

ジャパンカップ “ジャンボ紙飛行機部門”

機体の設計から飛行まで(その4)



“アクティブギャルズ”

- 堀 琴乃 (TOTO株)
- 佐々木寿枝 (シャープ株)
- 佐多宏太 (トヨタ自動車株)
- 渡辺雅晃 (マツダ株)
- 吉川剛明 (滋賀県立大学)
- 吉川俊明 (株)浅沼組

目 次

- 1) はじめに
- 2) 近年のジャンボ紙飛行機部門の動向
 - 2.1) 大型化の難しさ
 - 2.2) 競技規定の主要な改訂点
- 3) 機体の大型化に向けた取り組み
 - 3.1) 空力的及び構造的側面における対策とダンボールの性能
 - 3.2) スーパージャンボ機のプロトタイプ
“CHicK-GRX”の設計から製作
- 4) まとめ

1) はじめに

- ◆ 全日本紙飛行機選手権大会は今年で15回を迎えた。
- ◆ ジャンボ紙飛行機部門は最終競技で、花形競技に位置づけられている。
- ◆ かつては、機体の設計・製作や飛行の難しさ等から参加者が限られていた。
- ◆ 近年は、選手や関係者、各地の指導者の努力と支援が結実し、増加傾向にある。
- ◆ 当シンポジウムでも、ジャンボ紙飛行機の報告が増加しつつある。
- ◆ コンテストの開催地による参加者の変動が大きいなか、
 昨年の福岡大会では、**18名、27機** に達した。
 今年の東京大会でも、**17名、19機** が参加した。
- ◆ 競技は活気に満ち溢れ、穏やかな雰囲気の中に熱戦が繰り広げられている。

しかし、飛行に関してはまだまだこれからともいえる。

ジャンボ機部門の現状を鑑み、向かうべき方向や手法を考察する。

澄みきった大空を滑らかに滑空
5位入賞の“CHICK-SRX-R”



2) 近年のジャンボ紙飛行機部門の動向

- ◆ ジャンボ紙飛行機と言えば、町田憲次郎氏といわれるほど、同氏とその機体は有名で、機体の規模や飛行距離は他を圧倒している。
- ◆ 第10回大会の優勝機は、翼長8.74m、全長3.21mに達し、飛行距離41.9m、滞空時間6.1秒を記録した。
- ◆ 現在この規模の機体を設計・製作～飛行できる技術の保有者は、同氏をおいて存在しない。
- ◆ 我々も同氏を目標に活動し、基礎データの収集や蓄積とともに、機体の大型化に取り組んできた。
- ◆ 去年は、これまでに蓄積した技術を結集して、同一機を5機製作し、さまざまな条件で飛行させた。

町田氏のMAI-13
の豪快なフライト



過去7年間の参加機数と最大翼長の推移を見る。

- ◆ グラフから解るように、翼長6mを超える参加機は、昨年までは町田氏に限られていた。
- ◆ 紙や段ボールの構造で一般に製作可能な翼長は、我々の経験では、3~4mと感じている。

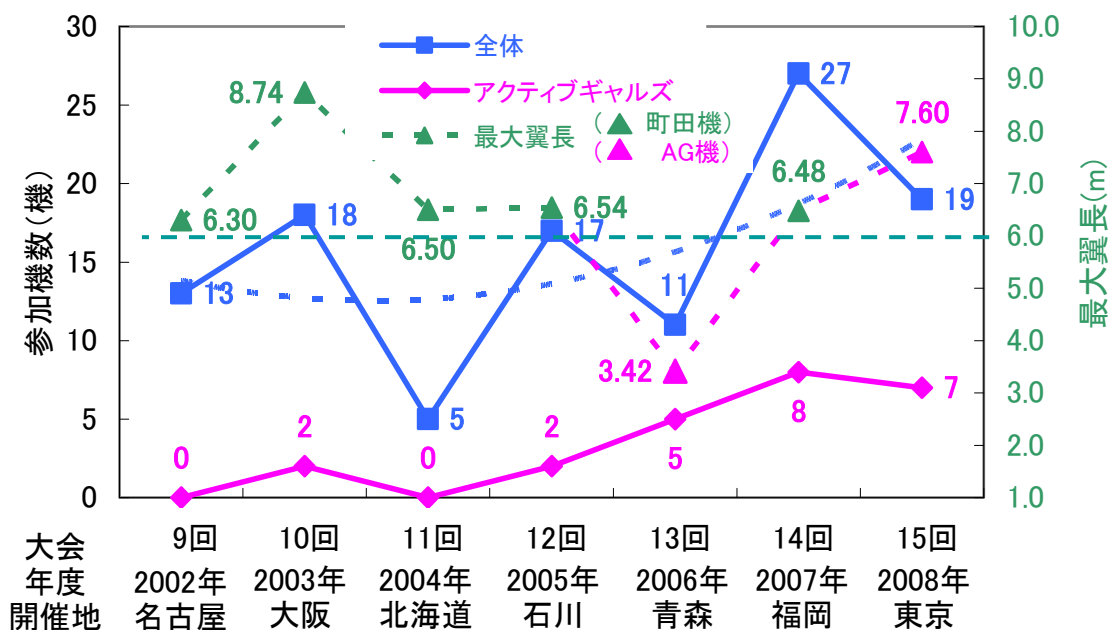


図-1 過去7年間の参加機数と最大翼長の推移

- ◆ それ以上を望むと、とてつもなく高い“二乗三乗の法則”の壁を乗り越えなければならない。また、ある程度の紙の性質や構造計算、空力性能面等の知識も必要になる。

以下に、機体の大型化にあたっての問題点や近年の同部門の競技規定の改定点について述べる。

2.1 大型化の難しさ

翼長6mを超える大型機の参加が増加しない原因や問題点を、以下に大別する。

① 競技会やルール上の問題

- ・イベントの開催回数が少ない(1回/年)。
- ・全国各地で開催されるため継続参加が難しく、機体の運搬も大変。

② 機体の設計・製作上の問題

- ・大型機の設計や製作、飛行に関する資料が少ないため、簡単に設計・製作できない。
- ・主要材料である紙やダンボールの性能に不明な点が多い。
- ・特にダンボールは厚さが規格化されており、所望の強度の材料入手が困難。
- ・素材を自作できないし、市販品を組み合わせることで所望の強度を得ることも難しい。

③ 機体の取り扱い等の問題

- ・手軽に試験飛行を行い難い。安全に飛ばせる場所が少ない。潰れやすい。
- ・保管や運搬が容易でない。
- ・長持ちしない(繰り返し使い難い)。等、個人では対応・解決し難い問題が多い。



ランニングテストでバランス調整中のCHicK-SRX-R

2.2近年の競技規定の主要な改訂点

日本紙飛行機協会では、競技の普及や安全性・公平性等の観点から、競技規定の見直しが行われた。近年の主要な改定点を掲げ、改訂理由を考察する。

①得点集計方法の改定 第12回大会(2005年)から得点の集計方法が改定

- ◆ 旧規定では、大型機が圧倒的に有利であった。
- ◆ 小型機では、格段の飛行距離や滞空時間を記録しないと大型機に太刀打ちできなかった。
- ◆ 改定により、大型化による得点の開きが抑制された。
(同一飛行距離、滞空時間での得点差が小さくなった)



[考えられる改定理由]

- ◆ 旧規定では、飛行距離よりも翼長が卓越していると高得点を稼げた。
(=翼長の占める割合が過大な得点集計方法)
- ◆ そのため機体は大型化の進展傾向にあったが、反面、選手の特化も進んだ。
- ◆ 結果、大型機のノウハウを持たない初心者や低年齢層の参加が伸び悩んだ。
- ◆ 新規の参加者を促進する目的で、小型機でもある程度飛行すれば、大型機と競える得点の集計方法に改定された と考えられる。

②機体規格の改訂

今回(第15回大会:2008年)から、翼長の最小寸法が、旧規定の1m以上から2m以上に改訂(旧規定の2倍に拡大)された。主催者は、今回の改定により、
当部門の進むべき方向を明確に提示した と考えられる。

[考えられる改定理由]

- ◆ 小型機は、製作や取り扱いが簡単で飛ばし易い。
- ◆ そのため、規定下限の小型機が普及した。
- ◆ しかし、大型機の醍醐味や難しさが損なわれた。
- ◆ 小型機の増加に歯止めを掛け、大型化を促進し、

『大型機の魅力に憧れるとともに、参加者の
底辺拡大を目指して翼長の最小寸法が拡大された』 と考えられる。

- ◆ 一方、弊害が生じる可能性もある。

翼長が約1.5mを越えると、技術的な問題が増加する。「飛ばす」ことを優先したい低年齢層の参加が難しくなり、参加者の減少に繋がる懸念もある。

当部門の発展に、今後我々が積極的に取り組まなければならない課題である。



バランス調整中のCHicK-SRX-Y

3. 機体の大型化に向けた取り組み

我々は、翼長3m前後の基礎的な機体の開発以外にも、大型化に向けて幾つかの試みを実施してきた。

- ◆ 写真-1：3機の小型機を連結して翼長を4.14m(主翼のレイノルズ数(以下、R数)98,000)とした。
- ◆ 写真-2：スヌーピーをモデルにして、翼長2.02mながら主翼のR数220,000を確保。

これらを通じて、R数300,000以下の主翼には、薄翼(翼厚9~10%)が適していることが確認できた。

一方、斬新な発想に基づく画期的な大型高性能機の研究開発に取り組むチームも現れた。

- ◆ 写真-3：小松秀二氏を中心とするグループが、主翼を“ハニカム+ストレスキン”構造として、卓越した剛性の確保に成功した。

以下に、大型化に伴う問題のうち、飛行性能に関する対策や試作機について述べる。



写真-1



写真-2



写真-3

3.1 空力的及び構造的側面における対策とダンボールの性能

- ◆ 大型化は、主翼中央部に作用する曲げモーメントやせん断力等の応力に対応した材料の選択と構造の工夫がポイント。
- ◆ 人力飛行機の活動から得た空力的側面では、主翼の厚さは、
R数 > 300,000 では 厚翼(12~16%)
R数 < 300,000 では 薄翼(9~10%)
が良好なL/Dの確保に繋がる。

- ◆ R数を基準にした翼型選定の概略を示す。

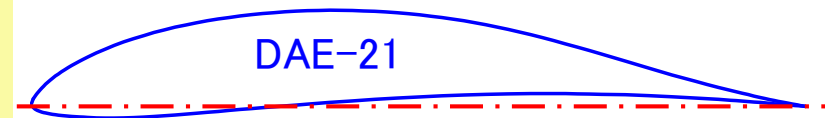
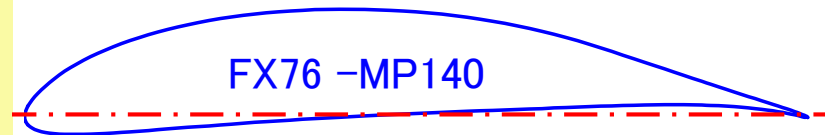
[R数 > 300,000 : 厚翼]

翼厚12~16%、DAE11・21・31、MP120~160
(最大矢高:翼弦長の約40%、実用Cl:1.0~1.2)

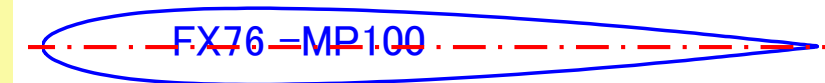
[R数 < 300,000 : 薄翼]

翼厚9~10%、DAE-51やMP100。
(人力機のプロペラに使用、実用Cl:0.8~1.0)

[R数 > 300,000 : 厚翼]



[R数 < 300,000 : 薄翼]



◆ 我々の一連の機体の翼長とR数の分布を図-2に示す。これより翼長6mが厚翼と薄翼の境界であることが解る。

◆ 構造的側面においては、主要構造材：紙の高強度化や翼型の厚翼化による対策が考えられる。

◆ 材料の高強度化に関して、我々が実施した材料試験で、紙やダンボールには多くを期待できないことが解った。

主翼の主桁に用いるダンボールの荷重試験の結果を示す。

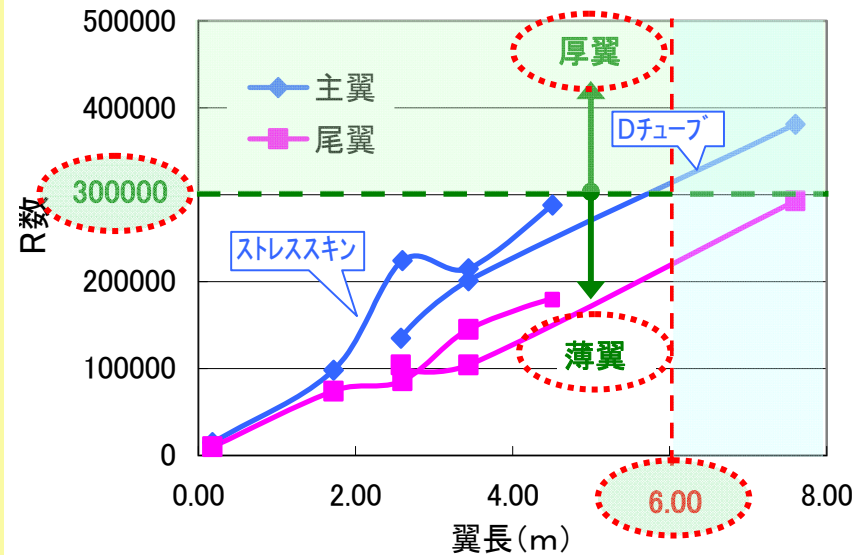


図-2 翼長を基準にした主尾翼のR数の比較



写真-4 試験体の断面形状 左から、桁 A1,A2,B1,B2

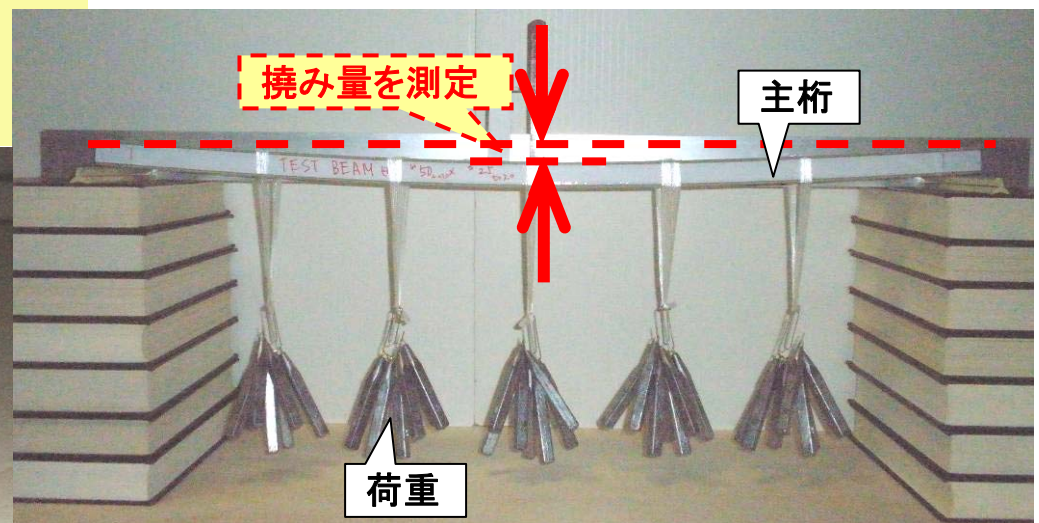


写真-5 荷重(載荷)試験の状況

試験は、幅2.5～5.0×高さ5.0～2.5×長さ85cmの4種類の実大の主桁を用いて荷重を載荷～除荷し、各段階の撓み量を測定し、**弾性率(E)**を求めた。

試験では、便宜上ダンボールが一樣な部材であるとの仮定に基づく。

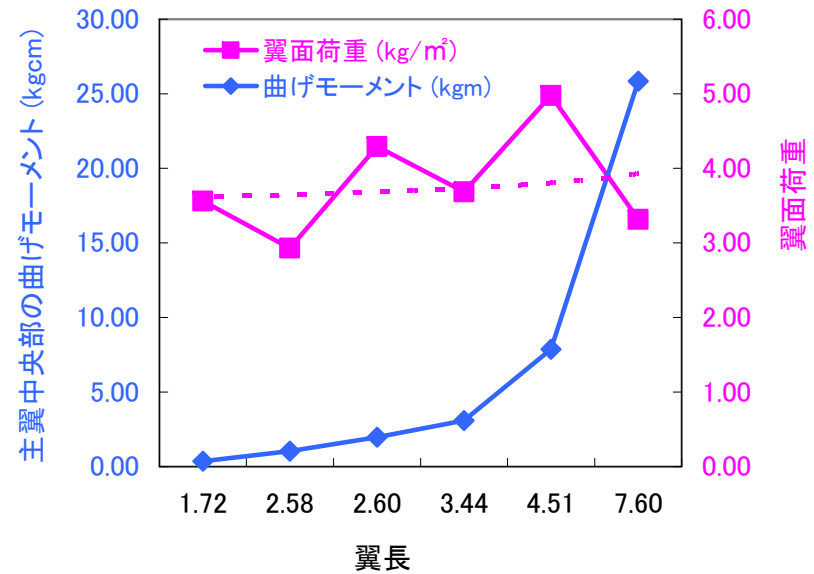


図-3 翼長と主翼の曲げモーメント・翼面荷重の比較

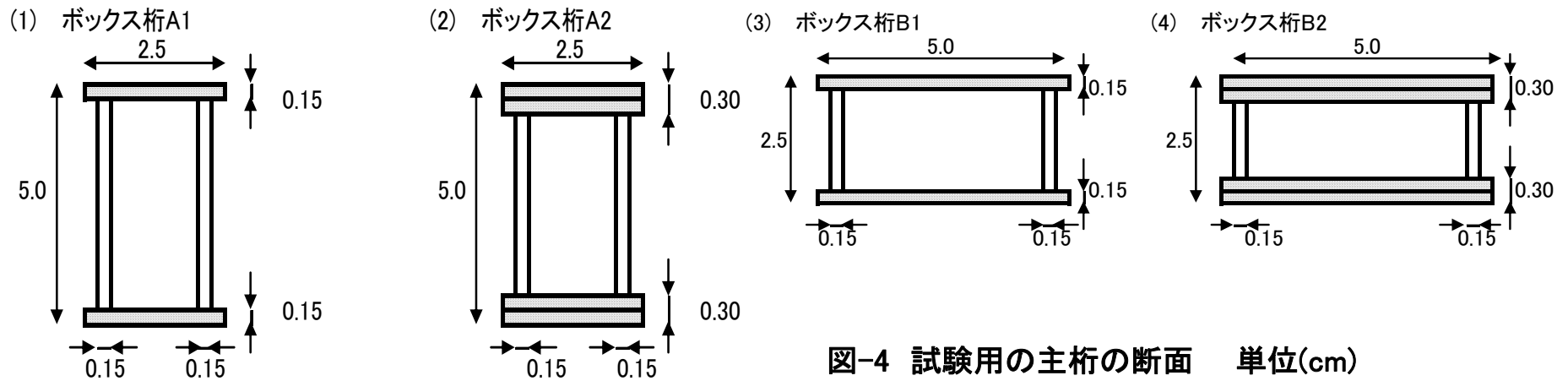


図-4 試験用の主桁の断面 単位(cm)

◆ 我々の用いるダンボールの弾性率(E)は、
5,500~7,000gr/cm²に分布することが解った。

◆ これは、木材の10⁻⁴以下の値で、対比強度
(ダンボールの見かけの比重 $\rho = 0.36\text{gr/cm}^3$)
においても著しく低い。

◆ 翼長6mを超える片持ち式の主翼の構造
材として、材料の高強度化の追求は有意で無
いと考えられる。

しかし、機体の設計には極めて有用である。

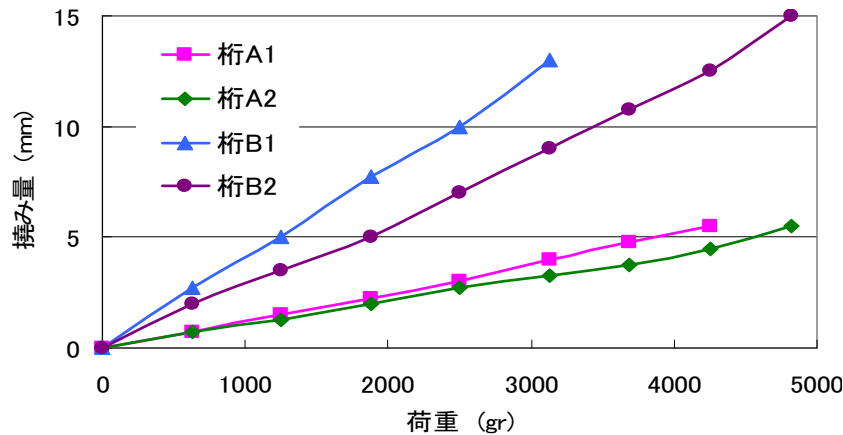


図-6 各桁の荷重～撓み量の変化

	重量		断面積 A (cm ²)	断面2次 モーメント I (cm ⁴)	断面係数 Z (cm ³)
	桁重量	単位重量			
	W (gr)	w (gr/cm)			
桁A1	70	0.82	2.16	7.01	2.87
桁A2	96	1.13	2.82	10.42	4.29
桁B1	70	0.82	2.16	2.34	1.90
桁B2	112	1.32	3.57	3.82	3.10
備考	桁の長さは全て85.0cm				

図-5 桁材の断面性能

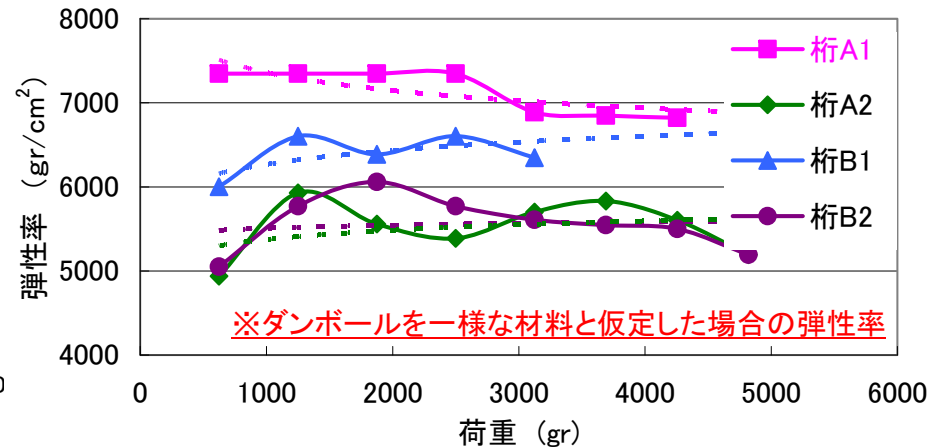


図-7 各桁の荷重～弾性率の変化

◆ 桁 B2 の載荷試験結果

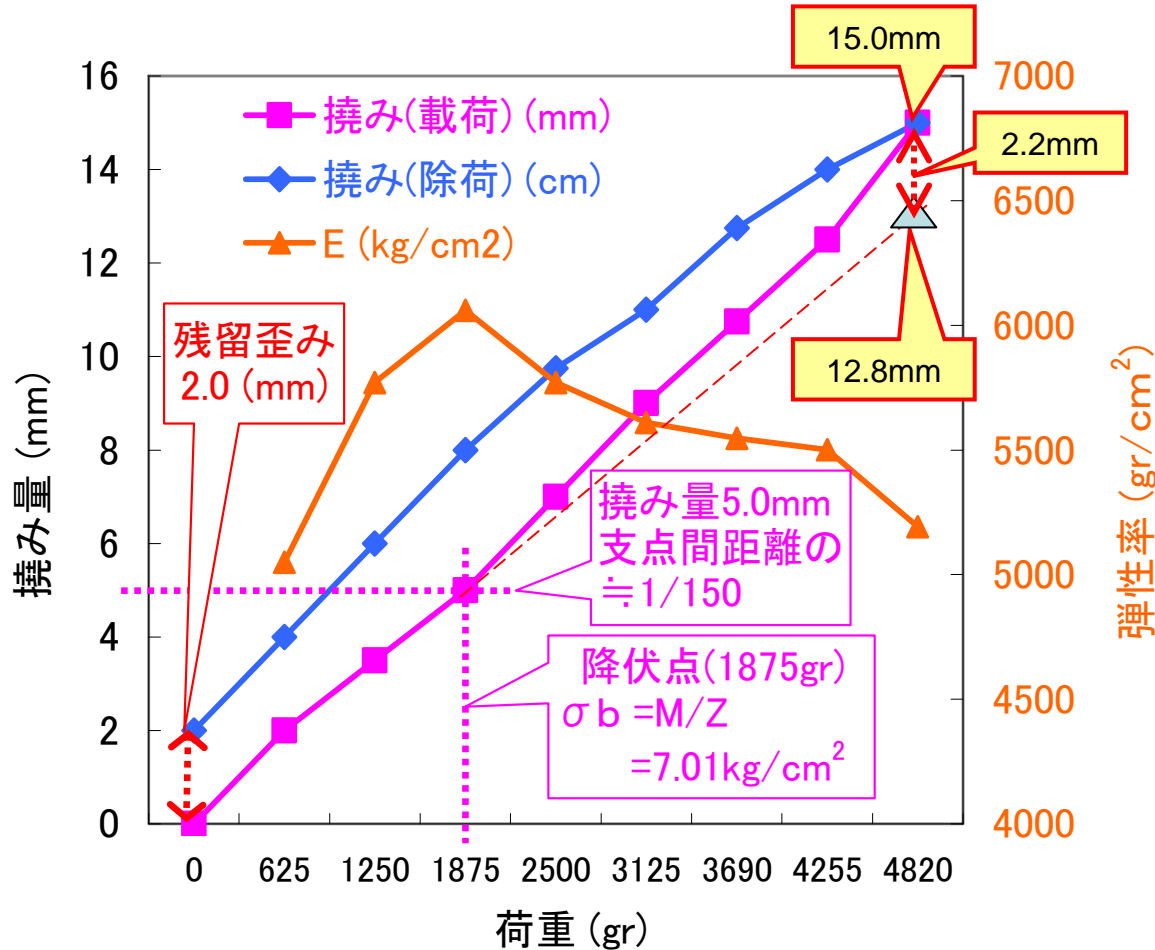


図-8 桁 B2 の荷重～撓み量・弾性率の変化

[試験状況と考察]

① 加重:1875gr を載荷した時点(撓み量 5mm) まで、撓みは直線的に増加した。これを1次降伏点と呼ぶ。

直線の勾配は、 $y = (2.71E-3)x$

② それ以降、撓みの勾配が僅かに急勾配(18%増加)になった。

③ 加重:4255gr を載荷した点(撓み量 12.5mm)を2次降伏点と呼ぶ。

直線の勾配は、 $y = (3.2E-3)x$

変化率の増加は、ダンボールの芯材の変形によると考えられる。

④ 4820gr まで載荷した後に順次除荷。無荷重で 2.0mm の残留歪みが発生。

⑤ このダンボールの許容変形量は、両端ピン支持の等分布荷重の状態、スパンの 1/150 と考えられる。

⑥ またその時

曲げ応力度(σ_b)は、 7.01 kg/cm^2 、

弾性率(E)は、 $\approx 5500 \text{ gr/cm}^2$

である。

3.2 スーパージャンボ機のプロトタイプ的设计から製作

外觀及び基本的な設計思想は、我がチームの一連の特徴を継承した。

◆ 主翼はR数300,000を確保して厚翼化による対策で曲げと捻り剛性を確保するために、翼厚を14%とした。

これは、大型化に伴う“二乗三乗の法則”に則った構造重量の過大防止(特に接合部)に有効である。

これにより、主尾翼にストレススキン構造を採用すること無く、Dチューブ構造でスパン6mの壁を破った。

また、空力的な捻り下げなしに翼端失速の防止やテールモーメントアームの確保に有利な前進角をつけた。

◆ 尾翼は、主翼と同様にテールモーメントアームの確保に有利な後退角をつけ、テールヘビー対策として揚力尾翼を採用した。

また、着陸時の尾翼の破損防止や部品数と接合箇所を減少に向けてV字型フライング・テールとした。



翼厚は僅かながらR数が300,000を下回ったことや翼根部の応力が小さいこと、重量と抵抗軽減の観点から10%とした。

- ◆ 主尾翼の翼型は、我々の人力飛行機で実績があるFXとDAEシリーズを採用した。主翼は厚翼ながら良好なL/Dを確保できるFX-MP120の底面をフラットにした(製作上の観点による)翼厚約14% ($\alpha = 4^\circ$)、尾翼はDAE-51の底面をフラットにした翼厚約10% ($\alpha = 0^\circ$) の翼型を採用した。



パイロット

テールランナー

ライトウイングランナー

レフトウイングランナー

超大型紙飛行機のプロトタイプ“CHicK-GRX”と我々の一連のジャンボ紙飛行機や鳥コン滑空機・人力飛行機との諸元を比較

紙飛行機 ←

鳥コン機
人力機 →

		紙飛行機 スカイラブ	CHicK-M	CHicK-FRb	CHicK-F	CHicK-FRX mini	CHicK-FRXX	CHicK-SRX	CHicK-GRX	CHicK-235 鳥コン滑空機	HYPER-CHicK 人力飛行機	CHicK-2000	
			主尾翼: ストレススキン					主尾翼: Dチューブ			マルチスパー	パイプスパー	ストレススキン
翼長	(m)	0.180	4.51	3.44	2.60	1.72	3.44	2.58	7.60	18.720	25.860	26.600	
全長	(m)	0.240	2.08	1.69	1.45	0.91	1.81	1.44	3.94	5.580	8.235	7.120	
主翼面積(S)	(m ²)	0.008	1.75	1.21	0.89	0.31	1.22	0.69	5.13	23.900	23.530	16.200	
尾翼面積	水平(Sh) (m ²)	0.0030	0.27	0.39	0.18	0.10	0.41	0.22	1.38	3.7800	2.0200	1.7000	
	垂直 (m ²)	0.0010	0.09	0.07	0.13	0.06	0.24	0.13	0.80	1.0850	1.7300	1.6500	
全備重量(W)	(kg)	0.010	8.71	5.15	3.82	1.09	4.51	2.02	17.00	96.000	82.000	75.000	
バラスト重量(Wb)	(kg)	0.0001	1.80	1.02	0.80	0.20	0.90	0.23	1.80	-	-	-	
W/Wb	-	0.01	0.21	0.20	0.21	0.18	0.20	0.11	0.11	-	-	-	
アスペクト比	-	4.09	11.62	9.78	7.60	9.68	9.68	9.68	11.26	14.66	28.42	43.68	
翼面荷重	(kg/m ²)	1.26	4.98	4.26	4.29	3.56	3.69	2.93	3.31	4.02	3.48	4.63	
翼幅荷重	(kg/m)	0.06	1.93	1.50	1.47	0.63	1.31	0.78	2.24	5.13	3.17	2.82	
滑空速度	Cl	-	(Cl=1.0と仮定)								0.89	1.32	1.16
	(m/s)	5.06	8.92	7.66	8.29	6.98	7.10	6.36	6.84	8.50	6.50	8.00	
尾翼揚力	Cl	-	(Cl=0.5と仮定)								0.10	-	-
	(kg)	0.0024	-	0.71	-	0.16	0.65		0.28	1.7069	-	-	
Re数	主翼	15000	288000	215000	224000	98000	201000	135000	370000	822000	465000	369000	
	水平尾翼	10000	179000	145000	86000	74000	150000	104000	284000	468000	284000	303000	
t (MAC)	(cm)	4.0	42.7	37.1	35.7	18.7	37.5	28.1	71.5	127.7	94.0	60.9	
bh(テールモーメントアーム)	(cm)	11.0	117.6	78.3	76.9	40.1	99.0	74.2	202.1	308.0	479.0	374.0	
bh/MAC	-	2.75	2.75	2.11	2.15	2.14	2.64	2.64	2.83	2.41	5.06	6.14	
Sh/Sw	-	0.38	0.15	0.32	0.20	0.34	0.34	0.32	0.27	0.16	0.09	0.10	
尾翼容積	水平 (Vh)	1.03	0.42	0.68	0.43	0.73	0.89	0.84	0.76	0.38	0.43	0.64	
	垂直 (Vv)	0.058	0.013	0.013	0.040	0.046	0.056	0.054	0.041	0.007	0.016	0.017	
尾翼DF	水平 (Fh)	2.84	1.15	1.43	0.92	1.55	2.36	2.23	2.15	0.92	2.20	3.96	
	垂直 (Fv)	0.0262	0.0031	0.0030	0.0108	0.0106	0.0162	0.0154	0.0110	0.0012	0.0034	0.0029	

4. まとめ

ジャンボ紙飛行機部門の現状と今後向かうべき方向を考察し、翼長7mを超えるスーパージャンボ機を設計するための具体的な対策や参考資料、設計手法について述べ、例を示した。

本機で今年の第15回ジャパンカップ(11月2日)に挑戦し、

飛行距離 36.82m、滞空時間 4.89秒 で優勝した。

詳細は、次回の当シンポジウムで発表したい。



