



みちびきを活用した 中小規模農家向け 農業用ローバーの取組

ドローン・ジャパン株式会社

自己紹介

春原久徳（すのはらひさのり）

（一社）セキュアドローン協議会 会長

（一社）ドローン自動飛行開発協会 代表理事

NEDO技術委員

ドローン・ジャパン株式会社 CEO

- ドローンの業務活用に関するコンサルティング
- ドローン技術者育成のための教育サービス
- ドローンによる農業サービス



**オープンソース「ArduPilot」と「準天頂衛星システム（みちびき）」による
高精度測位技術を活用した複数台自律陸上走行する農業用搬送機技術実証**

検証日：令和 2 年 8 月 6 日（木）

**みちびきを利用した実証実験
（内閣府・準天頂衛星システムサービス株式会社）**



ドローン・ジャパン株式会社

背景と目的

■ 背景

就農人口の減少、高齢化が進む農業において、収穫物や農業器具などの重量物の搬送に、普及したドローン技術を応用し、低価格の無人搬送ローバーの開発と、無人ローバーのスケラブルな導入のための複数台運用が実現すれば中小規模農家のスマート化の大きな一助になると想定される。

■ 目的

既存のフライトコントローラー（オープンソース）を陸上用に転用することにより、コントロールソフトウェアの低コスト化、複数台自動運航の簡素化を実現するための実証実験を提案する。

農場（露地作物）における、複数圃場より収穫物の倉庫などへの運搬を複数台の自律ローバーによる自動搬送時の課題の抽出と整理を行うことを目的とする。

プロジェクトの概略

実証実験の内容

農地や荒地を自律走行可能なローバーを3台開発（CLAS対応、SLAS対応）し、事前に走路（農地～倉庫）を設定し、それに伴う自動搬送（作物や農業資材など）するストーリーを設定し模擬農場において実施

みちびき採用の意義

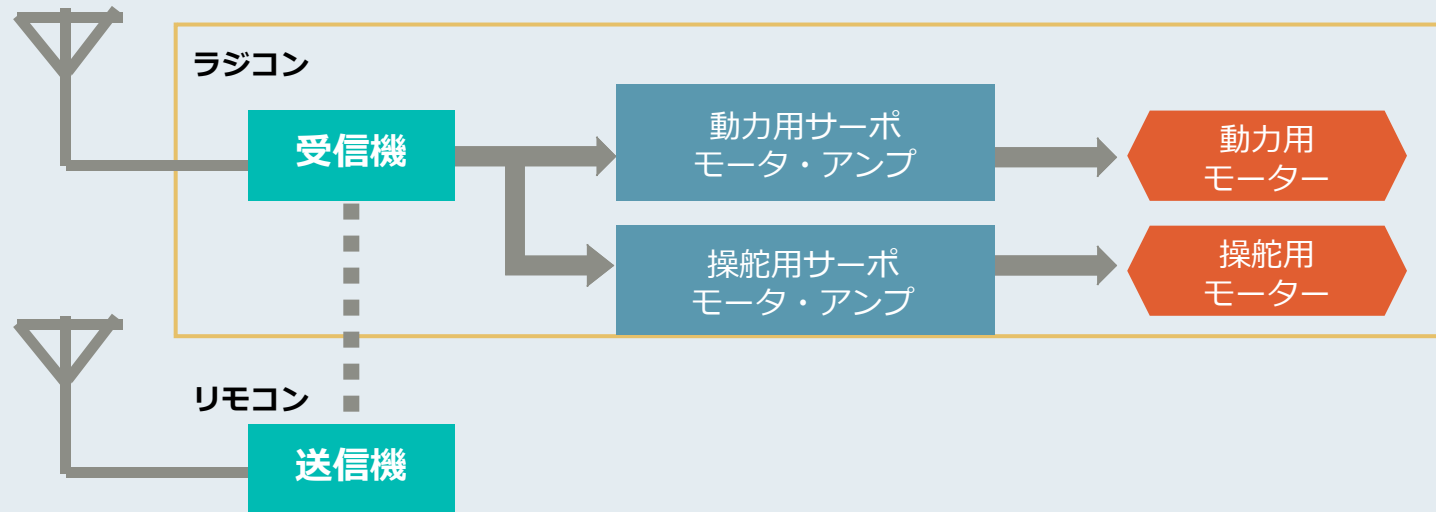
空中でのドローンはGNSS搭載するものが多いが、それは通常飛行時に障害物も少なく、数mの誤差を許容することが多いからである。

それに引き換え、陸上での自律走行車に関しては、数mの誤差が生じると、走路を離脱したり、障害物への衝突を生じる可能性が多く、1m以内の誤差が必要となるシーンが多い。

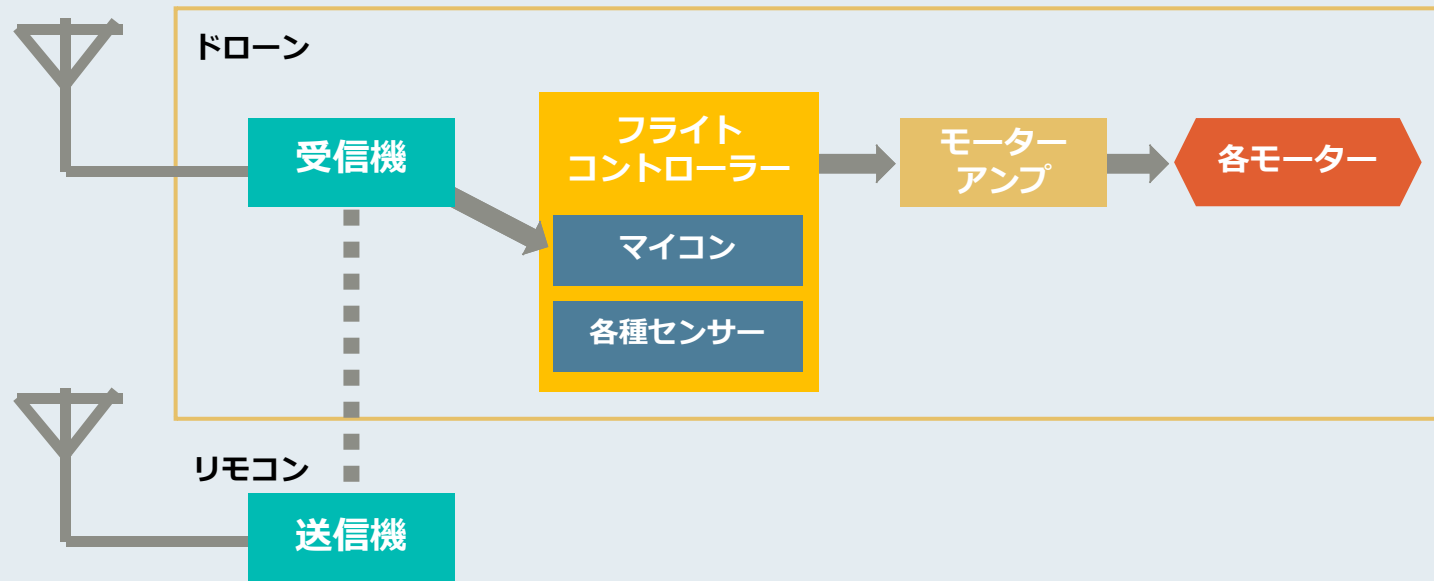
みちびき搭載により、走行精度を高めることで運用の安全性を高めることが可能となる。

ラジコンとドローンの違い

ラジコン



ドローン



機体制御（フライトコントローラー）

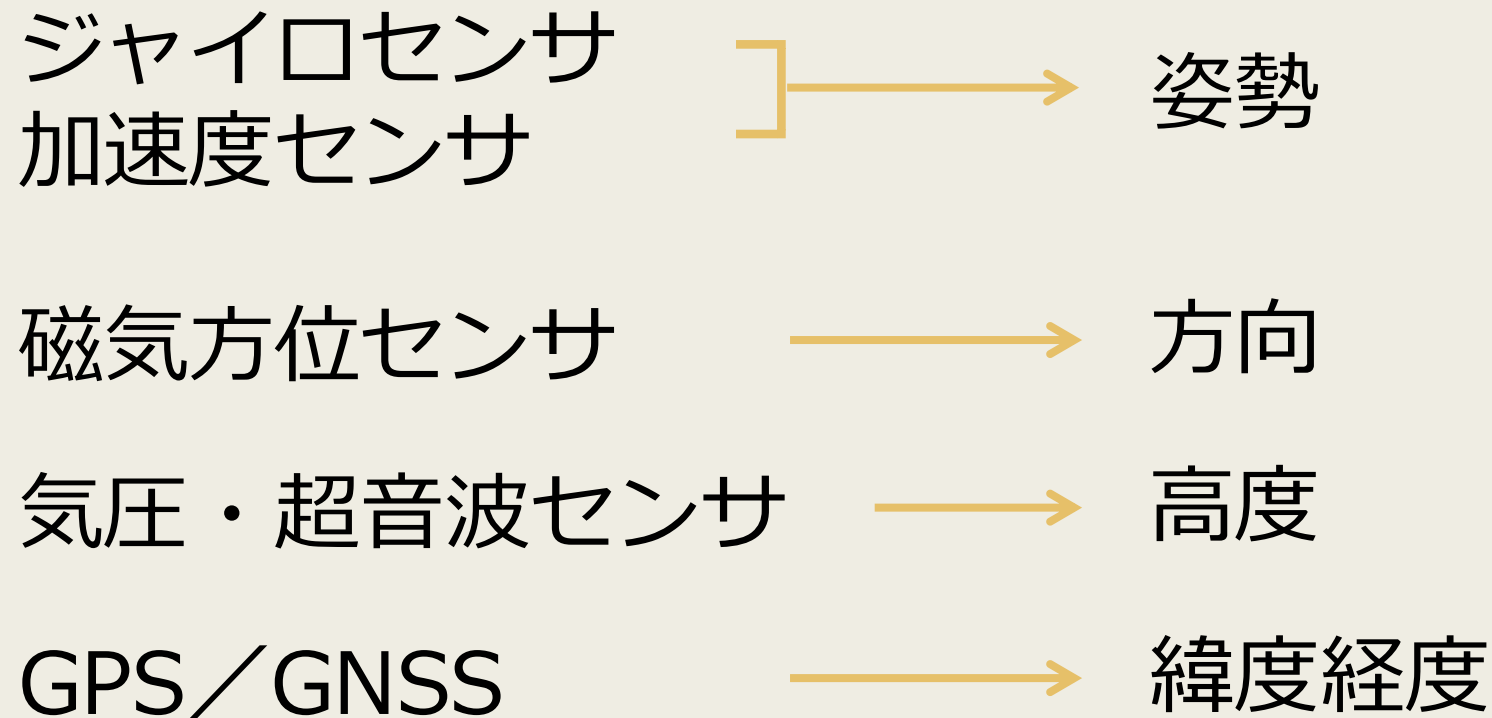
ドローンはフライトコントローラーの値段が下がったことで浸透した技術システム

フライトコントローラーとは？

各種センサを内蔵、機体姿勢を計算、モータ回転を制御



機体の状態管理



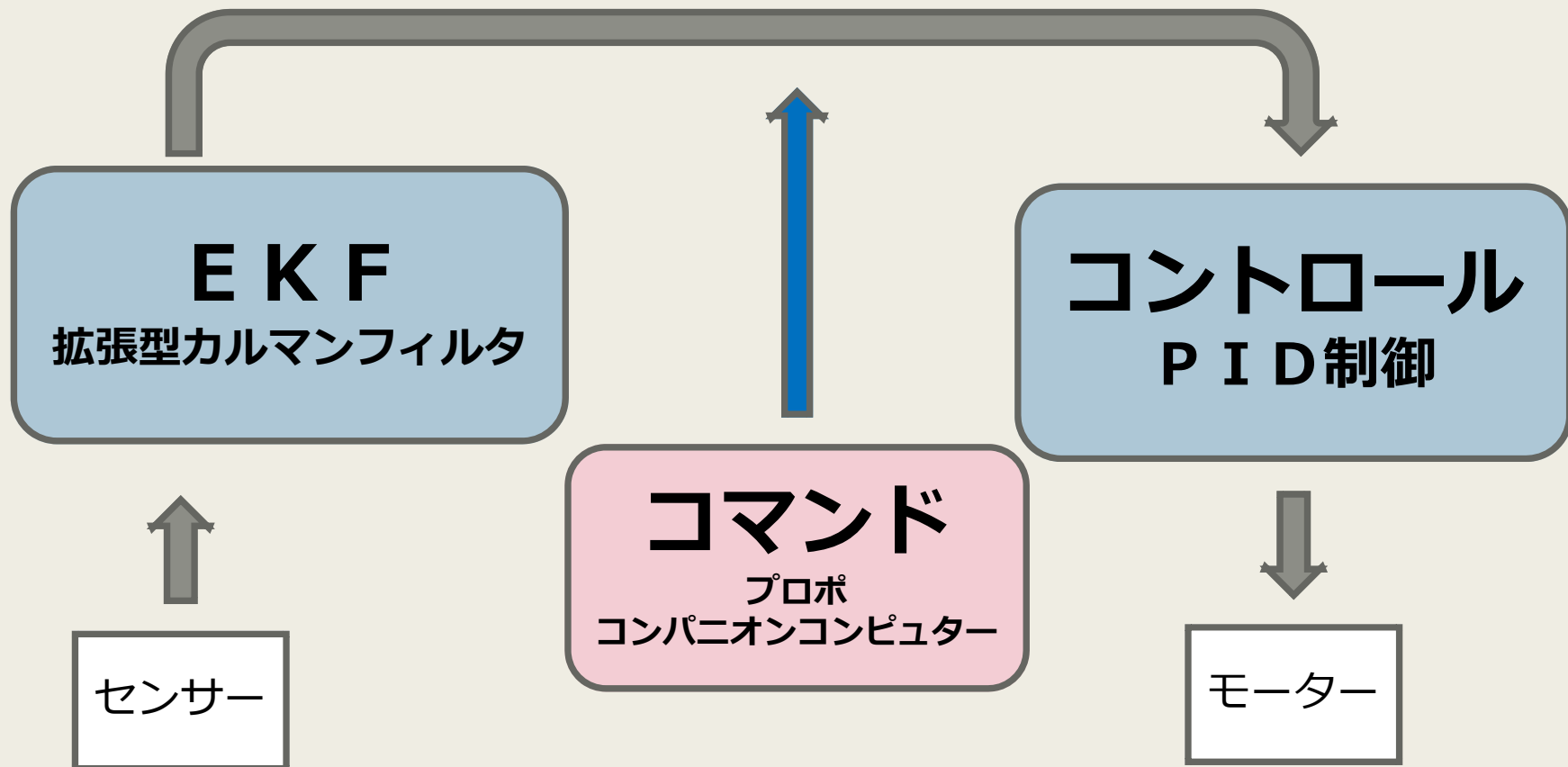
センサで機体の状況を計測し、機体を自動制御

Autonomous Navigation (自律移動)

自律移動のプロセス

1. 自己位置推定 (*Localization*)
2. 周辺環境の地図構築 (*Mapping*)
3. 経路計画 (*Path Planing*)
4. 経路追従 (*Path Following*)

ドローンの自律移動のためのプロセス (フライトコントローラー内部)



自己位置推定を行うための EKF (Extended Kalman Filter)

なぜEKFが必要か

・細かい誤差が生じる (不確かな) 各種センサーの強みを考慮し、確率的な手法を通じ、効果的にフィルタリングを行い、より正確な位置を示すため

EKFのプロセス

1. IMU (ジャイロ・加速度) (相対的な変化量)
 - 角度やスピードによる移動幅 (X,Y,Z) 検出
2. 気圧計 (相対的な変化量)
 - 気圧差による高度移動幅 (Z)
3. コンパス (絶対値)
 - 方角の差分による方向
4. GPS・GNSS (絶対値) ←みちびきにより改善する
 - 上記、プロセスを経由した後、位置情報の微調整

移動（経路追従）に関する雑音

A) 継続期間が一瞬であるもの（偶然誤差）

- 小石の乗り上げ、走り出し、停止時の揺れ

B) 継続期間が数秒から数十秒であるもの（AとCの間）

- 縁石の乗り上げ、走行環境の傾斜

C) 走行中ずっと継続するもの（系統誤差）

- 左右の車輪にかかる荷重のバランスやモーターの個体差、タイヤの状態

D) 雑音のレベルを超えたもの

- 走行不能になるレベルの障害物へのスタック、人間の干渉

対策

- 1) 雑音：突発的にロボットの向きを少し変化
- 2) バイアス：制御指令値と実際出力値を常に一定の大きさだけシフト
- 3) スタック：ロボットを同じ姿勢に抑留
- 4) 誘拐：ロボットを別の場所に突然ワープ

実証実験シナリオ

- 3種の異なる構造の車両
 - ① 差動2輪後輪駆動
(電動車、左右の後輪の回転差により制御、CLAS搭載)
 - ② クローラー
(エンジン、左右のキャタピラーの回転差で制御、SLAS搭載)
 - ③ 4輪後輪駆動
(電動車、前輪のかじを切ることで制御、SLAS搭載)
- 実証実験シナリオは、3種の車両の特性を考慮し、3車両に次の役割を設定して各自律走行と同時走行を実施。
 - ① は、細かいあぜ道や作物のある農地内などの搬送を想定し、指定したルート高精度で走行し荷物や農具を運搬する役割。(収穫物、農具や肥料などの搬送)
 - ② は、比較的広い道や農道を通して重量のある収穫物をトラックや倉庫まで運搬する役割。(搭載可能重量300kgあり、まとまった収穫物を搬送)
 - ③ は、機動力を生かし、より広域の害獣被害等の監視の役割(監視以外も各動物の嫌がる音などを発生させ、追い払う機能なども付加)

実験用自律車 1

1. 差動2輪後輪駆動

種類：電動モーター式、両2輪駆動

形式：台車型

みちびき：CLAS

役割：農地内搬送

メリット：FCに適した走行性能。精緻な走行が可能

課題：悪路の走行。



実験用自律車 2

2. 改造自律クローラー

種類：ガソリンエンジン

両キャタピラ駆動

形式：アナログ操作

みちびき：SLAS

役割：幹線搬送

メリット：積載300kg程度。

課題：エンジン方式のため、振動があり、センサにノイズが乗る。また、アナログ操作のため、アクチュエータ（サーボモーター）によるデジアナ変換が必要



実験用自律車 3

3. 改造4輪後輪駆動

種類：電動モーター式、2輪駆動

形式：ハンドル方式、FR式

みちびき：SLAS

役割：農地内監視（搬送）

メリット：安全設計。積載50kg程度。

課題：ハンドル方式のため、細かい動きが難しい。



複数機体の運用手法 1

- GCS (Ground Control Station) で各車両の走路を設定
 - 各車両の走路を事前に設定する。

Mission Planner 1.3.73 build 1.3.7530.26934

ARDUPILOT TCP 115200 TCP5760-1-GROUND ROV

距離: 0.1084 km
直前からの距離: 66.08 m AZ: 115
ホーム: 63.44 m

MISSION ズーム GEO 35.2833048 139.9657063 SRTM 100.66m

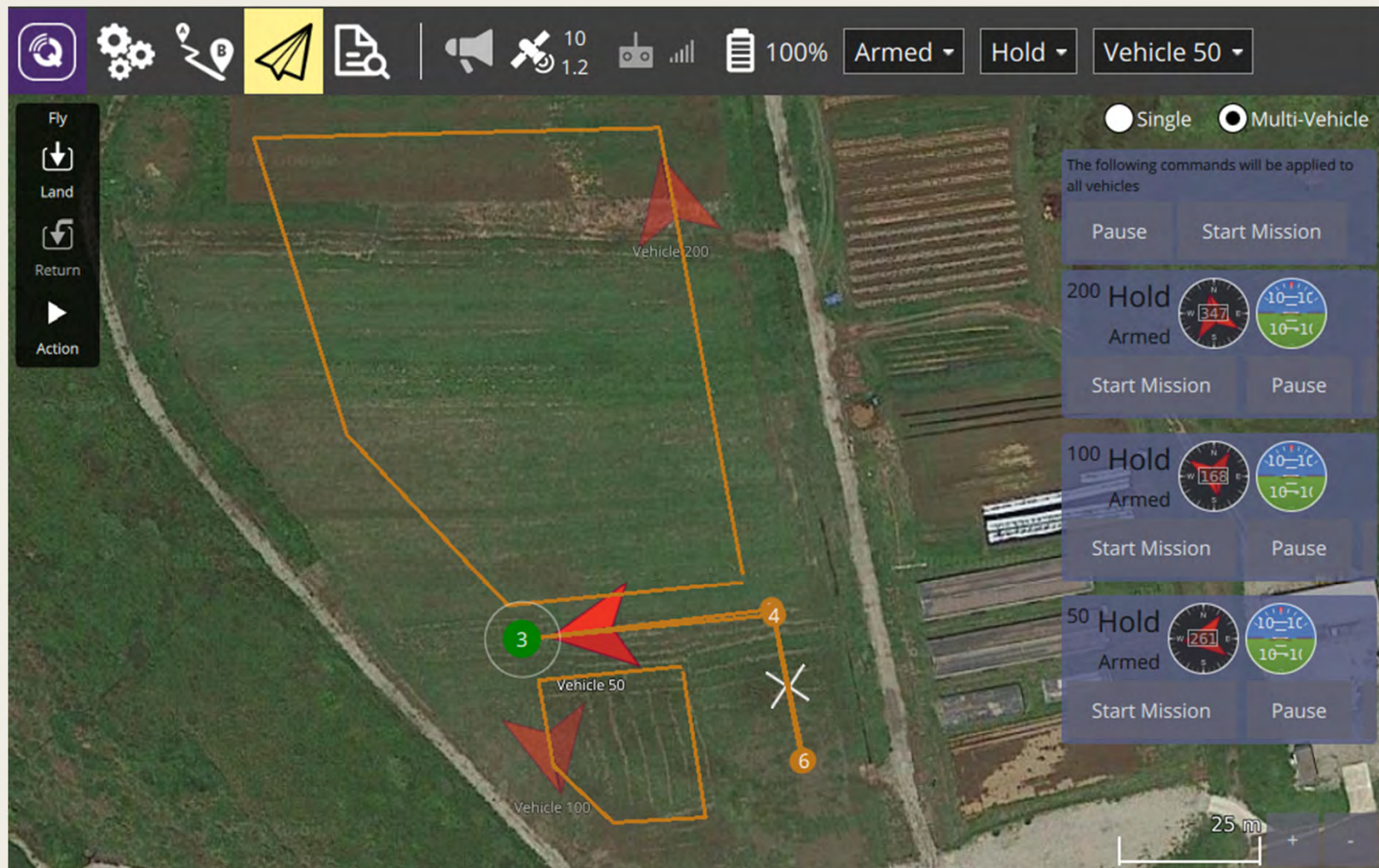
WP 半径 3 ライター半径 45 デフォルト高度 100 Relative 高さの検証 下に追加 高度警告 0

	コマンド	Delay				Lat	Long	Alt	Frame	削除	上 (c)	下 (c)	Grad %	Angle	距離	AZ
1	WAYPOINT	0	0	0	0	35.2835522	139.9650498	0	Relative	X	🏠	🏠	0.0	0.0	6.8	3
2	WAYPOINT	0	0	0	0	35.2837285	139.9650197	0	Relative	X	🏠	🏠	0.0	0.0	19.8	352
3	WAYPOINT	0	0	0	0	35.2837044	139.9647468	0	Relative	X	🏠	🏠	0.0	0.0	24.9	264
4	WAYPOINT	0	0	0	0	35.2835298	139.9647896	0	Relative	X	🏠	🏠	0.0	0.0	19.5	174
5	WAYPOINT	0	0	0	0	35.2835544	139.9650465	0	Relative	X	🏠	🏠	395.6	175.8	103.1	84

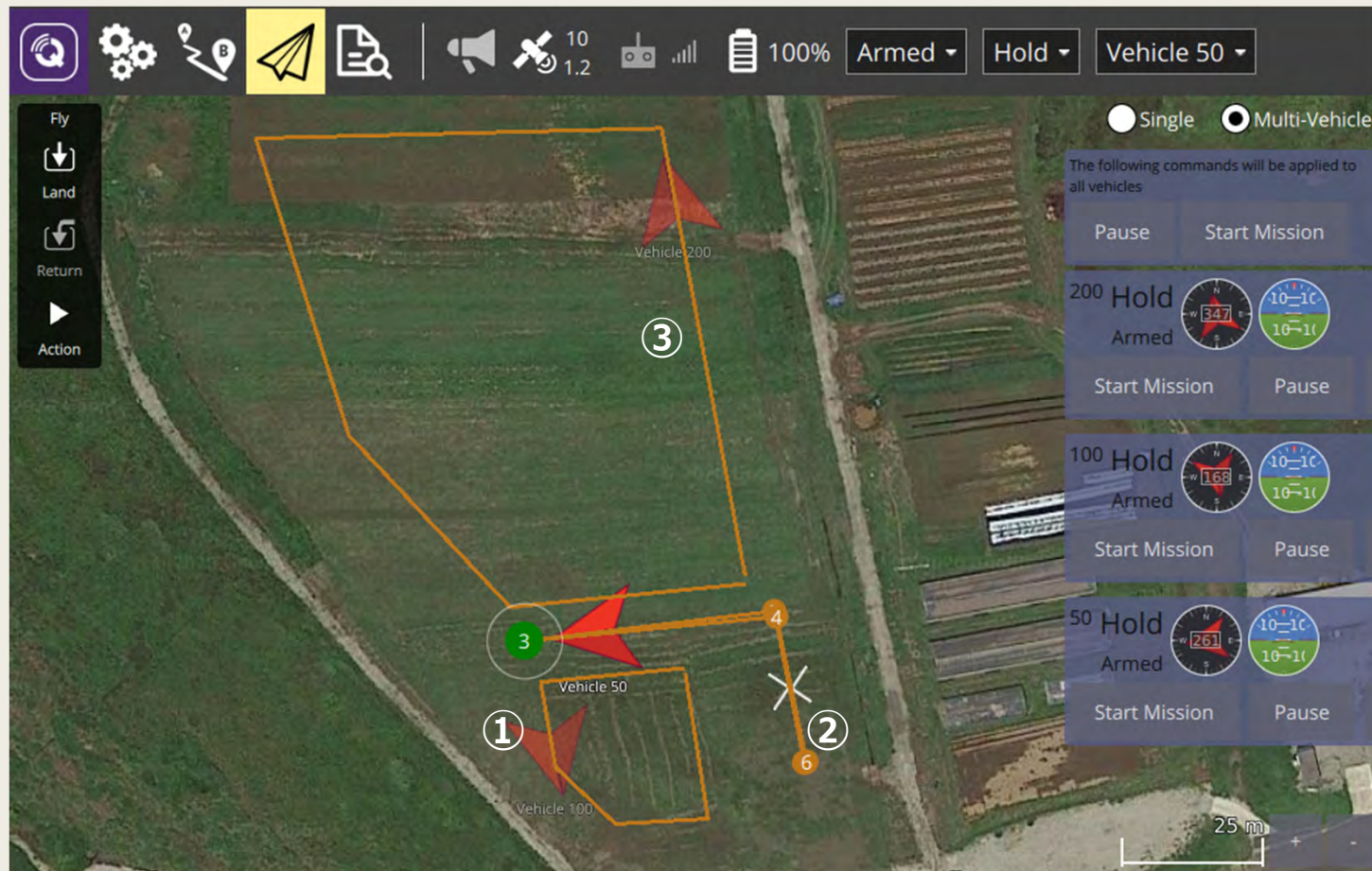
10:55 2020/09/03

複数機体の運用手法 2

- GCSを利用し、複数機体の運用を実施
 - 各車両に異なる I Dを設定し、設定した走路を呼び出し、運用。



シナリオベース



- ① 農地内搬送
自律台車
CLAS
- ② 幹線搬送
クローラー
SLAS
- ③ 農地内監視
Ranger
SLAS

実証実験の検証内容

1. 空中ドローン用フライトコントローラーの陸上への適用時の課題の整理
 - 開発のしやすさ
 - 操作の簡素化、等
2. 陸上における複数機体での精緻な航行検証
 - 設定コースの正確なトレースの検証
 - 衝突防止
 - 誤差範囲と搬送への影響の整理 など
3. 既存のGNSS、RTK GPSと、みちびき（SLAS/CLAS）の比較検証
 - 測位精度と実走行への課題の整理
 - 開発のしやすさ、捜査の簡素化
 - エラー事例の抽出と解決のための課題整理
 - コストとの関係 など
4. 複数機体の運用に関する技術検証

実証結果 1

- 空中ドローン用フライトコントローラーの陸上への適用時の課題の整理
 - 開発のしやすさ
 - 陸上に関して、地面からの揺れも大きいため、空と異なる細かいチューニングが必要となる。
 - 電動式陸上車に関しては、フライトコントローラーとの適用度が高い
 - ガソリンエンジン方式陸上車に関しては、フライトコントローラー内部のジャイロ・加速度・コンパスなどのセンサに対してのノイズが多く、自己位置推定に難しい部分がある。
 - 操作の簡素化
 - 自律化を図ることで、オートでの操作も可能となるだけでなく、セミオートでの操作により、操作の簡素化が図られた。

実証結果 2

- 陸上における複数機体での精緻な航行検証
 - 設定コースの正確なトレースの検証
 - 精緻な走行性能可能な車両に関しては、CLASのようなcm級のGNSSを搭載することで数cmでの誤差でのトレースが実証できた。
 - 衝突防止
 - 各車両のリアルタイム位置が管制ソフトウェア(GCS)上で把握し、制御を行った。
 - 誤差範囲と搬送への影響の整理
 - 空の飛行の場合、数mの誤差はあまり問題にならないが、陸上走行の場合、1m以内の誤差、ケースによっては、数10cmの誤差範囲での走行が必要となり、CLASの装備が必須となるケースが多い。

実証結果 3

- 既存のGNSS、RTK GPSと、みちびき（SLAS/CLAS）の比較検証
 - 測位精度と実走行への課題の整理
 - 測位精度と各自律走行車の特徴に合わせた正確な自律走行の細かい作りこみや調整が重要。
 - 開発のしやすさ、操作の簡素化
 - 一般的なGNSSと同様の扱いでの開発が可能のため、“みちびき”での実装もしやすい。
 - エラー事例の抽出と解決のための課題整理
 - “みちびき”の精度が悪い場合、何らかの補助する方法が必要。“みちびき”の信号が入らない空間を想定したRTK GPSとの連動や非GPS環境での機構との連動が実地現場では必要。
 - コストとの関係
 - 精度が同等を示すRTK GPSのコストも下がってきており、価格が同額となれば、“みちびき”は設定の容易さなど優位性も高い。

SLASとCLASの精度比較

SLAS



SLASとCLASの精度比較

CLAS



実証結果 4

- 複数機体の運用に関する技術検証
 - 同時走行
 - 事前に経路指定された走路を繰り返し、走行させることは比較的容易だが、実際はより複雑な走路や走行の正確性も問われるため、機体の改良だけでなく、アプリケーションをより作りこむことも必要となる。
 - 各役割に関する動作
 - 各役割に応じた現場での操作効率を上げるため、現場での操作のユーザビリティの向上が必要となる。

まとめ 1

- 空中ドローン用フライトコントローラーの陸上走行車への適用
 - 空中ドローン用フライトコントローラーの陸上走行車への適用による自律走行車の開発および改造は十分に効果が見られる。特に農場といった土や傾斜が存在する場所においては、従前より各用途や場所に見合った形で使われている農業機械の改造による自律化といったケースで効果をより発するものと思われる。
- 各車両の車体開発時において、想定した特性と実走行時の差
 - ほぼ想定通りの挙動となったが、エンジン搭載車は、自律制御の精緻さに関しては、エンジンの振動がフライトコントローラーに搭載したセンサに影響を及ぼし差分が生じるため、より改良が必要。
- 陸上走行車での“みちびき”採用の意義
 - 陸上では空中に比べて、より精緻な走行が求められるため、“みちびき”のCLASクラスの精度が必須となり、車両コストも廉価での提供の可能性も高いため、搭載の数量も見込めるため、CLASのコストを下げるための効果も見込まれる。

まとめ2

■ 複数台車両の自律走行

- 異なる3台の自律搬送車の同時自動走行に成功したが、社会実装においては、各利用者のユーザビリティの向上や安全性の向上が求められる。

■ 実証実験シナリオ

- 就農人口の減少や高齢化が進む日本の農業環境において、収穫物や各種農機具、肥料や農薬の搬送の負担は大きくなっている。その中で特に農地内から農地外に停車したトラックまでの搬送負担が大きいと見聞しており、今回の実験で行われた農地内搬送はそういった社会課題の解決に寄与するものである。

■ みちびき実装のためのエンジニアの育成

- オープンソース系のフライトコントローラーのソフトウェア（Ardupilot）を採用したが、“みちびき実装”のためのコンテンツを作成し、オンラインセミナーを実施。
- 今後、“みちびき”を拡げていくためには、こういった技術者・開発者向けの啓蒙活動も必要。

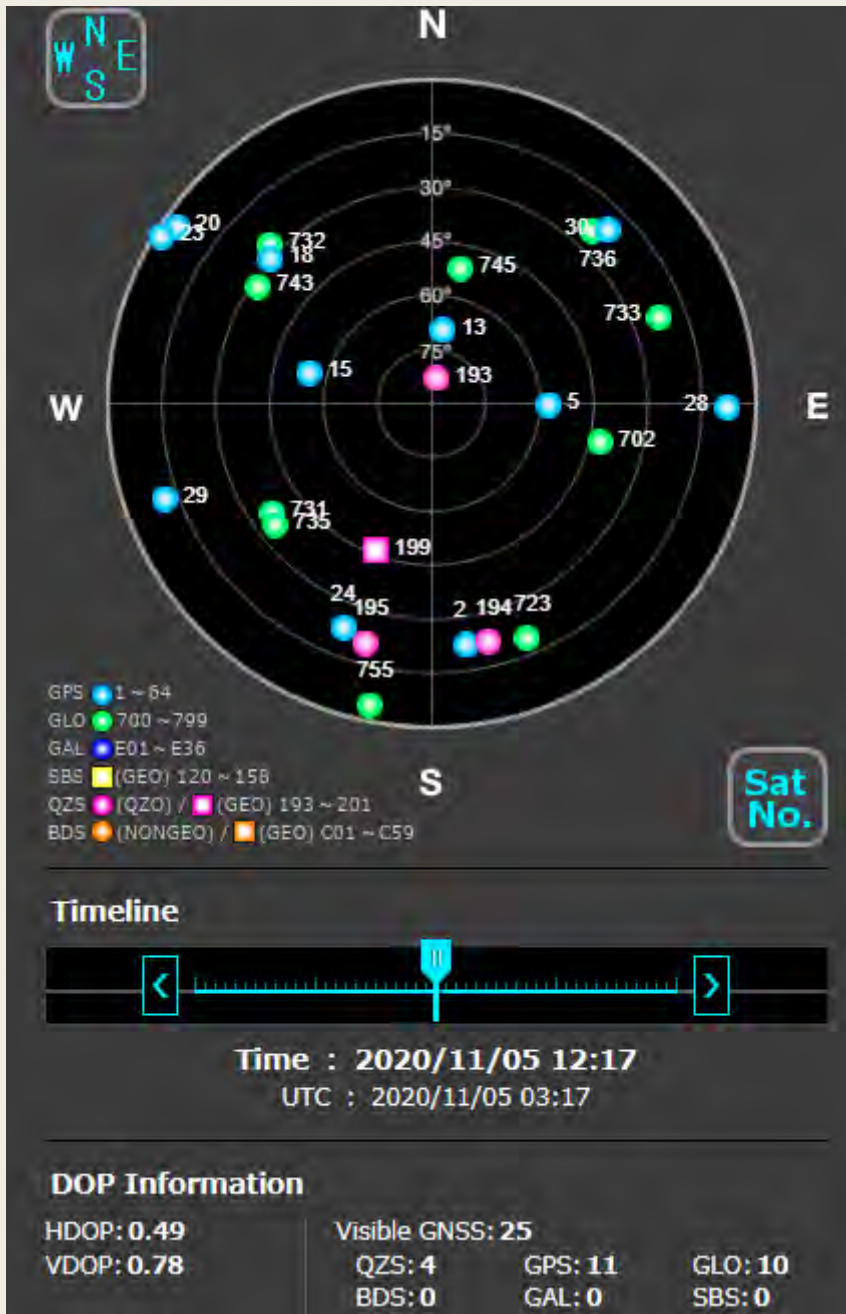
課題及びその解決に向けた方策

- 自律走行の安定性
 - 地面からの影響
 - ガソリンエンジンの振動
 - デジタル-アナログのアクチュエーターの改良
- 自律走行の精緻性
 - 外部センサ（LEDやBEACONなど）の活用連携
- 手動操作の自動化
 - エンジン始動やクラッチ操作などのエンジン関連の手動操作
- 衝突防止
 - 各車両に適したセンサ装備および相互通信
- “みちびき”エラー時の走行安定性
 - GNSSとの自動切換え
 - 非GPS環境下のコントロールとの連動
- 利用者のユーザビリティ
 - タブレットおよびスマートフォンアプリの開発
- 中央制御のユーザビリティ
 - 機能を限定したアプリケーションの開発
- 無線の通信距離
 - SIMの標準搭載

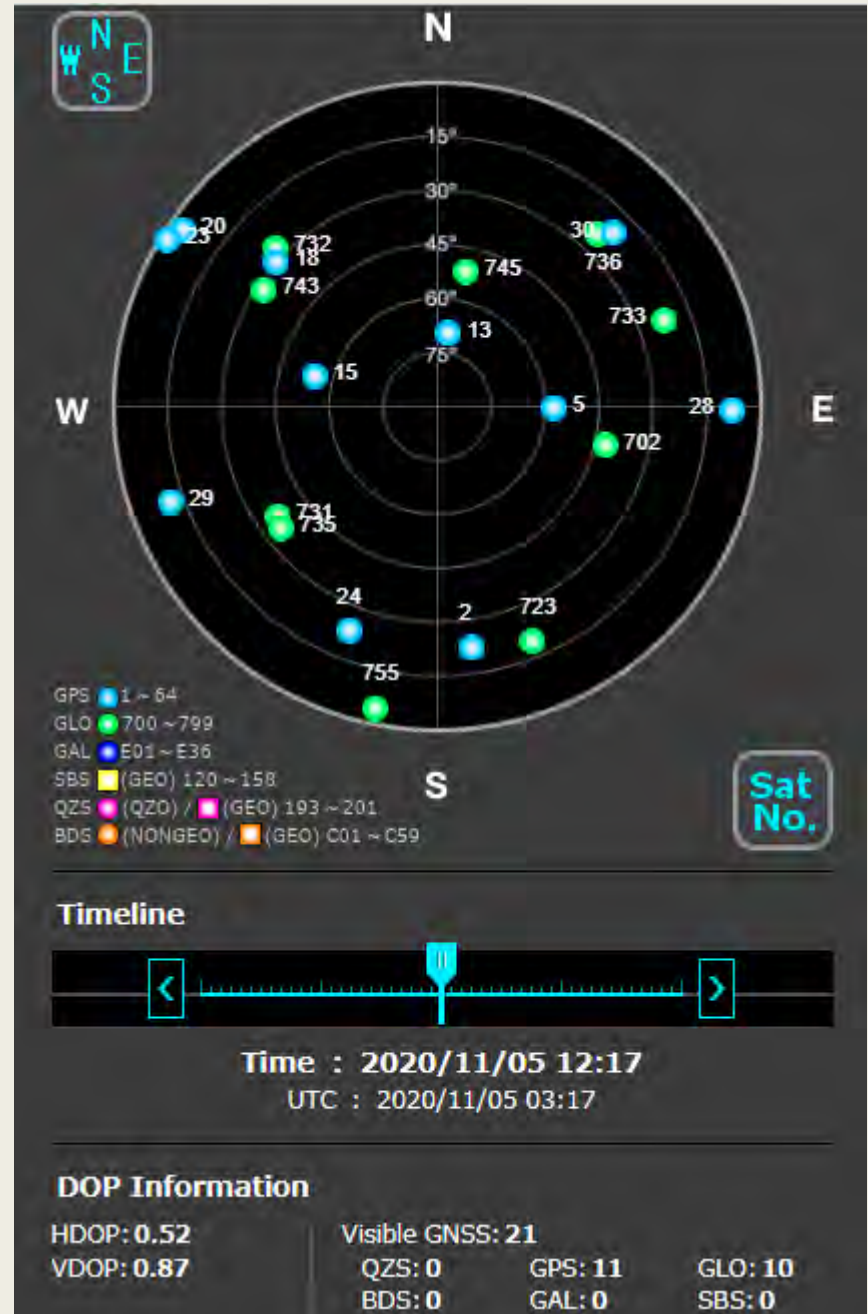
「みちびき」の優位性

- SLAS（サブメートル級）測位
 - 「みちびき」が必ず天頂に存在するためにHDOP、VDOPの値が小さくなり、GNSS（GPS、GLONASSなど）に比べて、精度が向上する
精度：SLAS > GNSS
- CLAS（センチメートル級）測位
 - 精度に関しては、RTK-GPSと同程度となっているが、現場での基地局の設置が必要がなく、また、現場での基地局設置を行う必要がないWeb経由のRTK基地局サービスのランニング費用を必要としない。

「みちびき」あり (GPS、GLONASS含)



「みちびき」なし (GPS、GLONASSのみ)



今後の展開

1. 農業機械もしくはは農業資材メーカーとの連携
(2020年度～2021年度)

→ぜひ、ご興味のある企業はお声がけください

2. 農業用自律搬送車の開発
3. 国内での展開
4. 海外（東南アジア）への展開

その他、建設資材用自律搬送車への展開