

航空機開発グローバルプロジェクトリーダー養成講座（略称：GPL 講座）

航空機開発とプロジェクト・マネジメント

——航空機関係テキスト集——

教材 07： 装備機装の安全設計

装備設計の対象 - ATA番号体系

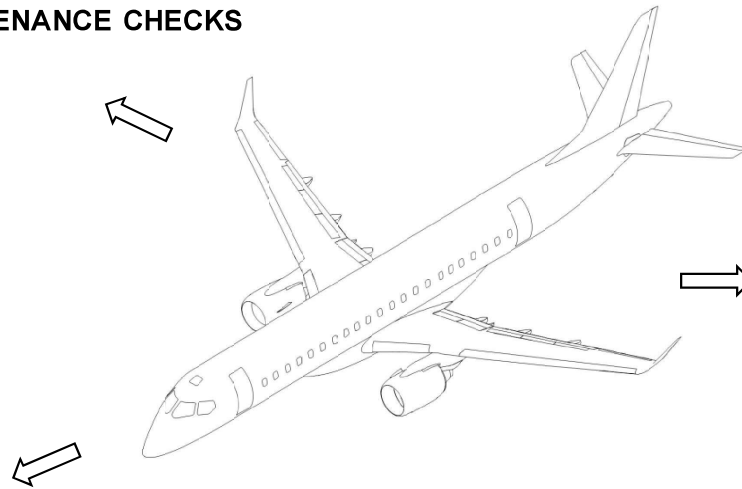
- ATA (Air Transport Association : 米国航空輸送協会) が定めた番号体系
- 民間機において、マニュアル等の文書で使用 (万国共通)

GENERAL

ATA00: GENERAL
ATA01: MAINTENANCE POLICY
ATA02: OPERATIONS
ATA04: AIRWORTHINESS LIMITATIONS
ATA05: TIME LIMITS/MAINTENANCE CHECKS

STRUCTURE

ATA50: CARGO AND ACCESSORY COMPARTMENTS
ATA51: STANDARD PRACTICES AND STRUCTURES
ATA52: DOORS
ATA53: FUSELAGE
ATA54: NACELLES/PYLONS
ATA55: STABILIZERS
ATA56: WINDOWS
ATA57: WINGS

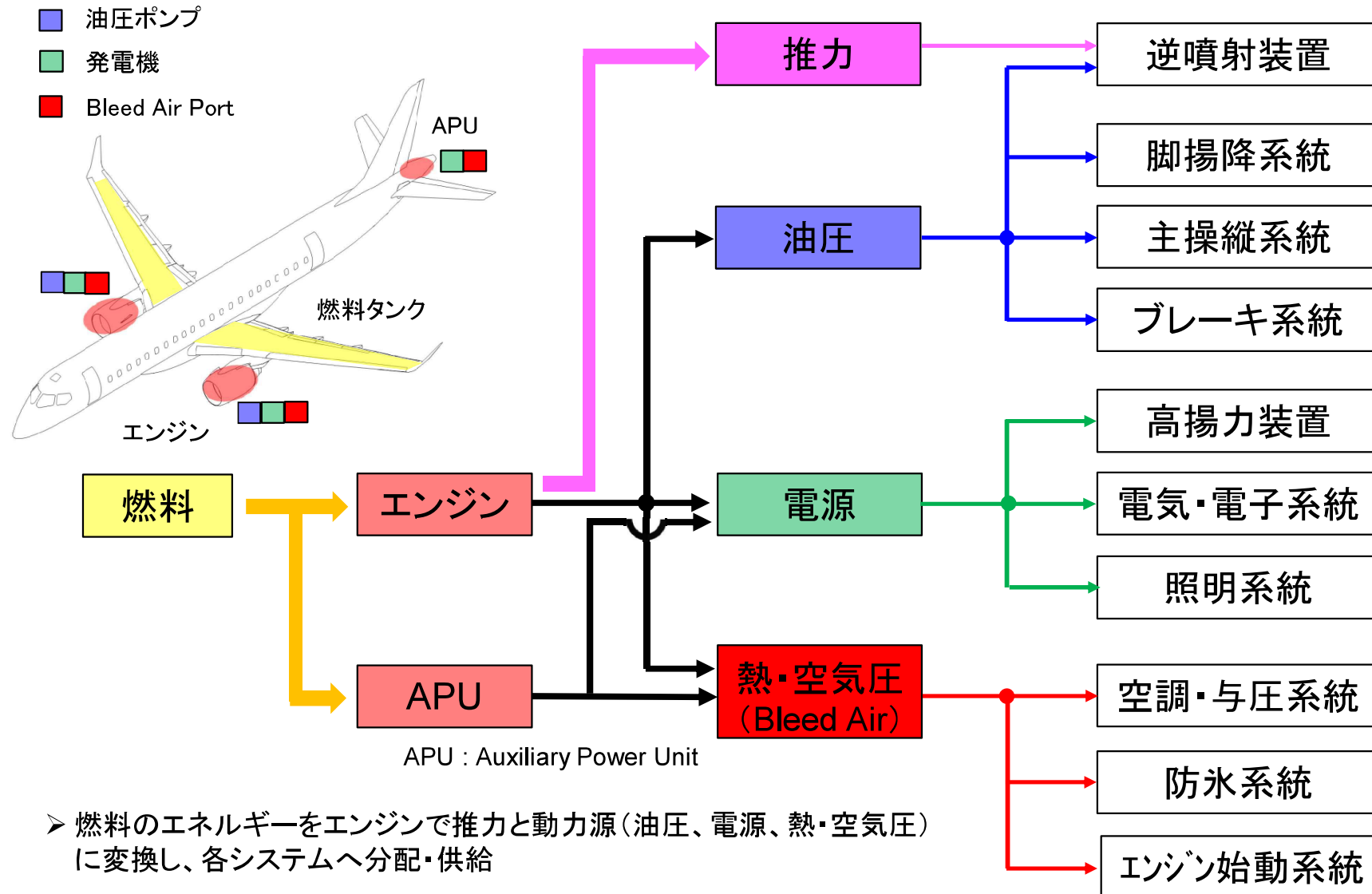


装備設計の対象

SYSTEMS

ATA21: AIR CONDITIONING
ATA22: AUTO FLIGHT
ATA23: COMMUNICATIONS
ATA24: ELECTRICAL POWER
ATA25: EQUIPMENT / FURNISHINGS
ATA26: FIRE PROTECTION
ATA27: FLIGHT CONTROLS
ATA28: FUEL
ATA29: HYDRAULIC POWER
ATA30: ICE AND RAIN PROTECTION
ATA31: INDICATING / RECORDING SYSTEM
ATA32: LANDING GEAR
ATA33: LIGHTS
ATA34: NAVIGATION
ATA35: OXYGEN
ATA36: PNEUMATIC
ATA38: WATER / WASTE
ATA44: CABIN SYSTEMS
ATA45: ONBOARD MAINTENANCE SYSTEM
ATA46: INFORMATION SYSTEMS
ATA47: INERT GAS SYSTEM
ATA49: AIRBORNE AUXILIARY POWER
ATA52: DOORS
ATA71+: POWER PLANT
ATA92: ELECTRICAL SYSTEM INSTALLATION

航空機システムの概要 – Conventional Aircraft



航空機システムの開発プロセス

耐空性基準

装備品、系統及び装備は、①予想されるすべての運用条件下において、
②所要の機能を発揮するように設計し、かつ、装備しなければならない。



機体レベル検証

- ①②地上試験 / 飛行試験
・機体機能試験
・全機環境試験 等

機体レベル要求

- ②機体機能要求
・空力特性 / 荷重
・操縦応答性 等
- ①機体環境要求
・温度 / 高度
・振動 / 衝撃
・耐雷 / 強電界
・電磁干渉 等

システムレベル要求

- ②システム機能要求
・操縦システム構成
・舵角レート 等

システムレベル検証

- ②システム・リグ試験
・システム機能試験
・故障模擬試験 等

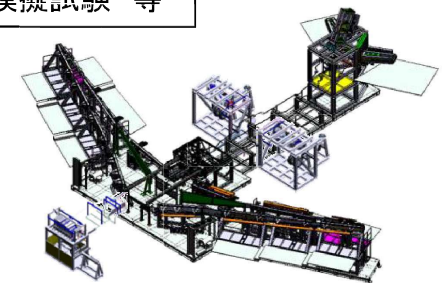
装備品レベル要求

- ②装備品機能要求
・出力 / ストローク
・静特性 / 動特性 等

- ①装備品環境要求
・温度 / 高度
・振動 / 衝撃
・耐雷 / 強電界
・電磁干渉 等

装備品レベル検証

- ①②装備品単体試験
・機能試験
・環境試験

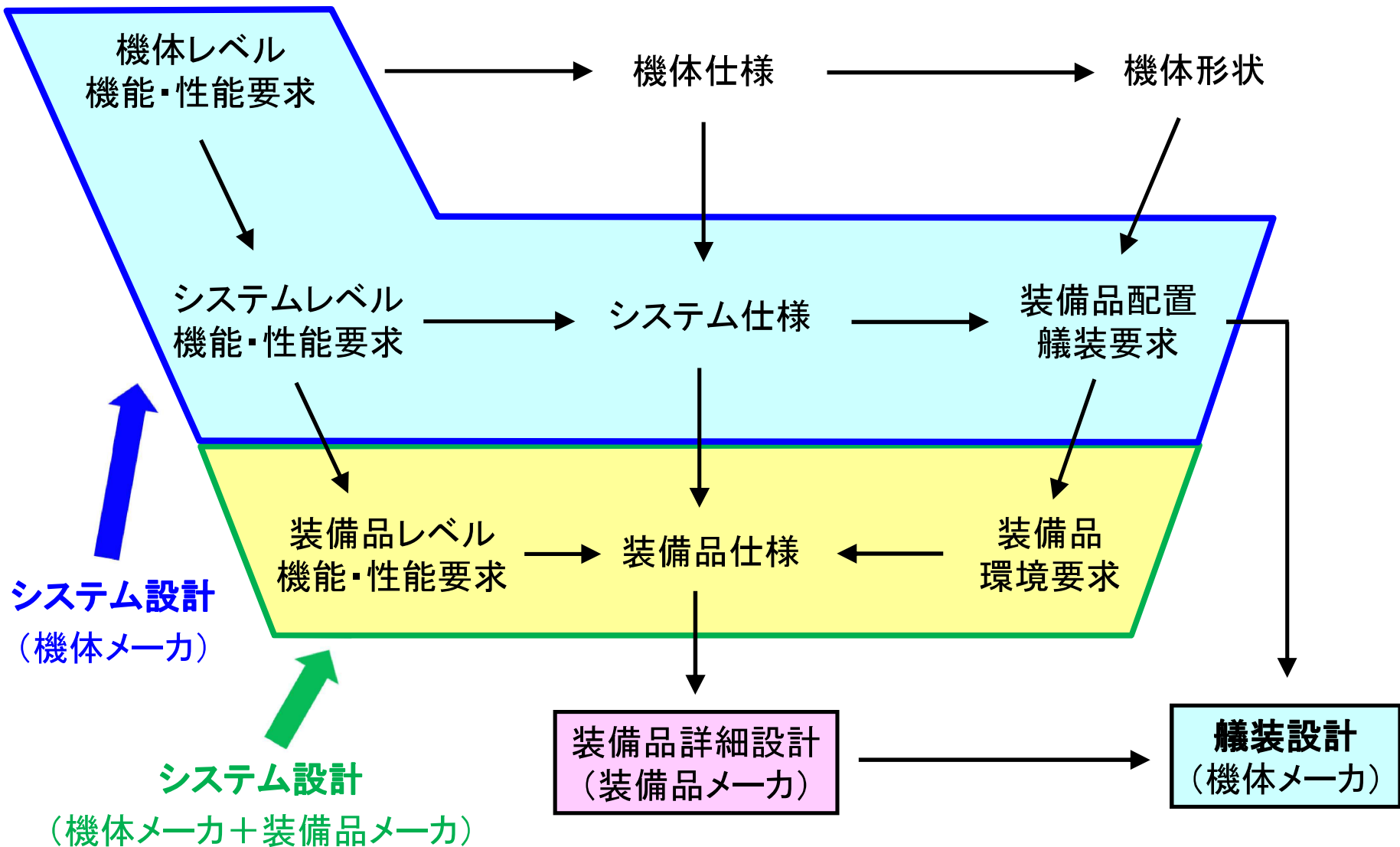


Validation Process
(要求の正確性・網羅性を確認)

サプライヤによる
装備品設計・製造

Verification Process
(製品が要求を満足することを確認)

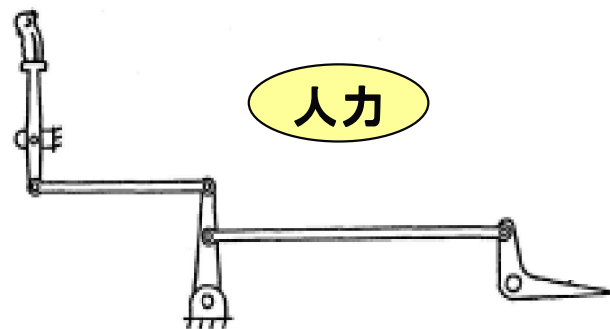
システム設計と艤装設計



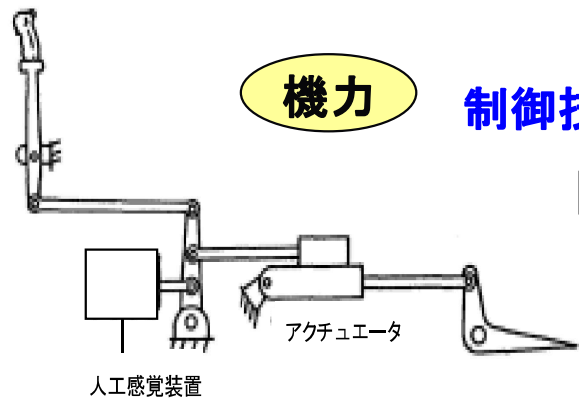
航空機システムの概要 – 操縦系統

- 機体の大型化: 人力 ⇒ 機力(油圧)
- 電子制御技術の発展: 機械制御 ⇒ FBW

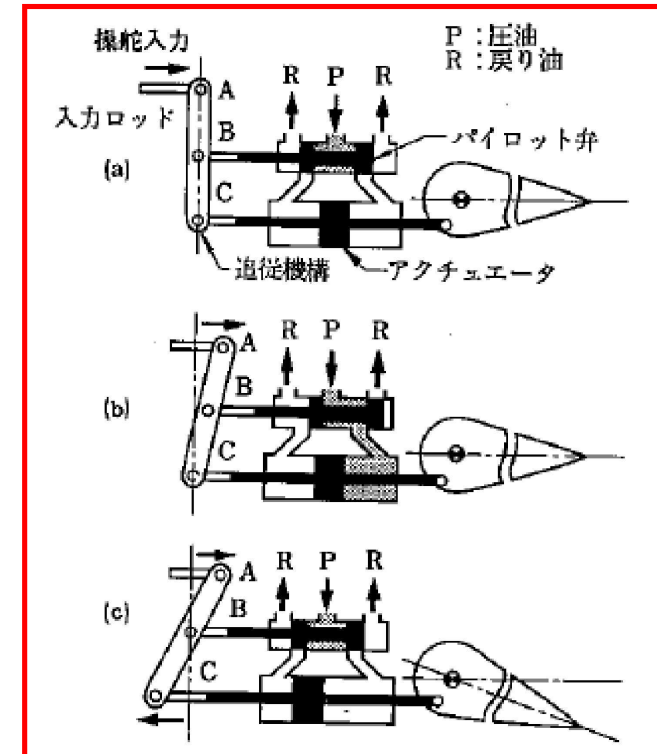
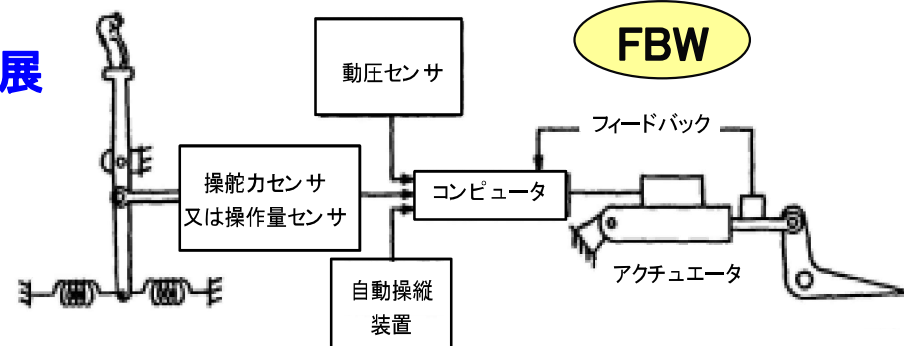
FBW : Fly By Wire



機体大型化



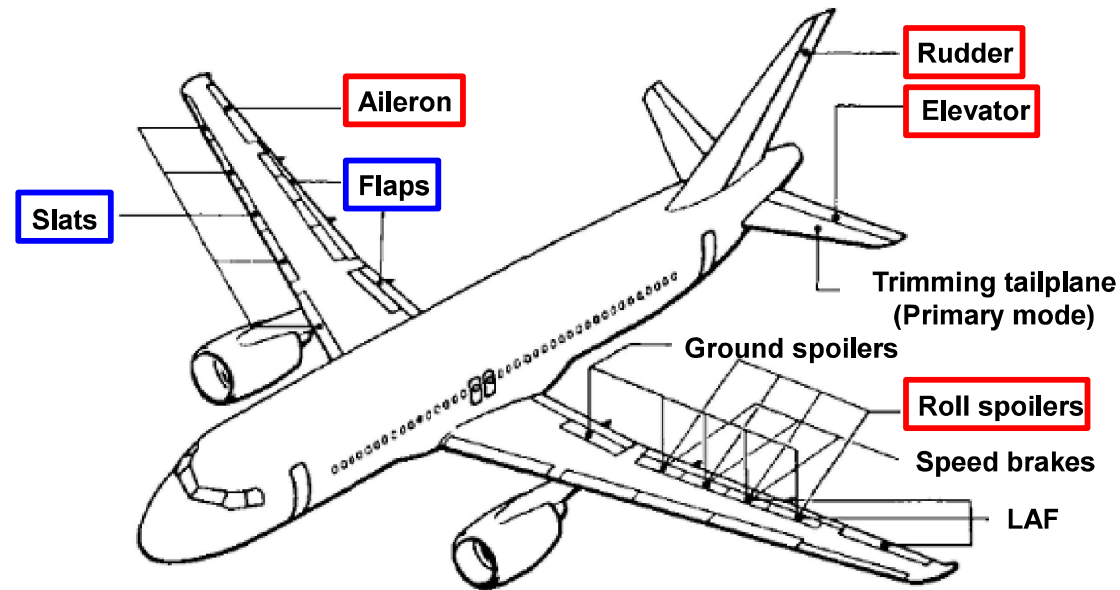
制御技術の発展



油圧アクチュエータ
の作動原理

出典：航空電子装備(下巻)
日本航空技術協会

航空機システムの概要 – 操縦系統



 主操縦系統
 高揚力装置

<略語>

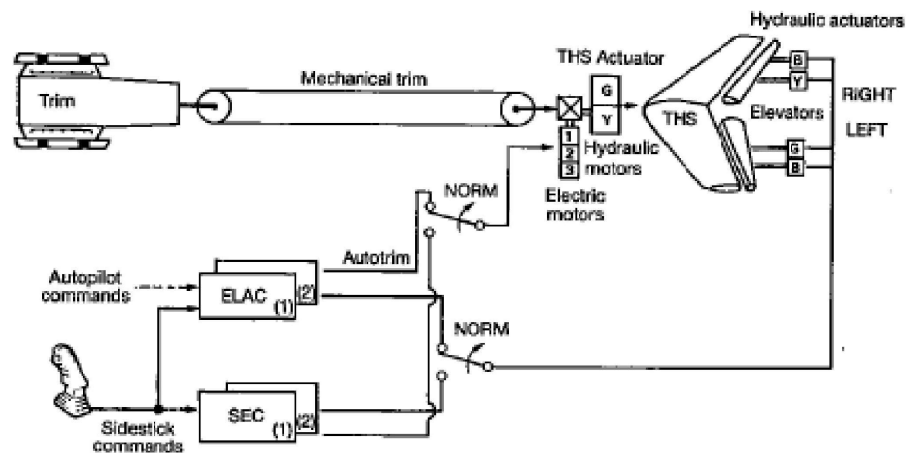
LAF: Load Alleviation Function

THS: Trimmable Horizontal Stabilizer

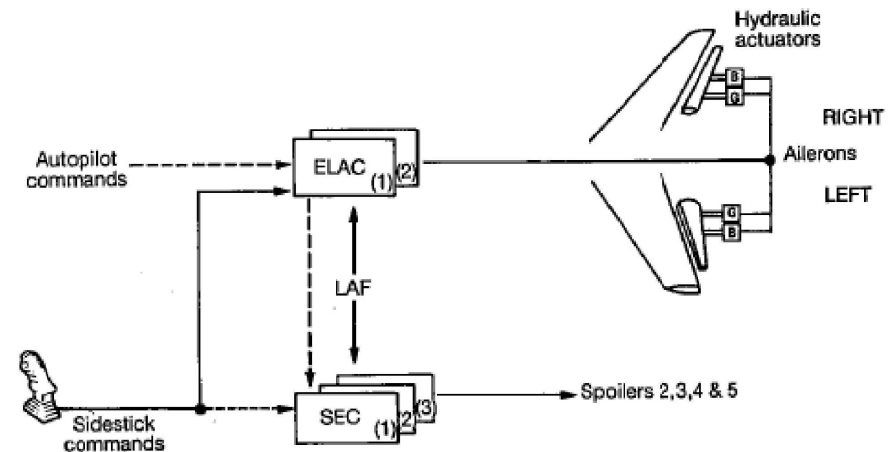
ELAC: Elevator and Aileron Computer

SEC: Spoiler and Elevator Computer

出典: "Aircraft Flight Control Actuation System Design"
 E.T. Raymond with C.C. Chenoweth



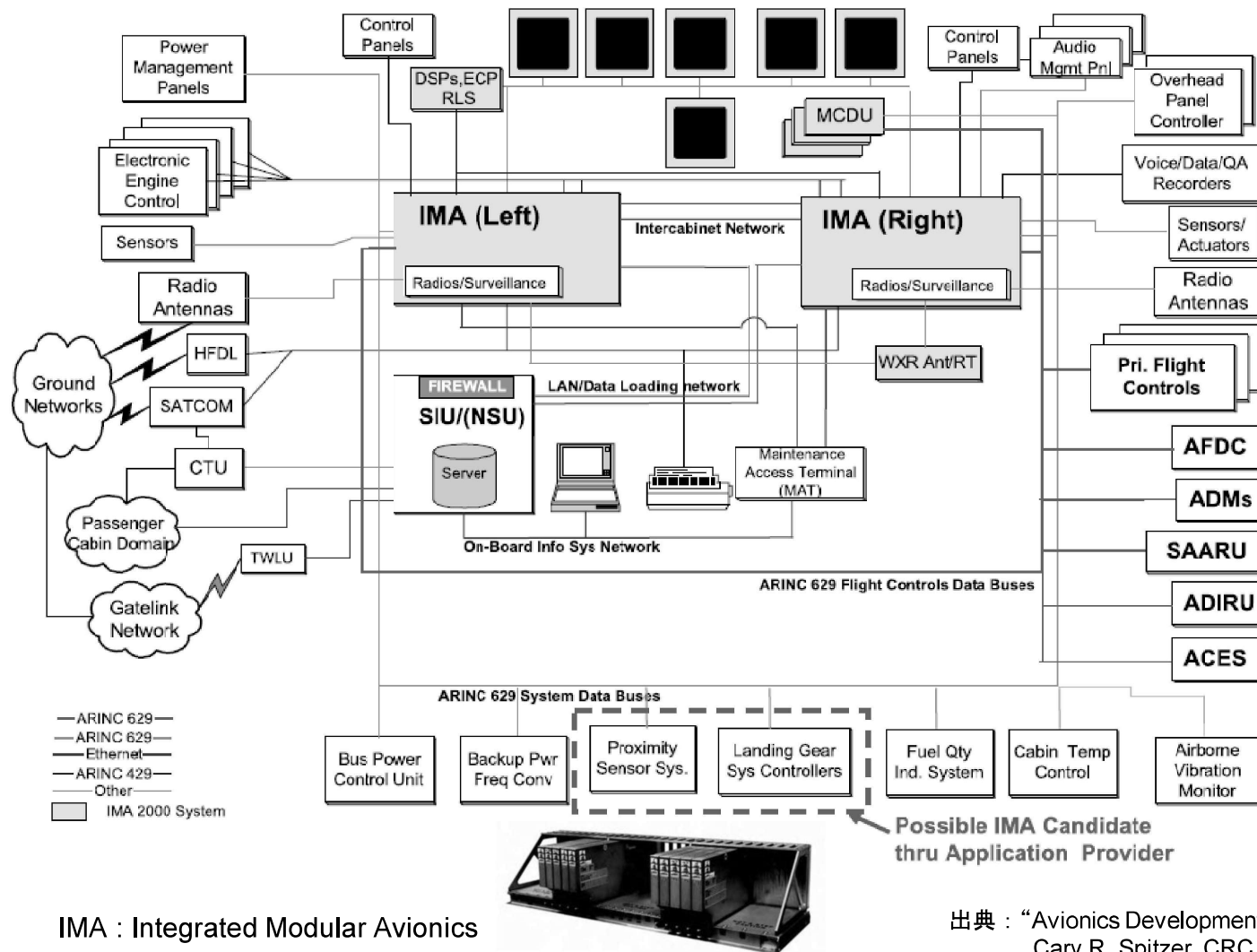
ピッチ・コントロール・システム



ロール・コントロール・システム

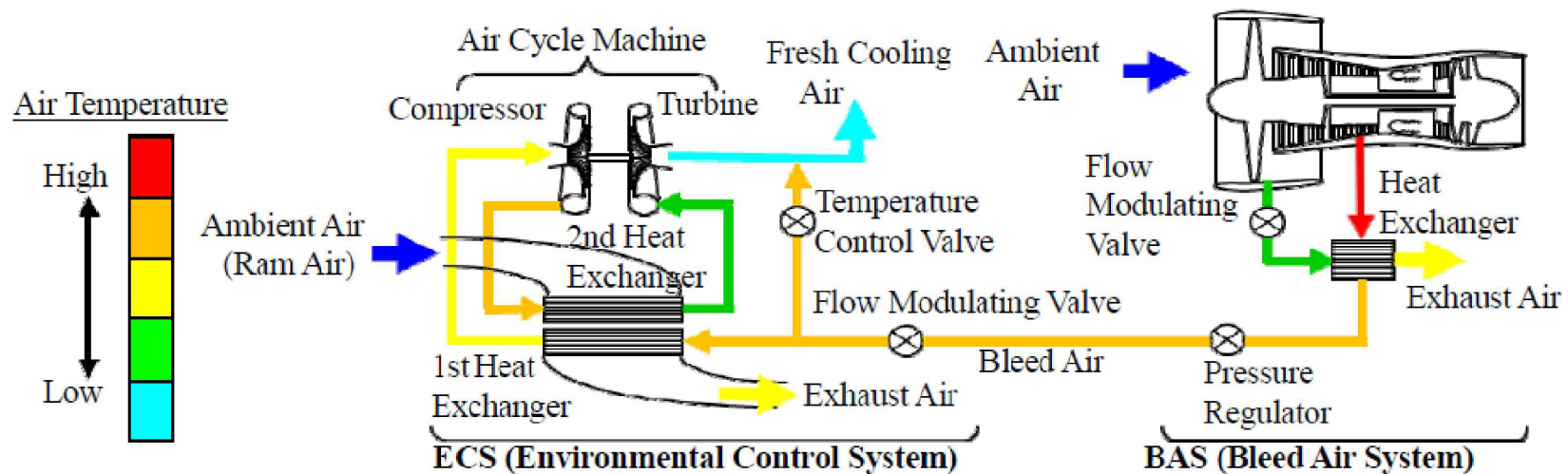
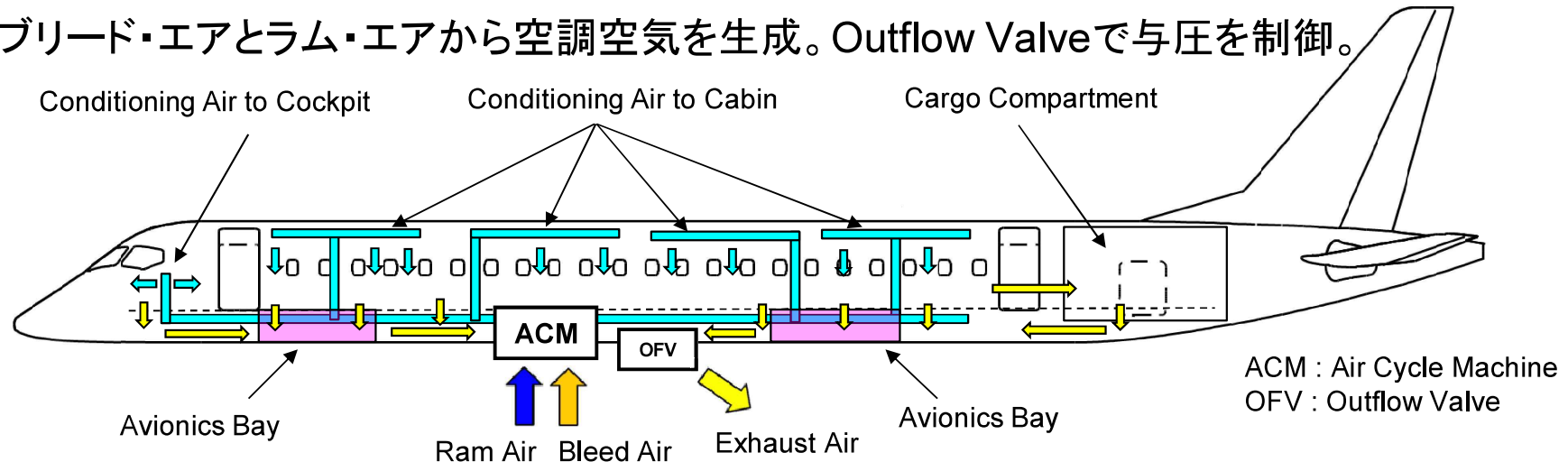
航空機システムの概要 – アビオニクス

- 表示、通信、航法、記録等の機能から構成され、近年はハードウェアがモジュラー化



航空機システムの概要 – 空調・与圧系統

- ブリード・エアとラム・エアから空調空気を生成。Outflow Valveで与圧を制御。



出典：佐藤、岩井、吉田 “航空機の空調システム設計(第1報)”
日本機械学会論文集、Vo.80, No.820, 2014

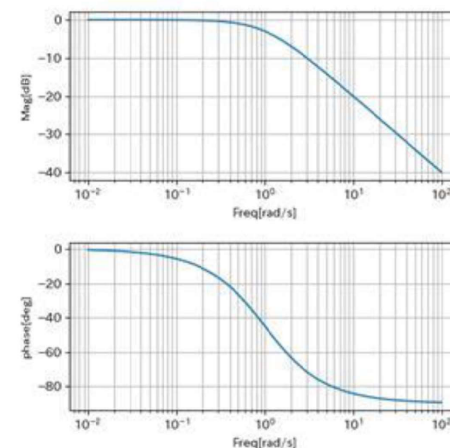
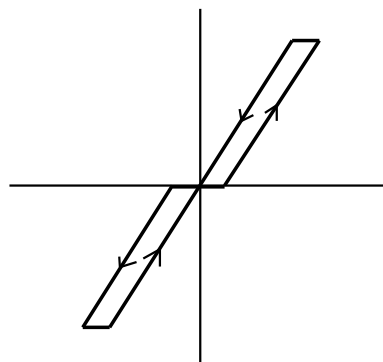
システム／装備品に対する機能要求

【システム／装備品の機能要求に関する規定の例】

- FAR 25.1301 (a)
 - ✓ 各装備品は所要の機能 (Intended Function)を発揮する種類及び設計でなければならない。
- FAR 25.1309 (a)
 - ✓ 装備品、系統及び装備は、予想されるすべての運用条件下において、所要の機能 (Intended Function) を発揮するように設計し、かつ、装備しなければならない。

【装備品に対する機能要求の例(操縦アクチュエータ)】

- ✓ 静特性(ストローク vs 出力、入力コマンド vs ストローク、等)
- ✓ 動特性(作動速度、周波数応答特性、等)
- ✓ 非線形特性(ガタ、ヒステリシス、等)
- ✓ 荷重(制限荷重、終極荷重)
- ✓ 圧力(保証圧力、破壊圧力)
- ✓ 構造疲労
- ✓ 耐久性



装備品に対する環境要求

【装備品配置と環境要求】

➤ 装備品の搭載場所により、運用中に当該装備品が晒される環境条件は異なる

- ✓ 与圧・温度制御された胴体内部
- ✓ 非与圧・温度制御されない胴体内部
- ✓ エンジン・ナセル／パイロン
- ✓ 主翼・尾翼
- ✓ 燃料タンク
- ✓ 機体外部

胴体

- ・与圧室内は砂塵や塩霧の影響を受けない
- ・前胴及び後胴下部は被雷しやすい

燃料タンク

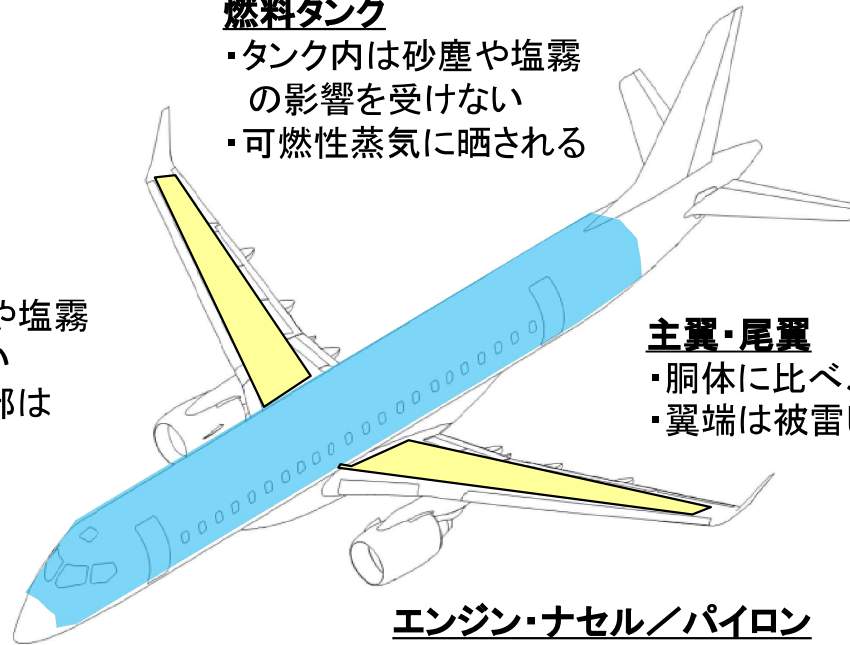
- ・タンク内は砂塵や塩霧の影響を受けない
- ・可燃性蒸気に晒される

主翼・尾翼

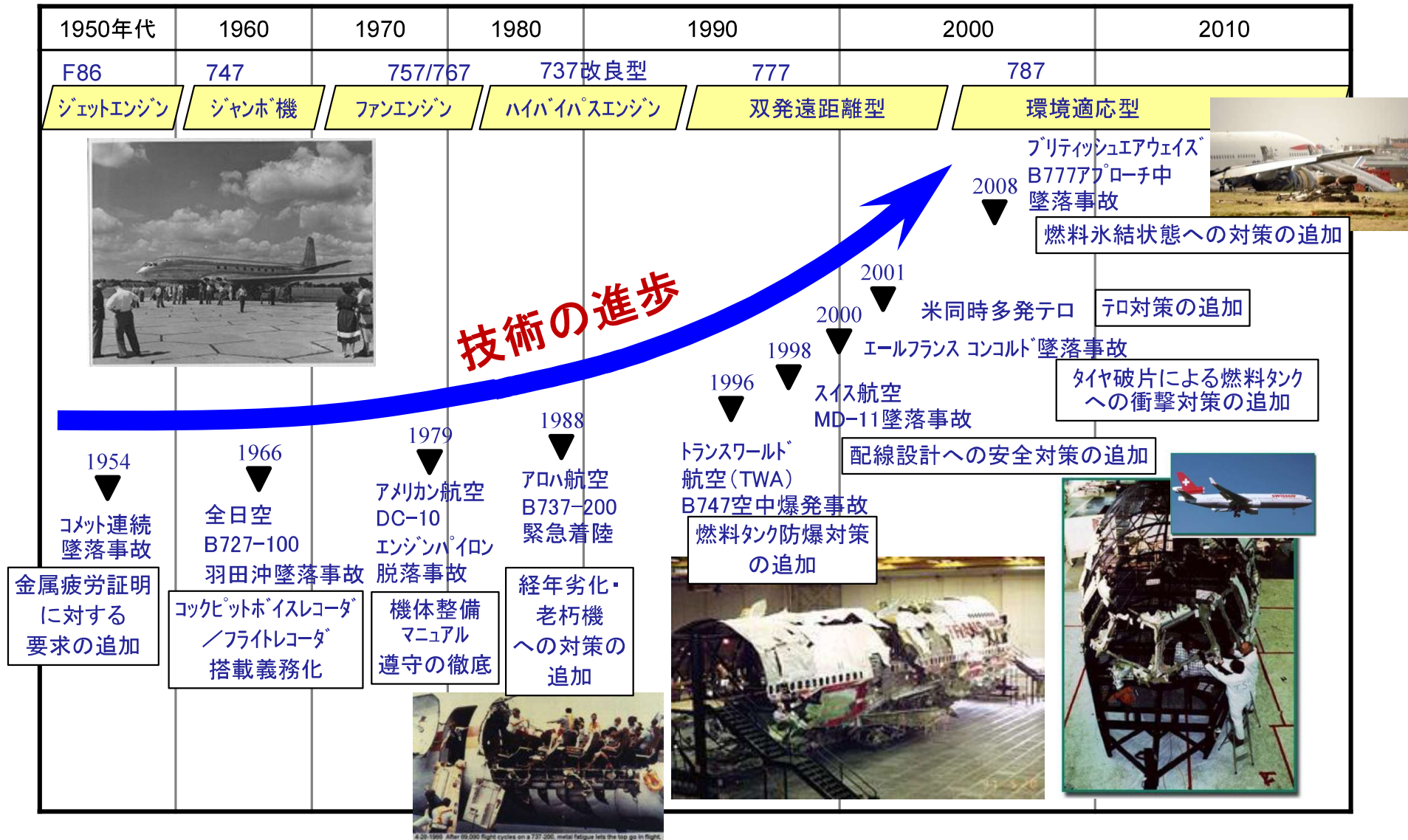
- ・胴体に比べ、温度・振動環境が厳しい
- ・翼端は被雷しやすい

エンジン・ナセル／パイロン

- ・胴体に比べ、温度・振動環境が厳しい
- ・ファン・カウルは被雷しやすい



民間航空機に対する安全性要求 – 耐空性基準の変遷



民間航空機に対する安全性要求 – 耐空性基準の例

【安全性に関する規定の例】

➤ FAR 25.671 (c)

- ✓ 以下の故障が発生しても、“exceptional piloting skill or strength”なしに“continued safe flight and landing”が可能であること。

- ✧ 全ての単一故障

- ✧ “extremely improbable” (発生確率が $1 \times 10^{-9}/\text{hr}$ 以下) であると証明できない
全ての故障状態の組合せ

機種全体の全運用時間を想定しても、ほとんど発生しない

- ✧ 操縦システムのジャミング

- ✓ “probable” (発生確率が $1 \times 10^{-5}/\text{hr}$ 以上) な故障は“only minor effect”しか与えぬこと。

➤ FAR 25.671 (d)

- ✓ 全てのエンジン (APUを含む) が故障しても“controllable”であること。

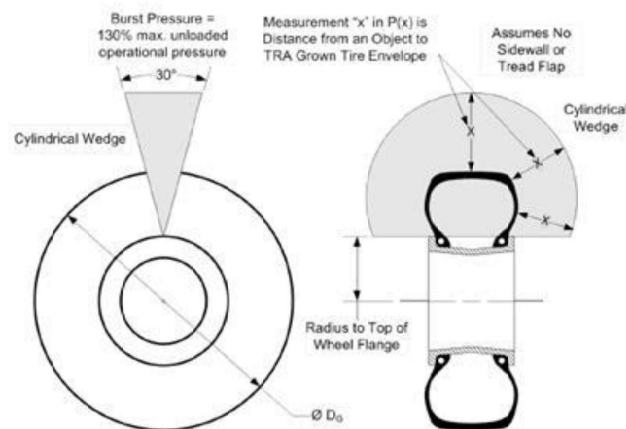
➤ FAR 25.1309 (b)

- ✓ 航空機の“continued safe flight and landing”を妨げるような故障状態の発生は“extremely improbable” (発生確率が $1 \times 10^{-9}/\text{hr}$ 以下) であること。
- ✓ 航空機の性能や、不利な運用条件に対し乗組員が対処する能力を低下させるような故障状態の発生は“improbable” (発生確率が $1 \times 10^{-5}/\text{hr}$ 以下) であること。

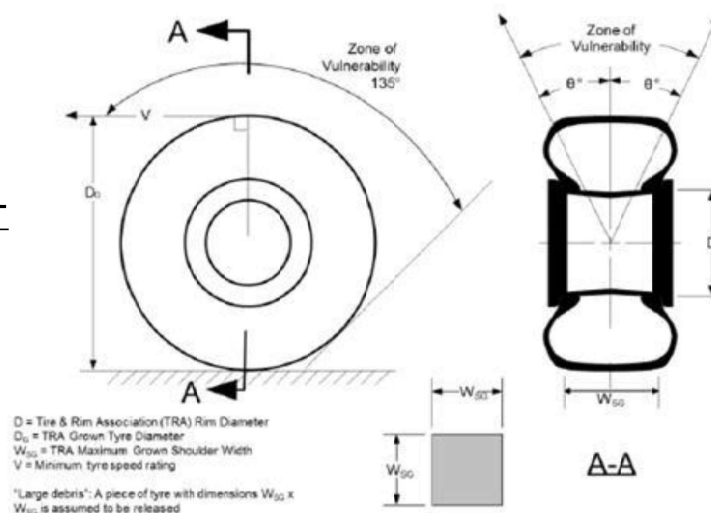
冗長システム同時故障の想定要因 – タイヤ・バースト

- タイヤの破裂に伴い、風圧や飛散した破片が機体構造・システムを損傷させる事象。

タイヤ風圧



タイヤ破片



出典：EASA CS-25, AMC 25.734
 Protection against wheel and tyre failures

事故例（エールフランス4590便, 2000年7月）



出典：Final report on the accident happened to the Concorde registered F-BTSC operated by Air France on 25 July 2000 at Gonesse (France), フランス運輸省事故調査局

冗長システム同時故障の想定要因 – 鳥衝突

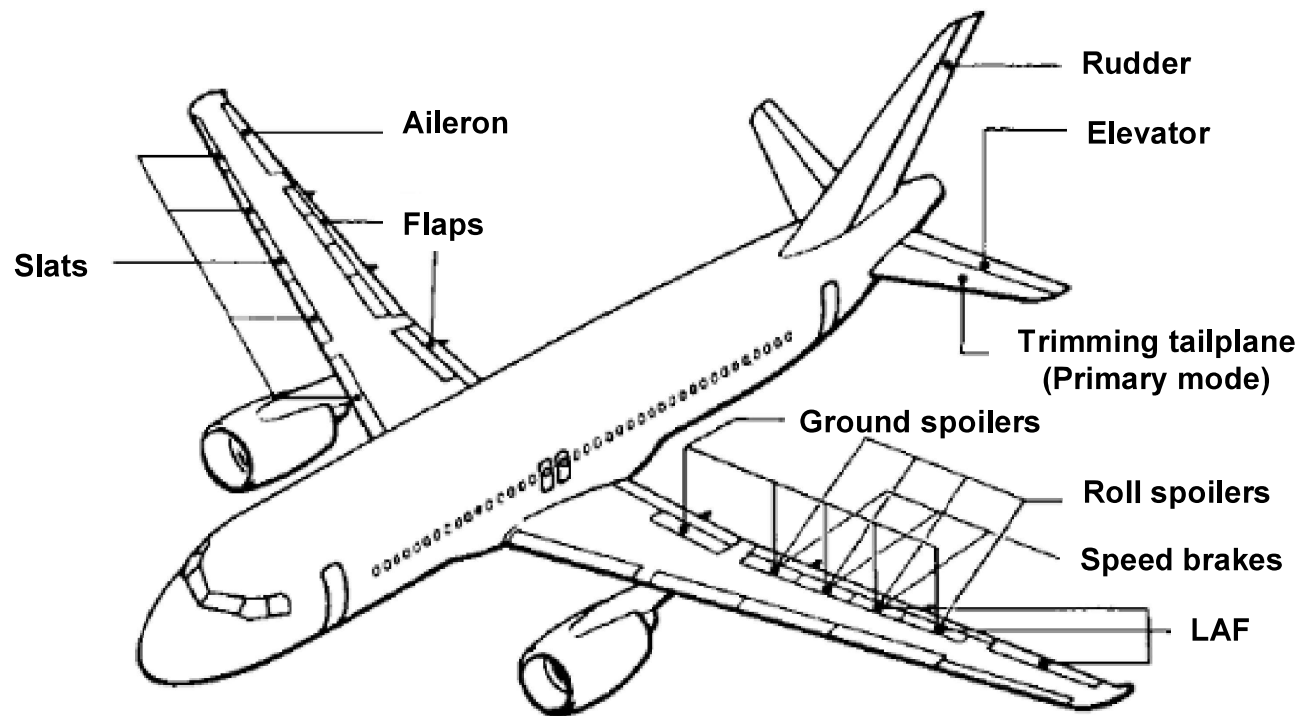
- 飛行中に鳥が機体に衝突して機体構造・システムを損傷させたり、エンジンに鳥が吸い込まれてエンジンを停止させる事象。



事故例（USエアウェイズ1549便, 2009年1月）



冗長設計の例 – A320 油圧・操縦系統



- ピッチ操舵 : 2 Elevators & Trimming tailplane
- ロール操舵 : 2 Ailerons & 8 Roll spoilers
- ヨー操舵 : Rudder

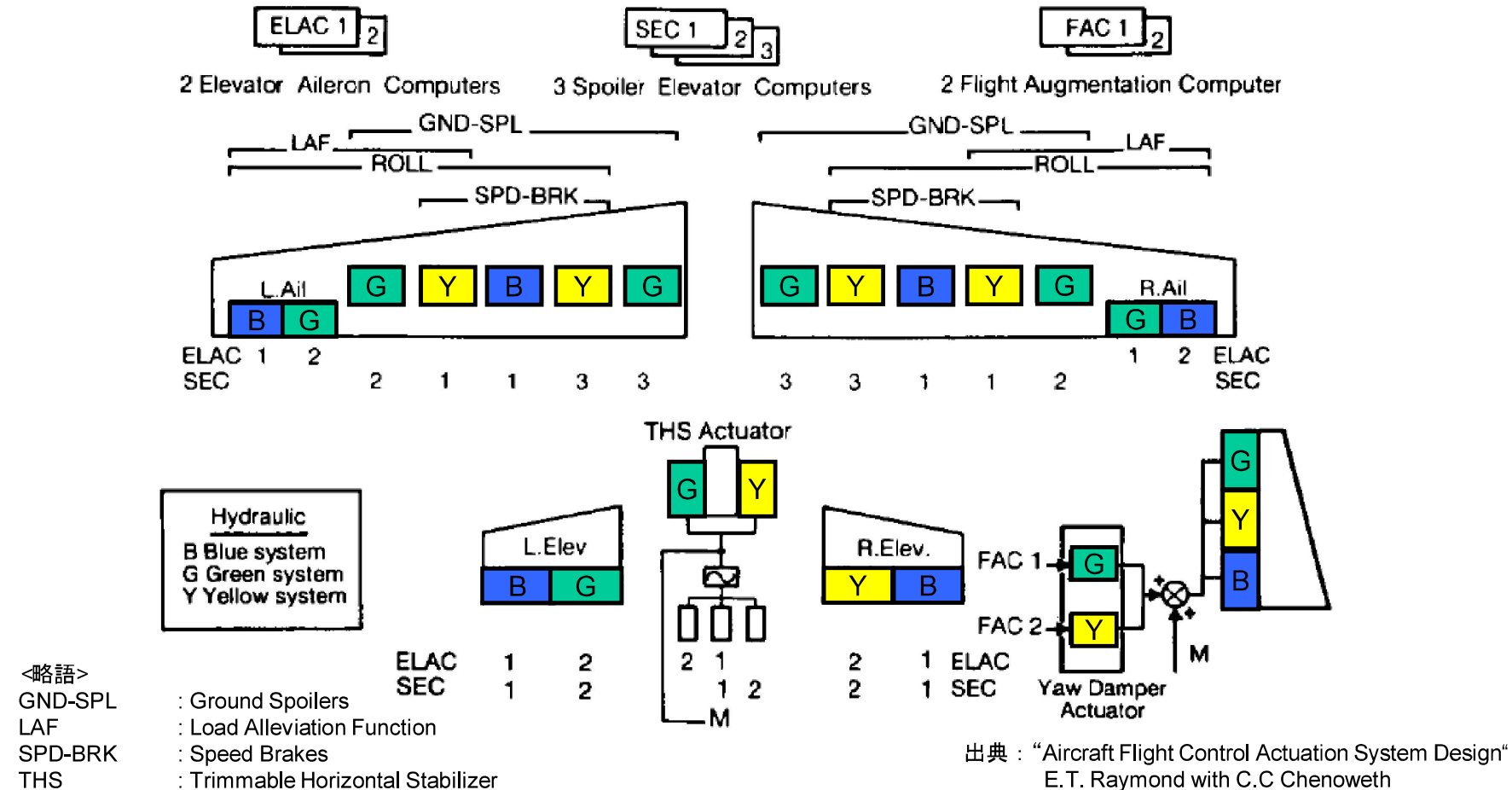
<略語>

LAF: Load Alleviation Function

出典 : “Aircraft Flight Control Actuation System Design”
E.T. Raymond with C.C Chenoweth

冗長設計の例 – A320 油圧・操縦系統

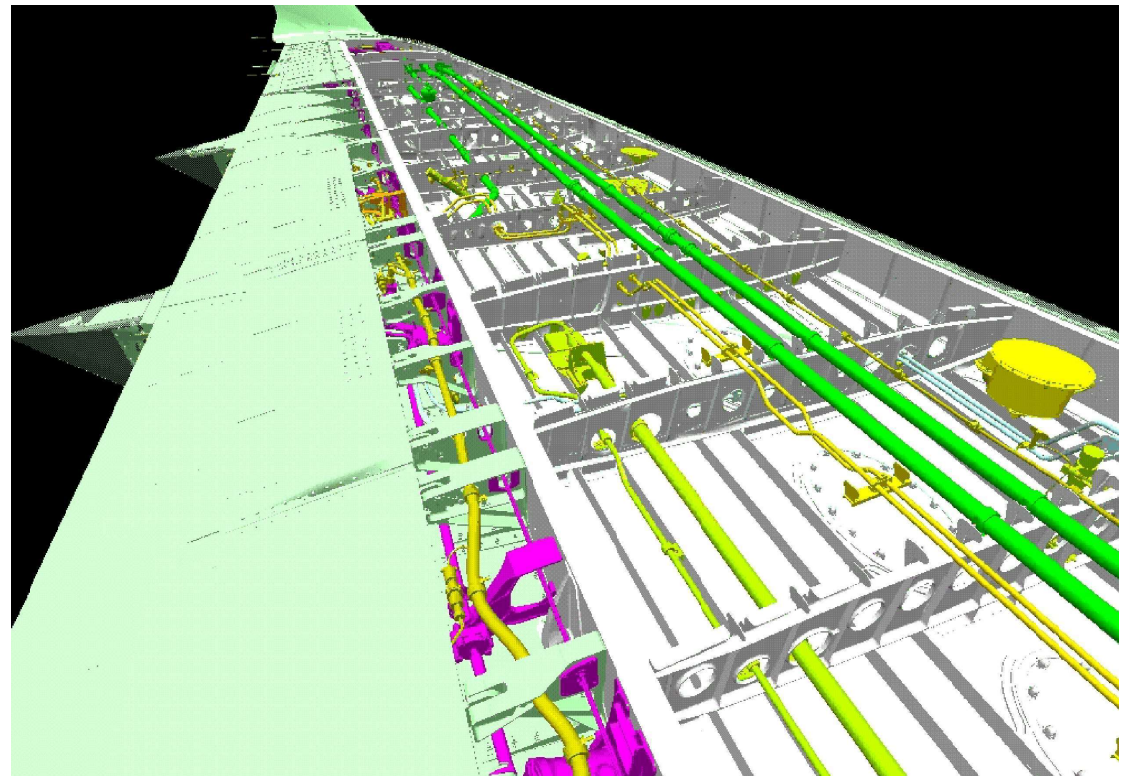
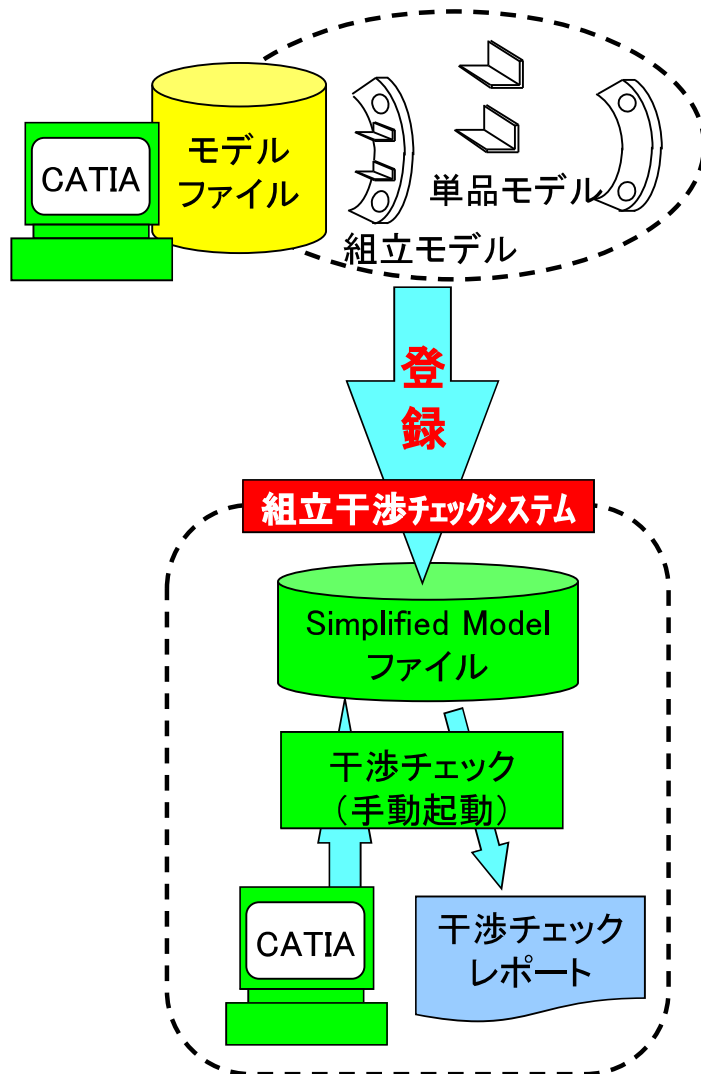
- 3つの独立した油圧系統 (Blue, Green, Yellow) により、操縦舵面を駆動
- 1系統が喪失しても、操縦特性はほとんど不変 (油圧1系統喪失の確率は $10^{-4}/\text{hr}$ レベル)
- いずれか1系統が残っていれば、“continued safe flight and landing”が可能 (3系統喪失の確率 $< 10^{-9}/\text{hr}$)
- 全てのエンジンが停止しても、Blue系統はRam Air Turbineにより作動可能



デジタル・モックアップによる干渉チェック

➤ CATIA上でデジタル・モックアップを作成し、実物の製作前に干渉チェックを実施。

→ 実物モックアップの省略



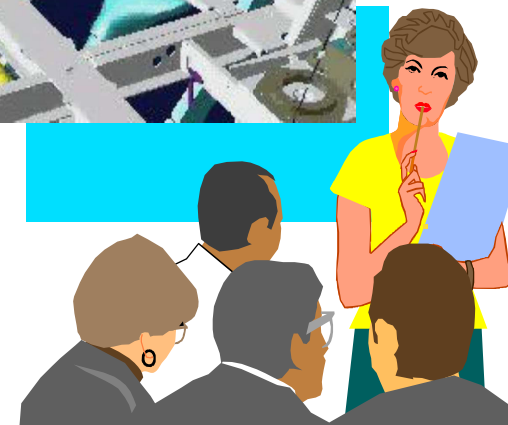
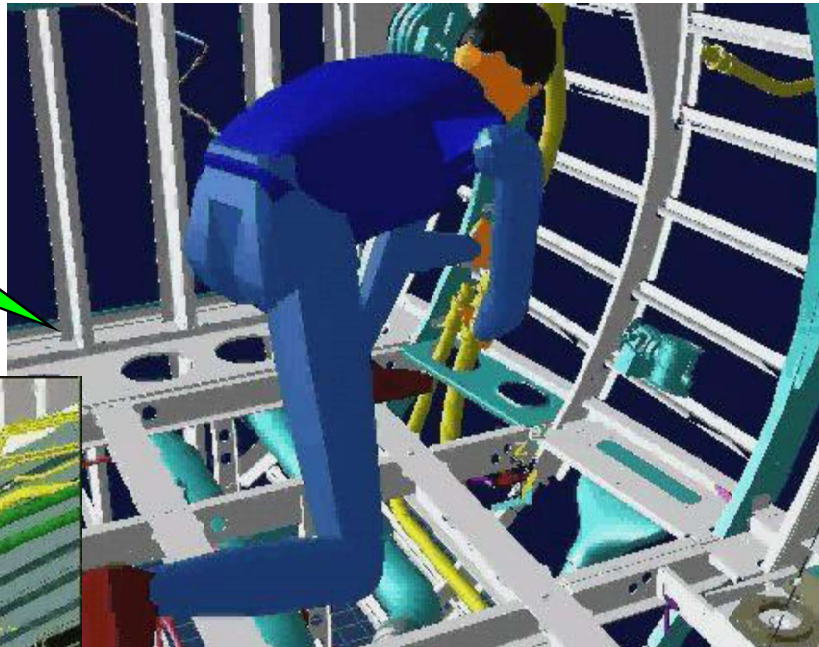
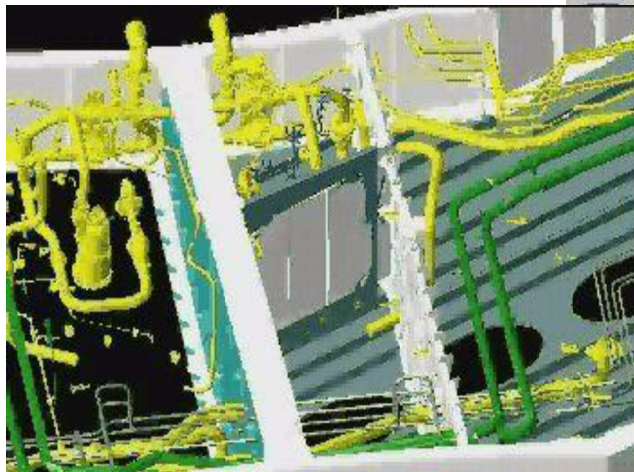
※ CATIA : 3次元CAD

デジタル・モックアップによる組立シミュレーション

➤ CATIA上で組立シミュレーションを実施し、作業性・整備性を事前検証。

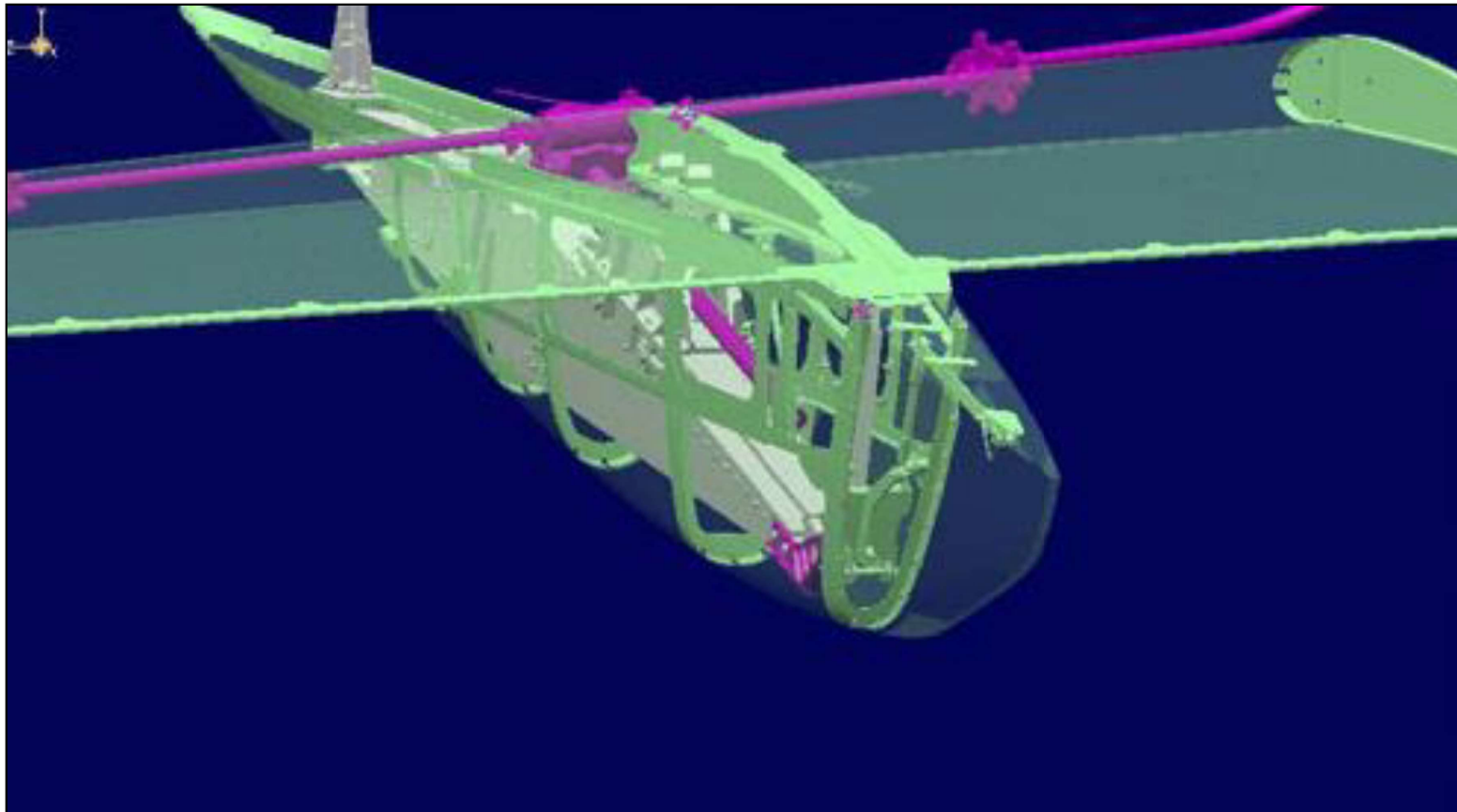
→ 実物モックアップの省略

最新データの大規模表示
部品の取付シミュレーション
人間配置してアクセス性確認



可動部の機構解析

- CATIA上で可動機構部（操縦舵面、脚、ドア等）の動的シミュレーションを実施。



まとめ

➤ 航空機の装備設計

- ✓ 多岐にわたる要素技術から構成され、多くの専門家による共同作業が必要。
(機械、電気・電子、配管・配線、熱流体、電磁気、人間工学、ソフトウェア、等)

➤ 安全性の追求

- ✓ 耐空性基準に適合するためには、30年以上に亘る運用中に想定される、いかなる状況下(機器の故障、ヒューマン・エラー、自然環境等の外的要因)においても、重大事故を発生させない安全性が要求される。

➤ 我が国の航空機産業の発展に向けて

- ✓ 全機レベルの開発機会が限られることから、我が国では構造設計に比べ装備設計技術者が圧倒的に不足。航空機産業の発展のためには、装備品メーカーを含め、システム分野の底上げが必須。(産官学の連携も必要)
- ✓ 機体メーカーとしては、以下の能力を獲得・継承していく必要あり。
 - ◆ 複数のシステムに跨る課題解決能力 (System Integration)
 - ◆ 構造・艀装の同時設計における課題解決能力 (Volume Integration)
- ✓ 裾野の広い要素技術(素材、自動車、家電、等)の蓄積を生かし、日本ならではの付加価値を創造、製品競争力を強化。