

令和2年11月11日

第15回 宇宙天気ユーザーズフォーラム

ドローン利用の現状と課題 ～ 宇宙天気現象からみた社会実装リスク ～

(一社)日本赤外線サーモグラフィ協会

テクニカルアドバイザー

加藤 克己

【 ドローン パイロット 】

(産業用無人ヘリ / ドローン / 水中ドローン)

【 赤外線サーモグラファー 】

【 第1級陸上無線技術士 】

《 自 己 紹 介 》

◎ 加藤 克己 (和孝)

◎ 研究

- ・ 電波伝搬 : ミリ波、準ミリ波の降雨減衰特性の研究 (実験局、実用化試験局に従事)

◎ 略歴

- ・ 通信機器メーカー勤務 : 海外・国内にて、マイクロ波、衛星通信システムの建設・運用保守技術指導
- ・ 通信会社勤務 : 衛星通信システムなど、国際通信ネットワークの建設・運用保守
: データセンター等、通信ネットワーク関連施設・設備等の設計・建設・運用・保守

◎ 無人航空機関連

- ・ 1970年 : 西ドイツにおける無線操縦ヘリコプターによる世界記録樹立を受け“回転翼”機に興味を持つ
- ・ 2000年代～ : 放送業務関連の空撮における映像伝送関連業務への技術協力 → 産業用無人ヘリの資格取得

◎ 宇宙天気関連 (太陽活動情報の利用)

- ・ 1990年代～ : 皆既日蝕観測、オーロラ観測、流星観測で、世界をめぐる
- ・ 2000年代～ : 放送業務関連 (生中継・番組コンテンツ撮影) で、皆既日蝕撮影、オーロラ撮影等の協力

◎ ドローン関連講演

- ・ 関西原子力懇談会 : 《原子力構造物の高経年化に関わる維持技術の高度化に関する調査委員会》対応 (H28/12)
- ・ 日本高圧力技術協会 : 《第17回 エネルギー貯槽セミナー ～ E S T技術の新展開 ～》対応 (H29/2)

◎ 専門

- ・ 無線 : 第1級無線技術士 資格等
- ・ 電力 : 電気主任技術者 資格等
- ・ 建築・設備 : 建築・設備総合管理士 資格等
- ・ 非破壊検査 : ASNT/SNT-TC1-A サーモグラファー 資格等
- ・ その他 : 労働安全 / 防災 / BCP (事業継続計画)

**【無人航空機 (ドローン) + 専門分野 + 非破壊検査 (赤外線サーモグラフィ)】
の串刺し対応で、ドローンによるインフラ点検の社会実装対応の技術支援**

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

ドローン（DRONE）とは？

《 代表イメージ：マルチコプター 》



最新・最先端モデル(例) **DJI Mavic Air 2**（2020年4月リリース）

出典：DJI

ドローンの呼称は？

- ドローン (Drone)
- UAV : Unmanned Aerial (Air) Vehicle
- UAV : Uninhabited Aerial (Air) Vehicle [@ICAO]
- UAS : Unmanned Aircraft System [@FAA]
- RPAS : Remotely Piloted Aircraft Systems [@ICAO]
- マルチコプター
- マルチローターヘリコプター
- 無人飛行機
- 無人ヘリコプター
- ラジコン飛行機
- ラジコンヘリコプター
- ロボット飛行機
- ロボットヘリコプター
- etc.

ドローン (DRONE)

とは

無人航空機 (UAV)

の総称

《 マルチコプターだけがドローンではない 》

2019年は、水中ドローン元年

『 **水中ドローン** 』 の実用化、産業投入
普及が加速度的 → 急速に市場拡大中



CHASING INNOVATION社
CHASING M2



QYSEA社
FIFISH V6 PLUS

《 “ドローン”の定義は、どんどん拡大・更新 》

空中 : 固定翼 及び 回転翼

水中 : 潜水艦型

陸上 : ロボーター型

水上 : ボート型

ドローンと呼ばれる所以

【 説 - 1 】 単語の意味に起因

drone / dróun /

[動] (自)

1 鈍い単調な音を出し続ける ; 〈 ハチ・飛行機などが 〉 ブンブンいう

一 [名]

1 単調な音 ; ブンブンいう音.

[名]

1 雄バチ, (特に) 雄ミツバチ.

(引用 : プログレッシブ英和中辞典 (第4版))

【 説 - 2 】 ドローンの開発の歴史に起因

1 英単語で “雄蜂” を意味するが、
すべてのドローンの『 生みの親 』となった飛行機である

英国 / RAF : DH-82B **Queen Bee** (女王蜂)
に敬意を表して、命名

航空機の種類

《 『 有人／無人 』 視点でのドローンの位置づけ 》

航空機	有人航空機 (一般的な飛行機)	固定翼機 (飛行機)
		回転翼機 (ヘリコプター)
	無人航空機 (ドローン)	固定翼機 (無人航空機)
		回転翼機 (無人ヘリコプター、マルチコプター)

【 2015年（平成27年）12月 改正航空法施行 】

「 無人航空機 」の定義（航空法第2条第22第項）

- 「 航空の用に供することができる飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船
 その他政令で定める機器であつて構造上人が乗ることができないもののうち、
遠隔操作 又は 自動操縦（プログラムにより自動的に操縦を行うことをいう。）
 により飛行させることができるもの 」と新たに規定

回転翼機の分類

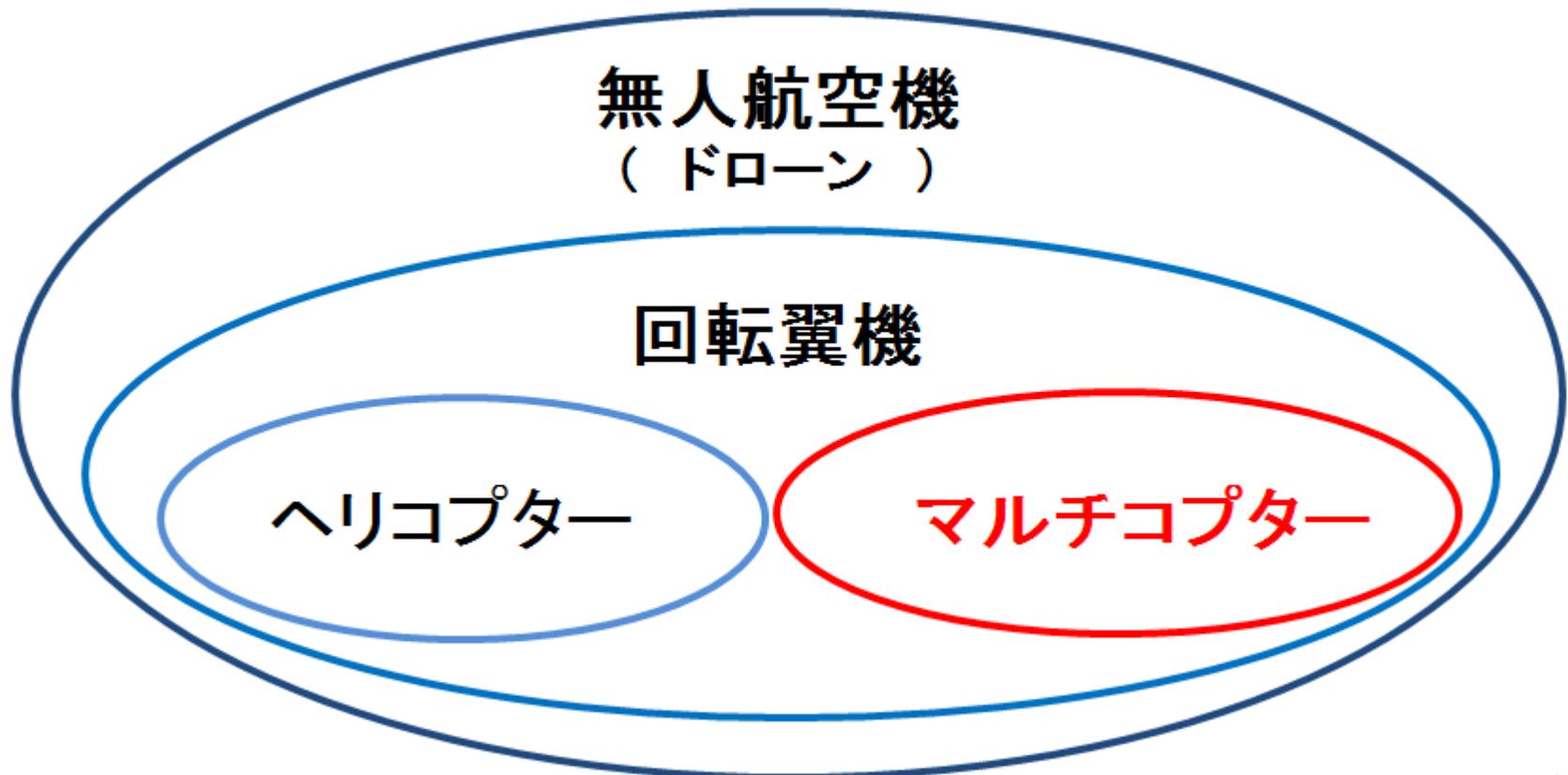
《 主流のドローン視点での分類 》

回転翼機	ヘリコプター	シングルローター式	テールローター
			ノーター
			フェネストロン (ファンテイル)
		ツインローター式	同軸反転ローター式
			タンデムローター式
			サイドバイサイドローター式
			交差反転式ローター
		マルチローター式 (マルチコプター)	トライコプター
			クアッドコプター
			ヘキサコプター
	オクトコプター		
複合ヘリコプター			
オートジャイロ			

マルチコプター

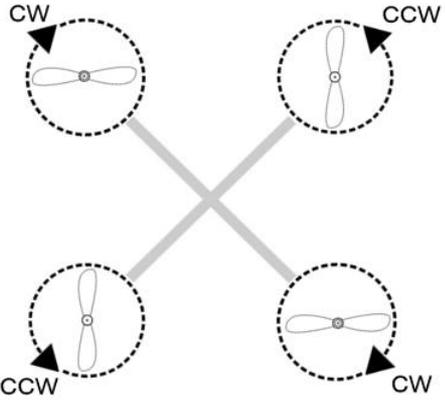
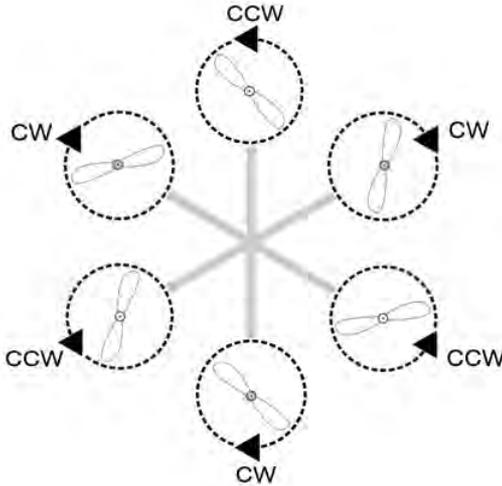
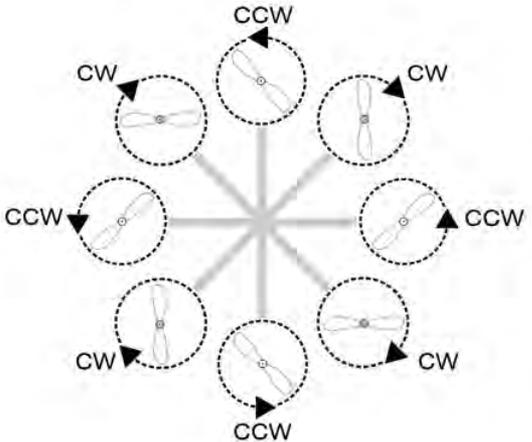
《 報道等の扱いは、“ドローン” = “マルチコプター” ？？ 》

“マルチコプター” は、“ドローン” の種類の一つ



主流マルチコプターの分類

《 プロペラの回転方向の配置 》

クアッドコプター	ヘキサコプター	オクトコプター
4枚プロペラ	6枚プロペラ	8枚プロペラ
		

ドローンの種類と特徴

“マルチコプター”だけが“ドローン”ではない
それぞれに特徴がある

種類	ヘリコプター	マルチコプター	固定翼
ホバリング	△	◎	×
垂直離着陸	○	○	×
スピード	○	△	◎
飛行距離	×	×	○
サイズ	小型～中型	小型	小型～大型
ペイロード	◎	○	△
機動性	◎	○	△
構造	×	○	△
自動制御	必須	必須	無くても可
操作	複雑	容易	容易
開発の容易さ	△	◎	○

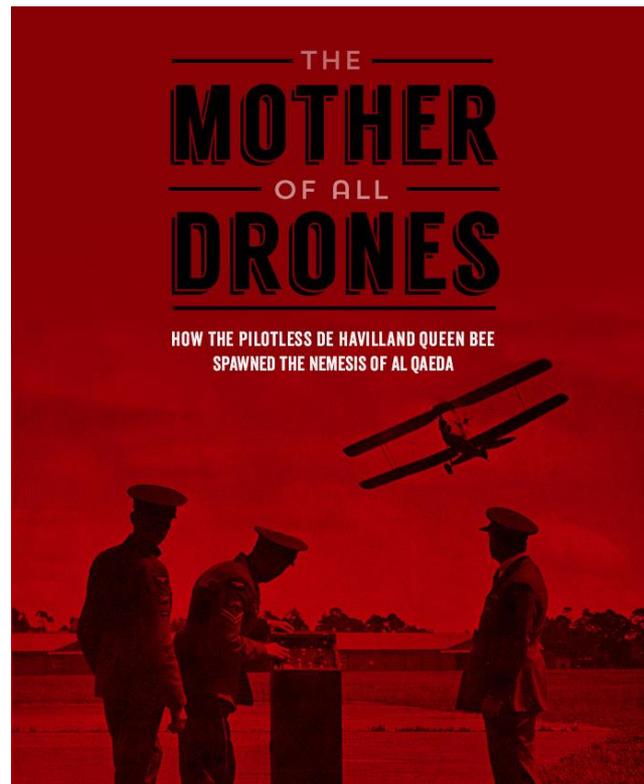
講演の内容

1. ドローンとは
- 2. ドローンの歴史**
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
- 10. まとめ**

ドローンの歴史

《 ドローンの誕生は、“軍用の標的機”の開発から始まった 》

1930年～ イギリス RAF (Royal Air Force)



出典 : The Mother of All Drones (Vintage Wings of Canada)
<http://www.vintagewings.ca/>

ドローンの歴史

《 ドローンの誕生は、“軍用の標的機”の開発から始まった 》

開発年代	開発国	運用主体	種類	製造 / 機体名
1931年～35年	イギリス	RAF	標的機	de Havilland / DH-82B Queen Bee
1937年	アメリカ	USNavy	標的機	Curtiss / N2C-2
1935年～41年	アメリカ	Radioplane USAAF/USAF USNavy	標的機 (Aerial target DRONE)	Radioplane / RP-1 and RP series Radioplane / OQ-1 and OQ series Radioplane / TDD-1 and TDD series
1941年～44年	アメリカ	USAAF	無人爆撃機	Boeing / BQ-7 and BQ-8
1960年代	アメリカ	USAAF	標的機	Ryan Aeronautica / AQM-34 Ryan Firebee
1996年～	アメリカ	USAF	無人偵察機	General Atomics Aeronautical Systems / RQ-1 Predator
			無人攻撃機	General Atomics Aeronautical Systems / MQ-1 Predator
2001年～	アメリカ	USAF USNavy NASA	無人偵察機	Northrop Grumman / RQ-4 Global Hawk

軍用のドローン

軍用の無人機としてのドローン

1930年～

de Havilland DH.82 Tiger Moth **Queen Bee** [RAF]
 (デハビランド タイガーモス (改))



Sir Winston Churchill と Queen Bee Queen Bee の デモフライト

出典 : The Mother of All Drones (Vintage Wings of Canada)

<http://www.vintagewings.ca/>

軍用の標的機としてのドローン

1950年代～

Ryan Aeronautica BQM-34 Ryan Firebee [USAF]



ロケット補助推進離陸 (RATO) する BQM-34F
 (@ Tyndall Air Force Base 1985)

出典 : USAF

軍用の実践機としてのドローン

1995年～

General Atomics RQ-1/MQ-1 Predator

GPS と 通信衛星 を利用した、自動飛行の確立



無人偵察機 RQ-1



無人攻撃機 MQ-1

出典 : USAF

軍用の高性能機としてのドローン

1998年～

Northrop Grumman RQ-4 Global Hawk

《 狭い領域 》 から 《 広範囲 》 まで、あらゆる監視が可能
可視光、赤外線レーダー、合成開口レーダーなど搭載

〔 応用 〕

- ・ 福島原発事故時、被害状況把握の為の原発上空偵察
- ・ NASAによる地球温暖化調査の為の大気観測



出典 : USAF

産業利用としてのドローン

1983年～ 『農薬散布用』として無人ヘリコプターの研究開発開始
 《 開発経緯とモデルの変遷 》

西暦	開発の動き	モデル
1983年	農林水産省の外郭団体「一般社団法人農林水産航空協会」から産業用無人ヘリの開発委託を受け、 開発に着手 。	RCASS (研究開発機) 
1987年	世界初の産業用無人ヘリ「R50」を開発し 、限定モニター販売を開始。翌1988年より本格販売開始。	R50 
1997年	新開発の姿勢制御システムを搭載し 、基本性能を大幅に向上した新型機「RMAX」を発売。	RMAX 
2003年	GPSによる速度制御機能を付加し 、一層の操縦安定性を実現した「RMAX Type II G」を発売。	RMAX Type II G 
2013年	高出力・低燃費・環境に配慮した4サイクルエンジンを搭載し 、薬剤搭載量のアップ(24%)と信頼性を向上した次世代プラットフォーム「FAZER」を発売。	FAZER 

出典 : ヤマハ発動機 / ヤマハ発動機株式会社 産業用無人ヘリコプターの活用事例

http://www.jterc.or.jp/koku/koku_semina/pdf/160217_presentation-06.pdf

産業利用としてのドローン

農薬散布用 無人ヘリコプターの変遷



1983年 ▶ RCASS



1987年 ▶ R-50(L09)



1991年 ▶ R-50(L12)



1997年 ▶ RMAX



2001年 ▶ 自動飛行型RMAX



2003年 ▶ RMAX TypeII G



2013年 ▶ FAZER

総登録 : 約2,800機 [2018年(平成30年)／2月末現在 (農水協データ／1989～)]

出典 : ヤマハ発動機 / ヤマハ産業用無人ヘリコプター開発の足跡をご紹介します。

<https://www.yamaha-motor.co.jp/sky/history/>

マルチコプターとしてのドローン

『ドローン (DRONE)』
『単語』の認知度が一般的になった

2013/12/1 Amazon.com

『Amazon Prime Air』
《ドローンによる宅配のデモンストレーション発表》



出典 : Amazon.com <https://www.amazon.com/b?node=8037720011>

民生用ドローンの先駆け

《 ホビー用ドローン (Toy Drone) の発売 》

2010年10月

フランス Parrot 社 『 AR. Drone 』 の発売
急速に市場が拡大



出典 : CheesyCam

- iPhone ・ iPod touch で制御
- カメラを搭載
- ドローン視点画像視聴
リアルタイムストリーミング
iOS デバイスの画面 (@ WiFi経由)
- 3Dタグ認識カメラ映像ARゲーム

民生用ドローンのブーム

《 ホビー用 空撮向きドローン の販売開始 》

2012年

中国 DJI 社 『 PHANTOM 1 』 の発売
安価・高性能で、ドローンによる空撮ブームに火をつけた



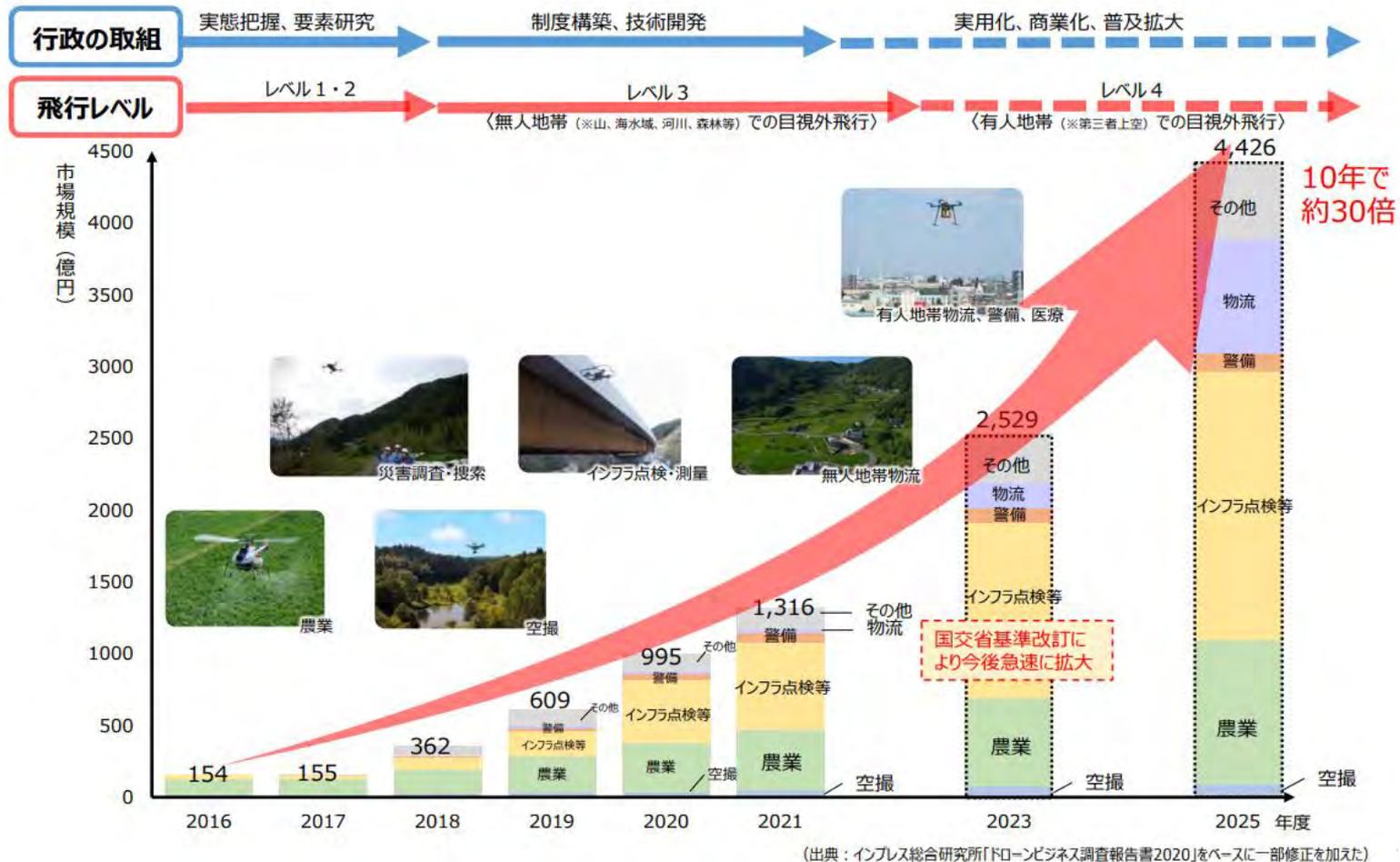
出典 : DJI

<http://www.dji.com/jp/phantom>

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
- 3. ドローンの市場予測**
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

ドローンサービス市場の現状と今後の見通し



出典： 内閣官房 小型無人機等対策推進室 / 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 (第14回) 「空の産業革命に向けたロードマップ」の改訂について (PPT-3)
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai14/siryou1.pdf

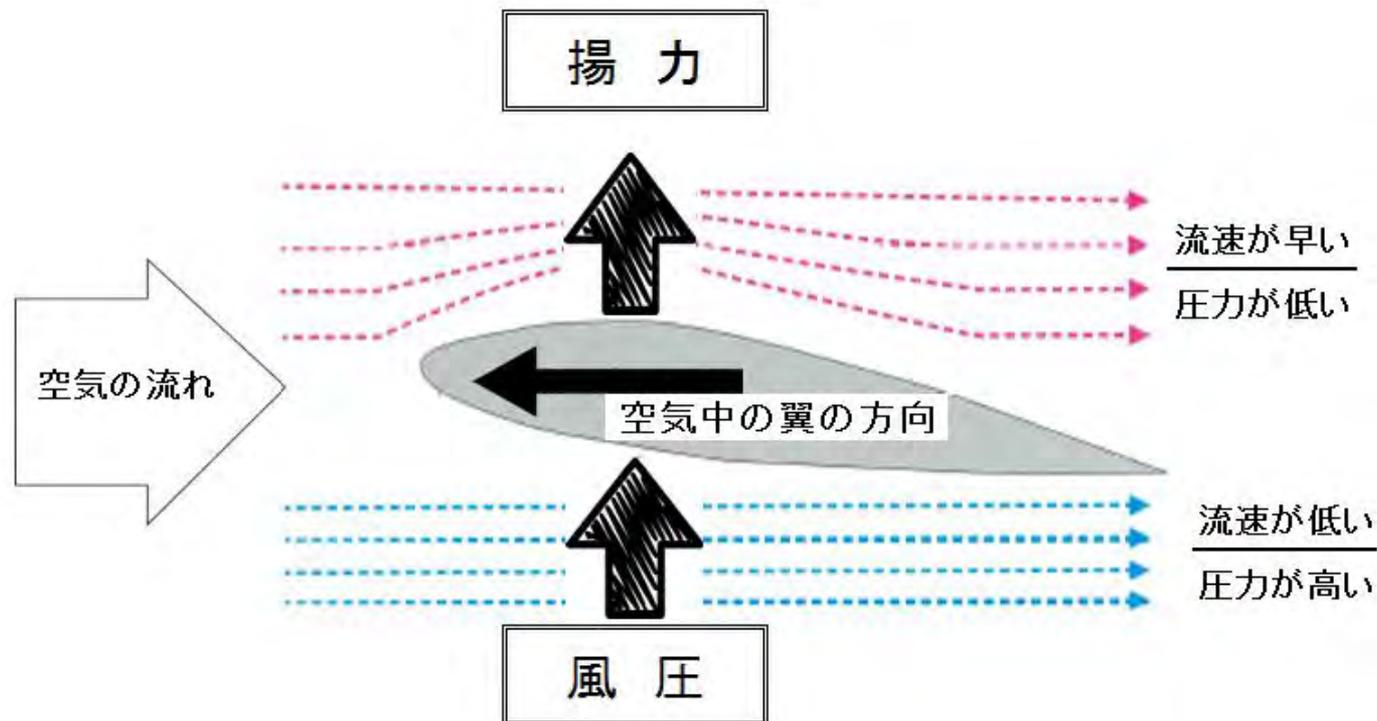
講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
- 4. ドローンの飛行原理**
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

航空機の飛行原理

《 “翼の揚力” で上昇力を得る 》

- ・ 固定翼機 : “機体の前進” によって揚力を発生
- ・ 回転翼機 : “翼の回転” によって必要な揚力や推力を得る

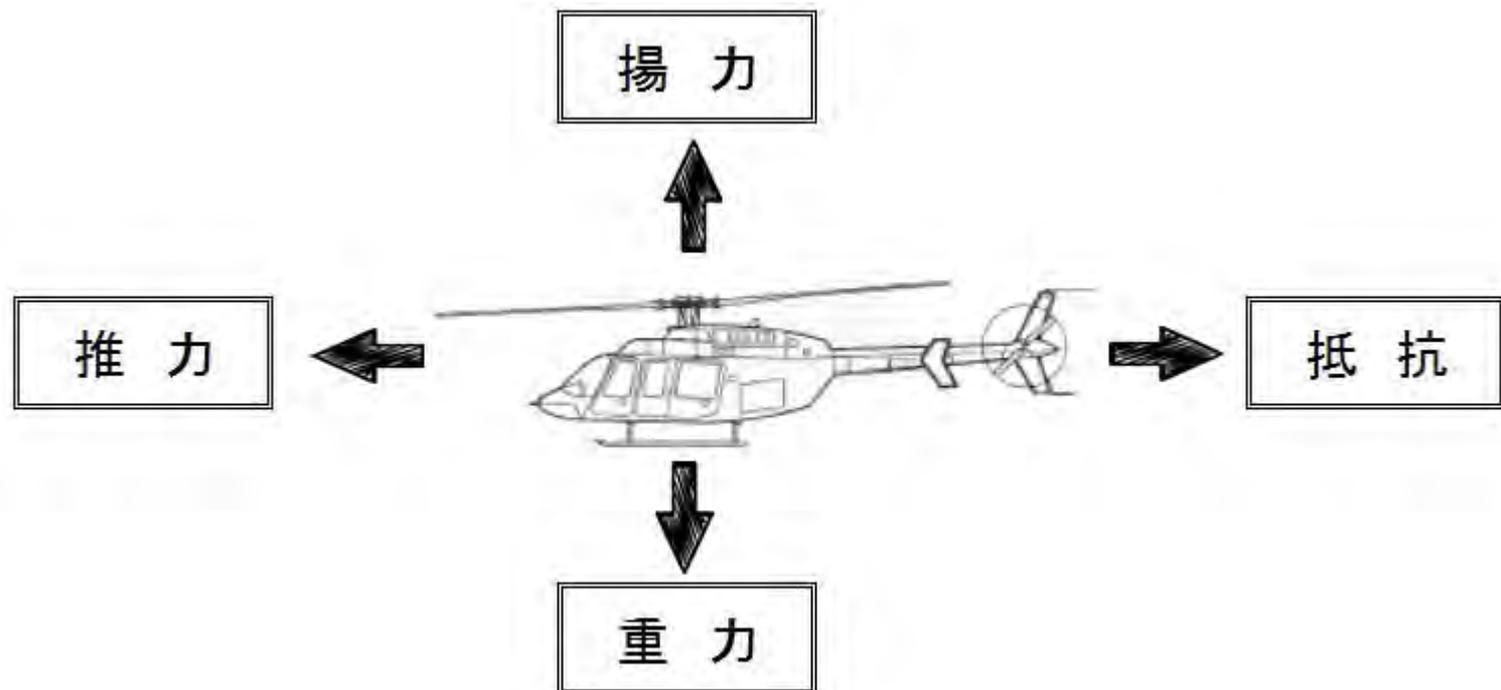


ヘリコプターの飛行原理 (1 / 6)

《 ヘリコプターに働く4つの力 》

【 揚力 】 【 重力 】 【 推力 】 【 抵抗 】

“ 常に4つの力 ” が働いている



ヘリコプターの飛行原理 (2 / 6)

《 ヘリコプターに働く4つの力 》

4つの力の大きさを変える

上昇・降下・前進・後進・ホバリング(空中停止)を実現



揚力 > 重量 : 上昇
揚力 < 重量 : 降下

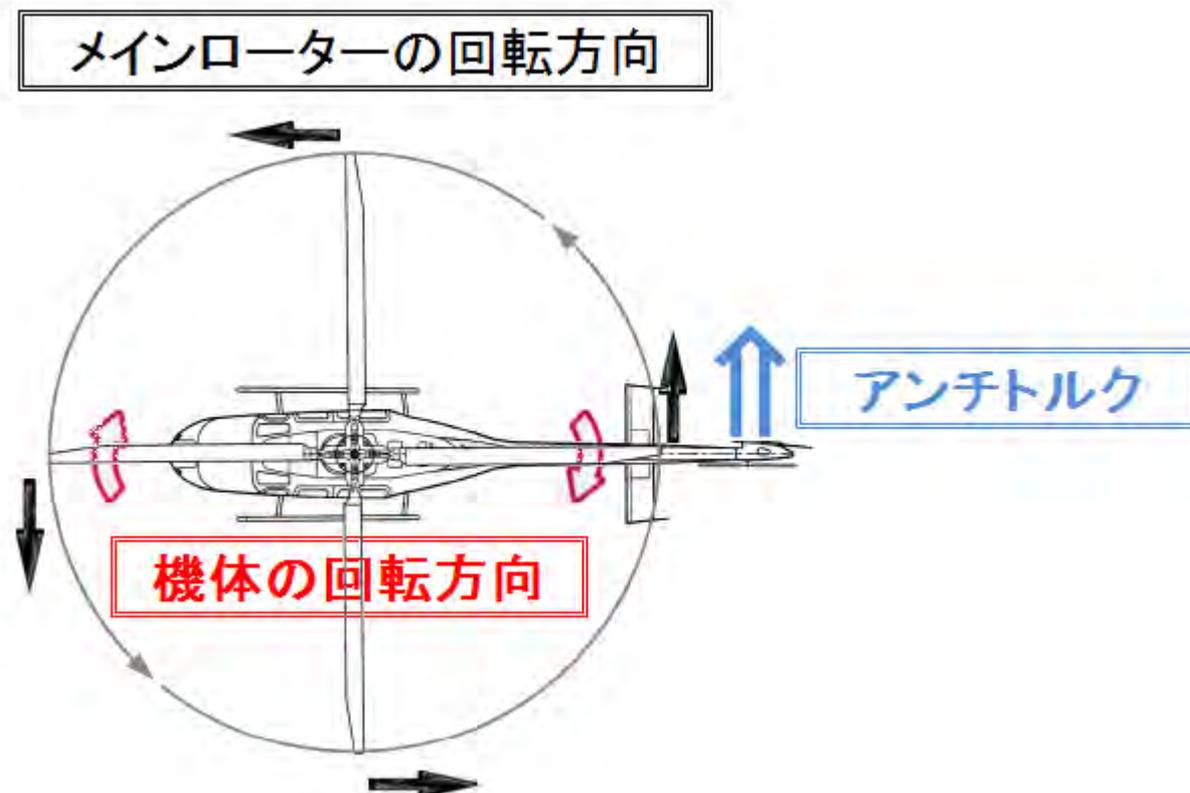


推力 > 抵抗 : 前進

ヘリコプターの飛行原理 (3 / 6)

《 テールローターのある理由 》

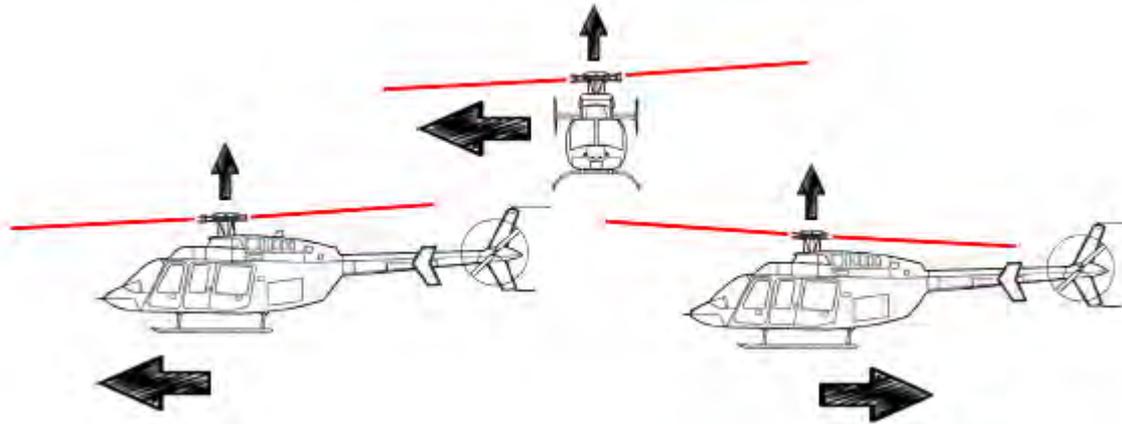
回転翼の回転に伴う、作用・反作用の力を制御
“進行方向”を決める



ヘリコプターの飛行原理 (4 / 6)

《 飛行中のローター回転面の動き 》

“ 回転翼で発生した揚力 ” をどのように使用して、
前進・後進・上昇・下降等を実現するか？



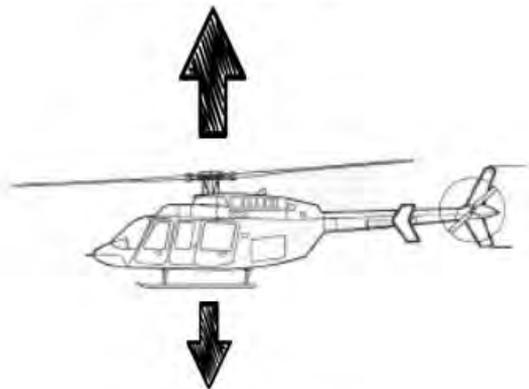
基本的に “ ローターの回転面を傾ける ” ことにより
好きな方向に進むことができる

ヘリコプターの飛行原理 (5 / 6)

《 上昇・降下 》

“回転翼による揚力”と“重量”のつりあいを制御

垂直上昇



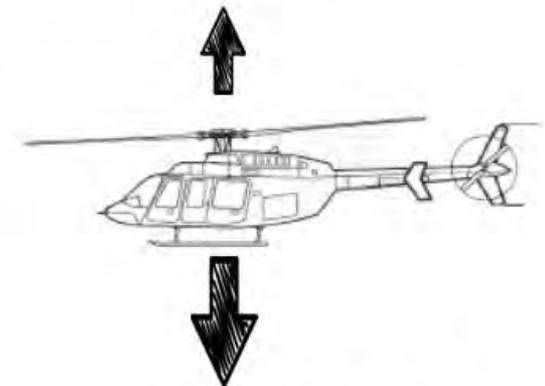
揚力 > 重量

ホバリング



揚力 = 重量

垂直降下



揚力 < 重量

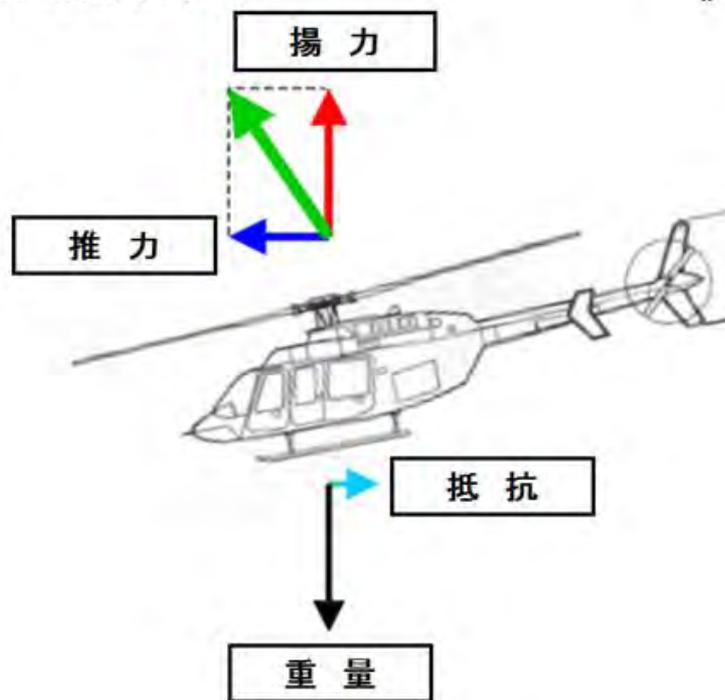
ホバリング時 : 推力・抗力は存在しない
揚力と重量のつりあいのみでホバリング（空中停止）

ヘリコプターの飛行原理 (6 / 6)

《 ホバリングからの 前進・後退・左・右 への移動 》

上向きに使っていた揚力の一部を、推力として使用
“ 前進 ” ・ “ 後退 ” ・ “ 左進 ” ・ “ 右進 ”

《 前進飛行時 》



《 ホバリング時 》



《 ローターの回転面を前方・後方・左・右に傾ける 》

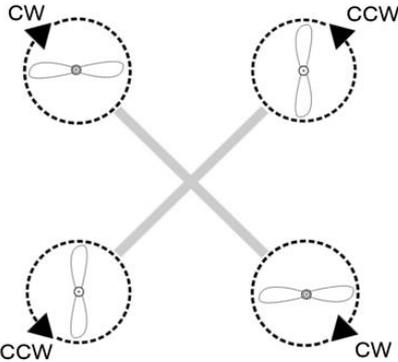
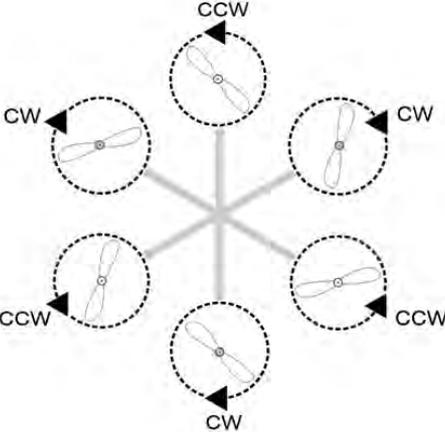
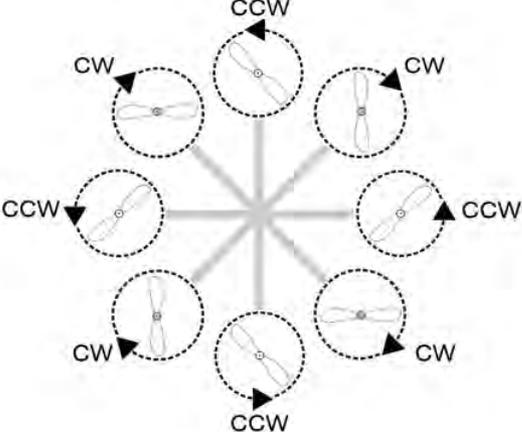
マルチコプターの飛行原理

《 複数のプロペラを多様に制御 》

揚力 ・ 重力 ・ 推力 ・ 抵抗

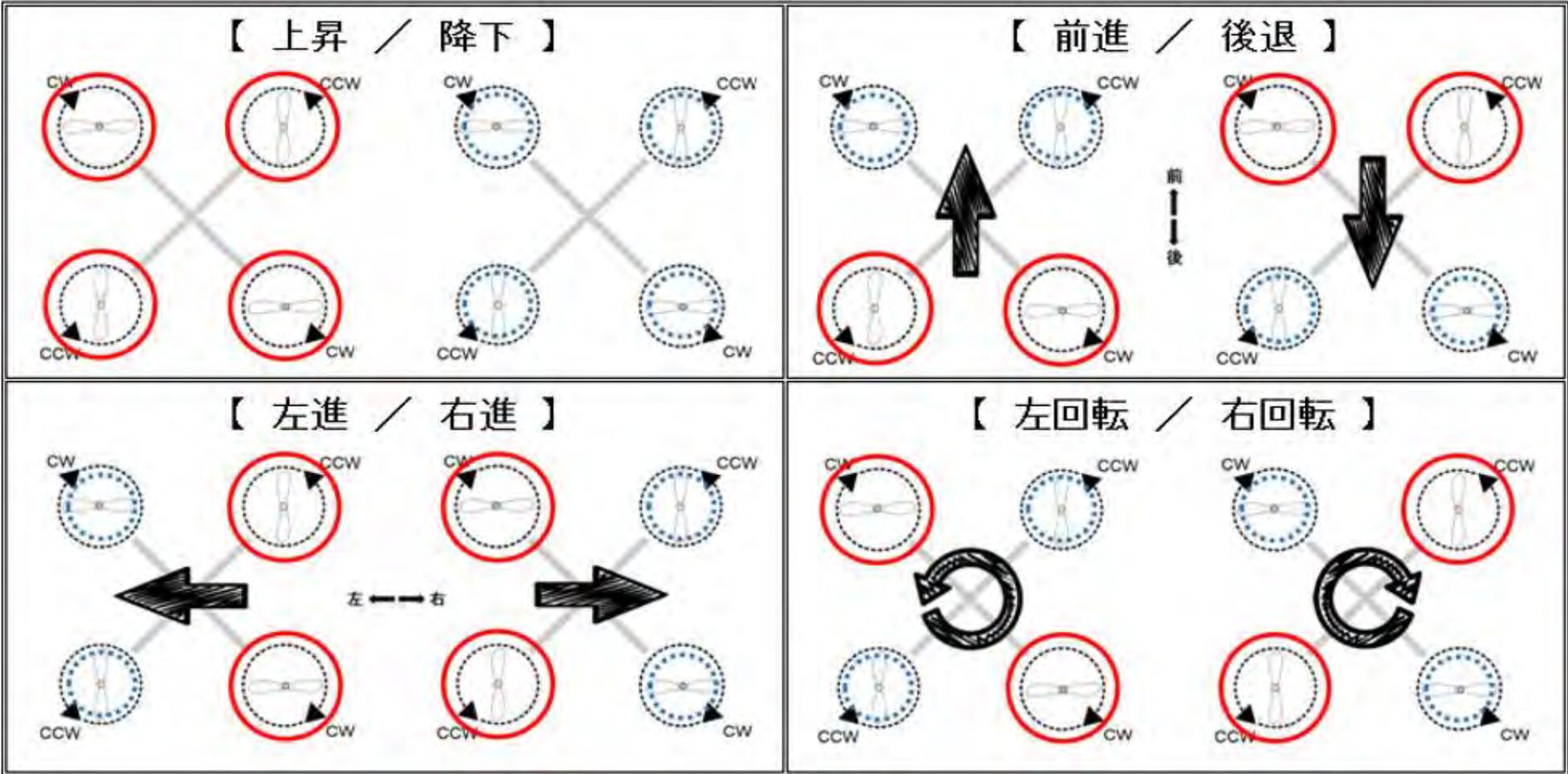
4つの力の大きさを変える事により

上昇 ・ 降下 ・ 前進 ・ 後進 ・ 左進 ・ 右進 ・ ホバリングを実現

クアッドコプター	ヘキサコプター	オクトコプター
4枚プロペラ	6枚プロペラ	8枚プロペラ
		

マルチコプターの飛行原理

《 プロペラの回転数の差で移動 》



○ : 回転数 UP ○ (dashed) : 回転数 DOWN

ヘリコプター / マルチコプター 相違

【 ヘリコプター 】

《 例 》



ヤマハ発動機

産業用無人ヘリコプター R-MAX

《 駆動メカニズムが複雑 》

- ・ 回転翼の“回転速度”は、基本的に一定
- ・ ブレードの“ピッチ”を変化させ、揚力を制御
- ・ 回転翼の“回転面”を傾け、機体を移動
- ・ 機体の回転を抑える“アンチトルク機構”が必要
- ・ 整備性が悪い（回転翼を制御する“複雑な駆動機構”が必要）

【 マルチコプター 】

《 例 》



DJI

PHANTOM 4PRO V2.0

《 駆動メカニズムが単純 》

- ・ 回転翼の“回転速度”を変化させ、揚力を制御
- ・ ブレードの“ピッチ”は固定
- ・ 回転翼間で“回転速度のバランス”を制御し、機体を移動
- ・ 機体の回転を抑える“アンチトルク機構”は不要
- ・ 整備性が良い（モーターと回転翼が直結）

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
- 5. ロードマップ**
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

平成27（2015）年11月5日
《 第2回 未来投資に向けた官民対話 》

安部前首相により明言された

“ **ドローンで宅配を** ”

からスタートした

“ **空の産業革命** ”

令和2（2020）年7月17日 リリース
《 第14回 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 》

2020年の社会実装に向けた“ロードマップ”

【フェーズ4〔有人地帯（都市を含む地域）における目視外飛行〕】

社会実装に向け、“環境整備”や“技術開発”の具体的明示

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

《 政府における“ドローンのビジネス活用を促進する意向” 》

平成27年11月5日 「 第2回 未来投資に向けた官民対話 」

【 安部前首相により明言された 】

(前略)

そして第2に、早ければ3年以内に、ドローンを使った荷物配送を可能とすることを目指します。

このため、直ちに、利用者と関係府省庁等が制度の具体的な在り方を協議する

「 官民協議会 」を立ち上げます。

この場で、来年夏までに制度整備の対応方針を策定します。

第3に、ドローンや建設機械を、より遠隔地から操作したり、データをやり取りしたりできるようにいたします。

このため、来年夏までに、使用できる周波数帯の拡大や出力アップなど、新たな電波利用の制度整備を行います。

(後略)

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

《 ロードマップの見直し 更新履歴 》

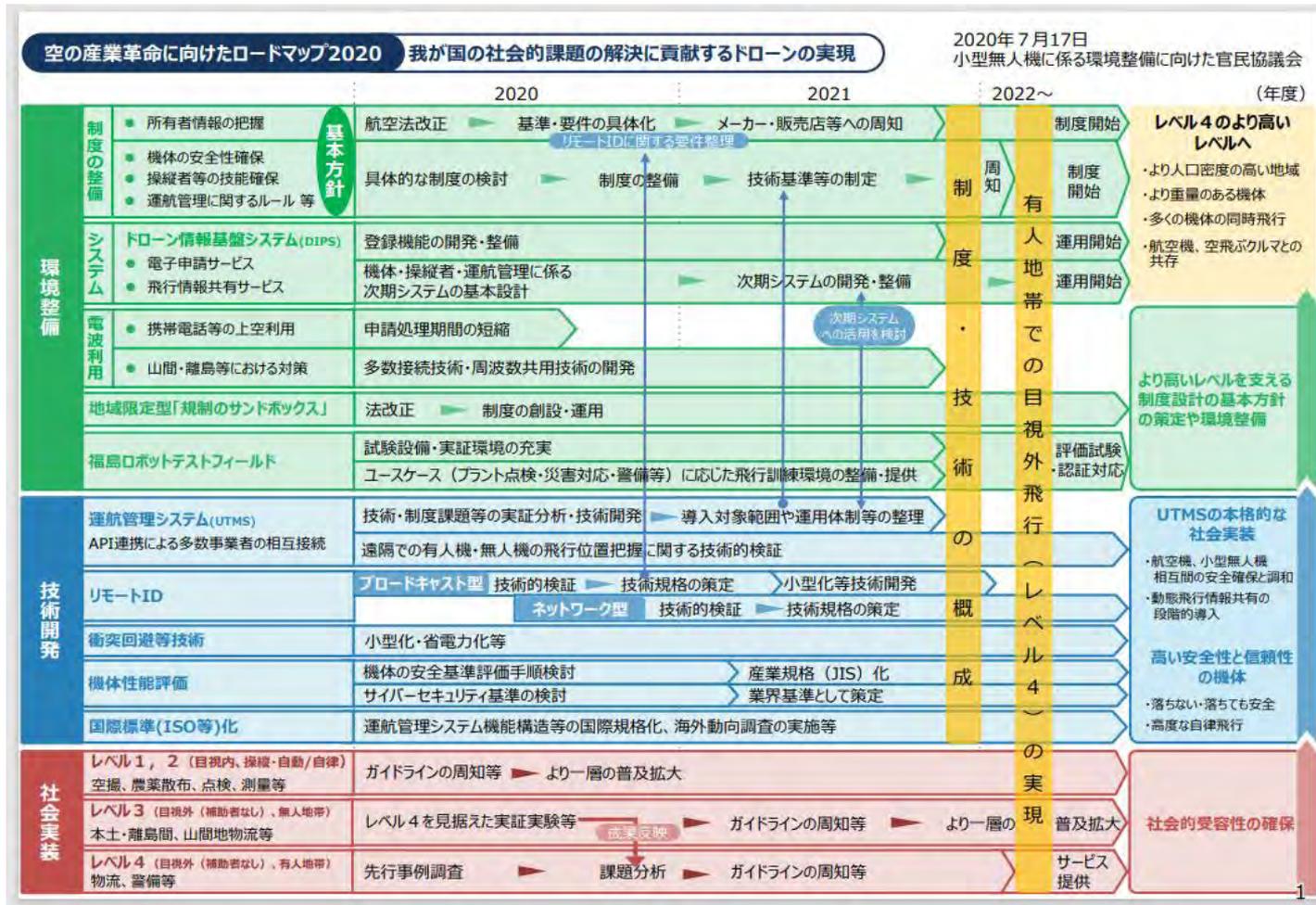
2020年版：2019年に公開したロードマップを明確化⇒基本方針を、より具体的に詰めた内容

経済産業省 ドローン活用のためのロードマップ

2016年4月28日	<p>小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ 2016</p> <p>～ 小型無人機の段階的発展に向けたロードマップ（飛行レベルによる整理）～</p> <p>https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/uasroadmap_JPN.pptx</p>
2017年5月19日	<p>空の産業革命に向けたロードマップ 2017</p> <p>～ 小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備 ～</p> <p>https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/kaiteiroadmap.pptx</p>
2018年6月15日	<p>空の産業革命に向けたロードマップ 2018</p> <p>～ 小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備 ～</p> <p>https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/2018kaiteiroadmap.pptx</p>
2019年6月21日	<p>空の産業革命に向けたロードマップ 2019</p> <p>～ 小型無人機の安全な利活用のための技術開発と環境整備 ～</p> <p>https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/2019kaiteiroadmap.pptx</p>
2020年7月17日	<p>空の産業革命に向けたロードマップ 2020</p> <p>～ 我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現 ～</p> <p>https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou14.pdf</p>

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

《 ロードマップの見直し / 2020年 最新版 (2020年7月17日リリース) 》

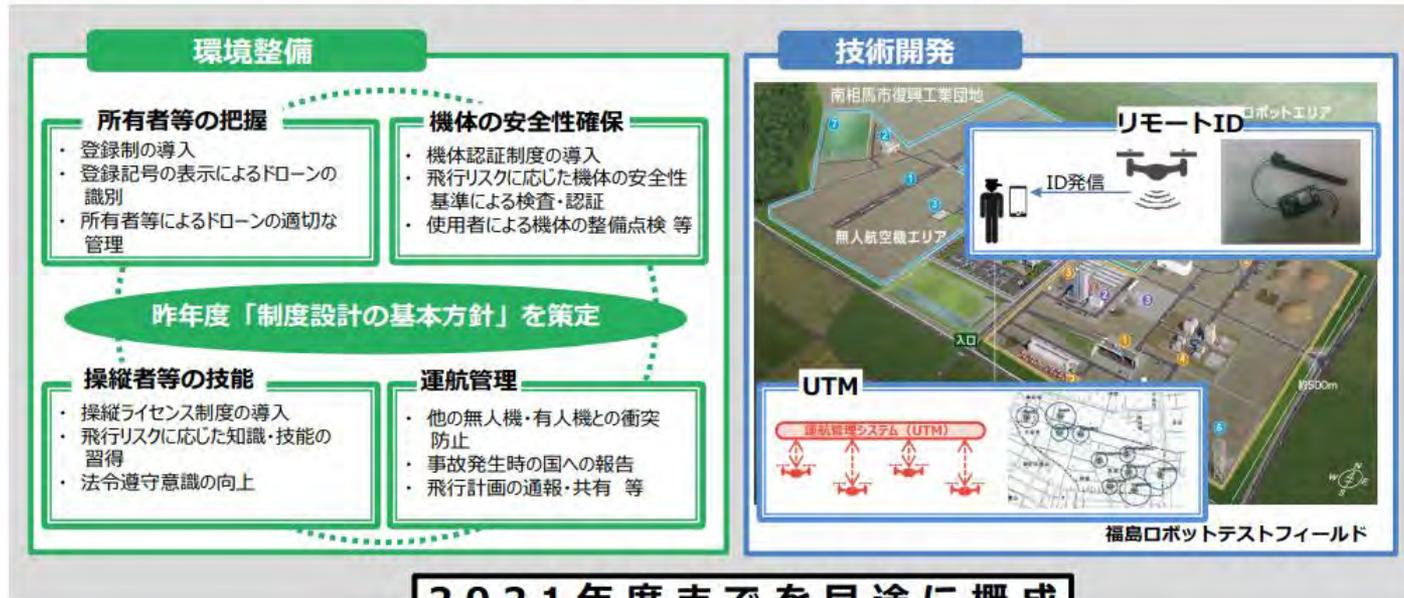


出典：官邸 空の産業革命に向けたロードマップ2020（2020年7月17日リリース） 我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou14.pdf>

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

《 ロードマップの見直し / 2020年 最新版 (2020年7月17日リリース) 》

新たなロードマップの基本コンセプト



2021年度までを目途に概成

+

今後の新たな取組

実証実験による社会的受容性の確保

- 環境整備、技術開発を見越して、**具体的用途を念頭に実証実験等を行い、課題整理、解決等を検討する。**
- これにより、国民生活・経済活動における**ドローンの効果を具体的に示し、その普及を確実なものとする。**

2

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

平成 28 年 4 月 28 日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第4回）
《 概要 1 / 3 》

【 概要 】

2017年12月より、
関係府省庁、メーカー、利用者等の団体をメンバーとする

「 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 」
において検討。

「 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ 」
を取りまとめるとともに、
安全確保に向けた制度設計の論点を整理、検討の方向性を提示。
2018夏に、安全確保に向けた制度設計の方針を取りまとめ。

出典：首相官邸 小型無人機に関する関係府省庁連絡会議 平成28年4月28日
小型無人機の利活用と技術開発のロードマップと制度設計に関する論点整理(案)(概要)
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai4/siryou1.pdf

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

平成 28 年 4 月 28 日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第4回）
《 概要 2 / 3 》

《 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ 》

【 飛行形態を考慮した技術開発や環境整備 】

- ・ レベル1： 目視内・操縦飛行
- ・ レベル2： 目視内
- ・ レベル3： 離島・山間部等の無人地帯での目視外
- ・ レベル4： 都市部等の有人地帯での目視外

出典： 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップと制度設計に関する論点整理（案）（概要）
平成 28 年 4 月 28 日

http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai4/siryou1.pdf

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

平成 28 年 4 月 28 日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第4回）
《 概要 3/3 》

《 安全確保に向けた制度設計に関する論点整理と検討の方向性 》

- 制度設計に当たっての基本的考え方
- 機体、操縦者、運航管理体制
- 航空機・小型無人機相互間の安全確保
- その他（保険の活用、プライバシー保護）

出典： 小型無人機の利活用と技術開発のロードマップと制度設計に関する論点整理（案）（概要）
平成 28 年 4 月 28 日
http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai4/siryou1.pdf

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

令和2年7月9日 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会（第14回）
～ 空の産業革命に向けたロードマップ 2020 ～

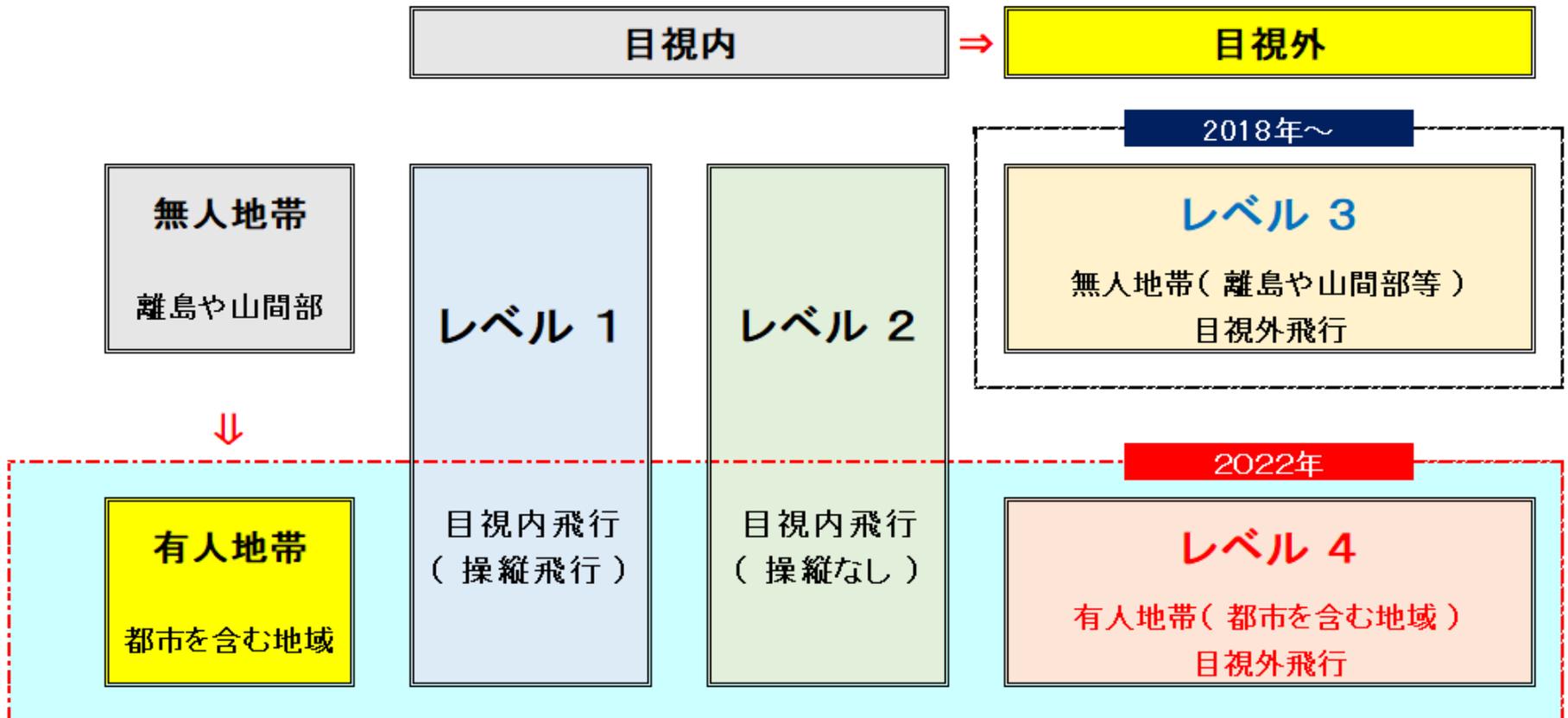
《 ロードマップで想定する利用活用 》

- 物流
- 警備（[ロードマップ 2019](#) で 追加）
- 医療（[ロードマップ 2020](#) で 追加）
- 災害対応
- インフラ維持管理
- 測量
- 農林水産業

出典：空の産業革命に向けたロードマップ 2020（令和2年7月9日）
～ 我が国の社会的課題の解決に貢献するドローンの実現～
<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/pdf/siryou14.pdf>

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

《 小型無人機（ドローン）の飛行レベル》



参考：小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ（2016年4月28日）

https://www.meti.go.jp/policy/mono_info_service/mono/robot/uasroadmap_JPN.pptx

小型無人機の利活用と技術開発のロードマップ

《 各レベルの飛行による利活用の具体例 》

レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4
目視内飛行 操縦飛行	目視内飛行 自動・自律飛行	目視外飛行 《 補助者の配置なし 》 無人地帯 〔 離島や山間部等 〕 第三者の立入可能性低い	目視外飛行 《 補助者の配置なし 》 有人地帯 〔 都市を含む地域 〕 第三者上空
<ul style="list-style-type: none"> ・ 農薬散布 ・ 空撮 (映像コンテンツ) ・ インフラ点検 (橋梁、送電線等) ・ etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 空中写真測量 ・ 設備の点検 (ソーラーパネル等) ・ etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 荷物配送 (離島や山間部) ・ 被災状況の調査 ・ 行方不明者の捜索 ・ インフラの点検 (長大なインフラ) ・ 河川測量 ・ etc. 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都市の物流 ・ 警備 ・ 災害対応 (発災直後の救助) (避難誘導) (消火活動の支援) ・ インフラ点検 (都市部のインフラ) ・ etc.

参考 : 小型無人機に係る環境整備に向けた官民協議会 (第9回) 「空の産業革命に向けたロードマップ2018」 補足資料
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/kogatamujinki/kanminkyougi_dai8/s1-1-2.pdf

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
- 6. 航空法の改正**
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

航空法の一部改正

《 事件・事故の多発に法整備が追いつかない 》

年月日	事件・事故の概要
2014年 7月17日	名古屋テレビ塔 夜景撮影中繁華街に墜落 (アマチュア 高度150メートル超過)
2014年11月 3日	湘南国際マラソン大会 空撮用ドローンの墜落 (大会関係者による空撮)
2015年 4月22日	駐日イギリス大使館 敷地内へTV局取材用ドローンの墜落 (取材中、強風にあおられ見失う)
2015年 4月25日	首相官邸 屋上へのドローン落下 (故意 放射性物質の投下?)
2015年 5月 9日	善光寺 法要中にドローン墜落 (未成年 アマチュアによるネット中継)
2015年 5月24日	JR宗谷線 高架橋への落下 (アマチュアの練習中による事故 (風による?))

安価な素人向けドローンの急拡散

↓
操縦者の悪意の有無にかかわらず、“事件”・“事故”が多発

↓
《 フライトの規制が必須に！ 》

航空法の一部改正

2015年(平成27年)9月11日 公布 / 12月10日 施行

《 無人航空機の飛行ルールが新たに導入 》

- ① **ドローンが航空法の規制対象**であることの明確化
- ② 新たな**飛行禁止空域**の設定
- ③ **飛行方法の制限**

2015年9月に航空法の一部が改正され無人航空機(ドローン)の定義と制限が明文化されました。これに伴い、2015年12月10日より無人航空機・ドローンの飛行ルールが新たに導入され、違反した場合には罰則規定が設けられることとなりました。
※航空法に定めるルールに違反した場合には、50万円以下の罰金となります

無人航空機の飛行許可が必要となる空域

A 空港等の周辺空域 安全性を確保し、許可を受けず飛行は不可	B 地表又は水面から150m以上の高さの空域 安全性を確保し、許可を受けず飛行は不可
C 平成27年の国勢調査の結果による人口集中地区の上空 安全性を確保し、許可を受けず飛行は不可	A.B.C.以外の空域 飛行可能

空域の区分はイメージです

無人航空機の飛行の方法

承認が必要となる飛行の方法

- 1) 目視(自由目視)による飛行に限定されること
- 2) 目視(遠視)確認による範囲内で無人航空機とその周囲を常時監視して飛行させること
- 3) 目視外飛行の例(F.P.V. (First Person View)、モニター監視)
- 3) 人(第三者)又は物(第三者の建物、自動車など)との間(3.0m以上の距離を保って)飛行させること
- 4) 勝北、暴風など多数の人が集まる場所の上空で飛行させないこと
- 5) 墜落物など危険物を運搬しないこと
- 6) 無人航空機から物を投下しないこと

規制対象外

- 機体重量が200g未満
- 屋内や閉鎖された空間が囲まれた空間

規制対象の飛行範囲・飛行方法に準じた無人航空機を飛行させる場合は、国土交通省の許可・承認を受けなければならない。

申請方法については国土交通省HPを参照してください。

国土交通省 航空局 安全部 無人航空機窓口
TEL 03-5703-3737

Created by BE INTO DRONE

出典 : 航空局 ドローン A4ポスター - 国土交通省
www.mlit.go.jp/common/001110369.pdf

飛行ルールの対象となる無人航空機

《 無人航空機の定義 》

飛行機、回転翼航空機、滑空機、飛行船であって
構造上人が乗ることができないもののうち、
遠隔操作又は自動操縦により飛行させることができるもの

(200g未満の重量(機体本体の重量とバッテリーの重量の合計)のものを除く)

ドローン(マルチコプター)、ラジコン機、農薬散布用ヘリコプター等が該当

(例)



(ドローン(マルチコプター))



(ラジコン機)



(農薬散布用ヘリコプター)

出典 : 飛行ルールの対象となる機体 (国交省)

http://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000040.html

改正航空法の概要

《 無人航空機の飛行ルールに関する航空法の規定 》

《 適用規定 》

- ・ **200 [g] 以上のドローン** に対してのみ法律が適用
- ・ **屋内（ドローンが外に出ない環境）** であれば航空法は非適用
- ・ 違反した場合、**罰金刑（50万円以下の罰金）** に処される

《 飛行許可申請 》

- ・ 総飛行時間 **10時間以上** が必要
- ・ 飛行させる **10開庁日前までに文書を提出**

《 関係者必携 》

国土交通省 航空局 安全部 運航安全課 令和元年8月23日

『 無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン 』

<https://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf>

安全な飛行のためのガイドライン

国土交通省 航空局 安全部 無人航空機窓口

『無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の安全な飛行のためのガイドライン』

<https://www.mlit.go.jp/common/001303818.pdf>

令和元年8月23日

無人航空機（ドローン、ラジコン機等）の 安全な飛行のためのガイドライン

国土交通省 航空局

近年、遠隔操作や自動操縦により飛行し写真撮影等を行うことができる無人航空機が開発され、趣味やビジネスを目的とした利用者が急増しています。新たな産業創出の機会の増加や生活の質の向上が図られることは歓迎すべきことです。

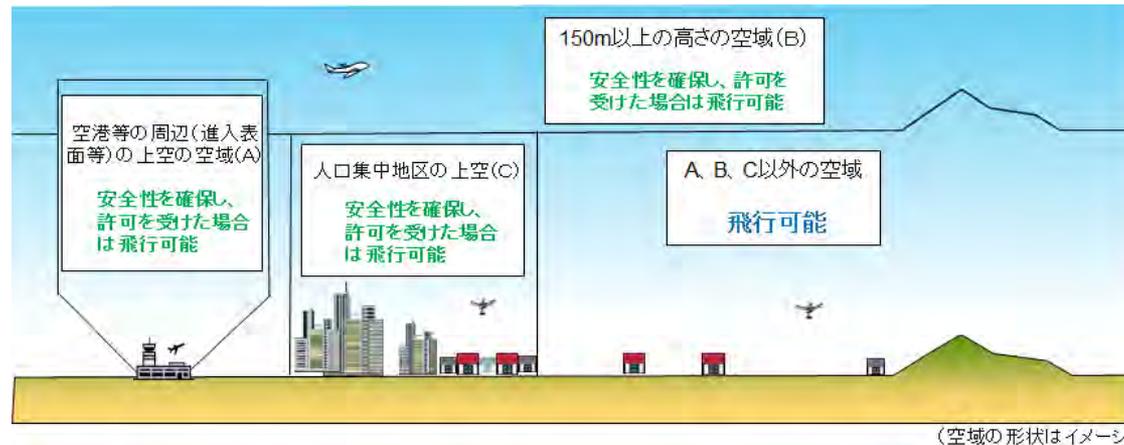
一方、このような無人航空機が飛行することで、人が乗っている航空機の安全が損なわれることや、地上の人や建物・車両などに危害が及ぶことは、あってはならないことはもちろんです。

このため、航空法の一部を改正する法律（平成27年法律第67号）及び航空法及び運輸安全委員会設置法の一部を改正する法律（令和元年法律第38号）により、無人航空機の飛行に関する基本的なルールが定められました。無人航空機の利用者の皆様は、同法及び関係法令を遵守し、第三者に迷惑をかけることなく安全に飛行させることを心がけてください。

また、無人航空機を飛行させる者は、航空法や関係法令を遵守することはもちろんですが、使用する無人航空機の機能及び性能を十分に理解し、飛行の方法及び場所に応じて生じるおそれがある飛行のリスクを事前に検証し、必要に応じてさらなる安全上の措置を講じるよう、無人航空機の飛行の安全に万全を期すことが必要です。

飛行の許可が必要となる空域

《 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域について 》 ～ 一般的な飛行ルール ～



出典 : 無人航空機の飛行の許可が必要となる空域について (国土交通省)
https://www.mlit.go.jp/koku/koku_fr10_000041.html



出典 : (ポスター) 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルールについて (国土交通省)
<https://www.mlit.go.jp/common/001303817.pdf>

飛行の許可が必要となる空域

《 飛行禁止空域 》

① 空港周辺



② 150m以上の上空



③ 人家の密集地域



☞ ①～③の空域で飛行させたい場合には、国土交通大臣の許可が必要です。詳細は国土交通省航空局HPへ！

④ 国の重要な施設等*の周辺



⑤ 外国公館の周辺



⑥ 防衛関係施設の周辺



⑦ 原子力事業所の周辺



* 国会議事堂、首相官邸、危機管理行政機関、最高裁判所、皇居・御所、政党事務所等

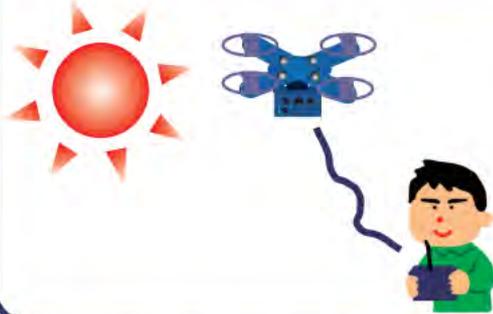
☞ ①、④～⑦の施設の周辺で飛行させたい場合には、施設管理者等の同意や都道府県公安委員会等への事前通報が必要です。詳細は警察庁HPへ！

出典 : (ポスター) 無人航空機を操縦される方へ (国土交通省)
<https://www.mlit.go.jp/common/001369800.pdf>

無人航空機の飛行の方法

《 一般的な飛行ルール 》

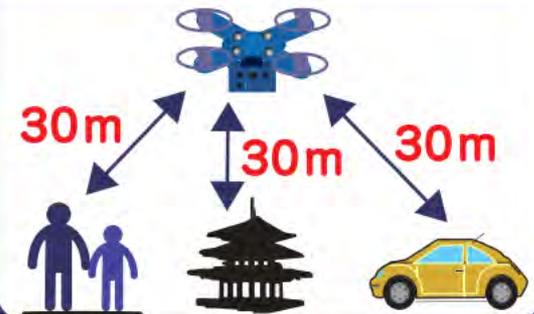
日中での飛行



目視の範囲内



距離の確保



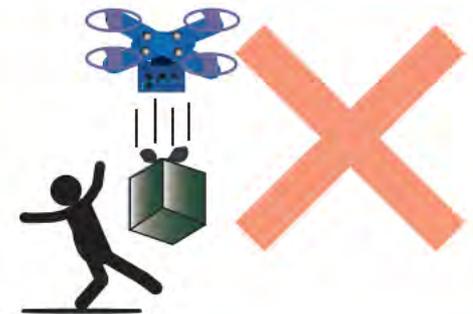
催し場所での飛行禁止



危険物輸送の禁止



物件投下の禁止



出典：改正航空法概要ポスター（国土交通省）

<https://www.mlit.go.jp/common/001110369.pdf>

無人航空機の飛行の方法

《 令和元年9月18日付けで[1]～[4]のルールが追加 》
飛行空域を問わず順守する必要があるルール



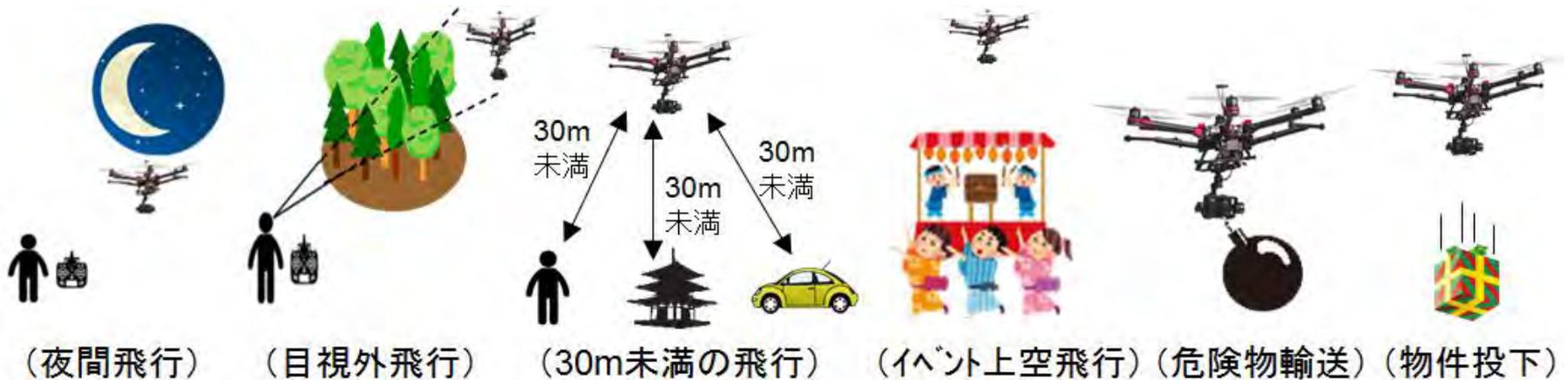
出典 : (ポスター) 無人航空機(ドローン・ラジコン機等)の飛行ルールについて(国土交通省)

<https://www.mlit.go.jp/common/001303817.pdf>

承認が必要となる飛行の方法

“ルールによらずに無人航空機を飛行”させる場合
“国土交通大臣の承認”が必要

《 ルール外の飛行 》



《 注意 : 人口集中地区 (DID) に関係なく国土交通省の許可が必要 》

(人口集中地区 : DID / Densely Inhabited District)

出典 : 国土交通省 航空局 安全部 無人航空機窓口
無人航空機 (ドローン、ラジコン機等) の安全な飛行のためのガイドライン
<http://www.mlit.go.jp/common/001128047.pdf>

航空法以外の遵守法令

【基本】：

1: **航空法**：運用方法全般を規制

(2015年(平成27年)12月10日 ~ 施行)

2: **小型無人機等飛行禁止法**：主に場所に着目した規制

(国会議事堂、内閣総理大臣官邸その他の国の重要な施設等、外国公館等及び
原子力事業所の周辺地域の上空における小型無人機等の飛行の禁止に関する法律)

(2016年(平成28年)4月7日 ~ 施行)

【その他の遵守法令】

- ① 電波法
- ② 個人情報保護法 (プライバシー保護など)
- ③ 道路交通法 (道路上空の飛行など)
- ④ 海岸法・河川法
- ⑤ 文化財保護法
- ⑥ 民法 (土地・空間の所有権、その他)
- ⑦ 刑法
- ⑧ 廃棄物の処理及び清掃に関する法律 [廃棄物処理法]
- ⑨ 各種条例 (迷惑防止条例、公園条例、その他)

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
- 7. ドローンの構成**
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
10. まとめ

マルチコプターの急速拡大要因

《 ドローン = 電子技術の集合した飛行体 》

【 3つの要素技術 】

- ① : **モーター／バッテリー**
⇒ 出力向上、小型化、軽量化
- ② : **センサー**
(3軸ジャイロ , 3軸加速度 , 3軸地磁気)
⇒ 性能向上、小型軽量化、低価格化
- ③ : **コンピューター**
⇒ 自動制御 と 制御プログラム

マルチコプター 主要構成部品

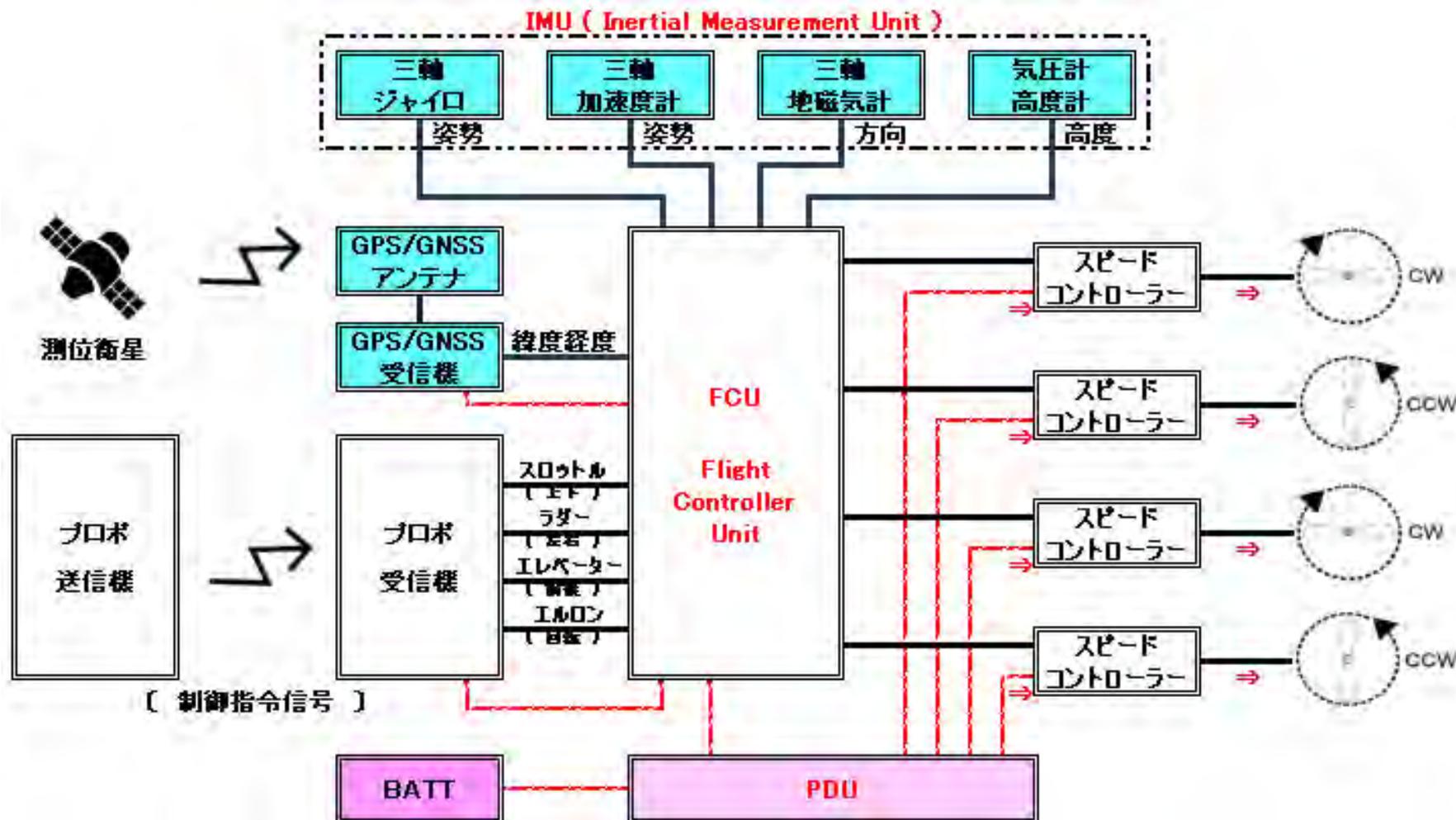
《 遠隔操作／自動操縦 ドローンの機構（基本構成要素） 》

- フライトコントローラー（制御装置〔マイクロコンピューター〕）
 - GPS（GNSS）受信機
 - センサー
 - ジャイロ（3軸ジャイロ（3軸角速度計））
 - 加速度計（3軸加速度計）
 - 地磁気計（3軸地磁気計）
 - 気圧センサー（気圧高度計）
 - 超音波センサー（対地距離計）
- スピードコントローラー（モーター制御）
- モーター（小型・高出力 ブラシレスDCモーター）
- バッテリー（小型・軽量・大容量 Li-PO バッテリー）
- 機体
- 送受信機（プロポ）：C2-Link

主要部品は、スマホやパソコン等で使用される汎用部品の転用！

マルチコプター 主要部品の接続

《 “コンピューター” と “センサー” を利用した “フライ・バイ・ワイヤ制御” 》



フライトコントローラーの仕組み

《 ドローンの普及は、『姿勢安定制御』と『航法』の自動化 》

『姿勢安定制御』と『航法』の中枢 = フライトコントローラー
操縦者に代わり、機体を常に安定な姿勢に保つ制御

【ジャイロ（角速度）センサー】 / 【加速度センサー】
“姿勢の状態を検知”し、“姿勢の傾きを自動修正”

★ フライトコントローラー 付加機能

・ ゴーホーム機能

電波受信障害等の際、元の場所に帰還する

・ GPS [GNSS] ロック機能

制御指令がない場合、
大気外乱等による機体の流れ防止制御を行い
位置をロックして、ホバリング継続

ジャイロ／加速度計の役割

《 ドローンにおける空中安定性の確保 》

【 フライトコントローラーによる安定確保制御 】

① : 『 **姿勢制御** 』 ⇒ **姿勢安定**

② : 『 **航法** 』 ⇒ **位置的安定**

【 **ジャイロ** 】 ／ 【 **加速度計** 】
 “ **姿勢安定制御用** ” の **重要センサー**

現在のドローンには、

- ・ 『 **MEMS振動式ジャイロ** 』
- ・ 『 **MEMS加速度計** 』

MEMS半導体加工プロセス製造 によるセンサーの搭載

(MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 微小電気機械システム)

コンパスの役割

《コンパス・キャリブレーション = 機体に『北』を教える》

【GPS〔GNSS〕】絶対位置座標 と 時刻 の検出

〔○〕:『位置（“緯度・経度”と“高度”）情報』⇒ 取得可能

〔×〕:ホバリング時 機体の『方向検出』⇒ 取得不可能

【コンパス】は、“地磁気”を検出
方向（方位）精度を向上

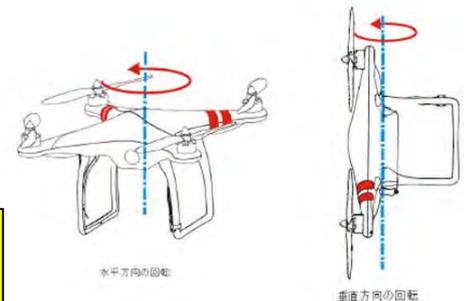
地磁気：場所に依存し、強度が異なる。（相対差を利用）

★ フライト前のコンパス・キャリブレーション

機体を『水平面』／『垂直面』で一回転させる。
⇒ オフセット補正後飛行させる。

※ 《注意：コンパスの誤動作（校正不可能）》

- ・ 人工的な金属構造物等の近隣
- ・ 送電線、無線鉄塔等強電磁界等のある場所



校正イメージ

出典：DJI 67

GPS [GNSS] の役割

《 ドローンの航法は、GPSが中枢を担う 》

【 GPS [GNSS] 】 絶対位置座標 と 時刻 の検出

[○]: 『 位置 (“緯度・経度” と “高度”) 情報 』 ⇒ 取得可能

[×]: ホバリング時 機体の 『 方向検出 』 ⇒ 取得不可能
(移動時 : 進行方向からの推測は可能)

【 **コンパス** 】 と組み合わせ使用
測位精度を向上

業務用ドローン等、
“ **構造物への接近** ” や “ **精度の要求** ” されるフライトでは

- ・ 気圧高度計
- ・ レーザー距離センサ
- ・ 超音波センサー
- ・ 視覚センサー

を組み合わせ、測位精度を向上

高度計の役割

《 ドローンの航法に係る、GPSの補完 》

【 GPS [GNSS] 】 絶対位置座標 と 時刻 の検出

〔○〕:『 位置（“緯度・経度”と“高度”）情報 』 ⇒ 取得可能

〔×〕:『 水平方向の緯度経度情報 』の測位精度 ⇒ ○
『 垂直方向の高度情報 』の測位精度 ⇒ ×

【 高度計 】と組み合わせて使用 測位精度を向上

衛星測位システム : GNSS [Global Navigation Satellite System]

- GPS : 米国
- GLONASS : ロシア
- Galileo : 欧州
- BeiDou : 中国
- QZSS : 日本 (準天頂衛星)

ドローン操縦の無線システム

《 ドローンの飛行には、無線技術が不可欠 》

使用用途	周波数帯	備考（変調方式 など）
飛行制御コントローラー (プロポーショナルシステム)	2.4 [GHz]帯	周波数ホッピング方式（FHSS）
		直接拡散方式（DHSS）
FPV (First Person View)	1.2 [GHz]帯	アナログFM
	2.4 [GHz]帯	無線LAN
	5.7 [GHz]帯	アナログFM
映像伝送	1.2 [GHz]帯	アナログFM
	2.4 [GHz]帯	無線LAN
	5.7 [GHz]帯	デジタル伝送、アナログFM
テレメーター	400 [MHz]帯	低速（4800 [bps]）
	920 [MHz]帯	中速（20 ~ 400 [kbps]）
	2.4 [GHz]帯	汎用（ISMバンド）
衛星測位	1.6 [GHz]帯	GNSS（GPS / GLONASS、etc.）
予備制御系	2.4 [GHz]帯	
	2.4 [GHz]帯	
	2.4 [GHz]帯	

《フライトに係るリスクアセスメント》

ドローンは、『墜落するという想定』は必須

『リスクアセスメント』による『墜落リスク回避』が必要

【 想定されるリスク 】

- ・ **ドローンのハードに起因**
 - ・ 電波障害（電波遮断／通信遮断／妨害電波など）
 - ・ モーター駆動トラブル
 - ・ プロペラ破損
 - ・ GPS（GNSS）補足エラー
 - ・ 電池切れ
- ・ **外部要因**
 - ・ 天候（雨、突風、構造物や地形に起因する巻風）
 - ・ バードストライク
- ・ **人為ミス**
 - ・ **操作ミス**
 - ・ **設定ミス**（プロポのスイッチ類等）
 - ・ **準備ミス**（プロペラの締め付け、電池の充電容量、etc.）

フェイルセーフ & フールプルーフ

《安全側に作動する安全側に作動する仕組みを考慮した設計》

【ヒューマンエラー】：人間は間違った動作をする
【トラブル】：機械は故障する

★【エラーの未然防止】：フールプルーフ

- ・操作や取り扱い方を誤っても危険が生じない
- ・誤った操作や危険な使い方ができない

《誤りを起こさない“構造”や“仕掛け”の考慮》

★【エラー対処】：フェールセーフ

- ・事故や故障などの異常時、生じる被害を最小限に抑える

《安全側に作動する“仕組み”の考慮》

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
- 8. 宇宙天気現象**
9. ドローン運航体制
10. まとめ

宇宙天気とは

主に太陽活動が源となって発生する地球近傍宇宙の諸現象のこと

『太陽面爆発（太陽フレア）』やそれに伴う『コロナ質量放出（CME）』の発生など
高密度の太陽風が地球方向に放出

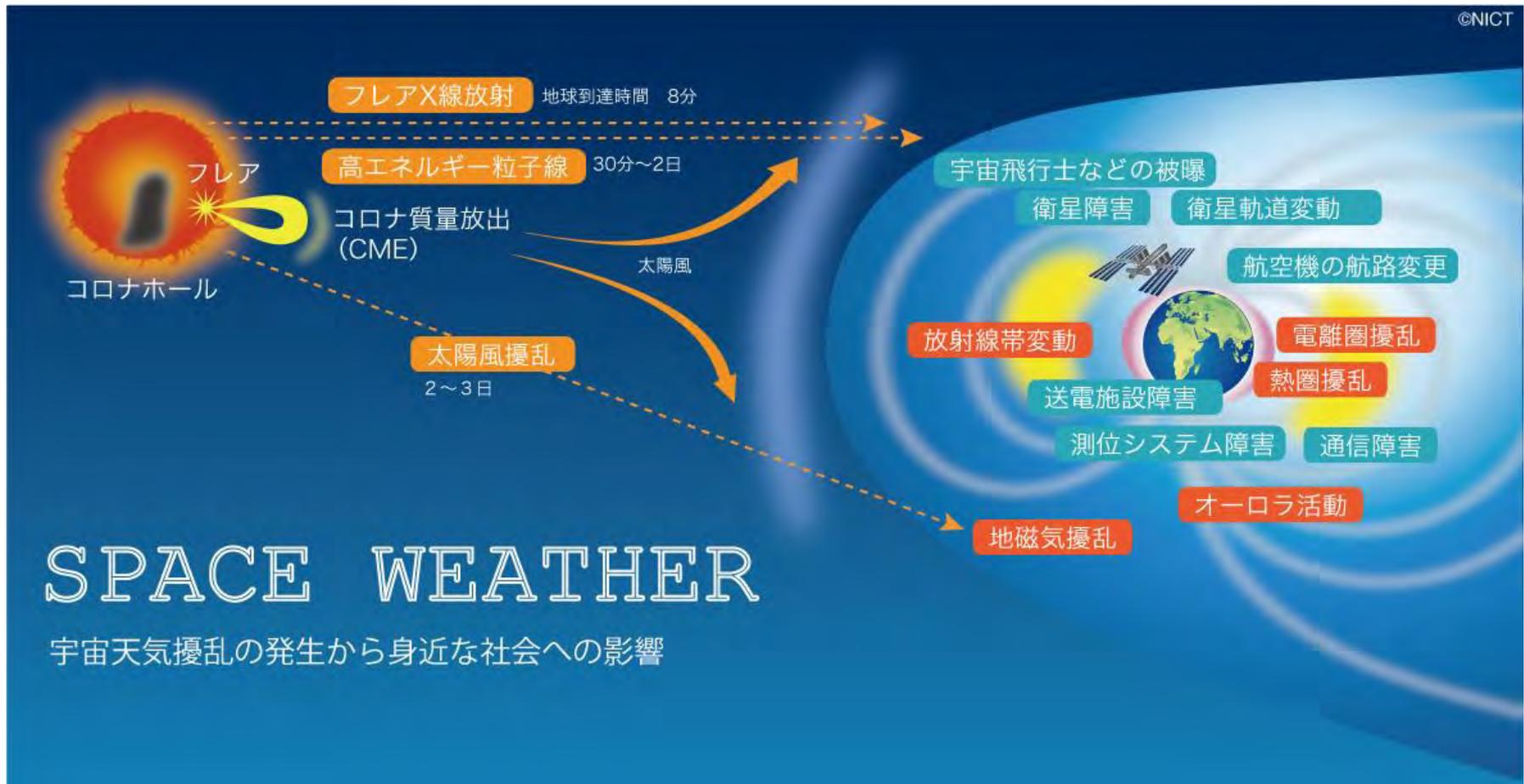
《 社会システムとの関わり 》

- 短波通信の障害
- 航空機の航路変更
- 人工衛星の障害
- 測位（GPS/GNSS）の誤差
- 宇宙飛行士などの被曝
- 送電施設のトラブル
- オーロラが見える

引用 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構 宇宙天気予報センター
<https://swc.nict.go.jp/knowledge/guide.html>

宇宙天気とは

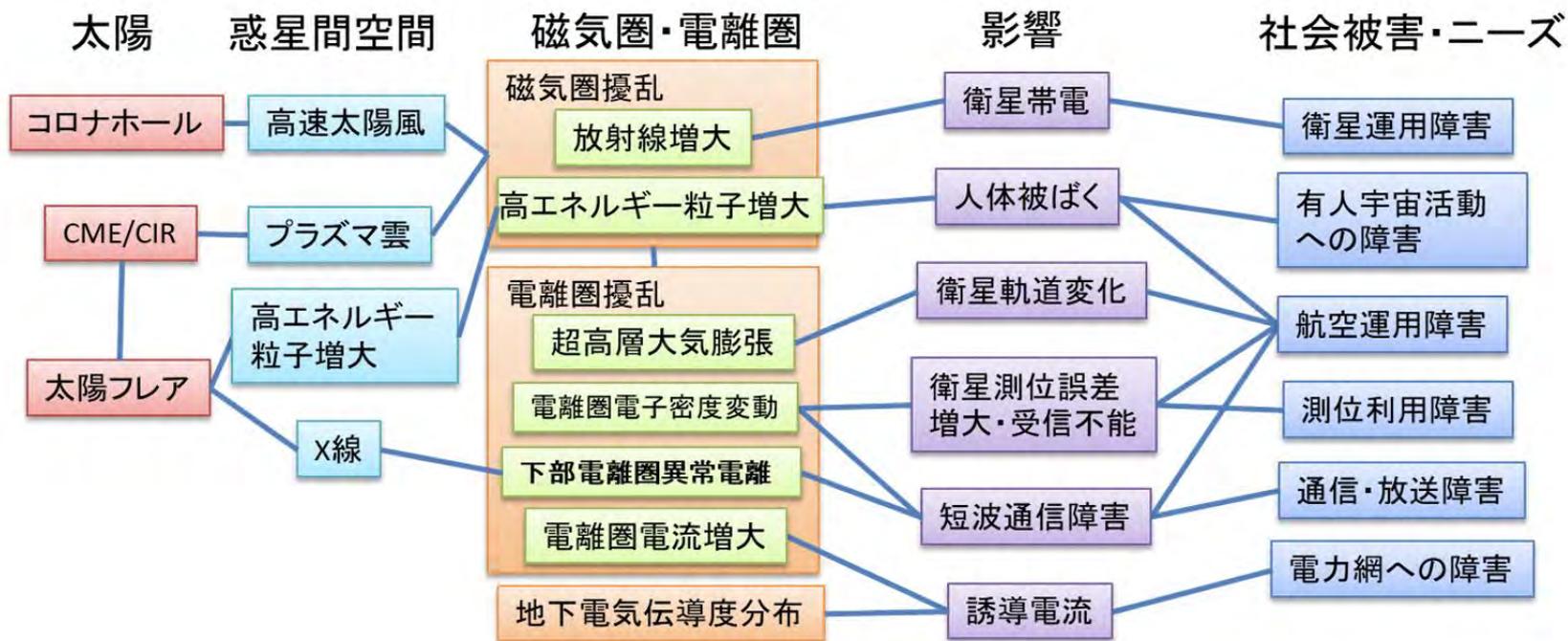
《 宇宙天気擾乱の発生と社会への影響の概念図 》



引用 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構 宇宙天気予報センター
<https://swc.nict.go.jp/knowledge/guide.html>

宇宙天気とは

《 宇宙天気現象と社会への影響 》



引用：国立研究開発法人 情報通信研究機構
 科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価
<https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>

宇宙天気擾乱による影響

太陽表面の爆発現象に端を発する
宇宙環境の擾乱（宇宙天気擾乱）による影響

『太陽面爆発(太陽フレア)』やそれに伴う『コロナ質量放出(CME)』の発生など
高密度の太陽風が地球方向に放出

- ・ フレア X線放射 : 地球到達時間 : 8分
- ・ 高エネルギー粒子線 : 地球到達時間 : 30分～2日
- ・ 太陽風擾乱 : 地球到達時間 : 2日～3日

地球の磁気圏・電離圏に影響を及ぼし、
社会インフラの安全性を脅かす

引用 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構
科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価 [NICT]
<https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>

宇宙天気とは

《 社会システムとの関わり 》

宇宙天気の社会インフラへの影響と関連する現象の早見表

社会への影響	関連現象						
	太陽現象		磁気圏現象		電離圏現象		
通信	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層
航空機	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層
被曝	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層
衛星	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層
オーロラ	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層
測位	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層
送電	太陽フレア	プロトン現象	地磁気擾乱	放射線帯電子	電離圏嵐	デリンジャー現象	Es層

引用 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構 宇宙天気予報センター
<https://swc.nict.go.jp/knowledge/guide.html>

宇宙天気現象

直近に発生した太陽フレア (1/3)

《 2017年 9月 6日 (JST) に発生した、Xクラスの大規模太陽フレア現象 》

通常の1000倍の大型太陽フレアを観測

～11年ぶり、地球への影響は9月8日午後の見込み～

2017年9月7日

国立研究開発法人情報通信研究機構

国立研究開発法人情報通信研究機構 (NICT、理事長: 徳田 英幸) は、日本時間2017年9月6日 (水) に、太陽面中央に位置する黒点群2673における2回の大型の太陽フレア現象の発生を確認しました。このうち、日本時間20時53分に発生した現象の最大X線強度は、通常の1000倍以上に及ぶ大型のものです。この現象に伴い、高温のコロナガスが地球方向に噴出したこと及び高エネルギーのプロトン粒子の増加が確認されました。コロナガスは日本時間9月8日 (金) 15時から24時ごろにかけて、到来することが予測されています。

この影響で、地球周辺の宇宙環境や電離圏、地磁気が乱れる可能性があり、通信衛星、放送衛星などの人工衛星の障害やGPSを用いた高精度測位の誤差の増大、短波通信障害や急激な地磁気変動に伴う送電線への影響などが生じる恐れがあり、注意が必要です。

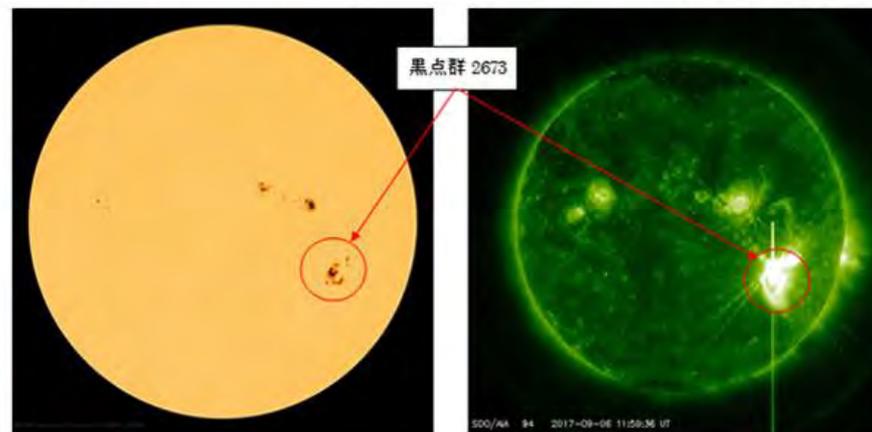
引用 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構 宇宙天気予報センター プレスリリース
<http://www.nict.go.jp/press/2017/09/07-1.html>

宇宙天気現象

直近に発生した太陽フレア (2/3)

《 2017年 9月 6日 (JST) に発生した、Xクラスの大規模太陽フレア現象 》

発生日	発生時刻 (JST)	発生規模
2017/9/6	17:50	X2.2
2017/9/6	20:53	X9.3



【 可視光波長 】

【 可視光波長 】

人工衛星SDOで観測された太陽画像

爆発領域は、地球に正対しない、『太陽面の中央西よりに位置する黒点群2673』

大規模フレアの割に、被害は小さかった??

引用 : 国立研究開発法人 情報通信研究機構 宇宙天気予報センター プレスリリース
<http://www.nict.go.jp/press/2017/09/07-1.html>

©2020 Japan Infrared Thermography Association All Rights Reserved

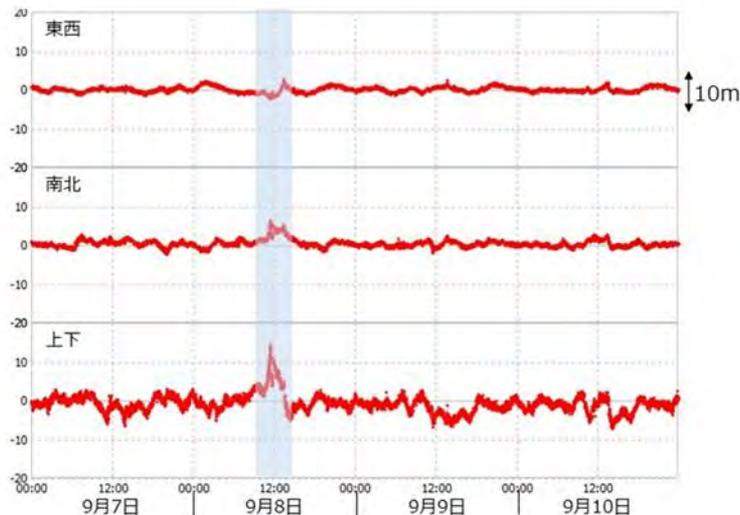
宇宙天気現象

直近に発生した太陽フレア (3/3)

《 2017年 9月 6日 (JST) に発生した、Xクラスの大規模太陽フレア現象 》

〔 最大時で、『 普段の3倍ほど 』の誤差 〕

地球の電離層の乱れにより、GPSを用いた測位に乱れが発生
GPSの精度がかなり悪くなる時間帯を確認 (@茨城県つくば市)



《 一般のGPS測位方式による位置の変化 》

	フレア到達日		
	前々日	前日	到達日
	9月6日	9月7日	9月8日 (日中)
南北方向 (緯度情報)	± 2 m 程度		± 7m 程度
東西方向 (経度情報)	± 2 m 程度		± 3m 程度
上下方向 (高度情報)	± 15m 程度		± 15m 程度

《 GPS誤差 (最大値) 》

引用 : 国土地理院 : 9月6日に発生した太陽フレアのGPS測位への影響(速報)

<https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi40001.html>

宇宙天気現象

《 2017年 9月 6日 に発生した、Mクラスの太陽フレア発生を受けて 》
日本政府の動き

太陽フレアの測位衛星への影響等 - 内閣府

<https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-ampo/ampo-dai23/siryou1-2.pdf>

資料1-2

太陽フレアの測位衛星への影響等

平成29年10月16日
宇宙開発戦略推進事務局

③今後の備え

○本年4月20日に「宇宙システムの安定性強化に関する関係府省庁連絡会議」を設置※
(事務局:宇宙開発戦略推進事務局)

※平成29年4月20日設置、内閣官房副長官補が議長、国家安全保障局、内閣情報調査室、総務省、外務省、文科省、経産省、国交省、環境省、防衛省の局長級で構成

○太陽フレア等の宇宙天気による影響等も考慮し、宇宙システム全体の安定性の強化に向けて取り組んでいく。

○宇宙システムの脆弱性評価チェックリストの中で太陽フレアも対策

〔 人工衛星の防護措置、機数増、予備衛星の打上げ、衛星間の相互バックアップ等 〕

宇宙天気現象

宇宙天気現象に対する海外政府の動き（例：アメリカ合衆国）

2015/10月 オバマ大統領
『「太陽風」及び「磁気嵐」の異変』に関し大統領令を出す



大統領令：「The White House」より引用

<https://obamawhitehouse.archives.gov/the-press-office/2016/10/13/executive-order-coordinating-efforts-prepare-nation-space-weather-events>

宇宙天気現象

宇宙天気現象に対する海外政府の動き（例：アメリカ合衆国）

2015年10月 ホワイトハウスが“国家宇宙天気戦略”を発表
宇宙天気を地震や津波と並べ、
米国戦略的国家危機評価（US Strategic National Risk Assessment）
の一つとして検討

<https://www.dhs.gov/xlibrary/assets/rma-strategic-national-risk-assessment-ppd8.pdf>

《 要約 》

- ・ 宇宙天気のための国家的政策を確立する
- ・ 上記を実現するため、
合衆国科学技術政策局に省庁横断的な調整機関を永続的に設立する
- ・ 宇宙天気の研究、対策、計画に関する各政府機関の役割を明確化する
- ・ 行動計画に含まれずとも、必要に応じてより高レベルの活動の実施を可能にする
- ・ 上記を達成するため、
合衆国政府外部においても、海外を含めた民間組織との連携を強化す

GPS/GNSSの脆弱性

《 高度情報化社会におけるGPS/GNSS依存 》
～ 測位 と 精密タイミング の唯一の手段 ～

GPS/GNSS衛星を、“意識的”“無意識的”に利用
“日常生活を快適に過ごす”為に必要不可欠

『位置』および『時刻』の情報を必要としているシステム

【位置（座標情報）】

- カーナビ
- 自動運転
- 船舶の監視
- 航空機の誘導
- 位置情報サービス
- etc.

【時刻（同期タイミング）】

- 正確な時刻（時計）
- 通信システムの時刻同期
- 金融取引の時刻同期
- 防衛システムの時刻同期
- etc.

GPS/GNSSの脆弱性

《 非常に微弱な信号（電波）を利用するシステム 》

潜在的な脆弱性のリスク

【 GPS/GNSS信号（1.6GHz帯）の受信環境 】

20,000 [km] 彼方の、100 [W] 電球相当のエネルギーを受信する様なもの

受信アンテナにおける受信電力 = -130 [dBm] 以下

(-130 [dBm] = 10^{-13} [mW] = 10^{-16} [W])

自然界のノイズに埋もれる程の超微弱電波

【 認知度があるリスク 】

- ・ 干渉
- ・ ジャミング (妨害)
- ・ スプーフィング (なりすまし)
- ・ ミーコニング (誤差を加工での再送信)
- ・ etc.

【 認知度がないリスク 】

- ・ 宇宙天気現象
(電離圏変動)
→ 電離層遅延による
測位誤差の発生(増大)
- ・ etc.

GPS/GNSSの脆弱性

《 非常に微弱な信号（電波）を利用するシステム 》

GPS/GNSS衛星からの電波は
受信する場所によって
“ 信号の完全性 ” や “ 到達時間 ” が違う

【 GPSの信号を受信したときの完全性や到達時間の誤差の主な原因と誤差の大きさ 】

① GPS/GNSS衛星の原子時計の誤差	: 約2m
② GPS/GNSS衛星の軌道からのずれによる誤差	: 約2m
③ GPS/GNSS衛星の軌道の配置による誤差	: 約2m
④ 電離層での遅延による誤差	: 極小 約0.3m、最大 約14m
⑤ 対流圏遅延誤差	: 約2～3m
⑥ マルチパス(多重伝播)誤差	: 1～十数m
⑦ 受信機内で発生するノイズによる誤差	: 約0.5m

10m程度の位置誤差は、常時あるものとした利用が必要

GPS/GNSSの脆弱性

《 非常に微弱な信号（電波）を利用するシステム 》

信頼性・精密性に大きく影響する電離層遅延による誤差

GPS/GNSS衛星から送信される 1~2 GHz 帯の電波
 伝搬路上の電離層通過により
 “屈折”、“全反射”、“速度低下”等が発生

【電離層の分布】

D層	分布高度	：	60	～	90 km
E層	分布高度	：	90	～	130 km
Es層	分布高度	：	95	～	130 km
F1層	分布高度	：	130	～	210 km
F2 または F層	分布高度	：	210	～	1000 km

～ 電離層は太陽活動に大きく影響される ～
 電離層の全域（地表から 60~1000 km）にわたって存在する
 “+イオン” と “電子” の影響を強くうける

GPS/GNSSの脆弱性

《 位置情報を安心して使うには 》

～ 測位衛星利用の5要件 ～

- ① **信頼性 (Reliability)**:
そのシステムが、与えられた条件で規定の期間中、
要求された機能を果たすこと。
- ② **精密性 (Accuracy)**:
実際の飛行位置を高い精度で示すこと
- ③ **完全性 (Integrity)**:
その情報が確実なものであること
- ④ **継続性 (Continuity)**:
サービスが中断しないこと
- ⑤ **利用可能性 (Availability)**:
稼働率が高いこと

GPS/GNSSの脆弱性

《 GPS/GNSSに依存する、ドローンの運用リスク 》

ドローン

【 空飛ぶコンピューター 】

コンピューター制御で自律航行する無人航空機

【 自律航行の為の“コンピュータ技術”の集約 】

レベル-4 の 社会実装
有人地域 における 目視外飛行

位置座標 を “ 誤る ” 或いは “ 喪失 ” するリスクは？

宇宙天気現象の影響は??如何に！

GPS/GNSSの脆弱性

《 宇宙天気現象が発生したら？ 》
 ～ フレアが、高度情報化社会に与える影響 ～

宇宙天気現象の発生頻度
 ～ 日常的に発生しうるフレア ～

NOAA（アメリカ海洋大気庁）宇宙天気スケール
 【 Rスケール：太陽フレアX線の強度 】

レベル	イベントの呼称	X線等級の目安		頻度の目安
		等級	X線強度 [W/m ²]	(太陽活動周期 = 約11年 毎)
R5	Extreme	X20	2×10^{-3}	1回 (1日間) 位
R4	Severe	X10	1×10^{-3}	8回 (8日間) 位
R3	Strong	X1	1×10^{-4}	175回 (140日間) 位
R2	Moderate	M5	5×10^{-5}	350回 (300日間) 位
R1	Minor	M1	1×10^{-5}	2000回 (950日間) 位
R (None)	none			

GPS/GNSSの脆弱性

《 大規模フレアの発生頻度 》

1975年の衛星観測が始まって以来、

“ X5 以上の太陽フレア ” は、60回近く発生。

巨大地震などに比較すれば、非常に発生確率の高い現象

過去に発生した大規模な太陽フレアの等級は？

【 発生日 】			【 発生規模 】
2001年	4月	2日	X20
2003年	10月	28日	X17.2、X10
2005年	9月	7日	X17
1989年	3月	13日	X13
2017年	9月	6日	X9.3、X2.2
2011年	8月	9日	X6.9
2012年	3月	7日	X5.4
2011年	2月	17日	X2

GPS/GNSSの脆弱性

《 大規模フレアの発生履歴 》

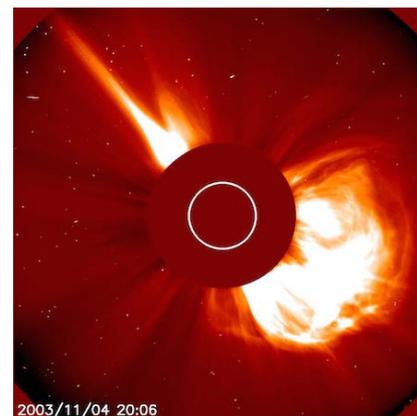
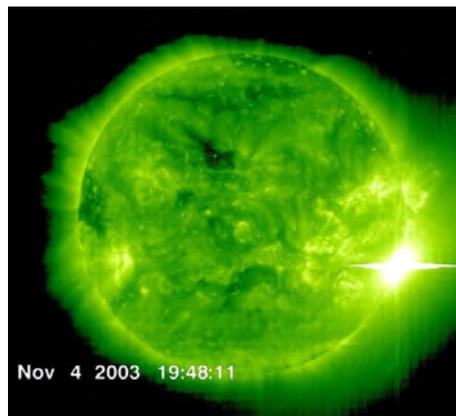
“ 観測史上最大 ” の太陽フレアの等級は？

2003年11月4日の “ X28 ”

(のちに “ X45 ” という評価の意見も)

【 動画 : 2003年11月4日に発生した観測史上最強の X28 太陽フレア 】

<https://www.youtube.com/watch?v=kBde3rar8pg>

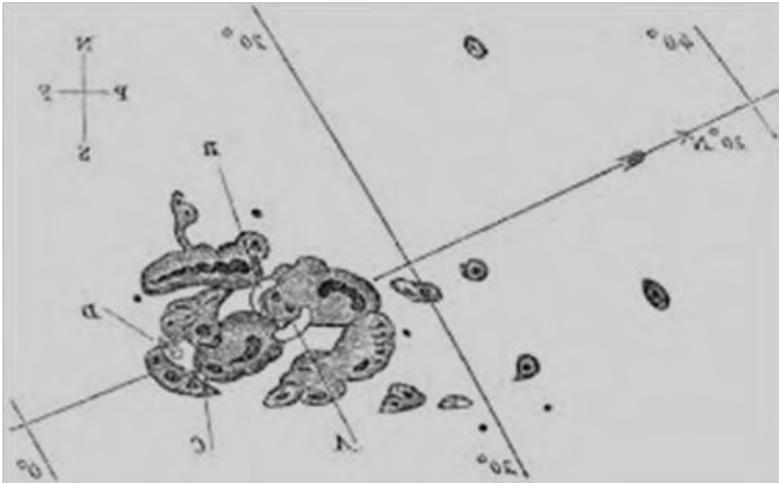


〔 出典 : ESA/NASA 〕

GPS/GNSSの脆弱性

《 大規模フレアの発生履歴 》

“ 記録に残る最大 ” の太陽フレアは？
1859年9月1日 キャリントン・イベント
(1859 Solar Superstorm / Carrington Event)



黒点のスケッチ〔拡大〕
〔出典：Spaceweather.com〕



黒点のスケッチ〔全球面〕
〔出典：Royal Astronomical Society〕

GPS/GNSSの脆弱性

《 極端宇宙天気現象が発生したら？ 》
～ 巨大フレアが、高度情報化社会に与える影響 ～

極端宇宙天気現象の発生頻度

統計的な検討では、“100年に一度程度”の確率

～ キャリントン・イベント級の巨大フレアが、発生したら ～
現代社会が基盤とする各種インフラへの影響は
甚大なものになる

～ ロンドンのロイズ保険組合の報告書 ～
長きにわたる電力供給の喪失は
社会を19世紀の慣習へ逆戻りさせかねない

GPS/GNSSの脆弱性

《 ドローン運航におけるGPS/GNSS依存リスク 》

平成29年9月6日の“大規模太陽フレア発生”を受けて
ドローン業界の関係者へ“宇宙天気現象のリスク”を聞いてみた
(展示会 や セミナー での ヒアリング)

- “宇宙天気”って何？
- “太陽フレア” “コロナ質量放出(CME)”って何？
- “GPS/GNSS衛星は何機もある”から大丈夫！
- “みちびき(準天頂衛星: QZSS)”があるから大丈夫！
- etc.

ちなみに

- ドローン保険関連では、“自然災害”扱いで、補償対象外

【 問題点?? 】

【正しい知識が普及していない】 & 【適切な対応策が示されていない】

GPS/GNSSの脆弱性

《 ドローン運航におけるGPS/GNSS依存リスク 》

《 測位衛星（GPS / GNSS） 》

スマホ、カーナビ、時計、etc.

“何時でも”・“何処でも”・“誰でも”使える“便利なシステム”

として、

社会生活に深く浸透

《 脆弱性は理解されているか？ 》

- ・ “非常に微弱な電波を利用”する、“潜在的な脆弱性のある”システム
- ・ 宇宙天気現象起因等、
“衛星からのダウンリンクの電波”が、“電離層伝搬の影響を受ける”システム

GPS/GNSSの脆弱性

《 ドローン運航における依存リスク 》

平成29年9月6日の“大規模太陽フレア発生”
“無線”と“測位衛星”に依存するドローン業界の動きは？

《 安全運航の為の情報共有 》

【 フレア発生時 】

“測位精度低下”等の警報等

リスクアセスメントの為のアナウンス等、情報共有は行われたか？

【 フレアの影響の収束後 】

“測位精度低下”等に起因する事故やトラブル等

情報の収集・解析は行われたか？

社会実装されるシステムの安全運航の為のPDCAは機能したか？

【正しい知識が普及していない】 & 【適切な対応策が示されていない】

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. **ドローン運航体制**
10. まとめ

ドローン運航体制

《 レベル-4 有人地帯の目視外飛行に向けて 》

シングルローター（農薬散布用 無人ヘリコプター）時代

- ・ **官主導（農林水産省）主導でスタート**
 - **ピラミッド型の体制で運営**
 - ・ 機体開発
 - ・ オペレーター育成（機種別ライセンス）
 - ・ 機体整備
 - ・ etc.
- ・ **飛行区域は限定的（圃場：無人地帯の目視飛行）**
 - ・ 飛行速度：時速 10～20 km/h
 - ・ 飛行高：作物上 3～4 m
- ・ **チーム体制での運用（“オペレーター”と“ナビゲーター”）**
 - ・ “ナビゲーター”の役割大（“オペレーター”の目として先導）

昨今、『“モラル”や“マナー”の欠如の運航』が顕在化

ドローン運航体制

《 レベル-4 有人地帯の日視外飛行に向けて 》

マルチローター（ドローン）時代

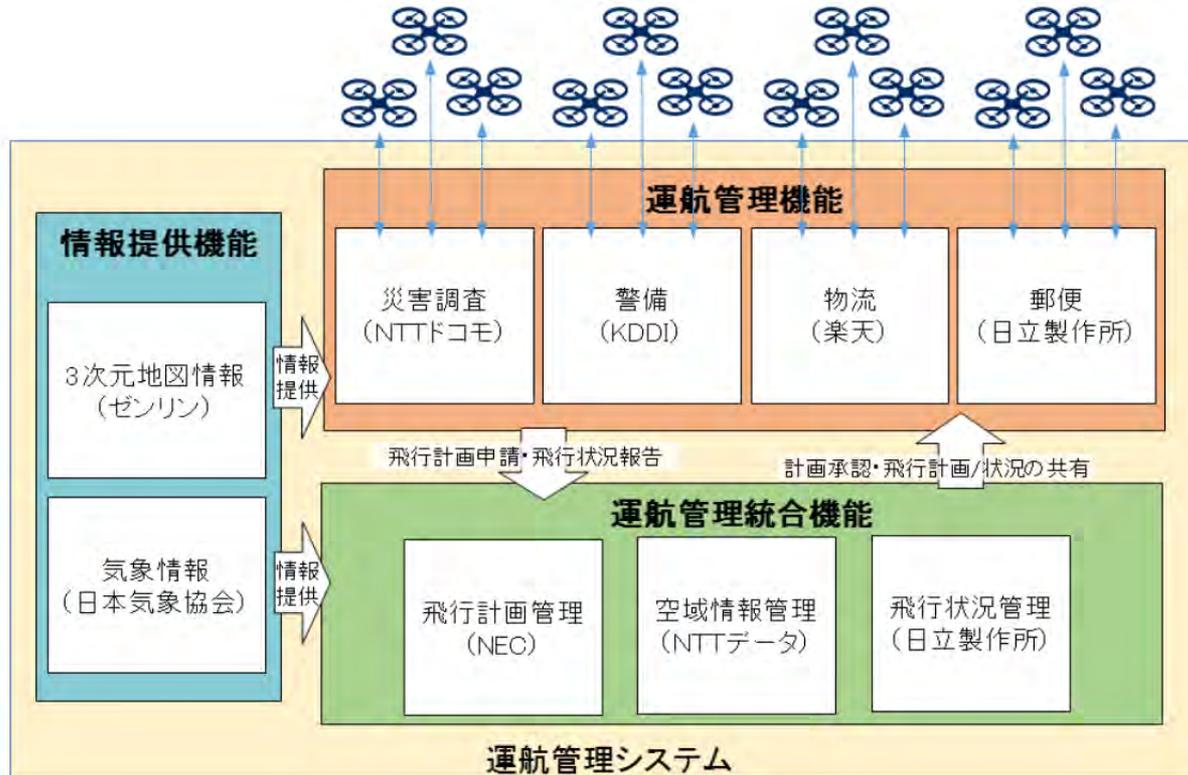
- ・ **ホビー用（トイドローン（Toy Drone））からスタート**
 - ・ 関係団体等が多数存在（日々増加中）
 - 管理団体：53 / 講習団体：889（令和2年10月1日付 国交省航空局）
 - 指導の指導の巧拙、内容、方針等に大きな開きあり
 - ・ 利用活用分野が多岐（利用目的に応じた人材育成やルール必要）
 - 物流・警備・医療・災害対応・インフラ維持管理・測量・農林水産業
 - **業界は、逆ピラミッド型の体制で運営**
 - **法整備など、ルールが後追い**
- ・ **無線やGPS/GNSSへの依存度が高いものの、無線技術の理解が低い**
- ・ **飛行区域は無人地帯・有人地帯と広域（レベル-4：有人地帯/目視外飛行が目前）**

【 レベル-4 解禁に向け、課題山積 】

ドローン利活用のソリューションに対応できる
“ 専門知識 ” や “ スキル ” を保有する人材不足が顕在化

運航管理システムの概要 (@NEDO)

《 安心・安全運航のための“情報提供システム” 》



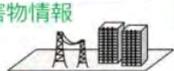
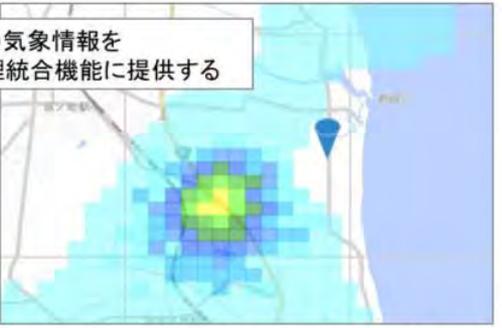
【全体設計@JAXA】

“ 3次元地図 ” ・ “ 気象 ” など 「 地理空間情報 」 の提供

運行管理システムの概要 (@NEDO)

《 安心・安全運航のための “ 情報提供システム ” 》

「 地理空間情報 」 (“ 3次元地図 ” ・ “ 気象 ”) の提供イメージ

機能	図
<p>3次元 地図情報 (ゼンリン)</p>	<div style="display: flex; align-items: flex-start;"> <div style="flex: 1;"> <p>動的情報</p>  <p>飛行規制エリア</p>  <p>障害物情報</p>  <p>地形情報</p>  </div> <div style="flex: 1; border: 1px solid black; padding: 5px; margin-left: 10px;"> <p style="text-align: center;">定義</p> <p>時間とともに変化する事象や移動する対象物に関する情報 突発的に発生する事象に関する情報</p> <p>ドローンの飛行が規制されるエリアに関する情報</p> <p>飛行障害物に関する情報</p> <p>地上の情報</p> </div> <div style="flex: 2;">  <p style="text-align: center;">南相馬市エリア 鳥瞰図</p> </div> </div> <p style="text-align: center;">3次元地図情報のデータモデル</p>
<p>気象情報 (日本気象協会)</p>	<div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="flex: 1;">  <p style="text-align: center;">南相馬市</p> </div> <div style="flex: 2; border: 1px solid black; padding: 5px; margin: 0 10px;"> <p style="text-align: center;">ドローン専用の気象情報を 運航管理機能・運航管理統合機能に提供する</p> </div> <div style="flex: 1;">  </div> </div> <p style="text-align: center;">ドローン専用の気象情報 (左: 風情報、右: 雨情報) 国土地理院の電子地形図(タイル)に気象情報を追記して掲載</p>

運行管理システムの概要 (@NEDO)

《 安心・安全運航のための“宇宙天気”情報の提供必要性 》

《 ドローンのフライトは気象状況に大きな影響を受ける 》
～ 運航管理システムに於ける情報提供システム ～

安全運航の確保の為、“気象情報”が提供される

- ・ 天候 ⇒ 特殊な機体を除き、雨天での運航は不可能
- ・ 降水確率 ⇒ 離陸後の降雨は、リスク大
- ・ 風速 ⇒ 基本的、安全運航は“風速 5 m/s 未満”
- ・ 気温 ⇒ LiPOバッテリーの容量等に影響
- ・ 雷(積乱雲) ⇒ ゲリラ雷雨・竜巻等の影響回避
落雷など、運航関係者への、人災回避

《 ドローンのフライトは“宇宙天気現象”でも影響を受ける 》
～ 運航管理システムの情報提供システムへの反映が必要? ～

ドローンの航法は、GPS/GNSSが中枢を担う
“緯度経度情報”や“高度情報”の“誤差”や“喪失”は
致命的なリスク

※ 安全運航のためのリスクアセスメント項目としての、“電磁波環境”での管理?

講演の内容

1. ドローンとは
2. ドローンの歴史
3. ドローンの市場予測
4. ドローンの飛行原理
5. ロードマップ
6. 航空法の改正
7. ドローンの構成
8. 宇宙天気現象
9. ドローン運航体制
- 10. まとめ**

社会実装における安全の確保

社会実装における宇宙天気現象のリスク

太陽フレアの影響に対して、文明社会は脆弱になってきている

高度情報化社会の現代

1859年の“キャリントン・イベント”級のフレアが直撃したら
電力ネットワーク、通信ネットワーク等大規模障害の懸念？

【 太陽フレアの発生頻度 】

エネルギーが10倍になると、発生頻度が大体10分の1になる

(この法則は、地震の発生頻度に関する統計と類似)

～ 2011年の東日本大震災 : 発生頻度が1000年に1回クラス規模の大地震 ～

観測史上最大級のフレアの10倍以上のエネルギーを放出する超巨大フレア
今後100年間で起こる可能性はゼロではない

【 10年に1回クラス : 2003年10月28日の大規模フレア〔 X17.2 / X10 〕 】

爆発面が地球に正対していた為？大規模な磁気嵐が発生

日本の科学衛星を含む人工衛星の約59%が影響を受けた

社会実装における安全の確保

社会実装における宇宙天気現象のリスク

- ☆ ドローン市場は、世界規模で加速度的に拡大
- ☆ 飛行場所や用途の可能性は無限大

【 レベル-4 に向けた社会実装 】

“イノベーションは、挑戦が不可欠” ただし “挑戦には、リスクが伴う”

【 社会実装で避けるべきポイント 】

- × “ 安心できないシステム ” の実装
- × “ 安全が担保されていない技術 ” の実装

【 社会実装で必要不可欠なポイント 】

- ◎ 技術やシステムが有する “ リスクの適切な評価 ”
- ◎ 技術やシステムが有する “ リスクの適切な制御 ”

社会実装における安全の確保

社会実装における宇宙天気現象のリスク

NICTプレスリリース（2020年10月7日）
太陽フレアなど宇宙天気による社会への影響を評価
～ 宇宙天気は日本にどのような影響を及ぼすか ～
〔 <https://www.nict.go.jp/press/2020/10/07-1.html> 〕

宇宙天気による「災害」はまれではあるものの、一度発生すると広範囲で大規模に影響を与えることが知られています。しかし、どれくらいの規模の現象がどれくらいの頻度で発生するかなど、社会への定量的な影響についての議論は十分でないのが現状です。そのため、宇宙天気予報の警報を発信しても、そのための備えをどのようにしたらよいかについての指針がなく、その結果、ユーザーの過剰な心配あるいは無関心に陥っていました。（中略）
今後のポストコロナ時代において重要となる、自動運転やドローン物流、また、多数の小型衛星による通信サービス等に対しても、適切な対策を取ることが重要と思われます。

【 宇宙天気現象のリスク 】
“考え方” や “情報” の “共有” と “反映” が必要

ご静聴ありがとうございました



<http://www.thermography.or.jp/>

《 APPENDIX 》

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

【 参考情報等リンク先 】

1. **宇宙天気現象の参考図書**
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

宇宙天気現象の参考図書

“天文学(太陽物理学/太陽観測科学プロジェクト)”視点での
地球や人類、社会のインフラへの影響解説



太陽は地球と人類にどう影響を与えているか

(光文社新書 ISBN 978-4-334-04417-6)

[著者 : 国立天文台准教授 花岡 庸一郎 先生]

<https://www.kobunsha.com/shelf/book/isbn/9784334044176>

太陽面の爆発は地球に何をもたらすのか?

フレアとは?

地球温暖化との関係は?

宇宙天気予報の可能性とは?

いま、社会的に注目される「太陽物理学」を
豊富な観測データを用いて分かりやすく解説。

宇宙天気現象の参考図書

“宇宙空間物理学”視点で、宇宙災害を解説
～ 宇宙開発の現状と将来展望を学ぶ ～



宇宙災害：太陽と共に生きるということ

(DOJIN選書 ISBN 978-4-7598-1672-3)

[著者：国立極地研究所准教授 片岡 龍峰]

<https://www.kagakudojin.co.jp/book/b252689.html>

通信障害、衛星墜落、世界停電などの事例から、宇宙災害とは何かを紹介。

さらに、全球凍結や大量絶滅をめぐる仮説を提示し、近い将来の現実的な宇宙利用の方向性までも探る。

宇宙天気現象の参考図書

磁気嵐起因のオーロラ出現記録の視点からの解説
～ 過去の大規模フレアの発生履歴 ～



日本に現れたオーロラの謎 時空を超えて読み解く「赤気」の記録

(DOJIN選書 ISBN-13 : 978-4759816877)

[著者 : 国立極地研究所准教授 片岡 龍峰]

<https://www.kagakudojin.co.jp/book/b531838.html>

太陽黒点の爆発により磁気嵐に見舞われる地球。
その様子を私たちはオーロラとして目にしているが、
磁気嵐の規模が大きくなるほど、現代文明に深刻なダメージを与えかねない。
歴史上、そんな巨大磁気嵐が実際に発生していたのだとしたら。
京都でもオーロラが観測される規模の磁気嵐があったとしたら。
1度ならず何度も……。

鎌倉時代の歌人。藤原定家が『明月記』に記した「赤気」の記録に導かれ、
江戸時代、昭和、飛鳥時代へと続く、時空を越えたオーロラ探索の旅が始まる。

宇宙天気現象の参考図書

太陽物理学の権威が、
太陽と宇宙の謎に迫る解説書



太陽 大異変 スーパーフレアが地球を襲う日

(朝日新聞出版 ISBN-978-4-02-273507-2)

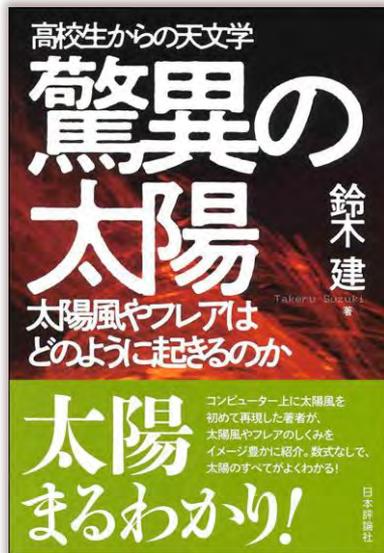
[著者 : 柴田一成]

https://publications.asahi.com/ecs/detail/?item_id=14997

「太陽の大爆発・スーパーフレアが生物種大量絶滅を起こした？」
「銀河中心爆発の謎は太陽に隠されている」など
世界的科学誌「Nature」の査読者も恐れる論文を発表した
太陽物理学の権威が、太陽と宇宙の謎に迫る科学的興奮の一冊。

宇宙天気現象の参考図書

太陽風シミュレーションの第一人者による、
“太陽風” や “フレア” の解説



高校生からの天文学 驚異の太陽
太陽風やフレアはどのように起きるのか

(日本評論社 ISBN-978-4-535-78863-3)

[著者 : 鈴木建]

<https://www.nippyo.co.jp/shop/book/8281.html>

地球に大きな影響を与えるフレアや太陽風は、どのようなしくみか。
太陽風をコンピューター上に初めて再現した第一人者が解き明かす。
数式なしで、太陽のすべてがよくわかる！

宇宙天気現象の参考図書

地球宇宙物理学者でオーロラ研究の第一人者による解説
(John A. Eddy著の原典の翻訳)



太陽活動と地球 生命・環境をつかさどる太陽 (日本語)

The Sun, The Earth, and Near-Earth Space:
A Guide to the Sun-Earth System

(丸善出版 ISBN-978-4-621-08556-1)

[翻訳 : 上出 洋介 翻訳 : 宮原 ひろ子]

<https://www.maruzen-publishing.co.jp/item/b294078.html>

本書では、優しくもあり厳しくもある太陽の活動が、
どのようにして地球上の生命や環境に影響を与えているかについて、
カラーの図表を豊富に使ってやさしく解説する。

近年問題となっている、
太陽活動の長期変動が地球気候へおよぼす影響についても述べており、
環境問題や社会のあり方を考えるうえでも欠かせない一冊。

宇宙天気現象の参考図書

宇宙物理学者（太陽研究者）視点で、
太陽磁場から太陽フレアを解説



太陽の科学 磁場から宇宙の謎に迫る

（ NHK出版 ISBN-978-4-14-091149-5 ）

〔 著者 : 柴田 一成 〕

<https://www.nhk-book.co.jp/detail/000000911492010.html>

黒点減少が寒冷化を引き起こす！？

人工衛星の最新観測によると、太陽表面では超高温のプラズマが噴出する「爆発現象」(＝フレア)が繰り返されていることがわかった。

磁場を手がかりに、

フレアの起こるメカニズムやそれが地球へもたらす被害、黒点と地球環境との深い関係を解き明かす。

さらに、太陽研究から見えてきた天体進化の核心にまで迫る、知的興奮に満ちた1冊！

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
- 2. 宇宙天気現象のリスク解説資料**
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

宇宙天気現象のリスク解説資料

高度情報化社会におけるGPS/GNSS依存リスク

～ 巨大フレアの発生 ～

測位衛星システム（GPS/GNSS）による

“位置情報”や“時刻情報”が喪失する状況が発生したら

その時何が起きるか？

米国空軍の宇宙司令部の専門家、NASAの科学者、ワシントン大学の教授が協力した
研究に基づいた解説アニメーション

【 CLIP - A Day Without Space 】

<https://www.youtube.com/watch?v=ILRdNEQqxAg>

【 If there were a day without satellites... 】

<https://www.youtube.com/watch?v=5sgM7YC8Zv4>

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. **宇宙天気の基本解説〔NICT〕**
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

宇宙天気に関する基本情報

情報通信研究機構 宇宙天気予報センター

<http://swc.nict.go.jp>

宇宙天気とは

<http://swc.nict.go.jp/knowledge/relation.html>

社会システムとの関わり

<http://swc.nict.go.jp/knowledge/guide.html>

宇宙天気現象による影響に関する解説

国立研究開発法人情報通信研究機構 (2020/10/7)

太陽フレアなど宇宙天気による社会への影響を評価

～宇宙天気は日本にどのような影響を及ぼすか～

<https://www.nict.go.jp/press/2020/10/07-1.html>

報告書

「科学提言のための宇宙天気現象の社会への影響評価」

<https://www2.nict.go.jp/spe/benchmark/>

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. **GPS測位ユーザ向け資料**
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

GPS標準測位サービス性能標準

GPSの標準測位サービスを利用して得られる性能

米軍規定が存在 → 位置精度に関する規定などあり

GPS SPS Performance Standard

(GPS標準測位サービス性能標準)

<https://www.gps.gov/technical/ps/>

その他、米国沿岸警備隊のホームページなど要参照

GPSユーザー向け参考資料

GPS航法関連 解説資料 (書籍等)

《 航法の基本的な考え方 (リスク関連の解説あり) 》

究極の天測技法 [海文堂出版株式会社]

<http://www.kaibundo.jp/2014/05/20670/>

《 航法でGPSを利用するための基本的な解説 》

よくわかるNEO航空管制 [秀和システム]

<https://www.shuwasystem.co.jp/products/7980html/5564.html>

GPSシステム関連 解説資料 (書籍等)

《 GPSの原理や技術的背景を基礎から平易に解説 》

GPS技術入門 [東京電機大学出版局]

<https://www.tdupress.jp/book/b349327.html>

《 GPSに関する、より詳しい解説 》

～ 実際に測定を行う計算プログラムも提示 ～

GPSのための実用プログラミング [東京電機大学出版局]

<https://www.tdupress.jp/book/b349356.html>

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. **宇宙天気現象によるGPSへの影響**
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

宇宙天気現象によるGPSへの影響

宇宙天気現象によるGPSへの影響に関する解説

太陽フレアによるGPS測位への影響 - 東京海洋大学

<http://www.denshi.e.kaiyodai.ac.jp/jp/assets/files/pdf/content1/tsuka.pdf>

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. **太陽風の脅威に関する解説**
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

太陽風の脅威に関する解説

《 メディア（TV / 新聞）による、太陽風の脅威に関する解説等 》

2017/7/2 朝日新聞デジタル 科学の扉

「想定外」を考える スーパーフレアの襲来 電子機器を破壊、世界的大停電も：

<https://www.asahi.com/articles/DA3S13014970.html>

2017/9/8 朝日新聞デジタル

スーパーフレアは起きるのか 「太陽は例外」失った根拠

<https://www.asahi.com/articles/ASK98558JK98ULBJ00H.html>

2017/9/15 NHK 【 暮らし☆解説 】

「巨大太陽フレア 地球への影響は？」

<https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/700/279882.html>

2017/10/24 【 NHK 視点・論点 】

「太陽の脅威とスーパーフレア」

<https://www.nhk.or.jp/kaisetsu-blog/400/282558.html>

2019/11/16 【 NHK サイカル ジャーナル 】

最古のオーロラの記録を確認 紀元前660年前後のイラク周辺

https://www.nhk.or.jp/d-navi/sci_cul/2019/11/news/news_191116/

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. **2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差**
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差

《 測位誤差関連情報 》 [2017年9月6日発生 X9.3 太陽フレア]

国立研究開発法人情報通信研究機構 (2017/9/7)

通常の1000倍の大型太陽フレアを観測

<http://www.nict.go.jp/press/2017/09/07-1.html>

国土地理院 (2017/9/11)

9月6日に発生した太陽フレアのGPS測位への影響(速報)

<https://www.gsi.go.jp/denshi/denshi40001.html>

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 (2017/9/13)

みちびき(準天頂衛星システム)ウェブサイト 国土地理院、巨大太陽フレアの影響を速報

https://qzss.go.jp/news/archive/gsi_170913.html

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 (2017/10/16)

太陽フレアの測位衛星への影響等 - 内閣府

<https://www8.cao.go.jp/space/committee/27-ampo/ampo-dai23/siryou1-2.pdf>

内閣府 宇宙開発戦略推進事務局 (2018/10/11)

みちびき(準天頂衛星システム)ウェブサイト

[実証] 衛星測位における太陽フレアの影響とサブメータ級補強サービス(SLAS)の効果

https://qzss.go.jp/technical/technology/solar-flare_181011.html

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. **2017年9月6日 太陽フレア関連データ**
9. CMEイメージ映像
10. 各府省等の衛星測位関連情報

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

2017年9月6日の太陽フレア関連データ(@宇宙天気ニュース) [1/4]

宇宙天気ニュース

http://swnews.jp/2017/swnews_1709071006.html

X2.2、X9.3の大規模フレアの様子。

SDO衛星AIA131、AIA193

(c) SDO (NASA)、(動画加工：宇宙天気ニュース)

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_exfig_1.gif

(c) SDO (NASA) <https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

X9.3のフレアに伴って発生したCME。

SOHO衛星LASCO C2、C3

(c) SDO (ESA & NASA)、(動画加工：宇宙天気ニュース)

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_exfig_2.gif

(c) SDO (ESA & NASA) <https://sohowww.nascom.nasa.gov/data/realtime-images.html>)

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

2017年9月6日の太陽フレア関連データ(@宇宙天気ニュース) [2/4]

[2673黒点群の拡大写真。SDO衛星。](#)

(c) SDO (NASA)、作図:宇宙天気ニュース

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_exfig_3.jpg

(c) SDO (NASA)

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

[世界時9月6日のAE指数\(速報値\)。](#)

(c) 京都大学WDC

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_exfig_4.png

(c) 京都大学WDC

<http://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/aedir/index-j.html>

[SDO衛星のAIA193カメラによる太陽コロナの様子](#)

(c) SDO (NASA)

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_sdo_aia193.jpg

(c) SDO (NASA)

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

2017年9月6日の太陽フレア関連データ(@宇宙天気ニュース) [3/4]

SDO衛星による太陽の可視光写真。

マウスの矢印を写真に重ねると、黒点番号付きの写真に切り替わります。

(c) SDO (NASA)

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_sdo_hmii2.jpg

(c) SDO (NASA)

<https://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>

GOES衛星の太陽X線データ

(c) NOAA/SWPC

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_xray.gif

(c) NOAA/SWPC

<https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-x-ray-flux>

GOES衛星の太陽放射線データ

(c) NOAA/SWPC

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_proton.gif

(c) NOAA/SWPC

<https://www.swpc.noaa.gov/products/goes-proton-flux>

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

2017年9月6日の太陽フレア関連データ(@宇宙天気ニュース) [4/4]

DSCOVRが観測した太陽風の磁場および、太陽風の密度、速度

太陽風の磁場(1番上の枠、黒線は全体の強度、赤線は南北成分)

および、太陽風の密度(3番目の紫線)、速度(4番目の青線)

(c) データ:NOAA/SWPC、作図:宇宙天気ニュース

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_dscovr_noaa.png

(c) データ:NOAA/SWPC <https://www.swpc.noaa.gov/products/real-time-solar-wind>

27日の太陽周期に合わせたデータプロット

太陽が同じ面を地球に向けていた27日前の変化から、今後を予想することができます。

(c) 作図:宇宙天気ニュース

http://swnews.jp/2017/fig/1709071006_27d_all_2.png

(c) 作図:宇宙天気ニュース http://swnews.jp/rt/27d_all_15.html

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

2017年9月6日の太陽フレア関連データ (@YouTube)

《 SOHO LASCO C3 による CME (タイムラプス動画) 》

27年ぶりに発生した X9.3 の太陽フレア

<https://www.youtube.com/watch?v=kPEd-Haco4c>

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

NASA-iSAWA CME シミュレーション (@2017/9/6) [1/2] (惑星の軌道面に対する、CMEの広がり方のシミュレーション)

Space Weather Database Of Notifications, Knowledge, Information (DONKI)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/WSA-ENLIL/13031/1>

2017-09-06T10:00:00-CME-001 with CME Analysis:

Lon.=83.0, Lat.=-8.0, Speed=260.0, HalfAngle=24.0, Time21.5=2017-09-06T11:43Z

[2017-09-06T10:00:00-CME-001](https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CME/13026/1)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CME/13026/1>

[CME Analysis:](#)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CMEAnalysis/13027/1>

2017-09-06T12:24:00-CME-001 with CME Analysis:

Lon.=23.0, Lat.=-15.0, Speed=1238.0, HalfAngle=44.0, Time21.5=2017-09-06T14:57Z

[2017-09-06T12:24:00-CME-001](https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CME/13013/2)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CME/13013/2>

[CME Analysis](#)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CMEAnalysis/13032/1>

2017-09-06T13:09:00-CME-001 with CME Analysis:

Lon.=99.0, Lat.=-4.0, Speed=1178.0, HalfAngle=30.0, Time21.5=2017-09-06T16:28Z

[2017-09-06T13:09:00-CME-001](https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CME/13028/1)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CME/13028/1>

[CME Analysis](#)

<https://kauai.ccmc.gsfc.nasa.gov/DONKI/view/CMEAnalysis/13029/1>

2017年9月6日 太陽フレア関連データ

NASA-iSAWA CME シミュレーション (@2017/9/6) [2/2] (惑星の軌道面に対する、CMEの広がり方のシミュレーション)

Other Location(s) Impact:

STEREO B with estimated shock arrival time 2017-09-08T22:41Z

[Inner Planets Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-vel.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-vel.gif)

[Inner Planets Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-den.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-den.gif)

[Inner Planets Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-den-Stereo_A.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-den-Stereo_A.gif)

[Inner Planets Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-vel-Stereo_B.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-vel-Stereo_B.gif)

[Inner Planets Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-vel-Stereo_A.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-vel-Stereo_A.gif)

[Inner Planets Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-den-Stereo_B.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_anim.tim-den-Stereo_B.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Kp_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Kp_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_STB_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_STB_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_STA_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_STA_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Merc_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Merc_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Mars_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Mars_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Spitz_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Spitz_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Venus_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Venus_timeline.gif)

[Timelines Link = http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Osiris_timeline.gif](http://iswa.gsfc.nasa.gov/downloads/20170906_145700_2.0_ENLIL_CONE_Osiris_timeline.gif)

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. **CMEイメージ映像**
10. 各府省等の衛星測位関連情報

CMEイメージ映像

各種CME映像

NASA | Many Views of a Massive CME

<https://www.youtube.com/watch?v=sg3NAdOYp8Q>

【 参考情報等リンク先 】

1. 宇宙天気現象の参考図書
2. 宇宙天気現象のリスク解説資料
3. 宇宙天気の基本解説〔NICT〕
4. GPS測位ユーザ向け資料
5. 宇宙天気現象によるGPSへの影響
6. 太陽風の脅威に関する解説
7. 2017年9月6日 太陽フレア起因の測位誤差
8. 2017年9月6日 太陽フレア関連データ
9. CMEイメージ映像
- 10. 各府省等の衛星測位関連情報**

各府省等の衛星測位関連情報

衛星測位関連リンク先

内閣官房 各種本部・会議等の活動情報

各府省等の衛星測位関連ページ

<https://www.cas.go.jp/jp/seisaku/sokuitiri/wg/link.html>

EOF



<http://www.thermography.or.jp/>