

# 車両配置バランスを考慮した オンデマンドなカー・シェアリング・システム

向 直人<sup>†</sup> 渡邊 豊英<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 名古屋大学大学院 情報科学研究科 社会システム情報学専攻 〒464-8603 名古屋市千種区不老町  
E-mail: †{naoto,watanabe}@watanabe.ss.is.nagoya-u.ac.jp

あらまし 近年の情報技術の発展に伴い、より便利で快適な交通システムの開発が進められている。注目を浴びている交通システムの一つにカー・シェアリング・システムがある。カー・シェアリング・システムでは、少数のユーザで複数の車両を共有することにより、税金・保険等のコスト共有や交通・駐車場等のスペース共有を実現する。しかし、既存のシステムでは、ユーザは車両の事前予約が必要であり、車両が待機するステーション数も少ないため、長時間の往復移動による利用が中心である。我々は、ユーザ・車両の位置をリアルタイムに管理することにより、オンデマンドかつ短時間の利用が可能なカー・シェアリング・システムを提案する。また、車両待機位置のバランスに着目し、仮想バネに基づく車両の再配置アルゴリズムを提案する。本稿の最後では、シミュレーションにより提案システムにおけるユーザの利用率を評価する。

キーワード カー・シェアリング・システム、車両再配置、仮想バネ

## On-Demand Car Sharing System Based on Balanced Car Distribution

Naoto MUKAI<sup>†</sup> and Toyohide WATANABE<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Department of Systems and Social Informatics, Graduate School of Information Science,  
Nagoya University Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya, 464-8603, Japan  
E-mail: †{naoto,watanabe}@watanabe.ss.is.nagoya-u.ac.jp

**Abstract** In these years, existing transportation systems such as taxis and buses are now changing to more user-friendly transportation systems with the development of location technologies. Car Sharing System is focused as a new traffic system in an urban area. The concept of the system is to share a car among plural users. The system brings various benefits to our urban life. For example, we can share taxes and insurances of cars. However, there is not much difference between existing car sharing systems and rental car systems. In other words, users require advanced reservations for cars and a number of stations is quite a small. Therefore, we propose an on-demand car sharing system based on real-time location technologies. Moreover, we propose a location balancing algorithm for waiting cars by using virtual springs. Finally, we report our simulation results regarding to the utilization ratio of the system.

**Key words** Car Sharing System, Balanced Distribution, Virtual Springs

### 1. はじめに

近年の情報通信技術の発展は、Intelligent Transportation System (ITS) [5] の基盤となり、より快適で便利な新たな交通サービスの実現を可能とした。デマンド・バス [6], [7] は、従来の固定路線バスとは異なり、顧客の乗降要求に応じて、路線にとらわれることなく、オンデマンドに顧客を輸送するシステムである。台数が制約された車両群に対して、何組の顧客をいかなる経路で乗降車させるかが、ユーザの利用率を決定する

主要な問題となる。一方、我々はカー・シェアリング・システム [1], [4] と呼ばれる交通システムに注目する。カー・シェアリング・システムのコンセプトは、少数の車両群を、多数のユーザで利用することにある。車両をユーザ間で共同利用することによって、税金・保険の分担や、道路・駐車場の混雑削減が可能となる。デマンド・バスとは異なり、運転手は存在せず、一組のユーザが一台の車両を自身で運転する。よって、サービスを楽しむ領域において、どのステーションに何台の車両を配備するかが、ユーザの利用率を決定する主要な問題となる。

カー・シェアリング・システムは既に約 15 年前からヨーロッパを中心に運用されている [2], [3]. 従来のシステムでは, ユーザは車両の事前予約が必要であった. つまり, どこの車両ステーションで乗降するか, また, いつからいつまで利用するかを事前にサービス・プロバイダに予約しなければならなかった. さらに, 待機するステーション数も少なく, ユーザは長時間・長距離の往復移動による利用が中心であった. しかし, 我々は, 近年の位置情報技術の発展により, 車両やユーザの位置をリアルタイムに取得可能になったことで, 新しいカー・シェアリング・サービスの形が実現できると考えた. その新しいシステムをオンデマンド・カー・シェアリング・システムと呼ぶ. 提案システムでは, ユーザは事前予約の必要なしに, オンデマンドに車両を利用することができる. また, 車両ステーションはサービス・エリア内に多数存在し, ユーザはいずれの場所でも乗降車可能である. このため, ユーザは短時間・短距離の片道移動による利用が中心になると考えられる.

また, 提案システムにおけるユーザの利用率を左右する重要な要因として, サービス・エリア内の車両の位置バランスに注目した. つまり, 待機車両をサービス・エリア内の適切な位置に再配置することにより, ユーザの利便性が向上できると考えた. 我々は, 仮想のバネを車両または車両ステーションに設置することで, 車両ステーションのネットワーク・トポロジに依存することなく, 効果的に車両を再配置するアルゴリズムを提案する. 本稿の最後では, シミュレーションにより提案システムにおけるユーザの利用率を評価する.

本論文の構成は以下である. 2 章で従来システムと提案システムの差を具体的に述べる. 3 章でカー・シェアリング・システム問題を形式化する. 仮想バネに基づいた車両の再配置アルゴリズムを 4 章で提案し, 5 章でシミュレーション実験によって評価する. 6 章でまとめと今後の課題を述べる.

## 2. カー・シェアリング・システムの分類

従来の静的なシステムをリザーブ・カー・シェアリング・システム (RCSS), 提案する動的なシステムをオンデマンド・カー・シェアリング・システム (OCSS) と表記する. それぞれの特徴に従い, カー・シェアリング・システムを以下のように分類し, 具体例を用いてシステムの利用方法を述べる.

### 2.1 リザーブ・カー・シェアリング・システム (RCSS)

リザーブ・カー・シェアリング・システムでは, ユーザは車両の利用を事前に予約しなくてはならない. つまり, どこのステーションで乗降するか, また, いつからいつまで利用するかを事前にサービス・プロバイダに通知する必要がある. さらに, 車両が待機するステーションの設置数・場所は限られている. 現状では, 車両ステーションは主要都市の駅周辺に設置されることが多い. 日本で初めてカー・シェアリング・システムを導入した ITS/CEV シェアリング株式会社であっても, 東京地区に「JR 東京駅地下南口」, 「東京メトロ東西線竹橋駅」の 2 箇所, 川崎地区に「JR 川崎駅東口」の 1 箇所といった設置状況である. また, ベッドタウンや地域コミュニティ等で, 共同車両を購入するといった, 利用形態がある. この形態は, 限定さ

れたユーザかつエリアにおいて運営されるカー・シェアリング・システムといえる. しかし, この形態においても, 事前予約は必要であり, また, エリアに 1 つの車両ステーションしか設置されない.

このようなシステムにおいては, 図 1 に示すように, ユーザは往復移動を目的として利用するケースが多いといえる. つまり, ユーザは, 最寄りの車両ステーションで乗車し, 目的を達成したら, 元の車両ステーションに返却する. 具体例を挙げてみよう. あなたは明日友人宅に訪問する予定があるとする. 事前に, サービス・プロバイダに対して, 明日の午前 10 時から午後 7 時まで車両ステーション  $s$  に待機している車両  $c$  を利用することを伝える. 当日, 徒歩又は公共交通を利用して午前 10 時までに車両ステーション  $s$  に向かう. 車両  $c$  を運転して, 友人宅まで向かい, 最寄りの一般駐車場に車両  $c$  を駐車する. 用件を終えると, 再び車両  $c$  を運転し, 午後 7 時までに車両ステーション  $s$  に向かう. 最後に, 車両  $c$  を返却し, 徒歩又は公共交通を利用して帰宅する.

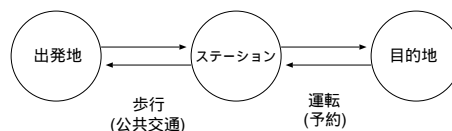


図 1 往復移動

Fig. 1 Round driving

### 2.2 オンデマンド・カー・シェアリング・システム (OCSS)

オンデマンド・カー・シェアリング・システムでは, ユーザは事前予約の必要なしに, オンデマンドにサービスを利用することができる. また, 車両ステーションはサービス・エリア内に多数存在し, ユーザはいずれの車両ステーションにおいても乗降が可能である. リザーブ・カー・シェアリング・システムにおいては, 車両ステーションは駅周辺等限られた地域に設置されていた, 一方, オンデマンド・カー・シェアリング・システムにおいては, 車両ステーションはサービス・エリアに存在するコンビニ等をそのまま車両ステーションとして扱うことを想定する. また, リザーブ・カー・シェアリング・システムにおいては, 事前予約によって車両の利用が保証されたが, オンデマンド・カー・シェアリング・システムにおいては, ユーザに最寄りの車両ステーションに必ずしも車両が待機していることを保証しない.

このようなシステムにおいては, 図 2 に示すように, ユーザは片道移動を目的として利用するケースが多いといえる. つまり, ユーザは, 最寄りの車両ステーションで乗車し, 目的地周辺の車両ステーションで車両を返却してから, 目的地に向かう. 具体例を挙げてみよう. 前例と同様に, あなたは友人宅に訪問する予定があるとする. 形態端末を用いて車両が待機している最寄りのコンビニ  $s_1$  を検索する. コンビニ  $s_1$  にて, 車両  $c_1$  に乗車し, 友人宅近くのコンビニ  $s_2$  に向かう. 友人宅近くのコンビニ  $s_2$  にて, 車両  $c_1$  を返却し, 友人宅に向かう. 用件を終えると, 再び車両が待機している最寄りのコンビニ  $s_3$  を検索する. コンビニ  $s_3$  にて, 車両  $c_2$  に乗車し, コンビニ  $s_1$  に

向かう。コンビニ  $s_1$  にて、車両  $c_2$  を返却し、自宅に向かう。このように、オンデマンド・カー・シェアリング・システムにおいては、必ずしも最寄りの車両ステーションに待機車両が存在することを保証しないが、より柔軟にシステムを利用することが可能となる。つまり、友人宅に滞在している間は、車両はステーションに返却されているため、他のユーザによって利用可能である。また、もし友人宅にて飲酒してしまったのであれば、徒歩又は公共交通によって帰路に着くことができる。

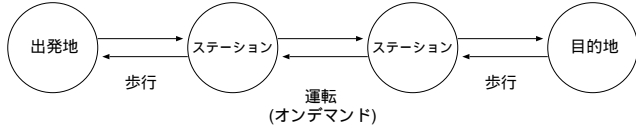


図2 片道移動  
Fig.2 One-way driving

表1にカー・シェアリング・システムの特徴による分類をまとめる。本稿は、後者のオンデマンド・カー・シェアリング・システムの実現に向けて、その問題を形式化し、利用効率を向上させるためのアルゴリズムを提案する。

表1 カー・シェアリング・システムの分類  
Table 1 Types of car sharing systems

特徴	RCSS	OCSS
事前予約	必要	不要
ステーション設置数	少(駅周辺)	多(コンビニ)
利用方法	往復移動	片道移動

### 3. 形式化

本章では、オンデマンド・カー・シェアリング・システム問題を形式化する。

#### 3.1 サービス・エリア

サービス・エリアを2次元平面上の凸状の閉ポリゴン  $P$  で与え、式(1)で表す。ポリゴンの頂点数は  $k$  である。また、頂点  $p, p'$  を結ぶポリゴンの境界線を  $b(p, p')$  で表す。図3は、サービス・エリアの例を表しており、頂点  $p_1, \dots, p_7$  がポリゴンの頂点である。

$$\begin{cases} P = \{p_1, p_2, \dots, p_k\} \\ p_i = (x_i, y_i) \\ B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\} \\ b_j = (p_i, p_{i+1}) \end{cases} \quad (1)$$

サービス・エリア内の道路ネットワークをグラフ  $G$  で与え、式(2)で表す。ノード  $N$  は交差点を、エッジ  $E$  は交差点間の道路セグメントを表し、ユーザ、車両はグラフ  $G$  上を遷移するオブジェクトとみなす。ここで、ノード  $n, n'$  間の距離を  $d(n, n')$  と表記する。同様に、ノード  $n$  からサービス・エリアの境界線  $b$  までの垂線距離を  $d(n, b)$  と表記する。図3で示すように、全てのノード、エッジはサービス・エリア  $P$  に内包される。また、

問題の簡略化のため一方通行や片側車線などのエッジの詳細は考慮しない。さらに、後述する実験においては、エッジ長は全て均一とした。

$$\begin{cases} G = (N, E) \\ N = \{n_1, n_2, \dots\} \\ E = \{e(n, n') : n, n' \in N\} \end{cases} \quad (2)$$

サービス・エリア内には、 $l$  箇所の車両ステーションの集合  $S$  が存在するとし、式(3)で表す。また、全ての車両ステーション  $s$  は、グラフ  $G$  中のいずれかのノード  $n$  に配置されるとする。つまり、車両ステーション集合  $S$  はノード集合  $N$  の部分集合となる。また、本稿では、車両ステーションの最大待機車両台数を考慮せず、無限台数の待機が可能であるとする。

$$S = \{s_1, s_2, \dots, s_l\} \in N \quad (3)$$

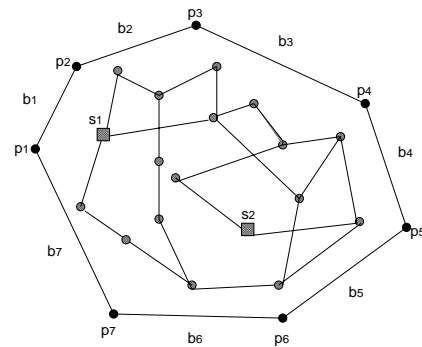


図3 サービス・エリア  
Fig.3 Service area

#### 3.2 車両

車両集合  $C$  を式(4)で表す。車両は、グラフ  $G$  中のいずれかのノード  $n$  に存在するとし、一定速度  $|c|$  でノード間を移動すると仮定する。また、車両の状態遷移を図4に表す。車両は待機状態、運転状態、占有状態、再配置状態のいずれかの状態をとる。車両はステーションにて、ユーザからの運転要求、又は、コントロール・センターからの再配置要求を待つ(待機状態)。運転要求、再配置要求は共に、乗車ステーション  $s_r$ 、降車ステーション  $s_d$  の組  $(s_r, s_d)$  で表される。運転要求を受信すると、車両は要求を発信したユーザによって占有され、他の要求を拒否する(占有状態)。ユーザがステーション  $s_r$  に到着すると、車両を運転し、目的のステーション  $s_d$  に移動する(運転状態)。車両は、ステーション  $s_d$  にて、次の要求の到着を待つ。一方、再配置要求を受信すると、車両は再配置の候補となり、再配置コントローラによって、他のステーションへ移動される(再配置状態)。もし、再配置状態において、ユーザによる運転要求の割込みが発生すれば、ユーザを優先し、車両は占有状態に移る。車両再配置の詳細は後述する。

$$\begin{cases} C = \{c_1, c_2, \dots, c_m\} \\ p(c) = p(n) : n \in N \end{cases} \quad (4)$$

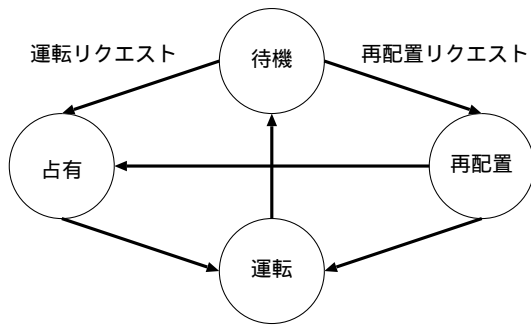


図 4 車両の状態遷移

Fig.4 State transition of cars

### 3.3 ユーザ

ユーザ集合  $U$  を式 (5) で表す。ユーザは、グラフ  $G$  中のいずれかのノード  $n$  に存在するとし、一定の歩行速度  $|\bar{u}|$  でノード間を移動すると仮定する。ユーザの移動要求は  $dem(u)$  で表され、初期位置  $n_s$ 、乗車ステーション  $s_r$ 、降車ステーション  $s_d$ 、目的位置  $n_g$  の組で与えられる。ユーザの状態遷移を図 5 に表す。ユーザは、探索状態、判断状態、歩行状態 (乗車ステーション)、運転状態、歩行状態 (目的位置)、到着状態の順に状態を遷移する。ユーザは、初期位置  $n_s$  にて、最寄りの待機車両を探索する (探索状態)。本稿では、待機状態の車両が存在するステーションの集合  $S_{wait}$  の中で、初期位置  $n_s$  に最も近いステーションを乗車ステーション  $s_r$ 、目的位置  $n_g$  に最も近いステーションを降車ステーション  $s_d$  として選択する。次に、発見した車両を利用するかどうかを判断する (判断状態)。現実の状況においては、交通渋滞等の不確定要因を含むため、正確な判断は困難である。本稿では、交通状況等は考慮せず、利用したときの移動時間  $T_{use}$  (式 (6)) と利用しないときの移動時間  $T_{nouse}$  (式 (7)) の単純比較により判断する。条件  $T_{use} < T_{nouse}$  を満足するならば、ユーザは運転要求  $(s_r, s_d)$  を送信してから乗車ステーション  $s_r$  に向かう (歩行状態)。続いて、乗車ステーション  $s_r$  から降車ステーション  $s_d$  まで、ユーザは車両を運転する (運転状態)。降車ステーション  $s_d$  から、目的地  $n_g$  まで再び徒歩で移動し、最終的に目的地に到達する (到着状態)。もし、条件が満足されなければ、ユーザはシステムを利用することなく、直接目的地  $n_g$  に向かう (歩行状態)。

$$\begin{cases} U &= \{u_1, u_2, \dots\} \\ p(u) &= p(n) : n \in N \\ dem(u) &= (n_s, s_r, s_d, n_g) \end{cases} \quad (5)$$

$$T_{use} = \frac{d(n_s, s_r) + d(s_d, n_g)}{|\bar{u}|} + \frac{d(s_r, s_d)}{|\bar{c}|} \quad (6)$$

$$T_{nouse} = \frac{d(n_s, n_g)}{|\bar{u}|} \quad (7)$$

### 3.4 位置コントローラ

位置コントローラは、全車両の位置・状態を管理しているコントロール・センターからの指示を受け、車両を効果的な位置へ再配置する役を担う。位置コントローラ集合  $L$  を式 (8) で表

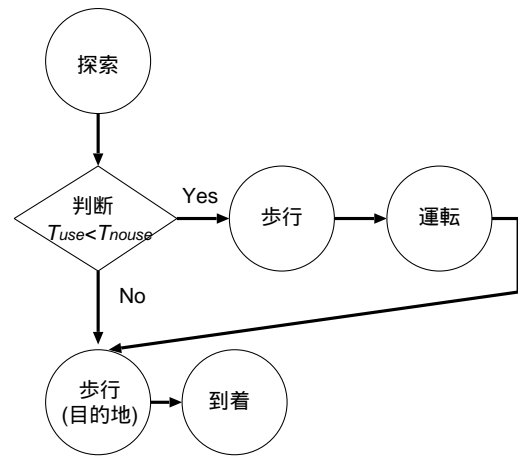


図 5 ユーザの状態遷移

Fig.5 State transition of users

す。位置コントローラは、グラフ  $G$  中のいずれかのノード  $n$  に存在するとし、一定速度  $|\bar{l}|$  でノード間を移動すると仮定する。もし、位置コントローラが一人で行動するならば、乗車ステーションまでは徒歩で移動するため、速度  $|\bar{l}|$  はユーザと等しい速度  $|\bar{u}|$  となり、降車ステーションまでは車両で移動するため、速度  $|\bar{l}|$  は車両と等しい速度  $|\bar{c}|$  となる。一方、位置コントローラが二人のペアで行動するならば、いずれかが車両を運転すればよいから、速度  $|\bar{l}|$  は常に車両と等しい速度  $|\bar{c}|$  となる。また、位置コントローラの状態遷移を図 6 に表す。位置コントローラは、待機状態、再配置状態、運転状態の順に状態を遷移する。位置コントローラは、コントロール・センターからの再配置要求  $(s_r, s_d)$  を待つ (待機状態)。再配置要求を受信したら、対象の車両が待機状態であることを確認した上で、車両に対し再配置要求を転送し、乗車ステーション  $s_r$  に向かう (再配置状態)。次に、降車ステーション  $s_d$  まで車両を運転する (運転状態)。位置コントローラはそのままステーションに待機し次の再配置要求の到着を待つ (待機状態)。

$$\begin{cases} L &= \{l_1, l_2, \dots, l_o\} \\ p(l) &= p(n) : n \in N \end{cases} \quad (8)$$

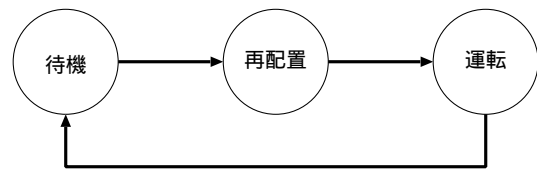


図 6 位置コントローラの状態遷移

Fig.6 State transition of location controllers

## 4. 再配置アルゴリズム

提案するオンデマンド・カー・シェアリング・システムの利用率を向上させるには、ユーザの判断条件  $T_{use} < T_{nouse}$  を満足するような状況を多く作り出すことが重要である。そこで、サービス・エリア内の車両位置バランスに着目し、待機車両をより適切な位置に再配置するアルゴリズムを提案する。

#### 4.1 仮想バネ

コントロール・センターは全車両の位置バランスを監視し、そのバランスが崩れると、車両の再配置要求を位置コントローラに送信する。再配置される車両の候補は、車両に取り付けた仮想のバネによって発生する力に基づいて選択される。仮想バネは、各車両と他の車両との間、また、各車両とサービス・エリアの境界線の間に取り付けられる。

仮想バネ集合  $VS$  を式 (9) で与える。 $|VS^{cc}|$  は車両間のバネ、 $|VS^{cb}|$  は車両-境界間のバネを表す。また、待機状態の車両集合を  $C_{wait}$ 、その車両数を  $|C_{wait}|$  と表すと、それぞれのバネの総数は式 (10) で求まる。待機状態の車両数は刻々と変化するため、仮想バネの総数は一定値にはならず、配備車両数と要求発生数に依存して変化する。

$$\begin{cases} VS &= VS^{cc} + VS^{cb} \\ VS^{cc} &= \{vs_i^{cc} | i = 0, \dots, no^{cc}\} \\ VS^{cb} &= \{vs_j^{cb} | j = 0, \dots, no^{cb}\} \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} no^{cc} &= \frac{|C_{wait}| \cdot (|C_{wait}| - 1)}{2} \\ no^{cb} &= k \cdot |C_{wait}| \end{cases} \quad (10)$$

最初に、仮想バネ  $vs$  の長さ  $|vs|$  を式 (11) で求める。 $A(P)$  はサービス・エリアのポリゴン  $P$  の面積である。よって、仮想バネの長さは車両間の最適な距離を表現している。ただし、仮想バネの総数と同様に、仮想バネの長さも一定値にはならない。

$$|vs| = \sqrt{\frac{A(P)}{|C_{wait}|}} \quad (11)$$

車両  $c$  と他の待機車両  $C_{wait}$  間に取り付けられた仮想バネによって発生する力  $F_c^{cc}$  は式 (12) によって求められる。

$$F_c^{cc} = \sum_{c' \in C_{wait}} (|vs^{cc}| - d(c, c')) \quad (12)$$

車両  $c$  とサービス・エリアの境界線  $B$  に取り付けられた仮想バネによって発生する力  $F_c^{cb}$  は式 (13) によって求められる。式 (11) で与えられる値の半分を車両と境界線との最適な距離とみなす。

$$F_c^{cb} = \sum_{b \in B} \left( \frac{|vs^{cb}|}{2} - d(c, b) \right) \quad (13)$$

車両  $c$  の保持するエネルギーは式 (14) によって与えられる。 $w^{cc}$  と  $w^{cb}$  は重み係数である。高エネルギーの車両は他の車両や境界に近接していることを表し、車両全体の位置バランスを崩す要因となる。

$$E_c = (w^{cc} \times F_c^{cc}) + (w^{cb} \times F_c^{cb}) \quad (14)$$

#### 4.2 アルゴリズム

コントロール・センターは車両の状態を常に監視しており、待機車両数に変化が生じると、再配置アルゴリズムを実行する。再配置アルゴリズムの疑似コードを図 7 に示す。前半部分では、全ての待機状態の車両の仮想バネによって発生するエネルギーを計算し、最大エネルギーを持つ車両  $C_{max}$  を、再配置の候補車両とする。後半部分では、車両  $C_{max}$  を他の車両ステーションに配置したと仮定し、各車両ステーションのエネルギーを求め、最小エネルギーを持つ車両ステーション  $S_{min}$  を再配置先とする。最後に、車両  $C_{max}$  に最も近い位置コントローラ  $l$  に再配置要求 ( $C_{max}, S_{min}$ ) を送信する。このプロセスを繰り返すことにより、待機状態の車両数に応じて、各車両は適切な間隔で配置されることになる。また、仮想バネによって発生するエネルギーを基準にすることで、サービス・エリア内の車両ステーションの設置数やネットワーク・トポロジーを意識することなく、位置バランスを保つことが可能である。

```

//最大エネルギーの車両を探索
c_max = null; //最大エネルギーの車両
C_wait = cars in WAIT;
|vs| = spring length;
WHILE c ∈ C_wait do
    E_c = energy(c, |vs|, C_wait - c); //エネルギーの計算
    IF E_c is maximum energy THEN
        c_max = c;
    END
END

//最小エネルギーのステーションを探索
s_min = null; //最小エネルギーのステーション
C_wait = C_wait - c_max
WHILE s ∈ S do
    E_s = energy(s, |vs|, S - s); //エネルギーの計算
    IF E_s is minimum energy THEN
        s_min = s;
    END
END

l = location controller closest to c_max;
send(l, c_max, s_min); //位置コントローラ l に再配置リクエストを送信

```

図 7 再配置アルゴリズムの疑似コード

Fig. 7 Pseudo-code of relocation algorithm

## 5. 実験

本章では、計算機シミュレーションによりオンデマンド・カー・シェアリング・システムを実験評価する。単位時間を  $t$  とし、 $100000t$  までシミュレーション・プロセスを繰り返した。評価項目は、顧客利用率、顧客移動時間平均、車両再配置回数の 3 項目である。顧客利用率は、システムを利用することによって目的地への到達時間を短縮可能と判断した顧客 (ユーザ) の割合である。顧客移動時間平均は、車両の使用・不使用を問わず、要求の発生から目的地到達までに必要とした移動時間の平均であ

る．車両再配置回数は，位置コントローラによって再配置した回数である．表 2 に示すように，3 パターンの位置コントローラを比較した．PT1 は位置コントローラを配置しない．PT2 は歩行速度で移動する位置コントローラ，PT3 は車両速度で移動する位置コントローラをそれぞれ配置した．また，サービス・エリアは  $800 \times 800$  ピクセルの四角形とし，道路セグメント長を 40 ピクセルとした  $21 \times 21$  の道路ネットワークを設置した．顧客の乗車位置は道路ネットワークからランダムに選択した．パラメータ設定は表 3 にまとめる．

表 2 実験パターン  
Table 2 Experimental Patterns

パターン	$ L $	$ \bar{l} $
PT1: without controller	0	
PT2: controller (driving)	1	$1.0/t$
PT3: controller (walking)	1	$0.2/t$

表 3 パラメータ設定  
Table 3 Parameter setting

パラメータ	値
$P$	$800 \times 800$ ピクセル
$G$	$21 \times 21$
$ e $	40 ピクセル
$ C $	5
$ \bar{c} $	$1.0/t$
$ \bar{u} $	$0.2/t$
$ w^{cc} $	0.8
$ w^{cb} $	0.2

### 5.1 顧客発生率

顧客の要求発生率を 1% から 5% に変化させ，車両ステーションの配置数を 20 に固定した．図 8 は，位置コントローラによる車両再配置によって，顧客の利用率が約 20% から 40% に向上することを示している．しかし，要求の発生率が高くなると，待機状態の車両が減少するため，顧客利用率も低下してしまう．図 9 に示される顧客移動時間平均は，顧客利用率に依存した傾向が表れている．システムの高い利用率は顧客のシステムの快適さにそのまま直結するといえる．図 10 に示される車両再配置回数は，位置コントローラに大きく影響を受ける．歩行速度であれば約 1000 回が再配置の限界数であるのに対し，車両速度であれば，約 3000 回が再配置の限界数となる．ただし，要求の発生率が高くなると，再配置回数は増えるにもかかわらず，利用率の上昇は低くなってしまふ．

### 5.2 ステーション数

顧客の要求発生率を 1% に固定し，車両ステーションの配置数を 10 から 30 に変化させた．図 11 は，多くの車両ステーションを設置することで，顧客の利用率が向上することを示している．これは，顧客の初期位置  $n_r$ ，目的位置  $n_g$  により近い車両ステーションが存在する確率が高くなるからであると考えられる．図 12 に示される顧客移動時間平均は，前実験と同じく，顧客利用率に依存した傾向が表れている．図 13 は，車両ステー

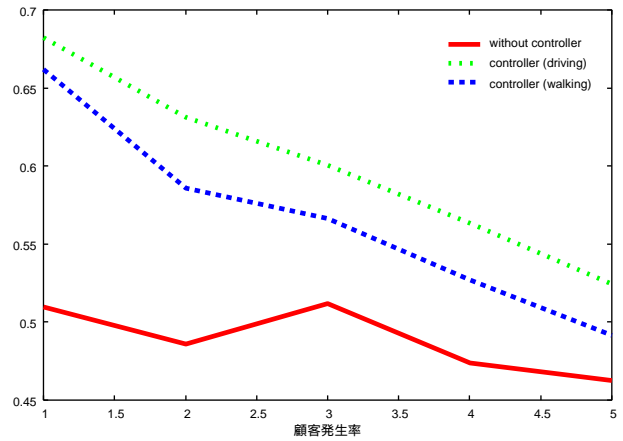


図 8 顧客利用率  
Fig. 8 Utilization ratio

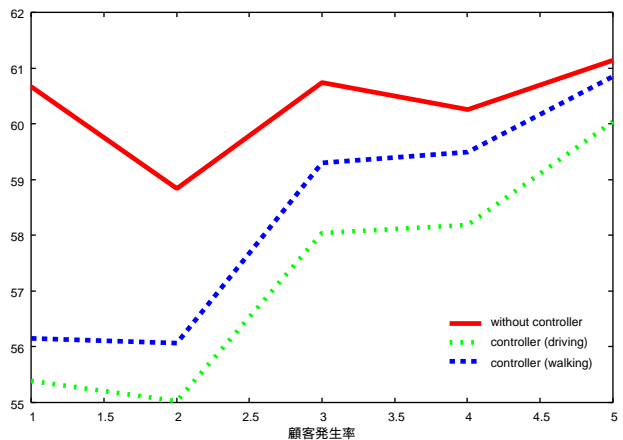


図 9 顧客移動時間平均  
Fig. 9 Average of traveling time

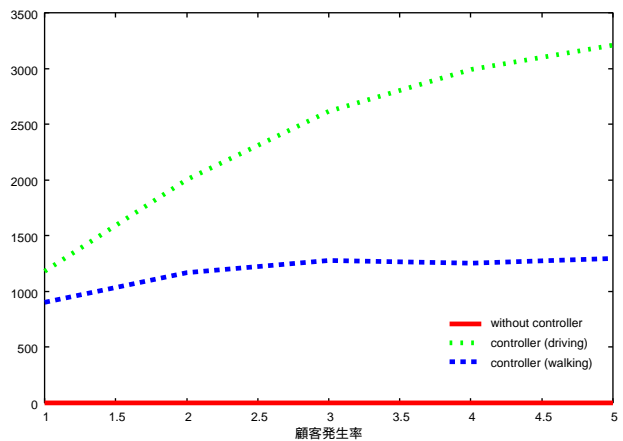


図 10 車両再配置回数  
Fig. 10 Number of relocations

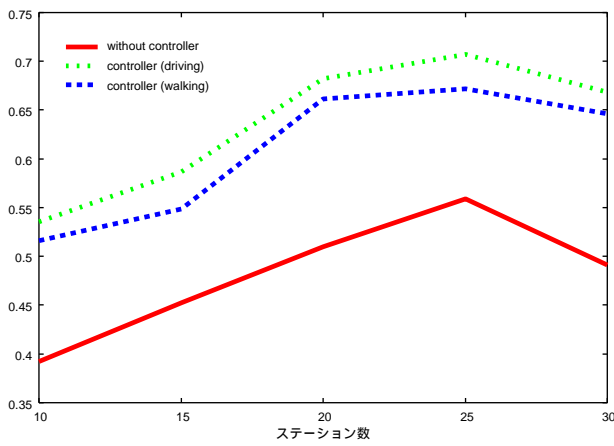


図 11 顧客利用率  
Fig. 11 Utilization ratio

ションの設置数の増加は、再配置の回数も増加させることを示している。これは、車両配置のパターンが増えることで、高精度な位置バランスの調整が可能になることを意味している。

## 6. まとめ

本稿では、近年の発達した位置情報技術を用いたカー・シェアリング・システムの新しい形態を提案した。提案したオンデマンド・カー・シェアリング・システムは、従来システムと比べ、事前予約が不要であること、さらに、ユーザの乗降位置となる車両ステーションが多く設置されていることが特徴である。このシステムでは、必ずしもユーザの最寄りの車両ステーションに待機車両が存在することは保証しないが、より多くのユーザが車両を短時間・短距離で利用することが可能となる。また、システムの利用率を決定する要因となる、車両の配置バランスに注目し、仮想バネによる車両の再配置アルゴリズムを提案した。車両に設置された仮想バネによって発生するエネルギーは、配置バランスが崩れていることを示す。よって、高エネルギーの車両を低エネルギーの車両ステーションに移動させることで、全体の配置バランスを保つ。シミュレーション実験では、顧客の要求の発生率や、車両ステーションの設置数の変化に伴う、提案システムの利用率を評価した。実験結果より、多くの状況下において、車両再配置はシステムの利用率を向上させることが示された。提案したオンデマンド・カー・シェアリング・システムの採用により、従来に比べより利便性の高い交通システムの構築が可能である。

今後の課題は、複数の位置コントローラの協調行動により、再配置の速度向上が考えられる。また、顧客の要求に位置的・時間的に偏りが発生したときの、配置バランスを考慮したい。例えば、通勤時には住宅街からビジネス街までの移動が増えると考えられ、逆に帰宅時にはビジネス街から住宅街への移動が増えると考えられる。最終的には、現実環境における評価実験をおこなうことで有用性を証明し、提案システムが社会の一部として受け入れられることが我々の目標である。

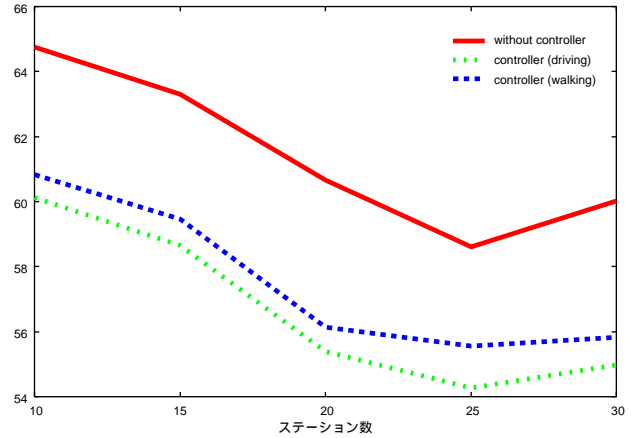


図 12 顧客移動時間平均  
Fig. 12 Average of traveling time

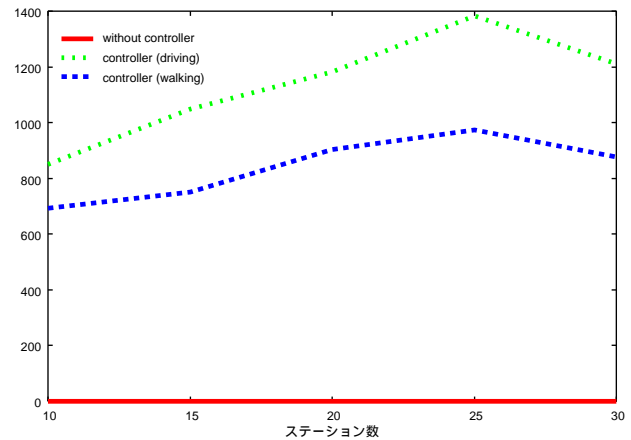


図 13 車両再配置回数  
Fig. 13 Number of relocations

## 謝 辞

本研究の一部は、名古屋大学情報系 COE:「社会情報基盤のための音声・映像の知的統合」の支援による。ここに記して感謝の意を表す。また、日頃から御指導頂いた愛知工業大学・石井直宏教授に感謝します。

## 文 献

- [1] J. E. Abraham. Carsharing: A survey of preferences in car-sharing. *The Journal of World Transport Policy & Practice*, 2000.
- [2] P. W. Bonsall. Car sharing in the united kingdom. a policy appraisal. *Journal of Transport Economics and Policy*, pages 35–44, 1981.
- [3] P. W. Bonsall. What makes a car-sharer? *Transportation*, 12:117–145, 1984.
- [4] Britton E. Executive summary in carsharing 2000: Sustainable transport’s missing link. *The Journal of World Transport Policy & Practice*, 2000.
- [5] Hideyuki Nakashima, Koichi Kurumatani, and Hideo Itoh. Supporting a society with ubiquitous computing. *IPSJ-MGN450904t*, 45(9), 2004.
- [6] 太田正幸, 篠田孝祐, 野田五十樹, 車谷浩一, and 中島秀之. 都市型フルデマンドバスの実用性. Technical Report 2002-ITS-11-33, 情報処理学会高度交通システム研究会研究報告, 2002.
- [7] 野田五十樹, 太田正幸, 篠田孝祐, 熊田陽一郎, and 中島秀之. デマンドバスはベイするか? Technical Report 2003-ICS-131, 情報処理学会研究報告, 2003.