

技術紹介

果樹園向け多用途自動走行車と省力樹形、車両管理 IoT システム

Multi-purpose Autonomous Orchard Vehicles, Tree-shaping for Labor Saving, and Vehicle Management IoT System

石山 健二 本田 士郎 今井 浩久

Abstract

Our company conducted verification tests for labor saving options at 17 locations nationwide, including commercial orchards, using seven golf cart-based multi-purpose autonomous vehicles. Here we will introduce representative examples and the mechanism for autonomous driving. Additionally, we will introduce testing that applies our vehicle management IoT system, which consists of on-board communication equipment and cloud servers.

1 はじめに

農業人口の減少や高齢化が深刻化する中、果樹の生産基盤を強化し国際競争力を高めるため、自動化の仕組みを普及させることが求められている。

当社は以前から果樹園向け自動走行技術に取り組んできたが R&D としての色合いが強かった^{[1][2]}。また国内の果樹園環境は同じ樹種であっても仕立てや作業様式が多様で、全ての環境に対応させることは、費用対効果の面で無駄も多い。

機械化に適した省力樹形により、栽培環境の面からもこの課題に対応する取り組みが農研機構果樹茶業研究部門を中心に企画された。当社もこれに参画し、農研機構生研支援センター「革新的技術開発・緊急展開事業（うち人工知能未来農業創造プロジェクト）」（以下、AI プロジェクト）の支援を受けながら、自動走行システムを開発してきた（実施期間：2016年4月～2021年3月）。

2 プロジェクトの2つの特徴

2-1. 特徴1: ランドカーベース多用途自動走行車

当社は1996年から電磁誘導式ゴルフカーを販売している。スロットル、ブレーキ、操舵を電氣的に動かすパイワイヤの仕組みが備わっており、量産車であるため信頼性も高く、比較的少ないコストで誘導線を使わない自動走行の仕組みを構築できる。

ゴルフ場以外で活用される車両を当社ではランドカーと呼んでおり、これをベースとする自動走行車を用いて、収穫物運搬や各種作業（剪定、整枝、受粉、摘果など）の支援、牽引型作業機械と組み合わせた農薬散布や草刈りなど単純作業の自動化を進める。

2-2. 特徴2: 機械化に適した省力樹形

9種類の果樹（ナシ、セイヨウナシ、リンゴ、モモ、オウトウ、ブドウ、カキ、カンキツ、クリ）において収量や品質を低下させず、機械化に適した樹形による栽培体系を開発する。これは樹を列状

に密植し、さらに結実面を平面的に整形することで、樹に対する作業動線を直線的にするもので、図1に代表的な樹形を3つ挙げる¹⁾。これと自動走行車とを組み合わせ、各樹種の慣行栽培より三割の作業時間削減を目指す。



ナシ（ジョイントV字樹形）



リンゴ（トールスピンドル）



カンキツ（双幹形）

図1 省力樹形の例

1) 図1の樹形の説明

- ・ ジョイント仕立て：隣の樹と接ぎ木して一本にする栽培方法。神奈川県農業技術センターが開発した。
- ・ トールスピンドル：高さ3mほどのリンゴの樹を薄い垣根状に配置する高密度栽培。イタリア南チロル地方で発祥した。
- ・ 双幹形仕立て：主幹部の50cmほどの高さから分岐させた2本の主枝をV字やY字型に仕立てる栽培方法。

3 自動走行の仕組み

国内は環境が整備された圃場であっても柵作やV字・Y字仕立てによる枝葉の広がり、防鳥ネットなどにより上空が覆われていることが多く、GPSに代表される全地球航法衛星システム（GNSS）の使用は適さない。仮に位置が取得できたとしても、

1.3m の車幅 (荷台部) に対し、樹列間または支柱間距離は狭い箇所では 1.8m となるので、高い方位精度も求められる。

そこで水平面上を放射状に走査するレーザセンサ (以下、LiDAR: Light Detection and Ranging) を 2 個使用し (図 2)、ランドマーク (樹幹や構造物など環境に固定された特徴物) との位置関係や向きを計算しながら自動走行をさせる。繰り返し走行時の軌跡のばらつきは 10cm 以下を実現している。

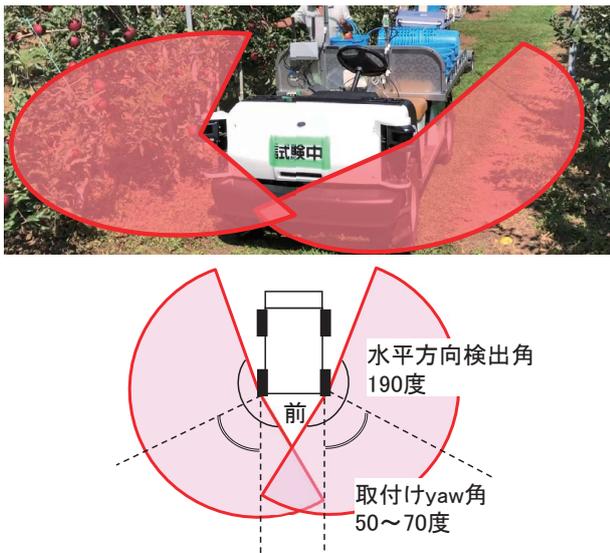


図 2 LiDAR 搭載方法と検出範囲

3-1. LiDAR による走行制御

主に樹が直線状に並ぶ省力樹形圃場を対象としているので、

①直線区間と②枕地旋回とで制御方式を切り替えている。

①直線区間

片側または両側の樹列を直線近似 (図 3)、それに沿うよう車両を制御する (以下、ガイド走行)。列からのオフセット距離も指定できる。車両の位置情報を陽に扱わないこの手法は、樹列が数百 m に及ぶ海外の大規模圃場、丘陵地など樹列が緩やかにカーブしている圃場にも適用しやすい。



図 3 ガイド走行のための目標線検出

②枕地旋回

事前に作成したランドマークマップ (後述) と、走行中に LiDAR から得られる点群データとを照合し、自車の位置と向きを計算しながら、点列で近似された自由曲線経路に沿って走行する。

3-2. 枕地マップと旋回経路の設定

事前に LiDAR 搭載車両で両側枕地を手動運転し得られた点群データ (対象物との距離) からランドマークの輪郭マップを作成する。マップには制御切り替えのため樹列端付近に設置されたマーカ (反射シート) 情報も含まれる。

次に経路編集アプリを用いてマップを PC などの画面に表示させ、ランドマークとマーカの配置を見ながら、絵を描く要領で作業経路を作成し、その上に作業ポイントを置いていく (図 4、5)。もし点群データ取得後に樹の植え替えやマーカの配置変更などがあれば、ランドマークのマップ自体を編集することで対応できる。

最後に直線 / 枕地 2 つの制御の切り替え順序、区間車速、ガイド走行時オフセット距離などを入力することで、列状の圃場であれば様々なパターンの巡回走行を実現できる。

実走行時に使うタブレット PC 向け操作アプリ画面を図 6 に示す。アプリは複数台の車両操作にも対応している。



図 4 枕地旋回経路作成、作業ポイント追加



図 5 作業機の制御設定

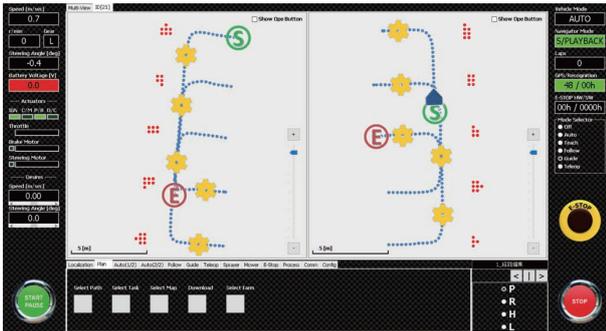


図6 操作アプリ画面



図7 自動散布走行(おけさ柿園)

4 実地試験事例

プロジェクト実施期間を通じ、自動走行車を7台使用し全国17カ所(試験場13、商用3、観光1)、31圃場(樹種・樹形の違い)で試験を実施してきた。この中には、操作説明や安全指導を行った上で、専門知識を有する当社社員が立ち会うことなく、試験場職員のみで実施された例もある。

ある程度整備された圃場とはいえ、自然物を対象とする環境でLiDARなどを使って周辺認識する場合、通常は現場環境に応じた調整に時間を要するが、詳細なデータがない初めて訪れる圃場でも、即日または翌日には自動走行を実現している。

提案手法は単純な幾何学的特徴を利用するだけなので、ディープラーニングのように事前に適切なデータを大量に用いた学習も不要である。樹の並びが乱れていたり、抜けていたりする圃場もあるが、ポールなど現場で入手可能なものを使って簡単に車両を誘導することもできる。次に4つの代表的な実施例を紹介する。

4-1. 事例1:自動農薬散布走行

佐渡のおけさ柿ジョイント栽培圃場^{2),3)}(図7、8)、山梨のシャインマスカット園^{4),5)}(図9、10)で農薬散布試験を実施した⁶⁾。

LiDARを使うと散布霧による反射波を物体として誤検知する場合がある。開発した手法は第二反射波まで処理することでこの問題に対処しており、有色の混合薬液でも散布走行できることが確認できた。使用した薬剤を表1に記す。

シャインマスカット園では撒き残しがないよう柵を支える支柱間をジグザグに縫う経路となった。このような経路を手動運転する際は繊細な気配りが必要となる。また後方の散布状態を気にしながら運転することは危険を伴い、これまでも国内果樹園の農薬散布作業中に重大事故が発生している。自動走行により再現良く繰り返し走行できるので、疲労を軽減でき、また事故発生を抑制できるメリットは大きい。

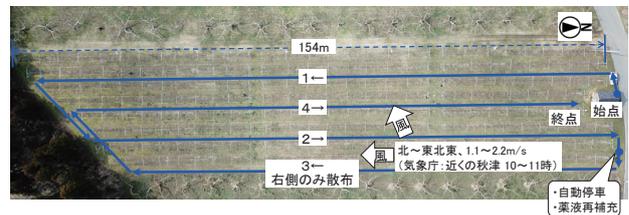


図8 散布経路(おけさ柿園)



図9 自動散布走行(シャインマスカット園)

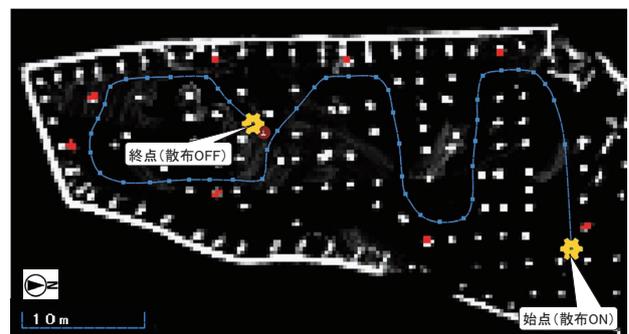
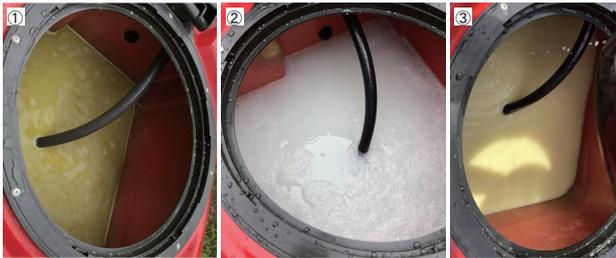


図10 散布経路(シャインマスカット園)

表1 使用した薬剤

図番	日付	場所	薬剤
①	2020/7/30	新潟県佐渡市 JA ファーム佐渡 おけさ柿ジョイント栽培圃場	殺菌剤ピオネクト、殺虫剤 キラップフロアブル混合液
②	2021/5/20	山梨県山梨市 商用シャイン マスカット園	殺菌剤ジヤストフィット
③	2021/5/26	同上	殺菌剤ペンコゼブ水和剤、 尿素(葉面散布肥料)混合液



散布機(以下、SS: Speed Sprayer)は(株)やまびこ製の牽引型試作機である。エンジンとオルタネータを搭載し、送風機クラッチや電磁コックの制御に必要な電力はSS単独で自給できる。自動走行車とはCAN通信線のみで接続され、自動走行車からの指令により、送風機と散布コックのON/OFF、ポンプ圧力とエンジン回転数の調整が可能である。

- 2) 農林水産省が実施する「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」における佐渡「おけさ柿」スマート農業実証コンソーシアム(代表:新潟県、構成:(株)JAファーム佐渡、JA 佐渡ほか)による取り組み課題の1つとして実施された。
- 3) 図7:安全のため防護服と防毒マスクを着用した作業員が乗車したが、走行や農業散布に関する操作は一切行っていない。
- 4) 「スマート農業技術の開発・実証プロジェクト」における匠の技による高品質シャインマスカット生産実証コンソーシアム(代表:(株)YSK e-com、構成:山梨県、山梨大学ほか)による取り組み課題の1つとして実施された。
- 5) 図10:直線/枕地切り替え走行ではなく、全域自由曲線経路とした。
- 6) 映像ライブラリー 事例1「農業散布_山梨シャインマスカット」(巻末参照)

4-2. 事例2:自動草刈り走行

2019年6月に宮城県農業・園芸総合研究所のリンゴジョイント栽培圃場で草刈り試験を実施した⁷⁾(図11、12)。

牽引型草刈り機は(株)オーレックが同社製乗用草刈り機を改造したものである。車体左側に幹周刈り用アームが付いており、自動走行車からのCAN指令により、エンジンとカッターのON/OFF、カッターデッキの上げ/下げが可能である。

圃場の列間は4mと草刈り機の刈り幅より大きいので、刈り残しがないよう、各列3回ずつ(異なるオフセット距離)×5列分走行した。オフセット距離は3-2節の経路編集アプリで指定できる。巡回経路が多くなるが、類似パターンの繰り返しなので、コピー&ペースト少し修正を加えるだけで簡単に全体の経路を作成できる。

なお、草刈りは農業散布のように薬液補給といった付帯作業がないため、夜間など空いた時間に無人作業できれば大きな省力化につながる。



図11 自動草刈り走行

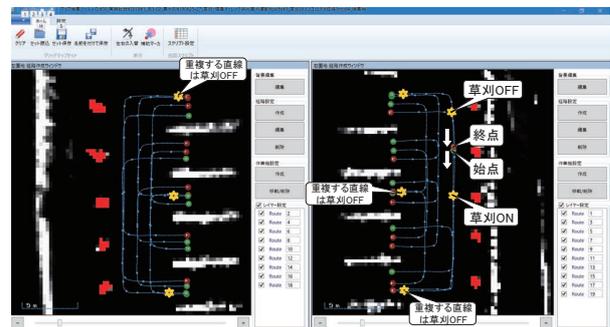


図12 草刈り経路

- 7) 映像ライブラリー 事例2「全面草刈_宮城福島ジョイント圃場」(巻末参照)

4-3. 事例3:2台連携収穫物運搬走行

2019年12月に神奈川県農業技術センターのナシジョイント栽培圃場で2台の自動走行車を使った収穫物運搬試験を実施した⁸⁾(図13、14)。2人いる作業員がそれぞれ以下の作業を行った。

甲:収穫作業と同時に運搬用自動走行車を少しずつ進めながら収穫物を荷台コンテナに積み込む。この時、荷台は常に手の届く位置にあるので、収穫物は手かごなどを用いずに直接コンテナに入れることができる。また運搬車をこまめに移動させるための乗り降り動作も不要(後述)なので、従来方法に比べて効率的かつ身体的負担も大幅に軽減できる。

乙: 枕地でコンテナの入れ替え作業を行う(山選果⁹⁾や軽トラ積み込みなど想定)。

ここでは運搬車荷台がいっぱいになり、乙がいる枕地まで往復する無駄時間をなくすため、次の仮定をおいた。これはどのような場合でも当てはまるわけではないが、慣行の作業様式とは違う、自動システムならではの運用方法を導く発想の一例である。

- 1列走行すると荷台がいっぱいになる、またはそのように調整する(上/下段または左/右列で分けるなど)。
- 往路と復路で運搬車を入れ替えることで、甲は途切れなく収穫作業を継続できる。
- 乙は収穫作業をしない。

今後シミュレーションなども活用しながら、より現実的かつ効率的な運用パターンを生産者に提示することが重要となる。

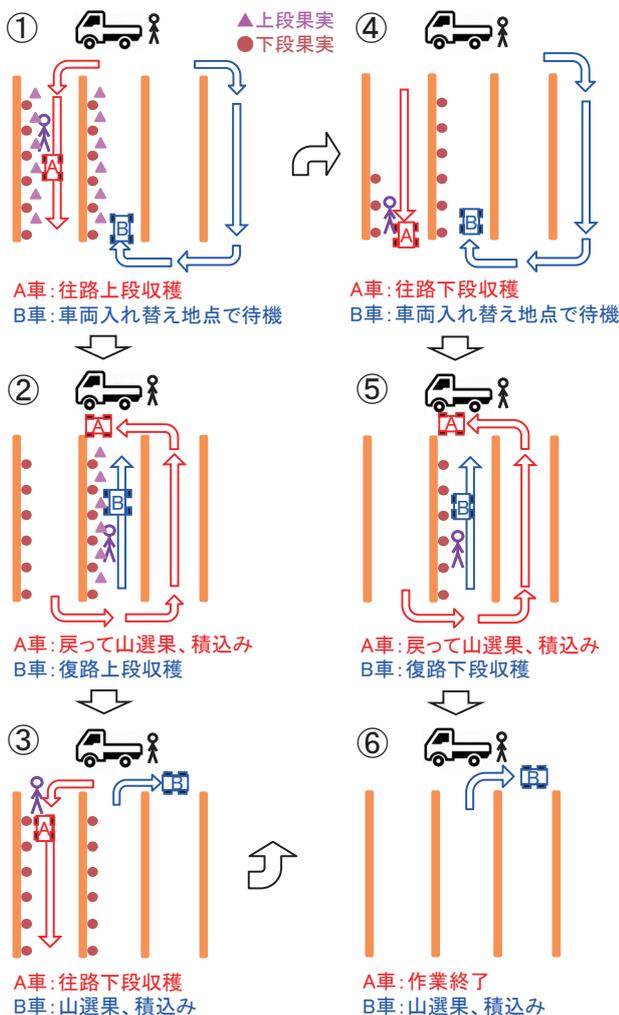


図13 2台連携収穫の手順



図14 2台連携収穫試験(①②は図13に対応)

8) 映像ライブラリー 事例3「2台収穫_神奈川ジョイント圃場」(巻末参照)

9) 山選果(粗選果): 収穫した果実を農協や市場などへ運ぶ前に、圃場の一角で大きさや等級などによってある程度選別する作業。

4-4. 事例4: 移動式作業台車

2019年2月に神奈川県農業技術センターのナシジョイント栽培圃場で移動式作業台を使った収穫デモを実施した(図15)。枝に付いているのはナシに見立てたボールである。V字樹形に合わせた高所作業用シート¹⁰⁾に座ったまま、ボタン1つで自動走行車を樹列に沿って移動させ楽に作業を続けることができる。



図15 移動式作業台

10) 試験場での評価のためだけに試作したものであり、商品化に際しては安全性に十分配慮して設計する必要がある。

5 操作用インターフェース

4章の事例3、4のように車両を少しずつ前進させるには寸進（一定時間走行：通常2～4秒に設定）用ボタン（図16）を押すだけでよい。作業者がアクセスしやすいように、荷台後部に取り付けたり、作業者自身が携行したりできる。

押下ごとに発進/停止を交互に切り替える GO/STOP 用ボタン（図16）もある。列端付近に設置されたマーカの手前、あるいは枕地旋回経路上に設定されたタスクポイント（事例3の場合は車両入れ替え地点とコンテナ入れ替え地点）では自動的に停車する。

これらを使うことで収穫作業時の操作はボタン1つ（または2つ）で済み、乗り込む動作もなく、各地の試験実施者からは「非常に楽である」と好評であった。



図16 寸進用ボタンと GO/STOP ボタン

人に自動追従する機能を望む声もある。著者らは過去、LiDAR による人追従機能にもトライしており（図17）、今後この機能の現場実装も進めていきたい。



図17 LiDAR を用いた人追従

6 北米での2台連携散布試験

これは当社が独自に提案した取り組みである。無人走行により農薬散布時の作業者の身体的負担は大幅に軽減されるが、

現状、薬液調合や補給のため作業者は現場にいる必要がある。作業効率を上げるため、1人2台運用を提案し、2017年8月に米国カリフォルニア州にある商用ワイン用ブドウ園で、（株）やまびこの協力を得ながらその効果を検証した。AI プロジェクトと同じく、ランドカーと同社製牽引型 SS(400L)を使用し、散布したのは水である。

2台の自動散布車を1列ずらして配置し、補給に必要な時間において走行開始させ、それぞれ1列おきに走行させる。圃場は列長約500m、400L タンクでは2往復できないため、1往復ごとに補給作業が必要になる。最初に補給時間分ずらして走行開始しているので、2台同時に補給地点に戻ってくることはない。ここでは枕地を移動する薬液補給車を配備し、2台が散布している間に作業者自ら補給車を次の列に移動させる（図18、19）。

試験中ほとんどの時間で2台同時散布しており、さらに自動散布車が補給地点（通常は水源の近くにある）に移動する時間も削減できる。ここでは通常のトラクタ牽引式散布（同じ車速および補給流量、約1500L タンクで4往復可能）による計算上の作業時間に対し、3分の2の時間で散布作業を終えることができた。

複数の自動散布車と補給車を現場に運搬する手段、補給車自体の補給手段の課題はあるが、小さな作業機を複数台利用して効率良く作業できることが示された。



図18 2台散布試験

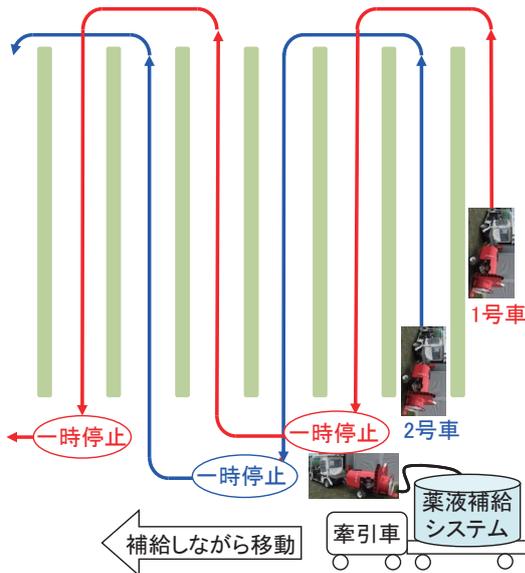


図19 2台散布の概要

4章の事例1(山梨の農薬散布)では、車両とSSの稼働状態を遠隔モニタリングし、データをクラウドに保存した。図21はこれらデータをプロットし見える化したものである。この仕組みを使えば作業実績の管理や工程分析などが容易になる。

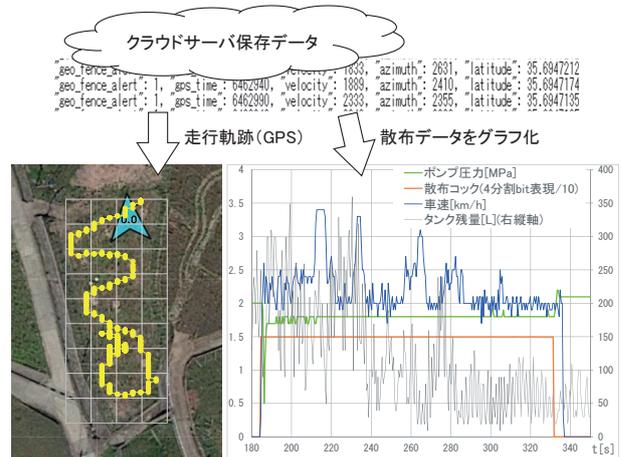


図21 作業データの見える化(山梨の農薬散布)

7 車両管理 IoT システムの適用

ランドカーは公道人輸送サービス(MaaS: Mobility as a Service)分野での活躍も期待されており、各地で実証導入が進んでいる。当社はこれら車両の稼働状態を管理するため、車載通信(LTE)機器とクラウドサーバで構成されるIoTシステムの開発も進めている。この仕組みを応用することで、各種農業サービス用アプリ向けに、APIを介して車両や機械などの情報を提供できる(図20)。

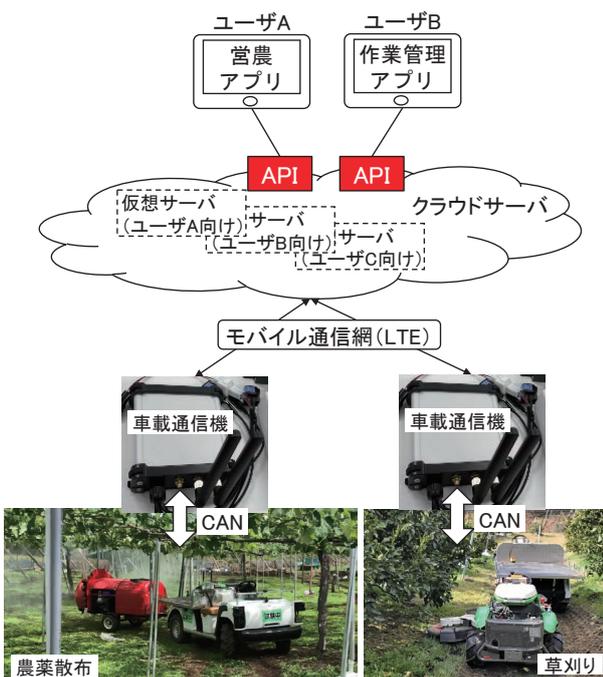


図20 車両・機械管理 IoT システム

8 おわりに

自動走行車と省力樹形とを組み合わせることで、年間作業時間を三割以上短縮できることが、各地試験場(一部を除く)による実験で示されている^[3]。

今後は車両だけでなく人も含めた作業動線、複数台を活用する運用方法を提案し、かつシステム全体のコスト削減も図ることで、これらの普及に努めたい。

IoTシステムを活用することで、例えば環境負荷となる農薬の使用実績管理が容易かつ確実となる。国際的にSDGsへの取り組みが重要視される中、GAP(農業生産工程管理)、HACCP(食品衛生管理)といった基準化への対応も容易になると考えられるので、今後も力を入れていく。

ランドカーは郊外や農村など地域の足(ラストマイルモビリティ)としても注目されており、圃場内と公道とのシームレスな運用も提案しながら、地域の活性化にも貢献したい。

■参考文献

- [1] 石山, 吉田, 深尾, 村上: 画像による無人車の不整地自律走行技術と果樹農業への活用提案, ヤマハ発動機技報49号, pp. 88-97, (2013) <https://global.yamaha-motor.com/jp/profile/technical/thesis/pdf/browse/49gr03.pdf>
- [2] 石山, 神谷, 深尾, 倉舗: パーティクルフィルタによる自己位置同定とロボスト制御を組合せた果樹園におけるUGV巡回走行, ヤマハ発動機技報46号, (2010) <https://global.yamaha-motor.com/jp/profile/technical/thesis/pdf/browse/46gr01.pdf>

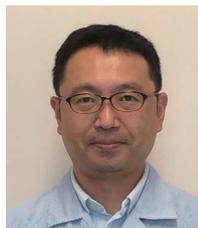
yamaha-motor.com/jp/profile/technical/thesis/pdf/
browse/46gr04.pdf

[3] 農研機構:「省力樹形樹種別栽培事例集」, (2021) [http://
www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/
pamphlet/tech-pamph/138917.html](http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/138917.html)

■ 著者



石山 健二
Kenji Ishiyama
技術・研究本部
研究開発統括部
先進システム開発部



本田 士郎
Shirou Honda
技術・研究本部
研究開発統括部
FSR 開発部



今井 浩久
Hirohisa Imai
技術・研究本部
研究開発統括部
先進システム開発部

■ 映像ライブラリー

事例1 「農薬散布 _ 山梨シャインマスカット」



事例2 「全面草刈 _ 宮城福島ジョイント圃場」



事例3 「2台収穫 _ 神奈川ジョイント圃場」

