

日本航空×東京大学生産技術研究所
飛行機の飛ぶしくみを学ぼう
～飛行機ワークショップ2016～



訂正・補足資料

2017年3月31日現在

東京大学生産技術研究所
次世代育成オフィス(ONG)

次世代育成オフィス

ONG

Office for the Next Generation

目次

1. 訂正

- | | |
|--------------------------|------|
| ① 「2.2. 揚力の発生と性質」 | 2 |
| ② 「2.4. 速度・迎え角と揚力・抗力の関係」 | 3, 4 |
| ③ 「2.5. 翼に必要な性能」 | 5 |

2. 補足

- | | |
|-----------------------|--------|
| ① 「1.1. 大きさと重さ」 | 6, 7 |
| ② 「2.1. 飛行機の運動と作用する力」 | 8, 9 |
| ③ 「2.2. 揚力の発生と性質」 | 10, 11 |
| ④ 「3.1. デザインのポイントと方法」 | 12 |

1. 訂正～①「2.2. 揚力の発生と性質」～



図 1.1 翼周りの圧力と速度(21 分 45 秒付近)

図 1.1 は速度と圧力を色で示したものです。ナレーションで図の見方について説明していますが、赤色は流速または圧力の値が高い、青色は低いことを示しています。

つまり、赤→橙→黄→緑→水色→青の順に値が小さくなっています。

このとき緑色を「平均」と表現していますが、表示する値の幅次第では必ずしも平均とはならないことや、広い空間内で厳密な平均値を定義することが難しく、不適切な表現でした。

この図は天気予報で用いられる「高気圧」や「低気圧」のように、値そのものではなく周囲との差を視覚的に捉えられるので用いました。

一般に流速はコンピューターシミュレーション・風洞実験ともに「流速 20 m/s」などの基準となる条件を設定します。翼がこの流れを受けることで、流れの方向が変えられますが、同時に翼周りの流れの速さも変わっています。この場合は、翼の上部が下部に比べて流速が速くなっています。

また、圧力はある点を基準(実験の場合では大気圧)として、その差(ゲージ圧)を予測または計測します。この場合は、翼の上部が下部に比べて圧力が低くなっています。

ここでは翼によって周囲の流れの向きが変えられ、翼の周りの流れに速度差が生じ、それにより圧力差が生じることが、揚力の発生と深く関わっているということを理解してください。

1. 訂正～②「2.4. 速度・迎え角と揚力・抗力の関係」～

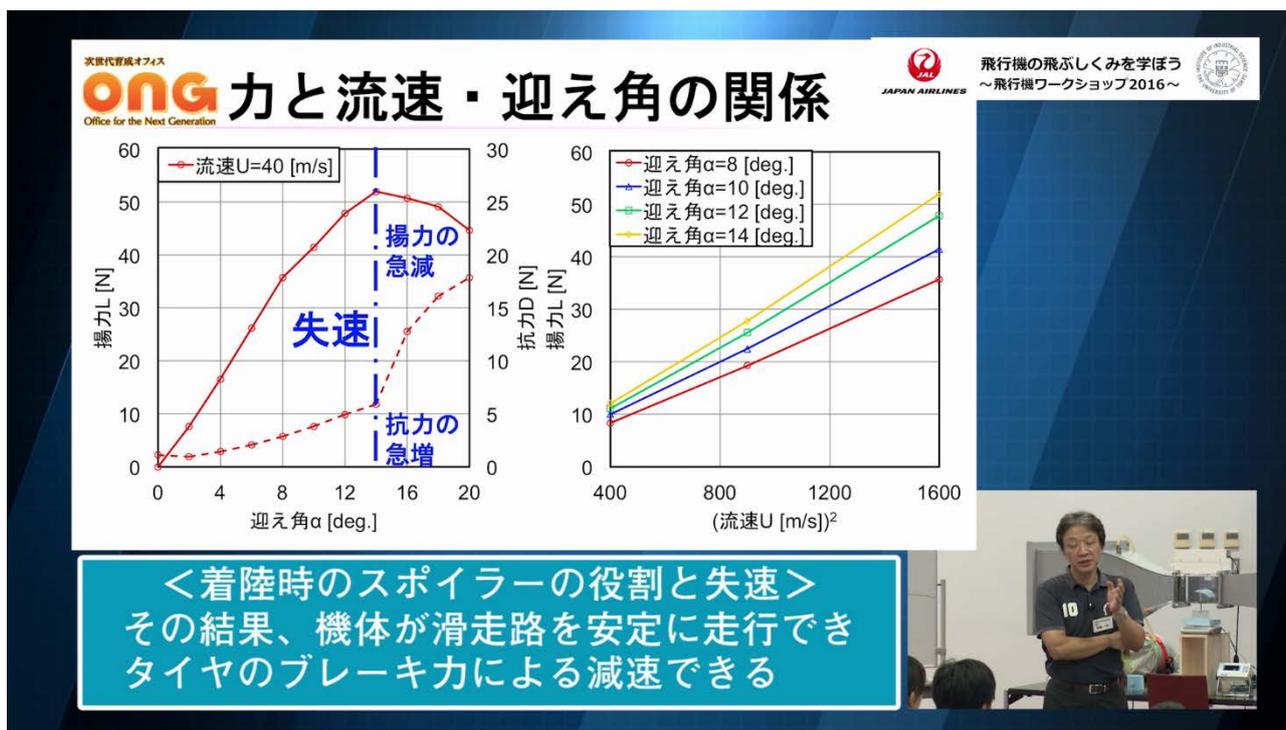


図 1.2 着陸時のスポイラーの役割と失速(28分 26秒付近)

図 1.2 の＜着陸時のスポイラーの役割と失速＞に関する説明文に誤りがあります。

正しくは以下のとおりです。

＜着陸時のスポイラーの役割と失速＞

その結果、機体が滑走路を安定に走行でき、タイヤのブレーキ力により減速できる。

1. 訂正～②「2.4. 速度・迎え角と揚力・抗力の関係」～

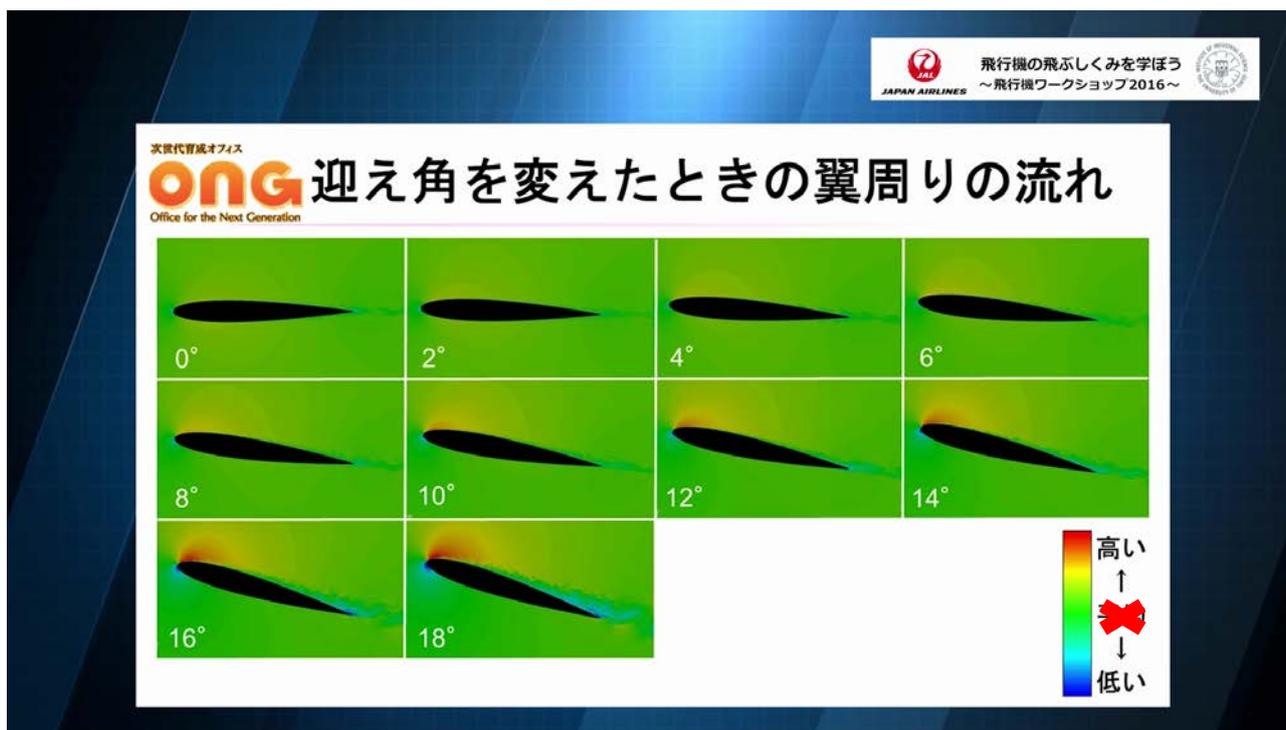


図 1.3 迎え角を変えたときの翼周りの流れ(29分 04秒付近)

図 1.3 は前述の図 1.1 と同様に緑色を「平均」と表現していますが、不適切な表現でした。

1. 訂正～③「2.5. 翼に必要な性能」～

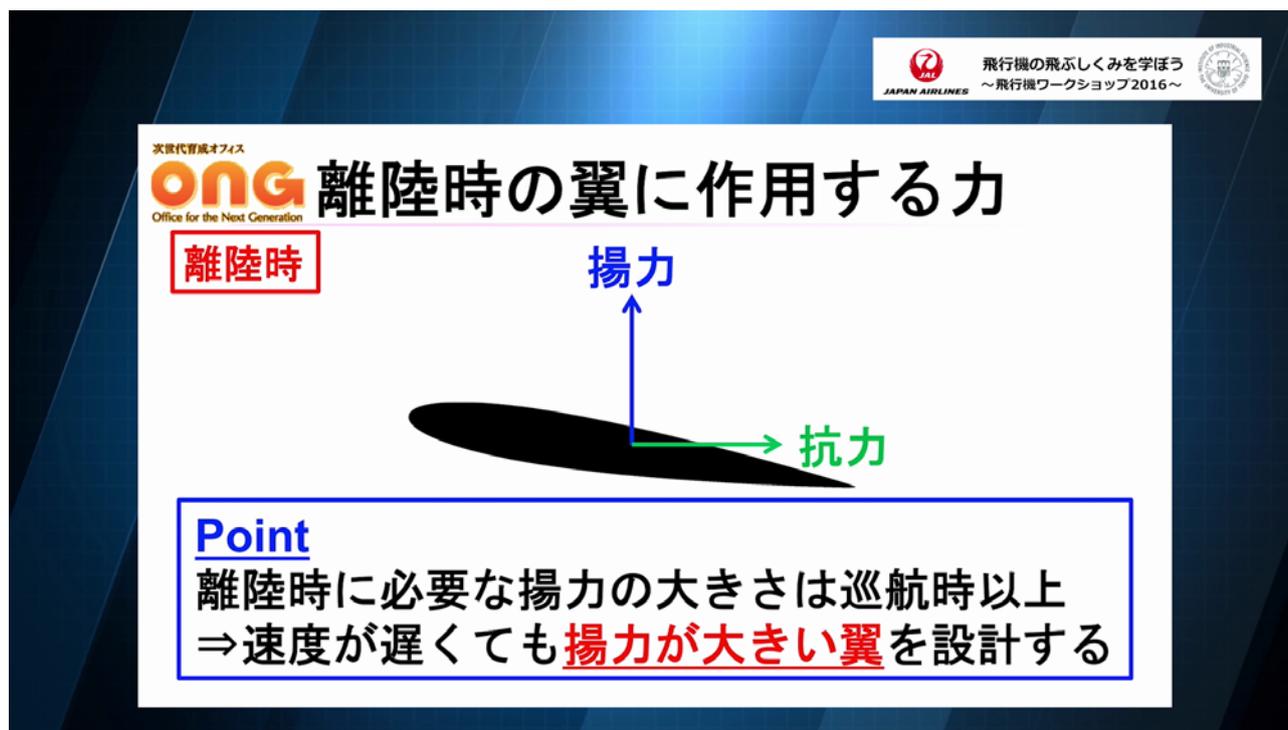


図 1.4 離陸時の翼に作用する力(30分57秒付近)

図 1.4 を用いた説明のナレーションで、「機体の重さは離陸時と巡航時では大差がないので、発生する揚力は小さくなってしまいます。しかし、機体の重さは大差がないので、離陸するためには巡航時を上回る揚力が必要となります。」と説明していますが、言葉が不足しており、不適切でした。

下記のように解釈してください。

離陸時は巡航時に比べて速度が遅いにも関わらず、機体の重さは離陸時と巡航時では大差がないので、何も対策を取らなければ発生する揚力は小さくなってしまいます。

しかし、機体の重さは離陸時と巡航時では大差がないので、離陸するためには巡航時を上回る揚力が必要となります。

つまり、揚力は巡航時よりも離陸時のほうが大きい必要があります。そのため、速度が遅くても揚力が大きくなる必要があります。

2. 補足～①「1.1. 大きさと重さ」～



図 2.1 ボーイング 777 の大きさ(1 分 19 秒付近)

図 2.1 ではボーイング 777-300ER の翼幅を説明する際に、わかりやすいように飛行機の翼幅が見える画像を使用していますが、ここで写っている飛行機はボーイング 737 です。

2. 補足～①「1.1. 大きさと重さ」～



図 2.2 ボーイング 777 の大きさ(1分 27 秒付近)

図 2.2 ではボーイング 777-300ER の高さを説明する際に、わかりやすいように飛行機の高さが見える画像を使用していますが、ここで写っている飛行機はボーイング 777-200 です。

2. 補足～②「2.1. 飛行機の運動と作用する力」～

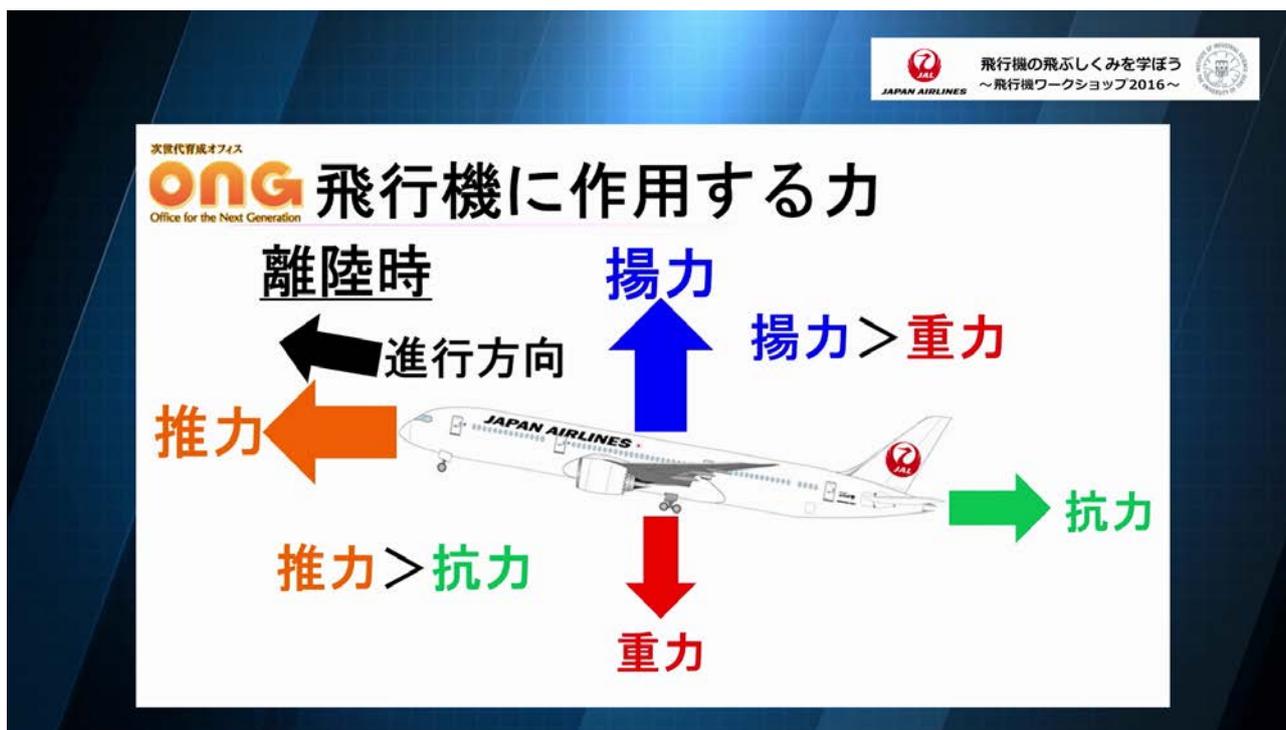


図 2.3 飛行機に作用する力(16分 55秒付近)

図 2.3 では飛行機に作用する力を模式的に、それぞれ別々の色の矢印で示しています。また、離陸時には力の大きさに「推力 > 抗力」、「揚力 > 重力」の関係があるため、「推力」と「揚力」を大きめの矢印で表しています。

しかし、同じ大きさの矢印で示した力で「推力 = 揚力」、「抗力 = 重力」という関係が成り立っているわけではありません。

参考として、ボーイング 777-300ER の場合、2機のジェットエンジンの最大推力は約 1 MN、最大質量は約 3 MN となります。(M：メガは 10 の 6 乗)

2. 補足～②「2.1. 飛行機の運動と作用する力」～

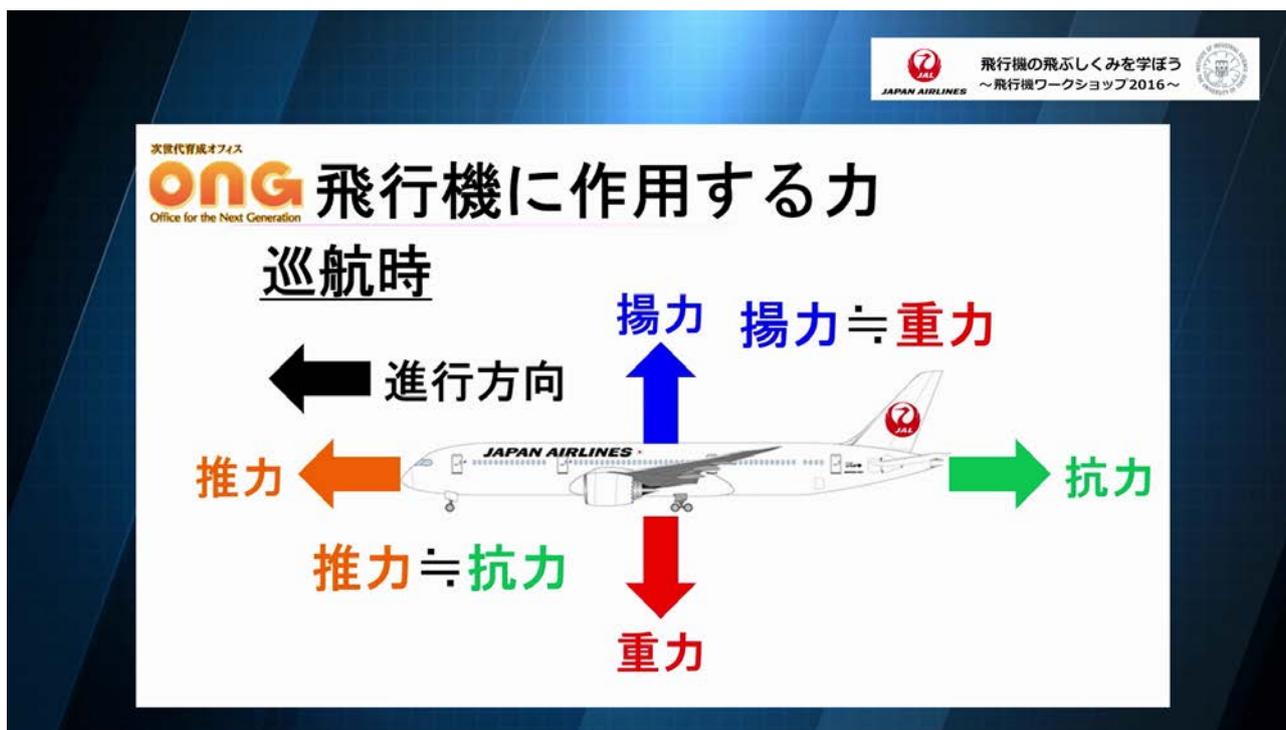
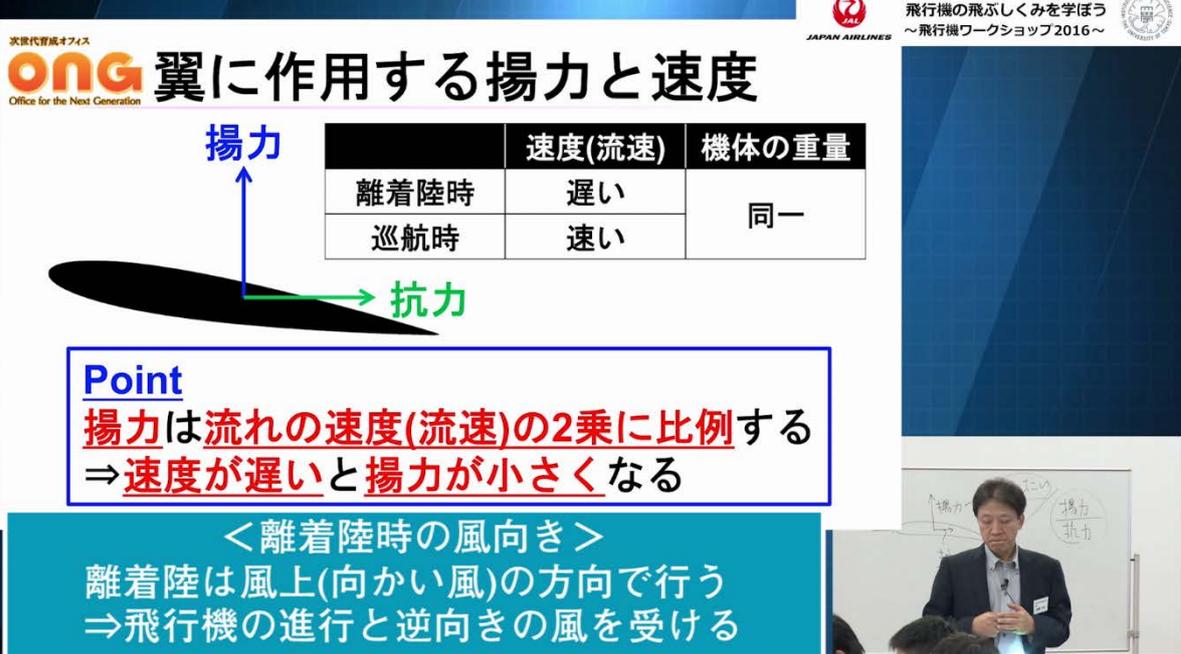


図 2.4 飛行機に作用する力(18分 06秒付近)

図 2.4 も図 2.3 と同様に、同じ大きさの矢印で示した力で「推力＝揚力＝抗力＝重力」という関係が成り立っているわけではありません。

2. 補足～③「2.2. 揚力の発生と性質」～



次世代育成オフィス
ONG Office for the Next Generation

飛行機の飛ぶしくみを学ぼう
 ～飛行機ワークショップ2016～

翼に作用する揚力と速度

	速度(流速)	機体の重量
離着陸時	遅い	同一
巡航時	速い	

Point
 揚力は流れの速度(流速)の2乗に比例する
 ⇒速度が遅いと揚力が小さくなる

＜離着陸時の風向き＞
 離着陸は風上(向かい風)の方向で行う
 ⇒飛行機の進行と逆向きの風を受ける

図 2.5 翼に作用する揚力と速度(23分 17秒付近)

図 2.5 は揚力が流速に依存する性質があることを説明しています。

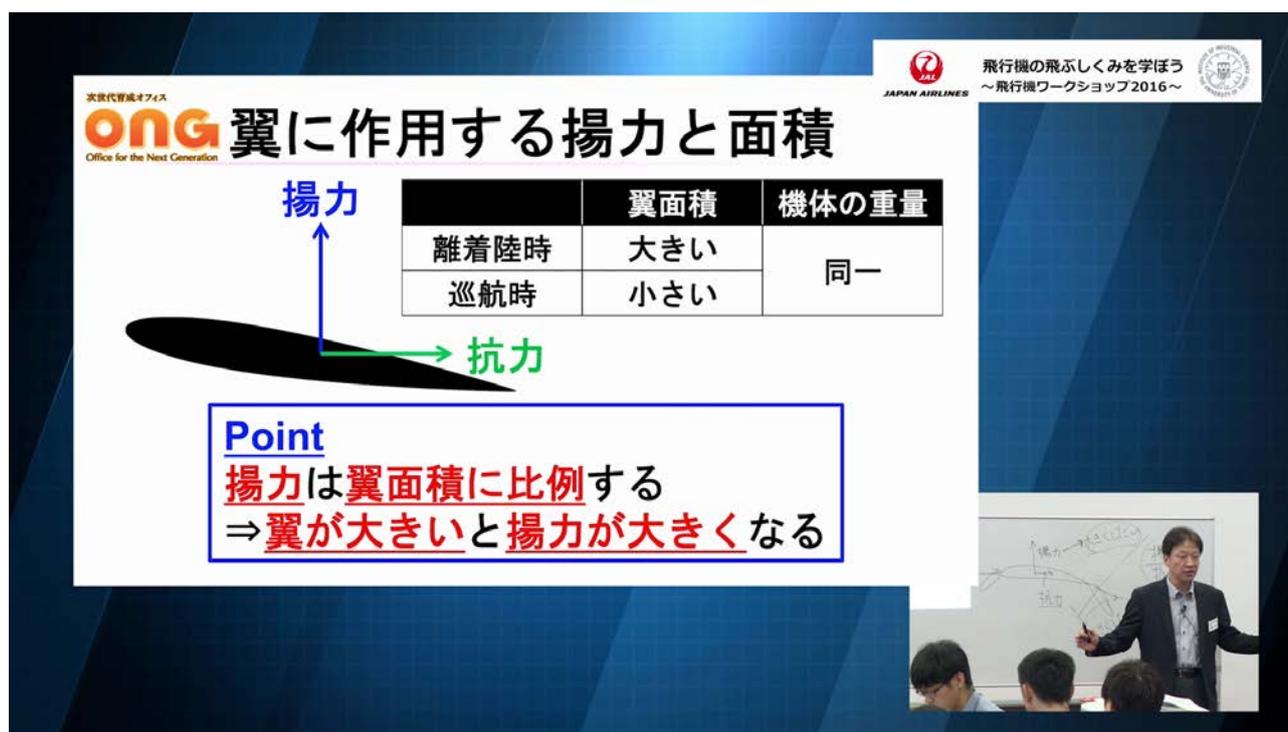
揚力は流速の 2 乗に比例しますが、離着陸時と巡航時には約 3 倍の速度差があるため、何も対策を取らなければ離着陸時の揚力は巡航時の約 1 割となってしまう。しかし、機体の重量は離着陸時に減少することはないため、必要な揚力の大きさ自体はむしろ離陸するときのほうが巡航時よりも大きい必要があります。

ここで、離着陸時をまとめて比較をしていますが、厳密に機体の重量を考えると、飛行機の機体そのものの重量は変わりませんが、燃料を消費するため、全体で考えると重量は変化します。全体の重量の中で機体は約 50%、燃料は約 40%を占めていますので、離陸時よりも着陸時のほうが 3 割程度は軽くなります。そのため、機体が下降する着陸時に必要な揚力は上昇する離陸時と比べて、約半分程度で十分です。

しかし、前述の通り離着陸時の揚力は巡航時の約 1 割になってしまうため、軽くなったからと言って、揚力を増やす対策が不要な訳ではありません。厳密には着陸時は離陸時よりも 2 割ほど速度が遅いため、むしろ着陸時のほうが、揚力が大きい翼である必要があります。

ここで重要なことは離着陸時(地上)と巡航時(上空)では速度が異なり、揚力は流速に依存しますが、機体の重量は飛行高度や速度に依存しないということを理解することです。

2. 補足～③「2.2. 揚力の発生と性質」～



次世代育成オフィス
ONG Office for the Next Generation

飛行機の飛ぶしくみを学ぼう
 ～飛行機ワークショップ2016～

翼に作用する揚力と面積

	翼面積	機体の重量
離着陸時	大きい	同一
巡航時	小さい	

Point
 揚力は翼面積に比例する
 ⇒翼が大きいと揚力が大きくなる

図 2.6 翼に作用する揚力と面積(23 分 55 秒付近)

図 2.6 は揚力が翼の面積に依存する性質があることを説明しています。

図 2.5 では揚力は流速の 2 乗に比例し、離着陸時と巡航時には約 3 倍の速度差があるため、何も対策を取らなければ離着陸時の揚力は巡航時の約 1 割となってしまうことを説明しました。

その対策として、翼の面積を離陸時に変えることで発生する揚力が巡航時を上回ることができます。このための装置がスラットやフラップです。

前述の通り、着陸時は離陸時よりも燃料が消費された分は全体の重量が軽くなりますが、2 割ほど速度が遅いため、着陸時は離陸時よりも翼の面積と迎え角を増やしています。

なお、スラットやフラップを用いると揚力と同時に抗力も増大するため、燃費は悪くなります。そのため、これらの装置の使用は基本的に速度が遅くそのままでは揚力を十分に発生させることができない離着陸時に限られます。一方、巡航は全体の飛行時間の約 9 割に相当するため、抗力の小さい(揚抗比が高い)翼を用いることが重要です。逆に離着陸時は全体の飛行時間の約 1 割程度にすぎないため、燃費の影響は少ないといえます。

2. 補足～④「3.1. デザインのポイントと方法」～



図 2.7 翼設計の手順(32 分 09 秒付近)

図 2.7 では翼を実際に製作する前に、シミュレーションを行うことを説明しています。今回のシミュレーションではコンピューターを用いて流れの運動方程式を解くことで翼の揚力と抗力を予測します。

今回のように厳密な解を求められない場合でも、近似的に方程式の解を求めることを数値解析といい、シミュレーションではコンピューターが数値解析を行って、揚力と抗力の値を求めています。

企業などの製品開発でもシミュレーションで様々な検討をしてから実験を行います。これは実験のための労力や模型製作のためのコストが高く、製品を販売する際の価格に影響するからです。

また、実用上のシミュレーションでの予測結果がいかに実験値と近い正確な予測であるかがポイントとなっています。そのためには、計算格子の点数を増やしてより細かな流れの現象を解析する必要があります。しかし、計算が複雑になるとコンピューターの性能が足りなかったり、実験したほうが早かったりということもあります。このために、複雑な計算を高速に行えるスーパーコンピューターの開発が行われています。

これにより、今まで不可能であった革新的な製品開発や、実験では解明できなかった問題の解決が可能になってきています。