

平成28年4月11日  
千葉市ドローン宅配等分科会

**技術検討会**

(株)自律制御システム研究所 代表取締役  
千葉大学特別教授

野波 健蔵

<http://acsl.co.jp/>

<http://mini-surveyor.com/>  
[nonami@faculty.chiba-u.jp](mailto:nonami@faculty.chiba-u.jp)

[nonami@acsl.co.jp](mailto:nonami@acsl.co.jp)

# ドローンが創りだす付加価値とは

ドローンが提供する価値とは

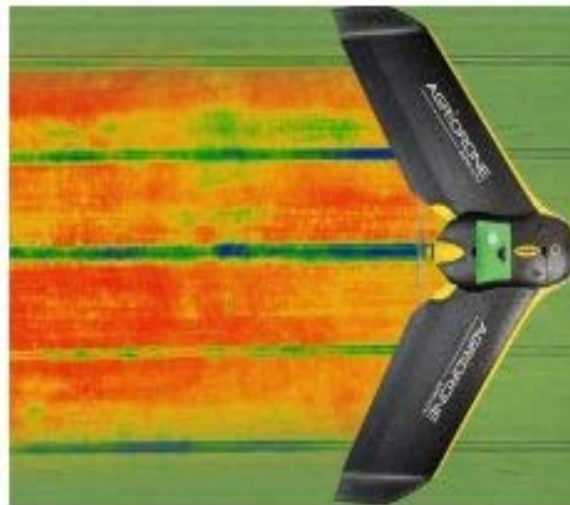
「ドローンとは二次元空間に制約されていたロボットの仕事を三次元空間に拡張するもの」

## ドローンの仕事

モノを運ぶ

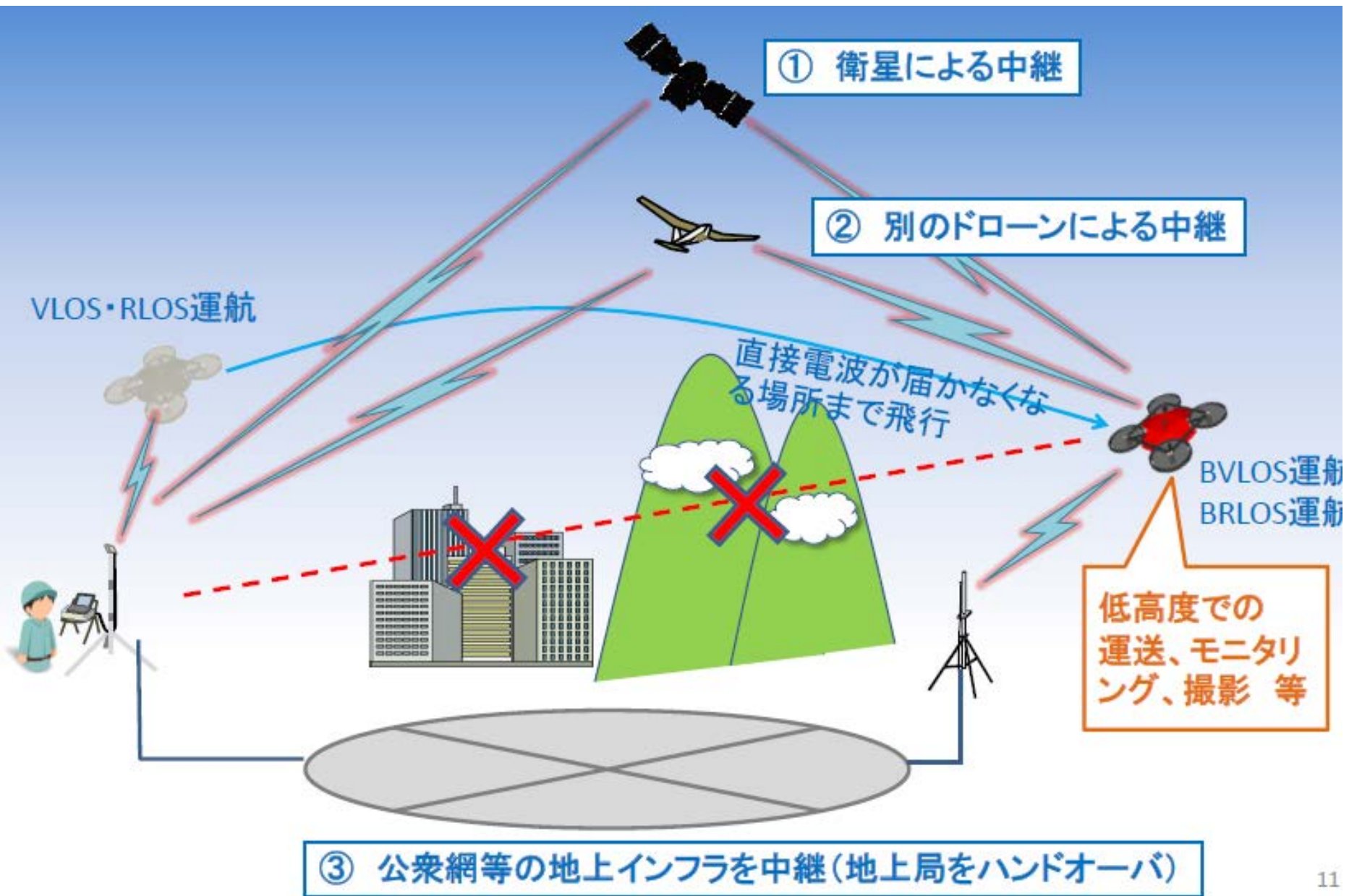


データを取る



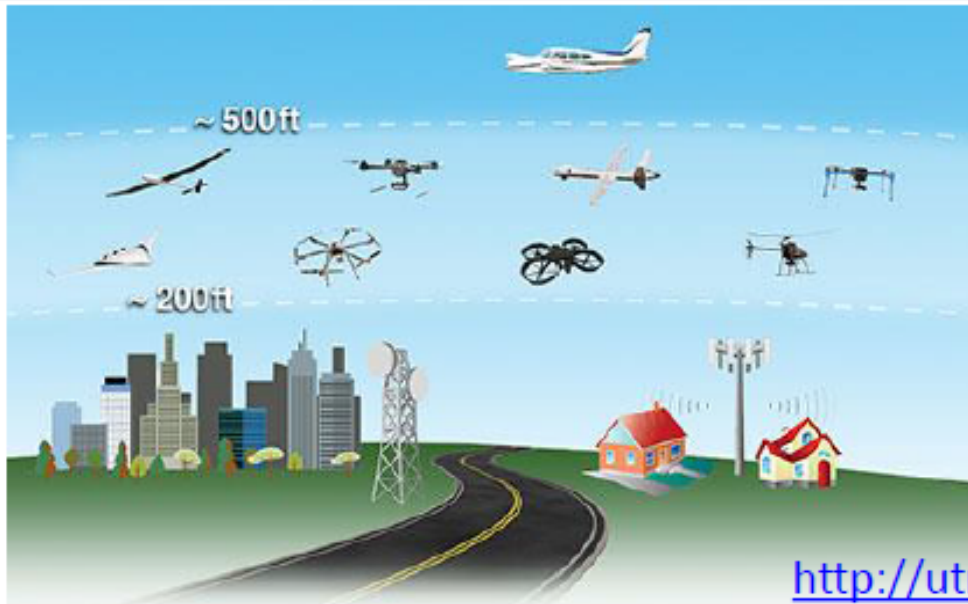
作業をする





長距離飛行時で電波見通し外時の衛星・他ドローン中継方式

No.	内容	提供サービス
Build 1 (~2015.8)	予約空域でのUASへの情報提供システム	無人地域での運航／気象、航空交通情報等の提供
Build 2 (~2016.10)	BVLOSでのUASの動的な運航管理システム	人口低密度地域での運航／動的な空域情報、混雑予測、相互調整の提供
Build 3 (~2018.1)	BVLOSでのUASの衝突・ニアミス回避システム	人口中密度地域での運航／インターネット経由での空域モニタリング、有人機・無人機統合衝突管理
Build 4 (~2019.3)	BVLOSでの大規模UAS交通管制システム	人口高密度地域での運航／全国規模への展開



[https://prod.nais.nasa.gov/eps/eps\\_data/162405-OTHER-002-001.pdf](https://prod.nais.nasa.gov/eps/eps_data/162405-OTHER-002-001.pdf) より

<http://utm.arc.nasa.gov/index.shtml> より

米国NASAのUTM計画(2015年~2019年)



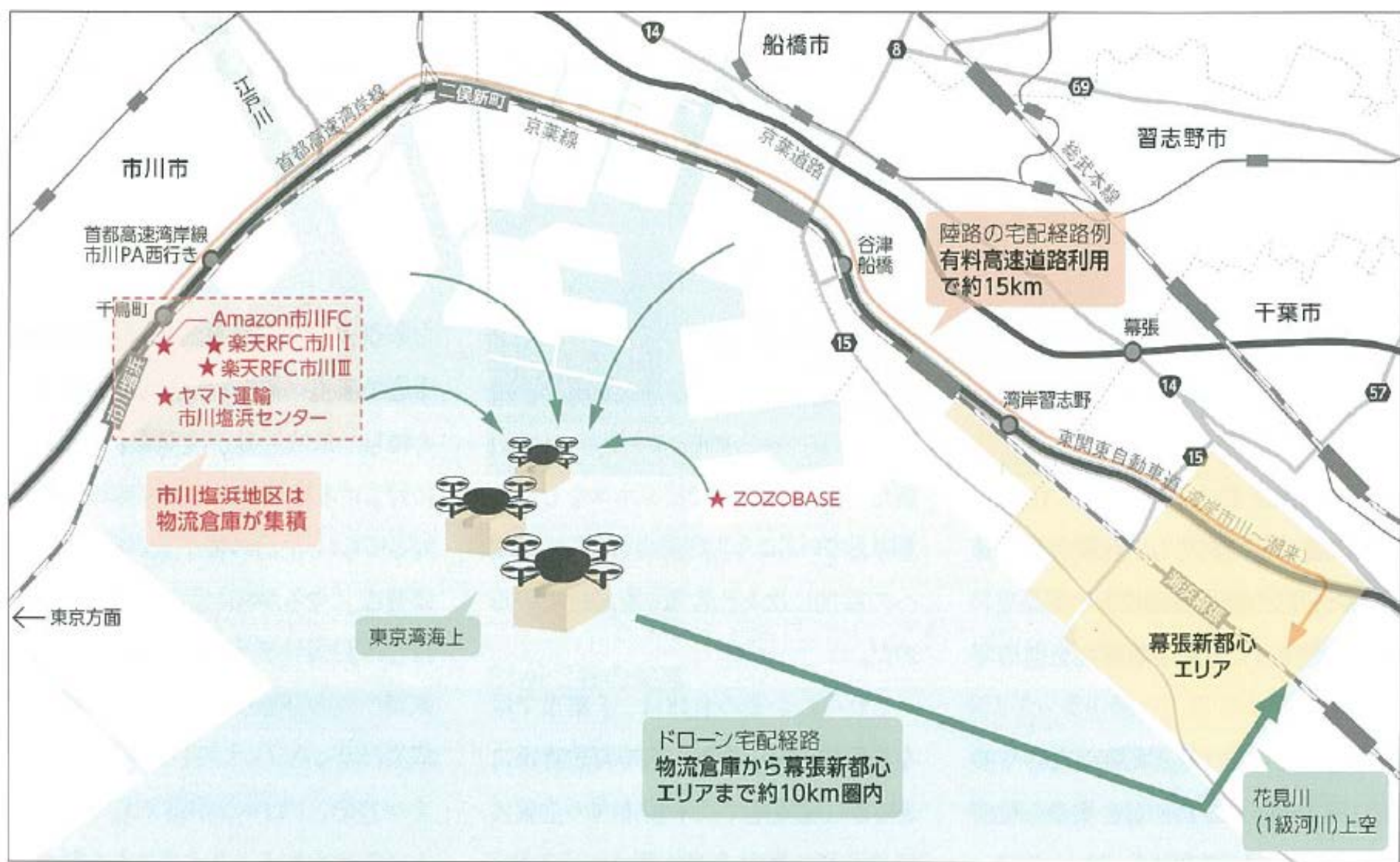
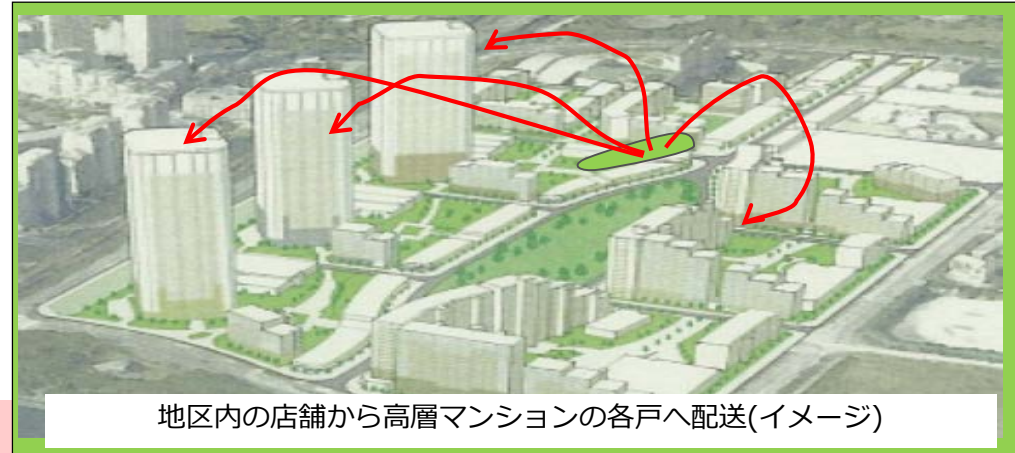
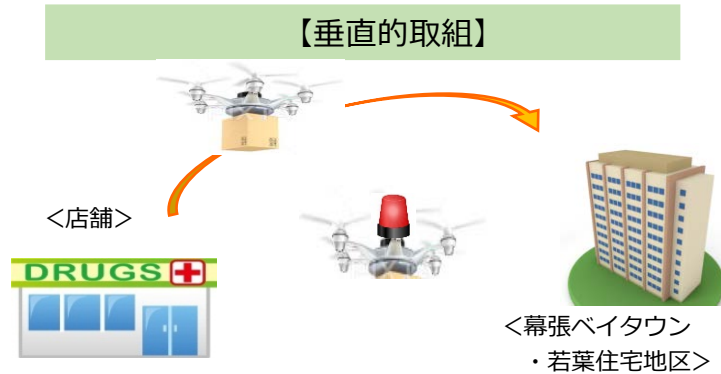


図1 東京湾臨海部の物流倉庫から幕張新都心エリアへ商品を宅配するドローンの飛行経路 出典: 日経Robotics, April, No.9  
アマゾン ジャパンや楽天の物流倉庫などが集積する市川塩浜地区からは、海と河川の上空を通る約10kmをドローンが飛行。これにより届け先が人口集中地区に指定されているものの、人や建物をできるだけ避けて宅配が可能になる。★印は、千葉市と実際に意見交換をしている大手インターネット通販企業や宅配業者の物流倉庫がある場所。

**千葉市ドローンシティ構想(東京湾上空と河川上空の飛行)**

# 提案内容①

- ・ 地区内の店舗から無人飛行機(ドローン)により、高層マンション各戸へ薬品等の生活必需品の宅配を行う。
- ・ 薬剤師が対面し薬局で販売しなければならない要指導医薬品についても、情報通信機器を用いた遠隔での薬剤師による服薬指導を行い、地区内の薬局から自宅へ無人飛行機により配達を行う。
- ・ 不審者、侵入者に対するセキュリティサービスを行う。



## ○課題

- ・ 進入表面等上空、地表・水面から150m以上の空域、人口集中地区上空での飛行は不可（改正航空法第132条）
- ・ 日中において、周囲の状況を目視で常時監視することが求められる（改正航空法第132条の2）
- ・ 周波数帯域の割り当てが無いため、Wi-Fi（免許不要）周波数帯での飛行しかできない（電波法第26条）
- ・ 要指導医薬品は対面以外での服薬指導及び店舗による販売又は授与以外は不可（医薬品医機器等法第36条の6）

## ○規制緩和等

- ・ 改正航空法第132条及び132条の2の飛行禁止区域の除外
- ・ 同各条ただし書き規定に基づく **大臣許可・大臣承認**による飛行可能措置
- ・ 地元住民の合意や安全対策の確保を条件に、人口集中地区からの除外対象として **大臣告示の区域**とする
- ・ 一定期間の飛行計画の許可・承認（要領の90日又は1年 ⇒ 5年程度）
- ・ 業務用の **無人航空機(ドローン)専用の周波数帯域**を割り振る
- ・ 要指導医薬品の情報通信機器を用いた遠隔服薬指導及び薬局以外での販売・授与を可能とする。

効果

○先端技術産業の集積 ○コスト削減による経済効果 ○子育て世帯・高齢者などの日常生活の利便性向上





図2 幕張新都心エリアにある2つの人口集中地区をモデルケースに実証実験

出典: 日経Robotics, April, No.9

2万6000人が居住する幕張ペイタウンと、これから建設が始まる若葉住宅地区では、近隣の大型商業施設の店舗や物流倉庫からの宅配である「水平型」の宅配 (①) と、高層マンションの住戸ごとへの宅配である「垂直型」の宅配 (②) について検証する。若葉住宅地区では、街づくりを含めたドローンの宅配や、医療用医薬品の宅配 (③) といった実証実験を行う予定。

千葉県ドローンシティ構想 (東京湾上空と河川上空の飛行)

# なぜドローンによる配送が画期的なのか

## コスト削減の観点

- 物流の市場規模
  - 国内だけでも年間20兆円弱
- ラスト・ワン・マイル問題
  - EC市場の成長とともに顕在化
  - 倉庫から顧客の自宅或いはトラックから顧客の自宅まで多大なコストがかかる

- ドローン配送が実現すれば大幅なコスト削減が実現可能

## スピードの観点

- 緊急性の高い荷物の配送
  - 医薬品、血液、臓器など
- 車の渋滞などに依存せずに荷物をスピーディーに配送可能

- ドローンであれば、既存の配送インフラよりも効率的かつスピーディーに荷物を配送できる

## インフラの観点

- 山間部などの孤立地域
- 雨季などの季節変動要件によって、周囲との交通網が寸断され、孤立集落になってしまう地域（アフリカや南米に多い）

- 周囲に商店が少ない山間部の孤立地域や、道路が舗装されていない途上国の孤立集落に対して、少ないコストで物流の配送インフラを構築することができる



# Amazon Drones vs. Current Delivery Options

Price for a 5lb package delivered within 10 miles



\*Prices given are for members with a subscription. An Amazon Prime subscription is \$99 per year and Google Express is \$95 per year. One hour delivery is \$8.99 and two hour delivery is free

◆短距離垂直飛行用機体(若葉住宅地区飛行)

◆長距離水平飛行用機体  
(市川～幕張間飛行)

## ミニサーベイヤーMS-06LA

- 大きさ: 直径90cm, 高さ40cm
- 正味重量(バッテリー除く): 3kg
- ペイロード: 6kg
- 飛行時間: 約20分～30分
- 最大飛行速度: 14m/s
- 耐風速: 15m/s
- 自律航法: GPS/INS航法,  
3D-SLAM航法, TS航法
- 機能: 自動離着陸, フェール  
セーフ, 自動帰還他



# ◆長距離水平飛行用VTOL機(市川～幕張間飛行) 高速・長距離・長時間飛行型ミニサーベイヤー

## VTOL型ドローンの仕様

- ・サイズ 全長2.4m、全幅3m
- ・材質 フルカーボン製
- ・本体重量 8kg
- ・ペイロード 10kg(積載可能重量)
- ・飛行時間 1.5時間
- ・飛行速度 最大150km/時
- ・最大耐風速 14m/秒(ヘリモード時)
- ・耐環境性 -10℃～40℃
- ・自動離着陸機能付き
- ・パラシュート搭載
- ・フェールセーフ機能付き
- ・完全防水・防塵仕様
- ・衝突防止機能搭載







本日の飛行デモ① イオンモール屋上から駐車場へワインを搬送 11



ミラマール3番館

飛行ルート






候補B

候補A

ベイタウンペッツ

本日の飛行デモ② 空き地からマンション屋上へ薬を届ける

## 宅配ドローンロードマップ

	2016年	2017年	2018年	2019年	2020年
システム 起動レベル	1機飛行 	長距離水平 短距離垂直			
システム 展開レベル		多数機飛行 	同一方向 長距離水平 短距離垂直		
システム 成熟レベル			多数機飛行 	対面飛行 長距離水平 短距離垂直 ベランダ着	
システム 完成レベル					多数機飛行 ベランダに 荷物を下ろ す試験
システム 普及レベル					



# 実用化までの5段階のシナリオ

- ◆ **第1段階（システム起動レベル）**：飛行エリアを1機のみで飛行する。東京湾上空10kmの水平長距離飛行、試験飛行高層ビルを活用した垂直短距離飛行、ドローン管制システムの開発ペースに依存するが、2016年中に終了（一部、2017年）
- ◆ **第2段階（システム展開レベル）**：飛行エリアを10機以下で同一方向で飛行する。2016年～2017年、編隊飛行またはスワーム飛行、および、ランダム飛行する。飛行速度は様々な速度を採用する。2017年中に、試験飛行高層ビルペランダにドローンポートを設置して、離発着試験を行う。ただし、ドローン管制システムの開発ペースに依存する。
- ◆ **第3段階（システム成熟レベル）**：飛行エリアを10機以下で対面飛行する。2017年中に幕張から複数機が離陸、市川から複数機が離陸して飛行速度は任意で空域を指定する場合と、指定しないで相手機を発見して回避する飛行を行う。ドローン管制システムの開発ペースに依存する。2018年中に、試験飛行高層ビルペランダのドローンポートに荷物をおろす試験を行う。
- ◆ **第4段階（システム完成レベル）**：飛行エリアを多数機が多様な飛行を行う。2018年中に10機以上が同時に様々な飛行を行う。高度100m以上のドローンはパラシュートを搭載して異常時に不時着する飛行を可能にする。様々なフォールトトレランス制御を実装する。実際に物流ドローンとして水平長距離飛行を行い、様々な荷物を搬送する。実際に物流ドローンとして垂直短距離飛行をして宅配試験を行う。
- ◆ **第5段階（システム普及レベル）**：2019年にはすべて完了して、ビジネスフライトに移行する

## 1. 飛行ルートを選定(エリアと高度、長距離水平飛行と短距離垂直飛行)

- (1) 東京湾上空の風速測定(高度50m～150mまで数10mごとの高度で測定)
- (2) 地上風速と上空の風速の相関関係の調査
- (3) 局所的気象の有無
- (4) 電波の調査(高度50m～150mまで数10mごとの高度で測定)
- (5) 磁場の調査(高度50m～150mまで数10mごとの高度で測定)
- (6) GPS電波の調査(高度50m～150mまで数10mごとの高度で測定)
- (7) 長距離水平飛行と短距離垂直飛行の空域を決める

## 2. 離発着場の整備(可能な限り広いエリア確保、ドローン10機程度が同時に離発着可能なエリアとする)

- (1) 電波障害
- (2) 道路や鉄道、住宅地との距離
- (3) 見晴しの良さ、VLOS(目視界), RLOS(電波視界)
- (4) 各企業の基地局設置可能か

## 3. ドローン管制システム(水平長距離飛行、垂直短距離飛行)の確立

- (1) 原則的には、2018年に完成する必要がある、2016年～2018年の3年間で完成させる
- (2) 2016年に出来たドローン管制システムでシナリオ第1段階を実施する
- (3) 2017年に出来たドローン管制システムでシナリオ第2段階・第3段階を実施する
- (4) 2018年に出来たドローン管制システムでシナリオ第4段階を実施する

## 4. 緊急時の対応策(機体トラブル、電波障害、電波妨害、落雷、気象変動、いたずらや飛行妨害活動)について

- (1) 機体側の対応
- (2) ドローン管制センターの対応

## 5. 学識経験者を巻き込んだ専門家集団の評価会

- (1) 経産省・国交省・総務省など関係省庁や学識経験者による評価会
- (2) 千葉市・千葉県等の自治体の評価会

## 6. 国土交通省航空局へ東京湾上空長距離水平飛行許可申請と幕張若葉住宅地区エリア短距離垂直飛行許可申請を行い、承認を取る

## 7. 物流用ドローンの安全基準の策定について

- (1) 第三者機関による評価
- (2) 航空局の指導

## 8. 法整備(免許制と機体登録制)等について

- (1) プライバシーの侵害(ホームデリバリー時に他の家の中が見える?)
- (2) 騒音公害

## 9. 物流用ドローンの保険制度

## 10. 海外の機体の取り扱い(国内法に準拠することは当然であるが、安全性・信頼性・耐久性をどのように証明するか?)

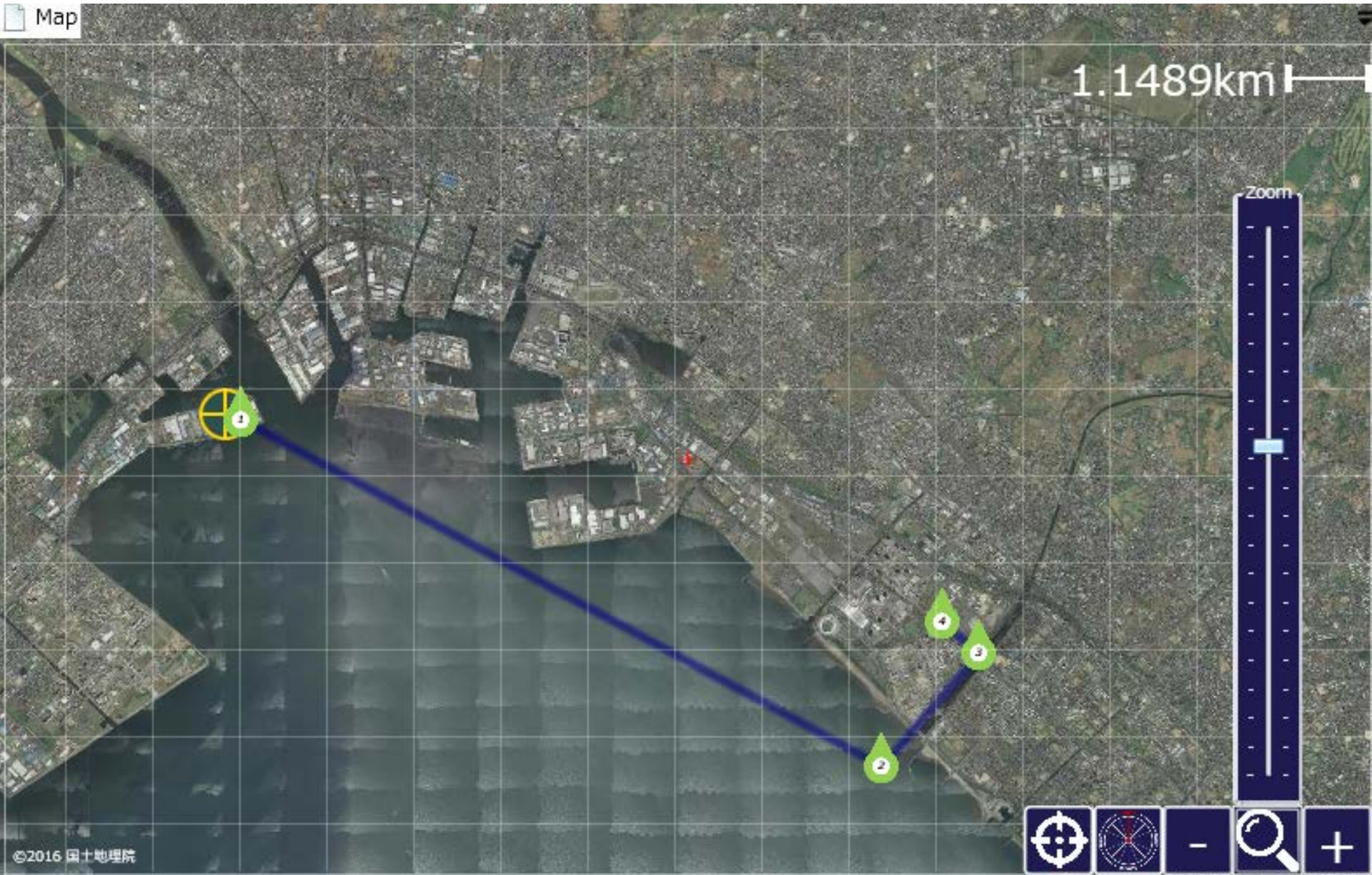
## 11. 三井不動産レジデンシャルとの折衝

- (1) 高層マンション・中層マンション等の各戸のドローンポートの設計
- (2) 若葉住宅地区の集積場の設計
- (3) 若葉住宅地区のドローン飛行宅配を考慮した都市づくり設計

## 12. 戦略特区としての世界に先駆けた先駆的ドローンシティ実験都市の評価システムを構築し、頻繁に会合を持つ

- (1) 若葉住宅地区住民も入ったドローンシティとしての評価会(安全性、騒音、サービスの質、コスト)





千葉市ドローン宅配(市川市物流拠点から若葉住宅地区までの  
想定される飛行ルート(約10km、時速50kmで12分)



Clock  
01:54:00  
Timer  
00:22.14

Battery 

GPS 0 

Link 0 %

RC 0 % 

Control

AutoNav

Speed  
0.00 m/s

MENU 



 [未接続] 機体との通信接続を確認して下さい。  
Message

49 m

X-Monitor

ゴーホーム

自動着陸

再開

一時停止

WP転送

指定速度





# ドローン宅配飛行技術の実装課題(マイルストーン)

## 産業用ドローンが実現すべき課題 2016年現状 2020年自律飛行レベル

1) 耐強風環境下飛行	→ 8m/秒程度	→ 15m/秒程度
2) 全天候型飛行	→ 雨天不可	→ 雨天時・降雪時飛行
3) 耐過酷環境下の飛行	→ 0℃~30℃	→ -30℃~60℃
4) 防塵性・防爆性	→ 無	→ 有
5) 非GPS環境下の自律飛行	→ 一部可	→ GPS/非GPS環境完全可能
6) 大幅な質量変化等の飛行	→ 無	→ 完全可能
7) 駆動系/センサ系故障診断	→ 無	→ 完全可能
8) 緊急時に不時着できる機能	→ 不可	→ 自律的に安全に不時着可
9) 高速飛行の実現	→ 時速50km	→ 時速100km
10) 高速な"Sense & Avoid"	→ 不可	→ 部分的に可能
11) 磁気を用いない姿勢制御	→ 不可	→ 部分的に可能
12) ビジョンによる自律飛行	→ 一部可	→ ほぼ可能
13) 飛行時の実時間チューニング	→ 無	→ 一部可能
14) <b>人工知能の実装</b>	→ 無	→ 部分的実装
15) <b>生物型飛行用AP</b>	→ 無	→ 部分的実装



# ドローン宅配の共通基盤コア技術

1. 自律飛行制御技術(システム実装化技術含む)
2. ドローン管制(運行管理)システム
3. 周辺技術
  - (1) モータ(耐久性・防塵・防水)
  - (2) モータ駆動回路(長寿命)
  - (3) プロペラ(高推力・低騒音・耐久性)
  - (4) センサ(ジャイロ・加速度・方位・GPS・気圧・超音波)
  - (5) バッテリー(高容量・高密度・耐環境性)
  - (6) 機体構造・材料
  - (7) 無線通信技術

4. 応用分野: ドローン宅配など多くのアプリケーション

# 技術検討会での課題

## 1. 毎月1回程度の会議・試験を開催・実施

- ・会議と飛行テストを同時に実施する
- ・季節による変化を分析する
- ・福島ロボットテストフィールドの活用
- ・進捗状況の確認
- ・課題の整理(共通部分、独自部分)

## 2. 経費について

## 3. ドローン管制(運行管理)システムは大変重要

- ・独自に別途、関連企業でPJを進める
- ・平成28年度は概念設計、電波法改正がポイント
- ・29年度、30年度で完成させる

## 4. その他