

L5Gコンソーシアムミーティング 技術討論 「ドローンとL5Gの現状と課題」

職業能力開発総合大学校

渡邊一弘

目的

- ドローンやL5G技術に関する現状と課題の共有
- ドローンに関する情報提供

発表の流れ

ドローンとL5Gで実現する世界
(遠隔地における無人の点検作業)



ドローン技術の現状



L5Gにおける課題

ドローンとL5Gで実現する世界

ドローンとL5Gで実現する世界の一例



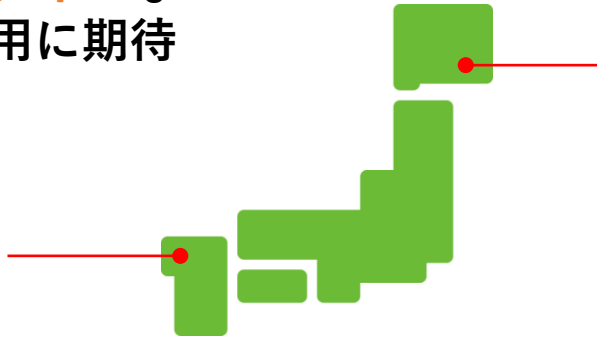
- ・ 高い機動性
- ・ 3次元的な移動能力
- ・ 人では困難な場所への展開



L5G

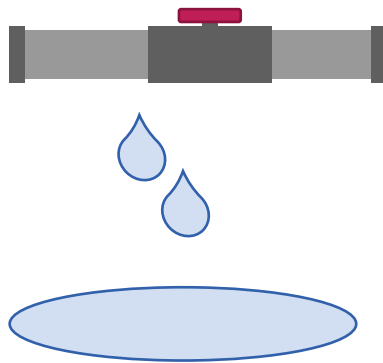
- ・ 大容量
- ・ 低遅延
- ・ 同時多接続
- ・ キャリアに依存しない

遠隔地のリアルタイムな
点検作業への活用期待



点検作業で確認する内容の例

一次点検では以下のような内容を確認している。



漏水・浸水



オイル漏れ



錆・経年による変化



メータの値



物理的な破損

点検作業に求められる要件 1

- 目視（映像）による確認ができること
（センサのみでは信用できない）



- 遠隔地から作業が可能であること
 - ・ 点検作業（特に有識者）は不足傾向
 - ・ 人が常駐しない施設の増加
 - ・ 進入に届け出が必要な場合あり



点検作業に求められる要件 2

- データの読み取りやすさ
写真のみによるデータ取得では
どの場所を点検したのかわかりにくい



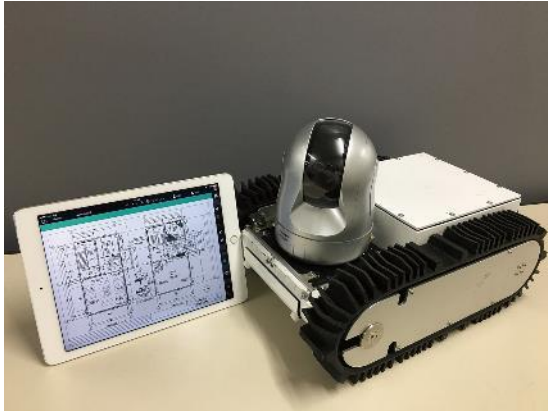
- 階段や梯子での移動
- 高所作業

点検作業においては、階段や梯子を利用した上下移動が必要
また、場合によっては鳶などの高所作業員が必要となる

- 既存の環境に大きな変更を加えない

次世代の点検方法1

点検作業に移動ロボットの活用が期待されている。

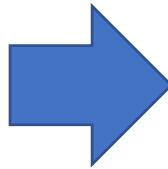


トピー工業（株） エニー



SEIKO ELECTRIC SP02

さらに



車輪型ロボットでは移動困難な場所での作業がドローンに期待されている。



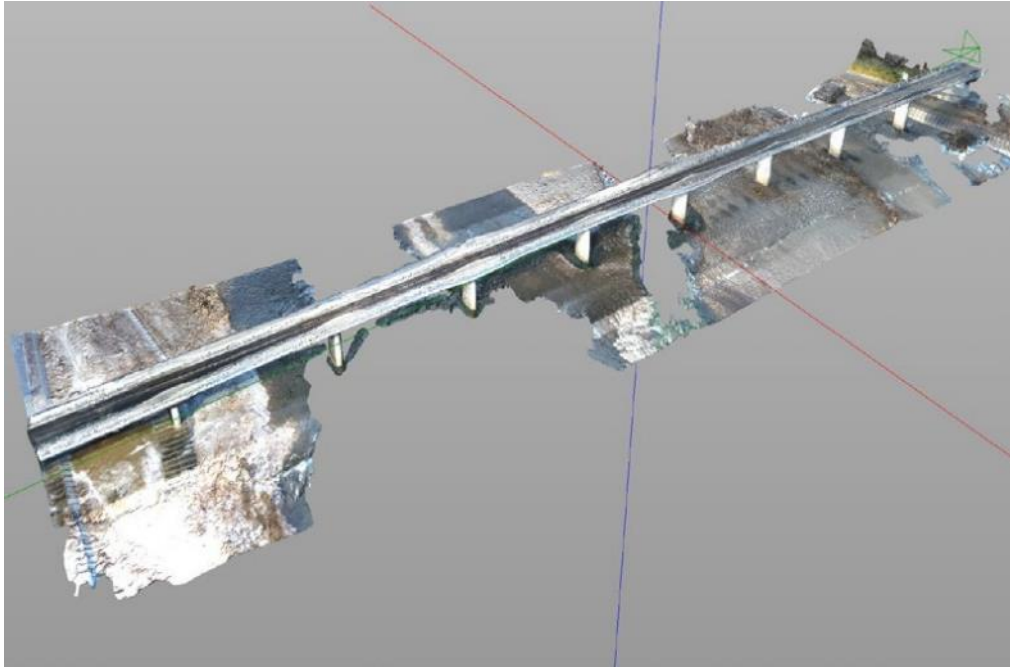
DJI Matrice300



ブルーイノベーション
ELIOS 2

次世代の点検方法2

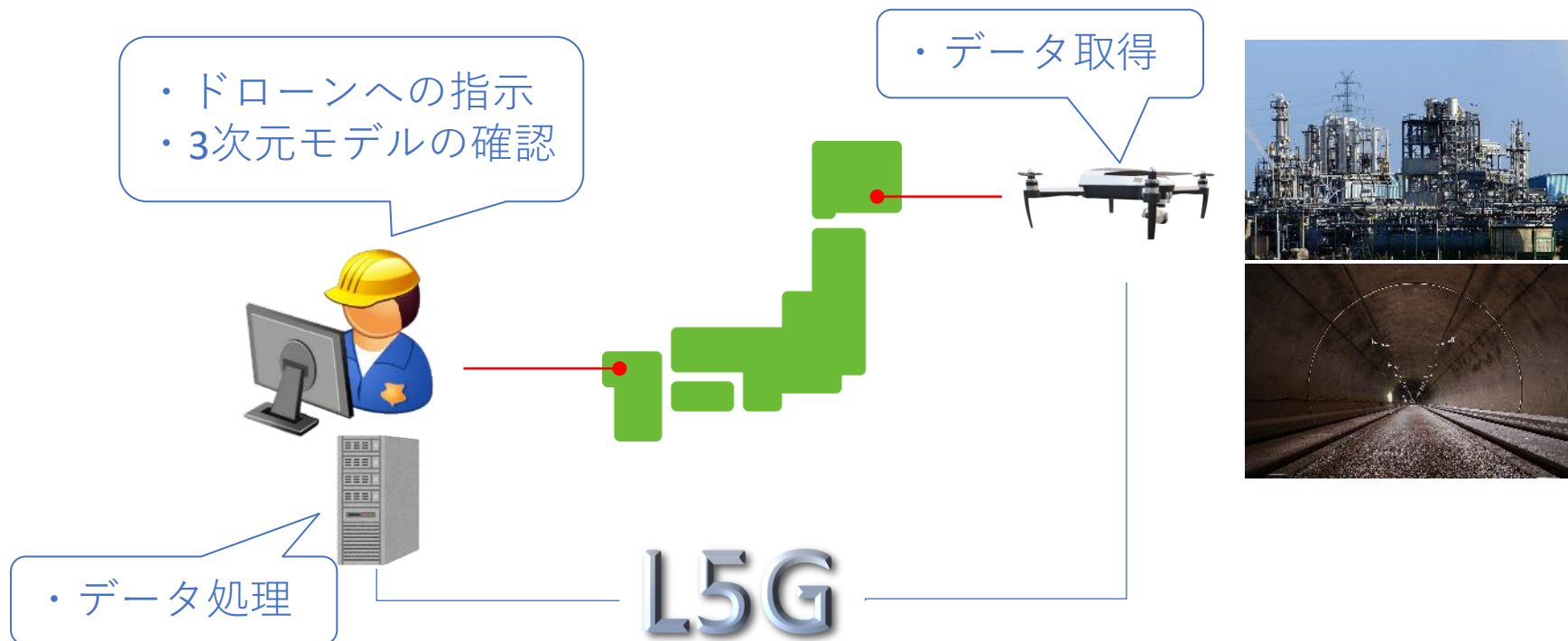
写真やセンサ値から状況を読み取るだけでなく、
ロボットが取得したデータから3Dデータを作成して点検を行う。



ただし、現状では現地への移動、データ取得作業、データアップロード、
事後のデータ処理作業といった対応が必要であり、リアルタイム性は乏しい。

次世代の点検方法3 理想

ドローンをセンサの一つとして、あらかじめ点検対象のエリアに設置しておく。
ドローンはL5G経由の通信で制御されると同時にデータをサーバに
高速・低遅延でアップロードすることで、リアルタイムな3次元モデリングと
点検を行う。



ドローンを用いた3次元モデルの生成

大きく2つの方法がある

Image Based Modeling

測量分野で用いられる手法。光学カメラで撮影した映像を処理して3次元モデルを作成する。一般的に精度が高いが処理に長大な時間と計算能力の高いコンピュータが必要。

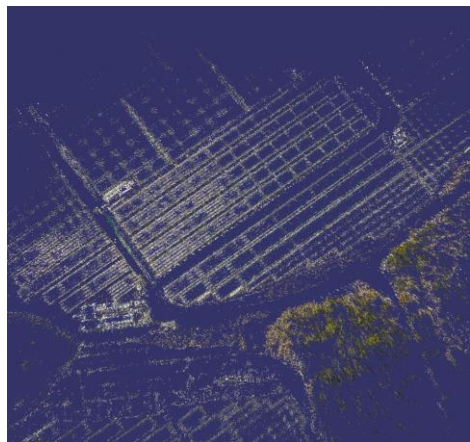
Simultaneous Localization And Mapping (SLAM)

ロボット分野で用いられている手法。センサから得られた情報に基づいて、地図作成（2次元もしくは3次元地図）と自己位置推定を行う。ロボットのナビゲーションに使われるため、リアルタイム性や計算コストに優れるものが多い。

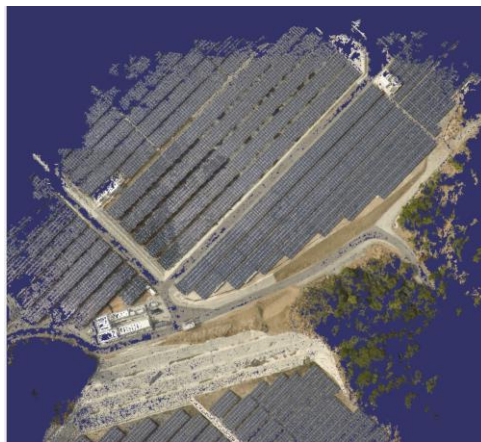
Image Based Modeling (SfM/MVS)



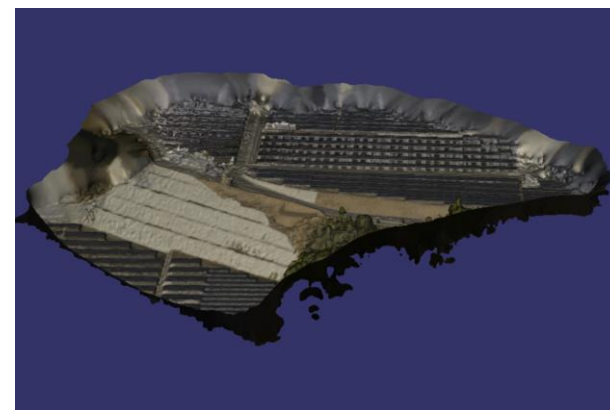
(a) (b) Extract Feature point and matching
(This image is simulated.)



(c) Generating sparse point clouds



(d) Densification of point clouds



(e) Textured Mesh generation

Experimental conditions for SfM/MVS

Image resolution	4000×3000 pixels
Number of images	387 images
GPS information	Use
Software	Regard 3D
CPU	Core i9-10850K (10cores/20threads)
RAM	64GByte
GPU	RTX 3090

※作成時間：約21時間

SLAM

種々のアルゴリズムが提案されており，センサとしてもレーザ距離計測装置（LiDAR）やステレオカメラ，RGB-Dカメラなどを用いた手法がある．



Image of 3D mapping by RGB-D Camera

点検業務における3Dモデリング手法としては，リアルタイム性のあるSLAMを用いたアプローチが望ましい．
点検業務に適用するために必要な精度の調査や，軽量なアルゴリズムの実現のための研究を行っている．

ドローン技術の現状

ドローンとは

ドローンの定義

- ・ 無人の航空機 ⇒ 無人の車両， 航空機， 船， 潜水艇

なぜドローン（オスバチ）なのか

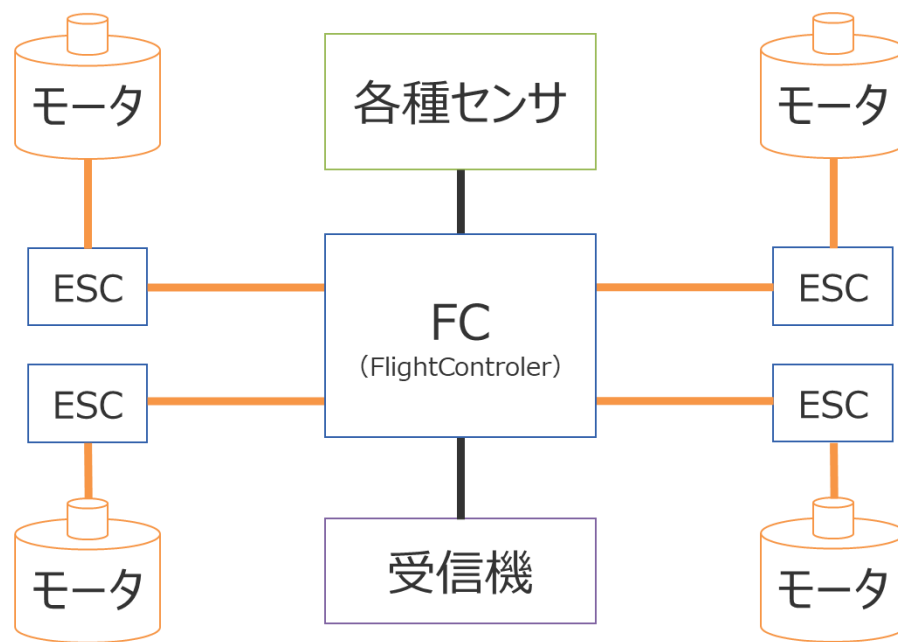


Source:Imperial War Museum”

ドローン（マルチコプタ）のハードウェア構成



Source: Sky Link



ドローンはセンサの塊

ドローンの代表的なセンサは以下の通り

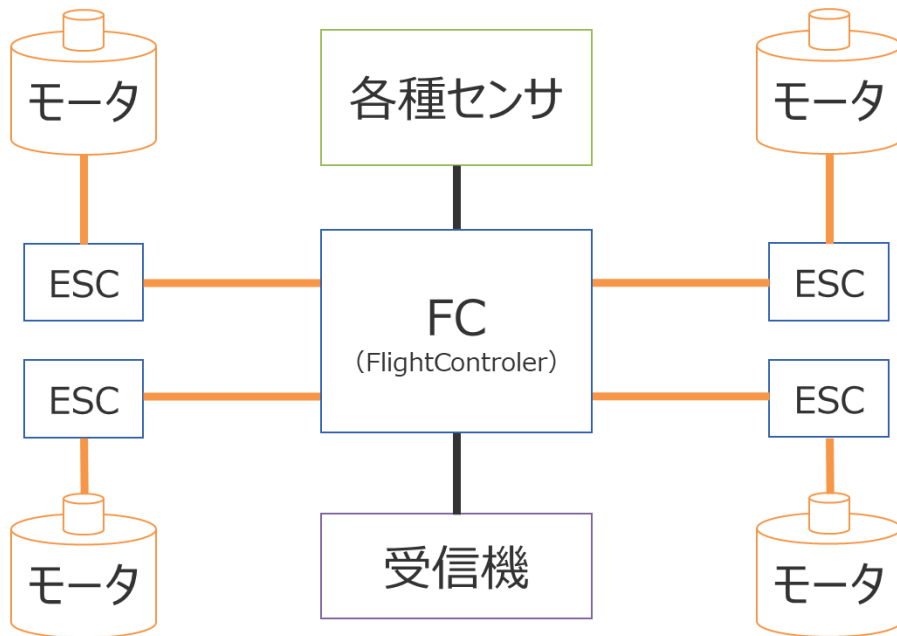
- ・ ジャイロセンサ
- ・ 加速度センサ
- ・ 方位センサ（コンパス）
- ・ 気圧センサ
- ・ 超音波センサ
- ・ 衛星測位システム（GNSS）
- ・ ビジョンポジショニングシステム
- ・ ・ ・ etc



ドローン底面のセンサ

ラジコンとの違いとは

ドローンはフライトコントローラを搭載



Source:ロボショップ

フライトコントローラーの例
(CubePilotPixhawk2.1)

ドローンの飛行原理

ドローンはプロペラの回転数を制御して飛行する



ドローンの飛行原理

※DJI社Phantom4ユーザーマニュアルの画像をもとに作成

ドローン技術の進展1



RQ-4 無人偵察機

軍事手段としてのドローン

ドローンは訓練用の標的機から始まり、偵察・攻撃を目的とした軍事手段の一つとして発展した。現在ではドローンが有人戦闘機と協調して飛行を行う構想が各国で検討されている。



ヤマハ発動機 R-50

民間（産業用）のドローン

日本では民間用の無人航空機の研究が1980年ごろから開始され、世界初の農薬散布ドローンR-50（1987）を中心に、**日本はドローンの民間利用先進国**であった。

ドローン技術の進展2



Source:Parrot

Parrot AR.Drone 2.0

民間（ホビー用）のドローン

- 2010年にCESでParrot社（仏）がWiFiとスマートフォンアプリを使って容易に操作可能なAR.Droneを発表する.
- 現在の民間向けドローンのベースとなる形態であり、入手性の高さから多くの人がドローンを利用する機会を得た.



Source:DJI

DJI Phantom3

空撮用ドローンとしての発展

- 高画質映像を撮影するためには別途GoProなどのカメラを搭載することが当たり前で使い勝手が悪かった.
- DJI社（中国）は2015年に遠隔で操作可能な専用カメラを搭載し、かつ長時間飛行可能なPhantom3でシェアを拡大した.

ドローン技術の進展3



DJI Matrice 600 Pro



Mavic 2 Enterprise Dual

ホビー用から産業用への移行

ドローンメーカー各社はホビー用のドローン開発で得た成果をもとに、産業用ドローンの開発を行った。

特にDJI社は2015年以降、赤外線カメラや高倍率カメラ、農薬散布装置へ対応するドローン、冗長化された制御装置を搭載したドローンなど、様々な産業用ドローンをリリースしている。既存の産業用ドローン製造業者を脅かす存在になっている。

ドローン利活用の拡大

ドローンは様々な場面で活躍している



空撮

Source:DroneBank



点検

Source: SankeiBiz



測量

Source:空力計画株式会社



輸送

Source:USA TODAY



農業

Source:SMART AGRY



レース

Source:AFP BB News

ドローン利活用の例

ドローンの新しい活用方法

アートとしてのドローン

LED照明を装着した複数のドローンを一斉に飛行させるパフォーマンスがオリンピックなどで行われている。

また、ダンサーやミュージシャンと協調したパフォーマンスを行うなど、アートのジャンルにおいてもドローンが用いられている。



大量のドローンが
夜空に絵を描くイメージ



音楽と協調したパフォーマンス

ドローン（マルチコプタ）の優位性

マルチコプタはホバリングの安定性を活かした“空撮”に最も適している



空撮のイメージ

ドローン技術のトレンド

- 近距離 → 長距離
- 手動飛行 → 自動・自律飛行
- 作業代替 → 総合的なDX

近距離から長距離へ（動力源）

ドローンの動力源はバッテリーが一般的

バッテリーで飛べる時間は短い ⇒ 別の動力源を模索中



Source: ロボショップ



Source: ドローンジャーナル

近距離から長距離へ（飛行形態）

マルチコプタから **Vertical Take-Off and Landing**（VTOL）へ
VTOLは飛行機とマルチコプタの良いとこどり！



Source: DJI

マルチコプタ
DJI Matrice 600 Pro



Source: 防衛省



Source: ドローンジャーナル

様々なVTOL機

非公開資料

手動飛行から自動・自律飛行へ

ドローンは現状では手動操作が前提

→人間の操作を必要としない自動飛行や自律飛行が求められる



手動飛行



Source:ARDUPILOT

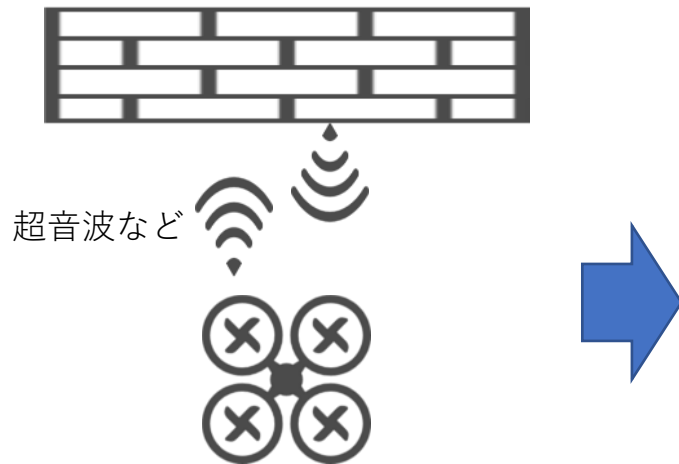
GNSSを用いた自動飛行



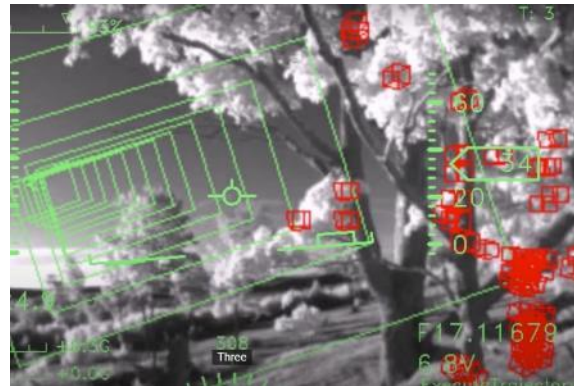
自律飛行のイメージ

手動飛行から自動・自律飛行へ（物体検出）

ドローンが業務を遂行するためには
障害物や業務対象の検出と検出内容に応じた動作が必要



従来の障害物検知のイメージ



障害物回避のイメージ
MITCSAIL, "Drone Autonomously Avoiding Obstacles
at 30 MPH"



物体認識の例
(人の検出)

物体検出の例



ドローン撮影画像に対する物体認識の適用（機体制御は未実施）

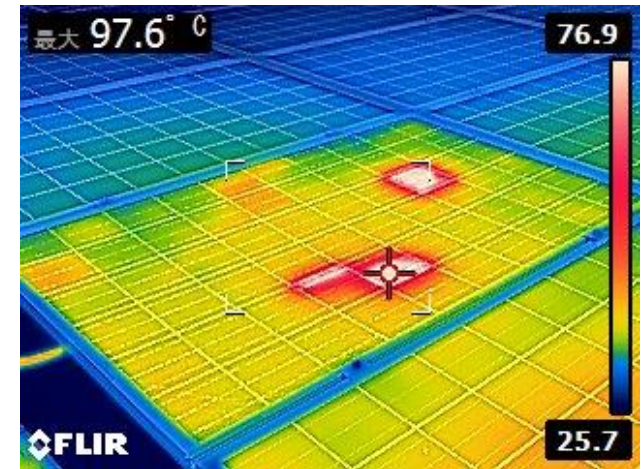
作業代替から総合的なDXへ1

ドローンは既存の作業を代替する手段として活用されてきた



Source:ATCL

手作業での太陽光パネルの点検

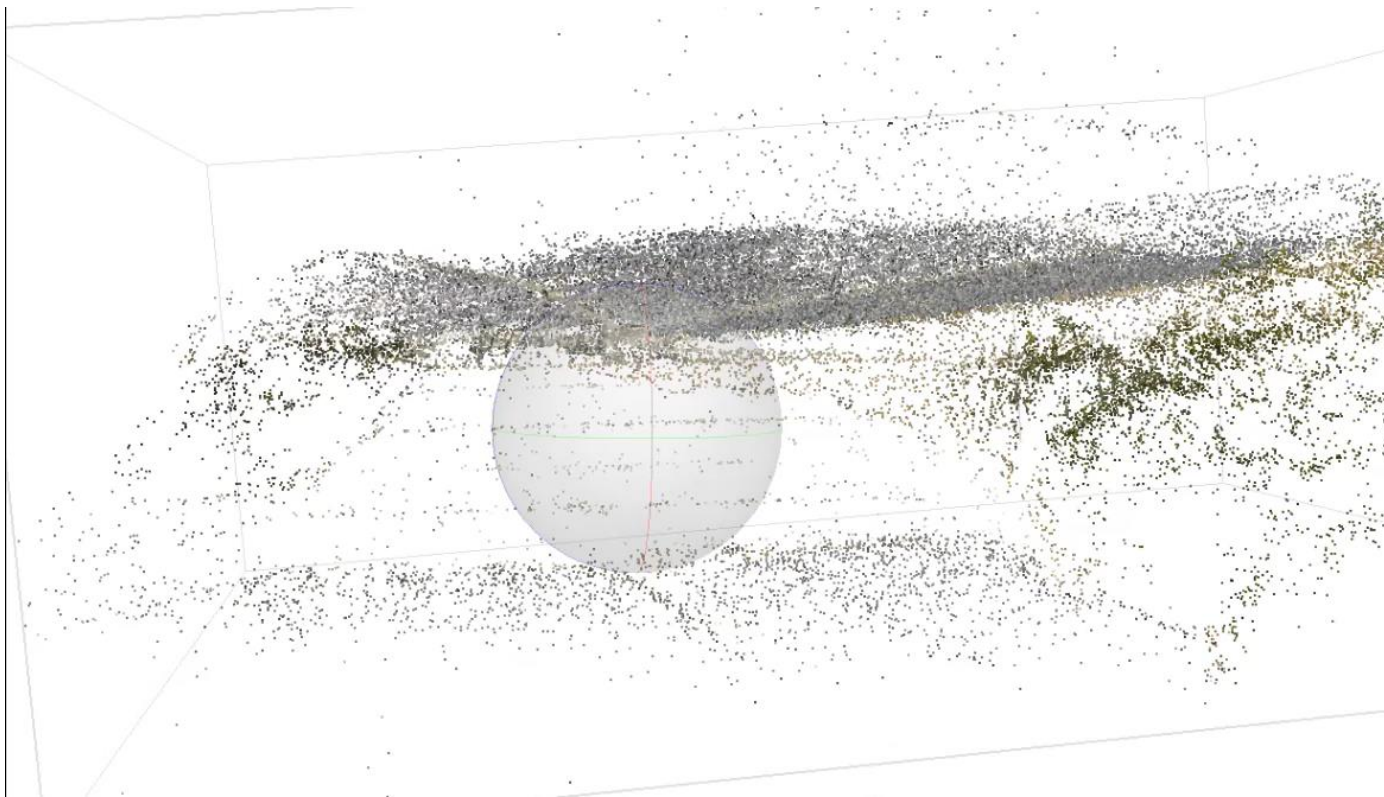


Source:ENERGY VISION

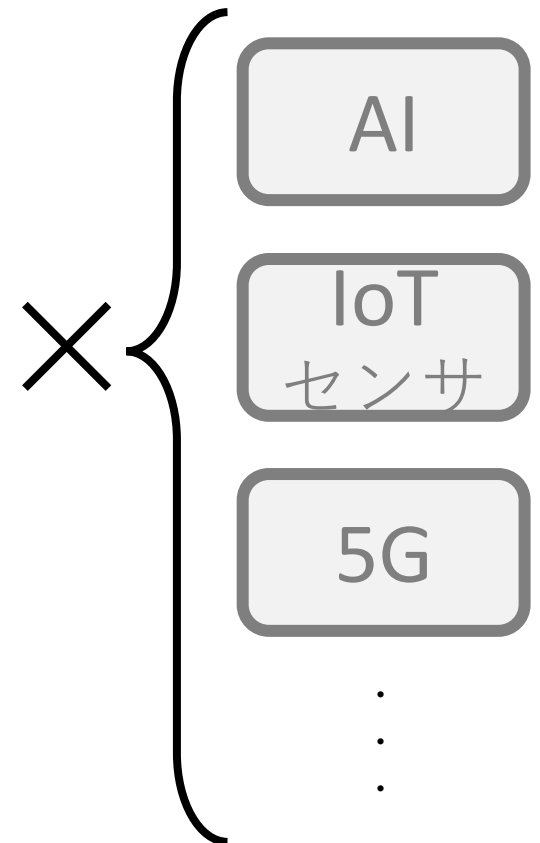
ドローンでの太陽光パネルの点検

作業代替から総合的なDXへ2

他のデジタル技術と融合し、省人化・効率化をさらに加速

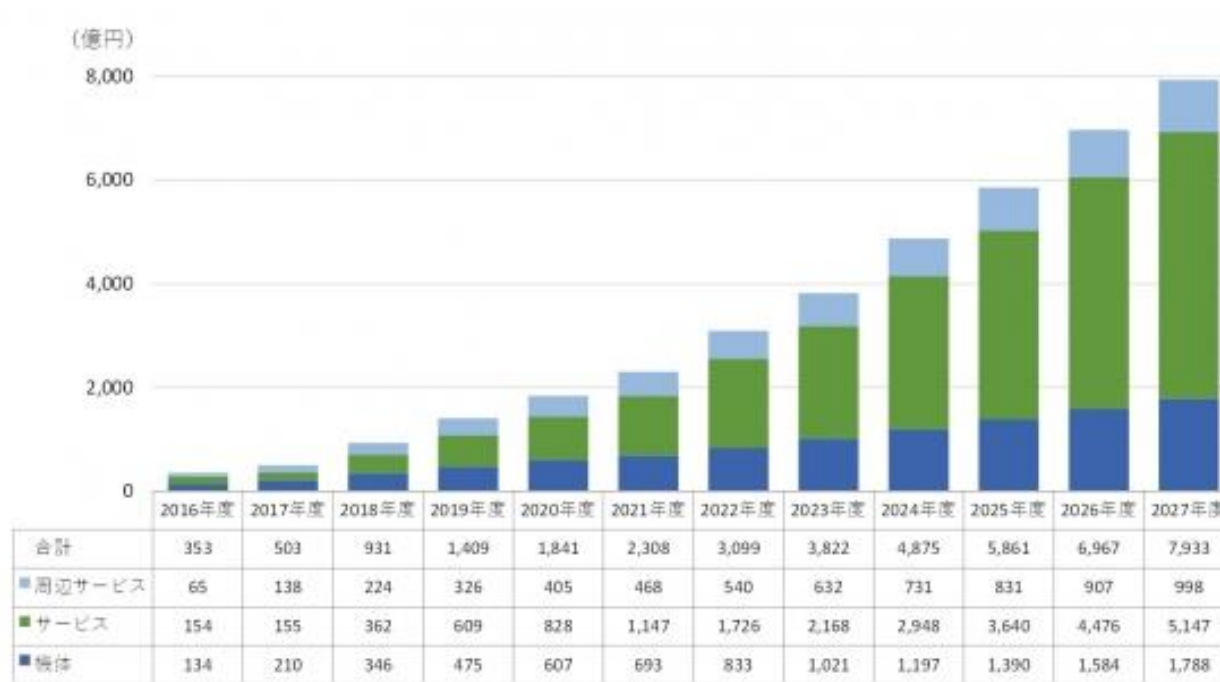


ドローン取得データを3次元化



ドローン市場規模

2021年度の国内市場規模は**2,308**億円であった。
今後もドローン市場の拡大が見込まれている。



ドローン国内市場規模

※インプレス総合研究所作成資料より抜粋

ドローン業界の巨人

Rank	Manufacturer	Main Drone Types	HQ Location	in the Drone Market Since	US Market Share
1		Mavic, Phantom	Shenzhen, China	2006	76.8%
2		Shooting Star, Falcon 8	Santa Clara, USA	2015	3.7%
3		H520, Typhoon H	Hong Kong, China	2010	3.1%
4		Anafi, Bepop 2	Paris, France	2009	2.2%
5		Karma	San Mateo, USA	2016	1.8%
6		Solo	Berkeley, USA	2009	1.5%
7		HS100, HS700	Taipei, Taiwan	2014	0.8%
8		X-Star Premium, EVO	Bothell, USA	2014	0.8%
9		eBee	Lausanne, Switzerland	2009	0.3%
10		Kesyry Drone 2	Menlo Park, USA	2013	0.3%

Source: FAA drone registrations as of 06/03/2019, DRONEII.com
Date: October 1st, 2019
© 2019 all rights reserved | DRONE INDUSTRY INSIGHTS | Hamburg, Germany | www.droneii.com
DRONEII.COM
DRONE INDUSTRY INSIGHTS

DRONEII.com, "Top 10 Drone Manufactures' Market Shares in the US", 2019

DJIの一強状態が続く

- 左記の資料はアメリカにおけるドローンのマーケットシェアを示したものである。
- この資料から中国のDJI社が7割以上という圧倒的なシェアを有していることがわかる。
- 世界シェアについても、DJIが7割以上を占めているといわれている。

65

令和2年度に報告されている日本国内での
無人航空機の事故・トラブル件数

ドローン関連のトラブル1



Source: LEPTIDRONE, "Drone Blender DJI Phantom 2 – Fruit Ninja"

- ドローンは空飛ぶ凶器となりうる！
- 高速で回転するプロペラは指も切断できるといわれている
- 墜落すると大変危険
(ホビー用主力製品の重さは1kg前後)

ドローン関連のトラブル2

ドローンの普及に伴い以下のようなトラブル・事件が発生し、ネガティブイメージが拡大している。
また、ドローンに対する法規制の根拠にもなっている。

- 2015年4月9日 首相官邸の屋上にて
放射能汚染土を搭載したドローンが見つかる
⇒福井県の男性が逮捕され、懲役2年の判決
- 2015年5月21日 Youtuberが三社祭でドローンを飛ばす趣旨の投稿
⇒威力業務妨害として警視庁により逮捕
- 2017年2月28日 操縦不能になったドローンがクレーンに衝突
⇒30代の男性作業員に衝突し国内初のドローンによる人身事故となった
- 2017年10月12日 カナダでドローンが旅客機に衝突
⇒世界初の旅客機との衝突事故ではないかと言われている

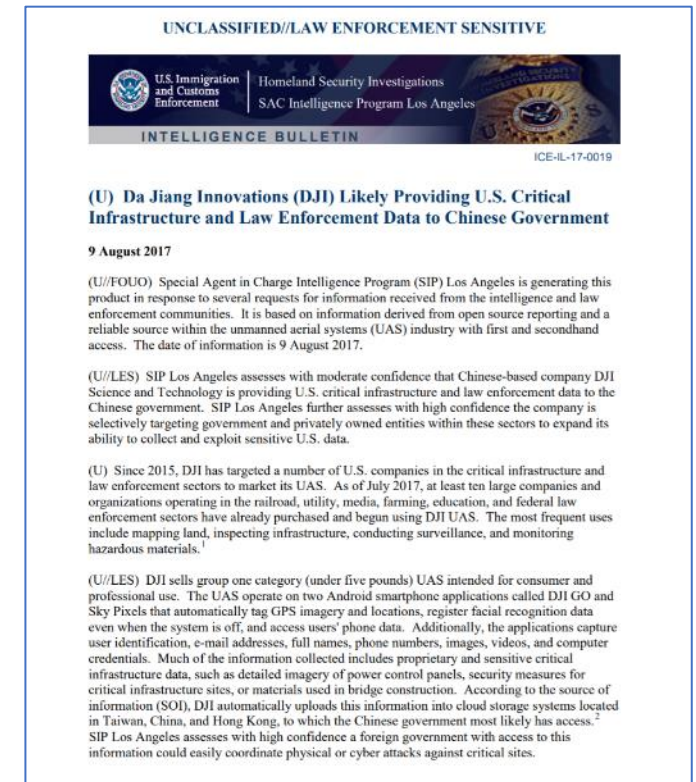
ドローン関連のトラブル3

- 2017年11月4日 大垣ロボフェス会場でのドローン墜落
⇒子供を含む6人が顔や背中に軽いけが
- 2019年9月4日 みなとみらいで無許可ドローン飛行
映像制作会社の女性社員書類送検
⇒女性社員は「会社で許可申請をしていると思った」と供述
- 2019年11月10日 NECで開発中のドローンが試験中に行方不明に
⇒府中事業所で発生、どこかに不時着したものと考えられている
- 2020年6月27日 警視庁機動隊員、ドローン点検中に指を切断
⇒操作ミスにより飛行中のドローンに接触した

ドローン関連のトラブル4

データの不正利用疑惑

- 米軍や米国土安全保障省の所管機関が**DJI製ドローンの情報流出の可能性**や**リモートアクセスの可能性について懸念**を示している。
- DJI社はデータを送信できない仕様のドローン（アプリ）提供や米国内への工場の設置を行っている。



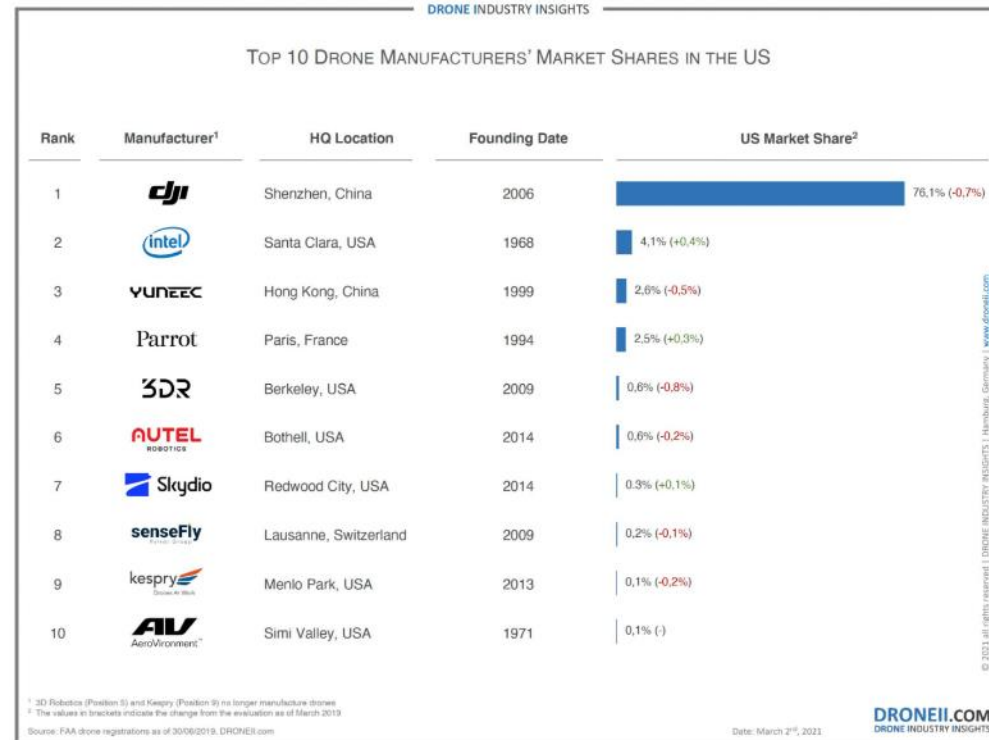
米国の移民・関税執行局（ICE）作成資料

ドローン関連のトラブル5

American Drone Security Act

- 米国では中国政府の影響を受けるドローンの購入・使用を全ての連邦機関において禁止する法律（**American Drone Security Act**）が提案されている。すでに米軍や一部の法執行機関ではDJI製品の使用を停止している。
- **2020年12月18日**、米商務省がDJIを「エンティティ・リスト」（事実上の対中禁輸リスト）に加えたことを発表。これによりDJIへの米国製品輸出が許可制となった。

参考 2021年3月時点でのマーケットシェア



Source:DRONEII

Top 10 Drone Manufacturers' Market Shares in the US (March 2021)

国産ドローンの躍進？

- 政府主導のドローン開発プロジェクト（※）が進行。
※新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）「安全安心なドローン基盤技術開発」
- 新規日本メーカーの参入

ご参考資料：主な製品化想定仕様

NEDO

外 観



開発事業者

ACSL
株式会社自律制御
システム研究所

YAMAHA
XOS
株式会社

docomo
株式会社
NTTドコモ

Xacti
株式会社ザクティ

ASTOM R&D
株式会社先端力学
シミュレーション
研究所

主な仕様

重量	1.7kg
飛行時間	30分
標準カメラ	動画 4 K対応 2,000万画素
防水防塵	IP43
リモートID	Bluetooth
クラウド	フライトログ保管機能
セキュリティ対策	フライトログ 撮影データ 通信の暗号化 画像トラッキング 自動飛行
機能	3方向センサによる衝突 回避

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構

NEDOのドローン想定仕様



SONY製 Airpeak S1

ドローンの法規制

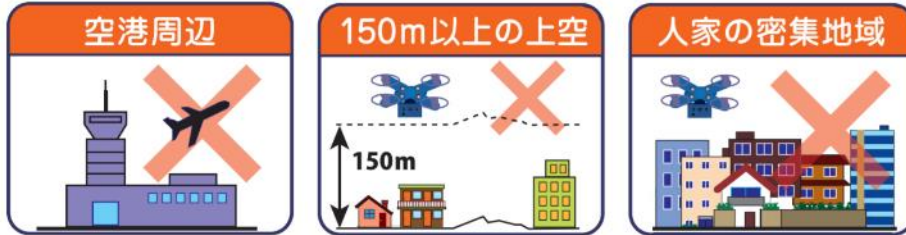
ドローンが制限を受ける、もしくは受ける可能性が高い法律を以下に示す。

法律等の名称	制限される内容
航空法	200g以上のドローンが飛行方法や飛行範囲の制限を受ける。
小型無人機等飛行禁止法	防衛関係施設などの重要施設周辺において、機体重量に関係なく飛行の制限を受ける。
道路交通法	道路での離発着や道路を跨ぐ飛行の制限を受ける。
民法	他者の私有地での飛行の制限を受ける。
電波法	ドローンやそのコントローラーが発する電波の種類・強度の制限を受ける。
都道府県、市町村条例	地域住民のプライバシーの侵害や精神的苦痛を与えないよう飛行範囲や撮影範囲の制限を受ける。

ドローンの法規制 航空法 1

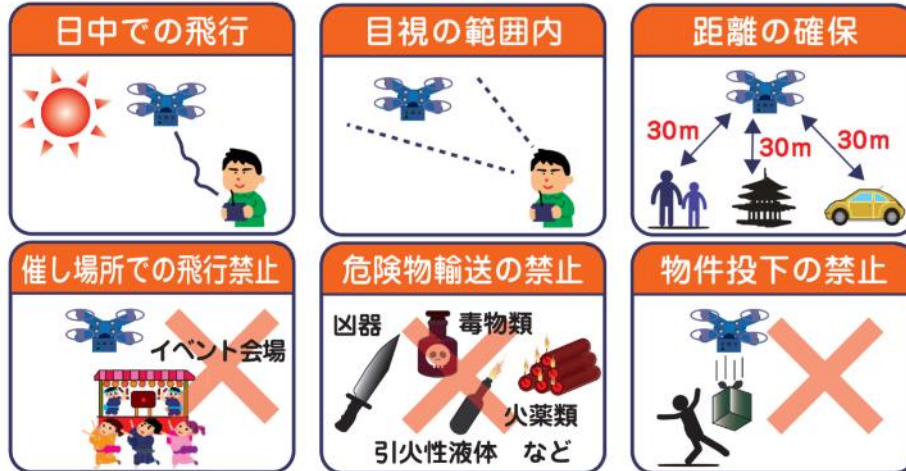
★飛行禁止空域

次の場所では、無人航空機の飛行は禁止されていますので、ご注意ください！飛行させたい場合には、国土交通大臣による許可が必要です。所定の手続きを行ってください。



★飛行の方法

無人航空機を飛行させる際には、次の方法に従って飛行させましょう！これらの方法によらずに飛行させたい場合には、国土交通大臣による承認が必要です。所定の手続きを行ってください。



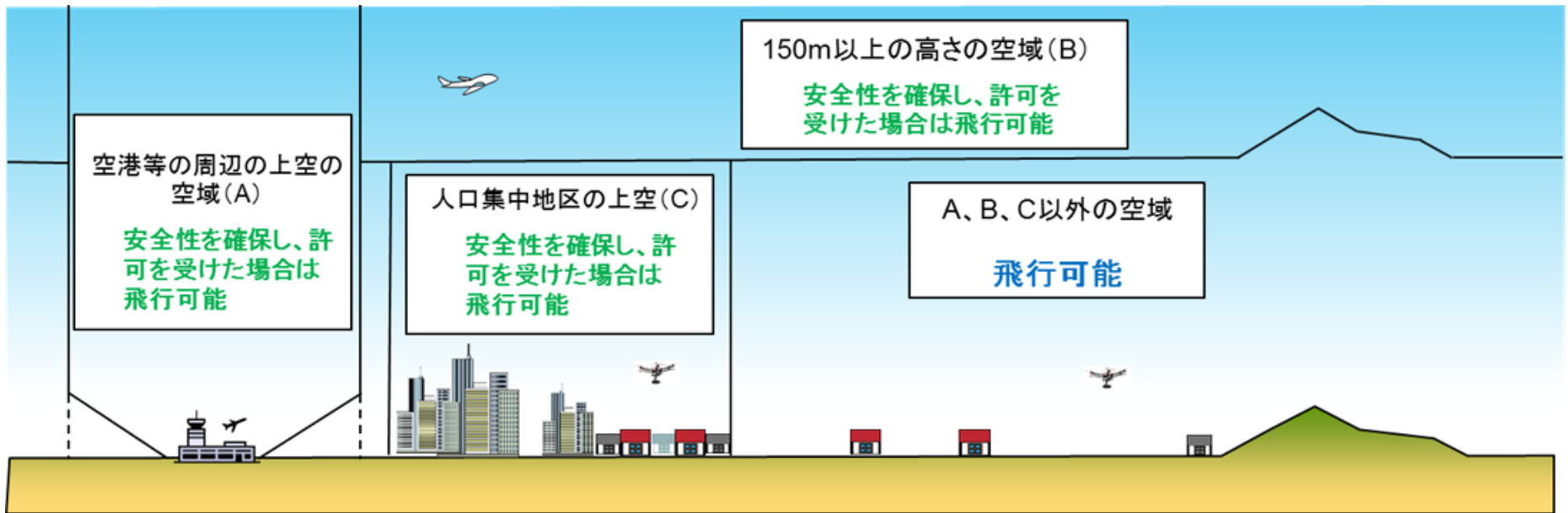
航空法に関する詳細

- ドローンを飛ばす際にまず確認すべきは航空法の適用対象かどうかと制限される内容である。
- 左記のとおり、飛行にあたって様々な制限を受ける。夜間の飛行や目視外の飛行が必要な場合には個別に許可を取る必要がある。

Source:国土交通省『無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の安全な飛行に向けて！』

ドローンの法規制 航空法 2

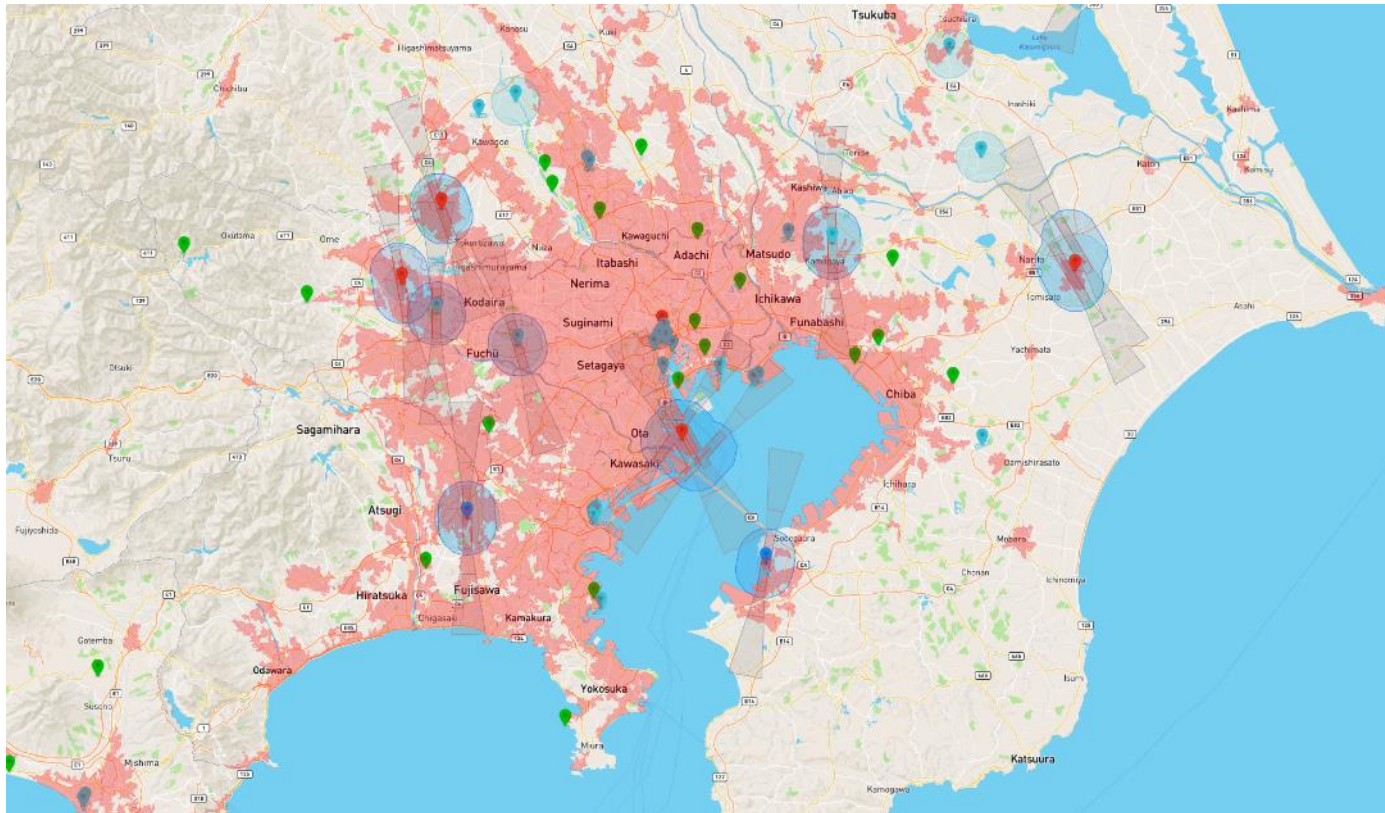
100g以上のドローンが制限を受ける空域は以下の通り



Source : 国土交通省

(空域の形状はイメージ)

ドローンの法規制 航空法 3



DJI フライトマップ

<https://www.dji.com/jp/flysafeflymap>

(※赤色は人口密集地を示す)

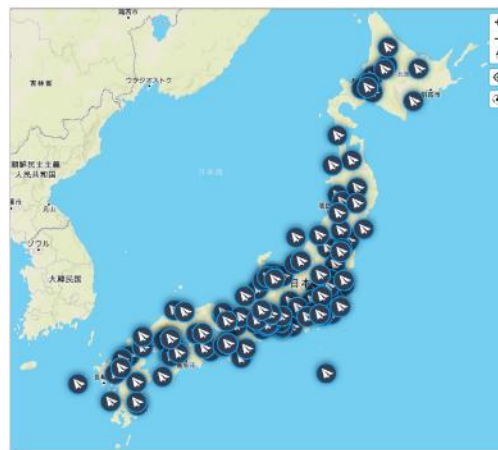
ドローンの法規制 航空法 4

航空法で制限された条件での飛行を行う場合は
機体の登録・飛行許可申請・飛行情報の登録が必要



ドローン情報基盤システム
(DIPS)

<https://www.dips.mlit.go.jp/portal/>



飛行情報共有システム(FISS)

<https://www.fiss.mlit.go.jp/menu>

ドローンの法規制 小型無人機等飛行禁止法

防衛関係施設などの重要施設周辺において、
機体重量に関係なく飛行の制限を受ける。

小型無人機等飛行禁止法の概要

重要施設及びその周囲おおむね300mの周辺地域の上空における小型無人機等の飛行※を原則禁止

※ ① 小型無人機を飛行させること
〔無人飛行機(ラジコン飛行機等)、無人滑空機、無人回転翼航空機(ドローン等)、無人飛行船 等〕
② 特定航空用機器を用いて人が飛行すること
〔気球、ハンググライダー、パラグライダー 等〕



対象施設

① 国の重要な施設等	② 外国公館等	③ 防衛関係施設	④ 空港	⑤ 原子力事業所
国政の中枢機能等の維持	良好な国際関係の維持	我が国を防衛するための基盤の維持	国民生活及び経済活動の基盤の維持	公共の安全の確保
- 国会議事堂等〔衆議院議長・参議院議長指定〕 - 内閣総理大臣官邸等〔内閣総理大臣指定〕 - 危機管理行政機関〔対象危機管理行政機関の長指定〕 - 最高裁判所庁舎〔最高裁判所長官指定〕 - 皇居・御所〔内閣総理大臣指定〕 - 政党事務所〔総務大臣指定〕	〔外務大臣指定〕	- 自衛隊施設〔防衛大臣指定〕 - 在日米軍施設〔防衛大臣指定〕	〔国土交通大臣指定〕	〔国家公安委員会指定〕

飛行禁止の例外

	原則		防衛関係施設・空港	
	敷地又は区域	周囲300m	敷地又は区域	周囲300m
対象施設の管理者又はその同意を得た者による周辺地域上空の飛行	○	○	○	○
土地所有者等又はその同意を得た者による当該土地上空の飛行	○	○	×	○
国又は地方公共団体の業務実施のために行う周辺地域上空の飛行	○	○	×	○

飛行の前に、あらかじめ、都道府県公安委員会(警察)・管区海上保安本部長等に通報しなければならない。

※ 対象防衛関係施設,対象空港の周辺地域上空の飛行については,施設の管理者への通報も必要。

違反に対する警察官等※による命令・措置

- 警察官等は、違反者に対して、機器の退去その他の必要な措置をとることを命令することができる。
- やむを得ない限度において、小型無人機等の飛行の妨害、機器の破損その他の必要な措置をとることができる。
- 命令に違反した場合は1年以下の懲役又は50万円以下の罰金(レッドゾーンの飛行は命令の有無を問わず罰則適用)

※ 海上保安官(海域),皇宮護衛官(皇居・御所),施設警護自衛官(防衛関係施設),空港管理者等(空港)も対処。

Source:警察庁

ドローンの法規制 道路交通法

道路での離発着~~や道路を跨ぐ飛行~~の制限を受ける

公道での離発着

“第76条3 何人も、交通の妨害となるような方法で物件をみだりに道路に置いてはならない。”などに抵触する可能性が高い。

公道上空の飛行

第77条について01（警察庁）国家戦略特区等提案検討要請回答より“単にドローンを利用して道路上空から撮影を行おうとする場合は、現行制度上、道路使用許可を要しない。”とあり、原則として許可は不要だが、長時間滞空したり、大規模な道路を横断するなど判断に迷う場合は事前相談することが望ましいと考えられる。

ドローンの法規制 民法

土地の所有権は地下から上空まで

“第二百七条 土地の所有権は、法令の制限内において、その土地の上下に及ぶ。”



”常に土地所有者の同意を得る必要がある訳ではないものと解される”

第16回 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会2021年6月28日

まずは土地の管理者に相談を

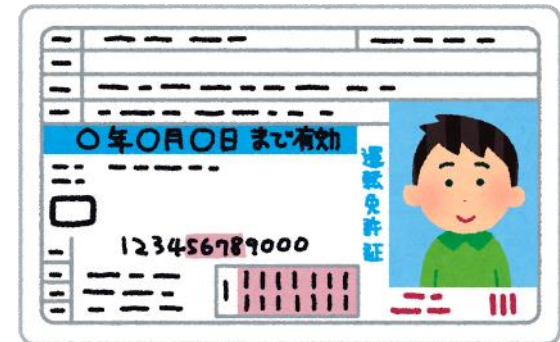
まず土地の管理者は誰なのか探して、飛行許可を得る必要がある。
その際は事前に飛行計画を立ててから相談すること。

2022年度の状況

航空法の規制強化へ

航空法改正案が閣議決定し、以下の変更が加えられる見通しとなっている。

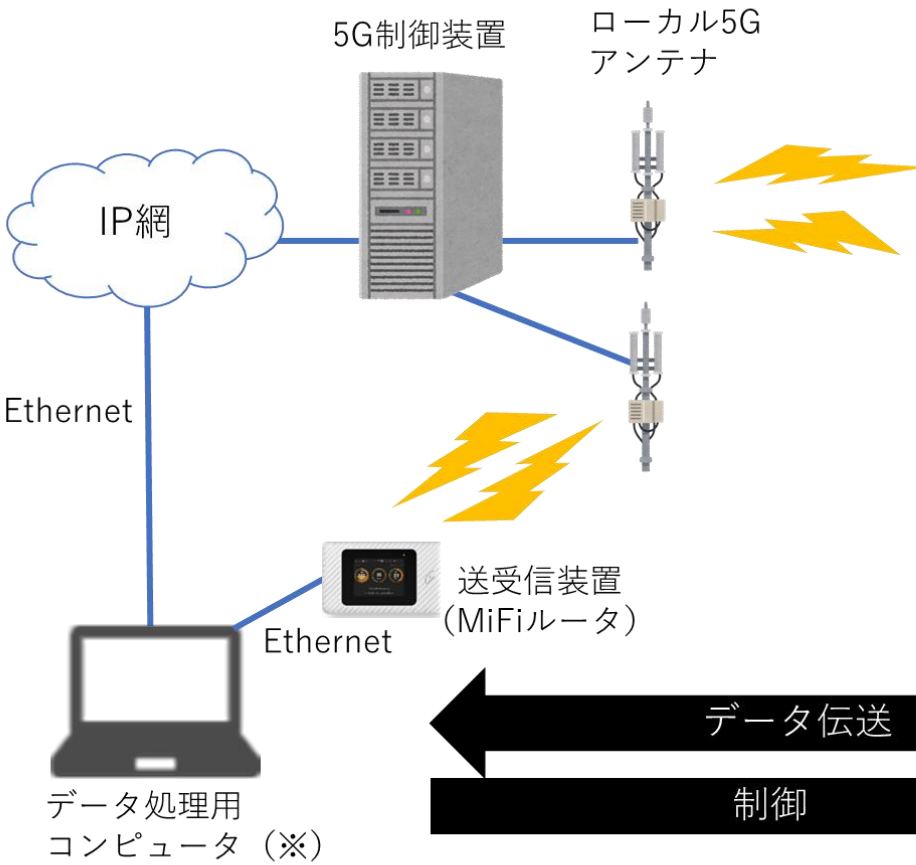
- 登録・許可承認対象重量の変更
機体重量200g以上 → **100g**以上へ
- ドローン登録制度の開始
(車のナンバー制度に近い)
- 操縦ライセンス制度**の導入



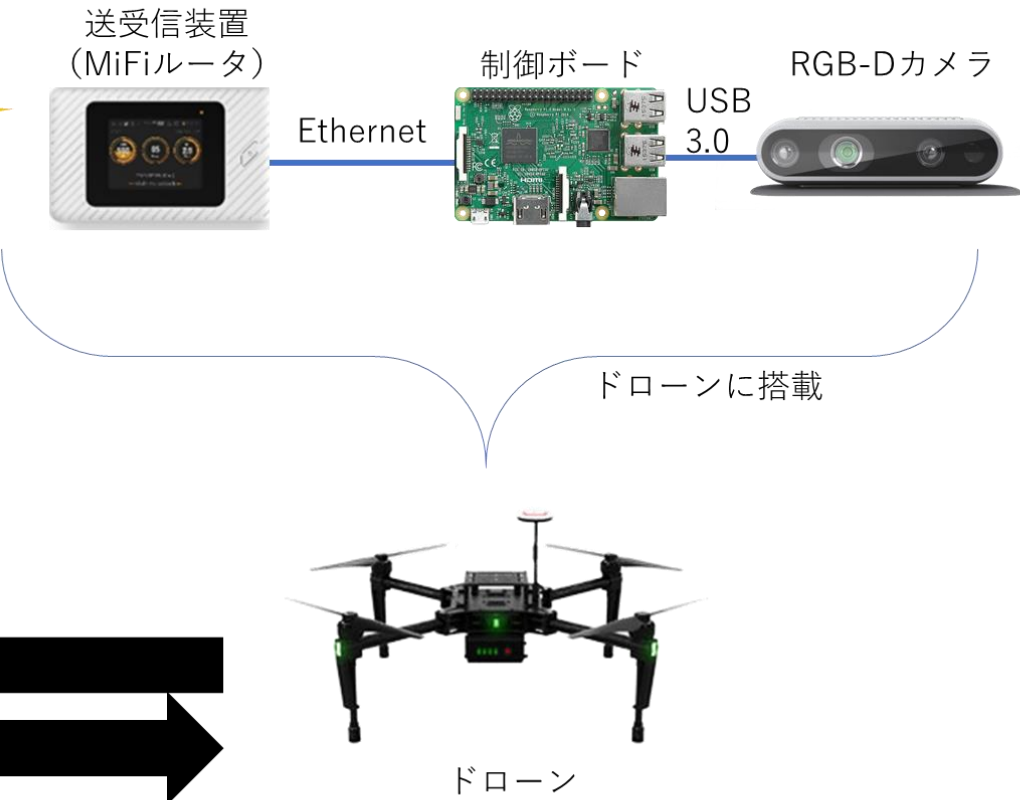
L5Gにおける課題

システム構成（案）

【基地局相当の無線設備】



【移動局相当の無線設備】



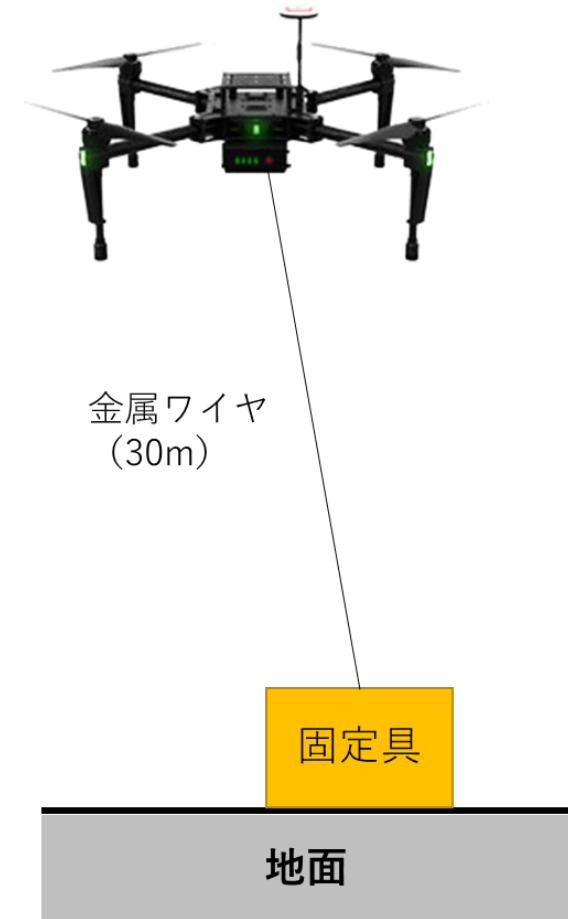
※データ処理用コンピュータについて、環境構築状況や実験内容・場所に応じてIP網経由の通信とMiFiルータ経由の通信を行う。

航空法の影響

ドローンへセンサや通信端末の搭載は改造に該当する。

対処①：許可申請を行う
所管の航空局に許可申請を行い，研究開発用として承認を得る。

対処②：係留ドローン
2021年の法改正により地上に係留されたドローンであれば許可申請が不要となった。



係留ドローンのイメージ

電波法の影響 1

大容量のデータを安定してやり取りするためにもL5Gを活用することが望ましい。
しかし，ドローンで容易に活用できるのは2.4GhzのWiFiに限られる。

分類	無線局免許	周波数帯	送信出力	利用形態	備考	無線従事者資格
免許及び登録を要しない無線局	不要	73MHz帯等	※ 1	操縦用	ラジコン用微弱無線局	不要
	不要※ 2	920MHz帯	20mW	操縦用	920MHz帯テレメータ用、テレコントロール用特定小電力無線局	
		2.4GHz帯	10mW/MHz	操縦用画像伝送用 データ伝送用	2.4GHz帯小電力データ通信システム	
携帯局	要	1.2GHz帯	最大 1 W	画像伝送用	アナログ方式限定 ※ 4	第三級陸上特殊無線技士 以上の資格
携帯局陸上移動局	要※ 3	169MHz帯	10mW	操縦用 画像伝送用 データ伝送用	無人移動体画像伝送システム（平成28年 8 月に制度整備）	
		2.4GHz帯	最大 1 W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		
		5.7GHz帯	最大 1 W	操縦用 画像伝送用 データ伝送用		

日本国内でドローンが使用可能な電波の種類や条件

※総務省ホームページより

電波法の影響 2

L5G用MiFiルータはスマートフォンと同じく“陸上移動局”に該当する。
よって上空での利用について電波法では想定されていない。（許可されていない）

送受信装置
(MiFiルータ)



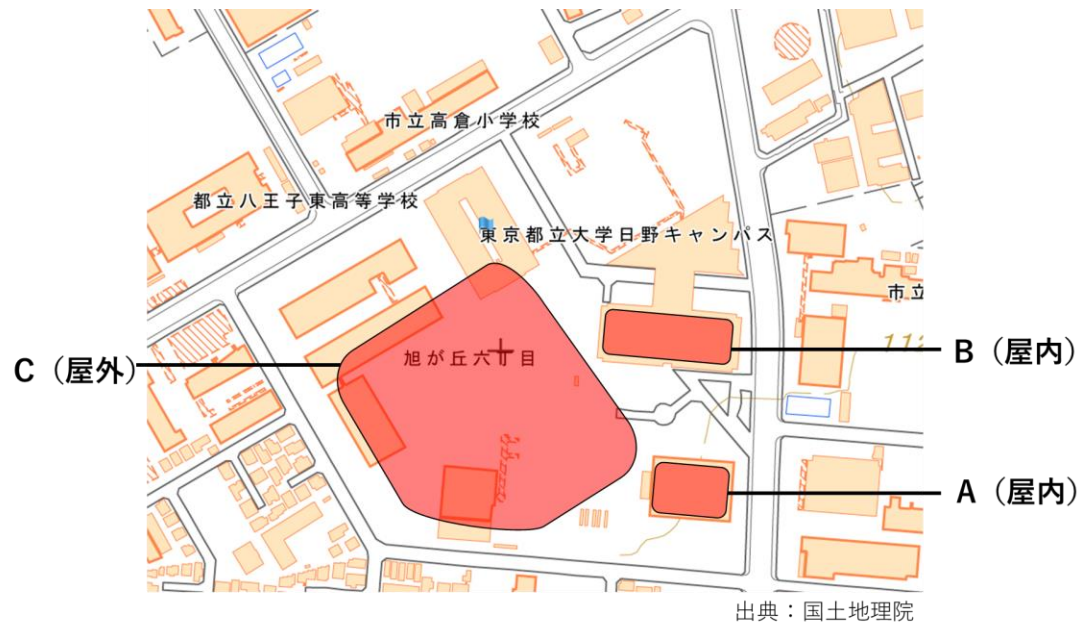
= 陸上移動局

ただし，“実験試験局”と呼ばれる免許制度があり，申請を行い許可を受けた場合は
今回想定している構成での実験が可能である。

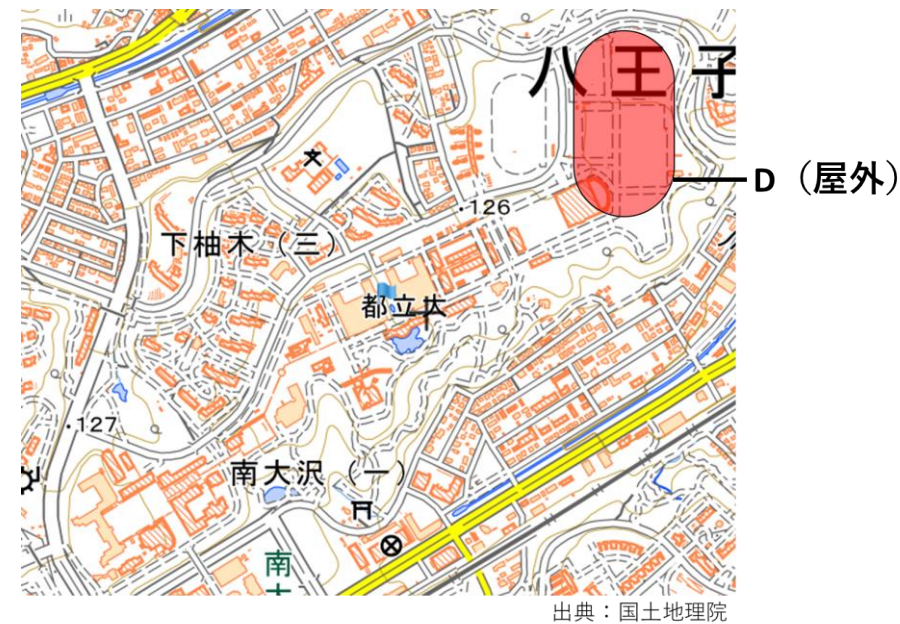


現在，都立大5G担当メンバおよび支援業者の協力を得て
実験試験局の免許申請の手続きを進めている。

申請内容（エリア）

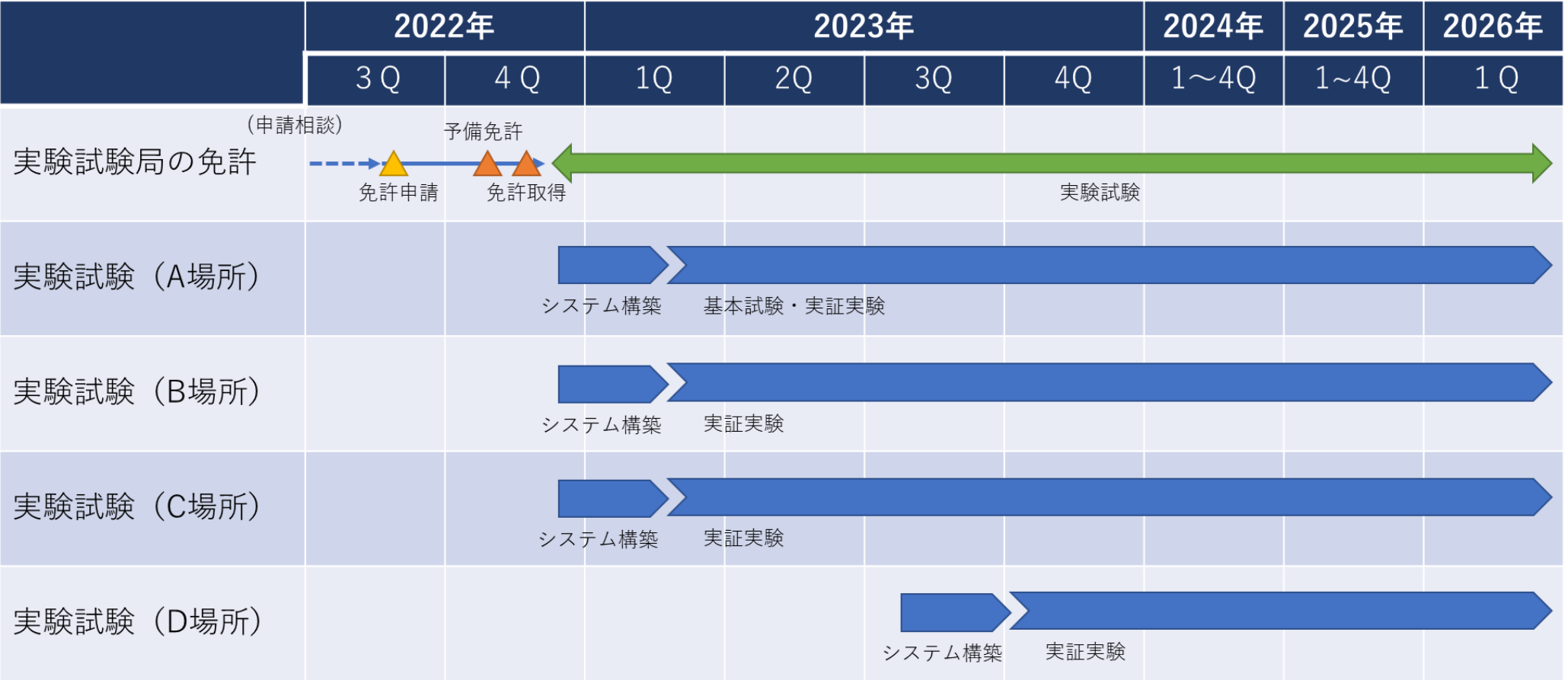


日野キャンパス



南大沢キャンパス

申請内容（スケジュール）



※システム構築後，屋内実験（A,B場所）⇒屋外実験（C,D場所）⇒アルゴリズムの改良を繰り返す予定

内容は以上です。
ありがとうございました。