

姿勢安定制御実験装置の製作

神戸昌幸¹

筑波大学システム情報工学等支援室（装置開発班）

〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1

概要

筑波大学システム情報工学研究科知能機能システム専攻デジタル制御研究室の依頼により製作した「三次元 VTOL-UAV 姿勢安定制御実験装置」について報告する。VTOL-UAV とは Vertical Take-Off and Landing – Unmanned Aerial Vehicle の略で垂直離着陸 – 無人航空機のことである。

1. はじめに

デジタル制御研究室では、堀憲之助教授指導のもと、VTOL-UAV 簡易モデルを用いた自動姿勢制御の研究を行っている。同研究室では、モデルの推力源として圧縮空気を使用している。ノズルから圧縮空気を噴射することでモデルが浮上し、また噴射圧力を適切に制御することで、安定した低速飛行を実現している。

図1は、一昨年度製作した1リンクモデル実験装置である。モデルとモデル支持台で構成されている。モデルは、2枚のアルミニウム板（400×40×5mm）、中心の回転軸支持部、両端の噴射ノズル部からなり、回転運動だけが可能である。モデルの噴射ノズルは、口径を変えて実験ができるよう脱着式となっている。

図2は、昨年度製作した二次元 VTOL-UAV モデル実験装置である。モデル、パラレルアーム、アーム支持台で構成されている。モデルは、アルミニウム板（165×12×3mm）の両端に噴射ノズルを持った1リンクモデルで、回転支持部に角速度センサーを取付け、回転の検出ができるようになっている。パラレルアームは支持台を基点に上下運動と回転運動ができるようになっていて、その先端にモデルを取付けている。モデルは、両端のノズルから同じ圧力の圧縮空気を噴射し、その強弱で上昇降下を行い、片方のノズルの噴射を強くすることで回転運動を行う。これにより、モデルは近似的な鉛直平面内を飛行する。

図3が、今年度製作した三次元 VTOL-UAV モデル実験装置である。モデルはアルミニウム円盤（直径156mm）で、円周上の3ヶ所に噴射ノズルがある。モデル中心部の底面には、2つの角速度センサーを直交して取付け、ロール角（x軸まわりの傾き）とピッチ角（y軸まわりの傾き）の検出ができるようになっている。本実験装置は、今年度の卒業研究テーマである「三次元 VTOL-UAV モデルの姿勢制御」に使われている。

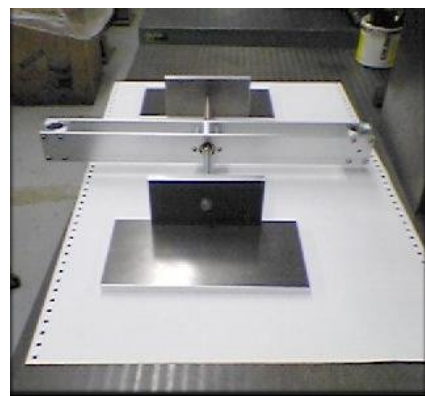


図1. 1リンクモデル実験装置



図2. 二次元 VTOL-UAV モデル実験装置

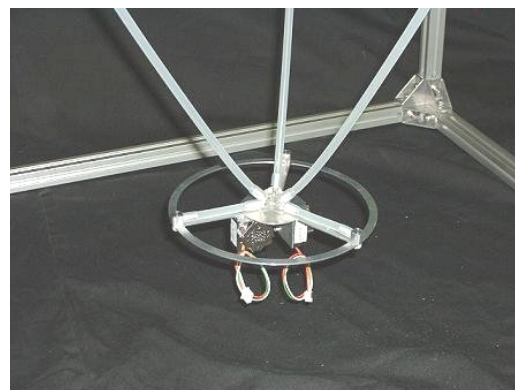


図3. 三次元 VTOL-UAV モデル実験装置

¹ E-mail: kobe@sie.tsukuba.ac.jp; Tel: 029-853-5195

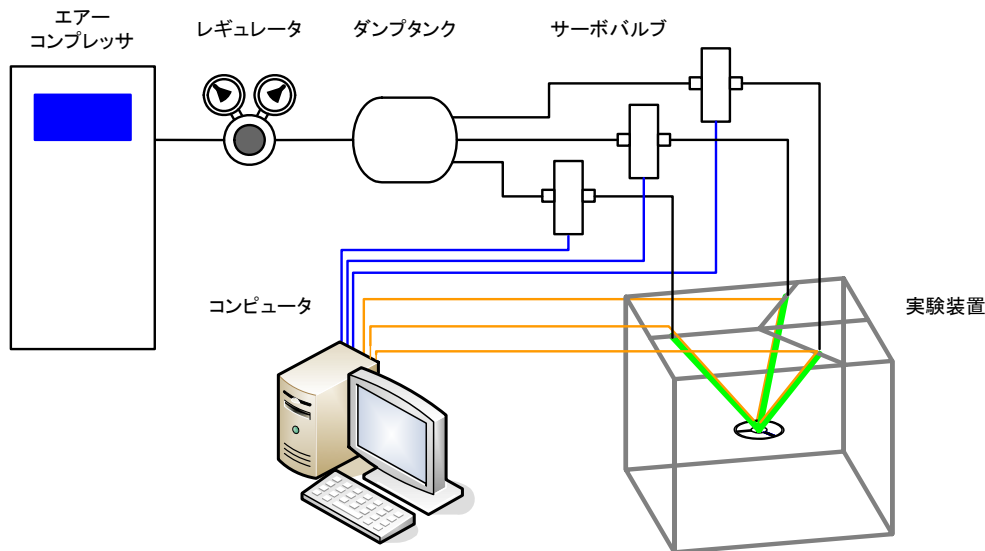


図4. 三次元 VTOL-UAV 姿勢安定制御実験装置

2. 実験装置の構成

図4に三次元 VTOL-UAV 姿勢安定制御実験装置の構成図を示す。エアコンプレッサで作られた圧縮空気は、レギュレータで0.8MPaまで減圧され、ダンブタンクを介して3系統のサーボバルブに供給される。さらに、サーボバルブで0.15MPa程度に減圧された圧縮空気は、実験装置のエア供給用チューブでモデルの噴射ノズルへと導かれる。

コンピュータは、角速度センサーで検出されたロール角とピッチ角の値からモデルの姿勢を判断し、モデルが安定した浮上を続けられるようサーボバルブを操作し、ノズルの噴射圧力を制御する。



図5-1
予備実験モデル1



図5-2
予備実験モデル2

3. 実験装置の設計と製作

3.1 予備実験

依頼者の「三次元 VTOL-UAV 実験装置の仕様」をもとに、予備実験モデル1 (図5-1) を製作し、浮上の有無を確認するための予備実験を行った。モデルは、直径300mm、厚さ2mmのアルミニウム円盤で、直径280mmの円周上に口径2mmの真鍮製ノズル3本を均等に配置した。外径6mm、肉厚1mm、長さ1mのビニールチューブを各ノズルにつなぎ、0.15MPa程度の圧縮空気を供給してみたが、モデルの浮上は見られなかった。そこで、予備実験モデル1の一部を切り取り軽量化した予備実験モデル2 (図5-2) と、デザインボードで作った軽量のモデル (図6) でも浮上実験を試みた。しかし、結果は同じであった。この実験により、0.15MPa程度の圧縮空気でもモデルを浮上させるためには、モデルの一層の軽量化とエア供給チューブ自体の軽量化も必要であることがわかった。

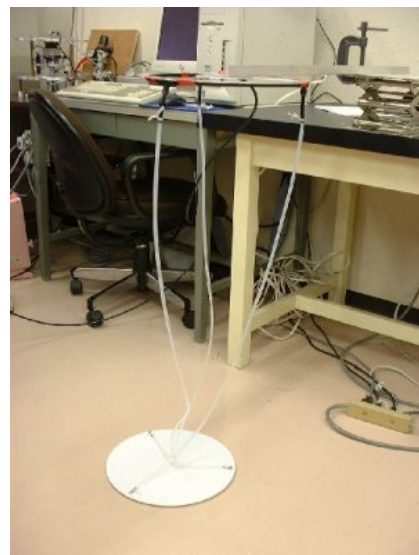


図6. デザインボードモデルでの予備実験

3.2 推力測定

モデルとチューブの軽量化の目安をつけるため、図7に示す簡易装置で推力測定を行ってみた。デザインボードにモデルと同じ口径のノズル3本を一行に取付け、ノズルと電子天秤上皿の間隔が約10cmとなるようにセットした。そして、予備実験と同じ0.15MPa程度の圧縮空気を電子天秤の上皿に向け、直接噴射してみた。その結果、約110gの推力が確保できることがわかった。



図7. 推力の測定

3.3 モデルの設計

予備実験と推力測定の結果をもとにモデルの再設計を行った。エア供給用チューブ、角速度センサー、アルミニウム円盤、噴射ノズルなどモデル本体の製作に必要な部品の総重量が110g以内になるよう表計算を使い、アルミニウム円盤の直径や厚さを決定した。(表1)

3.4 実験モデルの製作

図8に、立フライス盤によるアルミニウム円盤の加工の様子を示す。円盤は厚さ1mmと薄いため、あらかじめ用意しておいた治具に固定し、インデックスを回転させながらエンドミルにより切削加工した。



図8. アルミニウム円盤の加工

3.5 フレームの製作

三次元VTOL-UAVモデルを取付けるための架台を株式会社ミスミ²のHFS5-2020 アルミフレームで製作した。同社のアルミフレームは、サイズも豊富で組み立て、組替え、部品の追加などが容易である。これを上手く利用することで、架台作りの時間が短縮され、設計や加工に十分時間をかけることができるようになった。近年、システム情報工学研究科内の研究室でもその利用が増えている。

今回の架台(幅700×奥行700×高さ600mm)は、同社ホームページで提供されているアルミフレーム支援ソフトを用いて外形の設計を行い(図9)、細部は筆者が設計を行った。

表1. アルミニウム円盤の寸法と重量見積

外径	幅	中心	ピ ム	板厚	円盤 重量	ノ ズ ル	モデル チューブ	吊り チューブ	ジョイ ント	セン サ	モデル 総重量
300	10	50	10	2	83.08	2	6.83	49.70	25	34	200.61
300	10	50	10	1	41.54	2	6.83	49.70	25	34	159.07
200	10	50	10	1	28.26	2	4.35	49.70	25	34	143.31
160	10	50	10	1	22.95	2	3.35	44.73	7.5	34	114.54
160	8	50	8	1	19.77	2	3.35	44.73	7.5	34	111.35
160	6	50	8	1	17.28	2	3.35	44.73	7.5	34	108.86
156	10	50	10	1	22.42	2	3.26	44.73	7.5	34	113.91
156	8	50	8	1	19.34	2	3.26	44.73	7.5	34	110.82
156	6	50	8	1	16.93	2	3.26	44.73	7.5	34	108.41
150	10	50	10	1	21.63	2	3.11	44.73	7.5	34	112.96
150	8	50	8	1	18.71	2	3.11	44.73	7.5	34	110.04
150	7	50	7	1	17.19	2	3.11	44.73	7.5	34	108.53

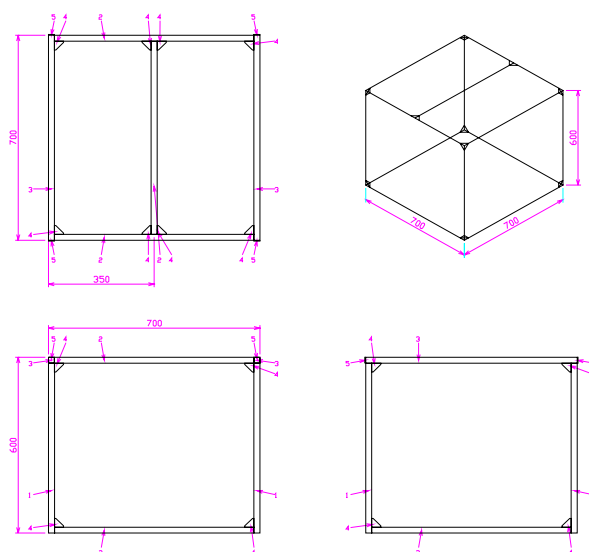


図9. 支援ソフトによるフレームの設計

² <http://www.mol.ne.jp/face/fa/fakz/>

3.6 実験装置の組み立てとチューブの選定

図10に、三次元 VTOL-UAV モデル実験装置の全景を示す。モデルは架台に配置した3本のチューブで吊り下げられた構造である。

昨年度製作した二次元 VTOL-UAV モデル(図2)では、エアー供給チューブの弾性、曲り具合、圧縮空気が充填されることによるチューブの硬化がモデルの運動に大きく影響を与えた。今回の三次元 VTOL-UAV モデルでは、それらの影響がより大きいことは容易に予想できた。そこで、完成したモデルを使いチューブの種類を変えながら簡易浮上実験を行った。図11に示す数種類のチューブの中では、LABRAIN SILICONE TUBE (4×6)が一番良好な結果を示したので、これを実験装置に採用した。

4. まとめ

デジタル制御研究室の VTOL-UAV 実験装置の製作が続けられたことは、筆者にとって大変有意義なことである。エアー供給用のチューブの影響を、できる限り低く抑えた実験装置の開発が、今後の課題である。

謝辞

本報告にあたり、御指導いただいたシステム情報工学研究科知能機能工学システム専攻・堀憲之助教授、貴重な資料を提供していただいたデジタル制御研究室の櫻村貴士氏、田邊文子氏に感謝いたします。また、実験装置製作のアドバイスをいただいた装置開発班の中島班長に感謝いたします。

参考文献

- [1] 櫻村貴士. 2次元UAVの高度制御とロール角制御, 筑波大学第3学群工学システム学類卒業論文(2004).
- [2] 安藤司真. VTOL 試作機の安定増大装置の設計, 筑波大学第3学群工学システム学類卒業論文(2004).
- [3] 吉田竜二. 空気ジェットによる非線形系の角度制御, 筑波大学第3学群工学システム学類卒業論文(2003).
- [4] 株式会社ミスミ. FA メカニカル標準部品カタログ 2005.



図10. 三次元 VTOL-UAV モデル
実験装置の全景



図11. チューブの選定
左から、
ポリウレタンチューブ(4×6)
ビニールチューブ(4×6)
LABRAIN SILICONE TUBE (4×6)
LABRAIN SILICONE TUBE (3×5)
LABRAIN SILICONE TUBE (2×4)