

令和5年度ドローン社会実装促進実証事業 採択事業 第3回有識者会議

災害初動対応等でのモバイル通信回線を介した
ドローン線路直上巡回飛行
の実用性検証
(最終報告)

レベル3~4相当

株式会社 神鉄コミュニティサービス

【協力】神戸電鉄(株)、(株)旭テクノロジー、KDDIスマートドローン(株)

目的

台風・地震などの自然災害時、鉄道各社では多くの点検員により徒歩で線路の安全を確認

徒歩点検は大がかりな体制が必要
高齢化等により担い手が不足



ドローンによる目視代替

モバイル回線を利用して遠隔で線路直上
(線路から3m程度の高さ)を自動飛行させ、
ドローンからの映像で線路の安全確認

災害時をはじめ、今後の担い手不足を解消し、
安全で効率的な線路点検・巡回を実現

線路被災状況



ドローン線路直上巡回飛行 運用イメージ

KDDI スマートドローン提供
4G LTE パッケージ
※遠隔自律飛行に必要な
基本ツール

運航管理システム



飛行ルート設定

遠隔飛行指示

遠隔監視

保守拠点から、ドローンをモバイル通信回線を利用して遠隔操作し、ドローンからのリアルタイム映像で線路状況を確認。

目視外自動飛行
※線路建築限界内

リアルタイム
映像配信



目視外自動飛行



4G LTE

目視外
自動飛行



リアルタイム
映像配信



クラウド

保守拠点2



保守拠点1



使用機体

DJI MATRICE 300 RTK
スマートドローンアタッチメント付

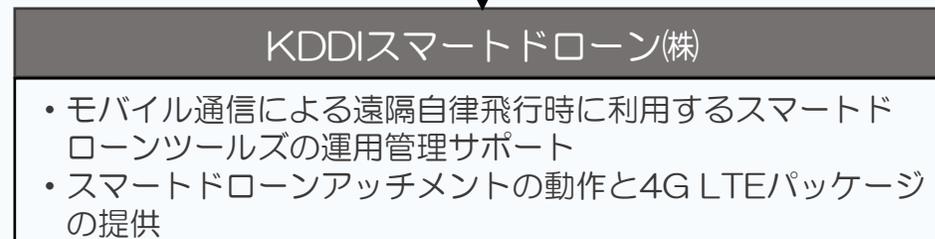
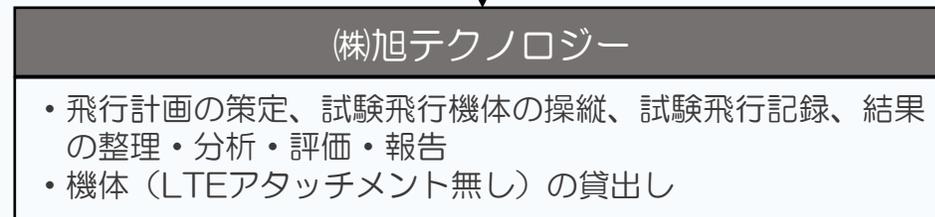
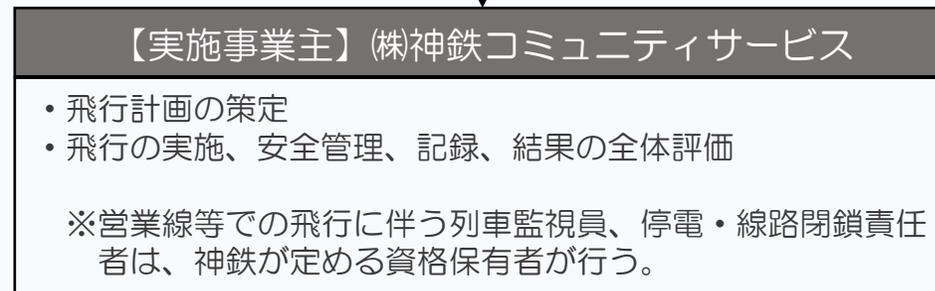
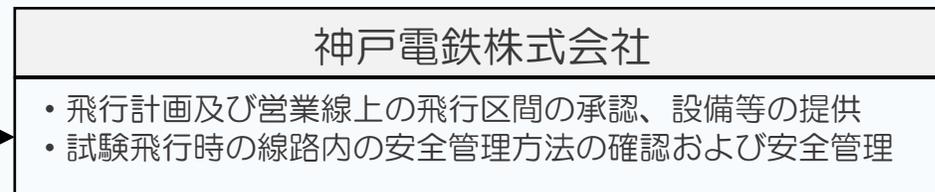
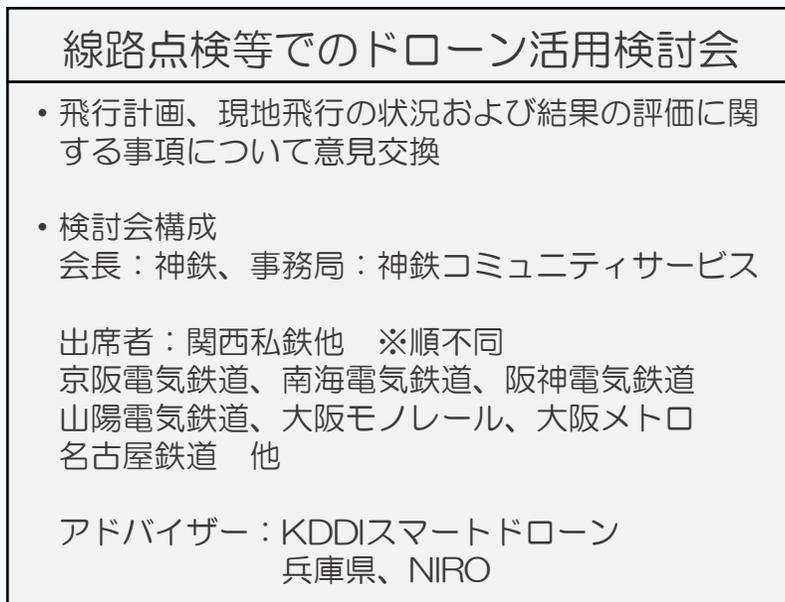
※仕様は資料1参照

※機体：旭テクノロジー提供（飛行管理含む）

※スマートドローンアタッチメント：KDDIスマートドローン提供

実施体制

飛行計画に関する意見交換



技術課題

神鉄営業線直上(線路から約3m)で、ドローンを遠隔自動飛行させ、その飛行安定性等への影響する検証・確認事項

主な技術課題

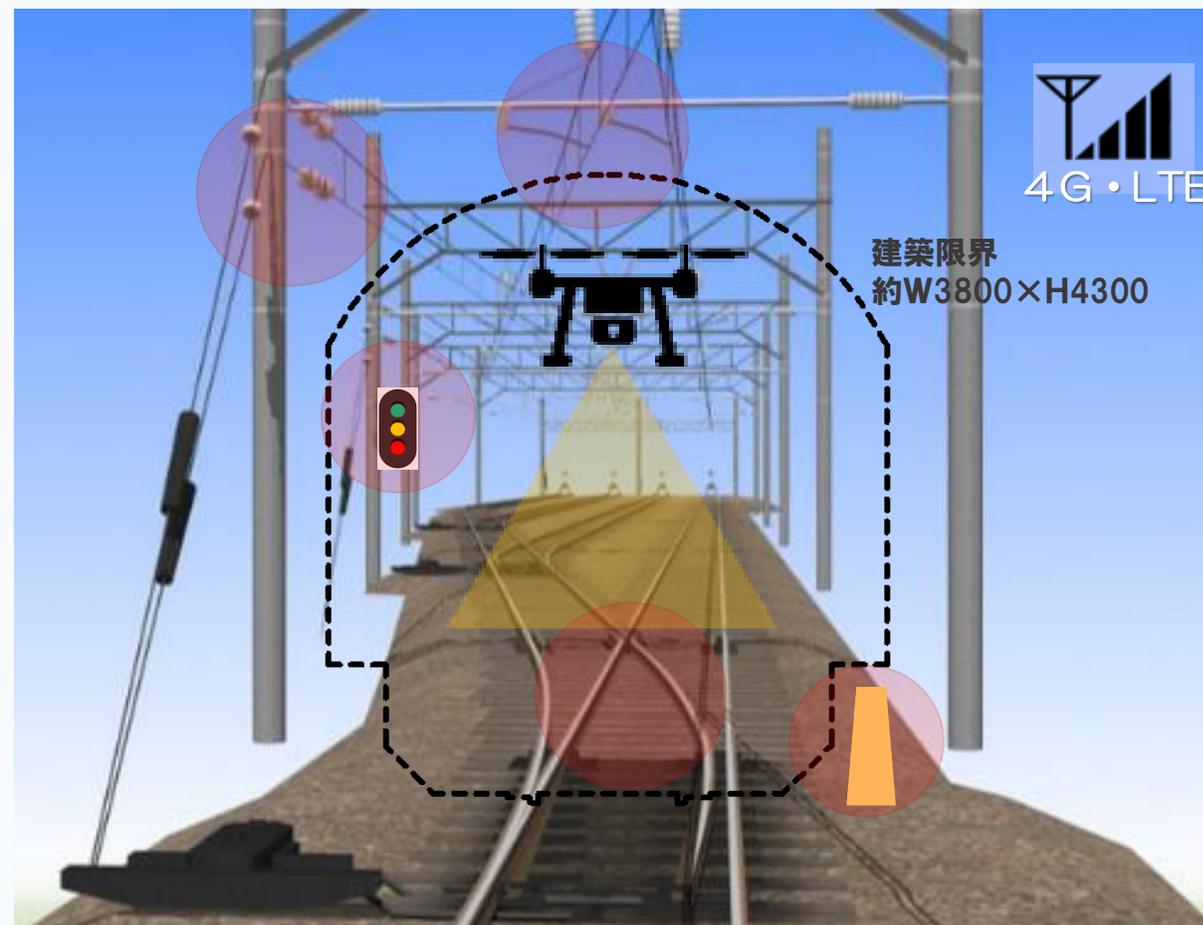
・機体の基本性能:障害物回避機能(電車線など)

▶ 高圧架線やレール近傍の磁場による機体コンパスへの影響

▶ モバイル回線の電波状況の影響

▶ リアルタイム映像配信の安定性

手動で取得した飛行航跡データによる自動飛行での再現性の検証



実施内容 / 飛行順序

試験飛行は、飛行場所別に**3段階に分けて**飛行安定性等の検証を行った。

ステップ/飛行場所

※資料2参照

※DID外内の線区は、神鉄緊急事態対策規程で定める指定点検箇所（降雨時）を踏まえて設定



▶機体の基本的な飛行性能等の確認・検証（実施日：9/11～26 6日間）※実施方法詳細は資料3参照
・線路上（見津車庫内）での磁束の影響、障害物回避機能 など

▶各飛行区間で**専用送信機**での飛行安定性等の検証（実施日：10/11～30 7日間）※磁束密度測定を含む
・手動飛行で取得した飛行航跡（WP：ウェイポイント）に基づく自動飛行の実施とその再現性の検証

▶各飛行区間で**モバイル回線**での飛行安定性等の検証（実施日：11/14～12/6、2/5～6 7日間）
・手動飛行で取得した飛行航跡（WP：ウェイポイント）に基づく自動飛行の実施とその再現性の検証

試験飛行状況 / 各線区での4GLTEによる遠隔自動飛行の状況

見津車庫内



solo flight



tandem flight

⊗ ドローン離発着位置

試験飛行状況 / 各線区での4GLTE遠隔自動飛行の状況

▶ DID外
市場～檜山間 (L=700m) 昼間 (ダイヤ間合い)



▶ DID内
有馬口～有馬温泉 (L=1700m) 夜間



※き電線、配電線は通電状態
※専用サーチライトの仕様は資料4参照

▶ DID外
市場～檜山間 (L=700m) 昼間 (ダイヤ間合い)
※12/6および2/15試験飛行見学会の状況



主な成果(要約)

▶ 線路上の磁束による飛行安定性

磁束密度測定の結果、営業線の線路建築限界内RL+1.5~3.5mでの磁束（レールに流れる帰線電流等による磁束など）は小さいため、機体コンパスに異状が生じることはなく、昼間ダイヤ間合いでも良好な飛行状況であった。 ※資料5（線路上の磁束密度/測定値）



▶ GNSS信号の受信状態

橋梁下等では、衛星補足数が不十分となり、GPS機能が使用できなくなるため飛行が出来なくなるが、GPS機能が使用できる環境下では、ネットワークRTKを利用することにより、高度の正確性が向上し、安定した高い精度の飛行が確認された。

（手動取得した航跡データとそのデータを使用した自動飛行での航跡を比較した結果、ネットワークRTK利用下では、両者の差異は小さく、高い精度で飛行が再現された。）



主な成果(要約)

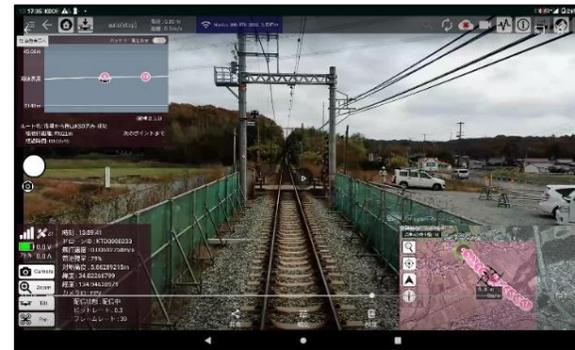
▶ モバイル通信での遠隔自動飛行の安定性等

実証では低速（1.5~2m/s）で飛行したが、この速度域において、機体情報と映像がほぼ遅延なくリアルタイムに操作拠点に伝送され、飛行中の機体の安全性、および、安定した映像によって線路状況を確認することができた。

現地飛行状況



操作拠点



運航管理システム
モニタリング画面



飛行ルート設定画面

実用化に向けた今後の検討課題

▶ 飛行高度の精度向上について

ネットワークRTKが接続不良の場合、線路からの高さを保持できない現象が確認された。ネットワークRTKの接続が確保されている場合は安定した飛行状況であったことから、飛行高度の精度は、ネットワークRTKによる位置情報の補正精度に依存していたと考えられる。

実証は低速（1.5~2m/s）で飛行したが、急勾配線区での飛行やより速度の高い飛行での安全性を確保するため、ネットワークRTKの接続に加えて、深度センサー等を搭載して対地距離を照査して飛行する機能が必要と思われる。

▶ 非GNSS環境下での飛行について

狭小な桁幅の橋梁下でもGPS通信不良によって遠隔自動飛行が不可となることが確認されたことから、同様の線区での運用では、自律飛行が可能な技術を導入するか、橋梁下飛行のない区間での限定運用など、線路周辺施設に応じた運用面での対応が必要である。

今後の運用化に向けて

▶ 「超低空」でのドローン飛行について

今回の実証飛行で、市販の汎用機体を使用して「鉄道営業線直上でのモバイル回線による遠隔自動飛行が可能である」ことを確認できたことは、運用化に向けて非常に大きな成果であった。

その一方で、今回の実証飛行を通して、線路直上飛行での新たな課題として、ドローンの「超低空飛行」に関する課題が明らかとなった。

この課題は機体設計に関わっていることも想定され、課題解決には機体メーカー側のご協力が必要と考えるが、この新たな課題を検証するには、今回の実証飛行では十分とは言えず、運用化に向けてさらに実証を積み重ねていきたい。

DJI MATRICE 300 RTK (スマートドローンアタッチメント付)

サイズ	810×670×430mm (展開状態)
重量	約6.5kg (カメラ部含まず) ※本体：約3.6kg バッテリー：約1.35kg×2本 スマートドローンアタッチメント：約0.24kg
通信	LTE (スマートドローンアタッチメントを使用)
飛行時間	最大55分
風圧抵抗	最大15m/s
飛行速度	最大23m/s
動作温度	-20℃~50℃
防水防塵	IP45

スマートドローンアタッチメント



対応機体	DJI MATRICE 300 RTK ^{※1}
サイズ	84mm×57mm×30mm ^{※2}
重量	約162g
通信方式	LTE通信 ^{※3}
機体制御ソフトウェア	運航管理システム
機体接続インターフェース	DJI OSDK-Port/E-Port接続
電源供給	機体本体 (DJI OSDK-Port/E-Port)
動作温度	-20℃~55℃
防水防塵	IP55 ^{※4}

スマートドローンアタッチメント



※写真提供：KDDIスマートドローン(株)

<搭載カメラ> DJI ZENMUSE H20T



サイズ	167×135×161mm
重量	約0.83kg
可視カメラ	ズーム・広角
赤外線カメラ等	サーマル広角・ズーム、 レーザー距離計
動作温度	-20℃~50℃
防水防塵	IP45

神戸電鉄 路線図



○試験飛行体制

- ・神鉄コミュニティサービス: 飛行作業統括1人、作業責任者1人、作業スタッフ3人
列車監視員1~2人、記録映像撮影1人
- ・旭テクノロジー: ドローン操縦者1人、同補助者1人
- ・KDDIスマートドローン: スマートドローンアタッチメントの動作
& 4G LTEパッケージの運用サポート ※必要に応じ
- ・神鉄: 線路閉鎖責任者、停電責任者 ※必要に応じ

○飛行時間

- ・昼間 10:00~16:00
- ・夜間 線路閉鎖後24:00頃~翌4:00

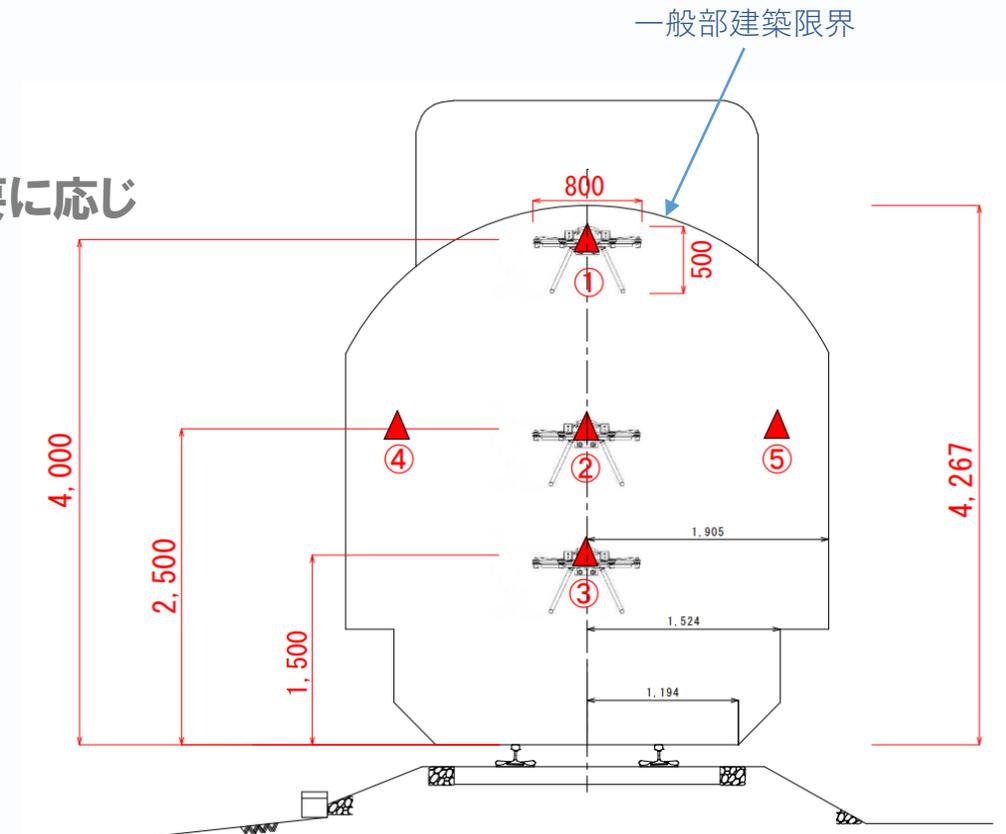
○飛行高度等

- ・見津車庫内: RL+1.5、2.5、4m(線路建築限界内)
- ・営業線: 電車運転士の目線を考慮しRL+3mを標準とした。

○飛行速度: 1.5~2m/秒(最大3m/秒以下)とした。

○磁束密度の測定

見津車庫及び営業線上の試験飛行区間について、磁界測定器にて線路上の磁束密度(測点①~⑤)を計測した。(昼間時間帯)



Wingsland Z15 Tactical Spotlight for M210 & M300

ウィングスランドZ15タクティカルスポットライトハイライト



-主な仕様-

サイズ: 100 x 110 x 150 ミリメートル

重量: 500g、定格消費電力: 48W

LED 型番: CLEE XHP50.2/鋼基盤

システム電圧: 6V、消費電力: 40W

光束: 10200lm

サーチライト距離: 150m

サーチライト面積: 1,863 m²@120m飛行高さ

照度実測: 4LUX@120m飛行高さ、

47LUX@30m飛行高さ

◇線路上の磁束密度 ※各軌間内の高さRL+1.5m付近での計測値、単位 μt

- 車庫内（き電線・高圧配電線通電） 0.05~0.15
- 営業線（き電線・高圧配電線通電）
 - 粟生線（栄~押部谷） 0.3~0.7、（押部谷~葉多） 0.3~0.9
 - 有馬線（長田~鶉越） 0.4~1.0、（有馬口~有馬温泉） 0.6~1.1
 - ATS地上子（直上） 2.5~2.7

飛行速度が低い（1～2m/s）場合は、ドローン進行方向の前方障害物に対して、概ね設定した距離で検知していることが確認された。

ただし、ドローン進行方向に沿う、また、下方にある小径の電線、進行を阻害しない（機体幅程度）側方障害物に対する検知反応は鈍い傾向にあった。

