水田用小型除草机器人的研发

福井工业高等专科学校　机械工学科

亀山建太郎

研究背景：

近年，通过**无农药 / 少农药**化生产农产品趋向高附加值化，另外随着老龄化加重**劳动人口减少**，出于以上多种原因，将**工业技术应用于农业**的相关研究变得十分活跃。

稻田作业领域：研发除草机器人

＜多数采用的设计理念＞

- 大・中型车体
- 通过crawler将杂草碾碎
- 运行时通过图像处理等避开秧苗

问题：失去控制时，

有可能伤及秧苗

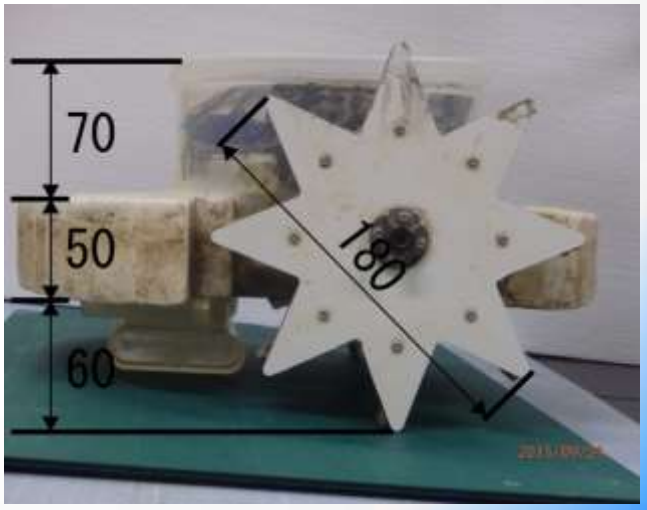
代表除草机器人：
岐阜县信息技术研究所
http:// www. imit.rd.pref.gifu.lg.jp/
research_aigamo.php

小型除草机器人的概要

小型除草机器人的概要：

理念：小型・轻量 像鸭子一样游走于水田的机器人

水平运行实验的情形
（福井县农业实验场有机水田　H26. May）



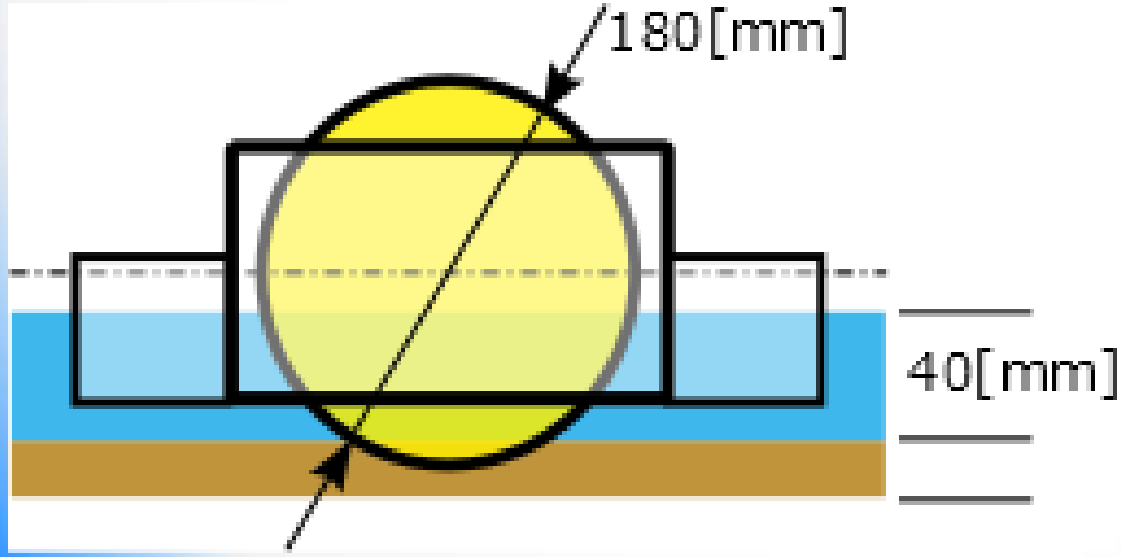
- 尺寸（单位：[mm]）

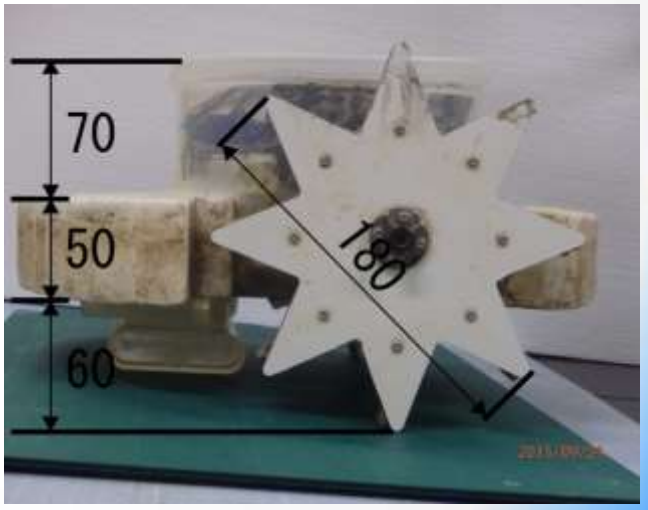
容器直径	长	宽	高
180	320	280	180

- 质量： 3 ~5 [kg]（包含电池）

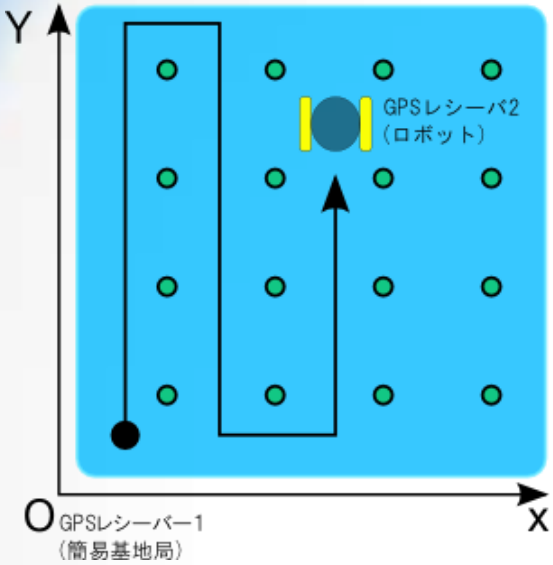
前进方式：

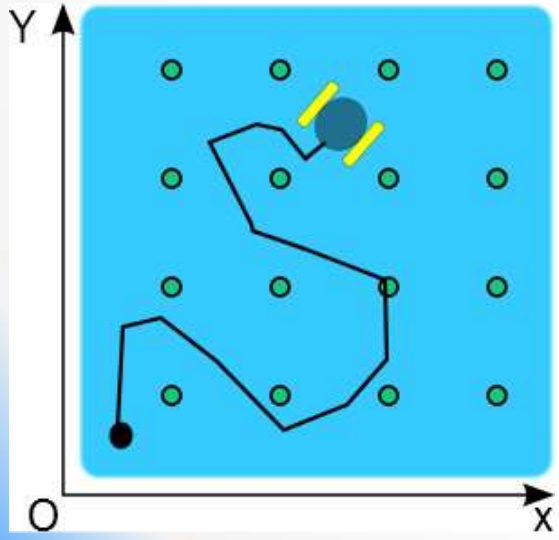
- 车身**浮动**，通过左右车轮翻搅泥水获取推动力（不是车轮而是桨）
- 设定水深：30~50[mm]





与以往机器人的不同：导引的思维





＜以往的除草机器人＞

按照“用履带碾碎杂草”

的设想进行除草

操控的前提是绝对不接触秧苗

＜建议的除草机器人＞

机器人对秧苗的影响很小，

稍微接触不是问题（假定）

→　不需要精确的导引

↓

因为是假定，需要验证

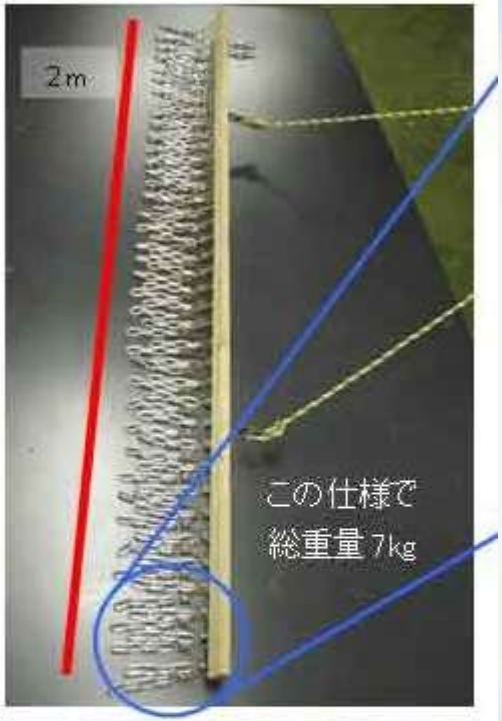
与以往机器人的不同：除草方式

理念：链条式除草的机器人化

＜链条除草＞

该除草方法是通过人力等牵引链条，对深度在20[mm]左右的种子施以损害，

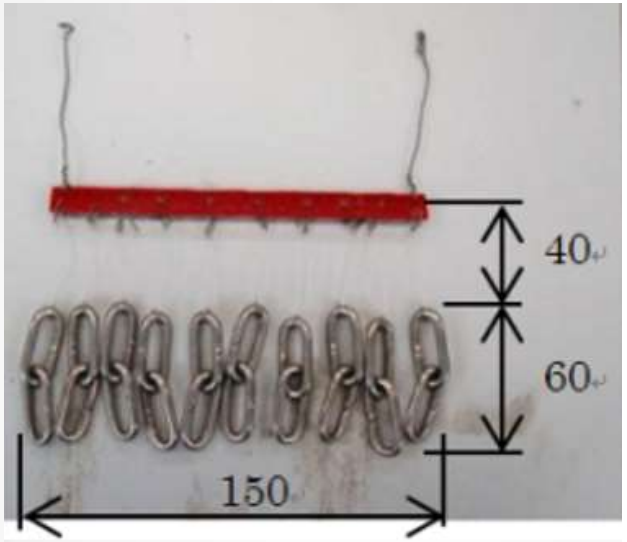
防止杂草发芽、长大

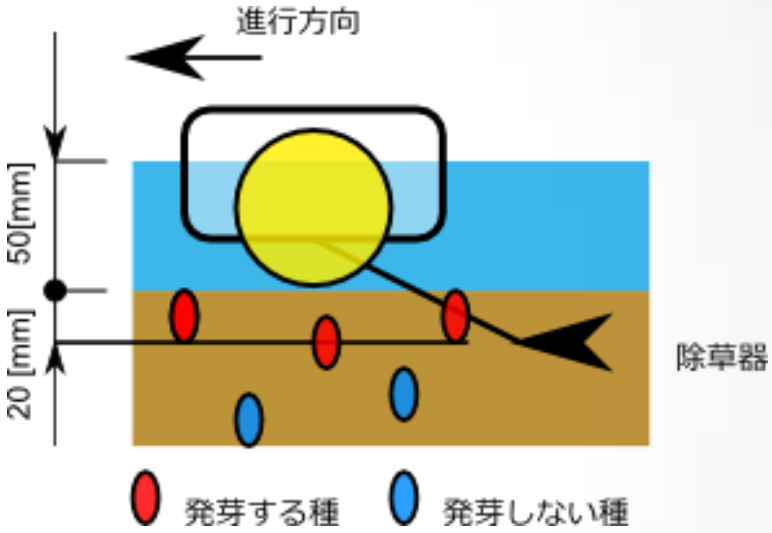


“ 采用这一方法，在水稻移栽2-4天起，每隔5-7天进行4-5次操作，可将发芽期的杂草存活数减半”

出处：新潟农总研，有机栽培水田简易链条除草机的制作方法及除草效果，“2010年度关东东海北陆农业”研究成果信息，2010．

理念：链条式除草的机器人化



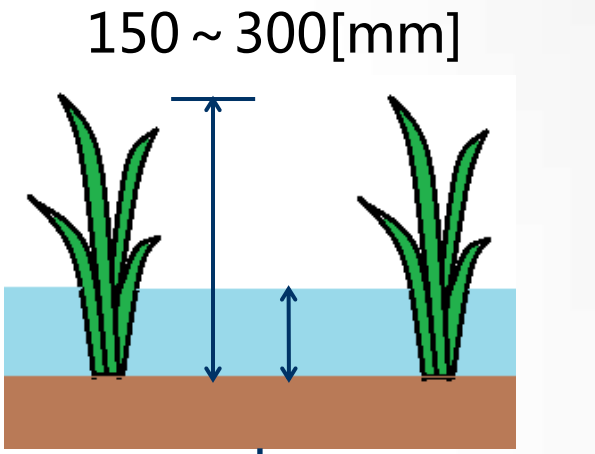


运用小型机器人的优点

人 / 大型机械在移动时会搅拌土壤，会将深部的种子翻到表面，会生长杂草

→　小型机器人不会引起上述问题（假定）

除草期间：



将5月中旬（插秧）～ 7月上旬（晒田）设定为使用期间

原因：晒田时期稻子遮挡阳光，会阻碍杂草的生长

研究内容：

- **「不影响水稻生长的小型除草机器人」**

  确认理念的有效性
- 小型机器人的行驶性能（抗障碍性能，速度，行驶时间）
  - 机器人对秧苗的影响
  - 除草效果

  → 运用无线设备进行**水田行驶实验**（2015~）
- 开发自动行驶系列
  - 通过单独定位GPS与方位传感器开发导引式产品
  - 通过模拟导引 / 探讨应用方法

关于机器人对水稻成长的影响

/ 除草效果的调查

实验水田概要：

- 使用无农药水田（30x30[m]）（提供: e-komeechizen公司)
- 此水田采用的普通栽培（插秧~收获）

高专正门

日野川

水田

< 所在地 >

< 全景 >

实验概要 / 结果：确定行驶性能（2015）

目的：确定行驶持续时间，行驶距离，行驶速度
方法：按蓝色路线行驶

- 用无线操控器进行实验
- 电池组：
  9.2[v], 20000[mAh]
  （2500[mAh]×24本）

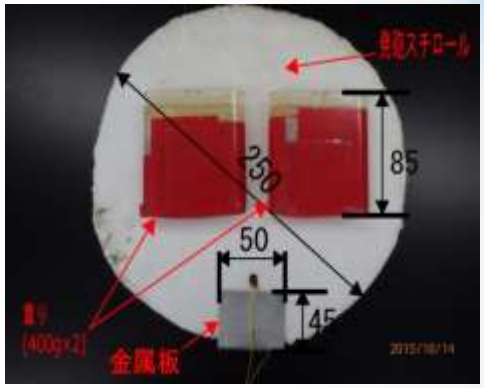
結果：约80[mm/sec]，（约30分，约150[m]）
→ 100[m^2]（1[a]）除草所需时间：约60分

实验概要：确认对水稻的影响 / 除草效果（2015）

目的：

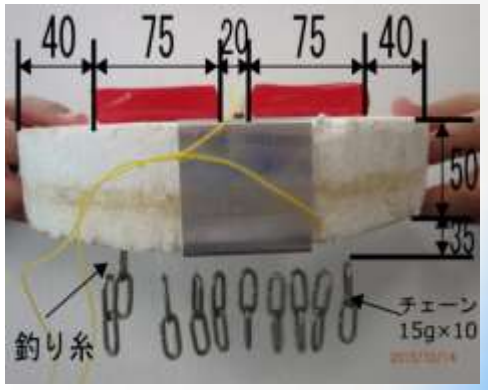
1. 确认对水稻的影响
2. 确认除草效果

＜手动除草机＞



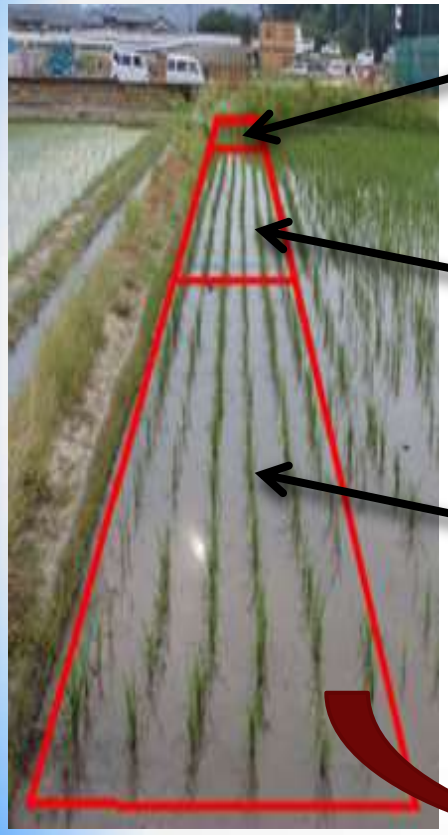
方法：

- 从5月11日到6月4日的**25天**，几乎每天都运行（装配链条）
- 发生故障时用手动除草机进行除草



实验概要：确认对水稻的影响 / 除草效果（2015）

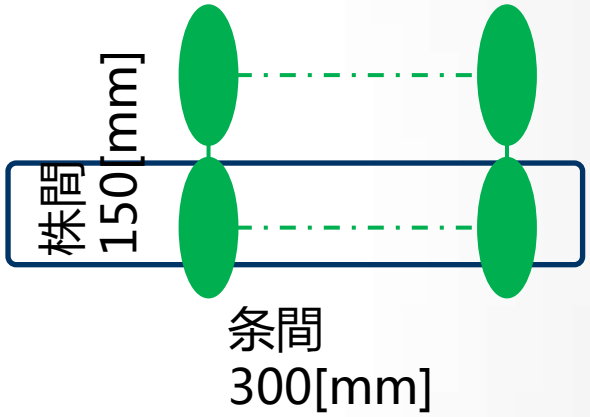
为了对比，分三个区域进行实验



C：不采取任何措施

B：在水稻上行驶

A：在水稻间行驶



A：稻间区A，B：稻上区B

实验结果：行驶对水稻产生的影响＜稻间区A＞

行驶前

成长后

行驶后

卷入部

实验结果：行驶对水稻产生的影响 < 稻上区B >

行驶前

行驶後

生长后

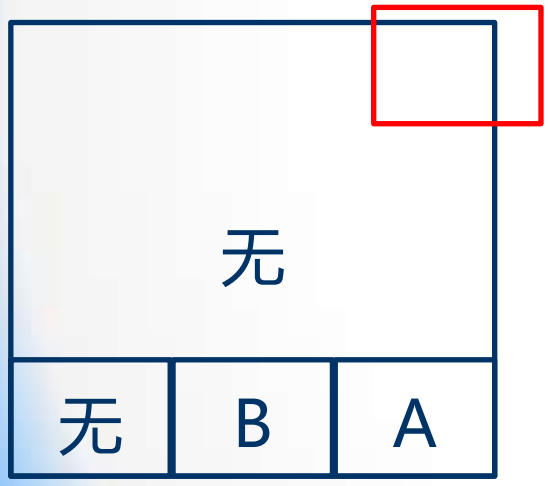
結果：在这两个区没有发现对水稻的生长产生较大影响

问题点：被卷入的部分出现发育不良

实验结果：确认除草效果

<u>确认方法</u>：

- 用肉眼观察确认
- 对水田所有者进行听取调查



无除草范围

稻间区A

结果：与其他区域相比，行驶区**一年生杂草减少**

＜一年生杂草＞

由种子发芽

鸭舌草

稗子

＜多年生杂草＞

由地下块茎发芽

萤蔺

在以往有关链条式除草的报告中也曾指出“一年生杂草减少”这一结果，因此是合理的。

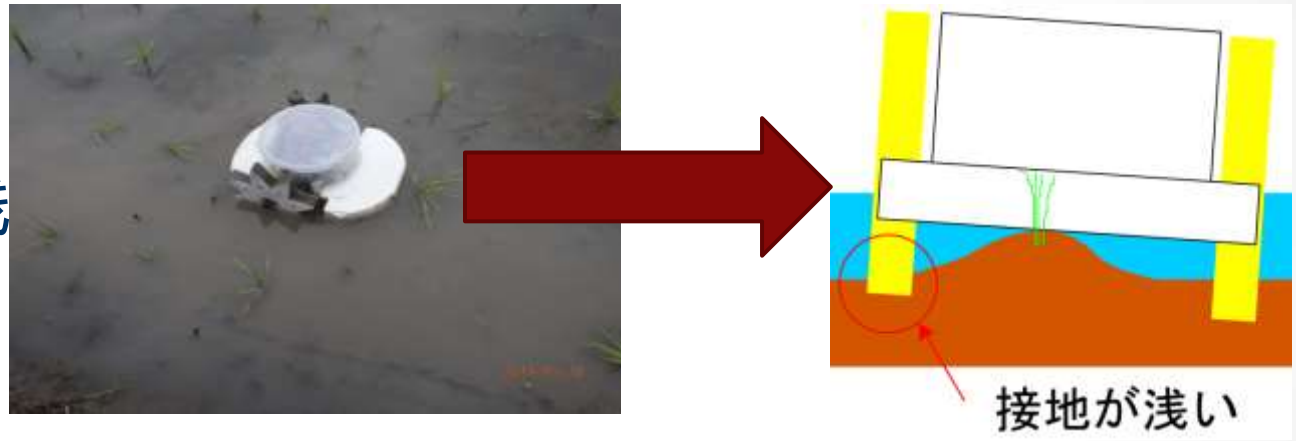
<u>问题点</u>：确认方法只凭借肉眼　→　导入定量评估方法

实验结果：行驶时出现的问题（机器人搁浅）

无法行驶的状态，可分为以下4个情况

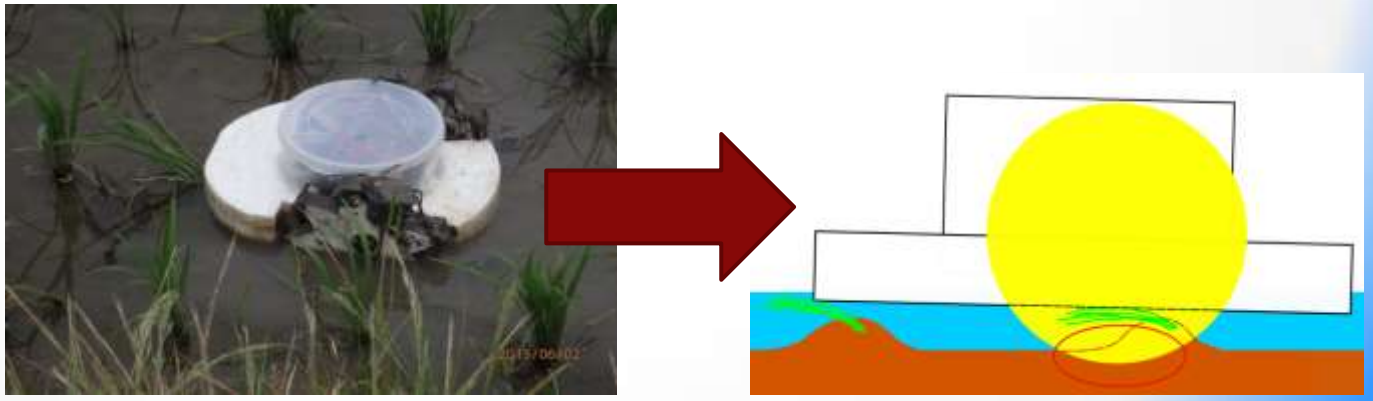
Case1

因垄高低差搁浅



Case2

因长大的水稻搁浅



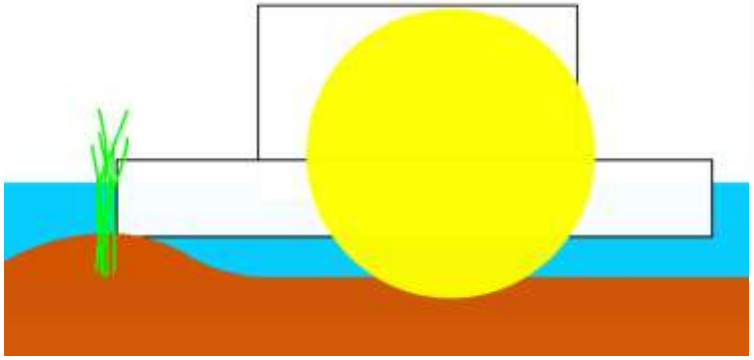
Case3

因枯草等

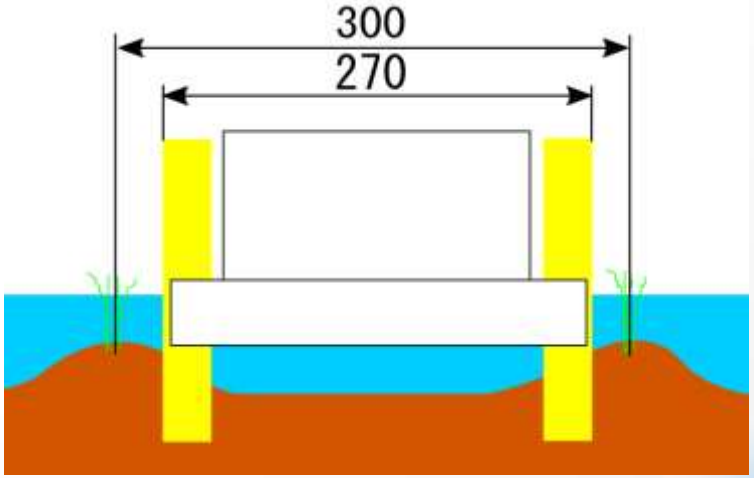
障碍物搁浅

Case4

因撞上长大的水稻而停止



发现水稻被卷入的问题



总结：水田行驶实验

．关于“**小型•轻量型除草机器人**”，通过在栽种有水稻秧苗的水田中进行实验，确认了以下几点：

行驶性能：可以在水田中行驶

- 实际测量行驶速度和时间（80 [mm/sec]）
- 发生因障碍物搁浅 / 卷入秧苗

→　考虑变更机体形状 / 开发搁浅检测程序

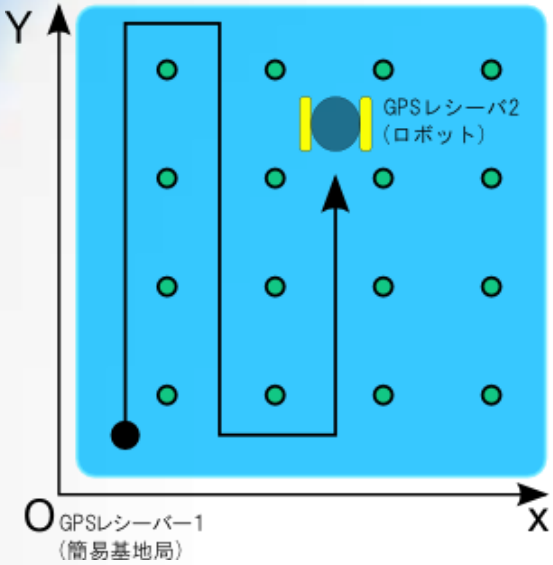
对水稻的影响：对产量无大影响

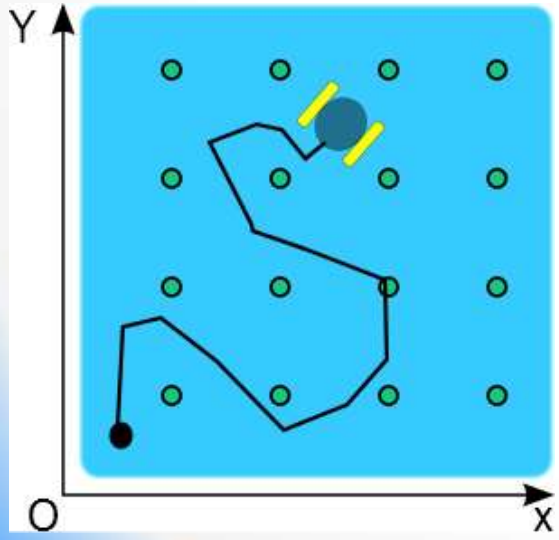
除草效果：一年生杂草减少（肉眼测量）

→　实施定量性评估

自动行驶系统的开发

与以往机器人的不同：导引的思维





＜以往的除草机器人＞

按照“用履带碾碎杂草”

的设想进行除草

操控的前提是绝对不接触秧苗

＜建议的除草机器人＞

机器人对秧苗的影响小，稍微接触

没有问题。（假设）

↓

- 对导引精确度的要求降低
- 需要对理念进行验证

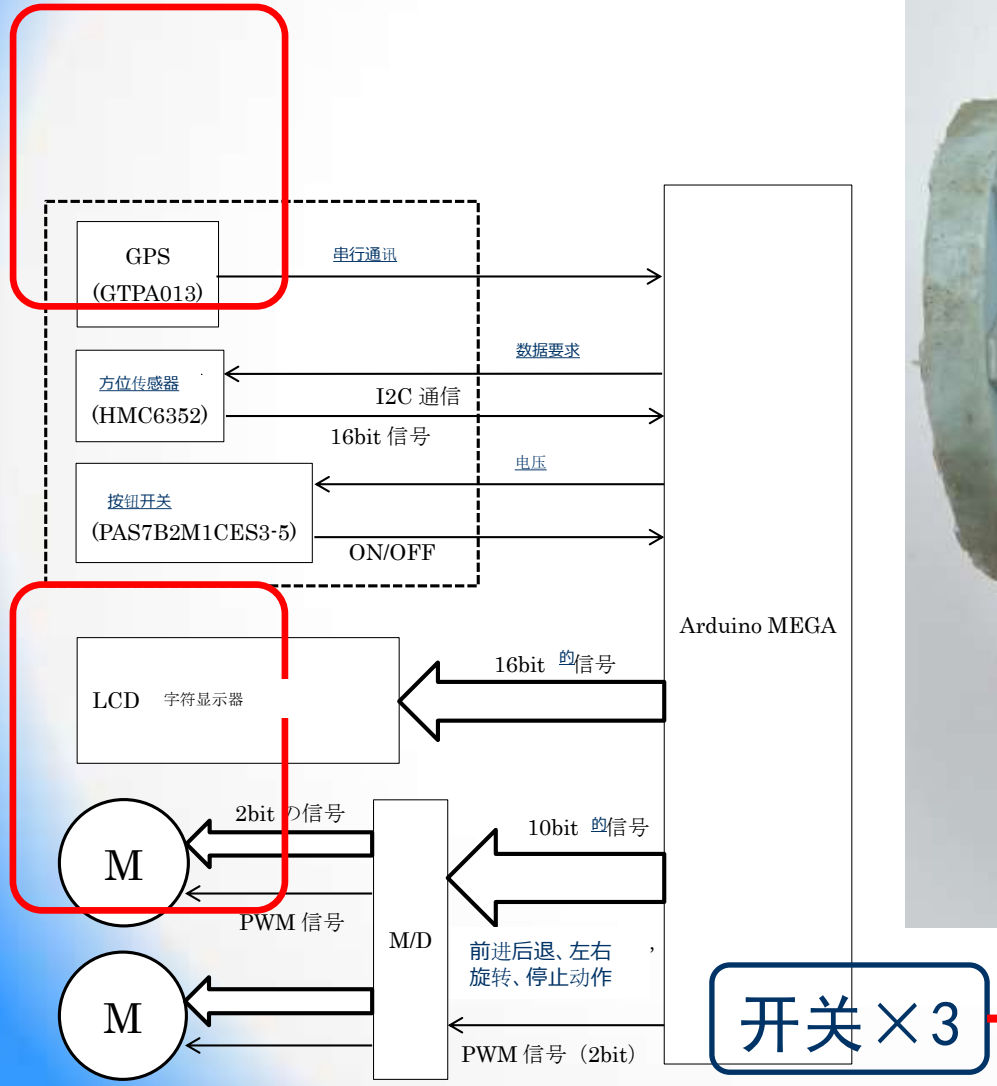
小型除草机器人必备的能力

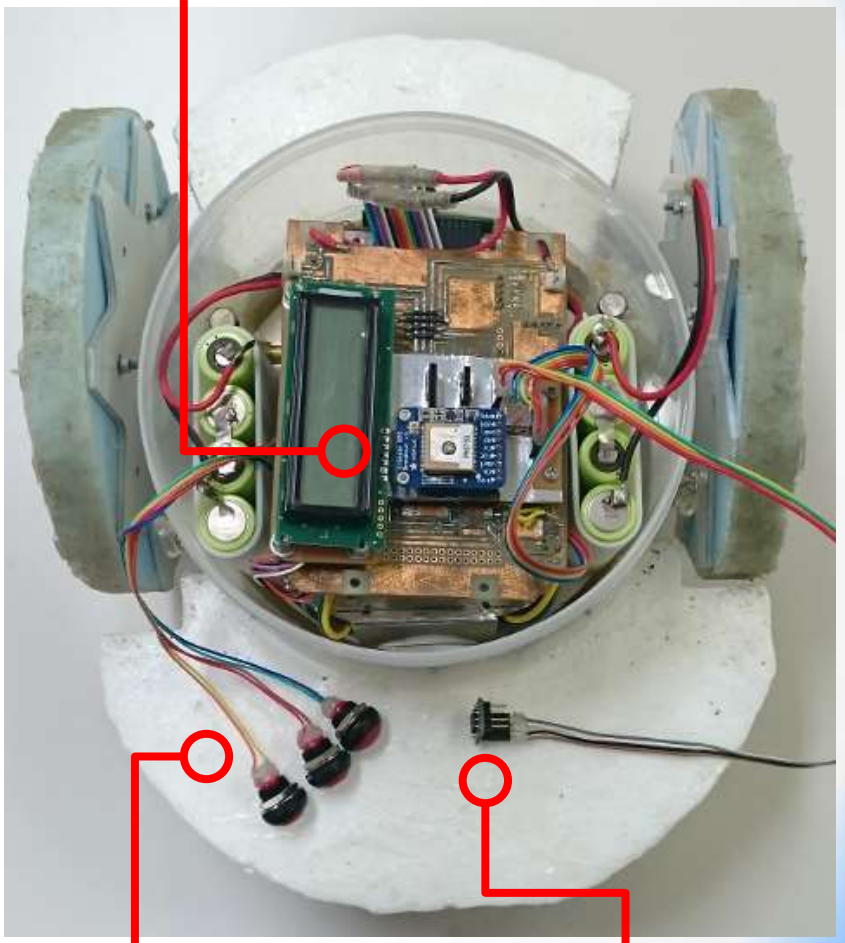
- 移动时不波及整块水田
- 掌握水田形状／设定路线／掌握除草完毕的区域
- 向指定方位（未除草的地方）移动
- ➡ 考虑不需要精确的导航（探讨增加躲避局部秧苗功能的接触传感器等）

除草机器人导引系统的构成

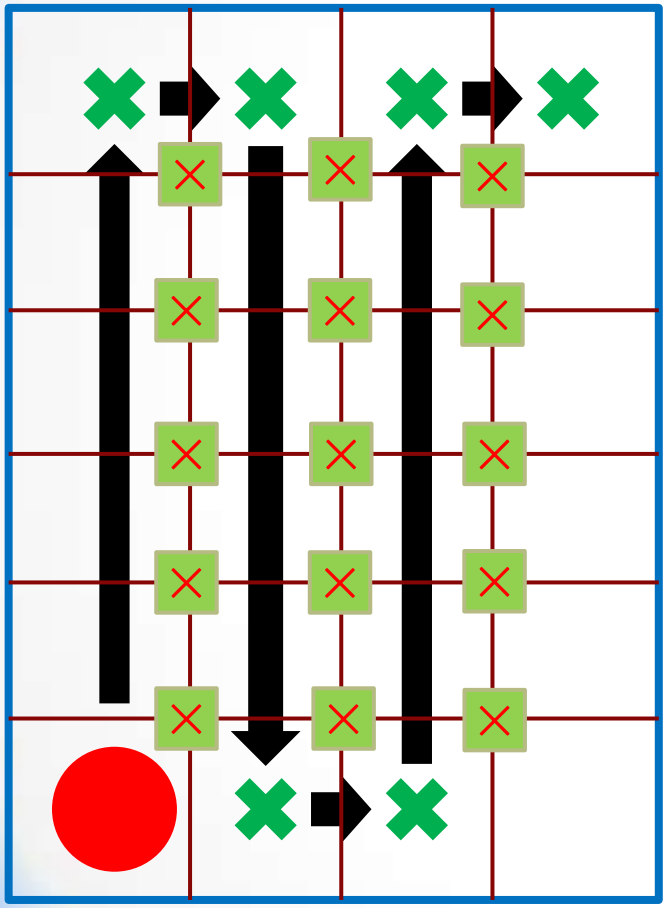
- 使用单独GPS定位和方位传感器指定位置/导引
- GPS：Adafruit Ultimate GPS V3（定位精度1.8 [m]）
  - 方位传感器：搭载HMC5883L传感器模块（SparkFun）

除草机器人导引系统的构想：系统构成





除草机器人感应系统的构想：行驶路线



：机器人 ：机器人 ：秧苗

基本导引程序

1. 水田左下方为基准点
2. 根据水田４角的坐标，掌握水田的形状
3. 为记录除草情况，将水田分块
4. 生成基本路线、（目标点）

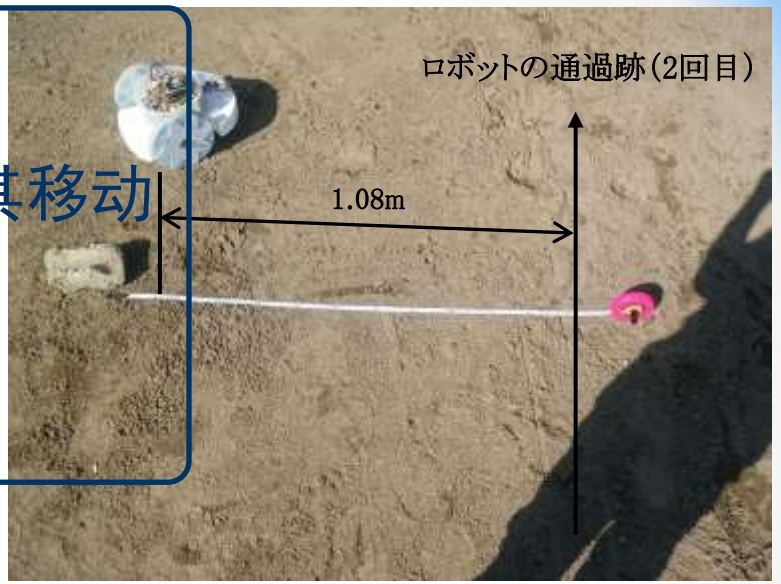
———————————

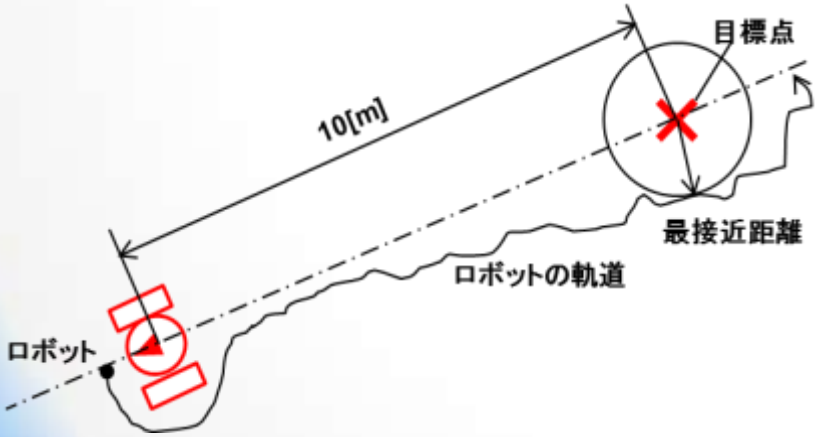
4. 巡回目标点（×）

实验概要/结果：通过地上试验确认基本导引能力

实验方法：

- 在机器人10m外指定目标点，让其移动
- 重复直进/旋回等简单动作
- 评估最接近距离・时间

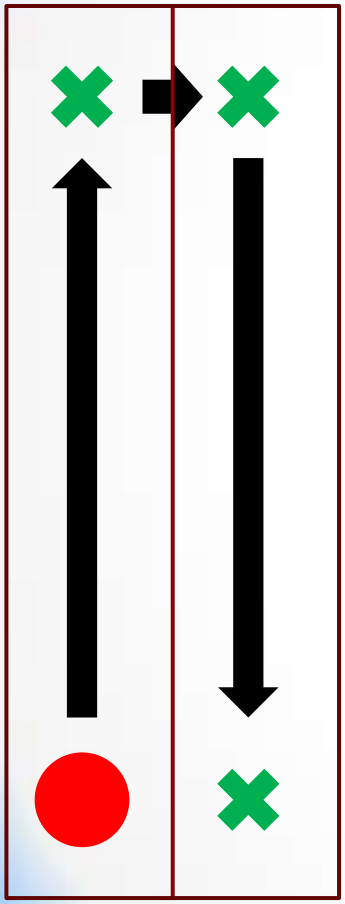




	距離 [m]	時間 [sec]	制御期間 [sec]
1	1.14	3:14	0.5
2	1.08	1:11	0.1
3	1.04	1:09	

结果：确认在GPS定位精度内行驶

实验概要：通过地上试验开发目标点巡回功能



设定条件：

- 假定划分50[m]×5[m]的区域
- 目标点假定在以划分区域的顶点为中心长宽1.25 [m]内。
- ————————————————————————

算法：

1. 根据开关定义分区的形状／自动设定目标点 → 开始行驶
2. 进入目标四周1m内视为到达，向下一个目标点行驶。

实验概要：根据地上试验开发基本导引程序

通过显示器确认目标点号码的变化（１→２）

总结：自动行驶系统的开发

- 构建适用于小型除草机器人这一概念的导引系统，通过地上试验确认其基本功能。
- 根据单独GPS定位，确认将机器人带至目标点的导引功能及巡回功能。
- **今后的课题：**
- 在水田中，通过基本导引程序进行行驶试验
- 通过数据模拟对研究中的移动程序等进行实际操作

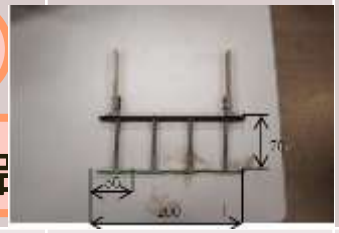
附录

开发过程

新一代农业研究会

农业试验场

(株)SHIMANO
(株)eno越前

	H21, 22	H23	H24	H25	H26	H27
装置	本体试制品 除草剂试制品			第二试制品		
电路		M/D大型化	自动化			
软件		控制模拟 	模型化 GPS测试	运行系统探讨		
实验等	初步试验 模拟水田的行驶试验				水田行驶试验（农业试验场）	水田行驶试验（ e-komeechize

预定：采样估产计算产量/除草效果的量化确认

＜采样估产是？＞

将一坪※稻作物分多个区域进行收割，从收割的重量预测水田整体的产量。（※约3.3[m^2]）

应用

在A、B、C区域收割稻作物/杂草，分别比较其收割量。

※参考： http://blog.livedoor.jp/sankoushou/archives/1673942.html

对杂草与秧苗影响的调查：

在e-komeechizen公司的协助下实施（2015）

（提供高专附近的无农药水田（30x30[m]）

<u>实施内容</u>：

将部分水田分成3部分（不行驶/陇上行驶／秧苗上行驶）

<u>核实内容</u>：

除草效果／确认对秧苗的影响（实施中）

确定具有一定的除草效果，不会对秧苗的生长产生较大影响。

关于改变车体的探讨

关于改变车体的探讨

1. 防止Cese1至Case3の碰撞造成的车轮空转

➡ 车轮直径的变化

2. 防止稻作物被卷入其中

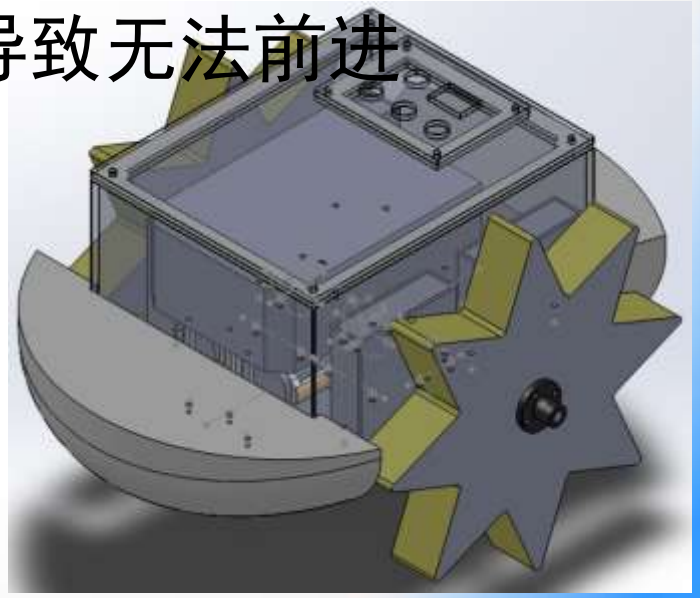
➡ 车宽的缩小

3. 防止因Case4的碰撞到稻作物导致无法前进

➡ 本体底部形状的改变

4. 处理重量及重心变化

➡ 浮标的设计

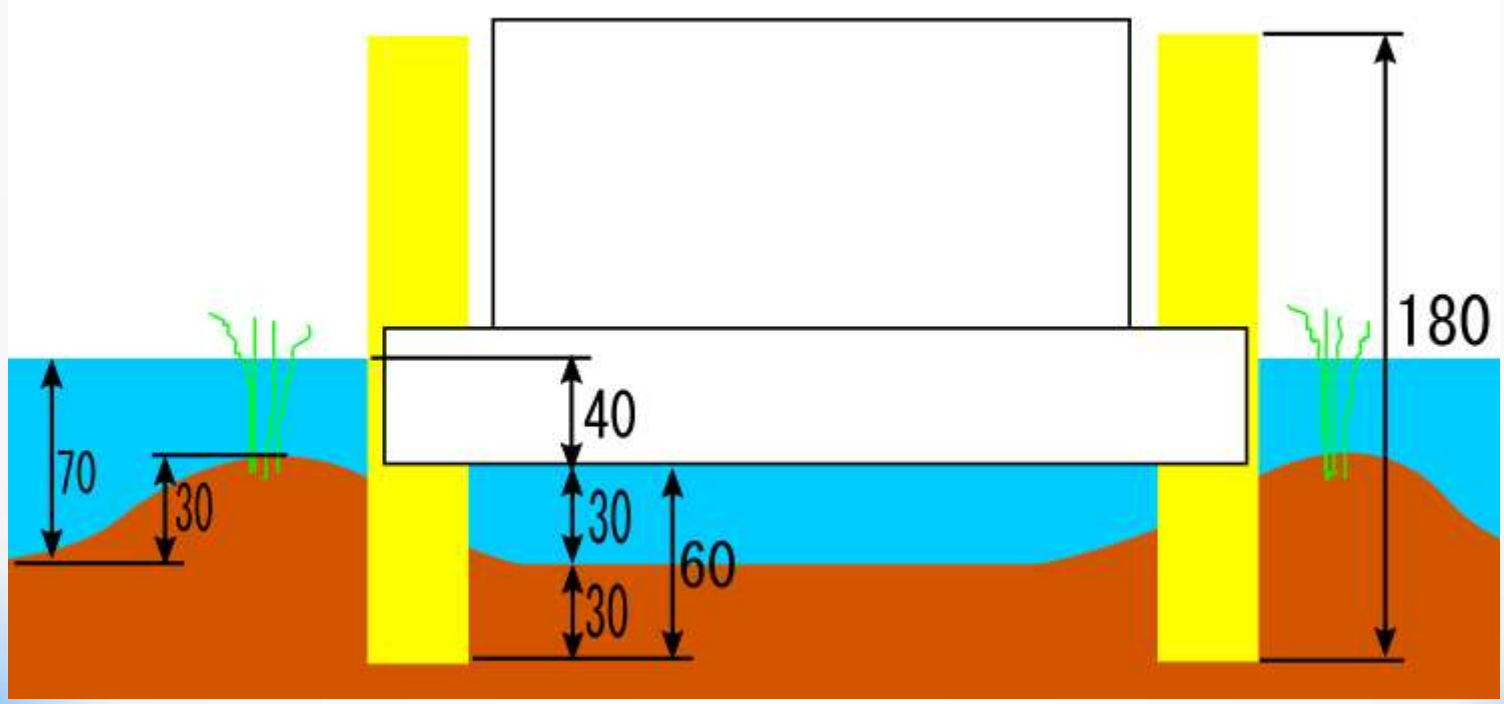


1. 车轮直径的变化

目的：防止碰撞造成车轮空转

内容：・车轮直径180mm→200mm

・防止车轮接地变浅



2. 车宽的缩小

目的：防止稻米被卷入其中

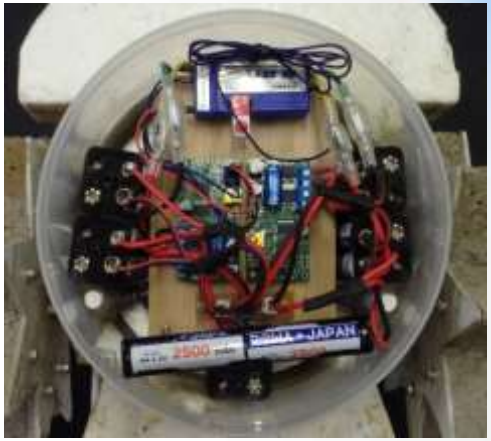
内容：

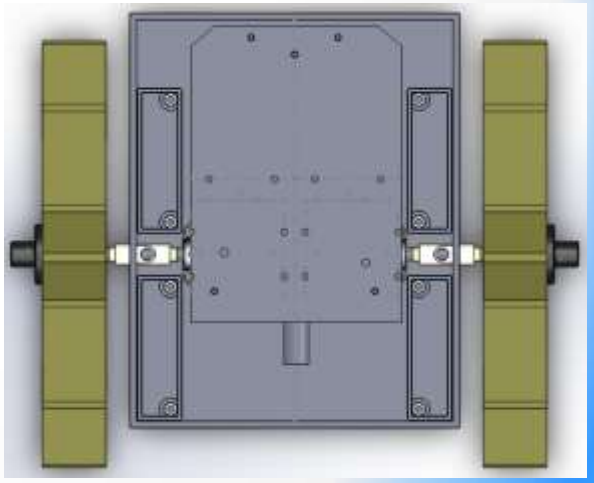
・将容器从圆柱体变成长方体

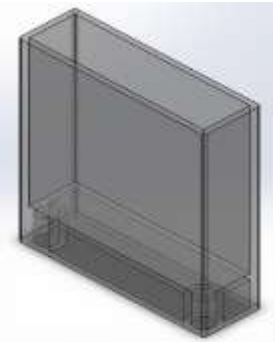
・改变电池配置，设计用于固定的容器。

・在保证容积的同时削减两侧空间

・车宽：270mm→240mm



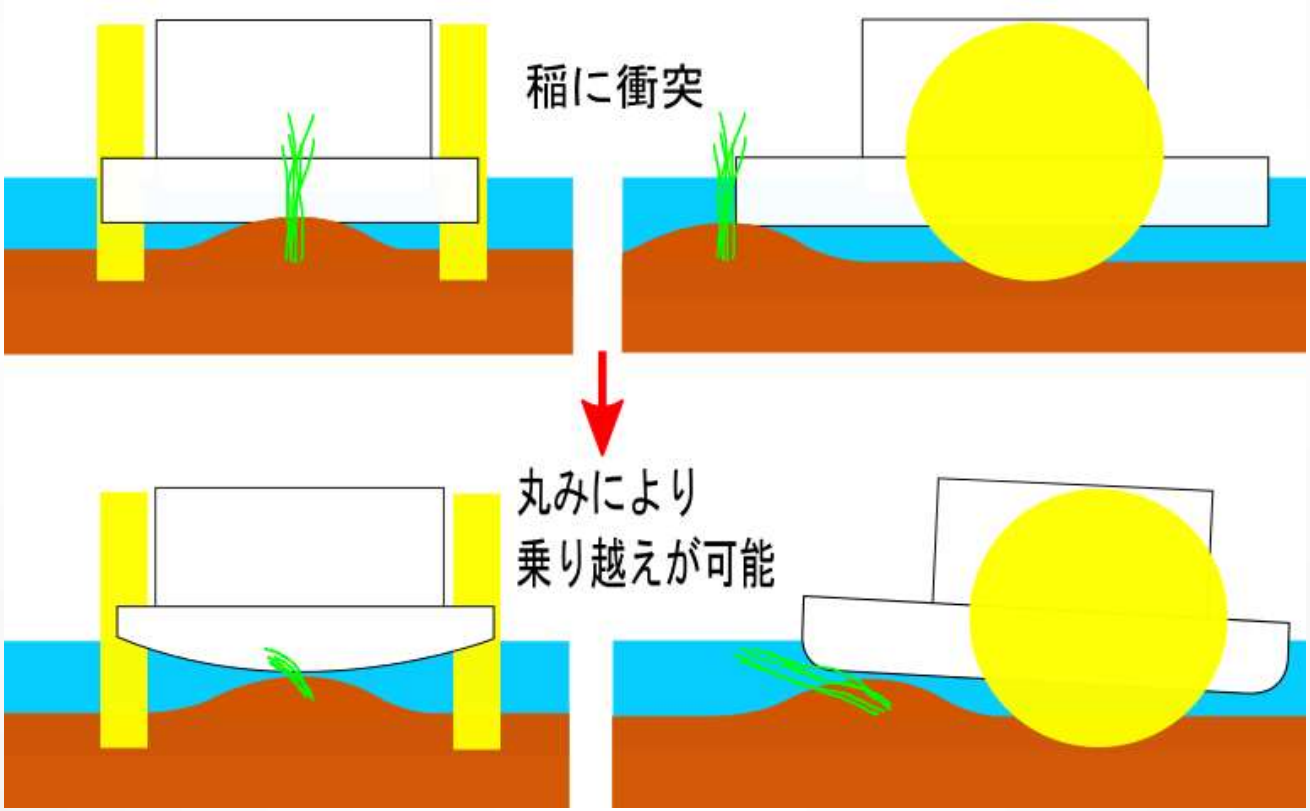




3.改变本体底部的形状

目的：防止发生因碰撞到稻作物出现无法前进的情况

内容：将浮标和容器底部做出弧度



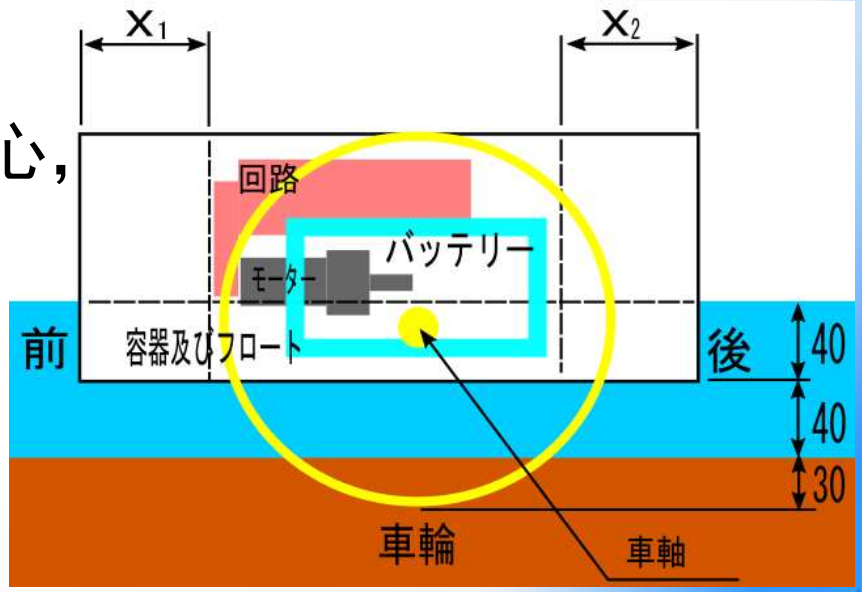
4. 浮标的设计

目的：应对重量及重心的变化

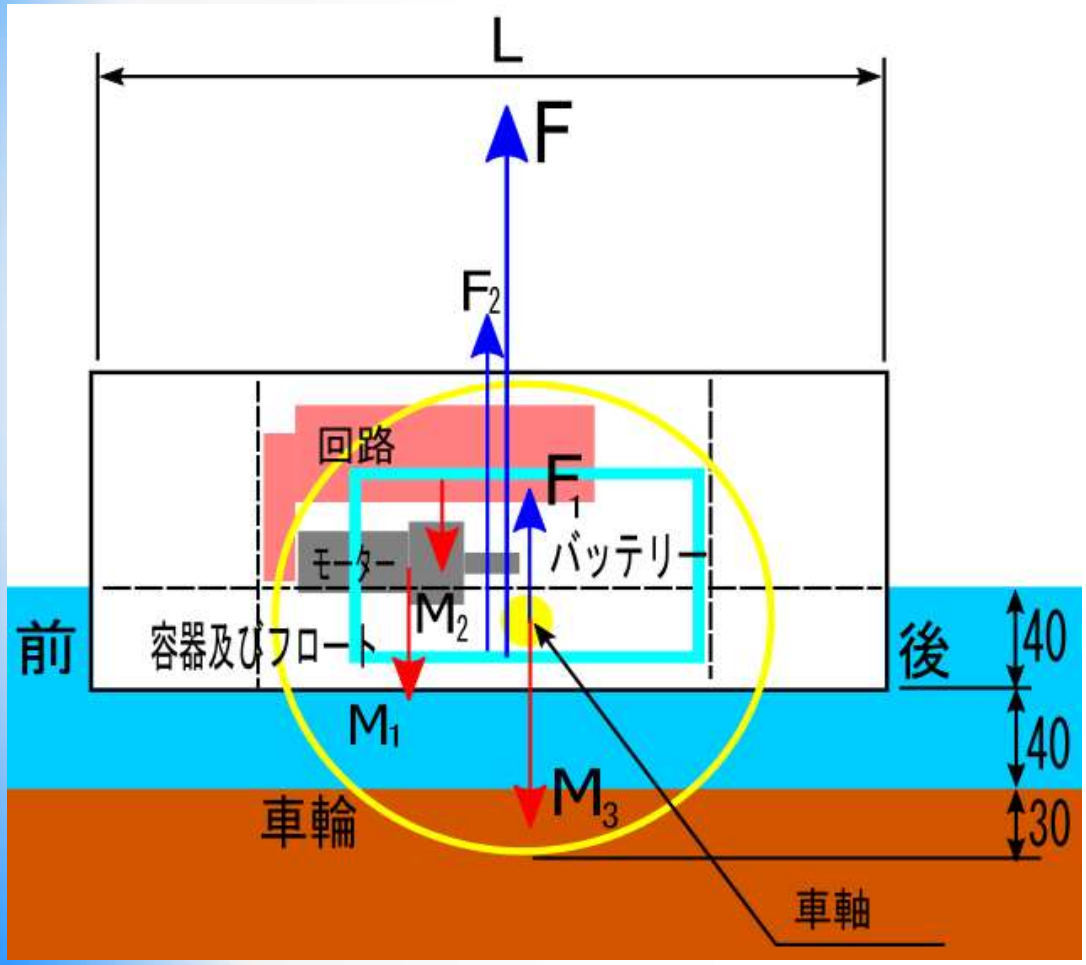
内容：根据力平衡和力矩平衡的关系，决定前浮标长x_1及び后浮标长x_2

假设：

・机器人浮在水面上保持水平
・浮标沉入40[mm]水中
・泥不会产生反作用力
・能够忽略容器和浮标的质量
・马达、电路、容器、浮标各有重心，车轮、电池的重心在车轴上。



目的：决定机器人全长L



必要的整体浮力F

$$F = (M_1 + M_2 + M_3)g$$

车轮浮力F_1

$$F_1 = \rho g V_1$$

必要容器和浮标的浮力F_2

$$F_2 = F - F_1$$

必要容器和浮标的排除体积V_2

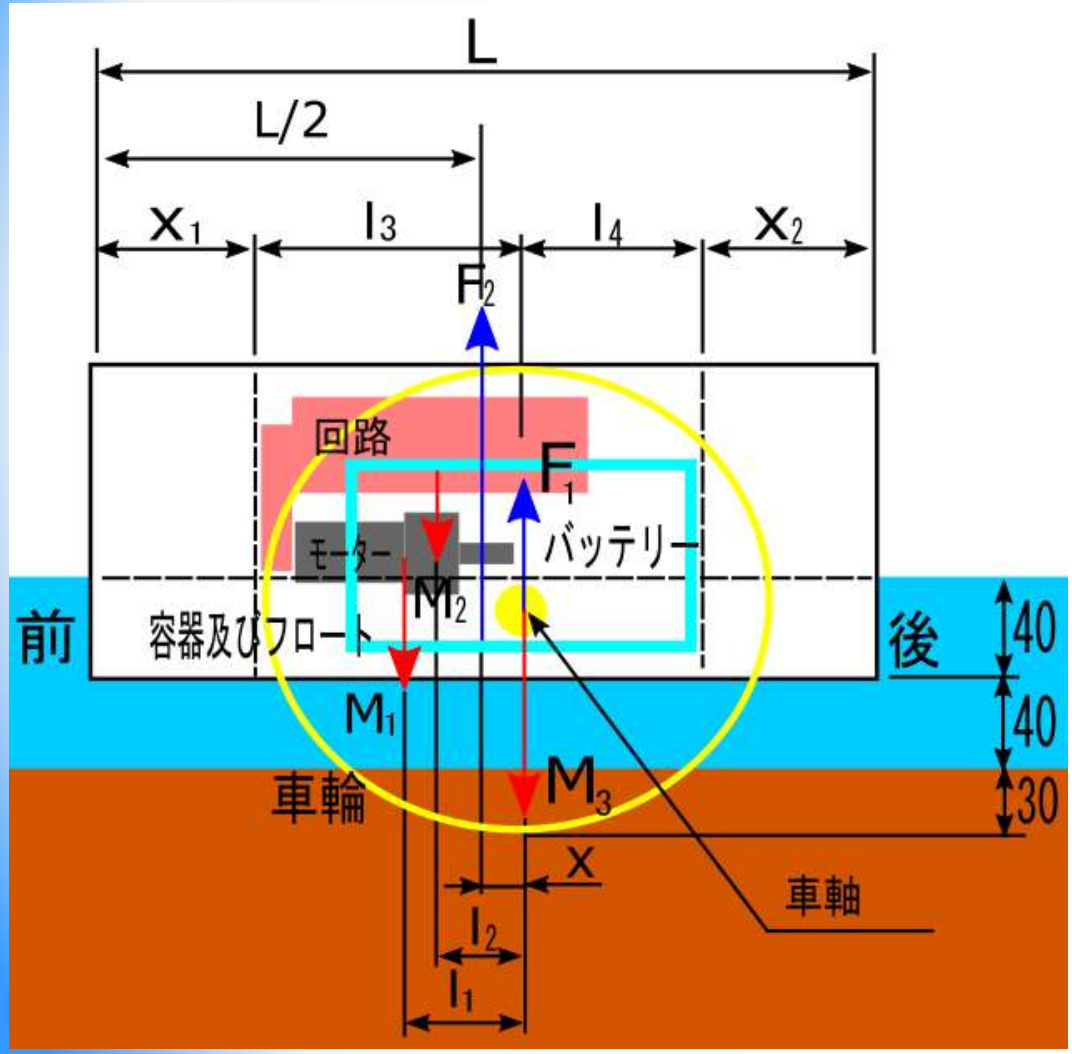
$$V_2 = F_2/\rho g$$

机器人全长L

$$L = V_2/A$$

A：容器及浮标的截面积

目的：决定前浮标长x_1和后浮标长x_2



容器及浮标的中心与车轴距离x

$$F_2x - M_1gl_1 - M_2gl_2 = 0$$

$$\downarrow$$

$$x = (M_1gl_1 + M_2gl_2)/F_2$$

F_2x：容器及びフロートによるモーメント

M_1gl_1：モーターによるモーメント

M_2gl_2：回路によるモーメント

前浮标长x_1

$$x_1 = L/2 + x - l_3$$

前浮标长x_2

$$x_2 = L/2 - x - l_4$$

其他零部件的设计

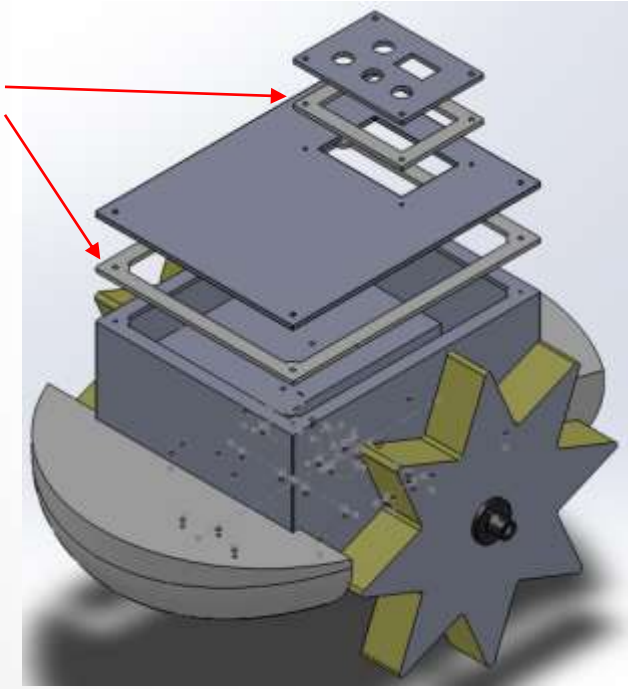
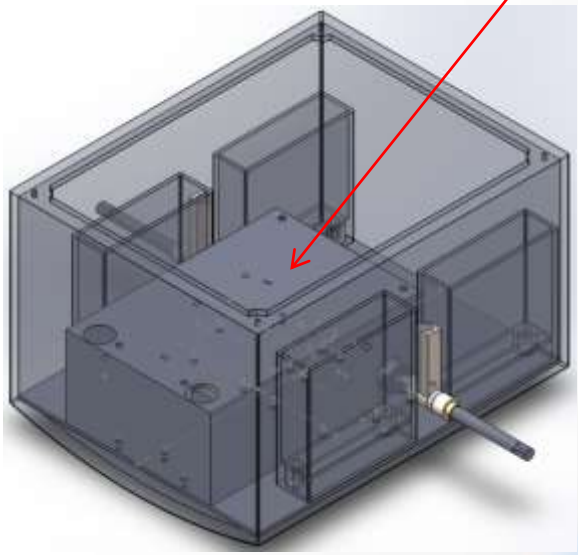
目的：设置防水开关

内容：设计容器盖

目的：阻隔电机噪音

内容：追加护罩

密封



护罩