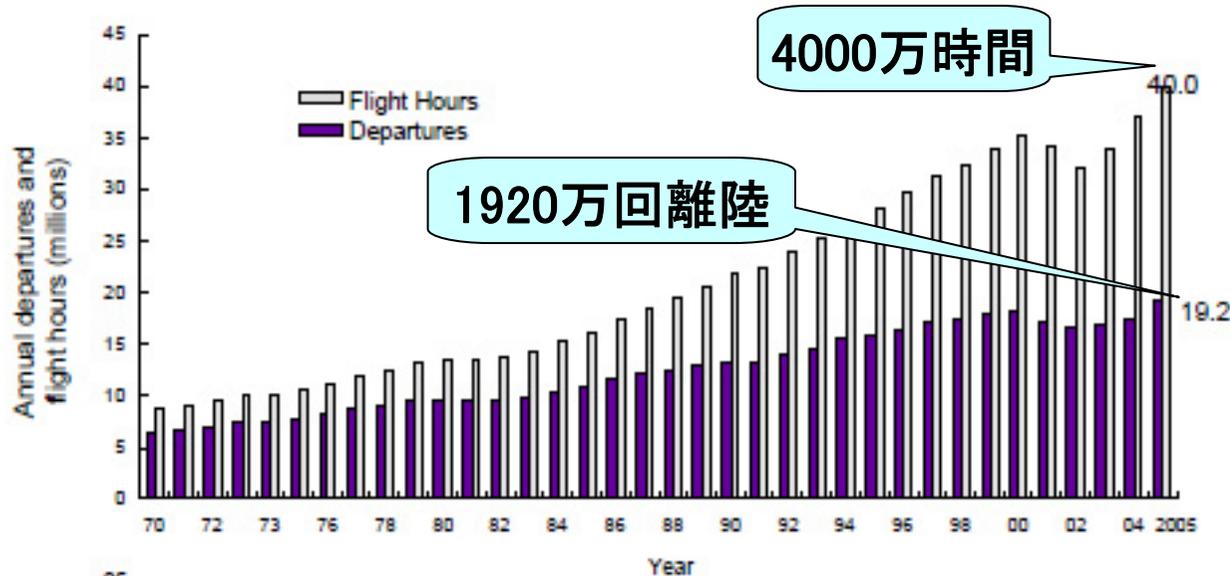


飛行機の制御と若手研究者への期待 —JAXA における飛行制御—

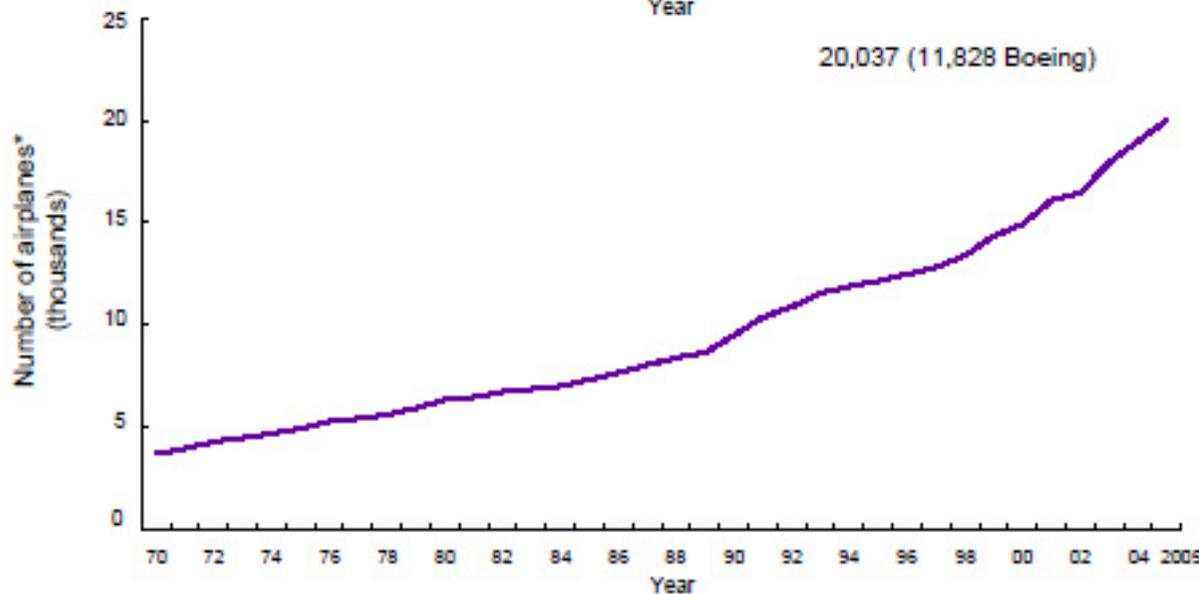


Departures, Flight Hours, and Jet Airplanes in Service*

Worldwide Operations Through 2005



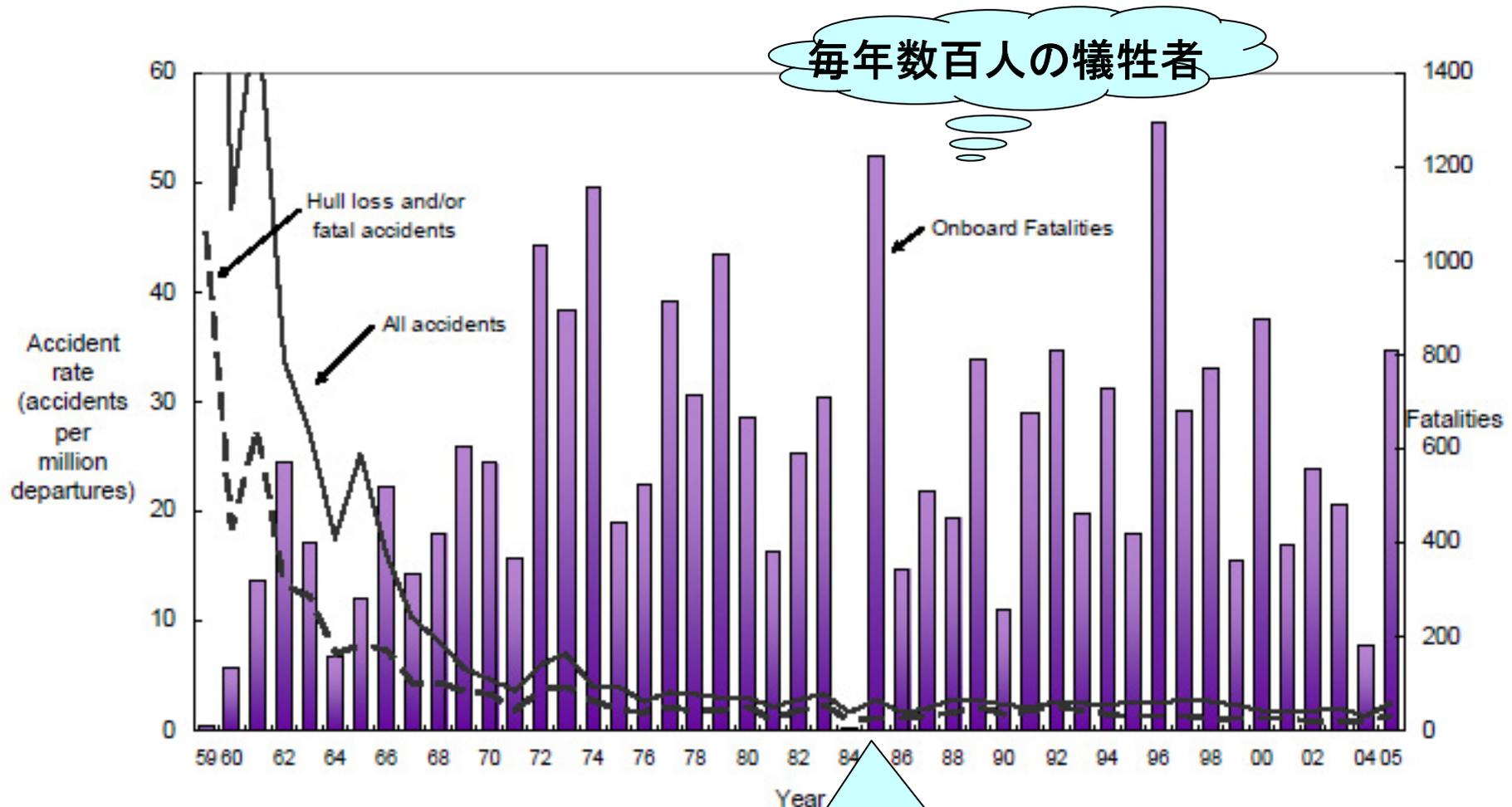
- 492.2 million cumulative departures (406.2 million on Boeing airplanes)
- 846.9 million cumulative flight hours (706.5 million on Boeing airplanes)
- 7 manufacturers – 35 significant types (14 Boeing) in service as of 12/31/2005



*Certified jet airplanes greater than 60,000 pounds maximum gross weight, including those in temporary nonflying status and those in use by non-airline operators. Excluded are military airplanes and CIS- (Soviet Union) manufactured airplanes.

Accident Rates and Fatalities by Year

Worldwide Commercial Jet Fleet – 1959 through 2005



毎年数百人の犠牲者

1200 人を上回る死者



1985 年には何が起きたのか？

- ✓ 日航 123 便事故
 - ✓ ジャンボジェット機が御巢鷹山に墜落
 - ✓ 死者 520 名

フジテレビ「墜落 20年目の誓い
～天国にいるわが子へ～」(2005)

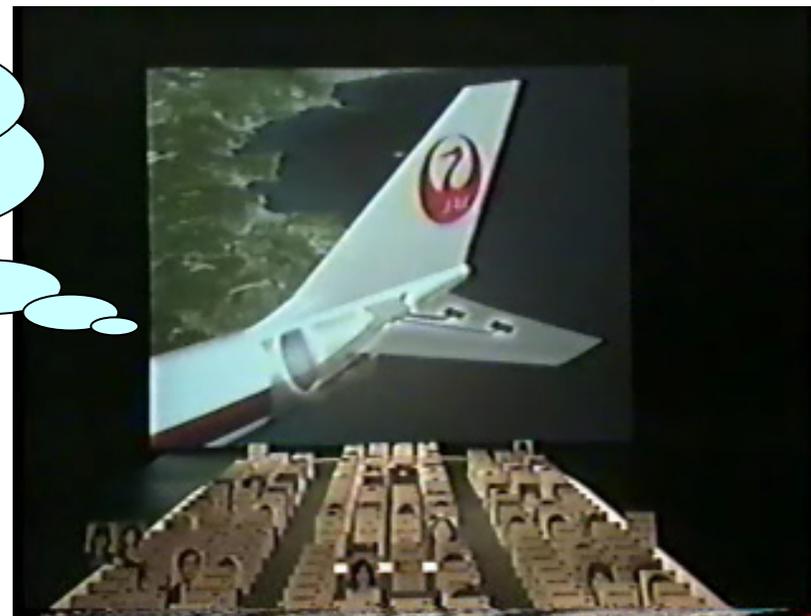


日航 123 事故を防ぐには、

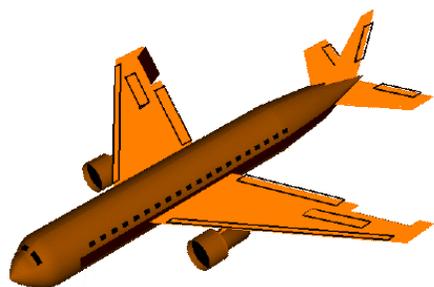
●耐故障性 =>

✓ 原因 故障してもその影響を最小限

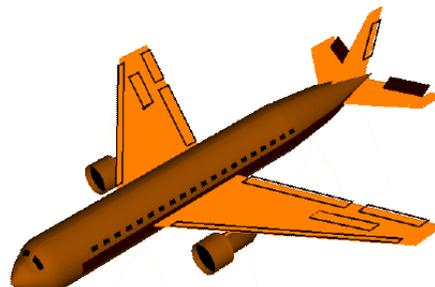
✓ 飛行機を制御する制御デバイス(エルロン, エレベータ)の油圧がなくなり, 制御不能となったこと



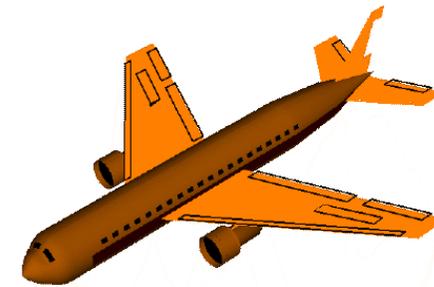
フジテレビ「墜落 20年目の誓い
～天国にいるわが子へ～」(2005)



エルロン(ロール運動を発生)



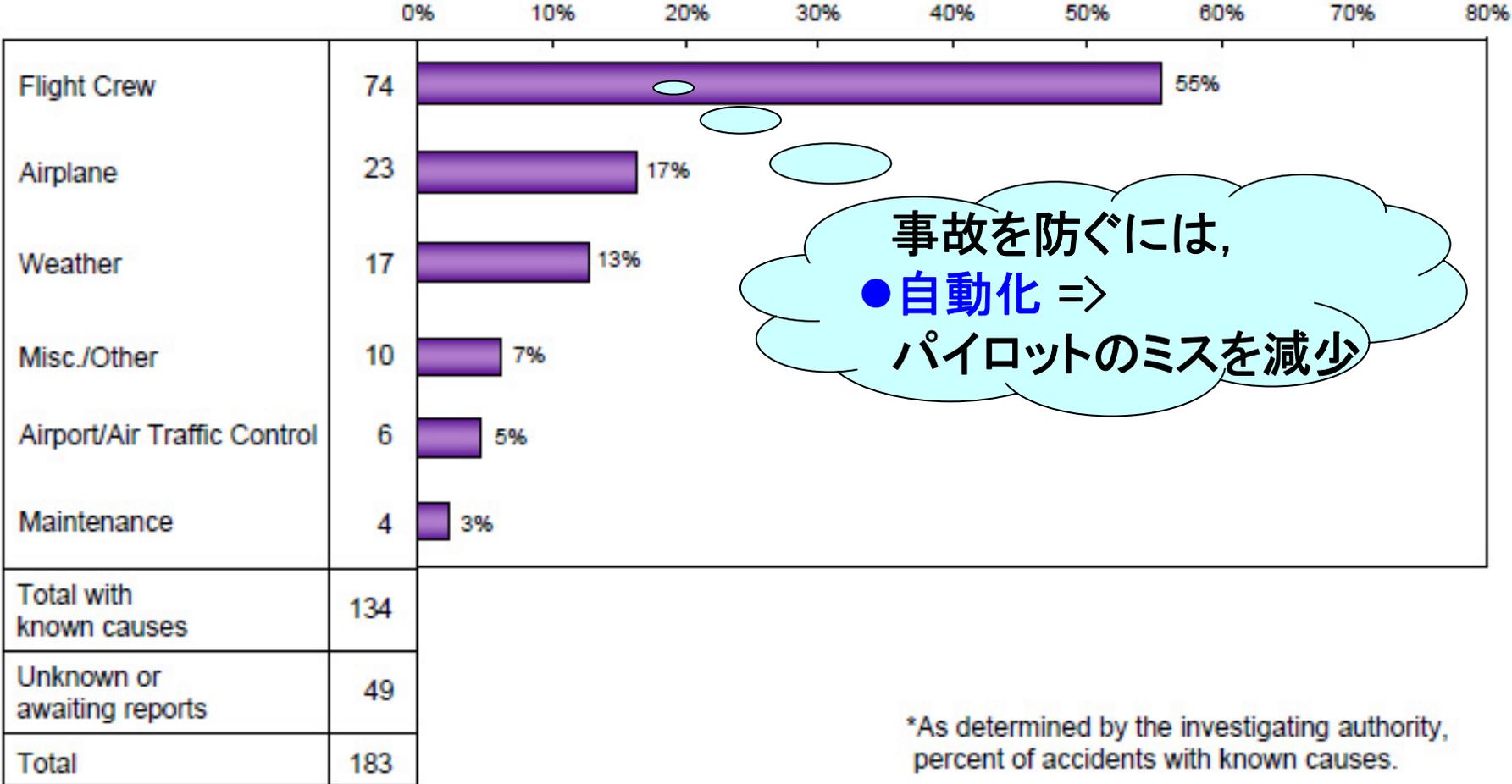
エレベータ(ピッチ運動を発生)



ラダー(ヨー運動を発生)

Accidents by Primary Cause*

Hull Loss Accidents – Worldwide Commercial Jet Fleet – 1996 through 2005



Non-Hostile Events

Worldwide Commercial Jet Fleet

Events Occurring In 2005

Severe turbulence:

- No injury – 4 events
- Flight attendant injury – 4 events
- Passenger injury – 3 events
- Passenger and flight attendant injury – 3 events

Emergency evacuation:

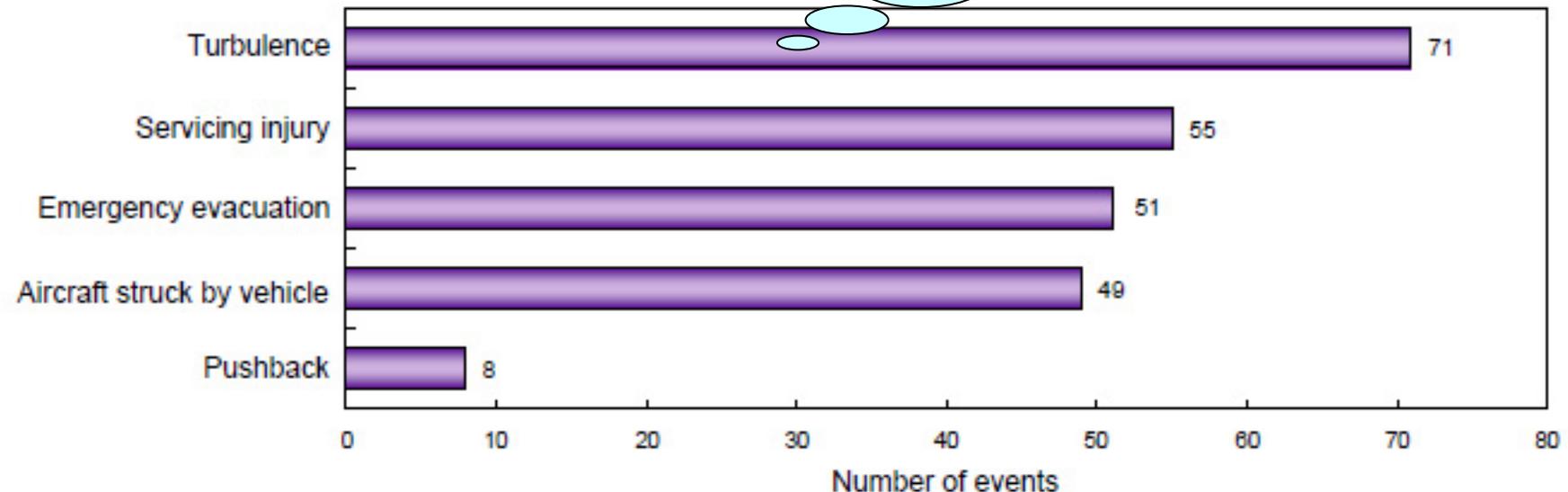
- Minor injury – 5 events

Ground operations:

- Airplane damaged while taxiing - inadvertently hit other airplane, tug, jetway – 15 events
- Airplane damaged from foreign object debris – 6 events
- Engine ingestion – 3 events
- Crew injury – 1 event

事故を防ぐには,
●安全性 =>
安全な飛行状態・軌道

Events Occurring From 1996 Through 2005



Introduction のまとめ

✓ 飛行機

✓ 毎年約 2000 万回の離(着)陸

✓ 毎年数百人の犠牲者

✓ 日本では 1985 年の日航ジャンボ機墜落事故

✓ 現在の飛行機の課題

✓ 耐故障性: 故障してもその影響を最小限に抑える

- Ex. 再構成(reconfigurable)飛行制御

✓ 自動化: パイロットのミスを防ぐ

- 別の手法として, ヒューマンエラーの防止

✓ 安全性: 安全な飛行状態・軌道

- 揺れない飛行機, 安全な経路探索

本日の内容

- ✓ JAXA における飛行制御の研究紹介
 - ✓ JAXA とは？
 - ✓ スペースシャトルを目指して(「自動化」の研究)
 - ✓ ALFLEX, HSFD
 - ✓ **実験ツールの開発**(「自動化」, 「耐故障性」, 「安全性」の研究に必要なツール)
 - ✓ 社会人研究者とは
- ✓ 現在の飛行制御における問題
- ✓ 最後に
 - ✓ JAXA に入社するには？
 - ✓ 社会人研究者の実態

JAXA とは？



✓ 沿革

- ✓ 2003 年に、宇宙開発事業団 (NASDA)、航空宇宙技術研究所 (NAL)、宇宙科学研究所 (ISAS) が統合して、宇宙航空研究開発機構 (JAXA) が発足

✓ 理念

- ✓ 経営理念: JAXA は宇宙航空分野の研究開発を推進し、英知を深め、安全で豊かな社会の実現に貢献します。
- ✓ 行動規範: 国民の期待と信頼に応えます / 関係機関と強調し、事業を進めます / 世界一流の研究開発を目指します

✓ 業務

- ✓ 航空宇宙科学に関する学術研究・開発 / 大学教育

✓ 規模

- ✓ 予算: 1800 億円, 人数: 1600 名

日本版スペースシャトル(HOPE)を目指して

- ✓ Automatic Landing Flight Experiment (ALFLEX)
 - ✓ 自動着陸実験
 - ✓ 日本で初めて H_{∞} 制御を適用した飛行制御



日本版スペースシャトル(HOPE)を目指して

- ✓ High Speed Flight Demonstration (HSFD)
 - ✓ 自動離着陸実験@クリスマス島
- ✓ Lifting Body Flight Experiment (LIFLEX)
 - ✓ 自動着陸実験@大樹町



実験ツールの開発

- ✓ Multi-Purpose Aviation Laboratory (MuPAL)
 - ✓ 飛行機の自動化, 耐故障性, 安全性の実験を行う汎用的な実験ツール
 - ✓ インフライトシミュレータとして

インフライトシミュレータ
(In-Flight Simulator; IFS) :
飛行中に他の機体(ターゲット機)
の運動を模擬する飛行機



IFS について

✓ 具体的な用途例

✓ メガフロート実験

- ✓ 実際の航空機の代替機
- ✓ 操縦性(操縦のしやすさ)の研究／実機開発
- ✓ 実環境下での実験



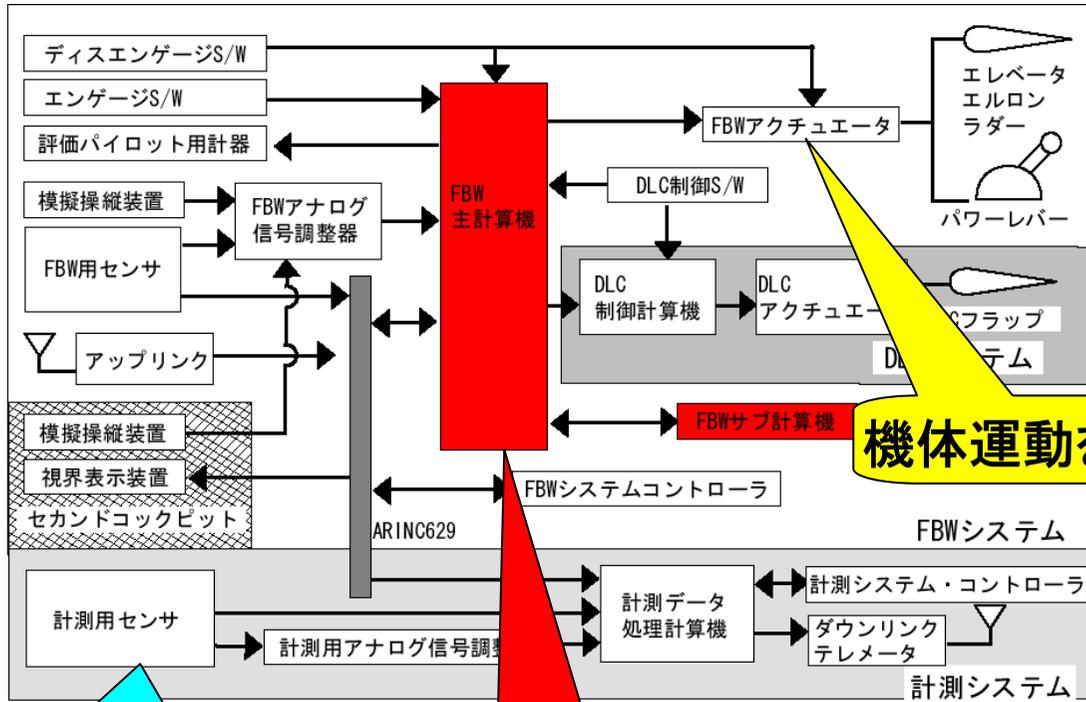
✓ シミュレータ

✓ 飛行 ⇔ 地上

- ✓ 連続的な加速度 ⇔ 得られる加速度は制約される
- ✓ 実際の環境 ⇔ モデル化された環境



IFS のシステム構成

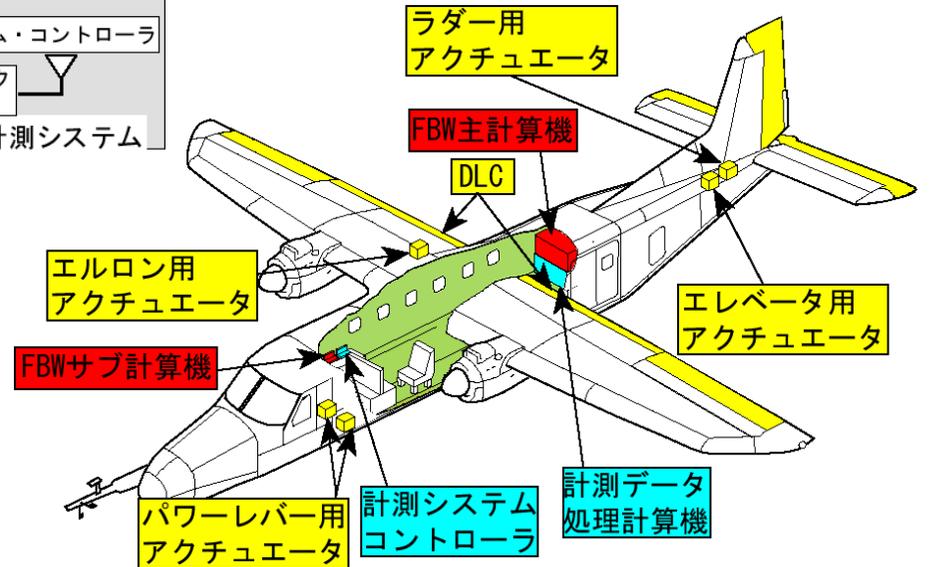


機体運動を制御

機体の状態量を計測

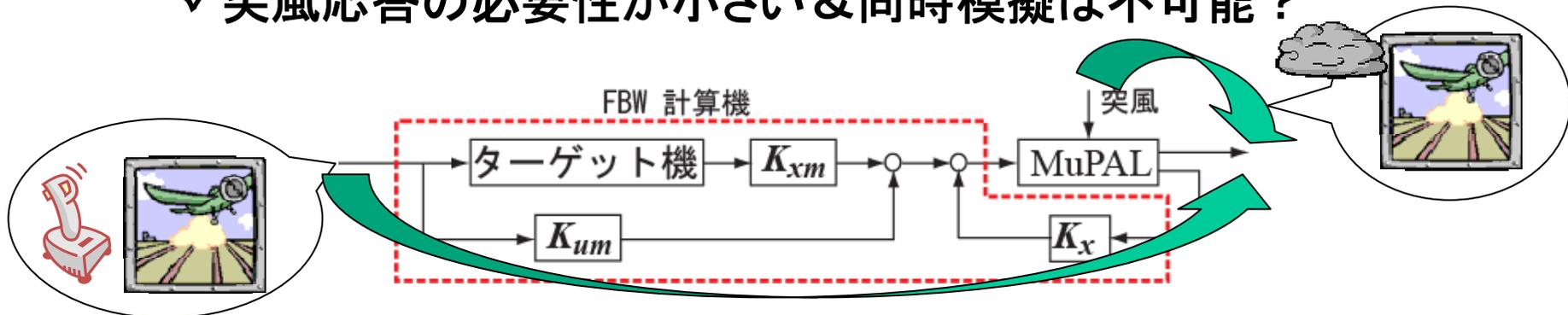
制御則に基づいて
制御入力を生成

IFS 制御則



当初の IFS 制御器

- ✓ メガフロート実験
 - ✓ 目的: 波浪の影響は小さく, 旅客機が着陸可能であることを確認
 - ✓ 要求: 旅客機の操縦特性を模擬
- ✓ モデル追従制御
 - ✓ 別の IFS にて実用性を確認済
 - ✓ **操縦応答**の模擬のみ
 - ✓ 突風応答の必要性が小さい & 同時模擬は不可能?

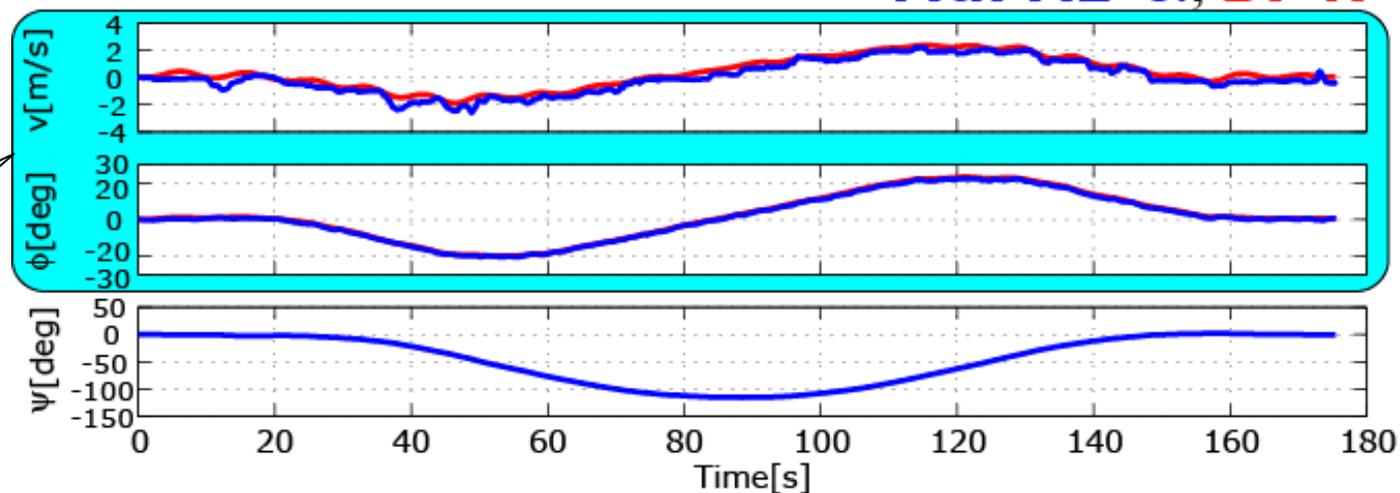


IFS 制御器設計過程において(余談)

- ✓ 従来手法の推奨
 - ✓ メガフロートにおいて着陸模擬を要請
 - ✓ 新規手法より実績重視



MuPAL- α , B747



突風の影響を
最小化

より完成度の高い IFS 制御器設計に向けて

✓ モデル追従制御

✓ 操縦応答の模擬

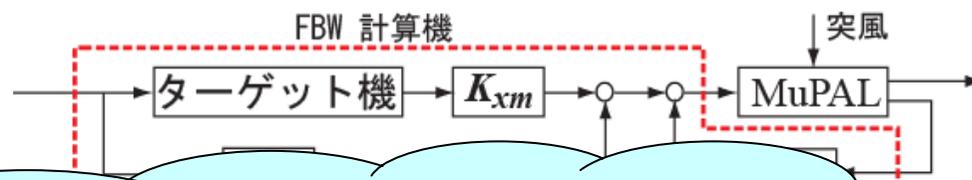
✓ 突風応答の模擬

✓ 突風の影響

✓ 二自由度モデルマッチング制御

✓ K : ターゲット機の突風特性模擬

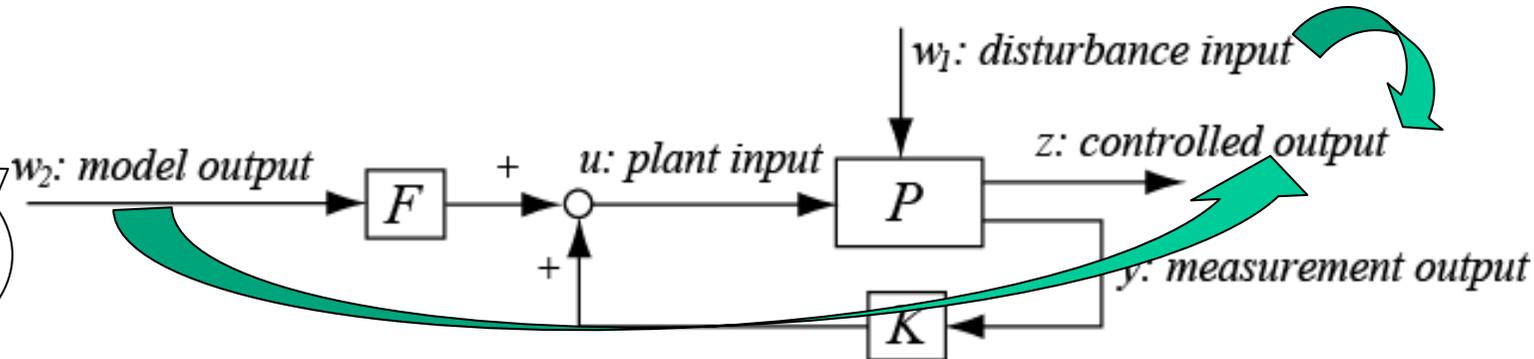
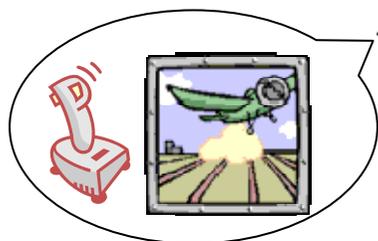
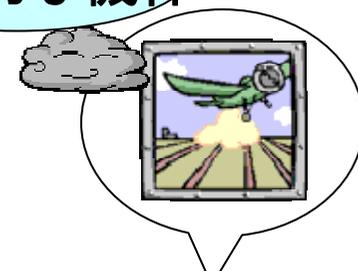
✓ F : ターゲット機の操縦特性模擬



[ターゲット機]

実機開発, 飛行環境検証: 特定の機体

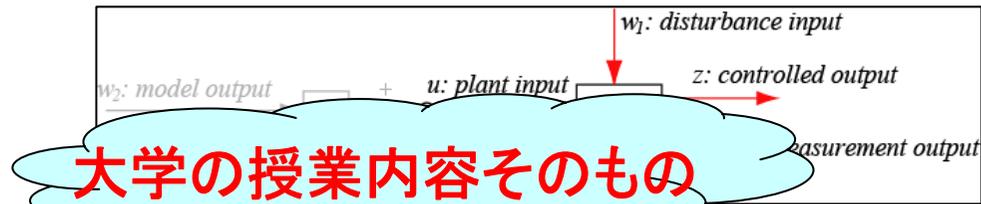
操縦性の研究: 様々な機体, 仮想的な機体



フィードバック制御器設計

✓ 設計手法

✓ 不確かさを考慮したロバスト H_∞ モデルマッチング



大学の授業内容そのもの

ターゲット機の突風応答を表すシステム

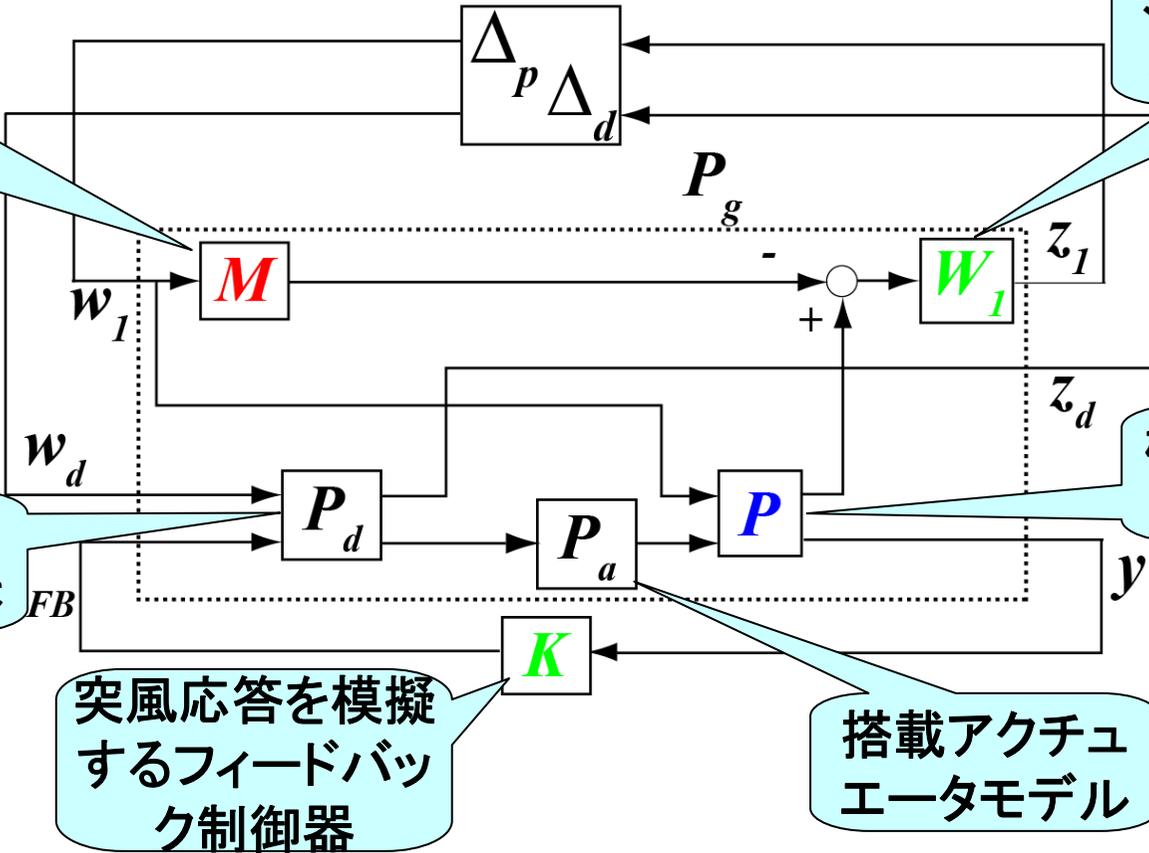
マッチング性能を定める重み

システム遅れを表す不確かさ

機体運動をあらわすシステム

突風応答を模擬するフィードバック制御器

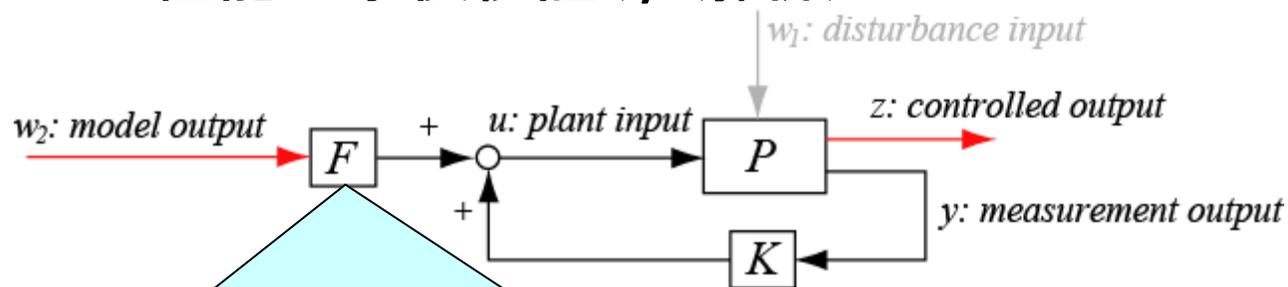
搭載アクチュエータモデル



フィードフォワード制御器設計

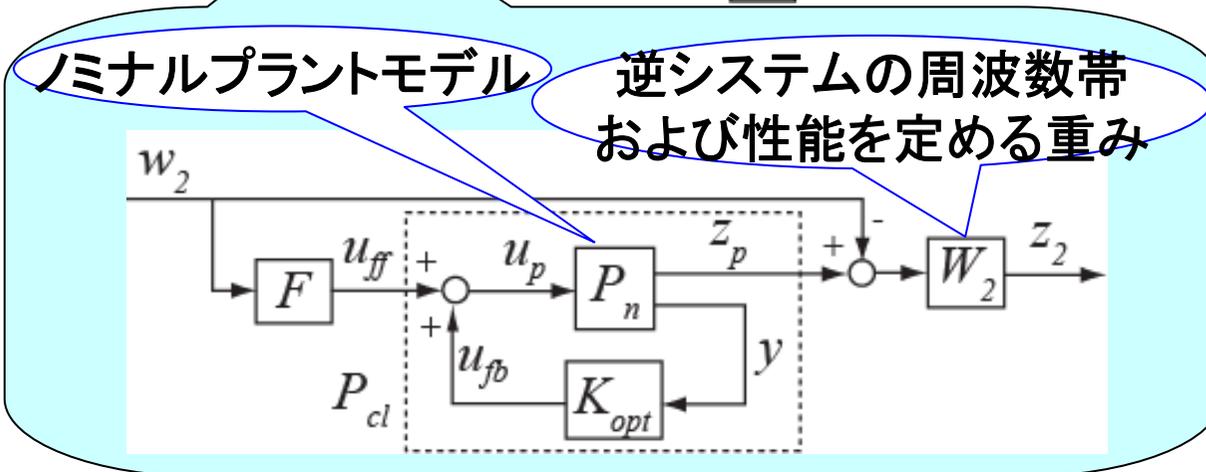
- ✓ 閉ループシステムに対する右逆シフト
 - ✓ 設計時はノミナルシステムに対する最適化
 - ✓ ロバスト性能は事後検証 (μ 解析)

大学の授業内容そのもの



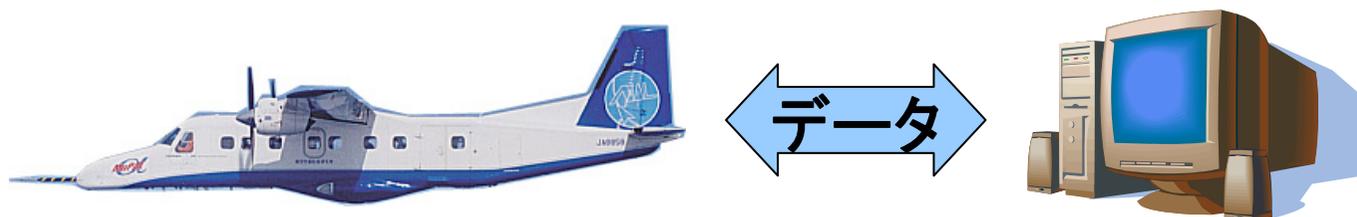
ノミナルプラントモデル

逆システムの周波数帯
および性能を定める重み



実験

- ✓ Hardware-in-the-loop シミュレーション
 - ✓ Hardware 機器を用いたシミュレーション
 - ✓ Hardwareの不確かさを反映したシミュレーション
 - ✓ 制御器の**機能**検証



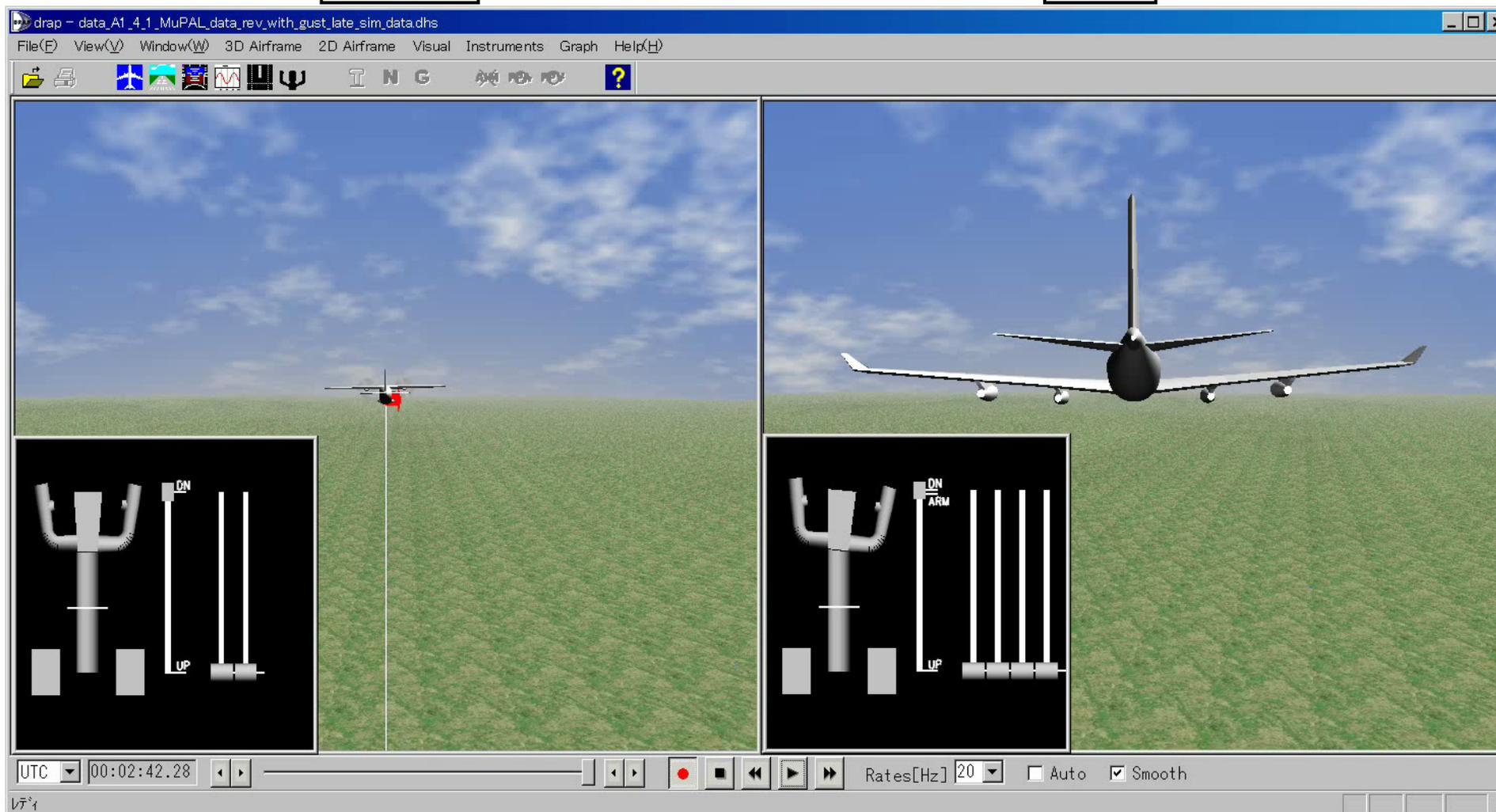
- ✓ 飛行実験
 - ✓ 実環境下での実験
 - ✓ 制御器の**性能**検証



飛行実験(大型機:B747 ジャンボジェット機)

MuPAL

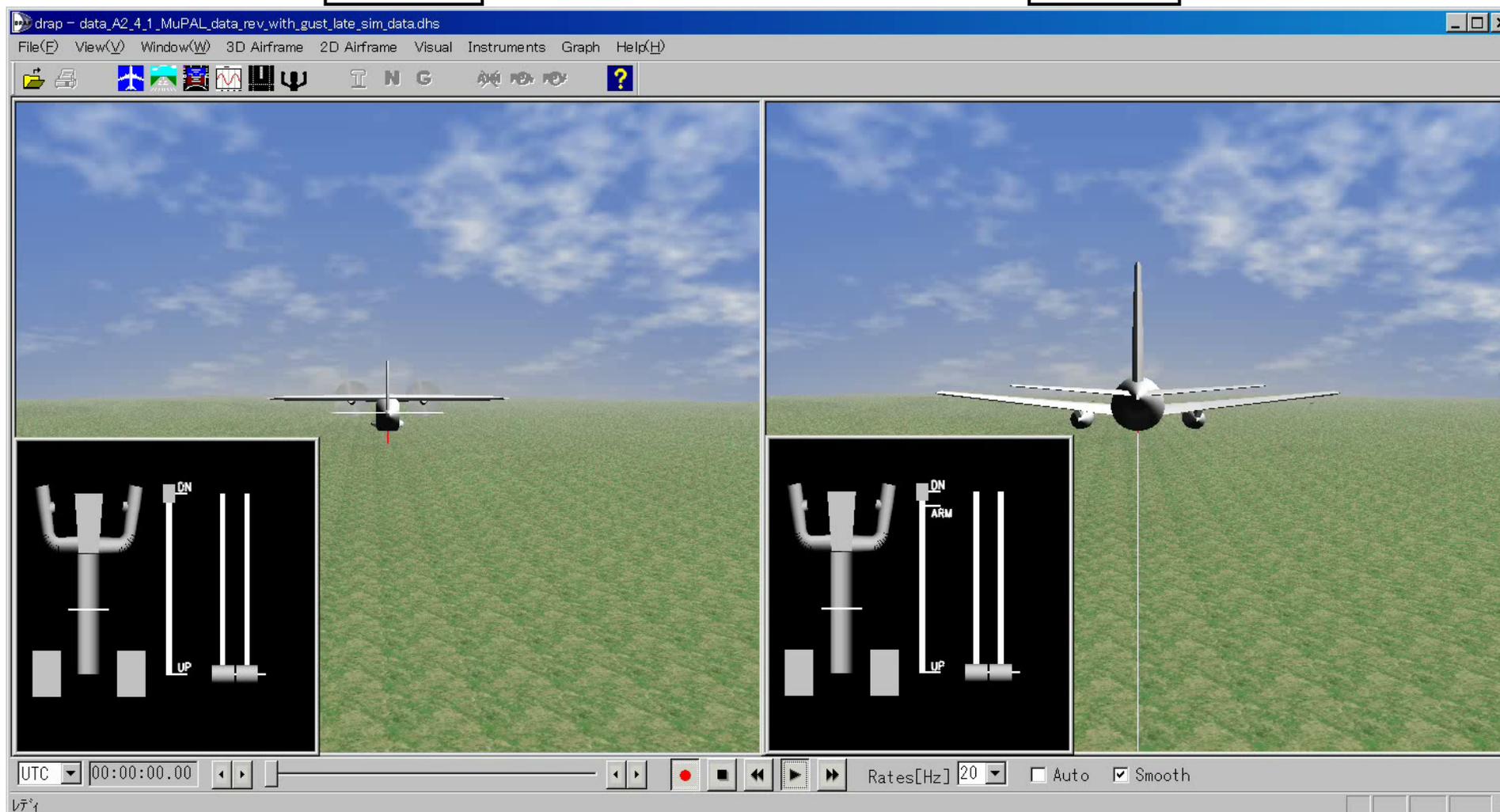
B747



飛行実験(中型機: Convair 880M)

MuPAL

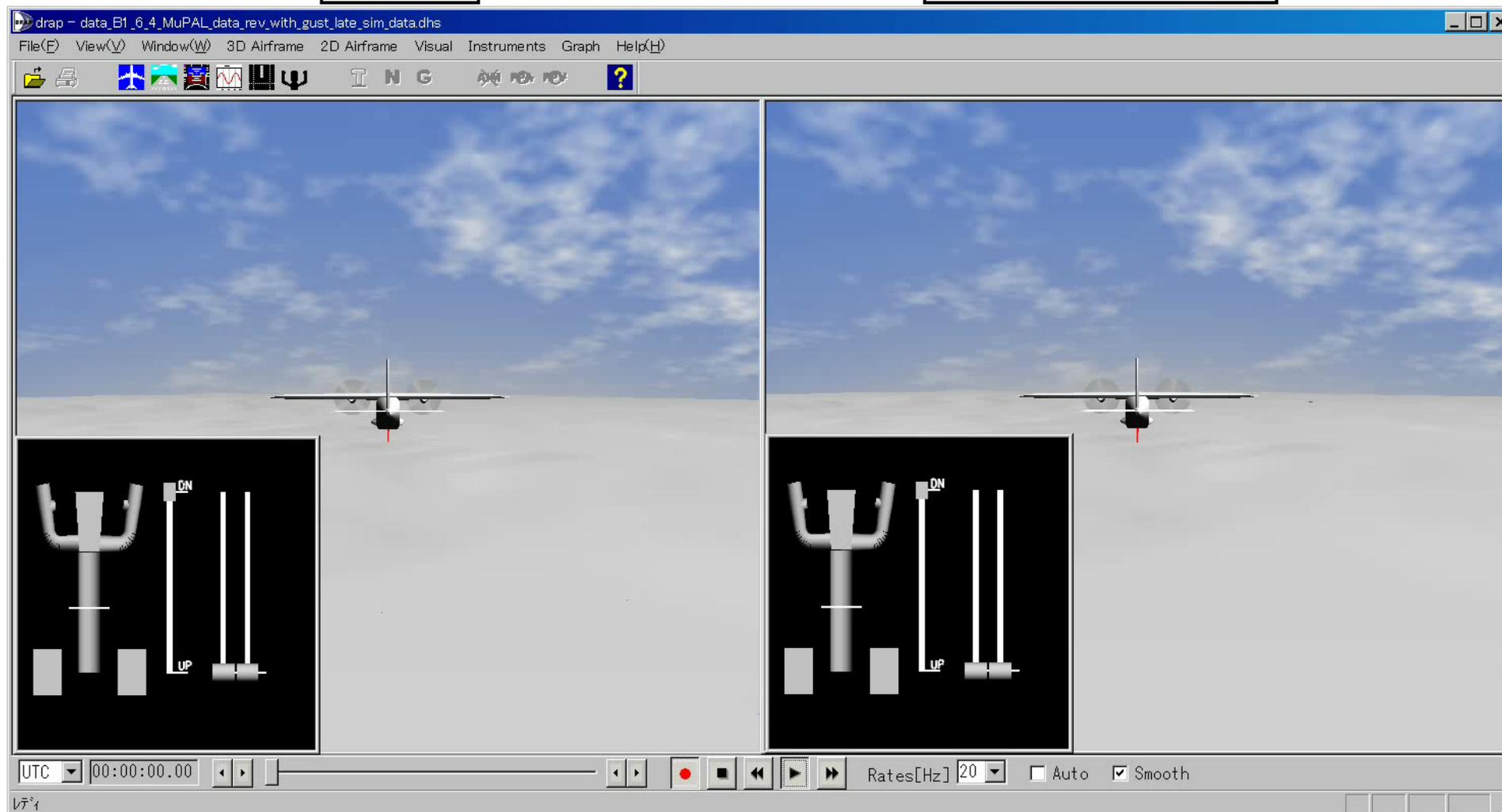
C880M



飛行実験(仮想的な飛行機)

MuPAL

仮想的な飛行機



具体的な使用例: 日航 123 便の運動特性

✓ 実際にどのような運動をしたのか？



フジテレビ「墜落 20年目の誓い
～天国にいるわが子へ～」(2005)

JAXA における飛行制御の研究紹介のまとめ

- ✓ スペースシャトルをロケットで打ち上げる
 - ✓ 自動離着陸
 - ✓ ALFLEX, HSFD
- ✓ 実験ツールの開発
 - ✓ MuPALのインフライトシミュレータ化
 - ✓ 用途: 飛行環境検証, 安全確認
 - ✓ 制御器設計仕様: ターゲット機と向って飛行可能な状態を有すること
 - ✓ 制御器設計: 二自由度制御によるモデルマッチング制御
- ✓ 社会人研究者として
 - ✓ 大義名分の模索: 「開発」ではなく「研究」を目指すなら必須
 - ✓ 新規手法 or 既存手法: 大義名分があれば新規手法も可

社会人研究者として(余談)

✓ 楽しいこと

- ✓ 新しいことにチャレンジできる

- ✓ 大規模な研究も可能 Ex. 飛行実験

- ✓ 新しいことを発見したとき, 開発したときの達成感

✓ 苦しいこと

- ✓ 研究が進まないこと

- ✓ 「世の中の役に立つ」, 「会社の役に立つ」という保証がない
と研究を進められないこと

✓ よく言われる一言

- ✓ 飽きもせず, よくそれ(研究のこと)だけを考えてられるね~

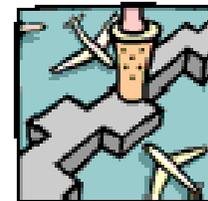


機体購入費用+実験機への改修
? 億円

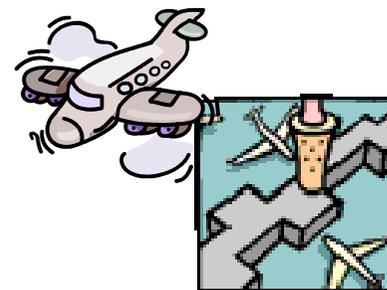
現在の飛行制御における問題の前に

新明解 国語辞典(三省堂)によると…

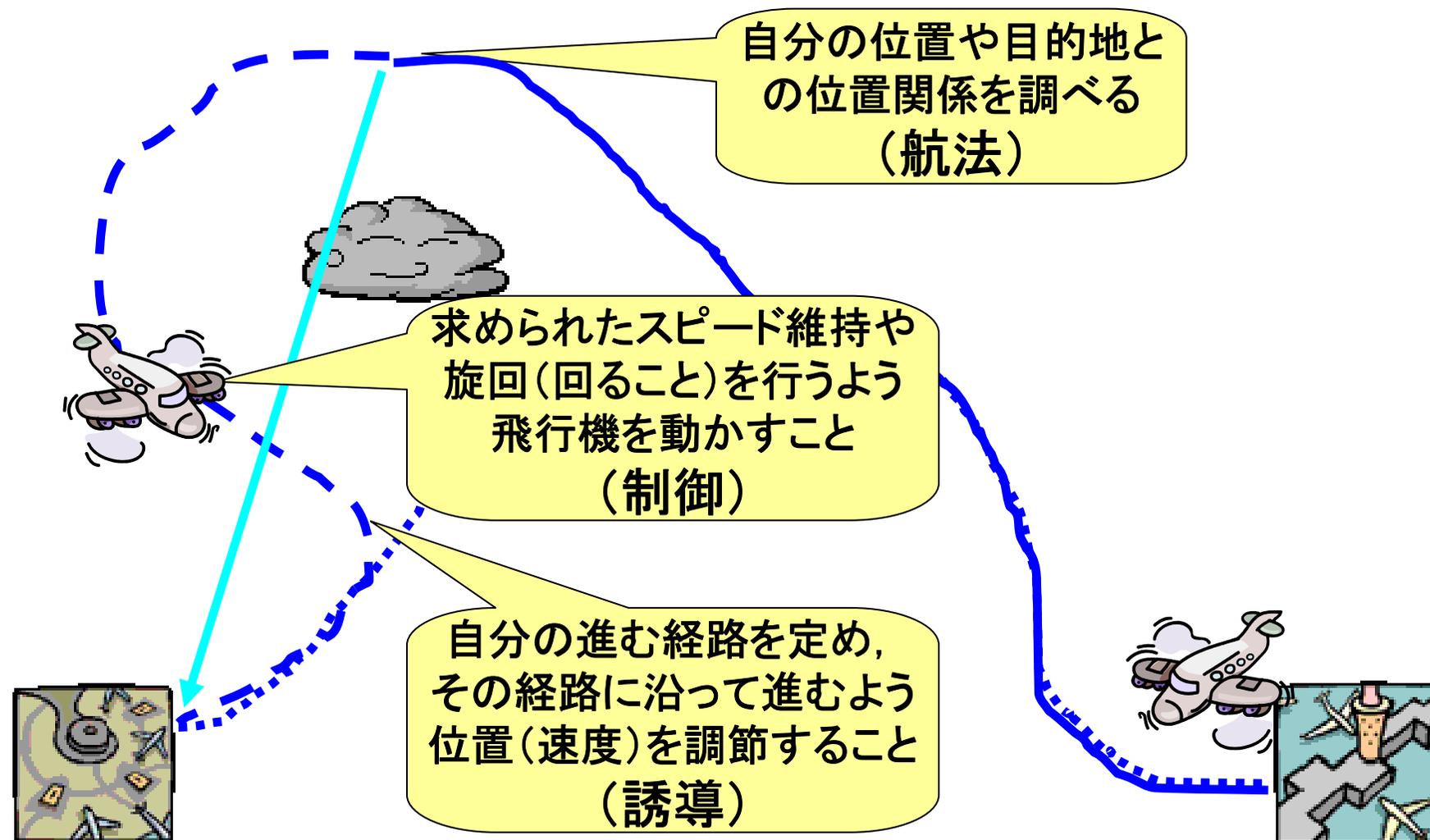
- ✓ 航法(navigation)とは「**船や航空機**をある地点からある地点へ決まった時間に正しく**導く**方法」
- ✓ 誘導(guidance)とは「①**目的のところへ導く**こと②**飛翔体**をその飛行中に内蔵する装置によって飛行経路に修正を加えつつ**目標に到達させる**こと」
- ✓ 制御(control)とは「放っておけばどこまで進むか分からない**動きを精密機械の力で抑える**こと」



航法・誘導・制御



航法・誘導・制御



現在の飛行機における問題

- ✓ 航法
 - ✓ センチメートルオーダーの精度 ⇔ メートルオーダーの精度(現状)
 - ✓ GPS と慣性航法装置の複合による移動体の位置計測
- ✓ 誘導
 - ✓ 自律したオンライン最適経路の導出 ⇔ 定められた経路(現状)
 - ✓ 実用的な計算時間内に必ず解(≠最適解)が存在するアルゴリズム
- ✓ 制御
 - ✓ 簡単な構造の高性能制御器 ⇔ 高性能だが複雑な制御器 or 単純な構造だが低性能な制御器(現状)
 - ✓ 研究者だけでなく、現場の技術者も理解しやすい構造の制御器
 - ✓ 飛行範囲の拡大 ⇔ 平衡点の線形補間による制御器設計(現状)
 - ✓ 制御器の性能が保証された制御器

現在の飛行制御における問題

✓ 制御

✓ 制御器の構造制約

- ✓ 低次元フィードバック & 得られる観測量による構造制約 & 高性能

✓ 飛行範囲の拡大

- ✓ ゲインスケジューリング制御, 非線形制御 (Ex. Nonlinear Dynamic Inversion; NDI)

✓ 解決策の一つ: 構造制約を課したゲインスケジューリング制御

- ✓ 構造制約がなければパラメータ依存線形行列不等式 (ほぼ解決)
- ✓ 構造制約 \Rightarrow Bilinear Matrix Inequality, パラメータ依存線形行列不等式 (ロバスト線形行列不等式, ロバスト Semi-Definite Programming 問題)

✓ モデリング

- ✓ ゲインスケジューリング (GS) 制御に適したモデリング

現在の飛行制御における問題のまとめ

- ✓ 要求
 - ✓ 現場の開発者, 技術者にも分かる**構造制約**を課した制御器
 - ✓ 現場でのチューニング作業
 - ✓ 飛行領域拡大に対応する制御器
 - ✓ 従来型のアドホックな方法に替わる設計法
- ✓ 解決策の一つ
 - ✓ **Linear Parameter-Varying システム**に対する**構造制約**を課した制御器
 - ✓ 線形 => 理解しやすい
 - ✓ パラメータ依存 => 不確かさ, 動作環境の変化に対応可能
 - ✓ 問題点: 最適化計算 (BMI, ロバスト SDP)
 - ✓ 非線形システム
 - ✓ 現場の技術者レベルの「分かりやすさ」が必要

若手研究者への期待

最後に

- ✓ JAXA に入社するためには
 - ✓ 経験者採用: 実務5年以上
 - ✓ 新卒採用: 大学／大学院卒業生対象
 - ✓ プロジェクト研究員: 博士号取得者, 任期付き
 - ✓ 教育職: 宇宙科学研究本部にて採用
 - ✓ 招聘職員: 高い専門性を有する研究者
 - ✓ 宇宙飛行士: 平成10年以来募集なし
- ✓ JAXA の HP は <http://www.jaxa.jp/>

余談

- ✓ 社会人研究者
 - ✓ 会社に対する貢献(開発)が必要
 - ✓ 知的好奇心だけでは研究を進められない
 - ✓ 会社もしくは世間の目標と個人の目標が一致するなら、大規模な研究が可能 Ex. 飛行実験
 - ✓ 教育がない可能性あり
 - ✓ 入社以前に研究者としての自立が必要(博士課程?)
 - ✓ 「研究」より「開発」重視
 - ✓ 事象の解明より事象への対処
 - ✓ 理想:「修士課程にて技術者としての基礎を身につけ, 能力に応じて博士, 企業へ」, 「博士課程にて研究者としての基礎を身につけ, 大学, 企業, コンサルタントへ」
- ✓ 佐藤の後悔: 語学, 数学