

ドローン航路の網目状の面的展開を踏まえた ID 体系の検討調査報告書

2025 年 3 月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先：Intent Exchange 株式会社

本調査報告書は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務「産業DXのためのデジタルインフラ整備事業／デジタルライフラインの先行実装に資する基盤に関する研究開発／ドローン航路」の結果得られたものです。

目次

1	調査報告書の概要	4
1.1	背景と目的	4
1.2	調査報告書の位置づけ	5
1.3	調査報告書利用時の注意点	5
1.4	用語の定義.....	5
2	技術動向と技術背景	6
2.1	セマンティック WEB	6
2.2	航路情報	6
2.2.1	航路情報の種類	6
2.2.2	航路情報の形式	6
3	ID 体系の要件	7
3.1	分散型アーキテクチャ	7
3.2	飛行空間利用者からの可読性.....	8
4	ID 体系の確定に向けた活動	9
5	ウラノスにおける位置付け.....	9
5.1	分散アーキテクチャと ID 体系	9
5.2	宛先解決	9
5.2.1	リンク関係	9
5.2.2	属性.....	10
6	まとめ	12

1 調査報告書の概要

1.1 背景と目的

現在のドローン航路は、河川や送電線などの“線”として構築することを目指しているが、今後は“線”を“網”として構成していくことを目指す。この時、一つの航路運営者ではなく、複数の航路運営者によって管理・運営されることが想定される。すなわち、現在の鉄道のように、JRと私鉄などが相互に乗り入れつつも、乗客は乗り換え時に意識することなく、シームレスに利用できることが望ましい。

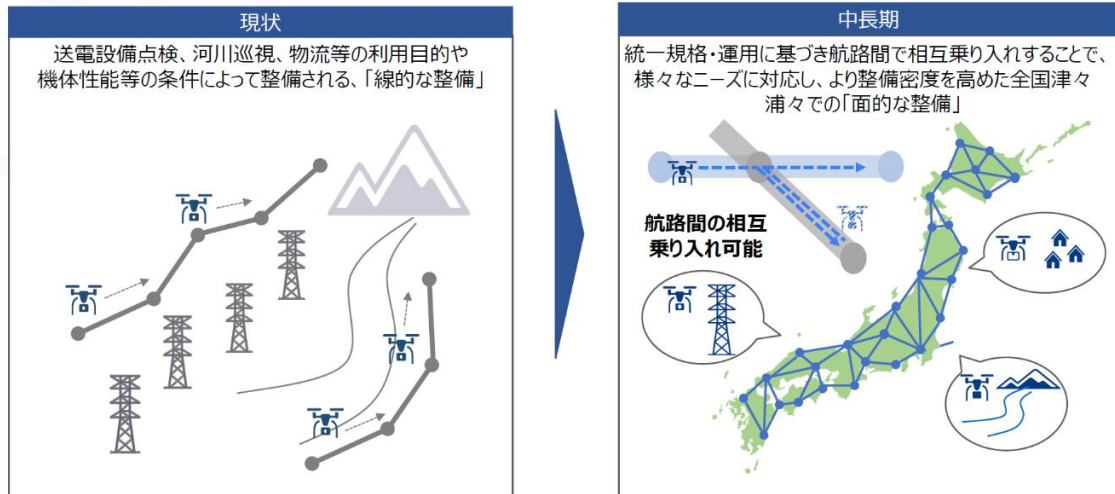


図 1 ドローン航路の相互乗り入れによるネットワーク状の全国展開

出展：ドローン航路 ConOps（運用概念）案 [1]

運航者は、異なる航路運営者のシステムを跨いで航路を利用することが想定される。例えば、航路の予約をする際にも、異なる航路を順次予約していく処理が必要となる。この時、航路 A と航路 B の接続関係を、システム上でリンクとして表現する。すなわち、航路 A を運営する航路運営者のシステムから、航路 B を運営する航路運営者のシステムを参照する。

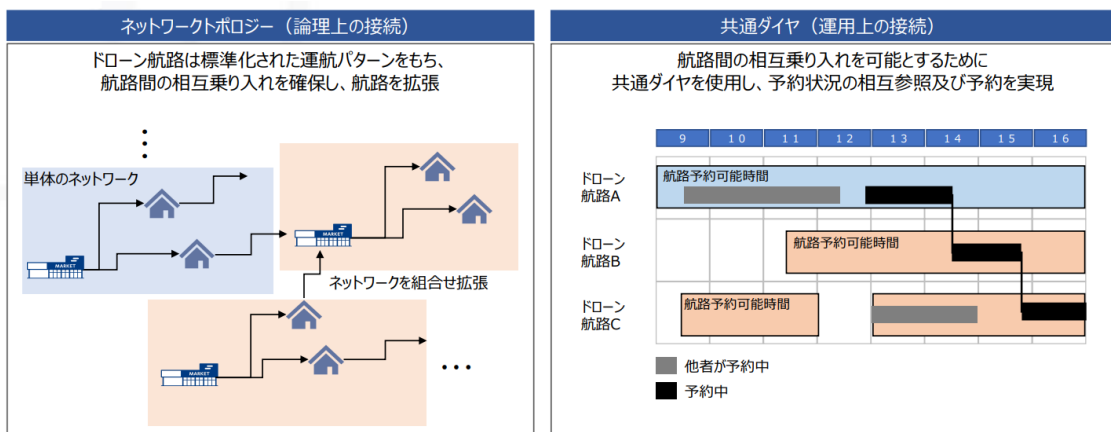


図 2 ドローン航路の相互乗り入れと、航路を跨いだ予約

本検討の目的は、このようなドローン航路の利用方法を実現するために、あるべき ID 体系を定めることを目指して、研究開発活動を通して見出された要件を提案することにある。ここで挙げられた要件を元に、今後、ID 体系を定めていく必要があるため、その活動概要も提案する。

1.2 調査報告書の位置づけ

本調査報告書は「ドローン航路運営者向けドローン航路導入ガイドライン Ver1.0」及びその附属書並びに「運航事業者向けドローン航路運航ガイドライン Ver1.0」の将来的な改版に向けて関連する論点について、事前に調査を実施した参考資料である。本資料はガイドラインとの整合性を担保する、またはガイドラインを補完する位置付けの文書ではなく、本事業において将来的に必要と考えられる論点に対して仮説的に調査を行ったものであるということに留意する必要がある。

また、本調査報告書は、ドローン航路が持つべき仕様に関する調査検討成果をまとめたものであり、特に、網目状の面的展開を踏まえた ID 体系に係る報告書となる。

1.3 調査報告書利用時の注意点

本調査報告書を以下の事項に注意して利用すること。

- ・ ドローン航路等に関する正式な定義及び仕様・規格等については、「ドローン航路運営者向けドローン航路導入ガイドライン」及びその附属書並びに「運航事業者向けドローン航路運航ガイドライン」の最新版を参照すること。本資料はあくまで、ガイドラインとは紐づいていない調査報告書であり、本調査報告書の利用にあつては、必ず利用者が責任をもってガイドラインとの整合性について調査・分析を事前に実施し、定義・解釈等に齟齬が存在する場合は、ガイドラインに準拠すること。
- ・ 本調査報告書の記載内容と、法令・規格等で定められる内容が異なる場合は、法令・規格等を遵守すること。
- ・ 本調査報告書を利用した結果生じた損害に対して、NEDO、Intent Exchange 株式会社は一切の責任を負わない。

1.4 用語の定義

表 1 用語定義一覧

用語	意味
UTM	ドローン運航管理を意味する UAS Traffic Management の略称であり、主に空中リスクに関する管理を担う。ドローン運航者は、UTM を介して、航路運営システムを利用することもあり得る。
Catena-X	自動車業界のバリューチェーン全体におけるデータ連携を促進するための、欧州のデータ共有プロジェクト。
EDC	Catena-X と関連する OSS であり、Eclipse Dataspace Components の略。元々は Eclipse Dataspace Connector であったが、コネクタに閉じない技術要素を扱うため改称された。
Discovery Service	取得したい情報を得る際に、その情報を格納したサイトの宛先(URL)を探すために利用するサービス。UTM の国際標準 ASTM においては、DSS (Discovery Synchronization Service) が定義されており、飛行計画から、その飛行計画を管理する UTM サービスプロバイダの URL を取得する。Catena-X では、EDC Discovery Service などが関連する。

2 技術動向と技術背景

2.1 セマンティック Web

Web システムが社会の根幹技術となって久しい。しかしながら、Web として公開される情報の多くはテキストであり、人がそのテキストを理解して、適宜、他のサイトを閲覧、巡回することが主流となっている。

一方で、人ではなく、機械がサイト間を巡回しやすくするための技術体系が、セマンティック Web として 20 年以上前から整備されている。特に、近年は、この技術体系を活用した Catena-X などのデータ流通プロジェクトが立ち上がっている。日本では、ウラノス・エコシステム[2]の中で、L4 セマンティクスレイヤとして、システム間の連携を促す枠組みが示されている。

このシステム間のリンクを実現するデータ形式を、RDF(Resource Description Framework)と呼ぶ。

2.2 航路情報

ID が付与される対象は航路情報であり、その種類と形式は以下の通りである。

2.2.1 航路情報の種類

航路情報としては、航路の飛行空間に関する情報と離着陸場に関する情報がある。航路の飛行空間は、航路区分から構成される。詳細は、別書[1]に記載されている。

2.2.2 航路情報の形式

飛行空間や離着陸場に関する情報を相互に連携するために、位置情報も考慮されたファイル形式が必要となる。シェープファイル、KML ファイル、JSON ファイルなどの形式があり得るが、UTM の国際標準 ASTM に合わせて GeoJSON 形式とする。

3 ID 体系の要件

ID 体系の設計のために 2 つの要件を設定した。これ以外の要件についての可能性は、継続的に確認する必要がある。

3.1 分散型アーキテクチャ

第一の要件は、事業者 ID を含むことである。この要件は、複数のドローン航路運営者のシステムが相互に接続する分散型のアーキテクチャをとることによる。例えば、図 3 のように、ドローン航路運営者 A が管理する航路と、ドローン航路運営者 B が管理する航路とが相互に接続したとする。利用者（ドローン運航者）がこれをシームレスに接続できるようにするには、航路運営者 A の航路や離着陸場の情報を Web の URL として表現し、航路のトポロジを RDF によって参照関係を設定できるようにする必要がある。

このような利用方法を想定すると、航路の ID は、URL の構成、すなわち、ドメイン名とドメイン内のパスによる構成と対応することが望まれる。ドメイン名は、ドローン航路運営者の単位で設定されることを想定するため、事業者 ID と対応することが望ましい。

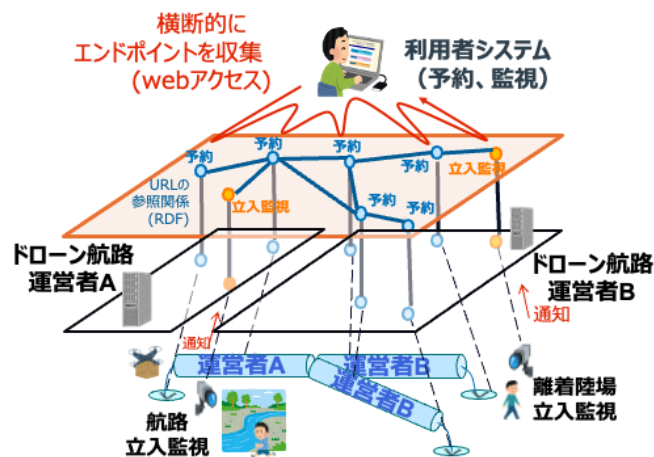


図 3 Web のリンク関係で表現された、異なる航路運営者間での航路接続

このような仕様に基づき、航路情報を RDF で表現した際の航路利用者側のシステムの例を図 4 に示す。このシステムでは、利用者システム側のクローラが、航路運営者の持つ航路情報（RDF）を取得し、その中に他の航路運営者の航路情報が含まれていると、その情報を取得する。これを繰り返すことで、利用者システムは、相互接続した航路網全体に関する情報を収集することができる。逆に、地理的に接続していない航路情報は取得されないため、例えば、浜松で運航する事業者にとっては、秩父など、別の地域の航路の情報を取得することはない（航路が接続していない前提）。

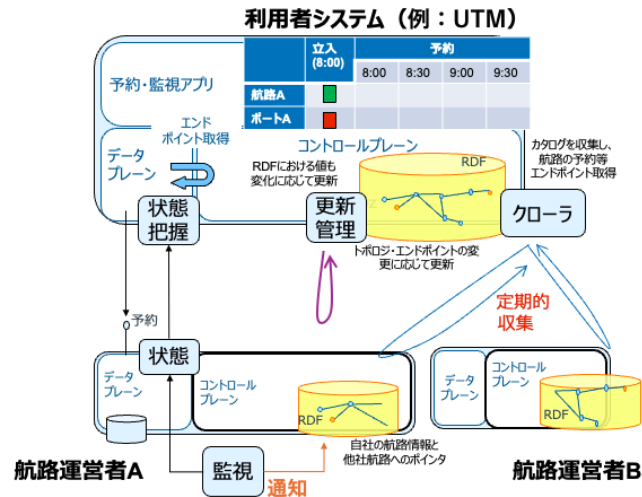


図 4 RDF で表現された航路情報を収集するシステム

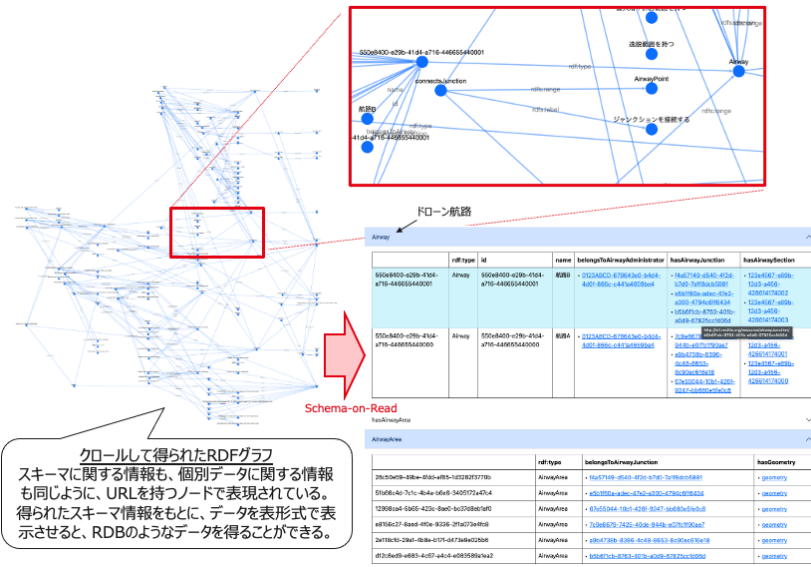


図 5 収集された航路情報の例

なお、この要件は、物流・流通領域でトレーサビリティを実現する GS1 の要件とも整合する。GS1 は、いわゆる日常的に利用されるバーコードで用いられる番号体系 JAN コードを含む国際標準規格である。商品だけでなく、物流を構成する様々な要素についても番号体系が定められており、例えば、モビリティハブと対応する GLN(Global Location Number)などがある。この GS1 の番号体系においても、GS1 事業者コードが含まれる。この GS1 事業者コードは、ドメイン名と対応づけることで、広域でのトレーサビリティが実現されている。

3.2 飛行空間利用者からの可読性

第二の要件は、飛行空間利用者にとっての可読性があることである。航路情報は、その地域にドローンの飛行が想定されうるとして、有人機に提供されるべき情報である。そのため、航路運営者の事業者 ID と、その事業者内での ID という体系では、可読性がなくなってしまう。一般に、ID としてサロゲートキーと、ナチュラルキーという分類がある。前者は、一意になるように機械的に付与する情報であり、後者はユーザ視点で理解可能な属性情報で ID を構成するものである。本要件は、後者の視点も含めて ID 設計をする必要がある、ことである。

4 ID 体系の確定に向けた活動

ID を定めるために、第一の要件については、ウラノス・エコシステムにおける関係者との認識合わせが必要である。第二の要件については、航空局、有人航空機の運航者との認識合わせが必要である。

要件については、他の追加要件があるかの確認を行いつつも、第一、第二の要件が代替手段で不要とならないかの確認も必要である。例えば、第二の要件については、ID を与えると、その属性を返すような標準インターフェースが提供されるのであれば、可読性を確保できるため、あくまで ID として可読性を確保したいのか、他のサービスを利用して可読性を確保するのも良いのかを確認する必要がある。

5 ウラノスにおける位置付け

5.1 分散アーキテクチャと ID 体系

ウラノス・エコシステム・データスペースズ リファレンスアーキテクチャモデル（ODS-RAM）において、L4（セマンティクスレイヤ）が定義されており、そこでは分散アーキテクチャの観点から、(a)宛先の問題が掲げられている（図 6）。前述の ID 体系の要件 1 と対応するため、この分散アーキテクチャでの(a)宛先解決について、本章で説明する。

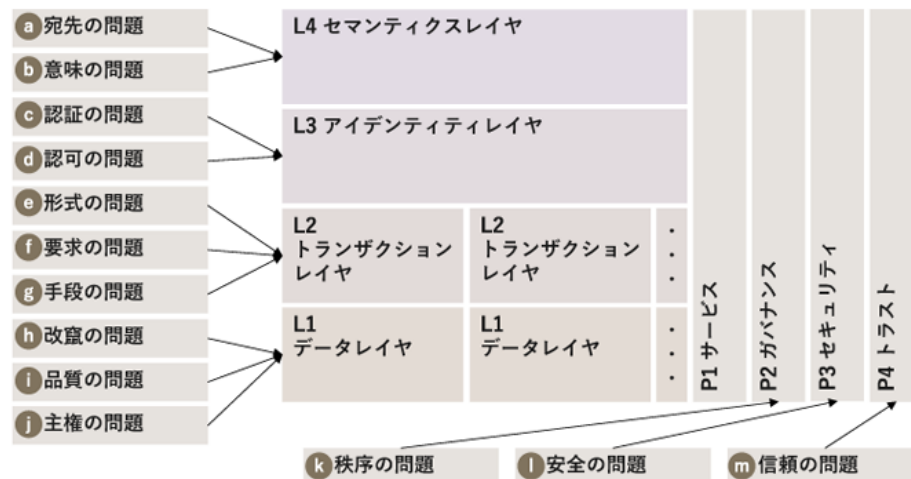


図 6 ODS-RAM における L4 セマンティクスレイヤの位置付け

5.2 宛先解決

複数のプロバイダがサービスやデータを提供する時、Web システムにおいては、どの URL にアクセスすれば良いかを解決する必要がある。これにはリンク関係に基づく解決と、属性に基づく解決がある。

5.2.1 リンク関係

リンク関係による宛先解決は、2.1 章で示したように、データ/サービス提供者側が、他の提供者のエンドポイント（URL）を参照することで実現される（図 7）。

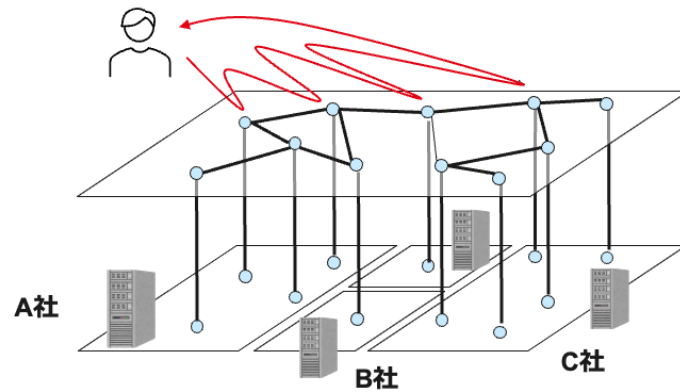


図 7 リンク関係に基づく宛先解決

5.2.2 属性

リンク関係に基づく宛先解決の他に、属性に基づく宛先解決も必要である。リンク関係がローカルな情報探索であるのに対して、属性に基づく宛先解決はグローバルな情報探索である。また、この属性に基づく宛先解決を担う Discovery Service は、Web ページにおける検索エンジン（Google 等）と同じ位置付けである。利用者が取得したい属性情報を DiscoveryService に入力すると、その属性情報を持つエンドポイント（URL）が返される。これは検索エンジンに、キーワードを入力して、対応する Web ページのエンドポイントが返されるのと同じである。

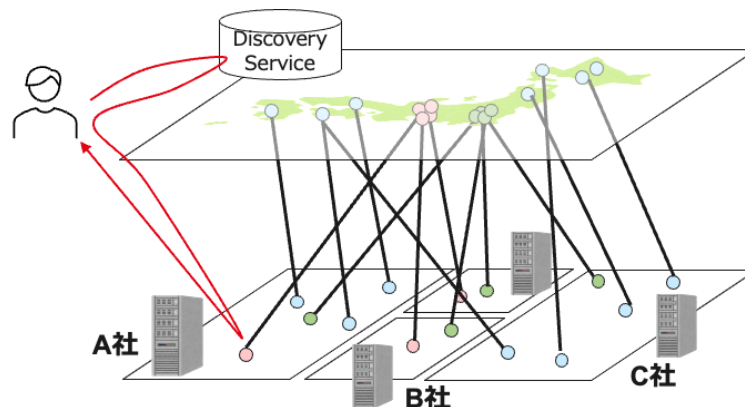


図 8 属性に基づく宛先解決を実現する DiscoveryService

なお、属性の一つとして、ドローン運航管理（UTM）やドローン航路では、地理属性が用いられる。例えば、DiscoveryService には、ドローン航路が設定された緯度・経度・高度に対して、そのドローン航路の詳細情報を取得するための URL（あるいは RDF）を格納する。

ドローン運航者が、例えば、秩父で運航する際には、秩父のドローン航路のエンドポイントを取得する必要があるが、この際に緯度・経度情報を DiscoveryService に入力することで、URL が取得される。その URL にアクセスすることで、航路の詳細情報の取得や予約などができる。また、秩父地域の一つのエンドポイントが見つければ、前述のリンク関係に基づくクローラによって、周囲の航路情報を全て収集することができる。

緯度・経度から航路情報を取得する際には、図 9 の表に示される情報を格納した DiscoveryService に問い合わせる。この時、空間情報については、多次元インデックスや複合インデックスを用いると良い。多次元インデックスとは、多

次元空間における近傍性を維持するように 1 次元（≒ID）に変換する技術である。複合インデックスとは、複数属性でソートする（≒1 次元化する）際に、交互に並べる方式である。多次元インデックスの利用は、使用する RDB がサポートする空間インデックスを用いる方法と、明に属性値を変換して、格納する方式がある。図 9 では、緯度・経度を cell_id として多次元インデックスで一次元化し、その後に高度と複合インデックスを設定する例を示している。この場合、ある地点（緯度・経度）の高度を 0 から max まで並べた後に、隣の地点の高度 0 から max までを並べるような 1 次元化が行われる。

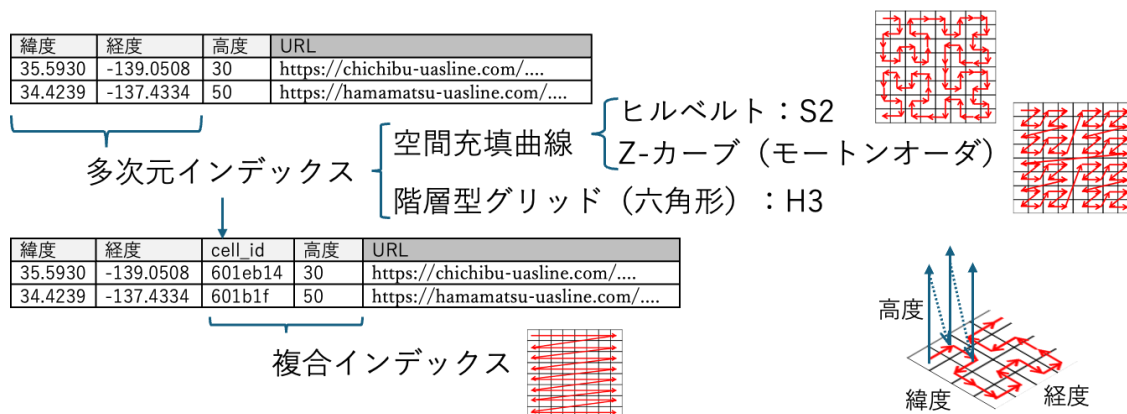


図 9 地理属性に関する DiscoveryService に格納される情報。多次元インデックスと複合インデックスの併用。多次元インデックスには、空間充填曲線に基づくものと、階層型グリッドに基づくものなどがある。

なお、地理に特化した多次元インデックスとして、ヒルベルト空間充填曲線に基づくものと階層型グリッドに基づくものがある。前者として Google が OSS 公開する S2 ライブラリがあり、後者として Uber が OSS 公開する H3 ライブラリなどがある。

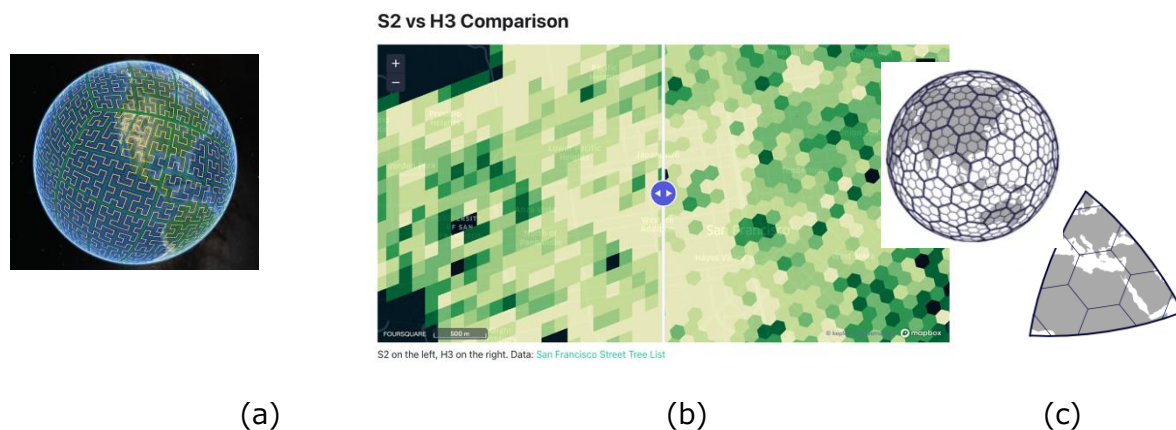


図 10 S2 ライブラリと H3 ライブラリの比較。

(a) H3 ライブラリ（出典：Google Open Source Blog [3]），(b)（出典：Uber Technologies, Inc. [4]），(c) H3 ライブラリ（出典：Uber Engineering Blog [5]）

以上のように、DiscoveryService の中でインデックス技術を用いることで、膨大なデータからでも効率的なデータアクセスが可能とする。そして、得られる宛先にアクセスすることで、詳細情報が得られるように、航路の ID 体系としては、ドメイン名に相当する事業者 ID を含める必要がある。

6 まとめ

複数の航路運営者のドローン航路が相互に接続することを想定し、航路を利用する際に指定する航路の識別子（ID）の体系について検討した。ID 体系の要件を 2 つ挙げ、第一の要件として、事業者 ID を含むことを挙げた。この要件は、ドローン航路システムが Web 上で構築されることに由来する要件である。航路運営者の事業者 ID を Web 上のドメイン名と対応させることで、Web 上でシームレスにアクセス可能となる。この仕様は、セマンティック Web 技術や GS1（物流・流通領域のコードに関する国際標準）の要件と整合する。第二の要件は、飛行空間情報の利用者視点での可読性である。航路は、有人機運航者等が利用する飛行空間に整備されるため、有人機運航者などが識別子を見て、把握できることが望ましい。本報告書執筆時点では、この 2 要件が明らかとなった。今後は、追加要件の有無を確認しつつ、これらの要件を満たす ID 体系を、ウラノス・エコシステム関係者、飛行空間関係者と協調的に決定していく必要がある。

参考文献

- [1] ドローン航路 ConOps（運用概念）案、2024 年 11 月 6 日、
https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/digital_architecture/siryou3dronekouroconopsunnyougainenan.pdf
- [2] ウラノス・エコシステム・データスペースズ リファレンスアーキテクチャモデル ホワイトペーパー、2025 年 2 月 28 日、
<https://www.ipa.go.jp/digital/architecture/reports/ouranos-ecosystem-dataspaces-ram-white-paper.html>
- [3] <https://opensource.googleblog.com/2017/12/announcing-s2-library-geometry-on-sphere.html>
- [4] <https://www.uber.com/en-DE/blog/h3/>
- [5] <https://h3geo.org/docs/3.x/comparisons/s2>