

名大BP講座-油圧システム設計

『航空装備システム』 主操縦システム用アクチュエータ

ナブテスコ株式会社
航空宇宙カンパニー 技術部
田中 成人

2020年11月28日



ナブテスコって、ナンデスコ？

うごかす、とめる。
Nabtesco

あらゆるものを、
「うごかし」「とめて」世の中に貢献する
モーションコントロール技術



当社の概要と沿革

設立

2003年9月29日

所在地

東京都千代田区平河町二丁目7番9号

資本金

100億円

代表者

代表取締役社長 寺本 克弘

従業員数*

単体 2,323名 連結 7,736名 (2019年12月末)

連結会社数*

国内：14社(他持分法適用会社：4社)
海外：46社(他持分法適用会社：5社)

Nabtesco

2004年10月 事業統合完了

TEIJIN SEIKI

帝人製機株式会社 1944年設立

2002年11月

経営統合に関する基本合意

2003年9月

ナブテスコ設立(純粋持株会社)

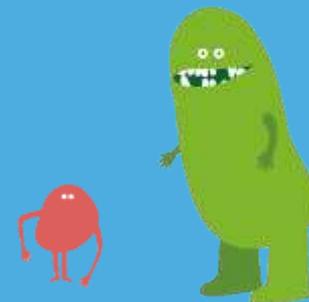
NABCO

株式会社ナブコ 1925年設立
(旧日本エヤーブレーキ株式会社)

合併して
誕生しました



Aerospace Company



飛行制御用油圧アクチュエータ/ 油圧部品



電源関連 / 電動アクチュエータ



エンジン・ 燃料関連機器



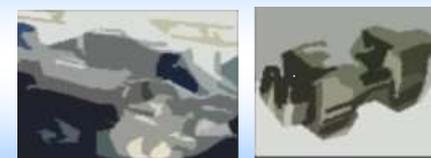
油圧関連



電動モーションコントロール



熱交換関連



1. 主操縦システム

2. 技術と歴史

3. アクチュエータの作動原理と設計

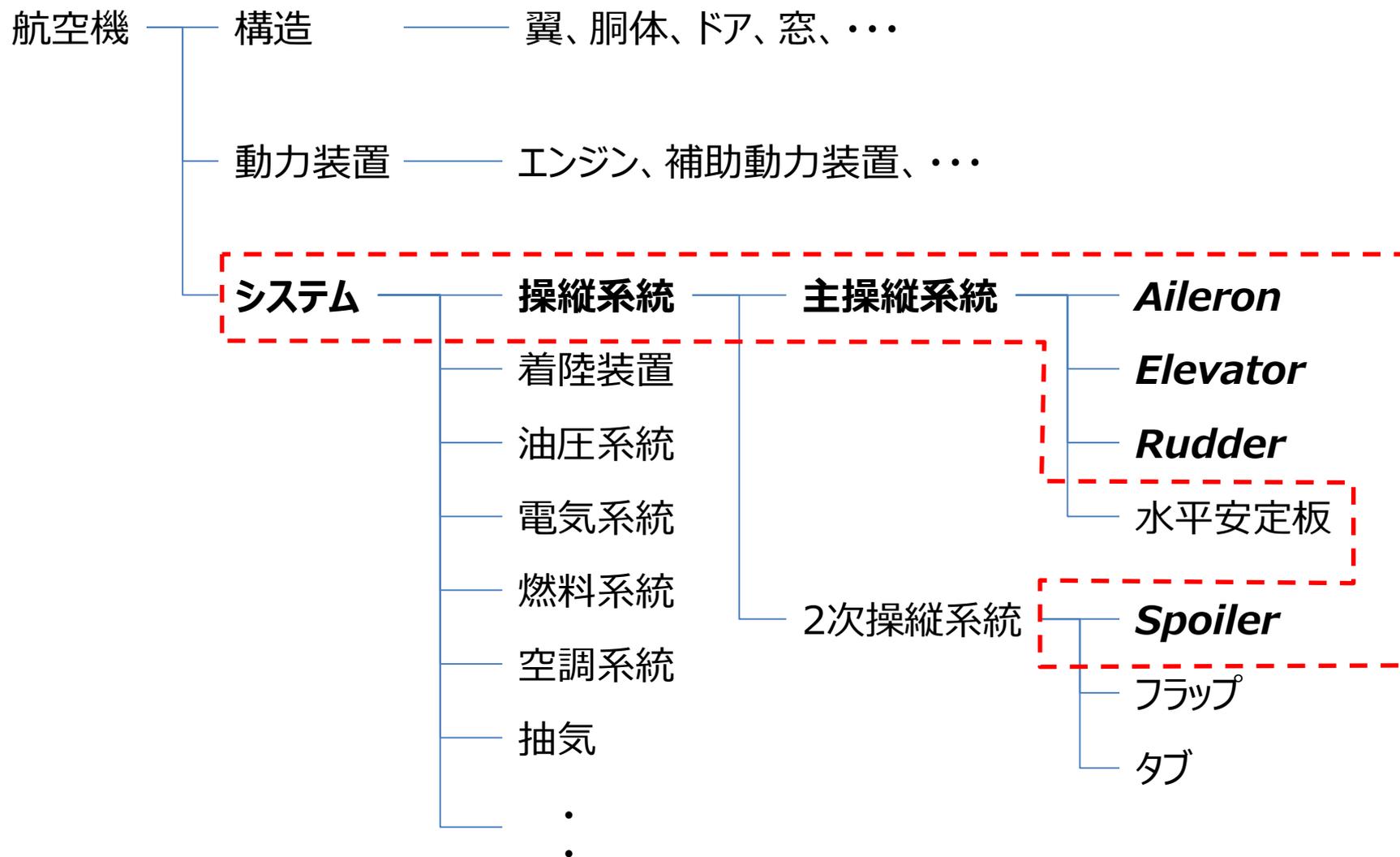
4. アクチュエータの開発

5. 今後の動向と課題



1. 主操縦システム

1. 主操縦システム



1. 主操縦システム

■ フライトコントロールシステムの役割

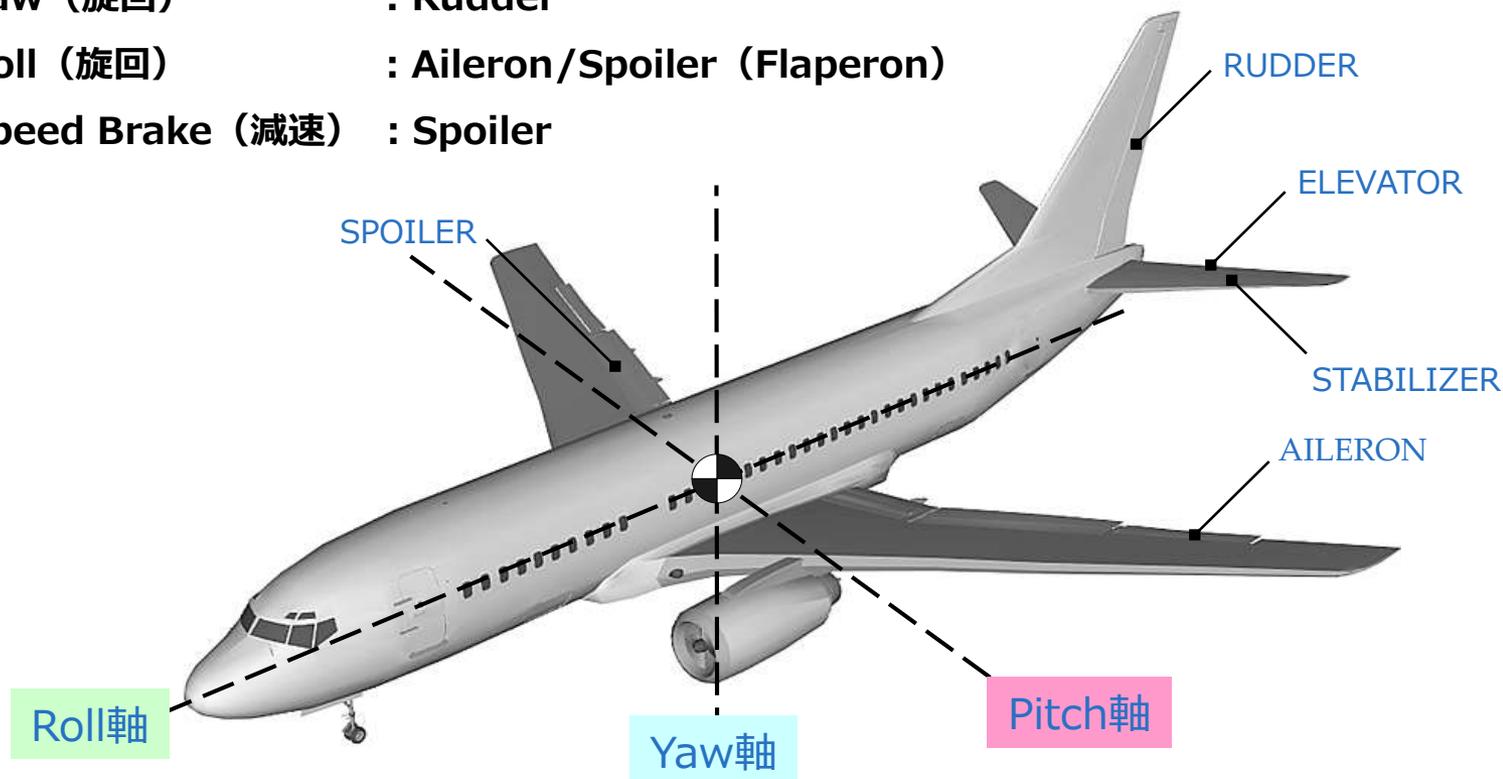
(Primary Flight Control System 舵面構成と用途)

Pitch (上昇/下降) : Elevator/Stabilizer

Yaw (旋回) : Rudder

Roll (旋回) : Aileron/Spoiler (Flaperon)

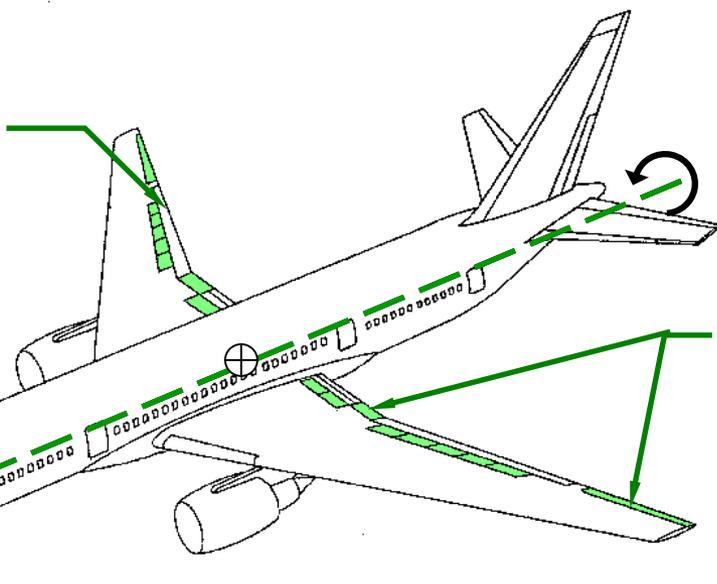
Speed Brake (減速) : Spoiler



1. 主操縦システム

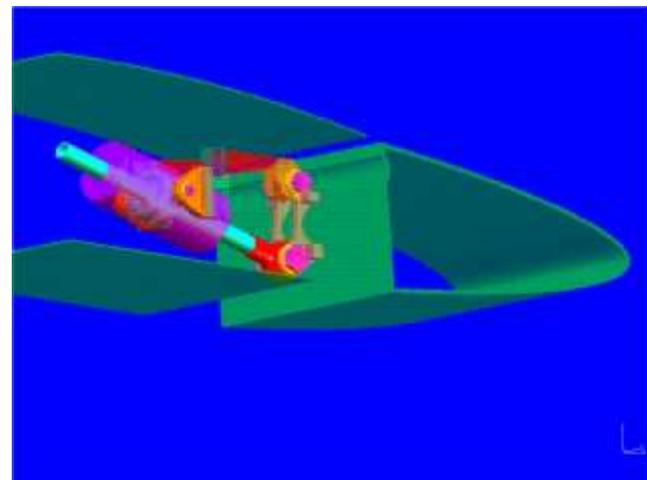
飛行舵面構成と用途

Spoiler
舵面



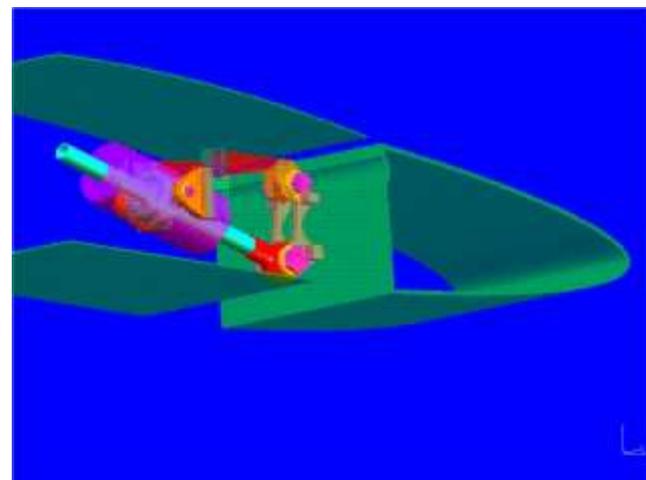
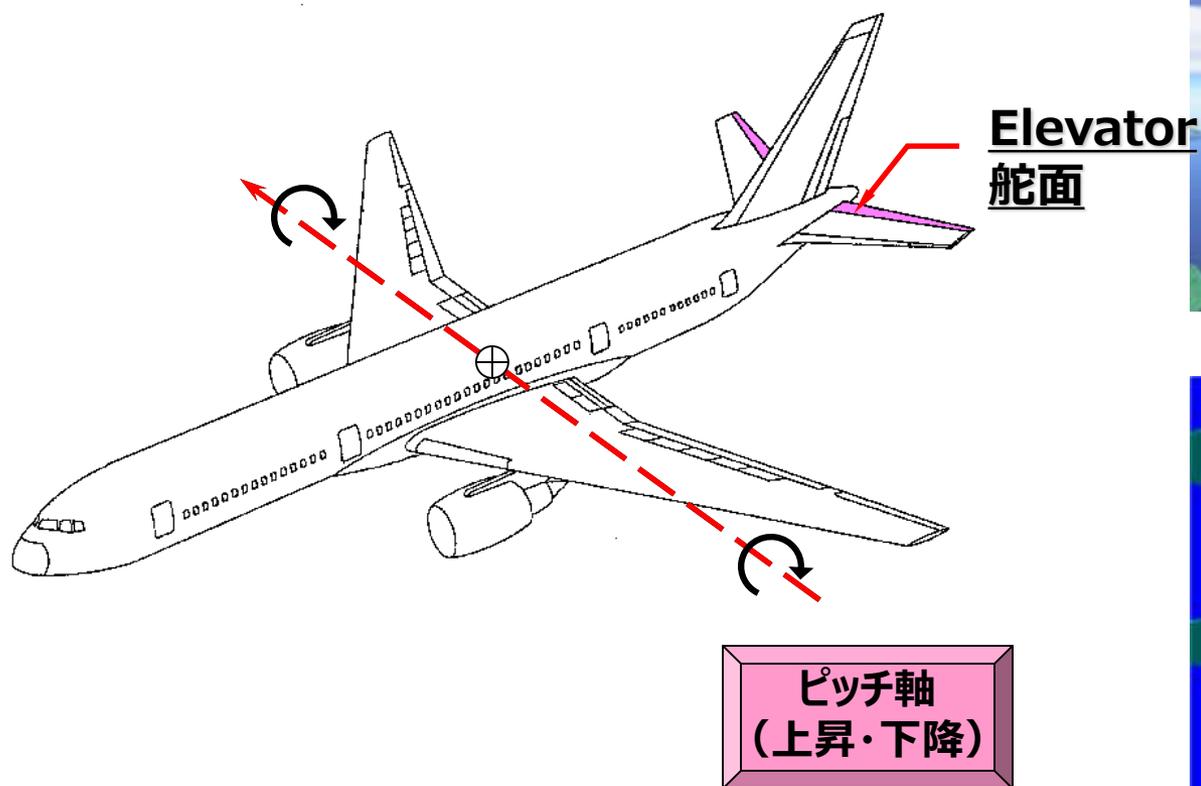
Aileron
舵面

ロール軸
(旋回)



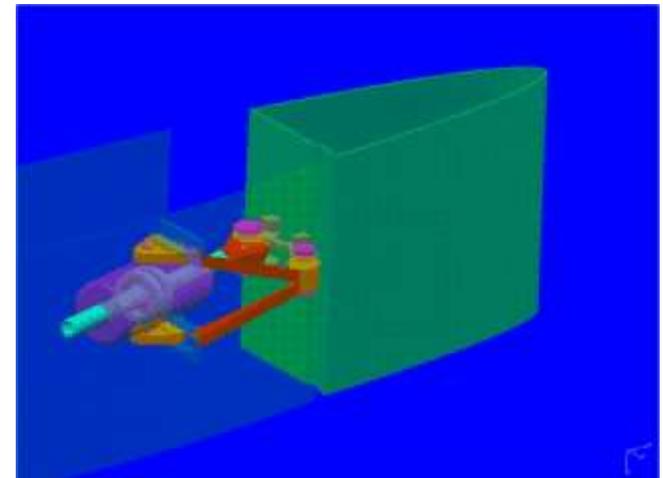
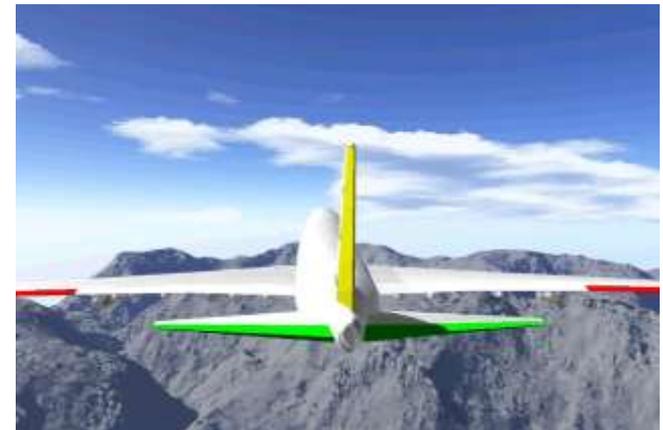
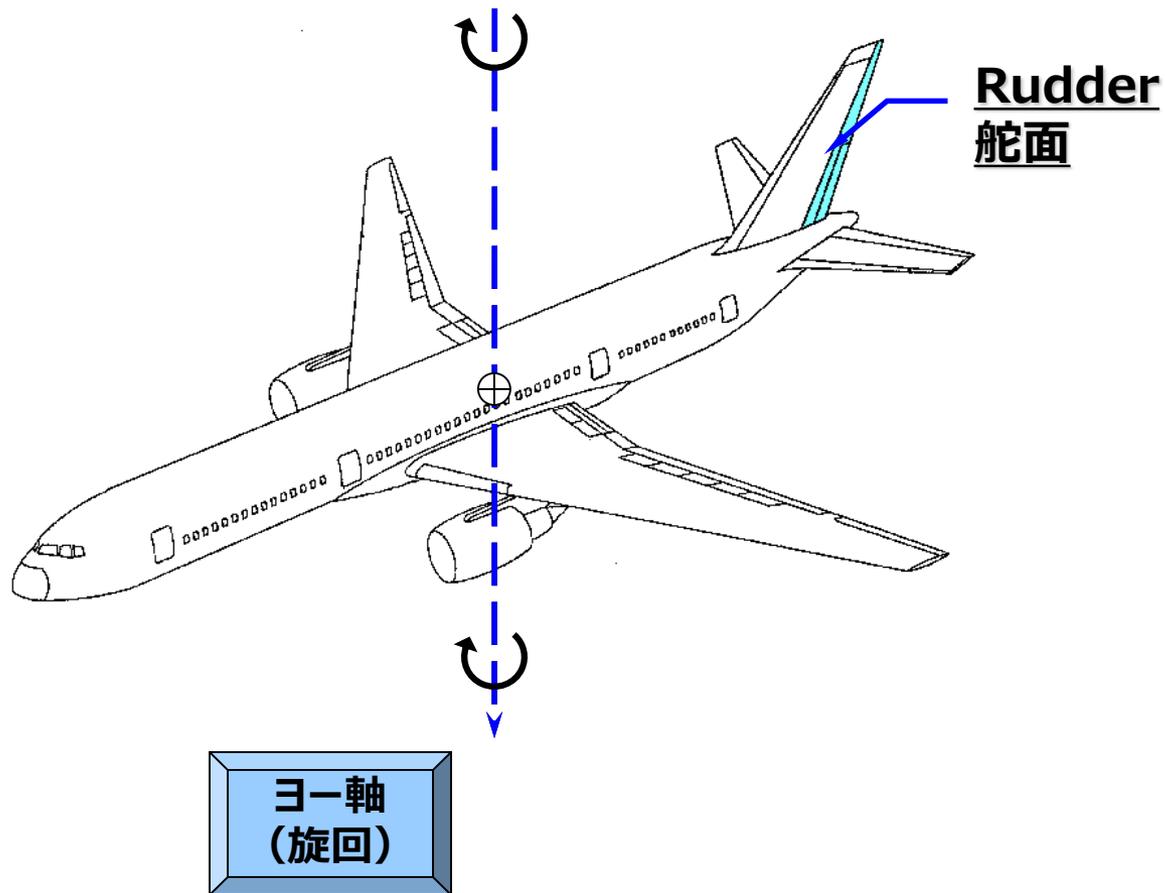
1. 主操縦システム

飛行舵面構成と用途



1. 主操縦システム

飛行舵面構成と用途



2. 技術と歴史

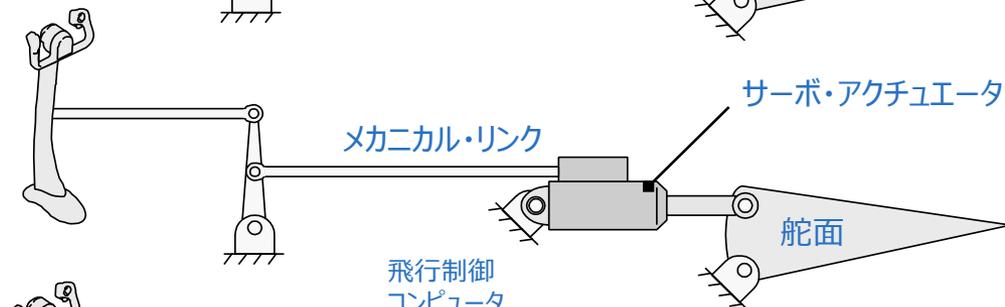
主操縦システムの変遷

メカニカル方式

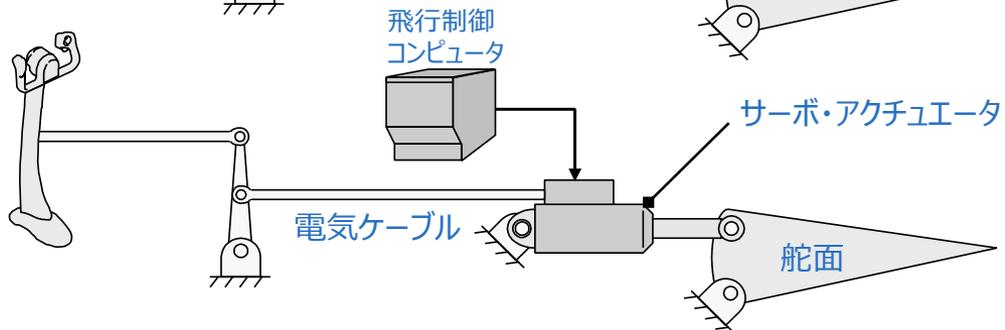
人力制御方式



油圧サーボ方式



加算方式

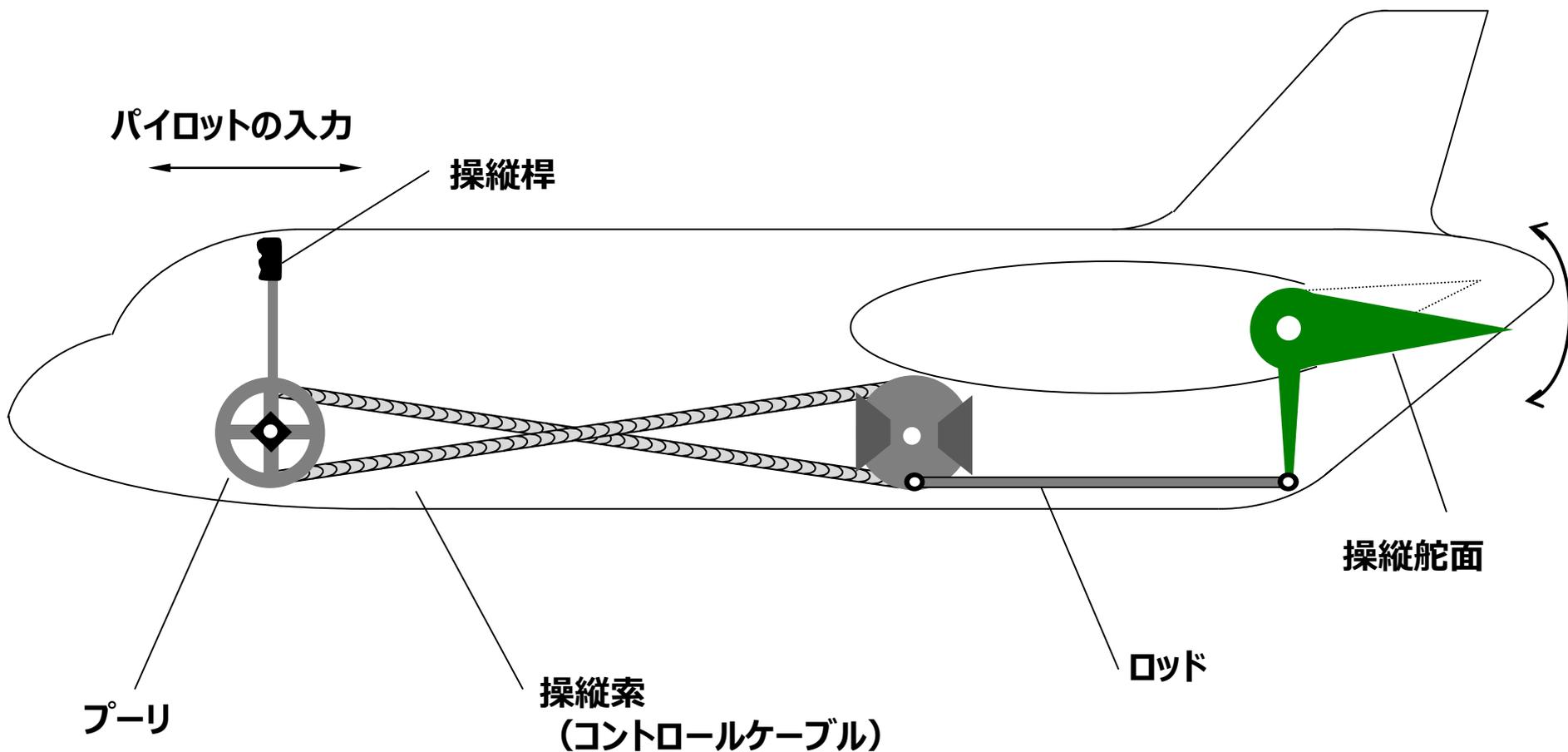


Fly By Wire方式

大型化
コンピュータ制御化
(乗りごちが良い)

主操縦システムの変遷

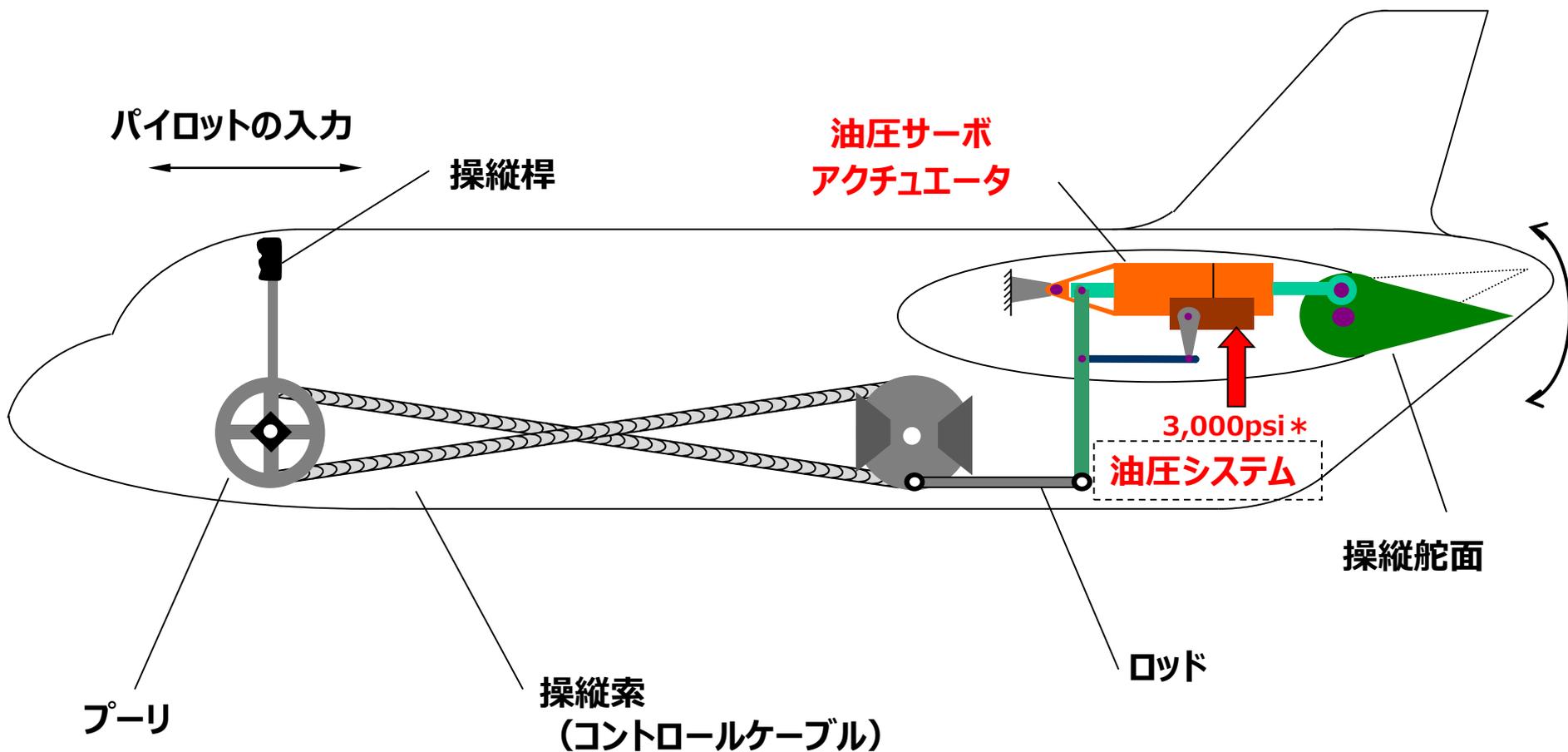
(1) 人力式舵面制御



2. 技術と歴史

主操縦システムの変遷

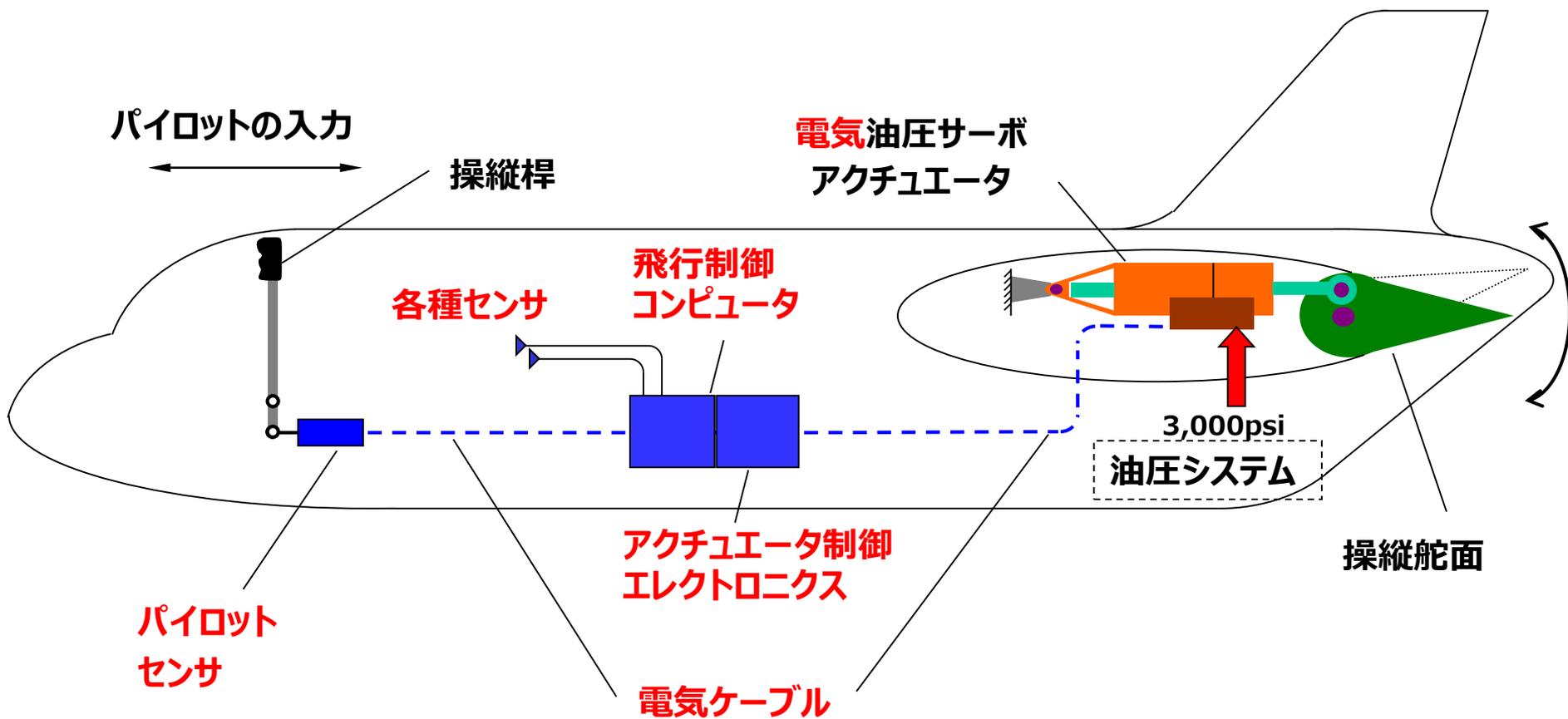
(2) 油圧サーボ式舵面制御 - メカニカル入力方式



*約210kg/cm²

主操縦システムの変遷

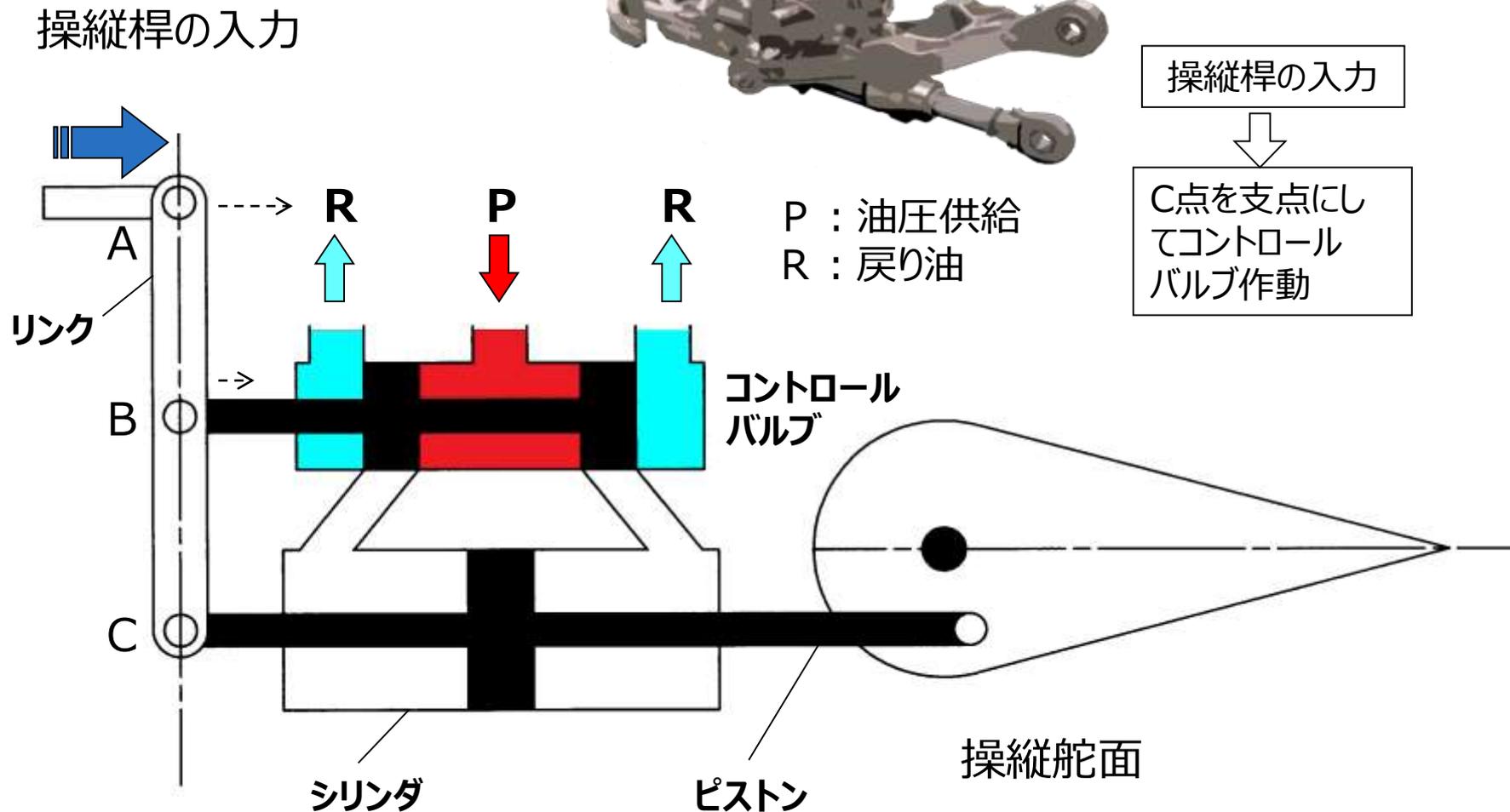
(3) 電気油圧サーボ式舵面制御 - Fly By Wire (FBW) 方式



3. アクチュエータの作動原理と設計

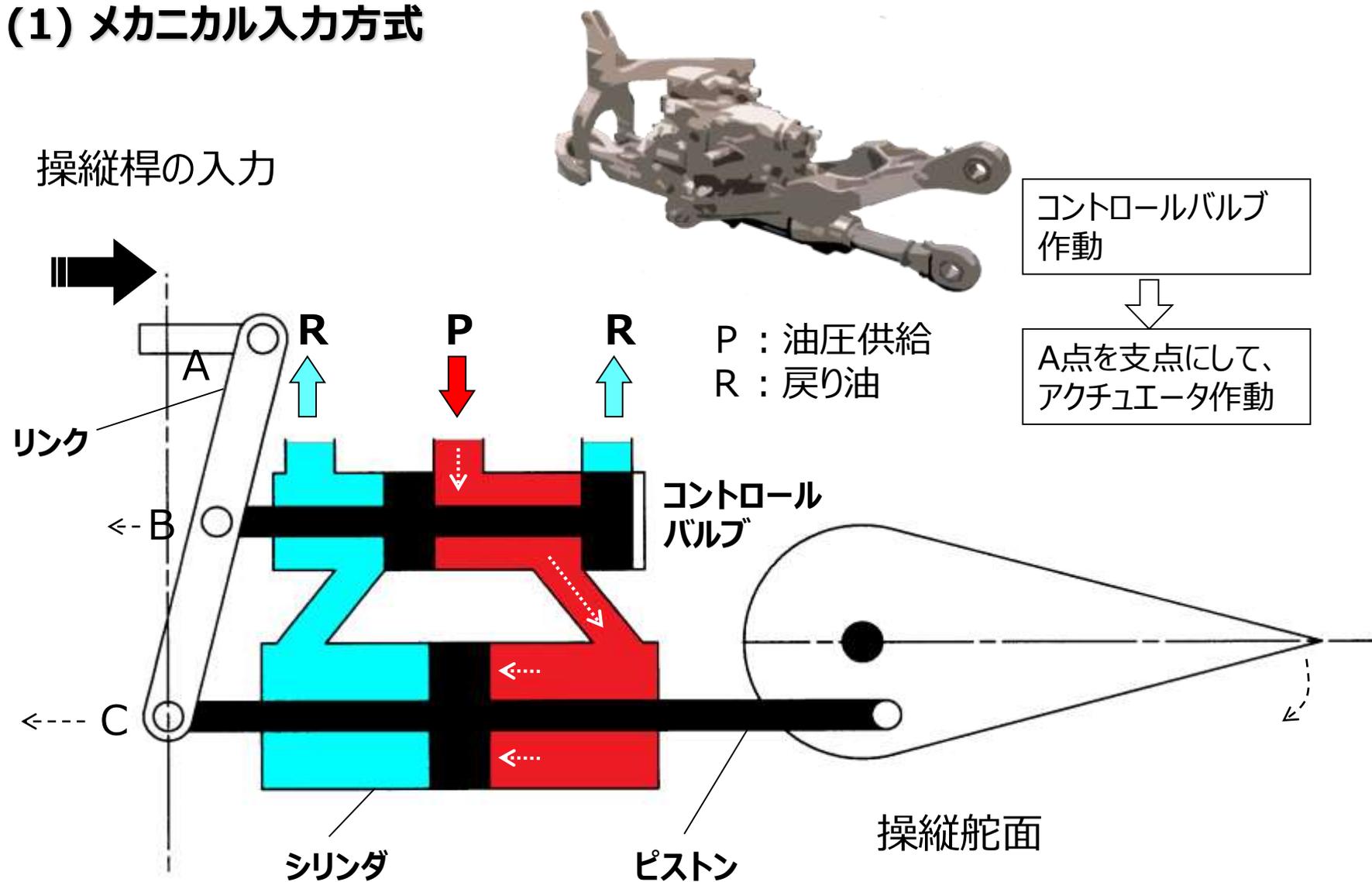
3. アクチュエータの作動原理と設計

(1) メカニカル入力方式



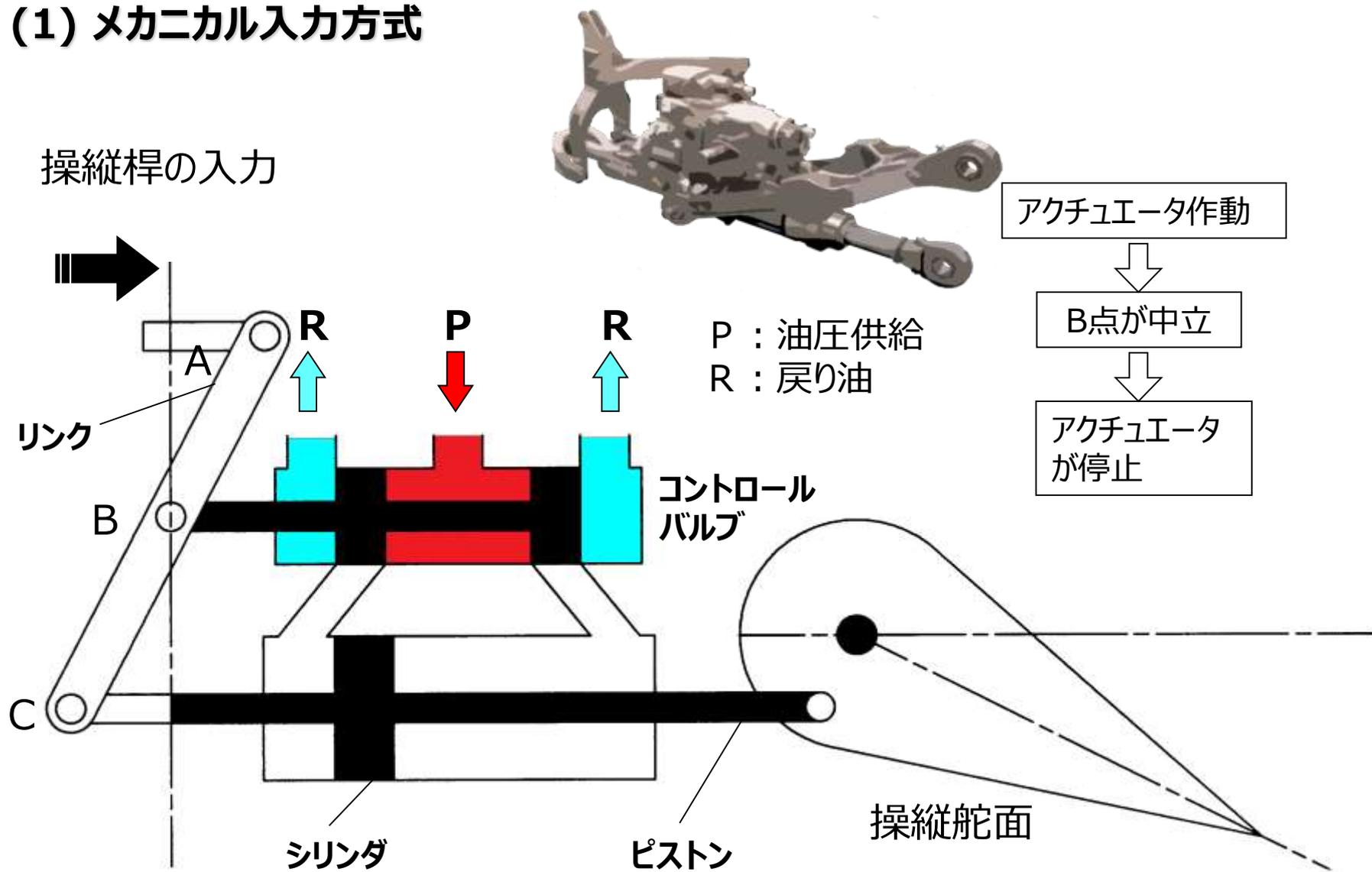
3. アクチュエータの作動原理と設計

(1) メカニカル入力方式



3. アクチュエータの作動原理と設計

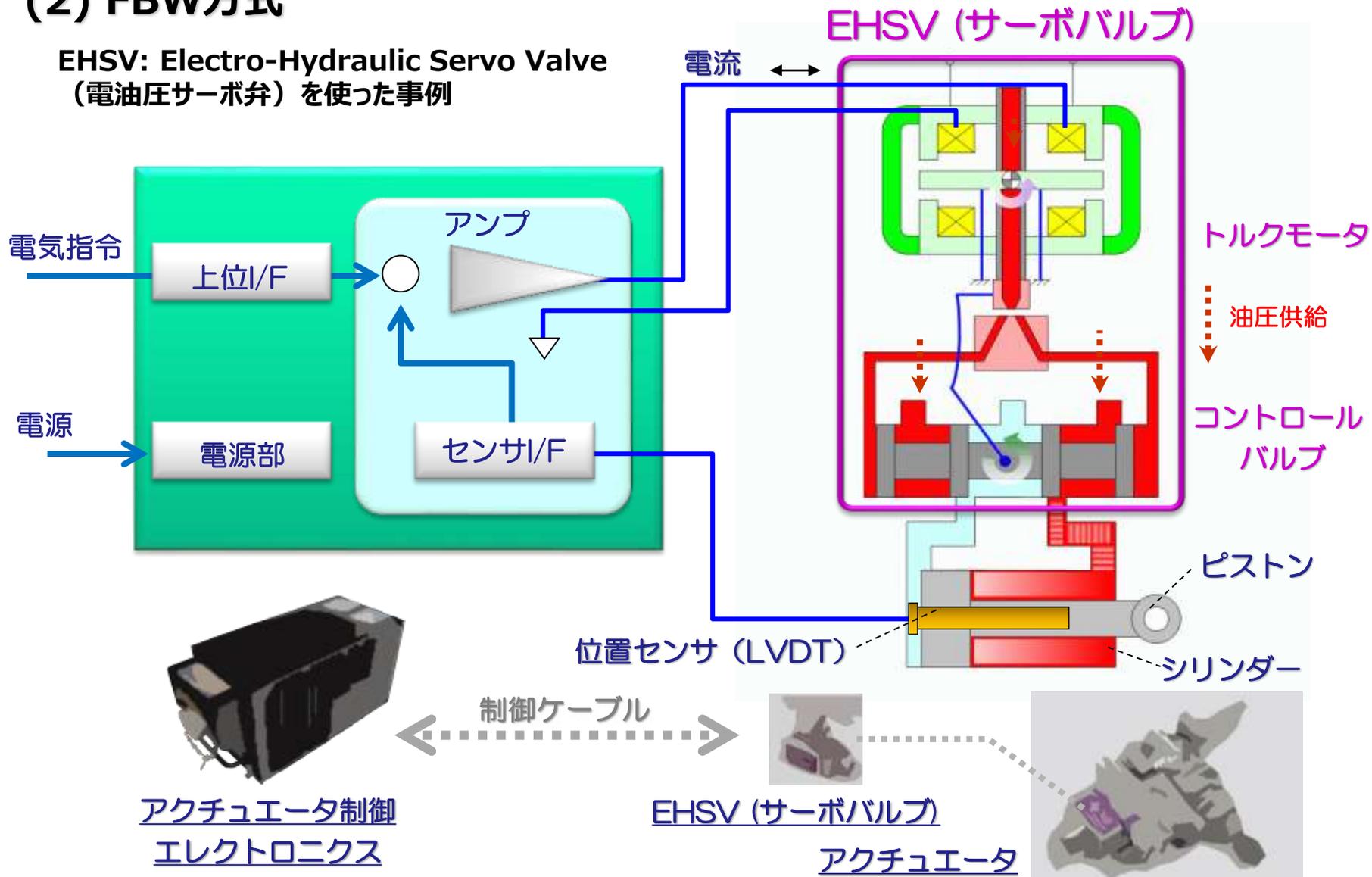
(1) メカニカル入力方式



3. アクチュエータの作動原理と設計

(2) FBW方式

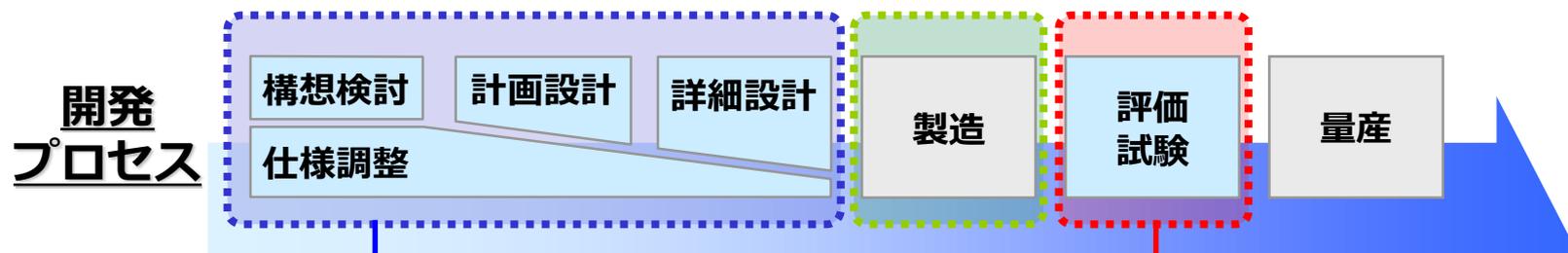
EHSV: Electro-Hydraulic Servo Valve
(電油圧サーボ弁) を使った事例



4. アクチュエータの開発

- **開発の流れ**
- **安全性設計**

製品開発の流れ



- 顧客との仕様調整
- 設計及び設計検証文書の作成
(図面、試験要領書、試験報告書)
- 解析文書の作成
(安全性, 強度, 性能)
- 性能、耐久性、環境性確認試験
- 品質確認試験報告書の作成

認証用書類

4. アクチュエータの開発

- 開発の流れ
- **安全性設計**

4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

信頼性と安全性の違い

信頼性 : 製品が故障しない確率

安全性 : 製品の故障が原因で、**人命に関わる事故が発生しない確率**

航空機の安全性要求

- 各国航空局が規定
- 全ての民間航空機、およびその装備品は、安全性要求に準拠した設計を実施、航空局の認証取得が義務付けられている（認証無しには飛行不可）

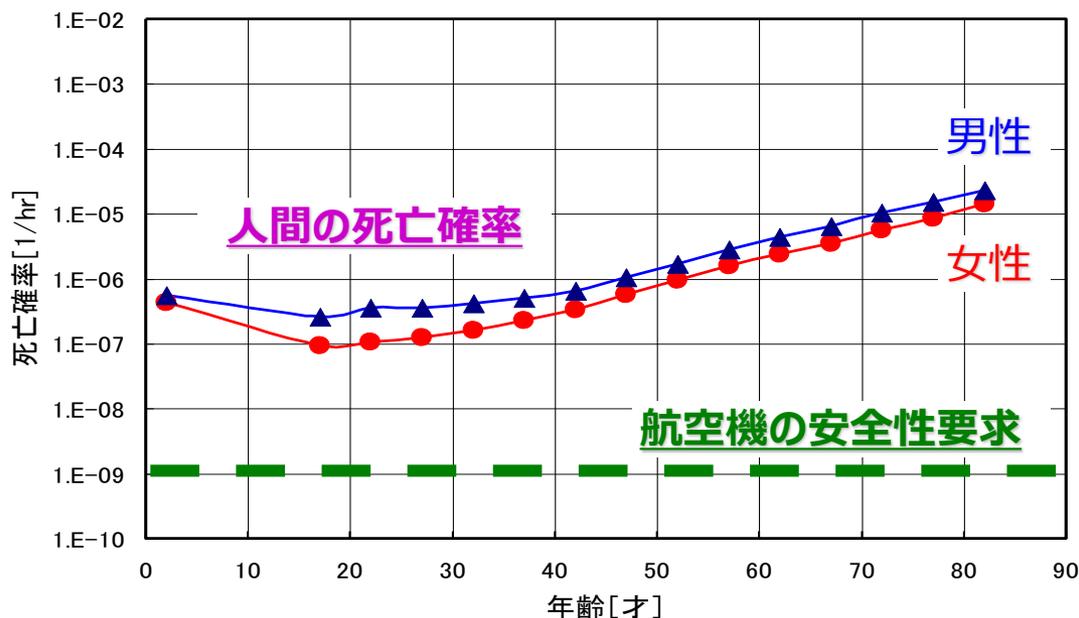
	航空局	規定
米国	連邦航空局 (Federal Aviation Administration)	Federal Aviation Regulations Part 21: 認証方法 Part 25 (23) : 大型 (小型) 機耐空性要求
欧州	欧州航空安全局 (European Aviation Safety Agency)	Certification Specifications AMC21: 認証方法 CS-25 (23) : 大型 (小型) 機耐空性要求
日本	国土交通省航空局 (Japan Civil Aviation Bureau)	航空法 (Civil Aeronautics Regulations) 第3章 : 航空機の安全性 (耐空性審査要領)

4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

操縦系統に関する機体レベルの安全性要求

- 1つの故障： 機体が制御不能に陥らないこと
- 全ての故障の組合せ： 機体が制御不能に陥る故障の発生は「極めてまれ」（10億時間に1回以下）なこと

年齢別の死亡確率と航空機安全性要求との比較



厳しい安全性要求

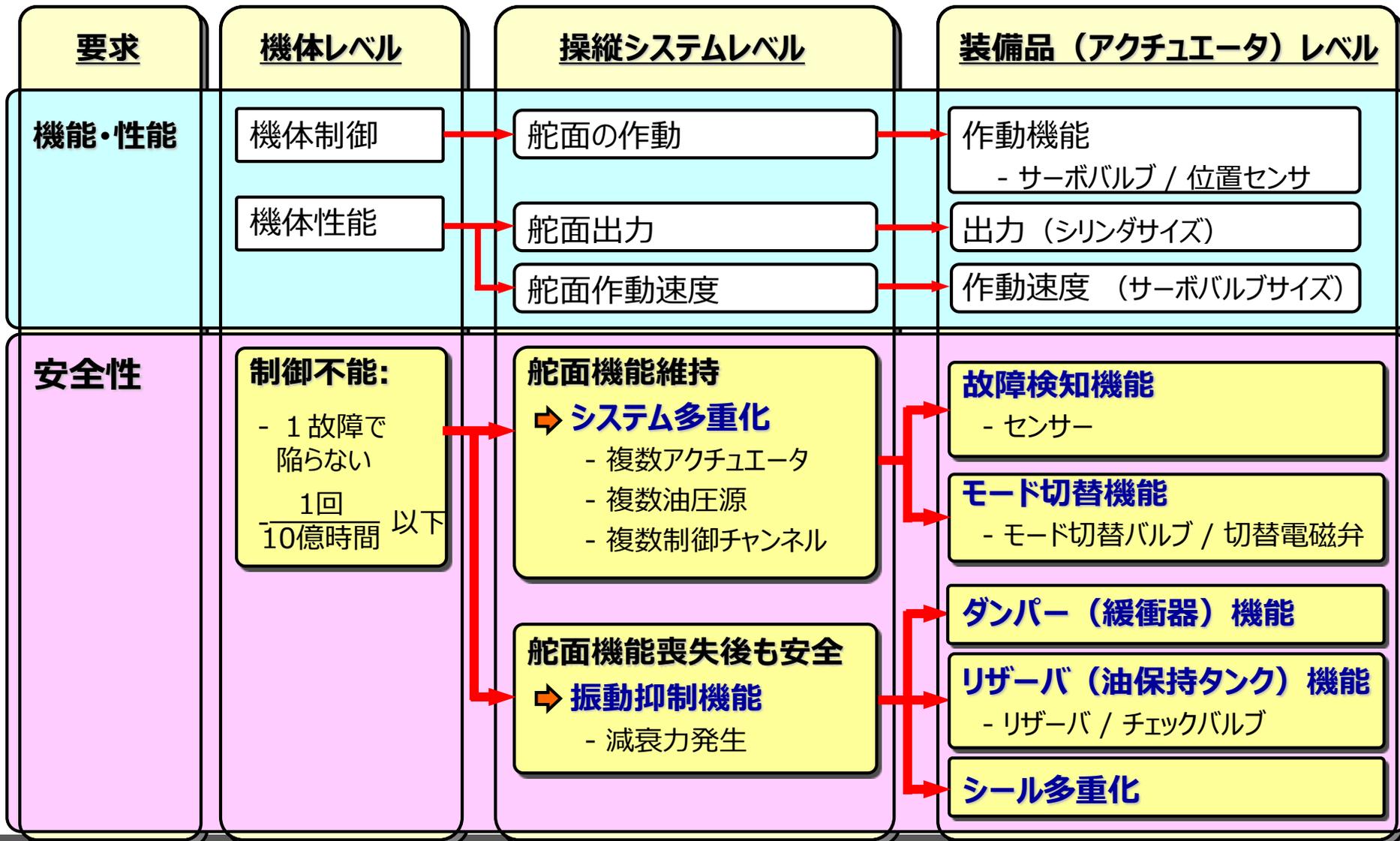


設計へのフローダウンで達成

- システム構成の多重化
- 装備品部品構成、設計の選定

4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性要求の操縦システム、装備品設計へのフローダウン（1 / 3）



4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性要求の操縦システム、装備品設計へのフローダウン（2 / 3）

機体レベル

- 安全性要求：
- 1つの故障で機体が制御不能に陥らない
 - 機体が制御不能に陥る故障の発生は 10億時間に1回以下

操縦システムレベル

安全性要求： 舵面機能維持

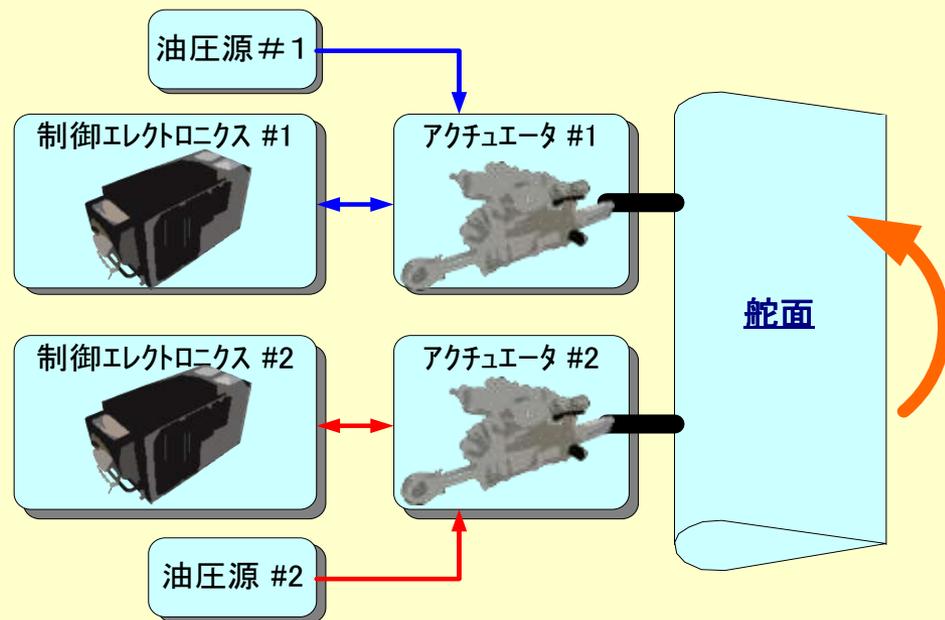
➡ システム多重化により実現

➤ アクチュエータ

- Elevator/Aileron : 2台/舵面
- Rudder : 3台/舵面

➤ 油圧源 / 制御チャンネル

- 油圧源 : 3系統
- 制御チャンネル : 4チャンネル



4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性要求の操縦システム、装備品設計へのフローダウン (3 / 3)

操縦システムレベル

- 安全性要求：
- 1. 舵面機能維持
 - 2. 舵面機能喪失後も安全
- ➡ システム多重化
- ➡ 舵面振動抑制機能

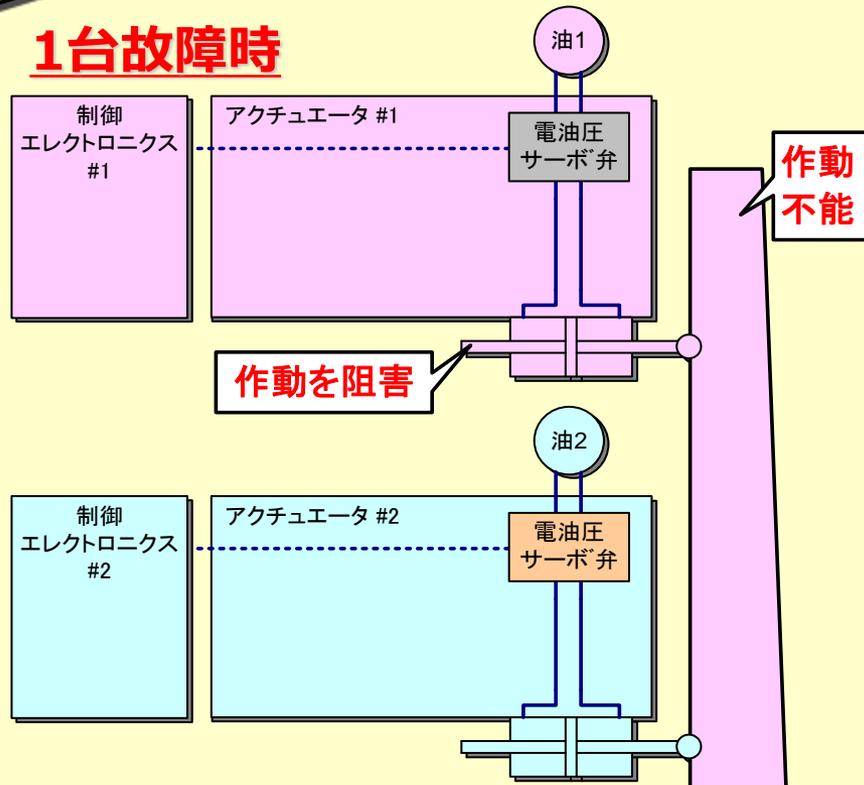
装備品 (アクチュエータ) レベル

多重化のみ実施した場合：
一台故障で舵面機能喪失 (多重化効果無)

アクチュエータ作動モードと舵面への影響

	アクチュエータ作動モード		舵面作動
	# 1	# 2	
全正常時	正常	正常	正常作動
1台故障時	故障	正常	作動不能 (機能喪失)
全故障時	故障	故障	作動不能

1台故障時



4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性要求の操縦システム、装備品設計へのフローダウン (3 / 3)

操縦システムレベル

- 安全性要求 :
- 1. 舵面機能維持
 - 2. 舵面機能喪失後も安全
- ➡ システム多重化
- ➡ 舵面振動抑制機能

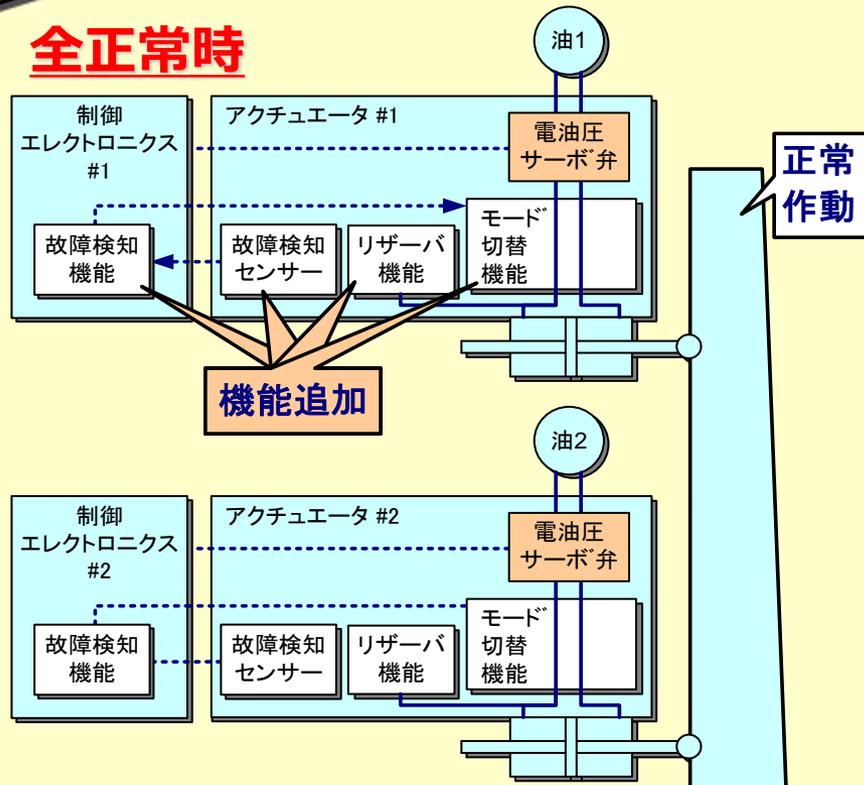
装備品 (アクチュエータ) レベル

- 機能要求 :
- 1. 故障検知 + 切替機能
 - 2. ダンパー + リザーバ機能

アクチュエータ作動モードと舵面への影響

	アクチュエータ作動モード		舵面作動
	# 1	# 2	
全正常時	正常	正常	正常作動
1台故障時	従属 (ダンパー)	正常	正常作動
全故障時	従属 (ダンパー)	従属 (ダンパー)	作動不能

全正常時



4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性要求の操縦システム、装備品設計へのフローダウン (3 / 3)

操縦システムレベル

- 安全性要求 :
- 1. 舵面機能維持
 - 2. 舵面機能喪失後も安全
- ➡ システム多重化
- ➡ 舵面振動抑制機能

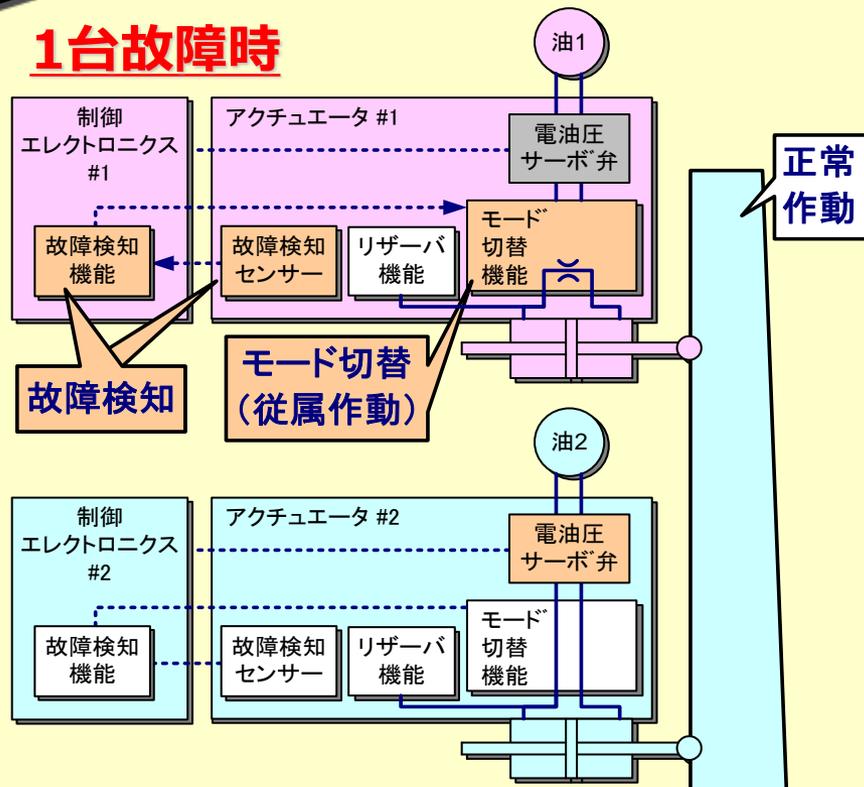
装備品 (アクチュエータ) レベル

- 機能要求 :
- 1. 故障検知 + 切替機能
 - 2. ダンパー + リザーバ機能

アクチュエータ作動モードと舵面への影響

	アクチュエータ作動モード		舵面作動
	# 1	# 2	
全正常時	正常	正常	正常作動
1台故障時	従属 (ダンパー)	正常	正常作動 (機能維持)
全故障時	従属 (ダンパー)	従属 (ダンパー)	作動不能

1台故障時



4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性要求の操縦システム、装備品設計へのフローダウン (3 / 3)

操縦システムレベル

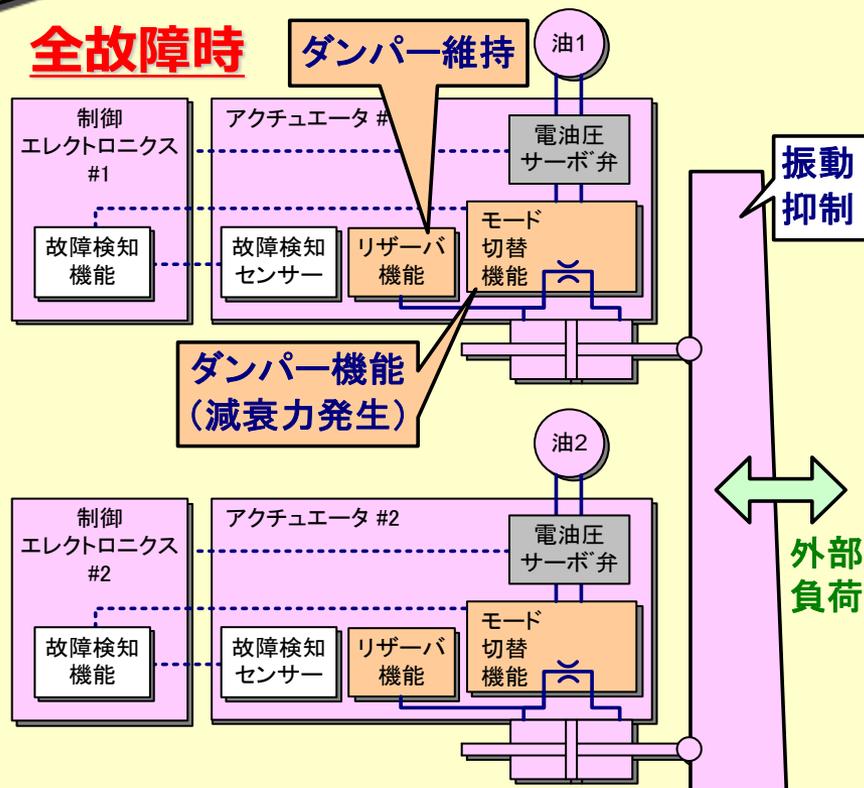
- 安全性要求 :
- 1. 舵面機能維持
 - 2. 舵面機能喪失後も安全
- ➡ システム多重化
- ➡ 舵面振動抑制機能

装備品 (アクチュエータ) レベル

- 機能要求 :
- 1. 故障検知 + 切替機能
 - 2. ダンパー + リザーバ機能

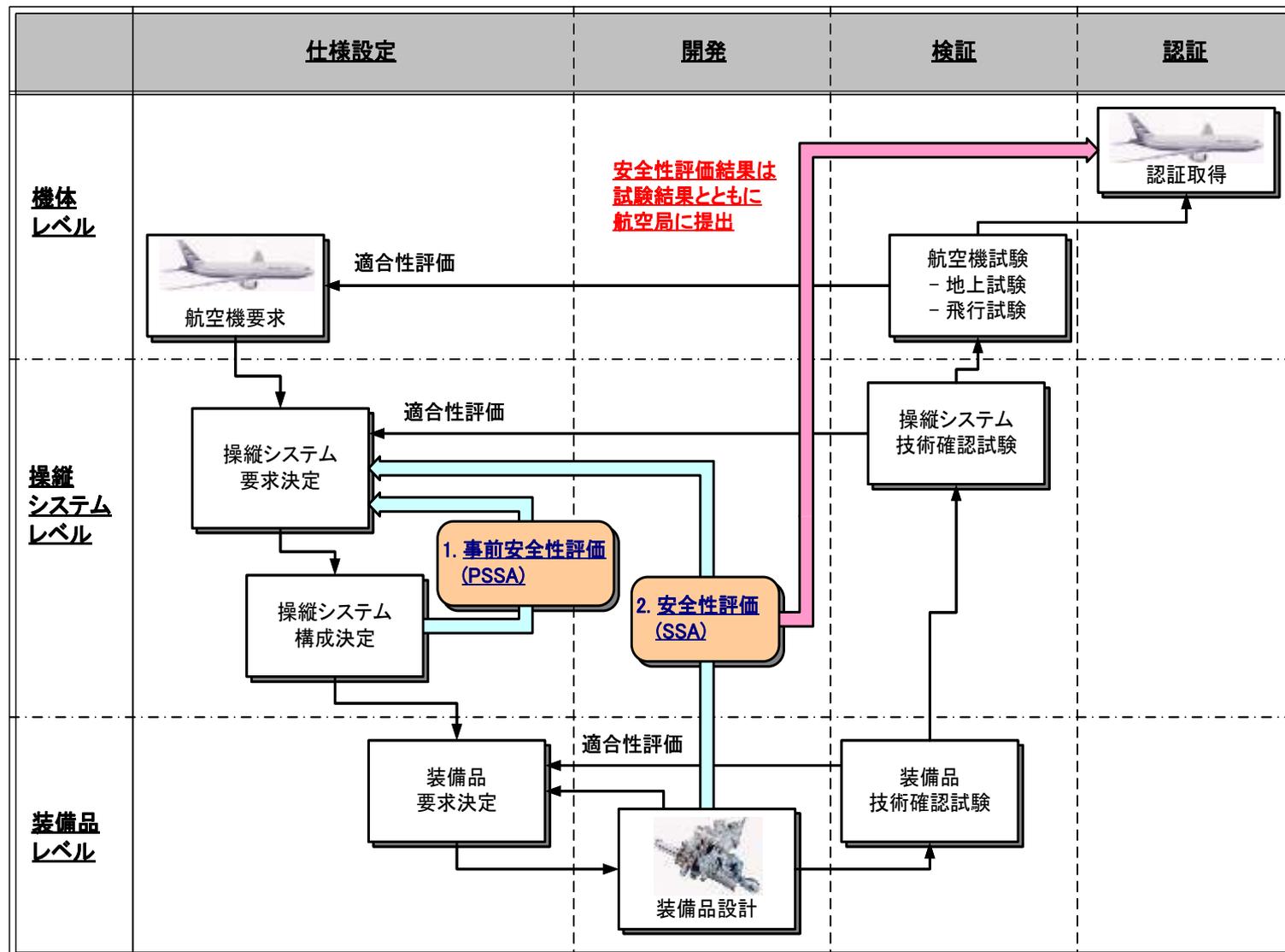
アクチュエータ作動モードと舵面への影響

	アクチュエータ作動モード		舵面作動
	# 1	# 2	
全正常時	正常	正常	正常作動
1台故障時	従属 (ダンパー)	正常	正常作動
全故障時	従属 (ダンパー)	従属 (ダンパー)	作動不能 (振動抑制)



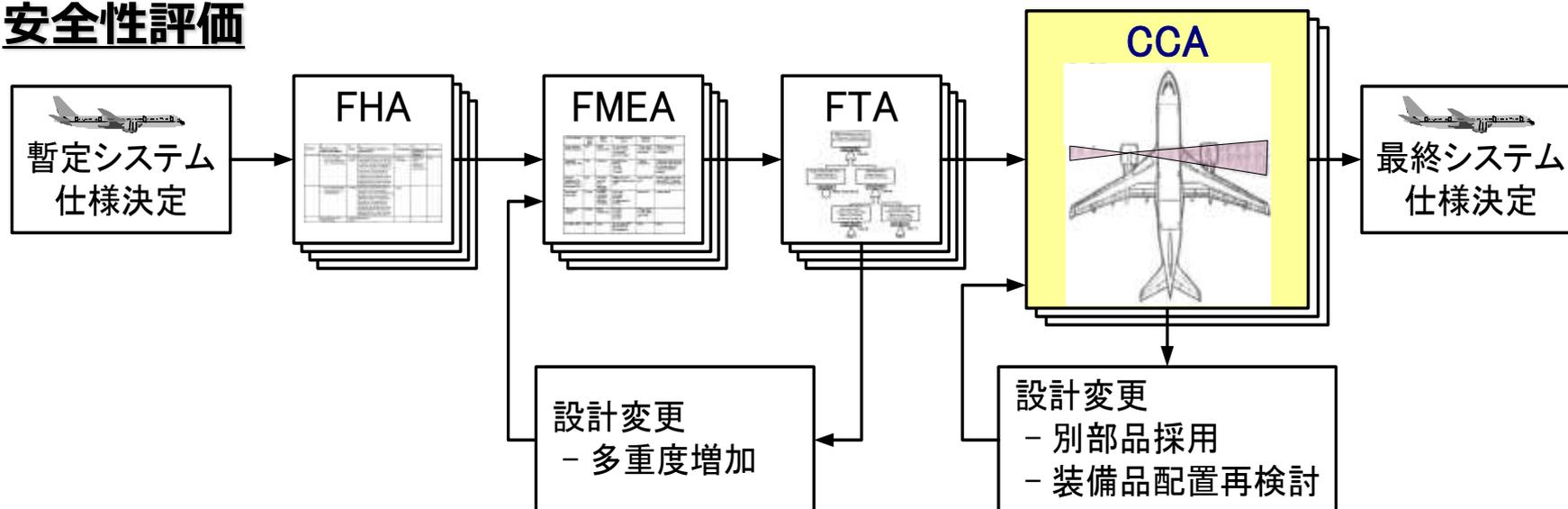
4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

航空機の開発プロセスにおける安全性評価



4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

安全性評価



FHA: Functional Hazard Analysis

機体に及ぼす影響度に応じて、各舵面機能の故障に発生確率要求を設定

FMEA: Failure Mode and Effect Analysis

各構成部品の故障の影響を評価し、各舵面機能に影響する故障モードを抽出

FTA: Fault Tree Analysis

各舵面機能の故障確率を算出し、FHA で設定した確率要求に対して評価

CCA: Common Cause Analysis

多重化したシステムの機能が、1つの要因により喪失する条件がない事を確認

- エンジン爆発時、飛散した破片による複数油圧システムの喪失
- プログラムのエラーにより、全ての制御チャンネルが喪失 等

安全性に関する設計のまとめ

- 民間航空機には厳しい安全性要求 ($\frac{1\text{回}}{10\text{億時間}}$ 以下) が規定されている
- 機体の安全性要求がフローダウンされ、操縦システム、装備品の設計が決定
- 航空機の安全性評価には、特徴的な手法 (CCA) が用いられる

5. 今後の動向と課題

主操縦用アクチュエータの最新技術

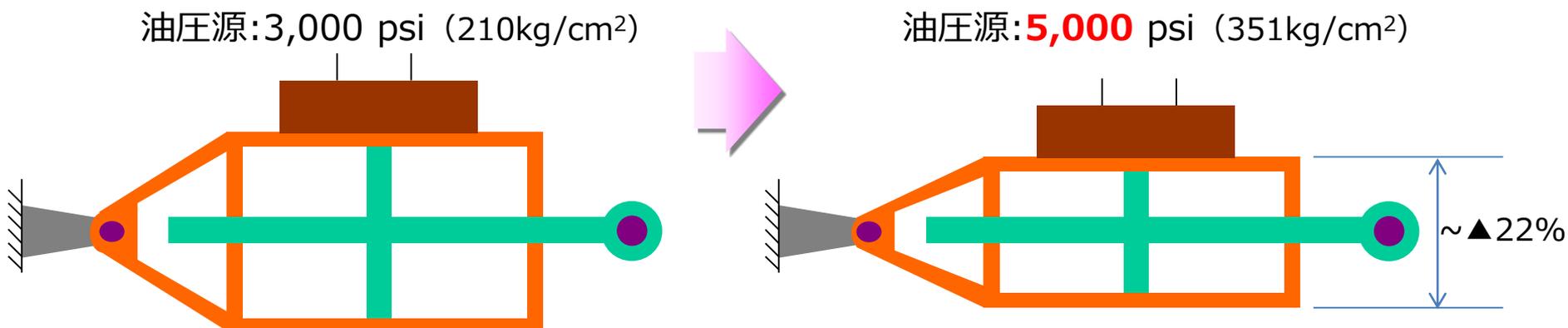
(1) 高圧化

(2) 分散制御化

(3) 電動化

5. 今後の動向と課題

(1) 高圧化



メリット :

- アクチュエータサイズ ↓
- アクチュエータ重量 ↓
- 油圧システムの重量*1 ↓

デメリット :

- アクチュエータコスト ↑
- 油圧システムコスト ↑
- エアライン設備投資*2 ↑

燃費向上 =
運用コスト ↓

初期費用 ↑

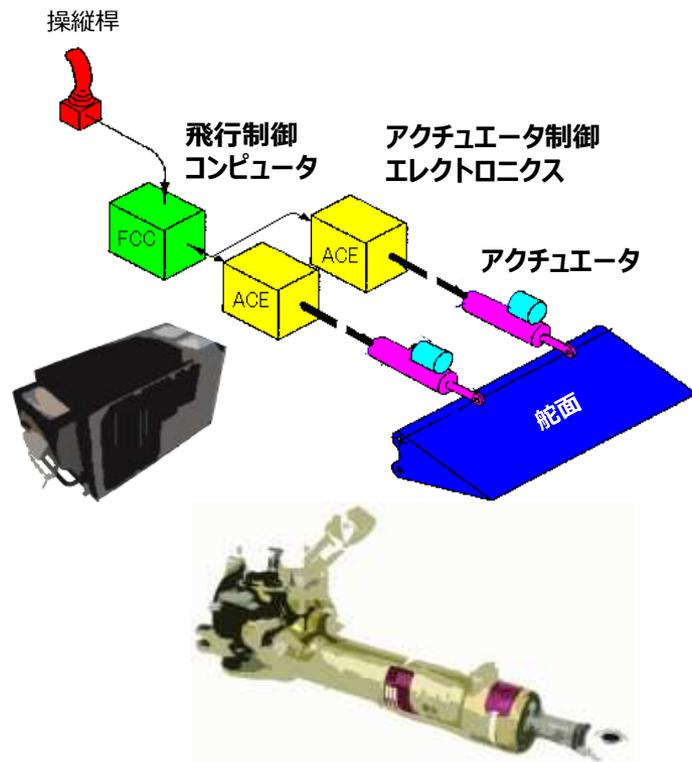
機体レベルでの
定量評価が必要
※大型機ほど効果大

例) B787, A380, A350

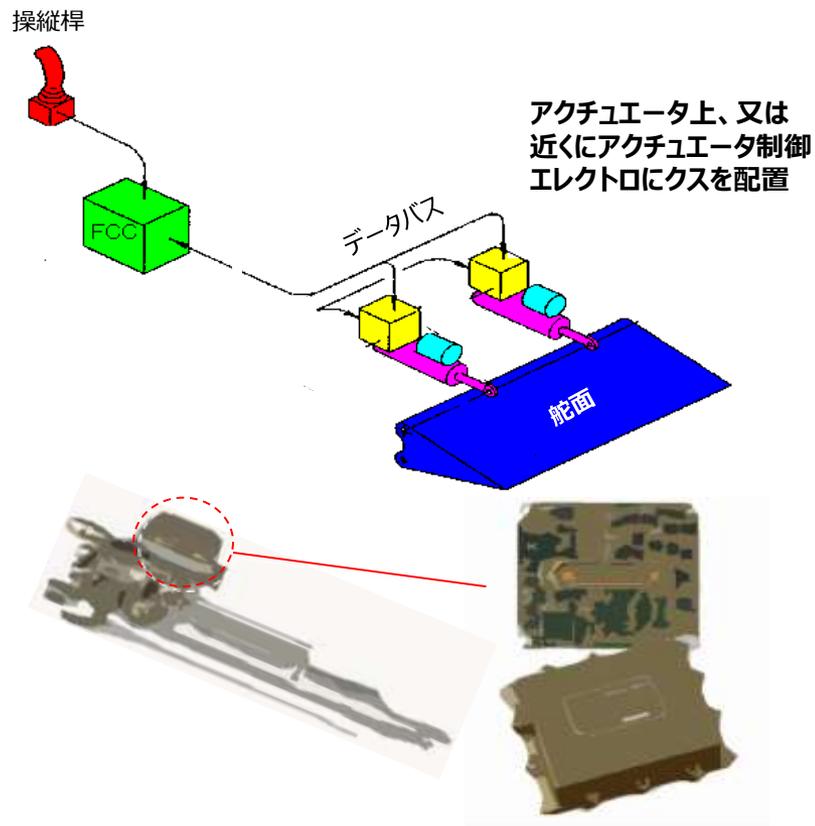
*1 配管、作動油量

*2 新規地上試験設備

(2) 分散制御化



集中制御



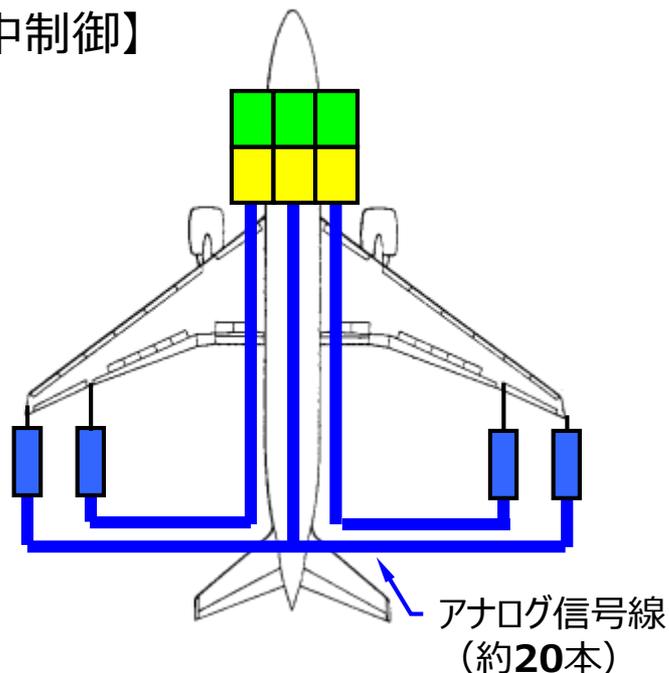
Remote Electronics Unit

分散制御

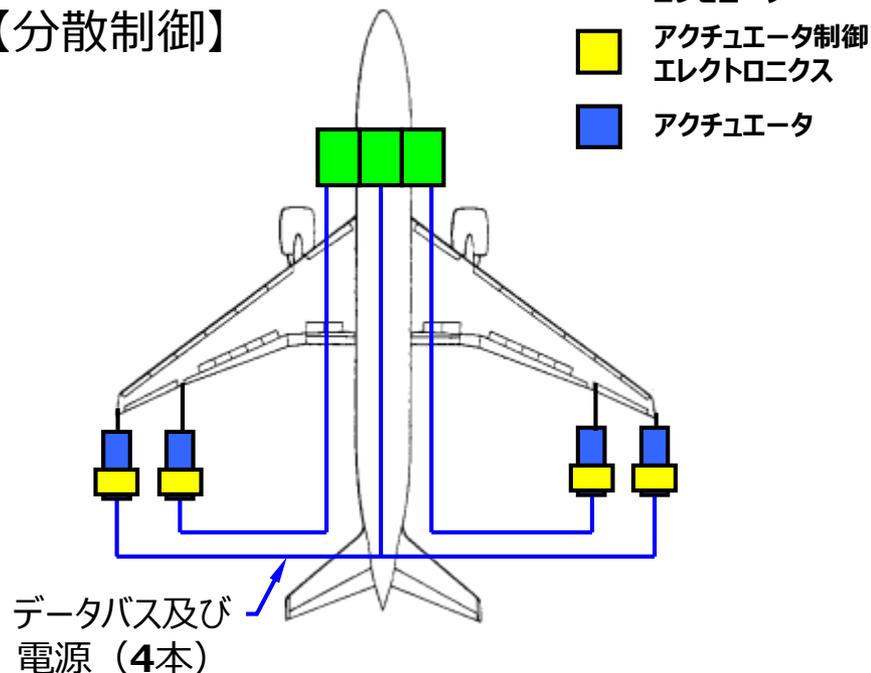
5. 今後の動向と課題

(2) 分散制御化

【集中制御】



【分散制御】



メリット：
・電気配線重量
・電気配線コスト

デメリット：
・エレクトロニクスコスト
・信頼性

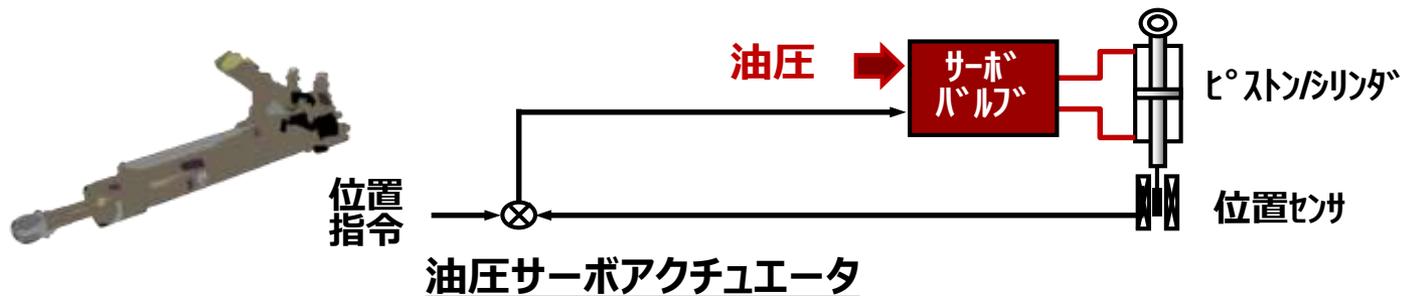


機体レベルでの
定量評価が必要
※大型機ほど効果大
例) B787, A350

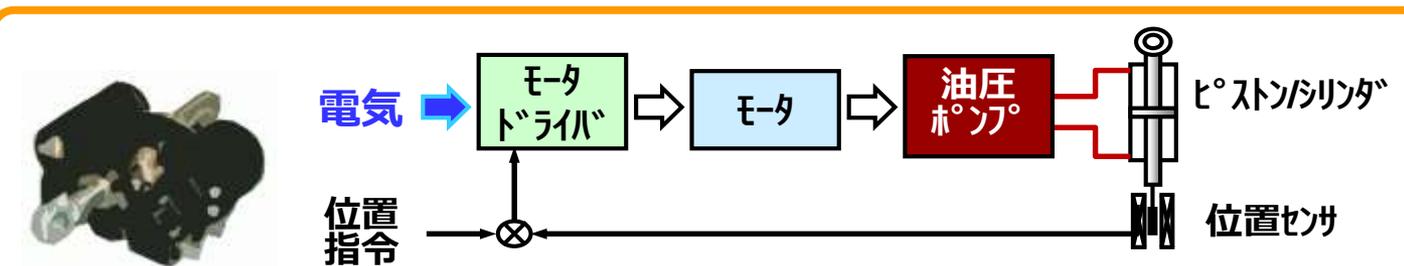
5. 今後の動向と課題

(3) 電動化

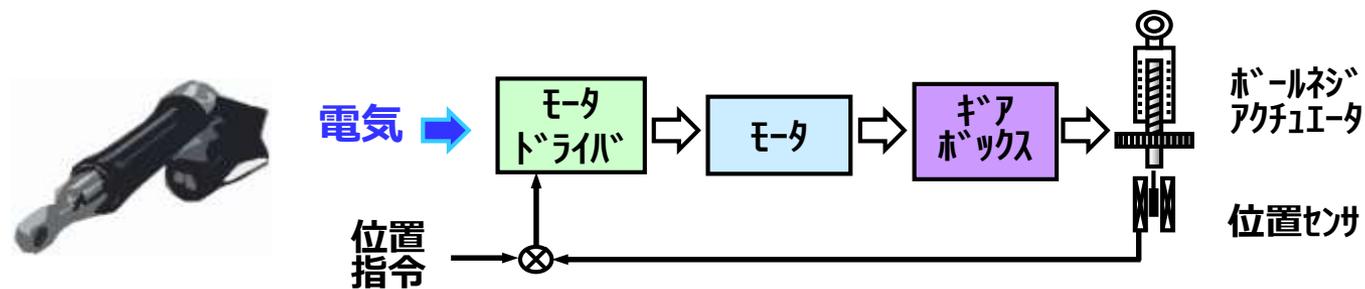
"Fly By Wire"



"Power By Wire"



EHA (Electro Hydrostatic Actuator)

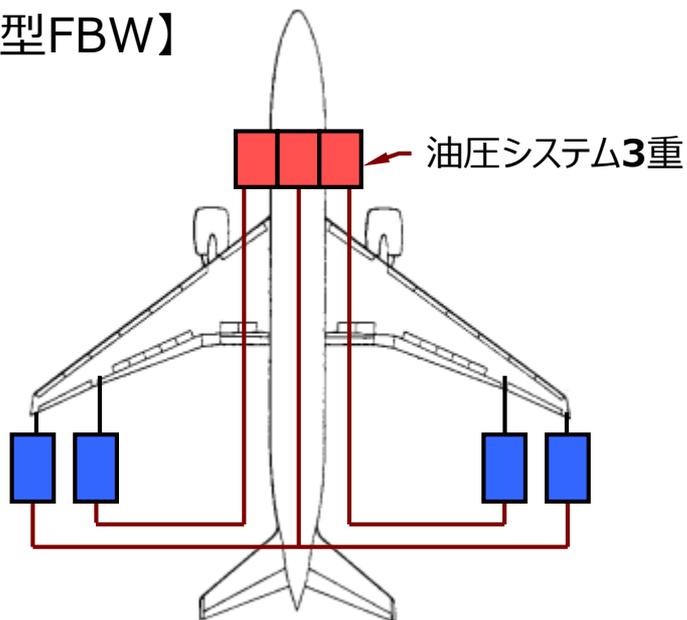


EMA (Electro Mechanical Actuator)

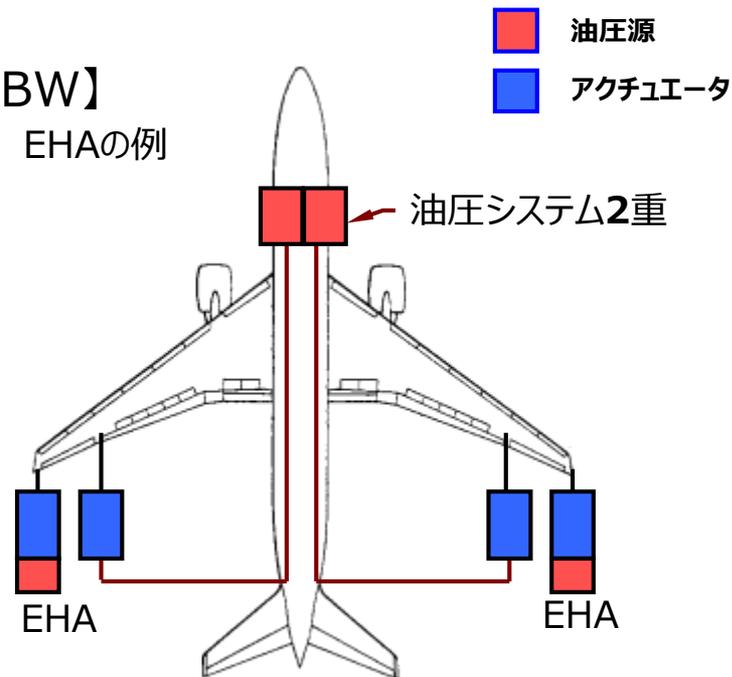
5. 今後の動向と課題

(3) 電動化

【従来型FBW】



【PBW】
EHAの例



メリット :

- 油圧システム重量 ↓
- 油圧システムコスト ↓
- エネルギー効率 ↑
- 整備性 ↑

デメリット :

- アクチュエータ重量 ↑
- アクチュエータコスト ↑
- 信頼性 ↓
- 電源システムコスト ↑

運用コスト ?

初期費用 ?

機体レベルでの
定量評価が必要
※大型機ほど効果大

例) A380, A350

(3) 電動化

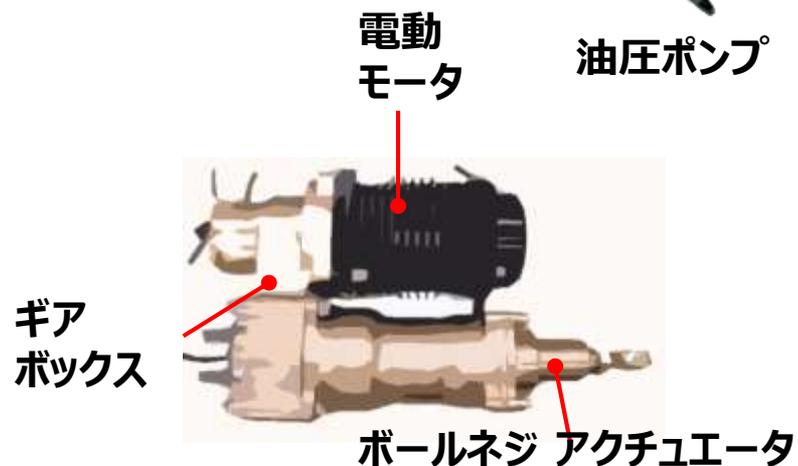
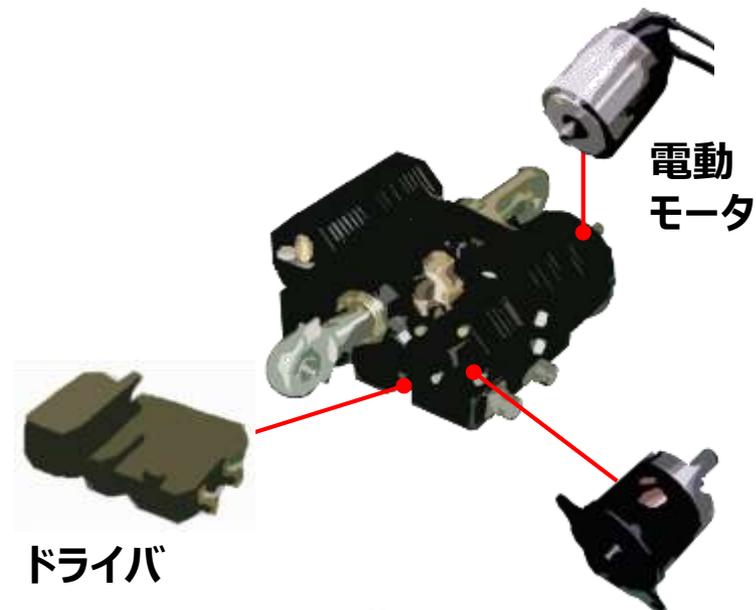
技術課題

EHA

- **小型・軽量化**
 - 電動モータドライバの小型化
 - 耐熱設計
- **高信頼性化・長寿命化**
 - 油圧ポンプの信頼性・寿命の改善

EMA

- **小型・軽量化**
 - 電動モータドライバの小型化
 - 耐熱設計
- **固着対応設計**
 - ギアボックス、ボールネジの固着対策



主操縦システム

- Aileron (Spoiler) 、 Elevator、 Rudderの各舵面によるRoll、 Pitch、 Yaw軸制御

操縦用アクチュエータの技術と歴史

- 人力 ⇨ 油圧サーボアクチュエータ ⇨ 電気油圧サーボアクチュエータ
- EHSVを使った電気油圧サーボアクチュエータによるFBW方式が主流

安全性

- 1/10億時間の安全性要求 ⇒ システム冗長化、安全性を確保した部品設計

最新技術

- 高圧化、分散制御化、電動化 2050年には全て電動化に？