

# 平成30年度 CO<sub>2</sub>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結果及び海外規制動向

2019年4月22日 第2回過疎地域等におけるドローン物流ビジネスモデル検討会

 株式会社三菱総合研究所

# ドローン物流と既存物流のCO<sub>2</sub>排出量及びコスト比較の概要

- 特に過疎地域では、積載率の低い非効率な輸配送や「買い物弱者」等の課題があり、新たな輸配送手段としてドローンが期待されているところ、CO<sub>2</sub>排出量削減効果・コスト差を検討するため、全国5地域で検証実験を実施。
- その結果、積載率の低い自動車・小型船舶・ヘリコプターによる輸配送が行われている場合はCO<sub>2</sub>排出量を削減することができ、また、一定の条件下ではコストも削減することが可能であることが明らかとなった。

## 検証実験位置図



はくばむら  
長野県白馬村  
・ヘリコプター輸送を代替

わけちょう  
岡山県和気町  
・自動車+ドローンのハイブリッド  
・目標は大型ドローンのみの配送

みなみそうま  
福島県南相馬市  
・郵便局間配送 ※

※郵便配送を模擬した飛行で実施



福岡県福岡市  
・船舶輸送を代替



ちちぶ  
埼玉県秩父市  
・送電設備上空を利用した  
ドローンハイウェイを活用



## CO<sub>2</sub>排出量・コストの比較方法

### 【CO<sub>2</sub>排出量】

ドローン物流を導入した場合の  
CO<sub>2</sub>排出量

$$\text{1回あたりCO}_2\text{排出量} \times \text{年間飛行回数}$$

検証実験結果を使用      シナリオにより設定

ドローン物流を導入しなかった  
場合のCO<sub>2</sub>排出量

既存物流で輸送された場合の  
年間CO<sub>2</sub>排出量

※ドローン物流と運搬区間・年間運搬重量が整合するように設定

### 【コスト】

項目	費目	
ドローン物流	イニシャルコスト	・機体費 ・インフラ整備費
	ランニングコスト (年間)	・機体保守費 ・人件費 ・インフラ維持費 ・電気代・燃料費 ・保険料

項目	費目	
既存物流	イニシャルコスト	・車両代等
	ランニングコスト (年間)	・チャーター費用 ・リース費用 ・人件費 ・保険・車検料 ・燃料費

# 検証実験とドローン物流モデルの概要

## ■ 検証実験の概要

検証地域	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
検証主体 (協議会)	郵便事業配送効率化協議会	白馬村山岳ドローン物流実用化協議会	秩父市ドローン配送協議会	和気町ドローン物流検証実験協議会	福岡市ドローン物流協議会
飛行シナリオ (飛行回数)	日本郵便(株)の小高郵便局から浪江郵便局に荷物配送	林道終点から山小屋に食料等を配送	キャンプ場に注文のあったバーベキュー用品を配送	過疎集落に注文のあった食料品・生活用品を配送	本土－離島間で生活用品や海産物等を配送
配送荷物	業務用書類やパンフレットを模擬した荷物等	米、生きた岩魚、アイス、空き瓶、空き缶等	紙皿、プラスチックコップ、虫刺され薬等	菓子パン、寿司等食料品、トイレトーパー等	封筒、医薬品を想定したサプリメント、生わかめ等
飛行回数	3回	5回	9回	14回	3回
飛行距離	9.0km	1.0km	6.0km	19.6km	5.0km
飛行経路	過疎地域／山間部	山間部	山間部(送電線上空を飛行経路に活用)	過疎地域(河川上空を飛行経路に活用)	海上

## ■ ドローン物流モデルの概要

事業形態	自社事業におけるドローン活用		ユーザに対するドローン物流サービスの提供		
主な提供価値	現行事業の維持、人手不足解消 等		オンデマンド配送、頻度向上などサービスの高付加価値化 等		
代替する既存 配送手段	軽貨物車	ヘリコプター	軽貨物車	軽貨物車	漁船
他地域への展開要素	過疎地域の郵便局への展開	山小屋への展開	山間部レジャー施設への展開 (飛行経路として送電線を活用)	過疎地域の河川沿い集落への展開 (飛行経路として河川上空を活用)	離島への展開

# CO<sub>2</sub>排出量削減効果と費用対効果の算定結果概要

## CO<sub>2</sub>排出量削減効果

- 前頁で実施した検証実験と同じ条件(機体、パイロード、飛行ルート、飛行速度、補助者等)でドローン物流が実サービス化すると仮定し、ドローン物流が導入された場合の年間CO<sub>2</sub>排出量から、ドローン物流が導入されない場合(既存サービス)の年間CO<sub>2</sub>排出量を差し引くことで、ドローン物流の導入によるCO<sub>2</sub>排出量削減効果を算出。
  - 既存サービスが存在しない地域では、ドローン物流が導入されない場合として、ドローンで輸送する貨物のみを輸送するサービスを現状実施可能な手段(軽貨物車等)で実施するシナリオを仮想的に設定。
- CO<sub>2</sub>排出量削減効果の算出結果は下表のとおり。

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
効果あり	効果あり	効果あり	効果無し ※	効果無し ※

※操縦者・補助者の移動に伴うCO<sub>2</sub>排出量を除いた場合は削減効果あり

凡例 効果あり:ドローン物流の導入によりCO<sub>2</sub>排出量が削減  
効果無し:ドローン物流の導入によりCO<sub>2</sub>排出量が増加

- 本検証実験のように既存物流網において積載率が十分に小さい場合や排出原単位の高い既存物流を利用している場合、最大積載重量が既存物流に比較して十分に小さいドローン物流の導入によりCO<sub>2</sub>排出量削減効果が発生する可能性がある。
- ドローン物流により輸送距離を削減できる場合や、再生可能エネルギーを用いてドローンのバッテリーを充電する場合には、さらに高いCO<sub>2</sub>排出量削減効果が期待できる。

## 費用算定

- 各地域におけるドローン物流・既存サービスのそれぞれについて、年間コスト(インシヤルコストを耐用年数で除した値とランニングコストの合計)を算出。検証実験をベースにコストを算出した場合、ドローン物流のコストは既存サービスのコストを上回る。
- 現在のドローン物流はまだ実証段階にあり、今後は技術や市場等の成熟によるコストの低減が予想される。そのため、将来の状況を見据えたドローン物流のコスト低減(機体・インフラ費用の低減、安全対策費用の低減、操縦者費用の低減)を仮定すると、福岡県福岡市では年間コストでドローン物流が既存サービスを下回り、他の地域でも既存サービスとの差は著しく縮小した。
- 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ヤ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り、新規事業者の参入リスクも低減すると想定される。

## 費用対効果

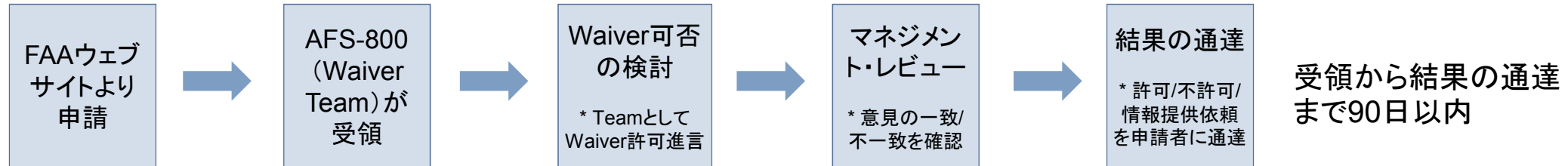
- 前述の将来的な状況におけるCO<sub>2</sub>排出量削減効果及び費用を用いて、1万円あたりのCO<sub>2</sub>排出量削減量(費用対効果)を算出。福岡県福岡市では、コストが低減され、かつCO<sub>2</sub>排出量も削減された。

# 目視外飛行・第三者上空飛行に関する諸外国の規制

	規制カテゴリ	目視外飛行	第三者上空飛行
明示的な規定はなく、 ケースバイケースで承認          法規則上で安全飛行基準を ある程度規定	米国	用途・重量別のルールを整備 <ul style="list-style-type: none"> <li>Waiver申請等に基づく個別審査によりケースバイケースで承認</li> </ul>	Waiver申請等に基づく個別審査によりケースバイケースで承認 <ul style="list-style-type: none"> <li>2019年1月14日に第三者上空飛行を行うための規則制定案告示(Waiver申請無しで第三者上空飛行が可能な規則案)を発表</li> </ul>
	英国	重量別のルールを整備 <ul style="list-style-type: none"> <li>UAS Operating Safety Case(UAS OSC)に基づく個別審査によりケースバイケースで承認</li> </ul>	UAS Operating Safety Case(UAS OSC)に基づく個別審査によりケースバイケースで承認
	スイス	重量別のルールを整備 <ul style="list-style-type: none"> <li>安全性評価に基づきケースバイケースで許可</li> <li>標準手順もしくはSORA※によるリスク評価に基づく申請手順を義務化</li> </ul>	安全性評価に基づきケースバイケースで許可 <ul style="list-style-type: none"> <li>標準手順もしくはSORAによるリスク評価に基づく申請手順を義務化</li> </ul>
	中国	用途・重量別のルールを整備 <ul style="list-style-type: none"> <li>7kg以下の機体を対象とした目視外飛行の規制カテゴリを設け、基準を明記</li> <li>ジオフェンスの使用、U-Cloudへのアクセスによる飛行データの報告を義務付け</li> </ul>	U-Cloudへのアクセスを前提に、150kg以下の無人航空機の人口密集地上空の飛行を許可 <ul style="list-style-type: none"> <li>人口密集区では飛行データを毎秒報告が必要(非人口密集区では30秒に1度)</li> </ul>
	仏国	運航シナリオと機体重量に基づく4つの飛行シナリオ毎にルールを整備 <ul style="list-style-type: none"> <li>2シナリオを目視外飛行のシナリオとして定め、詳細の飛行基準を規定</li> <li>機体の設計証明や操縦者の免許・経験の証明、運航要件の申請等が必要</li> </ul>	1シナリオを目視外・第三者上空飛行のシナリオとして定め、詳細の飛行基準を規定 <ul style="list-style-type: none"> <li>機体重量2kg以下が対象、機体の設計証明や操縦者の免許・経験の証明、運航要件の申請等が必要</li> </ul>

# 米国におけるWaiverの審査

## ■ Waiverの審査プロセス



## ■ Section 107.31 (VLOS原則)に対するWaiver申請ガイドライン

- 遠隔操縦者が継続的に無人航空機の位置、高度、姿勢、運動を把握でき、制御・通信能力逸脱しない範囲で、意図された空域に留められることを保証できること。
  - 上記情報を把握する手段や、第一手段が失敗した場合の代替手段、および運航条件や各飛行位置における制御通信リンクの限界をどのように判断するのかについて記載すること。
- 遠隔操縦者が、他の航空機や地上の人、構造物、障害物への衝突およびその上空の飛行を、いかなるときでも回避できること。
  - どのような手段(補助者の配置、新技術の配備等)で他の機体を検知し、同機体の位置を把握するのか、どのように他の機体にルートを譲歩するのか、どのように地上の第三者の上空飛行を回避するのか、新技術を利用する場合は、どのように同技術の信頼性を検証するのかについて記載すること。
- 無人航空機が少なくとも3法定マイル(約4.8km)の距離からでも視認できること。
  - 上記条件で視認できる必要性がない場合は、その理由を記載すること。
- 遠隔操縦者が、UASの機能異常("degraded small unmanned aircraft system function")について確認できる("alerted")こと。
  - 異常をどのように検知し、これに対しどのように対応するのか記載すること。
  - 機体が所定水準の信頼性を保持している場合は、平均故障間隔、信頼性・点検プログラム、部品寿命、システム設計、ハードウェア信頼性分析、ソフトウェア設計保証、その他運航制限等の詳細を追記すること。
- 操縦に係るすべての者が、VLOS外(BVLOS)のUASの操縦に必要な関連知識を有するための方策を記載すること。
- どのように、目視範囲外であってもルート飛行中に機体が気象要件の範囲内で運航できるかを記載すること。
- UASの通信リンクについて記載すること。
  - Federal Communication Commission(FCC)の証書や周波数免許、および通信機器の仕様書を含めること。

# スイスにおける目視外第三者上空飛行の事例—Matternet社

- スイスの航空当局FOCAは、より高度な運航の許可に積極的に取り組んでおり、2017年末までに17件の高度運航を許可している。
- そのうちの一つに、Matternet社による、病院間の医療品配送があり、ルガノ市やベルン市を拠点に、2018年6月時点で1000件以上(1日に7回運航)の目視外・都市部上空飛行を実施している。
- Matternet社は病院間の医療品配送からサービスを開始し、将来的には個人間配送の実現のため、大型店舗やガソリンスタンド等の生活拠点到Matternet Stationと呼ばれるドローンポートを設置することを構想している。
- Matternet社の運航の事前申請では、JARUSのSORA(次項参照)をベースに、運航リスク評価とリスクレベル別の安全基準について、審査が行われた。
  - 高リスクの飛行が許可されたもっとも大きな要因は、flight termination systemであるとされた。具体的には、墜落した際の衝突エネルギーが最小限となるような機体構造や、パラシュート機能を有し、落下速度を毎秒3mまで抑えることが可能となっている点が評価された。
  - FOCAとの調整においては、機体が墜落した場合の衝撃エネルギーが十分に小さいことに鑑み、建物の屋根の上を通る場合は、屋内の人間は第三者としてみなさない考え方が採用された。

Matternetシステムの外観



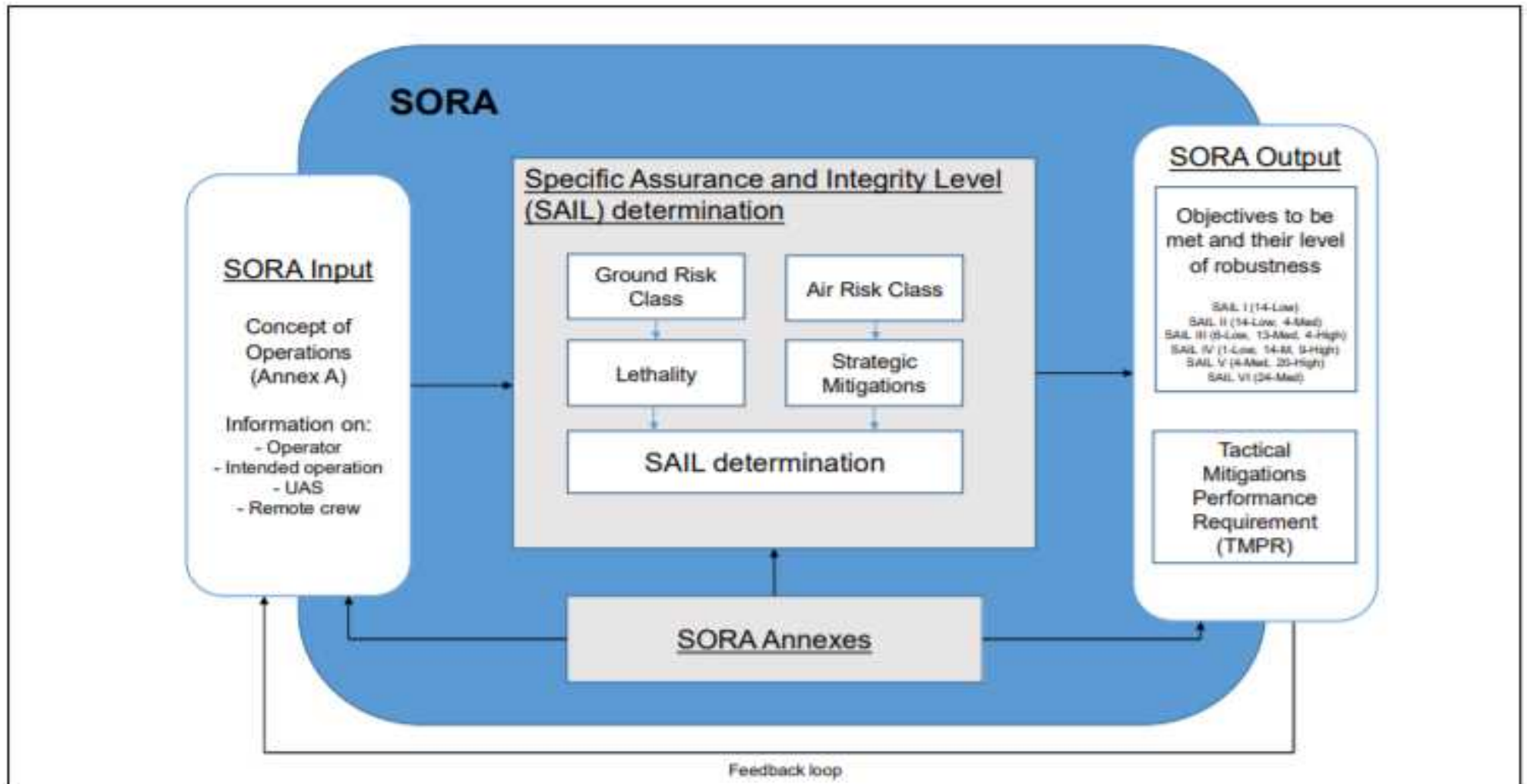
Matternet運航イメージ



出所) 左: Matternet社公式ホームページより <https://mttr.net/>  
右: FOCA資料 “Authorization of drone flights in Switzerland”

# Specific Operations Risk Assessment (SORA)

- 運航リスク分析とリスク軽減策検討のガイド文書として、Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems (JARUS)のWG-6で、Specific Operations Risk Assessment (SORA)を策定しており、第一版を2017年に発表。
- SORAの第一版では地上リスクレベルと空中リスクレベルから最終的なSpecific Assurance and Integrity Level (SAIL)を算出する手法が規定されているが、各SAILの満たすべきリスク緩和措置の詳細は未規定。





# SORAのリスククラス(1/2)

- 地上リスクを以下の通り分類し、それぞれのリスクレベルに応じて11の地上リスククラス(GRC)を規定している。
- GRCのリスク評価軸として、第三者上空を飛行するか否かが考慮されており、目視外・第三者上空を飛行する場合のGRCは6～11の範囲に算出される。
- 危害抑制措置に応じた減点を踏まえてもGRCが7以下にならない場合は、SORAによる運航承認を得ることができない。

## 内在的なUAS地上リスククラス

UASの最大サイズ	1m/ 3ft	3m/ 10ft	8m/ 25ft	>8m/ 25ft
想定される運動エネルギー	<700J (529 Ft Lb)	<34KJ (25,000 Ft Lb)	<1084KJ (800,000 Ft Lb)	>1084KJ (800,000 Ft Lb)
運航シナリオ	GRC			
低人口密度の制限されたエリア(=第三者がいらない)での目視内飛行	1	2	3	5
低人口密度の制限されたエリア(=第三者がいらない)での目視外飛行	2	3	4	6
中人口密度の制限されたエリア(=第三者がいらない)での目視内飛行	3	4	6	8
中人口密度のエリアでの目視内飛行	4	5	7	9
中人口密度の制限されたエリア(=第三者がいらない)での目視外飛行	5	6	8	10
中人口密度のエリアでの目視外飛行	6	7	9	11
集団上空の目視内飛行	7	SORA対象外		
集団上空の目視外飛行	8			

GRC調整のための危害抑制措置	頑健性		
	なし/低	中	高
1. 緊急時対応計画が用意されており、効果的で、オペレータにより実証されていること	1点加点	0	1点減点
2. 地上の衝突レベルの緩和効果(パラシュート、シェルター等)があること	0	1点減点	2点減点
3. 技術的な飛行制限(テザー等)があり、効果的であること	0	2点減点	4点減点

↓

→ これら2つの表から最終的なGRCを算出

※定量的な評価方法の詳細は検討中

## SORAのリスククラス(2/2)

- 地上リスクのSAILスコアは、以下の表に基づき、GRCと致死レベルの掛け合わせで算出される。

致死レベル	GRC						
	7	6	5	4	3	2	1
高い	VI	VI	V	IV	III	II	I
平均的	VI	V	IV	III	II	I	0
低い	V	IV	III	II	I	0	0

※致死レベルの詳細な定義は検討中

- 空中リスククラス(ARC)および空中リスクのSAILスコアは、以下の表に基づき算出される。また、ARCに応じたTactical Mitigation Performance Requirements (TMPR)と呼ばれる航空要件が規定されているが、詳細はまだ検討中である。

	Airspace Encounter Categories (AEC)	運航空域	ARC	空中リスクのSAILスコア
高度500ft以上統合空域 (Integrated Airspace)	1	対地高度500ft以上のクラスA, B, C, D,もしくはEの空域での運航	4	VI
	2	対地高度500ft以上の空港環境内での運航	4	VI
	3	対地高度500ft以上のクラスGの空域でのMode C Veil内の運航	4	VI
	4	対地高度500ft以上のクラスGの空域での都市環境内の運航	3	IV
	5	対地高度500ft以上のクラスGの空域での地方環境内の運航	3	IV
高度500ft未満のVery Low Level (VLL)の空域	6	対地高度500ft未満のクラスA, B, C, D,もしくはEの空域での運航	3	IV
	7	対地高度500ft未満の空港環境内での運航	4	VI
	8	対地高度500ft未満のクラスGの空域でのMode C Veil内の運航	3	IV
	9	対地高度500ft未満のクラスGの空域での都市環境内の運航	3	IV
	10	対地高度500ft未満のクラスGの空域での地方環境内の運航	2	II
Very High Level (VHL)	11	FL600以上の空域での運航(高高度無人航空機)	2	II
その他	12	非典型的な空域での運航(施設内の飛行等)	1	I

- 地上リスクのSAILスコアと空中リスクのSAILスコアのいずれか高い値が最終的なSAILスコアとなる。