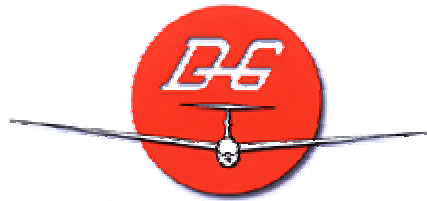


DG Flugzeugbau GmbH



DG-1000 の主翼破壊試験

さきに、[construction regulations](#) の記事で、耐空性基準ならびに新規設計機に必須の主翼破壊試験について説明いたしました。これにより設計者は、最大飛行重量、限界速度ならびに運動速度などそれぞれに基づく機体の強度を算定します。そして次に、主翼が設計された強度まで実際に耐えるかどうか、試験を実施しなくてはなりません。

テストを行うのに、制限荷重まででは充分ではありません。「設計余裕」が必要です。これがないと、わずかな荷重の超過でも構造が破壊し、大事故につながります。ゆえに、試験荷重は計算上の制限荷重の 1.725 倍とし、これに 3 秒間耐えられなければなりません。さらに、テストは温度条件 54 (130 °F) で実施されます。これは、この温度まで気温が上昇するオーストラリア中央部で、制限荷重に達する可能性を考慮してのことです。

最終的に、主翼の構造破壊が起こるまで荷重を増加してゆきます。すなわち、どの試験でも主翼は必ず破壊されます。このため、「破壊試験」と呼ばれるのです。

DLR (ドイツ運輸省) の担当者は「この実験で行われることは、現実世界では起こり得ない」と言い切ります。

新型機 DG-1000 の主翼破壊試験は、2000 年 4 月 14 日に行われました。



“Kloetzle” (“Blockhead”)
作業に没頭中

試験は、DLR（ドイツ運輸省）のシュツットガルトにある実験場で実施されました。そこにあるのは必要な実験設備すなわち、走行クレーンのある天井の高い研究室と、床面にしっかり固定されたマウントです。

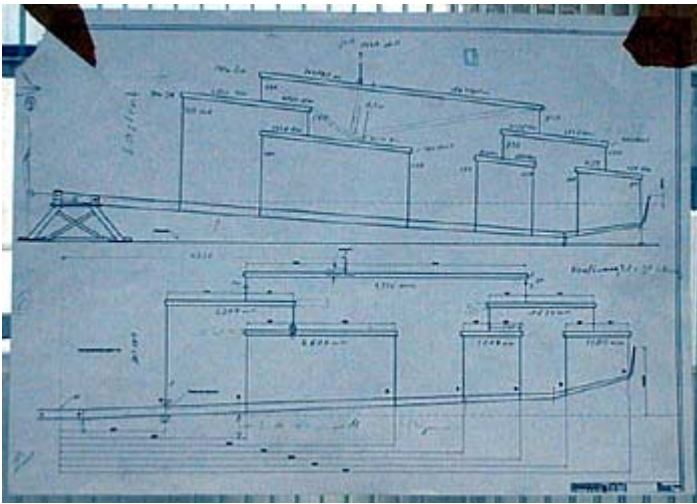
実験主任は、“Kloetzle” (“Blockhead”) というニックネームで知られる Reiter さんです。彼は、非常な関心と実地の知識をもって実験を遂行します。Reiter さんは、グライダーの主翼の破壊試験では世界の第一人者です。その破壊試験の担当範囲は、風力発電装置（のブレード）から、巨大貨物輸送機のプロペラにまで及んでいます。Kloetzle はなんでも壊してしまうのです！

まず最初に、主翼全体を要求された温度まで温めるため、テストベッドをくるむようにしてヒートチャンバを造作します。

このチャンバの上部には開口部を設けておきますが、のちにフォイルでカバーします。クレーンからは、「モビール」をぶら下げます。皆さんは、小学生のころ、魚や鳥の形のものをぶら下げたのを作ったことはないでしょうか？

頑丈な鋼製のビームから、主翼への荷重が均等になるようにして、荷重をかけるためのアームをぶら下げます。この「モビール」自体、ビームの重量が主翼に影響しないようにするために、複雑な構造になっています。このモビールの役目は、実際の飛行中と同じように、主翼に均等に荷重がかかるようにすることです。





「モビール」の設計

「モビール」は、主翼の「反り」に合わせて、実際の飛行中と同じように荷重をかけられるようにする必要があります。

試験の準備はこのように大がかりなものです。私にとっては、すべてが驚きでした。普通の人間は、このような場面には日常的に接することはありませんし、また私が手がけた最初のグライダーでしたので、ぜひとも試験に立ち会いたかったのです。妻に、シャンペンを2ビン買って、それを目立たない包装紙でくるんでおくように頼みました。試験でなにか不具合があったときに、そっと持ち帰るようと思ってでした。しかし、実験の

最初から、少しの間といえども、その成功に疑いを持つことはありませんでした。

さて、その「真実の日」の前日に、私どものチーフデザイナーの意外な側面を見てしまいました。

「ウィルヘルム、ステージに上る時の怖さはあるかね？」

「どちらとも言えますね。何かがうまく行かない可能性はいつでもあります。主翼（の破壊試験）には、万一ということも充分ありますから」。

いささか水を差された感じでした。もう少し安心させるような話し方をしても良いと思います。彼への信頼もちょっと揺らいでしまいました。

試験についてもう少し説明する必要があります。最初、主翼は温度を上げずに、設計荷重まで荷重が加えられます。テスト担当者は、最大許容荷重を次のように呼びます：

“J = 1”。

“J = 1” というのは、DG-800 の場合では 6.4g の荷重を意味します。パイロットとしては、おそらくこの荷重を経験することはないでしょう。頭がのどに食い込んで下がり、意識を保つのが困難だからです。

“J = 1” 荷重を与えたあと（これには、クレーンにより 1440 daN=3240 lbs の力で引っ張る必要があります）荷重をいったん解除して、主翼の元の形状への戻りを詳しくチェックします。温度を上げて行うテストも、まず同様に行います。さもないと、主翼が適切に「焼き入れ」されず、その後の試験結果は不確定



なものになってしまうからです。



常温での「J = 1」テスト

その日私たちがシュツットガルトに到着する前に、すでに常温での「J = 1」試験は済んでいました。そのとき、主翼は2~3m上方に反り返りました。ウィルヘルム・ダークスによれば、この移動量は予見したものだそうです。ですが、グライダーが地上で、その翼端をともに上方に2.5 m もはねあげている姿など想像できるでしょうか？

ウィルヘルムはさらに、「主翼は特に軽くなるように設計してある」と言います。この理由から、この試験での問題発生が懸念されていたのです。

ここまでが終わると、チャンバをフォイルでくるんで加熱するまでかなり時間がありました。主翼のさまざまな箇所にセ

ンサーを貼り付けて、温度の上昇を観察します。主桁の部分は分厚い構造になっているので、温度上昇が緩慢です。テストで破壊がよく起こるのは、この主桁あるいは翼根部からです。メインピンにかかる荷重は信じられないほど大きなものですが、主桁ボックスから桁フランジ、ウェブと伝達されて主翼に達します。メインピンの荷重だけで、実に22トンにもなるのです。試験する主翼の桁は、頑丈なスチール構造物にメインピンで固定します。もしも主翼の構造において不連続な部分があると、そこに応力が集中し、破壊の発生点となってしまいます。

しんぼうづよく時間の経過を待ちます。もう最初の興奮はありません。むしろ実にクールな雰囲気になっていました。

そしてようやく、「Blockhead” Reiter さんの、「目標温度になりました。作業開始です」という声がかかりました。

主翼の温度が下がり始めるので、これからの作業は急いで行わなければなりません。主翼のチャンバからカバーを除去します。見学者は、階段上の安全な観察ブースから試験を見学します。ウィルヘルム・ダークスとスベン・ラーナーは、主翼付け根の桁のところに部署します。ここがもっとも破壊の起こりやすい場所だからです。私は、ベストなアングルを収められるように、ビデオカメラとデジタルカメラを持って観察ブースの中を動き回りました。

「J = 1.725 、3 秒間」 という、強度規定の項目が私の頭の中を駆けめぐります。

室内は静粛です。だれも声を上げません。「Kloetzle” だけが命令を下します。「試験開始」クレーンのモーターがまた動き出します。

「J = 0.5」 - 主翼は、強いタービュランスのときのように上方に反り返ります。

「J = 1、ストップ」3 秒間完全な静粛に包まれたあと、クレーンのモーターを逆に回します。

常温での試験で結果はすでに観察しています。しかし、高温でプラスチックの強度が下がっているにもかかわらず、この荷重に耐えました。しかも、なんとという様相でしょうか。オープンクラスのグライダーでさえ、急旋回でこのときの私たちが行った「J=1」荷重試験ほど翼が反り上がることはないでしょう。

いったい、誰が飛行中 6.4g まで荷重を掛けるというのでしょうか？

加熱された主翼の荷重を取り除いたときの原型への戻りを、常温で行ったテストのそれと比較します。実験助手がスコープで比較のダイヤグラムを見て「オーケー」と言いました。

“Kloetzle”が「破壊までの試験を開始します」と宣告します。

そのあとの出来事は、読んで想像するよりも急速に展開しました。96 秒間ですべては終わったのです。



荷重 J = 1.4

クレーンがまた作動します。ビデオカメラでウイングレットを追跡していましたが、「J=0.5」のところまでそこに立っていられなくなったので、カメラを三脚に固定しました。

「J=1」-ここからは未知の領域です。もし破壊が起こるとすれば、主翼の長軸方向からの可能性があり、飛散したパーツが、カメラを立ててある壁面を貫通するかも知れません。

「J = 1.2」と “Kloetzle” がコールし、クレーンのスイッチに親指を当てます。なんと言う光景でしょうか！ あそこまで荷重がかかった翼を見たのはこれが最初です。実にそれを目の当たりにしているのです。

「J = 1.4」では、翼端が 4.5m もあるヒート・チャンバの天井に達し、なおも上に曲がりつづけます。

「J = 1.5」とうとうここまで達してしまいました。どこがおかしいのではないのでしょうか！？

「J = 1.6」 これでもう十分な感じがしました。実際の主翼でここまでの荷重を受けることはありえず、またそれに耐える翼もないでしょう。と、ひび割れの音がしてクラックが走り始めました。もう壊れてしまえ！ クラック音が拡大します。接着部がはがれているのです。これ以上耐えられないでしょう。



「J = 1.7」 - 大きなクラック音がして、翼が少し身震いしました。もう今にも破壊するでしょう。すばらしく美しい主翼を前にして、私は何も言えずに立ち尽くすばかりです。「Kloetzle」はクラック音を耳にして、翼を凝視したまま、少しの間荷重の増加の読み上げを忘れていたようです。

「J = 1.8」 - 1.8 だって？ その荷重で充分なはずですよ。もう止めましょう。充分ですよ！ 3 秒間、あと 3 秒間だけです。クレーンを止めてください。しかし、「Kloetzle」はスイッチを押しつづけます。

「J = 1.7」まで荷重

「J = 1.----」 轟音が響き渡りました。翼が長軸方向に大きく波打って、こなご

なに破壊してしまいました。あの美しかった主翼がこんな姿に……。スチール製の「モバイル」は、ヒートチャンバの内部で大きく踊っています。外見的に無傷な外翼部は、内翼の主桁ポケットからはじき出されたために、大きく揺れ動いています。

そして、部屋は静まり返りました。私はカメラの作動を止め、上のほうを見上げてみました。その他の見学者は、今見たことがまるで信じられないかのように放心しています。

「今起こったことは一体全体……」私は自問しました。そのとき私は言葉に詰まり、やっと一言「どのくらいでしたか？」と試験主任に聞くことができました。「さあね。記録を見てみないことには、だいたい 1.8 ですかね。充分でしょう」と Kloetzle は言います。充分ですって？ ぜんぶ破壊してしまってもですか？

ウィルヘルムが私のそばに来ましたが、やはり彼も言葉を失っています。そして、だまって握手を交わしました。ほかの人たちも、だんだんに生氣を取り戻し始めました。私の妻はまず歓声を上げ、シャンペンを包みから取り出しました。ですが、そのピンはすでに生ぬるく温まっていた。Kloetzle は「言ってくれれば冷やしておいたのに」とちょっと不機嫌そうです。彼にとってやろうと思えば、液化窒素(-196)で冷やすこともできるのです。DLR にとって、何の手間でもありません。

ウィルヘルムはまだ暑いテスト区域に立ち入り、コルクを抜いて破壊した主翼のパーツの上にシャンペンふりまきました。切り裂かれた母材への償いとしてでしょうか。

私たちの工場で使っているようなペーパーカップが 20 個ほど見つかりました。それにシャンペンを注いでまわっているところへ、一人の技術者があらわれて、ほとんど軍隊調で次のように報告しました：

試験の結果による降伏点は $J = 1.95$.

記録による 3 秒間持続の破壊荷重は $J = 1.89$

おめでとうございます！ダークス博士

ウィルヘルムは満面の笑みをたたえています。なぜなら、最良の結果なのですから。

これは 10% の設計余裕があることを意味し、水バラストの増載あるいは最大重量の増加などに後日利用できるからです。これ以上の余裕となると、翼そのものの重量が増加し、製造コストが高くなるため不必要です。

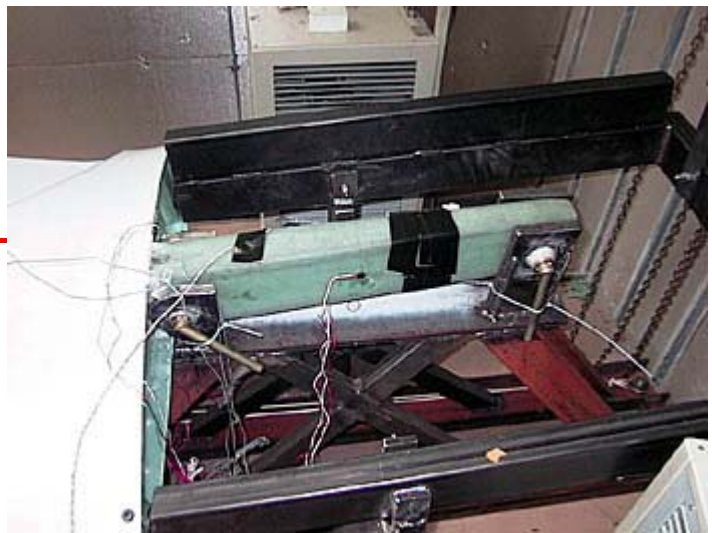
10% が最良です。それ以上良いものはありえません。



シャンペンボトルの 2 本目は、もう一人の設計者であるスベン・レーナーに向けられました。彼は「あの翼はウィルヘルムの設計だよ」と言って、受けようとはしません。

実際には、スベンにも賞賛される資格はありました。スベンはスロベニアから来たばかりで、彼はそこで「彼の」DG-1000 試作型の胴体の製作を指揮していたのです。胴体の強度試験も行っていますが、それはより複雑な構造物を用いたものでした。前輪を不要とするために、主車輪は前方に取り付けてあります。しかし、後席のパイロットがその上に座る位置関係となるため、やみくもに前方に移すわけにはゆきません。その設計の検証が必要だったのでした。

ランディングギアは頑丈な構造物に取り付け、下方から何トンもの力を加えて、ハードランディングを再現しました。その結果、何ら変形することなしに衝撃に耐えたのです。結局、ランディングギアは当初設計のままとすることができ、原型機 10-001 号機に装着しました。そして、主翼のみ破壊試験を実施しました。その他のコンポーネントについては、その強度や工作が確認されるまで、「特に手をつけない」方針で臨みました。



試験場には私どもの従業員が何人か立ち会っていましたが、みな自慢げな表情を

浮かべていました。

特に、主翼の製作に携わったうちの幾人かは、仕事場を抜けて、この「ショー」を見に来ていました。そのうちの一人が、温度チャンバのなかで私の妻にこう話しかけています「奥さん、自分たちはここを作りました。見てください。ごく細いクラックの一本もありません。完全に耐え抜いたのです」。彼が指さしていたのは、構造上もっとも重要な主桁突出部でした。

万歳です。これを作り上げたみんなに万歳です。

試作機の主翼は生産タイプのものと同じ標準で製造されていますが、量産工程において経験が積み重ねられてゆくことを考慮すれば、これはすなわち優れた製造技術を示したものと言えます。



ハッピー・チーム

最後、ビーレフェルドの自宅へ運転しての帰途、妻が私にこういいました：

「あんなすごいのは、普通の人間にはめったに見られるものではないわね」

ビデオクリップ

ここからダウンロードできます



DG-1000 主翼破壊試験

[Camera-inside: on
Internet 22.0 MB](#)

	<hr/> <hr/>
--	-------------



-k-f-weber - April 2000 -

"ビッグバン"の24時間後にしるす

英訳 : David Noyes, Ohio 在住





DG-1000 の胴体荷重試験

主翼の破壊試験ほど派手なものではありませんが、その1年後に、DG-1000の胴体の荷重試験を、スロベニアのAMF-Flightのメイン加温チャンバで実施しました。その試験のとき、私は休暇を取ってLesceでソアリングしていましたので、この重要な試験に立ち会うチャンスを得ました。

この試験での目的は破壊することではありません。破壊が起きても、それはグライダーの型式証明の一連の試験項目の結果に過ぎません。この試験によって、耐空性基準による胴体への最大荷重が計算できます（「J=1」この意味はご存知でしょう）。そして、この計算値による最大荷重の1.5倍の荷重に対して、何ら変形することなく胴体は耐えなければならないのです。

結論から先に言いますと、すべての試験は合格でした。破壊した部分はどこもありません。ただ、荷重を加えるための何本ものケーブルやリング状治具が切断、破壊し、加重用プーリーのマウントが変形してしまいました。特に、リリースフックのテストではそれが顕著でした。テスト用の「かわいそうな胴体」は、とても大きな荷重に耐えたのです。

この結果がすごいのは、試験がすべて温度55の加温チャンバの中で行われた点です。設計者のスベン・レーナーと試験のメンバーには暑くて気の毒でしたが、地元のミネラルウォーターの会社は、かなり儲かったようです！😄

各種の試験項目の中でも、とりわけ次に重点を置きました：

- ▶ 設計運動速度(185 km/h)で、ラダーを作動角いっぱい操作した状態。ここでJ=1は、鉛直方向に90daN、横方向に215daNの、それぞれの荷重に等しくなります（1 daN=デカニュートンは、1 kg 重の力に等しい）。
- ▶ 速度 305 km/h (Vne+10%)における、ラダーとエレベータの同時操作。ここでJ=1は、鉛直方向に435daN、横方向に105daNの、それぞれの荷重に等しくなります

胴体を、頑丈なスチールの治具に主翼取付金具で水平に固定し、これらの荷重を加えると、後部胴体、垂直安定板などはたわんでしまいます。次の2こまの写真で、「J=0」と「J=1」双方の状態を見比べてみてください。これが「J=1.5」ともなると、それぞれ625 daNならびに157 daNの力が加わります（グライダーのマニュアルの規定では、操縦翼面をいっぴいに操作できるのは設計運動速度までとなっていますが・・・）。



J=0



J=1

▶ 垂直安定板にかかる圧力荷重： このケースすなわち「J=1」では、垂直安定板には上方から 551 daN の力がかかります。

▶ JAR 22 の規定による「J=1」での「通常」のヘビーランディング（のテスト）では、DG-1000 の着陸装置には上向きに 1560 daN、前方から 901 daN の力を加え、合力が 30° 上方に向けてかかるように試験されます。

▶ 着陸装置の安定性の重要なひとつの特性について計算を行い、確認しました。

着陸装置は、（機体構造に）永久変形を残さず、沈下率 1.5m/s の着陸の衝撃に耐えうることが必要とされています。



結論として、着陸装置を頑丈にすることが脊椎の損傷防止に最良であるとわかりました。これには、スプリング/ホイール・レシオ、すなわち、「スプリングの圧縮行程とタイヤの断面の高さの比」を最適化することがベストです。この試験のようなヘビーランディングでは、タイヤはリムのところまで圧縮されてしまいますので、残りのスプリングの行程が、要件の達成にとっても重要です。DG-1000 の車輪はとても大きなもので、この副次的な効果として、地上滑走中はとても乗り心地が良くなっています。

▶ 横滑りの接地をシミュレートするために、鉛直方向に 0.5 x 1560 daN、横方向に 0.3 x 1560 daN のそれぞれの荷重を加えて試験しました。

▶ 次は、重心レリーズの「拷問」です：ほぼ破断荷重に近い2300 daNを前方および75°下方にそれぞれ加えて試験しました。実際には、1000 daNより強い曳航ヒューズは存在しませんが・・・。

▶ また、 $J=1$ に等しい765 daNの純粋な横方向荷重での試験も行っています。

このような試験はやりすぎではないかと自問することが良くありましたが、これらはみな型式証明の要件に含まれる項目です。

荷重試験に立ち会うのはとてもエキサイティングであり、また試験体が破壊を起こさずに済んだときには非常な安心感を覚えます。もし読者の皆さんが、今日の法規ならびに基準による型式証明を有する新型のグライダーを購入された場合、その機体はいかなる操作（不注意あるいはミステークによらず）にも、通常は耐えて生き残るであろうという事実依存できるでしょう。

—ですが、以上の記事は、決してもちろん皆さんご自身でグライダーの限界事項をテストされるようにお勧めしているものではありません。荷重試験および破壊試験は、つねにとて理論的な試験です。現実世界では、それらの非常に大きな荷重がかかることは充分ありえるでしょう。それを自分で体験してみようなどは、決してなさらないようお願いいたします。

- k-f-weber および Swen Lehner しるす - 2001年6月 -



英訳: Claudia Buengen



試験のスタッフ

そして、Bruchsal の本社工場では、少なくともヘッドレストの荷重試験は行いました。これは、135 kg の力に耐えられなくてはなりません。

[Back](#)  [Contact](#)  [Home](#)

この翻訳を引用される場合は、出典を明らかにしていただきたく存じます。

また、商業ベースでのご利用の場合には、利用者の責任において、DG 社の承諾を得るようお願いいたします。

2002/09/13 大石 直昭

