

StarBEDを用いた人の生活圏での自動運転電動 車両の運行のサービス設計・評価

2021年2月18日

パナソニック株式会社

テクノロジー本部デジタル・AI技術センター統合ソリューション部

村本 衛一(発表) ,河本 弘和, 東島 勝義

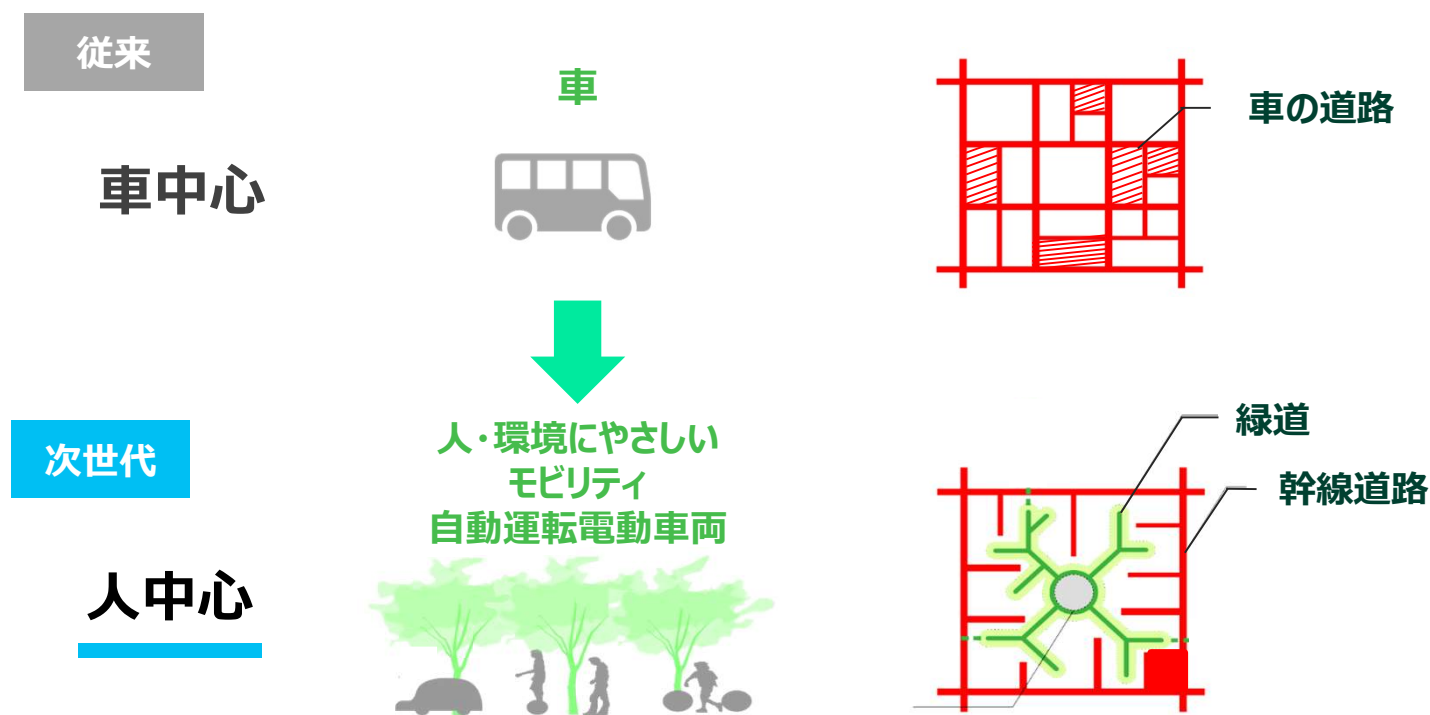
実施機関（担当）：
パナソニック株式会社（+古川）
株式会社パナソニック システムネットワークス開発研究所（澤井）
北陸先端科学技術大学院大学（知念、篠田）
株式会社PTVグループジャパン（三浦）

発表内容

- 人の生活圏でのモビリティソリューション
- モビリティサービス設計・評価の必要性
- モビリティサービスの例
- モビリティサービスの要求
- サービス設計・評価手法
- StarBEDを用いた評価
- 関連研究
- まとめ

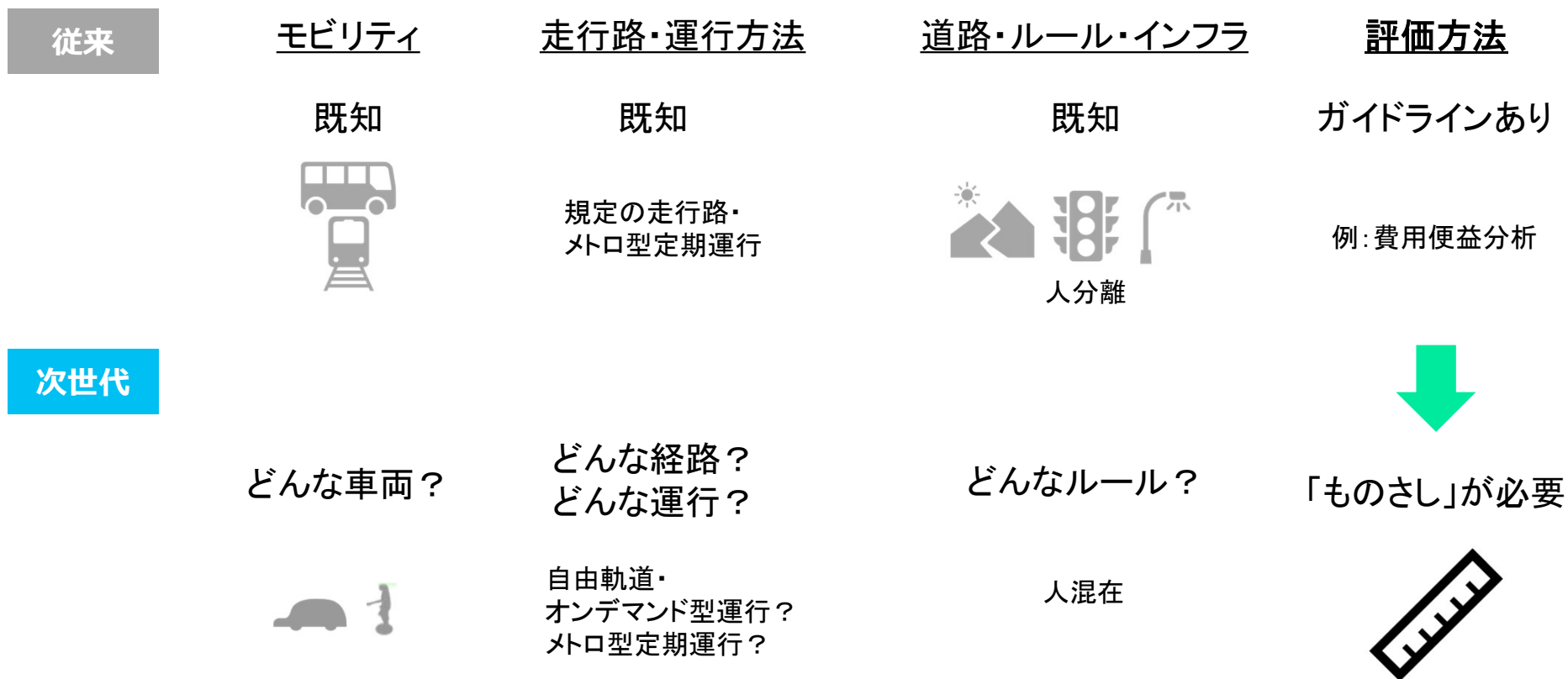
人の生活圏でのモビリティソリューション

- 人の生活圏にフォーカスしたモビリティソリューションを通じて、“人”を元気に“コミュニティ”を元気に“地球”を元気にする取り組み
- 人・環境にやさしいモビリティ、中でも、自動運転電動車両のモビリティサービスに着目



モビリティサービス設計・評価の必要性

- ・ 自律移動する車両 → 街に社会実装（未経験）
- ・ 「ものさし」 = 設計・評価の方法論が必要



モビリティサービスの例 （大阪、企業構内のサービス）

- パナソニック社員を対象に自動運転ライドシェアサービス実施中

- 約1.4万人の社員
- 街のような道路環境
(横断歩道・交差点・トンネル・坂道・ラウンドアバウト)
- 総務担当者のみによる常時運用
- 本社⇔西門真間 1周 約2.4km
- メトロ + オンデマンド混在サービス
(最大4台同時運行、平均20便/日)
- サービス走行実績10,000km超



モビリティサービスの要求

- **安全性、利便性、経済性の要求を同時に満たす必要あり**
- **安全性 (Risk)**
 - 自動運転電動車両 (ADEV) は、車両の外の歩行者等の人やADEV に乗車中の人に危害を加えるような走行をしてはならない。
- **利便性 (Value)**
 - ADEV の移動で、人は移動時間の短縮、移動中の時間の有効活用できることで利便性を享受する。ADEV の運行は、人の移動に関し、最大限の利便性を提供する必要がある。
- **経済性 (Cost)**
 - ADEV の安全運行には、ADEV の導入費用や維持費用、遠隔監視・制御のための費用、乗車場所の提示、周知するための路側の表示の設置等、の費用の削減・圧縮が必要となる。

アプローチ

- ・ シミュレーション（CPS）の予測を、意思決定に使う。
- ・ 「ものさし」 = CPSの予測で、意思決定者がモビリティサービスの概観をつかむ。



人の流れ



車の流れ

StarBEDで再現

- ある車両 → どんなりスク、利便性
→ どんなコスト
- ある運行 → どんなりスク、どこで
→ どんなコスト
- ある走行路 → どんなりスク、どこで
→ どんな利便性、コスト



意思決定者が把握し、意思決定

サービス因子（モビリティサービス仮説の決定要因）

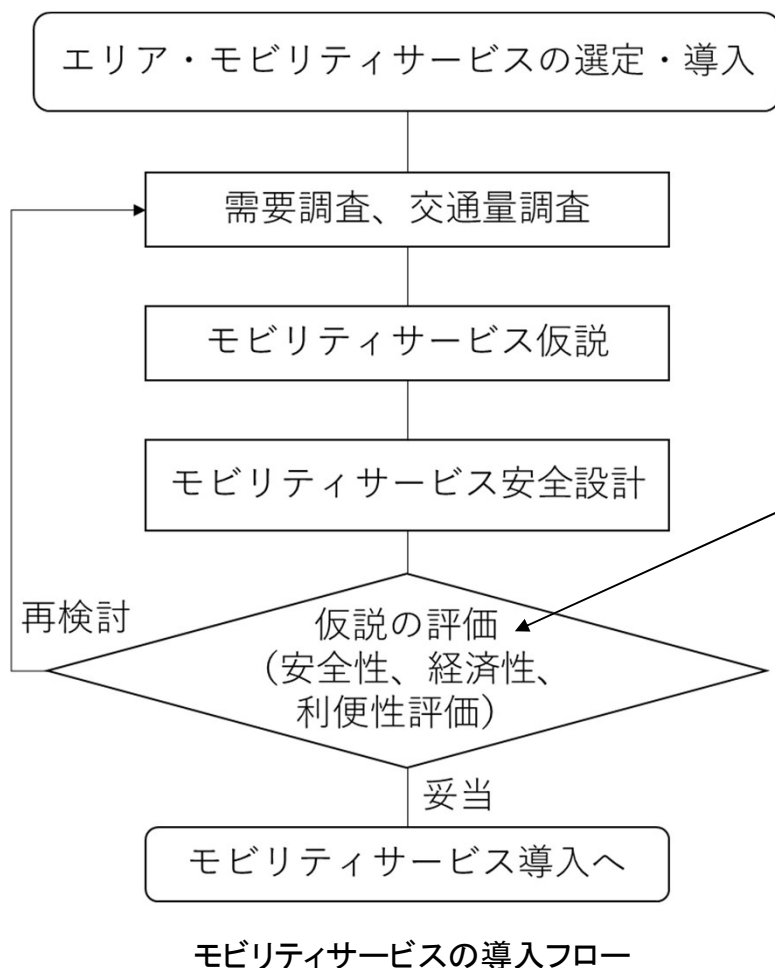
- サービス因子は、安全性（R）、利便性（V）、経済性（C）の指標に影響

- 車両
 - 小さい 事故時軽微、見た目も怖くない
 - 大きい 同時に多量に運べる。乗り心地よい。移動中の空間も余裕。
 - 早い 便利 センサー高い 事故時重篤
 - ゆっくり 安心 センサー安い 事故時軽微
 - 想定外 運行停止（不便）、運航継続（遠隔OPコスト）
 - 等



分類	サービス因子	主に影響を受ける指標
需要	移動需要（人の流れ）	R, V
運行	コース、ステーション配置、運行速度、運行時間等	R, V, C
車両	乗車定員、センサー性能、ブレーキ性の、加速性能、システム二重化実装度	R, C
オペレーション	遠隔監視、遠隔制御による介入	V, C
交通量	交通参加者の種別、量	R, V
環境	標識・表示、信号等	R, C

サービス設計・評価手法



評価指標

$$M = \alpha R + \beta V + \gamma C \quad (1)$$

$$R = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m P_j(i) \right) \quad (2)$$

$$V = \sum_{k=1}^t \left\{ \left(T_{org}(k) - T_{shorten}(k) \right) - \omega V(k) \right\} \quad (3)$$

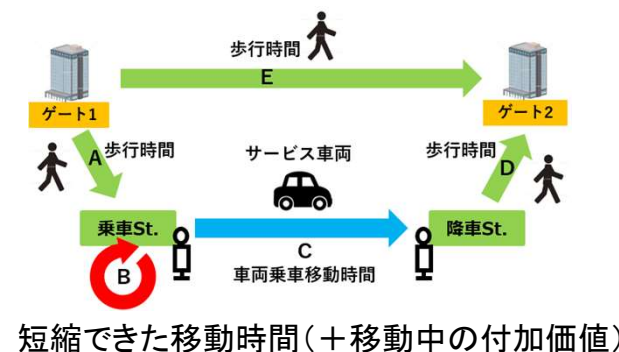
$$C = \sum_{j=1}^m C(j) + C_{ope} + C_{env} \quad (4)$$

車両毎コスト 運行コスト 環境コスト

R =


Pj(i) 人と車の近接回数 (=ヒヤリハット発生リスク)

V =



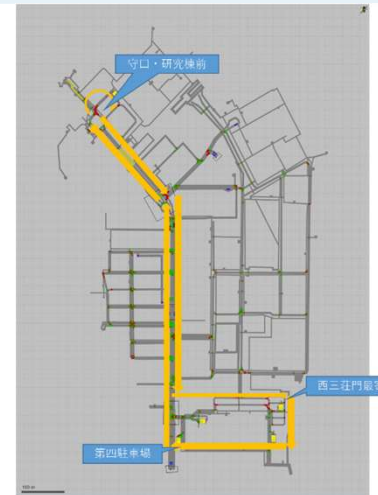
StarBEDを用いた評価

・ 評価対象（自動運転ライドシェア、1600シナリオ、1 シナリオ＝約 9 時間）

分類	サービス因子	パラメータ値
需要	人流データ	2019年9月9日分（約30万件）
	希望短縮時間	-120, -60, 0, 60, 120
車両	最高速度(km/h)	6, 10, 14, 18
	乗車定員（人）	1,2,3,4
運行	投入台数（メトロ型－オンデマンド型）	2(1-1), 3(1-2), 3(2-1), 4(1-3), 4(2-2), 4(3-1), 5(1-4), 5(2-3), 5(3-2), 5(4-1)
ステーション	乗降ステーション配置	中間ステーションあり、なし



中間ステーションあり



中間ステーションなし

評価環境

- 使用機材の仕様（StarBED グループPのノード）

CPU	Intel Xeon E5-2683 v4 (2.1GHz/16core) × 2
Memory	32GB RDIMM (DDR4-2400/mb ECC) × 12
Storage	HDD 1.2TB × 1、SSD 1.6TB × 1
NIC	10GigE × 2、1GigE × 1

全探索時

30台

山登り法時

3台

- ミクロ交通シミュレータ(離散事象シミュレータ)

PTV Vissim※

移動要望を持った人が特定のADEV に乗車できるかどうかは、ADEV に空席があるかといった因果関係を表現する必要がある。また、人の流れが多い運行環境でADEV を運行するとADEV と人(歩行者) が近接するリスクが高まる状況の評価ため、人流、車流をミクロレベルで再現

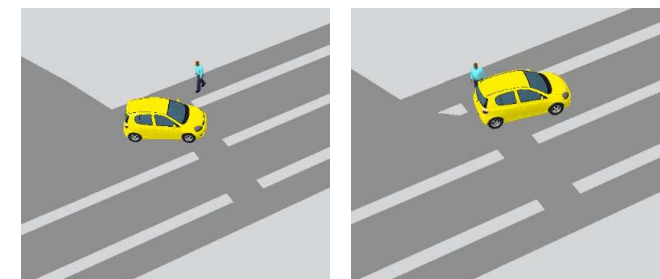
- ノード複製方法

OSの複製方法等は、NICT安田真悟氏より、ご教授

- 並行実行の自動化環境

HTCondor

<https://research.cs.wisc.edu/htcondor/>



離散事象シミュレーションによる安全性指標の低下シーンの例

※ ロンドンオリンピックの運用モデルとして活用された実績を持ち、また自動運転車両と手動運転車両の共存を目指した欧州の研究プロジェクトに採用されるなど、国内外問わず交通施策の検証や研究に広く利用されており、高い信頼性をもつ。PTVグループジャパン殿より、本研究開発にライセンス。

評価結果

- 最適解の探索：400日弱が必要（全探索1台） → 3日程度（山登り法※3台）

ノード数、探索手法	実行時間
1 ノードシングルプロセスでの実行時	9287時間
30 ノードでの120 並列での実行時	81.12時間
3 ノード山登り法での実行時間(条件1)	58.04時間
3 ノード山登り法での実行時間(条件2)	63.85時間

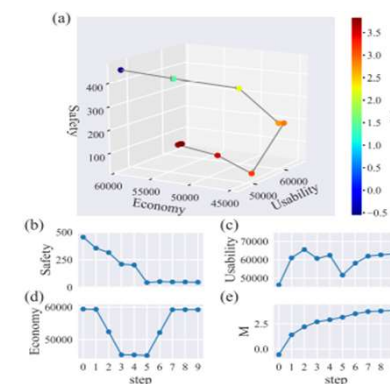
→ 週末程度の時間で探索可能

- 経済性・利便性の重視なら、より小型車両を少数、速度を上げて運行する案がある
 - その場合、オンデマンド型の投入数は少なくてもよい → 意思決定の「ものさし」ができる

サービス因子	条件1の最適解	条件2の最適解
希望短縮時間	0	0
最高速度(km/h)	10	14
乗車定員(人)	4	3
投入台数(メトロ型—オンデマンド型)	5(3-2)	4(3-1)
乗降ステーション配置	中間ステーションあり	中間ステーションあり

$$M = \alpha R + \beta V + \gamma C \quad (1)$$

条件1: 安全性重視 $(\alpha, \beta, \gamma) = (-2, 4, -1)$ 条件2: 利便性・経済性重視 $(\alpha, \beta, \gamma) = (-1, 4, -1)$



最適解探索の様子
10回～11回の探索
で最適解へ収束

※焼きなまし法、タブー探索、ネルダーミッド法等を用いることで局所最適解に陥るリスクを低減できるが本実験では計算時間の短縮効果を定量把握することが目的であったため実装が容易な山登り法を利用

関連研究

R,V,C同時に定量評価する例は見当たらない

著者	概要	モデル／SIM	安全性	利便性	経済性	備考
自動車技術会	交差点でのヒヤリハット分析等	SIM	○ 交差点での車間距離	-	-	SIMと現実を比較
岡野, et al.	乗降環境を考慮した街路空間の可視化	SIM	-	○ 路上駐車型は2倍遅れ	△ (定性的)	ステーション配置の定量分析
山本, et al.	5分以内の待ち時間にするために必要となる車両台数	SIM	-	○ ライドシェアのほうが26%少ない	○	街（カリフォルニア）題材
桑原, et al.	ワンウェイ型カーシェアリング	SIM	-	○ 駅からの人流等考慮	○	資源配置、偏り分析
岩倉, et al.	鉄道プロジェクトの費用対効果分析	モデル	△ 事故率	○	○	都市間規模 どこで？は不明
国土交通省	費用便益分析マニュアル	モデル	△ 事故率	○	○	都市規模 どこで？は不明

提案手法は、特定エリアの運行サービスによって得られる利便性と安全性と経済性の指標の変化を**同時に評価**する手法
→ ADEV の運行サービス設計に有効

まとめ

- 人の活動データの分析に基づき、**安全性、利便性、経済性を同時に**満たすモビリティサービス設計・評価手法を提案
- 企業内の建物の出入り口のデータ(30万件/日)を活用し、人の移動を再現し、自動運転車両による運行サービスを評価(CPS予測)
- 安全性の指標としては、人と車両の近接回数、経済性の指標としては、移動時間の短縮効果、経済性の指標としては車両の運行に関するコストを用いた。
- 最適解の探索:400日弱が必要(全探索1台) → 山登り法で3台で3日程度**(1週末)で実行可能**
- 安全性、利便性、経済性の評価尺度を変更し繰り返し評価 → **意思決定の「ものさし」づくり**

今後は、

- 自動配送ロボットを用いた公道でのラストマイル配送サービスの設計と評価に本提案手法を適用し、投入するサービスやエリアに合った適切な安全性、利便性、経済性の指標や選定車両・台数、適用エリアの拡大等、サービスの段階的投入を検討できる手法に拡張

小型低速ロボットによる住宅街向け配送サービスの実証実験を
Fujisawaサステナブル・スマートタウンで実施



Panasonic