バンコク都心部における小型電気自動車を用いた地域モビリティサービスの社会実験

高野　剛志[1]・森田　紘圭[2]・宮田　将門[3]・周　純甄[4]・
葉　健人[5]・土井　健司[6]

[1]正会員　大日本ダイヤコンサルタント株式会社　（〒451-0045 愛知県名古屋市西区名駅 2-27-8-18F）
E-mail: takano_tsuyoshi@dcne.co.jp (Corresponding Author)

[2]正会員　大日本ダイヤコンサルタント株式会社　（〒451-0045 愛知県名古屋市西区名駅 2-27-8-18F）

[3]正会員　三菱 UFJ リサーチ&コンサルティング株式会社（〒460-8627　愛知県名古屋市中区錦 3-21-24）

[4]正会員　大阪大学大学院　工学研究科（〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-1）

[5]正会員　大阪大学大学院助教　工学研究科（〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-1）

[6]正会員　大阪大学大学院教授　工学研究科（〒565-0871　大阪府吹田市山田丘 2-1）

本研究では，バンコク中心部のスクンビットエリアを対象に小型電気自動車を用いたモビリティサービスを設計し，1 年間の社会実験を通じて，端末交通サービスのスマート化の可能性とその効果の検証を行った．また，利用・走行 実態や利用者の意向などのデータを活用し，より広範にサービスが拡大した場合の利用需要や走行距離等をシミュレートし，混雑や環境への影響及びビジネスとしての採算性や成立可能性を評価した．その結果，1)Soi 内での小型モビリティサービスの提供により実車率の向上や車両の小型化，電動化により道路混雑及び二酸化炭素排出量ともに削減できる可能性が大きいこと，2)対象施設を増やすことでスケールメリットが生まれ，より効果が大きくなる可能性があること，3)施設ごとにシャトルサービスを提供するよりも沿道施設間が連携してサービスを提供することで利便性，採算性ともに向上することが明らかとなった．

Key Words: *Mobility Service, Small Electric Vehicles, Communalization of Mobility, Decarbonized City*

1. はじめに

東南アジア各国の大都市圏都市部では交通渋滞が日常化している．TOMTOMが公表しているTraffic index[1)]では，世界で渋滞損失率（渋滞により生じる移動超過時間の割合）の大きい上位20都市のうち，アジアの都市は6都市と約1/3を占めている．タイ・バンコクにおいても同様の状況であり，2019年における渋滞損失率は53%と高く，世界で5番目に渋滞損失が大きい都市となっていた．COVID-19流行時には一時的に渋滞は緩和したものの，今なお朝夕を中心に深刻な混雑が発生しており，これからの経済成長に対する大きな障壁になることが懸念されている．

バンコクでは1970年代に自家用車の制限と公共交通指向政策の採用が提言されて以降，1990年代から鉄道輸送システムの急速な整備が進められてきた[2,3)]．市内を縦断するBTSスカイトレインをはじめとして，スワンナプーム国際空港と中心市街地とをつなぐART，そして地下鉄（MRT）などの鉄道ネットワークが2022年にかけてすでに211.94kmが開業し，更に2029年までに553.41kmまで延伸される計画である[4)]．しかし，経済成長とともに自動車保有率も増加を続け，公共交通分担率は都心部であっても約30%にとどまっており[5)]，それゆえ渋滞緩和にはあまり効果がみられていない．

バンコクの渋滞要因の1つに居住地や目的地から鉄道駅までの端末交通サービスが脆弱であることが挙げられる[3)]．バンコクの都市構造は，幹線道路網が約1km四方

の密度で形成されており，これらの幹線道路にタイ語でSoi（小道（脇道）の意味）と呼ばれる無数の小道が接続する街区で構成されている[6]．Soiはかつて水路として用いられていたため，行き止まりや辛うじて対面通行ができる程度の幅員しか有していない区間が多い．このような都市構造に適した端末交通手段として，バンコクではバイクタクシーやトゥクトゥク，シーローなどの交通手段が普及してきた．しかし，経済成長に伴う安全性・快適性の高い自家用車保有者の増加[7]や，配車アプリケーション利用の急増[8]は，Soi内に入り込む自家用車，タクシー，ライドヘイリング車両を増やし，新たな混雑を発生させている．

加えて，都心部での住宅開発需要の増加に伴い，コンドミニアムやサービスアパートメントが増加していることも影響している．新たなコンドミニアムの入居者は自動車の保有率が高く，元の居住者よりも自動車の運転を好む傾向がある[7,9]．これらの住宅には，Soi内での移動や鉄道駅までのアクセスのためのシャトルバスサービスが付帯していることも多いが，朝夕のラッシュ時以外はこれらの車両に十分な乗客が乗っていることは少ない．また定時定路線型の運行（時刻表を伴った運行）がゆえに，自家用車やタクシー，ライドヘイリングが使われることも多い．

渋滞の増加は，経済成長に大きく足かせになるだけでなく，交通事故の増加[10]，PM2.5をはじめとした大気汚染による健康への影響[11]，そして温室効果ガス排出量の増加[12]，と経済・社会・環境のすべての面で地域に悪影響を及ぼしている．バンコク都心部においては，今後さらなる交通需要の増加が見込まれており，渋滞の解消は都市の発展において必要不可欠である．そのためには，現在すでに整備が進んでいる公共交通機関を最大限活用するための端末交通サービスのリニューアルが重要となる．伝統的な都市構造や地域の生活文化を活かしながらも，これからの生活者のニーズや価値観，そして付加価値の高い端末交通サービスを，新たな技術なども活用しながら設計，導入することが求められる．

本研究ではこの1つの解決策として，バンコク都心部の一部のエリアと対象施設において，小型電動モビリティを用いたモビリティサービスを設計し，1年間の実証実験を行うことで，端末交通サービスのスマート化の導入可能性とその効果の検証を行った．具体的にはその利用・走行実態や利用者の意向などのデータを収集するとともに，これらのデータを活用し，より広範にサービスが拡大した場合の利用需要や走行距離等をシミュレーションにより分析し，混雑や環境への影響，そしてビジネスとしての採算性や成立可能性を評価・考察し，新たなモビリティサービスとしての展開可能性を検討した．

2. 手法

(1) 研究の流れ

本研究は**図-1**示すフローに基づき，実施した．まず，既往文献やヒアリング調査に基づき，バンコク都心部，とりわけSoiにおける混雑要因とその対応策に関する仮説設定を行い，それに基づき小型電動モビリティによる交通サービスの設計を行った．それを踏まえ，対象施設において，実際に設計した交通サービスの実証実験を行い，利用者のニーズや利用実態，車両走行に関するデータを取得した．更に，得られたデータに基づき，サービス拡大時に必要となるリソースや，サービスレベル，走行状況を配車シミュレーションにより予測した．最後に，これらの手順により得られたデータに基づき，交通渋滞削減やCO_2排出量への影響，採算性等の評価を行い，今後の展開に向けた可能性について考察を行った．

(2) 仮説設定

バンコク都心部，とりわけSoiにおける混雑の状況と要因を，既往文献や公表されている様々なデータ，すでに実施されている交通調査データ等を調査するとともに，バンコク都心部におけるコンドミニアムの管理者等へのインタビュー等から，**表-1**のように仮説を設定した．この仮説に基づき，新たな交通サービスを設計するため，以下の4つの要件を設定した．

1点目は，地区（Soi）内でのサービスの完結である．鉄道駅へのアクセスやSoi内での移動手段が現在はあまり充実しておらず，タクシーやライドシェア車両を利用することも多い．しかし，これらの利用は，地区外からSoiへの交通流入を増加させ，空車率を高めることになる．端末交通や地区内交通のサービスに特化することで，地区外からの交通流入を抑制し，かつSoi内で可能な限り空車率を下げることでより高効率な移動を実現できる可能性がある．

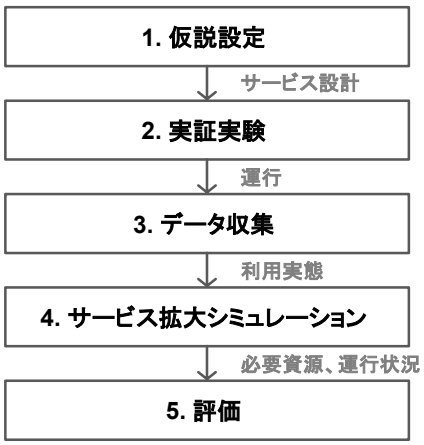


図-1 研究の流れ

2点目は，車両サイズの最適化である．現在のタクシーやライドシェア車両，更には住居に付帯するシャトルサービス等は少人数の移動であっても最低でも4seater以上の車両を運行することとなり，移動人数に対して車両サイズが過大となっている傾向にある．移動人数に最適な車両を選択することで，移動による道路の占有率を下げ，同じ交通需要でも混雑を抑制することができる可能性がある．

3点目は端末交通の利便性向上である．伝統的な端末交通，すなわちバイクタクシーやトゥクトゥクといったサービスは，上記2つの要件はすでに満たしている一方，交通事故の安全性や乗車時の雨に濡れる，外気の影響を受けやすいといった快適性に課題がある．また，施設によるシャトルサービスも，デマンドに応じた即時運行はできないほか，車両が大型のため非効率であり，これらを改善し，より利用されるサービスへの転換が必要である．

4点目は電動化である．電動化は旅客部門における二酸化炭素排出量の削減をもたらすほか，PM2.5をはじめとした大気汚染物質の排出減少，そして本研究では対象としないが，沿線の足元の暑熱環境の改善効果をもたらす．電動化の促進は，特にSoiなどの地区内道路において歩きやすさの改善と歩行促進をもたらす可能性もある．

(3) モビリティサービスの実証実験

a) モビリティサービスの概要

以上の要件を踏まえ設計したモビリティサービスの概要を図-2に示す．このサービスは，対象施設の住民に，対象施設や鉄道駅が含まれる限られた地区内の輸送手段を提供するサービスである．対象施設の住民は，サービスを提供する地区内であれば，スマートフォンのアプリケーションから車両を呼び出すことができ，任意の目的地までの輸送を依頼することできる．輸送車両は，のちに示す通り通常の4人乗り車両と比べて4割程度車長の短い小型の電動車両であり，1人から2人の移動であればタクシー車両やマクロバス車両と比べ，輸送時の道路占有を削減することができる．

b) 対象エリアと対象施設

対象地域は，バンコク都心部のワッタナー区の一角であり，東西はBTSスカイトレインのアソーク駅からトンロー駅まで，南北はスクンビット通りからセーンセープ運河までの範囲とし，サービスを提供する住宅施設はそのエリアに含まれる3つのコンドミニアム／サービスアパートメントとした（図-3）．このエリアはBTSスカイトレインの北側に面する地区であり，バンコクの中でも商業やオフィスが集積する都心地区の一部である．そのため，タイ国民のほか外国人駐在員も多く居住しており，現在もコンドミニアム等の建設が進む地区である．

表-1　バンコク都心部における主な渋滞要因の仮説

	概要
需要側の要因	**住宅及び自家用車の増加**:経済成長に伴い，都心部では商業施設やオフィスだけでなく，コンドミニアムやサービスアパートメントも急激に増加している．これらの居住者の多くが自家用車を有していることから，自家用車の需要も増加している [7,9]
	公共交通アクセスの限界:公共交通網整備が段階的に進んでいる一方，特に幹線道路から離れた地区における公共交通の利用は，端末交通手段の不足等から十分でない [3]．バンコク都心部においても MRT や BRT，バスなどの幹線公共交通手段の分担率は 33%程度 [5]であり，充分なモーダルシフトができていない．
	ライドヘイリングの利用増加:ライドヘイリングサービス利用が増加している [8]．これらサービスは少人数での移動でも 4 人乗り以上の車両を運行すること，車両の呼び出しが空車率を高めること，Soi 外部からの交通流入やうろつき交通増加を誘引し，車両による道路占有を過度に高めている可能性がある [13,14]．
供給側の要因	**伝統的な端末交通の限界**:Soi 内や鉄道駅までの端末交通として，バイクタクシーや Tuk-Tuk などの伝統的な端末交通サービスの需要にも限界が生じ始めている．混雑回避に重宝されるモーターサイクルは死亡交通事故数が最も多く安全性に課題がある [15]．歩道での車両との衝突を恐れて自動車を選択する人も多い [16]．暑さや大気汚染からの保護などの快適性の観点から自動車やタクシー利用も増加している．
	付帯シャトルサービスの利用の限界:幹線道路から距離のあるコンドミニアムの多くは 10 人乗りバンなどによるシャトルサービスを付帯している．朝夕の通勤時間帯の利用は多いが，往路/復路の乗車に偏りがある．日中の需要は少なく，大型の車体を少人数で利用していることが少なくない．また定時定路線型のサービスが多く，目的地や利用時間帯がばらつくオフピーク時の利便性が低い．（施設管理者からのヒアリング結果）
	車両性能の限界:既存のタクシーやライドシェア車両の多くはガソリン車が中心であり，自家用 EV 車の普及率も 12%程度と低い [17]．バイクタクシーや Tuk-Tuk も同様であり，これらが CO_2 排出量の増加や沿道の大気汚染を悪化させている．

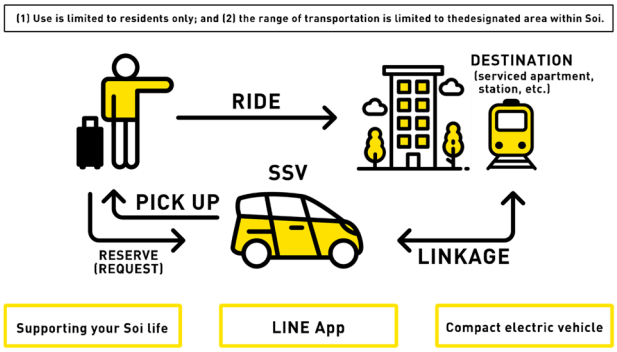


図-2　本研究におけるモビリティサービスの概要

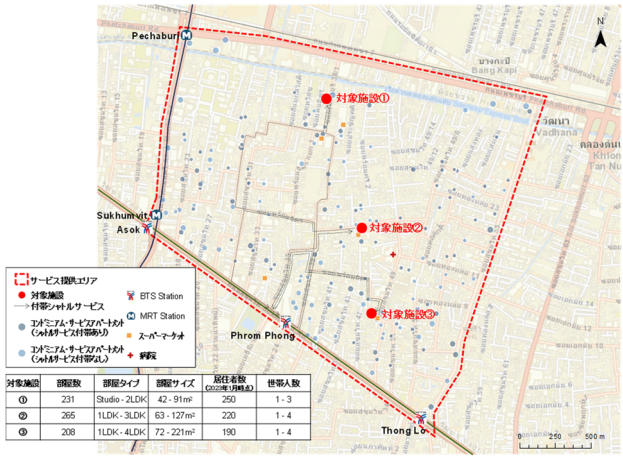


図-3　対象エリア・施設

対象地区内には，BTS，MRTの主要駅が含まれるほか，幹線道路沿い以外にも複数のスーパーマーケットやショッピングセンター，総合病院が立地している．3つの対象施設には合計約700世帯が居住している．いずれも日本人の駐在員が多く居住している施設である．鉄道駅からの距離は施設によって異なるが，最も住民の多い施設は最寄りのプロンポン駅から1kmほど離れた場所に立地しており，以前から10人乗りバンによるシャトルサービスを運行している．なお，既存のシャトルサービスは継続して従来通り定時定路線型の運行し，新たなモビリティサービスを追加的に提供する形を採用した．

c) 車両とドライバー

実証実験に用いる車両は，タイで小型電動車として車両ナンバー設置認可（公道走行許可）が下りているFOMM oneを採用した．この車両は4人乗りではあるが，全長が通常車両の約6割と小さいことが特徴である．車両は3台用意し，サービスのプロモーションため，日泰のデザイナーによるラッピングを施した（図-4）．

それぞれの車両に専用のドライバーを雇用し，平日・休日ともに8:00-17:00（12:00-13:00休憩）にサービスを提供した．

d) オペレーション

この実証実験のため，利用者が配車を予約するアプリケーションを開発した．インターフェイスにはタイで最も普及しているコミュニケーションアプリケーション（国民の80%が利用，現地の日本人もほぼ全ての人が利用している）内で実行できるミニアプリを採用し，これにより特に追加的なアプリケーションのインストールなしで利用ができるものとした．このミニアプリ上で，対話形式にて出発地と目的地，出発時間（すぐに配車する場合から1時間後まで），乗員数を入力することで配車予約を行うことができるシステムである（図-5）．利用者は初回利用時に，個人属性やこれまでの交通行動に関する簡単なアンケート調査を回答することで利用登録を行う仕組みとした．また，日本人が多い施設を対象としていることから，アプリケーションは3言語（英語，タイ語，日本語）対応とし，予約以外に3台の現在地と乗車状況が確認できる仕組みとした．なお，実証実験では運行車両が3台しかないことから，配車順等を最適化するためのシステムは導入せず，各運転手が先着順で予約に対応する方式でサービスを運用した．また，予約がない時間帯は，対象施設①に戻り充電する運用とした．

(4) データの収集

実証実験では主に2つのデータを取得した．1つ目は利用・運行実績データである．これは，アプリケーションからの予約情報（予約時間，出発時間，出発地，目的地）と各予約への対応状況（予約成立可否，待ち時間など）を示したデータであり，これらが期間を通じてデータベースに蓄積された．また，各車両に設置されたスマートフォンの位置情報システム（GPS）により，約100m毎の車両位置と乗車状況（空車，配車・回送中，乗車中）データを取得した．

2つ目は利用者から得られるアンケート調査の結果である．アンケート調査には，登録時に回答する個人属性や日常的な交通行動に関する調査と，利用ごとに回答する調査とがあり，利用ごとに回答する調査では，このサービスを利用しなかった場合にどのような手段で移動したかを収集した．

実証実験は2022年1月からスタートし，2022年中の1年間のデータを収集した．

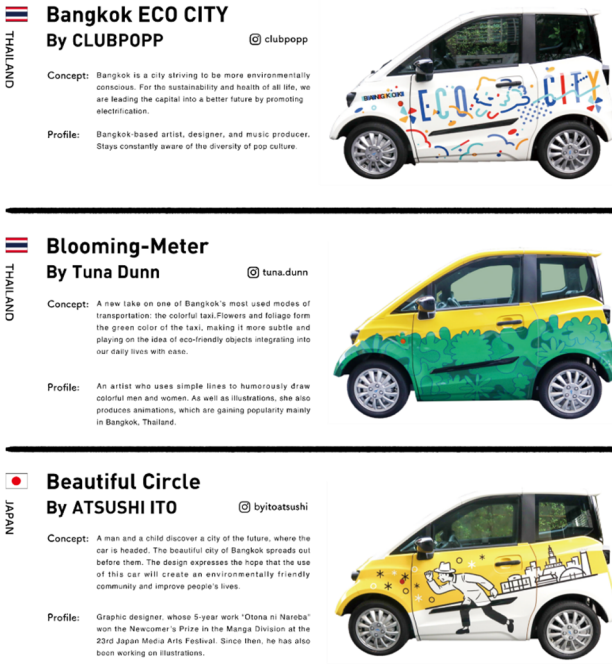


図-4 車両デザイン

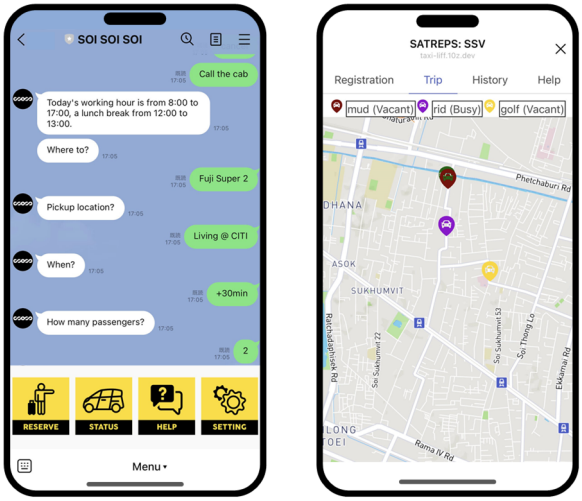


図-5 予約アプリケーション

(5) サービス拡大シミュレーション

a) シミュレーション方法

実証実験で得られたデータを活用し，本サービスが改良および拡張した場合にどのような効果が得られるかのシミュレーションを実施した．ここで，改良および拡張とは，車両数や車両規格，配車順を最適化すること，サービス対象者を増加させることを指す．シミュレーションでは，サービス拡大時の利用需要を生成したうえで，Makarovら[18]によるダイナミックルーティングアルゴリズムを使用し，最短の時間と移動距離で最も多くの乗客を輸送するための配車の最適化シミュレーションを実施した．主要なアウトプットは必要車両数，車両ごとの乗車/非乗車別の移動距離・移動時間である．

配車の最適化における制約条件は，実証実験データに基づき最大待ち時間を10分，乗車予約に対する受入率を80%以上とし，それらが達成できない場合，車両を順次追加した．また，乗客を降ろした後の次の動作は，次の予約がわかるまで降車地点に留まるように設定した．サービス利用需要は実証実験データ及びHousehold Travel Survey (HTS)の対象エリア居住者データを用いて，**表-2**のとおり段階的に設定した．

なお，配車シミュレーションは，トリップ特性を考慮して朝ピークの7時台，昼間の11台，15時台，夕ピークの17時台の4断面で実施し，その他の時間帯の結果は時間帯別のトリップ比率に基づく線形補完により算出した．

b) シミュレーションケース

シミュレーションは目的に応じて3ケース実施した（**表-3**）．1つ目は実証実験でのサービスがシミュレーションで適切に表現できているか，配車の最適化を行った場合にどの程度，サービスの改善可能性があるかを検証することを意図したものである．現状と同程度の需要率（住民の移動の約1割が転換）を想定したケースA1に加え，需要率が2割，3割と増えた場合もそれぞれシミュレーションを実施し，その感度を評価した（ケースA2およびA3）．

2つ目のケースBは，このサービスが対象エリア内全体のコンドミニアムやサービスアパートメントに拡大した場合を想定した．対象エリア内で，今回の対象施設と同様にバン等でシャトルサービスを実施しているすべての施設（全92施設）の住民の移動の約1割がこのサービスに転換することを想定した．

最後のケースCは，ケースBの場合において，サービス側が提供する車両規格の多様化と，利用者同士の相乗りを許容した場合を想定した．この研究の本来の目的は，車両規格の「最適化」であり，同時間帯，同方面に多くの需要があった場合には，小型車両が複数で輸送するよりも，マイクロバスなどの大型車両が一台で輸送するほうが混雑にとっても環境にとっても高効率である．実証実験では多くの種類の車両が準備できなかったために小型車両のみで実証を行ったが，将来的なサービス拡張の可能性として複数の車両規格を準備し，需要に応じて最適な車両を混合して運行する仕組みを提供した場合を想定した．配車シミュレーションにおいては，時間帯別のトリップ比率をもとに次の処理を行い，各車両タイプ別の必要車両数を推計した．まず，昼間の最も需要が少ない15時台は小型車両のみを稼働させ，小型車両数を確定

表-2 サービス利用需要の設定方法

Step	設定方法
Step 1 生成交通量設定	まず対象施設アンケート調査結果から目的別の一人当たりトリップ数を集計した．帰宅目的は，通勤・通学と私用の合計とした．（通勤：0.62，私用：0.36，帰宅：0.98）．次に，一人当たりトリップ数に対象施設の部屋数，世帯人数を掛け合わせ，目的別の生成交通量を算出した．世帯人員数は，HTS 平均の 2.01 人/世帯とした．
Step 2 サービスへの転換需要設定	公共交通利用が困難な郊外の工場等への自動車での通勤トリップは本サービスに転換する可能性が低いため，HTS に基づく対象地域ゾーン内外トリップのうち，交通手段が自動車・バイクの割合は転換可能性がないとした．その他のトリップについては，本サービスに転換する可能性があると仮定し，転換需要率はシミュレーションケースに応じて設定した．
Step 3 分布交通量設定	通勤：通勤目的地はエリア内の駅周辺または乗り換え先の駅周辺とした．通勤目的地（鉄道駅）を選択する確率を対象施設から各駅までの距離の逆二乗法により設定し，その確率をもとにサービスへの転換需要を按分した． 私用：実証実験データに基づき，私用目的構成を駅 65%，買い物（駅を除く）15%，病院 10%，その他 10%とした．複数の施設が目的地となりうる場合は，距離の逆二乗法により選択確率を設定し，サービスへの転換需要を按分した． 帰宅：通勤・私用の目的地からどこにも寄らずに直接帰宅するものとした．
Step 4 利用時間帯設定	HTS に基づく目的別時間帯別トリップ比率に基づき，サービス転換需要を時間帯別に按分した．利用者が予約アプリを通じてリクエストする出発時刻は，時間帯内でランダムに設定した．
Step 5 予約の生成時間設定	実証実験データに基づき，各利用者は出発時刻の平均 15 分前（標準偏差 8 分前）に予約を行うとものした．

表-3 シミュレーションケース

ケース	対象施設数	対象施設の部屋数	転換需要率	配車システムの最適化	車両数の最適化	車両規格の最適化	相乗り可否
A1	3	704	10%	✓	✓		
A2	3	704	20%	✓	✓		
A3	3	704	30%	✓	✓		
B	92	9,875	10%	✓	✓		
C	92	9,875	10%	✓	✓	✓	✓

させる．次に昼間の平均的需要の11時台では，15時台の小型車両で不足した分，7人乗り車両を追加する．さらにピーク時間帯の7時台，17時台では10人乗り車両を追加していくような推定を実施した．なお，15時台よりも需要が少ない夜間は小型車両のみの運行を想定した．

(6) 評価方法

実証実験およびシミュレーション結果を踏まえて，本研究で提案するサービスの効果及び展開可能性の評価を行う．評価の視点は1)混雑の緩和，2)二酸化炭素排出量，そして3)コストの3つとし，それぞれに評価指標を設定した．

まず，混雑の緩和については，本研究では地区全体の平均速度や混雑率などの直接的な指標となりうるデータを得ることは困難であったことから，道路占有率を指標として採用した．道路占有率は，車両が道路上の面積を占有する度合いを示す指標であり，以下の式で求める．

$$RO = \sum_j \left(S_j \cdot T_j \cdot \frac{1}{u_j} \right) \quad (1)$$

ここで，ROは道路占有率，jは車両タイプ，S_jは車両面積，T_jは乗客の総輸送時間，そしてu_jは実車率である．実車率を乗じているのは，各移動による占有を，単に乗車時だけでなく，その車両を手配する際の迎車時や降車後に次のピックアップまで移動するまでの総移動時間を想定しているからである．

二酸化炭素排出量E_{CO_2}は式(2)，(3)のとおり，走行距離に車種別の走行起源CO_2排出原単位をかけ合わせて算出する．

$$E_{CO_2} = \sum_j \left(E_j \cdot L_j \cdot \frac{1}{u_j} \right) \quad (2)$$

$$E_j = e_j \cdot e_c \quad (3)$$

ここで，E_jは車種タイプ別走行距離あたりのCO_2排出量，L_jは乗客の総輸送距離である．道路占有率と同様に，実車率を乗じて総走行距離としている．EVの走行距離あたりのCO_2排出量は車両タイプ別の距離当たり電力消費量e_jと電力消費量当たりのCO_2排出量e_cから算出する．e_jはメーカー公表値，e_cは2021年の1kWh消費当たりのCO_2排出量[19]とした．

コストは，対象施設の住民に生じるサービスの運行コストを指標とする．提供コストには車両の調達・維持管理コストのほか，ドライバー雇用のコストが含まれ，以下の式で算出する．

$$CF = \sum_j \left\{ \left(C_{Vj} + C_I \right) \cdot N_{Vj} + C_E \cdot L_j \cdot \frac{1}{u_j} \right\} + C_D \cdot N_D \quad (4)$$

ここで，CFは総コスト，C_{Vj}は各車両の調達・維持管理費用であり，車両の使用年数を10年としたときの月あたり車両購入負担額とした．C_Iは車両保険であり，20,000THB/年・台とした．N_{Vj}は車両タイプ別車両数，C_Eは電気料金単価，C_Dはドライバー一人当たりの月給，N_Dはドライバー数である．電気料金は，400kWh/月を超える住宅タイプの消費に対する累進率4.4217THB/kWh[20]とした．ドライバーの月給はタイの労働者の平均月給15534.3THB/月[21]とし，ドライバー数はピーク時の車両数を満たし，かつ一人当たりの平均週間実働時間40.5h[21]を超えない最小人数とした．

3. 結果

(1) 実証実験結果

a) 登録者数，利用者属性

2022 年中に 1 回以上サービスを利用した登録者数は 250 人，総輸送回数は 12,060 回であった．利用者の属性を登録個人数及び利用回数に基づき集計した結果を**図-6**に示す．性別は登録者数でみると男性と女性が半々であるが，利用回数でみると女性が 8 割を占め，特に 30–39 が多い．対象施設は夫が企業に勤め，妻が家事を分担する日本人駐在員が多く居住しており，このサービスは主に駐在員の妻に多く利用されたことがみてとれる．普段利用する交通手段では，登録個人数ベースに比べて利用回数ベースではドライバー付きの自動車の割合が小さく，ドライバー付き自動車が使えないときの移動や，タクシーやGrab，トゥクトゥク利用の代替として多く利用されたことがわかる．

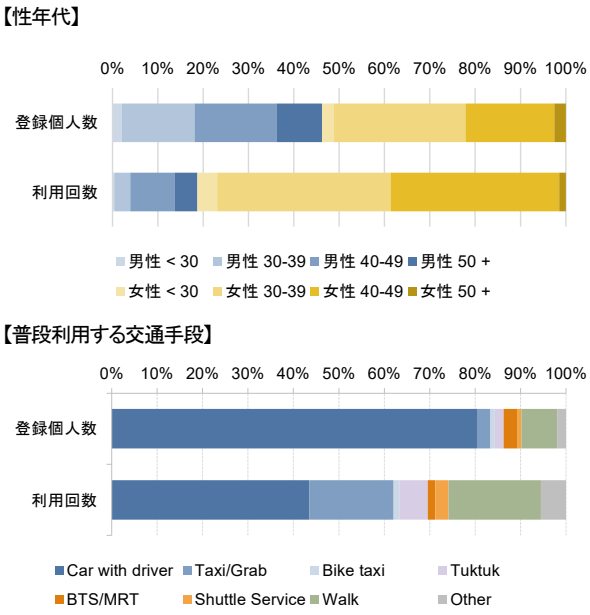


図-6 登録者，利用者属性

b)　走行実績

図-7は2022年中の輸送回数の推移を示している．COVID-19の影響でサービスを停止した期間もあるが，年始から年末にかけて徐々に利用者数が増加し，1日の最大輸送回数は64回を記録した（1台当たり約20トリップ/日）．

図-8は5月以降の配車リクエストの承認率を示している．平均輸送回数が40回/日を超えだした9月から，待ち時間が長さなどの理由でのキャンセルが増加し，11月以降の承認率は80%に落ち着いた．利用者はサービスに慣れるにつれて3台の位置や乗車状況を確認したのち予約をするか否かの判断をするようになり，承認率は80%からは低下していない．

図-9に利用傾向が落ち着いた10月以降の1回の輸送の乗客数を示す．複数人の乗車が全体の約6割を占めており，小型車両でありながら平均乗客数は1.6人であった．15:00～16:00の時間帯は，子どもの送迎などで利用され，他の時間帯に比べて複数人乗車の比率が高い傾向にある．

図-10に主要ODを示す．対象施設①とその最寄りのBTS駅であるプロンポン駅間の移動が最も利用が多かった．次いで，日本人向け学習塾やカフェ，病院，スーパーマーケット，その他駅への移動が多かった．対象施設①と最寄りのスーパーマーケットの距離は約250mしかなく，本来は徒歩が望ましい．しかし，小型電動モビリティはそれら間の移動手段としても多く利用された．これは，歩行時の路面環境が悪いこと，自動車との距離が近く危険であること，熱ストレスが大きいことなどが要因として考えられる．

c)　利用転換状況と実車率

図-11は降車時に利用者が回答した移動手段の転換元(未回答を除く)をもとに，本サービスへの転換量を輸送距離ベースで集計した結果である．5月時点では約4割がタクシーやGrab，2割が対象施設にもともと付帯しているシャトルサービス，4割が徒歩からの転換であったが，12月時点では全体の7割がタクシーやGrab，Tuk-Tuk，1割がシャトルサービスとなり，徒歩からの転換は2割に減少した．

図-12にサービス車両の実車率（全走行距離に占める乗客を乗せて移動する距離の割合）を示す．全体の実車率は50%を上回っており，朝8時台の60%から16時台の47%に推移している．Cramer & Krueger(2016)[22]によると，タクシーとUber Xの実車率は，ロサンゼルスで40.7%，64.2%，シアトルで39.1%，55.2%であり，本サービスの実車率は先進国大都市のタクシーの実車率よりも高いことが確認された．ただし，実証実験では待機場所の制約から次の予約がない場合，対象施設①に戻ることとしたため，対象施設①への空車走行が全体の約30%を占めている．特に，帰宅需要が増える午後は対象施設①に戻ったゆえに次のピックアップまでの空車走行も増加し，実車率が低下した．待機場所を増やすことで実車率は先進国のライドヘイリングサービス以上に改善する可能性がある．

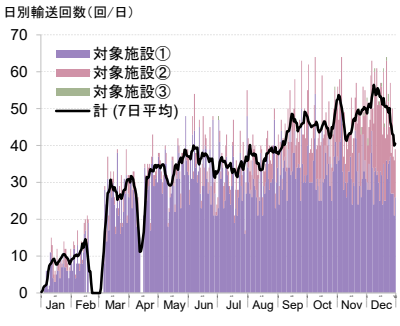


図-7　日別輸送回数

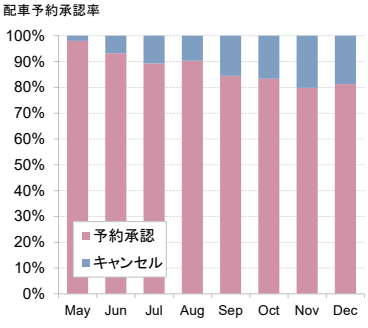


図-8　配車リクエスト承認率

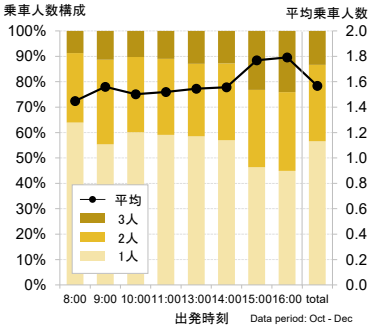


図-9　輸送当たり乗客数

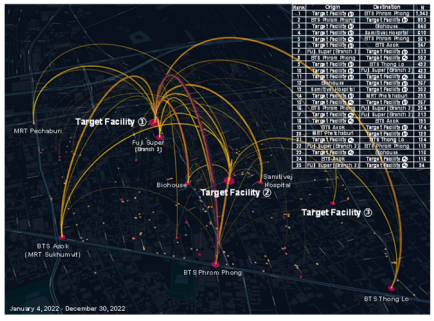


図-10　主要 OD

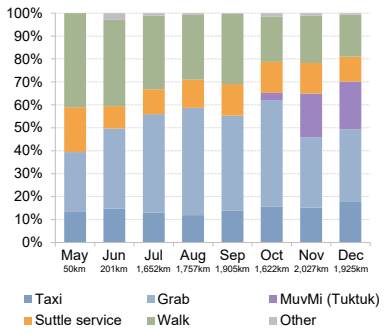


図-11　交通手段転換

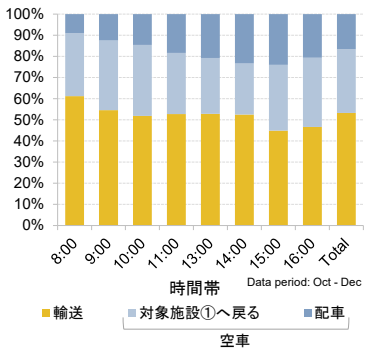


図-12　実車率

(2) サービス拡大シミュレーションの結果

a) ケース A の結果

ケースAの結果を**表-4**に示す．実証実験との比較のため，実証実験と同時間の運行時間の集計結果を合わせて示している．シミュレーションでは，実証実験期間中にほとんどサービスが浸透しなかった対象施設③の需要や実証実験において既存のシャトルサービスを利用していた需要も含んでいるため，ケースA1の予約数は実証実験と比較して約1.5倍程度多い点に注意が必要である．

転換率10%を想定したケースA1では，実証実験と同じ稼働時間内のピーク時に最大5台の車両が必要になると試算された．ケースA1の結果は実証実験に比べて，配車リクエストの承認率だけでなく，1台1時間あたり輸送回数，実車率が増加しており，サービスレベルと輸送効率性ともに向上している．また，配車最適化によりオフピーク時間では2台だけで捌くことが可能であることが確認された．

サービスへの転換需要率を増加させたA2，A3の日当たり輸送回数はA1の約2倍，約3倍と需要率の設定値に近い．一方，必要車両数の増加率は輸送回数の増加率よりも小さく，またサービスレベルを落とすことなく1台1時間あたり輸送回数が増加している．転換需要が増えると輸送の効率性を向上する可能性がある．一方，ピーク時間とオフピーク時間の必要車両数の差が大きくなっている．そのため，車両やドライバー（ただし，雇用形態による）のアイドル時間の増加が懸念される．加えて，実車率も6割程度で高止まりしている．3つの施設だけでは自宅から駅，駅から自宅など同方向への需要が集中した場合，片道が空車のピストン輸送が必要となるため，実車率の大幅な向上は見込めない．

b) ケース B とケース C の結果比較

ケースBとケースCのシミュレーション結果を**表-5**に示す．ケースBとケースCは配車リクエスト数の条件は等しく，相乗りの可否や車両規格の運用の違いにより結果が異なっている．

1日（6:00–21:00）で集計した結果をみると，ケースCの承認率がケースBの88.8%から91.8%に向上していることがわかる．また，ケースCの必要車両数はケースBの約半数の最大31台と推定され，さらに実車率は74.9%に向上した．相乗りを認め，需要に応じて最適な車両を混合して運行する仕組みとしたケースCのほうがより多くの需要を捌けることが確認できる．

15時台はいずれも小型車のみを稼働させた結果である．配車リクエストの承認率はいずれも91.7%と等しいが，必要車両数はケースBで18台，ケースCでは11台と推定された．15時台は需要が少なく，出発地と目的地がばらつきやすいものの，同じ方向の目的地に向かう少人数が一緒に移動することで，少ない車両数で同サービスレベルが達成できることが確認できる．さらに，実車率はケ

表-4 ケースAの結果

		8:00–12:00, 13:00–17:00			6:00–21:00		
	実証実験	ケース A1	ケース A2	ケース A3	ケース A1	ケース A2	ケース A3
配車リクエスト数	59	81	159	241	161	321	485
承認された配車リクエスト数（輸送回数）	48	71	145	219	143	293	444
承認率 [%]	81.5	87.6	90.9	90.8	89.0	91.3	91.5
必要車両数 [台]	3	2–5	3–9	5–13	1–6	2–10	2–14
1 台 1 時間当たり輸送回数	2.02	2.44	3.15	3.47	2.70	3.34	3.73
実車率 [%]	53.2	59.2	60.0	59.9	58.8	59.1	59.0

Note: 実証実験に合わせて稼働時間を8:00–12:00, 13:00–17:00とした場合と6:00–21:00まで連続運行した場合を示す．必要車両数は、1時間あたりの需要に対する最小値と最大値である．実証実験の集計期間は2022年10月–12月である．

表-5 ケースBとケースCの結果

	ケース B					ケース C				
	7:00	11:00	15:00	17:00	6:00–21:00	7:00	11:00	15:00	17:00	6:00–21:00
配車リクエスト数	316	134	60	248	2,257	316	134	60	248	2,257
承認された配車リクエスト数（輸送回数）	286	109	55	223	1,986	292	123	55	223	2,073
承認率 [%]	90.5	81.3	91.7	89.9	88.0	92.4	91.8	91.7	89.9	91.8
必要車両数 [台]	64	27	18	55	6–64	31	15	11	28	4–31
（4 人乗り）					6–64	11	11	11	11	4–11
（7 人乗り）						4	4	0	4	0–4
（10 人乗り）						16	0	0	13	0–16
1 台 1 時間当たり輸送回数	4.5	4.0	3.1	4.1	4.0	9.4	8.2	5.0	8.0	7.7
輸送距離 [km]	556	199	93	361	3,594	410	227	88	321	3,255
実車率 [%]	57.4	64.0	44.5	49.7	55.5	71.0	82.2	70.0	72.9	74.9
道路占有率 [m²h]	255	121	50	231	1,936	156	80	34	152	1,308
CO_2 排出量[kg-CO2]	75	35	15	55	544	68	27	10	54	479

Note: 6:00～21:00は各時間帯の結果を線形補完して集計した結果である．

ースBで44.5%であるのに対し，ケースCでは70%と，大幅に向上している．

11時台はケースCのみ7人乗り車両を投入した結果である．必要車両数はケースBで27台，ケースCで計15台と推計された．ケースCはケースBに比べて，承認率も向上し，実車率は最大の82%となった．また，サイズが大きい車両を用いているが，道路占有率及びCO_2排出量はケースBよりも小さいと推定された．

7時台，17時台は朝夕のピーク時間のシミュレーションであり，ケースCのみ7人乗りと10人乗りの車両を投入した．今回の対象では7時台の需要が多く，必要車両数はケースBで64台，ケースCでは計31台と推定された．ケースBでは駅と対象施設までのピストンが想定されるが，より大きな車種で輸送した場合，その半数以下で処理することが可能である．その結果，ケースCはケースBよりも少ない輸送距離かつ高い実車率が達成されている．道路占有率及びCO_2排出量でみても，ケースCのほうが小さいことが確認できる．

(3) サービスの総合的な評価結果

シミュレーション結果から各ケースの道路占有率，CO_2排出量，コストを評価した結果を**図-13**に示す．道路占有率とCO_2排出量については，サービスを利用したトリップがタクシー（実車率40%と仮定）を利用した場合と比較し，どの程度削減できたかを示している．なお，各ケースで配車リクエストの承認率が異なるため，キャンセルされた予約分はタクシーを使用したと仮定し，比較条件を揃えた．

道路占有率は対象とする需要が増えるにつれてその削減量が増加していることが確認できる．削減率に換算すると，本サービスにより約60–70%の道路占有率の削減効果が見込まれる．また，削減率はケースA1よりもA2, A3のほうが大きく，同一施設の転換率の増加は削減効率を上昇させうる．一方，施設数の拡大の観点ではケースA1とケースBの削減率の差はみられない．しかし，ケースCはケースBに比べて，道路占有率の削減量及び削減率ともに大きいことが確認できる．ケースCではサイズが大きい車両を用いるものの，それ以上に移動距離の削減や実車率の向上による効果が大きいことがわかる．

CO_2排出量も道路占有率と同様の傾向が確認できる．CO_2排出量の削減率は道路占有率よりも若干大きく，約70%と推計された．特にケースCの削減量，削減率が大きい．車両サイズが大きいほど，距離当たりのCO_2排出量は大きいが，車両規格の最適化は環境的にも高効率であることが示された．

コストの観点では，コンドミニアム居住者が共益費として均等に負担した場合の月々のコストと，利用者が都度支払う場合のコストを示している．共益費とした場合，一人当たりコストは，ケースA1で約150THB/月であり，需要率を30%に拡大したケースA3で325THB/月，対象施設を拡大したケースBで約100THB/月と推定された．対象施設が少ない場合，ドライバーコストの増大の影響が大きい．ただし，ケースA1～A3で需要率は3倍になるのに対して，住民一人当たりコストの増加率は2倍程度である．一方，対象施設を拡大したケースBは1台1時間当たりの輸送回数がケースAよりも大きいことにみられるように，供給量に対して効率的な運行が実施可能になることで，住民一人当たりコストが低減される．

ケースCでは，小型車両に比べて10人乗りバンの車両価格は高いものの，ドライバーコストを抑えることができ，結果的に住民一人当たりコストが最も小さい．

乗車一人当たりのコスト換算では，ケースA1の約40THB/回が最も大きく，ケースCの約20THB/回が最も小さい．推定コストは一般的なバイクタクシーとタクシーの中間に位置しており，概ね妥当な範囲で推定された．

4. 考察

(1)\ 実証実験の評価

実証実験では，3つの施設に3台の車両を用いてサービスを提供した．1年間という長い期間でサービスを提供

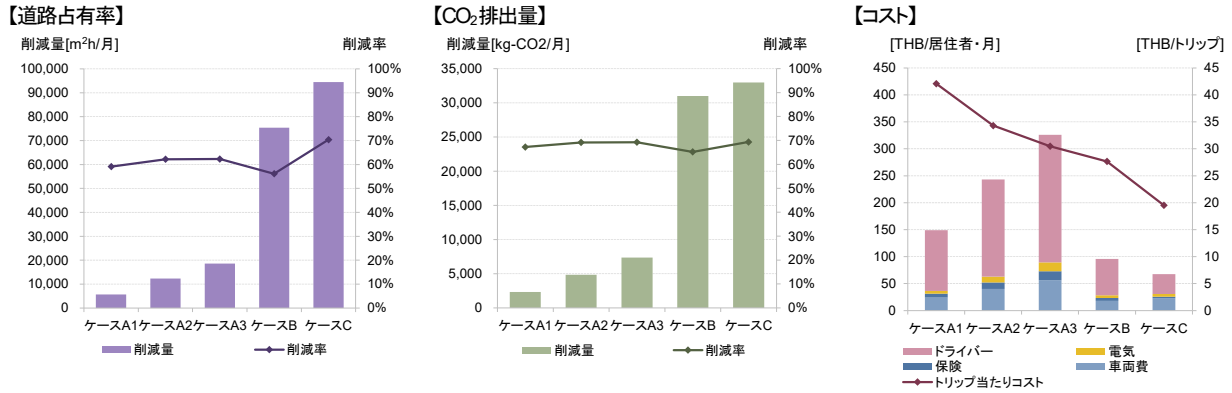


図-13 道路占有率，CO_2排出量，コストの評価結果

したため，対象施設の住民に十分に周知され，登録者数は全住民の約1/3となった．また，1日の利用回数もサービス開始時の1〜2月と比べ，最大で6倍程度となるなど，現実にサービスが提供された場合における利用実態や行動変化に近いデータが補足できたと考えられる．

実証実験では，本サービスは買い物や通院，習い事など，日中によく利用された．朝夕の移動は鉄道駅や通勤先などに目的地が限定されるのに対し，日中は比較的身近で，目的地もばらつく傾向が大きく，これらの移動は既存シャトルサービスではきめ細やかに対応できなかったことから，本サービスの利用が伸びたと考えられる．また，1)実車率が50%を超え，かつ小型でありながら2)二人以上の乗車が半数程度を占めていること，3)当初は徒歩からの転換もみられたが，後半はタクシーやGrab, Tuk-Tukからの転換が多くなった．これらのことから，これまではタクシーやGrabなどのサービスに頼っていた移動が本サービスに移行し，1)車両の小型化，2)空車率の低下，3)電動化と3つの側面で渋滞削減と二酸化炭素排出量削減に効果があることが確認できた．

(2) サービス拡大が地区や社会にもたらす影響

本実証実験の結果をもとに実施したシミュレーション結果からは，規模の拡大が交通渋滞（道路占有率）及びCO_2排出量の削減に貢献できる可能性が示された．実証実験でのサービスをそのまま拡大したケースBでは，1か月で道路占有面積を70,000m^2h，CO_2排出量を30t-CO2も削減できる可能性が示された．また，車両サイズを多様化し，需要に最適な車両を配車できるようにしたケースCでは，道路占有面積，CO_2排出量ともに更なる削減が見込まれ，施設ごとに輸送サービスを提供するのではなく，地区内の施設で集まってサービスを提供することで，環境的にも交通的にもスケールメリットが働くことが明らかとなった．

また，これらの効果は，いくつかの副次的な効果も期待できる．まず，電動化による沿道の大気や熱環境の改善である．ガソリン車から電気自動車への転換はCO_2排出量だけでなく，車両からの排気抑制にもつながる[23,24]．大気環境は1台や2台ではほとんど効果はみられないが，地区内で集中的なサービス導入が進めば，沿道や歩道の大気・熱環境に影響を及ぼすことも考えられる．2点目は交通事故の削減である．今回の実証実験対象からは確認できなかったが，バイクタクシーからの転換が進めば，その分利用者の事故リスクは低減する可能性も期待できる．また，混雑そのものの改善を通じて，すり抜けなど危険な運転の減少も期待される．混雑の緩和は同時に，これまで車道として利用されてきた空間を歩行者へと還元できる可能性も期待できる．対象地区においては混雑の一方で，歩行環境が狭い点もまた自動車利用増加の要因となっている．これらの空間再配分が可能となれば，更なる渋滞削減にもつながる可能性がある．

(3) 採算性の評価とビジネスとしての展開可能性

ケースCのシミュレーション結果では，これまで各コンドミニアムが個別に対応してきたシャトルサービス（92台）が，共同かつ最適な運行を行うことで31台にまで集約することが可能となることが示唆された．これを住民一人当たりの運行コストで見ると，月あたり概ね50〜100TBH程度でサービスが享受することが可能となることを示唆している．さらに，沿道の各施設が協力し合ってサービスを提供することで，これまで施設管理者，ひいては住民が管理費として負担してきたコストを大きく削減しながら，より利便性の高いサービスを提供できる可能性を示唆している．

また，本実証実験及びシミュレーション結果からは，朝夕の需要と日中の需要とで大きく偏りがみられている．これは居住施設のみを対象としているために生じた偏りであると考えられるが，より効率的なサービスの提供には需要が平準化していることが望ましい．住居だけでなく，同じエリアや沿道にあるホテルや商業施設など，多様な需要パターンを有する施設間が連携することで，更なる効率化，さらには安価での輸送サービス提供が実現できる可能性がある．

これらを総合的に考えると，本研究が想定した地区内のモビリティサービスをビジネス的にも社会的にも持続的に運営するにあたっては，1)Soiの沿道施設や事業者が連携してモビリティサービスを運営すること，2)施設利用者にモビリティ利用ごとの負担を求めないことが望ましいと示唆される．それにより，沿道の土地利用ごとに最適化した車種構成でサービスを運行することで，運営コストを下げ，かつ利便性の高いサービスを提供することが可能である．

5. 結論

本研究では，バンコク都心部の一部のエリアと対象施設において，小型電動モビリティを用いたモビリティサービスを設計し，1年間の実証実験を行うことで，端末交通サービスのスマート化の導入可能性とその効果の検証を行い，新たなモビリティサービスとしての展開可能性を検討した．その結果，1)Soi内での小型モビリティサービスの提供により実車率の向上や車両の小型化，電動化により道路混雑及び二酸化炭素排出量ともに削減できる可能性が大きいこと，2)対象施設を増やすことでスケールメリットが生まれ，より効果が大きくなる可能性があること，3)施設ごとにシャトルサービスを提供するよ

りも沿道施設間が連携してサービスを提供することで利便性，採算性ともに向上することが明らかとなった．

現在，ライドヘイリングやMaaSをはじめとして，東南アジアの各都市においてもモビリティのプラットフォーム化が進行している[25]．この動きは利用者に，より安価で，より便利なモビリティサービスを提供することに一定の貢献を行っている一方で，プラットフォームを提供する主体に資本が集中することで，地域や地区にとって輸送分野の経済を外部化してしまうというリスクを有している．一方，本研究では端末交通といった身近な交通は，地域の施設や主体間で連携してサービスを提供する，いわばモビリティのコミュニタリゼーションを提案するものである．沿道や地区それぞれに需要的にも環境的にも最適化されたモビリティサービスを運行することで，外部要因に左右されない自律的なモビリティを確保するとともに，運営を通じた利益を地区の交通環境や沿道環境に再投資することが可能であり，地区交通経済の新たなモデルとしても期待される．

一方，本研究では提案したモビリティサービスがもたらす効果のうち，その一部しか評価・検証できていない．沿道の大気・熱環境による健康や歩行行動への影響，混雑緩和等による交通事故リスクへの影響，端末交通の充実による自動車から公共交通への転換効果など，本研究で提案したモビリティサービスは，より幅広い効果を得ることも期待されており，今後継続的な調査や分析を通じてこれらを明らかにすることが望まれる．

謝辞：本研究は JST SATREPS JPMJSA1704 の支援を受けたものです．

付録

シミュレーション及び評価に使用した車両諸元は下表のとおりである．

表　評価に使用した車両諸元

	席数	車長 [mm]	車幅 [mm]	電費 [Wh/km]	CO_2 排出量 [g-CO_2/km]	価格 [TBH]
FOMM one	4	2,585	1,295	118*	54.9	664,000
ミニバン	7	4,735	1,830	225	105.1	1,875,000
乗用バン	10	5,380	1,880	260	121.4	2,500,000
タクシー	4	4,540	1,760		153	

*エアコン使用時

REFERENCES

1) TOMTOM: Traffic Index, 2021. https://www.tomtom.com/traffic-index/ranking/
2) Hanaoka, S: Review of urban transport policy and its impact in Bangkok, *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, Vol. 2007, pp. 27‑27, 2007.
3) Vichiensan, V., Wasuntarasook, V., Hayashi, Y., Kii, M. and Prakayaphun, T.: Urban rail transit in Bangkok: Chronological development review and impact on residential property value, *Sustainability*, Vol. 14, No. 1, pp. 284, 2021.
4) Department of Rail Transport (DRT): Bangkok Mass Transit Map. https: //www.drt.go.th/
5) Office of Transport and Traffic Policy Planning (OTP): Bangkok travel demand survey report 2018. http://www.otp.go.th/index.php/edureport/view?id=147
6) Pujinda, P. and Yupho, S.: The paradoxical travel behavior of Bangkokians, *Environment-behaviour proceedings journal*, Vol. 2, No. 5, pp. 393, 2017.
7) Pongprasert, P. and Kubota, H.: Why TOD residents still use car? *Urban and Regional Planning Review*, Vol. 4, pp. 231‑250, 2017.
8) Thaithatkul, P., Chalermpong, S., Laosinwattana, W., Liang, J. and Kato, H.: The relationship between RHA use and car purchases: Trends emerging in Bangkok, Thailand, *Asian Transport Studies*, Vol. 9, Issue 100095, 2023.
9) Matsuyuki, M., Aizu, N., Nakamura, F. and Leeruttanawisut, K.: Impact of gentrification on travel behavior in transit-oriented development areas in Bangkok, Thailand, *Case Studies on Transport Policy*, Vol. 8, No. 4, pp. 1341‑1351, 2020.
10) Chayphong, S. and Iamtrakul, P.: Effects of age on urban road traffic accident using GIS: A case study of Bangkok metropolitan area, Thailand, *Proceedings of the 2nd International Civil Engineering and Architecture Conference* 2023, p. 542–546, 2023.
11) Chavanaves, S., Fantke, P., Limpaseni, W., Attavanich, W., Panyametheekul, S., Gheewala, S. H. and Prapaspongsa, T.: Health impacts and costs of fine particulate matter formation from road transport in Bangkok metropolitan region, *Atmospheric pollution research*, Vol. 12, No. 10, Issue 101191, 2021.
12) Bharadwaj, S., Ballare, S. and Rohit, C. MK.: Impact of congestion on greenhouse gas emissions for road transport in Mumbai metropolitan region, *Transportation Research Procedia*, Vol. 25, pp. 3538‑3551, 2017.
13) Henao, A. and Marshall, W. E.: The impact of ride-hailing on vehicle miles traveled, *Transportation*, Vol. 46, No. 6, pp. 2173‑2194, 2019.
14) Tirachini, A. and Gomez-Lobo, A.: Does ride-hailing increase or decrease vehicle kilometers traveled (VKT)? A simulation approach for Santiago de Chile, I*nternational Journal of Sustainable Transportation*, Vol. 14, No. 3, pp. 187‑204, 2020.
15) Ministry of Transport (MOT): The accident reporting system of the Ministry of Transport. https: //datagov.mot.go.th/dataset/roadaccident/
16) Pongprasert, P. and Kubota, H.: Switching from motorcycle taxi to walking: A case study of transit station access in Bangkok, Thailand, *IATSS Research*, Vol. 41, No. 4, pp. 182‑190, 2017.
17) Leingchan, R.: Electric Vehicles: Upcoming Needs and Opportunities, 2022. https://www.krungsri.com/th/research/research-intelligence/ev-survey-22
18) Makarov, E., Fiks, I., Ong, J., Chong, K. S. and Sorokhtin, E.: Transportation system and method for passenger and

route scheduling, WIPO Patent No. 2020263177, 2020. https://patentscope2.wipo.int/search/en/detail.jsf?docId=WO2020263177
19) Energy Policy and Planning office (EPPO): CO2 Statistic. https://www.eppo.go.th/index.php/en/en-energystatistics/co2-statistic
20) Metropolitan Electricity Authority (MEA): Electricity Tariffs. https: //www.mea.or.th/en/profile/109/111
21) ILOSTAT: Statistics in Asia and the Pacific 2021. https: //ilostat.ilo.org/data/asia-and-the-pacific/
22) Cramer, J. and Krueger, A. B.: Disruptive change in the taxi business: The Case of Uber, 2016. http://www.nber.org/papers/w22083
23) Mussetti, G., Davin, E. L., Schwaab, J., Acero, J. A., Ivanchev, J., Singh, V. K., Jin, L. and Seneviratne, S. I.: Do electric vehicles mitigate urban heat? The case of a tropical city, *Frontiers of Environmental Science & Engineering in China*, Vol. 10, 2022.
24) Wattana, B. and Wattana, S.: Implications of electric vehicle promotion policy on the road transport and electricity sectors for Thailand, *Energy Strategy Reviews*, Vol. 42, Issue. 100901, 2022.
25) Narupiti, S.: Exploring the possibility of MaaS service in Thailand, implications from the existing conditions and experts' opinions on "Who should be the MaaS provider in Bangkok?", *IATSS Research*, Vol. 43, No. 4, pp. 226-234, 2019.

(?)

Proof of Concept on District Mobility Service Using Small Electric Vehicles in Central Bangkok

Tsuyoshi TAKANO, Hiroyoshi MORITA, Masato MIYATA, Chun-Chen CHOU, Kento YOH and Kenji DOI

In this study, a mobility service using small electric vehicles was designed for limited areas (Sois) and target facilities in central Bangkok, and a one-year proof of concept was conducted to verify the feasibility and effectiveness of the introduction of smart feeder transit services and examine the potential for deployment as a new mobility service. We found that 1) providing a small mobility service in Sois has great potential to reduce both road congestion and CO2 emissions owing to the improved capacity utilization rate, downsizing, and the electrification of vehicles, 2) advantages of scaling could be taken by expanding the number of facilities to be serviced, and 3) providing a shuttle service in cooperation with neighboring facilities is more convenient and profitable than providing a shuttle service for each facility.