

Special Lecture Series on System Integration III

Module:

Project and Program Management: overview and current challenges in the Aeronautic Sector



MITAC Academy

***Intensive Short Course in Collaborative Program with
MITAC Academy – September 2021***

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

*Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil
MITAC Academy advisor*

This workshop was developed based on recognized bibliographical references and the author's professional and academic experience, in order to lecturing on behalf of the MITAC Academy Program. Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC or the author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.

Mission:

- Draw strategies more closely **creating** a **virtuous** and **robust** body of **professionals** fitted in to face the **global challenges** and **competitiveness** presented in **worldwide aerospace sector**.

Future **Vision** of MITAC Academy Program:

- Support the establishment of a **World Class Aviation Cluster** in Japan.
- Be a **Global** and **Sustainable Entity**.
- Seed the remarkable **Japanese** features of **Quality**, **Efficiency** and **Harmony** into Aerospace in Japan.

Challenge:

- Propose a new **Human Resource Development Strategy** in Japan Aeronautics to be **conducted** in **parallel** with **current needs in development**:
 - ✓ Collaboration from Universities with Professors, Researchers and Facilities.
 - ✓ Volunteering from experienced Japanese and Global aviation experts.
 - ✓ Transfer of knowledge to young new-graduates engineers, as well as employees.

The Nagoya University & The MITAC Academy Program collaboration is part of several educational initiatives to create a long-term future for the establishment of the aeronautic industry in Japan. Therefore, one of the most important steps for this transformation is the development of human resources, as well as to attract more young professionals.

The purpose is also give to young professionals some practical experience ideas when they enter the workforce and start their new jobs, leveling the knowledge towards to the worldwide aerospace environment curricula, covering subjects suitable for real life in commercial aircraft development, like aerodynamics, propulsion, structures, control, system design, system integration, safety, certification, human factors, flight tests, supply chain management, project management, marketing & business aviation, among others.

In that way, the Nagoya University and MITAC Academy collaboration is an experimental architecture involving Mitsubishi's aeronautical professionals and experts, as well as new-graduates, students and professors.

It's also important to emphasize that this collaboration is very unusual and special for Japan, and stakeholders have been recognizing the huge efforts of Mitsubishi's employees and specialists, as well as Nagoya University professors, providing highly motivated and enthusiastic young partners for the program.

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

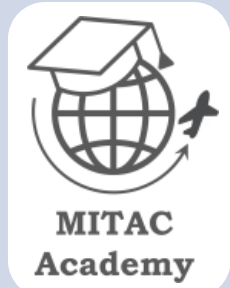
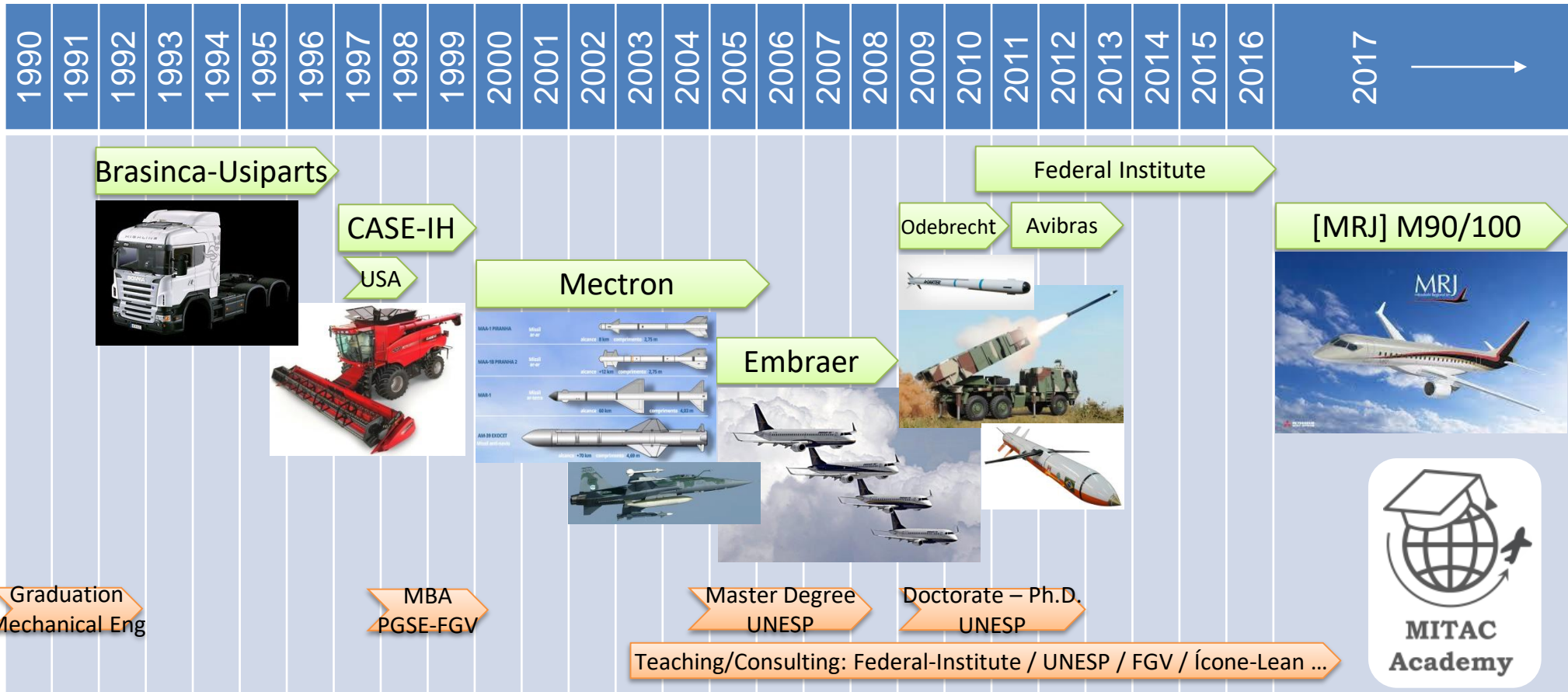
- *Planning Manager* at aerospace companies in Brazil and Japan.
- *MITAC Academy advisor* for Educational and Internship Programs.
- *Professor* of the Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil.
- *Operations Management* Ph.D. and M.Sc.
- MBA in *Entrepreneurial Management*.
- *Theory of Constraints* and *Critical Chain Project Management* expert.
- Black-Belt *Lean-Six-Sigma*.
- *Microsoft Project Professional & Server* expert.
- *Licensed SCRUM Product Owner* by SCRUMINC Japan.
- Consultant in *Multiproject Management, Operations Management, Supply Chain Management* and *Lean Enterprise*.

26 years of experience in the *automotive, heavy equipment, agricultural machines, electronics, aviation, aerospace and defense, performing in planning, operations management, project management, SCM/logistics, quality and finance.*

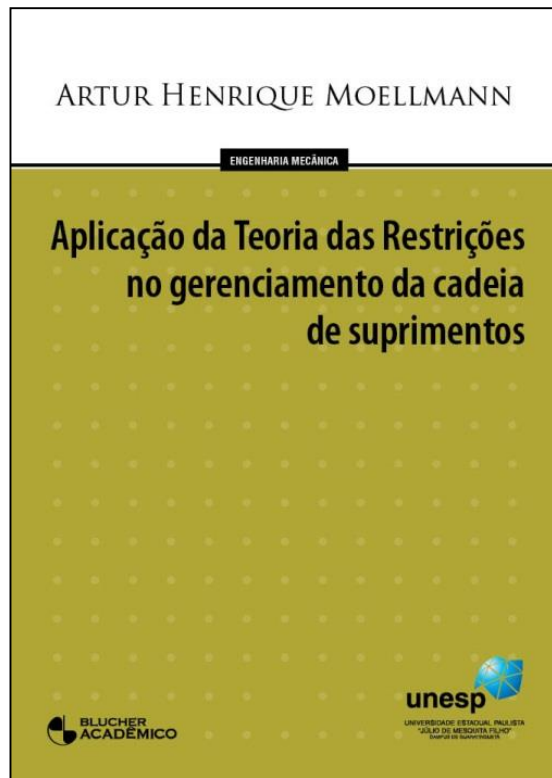
About the Author

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

Professional Timeline



Book: Application of the Theory of Constraints to Supply Chain Management



MOELLMANN, A. H. *Application of the Theory of Constraints to Supply Chain Management*. São Paulo: Blucher Acadêmico, 2008. ISBN 978-85-61209-57-5.

ABSTRACT

This research presents a real application of the Theory of Constraints (TOC) to the management of a supply-chain, in order to show how this methodology can introduce important improvements to the entire supplying system's performance. These improvements are achieved by decreasing the overall inventory levels, concurrently reducing losses of sales due to lack of goods at sales points (end-customers). The main concepts of TOC, as the thinking process, the drum-buffer-rope scheduling (DBR) and the simplified-DBR, were adapted from the manufacturing environment to a practical use in a supply-chain, providing a better perception of the main dilemmas that constrain the performance of the distribution system. The comprehension of this context enables to achieve a balance between the global gains of Supply-Chain against each suppliers' earnings. Moreover, the vendor-managed inventory (VMI) and the business-to-business (B2B) are strengthened when committed with the TOC process, building a robust system's performance and decreasing, even more, the inventory levels, by minimizing the bullwhip effect. A practical application is presented to evidence the feasibility and the benefits of this proposal, in which the CIS-ERP (Customer Integrated System ERP) run its logistic module integrating VMI to TOC and B2B through the internet. This model operates as an advanced planning and scheduling system (APS), sharing the entire data flow among ERPs from suppliers to the customers.

KEYWORDS: Theory of Constraints. Supply Chain Management. Vendor-Managed Inventory. Business-to-Business.

Doctorate Thesis:
Lean model of Multiproject
Management based on
Critical Chain.

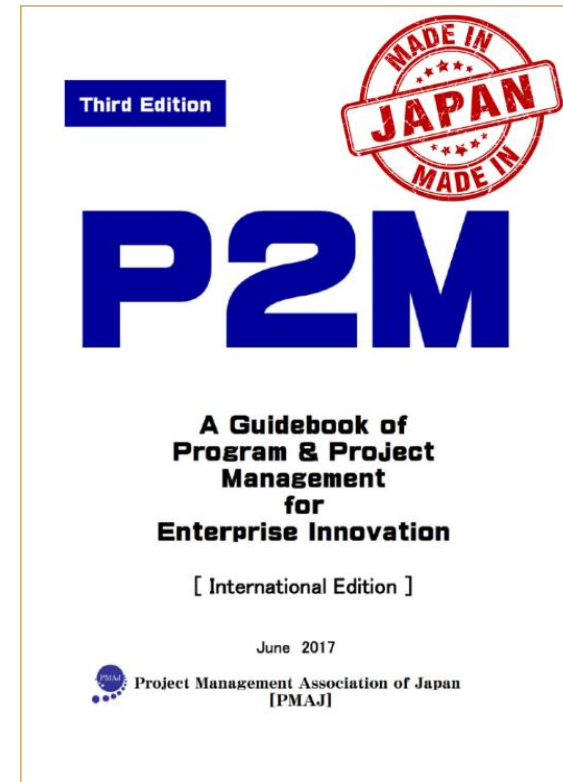
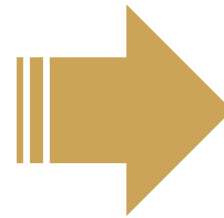
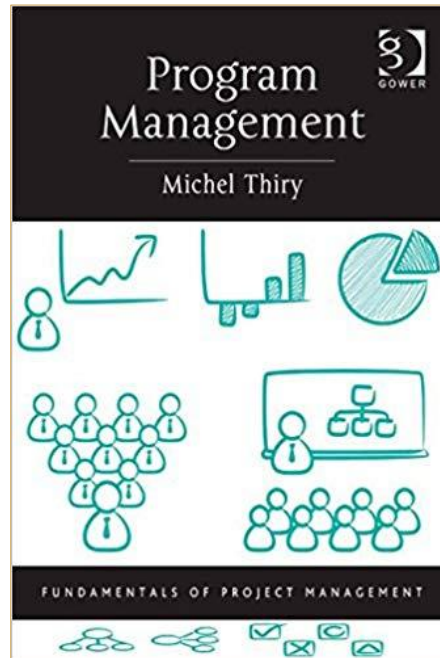
MOELLMANN, A.H. ***Lean model of Multiproject Management based on Critical Chain.*** Thesis (Stricto Sensu Ph.D.) – Doctorate in Operations Engineering: São Paulo State University, 2013.

ABSTRACT

This work aims to present a proposed model of management in environments with multiple simultaneous projects based on Critical Chain (CC) method, also showing how its principles can be complemented with the assumptions of the Lean Product Development System (LPDS), both to the planning as well as management of a project portfolio. This can be achieved by prioritizing and sequencing projects in the planning phase of a company's portfolio, applying the leveling according to the capacity of the constrained and strategic resources, in order to minimize resources' overload and, moreover, reducing waste and variability during the development processes. In addition to this, a proposal for a CC-LPDS model is presented, scaling the stages from portfolio planning to the phase of management and system control, providing a discussion of scenarios, and also emerging delimitations for the application. Following, this research uses the Monte Carlo Simulation in order to quantitatively demonstrate the results of the Critical Chain solution in terms of schedule performance for a hypothetical portfolio of projects, implying possible similar results to the reality of multiproject environments. Finally, there are possible prospects contributions, suggesting future research themes added to other management models.

KEYWORDS: Project Portfolio Management. Multiproject Management. Critical Chain. Lean Development. Monte Carlo Simulation.

- THIRY, M. ***Program Management – Second Edition***. Farnham: Gower Publishing Limited, 2015.
- PMAJ – Project Management Association of Japan. ***P2M: a Guide of Program and Project Management for Enterprise Innovation [International Edition] – Third Edition***. Tokyo: Cyber Publishing Center, Inc., 2017.
- MOELLMANN, A.H. ***Lean model of Multiproject Management based on Critical Chain***. Thesis (*Stricto Sensu Ph.D.*) – Doctorate in Operations Engineering: São Paulo State University, 2013.
- ALTFELD, H.-H. ***Commercial Aircraft Projects: managing the development of highly complex products***. Abingdon: Routledge, 2010.
- COOLEY, W.T.; RUHM, B.C. ***A Guide for DoD Program Managers: 80 percent of what Department of Defense Program Managers need to know to run an effective and efficient program***. Fort Belvoir: Defense Acquisition University Press, 2014.
- BREUHAUS, R.S., FOWLER, K.R., ZANATTA, J.J. ***Innovative Aspects of the Boeing 777 Development Program***. Seattle: Boeing Commercial Airplane Group, 1996.
- Association for Project Management – APM. ***The Scheduling Maturity Model Guide***. Princes Risborough: Association for Project Management, 2012.
- AEROSPACE RECOMMENDED PRACTICE **SAE ARP4754** – Rev. A. (***R***) ***Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems***. Copyright © 2010 SAE International.
- PMI – Project Management Institute. ***The Standard for Program Management – Fifth Edition***. Newton Square: Project Management Institute, Inc., 2013.
- KISHIRA, Y. ***WA: transformation management by harmony***. Great Barrington: North River Press, 2009.
- RICO, D.F. ***Lean and Agile Project Management: for Large Programs and Projects***. Lecture Notes in Business Information Processing, 65 LNBIP, pp. 37-43, 2010.



“I would particularly like to recognise the contribution of **Motoh Shimizu** ... **Motoh shared his thoughts in multiple face-to-face and virtual discussions about the difference of program management approaches in Japan and the Western world** and enabled me to use some of his ideas and concepts in this book.” *[the Author]*

“Each program management standard of **North America, Europe and Japan** has a **different approach** to overcome such **difficulties based on each business cultural background**. The author has made a thorough **analysis of these diverse standards** and **presents common and essential perspectives** thanks to his long experience and deep insights on the subject.” *[Motoh Shimizu, member, The Engineering Academy of Japan; Nippon Institute of Technology, Japan]*

MITAC-ACADEMY PROGRAM: PROJECT AND PROGRAM MANAGEMENT – SUMMARY

Topics:

- *Benchmarking*
- *Part 1 – Introduction to PROJECT Management (overview).*
- *Part 2 – From PROJECT to PROGRAM Management (includes: Portfolio and Multiproject).*
- *Part3 – Trends in Project and Program Management:*
 - *Critical Chain Project Management.*
 - *Agile Project Management – SCRUM.*
- *Part 4 – Case Studies in Aerospace.*

Special Lecture Series on System Integration III

Project and Program Management

Benchmarking



MITAC Academy

***Intensive Short Course in Collaborative Program with
MITAC Academy – September 2021***

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

*Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil
MITAC Academy advisor*

This workshop was developed based on recognized bibliographical references and the author's professional and academic experience, in order to lecturing on behalf of the MITAC Academy Program. Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC or the author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: PROJECT AND PROGRAM MANAGEMENT – BENCHMARKING

10/09/2019

Embraer's E190-E2 Program Named
2019 PMI Project of the Year

- *extremely complex program.*
- *new airplane.*
- *new production system.*
- *new and more connected airplane and customer support.*
- *new global supply chain spread throughout the US, Brazil, Europe and Asia.*



Remarkably First Flight: max mach/speed/altitude, FBW in normal mode.

Time to TC (E2-190): Jun-2013 to Feb-2018 (1st complex aircraft program to simultaneously receive FAA/EASA/ANAC **triple certification**). **1st delivery:** Apr-2019.

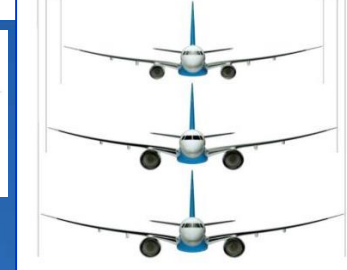
Investment: USD 1.7 billion (170/190/195).

Program developed **ahead** of the original **schedule**, under budget and better than the original and very competitive spec, **using innovative program management model.**

MITAC-ACADEMY PROGRAM: PROJECT AND PROGRAM MANAGEMENT – **BENCHMARKING**

E-JETS E2 OPTIMIZED WING
FOR EACH AIRCRAFT

115 ft 2 in
110 ft 7 in
103 ft



A220 100/300
115 ft 2 in



A NEW DESIGN ON A PROVEN PLATFORM

AVIONICS

FUSELAGE

NEW INTERIOR

NEW WING

NEW STABILIZER



LANDING GEAR

4TH GEN FULL FLY-BY-WIRE

AIRCRAFT SYSTEMS

NEW ENGINE



PILOT COMMONALITY

MINIMIZING TRAINING COSTS

NO DISRUPTIONS
2,5 days transition E1/E2
No FFS E1/E2
A/A/A within E2 family

Sources:

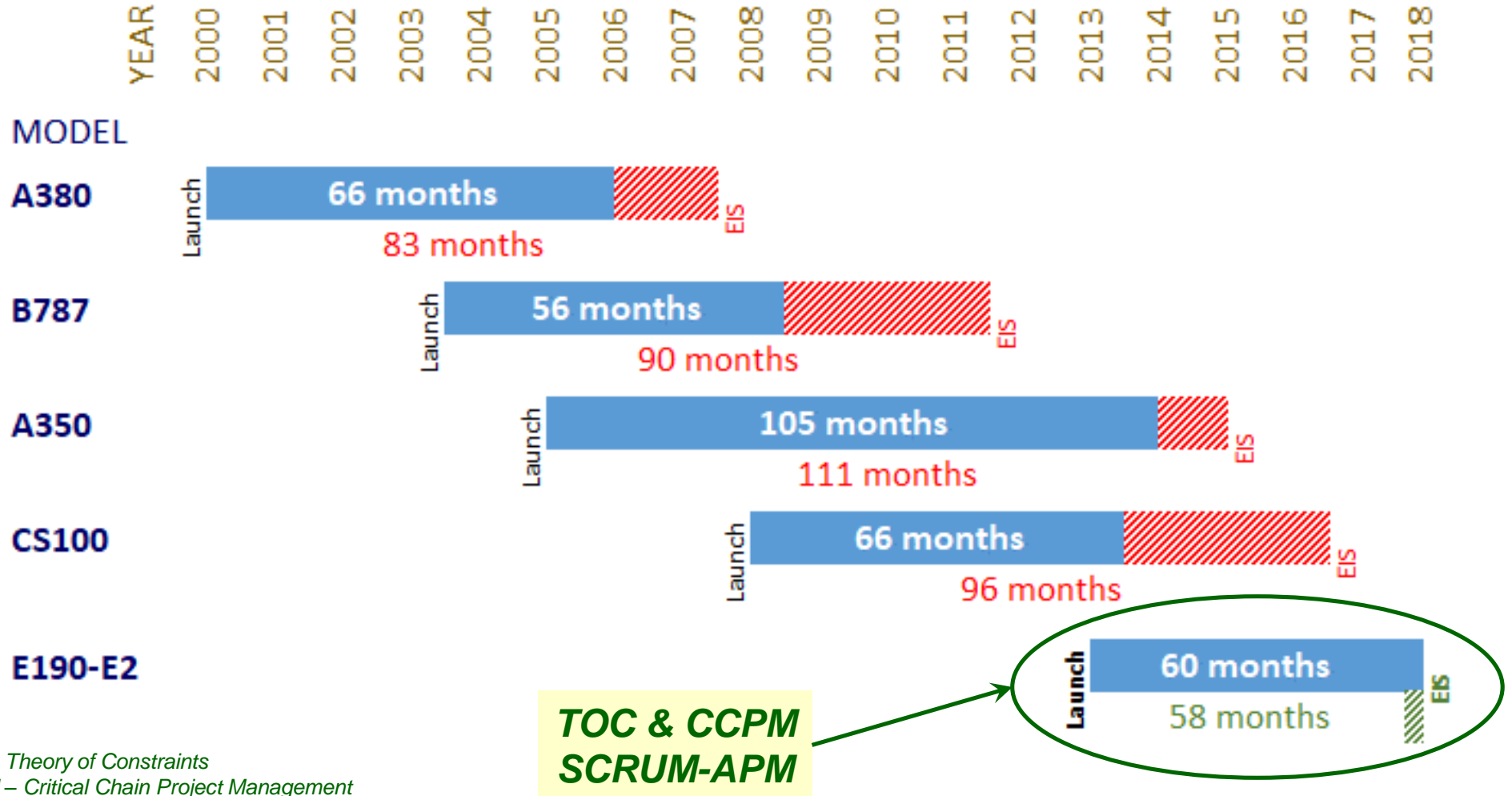
EmbraerCommercialAviation.com

airlinereporter.com

<https://airwaysmag.com/manufacture/e195-e2-world-tour>

MITAC-ACADEMY PROGRAM: PROJECT AND PROGRAM MANAGEMENT – BENCHMARKING

Time-to-Market:



TOC – Theory of Constraints
 CCPM – Critical Chain Project Management
 SCRUM-APM – SCRUM Agile Project Management

Source: <https://www.tocico.org>

Special Lecture Series on System Integration III

Project and Program Management – Part 1

Introduction to PROJECT Management (overview)



MITAC Academy

*Intensive Short Course in Collaborative Program with
MITAC Academy – September 2021*

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

*Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil
MITAC Academy advisor*

© MOELLMANN A.H.

This workshop was developed based on recognized bibliographical references and the author's professional and academic experience, in order to lecturing on behalf of the MITAC Academy Program. Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC or the author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

Topics:

- *Definition.*
- *Organizational Influences on Project Management.*
- *PMI – Project Management Institute.*
- *©2017 PMI (PMBOK® Guide 6thed.) – Project Management Body of Knowledge.*
- *The Project Triangle (Triple Constraints):*
 - *Project Scope Management.*
 - *Project Schedule Management (Time and Resources).*
 - *Project Cost Management:*
 - *Earned Value Analysis – EVA.*
- *Project Risk Management.*

Definition:

What is a Project?

“a temporary endeavor undertaken to create a unique product or service”

“temporary: every project has an end date”

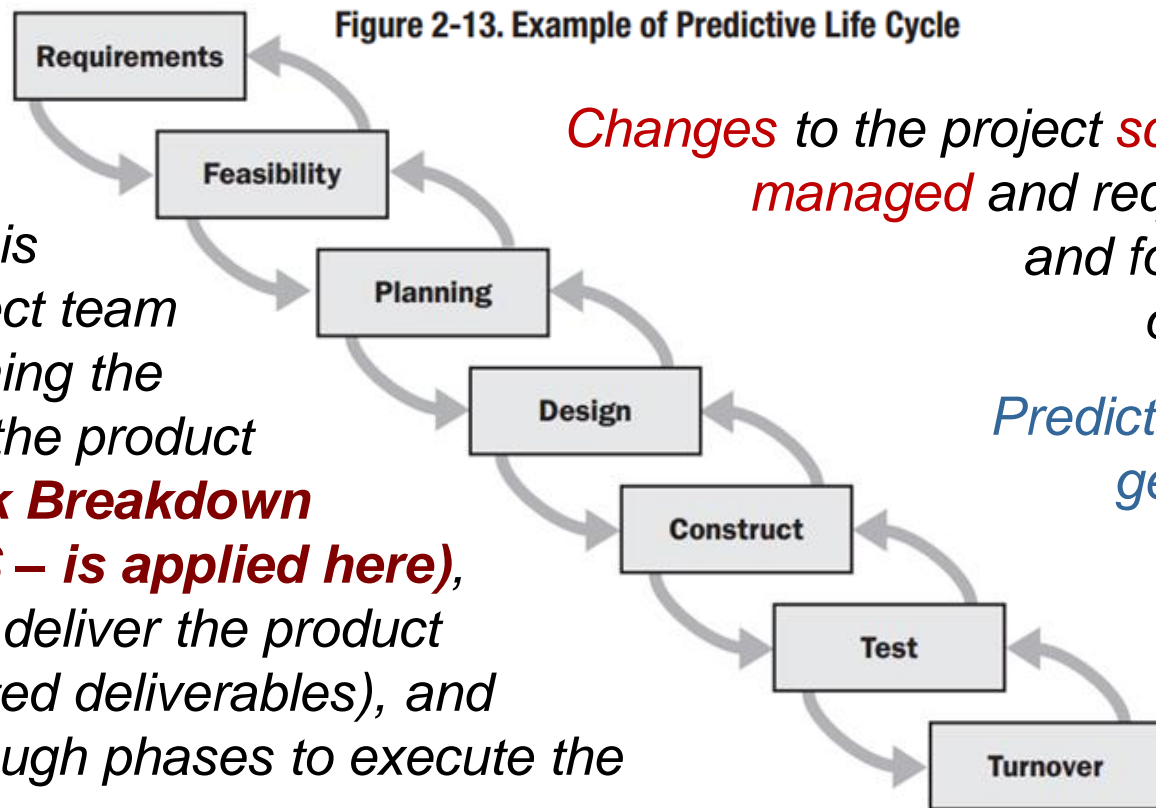
“endeavor: resources, such as people and equipment, need to do work”

“successful projects do not happen spontaneously”

“every project creates a **unique product or service:** the deliverable for the project and the reason that the project was undertaken”

Organizational Influences on Project Management:

- Predictive Life Cycles (*Waterfall Planning*):



When the project is initiated, the project team will focus on defining the overall scope for the product and project (**Work Breakdown Structure – WBS – is applied here**), develop a plan to deliver the product (and any associated deliverables), and then proceed through phases to execute the plan within that scope.

Changes to the project scope are carefully managed and require re-planning and formal acceptance of the new scope.

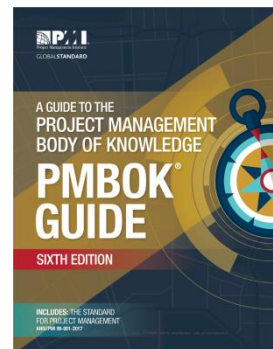
Predictive life cycles are generally preferred when the product to be delivered is well understood.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

©2017 PMI (PMBOK® Guide 6th ed.) – Project Management Body of Knowledge:

- Provides guidelines for managing **individual projects** and defines project management related concepts.
- Describes the project management **life cycle** and its related processes.
- Identifies and describes what is generally recognized as **good practices** (consensus: value, usefulness, that are **applicable to most projects most of the time**).
- Expectation: application of the knowledge based on established norms, methods, processes, skills, tools, techniques and practices can **enhance the chances of success over many projects**.
- Provides and promotes a **common vocabulary** and **concepts**.

What to do ... not How to do !!!



MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

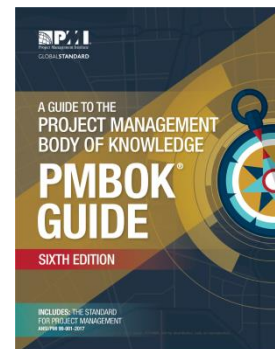
©2017 PMI (PMBOK® Guide 6th ed.) – Project Management Body of Knowledge:

■ *10 Areas of Knowledge:*

- Integration
- Scope
- Schedule (Time and Resources)
- Cost
- Quality
- Resources (Human)
- Communication
- Risks
- Procurement
- Stakeholders.

■ *5 Processes Groups:*

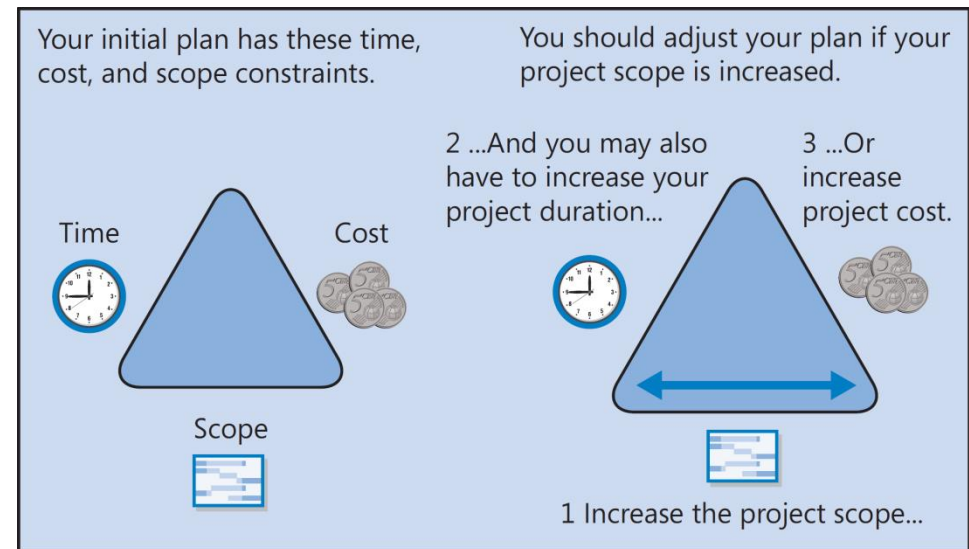
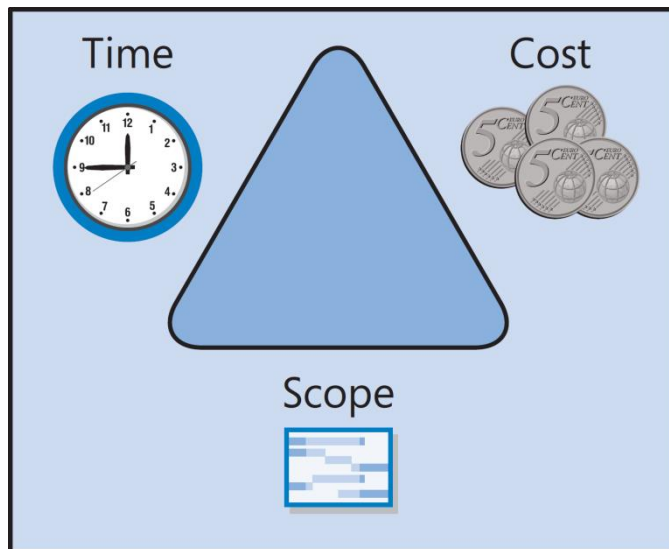
- Initiating
- Planning
- Executing
- Monitoring and Controlling
- Closing



The Project Triangle*:

[*or triangle of **triple constraints**]

- Viewing projects in terms of **time**, **cost**, and **scope**.



“every project has some element of a **time constraint**, has some type of **budget**, and requires some **amount of work (defined scope)** to complete”

Time, cost, and scope are the **three essential elements** of any project.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

Project **Scope** Management: DEFINING the RIGHT TASKS for the DELIVERABLES

- Creating a *Work Breakdown Structure* – **WBS**: process of subdividing project **deliverables** and project **work** into smaller, more manageable components.

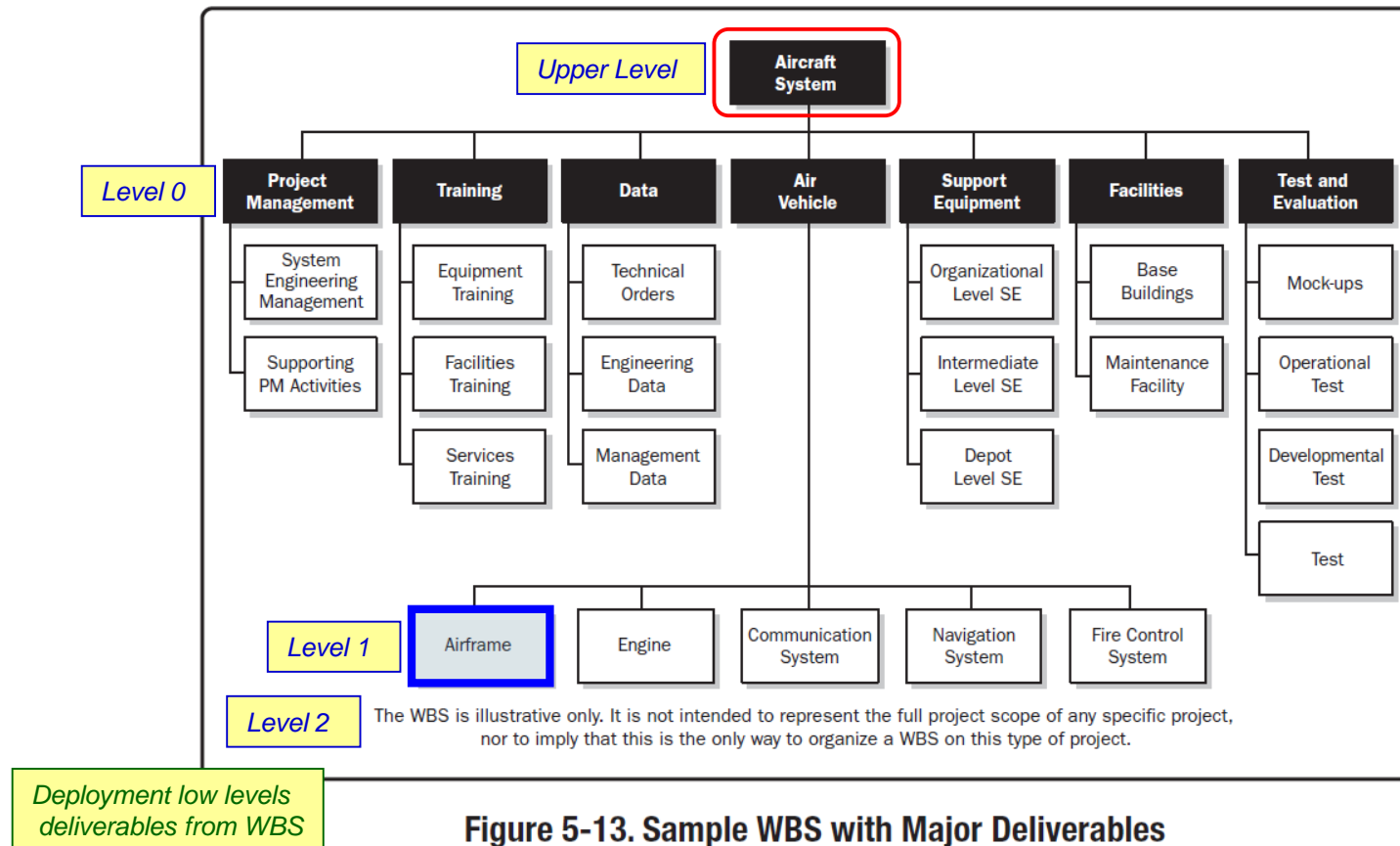
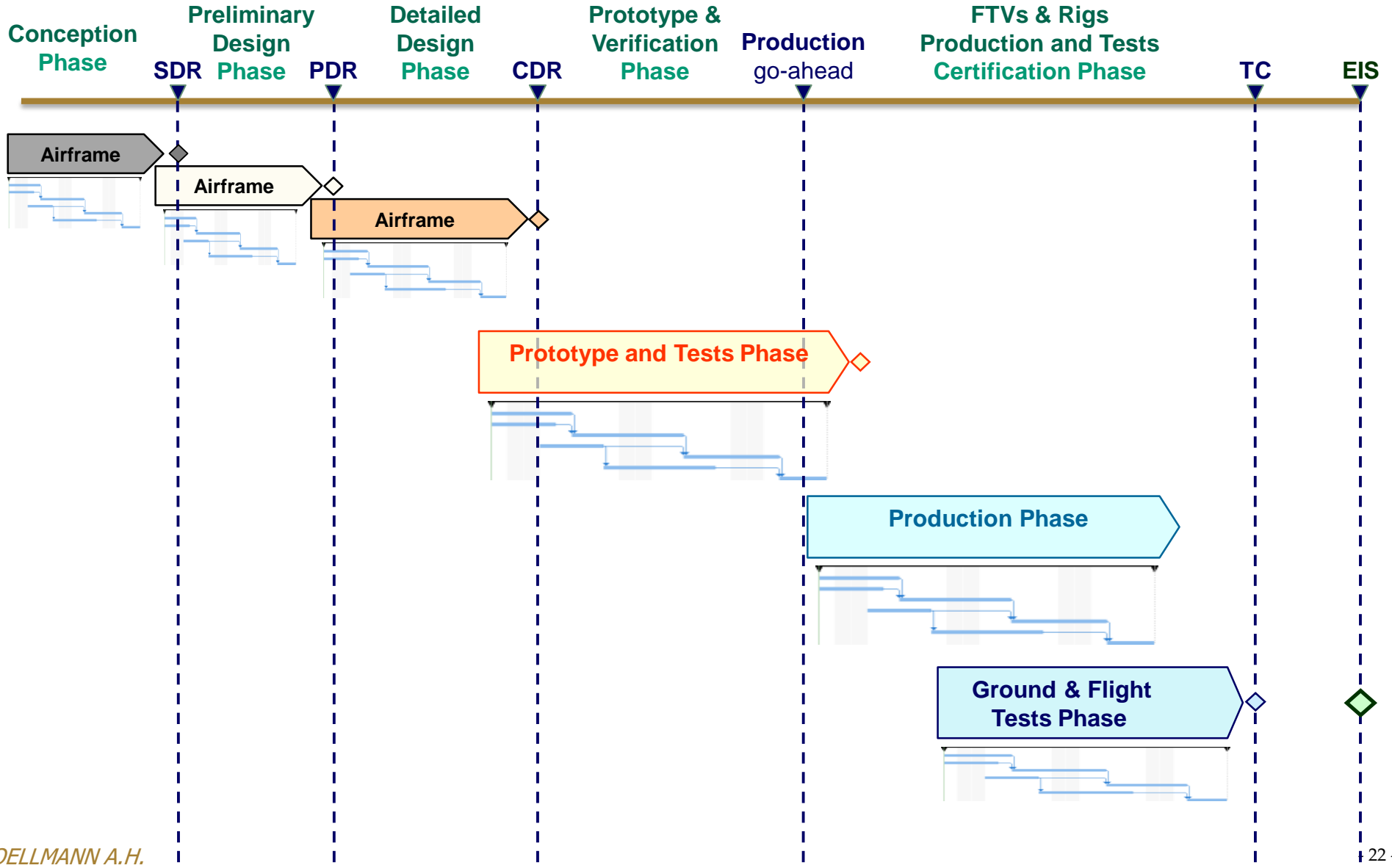


Figure 5-13. Sample WBS with Major Deliverables

MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

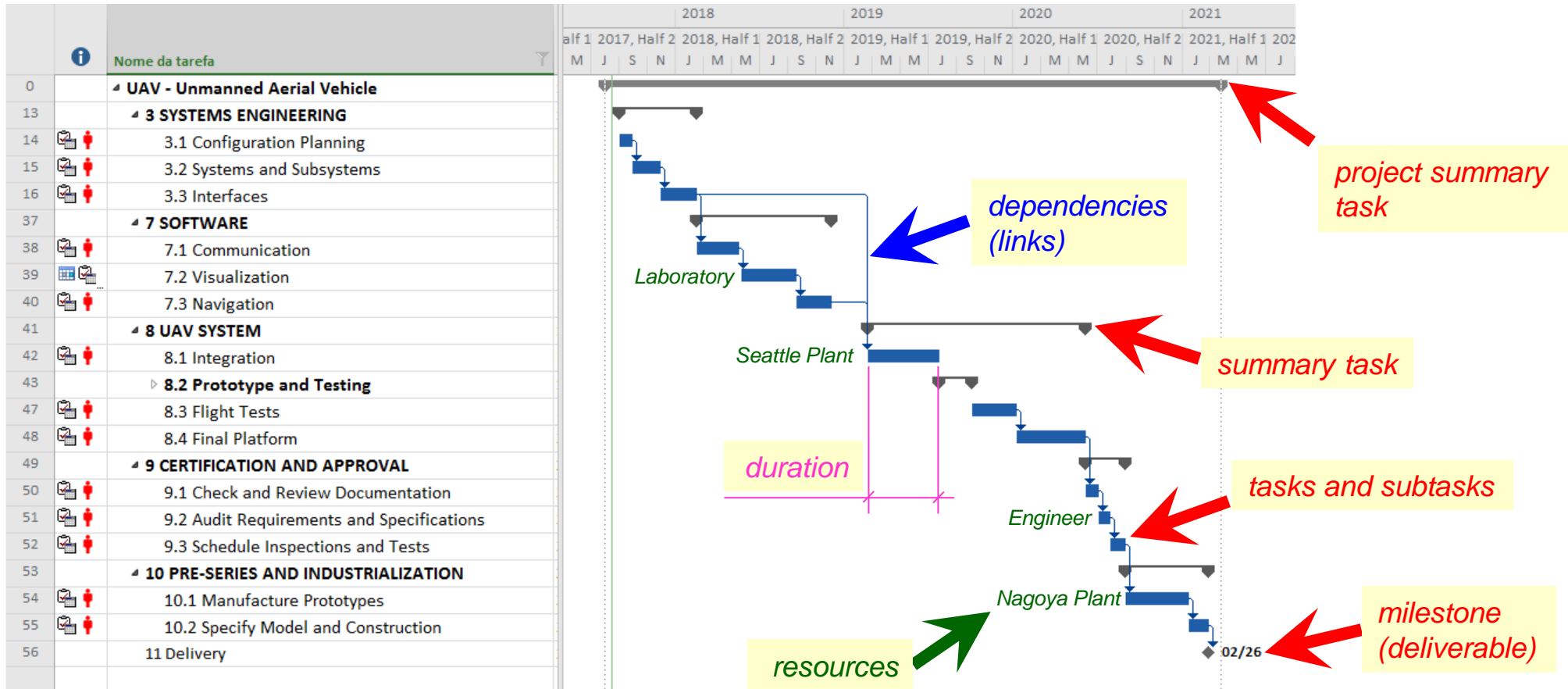
The interaction between **PRODUCT** scope and **PROJECT** scope along Project Lifecycle



MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

Project Schedule Management: Time and Resources

- Includes the processes and elements required to manage the timely completion of the project: TASKS (scope), DURATIONS, DEPENDENCIES and RESOURCES.



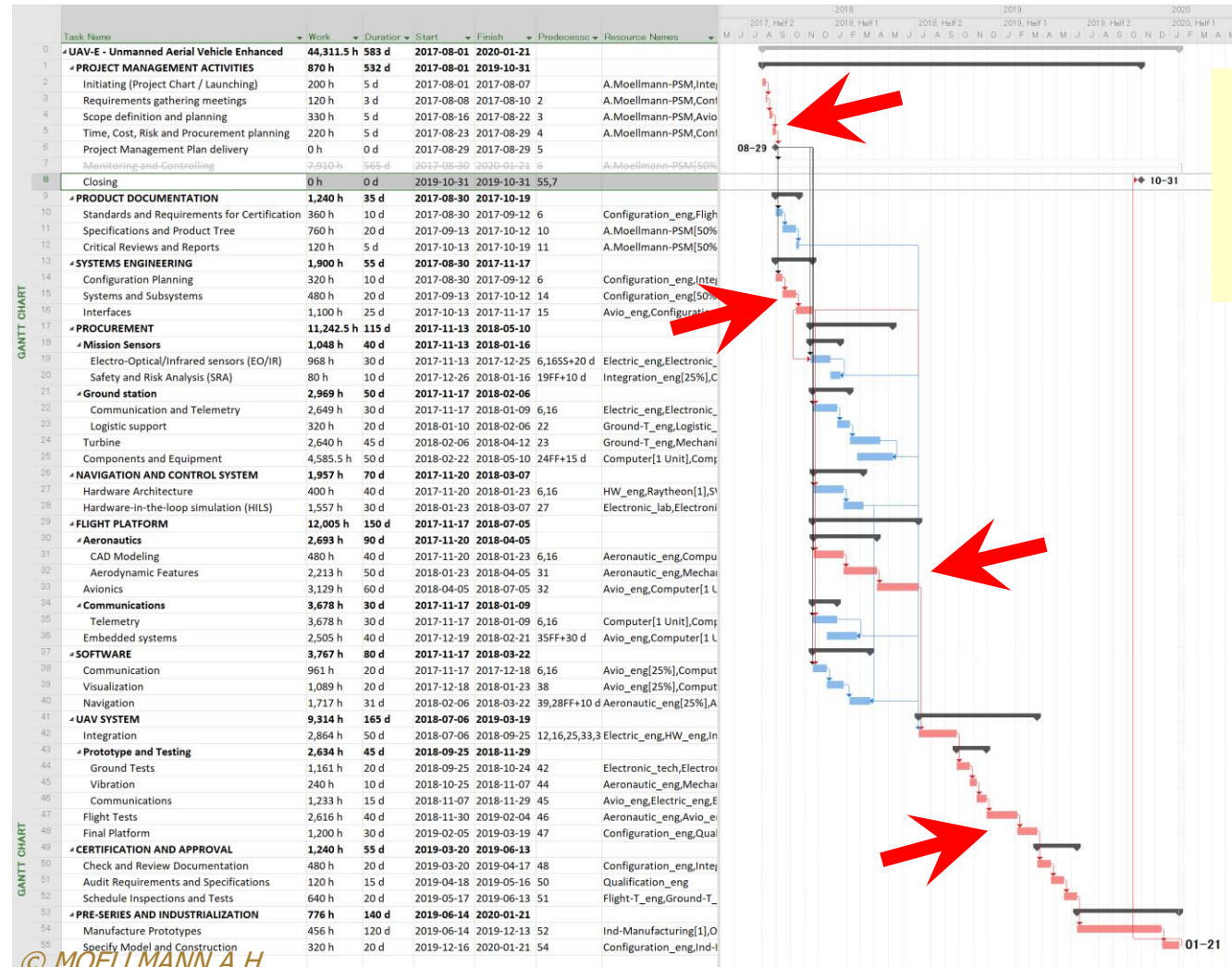
MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

Project Schedule Management: Time and Resources

- Scheduling: *planning and managing* **CRITICAL-PATH** activities.

The **Critical-Path** is the *series of tasks that will push out the project's end date if the tasks are delayed.*

Key point: managing *deadlines* dates. When addressing schedule problems, **focus your remedies on tasks on the Critical-Path** (also called **Critical-tasks**). These **drive** the **finish date** of the *project*.



Project Cost Management:

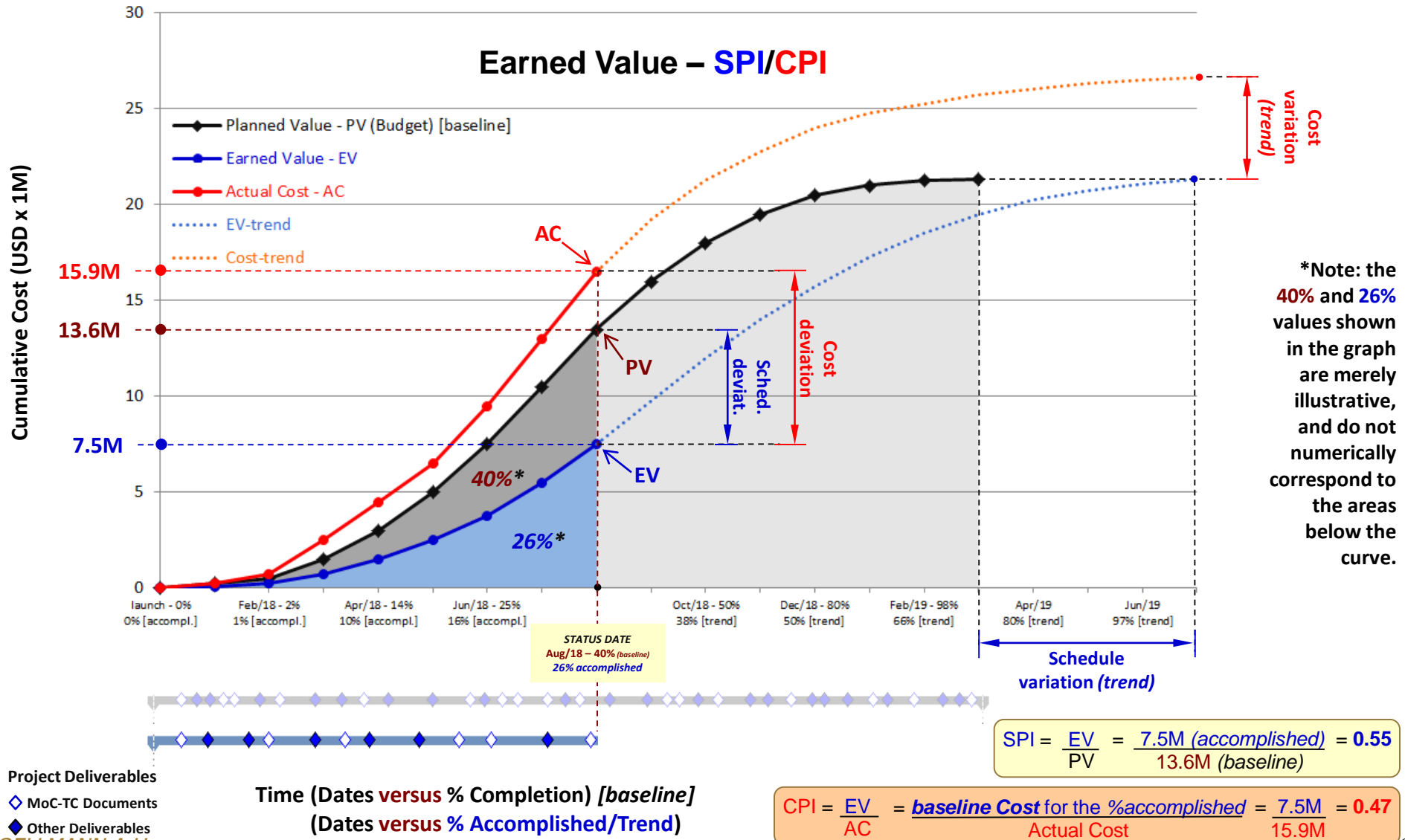
- Includes the processes involved in planning, estimating, budgeting, financing, funding, managing, and controlling costs so that the project can be completed within the approved budget.
- **Earned Value Analysis – EVA:** combining “scope, schedule, and resource” measurements to assess *project performance*.

Earned Value Management: weighted performance measuring
physical progress versus real costs [MOELLMANN, A.H.]

- Three Key Dimensions:
 - **Planned Value (PV):** authorized **budget planned** for the schedule’s work.
 - **Earned Value (EV):** **measure** of work performed expressed in terms of the budget authorized for that work.
 - **Actual Cost (AC):** is the realized cost incurred in accomplishing the work that the EV measured.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT – OVERVIEW

Project Cost Management: *Earned Value Analysis – EVA*



Project Risk Management:

- *Program Risks concern **uncertainties** that **affect the whole program**, as well as **several** single projects within the program.
*[examples: lack of strategic competences and resources; few suppliers options; competitors strategies]**
- *Risks **assessment** and **management** are about **looking ahead** (and are therefore different from the existing issues and problems).*
- *In **international projects**, such as commercial aircraft development, it is worth remembering that the **way in which people deal with risks depends** on their **individual risk culture**.*
- *Examples of program risks:*
 - ***inexperience** and **lack of knowledge** that arose from Japan's long absence from developing entire aircraft.*
 - ***very long** documentation review process for Type Certification from Japan's Ministry of Transport - JCAB.*

End of Part 1
INTRODUCTION TO PROJECT MANAGEMENT

Special Lecture Series on System Integration III

Project and Program Management – Part 2

From **PROJECT** to **PROGRAM** Management (includes: Portfolio and Multiproject)



MITAC Academy

*Intensive Short Course in Collaborative Program with
MITAC Academy – September 2021*

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

*Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil
MITAC Academy advisor*

This workshop was developed based on recognized bibliographical references and the author's professional and academic experience, in order to lecturing on behalf of the MITAC Academy Program. Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC or the author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.

Topics:

- Definition: **Multiproject** Management (Program and Portfolio).
- The relationship among **Portfolio, Programs and Projects**.
- Organizational Influences on Multiproject Management.
- Developing a Commercial Airplane.
- **Systems Engineering** for Commercial Aircrafts:
 - Aircraft Systems Development Integration:
 - “**Configuration Management**” and “**Integrated Product Teams**” (IPTs).
- **Multiproject Scheduling** for Aircraft System Development Integration.
- Multiproject Scheduling PERFORMANCE: **Global Metrics/EVA**.
- Program **RISKS** Mapping and Management.

MULTIPROJECT Management:

What is Multiproject Management?

Multi-Project Management

Multiple Projects Management

**Program Management*

**Portfolio Management*

Management of many projects simultaneously,
interrelated or not with each other,
but generally **sharing** or **competing** for *resources**
concurrently.

** ? constrained or limited ? **

The relationship among **PORTFOLIO**, **PROGRAMS** and **PROJECTS**:

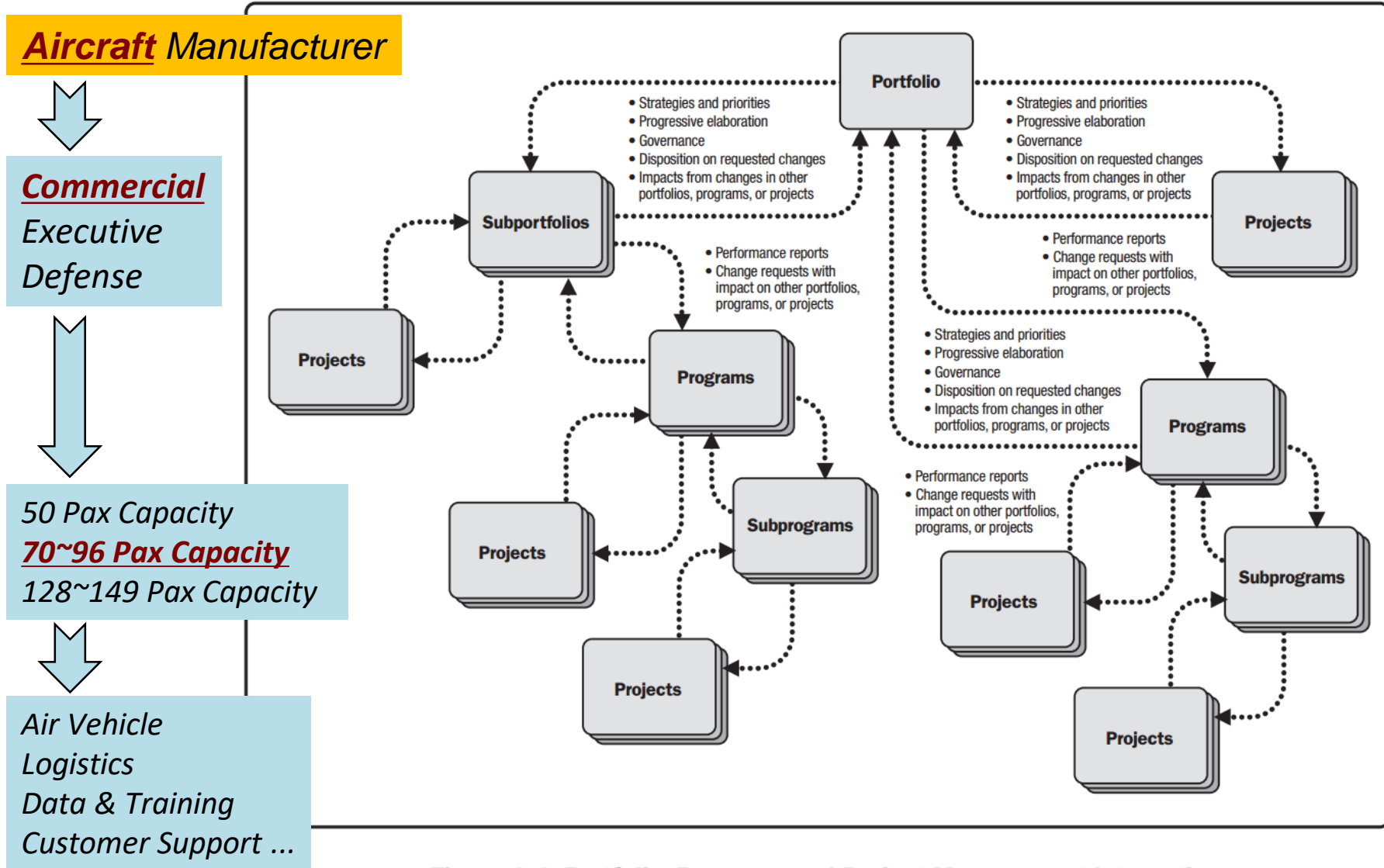


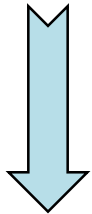
Figure 1-1. Portfolio, Program, and Project Management Interactions

The relationship among **PORTFOLIO**, **PROGRAMS** and **PROJECTS**:

Aircraft Manufacturer



Commercial
Executive
Defense



50 Pax Capacity
70~96 Pax Capacity
128~149 Pax Capacity



Air Vehicle
Logistics
Data & Training
Customer Support ...



Multiproject
(Product Portfolio)
Management

What is Program Management?



“A collection of projects purposefully grouped together, managed in a coordinated way to realize strategic and/or tactical benefits related to a common objective.”

“The program consists of the integration of all the activities necessary to successfully create value for the organization on the basis of a strategic mission.”

“A **program** is established to carry out the **business strategy**.”

[P2M Japan]

Organizational Influences on Multiproject Management:

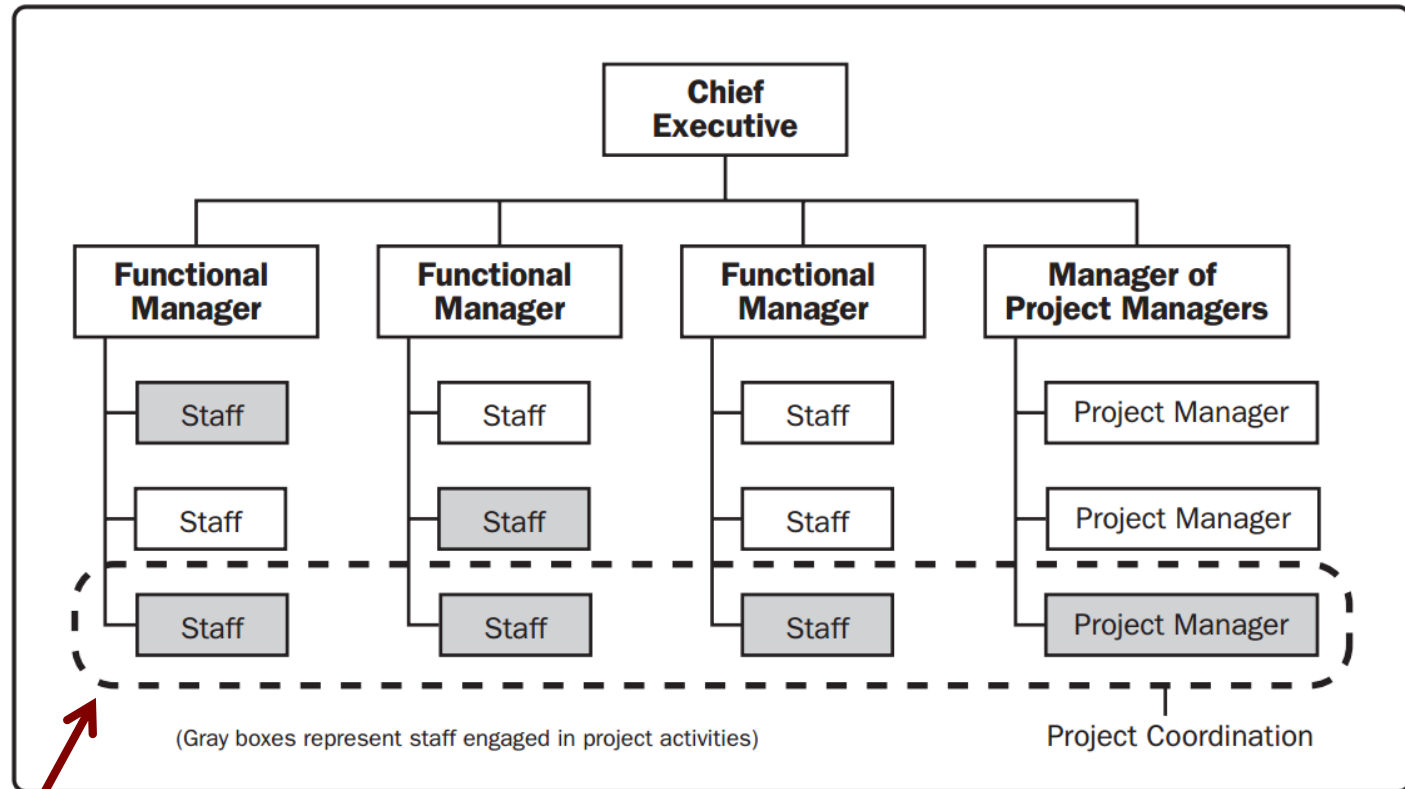


Figure 2-4. Strong Matrix Organization

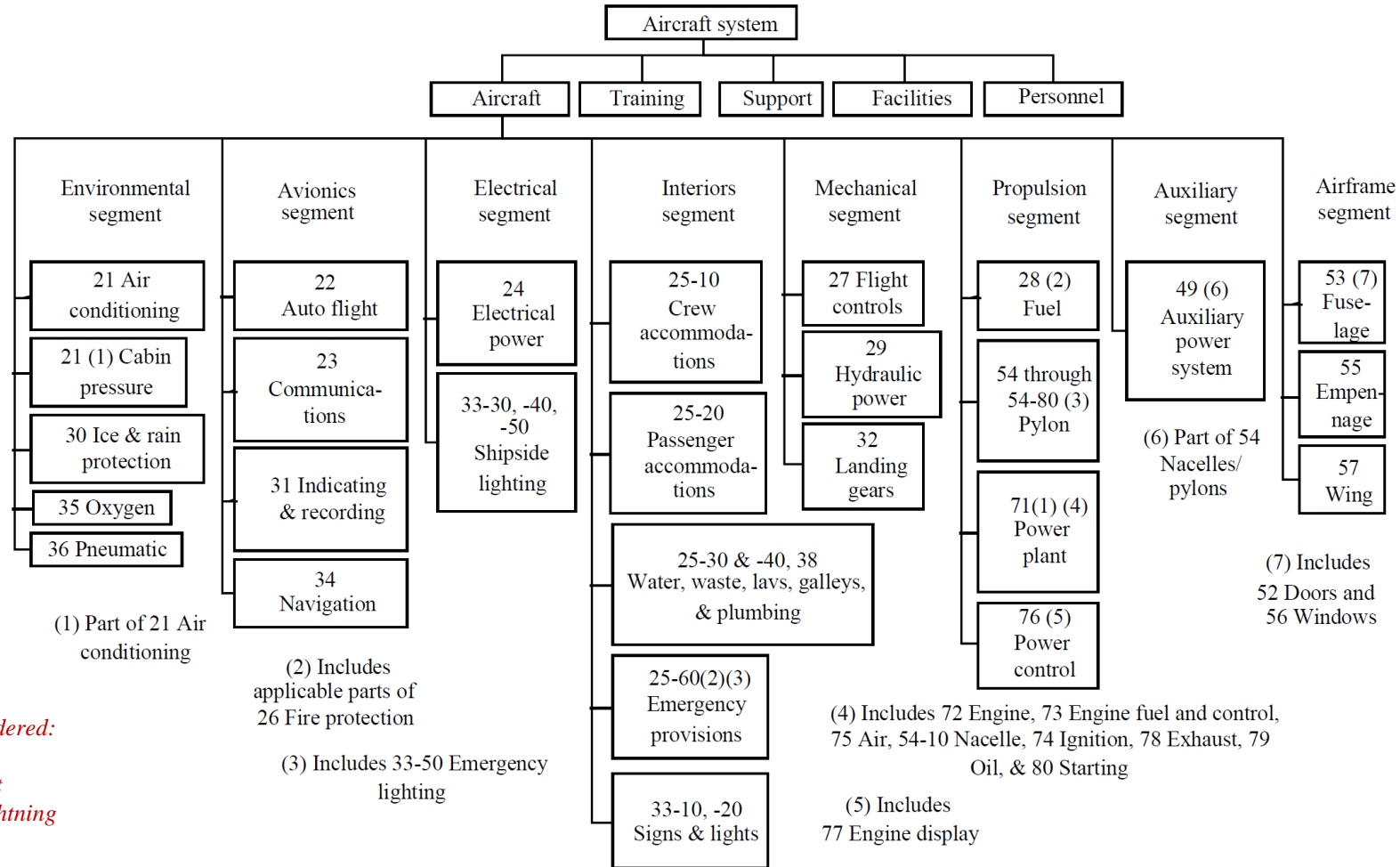
Conflicts due to **resources dispute**

Developing a Commercial Airplane:

“... the period of Detailed Design ... a significant volume of ‘execution’ work at highest possible quality level has to be processed. The **747**, for example, required about **75,000** individual **drawings** to specify¹⁷ [Petrosky, H. (1996), *Invention by Design: How Engineers get from Thought to Thing* (Cambridge: Harvard University Press).] and it took Airbus about **79,000 drawings** to design the **A380**.¹⁸ [Leichter, S., *Airbus*, private communication.] Each drawing needs to be carefully checked and approved by the company’s appropriate signatory authorities prior to release. ...”

This information must be scrutinized!

Systems Engineering for Commercial Aircrafts:



Must also be considered:

- Flight Tests
- Safety Assessment
- EMI / HIRF / Lightning
- Human Factors
- Certification

Figure 1. Typical Aircraft System Architecture (and ATA Chapter Correlation)

(Source: Systems Engineering for Commercial Aircraft, Conference Paper. August 1997, DOI: 10.1002/j.2334-5837.1997.tb02151.x, Scott Jackson.)

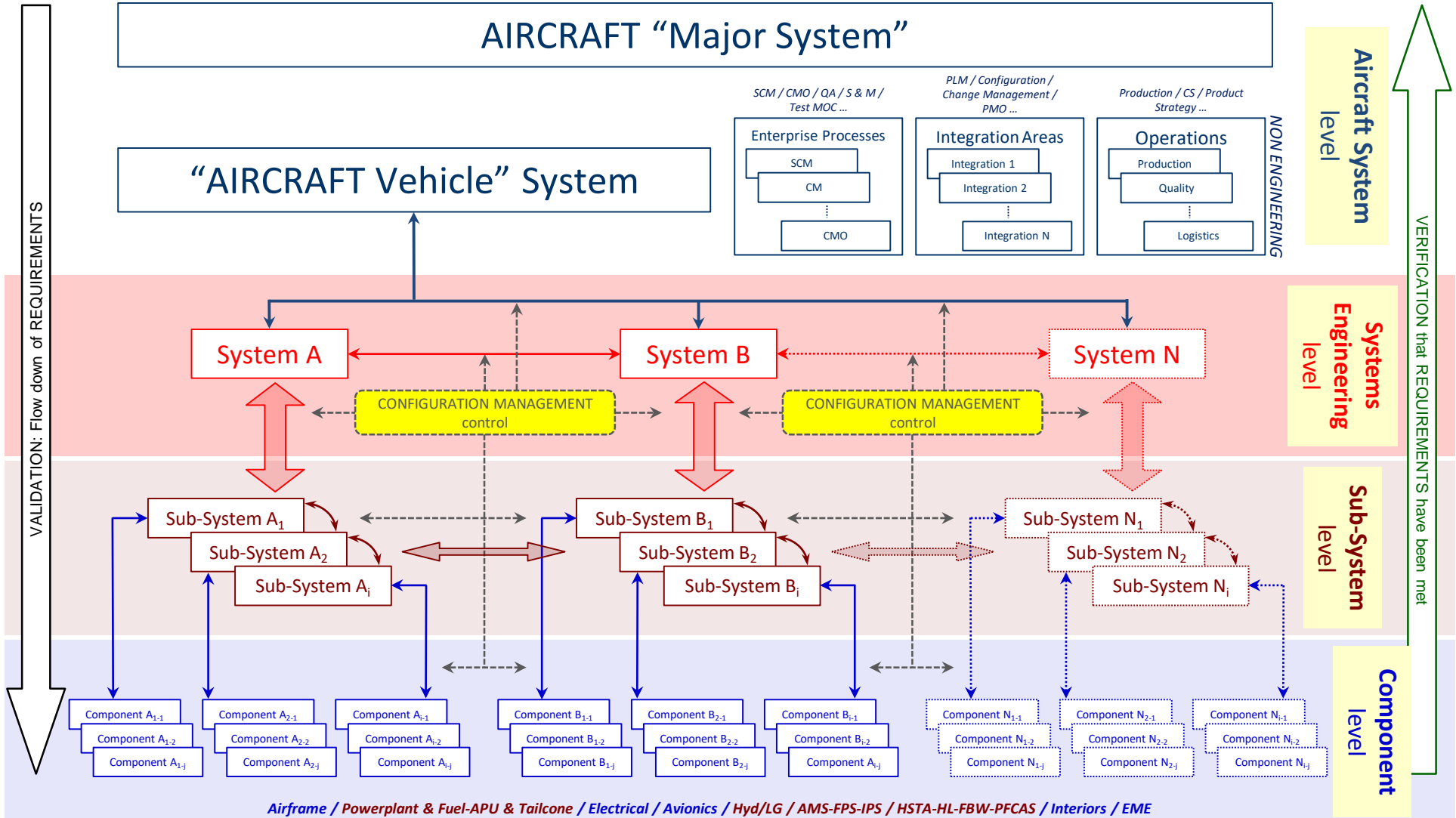
Systems Engineering: Configuration, Data and Requirements Management

- Aircrafts are composed of complex “systems of systems”:
 - Changes that affect any of the subsystems can undermine the aircraft’s ability to perform its mission if the changes are not properly designed and implemented.
 - More realistically, subsystems not only support the overall system but interact with one another in ways that are sometimes **difficult to anticipate**.

Example: *If the guidance system may be upgraded as part of an avionics-system, this modification may have unintended consequences on the weapons and sensor subsystems, as well as may create new sources of heat or electromagnetic interference or may require additional power.*

How synchronize the cascade of changes?

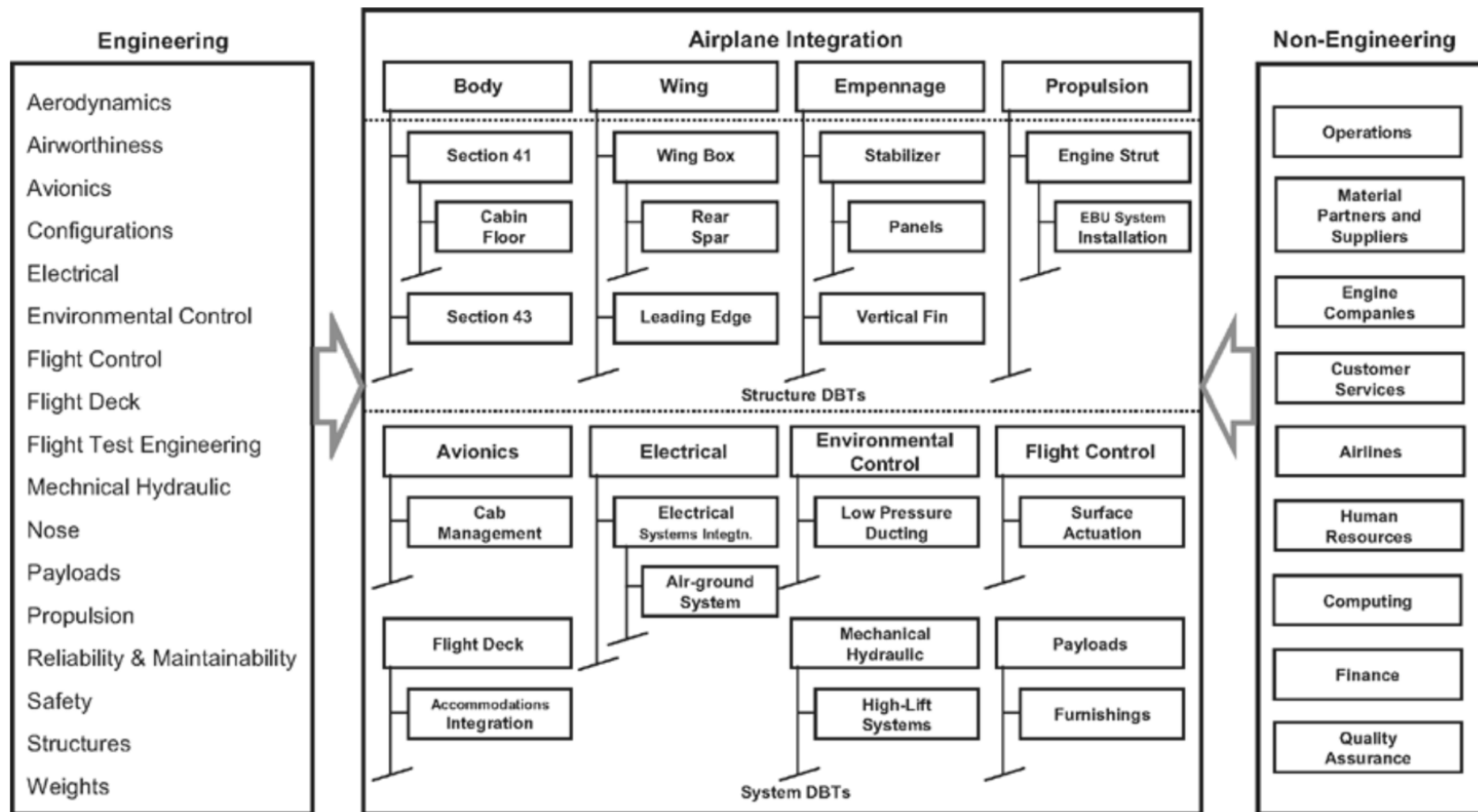
Aircraft Systems Development Integration:



How synchronize the cascade of changes?

Aircraft Systems Development Integration: BOEING-777 DBT [IPT]

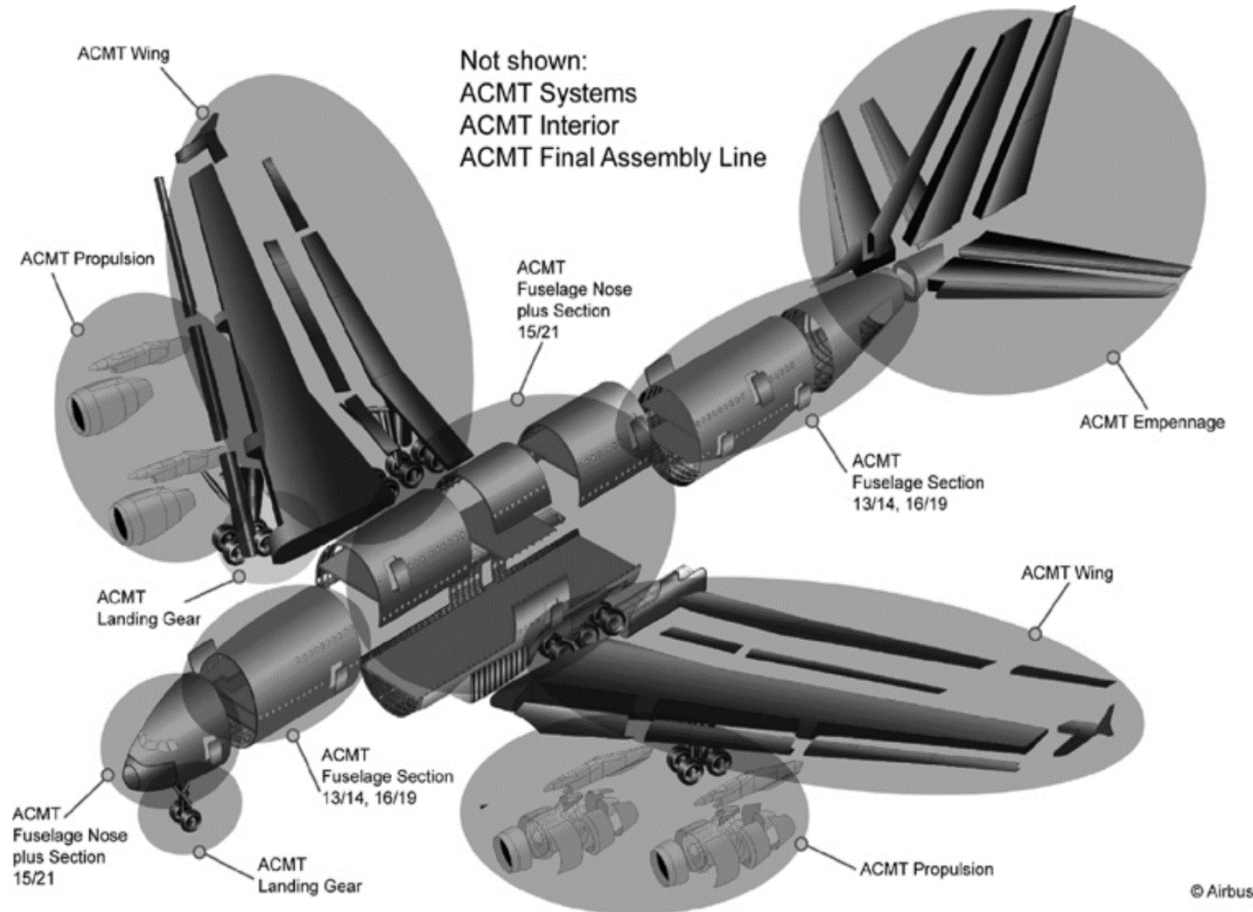
Design-Build Team structure for the development of the Boeing 777



Design-Build Team structure for the development of the Boeing 777 Source: Breuhaus, R.S., Fowler, K.R. and Zanatta, J.J. (1996), 'Innovative Aspects of the Boeing 777 Development Program', ICAS 1996 Proceedings (International Council of the Aeronautical Sciences ICAS-96-0.4), p. LXXVII.

Aircraft Systems Development Integration: A380 ACMT [IPT]

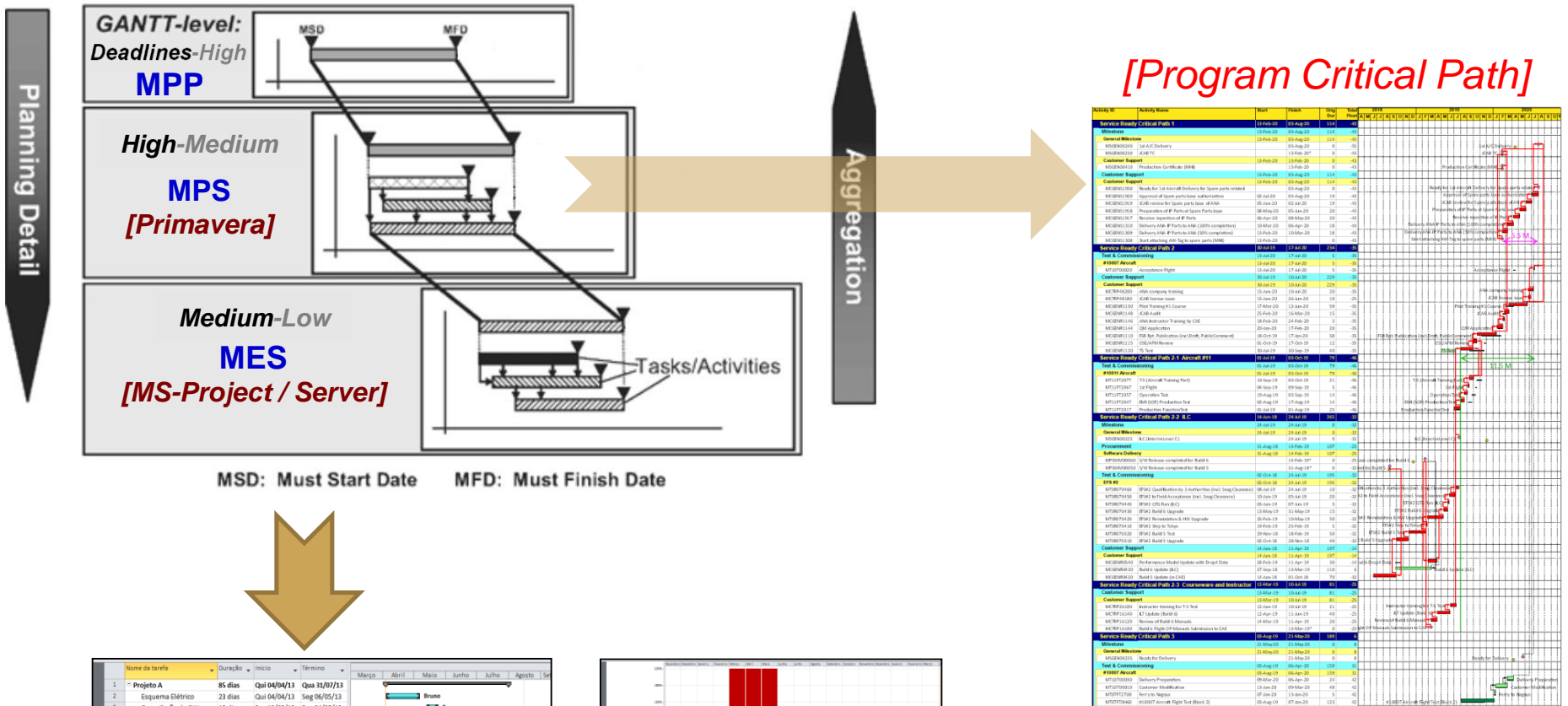
Airbus A380 multi-functional teams (ACMT) on highest organizational level



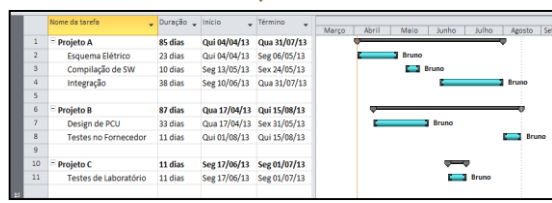
ALTFELD, H.-H. Commercial Aircraft Projects: managing the development of highly complex products. Abingdon: Routledge, 2010.

Responsibility scope for Airbus A380 multi-functional teams on highest organizational level (ACMT: Aircraft Component Management Team)

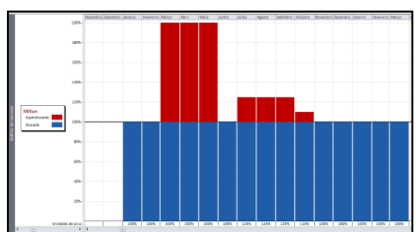
Multiproject Scheduling: The cascade of GANTT-charts



MSD: Must Start Date MFD: Must Finish Date



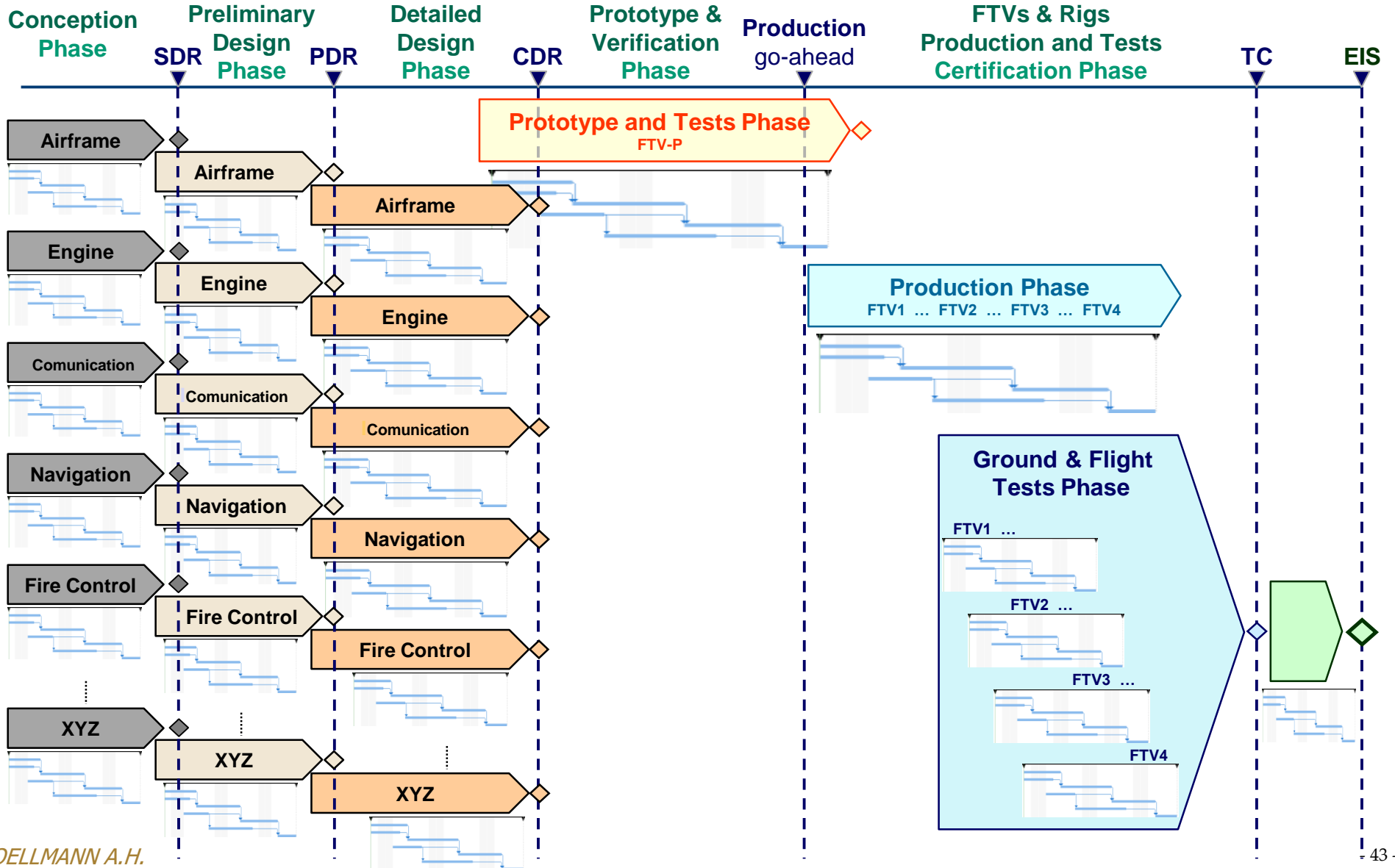
RESOURCE GANTT
(VIEW CONFLICTS BETWEEN PROJECTS)



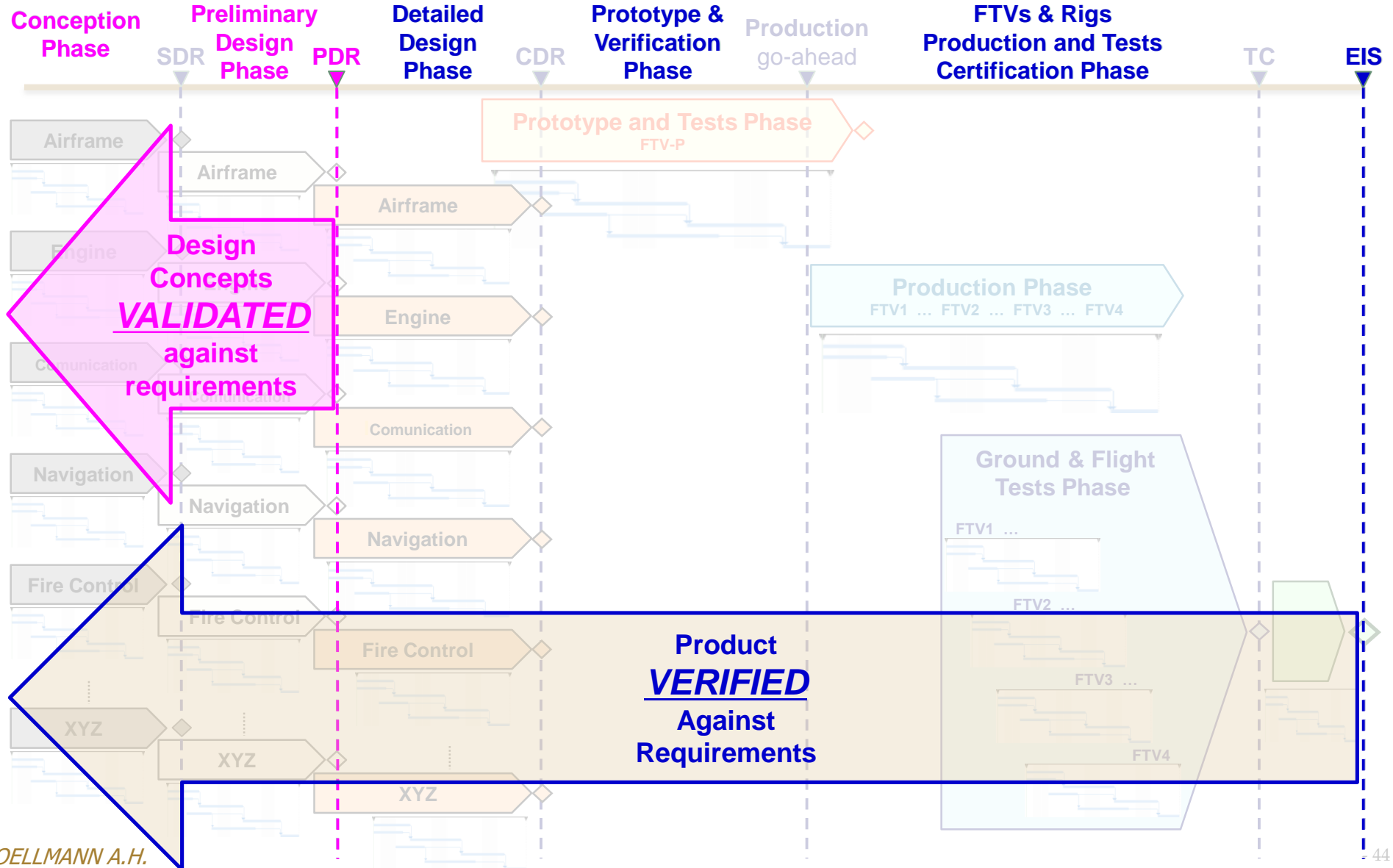
RESOURCE OVERLOAD

Activity ID	Activity Name	Start	Finish	Prog	Task	2014	2015	2016
Service Ready Critical Path 1								
MPP000010	Minimise	15-Feb-20	15-Aug-20	100				
MPP000011	General Releases	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000012	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000013	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
Service Ready Critical Path 2								
MPP000014	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000015	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000016	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000017	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000018	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000019	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000020	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000021	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000022	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000023	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000024	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000025	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000026	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000027	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000028	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000029	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000030	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000031	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000032	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000033	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000034	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000035	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000036	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000037	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000038	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000039	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000040	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000041	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000042	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000043	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000044	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000045	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000046	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000047	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000048	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000049	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000050	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000051	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000052	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000053	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000054	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000055	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000056	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000057	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000058	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000059	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000060	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000061	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000062	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000063	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000064	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000065	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000066	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000067	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000068	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000069	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000070	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000071	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000072	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000073	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000074	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000075	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000076	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000077	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000078	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000079	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000080	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000081	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000082	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000083	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000084	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000085	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000086	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000087	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000088	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000089	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000090	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000091	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000092	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000093	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000094	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000095	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000096	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000097	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000098	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000099	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				
MPP000100	Customer Support	15-Feb-20	15-Aug-20	0				

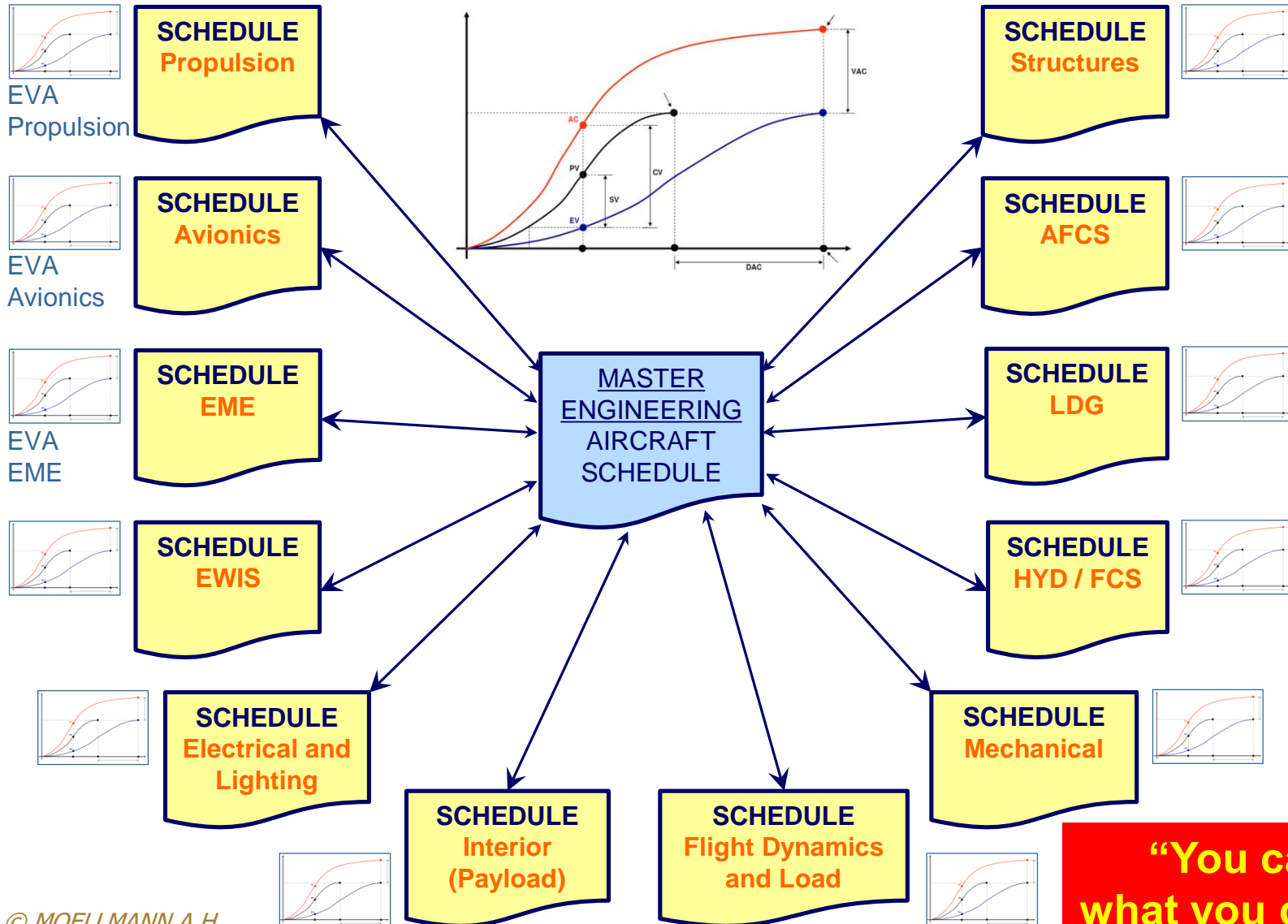
The interaction between **PRODUCT** scope and **PROJECT** scope along Project Lifecycle



The interaction between **PRODUCT** scope and **PROJECT** scope along Project Lifecycle



UPDATING and TRACKING the Multiproject Scheduling PROGRESS:



“You can not manage what you can not measure!”

Program **RISKS** Mapping and Management:

- Program Risks concern **uncertainties** that **affect the whole program**, as well as **several** single projects within the program:
[examples: lack of strategic competences and resources; few suppliers options; competitors strategies]
- **Risk assessment** and **management** is about **looking ahead** (and is therefore **different** from the **existing** issues and problems).
- In **international projects**, such as **commercial aircraft development**, it is worth remembering that the **way** in which **people deal with risks depends** on their **individual risk culture**.
 - Examples of program risks:
 - **inexperience** and **lack of knowledge** that arose from Japan's long absence from developing entire aircraft.
 - **very long** documentation review process for Type Certification from Japan's Ministry of Transport - **JCAB**.

Building an worldwide, feasible and sustainable Supply Chain Management:

▪ *Main concerns regarding the development of Strategic Suppliers:*

- **Few suppliers options.**

In commercial aircraft development there are few and strong competitors.

Q.: So how to persuade and gathers current suppliers to join to a new program?

A.: Risky Partnership!

- Commercial aircrafts suppliers are not really “trusted partners”
“basically they want OEMs money!”

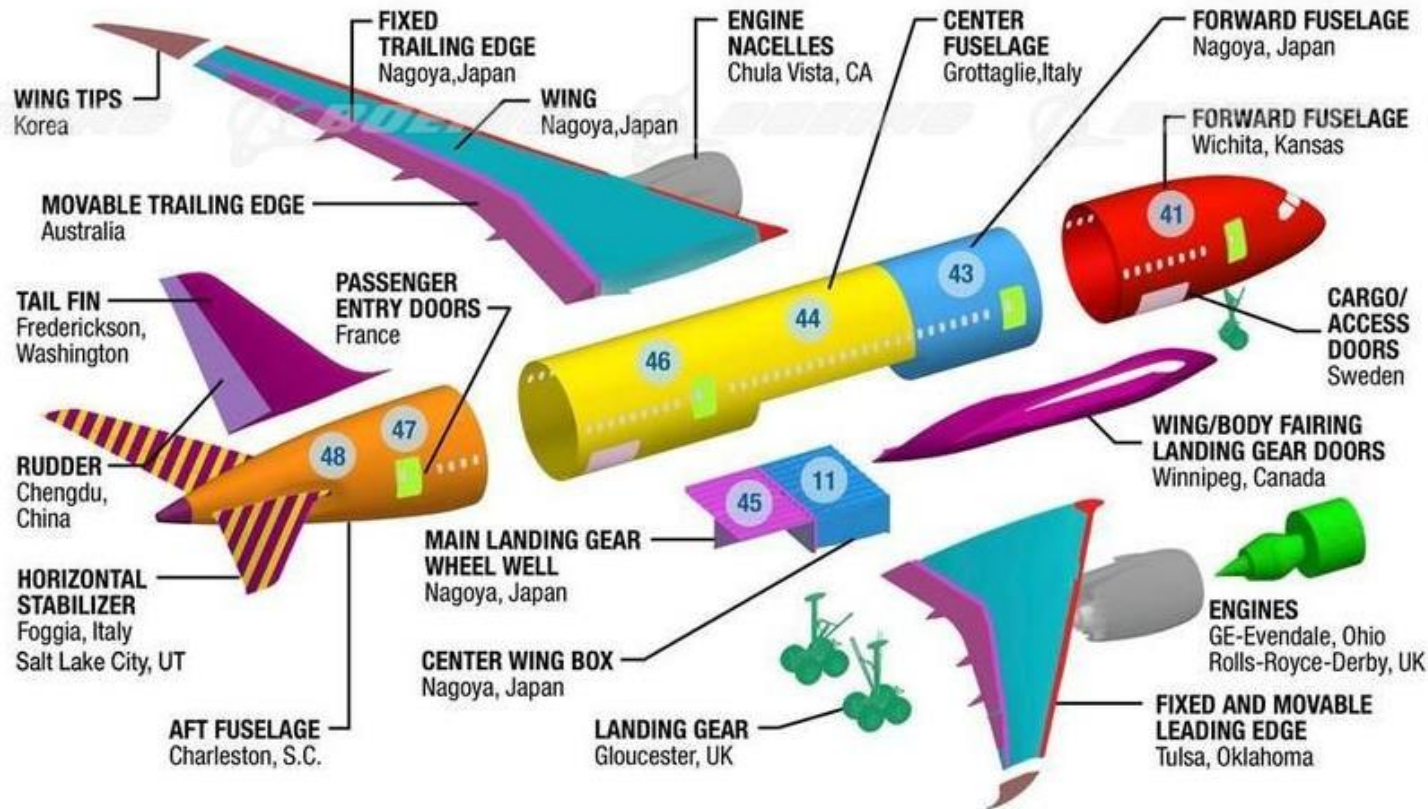
Special Note: In real Commercial Aircraft Projects, considering the Procurement area of knowledge, some sub-systems are very critical due to its “technical constraints nature” and “long lead-time”. *For example, depending on the mission of the future aircraft, there are not many options of engines available.* In that way, depending on how critical a sub-system is, the options of available sources of technologies will drive the conceiving of the aircraft, making mandatory to consider the Supply Chain aspects since the beginning.

Building an worldwide, feasible and sustainable Supply Chain Management:

- *BOEING 787 Partners across the globe:*

THE COMPANIES

U.S.	CANADA	AUSTRALIA	ASIA	EUROPE
Boeing	Boeing	Boeing	Kawasaki	Messier-Dowty
Spirit	Messier-Dowty		Mitsubishi	Rolls-Royce
Vought			Fuji	Latecoere
GE			KAL-ASD	Alenia
Goodrich			Chengdu Aircraft Industrial	Saab



IDENTIFY AND BUILD CRITICAL KNOWLEDGE AND COMPETENCES:
Building an Aeronautical Curriculum:

Question:

**Who will develop the next generation of
commercial aircrafts in Japan?**

“Global Experts”, Japanese Engineers, or both?

Case Study



Technological Institute
of Aeronautics – Brazil

Engineering Specialization Program for Aeronautics

- *Role of the Program:*

To specialize **newly graduated engineers** (aeronautical and non-aeronautical) to work in EMBRAER's engineering departments, **using an accelerated teaching strategy** aligned with the company's needs.

MITAC-ACADEMY PROGRAM:
PROJECT and PROGRAM MANAGEMENT – (HUMAN RESOURCES)

Case Study



**Technological Institute
of Aeronautics – Brazil**

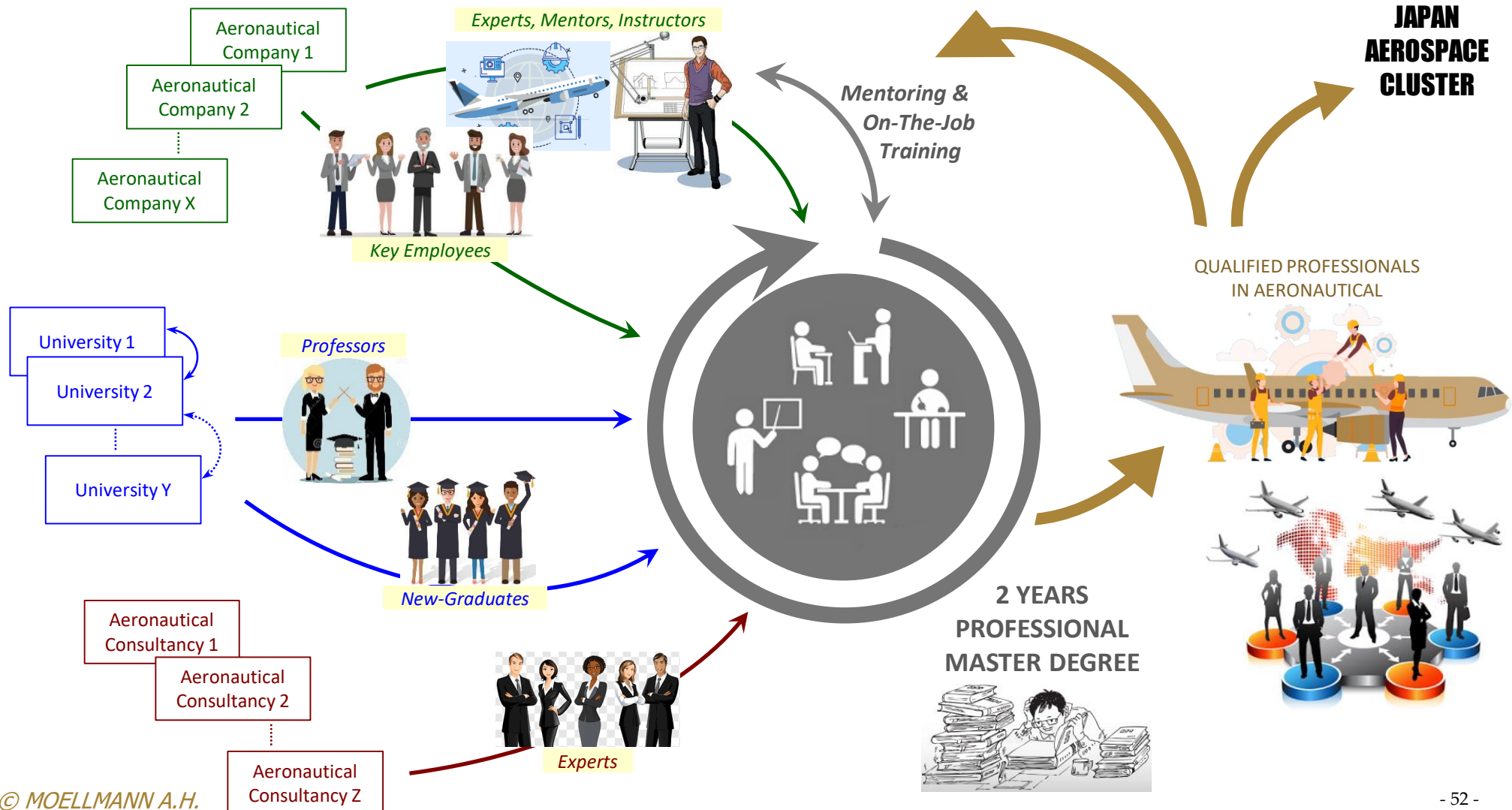
Final Projects
(3rd Generation
of Students)

Engineering Specialization Program for Aeronautics



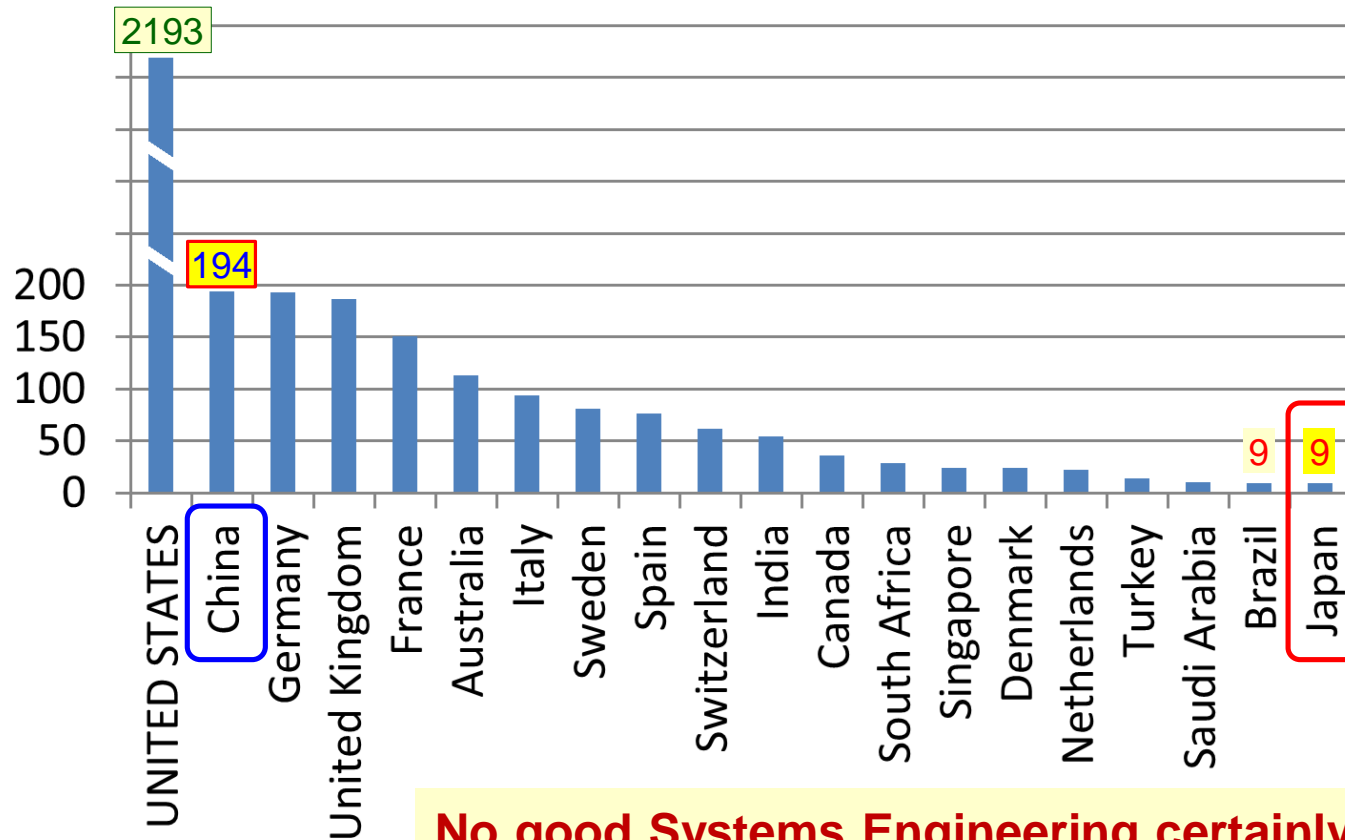
MITAC-ACADEMY PROGRAM: PROJECT and PROGRAM MANAGEMENT – (HUMAN RESOURCES)

IDENTIFY AND BUILD CRITICAL KNOWLEDGE AND COMPETENCES: Building an Aeronautical Curriculum: Educational Alliance (proposal for Japan)



IDENTIFY AND BUILD CRITICAL KNOWLEDGE AND COMPETENCES:
Building an Aeronautical Curriculum: International Council of Systems Engineering

INCOSE Certified Systems Engineering Professionals



No good Systems Engineering certainly will impact the performance and effectiveness of the Program!

IDENTIFY AND BUILD CRITICAL COMPETENCES and CAPABILITIES:

News:

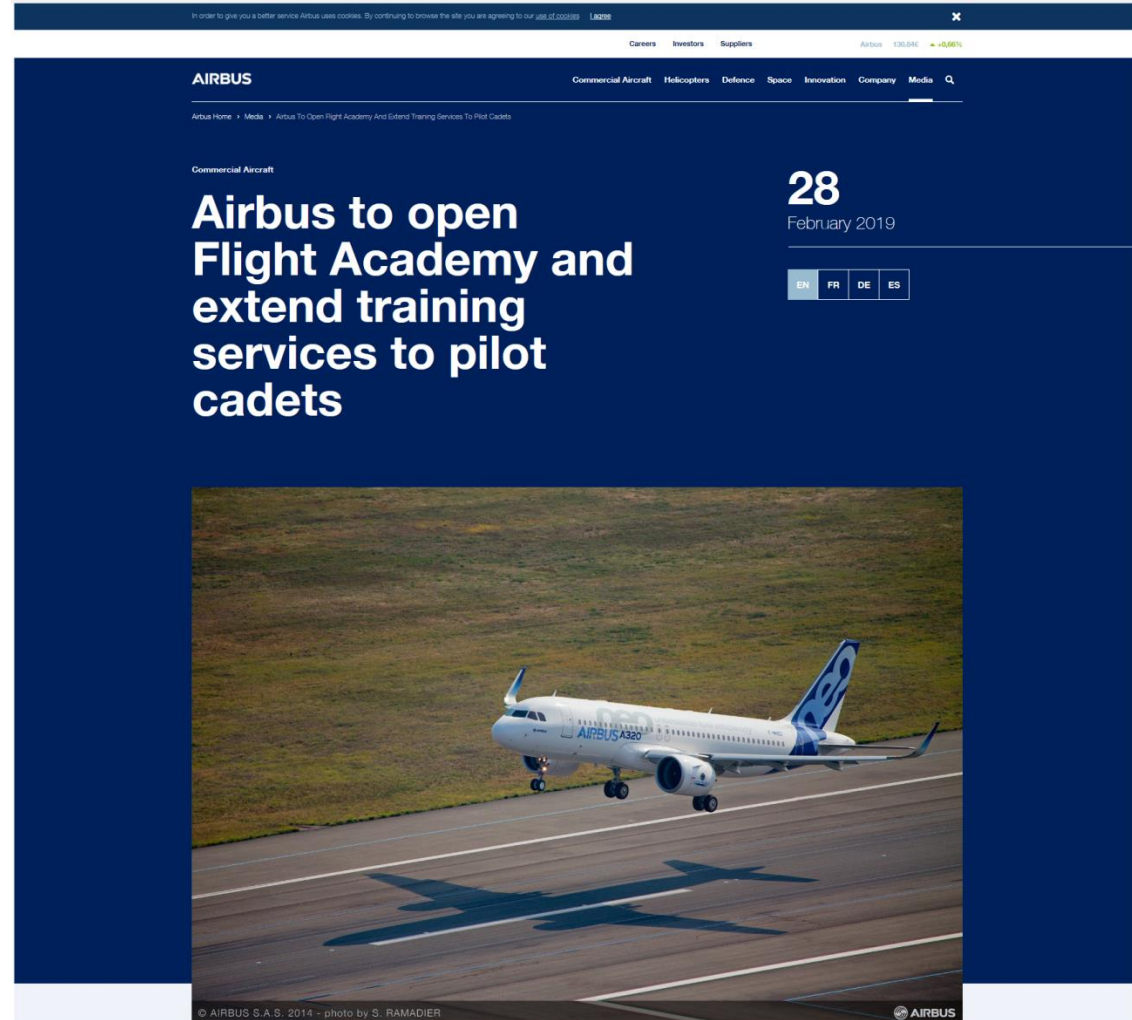
“Airbus to open Flight Academy and extend training services to pilot cadets”

(<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2019/02/airbus-to-open-flight-academy-and-extend-training-services-to-pilot-cadets.html>)

See also:

“L’ENAC, partenaire technique d’Airbus pour la formation initiale des pilotes”

(<http://www.enac.fr/fr/lenac-partenaire-technique-dairbus-pour-la-formation-initiale-des-pilotes>)

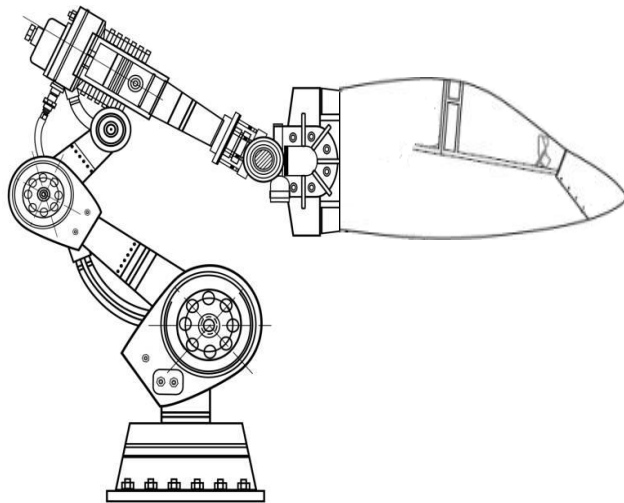


IDENTIFY AND BUILD CRITICAL CAPABILITIES:

News:

“Technological Institute of Aeronautics (ITA) and Embraer launch **flight simulation project**”

(<http://www.ita.br/noticias/sivor>)



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE AERONÁUTICA

Biblioteca # Fale conosco # Webmail

Digite aqui para pesquisar

Início O ITA Organização Estude no ITA Ensino Pesquisa Extensão

Inauguração do Simulador SIVOR

No dia **26 de setembro de 2019**, acontecerá, no Centro de Competência em Manufatura (CCM) do ITA, o workshop de inauguração do **Demonstrador Pleno do Simulador SIVOR**, resultado de uma parceria técnica entre **ITA e EMBRAER**, com apoio financeiro da **FAPESP**.

SIVOR é o acrônimo para o Simulador de Voo com Plataforma Robótica de Movimento. O Simulador SIVOR explora o uso de um robô industrial de 6 graus de liberdade e carga útil de uma tonelada como plataforma de movimento para um simulador de alto nível de fidelidade. O objetivo é transmitir ao piloto uma sensação de movimento equivalente àquela experimentada em voo. Para aumentar seu espaço de trabalho e permitir a simulação de manobras que hoje não são comumente executadas num simulador de base móvel, o Simulador SIVOR está instalado sobre um trilho, que adiciona mais um grau de liberdade ao sistema.

PROGRAMAÇÃO

- 14h00 - 14h10 Abertura do evento
- 14h10 - 15h30 Apresentação do Projeto SIVOR
- 15h30 - 16h30 Demonstração do Simulador SIVOR

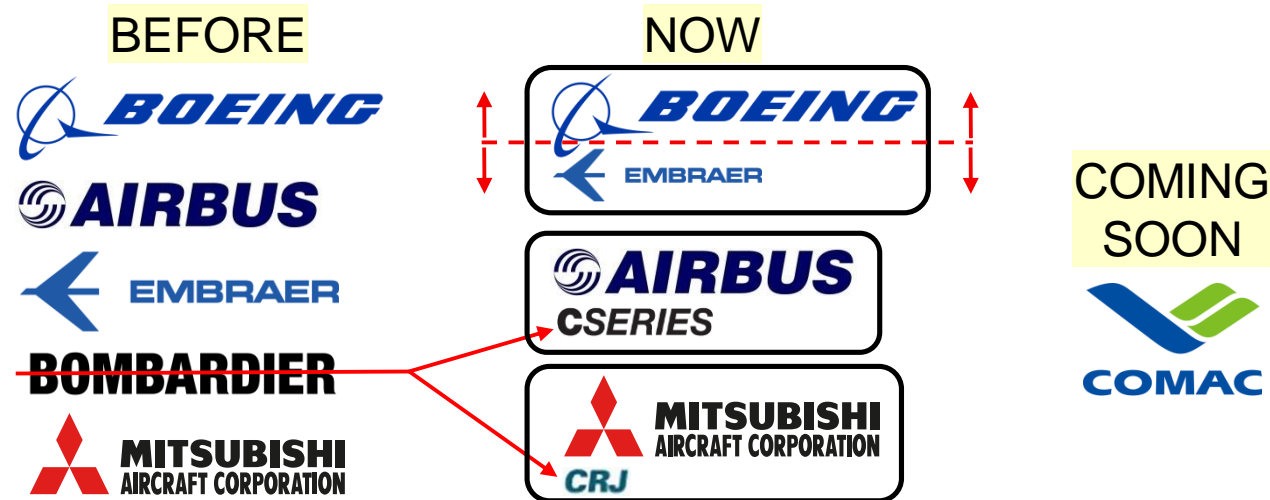
Para confirmar a presença, envie um email para evillani@ita.br.

[Tweeter](#) [Curtir 3](#) [Share](#)

IDENTIFY AND MAP COMPETITORS AND SUPPLIERS MOVEMENTS:

Develop robust strategies to protect the program (the business)

- Find strategies when the competitive environment is undergoing a process of change.
- Executives must behave as decision makers in order to consider how competitors can react to the marketing change, and also against each other.
- Benefit: development of robust strategies, providing the confidence that the decisions are feasible in developing a vision or a strategic plan for the future of the program.



End of Part 2
From PROJECT to PROGRAM Management

Special Lecture Series on System Integration III

Project and Program Management – Part 3

TRENDS in Project and Program Management (ToC Critical Chain – Agile Project Management)



MITAC Academy

*Intensive Short Course in Collaborative Program with
MITAC Academy – September 2021*

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

*Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil
MITAC Academy advisor*

© MOELLMANN A.H.

This workshop was developed based on recognized bibliographical references and the author's professional and academic experience, in order to lecturing on behalf of the MITAC Academy Program. Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC or the author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.

- **CCPM:** Prioritizing and sequencing the Program schedules, applying the **Resource Leveling** to the **Constrained Resource** (“BOTTLENECK”) to minimize overload and scheduling conflicts.
- **BUFFER** management.
- Avoid the source of problems related to the **BEHAVIORAL** aspects:
 - Creating **exceeding safety** on **timing estimates**.
 - Harmful **MULTI-TASKING**; the **"Student's Syndrome"**; the **"Parkinson's Law"**.

Eliyahu Goldratt [The Goal – Chapter 15]: “The Scouts Hike”

“The idea of this hike is not to see who can get there the fastest. The idea is to get there together. We’re are not a bunch of individuals out here. We’re are a team. And the team dos not arrive in camp until all of us arrive in camp.”

SCRUM Framework Structure:

ROLES



Product Owner



Scrum Master



Scrum Team

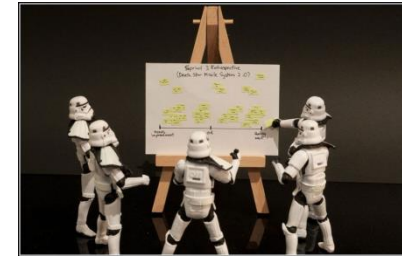
EVENTS



Sprint Planning

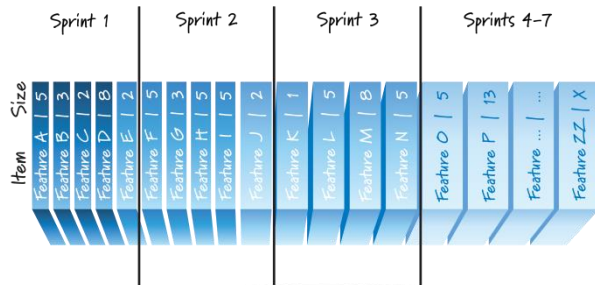


Daily Scrum

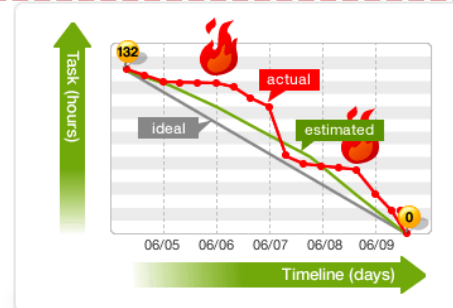


Sprint Review /
Retrospective

ARTIFACTS



Product Backlog / Sprint Backlog



Burndown Chart



Product Increment

Source: "Scrum Guide US", Sutherland, Jeff; Schwaber, Ken, 2017

MITAC-ACADEMY PROGRAM:
TRENDS in PROJECT and PROGRAM MANAGEMENT



End of Part 3
TRENDS in Project and Program Management

Special Lecture Series on System Integration III

Project and Program Management – Part 4

Case Studies in Aerospace



MITAC Academy

*Intensive Short Course in Collaborative Program with
MITAC Academy – September 2021*

Prof. Artur Henrique Moellmann, Ph.D.

*Federal Institute of Education, Science and Technology – Brazil
MITAC Academy advisor*

This workshop was developed based on recognized bibliographical references and the author's professional and academic experience, in order to lecturing on behalf of the MITAC Academy Program. Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC or the author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: CASE STUDIES IN AEROSPACE – EMBRAER CCPM

EMBRAER “Critical Chain Project Management”

TOCICO 2019 INTERNATIONAL CONFERENCE

CHICAGO, IL | JULY 14-17, 2019

Embraer and TOC - A Journey of Achievements

<https://www.tocico.org/page/2019AparecidoGuestAttend>

Embraer built a heritage out of challenging the impossible.

The typical cycle of the development of a new Aviation Program is 7 to 9 years.

The E2 Program is not only a new airplane, but also a new industrial architecture, a new supply chain, a new and more connected airplane for passengers, operations and maintenance, a new marketing plan and a new socioeconomic improvement enabler.

The Theory of Constraints has been applied, making effective use of the Critical Chain. Deviations have been reported through a simple color code (green, yellow, and red).

The bike race image has been used so everyone challenged to work a little bit faster and a buffer at the end of the Program accommodated unexpected delays. The Program Management team would focus all of its energy on supporting the last bikes (constraints) always using five steps focusing.

The greatest achievement of the E190-E2 Program was proving that it is possible to deliver a new airliner two months ahead of a very challenging original schedule (5 years from Business Plan Approval/Program Launch to First Revenue Flight), on a very tight budget and better than the most competitive spec in its crossover jet category, with a mature entry into service.



From best practice to next practice

Would you have the confidence to set project targets that had never been achieved in your industry? And would you know how to make sure they are hit?

IAN HEPTINSTALL
Course Leader,
Masters in Industrial Project Management,
University of Birmingham



https://issuu.com/mediaplanetuk/docs/project_management/12

MITAC-ACADEMY PROGRAM: CASE STUDIES IN AEROSPACE – EMBRAER “CCPM and APM SCRUM”



Philip MARRIS • 2nd

CEO Marris Consulting - Expert in Lean and Theory Of Constraints

1d ...

Nice coincidence:

The PMI's Project of the year 2019 winner is Embraer's Critical Chain E-Jets E190-E2 product development project. The Project Management Institute has just awarded its prestigious Best Project of the Year Award to Embraer for its incredible performance in developing an airplane using a Critical Chain Project Management (CCPM) approach.

3 minute video by the PMI of the 2019 award winner here:
https://youtu.be/VMKS6xbzK_0



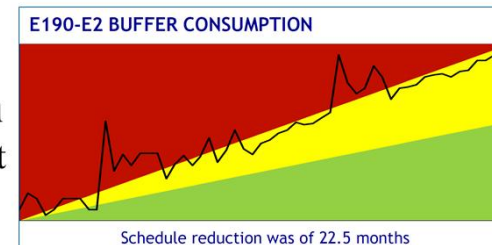
Best project of the Year 2019 Award



E-Jets E190-E2



Using
Critical Chain
Project Management
approach



CCPM addresses the organizational forces and natural human tendencies that conspire to delay projects.

You must invest the time to build a solid precedence network, as well as identify and address fundamental behavior changes that are required to avoid waste and delays, by means of people working in a coordinated manner and focused on the right priorities.

MITAC-ACADEMY PROGRAM: CASE STUDIES IN AEROSPACE – BOEING “CCPM”

BOEING Space and Intelligence Systems “CCPM”

■ INTEGRATED DEFENSE SYSTEMS



Space and Intelligence Systems employees Bruce Tomei (from left), Jonathan Fish, Steve Sichi, and Ying Fera plot Critical Chain Project Management strategy.
SALLY ARISTEI PHOTO

The **CCPM** approach recognizes that **uncertainty** and **competition for resources** are **inevitable**; so it provides three fundamental rules for managing their effects:

- Limit the amount of work in process.
- Create a buffered schedule.
- Manage daily execution to global metrics.

Keep the chain **intact**

S&IS speeds work
on complex programs

By JOEL R. NELSON

BOEING FRONTIERS July 2007

© MOELLMANN A.H.

BOEING “Lean+ 10X” Concept (CCPM + SCRUM)

Simple as...

New technique removes complexity and saves millions

By Elaine Brabant
Photos by Marian Lockhart

The Boeing Company has done it for nearly a century. And very successfully. But developing a new airplane remains an enormously complex task.

Now, a new tool in Boeing's how-to arsenal is making that task a little simpler. It's known as **Lean+ 10X**. The concept is so basic it might be easily dismissed in the complex aerospace environment: **Prioritize work and complete tasks without interruption.**

"It's a notion that's surprisingly simple, but counterintuitive," said Charles Toups, vice president of Engineering and Mission Assurance for Boeing Integrated Defense Systems. **"To go faster, with higher quality, you want to limit the number of tasks you are working on at any given time. We tend to think getting everything started is the fastest way to finish, but we end up with too many different tasks at once and actually go slower."**


Introduced last fall by Toups' unit, Lean+ 10X is already paying rewards on programs such as the P-8A Poseidon for the U.S. Navy and the Airborne Early Warning & Control (AEW&C) system planes for international customers.

"Whoever figures out how to do development work extremely well will own the industry. Why shouldn't that be us?" said Tony Parasida, then vice president and general manager of Airborne Anti-Submarine Warfare & Intelligence, Surveillance and Reconnaissance Systems (ASW&ISR), the division leading the P-8A and AEW&C programs, and now president of IDS Global Services & Support.

A plane is an incredibly complex system composed of thousands of subsystems, many of them highly complex, which must function flawlessly and be able to work with one another. To that challenge add a fiercely competitive business environment. Customers are focused on affordability, and contractors are under pressure to be even more competitive. Customers hold them accountable with tough penalties for not meeting commitments.

Although these challenges aren't likely to disappear, Boeing leaders agree that the company—in fact, the entire aerospace industry—must become more nimble and responsive in the development stage of products.

That's where Lean+10X has entered the picture. Parasida



"Whoever figures out how to do development work extremely well will own the industry. Why shouldn't that be us?"

— Tony Parasida, then vice president and general manager of ASW&ISR and now president of Integrated Defense Systems Global Services & Support

- Establish clear priorities.
- Eliminate bad multitasking – focus and finish.
- Limit the release of work in process to deliver earlier (i.e., **limit the amount that is processed at one time**).
- **Prepare – start to finish.**
- Use checklists to prevent defects and “traveled risk” (mistakes or incomplete work passed on to the next process, which can cause problems later).
- **Face into and resolve issues quickly.**
- **Drive daily execution.**

End of Part 4
Case Studies in Aerospace

Closing:

Questions?

Discussions!

Tips!

Thank you!



**MITAC
Academy**

改訂履歴- Revision Description

RECORD OF REVISION AND APPROVAL

Rev	Description	Prepared by	Checked by	Approved by
IR	Initial Release - 2020/09/29	ARTUR MOELLMANN/モー ンアーサー	ARTUR MOELLMANN/モー ンアーサー	TAKESHI FUJITA/藤田 健

名古屋大学

「航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座」
システムインテグレーションとは何か？

岸 信夫

株式会社SkyDrive
最高技術責任者
2020年11月7日

AGENDA

1. システムインテグレーションとは何か？
2. 航空宇宙分野では、なぜシステムインテグレーションを製品開発の最重要項目として位置づけるのか？
3. システムインテグレーションを実現するために、プログラム&プロジェクトマネジメントやシステムエンジニアリングをどのように活用するか？
4. モジュール型開発とインテグレーション型開発の違い
5. システムインテグレーション能力取得の為のエンジニアリング・アプローチ

1. システムインテグレーションとは？

1. System Integrationとは何か

- System Integration とは、システムへの要求を満足するためにまず、要求を分解して各要素に割り当て、次にその要素をシステムとして適切に統合化することである。この活動はシステムズエンジニアリングの初期の段階から継続的に行われるというのが一般的な説明である。
- 著者の戦闘機、旅客機の開発経験に基づく、System Integration の実際の活動を以下に示す
 - ① Figure1 にSystem Integrationの概念を示す。System Integration は能力、形式知と暗黙知及び経験を駆使しながら、要求の分析、機能配分をおこない、制約条件をクリアし、構成要素を有機的に統合し、検証して、システム全体として要求を満たす製品を創り上げるための、擦り合わせの活動である。

1. System Integrationとは何か

- ② 制約条件は、例えば、安全性、重量、容積/空間、環境、コスト、スケジュール、信頼性、整備性である。統合される構成要素は空力、飛行力学、構造、飛行制御、推進、サブシステム、アビオニクスシステム等

- ③ 簡単に言えば、システム統合は、各コンポーネントを「磨き、ブレンドし、適合させる」作業
- ④ 擦り合わせは、Sub-System間、組織間の、品質の高いコミュニケーションを通じた情報交換・共有、討論・検討、決心により達成
- ⑤ コミュニケーション具体的な方策は、その目的に応じた各階層の垂直的、水平的な会議体系、すなわち目的、日程、出席者を定め実行すること

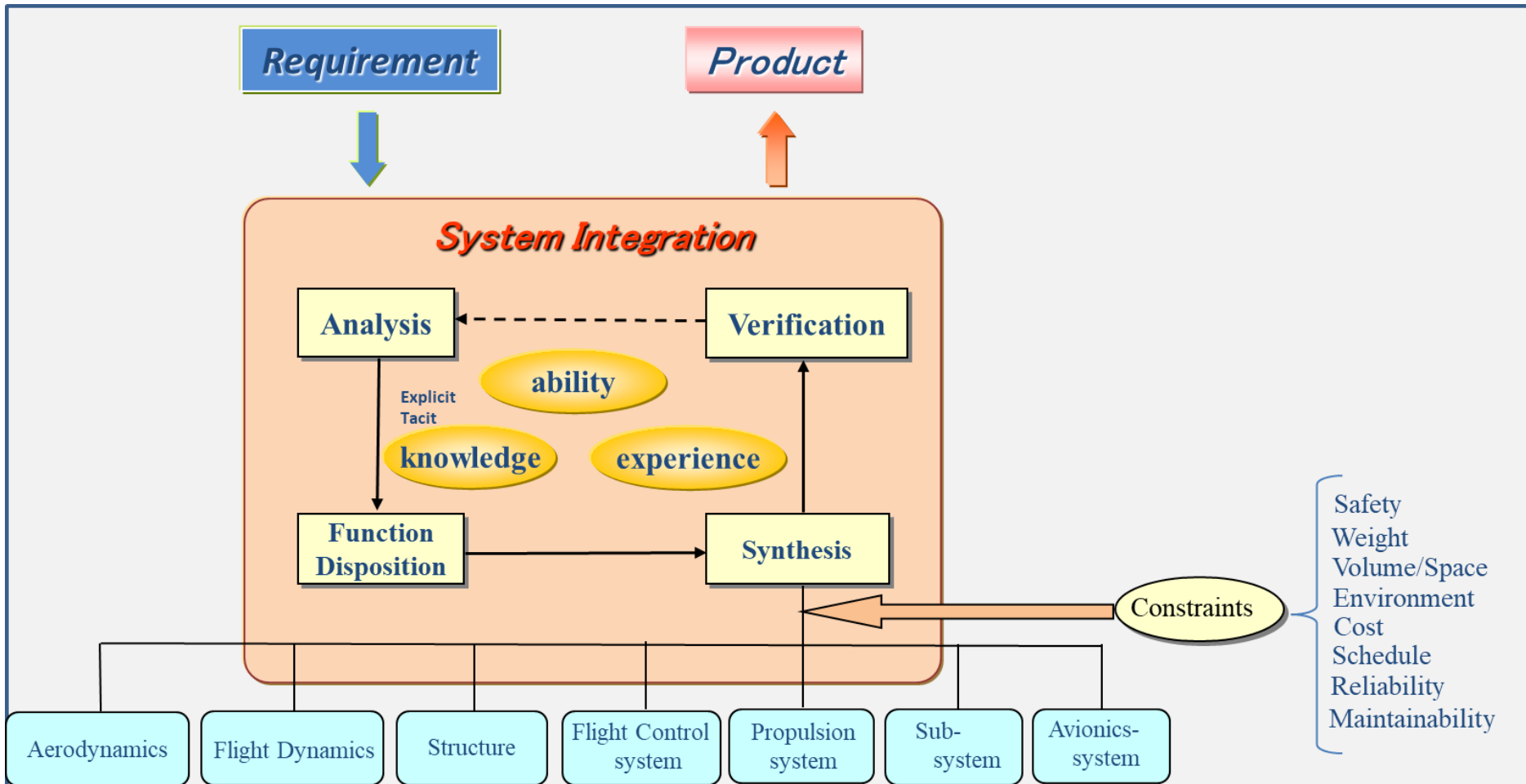


Figure1 System Integration Concept

➤ 航空機開発分野におけるSystem Integration はMultidisciplinary Design optimization。

いくつかの例をあげる

- ① Aircraft Shape & Inside Components Arrangement
- ② Aircraft & Engine Compatibility
- ③ Engine Performance Optimization
- ④ Software Integration
- ⑤ Integrated Flight Control & Avionics System
- ⑥ Power Generation System
- ⑦ Thermal Management System
- ⑧ Human Factors
- ⑨ Safety Assessment

2. 航空宇宙分野では、なぜシステムインテグレーションを製品開発の最重要項目として位置づけるのか？

2. 航空宇宙分野では、なぜシステムインテグレーションを製品開発の最重要項目として位置づけるのか？

- 東京大学大学院航空宇宙工学専攻の航空宇宙工学の理念に「システム統合化技術の象徴としての航空宇宙工学」として、「航空宇宙の世界では、多分野の工学および物理学を統合し、一つの目的を達成するシステムとして組み上げていく技術が特に強く要求されている」(<http://aerospace.t.u-tokyo.ac.jp/org>) とある。
- ここでは、著者の経験した戦闘機開発との比較を念頭に、大規模/複雑/不確実系システムである旅客機の開発での際立った特徴を述べる。
 - ① 高い安全性基準(10^{-9} 件/飛行時間以下)の達成
 - ② 型式証明・安全証明の認証工程の困難さ・複雑さへの対応
 - ③ 長期の開発期間/運用期間中の周辺環境、要求の変化といった不確実性への対処

2. 航空宇宙分野では、なぜシステムインテグレーションを製品開発の最重要項目として位置づけるのか？

- Figure2 (ARP4754Aをベースに著者が説明を追記) に示す通り、Validation & Verification (V&V) に沿った、設計と検証のスパイラルな繰返しの開発保証プロセス及び安全性検証のプロセスにより、個々のサブシステムの機能、性能を組み合わせ、擦り合わせることでシステム全体として要求を満足させ、商品として旅客機を完成させることが求められる。

これは単にサブシステム、モジュールを結合するだけでは達成不可能

である。

- 以上を達成するためには System Integrationが必須となる。

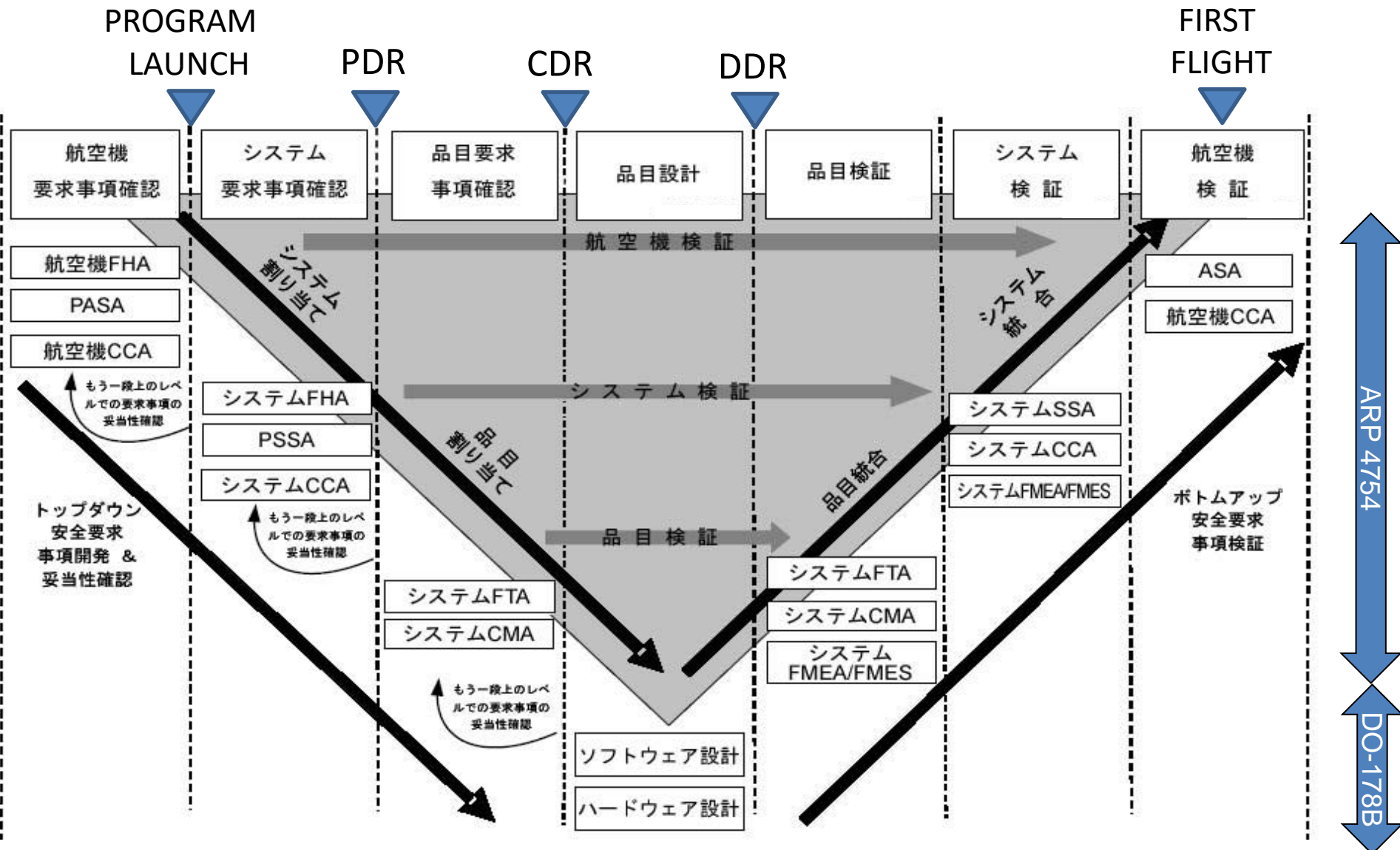


Figure2 Validation & Verification and Safety Assessment Process

3. システムインテグレーションを実現するために
プログラム&プロジェクトマネジメントやシステム
エンジニアリングをどのように活用するか?

- 「旅客機の開発を完了する」ことをProgram & Projectの目標とした時 System Integrationは開発作業そのものである。
- System Integration実現、すなわち目標達成のための組織設計、人材リソース・マネジメント、各種業務プロセス設定などの管理・統制はシステム工学やプロジェクトマネジメントの各種手法を用いることができる。
- Figure3にシステム工学とプロジェクトマネジメントの関係を示す。それぞれの手法については既に多くの手法が研究されている。

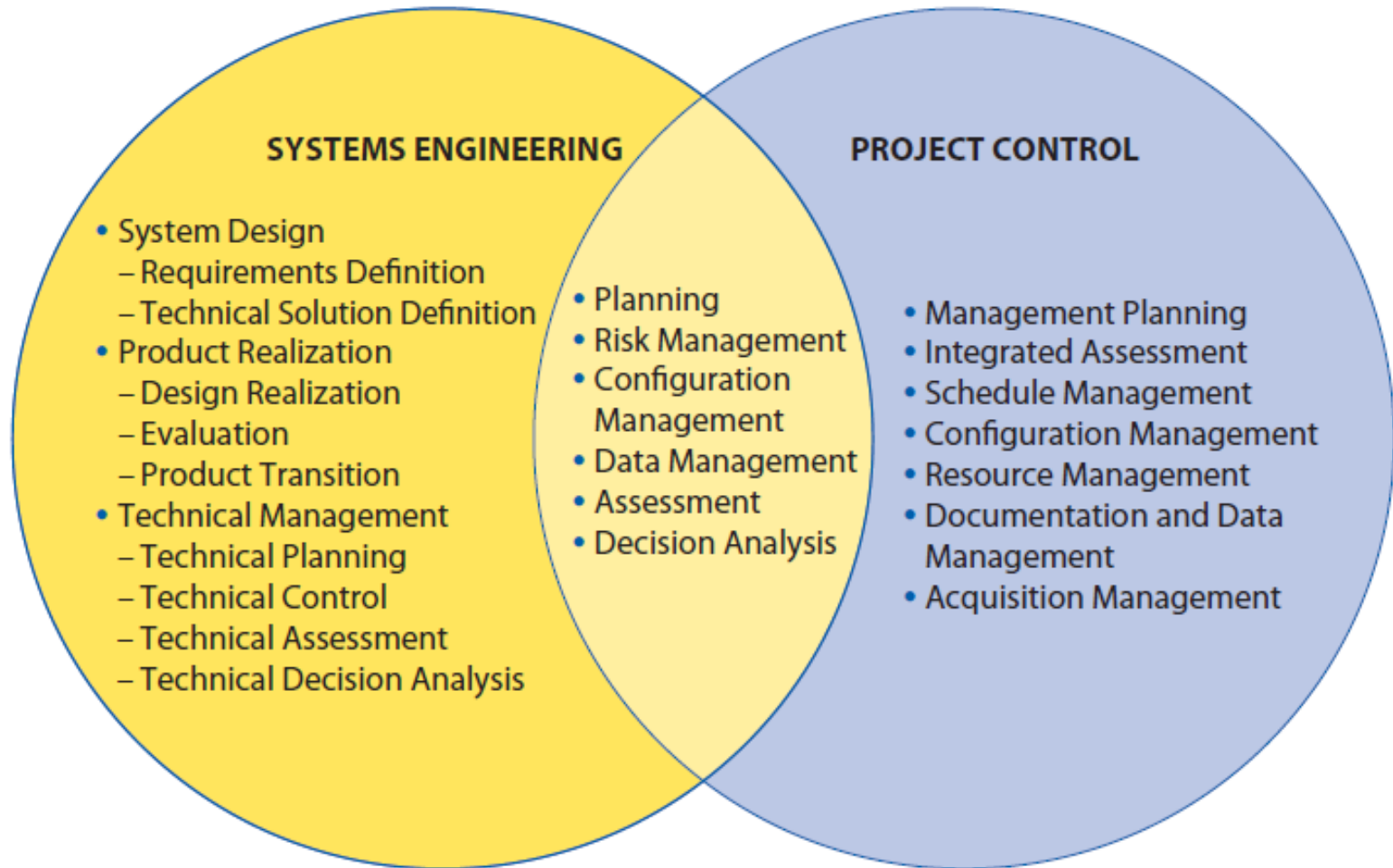


Figure 2.0-1 SE in context of overall project management ¹⁾

1) NASA/SP-2007-6105 Rev1 NASA Systems Engineering Handbookから引用

Figure3 システム工学とプロジェクトマネジメント

- Figure4のスパイラルプロセスはシステムインテグレーションを実現する為のプロセスである。
- これはまさにシステム工学の課題解決のためのプロセスそのものである。

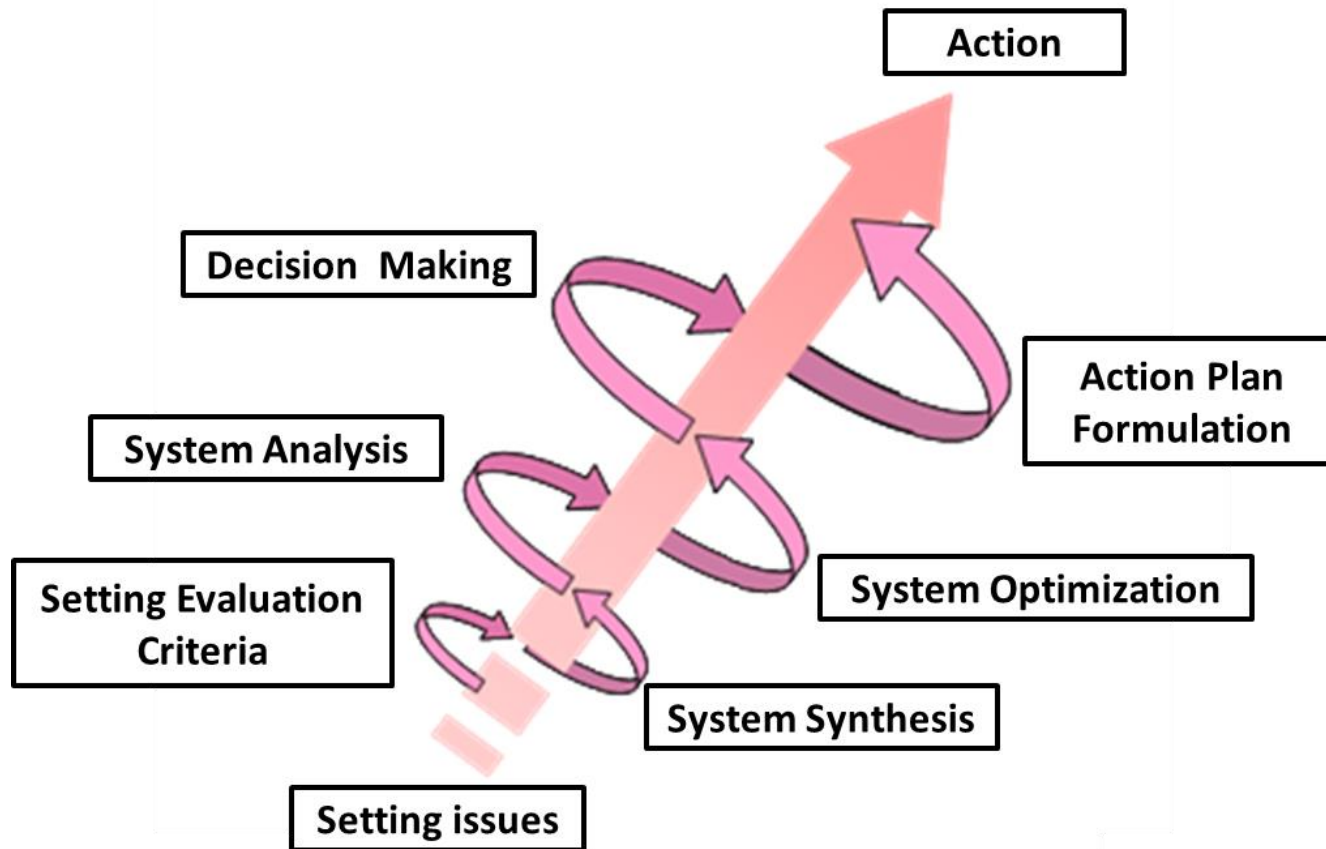


Figure4 システムインテグレーション スパイラルプロセス

- 大規模、事業全体、多層的プロジェクト（プログラム）のインテグレーション
 - ⇒ プログラム・マネジメントにより達成

- 開発、製造、CSのプロジェクトのインテグレーション
 - ⇒ プロジェクト・マネジメントにより達成

4. モジュール型開発とインテグレーション型開発の違い

- 狩猟社会、農耕社会、工業社会に続く、情報社会はモジュール構造型の産業組織を前提とするネットワーク経済性を追求。Table1参照。
- インテグレーション型開発を標榜する航空宇宙産業の対応は？

Table1 新しい経済性—ネットワーク経済性²⁾

	新しい経済性〔ネットワークの経済性〕	
	(Economies of Networks)	対をなす経済性の概念
スケール・メリット	ネットワーク効果 (network effects) - 消費者サイド - アウトプット市場	規模の経済性 (economies of scale) - 生産者サイド - インプット市場
リソース・メリット	連携の経済性 (economies of alliance) - 外部資源 - 複数組織 - 相乗効果 - 革新性 (新結合型)	範囲の経済性 (economies of scope) - 内部資源 - 同一組織 - 費用節約 - ラーニング・バイ・ドゥーイング (改善型)
産業組織	競争的市場 - 多数参加・新規参入 - 互換性 (代替取引) - モジュール構造	独・寡占市場 - 組織の巨大化 - 継続性 (長期取引) - 統合型 (擦り合わせ) 構造

(資料) 篠崎 (2003) 図 9-1, p. 169 および Adams, et al. (2007), Table 8-1 をもとに作成。

2) 篠崎彰彦, イノベーションの奔流とグローバル経済の発展—過去四半世紀の軌跡と今後予想される変容—
研究・イノベーション学会 研究技術計画Vol.32, No.1,2017

➤ 部分最適の集合体 = 全体統合 = 性能適合
(≠ 性能最適)

⇒ モジュール型

➤ 部分最適の集合体 ≠ 全体統合
≠ 全体最適

⇒ 最適統合化（調和）活動が必然

⇒ インテグレーション型

➤ モジュール型開発のメリット

① モジュールごとに独立した開発が可能

- ✓ モジュールごとの進化が製品の進化に直結
- ✓ 製品完成後も、モジュール改善で全体機能拡張可能

② 顧客ニーズに合わせた製品をモジュールの組み合わせで実現

- ✓ 顧客要求の多様化に低コストで対応可能

③ モジュールごとの分業による低コスト化

- ✓ インタフェース調整の膨大かつ密接な擦り合わせが不要

➤ モジュール型のデメリット

① 最適インタフェース・全体最適とならない

✓ 冗長な部分が残る ⇒ 全体最適ではない

② 既存のインタフェースを変えにくい

✓ インターフェースを変更すると既存のモジュールの利用不可

✓ インタフェースを変更するとコスト、納期への影響大

③ 大規模複雑系システムでの安全性設計、検証が難し

✓ インテグレーション型と比し、モジュール内に unknown が残り、安全性証明上の抜け穴ができることがある

➤B to B の旅客機完成機事業はモジュール型開発へ移行できるのか

Table2 製品ごとの納入・出荷数の比較

	自動車	パソコン	スマートフォン	旅客機
納入・出荷 ³⁾	約1億台 (2017年)	約3億台 (2017年)	約15億台 (2018年)	約2000機 (2018年)

- 旅客機は、エアライン個別要求、安全性基準の高度化への対応が求められる 中量産品（量産品と受注品の中間）であり、製品モジュール化、システムレベルのモジュール化・標準化に限界あり。
完全なモジュール型開発には移行不可

3) 日本航空機開発協会 (JADC) 「主要民間輸送機の受注納入状況」 YGR-9001-1906 2019 1895機
日本自動車工業会 (JAMA) 2017年 世界各国/地域の四輪車生産台数 97299462台

http://www.jama.or.jp/world/world/world_t2.html

日経記事 2018年1月12日 パソコン世界出荷台数2017年 2億5900万台

IDC記事 2019年1月30日 スマートフォン出荷台数2018年 14億490万台

<https://www.idc.com/getdoc.jsp?containerId=prUS44826119>

- 旅客機開発のモジュール型への完全移行は困難であるが、自動車に見られるような、モジュール型開発を織込んだインテグレーション型（ハイブリッド型）開発へ移行していくと予想
- また開発プロセスのモジュール(標準)化、一部の装備品、部品単位で志向
- 開発プロセスのモジュール化とは
 - ⇒ 暗黙知の形式知化（System Integration Process/ **Integration Maturity Metrics**、意思決定プロセスの導入）
Table3
 - ⇒ ツールの高度化（設計最適化ツール、安全性解析ツールなど）
- 一方、低コスト、短期間開発を目指す **e-VTOL機開発**では既存品の最大活用が求められ、アイテム（コンポーネント）レベルでのモジュール開発（アジャイル開発）の採用が大いに期待される。

Table 3 TRL, IRLとSRLの比較

レベル	TRL ; Technology Readiness Level ⁴⁾	IRL ; Integration Readiness Level ⁴⁾	SRL ; System Readiness Level ⁵⁾
1	基本原理の観察、報告	技術間のインターフェイス特性の、十分な詳細さでの識別	【コンセプトの洗練化】 システム/技術開発戦略の初期コンセプト概念の洗練化 □
2	技術のコンセプトやアプリケーションの明文化	インタフェースを通じた技術間の相互作用を特徴付ける、特異性のある程度の識別	【技術の開発】 技術のリスクの低減、全体システムに統合する適切な技術の決定 □
3	解析及び実験による、技術概念のクリティカル機能や特徴の立証	整然と効率的に統合、相互作用するための技術間の適合性	【システム開発とデモンストレーション】 システムの開発または能力の増強、インテグレーションと製造のリスクの低減、運航のサポート性の確保、物流拠点のを削減、人間系のインテグレーションの実行、生産性のための設計、クリティカルな事業情報の取得と保護、システムインテグレーション、相互運航性、安全性、ユーティリティのデモンストレーション
4	実験室環境での、構成品や一部の部品の検証	技術間の統合についての十分に詳細な品質保証	【生産と開発】 ミッション要求を満たす運用能力の実現
5	想定する使用環境での、構成品やその一部の検証	インテグレーションの確立、管理、終了に必要な技術間の十分な統制	【運用とサポート】 運用サポートのパフォーマンス要件を満たし、システムをそのライフサイクル全体で最も費用対効果の高い方法で維持するサポートプログラムの実行
6	想定する使用環境での、システム/サブシステムモデルのデモンストレーション	意図したアプリケーションの情報の把握、咀嚼、構造化による技術の統合	
7	想定する使用環境での、試作システムのデモンストレーション	実用的なものとするために、十分詳細に検証(V & V)された技術のインテグレーション	
8	試験及びデモンストレーションによる、実装システムの完成、認定	システムの使用環境での試験とデモンストレーションによる、実インテグレーション完了とミッションの認定	
9	実運用ミッションを通しての、実装システムの証明	実運用ミッションを通しての、インテグレーションの証明	

- 4) Sauser, B., Gove, R., Forbes, E. and Emmanuel Ramirez-Marquez, J., “ Integration maturity metrics: Development of an integration readiness level “, Information Knowledge Systems Management 9 (2010) 17-46, DOI 10.3233/IKS-2010-0133, IOS Press
- 5) Sauser, B., Verma, D., Ramirez-Marquez, J., Gove, R., “ From TRL to SRL: The concept of System Readiness Level ”, Conference on Systems Engineering Research (CSER), Los Angeles, CA USA, 2006.

6. システムインテグレーション能力取得の為の工学的 アプローチ

System Integration能力獲得のためには以下の工学的アプローチが必須と考えられる。

- プログラム・マネジメントとプロジェクト・マネジメント
(Project Management Body of Knowledge (PMBOK) 他)
- システム工学
- 航空機設計教育
- 設計最適化手法 (Multidisciplinary Design Optimization(MDO))
- 安全性・信頼性解析手法 (System Theoretic Accident Model and Processes (STAMP) 他)
- 実開発作業への参画 (インターンシップ)

➤ 新たな安全性解析手法

FTA, FMEA (従来手法) (Figure5 参照):

構成要素の故障が事故を引き起こすと考え、その故障を最小化する信頼性工学的手法

STAMP⁶⁾ : Systems- Theoretic Accident Model and Processes

MITのNancy Leveson教授が提唱する、システム理論に基づく新しい安全性分析方法論

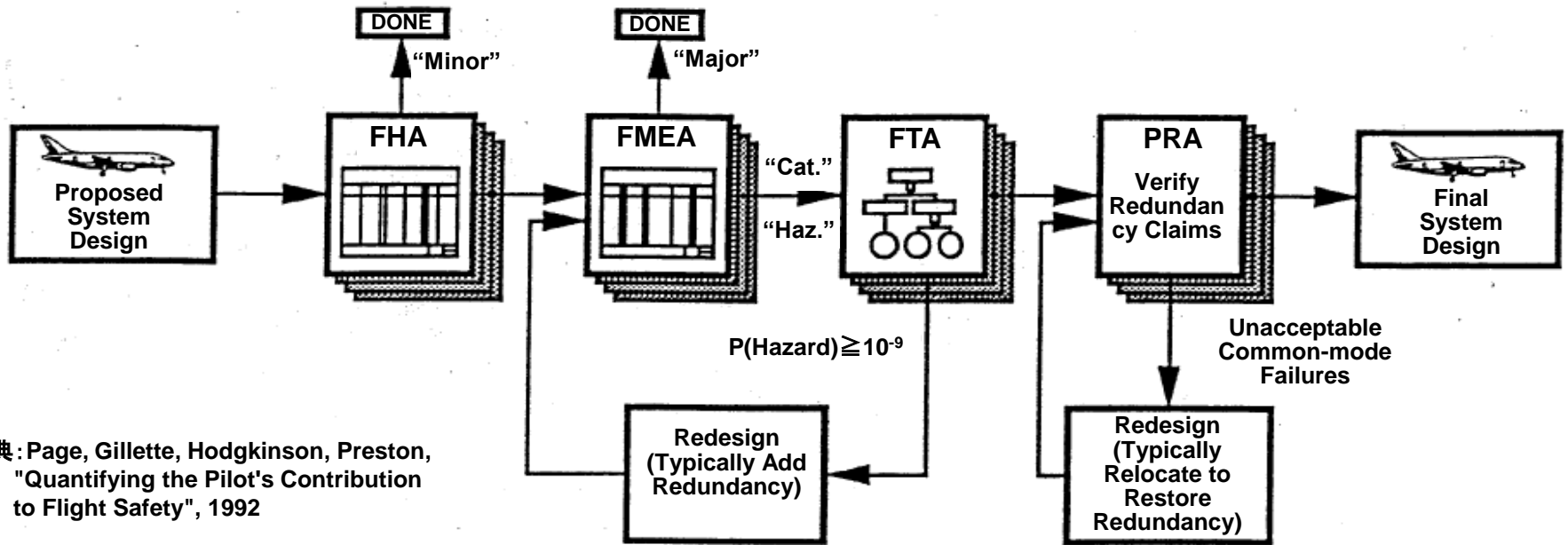
STPA : System-Theoretic Process Analysis

システムのハザード要因を分析する新しい安全解析手法

故障を低減するという信頼性工学的手法ではなく、安全を確保するための制御行動とそのフィードバックという情報が動的に伝達されるシステムの中で事故が起こるというモデルに基づく。概念図をFigure6に示す。

Note: STAMPは解析モデル・手法の考え方(理論), STPAはその考え方をを用いた解析方法を示す。

6) Leveson, Nancy G., "A New Accident Model for Engineering Safer Systems," Safety Science, Vol. 42, No. 4, pp. 237-270, April 2004.



- 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、影響度が“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)
- PRA : Particular Risk 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

Figure5 安全性評価プロセス

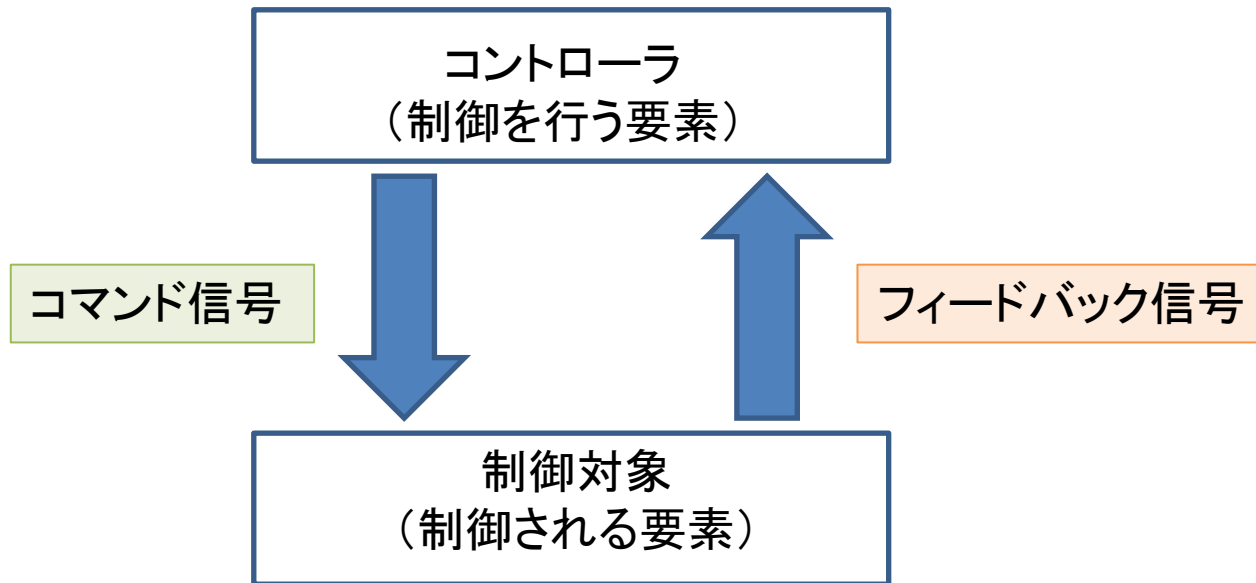


Figure6 STAMPにおける相互作用のモデル

Systems Engineering

Daniel Patrick Pereira

MITAC ACADEMY
IN NAGOYA UNIVERSITY

JANUARY, 2021



This document was developed based on recognized bibliographical references and the Author's professional and academic experience, in order to employee training at Mitsubishi Aircraft Corporation (MITAC). Also, contains proprietary information of Mitsubishi Aircraft Corporation (MITAC). Neither this document, nor any information in it, shall be used, reproduced, or disclosed to third parties without the prior written consent of MITAC and the Author. Any permitted reproduction of this document, in whole or in part, shall include this notice.



CONFIDENTIAL – Intellectual property of MITAC and the Author.

SPACEJET

Daniel Patrick Pereira, D.Sc.

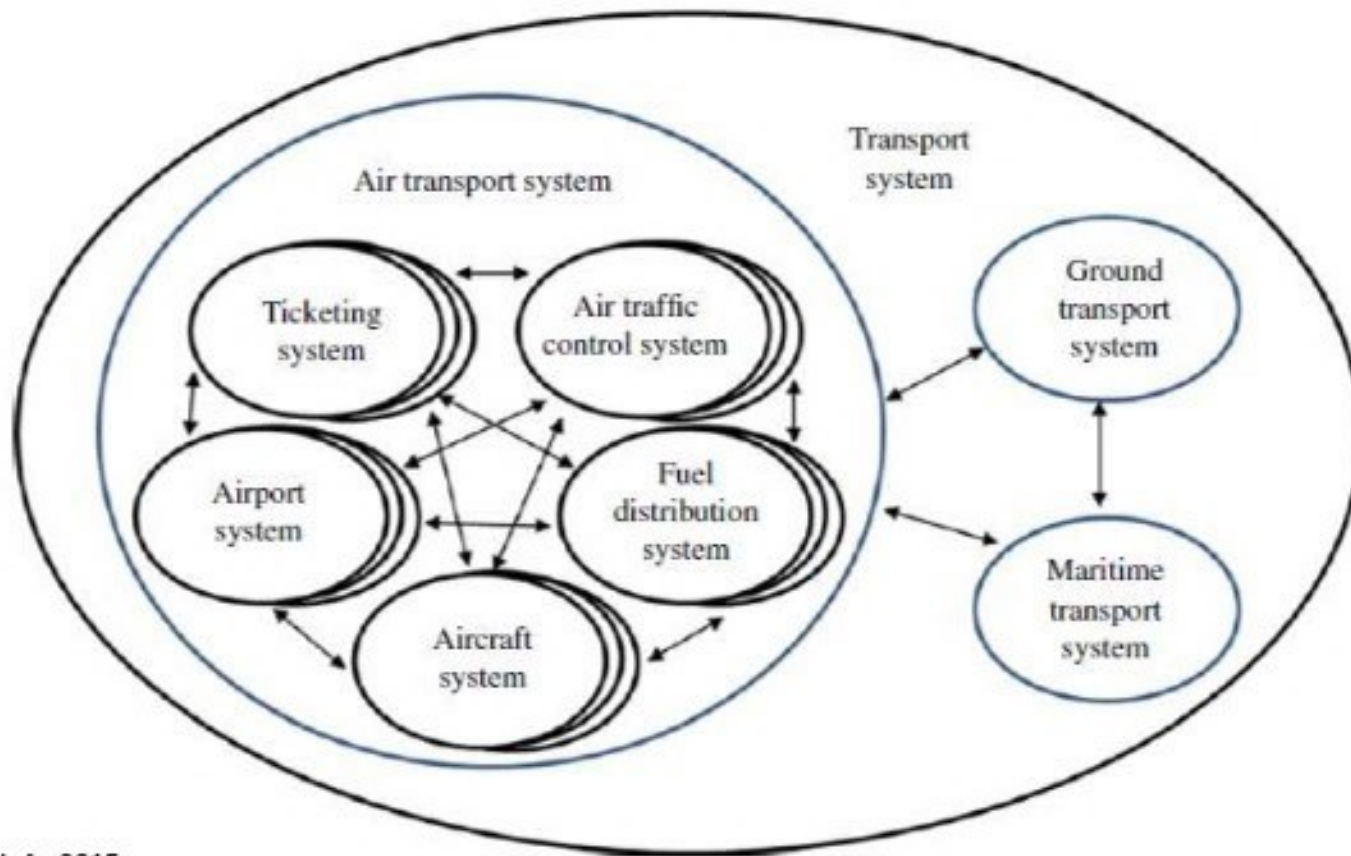
- Doctor of Science in Electronic Engineering and Computing by the Aeronautics Institute of Technology (Abril/2020) – research area in Systems Security Engineering (integrating safety and security);
- Master of Science in compute engineering by Federal University of Amazonas (April 2008) – research area in wireless sensor networks;
- Member of INCOSE Brazil – used to work as a regional director promoting and disseminating systems engineering practices in companies and universities;
- More than 19 years of experience covering the full stack of systems engineering processes, working in several projects (12 years dedicated to safety-critical systems);
- Member of Eurocae WG-72/RTCA SC-216 workgroup to revise the new security aeronautic regulations (i.e. ED-202A / DO-326A and ED-203A / DO-356A);
- Currently, I am working at Mitsubishi Aircraft Company (MITAC) as an Engineering Manager in Cybersecurity in charge of creating the product cybersecurity process and modifying the existing processes to address cybersecurity concerns.



What is a system?

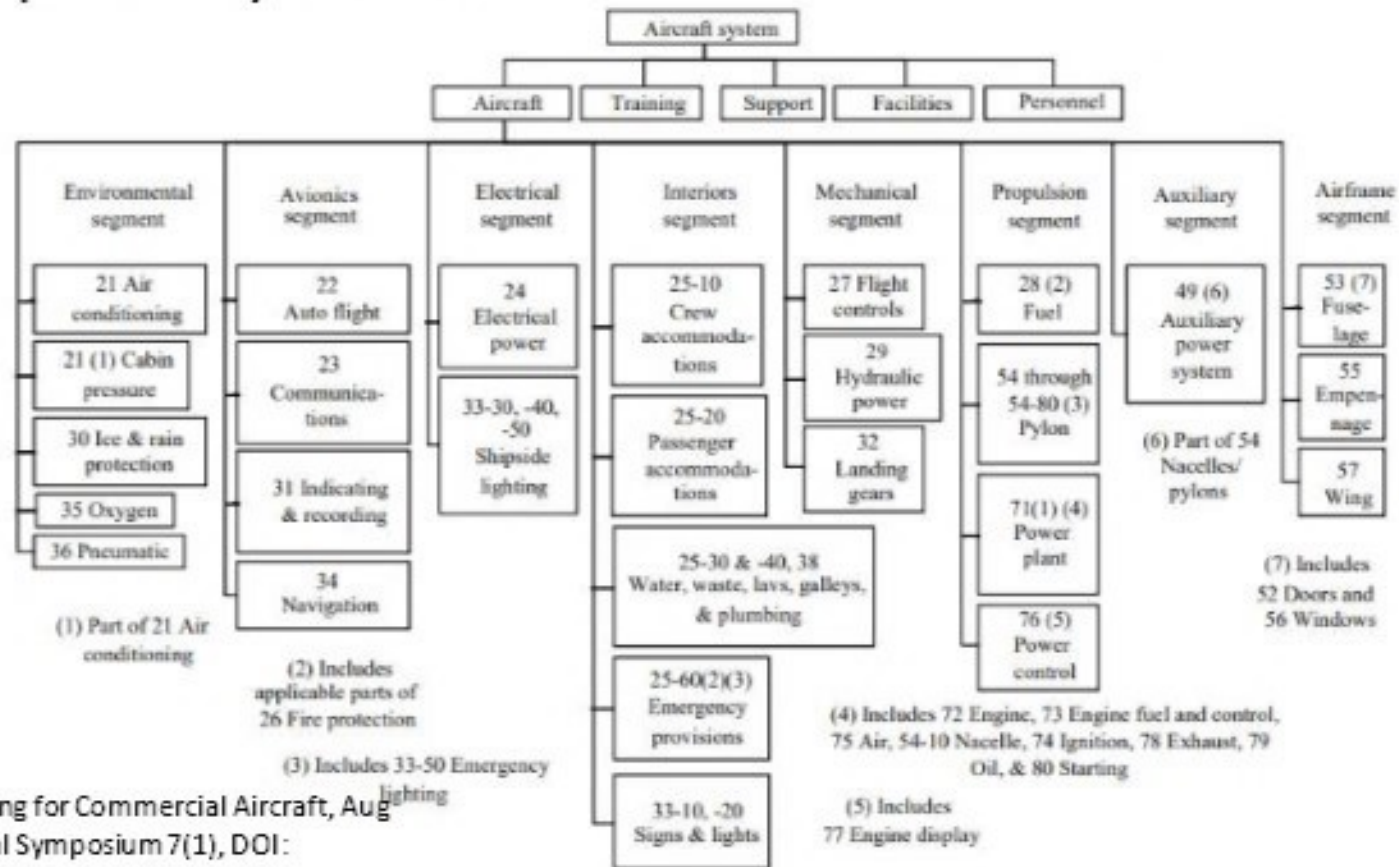


Transport system



Source : INCOSE Handbook 4e 2015

Transport system



Source : Systems Engineering for Commercial Aircraft, August 1997, INCOSE International Symposium 7(1), DOI: 10.1002/j.2334-5837.1997.tb02151.x Scott Jackson.

A system is ...

- **Formal definition:**

- A man-made, created and utilized to provide products or services in defined environments for the benefit of users and other stakeholders (ISO/IEC/IEEE 15288);
- An integrated set of elements, subsystems, or assemblies that accomplish a defined objective (INCOSE);

Understanding System complexity

- **Source of complexity:**

- System;
- Environment;
- Design/ management.

- Large number of components, many intricate interdependencies
- Adaptive components, interactions;
- Interfaces with human users or other complex entities ;
- Evolving technology.

- **For some classes of systems, a strategic design the proper system:**

- System decomposition;
- Abstraction;
- Formal analysis.

- Operational environment (conditions);
- System environment (changes to elements of the larger system)

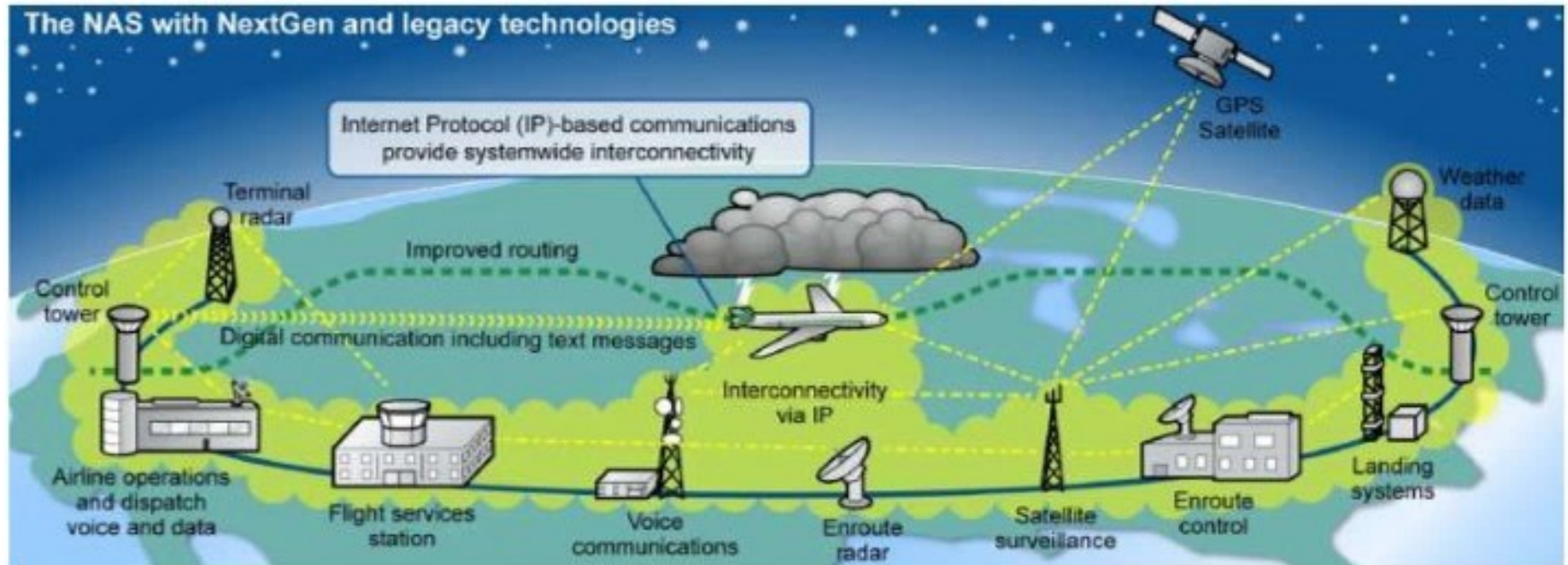
esign

- **Common questions:**

- What are the subsystems and how are they connected internally?
- How does the system interact with the environment?

- Large number of people and organizations involved

Example of a Complex System



Source : NASA/CR-2015 - Operadic Analysis of Distributed Systems.

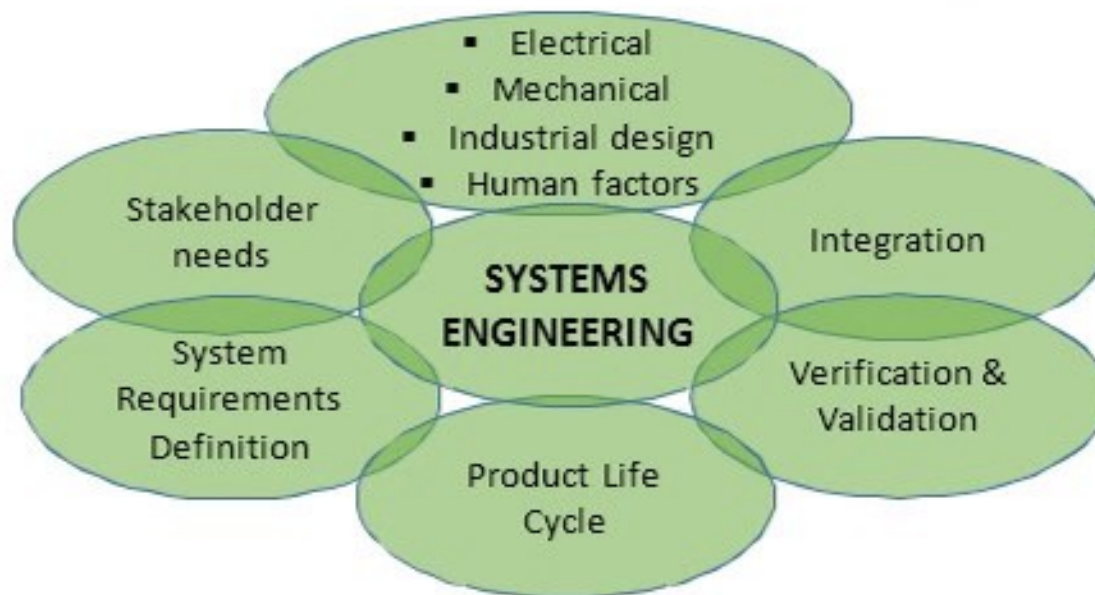


CONFIDENTIAL - Intellectual property of MITAC and the Author.

SPACEJET

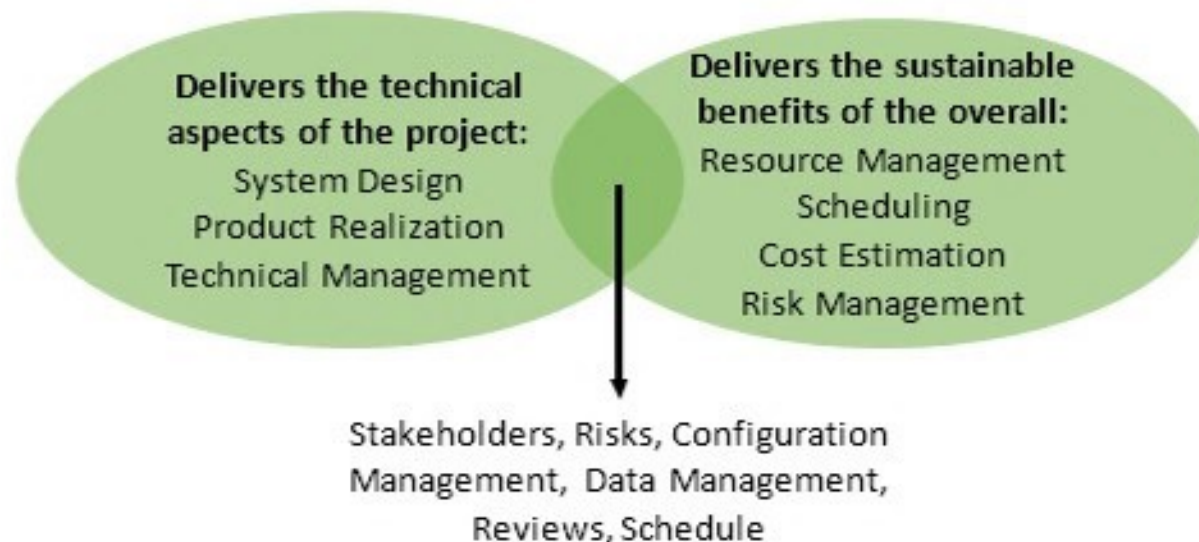
What is systems engineering?

- Systems engineering is responsible for the big picture.



Systems engineering covering

- Systems Engineering considers both the business and technical needs of all customers with the goal of providing a quality product that meets the user needs.

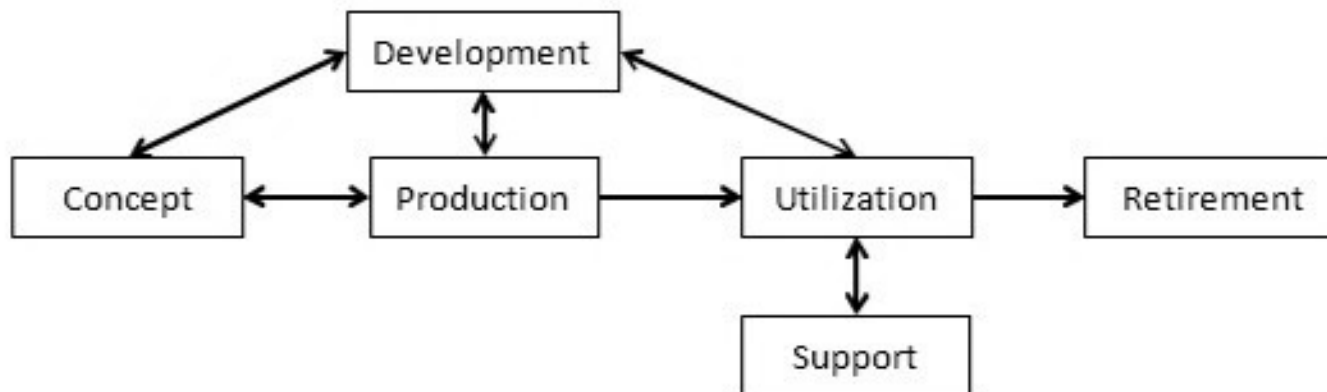


The role of the systems engineering

- Any engineer acts as a systems engineer when responsible for the **design and implementation** of a total system;
- The difference with “traditional engineering” lies primarily in the greater emphasis on **defining goals**, the **creative generation** of alternative designs, the **evaluation of alternative designs**, and the **coordination and control** of the diverse tasks that are necessary to create a complex system focusing on stakeholder needs;
- The role of systems engineering is one of manager that utilizes a structured value delivery process.

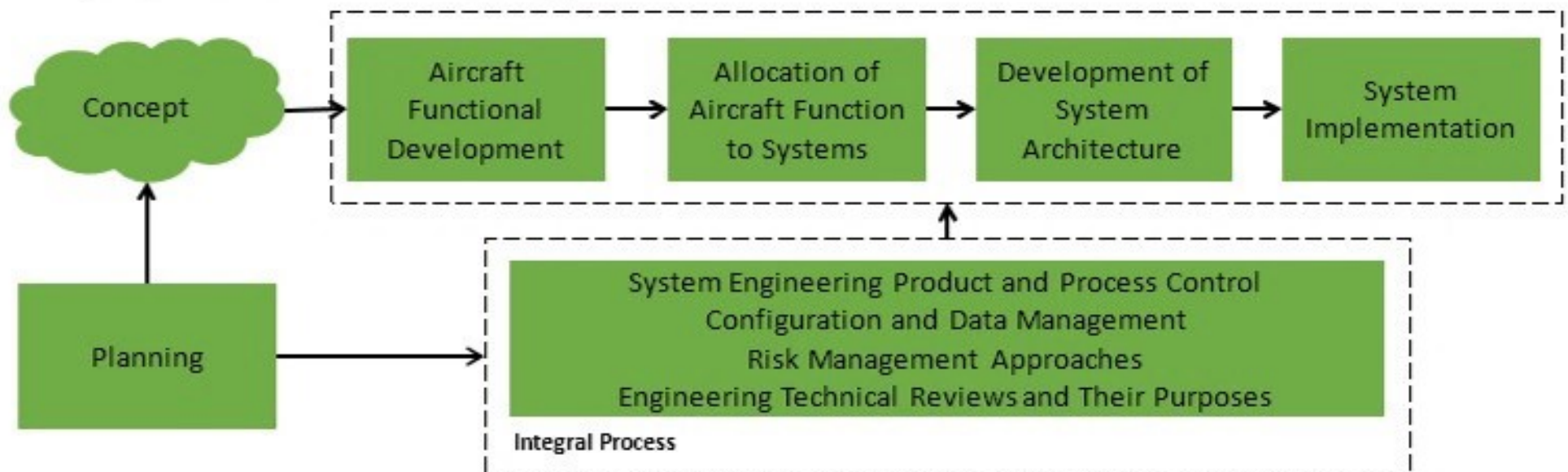
Life cycle stages

- A system “progresses” through a common set of life cycle stages where it is conceived, developed, produced, utilized, supported and retired.

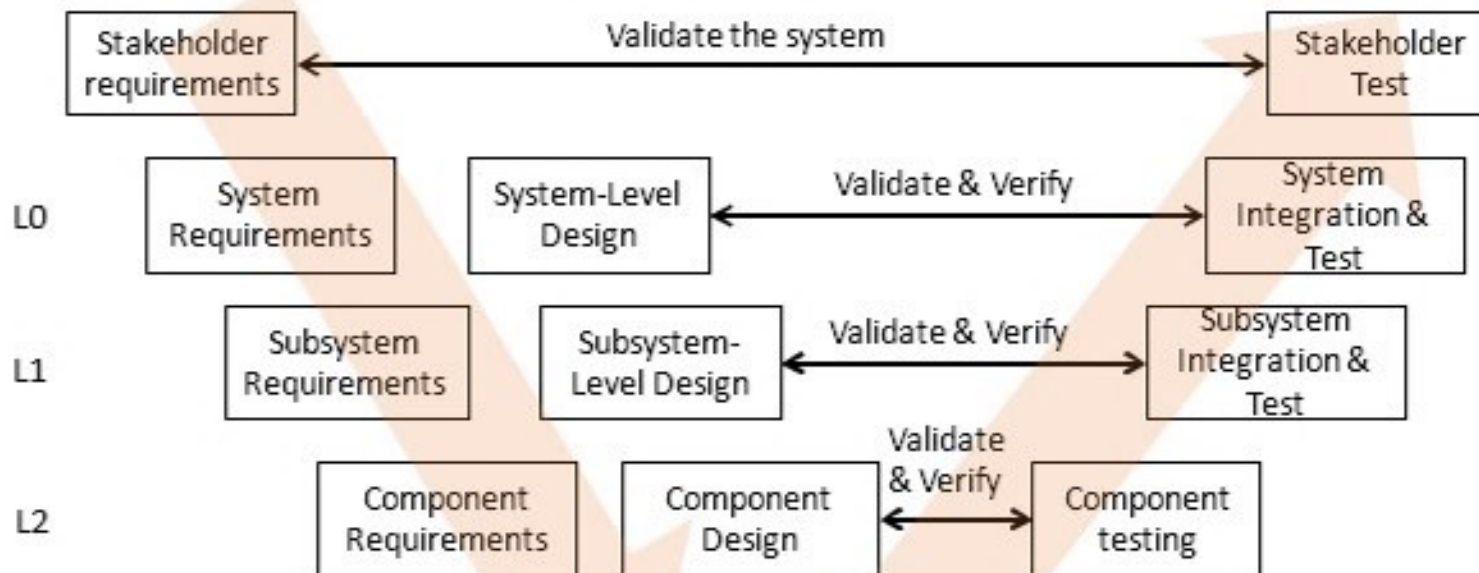


The systems engineering process

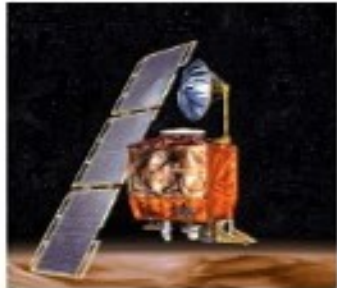
- The major steps in the completion of a typical systems engineering project are the following:



V-Model of Systems Development



Impact of not [properly] SE in the projects



Mars Climate Orbiter

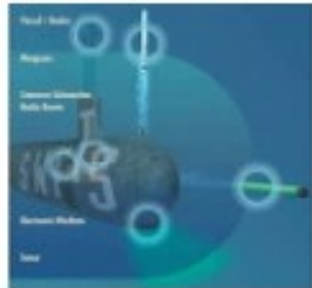
- Loss of mission (cost of \$327.6M);
- Inadequate consideration of the entire operation;
- Inconsistent communications;
- Lack of complete end-to-end verification of navigation software.



Therac-25

- Six accidents (03 fatalities) due to massive overdoses of radiation;
- Overconfidence in software;
- Inadequate SE process practices;
- Software reuse.

Impact of SE in the projects



Submarine Warfare Federated tactical Systems

- Subset of 40 systems produced by 20 different program offices;
- Model Based Systems Engineering.



Hubble Space Telescope

- Broadly explore technical concepts;
- High degree of system integration;
- Consider all life cycle;
- Risk Management.

International Council on Systems Engineering



- INCOSE is a not-for-profit membership organization founded to develop and disseminate the interdisciplinary principles and practices that enable the realization of successful systems;
- **Mission:**
 - To address complex societal and technical challenges by enabling, promoting, and advancing systems engineering and systems approaches;
- **Goals:**
 - To provide a **focal point for dissemination** of systems engineering knowledge.
 - To promote **international collaboration** in systems engineering practice, education, and research.
 - To assure the **establishment of competitive, scale-able professional standards** in the practice of systems engineering.
 - To improve the **professional status** of all persons engaged in the practice of systems engineering.
 - To encourage **governmental and industrial support** for **research** and educational programs that will improve the systems engineering process and its practice.

About INCOSE



17000+
MEMBERS



70+
CHAPTERS



45
WORKING GROUPS



3182
CERTIFIED



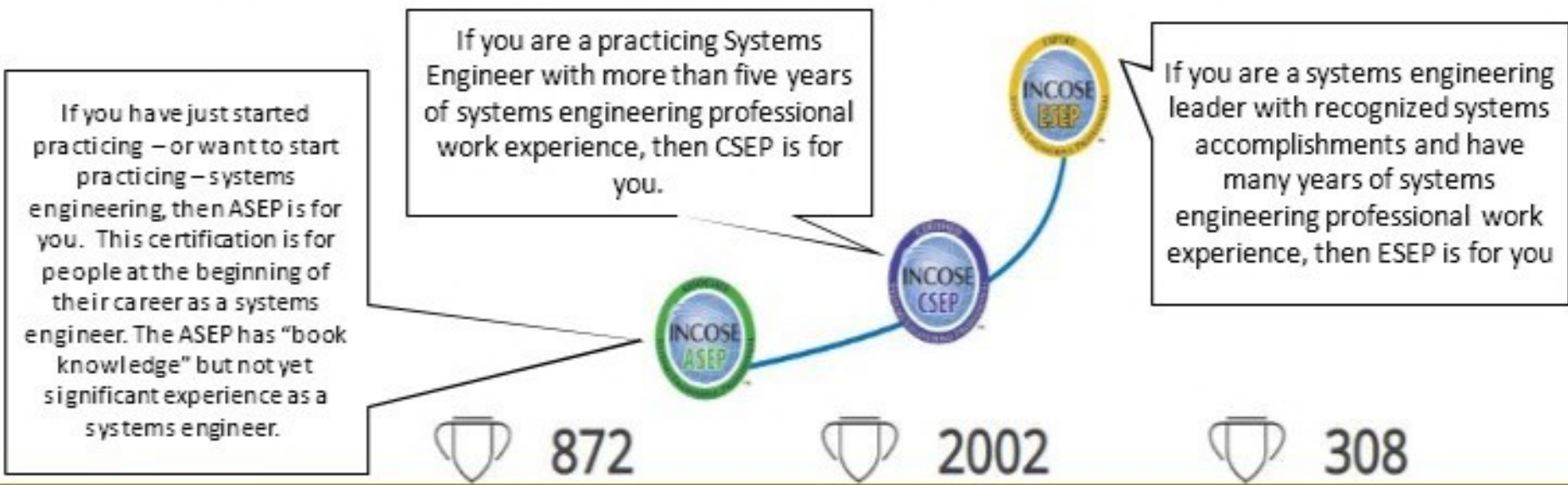
INCOSE Workgroups

<p>Affordability</p> <p>✉ Jay Haimowitz</p> <p>🔗 Analytic Enablers</p>	<p>Agile Systems and Systems Engineering</p> <p>✉ Rick Dove / ✉ Ren Lyells, Lamf Rosser, Kevin Gunn</p> <p>🔗 Transformational</p>	<p>Anti-Terrorism International</p> <p>✉ Bill Mackey</p> <p>🔗 Application Domains</p>	<p>Architecture</p> <p>✉ M. Wilkinson / ✉ R. Martin / ✉ A. Kumar / ✉ J.L. Garnier</p> <p>🔗 Process Enablers</p>	<p>Automotive</p> <p>✉ Alain Dauron / ✉ Gary Rushton</p> <p>🔗 Application Domains</p>
<p>Challenge Team</p> <p>🔗 Analytic Enablers</p>	<p>Competency</p> <p>✉ Cliff Whitcomb</p> <p>🔗 Analytic Enablers</p>	<p>Complex Systems</p> <p>✉ Jimmie McEiver</p> <p>🔗 Analytic Enablers</p>	<p>Configuration Management</p> <p>✉ Paul Nelson / ✉ Dale Brown / ✉ Adriana DSouza</p> <p>🔗 Process Enablers</p>	<p>Critical Infrastructure</p> <p>✉ Mitchell Kerman</p> <p>🔗 Application Domains</p>
<p>Decision Analysis</p> <p>✉ Frank Salvatore</p> <p>🔗 Analytic Enablers</p>	<p>Defense Systems</p> <p>✉ Karl Gebit</p> <p>🔗 Application Domains</p>	<p>Digital Engineering Information Exchange</p> <p>✉ John Coleman / ✉ Frank Salvatore / ✉ Chris Schreiber</p> <p>🔗 Transformational</p>	<p>Enterprise Systems</p> <p>✉ Willy Donaldson</p> <p>🔗 Process Enablers</p>	<p>Global Earth Observation System of Systems (GEOSS)</p> <p>✉ Ken Crowder</p> <p>🔗 Application Domains</p>



INCOSE - Certification

- Certification is a formal process whereby a community of knowledgeable, experienced, and skilled representatives of an organization, such as INCOSE, provides confirmation of an individual's competency (demonstrated knowledge, education, and experience) in a specified profession;



Join INCOSE



Join INCOSE

Become an Individual Member *



Renew your Membership in Profile Home *

If you are or have been an INCOSE member and wish to renew, submit an ASEP, CSEP or ESEP application or renewal, LOGIN and select **Profile Home** by clicking on your name. Select "Join/Renew" in the **My Membership** section. To submit an application for certification, click on the application links in the **My Certification** area of the Profile Home page. Membership must be current to submit a new application.



<https://www.jcose.org/>

Join INCOSE - Japan



[home](#) > JCoseについて

JCoseについて

JCoseとは、INCOSEの日本支部であり、2007年3月23日にINCOSE日本支部 (Japan Chapter)が認められ、日本支部の前組織であるINCOSE日本支部準備会のメンバーを中心に定期的な会議、勉強会を行ってまいりました。

JCoseの使命、目的についてはこちらをごらん下さい。
→ [JCoseの使命](#)

JCoseの構成

代表	銀 真彰, 慶応義塾大学	ohkami@sd.keio.ac.jp
幹事 (INCOSE窓口)	白坂 成功, 慶応義塾大学	seiko.shirasaka@incose.org



CONFIDENTIAL - Intellectual property of MITAC and the Author.

SPACEJET

Reference

- **Systems Engineering standards:**
 - INCOSE Systems Engineering Handbook, A Guide for System Lifecycle Processes and Activities, INCOSE-TP-2003-002-03, version 3, International Council on Systems Engineering (INCOSE), June 2006 – version 4 was just issued in July 2015;
 - ISO/IEC 15288:2008(E), IEEE Std 15288-2008, Second edition, 2008-02-01 Systems and software engineering — System life cycle processes – May 2015 edition ;
 - NASA Systems Engineering Handbook, NASA/SP-2007-6105, Rev 1, Dec 2007.
 - Functional Analysis Module, Space Systems Engineering, version 1.0, NASA.

Questions

Thank you for boarding



MITSUBISHI
MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION

CONFIDENTIAL – Intellectual property of MITAC and the Author.

SPACE**JET**



航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座
マネジメントオブテクノロジー

株式会社SUBARU 航空宇宙カンパニー

2020年12月26日

技術経営（MOT）

ここからは企業が、価値創りをしていくために重要となる「技術経営」（MOT：Management of Technology）と呼ばれる分野の話を行います。

参考文献：

- ・延岡謙太郎、“MOT[技術経営]入門”、日本経済新聞出版社
- ・クレイトン・M・クリステンセン、“ジョブ理論”、ハーパーコリンズジャパン

技術経営（MOT）とは？

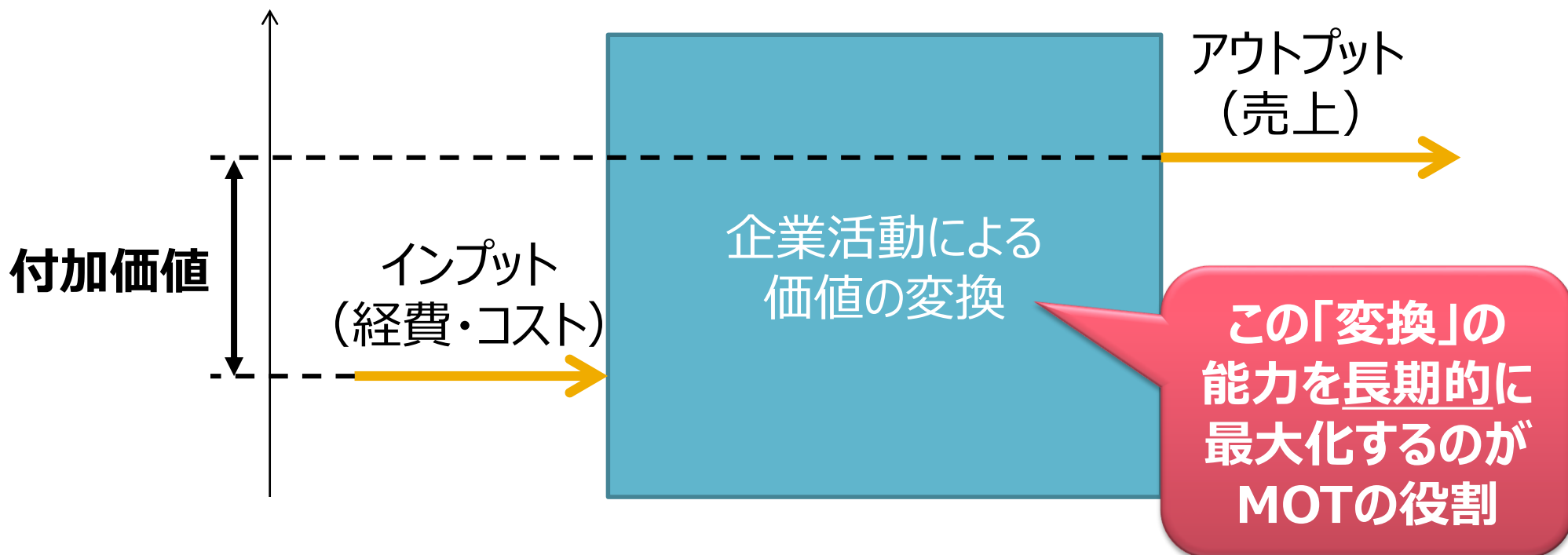
製造業の経営学を扱う学問領域の総称で、英語でMOT（Management Of Technology）と表記される。

最初にMOTの研究分野をつくったのは米国のマサチューセッツ工科大学で、1981年にビジネススクールの中に修士号が取得できるコースが設置された。

本講義では主に、「製造企業の付加価値創造を最大化する戦略論」に焦点をあてる。

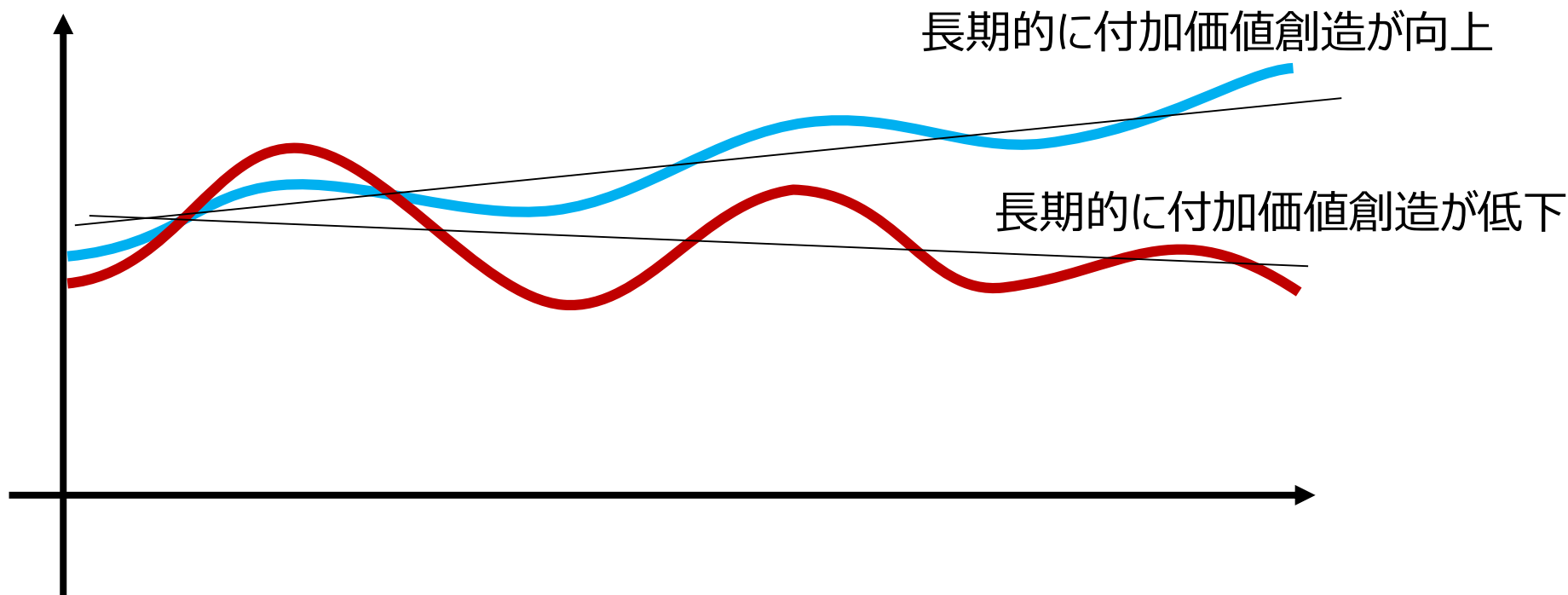
MOTの最大の目的は、技術・商品に関するマネジメントの視点から製造企業における長期的な付加価値創造の最大化を実現すること。

付加価値 = 売上 - 経費・コスト (材料、研究開発・製造コスト)



MOTの最大の目的は、技術・商品に関するマネジメントの視点から製造企業における長期的な付加価値創造の最大化を実現すること。

企業が創造する付加価値



MOTはきわめて不確実性の高い経営分野

- 時間軸がとても長い：

技術の開発や蓄積、およびそれを利用した商品開発には長い時間を要する（少なくとも数年以上、航空機の場合は20年以上かかることもある）。

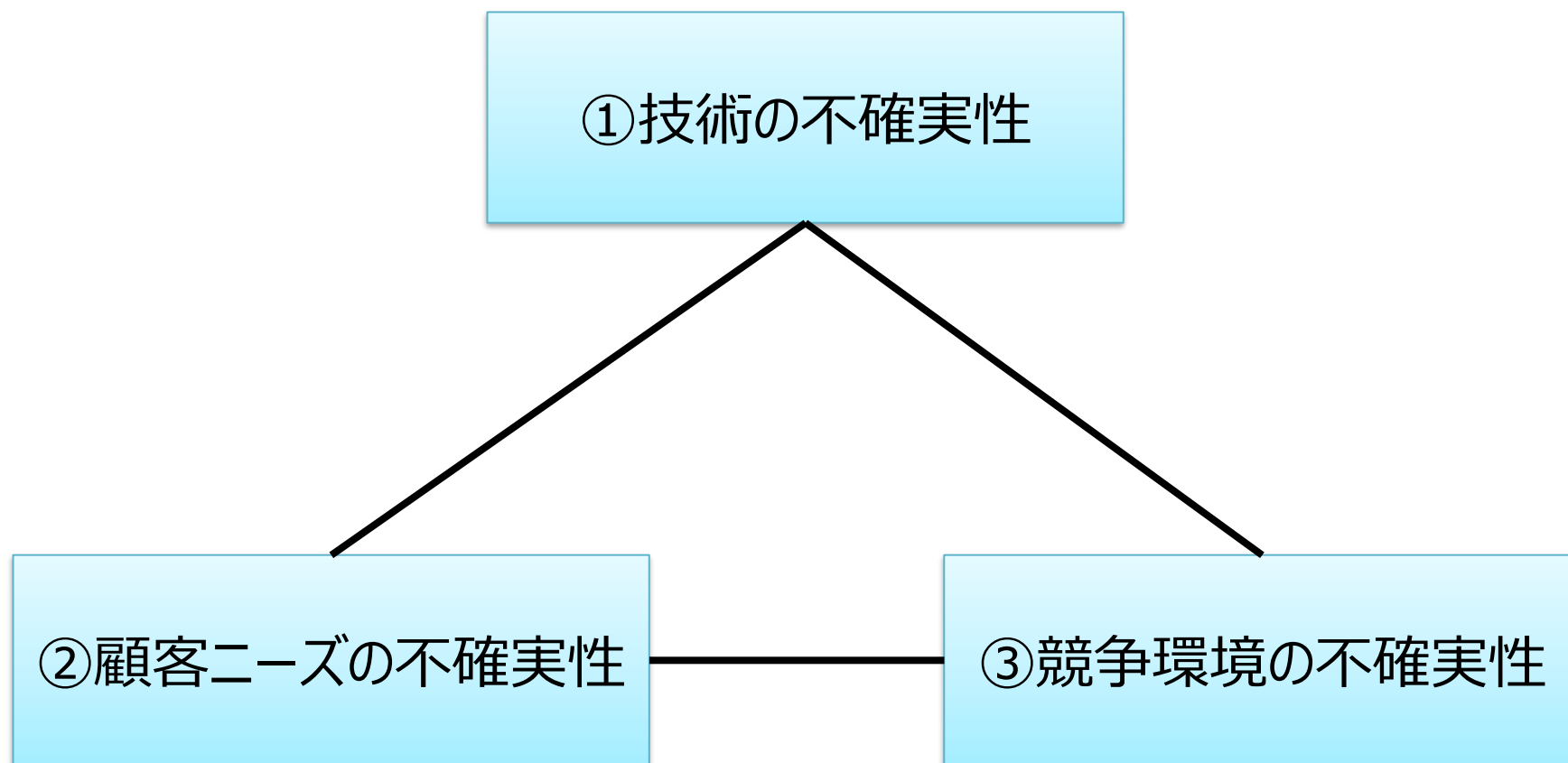
⇒ 市場や競合企業の動向に先駆けて技術開発に取り組まなくてはならない

- 外部要因の影響を大きく受ける：

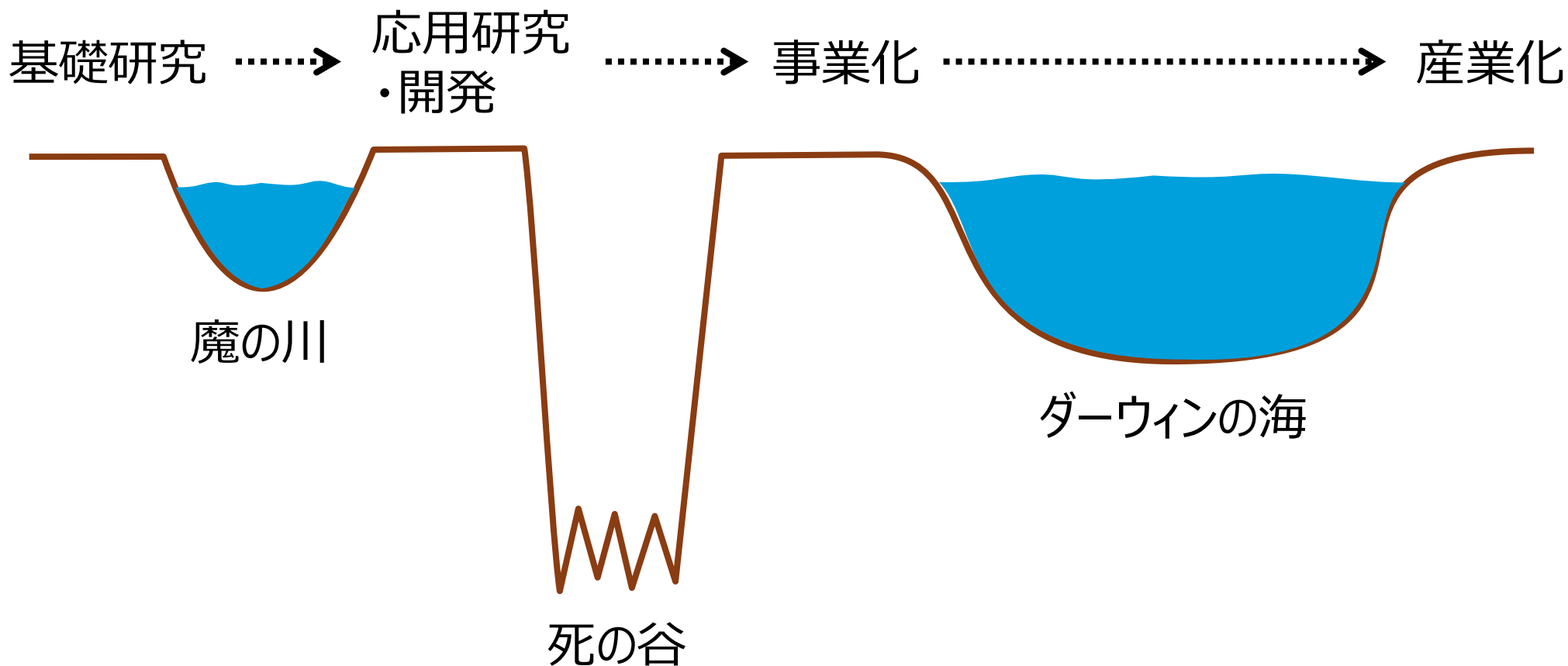
市場や競争環境が自社の技術力や商品開発力と同等か、それ以上に結果に影響する。

⇒ 成否は技術や機能の良さだけではきまらない

不確実性の高さは3つの経営要因に分割して考えることができる。



技術の研究・開発は、元来その特性として不確実性が高い。

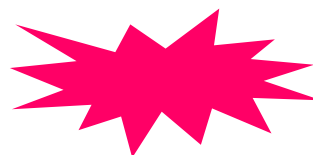


顧客ニーズのほとんどは事前に顕在化されない。



機能が優れていて顧客ニーズにも完全に合致した商品であっても、同じような商品を提供する競業企業の有無によって、販売や利益は大きく左右される。

Boeing 737 MAX 7



熾烈な
シェア争い

Airbus A320 neo



出典：

[https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9C%E3%83%BC%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%82%B0737MAX#/media/ファイル:Boeing_Company,_N720IS,_Boeing_737-7_MAX_\(30416417438\).jpg](https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%9C%E3%83%BC%E3%82%A4%E3%83%B3%E3%82%B0737MAX#/media/ファイル:Boeing_Company,_N720IS,_Boeing_737-7_MAX_(30416417438).jpg)

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/51/Airbus_A320neo_landing_02.jpg

高い不確実性がある中で、

「長期的な付加価値創造の最大化」

を実現するためには、戦略的な思考と実行が必要

- 競合企業、顧客ニーズに関して、現状の分析を正確にできてもそれだけでは正しい意思決定につながらない。
- 現状の分析結果に対して、直接的な対応をするのではなく、それを参考にした上で、将来的および潜在的な機会やリスクを考慮しながら、付加価値創造能力を向上して戦略が必要。

MOT

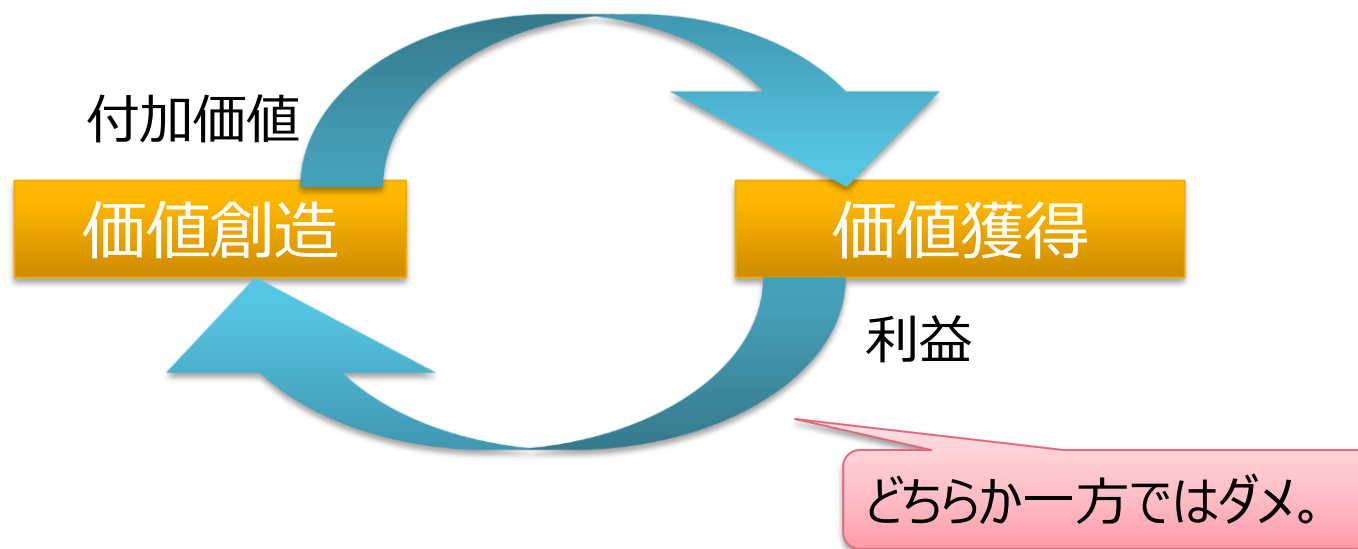
≡

技術戦略

と捉えられることも多い

「長期的な付加価値創造の最大化」、つまり付加価値を継続的に創造し続けるためには、2つの要因が必要。

- 価値を創造する能力
- 価値によって利益を獲得する能力



「価値創造」と「価値獲得」を両立するために、製造業においては技術的な差別化による付加価値創造ができれば理想的である。

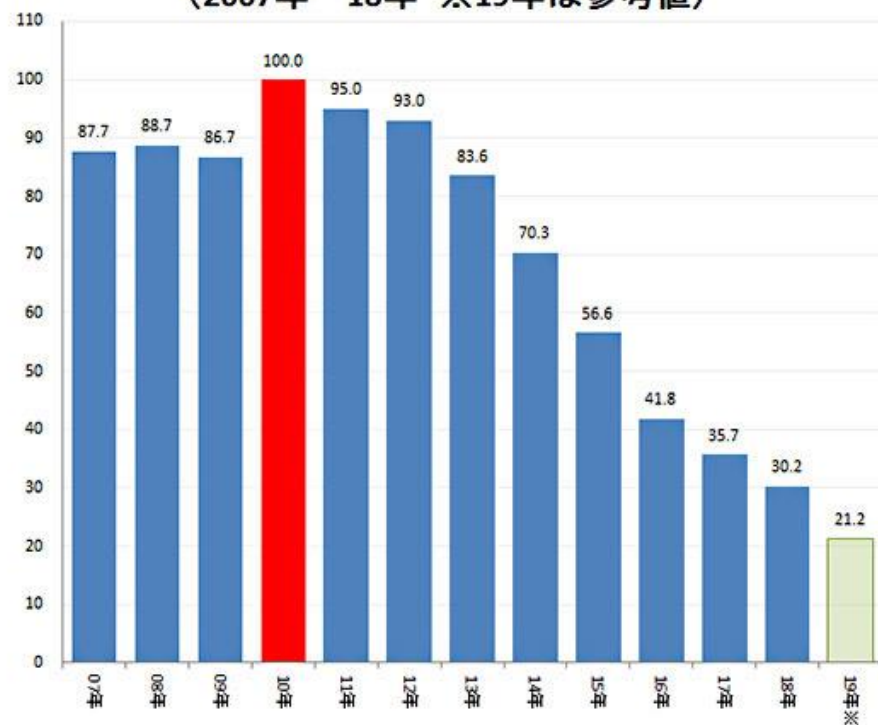
「**技術的な差別化**」＝「すぐに模倣されない技術をつくる」ためには・・

- 長期的な取り組み
- 特定技術への集中 が不可欠

技術的な差別化による付加価値創造

一方でいくら技術的な差別化が実現できたとしても、市場動向やお客様ニーズにも合致しないと付加価値とは言えない。

デジタルカメラ 販売台数指数推移
(2007年～18年 ※19年は参考値)



(時系列) (バネル)

2010年間の販売台数を「100.0」として指数を算出
※2019年は1-10月の販売台数で指数を算出

市場動向

スマートフォンの急速な普及
(2008年頃から)

顧客ニーズ

気軽に写真を撮りたい
写真を共有したい
etc



高機能化、高画素化しても売れない。

差別化と市場、お客様ニーズのトレードオフ

差別化による競争優位性の構築と、市場・お客様ニーズへの柔軟な対応の間にはトレードオフがある。

誰もまねできない（しない）
⇒ ニッチ化しやすい

差別化による競争優位性

多くの参入
⇒ 差別化が困難

市場、お客様ニーズへの対応

長期的な取り組み

特定技術への集中

お客様ニーズ
変化への対応

成長市場への対応

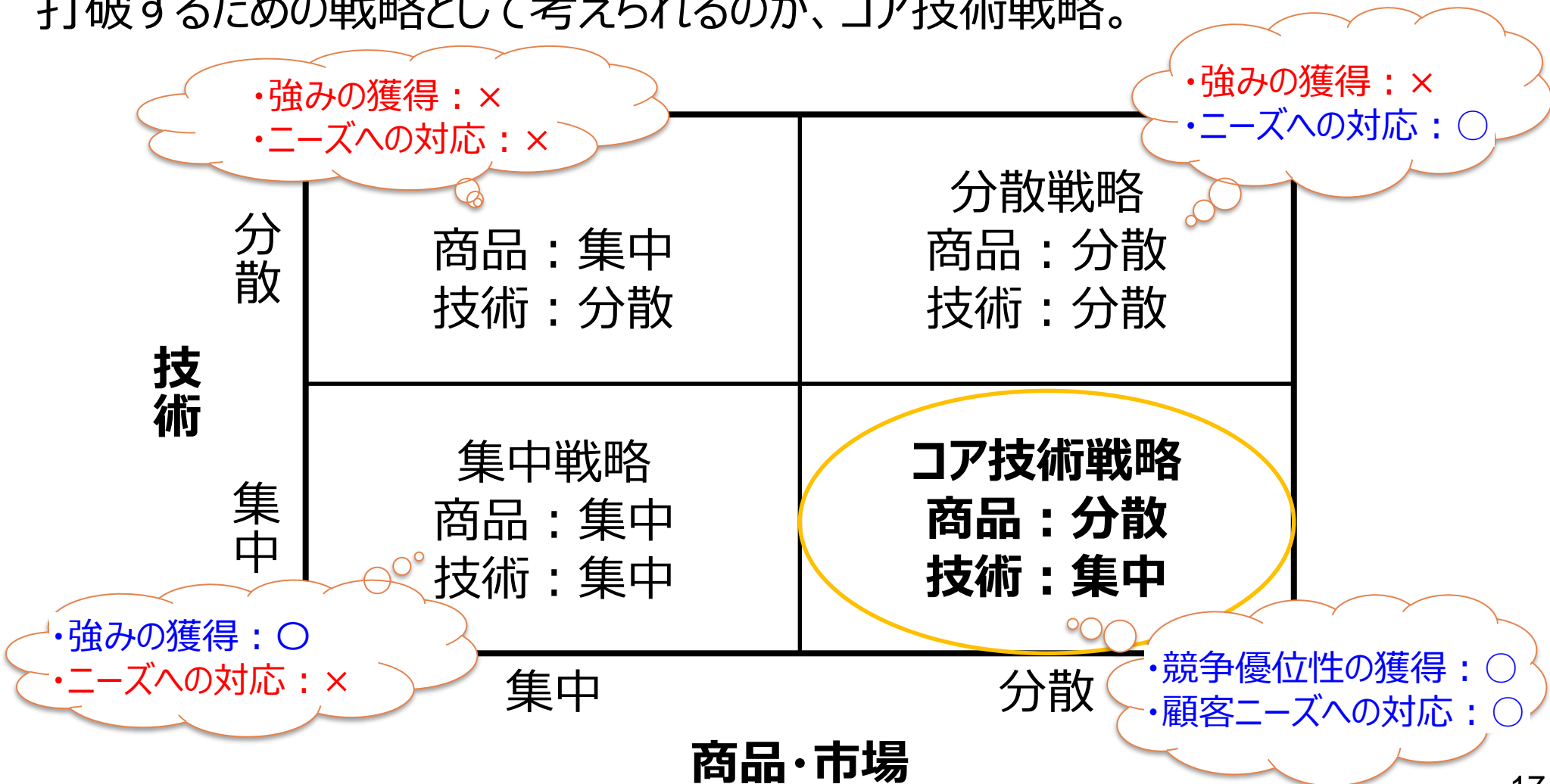
差別化と市場、お客様ニーズのトレードオフ

このような技術への集中的な投資による競争力強化と、柔軟な市場対応の間のトレードオフがMOTの大きな課題の一つ。

このトレードオフの状況を理解した上で、最適な技術、商品戦略と組織マネジメントの仕組みを構築することが求められる。

コア技術戦略

独自技術の構築と市場環境変化への柔軟な対応の間にあるトレードオフを打破するための戦略として考えられるのが、コア技術戦略。



コア技術戦略において、技術は集中して、商品・市場は分散させることの意味は主に3つ。

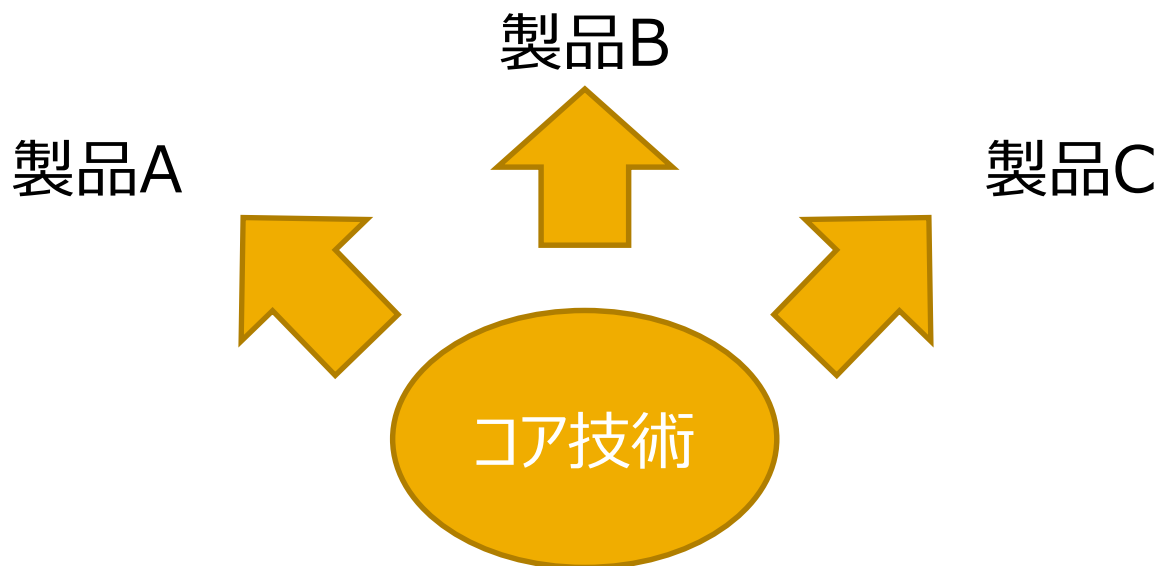
- リスク分散
- コア技術の強化
- 市場形成

- リスク分散

技術的な優位性実現のためには、競合以上に集中的な投資が必要。

しかし、特定の技術に集中することにはリスクがある。

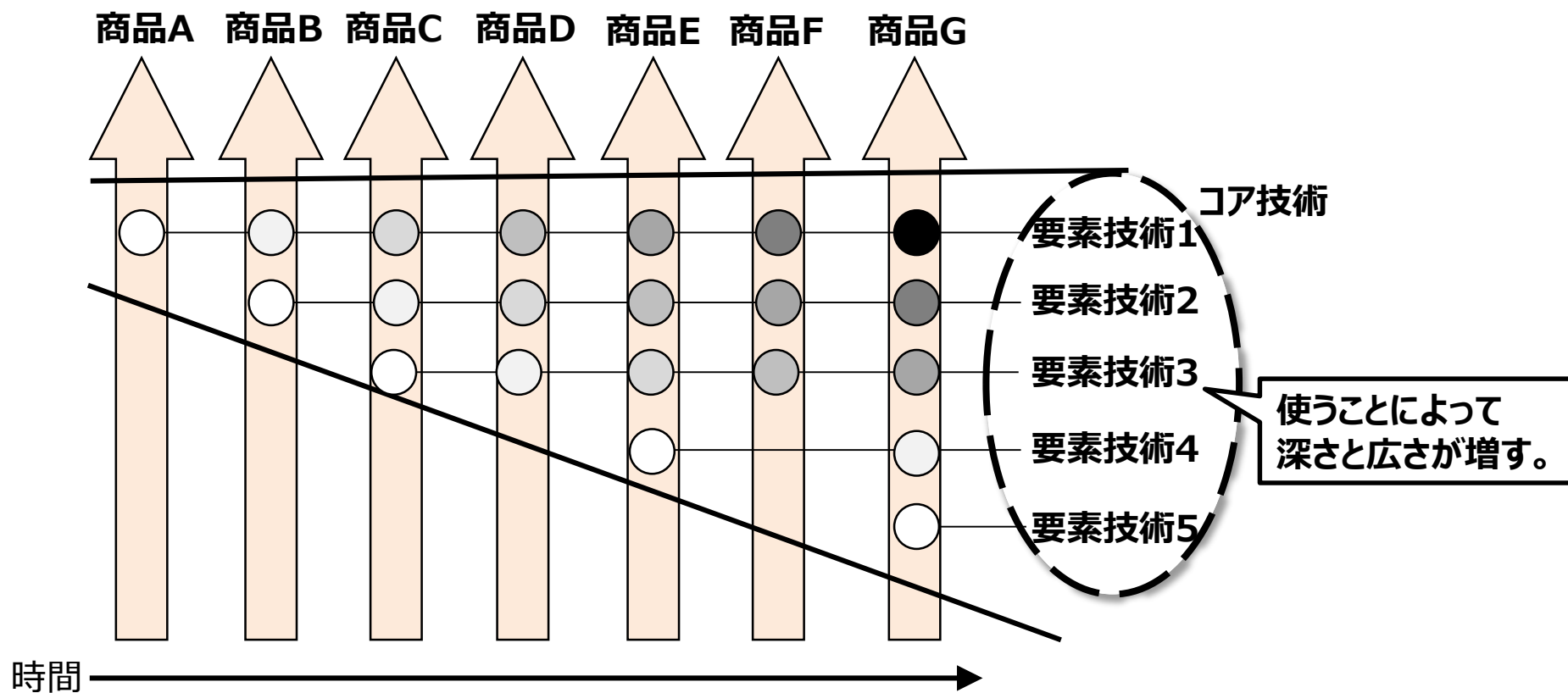
コア技術戦略では、特定の技術分野に集中するが、そこからさまざまな商品を開発・導入することで、集中のリスクを分散させる。



コア技術戦略

● コア技術の強化

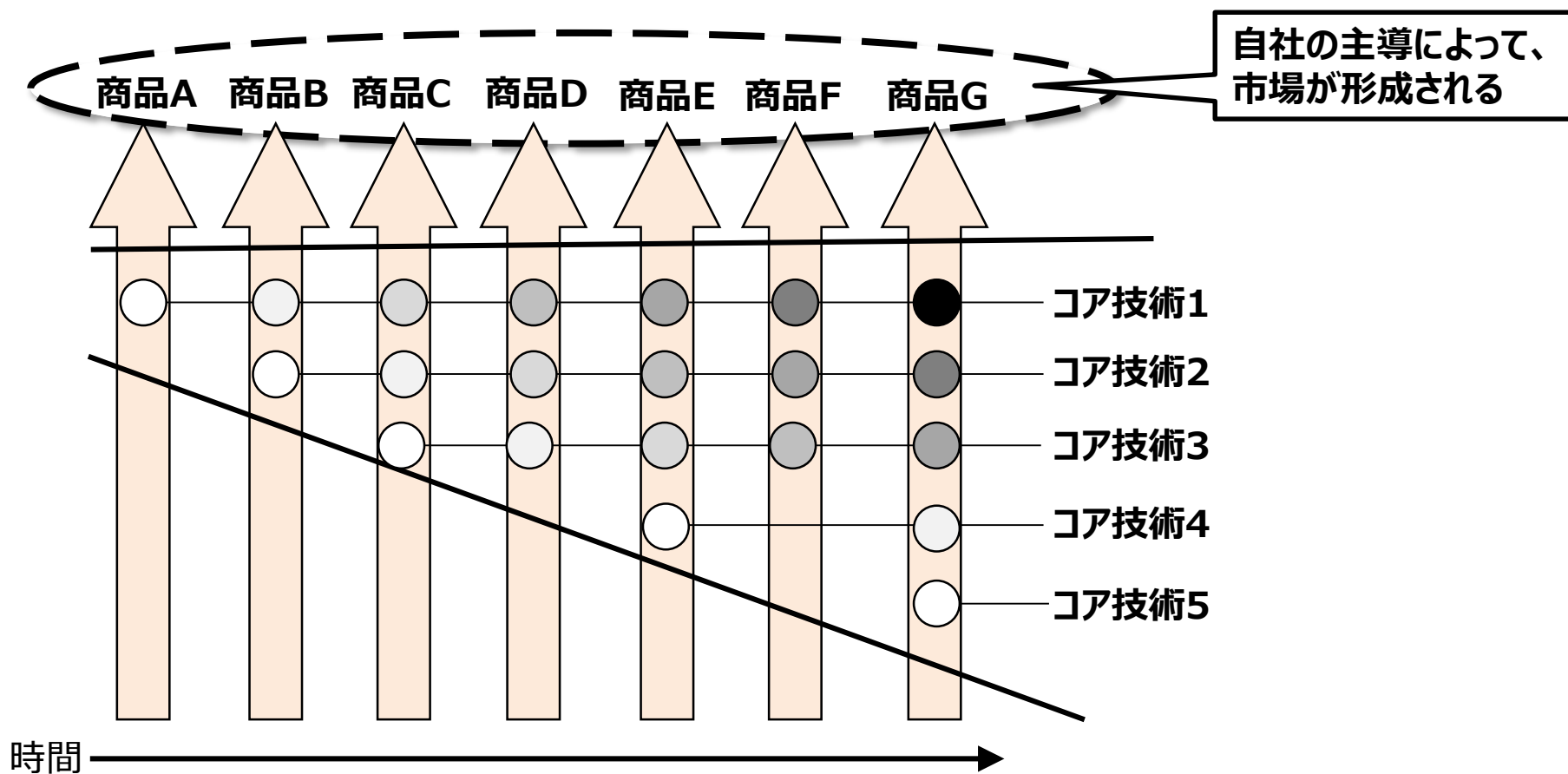
技術力は組織の持つ当該技術に関するさまざまな技術知識の集合。技術知識の多くは、個々の技術者に属人的な形で蓄積される。多様な商品を開発することによって、コア技術を形成する知識体系は深さ、広さが増し、質的にも高度なものとなる。



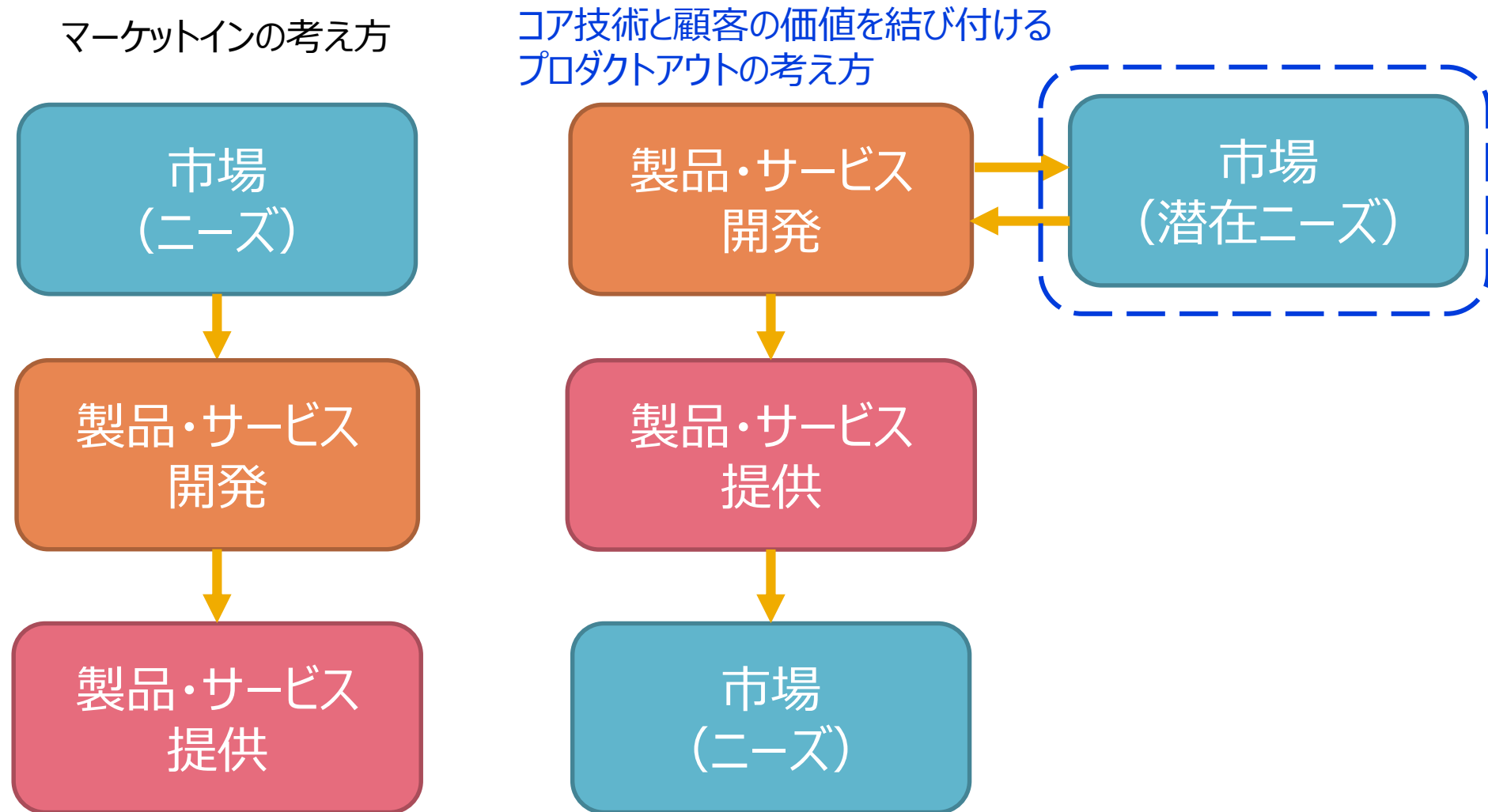
コア技術戦略

- 市場形成

多くの商品を開発・導入することによって、自ら市場を創造することができる。

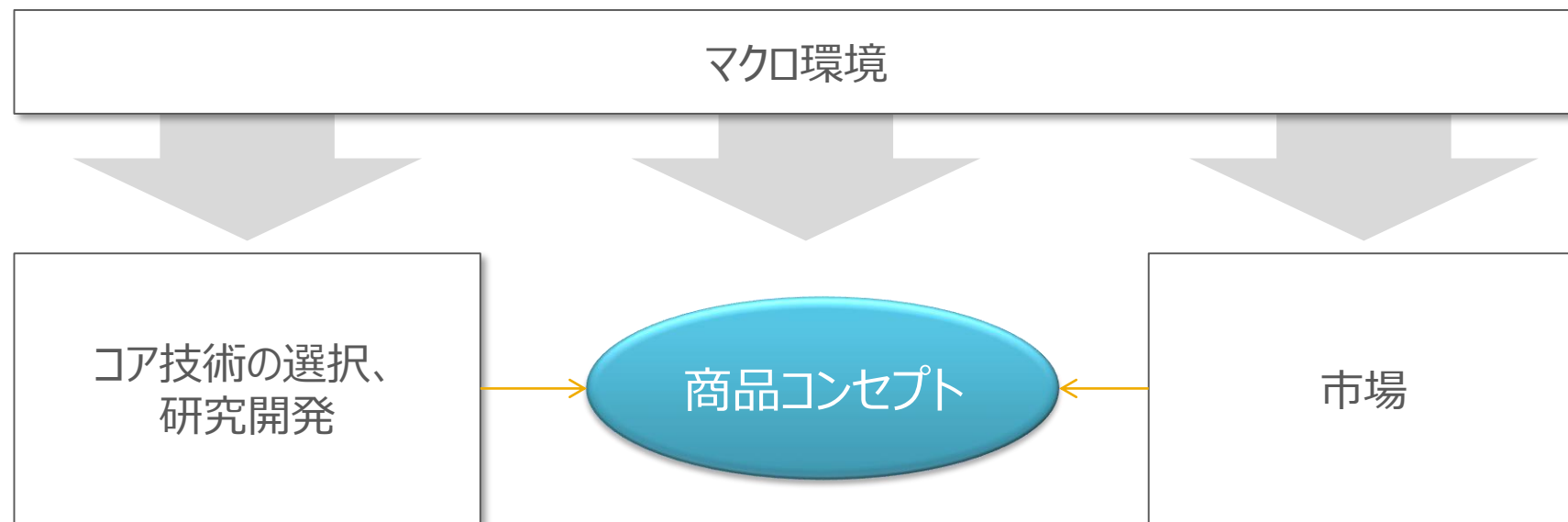


製品・サービス開発の考え方として、マーケットインとプロダクトアウトがある。



複数の企業が競争してもすべてが潤うような市場であれば、マーケットインがよい。しかし、同質的な商品によって競争し、価格が急速に下がり、利益が出ない市場であれば、単に顧客ニーズに合わせただけではダメ。

潜在ニーズを見つけるためにはマクロ環境の変化を把握することが重要



- ① 独自性、差別性の実現性
- ② 顧客価値への重要性
- ③ 応用範囲の広さと柔軟性

「創造的な商品コンセプトを構築するための能力」としては、企業的意思決定プロセス、組織構造、マネジメントが大きく影響する。

ニーズとジョブ ジョブとは「やらなくてははいけないこと」

- 「ニーズ」とはあまり明確な定義がなく、曖昧な言葉。
- 「ニーズがある」と言うときも曖昧になってしまう。
- 実際に「ニーズ」と言うときの意味合いを分析すると、「**お客が商品に向ける関心や行為などの現象**」と定義できる。
- お客の潜在的ニーズという言葉があるが、そのままでは潜在的ニーズは見つけれない。

「いいね」とは言ってくれるが
買ってくれるとは限らない

最近注目されている「ジョブ理論」では、「ニーズ」の代わりに「ジョブ」という考え方で分析を進める手法を提唱している。

ジョブ（言葉）の定義：

「ジョブ」とは“やりたいこと”もしくは（やりたいと思わなかったとしても）“やらなくてははいけないこと”を指す。

ジョブの3つの側面

- 機能的ジョブ：A地点からB地点へ移動する。
- 感情的ジョブ：爽快感を味わいたい。
- 社会的ジョブ：センスがいいと思われたい。

ジョブの因数分解 ジョブを分解して目的を理解する

例えばクルマの解決するジョブを考える。

- 機能的ジョブとして、単に「移動したい」というものや、
- 感情的ジョブとして「爽快感を味わいたい」、
- 社会的ジョブとして「センスがいいと思われたい」、といったものが挙げられる。



- 仮に人の「移動したい」というジョブを解決する際には、自家用車以外にもタクシーや公共の交通機関などと比較した上で本人にとって最適な解決策を選ぶことになる。「爽快感を味わいたい」というジョブの解決には、バイクなども候補になる。
- **機能的なジョブは他の機能的な解決手段と、感情的なジョブは他の感情的な解決手段と「競合」する。**競合する手段よりも優れていないと、人は新たな解決方法を選ばない。
- 機能・感情・社会という3種類のジョブは、ジョブの目的に応じた分類である。機能的ジョブは「どう為し遂げるか」という観点で顧客に評価され、感情的ジョブは「どう感じるか」、社会的ジョブは「どう見られるか」で評価される。ジョブの目的を理解することで、競合する解決手段の問題点や優劣を把握することができる。

「長期的な付加価値創造の最大化」を実現するためには、

「価値創造」と「価値獲得」の両立が必要

このためには真似をされない独自の技術と、顧客ニーズへの合致の両方が重要となる

コア技術の特徴にあわせたプロダクトアウトによって、これを実現できる可能性が高い

この戦略を成功させるためには、自社のコア技術と顧客の価値を結びつけるための、「創造的な商品コンセプトを構築するための能力」が前提条件

2020年度

航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座

ヘリコプタ設計



名古屋大学大学院工学研究科附属
フライト総合工学教育研究センター

航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座

NAGOYA UNIVERSITY AVIATION BUSINESS PROFESSIONAL COURSE

内容

- ヘリコプタ入門
- ヘリコプタの構成要素
- ヘリコプタの空気力学
- ヘリコプタの開発風景
- ヘリコプタの雑学（意外な常識）
- ヘリコプタの将来技術

■ ヘリコプタ入門

- ヘリコプタの歴史
- 形式によるヘリコプタの分類
- ヘリコプタの用途
- 浮揚の原理（運動量理論）
- 飛行の原理

➤ヘリコプタの歴史

1907

1930

1940



亜流

夢見る時代

後一息の悪戦苦闘期

実用一步前

主流



1903年
ライト兄弟初飛行



オートジャイロという解



➤ 形式によるヘリコプタの分類

	シングル ローター	マルチ・ローター			
		縦列配置	横配置	交差反転	同軸反転
					
メリット	機体が比較的コンパクト 方向(ヨ一軸)の操縦が機敏	重心許容範囲が広く、人員・物資の輸送に適する	ローター間の干渉が少なく、効率は良い	機体は比較的コンパクト 機構も比較的単純	機体は比較的コンパクト 方向(ヨ一軸)の操縦も容易
デメリット	尾ローターによる効率低下と騒音の増大	機体全長が長くなり、小型機には不適	機体全幅、重量が極めて大きくなる	ローター回転中は接近不可(特に側方は危険大)	機体全高が高くなる ローター、駆動系統が複雑

➤ ヘリコプタの用途

ヘリコプタの特徴

- 離着陸場所を選ばない
- 空中に静止できる
- 自動車よりは速く移動できる
- 飛行船よりは重い物を運べる

一般用途

- 人員輸送
- 物資輸送
- 警察消防
- 搜索救助
- 救命救急
- 報道取材

軍事用途

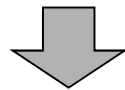
- 偵察観測
- 対潜哨戒
- 対地攻撃

➤ 浮揚の原理(運動量理論)

素朴な疑問を感じませんか？

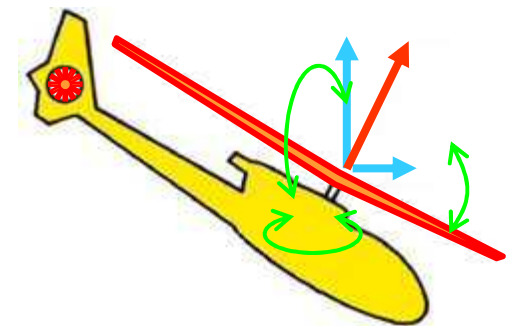
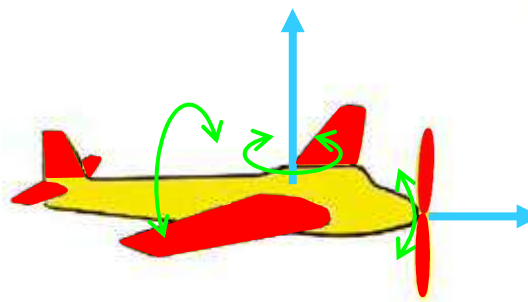
なぜヘリコプタのローターは
あんなに大きいのだろう？

(ドラえもんのタケコプタを、なぜ誰も作ってくれないのだろう？)



そのココロは、運動量理論にあります

➤ 飛行の原理



飛行に必要な力

浮揚力
(空中に浮く)

主翼

()ローター

推進力
(前進する)

プロペラ

()ローター

ピッチ操縦力
(機首の上下)

エレベータ(水平尾翼)

()ローター

ロール操縦力
(左右の傾き)

エルロン(主翼)

()ローター

ヨー操縦力
(方位変更)

ラダー(垂直尾翼)

()ローター

■ ヘリコプタの構成要素

- ローター系統
- 動力・駆動系統
- 操縦・油圧系統
- 自動操縦系統
- その他（胴体構造、コックピット等）

■ ヘリコプタの空気力学

- ブレード翼素理論
- 飛行性能

➤ ブレード翼素理論

運動量理論では、ローターは空気を加速する単なる円盤として扱われた。

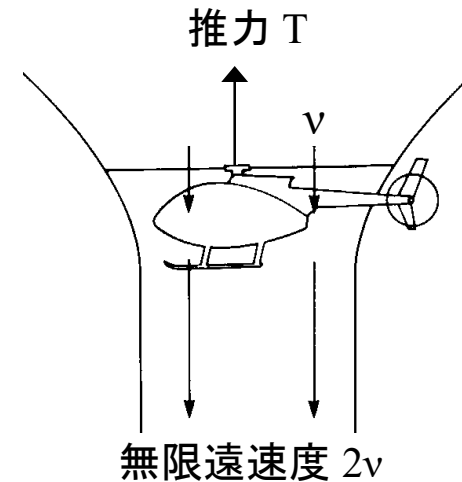


誘導馬力 P_i は算出できるが、ブレード断面の空気抵抗等を含めた実際的な性能計算等を行うことはできない。



誘導速度 v の算出までは運動量理論を用い、発生する空気力はブレード翼断面周りの空気力を積み上げて算出する。

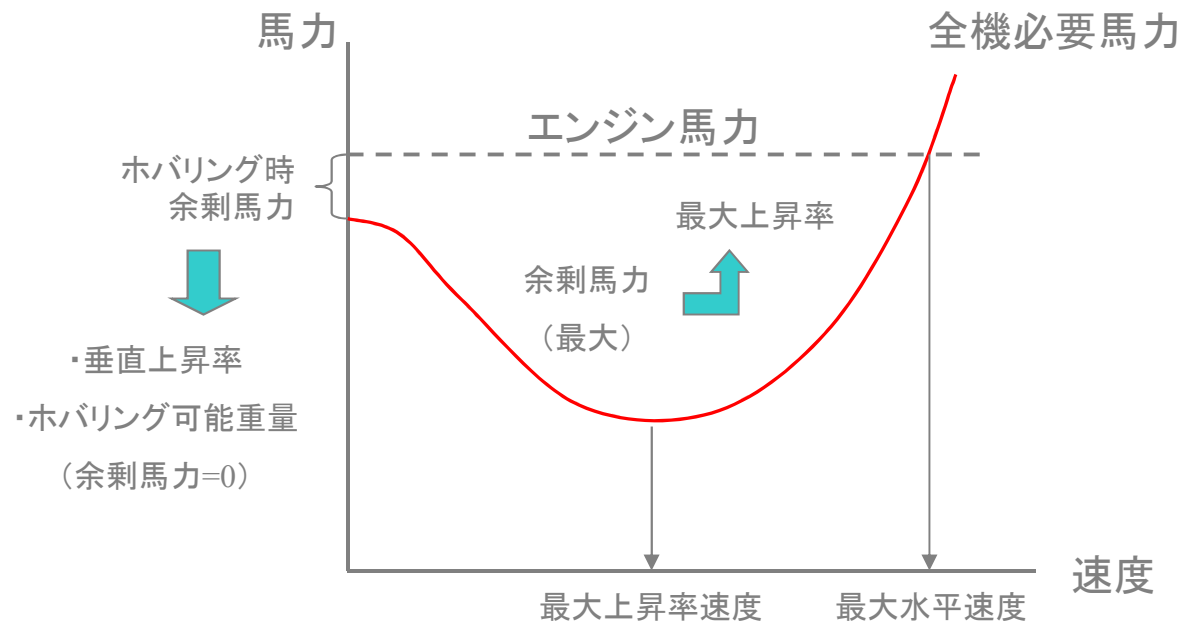
⇒ これが、ブレード翼素理論



➤ 飛行性能

ヘリコプタの飛行性能は、機体を定常飛行させるために必要な全機必要馬力と搭載するエンジンが発生する馬力によって、ほぼ決定される。

⇒ 全機必要馬力が分からないと話にならない。



■ ヘリコプタの開発風景

- 開発前史 — 入口までの長い道のり
- 設計段階 — データ取得とトレード・オフ検討
- 確認段階 — 構成要素の機能・信頼性確認
- 飛行試験 — 機能・性能と実用性の評価

■ ヘリコプタの雑学

- エンジンが止まっても然程怖くはない
- 速く飛べば飛ぶほど失速する
- ローターの回転数は何時でもほぼ同じ
- 大半のヘリコプタは真っ直ぐ前を向いて飛べない

■ ヘリコプタの将来技術

- より速く飛ぶために
- より快適に飛ぶために
- より安全に飛ぶために
- より身近な乗り物を目指して

航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座

ヘリコプタ設計 終了



H145//BK117D-3

Toward a
Promising
Future 

「航空機降着装置の設計・製造 と技術動向について」



住友精密工業株式会社

技術長 高橋 教雄

2020年 11月 21日

本日の講義の目次

1. 住友精密工業株式会社概要
2. 民間航空機装備品事業の取組
3. 装備品とは
4. 降着装置の役割・構造・メカニズム
5. 降着装置用材料と構造設計
6. 降着装置の設計検証
7. 降着装置の加工工程
8. 腐食の怖さ(Dash8-Q400のカク座事故)
9. ATA32降着装置システムの技術動向
10. まとめ

国内の拠点 本社・工場・子会社



尼崎本社・工場



滋賀工場

資本金: **10,311**百万円

工場面積: **149,000** m²
(尼崎、滋賀、和歌山)

従業員数:

1,067名

1,765名



東京本社

SPH

SPPNECO

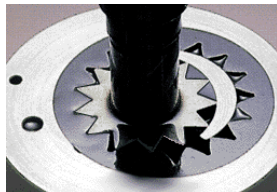
和歌山工場

名古屋営業所



事業領域

航空宇宙機器



クーラントポンプE3P



油圧機器



MEMS/ 半導体加工装置 ・デバイス



Ozone generator
(SAG series)

中型オゾン発生器

オゾン発生装置 (環境事業)

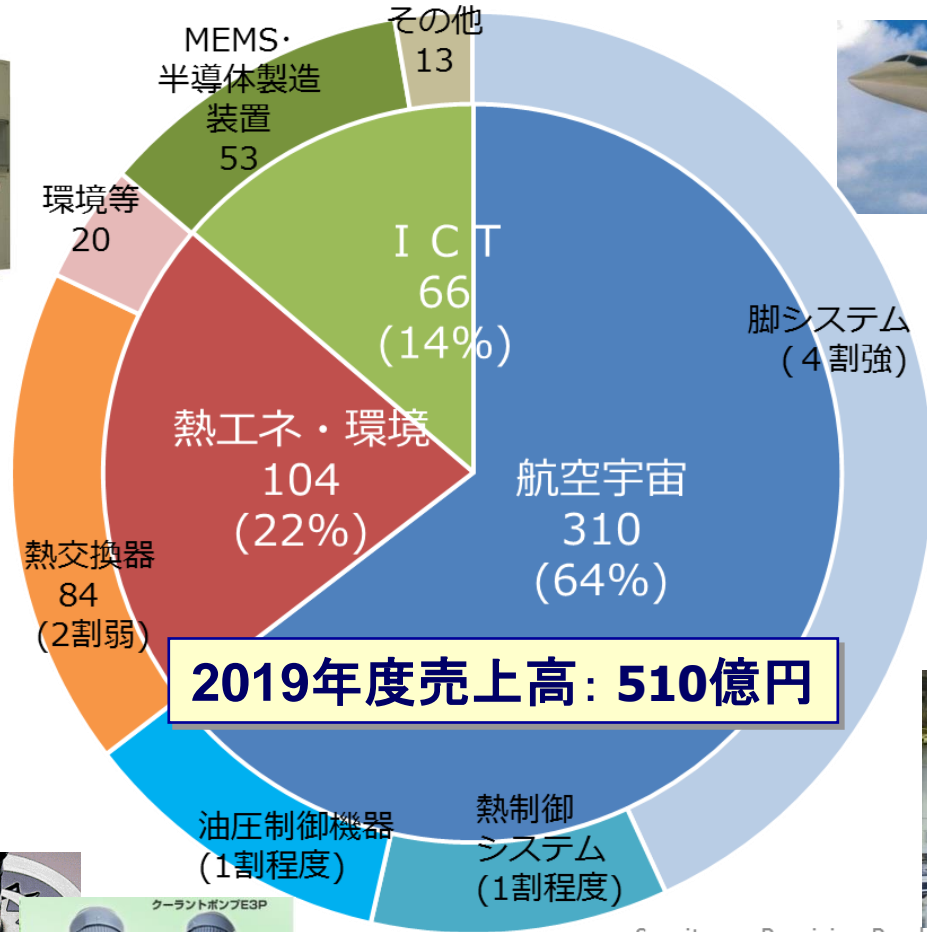
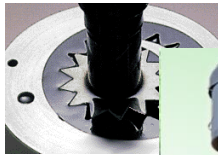


小型オゾン発生器

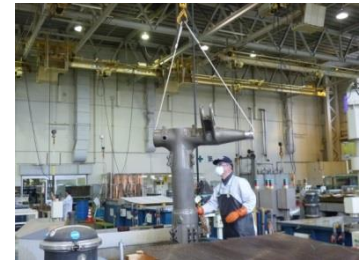


産業用熱交換器 (熱エネルギー事業)

全社売上比率



2019年度売上高: 510億円



Sumitomo Precision Products Co., Ltd.

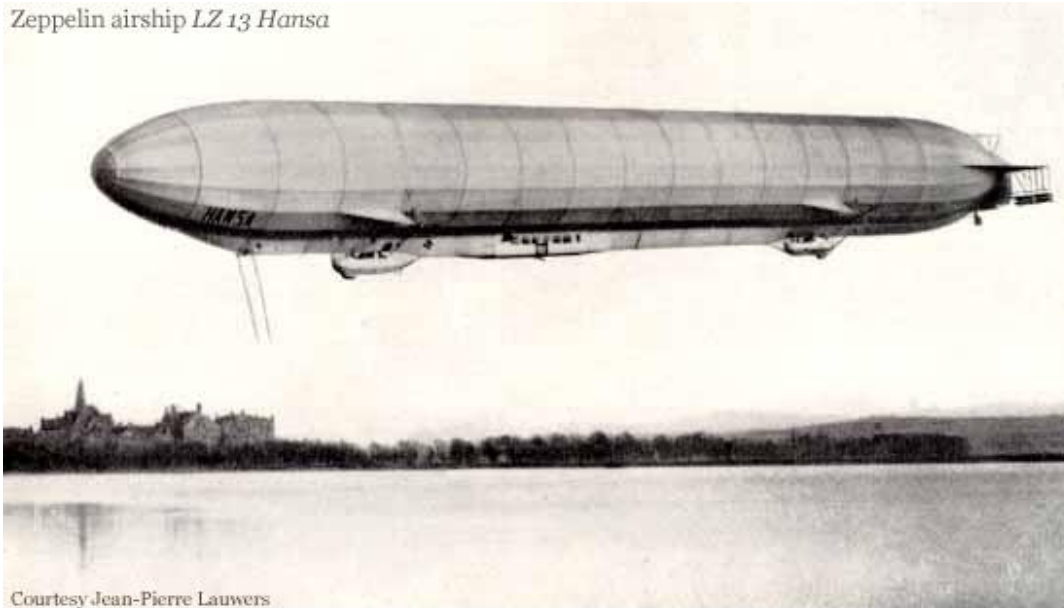
2. 民間航空機装備品事業の取組

降着装置製造の原点は？

航空機事業の原点

- 第一次世界大戦時(1917年)、日本の英国駐在海軍武官経由で飛行船ツェッペリン号のAI合金破片を住友精密工業の前身である、住友伸銅所が入手。
- 住友伸銅所にて分析の結果、新合金(ジュラルミン)と判明。
- 住友伸銅所は1920年にジュラルミンの工業生産を開始した。

Zeppelin airship LZ 13 Hansa



Courtesy Jean-Pierre Lauwers

Zeppelin LZ 13 flew its first flight 30 Jul 1912 and would log 44,437 km over 399 trips while in service as *Hansa* under the DELAG banner. Last flown commercially, a flight from Dresden, on 29 Jul 1914, *Hansa*, which had carried 6217 passengers, was pressed into the service of the German army at the outset of World War I. Later employed as a naval training vessel before the 18,700 m³ rigid airship was dismantled in Aug 1916 at Jüterbog.



日本に送付された破片標本
(現在もUACJ (旧住友軽金属工業)に保存)

航空機事業の再開

- 1955年、プロペラ修理、ならびに加工方法がプロペラと類似していた脚（F-86）の修理を開始。
- 1956年、T-34用Oil Coolerを国産化。ブレイジングによる熱交換器の製造工程を確立。
- 1959年、日本航空機製造の設立に伴い資本参加しYS-11用脚開発に参画。
- 1961年、プロペラ製造、脚・熱交換器の開発・製造を担当する専門会社として住友精密工業に分離独立。
- YS-11用脚の開発・製造ならびにプロペラ整備を担当した。



YS-11用脚
及びプロペラ



民間航空機用脚市場への参入



B767機用脚部品前脚トルク・チューブ

**YS-11, C-1, T-2/F-1,
T-4は独自開発**

**F-4, F-15, P-3C, SH60,
CH-47, F-2はライセンス生産**

**下請け加工から
海外民間機市場への
進出を目指す。**

1979年以降、米国脚メーカーから、Built-to-PrintでB737/757/767脚部品の下請け加工を受注し、2003年まで生産継続した。

国内での降着装置製造実績は豊富であったが、海外民間航空機市場での実績がなく、顧客から降着装置メーカーとして認知されず、大きな成果が得られなかった。

注： Built-to-Print 図面に従っての製作

脚組立の設計開発初受注

1997年、Bombardier Aerospace社が開発する70席クラスCRJ700機用脚システムを競合他社と競合して初受注。その後派生機900/1000を相次いで受注。





SUMITOMO PRECISION

初めてのTier-1受注 (HONDA JET)



Nose Landing Gear



Main Landing Gear



Extension & Retraction Control Unit



Steering Control Unit



Rudder Position Sensor



Steering Control Valve & Actuator

降着装置システムTier1受注 (MRJ90)

21th November 2020



Nose Landing Gear



Main Landing Gear



Tail Skid



SUMITOMO PRECISION

航空エンジン用熱交換器への参入経緯

- **1981 RRとRJ500エンジン用熱交換器(開発試験用)を受注**
- **DornierよりDo228機用エンジン・オイルクーラを受注 (量産用として初受注)**
- **1983 Fokker社よりF-50機用エンジン・オイルクーラを受注
(本格的に航空エンジン・ビジネスに参入)**
- **1985 (財)日本航空機エンジン協会よりV2500エンジン用熱交換器を受注**
- **1990 RRよりTrent 700エンジン用熱交換器を受注**
- **1993 RRよりBR710エンジン用熱制御システムを受注**
- **2004 RRよりTrent 1000エンジン用熱制御システムを受注**
- **2006 RRよりBR725エンジン用熱交換器を受注**
- **2009 RRよりTrent XWBエンジン用熱制御システムを受注**
- **2013 Techspace AeroよりPassport 20エンジン用熱制御システムを受注**
- **RRよりTrent XWB 97Kエンジン用熱制御システムを受注**
- **2014 RRよりTrent 1000-TENエンジン用熱制御システムを受注**
- **RRDよりBR700NGエンジン用熱交換器を受注**



SUMITOMO PRECISION

Heat Management System for V2500



Airbus A319



Airbus A320



Airbus A321



Boeing MD-90



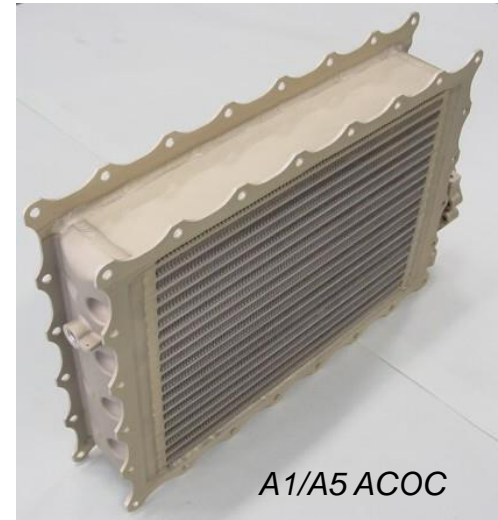
A1 FCOC



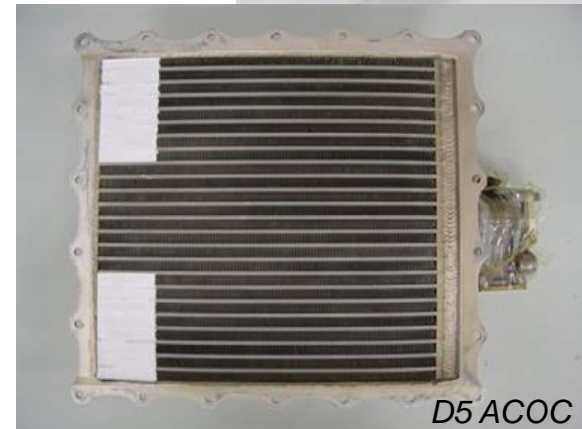
A5 FCOC



D5 FCOC



A1/A5 ACOC



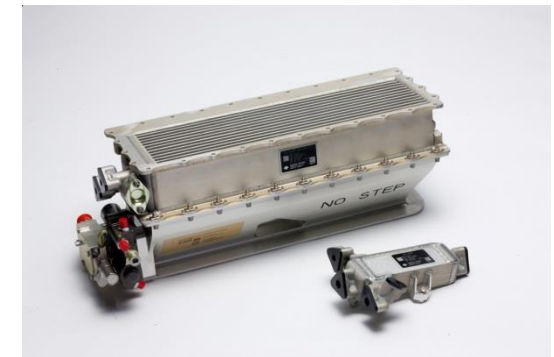
D5 ACOC

熱制御システム製品例 (Trent 1000)

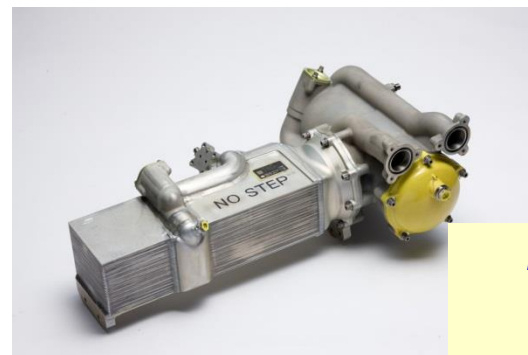
Boeing 787 Dreamliner 向けRolls-Royce Trent 1000Engine Heat Management System (HMS) を開発。



Engine SAOHE(Surface Air Cooled Oil Heat Exchanger)



Starter/Generator AOHE(Air Cooled Oil Heat Exchanger) and FOHE(Fuel Cooled Oil Heat Exchanger)



Engine FOHE(Fuel Cooled Oil Heat Exchange)

熱制御システム製品例 (Trent XWB)



**Engine
SAOHE(Surface Air
Oil Heat Exchanger)**

**VFG SACOC(Surface
Air Cooled Oil Cooler)**



**Engine FOHE(Fuel Cooled
Oil Heat Exchange)**



Airbus A350XWB

3. 装備品とは

Tier 1 Supplierって何？

3.1 装備品って何？

- (民間)航空機は機体構造以外にエンジン・電力・油圧・操縦・飛行制御・通信・空調・防火・降着装置等の装備品で構成されて始めて(民間)航空機として運用可能となります。
- 装備品を製造するメーカーは“機体メーカー”ではありません。
- ATA (Air Transport Association of America)で分類されている装備品を系統的に右の表に示す。
- 各系統単位を系統またはSYSTEMと呼び、これらのSYSTEM単位をまとめる能力があるメーカーをSYSTEM INTEGRATORと呼んでいます。

ATA Numbering
ATA21: AIR CONDITIONING
ATA22: AUTO FLIGHT
ATA23: COMMUNICATION
ATA24: ELECTRICAL POWER
ATA25: EQUIPMENT/FURNISHINGS
ATA26: FIRE PROTECTION
ATA27: FLIGHT CONTROL
ATA28: FUEL
ATA29: HYDRAULIC POWER
ATA30: ICE AND RAIN PROTECTION
ATA31: INDICATING AND RECORDING SYSTEMS
ATA32: LANDING GEAR
ATA33: LIGHTS
ATA34: NAVIGATION
ATA35: OXYGEN
ATA36: PNEUMATIC
ATA38: WATER/WASTE
ATA45: CENTRAL MAINTENANCE SYSTEM (CMS)
ATA47: INERT GAS SYSTEM (IGS)
ATA49: AIRBORNE AUXILIARY POWER
ATA52: DOORS
ATA70: ENGINE

出典 : ATA Spec 2200 Table 3-1-3.5. Definitions of Aircraft Groups, Systems, and Subsystems

3.2 代表的な装備品メーカー

機種 メーカー	A380	B787	CRJ700/900/ 1000	EMB170/190	SSJ100	ARJ21	MRJ-70/90
Goodrich	主脚・胴体脚	電動ブレーキ エンジン・ナセル 灯火システム	降着装置		ブレーキ・システム	灯火システム	ブレーキ・システム
Hamilton Sundstrand	空調システム 電源システム	空調システム 電源システム 補助動力装置 窒素発生装置	電源システム	空調システム 補助動力装置 電源システム	電源システム	補助動力装置 電源システム 高揚力システム	空調システム 電源システム 補助動力装置 高揚力システム
Honeywell	アビオニクス	<ul style="list-style-type: none"> • 2012年9月合併しUTC Aerospace Systemsに。 • 2012年売上高; \$13 Billion • 787装備品Work Shareが25% (日本企業連合:機体構造の35%) 					
Liebherr Aerospace	抽気システム						
SAFRAN Landing Systems	前脚						
Parker Aerospace	燃料システム	油圧システム	油圧システム 高揚力システム	油圧システム 操縦システム 燃料システム	油圧システム	油圧システム 操縦システム 燃料システム	油圧システム
Rockwell Collins	アビオニクス	アビオニクス	アビオニクス	アビオニクス		アビオニクス	アビオニクス
Thales	アビオニクス	電源変換システム	アビオニクス	アビオニクス	アビオニクス		

• 2018年11月UTC Aerospace Systems に併合されて Collins Aerospace に。売上高;\$20 Billion

欧米企業がM&Aを繰り返して巨大企業化(Super Tier -1化)し、世界のあらゆる民間航空機開発に参画している。日本企業のTier-1 としての参加は稀なケース。

3.3 装備品って何？ : ATA32 降着系統

例えば降着系統の場合には下記の
SUB-SYSTEMから構成される。

1. 主脚
2. 前脚
3. 脚揚降
4. ホイール・アンド・ブレーキ
5. 前脚ステアリング
6. ポジション検知及びモニタリング

MRJ脚開発では上記1～6項を全て
SPPが担当し、SYSTEM
Integrationにチャレンジしてい
ます。

ATA32: LANDING GEAR	
ATA3210: MAIN LANDING GEAR AND DOORS	
ATA3211: Main Landing Gear (MLG)	
ATA3220: NOSE LANDING GEAR AND DOORS	
ATA3221: Nose Landing Gear (NLG)	
ATA3230: EXTENSION AND RETRACTION	
ATA3231: Landing Gear Control System	
ATA3232: Landing Gear Extension and Retraction System	
ATA3240: WHEEL AND BRAKES	
ATA3241: Wheel Brake System	
ATA3242: Anti-Skid System	
ATA3243: Parking/Emergency Brake System	
ATA3244: Wheel/Tire	
ATA3250: STEERING	
ATA3251: Steering System	
ATA3260: POSITION AND WARNING	
ATA3261: Monitoring and Alerting System	

4. 降着装置の役割・構造・メカニズム

コンパクトにするための工夫は？

4.1 降着装置の役割

- ① 地上での航空機支持
- ② 地上での、走行(タクシング)、操向(ステアリング)、制動(ブレーキング)
- ③ 揚降機構(離陸後の収納、着陸前の展開)
- ④ 着陸緩衝機能

航空機の場合、設計着陸沈下速度：10 ft/sec

実際には、3 ft/sec以下のケースが圧倒的に多い。

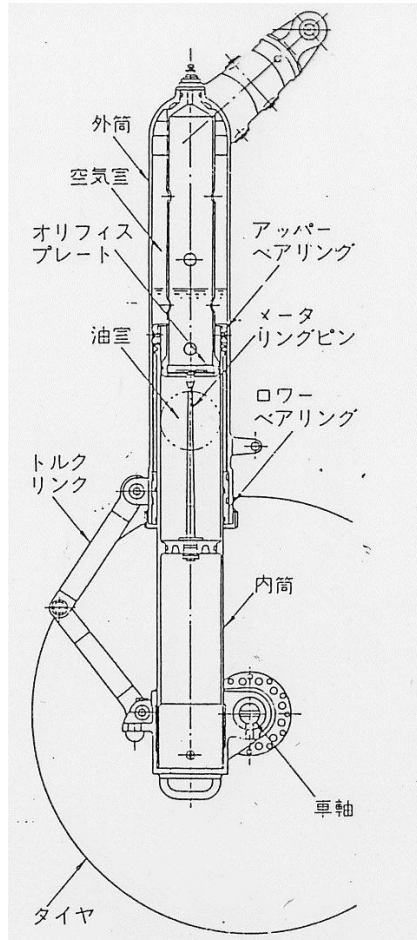
基本的な役割としては、自動車で求められる「走る」、
「曲がる」、「止まる」に加えて、降着装置の場合には、
「着陸する」、「離陸する」の役割が追加して求められます。

但し、飛行中は無用のため、極限までの重量軽減や、
空気抵抗低減の面から軽量化とコンパクトな収納形態
などが必須となります。

4.2 緩衝機構

- 航空機には1918年に考案されたオレオ(Oleo)と呼ばれる空気-油式の緩衝装置をほぼ100%採用しています。

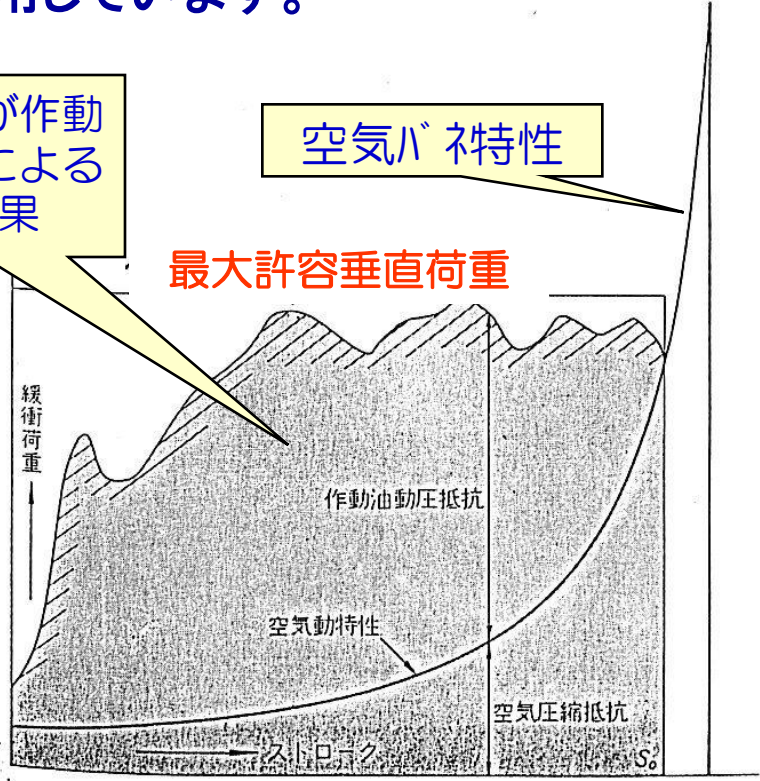
YS-11 主脚の衝撃吸収構造図



この範囲が作動油の粘性による緩衝効果

空気バネ特性

↑ 緩衝荷重



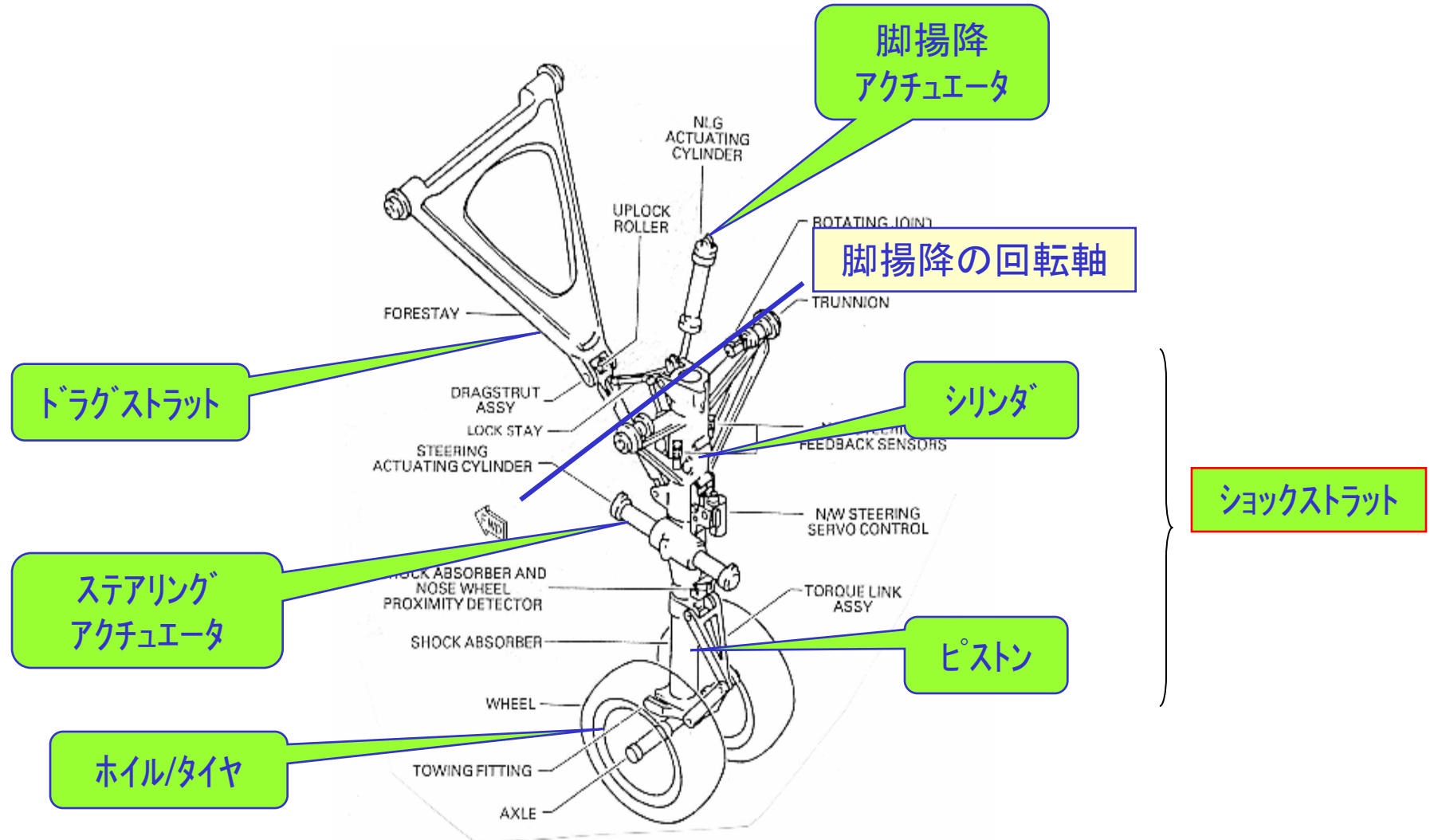
ストローク量 →

引用: 航空機と設計技術

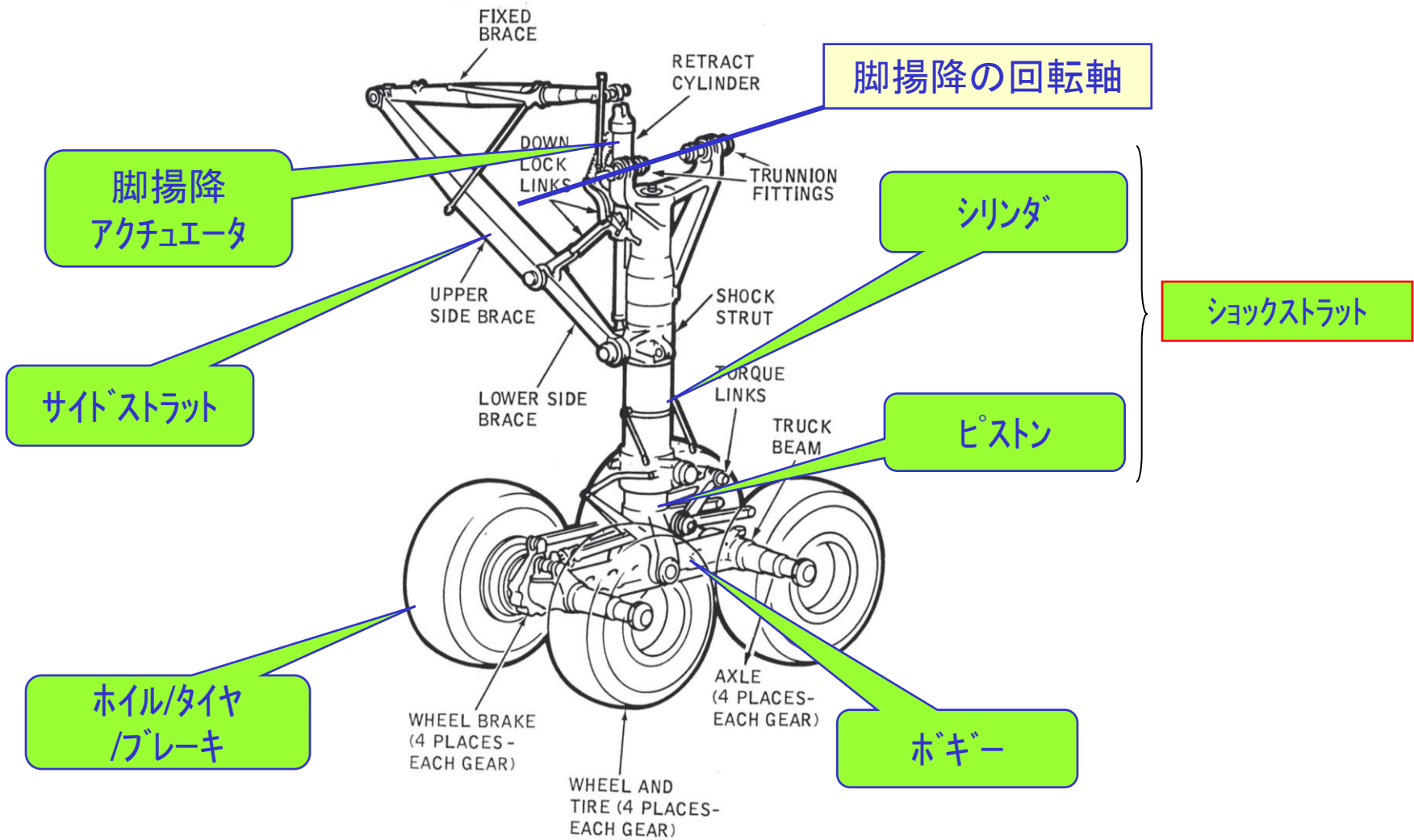
衝撃干渉性能図

ストローク対緩衝荷重を如何に平坦にするか課題です。

4.3 降着装置の構造：前脚



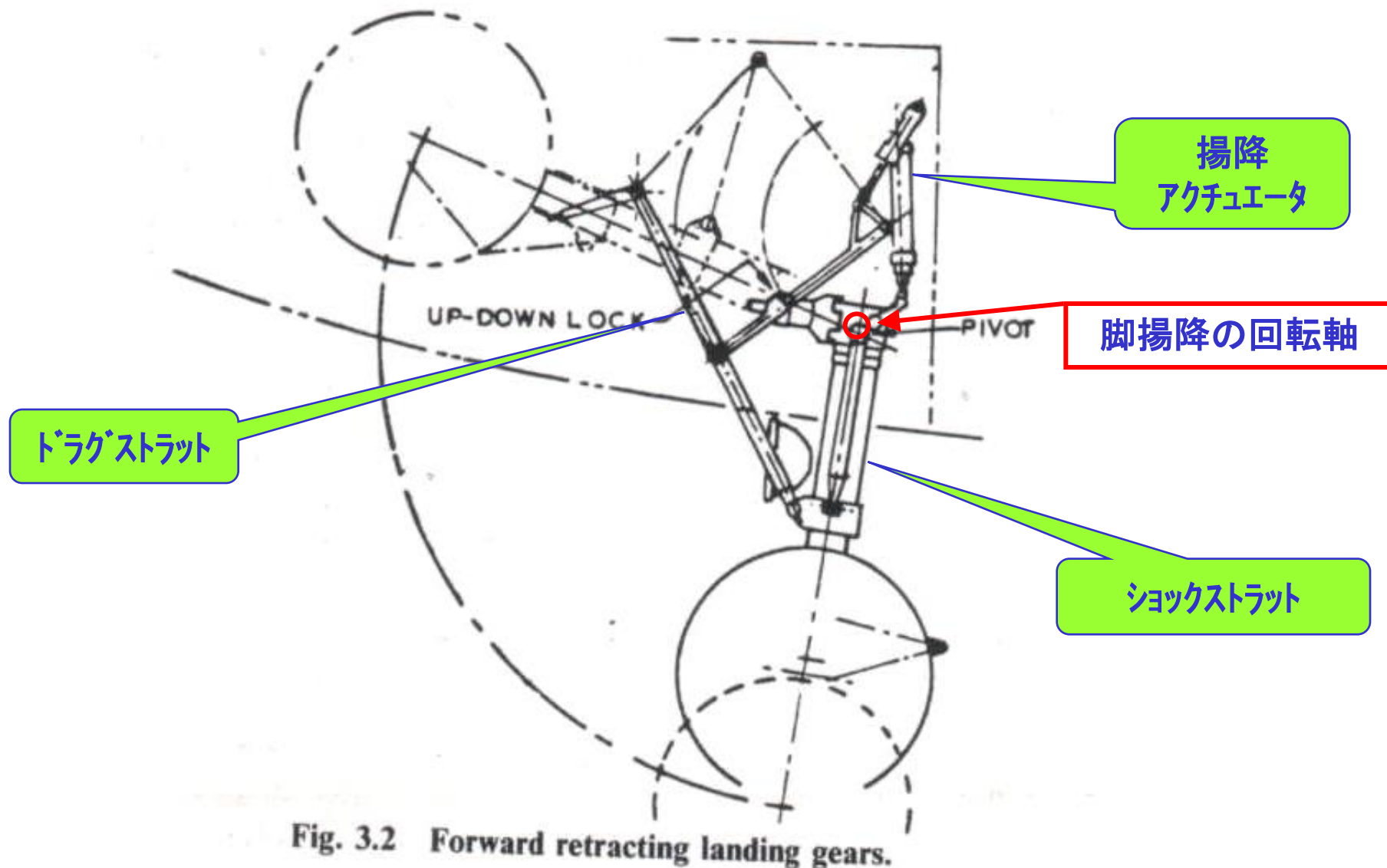
4.3 降着装置の構造：主脚 4輪ボギー





SUMITOMO PRECISION

4.4 脚揚降のメカニズム- 前上げタイプ -



SPP 4.4 脚揚降のメカニズム- 横上げタイプ -

SUMITOMO PRECISION

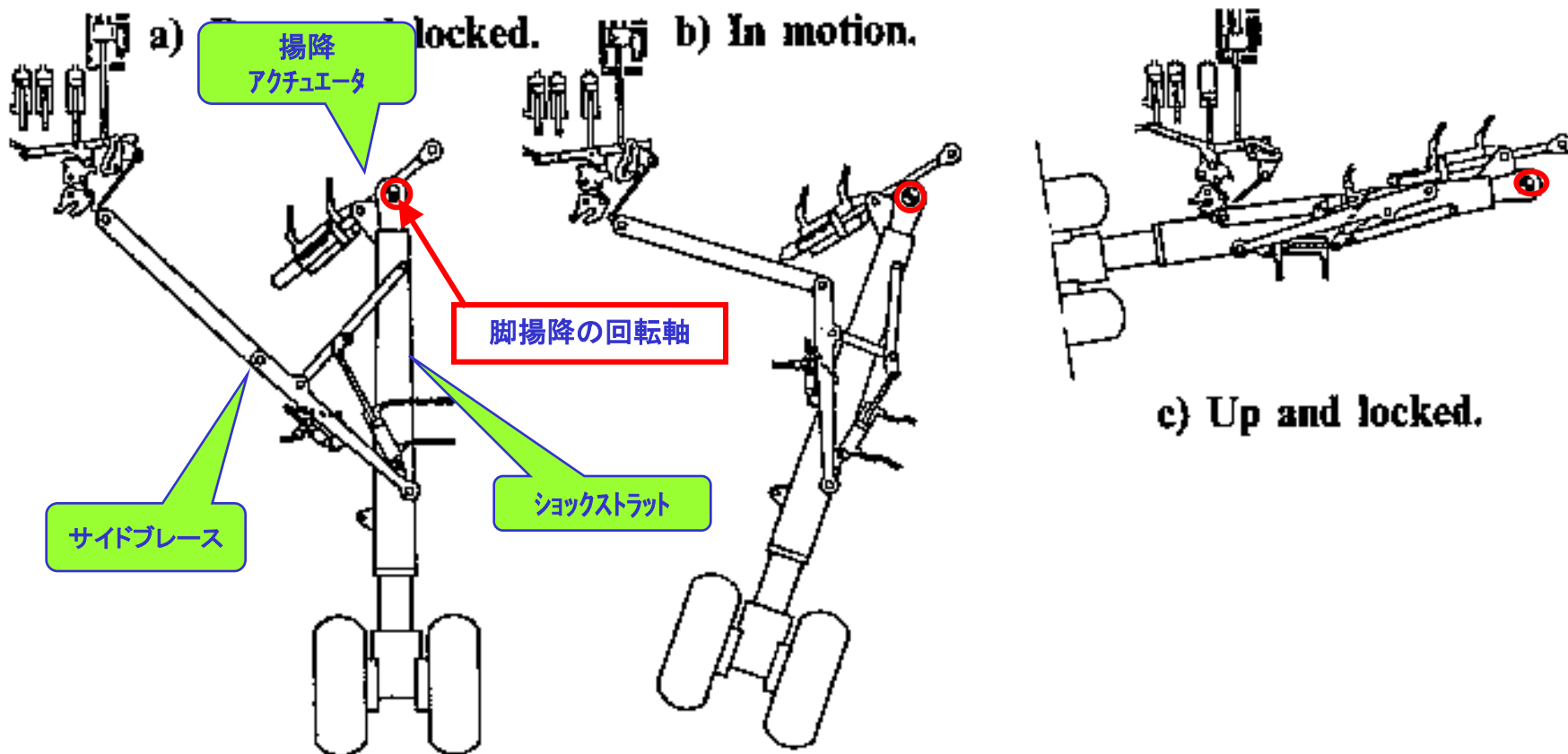


Fig. 8.10 A-300B main gear operation (source: Aerospatiale).

5. 降着装置用材料と構造設計

安全寿命設計するために

5.1 降着装置用材料

主要部材には、以下の条件を満たすため、引張り強さ1920-2050MPaの**超高抗張力鋼(300M鋼)**が最近ではよく用いられる

1. 大きな荷重に耐えること。
2. 飛行機の寿命に耐えること。
3. 重量を極小化すること。
4. 狭いスペース内で成立すること。

使用材料(重量%順)

1. 低合金鋼(4340、4330M、**300M**、etc) ← 鉄
2. **アルミ**合金(7075、7050、7175、etc)
3. 高合金鋼(15-5PH、PH13-8Mo、etc) ← ステンレス
4. **チタン**合金(6Al-4V、6Al-6V-2Sn、10V-2Fe-3Al、etc)

5.2 自動車用鉄鋼材との強度比較

2,000MPa (300M)

Landing Gear



1,500MPa (4330V)

Landing Gear



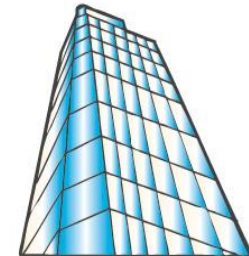
1,250MPa

Automobile (Super-High-ten)



600MPa

Construction, Bridges,
Automobile (High-Ten)



400MPa

Automobile

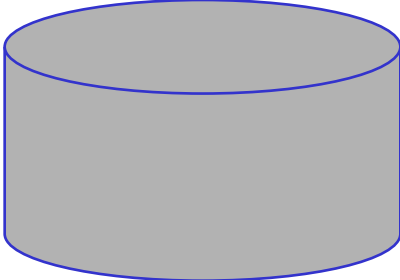
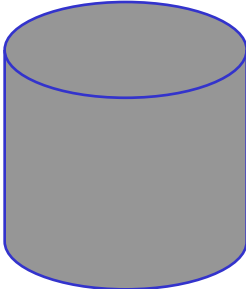


5.3 比強度の効果

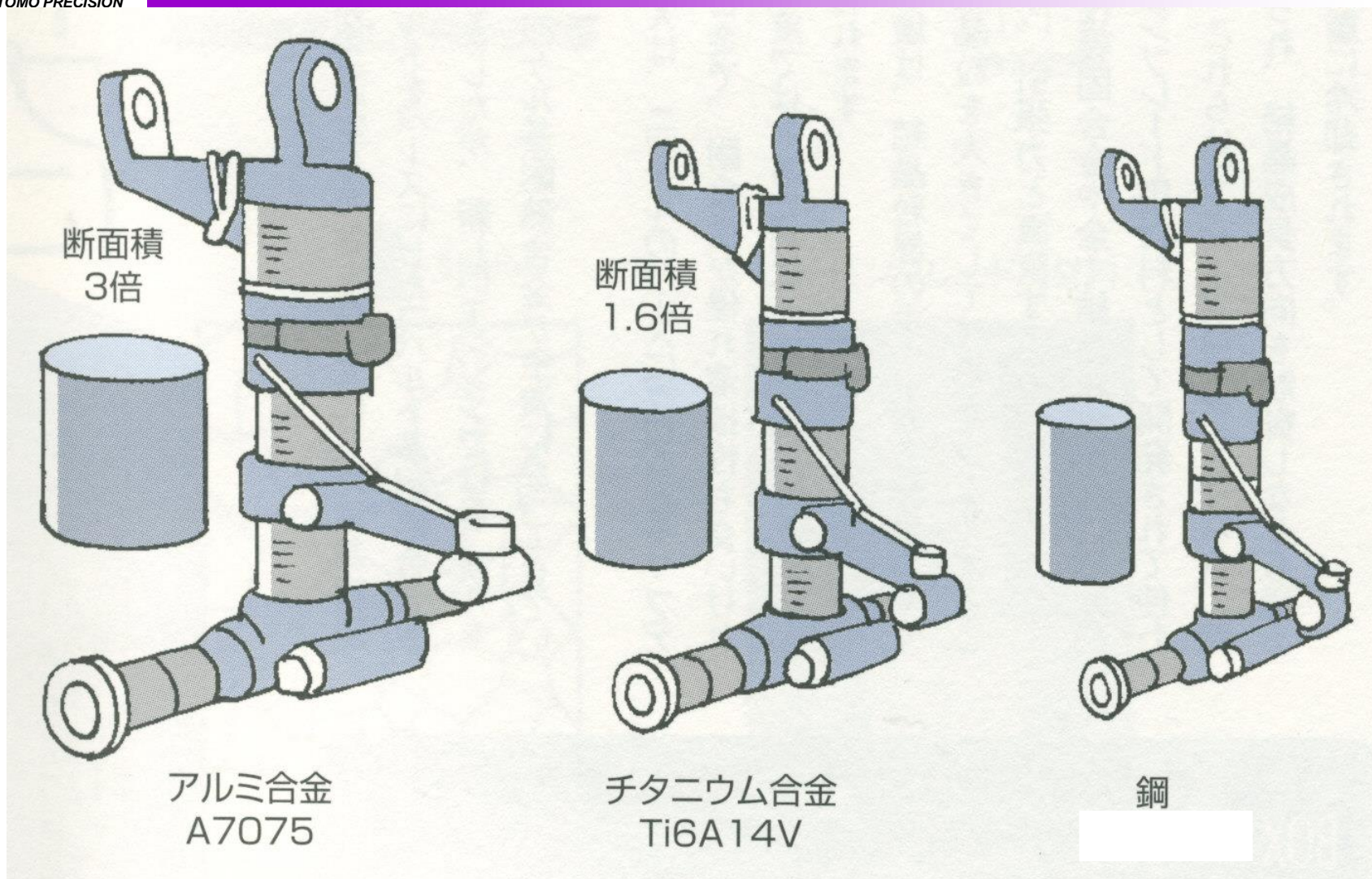
$$\text{Specific Strength} = \frac{(\text{Strength})}{(\text{Density})}$$

	Aluminum	Steel
Strength	490MPa	2,000MPa
Density	2.80g/cm ³	7.83g/cm ³

To have same strength...

		
Volume	400	100 Compact
Weight	145	100 Light
Specific Strength	175(kN·m/kg)	255(kN·m/kg)

5.4 緩衝装置 (Shock Strut) の材料と容積の関係



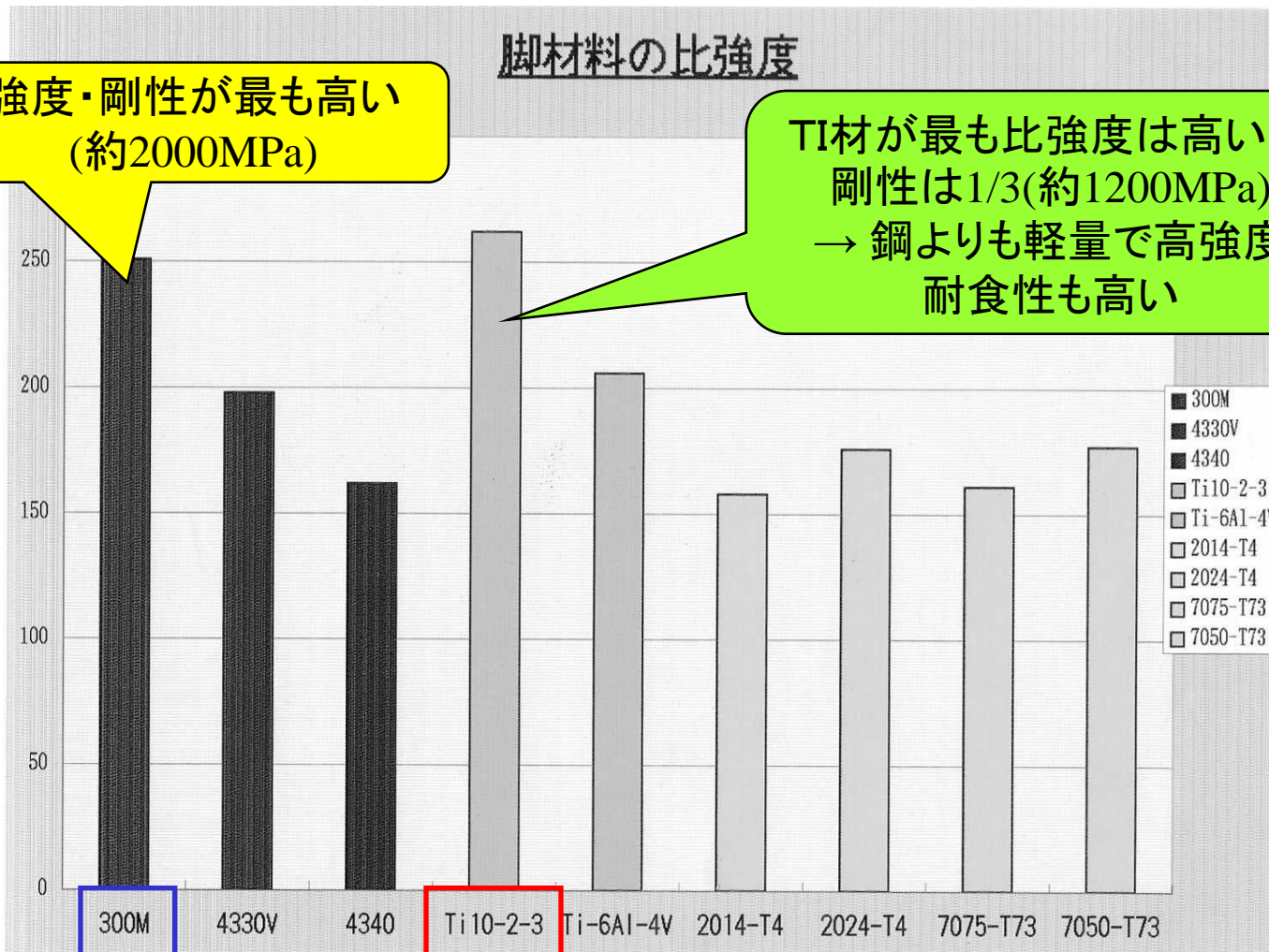
(引用：航空工学の本)

5.5 高強度材料に対する比強度(強度÷比重)

脚材料の比強度

強度・剛性が最も高い
(約2000MPa)

Ti材が最も比強度は高いが
剛性は1/3(約1200MPa)
→ 鋼よりも軽量で高強度
耐食性も高い



Paris Airshowから大型脚のMockup



787/A350 Main Landing Gear



A350 Double Side StayはTi製

5.6 降着装置(脚)の強度計算(1/10) 21th November 2020

強度計算手順

1. 各運用条件ごとの脚に入る荷重情報を得る



2. 各部材に入る荷重を算出する



3. 各部材の主要断面に生じる応力を算出する

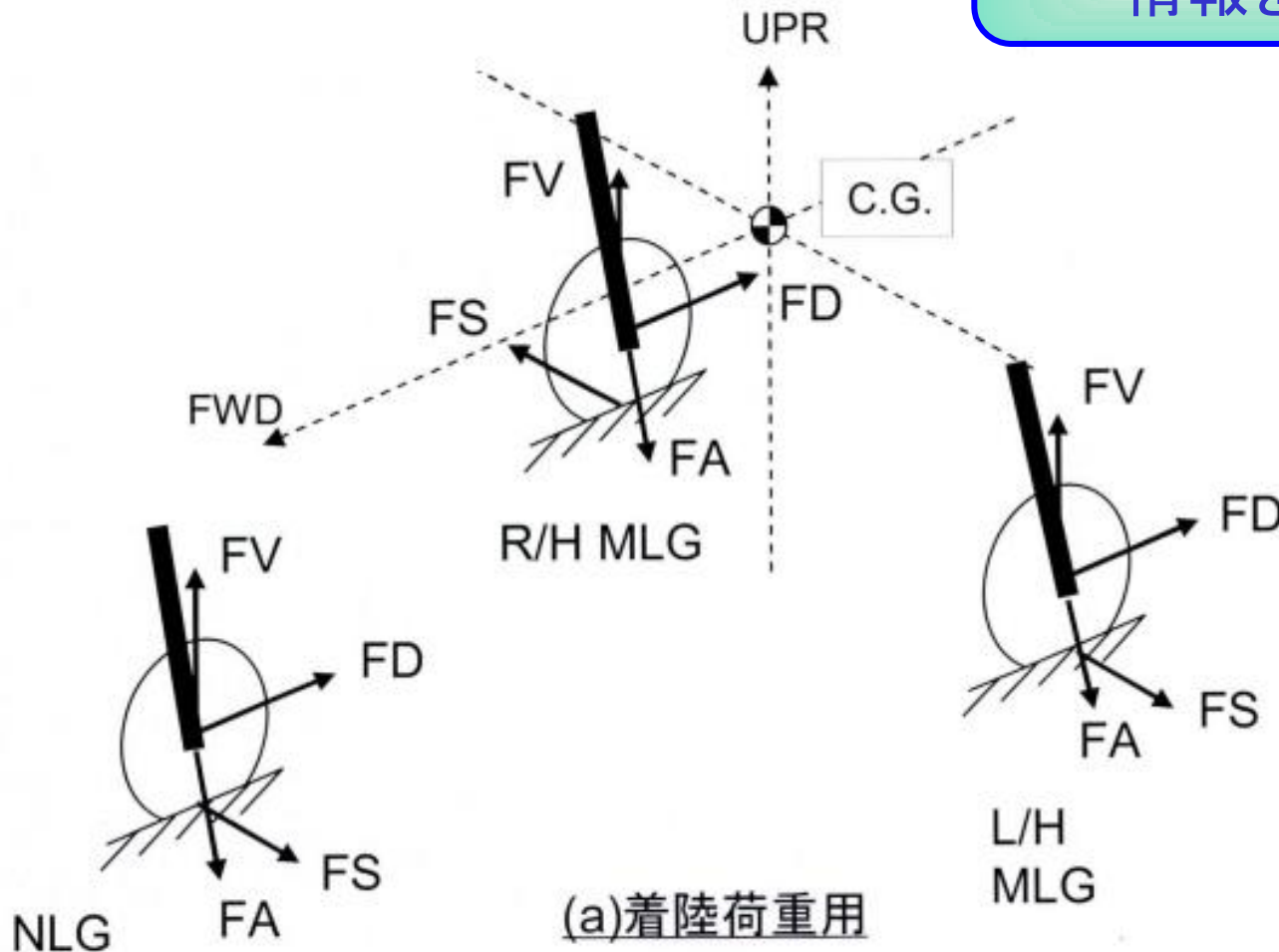


4. 評価する

5.6 降着装置(脚)の強度計算(2/10)

1. 各運用条件ごとの脚に入る荷重情報を得る

機体メーカーからの『荷重要求』として情報を得る

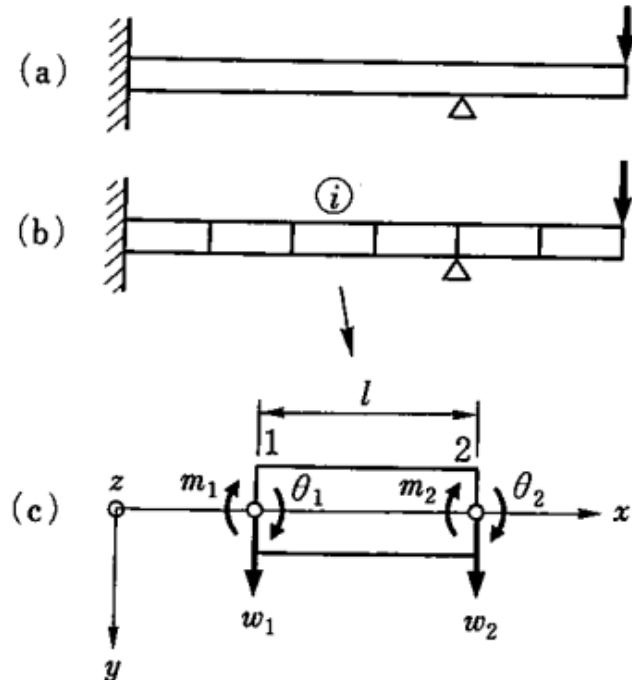


2. 各部材に入る荷重を算出する

例えば...

有限要素法

12.3 一次元はりの有限要素法



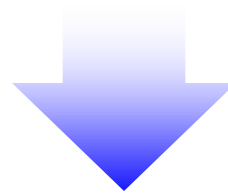
z 軸は紙面に垂直, 手前から紙面を貫通する向きを正とする

図 12.11 一次元はり

5.6 降着装置(脚)の強度計算(4/10) 21th November 2020

2. 各部材に入る荷重を算出する

- 各要素の材料、およその形状データ
- 各接点の境界条件
- 外力

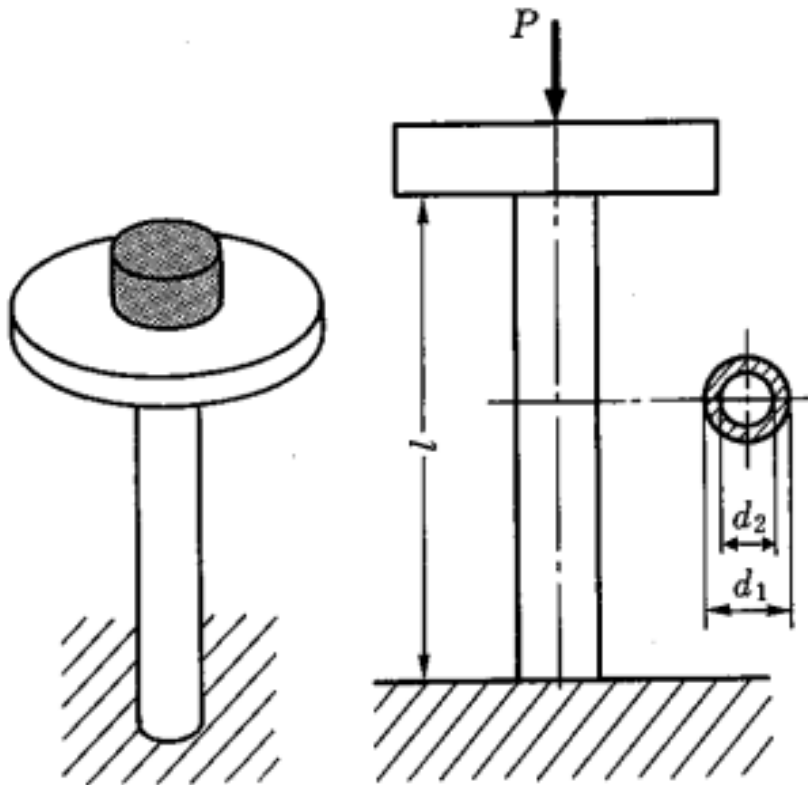


各要素の各接点に入る、
荷重およびモーメントが得られる。

5.6 降着装置(脚)の強度計算(5/10)

3. 各部材の主要断面に生じる応力を算出する

例えば...



$$\sigma = P/A$$

$$= P/\{\pi/4(d_1^2 - d_2^2)\}$$

圧縮応力、引張応力、せん断応力、すべて同じ

図 1.5 物体を乗せた台と柱

3. 各部材の主要断面に生じる応力を算出する

曲げ応力は・・・

4.5 曲げ応力の求め方

前節の関係式を用いればはりの曲げ応力を求めることができる。ここではそれを問題の解き方としてまとめる。問題としては、はりと荷重条件が与えられたときの任意の断面における応力を求めることである。

Step 1) まず4.3節で述べた方法でその断面における曲げモーメント M を求める。

Step 2) 式 (4.13) より得られる次式でその断面における曲率半径または曲率 (curvature) を求める。なお、曲率 k とは曲率半径 R の逆数である。

$$k = \frac{1}{R} = \frac{M}{EI_y} \quad (4.18)$$

Step 3) 断面の中立軸を求める。上下対称な断面形状であれば中立軸はその対称軸となる。そうでなければ式 (4.12) または表 4.1 によって中立軸を求める。

Step 4) 応力は式 (4.10) より、

$$\sigma_x = E k z = \frac{M}{I_y} z \quad (4.19)$$

により求められる。ここで z は中立軸からの距離である。

Step 5) 断面上で曲げ応力は線型に分布するが、破壊などの観点から必要になるのは応力の最大値である。これは図 4.17 のように中立軸から最も離れた上下面に生じる。このため、

ねじり応力は・・・

6.2 軸：中実丸軸、中空丸軸

図 6.1 のような中実丸軸の一端にねじりモーメント T を作用させたときのねじりの公式を示す。

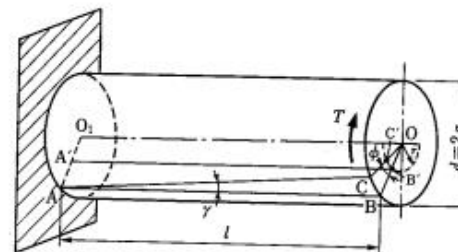


図 6.1 ねじりを受ける丸軸

- [記号] d : 中実丸軸の直径 d_2 : 中空丸軸の外直径
 a : 中実丸軸の半径 I_p : 断面二次極モーメント
 r : 軸線から任意点までの半径 H : 伝達動力 (W)
 l : 軸の長さ N : 回転数 (1/s)
 d_1 : 中空丸軸の内直径

- [公式] 断面二次極モーメント 中実丸軸 $I_p = \frac{\pi d^4}{32}$
 中空丸軸 $I_p = \frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4)$

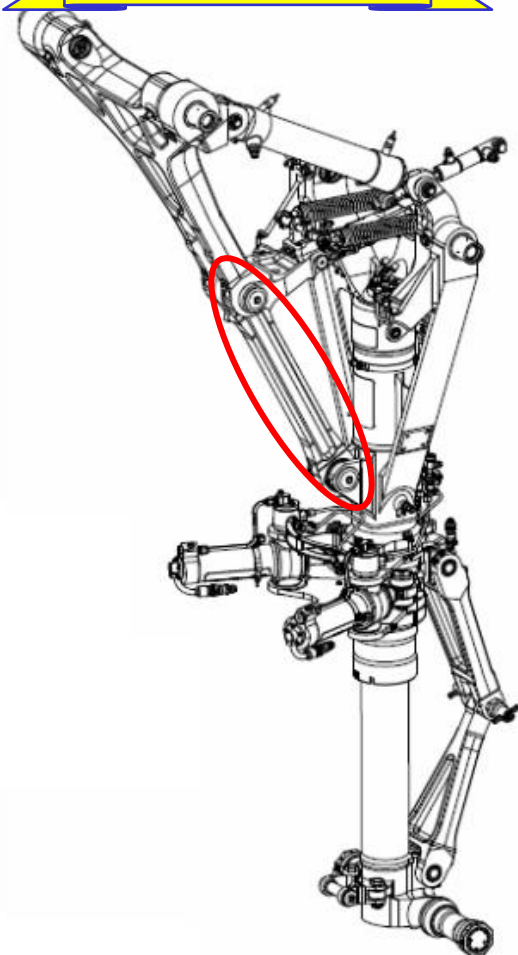
極断面係数 中実丸軸 $Z_p = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{\pi a^3}{2}$

中空丸軸 $Z_p = \frac{\pi}{16 d_2} (d_2^4 - d_1^4)$

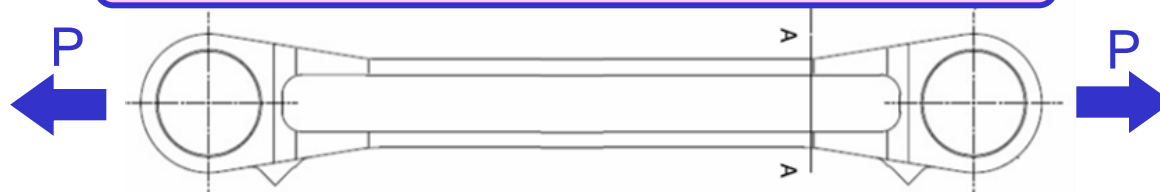
せん断応力 $\tau = G\gamma = G\gamma \frac{\phi}{l} = \frac{T\gamma}{I_p} \quad (6.1)$

3. 各部材の主要断面に生じる応力を算出する

例えば...



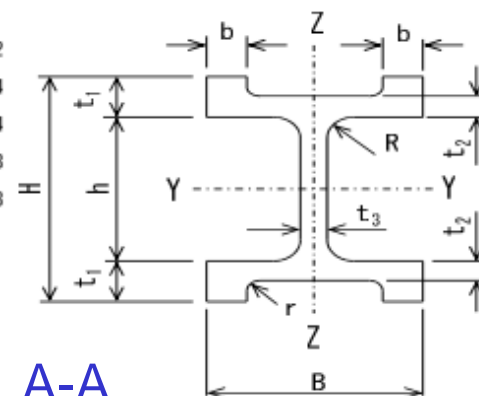
引張力 $P = 1000\text{kN}$ が入るとすると...



LOWER DRAG BRACE

SECTION PROPERTY

$B = 40.500 \text{ mm}$	$A = 1421.8 \text{ mm}^2$
$H = 64.500 \text{ mm}$	$I_y = 132471 \text{ mm}^4$
$b = 20.250 \text{ mm}$	$I_z = 745686 \text{ mm}^4$
$h = 42.000 \text{ mm}$	$Z_y = 6542 \text{ mm}^3$
$t_1 = 11.250 \text{ mm}$	$Z_z = 23122 \text{ mm}^3$
$t_2 = 11.250 \text{ mm}$	$SF_y = 1.665$
$t_3 = 10.500 \text{ mm}$	$SF_z = 1.307$
$R = 9.000 \text{ mm}$	
$r = 0.000 \text{ mm}$	



SECT. A-A

SECT. A-Aに生じる引張応力は、
 $\sigma = P/A = 1000000/1421.8 \doteq 700\text{MPa}$

5.6 降着装置(脚)の強度計算(8/10)

3. 各部材の主要断面に生じる応力を算出する

- 『引張力／圧縮力による応力』
- 『せん断力による応力』
- 『曲げモーメントによる応力』
- 『ねじりトルクによる応力』

応力を重ね合わせる

$$[Rc + \sqrt{\{(Rt + Rb)^2 + (Rs + Rst)^2\}}]$$

その断面に生じる総合的な『応力』が得られる

5.6 降着装置(脚)の強度計算(9/10) 21th November 2020

4. 評価する

。。。 どうやって評価するの??



安全率 (MS : Margin of Safety) で評価します

安全率って??

$$\therefore MS = \frac{\sigma_s \text{ (基準強さ)}}{\sigma_a \text{ (許容応力)}}$$



5.6 降着装置(脚)の強度計算(10/10)

SUMITOMO PRECISION

4. 評価する

脚の世界では...

$$MS = \frac{\sigma_s}{\sigma} - 1 = \frac{\text{材料の基準強さ}}{\text{検討断面での応力}} - 1$$

➡ 判断基準は、『 $MS \geq 0$ 』

先ほどのLDBの場合

$$MS = \frac{2000}{700} - 1 = +1.86 > 0 \quad \leftarrow \text{OK!}$$

しかし...

降着装置にとって良い設計とは・・・?

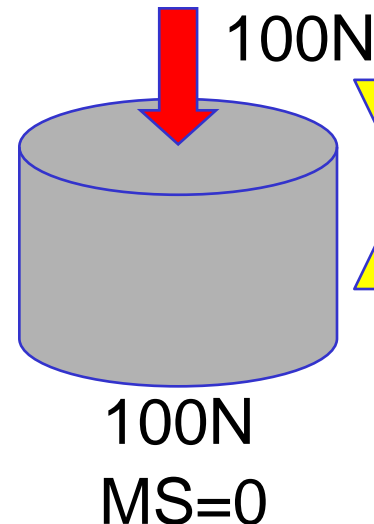
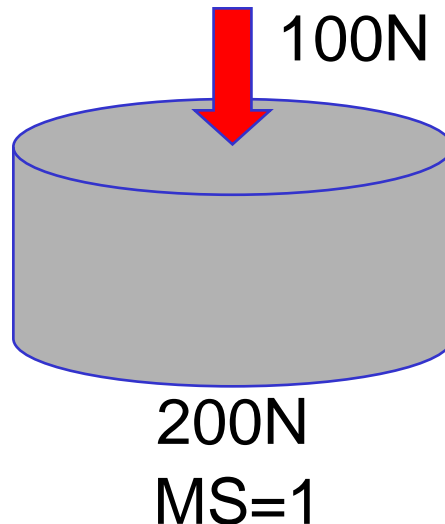
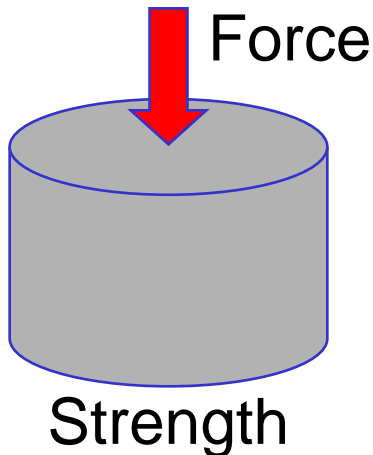
Margin of Safety (MS) : “0”以上でなければならない!

$$MS = \frac{\text{(Strength)}}{\text{(Applied Force)}} - 1 \geq 0$$

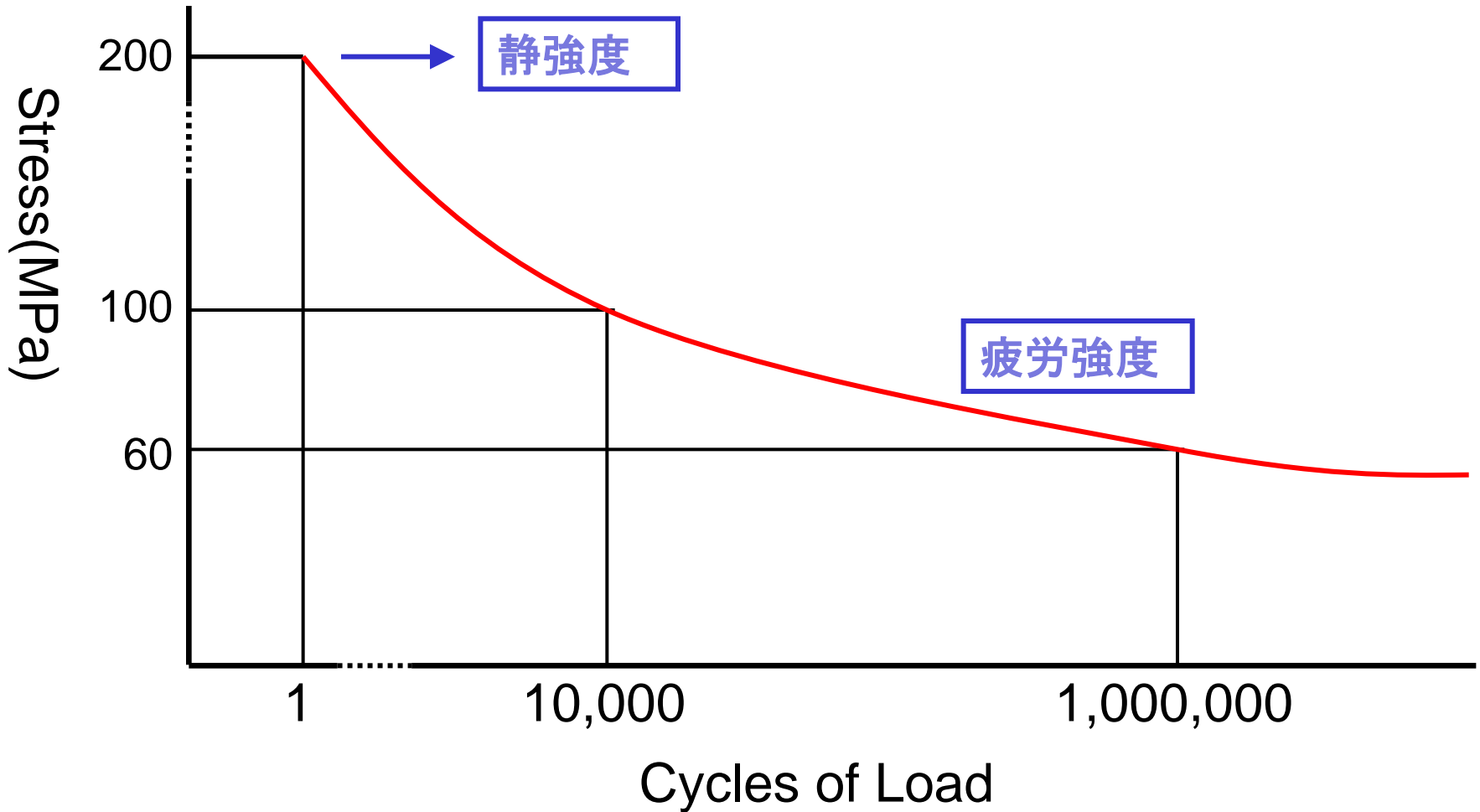
安全第一!

脚設計における良い設計とは? : MS ≧ +0

→十分な強度を有しつつ、余肉のない設計



**軽量
&
コンパクト**



6.降着装置の設計検証

設計の妥当性を確認するために

6.1 Landing Gear Tests - 性能 -

- Landing Gear (including Shock Absorber)
 - 落下試験
 - **Shock Absorbing Performance**
 - シミー試験
 - from Low speed to high speed
 - 脚揚降／ステアリング試験
 - システム・リグ試験 (**Iron Bird**)
 - Icing Test
 - **Emergency Extension Test**

6.2 Landing Gear Tests- 強 度 -

- 落下試験
 - …Strength for Dynamic Loads
- 静強度試験
 - Limit Load (Design Load)
 - Ultimate Load (Design Load × 1.5)
- 疲労試験
 - …for Landing Load - Ground Load Spectrum
 - e.g. 25,000~80,000 Landing × Scatter Factor (20 Years)

6.3 Landing Gear Tests - LRU -

- Actuator
 - 耐久試験
 - 環境試験
 - High/Low Temperature Test
 - Vibration & Shock Test etc.
- Brake / Brake Control
 - 環境試験 (for Valve & Control Box)
 - 電磁干渉試験 (for Control Box)
 - ドラム試験 (Dynamometer Test) etc.
- Wheel & Tire
 - ドラム試験 (Dynamometer Test)

6.4 実機での地上試験

A series of test using actual airplane on ground before first flight

For Landing Gear...

- **Braking Test**
 - Normal Braking Performance
 - Emergency Braking Performance
- **Steering Performance**
- **Shimmy Test**
 - Low Speed to High Speed

6.4 実機での地上試験

After Taxi Test, airplane takes off

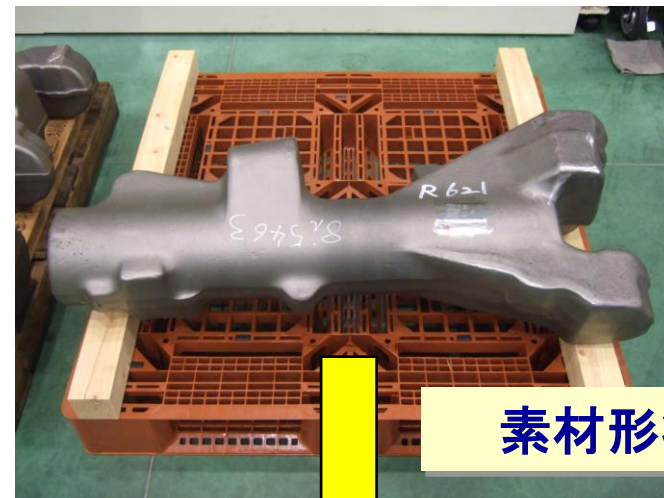
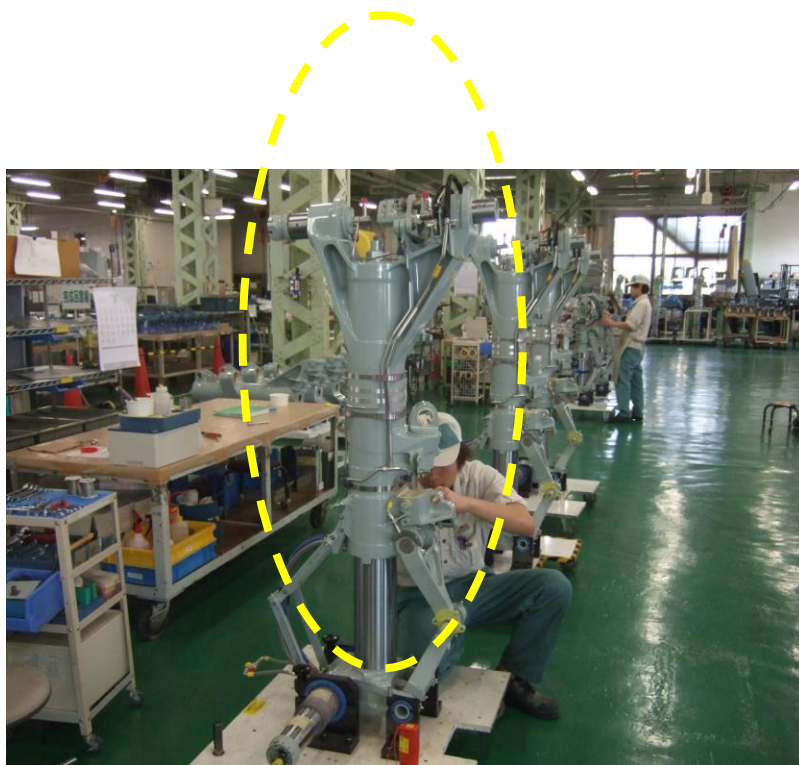
For Landing Gear...

- **Gear Retraction/Extension**
 - Normal Retraction and Extension
 - Emergency Gear Down
- **Shock Absorbing Performance**
- **Braking Performance (Dry, Wet)**

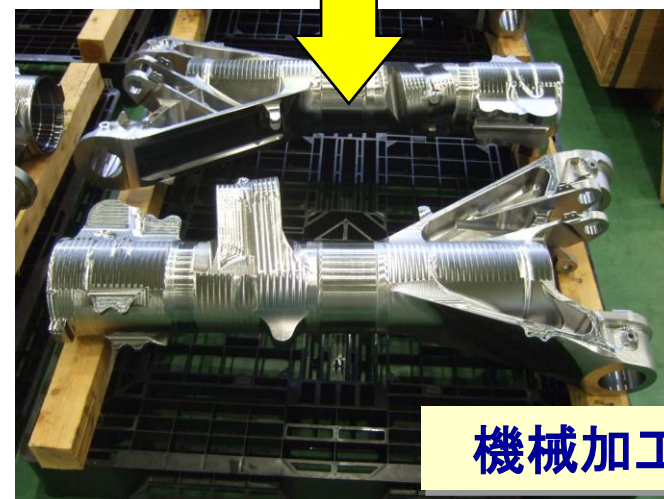
7.降着装置部品を加工工程

軽くするために

7.1 軽くする為の工夫：余肉なし



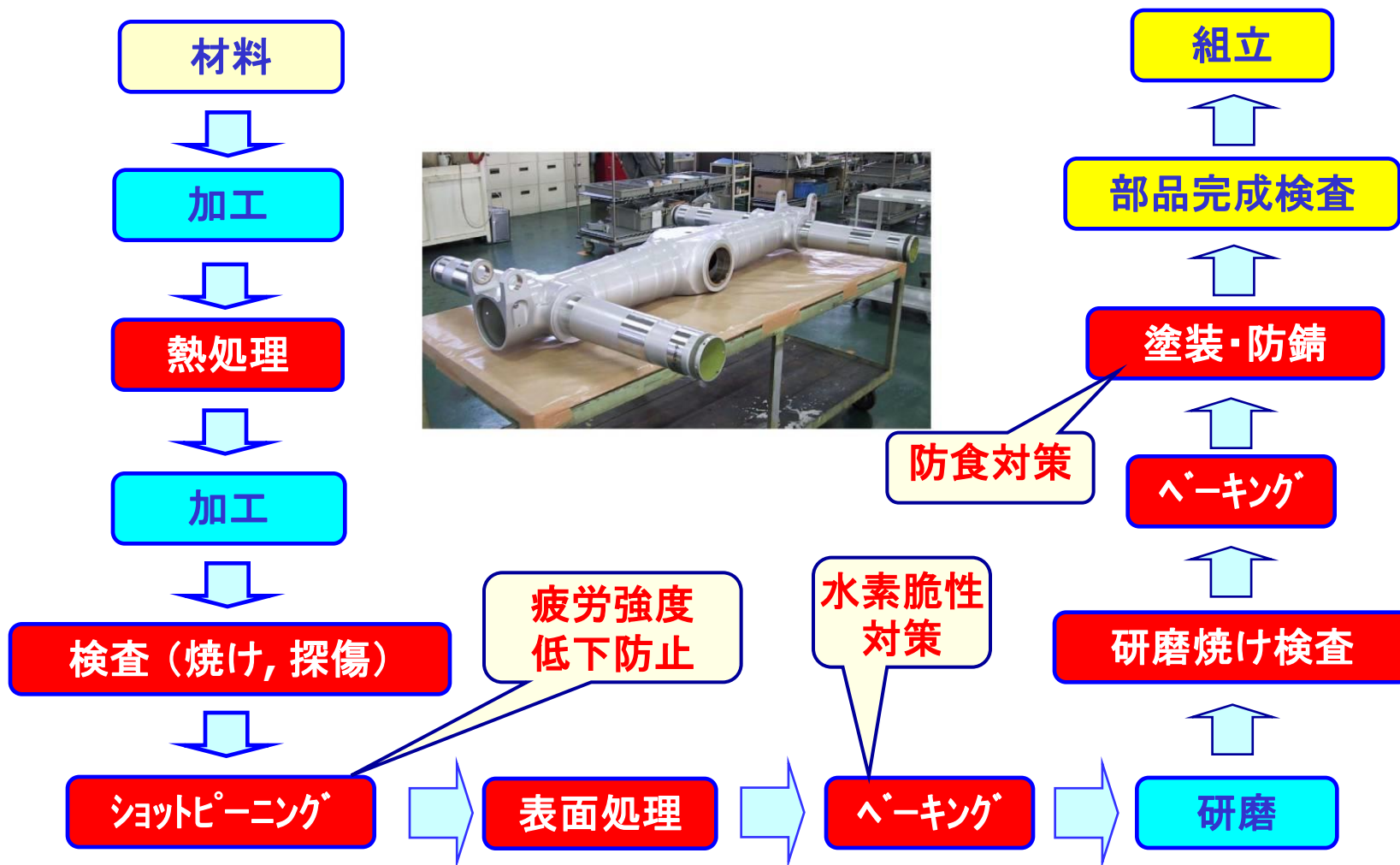
素材形状



機械加工後

素材重量370kgに対し完成重量70kgと、実に80%近くが切り屑となります。

7.2 降着装置部品の代表的な加工工程



8. 腐食の怖さ

低炭素鋼なので素材そのままでは錆びます。

8.1 超抗張力鋼を使用する恐ろしさ: SATF-20-041 A

腐食が原因の事故事例

21th November 2020

事故の動画を最初にお見せします。



8.2 腐食による航空機事故事例

DASH8-Q400機の事故：2007年9月デンマークで発生

事故原因：

- A) 揚降アクチュエータ先端部のネジ締結部が水分の浸入によって腐食し、結果、先端部が破損分離した。
- B) 上記の結果、脚下げ時のダンウンロック機構（脚下げ位置で、機械的にロックする機構）が破損し、ダウンロックできなくなった。
- C) この状態で着陸したため、脚が機体を支えられず、右主翼が地面に接触した。

対策：

- A) ネジ部に水分が入りにくい構造に設計変更し、万が一水分が浸入しても腐食しないよう防錆シーラント塗布することとした。
- B) 既存の機体については、設計変更したアクチュエータに交換する。

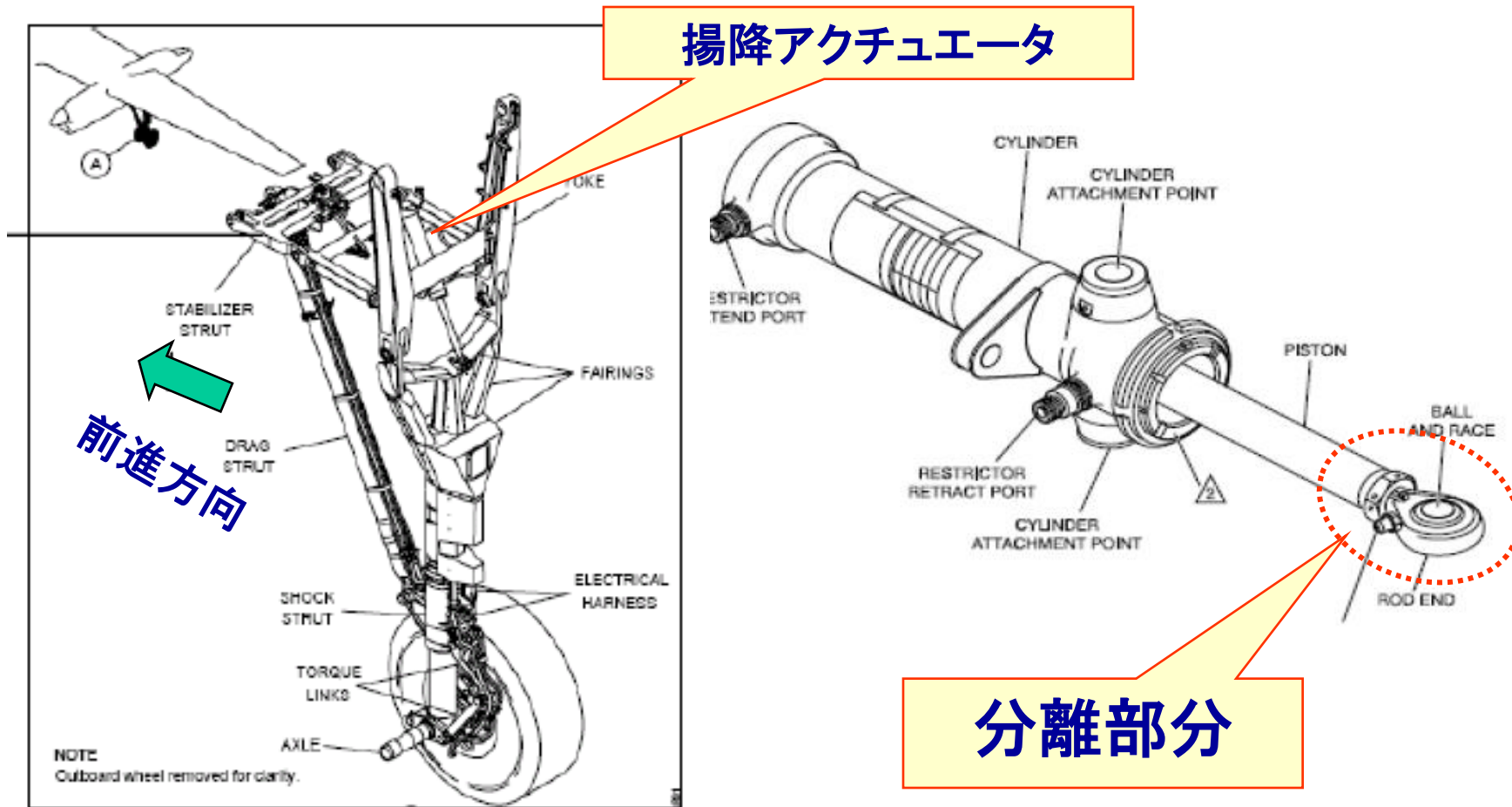
DASH8-Q400機の事故事例紹介(1/3)



事故の状況：乗客・乗員69名の内7名が軽傷。機体は再使用不可。

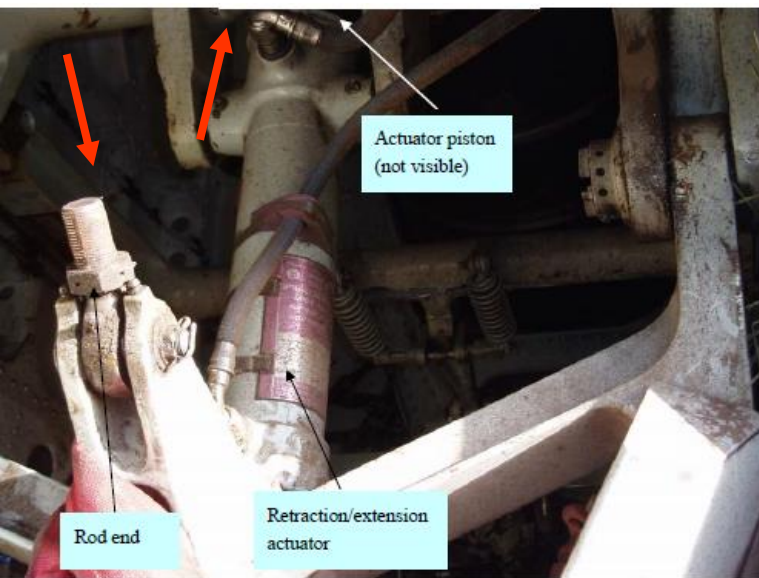
Accident Investigation Board Denmark Report HCLJ510-000433より抜粋

DASH8-Q400機の事故事例紹介(2/3)



Accident Investigation Board Denmark Report HCLJ510-000433より抜粋

DASH8-Q400機の事故事例紹介(3/3)



事故機のアクチュエータが分離した状況

正常なアクチュエータ

分離した先端のネジ締結部

Accident Investigation Board Denmark Report HCLJ510-000433より抜粋

8.3 超高張力鋼に対する防食対策

1. 防錆のための表面処理

□ メッキ

- 低水素脆性Cdメッキから将来的には低水素脆性Zn-Niメッキに移行
- 硬質クロムメッキからHVOF (High Velocity Oxygen Fuel) Coatingに移行

□ 塗装

通常のポリウレタン塗装からクロムフリーのポリウレタン塗装に移行

□ 防錆シーラント

通常の防錆シーラントからクロムフリーの防錆シーラントに移行

2. 耐食性の高い材料を使用する。

□ ステンレス鋼

□ チタン合金

緑字のプロセスが近年六価クロム、カドミの環境問題に対応して導入されつつある。

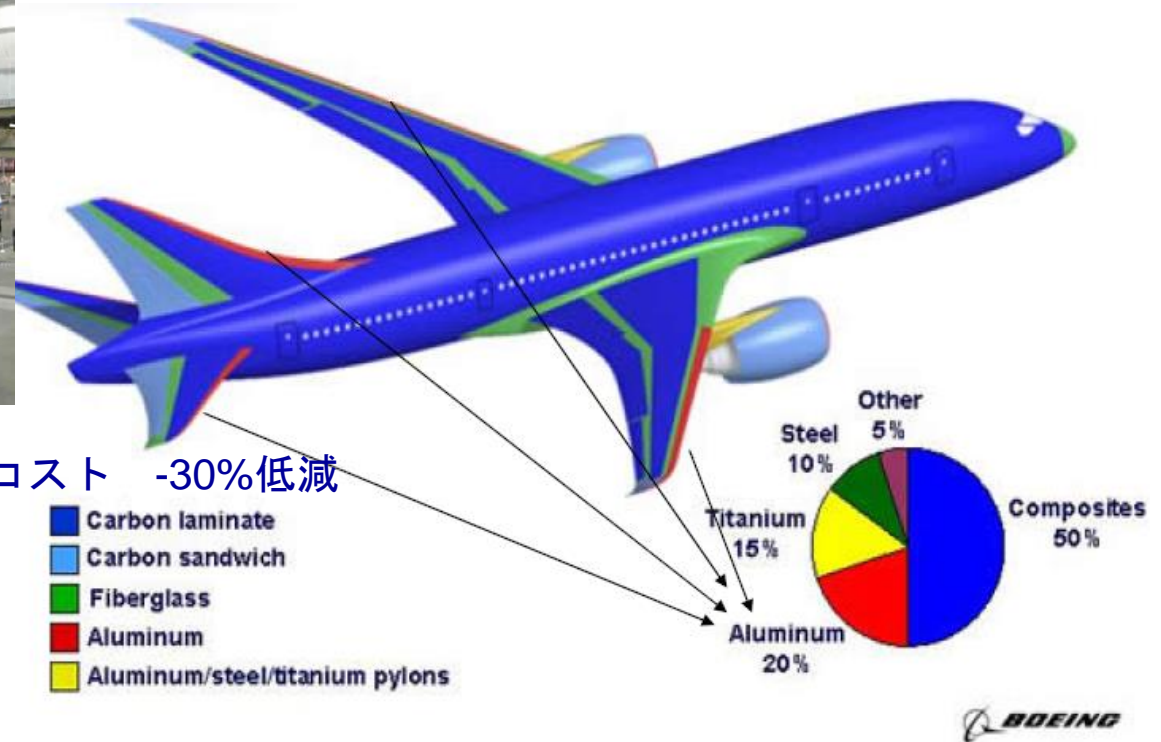
9. ATA32降着装置システムの技術動向

軽量・コンパクトで
安全・作動確実な降着装置電動化技術

9.1「降着装置システムの将来技術」は？

1. **新材料技術**
 1. 複合材料
 2. 高強度ステンレス鋼
2. **電動化技術**
 1. 電動式ブレーキ及び前脚ステアリング機構
 2. 電動式脚揚降機構
3. **Health Monitoring <= MEMS技術**
 1. Integrated Monitoring for ATA32 System
 2. Shock Strut, Abnormal Landing
 3. Wheel/Tyres/Brake Monitoring
 4. Usage Monitor (Life, Overload)
4. **地上での機体運動制御技術**
 1. Heading Control on Ground
 2. Torque Control
 3. Towing without Engine Power <= 電動タクシング
5. **低騒音化技術**

9.2 燃費のお話: 複合材の使用状況: B787



燃料効率:-20% メンテナンスコスト -30%低減

1. 新型エンジンの開発 : 8%
2. 最新航空機力学の応用 : 3%
3. 炭素繊維複合材の応用 : 3%
4. 最新システムの応用 : 3%
5. 相乗効果 : 3%

ANA財務報告@2010より

年間コスト1,448,166百万のうち249,920百万
(17%)が燃料で、56,309百万が整備コスト。

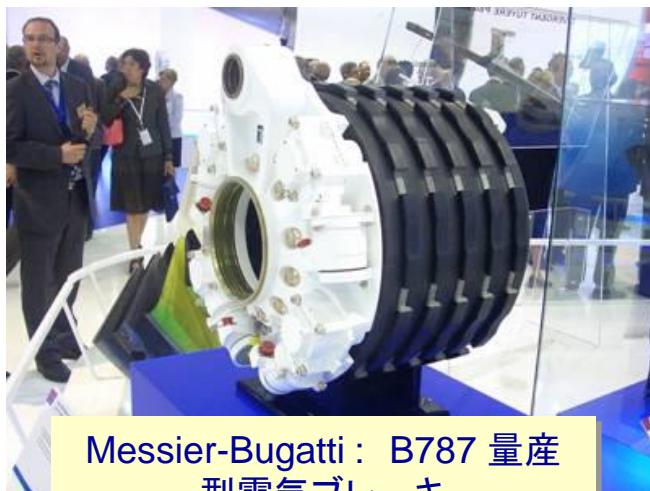
9.3 電動ブレーキ技術(1/2)



モータ駆動部の設計を最適化し、軽量。コンパクト化+コスト低減をはかったとのこと。ブレーキを押しピストンは4箇所



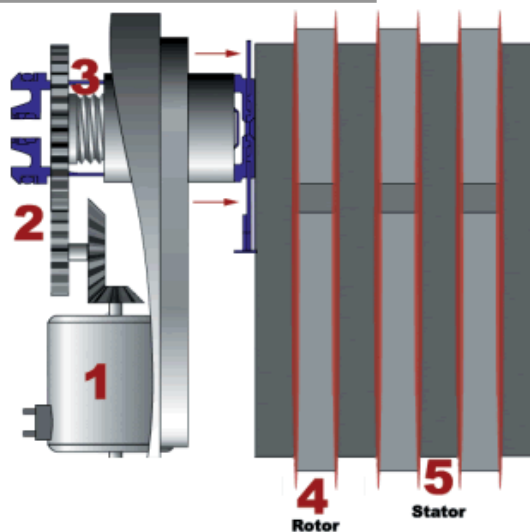
9.3 電動ブレーキ技術(2/2)



Messier-Bugatti : B787 量産型電気ブレーキ



Messier-Bugatti : B787 量産型電気ブレーキ制御装置



- 1.電動モータ
- 2.減速機構
- 3.ボールスクリュー
- 4.ローター・カーボンディスク
- 5.ステーター・カーボンディスク

1. TaxiBotは無人のパイロットの無線コントロールによる自走式トーイングカーである。イスラエルの会社とAirbusが開発。
2. 実証試験をLufthansaの747-400を用いて行った。最終的にはマーケットニーズの高いA320,B737用を開発し、市場投入を目指す。
3. 目的はタクシー中のエンジン使用時間を減らして燃料の節約と並行してエンジンの寿命を延ばす。
4. 2015年に無人・無線式トーイングカーTaxiBotの認証取得。



9.5 SAFRAN

Electric Green Taxiing System

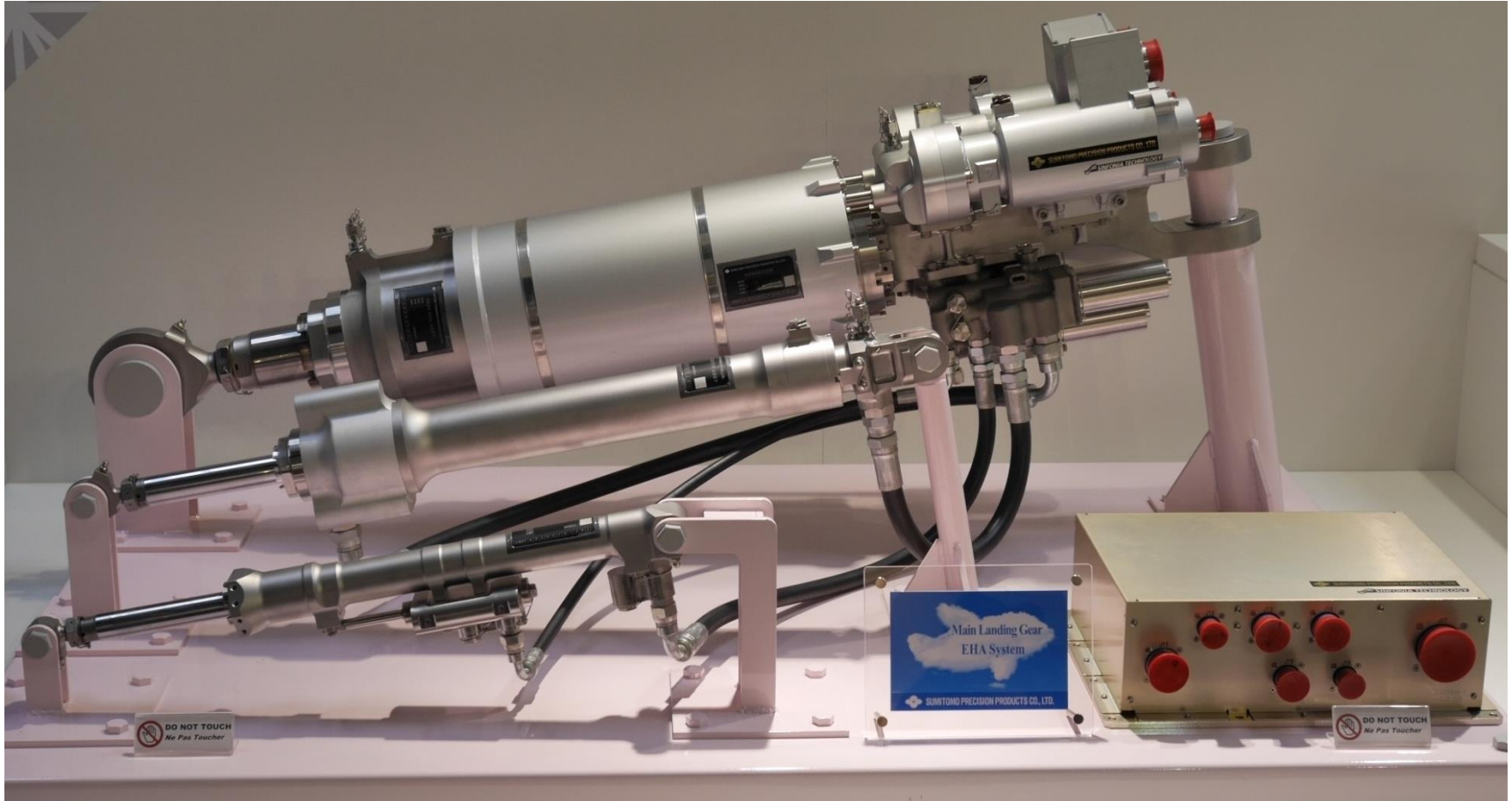


A320NEO向けオプション品として開発中。100KW級のモータを2個主脚に搭載。タクシーイン・アウト用燃料の大幅削減を目指す。(一回当りの飛行で150kgの燃料消費を削減可能と推算)

Electric Green Taxiing Demo@2013 Paris



9.7 電動式脚揚降機構 (機体メーカーとの共同研究開発)

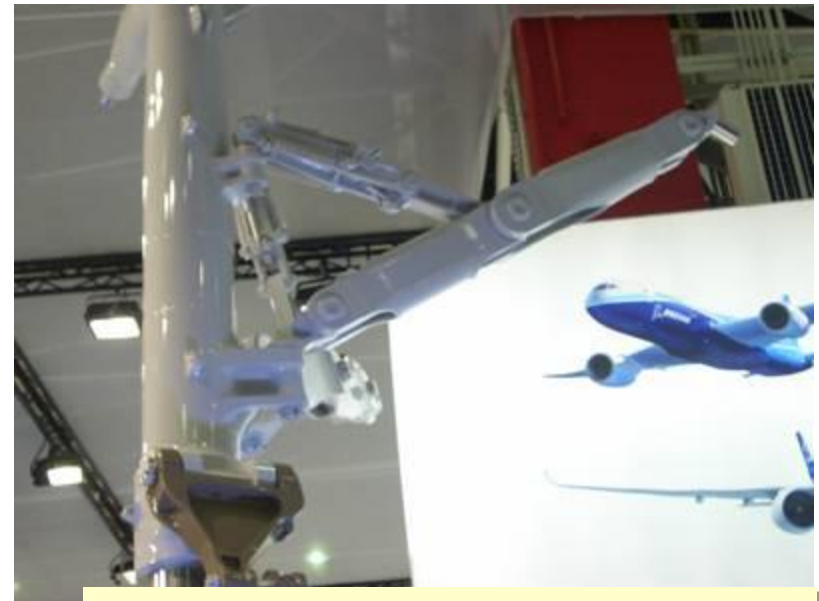


Electro-Hydrostatic Actuation System for Aircraft Landing Gear Actuation

Safran Booth:787 Main Landing Gear

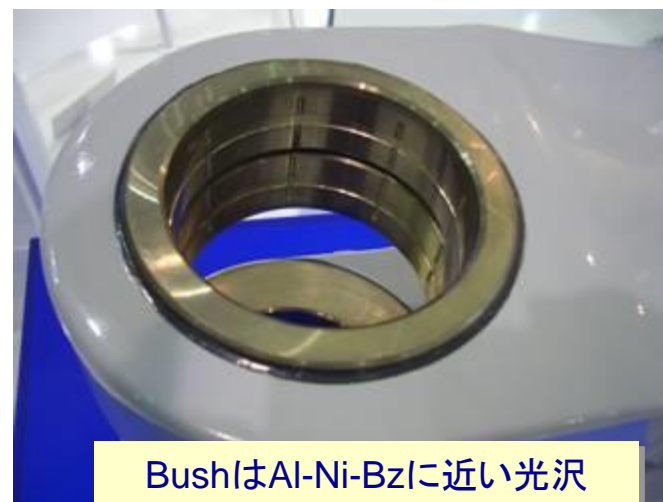
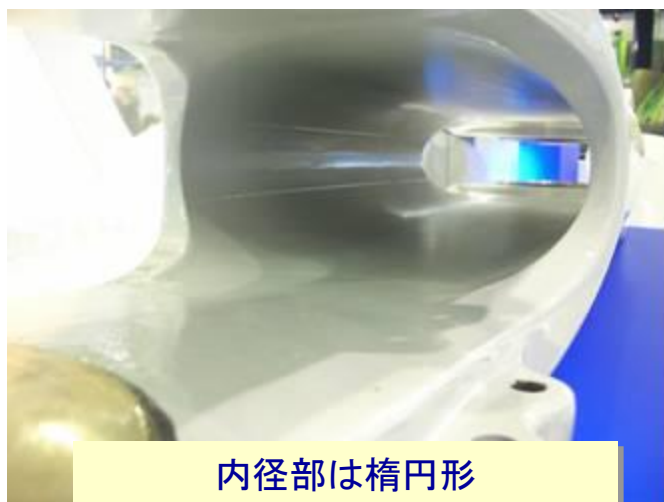
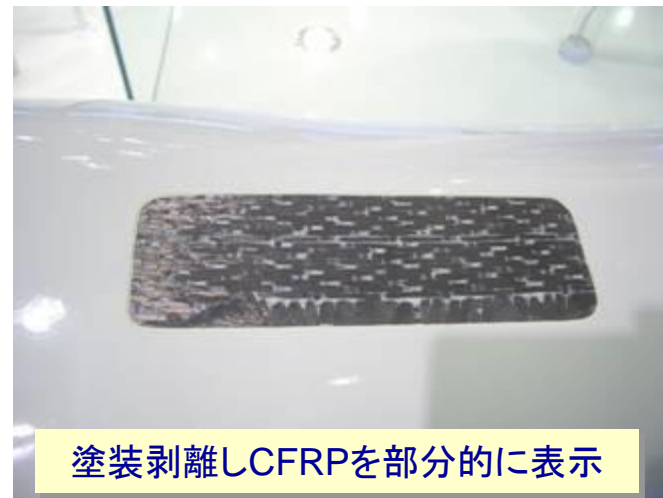
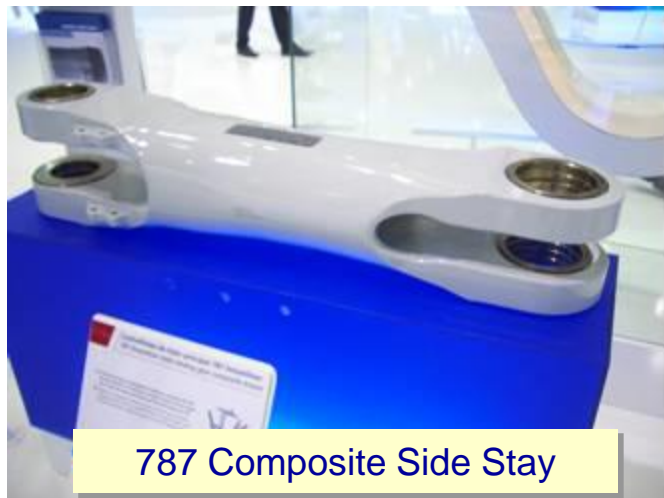


787 Main Landing Gear Assembly



787 MLG Double Composite Side Stay

Usage of CFRP Composite Material



10 まとめ

1. 空を飛ぶためには、軽くなくては！

航空機の軽量化は必須の技術。その為に導入されたのが炭素繊維を始めとする複合材料技術です。これからは複合材料だけでなく、電動化によるシステム最適化技術が重要になります。

2. 人命を預かる乗り物ですから、安全でなくては！

本来の性能を発揮しない、動かない、腐食で壊れるなんていうことはもってのほか。電動化技術にも常に確実に機能する製品作りが求められています。

3. このためには従来技術による実績だけでなく新技術によるステップ チェンジ的なチャレンジが今後とも求められていくものと思います。

4. A380を始め787で導入された電動化技術が今後多くの実績を経て次ぎの時代への橋渡しの技術となると考えます。日本の製造業が得意とする自動車開発で生み出されている電動化技術が脚光を浴びる時があるものと考えます。→若い人の知恵と努力が必要です。