

みちびきを利用した実証事業

2022年3月24日

VTOLカイトプレーンによる東京湾縦断飛行

一般財団法人先端ロボティクス財団

野波 健蔵

準天頂衛星「みちびき」を利用した高精度測位と研究課題

【研究背景】首都圏の2つの政令指定都市(横浜市・千葉市)を結ぶ、空の物流
ドローンハイウェイ(将来的には東京、川崎や、必要に応じて南房総と三浦
半島繋ぐ)、同時に、大規模災害(直下型地震、台風、集中豪雨)にも対応する

- ・湾岸道路、アクアラインという地上交通網とは別の第3の大動脈・空の交通システム
- ・慢性的な地上交通システムの渋滞回避を実現する環境に優しいエコシステム
- ・BtoB、または、BtoCのビジネス便による便利、低価格システム

【研究課題1】東京湾縦断飛行によるドローン物流においては、航空機と無人機
の離隔距離が極めて重要で、FAAのニアミス基準を順守(水平距離150m、
高度差60m)、将来、多くの無人機が飛び交う際の衝突回避の測位精度向上

【研究課題2】ドローン物流の高効率化を図るには、リーダー・フォロワー編隊飛
行が有利で、このため、リーダー機とフォロワー機の最小距離を如何に設定
するか、空力的基準と測位精度基準がある。省エネ化と低コスト化の実現

【研究課題3】ドローン物流が常態化してくる頃には、ドローンステーション(ドロ
ーンポート)への高精度着陸が求められ、駐車場車2台分スペースで普及促進

テーマ1：無人機の高精度測位による離隔距離保証と安全性確保

2022年2月24日(予定)、
25日(予備日)実施
準天頂衛星利用による
測位精度向上



テーマ2： 機体間距離の最小化を実験的に検証



テーマ3：ドローンステーションへの高精度着陸



- ・本公開実験では高精度着陸として、ドローンステーション(DS)への着陸を行う

- ・ドローン物流時代の先駆けとして、将来普及することが想定される配送品のドローンへの荷物収納、離陸ポイント、ドローン着陸ポイント、ドローンから荷物の受領、保管、一時収納などの機能、将来はバッテリー交換などの機能追加

- ・左図は大きさは縦2m×横2m×高さ2.2mであり、重量は1.6トン

- ・着陸のシーケンスは、通常は無線でドローンとDSが相互に無線通信して着陸許可を求めて、承認されたらDS上空から降下してDS上に着陸する

- ・将来は、コンビニエンスストアレベルに、数キロエリアに1か所程度を配置して、荷物配送や受取、ドローン離発着場となる

本プロジェクト（みちびき実証PJ）の事業実施メンバーと役割分担

事業実施体制図

（一財）先端ロボティクス財団

総括、企画、データ解析と
準天頂衛星測位精度評価

（株）四門

機体リース、ボートチャーター
保険契約、機体メンテナンス
オペレーション訓練と一部担当

千葉大学

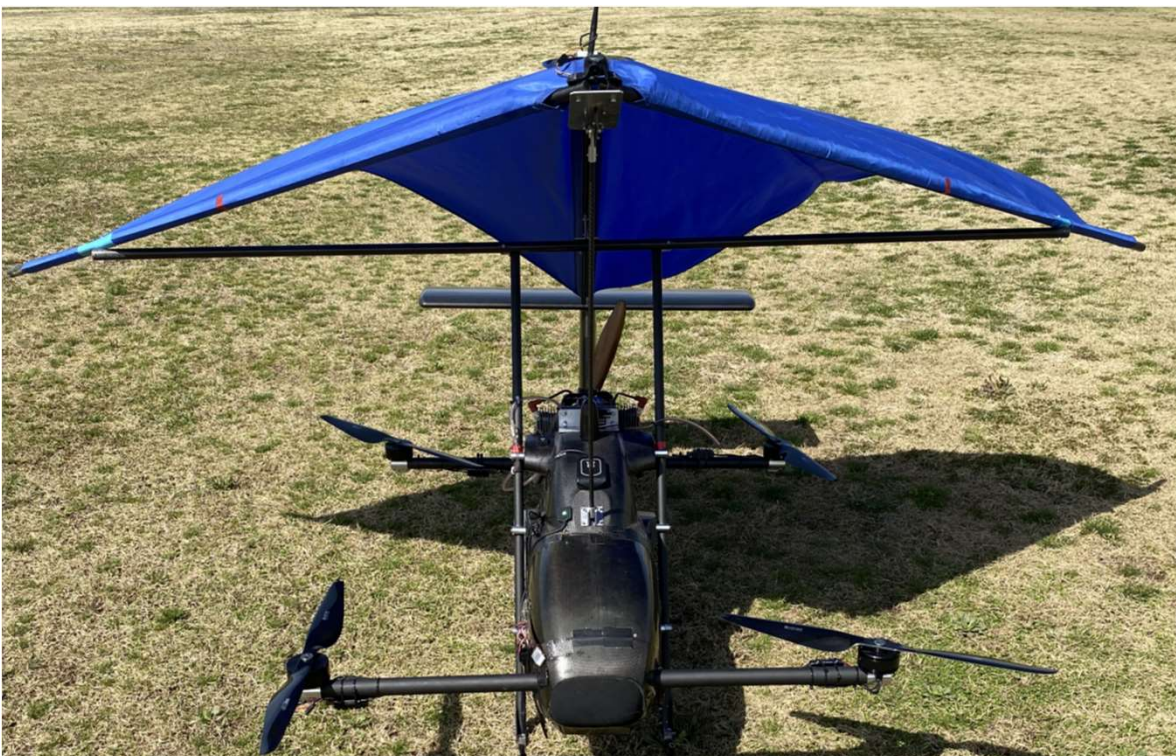
準天頂衛星CLAS用ソフト関連
APIソフト他

戸澤洋二技術士事務所

無線通信関連5.7GHz、351MHz
周波数帯の感度調整・雑音除去

（一社）日本ドローンコンソーシアム

オペレーション一部担当
動画撮影、離発着地点の
安全確保（監視者）



【名称】 VTOLカイトプレーン VK21-01
【全長】 1948mm
【全幅】 2590mm
【全高】 1120mm
【重量】 20kg
【ペイロード】 4.9kg
【最大離陸重量】 24.9kg
【主翼面積】 1.82m²
【飛行速度】 約50km～70km/時
【飛行時間】 2時間



多周波マルチGNSS受信機と多周波対応アンテナ

多周波マルチGNSS受信モジュール（ディスクリット版）は、準天頂衛星みちびき（QZSS）のL6信号を受信し、高精度かつ単独測位が可能な受信機で、測位補強システムである「CLAS」と「MADOCA」の双方に対応している。多周波マルチGNSS受信モジュール（ディスクリット版）はケース、アンテナ、各種入出力ポートを組み込んだ評価キットとなっている。付属のアンテナやケーブルを接続するだけで、多周波マルチGNSS受信モジュールとして利用できる。



型番MJ-3021-GM4-QZS-EVKの仕様

- ・使用モジュール：多周波マルチGNSS受信モジュール（ディスクリット版）
- ・捕捉衛星・信号：GPS（L1・L2・L5）、QZSS（L1・L2・L5・L6）、GLONASS（G1・G2）、Galileo（E1・E5a・E5）、Beidou（B1・B3）
- ・初期位置算出時間：コールド・スタート：90秒（typ.）、ウォーム・スタート：35秒（typ.）、ホット・スタート：12秒（typ.）、衛星再捕捉時間：4秒（typ.）
- ・測位精度（RMS）：自律測位：1.5m、RTK（リアルタイムキネマティック）動的：5cm+0.7ppm×基線長（<30km）、RTK（リアルタイムキネマティック）静的：0.5cm+0.7ppm×基線長（<30km）、PPP（MADOCA）：<10cm、PPP-RTK（CLAS）動的：<6.94cm、PPP-RTK（CLAS）静的：<3.47cm
- ・最大出力レート：最大 20Hz
- ・入出力インターフェース：RS232C×2
- ・データフォーマット：NMEA0183 Version 3.0（Output） / RTCM SC104 Version 3.1, 3.2（MSM3, 4, 5, 7）（Input/Output）
- ・サイズ（W×D×Hmm）：130×90×42mm
- ・重量：340g
- ・消費電力：3.5W以下
- ・電源：DC12V

351MHz帯のデジタル簡易無線局（登録局）

デジタル簡易無線局（登録局）は、平成20年8月に制度化された、従来の免許局と違い簡単な手続きで使用できる新しいタイプの簡易無線局です。

区分	デジタル簡易無線局（免許局）	デジタル簡易無線局（登録局）	
		無線設備の種別：3R	無線設備の種別：3S
特徴	- 無線局免許が必要 - 高出力（最大5W） - 免許人以外の使用は不可 - 陸上での使用に限定	- 免許局と比べて簡単な「登録手続き」にて利用可能 - 高出力（最大5W） - 免許人以外でも使用可能（レンタル可） - 一部のもの（種別が「3S」のもの）は上空使用可（最大出力1W）	
利用シーン	主に企業等における業務用通信	- 企業等における業務通信 - 免許人以外も利用できることから、イベント等におけるレンタル機器として利用 - 個人等におけるレジャー通信	
チャンネル数	28チャンネル（150MHz帯のもの） 65チャンネル（460MHz帯のもの）	30チャンネル（351MHz帯のもの） （注1）	5チャンネル（351MHz帯のもの）
空中線電力	最大5W	最大5W	最大1W
使用可能場所	陸上（150MHz帯） 陸上・日本周辺海域（460MHz帯）（注3）	陸上・日本周辺海域（注3）	陸上・日本周辺海域・上空（注3）
キャリアセンス機能（注2）	なし	あり	

新しく開発した基地局GCS (Ground Control Station)

GroundControlStation 1.01



通信状況	GNSS	QZSS	バッテリー	飛行モード	高度	速度	速度(ピトー管)	残燃料	発電電力	発電機温度	有効プロト	ADS-B:
0 %	0	0	0.00V	準備モード	0.0m	0.00 m/s	0.00 m/s	0.0%	0 W	0 °C	No.	AIS:



- キルスイッチ
- 離陸
- 着陸
- エンジン起動
- エンジン停止
- 自動帰還

- ウェイポイント変更
- ウェイポイント一時停止
- ウェイポイント再開
- 新規作成
- ウェイポイント削除
- 保存
- 飛行ルート送信
- 飛行軌跡クリア
- 飛行ルートを開く
- 送信開始



QZSS「みちびき」を用いた編隊飛行の精度検証試験結果

実験の概要

実施日： 2022年2月11日(金)13時～16時

実施場所：栃木県小山市西河原鬼怒川河川敷(小山絹滑空場)

実施内容：

1. 単独飛行試験

1－a)GNSS(みちびき不使用、Ublox、衛星捕捉数20)

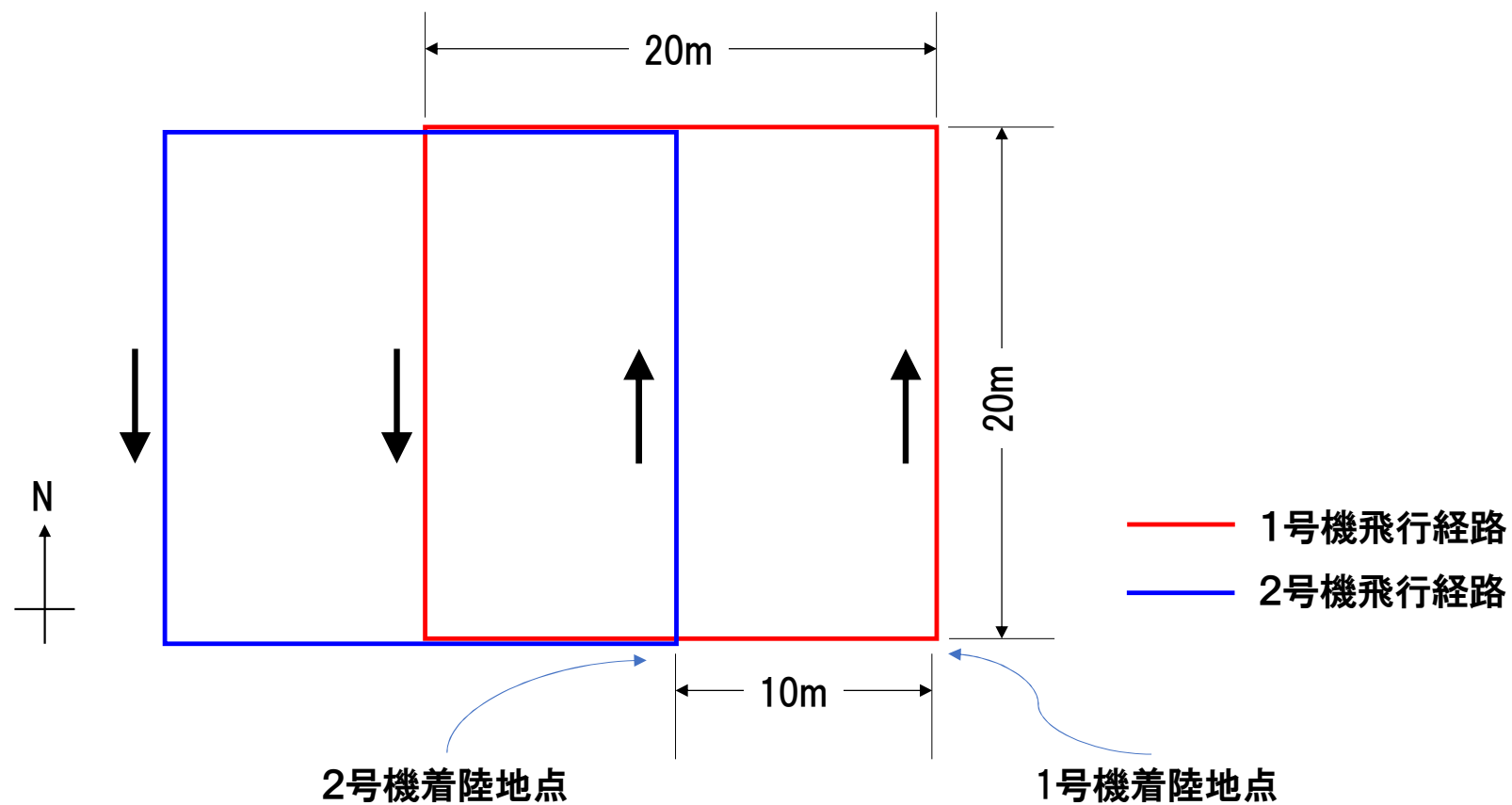
1－b)QZSS(みちびき使用、MSJ/CLAS、衛星捕捉数14)

2. 編隊飛行試験

2－a)GNSS(みちびき不使用、Ublox、衛星捕捉数20)

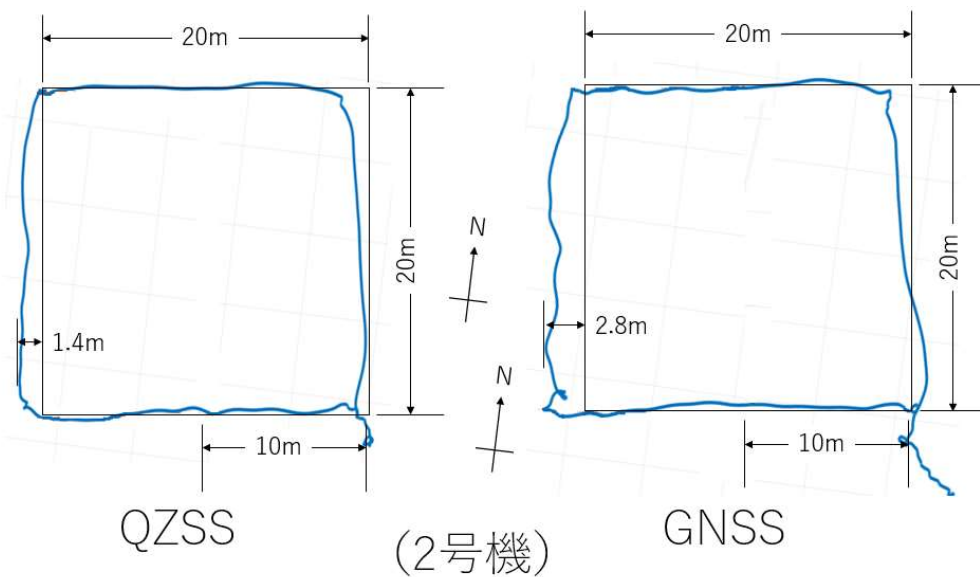
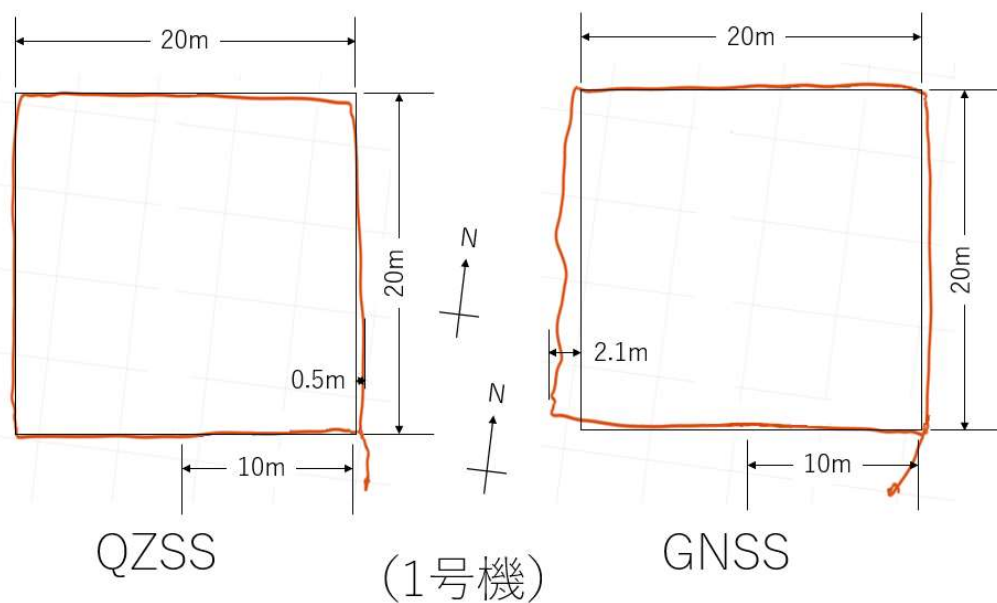
2－b)QZSS(みちびき使用、MSJ/CLAS、衛星捕捉数14)

編隊飛行試験の飛行経路

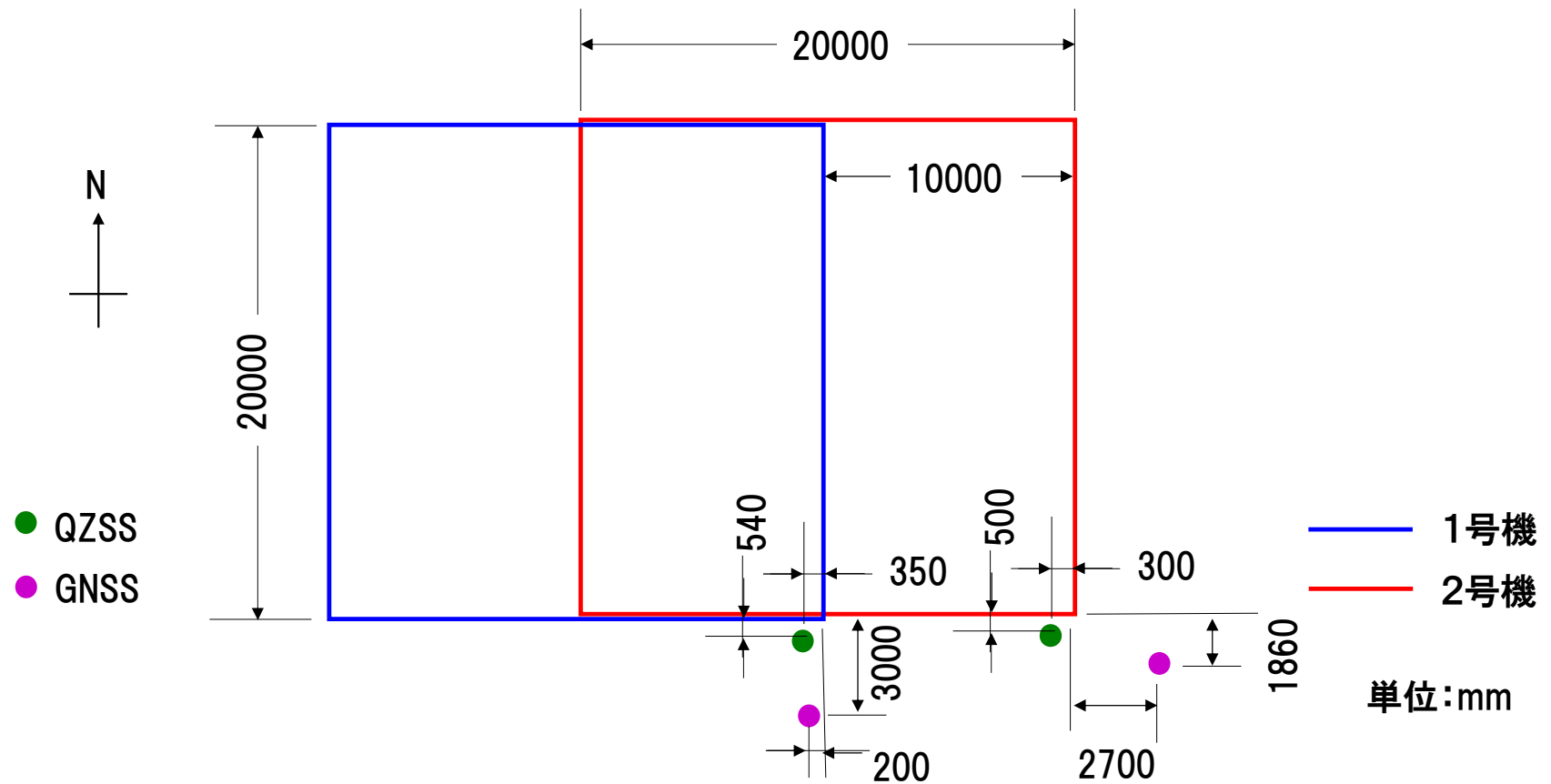




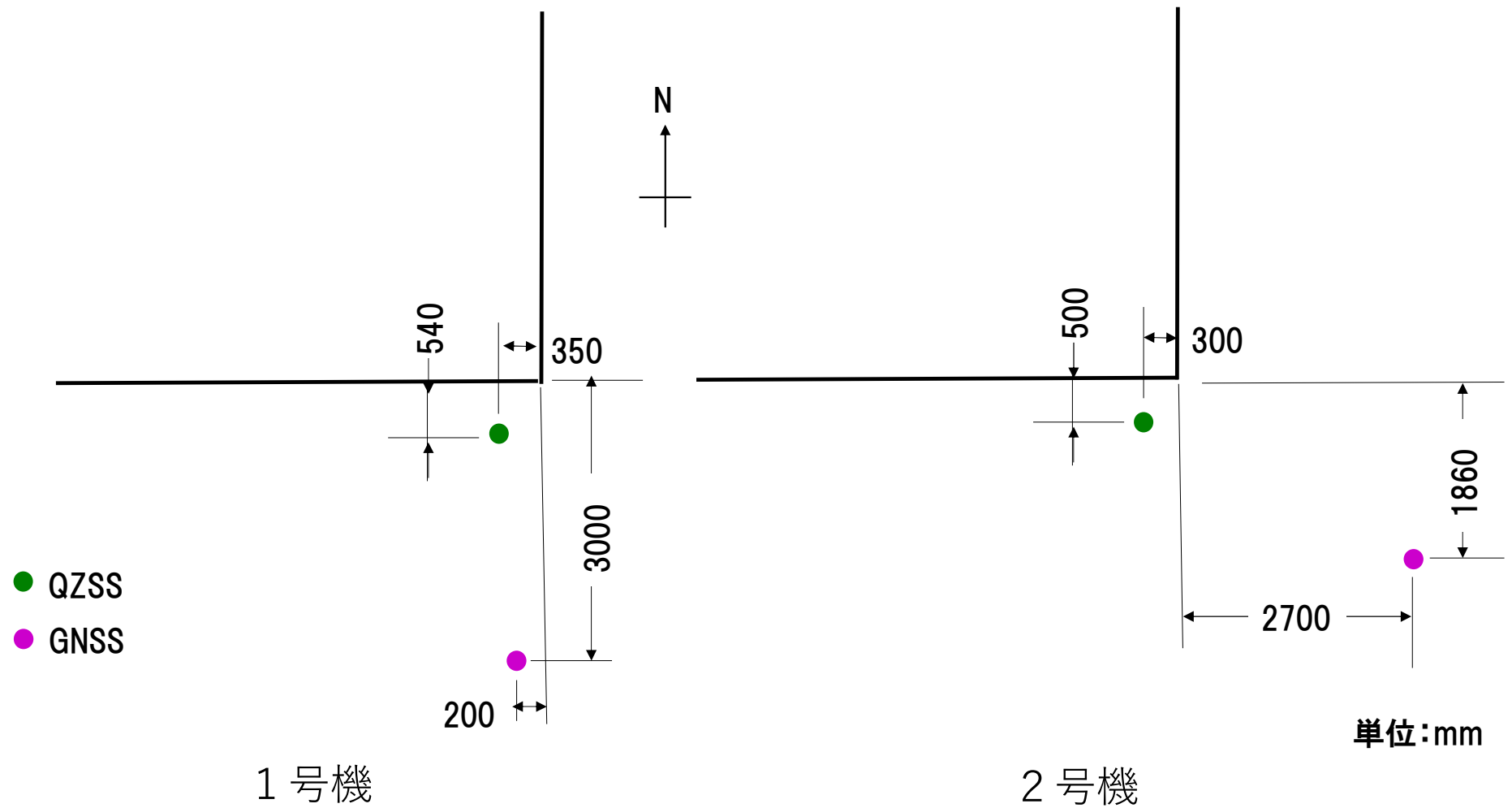
QZSSとGNSSによるウェイポイント編隊飛行の軌跡



編隊飛行試験の結果(着陸位置)



編隊飛行試験の結果(着陸位置)の拡大図



本プロジェクトで実用化を目指すドローンハイウェイの飛行経路

羽田空港

着陸地点
稲毛海浜公園

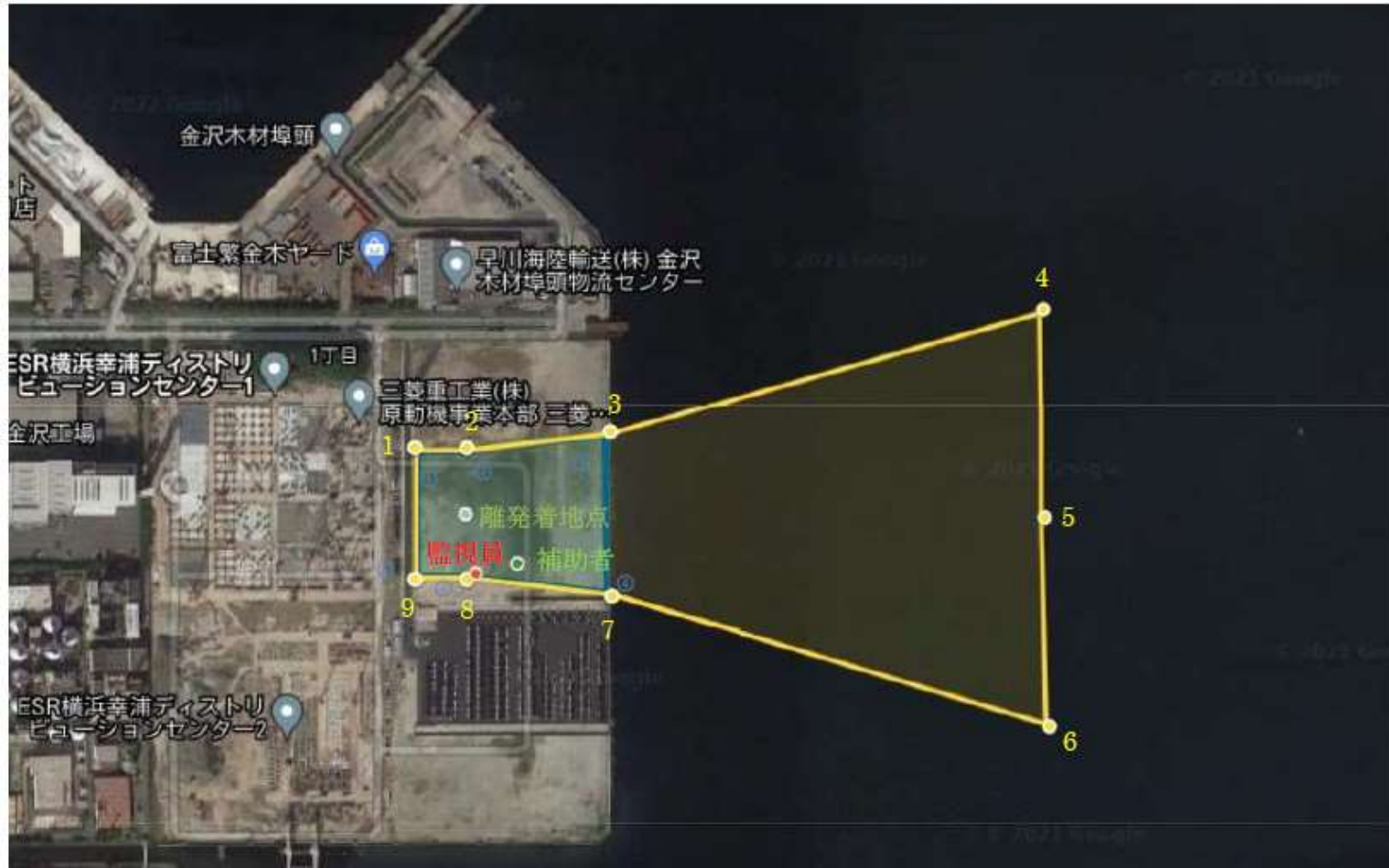
海ほたる

離陸地点
幸浦・ESR社敷地

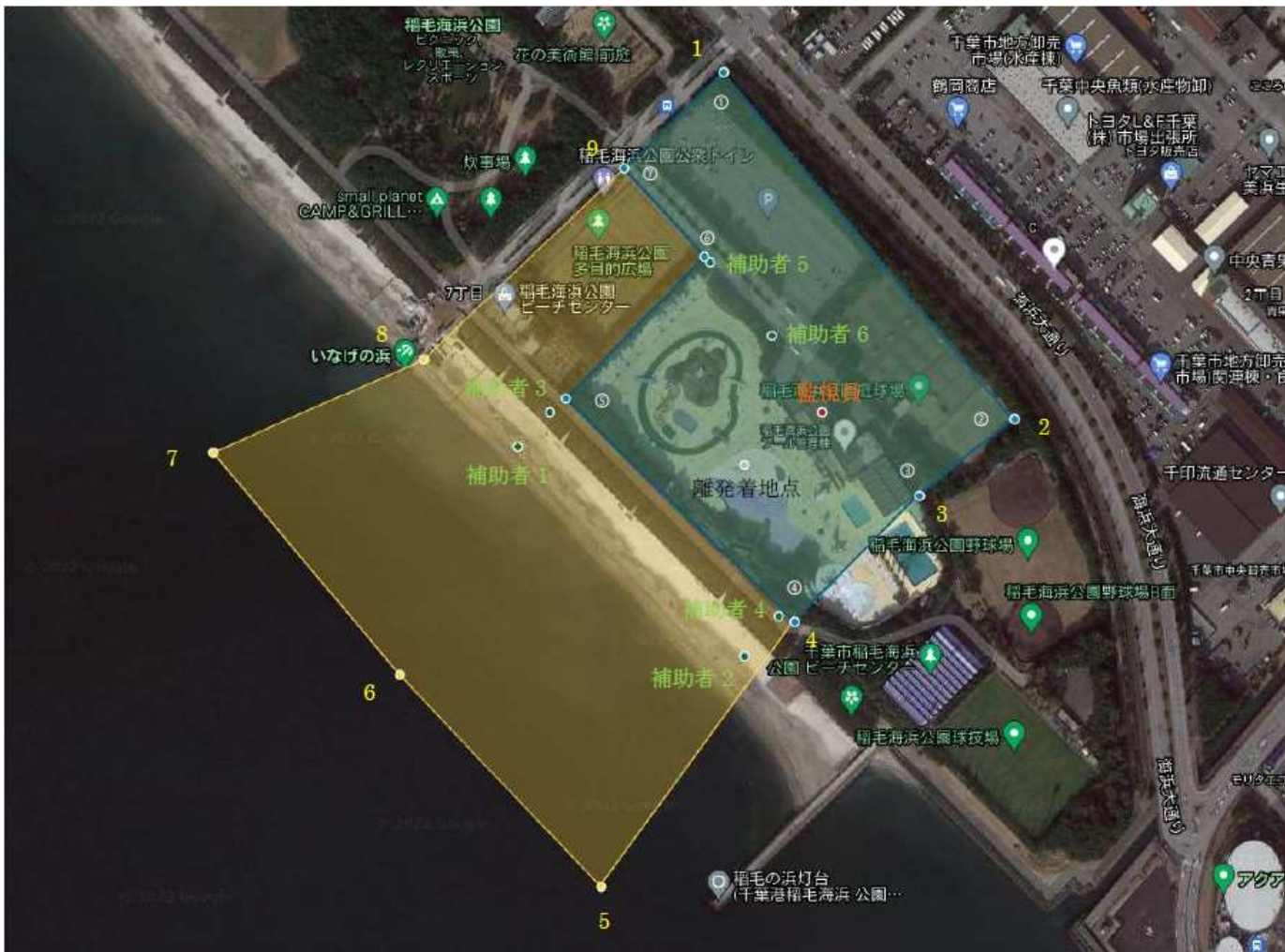


離陸地点の横浜市金沢区幸浦 ESR社敷地

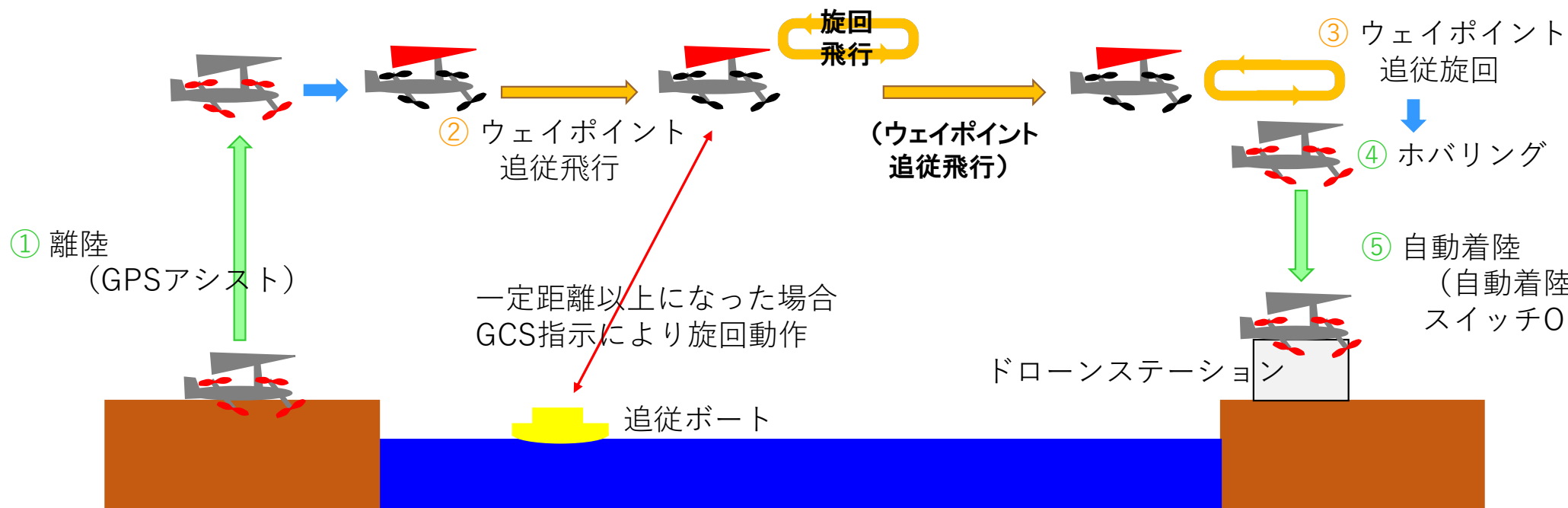
離陸地点：横浜市幸浦



着陸地点の千葉市美浜区稲毛海浜公園



東京湾縦断飛行における離陸から着陸までのシーケンス

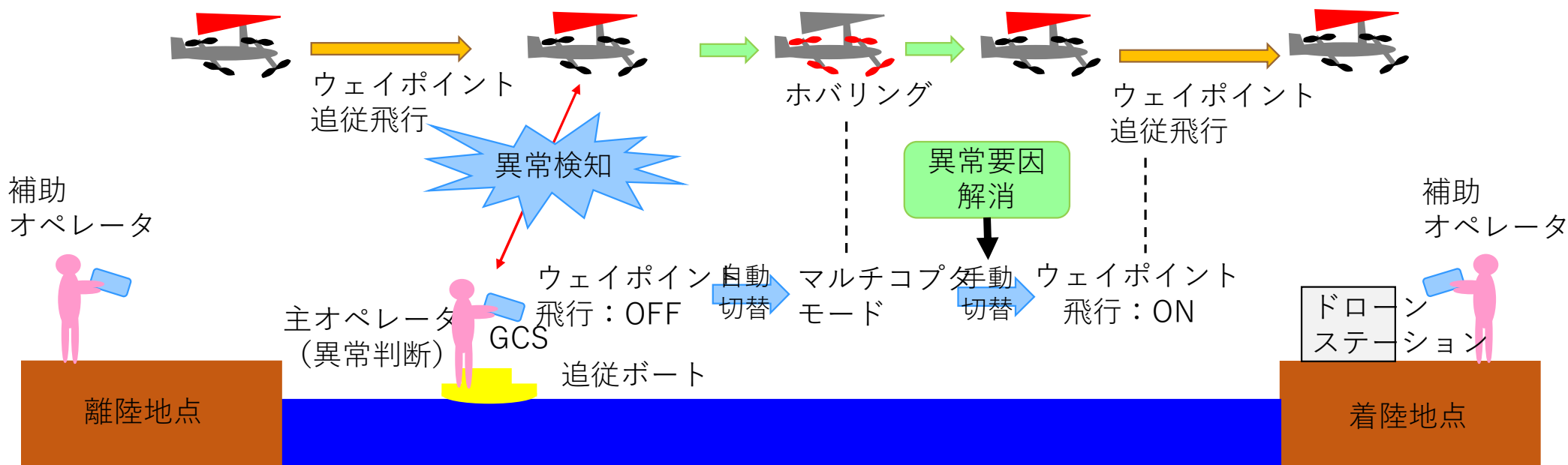


モード	マルチコプタ	カイト	マルチコプタ
-----	--------	-----	--------

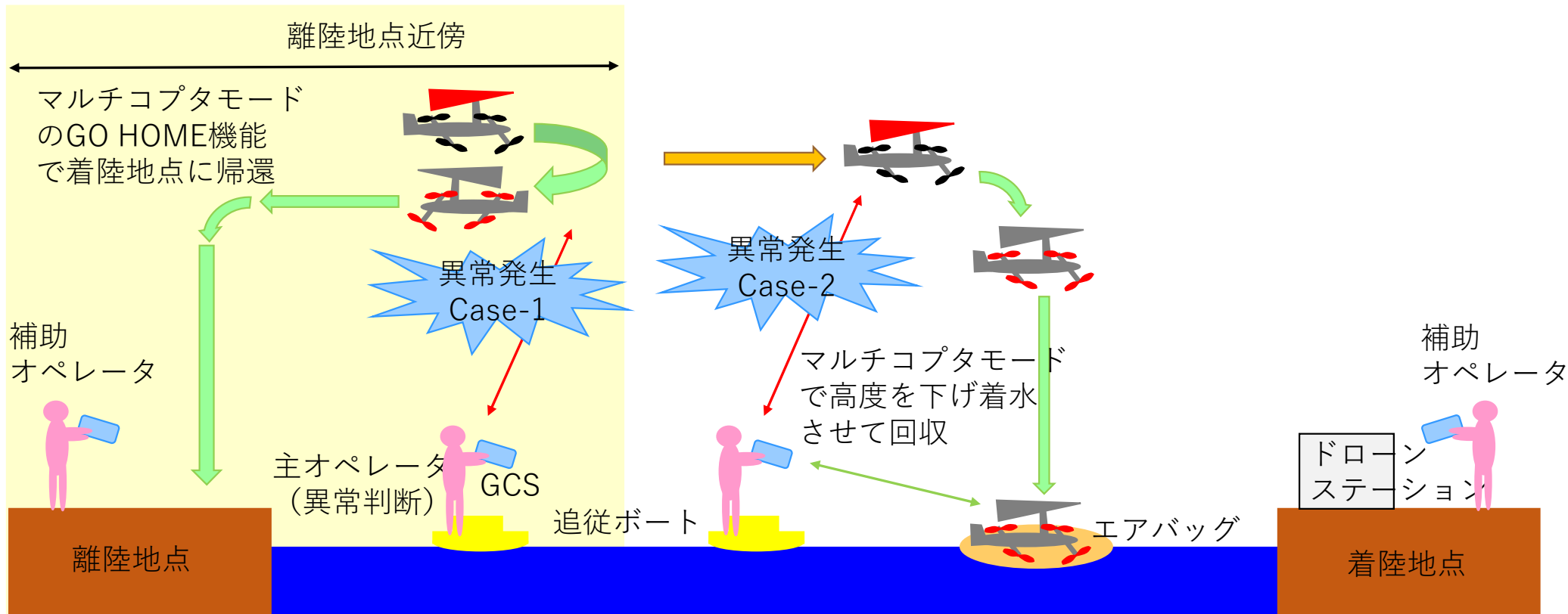
プロポ：ウェイポイント飛行スイッチ→ON
対気速度（ピトー管で計測）：一定速度以上

プロポ：ウェイポイント飛行スイッチ→

フェイルセーフ(1)



フェイルセーフ(2)



搬送物：ジルコニア、セラミック等の歯科技工物

ドローン物流：ビジネスモデルと社会的受容性が極めて重要

1. 何を運ぶか（ビジネスモデル）？
ジルコニア・セラミック・インプラント等の歯科技工物
2. その搬送物は何の程度の緊急性か（ドローンの必要性）？
食事と健康に関わることで、出来るだけ早い方が望ましい
3. 単位重量当たりのコストは何の程度か（黒字化可能？）？
約100万円/100g
4. 飛行エリアで社会的受容性は取れているか（社会許容度）？
飛行エリアは東京湾上空であり、騒音やプライバシーなどの問題はない

搬送物：ジルコニア、セラミック等の歯科技工物

素材	ジルコニアレイヤリング (技工士立ち会い)	ジルコニア レイヤリング	オールジルコニア グラデーション	セラミック E-MAX	オールジルコニア 単色	CAD/CAM 冠	メタルクラウン
写真							
素材の特徴	専属の技工士立ち会いのもと、色調・形態・適合など最高グレードの補綴物を製作します	人工ダイヤモンド素材を内面に入れ表面をセラミックスで何層にも色分けして審美表現します	何層にも色分けされたブロックを削りだして製作します	すべてセラミックで審美表現します	人工ダイヤモンド素材で歯全体を作ります。強い強度を持ちます。	保険で認められたプラスチックブロックで全体を作ります	保険で認められた金属で全体を作ります
費用	¥120,000 (税別)	¥98,000 (税別)	¥80,000 (税別)	¥70,000 (税別)	¥50,000 (税別)	保険適用	保険適用
当院の保証期間	5 年	5 年	5 年	5 年	なし	なし	なし
審美性 歯肉の色影響や透明感	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
耐久性 変色や摩耗	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
金属アレルギー 使用金属の厚み	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★	★★★★★
選ぶポイント	最も美しい最新の審美治療ブリッジにも対応	特殊な色を使わない最新の審美治療ブリッジにも対応	一般的な歯の色調を再現可能な審美治療ブリッジにも対応	透明度が高く審美性に優れている単冠のみ対応	丈夫	こだわらない	こだわらない
長所	セラミックにより残存歯とまったく同じ色調が可能 金属フレームを使用しないためアレルギーが起こりにくい 歯肉との境目が分かりにくい 歯肉の色がきれい	セラミックにより残存歯とまったく同じ色調が可能 金属フレームを使用しないためアレルギーが起こりにくい 歯肉との境目が分かりにくい 歯肉の色がきれい	グラデーションのジルコニアブロックにより歯に近い色が可能 金属フレームを使用しないためアレルギーが起こりにくい 歯肉との境目が分かりにくい 歯肉の色がきれい	透明感を持った素材で審美的に優れている 金属フレームを使用しないためアレルギーが起こりにくい 歯肉との境目が分かりにくい 歯肉の色がきれい	歯ぎしりをする患者様には適応 金属を使用しないため、アレルギーが起こりにくい	保険適用で安価	保険適用で安価
短所	なし	特殊な色の症例には不可	特殊な色の症例には不可	はぎしりがある症例、ブリッジには不可	色は単色で不透明な白色 本来の歯の色とは異なる	小臼歯、下顎第一大臼歯のみ適応 経年的に変色する	金属アレルギーの心配がある 見た目の金属色が気になる

搬送物：インプラント



歯科でいうインプラントとは、歯を失った部位の顎の骨に人工の歯根を植え込む手術を行い、歯を作ることでより噛み合わせと見た目を回復する治療のことをいいます。

現在使用されているインプラントのほとんどは、チタンを主成分とするネジのような形をしています。植立した後に、さらにネジ構造の人工歯を取り付けるようになっています。

東京湾縦断飛行のロードマップと社会実装化の展望

2021 年 目視外長距離飛行
東京湾縦断飛行
(横浜、川崎、東京—千葉)

2022 年 目視外長距離飛行
東京湾縦断飛行
(横浜、川崎、東京—千葉)

2023 年 第三者上空飛行許可
取得、ビジネス開始予定

東京湾縦断飛行実証実験 (VTOL カイトプレーン検証)

- ・ 飛行実績の蓄積
- ・ 自律飛行制御の高度化
- ・ 目視外・第3者上空の完全自律飛行

東京湾縦断飛行ビジネス便開始

千葉市内上空の物流実証実験継続

離島・山間部でのビジネス開始