーションの流れ概要

#### 5. シミュレーション条件

##### 5.1 ネットワーク

日本の観光都市 H 市をモデルとし、ネットワーク及び合計 14 の訪問先 (POI) と Head/Cabin が駐車するスペース (Ps/PL) を設定した (図 11)。リンクとノードはそれぞれ道路と交差点を模擬し、POI と駐車スペースは特定のノード上に存在する形をとっている (例えば、③の POI のあるノードには Ps も同じく存在)。駐車スペースを 2 種類設定した理由は、観光地で POI のすぐ近くに駐車スペースがあれば良いが、環境保護、回遊性を向上させるために大規模駐車場は観光地が集積している場所から少し離れた場所に存在していることが多いこと、POI の近くに駐車場があっても小規模のみにしか存在しないと想定したためである。

Head/Cabin とも移動する必要のない場合は、最も近くの駐車場で待機する。Head は大規模駐車場にのみ駐車が可能

とした。

ユーザからリクエストがあった場合に、Head と Cabin が連結した状態で、POI があるノード上で乗降を行い駐車場の設定されていない POI では駐車はできない。

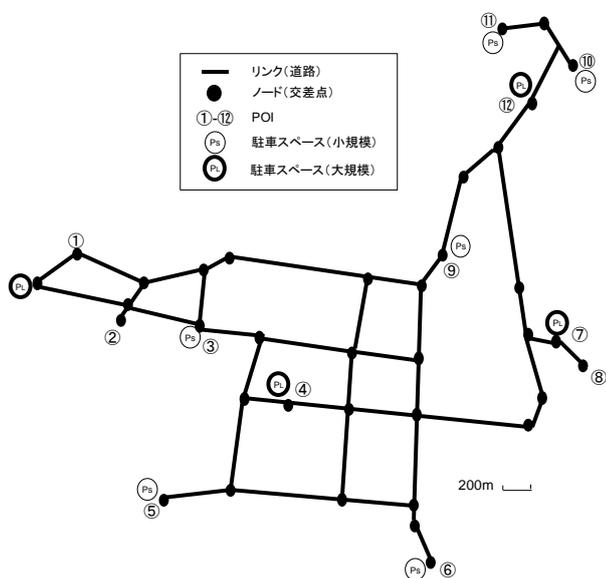


図 11 設定ネットワーク

## 5.2 需要発生のお考え方

本シミュレータでは、1 時間あたりの需要発生データをインプットとし、出発 POI から目的 POI に向かうユーザが何人発生するかという需要をポアソン分布（指数分布）で仮定し、発生させることとした。

ハイヤーサービス需要は複数のルート需要を持ち、オンデマンドサービス需要は 1 つのルート需要を持つユーザとする。

H 市に電車もしくは長距離バスで来たユーザが主な対象であると想定し、④と⑨の POI を観光の Gateway としてみなし、ハイヤー需要は Gateway を中心に南西エリア回遊ルートと北東回遊ルートがあるという設定で本シミュレーションを実施した。

オンデマンドサービス需要は、すべての時間帯にすべての POI に対してランダムに需要が発生する設定とした。

## 6. 有効性検証

本シミュレーションでは、タクシーハイヤー及びタクシーサービスと比較を行い、今回提案するサービスシステムの有効性を確認する。

本シミュレータで Head が無限大で Cabin 予約が入った瞬間に Head がアサインする設定とすることでほぼタクシーハイヤー及びタクシーサービスを模擬できる。

## 6.1 ハイヤーサービス需要のみ

本サービスの Head 数とタクシーの台数（≒Cabin 数）を同じにしてシミュレーションを実施する。

まず、本サービスの Head/Cabin を 8/20 台とし、タクシーハイヤーを 8 台としてシミュレーションした結果を図 12,13 に示す。

ハイヤー需要を増加した際に、サービス成功率を見るとタクシーハイヤーは需要 20 から 100%を割り込むが、本サービスでは需要が 40 まで 100%を保持していることがわかる。ハイヤーサービスは 1 つの需要に対して 1 つの Cabin をアサインするため、20 需要に対して同時に対応できるが、1 日単位で見ると 40 まで対応できていることがわかった（図 12）。

最大遅延時間は需要 40 から急激に増加していることがわかり、タクシーハイヤーはその時に動ける台数分しか乗車させないため、最大遅延時間は全ての需要で 0 になっている（図 13）。

本ケースをベースとして、Head 及び Cabin を増加させた場合にどのような結果をもたらすのかを以下で確認する。

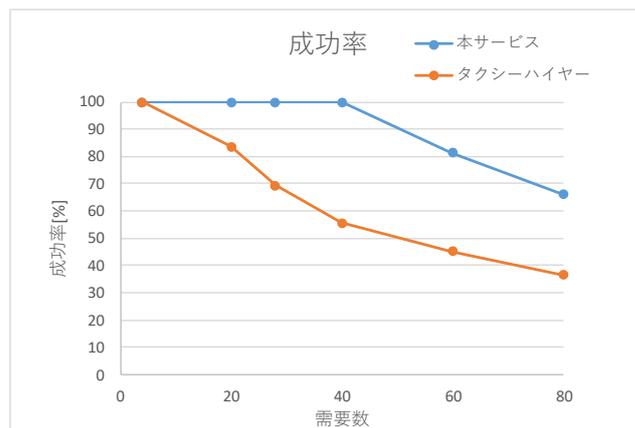


図 12 ハイヤーサービス需要のみ結果：ベースケース (成功率)

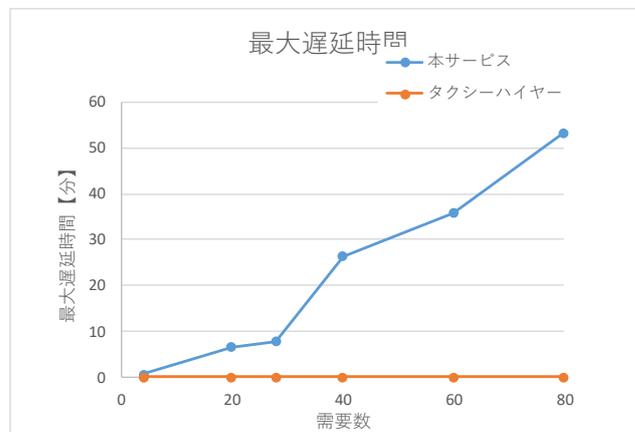


図 13 ハイヤーサービス需要のみ結果：ベースケース (最大遅延時間)

Head を 20 台に増加した場合の結果を図 14,15 で示す(本サービスは Head/Cabin が 20 台/20 台、タクシーハイヤーは 20 台)。

タクシーハイヤーは車が増加されるため、需要が 40 までサービス成功率を 100%維持させるようになるが、本サービスは Head20 台に増加させても、Head8 台の場合と同様に需要 40 までしか 100%を維持しない(図 14)が、Head が増加することにより、最大遅延時間が大幅に改善されていることがわかる(図 15)。

このことより Head を増加することによる効果は遅延時間を減少させることであることがわかった。

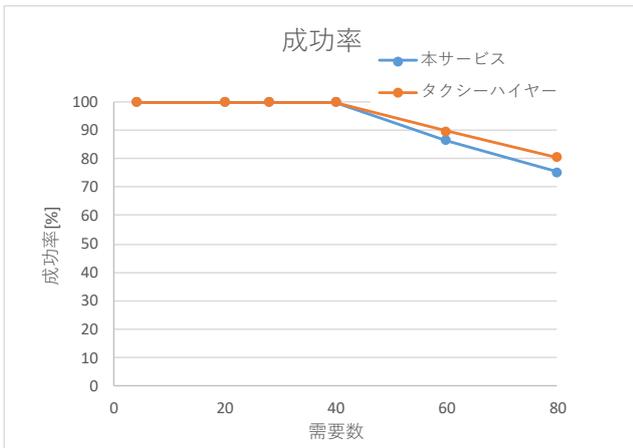


図 14 ハイヤーサービス需要のみ結果：Head 増加 (サービス成功率)

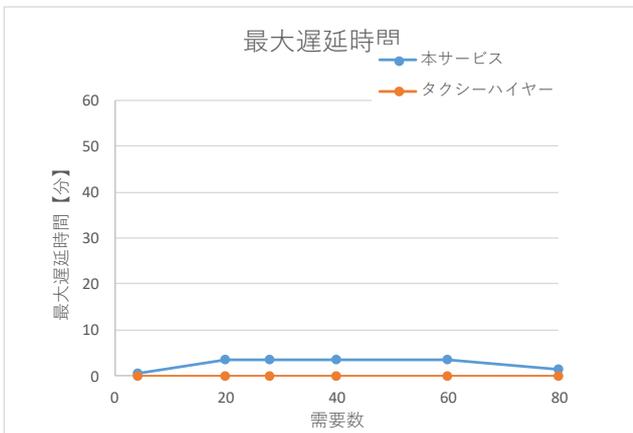


図 15 ハイヤーサービス需要のみ結果：Head 増加 (最大遅延時間)

Cabin を 80 台に増加した場合の結果を図 16,17 で示す(本サービスは Head/Cabin が 8 台/80 台、タクシーハイヤーは 8 台)。

本サービスは Cabin が最大需要と同じ 80 台であるため、100%を維持していることがわかる(図 16)。しかしベースケース同様、需要 40 から最大遅延時間が急増していることがわかる。

このことより Cabin を増加することによる効果は、成功率の増加を導くが、Head が Cabin を上手く連携して運べるだけの数がないため、最大遅延時間は大きく増加することがわかった(図 17)。

ハイヤーサービス需要のみがある場合のシミュレーションより、Head を増やすと遅延が大幅に改善され、Cabin を増やすと成功率は増加するが、遅延時間も増加することを確認した。

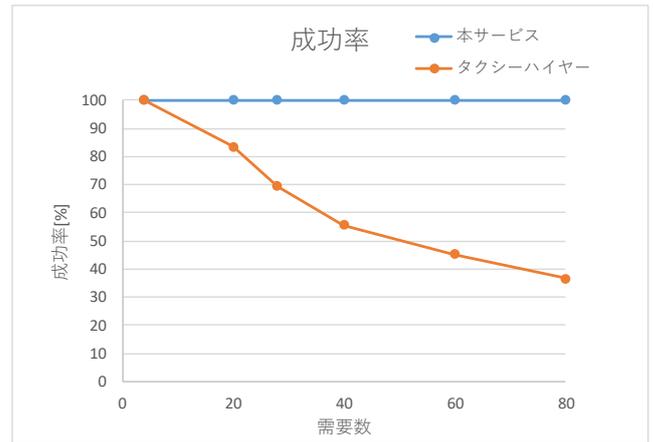


図 16 ハイヤーサービス需要のみ結果：Cabin 増加 (サービス成功率)

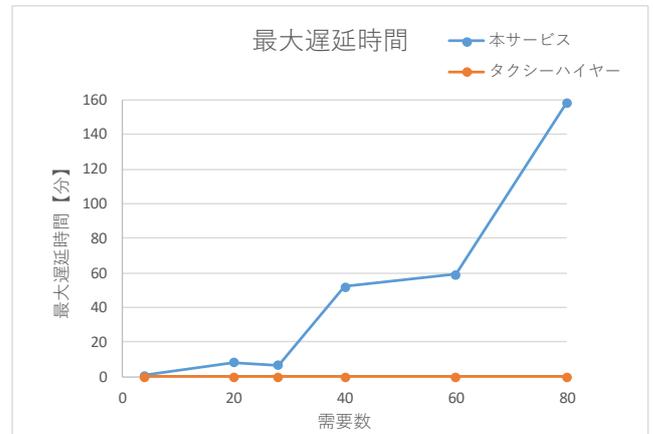


図 17 ハイヤーサービス需要のみ結果：Cabin 増加 (最大遅延時間)

## 6.2 オンデマンドサービス需要のみ

次にオンデマンドサービス需要のみがある場合について本サービスの有効性を検証する。本サービスの Head/Cabin を 8 台/29 台とし、タクシーを 8 台としてシミュレーションした結果を図 18,19,20 に示す。

ここでの結果は 100 ケースのシミュレーションを実施した際の中央値の結果を示す。

タクシーと比較した場合、需要を増やして行っても成功率の下がり方はタクシーよりも抑えられる傾向にあること

がわかった (図 18)。

稼働率を見ると本サービスではタクシーよりも高い水準をキープし、オンデマンド需要にこたえるために Head が動き回っていること、需要が約 800 で Head 稼働の限界が来ていることがわかる (図 19)。

効率性の視点で、Head が複数の Cabin を連結して稼働している Head 共有率は、最大 30%にとどまっていることがわかった。理想的には Head にできるだけ Cabin を連携して稼働する姿であるが、今回は同じ出発 POI のみ Head を共有する仕様のため、需要数が一定以上になった場合に共有率が下がったものと考えられる (図 20)。

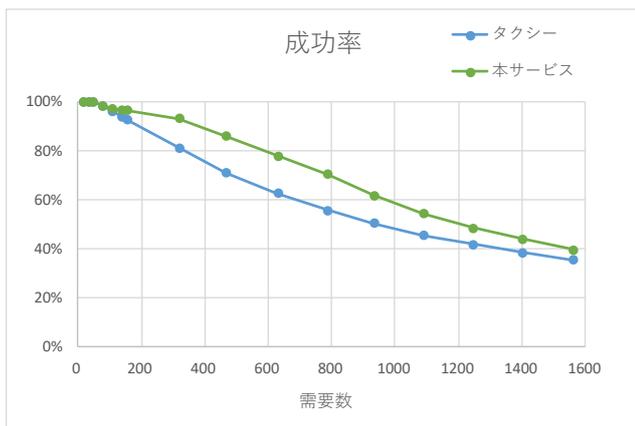


図 18 デマンドサービス需要のみ結果 (成功率)

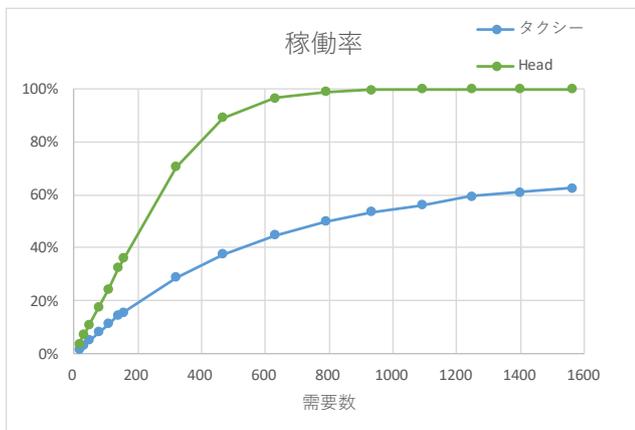


図 19 デマンドサービス需要のみ結果 (稼働率)

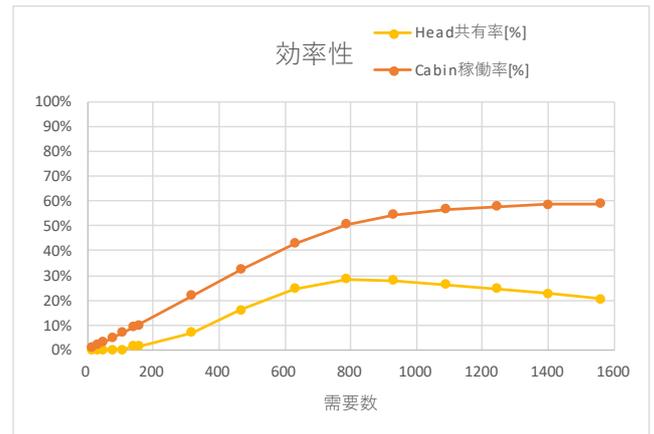


図 20 デマンドサービス需要のみ結果 (効率性)

オンデマンドサービス需要のみがある場合のシミュレーション結果より、需要が増加していくにつれてタクシーサービスよりも成功率及び稼働率の視点で本サービスの方が有効であることを確認できた。

今後の課題としては、異なる出発 POI の場合での Head を共有することにより、更に効率性を上げることであることがわかった。

### 6.3 ハイヤー/オンデマンドサービス需要での有効性検討

最後にハイヤーサービス需要及びオンデマンドサービス需要の双方がある場合について本サービスの有効性を検証する。本サービスの Head/Cabin を 8/29 台とし、タクシーを 8 台としてシミュレーションした結果を図 21,22,23 に示す。ここでの結果は 100 ケースのシミュレーションを実施した際の中央値の結果を示す。

6.1 のベースケースのシミュレーション結果より需要が 40 以下でハイヤーサービス需要をすべて成功させていることより、ハイヤーサービスを提供している間の Head の待ち時間及びハイヤーサービス需要がない時間帯にランダムにオンデマンド需要がある場合のどのぐらいの需要まで対応できるのかを検証することとする (タクシーハイヤー/タクシーで同様のサービスをした場合との比較により本サービスの有効性を検証する)。

ハイヤー需要 28 に加えオンデマンド需要を約 300 入れてもハイヤーサービスの成功率 100%を維持したまま、オンデマンド成功率約 80%が確保できている。また需要約 150 の場合もオンデマンド成功率は約 90%と高い水準であることも確認できる。タクシーの場合は、ハイヤー/オンデマンドとも需要が約 300 の場合、成功率が 50%を下回る結果になっている (図 21)。

稼働率を見ると、本サービスの方がタクシーよりも全体的に稼働率が高いことが確認できる (図 22)。

以上より本サービスをタクシーと比較し、成功率/稼働率とも大幅に高く、本システムの有効性を確認できた。

効率性については、オンデマンド需要結果同様に Head 共有率は、最大 20%程度にとどまっていることがわかった。本シミュレーションの場合にも同じ出発 POI のみ Head を共有する仕様であることが要因の 1つと考えられる(図 23)。

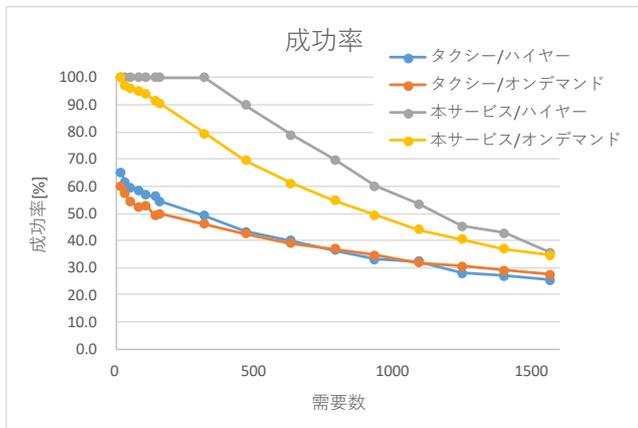


図 21 ハイヤーサービス/デマンドサービス需要結果 (成功率)

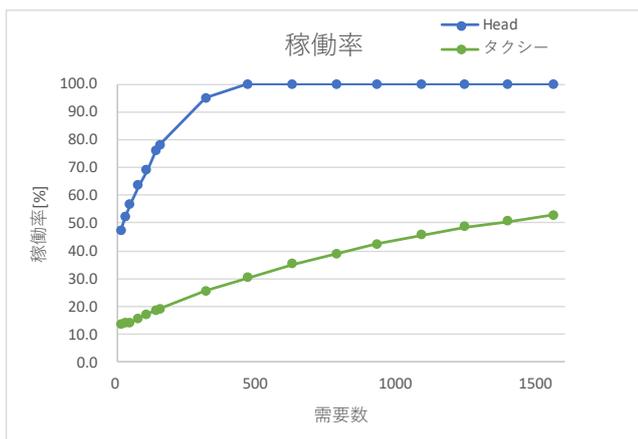


図 22 ハイヤーサービス/デマンドサービス需要結果 (稼働率)

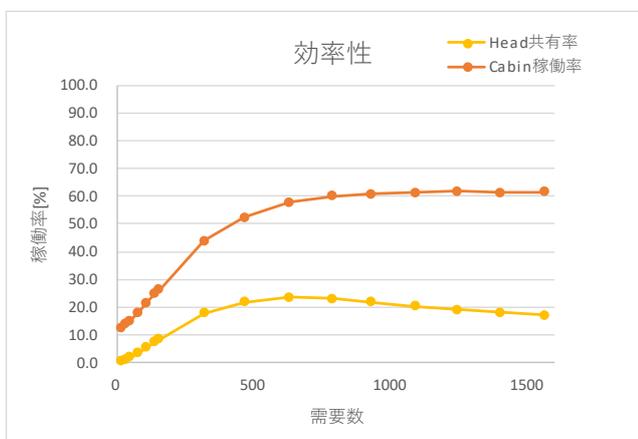


図 23 ハイヤーサービス/デマンドサービス需要結果 (効率性)

上記では事業者視点での有効性を評価しているが、ユーザ視点での評価も実施している。

図 24,25 はハイヤーサービス需要 28、オンデマンド需要 155 の場合のユーザごとの出発/到着時間をプロットしたものである。図から確認できるように、出発/到着とも 10 分程度の遅延であることがわかる。

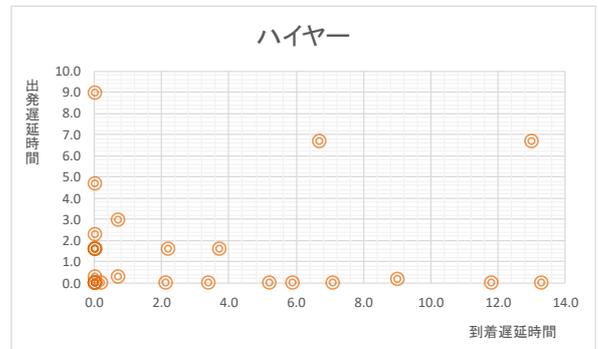


図 24 ハイヤーサービス ユーザ毎の遅延時間

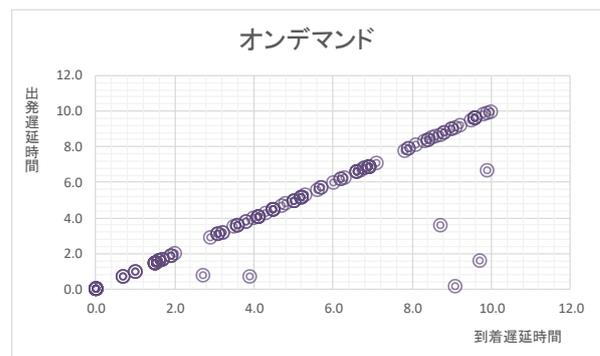


図 25 オンデマンドサービス ユーザ毎の遅延時間

以上の結果より、本システムがタクシーと比較して事業者視点及びユーザ視点で有効性があることを確認できた。

## 7. 結論

本サービスシステムをタクシーと比較を実施し下記可能性が確認できた。

1. タクシーハイヤーよりも一定時間内の遅延可能性はあるが、本サービスでのハイヤーとしての成功率は高く、オンデマンド需要にも十分対応できる可能性がある
2. ユーザに対して複数サービス (ハイヤー/オンデマンド) を提供することで効率的に運営することができるため需要がある一定以上ある場合は Cabin 分のコストが上乗せされたとしても、安価にサービス提供できる可能性がある

## 8. 今後の方向性

シミュレーションにより本システムの可能性を確認できたが、今後更に下記の点について検討を進めていく必要があると考えている。

シミュレータ仕様の視点では、オンデマンドサービスの効率性を上げるために出発地が異なっても Head を共有する、相乗り機能を追加することによる更なる効率化を実施することである。

追加サービスシステム視点では、余ったリソースを上手く活用するために、ほとんど同じ仕組みで旅行者が荷物を駅・バス停まで運んでもらいたい時に活用できる物流サービス(図 25) も加えることが可能であると想定されるためそれらを踏まえた複数サービスシミュレーションを実施することである。

また、将来のプラットフォーム像で記述した全体最適の在り方及び観光都市以外の 2 つのケース(図 26,27) の着手を検討していく。

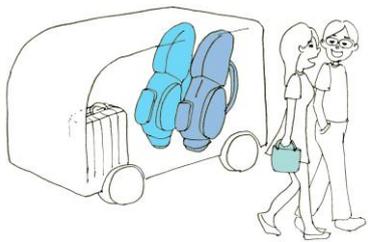


図 25 物流サービス案：手ぶらサービスサポート

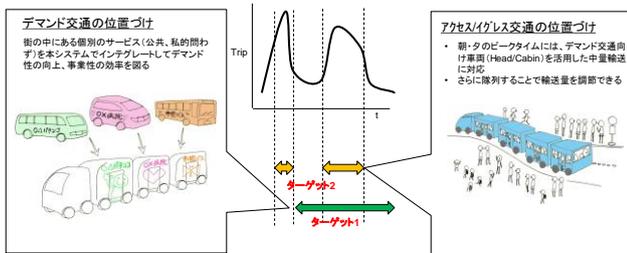


図 26 地方都市中心部での交通需要イメージと街に必要なシステム案

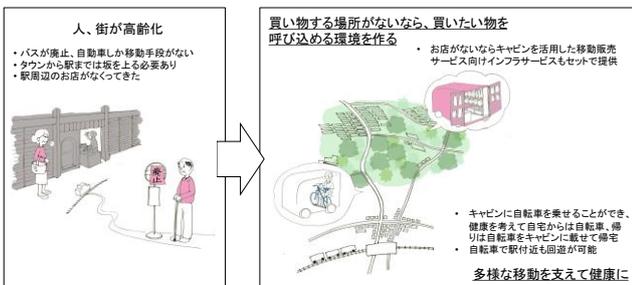


図 27 オールドニュータウンでの交通イメージと街に必要なシステム案

## 参考文献

- [1] Masayuki Kawamoto, the Next Generation Accessible Transportation System/Services, ITS World Congress2015