



航空の過去、現在、未来

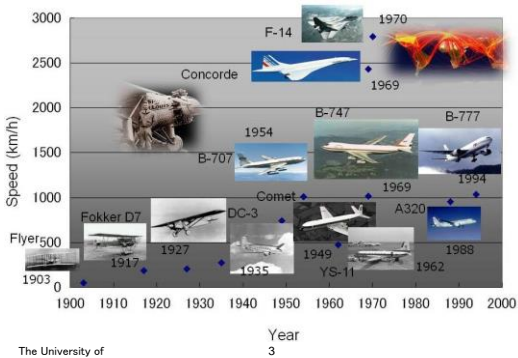
鈴木真二
 東京大学大学院工学系研究科
 航空宇宙工学専攻
 2013・4・30

1903年、ライト兄弟初飛行



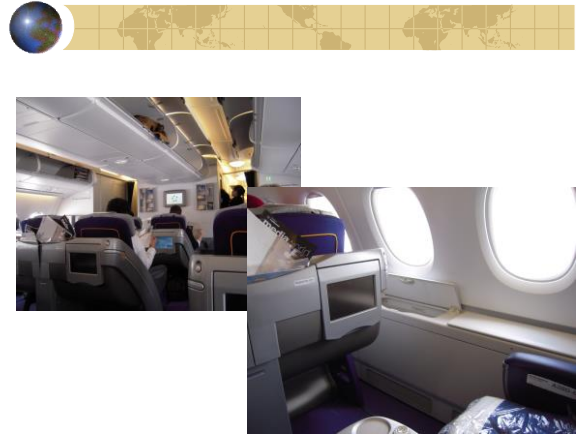
1903年、弟オービルがキティーホークにて12秒36mの飛行に成功(1903.12.17)

科学と技術が世界を変える



The University of Tokyo





2009年の航空路網

- ✦ 1日に千万人以上の人が飛行機を利用
- ✦ 同時に百万人の人が空を飛んでいる



Wikipedia: Map of scheduled airline traffic in 2009⁹

航空の技術イノベーション



10

航空の技術イノベーション

- ✦ 空を飛ぶ技術の獲得
 - ✦ 翼による揚力の発生
- ✦ 軽くて壊れない構造
 - ✦ 木材から金属そして複合材料
- ✦ 軽くて強力なエンジン
 - ✦ ピストンエンジン+プロペラ からジェットエンジン
- ✦ Navigation, Guidance, Control

11

航空のイノベーション

- ✦ 鳥のように羽ばたいて飛ぶことを模索
- ✦ 熱気球、飛行船の出現
- ✦ 固定翼による滑空飛行 ダビンチ(1452-1519)のオーニソプタ



モンゴルフイエ(1783)



12

リリエントールの滑空飛行

✦ Otto Lilienthal (1848-1896)

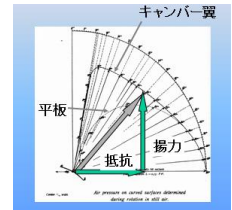
- ❑ 『飛行技術の基礎としての鳥の飛翔 (Der Vogelflug als Grundlage der Fliegekunst)』 (1899)
- ❑ ドイツ政府の委員会は空気より重い飛行機は実現不可能として飛行船の研究を進めた



13

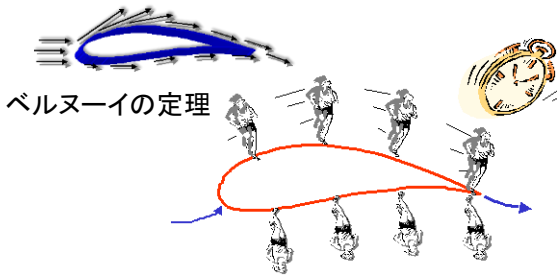
リリエントールの功績

- ✦ 固定翼での飛行が可能であることを実証した
 - ❑ ライト兄弟らに感化
 - ❑ クッタ、ジュコフスキーらによる空気力学の理論研究
 - ❑ 翼の空力計測データを発表
 - ライト兄弟も利用



なぜ揚力は発生するのか？

博物館に書かれている揚力の間違った説明



ベルヌーイの定理

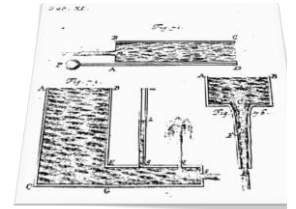
空気力学の発展

✦ ダニエル・ベルヌーイ

- ❑ バーゼル大学で医学博士
- ❑ 人体の血圧の研究
- ❑ 「流体力学」1738
- ❑ 水力の理論的根拠
 - 英国で蒸気による産業革命、欧州では水力



(1700-82)



16

オイラー (1707-83)

- ✦ ダニエルの父に数学の才能を認められた
- ✦ 66年に視力を失うが、83年に亡くなるまで教育と研究を続けた
- ✦ オイラー方程式 (52-53年)
- ✦ **ダランベールのパラドックス**
 - ❑ 理論的には抵抗は0



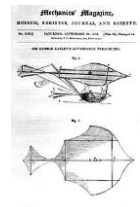
理論研究から工学研究

- ✦ スミートン (1724~1792) による風車の研究

- ❑ 空気の動圧は

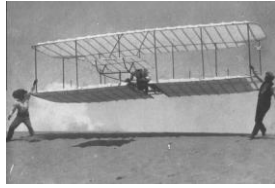
$$D = kV^2 S$$

- ✦ ケーラー (1773-1857) による揚力、抵抗の計測



🌐 ライト兄弟の研究

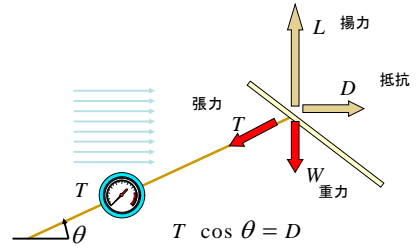
- ✦ 1900、1901年とグライダーを製作し、キティホークの風の中で飛行させる
- ✦ リリエントールの計測データを使用
- ✦ リリエントールのデータに疑いを持ち、実験を開始



1901年のグライダー
揚力の不足に苦しむ

19

🌐 スミートン係数の誤りを正す



$$D = kV^2S$$

$$k : 0.005 \rightarrow 0.0033$$

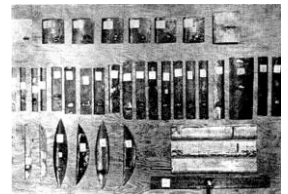
$$T \cos \theta = D$$

$$T \sin \theta + W = L$$

🌐 リリエントールのデータを疑う

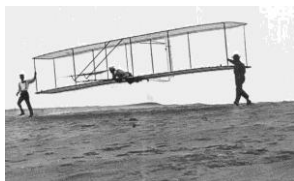
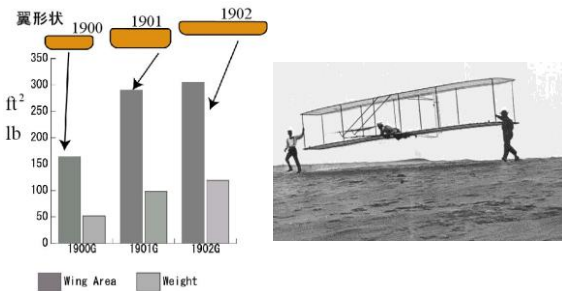


🌐 風洞実験



1901

🌐 1902年のグライダー



🌐 翼理論(渦理論)の誕生



1896年



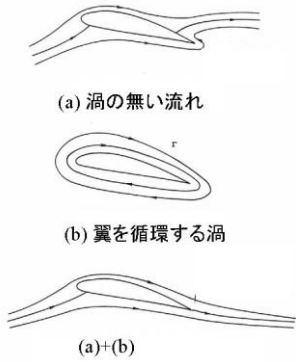
W.M. Kutta(1867-1944)
1902年ミュンヘン工科大学での学位論文
1910年 渦による揚力の発生



N.E. Zhukovskii(1847-1921)
1906,1910年 渦による揚力の発生



Kutta- Zhukovskii の定理



究極の方程式

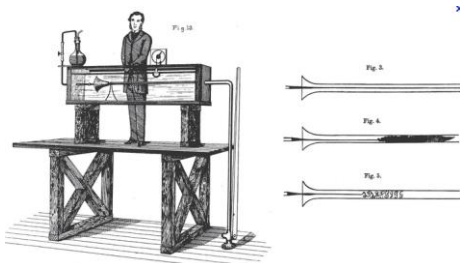
- ✦ オイラーの流体方程式では揚力は表現できなかった
- ✦ 渦理論は揚力、誘導抵抗の計算を可能にしたが摩擦抵抗、圧力抵抗を計算できなかった
- ✦ 粘性流理論
- ✦ ナヴィエ・ストークス方程式
- ✦ スーパーコンピュータ

26



粘性流理論

✦ レイノルズの実験



Osborne Reynolds 1842-1912

27



ナヴィエ・ストークスの方程式



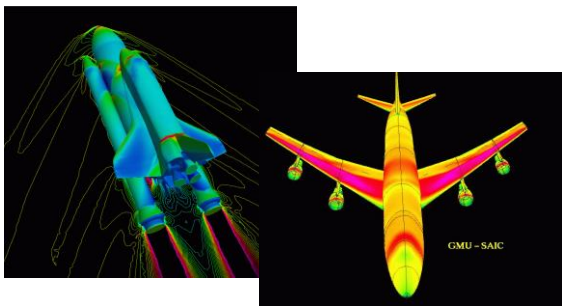
ナビエ 1785-1836

ストークス 1819-1903

28



CFD 計算機流体力学



現代の風洞試験

- ✦ ナヴィエ・ストークスの式がコンピュータで解けるようになっても、乱流の正確な予測は困難→現在でも風洞実験は欠かせない



NASA

航空における技術イノベーション

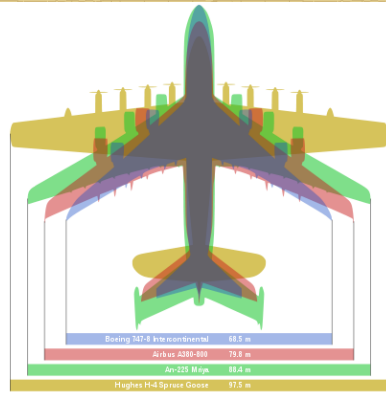
- ✦ ハワードヒューズが設計製作した巨大な水上機(スプリース・グース)



1947年11月2日

31

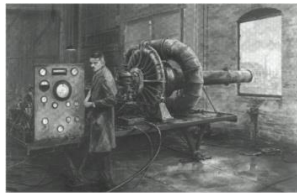
航空における技術イノベーション



32

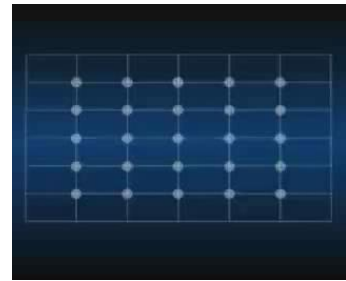
ジェットエンジンの誕生

- ✦ イギリスの空軍士官 Frank Whittle(1907-1996)は1937年4月12日、世界初のジェットエンジンの始動に成功した
- ✦ 英国軍需省は、航空機用エンジンとして発展性は無いとして研究費を認めなかった



Frank Whittle demonstrating the first jet engine (1937), by Rod Lovessy

ジェットエンジンの誕生



<http://www.youtube.com/watch?v=EdPN-DX7vQQ>

34

ジェット推進の歴史は古い

ジェット推進の歴史は古い



Fig. 2. Hero's Reaction Steam Wheel.

ヘロンの蒸気エンジン(1世紀ごろ)

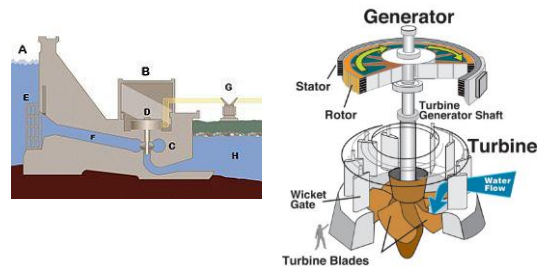


ニュートンが考案した自動馬車

35

タービンエンジンの起源は水力発電

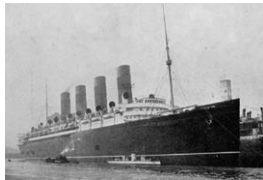
タービンエンジンの起源は水力発電



36

蒸気タービン

- Charles Algernon Parsons (1854-1931)
 - 蒸気の圧力低下が小さければ水タービンの効率の良さが活かせる → 多段式タービンの発明
 - 蒸気タービン発電、船舶用タービンエンジン
 - 1897年ビクトリア女王の観艦式にタービニア号のデモンストレーション



ジェットエンジンは高速で飛行しないと効率が悪い

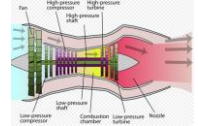
推進効率

$$\text{Power} = \text{Thrust} \times V = \dot{m}(u_e - u_o)u_o$$

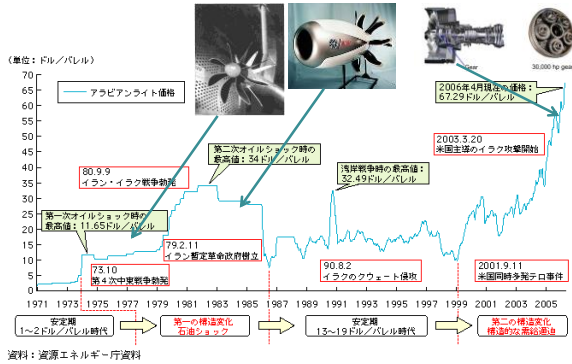
$$\text{Kinetic Energy} = \frac{1}{2} \dot{m}(u_e^2 - u_o^2)$$

$$\text{Efficiency} = \frac{\dot{m}(u_e - u_o)u_o}{\frac{1}{2} \dot{m}(u_e^2 - u_o^2)} = \frac{2}{1 + (u_e / u_o)}$$

While power is generated by acceleration of air, the maximum efficiency is obtained at $u_e = u_o$ (no acceleration!).



燃料費と航空機開発



ジェットエンジン技術

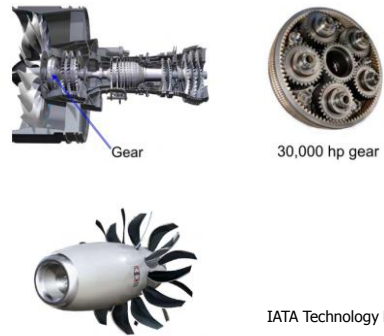


Figure A.1.2-12: CFM International open rotor concept (E)

40

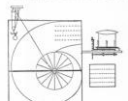
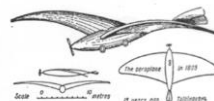
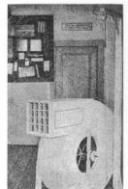
国産ジェット旅客機開発

- MRJ
 - 90席リージョナルJet
 - 2008年3月事業化
 - 2010年9月詳細設計終了
 - 2011年4月組み立て開始
 - 2013年初飛行予定



理想の飛行機は金属で単葉

- 宇宙旅行の父 ツィオルコフスキ(1857~1935)
 - しょう紅熱で聴力を失い独力で研究
 - 1885年金属製飛行船の研究
 - 1893年飛行機の研究
 - 1903年ロケットの論文



飛行機の構造 (上) とその設計図

42

世界最初の航空機事故



最初の飛行機事故 Sept. 17, 1908

- セルフリッジ陸軍中尉を乗せたオービルの操縦する機体は、ヴァージニア州Fort Myerで墜落し、中尉は最初の犠牲者となった。原因はスプルーース材を3層に接着したプロペラの破損

43

木製機体の腐食問題



- 1931年3月31日、フォッカー3発機の墜落事故
- 有名なフットボール・コーチを含む乗員乗客8名が全員死亡した
- 木製機体の腐食が疑われる
- 金属機体の出現

金属疲労の克服



- 1954年2度のコメット空中分解
- 胴体の金属疲労が原因
- 亀裂の進展を止める機体構造設計
- 損傷許容設計
 - 整備でクラックを見つけて対策

構造材料の変化



ジュラルミン(1906)



炭素繊維複合材料

航空機の理想の素材 CFRP

- 起源はエジソンの炭素白熱電球
- 1950年代、ロケット噴射口の材料として使用
- 1961年、大阪工業技術試験所 進藤昭男博士がPAN系高性能炭素繊維を發明
- 1967年、RRがジェットエンジン部品への採用を発表
- 1972年、釣竿、1973年、ゴルフシャフト



47

構造材料の変化

- 1976年、NASAの省エネ航空機開発計画
- 1982年、B767,777,A310、スペースシャトルコロムビアにCFRPが採用
- 1990年、B777に本格的に採用
- 2009年12月初飛行の B787に大量採用



48



落ちない飛行機を目指して

- ✦ 飛行機の安全性は高まっているが、百万離陸あたり0.5回程度の墜落はある。
- ✦ その確率は下げ止まりの傾向にある
- ✦ 飛行機の輸送量は今後、年5%で増加が予想され、さらに安全性を向上させたい
 - ☒ パイロットの技能向上
 - ☒ 自動操縦の高度化(耐故障飛行制御)

49



人工脳神経網を用いた操縦分析

視覚情報から操縦までの情報処理・操作をニューラル学習させる

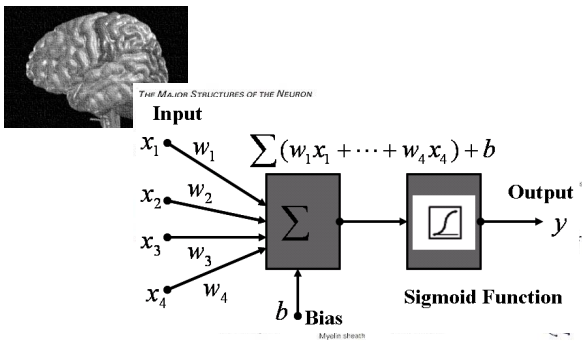
視覚情報

The University of Tokyo

50



ニューラルネットワーク



人工脳神経網を用いた操縦分析

- ✦ 分析の結果、ベテランパイロットと新人パイロットにおいては視覚情報の情報処理能力に明確な違いが観測された。
- ✦ パイロットの訓練課程に導入を計画している。
- ✦ ANAとの共同研究。



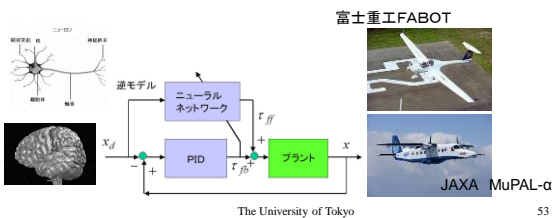
The University of Tokyo

52



人工脳神経網を用いた自動操縦

- ✦ 飛行中の事故や故障に適応的に対応可能な自動操縦システムの研究を実施。
- ✦ 実験用航空機、無人機での飛行実証に成功。
- ✦ 経済産業省の委託による産学官連携の研究。



53



破損した機体の自動操縦維持

- ✦ 右翼端20%を飛行中に分離しても、安定な自動操縦の維持に成功(民間機モデルで世界初)

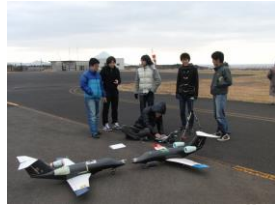


54

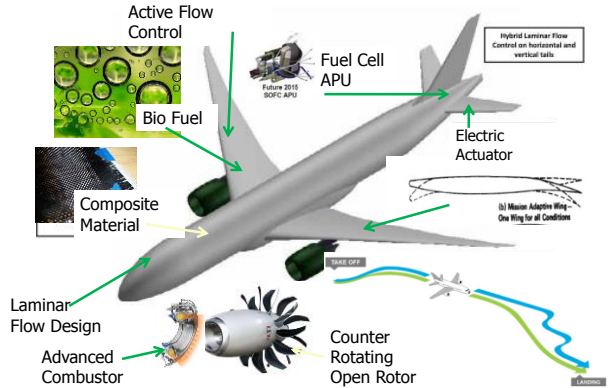


破損した機体の自動操縦維持

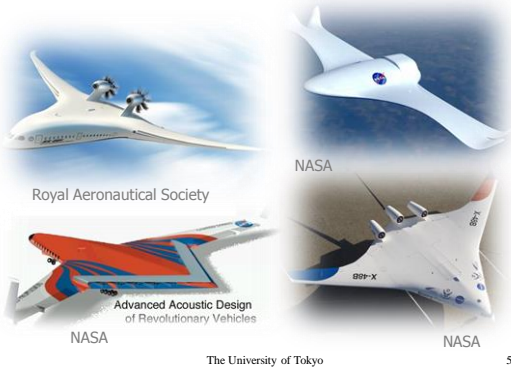
- ✦ 右翼端20%を飛行中に分離しても、安定な自動操縦の維持に成功(民間機モデルで世界初)



現在開発中の新技術



未来航空機のイメージ



The University of Tokyo



未来は予測できるか

- ✦ 「われわれは未来についてふたつのことしか知らない。ひとつは、未来は知りえない、もうひとつは、未来は今日存在するものとも、今日予測するものとも違うということである」

P.F.ドラッカー 『創造する経営者』(ダイヤモンド社)



The University of Tokyo



未来は知る方法とは?

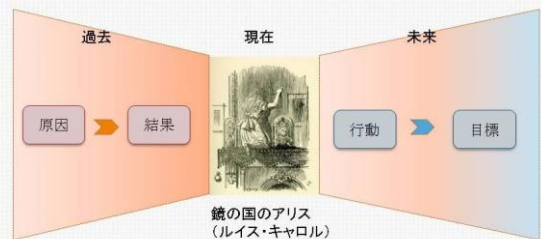
- ✦ 一つは、自分で創ることである。成功してきた人、成功してきた企業は、すべて自らの未来を、みずから創ってきた。
- ✦ もう一つは、すでに起こったことの帰結を見ることである。そして行動に結びつけることである。
- ✦ 後者を「すでに起こった未来」と名付けた。

The University of Tokyo



未来を作り出す

- Mirror of the past provides image for future.



The University of Tokyo



参考資料

- ✦ 鈴木真二、「飛行機物語」、ちくま学芸文庫 (2012/12)
- ✦ 鈴木真二、「ライト・フライヤー号の謎—飛行機をつくりあげた技と知恵」、技報堂出版 (2002/02)
- ✦ 航空イノベーション研究会、「現代航空論：技術から産業・政策まで」、東大出版会 (2012/9)
- ✦ IATA Technology Roadmap
 - <http://www.iata.org/ps/publications/Pages/technology-roadmap.aspx>

61



レポート課題

- ✦ これから求められる航空機技術に関して考察し、その研究動向を調査し、A4用紙4枚以内でまとめよ。
- ✦ 今日の発表資料は下記にアップします
 - <http://www.trip.t.u-tokyo.ac.jp/kii/lecture/transportation/13/index.html>
- ✦ 問い合わせ
 - tshinji@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp 鈴木真二

62