

第161回運輸政策コロキウム

ドローン配送の利用意向と効果



1. 開会挨拶



上原 淳
運輸総合研究所 理事長

2. 研究報告



ドローン配送の利用意向と効果
安部 遼祐
運輸総合研究所 客員研究員
横浜国立大学大学院
都市イノベーション研究院 准教授

3. コメント



野波 健蔵
一般社団法人ドローンコンソーシアム 会長
千葉大学 名誉教授

4. ディスカッション



モデレーター
屋井 鉄雄
運輸総合研究所 所長

安部 遼祐
運輸総合研究所 客員研究員
横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 准教授

野波 健蔵
一般社団法人ドローンコンソーシアム 会長
千葉大学 名誉教授

開催趣旨

新技術の一つである「ドローン」は、物流・医療、インフラやプラントの点検、防災や災害対応、農林水産業、警備業、測量など幅広い分野での活用が期待されています。本コロキウムではこれらの分野のうち物流に着目し、ドローン配送について、地域住民のクオリティオブライフに貢献しながら、どう持続可能な形で活用できるかという課題について、最新の研究結果を共有し議論を行いました。

安部客員研究員からの報告では、鹿児島県と沖縄県の離島で実施した調査をもとに、ドローン配送の受容性や利用者意識、さらにドローン配送シミュレーションによる利用者便益や事業採算性の分析結果や、これらの結果を踏まえた、ドローン配送の活用に向けた考察について紹介がありました。

また、2001年に日本初の小型無人ヘリの完全自律制御に成功され、ドローンを用語として一般に定義された、ドローン研究の第一人者である野波名誉教授をコメンテーターに迎え、ドローンの社会実装に向けて議論を行いました。

コロキウムの概要

■研究報告

ドローン配送の利用意向と効果

安部 遼祐 運輸総合研究所 客員研究員
横浜国立大学大学院 都市イノベーション研究院 准教授

1. はじめに

わが国では、買い物支援や医薬品配送を目的としたドローン配送の取組が多く実施されているが、社会受容性の向上や事業採算性の確保（持続可能な事業モデルの検討）などの課題が指摘されている。

本研究は、過疎地域（特に離島）のドローン配送を対象に、地域住民の利用意向（受容性、利用者意識）と導入効果を分析し、ドローン配送の社会実装のための知見を得ることを目的とした。



2. 調査の概要

本研究では、鹿児島県奄美群島の加計呂麻島（人口1,088人）と沖縄県久米島（人口7,308人）の世帯を対象に、ドローン配送に関する意識調査を行った。加計呂麻島は二次離島、久米島は一次離島であり、それぞれ2022年11月と2023年11月に行われたドローン配送の実証実験（スーパーから食料品・日用品を配送、飛行レベルはそれぞれレベル3と4）の期間と併せて調査を行った。

調査票を島内のほぼ全世帯に郵送し、郵送またはオンラインで回答を得た。ドローン配送の説明は紙面またはウェブ上で行った。回答者は、加計呂麻島では60歳以上が6割、単身世帯が4割、久米島では60歳以上が15%、単身世帯が3割を占める。普段の食料品の購入方法は、加計呂麻島では島外の店舗利用（船利用）が多く、購入頻度は週1～2日以下が9割を占める。久米島では島内の店舗利用（車利用）が多く、購入頻度は低重量の買い物ほど高い。両島間で買い物行動に大きな違いが見られる。

3. 分析1：ドローン配送の受容性

本分析では、オンデマンド型のドローン配送を仮定し、特定のサービスのシナリオを設定した。各サービス属性に対する満足度の回答結果（図1）によると、注文可能な量（2kgまでと設定）や荷物の受取場所（自宅外のポートと設定）への不満度が高い。各リスク要因に対する不安度の回答結果（図2）では、機体の安全性やトラブルへの対応の不安度が高い。両島の結果を比較すると、水準は異なるが、個別の要因に対する意識には類似した傾向が見られる。

ドローン配送の全般的な利用意向については、利用意向あり（合計で加計呂麻島38%、久米島59%）がなしの割合より大きい。ただし、その水準には両島間で差があり、これは二次離島と一次離島の違い（買い物行動や居住者属性の違いなど）を反映している可能性がある。

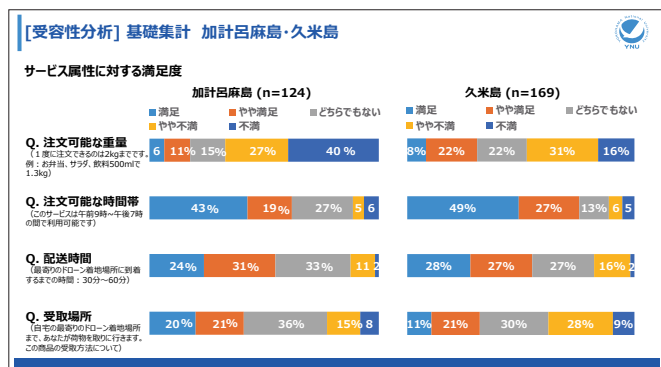


図1 ドローン配送の各サービス属性に対する満足度（安部客員研究員の報告資料）

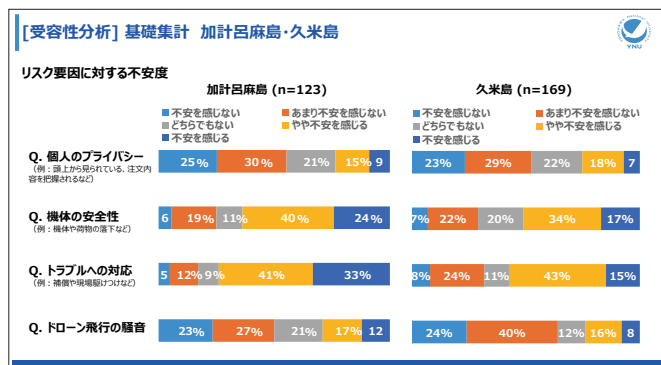


図2 ドローン配送の各リスク要因に対する不安度（安部客員研究員の報告資料）

4. 分析2：ドローン配送の利用者意識

本分析では、久米島を対象に、オンデマンド型のドローン配送に対して、サービスのシナリオをより柔軟に設定した。具体的には、2kg（1,000円）、5kg（2,000円）、10kg（4,000円）のいずれかの重量（購入金額も比例して設定）の食料品・日用品の購入を前提に、店舗購入とドローン配送のどちらを選択するかを回答者に尋ねる選択実験を行った。店舗購入の属性には、品揃えと店舗までの移動時間を設定し、ドローン配送の属性には、品揃え、配送料、配送時間、荷物の受取場所を設定し、各属性に複数の水準を設けて各属性の重要度を測った。

分析結果（図3）によると、ドローン配送利用への影響要因として、購入金額、品揃え、移動時間、配送料、配送時間、受取場所が挙げられ、特に配送料と受取場所が大きな影響を持っている。例えば、自宅受取でない場合、ドローン配送の選択確率は6～7ポイント減少する。一方、配送時間については、90分以内の時間変化のドローン配送利用への影響は小さい。

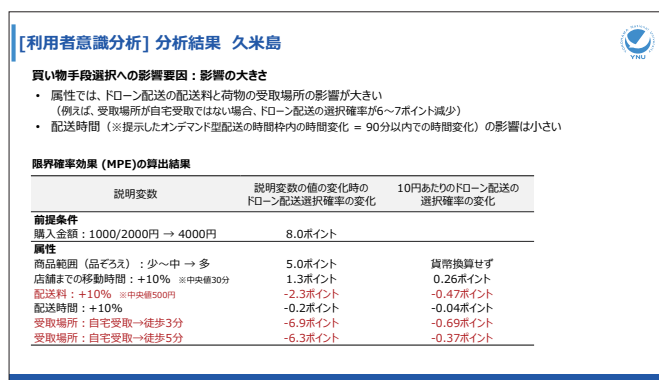


図3 ドローン配送利用への影響要因（安部客員研究員の報告資料）

5. 分析3：ドローン配送の導入効果

最後に、久米島（約4,000世帯）を対象に、ドローン配送の利用者便益と事業の収支を算出した。オンデマンド型でのサービスの仮定として、1配送あたりドローンは配送拠点から注文者最寄りのポートまで往復し、配送拠点は島内スーパー1カ所、配送時間は30分、受取場所は自宅から徒歩5分とした。初期費として、機体費とポート費、運営費として、遠隔パイロットとスーパーでの荷物積み卸し補助者の人件費を考慮した。各ペイロード（2kg、5kg、10kg）に対して、配送料、機体費、運用台数、遠隔パイロットの同時監視台数が異なる計36シナリオを検討した。

ドローン配送の需要量と導入による利用者便益については、調査結果から各世帯の買い物頻度を推計し、分析2のモデルから得られる買い物手段の選択確率を用いて算出した。ドローン配送の平均選択確率は、例えば配送料500円のと看、買い物重量が2kgと5kgで23%、10kgで12%となった。

算出結果（図4）から、配送料500円までかつ現状の機体費で事業の採算が取れるのは、ペイロード2kg・配送料500円・運用台数5台となった。ペイロード5kgと10kgでは、2kgと比べ事業の収支が悪化する傾向があり、配送料500円以上としても同様の結果となった（需要量低下により）。この理由として、中高重量の買い物ほど頻度が少なく、本地域のみの需要規模（運用台数）では1配送あたり費用低下が不十分のためと推察される。また、利用者便益の結果からは、配送料500円までの範囲では、どのペイロードでも

[導入効果分析] 算出結果 2kgのとき 久米島

- ・ 事業の収支：現状の機体費で採算が取れるのは、配送料高位（500円）・運用台数中位（5台）
- ・ 利用者便益：配送料が安く運用台数が多いほど大きい。配送料500円までの範囲では一定の規模を持つ

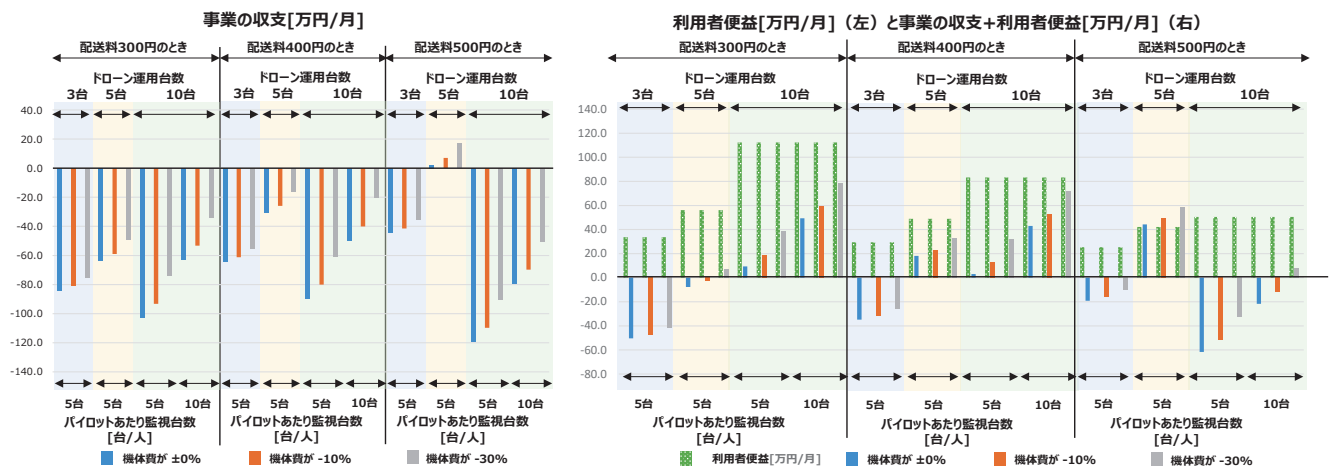


図4 ドローン配送の導入効果（安部客員研究員の報告資料）

本サービス導入による地域の買い物利便性向上に一定の効果がみられる。

6. まとめ

分析結果を踏まえ、過疎地域等におけるドローン配送の事業モデルに関する考察は以下のとおりである。

- ・ 本サービスの成立・継続のためには、全般的に初期費や運営費のさらなる低減（機体費のコストダウン、遠隔パイロットの同時監視台数増加など）の必要性が示唆される。
 - ・ 低重量のペイロードでは考慮した社会的価値の観点では導入が望ましいケースが多い上、採算が取れるシナリオがありうる。事業者を主体とした本サービスの成立・継続（事業者主体モデル）の可能性などが考えられる。
 - ・ 物流分野での多目的利用が可能な中高重量のペイロードでは、1つの地域のみで事業者主体での本サービスの成立・継続は難しい可能性がある。複数地域での展開または特定地域における生活サービス提供に関する政策や交通政策（配送網維持やCO₂排出量削減の観点）と連携した公民連携モデルの可能性などが考えられる。
- 今後の課題として、ドローン配送の運航・オペレーションや利用場面のより詳細なメカニズムを組み込んだシミュレーション、異なる地域区分やサービス形態に関する分析などが挙げられる。

■コメント

野波 健蔵 一般社団法人ドローンコンソーシアム 会長
千葉大学 名誉教授



1. はじめに

30年近くドローンの研究開発等やベンチャー企業の立ち上げを行ってきたが、日本のドローン物流が世界から遅れているこ

とに危機感を持っている。特に新型コロナウイルスの蔓延時期に中国や米国ではドローン物流が加速したが、日本では停滞している。

米国のGoogle系Wing社は現在世界トップレベルのドローン物流会社だが、これまでに十分な準備を行ってきたことが次に紹介する事例から分かる。日本でもドローン物流を普及させるためには、万全の準備をして進めることが重要と感じる。

2. 米国での類似の調査結果

米国のドローン配送（宅配）では、ペイロード2kg程度、スマホ注文、配送時間30分以内、荷物の受取場所は個人宅のバックヤードや玄関先が基本となっている。

2019年10月から2020年10月までの約1年間、Wing社はバージニア州クリスチャンズバーグでドローン配送の実験を行った。本実験は住宅の上を飛行するもので、日本のレベル4に相当し、米国の典型的な閑静な住宅街飛行である。Wing社とバージニア工科大学のミッドアトランティック・アビエーション・パートナーシップ（MAAP）が共同で実験を実施した。MAAPはドローン飛行開始に先立ち、地域の関係者や一般市民に対して、利便性とリスクを事前に理解してもらうため、数ヶ月間のアウトリーチ活動を行った。

その後、2020年秋に住民向け調査を実施し、821人（約14,000世帯に依頼）から回答を得た。ドローン配送のアイデアを好むかの質問では、回答率が最も高かったのは、「とても好き」（53%）で、次いで「そこそこ好き」（26%）、「少し好き」（8%）の順となった。否定的な意見はわずか7%だった。つまり、回答者の87%が肯定的な感情を持っていた。また、回答者の89%がすでにサービスを利用したことがある、またはサービスがあれば利用する可能性があると回答した。ドローン配送の利点についての回答では、主にスピードと利便性に集中していた。マイナス面については、「騒

音」が最も多く挙げられ、他にプライバシーやサービスの制限（配達範囲半径、荷物の重さ、商品、天候などの制限）が挙げられた。

調査の問題点として、クリスチャンズバーグは、強力な工学プログラムを持つ大規模な大学であるバージニア工科大学に近接していることが挙げられる。調査では、回答者の約62%が学士号以上の学位を持つが、これは米国の一般人口の約33%と対照的である。同大学に何らかの形で関係している人も少なくない。

それでも、回答者の大多数がドローン配送に好意的な印象や高い利用意向を持ち、調査の問題点を踏まえてもドローン配送の可能性が示唆される。

3. 中国・米国の取組と世界動向

中国では「低空経済」と言われるようにドローン配送が急拡大している。これは高度1,000m以下の低空域で展開される経済活動であり、ドローン配送、電動垂直離着陸機（eVTOL）など空飛ぶタクシーが関連する。中国の低空経済規模は2023年に10兆円で、26年には20兆円規模に達するとされる。課題として、ドローン離着陸ポートの拡大と都市の安全性の相反、16歳～24歳の失業率17%の中でドローン拡大による失業者増加の懸念が指摘されている。

米国ではWing社がドローン配送を強力に推進している。テキサス州では同社のドローン50～100機が同時に離着陸を繰り返している。約100機を4～5人で監視等を行う。配送先ではドローンは高度10mまで降り、ケーブルで荷物を吊す。荷物が着地するとフックが外れる仕組みである。ドローン物流の騒音の一つの解決法はドローンが着陸しないことである。また、ドローンは運航上の必要性からカメラを搭載している。米国ではプライバシーの問題からドローンは高度70m程度で飛び、10m以下では飛ばない。

Wing社の機体はペイロード1.2kg、機体重量2kg、固定翼、最高時速100kmである（図5）。一方、日本のマルチコプター型の機体重量は8kg程度であり、最高時速は50km程度が限界である。機体が重くなると騒音が大きくなり、機体の墜落時の危険性も高まる。

米国ロサンゼルスでは大渋滞を解消するためのドローン物流の活用も議論されている。米国はコストパフォーマンスなどの観点で大都市からドローン配送を始める。ただし、そのためには墜落の可能性を限りなく小さくし、軽量のドローンを作り、高頻度で飛ばし実績を積むことが必要である。日本もこのような発想の転換が必要ではないか。

参考：都市型輸送に対応するVTOL機の飛行性能

機体（メーカー）	動力源	最大ペイロード	飛行範囲
BELL APT70 (Bell Textron)	ハイブリッド	45kg	56km
Chaparral (ELROY AIR)	ハイブリッド	135～250kg	500km
VOLY 20 (VOLANSI)	ハイブリッド	13.5kg	563.3km以上
Aero2 (Dufour Aerospace)	ハイブリッド	20～40kg	400km
Nuuva V300 (PIPISTREL)	ハイブリッド	460kg	300km
Wing (Wing)	電動	1.2kg	20km
Manta Ray (Phoenix-wings)	電動	7～10kg	80～120km
Wingcopter 198 (Wingcopter)	電動	5kg	75～110km
Avy Aera (Avy)	電動	3kg	80～100km
DeltaQuad Pro (Vertical Technologies)	電動	1.2kg	120km
Fixer 007 (FIXAR Global)	電動	2kg	60km

図5 都市型輸送に対応するVTOL機の飛行性能（野波名誉教授の資料）

■ディスカッション

運輸総合研究所の屋井所長をモデレーターとして、ディスカッションと参加者からの質問への回答が行われた。

（野波名誉教授）

4～5日間のドローン配送実験に関する調査の統計的な観点からの信頼性について、どのように分析しているか。

（安部客員研究員）

対象者を、各地域の居住者であり世帯内で主に食料・日用品の買い物を行う方として、地域を代表する値を得るように調査を行った。また、まだ存在しないサービスについて尋ねる調査であるため、仮想的なバイアスへの対策（調査内でのサービスに関する情報提供や選択実験の実施など）を行った。

（屋井所長）

同種の調査でバイアスを減らす努力については長い議論の歴史があるものの、当然完全ではない。また、選択実験では決めた属性を与えて選択させるので、それ以外の選択要因を明示的に考慮できないが、属性間の代替関係などを理解する上で有用である。

（野波名誉教授）

分析1において、ドローン配送を利用したい方の割合は、一次離島の久米島が二次離島の加計呂麻島より高い。これは予想に反しているが、どのような理由と考えられるか。

（安部客員研究員）

買い物行動の違いは先述のとおりだが、加計呂麻島の従来からの住民の買い物行動は、一次離島やその他地域とは異なる生活様式として確立している印象を受けた。一方、久米島の住民の買い物行動は全般的に他地域でもよく見られる形態であり、より行動変化が起きやすいのではないかと。

（野波名誉教授）

機体の安全性やトラブルへの対応に関して、両島の調査結果では過半数が不満となっている。これはドローンへの不満というより、利用した機体に問題があったということではないか。

（安部客員研究員）

今回の研究では機体の違いによる住民意識の違いは検証できていない。ただ、これら項目への評価は、日本では（他の類似調査でも）一般的に懸念されやすいと認識している。

（屋井所長）

新しいモビリティ等の受け入れの問題において、受容性には、法律や制度に関わる社会的な受容性、コミュニティや地域の受容性、利用意向や市場面での受容性があるが、今回の研究は特に後者2つを対象にしたと言える。短い期間の実証実験では安全面での地域住民の理解度を高めることは当然難しい。

（野波名誉教授）

注文可能な重量に関して、両島とも不満度が高い。離島では多くの物資を効率よくドローンで配送してほしいという期待があるため、軽量物しか配送できないドローンへの反発があるのではないかと。

（安部客員研究員）

個別インタビューでも、特に二次離島でより大きな重量の荷物を希望する声が多く聞かれた。全般的に、2kgのペイロードであればそれに適した使い方をするが、5kgや10kgの買い物には対応できず、注文可能な重量が大きいに越したことはないという反応と解釈している。



(野波名誉教授)

受取場所への不満度も高いが、受取場所が自宅から徒歩3分、5分の距離となると、ドローン配送の価値が大幅に軽減する。どうしても家のすぐ近くに配送できないのか。

(安部客員研究員)

日本では近隣の公民館や事業所の敷地、空き地などをポートとして設定する事例がよく見られるが、技術的に可能であれば自宅付近での受取が望ましいと思われる。

(屋井所長)

ドローン配送での荷物の受取については、自動配送ロボットの活用も検討されていると聞く。

(野波名誉教授)

日本の住宅事情を考えると、ドローンのみでの個人宅への配送には限界があり、自動配送ロボットの活用も含め、多様な配送方法が考えられる。千葉市のドローン特区では長年実証実験が行われているが、地域内にマンションが多く、ドローンのみでは個人宅までの配送が困難である。大都市ではドローンポートは必須と言えるが、それ以外の地域では個人宅への配送が望ましい。日本の離島では各戸に十分な敷地があるのではないかと。利用者が自宅の庭かポートへの配送かを選択できれば、この問題は解決するのではないかと。

【参加者からの質問】

Q1:

米国や中国ではドローン配送が多数実施されているが、インシデント等の事例をまとめた情報はありますか。

A (野波名誉教授):

公開情報は少ないものの、現状では飛行回数に比べてインシデントの数は少ないと考えられる。例として、ドローンポートに着陸時に画像認識の誤りによる自損事故があった。現在はセンサーなども組み合わせてこの問題を解決している。また、米国では1機に1個パラシュートを付ける必要があり、墜落しても人に当たる確率は限りなく小さい。

Q2:

普段の外出の困難さは利用意向に影響を与えていたか。

A (安部客員研究員):

加計呂麻島では外出に困難さを持つ回答者は11%いたが、利用意向との関係は見いだせなかった。久米島では同様の回答者は4%であり、利用意向と正の関係は見られたが、統計的に有意な関係までは確認できなかった。今後、サンプルサイズを増やすことで、より幅広い分析が可能になると考えられる。

Q3:

大型ドローンに複数利用者の荷物を積む事業を検討している。ポートを多数設置するわけにもいかず、地元の有志がポートから各世帯に荷物を届ける方法や、自動配送ロボットへの積み替えも検討している。小型ドローンで1利用者の荷物を配送する形態と比較してどちらの方向性が良いか。

A (安部客員研究員):

今回の研究では扱えなかった形態であり、今後の課題としたい。

Q4:

ドローンの飛行性能について動力源がハイブリッドだとCO₂排出の点で懸念がないか。また、電動だと飛行時間の点で懸念がないか。

A (野波名誉教授)

ハイブリッドのドローンは内燃機関で発電しモーターで動き、長距離のターミナル間輸送などで利用される。燃料電池を用いて発電しCO₂を排出しない形に進歩している。電動のドローンは、飛行時間が改善され、現在では約1時間の飛行が可能である。

Q5:

買い物難民対策の既存のシステムと比較したときのドローン配送の利点は何か。

A (安部客員研究員):

オンデマンド性や今まで買えなかった商品が購入できる点などがある。現状ではコスト面での優位性は高くないと思われるが、人手不足の問題などを見据えて実施していく観点もある。

Q6:

需要やスケールメリットが大きい都市部でないといと実現が難しいのか。

A (野波名誉教授):

米国や中国では、都市部での実施とともに、厳しい規制（機体重量2.5kg以下など）のもとでドローン配送が行われている。日本では、ウーブン・シティのような実験都市を設け、そこでは規制を緩和するのはどうか。台湾の事例では、ドローンのメーカーやサプライヤーを集めてドローンの街をつくっている。日本では現状を開拓するためには、思い切った取組が必要だと考えられる。

(屋井所長の総括)

野波名誉教授からドローン物流が他国と比べて遅れている点を指摘いただいた。公共交通を含む運輸の各分野における新技術の導入には、多くの可能性と地域課題解決への期待があるが、どの分野も抜本的に進まない。それらとドローン物流との共通点が理解できた。

新技術を地域が受け入れる環境をつくるといったソフト面の技術でも日本は遅れている。技術が完全でなくても、早い段階で地域を巻き込み理解してもらう環境づくり、事業者のみでなく地域全体として進める体制づくりが重要だと改めて感じた。

本開催概要は主催者の責任でまとめています。



当日の講演資料等は運輸総合研究所のWEBページでご覧いただけます。
<https://www.jttri.or.jp/events/2024/collo241107.html>

