

3次元空間情報基盤アーキテクチャ 中間報告書

2022年 5月

経済産業省／デジタルアーキテクチャ・デザインセンター（DADC）

報告書目次

1 本プロジェクトの検討背景 **P03**

2 本プロジェクトが目指すビジョン **P08**

3 ユースケースの検討 **P12**

4 空間の定義 **P23**

5 3次元空間情報基盤のアーキテクチャ検討 **P36**

6 3次元空間情報基盤のロードマップと今後の検討事項 **P41**

APPENDIX **P44**

1 本プロジェクトの検討背景

- 1-1 Society5.0の実現
- 1-2 自律移動ロボットプログラムの主なスケジュール
- 1-3 現状の課題認識
- 1-4 本プロジェクトにおける検討事項

1-1 Society5.0の実現

自動運転車やドローン、サービスロボットといった自律移動ロボットの活用にデジタル技術を援用することで、サイバー空間（仮想空間）とフィジカル空間（現実空間）の高度な融合を可能とし、**人間中心で社会的課題の解決と産業発展を同時に実現する将来ビジョンを描き、その実現に必要な取組を具体化する。**

社会的課題を解決しながら富を創出する取組を検討

自律移動ロボットとデジタルで



人間の作業を代替



社会的課題を解決しながら

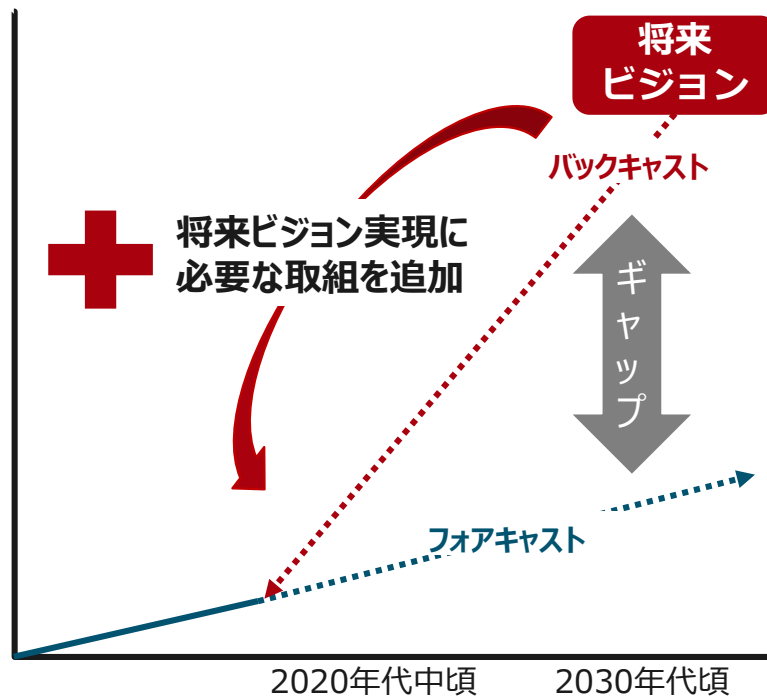
- ・ 富を創出
- ・ 人間の生活を豊かに

脱炭素の実現

少子高齢化の時代に対応

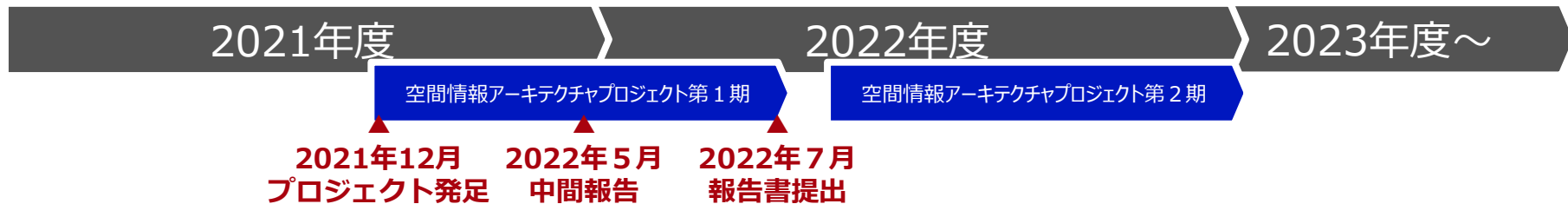
各個人が
最適な体験を享受

将来ビジョンからバックキャストして取組を検討



1-2 自律移動ロボットプログラムの主なスケジュール

- ステークホルダと議論を積み重ねながら、プロトタイプ開発、中長期的な実証、社会実装まで見据えたアーキテクチャ設計を進めていく。
- デジタル庁からのアーキテクチャの設計依頼に対しては、**2022年7月までに報告書を取り纏めて提出**し、その後は、社会実装に向けて、継続して検討を深めていく。（本プロジェクトは自律移動ロボットプログラムの一部）



アーキテクチャ設計

- 1 ビジョン実現に必要な機能を具体化
- 2 協調領域と競争領域に機能を分類
- 3 機能の担い手や関係性をデザイン

社会実装

- 4 必要な環境整備に関する取組を具体化
- 5 各担い手が自らの役割を遂行

1-3 現状の課題認識

空間情報の管理と空間定義に関する統一的な基準、システム・データを繋ぐ汎用的な連携基盤が存在しないことが現状の課題と認識。

現状の課題 (As is)

空間情報の管理基準

- 空間情報が異なる仕様・規格で分散的に整備・管理されており、一元的な検索や収集・重ね合わせが困難
- 空間情報には、識別可能なメタ情報を有さず、流通を考慮した軽量化がされていないものが少なくない（機械やAIによる高速処理が困難）

空間の統一定義

- 空間を水平・鉛直方向で一意に定義する共通規格がない
- 業界によって異なる座標系や高さ基準を用いており、相互変換に用いる共通的な物差しが必要

データ連携基盤

- 仕様の異なるシステム・データを相互に繋ぐ汎用的な連携基盤がないため、連携労力が大きく、データ提供者とアプリ開発者やユーザーが業界・地域横断で繋がらない

結果として、貴重なデータやアプリケーション開発が一部のプラットフォームが提供する基盤に偏重している状態

1-4 本プロジェクトにおける検討事項

現状の課題を踏まえ、本プロジェクトでは以下①～④のテーマを検討。なお、プロジェクト第1期では、テーマ①～③を中心に検討。

空間定義に関する共通規格の整備

①空間を一意に特定可能な規格

- 高さ方向を含む3次元の空間定義
- 異なる分解能に対する要求への対応方法
- 地下、地上、空中に対して地域横断・シームレスな適用可能性

②空間に情報を記述する統一的な規格

- データの属性を簡易にメタデータとして空間に紐付け可能な方法
- 静的な位置や属性情報に加え、時間の概念を有する動的情報への対応
- 機械による可読性

データ連携基盤の構築

③最適なシステムアーキテクチャの検討

- 基盤システムに対する要求機能の抽出
- 要求機能に基づく、システム構成の検討
- 領域別基盤システムと、共通基盤システムの機能分担検討

④基盤システムの開発・利用普及

- 共通機能のモジュール化、OSS化等による基盤システムの開発促進方法
- 既存のシステムやデータフォーマットとの互換性確保による基盤システム利用の普及方法
- インセンティブ・エンフォースメントや標準化、事業モデルを含めた普及方法
- サーバー構成も含めた、効率的なデータ処理の在り方

2 本プロジェクトが目指すビジョン

- 2-1 3次元空間情報基盤により実現するビジョン・世界
- 2-2 空間IDと3次元空間情報基盤の役割
- 2-3 3次元空間情報基盤の整備の概要

2-1 3次元空間情報基盤により実現するビジョン・世界

空間IDと、3次元空間情報基盤の実装・普及が、前述の課題解決を通じ、Society5.0が目指す世界の実現に寄与すると考える。

Society5.0において分野横断で目指す世界※

社会、消費者、
事業者の課題解
決と便益向上

- ・ ニーズを叶える提供価値を大きく増やしなが
ら、フィジカルでのコストを劇的に減らす

企業の壁を越えた
エコシステム
全体の成長

- ・ 取引や提供機能の情報規格を統一するな
どして各機能をモジュール化する

最適なフィジカルの
動きをサイバー上
で実現

- ・ インターネットのような仮想的な統合デー
タスペースで、フィジカル情報を共通の情報規格
(ID・属性等)に統一
- ・ データの入出力・参照を通じて実世界の取
引や行為を制御するデジタルインフラの整備

3次元空間情報基盤により実現する事項

- ・ 空間情報を機械が判読可能な形式で軽量かつ
安価に提供することで、自律移動モビリティの安
全・効率的な運行を支援
- ・ 協調領域は領域横断で機能をモジュール化・
OSS化し、アプリケーション・サービスの開発が簡易
化される
- ・ データ流通を加速させるシームレスなデータ連携の
共通基盤が構築され、既存のシステムや規格とも
互換性と拡張性を有している
- ・ 様々な空間情報が空間IDを共通インデックスとし
て連携し、現実世界の様々なアプリケーションで活
用されることによるバーチャルとフィジカルの融合が
促進

2-2 空間IDと3次元空間情報基盤の役割

3次元空間上の
一意の識別子

- 人・機械が認識可能な3次元グリッドを整備し、様々な地理空間情報やベースレジストリを仮想空間上に付与された一意の識別子（ID）と紐付け、相互に参照可能とする。

データの相互連携・流通
アプリケーションの創出

- 現状はドメイン別の固有ルールで管理されている静的・動的な情報を空間IDに紐付けることで、業界横断のデータ連携を促進。
- 一意の空間IDに紐付いた属性情報の登録・更新・検索を可能とすることで、空間情報のデジタル化やデータの流通、データを活用したアプリケーション創出を促進。

バーチャルとフィジカル
の融合の促進

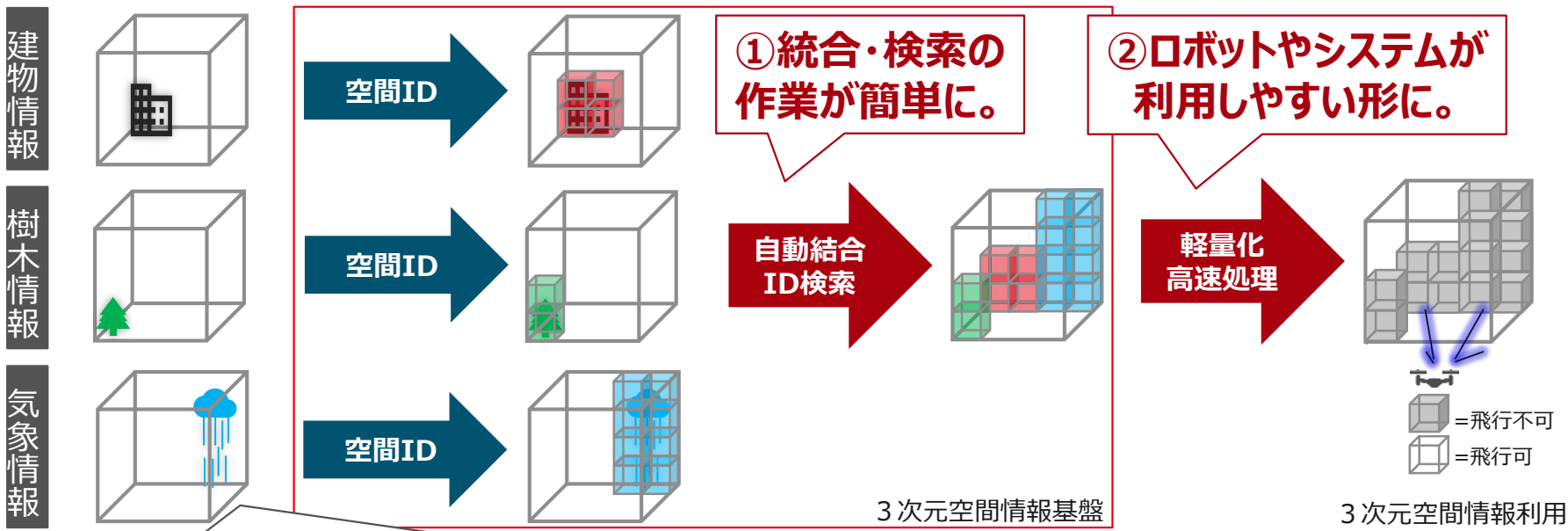
- 空間演算機能など、3次元空間情報基盤の機能により、空間情報を機械が判読可能な形式で軽量かつ安価に提供することで、自律移動モビリティの安全で効率的な運行を支援。

グローバル展開

- 整備・運用の仕組を標準モデルとしてグローバル展開することで、同基盤の上で活用されるシステムや機械、設備等も併せて輸出できるようにする。これにより、日本が強みをもつ機械・インフラと通信が融合した次世代デジタル競争におけるイニシアティブの獲得を企図。

2-3 3次元空間情報基盤の整備の概要

デジタル完結・自動化・全体最適化を実現し、自律移動ロボットの社会実装を進めるため、自律移動ロボット・システムが異なる種類の空間情報を簡易に統合・検索したり、軽量に高速処理できる仕組みとして、異なる基準に基づいた空間情報であっても一意に位置を特定できる3次元空間ID（点ではなく荒い区切りの箱状のグリッドで定義）を検索キー（インデックス）として導入し、鮮度の高い様々な空間情報（時間情報含む）を高速に自動的に結合できたり、簡単に検索できるようにする技術開発・標準化を行う必要がある。



※様々な空間情報について、政府・民間が最新情報に更新するための頻繁な検索・統合は負担が大きい。
また、人間が読む前提の空間情報は、情報量が多く、ロボット、システムによる高速処理が難しい。

3 ユースケースの検討

3-1 3次元空間情報基盤と空間IDの活用ユースケース

3-2 サンプルデータを用いた空間ボクセル活用の検証

3-3 ユースケースの具体化①：地図・GIS領域

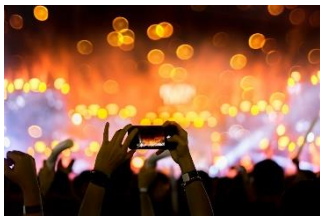
3-4 ユースケースの具体化②：地下埋設管理

3-5 ユースケースの具体化③：ドローン運行管理

3-1 3次元空間情報の活用ユースケース

- ・プロジェクト第1期では、地図・GIS、地下埋設管理、ドローン運行管理の3つの領域に絞り、サービスへのヒアリングを通じてユースケースのコンセプトを深掘するとともに、東大井のサンプルデータを用いた検証を実施。
- ・地上モビリティでの安全確保や、海上での活用、屋内空間との連携その他ユースケースによる価値創出も想定されるが、これらユースケースは、プロジェクト第2期で検討予定。

産業
用途



エンターテインメント



交通・物流



都市環境計画・管理

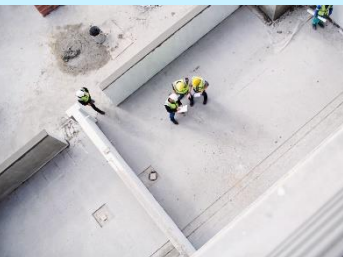


警備・監視

公共
用途



生活支援



建築・土木



教育



災害対策

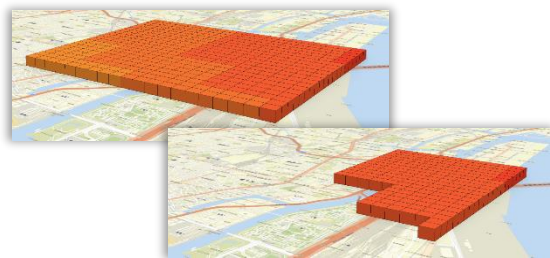
3-2 サンプルデータを用いた空間ボクセル活用の検証

- 東大井エリアに仮の空間ボクセルを作成し、各種データの属性情報の登録や可視化等について検証。
- 属性情報をボクセルに取り込んで可視化可能である見通しを得る同時に、ユースケースごとの検討事項を抽出。

気象データとの紐付け



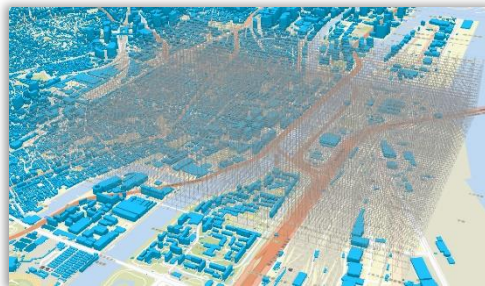
GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS



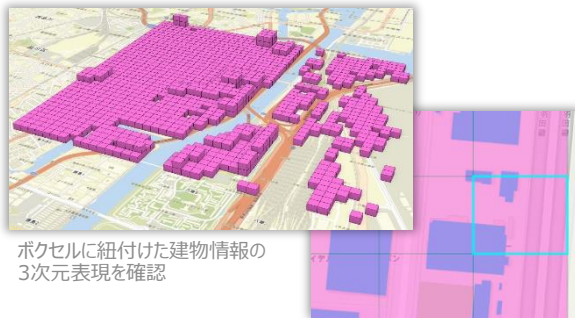
紐付けた風速の条件によるエリア抽出の実現性の確認

(風速 5m/s 以上のエリアの抽出)

建物データ (PLATEAU) との紐付け



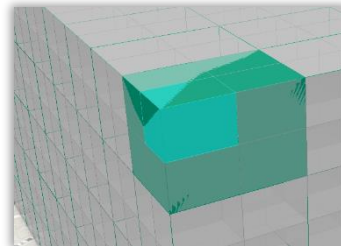
GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS



ボクセルに紐付けた建物情報の3次元表現を確認

複数の建物を含むボクセルへの紐付け方法の検討

IDによる親子ボクセルの特定



親ボクセルID

5339352900_400

子ボクセルID

533935290000_400

533935290000_450

533935290001_400

533935290001_450

533935290010_400

533935290010_450

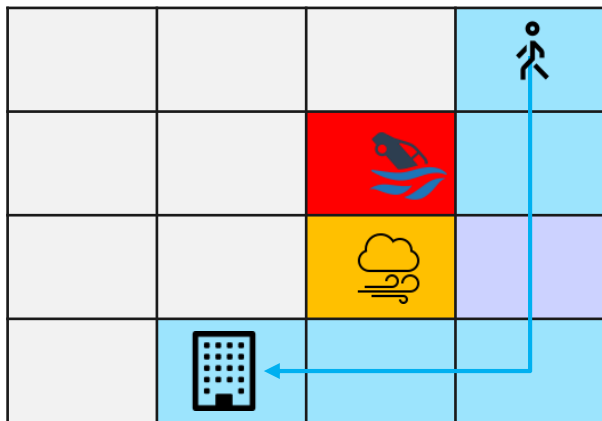
533935290011_400

533935290011_450

3-3 ユースケースの具体化①：地図・GIS領域

防災・減災のユースケースとして、分散した静的・動的な空間情報をボクセルに紐付け、分析・可視化が可能な基盤システムとサービスのコンセプトを、ルート検索やARサービサーへのヒアリングを通じて検討中。

ユースケース：災害時の避難ルート案内高度化



複数の災害情報を3次元空間上で演算した
避難ルート検索、BCPの検討

空間IDの活用・検討事項

空間IDの活用

- 建物の高さ・階層情報など、属性情報を空間ボクセルへ紐付け
- IDによるルート検索により、（座標検索に対して）計算処理の高速化
- 災害時の気象や、危険情報など動的情報を反映
- ARによる可視化

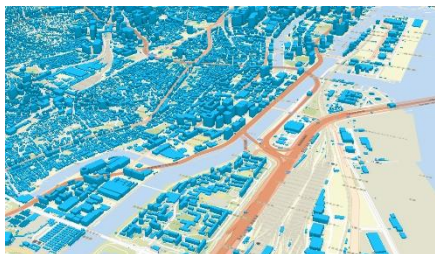
検討事項

- 保持するデータの選別（元データが多くの情報を保持している場合）
- ボクセルに複数の建物が重なる場合の属性付与
- 風速、浸水高など連続的なデータの保持方法（平均化、最大値など統計化）
- データ提供者側で固有IDを付保している場合の連携方法

3-3 地図・GIS領域：サンプルデータによる検証例

3D都市モデル(PLATEAU)のデータを空間ボクセルと重ね合わせて属性情報をボクセルに付与し、防災情報を可視化。

3D都市モデル
(Project PLATEAU)



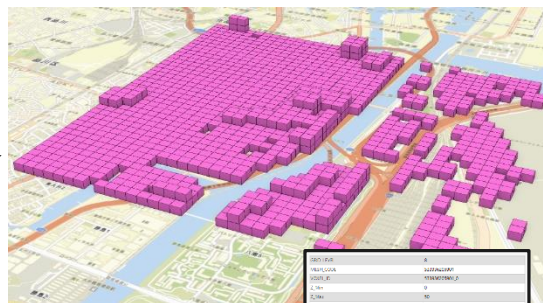
GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

ボクセル
(50m×50m×50m)



GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

建物データの属性情報 (防火地域、
浸水深など) をボクセルに付与



GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

属性情報 (浸水深) でボクセルを
可視化



GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

住所	0
郵便番号	15000000
都道府県	東京都
市区町村	港区
丁目	1
番地	10
建物高	10.0
防火地域	防火地域
浸水深	0.5
建物種別	商業
用途	商業
用途区分	商業
用途区分2	商業
用途区分3	商業
用途区分4	商業
用途区分5	商業
用途区分6	商業
用途区分7	商業
用途区分8	商業
用途区分9	商業
用途区分10	商業
用途区分11	商業
用途区分12	商業
用途区分13	商業
用途区分14	商業
用途区分15	商業
用途区分16	商業
用途区分17	商業
用途区分18	商業
用途区分19	商業
用途区分20	商業
用途区分21	商業
用途区分22	商業
用途区分23	商業
用途区分24	商業
用途区分25	商業
用途区分26	商業
用途区分27	商業
用途区分28	商業
用途区分29	商業
用途区分30	商業
用途区分31	商業
用途区分32	商業
用途区分33	商業
用途区分34	商業
用途区分35	商業
用途区分36	商業
用途区分37	商業
用途区分38	商業
用途区分39	商業
用途区分40	商業
用途区分41	商業
用途区分42	商業
用途区分43	商業
用途区分44	商業
用途区分45	商業
用途区分46	商業
用途区分47	商業
用途区分48	商業
用途区分49	商業
用途区分50	商業
用途区分51	商業
用途区分52	商業
用途区分53	商業
用途区分54	商業
用途区分55	商業
用途区分56	商業
用途区分57	商業
用途区分58	商業
用途区分59	商業
用途区分60	商業
用途区分61	商業
用途区分62	商業
用途区分63	商業
用途区分64	商業
用途区分65	商業
用途区分66	商業
用途区分67	商業
用途区分68	商業
用途区分69	商業
用途区分70	商業
用途区分71	商業
用途区分72	商業
用途区分73	商業
用途区分74	商業
用途区分75	商業
用途区分76	商業
用途区分77	商業
用途区分78	商業
用途区分79	商業
用途区分80	商業
用途区分81	商業
用途区分82	商業
用途区分83	商業
用途区分84	商業
用途区分85	商業
用途区分86	商業
用途区分87	商業
用途区分88	商業
用途区分89	商業
用途区分90	商業
用途区分91	商業
用途区分92	商業
用途区分93	商業
用途区分94	商業
用途区分95	商業
用途区分96	商業
用途区分97	商業
用途区分98	商業
用途区分99	商業
用途区分100	商業

3-4 ユースケースの具体化②：地下埋設管理

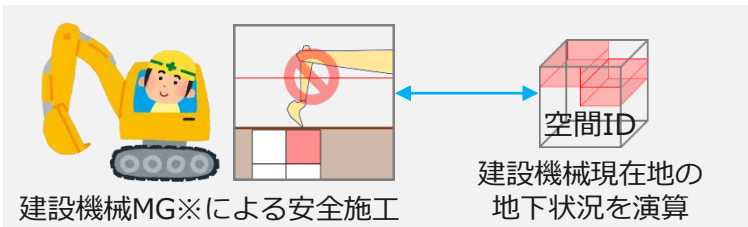
地下埋設物が埋設されている地下空間を空間IDにより管理する。地下工事において、埋設物の照会漏れを防ぐとともに、掘削工事時の事故を削減するユースケースを検討中。

ユースケース：地下埋設物照会



工事範囲に対して、地下埋設物属性が付与された3次元空間で演算し、埋設物の影響有無について自動判定を実施

ユースケース：地下工事における建設機械MG※



建設機械の現在地に対して、地下埋設物属性が付与された3次元空間で演算し、MG※で安全施工を指示

空間IDの活用・検討事項

空間IDの活用

- 地下埋設物の所有者、管径、管種、延長などの属性情報を空間IDに紐づける
- 埋設物照会時に、あらかじめ指定した工事範囲と空間IDを演算し、埋設物の有無を判定
- 埋設物照会時に、あらかじめ指定した工事範囲に含まれる空間IDを3次元表示
- 建設機械MGにおいて、建機の現在位置を基に空間IDを検索し、ブレードの下に埋設物が存在するかを表示

検討事項

- 空間IDに紐づける地下埋設物の属性情報の検討
- 紐づける空間IDのボクセルサイズ
- 紐づける空間IDの表現力およびデータサイズによるパフォーマンス

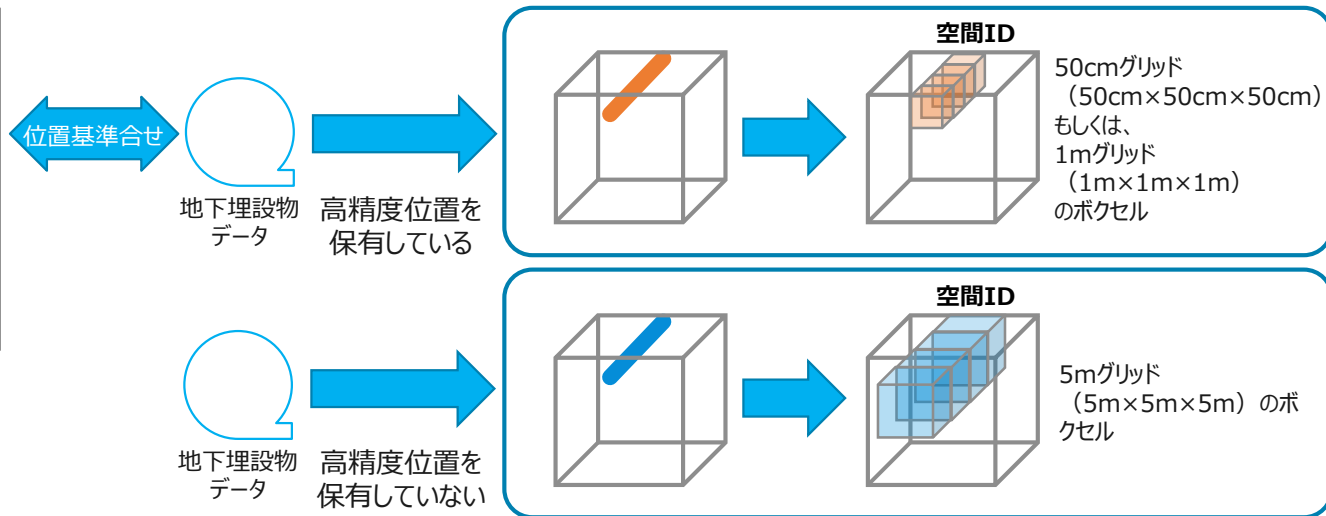
※MG：マシンガイダンス（建設機械操作時に作業注意情報オペレータに伝える機能）

3-4 地下埋設管理：地下埋設物における空間IDのボクセルサイズ

空間IDのボクセルのサイズは、地下埋設物の位置精度に連動して可変とする（位置精度が低い場合は、ボクセルサイズを大きくし、高い場合はサイズを小さくすることで、設備維持管理業務の効率化を目指す）。

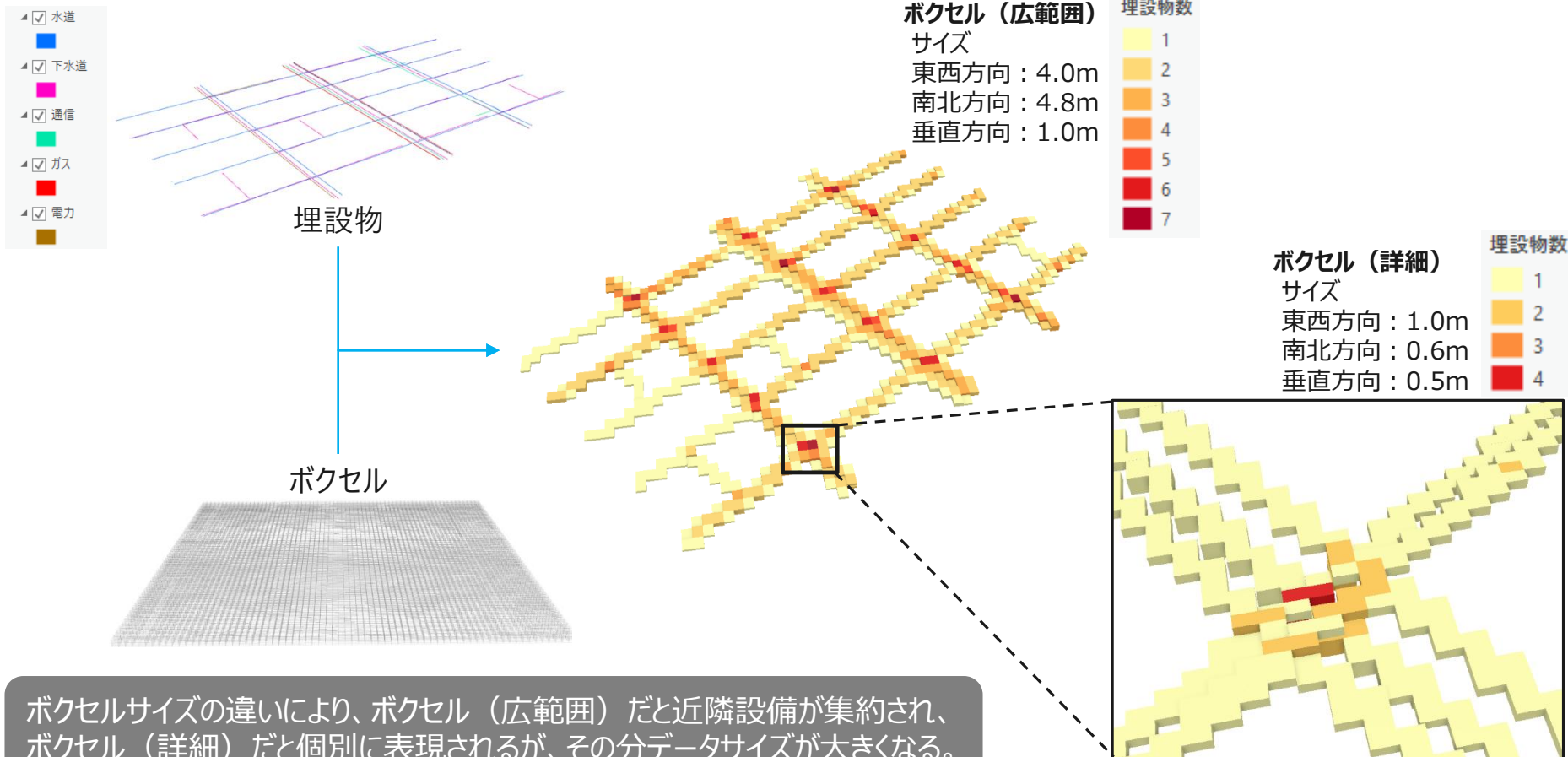


NTTインフラネット高精度3D骨格情報
マンホール/道路境界情報
地図情報レベル500位置基準



位置精度が低い場合は、高精度な位置基準情報（道路境界やマンホール）を用いて位置精度を担保する。

3-4 地下埋設管理：地下埋設物のボクセル化による表現力とデータサイズ



3-5 ユースケースの具体化③：ドローン運行管理

空間IDを活用した多様なデータ間連携による効率的な飛行計画の策定、および飛行時の動的な情報連携などユースケースの実証コンセプトを、ドローン運行事業者へのヒアリングを通じて検討中。

ユースケース

拠点間移動等



- 災害対応
- 医薬品輸送
- 定点観測

等

インフラ点検等



- 鉄塔/送電線等の点検
- 橋梁の点検

等

空間IDの活用・検討事項

空間IDの活用

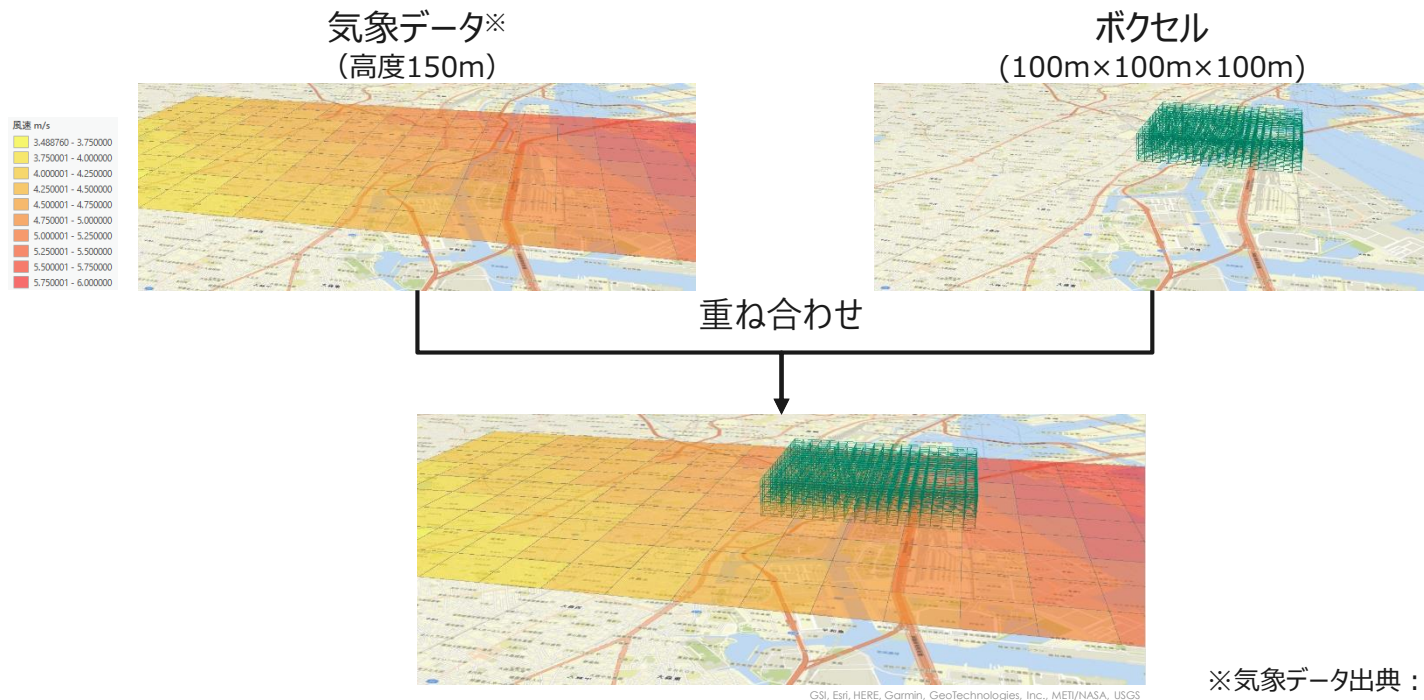
- 効率的な航路計画の策定（座標検索より高速）
- 動的情報の連携
- 衝突回避用リスク情報との連携（地上・エアリスク）
- UTM間連携
- データ整備の重複・工数削減

検討事項

- 扱う空間情報の範囲（情報の性質 x 時間軸）
- 扱う空間情報の信頼性
- ユースケースが求める水平方向と垂直方向のデータ粒度の相違に関する取扱

3-5 ドローン運航用途における東大井トライアル：動的情報の演算・付与

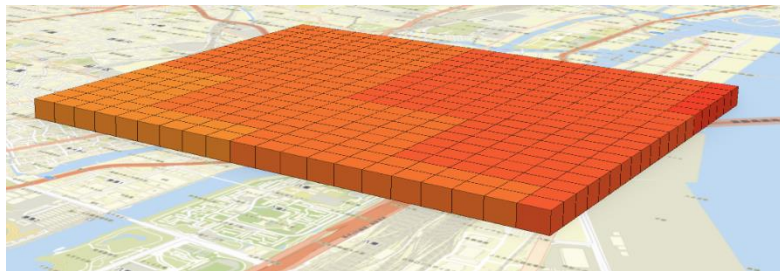
- ・気象データをサンプルのボクセルと重ね合わせて空間演算をし、ボクセルへの属性付与を確認。
- ・気象データの取扱い方法（ボクセルに付与する情報の範囲、実績と予報の時間経過の扱い、等）は今後検討。



※気象データ出典：株式会社ウェザーニューズ

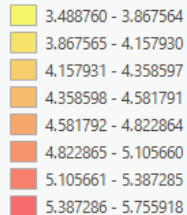
3-5 <参考> 東大井トライアル：属性情報（風速）による表現・条件検索例

付与された属性情報による色分け表示



GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

風速



ポップアップ

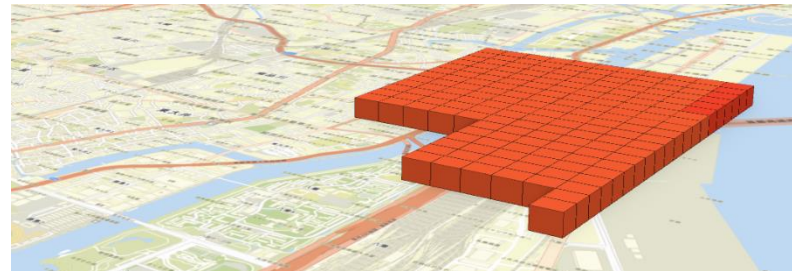
MESH100_Z_100_200 (1)

MESH100_Z_100_200 - 990

OBJECTID_1	210
OBJECTID	990
MESHCODE	5339362009
VOXEL_ID	5339362009_100
Z_Min	100
UGRD	4.410567
VGRD	-2.571899
wind_speed	5.10566
wind_dir_m	120
wind_dir_360	330

139.7618781°E 35.6004167°N

条件検索によるボクセルの抽出



GSI, Esri, HERE, Garmin, GeoTechnologies, Inc., METI/NASA, USGS

風速(m/s) が5 以上のボクセル

4 空間の定義

- 4-1 空間ボクセルの構造に関する意見集約
- 4-2 水平方向の分割方法に関する検討状況
- 4-3 高さ方向の基準面に関する検討状況
- 4-4 高さ方向の分割方法とID形式に関する検討状況
- 4-5 空間ボクセルサイズの比較・評価
- 4-6 その他空間定義における要検討事項

4-1 空間ボクセルの構造に関する意見集約

サービサーや実証実験対象分野（ドローン、地下埋設物、GIS）から空間ボクセルに関する意見を集約。

【コンセプト】

- 3次元空間を空間ボクセルによって分割し、一意のID（空間ID）によって識別する仕組みを実現することが望ましい
- 空間ボクセルに地物/事象を紐付け、その空間に何が存在するかを把握するインデックスとして使用する仕組みが望ましい

【重視する点】

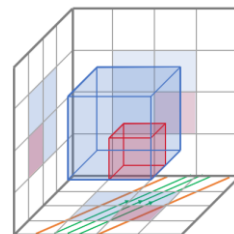
- 標準化/国外/多様なユースケースへの展開を視野に入れ、開発者が使いやすく普及しやすい構造が望ましい
⇒ 国内外においてすでに実績のあるグリッドシステムをベースにする

【開発/実装の観点におけるサービサーからのフィードバック】

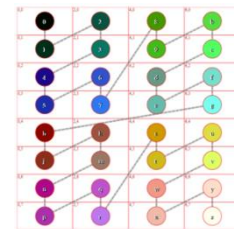
- CPU演算処理との親和性を鑑み、モートンオーダー等、隣接する空間IDを少ない演算で算出可能な仕組みが望ましい
- 3次元方向への実装の技術的な難易度を考慮し、ボクセルの形状は立方体を基本として、実証を通じて評価すべき
- 空間ボクセルの生成やIDの付与において既存のアルゴリズム/ライブラリが活用可能な仕組みが望ましい

【実証実験対象（ドローン、地下埋設物、GIS）分野での空間ボクセルに関するヒアリング】

検討項目	フィードバック
セルの形状	現在想定する用途では四角形の形状であれば課題はない
高さの基準	ボクセルの標高値などが取得可能であれば課題はない
体積の均一性	緯度経度による分割によって地域ごとにボクセルの体積が異なっても、情報のインデックスの用途としては課題はない
水平方向の分解能	現在の最小は地下埋設物ユースケースにおける0.5~1m四方のグリッド
高さ方向の分解能	最小単位で50cm程度が主要な要件になると考えられる



空間ボクセル（イメージ）

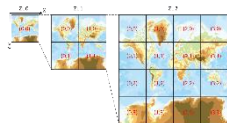


モートンオーダーの例

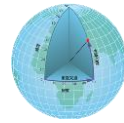
出典:<https://en.wikipedia.org/wiki/Geohash>

4-2 水平方向の分割方法に関する検討状況

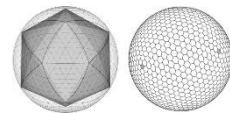
既存の2次元のグリッドシステムをベースとして空間を分割することを検討。
以下の比較項目における評価を踏まえて、XYZタイルを有力候補とし、Geohashも併せて検討中。



出典:
<https://maps.gsi.go.jp/development/sivo.u.html>



出典:
<https://www.esri.com/gis-guide/coordinate-and-spatial/coordinate-system/>



出典:
<https://docs.ogc.org/cs/20-040r3/20-040r3.html>

比較項目	投影平面の分割		緯度経度による分割		投影立方体の分割	
	XYZタイル	MGRS	Geohash	標準地域メッシュ	rHEALPix (DGGS)	GeoSOT-3D
分割方法 CPU演算に親和性の高い階層的な分割方法か	○ 4分割を繰り返す	× レベルにより分割方法が異なる	○ 32分割を繰り返す	× レベルにより分割方法が異なる	△ 各立方体面の9分割を繰り返す	○ 立方体の8分割を繰り返す
セルの形状 正方形に近い形状か	○ 正方形に近い形状	○ 正方形に近い形状	△ 長方形	○ 正方形に近い形状	○ 正方形に近い形状	○ 立方体に近い形状
オープン性 仕様やライブラリが広く公開されているか	○ Web地図の標準手法として認知されている	○ 世界標準として認知されている	○ パブリックドメインの仕様	○ 仕様はJIS規格化されている	△ 利用可能なライブラリ等が少ない	△ 利用可能なライブラリ等が少ない
対象範囲 全球を重複のないセルでカバーしているか	△ 極域の地域を除く(※1)	× 重複するセルが存在する	○ 全球を対象	△ 日本周辺を対象(※2)	○ 全球を対象	○ 全球を対象
国際的な認知度 国内外における事例商用S/W等への採用実績	○ Web地図の標準手法として広く実装されている	○ 防衛分野等で活用GIS製品等にも実装	○ GIS・DBMS製品等に広く実装されている	△ 国内では統計データ等に広く活用されている	△ 事例や機能として実装しているS/Wは少ない	△ 事例や機能として実装しているS/Wは少ない

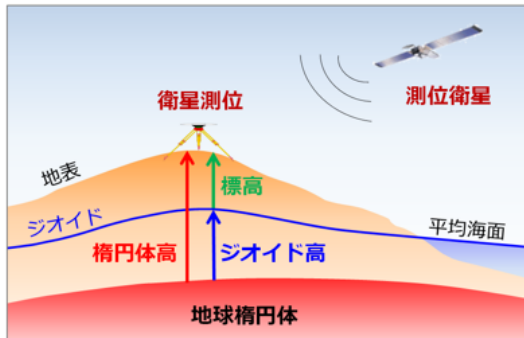
※1：北緯及び南緯約85.0511度以上を除く

※2：全世界に対象領域を拡張した世界メッシュが存在する

4-3 高さ方向の基準面に関する検討状況

高さの基準として標高を用いることが一般的であることから、空間ボクセルを配置する高さ方向の基準面としてジオイド面を有力な候補として検討中。

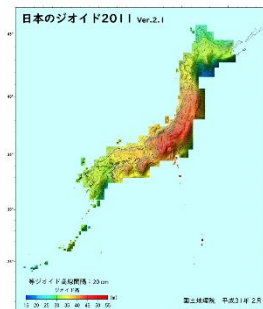
楕円体面とジオイド面



$$\text{標高} = \text{楕円体高} - \text{ジオイド高}$$

出典: https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo_geoid.html

日本のジオイド2011

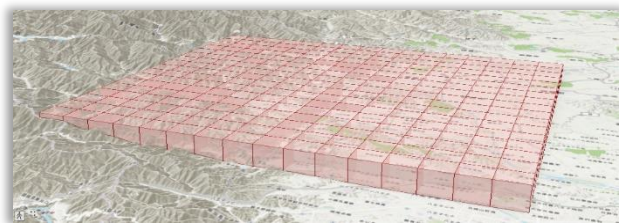


出典:
https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo_geoidseika.html

ジオイド面に配置した場合の検討事項

- 基準となるジオイド・モデルを定めるべきか（GISソフトウェアなどではEGM96等が良く用いられているが国内においてはより正確な日本のジオイド2011が存在する）
- システムごとに異なるジオイドモデルを採用した場合、IDの互換性を保つためには補正を行う必要がある
- 高さの基準として標高を用いることが一般的であり、標高の基準面であるジオイド面が空間ボクセルを配置する基準面として有力である

ボクセルの配置イメージ



楕円体面に配置した場合の検討事項

- 楕円体高とデータ整備などの高さの基準である標高をどのようにマッチングさせるか（ボクセルに属性情報として標高値を付与する等）

4-4 高さ方向の分割方法とID形式に関する検討状況

XYZタイルとGeohash それぞれをベースにした高さ方向の分割方法とID形式を検討中。

検討事項

<高さ方向の分割方法を考慮したID形式>

案 1 : XYZタイルをベースにしたID形式

案 2 : GeohashをベースにしたID形式

<高さ方向の分解能>

- 水平方向の分割レベル毎の高さ方向の分解能
- 水平方向と同様に高さ方向も包含関係を維持した構造

4-4 案 1 : XYZタイルをベースにした高さ方向の分割方法とID形式

水平方向はXYZタイルとし、高さ方向をほぼ立方体*となるよう拡張したZFXYで表現するID形式。

*高さ方向は今後の実証等を踏まえて最適化

z: ズームレベル、f: 高さ方向インデックス、x: 東西方向インデックス、y: 南北方向インデックス

インデックス計算式

$$x = \text{floor}(n * ((\text{lng} + 180) / 360))$$

$$y = \text{floor}(n * (1 - \log(\tan(\text{lat}) + (1 / \cos(\text{lat}))) / \text{PI}) / 2)$$

$$f = \text{floor}(n * h / H)$$

※ h = 標高 [m], n = 2^z, H = 2²⁵[m]

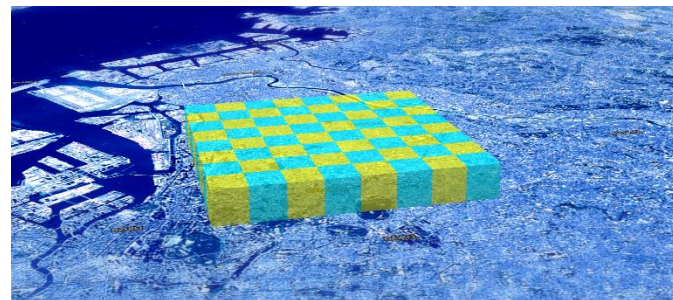
Web 地図標準の XYZ タイル番号の
計算に使用される計算式と同一

ID形式

{z}/{f}/{x}/{y}

例 : 16/13/57555/26008

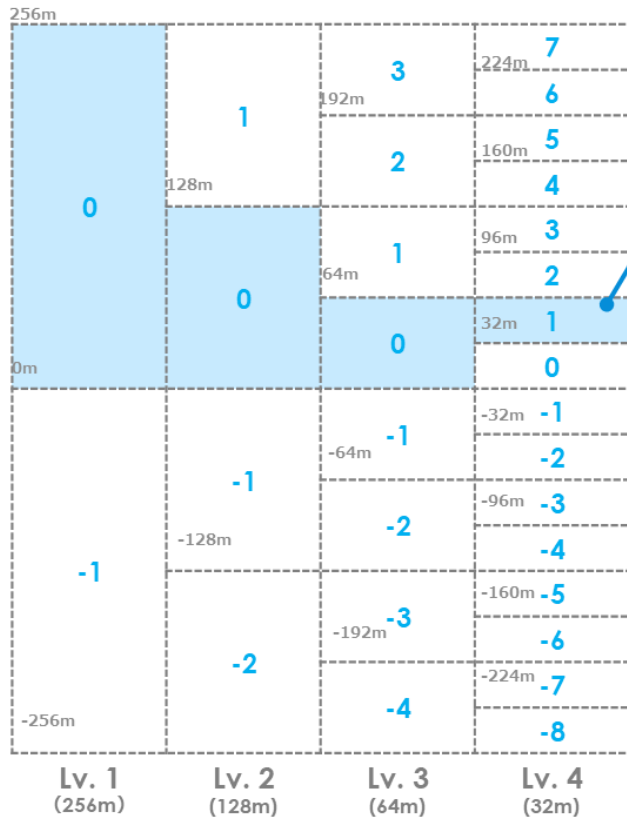
出典: 国土地理院提供



出典: <https://unvt.github.io/zfxy-ruby/>

4-4 案2 : Geohashをベースにした高さ方向の分割方法とID形式

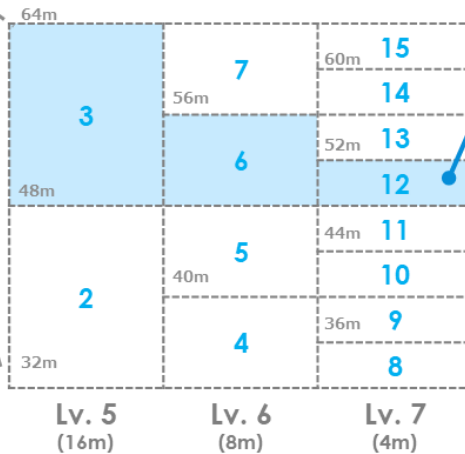
水平方向はGeohashとし、高さ方向を±256mから2分割を繰り返したした場合のID形式案。
 例：東京駅八重洲中央口上空 50m 地点を含む空間ボクセルのID (ID形式：GeohashのID+高度値)



精度レベル4で表現 : xn76+1
 (50 / 32 = 1)



出典: 電子国土Web地図



精度レベル7で表現 : xn76ux2+12
 (50/4 = 12)



出典: 電子国土Web地図

※地図上のIDの範囲はおおよその範囲

4-5 空間ボクセルサイズの比較・評価

トライアル用に各案に基づくサイズの空間ボクセルを作成し、評価していく。

案1：ZFGY (XYZタイルに高さ方向を付加したスキーマ)
(精度0の高さを2²⁵とした場合)

精度	緯度/南北方向 (単位: m) ※	経度/東西方向 (単位: m) ※	高さ方向 (単位: m)
0	40,075,016.6784 (約40,075km)	40,075,016.6784 (約40,075km)	33,554,432 (約33,554km)
1	20,037,508.3392 (約20,037km)	20,037,508.3392 (約20,037km)	16,777,216 (約16,777km)
・
15	1222.99	1222.99	1024
16	611.50	611.50	512
17	305.75	305.75	256
...
24	2.39	2.39	2
25	1.19	1.19	1
26	0.60	0.60	0.5

※Webメルカトル座標上の距離でありXYZタイルのセルが存在する場所によって異なります

案2：Geohash (+ 高さ方向)
(精度レベル10において高さ方向を50cmとした場合)

精度	緯度/南北方向 (単位: m) ※	経度/東西方向 (単位: m) ※	高さ方向 (単位: m)
1	4,989,600.00 (約4,989km)	4,050,000.00 (約4,050km)	256
2	623,700.00 (約623km)	1,012,500.00 (約1012km)	128
3	155,925.00 (約155km)	126,562.50 (約126km)	64
4	19,490.62 (約19km)	31,640.62 (約31km)	32
5	4,872.66	3,955.08	16
6	609.08	988.77	8
7	152.27	123.6	4
8	19.03	30.9	2
9	4.76	3.86	1
10	0.59	0.97	0.5

※概算であり実際のサイズはGeohashのセルが存在する場所によって異なります

4-6 その他空間定義における要検討事項

(1) 空間ボクセルへの地物/事象の紐付け方法

a. 地物/事象の情報をどのように紐付けるか

- ① データを紐付ける空間ボクセルの精度レベルの選択
- ② 地物/事象と空間ボクセルの紐付けパターン
- ③ 空間ボクセルの紐付けを行うテーブル構造
- ④ 複数の地物/事象と空間ボクセルの紐付け

b. 高さを持たない情報（人口統計等）をどのようにボクセルに紐付けるか

c. 空間ボクセルに紐付けた地物/事象の時間情報をどのように管理するか

d. 動的な地物/事象の情報をどのように管理するか

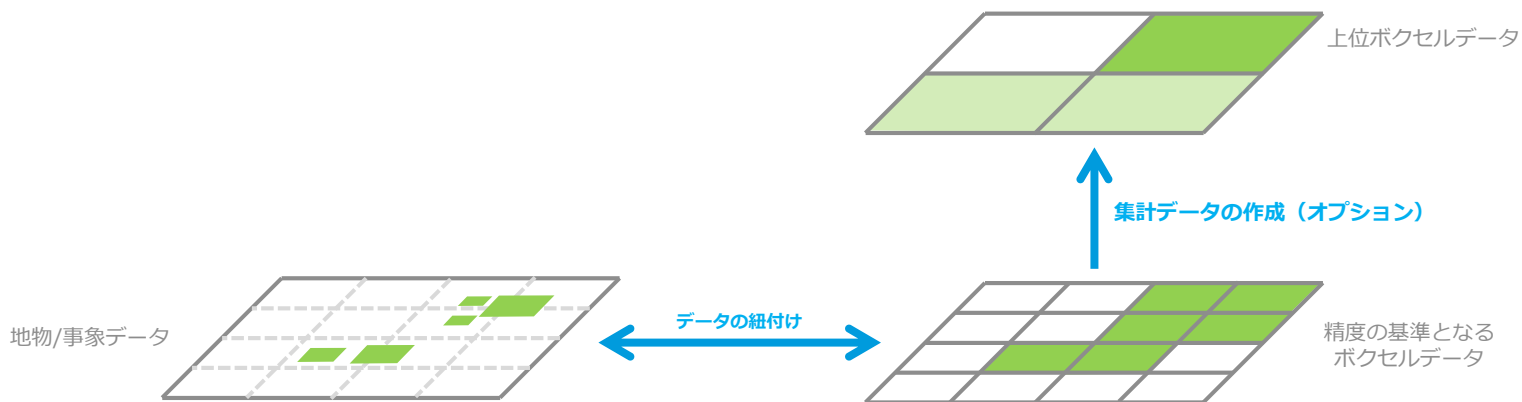
※a①～④については次項以降に検討例を記述

(2) 空間ボクセルの基盤情報

- 空間ボクセルに標高など基盤となる属性を紐付ける必要があるか
- 空間ボクセルと地物/事象の紐付けのペアに対してどのようなメタ情報を付与すべきか

4-6(1)a① データを紐付ける空間ボクセルの精度レベル 検討例

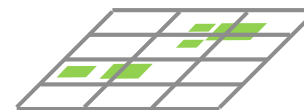
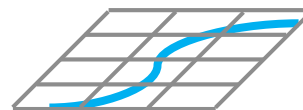
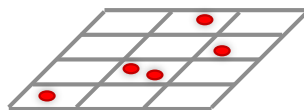
地物/事象のデータは、そのデータの精度の基準となるレベルのボクセルに対して紐付けを行う方法、およびボクセルに紐付けた値を集約した集計データ（オプション）を作成することを検討。



- 集計の方法（合計、平均、最大値、最小値等）は集計を行うデータの特徴によって任意に変更することを想定
- 集計データは複数の上位レベルのボクセルに再帰的に集計を繰り返して作成されるパターンも検討（画像データのピラミッドのような用途）
- 解析などの用途でボクセルのサイズを一致させるために下位のレベルのボクセルに紐付けたデータを付与するパターンも想定

4-6(1)a② 地物/事象と空間ボクセルの紐付けパターン 検討例

多対多の紐付け構造で地物/事象とボクセルの組み合わせパターンを網羅することを検討。

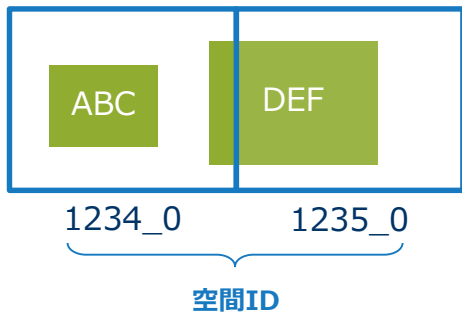


ボクセル : 地物/事象	1 : 1	1 : n	n : 1	n : m
例	ボクセルごとに集計された統計メッシュデータ	IOTセンサー情報のポイントデータ	河川のラインデータ	建物のポリゴンデータ
地物/事象へのIDの付与方法	地物/事象のレコードに空間IDを付与可能	地物/事象のレコードに空間IDを付与可能	空間IDと地物/事象の管理IDのリンクテーブルが必要	空間IDと地物/事象の管理IDのリンクテーブルが必要
ボクセルへの属性付与方法	地物/事象の属性データを付与可能	地物/事象の属性データを集計する必要がある	地物/事象の属性データを付与可能	地物/事象の属性データを集計する必要がある

4-6(1)a③ 空間ボクセルの紐付けを行うテーブル構造 検討例

※実際のテーブル構造は各ユースケースのシステム毎に異なると想定。

例: 建物データ



VOXEL_ID	VOXEL 基本情報(複数列)
1234_0	****
1235_0	****

ボクセル基本テーブル

(1:1)

(1:n)

VOXEL_ID	建物ID	<例: 面積> (複数列) *
1234_0	ABC	400
1234_0	DEF	250
1235_0	DEF	1500

ボクセル-地物/事象リンクテーブル

*オプション

(n:1)

建物ID	名称	建築年	***
ABC	〇〇ビル	1963	***
DEF	△△町タワー	2009	***

地物/事象テーブル (ソースデータ)

※元データとして別システムに格納されるケースもあり

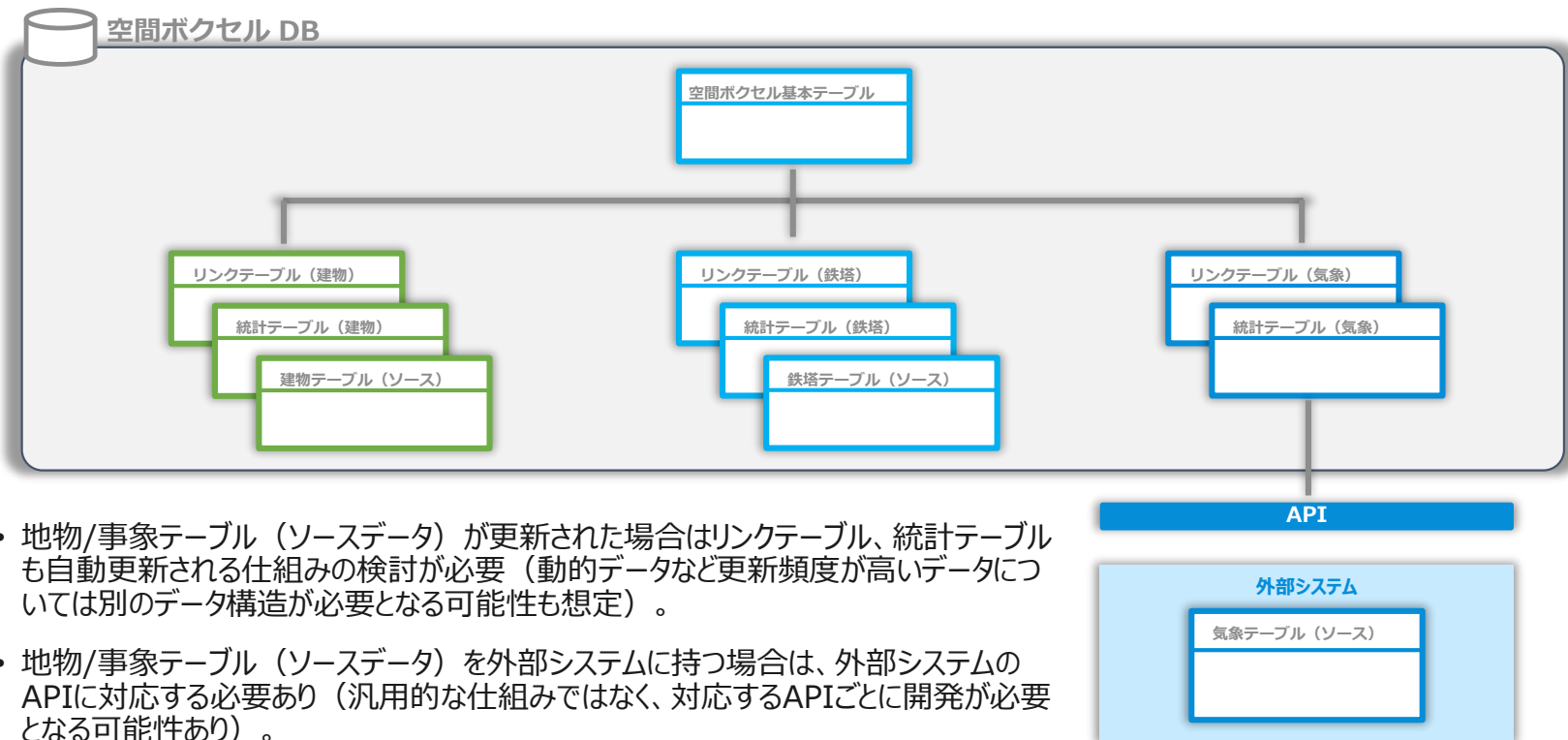
VOXEL_ID	個数	<面積>_合計	<面積>_平均	<面積>_最小	<面積>_最大
1234_0	2	650	325	250	400
1235_0	1	1500	1500	1500	1500
123_0	2	2150	716.7	250	1750

ボクセル統計テーブル (オプション)

*集計項目は任意

4-6(1)a④ 複数の地物/事象と空間ボクセルの紐付け 検討例

下記は領域別基盤システムのDB内の構造をイメージ。実際のテーブル構造は各ユースケースのシステム毎に異なると想定。



- 地物/事象テーブル（ソースデータ）が更新された場合はリンクテーブル、統計テーブルも自動更新される仕組みの検討が必要（動的データなど更新頻度が高いデータについては別のデータ構造が必要となる可能性も想定）。
- 地物/事象テーブル（ソースデータ）を外部システムに持つ場合は、外部システムのAPIに対応する必要あり（汎用的な仕組みではなく、対応するAPIごとに開発が必要となる可能性あり）。

5 3次元空間情報基盤のアーキテクチャ検討

5-1 アーキテクチャ：普及に向けたコンセプト

5-2 アーキテクチャ：要求機能とシステムへの割り当て

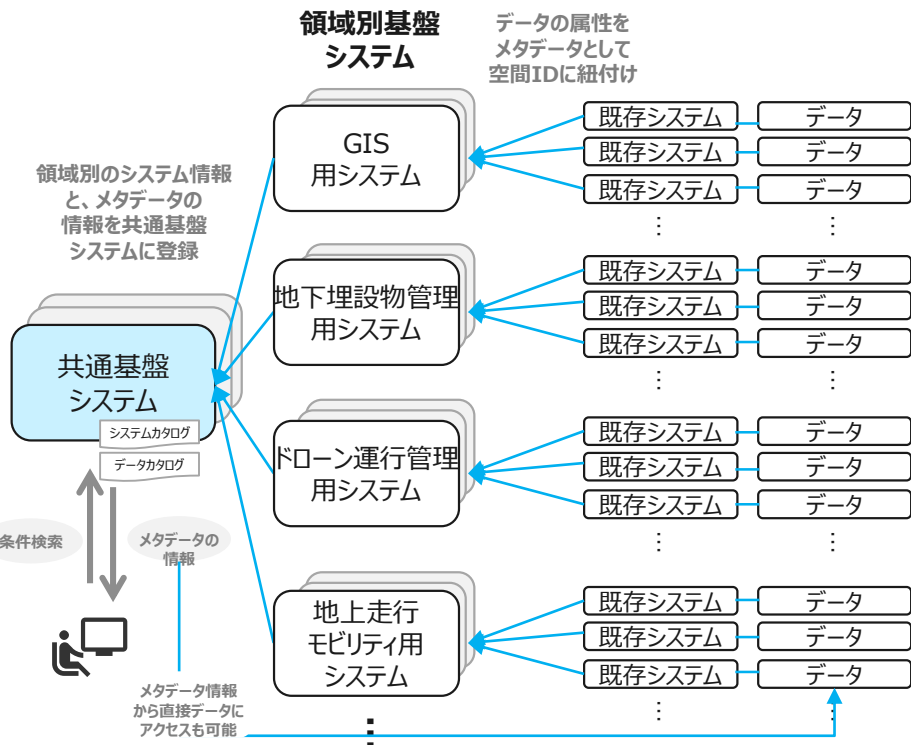
5-3 協調領域として整備する機能（案）

5-4 自律移動モビリティ（ドローン向け）基盤システム構成（例）

5-1 アーキテクチャ：普及に向けたコンセプト

空間ID・3次元空間情報基盤の活用・普及を促す要素として、分散型システム、既存システムとの互換性と、拡張性を重視したアーキテクチャを検討する。

空間IDを共通キーとして繋がる分散型システム



分散型システム

- 空間IDに紐付けられたデータの属性情報は、ドメイン別に管理・共有される分散型システム
- 空間IDを共通キーとしたドメイン間の情報連携を可能とする

既存システムとの互換性

- 汎用的GISアプリケーション、データフォーマットとの高い互換性（公開ライブラリにより、既存データの紐付けが可能）
- ID体系は、人・機械が認識でき、データ間連携が容易な構造

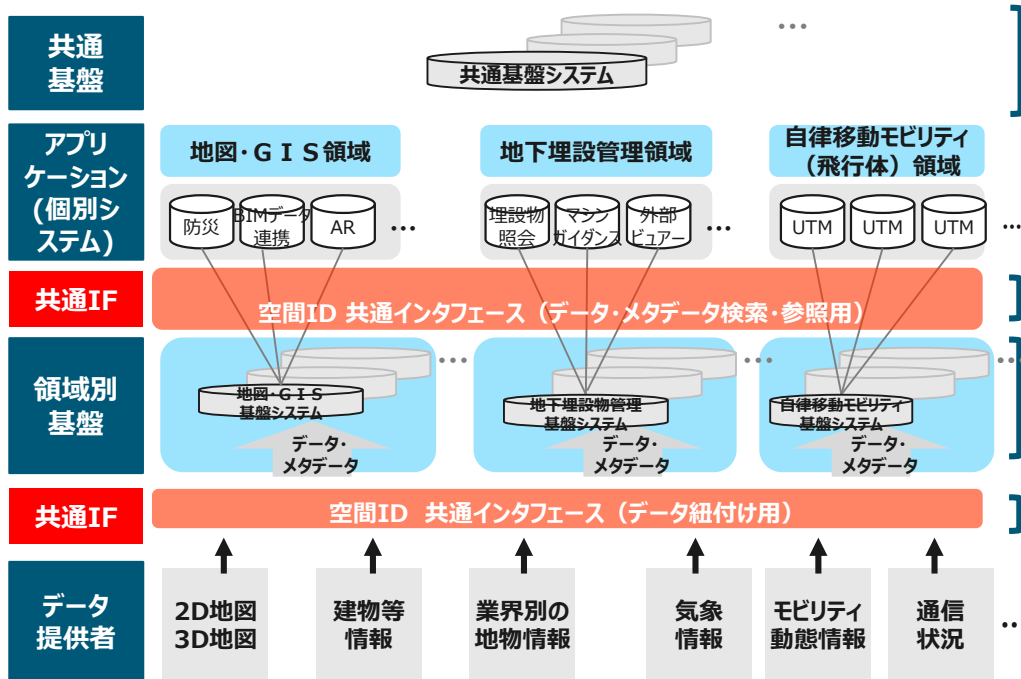
拡張性

- ID体系は一定の共通ルールのもと、カスタマイズ・拡張が可能（例：地物や図面等ドメイン特有情報をIDをキーに呼び出し）
- 当初のシステム機能は3次元グリッドと階層構造のID提供、基盤情報の保持等に限定し、ニーズに応じて機能拡張が可能

5-2 アーキテクチャ：要求機能とシステムへの割り当て

分散型アーキテクチャを念頭に、ユーザー、ステークホルダーへのヒアリングを通じて得た要求機能に基づき、領域別基盤システムと、共通基盤システムに対する機能配置を検討中。なお、自律・分散・協調的な仕組みが前提であり、領域毎に単一システムの集約的な設置を前提とはしない。

分散型の基盤システムアーキテクチャ



要求機能 (例)

共通基盤システム

- 分散したシステム・データの所在を共有する機能
- 普遍的な基盤データを保持する機能
- 領域別基盤システムの横断検索機能

システム間の共通IF

- 座標-空間ID間の変換機能
- ID変換機能 (包含関係変換)
- 下位階層情報の群処理機能
- 異なる座標系を変換・統一する機能

領域別基盤システム

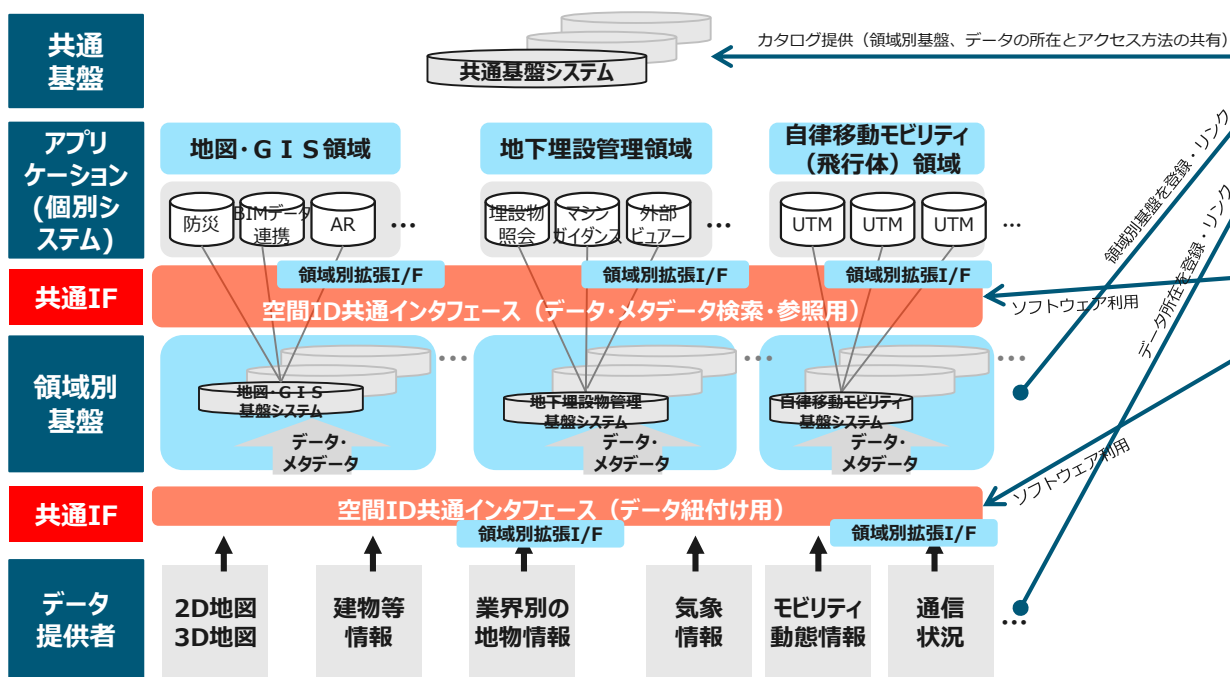
- 空間ボクセルの緯度・経度・高さ (標高・楕円体高) 情報を保持する機能
- ニーズに応じた粒度のボクセルサイズを提供する機能
- 空間情報の属性を登録・更新・削除される機能
- 機微な情報を抽象化し、属性情報として保持する機能
- データ種別にテーブル構造で属性を保持する機能
- 空間情報の時間情報を保持する機能
- アクセス権限を設定する機能

尚、技術・ニーズの変化に応じて適切なサービスが提供されるように、機能のモジュール化・組み合わせによるサービスの提供が必要と考えられる。

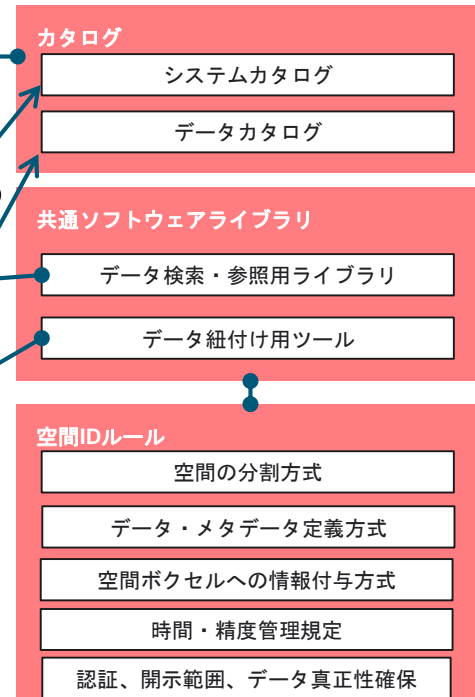
5-3 協調領域として整備する機能（案）

協調領域として、空間IDルール、共通ソフトウェアライブラリの設計・整備、および機能拡張のための仕様作成を協調領域として段階的に整備し、データ統合、物理基盤等は競争領域として領域別基盤を個別かつ自由に活用・構築を行う。また共通基盤の機能として、領域間毎の機能やデータの所在を共有可能なカタログは必須とし、また今後の実証結果により機能拡張を進める。

分散型の基盤システムアーキテクチャ



領域横断の協調領域の機能（案）



領域別の協調領域については実証等を踏まえて各領域で整理

5-4 自律移動モビリティ（ドローン向け）基盤システム構成（例）

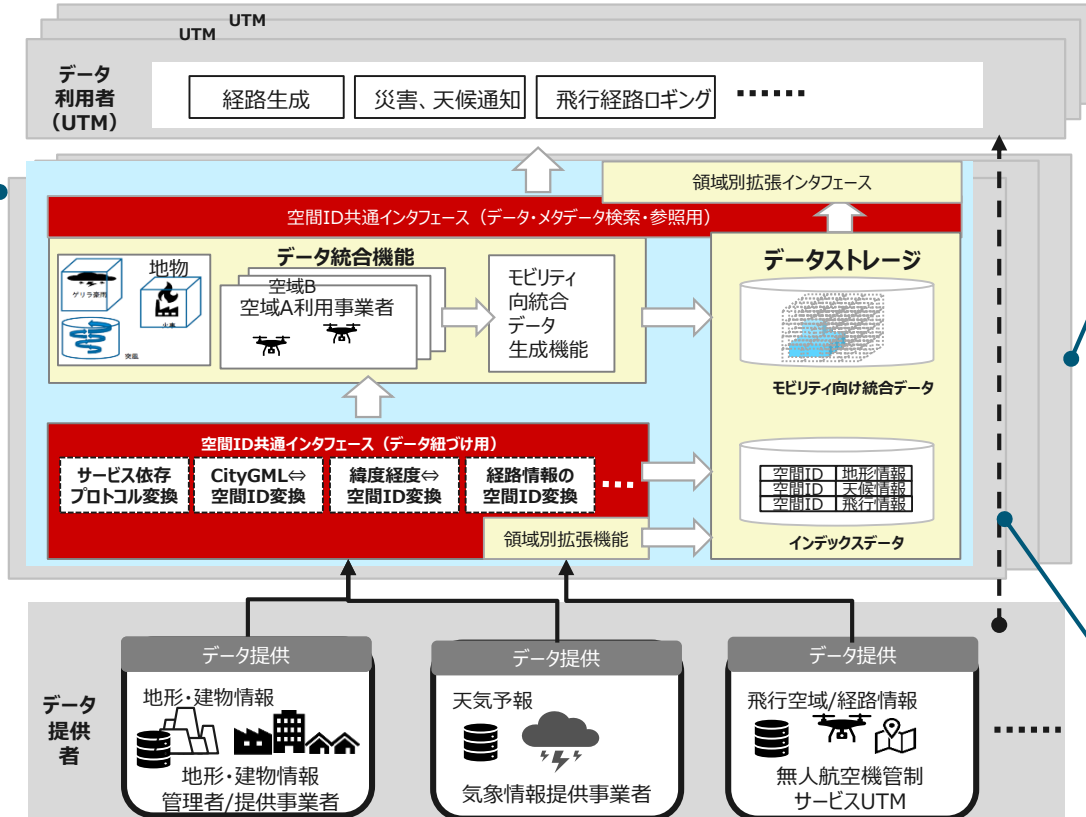
ドローン向け基盤システムについては、地形・建物等に関する静的データに加えて、気象や事業者による空域利用等の動的データについて、空間IDを共通インデックスとして、検索・統合して提供する機能を持つことを想定する。

基盤システムは協調・競争領域機能をモジュール化・組み合わせにより提供する想定

協調領域

競争領域

協調領域



基盤システムは自律・分散・協調的に、複数設置される想定

空間IDルール（例）

- 空間の分割方式
- データ・メタデータ定義方式
- 空間ボクセルへの情報付与方式
- 共通インタフェース定義
- 時間・精度管理規定
- 認証、開示範囲、データ真正性確保

凡例

領域横断機能の定義と実体

領域別空間情報基盤の想定範囲

将来的にはデータ提供者側システムで空間IDの共通仕様ライブラリを実装することで、データ提供者とデータ利用者が直接データ連携することも想定

6 3次元空間情報基盤のロードマップと今後の検討事項

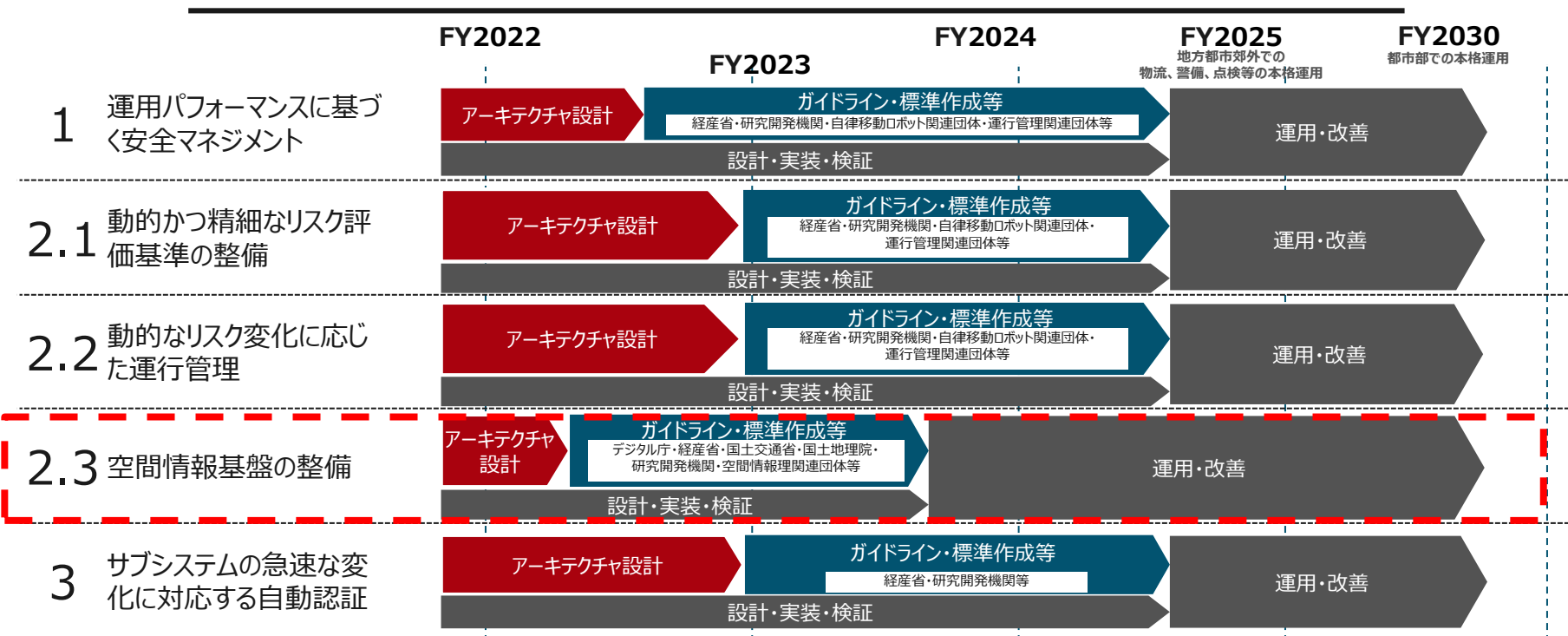
6-1 自律移動ロボットプログラム全体取組との連携

6-2 本プロジェクトにおける今後の取組

6-1 自律移動ロボットプログラム全体取組との連携

自律移動ロボットプログラムのロードマップに合わせて2022年度中にアーキテクチャの設計を完了させる予定。

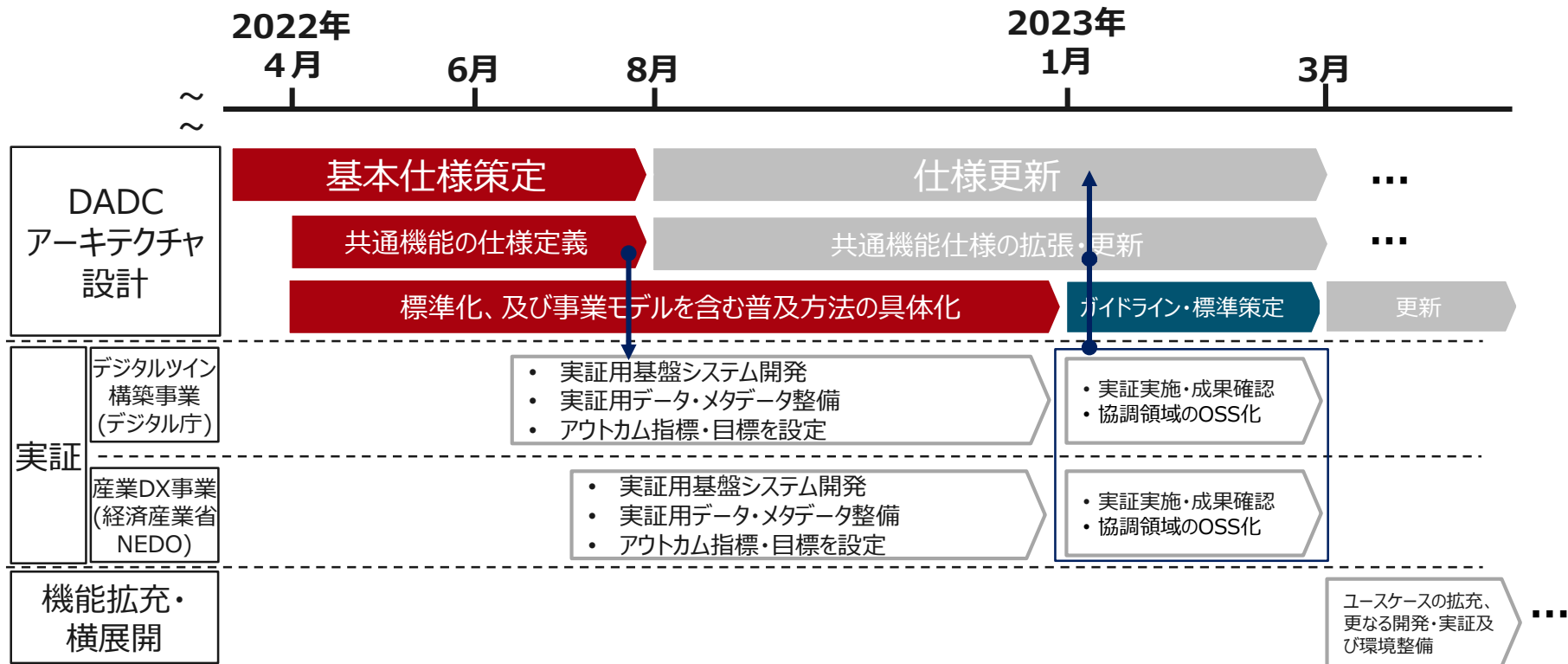
自律移動ロボットプログラムのロードマップ※



※第3回自律移動ロボット将来ビジョン検討会資料より引用

6-2 本プロジェクトにおける今後の取組

7月最終報告に向け、空間IDと3次元空間情報基盤の基本要件を策定。並行して共通機能の仕様定義を行い、6月以降計画されている実証用基盤システム開発へ接続する想定。





APPENDIX

APPENDIX : 3次元空間情報基盤の協調領域における検討項目①

3次元空間情報基盤の協調領域として、以下の項目について本プロジェクトでアーキテクチャの具体化を進めている。

空間IDルール

A1 空間の分割（3次元グリッド）方式

- A1.1 空間の水平方向の分割方式
- A1.2 空間の鉛直方向の分割方式
- A1.3 空間IDと座標（経度・緯度・高度）の紐付け方式

A2 データ・メタデータ定義方式

- A2.1 ソースデータ定義
(空間情報基盤でサポートするソースデータの種類と形式、および精度)
- A2.2 メタデータのデータモデル定義

A3 空間ボクセルへの情報付与方式

- A3.1 空間ボクセル属性のデータモデル定義

A4 時間・精度管理規定

- A4.1 時間概念の管理方法および空間ボクセルにおける表現方法
- A4.2 データの有効期限および更新に関する規定

A5 認証・開示範囲・データ真正性確保

- A5.1 利用者の登録および認証方式
- A5.2 データ開示範囲の設定基準
- A5.3 データ提供者（事業者・システム）の認定基準・認定方法

3次元空間情報基盤（機能）

B1 共通基盤システムが提供する機能

- B1.1 領域別基盤システムおよびデータ提供者の所在を登録・参照・更新・削除する機能（カタログ作成）
- B1.2 空間IDから該当する領域別基盤システムおよびデータ提供者の所在を検索する機能（カタログ検索）
- B1.3 空間情報のうち共通空間情報の登録・参照・更新・削除する機能（仮：必要性について検証要）

B2 領域別基盤システムが提供する機能

- B2.1 ニーズに応じて空間情報を加工・統合し、検索・参照する機能
- B2.2 領域別基盤システム・空間情報の安全性・信頼性を確保する機能

B3 空間ID共通インタフェース（データ・メタデータ検索・参照用）が提供する機能

- B3.1 アプリケーション・基盤間共通I/F（検索・参照用I/F）が提供する機能
- B3.2 領域別拡張インタフェース（データ・メタデータ検索・参照用）

B.4 空間ID共通インタフェース（データ紐付け用）が提供する機能

- B4.1 共通インタフェース（データ紐付け用）
- B4.2 領域別拡張インタフェース（データ紐付け用）

B5 データ提供者が保持可能な機能

(今後整理)

APPENDIX : 3次元空間情報基盤の協調領域における検討項目②

3次元空間情報基盤の協調領域として、以下の項目について本プロジェクトでアーキテクチャの具体化を進めている。

3次元空間情報基盤（データ）

C1 共通基盤システムが収容するデータ

- C1.1 領域基盤システム・空間情報の所在情報（カタログ）
 - C1.2 領域横断で保有すべきデータ・メタデータ（仮：B1.3の要否次第）
-

C2 領域別基盤システムが収容するデータ

- C2.1 データ（領域別システム内）
 - C2.2 メタデータ（領域別システム内）
-

C3 データ提供者が保持するデータ

- C3.1 静的なデータ
- C3.2 動的なデータ



経済産業省

Ministry of Economy, Trade and Industry



Digital Architecture
Design Center