

# 国産リアルタイムOS 「TOPPERS/ATK2」の 農業ロボットへの活用

OSC2023, 福岡県福岡市, 2023年12月9日

中西 恒夫

福岡大学工学部電子情報工学科  
TOPPERSプロジェクト特別会員

# 本日の講演内容

- 動画デモ
- TOPPERS/ATK2について
- トラクタというクルマ： 農業車両への誘い
- トラクタ型農業ロボット「ななくまつばめごう」の概要
- 自動運転に向けて
- プロジェクトの将来展望

# 講演者紹介

- 中西 恒夫（福岡大学工学部電子情報工学科）
- 組込み／車載システムのシステム／ソフトウェア工学
- プロダクトライン開発方法論がお家芸
- 通信機器メーカー，自動車メーカー，自動車部品メーカー等とプロダクトラインに関する共同研究を通じたプロダクトライン開発実践
- 研究室はロボティクス専門の助教（藤永拓矢助教）と運営

動画デモ

# トラクタのリモコン操縦



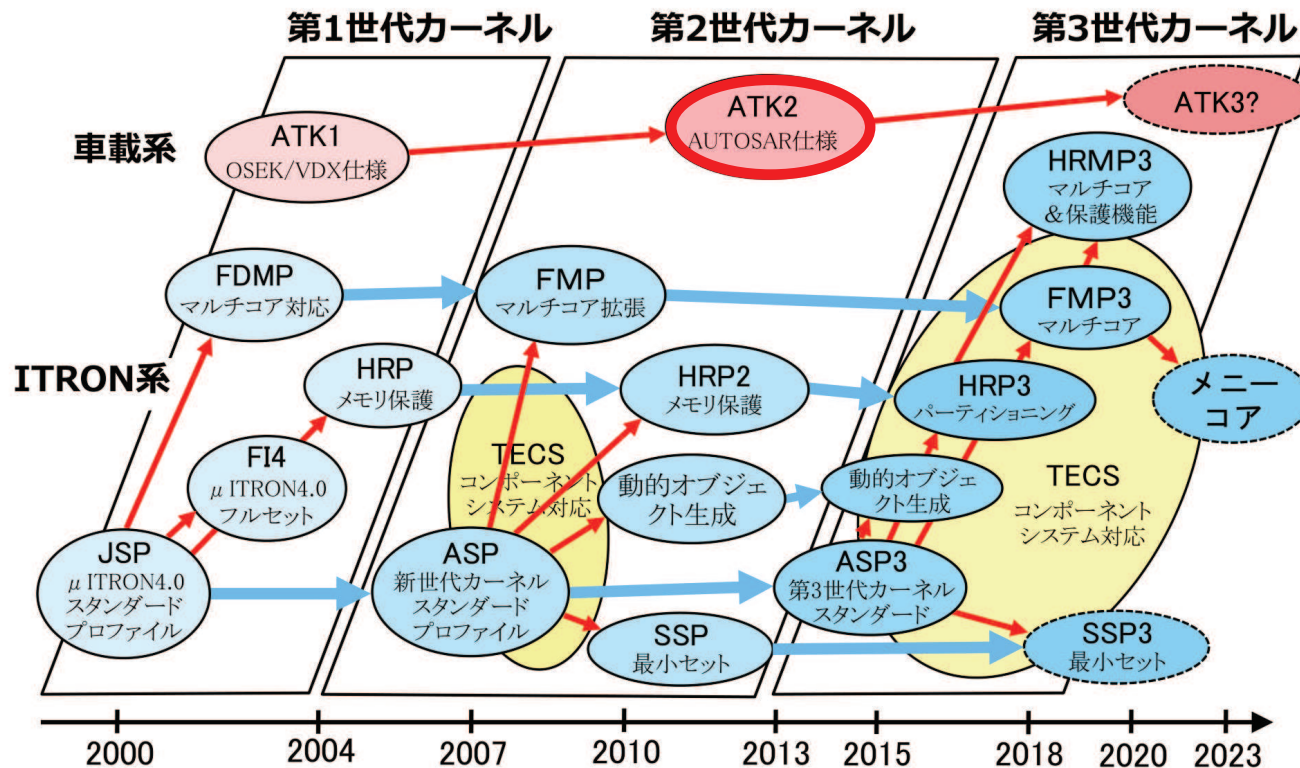
# トラクタのリモコン操縦



TOPPERS/ATK2について

# TOPPERS/ATK2の概要（I）

TOPPERSプロジェクトで開発している自動車制御用RTOS





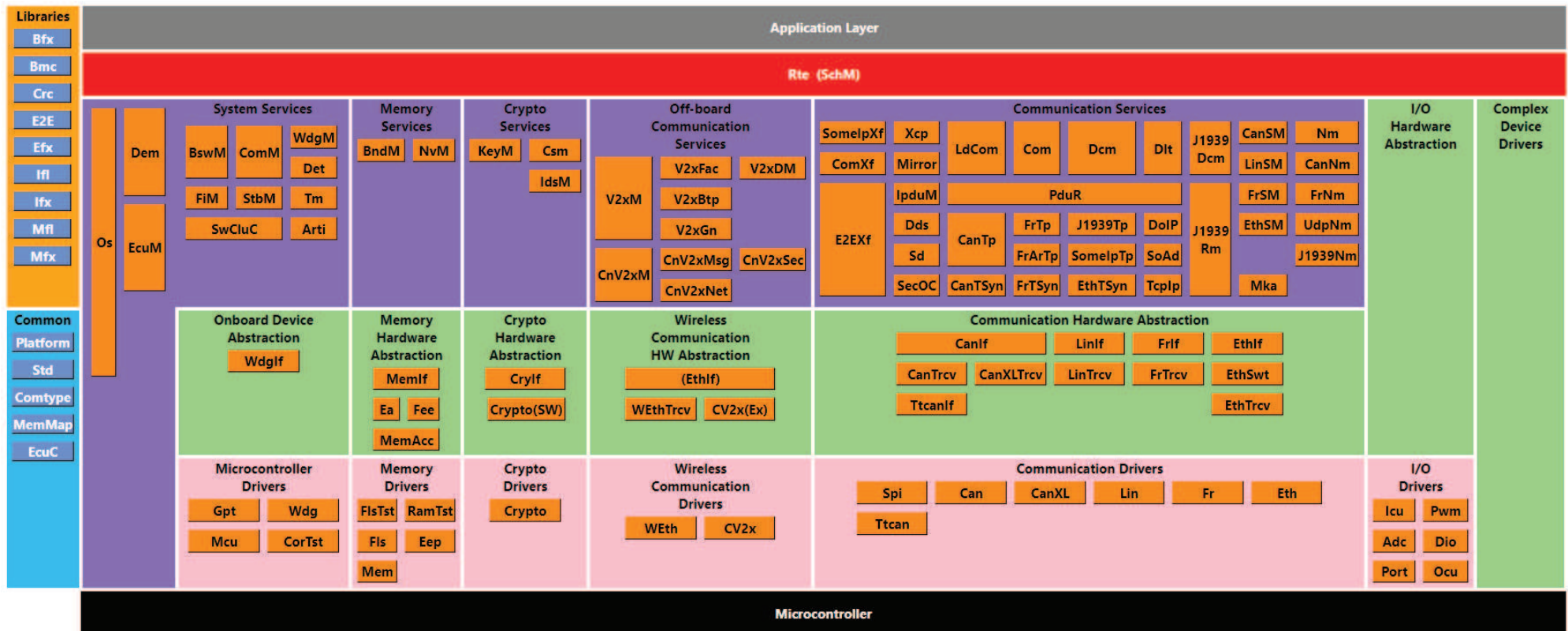
# TOPPERS/ATK2の概要（2）

- AUTOSAR仕様（後述）に準拠
- XMLによるコンフィギュレーション
- MISRA-Cに対応
- 対応プロセッサ： RH850, V850等
- 対応ボード： 北斗電子, テセラ・テクノロジー, ルネサスエレクトロニクス等製造のボード
- 移植が容易： OS共通部とターゲット依存部の分離
- <https://www.toppers.jp/atk2.html>

# AUTOSAR ( I )

- 車載ソフトウェアの標準： 方法論, API, アーキテクチャを標準化
- 「標準では協力, 実装では競争」
- 車載ソフトウェア標準化の歴史
  - OSEK/VDX によるRTOS標準化 (1993~1995) --- すでにISOで標準化
  - EAST-EEA
  - AUTOSAR
- 三層構造のアーキテクチャ
  - アプリケーション層
  - RTE: Runtime Environment 層 --- ECUへの依存性を解消
  - BSW: Basic Software 層 --- マイコンやECUへの依存性を解消
    - サービス層
    - ECU抽象化層
    - マイコン抽象化層

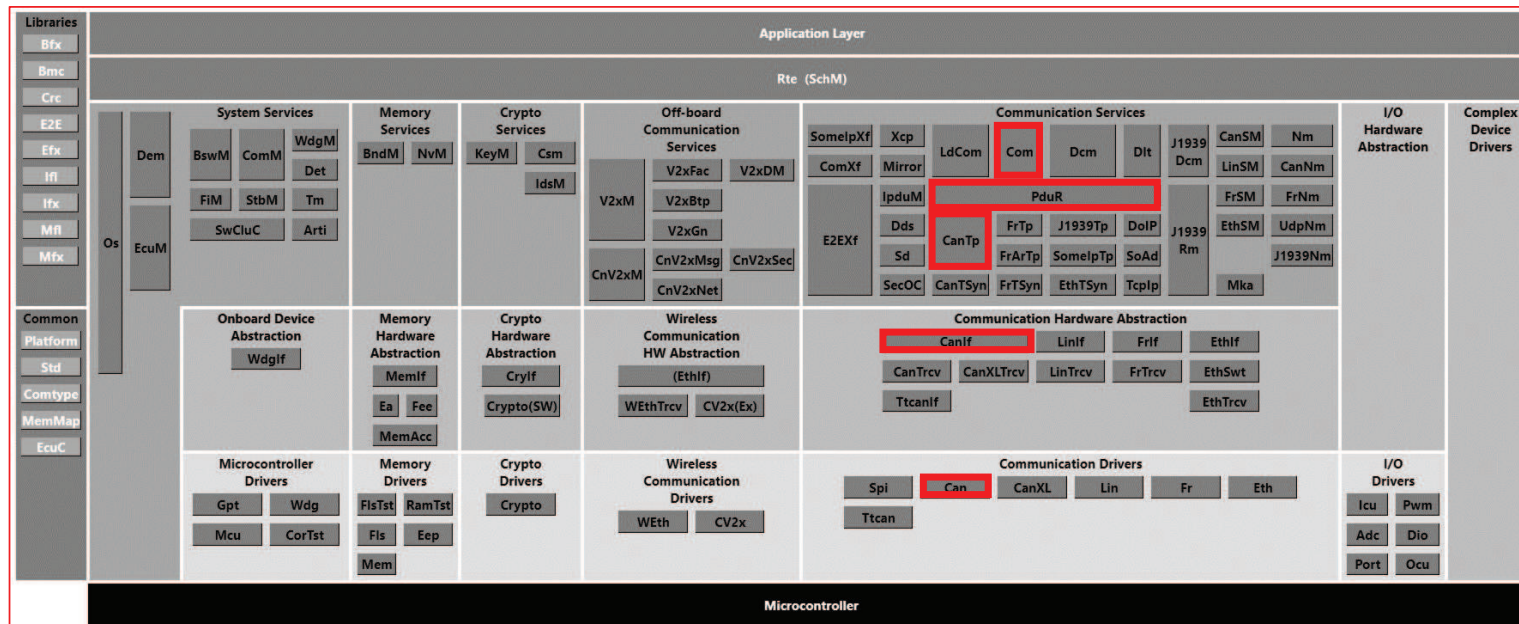
# AUTOSAR (2)



TOPPERSプロジェクト, AUTOSAR情報ページ, [https://dev.toppers.jp/trac\\_user/ap/](https://dev.toppers.jp/trac_user/ap/)

# TOPPERS/A-COMSTACK

- TOPPERS/A-COMSTACK : TOPPERSプロジェクトで開発されたAUTOSARの車載システム用通信ミドルウェア
- CANプロトコルのみをサポート



# トラクタというクルマ (農業車両への誘い)

# トラクタの歴史

20世紀第一四半期から現代と同じようなトラクタが形作られる。

- 世界最初の内燃機関式のトラクタ（フローリッチ，米，1892）
- T型フォード（フォード社，米，1905）
- PTOの導入（IH社，米，1922）
- 国産初のトラクタ（小松製作所，日，1931）
- 三点リンク（フォード社，米，1938）

（藤原 辰史，『トラクタの世界史』，中公新書，2017 より）



ポルシェ



ボルボ



フォード



ジョンディア

# そもそもトラクタとは

- **トラクタ (tractor)** : 何かを牽引する**車両**。(⇔トレーラ)
- 世間一般には農作業で使用される車両
  - 多くの場合、**耕耘**に使用される。
  - プラウ（犁）を引っ張るからトラクタ！
  - しかし耕耘だけに使用される訳ではない。
  - 作業機（インプリメント）を変えてさまざまなサービスを提供できる。  
畝立て，マルチ貼り，除草，石拾い，イモ掘り，…
- 必要な場所に**動力**と**サービス**を提供する役務車両

# 作業機



前後の作業機（インプリメント）を換装することで、さまざまな農作業ができる。



# クルマとトラクタの比較

クルマ	観点	トラクタ
1日1~2時間	使用頻度	決まった季節
ガソリン, ディーゼル, 天然ガス (CNG), 水素, 電気, ...	動力	ディーゼル
硬い路面	走行環境	柔らかい不整地
速い (20km/h~180km/h)	速度	遅い (研究室保有車の場合, 0.6km/h~13km/h)
運動の力学	力学	バランスの力学
600kg~1500kgあたり	重量	見かけより重い (研究室保有車の場合, ロータリこみで700kg)
細いタイヤ	タイヤ	接地面の広い大きなタイヤ あるいはクローラ
擦り合わせ開発	開発スタイル	組み合わせ開発
車種専用部品	部品	汎用部品
150万円あたり~	価格	100万円/10馬力

トラクタ型農業ロボット  
なくなくまつばめごう

# 「ロボットトラクタ」について

- 別に新しいものではない。
  - 古くから研究開発されてきた。
  - テレビドラマにも。
- すでに商用化されている。
  - 商用化されているのは大型機（80馬力～）
  - 一般のトラクタに+200～300万円
  - 小型機（10～20馬力）での商用化はまだ
- 自動運転が基本機能。
- 作業機の電子化はまだまだ。

# 福岡大学ななくまつばめごう

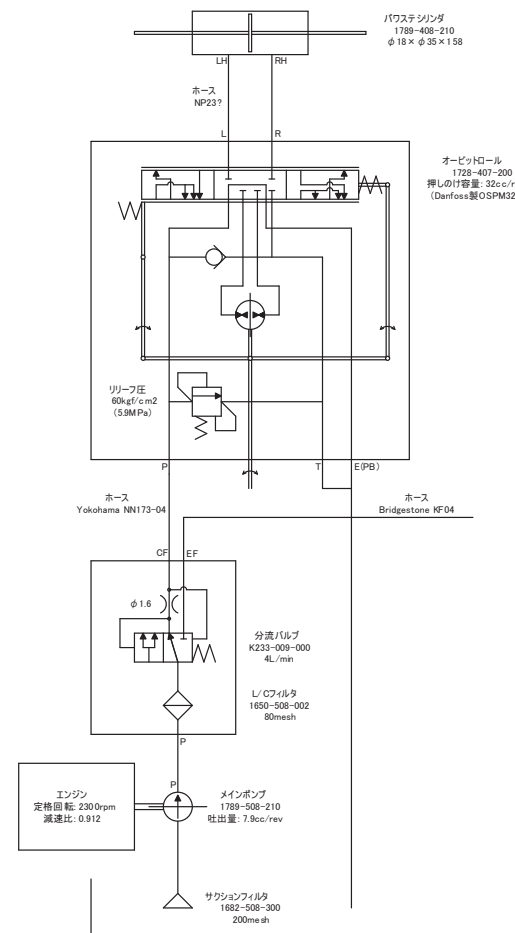


# ベース機

- 井関農機製トラクタ TQ-13
- ディーゼルエンジン，13馬力
- 四輪駆動
- 主変速4ポジ（前進3+後退1）×副変速2ポジ（🐰 🐢）
- 市販されているトラクタでは最も小型の部類
- ヒッチとPTOを装備
- ほぼすべてメカ（リンク機構，コントロールワイヤ，油圧系）
- 電装品はほとんどなし
  - バッテリ，オルタネータ，スタータ，グロー
  - 灯火類：前照灯，車幅灯，方向指示器
  - 警笛
  - インパネ
- すべてジカ線。車載ネットはなし。

# 操舵系の改造： Before

- オリジナルは「ステアリング by 油圧ホース」。
- ステアリングシャフトはない。
- 作動油をステアリングのシリンダに圧送して操舵する。
- オービットロール（重機でよく使用）と呼ばれる方向切替弁と手回しポンプの機能を有する機能でハンドルで操舵する。



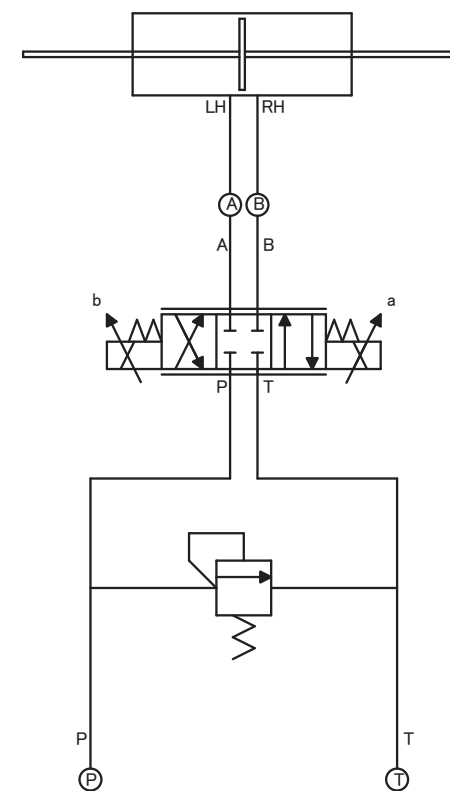
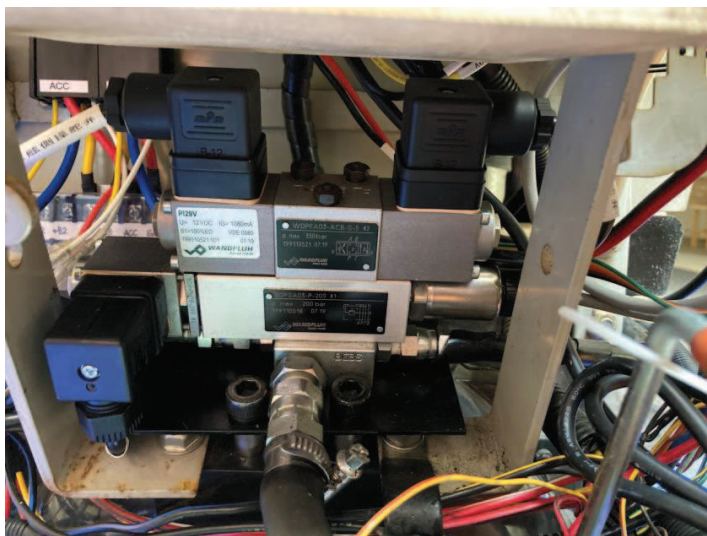
# 操舵系の改造： Before



ディーゼルエンジン，燃料タンク，バッテリー，補機類でいっぱい！（ステアリングシャフトは通りません！）

# 操舵系の改造：After

- ステアリングのシリンダに圧送する作動油を電磁比例方向流量制御弁で制御して操舵する。
- 電磁比例リリーフ弁で操舵油圧を制御する。
- 操舵しない間は操舵油圧を0にして油温上昇を防ぐ。





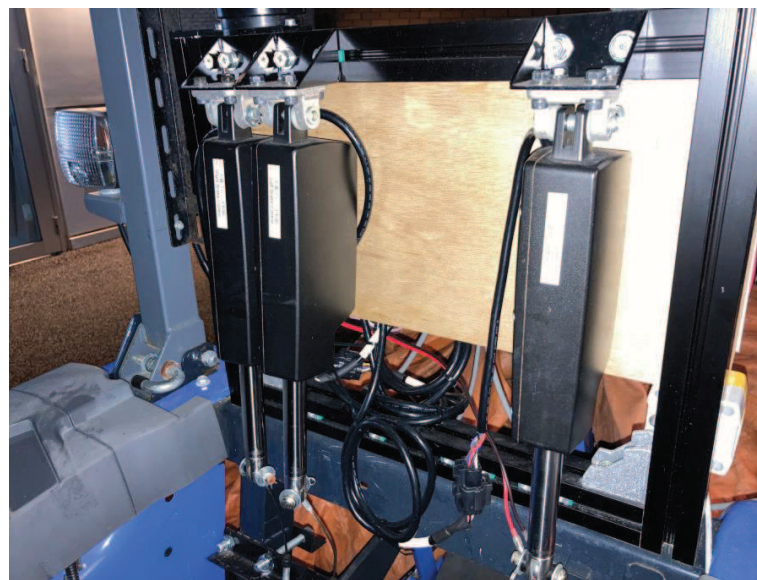
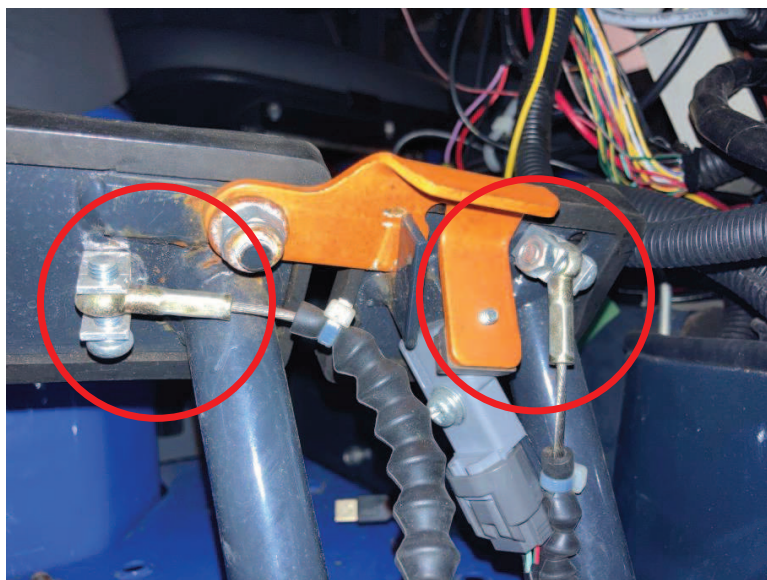
# 操舵系の改造： After

- 前輪に操舵角センサ（ポテンショメータ）を取り付けて操舵角を計測する。
- 主ECUで操舵用油圧弁への電流を変え，操舵角が目標角となるよう電磁弁を制御（PD制御）する。
- 電磁弁は電流制御（実際は約30kHzでPWM制御）。



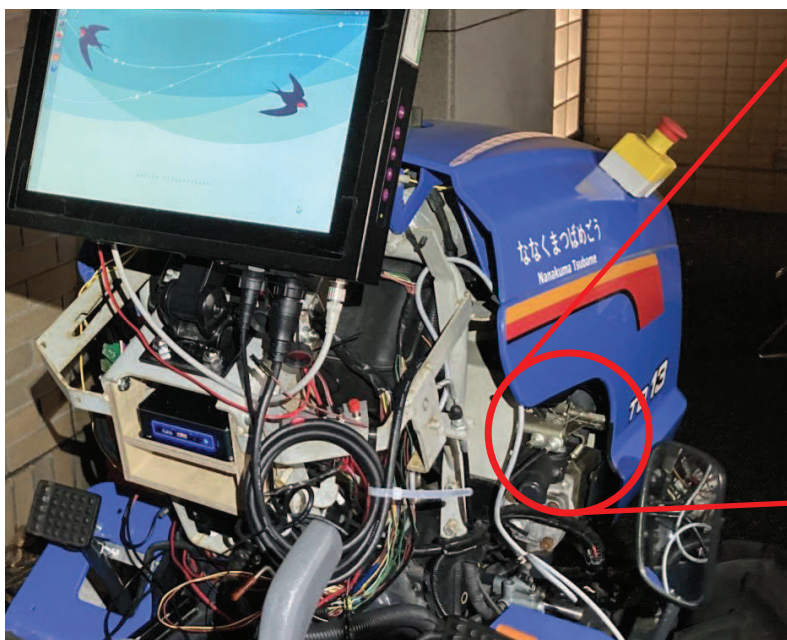
# ブレーキとクラッチの改造

- **改造前**：ペダルを踏むとリンク機構で左右スプリットブレーキとクラッチがかかる。
- **改造後**：電動シリンダでコントロールケーブルで左右スプリットブレーキやクラッチのペダルを裏から引っ張る。



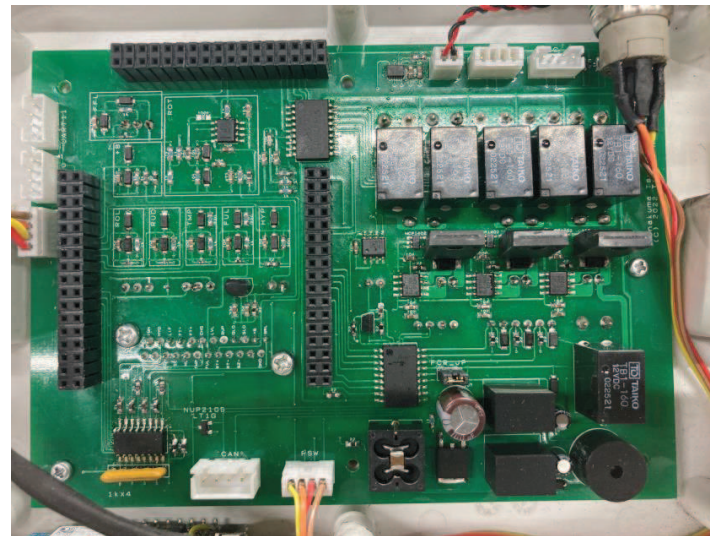
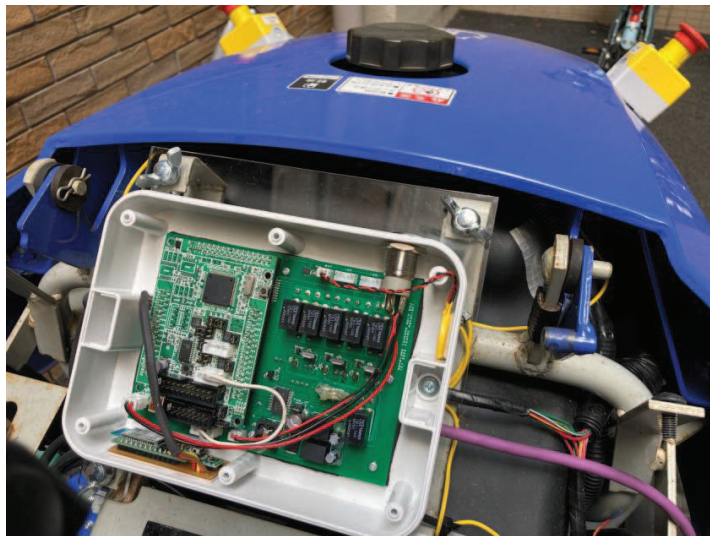
# アクセルの改造

- **改造前：** アクセルペダルとアクセルレバーからのコントロールケーブルを引っ張りスロットルを開閉する。
- **改造後：** 電動シリンダでコントロールケーブルを引っ張りスロットルを開閉する。



# 主ECUの開発

- ルネサス **V850E2FG4L** を使用
- ボードは北斗電子製 HSBV850E2FG4-L
- シールドを大学で内製
- RTOSとして**TOPPERS/ATK2**を採用

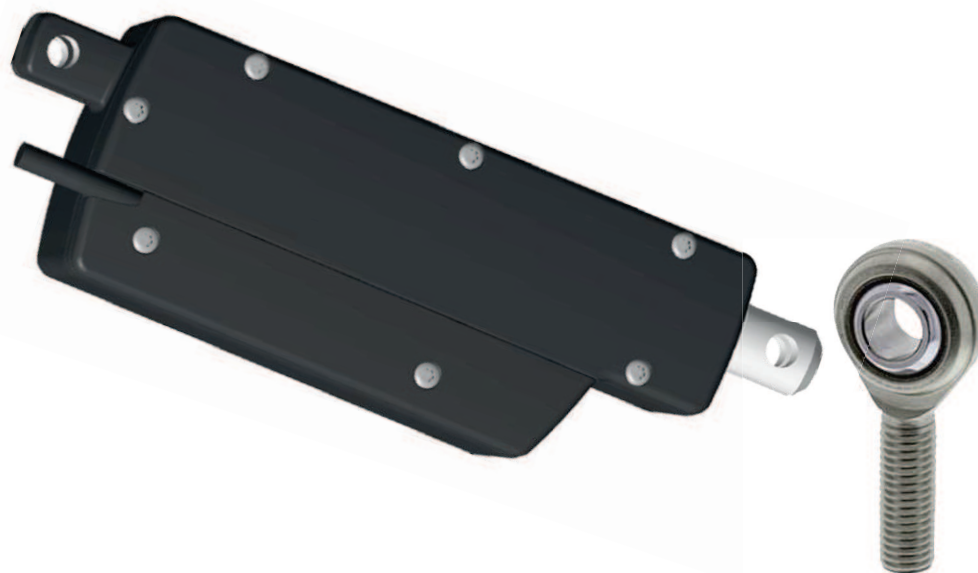
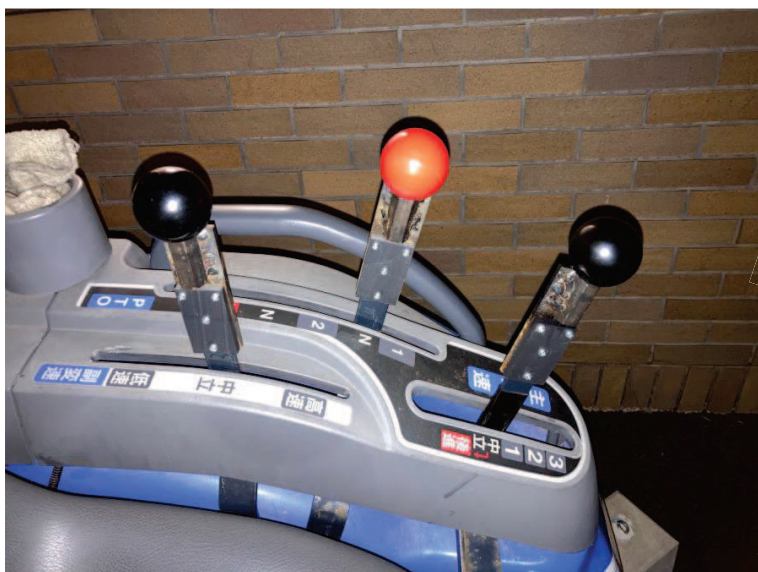


# 主ECUの機能

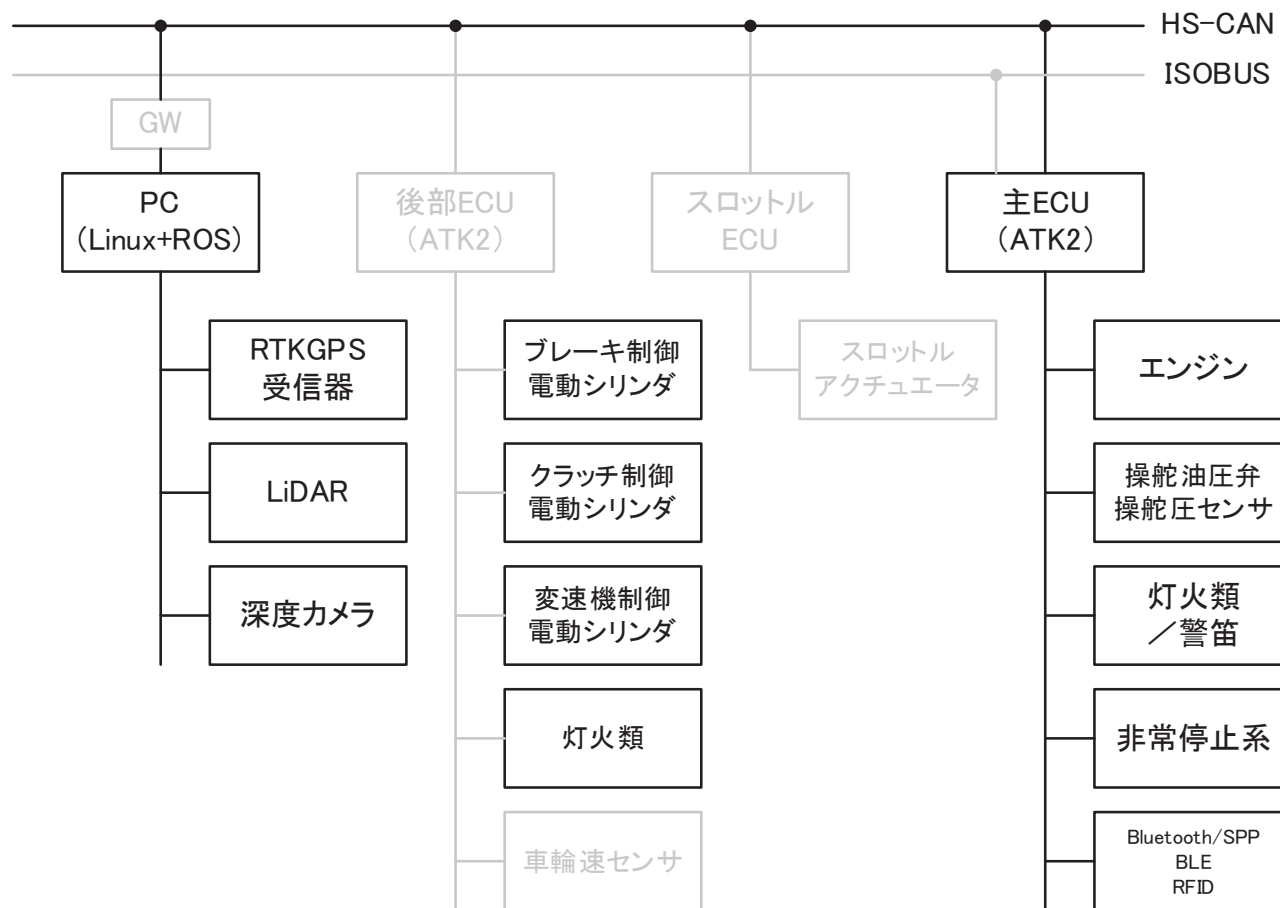
- エンジン&電源管理： グロー，スタータ，アクセサリ電源，燃料カット弁への通電管理
- 操舵制御： 操舵油圧シリンダのサーボ制御。リリース弁，方向流量制御弁の制御。
- 灯火類／警笛制御： 前照灯，車幅灯，左右舷方向指示器，警笛
- 計測： +B電圧，RPM，燃料消費，冷却水温，燃料残量，操舵系油圧，操舵角，前輪ロール角
- 監視： エンジンオイル油圧，充電電圧，ブレーキ連結，緊急停止
- 時計管理
- 不揮発メモリ管理
- CAN通信： 車載PC，他ECUとの通信
- Bluetooth/SPP： デバッグ，スマホリモコン，ウェアラブル端末リモコン
- BLE： TPMS
- RFIDリーダー： カードキー
- ISOBUS/AG-PORT（将来対応）

# 変速器の改造（近日着手）

- 改造前： 主変速（前進3速＋後退1速），副変速（🐇 🐢），PTO変速（前進2速＋後退1速）をレバーで切り換える。
- 改造後（予定）： レバーの握り玉部をロッドエンドベアリングに換装，電動シリンダで車両の後ろから切り換える。



# エレクトロニクスの概要



# TOPPERS/ATK2の使用感

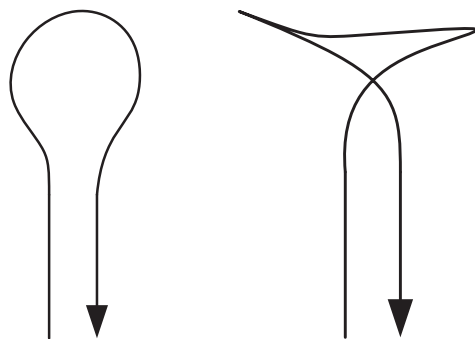
- 実は本プロジェクトでTOPPERS/ATK2を使用する必要性はそれほど高くない。
  - 現状、アプリケーション部の多くは AUTOSAR 準拠になっていないし、AUTOSAR の開発プロセスにも従っていない。
  - 車載ネットワーク (CAN) のライブラリがある。
  - 教育的&政治的な理由
- 軽い, 安い
- システムの機能とタスクスケジューリングを分離できるのは楽。
- 大変なところ: 勉強はちょっと大変。
  - 開発環境の構築と理解については時間が必要。
  - 分量のあるプロセッサのマニュアルを読み込まないといけない。
  - AUTOSARは日本語のまとまった資料がない。



自動運転に向けて

# トラクタの自動運転

- 経路計画： 枕地旋回，不整形な農地の経路計画
- RTKGPS等の測位手段で自己位置を特定
- 計画された経路を走行し耕耘
- 計画された経路を走行し可変作業
- やり尽くされているが，まずはここから。



枕地旋回の方法

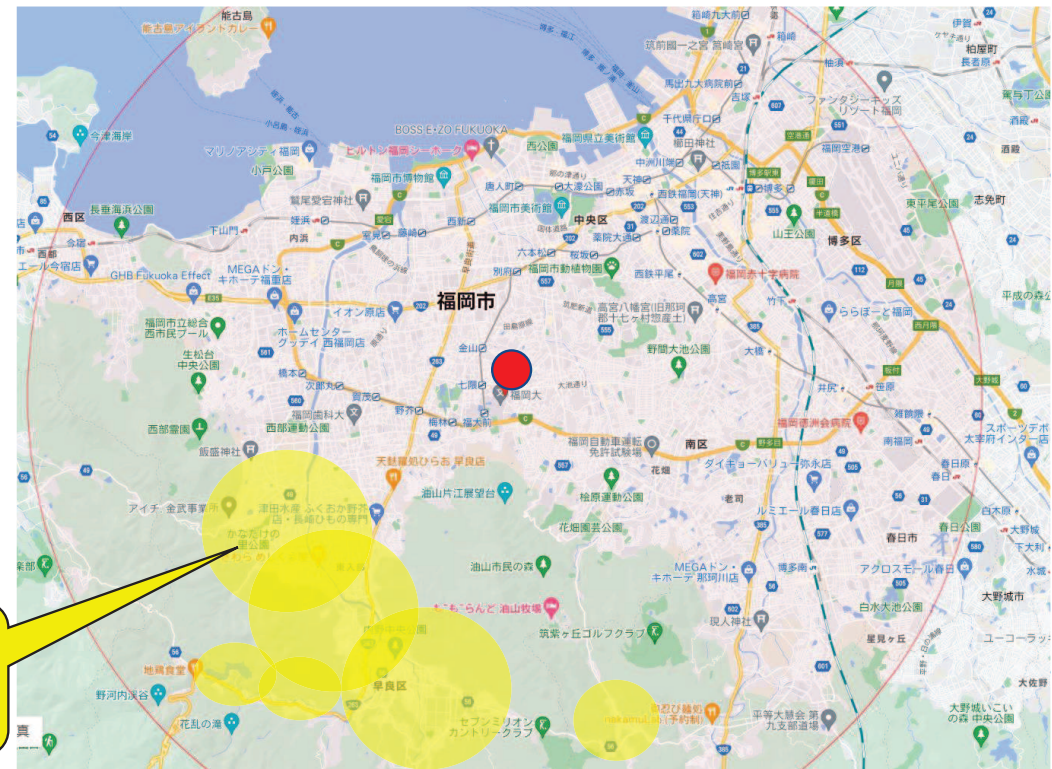


# RTKGPS (I)

- 以前は200万円以上したが今は数万円で入手可能
- 誤差センチメートル級の測位が可能（参考：大陸の移動で大きなところでは年間5cm程度ズレる）
- 補正情報の取得手段
  - 緯度・経度が既知の基準局から補正情報を送信（NTRIP）
  - みちびきCLAS（L6波）による補正情報の放送受信
- ひとつの基準局で半径10km程度をカバー

# RTKGPS (2)

- 福岡大学工学部電子情報工学科屋上に基準局（七隈局）を設置。
- 10km半径内には近郊農業地帯が含まれる。



# プロジェクトの将来展望

# なぜこのプロジェクトをやっているのか？

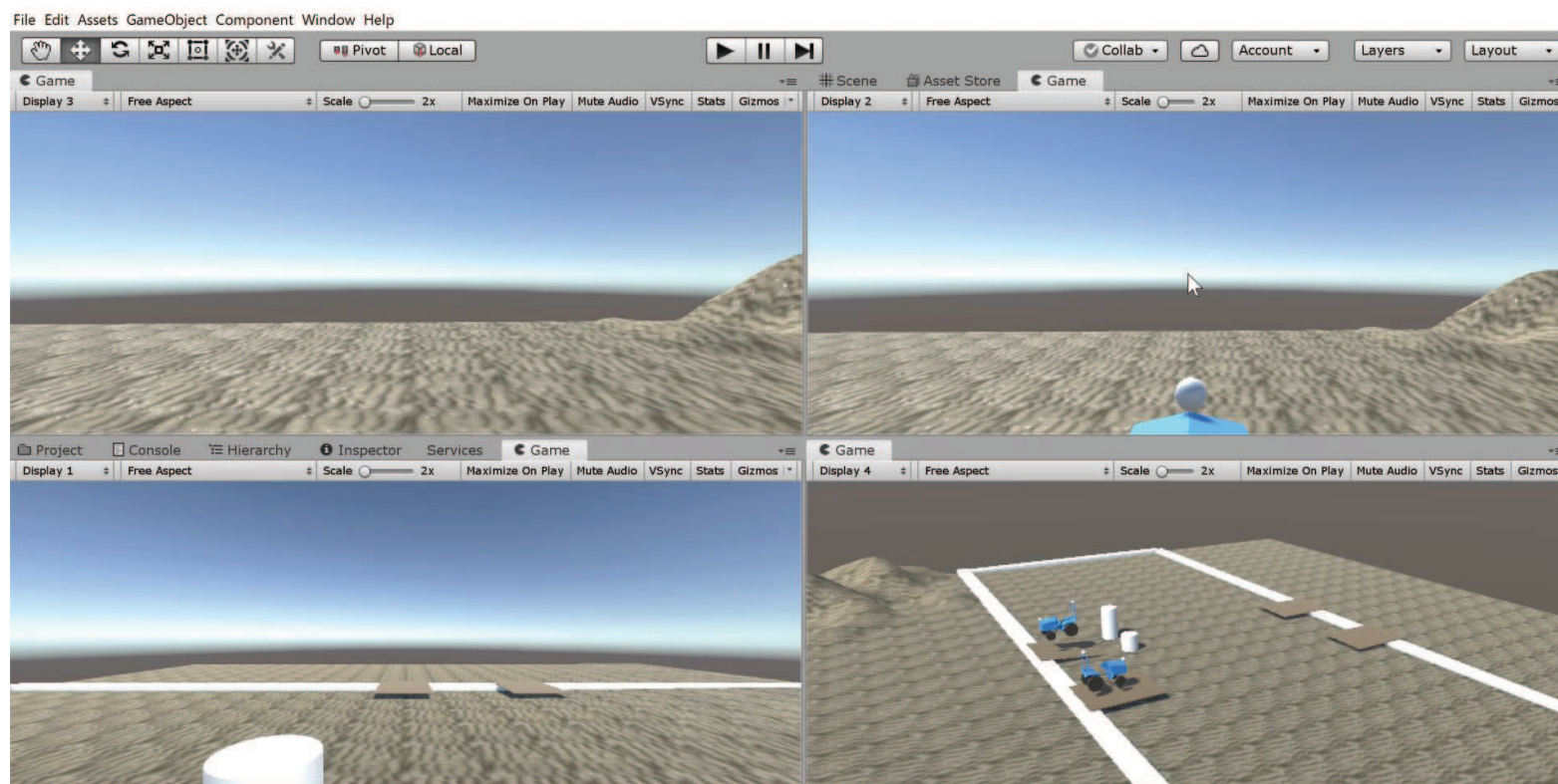
- 面白いから
- 挑戦的だから
  - 不均質なモノ，柔らかいモノ，変化するモノ，わかりきっていないモノを扱う。
  - クルマの厳しい運用環境が再現される。（熱，振動，ノイズ，容積）
  - メカ・エレキ・ソフトの「連立方程式」の問題を再現できる。
  - 経済的，社会的，文化的な要求と制約を多く含む。
- 農業車両は大学でも手が出しやすいから
  - 業務用車両としては安価である。
  - 普通免許で運転できる。
  - おおむね仕様が明らかな市販部品の組み合わせ開発になっている。
  - クルマに近い技術の評価ができる。
  - 実機を扱える。
- 自律運転トラクタの民主化

# システム／ソフトウェア工学のケーススタディ

- メカ／エレキ／ソフト複合系プロダクトライン開発&派生開発
- メカ／エレキ／ソフト複合系安全性手法 (Safety I & Safety II)
- メカ／エレキ／ソフト複合系フィーチャインタラクション問題
- 形式手法 (仕様記述と検証)
- モデルベース開発手法
- Digital Twin, バーチャルエンジニアリング
- 機械学習応用システムのためのシステム／ソフトウェア工学
- 組込み／オートモーティブ&ロボット要素技術 (画像認識, LiDAR, RTOS, 車載ネット, ...)

# バーチャルエンジニアリング実践事例（Ⅰ）

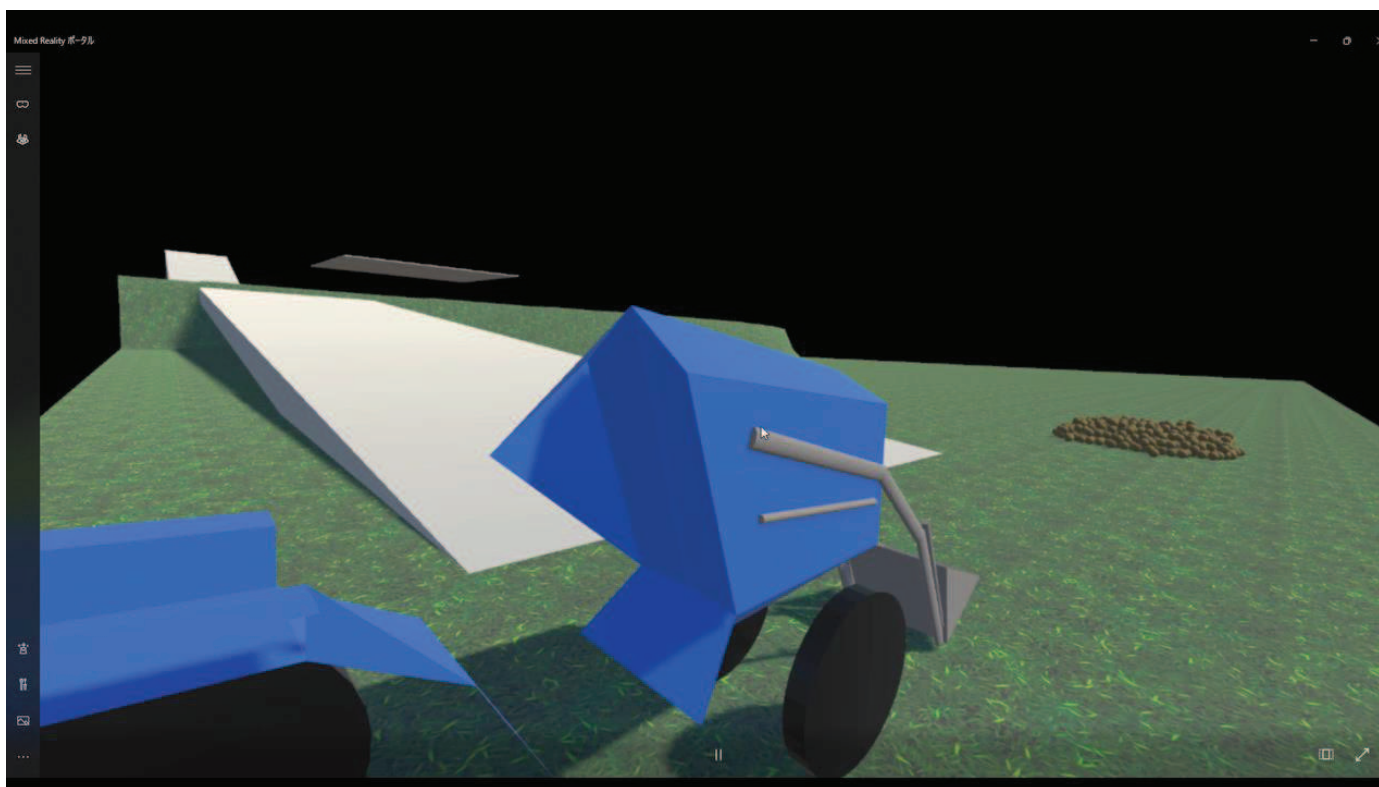
## 遠隔操縦用カメラ設置位置の検討





# バーチャルエンジニアリング実践事例（2）

フロントローダ操作支援機能の検討



# 作業機のスマート化

- 一般の農家が使用する市販のたいていの作業機は純メカ製品
  - トラクタのPTOから動力を受け取り反復作業を行う。
  - リンク機構やコントロールワイヤを使って機構を制御する。
  - 過酷な環境（振動・熱・粉塵）
  - 純メカだと壊れても自分で直せる。
- 高度な作業をさせる作業機では高度なコンピュータ制御が必要
  - 雑草を認識して処分する，ロボットハンドで果樹を収穫する，…
- とはいえスマート化のための技術はすでにあり。
  - ISOBUS：トラクタと作業機の間で車速，PTO出力等の交換を行うためのプロトコル。CANベース。
  - AG-PORT