

在多旋翼飞行器上附加主翼的垂直起降机

Vertical take-off landing aircraft by multicopter with added main wing

熊本高等专门学校

信息通信电子工学系 叶山 清辉
建筑社会设计工学系 入江 博树

概要

我们要开发在多旋翼飞行器上附加主翼的垂直起降机。利用多旋翼飞行器进行垂直起降，平滑地过渡到水平飞行获得主翼的升力，可抑制耗电量，延长飞行时间与续航距离，进行大范围的航拍、观测及测量等。
通常的多旋翼飞行器在前进时前倾，因此如果将主翼固定在机体上，主翼的迎角也为负，得不到有效的升力。于是我们设计了如下控制主翼的多旋翼飞行器：设置可改变迎角的主翼，搭载保持前进时的主翼水平的机构，能够与前倾姿势无关地保持一定的迎角。

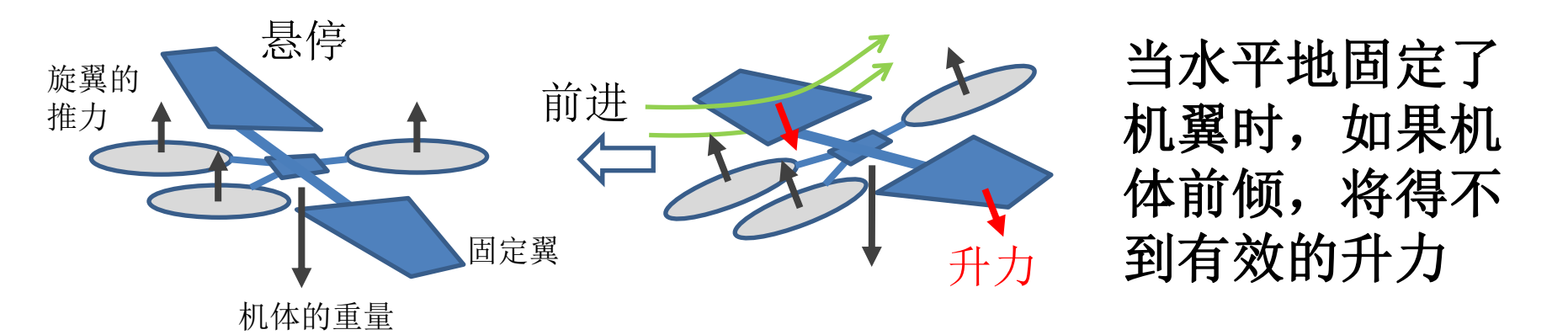
1. 传统技术及其问题点

多旋翼飞行器与固定翼飞机的比较

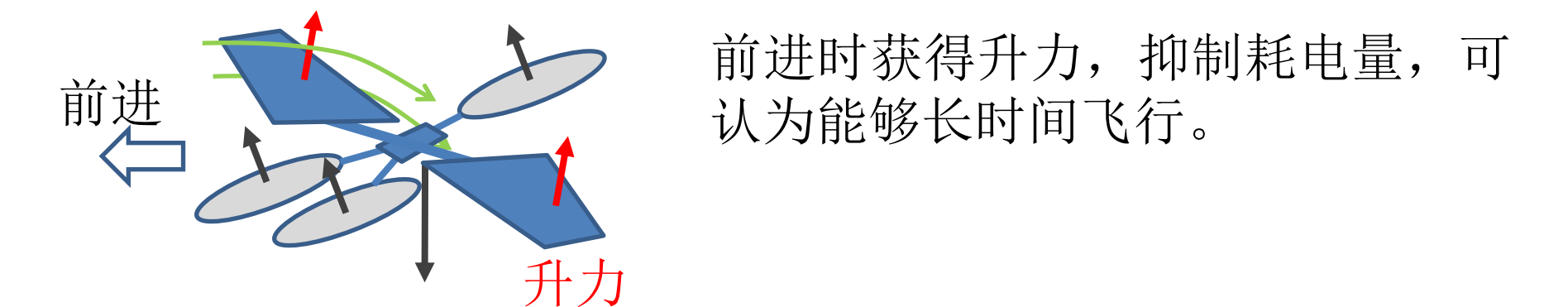
	优点	缺点
多旋翼飞行器	飞行的自由度高，能够稳定飞行 ⇒可用于近距离的测量及观测	长时间飞行需要大容量蓄电池，无法避免机体大型化 ※不能无限地延长飞行时间
固定翼飞机	能够比多旋翼飞行器更长时间（长距离）飞行 ⇒可用于长距离的测量及观测	起降时需要跑道 不能在空中保持静止

2. 新技术的原理

发挥多旋翼飞行器与固定翼飞机的优点，试制附加了主翼的多旋翼飞行器



搭载俯仰可调的主翼，与机体的倾斜无关，保持主翼的迎角最优



3. 相对于传统技术的新颖性与优势

- 利用多旋翼飞行器能够垂直起降
- 水平飞行时获得主翼的升力，进行节能飞行
- 多旋翼飞行器主要是主翼辅助升力的形态，因此垂直飞行、水平飞行的过渡连续，也易于操控
- 在直线多的飞行路径上，可节约通常的多旋翼飞行器约一半的电能
- 回避滑翔引起的坠落危险

4.1 试制机的规格与外观

形状：三旋翼机（3个旋翼、方向舵伺服机构）

控制器：APM 2.5

电机输出功率：最大约80W

螺旋桨：8×4英寸

最大推力：400g左右

蓄电池：

LiPo 3S 11.1V, 1900mAh

机体重量：约732g

主翼：可调俯仰翼

翼型：类似于Clark Y翼型

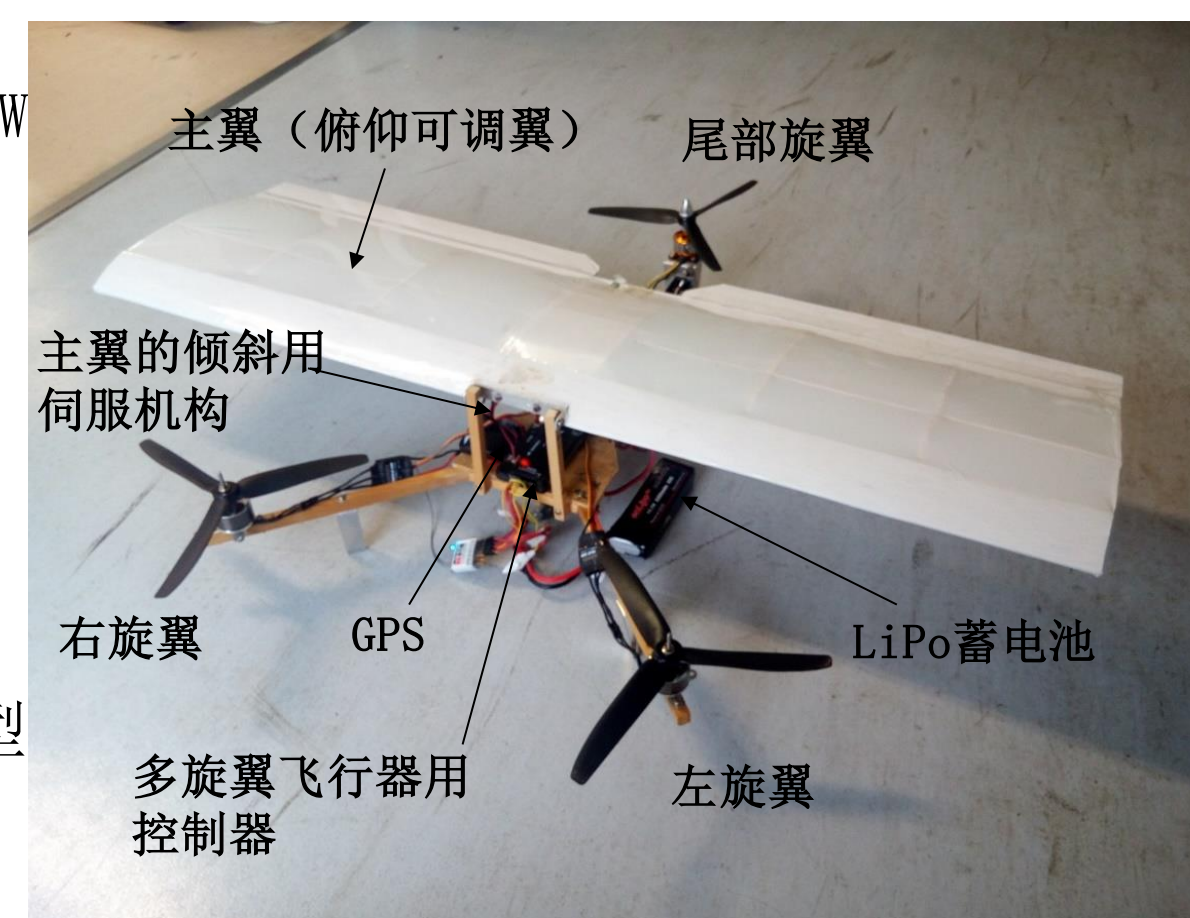
原创

翼面积：0.225m²

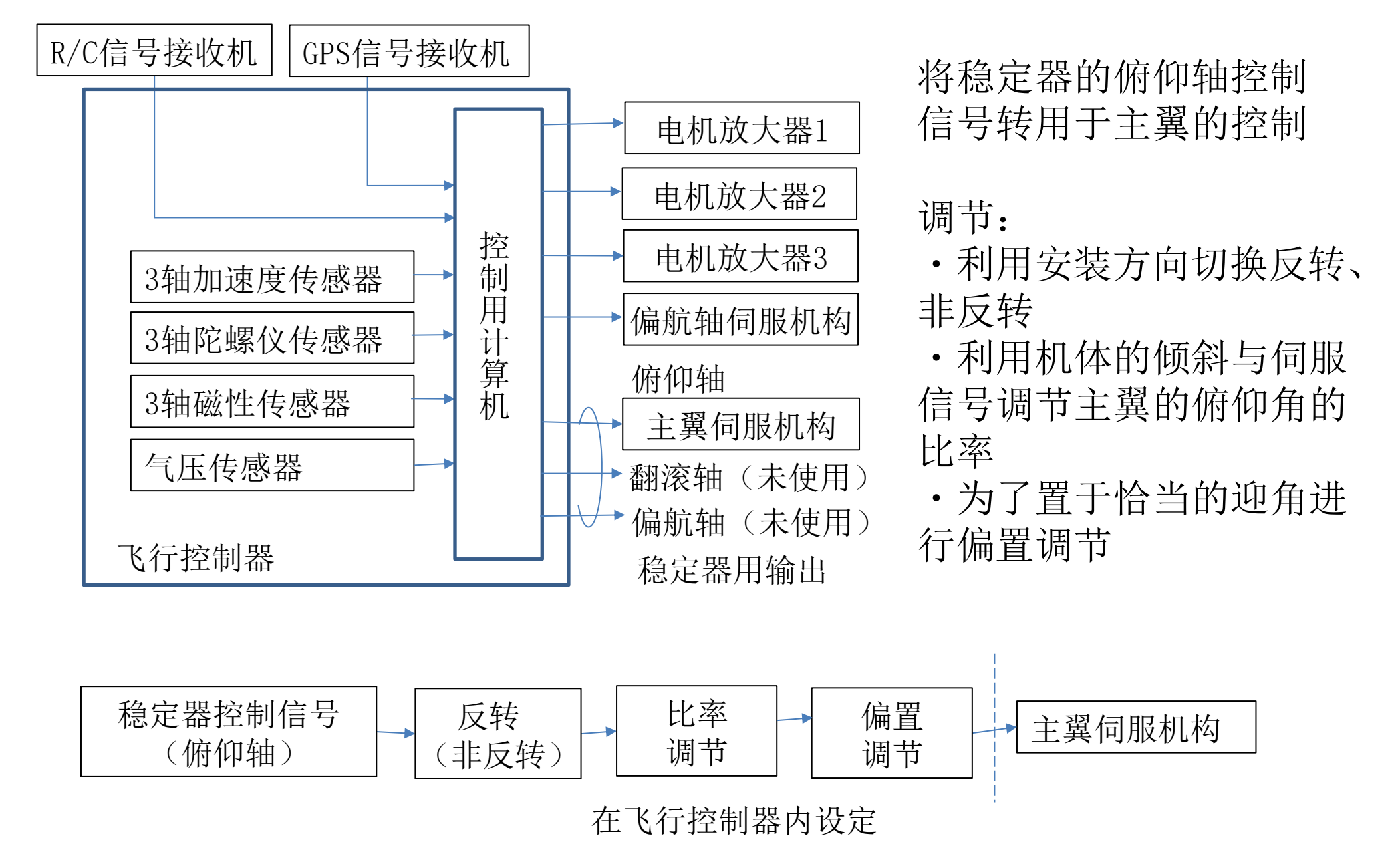
主翼的驱动：

由伺服电机驱动连杆机构

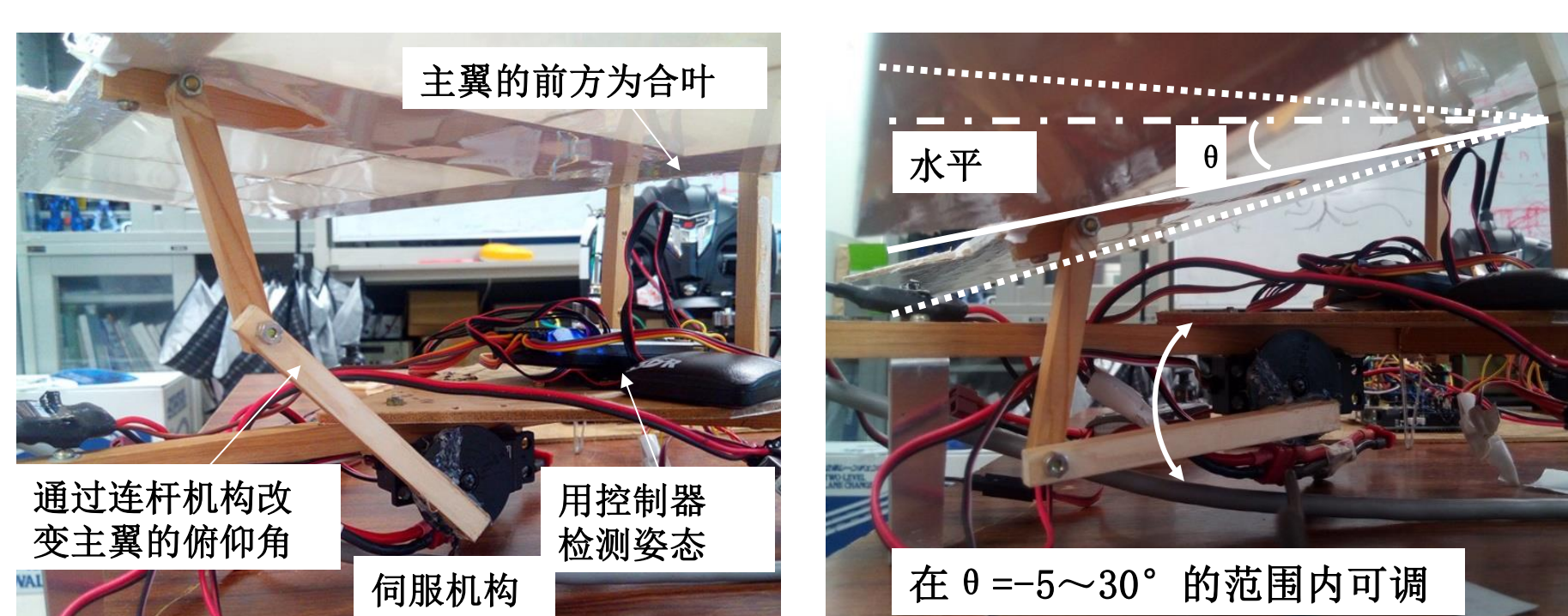
转用摄像头用稳定器的控制输出



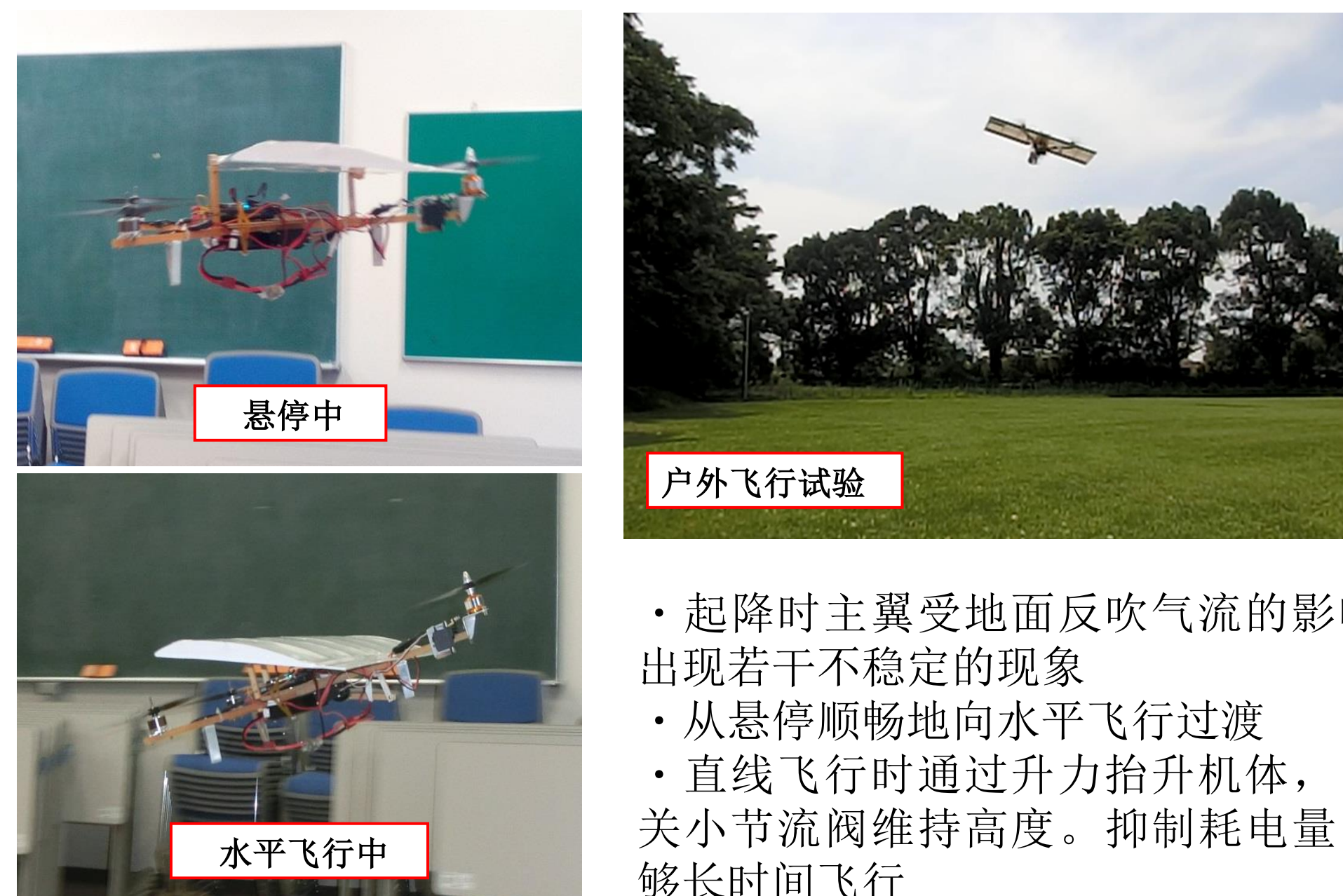
4.2 控制器的设定



4.3 主翼的俯仰变化



4.4 飞行试验



- 起降时主翼受地面反吹气流的影响，出现若干不稳定的现象
- 从悬停顺畅地向水平飞行过渡
- 直线飞行时通过升力抬升机体，因此关小节流阀维持高度。抑制耗电量，能够长时间飞行
- 如果小半径转向时引起侧滑，升力会减小，因此操控需要注意

4.5 飞行时的耗电量

有主翼时与拆下主翼装载同等重量的配重块进行直线飞行时的耗电量比较

	电流 (A)	耗电量 (W)
无主翼	13.6	151
有主翼	9	99

电池电压：11.1V，平均速度：9m/s

有主翼时，能够以66%的电能飞行
→ 约1.5倍的飞行距离

※ 通过针对机体对主翼面积、形状等进行优化，可望进一步节电

5.1 实证试验机

附加了主翼的Y3型三旋翼机



飞行控制器 (FC)	APM 2.5
级别	900mm
总重量	1.8kg
使用电机	ARRIS M3508/580KV
电机最大输出功率	280W
螺旋桨	14×5inch
最大推力	1.8kg
电机数量	3
总推力 (推定)	5.4kg
推力/重量比	2.96
最大承载量 (推定)	3.6kg
翼型	原创
翼宽	1.4m
翼弦长 (平均)	0.23m
翼面积	0.34m ²
翼面载荷	52N/m ²
主翼的重量	300g
翼驱动的伺服机构	KRS-788HV
伺服电机的力矩	10.0kgf·cm
最大俯仰角的变化	40度
装载摄像头	GoPro HERO Session
测试飞行时的蓄电池	4S-4800mAh
蓄电池的电压	14.8V
悬停飞行时间 (推定)	15min
水平飞行时间 (推定)	25min

5.2 实证试验机

附加了主翼的Y6型六旋翼机



飞行控制器 (FC)	APM 2.5
级别	900mm
总重量	3.8kg
使用电机	Tarot 4006/620KV
电机最大输出功率	260W
螺旋桨	13x5.5inch
最大推力	1.6kg
电机数量	6
总推力 (推定)	9.6kg
推力/重量比	2.49
最大承载量 (推定)	5.8kg
翼型	原创
翼宽	1.6m
翼弦长 (平均)	0.38m
翼面积	0.61m ²
翼面载荷	61N/m ²
主翼的重量	500g
翼驱动的伺服机构	KRS-2552RHV
伺服电机的力矩	14.0kgf·cm
最大俯仰角的变化	35度
装载摄像头	GoPro HERO3/4
测试飞行时的蓄电池	4S-4800mAh
蓄电池的电压	14.8V
悬停飞行时间 (推定)	10min
水平飞行时间 (推定)	15min

6. 具有风筝翼的多旋翼飞行器

具有主翼的多旋翼飞行器的缺点

- 飞行速度有上限，如果升力过大，不能进行姿态控制
- 在朝前进以外的方向飞行时，得不到主翼的效果
- 急剧的垂直上升与下降困难，主翼承受旋翼的气流及横风，成为妨碍起降时稳定性的原因
- 与多旋翼飞行器比较，有主翼，因此携带性差

设计附加柔性风筝翼的多旋翼飞行器并进行试制

- 可手动及自动改变安装角度与面积，可望省力长距离飞行
- 如果折叠风筝翼，则可避免起降时的不利影响
- 携带性也好

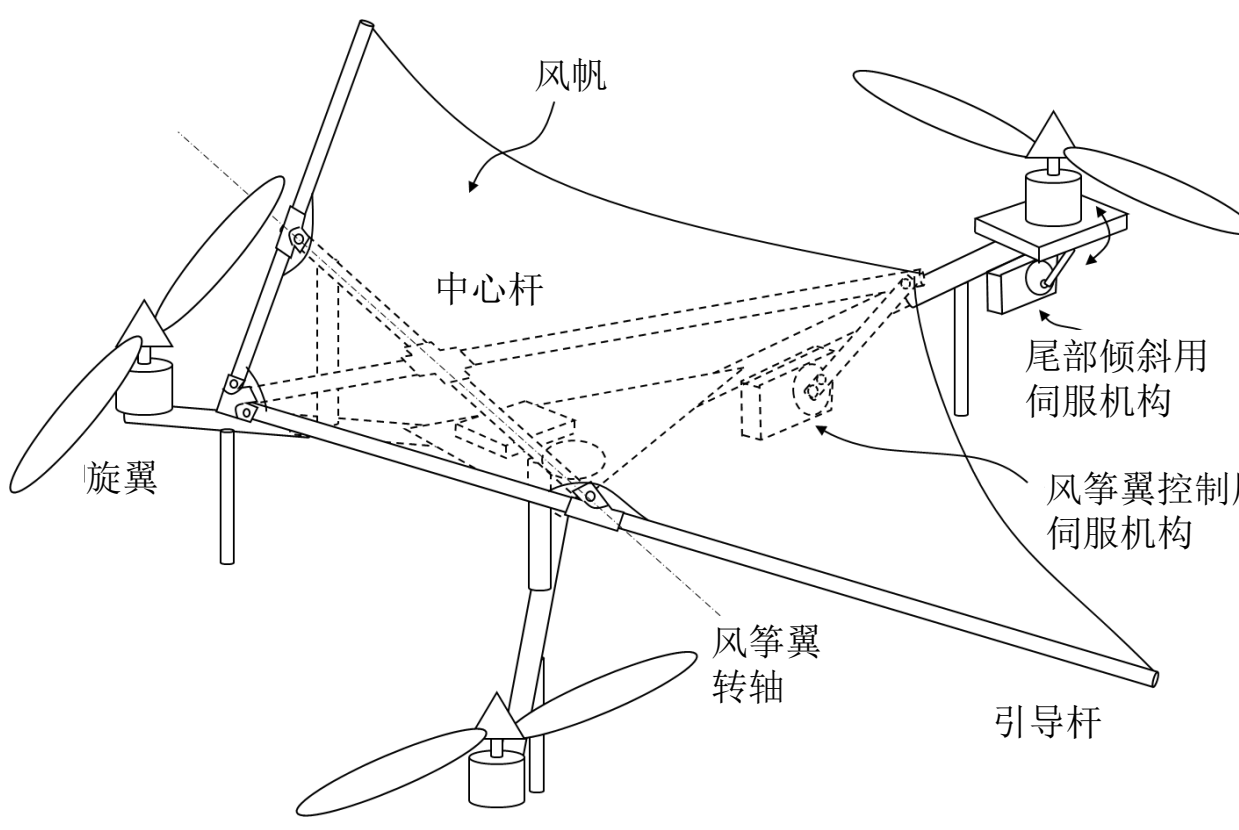
6.1 机体的概要

关于柔性翼的无人机

例) 风筝无人机有作为短距离起降飞机利用的实绩。虽然最高速度不如固定翼无人机，但是低速也能够飞行

设计的飞行器

- 在多旋翼飞行器上附加风筝翼
- 以三旋翼机为基础进行设计，以三角形的风筝翼进行与旋翼干涉小的配置
- 利用转轴将风筝翼固定在前方的臂上
- 将风筝翼柔性的风帆固定在杆上，后缘受风弯曲



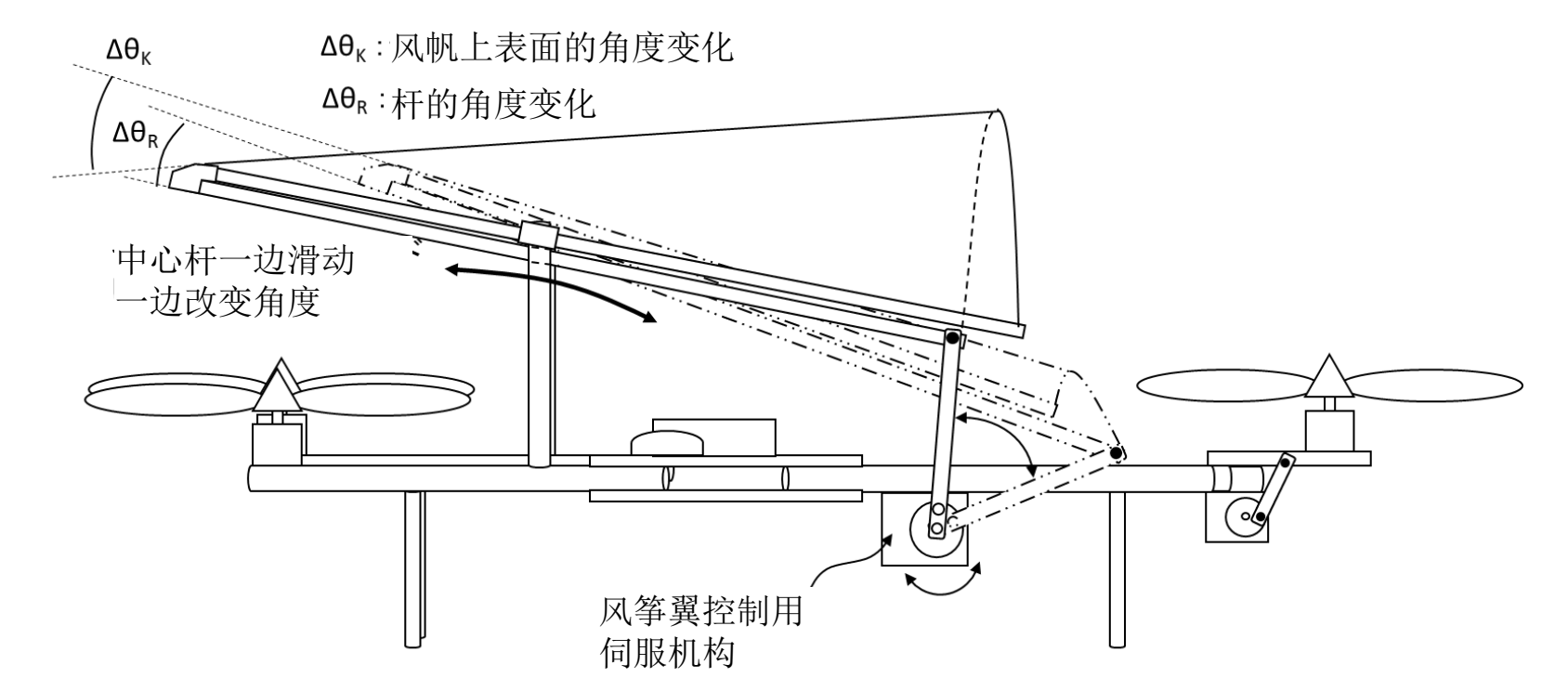
6.2 关于风筝翼安装角度的变化

垂直上升、下降时：

关闭风筝翼，杆的倾斜小，风帆松弛

水平飞行时：打开风筝翼，杆的倾斜大，风帆展开

※与杆的角度变化相比，风帆上表面的角度变化更大
→ 可有效增大风筝翼的安装角度变化



6.3 试制机体的规格与外观

形状：三旋翼机(3个旋翼+方向舵)
控制器：APM 2.5
电机输出功率：最大约180W
螺旋桨：8×4英寸，3片螺旋桨
最大推力：560g左右(×3个旋翼)
蓄电池：LiPo 3S 11.1V, 2200mAh
机体重量：约1024g(风筝翼198g)

主翼：风筝翼
主翼的驱动：由伺服电机驱动连杆机构
转用摄像头用稳定器的俯仰轴控制输出
风筝翼的顶角：65度(悬停时)，
85~105度(飞行时)
风筝翼的面积：0.28m²(悬停)，
0.36~0.43m²(飞行)

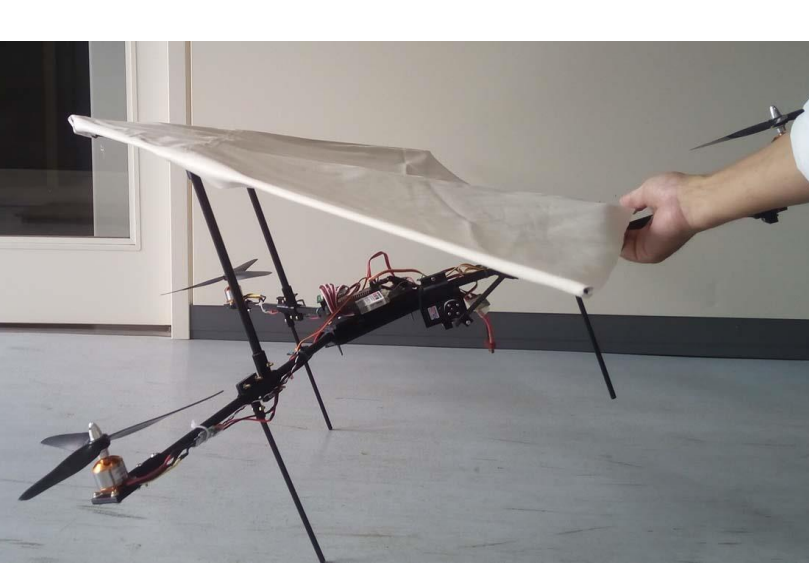
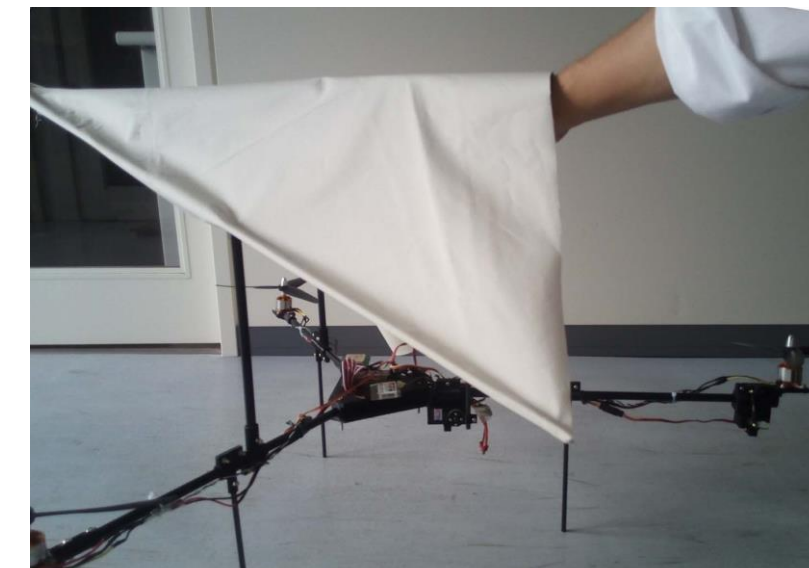


6.4 试制机体的风筝翼开闭

悬停时：全部关闭风筝翼



水平飞行时：全部打开风筝翼



6.5 飞行时的风筝翼比较

起飞后悬停时



水平飞行时



- 垂直上浮后，机体与主翼均保持水平，可当即进行稳定的悬停
- 悬停时无风帆的扇动，几乎没有旋翼气流的影响

- 从悬停向水平飞行过渡时，无操控的不连续
- 机体虽然前倾，但风筝翼几乎保持水平飞行
- 风筝翼产生升力，机体上浮

6.6 飞行时的耗电量

悬停时与水平飞行时的耗电量比较

(假设飞行时间100秒钟，根据蓄电池检测仪的剩余电量换算)

	电流(A)	耗电量(W)
悬停时	26	288
水平飞行时	20.6	228

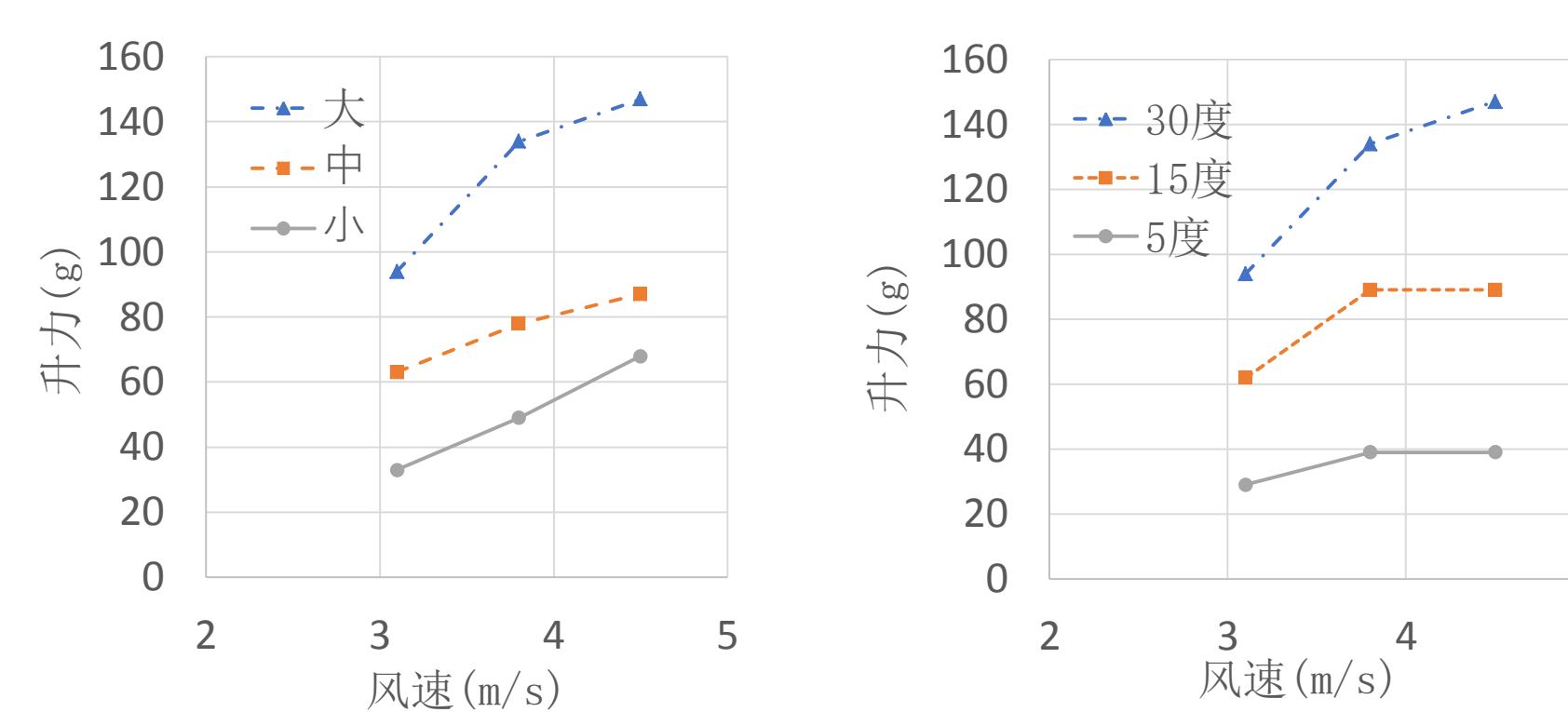
电池电压：11.1V，水平飞行时的平均速度：3m/s

能够以悬停的79%电能进行了水平飞行

- 无风筝翼的水平飞行也比悬停时的耗电量大
 - 此外，在室内飞行速度小，但是在户外可提高速度
- 考虑到这些，可以说风筝翼的节电效果更大

6.7 简易风洞实验

风筝翼的面积与升力的变化(安装角度30度) 风筝翼的角度与升力的变化(全部打开)



- 风筝翼的面积、风速越大，升力越大
- 在风筝翼全部打开、风速大时，容易引起飘动，出现升力饱和和倾向
- 与附加了已发表的固定翼的情形比较，可认为风筝翼不能期待利用翼型获得升力，但可改变安装角度及面积并结合目的优化飞行速度

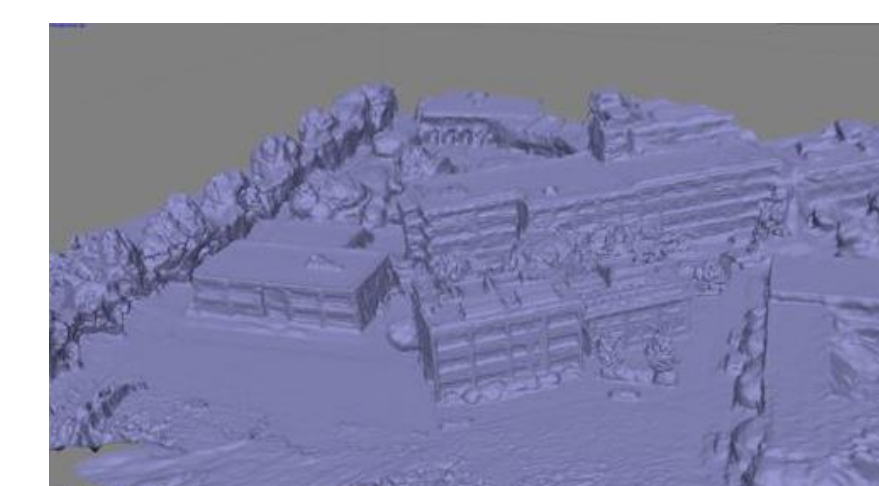
7.1 关于应用

在日本国土交通省提倡的i-Construction中，SfM/MVS被采纳为重要的ICT相关技术。

SfM: Structure from Motion,
MVS: Multi View Stereo
根据拍摄的二维图像推测拍摄对象的三维形状并根据摄像头的拍摄位置推测复原三维形状的技术



从50m上空看到的校园



推测了建筑物的3D实体模型



张贴了图像的3D模型

7.2 关于建议的机体优势

在大范围的航拍中，多通过直线飞行进行观测，采用反复转换方向的飞行形态

带固定翼的机体直线飞行节电，对大范围的观测用途有利



引用：<https://autonomousaeronautics.com/pages/aircraft-capabilities>

8. 面向实用化的课题

通过试制机成功验证了附加主翼与通常的多旋翼飞行器操控性没有大的差别。

今后进行以下的研究：

- 1) 面向实用化对构成零部件及主翼进行优化
- 2) 详细分析机体性能
- 3) 验证自律飞行性能
- 4) 实证试验飞行
- 5) 通过分析拍摄的影像探讨有用性

9. 与本技术有关的知识产权

专利申请人：独立行政法人国立高等专门学校机构
发明人：叶山清辉、入江博树

发明的名称：飞行体、改造套件、控制方法及控制程序
专利申请号：专利申请2016-154893
专利申请日：2016/8/5

发明的名称：飞行体
专利申请号：专利申请2016-230795
专利申请日：2016/11/29

发明的名称：垂直起降机
专利申请号：专利申请2017-168957
专利申请日：2017/8/2

发明的名称：飞行体
专利申请号：专利申请2010-232001，专利申请5713231号

10. 联系方式

熊本高等专门学校 总务课 研究推进组

电话：+81-96-242-6433 传真：+81-96-242-5503 电子邮箱：sangaku@kumamoto-nct.ac.jp

URL：<http://www.kumamoto-nct.ac.jp/company/consultation-research.html>