



Title	人力無尾翼飛行機の翼改良・軽量化：翼後縁部分に軽量新構造を実装するために
Author(s)	富野, 陽介
Citation	平成27年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書. 2016
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/54647
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

平成 27 年度学部学生による自主研究奨励事業研究成果報告書

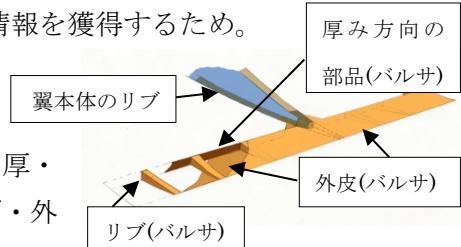
ふりがな 氏名	とみの ようすけ 富野 陽介	学部 学科	法学部 国際公共政策学科	学年	2年				
ふりがな 共同 研究者名	かみのかど たくみ 神之門 拓己	学部 学科	基礎工学部 システム科学科	学年	2年				
	わたなべ ゆうた 渡邊 裕太		工学部 応用理工学科		1年				
アドバイザー教員 氏名	川野 聰恭	所属	基礎工学研究科 教授						
研究課題名	人力無尾翼飛行機の翼改良・軽量化 ～翼後縁部分に軽量新構造を実装するために～								
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。								

1、 研究について

- (1) 概要：新たに考案した構造を試作し、①設計どおりの翼型を高精度で再現できるか②軽量か③最低限必要な強度を保ちつつ破損後の修理がしやすいかの3点を従来構造と比較し、また試作過程を総合的に分析・判断して新構造が実装可能なものか判断する。
- (2) 目的：新たに考案した人力飛行機の翼の後縁構造が、実装可能なものかを判断するための製作経験値、及び基礎的な情報を獲得するため。

2、 研究方法

- (1) 従来構造と新構造の試作・時間計測
- 設計通りの翼型の図面を描いた上で、1mm 厚・2mm 厚のバルサシートを用いてバルサ製リブ・外皮・厚み方向の部品を製作し、接着剤でそれぞれの部品を組み立てた。また、作業ごとにかかった時間も並行して記録し、分析した。
- (2) 落下破壊試験
- 試作の翼を1枚つくり、破損のリスクが最も高い膝の高さから、翼を後縁側より落下させる破壊試験を行い、新構造の破損の仕方、修復方法、衝撃に対する強度等を調べた。結果は、想定以上の程度・範囲で破壊が起きました。



3、 研究成果

- (1) 従来構造との比較
- i) 所要時間の比較
- 上記の製作方法で、従来構造・新構造それぞれを作るのに、実際にかかった工程別の作業時間は、以下である。ただし「実質作業時間」とは、設計や接着剤の固着待ちなど他の作業と並行して行える作業時間を省いたものである。

新構造			従来構造		
作業内容	人員	所要時間	作業内容	人員	所要時間
設計用Excelシート作成	1	60 分	設計等準備	1	23 分
設計計算	1	480 分	バンドソー準備	1	6 分
図面引き	1	360 分	切り落とし	1	15 分
印刷	1	30 分	接合	4	20 分
貼り付け	1	30 分	署書	2	5 分
リブ切り出し	1	30 分	ニス塗り	1	15 分
外皮印刷	1	20 分	三角材マスター図面	1	30 分
図面切り	1	6 分	三角材マスター作り	1	20 分
バルサ接合	1	150 分	三角材やすり	1	60 分
図面貼り付け	1	10 分	接着補助つくり	1	60 分
外皮切り出し	1	45 分	接着補助接着	1	55 分
外皮後縁処理	1	20 分	固着待ち		180 分
治具づくり	1	30 分	取り付け用後縁処理	1	30 分
外皮リブ位置印うち	1	10 分	取り付け作業	1	60 分
縦材づくり	1	30 分			
リブ立て	1	135 分			
固着待ち		180 分			
外皮でサンド	1	20 分			
やすり・後処理	1	15 分			
ニス塗り	1	15 分			
翼取り付け作業	2	40 分			
総所要時間			所要時間	9.65 h	
実質作業時間			実質作業時間	6.26667 h	

図 1 = 製作時間の記録

ここからわかるように、新構造を作るのに要した総所要時間は、従来構造の約 3 倍、実質作業時間も約 1.5 倍と、かなりの増加量になった。しかし、これは作業にかけた人員投資量に差があるまま比較してしまっているため、次に、作業の並行処理や人員の役割分担により時間短縮可能な事柄を考慮して作成した、生産効率の変化を所要時間で表した表を用いて、作業時間の比較を行ってみたい。

新構造		人数による生産効率の変化(左)と所要時間(右)					
作業	1人	2人	3人	4人	備考		
Excelシート作成	1 60 分	1 60 分	1 60 分	1 60 分	ここまで		
設計計算	1 480 分	1 480 分	1 480 分	1 480 分	作業は		
図面引き	1 360 分	1 360 分	1 360 分	1 360 分	分担もで		
印刷	1 30 分	1 30 分	1 30 分	1 30 分	きない。		
貼り付け	1 30 分	2 15 分	2.8 11 分	3.3 9 分			
リブ切り出し	1 30 分	2 15 分	2.8 11 分	3.3 9 分			
外皮印刷	1 20 分	1 20 分	1 20 分	1 20 分			
図面切り	1 6 分	1.5 4 分	1.8 3 分	2 3 分			
バルサ接合	1 150 分	2 75 分	3 50 分	3.8 40 分			
図面貼り付け	1 10 分	1.5 7 分	1.8 6 分	2 5 分			
外皮切り出し	1 45 分	2 23 分	2.1 21 分	2.2 21 分			
外皮後縁処理	1 20 分	2 10 分	3 7 分	4 5 分			
治具づくり	1 30 分	1.5 20 分	1.8 17 分	2 15 分			
外皮リブ位置印うち	1 10 分	2 5 分	2.5 4 分	2.8 4 分			
縦材づくり	1 30 分	2 15 分	3 10 分	4 8 分			
リブ立て	1 135 分	2 68 分	2.5 54 分	2.8 48 分			
固着待ち							
外皮でサンド	1 20 分	1.8 11 分	2.4 8 分	2.5 8 分			
やすり・後処理	1 15 分	2 8 分	2.8 5 分	3.4 4 分			
ニス塗り	1 15 分	1.5 10 分	1.8 8 分	2 8 分			
翼取り付け作業	1 80 分	1.5 53 分	1.5 53 分	1.5 53 分			

従来構造 作業	人数による生産効率の変化(左)と所要時間(右)								備考	
	1人		2人		3人		4人			
	1	23	分	1	23	分	1	23	分	
設計等準備	1	23	分	1	23	分	1	23	分	
バンドソー準備	1	6	分	1	6	分	1	6	分	機械が1つの作業環境なので増えない。
切り落とし	1	15	分	1	15	分	1	15	分	
接合	1	80	分	1.8	44	分	2.5	32	分	
野書き	1	10	分	1.8	6	分	2.5	4	分	
ニス塗り	1	15	分	1.5	10	分	1.8	8	分	
三角材マスター図面	1	30	分	1	30	分	1	30	分	
三角材マスター作り	1	20	分	2	10	分	2	10	分	
三角材やすり	1	60	分	2	30	分	2.3	26	分	
接着補助つくり	1	60	分	2	30	分	3	20	分	
接着補助接着	1	55	分	2	28	分	3	18	分	
固着待ち										
取り付け用後縁処理	1	30	分	1.5	20	分	1.8	17	分	
取り付け作業	1	60	分	1.5	40	分	1.5	40	分	

図2
= 生産効率
の変化

これより、現在の製作メンバーの最大数である4人をフルに使って製作を進めたとき、総所要時間は新構造で約9.8時間、従来構造で約4時間、実質作業時間は新構造で約6.3時間、従来構造で約5.5時間と予想される。これは、最大数の人的投資を行い、生産効率を上げれば、新構造では労働時間が1/3まで短縮できることを意味する。しかしながら、新構造は従来構造と比べて、最大の人員投資を行えば実作業時間は約1.5倍から約1.15倍まで短縮することができる一方で、約3倍だった総所要時間が、最大の人員投資を行ったときには、約5倍になる。現実的には、工期に制約があるため、翼のほかの部品も並行して進めいかなければならず、すべての作業で最大の人員投資量である4人を動員することは不可能である。この現実はスケジュール管理の観点から言えば、生産性を総作業時間で考えた方が余裕のあるスケジュールを立てられることを意味し、新構造は、作業時間短縮のため人員投資を行えば行うほど、同等の人員投資下で製作する従来構造よりも作業に必要であろう時間が相対的に長くなるという逆説的状況に陥る。

これは「人員投資量に対するリターンが従来よりも減少する」と理解することもでき、実装を考える上では由々しき事態である。

ii) 労働負荷の比較

作業工程数が従来よりも30%ほど増加したが、バンドソーなどの工具を使う工程が少なく、部品作りはむしろ手元の机とカッターナイフ1本で行えるようになったので、従来構造よりも他の作業と並行してやりやすくなった。

しかしながら、組み立ての際には細長い形の平面を確保する必要があり、この点では、小さく壊れやすい部品の置き場など、より広い面積を確保しなければならず、限られた作業スペースを共有しながら進める必要のある現在の作業環境では負担が大きい印象だった。ただ、労働負荷に変わりはないという印象であった。

iii) 重量・翼型再現精度の比較

翼型の再現精度に関しては、目に見えて改善されたが、接着不良で外皮が多少浮いてしまう部分も見られたため、さらなる技術的な改善が求められるといえる。

重量に関しては、当初は軽量化の見込みがあると思われていたが、スタイルフォーム製のリブの強度を考慮し、新構造には最大厚部分で5mm持たせたことで、翼型の性質上従来構造よりも体積が増加してしまった。

新構造		従来構造	
基本寸法	5~1*50*2870mm	基本寸法	6.8~1.5*38*2870mm
中空部分も含めた体積	430500 mm ³	体積	370804 mm ³
総重量	106g	後縁構造のみ重量	68g
図3=体積と重量		三角材	6.5g
		接着補助	2g
		総重量	76.5g

また、新構造では従来構造よりも接着剤をかなり多用しているため、それぞれ実用的なサイズのものを製作した際には、従来構造の接着補助などの余分な構造にかかる重量を含めても、新構造のほうが、結果的に重量が重くなってしまうことが判明した。

翼型の再現精度が向上しても、重量が重くなってしまえば、飛行に必要な出力の低下は見込めず、人力飛行機のような低出力で飛ぶ航空機にとっては、効率面でむしろマイナスに多く働く可能性がある。

iv) 破壊に対する強度と修復のしやすさ

従来構造では、落下による衝撃を受けても、後縁構造は破損せずスタイルフォーム製のリブが破損するだけであった。これは従来構造が過強度であり、飛行には直接関係しない落下という力のかかり方に対してまでも強い構造であったためだといえる。しかし、この過強度さを改善し、軽量化に結び付ける構想だった新構造では、スタイルフォーム製のリブ、バルサ製の後縁構造ともに破損し、結果的に修復の手間が増える結果となってしまった。

また、落下させた場合にバルサ製後縁構造がしっかりと破壊されバンパーの役割を果たし、スタイルフォーム製のリブの破損を抑制できるように、サイズ・寸法を変更して新構造を製作できるかについては、実際のところ難しいといえる。なぜならば、新構造では、翼型の後縁部を完全に再現しているため、構造を小さくすればスタイルフォーム製のリブの後縁端（バルサ製の構造との接着部）のサイズも小さくなるからだ。製作手法の関係上、今回よりも小さく細くなるスタイルフォーム製リブの後縁端を作ることは不可能に近く、またバルサ製後縁構造との接着部がフィルムの張力や飛行時の振動・風圧に耐えられなくなる恐れがある。

修復後の翼型再現精度に関しては、バルサ製の後縁構造については、すでに設計済みの図面を印刷することで修復前と同等の精度で修復することができ、スタイルフォーム製リブの修復については、従来と大差なく行えた。よって、従来でも後縁構造は修復が不要だったことから、修復後の翼型再現精度は従来と変わらないといえる。

(2) 結論

実際に試作として新構造を作成し得られたデータや、落下破壊試験から得られたデータ、上記分析を総合的に考慮すれば、この新構造は翼型の再現精度が向上した以外は、従来の構造より優れていると判断できる点がないと言わざるを得ず、人力無尾翼機への実装は、非常に残念ではあるが、非合理的判断であると言わざるを得ない。