

関東圏におけるビジネス目的 eVTOL の需要推計と導入可能性

Demand Estimation and Feasibility Study of eVTOL shuttle Services for Business in the Kanto Region

佐藤徹治研究室 23R2017 山田 政義

1. はじめに

eVTOL とは、電動垂直離着陸機を意味し、静かでクリーンな移動が可能な空のモビリティである。滑走路が不要で高速移動が可能であり、都市内や地域間のシャトルサービスとして近い将来実現できる可能性を秘めている。

eVTOL シャトルサービスの需要推計等を行った最近の研究には、イタリアにおける eVTOL の空港シャトルサービスの潜在的需要を多項および混合ロジットモデルで推定した Brunelli et al. (2023) ¹⁾ 等がある。また、我が国における eVTOL 導入に関する既往研究としては、垂直離着陸場（パーティポート）の必要性とその実施要件、東京圏における垂直離着陸場の配置計画を検討し、初期段階（2020～2030年）に eVTOL が導入された際の利用者としては、ビジネスや観光目的の個人、高所得者層が想定されると指摘した富士原ら (2020) ²⁾ がある。しかし、我が国における都市間や地域間のシャトルサービスの需要を推定し、導入可能性を検証した研究は見当たらない。

以上を踏まえ本研究では、中距離の都市圏間や短距離の地域間におけるビジネス目的の利用を想定した eVTOL シャトルサービスについての簡易な需要推計モデルを提案し、導入可能性を検証する。具体的には、提案した手法を用いて東京から 100～130km 程の都市圏間や 30km 程の地域間のビジネス利用の運賃水準別の需要推計を行い、運賃収入と機体導入費やパーティポートの建設費などの運航コストの比較等から導入可能性の検証を行う。

2. 対象都市圏・地域ペアの設定

中距離都市圏間 eVTOL（以下、中距離 eVTOL）の導入可能性を検証する対象都市圏ペアは、100～130km 程度の距離で、ある程度のビジネス目的の需要が見込まれる東京 23 区～水戸、日立、宇都宮、前橋・高崎の各都市圏間とする。各都市圏の範囲は、都市雇用圏 ³⁾ を基に設定した。

短距離地域間 eVTOL（以下、短距離 eVTOL）の導入可能性を検証する対象地域ペアは、30km 程の距離で、ある程度のビジネス目的の需要が見込まれる東京都心 3 区（千代田区、中央区、港区）～さいたま新都心（さいたま市大宮区・中央区）、幕張新都心（千葉市美浜区）、みなとみらい（横浜市西区・中区）の新都心エリア間とする。

パーティポートの設置場所は、東京駅、各都市圏、新都心エリアの中心鉄道駅の駅前広場とする。東京駅から各中心駅までのおおよその直線距離と東京 23 区～各都市圏間のビジネストリップ数、都心 3 区～各新都心エリア間のビジネストリップ数を表-1 に示す。

表-1 東京駅から各中心駅までの距離と中距離都市圏間・短距離地域間ビジネストリップ数

都市圏・新都心エリア	中心駅	おおよその直線距離 (km)	ビジネストリップ数 (人/日)
水戸	水戸	99.7	4,907
日立	日立	129.2	3,865
宇都宮	宇都宮	98.3	5,361
前橋・高崎	高崎	98.5	6,601
さいたま	さいたま新都心	26.4	2,573
幕張	海浜幕張	25.2	2,577
みなとみらい	みなとみらい	27.7	8,360

注) 東京 23 区～各都市圏：2015 年，都心 3 区～新都心エリア：2018 年

3. 需要推計モデルの構築

3.1 需要推計モデル

eVTOL 転換率推計式を用いてビジネストリップで利用している現状の交通手段から eVTOL への転換率を推計し、現状の交通手段のビジネストリップ数に転換率を乗じることで需要推計を行う。eVTOL 転換率推計式は、国土交通省の将来交通需要推計手法（道路）⁴⁾ における一般道路から高速道路への転換式を eVTOL 向けに改良して構築した。転換率式を(1)式、eVTOL 需要推計式を(2)式に示す。

$$P_{ij,m,e} = \frac{1}{1 + \frac{\alpha X_{ij,m,e}^\beta}{T_{ij,m,e}^\gamma}} \quad (1)$$

$$N_{ij,e} = N_{ij,m} \cdot P_{ij,m,e} \quad (2)$$

下添字の i は出発地、 j は目的地、 m は転換前の交通手段、 e は eVTOL を表す。 P は転換率、 $X_{m,e}$ は eVTOL と現状の交通手段の運賃差/現状の交通手段と eVTOL の所要時間差、 $T_{m,e}$ は現状の交通手段と eVTOL の所要時間差、 N はビジネス目的トリップ数、 α 、 β 、 γ はパラメータである。

本研究では、所要時間や運賃で競合すると考えられる鉄道を転換前の交通手段 (m) として需要推計を行った。

3.2 パラメータ推定

3.2.1 推定方法

(1)式は、両辺に対数を取ると、(1)'式に変形できる。

$$\ln\left(\frac{1}{P_{ij,m,e}} - 1\right) = \ln \alpha + \beta \ln X_{ij,m,e} + \gamma \ln T_{ij,m,e} \quad (1)'$$

(1)'式のパラメータは、運賃ごとの eVTOL の利用意向と eVTOL と鉄道の運賃差、所要時間差のデータを用いて最小二乗法により推定する。運賃ごとの eVTOL の利用意向は、アンケート調査で把握する。eVTOL の所要時間は、Joby Aviation⁵⁾の「S-4」を想定機体とし、同機の数値と中心駅間の飛行距離（直線距離の 1.1 倍）を用いて算出する。

速度は、東京駅から成田空港駅間（約 57km）の所要時間が約 15 分と想定されていることから、228km/h に設定した。鉄道の所要時間は、最小所要時間（平日午前 12 時に出発する場合）を設定した。東京駅～各中心駅間の所要時間、鉄道運賃を表-2 に示す。

表-2 東京駅～中心駅間の所要時間、鉄道運賃

中心駅	所要時間（分）		鉄道運賃（円）
	eVTOL	鉄道	
水戸	26	72	3,890
日立	34	96	4,880
宇都宮	26	48	4,490
高崎	26	55	4,490
さいたま新都心	8	27	490
海浜幕張	7	37	580
みなとみらい	8	37	690

3.2.2 eVTOL 利用意向アンケート調査

中距離、短距離 eVTOL 毎にアンケート調査を実施した。中距離 eVTOL、短距離 eVTOL のアンケート調査概要をそれぞれ表-3、表-4 に、共通の調査項目を表-5 に示す。

中距離 eVTOL アンケート調査では、経営陣、その他従業員の移動別、短距離 eVTOL のアンケート調査では、幹部社員、その他従業員の移動別に利用意向を尋ねた。

表-3 中距離 eVTOL アンケート調査の概要

対象者	東京 23 区内の企業の経営陣（会長、社長、その他役員）
有効回答数	246
方法	Google Forms
調査期間	2024 年 7 月 18 日～2024 年 7 月 28 日

表-4 短距離 eVTOL アンケート調査の概要

対象者	東京 23 区内の企業の幹部社員（会長、社長、その他役員、部長）
有効回答数	203
方法	Google Forms
調査期間	2024 年 12 月 5 日～2024 年 12 月 6 日

表-5 eVTOL 利用意向アンケート調査項目

1. 個人や会社について
・会社所在地、役職、経営陣とその他従業員の人数
2. （経営陣または幹部社員の移動において）目的地ごとの業務での訪問実態、eVTOL 利用意向について
・訪問頻度・人数、主な交通手段、運賃ごとの利用意向
3. （その他従業員の移動において）目的地ごとの業務での訪問実態、eVTOL 利用意向について
・訪問頻度・人数、主な交通手段、運賃ごとの利用意向

3.2.3 推定結果

中距離 eVTOL では経営陣、その他従業員の移動別に、短距離 eVTOL では幹部社員、その他従業員の移動別に全ての目的地のデータを組み合わせてパラメータ推定を行った。短距離 eVTOL の利用意向は、サンプル数の都合上、東京 23 区に立地している企業の eVTOL 利用意向を用いた。中距離 eVTOL の経営陣、その他従業員、短距離 eVTOL の幹部社員、その他従業員の(1)'式の推定結果をそれぞれ表-6、表-7、表-8、表-9 に示す。表中における○○△△円以下（以上）ダミーは、目的地が○○かつ運賃が△△円以下（以上）の場合に 1、その他の目的地またはその他の運賃水準の場合に 0 となるダミー変数を表している。

表-6 (1)'式の推定結果（中距離、経営陣）

	パラメータ	t 値	P 値
$\ln \alpha$	-5.547	-16.725	P<0.001
β	0.815	27.900	P<0.001
γ	0.631	8.832	P<0.001
宇都宮、前橋 4,500 円以下ダミー	4.028	18.023	P<0.001
宇都宮 30,000 円以上ダミー	0.621	5.891	P<0.001
前橋 35,000 円以上ダミー	0.594	5.125	P<0.001
日立 5,000 円以下ダミー	2.093	10.243	P<0.001
日立 45,000 円以上ダミー	0.421	3.569	0.001
水戸 4,500 円以下ダミー	0.823	4.806	P<0.001
R ²	0.985		
サンプル数	40		

表-7 (1)'式の推定結果（中距離、その他従業員）

	パラメータ	t 値	P 値
$\ln \alpha$	-5.793	-16.108	P<0.001
β	0.979	31.515	P<0.001
γ	0.591	7.950	P<0.001
宇都宮、前橋 4,500 円以下ダミー	4.712	19.846	P<0.001
日立 5,000 円以下ダミー	2.563	12.158	P<0.001
水戸 4,500 円以下ダミー	0.998	5.640	P<0.001
水戸 35,000 円以上ダミー	0.793	6.705	P<0.001
宇都宮 35,000 円以上ダミー	0.525	4.212	P<0.001
日立 45,000 円以上ダミー	0.414	3.316	0.002
前橋 35,000 円以上ダミー	0.352	2.947	0.006
R ²	0.989		
サンプル数	40		

表-8 (1)'式の推定結果（短距離、幹部社員）

	パラメータ	t 値	P 値
$\ln \alpha$	-6.440	-13.113	P<0.001
β	0.978	28.589	P<0.001
γ	0.916	6.938	P<0.001
幕張 10,000 円以上ダミー	0.348	2.121	0.042
R ²	0.967		
サンプル数	34		

表-9 (1)'式の推定結果（短距離、その他従業員）

	パラメータ	t 値	P 値
$\ln \alpha$	-6.969	-13.448	P<0.001
β	1.091	30.364	P<0.001
γ	1.054	7.617	P<0.001
幕張 1,000 円以下ダミー	0.746	4.112	P<0.001
みなとみらい 1,000 円以下ダミー	0.931	5.019	P<0.001
幕張 9,000 円以下ダミー	0.526	4.203	P<0.001
R ²	0.978		
サンプル数	36		

4. 導入可能性の検証

4.1 検証方法

4.1.1 概要

東京駅～各中心駅間において、1 日あたりの運賃収入と 1 日あたりの総運航コストを比較することにより、シャトルサービスの導入可能性を検証する。総運航コストよりも運賃収入が上回れば導入可能性が高いと評価する。

1 日あたりの運賃収入は、1 人あたり運賃に eVTOL 利用ビジネストリップ数を乗じて算出する。1 人あたり運賃は、総括原価方式で設定する。具体的には 1 機体を乗客 4 名で相乗りすることを仮定し、運航コスト（1 機体 1 運航あたり）に利益率 20%を加味した額を 4 で除した額とする。

1 日あたりの総運航コストは、運航コスト（1 機体 1 運航あたり）に 1 日あたりの全機体による運航本数を乗じることで求められる。運航コストは、本研究と同様の機体

で羽田～成田空港間でエアタクシーサービスを導入する想定で運航費用を試算した滝澤ら（2024）⁹を参考に算出する。運航コストの構成を表-10に示す。

表-10 運航コストの構成

コスト	内容
機体	機体購入にかかる費用
インフラ	パーティポート建設や充電設備設置にかかる費用
バッテリー	バッテリー劣化による交換にかかる費用
電気	飛行する際に消費する電力の費用
メンテナンス	機体を整備する際にかかる費用、整備士の人件費
操縦	【操縦士飛行】操縦士の人件費、訓練費用、保険料 【無操縦士飛行】地上操縦管制士の人件費、訓練費用
その他	予約コストやクレジットカード手数料などの費用、保険料

4.1.2 前提条件

(a) 運航について

運航にあたり、就航率 100%、年間運航日数 365 日、1 日の運航時間を 7:00～17:30 の 10.5 時間と仮定する。eVTOL の機体数は、東京駅～都市圏中心駅間では 7 機ずつ、東京駅～新都心エリア中心駅間で 5 機ずつ配備すると仮定する。1 時間あたり運行本数（運行間隔）と 1 日の輸送容量は、東京駅～水戸、宇都宮、高崎駅間で 6 本/時（10 分間隔）と 252 人/日、東京駅～日立駅間で 5 本/時（13 分間隔）と 194 人/日、東京～新都心エリア中心駅間で 12 本/時（5 分間隔）と 504 人/日とし、両方向で同一の間隔、本数で飛び交うように運航を行うこととする。

(b) 転換率

各都市圏、新都心エリアから東京 23 区、都心 3 区への eVTOL への転換率は、東京 23 区、都心 3 区から各都市圏、新都心エリアへの転換率と同じと仮定する。

(c) 役職別の鉄道利用ビジネストリップ数

役職別の鉄道利用ビジネストリップ数は、鉄道利用ビジネストリップ数にアンケート調査から得た東京 23 区から各都市圏、新都心エリアへの役職別訪問人数の割合を乗じて算出する。なお、各都市圏、新都心エリアから東京 23 区、都心 3 区への役職別訪問人数割合は、東京 23 区から各都市圏、新都心エリアと同じと仮定する。東京 23 区～各都市圏間の経営陣、その他従業員、東京都心 3 区～各新都心エリア間の幹部社員、その他従業員の鉄道利用ビジネストリップ数、東京都心 3 区～各新都心エリア間の幹部社員、その他従業員の鉄道利用ビジネストリップ数をそれぞれ表-11、表-12 に示す。

表-11 東京 23 区～各都市圏間の経営陣、その他従業員別の鉄道利用ビジネストリップ数（人/日）

出発地→到着地	経営陣	その他従業員	合計
東京 23 区→水戸	28	1,607	1,635
水戸→東京 23 区	22	1,223	1,245
東京 23 区→日立	18	1,270	1,288
日立→東京 23 区	14	967	980
東京 23 区→宇都宮	25	1,949	1,973
宇都宮→東京 23 区	21	1,623	1,644
東京 23 区→前橋・高崎	32	2,020	2,052
前橋・高崎→東京 23 区	32	1,971	2,002

表-12 都心 3 区～各新都心エリア間の幹部社員、その他従業員別鉄道利用ビジネストリップ数（人/日）

出発地→到着地	幹部社員	その他従業員	合計
都心 3 区→さいたま	24	1,523	1,547
さいたま→都心 3 区	13	833	846
都心 3 区→幕張	22	1,272	1,294
幕張→都心 3 区	15	863	878
都心 3 区→みなとみらい	64	3,801	3,865
みなとみらい→都心 3 区	61	3,595	3,656

4.1.3 検証を行うケース

導入可能性の検証は、操縦士飛行と無操縦士飛行、インフラ費用の公的負担の有無を組み合わせた 4 ケースで実施する。無操縦士飛行の場合、1 機体 1 人の地上管制操縦士による飛行方式となり、インフラ費用の公的負担がある場合は、インフラ費用を運航コストに含めないこととする。検証を行うケースを表-13、ケースごとの東京駅～中心駅間の運賃を表-14 に示す。

表-13 検証を行うケース

ケース	飛行方法	インフラコスト公的負担
0	操縦士飛行	×
1		○
2	無操縦士飛行	×
3		○

表-14 ケースごとの東京駅～中心駅間の運賃（円）

ケース	水戸	日立	宇都宮	高崎	さいたま 新都心	海浜 幕張	みなと みらい
0	15,749	20,417	15,713	15,806	5,386	5,201	5,402
1	14,246	18,462	14,210	14,303	4,634	4,449	4,650
2	12,918	16,737	12,883	12,888	4,593	4,525	4,640
3	11,415	14,782	11,379	11,384	3,842	3,774	3,889

4.2 転換率・需要推計結果

東京 23 区～各都市圏間、都心 3 区～各新都心エリア間のケースごとの役職別転換率、需要推計結果をそれぞれ図-1、図-2、表-15、表-16 に示す。表中の赤字は、輸送容量を超過している需要を表している。

需要が多い OD は、中距離都市圏間では所要時間短縮効果で転換率が高い東京 23 区から水戸、現状のビジネストリップ数が多い東京 23 区～前橋・高崎間、短距離地域間では現状のビジネストリップ数が多い都心 3 区～みなとみらいエリア間であった。需要が輸送容量を上回っている OD でより多くの乗客を輸送するには、今回設定した運航本数よりも増発する必要がある。また、これらの OD では運賃を今回の設定値よりも上げる余地があるとも言える。

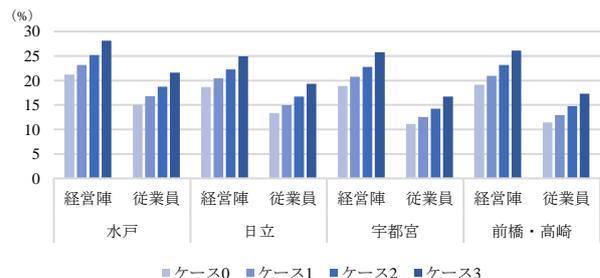


図-1 東京 23 区～各都市圏間のケースごとの役職別転換率（%）

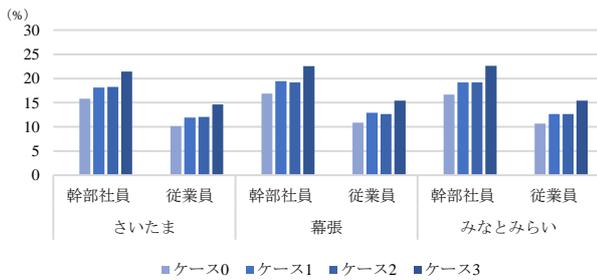


図-2 都心3区～各新都心エリア間のケースごとの役職別転換率 (%)

表-15 東京23区～各都市圏間の需要 (人/日)

ケース	東京23区 ↓水戸	東京23区 ↓水戸	日立	東京23区 ↓日立	東京23区 ↓宇都宮	東京23区 ↓宇都宮	前橋・高崎 ↓東京23区
0	247	188	173	131	221	184	231
1	276	210	193	147	250	208	261
2	308	235	216	164	283	235	298
3	355	271	249	190	333	277	358

表-16 都心3区～各新都心エリア間の需要 (人/日)

ケース	さいたま ↓都心3区	さいたま ↓都心3区	幕張 ↓都心3区	幕張 ↓都心3区	みなとみらい ↓都心3区	みなとみらい ↓都心3区
0	159	87	142	96	417	394
1	186	102	168	114	492	466
2	188	103	165	112	494	467
3	228	124	201	137	601	569

4.3 導入可能性

東京23区～各都市圏間、都心3区～各新都心エリア間のケースごとの運賃収入－総運行コストをそれぞれ表-17、表-18に示す。

ケース0の段階で採算が取れる(運賃収入>総運航コスト)ODは、東京23区～水戸、前橋・高崎であった。特に前橋・高崎間は、1日76万円の利益が見込まれるため、一番導入可能性が高いと考えられる。中距離eVTOLでは、インフラコストの公的負担がされた場合、全ての都市圏間で採算が取れる結果となり、無操縦士飛行の場合では、大幅な利益増加が見込まれた。そのため操縦費用を下げ、運航コストを減少させる無操縦士飛行に切り替えられるかが導入の鍵になると言える。短距離eVTOLでは、ケース0の段階で採算が取れるODはない結果となった。都心3区～みなとみらいエリア間では、ケース1から採算がとれるが、都心3区～さいたま、幕張新都心エリアでは、全てのケースで大幅な赤字となった。短距離eVTOLは、中距離eVTOLと比べて二点間の距離が近いので、運賃が低く設定され、運賃収入が少なくなってしまう。そのため都心3区～みなとみらいエリア間のようにビジネストリップ数が多く、大きな需要が見込まれる地域間でないと導入が難しいと考えられる。

表-17 東京23区～各都市圏間の運賃収入

－総運航コスト (万円/日)

ケース	水戸	日立	宇都宮	前橋・高崎
0	25	-39	-24	76
1	60	32	54	120
2	86	59	87	108
3	96	90	96	96

表-18 都心3区～新都心エリア間の運賃収入

－総運航コスト (万円/日)

ケース	さいたま	幕張	みなとみらい
0	-320	-313	-16
1	-256	-248	55
2	-252	-255	56
3	-187	-190	65

5. まとめ

本研究では、都市圏・地域間 eVTOL シャトルサービスの簡易な需要推計手法として、転換率式、アンケート調査、現状のビジネストリップ数等を用いた方法を提案し、東京23区～水戸、日立、宇都宮、前橋・高崎都市圏間と東京都心3区～さいたま、幕張、みなとみらい新都心エリア間のビジネス目的の需要推計を行い、導入可能性の検証を行った。検証の結果、ケース0の段階で導入可能性が高いのは、東京23区～水戸、前橋・高崎都市圏間であった。また、中距離 eVTOL の導入可能性を高めるには、インフラコストの公的負担、無操縦士飛行の実施、特に大幅な利益増加が見込まれる後者が有効であることが明らかになった。短距離地域間 eVTOL については、ビジネストリップ数が多く、大きな需要が見込まれる地域間でないと導入が難しいことが示された。

主な今後の課題として、就航率、運航日数を変化させた分析が挙げられる。本研究では、就航率100%、運航日数365日と仮定して推計を行ったが、実際に eVTOL のシャトルサービスを行う場合、台風や暴雨などの天候による欠航が起こればと考えられる。そのため、導入可能性がある最低限の就航率、運航日数を把握する必要がある。

参考文献

- 1) Matteo Brunelli, Chiara Caterina Ditta, Maria Nadia Postorino: SP surveys to estimate Airport Shuttle demand in an Urban Air Mobility context, Transport Policy 141, 2023 129-139
- 2) 富士原大介, 真鍋陸太郎, 村山頭人: 電動垂直離着陸機 eVTOL の離着陸場配置計画の必要性とその考え方 都市計画における新しいモビリティの受容に向けて, 都市計画報告集, Vol.19, No.2, pp.144-150, 2020.
- 3) 空間情報科学センター: 都市雇用圏-Urban Employment Area- (<https://www.csis.u-tokyo.ac.jp/UEA/>)
- 4) 国土交通省: 将来交通需要推計手法(道路), 2010.
- 5) Joby Aviation (<https://www.jobyaviation.com/>)
- 6) 滝澤遥輝, 雷忠: eVTOL 機体開発コストとエアタクシーサービス運航コストに関する検討, 次世代移動体技術誌, 5巻, 8号, p.67-79, 2024.