

平成27年1月15日

内閣府第1回近未来技術実証特区検討会

ドローン(飛行ロボット)の 最新動向と展望

千葉大学特別教授

(株)自律制御システム研究所代表取締役

ミニサーベイヤーコンソーシアム会長

野波健蔵

<http://mec2.tm.chiba-u.jp/~nonami/>

<http://mini-surveyor.com/>

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

nonami@faculty.chiba-u.jp

講演内容

1. はじめに ーマルチコプタの現状ー

2. 自律制御型機体・ミニサーベイヤー

3. GPS環境下の自律制御

4. 非GPS環境下の自律制御

5. 今後の展望とドローン特区

6. まとめ

ユビキタスUAVシステムの構築へ

生態系リモートセンシング

放射線計測

原子力発電所事故対応

送電線点検巡視

軽量物の搬送

石油基地・コンビナート点検

交通監視

高所点検作業

海洋観測

安全安心の防災

防災ミッション

レスキューミッション

3次元復元図作成

河川・ダム・インフラの巡視

高信頼性・耐久性・安全性を担保した完全自律制御技術

気象観測

農業散布

地球観測

映画ロケ

空撮・ニュース報道

編隊群制御飛行技術

超小型誘導制御装置

機体安定性

屋内外用自律回転翼型UAV

協調制御理論

高機能スマート材料

画像処理・ビジョンシステム

飛行最適化アルゴリズム

構造制御系

高性能駆動システム

無線LANシステム

UAVの完全自律制御飛行の研究開発

今後のDrone市場規模予測

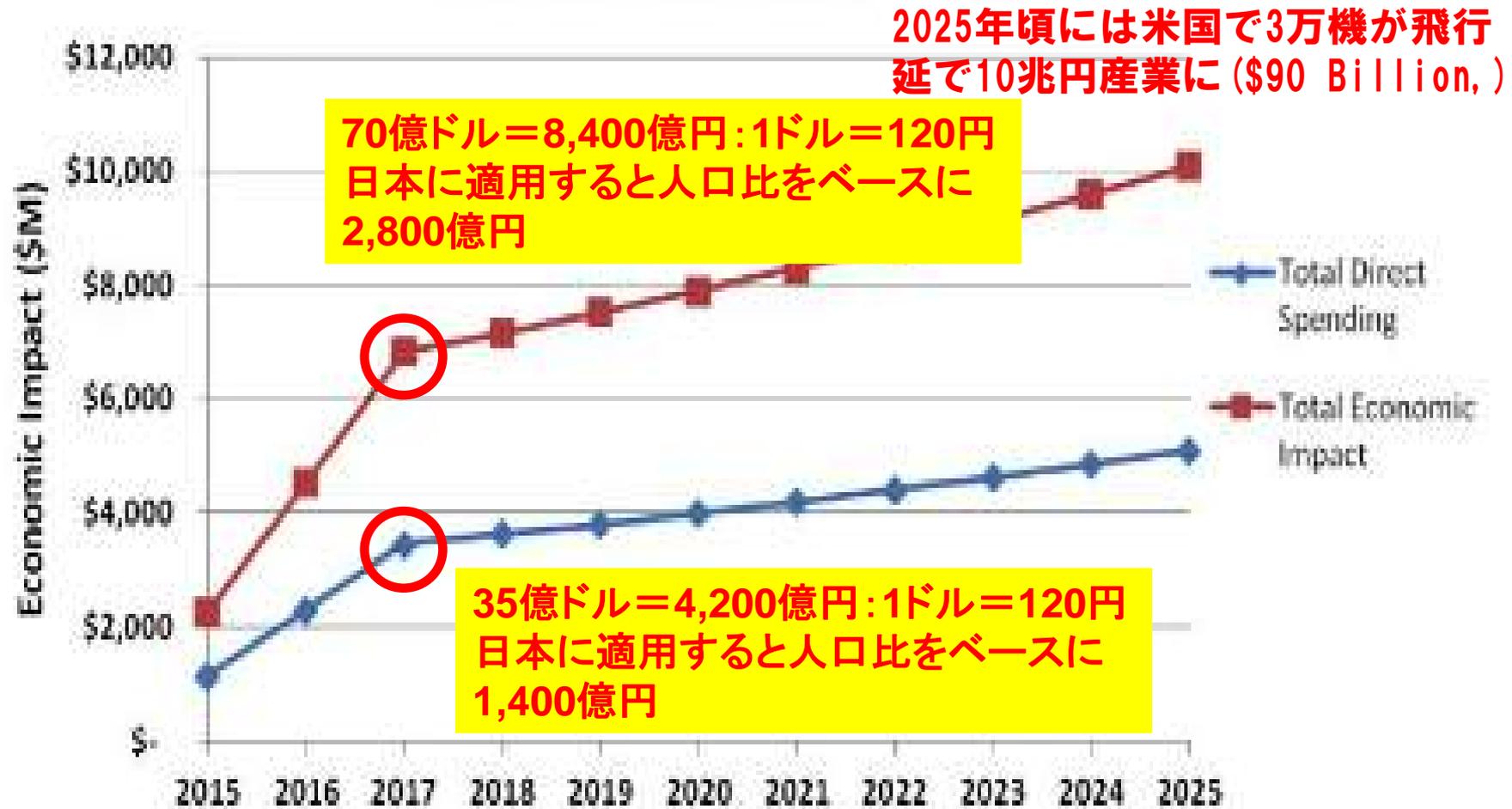
スタンフォード大学によるハードウェア開発の未来予測では、「現在始まっているドローンや物流に関する革命は2021年くらいまで続くと考えられており、非営利団体 Association for Unmanned Vehicle Systems International (AUVSI)は、全米空域システムへの統合による経済効果を2015年から2017年の当初3年間で136億ドル以上、2015年から2025年までに821億ドル以上と見込んでいる。



<http://social-design-net.com/archives/10157>

「無人航空機の国内飛行をめぐるアメリカの動向と立法」

Figure 3: Total Spending and Economic Impact in the U.S. from 2015 - 2025



AUVSI The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the US

Figure 4: Total Employment Impact in the U.S. from 2015 through 2025



AUVSI The Economic Impact of Unmanned Aircraft Systems Integration in the US

FAAによる無人機の分類

公用無人航空機

法執行機関をはじめ連邦、州及び地方政府機関が無人航空機を運用するためには、**FAAに免除・承認証明書 (Certificates of Waiver or Authorization: COA)**を申請しなくてはならない。COAは、各機関による無人航空機の飛行を包括的に認可するのではなく、**特定の航空機の特定の目的のための特定の地域での飛行を承認するもので、通常は安全性確保のために必要な条件 (居住地域での飛行の禁止や地上又は追尾する有人機から人間が監視することなど)**を付して承認されている。2013年12月4日現在有効なCOAは、**545件**

民間無人航空機

民間機の飛行については、特別耐空証明書 (special airworthiness certificate)を申請しなくてはならない。実験・研究目的の飛行に関してのみ認められており、飛行テスト、訓練等に限定され、**現在のところ商業的な飛行は認められていない。**

趣味・娯楽用模型機

趣味・娯楽のために模型飛行機を飛ばすことについては、FAAへの許可申請や免許は不要である。1981年、FAAにより、地上400フィート以下で飛行させること、飛行場から3マイル以内の飛行については事前に航空管制塔、空港運営者等に通知すること等のガイドラインが定められているが、強制力はない

現在個人が使用するDroneのほとんどはこの枠組みである

FAAによる無人機政策ロードマップ

昨年8月14日予定の「小型無人航空機に関する最終規則を公示」は延期！

2012年にFAA(連邦航空局)は2015年までに民間無人航空機を含む無人航空機システムを全米空域システム(National Airspace System)へ統合し通常飛行を開始することを定めた。以下はそのロードマップである。(「無人航空機の国内飛行をめぐるアメリカの動向と立法」)

2013年以前

2012.5.14	COA 発給手続の簡素化を関係政府機関と合意	334c
2012.8.12	6か所の試験区域で統合のためのプログラムを設置	332c (1)
2012.8.12	北極地方に常設区域を設置するための計画策定	332d
2012.8.12	先行して一定の無人航空機を空域で飛行	333
2012.11.10	空域への統合促進のための総合計画を策定	332a (1)
2012.11.10	COA 発給の迅速化を含む指針を提示	334a
2013.2.14	総合計画を議会に提出	332a (4)
2013.2.14	<u>試験区域でプロジェクトを実施</u>	332c (4)

2014年以降

2014.8.14	無人航空機に関する政策文書を改訂・公示	332b (3)
2014.8.14	<u>小型無人航空機に関する最終規則を公示</u>	332b (1)
2014.8.14	総合計画の勧告を実施する規則案を公示	332b (2)
2015.9.30	<u>民間無人航空機を空域へ統合</u>	332a (3)
2015.12.14	総合計画の勧告を実施する最終規則を公示	332b (2)
2015.12.31	公用無人航空機の空域飛行の飛行・認証要件を策定・実施	334b
2017.2.14	試験区域でのプログラムを終了	332c (1)
2017.5.15	試験区域の事業に関する所見及び結論を議会へ報告	332c (5)

特定試験区域の運用

FAAの定める無人航空機の特定試験区域(アラスカ大学, ネバダ州, ニューヨーク州グリフィス国際空港, ノースダコタ州商務省, テキサスA&M大学コーパクリステイ, バージニア工科大学の6機関) が部分的に運用開始しており, 民間無人航空機運用に向けた準備がなされている.

2014年8月13日 バージニア工科大試験区域の運用開始



2014年8月7日 ニューヨーク州試験区域の運用開始



NASAによる無人航空機管制システム

来るべきDrone社会に向けて、米航空宇宙局(NASA)は無人航空機向けの航空管制システムの開発を行っている。

実際500feet 以上の有人航空機の飛行空域に関してはFAAによって良く管理が行われているが、それ以下の高度に関しては全くの規制の空洞となっている。

NASAの技術者たちはその空洞を埋める手段として「飛行空域の制限」、「航空路の制定」、そして「運用エリアの制定」等のいくつかの方法を検討している。





民生用RPAS運用に関するEUの動向

- 1) The **RPAS** (*RPA & Remote Pilot Station*) are to be **certificated** or **approved** by the **NAA** (*National Aviation Authority*) of the country where the operation takes place [or **certificated** or **approved** by a **RA** (*Regional Authority*) to which this responsibility has been delegated by the NAA (e.g. *German Länder*)];
- 2) The **RPAS certification** or **approval** is to cover all system constituents necessary for command and control (e.g. *transceivers*) installed on board the RPA or on the ground, and under direct management of the Operator;
- 3) The **Command & Control** link to be provided by a **Communications Service Provider** (*COM SP*) is to be certificated or approved by the NAA or a RA of the country where the operation takes place;
- 4) The **Remote Pilot (RP)** is to be **licensed** by the NAA of the country where the operation takes place;
- 5) The **Operator** is to be **certificated** by the NAA of the country where the operation takes place.
- 6) The **Operator** is to possess the **obligatory third party liability insurance** (*which may vary in function of the type of operation*) – *Minimum liability in EU: € 860 000.*

講演内容

1. はじめに —マルチコプタの現状—

2. 自律制御型機体・ミニサーベイヤー

3. GPS環境下の自律制御

4. 非GPS環境下の自律制御

5. 今後の展望とドローン特区

6. まとめ

マルチロータヘリコプタの世界の開発動向

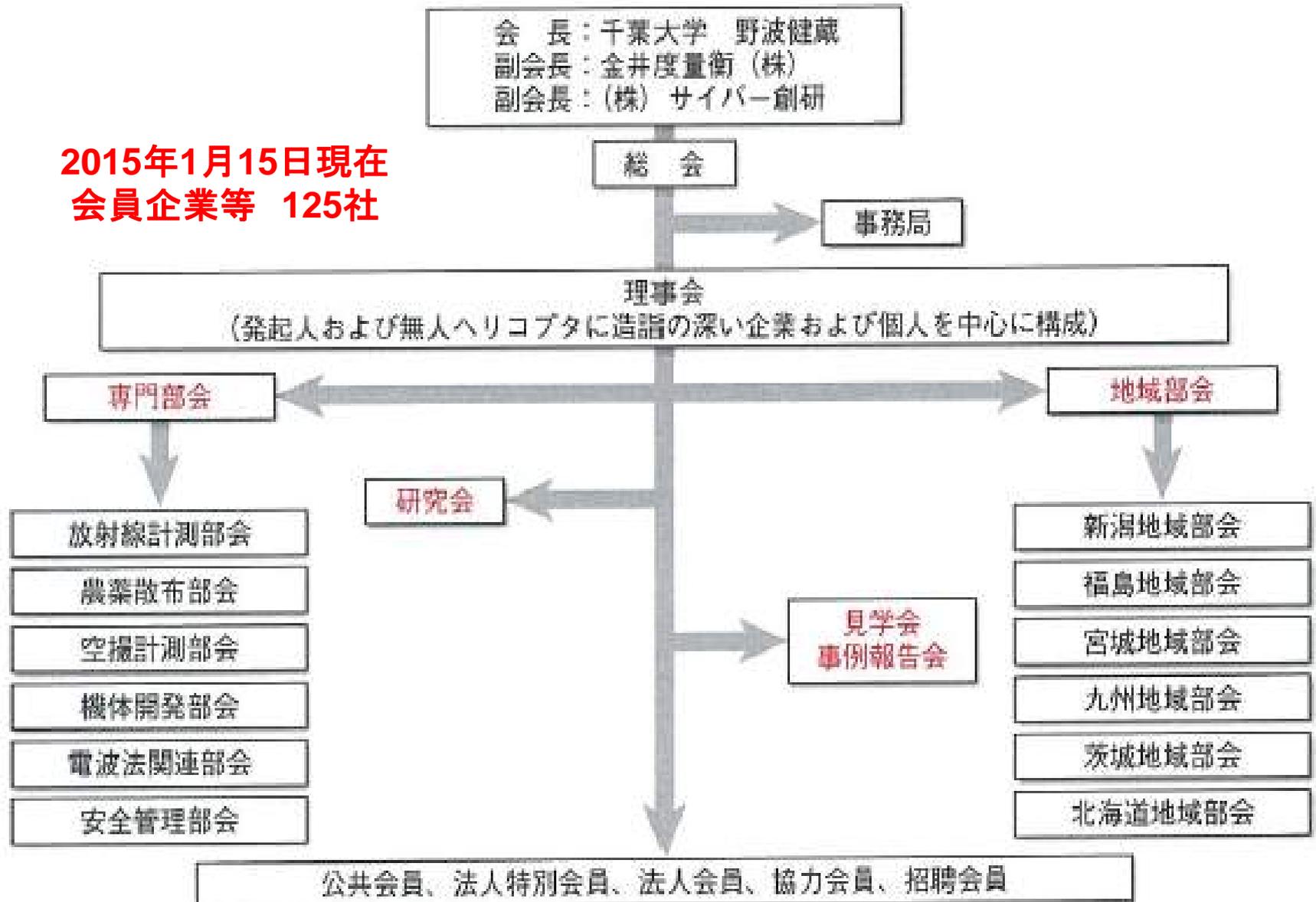
メーカー	機体モデル	プロペラ数	機体サイズ・重量	標準ペイロード	国名
Parrot	AR Drone	4	54cm,380g	搭載不可	フランス
Gauji	MRT シリーズ	4 ~ 6	35-84cm,580g-2.4kg	~ 8kg	台湾
Ascending Technologies	Pelican	4	54cm	500g	ドイツ
Ascending Technologies	Falcon8	8	84cm・1.3kg	500g	ドイツ
Dragonflyer Innovations	Draganflyer X8	8	106cm,1.7kg	800g	カナダ
Aeryon	Scout	4	80cm,1.2kg	400g	カナダ
Service Drone	SD2.5 Eagle	8	95cm	1kg	ドイツ
MK Kopter	MK-4	4	48cm,640g	500g	ドイツ
MK Kopter	MK-6	6	56cm,1kg	1kg	ドイツ
MK Kopter	MK-8	8	98cm,2.9kg	2.2kg	ドイツ
Microdrones	MD4-200	4	70cm,800g	200g	ドイツ
Microdrones	MD4-1000	4	100cm,2.7kg	800g	ドイツ
DJI	Spreading Wings	6	118cm,2.6kg	未定	中国
3D Robotics Inc.	SDR-RTF シリーズ	4 ~ 8	未定	未定	アメリカ
千葉大学	MS-06	6	77cm,1.7kg	1.1kg	日本
千葉大学	MS-06LA,06LB	6	115cm,2.2kg	5 ~ 7kg	日本
千葉大学	MS-06LL	6	150cm,2.5kg	10kg	日本
千葉大学	MS-12	12	77cm,2.5kg	1.5kg	日本

オートパイロットが心臓部で、これを製造する企業は世界で約25社程度

ミニサーベイヤークンソーシアム組織図

会 長：千葉大学 野波健蔵
副会長：金井度量衡（株）
副会長：（株）サイバー創研

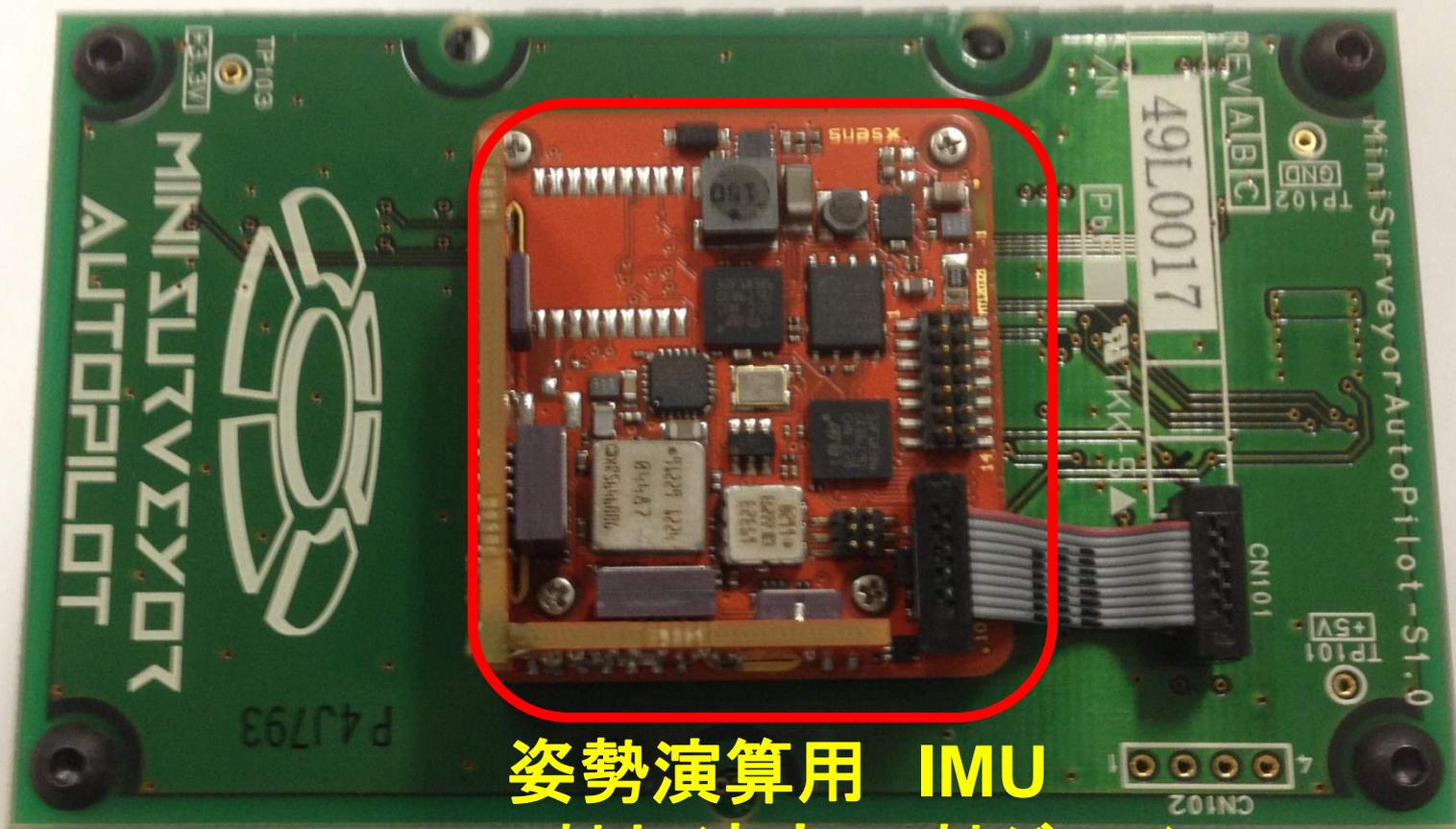
2015年1月15日現在
会員企業等 125社



ミニサーベイヤー機体と仕様

- ◆ 大きさ: 直径90cm, 高さ50cm
- ◆ 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: 10m/s
- ◆ 耐風速: 12m/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





姿勢演算用 IMU

3軸加速度、3軸ジャイロ

3軸方位センサ実装

ミニサーベイヤーオートパイロット



標準機能

- 最大6chPWM出力
- ブザーアラート
- LEDアラート
- ゴーホーム
- 自動帰還（バッテリー低下/無線途絶/異常検知）
- 寿命監視（モータ/ESC）
- 電圧監視
- 自動離着陸
- ウェイポイント飛行
- フライトレコーダ
- ID/PW検証

カスタム対応

- ジンバル制御
- カメラコントロール
- GPS/INS/SLAM
- その他

APFC(Auto Pilot Flight Controller)
はモデルベースの最適制御器
ロバスト制御器、非線形制御器
適応制御器などを採用

来年秋から
APFC(Auto Pilot Flight
Controller)の量産化
約500台～1,000台

来年2月までに
ミニサーベイヤーの量産化
100機完成予定

カスタム対応

- ・ジンバ
- ・カメラ
- ・GPS
- ・その他

自動帰還 (バッテリー
途絶/異常

(モータ/

自動飛行
レコーダ

検証

高精度センサーベイヤーMS-06LAの
開発



3Dマッピング



遠隔飛行用
管制室モニター



遠隔操縦コンソール

株式会社 自律制御システム研究所
〒263-8522 千葉県船橋区藤生1-3-3
千葉大学 知能融合型共同研究拠点1-2F
TEL 043-287-5702 FAX
043-207-6812

mail: jmu@msi-surveyor.com
http://msi-surveyor.com

バッテリー搭載数	8個
制御システム	PLC (三菱電機)

PLC(シーケンサ)を用いて整備性・操作性を向上

自動バッテリー交換装置・無人ヘリコプターを
より現実的・効率的に運用するためのシステム開発

自動バッテリー交換システム(発電機、通信システム(管制室)をコンテナに格納)に搭載



屋内の3D地図

SLAM(Simultaneous Localization and Mapping)
→ 水平方向にLRF, 縦方向にRGBカメラ
屋内や森の中、あるいは、トンネル

経済産業省・資源エネルギー庁
平成25年度発電用原子炉等安全対策推進事業
高所への調査用機器が整った



MS-06LA

- MS-06LA**
- 飛行時間15分
 - 正味重量3kg
 - ペイロード6kg

自重：5.1kg (スキップ)
モーター種別：7010モ
積載バッテリー：6セル 1
最大離陸重量：10.5kg
最大ペイロード重量：約

目標性能

最大飛行時間：無負荷時 30分以上
無負荷時 20分以上
5kg積載時 15分以上
5kg積載時 20分以上



MS-06LA

- 飛行時間15分
- 正味重量3kg
- ペイロード6kg



MS-06LZ

- 飛行時間20分
- 正味重量1.5kg
- ペイロード5kg



目標性能

最大飛行時間：無負荷時 30分以上（残25%）バッテリー4本
無負荷時 20分以上（残25%）バッテリー2本
5kg積載時 15分以上（残15%）バッテリー2本
5kg積載時 20分以上（残15%）バッテリー4本

目標性能

最大飛行時間：無負荷時 30分以上（残25%）バッテリー4本
無負荷時 20分以上（残25%）バッテリー2本
積載時 15分以上（残15%）バッテリー2本
積載時 20分以上（残15%）バッテリー4本

- MS-06LY**
- ・飛行時間20分**
- ・正味重量6kg**
- ・ペイロード8kg**

本体の高さ：約476mm
スキッドを含む高さ：約476mm
ブレード：カーボン製 22インチ
スキッド：航空用ジュラルミン合金
ジンバル：内径190mm2軸サーボジンバル方式
自重：5.3kg（スキッド含む）
モーター種別：7015モーター 370KV
積載バッテリー：6セル 12,000mAh 4本積載可能
最大離陸重量：28.3kg（6セル12,000mAhバッテリー4本搭載時）
最大ペイロード重量：18kg

目標性能

最大飛行時間：無負荷時 30分以上（残25%）バッテリー4本
無負荷時 20分以上（残25%）バッテリー2本
5kg積載時 15分以上（残15%）バッテリー2本
5kg積載時 5分以上（残15%）バッテリー4本

MS-06LX

- 飛行時間20分
- 正味重量4kg
- ペイロード8kg

MS-06LX

警視庁納品の機体 H26.12.24納品



警視庁配備先
災害救助専門部隊
(特殊救助隊)

MS-06K1

- 飛行時間30分
- 正味重量3kg
- ペイロード²⁴5kg

警視庁納品の機体



パラシュート実装

収納コンテナ

講演内容

1. はじめに —マルチコプタの現状—

2. 自律制御型機体・ミニサーベイヤー

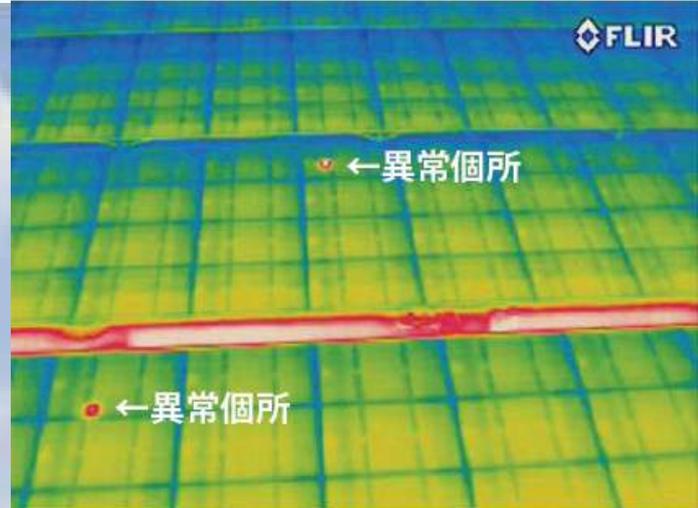
3. GPS環境下の自律制御

4. 非GPS環境下の自律制御

5. 今後の展望とドローン特区

6. まとめ

ソーラーパネル点検



ソーラーパネル調査例



約6000枚を2時間余りで検査

精密農業

250m

近赤外線画像

ウェイポイント数: 23

飛行高度125m

移動速度5m/s

12haの小麦畑

480m



離陸から上昇 帰還と着陸

NHK機体撮影

北海道南幌町の小麦畑20haの空撮ウェイポイント設定

精密農業

25 0 25 50 75 100 m

2014年7月7日 ミニサーベイカメラ撮影 小麦圃場 フォールスカラー画像

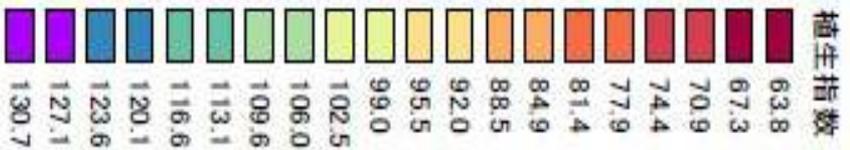
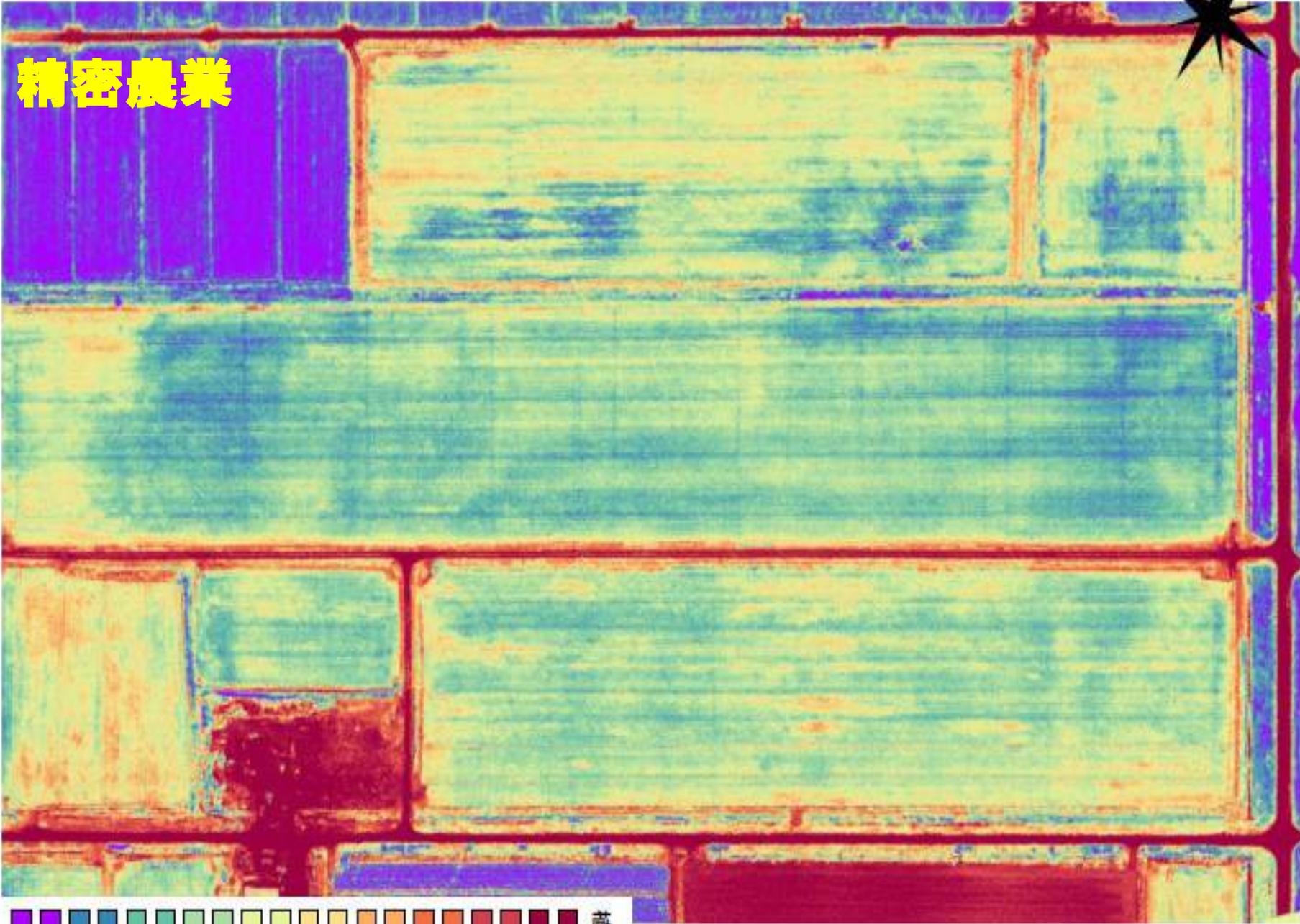
約120枚の写真から1枚の写真を作成



精密農業

25 0 25 50 75 100 m

2014年7月7日 ミニサーベイヤー撮影 小麦圃場 植生指数マップ



ダム点検



浦山ダム：埼玉県秩父市 荒川水系浦山川
重力式コンクリートダム 堤高・堤頂長：156m,372m
管理者：水資源機構 本体着工・完成年：1989/1998

ダム点検



CEC編集



3Dマッピング



GoPro動画



ダムのコンクリート壁面損傷目視点検

高所屋根点検



搭載カメラ映像



クレーンカメラ映像

講演内容

1. はじめに ーマルチコプタの現状ー

2. 自律制御型機体・ミニサーベイヤー

3. GPS環境下の自律制御

4. 非GPS環境下の自律制御

5. 今後の展望とドローン特区

6. まとめ

3D-SLAM システム構成

MS-06LA



UTM-30LX-F) 水平用



LRF(UTM-30LX-F) 垂直用

最大径	1020mm
重量	3.0kg
積載量	6.0 kg
電源	Lipo 6cell 11600mAh
飛行時間	約15~20分



Onboard PC

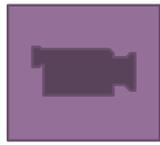


ガードホバリング



ホバリング

SLAM画像
3Dマッピング



FPVによる狭い通路の通過

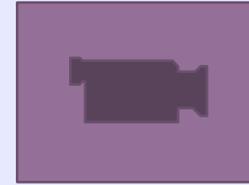


-屋外自律制御-

樹林内放射線計測

機体の水平方向の位置制御: SLAM

→オペレータによる速度制御入力



屋外SLAMベース飛行



樹林間自律飛行



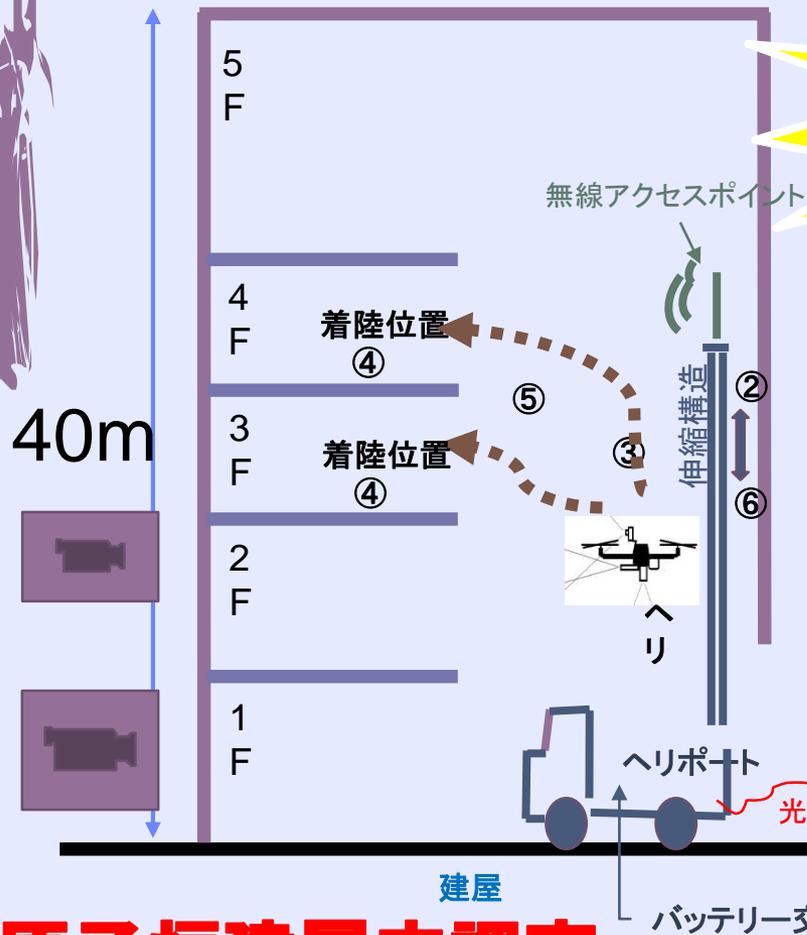
松林内のFPV飛行と3Dマッピング

高層ビル壁面点検



福島第一原発原子炉建屋内調査

福島第一原子力発電所



原子炉廃炉
プロジェクト

水素爆発の写真



管制室



NHKニュース9

橋梁点検



全体



地上カメラ



側壁点検

浜名大橋



トンネル点検



宮ヶ瀬ダム

講演内容

1. はじめに ーマルチコプタの現状ー

2. 自律制御型機体・ミニサーベイヤー

3. GPS環境下の自律制御

4. 非GPS環境下の自律制御

5. 今後の展望とドローン特区

6. まとめ

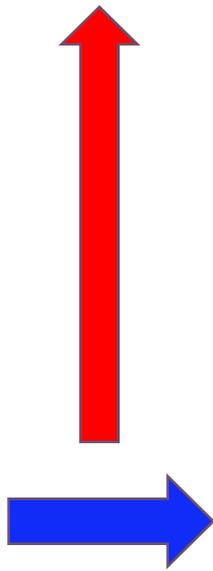
従来の飛行ロボットをはるかに凌ぐ、 超ロバストなスーパー飛行ロボットの研究開発



自律制御能力レベル (Autonomous Capability Level)

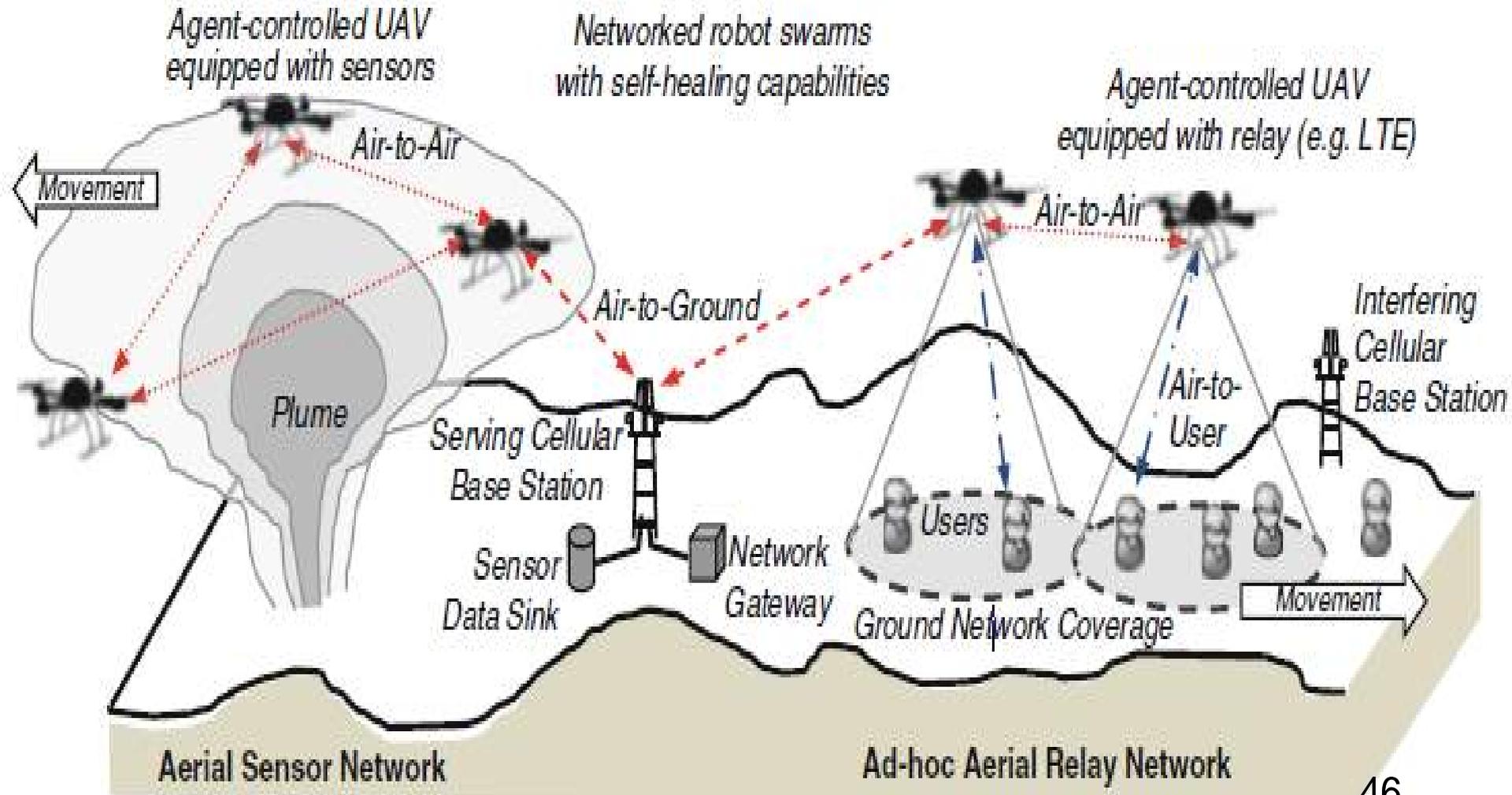
	Level	Capability
	生物型飛行 (運動・認識・知能)	
	10	<i>Bio-Inspired Flight</i> Fully Autonomous Swarms
	9	<i>(Insects or Birds)</i> Group Strategic Goals
	8	<i>Vision based Flight</i> Distributed Controls
	7	<i>High Speed & High Maneuverability</i> Group Tactical Goal
	6	Group Tactical Replan
	5	Group Coordination
	4	Onboard Route Replan
	3	Adapt to Failures & Flight Conditions
	2	Real Time Health/Diagnosis
	1	Remotely Guided

現在のレベル



直線距離10km程度の特区の必要性

飛行ロボットを核としたデータリンクネットワーク構築試験



UAV(マルチロータヘリ)と地上間の無線通信について

表1. 無線局の免許事項(関係部分のみ)

免許事項(抜粋)	無人航空機搭載での適合条件
無線局の種別	移動局であること
無線局の目的	一般業務であること
通信の相手方	一般利用対象者であること
無線設備の移動範囲	移動範囲に「上空」を含むこと
電波形式	データ通信可能な電波形式であること
空中線電力	1W以上が望ましい

飛行中(上空移動中)のUAVとのデータ通信を行うには、特定小電力無線が現在唯一電波法に適合するものとなる。

表2. 無人機に搭載が可能と思われる無線局の適合性(□は適合を示す)

各無線局(装置)	実験局	上空用簡易無線	特小無線	携帯電話	簡易無線等
無線局種別	実験試験局	簡易無線局	特定小電力	陸上移動局	陸上移動局
無線局の目的	試験・調査	スカイスポーツ	一般	移動通信	移動通信
無線設備の上空移動範囲の可否	可能	可能	可能	不可	不可
電波形式	多種可能	電話	多種可能	電話・データ	電話・データ
空中線電力	1Wも可能	~1W	~20mW	-	~1W
無線局免許	申請(法人)	届出	不要	包括免許	届出
無線従事者	必要	不要	不要	包括免許	不要

UAVと地上間で使用される無線通信（例）

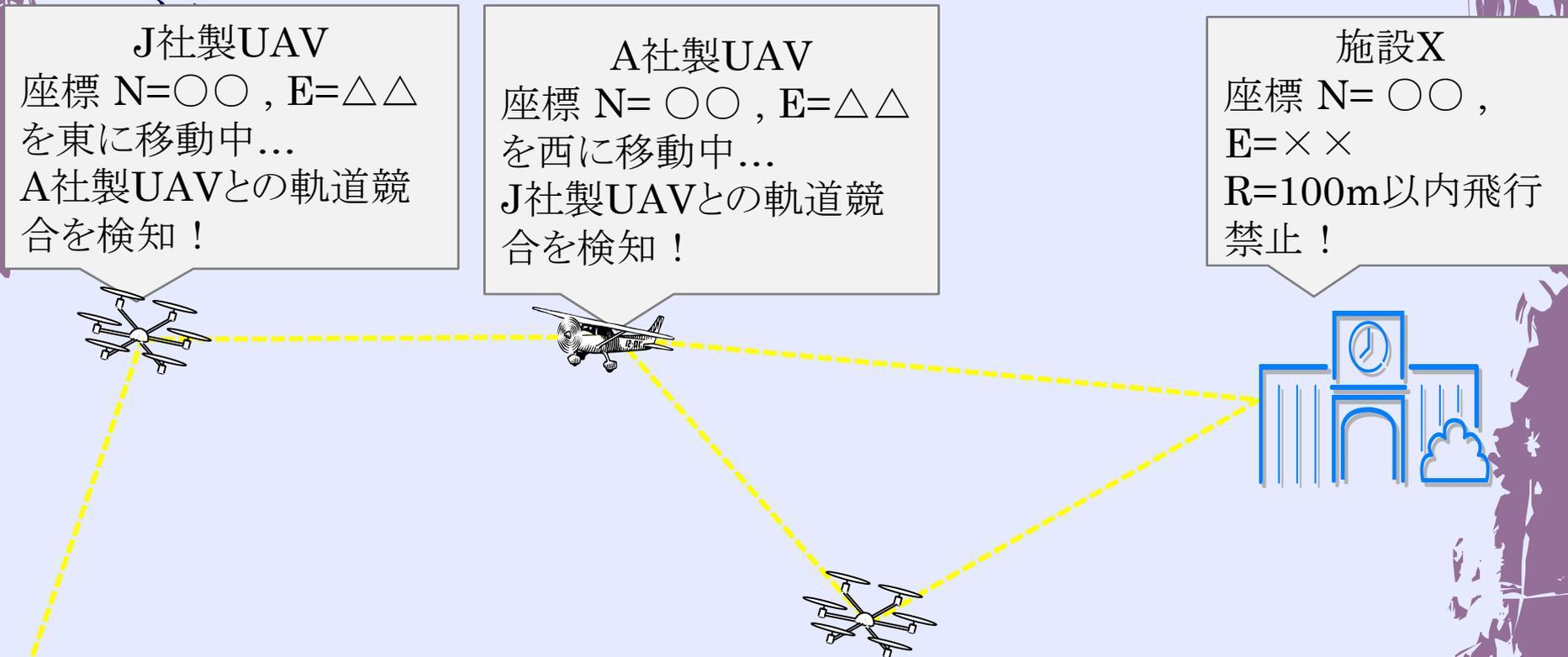
無線規格／周波数	用途	課題点
Wi-Fi／2.4GHz帯、5GHz帯	<ul style="list-style-type: none">・データ通信(アップリンク／ダウンリンク)・画像or映像伝送	WiFiは一般的に使用される周波数であり、環境によっては電波干渉が発生し、データの欠損が発生する
特定小電力無線／2.4GHz	<ul style="list-style-type: none">・プロポ操縦信号等	WiFi無線LANと周波数帯域が被っているため、電波干渉の懸念
簡易無線／1.2GHz帯	<ul style="list-style-type: none">・要免許であるが0.5W、1W出力が可能であるため1km程度の映像伝送が可	<ul style="list-style-type: none">・1チャンネルしか使用できないため、同エリア内(1km以内など)では電波干渉が発生する。つまり複数機飛ばせない
920MHz帯	<ul style="list-style-type: none">・データ通信(アップリンク／ダウンリンク)	<ul style="list-style-type: none">・20mWではあるが、数十kmの距離を通信することはできない

産業用、災害救助用で安全にUAVが使われるためには
無線周波数帯の整理とルール作りが必要

**高信頼性のある10km程度の長距離無線データリンクの
確立がUAV産業応用に必須**

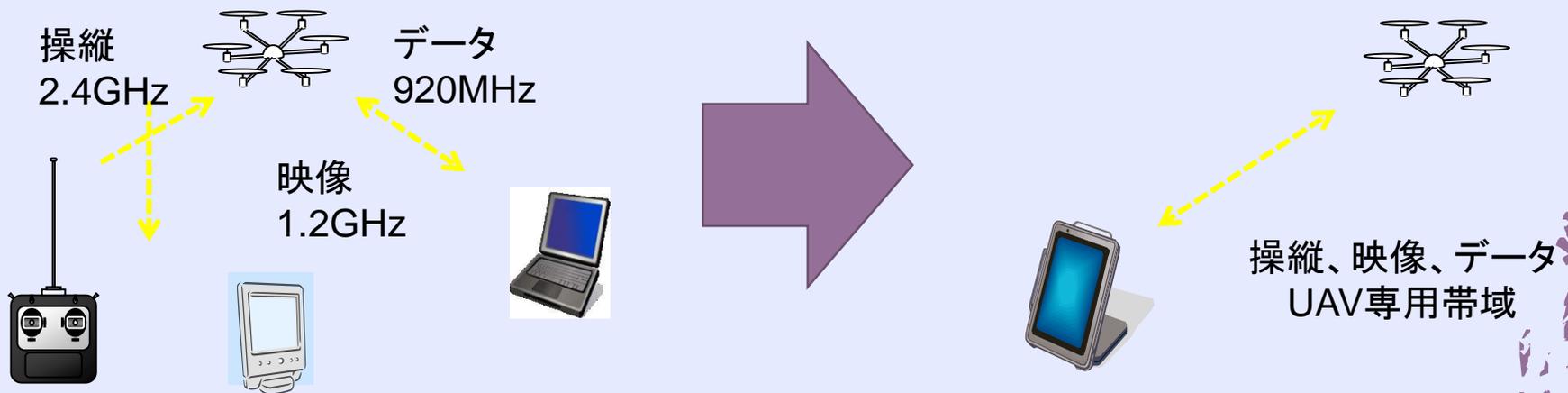
UAV専用の帯域①

- ◆ 自律UAVの接近回避、進入禁止区域通知によるより安全なシステムの実現
 - ◆ 自律UAV専用の帯域が無い専用帯域で実現した



UAV専用の帯域②

- ◆ WiFi以外の帯域を用いる操縦データ、機体データ、映像データの通信
 - ◆ 2.4GHz帯、5GHz帯利用のため、既設機器との干渉が避けられない（地上設備への影響回避のため、以上の帯域が利用できない場合がある）



- ◆ 干渉を受けない／与えない専用の帯域があると良い

講演内容

1. はじめに ーマルチコプタの現状ー

2. 自律制御型機体・ミニサーベイヤー

3. GPS環境下の自律制御

4. 非GPS環境下の自律制御

5. 今後の展望とドローン特区

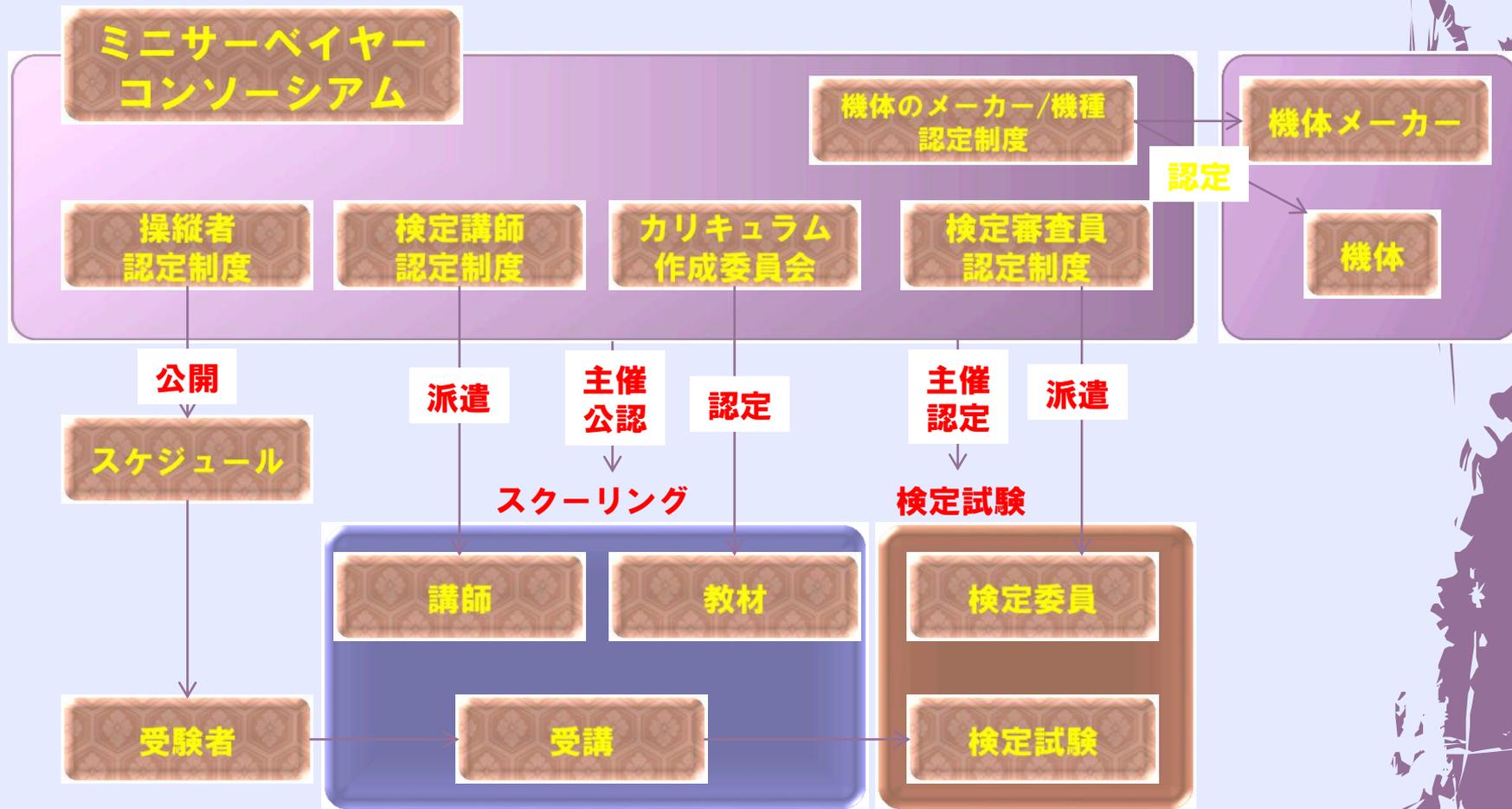
6. まとめ

ドローンとインフラの整備

ドローンを自動車のように、新しい「空のモビリティ」として安全に社会に根づかせるためには、

- ◆ **航空法の順守（より安全にするために必要に応じて改定）**
- ◆ **電波法の順守（より安全にするために必要に応じて改定）**
- ◆ **ドローンの安全運用ガイドライン**
 - 事例：ミニサーベイヤーの安全運用ガイドライン**
- ◆ **スクーリングによる学科と実技の講習による、ドローンの正しい理解と技能検定修得**
 - 事例：農薬散布ヘリのヤマハRMAXの運用システムは規範となる**
- ◆ **ドローン保険制度の充実**
- ◆ **ドローンの機体認定制度/機体の定期点検**
- ◆ **ドローンの運用者・オペレータの認定制度/顧客管理**

技能検定制度フレームワーク図



Weight (kg)

10,000

1000

10kg

10

1

0.1

0.001

0.01

0.1

1

10

100

これまでのUAV

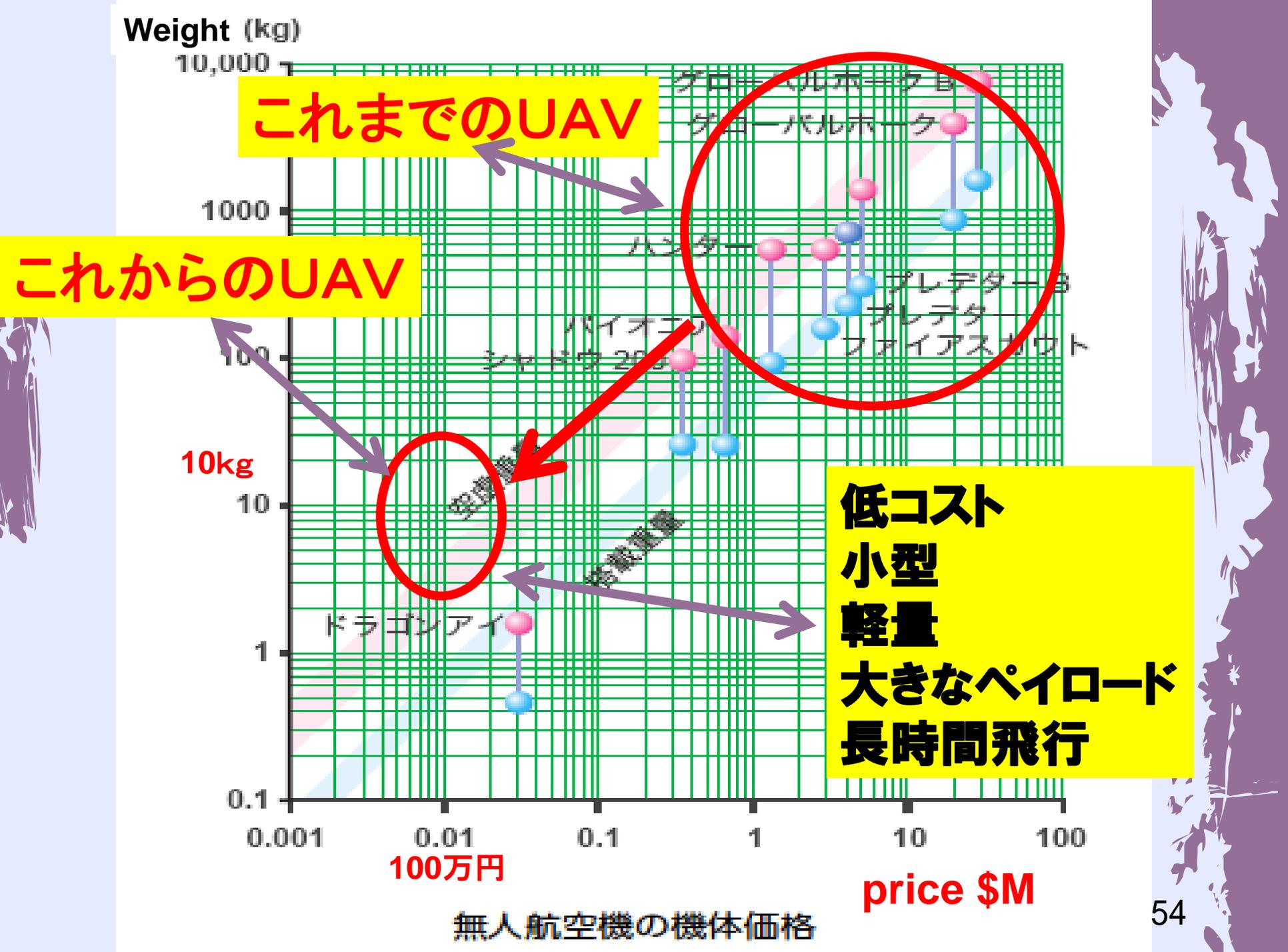
これからのUAV

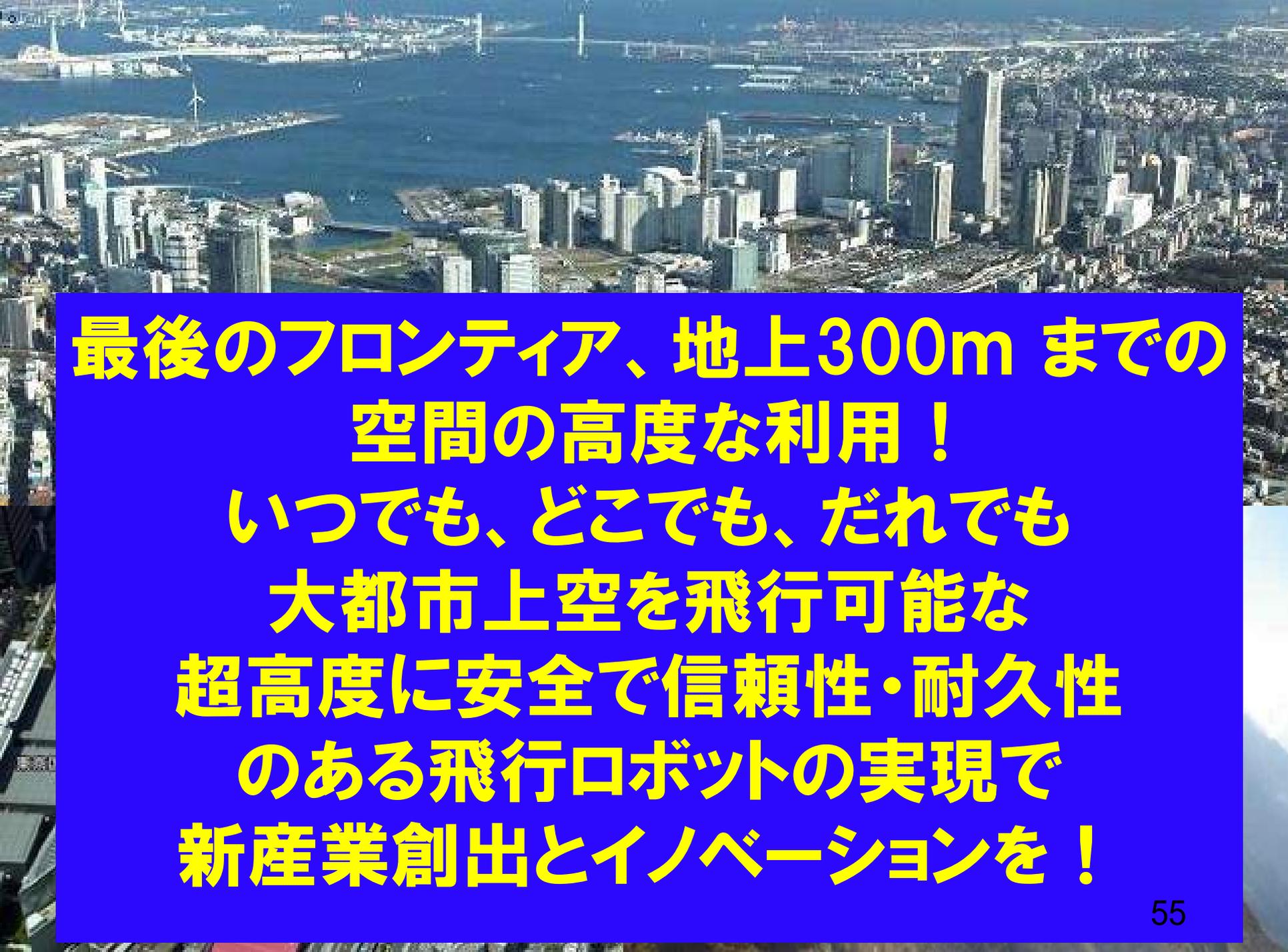
低コスト
小型
軽量
大きなペイロード
長時間飛行

100万円

price \$M

無人航空機の機体価格





**最後のフロンティア、地上300m までの
空間の高度な利用！**

**いつでも、どこでも、だれでも
大都市上空を飛行可能な
超高度に安全で信頼性・耐久性
のある飛行ロボットの実現で
新産業創出とイノベーションを！**

