

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・マネージメント

——航空機関係テキスト集——

教材 06：プロジェクト・マネージメント / マネージメントとツール

プロジェクトマネジメントの標準・資格

<世界（概況）>

- ◆ 1965年に「国際プロジェクトに係わるプロジェクト・マネジャーの情報交換」を目的としてIPMA（International Project Management Association）が設立される。
- ◆ 当時の名前は（偶然にも）INTERNETであった。
- ◆ 世界の26ヶ国のナショナル・アソシエーション（NA）の連合体で約1万人の個人会員、500社の企業会員、300人の学生会員を擁する。
- ◆ IPMA中最大のNA組織は英国の6,000人の会員を擁するAssociation of Project Management（APM）である。

<英国:PRINCE2>

- ◆ **Project IN Controlled Environments**
- ◆ Development of PROMPTII was in response to an outcry that computer projects were overrunning on time estimated for completion and original budgets as set out in feasibility studies. It was not unusual to experience factors of double, treble or even ten times the original estimates. PROMPTII was an attempt to set down guidelines for the stage flow of a computer project. In 1979, the UK Government's Central Computing and Telecommunications Agency (CCTA) adopted the method for all information systems projects.
- ◆ 1989年にCCTA（Central Computer and Telecommunication Agency）が英国政府の情報システムのプロジェクトマネジメント標準として開発（当時はPRINCE）
cf; 同じ時期にITサービス管理基準として開発されたのがITIL(Information Technology Infrastructure Library)
- ◆ 1996に、**より汎用的なプロジェクトマネジメント手法としてPRINCE2を発表**

プロジェクトマネジメントの標準・資格

<米国:PMBOK>

- ◆ 1969年にプロジェクトマネジメントを職業とする団体としてPMI(Project Management Institute)が設立される。
- ◆ 1996年に**PMIがPMBOK(Project Management Body Of Knowledge)を発行**
- ◆ 1996年に米国政府とPMIの対話を促進するため、The American PM Forumが開催される。

<日本:P2M> ※PMAJ HPから抜粋

- ◆ (財) エンジニアリング振興協会 (ENAA) が1979年3月に「第1回プロジェクトマネジメント講習会」を開催。
- ◆ 1979年10月19日にENAAとPMIは「相互交流協定書」を締結
- ◆ ENAAが経済産業省の委託事業として3年間のリサーチを経て2001年に発行した日本発の「プロジェクト & プログラムマネジメント標準ガイドブック」としてP2Mを発行。
- ◆ P2Mは「世界有数の競争力を誇るプラントエンジニアリングのプロジェクトマネジメントにモノづくり日本のユニークなマネジメント手法を融合し、これにきわめて信頼性が高い日本のICTシステム構築のマネジメント力も加味した「日本の競争力強化を支援する」プロジェクトマネジメントガイドブック」である。
- ◆ P2Mの普及・啓蒙、資格制度の実施母体として、「特定非営利活動法人プロジェクトマネジメント資格認定センター（略称：PMCC）」を設立。
- ◆ 更に、2005年11月22日に、PMCCと、ENAAに付属する任意団体であるプロジェクトマネジメント・フォーラム（JPMF）が統合し、新たに「日本プロジェクトマネジメント協会」（PMAJ）として発足（以来、日本プロジェクトマネジメント協会（PMAJ）が普及を担当）。

なぜプロジェクトマネジメントが必要なのか？

目的 (Why?)

プロジェクトの成功方法を、
(属人化ではなく) 標準化する
ため

- それまではKKD（勘・経験・度胸）が主流？（特にIT業界）
- 企業にとっては、人によって成果がバラバラでは困る（標準化のモチベーション）
- 非科学的手法：スーパーマンのやり方を形式知化する
（昔流行ったエキスパートシステム）
- 科学的手法：プロジェクトマネジメント標準（PMBOKなど）

対象 (What?)

基本は
「ヒト・モノ・カネ（ジカン）」

- ヒト：組織（社内・社外）
 - Motivation
 - Capability
 - Competence
- モノ：成果物 with 品質 by each Milestones
 - 最終成果物
 - Results(Outcomes, Artifacts)：図面、文書、データベースなど
- カネ（ジカン）：コスト
 - 固定費（人件費）
 - 変動費（外注費、資材費）

方法 (How?)

基本は、
「品質・時間・形態・リスクを計画
どおりに」

- Quality control
- Time control[Milestone]
- Configuration[Baseline]
- Risk

プロジェクトマネジメント手法

★	Scope	◆ WBS, Work packages ◆ Configuration(Configuration Item, Scope baseline, Change Control)
★	Time (milestone)	◆ Activity ◆ PERT/CRM ⇒ Gantt Chart ◆ Schedule Baseline, Milestone
★	Cost	◆ Activity cost ◆ EVM ◆ Cost Baseline
	Quality	◆ Quality Requirement / Assurance / Control
	Human Resource	◆ Organization ◆ Team Building ◆ Management
	Communication	◆ Model (Encode, Message, Medium, Noise, Decode) ◆ Method (face to face > Tel > Mail, memo)
	Risk	◆ Risk identification ◆ Risk analysis & assessment (Qualitative, Quantitative)
★	Stakeholder	◆ Identify and Analysis ◆ Engagement

SCOPE

<WBS>

- ◆ Work Breakdown Structure
- ◆ 切り口は？
 - ✓ 機能(by Function)
 - ✓ 構造(by Module/Structure)
 - ✓ 時間(by Phase/Stage)
 - ✓ プロセス(by Process)

<Work Package>

- ◆ WBSの最下層（葉：leaf）の要素
- ◆ 通常は、モノ（outcome, result, artifactなどと呼ぶ）につながる

<Configuration>

- ◆ Configuration Item
 - ✓ Configuration Index/Identification Document(CID)
- ◆ Scope Baseline
 - ✓ Scope Statement
 - ✓ WBS
 - ✓ Criteria
- ◆ Change Control
 - ✓ Problem Report
 - ✓ Change Request
 - ✓ Change Control Board

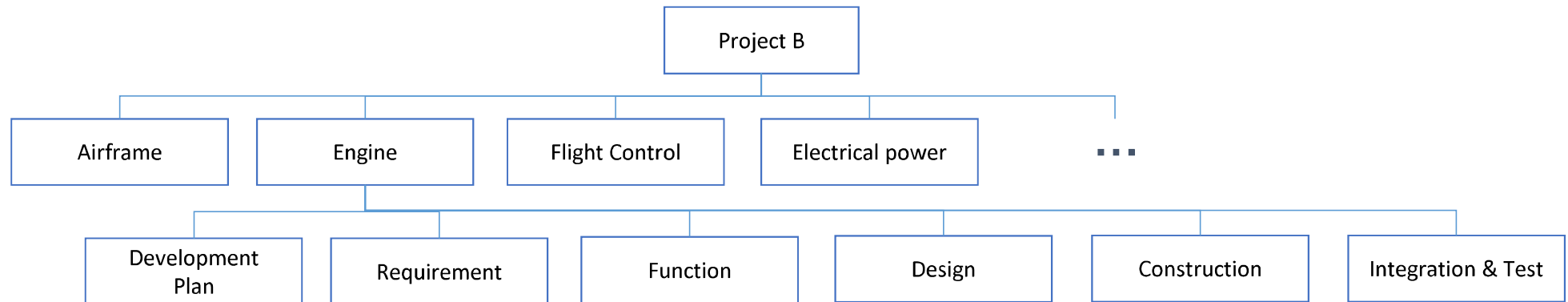
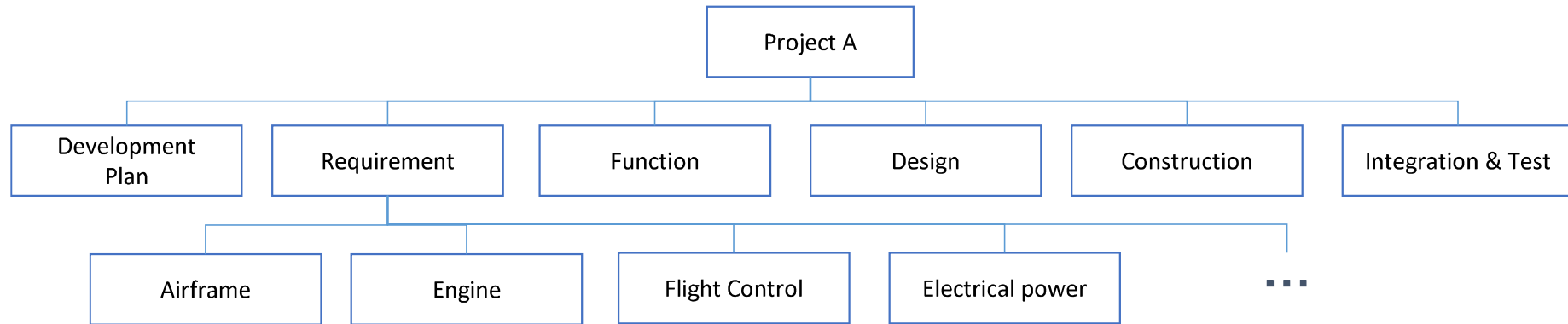
<Planning>

- ✓ Plan Scope Management
- ✓ Collect Requirements
- ✓ Define Scope
- ✓ Create WBS

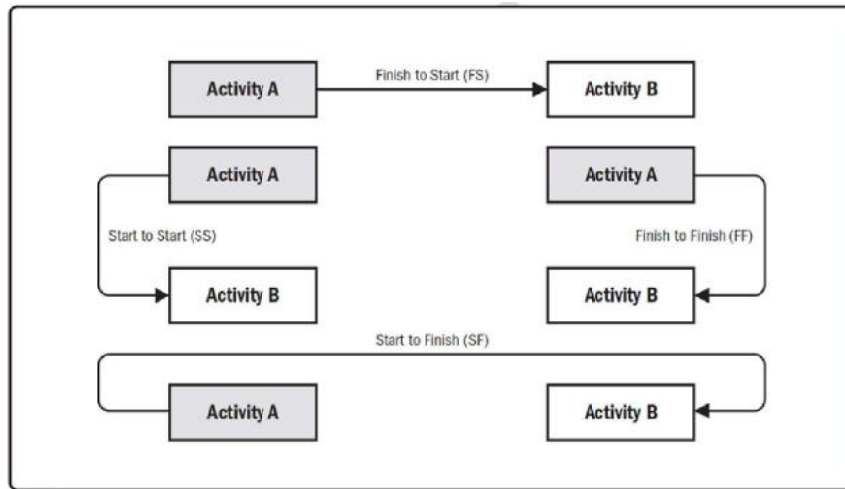
<Monitoring & Controlling>

- ✓ validate Scope
- ✓ Control Scope

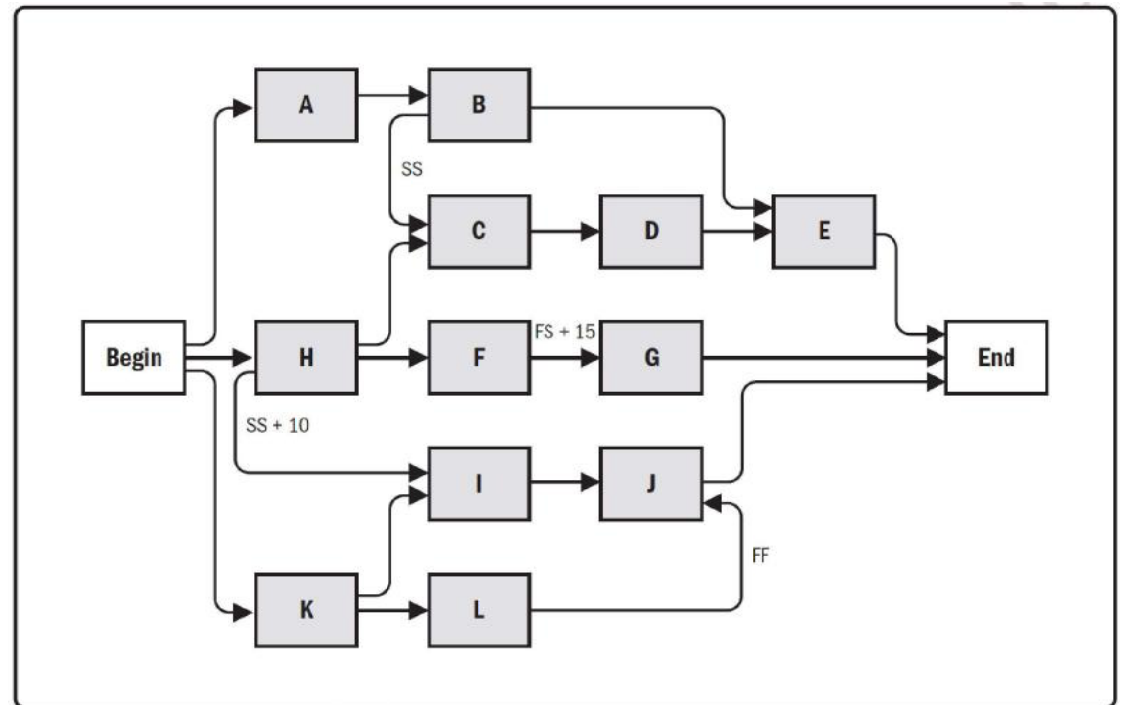
WBS EXAMPLES: “BY PHASE” .VS. “BY MODULES”



PROJECT SCHEDULE NETWORK DIAGRAM

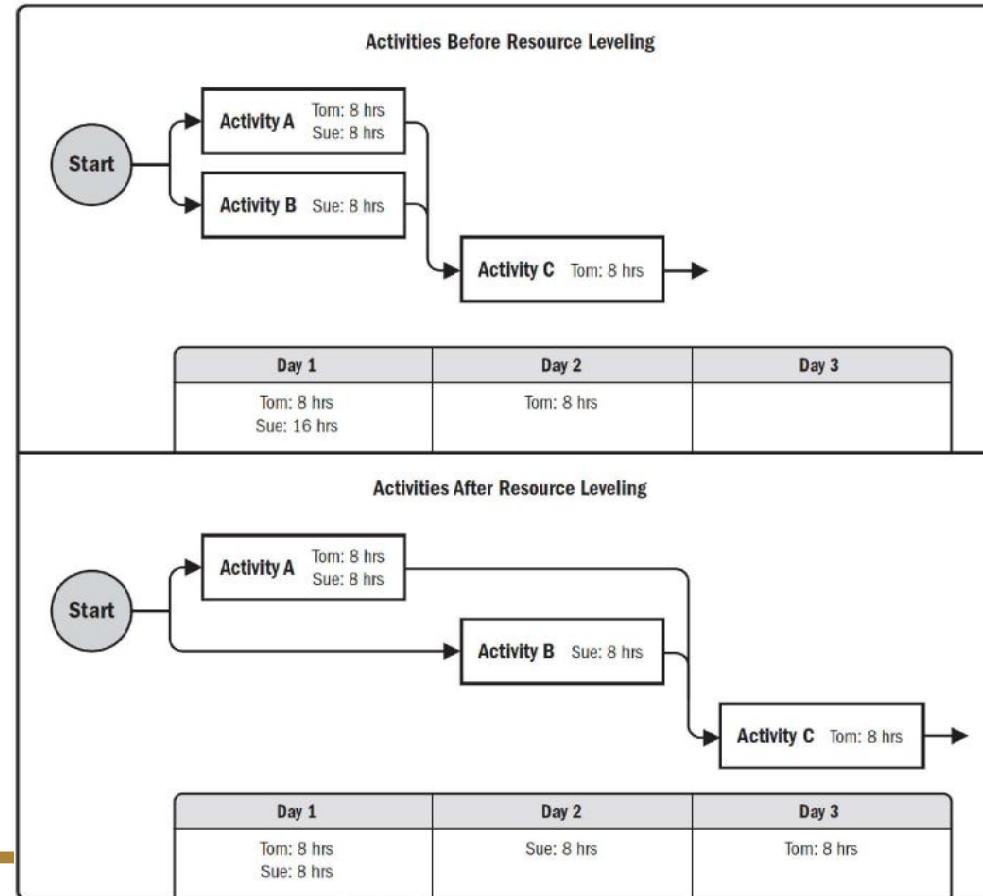


出所 : PMBOK Guide(ver.6)
P.190



出所 : PMBOK Guide(ver.6)
P.193

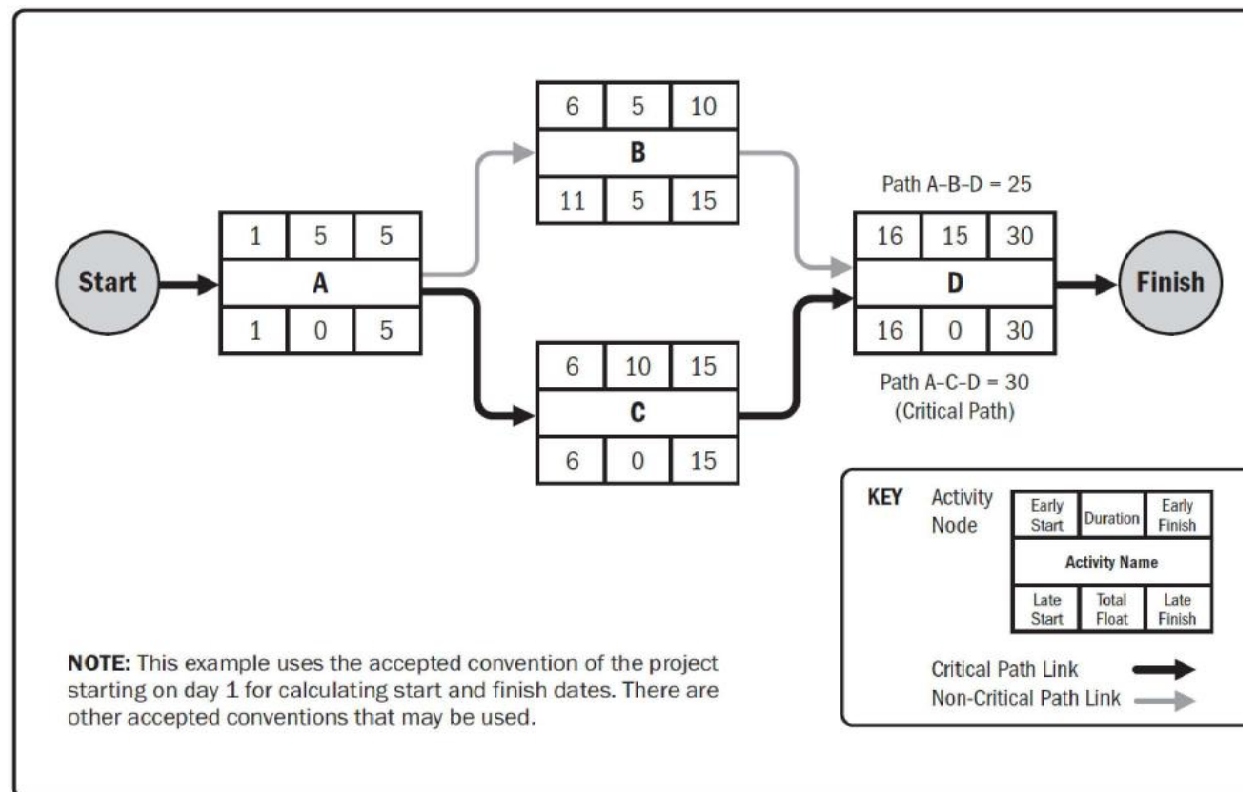
RESOURCE LEVELING



出所 : PMBOK Guide(ver.6)
P.212

CPM

プロジェクトの作業の期間や他の作業との依存性を表して計画を立てる手法。



CPM: Critical Path Method

出所 : PMBOK Guide(ver.6)
P.211

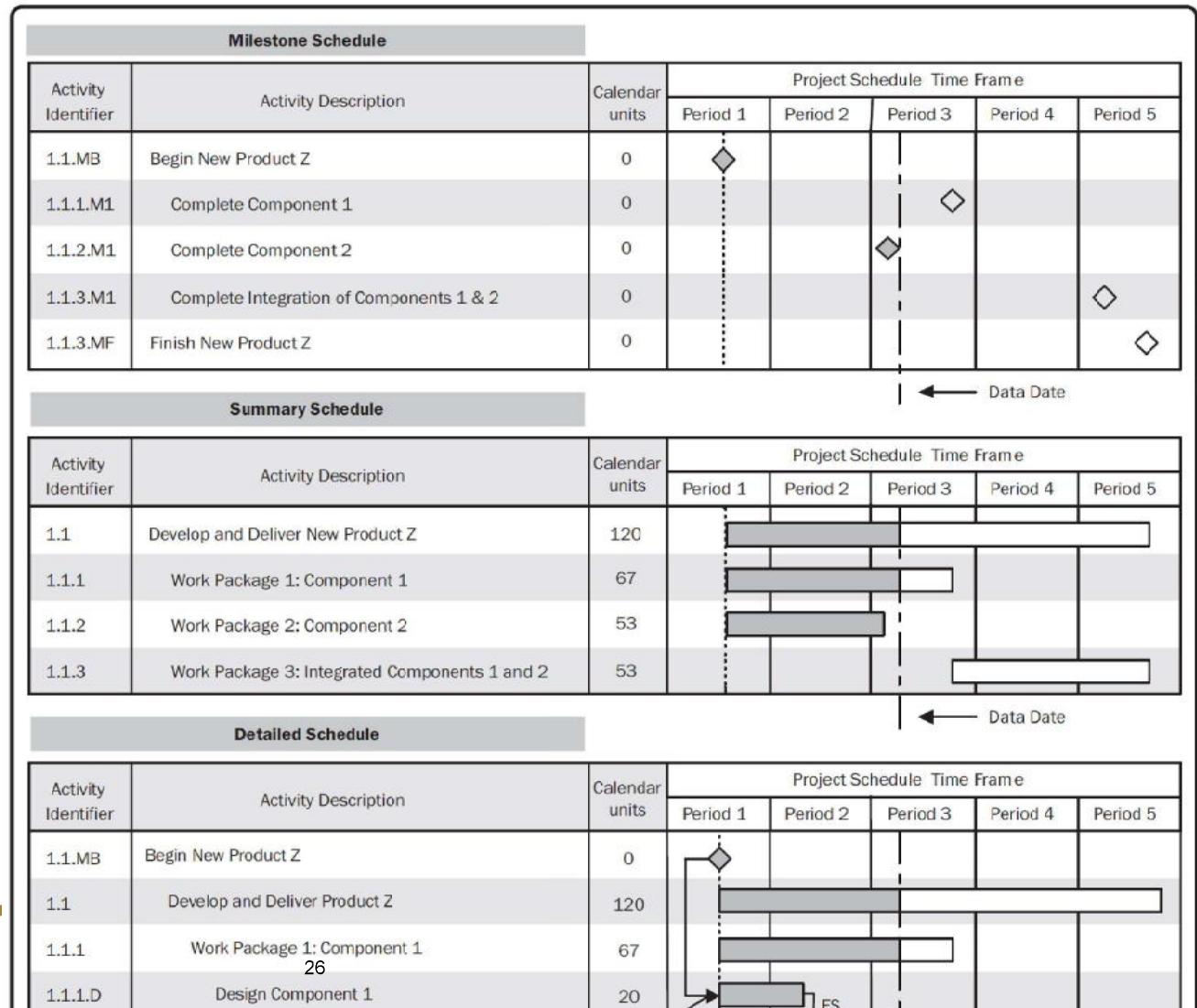
SCHEDULING

通常はマスタースケジュールが
ベース
(given)

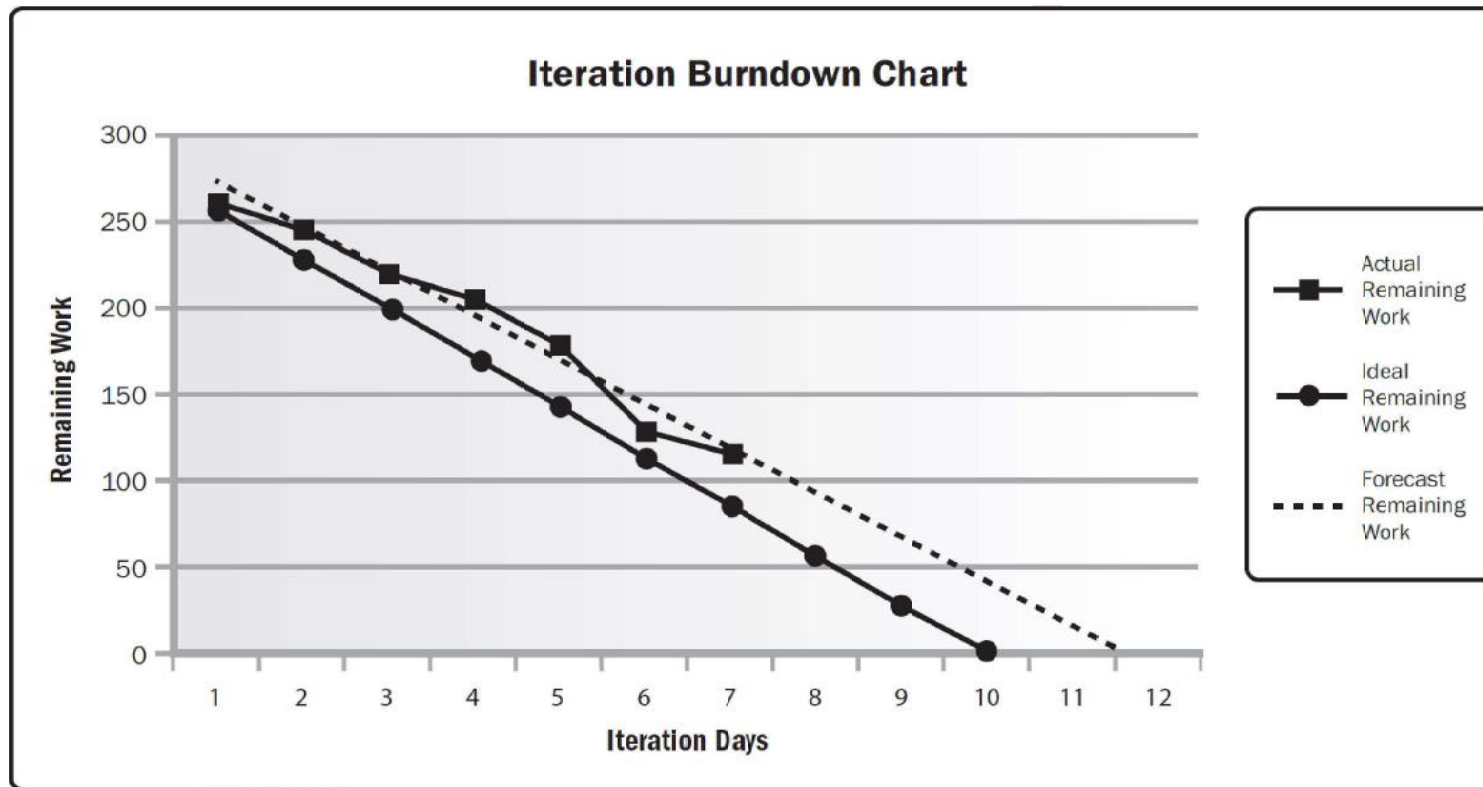
Detailed Scheduleの集約
版

Activity Networkの見方
を変えたもの

出所 : PMBOK Guide(ver.6) P.219



CONTROL SCHEDULE



出所 : PMBOK Guide(ver.6) P.226

COST

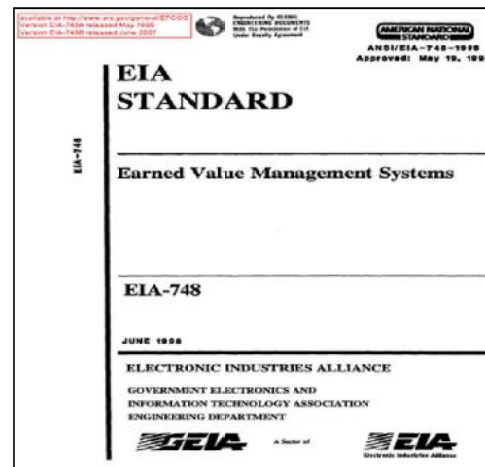
<Activity Cost>

- ◆ Activity cost = Σ (Working rate x Man-hour)
 - ✓ Working rate
 - ✓ Man-hour

コストと能力の関係は？

<Cost Baseline & Control>

- ◆ EVM
 - ✓ 1962年に始まったミニットマンミサイル計画において、EVMの前身的手法が考案・使用されていた。
 - ✓ 1993年に米国DoDにて政府調達におけるプロジェクトのパフォーマンス測定および評価指標が見直された。
 - ✓ 1998年に ANSI/EIA #748-1998 Earned Value Management Systemが公開され、政府調達プロジェクトの前提条件となった。
- ◆ Cost Baseline
 - ✓ Planed Value (計画値)



<Planning>

- ✓ Plan Cost Management
- ✓ Estimate Costs
- ✓ Determine Budget

<Monitoring & Controlling>

- ✓ Control Costs

QUALITY

< Quality Requirements >

- ◆ Cost-benefit Analysis
- ◆ Cost of Quality(COQ)
- ◆ Control Chart
- ◆ Benchmarking
- ◆ Design of Experiments(DOE)
- ◆ Statistical Sampling
- ◆ Quality Management Methodologies(Six Sigma, CMMI ...etc)

<Quality Assurance>

- ◆ Quality Audits
- ◆ Process Analysis(ex. root cause analysis)

構造品 vs 装備品
保証方法の違いは？

<Quality Control>

- ◆ 特性要因図(Cause & Effect Diagram)
- ◆ Control Charts, Flowcharting, Histogram, Pareto Chart
- ◆ Scatter Diagram
- ◆ Statistical Sampling
- ◆ Inspection
- ◆ Approved Change requests Review (承認されたとおりに実行されたか？)

<Planning>

- ✓ Plan Quality Management

<Executing >

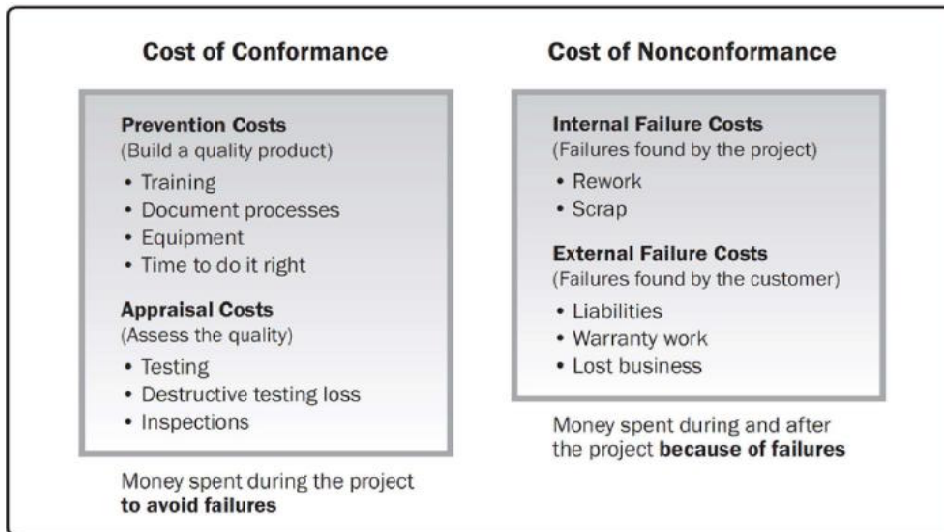
- ✓ Perform Quality Assurance

<Monitoring & Controlling >

- ✓ Control Quality

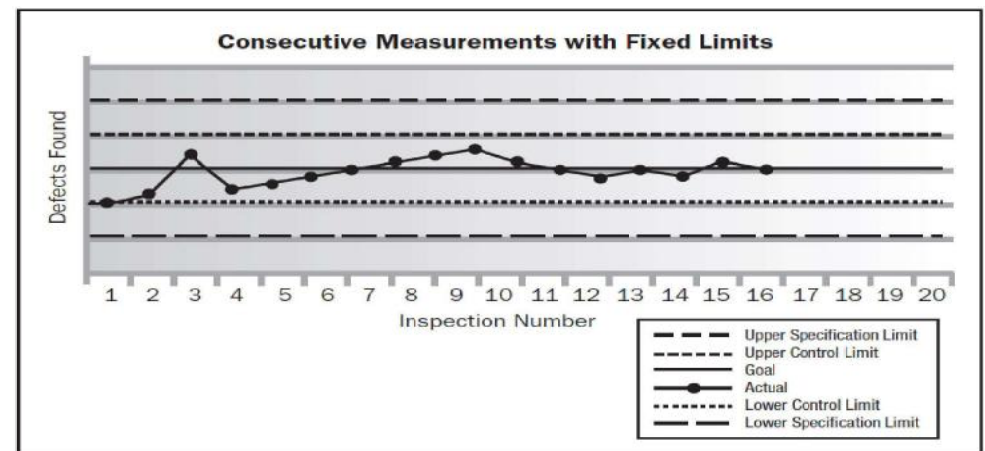
QUALITY REQUIREMENTS

Cost of Quality(COQ)



出所 : PMBOK Guide(ver.6) P.263

Control Chart



出所 : PMBOK Guide(ver.4) P.197

STAKEHOLDER

< Identify and Analysis >

- ◆ Identify and potential impact of each stakeholder classified by;
 - ✓ Power/Interest grid
 - ✓ Power/Influence grid
 - ✓ Influence/Impact grid
 - ✓ Salience model (権力：自分の意思を通す力、緊急性：直ちに対処する必要性、正当性：参加の妥当性)
- ◆ Assess how key stakeholders are likely react or respond in various situations;
 - ✓ Stakeholder
 - ✓ Stakeholder Interest(s) in the Project
 - ✓ Assessment of Impact
 - ✓ Potential Strategies for Gaining Support or Reducing Obstacles

<Engagement>

- ◆ 「プロジェクトに積極的に関わりあうこと」
- ◆ Interpersonal Skills; situations;
 - ✓ Building trust
 - ✓ Resolving conflict
 - ✓ Active listening
 - ✓ Overcoming resistance to change
- ◆ Presentation skills, negotiating, Writing skills, Public speaking

<Initiating>

- ✓ Identify Stakeholders

<Planning>

- ✓ Plan Stakeholder Management

<Executing>

- ✓ Manage Stakeholder Engagement

<Monitoring & Controlling>

- ✓ Control Stakeholder Engagement

STAKEHOLDER ASSESSMENT GRID

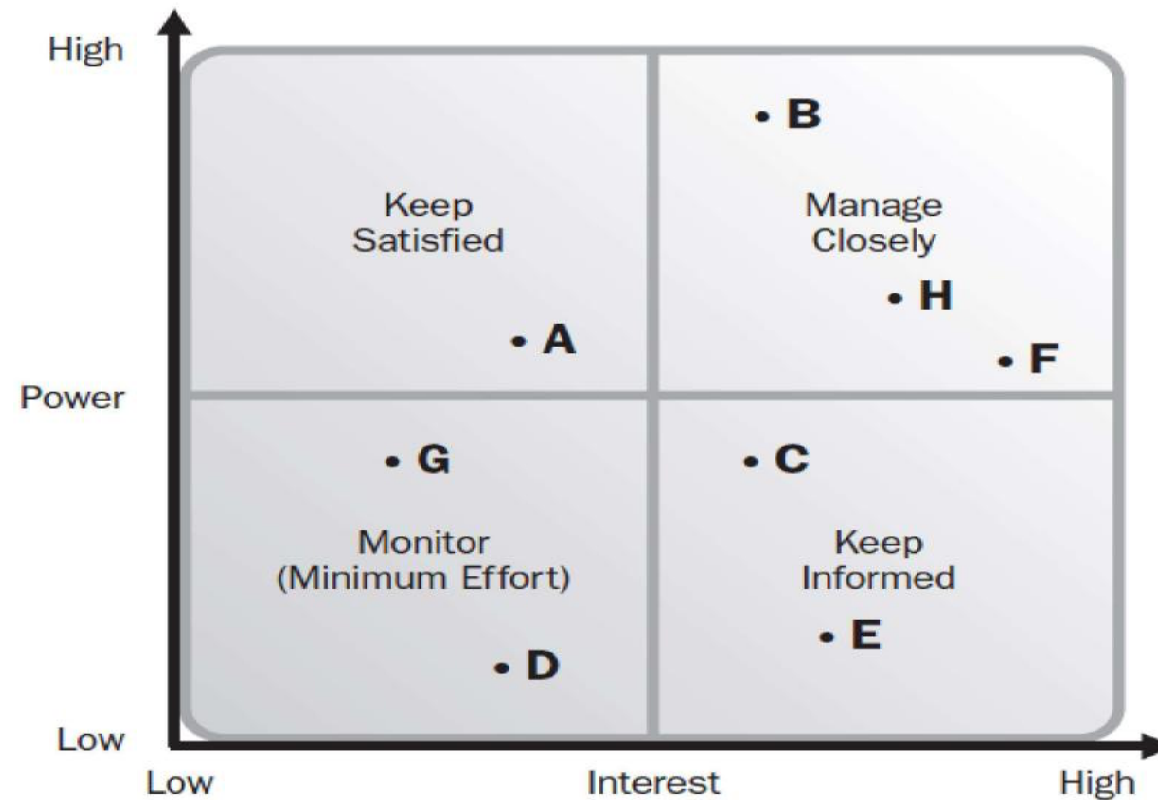


Figure 10-4. Example Power/Interest Grid with Stakeholders

出所：PMBOK Guide(ver.4) P.249

RISK

<Identification>

- ◆ Risk Breakdown Structure(RBS)
- ◆ Impact Scales
- ◆ Risk register(list of identified risk, potential response)

<Qualitative Analysis>

- ◆ Risk probability and impact assessment (Impact Matrix)
- ◆ Risk Categorization
- ◆ Risk Urgency Assessment
- ◆ Expert Judgement

<Quantitative Analysis>

- ◆ Data Gathering(Interviewing, Probability Distribution)
- ◆ Modeling techniques

<Response>

- ◆ For Negative Risks or Threats(Avoid, Transfer, Mitigate, Accept)
- ◆ For Positive Risks or Opportunities(Exploit, Share, Enhance, Accept)
- ◆ Expert Judgement

<Evaluating>

- ◆ Reassessment, Audit

<Planning>

- ✓ Plan Risk management
- ✓ Identify Risks
- ✓ Perform Qualitative Risk Analysis
- ✓ Perform Quantitative Risk Analysis
- ✓ Plan Risk Responses

<Monitoring & Controlling>

- ✓ Control Risks

RBS

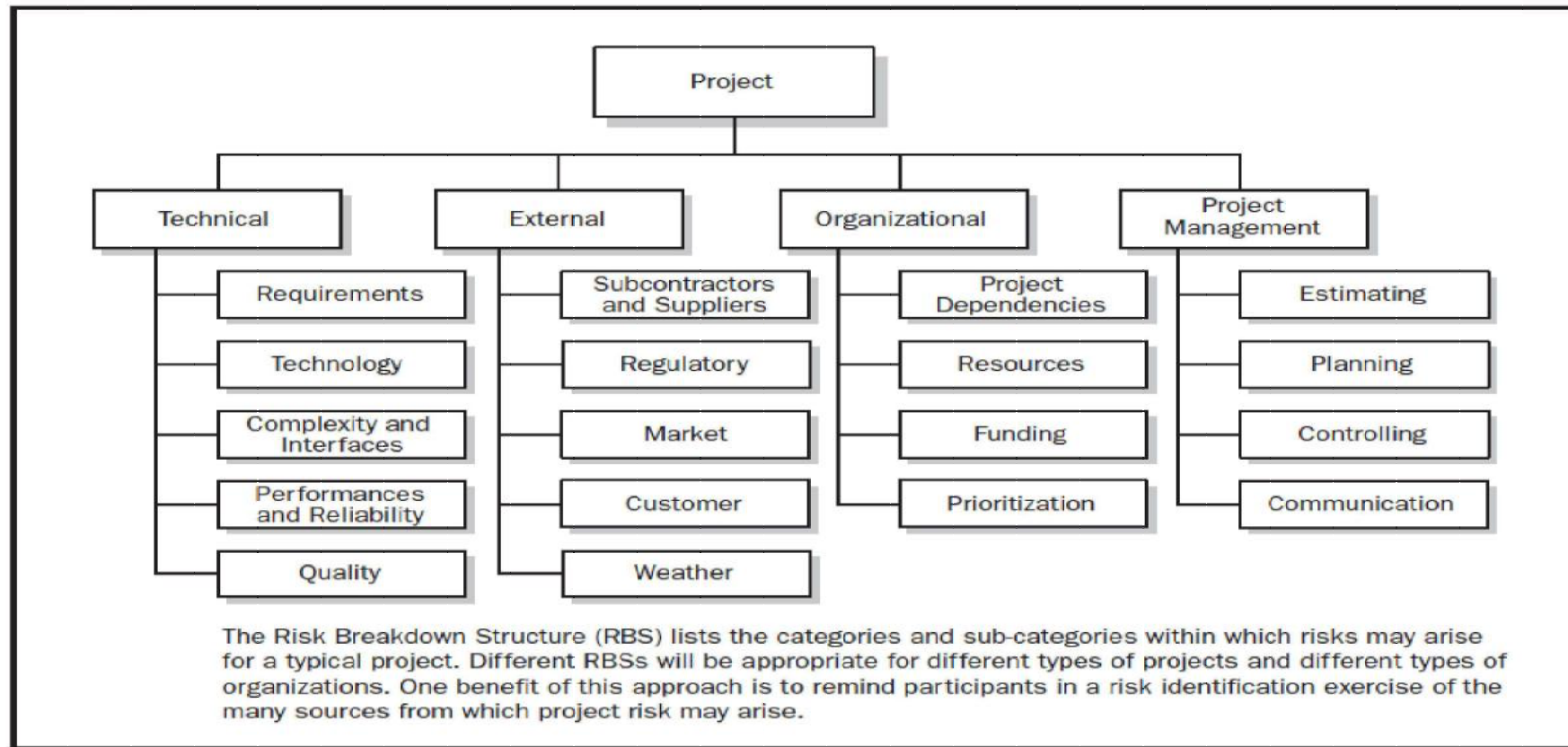


Figure 11-4. Example of a Risk Breakdown Structure (RBS)

出所：PMBOK Guide(ver.4) ■
P.280

航空機開発におけるプロジェクトマネジメントの特徴

PMBOKのKnowledge Area	Scope	◆ 部品点数が膨大 (30～600万点) ◆ 複雑化 (SW/AEHの導入)
	Time	◆ 開発期間が長い (5～8年)
	Cost	◆ 開発費が高い (2500億円～1兆円)
	Quality	◆ 安全性要求が高い (致命的な故障の発生確率が, 1×10^{-9}以下) ◆ JISQ9100, Nadcap認証, 事業場認定制度など
	Human Resource	◆ 開発要員が膨大 (OEMだけで数千人, Tier1/2合わせると数万人)
	Communication	◆ 多企業かつ分散環境 (Tier2を含めると数十社) ⇒ ノイズ大 ◆ 多言語 (Aircraft業界の共通言語は“英語”だが, ローカルでは・・・)
	Risk	◆ 多種多様かつリスク発現時の影響が甚大 (多くのOEMが国有化されてきた)
	Procurement	◆ 調達品の数量・種類が膨大 かつ locationが世界各国⇒マネジメントが困難
	Stakeholder	◆ Stakeholderが膨大 (OEM, Suppliers, Authorities, A/L, …etc)

“プロジェクトマネジメントのすべての領域が超高難度”

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・マネージメント

——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

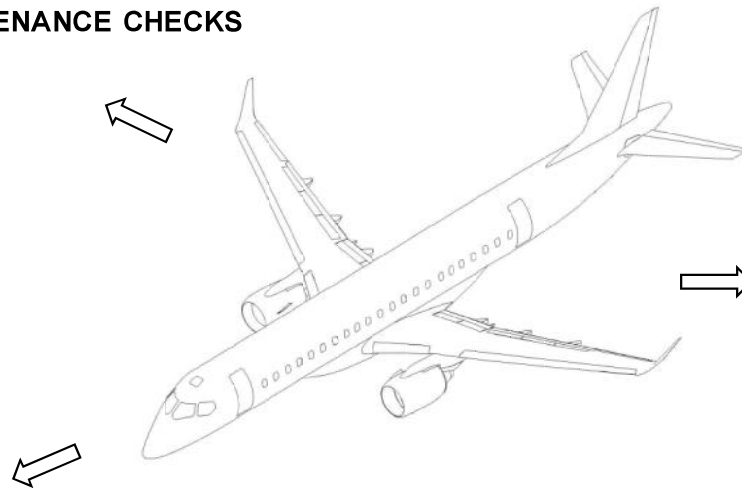
- ATA (Air Transport Association : 米国航空輸送協会) が定めた番号体系
- 民間機において、マニュアル等の文書で使用 (万国共通)

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

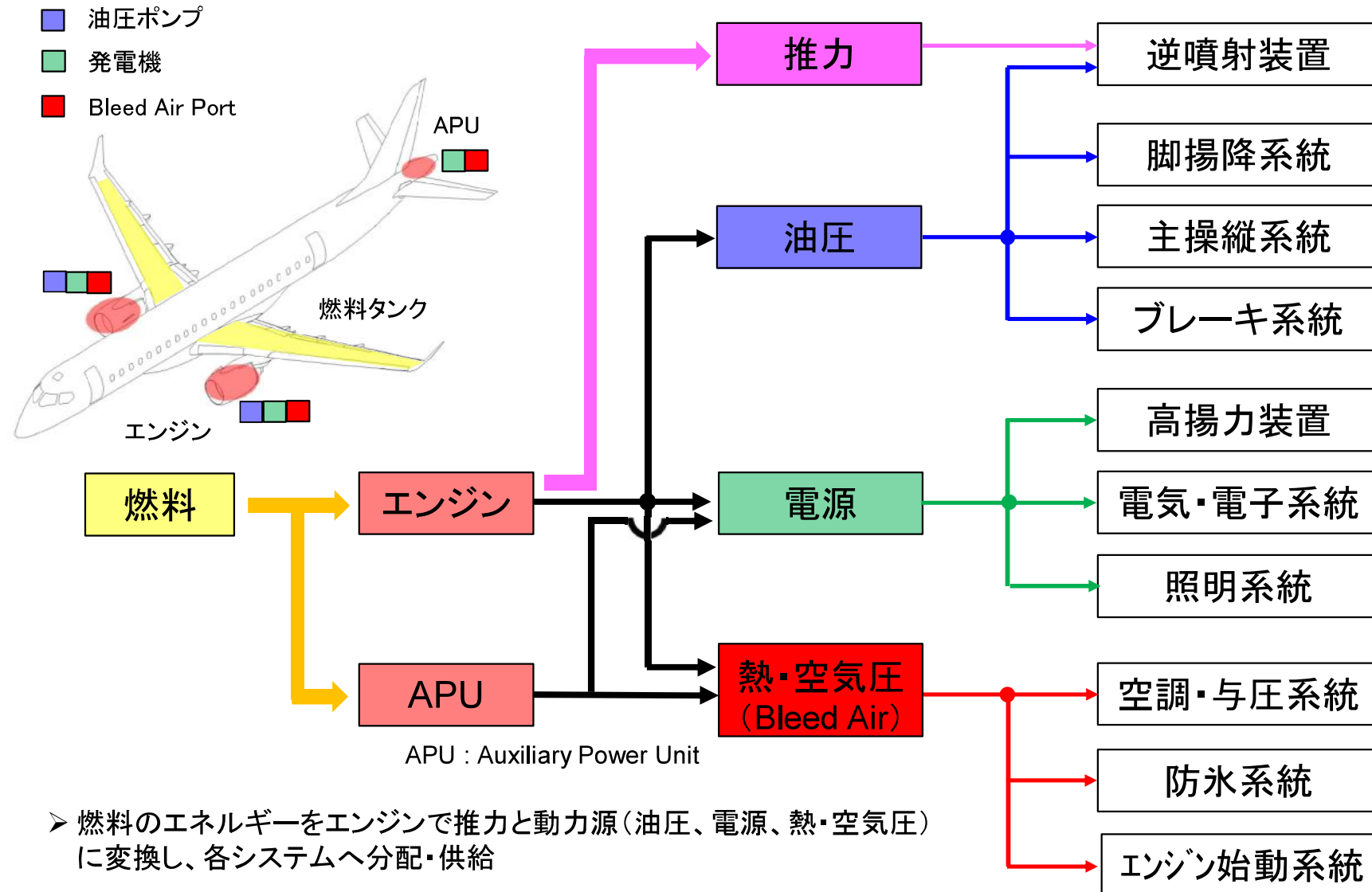


装備設計の対象

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
 - ・耐雷 / 強電界
 - ・振動 / 衝撃
 - ・電磁干渉 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

システムレベル要求

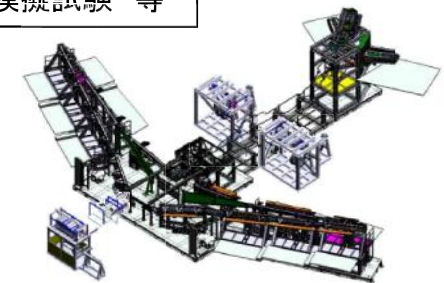
- ②システム機能要求
- ・操縦システム構成
 - ・舵角レート 等

装備品レベル検証

- ①②装備品単体試験
- ・機能試験
 - ・環境試験

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
 - ・耐雷 / 強電界
 - ・振動 / 衝撃
 - ・電磁干渉 等



Verification Process

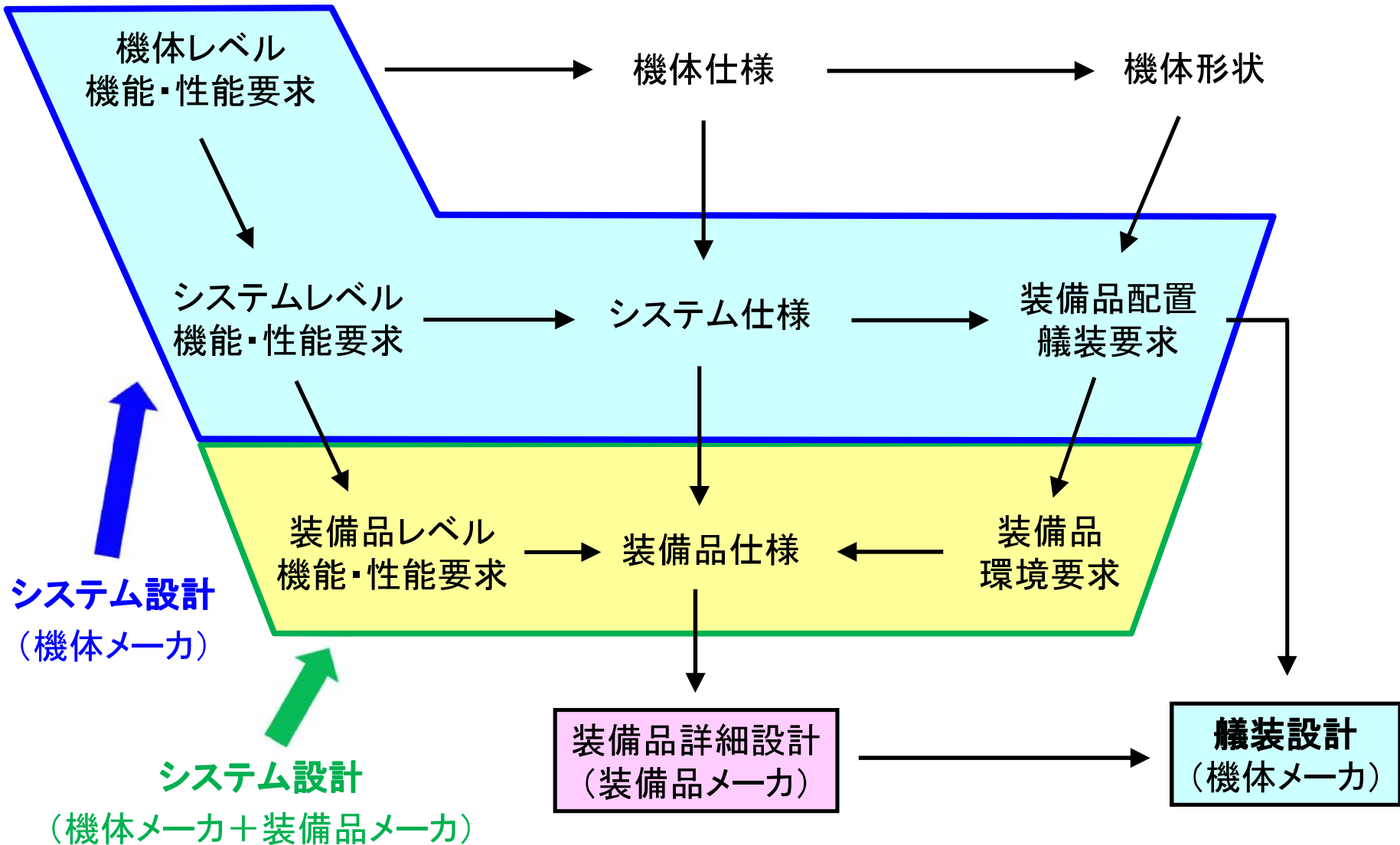
(製品が要求を満足することを確認)

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

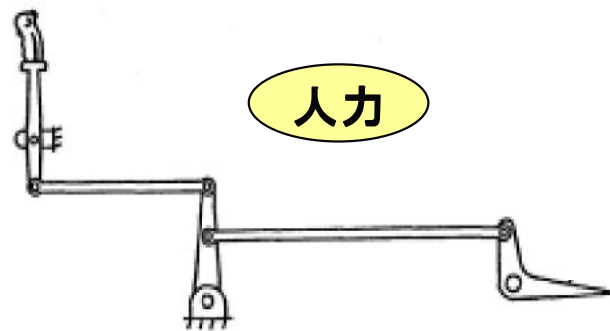
システム設計と艤装設計



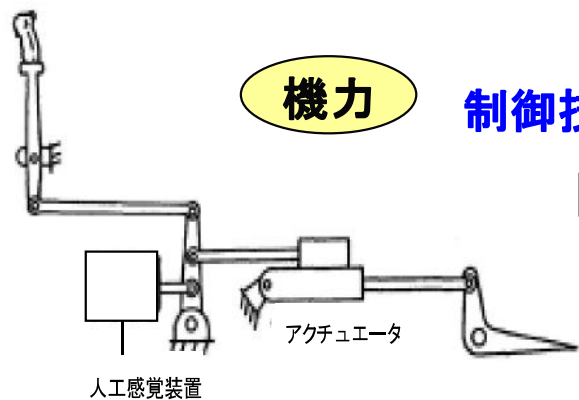
航空機システムの概要 – 操縦系統

- 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

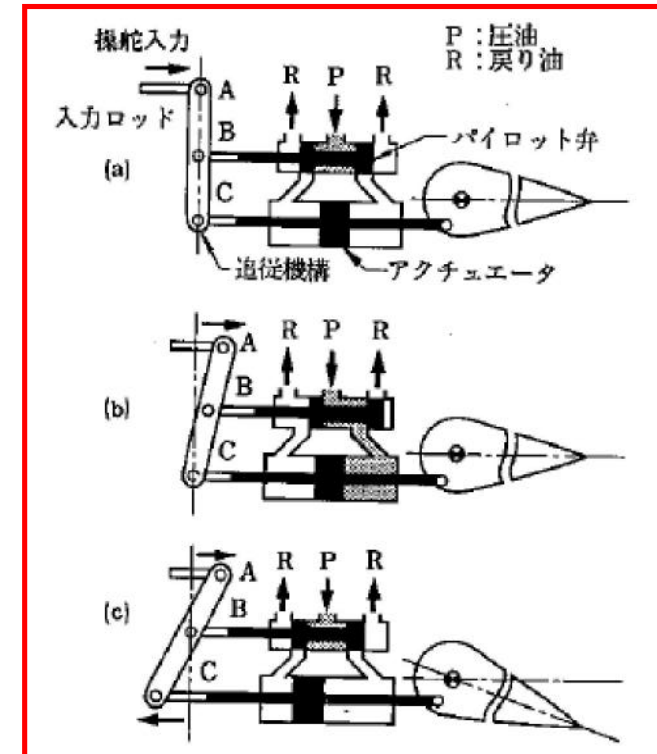
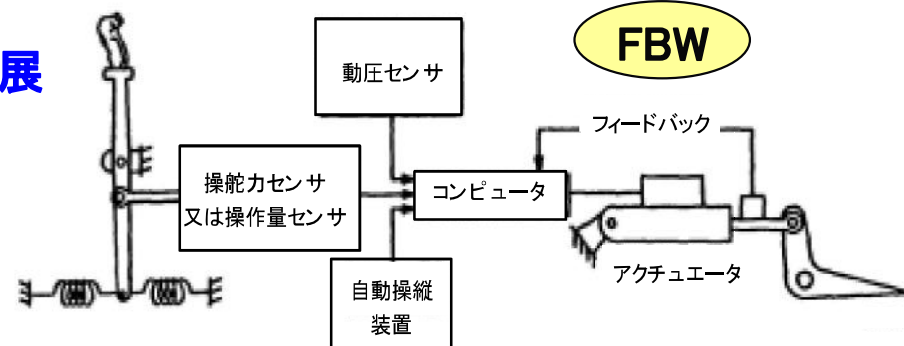
FBW : Fly By Wire



機体大型化



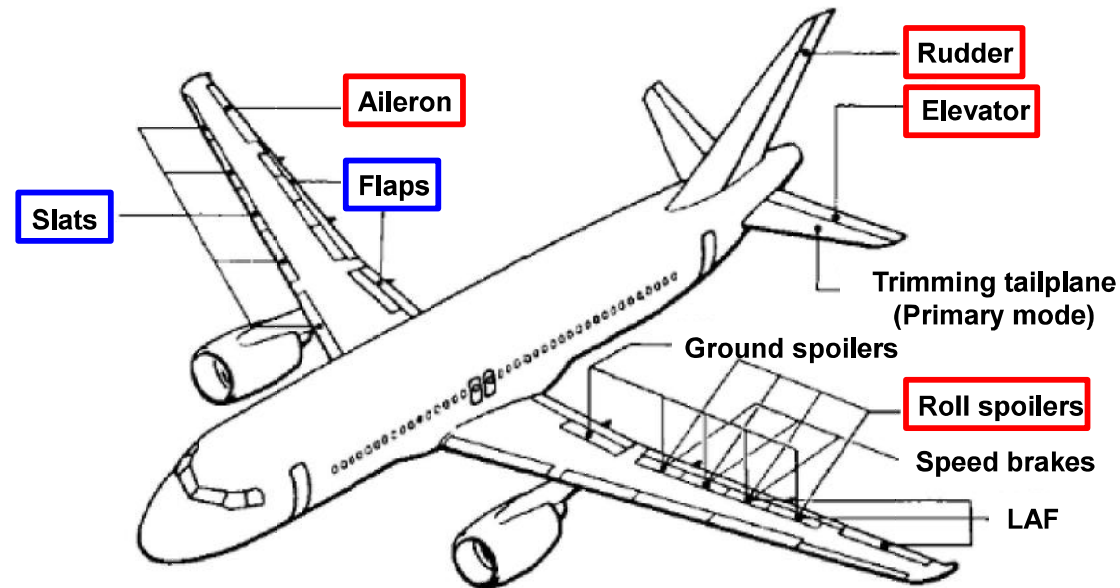
制御技術の発展



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>

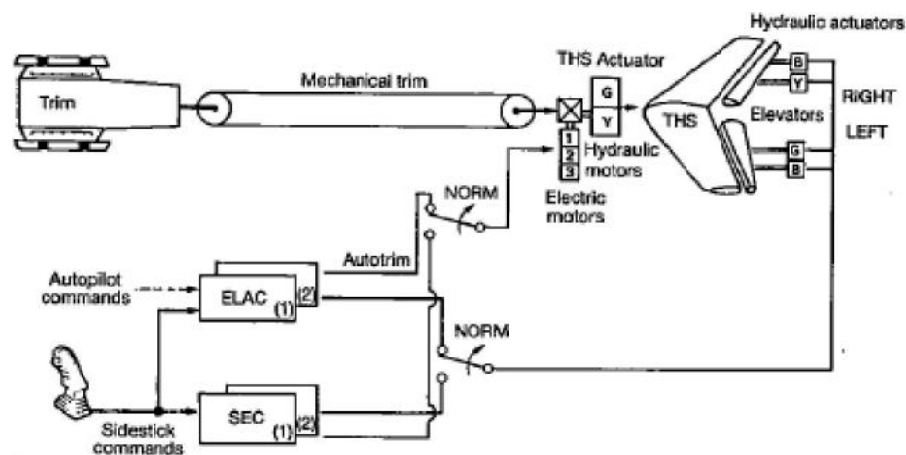
LAF: Load Alleviation Function

THS: Trimmable Horizontal Stabilizer

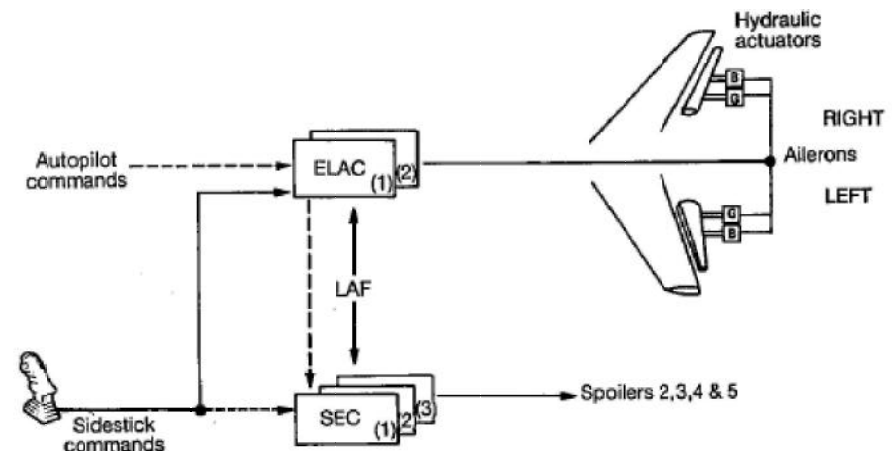
ELAC: Elevator and Aileron Computer

SEC: Spoiler and Elevator Computer

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



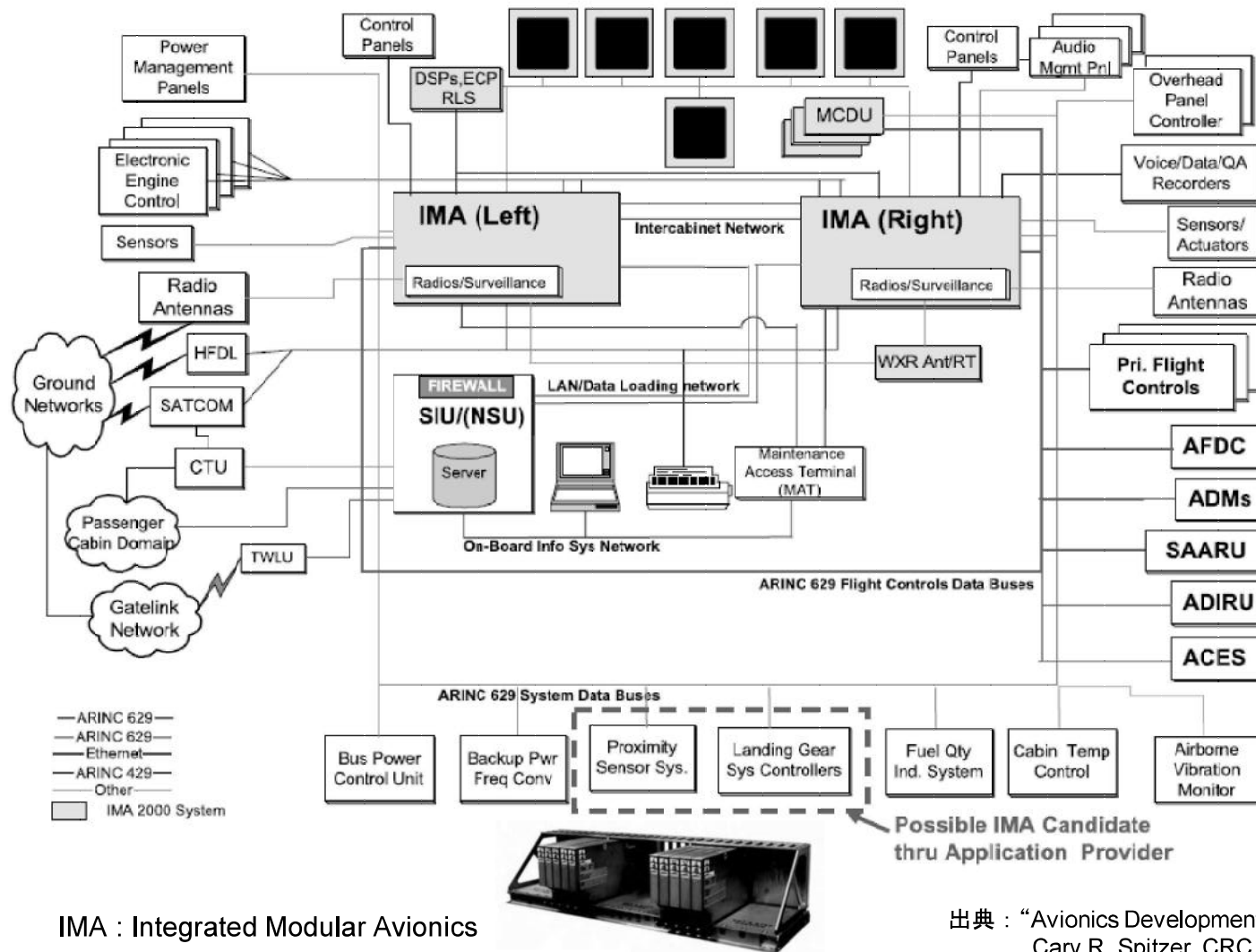
ピッチ・コントロール・システム



ロール・コントロール・システム

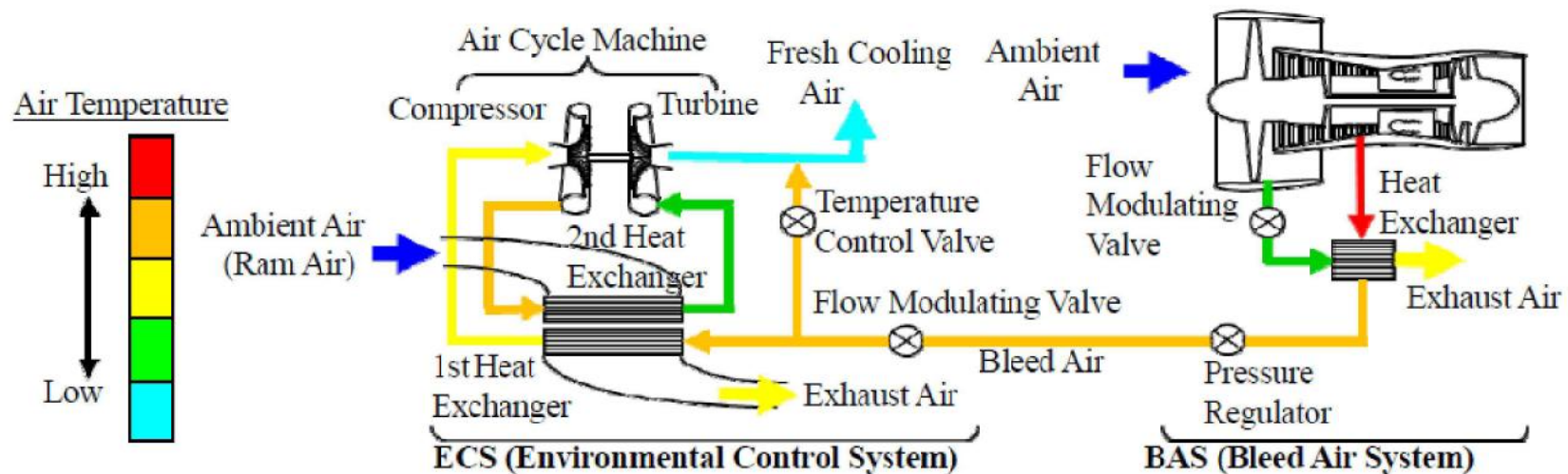
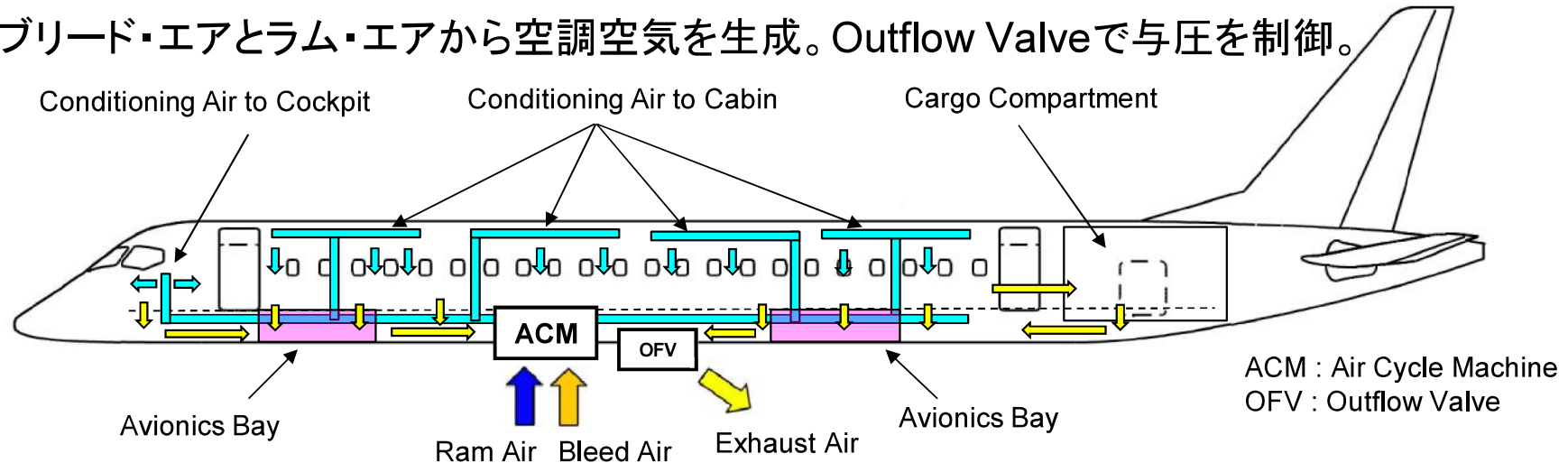
航空機システムの概要 – アビオニクス

- 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

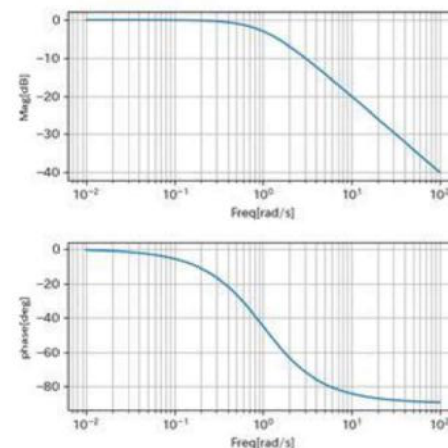
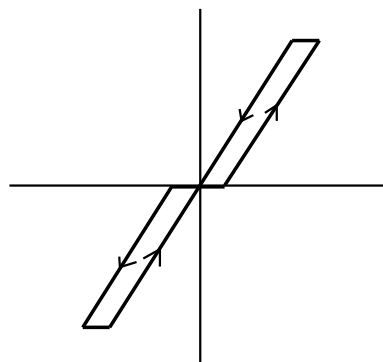
システム／装備品に対する機能要求

【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

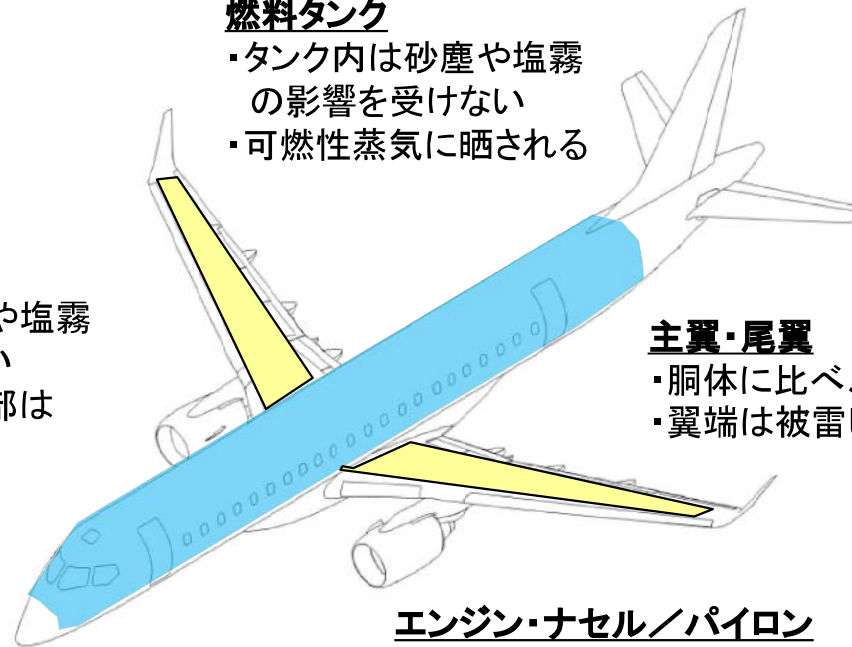
- ・タンク内は砂塵や塩霧の影響を受けない
- ・可燃性蒸気に晒される

主翼・尾翼

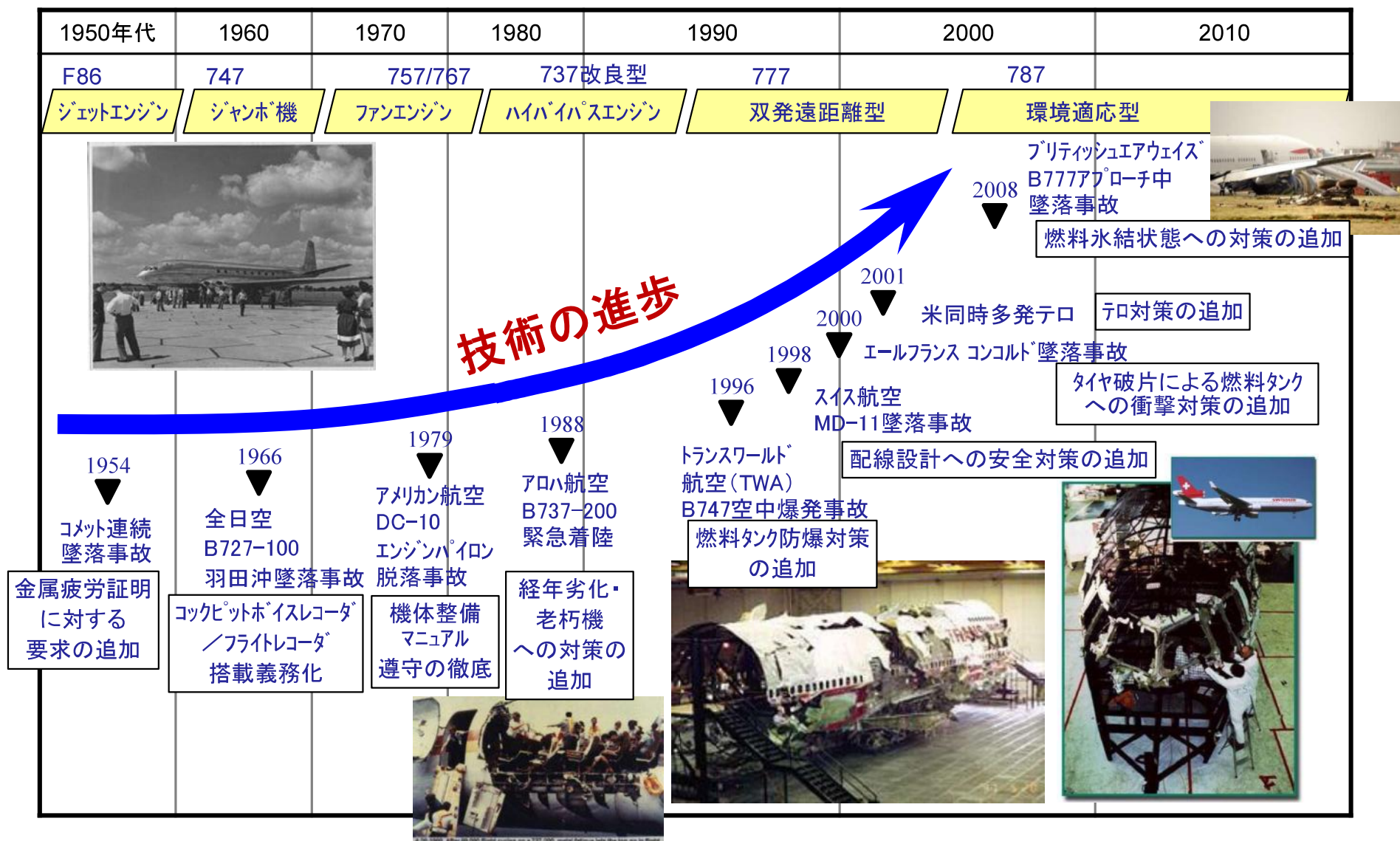
- ・胴体に比べ、温度・振動環境が厳しい
- ・翼端は被雷しやすい

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。

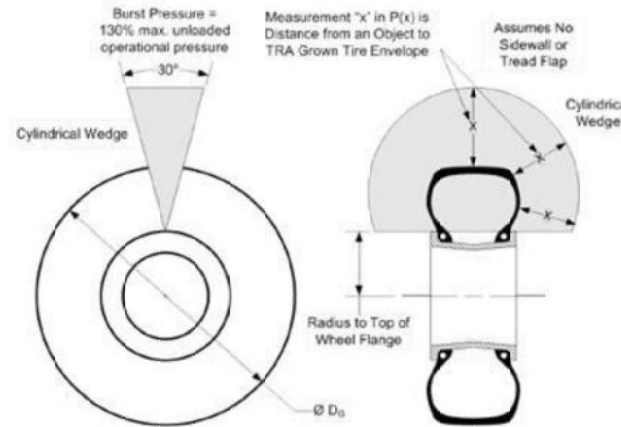
➤ FAR 25.1309 (b)

- ✓ 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。

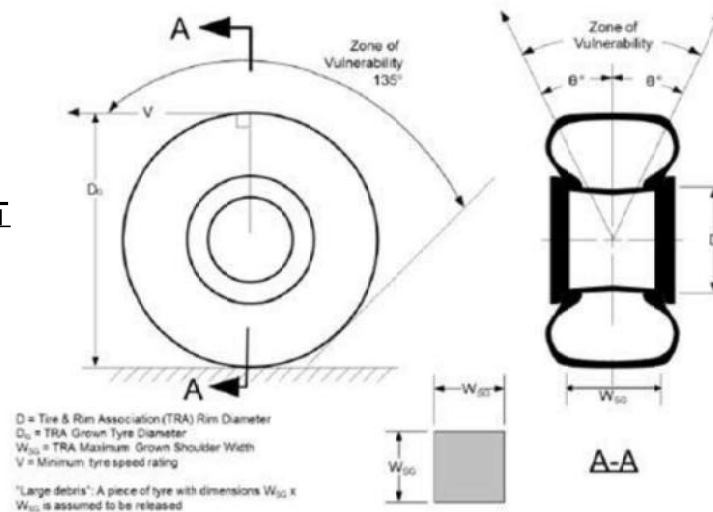
冗長システム同時故障の想定要因 – タイヤ・バースト

- 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

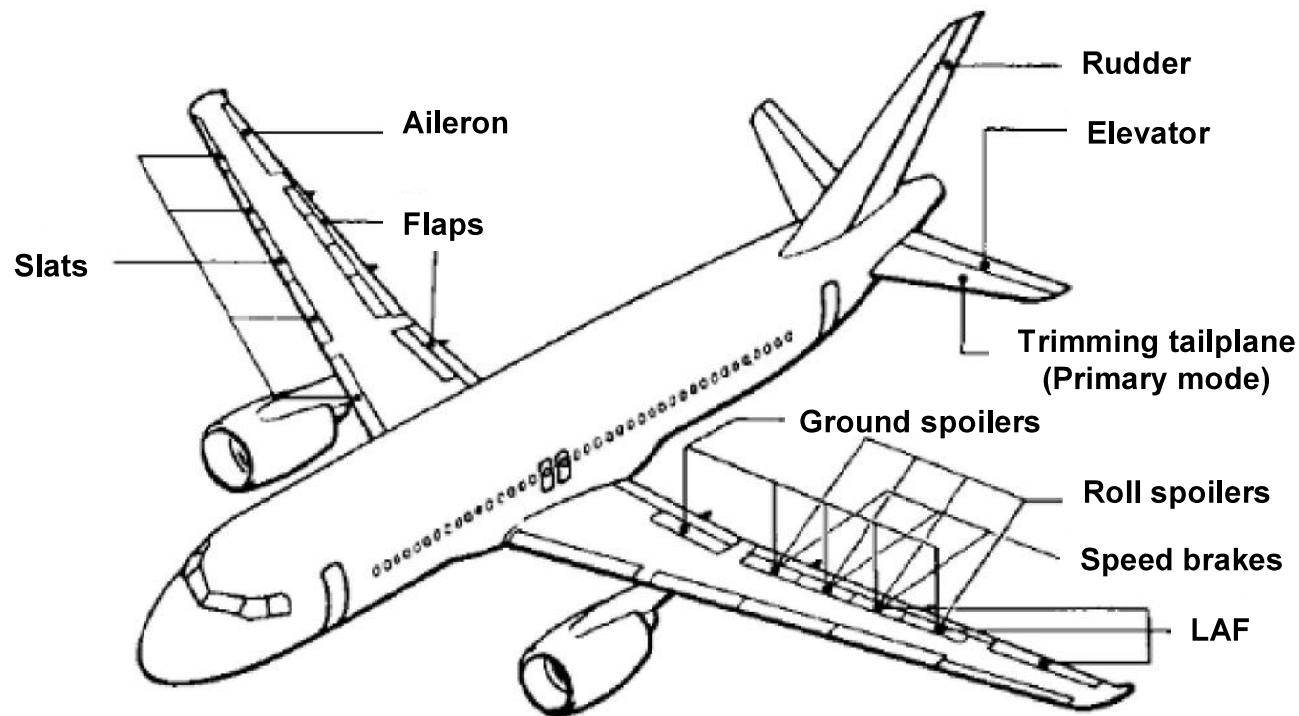
- 飛行中に鳥が機体に衝突して機体構造・システムを損傷させたり、エンジンに鳥が吸い込まれてエンジンを停止させる事象。



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

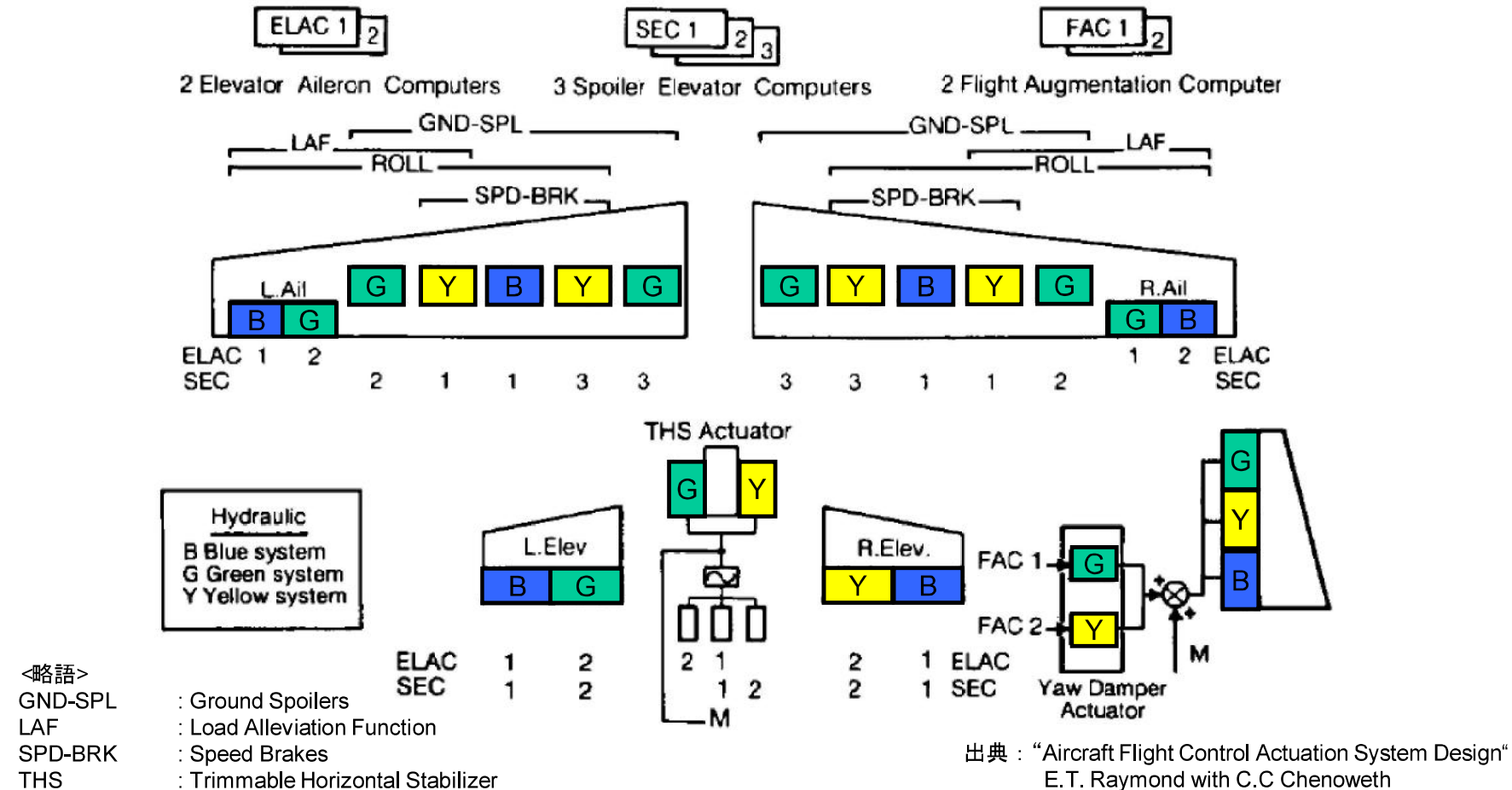
<略語>

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

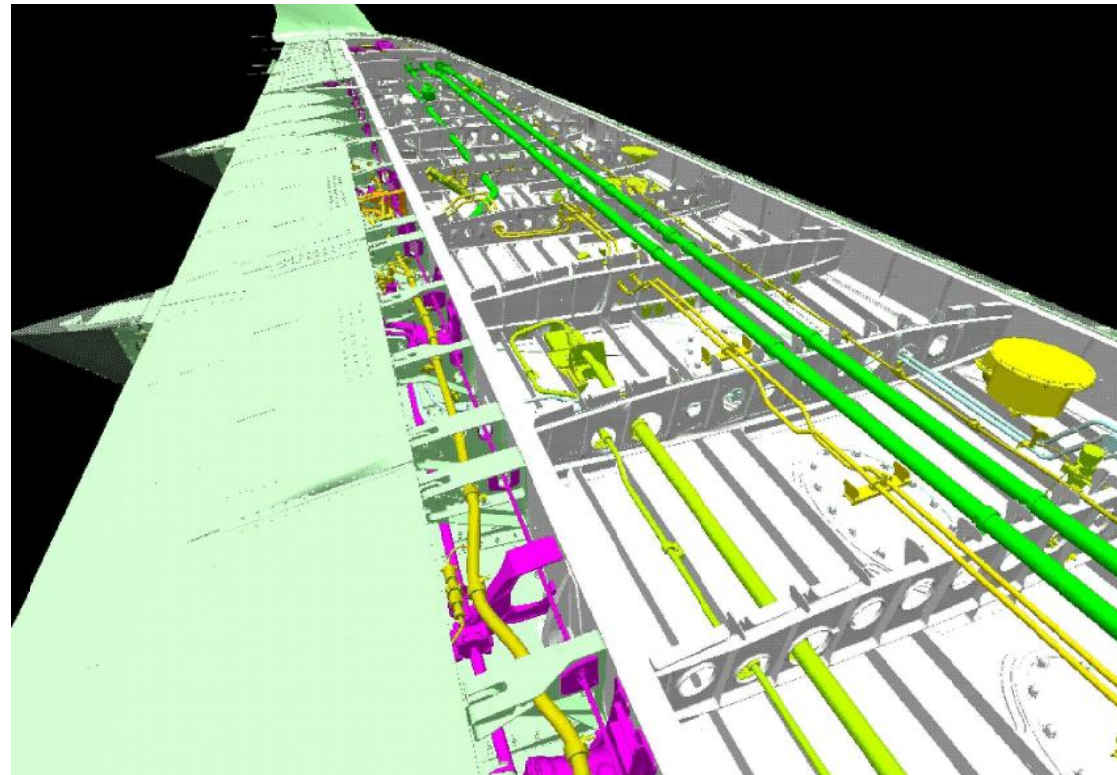
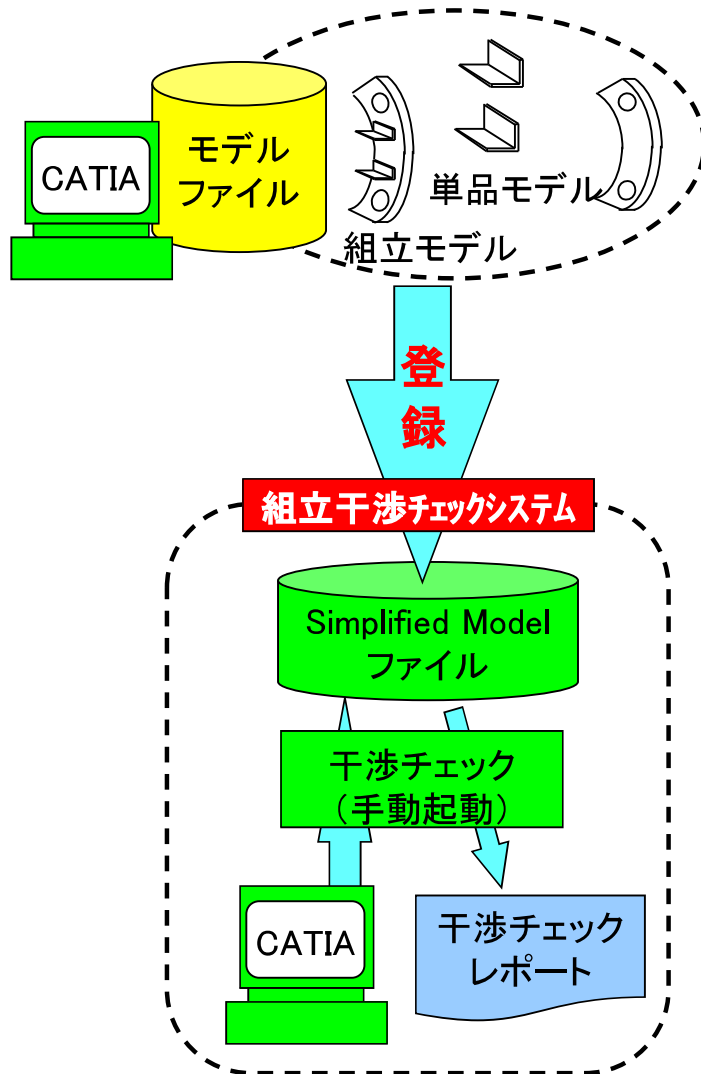


出典: “Aircraft Flight Control Actuation System Design”
E.T. Raymond with C.C. Chenoweth

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



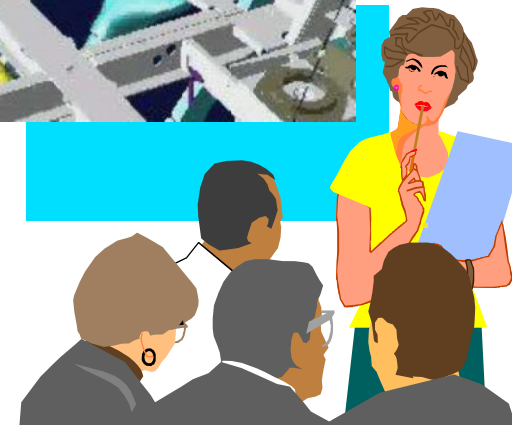
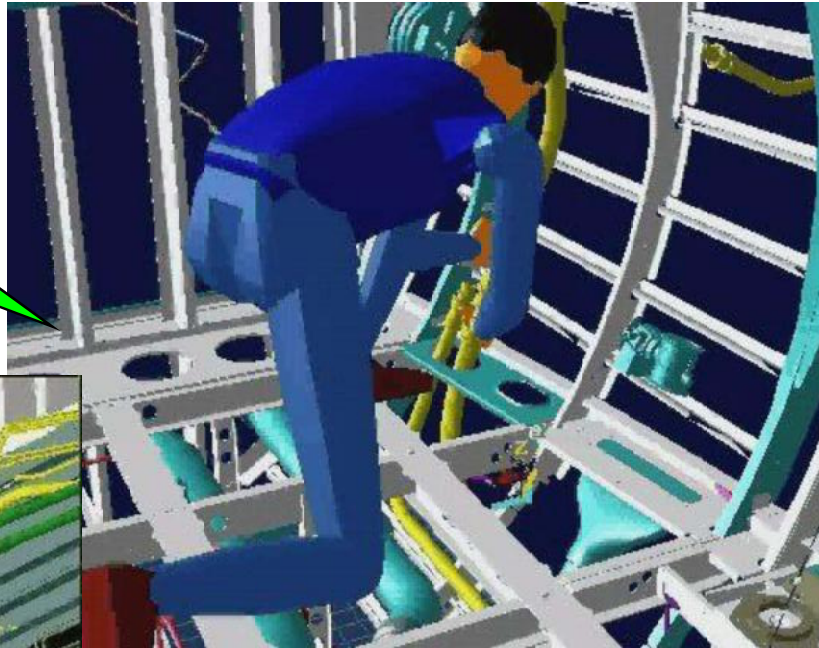
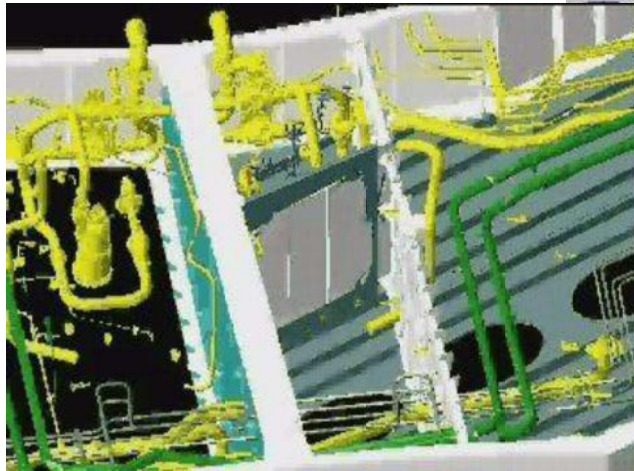
※ CATIA : 3次元CAD

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。

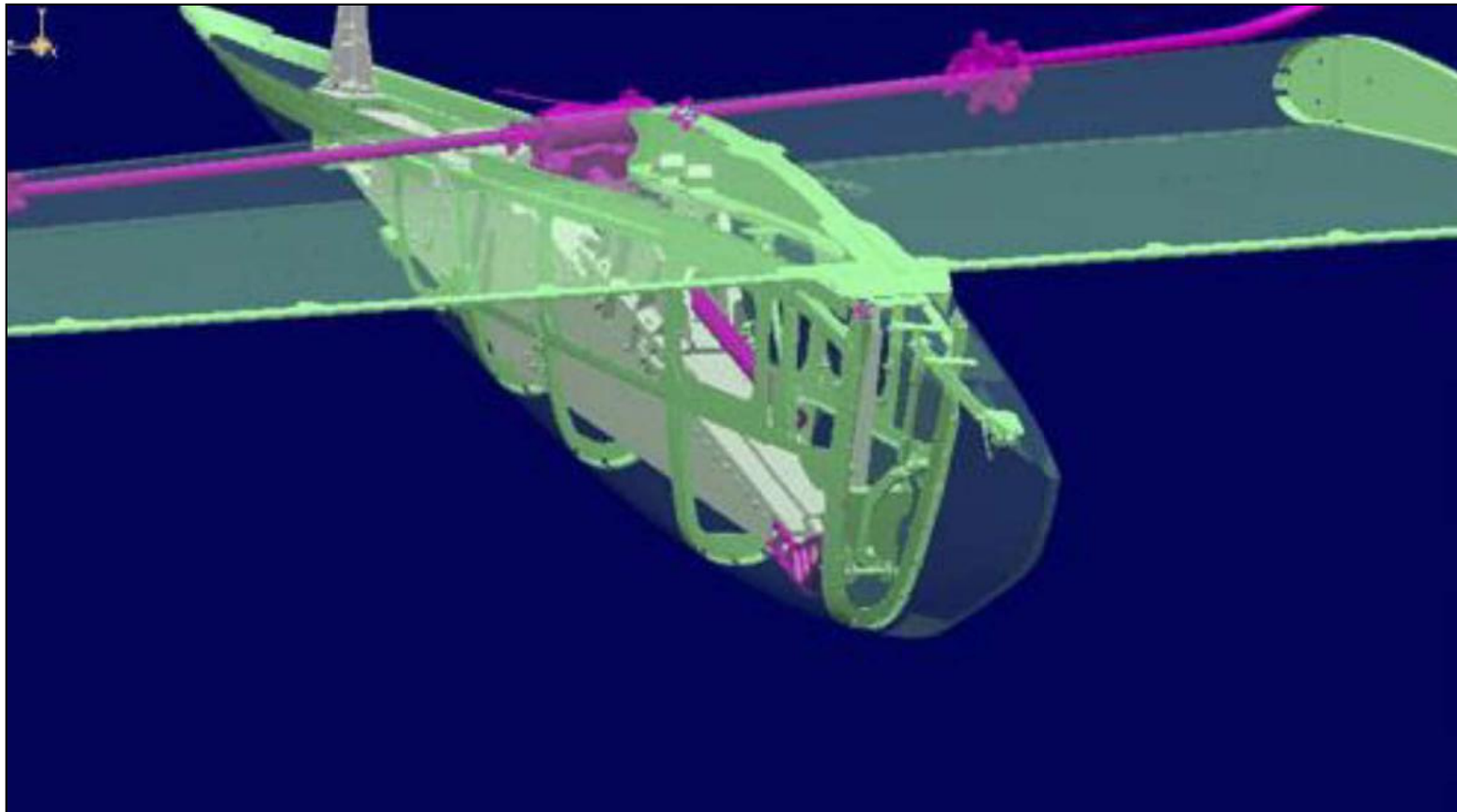
→ 実物モックアップの省略

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

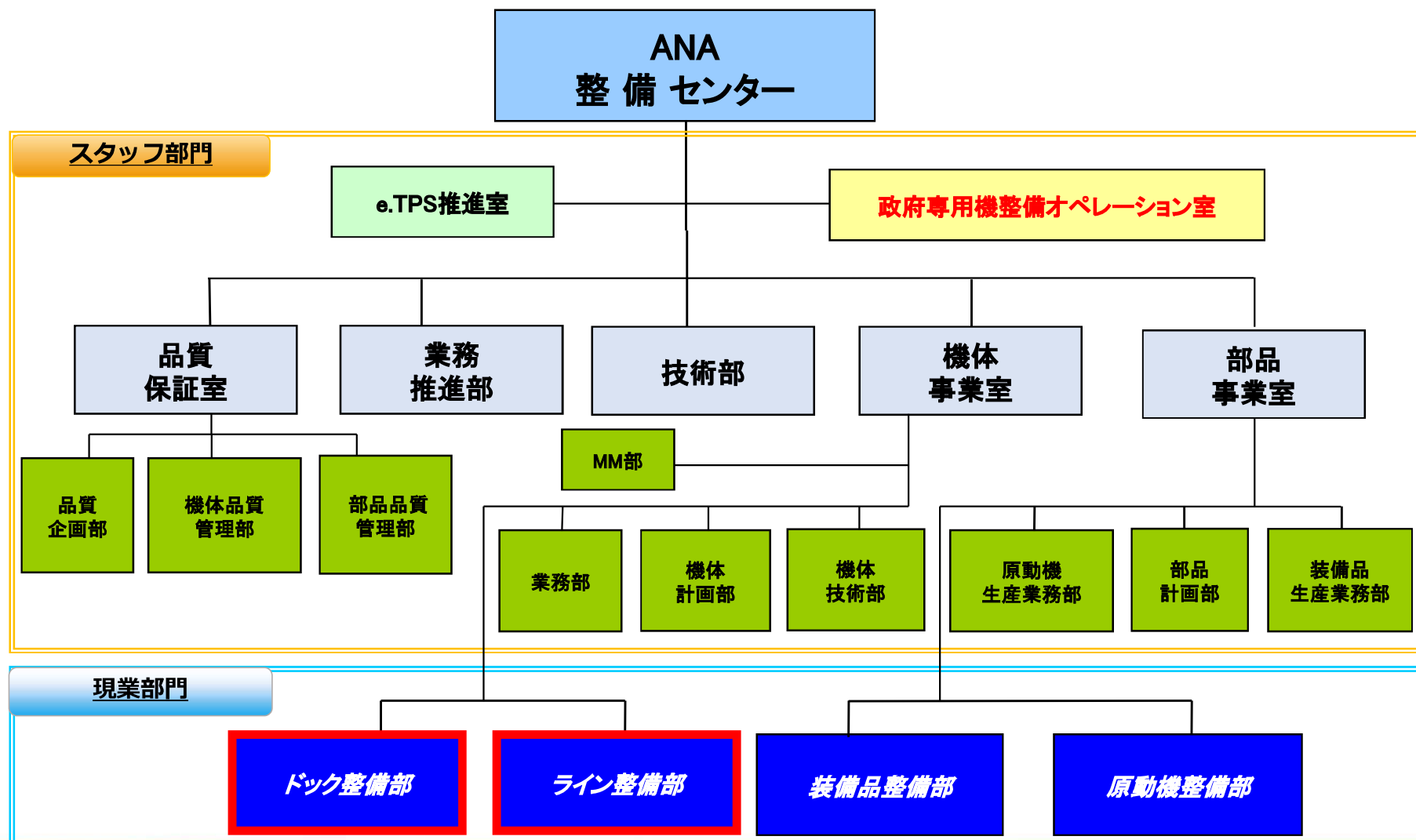
- ✓ 全機レベルの開発機会が限られることから、我が国では構造設計に比べ装備設計技術者が圧倒的に不足。航空機産業の発展のためには、装備品メーカーを含め、システム分野の底上げが必須。(産官学の連携も必要)
- ✓ 機体メーカーとしては、以下の能力を獲得・継承していく必要あり。
 - ◆ 複数のシステムに跨る課題解決能力 (System Integration)
 - ◆ 構造・艤装の同時設計における課題解決能力 (Volume Integration)
- ✓ 裾野の広い要素技術(素材、自動車、家電、等)の蓄積を生かし、日本ならではの付加価値を創造、製品競争力を強化。

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・マネージメント
——航空機関係テキスト集——

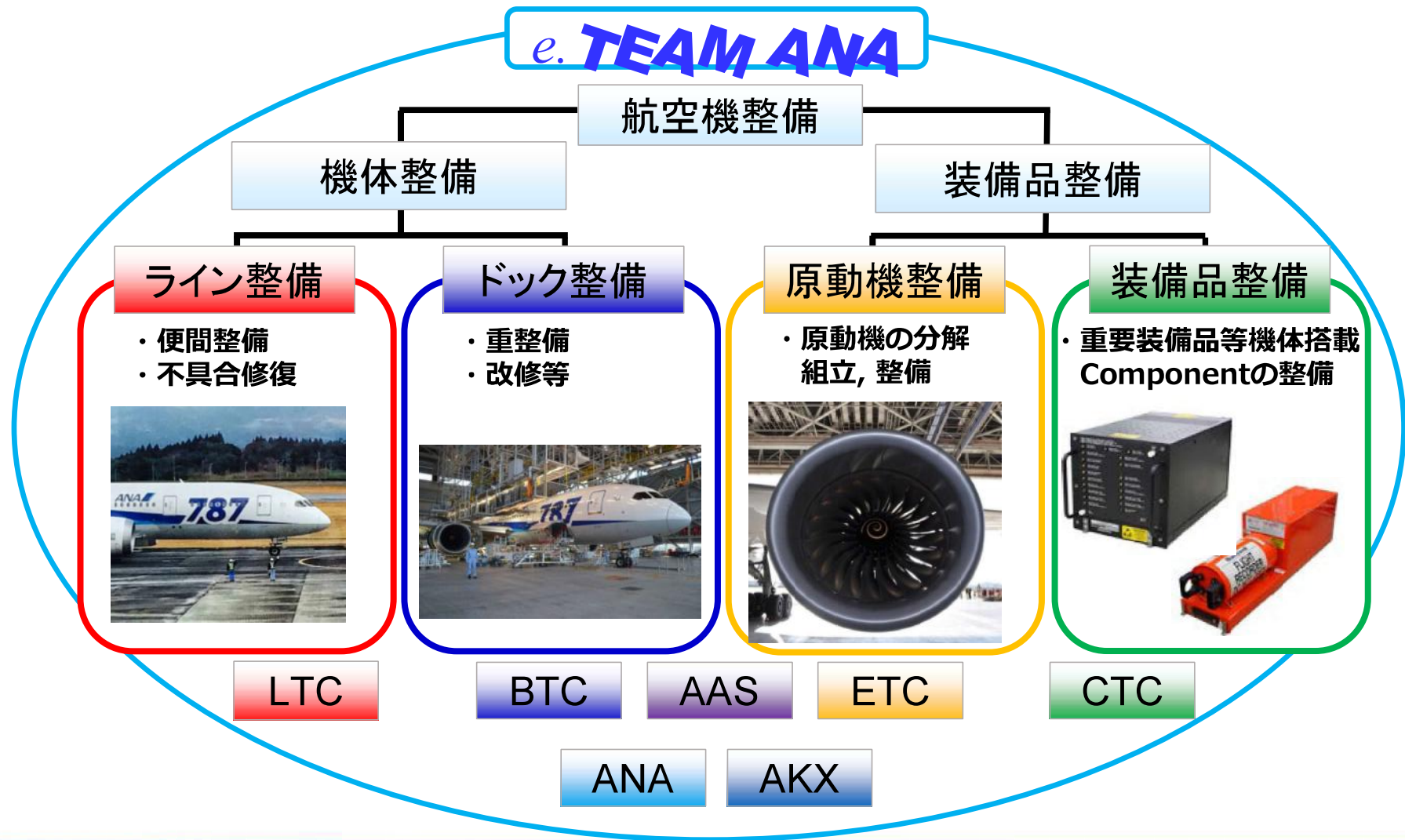
教材 08： 運航と整備

整備概要

ANA 整備部門（組織）



ANA 整備部門グループ



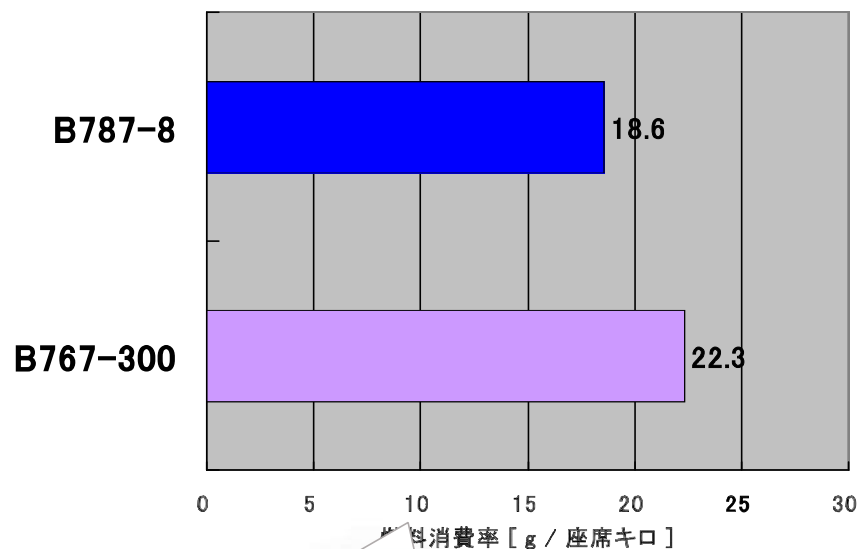
エアラインが欲しい飛行機

・ 経済性: 機体重量と運航コスト (燃費)

➤ 767/787 燃費比較

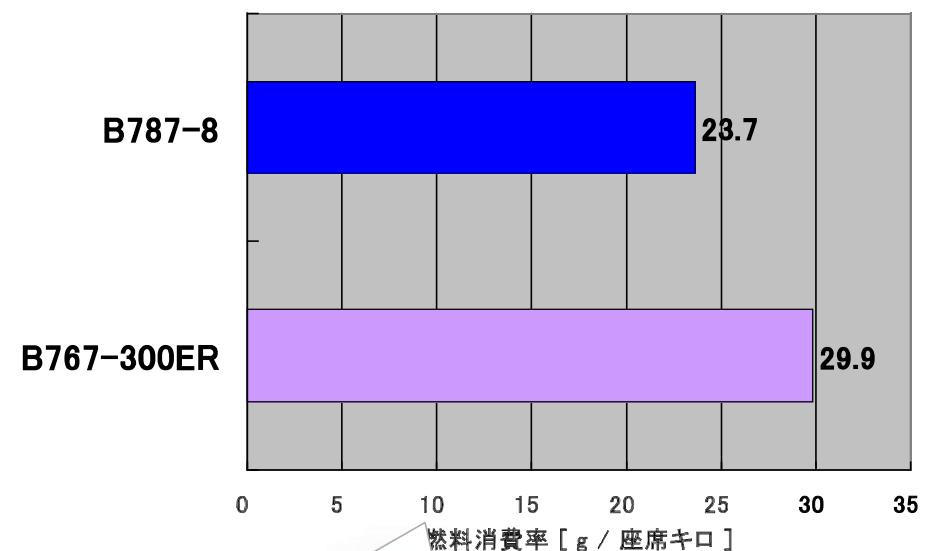


【国内線】



国内線：約17%差

【国際線】

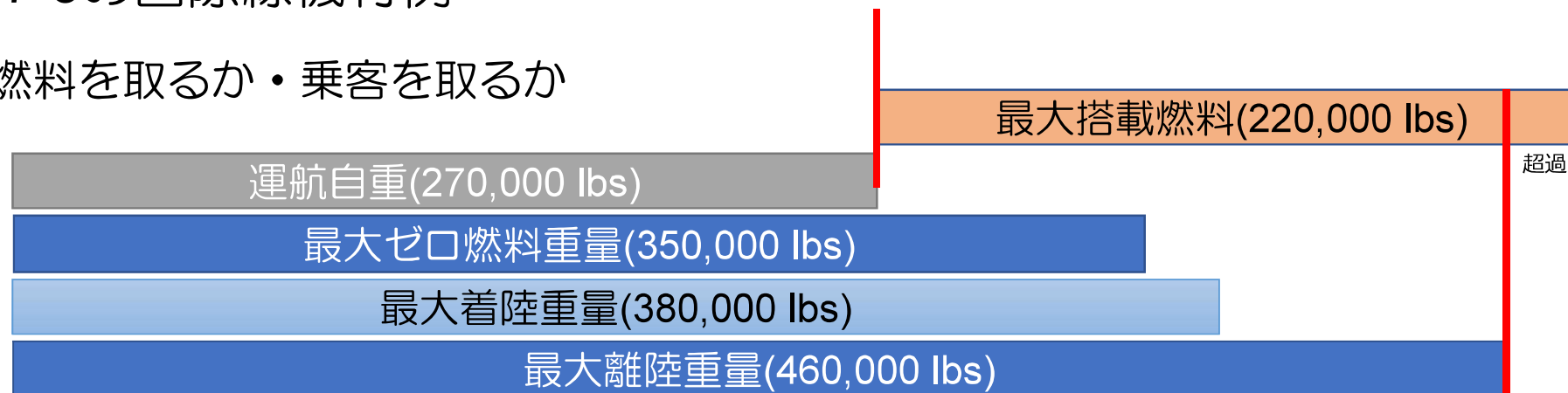


国際線：約21%差

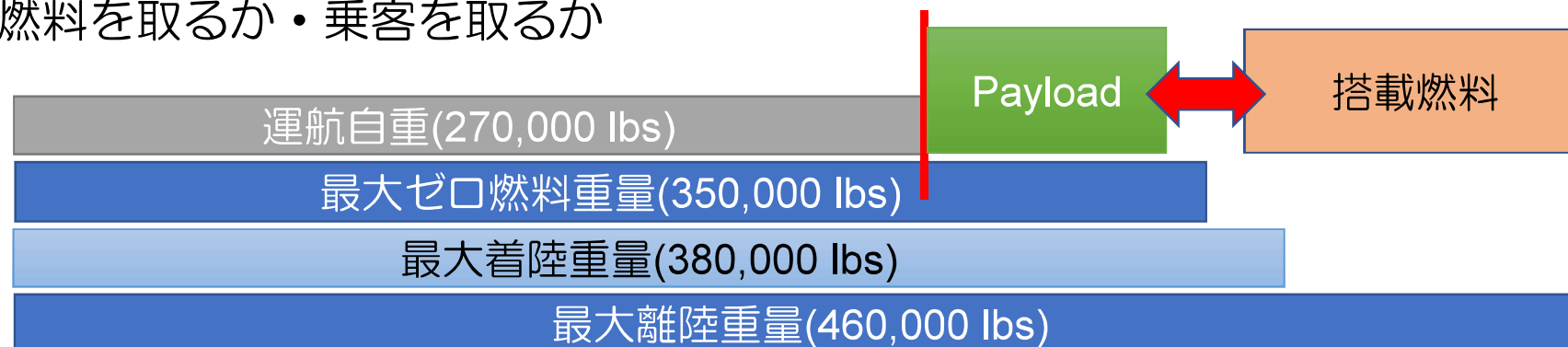
経済性：機体重量と運航コスト（機体重量増加の影響）

787-8の国際線機材例

燃料を取るか・乗客を取るか

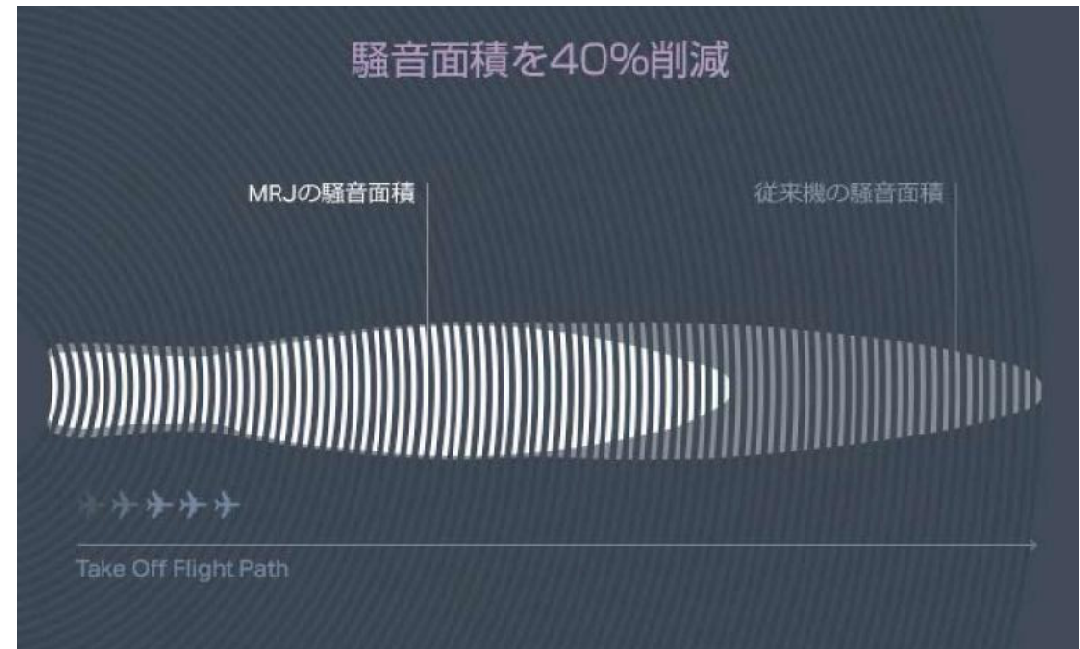


燃料を取るか・乗客を取るか



エアラインが欲しい飛行機

・環境性：騒音



<出典：三菱航空機ホームページ>

➤ 着陸料：最大離陸重量、騒音値（旅客数）に応じて計算

・環境性：騒音

着陸料の設定（空港毎に異なる）

羽田国内線

航空機重量（トン）	1トンあたりの料金 （円）
25 以下	950
26 ～ 100	1,380
101 ～ 200	1,650
201 以上	1,800

& $3,400\text{円} \times (\text{騒音値} - 83) \text{ EPNdB}$

787-8で約32万円

羽田国際線

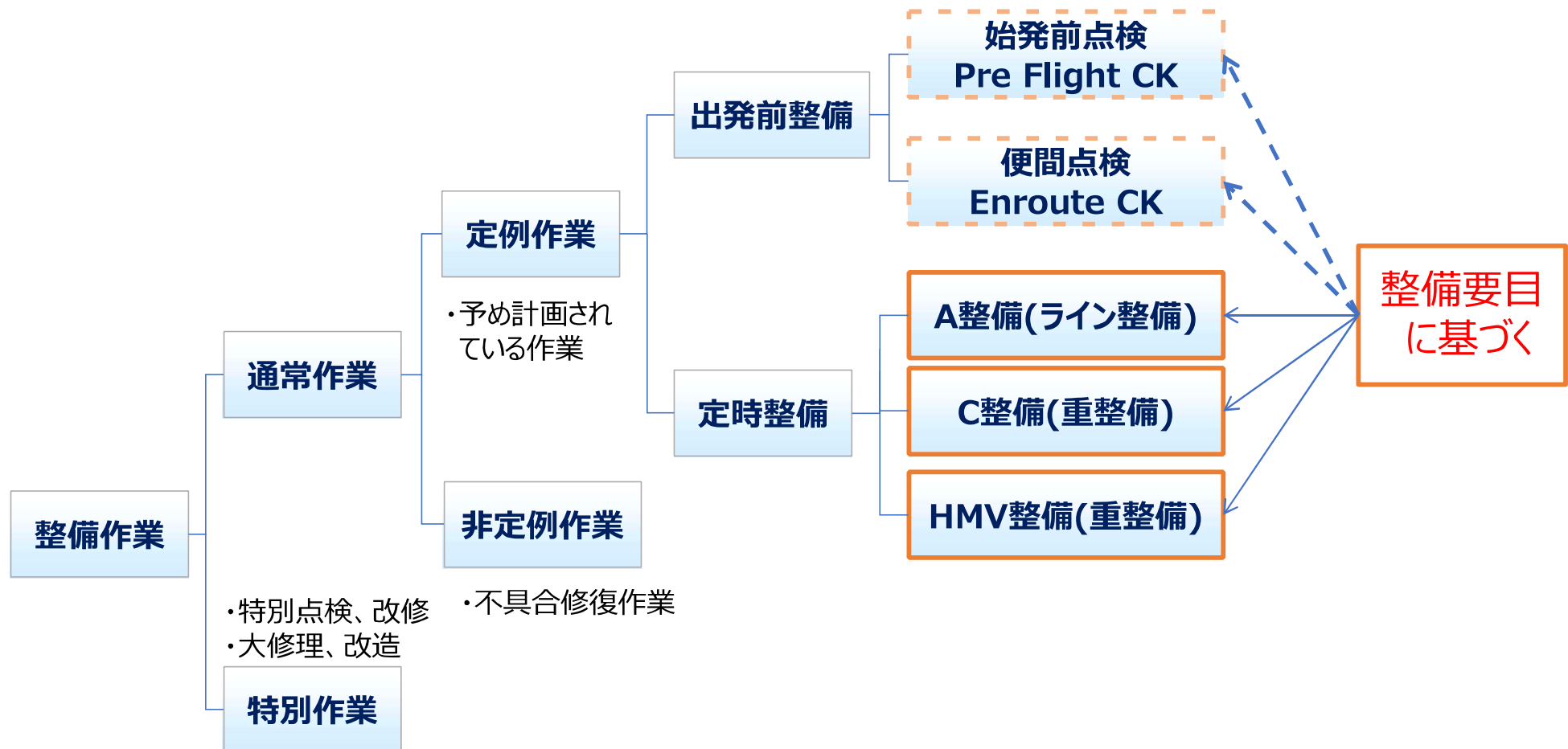
1トンあたり 2,600円

&

航空機の騒音値 （EPNdB）	料金
94 以下	$2,000 \text{円} \times (\text{騒音値} - 83) \text{ EPNdB}$
95 以上 96 以下	$3,400 \text{円} \times (\text{騒音値} - 83) \text{ EPNdB}$
97	71,400 円
98 以上	$6,100 \text{円} \times (\text{騒音値} - 83) \text{ EPNdB}$

787-8で約48万円

• 整備の場(Maintenance Opportunity)



• 適切な整備プログラムの設定（整備要目）

- 製造メーカー発行 MPD（Maintenance Planning Document）

MPD ITEM NUMBER	AMM REFERENCE	C A T	I A S E	INTERVAL		Z O N E	APPLICABILITY		MAN- HOURS	TASK DESCRIPTION
				THRESHOLD	REPEAT		APL	ENG		
21-065-00		9	DET	5000 FH	6000 FH	244	ALL	NOTE	1.00	INSPECT CHECK V CONDITI AIRPLAN

MR No.	Maintenance Item	Task	Interval	C	APPL	Remarks
	ATA21 Air Conditioning					
21-010-00	Upper Recirculation Air Filters.	Replace	7500 FH	7		
21-020-00	Lower Recirculation Air Filters.	Replace	7500 FH	7		
21-030-00	Galley Ventilation Filters.	Replace	30 DY	9		
21-035-00	Lavatory / Galley Exhaust Fan Screens.		3000 FH			
21-040-00	Chiller Boost Fan.	Operationally Check	24000 FH	9		If Installed
21-048-00	E/E Cooling System Override Switch.	Operationally Check	18000 FH	8		
21-050-00	Equipment Cooling Air Filter.	Clean (Off-Aircraft)	4000 FH	6		

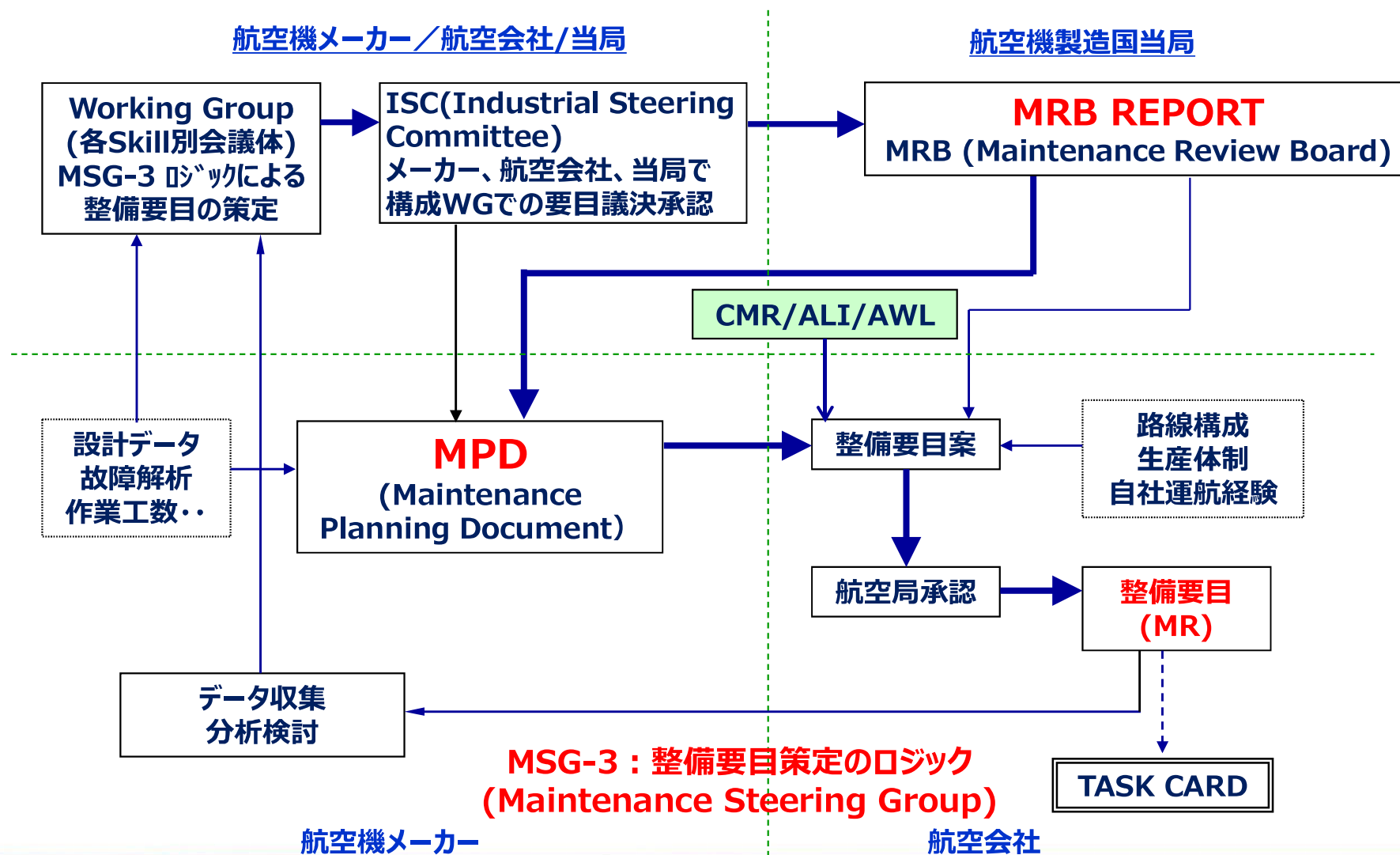
- エアラインが設定する整備要目

• MSG: Maintenance Steering Group

➤ MSGの変遷

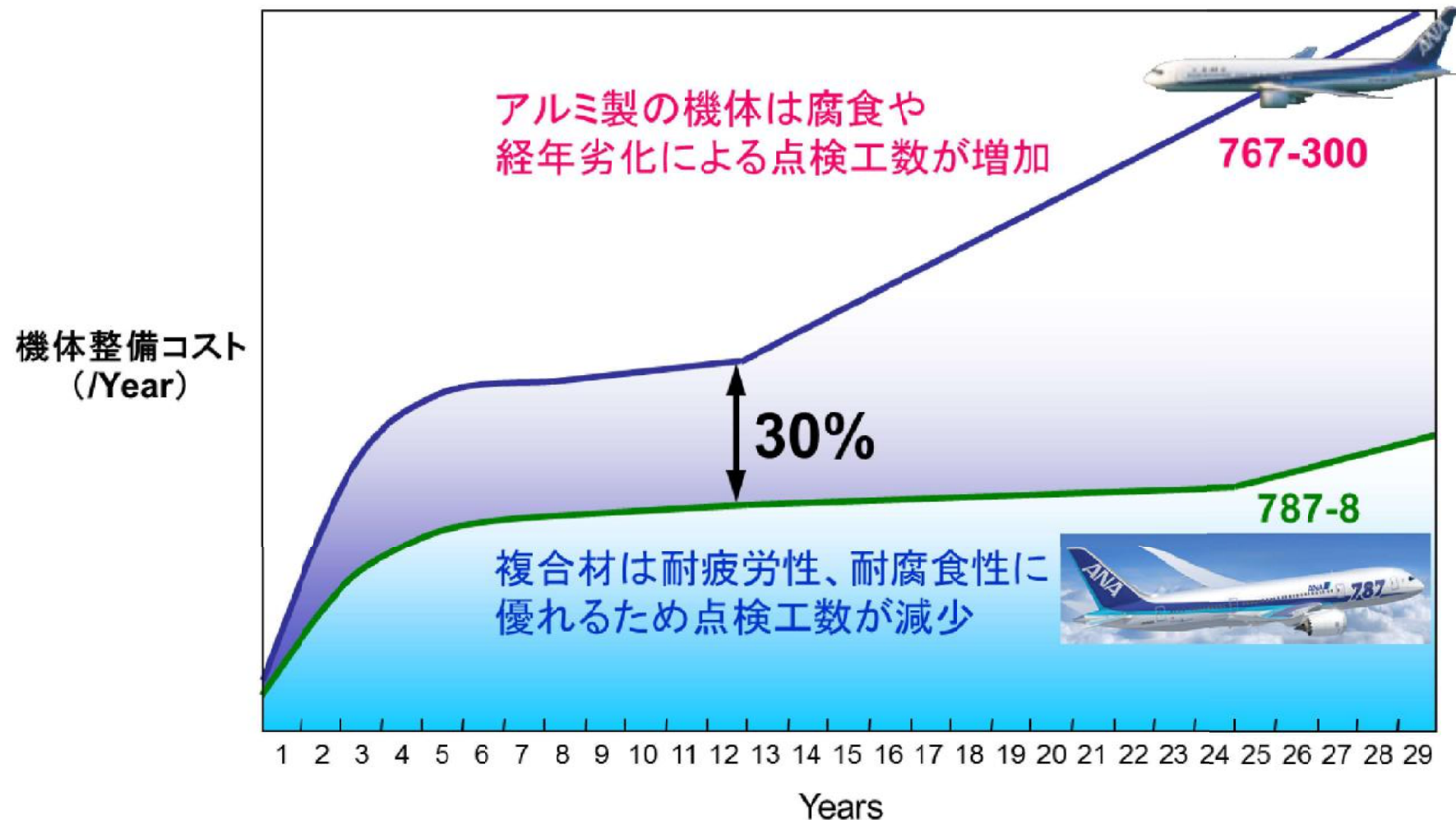
1961	FAA/Industry Reliability Program	
1968	MSG-1	747
1970	MSG-2	L-1011, DC-10, 737-200の一部
1972	EMSG (European)	コンコルド, A300
1980	MSG-3	737-400, 747-400, 757/767, A310
1983	MSG-3 Rev1	777, A340, MD11
1993	MSG-3 Rev2	737-600/700/800
2005	MSG-3 2005.1	787-8
2007	MSG-3 2007.1	787-8
2009	MSG-3 2009	-
2011	MSG-3 2011	Space Jet M90

• 適切な整備プログラムの設定 (ISC)



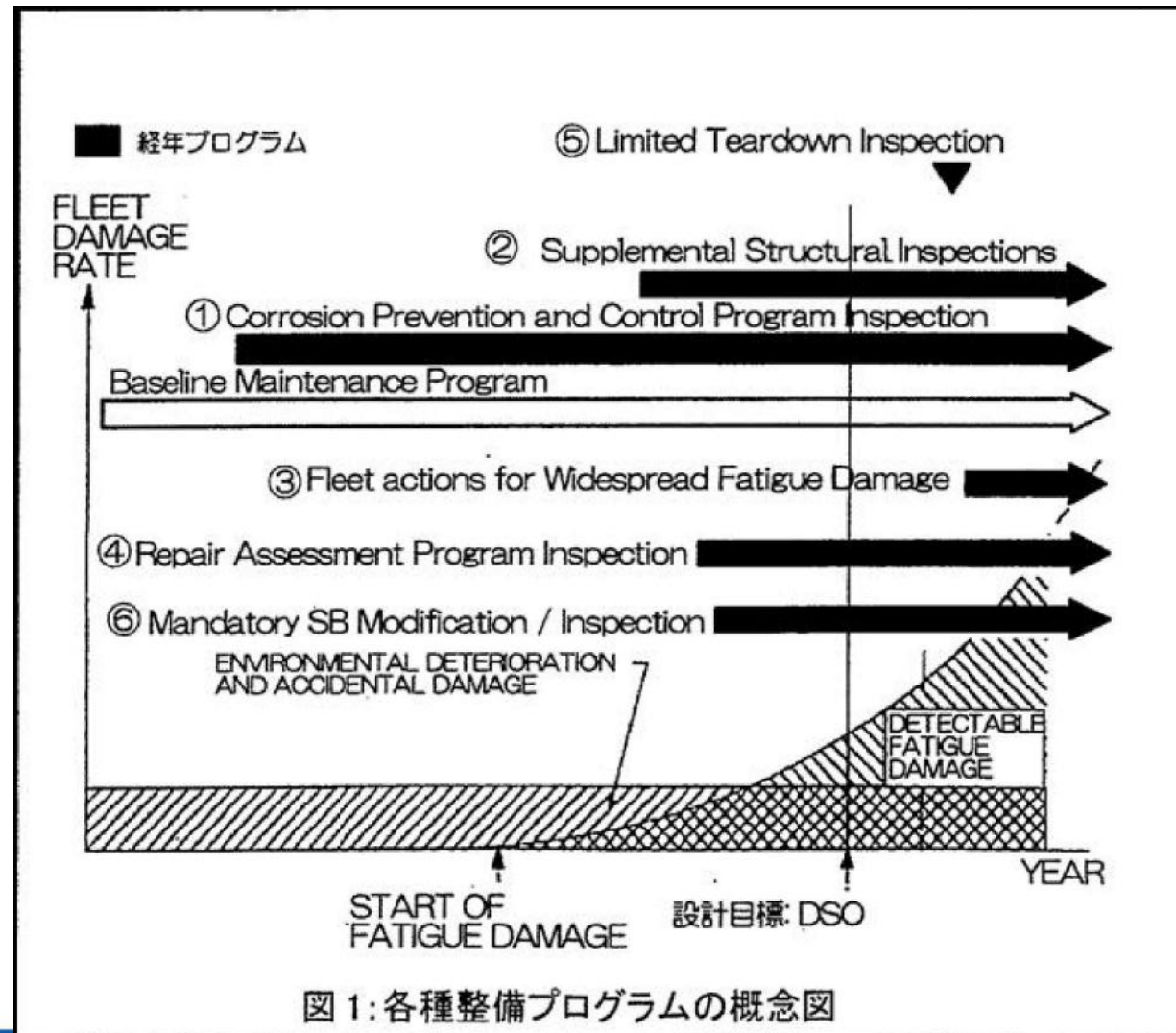
整備プログラム

・経年化プログラム



整備プログラム

・経年化プログラム



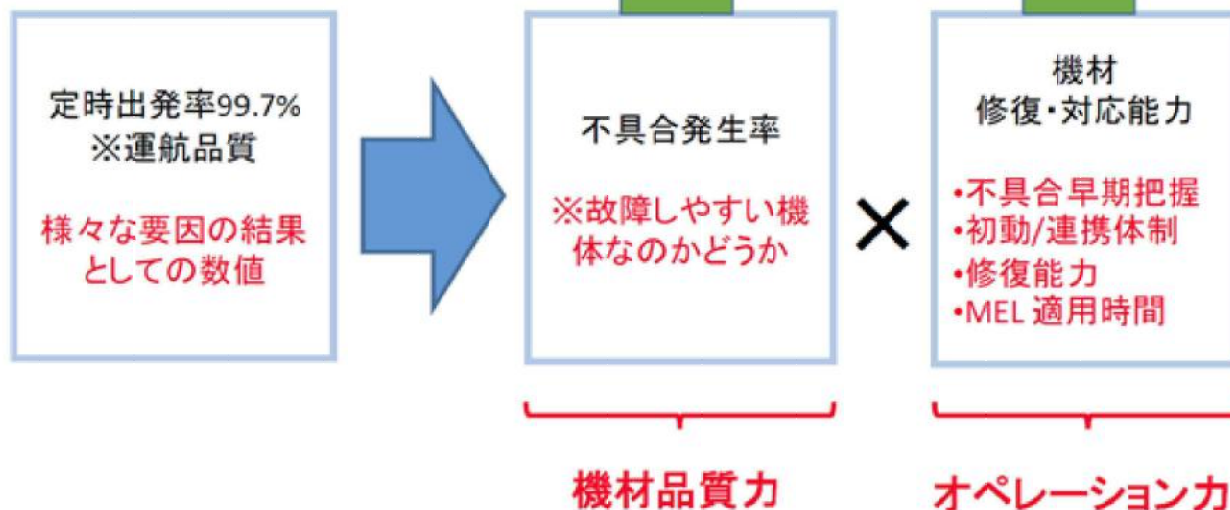
信頼性管理

・ 定時性： 目標値 / 分析

機体の信頼性管理指標

メイン
指標

機材品質 目標値		TFI 100便当たり	定時出発率
国際	JET	0.027 (19件)	99.50%*
国内	JET	0.007 (16件)	99.70%*
	Prop	0.024 (14件)	99.60%



- 定時性：オペレーション（MEL/CDL）

- MEL（Minimum Equipment List）

- 故障があっても安全性を損なわないことを前提として、限定的に（有償）飛行を認める（飛行制限を課す場合あり）
- OEMはオペレーターと協力し原案を作成し、設計国の監督官庁の承認を受けMaster MEL(MMEL) として発行
- MEL適用の最終判断は機長にある

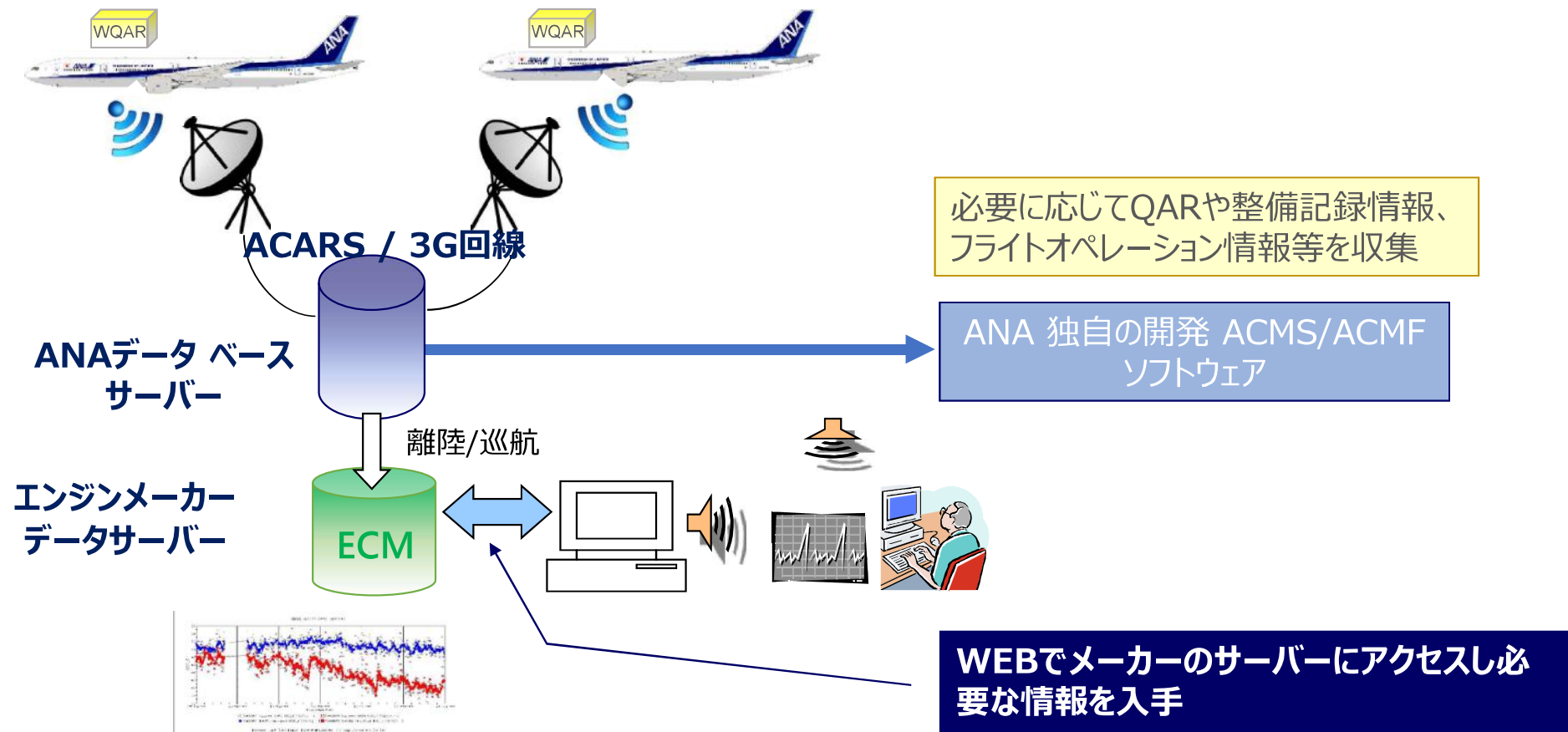
- CDL（Configuration Deviation List）

- 一次構造部材でないアクセスパネルやフェアリング等が欠損した状態での飛行を認める（飛行制限を課す場合あり）

飛行規程(AFM)の一部を構成する

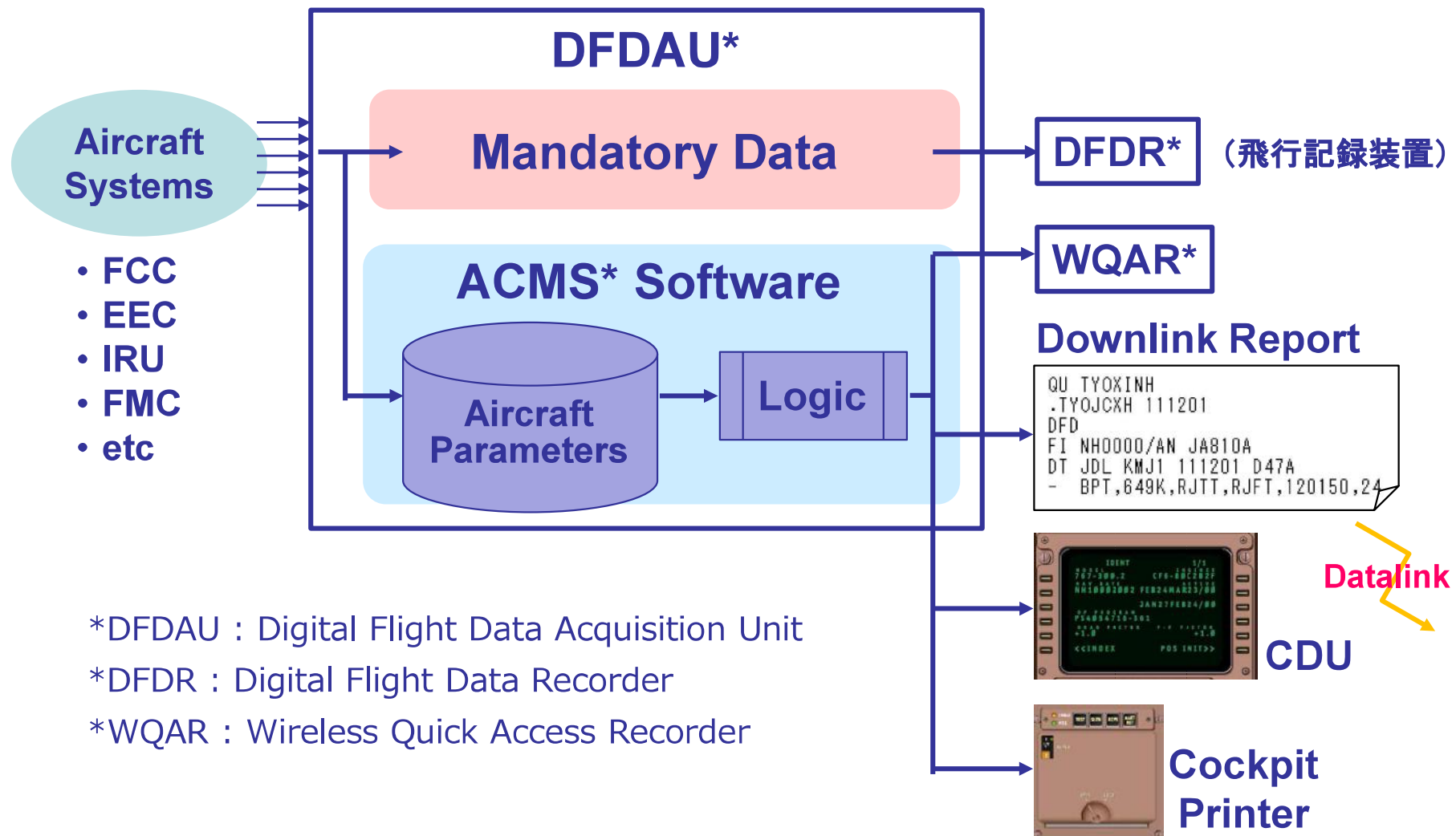
- Engine Condition Monitoring (ECM)

- Flight Data Monitoring Program (FDM)の利用



QAR: Quick Access Recorder/ ACARS: Aircraft Communication Addressing and Reporting System/ ACMS: Airplane Condition Monitor System

Aircraft Condition Monitoring System (ACMS/ACMF)



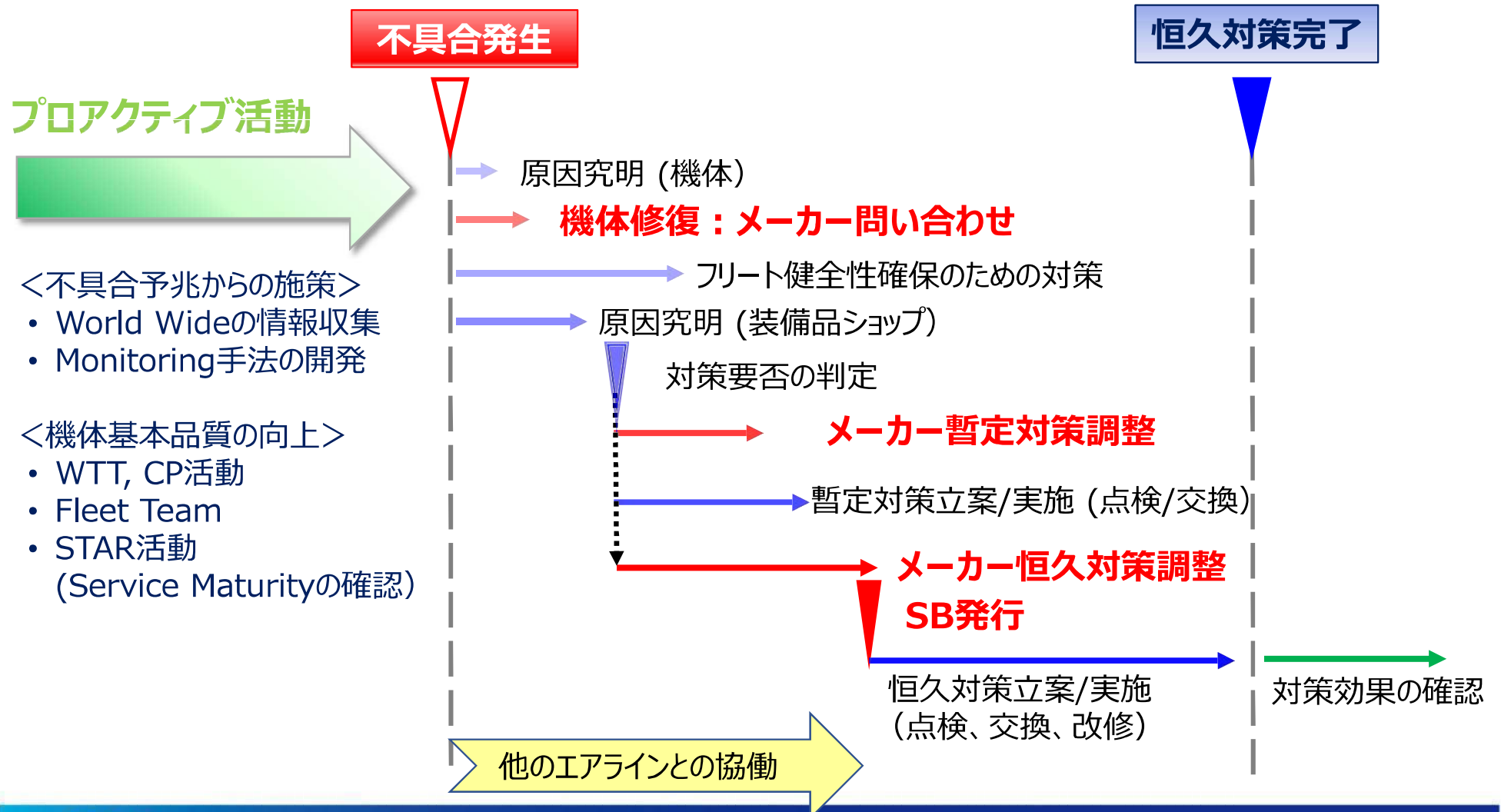
*DFDAU : Digital Flight Data Acquisition Unit

*DFDR : Digital Flight Data Recorder

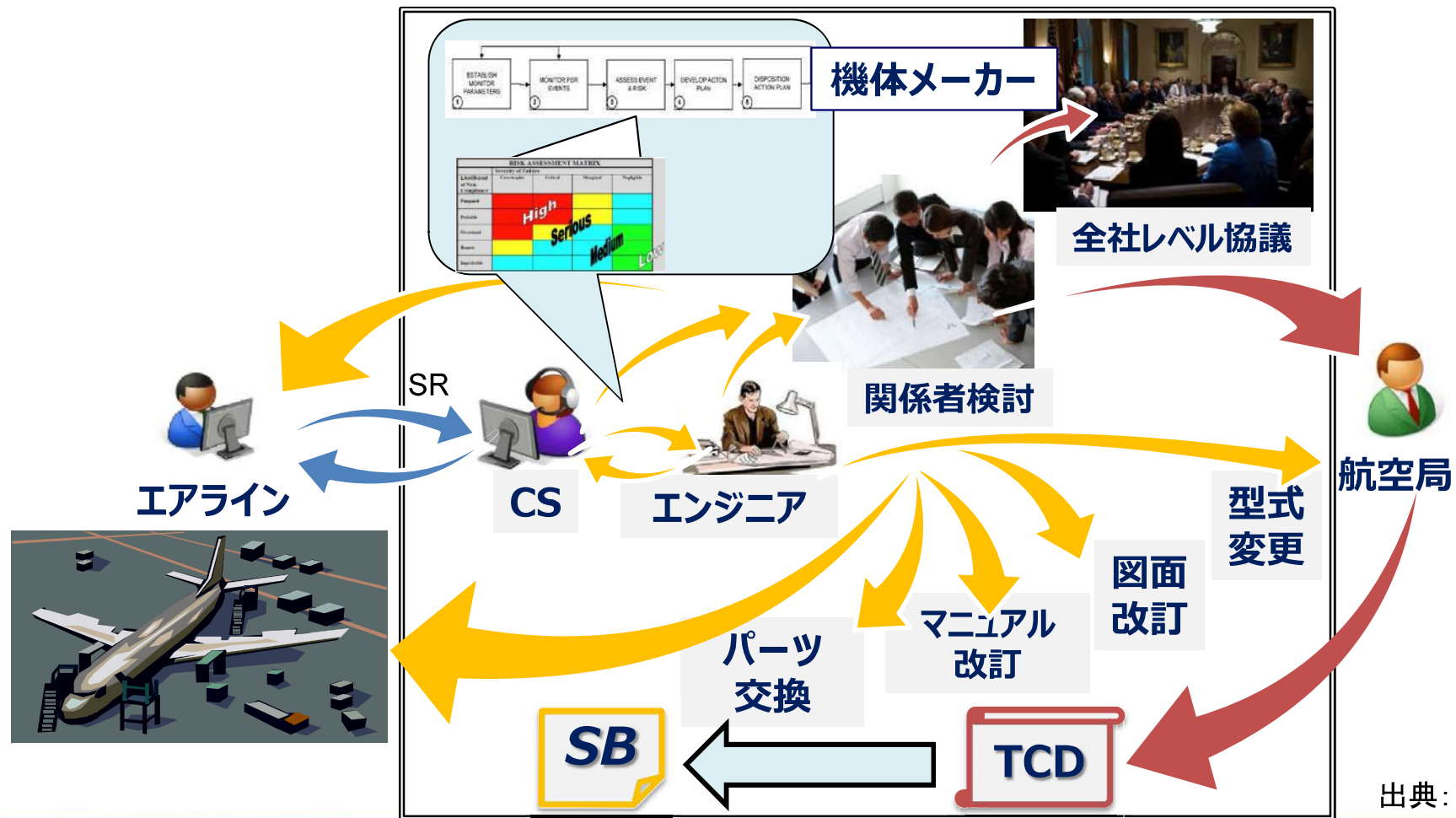
*WQAR : Wireless Quick Access Recorder

OEMカスタマーサービス

・技術支援と耐空性維持(COS)活動



- 耐空性維持(Continued Operational Safety)
 - 航空機の安全を維持していくための根幹プロセス

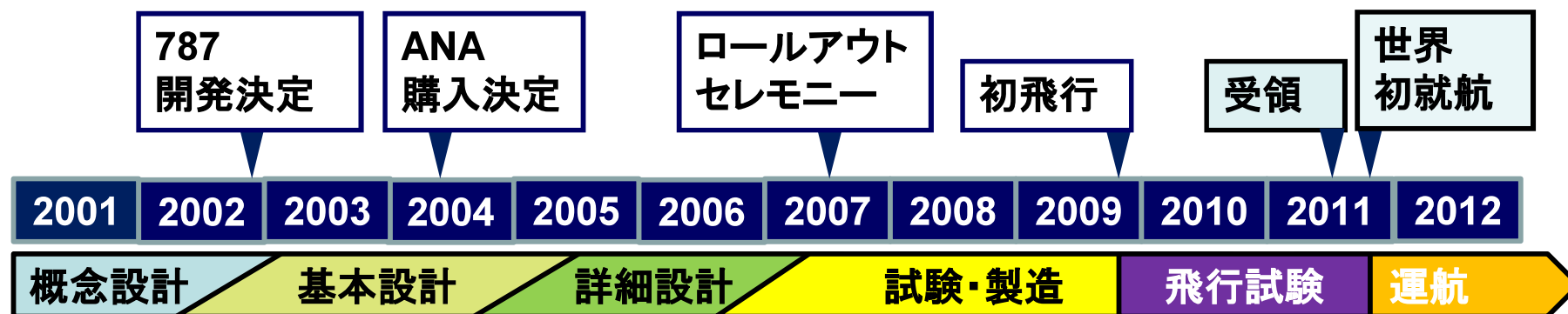


出典: 三菱航空機

OEMカスタマーサービス

ANA Inspiration of JAPAN

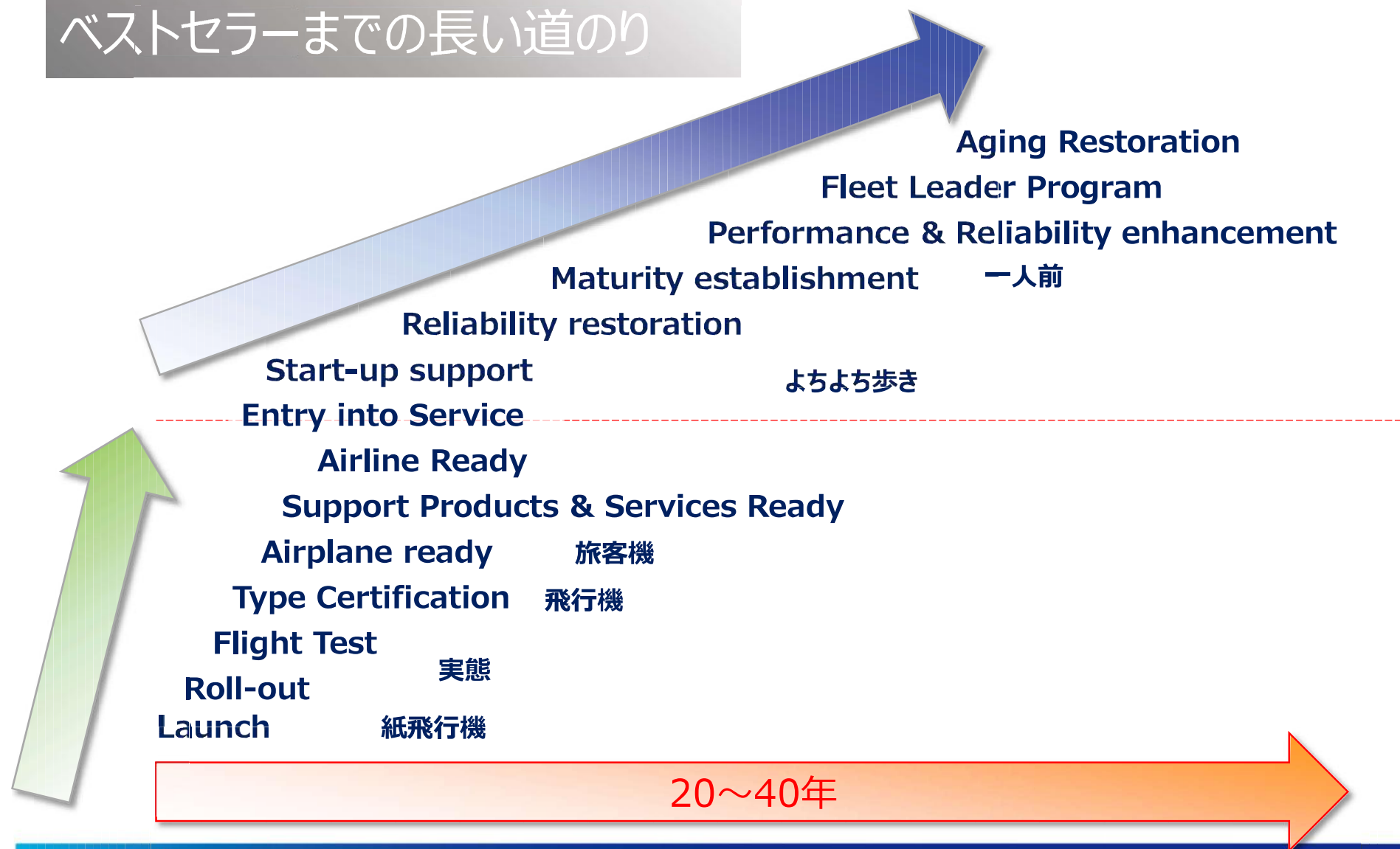
・技術支援 – EISサポート



* A-STAR : Accelerated Solution for Top Airline Reliability

OEMカスタマーサービス

ベストセラーまでの長い道のり



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 09： 複雑なシステムの開発

ARP4754 OVERVIEW (1/2)

ARP4754とは、

1990年代にソフトウェア開発プロセスDO-178の改訂作業の結果、要求事項として、システムレベルの情報が必要である事が明らかになり、航空機システムの安全性と機能は、システムレベルで多くの判断をしており、この判断プロセスを纏める必要が生じた。この背景からFAAがSAE(Society of Automotive Engineers)に依頼し、航空宇宙向けのガイドラインとして発行したARP(Aerospace Recommended Practices)である。

高度統合化もしくは複合化システムの中でも、特に重要なソフトウェア要素を持つシステムの認証(開発プロセスでの安全性保障)のガイドとして作成。

Initial Release(1996-11) ; “Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems”

出典: SAE ARP4754 REV.NC

ARP4754 OVERVIEW (2/2)

ARP4754は2010年に改定したがタイトルまで変えている。

Initial Release(1996-11) ; “Certification Considerations for Highly-Integrated or Complex Aircraft Systems”

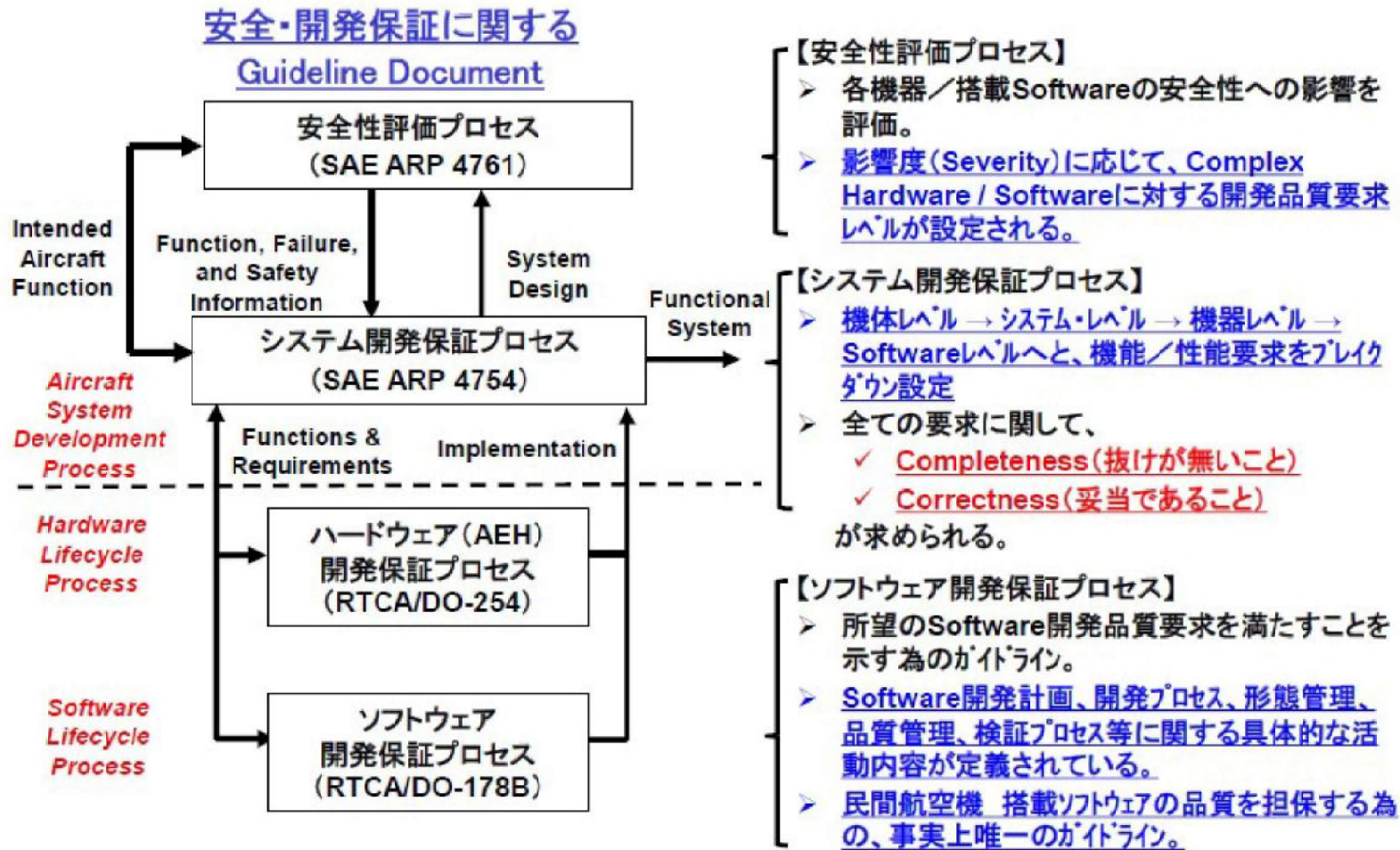
Rev.A(2010-12) ;
“Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems”

基本的な考え方は変わっていないが、高度統合・複合化システムを開発するには、機体レベルのシステム開発から検討する事を求めており、タイトルから意図を明確化した。

民間航空機に携わる海外の多くの企業は、ARP4754を適用すると言わないまでもARPに従って活動しており、システム開発のガイドラインとして定着している。

出典: SAE ARP4754 REV.A

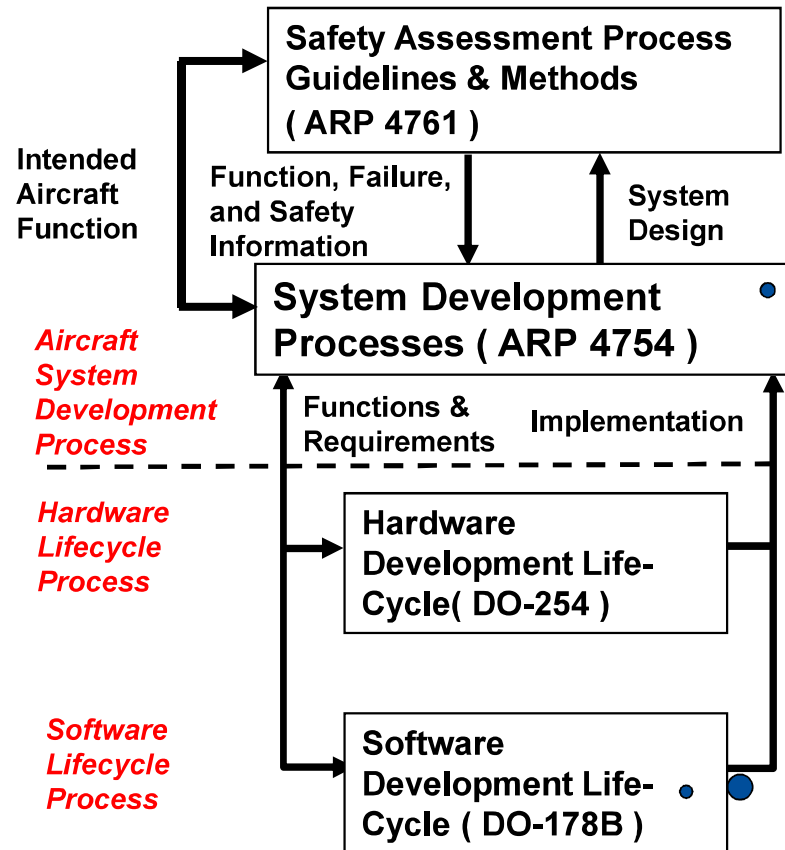
安全性・開発保証プロセス (1/2)



出典: SAE ARP4754 REV.A

安全性・開発保証プロセス (2/2)

安全性／開発保証に関する Guideline Document



Softwareバグの大部分は、
Software開発そのものよりも、
上位要求の設定／検証の不備に
より生じる事が多い。

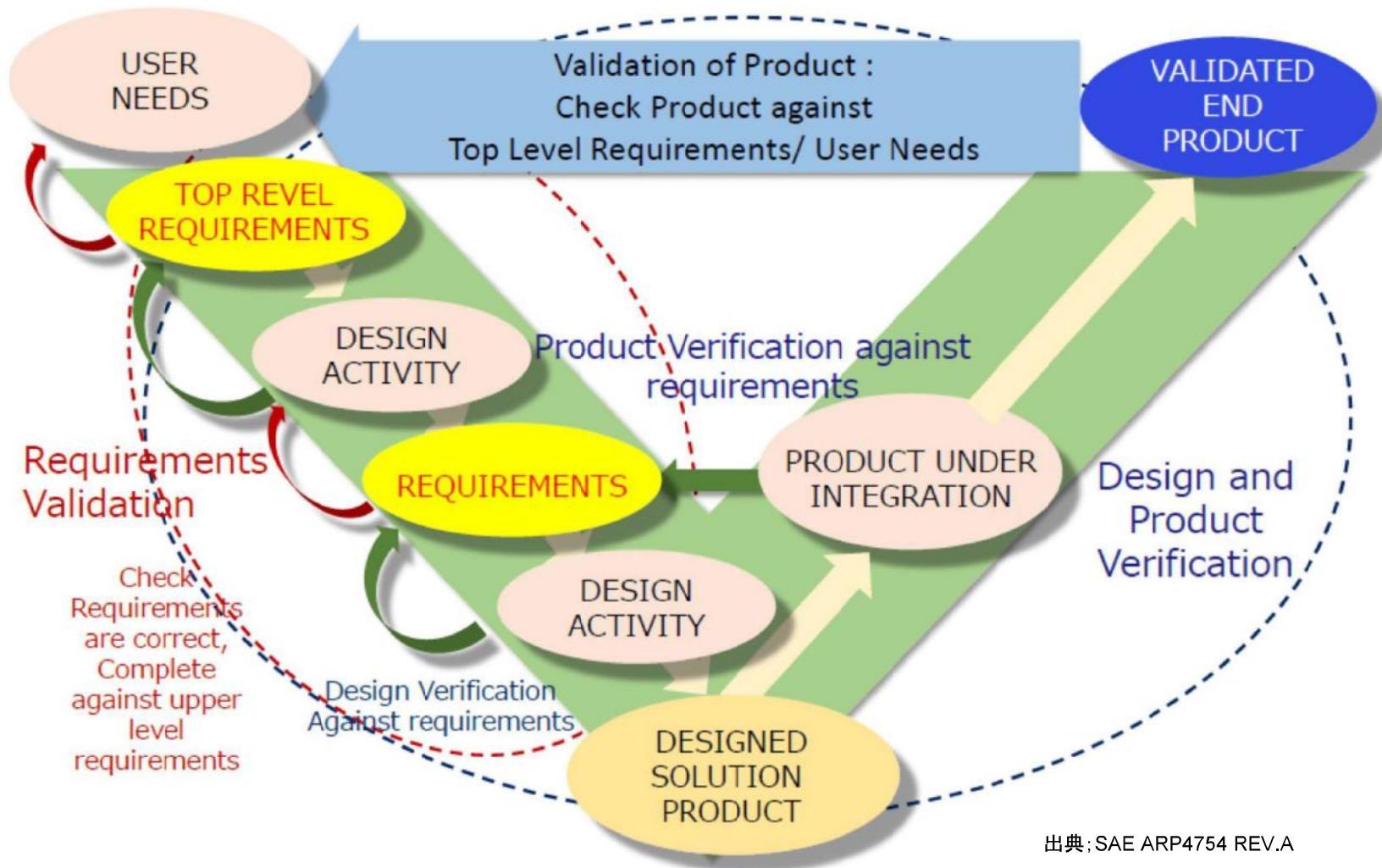
1996年
Arian5打上失敗

ソフトウェア不良による航空機の
不安全状態を防止するには、
ソフトウェアに対して適切な設計要求を
設定する事が重要。

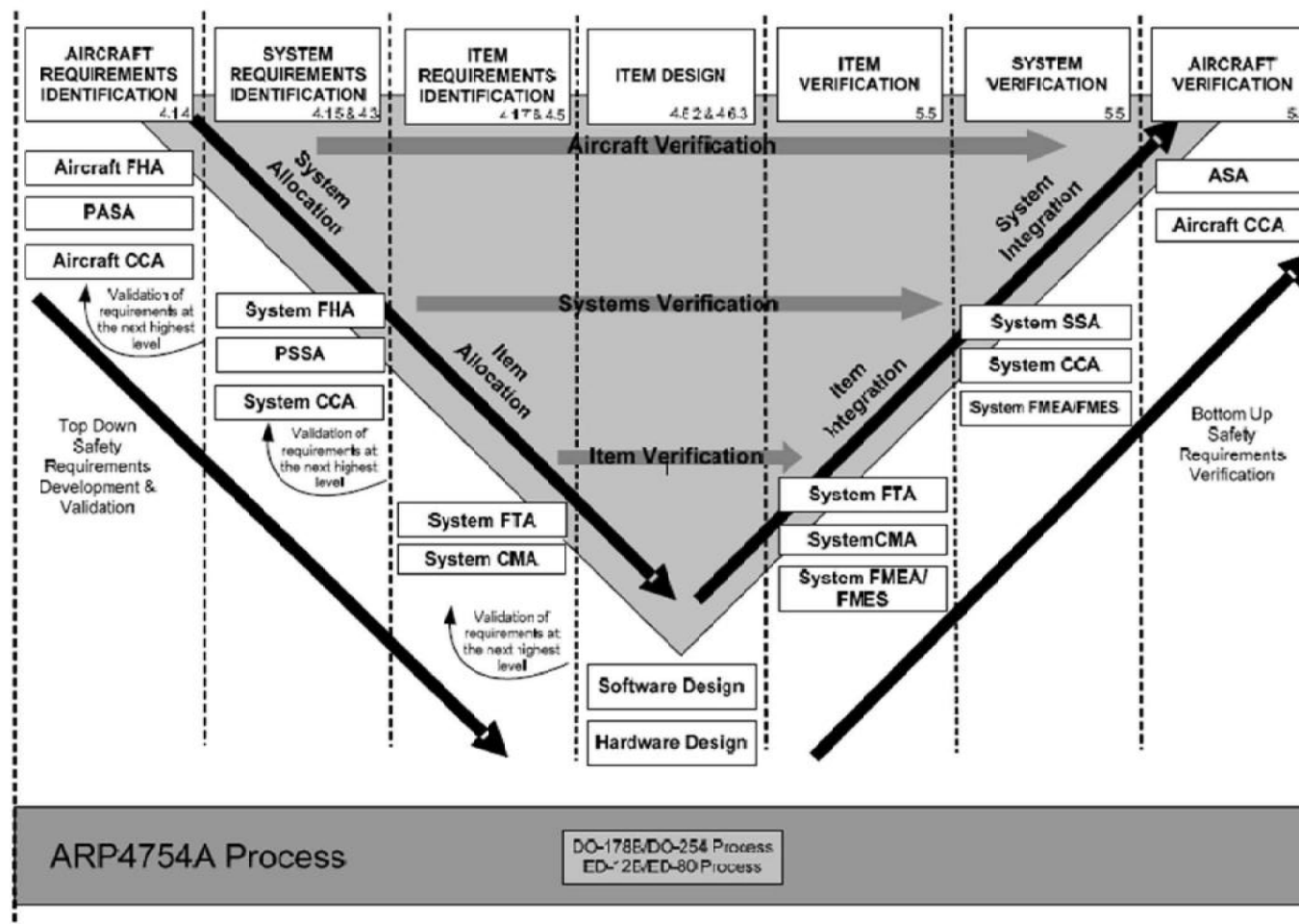
設定された設計要求に従い、適切な
プロセス管理を通じて高品質の
ソフトウェアが開発／検証されている
事を示すプロセス。

出典: Nuseibeh, Bashar : Arian 5, Who Dunnit ?, IEEE Software, May-June 1997, Volume: 14, Issue: 3.

SEC.4 AIRCRAFT AND SYSTEM DEVELOPMENT PROCESS



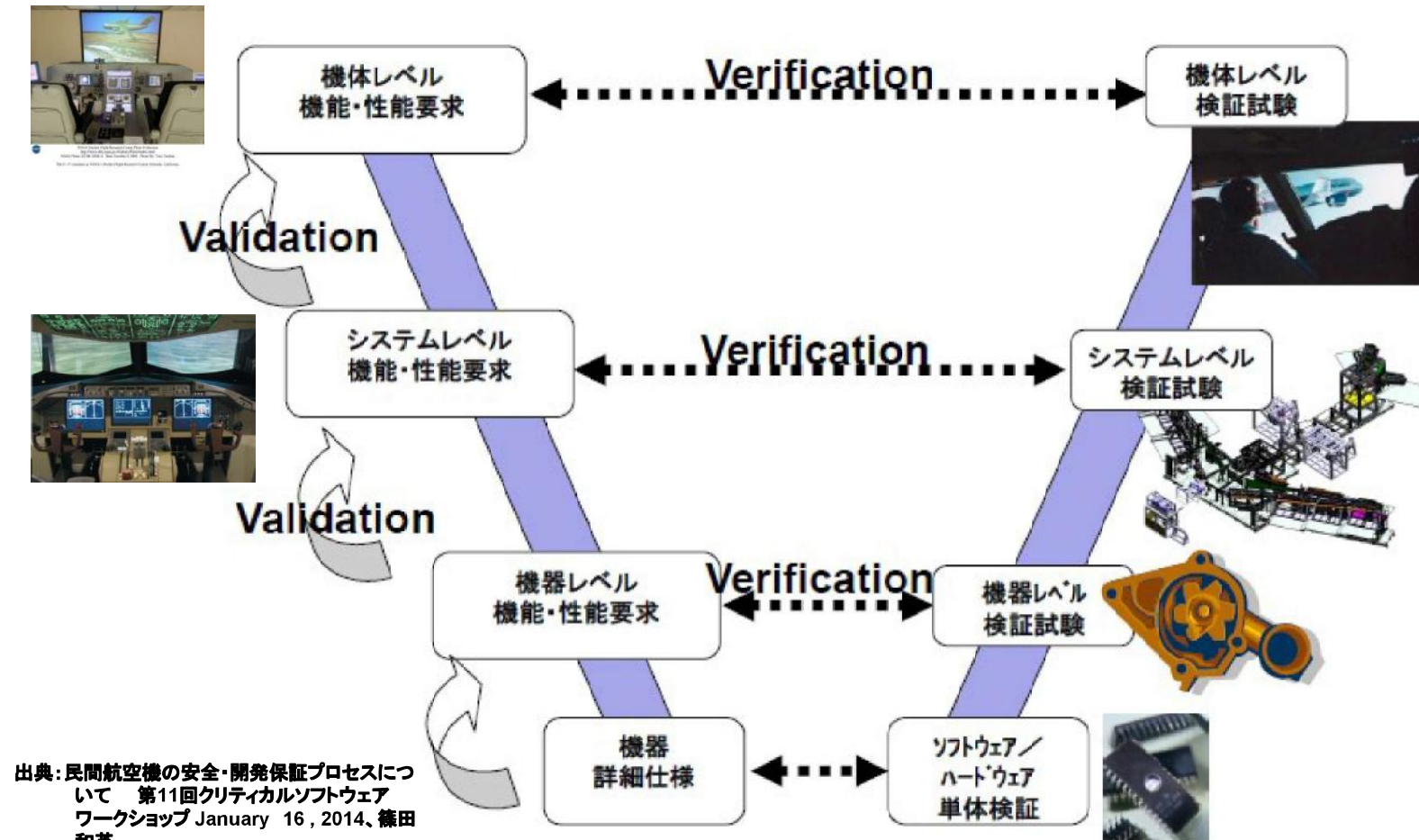
SEC.4 AIRCRAFT AND SYSTEM DEVELOPMENT PROCESS



出典: SAE ARP4754 REV.A

FIGURE 5 - INTERACTION BETWEEN SAFETY AND DEVELOPMENT PROCESSES

開発保証プロセス



出典: 民間航空機の安全・開発保証プロセスについて 第11回クリティカルソフトウェアワークショップ January 16, 2014、篠田和英

機体システムのレベルにおいて機能・性能の検証を実施

開発保証プロセス

➤ フライトシミュレータを用いたValidation

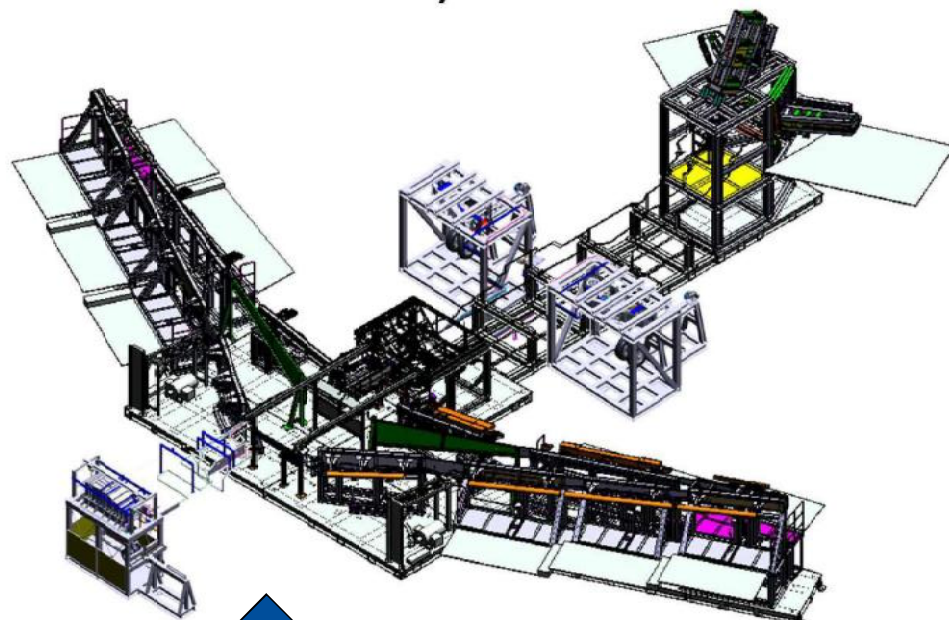
- ✓ フライトシミュレータ装置を準備のうえ、機体の操縦性を開発初期段階から評価
- ✓ 通常、Fixed Based(地上固定)の汎用シミュレータを準備(Motion付(可動型)シミュレータを用いることもある)
→ Motion有無による操縦性の違い？
- ✓ 数名の(社内)Test Pilotとともに評価／設計修正作業を繰り返し実施
- ✓ エンジン、油圧、電源、舵面等の故障状態を模擬した操縦性評価試験も実施
- ✓ 設計が進展した段階から、エアラインPilot／社外Test Pilotなどの評価を受け、サンプル数を増やしていく
- ✓ Flight Testに向けた、Test Pilotの操縦習熟のためにも活用される

出典:Pilot-Induced Oscillation Research : Status
at the End of the Century, NASA Dryden
Flight Research Center



開発保証プロセス

➤ Iron Bird (操縦RIG)を用いたVerification



Data Interface



Flight Deck
Connected with
Iron Bird

操縦関連システムを機体に搭載する前に
地上にて組み合わせ、機能／性能を検証

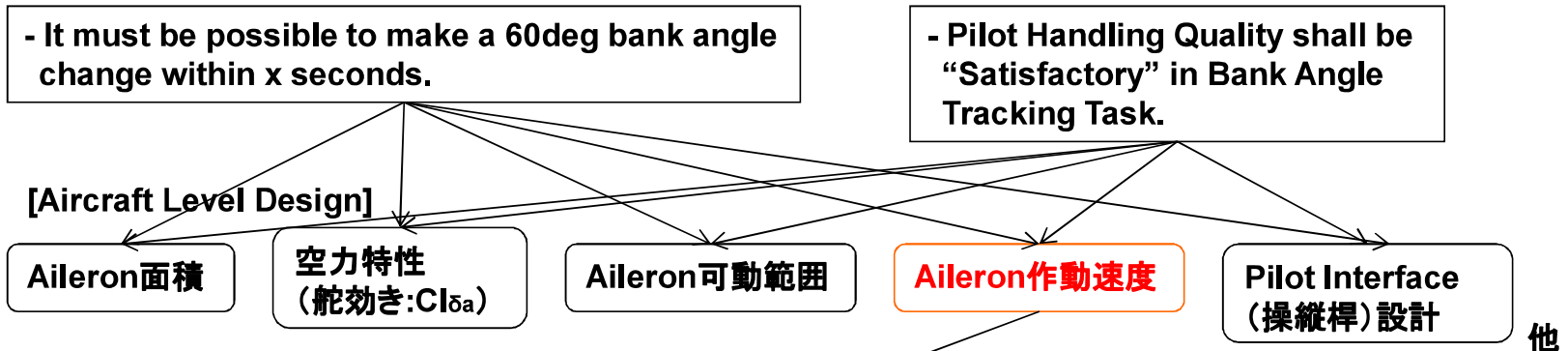
- ✓ Primary Flight Control
(Elevator, Aileron Rudder, Spoiler)
- ✓ Secondary Flight Control
(Flap, Slat, Stabilizer)
- ✓ Hydraulic
- ✓ Gear (含 Brake)
- ✓ Pilot操縦装置

操縦システム全体の機能／性能を
事前に地上で確認

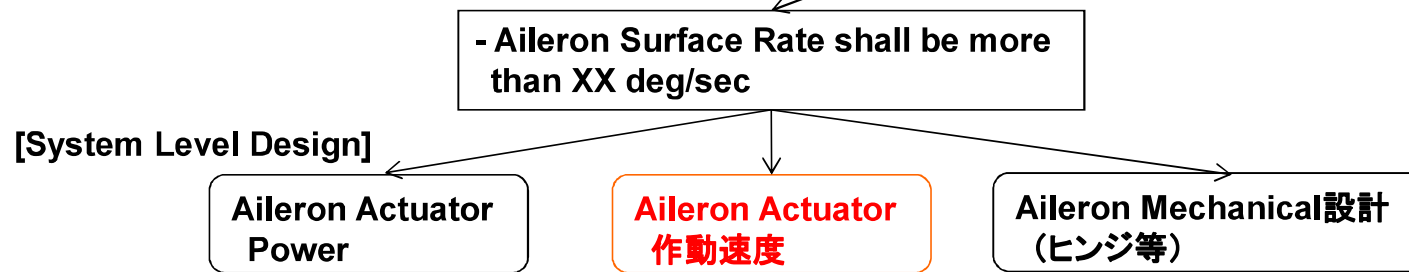
出典:MRJ Fly-By-Wire Development - Flying into the future -
SICE2013基調講演 (佐倉 潔)

開発保証プロセス

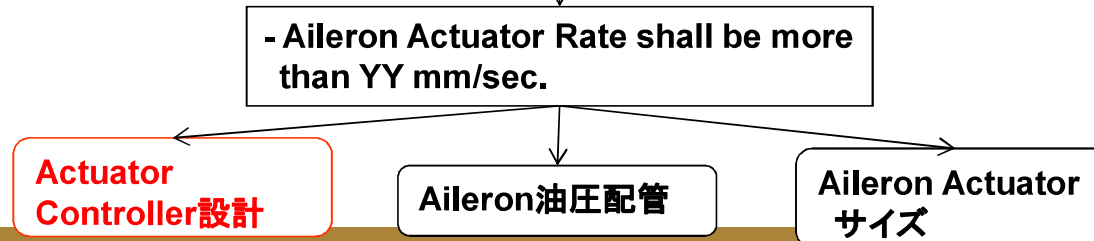
➤ Aircraft Level Requirementの例



➤ System Level Requirementの例



➤ Sub-System Level Requirementの例



SEC.5 INTEGRAL PROCESS

SEC.5.1 SAFETY ASSESSMENT

- ◎ 開発保証プロセスに従って、安全性評価が求められている。
Aircraftレベル／システムレベルでのFHAを実施しFC(Failure Condition)の設定が、その後の検証の起点となり重要である。

FHA ; Functional Hazard Assessment

- the effects of the Failure Condition(s)
- Classification of each Failure Condition (i.e., Catastrophic, Hazardous/Severe-Major, Major, Minor, or No Safety Effect)

PASA/PSSA ;

Preliminary Aircraft Safety Assessment /
Preliminary System Safety Assessment

ASA/SSA ; Aircraft Safety Assessment /
System Safety Assessment

CCA ; Common Cause Analysis

出典 ; SAE ARP4754 REV.A

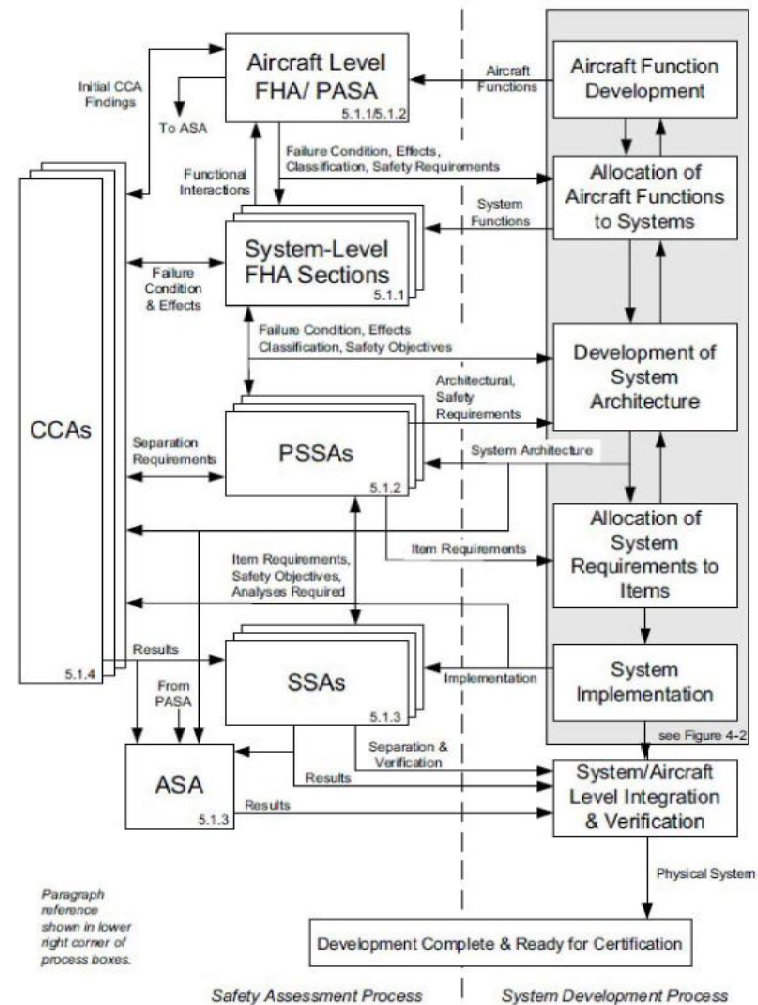
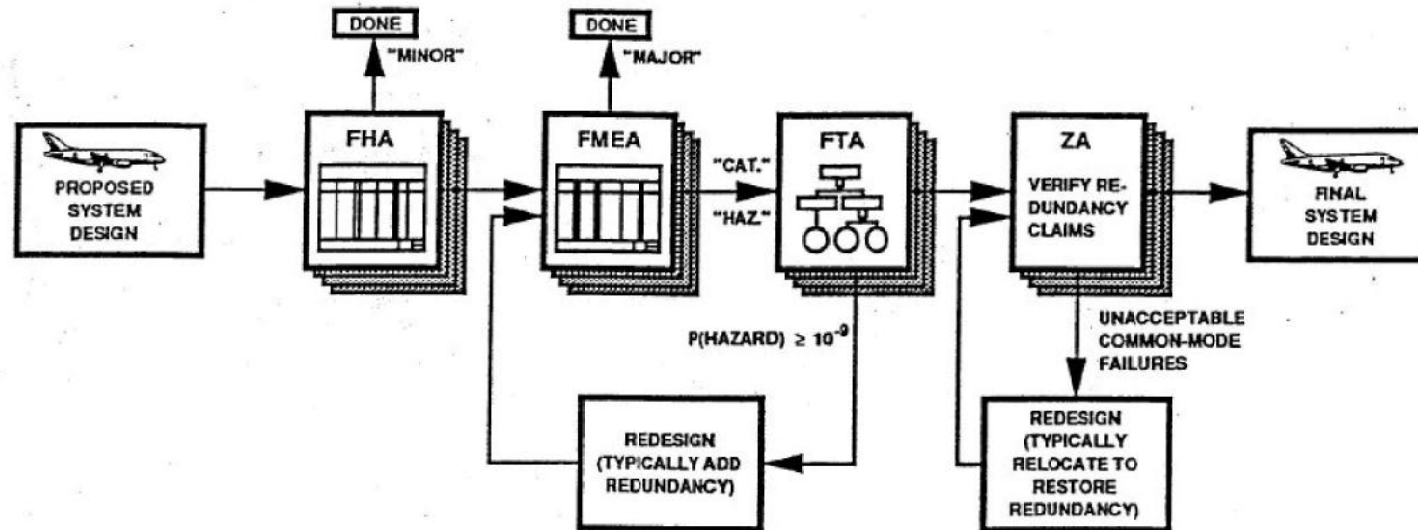


FIGURE 7 - SAFETY ASSESSMENT PROCESS MODEL

SEC.5 INTEGRAL PROCESS

SEC.5.1 SAFETY ASSESSMENT



- **FHA : Functional Hazard Analysis**
 - ✓ 機能上の異常事象を抽出して、機体に及ぼす影響と致命度を評価し、信頼度要求を設定
- **FMEA : Failure Mode and Effect Analysis**
 - ✓ 構成要素の故障モードを洗い出し、機体への影響を評価(ボトムアップ手法)
- **FTA : Fault Tree Analysis**
 - ✓ FHA/FMEAで抽出された異常事象のうち、致命度が“Hazardous”以上のアイテムに対し Fault Treeを作成し、発生確率を算出(トップダウン手法)
- **ZA : Zonal Analysis 【CCA : Common Cause Analysisの一部】**
 - ✓ 1つの要因により複数の機能が同時に喪失しないことを確認

出典 : Quantifying the Pilot's Contribution to Flight Safety Page, Gillette, Hodgkinson, Preston

SEC.5.1 SAFETY ASSESSMENT

SEC.5.1.4 CCA

機能、システムまたは品目間で独立性を求めている場合がある。このような独立性を確認すると共に、独立性が失われた状態が許容できることを保証する必要がある。

Common Cause Analysis(CCA)は次の3タイプの解析に細分化されている。

- a. Particular Risks Analysis ; PRA
- b. Common Mode Analysis ; CMA
- c. Zonal Safety Analysis ; ZSA

例) (a) Particular Risk Analysis (PRA)

機体の広い範囲、又はシステムや機器間に跨って影響を及ぼすParticular Riskの影響のために、Catastrophic/Hazardous に繋がる事象が発生しないことを評価する。

(参考) ARP4761では代表的なParticular Risk を以下の14件の項目が記載されている。

- a. Fire b. High energy devices c. High pressure bottles d. High Pressure Air Duct Rupture e. High Temperature Air Duct Leakage f. Leaking fluids(Fuel, Hydraulic, Battery acid, Water) g. Hail, ice, snow h. Bird strike i. Tire burst, flailing tread j. Wheel rim release k. Lightning strike l. High Intensity Radiated Fields m. Flailing shafts n. Bulkhead rupture

また、Survivability of Systems(Terrorism Threat)の検討も求められている。

SEC.5.1 SAFETY ASSESSMENT

SEC.5.1.4 CCA

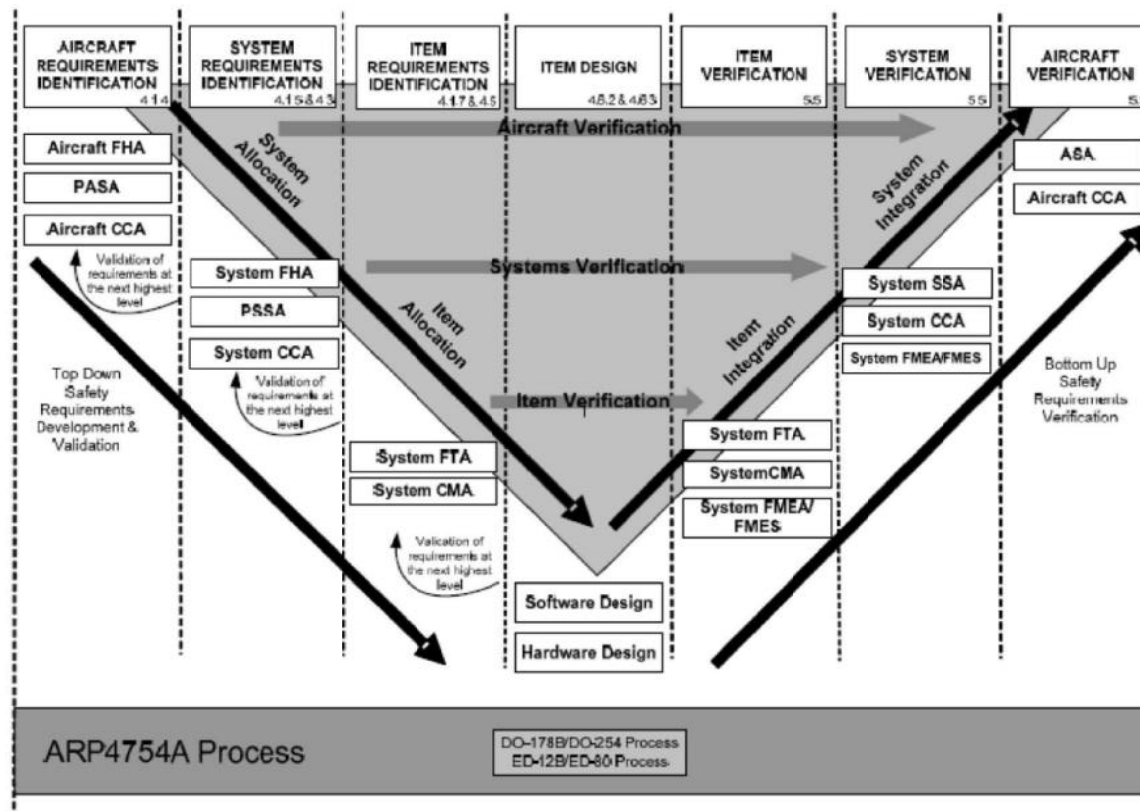


FIGURE 5 - INTERACTION BETWEEN SAFETY AND DEVELOPMENT PROCESSES

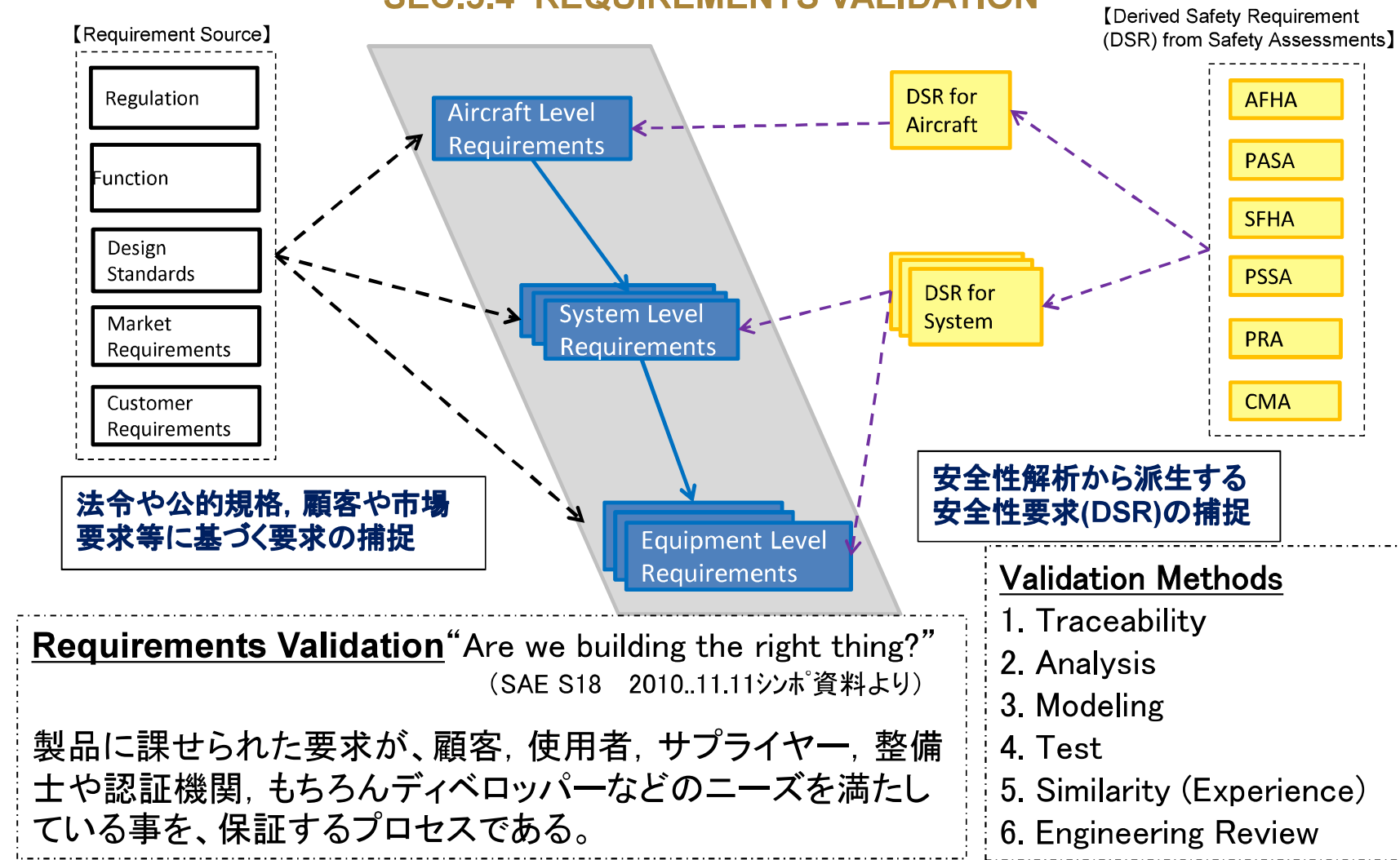
ARP4754A

5.1.4 Common Cause Analysis

- a. Particular Risks Analysis
- b. Common Mode Analysis
- c. Zonal Safety Analysis

These analyses may be performed at any stage of the design process. Obviously, the most cost-effective time is early in the design process because of the potential influence on system architecture and installation. However, confirmation may not always be feasible until implementation is complete.

SEC.5.3 REQUIREMENTS CAPTURE SEC.5.4 REQUIREMENTS VALIDATION



VALIDATION – CORRECTNESS AND COMPLETENESS

✓ Validation → 要求が**妥当**であることを確認する行為

✓ **妥当**とは？

→ 要求がcorrectであり、かつcompleteであること。

✓ 「正確性Correctness」

(1) 1文に1要求が述べられているか？

(2) 曖昧さが無く明確な要求か？

(3) 検証(Verification)可能な要求か？

(4) 安全性解析からの派生要求

(Derived Safety Requirement)を

正しく反映しているか？

✓ 「網羅性Completeness」

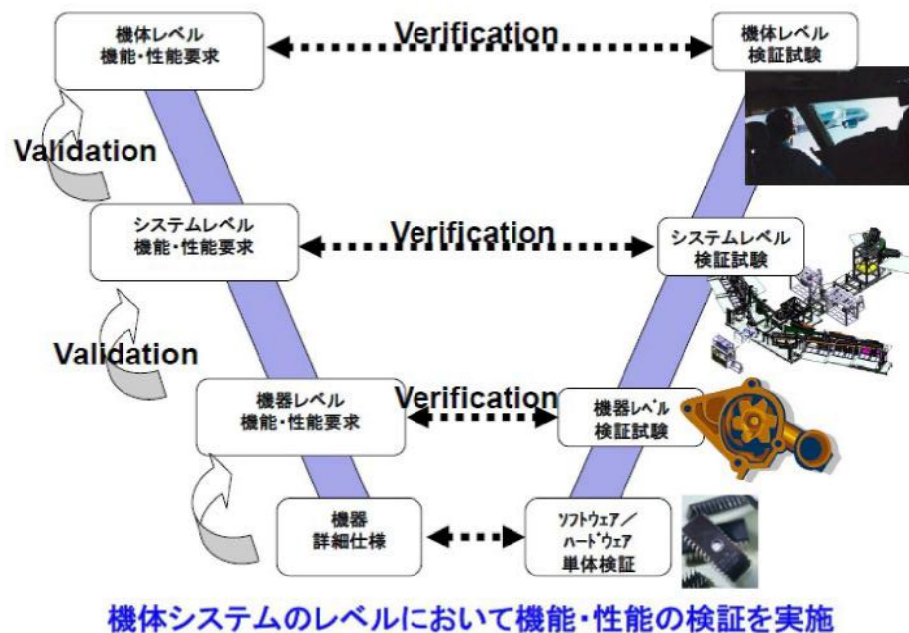
(1) 本要求の実現により上位要求を達成できるか？

(2) 規定／ガイドライン／スタンダード等の一般的
に必要とされる内容をカバーしているか？

(3) 実現すべき機能をハードウェア／ソフトウェア
等に明確に割り付けているか？

(4) 必要な全てのインターフェース要求は定義さ
れているか？

SEC.5.5 IMPLEMENTATION VERIFICATION



Implementation Verification

“Have we built the right thing?”
(SAE S18 2010.11.11シンポ資料より)

実装状態で製品が、課せられた
要求に適合している事を、確認
するプロセスである。

Verification Methods

1. Inspection or Review
2. Analysis
3. Test or Demonstration
4. Service Experience

VERIFICATION METHOD (例)

ベリフィケーション方法	内容
(1) 検査及びレビュー	
検査及びレビュー	文書及び図面のレビュー, 又は, ハードウェア及びソフトウェアの目視検査により要求への適合性を確認する。
(2) 解析及びモデリング	
解析及びモデリング	物理法則に基づき, 検討対象の挙動等を詳細に検討することによって要求への適合性を示す手法。 机上シミュレーションもこの分類に含める。
(3) 試験又は実証	
システム単体地上試験 (コンポーネント試験)	材料, 部品, 装備品などについて, 装備品・部品の設計及び材料が要求仕様に合致していることを確認する手法。装備品各部のシステムの性能を確認するコンポーネント試験, 耐久性を試験する部分構造試験などが存在する。全機地上試験, リグ試験, PS試験で行えない試験を全て行う。
リグ試験	検証対象を実機と同等の状態におくために, 対象の一部を模擬して試験することで, 要求への適合性を示す手法。複数のシステムを接続した地上試験が可能となる。
パイロット シミュレータ	実機の挙動を模擬した特定の型式の航空機シミュレータをパイロットが操縦することで, 要求への適合性を示す手法。パイロットが操縦しないものは解析, 又はリグ試験に分類する。
全機地上試験	実機(又は実機と同等の状態においた検証対象)を試験することで, 要求への適合性を示す手法。
飛行試験	実機を飛行させることによって, 要求への適合性を示す手法。タキシング, 離着陸ロールもこの分類に含める。ただし, 飛行試験では飛行条件を網羅的に変化させることは困難であり, かつ実施可能な試験ケース数に上限があるため, 解析やシミュレーションによる代表試験ポイントの選定が必要となる。
(4) シミラリティ	
シミラリティ又はサービス エクスペリエンス	他機にて十分な運用実績があり, 解決に至っていない重大な故障が起こっていないことが実証できる場合は, シミラリティ又はサービス エクスペリエンスによるベリフィケーションが認められることもある。

安全性解析を基にした検証レベル分け(PRACTICAL APPROACH)

TABLE 7 - VERIFICATION METHODS AND DATA

Methods and Data (see paragraphs 5.5.5 and 5.5.6)	Development Assurance Level			
	A and B	C	D	E
Verification Matrix	R	R	A	N
Verification Plan	R	R	A	N
Verification Procedures	R	R	A	N
Verification Summary	R	R	A	N
ASA/SSA (note 3)	R	R	A	N
Inspection, Review, Analysis, or Test (note 1)	R (Test and one or more of others)	R (One or more)	A	N (note 2)
Test, unintended function	R	A	A	N
Service Experience	A	A	A	A

Note: R - Recommended for certification, A - As negotiated for certification, N - Not required for certification

NOTE 1: These methods provide similar degrees of verification. The selection of which methods will be most useful may depend on the specific system architecture or the specific function(s) implemented. DO-178B/ED-12B and DO-254/ED-80 define applicable tests for software and electronic hardware depending on the IDAL.

NOTE 2: As necessary to show installation and environmental compatibility.

出典; SAE ARP4754 REV.A

⇒ 上記朱記; DAL“A&B”については、Testだけでなく、他に何らかの方法で Verificationする事を求めている。

SEC.5 INTEGRAL PROCESS

SEC.5.7 PROCESS ASSURANCE

プロセス保証の目的

- a. 必要な計画が策定され、これらが、航空機、システム及びアイテム開発での全ての局面においても維持されるようにする。
- b. 開発活動と開発プロセスがこれらの計画に従っておこなわれるようにする。
- c. 活動がこれらの計画に従うものであることのエビデンスを確立する。

プロジェクト計画のレビュー

- a. 該当する手続きや業務が文書化されていること。
- b. 定められたコミュニケーション方法が、該当するプロセスと影響を受ける要員の間の情報交換がタイムリーに実施できるものであること。
- c. プロセス、スケジュール、又は技術的な変更による計画の更新をおこなう手続きが設定されていること。
- d. 計画の更新は、適正にトラックでき管理されていること。

プロセス保証のエビデンス

- a. 日付があり認証されたプロジェクト計画
- b. プランで求められている報告、評価基準、検討概要
- c. 設計, Verification, Validation, 形態管理, 適合証明の各活動での実際のデータ
- d. プロセス保証レビューを行った時の確認書（終了チェックリスト、議事録など）

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——

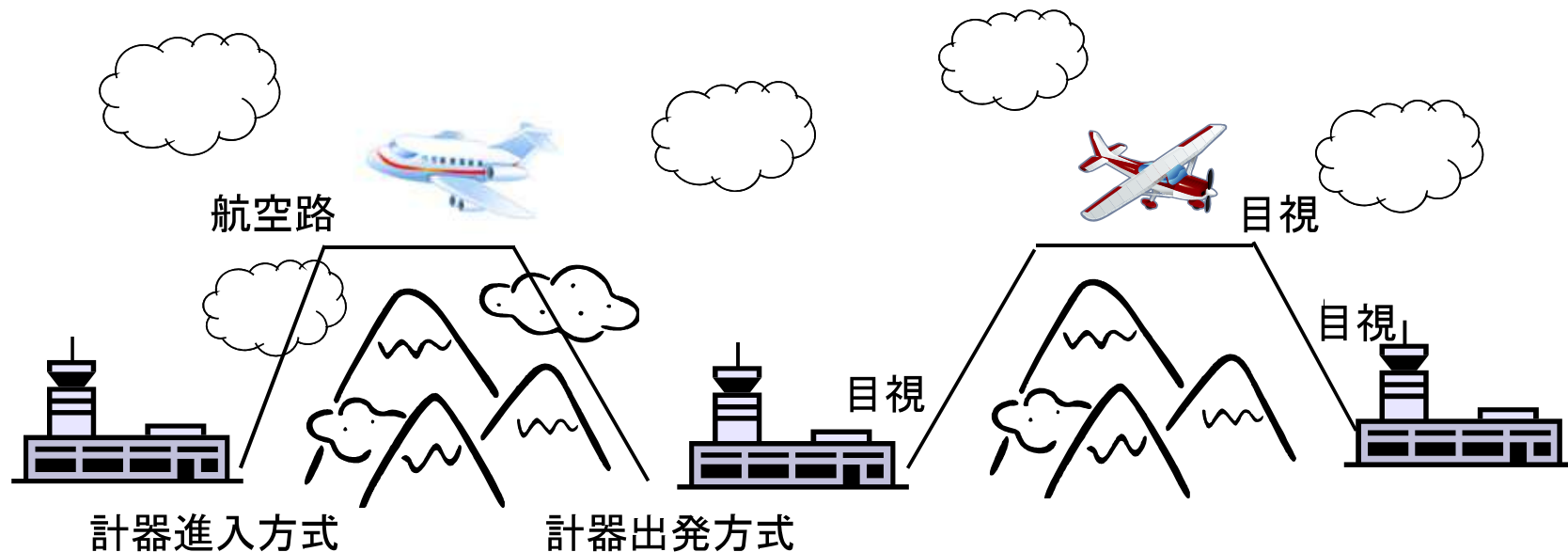
教材 10： 航法システムと航空管制技術の動向と課題

航空機の飛行方式 (IFRとVFR)

計器飛行方式 (IFR)

飛行経路上を管制官の指示に従う飛行

操縦席から外が全く見えない状態でも、他の航空機や山などの障害物との衝突を避けながら安全に飛行することが可能



有視界飛行方式 (VFR)

パイロットの目視により飛行するため、十分な視界が確保されるような気象状態が必要

空域

飛行情報区

世界の空を区分し、各国が航空交通業務を担当、領空と隣接する公海上空

管制空域

管制区

地表又は水面から200m以上の高さの一定の空域

進入管制区

管制区のうち、管制圏内の飛行場から上昇、降下飛行が行われる一定の空域

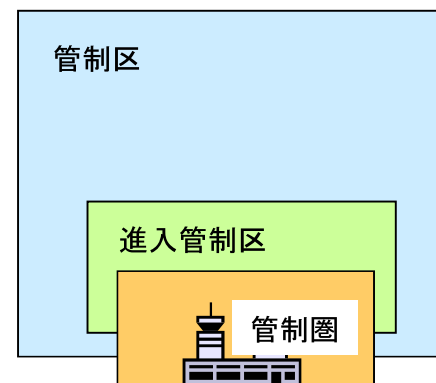
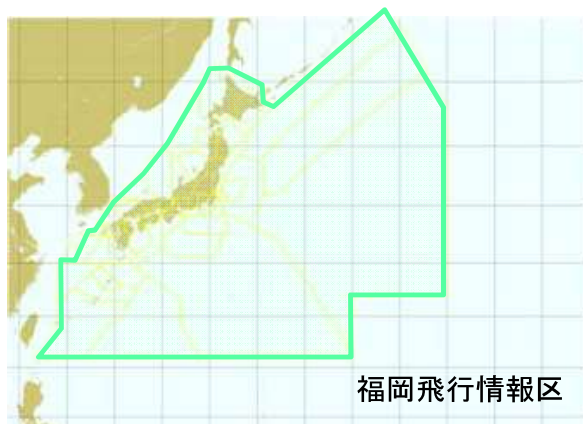
管制圏

飛行場及びその付近の上空の一定の空域

非管制空域

管制空域以外の空域

注：上記空域のうち、自衛隊や米軍が管轄する空域も存在



出典：国土交通省

航空交通システム

管制官
パイロット
技術職員

規則、方式
技術情報
地図

ADS-C/
Datalink

(通信
Communication)

HF/
VHF

(監視
Surveillance)

GPS

(航法
Navigation)

VOR/DME

安全性

効率性

定時性

環境に
優しい

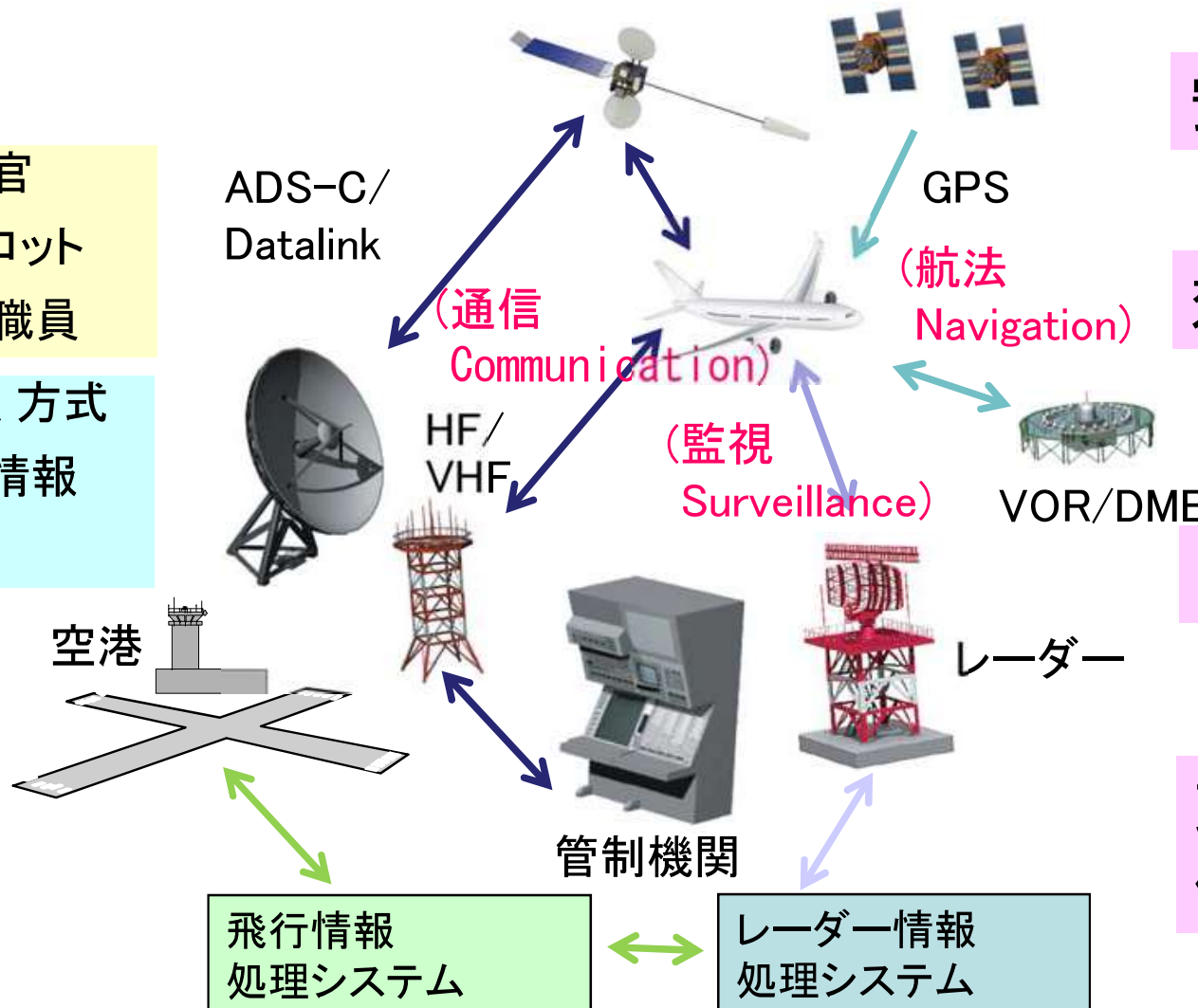
空港

レーダー

管制機関

飛行情報
処理システム

レーダー情報
処理システム



航空交通を支える業務

管制業務（航空管制官）

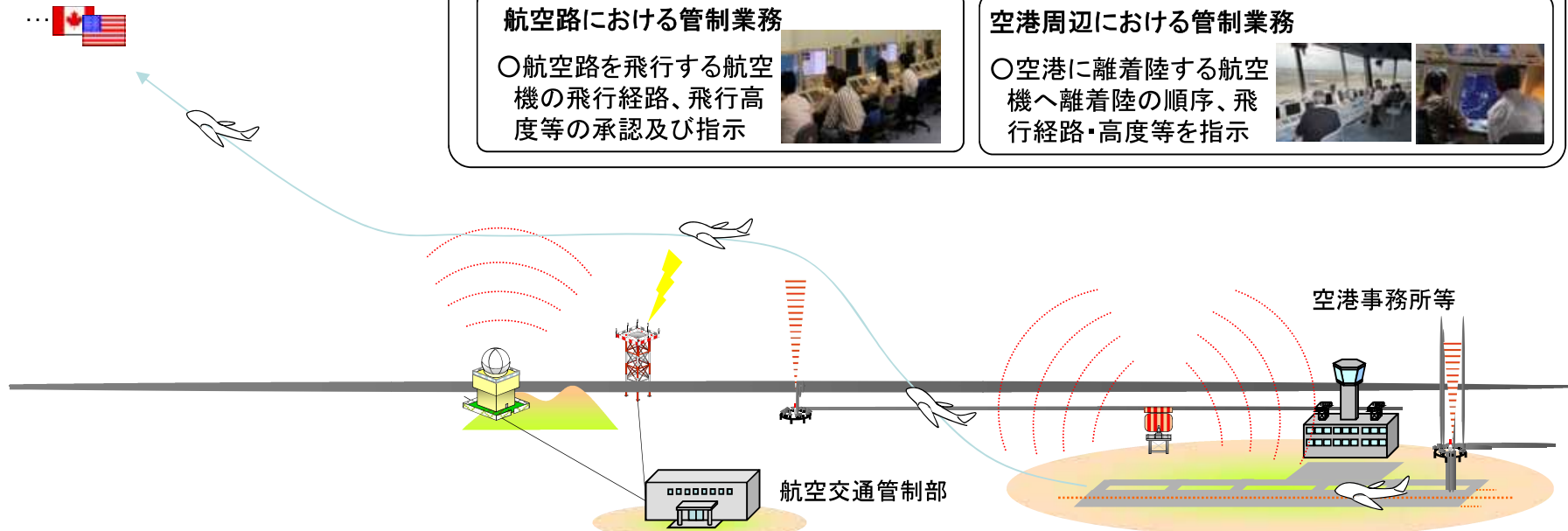
航空路における管制業務

- 航空路を飛行する航空機の飛行経路、飛行高度等の承認及び指示



空港周辺における管制業務

- 空港に離着陸する航空機へ離着陸の順序、飛行経路・高度等を指示



管制技術業務（航空管制技術官）

- 航空機の安全で効率的な運航を確保する航空保安無線施設等（通信・航法・監視（CNS）システム）の開発・整備及び評価・改善
- 上記施設の運転監視及び保守



運航情報業務（航空管制運航情報官）

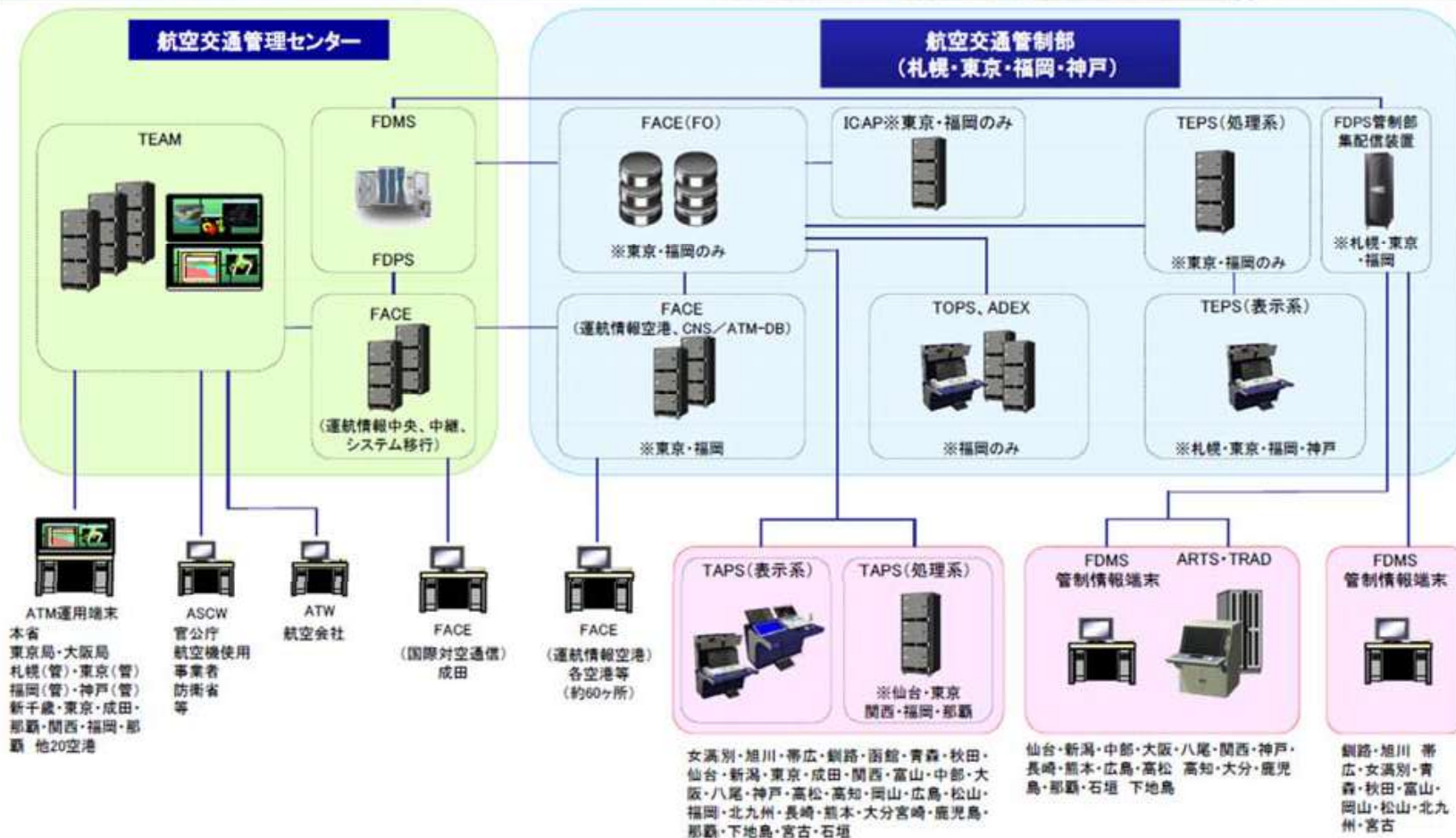
- 飛行計画の審査、運航の監視、搜索救難調整
- 飛行中の航空機に飛行場や気象に関する情報の提供
- 飛行場面の点検
- 航空情報の作成及び提供



出展：国土交通省 航空保安業務の概要

管制情報処理システム

航空交通管制情報処理システム概念図



ATW : Air Traffic Management Workstation (ATM 端末)
ASCW : Air Space Coordinating Workstation (空域運用管理端末)

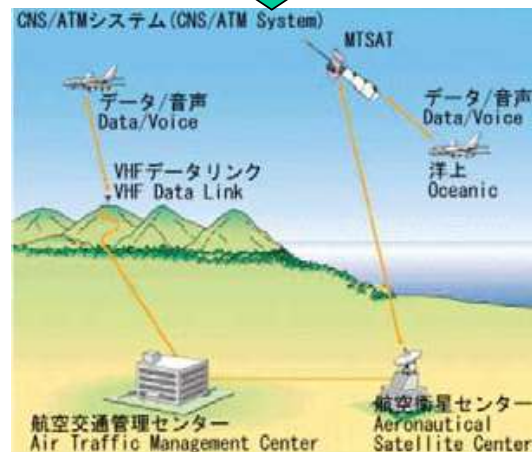
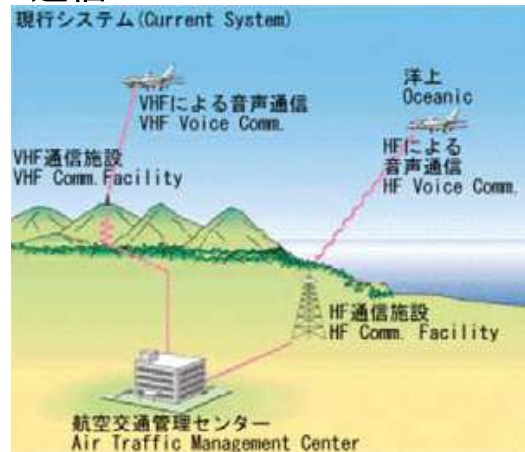
※平成31年4月1日現在 (ただし、統合管制情報処理システムについては最終の整備予定官署を記載。)

出展：国土交通省 航空保安業務の概要

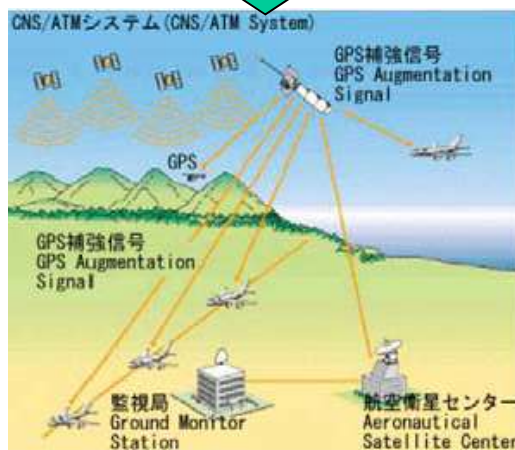
航空交通の通信・航法・監視の進化

- ◆ 1983年国際民間航空機関「次世代航空システム(FANS)特別委員会」
衛星システムや自動化システムを含む新しい航空航法システム

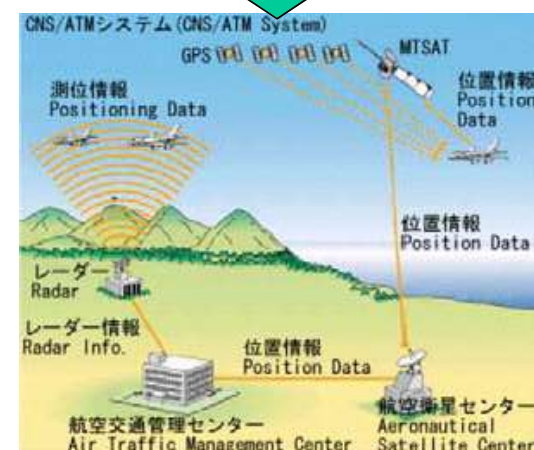
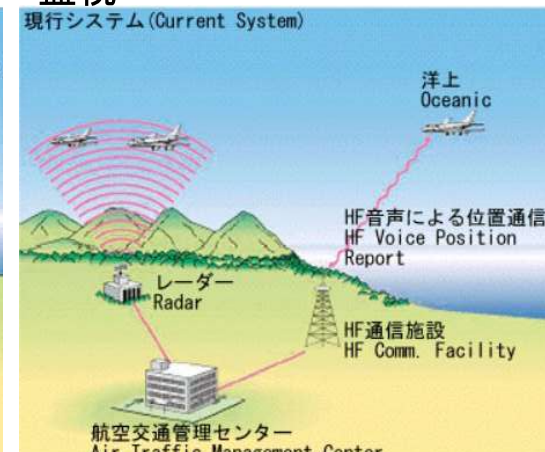
通信



航法



監視



出展：国土交通省 MTSATの機能

航法 (Navigation)

移動体を目的地へと導く移動経路を示す技術

地文航法

地形的な目印や標識の確認による

測位技術

天測航法

天体観測による

+

推測航法

コースと速度からおおよその位置を推定

情報、データ

+

自律航法

移動体内部の装置のみによる

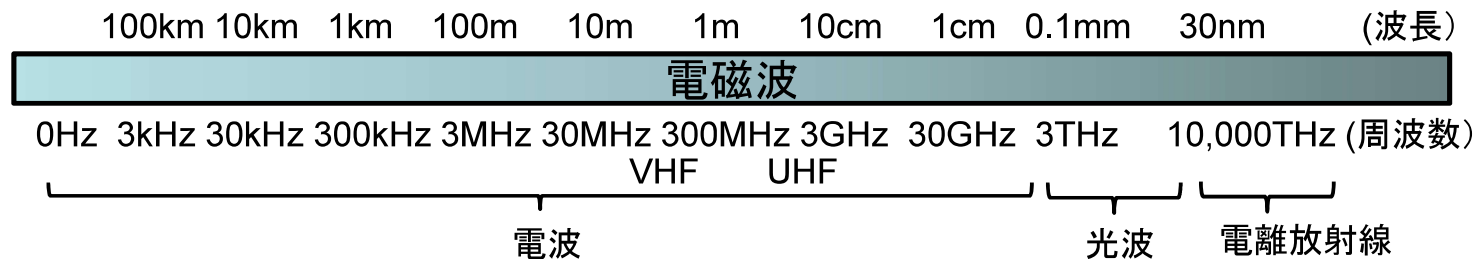
運用規則

電子(電波)航法

電波や電子機器を利用

衛星航法

人工衛星を利用



航空機が用いる周波数

Chapter 3. The International
Telecommunication Union

3-5

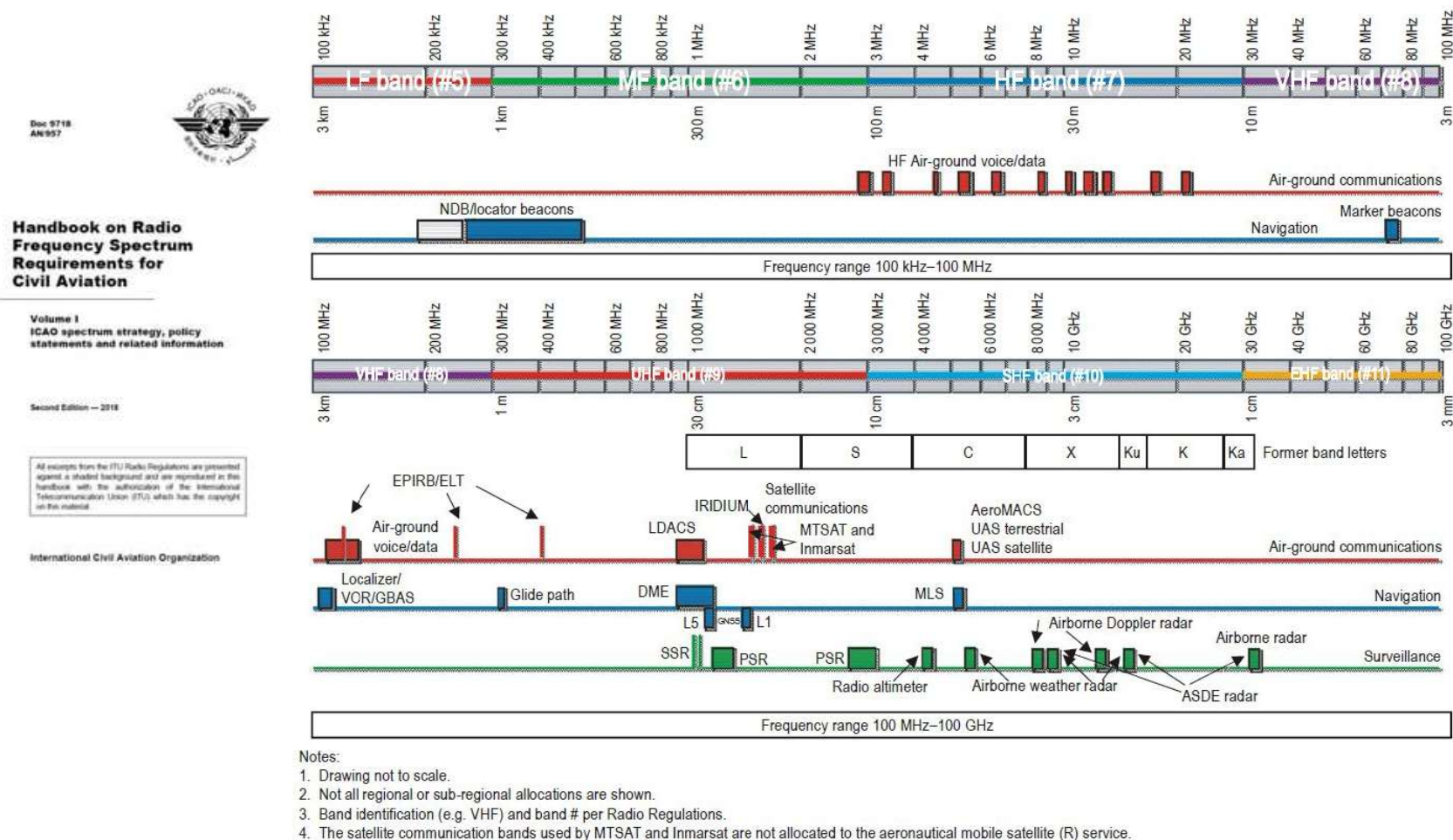
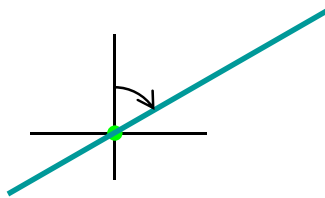


Figure 3-2. Overview of spectrum allocation to aeronautical services

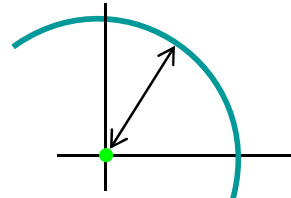
出展: ICAO Handbook on Radio Frequency Spectrum Requirements for Civil Aviation (Doc 9718 AN/957)

航空機の位置決定

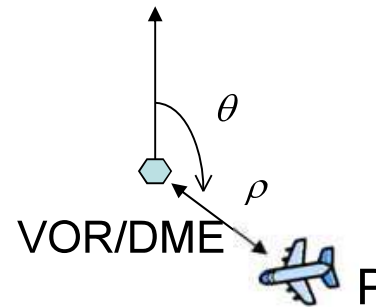
角度一定: 直線



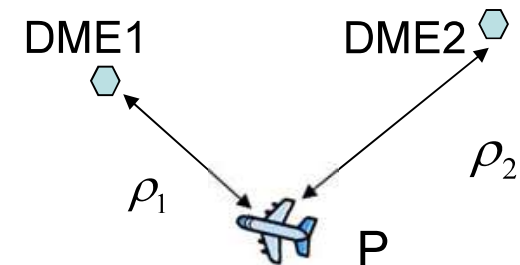
距離一定: 円 (球面)



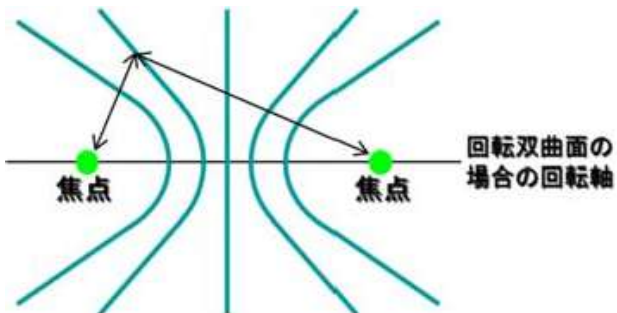
距離 ρ + 角度 θ



距離 ρ_1 + 距離 ρ_2

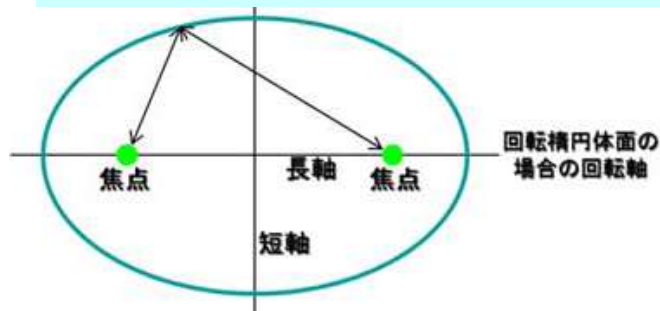


距離の差が一定: 双曲線 (回転双曲面)

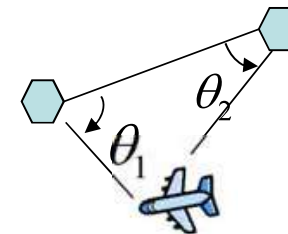


距離 ρ は電波の到達時間などから測定する。

距離の和が一定: 楕円 (回転楕円体面)



角度 θ_1 + 角度 θ_2

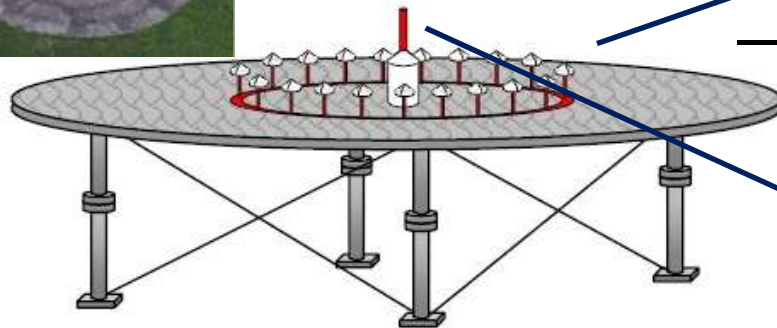


使われない。
角度は離れると位置誤差が増加するため。

VOR/DME

- VOR (VHF Omni-directional Radio Range) 方位

108~118MHz 方位精度 1.4° (95%)



磁北



基準信号AM変調 30Hz



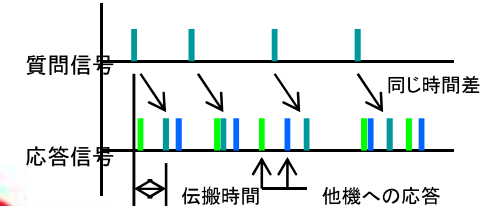
基準信号は、どこで受信しても同じ

可変信号FM変調 30Hz



60度遅れ

可変信号は、受信機の位置によって位相が異なる



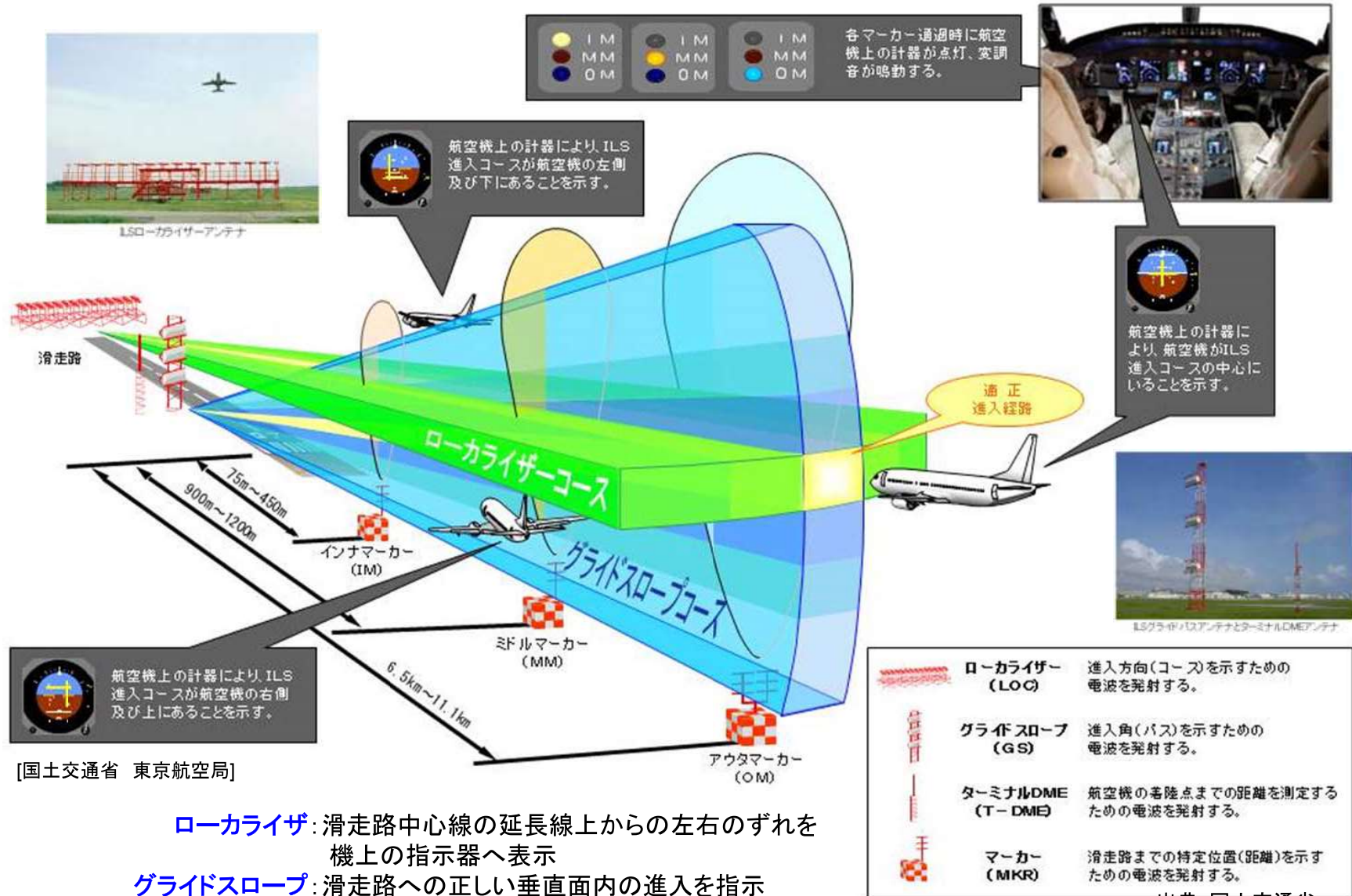
935



- DME (Distance Measuring Equipment) 距離

962-1215MHz 測距精度 0.1NM(95%)

計器着陸システム (ILS)



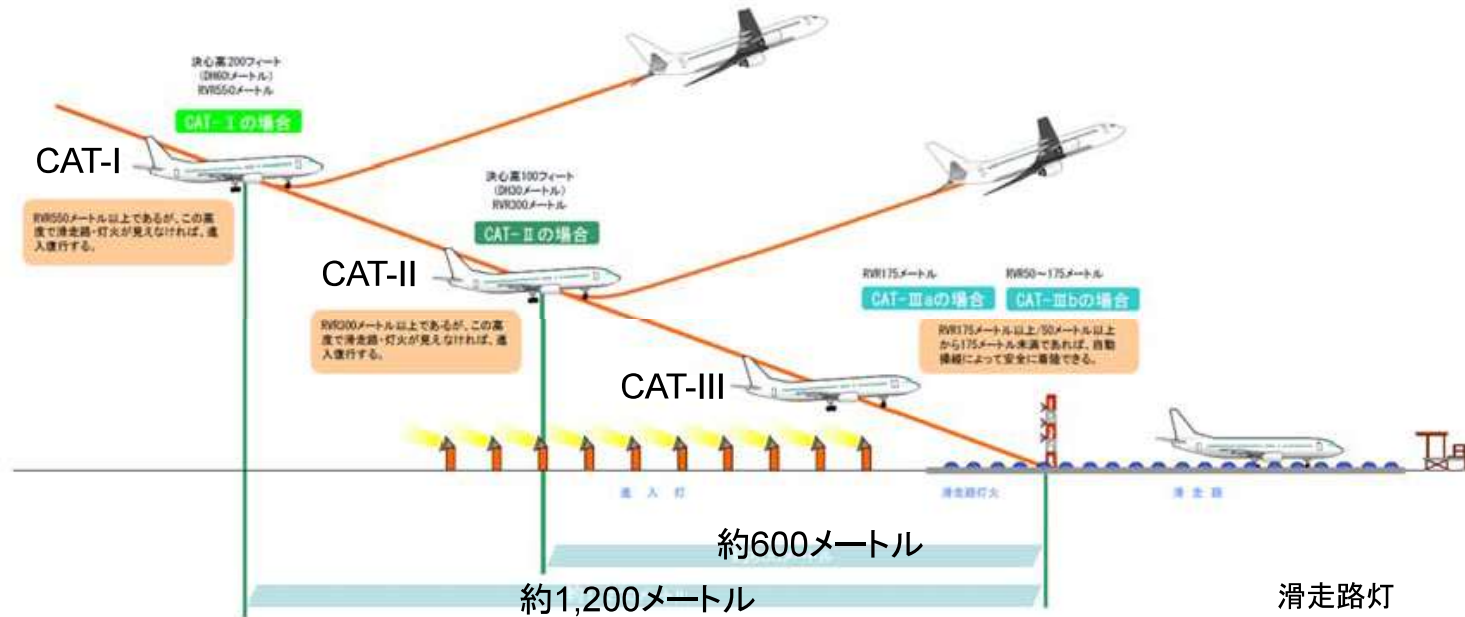
[国土交通省 東京航空局]

ローカイザー: 滑走路中心線の延長線上からの左右のずれを機上の指示器へ表示
グライドスロープ: 滑走路への正しい垂直面内の進入を指示

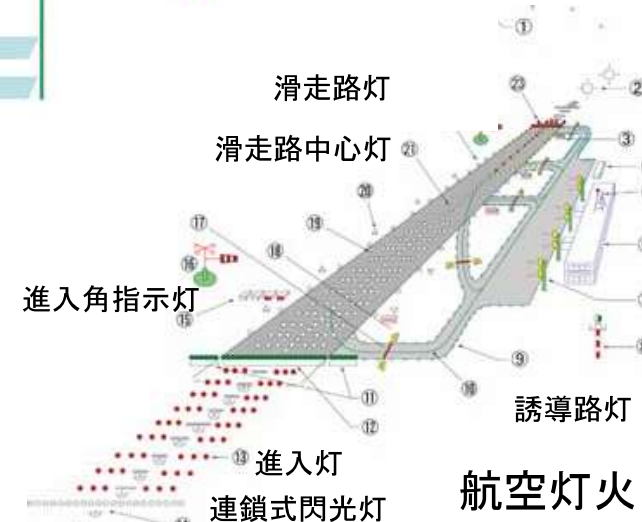
出典: 国土交通省

精密進入のカテゴリ区分

精密進入：カテゴリーにより区分（CAT-I, II 3空港, IIIB 7空港）



カテゴリー	決心高(DH)	滑走路視距離(RVR)
CAT I	200 ft 以上	550 m 以上
CAT II	100 ft 以上 200 ft 未満	300 m 以上
CAT III A	100 ft 未満又は設定なし	175 m 以上
CAT III B	50 ft 未満又は設定なし	50 m 以上 175 m 未満
CAT III C	制限なし(国内での設定なし)	



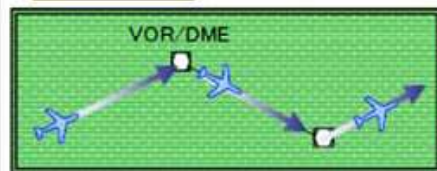
出展：国土交通省 航空保安業務の概要

RNAV運航方式

1. RNAV運航方式

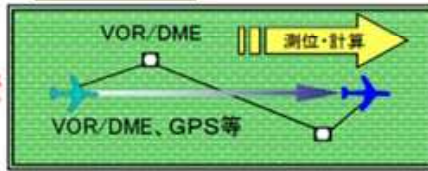
RNAVの航法原理

従来の航法



VOR/DME等地上施設からの電波を受信し、地上施設を結ぶ経路上を飛行。

RNAV



VOR/DME、GPS等からの信号をもとに自機位置を測定し、計算処理して飛行コース等を柔軟に設定可能。

技術革新

RNAV (Area Navigation: 広域航法) は、航空機が搭載するFMS(航法用机上コンピューター)等により、自機的位置を算出し任意の経路を飛行する航法であり、地上施設(VOR/DME等)の配置に左右されることのない柔軟な経路設定が可能な運航方式。飛行経路設定時の物理的制約が大幅に緩和される。

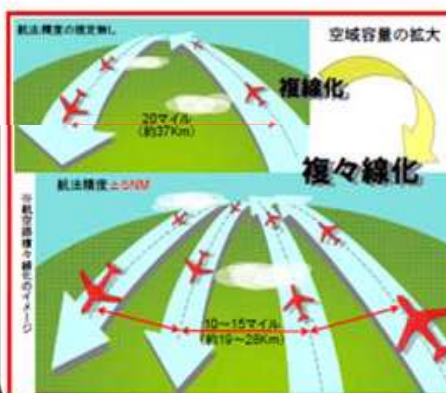
RNAV経路の一例(福岡空港到着経路)



2. 導入効果

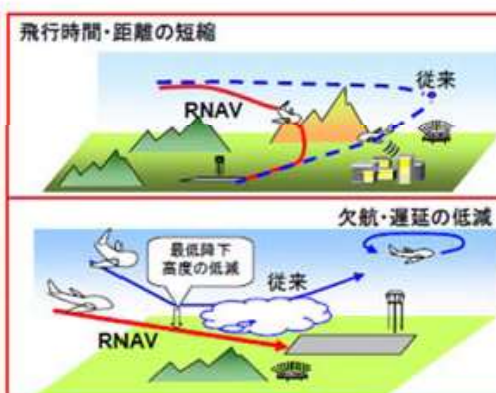
空の交通にとって ...

増加する航空需要への対応



航空機にとって ...

運航効率・就航率の向上、環境負荷軽減



3. 高規格なRNAV

空域容量の増大

航法精度を指定することにより従来よりも経路の左右間隔を短縮し、航空路の複線化や複数線化等により、空域容量の増大を図ることができる。

飛行時間・距離の短縮

地上施設の配置に左右されることのない短縮経路が設定可能となることに加え、発着経路が短縮できる可能性があることから、飛行時間の短縮やCO2削減の効果が期待できる。

欠航・遅延の低減

特別な着陸のための施設や地形による制約が緩和され、進入ルート、運航条件が改善され、就航率の向上が図られる。

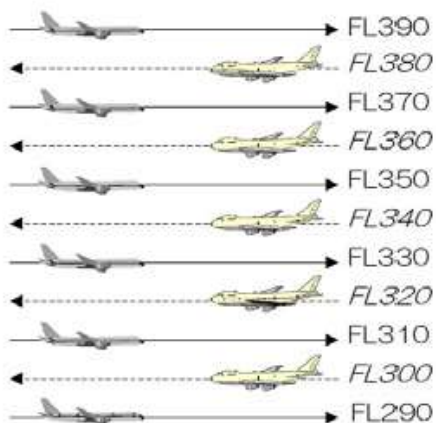
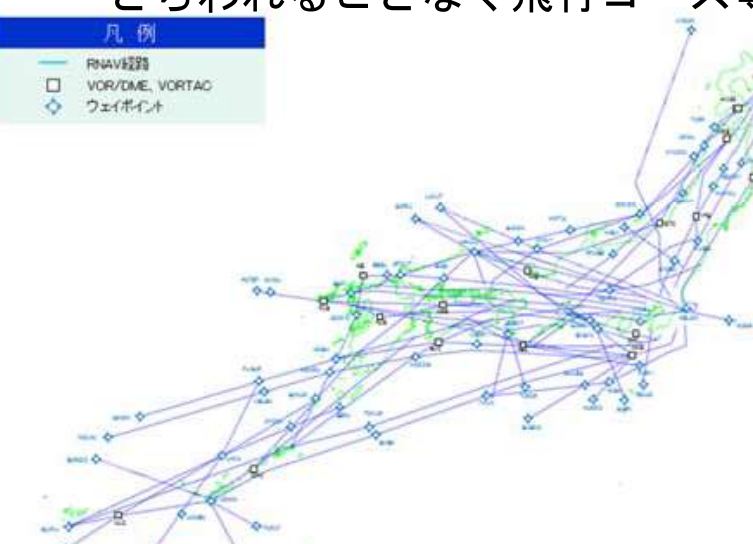
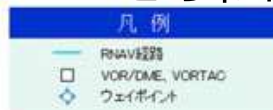
RNP (Required Navigation Performance): RNAVと原理は同じであるが、経路維持監視警報機能を有する机上装置により、レーダー監視空域外でも飛行が可能な方式。

RNPの例
RNP AR進入
(AR: Authorization Required)



航空路・RNAV経路

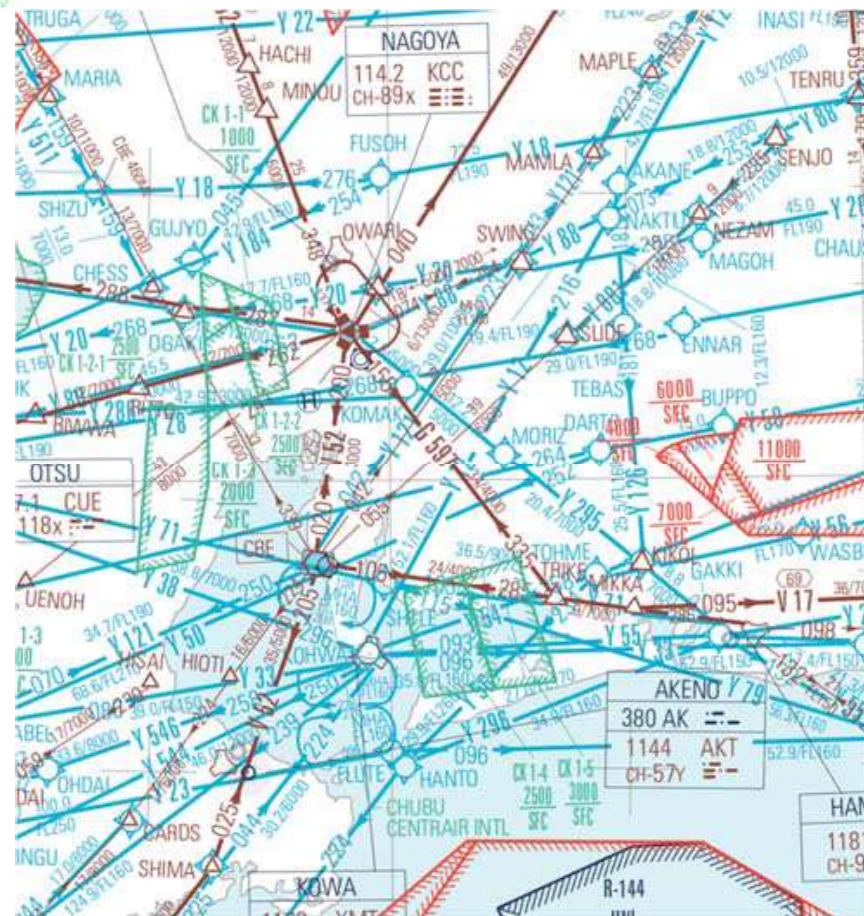
RNAV:GPSを含めた電波を利用して 自機位置を測位し、地上の施設配置にとらわれることなく飛行コースを設定して飛行することができる方式



ウェイポイント
アルファベット
5文字以内
VOR:3文字

RNAV経路
'Y'+数字

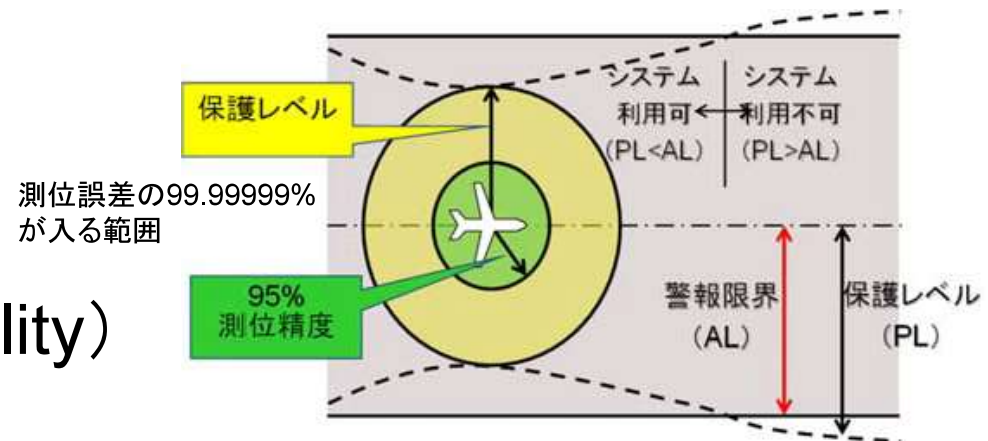
東行と西行で飛行高度を指定



出展：国土交通省

GNSS航法性能要件

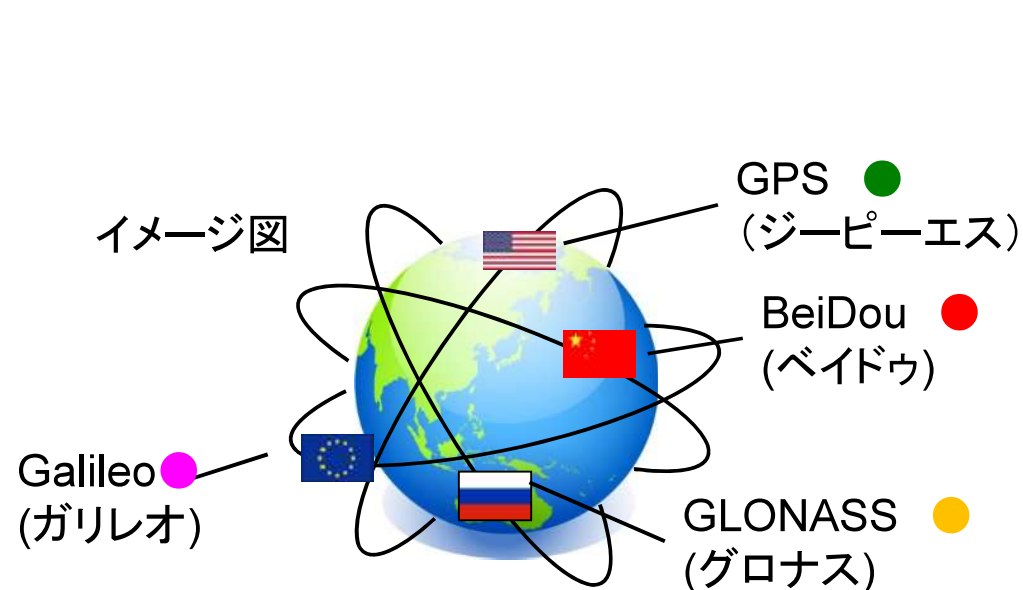
- ◆ 精度 (Accuracy)
- ◆ 完全性 (Integrity)
- ◆ 継続性 (Continuity)
- ◆ 利用可能性 (Availability)



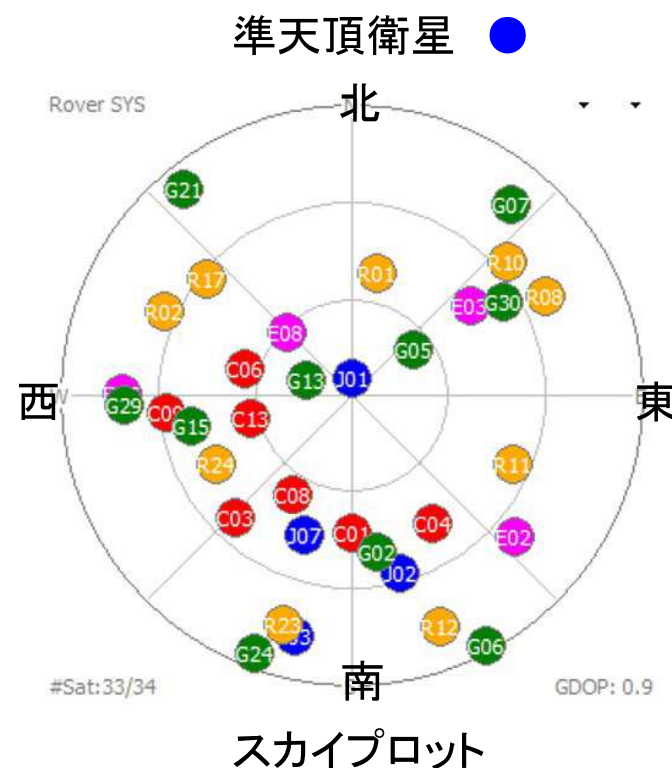
航法モード	水平方向		垂直方向		完全性
	95%精度	警戒限界	95%精度	警戒限界	
航空路	740 m	3.7 km	—	—	1時間あたり $1-10^{-7}$
ターミナル空域	740 m	1.85 km	—	—	
非精密進入、出発 MDH=250ft	220 m	556 m	—	—	
LPV(垂直誘導付進入) DH=250ft	16 m	40 m	20 m	50 m	1着陸あたり $1-2 \times 10^{-7}$
CAT-I LPV200(DH=200ft)	16 m	40 m	4~6 m	10~35 m	

衛星航法システムの利用の拡大

新たな衛星システム、複数周波数の追加を検討



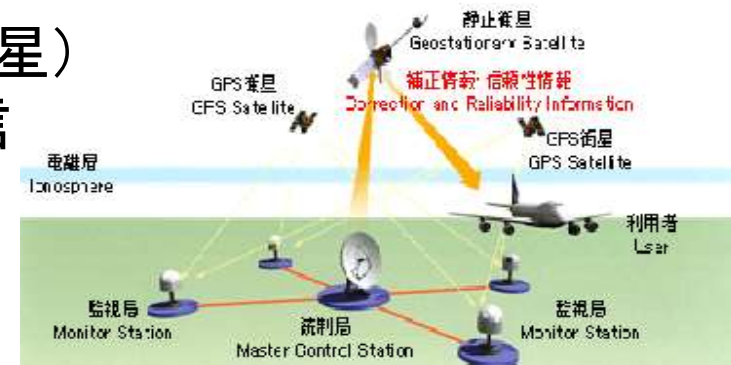
周波数の増加: L1 (1575.42MHz)
L5 (1176.45MHz)



静止衛星型補強システム（SBAS）

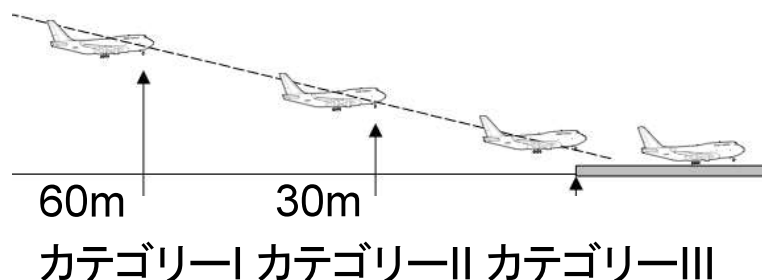
- ◆ 静止衛星からL1 C/A信号にて補強情報を送信し、広範囲にわたり有効なインテグリティ情報及びディファレンシャル補正情報を提供
- ◆ 現行規格（L1 SBAS）GPS/GLONASSの一周波数のみ
- ◆ 次世代SBAS（複数システム・複数周波数対応）
 - 複数システム（GPS/GLONASS/Galileo/BeiDou）の利用による性能改善・ロバスト性の向上
 - 複数周波数（L1帯及びL5帯）の利用による電離圏伝搬遅延の回避
 - SBAS衛星（静止衛星/非静止衛星）からL5信号にて補強情報を送信（L5 SBAS）

L1 (1575.42MHz): L5 (1176.45MHz)
C/A(Coarse/Acquisition)

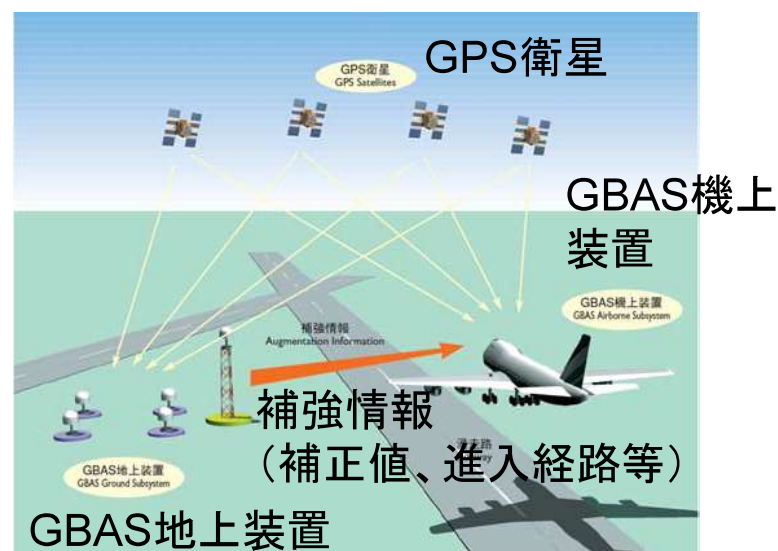


地上型衛星航法補強システム(GBAS)

- ◆ 地上の4基の基準局の測定値を基に補強情報を生成し、VHFデータ放送(VDB)により航空機に伝達(空港周辺)
- ◆ 進入経路をデジタル情報として同時に伝達
- ◆ カテゴリー I (地上60m(200ft)まで) ~ III (滑走路離脱まで) に対応可能
- ◆ 柔軟な進入経路設定、複数滑走路のサービスなどの拡張性



VDB: VHF Data Broadcast



将来の航空交通システムに関する推進協議会

- ◆ 2010年 「将来の航空交通システムに関する長期ビジョン」をとりまとめ
- ◆ 2011年以降 将来の航空交通システムに関する推進協議会（CARATS推進協議会）を毎年開催し、将来の航空交通システムの構築に向けた検討
- ◆ 2015年 航空交通分野の研究開発に有用な定期航空便の時刻・位置等の航跡データ（CARATS Open Data）を提供開始
- ◆ 推進協議会委員（2020年3月）
 - 座長：屋井鉄雄（東京工業大学）
 - （学識経験者）東京工業大学、東京大学、首都大学東京、茨城大学
 - （運航者）全日本航空事業連合会、日本航空機操縦士協会、定期航空協会
 - （研究機関）宇宙航空研究開発機構、海上・港湾・航空技術研究所
 - （航空関連メーカー等）日本電気（株）、東芝インフラシステムズ（株）、日本無線（株）、日本航空宇宙工業会、沖電気工業（株）、三菱電機（株）、（株）NTTデータ
 - （関係省庁）防衛省、気象庁
 - （事務局）国土交通省航空局交通管制部交通管制企画課 CARATS事務局

軌道ベース運用の実現までのステップ

