

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？

うごかし、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



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)

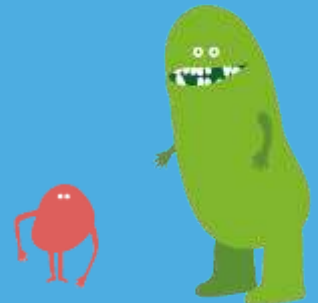
NABCO

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



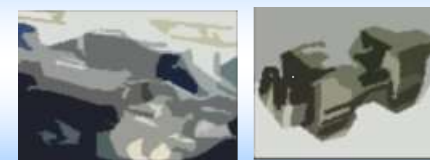
油圧関連



電動モーションコントロール



熱交換関連



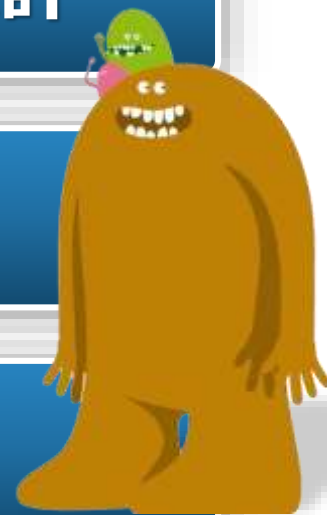
1. 主操縦システム

2. 技術と歴史

3. アクチュエータの作動原理と設計

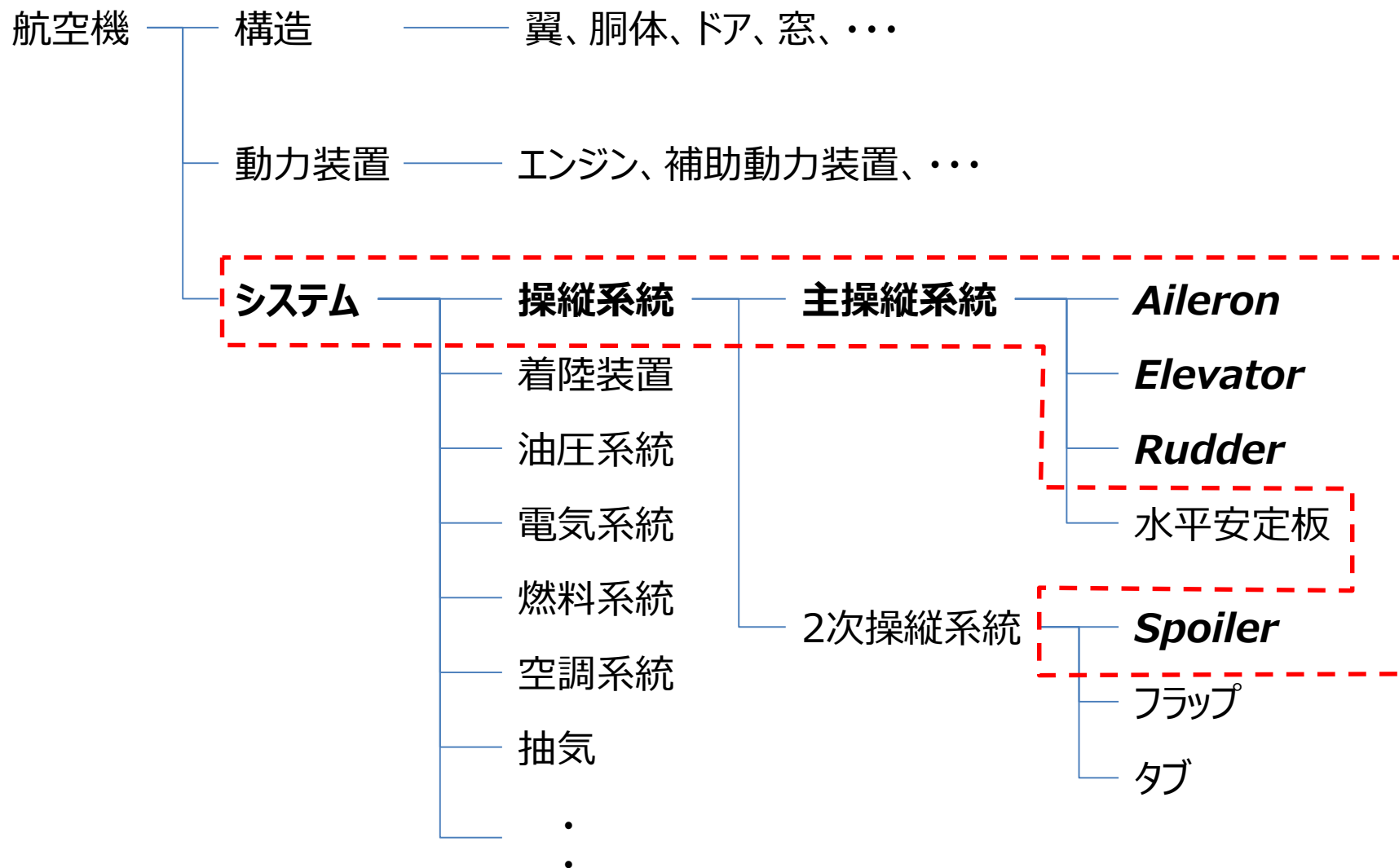
4. アクチュエータの開発

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

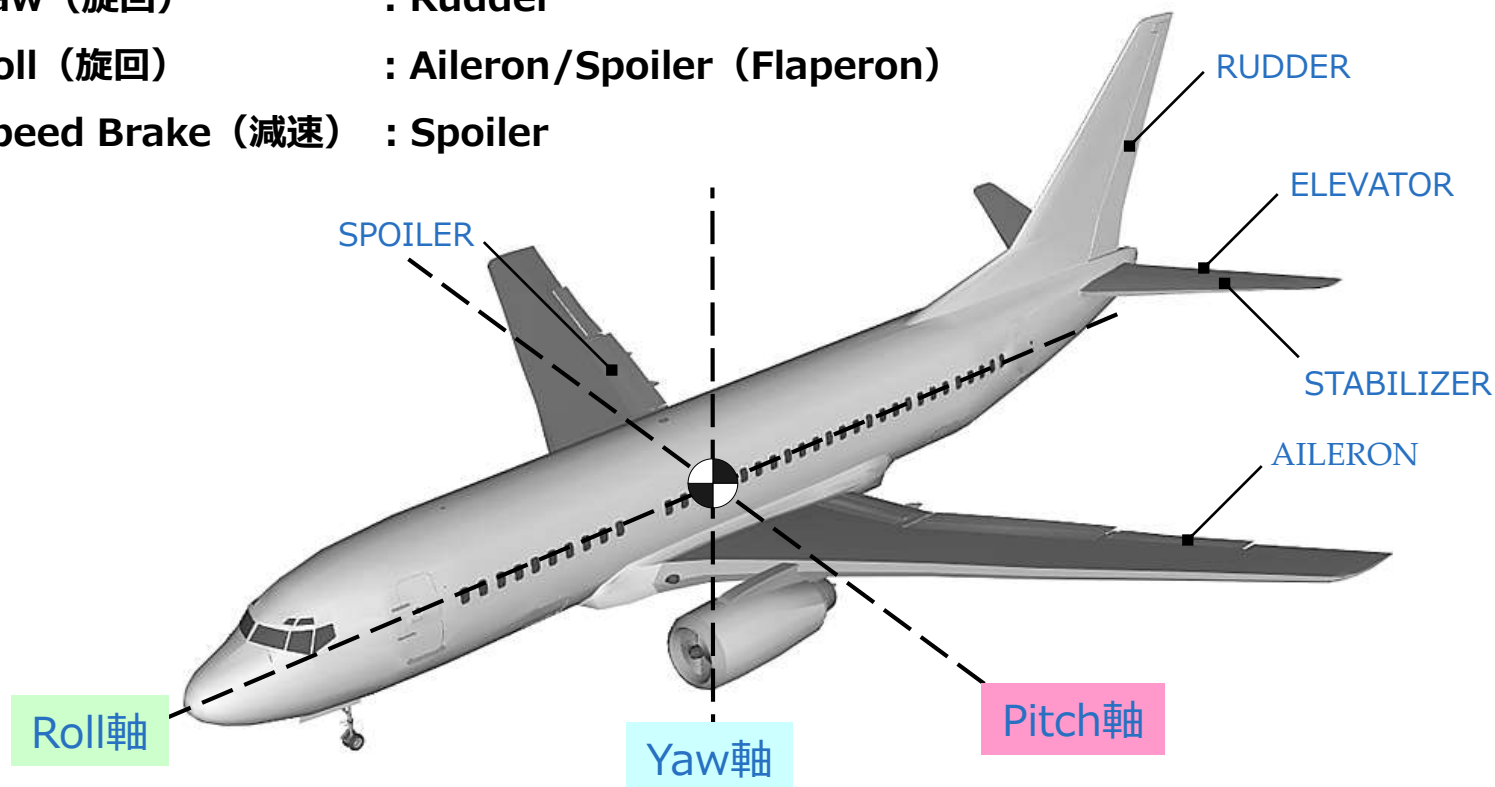
(Primary Flight Control System 舵面構成と用途)

Pitch (上昇/下降) : Elevator/Stabilizer

Yaw (旋回) : Rudder

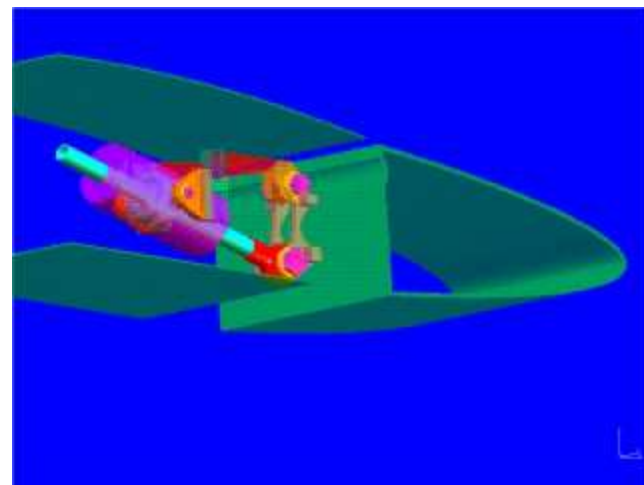
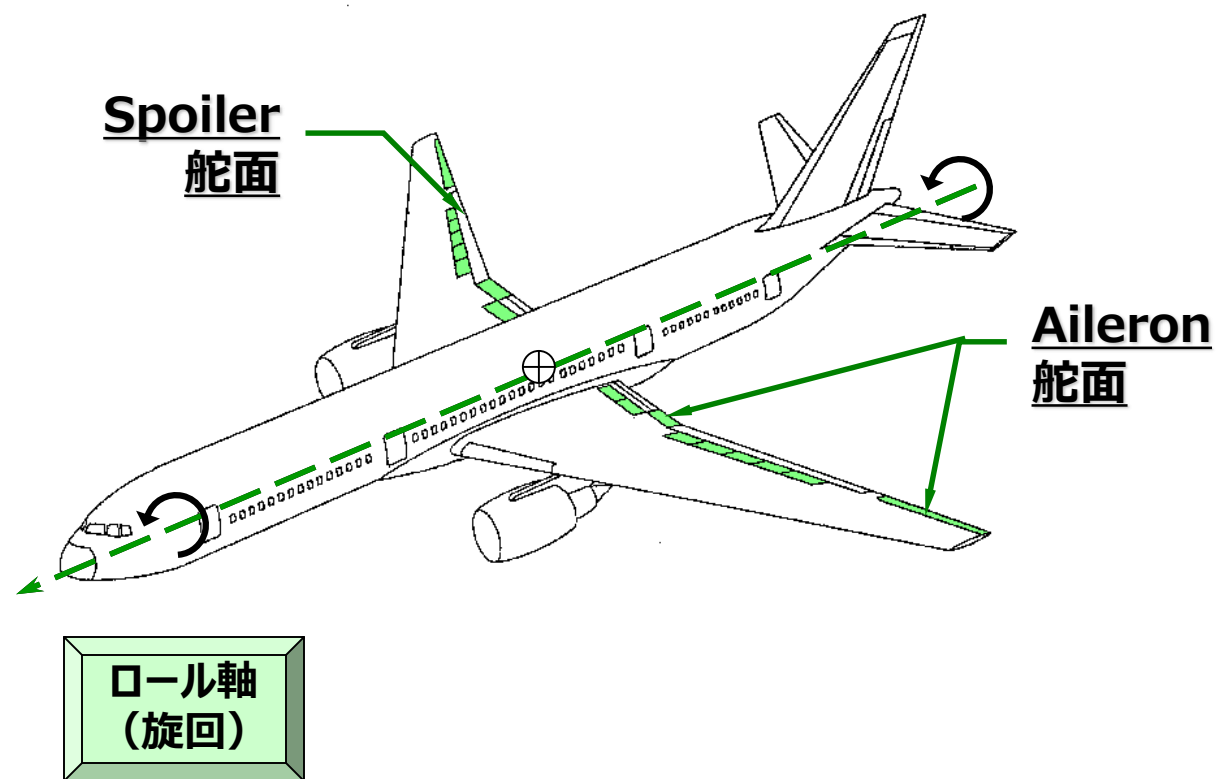
Roll (旋回) : Aileron/Spoiler (Flaperon)

Speed Brake (減速) : Spoiler



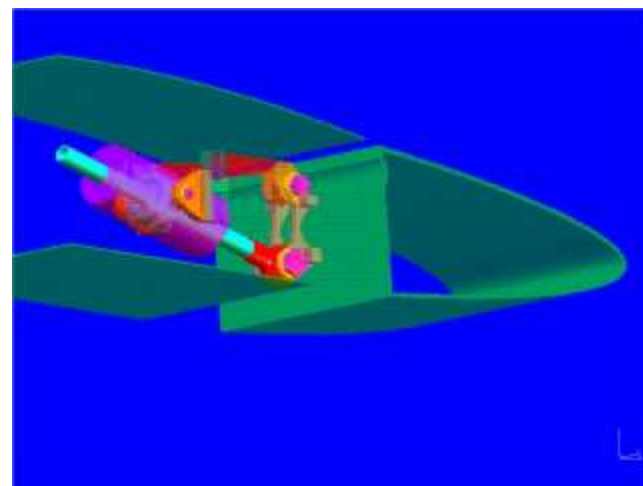
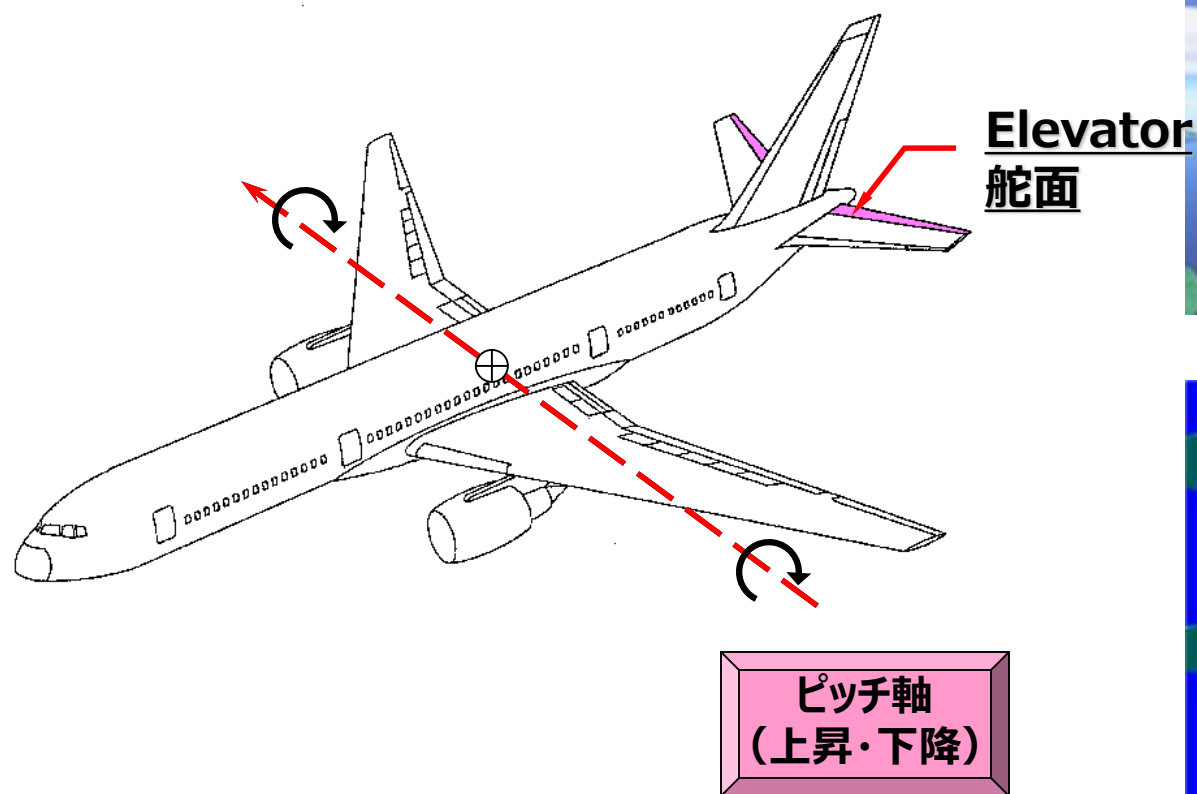
1. 主操縦システム

飛行舵面構成と用途



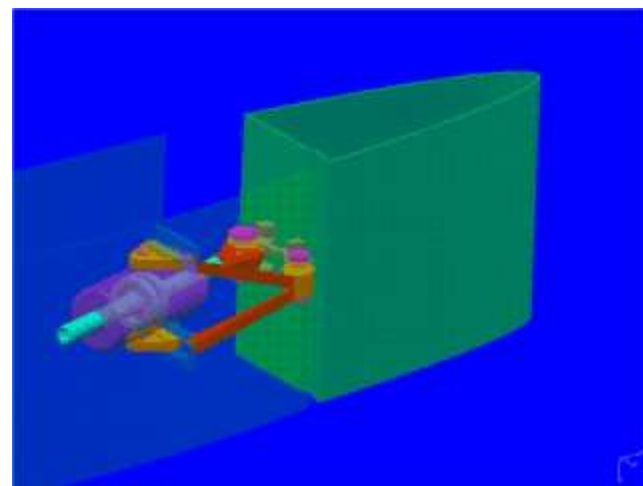
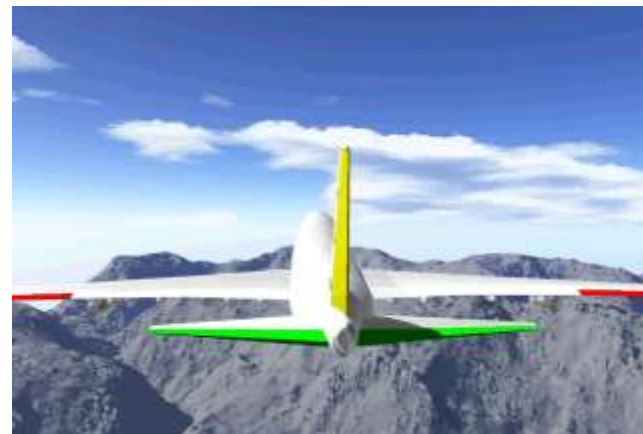
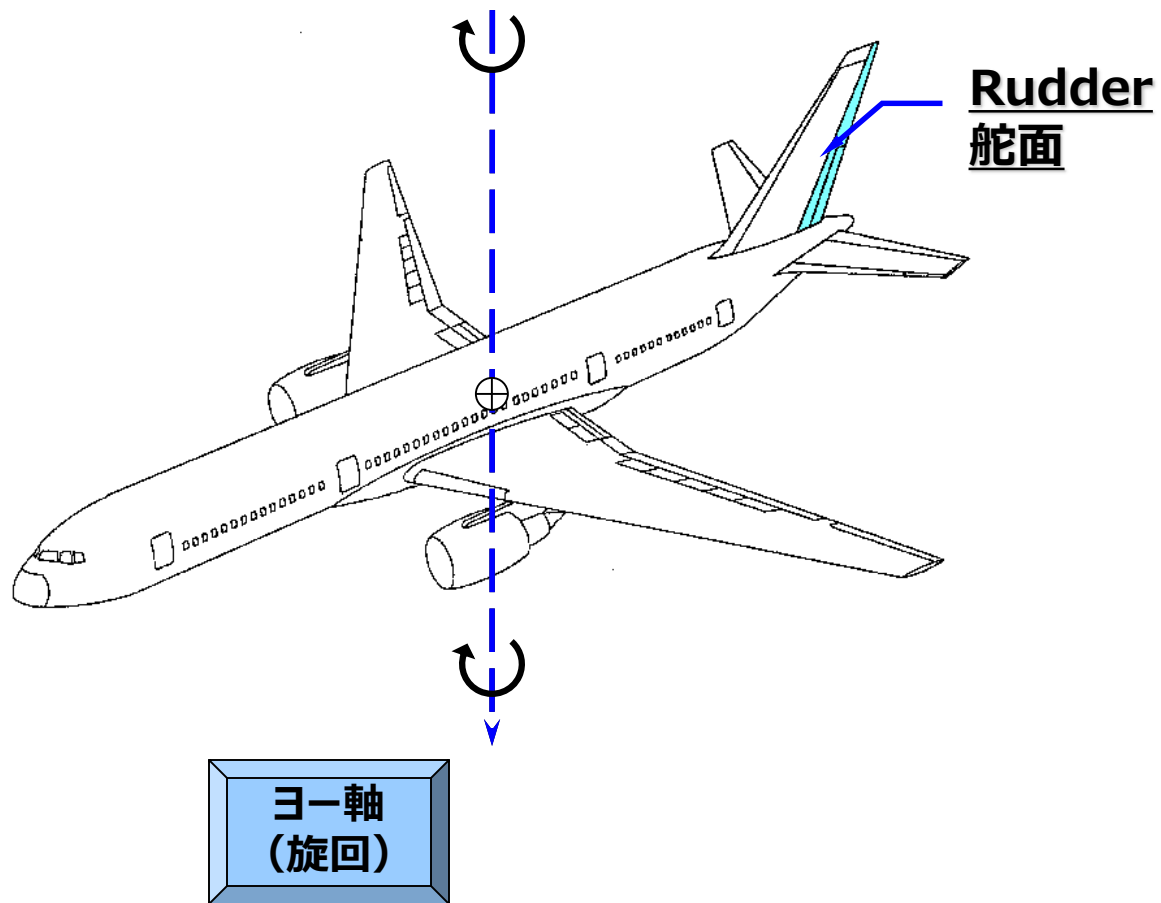
1. 主操縦システム

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

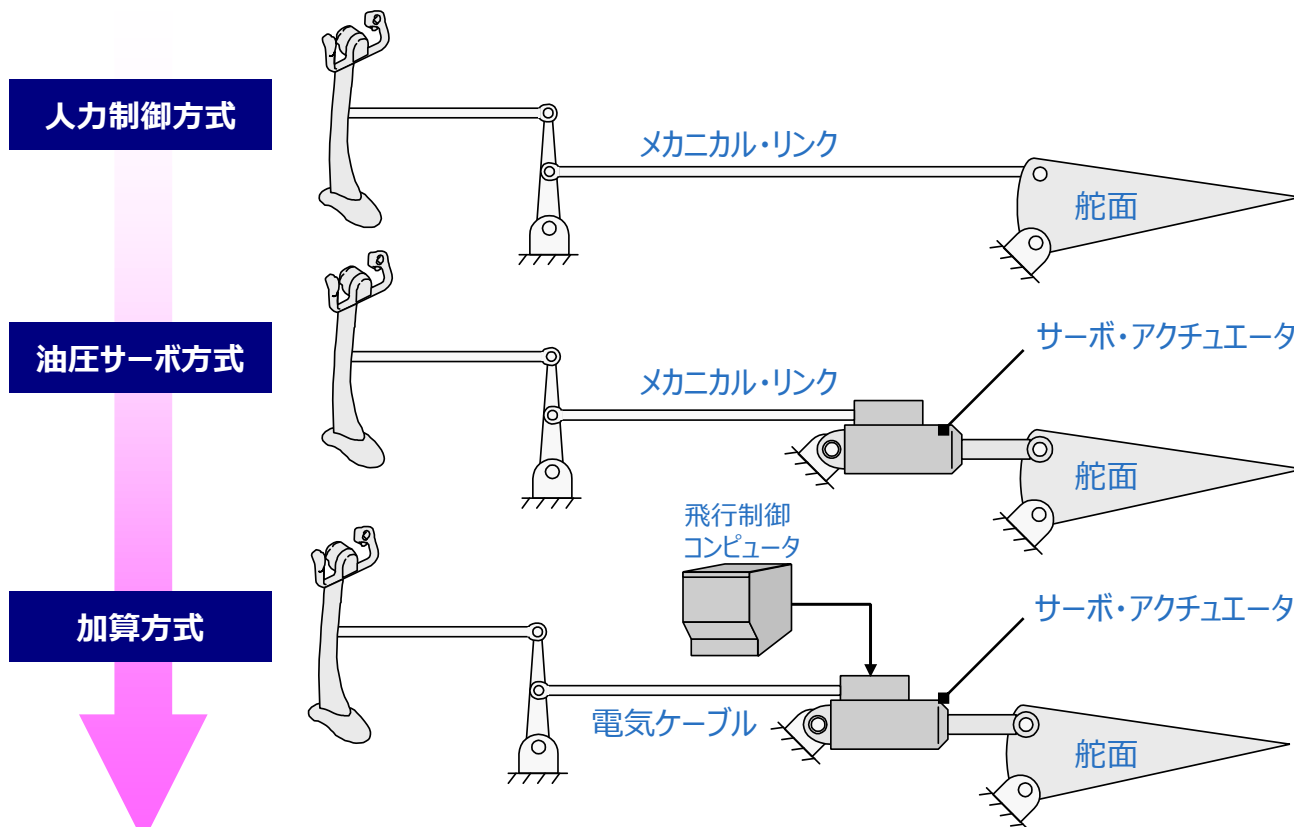


2. 技術と歴史

2. 技術と歴史

主操縦システムの変遷

メカニカル方式

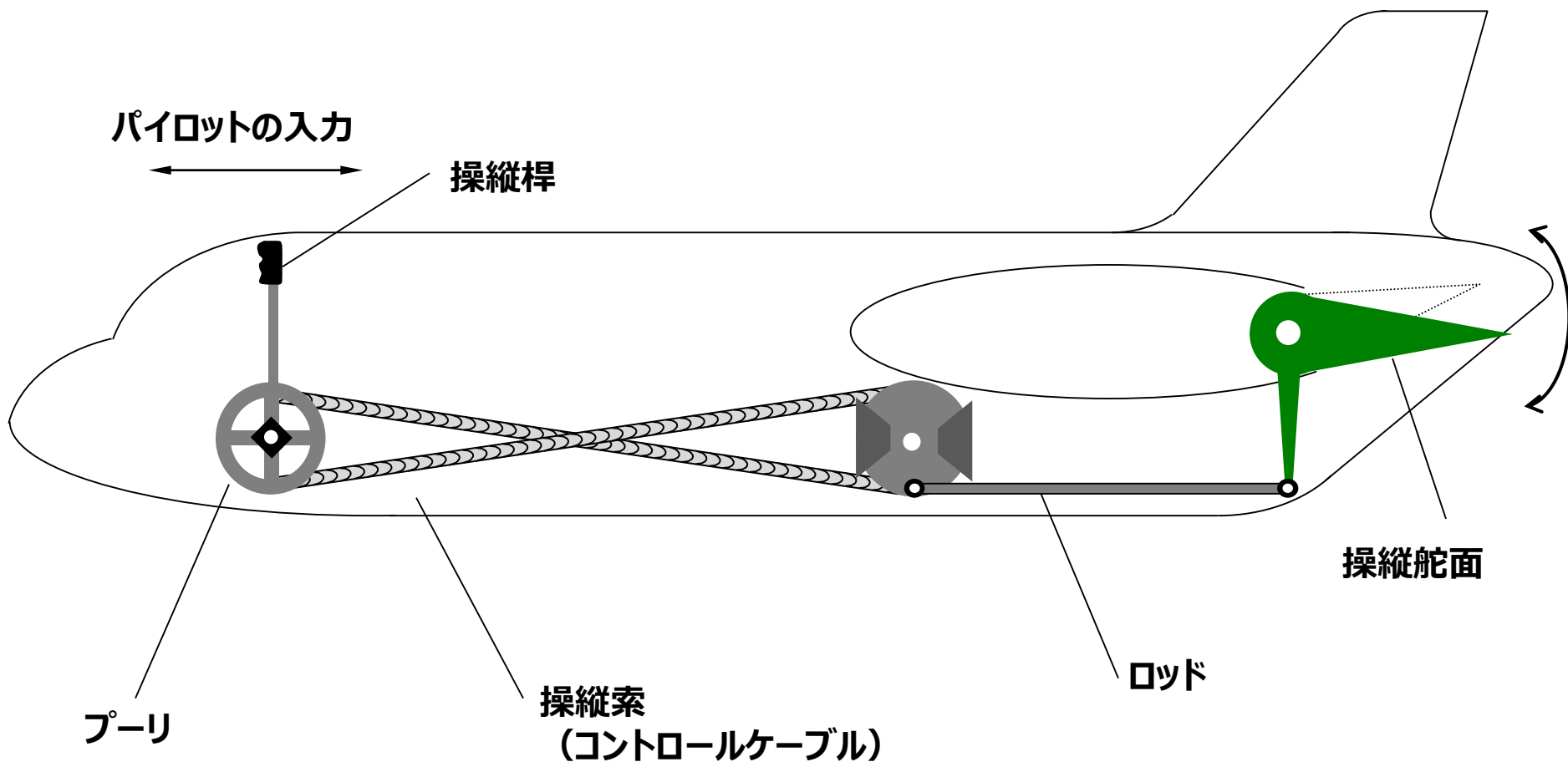


Fly By Wire方式

2. 技術と歴史

主操縦システムの変遷

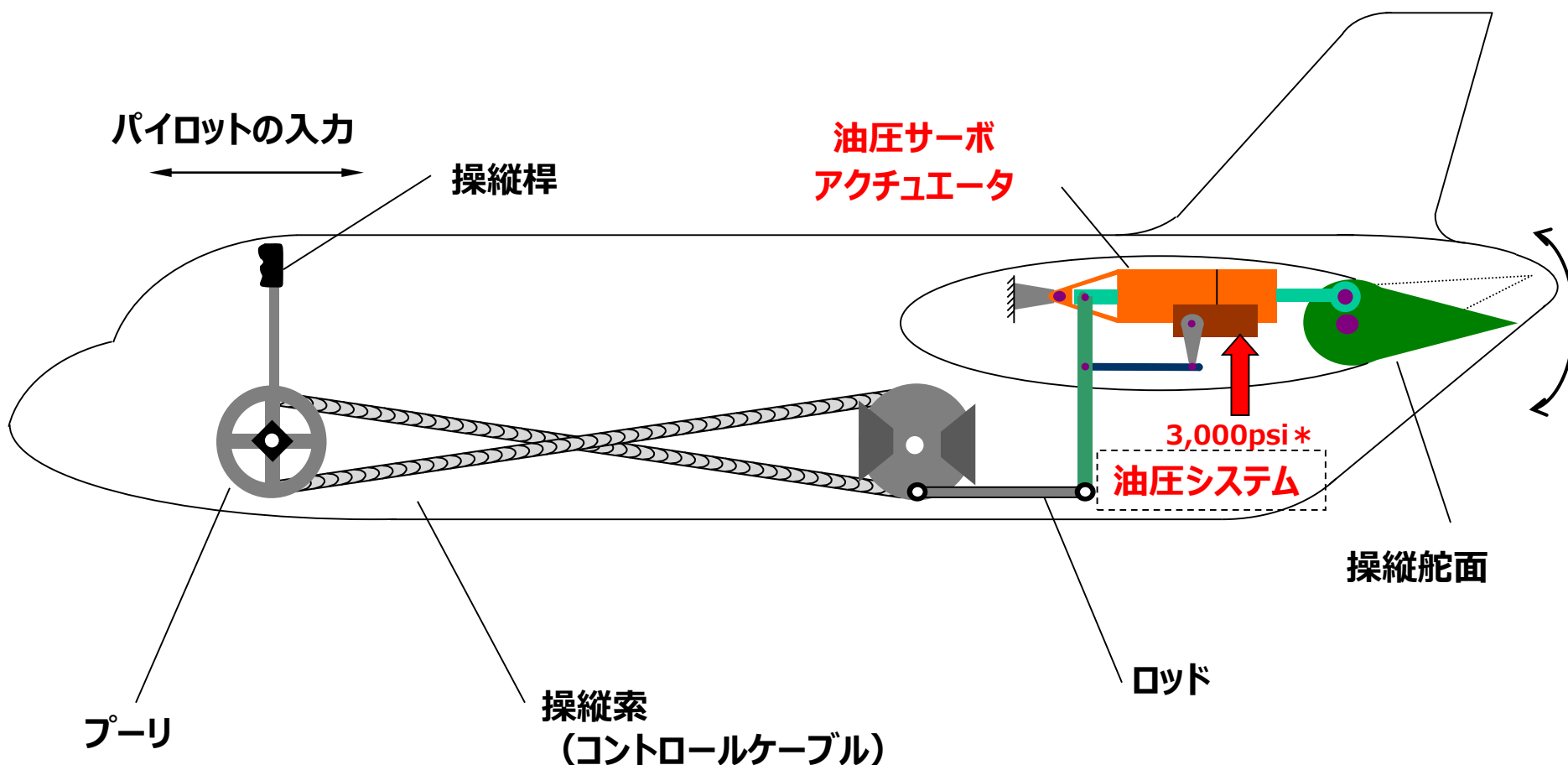
(1) 人力式舵面制御



2. 技術と歴史

主操縦システムの変遷

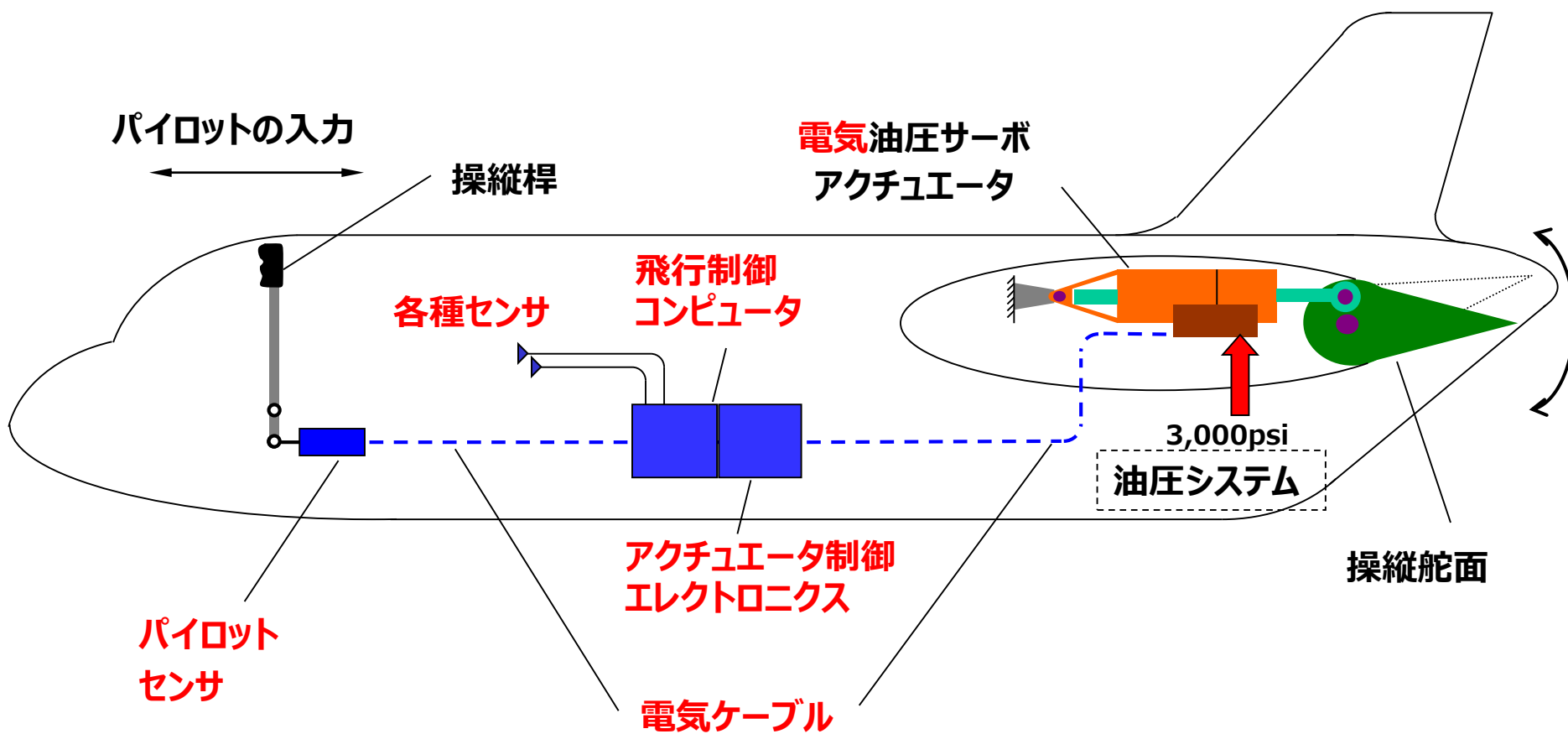
(2) 油圧サーボ式舵面制御 - メカニカル入力方式



* 約210kg/cm²

主操縦システムの変遷

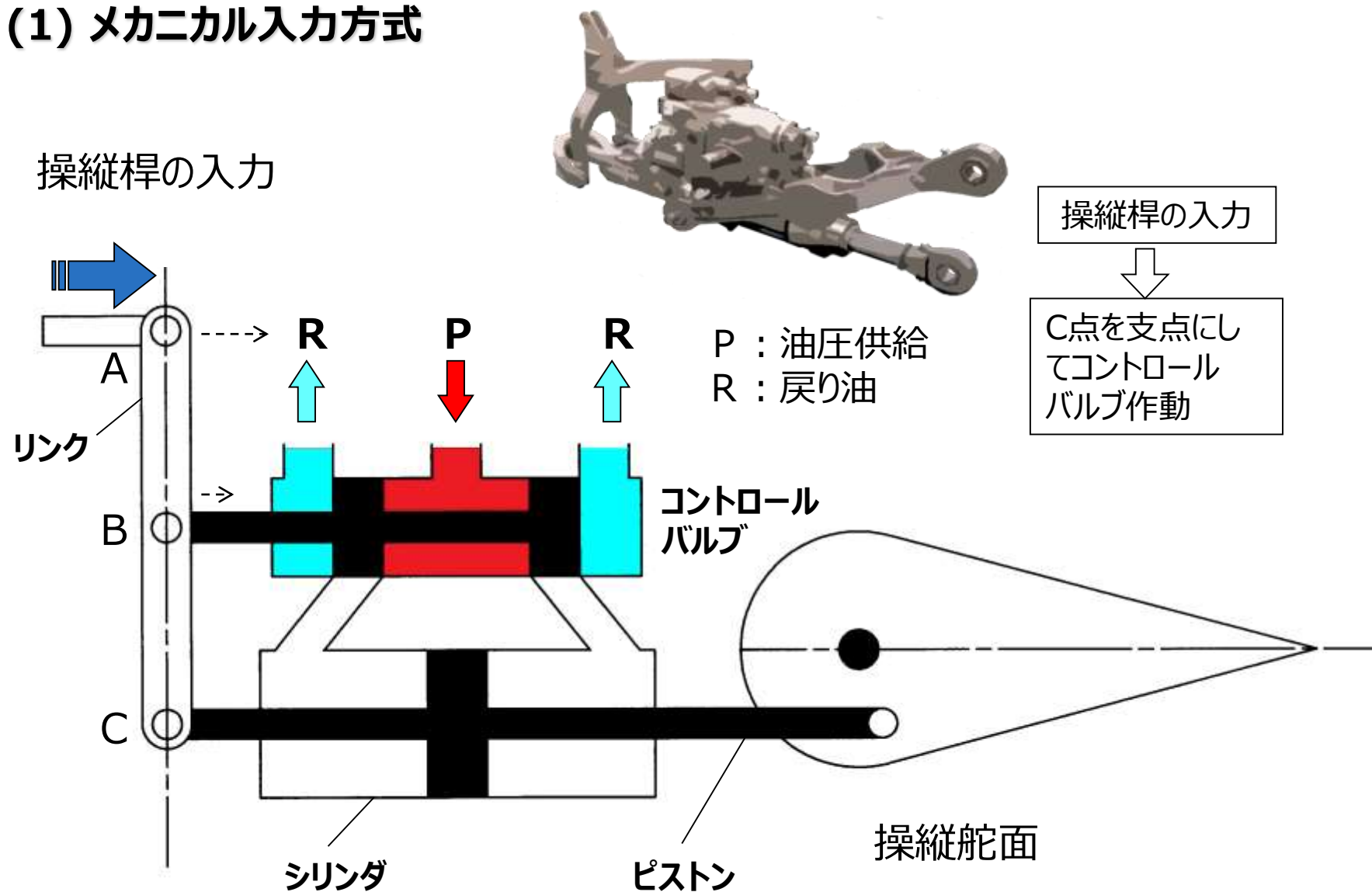
(3) 電気油圧サーボ式舵面制御 – Fly By Wire (FBW) 方式



3. アクチュエータの作動原理と設計

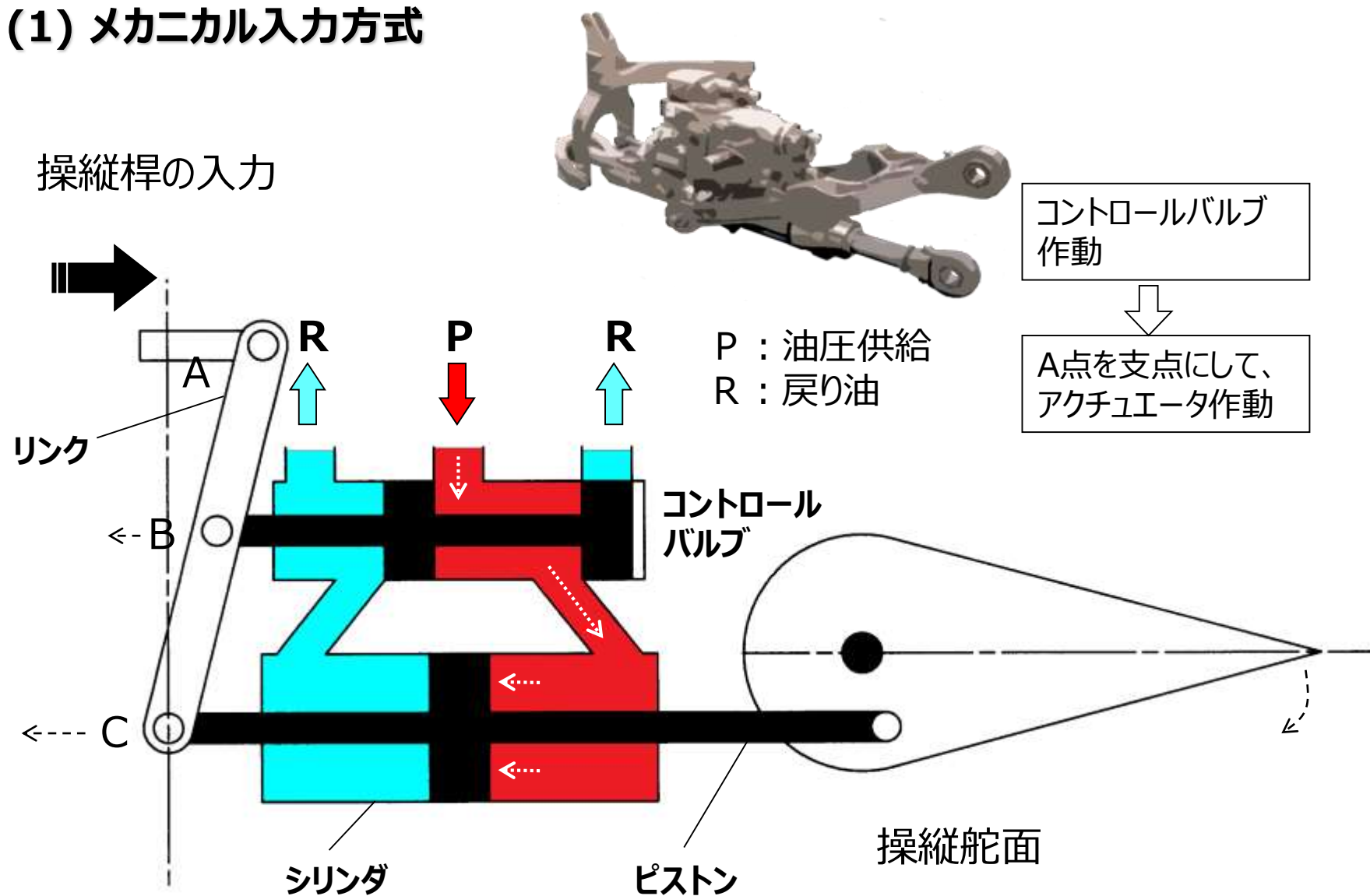
3. アクチュエータの作動原理と設計

(1) メカニカル入力方式



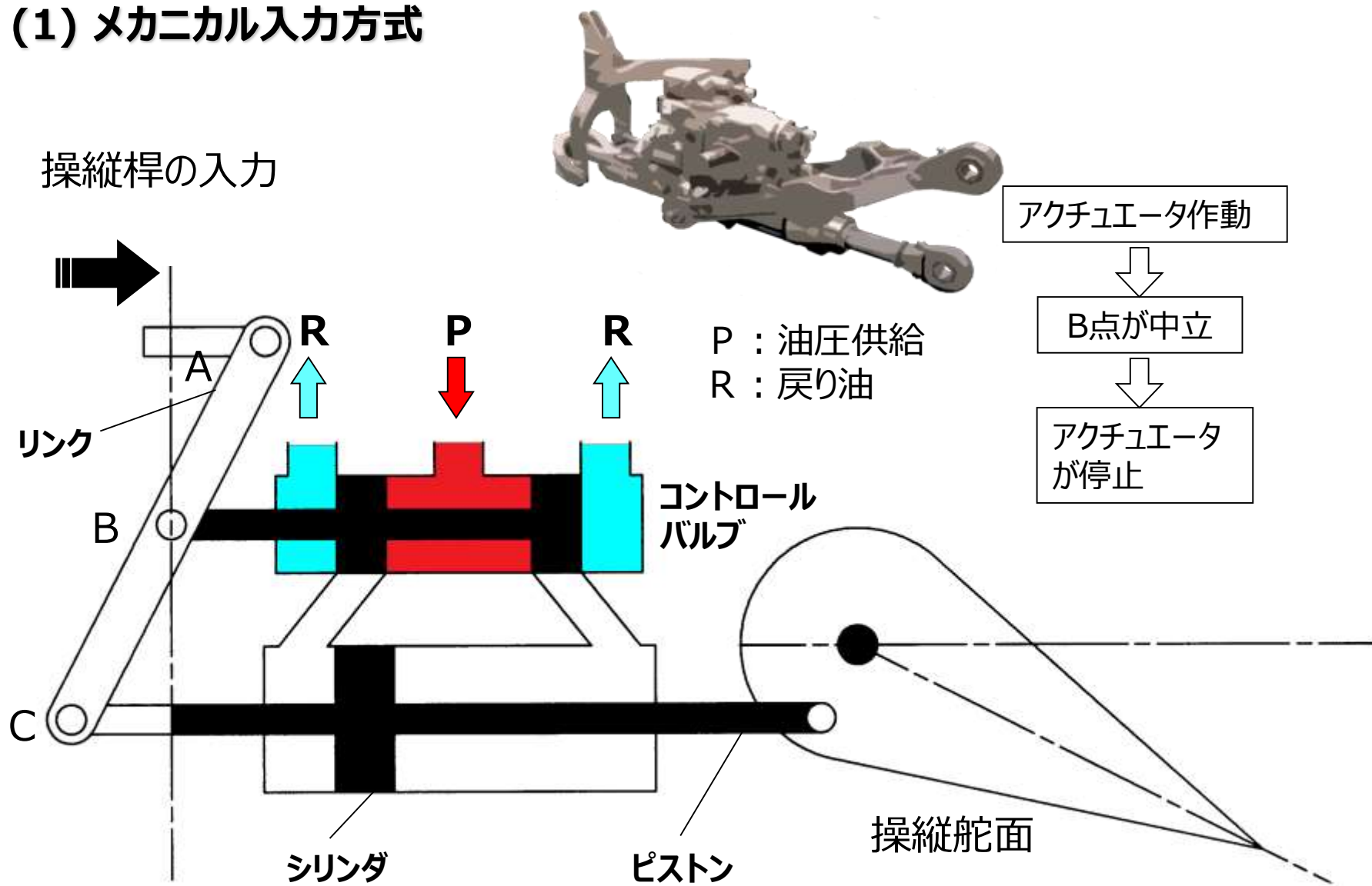
3. アクチュエータの作動原理と設計

(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

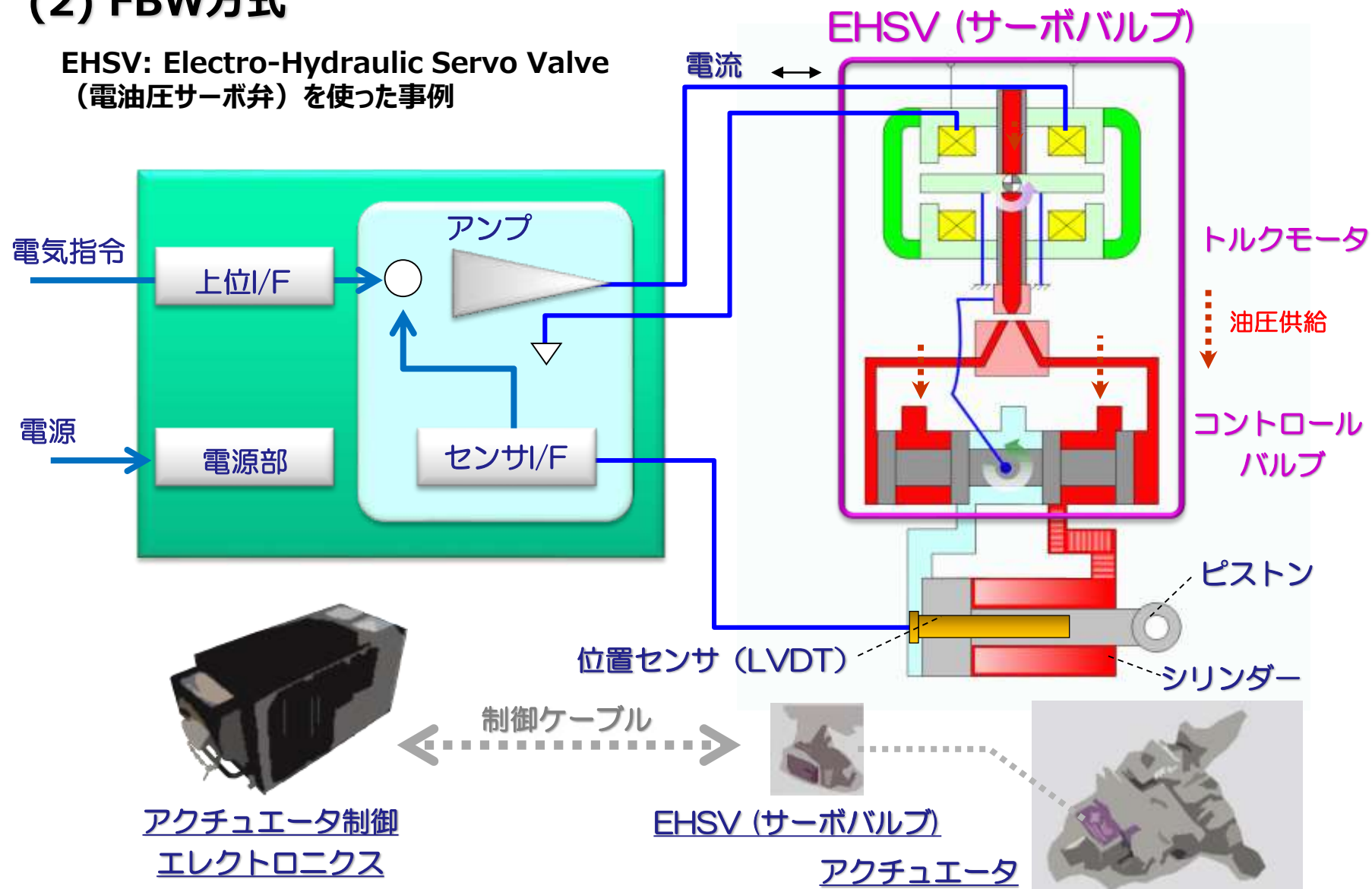
(1) メカニカル入力方式



3. アクチュエータの作動原理と設計

(2) FBW方式

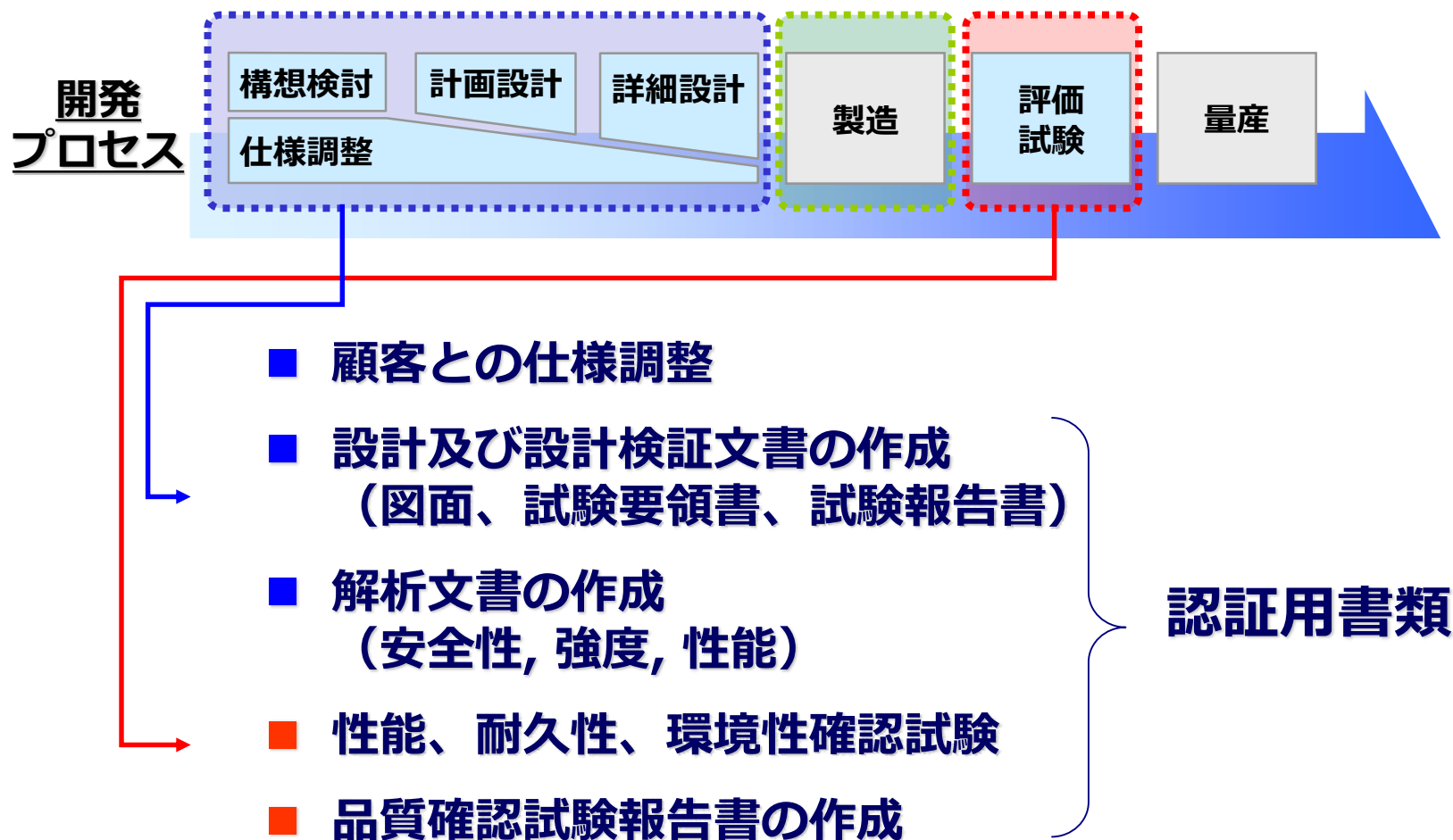
EHSV: Electro-Hydraulic Servo Valve
(電油圧サーボ弁) を使った事例



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



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）

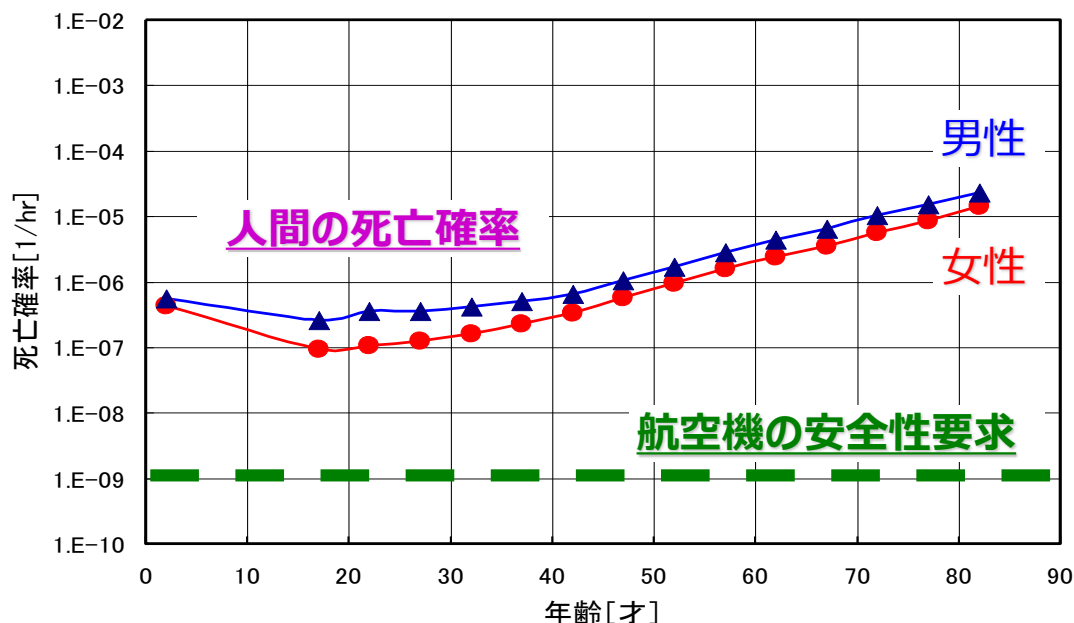
	航空局	規定
米国	連邦航空局 (Federal Aviation Administration)	Federal Aviation Regulations Part 21: 認証方法 Part 25 (23) : 大型 (小型) 機耐空性要求
欧州	欧州航空安全局 (European Aviation Safety Agency)	Certification Specifications AMC21: 認証方法 CS-25 (23) : 大型 (小型) 機耐空性要求
日本	国土交通省航空局 (Japan Civil Aviation Bureau)	航空法 (Civil Aeronautics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

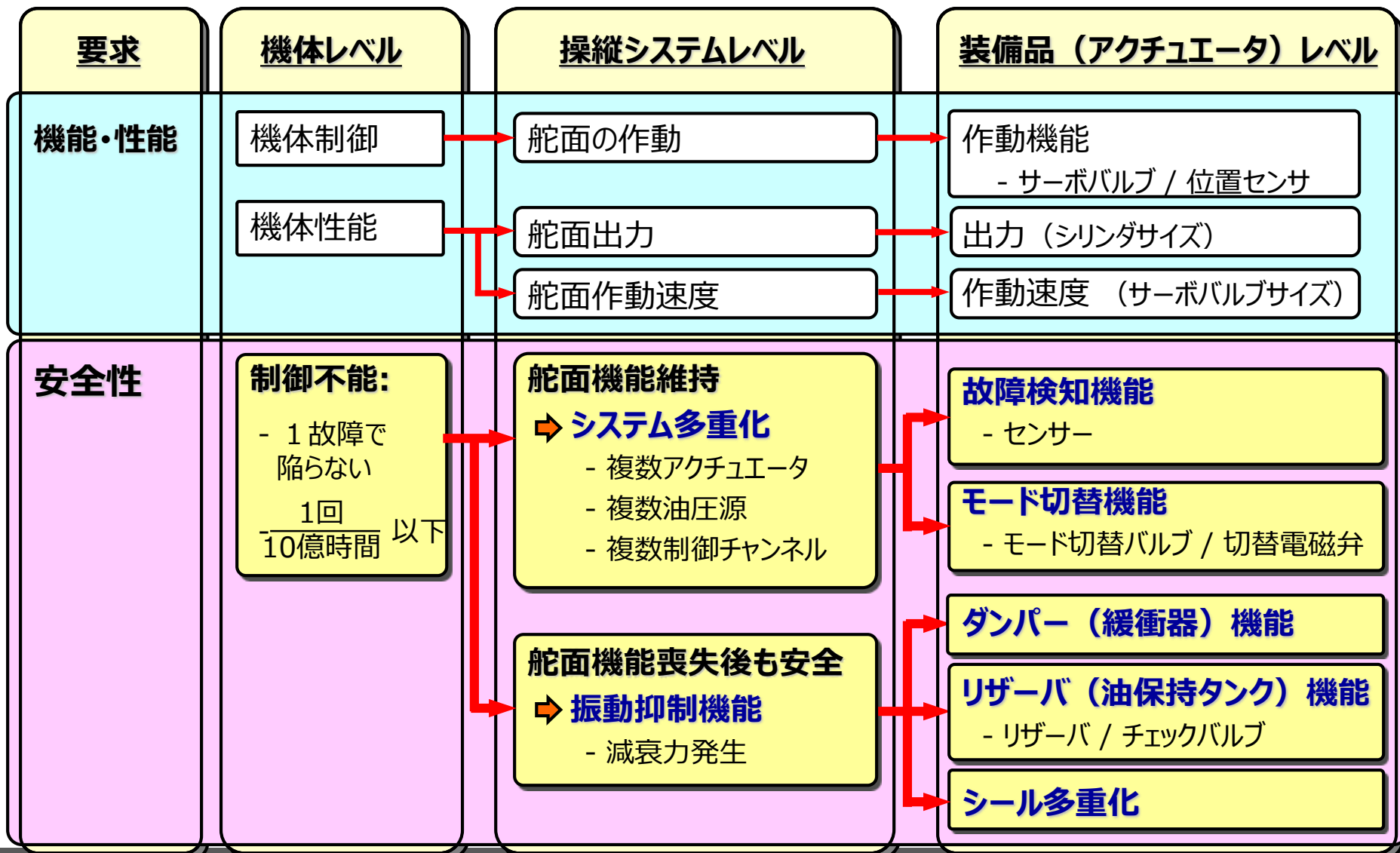


設計へのフローダウンで達成

- 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

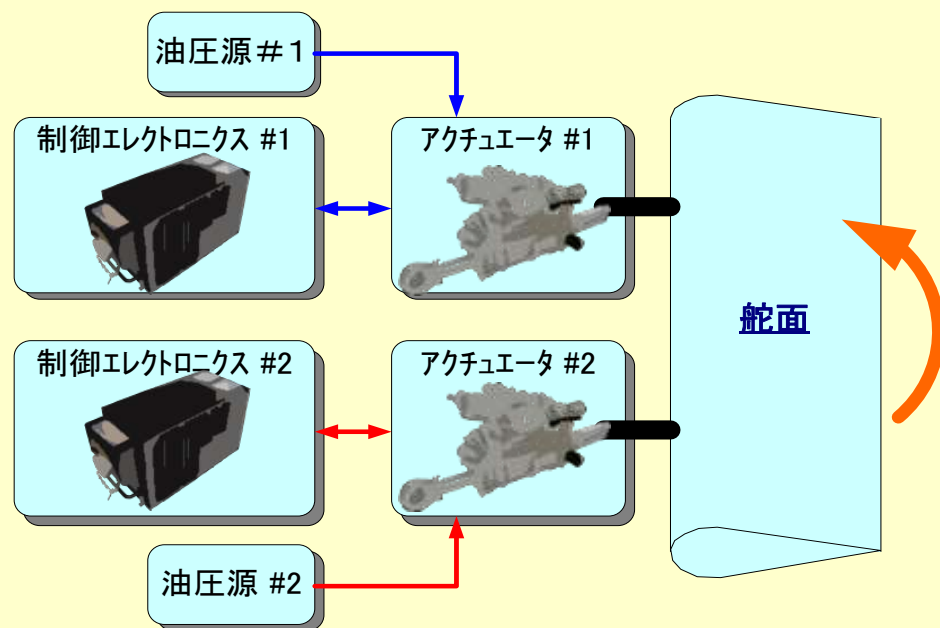
➡ システム多重化により実現

➤ 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

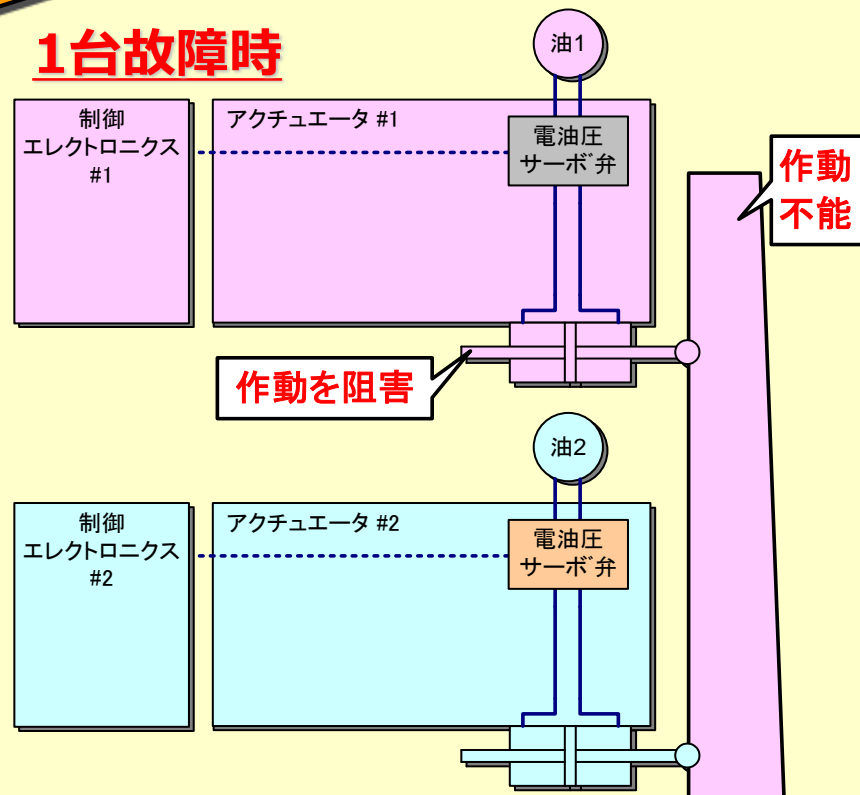
装備品（アクチュエータ）レベル

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 ⇒ （作動を阻害）	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

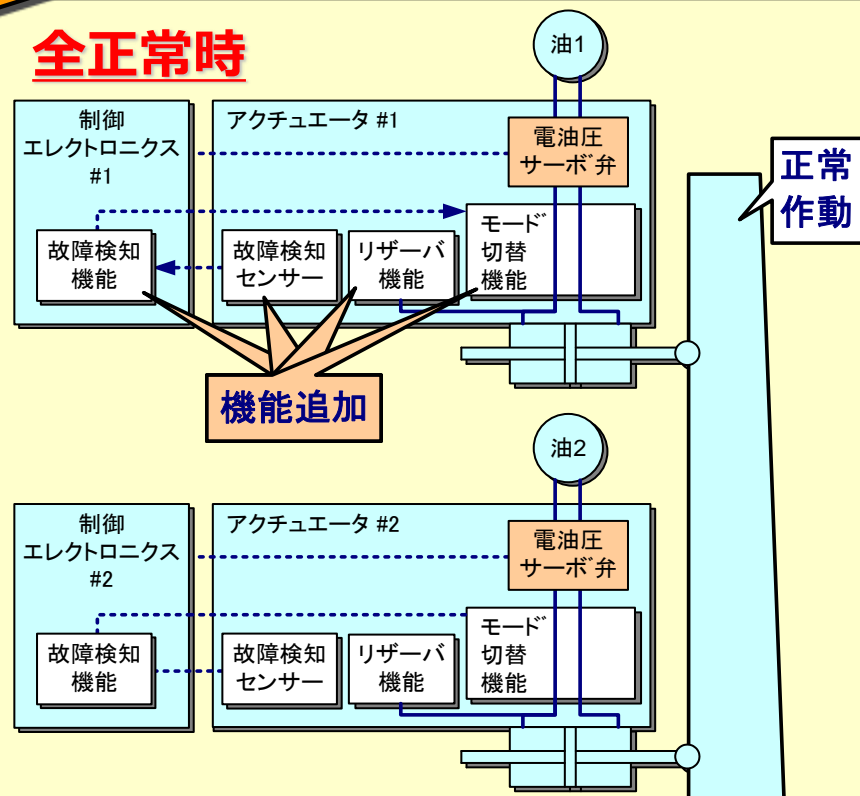
機能要求： 1. 故障検知 + 切替機能

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

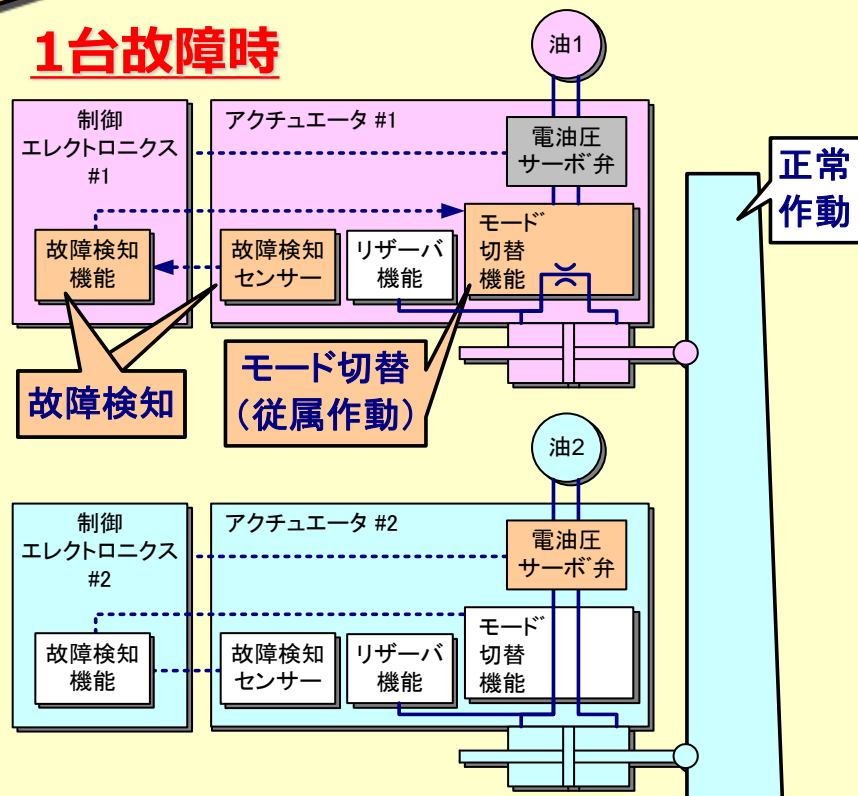
機能要求： 1. 故障検知 + 切替機能

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

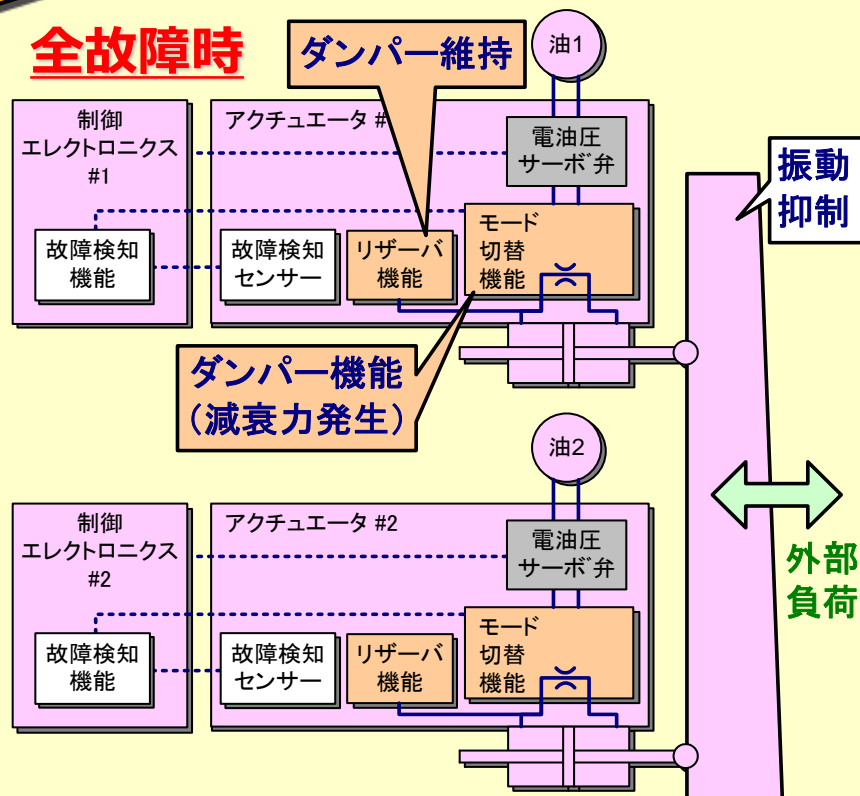
2. ダンパー + リザーバ機能

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)

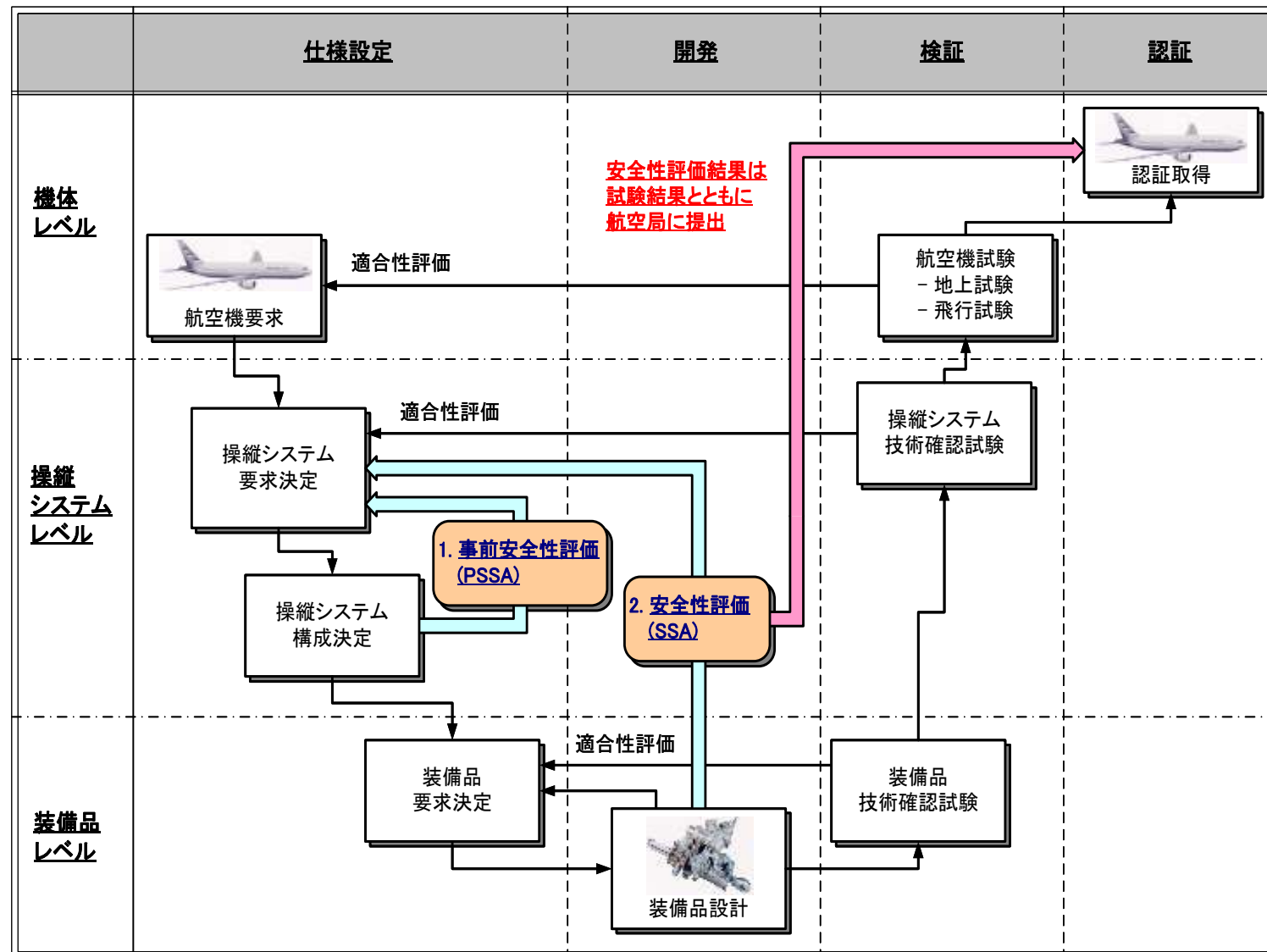
全故障時

ダンパー維持



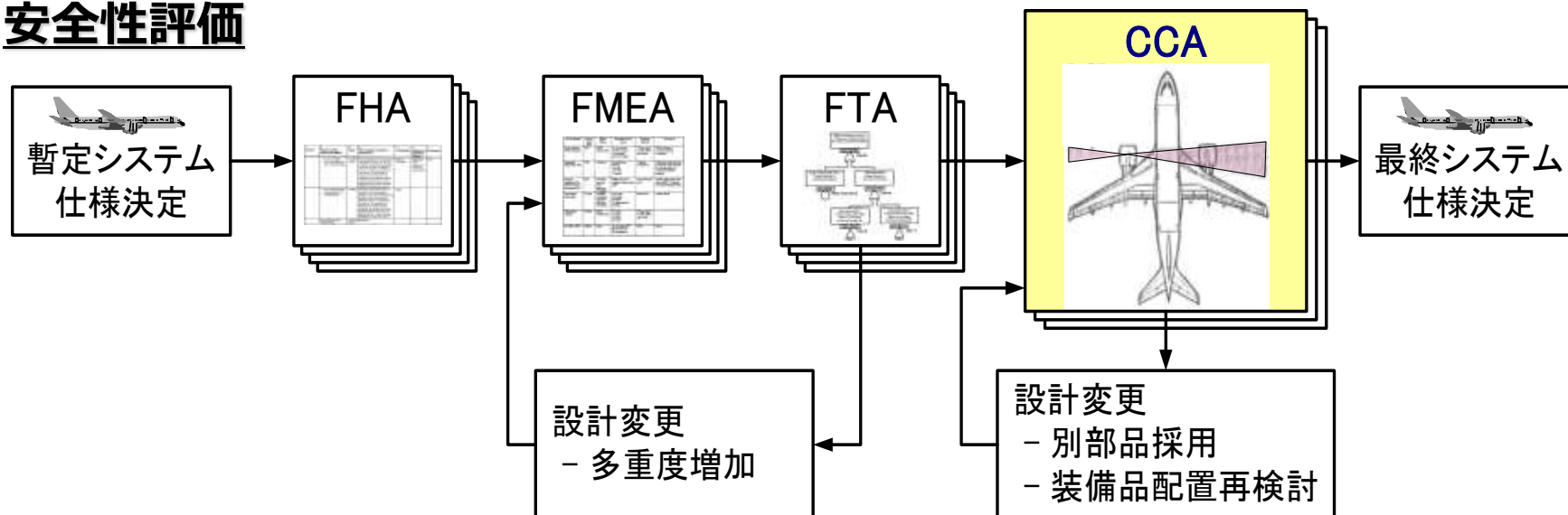
4. アクチュエータの開発 - 安全性に関する設計

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系統の喪失
- 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

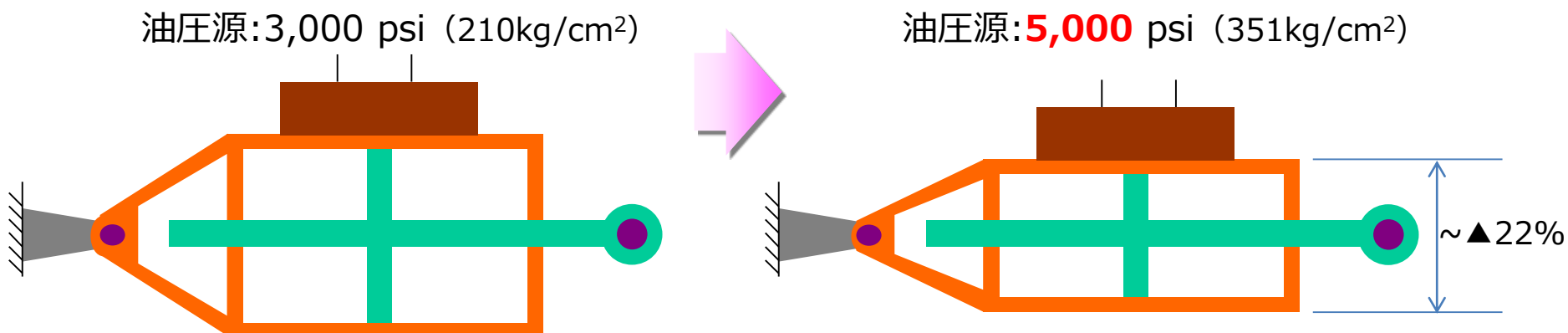
(1) 高圧化

(2) 分散制御化

(3) 電動化

5. 今後の動向と課題

(1) 高圧化



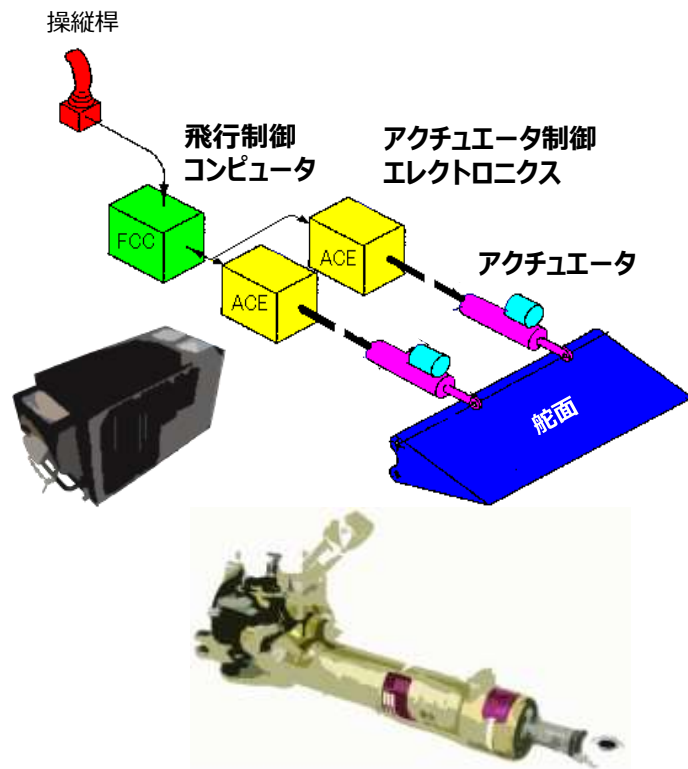
メリット :	・ アクチュエータサイズ ↓	燃費向上 = 運用コスト ↓	機体レベルでの 定量評価が必要 ※大型機ほど効果大
	・ アクチュエータ重量 ↓		
デメリット :	・ 油圧システムの重量*1 ↓	初期費用 ↑	例) B787, A380, A350
	・ アクチュエータコスト ↑		
	・ 油圧システムコスト ↑		
	・ エアライン設備投資*2 ↑		

*1 配管、作動油量

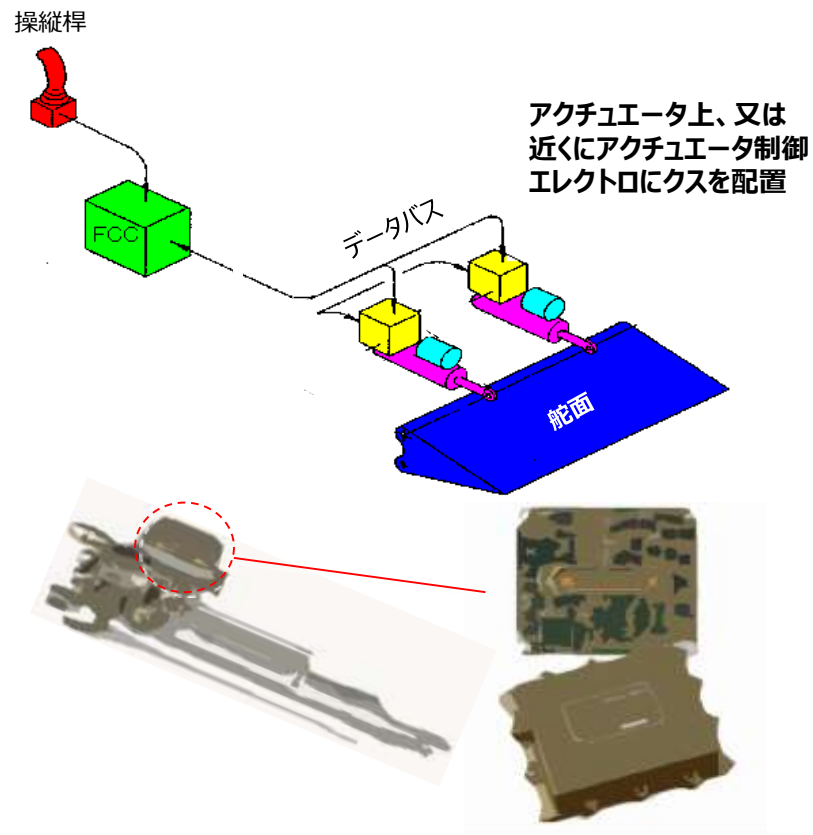
*2 新規地上試験設備

5. 今後の動向と課題

(2) 分散制御化



集中制御



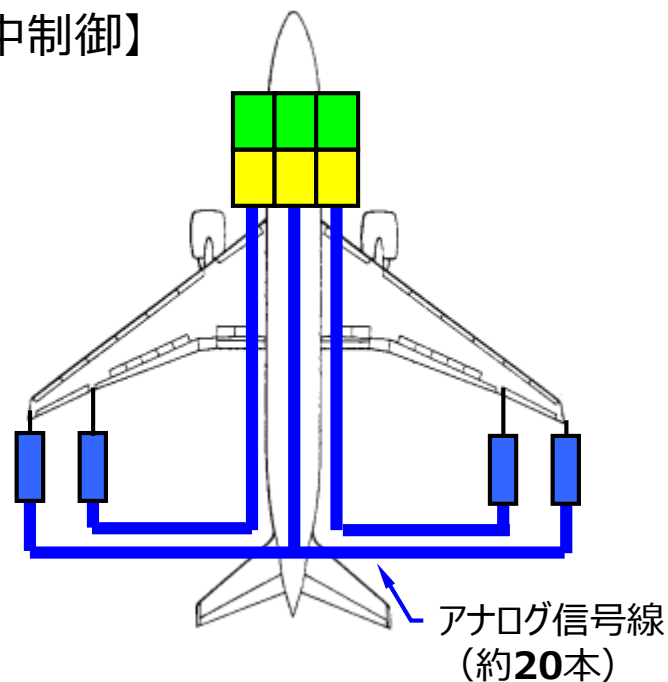
Remote Electronics Unit

分散制御

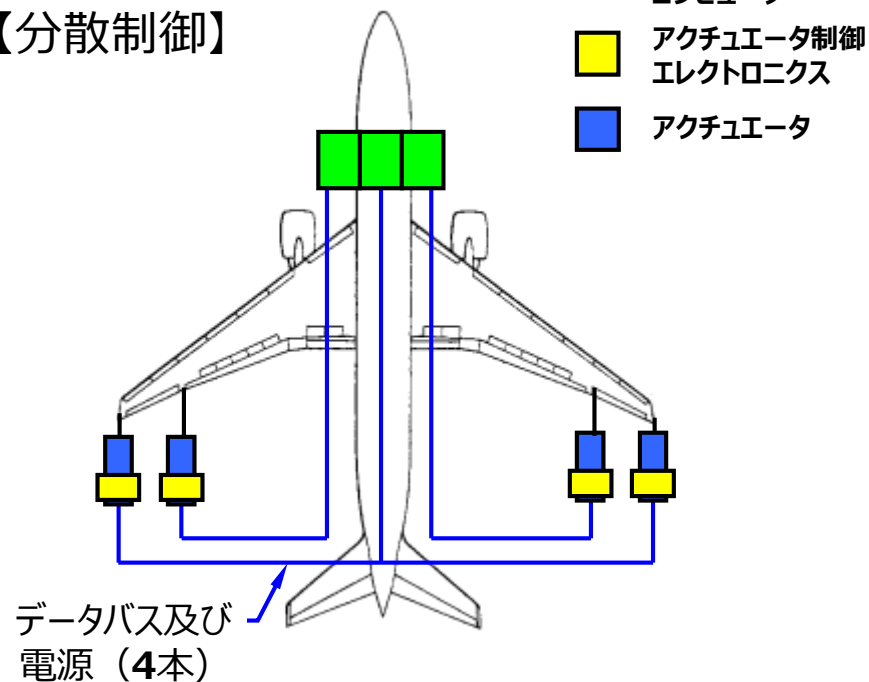
5. 今後の動向と課題

(2) 分散制御化

【集中制御】

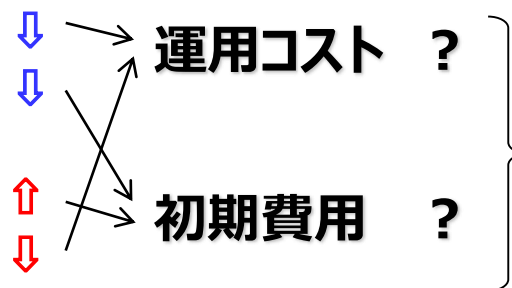


【分散制御】



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

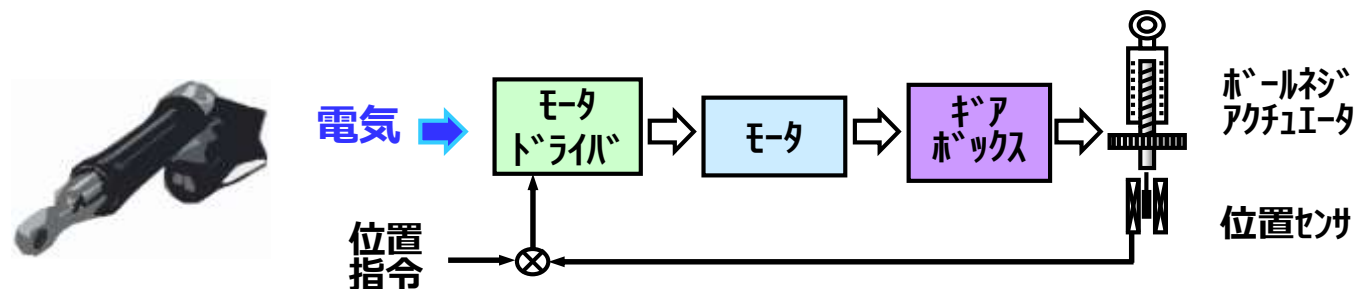
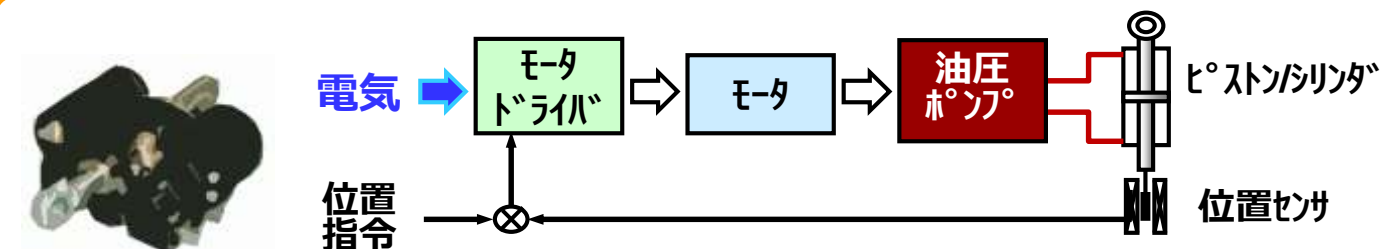
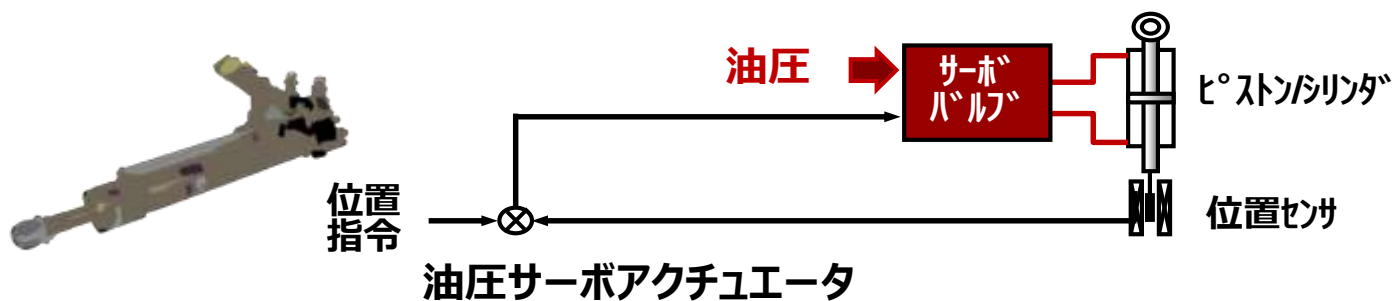
5. 今後の動向と課題

(3) 電動化

"Fly By Wire"



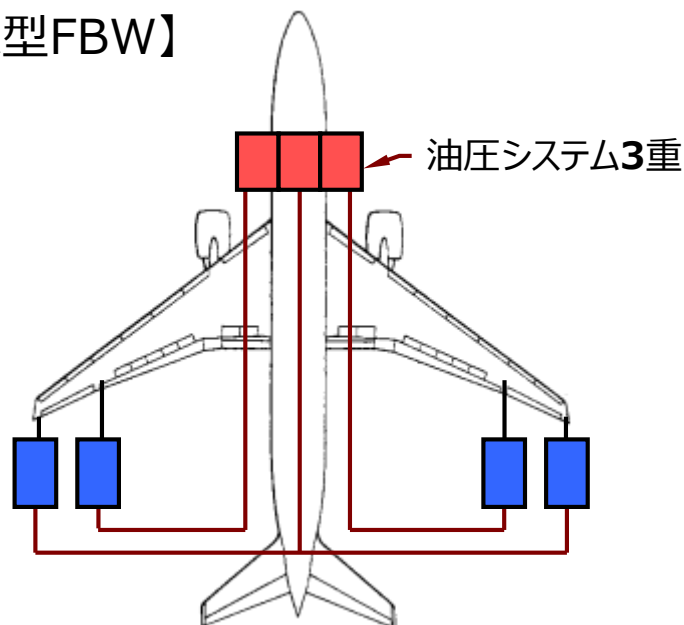
"Power By Wire"



5. 今後の動向と課題

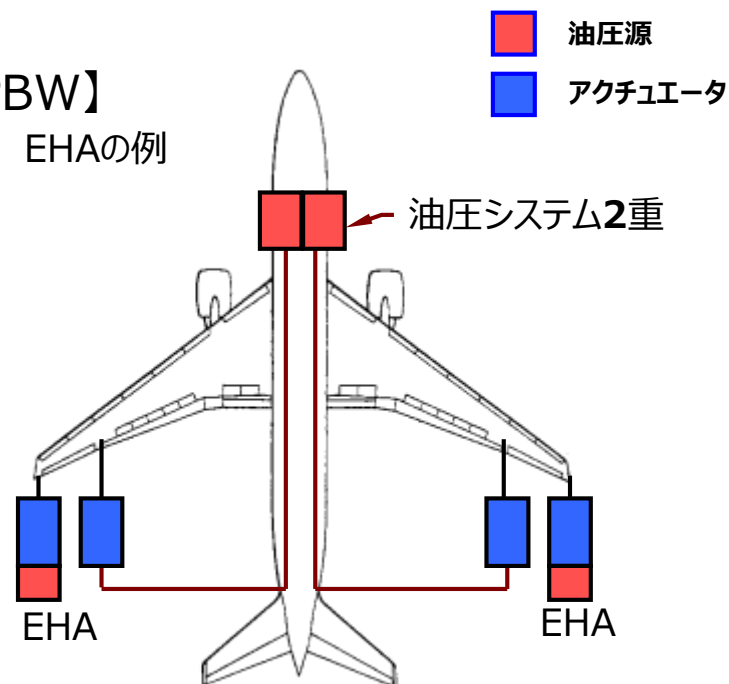
(3) 電動化

【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

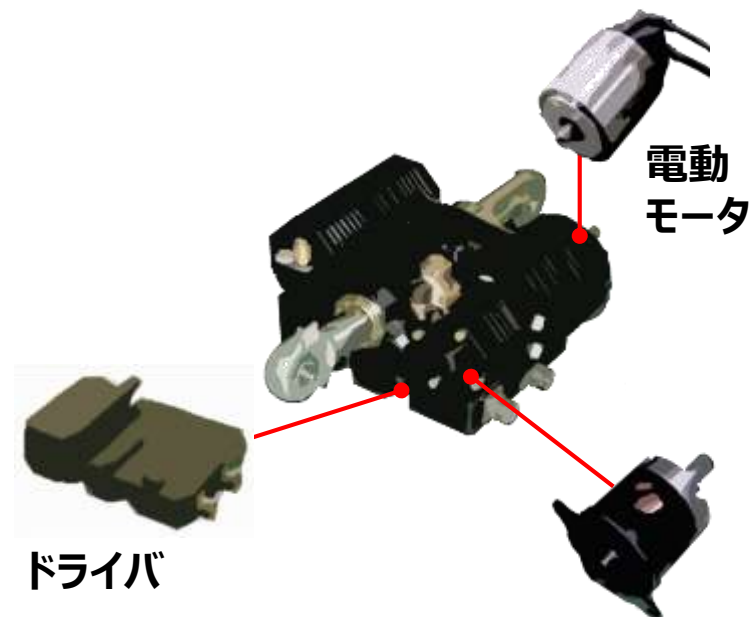
EHA

□ 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



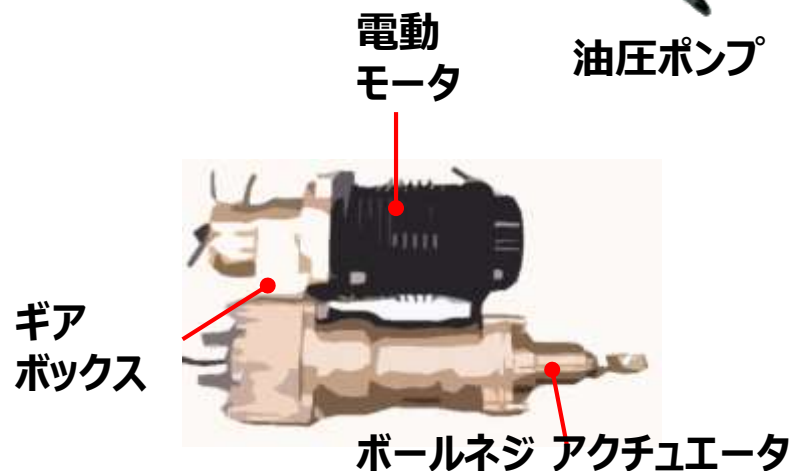
EMA

□ 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？