

大学工学部における紙飛行機的设计・製作研修

Paper glider design and making as a study for university students

丹波 純*

Jun TAMBA

Key Words: paper glider, university students, engineering, education

Abstract : In the school of engineering of Tohoku University, "Creative engineering studies" are given to the first grade students once a week for four months. As one of the themes of the study in 1999, thirty students were asked to design, make and fly paper gliders. The process of developing paper gliders is exactly the same as that of developing any industrial product. This theme aimed at teaching the pleasures and difficulties of making products to students who were going to be engineers.

1. はじめに

紙飛行機といえば、幼稚園児や小学生が遊ぶ折り紙飛行機に始まり、大人が趣味として楽しむ本格的な組立式紙飛行機まで様々なものがあり、また、それに応じた楽しみ方がある。紙飛行機においても、基本的な飛行の原理、すなわち、揚力の発生原理や操縦原理などは、実際の飛行機と同じであり、「遊び」の中にもハイテク航空機と同様の「科学」が潜んでいる。このような観点から著者は、これまで、小学生やその親を対象に、紙飛行機の製作・飛行教室を行い^{(1),(2)}、その中で簡単な風洞実験などにより飛行の原理を紹介している。

一方、高性能な紙飛行機を製作するには、基本的な飛行の原理以外にも、多くの点に注意を払わねばならない。例えば、機体の材料、構造、強度、空力特性、工作法、調整方法といった要素を検討する必要がある。また、軽量化を目指すあまり、強度が低下し、破損を招いたり再現性が悪くなる場合もあり、各要素間のトレードオフが重要である。

このようなスキルは、現代の産業などにおける設計、製作、評価、改良というモノづくりの課程そのものであり、「工学」のアプローチに他ならない。そこで著者は、紙飛行機を通じて、これから技術者を目指す人達に、モノづくりの楽しさ、難しさを紹介することができるのではないかと考えている。

幸運にも、東北大学工学部機械航空工学科の中橋和博教授、大林茂助教授より、大学1年生に対して紙飛行機を利用した研修を行う予定がある旨のお話を伺い、著者は協力させていただくことになった。本報では、1999年10月から4ヶ月にわたり行われた研修の模様を紹介し、紙飛行機を利用した工学教育の可能性を検討する。

2. 「創造工学研修」

一般に理工系大学の学生は、1~3年で授業と学生実験により基礎的なことを教わり、4年の卒業研究において初めて、自ら問題を発見し、その解決に挑む。しかし、大学に入学して間もない1年生に対して、研究の面白さを体験してもらおうという研修が1996年より東北大学工学部で行われている。これが「創造工学研修」であり、1999年の場合、工学部1年生約1000人のうち400人が選択した。

工学部の各学科が、例えば「ロボットコンテスト」(機械知能工学科)、「手作り真空管アンプの製作」(電気通信研究所)、「高速ハードウェアアルゴリズムの設計」(情報工学科)、「新しい木造住宅構法の開発」(建築学科)など、およそ60のテーマを用意し、学生は所属系に関わらずテーマを選択することができる。1テーマあたり5~20人の定員で、週に2時間程度、4ヶ月にわたり、担当研究室の教官あるいはTA(ティーチング・アシスタント:大学院生)からの指導や助言を受け、研修を進める。

機械航空工学科では「模型航空機的设计、製作および飛翔」というテーマを担当し、30人の応募があった。前年までの研修では、ロケットグライダー(バルサ製グライダーに固形ロケットエンジンを取り付けたもの)を製作していたが、上昇時と滑空時の速度が著しく異なるために調整が難しく、一回の飛行で破損してしまうことが多かった。このため学生は試作、試験、改良という開発過程を十分に体験することができないという問題があった。

そこで、複数の機体の製作が可能で、試験飛行も十分に行える紙飛行機を利用した研修が検討された。研修担当教官と著者との検討の結果、以下のような研修を行った。

* URL : <http://www.ne.jp/asahi/tamba/aircraft/>

まず、研修の1回目に「紙飛行機の工学」と題する講義を著者が行い、2回目には著者が学生とともに紙飛行機を製作し、飛ばす実習を行った。以降の研修では、学生は3人程度のグループに分かれ、それぞれにTAが付き、指導や助言を行った。1月の最終回では、著者も参加し、製作した紙飛行機の競技会を行った。競技は大学の体育館で行い、滞空競技と距離競技とを行った。なお、初回の講義は、日本航空宇宙学会北部支部の特別講演会も兼ねている。

3. 講義および実習

第1回目の研修で行った講義の内容は、およそ以下のとおりである。

(1)紙飛行機とは 表1のように、折り紙飛行機、切り折り飛行機(吉田式)³⁾、組立式紙飛行機^{(1),(4)}などの分類と、製作時間や滑空性能、上昇性能などの特徴を紹介した。また、飛行機の目的による仕様の違いを、実際の航空機を含めて紹介した。

(2)まず、作って飛ばす 著者が実際に学生の前で割り箸飛行機(檜の角材に、主翼、水平尾翼、垂直尾翼、おもりを取り付けたもの)を製作し、講義室内で飛ばす実演を行った。

(3)紙飛行機的设计・製作 主翼、水平尾翼、垂直尾翼などの役割を紹介するとともに、揚力発生の原理や、水平尾翼容積比などの安定性理論を簡単に紹介した。また、積層胴や三角胴、厚翼や薄翼という機体の構造、さらに材料の紙の性質にも触れた。

(4)飛行の実際 製作後の試験飛行における注意点、調整方法などの概要を紹介した。講義室内で、同一機体の重心位置を変えて飛ばし、重心位置が飛行の様子に強く影響することを示した。また、左右の旋回の調整方法なども示した。

(5)まとめ 図1を例に、紙飛行機的设计、製作にあたり、各要素間のトレード・オフが必要であることを示した。また、図2のような多くの要素を考慮しなければならないこと示した。

第2回目の研修で行った実習では、学生が組立式紙飛行機の概要をとらえやすいように、また、実際に紙飛行機を飛ばすというイメージを持ちやすいようにとの考えで、著者设计の紙飛行機キット⁽¹⁾を組み立て、その後、体育館内で飛ばした。

4. 紙飛行機製作の条件と競技ルール

紙飛行機を设计、製作の条件、および競技会のルールは、表2および表3のとおりである。

表1 紙飛行機の分類

	折り紙	切り折り (吉田式)	組立式
製作時間	1 ~ 5分	「5分」	2時間 ~ 数日
重量	2 ~ 4g	約5g	6 ~ 10g
翼面荷重	約2g/dm ²	約5g/dm ²	7 ~ 10g/dm ²
滑空性能			
上昇性能	×		
剛性	×		



折り紙飛行機 吉田式紙飛行機 組立式紙飛行機

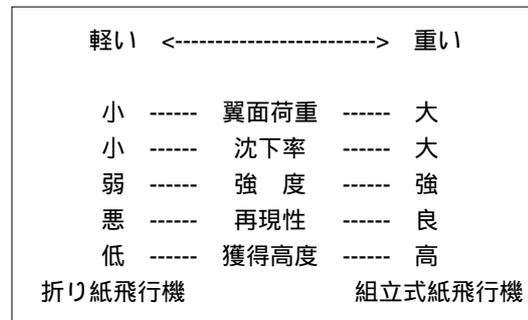


図1 トレード・オフの例

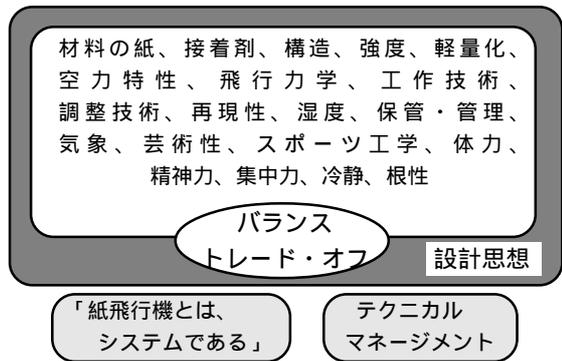


図2 システムとしての紙飛行機

表2 紙飛行機製作の条件

設計製作	<ul style="list-style-type: none"> 各自が独自に行う すべて紙でできていること
材料	<ul style="list-style-type: none"> 支給の紙 (PHO160kg、205kg、250kg、富士フィルム製) 以外の紙も使用可 重心位置調整用の鉛の使用は可 接着剤は「工作用セメダインC」 ラッカーはセルロース系ラッカー
寸法	<ul style="list-style-type: none"> 完成時に翼幅は15cm以上

表3 競技のルール

滞空競技	
射出	・ 体育館のフロアより射出（射出の位置、角度、方向は自由） （体育館は広さ約50m × 30m、高さ12m） ・ 手投げまたはゴムカタパルト ・ ゴムカタパルトは、指定のゴム25cmを一重の輪にして使用
計測	・ 手を離れてから接地するまでの飛行時間 ・ 壁に接触した場合はその時点で計測を中止
距離競技	
射出	・ 体育館2階よりほぼ水平に射出（床より4mの地点） ・ 手投げまたはゴムカタパルト
計測	・ 射出点直下のフロアから接地点までの平面直線距離 ・ 壁にあたった場合には、その地点までの平面距離

5. 競技会

ほとんどの学生が、滞空競技用と距離競技用に別々の機体を製作した。また、開発の過程で10機製作した者もいた。無尾翼機、デルタ翼機、串型機、複葉機も僅かにあったが、多くはオーソドックスな形状であった。試作段階で先尾翼機や無尾翼機に挑戦したが、調整が難しく、オーソドックスなものに変更したという者もいた。

滞空競技では、周囲の壁に接触した場合にはその時点で計測を打ち切るため、学生は機体の飛ばす方向、旋回方向などを考慮して発射位置を決めねばならない。また、距離競技では、接地点までの直線距離を測定するため、旋回せずに直線的に飛行するように調整することが求められる。

滞空競技の結果を図3に示す。27人の学生がそれぞれ3～5回飛行させ、その最高記録を表している。全体での最高記録は11.5秒であり、飯野の報告⁶⁾と比較しても、妥当な記録と考えられる。また、距離競技の結果を図4に示す。これも、数回の飛行のうちの最高記録を示している。最高記録は40mであり、優れた結果であると言える。

6. 学生のレポート

競技会終了後、参加した学生にレポートの提出を求めた。レポートには、機体図面、機体データ（重心位置、重量、翼面荷重、尾翼容積比など）、工夫した点、競技記録より推算される滑空比、飛行速度、沈下率、さらに紙飛行機や研修に対する感想を記述してもらった。

翼面荷重と滞空競技における滞空時間との関係を図5に示す。滞空時間が8秒を超えるものは、翼面荷

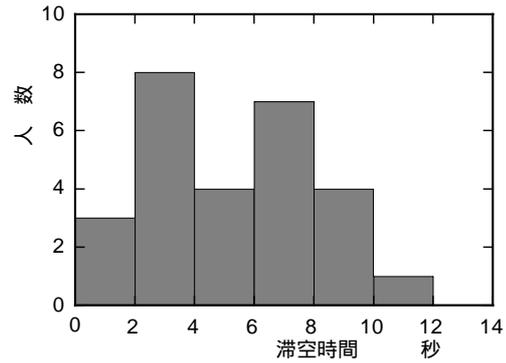


図3 滞空競技の結果

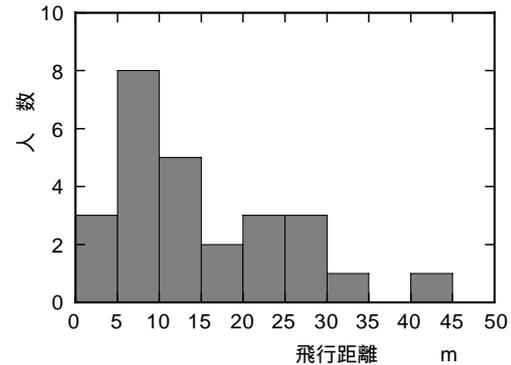


図4 距離競技の結果

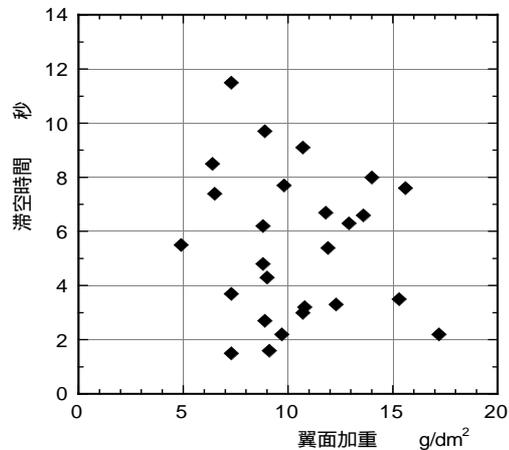


図5 翼面荷重と滞空時間との関係

重が小さく仕上がっている。全体の半数は翼面荷重が10g/cm²以下となっているが、滞空時間が6秒を下回るものも多い。競技会での滞空時間が短かった者でも、練習においては10～20秒飛んだ場合もあった。調整技術の問題もあり、一概には言えないが、小さい翼面荷重であっても滞空時間が短いものは、軽量化による剛性不足のためと考えられる。

学生が工夫した点として、主翼の平面形や重心位置などの空力的要素を挙げた者は35%、構造や強度、胴体製作時のプレスなど、製作技術を挙げた者は

50%、また、翼の角度やキャンバー、射出方法などの完成後の調整を挙げた者は35%となった。これより、学生が実際に関心を持ち、工夫できた部分は製作段階が多く、一方、設計や調整段階では、学生自身の知識や経験の不足のため、十分な考察が行えなかったと考えられる。学生の感想の中には、設計理論や製作法、調整法などを、より具体的に指導してほしかった、というものもあったため、指導法の改善により、さらに学生の関心や理解、創造性を発展させることも可能であろう。

紙飛行機に対する感想を自由形式で記述してもらった。大学の航空工学科が担当する研修で紙飛行機を作る、ということに驚いた者が多く見受けられた。しかし結果的に、「紙飛行機は奥が深い」あるいは「予想以上によく飛ぶ」と述べ、それまで紙飛行機に対して持っていた印象が大きく変わったと感じている者は、全体の70%に達した。特に、滞空時間の記録が6秒に満たなかった14人のうち、11人(80%)がそのように感じており、好結果を残せなかった者ほど当初の印象とのギャップを実感している様子が見ええる。また、「作り始めたら時間を忘れ、朝になっていた」、「気付いたら夢中になっていた」、「紙飛行機にのめり込む大人の気持ちがあった」など、予想外に熱中したと感じる者も多数いた。

一方で、航空工学科を志望、あるいは航空に関心があると記した学生の中にも、飛行原理や強度、調整などの検討を十分行わず、このため「奥が深い」ことに気付くことなく研修を終えている者も複数見受けられた。「航空工学は最先端」というイメージが強いため、逆に紙飛行機に真剣に取り組めなかったのではないかと推測されるが、著者の個人的な希望としては、紙飛行機程度のことは十分に理解し、実践した上で「航空」を語ってほしいものである。

この研修を通じて、紙飛行機以外にも役立つ経験をしたと述べた者は42%いた。例えば、「モノを作る難しさや楽しさを学んだ」、「自然の不思議を感じた」、「自分で問題点を見出してそれを解決することが大切」、「データをもとに工夫するプロセスにロマンを感じた」などの記述があった。これらは、本研修において著者が目指したものであり、紙飛行機という一見幼稚な教材ではあるが、その設計、製作、飛行の過程で、大学における工学教育としての、ある一定の成果を上げられることが確認できた。

大学1年生への指導、助言をしてくれたTAより、本研修の感想を聞いたところ、「1年生以上に楽しんだ」、「思った以上に紙飛行機は飛ぶ」といった感想

が多かった。TAは航空宇宙工学専攻の大学院生であるため、すでに航空工学の理論の概要を学んでいる。本研修のTAを行ったことで、学んだ理論と実際の飛行とが結びつき、大きな喜びとなったと考えられる。専門課程で航空理論を学んだ学生にとっても、紙飛行機の設計・製作は、楽しめる課題となるであろう。

7. おわりに

学生の感想に「久しぶりに工作をした」というものが複数あった。近年の学生は入学以前に実際に手を動かして工作を行う機会が少ないため、スパナによる締め付けや簡単な木工、金属加工などを経験していない学生が機械工学の分野に進学する場合もある。また、スーパーコンピュータの発達と普及のおかげで数値計算による研究が増加し、以前に比べて学生が実験的研究を行う機会が減少しているように思われる。これは、現実の装置を製作あるいは改良する体験をせずに卒業する学生が増えることを意味しており、著者の危惧する点である。

このような状況の中で、東北大学の「創造工学研修」のように、大学に入学して間もない、これから工学を学ぼうとする学生が、実際に何かを製作し、性能向上に挑戦することは喜ばしいことである。紙飛行機は、材料の調達、設計、製作、評価、改良の全般にわたり、個人レベルで行うことが可能なため、将来のモノづくりの全体の流れを体験することができる。技術者を育てる上で、紙飛行機が何らかの役に立てば、これは著者の大きな喜びである。より多くの大学などで、このような実践的なモノづくりの研修が行われることを願っている。

最後に、著者がこの研修に参加する機会を作ってくださった東北大学 大林茂助教授に深く感謝いたします。

参考文献

- (1)丹波純、小松秀二：紙飛行機教室のあり方、第4回スカイスポーツシンポジウム、1998、pp.32-35.
- (2)丹波純：紙飛行機作りで学ぶ飛行の科学、「理科教室」新生出版、2000年7月号、pp.68-71.
- (3)吉田辰男：「たのしい紙ヒコーキ集」Vol.1～4、1990、誠文堂新光社.
- (4)二宮康明：「よく飛ぶ紙飛行機」Vol.1～5、1995、誠文堂新光社.
- (5)飯野明：授業の課題としての紙飛行機について、第3回スカイスポーツシンポジウム、1997、pp.83-86.