

環境省委託業務報告書

平成 30 年度 CO₂ 排出量削減に資する過疎地域等における
無人航空機を使用した配送実用化推進調査委託業務

報告書

2019 年 3 月

 株式会社三菱総合研究所

科学・安全事業本部
環境・エネルギー事業本部

目次

1. 目的と概要	1
1.1 調査の目的	1
1.2 調査の概要	1
1.3 検証地域の概要	2
2. CO₂排出量削減効果のある過疎地域等におけるドローン物流モデルの検討	4
2.1 ドローン物流の動向調査.....	4
2.1.1 国内外の先進事例の調査	4
2.1.2 国内の規制・安全対策の調査	32
2.1.3 CO ₂ 排出量削減効果に関する先行研究.....	43
2.2 ドローン物流の実用化に求められる要件調査.....	47
2.2.1 ドローン物流モデルの考え方	47
2.2.2 ドローン物流モデルの構成要素における要件の整理.....	48
2.3 過疎地域等における CO ₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検討	50
2.3.1 CO ₂ 排出量削減効果算定モデル	50
3. 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検証	54
3.1 過疎地域等における CO ₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検討	54
3.1.1 福島県南相馬市.....	54
3.1.2 埼玉県秩父市.....	56
3.1.3 長野県白馬村.....	61
3.1.4 岡山県和気町.....	64
3.1.5 福岡県福岡市.....	68
3.2 各実証地域におけるドローン物流モデルの検証	71
3.2.1 検証実験の実施.....	71
3.2.2 CO ₂ 排出量削減効果の算定.....	95
4. ドローン物流モデルの検証結果の取りまとめ	129
4.1 ドローン物流モデルの取りまとめと課題整理.....	129
4.1.1 各地域の事業概要整理	129
4.1.2 ドローン物流モデルの取りまとめ	130
4.1.3 課題整理.....	134
4.2 CO ₂ 排出量削減効果の取りまとめと課題整理	136
4.2.1 CO ₂ 排出量削減効果及び費用対効果の取りまとめ.....	136

目次

図 2-1	調査対象とした国内事例	4
図 2-2	調査対象とした国外事例	5
図 2-3	飛行ルート（大分県佐伯市）	6
図 2-4	使用機体の外観（大分県佐伯市）	7
図 2-5	実証実験の様子	8
図 2-6	使用機体の外観	9
図 2-7	飛行ルートと実験シナリオ概要	11
図 2-8	使用機体の外観	11
図 2-9	実証実験の様子	12
図 2-10	飛行ルート	13
図 2-11	飛行経路（福岡県北九州市）	15
図 2-12	使用機体の外観	16
図 2-13	物資運搬コンテナの自動切り離し	17
図 2-14	実験シナリオ概要（宮城県仙台市）	19
図 2-15	使用機体の外観	19
図 2-16	実証実験の様子	21
図 2-17	HorseFly のイメージ	21
図 2-18	独自開発した機体	22
図 2-19	公開実験時のイメージ	25
図 2-20	Matternet M2 のイメージ	25
図 2-21	Parcelcopter 2.0 の外観	27
図 2-22	Parcelcopter 3.0 の外観	27
図 2-23	配送時のイメージ	28
図 2-24	Mernet M2 のイメージ	29
図 2-25	固定翼ドローン Zips と発射設備のイメージ	30
図 2-26	荷物の投下イメージ	31
図 2-27	無人航空機の目視外飛行に関する要件（概要）	35
図 2-28	事例 1 シミュレーション結果 ¹	44
図 2-29	事例 2 1 荷物を同距離で運ぶ場合のライフサイクル全体の温室効果ガス排出量 ²	46
図 2-30	ドローン物流モデル構成要素間の関係	48
図 3-1	秩父市の人口の推移と将来予測	58
図 3-2	秩父市内における限界集落	58
図 3-3	秩父市の主な限界集落における代表地点の標高	59
図 3-4	秩父市におけるドローン物流イメージ	60
図 3-5	佐伯エリアの様子	66
図 3-6	買い物サポートさえき	67
図 3-7	市営渡船「きんいん」の外観	70
図 3-8	個人渡船「若狭丸」の外観	70

図 3-9	検証実験のイメージ（郵便事業配送効率化協議会）	72
図 3-10	飛行経路（郵便事業配送効率化協議会）	72
図 3-11	ACSL-PF1 の外観	73
図 3-12	貨物搭載用のボックス（郵便事業配送効率化協議会）	73
図 3-13	離陸前（小高郵便局）	74
図 3-14	着陸前（浪江郵便局）	74
図 3-15	飛行経路（秩父市ドローン配送協議会）	76
図 3-16	天空 2 の外観	76
図 3-17	飛行経路（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）	79
図 3-18	黒菱林道終点：ドローンポート A	79
図 3-19	中継点 B	79
図 3-20	八方池山荘：ドローンポート C	79
図 3-21	神旗 GF1-01 の外観	80
図 3-22	神旗 GF1-00 の外観	80
図 3-23	輸送物品の例（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）	81
図 3-24	商品の注文からドローンによる配送の流れ	84
図 3-25	飛行経路（和気町ドローン物流検証実験協議会）	85
図 3-26	津瀬地区における着陸地点	85
図 3-27	AeroRange の外観	86
図 3-28	AeroRange2 の外観	86
図 3-29	配送対象商品の例（和気町ドローン物流検証実験協議会）	87
図 3-30	飛行経路（福岡市ドローン物流協議会）	90
図 3-31	AS-MC03T の外観	91
図 3-32	往路貨物	91
図 3-33	復路貨物	91
図 3-34	貨物搭載用のボックス（福岡市ドローン配送協議会）	92
図 3-35	検証実験の様子（福岡市ドローン物流協議会）	93
図 3-36	CO ₂ 排出量削減効果算定の基本方針	95
図 3-37	白馬村において検証実験で使用了ドローンの バッテリー電圧とバッテリー使用率の関係（実験により算出）	96

表目次

表 1-1	検証地域	3
表 2-1	事例概要（大分県佐伯市）	6
表 2-2	事例概要（静岡県藤枝市）	8
表 2-3	事例概要（長野県伊那市）	10
表 2-4	事例概要（沖縄県石垣市）	12
表 2-5	事例概要（群馬県渋川市）	13
表 2-6	事例概要（徳島県那賀町）	14
表 2-7	事例概要（福岡県北九州市）	15
表 2-8	事例概要（茨城県龍ケ崎市）	17
表 2-9	事例概要（静岡県浜松市）	18
表 2-10	事例概要（宮城県仙台市）	18
表 2-11	事例概要（UPS）	20
表 2-12	事例概要（JD.com）	22
表 2-13	事例概要（Mercedes Benz）	24
表 2-14	事例概要（DHL）	26
表 2-15	事例概要（Swiss Post, Matternet, Ticino EOC hospital group）	28
表 2-16	事例概要（Zipline）	30
表 2-17	ドローンに関する地方自治体における条例	36
表 2-18	無人航空機での使用が想定される主な無線通信システム	37
表 2-19	道路占用許可申請と道路使用許可申請	38
表 2-20	騒音に係る環境基準	39
表 2-21	特定工場に係る騒音基準（福島県南相馬市）	39
表 2-22	特性施設や指定施設を設置、又は指定騒音作業を実施する工場・事業場への規制基準（埼玉県秩父市）	40
表 2-23	特定建設作業の区域区分（埼玉県秩父市）	40
表 2-24	特定建設作業の規制基準（埼玉県秩父市）	41
表 2-25	拡声器の使用に関する規制基準（埼玉県）	41
表 2-26	和気町における騒音規制に係る工場・事業場の規制基準（岡山県和気町）	42
表 2-27	和気町における騒音規制に係る自動車騒音の規制基準（岡山県和気町）	42
表 2-28	特定工場等における騒音の規制基準（福岡県福岡市）	42
表 2-29	ドローン物流モデル：事業に関わる要件整理項目	49
表 2-30	荷主としてのエネルギーの利用における CO ₂ 排出量算定手法	51
表 3-1	郵便事業配送効率化協議会の構成と役割	54
表 3-2	ドローン物流モデル概要（郵便事業配送効率化協議会）	56
表 3-3	秩父市ドローン配送協議会の構成と役割	56
表 3-4	ドローン物流モデル概要（秩父市ドローン配送協議会）	60
表 3-5	白馬村山岳ドローン物流実用化協議会の構成と役割	61
表 3-6	ドローン物流モデル概要（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）	64
表 3-7	和気町ドローン物流検証実験協議会の構成と役割	65

表 3-8	買い物サポートさえきの概要	66
表 3-9	ドローン物流モデル概要（和気町ドローン物流検証実験協議会）	68
表 3-10	福岡市ドローン物流協議会の構成と役割	69
表 3-11	ドローン物流モデル概要（福岡市ドローン物流協議会）	71
表 3-12	ACSL-PF1 の仕様	73
表 3-13	天空 2 の仕様	76
表 3-14	検証実施日と積載物（秩父市ドローン配送協議会）	77
表 3-15	神旗 GF1-01 の仕様	80
表 3-16	神旗 GF1-00 の仕様	80
表 3-17	検証実施日と積載物（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）	82
表 3-18	AeroRange の仕様	86
表 3-19	AeroRange2 の仕様	86
表 3-20	検証実験結果の概要（和気町ドローン物流検証実験協議会）	87
表 3-21	検証実施日と飛行回数（和気町ドローン物流検証実験協議会）	88
表 3-22	実際の配送商品（和気町ドローン物流検証実験協議会）	88
表 3-23	課題と今後の対策	89
表 3-24	AS-MC03T の仕様	91
表 3-25	費目一覧（イニシャル／ランニングコスト）	98
表 3-26	ドローン検証実験における CO ₂ 排出量（福島県南相馬市）	99
表 3-27	ドローン物流における年間 CO ₂ 排出量（福島県南相馬市）	99
表 3-28	既存物流における年間 CO ₂ 排出量（福島県南相馬市）	100
表 3-29	ドローン物流におけるコスト（福島県南相馬市）	101
表 3-30	既存物流網におけるコスト（福岡県南相馬市）	101
表 3-31	ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（福島県南相馬市）	102
表 3-32	ドローン検証実験における CO ₂ 排出量（埼玉県秩父市）	104
表 3-33	ドローン検証実験における年間 CO ₂ 排出量（埼玉県秩父市）※参考値	105
表 3-34	既存物流における CO ₂ 排出量（埼玉県秩父市）	106
表 3-35	既存物流における年間 CO ₂ 排出量（埼玉県秩父市）※参考値	106
表 3-36	ドローン物流におけるコスト（埼玉県秩父市）	107
表 3-37	既存物流網におけるコスト（埼玉県秩父市）	107
表 3-38	ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（埼玉県秩父市）	108
表 3-39	ドローン検証実験における CO ₂ 排出量（長野県白馬村）	110
表 3-40	ディーゼル発電機の排出係数（長野県白馬村）	111
表 3-41	ドローン物流における年間 CO ₂ 排出量（長野県白馬村）	111
表 3-42	既存物流における CO ₂ 原単位（長野県白馬村）	112
表 3-43	既存物流における 1 往復あたりみなし飛行時間（長野県白馬村）	112
表 3-44	既存物流における年間 CO ₂ 排出量（長野県白馬村）	113
表 3-45	ドローン物流におけるコスト（長野県白馬村）	114
表 3-46	既存物流網におけるコスト（長野県白馬村）	114
表 3-47	ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（長野県白馬村）	115
表 3-48	ドローン検証実験における CO ₂ 排出量（岡山県和気町）	118
表 3-49	既存物流における CO ₂ 排出量（岡山県和気町）	120

表 3-50	ドローン物流におけるコスト（岡山県和気町）	120
表 3-51	既存物流網におけるコスト（岡山県和気町）	120
表 3-52	ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（岡山県和気町）	121
表 3-53	ドローン検証実験における CO ₂ 排出量（福岡県福岡市）	123
表 3-54	ドローンにおける年間 CO ₂ 排出量（福岡県福岡市）	123
表 3-55	ドローン並走船における年間 CO ₂ 排出量（福岡県福岡市）	124
表 3-56	既存物流における CO ₂ 原単位（福岡県福岡市）	125
表 3-57	既存物流における年間 CO ₂ 排出量（福岡県福岡市）	125
表 3-58	ドローン物流におけるコスト（福岡県福岡市）	126
表 3-59	既存物流網におけるコスト（福岡県福岡市）	126
表 3-60	ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（福岡県福岡市）	127
表 4-1	各地域の事業概要一覧	129
表 4-2	ドローン物流モデル：事業戦略	130
表 4-3	ドローン物流モデル：事業内容	131
表 4-4	ドローン物流モデル：事業継続に係るリスクと対策	132
表 4-5	社会的な提供価値	134
表 4-6	各実証地域における CO ₂ 排出量の算定結果及び CO ₂ 排出量削減効果	136
表 4-7	各実証地域における年間コストの算定結果	139
表 4-8	各実証地域における費用対効果の算定結果	140

単位・略称の一覧

本報告書では、以下の通り単位、及び略称の統一を図る。

略称

本報告書での表記	正式名称・意味など
温対法	地球温暖化対策の推進に関する法律（平成 10 年法律第 117 号）
温対法 SHK	温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度
省エネ法	エネルギーの使用の合理化等に関する法律（昭和 54 年法律第 49 号）
CO ₂	二酸化炭素

1. 目的と概要

1.1 調査の目的

無人航空機（いわゆるドローン等）による荷物配送は、小口輸送において積載率の低いトラック輸送に代わる輸送手段として期待されている。特に、過疎地域等では、少子高齢化や人口減少に伴い、地域内荷量が減少し、積載率の低いトラックによる非効率的な輸送が行われている。

また、未来投資戦略 2018 では「小型無人機について、本年度からの山間部等での荷物配送等の本格展開」と記載されており、平成 30 年度に航空法に基づく許可・承認の審査要領の改訂が実施された。また、「無人航空機の目視外及び第三者上空等での飛行に関する検討会」において目視外飛行の要件化等、無人航空機を使用した荷物配送（以下、「ドローン物流」）の実現に向けた環境整備が継続して行われている。

このため、本事業では、過疎地域等において CO₂ 排出量を削減する効率的なドローン物流の実用化を目的に、別途公募・選定した地域においてドローン物流モデルの検討・検証を実施し、過疎地域等におけるドローン物流モデルの構築を行う。

1.2 調査の概要

(1) CO₂ 排出量削減効果のある過疎地域等におけるドローン物流モデルの検討

1) ドローン物流の動向調査

国内外におけるドローン物流に係る動向調査を実施した。具体的には、以下の事項について調査・整理を実施した。

- 国内外の先行事例（実証実験等を含む）における対象地域の特性と飛行経路、使用機体、配送する荷物 等
- 国内のドローン物流に係る規制や要求される安全対策 等

特に、過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検証に資するため、国内における関連規則の最新の検討状況を把握し整理した。

2) ドローン物流の実用化に求められる要件調査

過疎地域等において、効率的なドローン物流の実用化のために求められる要件について整理を行った。具体的には、以下の事項について整理を行った。

- ドローン物流の運用に関する要件
- ドローン物流の導入地域等に関する要件 等

3) 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検討

ドローン物流による CO₂ 排出量削減の効果について文献等により調査・分析を行うとともに、1)、2)の調査結果も踏まえて、過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果及び費用対

効果のあるドローン物流の基本モデルの検討を行った。

(2) 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検証

1) 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検討

(1) で検討したドローン物流の基本モデルを踏まえ、実証地域（全国 5 地域）ごとのドローン物流モデルの検討を行った。検討に当たっては、実証地域ごとに物流事業者、地方自治体等から構成される協議会を開催して議論し、その結果を取りまとめた。

2) 各実証地域におけるドローン物流モデルの検証

1)で検討した実証地域ごとのドローン物流モデルについて検証を行った。具体的には、各実証地域において、協議会を主体とするドローン物流の検証実験により必要なデータ等を取得し、CO₂ 排出量削減効果及び費用対効果を評価するとともに、ドローン物流の課題等を整理した。

加えて、協議会等を通じ、検証実験の円滑かつ安全な実施のために、(1) で整理した国内規制等を踏まえ、飛行許可の取得等に必要な助言等を適宜行った。

また、検証実験や協議会等を行うために必要な経費の支払いを実施した。

(3) ドローン物流モデルの検証結果の取りまとめ

各実証地域の協議会において整理された検証結果について、横断的に課題整理・分析を行い、ドローン物流の実用化に求められる要件及び過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流の基本モデルの評価・改善を行った。

1.3 検証地域の概要

国土交通省は、山間部等の過疎地域等において積載率の低い非効率な輸送が行われている等といった物流の課題解決に向け、ドローン物流の CO₂ 排出量削減効果及び費用対効果等について検証するための検証実験地域の公募を行った。具体的には、2018 年 6 月 28 日から 7 月 31 日までの間に公募を行い、全国 14 地域から応募があり、表 1-1 に示す 5 地域が選定された。当該公募の応募主体は、過疎地域等において配送を実施している物流事業者等民間企業を代表事業者とし、当該地域の市町村（若しくは都道府県）及びその他検証実験の実施に関係する者から構成される協議会とされている。

本事業の実施に当たっては、選定された 5 地域の各協議会と連携し、協議会会合や検証実験を実施した。

表 1-1 検証地域

検証実験地域	協議会名	代表事業者名
福島県南相馬市	郵便事業配送効率化協議会	(株)自律制御システム研究所
埼玉県秩父市	秩父市ドローン配送協議会	楽天(株)
長野県白馬村	白馬村山岳ドローン物流実用化協議会	(株)白馬館
岡山県和気町	和気町ドローン物流検証実験協議会	(株)FutureDimensionDrone Institute
福岡県福岡市	福岡市ドローン物流協議会	ANA ホールディングス (株)

2. CO₂ 排出量削減効果のある過疎地域等におけるドローン物流モデルの検討

2.1 ドローン物流の動向調査

2.1.1 国内外の先進事例の調査

(1) 調査概要

本調査では、国内外におけるドローン物流の事例調査を行い、ドローン物流モデルの構築に当たって検討すべき要素を抽出した。

具体的には、ドローン物流の先進的な事例を抽出し、公開情報をもとに、実証日時・場所、実施体制、輸送物品、使用機体、飛行経路、配送シナリオ、将来展望等を調査した。その結果を踏まえ、ドローン物流モデルの構築に当たって検討すべき以下の事項について、配送の種類ごとに整理を行った。

- 戦略に関する事項
- オペレーションに関する事項
- 収益に関する事項
- 社会的価値に関する事項
- リスクと対策に関する事項

ドローン物流の先進事例については、地方の物流ニーズ及び地方の特性に合致していると考えられる事例を中心に抽出した。抽出した事例について、通常配送か緊急配送か、既存物流網の有無、宅配か拠点間配送か、の観点で分類した場合の位置付けを国内事例、国外事例それぞれ図 2-1、図 2-2 に示す。

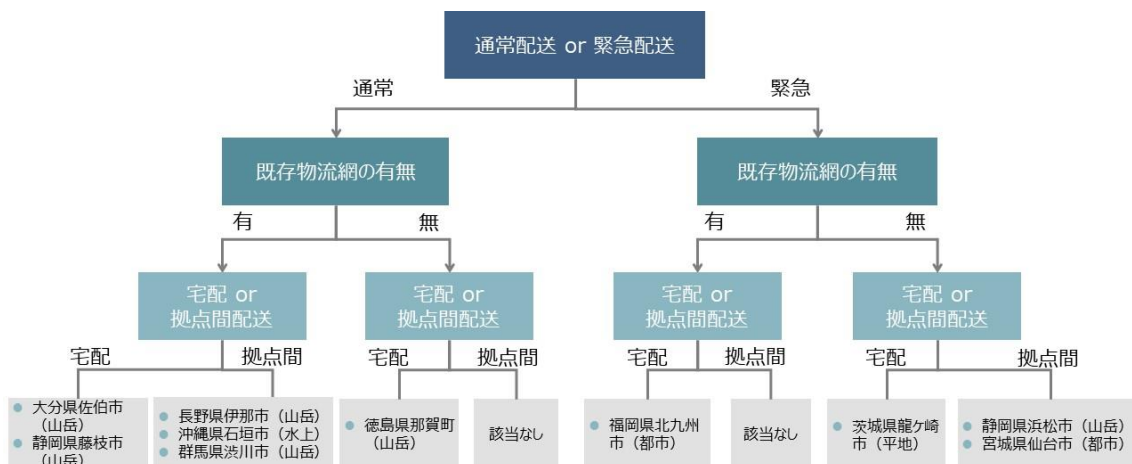


図 2-1 調査対象とした国内事例

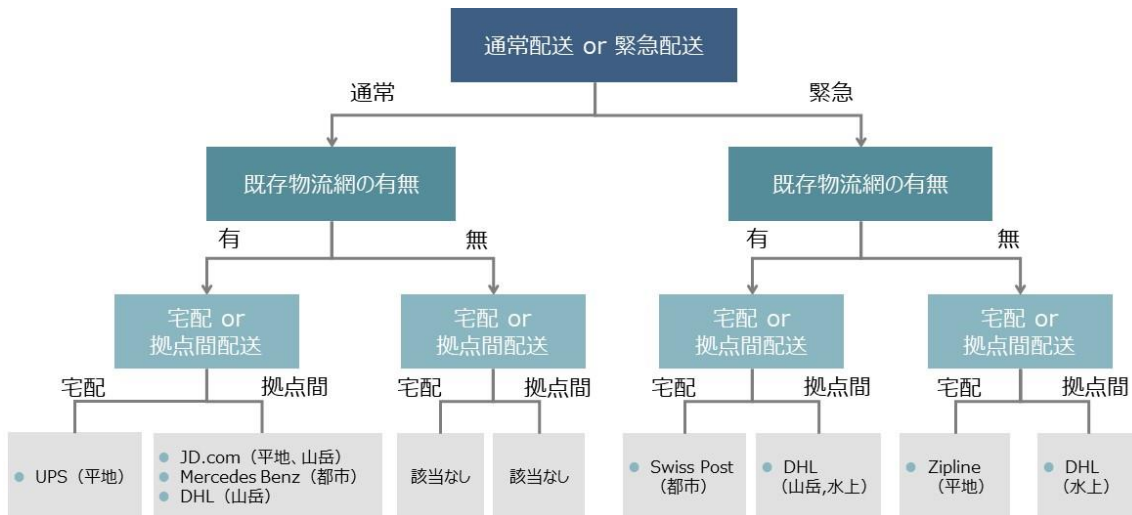


図 2-2 調査対象とした国外事例

(2) 国内事例

1) 大分県佐伯市

山間部に散在する民家への宅配サービスの高齢者利用を想定した実証実験を行った。佐伯市番匠商工会では、2002 年から高齢者の注文を受けた日用品を宅配するサービスを実施しており、その一手段としたいと考えている。

実用化に向けた課題としては、飛行距離の延伸、積載重量のアップ、安全性の確保等の検討が挙げられる。また、将来的には、県内の過疎地における交通手段のない「買い物弱者」問題解決への活用や、前述の佐伯市番匠商工会が実施する宅配事業の収益性改善手段を目指す。

当該事例の概要を表 2-1 に示す。また、飛行ルートと実験シナリオ概要を図 2-3 に、使用した機体については図 2-4 に示す。

ドローンの導入により、佐伯市番匠商工会が実施する宅配事業の配送時間短縮や無人化といった省力化、コスト削減が期待される。宅配事業は、スタッフ 2 名による軽トラック運搬が平日に実施されており、会員約 150 人が年間延べ約 1 万件利用している。現在は市からの補助金 300 万円に加え、同商工会が 20-30 万円を負担し運営している状況である。

表 2-1 事例概要（大分県佐伯市）

実験日時	2018年3月9日 14:30-15:15
場所	大分県佐伯市宇目
飛行経路・距離	戸高商店～民家～塩見公民館（2つの山を越える山間部）、約830m
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 戸高商店にて2つの荷物をドローンに積載、自動飛行プログラムにより離陸。 ■ 高さ約60mで飛行し、途中山を1つ越え、民家に着陸。荷物を1つ配達。 ■ 再び離陸後、1つの荷物を積載した状態で、山を1つ越え、塩見公民館へ飛行。 ■ 塩見公民館に着陸し、荷物を1つ配達。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：大分県、モバイルクリエイト（ciDrone） ■ 協力：佐伯市、佐伯市番匠商工会
輸送物品	<ul style="list-style-type: none"> ■ 戸高商店～民家：2個の荷物に分けられた食料品、飲料、日用雑貨等（約10kg） ■ 民家～公民館：1個の荷物にまとめられた食料品、飲料、日用雑貨等（約5kg）
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ✓ ciDroneによるBT0/CT0ドローン ✓ 寸法：たて約1.7m、よこ約1.7m、高さ約0.7m ✓ 機体重量：30-40kg ✓ 最大積載重量：10kg ✓ 最高速度：時速40km ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：20分

出所) 各種公開資料より MRI 作成



図 2-3 飛行ルート（大分県佐伯市）

出所) ドローン宅配実証実験 in 佐伯市宇目・大分県・2019年3月15日確認・
<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2018464.pdf>



図 2-4 使用機体の外観（大分県佐伯市）

出所) ドローン宅配実証実験 in 佐伯市宇目・大分県・2019年3月15日確認・

<https://www.pref.oita.jp/uploaded/attachment/2018464.pdf>

2) 静岡県藤枝市

スマートフォンアプリから注文された商品を、個人宅へドローンで配送するという個人宅への配送実験を行った。注文者と注文品を変え計2回実施した。

本実証実験を実施した楽天は、今後都市部でのドローン配送の実現を目指しながら、まずは離島や中山間地域等での活用を目指すとしている。また、藤枝市としては、中山間地域の買い物支援や災害時の緊急物資の配送でのドローン活用について、国の規制の動向を見極めながら市の対応を検討してきたいとしている。

当該事例の概要を表 2-2 に示す。また実証実験の様子を図 2-5、使用した機体の外観を図 2-6 に示す。

今後、安全面の対策としては、受け渡し地点までの飛行時はGPSに基づく飛行を行うが、着陸時には画像認識技術による位置補正の適用が挙げられる。また、飛行経路の選定として、人が飛行経路下に入りにくい河川上空を飛行することが挙げられる。

表 2-2 事例概要（静岡県藤枝市）

実験日時	2018年3月26日
場所	静岡県藤枝市瀬戸谷地区
飛行経路・距離	瀬戸谷温泉ゆらく～民家を往復（河川上空）、約1km
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 急な買い物が必要で困った場合等を想定し、注文者（子育て世帯、高齢者）がスマートフォンアプリにて商品を注文。 ■ 配送拠点に見立てた瀬戸谷温泉ゆらくから商品を積んだドローンが離陸。 ■ 約1km先の個人宅まで飛行。注文者は飛行状況をスマートフォンアプリから確認可能。 ■ 個人宅の所定の場所に商品を下ろす。 ■ 瀬戸谷温泉ゆらくへ飛行し帰還。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：藤枝市、楽天 ■ 協力：自立制御システム研究所
輸送物品	<ul style="list-style-type: none"> ■ 箱詰めされた文房具 ■ 調味料 ■ 弁当 等
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ 「天空」（ACSL-PF1 楽天仕様） <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法：全長1,280mm、全高425mm ✓ 機体重量：9.6kg ✓ 最大積載量：約2kg ✓ 最高速度：約72km/h ✓ 最大飛行距離：約10km ✓ 最大飛行時間：18分

出所）各種公開資料より MRI 作成



図 2-5 実証実験の様子

出所）無人航空機「ドローン」を活用した取組を進めています・藤枝市・2019年3月15日確認・
<https://www.city.fujieda.shizuoka.jp/soshiki/kikakuzaisei/renkeikoryu/gyomu/doron/1533011418602.html>



図 2-6 使用機体の外観

出所) Rakuten + Drone「そら」をあなたの近くに・楽天株式会社・2019年3月15日確認・
<https://drone.rakuten.co.jp/#product>

3) 長野県伊那市

国土交通省の研究開発事業の一環として行われた、物流用ドローンポートシステムの統合実証として、当該システムを使用し郵便局から道の駅の間の荷物等輸送を実施し、計6回荷物輸送に成功した。山間部における物流網確保を目的としており、道の駅で購入した商品を郵便局で受け取る買い物支援を想定した実証実験となっている。

本実証実験において機能検証を行った物流用ドローンポートは、高精度なドローンの自動離着陸支援、ドローンポート周囲のリアルタイム風速・風向予測、ドローンポートへの第三者侵入検知等の機能を有し、ドローンの安全な離着陸をサポートする。将来的には、ドローンポートシステムの汎用化を目指すとしている。

当該事例の概要を表 2-3 に示す。また、飛行ルートと実験シナリオ概要を図 2-7、使用した機体を図 2-8 に示す。

表 2-3 事例概要（長野県伊那市）

実験日時	2017年11月13日 10:00-12:30
場所	長野県伊那市長谷地区
飛行経路・距離	美和郵便局～道の駅アルプスむら長谷（美和湖上空）、約 2km
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 郵便局員が注文票を入れた箱をドローンに取り付け。 ■ 郵便局から離陸後、美和湖上空を飛行。 ■ 道の駅に着陸後、店員が注文の品を箱詰めしドローンに取り付け。 ■ 道の駅から郵便局に帰還したドローンから局員が箱を取り外し、品物を受領。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：国土交通省、ブルーイノベーション、東京大学 ■ 協力：伊那市、日本郵便、自律制御システム研究所、NTT ドコモ
輸送物品	<ul style="list-style-type: none"> ■ 往路：注文票を入れた箱（3辺合計が 60cm 以下） ■ 復路：箱詰めされた注文商品（約 1kg）
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ ACSL-PF1 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法：全長 1,173mm（プロペラ範囲）、全高 483mm ✓ 機体重量：6.7kg ✓ 最大積載量：3kg ✓ 最高速度：約 72km/h ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：50 分

出所）各種公開資料より MRI 作成



図 2-7 飛行ルートと実験シナリオ概要

出所) 物流用ドローンポートシステムの統合検証概要・国土交通省・2019年3月15日確認・
<http://www.mlit.go.jp/common/001209172.pdf>



図 2-8 使用機体の外観

出所) 物流用ドローンポートシステムの統合検証概要・国土交通省・2019年3月15日確認・
<http://www.mlit.go.jp/common/001209172.pdf>

4) 沖縄県石垣市

物資輸送及び広範囲な測量や点検を想定した離島間飛行実証実験を実施した。検証目的である垂直離着陸型の固定翼ドローン（VTOL）による長距離輸送を見据えた離島間の飛行に問題がないことを確認した。実証実験場所を提供した石垣市は、本実証実験の結果を踏まえ、今後ドローンを活用した物資運送、災害対策、観光体験プログラムの創出等の分野での実用化を目指すとしている。

当該事例の概要を表 2-4 に示す。また、実証実験の様子を図 2-9、飛行ルートを図 2-10 に示す。

表 2-4 事例概要（沖縄県石垣市）

実験日時	2017年11月13日10:00-12:30
場所	沖縄県石垣市、八重郡竹富町
飛行経路・距離	竹富島港湾～石垣島海岸（海上）、距離5167.8m、飛行時間210.6秒
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 竹富島の港湾で離陸 ■ 海上を飛行 ■ 石垣島の海岸付近の公園に着陸 ※ 本実証では荷物の配送は行っていない。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：エアロセンス ■ 協力：石垣市
輸送物品	なし
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ AS-DT01-E/AS-DT02-E（VTOL） ✓ 寸法：2165×1585×610mm（AS-DT01-E）、1450×1080×400mm（AS-DT02-E） ✓ 機体重量：8kg（AS-DT01-E）、4.5kg（AS-DT02-E） ✓ 最大積載量：1.5kg（AS-DT01-E）、500g（AS-DT02-E） ✓ 最高速度：約130km/h ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：60分（AS-DT01-E）、20分（AS-DT02-E）

出所）各種公開資料をもとにMRI作成



図 2-9 実証実験の様子

出所）自律型固定翼ドローン（VTOL）の離島間飛行実験が石垣島で成功・エアロセンス株式会社・2019年3月15日確認・<http://www.aerosense.co.jp/pressitems/2017/3/9/vtol>



図 2-10 飛行ルート

出所) 自律型固定翼ドローン (VTOL) の離島間飛行実験が石垣島で成功・エアロセンス株式会社・2019年3月15日確認・<http://www.aerosense.co.jp/pressitems/2017/3/9/vtol>

5) 群馬県渋川市

送電線の建設・保守等を行う企業である TLC は、送電線工事へのドローン活用として、群馬県渋川市において、山間部の現場への資機材運搬を想定した実証実験を行った。15kg 程度の重量の資機材を積載しながら、安定した飛行ができるどうかを検証し、突風が発生する中でも飛行の安全が保たれることを確認した。使用した機体はサイトテック製の YOROIS6 である。

使用機体 YOROIS6 は、長さ 1500mm の単管パイプを運搬することが可能であり、上述の渋川市の実験では6ロータタイプである。さらに、12ロータタイプの YOROI 12WD1600JW は、単管パイプを複数本 (重量 30kg) 搭載して安定飛行することが可能である。

当該事例の概要を表 2-5 に示す。また使用した機体を表 2-5 に示す。

表 2-5 事例概要 (群馬県渋川市)

実験日時	2016年11月30日
場所	群馬県渋川市
飛行経路・距離	歩道～送電線工事現場 (山間部)
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 工事現場作業員によるドローンへの単管パイプ積み込み。 ■ 歩道から離陸後、山間部を飛行。 ■ 送電線工事現場へ着陸後、工事現場作業員による単管パイプ荷卸し。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：TLC ■ 協力：サイトテック、ブイキューブロボティクス・ジャパン
輸送物品	<ul style="list-style-type: none"> ■ 長さ 1,500mm 単管パイプ 3 本 (約 15kg)
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ YOROI 6S1600JW <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法：120×120×100mm ✓ 機体重量：17kg ✓ 最大積載量：42kg ✓ 最高速度：約 65km/h ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：20分

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成



図 2-11 YOROI 標準モデルの外観

出所) YOROI・サイトテック株式会社・2019年3月15日確認・<http://www.saitotec.com/newdrone/yoroi/>

6) 徳島県那賀町

山間部における医療現場と患者間で、インターネット電話サービスを利用した遠隔診察を行い、診察後に調剤薬局より処方薬を届けるというケースを想定し、目視外飛行によるセルラードローン自動運航実証実験を行った。

今後の課題としては、サービス需要性の検証、飛行による薬品に与える影響、本人確認の方法・受け渡し完了確認の検証、ドローン操縦性や安全対策の検証、携帯電話ネットワーク有効性の検証が挙げられる。将来的には、医師法、薬剤師法等の法規制対応のため、遠隔医療の実効性の向上を目指す。

当該事例の概要を表 2-6 に示す。

表 2-6 事例概要 (徳島県那賀町)

実験日時	2017年9月29日 14:30-15:30
場所	徳島県那賀町
飛行経路・距離	町立日野谷診療所～民家前の田畑(河川、林道上空)、約1km
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 診療所の医師が遠方の患者に対してネット診療を行い、処方箋を発行。 ■ 調剤薬局にて処方薬を梱包、ドローンに積み込み離陸。 ■ 民家前の田畑に着陸。患者が処方薬を受け取る
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：那賀町、D-PLAN、NTT ドコモ四国支社 ■ 協力：日野谷調剤薬局、日野谷診療所、木頭森林組合
輸送物品	■ 箱詰めされた処方薬(疑似)
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ D-PLANによるBTOセルラードローン ✓ 携帯電話ネットワークはNTTドコモ四国支社が提供

出所) 各種公開資料をもとにMRI作成

7) 福岡県北九州市

地震発生からしばらく経過し、住民より佐川急便に物資(医薬品を除く)の搬送依頼があったことを想定し、ドローンによる空撮と日用品の搬送を行う実証実験を実施した。地上の第三者への安全性確保のため、貯水池上空を飛行経路としている。

本実証実験の目的は、へき地等における宅配サービス向上の可能性の検証である。北九州

市は、本実験を、ドローン開発のための実験場所のアピール材料としても位置付けている。

当該事例の概要を表 2-7 に示す。また、飛行経路を図 2-11 に、使用した機体を図 2-12 に示す。

表 2-7 事例概要（福岡県北九州市）

実験日時	2016年11月16日10:00-
場所	福岡県北九州市八幡西区
飛行経路・距離	畑堤防横駐車場～中畑橋駐車場（畑貯水池上空）、約2km
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 住民より佐川急便に物資の搬送を依頼。 ■ 佐川急便からエアロセンスに道路の状況確認を依頼。道路の通行不可を確認。 ■ ドローンが畑堤防横駐車場より離陸、中畑橋駐車場まで高度約70mで飛行。 ■ 住民代表が物資を受領。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：北九州市、佐川急便 ■ 協力：エアロセンス、サンキュードラッグ
輸送物品	<ul style="list-style-type: none"> ■ 消毒液等（約500g）
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ AS-MC02-P/AS-MC02-TP（輸送対応） ✓ 寸法：431×431×363mm（AS-MC02-P）、1450×1080×400mm（AS-MC02-TP） ✓ 機体重量：3300g ✓ 最大積載量：500g（AS-MC02-P）、3kg（AS-MC02-TP） ✓ 最高速度：- ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：20分（AS-MC02-P）、30分（AS-MC02-TP）

出所）各種公開資料をもとにMRI作成



図 2-11 飛行経路（福岡県北九州市）

出所）へき地におけるドローン宅配の可能性を探ります・佐川急便株式会社,エアロセンス株式会社,株式会社サンキュードラッグ,北九州産業経済局・2019年3月15日確認・

https://static1.squarespace.com/static/55a4ca22e4b031d979abee34/t/5821423e9de4bb306f4d4cef/1478574655176/20161108_%E5%8C%97%E4%B9%9D%E5%B7%9E%E5%B8%82_%E5%A0%B1%E9%81%93%E7%94%A8%E8%B3%87%E6%96%99.pdf



図 2-12 使用機体の外観

出所) へき地におけるドローン宅配の可能性を探ります・佐川急便株式会社,エアロセンス株式会社,株式会社サンキュードラッグ,北九州産業経済局・2019年3月15日確認・
https://static1.squarespace.com/static/55a4ca22e4b031d979abee34/t/5821423e9de4bb306f4d4cef/1478574655176/20161108_%E5%8C%97%E4%B9%9D%E5%B7%9E%E5%B8%82_%E5%A0%B1%E9%81%93%E7%94%A8%E8%B3%87%E6%96%99.pdf

8) 茨城県龍ヶ崎市

フジ・インバック株式会社は、無人航空機を利用した災害時物資輸送システムの実証実験を行った。実証実験の目的は、開発機体の基本性能の確認の他、物資輸送の実現に向けて、自動飛行に関する設定プログラムや物資搭載、自動切り離しに関する機能についての確認である。

使用した機体は固定翼機であり滑走路が必要であるが、パラシュート装着により短距離での離着陸を可能とし、災害時に道路が遮断される等孤立した地域に物資を輸送することを可能とする。「平成29年度いばらきロボット実証実験・実用化支援事業」としてこれまでに6回の実証実験を実施している。今後は物資重量50kg輸送可能な大型機体の開発及び遠隔地への自動飛行による物資輸送システムを開発し事業化を目指す。

当該事例の概要を表2-8に示す。実証実験で確認した物資運搬コンテナの自動切り離しの様子を図2-13に示す。

表 2-8 事例概要（茨城県龍ヶ崎市）

実験日時	2017年10月31日-2018年2月15日
場所	茨城県龍ヶ崎市龍ヶ崎飛行場
飛行経路・距離	情報なし
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 龍ヶ崎飛行場滑走路路上にて離陸後、飛行。 ■ 途中常時パラシュート開傘での飛行を実施。 ■ パラシュート開傘の状態でのドローンを飛行させたまま地面に近づき、配送品を切り離す。
実施体制	■ 主体：茨城県、フジ・インバック
輸送物品	■ 鉛板を入れた木製の荷物箱（最大20kg）
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ W-S 改型パラモータ UAV ✓ 寸法：2.3m×2.6m×0.9m ✓ 機体重量：21kg ✓ 最大積載量：20kg ✓ 最高速度：60km/h ✓ 最大飛行距離：100km ✓ 最高飛行時間：-

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成



図 2-13 物資運搬コンテナの自動切り離し

出所) 無人航空機を利用した災害時物資輸送システムの実証実験・フジ・インバック株式会社・2019年3月15日確認・http://www.pref.ibaraki.jp/kikaku/kagaku/kenkyu/robot/documents/07_fuji.pdf

9) 静岡県浜松市

災害時等に病院から中山間地域の過疎集落にドローンで医薬品を運搬することを想定した実証実験を行った。運搬先は病院から寸断されていることを想定した。

2017年5月、3者で浜松ドローン・AI利活用協定を締結し、これまでに3回の実証実験を実施している。地上の第三者の安全性を高めるため、河川を「ドローンの高速道路」として有効利用することを目指しており、災害時以外にも遠隔診療で処方された医薬品を届ける取組みや市街地での対応も今後検討していくとしている。

当該事例の概要を表 2-9 に示す。

表 2-9 事例概要（静岡県浜松市）

実験日時	2018年3月16日 13:00-15:40
場所	静岡県浜松市天竜区
飛行経路・距離	① 病院屋上～天竜川河川敷病院前（河川上空） ② 病院屋上～大千瀬川河川敷（河川上空）
配送シナリオ	① 病院屋上からの離発着後、病院前の河川敷上で物品の投下。 ② 病院屋上からの離発着後、大千瀬川河川敷上までの医薬品運搬。
実施体制	■ 主体：浜松医科大学、イームズラボ、浜松市
輸送物品	■ 医薬品等
使用機体	—

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成

10) 宮城県仙台市

大災害によって交通網が寸断状態となっているところに、医薬品を緊急搬送してほしいという要請を受けたことを想定して、ドローンで当該医薬品を搬送する実証実験を行った。本実験では、LTE回線を通じた遠隔制御による目視外飛行を実施した。受取人確認には、ドローン搭載カメラの画像を活用した。

当該事例の概要を表 2-10 に示す。また実験シナリオの概要を図 2-14、使用機体の外観を図 2-15 に示す。

表 2-10 事例概要（宮城県仙台市）

実験日時	2017年6月29日
場所	宮城県仙台市
飛行経路・距離	■ 宮城広瀬総合運動場～西仙台病院隣接の広瀬川河川敷、約 1km 弱
配送シナリオ	■ 依頼があった医薬品を事前にドローンに積み込み、車両で到達できる限界を宮城広瀬総合運動場と仮定して、そこまで医薬品を積載したドローンを車両で搬送。 ■ 到着次第ドローンを離陸させて目的地である広瀬川河川敷まで飛行。 ■ 医薬品を受け渡した後、離陸地点である総合運動場まで帰還。
実施体制	■ 主体：仙台市、ブイキューロボティクス・ジャパン ■ 協力：NTT ドコモ、宮城県医薬品卸組合
輸送物品	■ 医薬品
使用機体	—

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成

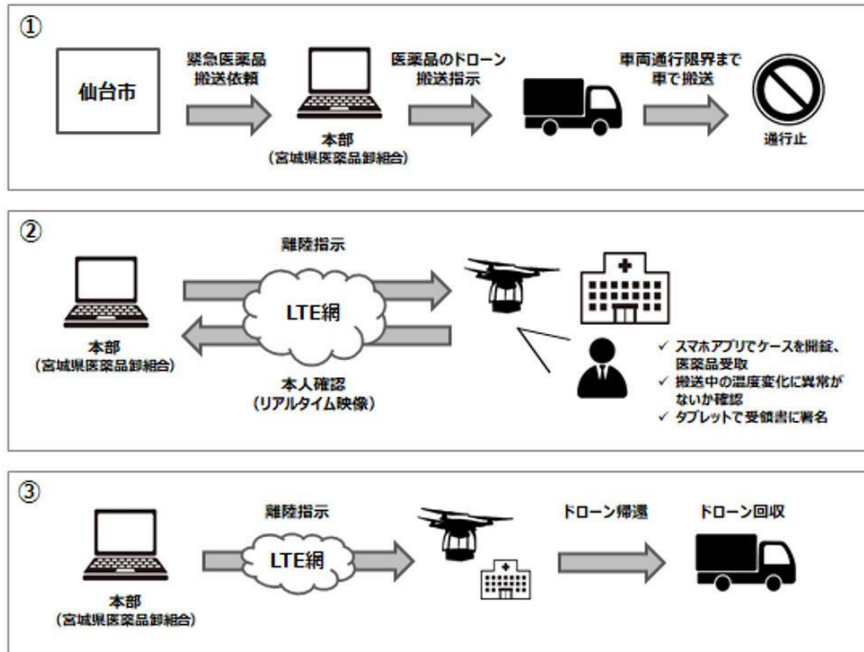


図 2-14 実験シナリオ概要（宮城県仙台市）

出所) ブイキューロボティクス、仙台市・NTT ドコモ・宮城県医薬品卸組合と共同で、「ドローンを活用した緊急医薬品搬送の実証実験」を実施・株式会社センシンロボティクス・2019年3月15日確認・<https://www.sensyn-robotics.com/news/ntt-1>



図 2-15 使用機体の外観

出所) ブイキューロボティクス、仙台市・NTT ドコモ・宮城県医薬品卸組合と共同で、「ドローンを活用した緊急医薬品搬送の実証実験」を実施・株式会社センシンロボティクス・2019年3月15日確認・<https://www.sensyn-robotics.com/news/ntt-1>

(3) 国外事例

1) UPS

フロリダ州タンパの郊外において、UPS は同社として初となるドローンとトラックを用いた住宅への配送テストを実施した。実験では、専用トラックの屋根からドローン（オクトコプタ）が飛行し、目的地の住宅まで直接荷物を配達した。その後、ドローンは離陸地点とは別の場所に移動したトラックまで無事に帰還した。

今後は、技術面における安全性の向上、ドローンと既存の労働者との役割分担の明確化（共存）を課題とし、将来的には、既存の配送モデルを上手く利用しつつ、同社が保有するあらゆる車両からドローンを飛行することを可能にし、将来的にラストワンマイルの配送を担わせることを目標にしている。

また、今回の実験では Workhorse Group がドローンの飛行ルートを設定したが、UPS が開発する独自システム UPS's On-Road Integrated Optimization and Navigation (ORION) により随時飛行ルートを設定できるような仕組みを目指している（活用の効果として、仮に UPS の全ドライバーが 1 日当たり 1 マイルの配送距離を短縮できたとすると、年間 5000 万ドルの経費削減になると試算している）。

当該事例の概要を表 2-11 に示す。また実証実験の様子を図 2-16 に、使用した機体を図 2-17 示す。

表 2-11 事例概要 (UPS)

実験日時	2017 年 2 月 20 日
場所	■ 米国、フロリダ州タンパ郊外のブルーベリー畑
飛行経路・距離	■ 具体的には発表されていない。（ブルーベリー畑周辺における専用トラック間の飛行）
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ UPS の専用トラックにより、目的地の住宅付近まで移動。 ■ トラックのコンテナ内から、屋根の上に固定されているドローンに荷物を固定。アプリ操作により目的地に向けて離陸。 ■ 目的地の住宅の敷地に着陸。荷受人が荷物を受領後、ドローンは離陸地点とは別の場所に移動した専用トラックまで自律飛行で帰還。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：UPS（米国/物流事業者） ■ 協力：Workhorse Group Inc.（米国/電気自動車、ドローンメーカー）
輸送物品	具体的には発表されていない。
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ HorseFly（カーボンファイバ製オクトコプタ） <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法：- ✓ 機体重量：22 ポンド（約 9.9kg） ✓ 最大積載量：10 ポンド（約 4.5kg） ✓ 最高速度：45 マイル（約 72km/h） ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：約 30 分 ✓ その他： <ul style="list-style-type: none"> ・ エネルギーコスト（電気代）は 1 マイル当たり約 0.03 ドル ・ 自動 GPS、コンパス、赤外線センサ、遠隔監視システム等を搭載（ガイダンスシステム） ✓ ドローン離着陸設備付き電気トラック

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成



図 2-16 実証実験の様子

出所) UPS Tests Residential Delivery Via Drone Launched From atop Package Car • United Parcel Service of America, Inc. • 2019年3月15日確認・

<https://pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=PressReleases&id=1487687>
844847-162



図 2-17 HorseFly のイメージ

出所) UPS Tests Residential Delivery Via Drone Launched From atop Package Car • United Parcel Service of America, Inc. • 2019年3月15日確認・

<https://pressroom.ups.com/pressroom/ContentDetailsViewer.page?ConceptType=PressReleases&id=1487687>
844847-162

2) JD.com

JD.com は 2015 年 10 月からドローン配送に関する取組みを開始し、2016 年 6 月から実証実験を開始した。これまでに数千回にもものぼる飛行テストに成功している。

飛行ルートは西安や宿遷等の農村部を中心に数十通り設定されており、一部では試験運用も開始されている。なお、個人宅への直接配送ではなく、農村地に設定した拠点に配送し、プロモータ（各町村における代表者、2017 年 5 月現在 30 万人存在）が各家庭に届ける仕組みを採用している。さらに 2018 年 6 月には、標高 5566m のエベレスト・ベースキャンプにおける飛行テストに成功している。








将来的には、地方の配送拠点から農村部や山岳地帯における拠点までの配送を、無人機（無人航空機、無人車両）にて代替し、配送期間の短縮、人的コストの削減及び配送スタッフの輸送リスク等の低減を目指している。その一環として、2017 年 12 月に中国南西部に 185 箇所のドローン専用空港を建設する計画を発表した。個人宅への直接配送ではなく、農村地に設定した拠点に配送し、プロモータ（各町村における代表者）が各家庭に届ける仕組みを採用するとしている。

当該事例の概要を表 2-12 に示す。また開発した機体を図 2-18 に示す。

表 2-12 事例概要 (JD.com)

実験日時	2016年6月から随時実施
場所	■ 主に江蘇省、陝西省、四川省、北京郊外等の農村部
飛行経路・距離	■ 具体的には発表されていない。(宅配センターから各町村の拠点への配送を模して実験を行っているものと推測。使用機体によって異なるが、航続距離が最大100kmのものも開発している。)
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ JD.com のネットショップにて注文を受けた商品が、顧客の最寄りの配送センターまで届けられる。(一度に複数個の商品がまとめて配送される。) ■ 配送センターのスタッフが商品をドローンに固定して離陸させる。(顧客の居住地に対して最適なドローン機種が選定される。) ■ ドローンは顧客の居住地の最寄りの拠点に着陸し、プロモータが商品を受け取る。ドローンは配送センターへ帰還する。 ■ プロモータが顧客に商品を手渡しして配送が完了する。
実施体制	■ 主体：JD.com (中国/e コマース事業者)
輸送物品	■ 箱詰めされた注文商品 (使用機体によって異なるが、最大30kg程度)

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成

	<p>Y1 13kg, 1770*1400mm*500mm Power: Battery Load weight: 5KG Reach: 7 km per charge Maximum speed: 54km/h Usage: 'Short-hop' delivery</p>		<p>VTOL(V1) 10kg, 1925*3200*690mm Power: Battery Load weight: 10KG Reach: 100 km per charge Maximum speed: 100km/h Usage: High-speed; long-distance delivery</p>
	<p>Y2 10kg, 1125*1215*600mm Power: Battery Load weight: 10KG Reach: 10 km per charge Maximum speed: 72km/h Usage: Automatic discharge; high-speed</p>		<p>VTOL(V2) 5kg, 2200*2000*750mm Power: Battery Load weight: 5-10KG Reach: 100 km per charge Maximum speed: 100km/h Usage: High-speed; long-endurance</p>
	<p>Y3 5kg-10kg, 1800*1800*600mm Power: Battery Load weight: 10KG Reach: 10 km per charge Maximum speed: 72km/h Usage: High-speed; long-endurance</p>		<p>CT-120 60kg, 1800*1800*1400mm Power: Gasoline Load weight: 30KG Reach: 30 km per charge Maximum speed: 54km/h Usage: Heavy-load; long-endurance</p>
	<p>H1 10kg, 2060*2060*700mm Power: Battery Load weight: 20KG Reach: 15-20 km per charge Maximum speed: 54km/h Usage: Automatic discharge, embedded cabin</p>		

※エベレストにおける実験では、V3 という最新型の VTOL が使用された。

図 2-18 独自開発した機体

出所) Drone Delivery Program Factsheet・JD.com

3) Mercedes Benz

Mercedes Benz, Matternet 及び siroop は、ドローンを活用した配送サービスの実験をスイスのチューリッヒ市内にて実施した。顧客が siroop のサービスで商品を注文し、ドローンが停車している Mercedes Benz のバンまで配送、最終的にはドライバーが顧客に手渡しし、実験は成功を収めた。今回の実験期間中に約 100 回のフライトが行われ、事故等のトラブルは 1 度も発生しなかったが、通行人等に対する更なる安全確保（今回の実験では、地上約 2m の高さのバンの屋根にドローンを着陸させることで、通行人等に対する安全を確保している）が今後の課題となる。

ネット通販商品をオンデマンドかつ迅速に配送するため、配達車両とドローンの効率的なシステム構築を目指しており、具体的な計画としては、今回のパイロット実験のように固定のランデブーポイント（停車したバン）を設けるのではなく、既存の車両による配送ルートに統合する形で、ドローン配送システムを社会実装していく。Mercedes Benz によると、一般的な宅配サービスと比較して、全体的な配送時間とコストが削減可能であると見込んでいる。

当該事例の概要を表 2-13 に示す。また公開実験時の様子を図 2-19、使用した機体を図 2-20 に示す。

表 2-13 事例概要 (Mercedes Benz)

実験日時	2017年9月25日から3週間程度
場所	<ul style="list-style-type: none"> ■ スイス、チューリッヒ市内 ■ Matternet M2 Drone はスイス連邦民間航空局 (Swiss Federal Office for Civil Aviation, FOCA) から物流用途による飛行の認可を受けており、24時間いつでもスイス都市部上空を自律飛行させることが可能。
飛行経路・距離	<ul style="list-style-type: none"> ■ 具体的には発表されていない (チューリッヒ市内の店舗から、同市内のバンへと自律飛行を行っているものと推測)
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 顧客が siroop のネットショップで商品を注文。 ■ 発送元店舗のスタッフが商品を箱詰めし、ドローンに固定。 ■ ドローンはあらかじめ設定された4箇所のランデブーポイント (停車したバン) のうちの1つまで自律飛行し、バンの屋根に着陸。 ■ ドライバー (運送会社のスタッフ) が商品を受け取り、顧客のもとまで配達。ドローンは自動で帰還する。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体: Mercedes Benz ■ 協力: <ul style="list-style-type: none"> ✓ Matternet (米国/物流ドローンシステム事業者) ✓ Siroop (スイス/e コマーススタートアップ、ドローン配送ビジネスの顧客)
輸送物品	<ul style="list-style-type: none"> ■ 重さ 2kg までのネット通販商品 (公開実験時はコーヒー豆)
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ Matternet M2 (2台) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法: <ul style="list-style-type: none"> ・ 80×80×26 cm (除プロペラ) ・ 128×128×26 cm (含プロペラ) ✓ 機体重量: 9.5kg (含バッテリー) ✓ 最大積載量: 最大 2kg (19×11×13 cm, 約 4L) ✓ 最大速度: - (巡航速度は約 36km) ✓ 最大飛行距離: 20km (ペイロード 1kg の時) ✓ 最大飛行時間: - ✓ その他: <ul style="list-style-type: none"> ・ FOCA よりスイス都市部上空の自律飛行が許可されている。(2017年3月) ・ SAA センサ (スイスの低高度空域を飛行するヘリ等と同じシステムと記載) やパラシュート等の安全システムを搭載。センサは二重化している。 ■ Mercedes-Benz Vito Vans (2台) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 屋根部分にドローンの自動着陸等を補助するシステムを搭載

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成



図 2-19 公開実験時のイメージ

出所) Vans & Drones in Zurich. ・ Mercedes Benz ・ 2019 年 3 月 15 日確認 ・ <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/transporter/vans-drones-in-zurich/>



図 2-20 Matternet M2 のイメージ

出所) Vans & Drones in Zurich. ・ Mercedes Benz ・ 2019 年 3 月 15 日確認 ・ <https://www.mercedes-benz.com/en/mercedes-benz/vehicles/transporter/vans-drones-in-zurich/>

4) DHL

DHL は、海上や山岳地帯において、ドローンを用いた配送実験を実施している。

2014 年 9 月、北海沖のユースト島への医療品の輸送を想定したドローンの配送実験を実施した。緊急時の飛行機やフェリーの定期便の代替手段としてドローンによる配送を提案している。なお、ユースト島の属する東フリース諸島は自然保護指定地域であり、自動車の乗り入れが禁止されている。

また、2016 年 1 月から 3 月には、ドイツ・バイエルン州の山岳地帯で配送ドローンの実地試験を行った。3 ヶ月間に及ぶテスト期間中、100 回を超える配送を成功させた。2016 年の飛行実験は、標高 1200m の鉾山地帯にあるライト・イム・ヴィンクル地域とアルムの 2 箇所に設置された SKYPORT 間で行われた。SKYPORT とは、同社が開発したドローン用の自動宅配ステーションで、荷物を挿入すると、配送システムが起動し、ドローンが離陸する。また、荷物を受け取るロッカーの役割も果たす。同実験では、離陸から 8 分以内でアルムの宅配ステーションに到着したと発表している（トラックの場合、30 分程度要する行程となる）。

DHL は、同社作成の報告書「ライフサイエンス&ヘルスケア業界の物流の未来」において、同分野におけるサプライチェーンとロジスティクスの高度化の重要性について言及し

ており、同分野におけるドローンの活用（具体的には、スポーツ用品や緊急に必要とされる医薬品の輸送）を目指して、引き続き実証を行っていくものと想定される。また、同報告書では、倉庫管理やオンデマンド製造に対応すべく、AR 技術や 3D プリンタ技術の研究開発も併せて推進するとしている。

当該事例の概要を表 2-14 に示す。また、使用した機体を図 2-21、図 2-22 に示す。

表 2-14 事例概要 (DHL)

実験日時	2014 年 9 月 (海上飛行)、2016 年 1 月～3 月 (山岳地帯)
場所	■ 北海沿岸ユースト島 (2014 年)、バイエルンの山岳地帯 (2016 年)
飛行経路・距離	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2014 年 <ul style="list-style-type: none"> ✓ Norddeich Hafen からユースト島に設けた配送拠点まで (北海上を飛行、時間は 15 分程度) ■ 2016 年 <ul style="list-style-type: none"> ✓ ライト・イム・ヴィンクル地域の SKYPORT (DHL ドローン専用の集配設備) から山岳部であるアルムの SKYPORT まで (飛行時間は 8 分程度、高低差約 500m)
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 2014 年 <ul style="list-style-type: none"> ✓ DHL のトラックにより Norddeich Hafen の拠点まで荷物 (医療品) を配送。 ✓ DHL のスタッフがドローンに荷物を固定。 ✓ その後、ドローンは離陸し、目的地のユースト島に設けた配送拠点まで海上を自律飛行。 ✓ 目的地の配送拠点に着陸後、DHL のスタッフにより荷物が受け取られ、各家庭に配送。 ■ 2016 年 <ul style="list-style-type: none"> ✓ DHL の小型トラックにより SKYPORT に荷物を配送。 ✓ SKYPORT 内に荷物を挿入すると、自動で屋上に待機している DHL のドローンに格納。 ✓ その後、ドローンは離陸し、目的地の SKYPORT まで自律飛行。 ✓ 目的地の SKYPORT の屋上に着陸すると、荷物は自動で SKYPORT に格納。 ✓ 荷受人は、あらかじめ送付されていたパスワードで SKYPORT のロックを解除し、荷物を受領。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：DHL (ドイツ/物流事業者) ■ 協力：Microdrones (ドイツ/ドローンメーカー)
輸送物品	■ 専用ケースに格納された注文商品 (約 2kg)
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ Parcelcopter 2.0 (2014 年の実験で使用したクアッドコプタ) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法：1030mm ✓ 機体重量：4.8kg ✓ 最大積載量：1.2kg ✓ 最高速度：約 43km/h ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：45 分 ■ Parcelcopter 3.0 (2016 年の実験で使用した自律飛行 VTOL 機) <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法：全長 2200mm ✓ 機体重量：- ✓ 最大積載量：2kg ✓ 最高速度：約 70km/h ✓ 最大飛行距離：- ✓ 最大飛行時間：-

出所) 各種公開資料をもとに MRI 作成



図 2-21 Parcelcopter 2.0 の外観

出所) DHL parcelcopter launches initial operations for research purposes ・ DHL ・ 2019 年 3 月 15 日確認 ・
<https://www.youtube.com/watch?v=AIxsVkk-B-c>



図 2-22 Parcelcopter 3.0 の外観

出所) Parcelcopter 3.0 - Autonomous flight in the Alps ・ DHL ・ 2019 年 3 月 15 日確認 ・
<https://www.dpdhl.com/en/media-relations/media-center/tv-footage/dhl-parcelcopter-v3-flight-full-hd.html>

5) Swiss Post

Swiss Post, Matternet 及び Ticino EOC hospital group は、ドローンを活用した緊急時病院間配送サービスの実験をスイスのティチーノ州ルガーノ市にて実施した。病院スタッフにより血液サンプルを取り付けられたドローンが市街地上空を自律飛行し、目的地の病院への着陸に成功した。約 70 回のフライトが行われ、事故等は 1 度も発生しなかった。血液サンプル等の緊急度が高い軽量貨物の輸送の際に、渋滞等の交通トラブルの影響を受けないような配送システムの構築を目指している。

当該事例の概要を表 2-15 に示す。また配送時のイメージを図 2-23、使用した機体を図 2-24 に示す。

表 2-15 事例概要 (Swiss Post, Matternet, Ticino EOC hospital group)

実験日時	2017年3月中旬
場所	■ スイス、ティチーノ州ルガーノ市
飛行経路・距離	■ 具体的には発表されていない(ルガーノ市内の病院から、同市内の別病院へと自律飛行を行っているものと推測)
配送シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 病院のスタッフが血液サンプルを入れた箱をドローンに取り付け。 ■ アプリ操作によりドローンが病院の敷地から離陸、市街地上空を自律飛行。 ■ 目的地の別病院の敷地に設置されているランディングマットに着陸。 ■ 目的地の病院のスタッフが荷物を受け取り配送が完了。 ■ ドローンは自動で帰還。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体：Swiss Post (スイス/郵便事業者) ■ 協力：Matternet (米国/物流ドローンシステム事業者), Ticino EOC hospital group (スイス/医療機関)
輸送物品	■ 箱詰めされた医療用品や血液サンプル(検査サンプル)
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ Matternet M2 <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法： <ul style="list-style-type: none"> ・ 80×80×26 cm (除プロペラ) ・ 128×128×26 cm (含プロペラ) ✓ 機体重量：9.5kg (含バッテリー) ✓ 最大積載量：2kg (19×11×13 cm, 約4L) ✓ 最高速度：- (巡航速度約36km/h) ✓ 最大飛行距離：20km (ペイロード1kgの時) ✓ 最大飛行時間：- ✓ その他： <ul style="list-style-type: none"> ・ FOCAよりスイス都市部上空の自律飛行が許可されている。(2017年3月) ・ SAA センサ(スイスの低高度空域を飛行するヘリ等と同じシステムと記載)やパラシュート等の安全システムを搭載。センサは二重化している。

出所) 各種公開資料をもとにMRI作成



図 2-23 配送時のイメージ

出所) Drones - A vision has become reality · Swiss Post · 2019年3月15日確認 · <https://www.post.ch/en/about-us/company/innovation/swiss-post-s-innovations-for-you/drones>



図 2-24 Mernet M2 のイメージ

出所) Transportation of laboratory samples by drone・Swiss Post・2019年3月15日確認・https://www.youtube.com/watch?time_continue=35&v=gGsIgNASHUU

6) Zipline

Zipline は独自開発した固定翼ドローンを用いて、ルワンダで輸血用血液を医療機関へと配送するサービスを実施している。配送センターから半径 80km の範囲に存在する医療機関に対して、メッセージを受信してから 30 分程度で必要物資を配送する。1 日約 500 回の配送を実施し、24 時間・365 日対応のサービスである。ドローンの回収方法、現地人材の教育が今後の課題として挙げられる。

将来的には、ルワンダ (Kayonza) にもう 1 箇所ドローン配送拠点を設ける予定であり、また、タンザニア (Dodoma, Mwanza, Geita, Mbeya) に新たなドローン配送拠点を作りることを計画している。

当該事例の概要を表 2-16 に示す。また、固定翼ドローン Zips と発射設備のイメージを図 2-25、荷物の投下イメージを図 2-26 に示す。

表 2-16 事例概要 (Zipline)

サービス開始時期	2016年10月(プロジェクトの発表は2016年5月)
場所	■ ルワンダ、マアング
飛行経路・距離	■ 配送センターの周囲80kmの範囲(最大30分程度)
配送ステップ	<ul style="list-style-type: none"> ■ 医療機関からテキストメッセージで必要物資の配送要請を受信。 ■ 配送センターに備蓄してある輸血用血液を、医薬品担当スタッフ(ほぼ現地採用)が血液型等を確認の上で緩衝材で梱包し、専用のパラシュート付き小箱に詰める。 ■ ドローン担当スタッフ(ほぼ現地採用)が、独自開発の固定翼ドローンに荷物を固定し、発射台から目的地に向け離陸させる。ドローンの位置情報は、翼に付きいているQRコードを読み取ることで追跡が可能となっている。 ■ 目的地に到着し次第、物資入り小箱を投下する。ドローンは自動で配送センターに帰還する。
実施体制	<ul style="list-style-type: none"> ■ 主体: Zipline(米国/ドローン医療スタートアップ) ■ 協力: UPS, GAVI アライアンス
輸送物品	医療用血液(輸血用)
使用機体	<ul style="list-style-type: none"> ■ Zips <ul style="list-style-type: none"> ✓ 寸法: 約1.5m(翼幅) ✓ 機体重量: - ✓ 最大積載量: 約1.8kg ✓ 最高速度: 約120km/h ✓ 最大飛行距離: 160km ✓ 最大飛行時間: - ✓ その他: 全天候対応型

出所) 各種公開資料をもとにMRI作成



図 2-25 固定翼ドローン Zips と発射設備のイメージ

出所) We're providing 11,000,000 people with instant access to urgent medicines • Zipline • 2019年3月15日確認 • <https://flyzipline.com/impact/>

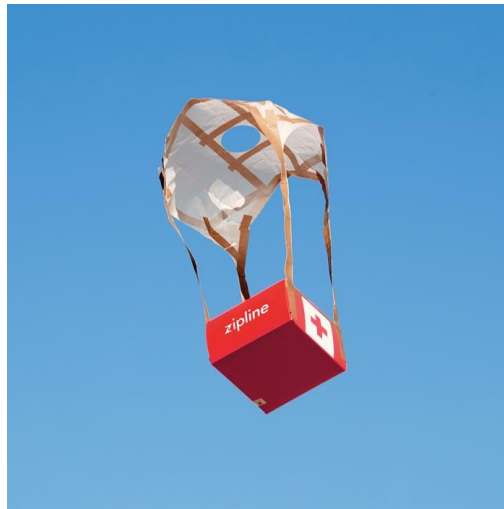


図 2-26 荷物の投下イメージ

出所) We're providing 11,000,000 people with instant access to urgent medicines・Zipline・2019年3月15日確認・<https://flyzipline.com/impact/>

(4) 調査結果のまとめ

以上の先進事例の調査結果をもとに、ドローン物流モデルで考慮すべき戦略、オペレーション、収益、社会的価値、リスクと対策の各事項について考察する。

a. 戦略

既存物流網があるエリアでのドローン物流事例としては、買い物難民支援としての目的が検討されている。これは、既存物流網に比べてオンデマンドな配送、つまり欲しい時に欲しい場所に運んでほしいというニーズに対応するものと考えられる。

一方、既存物流網がないエリアでのドローン物流事例としては、医薬品配送の目的が検討されており、既存の配送手段がない中で必要なものを運んでほしいというニーズに対応するものと考えられる。

また、災害発生時の緊急配送については、緊急物資、医薬品輸送の検討が行われている。

b. オペレーション

ここでは、プレーヤー、運航、設備等について考察する。買い物難民支援としてのドローン物流については、小売事業者やeコマース事業者、物流事業者が、ドローンオペレータと連携し、実証活動等が行われている。また、買い物難民支援、医薬品配送を含め、地方自治体が主体あるいは協力機関となっている。緊急配送については、物流事業者、地方自治体が中心に検討している他、医薬品の緊急配送については医療機関が中心に進めている事例がある。

飛行経路については、事例により様々であるが、河川や貯水池、海上など、地上の第三者が存在する可能性が低い経路を特定して運航を行っている。

使用設備としては、無人航空機の機体と地上の制御システム・運航管理システムの他、ドローンポートの使用が特徴として挙げられる。

c. 収益

ドローン物流の収益面の効果としては、既存の配送手段の収益性改善を目的とした取り組みが中心である。需要に対し適切な量・頻度の配送をドローンで実現することによる効率化や、人的リソースの低減がドローン利用のモチベーションとなっている。

加えて、オンデマンドな配送など、きめ細やかな顧客ニーズにマッチした高付加価値サービスをドローンで実現するという方向性も検討されている。

d. 社会的価値提供

ドローン物流による社会的価値としては、以下のような側面が想定される。

- 過疎地域における生活環境の向上（物流手段の提供・改善）
- 現地の雇用創出
- 災害時等の緊急輸送手段の提供
- 遠隔診療（医療）の実効性向上

e. リスクと対策

リスクは、事業リスクと事故リスク（墜落、衝突等）に大きく分類されるが、現状の事例としては実証段階の事例が多く、事業リスクについて検討されている例はほとんどない。他方、事故リスクに対する安全対策については、機体の衝突回避センサの搭載、パラシュートの搭載、センサの二重化、全天候対応設計、遠隔からの機体監視システム、等が検討されている。また、飛行経路として、河川や湖沼上空を設定する例がある。さらに、受取人の本人確認手段として、ドローン搭載カメラを使用する例がある。

2.1.2 国内の規制・安全対策の調査

(1) 調査概要

本調査では、ドローン物流を行う際に考慮すべき規制の動向を調査した。具体的には、以下の規制について概要を整理した。

- 無人航空機に係る改正航空法
- 国会議事堂、内閣総理大臣官邸その他の国の重要な施設等、外国公館等及び原子力事業所の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律（小型無人機等飛行禁止法）
- 地方自治体における条例
- 電波法
- 『ドローン』による撮影映像等のインターネット上での取扱いに係るガイドライン
- 河川（ダムやその貯水池を含む）において、無人航空機を飛行する場合のルール
- 道路交通法
- 騒音に関する規制

(2) 無人航空機に係る改正航空法

2015年9月に無人航空機に係る改正航空法が成立し、同年12月に施行された。以下にその概要を示す。

1) 改正航空法条文

航空法 第132条 飛行の禁止空域

以下の空域においては、国土交通大臣の許可を受けなければ（※）、無人航空機を飛行させてはならない。

1. 航空機の航行の安全に影響を及ぼすおそれのある空域

- ・ 空港等周辺に設定された進入表面等の上空の空域
- ・ 地表又は水面から150m以上の高さの空域

2. 人又は家屋の密集している地域の上空

- ・ 国勢調査の結果を受け設定されている人口集中地区（国土交通大臣が告示で定める区域を除く。）の上空

※ 1.の場合は空港事務所長、それ以外の場合は地方航空局長に届出（私有地の場合であっても対象）

航空法 第132条の2 飛行方法

無人航空機を飛行させる際は、国土交通大臣の承認を受けた場合を除いて、以下の方法により飛行させなければならない。

- ・ 日中において飛行させること
- ・ 無人航空機及びその周囲を目視により常時監視すること
- ・ 人又は物件との間に30mの距離を保って飛行させること
- ・ 多数の者の集合する催しが行われている場所の上空で飛行させないこと
- ・ 火薬類、高圧ガス、引火性液体、凶器などの危険物を輸送しないこと
- ・ 機体から物件を投下しないこと

上記のルールによらずに無人航空機を飛行させようとする場合には、あらかじめ、地方航空局長の承認を受ける必要がある。

航空法 第132条の3 搜索、救助等の特例

（今回の物流実証とは関係ないため省略）

2) 許可・承認の取得方法

航空法第132条「飛行禁止空域」における飛行や同132条の2「飛行の方法」によらない飛行を行おうとする場合、無人航空機を飛行させる者は、国土交通大臣からの許可・承認を得る必要がある。

<申請期限>

原則10開庁日前までに飛行に関する申請を行う必要がある。

<審査基準>

審査基準は「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領（以降、審査要領）」に規定されている。

①機体の機能及び性能、②無人航空機を飛行させる者の飛行経歴・知識・技能、③安全を

確保するための体制の3つの観点から、審査要領にて規定された『基本的な基準』と『飛行形態に応じた追加基準』への適合性について総合的に判断される。

<申請書記載事項>

審査要領に定められている、申請書記載事項は以下の通りである。

- 氏名及び住所
- 無人航空機の製造者、名称、重量その他の無人航空機を特定するために必要な事項
- 飛行の目的、日時、経路及び高度
- 飛行禁止空域を飛行させる／飛行禁止方法で飛行させる理由
- 無人航空機の機能及び性能に関する事項
- 無人航空機の飛行経歴並びに無人航空機を飛行させるために必要な知識及び能力に関する事項
- 無人航空機を飛行させる際の安全を確保するために必要な体制に関する事項
- その他参考となる事項（前回の許可日時、保険加入状況、関係機関との調整結果等）

3) 目視外飛行に関する要件について

2018年9月14日に審査要領の一部改正が行われ、無人地帯において、従来の目視外飛行において必要とされていた補助者を配置せずに無人航空機の目視外飛行を実施させるための審査基準が定められた。主な基準としては、補助者の役割を代替するために必要な安全対策として、第三者の立入管理、有人機等の監視、自機の監視、自機周辺の気象状況の監視が必要とされている。図 2-27 に、無人航空機の目視外飛行に関する要件（概要）を示す。

国土交通省


無人航空機の目視外飛行に関する要件(概要)

現行の補助者の役割である「①第三者の立入管理」、「②有人機等の監視」、「③自機の監視」及び「④自機周辺の気象状況の監視」を代替するために必要な機上装置や地上設備等の安全対策を含め、新たな要件として以下の通り設定。

全般的要件

(当面の要件)
 現行の技術レベルでは補助者の役割を機上装置や地上設備等で完全に代替できないため当面は以下の条件を付加する。
 ○飛行場所は第三者が立ち入る可能性の低い場所(山、海水域、河川・湖沼、森林等)を選定すること。
 ○飛行高度は、有人航空機が通常飛行しない150m未満でかつ制限表面未満であること。
 ○使用する機体は想定される運用で十分な飛行実績を有すること。

(その他)
 ○不測の事態が発生した場合に備え、着陸・着水できる場所を予め選定するとともに、緊急時の実施手順を定めていること。
 ○飛行前に、飛行経路又はその周辺が適切に安全対策を講じることができる場所であることを現場確認すること。
 また、運航にあたっては、当該要件に関わらず、運航者自らが飛行方法に応じたリスクを分析し安全対策を講じること。



個別要件

<h4>① 第三者の立入管理</h4> <p>○機体性能・運用条件を考慮した落下範囲を算出・設定(立入管理区画)し、以下のいずれかの措置を講ずることによって第三者の立入管理ができること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機体や地上にカメラ等を装備又は設置し、進行方向の飛行経路下に第三者が立ち入る兆候等を常に遠隔監視できること。 ・立入管理区画について、近隣住民等に対し看板等の目印やポスター・インターネット等により広く周知すること。 	<h4>② 有人機等の監視</h4> <p>○有人機からの視認性向上のため機体に灯火・塗色を施し、以下のいずれかの措置を講ずることによって有人機などの監視ができること。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・機体や地上にカメラ等を装備又は設置し、飛行する空域の有人機の有無等を常に遠隔監視できること。 ・無人機の飛行予定を有人機の運航者に事前に周知するほか、有人機の飛行日時・経路等を確認し有人機との接近を回避できること。
<h4>③ 自機の監視</h4> <p>○機体の状態(位置、速度、姿勢、飛行経路との差等)を把握し、機体の異常が判明した場合には、付近の安全な場所に着陸させるなど、適切な対策をとることができること。</p>	<h4>④ 自機周辺の気象状況の監視</h4> <p>○飛行経路又は機体に設置した気象センサ、カメラ等により気象状況の変化を把握し、運用限界を超える場合は、付近の安全な場所に着陸するなど、適切な対策をとることができること。</p>

⑤ 操縦者等の教育訓練 ○異常状態を把握した機体に対し、機体性能・周辺の地形・飛行フェーズ・不具合の有無等のあらゆる要素を勘案した上で、最適な判断を迅速に行い操作できること。

図 2-27 無人航空機の目視外飛行に関する要件(概要)

出所) 無人航空機の目視外飛行に関する要件(概要)・国土交通省・2019年3月15日確認・
<http://www.mlit.go.jp/common/001227435.pdf>

(3) 国会議事堂、内閣総理大臣官邸その他の国の重要な施設等、外国公館等及び原子力事業所の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律(小型無人機等飛行禁止法)

本法の第8条第1項の規定に基づき、対象施設周辺地域(対象施設の敷地又は区域及びその周囲概ね300mの地域)の上空においては、小型無人機等の飛行が禁止されている。なお、規制対象の例外として以下のものがある。

- ・ 対象施設の管理者又はその同意を得た者が当該対象施設に係る対象施設周辺地域の上空において行う小型無人機等の飛行
- ・ 土地の所有者若しくは占有者(正当な権限を有する者に限る。)又はその同意を得た者が当該土地の上空において行う小型無人機等の飛行
- ・ 国又は地方公共団体の業務を実施するために行う小型無人機等の飛行

上記例外規定により小型無人機等の飛行を行おうとする者は、あらかじめ、その旨を当該小型無人機等の飛行に係る対象施設周辺地域を管轄する都道府県公安委員会等に通報する必要がある。

(4) 地方自治体における条例

地方自治体によっては自治体が保有する土地、施設等での無人航空機の飛行等を制限す

る条例を制定している場合がある。本実証試験で選定された 5 地域に関連する条例を表 2-17 に示す。

表 2-17 ドローンに関する地方自治体における条例

自治体名	条例名	条例上の扱い
福島県	県施設等における小型無人機への対応について ※同県施設等が対象	<ul style="list-style-type: none"> ・施設管理に関する条例・規則の禁止行為や規制がある場合に小型無人機を規制対象とする。 ・禁止行為や規制がない場合は施設管理者の権限として施設内の小型無人機の使用自粛を求める。 ・多数の人々が集まるイベント等を開催する際には小型無人機の自粛を求める。
長野県	長野県都市公園条例第 5 条 ※同県が設置、運営する県都市公園が対象。県都市公園以外での飛行については国土交通省の規定に依う。	<p>禁止行為として規定されている「他人の迷惑となるような物品を携帯して入園すること。」に該当するため、原則として禁止。ただし以下の場合は飛行可能。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・申請に基づき安全性が確保され、危険・迷惑行為等に該当しないことが確認できた場合
福岡県	県営都市公園における無人航空機の飛行について ※同県が設置、管理する都市公園の上空における無人航空機の飛行が対象。	<p>無人航空機の飛行に関して規制の概要及び許可の要件等が定められている。公園管理者の許可を受け、以下の場合は飛行可能。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・業としての写真・映像撮影 ・報道取材 ・事故・災害対応

出所) 各県のホームページより MRI 作成

(5) 電波法

操縦や画像伝送のため、ドローンの無線設備を用いる場合は、電波法令に基づき、無線局の免許を受ける必要がある。ただし、他の無線通信に妨害を与えないように、周波数や一定の無線設備の技術基準に適合する小電力の無線局等は免許を受ける必要はない。

国内でドローン等での使用が想定される主な無線通信システムを表 2-18 に示す。

表 2-18 無人航空機での使用が想定される主な無線通信システム

分類	無線局免許	周波数帯	送信出力	利用形態	備考	無線従事者資格
免許及び登録を要しない無線局	不要	73MHz 帯等	500m の距離において、電界強度が $200 \mu\text{V/m}$ 以下	操縦用	ラジコン用微弱無線局	不要
	不要	920MHz 帯	20mW	操縦用	920MHz 帯テレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局	
		2.4GHz 帯	10mW/MHz	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	2.4GHz 帯小電力データ通信システム	
携帯局	要	1.2GHz 帯	最大 1W	画像伝送用	アナログ方式限定	第三級陸上特殊無線技士以上の資格
携帯局 陸上移動局	要	169MHz 帯	10mW	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	無人移動体画像伝送システム	
		2.4GHz 帯	最大 1W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		
		5.7GHz 帯	最大 1W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		

出所) ドローン等に用いられる無線設備について・総務省・2019年3月15日確認・
<https://www.tele.soumu.go.jp/j/sys/others/drone/>

(6) 『ドローン』による撮影映像等のインターネット上での取扱いに係るガイドライン

無人航空機を利用して映像を撮影し、インターネット上で公開する場合は、第三者のプライバシー等に注意する必要があるため、ガイドラインが規定されている。物流実証においても機上カメラの映像等をインターネット上にて公開する場合は、当該ガイドラインに留意する必要がある。

留意すべき事項として以下の三点が挙げられる。

- 住宅地にカメラを向けないようにするなど撮影態様に配慮すること
- プライバシー侵害の可能性がある撮影映像等にぼかしを入れなど配慮すること
- 撮影映像等をインターネット上で公開するサービスを提供する電気通信事業者においては、削除依頼への対応を適切に行うこと

(7) 河川（ダムやその貯水池を含む）において、無人航空機を飛行する場合のルール

河川において、無人航空機を飛行させる際には、許可申請が必要な場合や、河川管理者や周辺自治体が河川利用のルールを定めている場合があるため、実証地域における河川が飛行可能な区域か事前に確認する必要がある（地域周辺の状況、航路等が明確化する段階で、追加的な調査が必要）。

(8) 道路交通法

道路を離着陸場とする等、道路上等に物を設置して継続的に使用する場合には、国道、都道府県道、市区町村道の道路管理者による「道路占用許可」、及び所轄警察署長からの「道路使用許可」が必要である。道路占用許可申請と道路使用許可申請は一括で行うことが可能である。

道路占用許可と道路使用許可について表 2-19 に示す。

表 2-19 道路占用許可申請と道路使用許可申請

道路占有許可	道路使用許可
<p>道路を管理する道路管理者(国、地方公共団体)に申請を行い、占用許可を得る。</p> <p><費用> (道路法第 39 条) 申請手数料はないが、許可後に道路占用料が必要。占用料については道路法において規定。</p> <p><許可基準> 道路敷地以外に余地がなく、真にやむを得ないものであること 等</p> <p><道路占有許可申請必要書類> 1. 道路占有許可書申請書 2. 道路使用許可所申請書の添付書類 ※地方公共団体により別途届出等必要な場合有</p>	<p>その地域を所轄する警察署に申請を行い、使用許可を得る。</p> <p><道路使用許可申請が必要な行為> (道路交通法第 77 条 1 項) 1. 道路において工事若しくは作業をしようとする行為 2. 場所を移動しないで、道路に露店、屋台等を出そうとする行為 等</p> <p><許可基準> (道路交通法第 77 条 2 項) 1. 現に交通の妨害となるおそれがないと認められるとき 2. 許可に付された条件に従って行われることにより交通の妨害となるおそれなくなると認められるとき 3. 現に交通の妨害となるおそれはあるが公益上又は社会の慣習上やむを得ないものであると認められるとき</p> <p><費用> ✓ 各都道府県により条例で手数料が定められている。 ✓ 国や地方公共団体が申請する際には手数料の納付は免除。</p> <p><道路使用許可申請必要書類> 1. 道路使用許可申請書 (2 通) 2. 道路使用許可申請書の添付書類 ・ 道路使用の場所又は区間の付近の見取図 ・ 道路使用の方法又は形態等を補足するために公安委員会が必要と認めて定めた書類 ※所轄警察署や申請の内容により必要添付書類は変わりうる</p>

出所) 道路占用許可制度について・国土交通省・2019年3月15日確認・

http://www.ktr.mlit.go.jp/road/sinsei/road_sinsei00000068.html

(9) 騒音に関する規制

無人航空機の騒音規制に関して、JUIDA 物流ガイドライン (案) に下記の記載がある。

(3) 機体

- j. 騒音基準は環境省の定める【騒音に係る環境基準】をクリアすること。

騒音に係る環境基準は、地域の類型及び時間の区分ごとに表 2-20 の基準値の欄に掲げる通りとし、各類型を当てはめる地域は、都道府県知事(市の区域内の地域については、市長)が指定する(自治体の条例等を参照する必要がある)。騒音に係る環境基準を表 2-20 に示す。

表 2-20 騒音に係る環境基準

地域類型	基準値	
	昼間	夜間
AA 療養施設、社会福祉施設等が集合して設置される地域など特に静穏を要する地域	50dB 以下	40dB 以下
A 専ら住居の用に供される地域 及び B 主として住居の用に供される地域	55dB 以下	45dB 以下
C 相当数の住居と併せて商業、工業等の用に供される地域	60dB 以下	50dB 以下

出所) 騒音に係る環境基準について・環境省・2019年3月15日確認・<https://www.env.go.jp/kijun/oto1-1.html>

他方、無人航空機に特化した騒音に関する規制はないため、実証地域における騒音規制について取りまとめた。なお、長野県白馬村は騒音関連の規制は対象区域外である。

1) 福島県南相馬市

福島県南相馬市では、【南相馬市環境基本条例及び南相馬市環境基本条例施行規則】附則より、騒音に関して以下のような規制が定められている。

● 特定工場等に係る騒音の基準

相馬市内における特定工場等に係る騒音の基準を表 2-21 に示す。

表 2-21 特定工場に係る騒音基準(福島県南相馬市)

区域	地域	昼 7 時 ～19 時	朝 6 時～7 時 夕 19 時～22 時	夜 22 時 ～翌 6 時
第 1 種区域	第 1 種低層住居専用地域	50dB 以下	45dB 以下	40dB 以下
第 2 種区域	第 1・2 種中高層住居専用地域、第 1・2 種住居専用地域、準住居地域	55dB 以下	50dB 以下	45dB 以下
第 3 種区域	近隣商業地域、商業地域、準工業地域、用途地域以外	60dB 以下	55dB 以下	50dB 以下
第 4 種区域	工業地域	65dB 以下	60dB 以下	55dB 以下

出所) 南相馬市の環境 平成 29 年度版・南相馬市・2019年3月15日確認・https://www.city.minamisoma.lg.jp/material/files/group/13/minamisoma_kankyo_h29.pdf

2) 埼玉県秩父市

埼玉県秩父市では、【秩父市内における騒音発生施設、建設作業等の騒音規制について】より、騒音に関して以下のような規制が定められている。

- 特定施設や指定施設を設置、又は指定騒音作業を実施する工場・事業場への規制基準
秩父市内における特定施設や指定施設を設置、又は指定騒音作業を実施する工場・事業場への規制基準を表 2-22 に示す。なお、旧吉田町、旧大滝村、旧荒川村、浦山地区、大田地区、定峰地区は、騒音発生施設、建設作業等規制対象外区域（騒音発生施設への規制が原則掛からない地域）となっている。

表 2-22 特定施設や指定施設を設置、又は指定騒音作業を実施する工場・事業場への規制基準（埼玉県秩父市）

規制区域		規制基準			
区分	地域	朝 7 時 ～8 時	昼 8 時 ～19 時	夕 19 時 ～22 時	夜 22 時 ～翌 6 時
第 1 種区域	第 1・2 種低層住居専用地域 第 1・2 種中高層住居専用地域	45dB	50dB	45dB	45dB
第 2 種区域	第 1・2 種住居専用地域 準住居地域、都市計画区域外 用途地域の指定のない地域	50dB	55dB	50dB	45dB
第 3 種区域	近隣商業地域、商業地域、 準工業地域、	60dB	65dB	60dB	50dB
第 4 種区域	工業地域、工業専用地域	65dB	70dB	65dB	60dB

出所) 秩父市内における騒音発生施設、建設作業等の騒音規制について・秩父市・2019年3月15日確認・<http://www.city.chichibu.lg.jp/secure/1592/H27souonn.pdf>

- 特定建設作業の規制基準
秩父市内における特定建設作業への規制基準を表 2-23 に示す。なお、浦山地区、大田地区、定峰地区は、騒音発生施設、建設作業等規制対象外区域（騒音発生施設への規制が原則掛からない地域）となっている。

表 2-23 特定建設作業の区域区分（埼玉県秩父市）

区域	
1号区域	第 1・2 種低層住居専用地域、第 1・2 種中高層住居専用地域、第 1・2 種住居専用地域、準住居地域、都市計画区域外、用途地域の指定のない地域、近隣商業地域、商業地域、準工業地域、工業地域、工業専用地域
2号区域	工業地域、工業専用地域

出所) 秩父市内における騒音発生施設、建設作業等の騒音規制について・秩父市・2019年3月15日確認・<http://www.city.chichibu.lg.jp/secure/1592/H27souonn.pdf>

表 2-24 特定建設作業の規制基準（埼玉県秩父市）

	区域区分	騒音規制法
基準値	1号・2号	85dB
作業禁止時間	1号	19時～7時
	2号	22時～6時
最大作業時間	1号	10時間/日
	2号	14時間/日
最大作業日数	1号・2号	連続6日
作業禁止日	1号・2号	日曜・休日

出所) 秩父市内における騒音発生施設、建設作業等の騒音規制について・秩父市・2019年3月15日確認・<http://www.city.chichibu.lg.jp/secure/1592/H27souonn.pdf>

3) 埼玉県

埼玉県では、【埼玉県生活環境保全条例】より、騒音に関して以下のような規制が定められている。

- 拡声器使用の規制

埼玉県内における拡声器の使用に関する規制基準について表 2-25 に示す。使用可能時間は、午前10時から午後6時までの間とする。

表 2-25 拡声器の使用に関する規制基準（埼玉県）

規制区域		規制基準	
区分	地域	固定使用	移動しながらの使用
第1種区域	第1・2種低層住居専用地域	60dB	70dB
	第1・2種中高層住居専用地域		
第2種区域	第1・2種住居専用地域 準住居地域、都市計画区域外 用途地域の指定のない地域	65dB	75dB
第3種区域	近隣商業地域、商業地域、準工業地域	75dB	85dB
第4種区域	工業地域、工業専用地域	80dB	85dB

出所) 拡声器による騒音の規制・秩父市・2019年3月15日確認・<http://www.city.chichibu.lg.jp/dd.aspx?menuid=1496>

4) 岡山県和気町

岡山県和気町では、【騒音・振動規制のあらまし】より、騒音に関して以下のような規制が定められている。

- 工場・事業場の規制基準

岡山県和気町内における工場・事業場の規制基準について表 2-26 に示す。

表 2-26 和気町における騒音規制に係る工場・事業場の規制基準（岡山県和気町）

規制区域		規制基準		
区分	地域	昼間 7 時 ～20 時	5 時～7 時 及び 20 時～22 時	夜間 22 時 ～翌日 5 時
第 1 種区域	第 1 種低層住居専用地域	50dB	45dB	40dB
第 2 種区域	第 1 種中高層住居専用地域 第 1・2 種住居専用地域	60dB	50dB	45dB
第 3 種区域	商業地域、準工業地域、用途以外	65dB	60dB	50dB

出所) 騒音・振動規制のあらまし・岡山県・2019年3月15日確認・
http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/460369_3855924_misc.pdf

● 自動車騒音の規制基準

岡山県和気町内における自動車騒音の規制基準について表 2-26 に示す。

表 2-27 和気町における騒音規制に係る自動車騒音の規制基準（岡山県和気町）

規制区域		規制基準	
区分	地域	昼間 6 時～22 時	夜間 22 時～翌日 6 時
a 区域	第 1 種低層住居専用地域	65dB（一車線）	55dB（一車線）
	第 1 種中高層住居専用地域	70dB（二車線以上）	65dB（二車線以上）
b 区域	第 1・2 種住居専用地域、用途以外	65dB（一車線）	55dB（一車線）
		75dB（二車線以上）	70dB（二車線以上）
c 区域	商業地域、準工業地域	75dB（一車線以上）	70dB（一車線以上）

出所) 騒音・振動規制のあらまし・岡山県・2019年3月15日確認・
http://www.pref.okayama.jp/uploaded/life/460369_3855924_misc.pdf

5) 福岡県福岡市

福岡県福岡市では、【騒音規制法】より騒音に関して以下のような規制が定められている。

● 特定工場等における騒音の規制基準

福岡県福岡市内における、特定工場等における騒音の規制基準について表 2-28 に示す。
 福岡空港・工業専用地域及び臨港地区の一部を除く市内全域を対象とする。

表 2-28 特定工場等における騒音の規制基準（福岡県福岡市）

区域	地域	朝 6 時 ～8 時	昼 8 時 ～19 時	夕 19 時 ～23 時	夜 23 時 ～翌 6 時
第 1 種区域	第 1・2 種低層住居専用地域 第 1・2 種中高層住居専用地域	45dB 以下	50dB 以下	45dB 以下	45dB 以下
第 2 種区域	第 1・2 種住居専用地域 準住居地域、近隣商業地域（容積 率 200%）、市街化調整区域	50dB 以下	60dB 以下	50dB 以下	50dB 以下
第 3 種区域	近隣商業地域（容積率 300%）、商 業地域、準工業地域	65dB 以下	65dB 以下	65dB 以下	55dB 以下
第 4 種区域	工業地域、工業専用地域	70dB 以下	70dB 以下	70dB 以下	65dB 以下

出所) 騒音・振動関係法令の概要（工場・事業場の規制基準）・福岡市・2019年3月15日確認・
<http://www.city.fukuoka.lg.jp/data/open/cnt/3/1298/1/gaiyou.pdf?20181001114415>

2.1.3 CO₂ 排出量削減効果に関する先行研究

ドローン物流を導入した場合における CO₂ 排出量削減効果を示した先行研究として、米国におけるラストワンマイルの配送にドローンの導入を想定した場合のモデル研究の例を示す。

(1) 事例 1：ワシントン大学によるモデル研究（2017）¹

Anne(2018)¹では、シミュレーションにより、カリフォルニア州ロサンゼルスにおいてドローン物流による CO₂ 排出量や VMT（車両走行距離。Vehicle miles traveled）の評価を行っている。

本研究におけるシミュレーションの前提は以下の通りである。

- 動力として、ドローンはバッテリー駆動、トラックはガソリン車を仮定。
- 拠点間輸送ではなく、ラストワンマイルにおける輸送を仮定。
- ドローンは物流拠点から配送先までを往復、トラックはミルクラン輸送（巡回集荷）。
- 道路網や物流拠点（1箇所）には実際のデータを使用。
- 物流拠点を中心に半径 1 マイルのサービスゾーンを円形に 330 個敷き詰め、各サービスゾーンにおいて同数の配送先へ配送を行うと仮定。配送先の数は、シナリオにより変動。

これらの仮定のもと、各サービスゾーンにおける配送先の数、ドローンにおける 1 マイルごとの電力消費量（輸送物の重量と関係すると考えられる）、トラックにおける一回の配送距離の 3 種類のパラメータによる感度分析を行い、ドローンにより CO₂ 排出量削減効果が確認される条件を推計している。

本研究結果では、ドローン物流を導入することによる CO₂ 排出量削減効果が出るか否かは条件によって異なっていた（図 2-28）。配送先と物流拠点からの距離が近い場合や、各サービスゾーンにおける配送先の数が少ない場合にはドローンを利用した方が CO₂ 排出量が小さくなっていた。これは、トラックのミルクラン輸送による効率化の影響を受けにくかったためだと考えられる。そのため本研究では、CO₂ 排出量削減の観点では、近距離への輸送ではドローンを、遠方への輸送ではトラックを利用する等、条件によってドローン輸送とトラック輸送を混在させるのが望ましいと結論付けている。

¹ Anne Goodchild, Jordan Toy (2018)

“Delivery by drone: An evaluation of unmanned aerial vehicle technology in reducing CO₂ emissions in the delivery service industry”, Transportation Research Part D: Transport and Environment Volume 61, Part A, June 2018, Pages 58-67

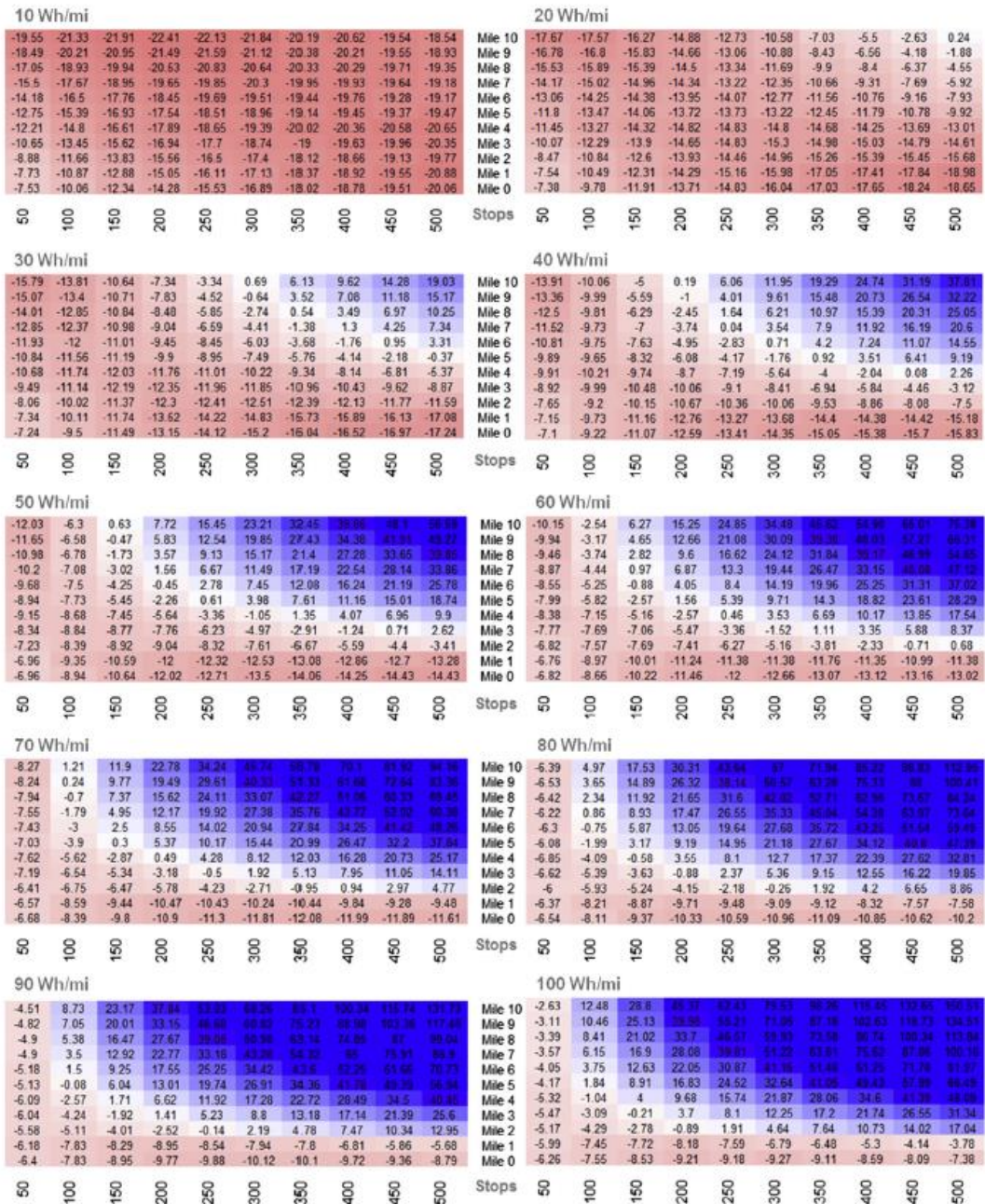


図 2-28 事例 1 シミュレーション結果¹

1 マイルごとに消費する電力量 (10Wh/ml~100Wh/ml) により、異なる表を記載。

(※搭載重量及び飛行速度等により変化)

縦軸はトラック輸送ルート長さ、
横軸は各サービスゾーンでの配送先数を表す。

赤：ドローンの方が CO2 排出量が少ない

青：トラック配送の方が CO2 排出量が少ない

(2) 事例 2 : ローレンス・リバモア国立研究所によるモデル研究²

Stolaroff JK(2018)²では、エネルギー消費モデルを作成し、米国各州でドローンとトラックのそれぞれを利用した場合のライフサイクルにおける CO₂ 排出量を比較している。

本研究におけるシミュレーションの前提は以下の通りである。

- ドローンとして、最大積載重量 0.5 kg の小型機と最大積載重量 8.1 kg の大型機の 2 種類 (いずれもバッテリー駆動) を、トラックとしては中型のディーゼルトラック、天然ガストラック、電気駆動のトラック等、複数の動力源の車種を想定。
- 拠点間輸送ではなく、ラストワンマイルにおける輸送を仮定。また、配送ではなくピックアップ (顧客が車を使って小売店舗に商品を取りに来る又は買いに来る) の場合も合わせて分析。
- ドローンの飛行速度や飛行距離、物流倉庫の数・配置・電力使用量等のパラメータについては、個々に検討のうえ、現時点で最も実現可能性が高いと思われる値を設定。
- ドローンの飛行に伴って排出される CO₂ 排出量だけでなく、ドローン物流を導入することで数が増加することが想定される物流倉庫における CO₂ 排出量も併せて検討。
- 利用する電力の CO₂ 排出係数として、米国合衆国における平均値、再生エネルギー利用率が高い地域である (排出係数が小さい) カリフォルニア州、最も係数が大きいミズーリ州の 3 種類の値を利用し、それぞれの結果を算出。

本研究では結果として、再生エネルギーの利用率が高くかつ小型ドローンを使用する場合にはドローンの方がトラックより CO₂ 排出量は小さくなるが、そうでない場合にはトラックの方が CO₂ 排出量は小さくなった (図 2-29)。ドローンを利用する場合の CO₂ 排出量の大半は倉庫による電力使用量が占めている。一方で、トラックを利用する場合は大半が移動に伴う排出であった。

ただ、ドローンを使う場合でもトラックを使う場合でも、消費者が自ら店舗に商品をピックアップするよりは CO₂ 排出量が小さくなっている。本研究では、CO₂ 排出量の観点からは、ドローン物流の利用は小型のドローンが取扱える軽量の荷物を中心とすべきであることを述べたうえで、再生可能エネルギーの利用率を向上させることでドローンによる CO₂ 排出量削減効果は大きくなることが期待されると結論付けている。

² Stolaroff JK(2018) “Energy use and life cycle greenhouse gas emissions of drones for commercial package delivery.”, Nature Communications 2018 Feb 13; 9(1) : 409
<https://www.nature.com/articles/s41467-017-02411-5>

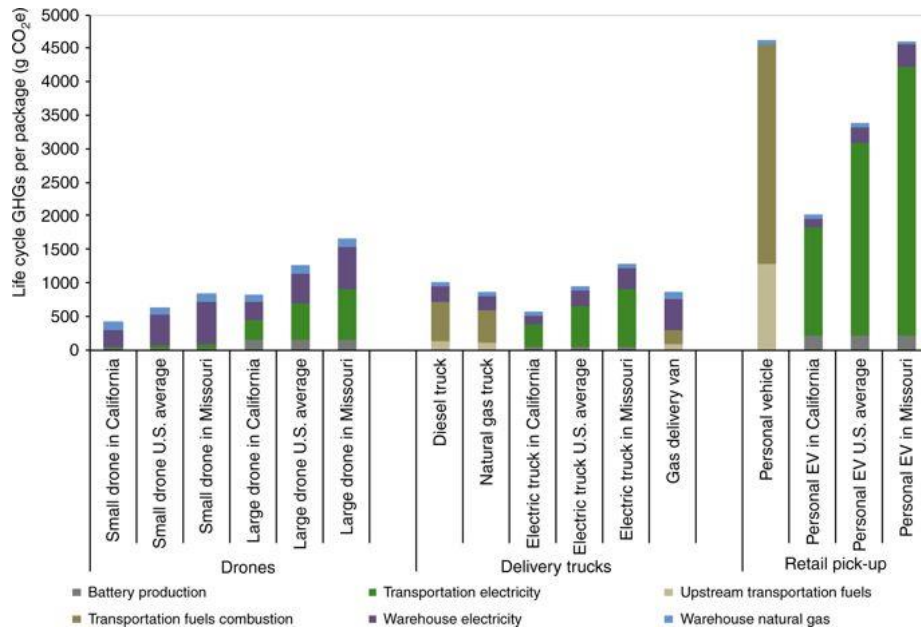


図 2-29 事例 2 1 荷物を同距離で運ぶ場合のライフサイクル全体の温室効果ガス排出量²

2.2 ドローン物流の実用化に求められる要件調査

2.2.1 ドローン物流モデルの考え方

過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果及び費用対効果のあるドローン物流の基本モデル構築という目的に対して、本件で対象とする各実証地域間での対比を行い、過疎地域等における実用化に求められる要件の抽出・整理を効率的・効果的に行うために、各実証地域でのドローン物流モデルの記述様式を標準化するための構成要素を以下で設定した。

ドローン物流モデルの構成要素

① 戦略

想定する顧客やその顧客への提供価値、また、当該ドローン物流事業の機会・強みや競合状況等の戦略的な優位性を分析し記述する。

- **顧客価値**： 本事業のターゲットとなる顧客や顧客セグメント、及び、当該顧客に提供する価値（配送荷種やそのリードタイム・対応頻度・配送コストや品質等）。
- **SWOT**： 本事業の強み（Strengths）、弱み（Weaknesses）、機会（Opportunities）、脅威（Threats）より構成され、「顧客価値」を提供するために重要な内外の要因（内的要因：強みと弱み、外的要因：機会と脅威）を特定する。例えば、今回実証対象となる各地域の資源や特性・固有性、地場の事業者ネットワーク等が強みや機会として、競合となる既存又は代替の輸送手段や自動運転等の技術革新による陸上輸送手段の効率性向上等が脅威となることが、想定される。

② オペレーション

「戦略」で規定の顧客価値を、どのような経営資源を使い、どのようなプロセスで提供するかの、業務遂行の基本構造を記述する。

- **経営資源**： サプライヤーや協業先間とのネットワーク、利用可能な地域環境や資源、ドローン配送につながる基幹物流網等のサプライチェーン、設備（配送基地やドローン機体）、人材、技術、ブランド等の、独自の資産。
- **プロセス**： 「経営資源」を用いて、業務を遂行していくための活動を表現する、業務フロー（業務の機能や業務機能間の流れ）、運用チャート（業務の稼働時間や注文から配送までのリードタイム等の時間軸での運用内容）、KPI（Key Performance Indicator：リードタイムやコスト等の業務遂行の有効性測定のための指標）等。

③ 収益

提供する価値に対して事業活動の利益をどう確保するか、収入の流れとコスト構造を記述し、経済性の担保について記述する。

- **収入の流れ**： 各顧客セグメントから得られる収入やサプライチェーン上事業者間での金の流れ。
- **コスト構造**： 「オペレーション」と整合した（経営資源や運用規模等）、初期投資と業務遂行に伴うコスト項目とその内容。

④ 社会的価値

「収益」上には顕れない、本事業の経済活動により誘引される正の外部性(社会的価値)とその提供の理由を記述する。

- **CO₂排出量削減効果算定モデル**： 「オペレーション」と整合した(飛行経路・距離、運航頻度、使用ドローン機体や物流センター・ドローンポート等の設備、電力消費等)、CO₂排出量削減効果を算定する計算モデル。
- **その他の社会的価値**： CO₂排出量削減以外の社会的価値。
 - ✓ 地域における、雇用や資金循環、エコシステム形成による関連・周辺産業への経済波及、レジリエンス(災害時等におけるインフラ強化)、社会関係資本(コミュニティや技術蓄積)への貢献、等。

⑤ リスクと対策

リスクアセスメントに基づく、競合、採算性、法整備、社会受容(住民等からの当該事業に関する受容)、安全性等の想定されるリスク事項の列挙とその対策を記述する。

上記のドローン物流モデル構成要素間の関係を図 2-30 に示す。

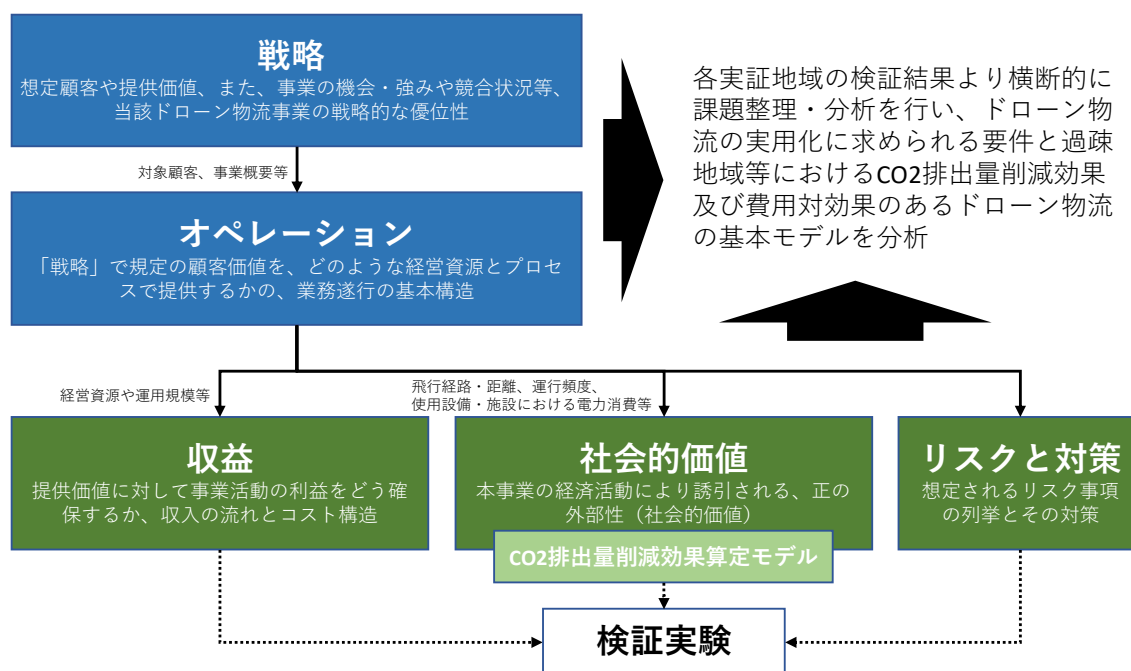


図 2-30 ドローン物流モデル構成要素間の関係

2.2.2 ドローン物流モデルの構成要素における要件の整理

2.2.1 で規定のドローン物流モデルの構成要素を基本として、各実証地域での実証内容や体制等の実態を踏まえて整理項目や詳細度について調整を行い、表 2-29 に示す項目を実証地域間の共通書式として設定、ドローン物流モデルの構成要素における要件の整理を行うこととした。

なお、「社会的価値」のうち「CO₂排出量削減効果算定モデル」については、3.2.2 に示す。

表 2-29 ドローン物流モデル：事業に関わる要件整理項目

大項目	中項目	小項目
戦略	お客様と提供価値	想定するお客様
		お客様に事業が提供する価値。
	事業機会	事業が成立すると考えられる理由（又は事業の成立に必要と考えられる条件）
		本事業の機会・強みや競争環境等。
業務	業務内容（当該地域における事業化時を想定）	物流業務の内容（当該業務の全体像について想定可能な範囲で記述。下記項目については具体的に記述）
		・ 配送先・地域：物品配送の対象地域や特定配送先
		・ 配送物品：配送する物品と一配送あたりの平均的な重量
		・ 需要量：上記配送先・地域への配送頻度（／週・月、等）
		・ 配送経路：上記配送先・地域への配送経路と配送距離・時間
		・ 使用機器・設備：使用するドローン機体及びドローンポート等の物流設備
・ 実施体制・パートナー：事業遂行の協業体制と役割分担		
社会的価値	社会的な提供価値	事業運営による地域全般等へ提供する社会的価値（地域雇用、地域産業への経済波及、自治体財政への寄与、等）
リスクと対策	リスクと対策	採算性、地域住民の事業理解、安全性等の想定リスク
		リスクに対し想定される対策

2.3 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検討

検証実験の前提として、本調査における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルについて検討を行った。

2.3.1 CO₂ 排出量削減効果算定モデル

本調査における CO₂ 排出量削減効果については、ドローン物流を利用した場合の物流に必要な CO₂ 排出量と、ドローン物流を導入せずに既存物流網を利用して同地点間で同程度の貨物を運んだ場合の CO₂ 排出量をそれぞれ算定し、差し引くことで算定する。

CO₂ 排出量は基本的に、CO₂ を排出する活動のそれぞれについて以下の算定式に基づいて排出量を算定し、各活動による排出量を合算することで全体の排出量を推計する。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} = \text{活動量} \times \text{排出係数 (活動量当たりの排出量)}$$

ここで活動量とは、排出量と相関のある排出活動の規模を表す指標を指す。排出係数及び CO₂ を排出する活動の種類については、地球温暖化対策の推進に関する法律(以下「温対法」という)により定められた、「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度」(以下、温対法 SHK)における CO₂ 排出量の算定における規定³を使用する。

(1) ドローン物流を利用した場合の CO₂ 排出量の算定

ドローンの動力源として、バッテリーあるいは燃料が考えられる。CO₂ を排出する活動としては、バッテリーを動力源として使用する場合には基本的には「他人から供給された電気の利用」、燃料を動力源として使用する場合には「燃料の使用」に該当する。それぞれの活動における CO₂ 排出量の算定方法は以下の通り。

1) 他人から供給された電気の利用

他人が発電する際に排出した CO₂ を間接的に排出したものとみなし、電気使用量に単位使用量当たりの排出量を乗じて CO₂ 排出量を算出する。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} = \text{電気使用量 (kWh)} \times \text{単位使用量当たりの排出量 (tCO}_2\text{/kWh)}$$

活動量としては電気の使用量を用いる。排出係数は、電気事業者から供給された電気を使用している場合には、環境省・経済産業省が公表する電気事業者別排出係数を用いる⁴。そうでない場合は、実測等に基づく適切な排出係数を求める。

³ CO₂ を排出する活動は「地球温暖化対策の推進に関する法律施行令（平成 11 年政令第 143 号）」にて、排出係数は「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成 18 年経済産業省・環境省令第 3 号）」にて規定

⁴ 環境省「温室効果ガス排出量算定・報告・公表制度ホームページ」にて公表されている。

<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/calc>

2) 燃料の使用

石炭、石油製品、天然ガス等の化石燃料を燃焼させた際、燃料中に含まれている炭素がCO₂となり、大気中へ排出される量を算出する。具体的には、燃料の種類ごとに、燃料使用量に、単位量当たりの発熱量、排出係数（単位熱量当たりの炭素排出量）及びCO₂の分子量である44を乗じ、C（炭素）の原子量である12で除すことで求める。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} = (\text{燃料の種類ごとに}) \text{ 燃料使用量 (t, kl, 千 Nm}^3\text{)} \\ \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\ \times 44/12(\text{tCO}_2/\text{tC})$$

活動量としては、燃料の使用量を用いる。単位発熱量及び排出係数は、燃料の種類ごとに特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成18年経済産業省・環境省令第3号。以下「算定省令」という。）により規定されている量を用いる。ガソリンの場合、単位発熱量は34.6 GJ/kl、排出係数は0.0183 tC/GJとなる。

(2) 既存サービスによるCO₂排出量の算定

既存サービスにおけるCO₂排出量を考える際、ドローン物流の実施主体は既存サービスにおいて荷主である場合と貨物輸送事業者の場合が考えられる。荷主である場合、輸送機関を直接運用する主体ではないことから、年用使用量データの把握が困難だと考えられる。また、貨物輸送事業者であっても、ドローン物流と輸送地点・内容が完全に同一である既存サービスを運用しているとは限らないことから、本調査においては荷主が貨物輸送事業者に貨物輸送を委託する際に発生する「荷主としてのエネルギーの使用」の考え方をを用いてCO₂排出量の算定を行う。

具体的な算定手法の概要を表2-30に示す。

表 2-30 荷主としてのエネルギーの利用におけるCO₂排出量算定手法⁵

算定手法	概要	精度、 作業負荷 ↑ 高 ↓ 低
燃料法	燃料使用量からCO ₂ 排出量を算定。 同じ地点・同じ重量の貨物を運ぶ既存サービスがありその燃料使用量が判明している場合や、燃料使用量を推計可能な場合に使用。 また、混載の場合には按分が必要	
燃費法	輸送距離と燃費からCO ₂ 排出量を算定。 同じ重量の貨物を運ぶ既存サービスについて、燃費が判明している場合に使用。混載の場合には按分が必要。	
トンキロ法	トラックの場合、積載率と車両の燃料種類、最大積載量別の輸送トンキロからCO ₂ 排出量を算定（改良トンキロ法）。 トラック以外（鉄道、船舶、航空）の場合、輸送機関別CO ₂ 排出原単位を利用（従来トンキロ法）。 地点や重量が同等のサービスに関する燃料データがない場合でも算定が可能。	

⁵ 温室効果ガス排出量算定・報告マニュアル(Ver4.3.2) (平成30年6月)第II編3.1.7をもとに作成。
https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/manual/chpt2_4-3-2.pdf

適用する手法は実証地域の状況に応じて検討する。以下、それぞれの算定手法について概説する。

なお、各算定手法については経済産業省・国土交通省「ロジスティクス分野における CO₂ 排出量算定方法 共同ガイドライン Ver. 3.1」(平成 28 年 7 月)を参考とした⁶。

1) 燃料法

燃料使用量を直接測定できる場合に使用する。具体的には、燃料の種類ごとに、燃料使用量に、単位量当たりの発熱量、排出係数(単位熱量当たりの炭素排出量)及び CO₂ の分子量である 44 を乗じ、C (炭素) の原子量である 12 で除すことで求める。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} &= (\text{燃料の種類ごとに) 燃料使用量 (t, kl, 千 Nm}^3\text{)} \\ &\quad \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\ &\quad \times 44/12 \text{ (tCO}_2\text{/tC)} \end{aligned}$$

活動量としては、燃料の使用量を用いる。単位発熱量及び排出係数は、燃料の種類ごとに算定省令により規定されている値を用いる。ガソリンの場合 単位発熱量は 34.6 GJ/kl、排出係数は 0.0183 tC/GJ、軽油の場合 単位発熱量は 36.7 GJ/kl、排出係数は 0.0187 tC/GJ となる。

なお、専用便でない場合(混載の場合)には、車両(船舶、航空機)全体からの CO₂ 排出量のうち、該当する荷物に関する CO₂ 排出量を按分により求める必要がある。

この場合、本調査における算定での按分方法としては、混載分の輸送量(トンキロ。運搬地点が同じ場合は貨物重量)をもとにする方法が想定される。

2) 燃費法

燃料使用量は測定できないが、燃費や輸送距離を推定できる場合に使用する。具体的には、輸送距離を燃費で除し、単位量当たりの発熱量、排出係数(単位熱量当たりの炭素排出量)及び CO₂ の分子量である 44 を乗じ、C (炭素) の原子量である 12 で除すことで求める。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} &= \text{輸送距離(km)} \div \text{燃費(km/l)} \times 1/1000(\text{kl/l)} \\ &\quad \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\ &\quad \times 44/12 \text{ (tCO}_2\text{/tC)} \end{aligned}$$

活動量としては、輸送距離及び燃費(により算出した燃料の使用量)を用いる。単位発熱量及び排出係数は、燃料の種類ごとに算定省令により規定されている値を用いる。ガソリンの場合 単位発熱量は 34.6 GJ/kl、排出係数は 0.0183 tC/GJ、軽油の場合 単位発熱量は 36.7 GJ/kl、排出係数は 0.0187 tC/GJ となる。

また燃費法においても燃料法と同様、混載の場合には CO₂ 排出量の按分を行う必要がある。

⁶ <http://www.greenpartnership.jp/co2/guidelinev3.1.pdf>

3) トンキロ法

既存物流サービスが存在しない場合に使用する。具体的には、輸送量（トンキロ）に対して燃料使用原単位を乗じ、単位量当たりの発熱量、排出係数（単位熱量当たりの炭素排出量）及びCO₂の分子量である44を乗じ、C（炭素）の原子量である12で除すことで求める。

$$\begin{aligned} \text{CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} &= \text{輸送量 (トンキロ)} \times \text{トンキロ法燃料使用原単位 (l/トンキロ)} \\ &\quad \times 1/1000(\text{kl/l}) \\ &\quad \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\ &\quad \times 44/12 \text{ (tCO}_2\text{/tC)} \end{aligned}$$

活動量としては、輸送量を用いる。燃料使用原単位については、車両の場合は最大積載量別積載率別原単位（改良トンキロ法）、車両以外の輸送モードの場合には輸送機関別CO₂排出原単位（従来トンキロ法）を用いる。改良トンキロ法におけるガソリン車の燃料使用原単位は次の数式に基づき算出できる⁷。

$$\ln(y) = 2.67 - 0.927 \times \ln(x/100) - 0.648 \times \ln(z)$$

x：積載率(%)、y：輸送トンキロ当たり燃料使用量 (L)、z：最大積載量 (kg)
ln は自然対数。積載率 10%未満のときは、積載率 10%の値を用いる。

単位発熱量及び排出係数は、燃料の種類ごとに算定省令により規定されている値を用いる。ガソリンの場合 単位発熱量は 34.6 GJ/kl、排出係数は 0.0183 tC/GJ となる。

⁷「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送にかかわるエネルギーの使用量の算定の方法（平成18年経済産業省告示第66号）」より

3. 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検証

3.1 過疎地域等における CO₂ 排出量削減効果のあるドローン物流モデルの検討

3.1.1 福島県南相馬市

(1) 協議会の概要と開催状況

1) 協議会の概要

福島県南相馬市では、郵便事業配送効率化協議会が開催された。同協議会は、ドローンを活用した郵便・物流事業の高度化及び CO₂ 排出量の削減を目標として組織されたものである。表 3-1 に、郵便事業配送効率化協議会の構成員と主な役割を示す。

表 3-1 郵便事業配送効率化協議会の構成と役割

構成員	主な役割
株式会社自律制御システム研究所 (代表事業者)	・ 検証実験を行うためのドローンシステムの提供 ・ 検証実験の準備及び遂行 ・ 協議会の運営及び報告書の作成 など
日本郵便株式会社	・ エンドユーザとして、ドローン物流の実効性及び継続性について検証するとともに敷地を提供。 ・ また、CO ₂ 排出量の比較調査に協力
南相馬市、浪江町 ⁸	・ 実証試験を行うための各種調整 ・ 事業の遂行に対し、地域の受容性や汎用性等の観点からフィードバックを行い、普及可能な事業構成の策定のための助言を提供 ・ 周辺住民等の関係者の合意形成、協力体制の構築に係る支援等

2) 開催状況

郵便事業配送効率化協議会の開催状況は以下の通りである。

- 第1回協議会
 - 開催日時：2018年9月27日
 - 開催場所：南相馬市放射線総合対策センター
 - 主な議題：
 - ◇ 事業全体の目的及び計画の確認
 - ◇ 実証実験計画の概要の確認

⁸ 浪江町はオブザーバーとして参加

- 実証実験
 - 実施日時：2018年11月5～6日
 - 実施場所：福島県南相馬市 小高郵便局～浪江郵便局間

- 第2回協議会
 - 開催日時：2019年1月10日
 - 開催場所：浪江郵便局
 - 主な議題：
 - ◇ 検証実験の振り返り
 - ◇ 課題と今後の展望

(2) 地域の物流の課題とドローンの必要性・意義

1) 地域の物流の課題

今回の検証実験の対象地域である福島県南相馬市及び浪江町では、東日本大震災関連の避難区域の設定等により配送に制約があり、その効率化が喫緊の課題となっている。また、少量の郵便物をトラックにより輸送する必要があり、CO₂ 排出量の観点から環境負荷が高い（配送方法が最適化されていない）ものと考えられる。さらに、将来的には全国的な高齢化及び労働人口の減少等に伴い、労働力（配送者）確保が難しくなり既存の郵便・物流ルートの維持が困難となる可能性がある。

2) ドローンの必要性・意義

郵便事業配送効率化協議会では、上記のような地域の物流の課題に対し、ドローンの必要性・意義を次のように考えている。まず、ドローンを導入することにより、少量の荷物を道路や交通規制等の制限なく、配送者等の専門人員の確保なしで配送することが可能となる。また、ドローンであればトラックによる配送と異なり渋滞や地形に左右されることがなくなるため、より効率的で柔軟な配送が可能となる。さらに、ドローンであれば電気駆動による最短（直線）経路配送が可能となるため、CO₂ 排出量が既存の方式に比べて少なくなり、よりクリーンな配送の実現が期待される。将来的には局間配送だけでなく、ラストワンマイルにおいて活用することも期待される。

なお、既に同協議会の構成員により以下のような複数の実証実験が実施されており、同協議会が構想するドローンの活用可能性も十分に示されつつある状況である。

- 世界初の12km長距離配送試験成功（2016、ACSL）
- 国土交通省主催「物流用ドローンポータル連絡会」の参画・討議（2016～2018、日本郵便）
- 国土交通省「交通運輸技術開発推進制度」にて開発されたドローンポータルを用いた実証試験（2017、ACSL・日本郵便）

(3) ドローン物流モデルの検討

地域の物流の課題とドローンの必要性・意義を踏まえ、郵便事業配送効率化協議会が検討しているドローン物流モデルの概要を表 3-2 に示す。

表 3-2 ドローン物流モデル概要（郵便事業配送効率化協議会）

事業戦略	<ul style="list-style-type: none"> 既存の郵便を維持するため、過疎地域等において、現行の方法（トラック、バイク等）と比較して効率的な輸送手段としてドローンを適用 人員が確保できない場合の代替手段の1つとしての活用も想定
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> 過疎地域等において、郵便物や荷物の輸配送を毎日実施 使用設備は、ドローン、ドローンポート、通信機器 郵便事業者が事業実施、機体メーカーによる保守・運用支援を想定
リスク	<ul style="list-style-type: none"> 採算性、天候不順による運航停止、機体の墜落、住民の理解等
社会的価値	<ul style="list-style-type: none"> 郵便サービスの維持及び高度化等

出所）南相馬市郵便事業配送効率化協議会の提供情報をもとにMRI整理

3.1.2 埼玉県秩父市

(1) 協議会の概要と開催状況

1) 協議会の概要

埼玉県秩父市では、秩父市ドローン配送協議会が開催された。同協議会は、山間地域における物流インフラの維持や山間地域における物流インフラの環境配慮等の課題を検証するための検証実験を実施していくにあたって構成された。表 3-3 に、秩父市ドローン配送協議会の構成員と主な役割を示す。

表 3-3 秩父市ドローン配送協議会の構成と役割

構成員	主な役割
楽天株式会社 (代表事業者)	<ul style="list-style-type: none"> ドローン配送ソリューションの提供 山間地域における物流が抱える課題に対するドローン利活用について検討
東京電力ベンチャーズ株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ドローンハイウェイの安全飛行インフラを用いた飛行支援（気象観測装置による飛行ルート安全性確認等）
株式会社ゼンリン	<ul style="list-style-type: none"> ドローンハイウェイの安全飛行インフラを用いた飛行支援（3次元地図による飛行ルートの提供等）
秩父市	<ul style="list-style-type: none"> 周辺住民等の関係者の合意形成、協力体制の構築に係る支援等

2) 協議会の開催状況

秩父市ドローン配送協議会の開催状況は以下の通りである。

- 第1回協議会
 - ✓ 開催日時：2018年10月5日
 - ✓ 開催場所：楽天株式会社
 - ✓ 主な議題：
 - 飛行ルート決定
 - 飛行ルートに関する分析
 - 役割分担確認
 - スケジュール等

- 第2回協議会
 - ✓ 開催日時：2018年12月7日
 - ✓ 開催場所：株式会社ゼンリン
 - ✓ 主な議題：
 - 各種進捗共有
 - 配送シナリオについて
 - 広報について

- 検証実験
 - ✓ 実施日時：2019年1月15日～2019年1月25日
 - ✓ 実施場所：埼玉県秩父市浦山ダム西側駐車場～大久保橋の袂

(2) 地域の物流の課題とドローンの必要性・意義

1) 地域の物流の課題

秩父市における主な物流の課題は①山間地域における物流インフラの維持と、②山間地域における物流インフラの環境配慮の2点である。

課題①については、少子高齢化と人口減少が要因にある。図 3-1 に示す人口の将来予測をみると、平成 27 年 65,741 人だった総人口は、平成 37 年には 56,861 人に減少する一方、老年人口は増加を続け、その割合を示す高齢化率は平成 27 年の 29.8%に対し、平成 37 年には 35.0%にまで上昇すると予測されている。また、図 3-2 の通り、平成 30 年 4 月現在、秩父市には高齢化率が 50%を超える限界集落が 8 箇所あり、このような地区では、自身の車の運転が困難となることで外出を控える結果、買い物に行けない等の問題が発生している。このような状況下、現在は山間地域を中心にトラックを用いた移動販売を行う民間事業者等が存在するものの、需要の減少や人手不足等により今後もサービスを維持できるかは不透明であり、新たな物流インフラの検討が不可欠である。

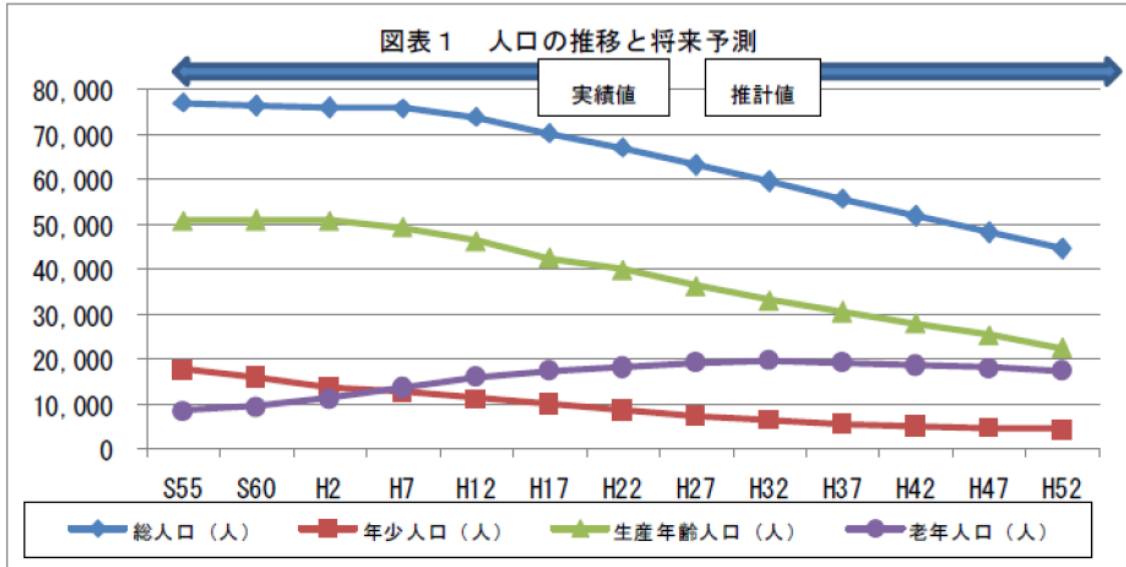


図 3-1 秩父市の人口の推移と将来予測

出所) 秩父市ドローン配送協議会

※年少人口：0～14歳、生産年齢人口：15～64歳、老年人口：65歳以上

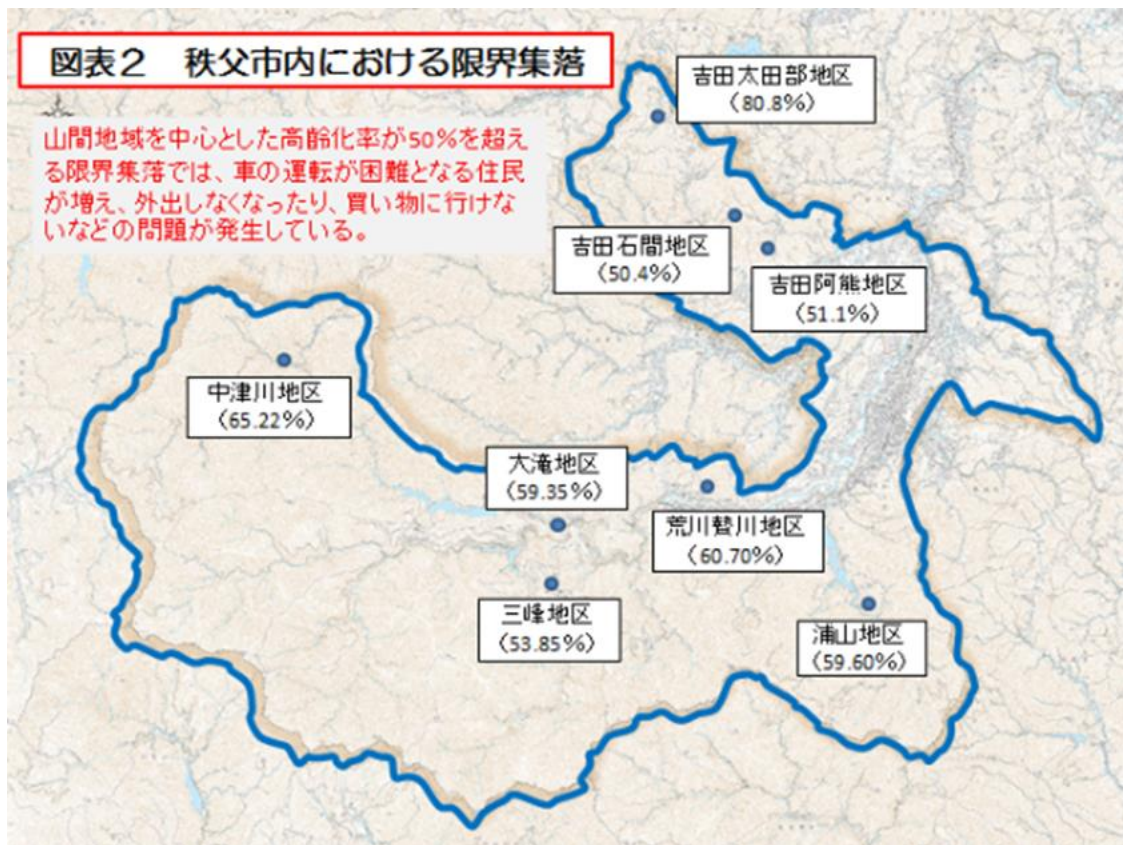


図 3-2 秩父市内における限界集落

出所) 秩父市ドローン配送協議会

課題②は、図 3-3 の通り、山間地域ゆえの地理的な特性によるものであり、限界集落までの高低差が大きく（市内中心部から最大で約 800m）、輸送距離も長くなることからエネルギー

一効率の悪化や無駄な CO₂ 排出が生じていると考えられる。また、秩父市は、「環境立市ちちぶ」を掲げ、温室効果ガス排出量の削減による低炭素社会の実現を目指していることから、環境面に配慮した新たな物流インフラの検討が必要である。



図 3-3 秩父市の主な限界集落における代表地点の標高

出所) 秩父市ドローン配送協議会

2) ドローンの必要性・意義

上述のような課題の有効な解決手段の1つとして、無人航空機（ドローン等）を活用した物流インフラの構築が想定される。ドローン物流のメリットとして、以下が想定される。

- 配送時間の短縮
- 無人化による効率化
- 高低差による非効率の解消

上記のようなメリットの一方、実用化に向けては、「目視外補助者無し飛行（いわゆるレベル 3）」のための安全性確保や積載重量の向上、配送頻度の向上等の解決すべき問題も多くある。これら諸問題について検証を行うため、実験を実施した。

(3) ドローン物流モデルの検討

地域の物流の課題とドローンの必要性・意義を踏まえ、秩父市ドローン配送協議会が検討しているドローン物流モデルの概要を表 3-4 に示す。また、ドローン物流のイメージについては図 3-4 の通りである。

表 3-4 ドローン物流モデル概要（秩父市ドローン配送協議会）

事業戦略	<ul style="list-style-type: none"> キャンプ場等のレクリエーション施設に来る消費者に対し、オンデマンド配送を実施 ドローンハイウェイの活用が強みの1つ
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> ドローンハイウェイを利用した、キャンプ場へのバーベキュー食材・用品等のドローン配送サービス シーズン期間である7月-11月の間、週20回程度の配送を想定 使用機材はドローン、3D モニタリングアプリ、ドローンダッシュボード、ドローンハイウェイ、ドローンポート等が想定
リスク	<ul style="list-style-type: none"> 採算性を想定
社会的価値	<ul style="list-style-type: none"> 地域雇用拡大や災害時インフラとしての活用を想定

出所) 秩父市ドローン配送協議会の提供情報をもとに MRI 整理

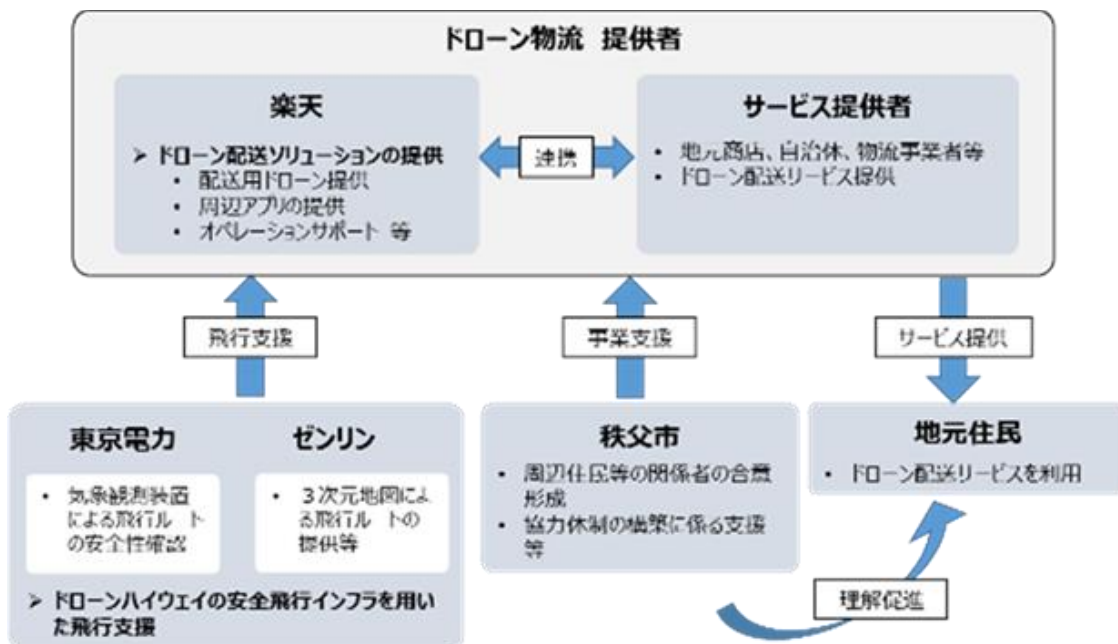


図 3-4 秩父市におけるドローン物流イメージ

出所) 秩父市ドローン配送協議会

3.1.3 長野県白馬村

(1) 協議会の概要と開催状況

1) 協議会の概要

長野県の北西部に位置する白馬村は標高 3,000m 級の後立山連峰の麓に位置する。夏季は登山客などの受け入れをしており、山小屋への物資輸送にドローンの活用を企図している。今回山小屋へのドローン物流を実施するにあたり、代表事業者である（株）白馬館のノウハウを補う形で、白馬村山岳ドローン物流実用化協議会を構成した。同協議会の構成員と主な役割を表 3-5 に示す。

表 3-5 白馬村山岳ドローン物流実用化協議会の構成と役割

構成員	主な役割
株式会社白馬館 (代表事業者)	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検証実験物流の実施主体 ・ 検証実験実施区域全体管理 ・ 今後の本格運用に向けた人材育成、ルール作り ・ 企画、広報
白馬村	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検証実験実施自治体（関係各所との調整、今後の本格運用に向けた企画、広報）
一般財団法人白馬村振興公社	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検証実験実施サポート
東京美装興業株式会社長野出張所	<ul style="list-style-type: none"> ・ オペレーションサポート
株式会社 e ロボティクス福島	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検証実験実施運用サポート
株式会社日本環境調査研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検証実験実施運用サポート
有限会社五百部商事	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン機体ほかハード開発 ・ 特殊オペレーション
株式会社ロックガレージ	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン飛行制御システムほかソフト開発
株式会社星山工業	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン機体ほかハード開発 ・ 特殊オペレーション
有限会社 KELEK	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン機体ほかハード開発 ・ 特殊オペレーション
株式会社カナモト長野営業所	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン機体のリース（保守管理含む） ・ 特殊オペレーション付きレンタル
株式会社東日本計算センター	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン飛行制御システムほかソフト開発
会津大学	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン飛行制御システムほかソフト開発
株式会社先端力学シミュレーション研究所	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン機体部品ほかハード開発 ・ 動態シミュレーション

2) 協議会の開催状況

白馬村山岳ドローン物流実用化協議会の開催状況は以下の通りである。

- 第1回協議会
 - ✓ 開催日時：2018年9月17日
 - ✓ 開催場所：(株)白馬館 会議室
 - ✓ 主な議題
 - 実証実験の内容について
 - 今後のスケジュール

- 検証実験
 - ✓ 実施日時：2018年10月21日～2018年10月23日
 - ✓ 実施場所：黒菱林道終点～村営八方池山荘

- 第2回協議会
 - ✓ 開催日時：2018年11月19日
 - ✓ 開催場所：(株)五百部商事 鹿沼工場
 - ✓ 主な議題
 - バッテリー実験
 - 実証実験の振り返り
 - 課題の抽出
 - 今後の取組み

(2) 地域の物流の課題とドローンの必要性・意義

1) 地域の物流の課題

現在白馬村において、山小屋への物資輸送は主にヘリコプターにて実施しているが、以下に掲げるような3つの課題が存在する。

- 課題① 輸送費の高騰：
公共工事や民間事業者の工事等における物資輸送、災害時の対応、ドクターヘリなどヘリコプターの需要増加に伴い、輸送単価の上昇圧力が年々高まっている。輸送費上昇分の一部を商品価格や宿泊費へ多少は転嫁しているものの、例えば登山者が高価な水を買って控えたがゆえに体調を崩してしまう可能性もあり、登山者の安全や利便性を考慮すると大幅な値上げは難しく、山小屋経営を圧迫する要因となっている。

- 課題② 天候の影響：
山岳エリアは風向きやその強さが変わりやすく、またガスや雲の発生など気象条件の変化が激しいため、ヘリコプターによる物資輸送が計画通りに進まないことが頻繁に生じている。長期にわたって物資輸送が滞った場合、山小屋で食糧不足が発生し

てサービスの低下につながることもある。実際、ある山小屋にて具のないカレーライスを提供したことや、従業員用の米が不足したこともあり、その深刻さは山麓での災害時に匹敵する場合すらある。

- 課題③ 輸送頻度の減少：

ヘリコプターの需要が高まっている他に、パイロットの不足、パイロットの稼働時間の短縮、機体の定期的な保守点検など複数の要因が重なり、そもそもの輸送頻度が減少する傾向にある。例えば2週間おきの荷上げが3週間になるなど、全体の物流量は変わらずともその運航間隔が延びることがある。長期保存できない食材や不足した医薬品の補充が間に合わず、これに課題②が重なることで物資不足のリスクが一段と高まる場合がある。

2) ドローンの必要性・意義

上述のような白馬村の山小屋における物資輸送の課題の解決策として、比較的ペイロードが大きなドローンを用いた物資配送の実用化が想定されている。これにより登山客の安全面やサービス面での課題解決が期待されるほか、山小屋従業員の職場環境の改善が期待される。また、ヘリコプターからドローンへの単純な置き換えだけでなく、下記のような新たな付加価値を生み出す効果も期待されている。

- サービス品質の向上

国際的な山岳リゾートを目指す白馬にとって、食事や就寝環境の品質向上は必要不可欠な要素である。生鮮食品等を頻繁に輸送することで食事の品質が向上し、また、山の上では洗濯できないシーツなどリネン類の交換も可能となることから滞在環境の品質を向上できる。

- 登山者の安全性向上

一般的に登山では極力荷物を減らす努力をするが、山小屋到着後に使用する着替えやテント泊の場合のテントなど荷物の一部をドローンで運ぶことができれば、登山者の体力消耗を抑えることが可能となる。また、山の上で体調を崩した登山者の荷物をドローンで運ぶことで、遭難救助の手助けも可能となる。

- 緊急時の対応

診療所がある山小屋はごく一部に限られているが、診療所の有無に関わらず山小屋に常備している医薬品が不足する場合がある。また、水が不足するなどの緊急事態も時おり発生しているが、小回りの利くドローンであればそのような緊急時にも対応できる。

(3) ドローン物流モデルの検討

地域の物流の課題とドローンの必要性・意義を踏まえ、白馬村山岳ドローン物流実用化協議会が検討しているドローン物流モデルの概要を表 3-6 に示す。

表 3-6 ドローン物流モデル概要（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）

<p>事業戦略</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 登山客、山小屋スタッフに対し、山小屋で必要となる物品やおもてなし品などの配送サービスを提供 ・ ヘリコプターによる既存物流の改善、サービス品質向上、安全性向上、緊急対応 ・ 過疎地域での買い物支援と比較して、おもてなし品の配送など付加価値品の輸送需要が多い点を期待 ・ 日本のインバウンド需要を背景とした外国人登山者の増加が見込まれている他、白馬村の観光政策として北アルプス白馬連峰を軸としたマウンテンリゾートを目指している点が強み
<p>事業内容</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山小屋（標高 2100m～2800m 程度）に向け、食料品や売品、医薬品の他、登山客の荷物の一部やおもてなし品などを輸送 ・ 山小屋からの荷下ろし品として、廃棄物、登山客の荷物の一部等を輸送 ・ シーズン期間である 4 月中旬～10 月中旬のうち 45 日間程度、1 日 12 往復程度の配送 ・ 積載重量が比較的大きいドローン、ヘリポートを使用 ・ 運用は山小屋職員が実施することを想定
<p>リスクと対策</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 採算性や地域住民の事業理解、山岳エリア特有の安全性リスク、高山動植物への影響等 ・ 採算性についてはドローン関連レジャーとの連携等を検討
<p>社会的価値</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 山小屋スタッフの就業環境改善による人手不足の解消 ・ グリーンシーズンの入山者増加による山麓施設への波及 ・ 高付加価値品の提供による経済波及

出所) 白馬村山岳ドローン物流実用化協議会の提供情報をもとに MRI 整理

3.1.4 岡山県和気町

(1) 協議会の概要と開催状況

1) 協議会の概要

岡山県和気町では、和気町ドローン物流検証実験協議会が設置・開催された。同協議会は、少子高齢化が進み、買い物難民が増加する和気町において、利用者視点から過疎地域にドローン物流を定着化させるために必要な事業採算性の検証を行うとともに、安全性の課題、技術的課題、法律・規制の課題を洗い出すための検証実験の推進を目的として組織されたものである。以下に、同協議会の構成員と主な役割を表 3-7 に示す。

表 3-7 和気町ドローン物流検証実験協議会の構成と役割

構成員	主な役割
株式会社 Future Dimension Drone Institute (代表事業者)	<ul style="list-style-type: none"> ドローン物流モデルの検討・作成 モデルの試行的実施 協議会事務局
和気町	<ul style="list-style-type: none"> 検証実験対象者・町民への説明・調整・周知 ドローン物流モデルの検討・承認、本格運用検討 協議会事務局
和気商工会	<ul style="list-style-type: none"> 検証実験における商品提供 買い物サポートさえきとの連携配送 ユーザサービス評価
岡山東農業協同組合	<ul style="list-style-type: none"> 検証実験における商品提供 ユーザサービス評価
買い物サポートさえきユーザ会	<ul style="list-style-type: none"> モデルの試行的実施におけるサービス利用 モデルの試行的実施におけるユーザ評価
和気町内の町内会	<ul style="list-style-type: none"> 町内横展開・本格展開におけるアイデア・要望の整理 モデルの試行的実施におけるユーザ評価
慶應義塾大学名誉教授 井手 秀樹	<ul style="list-style-type: none"> 検証実験におけるアドバイザー ドローン物流モデル評価 ユーザサービス評価

2) 協議会の開催状況

和気町ドローン物流検証実験協議会の開催状況は以下の通りである。

- 第1回協議会
 - ✓ 開催日時：2018年10月22日
 - ✓ 開催場所：和気町役場
 - ✓ 主な議題：
 - 和気町ドローン物流検証実験協議会規約（案）について
 - 平成30年度役員選出について
 - ドローン物流検証実験の概要・スケジュールについて
 - 本検証実験に用いるドローンについて
 - 取りまとめの方向性と情報提供依頼について

- 検証実験
 - ✓ 実施日時：2018年12月1日～2018年12月15日
 - ✓ 実施場所：岡山県和気町和気ドーム駐車場(和気町益原多目的公園内)～津瀬地区

- 第2回協議会
 - ✓ 開催日時：2019年1月30日
 - ✓ 開催場所：和気鶴飼谷温泉
 - ✓ 主な議題：
 - 岡山県和気町におけるドローン配送実験の報告
 - ドローン配送実用化に向けて
 - 今後ドローン活用に向けて

(2) 地域の物流の課題とドローンの必要性・意義

1) 地域の物流の課題

和気町の佐伯エリアは、和気町の中でも高齢者が多く、その全エリアが過疎地域となっている。周辺は山に囲われており、近隣に商業施設がなく、また高齢のために自動車に乗ることができない住民が増加し、移動が困難な状況となっている。

そこで、和気町は佐伯エリアを対象に宅配サポート支援事業「買い物サポートさえき」を開始した。佐伯エリアの様子を図 3-5 に、当該サービスの概要を表 3-8 に示す。なお、検証実験を行った津瀬地区は宅配サポート支援事業の対象エリア外である。



図 3-5 佐伯エリアの様子

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会

表 3-8 買い物サポートさえきの概要

配達対象	旧佐伯町地域（約 1400 世帯）
注文・配達方法	電話注文を受けた商品を自宅まで配達
配達頻度	東エリア、西エリアそれぞれ週 2 回の配達（配送料は無料）
取扱商品	日常に必要な食料品／日用雑貨／衣料品／薬（第三類）
加盟店	6 店舗
補助金	和気町が 320 万円/年で業務委託

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会



図 3-6 買い物サポートさえき

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会

当該サービスの現状の課題は以下の通りである。

- 和気町の課題
 - ✓ 高齢者の増加、地域産業の衰退により税収が減少し、買い物弱者に対して多くの負担をかけた支援が困難
- 配達事業者の課題
 - ✓ 商工会の人手不足により、今後、継続的に配送支援を実施できるか不透明
- 利用者の課題
 - ✓ 宅配頻度が週 2 回と限定的であるため、利便性が低い

2) ドローンの必要性・意義

上述のような和気町における宅配サービスの課題に対し、ドローンの必要性・意義としては、以下の点が挙げられる。

- 低コストで住民インフラを提供
 - ✓ 多頻度配送により、住民の利便性を向上させながらも、通常の配送に比べ低コストによる運用が可能になると想定
- 配送サービスの負担軽減
 - ✓ 既存配送の物量を、ドローンの配送で分散させることで、車両による既存配送サービスの負担を軽減
- 住民の利便性向上
 - ✓ 既存の配送サービスとドローン配送の組み合わせにより、現状の未配送期間を縮小、当日配送を実現
 - ✓ 「欲しい物が、欲しい時に手に入る」という住民の利便性を向上

和気町において、こうした荷物配送にドローンを導入する意義として、次のような点が挙

げられる。

- 和気町での課題解決は、今後日本各地で直面する少子高齢化等の社会課題に先鞭を付き、省人化されたユニバーサルサービスの運営体制を構築できる。
- 和気町内を縦断する吉井川の上空をメインのドローン飛行ルートとして計画することで、安全性を確保するとともに、全国的にも河川沿いの過疎地域が多く、他の過疎地域に展開可能な配送モデルを構築できる。
- 小規模自治体で資源が限定されることを念頭に、大型ドローンの活用に「選択と集中」をし、確実に推進する。

(3) ドローン物流モデルの検討

地域の物流の課題とドローンの必要性・意義を踏まえ、和気町ドローン物流検証実験協議会が検討しているドローン物流モデルの概要を表 3-9 に示す。

表 3-9 ドローン物流モデル概要（和気町ドローン物流検証実験協議会）

事業戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・ 過疎地域の住民に対し、タイムリーかつリーズナブルな荷物配送の提供、災害時に対する安心感の提供 ・ 既存物流に対する運用コストの低減、荷物配送以外の事業との兼用による初期コストの低減 ・ 初期には自治体の支援を受けながら事業を確立、中長期的には既存物流事業と競合が想定。
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 食料品や日用品のオンデマンド宅配、災害時の緊急物資配送等 ・ 河川上空を飛行経路として使用、1日1～2便程度の配送 ・ 使用機材はハイブリッド方式のドローン、離着陸地点の10m四方のヘリポート設置 ・ 自治体、小売業者との協業により事業実施
リスクと対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 採算性や事故による事業中止が想定
社会的価値	<ul style="list-style-type: none"> ・ 対住民サービスレベルの向上、地域雇用拡大、新たな産業振興、企業誘致等

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会の提供情報をもとにMRI整理

3.1.5 福岡県福岡市

(1) 協議会の概要と開催状況

福岡県福岡市では、福岡市ドローン物流協議会が開催された。同協議会は、ドローンを活用した離島地域における物流事業の高度化及びCO₂排出量の削減を目標として組織されたものである。以下に、福岡市ドローン物流協議会の構成員と主な役割を示す。

表 3-10 福岡市ドローン物流協議会の構成と役割

構成員	主な役割
ANA ホールディングス株式会社（代表事業者）	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運航管理、ドローンオペレーション ・ 検証実験の準備及び遂行 ・ 協議会の運営及び報告書の作成
エアロセンス株式会社	<ul style="list-style-type: none"> ・ ドローン機材開発、提供、準備
福岡市	<ul style="list-style-type: none"> ・ 検証対象となる地域との調整 ・ 対象地域における物流課題調査

1) 開催状況

福岡市ドローン物流協議会の開催状況は以下の通りである。

- 第1回協議会
 - 開催日時：2018年10月15日
 - 開催場所：ANA ホールディングス本社
 - 主な議題：
 - ◇ 当該地域の物流課題とドローンの必要性・意義
 - ◇ 検証実験のスケジュール
 - ◇ 検証実験の概要と方法

- 第2回協議会
 - 開催日時：2018年11月12日
 - 開催場所：ANA ホールディングス本社
 - 主な議題：
 - ◇ 検証概要及び方法
 - ◇ 準備状況確認、残課題の確認
 - ◇ 中止条件等に関する議論

- 実証実験
 - 実施日時：2018年11月20～21日⁹
 - 実施場所：福岡県福岡市 唐泊港～玄界島ヘリポート間（海上飛行）

- 第3回協議会
 - 開催日時：2019年1月24日
 - 開催場所：ANA ホールディングス本社
 - 主な議題：
 - ◇ 検証実験の振り返り
 - ◇ 課題と今後の展望

⁹ 22日も実証実験が予定されていたが、悪天候のため中止となった。

(2) 地域の物流の課題とドローンの必要性・意義

1) 地域の物流の課題

今回の検証実験の対象地域である玄界島は、博多港の北西に位置している人口 462 名程度の離島である。同島は、2005 年に発生した福岡県西方沖地震の際に住宅の半数が全壊するなどの被害を受けたこともあり、急速な人口減少と少子高齢化が進んでいる。

島への生活品・宅配物等の物資の輸送は、市営渡船(図 3-7)で行われている。そのため、荒天時等では島内にある漁協購買部にて販売される生活必需品が売り切れてしまうことも多く、島民が必要な時に必要なものを購入できるとは限らない状況となっている。また、島内での配送手段もないため、宅配物は一旦漁協が預かり、該当する家庭に電話連絡し、各家庭が荷物を受け取りに来る必要がある。これは、車を持たない家庭や高齢者世帯において、大きな負担となっている。

一方、郵便物に関しては、市営渡船とは別に個人漁船(図 3-8)にて本土から玄界島まで輸送されている。漁船の運航及び集配は個人が一人で担っている状況であり、継続性と人手不足が課題として認識されている。



図 3-7 市営渡船「きんいん」の外観



図 3-8 個人渡船「若狭丸」の外観

出所) 福岡市ドローン物流協議会

2) ドローンの必要性・意義

福岡市ドローン物流協議会では、上記のような地域の物流の課題に対し、ドローンの必要性・意義を次のように考えている。まず、ドローンを導入することにより、本土～離島間において、少量の荷物を道路や交通規制等の制限なく、配送者等の専門人員の確保なしで配送することが可能となる。また、ドローンであれば電気駆動による配送が可能となるため、CO₂排出量が既存の方式(漁船)に比べて少なくなり、よりクリーンな配送の実現が期待される。さらに、ドローンによる本土から離島へのオンデマンド配送や、個人宅への時間指定配送等が実現すれば、現状島民が抱える課題が解決し、利便性のさらなる向上に資するものとなる。

(3) ドローン物流モデルの検討

地域の物流の課題とドローンの必要性・意義を踏まえ、福岡市ドローン物流協議会が検討しているドローン物流モデルの概要を表 3-11 に示す。

表 3-11 ドローン物流モデル概要（福岡市ドローン物流協議会）

事業戦略	<ul style="list-style-type: none"> ・ 運送事業者及び個人に対し、離島ー本土間のドローンによる物資輸送サービスを提供 ・ 複数の運送事業者の貨物を混載し、ドローンの運航効率を高めることで既存の離島間輸送サービスに対する強みを発揮
事業内容	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市営渡船・個人漁船の代替として、1日2往復程度のドローン輸送サービスを提供 ・ 将来的には、10kg程度まで積載可能なドローンの使用、離島・本土の離着陸地点にドローンポート設置を想定 ・ ドローン物流の仕組みを構築したうえで、実運用は地場の個人漁船運航事業者等の運用、自治体や漁業組合によるドローンポート管理等の実施を想定
リスクと対策	<ul style="list-style-type: none"> ・ 採算性やドローンの落下等を主なリスクとして想定 ・ 落下リスクに関しては、運航ルートが海上であり、地上に比べ人への安全リスクは低いものと想定 ・ 海上に落下した場合の物資保証等については要検討
社会的価値	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地域雇用拡大、既存物流従事者の多機能化等

出所) 福岡市ドローン物流協議会の提供情報をもとに MRI 整理

3.2 各実証地域におけるドローン物流モデルの検証

3.2.1 検証実験の実施

(1) 福島県南相馬市

1) 検証実験の概要

a. 検証実験の目的

郵便事業配送効率化協議会では、現状の自動車配送と、ドローンで代替した場合の配送とを比較することにより、主に以下の項目を検証することを目的に実験を行った。

- 対象地域におけるドローン物流の実現可能性確認及び課題の洗い出し
- CO₂排出量削減効果
- ドローン物流の費用対効果（イニシャルコスト、ランニングコスト）等

b. 配送シナリオ

郵便事業配送効率化協議会では、福島県南相馬市の小高郵便局～浪江郵便局間において、局間配送を模擬した飛行を実施した。なお、今回は補助者なし目視外飛行での実験のため、中間地点で通信中継が行われるとともに、飛行実験を周知するための看板等が設置された。検証実験のイメージを図 3-9 に示す。

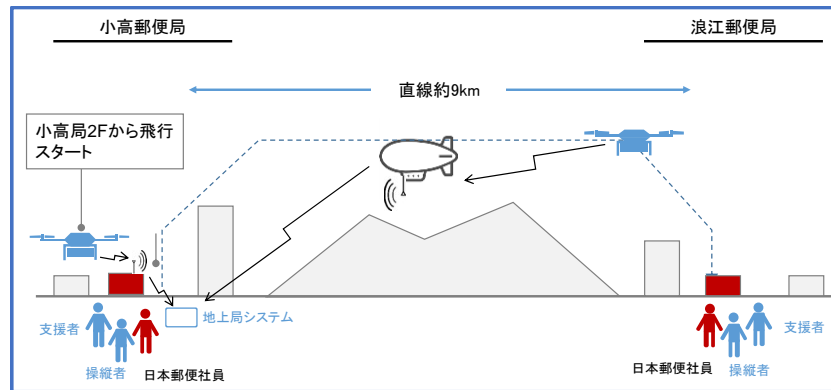


図 3-9 検証実験のイメージ（郵便事業配送効率化協議会）

出所) 南相馬市郵便事業配送効率化協議会

c. 飛行経路

郵便事業配送効率化協議会の検証実験における飛行経路は、日本郵便小高郵便局から約 9km の距離にある浪江郵便局までのルートとして設定された。飛行時間は約 15 分であった。図 3-10 に飛行経路を示す。



図 3-10 飛行経路（郵便事業配送効率化協議会）

出所) 南相馬市郵便事業配送効率化協議会

d. 使用機体

郵便事業配送効率化協議会の検証実験において使用された機体 ACSL-PF1 の外観と仕様を図 3-28 及び表 3-19 に示す。



図 3-11 ACSL-PF1 の外観

表 3-12 ACSL-PF1 の仕様

項目	値
機体重量	6.9 kg
最大積載量	2.2 kg
最高速度	72 km/h
最大飛行距離	10km
最大飛行時間	45 分

出所) 南相馬市郵便事業配送効率化協議会

e. 積載物

郵便事業配送効率化協議会の検証実験における積載物は、業務用書類やパンフレットを模擬した荷物約 1.2kg であった。同荷物は図 3-12 に示す専用のボックスに梱包され、ドローンに搭載された。



図 3-12 貨物搭載用のボックス (郵便事業配送効率化協議会)

出所) 南相馬市郵便事業配送効率化協議会

f. 測定データ

郵便事業配送効率化協議会の検証実験における測定データ項目は以下の通りである。

- ペイロード重量
- 飛行高度
- 飛行速度
- 風速
- バッテリーの飛行前/後電圧
- 充電荷量
- 消費エネルギー

2) 検証実験結果（日時、回数、積載物）

a. 結果概要

郵便事業配送効率化協議会の検証実験は2018年11月5～6日に実施された。飛行回数は計3回で、いずれも問題なく飛行実験及び必要データの測定を完了した¹⁰。なお、同実証実験は、国土交通省が9月に改正した「無人航空機の飛行に関する許可・承認の審査要領」に基づき、我が国で初めて10月26日に補助者を配置せずにドローンを目視外飛行させる承認を得て実施された。



図 3-13 離陸前（小高郵便局）

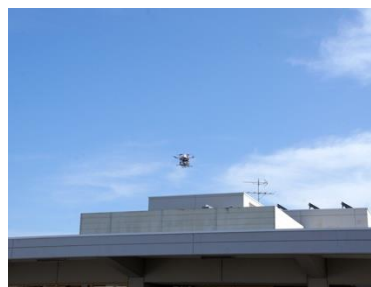


図 3-14 着陸前（浪江郵便局）

出所) 南相馬市郵便事業配送効率化協議会

b. 今後の課題

郵便事業配送効率化協議会の検証実験を通し、同地域におけるドローン物流の実現に対して得られた課題は以下の通りである。

- 物流ドローン実用の推進にあたって
 - 事業導入しやすい制度制定の必要性
 - ◇ 現行の制度の場合飛行ルート・飛行時間が固定であり、新規申請・変更ともに多大な調整工数がかかる（立入管理区画の範囲算定、看板設置、道路管理者・警察との調整、有人機への情報提供等）
 - ◇ 機体仕様の細部まで申請が必要で、改善・変更にかかる時間がかかる
 - ◇ 通信環境の確保（携帯電話網の活用等）が必要
 - 社会受容の獲得
 - ◇ 自治体の積極的な協力が不可欠（行政区長による周知、協力者の紹介等）
 - ◇ 住民理解を得るための入念な調整が必要（タウンメール配布など）
 - 雨、風などの悪天候に対するロバスト化
 - 墜落による事業リスクの軽減
- 配送による環境負荷軽減にあたって:
 - 機体性能のさらなる向上（重量、航続距離、操作性）

¹⁰ 2018年11月1～2日に事前飛行が行われている。こちらでも計3回の飛行を実施し、いずれも問題なく実験を完了している。そのため、同協議会では計6回分の飛行データを集計した。

- 運用の最適化 (飛行経路、搭載重量、頻度)

(2) 埼玉県秩父市

1) 検証実験の概要

a. 検証実験の目的

秩父市ドローン配送協議会では、自動車で配送を実施した場合と、ドローンで代替した場合の配送とを比較することにより、主に以下の項目を検証することを目的に実験を行った。

- CO₂排出量削減効果
- 費用対効果 (イニシャルコスト、ランニングコスト) 等

b. 配送シナリオ

本検証実験での配送シナリオとして、送電設備上空を空の道として利用した「ドローンハウェイ」を活用し、バーベキュー用品等を配送することが想定された。キャンプ場の顧客が、携帯電話端末からアプリで必要な商品を注文し、ドローンで荷物が配送されるシナリオに基づき、実証実験が実施された。

c. 飛行経路

検証実験の飛行経路を図 3-15 に示す。離陸地点は浦山ダム西側駐車場であり、秩父市ネイチャーランド浦山の入り口付近である大久保橋の袂まで、約 3km の距離での飛行を実施した。



図 3-15 飛行経路 (秩父市ドローン配送協議会)
出所) 秩父市ドローン配送協議会資料をもとに地理院タイルを加工してMRI作成

d. 使用機体

本検証実験で使用した機体である天空2の外観と仕様を図 3-16 及び表 3-13 に示す。



図 3-16 天空2の外観

表 3-13 天空2の仕様

項目	値
機体重量	9.6 kg
最大積載重量	2 kg
最高速度	72 km/h
最大飛行距離	7km
最大飛行時間	15 分

出所) 秩父市ドローン配送協議会

e. 積載物

本検証実験においては、秩父市ネイチャーランド浦山の消費者からの注文品として、紙皿、ウェットティッシュ、虫刺され薬、プラスチックコップ、焼肉のタレ、フォークを配送した。

f. 測定データ

秩父市ドローン配送協議会の検証実験における測定データ項目は以下の通りである。

- 積載重量及び積載物
- 離着陸時のバッテリー電圧

2) 検証実験結果

a. 結果概要

本検証実験では2019年1月15日から1月25日の間の9日間、飛行試験及び荷物配送を実施した。実際に飛行を実施した回数は合計9回である。表3-14に本検証実験の具体的な検証日と積載物を示す。

表 3-14 検証実施日と積載物（秩父市ドローン配送協議会）

検証実施日	積載重量	積載物
1月17日	0g	-
1月18日	0g	-
1月21日	500g	紙皿、ウェットティッシュ、虫刺され薬
1月21日	1000g	紙皿、ウェットティッシュ、虫刺され薬、プラスチックコップ、焼肉のタレ、フォーク
1月22日	500g	紙皿、ウェットティッシュ、虫刺され薬
1月23日	500g	
1月23日	500g	
1月25日	500g	
1月25日	500g	

出所) 秩父市ドローン配送協議会

b. 今後の課題

本検証実験において明らかになった課題は以下の2点である。

1点目は採算性の課題である。現状、既存の物流サービスをドローンに代替すると、大きなコストの発生が見込まれることが想定される。そのコストの内訳としては、ドローン機体、ドローンポート等のインフラの費用とオペレータ人件費がその多くを占めている。

2点目は配送の確実性の課題である。既存の物流サービスの場合は、大規模災害が生じた場合等を除き、様々な環境下で配送を実施している一方で、ドローン物流の場合には、天候要因によって配送が行えないケースが存在する。例えば、本検証実験中には、強い風の影響でドローンの飛行を中止する日があった他、約5℃の気温が低い環境下でドローンを飛行した際は、より高い気温の環境下で飛行した時と比較して、機体の飛行可能時間が短くなった。このように、ドローン配送は天候の影響を受けやすい点が明らかになった。

(3) 長野県白馬村

1) 検証実験の概要

a. 検証実験の目的

白馬村営の山小屋に対し、既存サービスではヘリコプターで実施している食料品等の配送を、ドローンで代替した場合の配送と比較することにより、主に以下の項目を検証することを目的に実験を行った。なお、検証実験は2018年10月21日～10月23日にわたって実施した。

- CO₂排出量削減効果
- ドローン荷物配送の費用対効果（イニシャルコスト、ランニングコスト）
- ドローン物流本格導入に向けた各種評価項目
- ドローン物流本格導入に向けた課題点 等

b. 配送シナリオ

長野県白馬八方尾根スキー場の黒菱林道終点から直線距離約1km（標高差350m）の距離にある村営八方池山荘（標高1850m）へ、ドローンを用いて食料ほか生活必需品などの物資を輸送した。

c. 飛行経路

往路は白馬八方尾根スキー場の黒菱林道終点（標高1500m）のドローンポートAから、配送品を収納した輸送容器を含む約3.2～8kgを積載したドローン（神旗GF1-01）を連続飛行させて、標高差350m、約1.0km離れた八方池山荘のドローンポートCに向け配送した。

復路は八方池山荘（標高1850m）のドローンポートCにて別の配送品に付け替えて、再び八方尾根スキー場上空を連続飛行させて、黒菱林道終点のドローンポートAに向け配送した。

検証実験の飛行経路を図3-17に示す。また、ドローンポートA、中継点B、ドローンポートCの概観をそれぞれ図3-18、図3-19、図3-20に示す。



図 3-17 飛行経路（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）
 出所）白馬村山岳ドローン物流実用化協議会資料をもとに地理院タイルを加工してMRI作成



図 3-18 黒菱林道終点：ドローンポート A
 出所）白馬村山岳ドローン物流実用化協議会



図 3-19 中継点 B
 出所）白馬村山岳ドローン物流実用化協議会



図 3-20 八方池山荘：ドローンポート C
 出所）白馬村山岳ドローン物流実用化協議会

d. 使用機体

本検証実験で使用した機体は、神旗 GF1-01 及び神旗 GF1-00（双方とも五百部商事製）の

2機種である。外観と機体仕様をそれぞれ図 3-21 と表 3-15、図 3-22 と表 3-16 に示す。



図 3-21 神旗 GF1-01 の外観
出所) 白馬村山岳ドローン物流実用化協議会

表 3-15 神旗 GF1-01 の仕様

項目	値
機体重量	14.5 kg
最大積載重量	10 kg
最高速度	7m/s
最大飛行距離	7km
最大飛行時間	16 分



図 3-22 神旗 GF1-00 の外観
出所) 白馬村山岳ドローン物流実用化協議会

表 3-16 神旗 GF1-00 の仕様

項目	値
機体重量	13.0 kg
最大積載重量	7.5 kg
最高速度	7m/s
最大飛行距離	—
最大飛行時間	18 分

e. 積載物

本検証実験において使用した配送物は往路（上げ荷）と復路（下げ荷）で入れ替えた。図 3-23 のように往路は米の他、ドローン配送により可能となるアイスや生きた岩魚の配送も実施した。復路は山小屋で発生した空き缶等の不要物を配送した。いずれの場合も適宜おもりを入れ、積載物重量が 3.2～8kg となるよう調整を行った。

f. 測定データ

白馬村山岳ドローン物流実用化協議会の検証実験における測定データ項目は以下の通りである。

- 積載重量及び積載物
- 飛行時間
- 離着陸時の電圧
- 騒音レベル
- 天候、風速



①上げ荷（米）



②上げ荷（米とおもり）



③上げ荷（アイス）



④上げ荷（生きた岩魚）



⑤下げ荷（空き缶や新聞紙）

図 3-23 輸送物品の例（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）

出所）白馬村山岳ドローン物流実用化協議会

2) 検証実験結果

a. 結果概要

本検証実験では、2018年10月21日から10月23日の間の3日間、荷物配送実施した。実際に荷物配送を実施した飛行便数は合計5往復である。表 3-17 に本検証実験の具体的な検証日と積載物を示す。

表 3-17 検証実施日と積載物（白馬村山岳ドローン物流実用化協議会）

検証実施日	積載重量	積載物
10月22日	8000g	米（往路）
	8000g	米（復路）
10月22日	4500g	岩魚（往路）
	4700g	空き瓶等（復路）
10月22日	4800g	アイス（往路）
	3200g	空き缶等（復路）
10月23日	8000g	米（往路）
	8000g	米（復路）
10月23日	8000g	米（往路）
	8000g	米（復路）

出所）白馬村山岳ドローン物流実用化協議会

b. 追加試験概要

現地試験結果から消費電力計算を行うために不足しているバッテリー電圧と飛行時間の関係について、五百部商事工場においてホバリング飛行により測定を実施した。また、ホバリング時の電流量についても測定を行った。

c. 今後の課題

本検証実験において明らかになった課題は以下の5点である。

- 物流飛行経路
目視外飛行で高度 150m を超える飛行を実現することは規制面等の要因で現時点では困難であるため、高度 150m を保ち飛行できる登山道に沿ったルートの設定が必要となる。登山道に沿ったルートの場合、山肌等の障害物により通信が途切れる可能性がある。そのため、長距離飛行や障害物があってもドローンとの通信が途切れないような通信方法を検討する必要がある。
- ヘリコプター、パラグライダー等への対応
事前に試験実施のため周囲での飛行を控えるよう伝えたが、試験当日は近辺をヘリコプターやパラグライダーが飛行していたことがあり、その際はドローンによる飛行試験が実施できなかった。飛行高度が異なるため飛行の危険性は実質的にはないものの、現場との意思疎通が取れていなかった点は課題であり、今後の実用化に向け現場と連絡を取れる仕組み作りを行う必要がある。
- 灯火装置の充実
試験で使用した灯火装置は監視者から見えにくいものであったため、より監視者からの確認が容易な灯火装置に変更する等の改善が必要である。

- ペイロード改善

事業化する上では効率性などの観点からより大きなペイロードの機体で運用する必要がある。また、検証実験で使用したドローンは荷物搭載のスペースが小さく、配送を想定している食料品の場合は搭載物の重量よりも搭載物の容積が制約となる場合があった。今後搭載物に適したペイロード装置に変更する等の改善が必要である。

- チェックシート改善

本検証実験では飛行の安全のために1往復ごとにチェックシートが作成されており、山頂・麓の記入欄が1枚に集約されていたため、不要な項目が増え、記入すべき欄がわかりづらかった。そのため、今後の実用化に向け山頂と麓の離発着ポートごとにチェックシートを分け、実用的なものに改善する必要がある。

(4) 岡山県和気町

1) 検証実験の概要

a. 検証実験の目的

過疎地域の集落に対し、既存サービスでは自動車で実施している生活用品等の配送を、ドローンで代替した場合の配送と比較することにより、主に以下の項目を検証することを目的に実験を行った。なお、検証実験は2018年12月1日～12月15日にわたって実施した。

- 対象地域におけるドローン荷物配送の実現可能性確認及び課題の洗い出し
- CO₂排出量削減効果
- ドローン荷物配送の費用対効果（イニシャルコスト、ランニングコスト）等

b. 配送シナリオ

和気ドーム駐車場から約10km（飛行時間約15分）の距離にある津瀬地区との間において、食料品や日用品の配送を実施した。津瀬地区の住民から配送当日9時までに注文を受けた商品を、当日の12時頃にドローンに積載して和気ドームから発送した。津瀬地区にて荷物を受け取った後、安全確認を行ったうえで、ドローンを飛行、帰還させた。

図3-24に、商品の注文からドローンによる配送の流れを示す。津瀬地区住民からの商品の注文は、電話、FAX及びアプリによる受付を行った。配送対象とする商品については、ファミリーマート、天満屋ハピーズとの協力の下で提供した。

----- 配送当日 -----

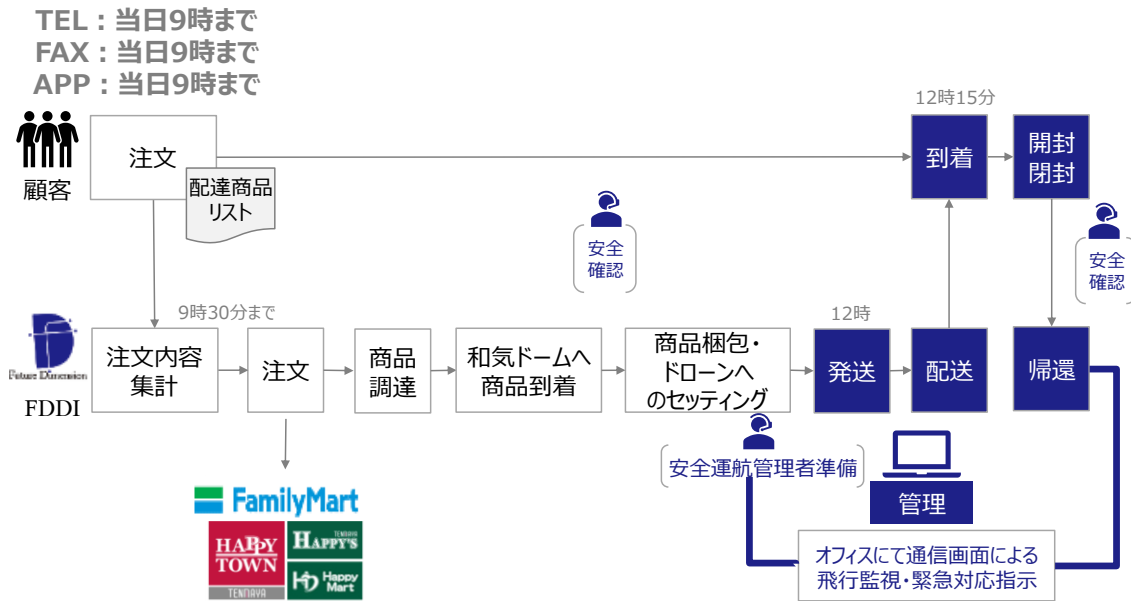


図 3-24 商品の注文からドローンによる配送の流れ

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会

c. 飛行経路

検証実験の飛行経路を図 3-25 に示す。商品発送地点である和気ドーム駐車場から、配送先の津瀬地区までの間は、吉井川に沿って上空を飛行した。津瀬地区における着陸地点の様子を図 3-26 に示す。津瀬地区公民館前の空き地にドローン着陸用のポートを作成した。

なお、本検証実験では、飛行時の安全を確保するため、操縦者は自動車に乗り、飛行するドローンと並走するとともに、飛行経路上に補助者を配置して実施した。

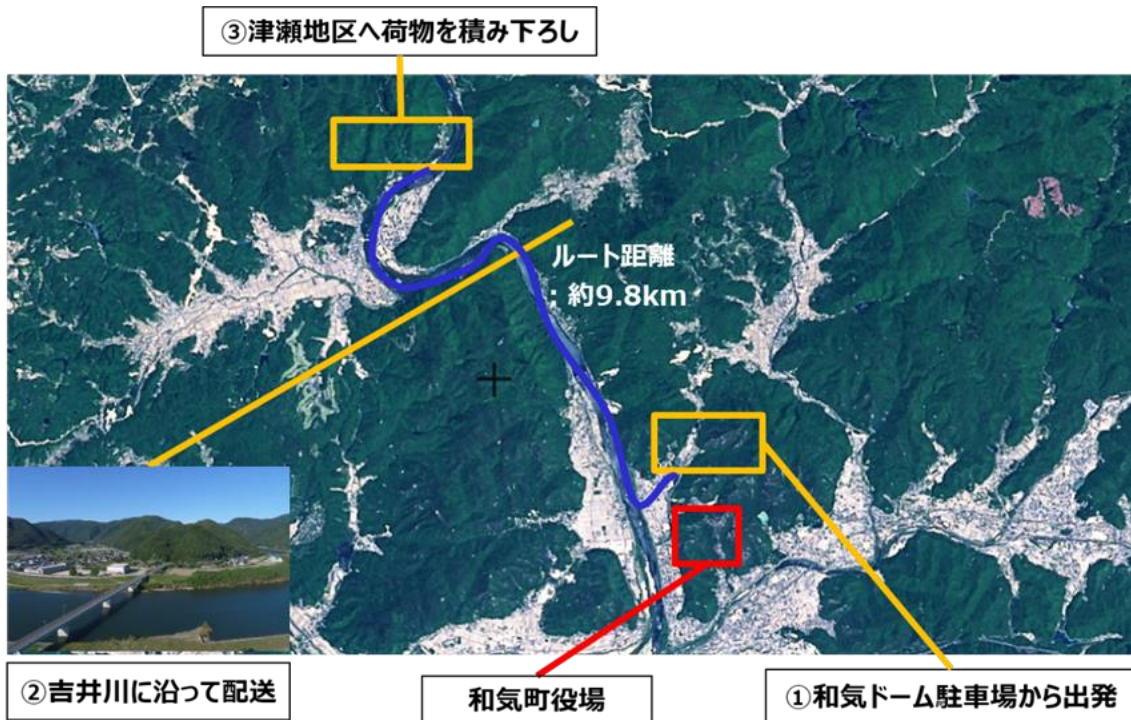


図 3-25 飛行経路（和気町ドローン物流検証実験協議会）

出所）和気町ドローン物流検証実験協議会



図 3-26 津瀬地区における着陸地点

出所）和気町ドローン物流検証実験協議会

d. 使用機体

本検証実験で使用した機体は、AeroRange 及び AeroRange2（双方とも株式会社エアロジ

ーラボ製)の2機種である。それぞれの外観と機体仕様を図 3-27、表 3-18 及び図 3-28、表 3-19 に示す。双方とも、燃料とバッテリーによるハイブリッド方式を採用しており、180分という長時間飛行を可能としている。



図 3-27 AeroRange の外観

表 3-18 AeroRange の仕様

項目	値
機体重量	13.5 kg
最大積載重量	5 kg
最高速度	68 km/h
最大飛行距離	90 km
最大飛行時間	180 分

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会



図 3-28 AeroRange2 の外観

表 3-19 AeroRange2 の仕様

項目	値
機体重量	16.5 kg
最大積載重量	10 kg*
最高速度	68 km/h
最大飛行距離	100 km
最大飛行時間	180 分

*今回の検証実験では、機体重量 25kg 未満となるよう最大積載重量を 8kg として実施

出所) 和気町ドローン物流検証実験協議会

e. 積載物

本検証実験において使用した配送商品は、ファミリーマート、天満屋ハピーズの商品 120 品目以上である。商品の例を図 3-29 に示す。配送先となった津瀬地区の住民に対してアンケートを実施し、その集計結果をもとに商品を選定した。これらの商品の中から、検証実験当日に実際に注文のあった商品をドローンに積載し、配送した。



図 3-29 配送対象商品の例（和気町ドローン物流検証実験協議会）

出所）和気町ドローン物流検証実験協議会

f. 測定データ

和気町ドローン物流検証実験協議会の検証実験における測定データ項目は以下の通りである。

- 積載重量及び積載物
- 飛行時間
- 離着陸時のバッテリー残量
- 離着陸時の電圧
- 使用燃料
- 天候、風速

2) 検証実験結果

a. 結果概要

本検証実験では、2018年12月1日から12月15日の間の8日間、荷物配送を実施した。実際に荷物配送を実施した飛行便数は合計14便である。表3-20に本検証実験の概要、表3-21に具体的な検証日と飛行回数、表3-22に実際の配送商品を示す。

表 3-20 検証実験結果の概要（和気町ドローン物流検証実験協議会）

検証実験期間	2018年12月1日（土）～12月15日（土）
実施日数	8日間
便数	14便
注文者数	津瀬地区の住民19世帯中6世帯
注文回数	17回

表 3-21 検証実施日と飛行回数（和気町ドローン物流検証実験協議会）

検証実施日	便数	注文者数	使用機体
12月1日	1便	1人	AeroRange
12月4日	3便	3人	AeroRange
12月5日	2便	3人	AeroRange
12月9日	3便	3人	AeroRange
12月12日	1便	1人	AeroRange
12月13日	1便	2人	AeroRange
12月14日	1便	1人	AeroRange
12月15日	2便	3人	AeroRange 及び AeroRange2

表 3-22 実際の配送商品（和気町ドローン物流検証実験協議会）

ファミリー マート (8品)	手巻 紀州南高 梅	<u>にぎり寿司盛り 合わせ (10貫)</u>	こだわりカレー	ミニつぶあんぱ ん 5個入
	<u>なめらかクリー ムパン 5個入</u>	チョコチップス ナック 6本入	小麦香る食パン 6切れ	窯出しとろける プリン
天満屋ハピ ーズ (15品)	みかん	ほうれん草	もやし	たまねぎ 3個 入
	甘口塩銀さけ切 身	辛子明太子	ブルガリアヨー グルト	吉備高原牛乳
	<u>ちくわ</u>	絹豆腐	糸こんにゃく	塩
	料亭の味 味噌	本みりん	<u>バーモントカレ ー 甘口</u>	キャノーラ油
黒あめ	トイレットペー パー	ティッシュペー パー	—	

※下線は3セット以上の注文があったものを示す

本検証実験による検証ポイントは以下の通りである。

- 発送地点～配送先地点間の往復 20km の連続運航に成功
- ハイブリッド方式のドローンを活用した荷物配送に成功
- 実際の住民からの注文商品を配送する実事業に近いオンデマンド荷物配送に成功

約 2 週間にわたる検証実験を通じ、全般としてはドローン荷物配送モデルとして十分な運用が確認できた。今後は、補助者無しを目視外飛行による運用を目指すとしている。また、本検証実験の結果は、今後の大型ドローン活用に向けた 1st ステップとして位置付けられた。

b. 顧客ニーズに対する検証結果

本検証実験終了後に、対象地域である津瀬地区の住民に対してアンケート調査を実施した。アンケートは、全 19 世帯のうち、10 世帯からの回答があった。アンケート結果及び電話等で寄せられた、本検証実験の良かった点、不満に思われた点を以下に示す。

- 本検証実験の良かった点
 - ✓ 朝 9 時までには注文すれば昼過ぎには届くこと。「欲しい物が欲しい時に手に入る」こと。
 - ✓ 災害時に道路が寸断されたら、ドローンで配送してもらえば助かること。
 - ✓ 特別な利点はないが、今後本格的な運用が実行されれば利用する可能性もある。
 - ✓ 一人暮らしで、普段なかなか買い物に行けないので今回のドローン配送は本当に助かった。今後もし是非実施してほしい。（電話での回答）
- 本検証実験の不満に思った点
 - ✓ 配送時間、配送日の変更、配送中止等の時に早く連絡できる体制作りが必要だと思った。
 - ✓ 注文してもドローンが降りた場所まで取りに行くこと。
 - ✓ 配送時間が少し遅いのが欠点。もう少し時間内に届くと良い。
 - ✓ 現行では大量の注文は無理なようだったので、利用には不便だった。

c. 今後の課題

本検証実験の結果を受けて得られた、今後進めていく上での課題と対策を表 3-23 に示す。

表 3-23 課題と今後の対策

区分	課題	対策
顧客	<ul style="list-style-type: none"> ・ 注文者が固定されていたこと ・ 注文ミスが発生 ・ 注文方法が限定されること 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 注文者による配送時間帯の選択 ・ FAX・APP の使用 ・ 複数箇所へのヘリポート設置 ・ 商品の種類拡大
機体	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2 kg のペイロードでは不十分 ・ カメラの接続不良が多発 ・ 雨・風への耐性 ・ 急な電圧の低下、発電量の少なさ ・ エンジンに起因する騒音 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 高性能エンジンの搭載 ・ フェールセーフ機能の充実（パラシュートの搭載・ジオフェンスの活用） ・ 機体の耐水・耐風設計 ・ 水素燃料ドローンの使用
運用	<ul style="list-style-type: none"> ・ 緊急時の連絡・対応 ・ 多くの人員（最低 5 名）が必要 ・ 離発着時刻のばらつき ・ 映像伝送の不具合 ・ 支払い方法（現金の受け渡し） 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 責任者の配置 ・ 実用化に向けた少人数運用 ・ 運用体制の再構築 ・ 4G-LTE の活用 ・ 電子決済等の活用

(5) 福岡県福岡市

1) 検証実験の概要

a. 検証実験の目的

福岡市ドローン物流協議会では、現状の個人漁船による郵便物等の軽荷物の配送と、ドローンで代替した場合の配送とを比較することにより、主に以下の項目を検証することを目的に検証実験を実施した。

- 離島地域におけるドローン物流の実現可能性確認及び課題の洗い出し
- CO₂排出量削減効果
- ドローン物流の費用対効果（イニシャルコスト、ランニングコスト） 等

b. 配送シナリオ

福岡市ドローン物流協議会では、唐泊港～玄界島間において、個人漁船による郵便物や生活品等の軽荷物の配送をドローンで代替することを想定して、検証実験を行った。なお、今回の検証実験は、目視外飛行時の安全を確保するため、補助者が船舶（チャーター船）で海上を追走し、常にドローンを監視しながら実施した。

c. 飛行経路

福岡市ドローン物流協議会の実証実験における飛行経路は、福岡市西区唐泊港から同区玄界島のヘリポート横空き地までの間の海上往復輸送であり、片道約 5km（飛行時間約 10分）である。図 3-30 に飛行経路を示す。



図 3-30 飛行経路（福岡市ドローン物流協議会）

出所) 福岡市ドローン物流協議会

d. 使用機体

福岡市ドローン物流協議会の検証実験において使用された機体 AS-MC03T の外観と仕様を図 3-31 及び表 3-24 に示す。



図 3-31 AS-MC03T の外観

表 3-24 AS-MC03T の仕様

項目	値
機体重量	4.5 kg
最大搭載可能重量	1 kg
最高速度	36 km/h
最大飛行距離	3.6 km
最大飛行時間	20 分

出所) 福岡市ドローン物流協議会

e. 積載物

福岡市ドローン物流協議会の検証実験における積載物は以下の通りである。

- 唐泊⇒玄界島（往路）
 - 郵便物を想定した封筒 5 通、医薬品を想定したビタミン剤及び経口補水液パック（総重量約 1kg）（図 3-32）
- 玄界島⇒唐泊（復路）
 - 玄界島産の天然生わかめ 2 袋及び重量調整用のおもり（総重量約 1kg）（図 3-33）

なお、これらの貨物は図 3-34 に示す専用のボックスに梱包され、ドローンに搭載された。



図 3-32 往路貨物



図 3-33 復路貨物

出所) 福岡市ドローン物流協議会



図 3-34 貨物搭載用のボックス（福岡市ドローン配送協議会）

出所) 福岡市ドローン物流協議会

f. 測定データ

福岡市ドローン物流協議会の検証実験における測定データ項目は以下の通りである。

- 巡航速度
- ペイロード重量
- 電力量（電圧降下より算出）
- 充電に要した電力量
- 飛行高度
- 風速、気圧、気温

2) 検証実験結果

a. 結果概要

福岡市ドローン物流協議会の検証実験は2018年11月20及び21日に実施された¹¹。飛行回数は計6回（3往復）で、いずれも問題なく飛行実験及び必要データの測定を完了した。検証実験の様子を図3-35に示す。

¹¹ 当初は11月20日から22日まで計8飛行の実施を予定していたが、22日は荒天により監視船が出航できず、補助者の配置ができないため、検証を中止した。



図 3-35 検証実験の様子（福岡市ドローン物流協議会）

出所）福岡市ドローン物流協議会

b. 今後の課題

福岡市ドローン物流協議会の検証実験を通し、同地域におけるドローン物流の実現に対して得られた課題は以下の通りである。

- 機体性能
 - サービス受益者の求める荷物を運ぶことが可能なペイロード及び航続距離の実現
 - 耐風性能の向上
 - 飛行フェーズごとの通常操作手順及び非常時操作手順を設定した運用規程の策定
- 搭載ボックス
 - 搭載物ボックスの標準化（定形や非定形などの標準化の必要性）
 - ボックスの外しやすさと、落下防止のためのハズレにくさのバランスがとれた機構の構築
- 通信
 - 制御用電波 2.4GHz 帯及び映像伝送用電波 5.7/5.8GHz 帯は、見通し距離しか届かないため、将来的には LTE による制御が望まれる。
 - 機外監視用の映像伝送用電波 5.7GHz の利用には、第三級陸上特殊無線技師が必要であるが、航空無線通信士の資格保持者は三陸特免許の取得を免除とできないか。
- 運航管理
 - 機体位置把握及び衝突防止の徹底（特に、ホビードローンや消防ヘリなどの有人機が周辺空域を飛んでいる場合）
 - 飛行計画から飛行完了まで複数の情報（気象、地形情報等）を一元管理し、運航

を管理するシステムの構築

- 事業性
 - 既存物流網の一部を完全代替できなければ（船舶とドローンとで）ダブルコストとなるが、代替するにはペイロードや航続距離が不足している。
 - 宅配だけにとどまらない離島におけるドローン活用モデルの構築
- 法制度
 - 海上における検証実験を行う場合には、補助者有りの場合に必ずチャーター船が必要となること
 - 郵便物配送委託法にドローンでの郵便物配送が含まれていないこと
- 社会受容
 - 離着陸地点周辺地区及び飛行ルート下地区への住民説明会及び周知文書の配布の実施
 - 離着陸地点及び緊急着陸場所の確保
- オペレーション
 - 離陸及び着陸の最低気象条件の設定
 - 離陸地点周辺、着陸地点周辺、及び飛行ルートにおける気象観測方法の確立
 - 特定の気象条件（雪、灰など）が観測された場合の対応
 - 運航継続の判断をする人の判断基準と役割の設定
 - 管理区域としての基準の設定
 - No Return Point の設定にあたっての考え方と設定基準
 - 緊急時の連絡体制と方法について
 - （目視外補助者なしの場合）海上に不時着した場合の自機位置特定
 - 出発時に、ペイロードと気象状況から到着時の残電池量が把握可能なテーブルの設定
 - 最終目的地までの荷物の受け渡し方法
- その他
 - 事故時の緊急連絡先一覧の設定及び周知方法
 - 着水時の搭載物の補償及び保険
 - バッテリーの持続性及び急速充電

3.2.2 CO₂ 排出量削減効果の算定

(1) 検討方針

1) CO₂ 排出量算定に関する基本方針

本調査においては、2.3 において検討した算定モデルをもとに、実証実験と同じ条件（機体、ペイロード、飛行ルート、飛行速度等）でドローン物流が実サービス化したことを仮定し、ドローン物流が導入された場合の年間 CO₂ 排出量から、ドローン物流が導入されなかった場合（すなわち既存サービスプロバイダにより輸送された場合）の年間 CO₂ 排出量を差し引くことで、ドローン物流の導入による CO₂ 排出量削減効果を算定することを基本とする（図 3-36）。現時点で協議会が想定する実サービスと検証実験の使用機体が大きく異なる地域も存在するが、あくまで検証実験での機体を使用する場合の実運用シナリオを想定する。

なお、現状で類似する商用サービスが実施されておらず年間飛行回数の設定が難しい等の理由により年間 CO₂ 排出量を算定できない場合には、ドローン物流により想定する輸送と同様の物品について現状存在しうる輸送手法を設定し、その手法においてドローン物流と年間で同一輸送量を輸送した場合の 1 回当たり CO₂ 排出量削減効果を算定することとする。

また、CO₂ 排出量の算定範囲は、省エネ法において規定される特定貨物輸送事業者及び特定荷主の算定範囲と同様とする。具体的には、燃料、熱、電気の使用に伴う排出量を算定対象とし、エネルギー起源 CO₂ 以外の温室効果ガスは算定対象外とする。実態に沿った CO₂ 排出量を算定するため、調整後排出量ではなく、基礎排出量を算定することとする。

ドローン物流における算定対象範囲は、実証実験における輸送に伴う CO₂ 排出量とし、既存物流網における算定対象は、ドローン物流により代替される範囲とする。したがって、機器の製造やインフラ整備、倉庫や基地までの移動等に伴う CO₂ 排出量は算定対象外とする。ドローン配送により物流拠点までの配送等が変化する可能性があっても、それに伴う CO₂ 排出量の増減は考慮しないこととする。また、あくまでも実証実験における輸送をもとに算定するため、将来的な実サービス像としてラストワンマイルまでをドローンで担う計画であったとしても、実証実験が行われなければ算定範囲としない。

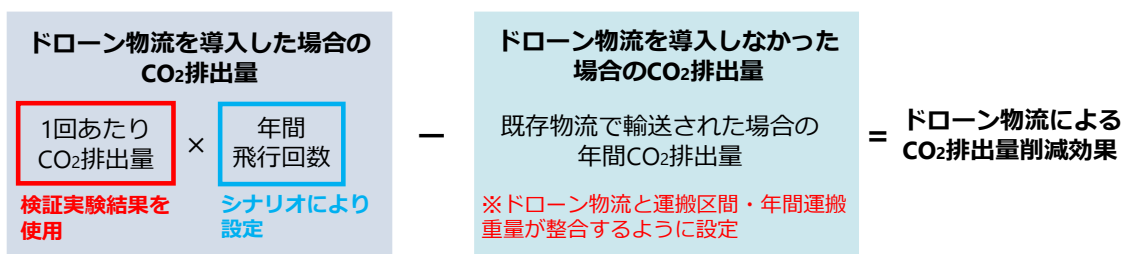


図 3-36 CO₂ 排出量削減効果算定の基本方針

2) ドローン物流を導入した場合のCO₂排出量算定方針

CO₂排出量は、活動量×排出係数により算定を行う(2.3.1)。ドローン物流を導入した際のCO₂排出量の算定では、活動量として、検証実験における実測値を用いて算出する。

検証実験においては、飛行ごとに活動量(電力使用量、燃料使用量)が異なることから、飛行ごとにCO₂排出量も異なる。そのため、既存物流とのCO₂排出量比較の際には、1種類の代表的な飛行(ベースケース)を抽出し、それに飛行回数を乗じるものとする。

ベースケースの抽出にあたっては、活動量への影響が大きいと考えられる積載重量及び飛行速度が、最も実サービス運用に近いものを抽出することとする。なお、外気温等の天候の影響についてはサンプルが少ないことから、今回の分析からは除外する。同じ飛行パラメータ(積載重量、飛行速度等)で飛行させている場合も測定誤差が生じるが、飛行回数が少なく誤差評価が難しいため、代表的な飛行パラメータに合致する飛行が複数回ある場合、CO₂排出量は加算平均により算出する。

排出係数としては、温対法SHKでの算定において定められた値を用いる¹²。

また、各地域の状況に合わせ、以下の方針を適用する。

a. 消費電力量の算定

電力を用いて充電するバッテリーを使用するドローンにおいて消費電力量を正確に計測するのが難しい場合、バッテリー電圧を計測し、それをバッテリー使用率に変換することで消費電力量を計算した。このとき、各協議会により実験的に求めたバッテリー電圧からバッテリー使用率を求めることで消費電力量を計算した。白馬村における検証実験で使用した関係性を図3-37に示す。

なお、より消費電力量と密接に結びついた量である、充電電荷量やバッテリー残量を計測することができた場合には、その値を用いて計算している。

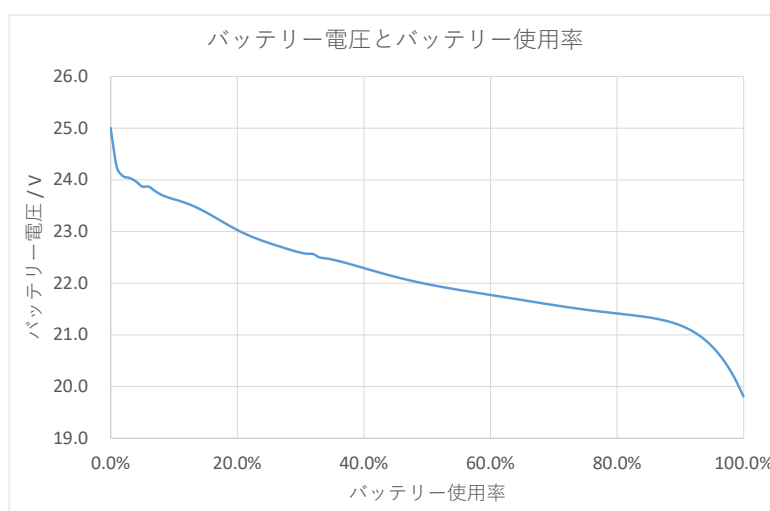


図 3-37 白馬村において検証実験で使用したドローンのバッテリー電圧とバッテリー使用率の関係 (実験により算出)

¹² 環境省 温対法 SHK ホームページ「算定・報告・公表制度における算定方法・排出係数一覧」
<https://ghg-santeikohyo.env.go.jp/files/calc/itiran2015.pdf>

b. 操縦者・補助者の移動に伴う CO₂ 排出量の取扱い

一部の協議会では、検証実験では操縦者・補助者が目視による確認を実施した。一方で、実サービス化の際には目視外飛行を行い、操縦者・補助者の移動が発生しないことを想定している。そのため、基本的には操縦者・補助者の移動による CO₂ 排出量を含めた算定を行うが、操縦者の移動がなかった場合についても CO₂ 排出量試算を実施し、その影響を検証することとする。

3) ドローン物流を導入しなかった場合の CO₂ 排出量算定方針

ドローン物流を導入しなかった場合の CO₂ 排出量算定方針として、ドローン物流による実サービスモデルが既存の物流網と合致する場合には既存の物流網をベースとし、完全には合致しない場合（想定する積載物や運搬地点等が不一致の場合）は、ドローンを用いない方法によってドローン物流と同等のサービスを提供するシナリオを設定し、そのシナリオに基づく CO₂ 排出量と比較する。

ドローンを用いない方法によるサービスのシナリオ策定にあたっては、ドローン物流で想定する積載物の種類や頻度を踏まえ、実際に実現可能であると考えられるシナリオを設定し、全体として年間運搬量及び運搬区間がドローン物流で運搬する場合と整合するように設定を行う。

4) コスト算定に関わる基本方針

各地域で、表 3-25 の費目について想定されるコストを算定し、その合計を示した。その際、金額・耐用年数に係る考え方については、5 地域間で極端な乖離が生じないように整理を行っている。また、ランニングコストについては、既存物流網における実状把握が難しい場合でも、必要な仮定に基づいた算定を行い、5 地域間で比較可能なように整理した。

なお、ドローン物流のコストについては、今回の検証実験をベースに算定したシナリオ（検証実験シナリオ）と、将来的に目視外補助者無し飛行が広く普及することによって飛行経路ごとの操縦者や補助者の配置に要していたコストが不要となり、安全対策設備のコストも低減され、技術開発の進展と量産効果によって機体やインフラのコストが低減されると想定したシナリオ（想定シナリオ）の 2 種類のシナリオで算出を行った。想定シナリオにおける仮定の具体的内容は以下の通りである。

想定シナリオ算出の際の仮定

- 機体、インフラ費用の低減：
将来的な技術開発の進展や量産効果により、ドローンの機体費用や交換用部品費用、ドローンポート等の費用が低減すると仮定
上記に伴いドローン保守費も低減すると仮定
- 安全対策費用の低減：
将来的な目視外補助者無し飛行の普及に伴い、補助者の配置に要していたコストが不要となるとともに、その他立入管理のための立て看板等、安全対策設備のコストが

- イニシャル、ランニングともに低減すると仮定
- 操縦者費用の低減：

将来的な目視外補助者無し飛行では自律的飛行が主となり経路毎の操縦者が不要になり、それに伴うコストが不要になると仮定

※この場合も複数の飛行経路を遠隔管理する主体のコストが発生しうるが、今回はコスト参入していない。

表 3-25 費目一覧（イニシャル／ランニングコスト）

	ドローン物流	既存物流網
イニシャルコスト	<ul style="list-style-type: none"> ・機体費 ・インフラ整備費 	<ul style="list-style-type: none"> ・車両代等
ランニングコスト (年間)	<ul style="list-style-type: none"> ・機体保守費 ・人件費 ・インフラ維持費 ・電気代・燃料費 ・保険料 	<ul style="list-style-type: none"> ・チャーター費用 ・リース費用 ・人件費 ・保険・車検料 ・燃料費

5) 費用対効果に係る基本方針

費用対効果の算定においては、CO₂排出量の削減における施策の検討の際に用いるという目的に鑑み、検証実験での値を用いるのではなく、将来的に社会実装を想定するドローン物流における CO₂ 排出量削減効果及び追加コストを用いて算出した。すなわち、補助者や操縦者の移動に伴う CO₂ 排出量は将来的なサービス運用の際には排出されないと考えられるため除いて算出し、コストとしては「想定シナリオ」を用いた。

(2) 福島県南相馬市

1) ドローン物流における CO₂ 排出量

ドローン検証実験の結果を表 3-26 に示す。

13 回の実験飛行を実施したが、うち飛行 No.7 と No.9～13 ではいずれも 1,190g の荷物を飛行距離 9km にて運搬していることから、これらを代表飛行として設定した。

福島県南相馬市では、飛行後のバッテリーを充電する際の充電電荷量を実測していることから、これに定格電圧を乗じることで消費電力量を算出する。この消費電力量に、系統電力の排出係数（東北電力の基礎排出係数（平成 29 年度実績）0.000521 tCO₂/kWh）を乗じることで、1 回飛行あたりの CO₂ 排出量を算出した。

$$\text{消費電力量[Wh]} = \text{充電電荷量[mAh]} \times \text{定格電圧 44.4 [V]}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量[g CO}_2\text{]} = \text{消費電力量[Wh]} \times \text{排出係数[kg CO}_2\text{/kWh]}$$

表 3-26 ドローン検証実験における CO₂ 排出量（福島県南相馬市）

飛行No.	説明	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
配送物重量[g]	実測	185	185	185	185	185	875	1,190	185	1,190	1,190	1,190	1,190	1,190
飛行距離[km]	実測	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0	9.0
飛行速度[m/s]	実測	12	12	12	12	15	15	12	12	12	12	12	12	12
飛行時間[min]	実測	15	15	15	15	12	12	15	15	15	15	15	15	15
充電電荷量 [mAh]	実測	-	15,746	15,512	14,303	14,209	-	15,495	12,709	15,486	14,996	14,948	14,065	15,046
消費電力量 [Wh]	定格電圧×充電電荷量	-	378	372	343	341	-	372	305	372	360	359	338	361
風速[m/s]	実測	北3.0	北3.3	北3.3	北7.8	北0.4	東2.7	北西5.0	南1.0	南東2.0	北1.6	北1.4	0	北1.8
CO ₂ 排出量[gCO ₂]	充電電力量×系統電力排出係数	-	197	194	179	178	-	194	159	194	188	187	176	188

代表飛行平均 188 gCO₂

北: 追い風、南: 向かい風

※ 赤枠は代表飛行

6回の代表飛行のCO₂排出量の加算平均を取ると、**約188 gCO₂**となる。これを用いてドローン物流による排出量を算出する。

福島県南相馬市では、ドローンを活用して、小高郵便局－浪江郵便局間で雑誌を運ぶことを想定している。ドローンによる年間輸送回数を、2018年度の日祝除く同区間の稼働日数をもとに247回と設定した。したがって、年間輸送重量は、代表飛行1回当たりの輸送重量1,190gより、約294kgとなる。次式の通り、上記で算出した1回当たりCO₂排出量に、飛行回数を乗じることで、ドローン物流による年間CO₂排出量を算出した（表3-27）。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{年}] = \text{代表飛行 CO}_2 \text{ 排出量}[\text{gCO}_2/\text{回}] \times \text{年間輸送回数}[\text{回}/\text{年}] \times 10^{-3}$$

表 3-27 ドローン物流における年間 CO₂ 排出量（福島県南相馬市）

項目	説明	単位	値
a	1回あたりCO ₂ 排出量	代表飛行の平均(片道)	gCO ₂ /回 188
b	1回あたり飛行距離	代表飛行と同じと設定	km/回 9.0
c	1回あたり輸送重量	代表飛行と同じと設定	g/回 1,190
d	年間輸送重量	(c) 1回あたり輸送重量 × (e) 年間輸送回数	kg/年 294
e	年間輸送回数	モデルより設定：2018年度の日祝除く同区間の稼働日数	回/年 247
f	年間CO ₂ 排出量	(a)1回あたりCO ₂ 排出量 × (e)年間輸送回数	kgCO ₂ /年 46.3

その結果、ドローン物流による年間CO₂排出量は**約46 kgCO₂/年**と算出された。

2) 既存物流網におけるCO₂排出量

福島県南相馬市における実証実験では、ドローンで代替するのは、軽貨物車による小高郵便局から浪江郵便局への雑誌の輸送である。現在も物流自体は存在するが、小高郵便局を出発して浪江郵便局だけに行くものではなく、他の配達箇所まで集配を行いながら走行しているため、この区間のみでの輸送実績は存在しない。そのため本算定においては燃費法を用いて、実証実験と同様の輸送を軽貨物車により実施した際のCO₂排出量を仮想的に求めることとする。

既存物流におけるドローンで代替する貨物の輸送1回当たり積載重量及び年間輸送回数については、想定している対象物が雑誌であり、定期的に運搬することが求められることから、ドローンと同様の値を設定した。実態として、小高郵便局から浪江郵便局まで運搬されている貨物のうち、ドローンで運搬が可能なサイズ(A4以内)・重量(2kg以内)である貨物の個数を踏まえ、総積載物のうち35%がドローンで代替する貨物であると設定した。輸

送距離は、浪江郵便局と小高郵便局を車により結ぶ最短ルートから、10.4km と設定した。燃費は、現状の物流で使用しているスズキエブリィ GBD-DA64V における JC08 モード燃費（全グレードの平均値）を使用した。なお、貨物を積載する場合の燃費は、JC08 モード燃費とは異なる値となると考えられるが、今回の設定における積載重量は最大積載重量（350 kg）に対して 1%未満と非常に小さいことから、JC08 モード燃費の値を利用した。

これらの設定に基づき、輸送 1 回当たりの CO₂ 排出量(ドローン代替分)は、燃費法により **約 526 gCO₂** と算出された。

$$\begin{aligned}
 &1 \text{ 回当たり CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} = \text{輸送距離(km)} \div \text{燃費(km/l)} \times 1/1000(\text{kl/l}) \\
 &\quad \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\
 &\quad \times 44/12 \text{ (tCO}_2\text{/tC)} \\
 &\quad \times \text{積載物中のドローン代替物比率(\%)}
 \end{aligned}$$

次式の通り、1 回当たり CO₂ 排出量に年間輸送回数を乗じることで年間 CO₂ 排出量を算出した。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量[kgCO}_2\text{/年]} = 1 \text{ 回当たり CO}_2 \text{ 排出量[gCO}_2\text{/回]} \times \text{年間輸送回数[回]}$$

表 3-28 既存物流における年間 CO₂ 排出量（福島県南相馬市）

項目	説明	単位	値	
a	積載重量(ドローン代替分)	ドローンと同様に設定	kg	1.19
b	総積載重量(混載品込み)	(a) ÷ (c) ※計算には使わず	kg	3.40
c	積載物中のドローン代替物比率(重量比率)	モデルにより設定。協議会が算出した実態データ	%	35
d	輸送距離	車道にて輸送地点間を結ぶ最短ルート	km	10.4
e	燃費	スズキエブリィGBD-DA64V JC08燃費(全グレードの平均)	km/l	16.1
f	燃料の使用に関する排出係数(ガソリン)	算定省令に基づき算定された値※1	tCO ₂ /kl	2.32
g	1回あたりCO ₂ 排出量(混載品込み)	(d) ÷ (e) × (f) × 10 ³	tCO ₂ /回	1,503
h	1回あたりCO ₂ 排出量(ドローン代替分のみ)	(g) × (c)	gCO ₂ /回	526
i	年間輸送重量	ドローンと同様に設定	kg/年	294
j	年間輸送回数(片道)	(h) ÷ (a) ※小数点以下切り上げ	回/年	247
k	年間CO ₂ 排出量(ドローン代替分のみ)	(h) × (i) ÷ 10 ³	kgCO ₂ /年	130

※1：「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成 18 年経済産業省、環境省令第 3 号）」に掲載された値から、該当する単位発熱量[GJ/kl]×排出係数[tC/GJ]×44/12 により算定

その結果、既存物流による年間 CO₂ 排出量は **約 130 kgCO₂/年** と算出された。

3) コスト算定

ドローン物流・既存物流におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が想定する結果を表 3-29 に示す。

ドローン物流を導入するにあたって必要となるインシヤルコストは、今回の検証実験をベースに算定した検証実験シナリオでは **900 万円** と算定されている。なお、インシヤルコストには機体費として機体 1 台当たりの費用等が、インフラ整備費としてドローンポートの整備費用、安全対策設備（立て看板等）の設置が含まれる。なお、目視外補助者無し飛行の普及に伴う安全対策コストの低減や、技術開発や量産効果による機体・インフラ等コストの低減が見込まれた想定シナリオにおいては、インシヤルコストは 300 万円となると算定さ

れている。

また、年間のランニングコストは、検証実験シナリオでは約188万円、想定シナリオでは約47万円と算定されている。検証実験シナリオでは機体保守費や安全対策設備維持費、電気代、保険料を費目として想定している。想定シナリオでは機体保守費及び安全対策設備維持費が低減すると想定されている。

表 3-29 ドローン物流におけるコスト（福島県南相馬市）

	検証実験シナリオ	想定シナリオ
イニシャルコスト	¥9,000,000	¥3,000,000
ランニングコスト（年間）	¥1,877,557	¥465,057

既存物流網におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が算定した結果を表 3-30 に示す。福島県南相馬市においては、既存物流として軽自動車の利用を想定している。年間のランニングコストとして、人件費や車両のリース費用、燃料費等を混載比率で按分し、約13万円と算定されている。

表 3-30 既存物流網におけるコスト（福島県南相馬市）

既存物流手段	軽自動車
イニシャルコスト	¥0
ランニングコスト（年間）	¥128,614

ドローン物流によるコストと既存物流網におけるコストのそれぞれについて、イニシャルコストの各年費用分とランニングコストの合計により年間コストを算出し、比較した結果を表 3-31 に示す。イニシャルコストについては、耐用年数をもとに定額法での各年の費用を計上した。なお、ドローン機体及びドローン配送向けインフラについては、現在は個別の法定耐用年数が定められていないため、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令¹³⁾ 別表第二「機械及び装置の耐用年数表」の「運輸に附帯するサービス業用設備」の耐用年数である10年を使用した。

¹³⁾ https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=340M50000040015

表 3-31 ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（福島県南相馬市）

項目		検証実験シナリオ	想定シナリオ
ド ロ ー ン 物 流	イニシャルコスト(年間)	¥900,000	¥300,000
	ランニングコスト(年間)	¥1,877,557	¥465,057
	総計	¥2,777,557	¥765,057
物 流 既 存	イニシャルコスト(年間)	¥0	¥0
	ランニングコスト(年間)	¥128,614	¥128,614
	総計	¥128,614	¥128,614
差 額	イニシャルコスト(年間)	¥900,000	¥300,000
	ランニングコスト(年間)	¥1,748,943	¥336,443
	総計	¥2,648,943	¥636,443

検証実験シナリオの場合、ドローン物流の年間コストは約 278 万円、既存物流網の年間コストは約 13 万円となり、ドローン物流を導入すると、既存物流網と比較して年間約 265 万円の追加コストがかかる。内訳をみると、ドローン物流は既存物流網と比較し、イニシャルコストで年間約90万円、ランニングコストで年間約175万円の追加コストが発生している。

想定シナリオの場合、追加コストはイニシャルコスト・ランニングコスト合計で年間約64万円まで低減する。

4) CO₂ 排出量削減効果

上記1)及び2)で算出した、ドローン及び既存物流における年間CO₂排出量の差分により、ドローン物流の導入によるCO₂排出削減量を算出する。以下の通り約 84 kgCO₂/年と算出された。1回当たりのCO₂排出削減量は、約339gCO₂/回と算出された。

CO ₂ 削減量[kgCO ₂ /年]
= 既存物流 CO ₂ 排出量[kgCO ₂ /年]－ドローン CO ₂ 排出量[kgCO ₂ /年]
= 130.0 － 46.3
= 83.6 kgCO₂/年

5) 費用対効果

ここまでで算出した「年間CO₂排出削減量」を「年間追加コスト（イニシャルコスト＋ランニングコスト）」で除すことにより、既存物流をドローンで代替することによる費用対効果を算出する。コストとして想定シナリオを用いると、以下の通り、約1.31 kgCO₂/万円と算出された。

費用対効果[kgCO ₂ /万円]
= 年間 CO ₂ 排出削減量[kgCO ₂ /年]÷年間追加コスト[万円/年]
= 83.6 ÷ 63.6
= 1.314 kgCO₂/万円

なお、ランニングコストのみで同様に費用対効果を算出すると、約 2.49 kgCO₂/万円となる。

コストとして検証実験シナリオを用いた場合の費用対効果についても同様に計算すると、イニシャルコスト+ランニングコストでは約 0.316 kgCO₂/万円、ランニングコストのみでは約 0.478 kgCO₂/万円となる。

(3) 埼玉県秩父市

1) ドローン物流における CO₂ 排出量

ドローン検証実験の結果を表 3-32 に示す。

9 回の実験飛行を実施したが、うち飛行 No.3 と No.5～9 ではいずれも 500 g の荷物を飛行距離 3 km にて運搬していることから、これらを代表飛行として設定した。

埼玉県秩父市では、実測した飛行前後の電圧から、バッテリーの使用率を求める近似式を実験により設定しており、これを用いて消費電力量を算出する。消費電力量に系統電力の排出係数(東京電力エナジーパートナーの基礎排出係数(平成 29 年度実績)0.000475 tCO₂/kWh)を乗じることで、1 回飛行あたりの CO₂ 排出量を算出した。

消費電力量[Wh] = 電池容量 40,000[mAh] × 電池電圧 22.2[V] × 使用率 × 10 ⁻³
CO ₂ 排出量[gCO ₂] = 消費電力量[Wh] × 排出係数[kgCO ₂ /kWh]

表 3-32 ドローン検証実験における CO₂ 排出量 (埼玉県秩父市)

No.	説明	1	2	3	4	5	6	7	8	9
配送物重量[g]	実測	0	0	500	1000	500	500	500	500	500
飛行距離[km]	実測	3	3	3	3	3	3	3	3	3
飛行前電圧[V]	実測	4.17	4.23	4.17	4.23	4.23	4.17	4.17	4.16	4.17
飛行後電圧[V]	実測	3.61	3.67	3.55	3.62	3.62	3.56	3.56	3.6	3.61
使用量[%]	電圧式より推計	63.8	44.8	57.1	81.5	57.1	81.5	76.8	57.1	69.3
消費電力量[Wh]	電池容量 × 電池電圧 × 使用量[%]	142	99	127	181	127	181	170	127	154
CO ₂ 排出量[gCO ₂]	消費電力量 × 排出係数	67.3	47.2	60.2	85.9	60.2	85.9	81.0	60.2	73.1

代表飛行(行き)平均 **70.1 gCO₂**

※ 赤枠は代表飛行

6 回の代表飛行の CO₂ 排出量の加算平均を取ると、約 70 gCO₂ となる。これらの代表飛行は始点から終点までの片道分であるので、往復の CO₂ 排出量は約 140 gCO₂ となる(実際には、行きと帰りで積載重量が変化することで行きと帰りの CO₂ 排出量の変動することも考えられるが、本算定においては行き帰りとも同一の積載重量で飛行したと仮定する)。

埼玉県秩父市では、ドローンを活用して、浦山ダム駐車場から秩父市ネイチャーランド浦山まで、秩父市ネイチャーランド浦山への来訪者からの注文に応じてバーベキュー食材・用品を運ぶことを想定している。現在このサービスは実施されておらず、需要を想定としていることから参考値となるが、バーベキュー場への来訪者が多い 7 月-11 月までの間、週 20 回(週 2 日、各 10 回/日)の運航を行うと仮定すると、年間輸送回数は年間 400 回となる。

次式の通り、上記で算出した 1 回当たり CO₂ 排出量に、飛行回数に乗じることで、ドローン物流による年間 CO₂ 排出量を算出した。

CO ₂ 排出量[kgCO ₂ /年] = 代表飛行 CO ₂ 排出量[gCO ₂ /回] × 年間輸送回数[回/年] × 10 ⁻³

上記の推計に基づく、ドローン物流による年間 CO₂ 排出量は 約 56 kgCO₂/年 と算出された。

表 3-33 ドローン検証実験における年間 CO₂ 排出量（埼玉県秩父市）※参考値

項目	説明	単位	値	
a	1回あたりCO ₂ 排出量	代表飛行の平均(往復)	gCO ₂ /回	140.2
b	1回あたり飛行距離	代表飛行と同じと設定	km/回	3.00
c	1回あたり輸送重量	代表飛行と同じと設定	g/回	500
d	年間輸送重量	(c) 1回あたり輸送重量 × (e) 年間輸送回数	kg/年	200
e	年間輸送回数(片道)	モデルより設定：7月-11月まで、週20回	回/年	400
f	年間CO ₂ 排出量	(a)1回あたりCO ₂ 排出量 × (e)年間輸送回数	kgCO ₂ /年	56.1

2) 既存物流網における CO₂ 排出量

埼玉県秩父市における実証実験では、秩父市ネイチャーランド浦山への来訪者から注文されたバーベキュー食材・用品について、注文に応じて浦山ダム駐車場から秩父市ネイチャーランド浦山までの輸送サービスを行うことを想定しているが、現在、該当する商用サービスとしての物流は存在しない。

そのため本算定においては、軽貨物車にてドローン物流で想定しているのと同様の条件のサービス、すなわち来訪者から注文を受けた場合に浦山ダム駐車場から秩父市ネイチャーランド浦山へバーベキュー食材・用品を軽貨物車にて輸送するサービスを実施することを想定し、その場合の CO₂ 排出量を、燃費法を用いて仮想的に求めることとする。

輸送距離については、ドローン輸送での始点・終点を車により最短距離で往復すると仮定し、16.4 km（片道 8.2km）と設定した。実際には、店舗等がドローンの始点とは異なる場所にある可能性が考えられる。また燃費については、実測データが得られず、また使用している車種等も多様であると考えられることから、本算定においてはガソリンを利用する軽貨物車の営業用燃費である 9.33km/l¹⁴を使用した。また、走行の目的はバーベキュー食材・用品の運搬（ドローンで代替する物流）のみであると仮定し、CO₂ 排出量の按分は行わないこととした。

これらの設定に基づき、輸送 1 回当たりの CO₂ 排出量(ドローン代替分)は、燃費法により約 **4,078 gCO₂** と算出された。

$$\begin{aligned}
 \text{1 回あたり CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2\text{)} &= \text{輸送距離(km)} \div \text{燃費(km/l)} \times 1/1000(\text{k/l}) \\
 &\quad \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3\text{)} \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\
 &\quad \times 44/12 \text{ (tCO}_2\text{/tC)}
 \end{aligned}$$

¹⁴ 平成 18 年経済産業省告示第 66 号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」より引用。 <http://www.mlit.go.jp/common/001266320.pdf>

表 3-34 既存物流における CO₂ 排出量（埼玉県秩父市）

項目	説明	単位	値	
a	輸送距離	ドローン輸送での始点・終点を車により最短距離で往復する	km	16.4
b	燃費	燃料別最大積載量別燃費より、ガソリン駆動の軽貨物車の値	km/l	9.33
c	燃料の使用に関する排出係数（ガソリン）	算定省令に基づき算定された値※1	tCO ₂ /kl	2.32
d	1回あたりCO ₂ 排出量	(a) ÷ (b) × (c) × 10 ³	gCO ₂ /回	4,078

※1：「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成 18 年経済産業省、環境省令第 3 号）」に掲載された値から、該当する単位発熱量[GJ/kl]×排出係数[tC/GJ]×44/12 により算定

既存物流についても、ドローン物流と同等のサービスを想定していることから、年間運行回数をドローン物流と同様に 400 回と仮定すると、次式の通り、上記で算出した 1 回当たり CO₂ 排出量に、運行回数に乗じることで、年間 CO₂ 排出量を算出できる。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{年}] = 1 \text{ 回あたり CO}_2 \text{ 排出量}[\text{gCO}_2/\text{回}] \times \text{年間輸送回数}[\text{回}/\text{年}] \times 10^{-3}$$

表 3-35 既存物流における年間 CO₂ 排出量（埼玉県秩父市）※参考値

項目	説明	単位	値	
a	1回あたりCO ₂ 排出量	表3-33より	gCO ₂ /回	4,078
b	年間輸送回数(往復)	ドローンと同様に設定	回/年	400
c	年間CO ₂ 排出量	(a) × (b) ÷ 10 ³	kgCO ₂ /年	1,631

上記の推計に基づく、既存物流による年間 CO₂ 排出量は 約 1,631 kgCO₂/年 と算出された。

3) コスト算定

ドローン物流・既存物流におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が想定する結果を表 3-36 に示す。なお、コストの算定においては、1)2)で参考値として算定した年間輸送回数でのサービス提供を仮定している。

ドローン物流を導入するにあたって必要となるインシヤルコストは、今回の検証実験をベースに算定した検証実験シナリオでは**約 408 万円**と算定されている。なお、インシヤルコストにはインフラ整備費としてドローンポートの整備費用、安全対策設備（立て看板等）の設置が、機体費として機体 1 台当たりの費用等が含まれる。なお、目視外補助者無し飛行の普及に伴う安全対策コストの低減や、技術開発や量産効果による機体・インフラ等コストの低減が見込まれた想定シナリオにおいては、インシヤルコストは 203 万円程度となると算定されている。

また、年間のランニングコストは、検証実験シナリオでは**約 265 万円**、想定シナリオでは約 141 万円と算定されている。検証実験シナリオではドローンハイウェイ利用料や安全対策維持費等のインフラ維持費、操縦者の人件費、機体保守費（ネットワーク利用料を含む）、保険料等を想定している。想定シナリオでは機体保守費及び安全対策設備維持費、操縦者の人件費が低減すると想定されている。

表 3-36 ドローン物流におけるコスト（埼玉県秩父市）

	検証実験シナリオ	想定シナリオ
イニシャルコスト	¥4,081,320	¥2,025,000
ランニングコスト（年間）	¥2,646,932	¥1,411,772

既存物流網におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が算定した結果を表 3-37 に示す。埼玉県秩父市においては、既存物流として軽自動車の利用を想定している。イニシャルコストは車両代で 100 万円、ランニングコストは、人件費や保険・車検料、燃料費等で約 80 万円となると算定されている。

表 3-37 既存物流網におけるコスト（埼玉県秩父市）

既存物流手段	軽自動車
イニシャルコスト	¥1,000,000
ランニングコスト（年間）	¥800,000

ドローン物流によるコストと既存物流網におけるコストのそれぞれについて、イニシャルコストの各年費用分とランニングコストの合計により年間コストを算出し、比較した結果を表 3-38 に示す。イニシャルコストについては、耐用年数をもとに定額法での各年の費用を計上した。なお、ドローン機体及びドローン配送向けインフラについては、現在は個別の法定耐用年数が定められていないため、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令¹⁵⁾」別表第二「機械及び装置の耐用年数表」の「運輸に附帯するサービス業用設備」の耐用年数である 10 年を使用した。また、既存物流については、同省令の「運送事業用、貸自動車業用又は自動車教習所用の車両及び運搬具（前掲のものを除く。）」のうち、「小型車」の耐用年数である 3 年を使用した。

¹⁵⁾ https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=340M50000040015

表 3-38 ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（埼玉県秩父市）

項目		検証実験シナリオ	想定シナリオ
ド ロ ー ン 物 流	イニシャルコスト(年間)	¥408,132	¥202,500
	ランニングコスト(年間)	¥2,646,932	¥1,411,772
	総計	¥3,055,064	¥1,614,272
物 流 既 存	イニシャルコスト(年間)	¥333,333	¥333,333
	ランニングコスト(年間)	¥800,000	¥800,000
	総計	¥1,133,333	¥1,133,333
差 額	イニシャルコスト(年間)	¥74,799	¥-130,833
	ランニングコスト(年間)	¥1,846,932	¥611,772
	総計	¥1,921,731	¥480,939

検証実験シナリオの場合、ドローン物流の年間コストは約 305 万円、既存物流網の年間コストは約 113 万円となり、ドローン物流を導入すると、既存物流網と比較して年間約 192 万円の追加コストがかかる。内訳をみると、ドローン物流は既存物流網と比較し、イニシャルコストで年間約 7 万円、ランニングコストで年間約 185 万円の追加コストが発生している。

想定シナリオの場合、追加コストはイニシャルコスト・ランニングコスト合計で年間約 48 万円まで低減する。特に、想定シナリオの場合、イニシャルコストは既存物流よりも安価に実現可能であることが想定される。

4) CO₂ 排出量削減効果

上記 1)及び 2)で算出した、ドローン及び既存物流における CO₂ 排出量の差分により、CO₂ 排出削減量を算出する。なお、本実証地域においては、年間 CO₂ 排出量の適切な算定が難しいことから、1 回当たりの輸送について CO₂ 排出量削減効果を算定した。結果として、以下の通り約 3,938 gCO₂/回 と算出された。なお、参考値として算定した年間 CO₂ 排出量に基づく年間 CO₂ 排出量削減効果は、約 1,575kg CO₂/年 となる。

CO₂ 削減量[gCO₂/回]

= 既存物流 CO₂ 排出量[gCO₂/回] - ドローン CO₂ 排出量[gCO₂/回]

= 4,078.0 - 140.2

= **3,937.8 kgCO₂/回**

5) 費用対効果

埼玉県秩父市においては、実際のサービスが存在しないことから、年間での CO₂ 排出量削減効果は算定することが難しい。本項では参考として、前述した「年間 CO₂ 排出削減量」の参考値を「年間追加コスト(イニシャルコスト+ランニングコスト)」で除すことにより、既存物流をドローンで代替することによる費用対効果を算出する。コストとして想定シナリオを用いると、以下の通り、約 32.8 kgCO₂/万円 と算出された。

費用対効果[kgCO₂/万円]

= 年間 CO₂ 排出削減量[kgCO₂/年] ÷ 年間追加コスト[万円/年]

= 1,575.1 ÷ 48.1

= **32.75 kgCO₂/万円**

なお、ランニングコストの削減分のみで同様に費用対効果を算出すると、約 25.7 kgCO₂/万円となる。

コストとして検証実験シナリオを用いた場合の費用対効果についても同様に計算すると、イニシャルコスト+ランニングコストでは約 8.20 kgCO₂/万円、ランニングコストのみでは約 8.53 kgCO₂/万円となる。

(4) 長野県白馬村

1) ドローン物流における CO₂ 排出量

ドローン検証実験の結果を表 3-39 に示す。

10 回の実験飛行を実施したが、うち飛行 No.1~2 と No.9~10 ではいずれも 8,000g の荷物を 1km 先に運搬していることから、これらを代表飛行として設定した。

長野県白馬村では、実測した飛行前後の電圧から、バッテリーの使用率を求める近似式を実験により設定しており、これを用いて消費電力量を算出する。この消費電力量に排出係数を乗じることで、1 回飛行あたりの CO₂ 排出量を算出した。

$$\text{消費電力量[Wh]} = \text{電池容量 40,000[mAh]} \times \text{電池電圧 22.2[V]} \times \text{使用率} \times 10^{-3}$$

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量[gCO}_2\text{]} = \text{放電電力量[Wh]} \times \text{排出係数[kgCO}_2\text{/kWh]}$$

表 3-39 ドローン検証実験における CO₂ 排出量 (長野県白馬村)

飛行No.	説明	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
配送物重量[g]	実測	8,000	8,000	4,500	4,700	4,800	3,200	3,000	8,000	8,000	8,000
飛行距離[km]	実測 (水平距離、標高差350m)	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
飛行速度[m/s]	実測	5	5	5	5	5	5	7	7	5	5
飛行時間[min]	実測	7	8	6	9	6	7	6	8	6	6
飛行前電圧[V]	実測	25.1	25.1	25.1	25.1	25.0	24.6	25.1	25.1	25.0	25.1
飛行後電圧[V]	実測	22.1	22.3	22.6	22.3	22.7	22.2	22.2	22.2	22.0	22.4
使用率[%]	白馬村設定の近似式より	46%	40%	30%	40%	27%	43%	43%	43%	49%	37%
消費電力量[Wh]	= 40,000[mAh] × 22.2[V] × 使用率[%]	408	355	266	355	240	382	382	382	435	329
風速[m/s]	実測	0.4	1.2	0.4	1.1	0.7	2	0.7	1.4	1.1	2.2
排出係数(系統) [kgCO ₂ /kWh]	中部電力基礎係数	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476	0.476
排出係数(ディーゼル) [kgCO ₂ /kWh]	ディーゼル発電機	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16	1.16
CO ₂ 排出量(系統) [gCO ₂]	放電電力量 × 系統電力排出係数	194	169	127	169	114	182	182	182	207	156
CO ₂ 排出量(ディーゼル) [gCO ₂]	放電電力量 × ディーゼル発電機排出係数	476	414	310	414	279	445	445	445	507	383
CO ₂ 排出量(採用) [gCO ₂]	上りは系統電力、下りはディーゼル発電機	194	414	127	414	114	445	182	445	207	383
上り・下り		上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り	上り	下り
代表飛行平均		299 gCO ₂									

※ 赤枠は代表飛行

ただし、長野県白馬村では、山麓と山小屋間の輸送を行っているが、山麓から山小屋への飛行(上り)の際のドローンの充電には系統電力を、山小屋から山麓への飛行(下り)の際の充電にはディーゼル発電機を使用している。このため、上りでは系統電力(中部電力の基礎排出係数(平成 29 年度実績)0.000476 tCO₂/kWh)の排出係数を、下りではディーゼル発電機の排出係数を適用する。

ここで、ディーゼル発電機による排出係数を算出する。対象となる山小屋では、複数種類のディーゼル発電機を使用しているが、このうちメーカーホームページより機器仕様が把握できた機器のうち、最も排出係数の高いものを採用することとした。当該機器が、ヤンマー社製 AG25SH¹⁶であり、この機器仕様情報に基づき、次表の通りディーゼル発電機の排出係数を **約 1.16 kgCO₂/kWh** と設定した。ただし、これは定格運転での値であり、実際の運転では効率が落ちることが想定されるため、実際の排出係数はもう少し高い値となる可能性が高い点に留意が必要であるが、9 機種中の 1 機種値であり、かつ、仕様情報が得られたもう 1 つの機器(ヤンマー社製 AG60SH¹⁷)の排出係数を同様に算出すると 0.58 kgCO₂/kWh

¹⁶ ヤンマー社 AG25SH の機器仕様 (アクセス: 2019 年 2 月 27 日)

https://www.yanmar.com/jp/construction/products/generator/ag-sh-f/spec_25.html

¹⁷ ヤンマー社製 AG60SH の機器仕様 (アクセス: 2019 年 2 月 27 日)

https://www.yanmar.com/jp/construction/products/generator/ag-sh-f/spec_60.html

と約半分の値となることから、ある程度保守的な値といえる。

表 3-40 ディーゼル発電機の排出係数（長野県白馬村）

項目			説明	単位	値	
a	仕様書	エンジン	時間当たり燃料消費量	定格運転	L/h	6.5
b			連続運転時間	定格運転	h	10
c	ディーゼル	発電機	出力	単相 3 線	kVA	14.4
d			力率		—	1
e	ディーゼル排出係数				kgCO ₂ /L	2.58
f	燃料消費量			(a)時間当たり燃料消費量×(b)連続運転時間	L	65
g	CO ₂ 排出量			(f)燃料消費量×(e)排出係数	kgCO ₂	168
h	出力			(c)発電機出力×(d)力率	kW	14.4
i	発電電力量			(h)出力×(b)連続運転時間	kWh	144
j	CO ₂ 原単位			(g)CO ₂ 排出量÷(i)発電電力量	kgCO ₂ /kWh	1.16

上記で算出したディーゼル発電機の排出係数も適用したうえで、4回の代表飛行のCO₂排出量の加算平均を取ると、**約 299 gCO₂**となる。これを用いてドローン物流による排出量を算出する。

長野県白馬村では、ドローンを活用して食料品を山麓から山小屋に運ぶことを想定している。ドローンによる年間輸送重量を 16,000kg と設定し、代表飛行 1 回当たりの輸送重量は 8kg であることから、1,000 往復 (2,000 回) の飛行を想定した。次式の通り、上記で算出した 1 回当たり CO₂ 排出量に、飛行回数を乗じることで、ドローン物流による年間 CO₂ 排出量を算出した。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{年}] = \text{代表飛行 CO}_2 \text{ 排出量}[\text{gCO}_2/\text{回}] \times \text{年間輸送回数}[\text{回/年}] \times 10^{-3}$$

表 3-41 ドローン物流における年間 CO₂ 排出量（長野県白馬村）

項目	説明	単位	値	
a	1回あたりCO ₂ 排出量	代表飛行の平均（片道）	gCO ₂ /回	299
b	1回あたり飛行距離	代表飛行と同じと設定	km/回	1.0
c	1回あたり輸送重量	代表飛行と同じと設定	kg/回	8.0
d	年間輸送重量	モデルを勘案して設定（上げ荷・下げ荷合計）	kg/年	16,000
e	年間輸送回数（片道）	(d)年間輸送重量÷(c)1回あたり輸送重量	回/年	2,000
f	年間CO ₂ 排出量	(a)1回あたりCO ₂ 排出量×(e)年間輸送回数	kgCO ₂ /年	599

その結果、ドローン物流による年間 CO₂ 排出量は **約 599 kgCO₂/年** と算出された。

2) 既存物流網における CO₂ 排出量

長野県白馬村では、ドローンで代替するのは、ヘリコプターによる食料品の輸送である。ヘリコプターによる CO₂ 排出量は、現在食料品を含む荷物を運搬しているヘリコプターの CO₂ 原単位をまず算出し、その原単位にドローン物流と同じ条件で設定した値を乗じることで算出する。

まず、現在山麓から山小屋までの荷物の運搬をしているヘリコプターの CO₂ 原単位を算

出する。複数種類のヘリコプターを使用しているが、現在主に使用されているベル 204B-II を代表として採用することとする。ヘリコプターの燃費は、時間当たり燃料消費量が製品仕様書に掲載されており、これを採用した。次式の通り、この燃費に排出係数を乗じることで、時間あたり CO₂ 排出量を算出した。

時間あたり CO ₂ 原単位[kgCO ₂ /h] = 燃費 [kg/h] ÷ ジェット燃料密度[kg/kl] × 排出係数[kgCO ₂ /L]

表 3-42 既存物流における CO₂ 原単位（長野県白馬村）

項目	説明	単位	値	
a	燃費	ベル204B-IIカタログ値	kg/h	274
b	密度	ジェット燃料	kg/kl	760
c	排出係数	ジェット燃料	kgCO ₂ /L	2.46
d	時間あたりCO ₂ 排出量	(a)燃費 ÷ (b)密度 × (c)排出係数	kgCO ₂ /h	887

その結果、ヘリコプターの時間あたり CO₂ 排出量は **約 887 kgCO₂/h** と算出された。

なお、カタログの燃費データを用いて算出したため、実際はより高い値となる可能性が高い。

また、現在使用しているヘリコプターは、基地のある名古屋から白馬の山麓までやってきて、山麓から山小屋への荷物運搬を 1 日に 15 往復程度実施し、また基地のある名古屋へ戻る運用となっている。基地・白馬山麓間は 1 往復約 3 時間、山麓・山小屋間の運搬は 1 往復あたり約 10 分となっている。

ヘリコプターは、今回ドローン代替の対象となる山小屋以外への荷物運搬も行っているため、基地・白馬山麓間の移動による排出量を本件へ計上するのは過剰であるため、山麓・山小屋間の往復のみを計上対象とする。山麓・山小屋の片道の時間は、実績値より **約 0.08h/片道 (5 分/片道)** とした。この値と時間あたり CO₂ 排出量を用いて、ヘリコプター物流による年間 CO₂ 排出量を算出する。

また参考として、基地・白馬山麓間の排出量を山麓・山小屋間の一往復あたりに按分して計上した場合の排出量も算定することとする。このため、基地・白馬山麓間の移動時間を、15 往復（片道 30 回）で除して、山麓・山小屋間の飛行時間に加算することで、みなし飛行時間を次表の通り設定した。

表 3-43 既存物流における 1 往復あたりみなし飛行時間（長野県白馬村）

項目	説明	単位	値	参考(分)	
a	基地往復の飛行時間	実績値(基地(名古屋)⇔山麓(白馬))	h	3.00	180
b	山小屋往復の飛行時間	実績値(山麓⇔山小屋)	h/往復	0.17	10
c	1日当たり往復数	実績値(山麓⇔山小屋)	往復/日	15	-
d	1往復あたり飛行時間	(a)基地往復時間 ÷ (c)1日当たり往復数 + (b)山小屋往復時間	h/往復	0.37	22
e	1飛行(片道)あたり飛行時間	(d)1往復あたり飛行時間 ÷ 2	h/片道	0.18	11

その結果、ヘリコプターが山麓・山小屋間の片道際のみなし飛行時間は、約 0.18h/片道 (11 分/片道) と算出された。

上記で設定した通りドローンでは 16,000kg を運搬する。現在ヘリコプターでは1往復当たり 700kg の荷物を運搬していて、そのうちの主に食糧品にあたる 200kg をドローンで代替するという想定である。このシナリオを踏襲すると、80 回飛行することで 16,000kg の食糧相当分を運搬することができる (200kg×80 回=16,000kg)。これより、ヘリコプターの年間飛行回数を 80 と設定した。

これら設定に基づき算出した年間輸送時間を、ヘリコプターの時間あたり CO₂ 排出量に乗じることで、既存物流における年間 CO₂ 排出量を算定した。

さらに、700kg 中の 200kg が今回の運搬対象であるため、CO₂ 排出量についても、この比率をもって按分することで、今回の既存物流に起因する排出量とみなすこととした。

$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{年}]$ $= \text{時間あたり CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{h}] \times \text{年間輸送時間}[\text{h}/\text{年}] \times \text{ドローン代替比率}$

表 3-44 既存物流における年間 CO₂ 排出量 (長野県白馬村)

項目	説明	単位	値	(参考)値※	
a	年間輸送重量	設定値 (ドローンと同じ)	kg/年	16,000	16,000
b	1飛行(片道)あたり飛行時間	上表で設定	h/片道	0.08	0.18
c	1飛行あたり輸送重量	実績値より設定	kg/片道	200	200
d	年間飛行回数	(a)年間輸送重量 ÷ (c)1飛行あたり輸送重量	片道/年	80	80
e	年間輸送時間	(b)1飛行(片道)あたり輸送時間 × (d)年間飛行回数	h/年	6.7	14.7
f	時間あたりCO ₂ 排出量	上表で設定	kgCO ₂ /h	887	887
g	年間CO ₂ 排出量	(f)時間あたりCO ₂ 排出量 × (e)年間輸送時間	kgCO ₂ /年	5,913	13,008
h	ドローン代替比率	200kg ÷ 700kg	—	0.286	0.286
i	みなし年間CO ₂ 排出量	(g)年間CO ₂ 排出量 × (h)ドローン代替比率	kgCO ₂ /年	1,689	3,717
j	1回あたりCO ₂ 排出量	(i)みなし年間CO ₂ 排出量 ÷ (d)年間飛行回数	gCO ₂ /回	21,117	46,456

その結果、既存物流による年間 CO₂ 排出量は **約 1,689 kgCO₂/年** と算出された。

なお、基地・白馬山麓間の飛行時間の該当分のみ加えた場合の既存物流による年間 CO₂ 排出量は **約 3,717 kgCO₂/年** と算出された。

1 回当たりの CO₂ 排出量は **約 21,117 gCO₂/回**、基地・白馬山麓間の飛行時間の該当分を加えた場合は **約 46,456 gCO₂/回**である。

3) コスト算定

ドローン物流・既存物流におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が想定する結果を表 3-45 に示す。

ドローン物流を導入するにあたって必要となるイニシャルコストは、今回の検証実験をベースに算定した検証実験シナリオでは **315 万円**と想定されている。なお、イニシャルコストには機体費として機体 1 台当たりの費用等が、インフラ整備費として山小屋においてバッテリーを充電するための発電設備が含まれる。なお、目視外補助者無し飛行の普及に伴う安全対策コストの低減や、技術開発や量産効果による機体・インフラ等コストの低減が見込まれた想定シナリオにおいては、イニシャルコストは 165 万円程度となると算定されている。

また、年間のランニングコストは、検証実験シナリオでは**約 63 万円**、想定シナリオでは

約 42 万円と算定されている。検証実験シナリオでは、機体保守費や貨物も含めた保険料、気象観測装置等の安全対策設備の維持費、電気代を費目として想定している。想定シナリオでは機体保守費及び安全対策設備維持費が低減すると想定されている。

表 3-45 ドローン物流におけるコスト（長野県白馬村）

	検証実験シナリオ	想定シナリオ
イニシャルコスト	¥3,150,000	¥1,650,000
ランニングコスト（年間）	¥632,486	¥420,486

既存物流網におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が算定した結果を表 3-46 に示す。長野県白馬村においては、既存物流としてヘリコプターの利用を想定していることから、ランニングコストとしてヘリコプターのチャーター代をドローン物流で代替する比率で按分した費用として、**50 万円**と算定されている。

表 3-46 既存物流網におけるコスト（長野県白馬村）

既存物流手段	ヘリコプター
イニシャルコスト	¥0
ランニングコスト（年間）	¥500,000

ドローン物流によるコストと既存物流網におけるコストのそれぞれについて、イニシャルコストの各年費用分とランニングコストの合計により年間コストを算出し、比較した結果を表 3-47 に示す。イニシャルコストについては、耐用年数をもとに定額法での各年の費用を計上した。なお、ドローン機体及びドローン配送向けインフラについては、現在は個別の法定耐用年数が定められていないため、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令¹⁸⁾」別表第二「機械及び装置の耐用年数表」の「運輸に附帯するサービス業用設備」の耐用年数である 10 年を使用した。

¹⁸⁾ https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=340M50000040015

表 3-47 ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（長野県白馬村）

項目		検証実験シナリオ	想定シナリオ
ド ロ ー ン 物 流	イニシャルコスト(年間)	¥315,000	¥165,000
	ランニングコスト(年間)	¥632,486	¥420,486
	総計	¥947,486	¥585,486
物 流 既 存	イニシャルコスト(年間)	¥0	¥0
	ランニングコスト(年間)	¥500,000	¥500,000
	総計	¥500,000	¥500,000
差 額	イニシャルコスト(年間)	¥315,000	¥165,000
	ランニングコスト(年間)	¥132,486	¥-79,514
	総計	¥447,486	¥85,486

検証実験シナリオの場合、ドローン物流の年間コストは約95万円、既存物流網の年間コストは50万円となり、ドローン物流を導入すると、既存物流網と比較して年間約45万円の追加コストがかかる。内訳をみると、ドローン物流は既存物流網と比較し、イニシャルコストで年間約32万円、ランニングコストで年間約13万円の追加コストが発生している。

想定シナリオの場合、追加コストはイニシャルコスト・ランニングコスト合計で年間約9万円まで低減する。特に、想定シナリオの場合、ランニングコストは既存物流よりも安価に実現可能であることが想定される。

4) CO₂ 排出量削減効果

上記1)及び2)で算出した、ドローン及び既存物流における年間CO₂排出量の差分により、CO₂排出削減量を算出する。以下の通り、約1,090 kgCO₂/年と算出された。

CO₂削減量[kgCO₂/年]

= 既存物流 CO₂排出量[kgCO₂/年] - ドローン CO₂排出量[kgCO₂/年]

= 1,689.3 - 598.9

= **1,090.4 kgCO₂/年**

なお、前述の通り、ヘリコプターの燃費はカタログ値を使用しているため、実際の時間あたりCO₂排出量はより高い値となる可能性が高いため、削減量もより高い値となる可能性が高い。

また、既存物流について基地・白馬山麓間の飛行時間の該当分を加えた場合の年間CO₂削減量は、約3,118 kgCO₂/年と算出された。

5) 費用対効果

ここまでで算出した「年間CO₂排出削減量」を「年間追加コスト（イニシャルコスト＋ラ

ンニングコスト)」で除すことにより、既存物流をドローンで代替することによる費用対効果を算出する。既存物流の CO₂ 排出量算定に基地・白馬山麓間の飛行時間の該当分を加えず、コストとして想定シナリオを用いると、以下の通り、**約 128 kgCO₂/万円** と算出された。

費用対効果[kgCO₂/万円]

= 年間 CO₂ 排出削減量[kgCO₂/年] ÷ 年間追加コスト[万円/年]

= 1,090.4 ÷ 8.55

= **127.6 kgCO₂/万円**

なお、ランニングコストのみで同様に費用対効果を算出すると、ドローン物流の方がコストが安いために負の値となり、**約 -137 kgCO₂/万円**となる。

コストとして検証実験シナリオを用いた場合の費用対効果についても同様に計算すると、イニシャルコスト+ランニングコストでは約 24.4 kgCO₂/万円、ランニングコストのみでは約 82.3 kgCO₂/万円となる。

また、既存物流の CO₂ 排出量算定に基地・白馬山麓間の飛行時間の該当分を加えた場合については、コストとして想定シナリオを用いると、イニシャルコスト+ランニングコストでは約 83.0 kgCO₂/万円、ランニングコストのみでは約 515 kgCO₂/万円となる。コストとして検証実験シナリオを用いると、イニシャルコスト+ランニングコストでは約 69.7 kgCO₂/万円、ランニングコストのみでは約 235 kgCO₂/万円となる。

(5) 岡山県和気町

1) ドローン物流における CO₂ 排出量

ドローン検証実験の結果を次表に示す。

29 回の実験飛行を実施したが、うち飛行 No.24、25 のみで実運用の際の使用を想定している機体 (AeroRange2) を使用していることから、これらを代表飛行 (行き、帰り) として設定した。

岡山県和気町で利用したドローン (AeroRange1, AeroRange2) は、いずれも燃料とバッテリーによるハイブリッド方式を採用していることから、燃料とバッテリーそれぞれの使用に伴う CO₂ 排出量をそれぞれ算定し、合算する。また、バッテリーは主に非常用であるため、飛行前に満充電されていない場合、飛行中にガソリンにより充電される場合がある。ここでは保守的な算定として、バッテリー充電率が飛行前後で低下している場合にはバッテリーの使用による CO₂ 排出量を算定し、バッテリー充電率が飛行前後で上昇している場合にはバッテリーの使用による CO₂ 排出量 (マイナスの排出量となる) は算定しないこととした。また、バッテリー使用率としては、搭載されている 2 つのバッテリーの充電率 (実測値) の平均を用いた。

燃料の使用による CO₂ 排出量については、実測された燃料使用量に排出係数を乗じる燃料法により算出した。バッテリーの使用による CO₂ 排出量消費電力量に系統電力の排出係数 (中国電力の基礎排出係数 (平成 29 年度実績) 0.000669 tCO₂/kWh) を乗じることで、1 回飛行あたりの CO₂ 排出量を算出した。

$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (ガソリン) [gCO}_2\text{]} = \text{燃料使用量[ml]} \times \text{排出係数 } 2.32[\text{tCO}_2/\text{kL}]$
$\text{消費電力量[Wh]} = \text{電池容量 } 10,000[\text{mAh}] \times \text{電池電圧 } 44.4[\text{V}] \times \text{使用率} \times 10^{-3}$
$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (バッテリー) [gCO}_2\text{]} = \text{消費電力量[Wh]} \times \text{排出係数}[\text{kgCO}_2/\text{kWh}]$
$\text{CO}_2 \text{ 排出量 (合計) [gCO}_2\text{]} = \text{CO}_2 \text{ 排出量 (ガソリン) [gCO}_2\text{]} + \text{CO}_2 \text{ 排出量 (バッテリー) [gCO}_2\text{]}$

表 3-48 ドローン検証実験における CO₂ 排出量（岡山県和気町）

No.	説明	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
配送物重量[g]	実測	1.12	568	0	670	1.08	0	1.857	0	0	1513	0	1.7
飛行距離[km]	実測	9.8	9.8	9.8	7.3	2.5	9.8	7.3	2.5	2.5	9.8	9.8	-
飛行速度[m/s]	実測	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
飛行時間[min]	実測	30	21	23	17	26	26	22	7	22	7	22	7
使用燃料量[ml]	実測	800	600	400	500	150	400	450	150	150	650	400	100
CO ₂ 排出量（ガソリン）[gCO ₂]	燃料使用量×排出係数	1,856	1,392	928	1,160	348	928	1,044	348	348	1,508	928	232
飛行前バッテリー充電率[%]	実測	92	96	72	93	92	88	92	74	72	94	75	97
飛行後バッテリー充電率[%]	実測	23	72	79	92	88	93	74	72	73	75	91	91
バッテリー使用量[%]	飛行前－飛行後（減少している場合のみ記載）	69	25		1	4		18	2		20		6
放電電力量[Wh]	電池容量×電池電圧×使用量[%]	306	109		4	18		80	7		87		24
充電電力量[Wh]	放電電力量[Wh]×1.5	460	163		7	27		120	10		130		37
風速[m/s]	実測	3	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1
CO ₂ 排出量（バッテリー）[gCO ₂]	充電電力量×係数	205	73		3	12		53	4		58		16
CO₂排出量（合計）[gCO₂]		2,061	1,465	928	1,163	360	928	1,097	352	348	1,566	928	248
備考	記載がない場合、AeroRange1を使用												

No.	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
配送物重量[g]	1.7	0	1,988	1.1	0	0.25	0	1.54	0	1.37	0	5000	0	0	0	1,472	0
飛行距離[km]	9.8	2.5	2.5	2.5	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
飛行速度[m/s]	8	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
飛行時間[min]	24	6	7	7	19	30	20	23	20	18	20	19	17	19	17	17	16
使用燃料量[ml]	400	150	600	150	400	600	400	600	400	500	400	1,100	1,000	600	400	600	300
CO ₂ 排出量（ガソリン）[gCO ₂]	928	348	1,392	348	928	1,392	928	1,392	928	1,160	928	2,552	2,320	1,392	928	1,392	696
飛行前バッテリー充電率[%]	91	88	91	97	89	98	66	97	91	97	63	96	69	93	72	87	70
飛行後バッテリー充電率[%]	88	89	87	89	92	66	89	91	92	63	75	69	38	72	80	70	87
バッテリー使用量[%]	3		4	8		33		6		35		27	31	21		17	
放電電力量[Wh]	13		18	36		144		27		153		118	138	93		75	
充電電力量[Wh]	20		27	53		216		40		230		176	206	140		113	
風速[m/s]	1	0	0	0	0	3	2	1	1	1	2	0	0	0	0	0	0
CO ₂ 排出量（バッテリー）[gCO ₂]	9		12	24		97		18		102		79	92	62		50	
CO₂排出量（合計）[gCO₂]	937	348	1,404	372	928	1,489	928	1,410	928	1,262	928	2,631	2,412	1,454	928	1,442	696
備考												AeroRange2	AeroRange2				

※ 赤枠は代表飛行

2回の代表飛行から、往路（配送物重量 5,000g）の場合は 2,631 gCO₂、復路（配送物重量 0g）の場合は 2,412 gCO₂であり、**合計約 5,043 gCO₂**となる。

また、検証実験においてはドローンによる運搬時に車で並走して操縦を行ったことから、操縦者の移動に伴う CO₂ 排出量を算定する必要がある。実証実験において、操縦者は燃費が 6.5km/L の車で往復 19.6km を運行したことから、次式の通りの計算を行うことで、ドローン操縦者の移動に伴う CO₂ 排出量を計算した。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量(操縦者)}[\text{kgCO}_2/\text{回}] = \frac{\text{運行距離 } 19.6[\text{km}]}{\text{燃費 } 6.5[\text{km/L}]} \times \text{排出係数 } 2.32[\text{tCO}_2/\text{kL}] \times 10^3$$

その結果、操縦者による CO₂ 排出量は 約 7,003 gCO₂/回と算出された。

ドローンによる排出量と操縦者による排出量を足し合わせ、ドローン物流による 1 回当たり CO₂ 排出量は **約 12,046 gCO₂/回** と算出された。

なお、岡山県和気町では、ドローンを活用して、和気ドーム駐車場から津瀬地区公民館前まで注文に応じて日用品（日常生活に必要な食料品、日用雑貨等）を運ぶことを想定している。

現在このサービスは実施されていないために参考値として、年間 CO₂ 排出量を算定する。近隣地区で実施されている類似サービス（会員数 131 人）の需要量 264. kg/年をもとに、津瀬地区（住民 47 人）における需要量を考えると、年間の需要量は 94.8 kg となる。94.8kg を

運搬するためには 19 回の飛行が必要であるため、ドローンでの年間輸送回数は 19 回と仮定することができる。

次式の通り、上記で算出した 1 回当たり CO₂ 排出量に、飛行回数に乗じることで、ドローン物流による年間 CO₂ 排出量を算出した。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{年}] = \text{代表飛行 CO}_2 \text{ 排出量}[\text{gCO}_2/\text{回}] \times \text{年間輸送回数}[\text{回/年}] \times 10^{-3}$$

上記の推計に基づくと、ドローンによる年間 CO₂ 排出量は **約 96 kgCO₂/年** と算出される。操縦者の移動に伴う年間 CO₂ 排出量は約 133 kgCO₂/年であり、合計では**約 229 kgCO₂/年**と算出できる。

2) 既存物流網における CO₂ 排出量

岡山県和気町における実証実験においてドローンで代替するのは、軽貨物車による和気ドーム駐車場から津瀬地区公民館前への、注文された日用品の輸送である。現在、該当区間において類似サービスが存在しない。そのため本算定においては、軽貨物車にてドローン物流で想定しているのと同様の条件のサービス、すなわち和気ドーム駐車場から津瀬地区公民館前まで日用品（日常生活に必要な食料品、日用雑貨等）を注文に応じて運ぶサービスを実施することを想定し、その場合の CO₂ 排出量を燃費法により仮想的に求めることとする。

輸送距離については、ドローン輸送での始点・終点を車により最短距離で往復すると仮定し、20.8 km（片道 10.4km）と設定した。また燃費については、本算定においてはガソリンを利用する軽貨物車の営業用燃費である 9.33km/L¹⁹を使用した。また、算定対象とする走行の目的は注文された日用品の宅配（ドローンで代替する物流）のみであると仮定し、CO₂ 排出量の按分は行わないこととした。

これらの設定に基づき、輸送 1 回当たりの CO₂ 排出量は、燃費法により**約 5,172 gCO₂**と算出された。

なお、ドローン物流と同様、需要に応じてこのような輸送が生じていると想定されることから、年間運航回数を適切に設定するのは難しい。ドローン物流と同様に年間 19 回の輸送があると仮定すると、年間 CO₂ 排出量は **約 98 kgCO₂/年** と算出される。

$$\begin{aligned} \text{1 回当たり CO}_2 \text{ 排出量 (tCO}_2) &= \text{輸送距離(km)} \div \text{燃費(km/l)} \times 1/1000(\text{kl/l}) \\ &\quad \times \text{単位発熱量 (GJ/t, GJ/kl, GJ/千 Nm}^3) \times \text{排出係数 (tC/GJ)} \\ &\quad \times 44/12 (\text{tCO}_2/\text{tC}) \end{aligned}$$

¹⁹ 平成 18 年経済産業省告示第 66 号「貨物輸送事業者に行わせる貨物の輸送に係るエネルギーの使用量の算定の方法」より引用。 <http://www.mlit.go.jp/common/001266320.pdf>

表 3-49 既存物流における CO₂ 排出量（岡山県和気町）

項目	説明	単位	値	
a	輸送距離	ドローン輸送での始点・終点を車により最短距離で往復する	km	20.8
b	燃費	燃料別最大積載量別燃費より、ガソリン駆動の軽貨物車の値	km/l	9.3
c	燃料の使用に関する排出係数（ガソリン）	算定省令に基づき算定された値※1	tCO ₂ /kl	2.32
d	1回あたりCO ₂ 排出量	$(a) \div (b) \times (c) \times 10^3$	gCO ₂ /回	5,172

※1：「特定排出者の事業活動に伴う温室効果ガスの排出量の算定に関する省令（平成 18 年経済産業省、環境省令第 3 号）」に掲載された値から、該当する単位発熱量[GJ/kl]×排出係数[tC/GJ]×44/12 により算定

3) コスト算定

ドローン物流・既存物流におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が想定する結果を表 3-50 に示す。

ドローン物流を導入するにあたって必要となるイニシャルコストは、今回の検証実験をベースに算定した検証実験シナリオでは**約 461 万円**と想定されている。なお、目視外補助者無し飛行の普及に伴う安全対策コストの低減や、技術開発や量産効果による機体・インフラ等コストの低減が見込まれた想定シナリオにおいては、イニシャルコストは 231 万円程度となると算定されている。

また、年間のランニングコストは、検証実験シナリオでは**約 142 万円**、想定シナリオでは約 53 万円と算定されている。検証実験シナリオでは機体保守費や、ドローン運航の際の補助者（自動車にて移動）のチャーター費や人件費、保険料、操縦者の人件費等を想定している。想定シナリオでは機体保守費及び補助者費が低減すると想定されている。

表 3-50 ドローン物流におけるコスト（岡山県和気町）

	検証実験シナリオ	想定シナリオ
イニシャルコスト	¥4,612,430	¥2,306,215
ランニングコスト（年間）	¥1,417,470	¥533,102

既存物流網におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が算定した結果を表 3-51 に示す。岡山県和気町においては、既存物流として軽貨物車の利用を想定している。ランニングコストとして、車両リース費用や人件費、保険・車検料、燃料費等で**約 36 万円**となると算定されている。

表 3-51 既存物流網におけるコスト（岡山県和気町）

既存物流手段	軽自動車
イニシャルコスト	¥0
ランニングコスト（年間）	¥357,934

ドローン物流によるコストと既存物流網におけるコストのそれぞれについて、イニシャルコストの各年費用分とランニングコストの合計により年間コストを算出し、比較した結

果を表 3-52 に示す。イニシャルコストについては、耐用年数をもとに定額法での各年の費用を計上した。なお、ドローン機体及びドローン配送向けインフラについては、現在は個別の法定耐用年数が定められていないため、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令²⁰」別表第二「機械及び装置の耐用年数表」の「運輸に附帯するサービス業用設備」の耐用年数である 10 年を使用した。

表 3-52 ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（岡山県和気町）

項目		検証実験シナリオ	想定シナリオ
ド ロ ー ン 物 流	イニシャルコスト(年間)	¥461,243	¥230,622
	ランニングコスト(年間)	¥1,417,470	¥533,102
	総計	¥1,878,713	¥763,724
物 流 既 存	イニシャルコスト(年間)	¥0	¥0
	ランニングコスト(年間)	¥357,934	¥357,934
	総計	¥357,934	¥357,934
差 額	イニシャルコスト(年間)	¥461,243	¥230,622
	ランニングコスト(年間)	¥1,059,536	¥175,168
	総計	¥1,520,779	¥405,790

検証実験シナリオの場合、ドローン物流の年間コストは約 188 万円、既存物流網の年間コストは約 36 万円であることから、ドローン物流を導入すると、既存物流網と比較して年間約 152 万円の追加コストがかかる。内訳をみると、イニシャルコストで年間約 46 万円、ランニングコストで年間約 106 万円の追加コストが発生している。

想定シナリオの場合、追加コストはイニシャルコスト・ランニングコスト合計で年間約 41 万円まで低減する。

4) CO₂ 排出量削減効果

上記 1)及び 2)で算出した、ドローン物流及び既存物流における年間 CO₂ 排出量の差分により、CO₂ 排出削減量を算出する。ドローン物流を導入することで、以下の通り約 **-6,874 gCO₂/回** CO₂ 排出量が増加する結果となった。

CO₂ 削減量[gCO₂/回]

= 既存物流 CO₂ 排出量[gCO₂/回] - ドローン CO₂ 排出量[gCO₂/回]

= 5,172.1 - 12,045.9

= **-6,873.8 gCO₂/回**

なお、操縦者による車移動なしの場合を想定すると、ドローン物流による CO₂ 排出削減量は、約 **129 gCO₂/回** となった。

²⁰ https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=340M50000040015

また、参考値として算出した年間 CO₂ 排出量により年間 CO₂ 排出量削減効果を算定すると、操縦者による車の移動を含む場合は約-130 kgCO₂/年、操縦者による車移動がない場合を想定すると、約 2 kgCO₂/年となる。

5) 費用対効果

岡山県和気町においては、実際のサービスが存在しないことから、年間での CO₂ 排出量削減効果は算定することが難しい。本項では参考として、前述した「年間 CO₂ 排出削減量」の参考値を「年間追加コスト(イニシャルコスト+ランニングコスト)」で除すことにより、既存物流をドローンで代替することによる費用対効果を算出する。なお、ドローン物流の方が CO₂ 排出量が大きくなるため、費用対効果は負の値となる。

ドローンの CO₂ 排出量の算定において操縦者の移動を含めず、またコストとして想定シナリオを用いた場合の費用対効果についても同様に計算すると、は約 0.0606 kgCO₂/万円となる。

費用対効果[kgCO₂/万円]

= 年間 CO₂ 排出削減量[kgCO₂/年] ÷ 年間追加コスト[万円/年]

= 2.46 ÷ 40.6

= **0.06056 kgCO₂/万円**

なお、ランニングコストのみで同様に費用対効果を算出すると、約 0.140 kgCO₂/万円となる。

参考として CO₂ 排出削減量として操縦者の移動を含め、コストとして検証実験シナリオを用いて費用対効果を算出すると、イニシャルコスト+ランニングコストでは約-0.858 kgCO₂/万円、ランニングコストの削減分のみで同様に費用対効果を算出すると、約-1.23 kgCO₂/万円となる。

(6) 福岡県福岡市

1) ドローン物流における CO₂ 排出量

ドローン検証実験の結果を次表に示す。

6回の実験飛行を実施しており、うち飛行 No.1 と 2 ではいずれも 1,000g の荷物を 5km 先に運搬しており、これらを代表飛行として設定した。

福岡県福岡市では、実測した飛行前後の電圧から、バッテリーの使用率を求める近似式を実験により設定しており、これを用いて消費電力量を算出する。この消費電力量に系統電力の排出係数（九州電力の基礎排出係数（平成 29 年度実績）0.000438 tCO₂/kWh）を乗じることで、1 回飛行あたりの CO₂ 排出量を算出した。

消費電力量[Wh] = 電池容量 16,000[mAh] × 電池電圧 22.2[V] × 使用率 × 10 ⁻³
CO ₂ 排出量[gCO ₂] = 消費電力量[Wh] × 排出係数[kgCO ₂ /kWh]

表 3-53 ドローン検証実験における CO₂ 排出量（福岡県福岡市）

飛行No.	説明	1	2	3	4	5	6	
配送物重量[g]	実測	1,000	1,000	908	957	908	957	
飛行距離[km]	実測	5	5	5	5	5	5	
飛行速度[m/s]	実測	10	10	10	7	10	7	
飛行時間[min]	実測	10	10	10	14	10	13	
使用率[%]	福岡市設定の近似式より	33%	29%	31%	39%	29%	41%	
消費電力量[Wh]	= 16,000[mAh] × 22.2[V] × 使用率[%]	117	103	110	139	103	146	
排出係数[kgCO ₂ /kWh]	九州電力基礎係数	0.438	0.438	0.438	0.438	0.438	0.438	
CO ₂ 排出量[gCO ₂]	放電電力量 × 排出係数	51.3	45.1	48.2	60.7	45.1	63.8	
		代表飛行平均						48.2 gCO₂

※ 赤枠は代表飛行

2 回の代表飛行の CO₂ 排出量の加算平均を取ると、**約 48 gCO₂** となる。これを用いてドローン物流による排出量を算出する。

福岡県福岡市では、ドローンを活用して郵便物・小包を離島に運ぶことを想定している。ドローンによる年間輸送重量を 1,400kg と設定し、代表飛行 1 回当たりの輸送重量は 1kg であることから、1,400 回の飛行を想定した。次式の通り、上記で算出した 1 回あたり CO₂ 排出量に、飛行回数に乗じることで、ドローンによる年間 CO₂ 排出量を算出した。

$CO_2 \text{ 排出量} [kgCO_2/\text{年}] = \text{代表飛行 } CO_2 \text{ 排出量} [gCO_2/\text{回}] \times \text{年間輸送回数} [\text{回}/\text{年}] \times 10^{-3}$

表 3-54 ドローンにおける年間 CO₂ 排出量（福岡県福岡市）

項目	説明	単位	値	
a	1回あたりCO2排出量	代表飛行の平均(片道)	gCO ₂ /回	48.2
b	1回あたり飛行距離	代表飛行と同じと設定	km/回	5.00
c	1回あたり輸送重量	代表飛行と同じと設定	kg/回	1.00
d	年間輸送重量	モデルを勘案して設定	kg/年	1,400
e	年間輸送回数(片道)	(d)年間輸送重量 ÷ (c)1回あたり輸送重量	回/年	1,400
f	年間CO2排出量	(a)1回あたりCO2排出量 × (e)年間輸送回数	kgCO ₂ /年	67.5

その結果、ドローンによる年間 CO₂ 排出量は **約 68 kgCO₂/年** と算出された。

なお、ドローンによる運搬時には船で並走して操縦・補助を行うことから、並走船の航行に伴う CO₂ 排出量を加算する必要がある。並走船は、下記の既存物流で使用するのと同じ漁船を想定し、航行回数はドローンと同じと想定した。航行距離については、ドローンは目的地までの直線距離で 5km の飛行となるものの、船については入出港の際に港湾を大回りして海に出る必要があり、その分ドローンよりも航行距離が加算され 6km と想定した。これは既存物流の漁船と同じである。

表 3-55 ドローン並走船における年間 CO₂ 排出量 (福岡県福岡市)

項目	説明	単位	値	
a	距離あたり CO ₂ 排出量	後段で設定	kgCO ₂ /km	1.84
b	1回あたり航行距離	ドローンと同じ	km/回	6.00
c	年間航行回数	ドローンと同じ	回/年	1,400
d	年間航行距離	(b)1回あたり航行距離 × (c)年間航行回数	km/年	8,400
e	並走船による年間 CO ₂ 排出量	(a)距離あたり CO ₂ 排出量 × (d)年間航行距離	kgCO ₂ /年	15,480
f	1回あたり CO ₂ 排出量	(e)年間 CO ₂ 排出量 ÷ (c)年間航行回数	gCO ₂ /回	11,057

上表の通り、並走船による年間 CO₂ 排出量は 約 15,480 kgCO₂/年 と算出された。

なお、並走船による 1 回当たりの CO₂ 排出量は 約 11,057 gCO₂/回 である。ドローンによる排出量と並走船による排出量を足し合わせると、並走船も含めたドローン物流による 1 回当たりの CO₂ 排出量は 11,105 gCO₂/年、年間 CO₂ 排出量は **約 15,548 kg/CO₂** と算出された。

2) 既存物流網における CO₂ 排出量

福岡県福岡市では、ドローンで代替するのは、漁船による郵便物・小包の輸送である。

漁船による CO₂ 排出量は、現在郵便物・小包を運搬している漁船の CO₂ 原単位をまず算出し、その原単位にドローン物流と同じ条件で設定した値を乗じることで算出する。

まず、現在運航している漁船の実績値より、CO₂ 原単位を算出する。次表の通り、漁船の年間燃料使用量、年間輸送回数、1 回当たりの輸送距離のデータが得られた。これらを用いて、次式の通り、距離当たりの CO₂ 排出量を算出した。

$\begin{aligned} & \text{距離当たり CO}_2 \text{ 原単位}[\text{kgCO}_2/\text{km}] \\ & = \text{年間燃料消費量}[\text{L}/\text{年}] \times \text{排出係数}[\text{kgCO}_2/\text{L}] \\ & \quad \div (\text{年間輸送回数}[\text{回}/\text{年}] \times 1 \text{ 回あたり輸送距離}[\text{km}/\text{回}]) \end{aligned}$

表 3-56 既存物流における CO₂ 原単位（福岡県福岡市）

項目	説明	単位	値	
a	年間燃料消費量	実績値	L/年	6,000
b	年間輸送回数	実績値	回/年	1,400
c	1回あたり輸送距離	実績値	km/回	6.00
d	年間輸送距離	(b)年間輸送回数×(c)1回あたり輸送距離	km/年	8,400
e	排出係数	軽油	kgCO ₂ /L	2.58
f	年間CO ₂ 排出量	(a)年間燃料消費量×(e)排出係数	kgCO ₂ /年	15,480
g	距離あたりCO ₂ 排出量	(f)年間CO ₂ 排出量÷(d)年間輸送距離	kgCO ₂ /km	1.84

その結果、漁船の距離あたり CO₂ 排出量は **約 1.84 kgCO₂/km** と算出された。これを用いて、漁船物流による年間 CO₂ 排出量を算出する。

上記で設定した通りドローンでは 1,400kg を運搬する。漁船でも同様に 1,400kg を運搬すると設定し、輸送距離についてはドローンは直線距離で 5km の飛行であるが、船は入出港の際に港湾を大回りして海に出る必要があり、その分ドローンよりも航行距離が加算されるため実績と同じ 6km とした。また、1 回当たりの輸送重量については、既存漁船はより多くの荷物を運搬することが可能であるが、輸送する対象が郵便物・小包であり、定期的に運搬することが求められるため、現在と同じ輸送回数 1,400 回/年を想定して、1 回当たり 1 kg と設定した。

これら設定に基づき算出した年間輸送距離を、漁船の距離あたり CO₂ 排出量に乗じることで、既存物流における年間 CO₂ 排出量を算定した。

$$\text{CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{年}] = \text{距離あたり CO}_2 \text{ 排出量}[\text{kgCO}_2/\text{km}] \times \text{年間輸送距離}[\text{km}/\text{年}]$$

表 3-57 既存物流における年間 CO₂ 排出量（福岡県福岡市）

項目	説明	単位	値	
a	距離あたりCO ₂ 排出量	後段で設定	kgCO ₂ /km	1.84
b	1回あたり航行距離	ドローンと同じ	km/回	6.00
c	年間航行回数	ドローンと同じ	回/年	1,400
d	年間航行距離	(b)1回あたり航行距離×(c)年間航行回数	km/年	8,400
e	並走船による年間CO ₂ 排出量	(a)距離あたりCO ₂ 排出量×(d)年間航行距離	kgCO ₂ /年	15,480
f	1回あたりCO ₂ 排出量	(e)年間CO ₂ 排出量÷(c)年間航行回数	gCO ₂ /回	11,057

その結果、既存物流による年間 CO₂ 排出量は **約 15,480 kgCO₂/年** と算出された。

なお、既存物流による 1 回当たりの CO₂ 排出量は、並走船と同じで 約 11,057 gCO₂/回 である。

3) コスト算定

ドローン物流・既存物流におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が想定する結果を表 3-58 に示す。

ドローン物流を導入するにあたって必要となるイニシャルコストは、今回の検証実験をベースに算定した検証実験シナリオでは **450 万円** と算定されている。なお、目視外補助者無

し飛行の普及に伴う安全対策コストの低減や、技術開発や量産効果による機体・インフラ等コストの低減が見込まれた想定シナリオにおいては、イニシャルコストは 225 万円となると算定されている。

また、年間のランニングコストは、検証実験シナリオでは約**1,107 万円**、想定シナリオでは約 40 万円と算定されている。検証実験シナリオでは補助者の移動手段である漁船のチャーター代や補助者の人件費、操縦者の人件費、機体保守費、保険料等が想定されている。想定シナリオでは機体保守費及び補助者費、操縦者の人件費が低減されている。

表 3-58 ドローン物流におけるコスト（福岡県福岡市）

	検証実験シナリオ	想定シナリオ
イニシャルコスト	¥4,500,000	¥2,250,000
ランニングコスト（年間）	¥11,073,751	¥403,951

既存物流網におけるコストとして、(1)4) に示した費目について協議会が算定した結果を表 3-59 に示す。福岡県福岡市においては、既存物流として漁船の利用を想定しているため、漁船のチャーター費用から約**228 万円**と算定されている。

表 3-59 既存物流網におけるコスト（福岡県福岡市）

既存物流手段	漁船
イニシャルコスト	¥0
ランニングコスト（年間）	¥2,282,000

ドローン物流によるコストと既存物流網におけるコストのそれぞれについて、イニシャルコストの各年費用分とランニングコストの合計により年間コストを算出し、比較した結果を表 3-60 に示す。イニシャルコストについては、耐用年数をもとに定額法での各年の費用を計上した。なお、ドローン機体及びドローン配送向けインフラについては、現在は個別の法定耐用年数が定められていないため、「減価償却資産の耐用年数等に関する省令²¹⁾」別表第二「機械及び装置の耐用年数表」の「運輸に附帯するサービス業用設備」の耐用年数である 10 年を使用した。

²¹⁾ https://elaws.e-gov.go.jp/search/elawsSearch/elaws_search/lsg0500/detail?lawId=340M50000040015

表 3-60 ドローン物流と既存物流網の年間コスト比較（福岡県福岡市）

項目		検証実験シナリオ	想定シナリオ
ド ロ ー ン 物 流	イニシャルコスト(年間)	¥450,000	¥225,000
	ランニングコスト(年間)	¥11,073,751	¥403,951
	総計	¥11,523,751	¥628,951
物 流 既 存	イニシャルコスト(年間)	¥0	¥0
	ランニングコスト(年間)	¥2,282,000	¥2,282,000
	総計	¥2,282,000	¥2,282,000
差 額	イニシャルコスト(年間)	¥450,000	¥225,000
	ランニングコスト(年間)	¥8,791,751	¥-1,878,049
	総計	¥9,241,751	¥-1,653,049

検証実験シナリオの場合、ドローン物流の年間コストは約**1,150万円**、既存物流網の年間コストは約**228万円**となり、ドローン物流を導入すると、既存物流網と比較して年間約**924万円**の追加コストがかかる。内訳をみると、ドローン物流は既存物流網と比較し、イニシャルコストで年間約45万円、ランニングコストで年間約879万円の追加コストが発生している。

想定シナリオの場合、ドローン物流の方が安価となっており、イニシャルコスト・ランニングコスト合計で年間約-165万円の追加コスト（年間約165万円のコスト削減）となっている。

4) CO₂ 排出量削減効果

上記1)及び2)で算出した、ドローン及び既存物流における年間CO₂排出量の差分により、年間CO₂排出削減量を算出する。以下の通り、**約-68 kgCO₂/年**と算出された。

また、1回当たりのCO₂排出削減量は、約-48 gCO₂/回と算出された。

CO ₂ 削減量[kgCO ₂ /年]
= 既存物流 CO ₂ 排出量[kgCO ₂ /年] - ドローン CO ₂ 排出量[kgCO ₂ /年]
= 15,475.5 - 15,548.0
= -67.5 kgCO₂/年

なお、並走船なしの場合を想定すると、年間CO₂排出削減量は**約15,412 kgCO₂/年**となる。また、並走船なしの場合の1回当たりCO₂排出削減量は、約11,009gCO₂/回となる。

5) 費用対効果

ここまでで算出した「年間CO₂排出削減量」を「年間追加コスト（イニシャルコスト＋ランニングコスト）」で除すことにより、既存物流をドローンで代替することによる費用対効果を算出する。

ドローン物流のCO₂排出量として並走船による排出量は加算せず、コストとして想定シ

ナリオを用いた場合、以下の通り、**約-93.2 kgCO₂/万円**となる。

費用対効果[kgCO ₂ /万円]
= 年間 CO ₂ 排出削減量[kgCO ₂ /年] ÷ 年間追加コスト[万円/年]
= 15,412.5 ÷ (-165.3)
= -93.24 kgCO₂/万円

なお、ランニングコストのみで同様に費用対効果を算出すると、**約-82.1 kgCO₂/万円**となる。

参考として、実証実験で実施した状況、すなわちドローン物流の CO₂ 排出量として並走船による排出量も加算し、またコストとして検証実験シナリオを用いた場合の費用対効果を算出すると、ドローン物流の方が CO₂ 排出量が多くなることから費用対効果は負の値をとり、イニシャルコスト+ランニングコストでは**約-0.0731 kgCO₂/万円**、ランニングコストのみでは、**約-0.0768 kgCO₂/万円**となる。

4. ドローン物流モデルの検証結果の取りまとめ

4.1 ドローン物流モデルの取りまとめと課題²²整理

本節では、各協議会へのアンケート調査や検証実験の結果等に基づき、現在検討されているドローン物流モデルの取りまとめを行った。併せて、ドローン物流モデルの実現に際し課題となる事項の整理を行った。

4.1.1 各地域の事業概要整理

ドローン物流モデルの取りまとめに際し、改めて各地域が実現を目指すドローン物流事業の概要を整理した。整理結果を表 4-1 に示す。

表 4-1 各地域の事業概要一覧

地域	事業概要
福島県 南相馬市	<ul style="list-style-type: none">・ 過疎市街地における既存の郵便事業を維持することを目的に、自動車による輸送の代替として、ドローン郵便事業を実施・ 事業主体は日本郵便、主な輸送物は郵便物を想定
長野県 白馬村	<ul style="list-style-type: none">・ 麓と山小屋間での既存の物流ルートを維持することを目的に、ヘリコプターによる輸送の代替として、ドローン物流事業を実施・ 事業主体は白馬館、主な輸送物は山小屋関連物資（食料、客荷物、廃棄物等）を想定
埼玉県 秩父市	<ul style="list-style-type: none">・ キャンプ場への物資輸送の最適化/高度化を目的に、自動車による輸送の代替として、ドローンハイウェイを活用したレジャー物品等のオンデマンド輸送サービスを実施・ 事業主体は楽天、主な輸送物はレジャー物資（食材、調理機材等）を想定
岡山県 和気町	<ul style="list-style-type: none">・ 過疎地における店頭商品の輸送サービスの最適化/高度化を目的に、自動車による輸送の代替として、河川上空を飛行するドローン商品輸送サービスを実施・ 事業主体はレイヤーズコンサルティング、主な輸送物は小売事業者の販売商品（食料品、日用品等）を想定
福岡県 福岡市	<ul style="list-style-type: none">・ 離島における既存の郵便/物流事業の最適化/高度化を目的に、船舶による輸送の代替として、海上を飛行するドローン郵便/物流サービスを実施・ 事業主体は ANA ホールディングス、主な輸送物は、離島向けに生活品（食料品、日用品等）、本土向けに海産物等を想定

出所) MRI 作成

以下、上記の事業概要を前提としながら、ドローン物流モデルの取りまとめ結果について記載する。

²² 本節では、今後発生しうる潜在的な問題を「リスク」、検証実験を通して顕在化した問題を「課題」と呼称している。

4.1.2 ドローン物流モデルの取りまとめ

本項では、ドローン物流モデルが、事業戦略、事業内容、事業継続に係るリスクと対策、及び社会的な提供価値の4つの要素から構成されるとして、各要素についてその概要を各地域横並びで整理した。以下、その整理結果について記載する。

(1) 事業戦略

ドローン物流モデルの取りまとめのうち、事業戦略に関する整理結果を表4-2に示す。事業戦略の整理項目としては、事業形態、主なドローン活用メリット、主な提供価値、事業主体、エンドユーザ、飛行エリア及び事業の強みを設定した。

表 4-2 ドローン物流モデル：事業戦略

項目	福島県南相馬市	長野県白馬村	埼玉県秩父市	岡山県和気町	福岡県福岡市
事業形態	自社事業におけるドローンの活用		他者に対するドローン物流サービスの提供		
主なドローン活用メリット	人手不足の緩和		人手不足の緩和、輸送時間・距離の短縮、オンデマンド輸送の提供、輸送頻度の増加		
主な提供価値	現行サービスの維持		高付加価値サービスの提供	現行サービスの維持 / 高付加価値サービスの提供	高付加価値サービスの提供
事業主体	郵便事業者	山小屋事業者	ドローン物流事業者		
エンドユーザ	地域住民	施設利用客、施設スタッフ	施設利用客	地域住民	地域住民
飛行エリア	過疎市街地	山間部	山間部	河川上	海上
事業の強み	他の過疎市街地への展開	他の山小屋への展開	送電線の活用	河川を有する他の過疎地への展開	他の離島への展開

出所) 各協議会の提供情報に基づき MRI 作成

各地域で検討されているドローン物流モデルは、その事業形態の特徴から、以下の2種類に大別される。

- 自社事業におけるドローンの活用（福島県南相馬市、長野県白馬村）
- 他者に対するドローン物流サービスの提供（埼玉県秩父市、岡山県和気町、福岡県福岡市）

自社事業においてドローンを活用する場合、主要なメリットとしては人手不足の緩和が挙げられる。これにより、廃止することが難しい現行サービスの維持が可能となり、それ自体が各地域におけるエンドユーザに対する提供価値となるものと考えられる。

一方、他者に対してドローン物流サービスを提供する場合、主要なメリットとしては、人手不足の緩和に加え、物流サービスにおける輸送時間・距離の短縮、オンデマンド輸送の提供及び輸送頻度の増加等が挙げられる。これらのメリットにより、現行サービスの維持にと

どまらない高付加価値サービスがエンドユーザに対し提供されるものと考えられる。

また、各地域の事業に共通する強みとして、同様の物流課題及び地理的条件を有する他地域への展開が可能である点が挙げられる。例えば、岡山県和気町のドローン物流モデルであれば、同様の河川を有する他地域へのサービス展開が可能であるものと考えられる。また、福岡県福岡市のドローン物流モデルであれば、他の離島地域への同様のサービス展開が期待される。

(2) 事業内容

ドローン物流モデルの取りまとめのうち、事業内容に関する整理結果を表 4-3 に示す。事業内容の整理項目としては、その事業の概要、配送物、配送時期・頻度、使用機器・設備及び実施体制を設定した。

表 4-3 ドローン物流モデル：事業内容

項目	福島県南相馬市	長野県白馬村	埼玉県秩父市	岡山県和気町	福岡県福岡市
概要	ドローン郵便 (自動車代替)	ドローン物資輸送 (ヘリコプター代替)	ドローン物資輸送サービス (オンデマンド) (自動車代替)	ドローン物資輸送サービス (自動車代替)	ドローン物資輸送/ 郵便サービス (小型船舶代替)
配送物	郵便物	山小屋関連物資 (食料、客の荷物、廃棄物など)	レジャー物資 (食材、調理機材など)	小売事業者販売商品 (食料品、日用品など)	食料品、日用品など ※将来的には郵便物の輸送も想定
配送時期・頻度	毎日 (回数は輸送物量により決定)	4月中旬～10月中旬 (山小屋営業期間)	7～11月、週20回 (レジャーシーズン)	毎日、1～2回	毎日、2～5回
使用機器・設備	機体、ドローンポート、通信機器、運航管理ソフトウェア ※状況に応じて必要な機器として中継器および立入管理区画周知用品(看板等)				
実施体制	共通	<ul style="list-style-type: none"> 事業主体：ドローン物流事業の代表者 (JP、白馬館、楽天、レイヤーズコンサルティング、ANA) 機体メーカー：ドローン機体の提供およびメンテナンス (ACSL、五百部商事、楽天、エアロジラボ、エアロセンス) オペレーター：ドローンの運航管理 (ACSL/日本郵便、白馬館、楽天、レイヤーズコンサルティング、エアロセンス/ANA) 地方自治体：対象地域における各種調整 (福島県南相馬市/浪江町、長野県白馬村、埼玉県秩父市、岡山県和気町、福岡県福岡市) 			
	固有	-	ドローンハイウェイ事業者 (東京電力、ゼンリン)	小売事業者	-

出所) 各協議会の提供情報に基づき MRI 作成

1) 各ドローン物流モデルに共通する事項

各ドローン物流モデルで共通の内容がみられる項目は次の通りである。まず、使用機器・設備に関しては、いずれのドローン物流モデルにおいても、基本的に機体、ドローンポート、通信機器及び運航管理ソフトウェア等が用意される。さらに、地理的な要因等に応じて必要な機器として、中継器及び立入管理区画周知用品(看板等)が挙げられている。また、実施体制に関しても、事業主体に加えて、主に機体メーカ、オペレーター及び地方自治体から構成されることが、各ドローン物流モデル共通で想定されている。

2) ドローン物流モデルごとに特徴がみられる事項

一方で、ドローン物流モデルごとに特徴がみられる項目は次の通りである。まず、配送物

に関しては、福島県南相馬市において現時点で唯一ドローンを用いた郵便物の輸送を実施することが想定されている。また、配送時期・頻度に関しては、福島県南相馬市、岡山県和気町及び福岡県福岡市では、輸送物が郵便物や日用品等であるため毎日配送を行うことを想定しているのに対し、長野県白馬村及び埼玉県秩父市では、山小屋やキャンプ場等の営業シーズンのみドローン配送を行うことを想定している。さらに、実施体制に関しては、埼玉県秩父市において、専用空域確保のためドローンハイウェイ管理事業者（東京電力、ゼンリン）が参画している。また、岡山県和気町では、輸送商品確保のために小売事業者が実施体制に入っていることが特徴的である。

(3) 事業継続に係るリスクと対策

ドローン物流モデルの取りまとめのうち、事業継続に係るリスクと対策に関する整理結果を表 4-4 に示す。事業継続に係るリスクと対策の整理項目としては、採算性、安全性及び地域住民理解を設定した。

表 4-4 ドローン物流モデル：事業継続に係るリスクと対策

項目	福島県南相馬市	長野県白馬村	埼玉県秩父市	岡山県和気町	福岡県福岡市	
採算性	共通 リスク	ドローンを物流に活用することに対する採算性の欠如				
	共通 対策	①飛行頻度・数の向上：1ルートでの飛行頻度の増加、使用ルートの柔軟な選択、複数飛行ルートの設定（複数地域展開）、複数機体の運用・管理 ②飛行単価の向上：高付加価値サービスの実現（オンデマンド、エクスプレス）、他荷物との混載（積載率の向上）、既存物流との輸送物品の分担の明確化 ③その他（コストダウン）：既存（自社）人材の活用や地元人材の雇用によるランニングコストの低減 ※上記対策の大前提として、以下の課題解決が不可欠： (i) 機体・各種設備性能の向上（ペイロード増強、悪天候対応、航続距離伸長、ユーザビリティの向上等） (ii) 法制度・各種手続の柔軟化・承認スピード向上				
	固有 共通	-	他施策やイベントとの連携	専用空域の飛行	専用空域の飛行	離島でのドローンの複数用途化
安全性	共通 リスク	機体落下による加害可能性（対人、対自動車、対建造物、対貨物など）				
	固有 共通	市街地を飛行するため、対人リスクが比較的大	山間部を飛行するため、天候の急変や機体回収が困難となるリスク有 国立公園内飛行のため、墜落時の発火抑制対策に大きなコストを要する可能性有 障害物による通信障害	ドローンハイウェイ（送電線上空）を飛行するため、事故時の電力事業への影響大	河川上を飛行するため、墜落時の物資損傷（水没）リスクが比較的大	海上を飛行するため、墜落時の物資損傷（水没）リスクが比較的大
	共通 対策	緊急着陸場所の確保、パラシュートの搭載、運航状況のモニタリング、ジオフェンス敷設等最新安全技術の積極的導入、保険への加入等				
地域住民理解	固有 共通	対人安全対策の徹底	適切な運用ルールの制定、人材（管理者）育成	ドローンハイウェイ事業者との連携	高次保険の活用（対水没）	
	共通 リスク	地域住民・エンドユーザ等の理解の欠如				
	共通 対策	地方自治体との連携による地域住民・エンドユーザ等の理解の獲得				
	固有 共通	-	飛行音等の影響評価（対利用客）	-	飛行音等の影響評価（エンジン機のため）	-

出所）各協議会の提供情報に基づき MRI 作成

1) 各ドローン物流モデルに共通する事項

各ドローン物流モデルで共通の内容がみられる項目は次の通りである。まず、いずれのドローン物流モデルにおいても、その将来的な事業採算性がリスクとして挙げられている。同リスクへの対策としては、飛行頻度の向上、柔軟な飛行ルートの決定、複数飛行ルートの設定（複数地域へのサービス展開）、複数機体の運用・管理、飛行単価の向上及び人件費等のコストダウンの推進等が共通事項として検討されている。なお、これらの対策の大前提として、機体・各種設備性能の更なる向上や、法制度・手続きの更なる柔軟化やスピード向上等が想定されている。次に、機体落下による加害可能性に関しても、各ドローン物流モデル共通でリスクとして想定されている。同リスクへの対策としては、緊急着陸場所の確保、パラシュートの搭載、運航状況のモニタリング、ジオフェンス敷設等最新安全技術の積極的導入

及び保険への加入などが共通で挙げられている。さらに、地域住民やエンドユーザ等の理解の欠如に関しても、各物流モデル共通でリスクとして考えられている。同リスクへの対策としては、地方自治体との連携による地域住民・エンドユーザ等の理解の獲得等が共通で検討されている。

2) ドローン物流モデルごとに特徴がみられる事項

一方で、ドローン物流モデルごとに特徴がみられる項目は次の通りである。まず、採算性の欠如に対する対策に関しては、各物流モデルで独自の対応方針も検討されている。長野県白馬村では、ドローン物流事業を単体として進めるのではなく、観光施策をはじめとする他の関連施策や、ドローン関連のイベント等との連携の下で推進していくことを検討している。また、埼玉県秩父市や岡山県和気町では、送電線上空（ドローンハイウェイ）や河川上空といった専用空域を設けることにより、ドローンの飛行効率を高める工夫を施している。さらに福岡県福岡市では、離島における将来的なドローンの複数用途化（例えば、ドローンによる漁場監視等）を実現し、機体の稼働率を上げることで、事業全体の採算性を高めることを検討している。

また、安全性に関する固有のリスクと対策に関しても、各物流モデル独自の対応が検討されている。長野県白馬村では山岳部を飛行するため、天候の急変や遮蔽物による通信障害等が固有のリスクとして挙げられている。さらに、同モデルの飛行エリアは国立公園として指定されていることから、事故発生時の発火抑制等に関し、十分な対策を施すことが想定される。また、埼玉県秩父市に関しては、送電線上空を飛行するため、電線接触事故時の電力事業への影響が大きいものと想定される。対策として、ドローンハイウェイ事業者との密な連携が必要となる。さらに、岡山県和気町や福岡県福岡市では、河川や海といった水上を飛行ルートとして設定しているため、墜落時の水没による物資損傷リスクが大きい。対策として、適切な保険の活用等が必要となるものと想定される。

最後に、地域住民理解に関する固有のリスクと対策に関しても、各モデル独自の対応方針が検討されている。岡山県和気町では、現時点で唯一エンジン駆動のドローンを使用することを想定しているため、他のモデルに比べて騒音リスクが比較的大きい可能性がある。そのため、事業を実施する地域における騒音レベル等の影響評価が必要となる可能性がある。同様に、長野県白馬村では宿泊施設（山小屋）付近をドローンが飛行する可能性があるため、近傍における騒音レベル等の影響評価が必要となることが想定される。

(4) 社会的な提供価値

ドローン物流モデルの取りまとめのうち、社会的な提供価値に関する整理結果を表 4-4 に示す。

表 4-5 社会的な提供価値

項目	福島県南相馬市	長野県白馬村	埼玉県秩父市	岡山県和気町	福岡県福岡市
社会的価値	共通	既存物流サービス/輸送ルートの維持、CO2排出量削減可能性			
	固有	従業員の負荷軽減	既存物流サービスの高度化、地域雇用の拡大可能性、災害時物資輸送手段の提供		

出所) 各協議会の提供情報に基づき MRI 作成

1) 各ドローン物流モデルに共通する事項

各ドローン物流モデルで共通の内容がみられる項目は次の通りである。まず、ドローンの物流事業への導入により、既存の物流サービスを廃止せず、維持できることが大きな提供価値として挙げられる。また、既存の輸送手段をドローンに代替することで、CO₂排出量が削減されうることも共通の社会的提供価値として考えられる。

2) ドローン物流モデルごとに特徴がみられる事項

一方で、ドローン物流モデルごとに特徴がみられる項目は次の通りである。まず、自社事業においてドローンを活用する物流モデルの場合、先述の共通的な提供価値に加えて、人手不足の緩和に伴う従業員の負荷軽減が期待される。また、他者に対してドローン物流サービスを提供する物流モデルの場合、既存物流サービスの高付加価値化（オンデマンド、エクスプレス輸送）、地域雇用の拡大可能性及び災害時物資輸送手段の提供等が社会的価値として提供されることが期待される。

4.1.3 課題整理

本項では、前段までに整理した各地域における検証実験結果及びドローン物流モデルの取りまとめを踏まえ、ドローン物流の事業化に関する主要な課題の整理を行った。

(1) 各ドローン物流モデルに共通する課題

各ドローン物流モデルに共通する課題としては、機体・各種設備性能、エンドユーザへの荷物の受け渡し方法及び通信環境が挙げられる。機体・各種設備性能に関しては、ペイロード増強、悪天候・気温変化対応、航続距離延伸及びユーザビリティの向上などが具体的な課題として挙げられる。同課題は、事業の採算性をはじめとするドローン物流モデル全般に関わる、非常に重要なものである。次に、エンドユーザへの荷物の受け渡し方法に関しては、現状ドローンの着陸地点まで荷受人が荷物を受け取りに行かなければならないケースが多く、ドローンが本当の意味でのラストワンマイル輸送を担えていないことが課題として挙げられる。さらに、通信環境に関しては、検証実験において映像伝送の不具合の発生が複数件指摘されている。また、制御用 2.4GHz 帯と映像伝送用 5.7GHz 帯は、見通し環境以外では届きにくくなるため、将来的には LTE 網等の活用が望ましいことも意見として挙げられている。

(2) ドローン物流モデルごとに特徴がみられる課題

1) 福島県南相馬市

福島県南相馬市では、過疎市街地における補助者なし目視外飛行での検証実験が実施された。それに伴い、飛行許可承認手続き、立入管理区画の設定・周知、及び各種ステークホルダとの調整等に関する課題が挙げられている。まず、飛行許可承認手続きに関しては、飛行ルート設定の柔軟性が課題として挙げられた。現行では、申請時に設定された飛行ルートでの固定運用となるため、急な悪天候等への柔軟な対応が難しく、ドローンの継続的な運用が困難であるものと考えられる。また、代替の飛行ルート確保のため新規申請及び変更を行う場合、多大な調整を要することが想定される。加えて、申請時には、使用予定の機体の細部まで基準に照らした検討が必要であることから、改善・変更が生じた場合の手続きに時間を要する可能性がある。さらに、立入管理区域の設定・周知及び各種ステークホルダとの調整に関しても、立入管理区画の算定、看板等の設置、道路管理者及び警察等との調整には多大なコストを要することが事業における課題として挙げられている。

2) 福岡県福岡市

福岡県福岡市では、主に海上を飛行することに起因する固有の課題が明らかとなった。まず、海上における検証実験を行う場合には、使用するドローンの目視及び落下時の機体の回収のため、補助者用に船舶をチャーターすることが望ましい。そのため、一回当たりの実験が高コストになり、実証経験を積みづらい状況となっている。

3) 長野県白馬村

長野県白馬村では、今回設置された5つの協議会のうち、唯一国立公園に指定されている山岳部における事業の実施を検討している。そのため、ドローン物流の実施による国立公園内の生態系への影響評価や、高度150m以下を保ち飛行できる登山道に沿ったルートの確保等が固有の課題となる。

4) 岡山県和気町

岡山県和気町では、唯一エンジン駆動のドローンを検証実験で使用し、その騒音の大きさが固有の課題として認識された。検証実験中において地域住民から苦情が出たわけではないため、現時点では（問題として顕在化していないため）リスク段階ではあるが、バッテリー機に比して課題化する可能性が高いものと想定される。

4.2 CO₂ 排出量削減効果の取りまとめと課題整理

本項では、3.2において整理した各地域における各地域におけるCO₂排出量削減効果を整理し、比較検討することにより、CO₂排出量削減効果のあるドローン物流の条件について分析を行った。

4.2.1 CO₂ 排出量削減効果及び費用対効果の取りまとめ

(1) CO₂ 排出量削減効果

各実証地域におけるドローン物流・既存物流網それぞれのCO₂排出量及びドローン物流を導入した場合のCO₂排出量削減効果を表4-6に示す。福岡県南相馬市、埼玉県秩父市、長野県白馬村においては、今回想定した既存物流網と比較した場合、検証実験を行ったドローン物流を導入することでCO₂排出量削減効果が発生する結果となった。

一方で、岡山県和気町及び福岡県福岡市では、今回の検証実験を前提にすると、ドローン物流を導入することでCO₂排出量は増加した。岡山県和気町、福岡県福岡市での検証実験においては、ドローンに加えて操縦者・補助者も別の手段にて移動を行っており、その分のCO₂排出量を除いた場合には、今回のシナリオにおいては、岡山県和気町及び福岡県福岡市でもCO₂排出量削減効果は発生するとの算定結果となった。

表 4-6 各実証地域におけるCO₂排出量の算定結果及びCO₂排出量削減効果

項目	単位	福岡県 南相馬市	埼玉県 秩父市	長野県 白馬村	岡山県 和気町	福岡県 福岡市		
ドローン 物流	1回あたり積載重量	[g]	1,190	500	8,000	5,000(行き) 0(帰り)	1,000	
	1回あたり飛行距離※1 ※6	[km]	9	6	1	20	5	
	1回あたりCO ₂ 排出量※1 ※6	[gCO ₂ /回]	188	140	299	12,046	11,105	
		うち、ドローン分	[gCO ₂ /回]	188	140	299	5,043	48
		うち、操縦者・補助者分	[gCO ₂ /回]	-	-	-	7,003	11,057
	飛行回数	[回]	247	(参考)400	2,000	(参考)19	1,400	
	年間CO ₂ 排出量※6	[kgCO ₂ /年]	46	(参考)56	599	229(96)※4	15,548 (68)※4	
既存物流網	輸送手段(算定手法)		軽貨物車 (燃費法)	軽貨物車 (燃費法)	ヘリコプター (燃費法)	軽貨物車 (燃費法)	漁船 (燃料法)	
	1回あたり積載重量 (ドローン代替分)	[g]	1,190	(500)※2	200,000	(5,000)※2	(1,000)	
	1回あたり輸送距離 ※6	[km]	10	16	(1)※2	21	6	
	1回あたりCO ₂ 排出量 (ドローン代替分) ※1 ※6	[gCO ₂ /回]	526	4,078	21,117 (46,456)※3	5,172	11,057	
	運行回数	[回]	247	(参考)400	80	(参考)19	1,400	
	年間CO ₂ 排出量※6	[kgCO ₂ /年]	130	(参考)1,631	1,689 (3,717)※3	(参考)98	15,480	
CO ₂ 排出量 削減効果	1回あたりCO ₂ 排出量削減効果 ※5 ※6	[gCO ₂ /回]	339	3,938	-	-6,874 (129)※4	-48 (11,009)※4	
	年間CO ₂ 排出量削減効果※6	[kgCO ₂ /年]	84	(参考)1,575	1,090 (3,118)※3	(参考) -130(2)※4	-68 (15,412)※4	

※1: 福岡県南相馬市・長野県白馬村・福岡県福岡市は始点から終点までの片道、

埼玉県秩父市・岡山県和気町は始点終点間の往復を「1回」とカウント

※2: CO₂排出量の算定には使用していない

※3: ()内は、基地-山麓間の移動を含めた場合

※4: ()内は操縦者・補助者の移動に伴うCO₂排出量を除いた場合

※5: ドローン物流と既存物流で、運行回数のシナリオが整合している場合のみ算出

※6: 数値は小数点第1位を四捨五入して表示

今回の検証実験においては、各協議会で機体種類が異なっていること、また同一協議会における検証実験でも、積載重量・飛行距離等の諸条件を変更したデータが十分に存在しないこと等から、本検証実験の結果からドローン物流を導入することで CO₂ 排出量削減効果が発生する条件を定量的に算出するのは難しい。

ただし、各協議会での検証実験の各飛行における CO₂ 排出量算定結果の傾向をみると、積載重量の変化と比較して CO₂ 排出量の変化は小さくなっている。これは既存物流網においても同様であり、積載率が小さくなるほど、輸送重量あたりの CO₂ 排出量は増大するといえる。一方でドローン物流は、既存物流網と比較して最大積載重量が小さい。例えば軽貨物車における最大積載重量が 350 kg であるのに対して、今回の検証実験で使用したドローンの使用機体では、神旗 GF1-01 及び AeroRange2 の 10 kg が最大となっている（表 3-15、表 3-19）。想定する 1 回当たり輸送重量が大きくなるほど、既存物流網の方が 1 回の輸送で多くの荷物を運ぶことができるため、ドローン物流では輸送回数が増加することとなる。

また、ドローン物流と既存物流網それぞれにおける 1 回当たり CO₂ 排出量を比較する。動力源としてバッテリーを使用したドローン（福岡県南相馬市、長野県白馬村、埼玉県秩父市、福岡県福岡市）においては、検証実験における積載重量が数 kg、飛行距離が数 km という条件での飛行 1 回当たり CO₂ 排出量は数十～数百 gCO₂/回のオーダーであった。既存物流網については、積載重量及び輸送距離のオーダーが概ねドローンと同様であり、他目的の貨物の混載を想定していない埼玉県秩父市及び岡山県和気町を例にとると、輸送 1 回当たり CO₂ 排出量は数千 gCO₂/回のオーダーであった。なお、これらはいずれも軽貨物車を使用した算定であるが、漁船（福岡県福岡市）においても輸送 1 回当たりの CO₂ 排出量は同程度のオーダーである。特に車両や漁船等の既存物流網においては、距離あたりの燃費を利用した CO₂ 排出量の算定方法（燃費法）が確立されていることから、積載重量が同一の場合には CO₂ 排出量は輸送距離に強く関係することがわかっている。

よって、総輸送重量及び輸送距離を同一と仮定すると、輸送回数にどれだけの差があるかという点が、CO₂ 排出量削減効果に影響を及ぼすことがわかる。ドローン物流で必要となる輸送回数が既存物流網における輸送回数と比較して一定以下の範囲であれば、ドローン物流を導入することによる CO₂ 排出量削減効果が出ると考えられる。すなわち、本検証実験における各地域のように、既存物流網において最大積載重量に対して実際に積載している貨物の重量が十分に小さい場合には、ドローン物流の導入により CO₂ 排出量削減効果が発生する領域が存在するといえる。

加えて、輸送区間の始点と終点が同一であっても、ドローン物流における飛行距離が既存物流を下回る場合には、ドローン物流の導入による CO₂ 排出量削減効果は出やすくなると考えられる。今回の検証実験では既存物流の輸送距離とドローン物流の輸送距離との間に大きな差はなかったが、ドローン物流はその特徴として、既存の輸送機関と比較して小型であり、また道路を利用する必要もないことから、大幅に輸送距離を低減することができるケースも存在すると考えられる。一方で、目視外飛行の要件や飛行空域の制限等の規制への対応（2.1.2 参照）の必要性により、飛行ルートの制約がかかる可能性については留意する必要がある。

さらに、本算定におけるバッテリーを動力源とするドローンの CO₂ 排出量算定においては、排出係数として系統電力の基礎排出係数を使用している。太陽光発電等の再生可能エネルギーのみによりバッテリーの充電を行った場合、排出係数が 0 となるためドローン物流による CO₂ 排出量は 0 となり、ドローン物流により代替される既存物流による CO₂ 排出量

は全て削減されることとなる。また、バッテリーの充電では常時の電源接続が不要であることから、発電量が変動する再生可能エネルギーの使用に適していると考えられる。

なお、本来的には、ドローン機体のライフサイクル（資源採掘⇒製造⇒使用⇒廃棄）でのCO₂排出量を評価することが必要であるが、本事業では使用時のみを比較していることは留意する必要がある。一方で、ドローン物流はまだ実証段階にあり、大量生産フェーズには入っていないことから、ライフサイクルでの排出量比較を適切に行うのは難しい。今後技術が成熟することで使用時においても運転効率が上昇し、CO₂排出量削減効果がさらに大きくなることが予想される。

(2) 年間コスト

各実証地域におけるドローン物流・既存物流網それぞれの年間コストの算定結果及びその差分を表 4-7 に示す。今回の実証地域においては、検証実験をベースに算定した全ての検証実験シナリオにおいてドローン物流のコストが既存物流網のコストを上回る結果となった。また、将来的なドローン物流のコストとして、以下の仮定をもとに想定コストを算出し、既存物流のコストと比較を行った。

想定シナリオ算出の際の仮定

- 機体、インフラ費用の低減：
将来的な技術開発の進展や量産効果により、ドローンの機体費用や交換用部品費用、ドローンポート等の費用が低減すると仮定
上記に伴いドローン保守費も低減すると仮定
- 安全対策費用の低減：
将来的な目視外補助者無し飛行の普及に伴い、補助者の配置に要していたコストが不要となるとともに、その他立入管理のための立て看板等、安全対策設備のコストがイニシャル、ランニングともに低減すると仮定
- 操縦者費用の低減：
将来的な目視外補助者無し飛行では自律的飛行が主となり経路毎の操縦者が不要になり、それに伴うコストが不要になると仮定
※この場合も複数の飛行経路を遠隔管理する主体のコストが発生しうるが、今回はコスト参入していない。

コスト比較の結果、イニシャルコストについては埼玉県秩父市のみ、ランニングコストについては長野県白馬村、福岡県福岡市において既存物流よりも下回る結果が算定され、福岡県福岡市の場合は想定シナリオの場合は既存物流よりもコストが下回る結果が算定された。

補助者の配置に伴う費用や安全対策の維持管理に伴う費用が大きな割合を占めていた実証地域や、経路毎の操縦者配置を想定していた実証地域（具体的には福島県南相馬市、埼玉県秩父市、岡山県和気町、福岡県福岡市）ではランニングコストにおいて検証実験シナリオと想定シナリオの間で大きな差が出ている。今後目視外補助者無し飛行の普及により運用の効率化等が図られ、また経路毎の操縦者が不要となるような運航形態が可能になることでこれらのコストが低減されれば、ドローン物流のコスト増加分は圧縮されることが想定される。また、ドローン物流と既存物流網を比較すると、埼玉県秩父市以外ではドローン物

流の方がインシャルコストの比率が高くなっている。想定シナリオにおいては技術革新や量産効果による機体やドローンポート等のインフラのインシャルコスト低減を想定しているが、この他にもドローンによる輸送量（輸送頻度等）を増加させることで、輸送量あたりのインシャルコストは低減される余地があり、ドローンを複数ルートでの配送に利用する、若しくは物流以外の用途に活用することなどが有効であると考えられる。

現在のドローン物流はまだ実証段階にあり、今後技術や市場等が成熟することで、インシャルコスト・ランニングコストとも低減することが予想される。特に、機体の費用や安全な飛行のために付随する設備等のインシャルコストについての負担が低減されると、既存物流とのコスト差はより小さくなっていき、新規事業者の参入リスクも低減すると想定される。今後ドローン物流の技術・市場を成熟させてコストの低減効果を出すためにも、現時点で大きな負担となっているインシャルコストについて、補助を行うことも一案である。

表 4-7 各実証地域における年間コストの算定結果

項目		福島県 南相馬市	埼玉県 秩父市	長野県 白馬村	岡山県 和気町	福岡県 福岡市	
ド ロ ー ン 物 流	インシャルコスト	検証実験	¥900,000	¥408,132	¥315,000	¥461,243	¥450,000
		想定	¥300,000	¥202,500	¥165,000	¥230,622	¥225,000
	ランニングコスト	検証実験	¥1,877,557	¥2,646,932	¥632,486	¥1,417,470	¥11,073,751
		想定	¥465,057	¥1,411,772	¥420,486	¥533,102	¥403,951
	総計	検証実験	¥2,777,557	¥3,055,064	¥947,486	¥1,878,713	¥11,523,751
		想定	¥765,057	¥1,614,272	¥585,486	¥763,724	¥628,951
物 流 既 存	インシャルコスト	¥0	¥333,333	¥0	¥0	¥0	
	ランニングコスト	¥128,614	¥800,000	¥500,000	¥357,934	¥2,282,000	
	総計	¥128,614	¥1,133,333	¥500,000	¥357,934	¥2,282,000	
差 額	インシャルコスト	検証実験	¥900,000	¥74,799	¥315,000	¥461,243	¥450,000
		想定	¥300,000	¥-130,833	¥165,000	¥230,622	¥225,000
	ランニングコスト	検証実験	¥1,748,943	¥1,846,932	¥132,486	¥1,059,536	¥8,791,751
		想定	¥336,443	¥611,772	¥-79,514	¥175,168	¥-1,878,049
	総計	検証実験	¥2,648,943	¥1,921,731	¥447,486	¥1,520,779	¥9,241,751
		想定	¥636,443	¥480,939	¥85,486	¥405,790	¥-1,653,049

検証実験：検証実験シナリオ、想定：想定シナリオ
インシャルコストは、耐用年数をもとに定額法にて年間費用に換算した値を記載

(3) 費用対効果

各実証地域における費用対効果として、1万円当たりで削減可能なCO₂排出量の大きさを算定した結果を表 4-8 に示す。なお、費用対効果の算定においては、CO₂排出量の削減における施策の検討の際に用いるという目的に鑑み、将来的に社会実装を想定するドローン物流におけるCO₂排出量削減効果及び追加コストを用いて算出した。すなわち、補助者や操縦者の移動に伴うCO₂排出量は将来的なサービス運用の際には排出されないと考えられるため除いて算出し、コストとしては「想定シナリオ」を用いた。

インシャルコストとランニングコストの合計でみると、福岡県福岡市ではコストがドローンの方が安いと、負の値（CO₂排出量が削減され、かつコストも低減される）となっている。その他の地域では、正の値（CO₂排出量の削減にコストがかかる）となり、大きさは長野県白馬村、埼玉県秩父市、福島県南相馬市、岡山県和気町の順となっている。ランニングコストのみでは、福岡県福岡市に加えて長野県白馬村でも負の値となった。その他の地域では、上記の順となっている。

今回の検証実験においてはドローン 1 機を単一区間で輸送していたが、実用段階においては導入されたドローンを最大限活用する方向で運用されることが想像される。具体的には、1機のドローンを需要に応じて複数区間での物流に使用することや、同一のドローンを物流以外の用途に活用することも考えられる。また、ドローンの運用に伴うドローンポート等のインフラや安全対策設備を複数区間において共用することも想定される。今後技術革新や量産効果によるドローン等のコスト低減も期待されるが、その一方で上述のような運用面、ビジネスモデル面での工夫を行うことで、費用対効果が向上することが期待される。ドローンや付随するインフラや安全対策設備を複数区間や複数用途で共用する点については今回の「想定シナリオ」では考慮に入れていないため、費用対効果はさらに向上する余地があるといえる。

表 4-8 各実証地域における費用対効果の算定結果

項目	単位	福島県 南相馬市	埼玉県 秩父市	長野県 白馬村	岡山県 和気町	福岡県 福岡市
イニシャルコスト+ランニングコスト	[kgCO ₂ /万円]	1.31	32.8	128	0.0606	-93.2
ランニングコスト	[kgCO ₂ /万円]	2.49	25.7	-137	0.140	-82.1

正の値：既存物流と比較し CO₂ 排出量の削減され、コストは増加する場合

負の値：既存物流と比較し CO₂ 排出量が削減され、かつコストも低下する場合

上記を踏まえると、積載率の低い自動車をはじめ小型船舶やヘリコプター等による輸送が行われている現場においては、ドローンやその安全な飛行のために付随するインフラや設備（ドローンポート、カメラ等）のイニシャルコストや保守等に関わるランニングコストを低減するとともに、現状経路毎に配されている操縦者や、安全対策のために配されている補助者を含む安全対策関連費用が低減されることを仮定すれば、CO₂ 削減効果を得ながら継続的な事業を実現する余地があるといえる。一方で、ドローン物流は多くの事業者にとって新しいビジネス分野であり、市場開拓も途上である。ドローン物流ビジネスの展開をより一層推進するためには上記コストの低減が求められるが、コストの低減は事業主体の増加による量産効果や技術革新の促進、運用の効率化等が必要となる。各主体の事業参入を支援し、当該事業の持続的な発展に向けた流れを形成するためには、その初期費用負担については一定期間補助を行う等の施策も想定される。

平成 30 年度 CO₂ 排出量削減に資する過疎地域等における無人航空機
を使用した配送実用化推進調査委託業務 報告書

2019 年 3 月