

千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

2021年11月25日

ドローンによる東京湾縦断飛行と将来展望

(国交省ドローン物流PJ, 内閣府みちびき実証事業PJの支援により実施)

一般財団法人先端ロボティクス財団

野波 健蔵

千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

1. 背景と東京湾縦断飛行の目的
2. 東京湾縦断飛行に至るまでの準備
3. 東京湾縦断飛行の実施と結果
4. 今後の東京湾縦断飛行計画
5. 東京湾上空物流構想とビジネスモデル

千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

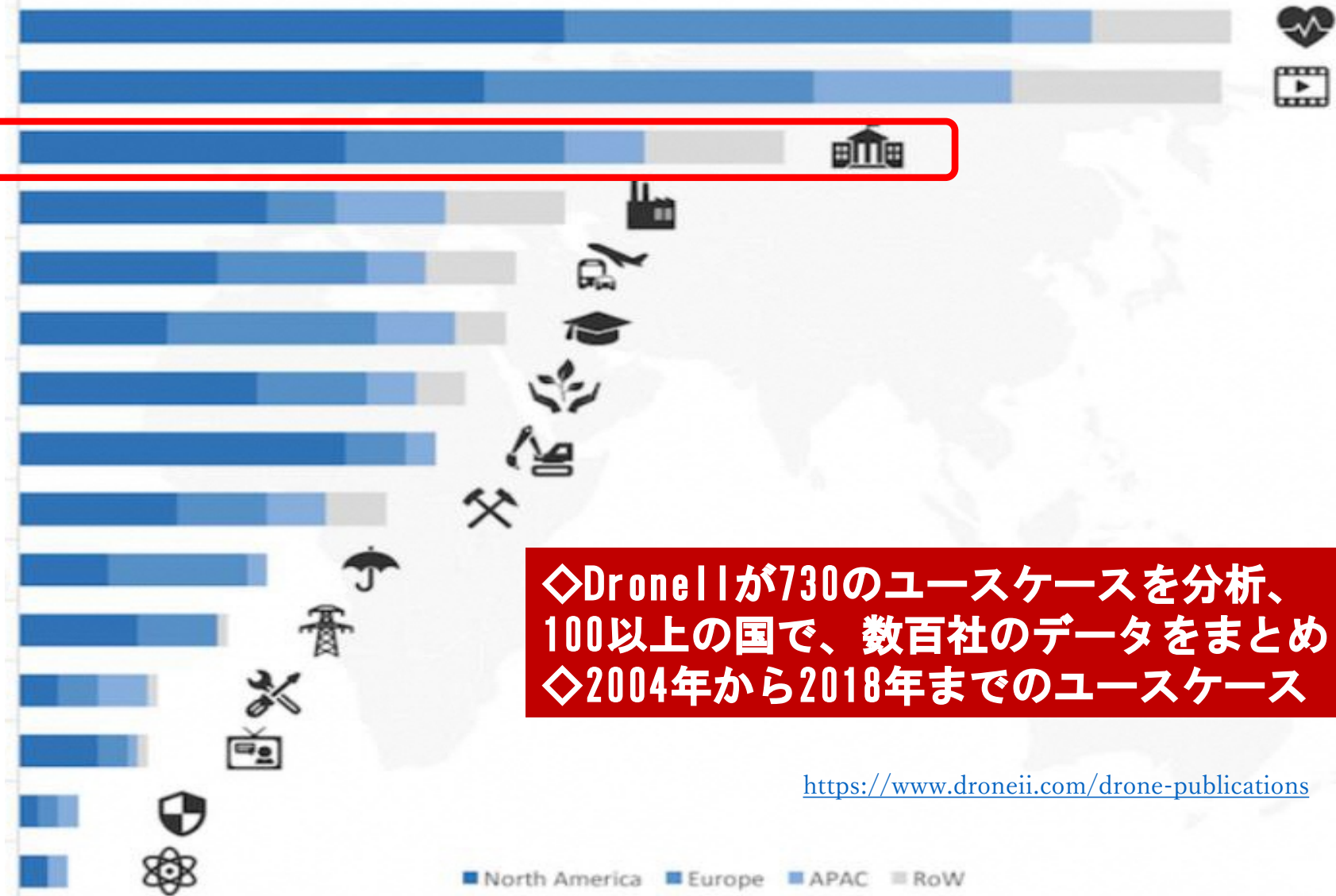
- 1. 背景と東京湾縦断飛行の目的**
2. 東京湾縦断飛行に至るまでの準備
3. 東京湾縦断飛行の実施と結果(3月予定)
4. 今後の東京湾縦断飛行計画
5. 東京湾上空物流構想とビジネスモデル

世界のドローン利活用分野（上位15の応用分野）

Industry Sector¹

Global Share of Drone Applications²

1. ヘルスケアと社会的支援
2. 趣味と娯楽、ホビー
3. 行政主導の公的な利用
4. 不動産、レンタル・リース
5. 物流・倉庫
6. 教育サービス
7. 農業
8. 建設
9. 採鉱・採石、石油・ガスの採掘
10. 保険
11. エネルギー・ユーティリティ
12. 修理・点検
13. 情報
14. 安全・保安
15. 専門的な科学技術サービス

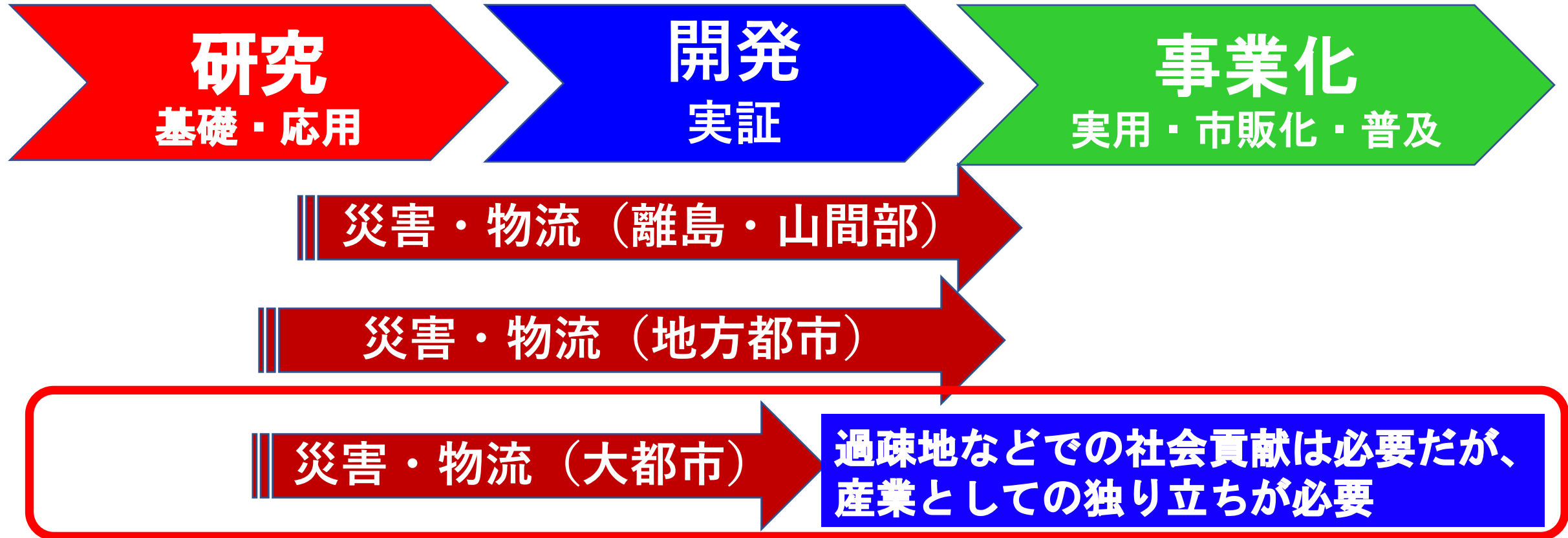


◇DroneIIが730のユースケースを分析、
100以上の国で、数百社のデータをまとめ
◇2004年から2018年までのユースケース

<https://www.droneii.com/drone-publications>

■ North America ■ Europe ■ APAC ■ RoW

災害・物流分野での社会実装の現状

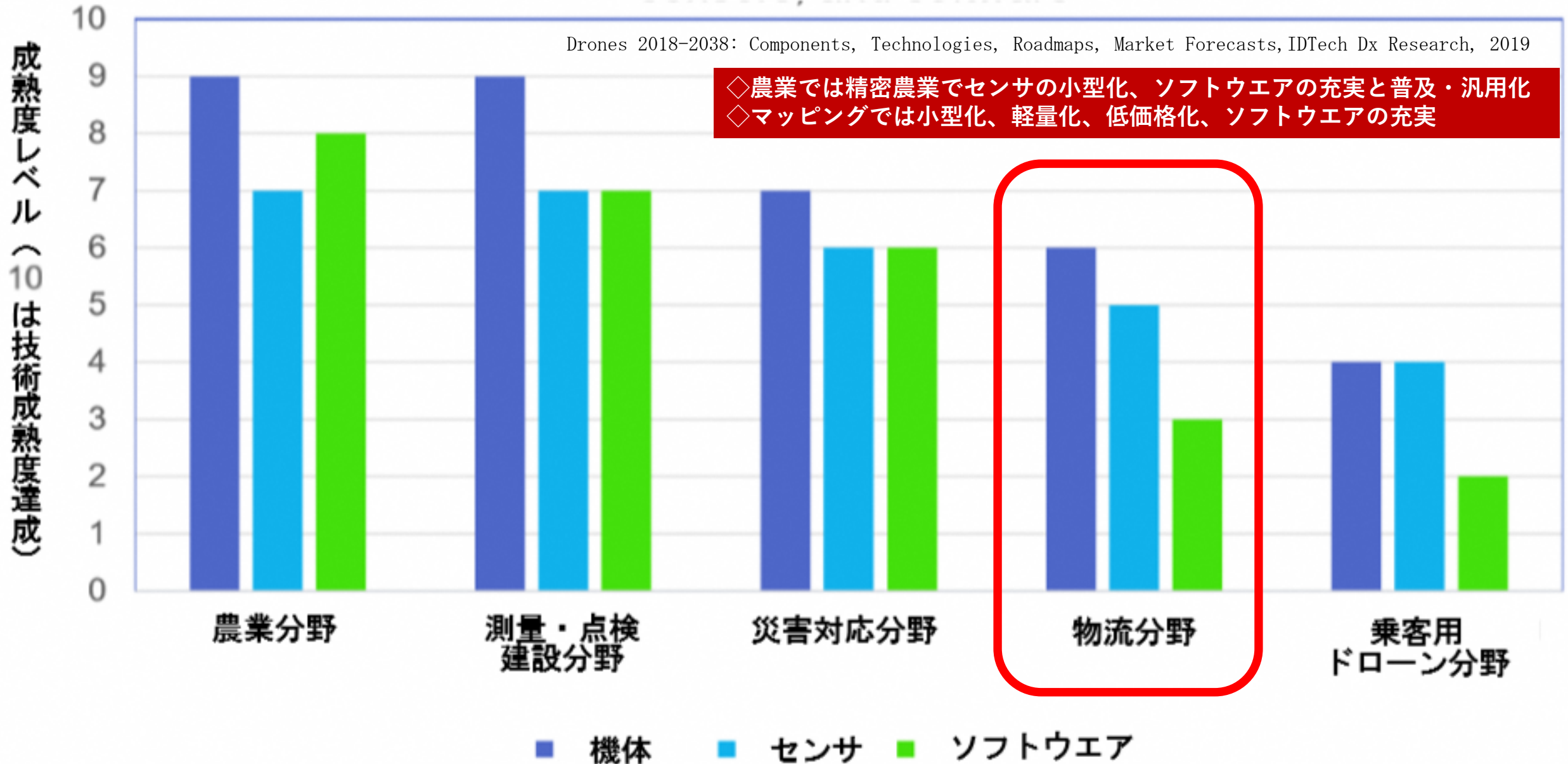


- ◆ 目視外・第3者上空飛行については、米国を除いて世界はケースバイケースとなっている
- ◆ 米国は第3者上空は条件付きで飛行許可し、目視外飛行は都度飛行許可
- ◆ 米国UPS、Matternet、Amazon、Zipline、Wingはドローン物流免許取得

物流分野での社会実装の課題

- ◆ 目視外・第三者上空飛行の法制度の整備
- ◆ レベル4に対応する機体の認証制度・機体登録制度・審査制度の確立
- ◆ 第三者上空飛行における社会的受容性の拡大
- ◆ 米国や中国のようなドローン配送事業者ライセンス制度の整備
- ◆ 米国や中国のような長距離飛行が可能な無線周波数帯・パワーの認可
- ◆ ドローンのみならず、ドッキングステーションやUGV等との連携と整備
- ◆ 緊急着陸地点の確保
- ◆ 機体の飛行時間と飛行距離の延伸、ペイロードの増加
- ◆ コストパフォーマンスを考慮すると、徹底した無人化物流ドローンシステム構築
- ◆ 多数ドローンの運用による群制御としての運用効率化と認可
- ◆ AI等を活用したUAVとUGVの連携と最適化、ルート最適化
- ◆ UTMのような地上支援システムの充実と普及化、汎用化
- ◆ ATMとUTMの統合による有人航空機と無人航空機の統合的管理
- ◆ 5Gや携帯電話の空中利用の促進とインフラ整備
- ◆ 災害等に対する緊急時のドローン運用の整備

ドローン利活用における分野別技術成熟度レベル



ドローン配送・物流の市場マップ

ドローンサービスプロバイダー会社

ドローンソリューションエンドユーザー会社

小売商品



食料品



医療品



工業品



東京湾縦断飛行と将来構想およびビジネス戦略

1. 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

- ・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
- ・横浜市や川崎市を中心とした京浜地区と千葉市や市原市等の京葉地区の新たな連結

2. 最近の大型台風・集中豪雨など大規模災害に対応できる防災・減災システムとして機能(ドクターヘリと連携した空からの救急医療)

空からの被災地調査や救援物資の搬送

3. 想定される首都直下地震に対する災害救援物資搬送のための物流ドローンハイウェイ

- ・想定される首都直下地震時には多くの陸路は寸断されて地上交通は麻痺
- ・こうした大災害時に最も効果的なアクセス方法は空であり、物流ドローンハイウェイは大活躍することが期待される
- ・非常時の災害に備えるためにも、平常時に物流ドローンハイウェイとして稼働していること

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



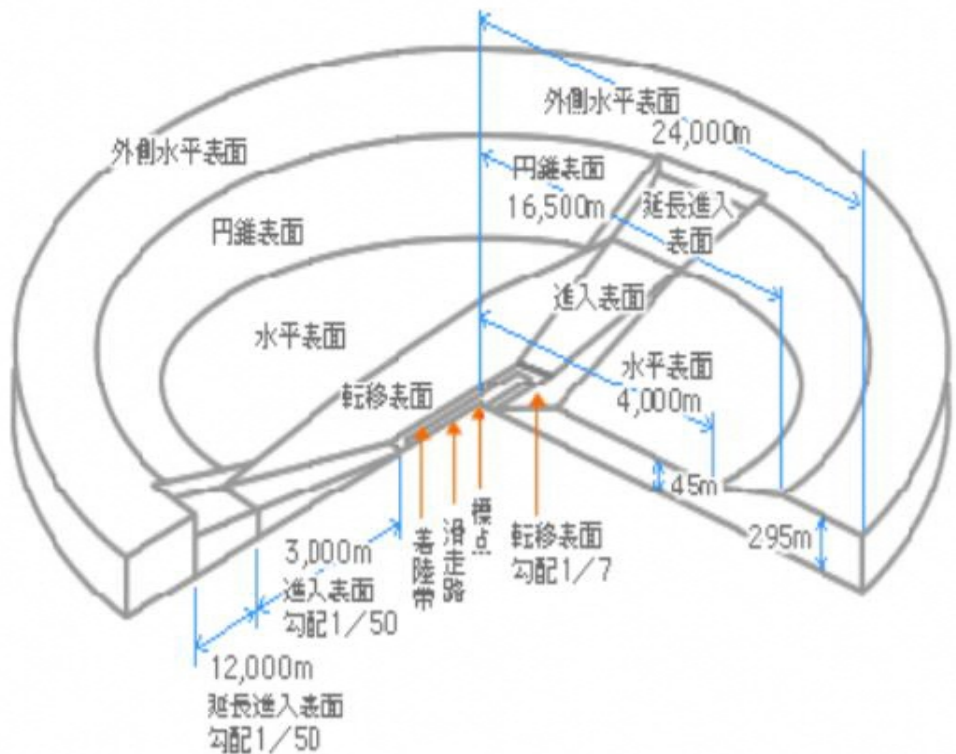


東京国際空港外側水平表面

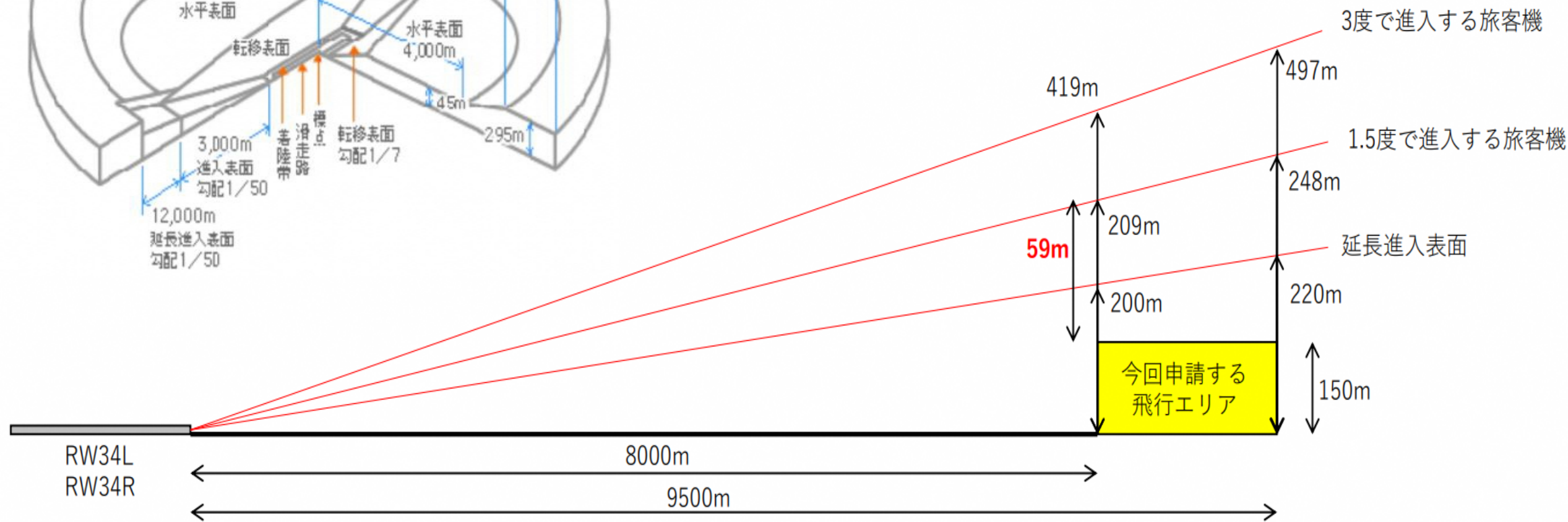
FAAニアミス定義
半径150m、高度差60m

羽田空港着陸アプローチの旅客機との高度差 RW34L/RW34R使用時

制限表面のイメージ図



FAAニアミス定義
半径150m、高度差60m



千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

1. 背景と東京湾縦断飛行の目的
- 2. 東京湾縦断飛行に至るまでの準備**
3. 東京湾縦断飛行の実施と結果
4. 今後の東京湾縦断飛行計画
5. 東京湾上空物流構想とビジネスモデル

東京湾縦断飛行に向けたこれまでの準備(構想から2年)

1. 50km長距離レベル3の機体システム・自律飛行システム・通信システム

- ・冗長系のフライトコントローラ(FC)設計・製作(2020.1~2020.6)
- ・機体改修と新FC実装による熊本での飛行試験(2020.6~2020.9)
- ・冗長系920MHz帯の通信テストとトラブル(2020.7~2020.8)
- ・915MHz帯のトライアルとソフトバンクとの交渉(2020.9~2020.11)
- ・351MHz帯の検討・技適取得・デジタル簡易無線局開局許可(2020.11~2021.4)

2. 港則法、海上交通安全法等の許可取得

- ・千葉海上保安部、横浜海上保安部から港則法による許可承認取得(2020.9~2021.6)
- ・第3管区海上保安本部から海上交通安全法による許可承認取得(2020.9~2021.6)
- ・羽田空港事務所、東京ヘリポート、東京消防庁航空センター、警視庁東京湾岸警察署
- ・千葉市ドクターヘリ、千葉県警、千葉県港湾事務所、千葉県漁協関連
- ・横浜市ドクターヘリ、神奈川県警、横浜市港湾事務所、横浜市漁協関連

3. 離着陸地点の許可承認

- ・着陸地点の許可(千葉市経由)
- ・離陸地点の許可(横浜市経由)
- ・中間地点の許可(NEXCO東日本・海ほたる)

都市部近郊における長距離飛行の留意点

1. 墜落しない優れた機体性能(型式・耐空証明)
2. 冗長なフライトコントローラ(One fail operative)
3. 飛行区間で途絶しない無線通信システム

● 諸元

全長	2,290 mm
全幅	2,970 mm
全高	1,295 mm
主翼面積	2.40 m ²
機体重量	24.0 kg 以下 (全備重量)
プロペラ	直径 583mm
エンジン	2サイクルガソリン型 / 80cc ネット7.5PS
エンジン型式	小松ゼノア製 G800BPU
点火プラグ	チャンピオン RCJ7Y
使用燃料	無鉛レギュラー混合ガソリン
混合比	50 : 1
燃料タンク容量	4 リットル (2.8kg)

● 性能

上昇率	100 m/min
積載能力	5kg
航続時間	28時間
飛行速度	28 ~ 60 km/h
ペイロードボックス搭載重量	5kg
ペイロードボックス容量	30 リットル



● 構造

構造名	材質
主翼	ナイロクロス
水平尾翼、ラダー	バルサ材+フィルム貼り
胴体部	FRP
支柱類	カーボンパイプ
脚	硬鋼線
タイヤ	ゴム(軸アルミ)



【機体】			
全長			2,305mm
全幅			2,780mm
全高			1,195mm
総重量	(内ペイロード約5~6kg)		22.5kg
【飛行】			
時間			2~3h
速度	(最低)28km/h		(最高)60km/h
高度	(最低)50m		(最高)3,000m



◆30年間の実績のある機体

- ◆平成4年(1992年)長崎県雲仙普賢岳噴火時にNHKからの依頼で、ビデオカメラ搭載して空撮に成功、全国に放映
- ◆極地研究所からの依頼で、第48次(2008年)、58次(2018年)、59次(2019年)、60次(2020年の南極観測隊)で活用
- ◆中国敦煌での学術調査
- ◆桜島噴火など様々な火山噴火時に利活用



カイトプレーンの滑空比と優れた安全性（パラシュート開傘相当）

- 安全性については、カイト翼そのものが、パラシュート構造を持ち滑空比データとしては、**無風時 7対1**
1m降下で7m進むデータを検証済み
(25年前環境庁 依頼で50mクレーンに下げテスト)

5から6m/sでは、3対1

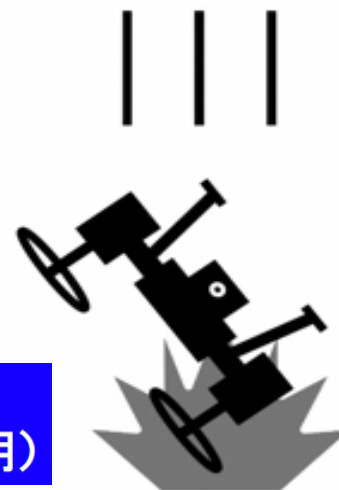
ACSL- PF1クラスのパラシュート開傘時の降下速度
=4.7m/s (NEDO性能評価試験、機体重量約10kg)

墜落イメージ

カイトプレーンの自由落下の降下速度 約5m/s (実測値)
ドローンの自由落下速度 約15m/s (実測値)



カイトプレーン



ドローン

都市部近郊における長距離飛行の留意点
1. 墜落しない優れた機体性能(型式・耐空証明)

東京湾縦断飛行に向けた冗長系フライトコントローラ的设计方針 (1)

1. 設計の基本方針

- フライトコントローラ(FC)に関わる装置(CPU, IMU, GNSS, データ通信等通信系統, 電源)は二重系統として、よりロバストなFCとする
- 通信系統を除いて、システム1とシステム2の切換は地上局(GCS)オペレータが行う

2. 東京湾縦断飛行用の新たな追加対策

- カイトプレーン周辺の監視機能 (ADS-B, AISによる航空機, 船舶のモニター)
- 気象データ表示機能
- 遠隔操縦機能(映像送信、コマンドアップリンク)
- 自動帰還機能
- エンジン停止機能(コマンドアップリンク、自動停止)
- MILスペックコネクタ

東京湾縦断飛行に向けた高信頼性フライトコントローラの設計方針 (2)

3. 異常発生時の対応

ケース1 通信途絶

対応1 テレメトリの351MHzと画像伝送5.7GHzは通信途絶がないと想定

対応2 万一、途絶の場合は自動帰還

ケース2 センサー異常・自動操縦異常

対応1 オペレータがGCSを介して異常を判断

対応2 異常時はオペレータが自動航行を切換えて遠隔操縦または自動帰還

対応3 最悪時はエンジン停止の上、海上に落下させる

ケース3 飛行経路上に航空機を検知したり、海面上に大型船舶を検知

対応1 地上局から飛行進路・高度を変更

対応2 遠隔操縦

対応3 自動帰還

対応4 エンジン停止

東京湾縦断飛行に向けた冗長系フライトコントローラの設計方針 (3)

4. 対応できないケース

- 舵面異常(何らかの理由で機体の操舵が不能、ノーコン)
 - エンジン異常(燃料切れ、ノーコン)
 - ADS-B、AIS、機体カメラで検知できない場合
 - 二重故障以上の故障発生(システム1と2の両方が同時に故障、火災等)
- 飛行実績

2021年4月12日時点

累積飛行距離： 1,150 km

2021年6月21日時点

累積飛行距離： 1,500 km

東京湾縦断飛行用冗長型フライトコントローラ



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。

日本ではこれまで使用されていなかった3Sを、初めて開発して使用し実証した。

		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	<ul style="list-style-type: none">高出力（最大5W）免許人以外での使用は不可陸上での使用に限定	<ul style="list-style-type: none">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	<ul style="list-style-type: none">主に企業等における業務用通信	<ul style="list-style-type: none">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	

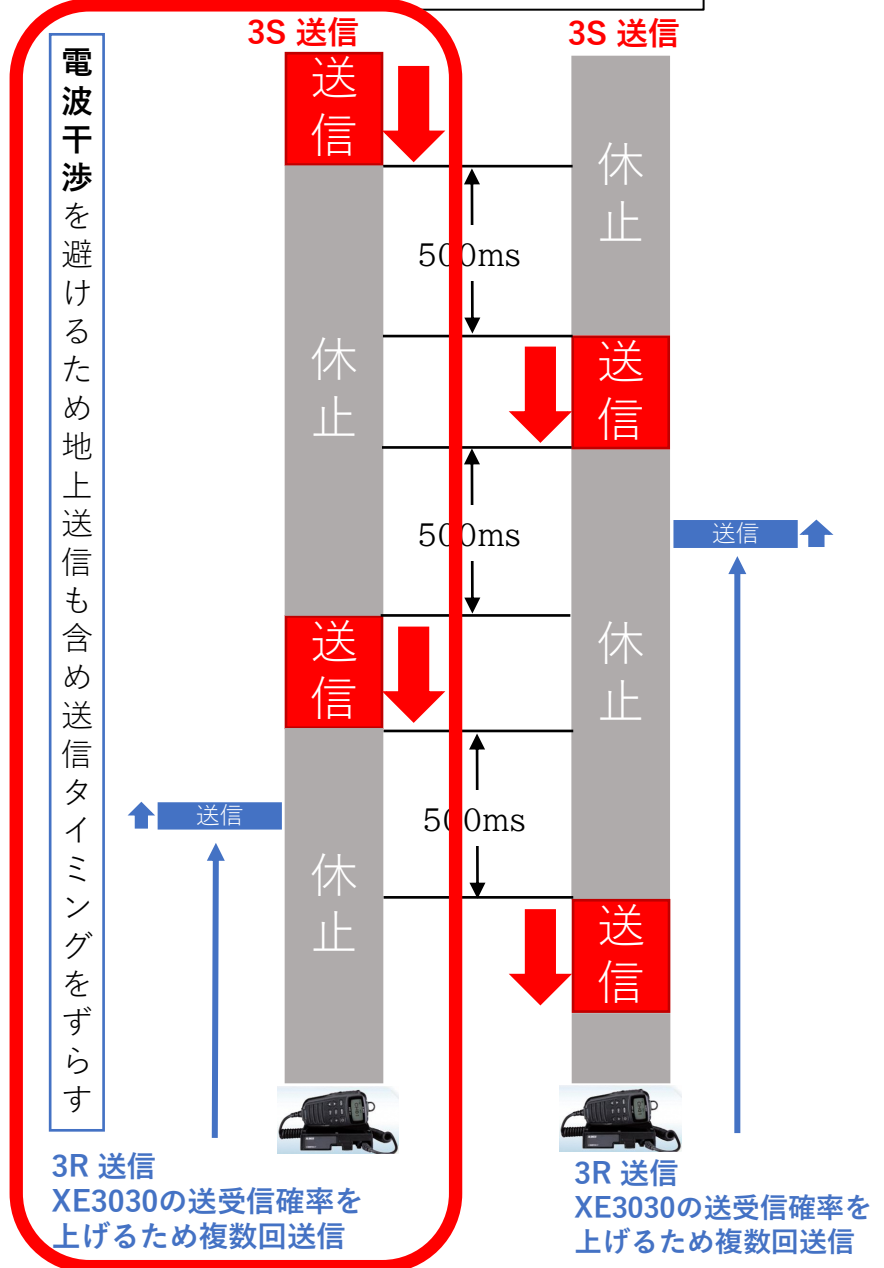
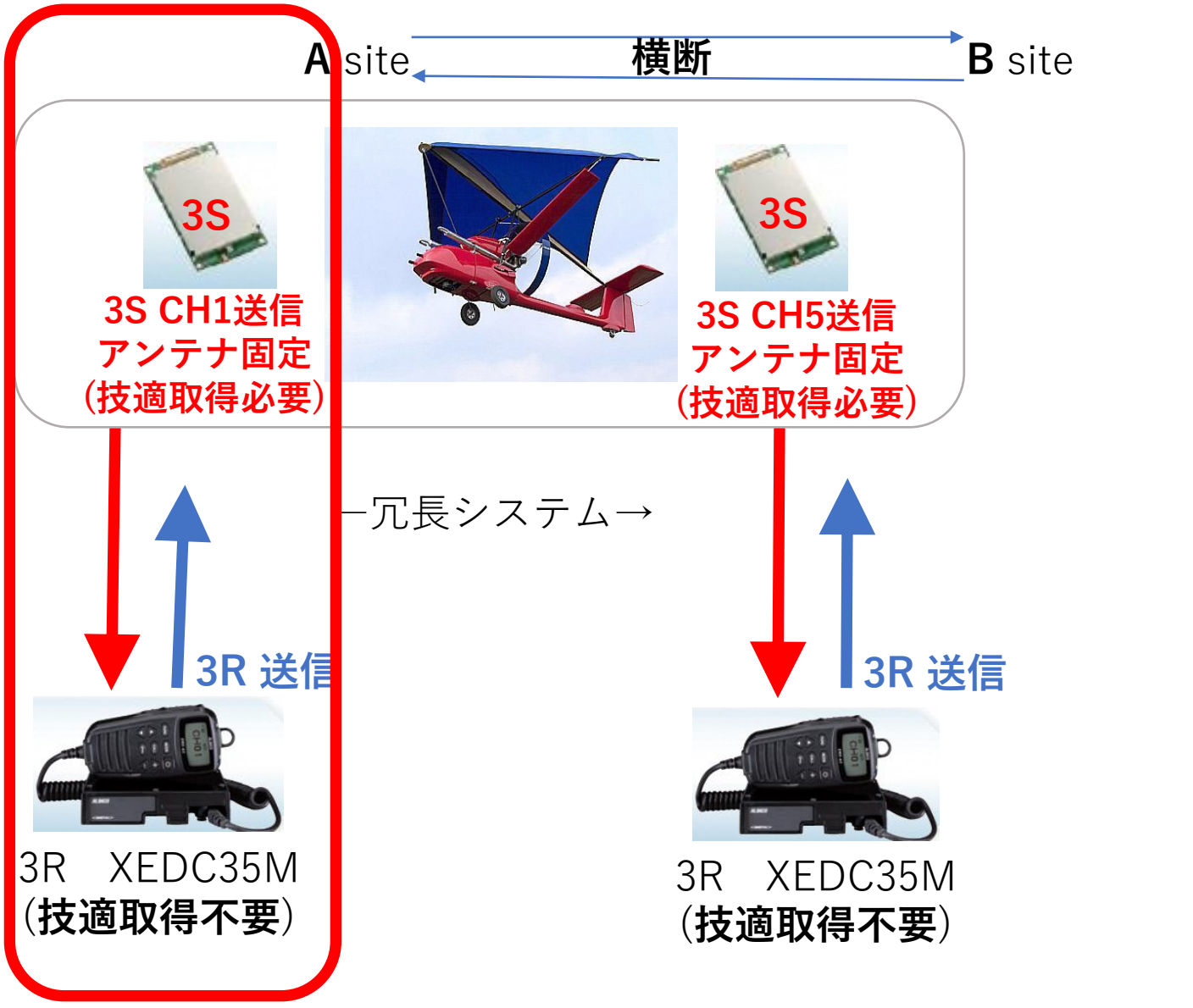
通信・必要機器
上空3S・地上3Rで送信

都市部近郊における長距離飛行の留意点

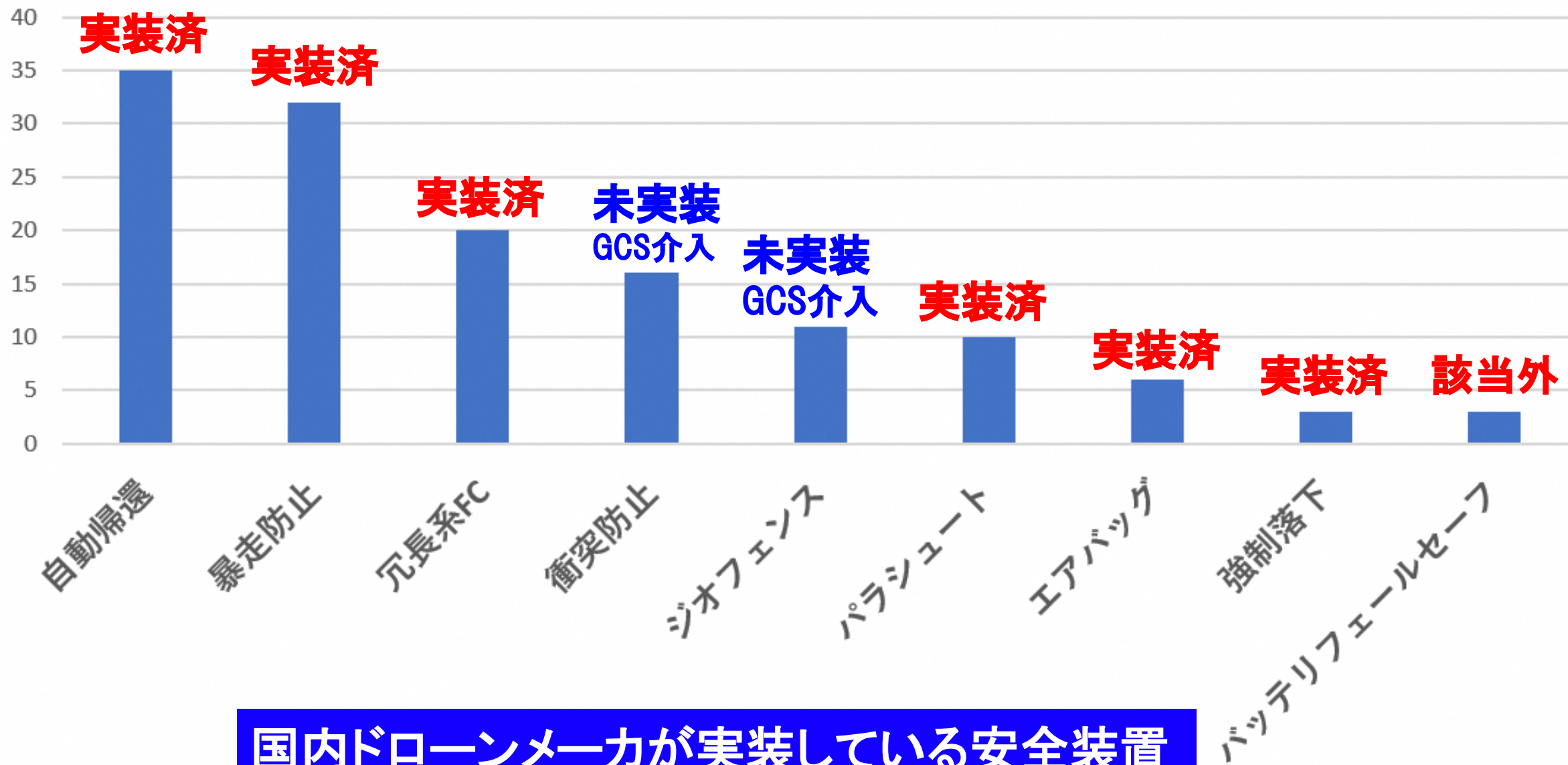
3. 飛行区間で途絶しない無線通信システム

<送信タイミングイメージ>

1Hz間隔送信
送信・300ms : 休止・700ms



本実証実験の総合的安全対策



千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

1. 背景と東京湾縦断飛行の目的
2. 東京湾縦断飛行に至るまでの準備
- 3. 東京湾縦断飛行の実施と結果**
4. 今後の東京湾縦断飛行計画
5. 東京湾上空物流構想とビジネスモデル

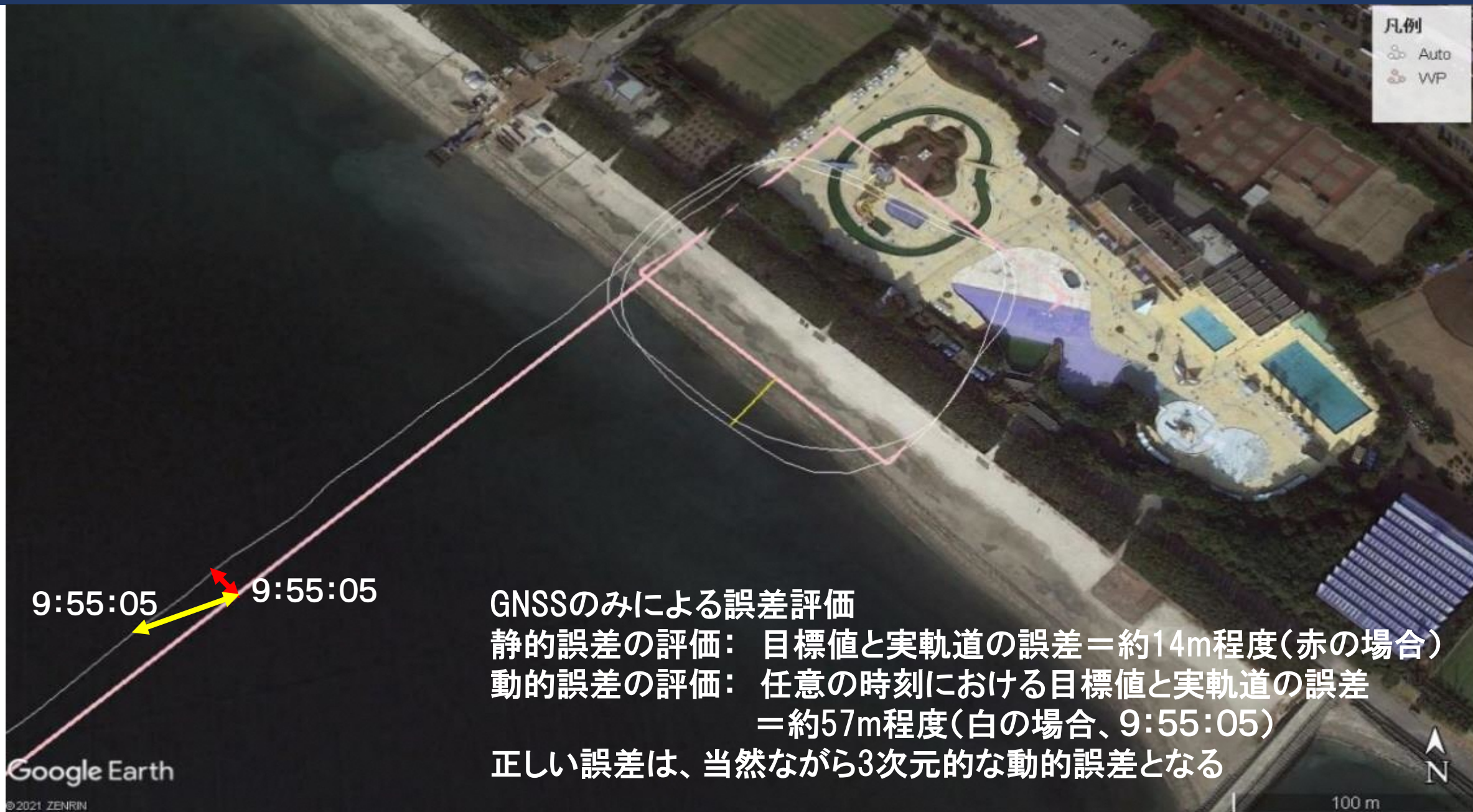
6月21日の東京湾縦断飛行の動画（地上からの飛行動画）



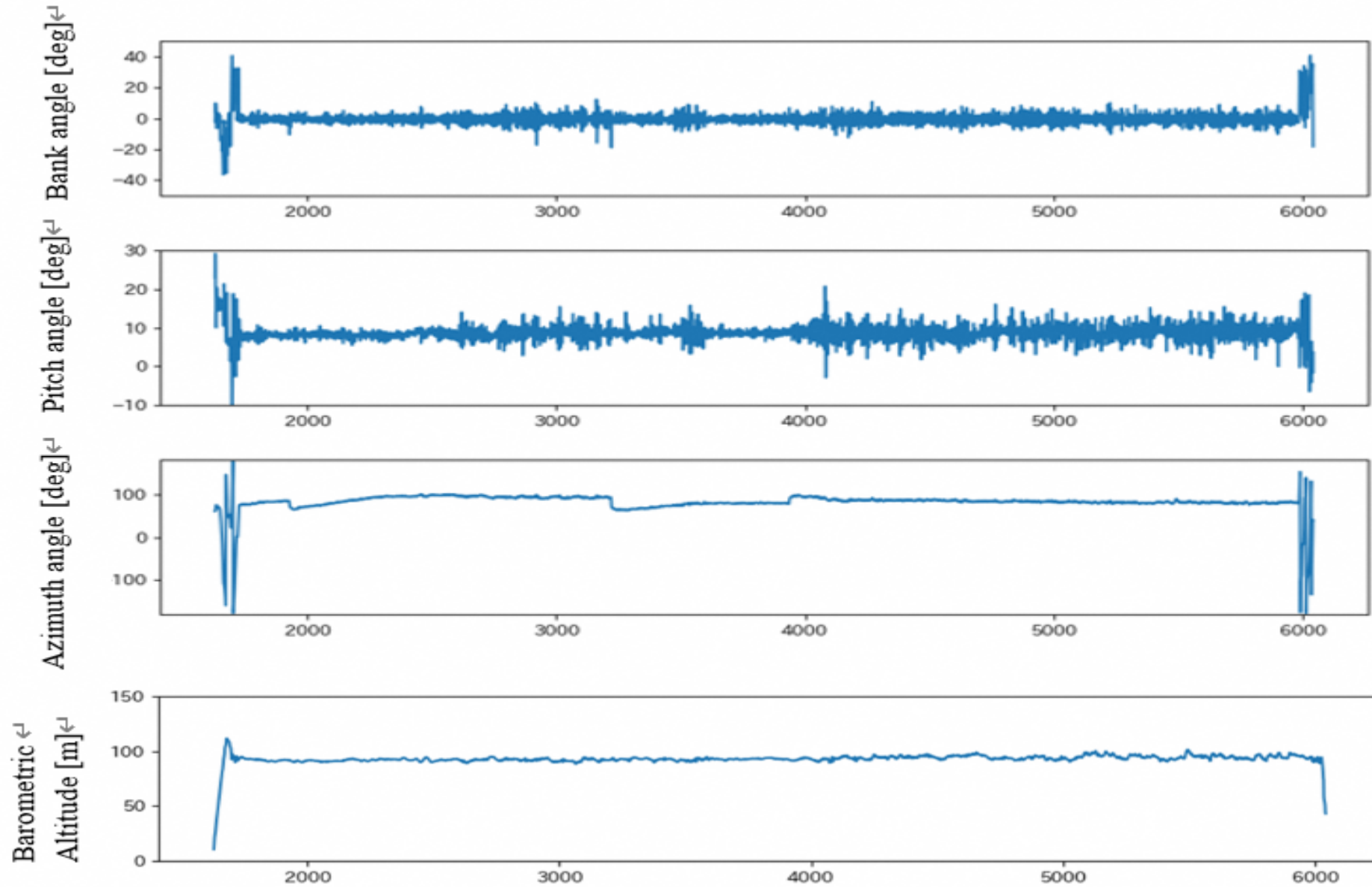
6月21日の東京湾縦断飛行の動画（機体搭載カメラ動画）



目標経路と飛行軌跡による誤差の検証



6月21日の実験結果の一部（バンク角、ピッチ角、方位気圧高度）



千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

1. 背景と東京湾縦断飛行の目的
2. 東京湾縦断飛行に至るまでの準備
3. 東京湾縦断飛行の実施と結果
- 4. 今後の東京湾縦断飛行計画**
5. 東京湾上空物流構想とビジネスモデル

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

**2022年2月実施予定
VTOL型カイトプレーン
による垂直離着陸**





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月実施予定
準天頂衛星利用による
測位精度向上



Flightradar24による有人航空機の飛行位置と高度データなど、QZSSによる無人機測位

テーマ2： 機体間距離の最小化を実験的に検証

2022年2月実施予定
準天頂衛星利用による
測位精度向上



リーダー機とフォロワー機の安全で、かつ、最小な距離とは？
GNSSのみの測位の場合の最小距離
GNSS+QZSSの測位の場合の最小距離

テーマ3：ドローンステーションへの高精度着陸

2022年2月実施予定
準天頂衛星利用による
測位精度向上



機体保持機構、荷役機構のほか、着陸時のダウンウォッシュへの対策や磁気コンパスエラーの少ない場所への（ドローンステーション自体の）移動が可能な可動性などに同社の技術と実証実験を通じて得た知見が反映されている。

機械式駐車装置の製造で培ってきた技術を活かし、「ドローンの着陸制御から着荷」と「荷物の一時保管および自動運転モビリティへの受け渡し」の2つの工程を無人化する物流ドローンポートを製造。同社が持つ「自走式・機械式駐車場内でのオートバレーシステム」と合わせて、ラストワンマイル物流への活用を想定している。

ドローンの離発着場となるドローンステーション（ドローンポート）

2m×2m×2.2m（縦×横×高さ）

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）

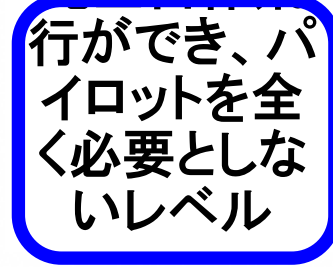
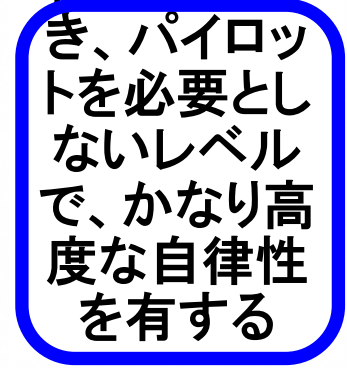
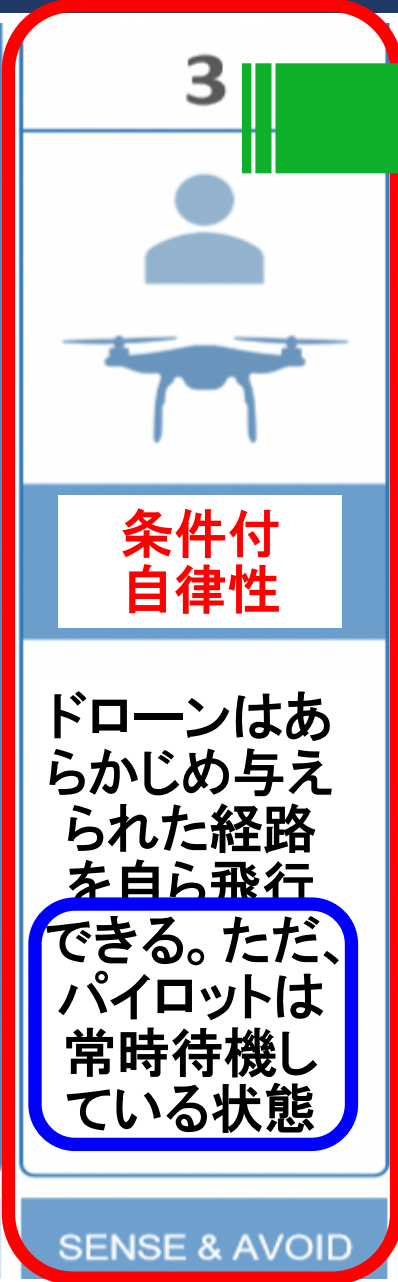
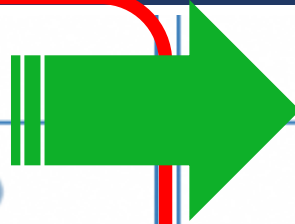
国交省PJ による自律性の進化とドローン物流の未来



国交省PJ による自律性の進化とドローン物流の未来

自律クラス	0	1	2	3	4	5
人の関与						
機械の関与						
自律の程度	自律性 ゼロ	低い 自律性	部分的 自律性	条件付 自律性	高い 自律性	完全 自律性
自律性の説明	ドローンは100%人の操縦に依存する	パイロットは制御を行うが、1つの機能はフライトコントローラが行う	パイロットは制御を行うが、フライトコントローラが行う機能はレベル1以上である	ドローンはあらかじめ与えられた経路を自ら飛行できる。ただ、パイロットは常時待機している状態	ドローンは自律飛行ができ、パイロットを必要としないレベルで、かなり高度な自律性を有する	ドローンは目的地だけ与えられれば、完全自律飛行ができ、パイロットを全く必要としないレベル
障害物回避	NONE	SENSE & ALERT	SENSE & AVOID	SENSE & NAVIGATE	SENSE & NAVIGATE	SENSE & NAVIGATE

<https://www.droneii.com/drone-publications>



国交省PJ による東京湾縦断飛行のロードマップと社会実装の展望

2021 BVLOS
50km~100km

VTOL可変翼カイトでの飛行

2022 BVLOS
50km~100km

VTOL可変翼カイトでの飛行

2023 BVLOS~
50km~100km

VTOL可変翼カイトでの飛行

固定翼カイトプレーン

1機のVTOL-VWK

2機のVTOL-VWK

編隊飛行 VTOL-VW

ビジネス開始
横浜市—千葉市

千葉市内搬送開始
千葉市上空飛行

ビジネス開始
日本全国

AI
LTE通信
5G
衝突回避
冗長システム
耐空性保証
高度な自律性レベル

技術の進化

千葉県ドローン宅配等分科会技術検討会

1. 背景と東京湾縦断飛行の目的
2. 東京湾縦断飛行に至るまでの準備
3. 東京湾縦断飛行の実施と結果
4. 今後の東京湾縦断飛行計画
5. **東京湾上空物流構想とビジネスモデル**

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. その搬送物はどの程度の緊急性か（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どの程度か（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：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、歯を作ることに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。

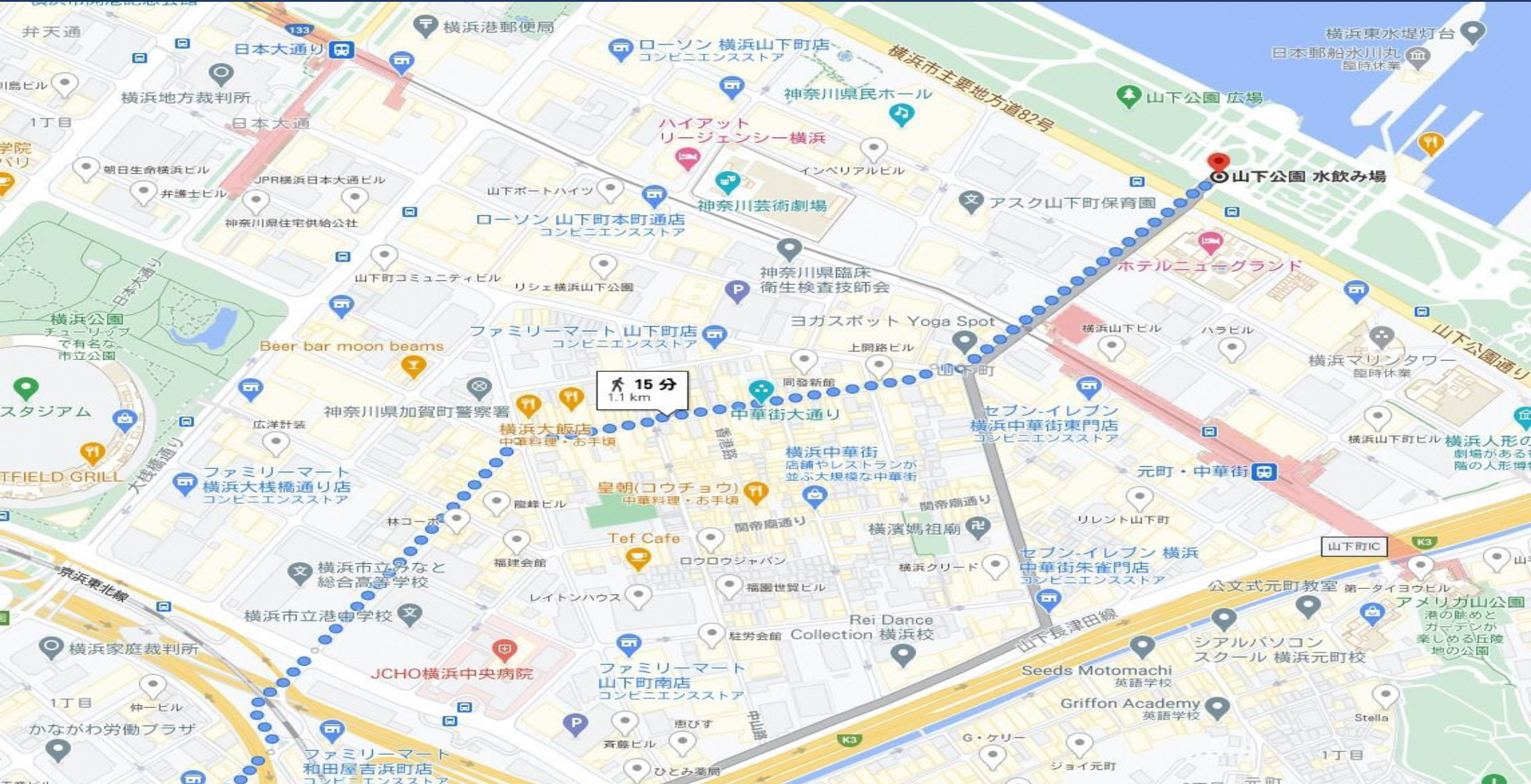
現在使用されているインプラントのほとんどは、チタンを主成分とするネジのような形をしています。植立した後に、さらにネジ構造の人工歯を取り付けるようになっています。

歯科技工物の現在の車両搬送ルート（湾岸道路60km、アクアライン80kmで片道100分）

2023年春から歯科技工物のドローン搬送
ビジネス開始、飛行ルートを示す。



山下公園内ドローンステーションから加藤歯科診療所まで1.7kmで徒歩15分



DSスタジオから海浜公園ドローンステーションまで1.7kmで徒歩21分



山下公園、海浜公園に設置予定の東京湾縦断飛行に用いるドローンステーション



ドローン離発着場となるドローンステーションのイメージ

(イメージ図)



① ドローンによる空輸

② ポートへの着陸・着荷



③ ポート内一時保管

④ モビリティへの受け渡し



⑤ 輸送



地上無人自律移動ロボット「デリロ™」。周囲の人を検出して自動で回避したり障害物手前で安全に停止したりするほか、音声で道を譲ってもらうようお願いする機能などを有している。寸法：全長96cm×全幅66cm×全高109cm。最高速度：6km/h。

歩く程度の速度で走行する「低速自動運転三兄弟」として、地上無人自律移動ロボット「デリロ™」、運転一人乗り地上無人自律移動ロボット「ラクロ™」、無人警備・消毒地上移動ドローン「パトロ™」を開発、販売。同シリーズは、自己位置推定による自動運転、障害物回避の機能を有するほか、表情を変えたり、音声でコミュニケーションを取ったりする機能を持ち、人々と共生することを目指している。

ドアtoドア（ドローンステーションto会社）を実現する地上無人自律移動ロボット
0.5m×1m×1.3m（縦×横×高さ）

ご清聴、ありがとうございました。

ローディング中

National Aeronautics and
Space Administration

