

戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）
問題解決型サービス科学研究開発プログラム
研究開発プロジェクト「ITが可能にする新しい社会サー
ビスのデザイン」

研究開発実施終了報告書

研究開発期間 平成24年10月～平成27年9月

研究代表者氏名 中島 秀之

所属 役職 公立はこだて未来大学 学長

目次

1. 研究開発プロジェクト	2
2. 研究開発実施の要約	2
2-1. 研究開発目標	2
2-2. 実施項目・内容	3
2-3. 主な結果・成果	4
2-4. 研究開発実施体制	6
3. 研究開発実施の具体的内容	6
3-1. 研究開発目標	6
3-2. 実施項目	7
3-3. 研究開発結果・成果	7
3-3-1. 第2版 SAV システムの設計と実装	7
3-3-2. 実証実験	10
3-3-3. SAV 運行デザイン：函館市中心部を対象とした SAV 台数変化がもたらす利便性評価	12
3-3-4. SAV 運行デザイン：シミュレーションによる既存公共交通への SAVS 導入効果の評価	14
3-3-5. 函館市全域運行の有効性の検証	20
3-3-6. SAV 利用意向モデルによる料金・待ち時間の感度分析	24
3-4. 今後の成果の活用・展開に向けた状況	28
3-5. サービスループの定式化	29
3-6. プロジェクトを終了して	31
3-6-1. 技術開発	31
3-6-2. 実践	31
3-6-3. サービスの理論化	34
3-6-4. まとめ	34
4. 研究開発実施体制	34
4-1. 体制	34
4-2. 研究開発実施者	36
4-3. 研究開発の協力者・関与者	37
5. 成果の発信やアウトリーチ活動など	37
5-1. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など	37
5-2. 論文発表	38
5-3. 口頭発表	38
5-4. 新聞報道・投稿、受賞等	41
5-5. 特許出願	42

1. 研究開発プロジェクト

- (1) 研究開発プログラム：問題解決型サービス科学研究開発プログラム
- (2) プログラム総括：土居 範久
- (3) 研究代表者：中島 秀之
- (4) 研究開発プロジェクト名：「IT が可能にする新しい社会サービスのデザイン」
- (5) 研究開発期間：平成 24 年 10 月～平成 27 年 9 月

2. 研究開発実施の要約

2-1. 研究開発目標

本プロジェクトの背景として、地方都市ではマイカー化が進み公共交通の利用が低迷している為、バスの運行本数が減り不便になり更に利用者が減少するという負のスパイラルに陥っていることがある。しかし一方では、高齢を理由に運転免許を手放す高齢者も増えている為、公共交通の必要性は増加しているというジレンマが生じている。そこで、我々が提案する解決策は、都市内の全てのバスとタクシーをコンピュータシステムの集中管理によりリアルタイムデマンド応答型に置き換え(固定路線と固定ダイヤを全く持たずに複数乗客や荷物が乗合いする)、交通システムとしての利便性と運用効率を同時に向上させることである。

本研究プロジェクトの目的には実践と理論の 2 面がある：

- ・実践：計算機制御によるバスとタクシーを包含するような新しい公共交通サービス (Smart Access Vehicle System (SAVS) と命名) の設計, 実装, 実証.
- ・理論：構成的方法論としてのサービスデザインの定式化および理論と実践の共発展の実現.

この目的に向けて掲げた目標は、完全自動リアルタイムデマンド交通システム (名称 Smart Access Vehicle System(SAVS)) を設計し、都市圏における現公共交通システムより優れていることを実証実験およびシミュレーションによって示すことである。ここで「優れている」とは、A. 社会的インパクトがある (自家用車需要の削減, 行政・運行企業・利用者の三者が Win-Win-Win となる), B. 公共交通サービスとして優れている (事前予約不要, 必要な時にはいつでも従来のバスやタクシーとしても機能する, 天候変化・事故・災害等にも対応可), C. システム効率が高い (需要のある場所と時間へのリソース投入, 空運行や待ち時間の軽減, 乗合による需要の集約) という意味である。

SAVS 開発における技術的課題は以下の通り。SAVS の乗客に対する配車をサービスと捉えると、配車のポリシーには、配車までの待ち時間だけをとっても、待ち時間の平均/分散を最小にするのか、最大待ち時間がある値を越えないことを保証するのか等が考えられる。制御するデマンドバスの台数は、人口が 30 万人以上の中核都市の場合で 1~3 万台ほど必要となろう。また、季節や気象、観光客、災害等による交通状況の変動要因があるので、配車のポリシーは時々刻々と複合的に変化させる必要がある。よって、SAVS の配車サービスは準最適にあるいは局所的に計画・実施せざるを得ないが、それでもシステム全体では、妥当な効率で乗客や荷物配送に適切な利便

性を提供し続ける必要がある。

本プロジェクト推進の方針策定にあたり、従来のような分析的アプローチ（例えば分割統治法）では目標は達成できないと判断した。これは、必要なサービス部品が予め与えられていない、要素機能が分からないためである。つまり、実験→観察→分析→設計→実装→実験→…のサービスループを何度か回すことで、現在のサービスデザイナー、利用者、運行管理者が気づいていないようなサービスや機能を創案するしかない。そのため、サービスデザインループに沿って函館市の実態調査から得られた実データに基づくマルチエージェントシミュレーションと実車輦を使った小～中規模な運行実験を3回繰り返す。サービスループを回すことで得られる研究成果や知見を汎化することでサービス科学の本質に迫れると確信する。

なお、このループを我々は構成的手法の定式化である FNS ダイアグラムに沿ってデザインした。同時にこのループの実践の自己観測により FNS ダイアグラムの精緻化を行うことを目標としている。FNS ダイアグラムは以前より定式化されているデミングホイールあるいは PDCA サイクルと呼ばれるものと類似ではあるがいくつかの重要な点で違いがある（3-5 節で詳細を述べる）。

プロジェクト開始以前に、我々は単純な架空の市街地を仮定したマルチエージェント (MA) シミュレーションによって以下の点を明らかにしていた：現在の公共交通はタクシーとバスに分かれているが、ある程度以上の規模の都市ではリアルタイムデマンド交通システムに統一すると運行効率が向上し、さらに規模が大きい程効率が増すこと（つまり事業者の収益性と、ユーザの利便性の向上が見込まれる）。しかし、現在のタクシーとバスに分かれた公共交通システムから統一されたリアルタイムデマンド交通システムへの漸近的移行では、移行の途中段階で効率が U 字カーブを描き一旦低下してしまうという問題も分かっていた。この問題の技術的あるいは非技術的な解決策を提案する。

2-2. 実施項目・内容

本研究の3年間の研究実施は図 2-2-1 に示す構想に基づき、初年度（H24 年度、半年間）に1 サイクル目の途中まで、以降1年間で1サイクルのペースで進めてきた。1巡目は実データによるシミュレータ構築、シミュレーション結果分析を行い、2巡目では、はこだて未来大グループは、産総研グループが提案する配車・運行プランに基づいて初回の小規模運行実験を実施する。名工大グループ（H26 年度より名大グループに名称変更）はその実験結果を受けて、人流・物流シミュレーションモデルを改良する。順次、産総研グループは2回目の小規模運行実験のため改良した運行プランや配車ポリシー/アルゴリズムを提案する。

ここで注目すべきは、運行実験から得られた実データによるシミュレータ構築→シミュレーション結果分析→再び実世界での運行実験→実データによるシミュレータ改良というサービスループを回すことで、システム提供者、利用者、運用者の間で価値共創が観察できることである。そしてプロジェクト後期に、この観察結果を俯瞰し分析・考察し汎化する課題に本プロジェクトメンバー総動員で従事する。

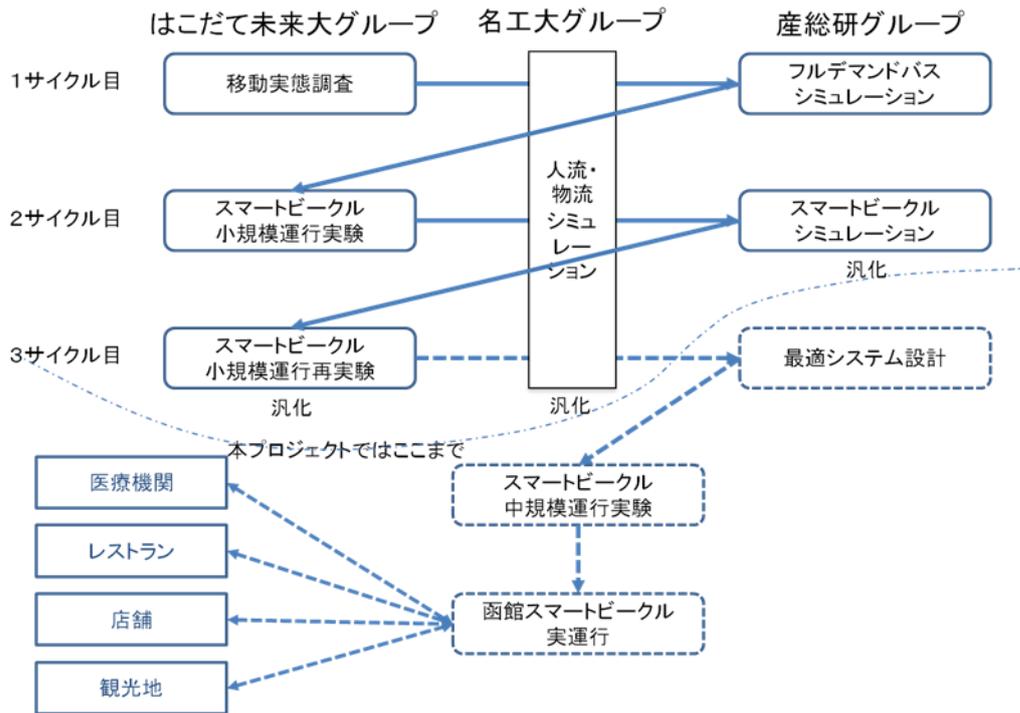


図 2-2-1 本プロジェクトの研究実施の構想

2-3. 主な結果・成果

はこだて未来大、名大、産総研の各グループがサービスループの各フェーズ（大まかにフィールド実験、シミュレーション・モデル化、サービスデザイン）を担っているが、実際のプロジェクト推進においては、各研究グループは並行に活動する。その様子を表 2-2-2 に示す。

未 1、未 2、未 3 の項目は公立はこだて未来大学（未来大）の担当を、産 1、産 2、産 3 は産業技術総合研究所（産総研）の担当を、名 1、名 2 は名古屋大学（名大）の担当であることを表す。以下、各年度における主要な結果・成果を述べる。特に実施主体を明記しない項目では 3 研究グループが共同で実施した。

H24 年度

- ①未来大と名大は、函館地域における移動実態調査専用のスマホアプリを開発し、被験者 20 名、冬 4 カ月間の移動実態調査を実施した
- ②未来大は既存の乗降データや人流データ等の情報を、函館地域のバス会社やタクシー会社から収集すべく交渉を開始した。また、地図業者からも購入すべく調査・交渉を開始した。
- ③産総研はバス運行管理戦略の検証のためのシミュレーション環境を準備した。

H25 年度

- ①前年度に引き続き、未来大と名大は、同じ被験者を使い夏 4 ヶ月の移動実態調査を実施した。前年度の利用実態を踏まえてスマホアプリを改良した。
- ②名大は、移動実態調査の結果や函館地域のバス会社タクシー会社から提供された乗降データ等をベースに、価格、手段選択、時間などのパラメータを持つ人流モデルの構築を行った。
- ③未来大と産総研は SAV システム β 版を設計しプロトタイピングした。SAV 5 台、乗客 36 名、

表 2-2-2 プロジェクト全体の推進

項目	平成24年度 (6ヶ月)	平成25年度	平成26年度	平成27年度 (6ヶ月)
(未1)移動実態調査	→	β版試用	実験1	
(未2)SAV小規模運行実験1		→	→	
(未3)SAV小規模運行実験2	調査結果	運用	システム改良	実験2
(産1)フルデマンドバスシミュレーション手法の設計と評価	→	→	運用	
(産2)協調的ナビゲーション・ガイダンス手法の構成		→	→	実験結果
(産3)SAVシミュレーション手法の構成と実用化		→	→	
(産4)シミュレーション手法の拡張とSAVガイダンス手法の改善結果の運用への適用		シミュレーションモデル	シミュレーションモデル	
(名1)交通需要予測モデルの開発	→	→	→	
(名2)シナリオ評価			→	→

4日間で試用しフィージビリティを確認した。

④サービス学へのフィードバックとして、SAVシステムの開発経験を基に価値共創に焦点を当ててサービスループの定式化を行った。

H26年度

①SAVシステムβ版に主としての安定動作とUIに関して改良を加えα版を構築した。SAV16台、乗客50名、1日間で第1回実験を実施した。

②未来大と産総研は、α版をもとに、例外やアクシデントなどを未然に防止すべくUIを改良し、また例外やアクシデントが起きた時に効果的かつ効率的な対応ができるよう機能の改良を行い第2版を作成した。

③未来大は、社会実装を阻害する法律的、制度的、組織的、社会的、文化的な普及阻害要因を1つずつ分析しその対策を検討した。

④産総研は、函館市中心部を対象としてSAVの台数の変化がもたらす利便性と、既存公共交通へのSAVS導入効果をシミュレーションによって評価した。

⑤名大は、人流モデルをベースに、交通手段選択変更を推計できるモデルを構築した。

H27 年度

①SAV システム第 2 版を用いて SAV30 台、乗客 500 名、4 日間で第 3 回実験を実施した。

②産総研は、実証実験における利用想定を中心に利便性や運用台数効果をシミュレーションによって評価した。

③名大は、第 3 回実験時に実施した仮想サービスレベル下での SAV 利用意向をモデル化し、料金感度等を分析した。

④本プロジェクト終了後のさらなる展開を見据えて、既存公共交通サービス（例えば Uber、東大コンビニクル）との差別化や、新しい公共交通の方向性を検討した。

④サービス学への貢献として、SAV システムの実証実験という地域を巻き込んだ大規模なサービス実践の経験を踏まえて、新しいサービスデザイン研究の方法論と価値共創のメカニズムを FNS モデルとして理論化し、整理・体系化した。

最終成果物は以下の 5 項目である：

- ・ サービスデザインの理論と実践の 2 つのループを回すモデルの提案
- ・ 複数台車両に対して計算機による完全自動リアルタイムのデマンド応答配車システムの実現
- ・ 現況再現性の高い人流モデル/交通行動モデルの構築
- ・ デマンド応答配車システムのマルチエージェントシミュレーション
- ・ 社会実装の際の非技術的な課題の同定とその解決策の提案

2-4. 研究開発実施体制

・ 公立はこだて未来大学グループ（中島秀之、公立はこだて未来大学、学長）

グループ役割：移動実態調査と小～中規模運行実験

・ 産業技術総合研究所グループ（野田五十樹、産業技術総合研究所、人間情報研究部門）

グループ役割：新サービスの創出と SAVS シミュレーション

・ 名古屋大学グループ（金森 亮、名古屋大学、未来社会創造機構）

グループ役割：交通需要予測モデルによる現況再現・シナリオ評価

3. 研究開発実施の具体的内容

3-1. 研究開発目標

従来のサービス科学研究では、サービスのビジネス的、社会的、経済的な側面に興味集中しており、サービスを科学的かつ体系的に論じられる理論的基盤にまでそれらの研究成果を汎化しきれていなかった。また、サービスに関して生じる現象や関係性を詳細に観察し明示化・モデル化するアプローチにおいては、サービス提供者（ドナー）とサービス受容者（レセプタ）を客観視し、それらから成る閉じた系を想定するものが主流であった。

これに対し我々は、サービスを社会というシステムの中で初めて成立する「価値創造を目的とした機能の発現」と捉え、サービスをシステム論的な視点からモデル化する。ドナーやレセプタから成るシステムは次の 2 つの特徴を持つであろう。まず、ドナーやレセプタのサービスに関する

認識は部分的かつ多面的であり，局所的に最適なサービス提供を行っている積もりでもシステム全体では最適になっていない可能性がある．システムの境界は曖昧で外乱を受けるので(オープン)，放っておくとサービスは暴走あるいは停止する可能性がある．そのような部分的でオープンなシステムを制御する従来技術には，包摂アーキテクチャ，経験的手法，シミュレーション予測などがある．しかしこれらの技術は主にシステム全体の統計的振舞いに注目したものであり，システムを構成するドナーやレセプタのレベルで相互に提供しあっているサービスを理解し制御するためのものではなかった．

我々は次のようなサービス科学の標準問題を提案し解き，貢献としたい：様々なサービスポリシー(現状維持/高い効用を得る人が最大数になる/低い効用を得る人が最小数になる/効用の平均・分散が最大・最少になる等)の実現，サービスの局所最適な提供を重畳して繰り返した場合に準全体最適を導くような条件や手法の実現，一定時間以内にシステム全体にサービスポリシーを伝播させるための戦略やプランニング法の発見，現実とモデルの差分を発見し新しい因果関係を適切に同定するシミュレーション法の確立である．我々は，これら標準問題を意識しつつ具体的なサービスから得られた研究成果を汎化することが，真のサービス科学につながると考える．

3-2. 実施項目

本プロジェクトでは結果的にサービ斯拉ープを2周回することができた(図3-2-1)．図中には主たる実施項目を記した．

3-3. 研究開発結果・成果

3-3-1. 第2版 SAV システムの設計と実装

(1) 全体構成

SAVS の概略システム構成を図3-3-1-1に，乗客 App の画面遷移の一部を図3-3-1-2に示す．概

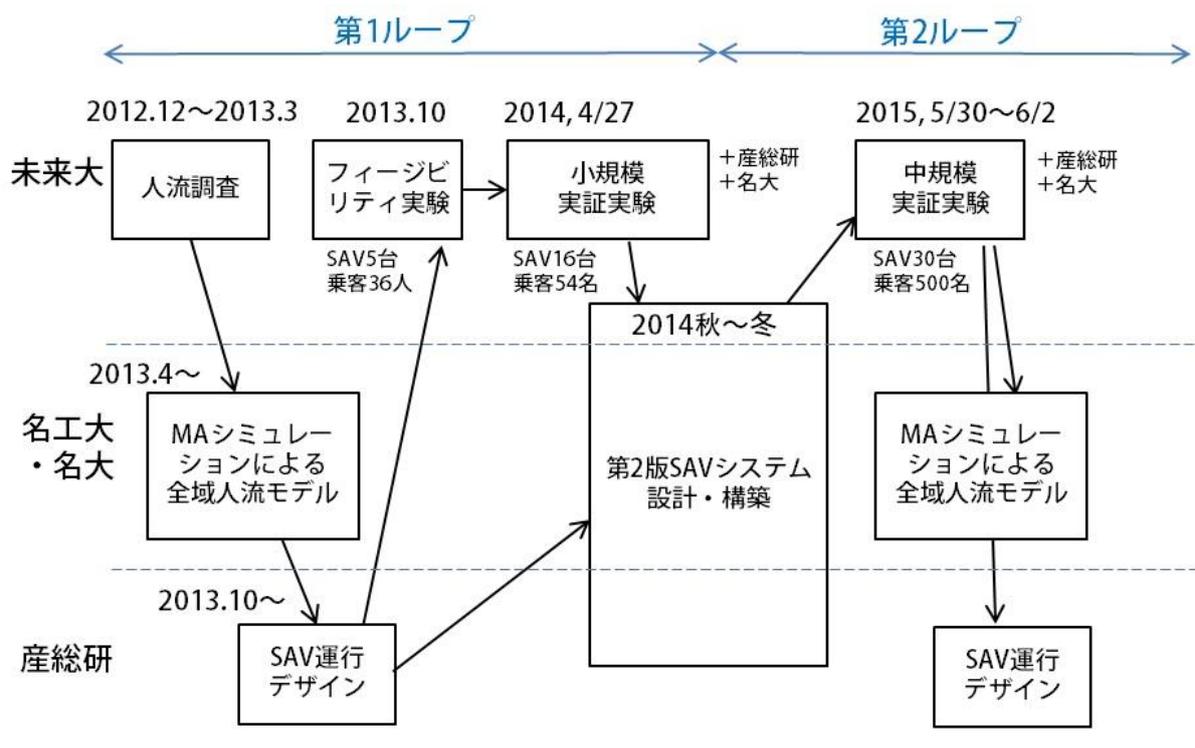


図 3-2-1 各実施項目間の関係

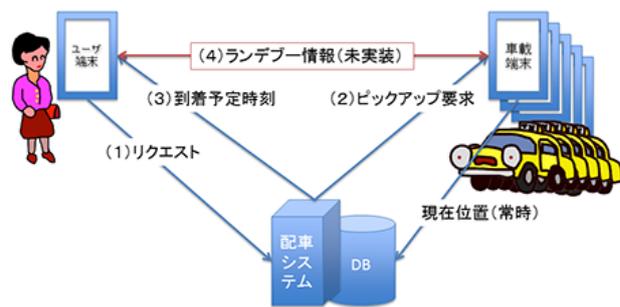


図 3-3-1-1 SAVS の概略システム構成



図 3-3-1-2 乗客 App の画面



図 3-3-1-3 車載 App の画面

略システム構成から分かるように、SAVS の構成要素は次の 3 つである：

- (a) ユーザがデマンドを入力するためのアプリケーション（乗客 App）
- (b) SAV 運転手がデマンドを確認するためのアプリケーション（車載 App）
- (c) デマンドに応じて最適な車輌と訪問順序を計画する配車システム

これらのサブシステムはデータベースを介したデータのやりとりにより連携を実現する。これにより、SAVS は人間のオペレータを介することなく、デマンドの受付から SAV の配車までを自動で行える。全自動での対応は、SAV サービスの提供上重要であるだけでなく、サービスを社会実装する際に有用な特徴である。つまり、全自動化を行うことで、普段は既存のタクシー配車システムとして使いながら、ある特定の日だけ配車アルゴリズムを切り替えることでタクシーを SAV として運行するというような利用方法が可能となり、事業者らが運行の実態を見ながら徐々に SAV を導入することが可能である。本報告書では、ユーザと乗客の境界は定かでないが、本稿では、乗車前後はユーザ、乗車中は乗客と記す。

(a) 乗客 App (図 3-3-1-2)

ユーザが自身のデマンドを入力・通知（配車リクエスト）するためのアプリケーションで、後述する配車システムでデマンドを処理した結果、デマンドが SAV に割り当てられると、SAV の号車番号に加え、いつ頃に乗車・降車（目的地到着）できそうかという、見込み時刻が表示される。なお、これらのサービスを提供するために、乗客 App 起動中は適時ユーザの位置情報を収集し、送信している。乗客 App の機能は以下の通りである：

(a-1) SAV の配車リクエスト

- ・乗車位置、降車位置を地図上で指定。後述するランドマークからも指定できる。
- ・目的地に到着したい時刻として降車締切時刻を指定（オプション）。会議や人との待ち合わせ、鉄道や航空機への接続などを考慮した締切時刻として指定できる。配車システムがこれに間に合わないと判断した場合、デマンドは拒否される。
- ・ランドマークをリストから検索。函館市内の主な交通ターミナル、観光名所、レストランな

どを用意した。これは乗客 App 起動時にユーザ端末にダウンロードされる。

(a-2) SAV の状況確認.

・SAV が割り当てられた後、その SAV の現在位置（アイコン）を地図上に表示し、到着予想時刻を表示する。SAV の位置は、定期的に更新され、乗客は SAV がどれくらい近づいているかを知ることができる。

(b) 車載 App (図 3-3-1-3)

車載 App は、SAV 運転手に向けて、乗客の乗車・降車位置や順序と、それらの更新を適時通知するためのアプリケーションである。配車システムでデマンドを処理した結果、デマンドが SAV にアサインされると、音で通知すると共に、アプリ画面上の乗客リストと地図上の訪問順序を更新する。乗客リストには、乗せ間違い防止のための乗客名、乗車人数、乗車位置・降車位置などが表示される。また、運転手が乗客の乗降をシステムに通知するために、乗客の乗降を通知するボタンを有する（将来的には IC カード等を使って乗降確認も自動化する予定である）。

(c) 配車システム

配車システムは、配車リクエストに対して適当な車輛 (SAV) を探索するシステムである。これが SAVS の要であり、乗合のための寄り道が少ないなど運行効率の良い配車ができなければシステムとして成立しない。少数台の実証実験では車輛選択の余地があまり無いが、我々は 1000 台あるいはそれ以上の規模の車輛数を想定しているため、それらの中から最適の（あるいはそれに準じた）1 台を選ぶことが重要課題である。なお、以下に述べる現状のシステムはその意味では最適とは言えないがほぼ満足できるものである。

現状の配車システムは SAVS のためのシミュレーション基盤 SAVSQUID (SAVs Simulator for Qualitative Utility Investigation and Design) (図 3-3-1-4) の機能限定版で、各車輛の乗客数上限を盛り込んでいること以外に大きな差はない。移動所用時間の計算などのベースとしては交通シミュレータ SUMO 上の函館の道路地図を用いた。

まず、対象エリア内における 2 地点間の最適経路と移動時間について、SUMO の提供する貪欲法ベースの経路探索ツールを用いて、事前に他の車輛などが存在しない理想状態で算出した結果をデータベース (コストテーブル) に記録しておく。その上で、逐次最適挿入法 (図 3-3-1-5) により適切な SAV の探索を行う：

(c-1) 新たにデマンドを配車システムが受けたときには、そのデマンドを各車輛に提示する (実装上は配車システム内で各車輛の経路を管理しているソフトウェアエージェントが計算する)。

(c-2) 各車輛はデマンドの出発 (乗車) 地点および目的 (降車) 地点を各々、現在の経由地点リストの任意の箇所に挿入し、全経由地点における挿入により生じる遅延の総和を挿入前の達成予定時間と比較して求める。これを元に新しいデマンドの達成予定時間を求め、この達成予定時間と

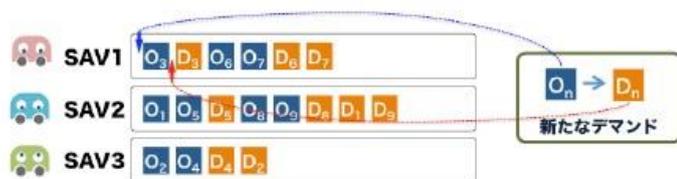


図 3-3-1-4 シミュレーション基盤

図 3-3-1-5 逐次最適挿入法の動作

遅延の総和を挿入後のコストとする。

(c-3) 出発地点と目的地点の挿入場所のペアのすべての組み合わせについて、(c-2) を計算し、コストが最小となるペアをデマンドの受け入れ候補とし、そのコストをもって入札する。ただし新しい挿入により、既存あるいは新しいデマンドの締切時刻を過ぎてしまう場合は入札を行わない。

(c-4) すべての入札のうち、コスト最小のものを選択し、その車輻にデマンドを配分する。

各車輻間での単純オークションで準最適解を求めるものとし、車輻間での乗客の交換は行わず、いったん車輻にアサインされたオーダーの前後関係は常に保持される。また、乗客の指定した締め切り時間をオーバーしたり、徒歩で移動した方が早くなると判断されたりする場合には SAV へのデマンドのアサインを拒否（リジェクト）する。配車の計算はデマンド情報が記録されるデータベースを一定時間ごとにチェックして行う。データベース上に新たなデマンドが検出されると、配車システムはその都度計算を実行し、結果をデータベースに記録することで乗客 App には乗降予定時刻／リジェクトを、車載 App にはデマンドのアサインを通知する。

3-3-2. 実証実験

(1) 概要

実証実験の目標は我々が設計・実装したシステムを用いて現実の市街地において SAV 運行（デマンド受付、配車計画、通信、実走）ができることを確認することである。なお現状では SAV 運行自体の効率性（乗客を如何に目的地に早く運べるか等）は実験の対象としていない。SAVS が長時間にわたり正常に運行できるか、乗客アプリにおいて乗車位置だけでなく降車位置も指定させるなど既存のハイヤー、タクシー呼出アプリと異なる操作もスムーズに行えるか、SAV 運転手が車載アプリを問題なく使用できるかなど、システムの性能、アプリ UI の操作性を実験の対象とした。本報告書では、これまでに行ったフィージビリティテストと第 1 回、第 2 回の実証実験（2013 年 10 月、2014 年 4 月、2015 年 5 月）について報告する（図 3-3-2-1）。

(2) ユーザ

フィージビリティテスト（2013 年 10 月）は、NPO 法人スマートシティはこだてを経て乗客となる人員を募集した。函館市の市民ノーマイカーデーの一環としても参加者を募った。第 1 回実証実験（2014 年 4 月）は、第 2 回サービス学会国内大会の前日、第 2 回実証実験（2015 年 5 月）



図 3-3-2-1 各実験の実施エリア

は第 29 回人工知能学会全国大会の期間中に、それぞれ大会参加者に函館市内の移動手段として使用させた。

(3) 実験エリア

実証実験は函館市使用する SAV 台数やユーザ数を基に決定した。第 1 回実証実験では、SAVS でできるだけ多くのデマンドを処理するために、渋滞などが少なく比較的移動時間が少なく済むエリア、第 1 回、第 2 回実証実験は、サービス学会国内大会参加者、人工知能学会全国大会参加者が移動しそうなエリアを選定した (図 3-3-2-1)。

(4) 実証実験結果

各実験の概要と結果を表 3-3-2-2 にまとめた。上述のように、本実証実験の目的は、システムの性能、アプリ UI の操作性を実験の検証にある。SAV 台数、乗客数などの実験規模、実験エリアを大きくしながら、フィージビリティテストと 2 回の実証実験を行った。その結果、各実証実験において、それらの検証に必要なデマンドが行われたといえる。

フィージビリティテストでは、我々が知る限り、世界初となる複数台リアルタイム完全自動配車に成功した一方で、通信が安定性の向上、乗車位置、降車位置を容易に指定するなどアプリ中の UI の改善が必要とされた。第 1 回実証実験においては、ホテルや観光地への移動などユーザが目的地へ移動するための手段として SAV を利用したが、配車リクエストを行った後に入力データに誤りがあることに気付いたり、目的地変更やアプリ上に表示される移動見積もり時刻が想定していた時刻よりも遅い場合にキャンセルを行う機能が必要とされた。これら課題に対し、それぞれ次回の実証実験までに、システムを改善した結果、社会実装を行うに足るレベルに近づいているといえる。

今後の課題としては、乗客が指定した乗車位置に SAV が近づいた後、乗客を特定するためのランデブー機能など未実装機能の実装を行うとともに、乗客数、車両台数が多い中での実証実験を行い、SAV 運行の効率性については検証することが挙げられる。

表 3-3-2-2 各実験の概要と結果

	フィージビリティテスト	第 1 回実証実験	第 2 回実証実験
実施日	2013.10/24～10/30 (6 日間)	2014.4.27 (1 日)	2015.5/30～6/2 (4 日間)
実施時間	7:30～19:00 (10/24 のみ 8:00～ 12:00)	11:00～18:00	12:00～19:30 (6/2 のみ 11:00～ 17:30)
SAV 台数	5 台	16 台	20 台 (6.1 のみ)
配車リクエストした乗客数 (期間合計)	38 名	34 名	211 名
乗降車したデマンド件数 (期間合計)	1020	58	523

3-3-3. SAV 運行デザイン：函館市中心部を対象とした SAV 台数変化がもたらす利便性評価

2015 年度人工知能学会 (JSAI2015) における実証実験にむけて、函館市中心部を対象とした SAV の台数の変化がもたらす利便性の評価を行った。

(1) 実験条件

対象となる実験領域を図 3-3-3-1 に示す。JSAI2015 での実証実験の構想では、はこだて未来大学と五稜郭の間は大型バスをシャトル運行し、JSAI2015 参加者の函館市中心部の移動に SAVS を利用するものである。よって、図 3-3-3-1 の縦 7km、横 12km の範囲を設定し、道路網のノード数は 3675、リンク数は 10967 となっている。シミュレータは、ドイツ航空宇宙センターが開発し、オープンソースソフトウェアとして公開されている Simulation of Urban Mobility (SUMO) を用いた。SUMO は自由に利用可能な道路網データである Open Street Map を読み込むことができ、個々の車輛の挙動を制御するための API が用意されているため、本研究のシミュレータとして採用した。SUMO に関する実験条件を表 3-3-3-2 に示す。ここで、車輛の最大速度以外のパラメータは、SUMO で用意されているデフォルトの値である。本研究では、信号機と背景交通を導入していないため、車輛の最大速度を制限することで、平均的に旅行時間の計算を行うこととした。利便性は式(1)から計算するものとした。



図3-3-3-1 実験領域 (北海道函館市, 7km×12km)

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{t_i^{\text{wait}} + t_i^{\text{sav}}}{t_i^{\text{walk}}} \right) \quad (1)$$

ここで、 N はデマンド数、 t_i^{walk} は徒歩の旅行時間、 t_i^{wait} はデマンド発生時刻から SAV が到着するまでの待ち時間、 t_i^{sav} は SAV の旅行時間である。よって利便性は、徒歩に対する SAV の平均旅行時間短縮率を 1 で減算しているため、高いほど良いことになる。

デマンドは、一様乱数を用いて領域内に発生させた。平成 25 年度の実証実験より、デマンドの平均発生頻度を 3分に1回、2分に1回、毎分1回とした。本研究ではシミュレーション時間を 108000 秒（30 時間）としたため、発生させたデマンド数は 600, 900, 1800 となる。また、それぞれの平均デマンド距離（m）は、4093, 4072, 4077 となっており、デマンド数によるデマンドの偏りはないと考えられる。

表 3-3-3-2 SUMOに関する実験条件

SUMO のパラメータ	単位	車輛の値	人間の値
長さ	m	6.000	0.215
車輛間・人物間の最小距離	m	2.50	0.25
最大加速度	m / s ²	2.9	1.5
最大減速度	m / s ²	7.5	2.0
最大速度	m / s	10.0	1.0

(2) 実験結果

タクシー（定員 3 名）を SAV として用いた場合の結果をに、ジャンボタクシー（定員 8 名）を SAV として用いた場合の結果を図 3-3-3-3 と図 3-3-3-4 に示す。これらの図より、タクシーとジャンボタクシーに違いは見られないことから、本研究の場合は車輛の定員よりも車輛の数が利便性を高めることに重要であることがわかる。また、SAV の台数が約 30 台で平均デマンド発生頻度間の違いが小さくなり、利便性は約 50 台で収束していると考えられる。

(3) まとめ

JSAI2015 の実証実験において、SAV を何台用意すれば良いのか示すことができた。このとき、タクシーとジャンボタクシーの結果に違いが見られなかったが、本研究では式(1)のみで評価をおこなったため、旅行時間以外の要素については評価できていないためだと考えられる。

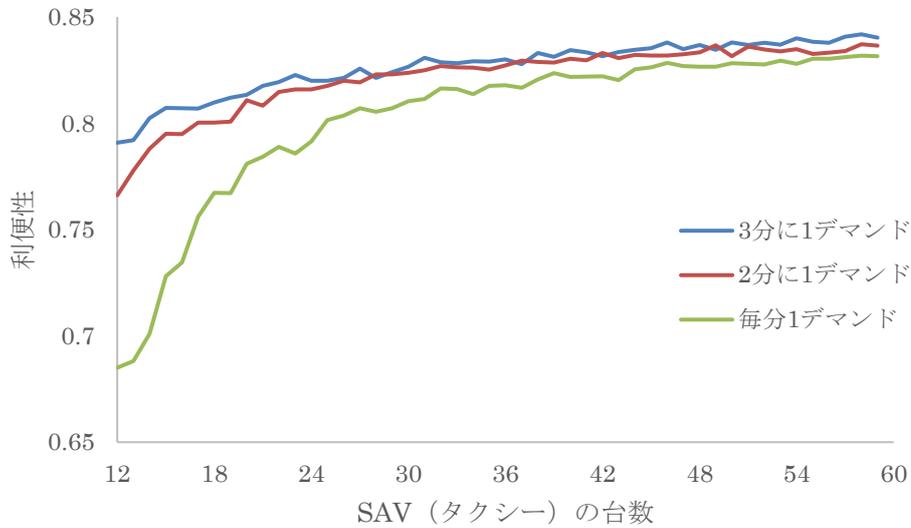


図3-3-3-3 タクシーをSAVとして用いた場合の実験結果

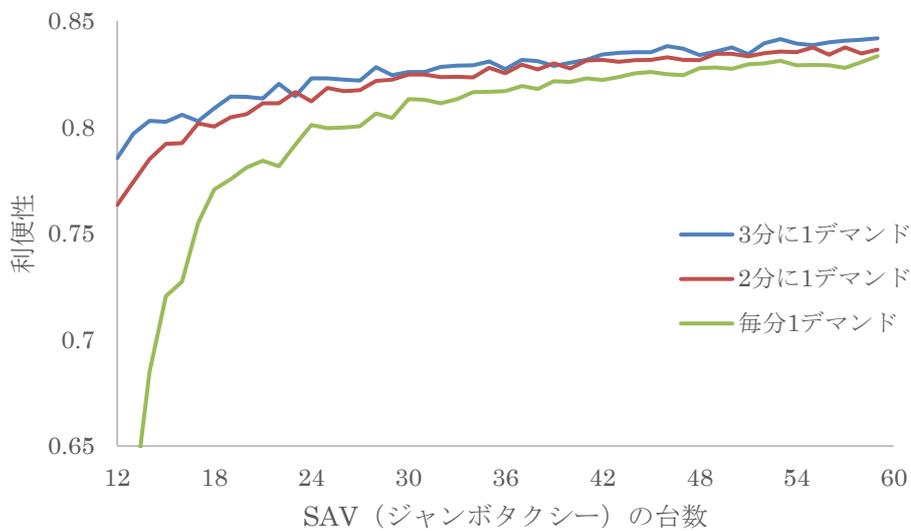


図3-3-3-4 ジャンボタクシーをSAVとして用いた場合の実験結果

3-3-4. SAV 運行デザイン：シミュレーションによる既存公共交通への SAVS 導入効果の評価

SAVS と、函館市の既存路線バスとの比較をとりあげ、シミュレーションを用いて既存の公共交通に SAVS を段階的に織り交ぜたときの、導入過程の効果の評価を行った。

(1) バスの織り交ぜ運行

前年度まで行った研究では、従来の交通システムから新しい交通システムに移行させたときに、期待する効果を得られるかどうかの事前評価を、エージェントシミュレーションという手法を用いて利用者の利便性の評価を行ってきた。特にこれまでは、交通システムを完全にデマンドバスに移行させたケースの評価を行っているが、自治体がデマンドバスを導入するコストや、実際に導入させた時に利用者らがデマンドバスのシステムを認知していく過程も考慮すると、デマンドバスを段階的に導入したケースの評価が必要となってくる。今年度は、既存の公共交通に SAVS を段階的に織り交ぜたときの、新型公共交通の導入効果について網羅的に検証した。

まず、路線バスと SAVS をエージェントとしてモデル化し、北海道函館市の道路ネットワーク上で 2 種類のバスを織り交ぜて運行させる。これによりボトムアップ的にデマンドバス導入の効果を検証した。評価項目の利便性(交通利便性)としては、出発地から目的地まで乗り換え無しで到達する場合の、デマンド発生時刻から達成時刻までの平均時間(デマンド達成時間)を用いた。

(2)評価シナリオ

織り交ぜ方としては、現在運行している路線交通の運行をデマンドバスに置き換えて運行させて導入させる。置き換えによるデマンドバス導入では、1日当たりに運行するバスの台数を一定として、バス事業者としての運行コストを一定とした。

評価シナリオは以下に示す 4 通りを行った。

(a) シナリオ 1 :

運行コストを固定し、段階的にデマンドバスを置換導入する。置換する路線バスは全ての運行からランダムに抽出する。運行コスト一定の下、段階的な置換導入による交通利便性に関するデマンドバス導入の効果について評価を行なう。

(b) シナリオ 2 :

デマンド数に対するデマンドバスの交通利便性の変化を調べる。全てデマンドバスで運行させた時に、デマンド数を変化させてどれだけのデマンド数であれば路線バスと比較して優位性を持つか評価を行なう。

(c) シナリオ 3 :

デマンド数を固定し、全てデマンドバスで運行させた環境下で、運行コストを増やしたときの交通利便性について評価する。

(d) シナリオ 4 :

パーソントリップ調査により推計した、エリアからの潜在需要を含めたデマンドサンプルに対してデマンドバスを置換導入した場合の導入効果について検証する。

シミュレーション上での路線バスを、株式会社函館バス 1 が運行している路線バスの路線・時刻表に基づいてモデル化した。モデル化した路線バスを平成 25 年度夏季、平日の運行ダイヤに従って運行させる。午前 5 時から午後 8 時までの運行ダイヤに従って、延べ 890 便のバスが運行する。エリア内においてバス停は 339 箇所ある。利用者からのデマンドは、午前 5 時から午後 8 時の間にエリア内の各道路リンク(一区画)において発生する。デマンドを以下に述べる 2 種類のデマンド群から発生させる。

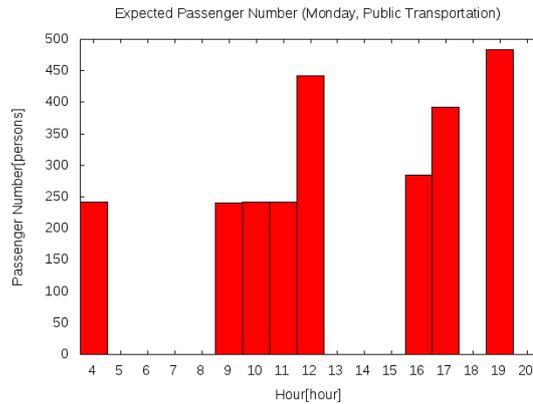


図 3-3-4-1 各時間帯における潜在需要デマンド

シナリオ 1~3 で用いるデマンド群は、路線バスを普段利用するデマンドとの比較のために集めた、路線バス利用時時間の方が歩行時時間よりも短くなるデマンドの集合である。時間、空間的にランダムに 35000 件集めた。シナリオ 4 で用いるデマンド群は、名大グループにより提供された、パーソントリップ調査に基づいて推計した、月曜日の公共交通機関利用者のデマンド群（図 3-3-4-1）を用いる。図 3-3-4-1 において、横軸は時間帯、縦軸は推計したデマンド数を表している。午前 5 時から午後 8 時までに発生するデマンドの数は 2326 であった。

(3) 実験結果

(a) シナリオ 1

1 日当たりの総運行数(890 便)を固定して運行コストを一定とし、総運行数に対するデマンドバスの運行比率を変化させて、従来の路線交通の運行をデマンドバスの運行に置き換えて導入したときの結果について述べる。

デマンドは、路線バス利用デマンド群の中から、ランダムに 300 件、3000 件、10000 件、30000 件抽出した。各デマンド数における、デマンドバスの比率に対する交通利便性の変化を図 3-3-4-2 (a)から(d)に示す。グラフについて、横軸は導入したデマンドバスの比率であり、縦軸は先に述べた方法でデマンド達成時間を正規化した値である。それぞれの点は 10 回の実験の平均値であり、各点に標準偏差を表す誤差棒を付与している。赤色の線は利用者全体の交通利便性の変化、青色の線はデマンドバス利用者の交通利便性の変化、水色の線は路線バス利用者の交通利便性の変化、黒色の線は歩行者の交通利便性の変化を表している。以下、断りがなければグラフ内の線についての定義は上記の定義に従う。

図 3-3-4-2 (a)から(d)より、1 日当たりのデマンド数が比較的少ない時にはデマンドバスの置換導入を行なうことで利用者全体の交通利便性は改善していることが分かる。これは、路線バスよりも時間的、空間的に自由度の高いデマンドバスが比率的に増えることにより、交通利便性の良いデマンドバス利用者が増え、結果的に利用者全体の交通利便性の向上につながっていると考えられる。

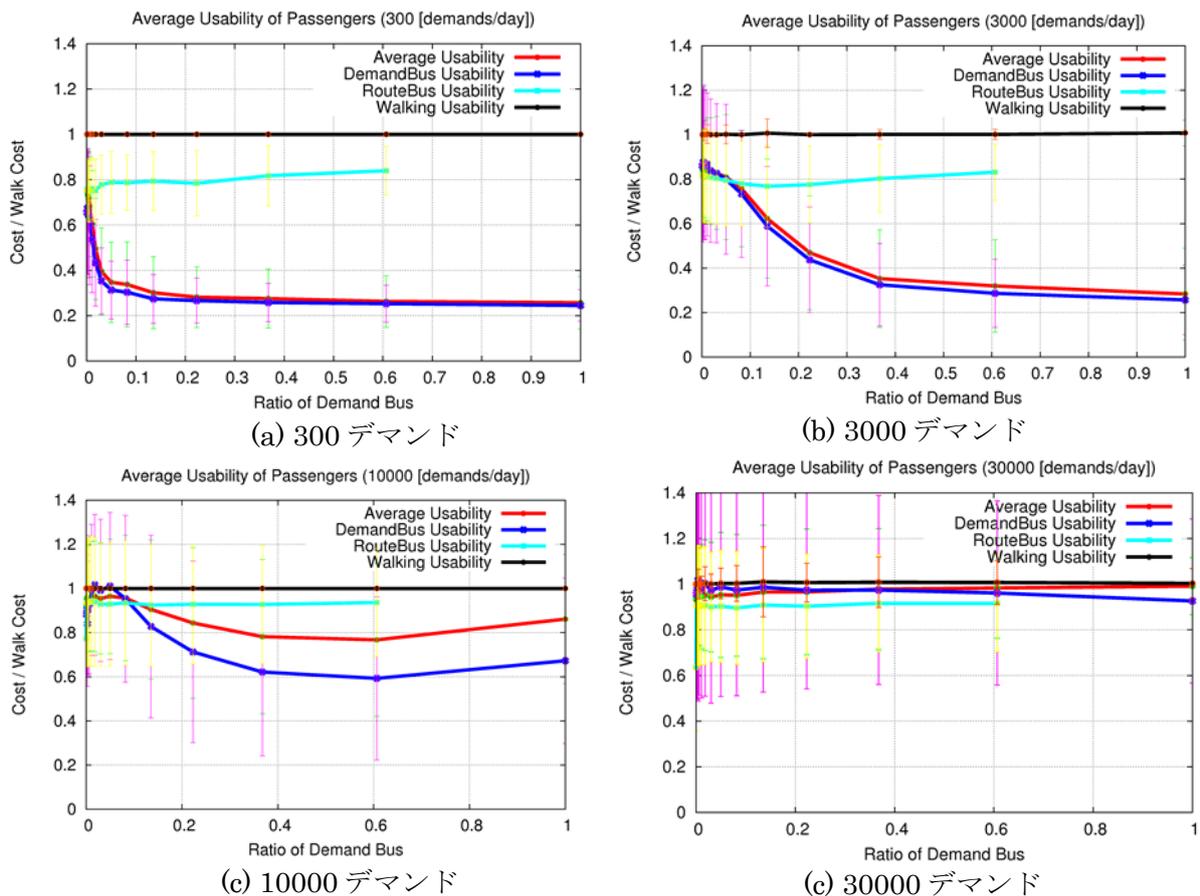


図 3-3-4-2 既存路線交通に置換導入を行なったときの交通利便性の変化

1日当たりのデマンド数を10000とした場合(図3-3-4-2(c))でも、置換導入を進めることで、利用者全体の交通利便性の向上は見られたが、比率の小さい時、つまり少数しかデマンドバスを導入しなかった時には、デマンドバス利用時時間は歩行時時間とほぼ同じであった。これは、デマンドバス台数の少ない時には1台当たりの乗車人数が増えることにより、寄り道が増えることによってデマンドバス利用時時間が増えたことが予想される。また、デマンドバスの比率が60%程度が最も交通利便性が良くなることがシミュレーション結果から示された。これによりデマンド数や運行コストによって、単純にデマンドバスの比率を大きくして導入するのではなく、少し路線バスを織り交ぜて運行させたほうが、利用者全体としての交通利便性が良くなるケースがあることが明らかになった。これは、現状の運行コスト一定のまま、新型公共交通であるデマンドバスに切り替えると、デマンドバスだけでは利用客の輸送効率が悪くなってしまうため、運行コスト一定の下では、路線バスも残して運行させたほうが良いことを表していると考えられる。1日当たりのデマンド数を30000件とした場合(図3-3-4-2(d))では、デマンドバスの比率を大きくしても、デマンドバス利用時時間は歩行時時間とあまり変わらず、全体としての交通利便性の改善効果は薄い。

また、図3-3-4-2(a)から(d)から路線バス利用時時間はデマンドバスの比率を変えてもほぼ一定していることが分かる。これは、路線バスはデマンドバスと違い、寄り道しながら送迎車することがないため、比較的安定して利用者を輸送できているのではないかと考えられる。一方、デマンドバスの場合、隣同士で同じバスに乗る場合でも別々に停車してしまう設定となっている。これについては、配車アルゴリズムや運用に改善の余地がある。実験結果から、運行数を固定した場合においても、デマンド数が少ない時に交通利便性の改善の傾向が見られた。デマンドバスが

少ない時には、少数置き換えを行なうことでも 100%路線バスでの運行の場合と比較して十分改善の効果が得られることが示された。しかし、デマンドバスの比率が少なく、かつデマンド数が多い時には、デマンドバス利用時時間は歩行時時間とほぼ同等となった。これは、1 台当たりの乗員数が増え、寄り道が増えることによってデマンドバス利用時時間が長くなったためだと考えられる。また、路線バスはデマンド数が多くても客を安定して歩行時時間よりも早く輸送することができるが、デマンドバスは、1 台当たりの乗車人数が少ない時には路線バスよりも早く輸送することができることが示された。

(b) シナリオ 2

シナリオ 2 では、現在の運行コスト(1 日当たりの運行数)を変えずに、現在の路線バスでの運行全てをデマンドバスで運行させた時に、デマンド数によって交通利便性がどう変化するかシミュレーションを行なう。

1 日当たりに発生するデマンド数を、9 件、15 件、24 件、40 件、67 件、111 件、183 件、301 件、497 件、820 件、1353 件、2231 件、3678 件、6065 件、10000 件に設定し、それぞれ 10 回の実験を行なった。実験結果を図 3-3-14 に示す。図中、横軸は 1 日当たりに発生するデマンド数である。赤の線は利用者全体の交通利便性の変化、青の線はデマンドバス利用者の交通利便性の変化を、黒の線は歩行者の交通利便性の変化を表している。ここで、比較のために路線バスのみの運行での交通利便性を水色の線に示している。

図 3-3-4-3 より、デマンド数が増えると、デマンドバス利用者および利用者全体の交通利便性の改善効果が薄くなっていることが分かる。デマンドバス利用者の交通利便性が悪化しているのは、デマンド数が増えることにより、デマンドバスの寄り道が増えてデマンドバス利用時時間が長くなっているためと考えられる。利用者全体の交通利便性が悪化するのには、上記のデマンドバス利用時時間が長くなるとともに、デマンドバスを利用しようと思った利用者がデマンドバスにアサインしようとした時にデマンドバスの持つ、出発地、目的地のリストによって歩行時時間よりも長くなる場合が多くなり、歩行による移動を選択したと考えられる。従って、デマンド数が少ない時、利用者全体の交通利便性とデマンドバス利用者の交通利便性との差は小さいが、デマンド数が多くなるに連れてその差が大きくなっていることが考えられる。

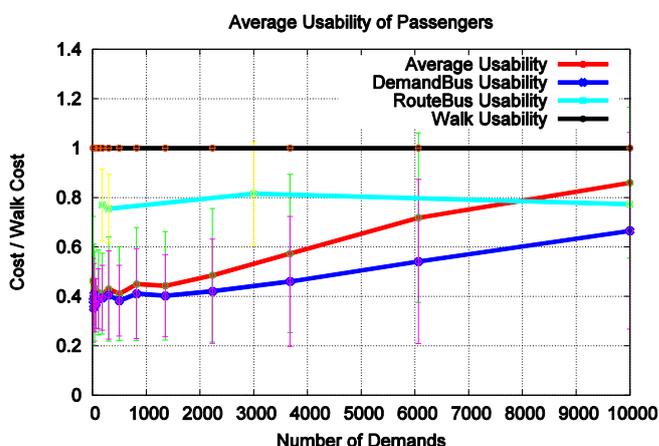


図3-3-4-3デマンド数に対する利用者全体およびデマンドバス利用者の交通利便性の変化

また、路線バスのみでの運行と比較すると、1日当たりのデマンド数が1万件程度でもデマンドバスのみでの運行でも利用者全体の交通利便性は路線バスと比較して優位性があることが分かる。このシナリオによるシミュレーション実験から、交通事業者は、予想デマンド数によって路線バスもしくはデマンドバスどちらで運行すれば良いか判断する基準が得られる。

(c) シナリオ 3

デマンド数を固定して、運行コスト(運行本数)を増やしたときの交通利便性について調べた。なお、運行は全てデマンドバスでの運行とした。現在の890便の運行数に対して100%から240%まで10%刻みで増やした。追加的に運行するデマンドバスは現在の890便の運行からランダムに抽出した。また、デマンドは路線バス利用デマンド群からランダムに1万件抽出して発生させた。

実験結果を図3-3-4-4に示す。図3-3-4-4において、横軸は1日当たり運行するデマンドバスの台数である。図3-3-4-4から、デマンドバスを追加することにより交通利便性は向上していることが分かる。デマンドバスの台数が増えるとデマンドバスの交通利便性が向上した理由として、(1)1台当たりの乗車定員が少なくなり、デマンドバス利用時時間が減ることと、(2)空席のあるバスが増えることで、新しいデマンドに対してふさわしいバスが選ばれる可能性が高まることの2点が考えられる。また、利用者全体の交通利便性も向上していることから、利用者が歩行による移動からデマンドバスを利用した移動に切り替えていると考えられる。これは、デマンドバス台数が少ない時にはデマンドバス利用時時間が歩行時時間を上回っていたデマンドが、デマンドバスの台数を多くするとデマンドバス利用時時間が小さくなり、デマンドバス利用者が増えたためだと考えられる。

(d) シナリオ 4

シナリオ4では、パーソントリップ調査に基づいて推計されたデマンド分布を用いて、潜在需要に基づくデマンドサンプル(図3-3-4-1)に対して、デマンドバスを段階的に置換導入した場合についてシミュレーション実験を行なった。デマンドは1日当たり2326件のデマンドが発生すると設定した。

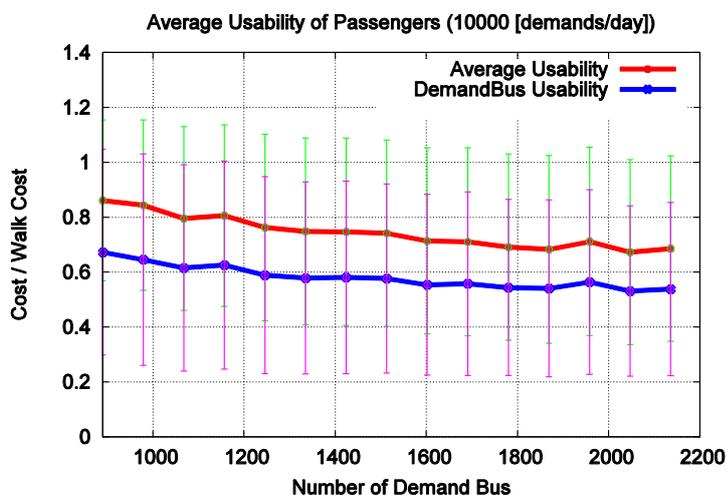


図3-3-4-4 10000デマンド/日として運行コスト(1日当たりの運行台数)を変えた時の交通利便性の変化

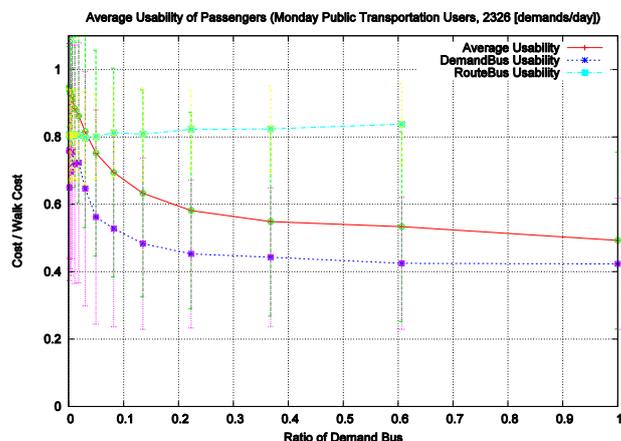


図3-3-4-5 推計されたデマンドに対して既存路線交通に段階的にデマンドバスの置換導入を行なった時の交通利便性の変化

シナリオ 4 での実験結果を図 3-3-4-5 に示す。図 3-3-4-5 より、潜在需要に基づくデマンドサンプルに対しても、置換するデマンドの比率を大きくすると利用者全体の交通利便性は向上する結果となった。

(4) まとめ

実験結果より、函館市において現状より、比較的スムーズにデマンドバスの導入が可能である可能性を示すことができた。特に、デマンドバスが普及し、デマンドバスの台数を増やすことができれば、利用者にとってはより早く目的地に到着することができる手段として、事業者にとってはより多くの利用者を獲得することのできる事業としての効果が期待できることが、実験結果により明らかになった。今後は、より多様なシナリオについて評価することで、バス事業者や自治体における事前評価や有益となる情報提供(デマンドバス比率や運行コストなど)が期待できる。

3-3-5. 函館市全域運行の有効性の検証

函館市規模の都市で SAVS を導入することが有効であることをシミュレーションで示すというのが初期の目標に含まれていたが計算に手間取ってしまった(つまり初期の設定では計算時間が膨大であり、プロジェクト期限内には終わらないことが分かった)。しかし改善を行い、プロジェクト終了までにシミュレーション結果が間に合ったのでここに記す。

(1) シミュレーションの条件

実験に用いた道路網を図 3-3-5-1 に示す。道路網のデータはオープンストリートマップ¹を用いた。緯度を 41.744-41.852, 経度を 140.692-140.837 として、約 12km 四方を対象領域とした。図 3-3-5-1 には 17785 ノード、43137 リンクが含まれている。

¹ OpenStreetMap : 入手先 <http://www.openstreetmap.org/>



図 3-3-5-1 実験に用いた道路網

表 3-3-5-2 シミュレーション評価実験に用いたパラメータの値

パラメータ	値
デマンド数	5000, 25000
デマンド発生時刻	範囲[0, 3600]の一様乱数
デマンドの乗車位置	ランダム
デマンドの降車位置	ランダム
デマンドの予約人数	1 人
車輦の速度	34.2 km/h
車輦の定員	3 人

シミュレーション評価実験に用いたパラメータの値を表 3-3-5-2 に示す。2010 年時点で函館市の公共交通利用者数（バス、タクシー）は 1 日あたり約 6 万人である²。昼間 12 時間で 6 万人が移動すると仮定すると、1 時間あたり 0.5 万件のデマンド（以下、配車依頼 1 件を 1 デマンドと表す）となる。また、SAVS が社会実装されると、現状の公共交通の利便性が低いため自家用車を利用している人が自家用車を手放し、SAVS を利用するようになる。昼間 12 時間に函館市の人口約 30 万人³の半数が往復の移動を行うと仮定すると、1 時間あたり 2.5 万デマンド⁴となる。本稿では、デマンドの乗車位置と降車位置をランダムに設定したため、1 時間あたり 0.5 万デマンドと 2.5 万デマンドの発生頻度に対して、それぞれ乱数のシードを変えて 10 回実験を行った。

SAV の平均速度は、国土交通省の調査結果⁵により算出した。なお、シミュレーションにおいては加減速なく一定の速度で移動するものとしている。比較対象として、すべてのデマンドを自家用

² 函館市：函館市地域公共交通網形成計画（案），入手先 <https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2015090200085/>

³ 函館市：函館市の人口，入手先 <https://www.city.hakodate.hokkaido.jp/docs/2015020600107/>

⁴ 観光客が積極的に利用するなど、利便性の向上とともに、ここで想定している以上に公共交通が必要喚起されることが期待される。

⁵ 国土交通省：平成 22 年度道路交通センサス，入手先 <http://www.mlit.go.jp/road/census/h22-1/>

車で移動した場合を考えるが、自家用車の移動時間を SAV の平均速度とデマンドの乗車位置・降車位置間の距離から計算される移動時間と定義する。つまり、SAVS においては、デマンドが発生して（乗客が配車依頼を行って）から SAV が乗車位置に着くまでの待ち時間、乗合いが生じて迂回する場合による遅延時間が生じるが、自家用車の移動時間はこれらの時間だけ短くなる⁶。作成したデマンドリストに対して、自家用車の移動時間の平均値を計算すると、1 時間あたり 0.5 万デマンド、2.5 万デマンドともに 10 分であった。シミュレータは Java 8 で開発した。実験環境は、CentOS 7, AMD Opteron 6282 SE, 128GB RAM である。

(2) シミュレーションの結果

まず、デマンドごとの車輛待ち時間の変化を図 3-3-5-3 に示す。横軸は発生時刻でソートされたデマンド（数値は 1 から始まるデマンドの番号）、縦軸はデマンドごとの車輛待ち時間である。図 3-3-5-3 左は 1 時間あたり 0.5 万デマンドの結果、図 3-3-5-3 右は 1 時間あたり 2.5 万デマンドの結果である。ただし、傾向を見やすくするために 30 項移動平均を示している。

SAVS では時々刻々と発生するデマンドに対して、その時々で最良の SAV にデマンドを割り当てる。よって、デマンドの発生頻度に対して SAV の台数が少ないと、デマンドが生じた時に満席となっている SAV が増え、SAV が空席になるまで待たなければいけないため、デマンドの車輛待ち時間は増加傾向となる。図 3-3-5-3 を見ると、1 時間あたり 0.5 万デマンドでは車輛 700 台、1 時間あたり 2.5 万デマンドでは車輛 3 千台が必要であることがわかる。

次に、全デマンドに対する評価実験結果を表 3-3-5-4 に示す。自家用車との比較の項目は、SAVS での所要時間（SAV 待ち時間+移動時間（乗合いにより迂回する場合有り））と自家用車の移動時間の差を表しており、自家用車に対する SAVS の遅延時間を意味する。乗り合い回数の項目は、乗客が SAV に乗車してから降車するまでの間に、乗合いになった他の乗客の人数を表す。図 3-3-5-4 より 1 時間あたり 0.5 万デマンドでは 700 台、1 時間あたり 2.5 万デマンドでは 3 千台が SAV を円滑に運行するために必要な台数であると判断し、その両者を函館市で SAV を実運用するための閾値とし、表 3-3-5-4 では太字で強調した。

表 3-3-5-4 より、1 時間あたりの各デマンド数に対して、閾値未満では、乗合いが多く発生してい

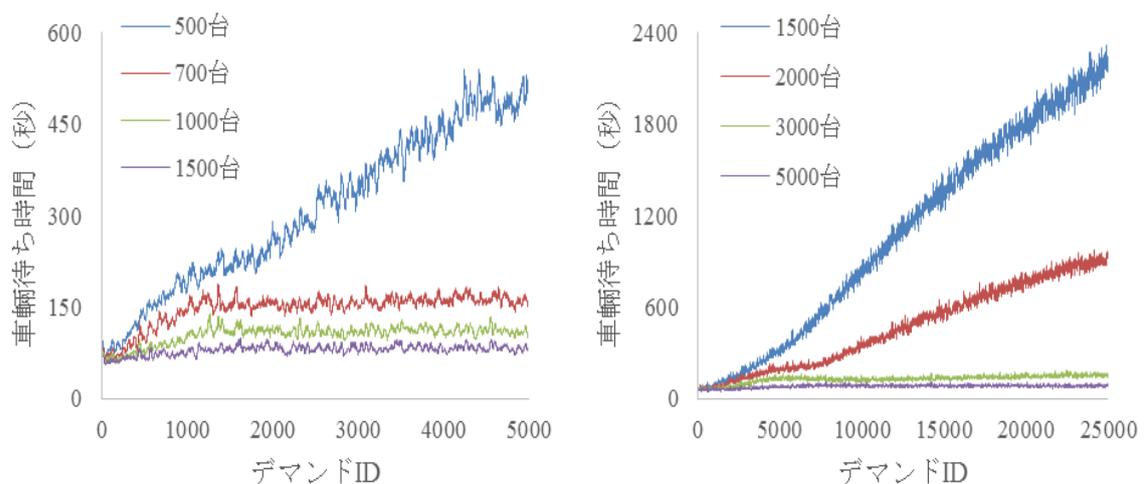


図 3-3-5-3 デマンドごとの車輛待ち時間の変化

⁶ 実際には駐車場が必要であるので、自家用車の移動時間はこれより長くなるが、比較対象としては最善のケース（SAVS にとっては最悪のケース）を想定した。

ることが見て取れるが、これは、デマンドに対して SAV の運行が間に合っておらず、乗客が降車する前に次のデマンドが挿入されるためであると考えられる。一方で、閾値より多くの車輛を導入した場合、平均では 2 分未満で SAV が乗車位置に到着し、所要時間も自家用車と比べて平均 3 分未満の違いしかない。閾値より多くの SAV を導入することで利便性が高くなるが、ほぼ乗合いが発生していないことから、タクシーと同等の交通システムとなることがわかる。

表 3-3-5-4 全デマンドによるシミュレーション評価実験結果

デマ ンド 数	車 輛 台 数	車 輛 待 ち 時 間 (分)			自 家 用 車 と の 比 較 (分)			乗 り 合 い 回 数		
		平 均 値	標 準 偏 差	最 大 値	平 均 値	標 準 偏 差	最 大 値	平 均 値	標 準 偏 差	最 大 値
5000	200	48	28	114	54	27	118	3.17	0.68	6
	300	22	13	54	28	13	63	2.96	0.67	6
	500	5	2	14	9	3	21	2.27	0.66	4
	700	2	1	9	5	1	12	1.28	0.51	3
	1000	2	1	6	3	1	7	0.31	0.19	2
	1500	1	1	5	2	1	6	0.05	0.07	1
	2000	1	0	4	2	1	6	0.01	0.04	1
25000	500	121	69	280	129	68	285	3.42	0.72	9
	1000	42	26	106	49	26	111	3.21	0.66	7
	1500	18	12	52	24	12	57	2.99	0.67	7
	2000	8	5	25	13	5	29	2.68	0.69	6
	3000	2	1	9	5	1	14	1.69	0.63	4
	5000	1	1	5	2	1	8	0.16	0.13	1
	10000	1	0	6	2	0	7	0.00	0.02	1

(3) 考察

シミュレーション結果を基に SAVS を函館市で社会実装することを想定して考察する。現状の公共交通利用者を想定した 1 時間あたり 0.5 万デマンド (シナリオ 1) では SAV が 700 台、SAVS 実運用による需要喚起を想定した 1 時間あたり 2.5 万デマンド (シナリオ 2) では SAV が 3 千台必要という結果となった。ただし、シミュレーション評価実験においてはデマンド (乗車位置、降車位置) をランダムに発生させているが、実際には、空港や駅、主要な観光地などでデマンドがまとまって発生することが想定される。このため、デマンドを予測して適切な SAV の配置を行う SAV 配置戦略を導入することにより SAV の運行効率を上げられる。つまり、デマンドをランダム発生させるというシミュレーション条件は、SAV の運行効率に対してワーストケースであると考えており、上述の SAV 台数より減らしても円滑に運用できると考えられる。

現在の函館市におけるバスとタクシーを合わせた総車輛数は約 1 千台である (3-3-5 節脚注 2)。シナリオ 1 においては、現状のバスとタクシーを SAV に置き換えることで実現できる。シナリオ 2 については、函館市内の現状のバス、タクシーをすべて SAV として利用しても円滑に運行できる 3 千台には達しない。しかし、現状に即したデマンド発生条件とすることでこれよりも少ない台数でも円滑に運行できると考えられること、仮に 3 千台の SAV を要するとしても、シナリオ 2 では現状で自家用車を利用して移動している人がそれを手放して SAVS を利用することを想定しており、函館市において現状以上の 3 千台の SAV を投入することは現実的であると考えられる。現実的に即したデマンドの発生条件や SAV 配置戦略を考慮したシミュレーション評価実験について

は、今後行うことを予定している。

3-3-6. SAV 利用意向モデルによる料金・待ち時間の感度分析

SAVS は市内における移動の利便性、快適性を向上することを目指しており、提供するサービスレベルに応じて人々の活動・交通行動は変化する可能性が高い。ただし実証実験時は様々な制約から利用者に料金を課すことはできないため、仮想条件下での利用意向を把握し、モデル化することで料金や待ち時間に対する感度を分析する。

(1) 利用意向調査

本年度の実証実験時、各利用者の降車後に利用意向に関する Web アンケート調査を実施した（次頁表）。降車後すぐに登録されているメールアドレスにアンケート URL を配信するという形で協力をお願いした。また、個別のトリップに関する設問も調査内容に含まれるため、乗車毎に別のアンケートを送信した。設問項目は表 3-3-6-1 の通りである。

なお、提示する料金と待ち時間の増減幅は、対象者によって異なる水準が提示されるよう、事前に複数の Web フォームを用意し、どの水準についてもほぼ均等に回答が得られるよう配信している。料金は、200, 300, 400, 500 円のうちの 2 つを提示しており、待ち時間の増減幅は 5 分または 10 分を提示している。

利用意向調査の基礎集計を行う。なお、利用毎にアンケートが配信されるため、個人が複数回調査に回答している場合があるが、同一個人でも回答毎に対象となる乗車区間が異なること、また利用意向調査で提示される料金や仮想的な待ち時間増減が違う可能性があることを踏まえ、ここで示す集計では同一個人の2回目以降の回答も全て個別の回答として考慮して集計を行う。以下の

表3-3-6-1 利用意向調査項目

個人属性	年齢・性別
	住んでいる市区町村
	函館への訪問回数
	今回の実験でSAVに載った回数
トリップ情報	同行者
	移動目的
	SAVが無かった場合の移動手段
他手段LOSの認知	今回の移動区間をタクシーで移動した場合の運賃を知っているか（知っていれば金額を回答）
	今回の移動区間をタクシーで移動した場合の所要時間を知っているか（知っていれば時間を回答）
有料の場合の利用意向	待ち時間が今回と同じ場合（料金は2水準提示*）
	待ち時間が増加した場合**（料金は2水準提示*）
	待ち時間が減少した場合**（料金は2水準提示*）
満足度	今回の乗車への満足度
	SAVのようなサービスがあなたの居住地域にもあり、自家用車保有費用よりも安く定額で利用できる場合に、自家用車を手放したいと思うか

*料金は200,300,400,500円のうちの2つの水準を提示した

**待ち時間の増減幅は5分または10分を提示した

基礎集計の対象は、4日間の乗車したリクエスト数523件中、217件の回答である。また、設問によっては無回答や誤入力とみられる若干数の回答を除いて割合を算出している。

(a) 回答者属性

実験での乗車対象者が人工知能学会参加者だけであったため、男性が比較的多く、年代としては20代が最も多くなっている（図3-3-6-2）。

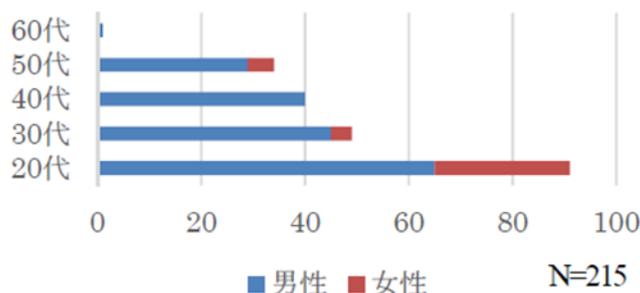


図3-3-6-2 回答者の性別・年齢構成

(b) 利用意向調査の結果

続いて、利用意向調査の結果を示す。実験時の乗車は無料であったが、仮想的な料金を提示して、今回の乗車が有料であった場合でも利用したいか否かについて回答を得ている。200円では9割程度の人が、どの待ち時間でも利用したいと回答している。待ち時間10分増の場合には、料金が高いほど利用意向を示す人の割合が顕著に低くなる傾向にある（図3-3-6-3）。

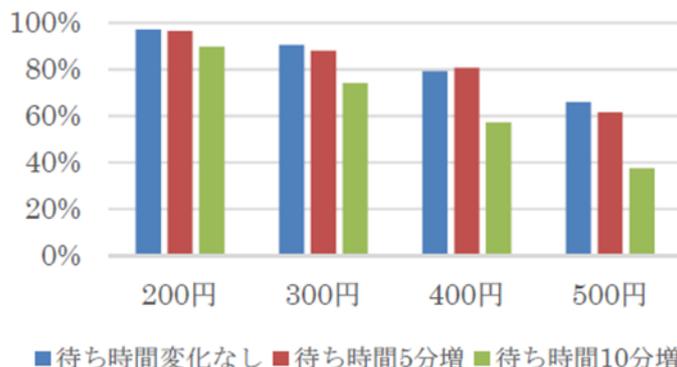


図3-3-6-3 有料だった場合でも利用したいと答えた割合

(c) 自家用車との代替性について

今回の調査では、「今回の実験で提供しているSAVのようなサービスが居住地周辺にあった場合に自家用車を手放したいと考えるか」という質問項目を設け、自家用車の代替性について把握している。自家用車保有者に限定すると、29%の回答者が「手放したい」と回答しており、自家用車の代替としてSAVを用いる意向のある人がある程度存在する可能性が示唆されている。

(d) SAV利用トリップの特徴について

続いて、SAV利用トリップに関する項目について述べる。移動目的、同行人数、SAVを利用でき

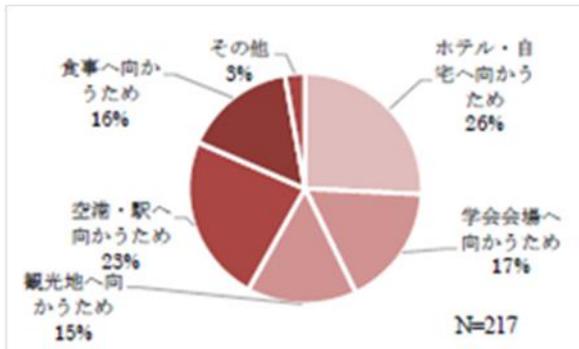


図3-3-6-4 SAV利用トリップの移動目的

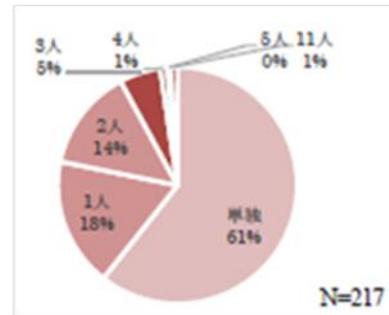


図3-3-6-5 乗車時の同行人数

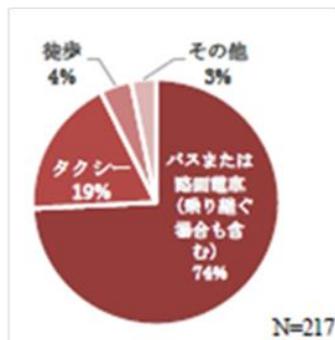


図3-3-6-6 SAVが無かった場合の移動手段

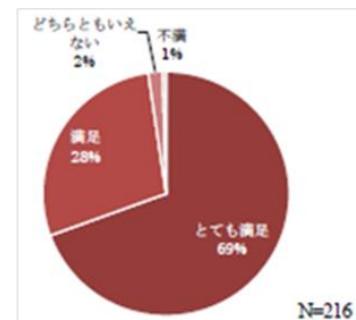


図3-3-6-7 SAV利用への満足度

なかった場合の交通手段についての集計結果を図3-3-6-4以降に示す。

まず、SAV利用トリップの目的は、今回の対象者が学会参加者だったため、学会会場や観光地、駅への移動と、ホテルや自宅へ戻る移動が多くなっている（図3-3-6-4）。

続いて、同行人数について集計した（図3-3-6-5）。なお、同行人数は自分を含めずに数えた場合の人数を答える形とした。6割が単独での移動であったが、3割程度の人が同行者が一人または二人同行者がいたと回答している。SAVが無かった場合の移動手段をみると、7割以上がバス又は路面電車であった（図3-3-6-6）。

(e) SAVS への満足度について

SAV乗車への満足度の集計結果を図3-3-6-7に示す。7割が「とても満足」、3割弱が「満足」と回答している。

(f) 自由記述欄への回答内容について

調査の最後に、今回の実験時のSAV乗車に関して自由記述欄を設けていた。この自由記述欄に記入された意見は、配車アプリの使い勝手に関するものが多く、特に乗降地点指定に関するものが多かった。乗降地点は、今回のアプリでは画面に表示される地図上で指定を行うか、駅や観光名所などのランドマークを指定する形で乗車地点を指定する仕組みになっていた。しかし、地図上で道路や建物を指定したとしても、どちらの側の歩道に利用者があるか等の詳細な位置が運転手に伝わっておらず、乗車に手間取る可能性があるという点の指摘が多くあった。詳細な乗車地点の伝達や調整は、今後の課題の一つである。

(2) 利用意向モデルの構築

(a) 推定のためのデータ加工について

アンケート調査データから、料金と待ち時間を変数に含む利用意向モデルを構築するため、パラメータ推定に用いたデータについて述べる。調査では、待ち時間が「実際に経験した時間と同じだった場合」「一定時間（5分または10分）長かった場合」「一定時間短かった場合」の3通りの待ち時間条件の下で、それぞれの待ち時間について2水準の料金を設定し、1回のアンケートで合計6通りの条件下での利用意向についての回答を得ている。今回の実験時には待ち時間が10分以下であるような移動も多かったため、質問項目の「一定時間短かった場合」は使用せず、「実際に経験した待ち時間」での利用意向データと、「待ち時間が一定時間だけ長かった場合」を仮定した上での利用意向データを用いてモデルを構築している。

料金は、各対象者に実際に画面で提示した値を用いている。また、待ち時間については、調査への回答とリクエスト固有IDを結びつけることにより、各回答者が実際に経験したと思われる待ち時間を算出して推定した。なお、パラメータ推定に用いた「待ち時間」は、各リクエストについてサーバーにて配車時に計算されて記録されている「乗車地点到着予定時刻」を用いているため、実際の到着時刻とは若干異なる可能性がある。また、利用毎にアンケートが配信されるため、個人が複数回調査に回答している場合があるが、今回は各個人の最初の回答のみを用いている。

(b) パラメータ推定結果

以下のような効用関数を仮定して SAV を使うか否かを選択する 2 項ロジットモデルを推定した。パラメータ推定結果と最終の尤度比を表 3-3-6-8 と表 3-3-6-9 に整理した。料金、待ち時間のパラメータはともに有意水準 1% で有意となっており、料金や待ち時間が選択に影響を与えていることが確認できた。また、調整済み尤度比は 0.6 程度であり、説明力のあるモデルが構築できたと考えられる。なお、利用時間を説明変数とした場合、パラメータは正值で有意ではなかった。これは無料実験時の回答特性であると考え、今回は利用時間のないモデルを感度分析に用いることとした。

$$U_{use_sav} = b_f * FARE + b_w * WT + b_0$$

$$U_{not_use_sav} = 0$$

ここで、(FARE : 料金 WT : 待ち時間)

表3-3-6-8 パラメータ推定結果

	パラメータ推定値	t 値
料金 (円) : b_f	-8.88×10^{-3} **	-5.74
待ち時間 (分) : b_w	-8.82×10^{-2} **	-4.05
定数項 : b_0	5.63 **	7.60

** : 1% 有意

表3-3-6-9 推定したモデルの尤度比

尤度比	0.602
修正済み尤度比	0.594

(c) サービスレベルの感度分析

構築したモデルにて推計される料金や待ち時間の変化に対する需要の変動をグラフに示す (図 3-3-6-10)。図中の利用率は、運賃が無料で実験時と同じ待ち時間だった場合の利用者数を 100% とした場合の割合であり、有料だった場合や平均的な待ち時間が増えた場合にどのように利用者

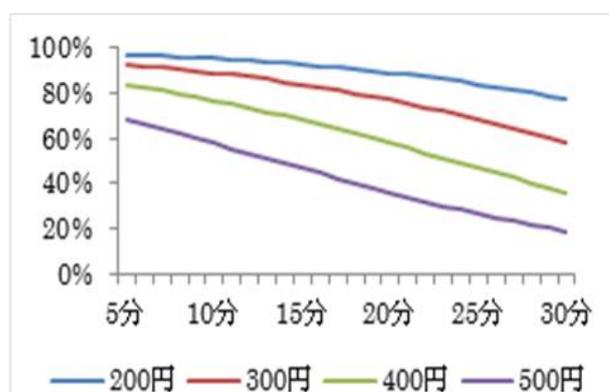


図3-3-6-10 料金・待ち時間の変化に対する利用意向

が変化するかを示したものである。10～30分程度の待ち時間では、料金が400円、500円といった比較的高い料金を設定している場合ほど、顕著に利用率が下がるという傾向が表れている。

なお、ここで示したモデルは「運賃が無料で実験時と同じ待ち時間だった場合の利用者数に対する利用率」を求めるモデルに過ぎないため、新たに運行を行う場合の需要評価に当たっては、今回のモデルとは別に「無料だった場合の需要」を算出する必要がある。ただし、今回の実験対象となった利用者、つまり人工知能学会参加者の人数に対するSAVリクエスト数の概算値が推定できれば、有料で運行した場合についての需要評価には用いることができると考えられる。

今後の課題としては、他手段のLOSを考慮した手段選択モデルの構築と、配車シミュレーションと連動したサービス全体の収支評価や最適運賃設定などが挙げられる。さらに、市民・住民と訪問者との利用意向の差異など、総利用者数を推計するための需要予測モデルの開発が必要である。また、SAVSの本格導入に向けては、配車アプリケーションの利用しやすさの向上や、安全性の担保や他の事業者との関係性を調整するための法制度の整備と、サービスを提供する運行主体をどのように形成するかという点が、今後検討すべき課題として挙げられる。

3-4. 今後の成果の活用・展開に向けた状況

今後、成果を展開するに当たりトータルモビリティという概念を提唱する。これは、バス、タクシー、鉄道、航空などの全交通機関を融合して交通システムを総合的に管理・運用・提供することを指すが、それを実現するコア技術が移動サービスのクラウド化である。従来の公共交通は移動や輸送というサービスを提供するために車輛や機体というハードウェアを用いる。これまではこのハードウェアとサービス提供が分かちがたく結びついてきたが、これをITにより分離することで、移動や輸送を提供するハードウェアを共通のインフラとして利用可能となり、利用者に提供する移動サービスのために自由に組み合わせることが可能になる。例えば、利用者にとっては、乗りたい時に配車リクエスト(乗車場所、降車場所の入力)を行うことで、その時点で利用可能な交通機関、経路、時間の中から選択可能となる。一方事業者にとっては、得意な分野や領域の交通サービスに集中して提供可能となる。例えば、車輛の貸与、運転手の派遣、病院との連携、宅配サービスとの協業などである。

移動サービスのクラウド化における技術的課題は以下の3点である：車輛の位置を把握しながら、ユーザの配車リクエストに応じた配車を行う運行管理システムの構築、プライシングに十分な情報(燃料量・移動時間・移動距離)の提供と制御、事業者がサービスを設計・提供するためのプラッ

トホームの構築。最終的には、事業者がこのプラットフォームを利用するための SAV API (Application Program Interface) の設計と実装が必要となろう。

3-5. サービスループの定式化

プロジェクト開始時より FNS ダイアグラムに沿った実践の展開を目指した。これは大まかには図 3-5-1 のループを回すものである。図 3-5-1 において○は概念あるいは実体、矢印はそれらの間の遷移を促す行為である：

- SAVS のデザイン
C1:SAVS の実装
- SAVS (プロダクト)
C√2:サービス提供による環境との相互作用
- SAVS 運用時のシステムや乗客の振る舞い
C2:観測と分析
- 運行実態のモデル
C3:再デザイン
- 次のデザイン

これは、一般的な構成行為をサービスに適用したものである。我々はサービスを「システムの提供と使用」のことと定義している。本プロジェクトにおいては SAVS の提供と使用である。

図 3-5-1 において上半分が概念世界、下半分が実体世界である。概念はデザイナーの自由になるが、実体はデザインされたプロダクトを通じて間接的にしか制御できないことに注意する必要がある。このことは SAVS の実証実験でもいやというほど経験した。

FNS では行為が 3 段しか存在しないのに対し PDCA サイクルでは 4 段として定式化されている。我々は P=A として 3 段に集約すべきだと考えている。また PDCA では概念と実体の区別がなされていないため、plan, do, check, act という動詞の意味付け（特に動作主体が誰なのか）が明確ではない。特に act が何を意味するのかが我々には不明である（FNS による分析では、ここは概念から概念への変換のはずであるので act という動詞はそぐわない）。実際、初期のデミングの論文で強調されていたサイクルを何度も回すという概念が P と A を分離することにより繋がらなくなっている。

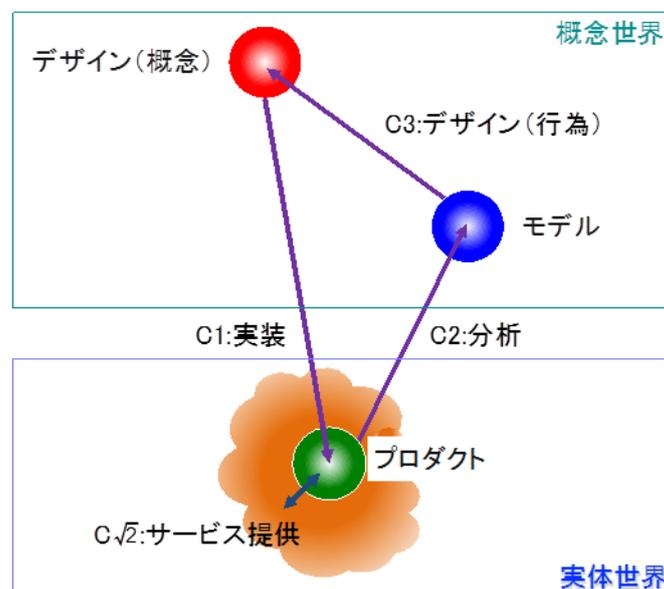


図 3-5-1 FNS ダイアグラムによるサービスの定式化

FNSにおいてC1は概念を実体化するサービス提供者の行為、C√2は実体と環境の(勝手な)相互作用(従ってサービス提供者は直接制御できない)、C2は実体を分析して概念を生成するサービス提供者の行為、そしてC3は概念を次のデザインに戻す、サービス提供者の頭の中の行為である。

こう考えたときに利用者のループも同時に存在するはずであることに気づく。本プロジェクトでは利用者の行動の変化という形で想定している。SAVSの実装により、市民の行動形態が変化し、自家用車から公共交通への移行が進んでいると考えているものの、実際にそれを観測できる規模の実証実験は行っていない(期間や費用の問題からプロジェクト提案に含まれていない。ただしプロジェクトの最終段階でアンケート調査から価格設定などにつなげる研究者の参加を得たので若干の進展はあった)。しかしながらサービ斯拉ープにおける価値共創(本プロジェクトにおいては、公共交通の価値の変化)の定式化は必要と考え図3-5-2を提案した。

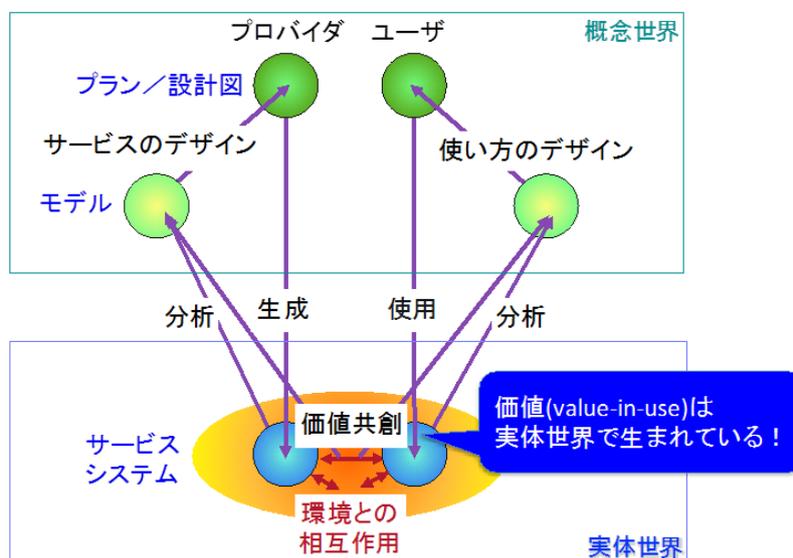


図 3-5-2 価値共創のツインループ

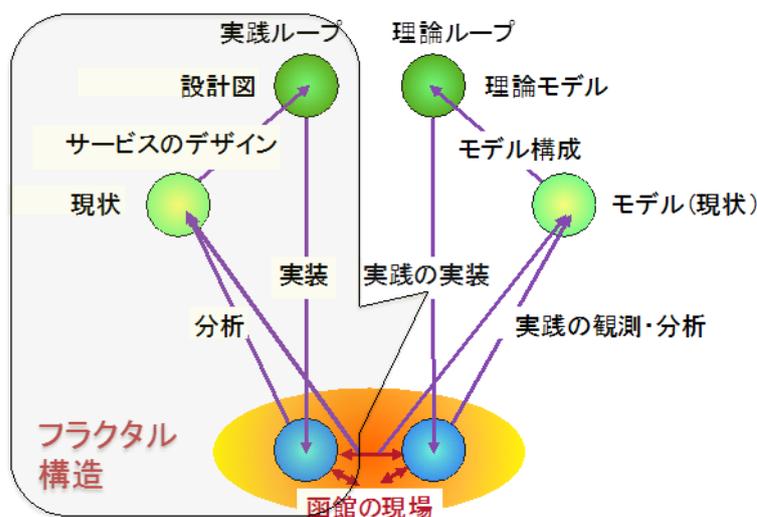


図 3-5-3 プロジェクトのフラクタル

最初に述べたように本プロジェクトにおいては実践と理論を同時に行うこととしていた。SAVSの提供を行いながら本節に述べられている内容を精緻化していった訳であるが、これは図 3-5-2 の左半分を回しながら、それを自己観測するという事に相当する。それを表したのが図 3-5-3 である。図 3-5-3 は理論ループにおける「実践の実装」部分が実は実践ループとして展開されることを示している。この発見により FNS のフラクタル的意味付けが明確となった。

3-6. プロジェクトを終了して

本プロジェクトはサービス学の実践という意味で、技術開発とその実装、そして実践の理論化という二つの側面を持っている。以下、各々の側面について総括したい。

3-6-1. 技術開発

システム自体の開発は比較的順調であった。もちろん、様々な不具合はあり、第 1 回目の実証実験初日は通信がうまく動作せずほぼ全日をデバッグにあてるといったようなことがあったが、この手の事故は想定内と言えよう。最も想定外だったのはシミュレーションの遅れである。函館市全域でのシミュレーションがプロジェクト終了時点でやっと間に合うという状況で、その後の展開はプロジェクト終了後にずれ込んでしまった。想定していたよりも計算速度が遅く、また使っていた道路地図にバグが発見され、それらが計算を遅くしている要因であることが判明した。プログラムを全面的に書き換えるなどを行ったが、産総研でシミュレーションを担当していた研究者が文科省に出向してしまうというハプニングも重なり、大きな遅延となった。現在やっと実用速度でシミュレーションができる状態になっているが、プロジェクトとしては遅きに失したと言わざるを得ない。

しかしながら 3-3-4 節で示したように函館全域規模での導入がシミュレーション上は妥当であるという結論を遅まきながらも得たことは、大きな成果であると考えている。また、このシミュレーションは新たな地域での導入の際に大きな武器となる。

3-6-2. 実践

リアルタイムデマンド交通サービスは、世界中で導入されつつあるが、それらはすべて僻地あるいは都市周辺部のデマンドが少ない地域を対象としたもので、我々のように都市全域での実装を目指すものはない。そのため、実装には様々な障害があることがわかった。

3-6-2-1. 法的問題

一般論として法律は常に技術の後追いである。現状ではバスとタクシーは法的に完全に分離されている。これはそれぞれの既得権を侵害しないための行政的配慮であろう。そのため、両者を統合した形態である SAVS は現行の法律下では運行できない。

乗合自動車に関しては以下の区分がある：

- ・ 路線定期運行。路線と停留所、ならびに時刻表を定めて運行されるもの。
- ・ 路線不定期運行。不定期の小規模運行。
- ・ 区域運行。路線や停留所を定めない運行。

我々の SAVS は都市全域の区域運行と考えてよい。

これらの制約下での新しい運行、あるいは制約を緩和するには、現状ではすべての関係者（住民、運行業者、行政、警察など）から成る地域交通協議会を組織し、そこで運行条件の決定や、場合によっては行政特区と設定する等の決定をする必要がある。ところが、函館における交通を話し合う委員会ではタクシーとバスが別々のグループとして設定されており、我々の提案しているような新システムを検討する場が存在しない。

我々は法的問題を避ける為に、実験中はタクシーやバスを借り上げて実験してきた。これらの業者が自主的に SAVS 運行を始めるようにするには、もう少し実績を重ねる必要がある。ただし、いつまでも借上げ実験を行っている限り、料金徴収もできず、実用性の検証にはならない。現在の法律に抵触しない形で有料運行の実績を積み上げる必要があり、地域通貨の利用は一案かもしれない。このような障害に阻まれ料金を徴収しての実運行ができなかったにもかかわらず、サイトビジット等では何度かユーザ満足度に関する質問を受け、さらにユーザ満足度向上のための施策を問われた。しかし本プロジェクトでの実証実験はユーザ満足度に関わる以前の段階であり、我々が RISTEX から必要としていたアドバイスあるいはサポートは、このような障害の克服法であり、現在の法制下でユーザ満足度をいかにして計測するかという点であり、結果の質問ではなかった。

ちなみに、プロジェクト2年目に交通行政に詳しい専門家との交流が始まり、また土木学会で発表したことにより実践面に明るい人達との交流が激増し、新たな知見を得ることができた。

3-6-2-2. 縄張り問題（業者や行政の意識）

バスとタクシーは法的に分離され、互いに相手の領域を侵さないように運営されてきたが、その結果、運行業者の縄張り意識が助長されてきたようである。SAVS をタクシー会社に提案すると、業者間の競争が無くなるのではないかという質問が返ってくる。現状は一定の少数の乗客を業者間で奪い合っているが、SAVS の導入により全乗客数の増加を目指して欲しいものである。また移動は単なる手段であるから、その上に様々なサービスを乗せることが可能であり、そこで競う余地があるし、是非そうして欲しいと考える。

3-6-2-3. iPhone アプリ配布の問題

SAV ユーザは携帯電話のアプリからリクエストを出す仕様になっている。このアプリの配布に関して、iPhone は制約が多い（これも縄張りの一種かもしれない）。基本的に Apple 社の認証が必要である。こまめなアップデートやバグフィックスに対応するためには是非自由な配布を許してもらいたいものである。インフラを握っている企業はそれを意識した事業展開をして欲しいものである。

3-6-2-4. U 字発展問題

以前に行ったコンピュータシミュレーションによると、リアルタイムデマンド方式の車輛を少数台導入した場合、都市部ではその特性が活かせず、効率が下がることが分かっている。実際、都市部での1台だけの実証実験は失敗している。つまり、リアルタイムデマンドバスの有効性は小規模実証実験では示せないばかりか、徐々に導入しながら様子を見るという手法も使えないのであり、これはサービス・トランジションの問題として知られているものと同型である。しかしそ

の一方で、シミュレーションでは都市全域の公共交通全体をリアルタイムデマンド運行すると現状より効率が上がることも分かっている。この谷間をジャンプする方法論が無いのが初期の問題であった。

これに関しては、実証実験の成功により解決案を得た。中央のコンピュータシステム以外はスマートフォンとタブレット端末、そして携帯電話網を通信に用いるという比較的安価な既存技術で SAV 運行を達成できたいということは、SAVS の実装は比較的安価にできるということである。ならば、市内のすべてのバスとタクシーにタブレット端末を搭載した上で、現状通りの運行（つまり、バスは定時路線運行、タクシーは客待ち、流し、無線予約などによる運行）を維持することが可能である。そして、特定の日に一斉に SAVS 運行に切り替え、翌日には元に戻すということが可能である。つまり、サービス・トランジションの谷間を飛び越えてしまうことが可能である。しかも、失敗した場合にいつでも元に戻せるので運行業者のリスクも無い。ループを回すことによって目標（デザイン）が変化する一例である。

コンピュータシステムによる全自動での運行は、SAV サービスの提供上重要であるのみならず、上記のようにサービスを社会実装する際にも有用であることが分かった。つまり、全自動化を行うことで、事業者らが実態を見ながら徐々に SAVS を導入することが可能になる。同時にユーザへの説明や、その反応を見ることも可能となる。

3-6-2-5. ユーザの慣れ（あるいは不慣れ）の問題

我々の提案しているシステムは従来の公共交通サービスの概念を変えるものであるため、一般の理解が得られにくい。たとえば毎朝決まった時間に来るバスの利用者は、ダイヤの無い運行に不安を感じる。利便性の最適化より定常性を重要視するユーザに安心感を与えるような方式も検討しなければならない。たとえ便利になるのであっても、各自の自分の生活様式を変更することへの心理的抵抗（面倒くささや不安）は根強い。

また、現状ではバスとタクシーに対する要求が分離しているため、ユーザはそれぞれに適応した使い方に慣れており、少々の問題は無視するようになっている。ところが、これが混在すると新たな問題が生じることがあり、こちらには慣れていない。我々が把握している例としては、タクシー用の小型車両では女性は酔っ払い男性と相乗りしたくない（バスでも隣り合わせに座りたくないだろうが、こちらは諦めている面もある）とか、自分の家を知られたくないのでわざわざ遠くで降りるなどがある。

3-6-2-6. 社会制度の慣性

以上をすべてまとめると社会制度の慣性の問題と言える。様々な社会制度はその時点での技術の可能性を基に形成されているので、新しい技術を受け入れることの障害となることが多い。SAVS のような社会実装を含むシステムはこの慣性が大きいため、1回のループを回すのさえも大変な困難を伴う。理想的なループが構成できず一部を繰返したり、一部を飛ばしたりするなど、ループの形が崩れてしまうことが多い。

最大の問題は、いったん行き渡った社会システムの自己保存法則、すなわち経済学でいう「経路依存性」の超克である。経路依存性とは、技術標準でいえば、デジュレもしくはデファクトスタンダードへのロックイン状態を指す。既存のモデルが、経済的・政治的・技術的・心理的な側面

から複合的にロックインされて変革されがたい状態である。U字発展問題で述べたように、ロックインされた状態は局所最適であることが多く、経済原理だけで自発的にここから逸れることは難しい。これを乗り越えるには、トップダウンのリーダーシップはもちろん、セクターを超えて地域が一体となる政策連携とサービス連携、広義の市場原理を働かせつつシステムの価値増大をコーディネートする機能をどうデザインし配置するかが、非常に重要な役目を持つと考えられる。

3-6-3. サービスの理論化

サービスループの理論化は主としてプロジェクトリーダーが担当し、適宜プロジェクト内外の研究者との共同研究を行った。構成のFNSループとしてプロジェクト以前より温めて来た概念を精緻化することができた。プロジェクトの比較的初期に価値共創の概念を定式化することができたが、これは我々の実践を通じて行ったというより、プロジェクト総括が各プロジェクトを監督するように、プログラム内の他のプロジェクトの観測や合宿での議論から出たという側面が強い。また、3-5で述べたように、実践を行いながらその理論化を行うという行為そのものへの内省から、FNSループが実はフラクタル構造であることにも思い至った。

一方で若干残念だったのは、サービス学の理論面に関するアドバイスを殆ど受けられなかったことである。本プログラムはサービス科学を標榜しているので、サービス学の理論面に明るいアドバイザーも迎え入れると良かったと思われる。

3-6-4. まとめ

社会に新しいシステムを導入する際にその阻害要因としては法的規制、既存企業の縄張り問題、ユーザの慣れなどがある。特に、現状の技術や製品に基づく業者間の住み分けと、それらに対する行政の保護が新しいシステムの導入を阻害している側面を強く感じた。従来から、ニュースなどでは聞いている新規事業参入の困難さを身を以て体験していたわけである。研究者としては貴重な経験をさせていただいた。

4. 研究開発実施体制

4-1. 体制

・ 公立はこだて未来大学グループ（中島秀之、公立はこだて未来大学、学長）

実施項目：移動実態調査と小～中規模運行実験

概要：函館市を対象としたシミュレーション実験を可能にするため、函館の公共交通機関による移動についての実態調査と意識調査を行う。調査結果や各種統計データに基づきながら、一般利用者によるスマートアクセスビークル(SAV)の小～中規模運行実験を行って運行・配車データを収集する。再シミュレーション結果に基づいて再度中規模運行実験を行ない、スマートシティはこだて構想の基盤となる知見を得る。

・ 産業技術総合研究所グループ（野田五十樹、産業技術総合研究所、人間情報研究部門）

実施項目：新サービスの創出とSAVSシミュレーション

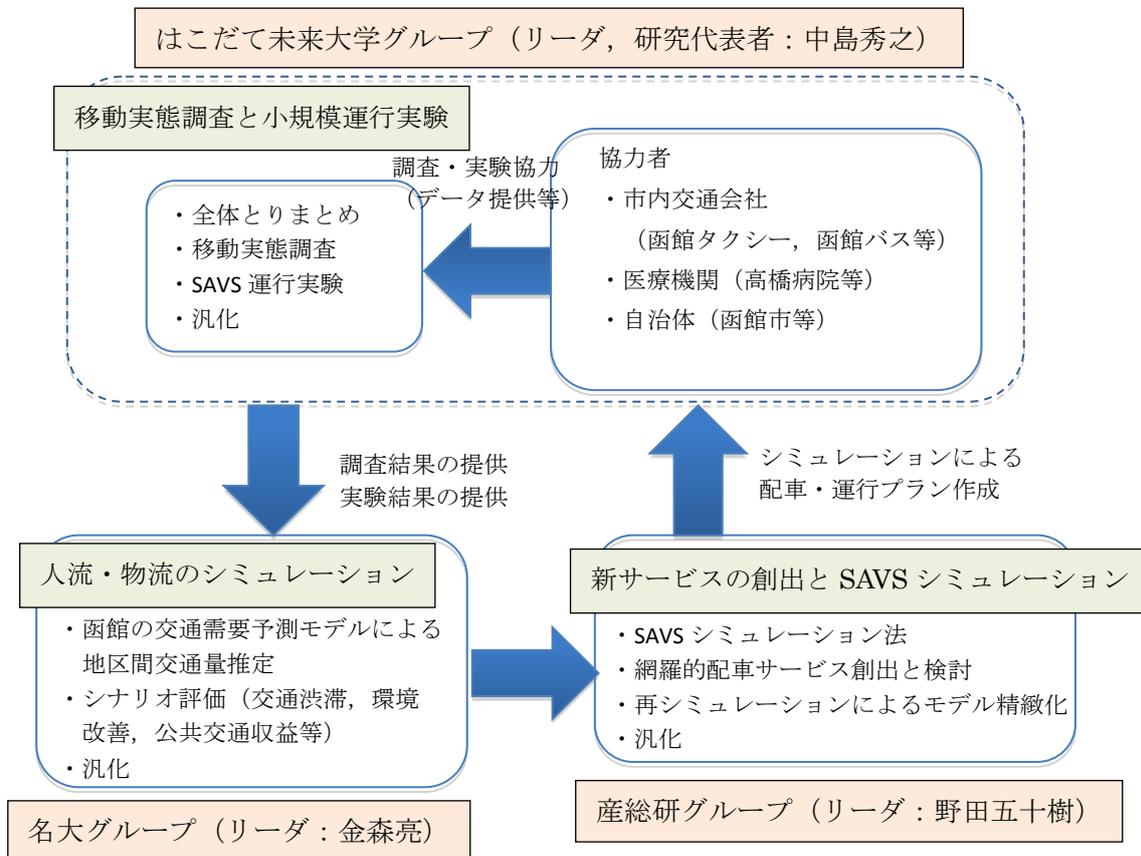
概要：配車アルゴリズムとして逐次最適挿入法の実装を行う。函館地域の交通状況を反映したスマートアクセスビークル(SAV)システムのシミュレーションを実施する。これまで行ってき

たフルデマンドバスシミュレーションをベースに、より一般的な SAV のシミュレーションシステムを構築し、各種最適化手法を用いて、適切な運用方法の事前評価を進める。特に車両運用手法として、移動のデマンドが集中する地域や時間帯を分散化させる手法などを開発する。また、乗客からサーバへのデマンドの一方的な発行ではなく、サーバから乗客にサービスの選択肢を提示したり、乗客どうしでデマンドをシェアする機能をもたせたり、サービス共創を促す仕組みを検討する。

・名古屋大学グループ（金森 亮，名古屋大学，未来社会創造機構）

実施項目：交通需要予測モデルによる現況再現・シナリオ評価

概要：函館地域の住民全員の交通状況を再現するため、エージェントベースの交通需要予測モデルを構築する。具体的には、季節毎にサンプリングされた活動・交通行動調査結果、バス利用者数、企業や自治体等による実地調査結果を基に、モデルパラメータを推定し、現況再現性を確認する。その後、スマートアクセスビークル(SAV)の検討の基礎データである、地域の実情や要望に即した交通施策（主にバス路線網を改善するシナリオ）を導入した場合の市民や観光客の移動状況（各出発地から目的地までの移動量）を算出し、実験結果等と比較する。



4-2. 研究開発実施者

①公立はこだて未来大グループ

氏名	所属	役職	担当する研究開発実施項目	参加時期
中島秀之	公立はこだて未来大学	学長	総括, 汎化	平成24年10月～平成27年9月
松原 仁	公立はこだて未来大学	教授	運行実験, 汎化	平成24年10月～平成27年9月
平田圭二	公立はこだて未来大学	教授	運行実験, 汎化	平成24年10月～平成27年9月
鈴木恵二	公立はこだて未来大学	教授	運行実験, 汎化	平成27年5月～平成27年9月
田柳恵美子	公立はこだて未来大学	教授	移動実態調査, 汎化	平成24年10月～平成27年9月
白石 陽	公立はこだて未来大学	准教授	運行実験, 汎化	平成24年10月～平成27年9月
佐野渉二	公立はこだて未来大学	特任研究員	運行実験システム等	平成24年10月～平成27年9月
小柴 等	公立はこだて未来大学	客員教授	運行実験	平成26年4月～平成27年9月
壬生雅大	公立はこだて未来大学	学部4年生	運行実験補助	平成27年5月

②産業技術総合研究所グループ

氏名	所属	役職	担当する研究開発実施項目	参加時期
野田五十樹	産業技術総合研究所	総括研究主幹	SAV シミュレーション設計	平成24年10月～平成27年9月
山下倫央	産業技術総合研究所	主任研究員	SAV シミュレーション設計	平成24年10月～平成27年9月
小柴等	産業技術総合研究所	外来研究員	SAV シミュレーション設計	平成24年11月～平成27年9月
落合純一	産業技術総合研究所	特別研究員	SAV シミュレーション設計	平成26年7月～平成27年9月
泉野桂一郎	東京工業大学	修士2年	運行実験補助	平成26年4月
宮地将大	東京工業大学	修士2年	運行実験補助・SAV シミュレーション	平成26年4月～平成27年3月
岡野拓哉	東京工業大学	修士2年	運行実験補助	平成26年5月
川口英俊	東京工業大学	修士2年	運行実験補助	平成26年5月

③名古屋大学グループ

氏名	所属	役職	担当する研究開発実施項目	参加時期
金森亮	名古屋大学	特任准教授	交通需要予測モデル構築	平成24年10月～平成27年9月
伊藤孝行	名古屋工業大学	教授	シナリオ検討	平成24年10月～平成27年9月
藤垣洋平	構造計画研究所	社員	SAVプライシングシミュレーション	平成26年1月～平成27年9月
荒木雅弘	名古屋大学	修士2年	データ集計分析補助	平成26年1月～平成27年9月

4-3. 研究開発の協力者・関与者

氏名・所属・役職（または組織名）	協力内容
岩塚晃一・函館タクシー株式会社・社長	アドバイザ，実証実験協力
寺田 誠・函館バス株式会社・部長	アドバイザ，実証実験協力
高橋 肇・高橋病院・理事長	アドバイザ，実証実験協力
長谷山裕一・函館市役所・主査	情報提供
	情報提供

5. 成果の発信やアウトリーチ活動など

5-1. 社会に向けた情報発信状況、アウトリーチ活動など

年月日	名称	場所	・・・	概要
2013年 3月1日	公立はこだて未来大学 地域交流フォーラム	FM いるかビル2階 カフェペラ（函館市）		SAVシステムについてのポスター発表・意見交換
2013年 3月22日	第13回スマートシティはこだてワークショップ	公立はこだて未来大学	参加者約30名	我々が提唱する Smart Access Vehicle System (SAVS) についての函館地域での研究発表会 発表内容：①「SAV (Smart Access Vehicle) システム準備の現状」 中島秀之（公立はこだて未来大学学長，本プロジェクトリーダー）；②「北海道に

				おけるデマンド型交通の導入状況と導入・運用時の課題」大井元揮（北海道開発技術センター地域政策研究所主任研究員）；③「都市交通サービスからみた SAVS の可能性と実現に向けた課題」奈良照一（株式会社ドーコン 交通事業本部交通部 都心交通企画室長）
2014年 3月7日	公立はこだて未来大学 地域交流フォーラム	FM いるかビル2階 カフェペラ（函館市）		SAV システムについてのポスター発表・意見交換
2014年 9月8日	スマートシティはこだてワークショップ	公立はこだて未来大学	参加者 約 40 名	加藤博和准教授（名古屋大学）の講演，中島による SAVS 現状報告を行った
2014年 11月8日	くらしの足をみんなで考える全国フォーラム 2014 日	東洋大学白山キャンパス 1 号館（東京都）		SAV システムについてのポスター発表・意見交換

・ウェブサイト構築，スマートシティはこだてプロジェクト，<https://sav.smartcity-hakodate.jp>，2014年4月オープン。

2014年4月27日に第2回サービス学会全国大会（於公立はこだて未来大学）参加者を対象とした第1回実証実験では SAV16 台を 8 時間稼働させ，54 名の利用があった。

2015年5月30日～6月2日に第29回人工知能学会全国大会（於公立はこだて未来大学）参加者を対象とした第2回実証実験では SAV30 台を 4 日間稼働させ，400 名の利用があった。

5-2. 論文発表

（国内誌 3 件、国際誌 0 件）

- ・ 中島秀之，平田圭二，サービス実践における価値共創のモデル，サービス学会，Vol.1, No.2, pp.26-31 (2014, 7月号)
- ・ 小柴等，野田五十樹，山下倫央，中島秀之：実環境を考慮したバスシミュレータ SAVSQUID による実運用に向けたデマンドバスの評価，コンピュータソフトウェア，Vol. 31, No. 3, pp. 141-155 (2014年9月)。
- ・ 中島秀之，野田五十樹，松原仁，平田圭二，田柳恵美子，白石陽，佐野渉二，小柴等，金森 亮：バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装，土木学会論文集 D3 (土木計画学)，Vol.71, No.5 (2015, 採録決定)。

5-3. 口頭発表

①招待講演 (国内会議 0 件、国際会議 1 件)

- ・ Hideyuki Nakashima: Design and Implementation of New Public Transportation System for Smart City Hakodate, The 8th International Conference on Mobile Computing and Ubiquitous Networking(ICMU2015), Loisir Hotel HAKODATE (Hakodate City) (21.Jan.2015).

②口頭発表 (国内会議 25 件、国際会議 6 件) ※①以外

- ・ 佐野渉二, 中島秀之, 白石陽, 松原仁: スマートシティはこだてプロジェクト: 函館の個人移動記録を GPS で取得する調査の計画, 人工知能学会社会における AI 研究会第 15 回研究会, 横浜市, pp. 1-4, 2012 年 11 月.
- ・ 佐野渉二, 白石陽, 田柳恵美子, 平田圭二, 松原仁, 中島秀之: 「スマートシティはこだて」の実現に向けて: スマートフォンを用いた交通移動調査システム, ユビキタスウェアラブルワークショップ 2012, 神戸市, p. 44, 2012 年 12 月.
- ・ 佐野渉二, 金森亮, 平田圭二, 中島秀之: スマートシティはこだてプロジェクト: 人流シミュレータ構築に向けた交通行動調査結果の速報, 人工知能学会社会における AI 研究会第 16 回研究会, 北海道虻田郡, pp. 1-6, 2013 年 3 月.
- ・ Hideyuki Nakashima, Hitoshi Matsubara, Keiji Hirata, Yoh Shiraishi, Shoji Sano, Ryo Kanamori, Itsuki Noda, Tomohisa Yamashita and Hitoshi Koshiba: Design of the Smart Access Vehicle System with Large Scale MA Simulation, Proc. the 1st Int'l Workshop on Multiagent-based Societal Systems (MASS2013), U.S.A, May. 2013.
- ・ 田柳恵美子, 中島秀之, 松原仁: デマンド応答型公共交通サービスの現状と展望, 人工知能学会第 27 回全国大会論文集, 富山市, Vol. 27, No. 2J4-OS-13a-1, pp. 1-4, 2013 年 6 月.
- ・ 小柴等, 野田五十樹, 山下倫央: 実都市を対象としたシミュレーションによるデマンドバス評価, 人工知能学会第 27 回全国大会論文集, 富山市, Vol. 27, No. 1D4-3, pp. 1-4, 2013 年 6 月.
- ・ 白石陽, 中島秀之, 佐野渉二, 松原仁, 平田圭二: はこだて圏におけるスマートアクセスビークルシステムの構想と現状, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2013)論文集, Vol. 2013, pp. 1098-1101, 北海道河東郡, 2013 年 7 月.
- ・ 小柴等, 野田五十樹, 山下倫央, 中島秀之: 実環境を考慮したバスシミュレータ SAVSQUID による実運用に向けたデマンドバスの評価, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2013 (JAWS-2013), 和歌山県西牟婁郡, 2013 年 9 月.
- ・ Keiji Hirata, Shoji Sano, Yoh Shiraishi, Hitoshi Matsubara and Hideyuki Nakashima: Serviceological View of the Development of a Person Trip Survey Application, Proc. the 1st Int'l Conf. on Serviceology (ICServ2013), Tokyo, pp.23-26, Oct. 2013.
- ・ Hideyuki Nakashima, Haruyuki Fujii and Masaki Suwa: Designing Methodology for Innovative Service Systems, Proc. the 1st Int'l Conf. on Serviceology (ICServ2013), pp. 187-192, Tokyo, Oct. 2013.
- ・ Hitoshi Koshiba, Itsuki Noda and Tomohisa Yamashita: Smart Utility Vehicle Service Evaluation for Medium-sized Cities Based on a Realistic Traffic Simulation, Proc. of the 1st international Conf. on Serviceology, pp. 266-269, Tokyo, Oct. 2013.

- ・水野敬太, 金森亮, 佐野涉二, 中島秀之, 伊藤孝行: サポートベクターマシンによる GPS データの移動/滞在の自動判別手法, 第 48 回土木計画学研究発表会, Vol. 48, No. 192, pp. 1-6, 大阪市, 2013 年 11 月.
- ・前川裕一, 林夏美, 牧野友哉, 白石陽: バス到着時刻予測におけるバス運行所要時間データと乗降客数データの活用, 情報処理学会第 21 回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ (DPSWS2013), pp.165-171, 群馬県吾妻郡, 2013 年 12 月.
- ・小柴等, 野田五十樹, 平田圭二, 佐野涉二, 中島秀之: Smart Access Vehicles の社会実装シミュレーションを通じた分析と実証-, 情報処理学会研究報告(知能システム研究会), Vol. 2014-ICS-174, No.1, pp. 1-8, 北海道虻田郡, 2014 年 3 月.
- ・前川裕一, 中島秀之, 白石陽: 乗降者数データと運行実績データを用いたバス到着時刻予測, 情報処理学会第 76 回全国大会講演論文集, No. 3, pp. 157-158, 東京都, 2014 年 3 月.
- ・中島秀之, 平田圭二: 価値共創とは何のことか〜FNS によるサービスの定式化〜, サービス学会第 2 回国内大会講演論文集, pp. 32-39, 函館市, 2014 年 4 月.
- ・小柴等, 野田五十樹, 山下倫央, 中島秀之: 実都市における Smart Access Vehicle シミュレーションの試み, 人工知能学会第 28 回全国大会論文集, 松山市, Vol. 28, No. 1C5-OS-13b-3, pp. 1-2, 2014 年 5 月.
- ・佐野涉二, 小柴等, 白石陽, 平田圭二, 野田五十樹, 松原仁, 中島秀之: はこだて圏におけるフルデマンド型交通システムの実践, 人工知能学会第 28 回全国大会論文集, 松山市, Vol. 28, No. 1C5-OS-13b-4, pp. 1-2, 2014 年 5 月.
- ・中島秀之, 松原仁, 田柳恵美子: 新しい交通システムを基幹とするサービス連携の提案, 人工知能学会第 28 回全国大会論文集, Vol. 28, No. 1C5-OS-13b-5, pp. 1-2, 2014 年 5 月.
- ・宮地将大, 小柴等, 野田五十樹: 網羅的シミュレーションを用いた交通システムの評価手法の検討, 人工知能学会第 28 回全国大会論文集, Vol. 28, No. 4N1-4, pp. 1-2, 松山市, 2014 年 5 月.
- ・中島秀之, 小柴等, 佐野涉二, 白石陽: Smart Access Vehicle システムの実装, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2014)論文集, Vol. 2014, pp. 1760-1766, 新発田市, 2014 年 7 月.
- ・Hideyuki Nakashima, Shoji Sano, Keiji Hirata, Yoh Shiraishi, Hitoshi Matsubara, Ryo Kanamori, Hitoshi Koshiba and Itsuki Noda: One Cycle of Smart Access Vehicle Service Development, Proc. the 2nd International Conf. on Serviceology (ICServ2014), pp.152-157, Yokohama, Sep. 2014.
- ・中島秀之, 野田五十樹, 松原仁, 平田圭二, 田柳恵美子, 白石陽, 佐野涉二, 小柴等, 金森亮: バスとタクシーを融合した新しい公共交通サービスの概念とシステムの実装, 第 50 回土木計画学研究発表会, Vol. 49, No. 97, pp. 1-12, 鳥取市, 2014 年 11 月.
- ・宮地将大, 野田五十樹: シミュレーションによる新型公共交通の段階的導入の評価手法の提案, 情報処理学会研究報告(知能システム研究会), Vol. 2015-ICS-178, No.1, pp. 1-8, 北海道虻田郡, 2015 年 3 月.
- ・中島秀之, 田柳恵美子, 松原仁, 平田圭二, 白石陽: 新しい交通サービス実践への道程, サービス学会第 3 回国内大会講演論文集, pp. 191-198, 金沢市, 2015 年 4 月.
- ・宮地将大, 小柴等, 野田五十樹: シミュレーションによる SAVS 導入効果の評価, サービス学会第 3 回国内大会講演論文集, 金沢市, 2015 年 4 月.
- ・落合純一, 宮地将大, 野田五十樹: 複数タイプの車輛が混在するデマンド型交通サービスの利便性評価 人工知能学会第 29 回全国大会論文集, Vol. 29, No. 1F5-OS-09b-6, pp. 1-3, 函館市, 2015 年 5 月.

- ・中島秀之, 平田圭二, 佐野渉二: 環境知能の観点から見たスマートアクセスビークルのユーザインタフェースデザイン, 人工知能学会第 29 回全国大会論文集, Vol. 29, No. 1F5-OS-09b-7, pp. 1-4, 函館市, 2015 年 5 月.
- ・花田智, 白石陽: バス運行データを用いたドライバーの走行に影響するバス挙動の予測, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2015)論文集, Vol. 2015, pp. 1359-1366, 八幡平市, 2015 年 7 月.
- ・Hideyuki Nakashima, Keiji Hirata and Junichi Ochiai: Realization of Mobility as a Service in View of Ambient Intelligence, Proc. 3rd Int'l Conf. on Serviceology (ICServ2015), U.S.A, Jul. 2015.
- ・藤垣洋平, 金森亮, 野田五十樹, 中島秀之: SAVS 運行実験時の調査データを用いた都市部での DRT サービス利用意向の分析, 第 52 回土木計画学研究発表会, 秋田市, 2015 年 11 月(発表予定).

③ポスター発表 (国内会議 4 件、国際会議 0 件)

- ・松原仁, 中島秀之, 平田圭二, 佐野渉二: 新しい都市型公共交通サービスのデザイン, サービス学会第一回国内大会講演論文集, pp. 304-307, 京都市, 2013 年 4 月.
- ・小柴等, 野田五十樹, 山下倫央, 中島秀之: SAV サービス実践への取り組み～サービスデザインを目的とした空車の配置戦略シミュレーション～, サービス学会第 2 回国内大会講演論文集, pp. 302-304, 函館市, 2014 年 4 月.
- ・平田圭二, 佐野渉二, 小柴等, 野田五十樹, 金森亮, 中島秀之: Smart Access Vehicle サービス実践への取り組み ～ サービス共創最適化のためのフレームワーク, サービス学会第 2 回国内大会講演論文集, pp. 305-309, 函館市, 2014 年 4 月.
- ・落合純一, 野田五十樹: マルチエージェントシミュレーションによるリアルタイムデマンド交通システムの車輛出発遅延時間の影響評価, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2015 (JAWS2015), 加賀市, 2015 年 10 月.

5-4. 新聞報道・投稿、受賞等

①新聞報道・投稿

- ・北海道新聞, 2013 年 10 月 2 日朝刊, 「乗り合いタクシー実験」
- ・函館新聞, 2015 年 3 月 8 日付朝刊 1 面「地方創生に IT 活用を～山口俊一内閣府特命担当大臣来函し意見交換」

②受賞

- ・小柴等, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2013 (JAWS2013) IEEE 若手奨励賞, 実環境を考慮したバスシミュレータ SAVSQUID による実運用に向けたデマンドバスの評価, 2013 年 9 月.
- ・中島秀之, 小柴等, 佐野渉二, 白石陽, 情報処理学会マルチメディア, 分散, 協調とモバイルシンポジウム(DICOMO 2014) 優秀論文賞, Smart Access Vehicle システムの実装, 2014 年 7 月.
- ・小柴等, 情報処理学会山下記念研究賞, Smart Access Vehicles の社会実装-シミュレーショ

ンを通じた分析と実証- (第 165 回知能システム研究発表会で発表) , 2014 年 9 月.

③その他

・特になし.

5-5. 特許出願

①国内出願 (_____ 件)

1 発明の名称、発明者、出願人、出願日、出願番号

2 . . .

以上