

オンデマンドバスシステムの開発と実証

56792 坪内 孝太
指導教員 大和 裕幸 教授

“On-demand bus system” is an approach to improve mobility in cities. Though some experiments of On-demand bus system are being carried out, almost all of the systems don't have user-friendliness in schedule. The author proposes “A new On-demand bus system”, which customers can make a reservation via telephone by voice corresponding system and get a riding plan in return. IT system of this On-demand bus system is based on newly developed scheduling algorithm, database technology and mobile communication technology between driver and server. The system was implemented and the experiment has been carried out in Kashiwa city, Chiba Prefecture and Unzen city, Nagasaki Prefecture. The author confirmed the practical use of the system as well as customer's satisfaction.

Key words : On-demand bus, Online Dial-a-Ride Problem with Time Windows

1. 緒言

自家用車の利用率はここ数十年において大きな伸びを見せており、今では1.6人に1台を持っている普及状況である。我が国では環境に優しく利便性の高い交通体系を作る目的で、自家用車の利用を減らし、公共交通機関へ移行させる取り組みが続けられている。

オンデマンドバスは決まった時刻に決まった経路を移動する路線バスとは異なり、発生する需要のみを効率的に拾って運行する「走り方」に着目した新しい公共交通機関として注目されている。

様々な地域でオンデマンド運行の機能を備えた公共交通機関の実証実験が行われているが、①運用コストが高い、②時間的制約のある利用目的に対応できず利用者や利用目的が限られるといった問題がある。

そこで、現行のオンデマンドバスが持つこの2つの問題点について解決策を講じ、シミュレーションと実証実験により評価し、公共交通機関としてのオンデマンドバスシステムの今後の開発指針を明確にすることを本研究の目的とする。

2. オンデマンドバスシステムの設計

2.1 設計における2つの着眼点

現行のオンデマンドバスシステムの共通の問

題は、①運行コストが高い、および②時間的制約のある利用目的に対応していないという点である。この点に着目して、開発するオンデマンドバスシステムのねらいを決定した。

2.1.1 オペレータ不要のシステム

オンデマンドバスの一事例である『おだか e-まちタクシー』の費用割合を Fig. 1 に示す。このうち、車両費の削減は難しいが、オペレータにかかる人件費であれば自動応答システムを実装することで削減できる。

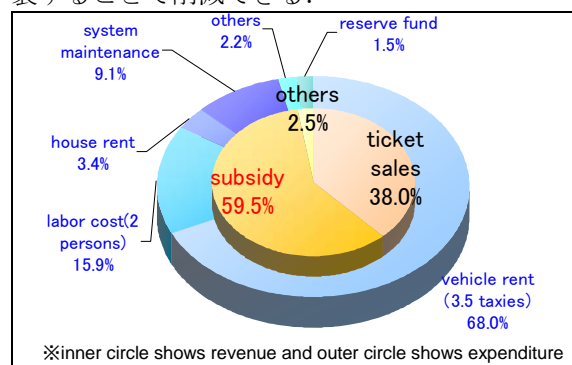


Fig. 1 Revenues and expenditures in 'Odaka e-machi taxi' case

2.1.2 遅れない運行時刻をリアルタイムで提示するシステム

オンデマンドバスの運行には「遅れ」の生じるケースが多い。たとえば、AさんとBさんが順に予約をする際、最初はAさんに9時に到着すると約束したとする。しかし、後にBさんの予約が入り、乗り合いになることでAさんは迂

回をすることになり、到着が遅れてしまう。

遅れない到着時刻を予約の時点で提示するためには①遅れないリアルタイムスケジューリングの実現、および②正確な移動時間の見積もりが必須になる。

2.2 オンデマンドバスシステムの概要

2つの着眼を考慮し、Fig. 2のようなオンデマンドバスシステムを設計した。

まず、乗客は電話やWebなどで予約システムにアクセスする。次に、予約システムが乗客のデマンド情報（発着地および希望到着時刻／あるいは希望乗車時刻）を取得し、取得したデマンド情報を計算システムに渡す。計算システムはこれまでに入っている経路と新しく入ったデマンド情報から新しいスケジュールを更新し、乗客に正確な発着時刻を伝える。

また、更新されたスケジュールはバスに通知され、バスはスケジュールにあわせて移動する。

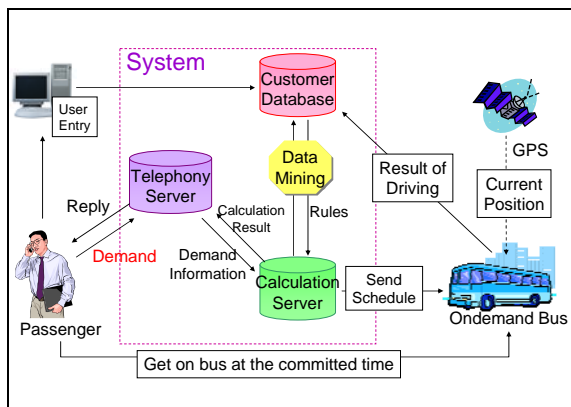


Fig. 2 System overview²⁾

3. オンデマンドバスシステムの開発

3.1 オペレータ不要で運行する機能の開発

既存のオペレータが行う①乗客との対話によりデマンド情報を聞き取る業務、②更新されたスケジュールをバスに伝える業務を自動化することでオペレータ不要のシステムとした。

3.1.1 予約サーバによる乗客との応答機能

予約窓口は電話を取る／切るなどの回線制御を行う。この制御は Computer Telephony Integration(CTI)プラットフォームにより行う。CTIプラットフォームにより回線が確立されると、乗客とシステムの間で対話が行われる。予約サーバは乗客に対話し、乗客がプッシュボタン入力で応答することで、予約サーバは顧客の

デマンド情報を認識することができる。

また、更新された最新のスケジューリング情報については音声に変えて乗客に返す。

3.1.2 車載システムによるバスとサーバ間通信

更新された経路情報や顧客情報をバスとサーバの間で交換する必要がある。その機能は車載システムによって行う。車載システムは FOMA 通信によりインターネットに接続しており、サーバから更新されたスケジュールを受け取る。

3.2 正確な運行時間を提示できる機能の開発

正確な運行時刻を提示するためには、①遅れないスケジューリングをする機能、②正確な移動時間を見積もる機能の2点が重要になる。

3.2.1 遅れないスケジューリング

遅れないスケジューリングの設定のために、Jaw らの挿入法³⁾を参考とし、タイムウィンドウの設定を工夫するアルゴリズムを実装した。乗客に希望到着時刻を「点」で指定させるのではなく、タイムウィンドウをもった「幅」で指定させることで問題の制約条件を緩めることができる。このタイムウィンドウのことを「ゆとり時間」と呼称する。到着時刻にのみゆとり時間の概念を用いて、リアルタイム処理による予約方法でも通常の乗り合わせと同等のサービスを実現することができる。

たとえば、10分のゆとり時間で9:00に到着を希望する場合、8:50から9:00の間に到着するように乗降することになり、9:00を過ぎることはない。また、指定した乗車時刻は必ず守って運行するため、バス停で何分も待つ必要がない。

3.2.2 正確な移動時間の見積もり

遅れないスケジューリングを提供できても、実移動で遅れができれば目的は達成されない。そのため、正確な移動時間を見積もる必要がある。

正確な移動時間の推測にはデータベースに蓄積される過去の移動時間の中から類似の条件の移動時間の平均をとり、それを新しい移動時間とする学習型のデータベース処理機能を採用した。学習のアルゴリズムは Fig. 3 のようになる。

$$T_{New}(a,b,hour) = \frac{T_{Data}(a,b,hour) + T_{Old}(a,b,hour) \times N}{N + 1}$$

$T_{New}(a,b,hour)$ New Traveling Time from point a to point b in hour o'clock
 $T_{Data}(a,b,hour)$ Actual Traveling Time from point a to point b in hour o'clock
 $T_{Old}(a,b,hour)$ Old Traveling Time from point a to point b in hour o'clock
 N : Customer Volume

Fig. 3 Algorithm of updating traveling time

4. シミュレーション実験による評価

4.1 シミュレーション実験について

実験の目的は、構築した計算システムの成立率および計算時間の評価を行う事である。実験では単位時間に平均 9.1 人の乗客(16 時間で 146 人)を発生させ、台数やゆとり時間の設定を変えた際の成立率の変化を検証した。また、その時の個々の予約にかかる計算時間を調べた。

4.2 予約の成立率の評価

台数を「2 台」「3 台」「4 台」およびゆとり時間を「5 分」「10 分」「15 分」「30 分」「移動時間の半分(TT/2 と表記)」と変えたときの成立率の変化を調べた。結果を Fig. 4 に示す。

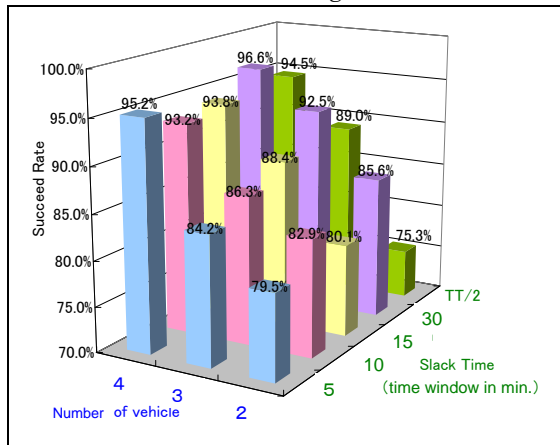


Fig. 4 Evaluation of succeed rate

成立率は台数やゆとり時間を増やせば増やすほど向上する。特に台数を 1 台増やす効果はゆとり時間を 5 分から 30 分にあげる程度の大きな効果がある。また、単位時間あたりの予約数を調べることで、設定したゆとり時間に対して成立率がどの程度になるかの検討ができる。

4.3 一人あたりの計算時間の評価

個々の計算時間の分布を成立だったケースと不成立だったケースの 2 通りに分けて Fig. 5 に示した。成立した予約の 6 割は 6 秒程度で、8 割は 20 秒程度で返されることがわかる。また不成立のケースの 8 割弱は 50 秒以上要している。

4.3 シミュレーション実験のまとめ

実験で得られた知見は計算システムの設計変数の設定にフィードバックすることができる。Fig. 4 の分析にてベースの成立率を設定し、Fig. 5 の分析にて予約応答までの平均時間を設定することができる。

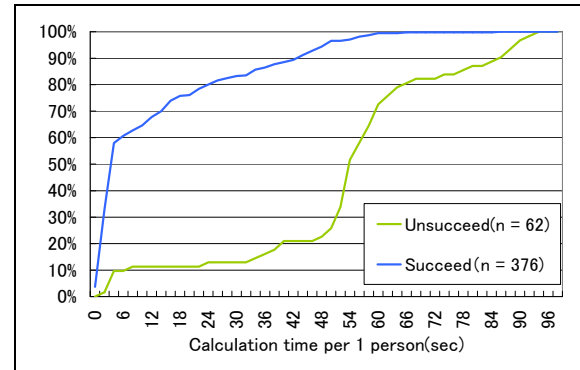


Fig. 5 Calculation time per 1 person (ogive)

5. 実証実験による評価

5.1 実証実験について

実証実験の目的は、開発したオンデマンドバスシステムを実運用の面から評価することである。また、千葉県柏市と長崎県雲仙市の 2 地域にて Table 1 の要領で実験を行い、地域性による利用状況の差異を検証した。千葉県柏市は路線バスへの依存度が高く需要が多い地域、長崎県雲仙市は高齢化が進み配線になる路線バスがある典型的な過疎地域の事例として取り上げる。

Table 1 Experiment summary

	Kashiwa	Unzen
Term	38 days	30 days
Vehicle	2 buses	30 taxis
# of Customer per hour·vehicle	5.63 customers	0.081 customers

5.2 実証実験の結果

5.2.1 遅延のない運行を実現できていたか。

本研究で開発したシステムの設計におけるねらいとして「ゆとり時間の範囲内で、早く到着することはあっても、遅延はない」ことがあげられる。そのためにスケジューリングアルゴリズムと移動時間の見積もりという 2 点を工夫した。柏市の実験において通知した到着時刻と実際に到着した時刻とのズレを Fig. 6 に示す。

図より、実運行では 2 分以内の遅延が 25%弱見られるが、それを除くとすべて通知時刻より早い時間に到着しており、ほぼ正確に運行できていたことが分かる。また、実験の前半と後半では、後半の方がよりズレの少ない到着時間の予測ができるようになっていることが読み取れ、実運行を重ねることで正確な移動時間を見積もることができるようになった効果であると考えられる。

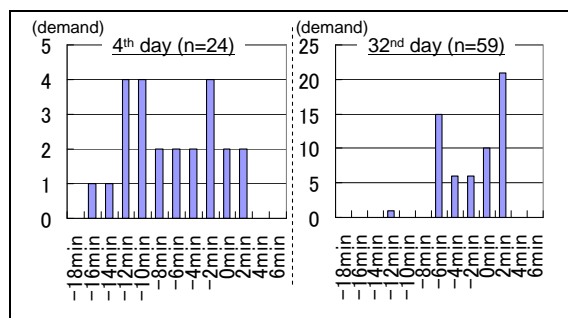


Fig. 6 Differences between actual delivery time and informed delivery time

5.2.2 遅延のない運行に付加価値はあるか.

柏市の実証実験では通勤などの時間的制約の強い利用目的に多く利用された. 遅延のない運行をすることが乗客に付加価値をもたらすかを多変量解析により検証した. アンケートで得られた①サービスへの評価値と②便利だと感じた機能の2点について重回帰分析を行い, 諸処の機能のサービス満足度に対する影響度を求めた.

Table 2 Influence of evaluation

Order	Contents	Coefficient
1	Accurate schedule	0.277
2	Location system	0.218
3	Period of run time	0.163
4	To be able to assign time	0.121
5	Location of bus stops	0.077
6	Reservation via web	0.033
7	Reservation via phone	-0.200

Table 2を見ると, 運行時間が正確である点が最もサービスの評価への影響度は高い. 遅延のない運行が評価に大きく寄与していることが読み取れる.

5.2.3 柏市と雲仙市での評価の違い

実運用の際の知見を得るために, 柏市と雲仙市における利用状況や評価の差異を調べた. Fig. 7によれば, 柏市よりも雲仙地域のほうが本サービスを高く評価していることが分かる.

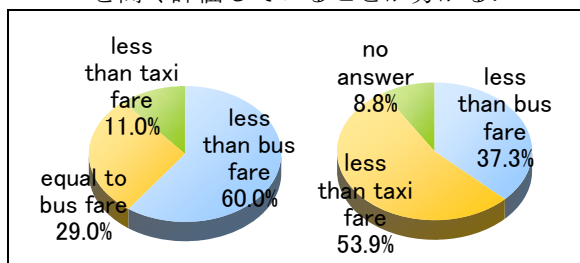


Fig. 7 Customers' expense for the service

Fig. 8によると, 雲仙における利用は交通不便地域での移動手段が主であるのに対し, 柏市での場合は既存の交通機関からの乗り換えが多いことが分かり, このことが雲仙市の高評価に

つながったのではないかと推察できる.

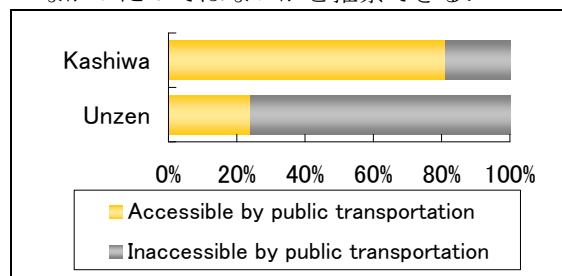


Fig. 8 Accessibility by public transportation

6. 結言

現行のオンデマンドバスが持つ①運行コストが高い, ②時間的制約のある利用目的に対応できず利用者や利用目的が限られる, といった問題点を解決するオンデマンドバスシステムを開発し, その性能・効果を検証した.

運行コストに対しては, オペレータが不要となる自動管理システムを構築することでコスト削減をはかった.

時間的制約の問題については, 遅れのないスケジュールを約束できるオンデマンドバス予約システムを開発し, それが実際に実現できていることおよび, この設計意図が高い価値を生み出していることを実証実験により確認した.

また, 実運行を考えて柏市と雲仙市のようなタイプの異なる地域に対して実証実験を行い, 違った利用状況および評価であることが確認できた.

以上により, 公共交通機関としてのオンデマンドバスシステムの今後の開発指針を提示し, 当システムの効果を実証した.

文 献

- 1) 国土交通省総合政策局情報管理部:「交通不便者のシビルミニマム確保のためのデマンド交通システムのモデル実験事業」報告書, 2002.03
- 2) 大和裕幸, 稗方和夫, 坪内孝太: オンデマンドバス~公共サービスに於けるイノベーション~, Communications of the Operations Research Society of Japan, vol.51 no.9, pp579-586, 2006
- 3) Jaw et al.: A Heuristic Algorithm for the Multi-Vehicle Advance Request Dial-A-Ride Problem With Time Windows, Transpn. Res.-B Vol.20B. No.3, pp.243-257, 1986