

まちづくりのDXの推進に向けたユースケース開発実証業務 【ドローンの最適ルートシミュレータ開発等】

業務報告書

2023/07/31

株式会社A.L.I. Technologies



第一部：3D都市モデルを用いた地上のリスク解析に加え、上空の電波強度を考慮した最適なルート算出を行うシステム

第二部：3D都市モデルに最適化されたV-SLAMシステムの開発

目次

I. 事業概要

1. プロジェクトのビジョン

- ① 解決すべき社会課題
- ② 創出価値
- ③ 想定事業機会

2. プロジェクトのスコープ

- ① ユースケースの概要
- ② 実証仮説・検証ポイント

II. 実証計画

1. 実証概要

- ① 実証フロー
- ② システムにより実現する業務フロー（UX）

2. 検証概要

- ① KPI
- ② 検証方法

III. システム開発計画

1. システムアーキテクチャ全体図

2. システム機能一覧

3. 利用する技術要素

4. 利用する3D都市モデル

5. 利用するその他のデータ一覧

6. データ処理フロー及びI/F設計

7. ユーザーインターフェース

IV. 検討プロセスにおいて見出された制度的課題・技術的課題



I. 事業概要

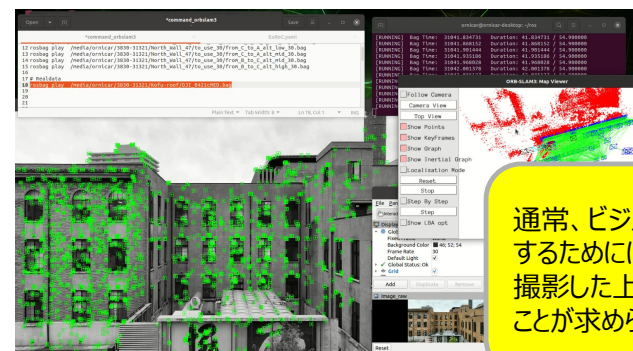
プロジェクトのビジョン | ①解決すべき社会課題

UTMを活用した安全なドローンの飛行のためには、LTEの電波強度の効率的な確認や、非GPS環境下での高精度な自己位置推定を効率的に行う仕組みの構築が課題。本ユースケースによって3D都市モデルを使った課題解決を目指す

本ユースケースが取り組むべき社会課題と本ユースケースの解決手法

社会課題のイメージ

項目	内容
解決すべき社会課題	<ul style="list-style-type: none"> ドローン業界では22年12月より有人地帯における目視外飛行の許可が開始、また、空が混み合う将来を想定してUTMによる航空管制が義務付けられる方向性 UTMを活用し、安全に飛行をするには、LTEの一定の電波強度が一定以上の空域を飛び、地上に飛行データ及び機体カメラの映像を確実に届けることや、GPSが入らない場所でもSLAM等で自己位置推定を正確に行えることが求められている 現状ではLTEの電波強度はフライト前に都度測定する必要がありマップ化・公開データ化はされておらず、上空電波強度を効率的・立体的に把握する手法が必要となっている 都市部でのV-SLAMによる自律飛行については、3D都市モデルをSLAMの事前地図として利用するシステムを開発し限定された環境でのドローンの自律飛行に成功したが、コンピューティング処理の負荷によるシステムの不安定化などの課題が明らかとなり、より効率的で汎用性の高いシステム開発が必要となっている
想定する解決手法	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルと上空LTE電波マップを活用した飛行ルートシミュレーターを開発することで、LTEの電波強度を事前に各社が測定することなく、グラウンドリスクと上空電波状況が考慮された安全飛行ルートを自動で算出することが可能となる。 3D都市モデルを事前地図とすることで、事前のデータ撮影無しにビジュアルSLAMの自己位置推定精度を上げることが可能になる。また、慣性カメラとの統合や、データ処理の並列化によりコンピューティング負荷の低減施策を講じる手法を講じることで、より効率的で汎用性の高いシステムを実現させる。



I. 事業概要

プロジェクトのビジョン | ②創出価値

多様な運航管理システムの技術検証ユースケースを通じて持続可能なUAV運航サービスを実現する

実現したい価値・目指す世界

イメージ

3D都市モデルと上空LTEマップを使用した最適ルートシミュレーターを活用することで、各社がLTEの電波強度を事前に測定する必要がなくなり、より効率的にグラウンドリスクと上空LTE電波状況が考慮された安全なドローン運航を実現することができる。

V-SLAMの開発では、3D都市モデルを活用することで、プレマップ用のデータ取得のための工数が削減されるだけでなく、精度の向上・汎用性の向上を実現することができる。この技術を活用することで、近い将来に一般化するであろうUTMをベースとした都市部での目視外飛行における運航管理をより安全にすることができる。

上記のような技術開発や運用手法の確立を全国で進め日本のエアモビリティ社会実装へ寄与していきたい。



「COSMOS」を使った運航管理センターイメージ

I. 事業概要

プロジェクトのビジョン | ③想定事業機会

ドローン管制システムのCOSMOSを起点とした自治体やドローンを利用・製造する民間事業者向けのビジネスモデル・マネタイズを想定

項目	内容
利用事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 自治体 • 物流事業者、点検事業者 • ドローン製造業者 • その他ドローンを活用する事業者
提供価値	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルに対応した安全で精度の高いドローンの運航 • COSMOSを介した遠隔からの運航状況や上空電波状況の把握、可視化 • 電波状況がいいエリアを飛行することで自己位置推定機能と合わせて常にドローンの位置を把握 • 各社ドローンへの組み込みおよび技術サポート
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none"> • オペレータ・機体の提供までを含めたドローン運航サービス(Drone as a Service) <ul style="list-style-type: none"> - 物流事業者等の業務の省力化につながるドローン運航サービスを提供する • 飛行ログ提供サービス <ul style="list-style-type: none"> - ドローンの墜落や事故の際に、第三者として状況に対する客観的な情報提供を行う

I. 事業概要

プロジェクトの Scope | 仕様書抜粋



- ① 3D都市モデルのデータを活用して二地点間を飛行する際の最適なルート及び離着陸地点のシミュレーションを行える機能。この機能には、3D都市モデルの属性情報を活用したグランドリスク及び上空の電波強度をパラメータとしたボクセル(空間ID等)を生成し、ボクセル間の経路選択によって最適ルートを算出する機能が含まれる。ボクセルのスケール(ズームレベル)は飛行スケールによって最適なものが自動的に選択される。
- ② 立体的な電波強度を実測データをもとに空間補完を行いボクセルのパラメータとして生成する機能。
- ③ ①及び②の結果をウェブGISを用いたビューアによって三次元的に可視化し、ドローンの運航計画を立案する機能。この機能には、オペレータがGUIを用いて発着地及び目的地を設定する機能、生成したルートをドローンに送信する機能、運行中のドローンを監視する機能が含まれる。
- ④ 3D都市モデル(LOD2-3建築物モデル)を仮想空間に配置し、仮想カメラによって取得した画像を点群マップ化した上で、ドローンから取得したLiDAR点群とのマッチングによってローカライズを行う機能。この機能の開発に当たっては、データ処理の並列化やセンシングシステムとの統合によるコンピューティング負荷の低減施策を講じる。

I. 事業概要

プロジェクトの Scope | 仕様書抜粋

仕様書 Scope	内容	計画書内での対応箇所
①	• 3D都市モデルのデータを活用して二地点間を飛行する際の最適なルート及び離着陸地点のシミュレーションを行える機能	計画書全体
	• 3D都市モデルの属性情報を活用したグランドリスク及び上空の電波強度をパラメータとしたボクセル(空間ID等)を生成	P24: システム機能一覧のNo.3, 4
	• ボクセル間の経路選択によって最適ルートを算出する機能	P24: システム機能一覧のNo.6 P26: システム機能一覧のNo.4
	• ボクセルのスケール(ズームレベル)は飛行スケールによって最適なものが自動的に選択される。	P24: システム機能一覧のNo.3
②	• 立体的な電波強度を実測データをもとに空間補完を行いボクセルのパラメータとして生成する機能。	P25: システム機能一覧のNo.3
③	• ①及び②の結果をウェブGISを用いたビューアによって三次元的に可視化	P23: システム機能一覧の機能No.2, 4, 5
	• ドローンの運航計画を立案する機能	P23: システム機能一覧の機能No.1
	• オペレータがGUIを用いて発着地及び目的地を設定する機能	P23: システム機能一覧の機能No.1
	• 生成したルートをドローンに送信する機能	P22: システムアーキテクチャ図内
	• 運行中のドローンを監視する機能	P23: システム機能一覧の機能No.6

I. 事業概要

プロジェクトのスコープ | ①ユースケースの概要



昨年度ユースケースの課題

- ドローンのレベル4飛行の解禁に伴い、有人地帯での目視外飛行が一般化していくことが予想される中、UTMを通してドローンから安定した情報伝達を行い安全な目視外飛行を行う必要性が高まっている。
- UTMを活用した有人地帯における目視外飛行を安全行うためには、LTEの一定の電波強度が一定以上の空域を飛ぶことで、地上に飛行データおよび機体カメラからの映像を確実に届けることが必要である。
- 一方で、各キャリアが発表しているLTEの電波強度データはあくまで推計値に過ぎず、実運用上は事前にLTEの電波強度を目視内飛行で計測した後に、改めて目視外飛行を行う進め方が一般的であり効率性が低く情報の共有化が考えられるため、上空LTEの電波の測定をあらゆる場所で行うことは非現実的であるという社会的課題がある。

本業務の概要

- 3D都市モデルからグラウンドリスクを考慮し最適なルート及び離着地点のシミュレーションを行える機能を有するシミュレータ開発に向けた要件調査を行う。
- このシミュレータを使って絞り込まれた想定飛行ルートに対して上空LTE電波強度の実測を行い、上空LTEマップを生成するための要件調査を行う。
- 生成された上空LTEマップと空間IDを活用し、3D都市モデルと上空LTE強度データ両方を考慮した最適ルートをシミュレーションできる機能を有するシステム開発に関する要件調査を行う。

I. 事業概要

プロジェクトのスコープ | ②実証仮説・検証ポイント

項目	内容
実証仮説	<p>最適ルートシミュレータ</p> <p>上空LTEの強度マップと3D都市モデルを併用することで、安全かつ透明性のあるドローン飛行ができる飛行ルートを効率的に構築することができるのではないか。</p>
検証ポイント	<p>最適ルートシミュレータ</p> <p>3D都市モデルとLTEの実測データを組み合わせたルートシミュレーションを行うことで、適切な飛行ルート(空のインフラ)の構築に係る工数をどの程度削減することができるのか。</p>

Ⅱ. 実証計画 最適ルートシミュレーション

1. 実証概要 | ① 実証フロー

実証実験では3D都市モデルとLTE電波強度の実測値データを用いたUTMによる最適ルートシミュレータの検証を行う。

調査・検討

- 3D都市モデルの構造、属性の種類やアルゴリズムの検討を行う。
- 飛行ルート・エリア選定に必要な基準の調査し、結果に基づき実証計画を策定する。

ルートシミュレータの開発

- 計画した設計に従い、3D都市モデルとLTE電波強度データを活用したルートシミュレータの開発を行う。

ルートシミュレーション

- 3D都市モデルを使い、グラウンドリスクを考慮したルートのシミュレーションを行い、LTE電波強度を測定すべきエリアを特定する。

電波測定

- 現地フィールドへの現地踏査と、現地にて専用デバイスを使った上空LTE強度の測定を行う。
- ドローンをメッシュ状に飛行させ対象範囲全域のLTE強度を取得。

最適ルートシミュレーション

- 取得したLTE強度と3D都市モデルを基に、グラウンドリスク、上空電波リスクを考慮した最適ルートシミュレーションを行う。

有用性検証

- 3D都市モデル・上空LTEマップ情報を活用したシステムの有用性検証を行う。
- グラウンドリスク、上空リスクの観点から、通常の飛行ルート設計の工数と比較し、シミュレーターを活用した場合比較を行う。

II. 実証計画 最適ルートシミュレーション

1. 実証概要 | ②システムにより実現する業務フロー (UX)

	従来の業務フロー	本システムが目指す業務フロー
事前の 現況分析	<ul style="list-style-type: none">飛行規制の遵守ができる範囲内での発着箇所となる箇所の剪定する。(机上及び現地)離発着箇所周辺の地形や建造物の高さ等周辺環境の分析を行う。(障害物の有無：鉄塔、幹線道路m高速道路等)現地踏査にて、事前飛行を現地にて行い上空LTEの有無や安全性の分析など、机上では確認できないリスクの把握する。	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデル及び上空LTEマップを活用することで、離発着箇所周辺や上空環境の分析を机上・現地でその場で実施し、最適ルートを自動で算出する。
現地飛行	<ul style="list-style-type: none">従来の飛行では、様々なリスクに対して、独立したソフトウェアや技術を使っている。主にミッションプランナーと呼ばれる従来のソフトウェアを使い飛行中の安全性の確認を行う。従来の技術では、1人のパイロットに対して1機というように、1対1の運用を行なうことが前提となる。	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデルや上空LTE等様々な付属データが統合されたUTMをベースに飛行を行うことで、より安全で効率的な運行管理ができる。UTMベースへ移行することで、複数機体の運行管理や複数のUTM間でのデータ連携が可能になる。

II. 実証計画 最適ルートシミュレーション

2. 検証概要 | ① KPI

#	分類	KPI	定義
1	シミュレーター性能	シミュレーター速度	離発着地点の入力～ルート算出・離陸開始までの工程の時間をシミュレーション速度として評価する
		ルートの妥当性	最適なルート自動算出を有効にした場合の経路を評価する
2	有用性	作業工数	事前作業や現場でのオペレーションにかかる工数を比較し効率性を評価する。

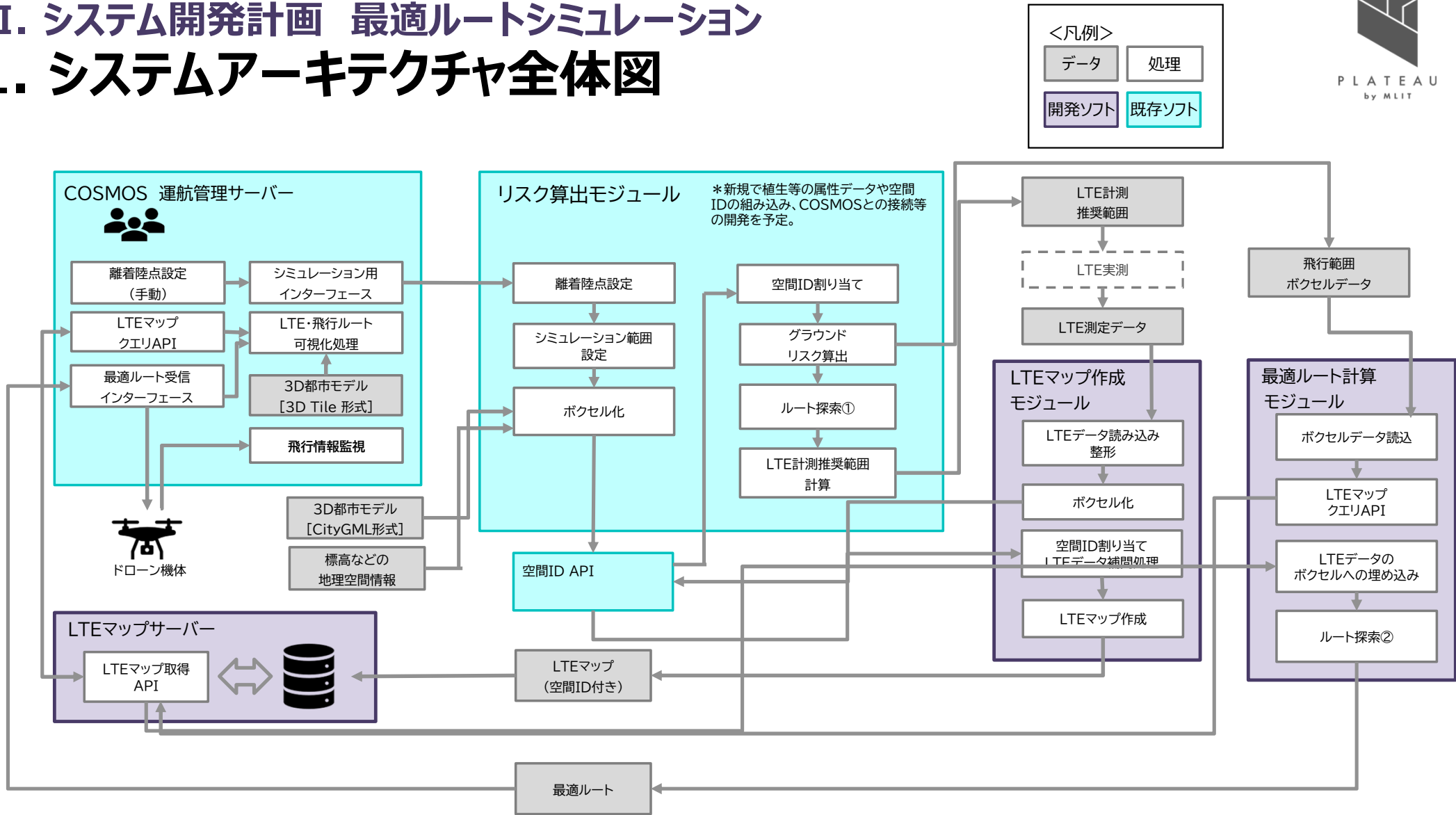
Ⅱ. 実証計画 最適ルートシミュレーション

2. 検証概要 | ②検証方法

#	KPI	KPIの評価方法	比較対象（案） / 条件
1	シミュレーターの速度	閾値を設定し評価する	現場での作業速度を測定し閾値として比較
2	ルートの妥当性	最適ルートの算出を有効にした場合と、無効にした場合のルート形状を確認する。	最短経路や従来の手法との比較
3	作業工数	現況と比較する	机上での事前分析にかかる工数を測定

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

1. システムアーキテクチャ全体図



Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

2. システム機能一覧 COSMOS 運航管理サーバー

No.	機能名	説明
1	離着陸点設定	ルートをシミュレーションするにあたり必要な離陸点と着陸点を設定する。必要に応じて、途中で経由すべき中間点も含む
2	シミュレーション用インターフェース	運航管理システムCOSMOSで設定した離着陸点情報をシミュレータに転送するインターフェース
3	LTEマップクエリAPI	飛行地域の空間IDをもとに、LTEマップサーバーに周辺のLTE強度情報をリクエストするAPI
4	LTE・飛行ルート可視化処理	LTEマップ及び飛行ルートを3D都市モデルに重ねて可視化する
5	最適ルート受信インターフェース	ルートシミュレータで生成された最適ルートをCOSMOSに取り込むインターフェース
6	飛行情報監視	ドローンから取得した情報を表示し、飛行状況を監視できる機能

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

2. システム機能一覧 リスク算出モジュール

No.	機能名	説明
1	離着陸地点設定	ルートをシミュレーションするにあたり必要な離陸点と着陸点を設定する。必要に応じて、途中で経由すべき中間点も含む
2	シミュレーション範囲設定	離着陸点の位置をカバーするシミュレーションの範囲を定義する
3	ボクセル化	シミュレーション範囲の空間をボクセルと呼ばれる立方体の集合に分割する。分割サイズは飛行範囲を考慮して最適なレベルなるよう内部処理を行う。
4	空間ID割り当て	各ボクセルに対して、対応する空間IDの値の情報を埋め込む
5	グラウンドリスク算出	3D都市モデルに含まれる属性情報を基に、各ボクセルにおける飛行にかかるリスク値を算出し設定する。
6	ルート探索①	離着陸点および各ボクセルにおけるグラウンドリスク値をもとに、最低コストのルートを探査する
7	LTE計測推奨範囲計算	グラウンドリスクを基に推奨される最適ルートから、LTEマップ作成が推奨される計測範囲を割り出す。

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

2. システム機能一覧 LTEマップ作成モジュール



No.	機能名	説明
1	LTEデータ読み込み、整形	実測したLTEの強度データの読み込みを行い、システムで使えるよう整形する
2	ボクセル化	LTEの測定マップを作成するために、空間をボクセルと呼ばれる立方体の集合に分割する
3	空間ID割り当て・LTEデータ補間処理	各ボクセルに対して、対応する空間IDの値の情報を埋め込む。また計測されたデータの補間処理を行い、各ボクセルにおけるLTE強度を算出する
4	LTEマップ作成	各ボクセルにおけるLTE強度情報をもとに適切な形式(検討中)のLTEマップを作成する

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

2. システム機能一覧 最適ルート計算モジュール

No.	機能名	説明
1	ボクセルデータ読み込み	LTE計測推奨範囲計算モジュールで用いたボクセルデータを読み込む
2	LTEマップクエリAPI	飛行地域の空間IDをもとに、LTEマップサーバーに周辺のLTE強度情報をリクエストするAPI
3	LTEデータのボクセルへの埋め込み	各ボクセルに対して、LTEマップサーバーから取得したLTE強度データを埋め込む
4	ルート探索②	各ボクセルにおけるLTE強度およびグランドリスク値をもとに、リスク最小のルートを算出する

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

2. システム機能一覧 その他

No.	機能名	説明
1	空間ID API	緯度、経度、標高情報をもとに空間IDを返却するAPI。ジオロニア社と連携
2	LTEマップ取得API	空間IDをキーにLTE強度情報を返すAPI

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

3. 利用する技術要素

項目	内容
DWS Eagle15	<ul style="list-style-type: none">ドローンワークシステム社が開発・製造する産業ドローン
K5G-C-100A	<ul style="list-style-type: none">京セラが開発・販売する通信端末。上空LTE強度データを取得するために使用する。
Cesium JS	<ul style="list-style-type: none">Webブラウザ上で用いられる3D地図として活用する。
空間IDサーバー	<ul style="list-style-type: none">3次元空間を格子単位であるボクセルデータで管理する仕組み。
COSMOS	<ul style="list-style-type: none">A.L.I. Technologiesが自社で開発する運航管制アプリケーション「Centralized Operating System for Managing Open Sky」の略称。ドローンの機体やオペレータ、飛行ログの管理や飛行状況のライブモニタリングなどの機能を有する。

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

4. 利用する3D都市モデル

地物	地物型	属性区分	属性名	利用想定
建築物LOD2	bldg:Building	空間属性	bldg:lod2Solid	最適ルートシミュレーションのためのジオフェンスとして利用
		主題属性	bldg:usage	
		bldg:class		
	bldg:GroundSurface	空間属性	bldg:lod2MultiSurface	
土地利用LOD2	luse:LandUse	空間属性	luse:lod1MultiSurface	
		主題属性	luse:class	
地形DEM	dem:TINRelief	空間属性	dem:tin	
道路LOD1	tran:Road	空間属性	tran:lod1MultiSurface	
道路LOD2	tran:Road	空間属性	tran:lod2MultiSurface	ドローン離発着地点の周囲のみ、道路LOD2、植生LOD2、都市設備LOD2を再現し、ジオフェンスとして利用。
植生LOD2	veg:SolitaryVegetationObject	空間属性	veg:lod2Geometry	
都市設備 LOD2	frn:CityFurniture	空間属性	frn:lod2Geometry	

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

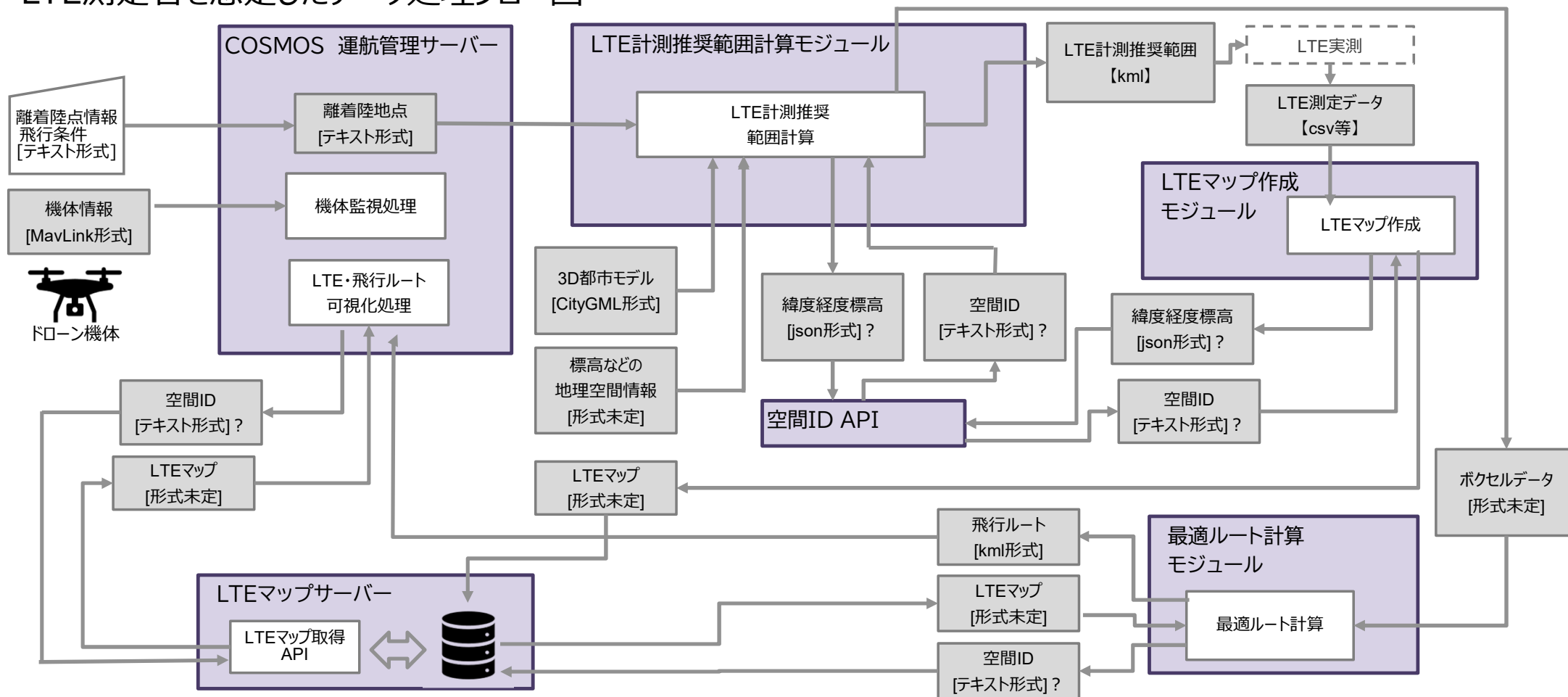
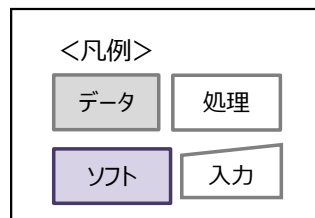
5. 利用するその他のデータ一覧

活用データ	内容	データ形式	出所
電波強度データ	上空電波強度の計測ログ。 京セラと共同でデータ取得および解析を行う。	CSV等	LTE測定モジュール「K5G-C-100A」を使用し、電波強度データを取得する。

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

6. データ処理フロー及びインタフェース設計

LTE測定者を想定したデータ処理フロー図





Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

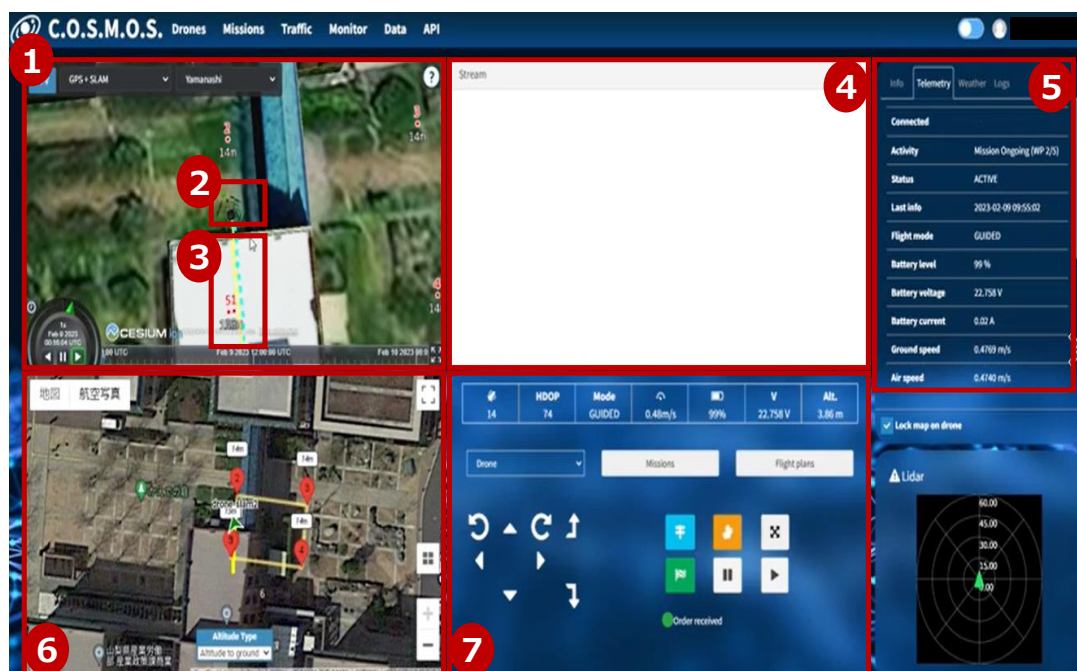
6. データ処理フロー及びインタフェース設計(グラウンドリスクの定義)

グラウンド リスクの対象	<ul style="list-style-type: none">ドローン離発着地点とルート中に存在する建物、電柱、木々などの障害物ドローン飛行ルート直下に存在する地物(対象地物の上空を通過することにリスクがあると想定)
リスクの設定方法	<ul style="list-style-type: none">3D都市モデルに含まれる属性情報毎にグラウンドリスク値を設定し各ボクセル毎にリスクを管理障害物が含まれるボクセルと地物が含まれるボクセル上空の空間にも一律にリスクを設定(属性ごとに異なるリスク値を設定)
対象となる属性	<ul style="list-style-type: none">P24の利用する3D都市モデルとその属性情報を参照

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

7. ユーザインタフェース

基本画面UI



機能説明

#	機能名	説明
①	3D地図表示	3D都市モデルを活用した地図を表示できる
②	機体位置表示	機体の位置を黒丸印で表示できる
③	飛行ルート表示	ドローンの飛行ルートを表示できる
④	ストリーミング表示	ドローンカメラの映像を表示（本実証では未使用）
⑤	機体情報詳細表示	ドローンの機体情報を表示できる
⑥	2D地図表示	Google Mapの2D地図を表示できる
⑦	遠隔操作パネル	遠隔操作パネルを表示できる

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

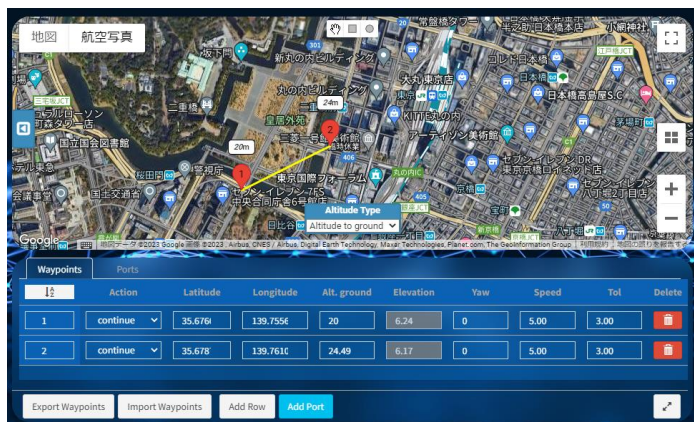
7. ユーザインタフェース | 全体UI/UX

LTE測定者を想定したUI/UX

① データ読み込み・条件設定

② シミュレーション実行

③ 結果出力



黄: グランドリスクが考慮された最短ルート
赤: 最短ルート
(イメージ図)



赤: LTE計測推奨範囲

Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

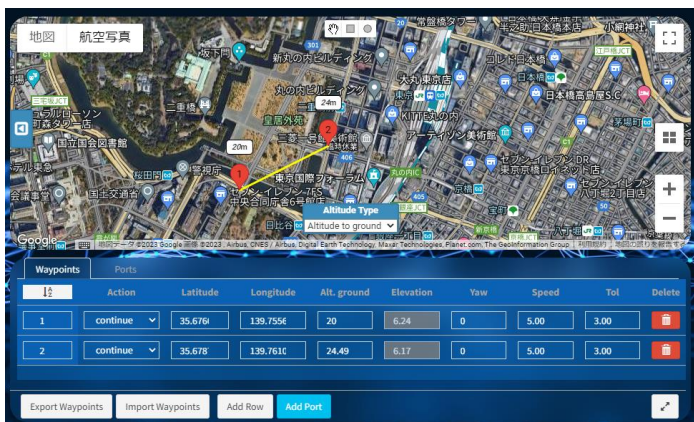
7. ユーザインタフェース | ①データ読み込み・条件設定

LTE測定者を想定したUI/UX

1) 新規ルート作成

2) データ読み込み

3) 条件の設定



Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

7. ユーザインタフェース | ②シミュレーション実行

LTE測定者を想定したUI/UX

1) 最適ルートの算出



2) LTE計測推奨範囲表示



Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

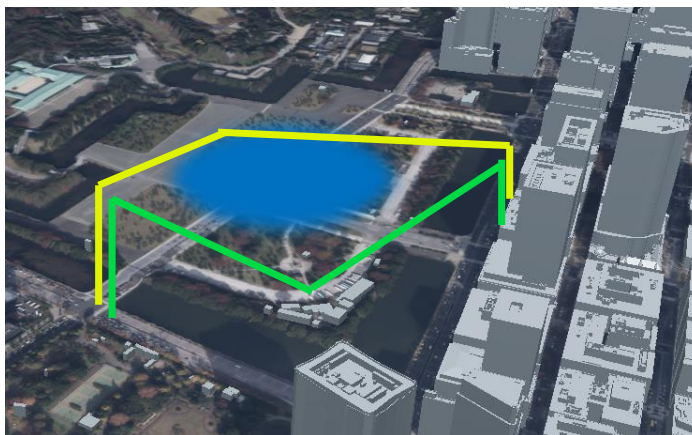
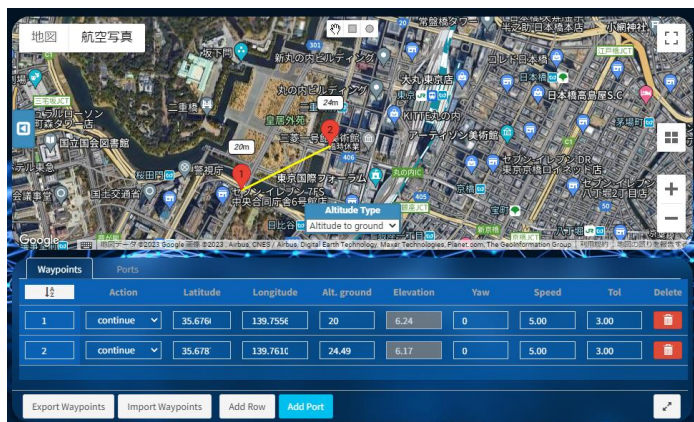
7. ユーザインタフェース | 全体UI/UX

ドローン運航者を想定したUI/UX

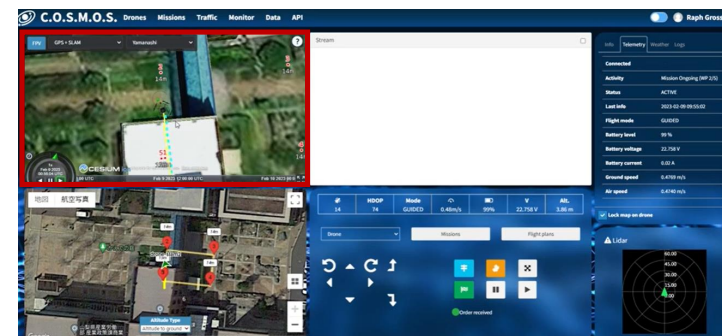
① データ読み込み・条件設定

② シミュレーション実行

③ 結果出力 (ドローン管制画面)



青:LTE電波低強度エリア
黄:グランドリスクが考慮された最短ルート
緑:LTE最適考慮ルート
(イメージ図)



Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

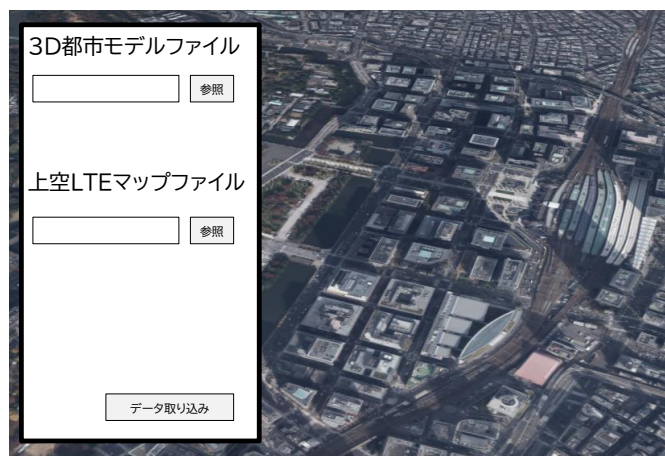
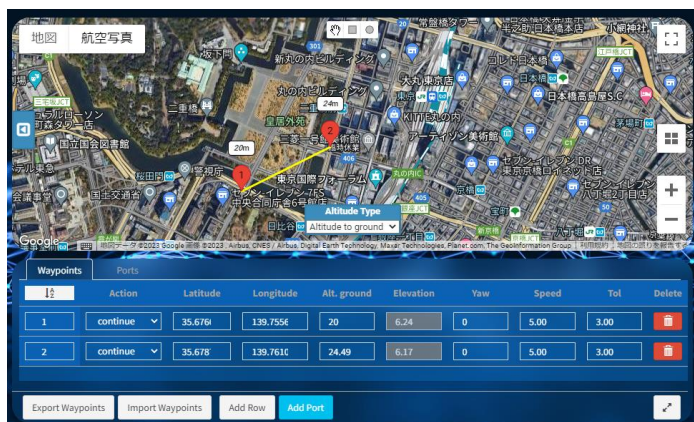
7. ユーザインタフェース | ①データ読み込み・条件設定

ドローン運航者を想定したUI/UX

1) 新規ルート作成

2) データ読み込み

3) 条件の設定



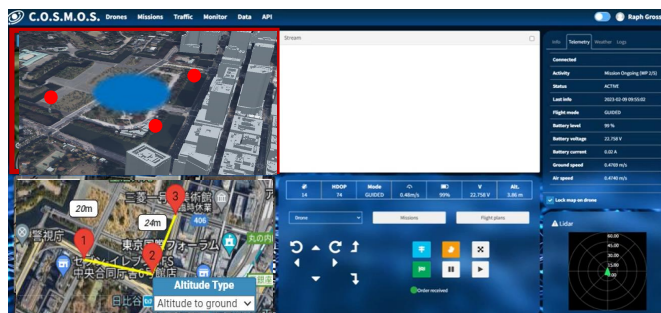
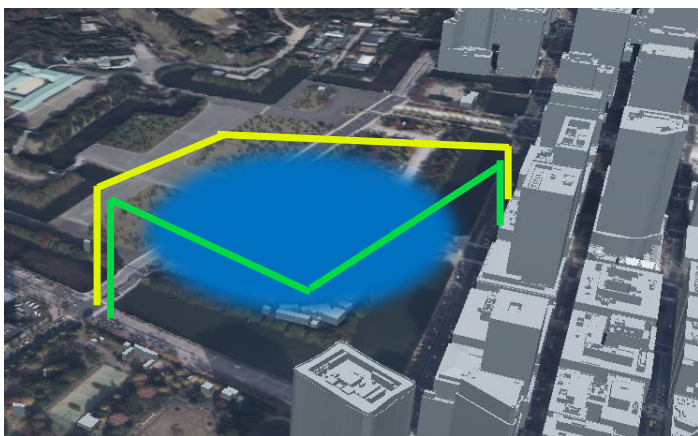
Ⅲ. システム開発計画 最適ルートシミュレーション

7. ユーザインタフェース | ②シミュレーション実行

ドローン運航者を想定したUI/UX

1) 最適ルートの算出

2) ミッション実行・離陸



IV. 検討プロセスにおいて見出された制度的課題・技術的課題 見出された技術的課題・今後の展望への知見 (上空LTE)

当初の目論見

①LTE電波強度の 信憑性担保の難しさ

- ドローン業界の通例として、同様の電波調査を行い、5Mbps以上のスループットが出るなど目視外飛行の際にLTE経由でドローン周辺監視が行えることを確認し、安全な飛行ルートを選定していた
- 今回も、XCALを用いて、複数キャリア・周波数帯の電波を測定し、そのスループット(伝送速度)等を比較することで、上空LTEが最適なルートをシミュレーションすることを企図した

技術的課題

- スループットには近隣ユーザー数や他基地局との干渉など大きく影響するため、あくまで実測したタイミングでの結果でしかなく、恒久的な電波強度を担保するものではなく、ドローンUTM用サプレメンタルデータとしては信頼性に欠けると、電波専門家から反論
- UTM上で複数キャリアのスループットを比較し、最適ルート・キャリアを提示・公表することに懸念
- PCI・RSPR・SINRなどのサブ指標を使っても、キャリアも納得する「信頼性のあるデータ」を作ることは現状難しい

- PLATEAUプロジェクトは税金で実施している関係上、データや報告書に開示義務がある。現時点でこのような議論が起きている中で、キャリアの反対を押し切ってLTE電波強度の可視化を進めることが難しい
- LTE電波強度は目視外飛行に必要なデータであることに鑑み、オープンデータとして活用できる環境を法制度から整備する必要性がある。

IV. 検討プロセスにおいて見出された制度的課題・技術的課題 見出された技術的課題・今後の展望への知見（上空LTE）

②シミュレーションモデルの開発及び運航管理システムへの組み込みの課題

当初の目論見

- 建物情報のCity GML上で、地上リスクを計算することに加えて、上空LTEの電波強度を立体的に捉えて表示し、地上および上空の状況も踏まえた3次元の最適ルートのシミュレーションを実施する
- このシミュレーション環境自体を運行管理システムCOSMOSへ組み込み、ワンストップソリューションとして提供する

技術的課題

- 上空LTEの電波強度を高さ情報も含めて立体的に捉えて表示させる必要があり、建物情報のCityGMLだけでは成立しないことが判明
- 解決策としては空間IDのコンセプトを取り入れることなどが考えられるが、空間IDの実装には緯度経度高度を踏まえた非直線の空間処理が必要で、非常に難しい
- 空間IDの技術を持つ企業との密な連携を求められるが、現状では弊社の運航管理システムのCOSMOSに空間IDを実装する見通しが立っていない

- 空間IDのコンセプトは、経済産業省デジタルアーキテクチャデザインセンターが推進しているドローン運行管理領域用の空間ID基盤システム構成としてコンセプトが提唱されたばかりのテーマであり、実用化にはまだ時間がかかる。
- 運行管理システムへの空間IDの実装には、空間IDの技術をもつ企業との密な連携が求められるが、実装の見通しが経っていない。このため、それを踏まえたシミュレーター開発までの見通しも立っていない。

第一部：3D都市モデルを用いた地上のリスク解析に加え、上空の電波強度を考慮した最適なルート算出を行うシステム

第二部：3D都市モデルに最適化されたV-SLAMシステムの開発

目次

I. 事業概要

1. プロジェクトのビジョン

- ① 解決すべき社会課題
- ② 創出価値
- ③ 想定事業機会

2. プロジェクトのスコープ

- ① ユースケースの概要
- ② 実証仮説・検証ポイント

II. 実証計画

1. 実証概要

- ① 実証フロー
- ② システムにより実現する業務フロー（UX）

2. 検証概要

- ① KPI
- ② 検証方法

III. システム開発計画

1. システムアーキテクチャ全体図
2. システム機能一覧
3. 利用する技術要素
4. 利用する3D都市モデル
5. 利用するその他のデータ一覧
6. データ処理フロー及びI/F設計
7. ユーザーインターフェース

IV. 検討プロセスにおいて見出された制度的課題・技術的課題

I. 事業概要

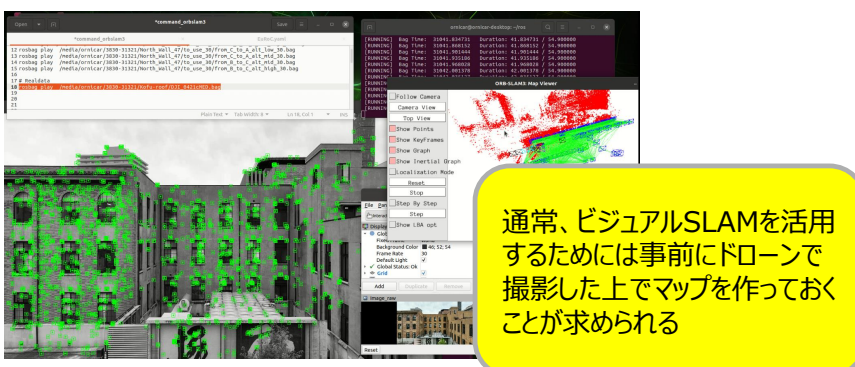
プロジェクトのビジョン | ①解決すべき社会課題

UTMを活用した安全なドローンの飛行のためには、LTEの電波強度の効率的な確認や、非GPS環境下での高精度な自己位置推定を効率的に行う仕組みの構築が課題。
本ユースケースによって3D都市モデルを使った課題解決を目指す

本ユースケースが取り組むべき社会課題と本ユースケースの解決手法

社会課題のイメージ

項目	内容
解決すべき社会課題	<ul style="list-style-type: none"> ドローン業界では22年12月より有人地帯における目視外飛行の許可が開始、また、空が混み合う将来を想定してUTMによる航空管制が義務付けられる方向性 UTMを活用し、安全に飛行をするには、LTEの一定の電波強度が一定以上の空域を飛び、地上に飛行データ及び機体カメラの映像を確実に届けることや、GPSが入らない場所でもSLAM等で自己位置推定を正確に行えることが求められている 現状ではLTEの電波強度はフライト前に都度測定する必要がありマップ化・公開データ化はされておらず、上空電波強度を効率的・立体的に把握する手法が必要となっている 都市部でのV-SLAMによる自律飛行については、3D都市モデルをSLAMの事前地図として利用するシステムを開発し限定された環境でのドローンの自律飛行に成功したが、コンピューティング処理の負荷によるシステムの不安定化などの課題が明らかとなり、より効率的で汎用性の高いシステム開発が必要となっている
想定する解決手法	<ul style="list-style-type: none"> 3D都市モデルと上空LTE電波マップを活用した飛行ルートシミュレーターを開発することで、LTEの電波強度を事前に各社が測定することなく、グラウンドリスクと上空電波状況が考慮された安全飛行ルートを自動で算出することが可能となる。 3D都市モデルを事前地図とすることで、事前のデータ撮影無しにビジュアルSLAMの自己位置推定精度を上げることが可能になる。また、慣性カメラとの統合や、データ処理の並列化によりコンピューティング負荷の低減施策を講じる手法を講じることで、より効率的で汎用性の高いシステムを実現させる。



I. 事業概要

プロジェクトのビジョン | ②創出価値

多様な運航管理システムの技術検証ユースケースを通じて持続可能なUAV運航サービスを実現する

実現したい価値・目指す世界

3D都市モデルと上空LTEマップを使用した最適ルートシミュレーターを活用することで、各社がLTEの電波強度を事前に測定する必要がなくなり、より効率的にグラウンドリスクと上空LTE電波状況が考慮された安全なドローン運航を実現することができる。

V-SLAMの開発では、3D都市モデルを活用することで、プレマップ用のデータ取得のための工数が削減されるだけでなく、精度の向上・汎用性の向上を実現することができる。この技術を活用することで、近い将来に一般化するであろうUTMをベースとした都市部での目視外飛行における運航管理をより安全にすることができる。

上記のような技術開発や運用手法の確立を全国で進め、日本のエアモビリティ社会実装へ寄与していきたい。

イメージ



「COSMOS」を使った運航管理センターイメージ

I. 事業概要

プロジェクトのビジョン | ③想定事業機会

ドローン管制システムのCOSMOSを起点とした自治体やドローンを利用・製造する民間事業者向けのビジネスモデル・マネタイズを想定

項目	内容
利用事業者	<ul style="list-style-type: none"> • 自治体 • 物流事業者、点検事業者 • ドローン製造業者 • その他ドローンを活用する事業者
提供価値	<ul style="list-style-type: none"> • 3D都市モデルに対応した安全で精度の高いドローンの運航 • COSMOSを介した遠隔からの運航状況や上空電波状況の把握、可視化 • 電波状況がよいエリアを飛行することで自己位置推定機能と合わせて常にドローンの位置を把握 • 各社ドローンへの組み込みおよび技術サポート
サービス仮説	<ul style="list-style-type: none"> • オペレータ・機体の提供までを含めたドローン運航サービス(Drone as a Service) <ul style="list-style-type: none"> - 物流事業者等の業務の省力化につながるドローン運航サービスを提供する • 飛行ログ提供サービス <ul style="list-style-type: none"> - ドローンの墜落や事故の際に、第三者として状況に対する客観的な情報提供を行う

I. 事業概要

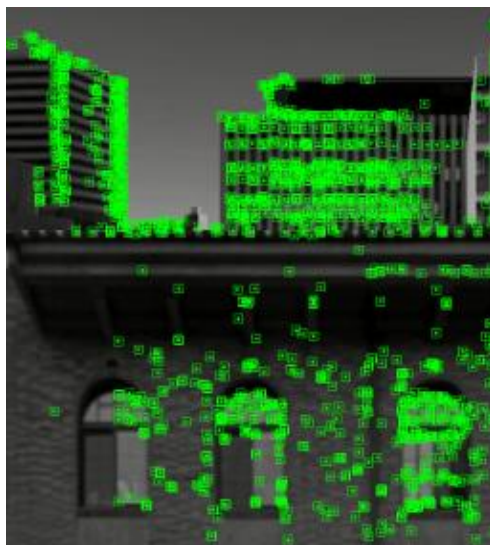
プロジェクトのスコープ | ①ユースケースの概要

Visual SLAM技術を活用して高い自己位置推定精度を実現するには、信頼できる精度の高い事前地図が必要となるが、この地図の作成には事前の現地での撮影業務が必要となり、オペレーション上の負担が大きい。

2022年度の実証において、3D都市モデルを活用したVisual SLAMを用いて限定的な環境・条件であれば十分な精度で自己位置推定が可能であることが示すことができた。本開発では、より汎用的な環境においても高い自己位置推定を行えるシステムの構築および効果検証を行う。

昨年度ユースケースの課題

- 2022年度の実証において、3D都市モデルを活用したVisual SLAMを用いて、限定的な環境・条件であれば十分な精度で自己位置推定が可能であることが示すことができた。具体的には、3D都市モデルが高解像度のテクスチャを保有し、常にカメラが壁面を向いている状況においては自己位置推定が機能することを確認できた。
- 昨年度の課題としては、カメラが一方方向にしか取り付けられていないことから、カメラを常に壁面を向けなければならず、飛行経路や機首方向に大きな制約があったことが挙げられる。



シミュレータを用いた事前地図作成

本業務の概要

- 昨年度の課題の対策として、ドローンに複数のカメラを取り付け、広い範囲の画像データからSLAM処理を行うことで、より汎用的なシステムを構築できるのではないかと考えられる。そのために必要なハードウェア・ソフトウェアの改修に向けた要件調査を行う。
- 複数の画像を処理するにあたり、自己位置推定により高い負荷が必要になると考えられるため、データ並列化（データ分割による処理の並列化）およびカメラのデータと慣性センサーのデータ同期処理などを行うことによる計算負荷低減策に関する要件調査を行う。



慣性センサー付き多眼カメラのイメージ

I. 事業概要

プロジェクトのスコープ | ②実証仮説・検証ポイント

項目	内容
実証仮説	<ul style="list-style-type: none">• 通常のステレオカメラではなく多眼カメラを用いたVisual SLAMシステムを構築することで、従来のシステムより汎用性の高い自己位置推定が可能となるのではないかと。またドローンがそのような広範囲の視野を得ることで、3D都市モデルをより有効に活用できるのではないかと• データ処理の並列化やカメラ画像とセンサーデータの統合によって演算負荷を低減することで、高い演算力が求められる多眼カメラを用いた自己位置推定が可能ではないかと
検証ポイント	<ul style="list-style-type: none">• データ処理の並列化などの対策により多眼カメラを用いたVisual SLAMシステムがリアルタイムで稼働できること• 多眼カメラを用いることで、3D都市モデルと十分なテクスチャ解像度があれば様々な環境で高精度に自己位置推定ができるシステムを構築できるかどうか

Ⅱ. 実証計画 Visual SLAM

1. 実証概要 | ① 実証フロー

実証実験ではシミュレーション結果を実績データと比較し、本システムの有用性を有識者にヒアリングを行う

全体計画の策定

- システム開発や現場実証を含めた全体計画を策定する
- 飛行予定地を選定し、必要な3D都市モデルのデータを明らかにする

機能要件定義

- 本実証を行うにあたり、システムとして必要となる機能要件を定義する（ソフトウェア・ハードウェア）
- 各機能について、その実装確認を行うためのテスト・試験方法を決定する

アーキテクチャ設計 機材選定

- 上記で定義した機能要件を満たすためのソフトウェアアーキテクチャ及びハードウェア構成の設計を行う
- システムの要件を満たすために必要な各種センサーやドローンの選定を行う

ソフトウェア・ハードウェア 開発

- 定められた設計に従い、ソフトウェアおよびハードウェアの開発・実装を行う
- 各種実装が完了した段階でシステムテストを行い、適切に動作していることを確認する

実証試験

- 適切な3D都市モデルがある実証地域にて実証試験を行う。建物構造やテクスチャ等が異なる環境において、環境条件や飛行条件がVisual SLAMに与える影響を検証する

効果検証

- 実証試験から得られた検証結果をもとに、本事業成果のシステムにより高精度な自己位置推定ができる状況並びに3D都市モデルに求める要件を明らかにする

II. 実証計画 Visual SLAM

1. 実証概要 | ②システムにより実現する業務フロー (UX)

	従来の業務フロー	本システムが目指す業務フロー
飛行計画	<ul style="list-style-type: none">Google earthやストリートビューによる現場状況の把握・暫定航路の計画	
ルート設定	<ul style="list-style-type: none">現地踏査による現況確認。離発着点の安全確認小型機を用いての周辺状況確認および飛行ルート of 安全確認・必要に応じて微調整	
現地飛行	<ul style="list-style-type: none">衝突リスク等高い箇所への監視員配置GPSと監視員による現在位置の確認	<ul style="list-style-type: none">SLAMによる高精度な自己位置推定最低限の監視員によるオペレーション
飛行ログとりまとめ	<ul style="list-style-type: none">検討結果をふまえて計画書等を取りまとめ	

Ⅱ. 実証計画 Visual SLAM

2. 検証概要 | ① KPI

#	分類	KPI	定義
1	Visual SLAM	自己位置推定精度	RTK-GNSSの測位値を真として、そこからのずれを検証する
2		自己位置推定の旋回時のロスト率	ドローンを旋回させたときにSLAMが自己位置ロストが生じる確率
3		自己位置推定可能速度	安定した自己位置推定が可能なドローンの速度
4		事前地図とのマッチングまでの時間	飛行開始から事前地図とのマッチングが生じるまでの時間
5			
6			
7			
8			
9			
10			

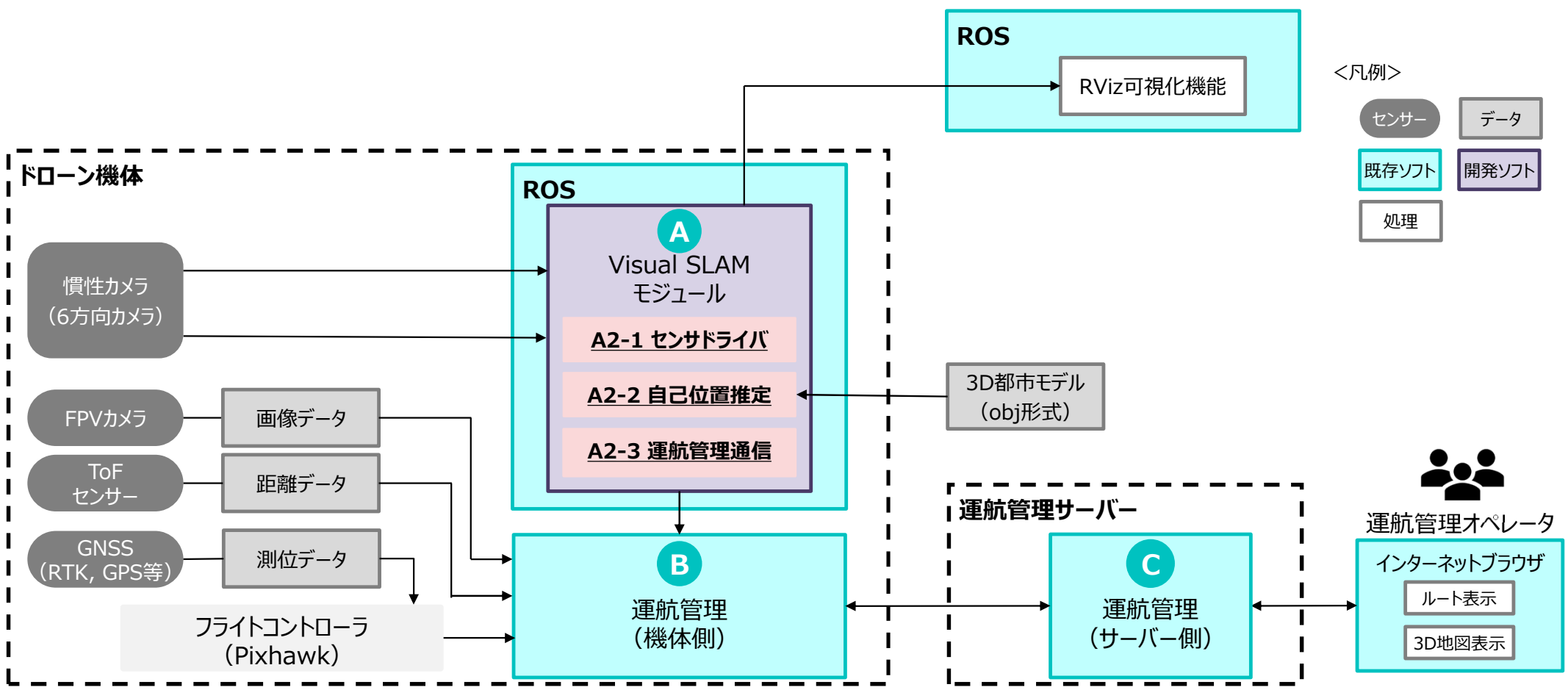
II. 実証計画 Visual SLAM

2. 検証概要 | ②検証方法

	KPI	KPIの評価方法	比較対象（案） / 条件
1	自己位置推定精度	複数のフライトルートにおいて、RTK-GNSSの測位値とSLAMによる自己位置推定値を比較し、そのずれを定量的に評価する	一般的なGPSの精度である数m~5m LOD2およびLOD3での差の比較やテクスチャ解像度による影響の確認を実施 環境による位置推定精度についても検証する
2	自己位置推定の旋回時のロスト率	位置を変えずに180度、360度などの一定量の旋回を複数回行い、そのうちVisual SLAMの自己位置推定が何回ロストしたかを検証する	ステレオカメラによるVisual SLAM
3	自己位置推定可能速度	安定した自己位置推定が可能なドローンの速度	一般的に物流等で用いられる8m/s
4	事前地図とのマッチングまでの時間	作成したVisual SLAM用の事前地図とリアルタイムで作成している実測地図のマッチングがどのくらいの時間でできるのかを検証する	ステレオカメラによるVisual SLAM
5			
6			
7			

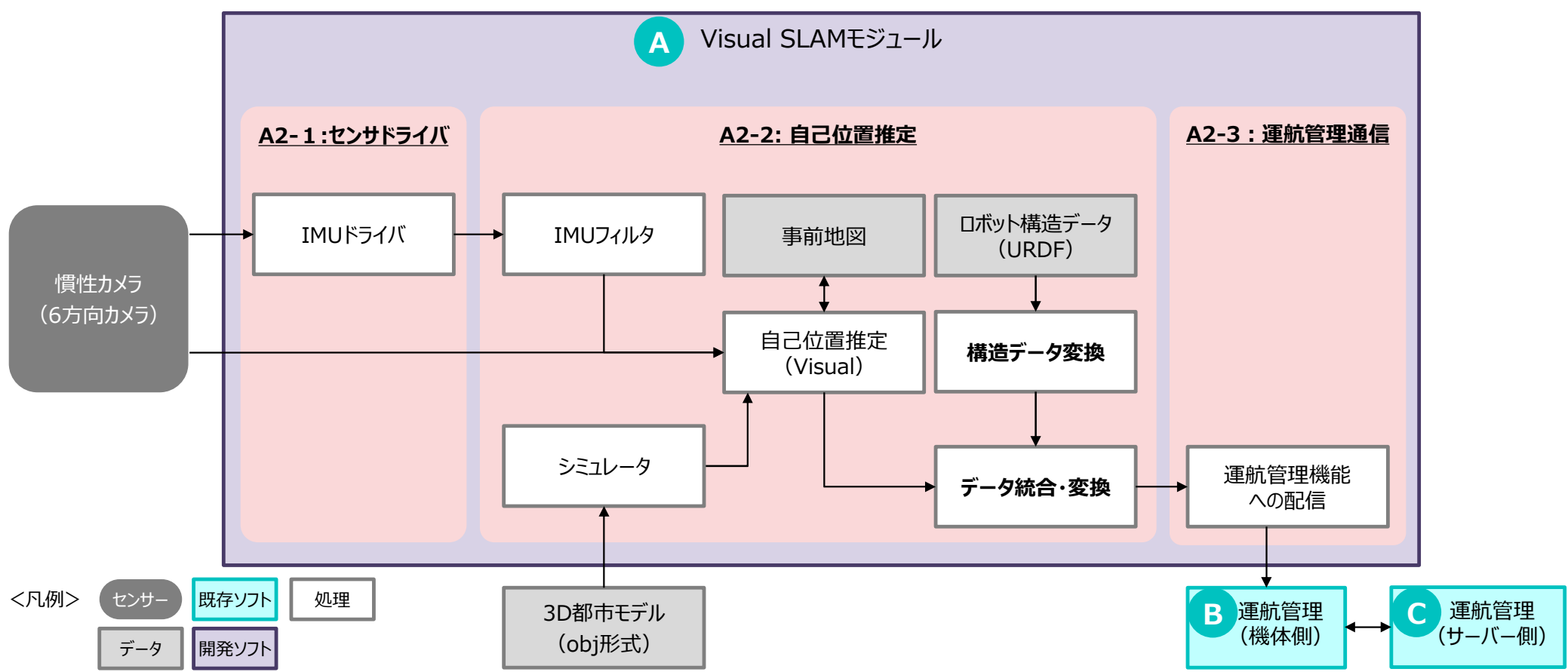
Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

1. システムアーキテクチャ全体図



Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

1. システムアーキテクチャ全体図 Visual SLAM詳細



Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

2. システム機能一覧

No.	機能名	説明
1	Visual SLAMモジュール	複数カメラ（6方向を予定）の映像を用いて自己位置推定を行うモジュール 通常のスtereoカメラから慣性カメラに対応できるよう改修を行う またGPUリソースの有効活用のため、複数カメラからの入力を並列処理できるアルゴリズムを組み込む
2	運航管理機能（機体側）	フライトコントローラーとサーバーとの間の中継となり、機体情報・飛行状況（高度、速度、バッテリー残量など）をサーバーに送信したり、サーバーからの飛行指示をフライトコントローラーに伝送したりする機能 本開発に関係する機能としては、Visual SLAMモジュールから出力された自己位置情報を運航管理機能（サーバー側）に配信する機能が挙げられる
3	運航管理機能（サーバー側）	運航管理機能（機体側）から取得した各種情報の表示（2D、3D地図上でのドローンの位置情報の表示含む）や、UIからの指示を機体側に伝送する機能 本開発に関係する機能としては、運航管理機能（機体側）から配信されたVisual SLAMの位置情報を取得し、3D地図上に表示する機能が挙げられる
4		

Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

3. 利用する技術要素

項目	内容
SLAM	<ul style="list-style-type: none"> センサー等を用いて空間の中で自己位置推定と環境地図作成を同時に行う技術
ROS	<ul style="list-style-type: none"> ロボットのアプリケーション開発を支援するライブラリやツール群 ハードウェア抽象化、センサやアクチュエータ等のデバイスドライバ、ロボットに搭載される汎用機能の実装、機能同士のデータ通信などの機能を有する
COSMOS	<ul style="list-style-type: none"> A.L.I. Technologiesが開発するドローン管制システム ドローンの機体やオペレータ、飛行ログの管理や飛行状況のライブモニタリングなどの機能を有する
Unity	<ul style="list-style-type: none"> ゲーム開発やシミュレーション、仮想現実、拡張現実などのアプリケーション開発に使用される、クロスプラットフォームの統合開発環境
Cesium	<ul style="list-style-type: none"> 米国のCesium GS, Inc.が提供する3D地図プラットフォーム。主にWebブラウザ上で用いられる3D地図として活用される。
ORB SLAM	<ul style="list-style-type: none"> 映像情報やIMU情報を元に自己位置推定を行うVisual SLAMのアルゴリズムの1つ 主に3つの演算スレッド（Tracking、Local Mapping、Loop & Map merging）と1つのデータベース（ATLAS）から構成されており、これらを並列処理することで、高速かつ精度の高い自己位置推定を実現
MultiCol SLAM	<ul style="list-style-type: none"> ORB SLAMの考え方をベースに、複数のカメラを用いたVisual SLAMを行うアルゴリズム
データ並列化	<ul style="list-style-type: none"> 演算リソースの効率的な活用のための演算手法。インプットとなるデータを分割し、同様の処理を複数のスレッドに分けて演算することで処理の高速化を図る。対になる手法として、プロセス並列化が挙げられる。

Ⅲ. システム開発計画

4. 利用する3D都市モデル Visual SLAM

地物	地物型	属性区分	属性名	利用想定
建築物LOD2	bldg:Building	空間属性	bldg:lod2Solid	Visual SLAMにおける事前地図の作成に用いる (シミュレータを用いた事前地図作成)
建築物LOD3	bldg:Building	空間属性	bldg:lod3Solid	Visual SLAMにおける事前地図の作成に用いる (シミュレータを用いた事前地図作成)

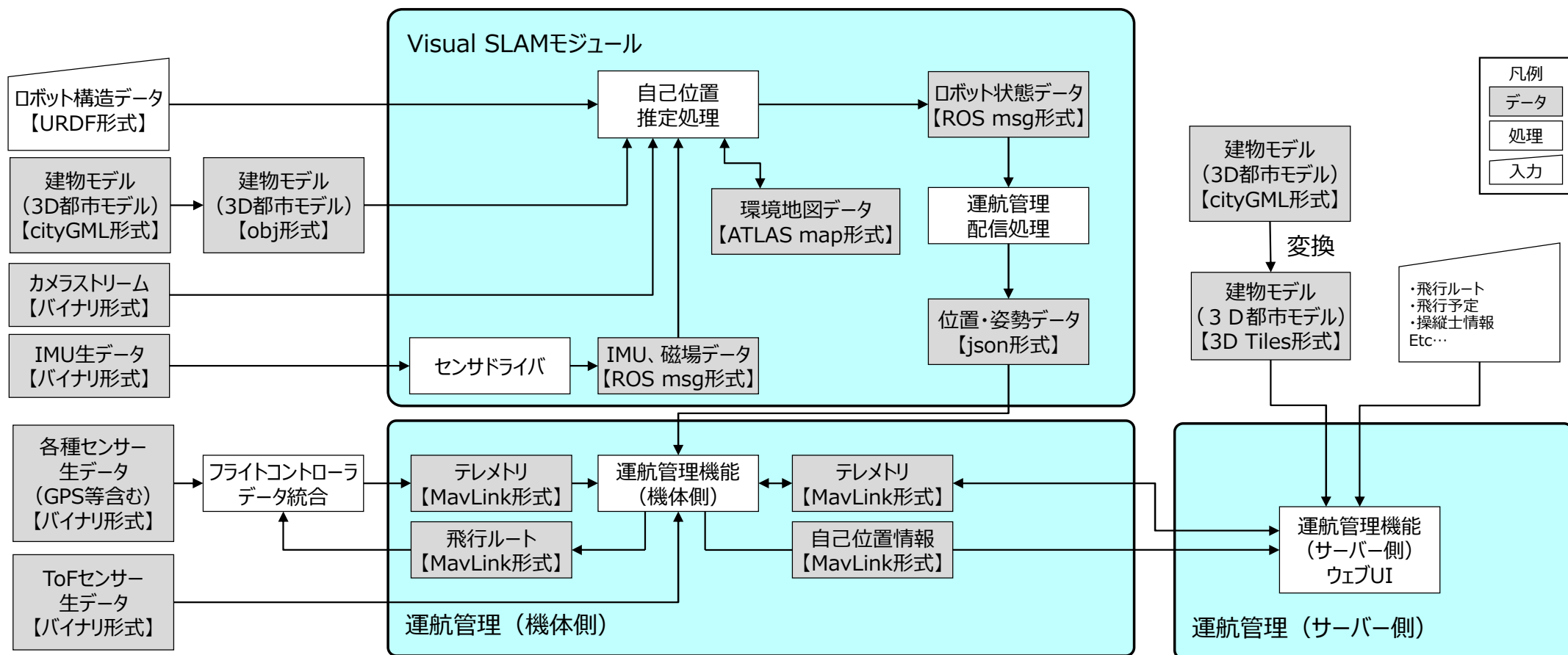
Ⅲ. システム開発計画

5. 利用するその他のデータ一覧 Visual SLAM

活用データ	内容	データ形式	出所
画像データ	カメラで取得した画像データ	—	多眼カメラ
姿勢データ	IMUで取得した機体・センサーの姿勢データ		IMU
GNSS位置情報データ	GNSSモジュール（RTK-GNSSも含む）で取得したGNSS位置情報データ		RTK-GNSSモジュール
テレメトリ（ドローン機体情報）	位置情報や高度、センサーのデータ、バッテリー状況等、ドローンの飛行状態を表すパラメータ群	MAVLink	フライトコントローラ

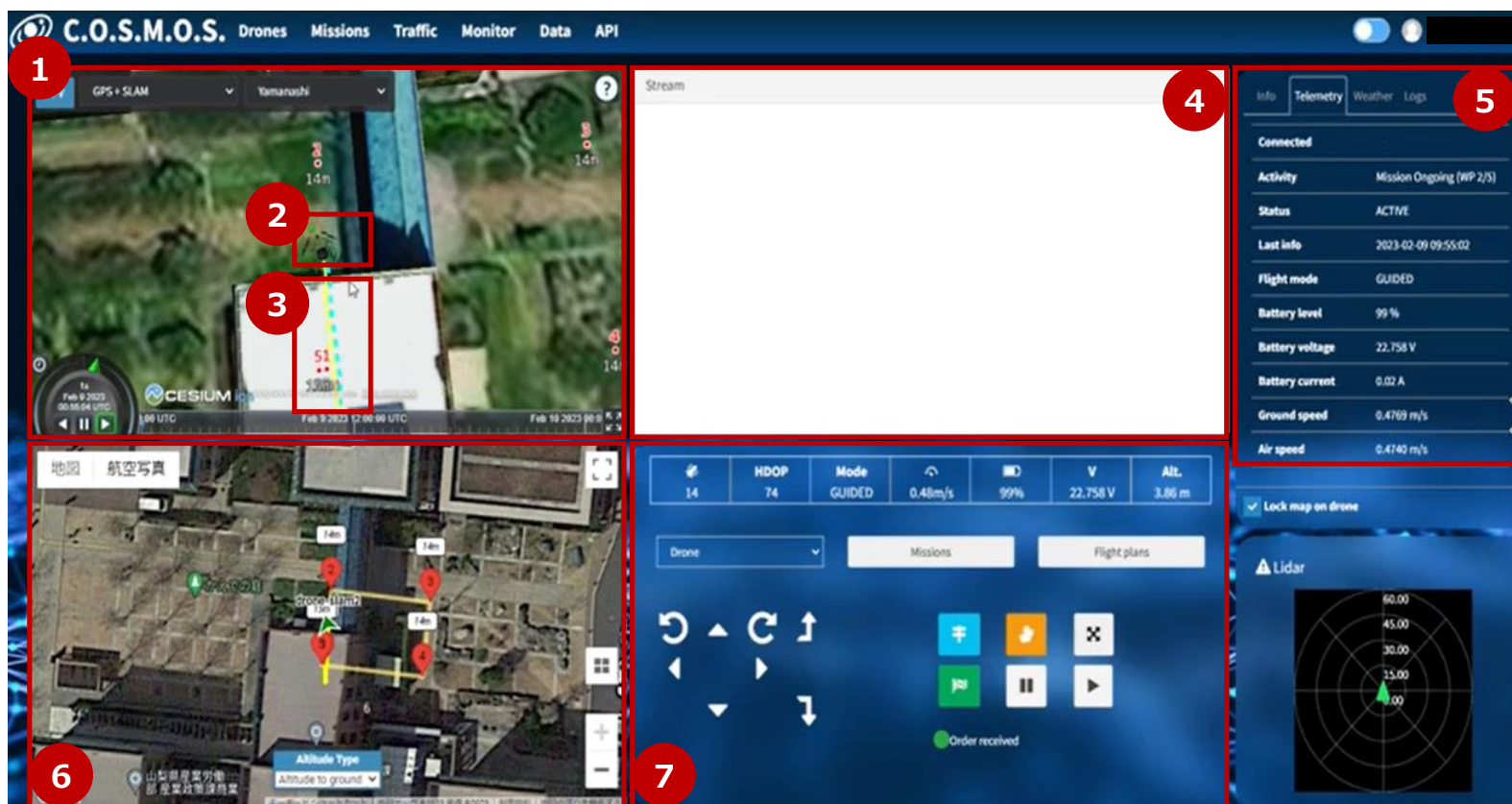
Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

6. データ処理フロー及びインタフェース設計



Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

7. ユーザーインターフェース



#	機能名	説明
①	3D地図表示	3D都市モデルを活用した地図を表示できる
②	機体位置表示	機体の位置を黒丸印で表示できる
③	飛行ルート表示	ドローンの飛行ルートを表示できる <ul style="list-style-type: none"> ● 黄：GPS (RTK) ● 青：各SLAM
④	ストリーミング表示	ドローンカメラの映像を表示 (本実証では未使用)
⑤	機体情報詳細表示	ドローンの機体情報を表示できる
⑥	2D地図表示	Google Mapの2D地図を表示できる
⑦	遠隔操作パネル	遠隔操作パネルを表示できる

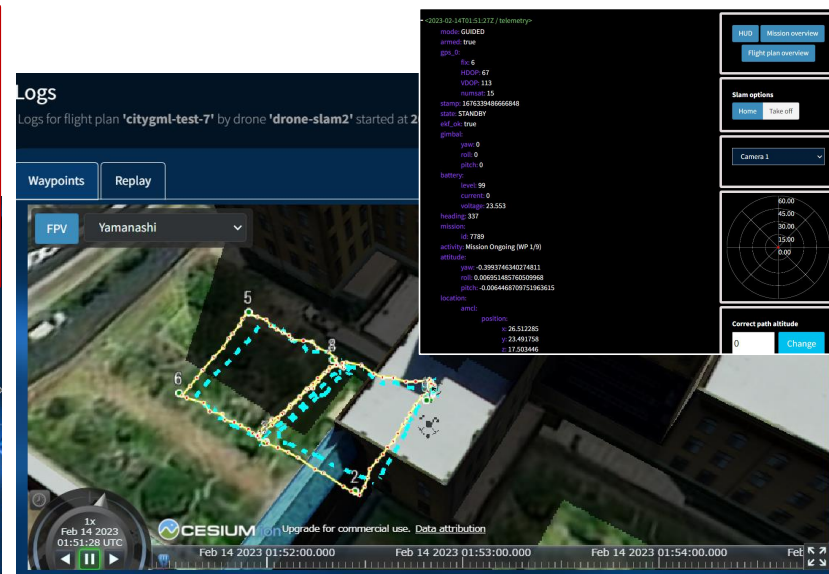
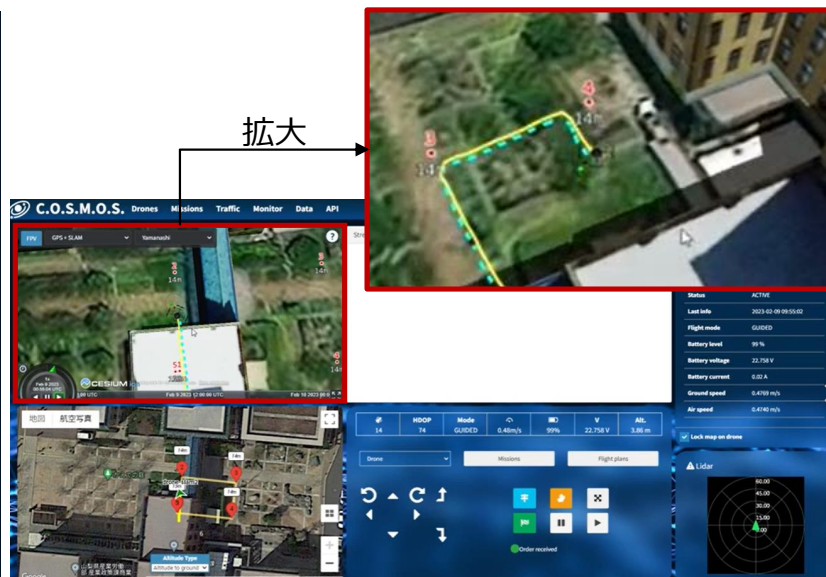
Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

7. ユーザインタフェース | 全体UI/UX

運航管理システムにログイン

ドローン飛行監視画面の表示・確認

飛行ルートログの確認



- PC上にて、運航管理システムのCOSMOSへログインする
- ドローン飛行監視画面を表示して、ドローンの実飛行を実施
- 3D都市モデルを用いた3D地図表示にて飛行ルートを確認
- センサーやカメラ等から取得した飛行ルートログを確認
- 黄色線：GPS（RTK）、青色点線：SLAM

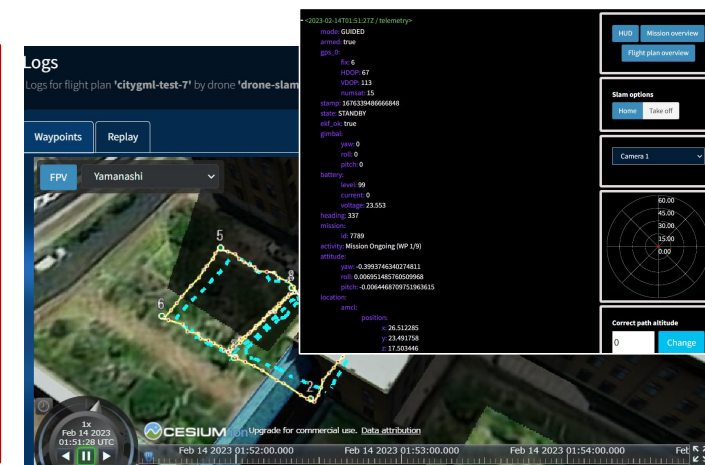
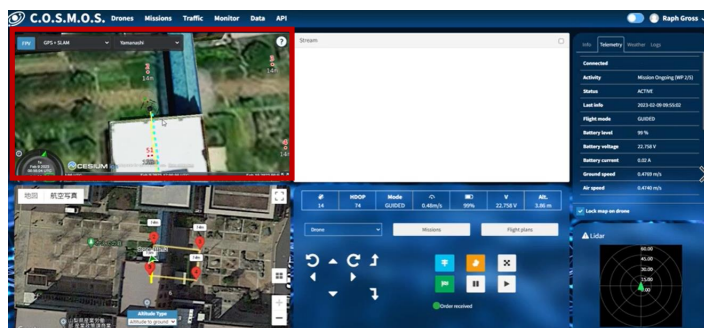
Ⅲ. システム開発計画 Visual SLAM

7. ユーザインタフェース | 結果出力

1) 飛行コマンドの実行

2) 航路データの表示

3) ログの確認



IV. 検討プロセスにおいて見出された制度的課題・技術的課題

見出された技術的課題・今後の展望への知見 (V-SLAM)

当初の目論見

③複数カメラによるV-SLAM

- 昨年度実証を通じて、3D都市モデルを用いたシミュレーションを事前地図として用いて、Visual SLAMの自己位置推定できることを確認。ただし、ステレオカメラ1台では1方向の壁面からしか自己位置推定できない課題が存在
- 複数カメラによる撮影により、複数方向の建物を自己位置推定に用いることを企図

技術的課題

- Multicol-SLAM Libraryを用いることで、複数カメラから得られた画像を並列処理しうることを確認
- ただし、センサーの統合と同期の精度、センサー間のデータ誤差やノイズ処理、移動や照明条件の変化など環境変化への対応、リアルタイム処理の計算負荷など、実装上の課題が大きいと判明
- また、当社保有ドローンのペイロード上も4台分のデータ処理する機材を搭載するのは難しい

- 概念的には複数カメラから情報を統合することで複数方向に対応したV-SLAMの開発を目指したが、データ統合・同期などの実装上の課題が大きく、当社エンジニアと議論の結果、今年度中の実装は難しいと判断
- Multicol-SLAM Libraryを用いた、低負荷の実装技術が開発されれば、ドローンへの搭載も可能になると考える