

UAS/UAM運行に関する 紛争解決の全体構想

会津大学 上級准教授

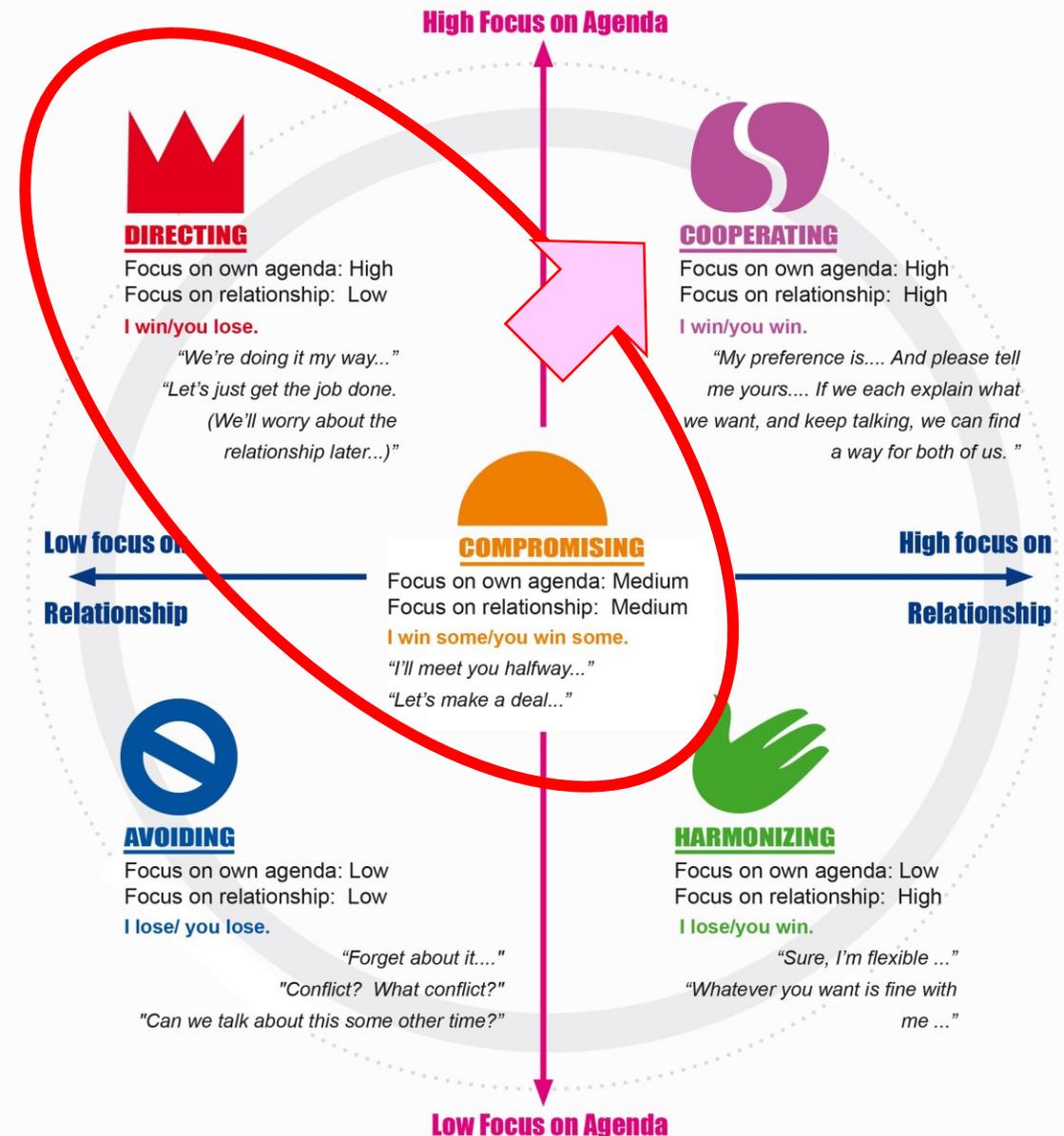
矢口 勇一

yaguchi@u-aizu.ac.jp

紛争解決 (Conflict Management)

- 紛争解決: 対立を見極めて解決するのに必要な一連の方法論
 - 紛争に対応する5つのスタイル
 - 協調 – 交渉のための最高の知性 ← 最適化
 - 調和 – 全体最適のための目標の下方修正
 - 妥協 – 優先順位設定・副提案
 - 指示 – 権限によるルール
 - 無視 – 解決を目指さない、忘れる
- 次世代空モビリティへの実装:
 - 少なくとも『指示』は必要
 - 自律航行は『個別の最適化』なので『妥協』の手法と、UTMなどによる『調和指示』が必要

Five Styles of Responding to Conflict



Needs

UASのステークホルダーと運用

受益者-受領

受益者-ニーズ

Env. Cond.



Staff Cond.



Aircraft Cond.



Management

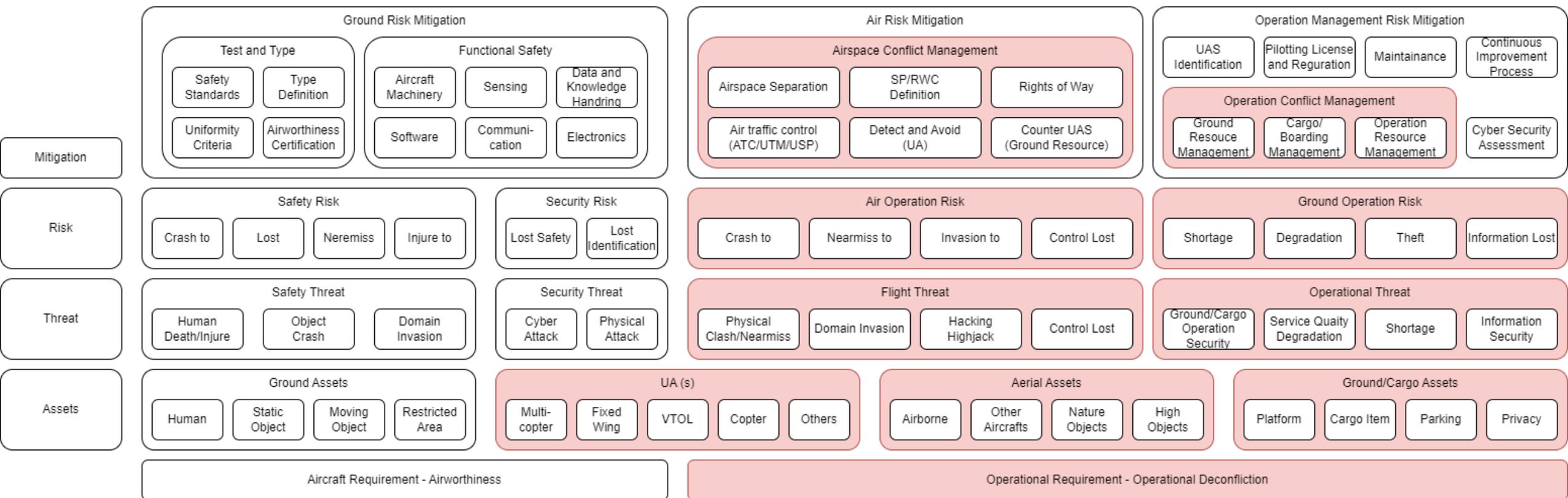


Pre-flight

On-flight

Post-flight

どのように安全・安心なUASエコシステムを構築しますか？



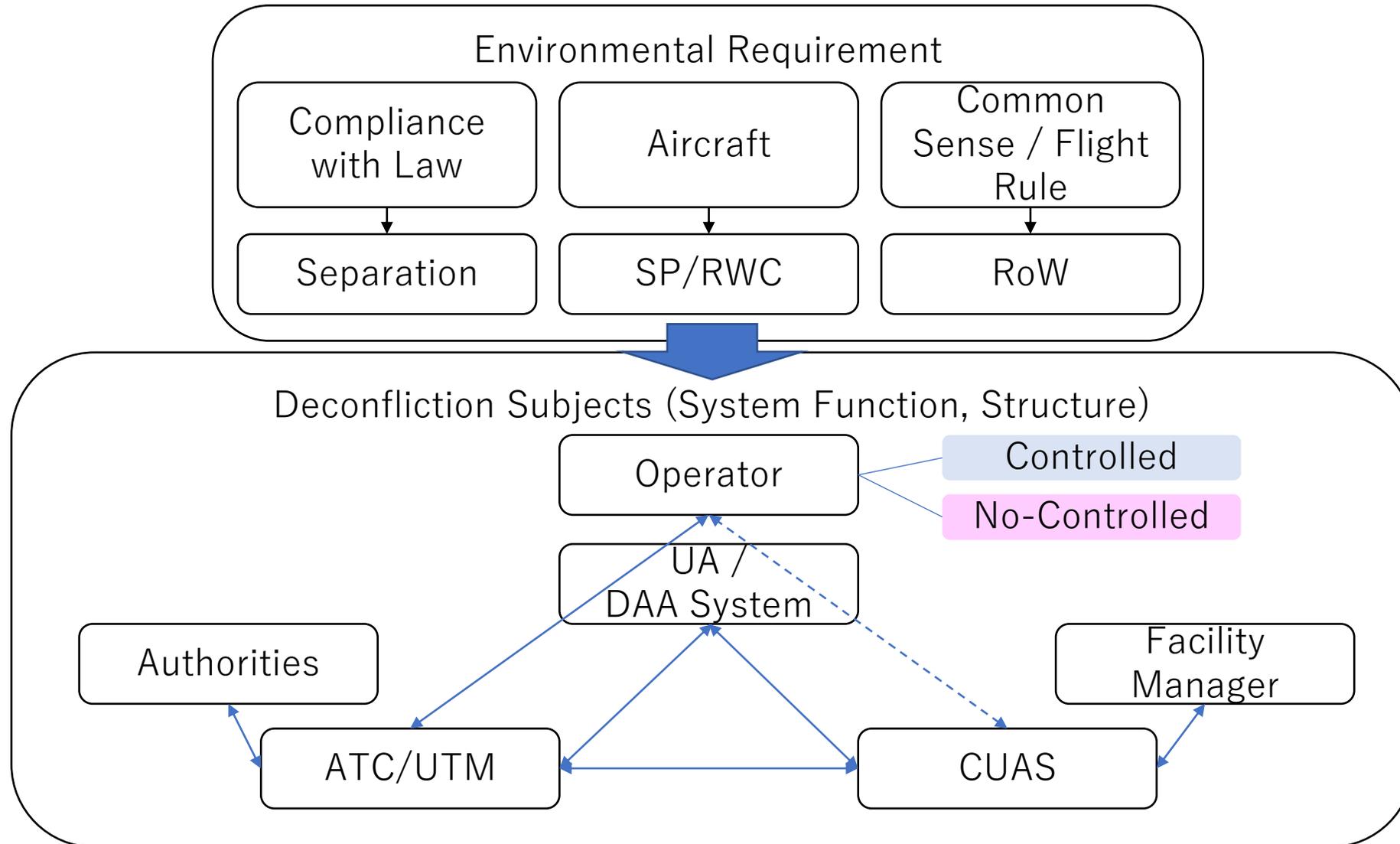
運用上の安全/セキュアではない状況への 配慮→全て紛争

- 特に「無人」の状況であること
 - 飛行経路の競合 = 墜落
 - 飛行環境競合 = 墜落
 - 予約空域の競合 = 墜落への配達物
 - 故意の衝突 = セキュリティ上の問題
 - 電波干渉 = 制御不能
 - 離発着場の競合 = 品質低下、墜落に至る。
 - データトランザクションの衝突 = 品質低下、制御不能への配信
 - 格納庫の競合 = 品質が低下する
 - オペレーション/オペレーターの数の競合 = 品質低下、コントロールの喪失

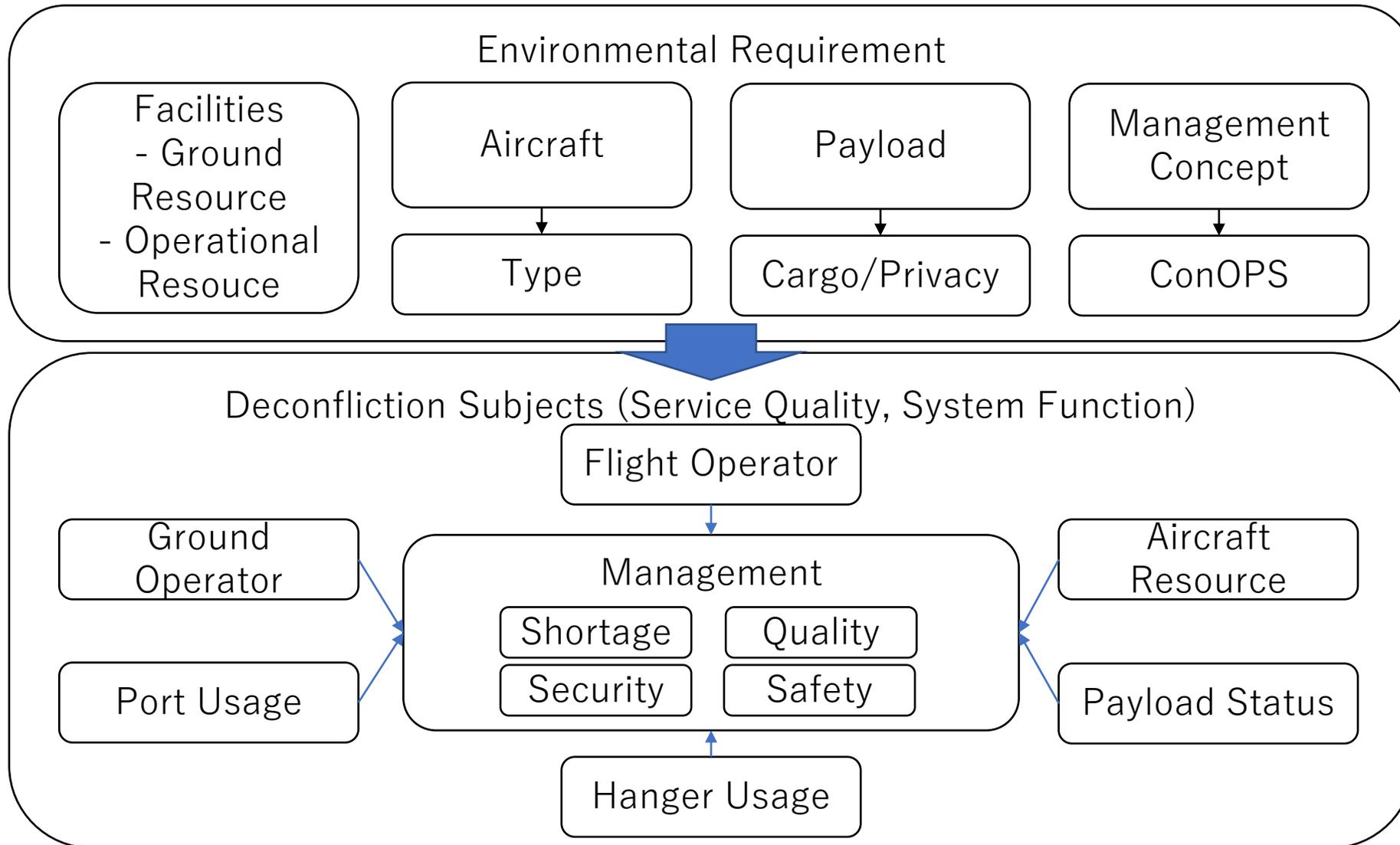
各国の準備状況

- 主：UTM (UAS/UAM運行管理システム)
 - EU：2021/664, 665, 666 UTM/USP要件の法制化について
 - FAA (連邦航空局) ATM-UTM連携のためのFAAクラウド(LAANC)
 - 日本では: DIPSはフライトプラン予約といくつかの追加機能をサポート。
 - ISO 23629-5 (機能構造)、-12 (サービスプロバイダ要件) が公開された。
 - ICAOがUTMの方向性を発表 (バージョン4)
- 副?: DAA(探知・回避システム)
 - 中国：DAAに向けたUAS間の総合通信の構築を目指す (IEEE Std 1939.1™-2021)。
 - UAS-航空機間、UAS-UAS間のDAAについて、ISOで検討中 (中国がリードしている)
 - EUROCAEは、ED-267(VLLにおけるDAAのための運用サービス・環境定義)を発行
- その他: CUAS(カウンターUASシステム)
 - EUROCAEとRTCA：CUASの最低要件について議論 (EUROCAE ED-286 Operational Services and Environment Definition for CUAS)

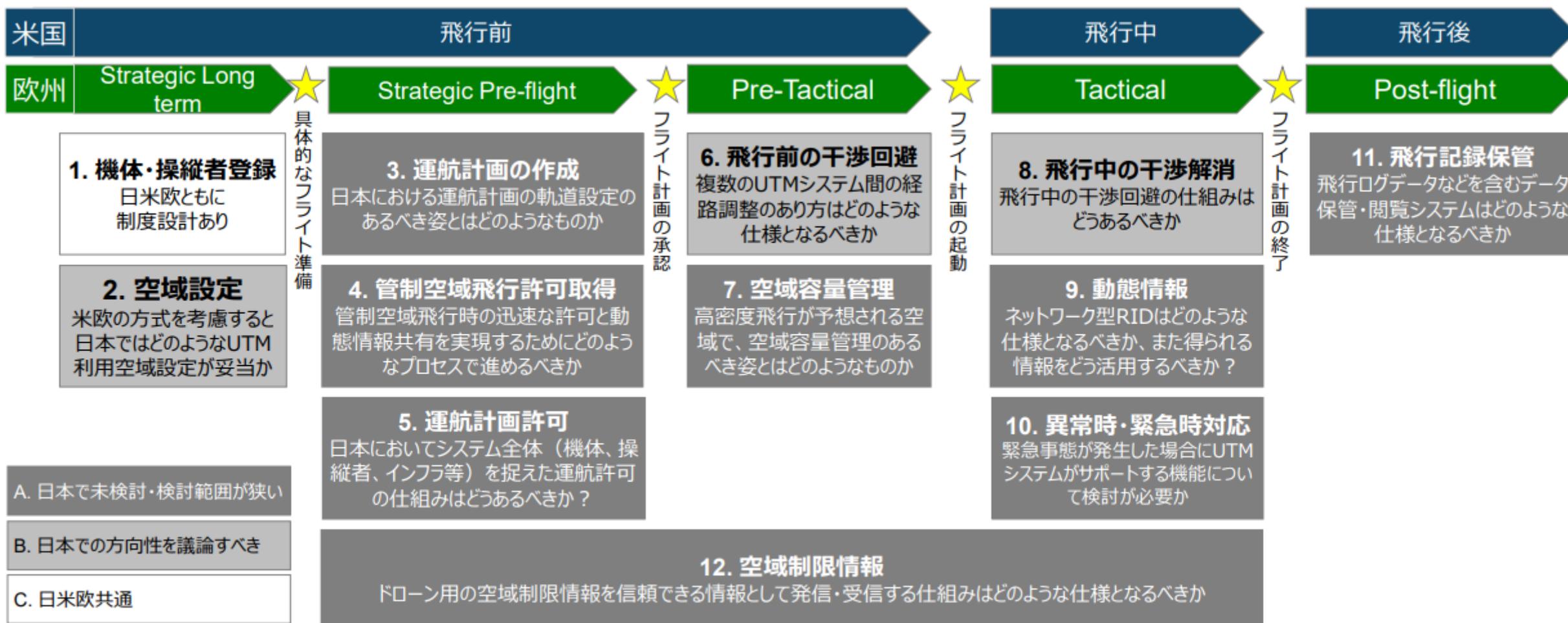
Airspace Conflict Management Model



Ground Conflict Management Model



UTMの機能とは？



UTMの紛争解決モデル (NASA資料)

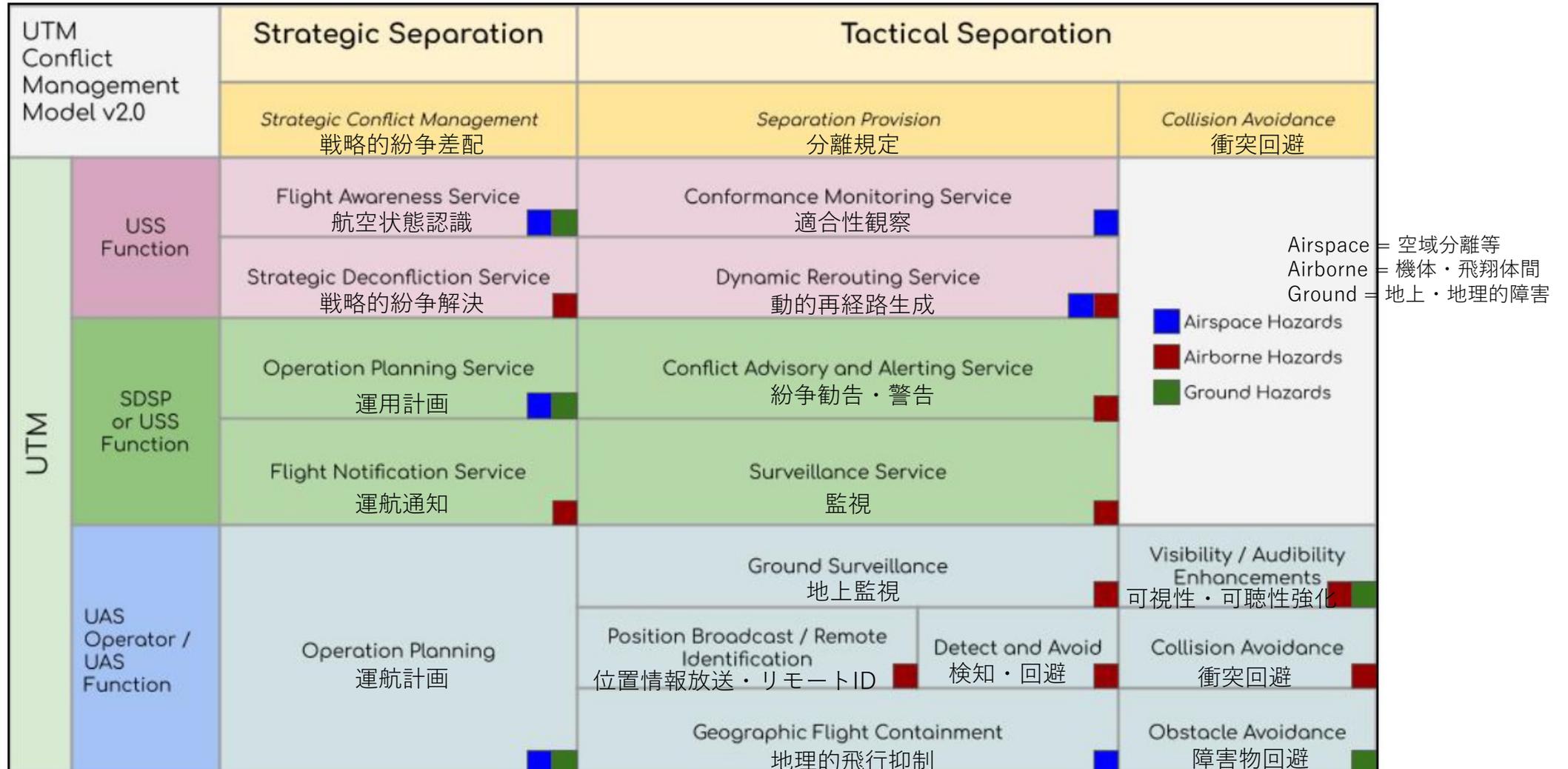
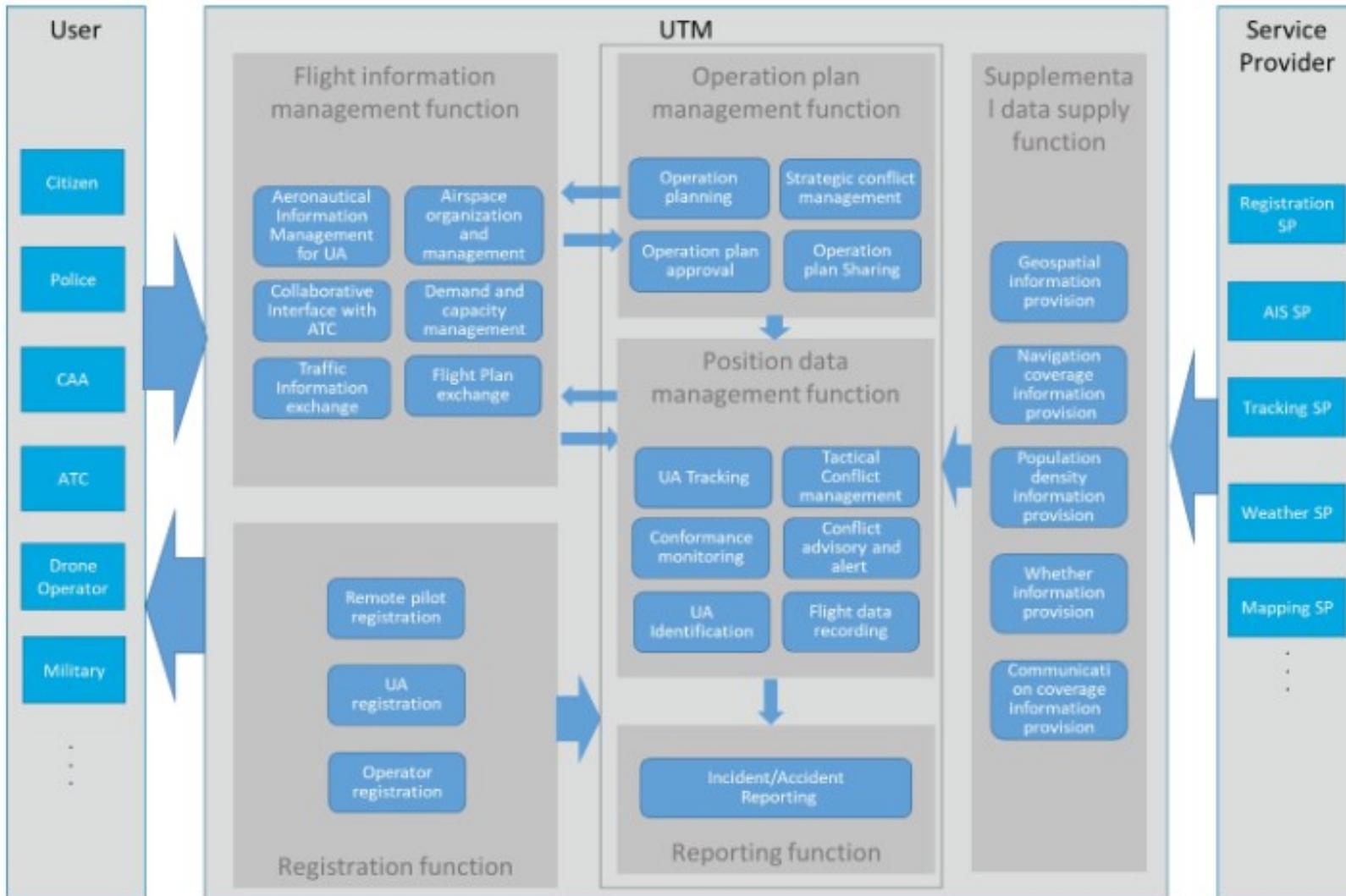


Figure 5: UTM Conflict Management Model.

[運用] 運航管理の標準機能 – ISO 23629-5



- 6つの主要機能
 - 航空情報管理機能
 - 予約機能
 - 運航計画管理機能
 - 位置情報管理機能
 - 補足データ提供機能
 - レポート機能
- 外部サービスとのインターフェース
 - ユーザー・ステークホルダー間
 - 補足データサービスプロバイダ間

各国のUTM検討のモチベーションの比較

- 『有人航空機を無人航空機から守る』目的（米国、スイス、ニュージーランド、ポーランド）
- 『UniSky、空域管理を一つにする』目的（EU、フランス、英国、オーストラリア）
- 『国内警備と可用性』（イスラエル）
- 『イノベーションの促進』目的（ドイツ、インド、韓国）

→モチベーションからUTM設計思想へかなり影響していると思われる。

UTM設計モデルの思想の違い

- オランダ政府による2022年の発表による
- 参加型モデル (Participation Model)
 - 国、地方自治体、既存の実施団体、市場関係者の平等な協力に基づいて、U-Spaceエコシステムの設計と維持が共同して段階的に確保される (Swiss, Belgium)
 - サポーターの数、ローカルカスタマイズ、将来性とコストシナリオに優れる。
- 管理型 (国策型) モデル (Management Model)
 - U-Spaceの創設に公共的関心があり、国の引き上げがないと十分に軌道に乗らないという前提に基づく (Netherland, Poland, France)
 - 市場アクセス、公共性、管理性に優れる一方で、ローカルカスタマイズ、トータルコストに問題点がある。
- 市場型モデル (Market Model)
 - 市場先行、国家は抑制的な役割を選択する (US)
 - スケーラビリティ、将来性、トータルコストに優れる一方で、外界環境の変化や均一性、管理性に弱い。
- 統合型モデル (Integration Model)
 - UTMの設計を、現在の空域管理 (ATM) にできるだけ合わせることを目指す (UK等)
 - 均一性、管理性に優れる一方で、参加者数、変化対応、カスタマイズ性、将来性、コストシナリオに難がある。

Scenario's

1

REGIE BIJ DE STAAT

Voldoende publiek belang op nationaal niveau, maar nog onvolwassen markt.

Staat kiest actief sturende en stimulerende rol:

- Regie op aanwijzing: waar moet dronegebruik gestimuleerd en gereguleerd worden
- Basisinfrastructuur voor detectie en identificatie
- Toezicht- en handhavingssysteem
- Staat stelt financiële middelen beschikbaar voor stimuleren markt
- Staat beschikt over adequate expertise en capaciteit

2

OPEN MARKT

Markt blijft ook tot op middellange termijn onvolwassen, kleine operators met bescheiden business case.

Staat kiest afwachterende rol:

- Staat beperkt zich tot de bij haar belegde taken en verantwoordelijkheden
- Aanwijzing alleen op basis van initiatief belanghebbenden
- Geen financiële stimulering door het Rijk
- Minimale expertise en menskracht bij de Staat

3

INTEGRATIE

Doel volledige integratie UTM en ATM, tussenstap met twee gescheiden stelsels zo beperkt mogelijk.

Staat kiest voor U-space inrichting die maximaal aansluit bij ATM systeem:

- Aanwijzing U-space luchtruim alleen waar verkeerssituatie dat vereist, elders onbemand luchtverkeer regelen binnen bestaande ATM systeem
- Governance inrichting U-space maximaal aansluiten bij bestaande ATM systeem
- Overheidsinvestering vooral door LVNL

4

PARTICIPATIE

Ontwikkeling en inrichting U-space is een gedeeltesreis voor alle partijen.

Staat, lagere overheden en marktpartijen zorgen gezamenlijk voor ontwikkelen en in standhouden U-space ecosysteem:

- Inrichtingskeuzes worden gezamenlijk gemaakt
- Staat faciliteert het participatieproces en stelt de kaders
- Partijen dragen hun eigen kosten

国策型

REGIE BIJ DE STAAT

1

INTEGRATIE

3

統合型

参加
サポート
均一性
EUレベル
田舎

刺激

市場へのアクセスのしやすさ

組織

ローカルカスタマイズ

管理性

スケーラビリティ

将来性

コスト

コストシナリオ

KOSTEN

Kosten scenario

Kosten staat

コスト状態

PARTICIPATIE

4

オープン

参加型

マーケット型

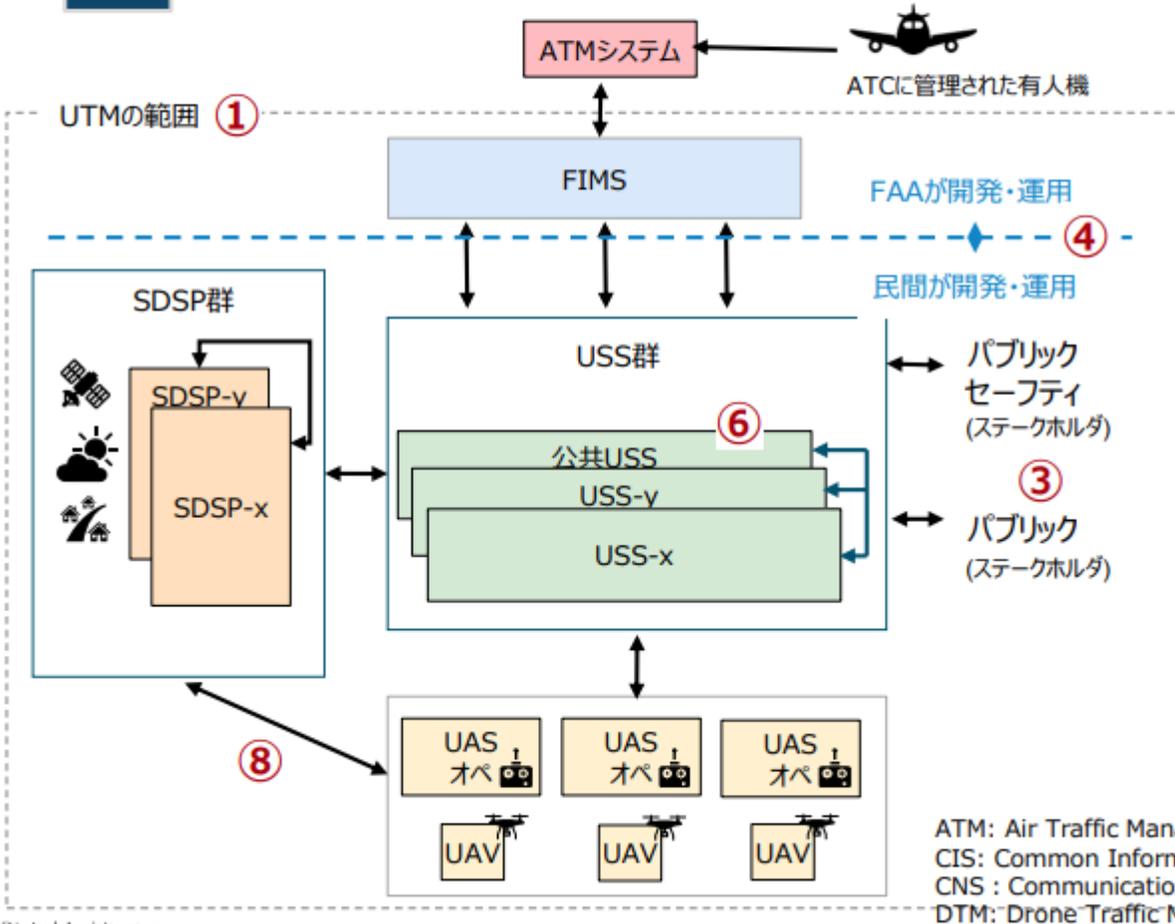
LEGENDA Goed Gemiddeld Slecht

België Frankrijk Polen Verenigde Staten van Amerika Verenigd Koninkrijk Zwitserland

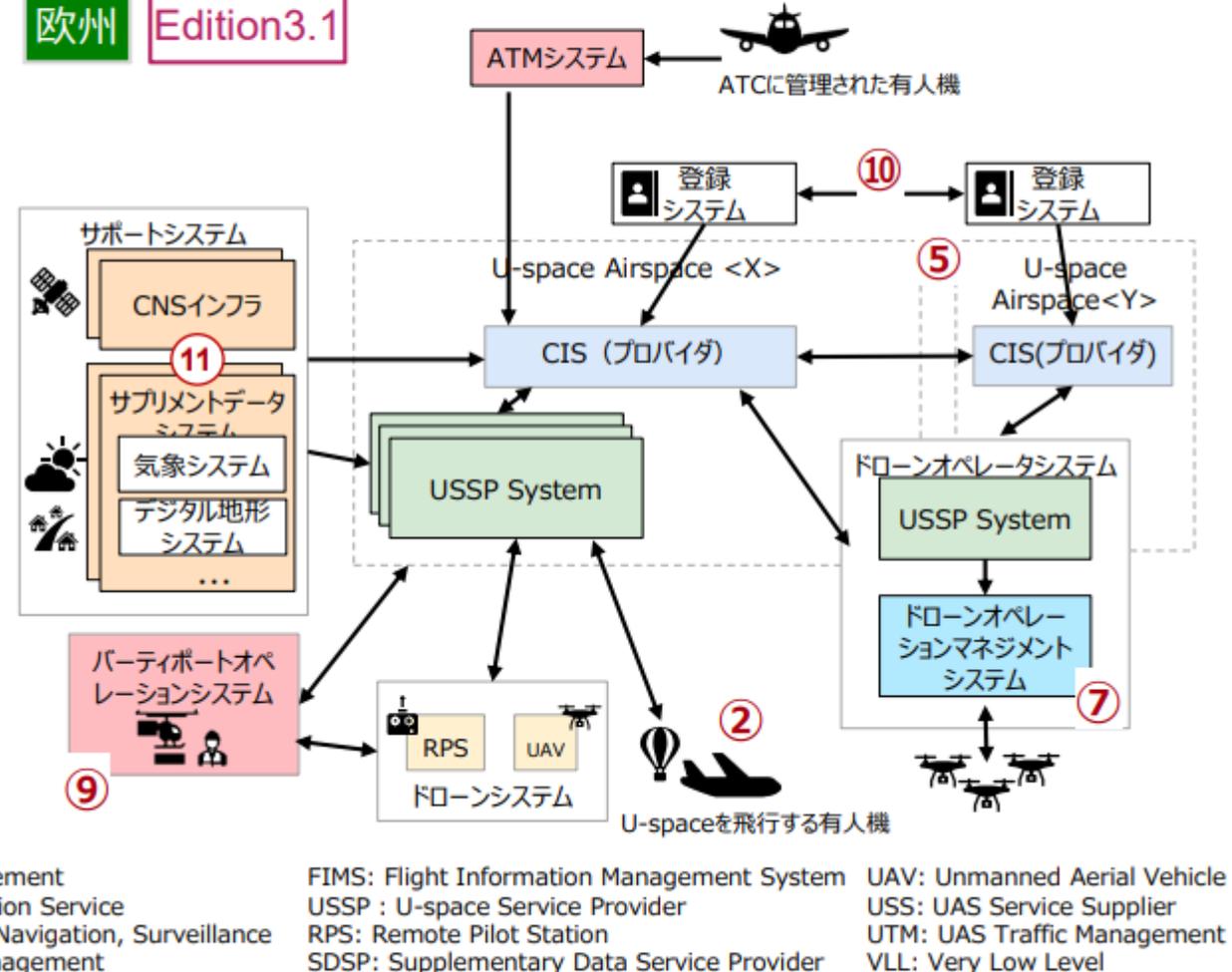
アーキテクチャの比較

米国のアーキテクチャの特徴は官民の役割分担が明確な点、欧州は加盟国毎にアーキテクチャが違う事を意識した表現をしている点が特徴的である。

米国 赤字の番号 = 相違点 (次ページに詳細を記載)



欧州 Edition3.1



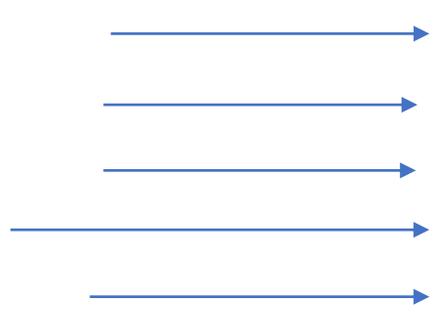
Detect and Avoid (ICAO)

- 定義

- "衝突する交通やその他の危険を見たり、感じたり、検出したり、適切な行動をとる能力"
- この能力は、RPA飛行の安全な実行を確保し、すべての空域クラスですべての空域ユーザーとの完全な統合を可能にすることを目的としています。

- ハザードの軽減（DAA能力またはその他のもの）

- 競合する交通
- 地形・障害物
- 危険な気象条件
- 地上作業
- その他の空中ハザード



- Flight paths
- Static / Dynamic objects
- Weather / Geofence
- Port / Takeoff and arrival
- UAVs / UAMs / Manned Aircrafts

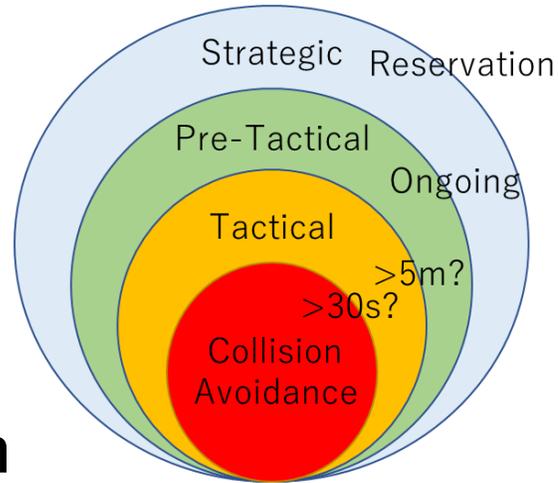
Relative actor

RPA: Remote Piloted Aircraft

Target of Conflict Management

- 機体の身体性に即して、Separation Provision と Remain Well Clear の定義の明確化が必要

SP: Proposal



NASA Consideration

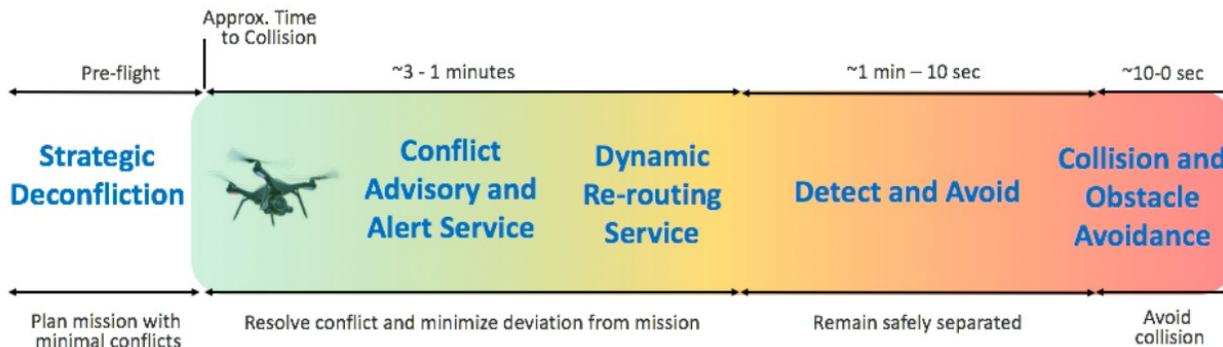
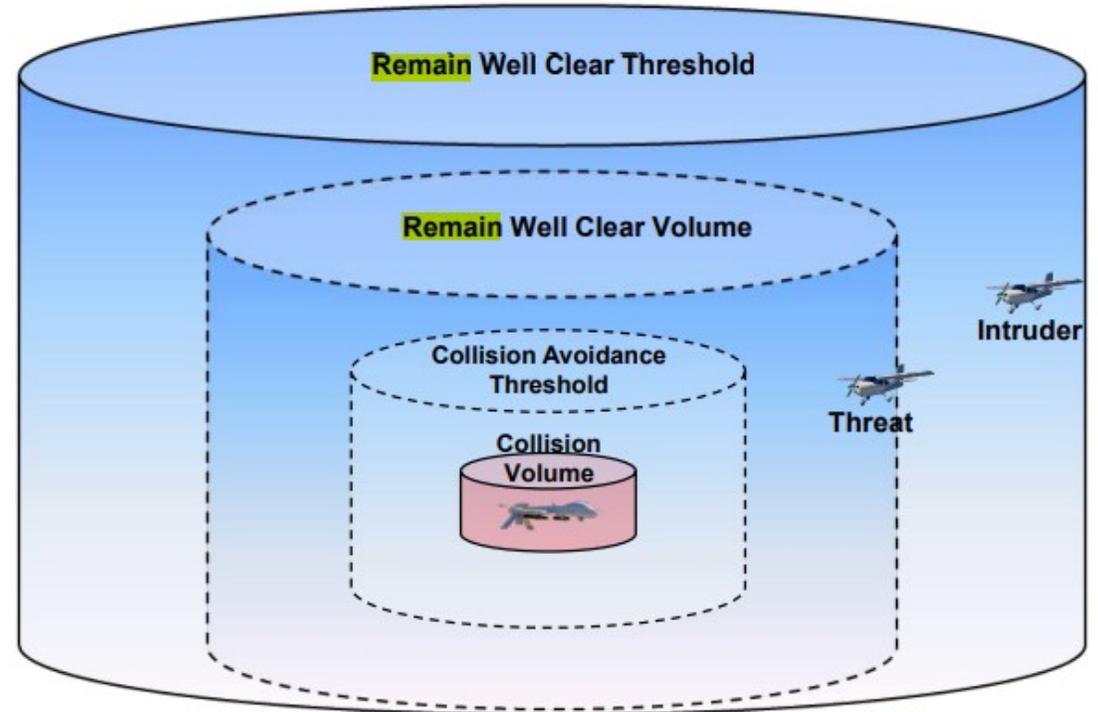


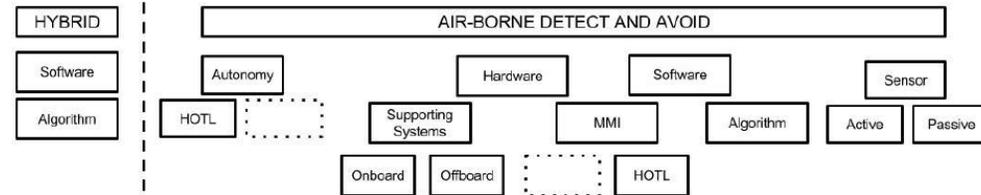
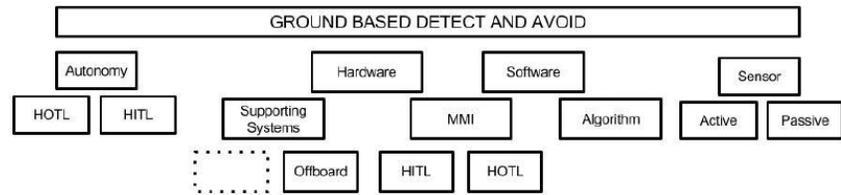
Figure 13: Example of separation strategy including USS Services and UAS capabilities.

RWC: ICAO Definition



DAA Category

Small UAS Detect and Avoid Requirements Necessary for Limited Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) Operations, Assure, May19, 2017



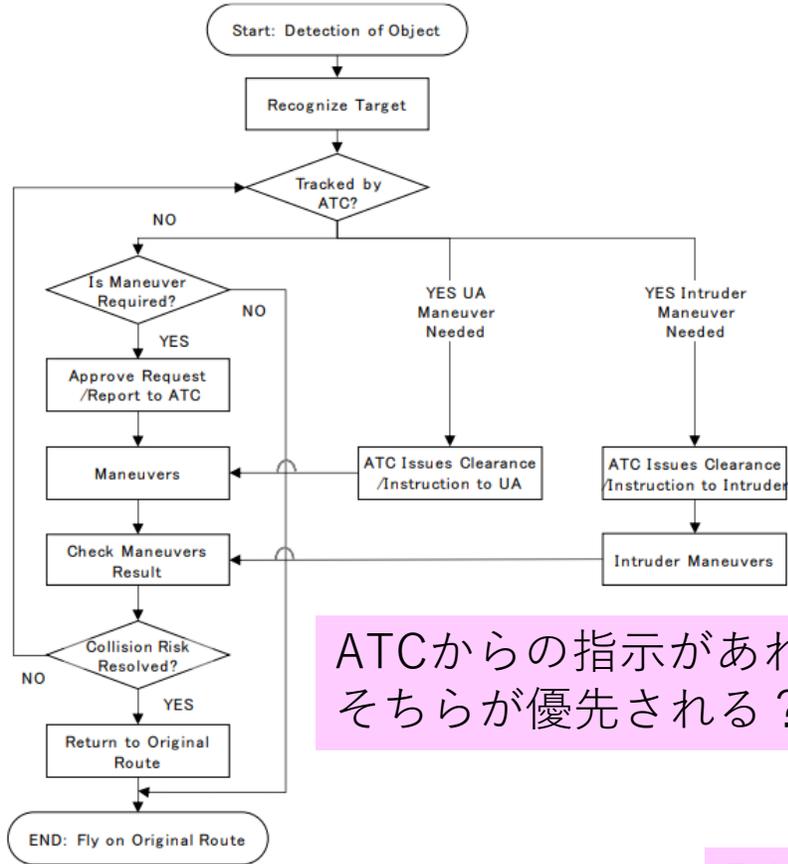
- 地上型DAA ⇒ UTM (ATM) 情報
- 航空機搭載型DAA
 - 非協調DAA (センサー) = "自己判断"を可能にする。
 - ほぼ視認可能な状態 (夜間を除く)
 - 自然物検出にはこのタイプが必要
 - 協調型DAA (無線・電磁波) = 自己位置の通信を行う。
 - 見えない状況での利用を可能にする
 - 他の飛行物体がアクティブセンサーを装備することができる

Table 7: Example surveillance sensors for a DAA capability.

| | Non-cooperative | Cooperative |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sensors | Airborne Radar Ground-based Radar Acoustics Sonar Electro-optical Infrared Laser Systems / LIDAR Motion Detection / Cameras | Mode A/C/S Transponder ADS-B In Vehicle-to-Vehicle Communication (e.g. DSRC, C-V2X) |

DAA Structure

しかし、ASTMはTactical Phaseはモニタと状況の気づきの教示にとどめる。



ATCからの指示があればそちらが優先される？

Figure 2 — Sequence above VLL

ISO/DIS 21384-3
Figure 2

DAAはUTMと関係なく動作→UTMは『航路逸脱』と評価？

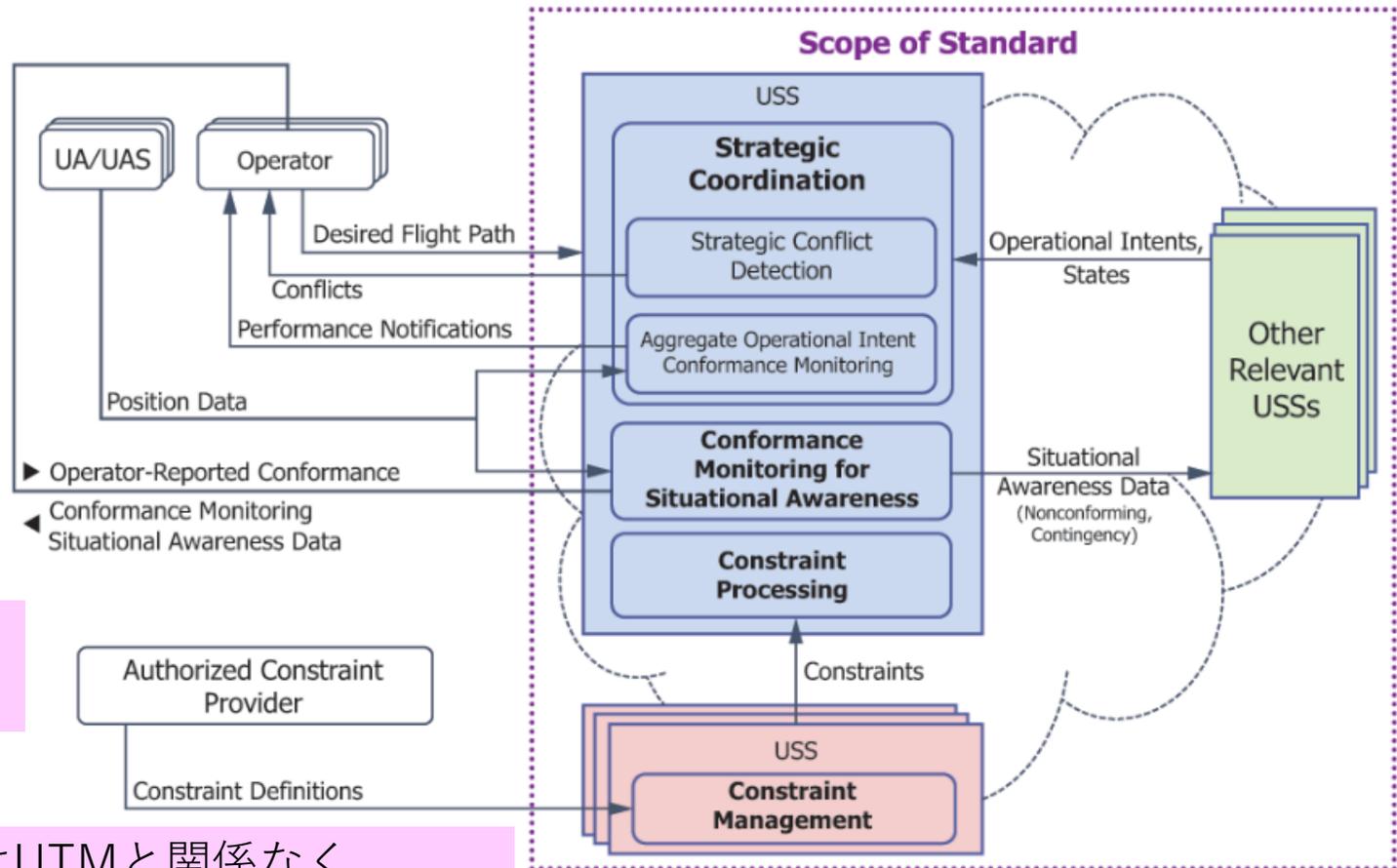
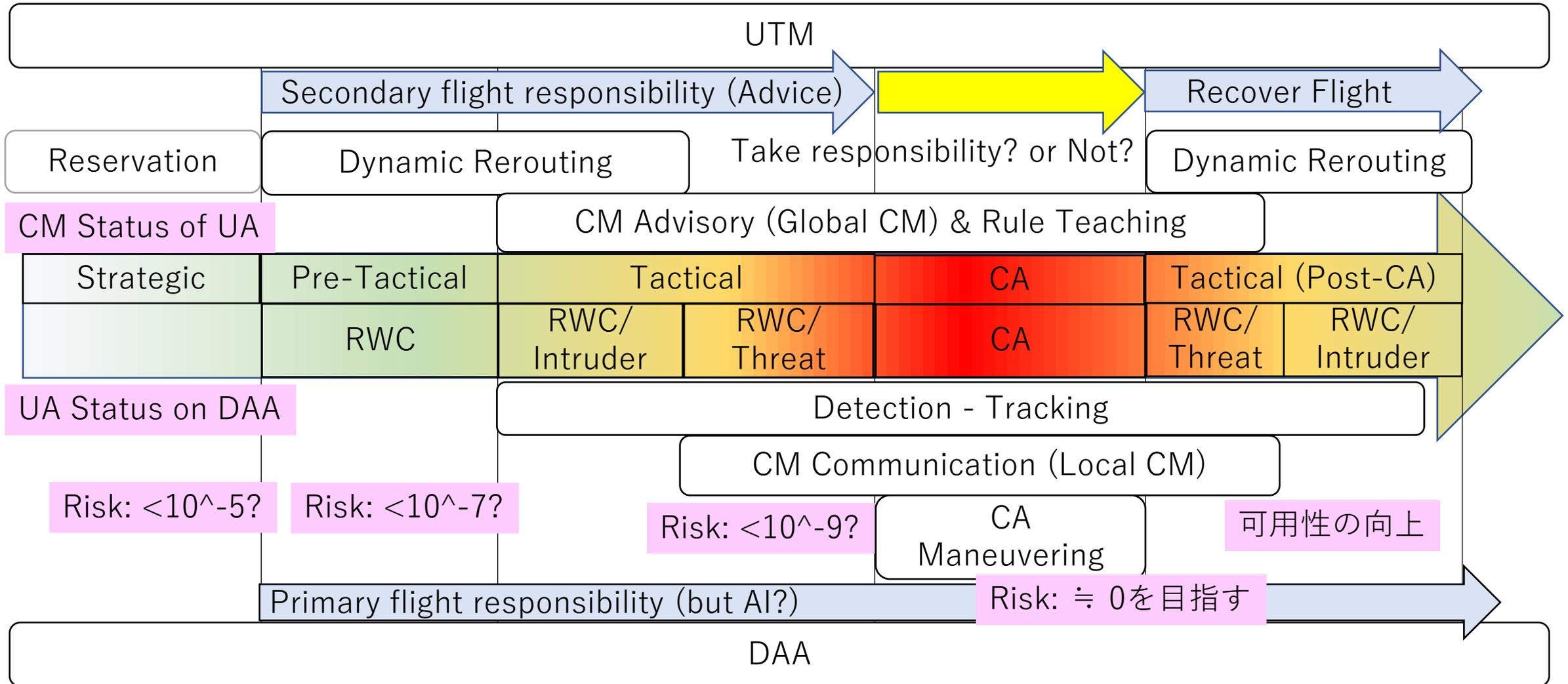


FIG. 1 Scope of Standard

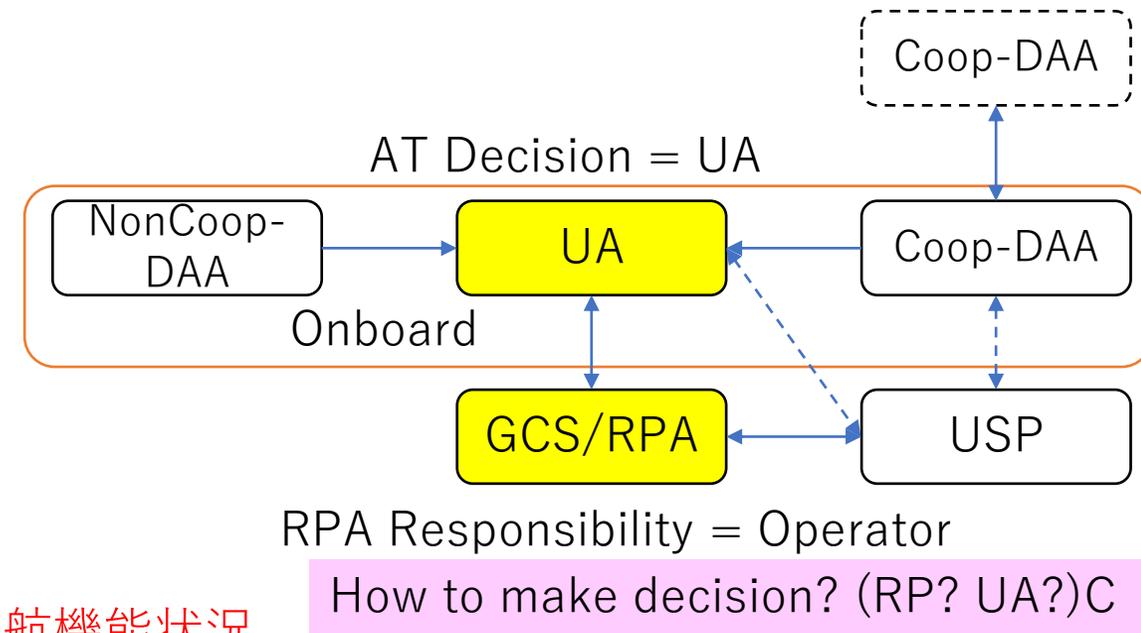
ASTM F3458-21

タイムラインにおける紛争解決の責任の所在



DAAシステムからの情報は何か出るべきか？

- Message from/to DAA (or UA)
 - Situation Awareness Information (SAI)
 - Traffic – 交通状況
 - Terrain – 地形状況
 - Obstacles – 障害物状況
 - Weather – 天候状況
 - Other Hazardous – 他のハザードの状況
 - **View / Map for SAI - 気づきの位置・マップ**
 - Remain Well Clear Information (RWC)
 - Ensuring Safe Operation – 安全運用の確保状況
 - Traffic – 交通状況
 - Terrain and Obstacle - 地形・障害物の検知
 - Groups of People - (検知できるなら) 人の状況
 - Flying Wildlife – 飛翔物
 - **DAA Health/ Function State – DAAの状態, 運航機能状況**
 - **Flight Recommendation (Path-resetting from UTM) – 動きたい・動かしたい方向に対しての教示**



最初のポイント: SP/RWCをどう扱うか？

- DAA・オペレーション側: RWC情報→自己判断→機動
- UTM側: SP情報→行動から派生する「他のコンフリクト」の管理→行動命令（動かさないで命令）
- 通信の必要性：（報連相）
 - 連絡: 自己位置と行動、SP/RWCの情報の共有
 - 相談: 行動推奨・決定・命令
 - 報告: 状況報告・事故報告



Housensou - spinach

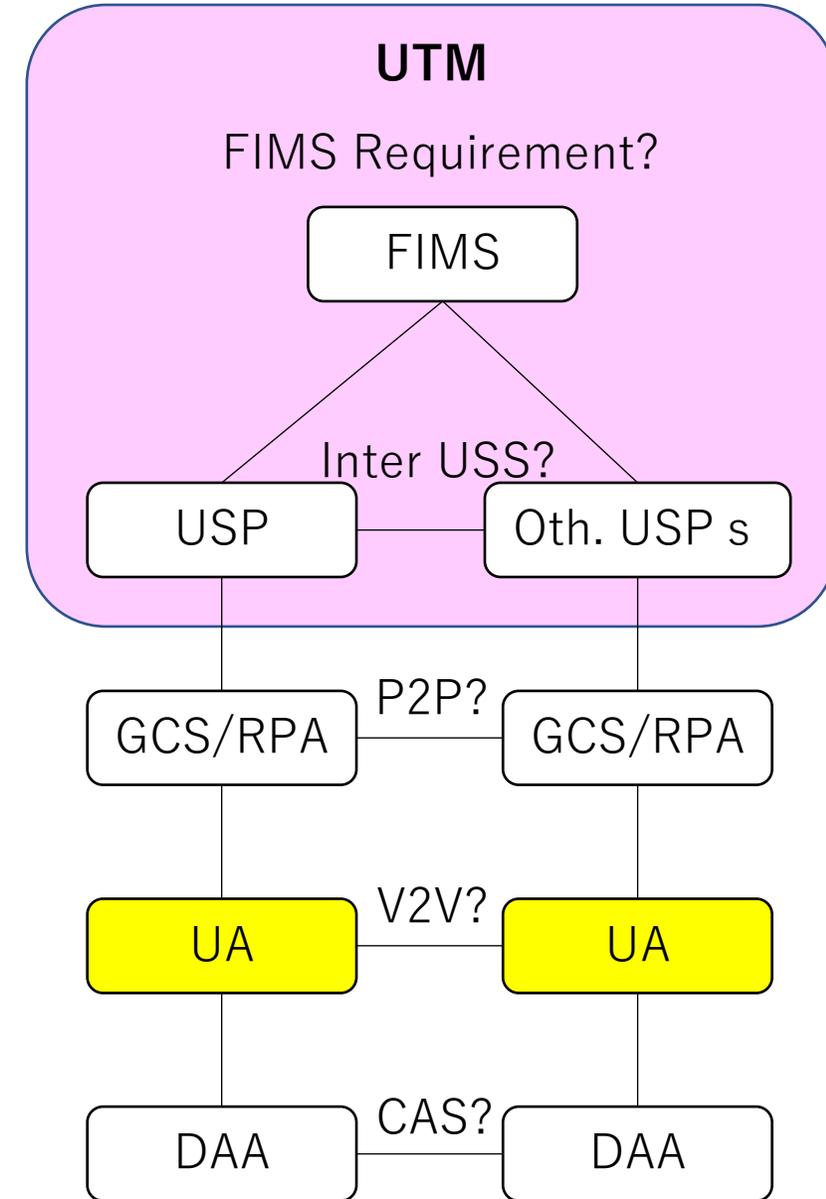
Hou - 報告 - Report

Ren - 連絡 - Note

Sou - 相談 - Discuss

協調と通信の問題

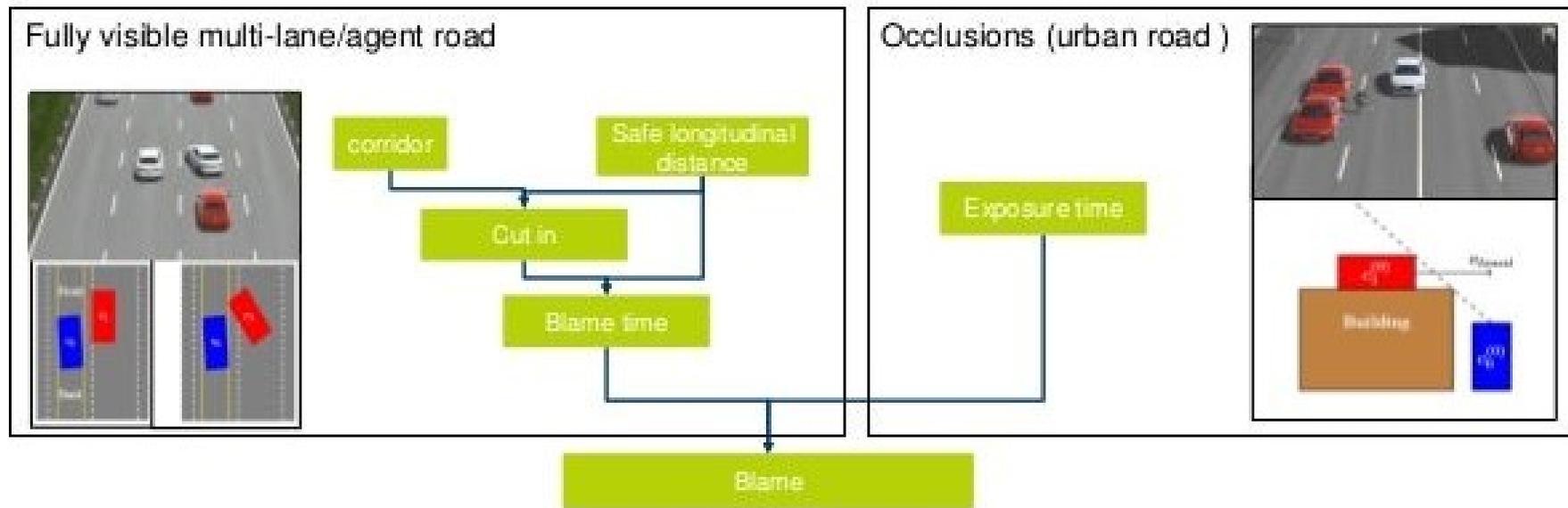
- 9 者直列の構成で協調が必要
 - GCSとRPAを挟んだ "人（またはAI）頼み"。
 - USPとDAA間のメッセージングのみではなく、『他機連携』が最終目標
 - 運用上、他のデータソースからの情報は「必須」である。
 - FIMSにそのような大量の情報を与えるべきでしょうか。
 - FIMSにない場合、他の航空機の運用状況をどのように管理するのか？
 - リアルタイムの性能をどう担保するか？
 - P2P、V2V、CASが考えられるが、どのように定義するか？
 - DAA の状態をどのように共有するか？



解決のためのルール導出: Responsibility-Sensitive Safety

- 明示的規則と黙示的規則を数量化し、行動に対するリスクの定量評価によって最適な行動を得ようとする安全リスク解析手法

To formalize RSS , we formalize bottom up the term of "responsibility" or "**Blame**" - a formal description of any (autonomous) agent safety liability.



自動車におけるRSSとUASにおけるRSS の違い（検討中）

- 前方の車両に衝突しない（前後方向距離）
 - 無謀な割り込みをしない（横方向距離）
 - 優先通行は譲られるもので、自分からとりに行くものではない
 - 視界が限られているエリアでは慎重に走行する
 - 別の衝突を引き起こす危険がない限り、必ず衝突を回避する
- (Reservation) 予約航路内の進行方向にいる他機体に衝突しない。
 - (SP/RWC) 一定の航行可能な体積内にいる他機体に衝突しない。
 - (Flight Density) 機体密度の高い方向に航路の変更を行わない
 - (Obstacle Avoidance) 地上物等の衝突危険度の高い方向に航路の変更を行わない
 - (Flight Density) 機体密度が高いエリアでは慎重に航行する
 - (Detect and Avoid) 別の衝突を引き起こす危険がない限り、必ず衝突を回避する

UASにおけるRSS解析の初期検討の課題

- 自動車はレーンが決まっている = 1者による判断が主
→UASでレーンが決まっていないと、自由空間ではN体問題になる可能性が高い。

自動車はこの組み合わせを上手く解消している（レーンチェンジ）が、航空機はここが解決できていない

$$T(A, \alpha_i, \alpha_j) \quad (1)$$

- $T()$: RSSのリスク関数,
- A : 環境, 地理, 機体位置, 空間密度, 他の動的物体の存在確率等の情報 = 上位監視なのでUTM側の情報,
- α : 回避行動のセット – Collision Avoidanceフェーズでは、上下左右および静止に関する機動しか選ぶことができなそう。
 - 細かい機動をする場合はもっと前にすべき = UTM側からのOperation指示? 誰が責任をとれますか?

Counter UAS (CUAS)の必要性と弱点

- UTM=『交通管理』、DAA=『回避行動』に加え、CUASは『警察機構/外界からの監視』
 - 本来ならばかなり重要な立場だが…まだ多体のフライトまで至っていないので、議論が後回し。
- CUASの問題点 = CUASが『物理的・サイバー的なセキュリティホール』となる
 - CUASでの『攻撃的な対処』 - RF/GNSS Jamming, High-power Electromagnetics, Spoofing, Laser
 - Jamming = DoS的なものと疑似Spoofing的なもの (ランダムデータ)
 - DoS対策 (効かない場合の対策)
 - 疑似Spoofing対策 (低信頼データの除去)
 - Spoofing = 確定的なデータを潜り込ませる
 - データのID, 暗号化
 - 必要最低限のデータ通信にする

Failsafe ?

Sensors



Acoustic/ultrasonic sensors



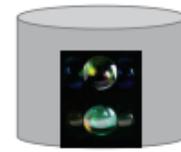
RF sensors



Radar



EO/IR sensors



LiDAR



Projectiles



Collision UAVs



Jamming



Spoofing



High-power EM



Lasers



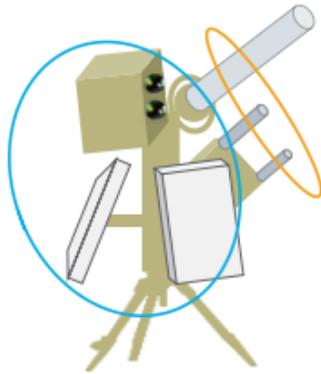
Nets



Eagles

Nonphysical mitigators

Physical mitigators



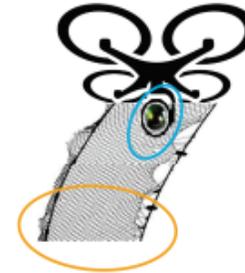
Ground static platform



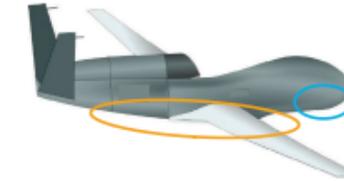
Ground mobile platform



Human-packable platform



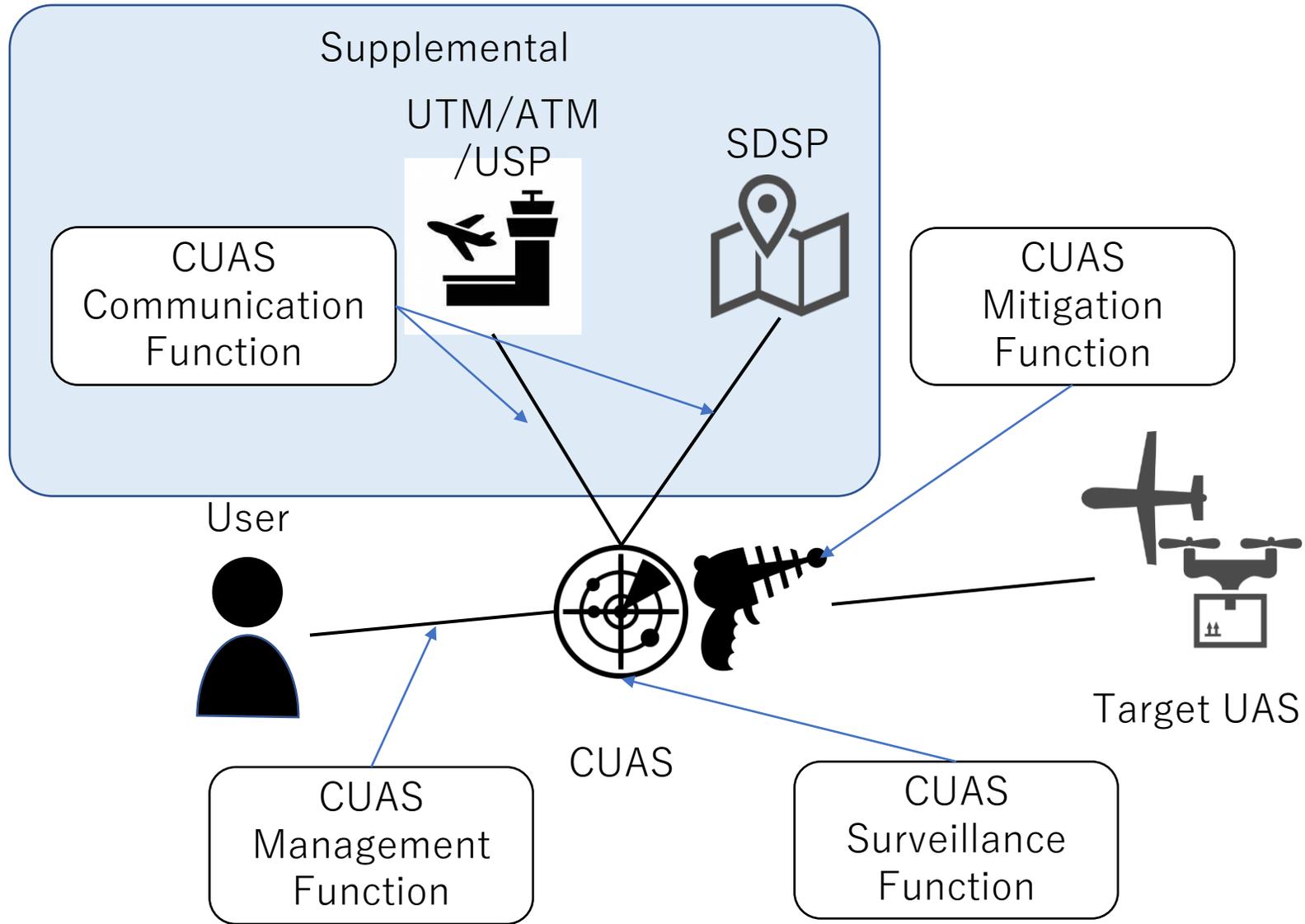
Low-altitude platform



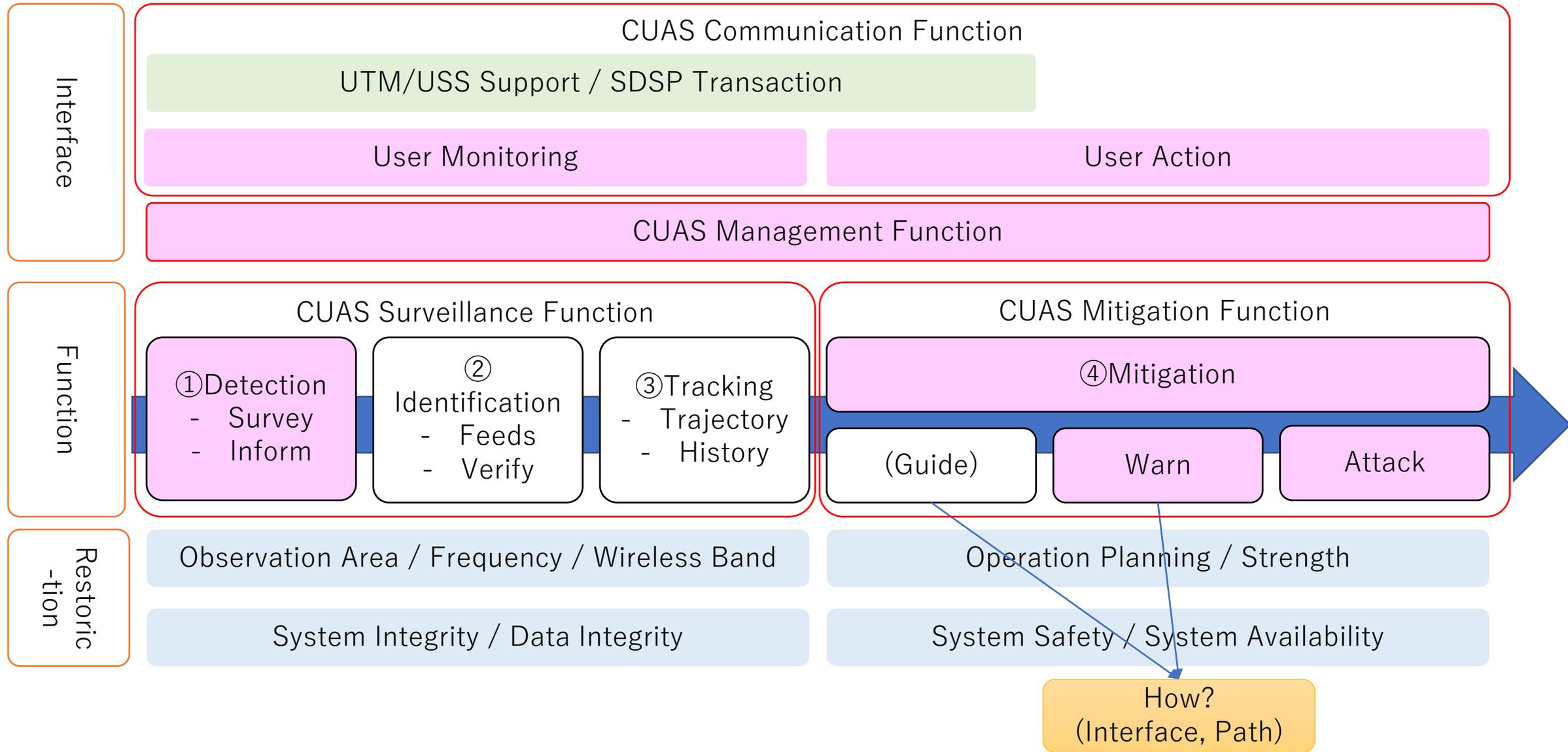
High-altitude platform

FIGURE 7. Sensors and mitigators. Note that radar, RF sensor, jamming, spoofing, and high-power EM employ antennas and their functions can be implemented with the same hardware; therefore, their appearances are similar to one another. The platforms show sensing and mitigation systems equipped in ground static platforms, ground mobile platforms, human-packable platforms, LAP, and HAP.

CUASユースケース



CUASの機能構造



ED-286に記述される5つのCUASコンポーネント

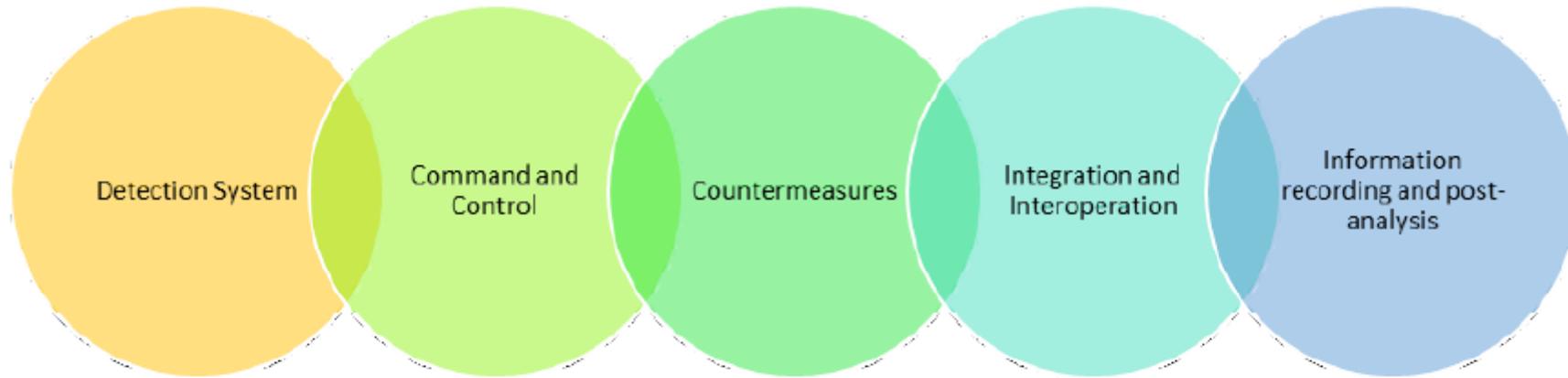
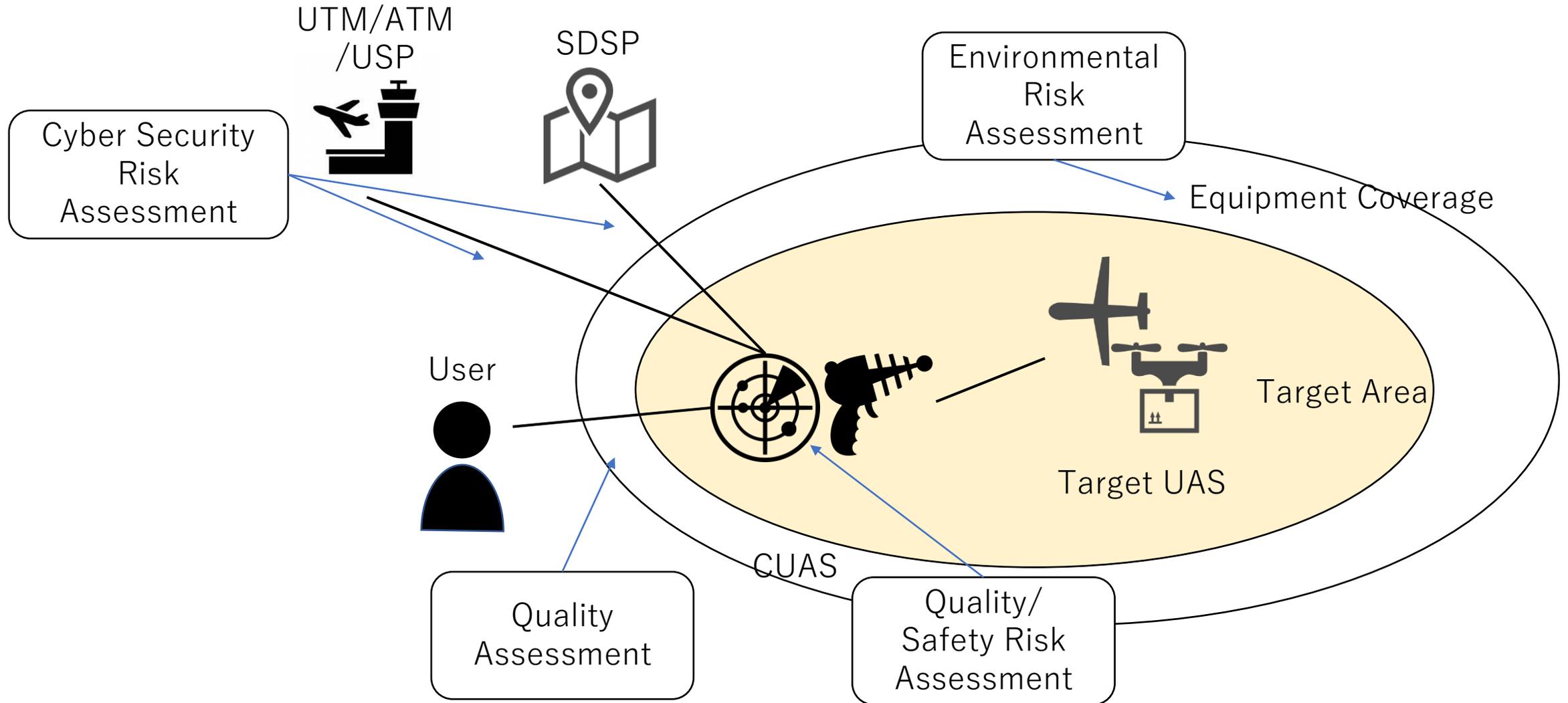
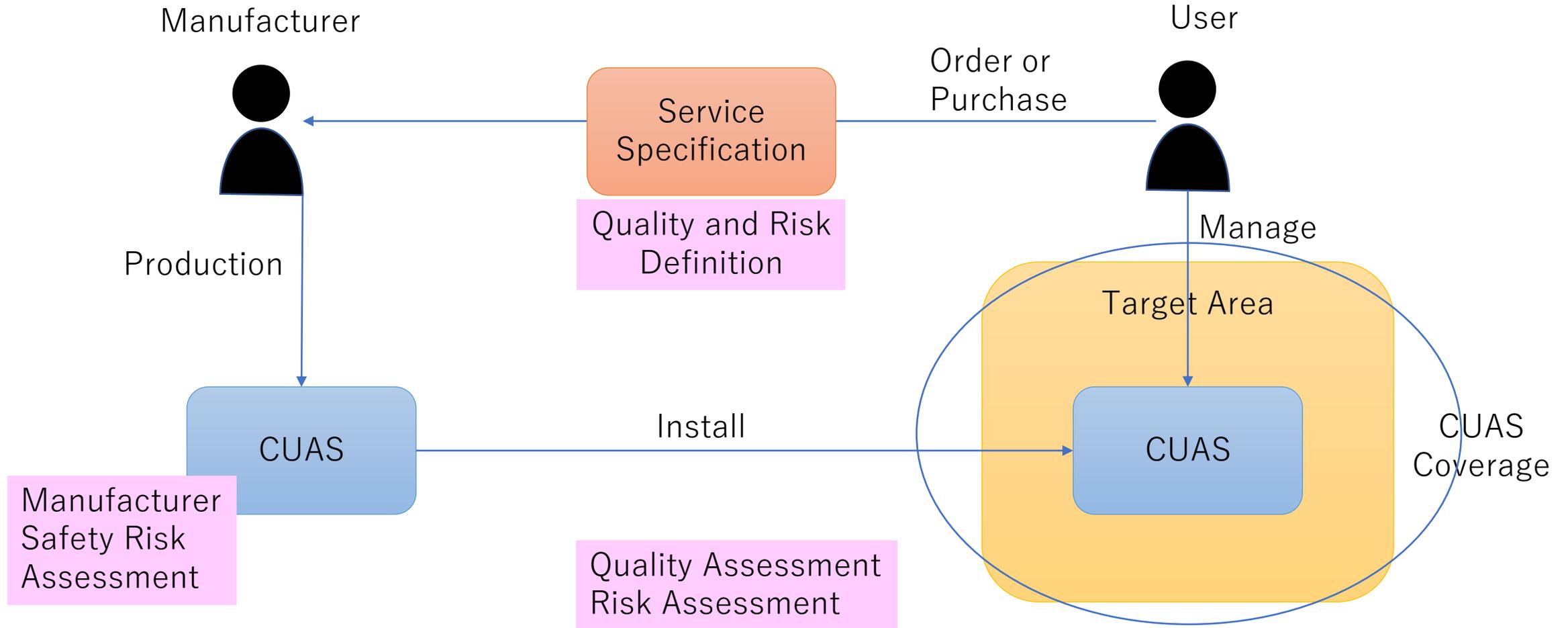


FIGURE 2-1: HI-LEVEL C-UAS COMPONENTS

CUAS構築時におけるリスクの定義

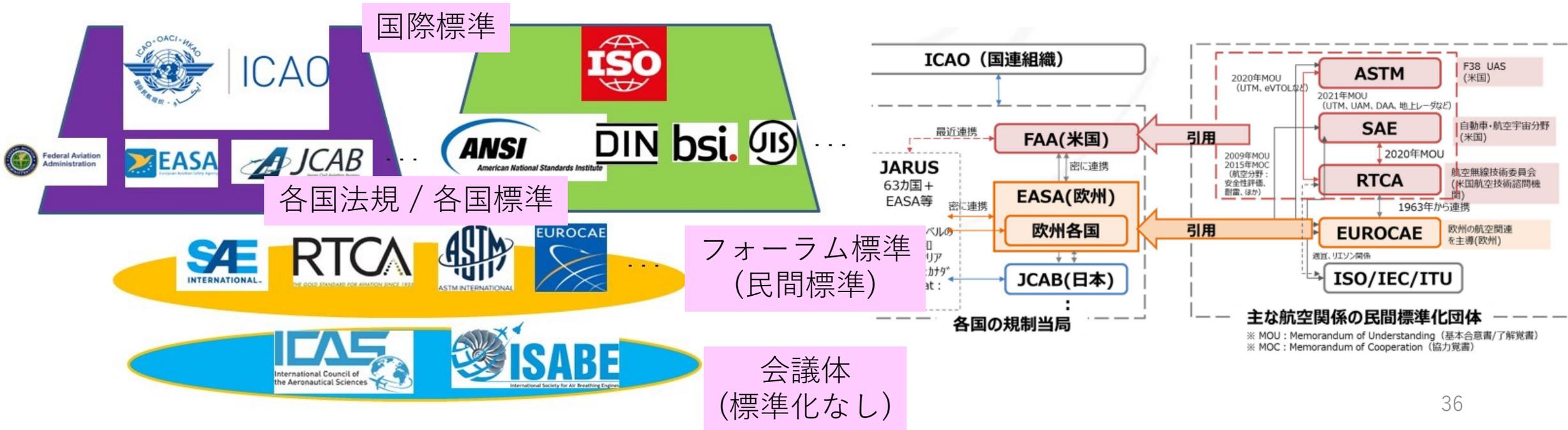


CUAS導入のためのサプライチェーン



なぜISOか？ → 標準化の在り方

- ISOは確かに『国際連合経済社会理事会に総合競技資格を有する機関』である。→ 製品の輸出入に対しては力がある
- ICAOも同等の機関であり、『民間航空』に対して力があり、各国はこちらに批准(但し、RPASには熱心だったが、UASには当初はそこまで熱心ではなかった模様)
- 欧米各国は『民間標準を各国法規・標準として採用』する形でとりまとめを行った。
- 日本は産業政策の立場からICAOよりはISOの方を先行して対策を行った→ので、ISOに注力していた。



ISO TC20/SC16 Unmanned Aircraft Systems

Structure

Liaisons

Meetings

| Reference ↑ | Title | Type |
|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| ISO/TC 20/SC 16/AG 5 ⓘ | Detect And Avoid (DAA) | Working group |
| ISO/TC 20/SC 16/CAG ⓘ | Chair's Advisory Group | Working group |
| ISO/TC 20/SC 16/JWG 7 ⓘ | Joint ISO/TC 20/SC 16 - ISO/TC 43/SC 1 WG: Noise measurements for UAS (Unmanned Aircraft systems) | Working group |
| ISO/TC 20/SC 16/WG 1 ⓘ | General | Working group |

ISO/TC 20/SC 16/WG 2 ⓘ Product manufacturing and maintenance

ISO/TC 20/SC 16/WG 3 ⓘ Operations and procedures

ISO/TC 20/SC 16/WG 4 ⓘ UAS Traffic Management

ISO/TC 20/SC 16/WG 5 ⓘ Testing and evaluation

ISO/TC 20/SC 16/WG 6 ⓘ UAS subsystems

ISO/TC 20/SC 16/WG 8 ⓘ Counter UAS

Organizations in liaison (Category A and B)

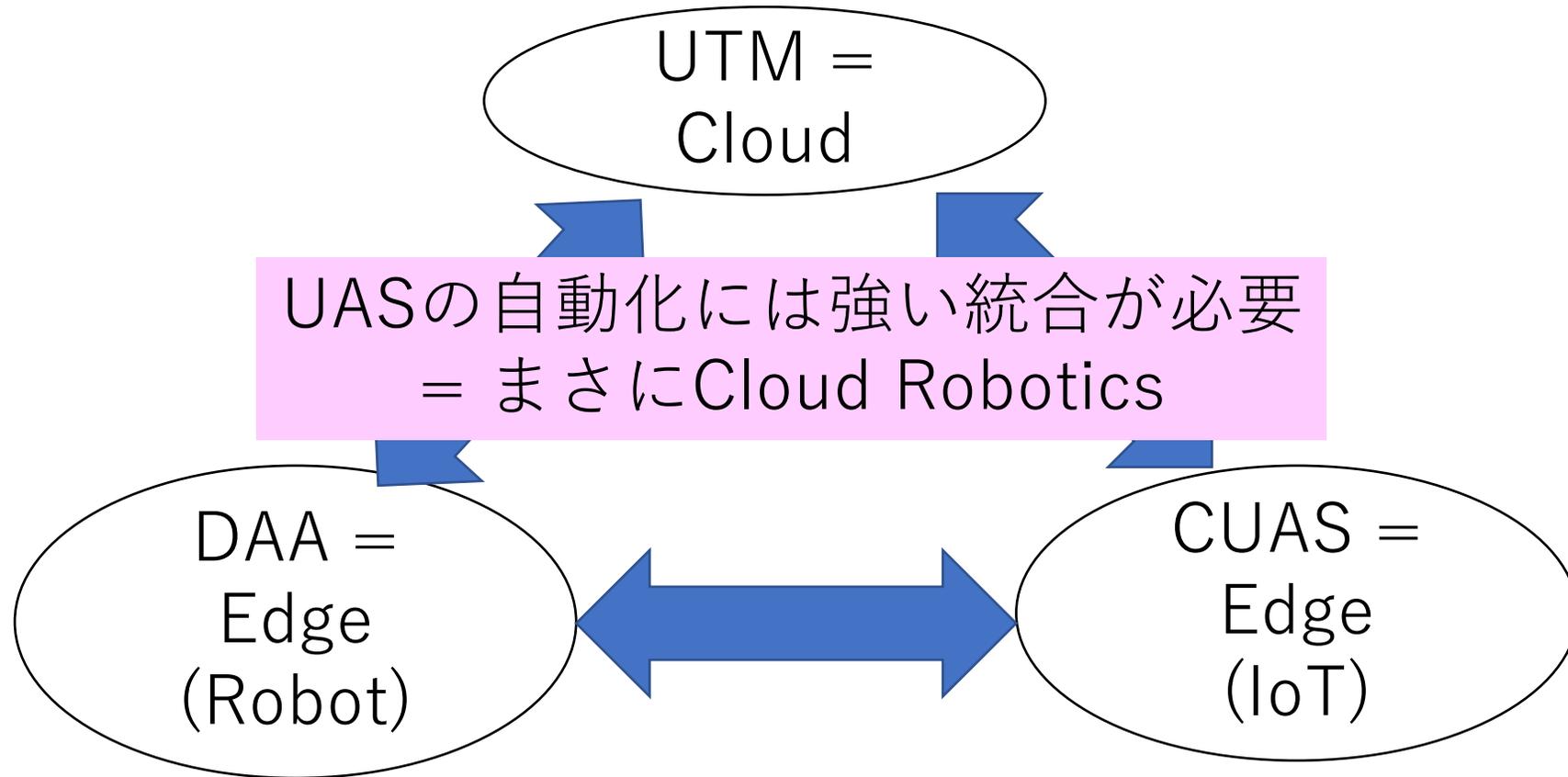
| Acronym ↑ | Title | Category |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| ACI | Airport Council International | A |
| ASD-STAN | AeroSpace and Defence Industries Association of Europe - Standardization | A |
| EASA | European Union Aviation Safety Agency | B |
| EUROCAE | The European Organization for Civil Aviation Equipment | A |
| IEEE | Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc | A |
| OGC | Open Geospatial Consortium, Inc. | A |
| SAE | SAE International | A |

Organizations in liaison (Category C)

C liaisons participate at the level of a Working Group

| Acronym ↑ | Title | Category |
|-----------|------------------------|----------|
| ASTM | ASTM International | C |
| GUTMA | Global UTM Association | C |

“クラウドロボティクス”としての紛争解決



現在のCloudの例: FAA Cloud Service

参照: FAA



FIMSを中心としたVLLに対するサービスを各社USSを通して管理

まとめ

- UAS/UAMの運用に対する紛争解決の全体構想を記した。
- 実際にUAS/UAMを運用するシステムを作る場合は、クラウドロボティクスの枠組みに頼ることとなる。
 - UASの紛争解決ロボットを導入する上での安全・安心の課題を要求としたシステムとして『クラウドロボティクス』技術が利用できる
- しかし、実際に作る場合は、国毎や国際的な枠組みの中で、エコシステムの哲学を先に決定するべきであると考えられる。
- 精密なエコシステムを構築するために、特に、国際的な場面では標準化が必要である→ISO TC20/SC16で活動している。