

# 利用者にやさしい農業機械開発の 現状と今後

東京農業大学地域環境科学部

田 島 淳

# 本日のお話し

- 農業機械とは？
- 日本の農業機械化の歴史
- 現在の農業機械化の方向
- 利用者にやさしい機械とは？
  - フィードバック制御
  - 力覚フィードバック
- まとめ

# 1. 農業機械とは？

➤ 農業は「生態系の一部を活性化させて生物生産を行う生業」

→ 生産は生命の生きる力

故に、農作業は生物の生育環境の制御にすぎない。

➤ 農作業の補佐をするのが農業機械。農業機械はものを作らない。

➤ 人が運転する機械を用いる場合は、人は機械のシステムの1要素である。

➤ 農作業ロボットが行う農業では、人はシステムの要素から外れる。

➤ 農作業ロボットは、作物と同じ環境の中に放たれて機能する形を採ることができる。

➤ 農業の環境負荷を考えたときに人が運転する農作業の方法は最善とは限らない。

➤ トラクタを始めとする農業機械の多くは、人が運転し、化石燃料を動力源とする前提で作られている。

## 2. 日本の農業機械化の歴史

➤ 稲作・米の加工処理を中心に発達 労働生産性の向上が主たる目的

① 耕うん（発動機）、脱穀、粃摺り、精米（電動機）

（耕うん、代掻き、田植、稲刈り、天日乾燥、運搬、脱穀、粃摺り、精米）

② 耕うん機、田植機、バインダ、天日乾燥、動力運搬車、脱穀機、粃摺り機、精米機

③ 耕うん機、田植機、バインダ、天日乾燥、ハーベスタ、動力運搬車、粃摺り機、精米機

④ トラクタ+作業機（ロータリ）、田植機、コンバイン、軽トラ、乾燥機、粃摺り機、精米機

⑤ トラクタ+プラウ+レベラー+ハロー+鎮圧機+プランタ、コンバイン、大型トラック、カントリーエレベータ

（大規模化+乾田直播技術による省力・低コスト化）

狭小農地に対応

大規模農地が有利

大規模農地が対象

➤ 機械化の方向

省力化 → 軽労化 → 熟練の不要化（機械の知能化）

高効率化（省エネ化） 自動制御は有効な手段 大型化

無人化

●無人化は省力化の有効な手段であることは間違いないが、農作業の方法そのものを変える可能性も持つ。

# 3. 現在の農業の機械化の方向（ハード面）

## ➤ GNSSの普及

- ・ 精密農法への対応 位置情報と作物・土壌の状態、収穫量などとの紐づけ → 可変施肥、灌漑、防除
- ・ 自動操舵 位置情報を用いた車両のガイダンス → 直進アシスト → 遠隔運転／無人運転

## ➤ 新たな構造の機械の構造・機能・性能検査 農業機械の安全性の検査法の確立

- ・ 農業機械化促進法（高性能農業機械開発 安全鑑定） → 安全性検査 検査方法の模索
- ・ 新たな安全装備基準 マザーレギュレーション インターロック
- ・ 事故防止、事故の重篤化防止を目指す構造的な規制 → ブレーキ連結、シートベルト警告灯、警告ブザー

## ➤ 環境保全

- ・ 排ガス規制（DPF、コモンレール、Adブルー）、電動化、バイオガス利用

### 3. 現在の農業の機械化の方向（ソフト面）

- 研修制度の充実
  - ・ クロスコンプライアンス 各種講習と補助金をリンク 免許制
- 研修用テキストの発刊
  - ・ 農業機械化協会 農作業安全指導マニュアル
  - ・ 農業機械化協会 農作業安全の指導等に用いるモデル研修資料 パワーポイントデータ公開
  - ・ 農林水産省 農作業安全指導者向け研修 解説資料 PDFデータ公開
  - ・ 「農作業安全リスクカルテ」のPDFデータ公開
  - ・ 農村医学会 農作業事故 ここがポイント！ YouTube動画公開
- 自己啓発手法の啓蒙
  - ・ ILO農業における人間工学的チェックポイント のWeb公開、日本語版の発刊（日本農業労災学会）
- メーカーによる安全教育の充実
  - ・ PL法
  - ・ インターロック手法の模索

## 4. 利用者にやさしい農業機械とは？

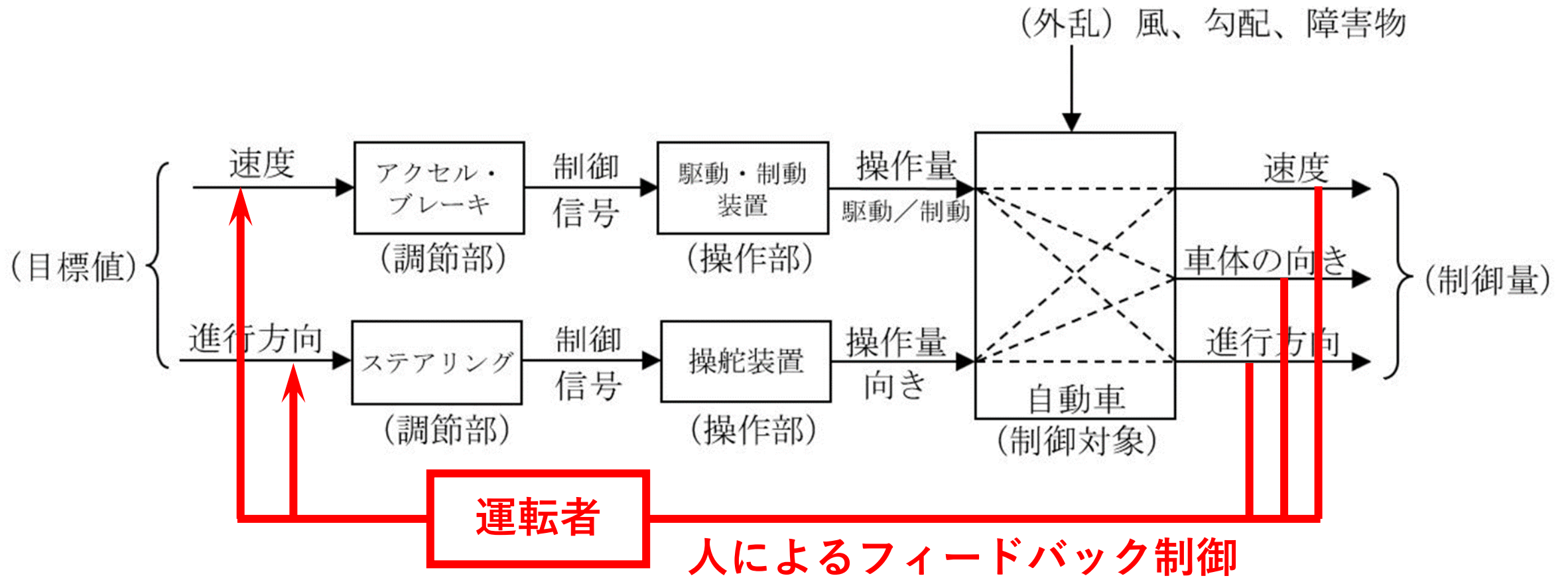
➤ 誰もが運転し易い機械とは？ フィードバック制御から考える

- ・ 機械の運転に必要な情報は？
- ・ 警告灯や警告ブザーは高齢者にやさしくない？
- ・ 運転操作のユニバーサルデザインとは？ 単一の機械では不十分

➤ 旧車への対応（安全対策）

- ・ 自己啓発
- ・ チェック項目 ステッカー
- ・ デカルの再発行
- ・ 機械の多数化への対応

# 車両の制御



- 多変量である。
  - 相互干渉がある。
  - 非線形要素がある。(車輪が滑る場合)
- } 制御が難しい。



# 運転とは？ 人間—操作系のフィードバック制御

## ➤ 車両の運転はフィードバック制御の塊

### 1. 向き・進行方向の制御（ステアリングホイール）

- 目視によるフィードバック 視覚
- 操舵力によるフィードバック 触覚（力覚）
- 操舵角度によるフィードバック 固有覚・視覚
- 加速度（横G）によるフィードバック 平衡覚
- 車体の傾きによるフィードバック 平衡覚・視覚

### 2. 速度制御（アクセル・ブレーキ）

- 目視によるフィードバック 視覚
- ペダルの操作量のフィードバック 固有覚
- ペダルの操作力のフィードバック 触覚（力覚）
- 加速度によるフィードバック 平衡覚
- 速度計によるフィードバック 視覚

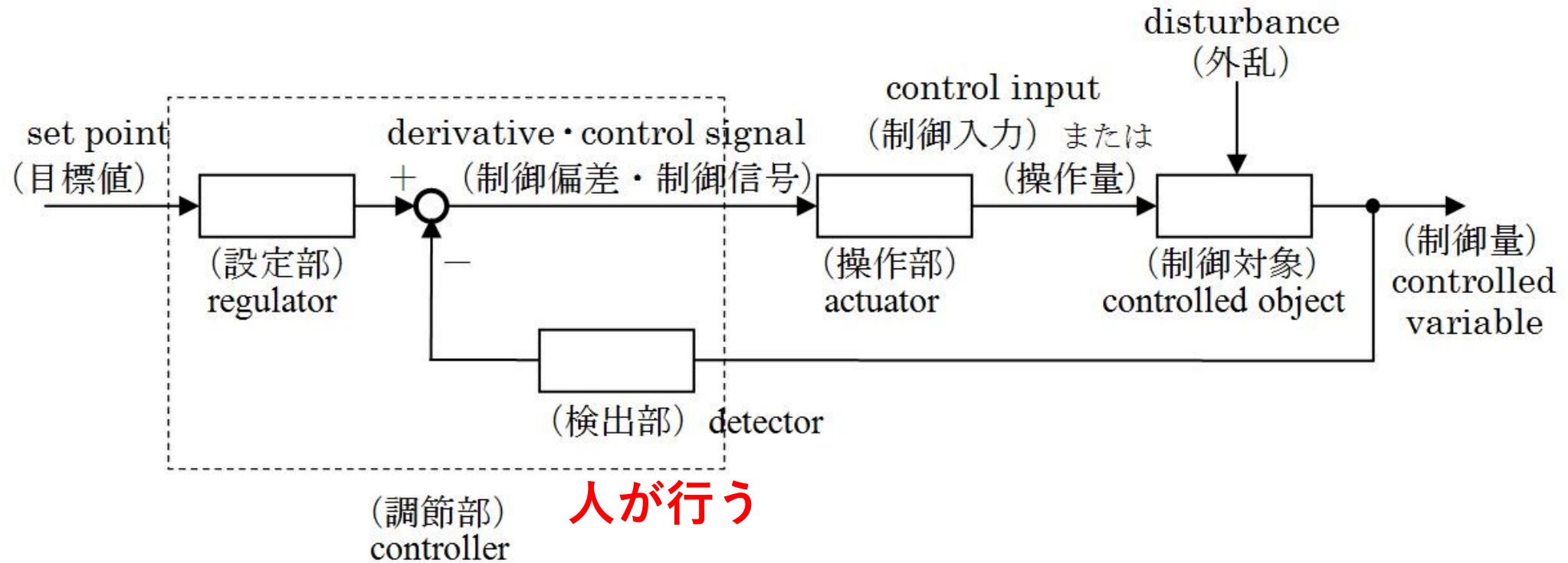
## ➤ 農業機械操作におけるフィードバックの特徴

- 低速走行、強力なパワーステアリング、リジッドな車体、大きな外乱
- 農業機械の運転におけるフィードバックは視覚に偏っている。

### 人間が持つ7つの覚

- 視覚
  - 聴覚
  - 触覚
  - 味覚
  - 嗅覚
  - 平衡覚
  - 固有覚
- 外界受容体
- 内界受容体

# 人間—操作系のフィードバック制御



- フィードバック制御は外乱に強いが、何をフィードバックするかで性能は大きく変わる。
- 人間が何かを運転する場合もフィードバック制御を行っている。
- 何をフィードバックするか。
- P、I、D 現状を見るのがP制御、過去の実績を見るのがI制御、未来を予測するのがD制御  
(比例要素による制御) (積分要素による制御) (微分要素による制御)

# フィードバック制御の例

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial K}{\partial \dot{q}_i} + \frac{\partial U}{\partial q_i} + \frac{\partial D}{\partial \dot{q}_i} = Q_i$$

$$K = \frac{1}{2} m v^2, U = mgh, D = \frac{1}{2} c v^2$$

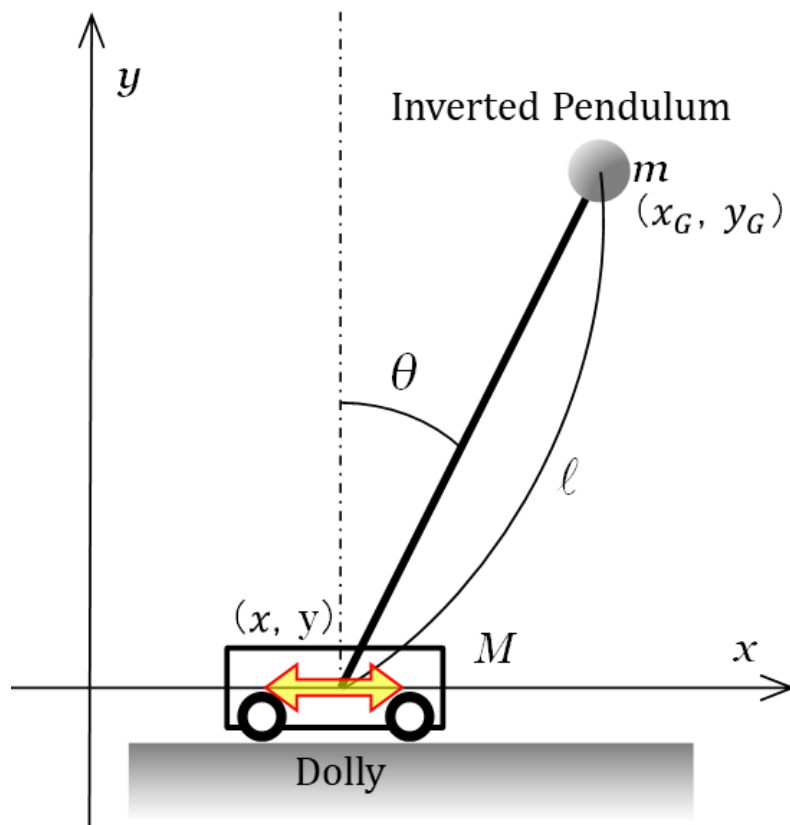
$$x_G = x + l \sin \theta, \quad y_G = l \cos \theta$$

$$K = \frac{1}{2} m l^2 \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} m (\dot{x}^2 + 2\dot{x}l\dot{\theta} \cos \theta + l^2 \dot{\theta}^2) + \frac{1}{2} M \dot{x}^2$$

$$U = mgl \cos \theta$$

$$D = \frac{1}{2} c (\dot{x} + l \dot{\theta} \cos \theta)^2 + \frac{1}{2} c (l \dot{\theta} \sin \theta)^2 + \frac{1}{2} \mu \dot{x}^2$$

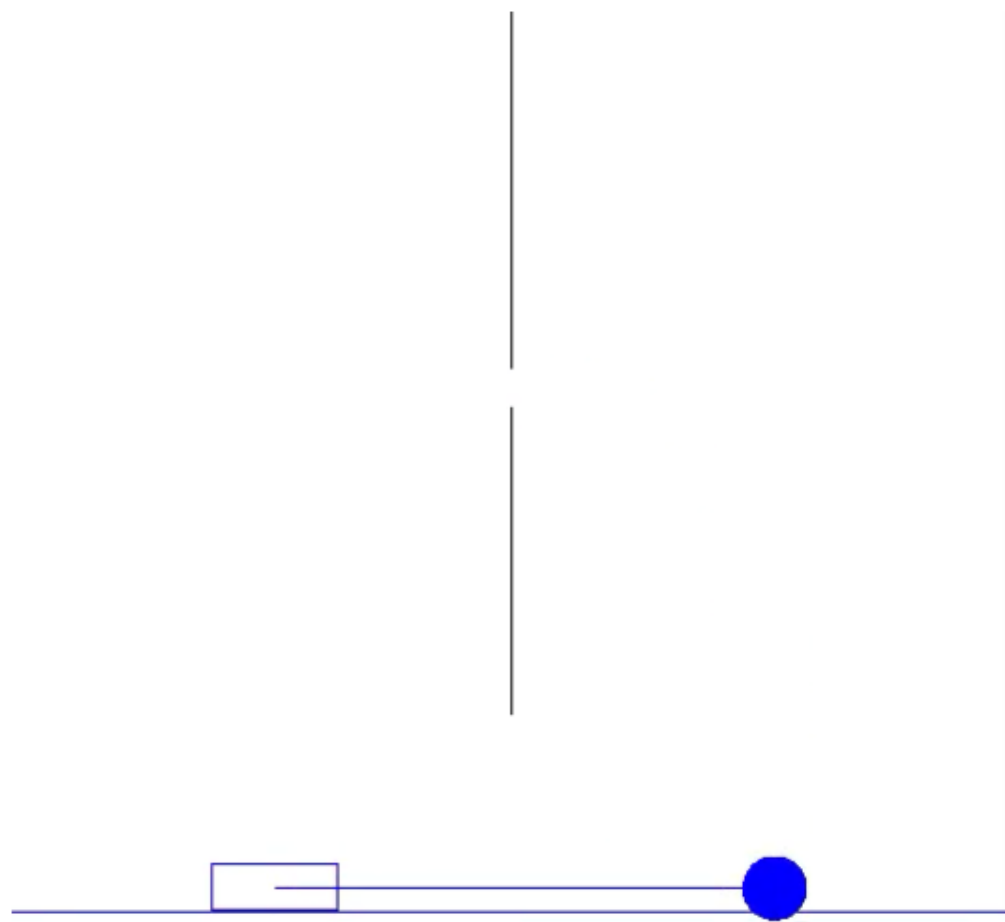
$$\begin{cases} 2ml^2 \ddot{\theta} - 2mgl \sin \theta + 2ml\ddot{x} \cos \theta + cl\dot{x} \cos \theta + 2l^2 \dot{\theta} - c(\dot{x} + l\dot{\theta} \cos \theta - W) = 0 \\ (M + m)\ddot{x} + \mu\dot{x} + ml(\ddot{\theta} \cos \theta - \dot{\theta} \sin \theta) = f \end{cases}$$



Inverted Pendulum model

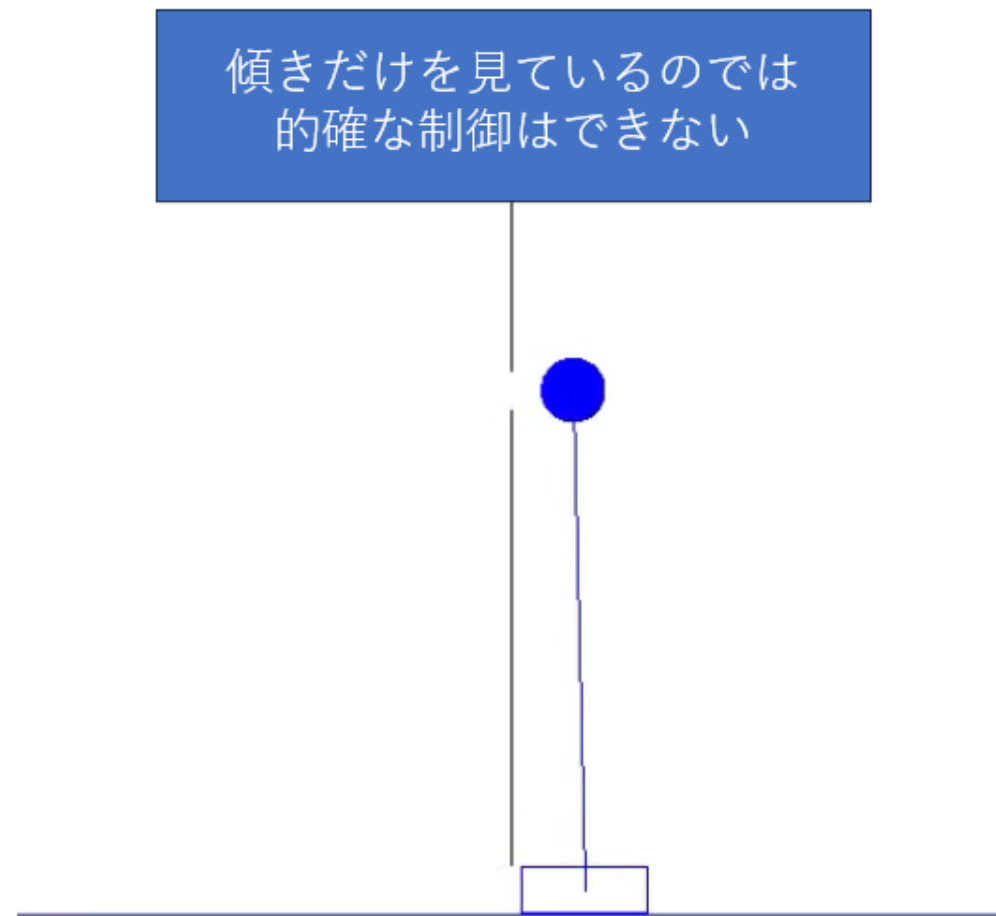
# シミュレーション結果 (1)

①制御なし  $a=b=c=d=0$



$$f = (a\dot{\theta} + b\theta + c\dot{x} + dx)M$$

②傾きだけで制御  $b=5$



傾きだけを見ているのでは  
的確な制御はできない

## シミュレーション結果 (2)

- ③傾きと原点までの距離  
 $b=50$ 、 $d=-5$

傾きと変位を見ていれば  
一応は制御は可能。  
P制御



$$f = (a\dot{\theta} + b\theta + c\dot{x} + dx)M$$

- ④傾きと傾く速度、原点までの距離、速度  
 $a=10$ 、 $b=50$ 、 $c=-5$ 、 $d=-5$

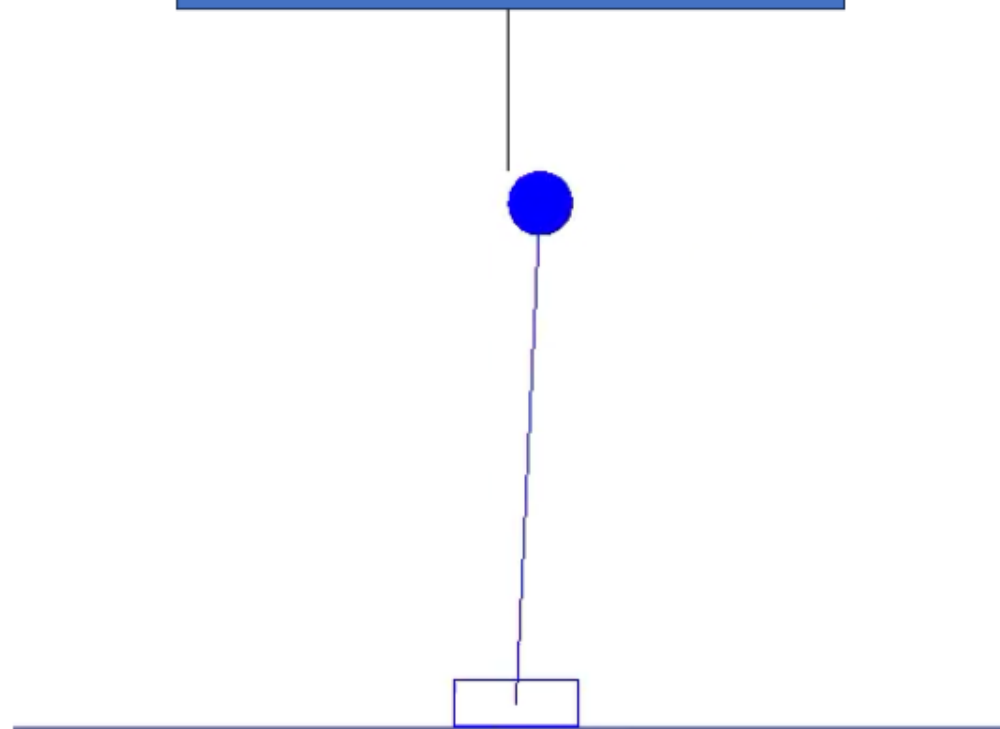
傾きと変位に加え、傾く速度、移動  
速度を見れば適切な制御は可能。  
PD制御



## シミュレーション結果 (3)

⑤傾きと傾く速度、原点までの距離、速度  
 $a=10$ 、 $b=50$ 、 $c=-5$ 、 $d=-5$  衝撃外乱

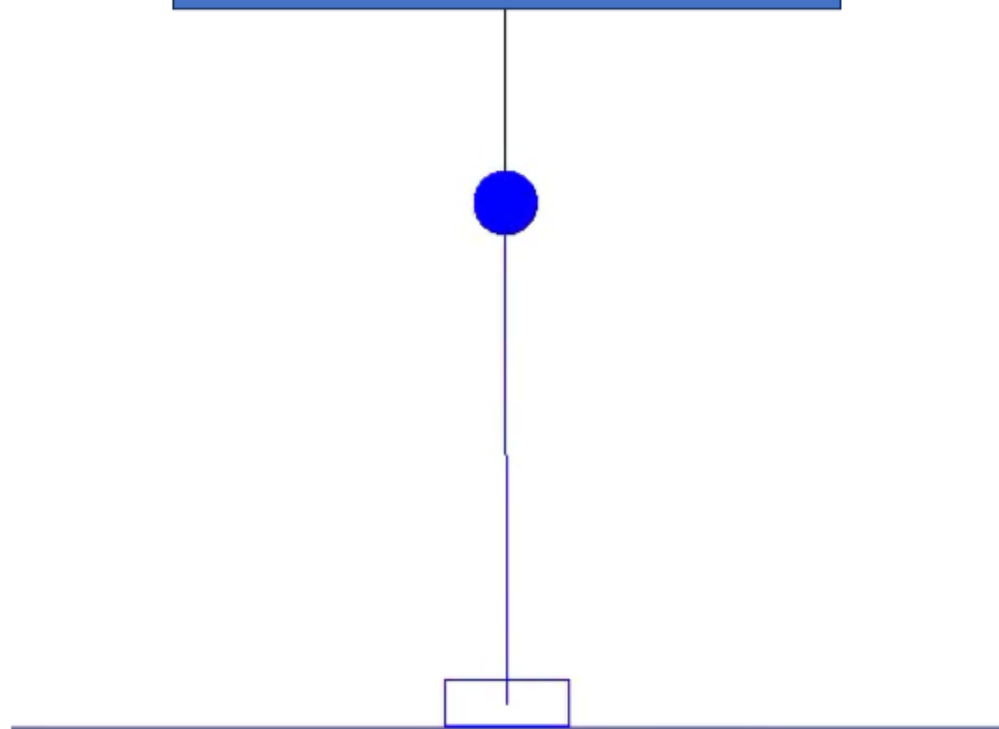
制御の良否判定は  
難しい



$$f = (a\dot{\theta} + b\theta + c\dot{x} + dx)M$$

⑥最適解  
 $a=28$ 、 $b=100$ 、 $c=-21$ 、 $d=-31$

著名な研究者による  
最適解



# シミュレーション結果 (4)

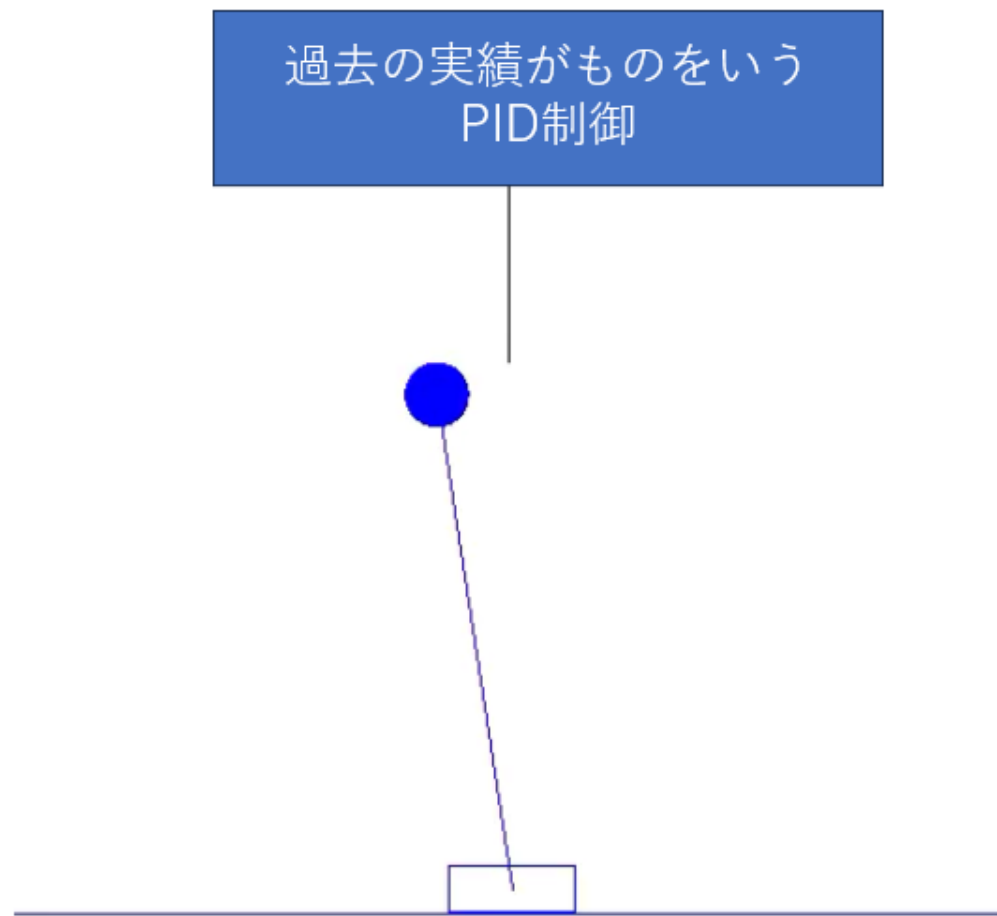
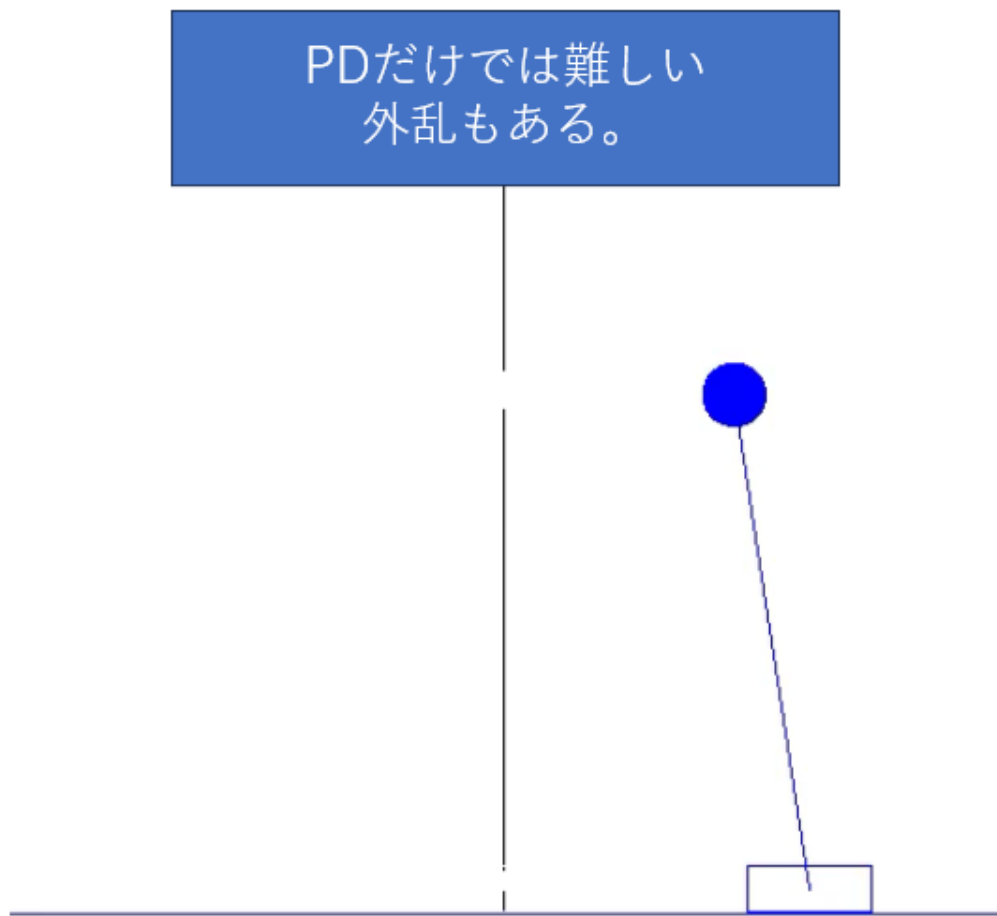
$$f = (a\dot{\theta} + b\theta + c\dot{x} + dx + efx)M$$

⑦外乱 風

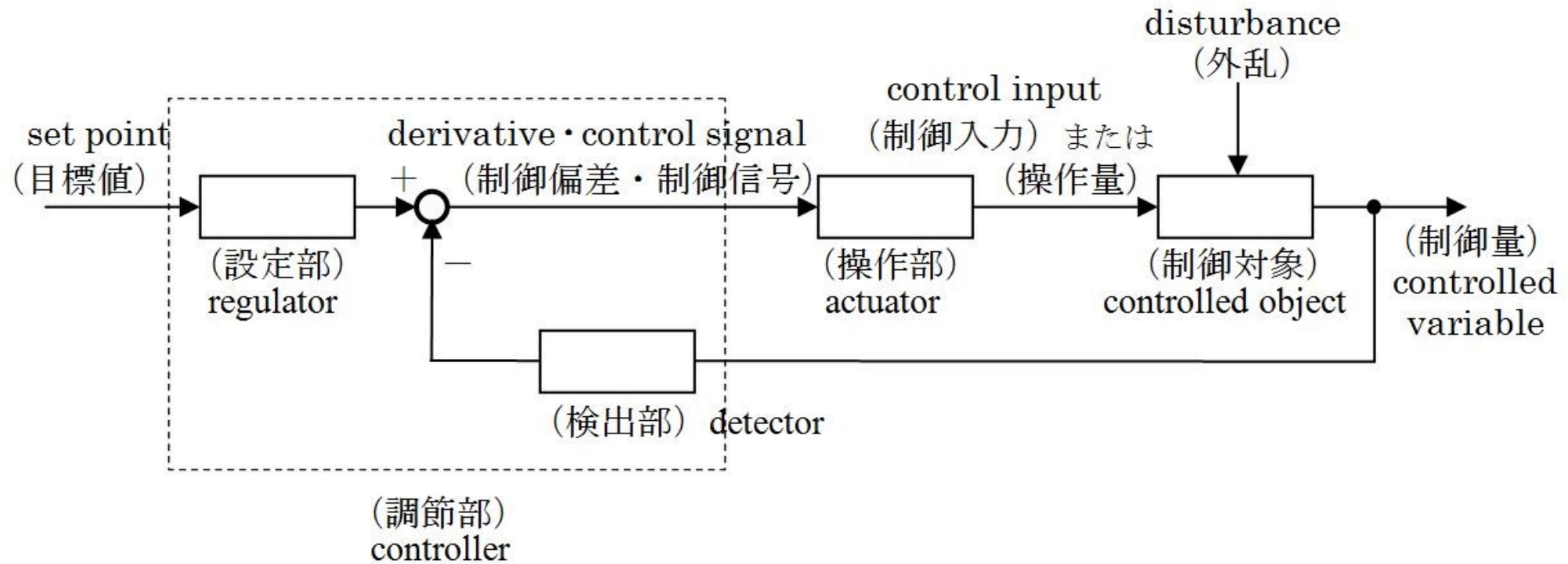
⑧ $a=28$ 、 $b=100$ 、 $c=-21$ 、 $d=-31$ 、 $e=-0.1$

PDだけでは難しい  
外乱もある。

過去の実績がものをいう  
PID制御



# シミュレーションのまとめ (1)



- 制御系で制御の良否を判定するのは難しい。
- 人が運転するシステムでは人がセンサーと制御入力を行う。
- それを補う操作系の設計が利用者にやさしいか否かを決定する。



## シミュレーションのまとめ (2)

- その設計の良否を判定するのは難しい。
- 特に運転操作に不慣れな利用者や、視覚や聴覚が衰えている高齢者にやさしい機械の評価は極めて難しい。

**常に手で操作を行っているステアリングホイールは重要な情報伝達的手段**

**★ホイールアライメント**

**(キャスト、キャンバ、トーイン、キングピン角)**

# 力覚フィードバックの特徴 (スイッチとタッチパネル)

- 速さ                    操作と同時
- 学習効果              体で覚えることができる
- 再現性                 位置と力覚がリンク
- 信頼性                 操作が確実
- 耐環境性              外乱を受けにくい
- 静粛性                 音は不要
- 視認性                 見なくていい = 光は不要

# 力覚フィードバック利用の例 ~エコ水栓~

**エコシングル水栓** TOTO GREEN CHALLENGE 節水

お湯のムダ使いを防いで、  
水と湯をしっかりと使い分け

従来のシングルレバー混合栓は、レバー中央部では水と湯が混ざって出するため、気づかないうちに給湯機が着火していることがあります。  
例えば、しゃもじをちょっとぬらすだけでも、給湯機が着火することもある。そこで水と湯の境にクリック感を作ることで無意識の着火を防ぎ、水と湯がきちんと使い分けできるエコシングル水栓が新登場。



**新技術**  
水と湯の境に「カチッ」とクリック感。レバー中央部まで水が出ます。



お湯の使用量を  
年平均で約**16%カット**※1

キッチン水栓の場合

ガス代年間 約 <b>4,680円</b> 節約!※2	CO2 排出量 約 <b>66kg/年</b> 削減!
-----------------------------------	-----------------------------------

※1.「関東学院大学 大塚雅之他：節水・節湯型シングルレバー型水栓の開発とその効果 その1.実験室での被験者実験結果の検討 2009 年度日本建築学会関東支部研究発表会」より引用。被験者実験ではエコシングル水栓と従来シングル水栓との湯使用量比較をしたものであり、季節や使い方によって効果は異なる場合があります。詳しくはメーカーサイトをご確認ください。

**LIXIL INAX** **エコハンドル**

よく使うハンドル正面の位置で  
**水**を出すから  
**お湯**のムダ使いを抑制して  
**かしこく省エネ、経済的!!**



ハンドルのこのマークが目印



従来品

エコハンドル水栓

カチッ

- 複数のフィードバック回路は有効

# 力覚フィードバック利用の例 ～カーゴクレーンの無線コントローラ～



- 小型クレーンの操作では1人作業が避けられない。
- オペレータは吊り荷の状態・位置を見る必要があり手元は見られない。

# 力覚フィードバックで重要なこと



空調調節のつまみの例（1）  
（つまみの1箇所に突起がある）



空調調節つまみの例（2）  
透過型の灯りがあるが突起はない

- 回転式のとまみは、操作するときの反力を考えなくて良いメリットがあるが、基準点を設ける必要がある。
- スライド式のとまみは、基準は明確だが、操作に力が必要な場合は、操作時の反力を受ける工夫が必要である。

## 4. 利用者にやさしい農業機械とは？

- 誰もが運転し易い機械とは？ フィードバック制御から考える
  - ・ 機械の運転に必要な情報は？
  - ・ 警告灯や警告ブザーは高齢者にやさしくない？
  - ・ 運転操作のユニバーサルデザインとは？ 単一の機械では不十分
- 旧車への対応（安全対策）
  - ・ 自己啓発
  - ・ チェック項目 ステッカー
  - ・ デカルの再発行
  - ・ 機械の多数化への対応

# 旧車への対応

- 営農現場の法人化が進み、多くの人々が共有する機械や、保有台数の増加により久しぶりで乗る機械が増加している。
  - 操作方法やレバー位置を示すデカル コーシヨンプレートは重要
- メーカーによる旧車対応
  - ステッカーを配付する、点検時に張り直す体制づくり
- 自己啓発のためのステッカー
  - 自分で作る、自分で貼る（参加型）の注意喚起ステッカーは有効

# 安全フレームと・シートベルトキットの復刻販売

For Earth, For Life  
Kubota

## 2. 安全フレーム・シートベルトキット復刻販売

### ■目的

トラクタ転倒・転落時のオペレーターの安全確保を目的として後付け可能な構造を持つトラクタを対象に、1990年代に販売していた後付け用安全フレーム・シートベルトのキットを復刻販売

### ■実績

**8月初旬時点 約1030台**

(R3年春農作業安全推進会議での報告値：約750台)

### ■お客様の評価

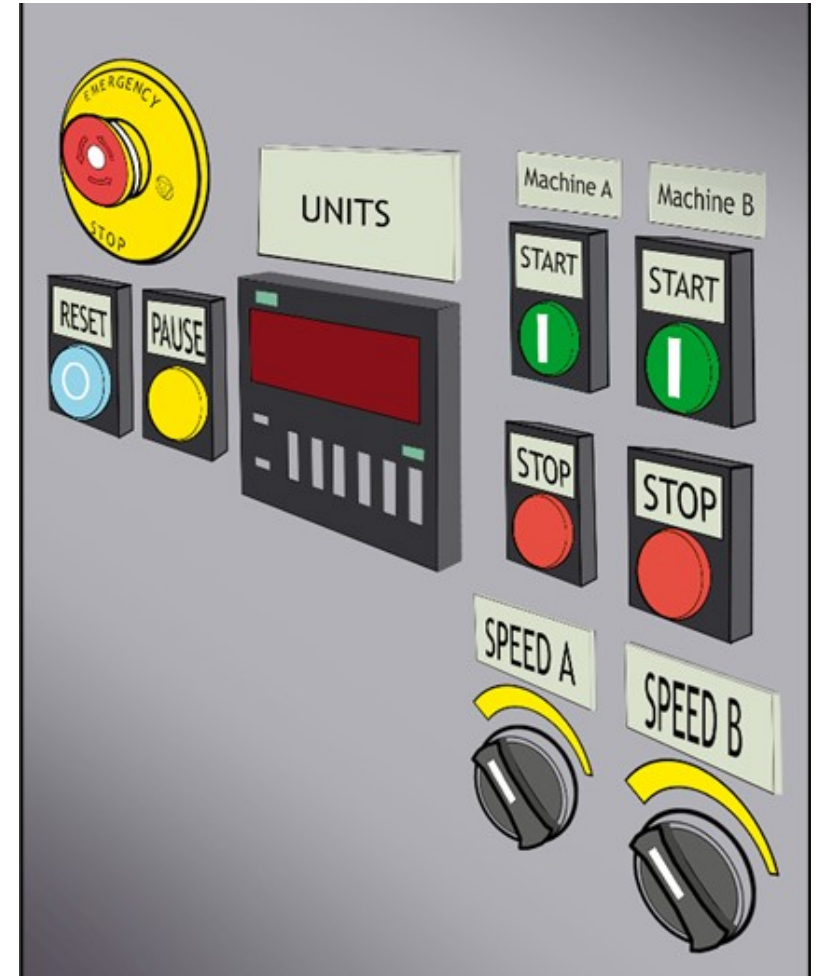
- ・安全・安心が安価で取付けることが出来大変良かった
- ・安全フレームの必要性・重要性を理解する良い機会になった
- ・値段的に薄い鉄板を想像していたがしっかりしていてびっくりした 等





# 旧車への対応 (1)

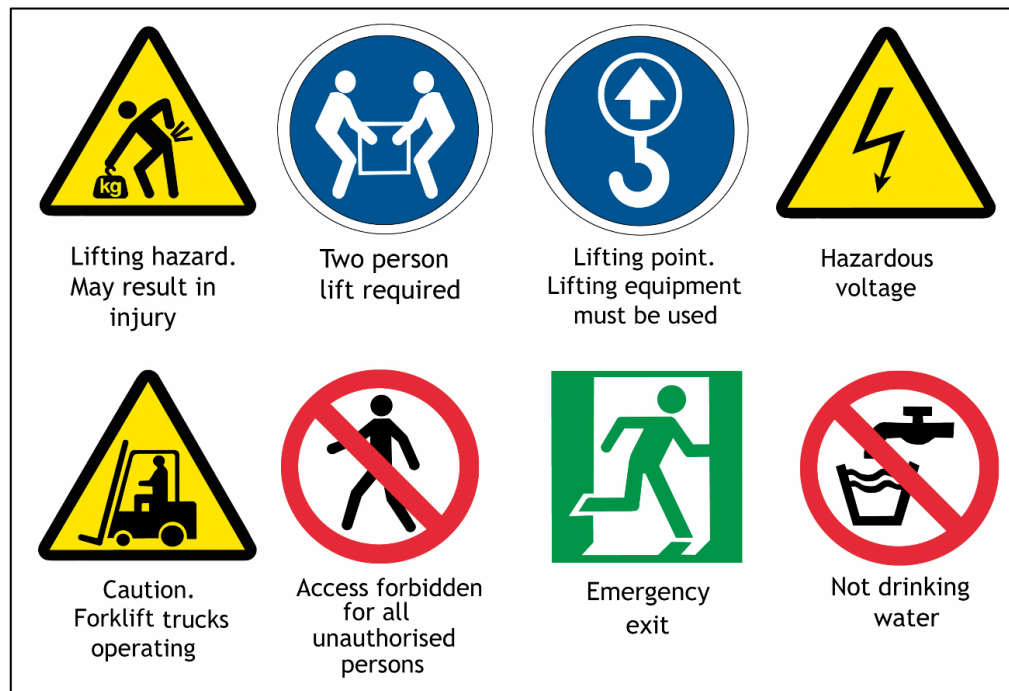
- スイッチ、レバー類の意味や操作方向を示す表示(デカール) は重要
- 走行中に操作する必要があるスイッチでは、視覚のフィードバックに期待してはならない。
- 力覚を併用したフィードバックはいかなる場合も有効である。



ILO農業における人間工学的チェックポイントのチェックポイント40

# 旧車への対応 (2)

- 一般的なコーションプレートとは購入することもできるが、購入して張るといふ動機づけが重要



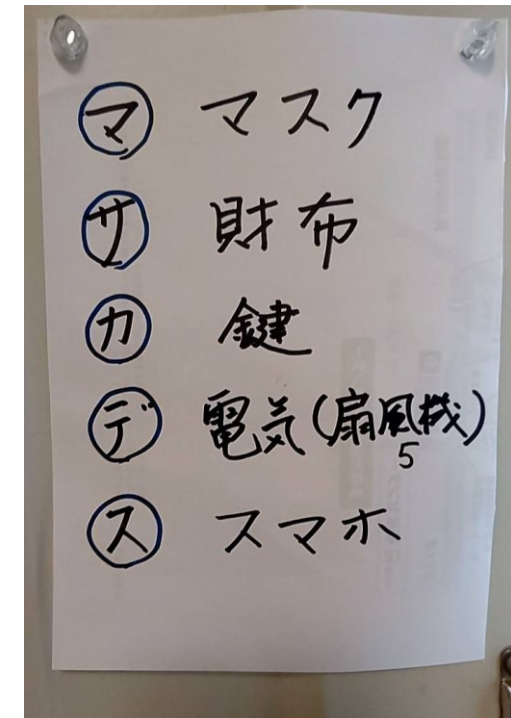
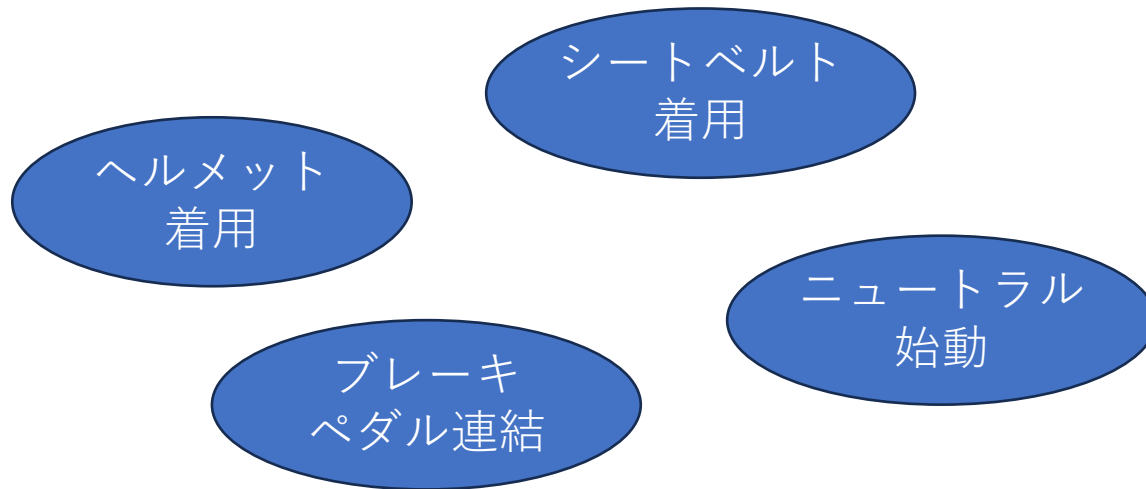
ILO農業における人間工学的チェックポイント  
のチェックポイント26



操作レバーのデカールが脱落しても現役の農用運搬車

# 旧車への対応 (3)

- 重要項目を整理して自分で作るチェックリスト
  - 自分で作る、自分で貼る（参加型）の注意喚起ステッカーは効果に期待



頭文字のゴロ合わせまで巧みな  
外出前チェックリストの例



小型トラクタの運転席  
(メーカーによって配置が異なる操作レバー類)

ユニバーサルデザインは、単一機械だけでは達成できない。

# 標準仕様



動画

一般的な中型トラクタの運転席  
(5個のペダルが見えるが、この他にデフロックペダル (右足) がある。)



複数のモニターが並ぶ大型トラクタの運転席  
(車速、作業機関係の操作はすべて右手に集中している。)

# まとめ (1) 使用者にやさしい農業機械に必要なこと

- 農業用車両のステアリング操作には、視覚画像のフィードバックに頼らざるを得ない。
    - = 視覚の利用はステアリング操作に限定すべき。
  - 走行中に他の操作に運転者の目を拘束することは、NG。
    - = タッチパネル利用はNG
  - 操作系を制御するための「人ー操作系」のフィードバック制御についての手法を熟考すべき。 力覚フィードバックの利用
  - 車両系機械の操作系は、手元を見ずに操作できることが重要
- ◎人による目視以外のフィードバックをサポートする機能がある操作装置の開発が重要

## まとめ(2) 使用者にやさしい農業機械に必要なこと

- 多くの人に乗る機械、久しぶりで乗る機械への対応
  - 操作方法やレバー位置を示すデカール コーシヨンプレートは重要
- 自己啓発のためのステッカー
  - 自分で作る、自分で貼る（参加型）の注意喚起ステッカーは有効
- メーカーによる旧車対応
  - ステッカーを配付する、張り直す体制づくり



# 課題と展望

## 課題

- メーカー間、機種間で、操作装置に大きな違いがある。せめて配置だけでも統一すべき。
- 各メーカーが競い合って使い易い操作系を考究しているが、統一されていないことの方が大きな問題である。
- コンピュータによる自動制御とマニュアル操作の混在によりシステムが複雑化している。
- 新しい技術が乱立していて、どの方式が合理的で優れているのかが判断できない。

## 展望

- 安全性検査などによる構造調査と評価に期待。
- 旧車への対応では自己啓発に期待する。
- ステッカーの配布など、具体的な対策を講じるべき。