

# 大規模有機農業に向けた 低コスト高精度除草ロボット

楊 亮亮

北見工業大学 工学部

地域未来デザイン工学科 機械知能・生体工学コース

発明の名称：自動操舵システム

出願番号：特願2022-569876(2021-12-06 出願)

PCT/JP2021/044710(2021-12-06 出願)

出願人：国立大学法人北海道国立大学機構

発明者：楊 亮亮、星野 洋平

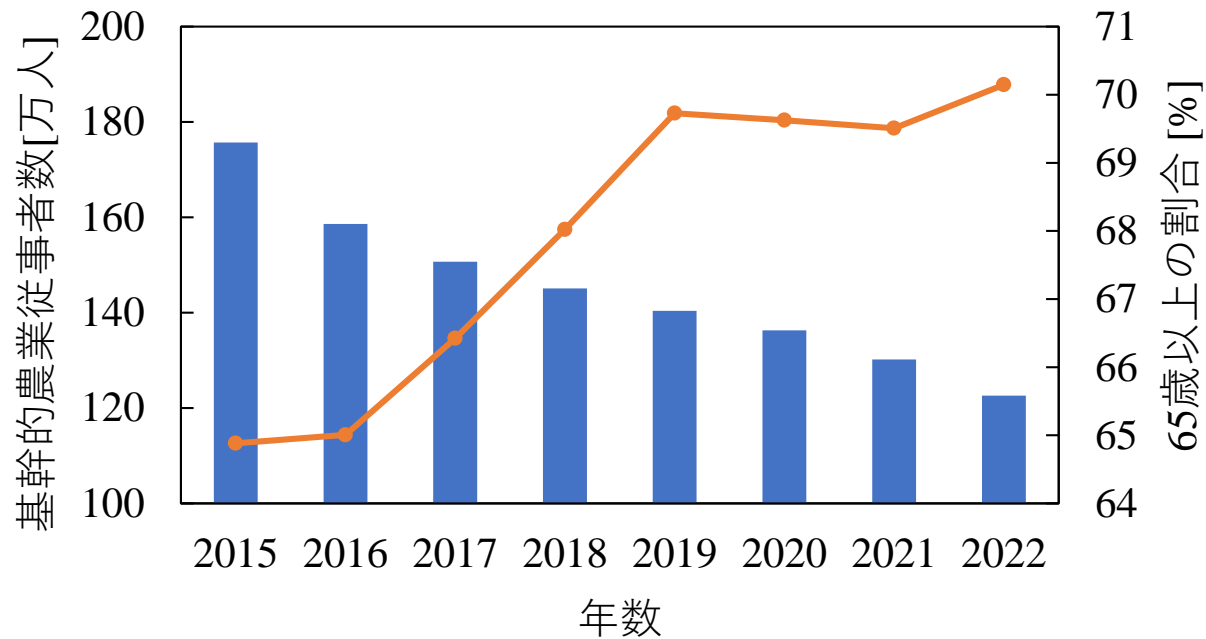
# 発明の背景

## 日本の農業現状

基幹的農業従事者の減少



圃場管理の負担増加



基幹的農業従事者と65歳以上の割合の推移<sup>1)</sup>

農業労働力に関する統計 農林水産省  
<https://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/data/08.html>

# 農業就業者の総人口の割合

	総人口	農業就業者数	割合
全国	1.256億人	122.6万人	0.98%
北海道	523万人	8.9万人	1.7%
オホーツク	27.4万人	3900人	1.4%
十勝	33.5万人	8500人	2.53%
米国	3.295億人	340万人	1.03%
カナダ	3801万人	59.3万人	1.56%
ドイツ	8324万人	74.97万人	0.9%

農業機械自動運転の需要が高い

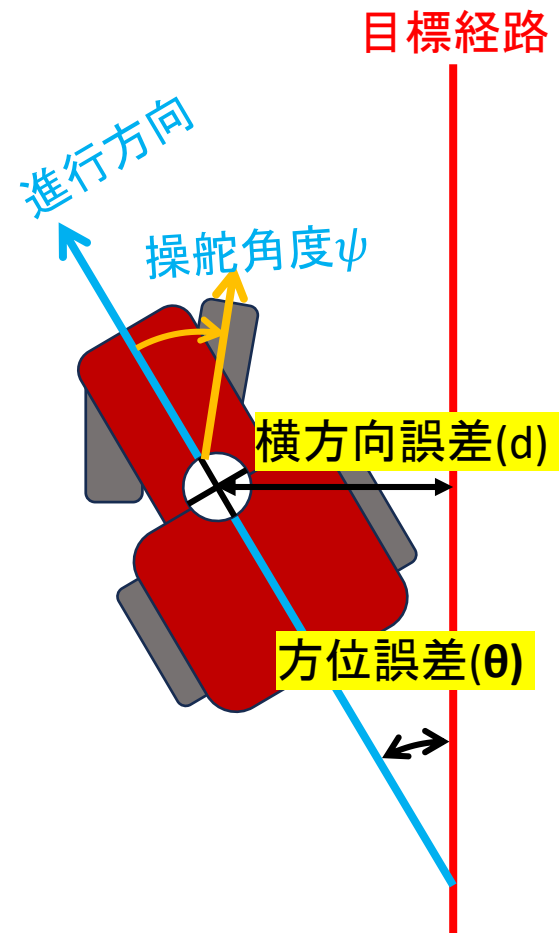
# 発明の背景

本発明は、移動体の自動運転を行う場合に、慣性計測装置のような方位センサに依存することなく、予め用意された目標経路に従って走行するように操舵制御を行う自動操舵システムに関する

- ◆旋回に必要な目標角速度と移動体の実際の旋回角速度（ヨーレート）との差から移動体の操舵ハンドルが旋回すべき角速度を算出
- ◆算出した操舵ハンドルが**旋回すべき角速度**を操舵アクチュエータに送信し、操舵制御を行う

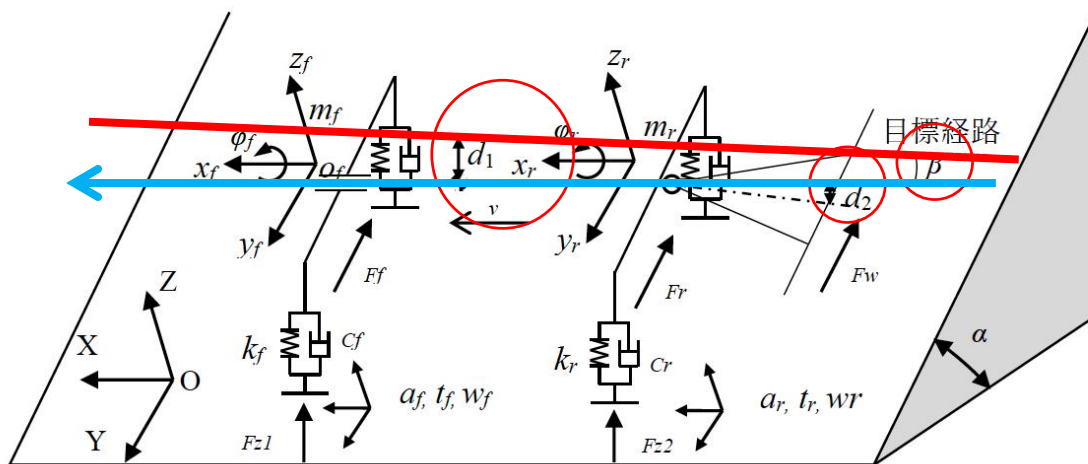
## 【従来技術の課題】

- 方位センサ（慣性計測装置（IMU：Inertial measurement unit））を用い、現在車両の方向と目標経路方向間の差分（ $\theta$ ）を求めるが、方位センサ（IMU）などが高価である
- 操舵車輪の角度制御を正しく行うために車輪角度センサが必要だが、この角度センサの車両への取り付誤差が小さくない
- 操舵角度目標値を制御信号として操舵用モータを制御するが、角速度については高精度で遅れなく制御が可能だが、目標角度への追従は通常無視できない程度の時間遅れが生じ、制御が不安定になる場合がある
- 操舵角度を制御目標値にすると、車両の横滑り（ドリフト）が十分に遅れなく制御に反映されず、横滑りに脆弱な操舵となる



操舵角度計算手法  
 $\psi = f(d, \theta)$

# 傾斜地走行時の車両モデル



$\alpha$  圃場傾斜度  $\beta$  車両方向と目標経路間の方向角度差

$m_f$  前輪荷重  $m_r$  後輪荷重  $v$  対地速度

$d_1$  車両重心と目標経路間の横滑り距離

$d_2$  作業機中心と車両中心軸の横滑り距離

操舵角度計算手法

$$\psi = f(d, \theta)$$

$d = 0, \theta = 0$  の時に  
操舵角度は 0

実際に人運転時に実際  
にはハンドルは坂の登り  
方向に切る

従来の制御法は目標経  
路の左右に振動する

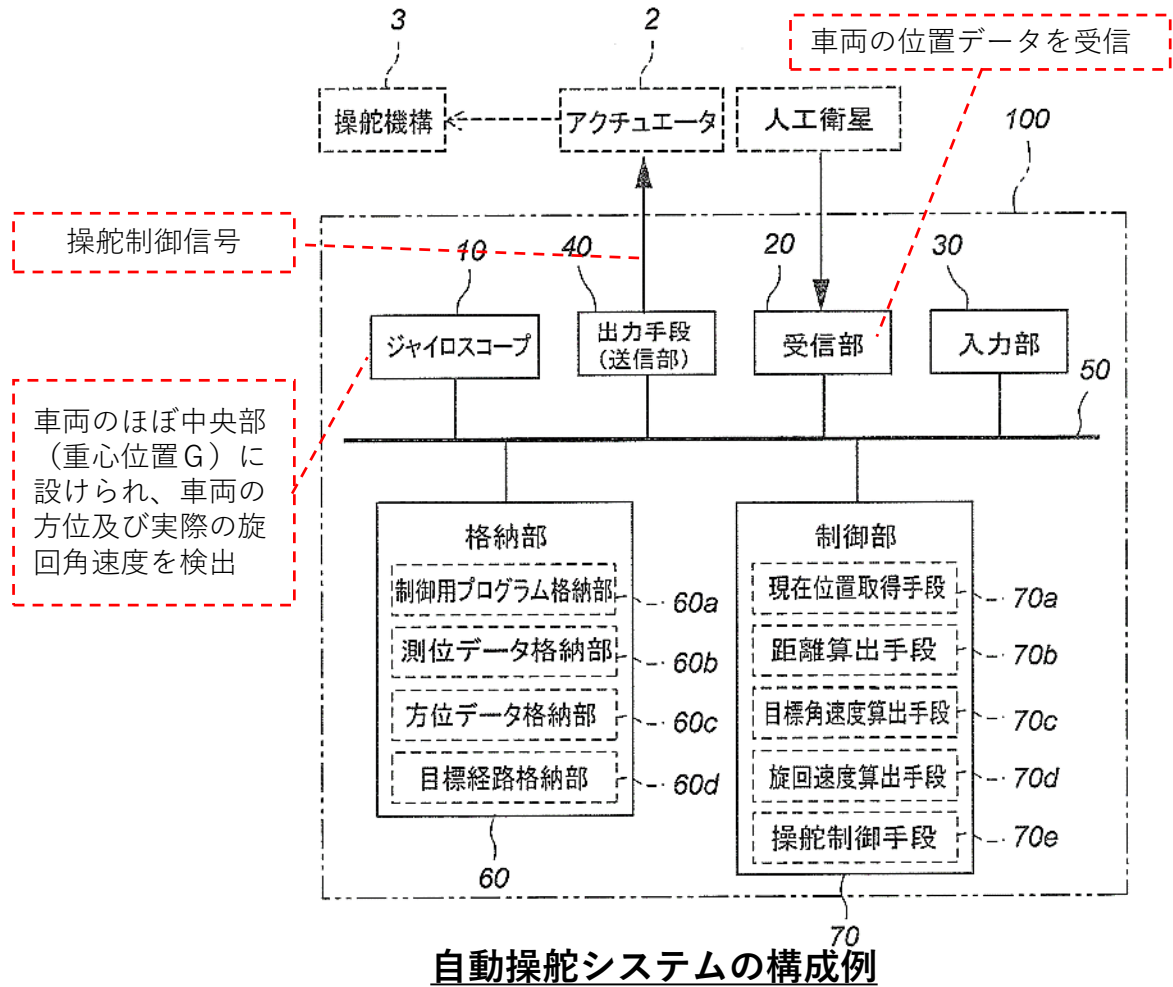
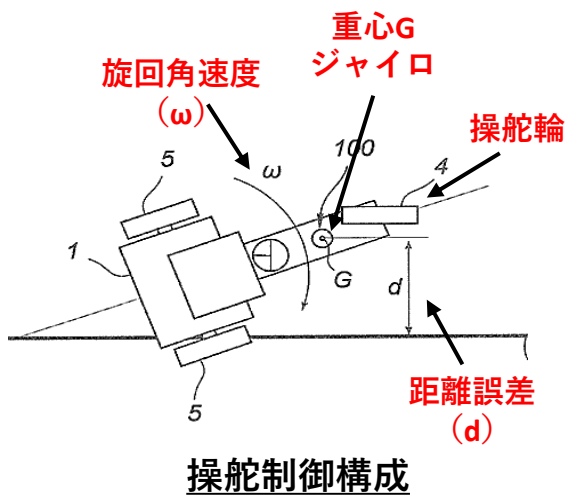
# 本発明の目的

低コストで横滑りにも強い高精度な自律走行車用  
制御システムを実現する

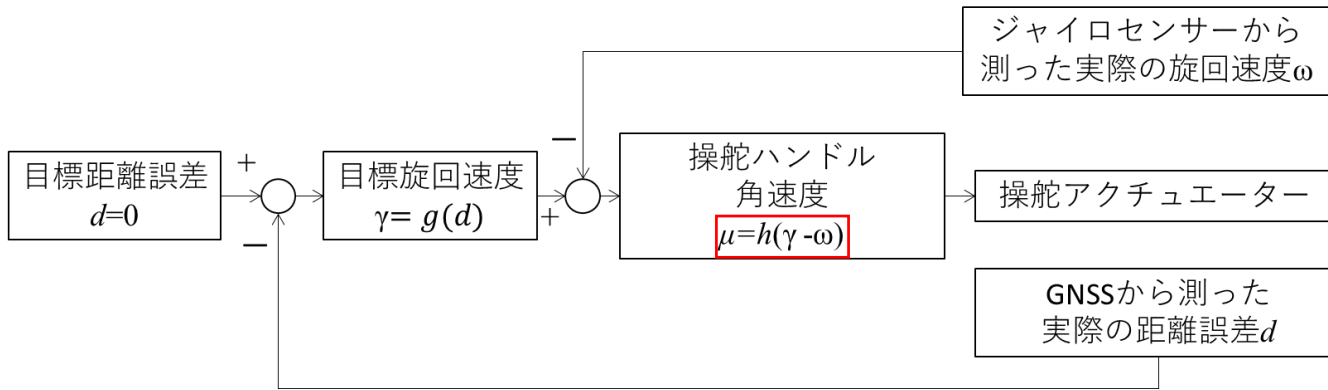


# 発明の技術内容

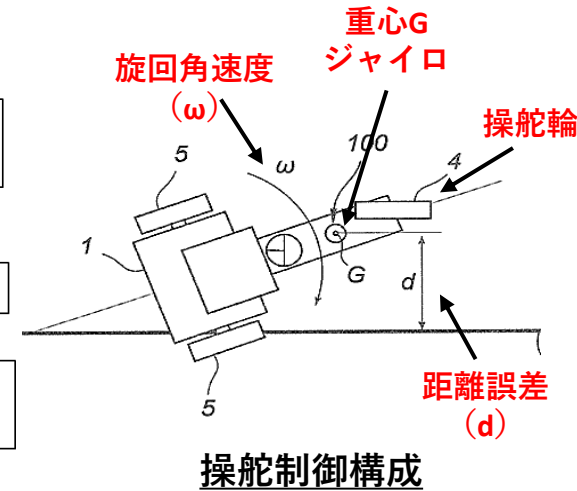
## システム構成概要



## 発明内容



操舵制御値演算フロー



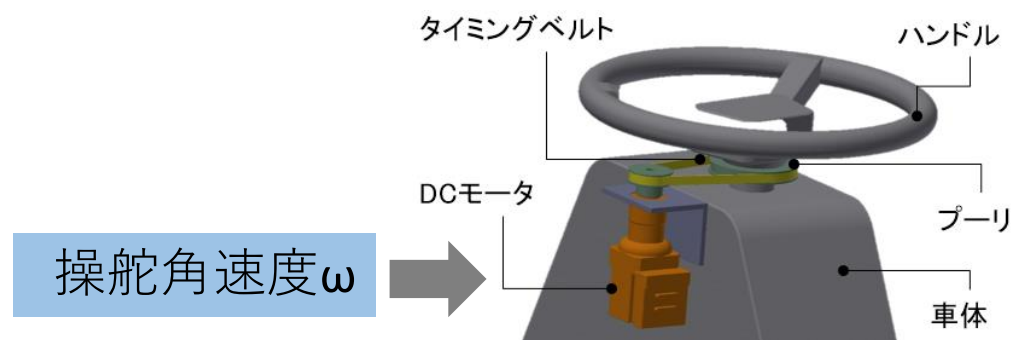
操舵制御構成

1. 衛星測位システム (GNSS) かカメラで測定した移動体の現在位置と目標経路との間の距離 $d$  (距離誤差) を求める
2. 距離 $d$ を基に、車両が旋回に必要な目標旋回角速度 $\gamma$ を算出する
3. 目標旋回角速度 $\gamma$ とジャイロスコップで測定された車両の実際の旋回角速度 $\omega$ との差から車両の操舵ハンドルが旋回すべき角速度 $\mu$ を算出する
4. 算出された操舵ハンドル角速度 $\mu$ を操舵アクチュエータに送信し、操舵制御を行う

# 発明の技術内容

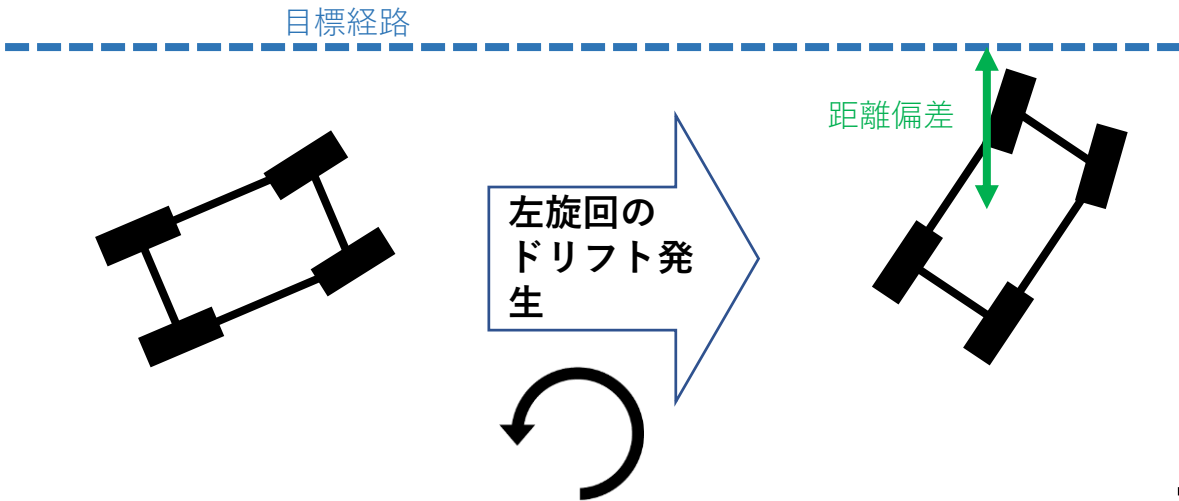
## 角速度により操舵輪を制御するメリット(対操舵角による制御)

- 制御値を角速度 (本発明) とすることで、高価で高精度な舵角センサが不要となり、舵角センサの取り付け精度のメンテナンスも不要
- 制御値を角度にすると2次遅れにより、制御の安定性、高速性が損なわれる (角速度による制御では1次遅れ)
- 制御値を角度とする場合、傾斜や横滑り量に釣り合う操舵角の角度を正確に計算(推定)する必要があるが、計算コストが高く、精度が不十分である
- 制御値を角速度 (本発明) とすることで、横滑り量とハンドル操舵の角度が自然と釣り合うため、角度計算が不要で、高精度な操舵が可能



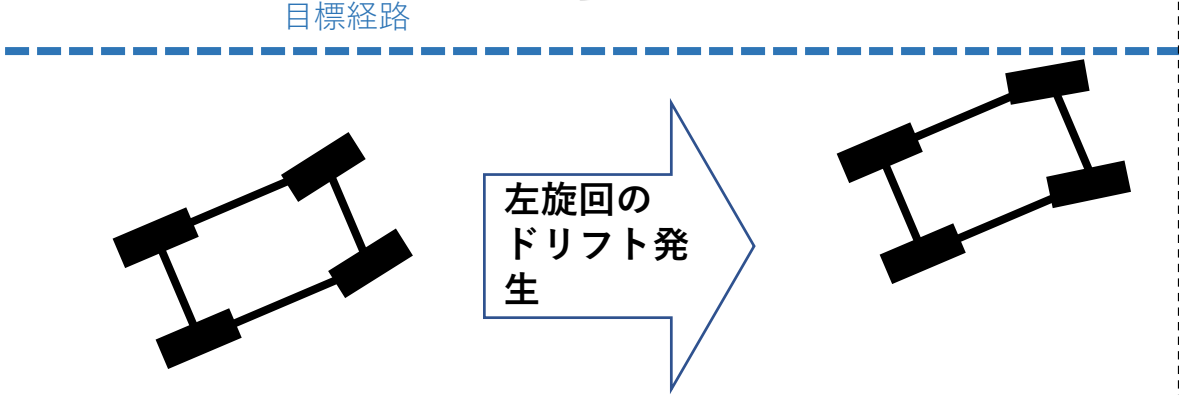
# ドリフト(車両回転)が発生した場合の従来技術との比較

従来技術



特に目標経路との距離偏差があると、目標経路に対する車両の傾きが十分に補正されず、目標経路に到達した際に、大きな傾き補正が必要  
⇒姿勢制御不安定

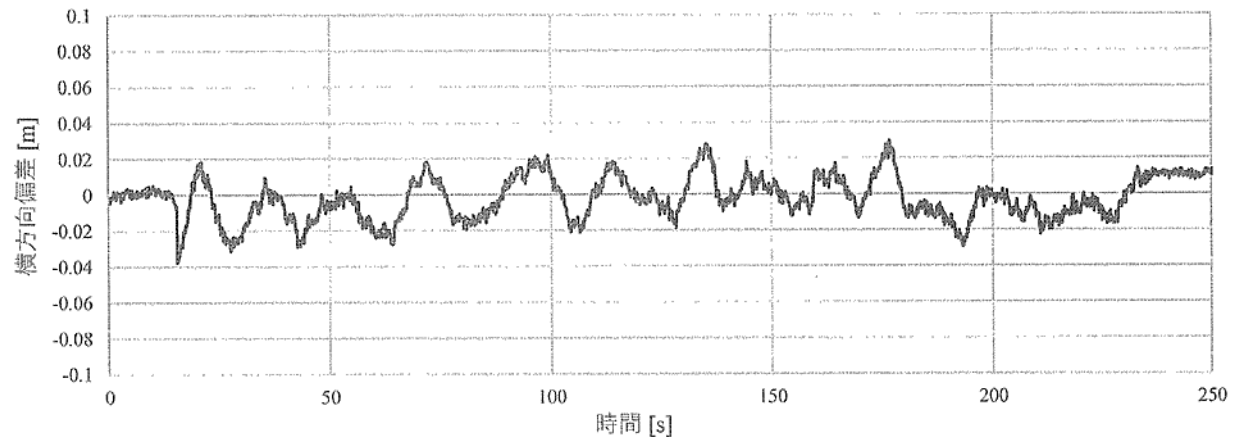
本発明



想定外のヨーレートを打ち消すように操舵が制御されるため、目標経路に対する車両の傾きが大きくなり、目標経路に到達した際に、大きな傾き補正が不要  
⇒姿勢制御安定

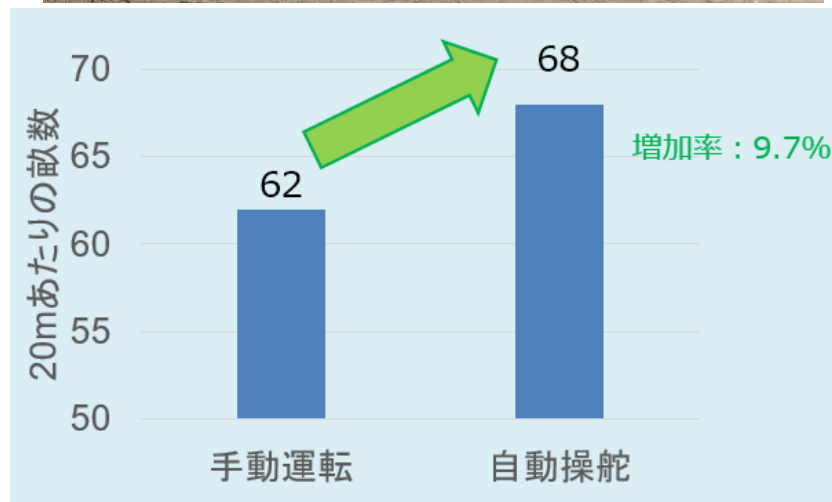
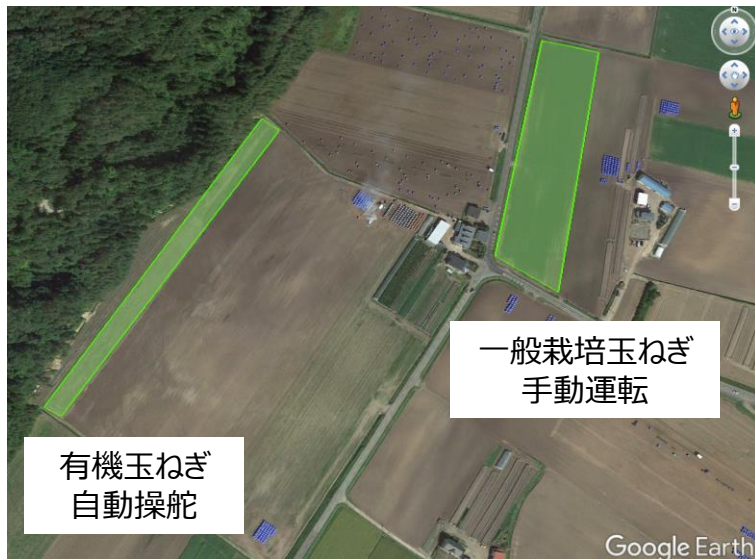
## 操舵制御精度の検証

車両走行速度が1m/sとした  
横方向の偏差は、開始時において-4cmであったが、直ちに±2cm以内に収束し、  
安定して走行できることが確認できた。



本発明の自動操舵システムによる走行実験の結果

# 自動操縦移植機使用による生産量の増加率

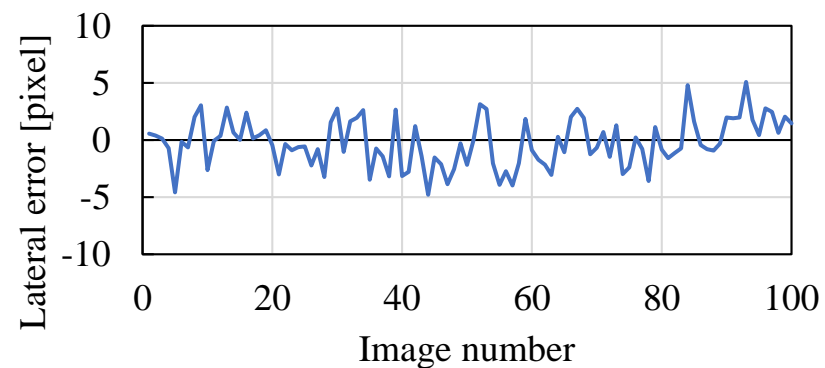


自動操舵移植機使用による生産量の増加率

# カメラを使用した玉ねぎ畑除草の様子



Mean :  $-0.237$  [pixel]  
RMS:  $2.107$  [pixel]



横方向誤差

## 傾斜地（ドリフト）走行の検証実験



傾斜面の雪上を走行

操舵輪が左右に動くも  
車両は直進している

ドリフト走行ができています



## 応用:

- 操舵角度を使用しないためクローラー式も使用可能
- 高精度方位センサーを使用しないため、  
低速移動野菜・果実収穫ロボットに使用可能



# お問い合わせ先

北見工業大学 知的財産センター（研究協力課）

TEL 0157-26-9152

FAX 0157-26-9155

E-mail [chizai@desk.kitami-it.ac.jp](mailto:chizai@desk.kitami-it.ac.jp)