

航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座

航空機概念設計

2020.10.24

1. 民間航空機概要

- ◆ 民間航空機の分類
- ◆ 世界の民間航空機メーカー
- ◆ 航空機業界のM & Aの動向
- ◆ 航空宇宙技術の波及効果

2. 航空機開発とは

- ◆ 航空機の特徴
- ◆ 航空法
- ◆ 航空機開発の流れ

3. 商品企画/構想設計

- ◆ 市場調査
- ◆ 狙う市場と需要予測
- ◆ 市場要求と開発能力
- ◆ 市場要求仕様の例

4. 概念設計（諸元策定/空力設計）

- ◆ 航空機レベルの要求定義
- ◆ 初期概念スケッチ
- ◆ 機体コンセプト検討
- ◆ 諸元策定
- ◆ 空力設計の流れ
- ◆ C F D解析/風洞試験

1. 民間航空機概要

- ◆ 民間航空機の分類
- ◆ 世界の民間航空機メーカー
- ◆ 航空機業界のM & A の動向
- ◆ 航空宇宙技術の波及効果

民間航空機の分類

ビジネス機 (General



大型民間機 (Trunk Liner)



Boeing 提供

リージョナル機 (Regional Aircraft)



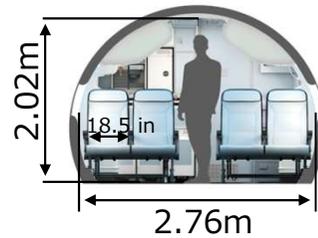
三菱航空機 (株) 提供

超音速旅客機 (SST)



民間航空機の分類：単通路機

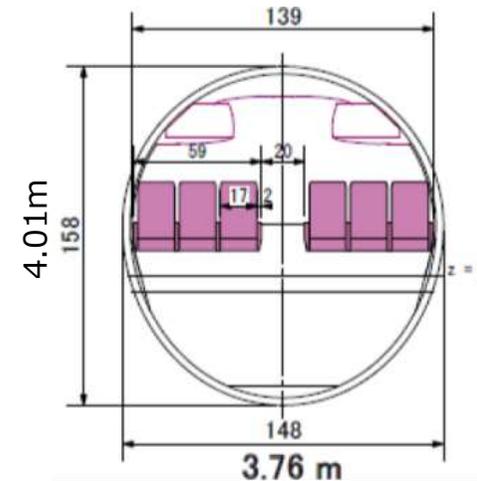
SpaceJet M100



座席数
航続距離
巡航速度
最大離陸重量

84
3,540km
M0.78
42.0t

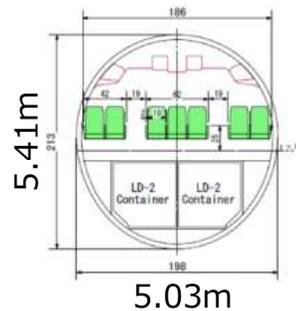
737-900ER



180
5,926km
M0.79
85.1t

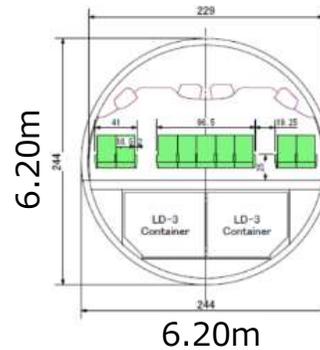
民間航空機の分類：双通路機

767-300ER



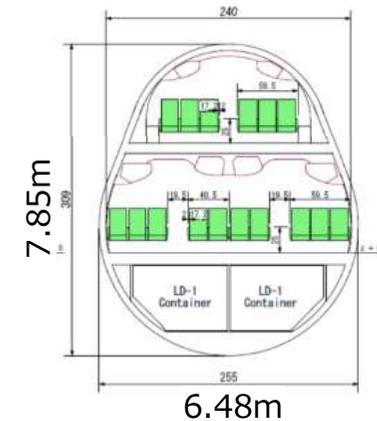
座席数 218
 航続距離 11,037km
 巡航速度 M0.80
 最大離陸重量 187t

777-300ER



座席数 386
 航続距離 14,492km
 巡航速度 M0.84
 最大離陸重量 352t

747-8I



座席数 467
 航続距離 14,815 km
 巡航速度 M0.86
 最大離陸重量 435t

世界の民間航空機メーカー

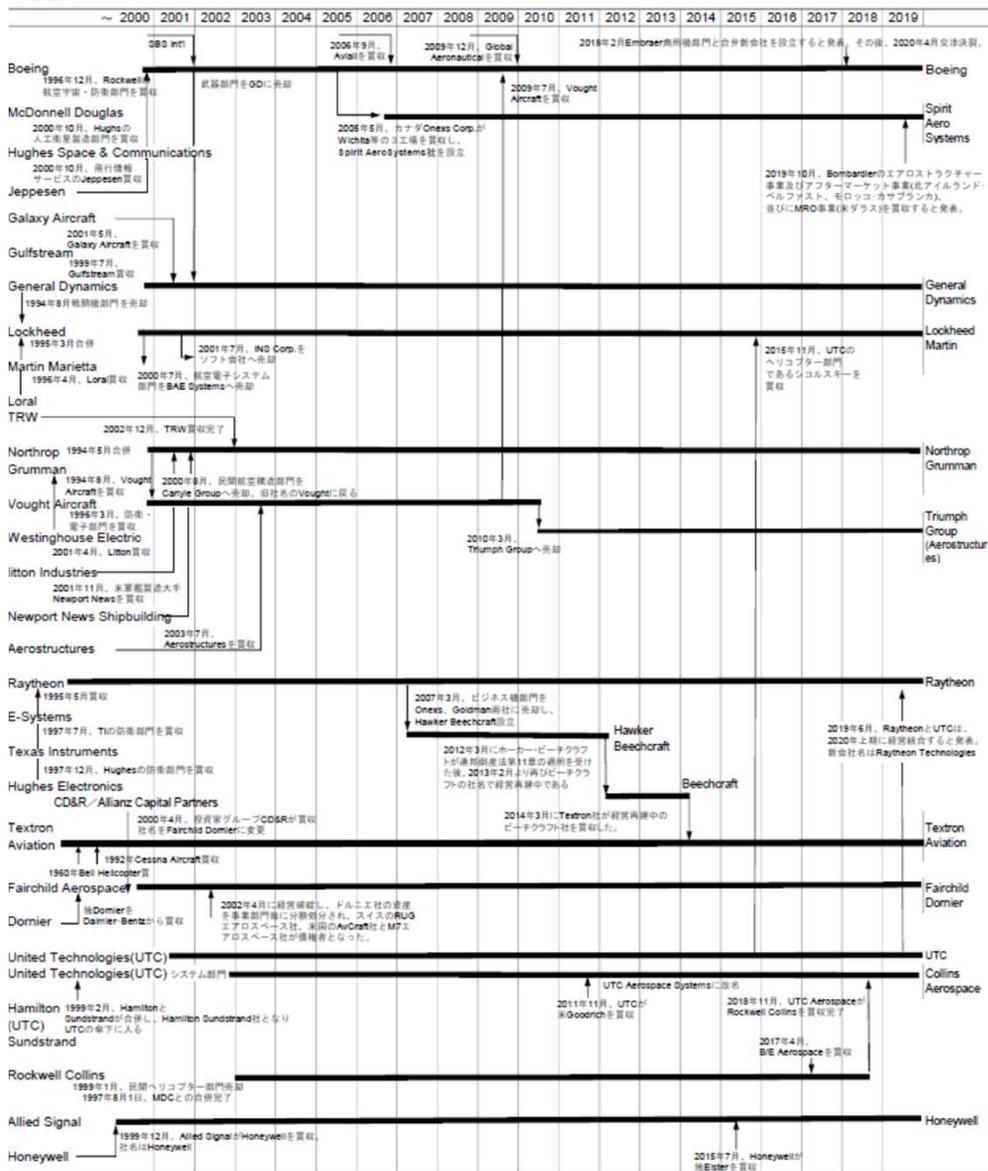
- ◆OEMは集約傾向にあるが、ロシア、中国及び日本が新規参入中。
- ◆OEMは、モジュール単位で生産(設計込みのケース有)をSubtier Makerに委託。
 - ・外部リソース(開発費、設備費、人)活用で、ビジネスチャンス拡大、初期投資軽減。サプライチェーンマネジメント確立が重要。
 - ・Tier 1は、先進国の北米(OEMからの分社化のケース有)、欧州、日本が主体。Tier 2は、低賃金でコスト競争力のある韓国、中国、東南アジアなど増加傾向。Boeingは、内作取り込みとTier 2直接発注でTier 1外しを指向。

	北 米	欧 州	その他
中大型Jet旅客機 (100席以上)	Boeing(米) Bombardier(加)	Airbus(欧)	CRAIC(中/露)* COMAC(中)*
Regional Jet / Turboprop	Bombardier(加)	ATR(仏/伊)	Embraer(伯) UAC(露) COMAC(中) MITAC(日)*

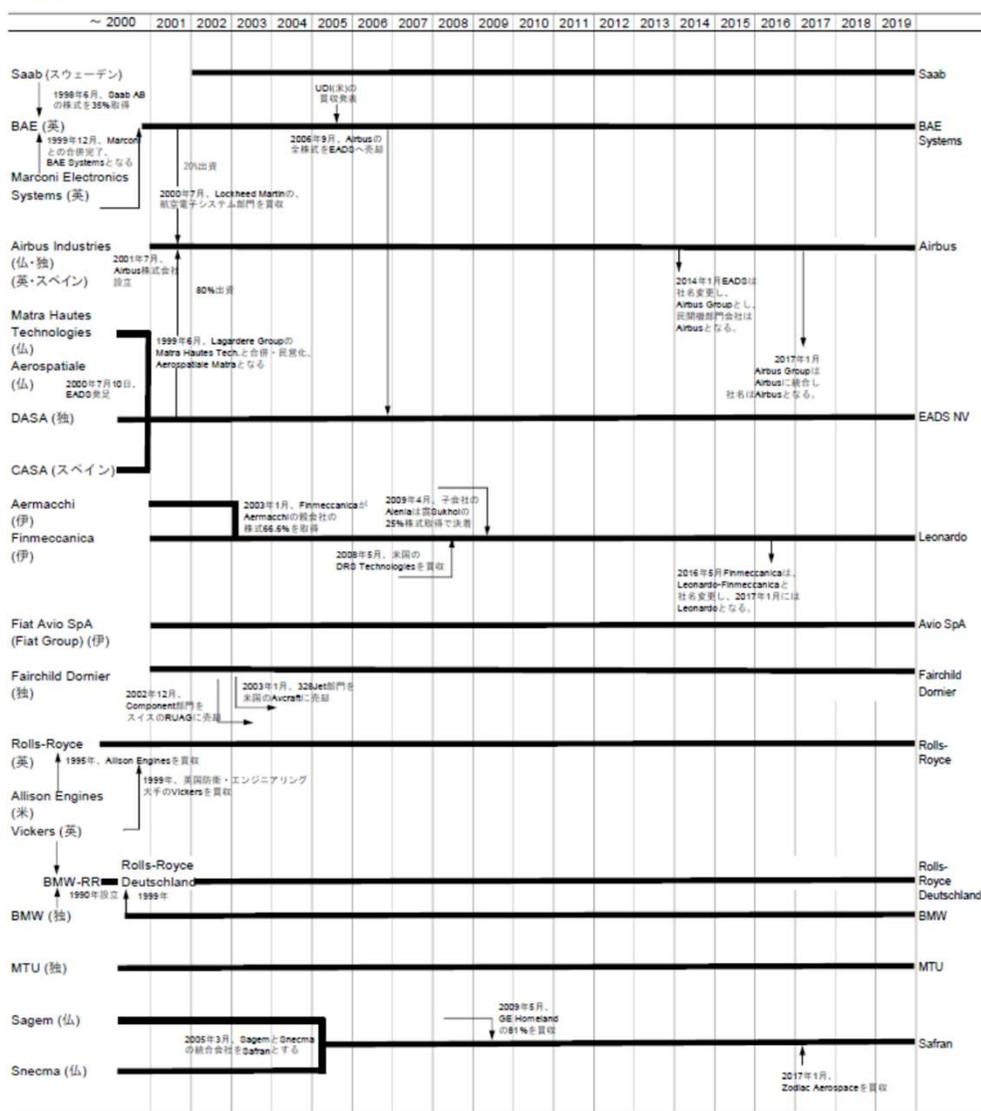
* 開発中

航空機業界のM&A（合併・買収）の動向

米国



欧州



出典:(一財)日本航空機開発協会

航空宇宙技術の波及効果：他産業への波及

- ・高信頼性、軽量・高付加価値を実現するため、部品・素材に厳しい技術的要求。
- ・航空機で実用化された技術は自動車など他の産業分野に波及し、製造業全体の基盤に。

金属加工技術

例) 「ジュラルミン」
「チタン材ボルト」



素材技術

例) 「炭素繊維複合材料」



http://www.carbonfiber.gr.jp/english/tanso/images/plane02_b.jpg

システム・制御・ 電気電子技術

例) 「アンチスキッドブレーキ」
「フライ・バイ・ワイヤ」
「ミリ波レーダー」



空力・構造設計技術

例) 「数値流体解析」



部品・素材産業の高度化

車両、医療機器

例) 「リニアモーターカー」
(アルミ合金)
「自動車」(〃)
「骨折補強器具」
(チタン合金)



自動車、鉄道、電力

例) 「ボンネット・フード」
(炭素繊維複合材)
「新幹線機首」(〃)
「風力発電」(〃)



自動車

例) 「アンチロックブレーキシステム」
「ステア・バイ・ワイヤ」
「衝突防止レーダー」



船舶、鉄道、自動車

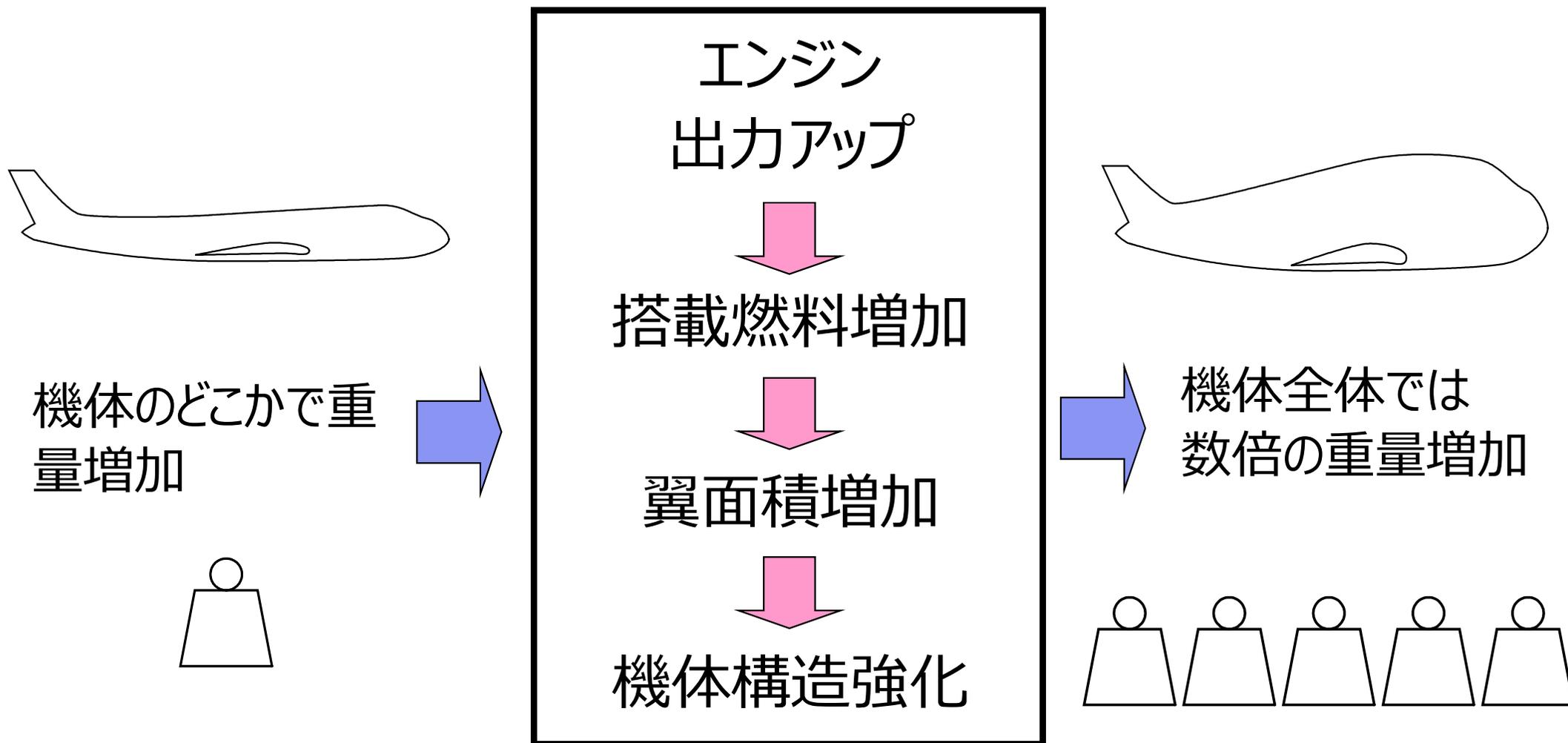
例) 「船体等の周りの流れ解析」

出典：経済産業省製造産業局：H21.6.8「わが国の航空機産業政策の現状と展望」より

2. 航空機開発とは

- ◆ 航空機の特徴
- ◆ 航空法
- ◆ 航空機開発の流れ

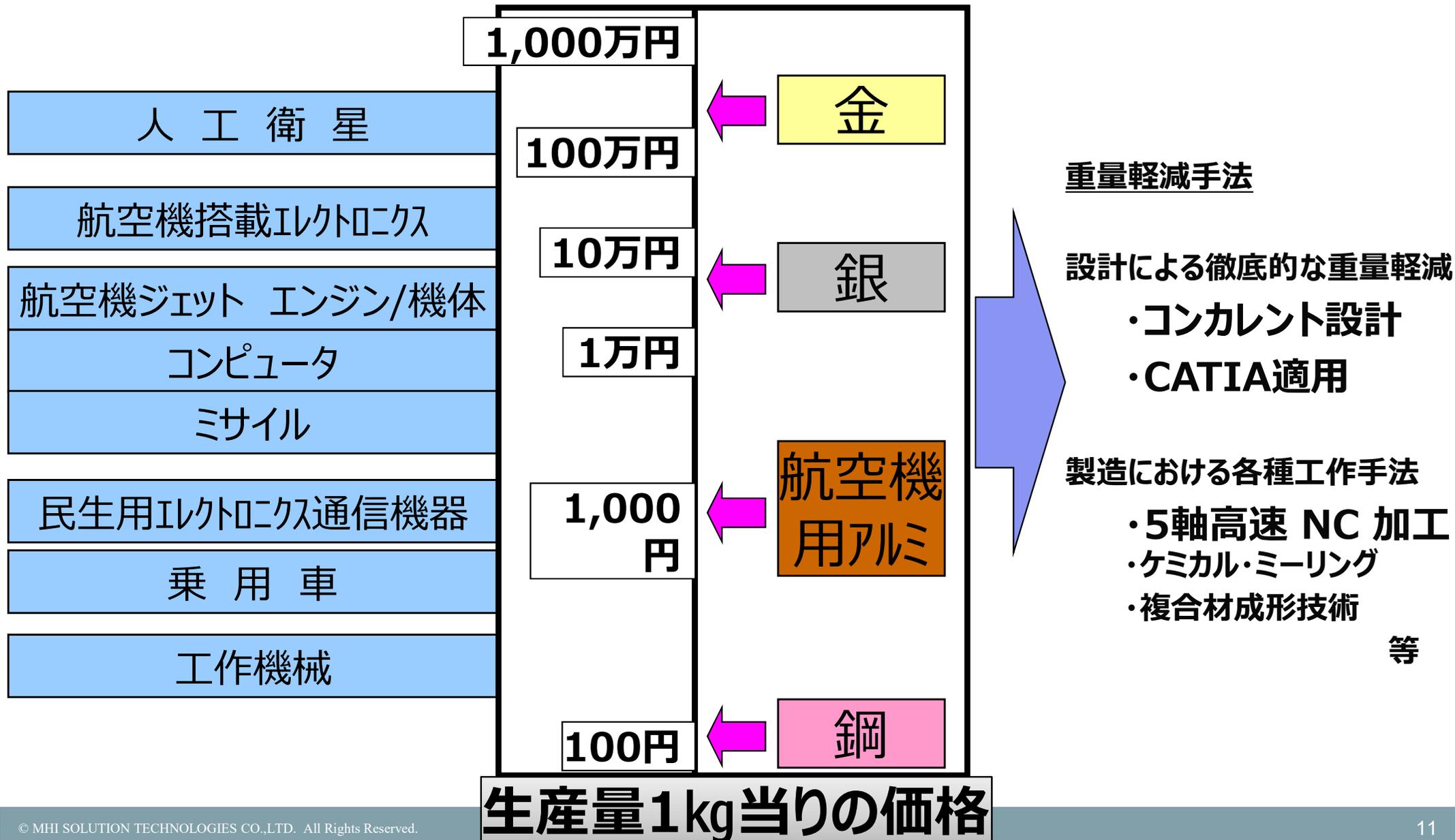
航空機の特徴：軽量化の追求



極限まで軽量化を追求する必要がある

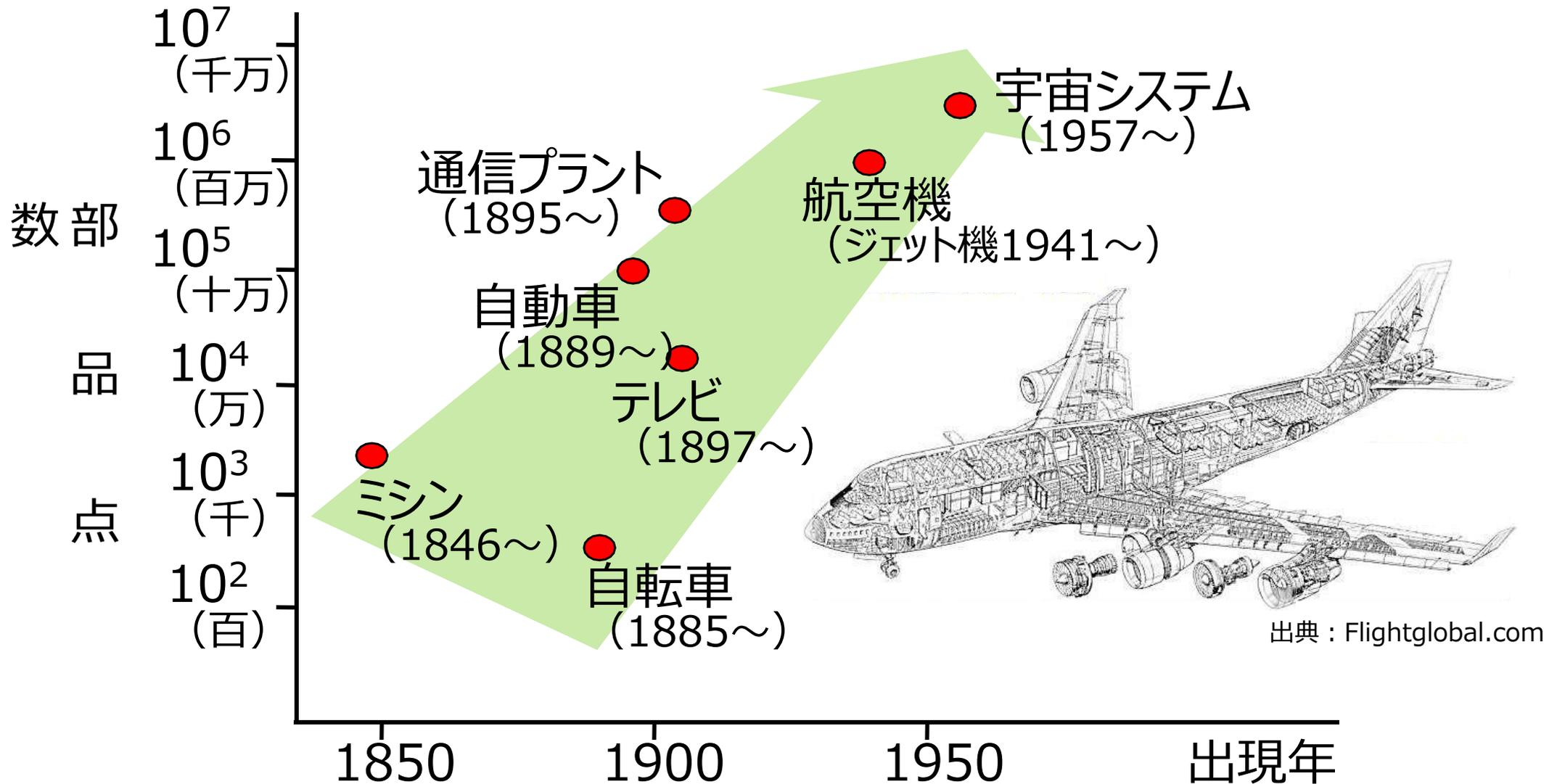
航空機の特徴：軽量化の追求

- ・極限まで軽量化を追求する必要がある

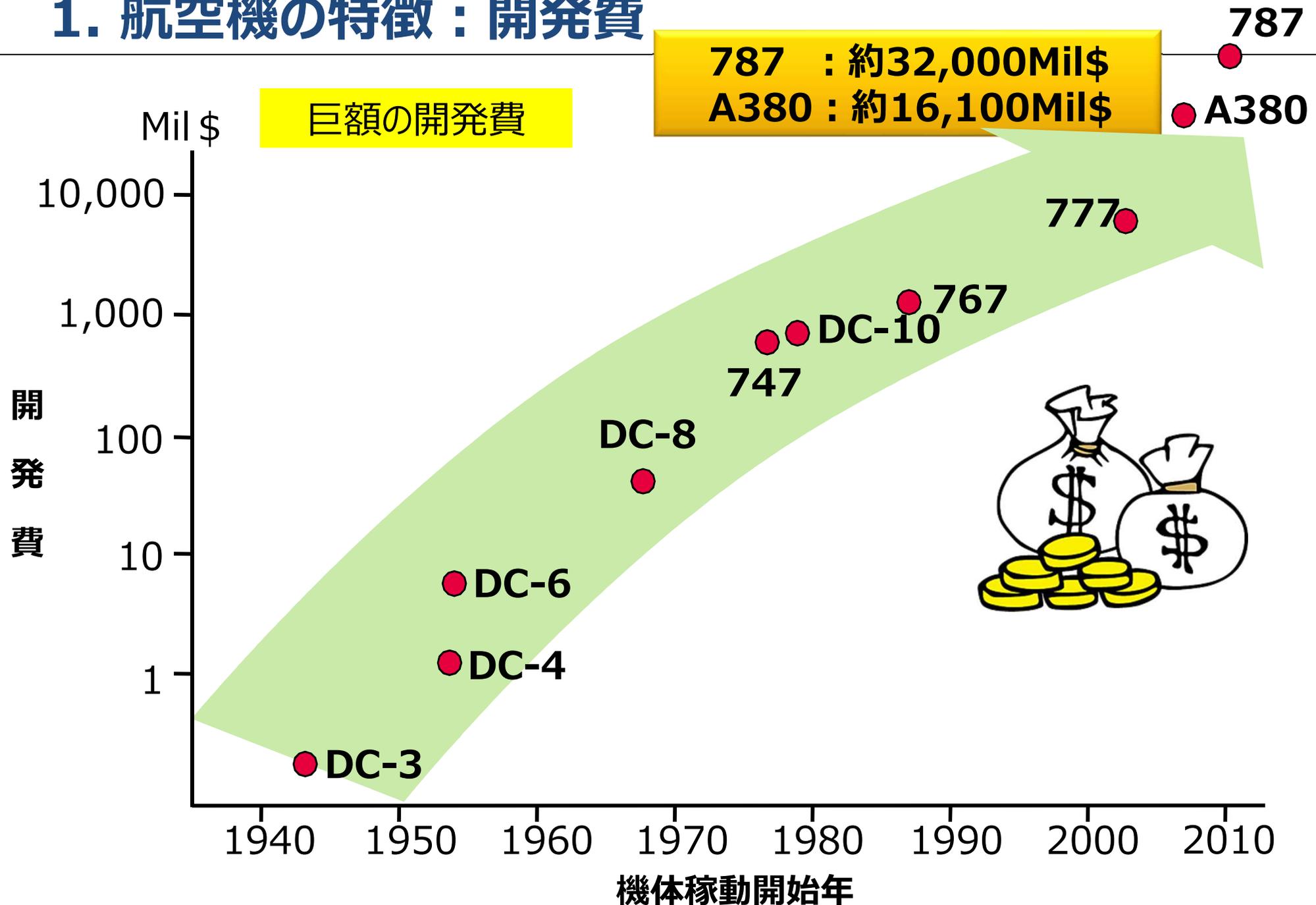


航空機の特徴：部品点数

航空機は高度／複雑化した技術集約製品（B747-400では部品点数は約600万点）

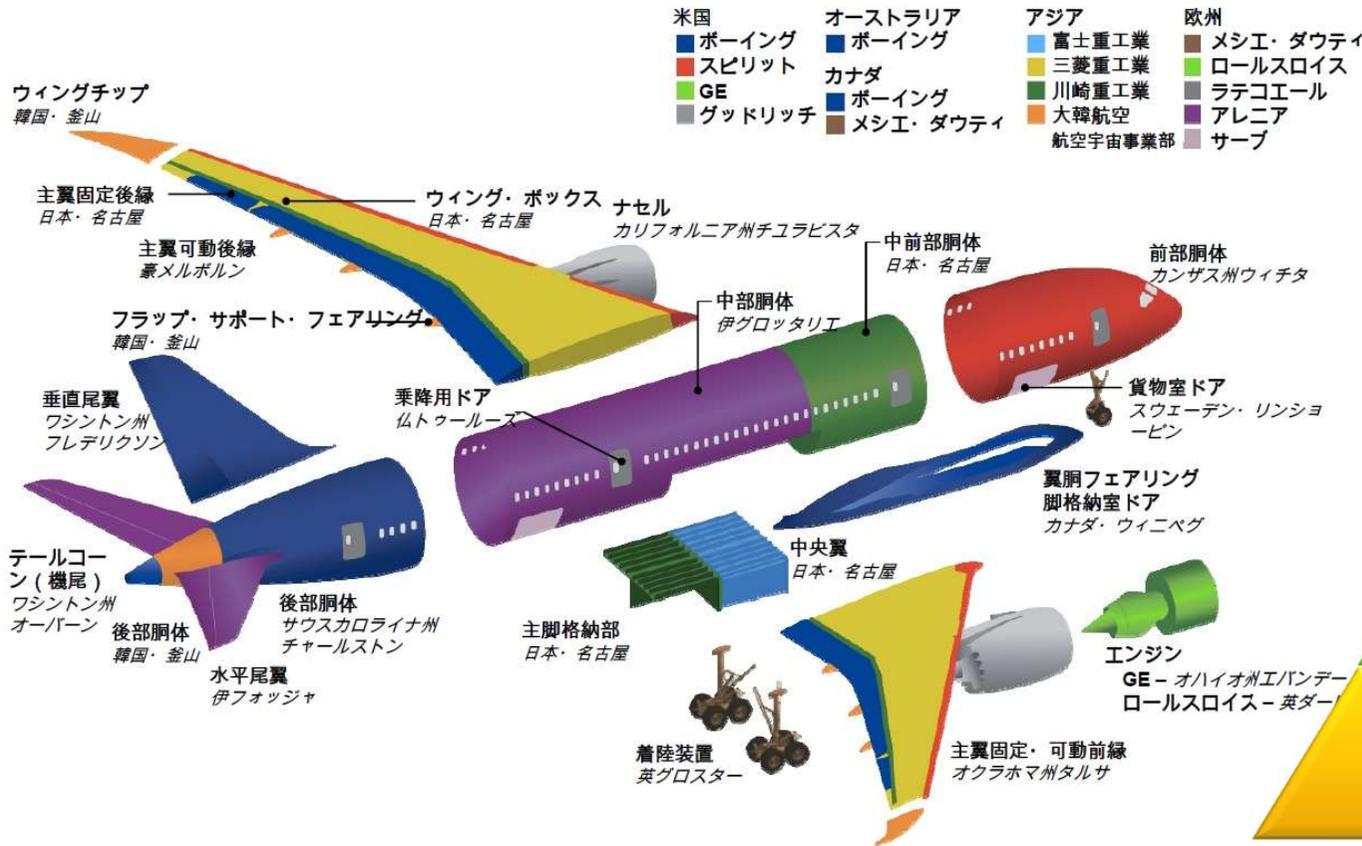


1. 航空機の特徴：開発費

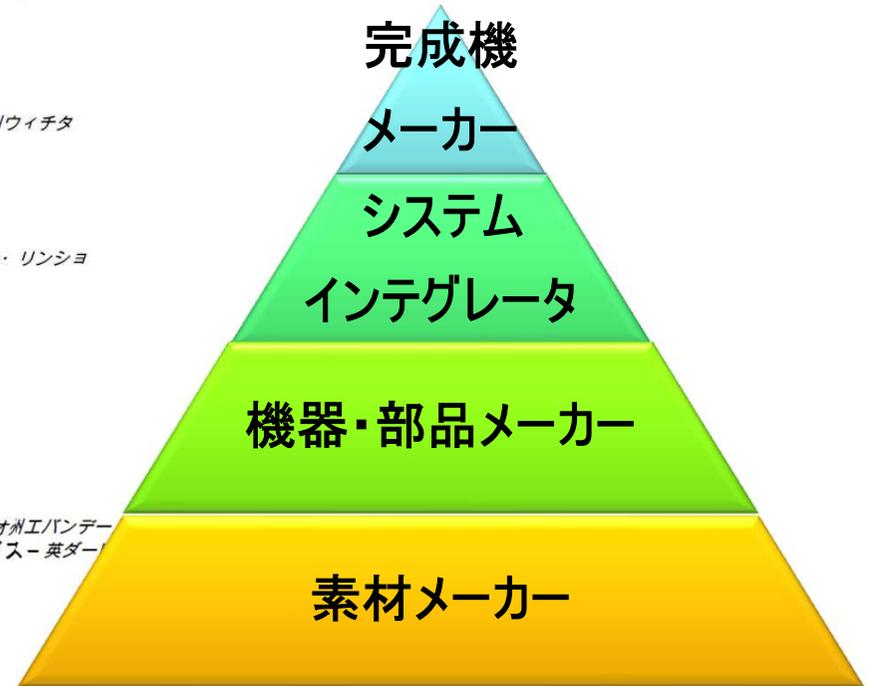


航空機の特徴：開発体制

巨額の開発費 ⇒ 国際的な共同開発体制によるリスクの分散



Boeing 787での分担



完成機メーカーをトップとした階層構造

航空機の特徴：参入障壁

安全性要求/規定が厳格

耐空証明と型式証明の取得

- 納入部品は全数検査
- 工程の定期検査

トレーサビリティ

- 設計・製造から廃棄までのライフサイクル渡る履歴管理
- 全製品/部品の作業記録

品質マネジメントシステム

- JIS Q 9100

特殊工程認証

- Nadcap*
(溶接,化学処理,表面処理,熱処理,非破壊検査,等)

業界が寡占状態

大中型機



リージョナル（小型）機



エンジン



装備品



材料



*:National Aerospace and Defense Contractors Accreditation Program

航空法

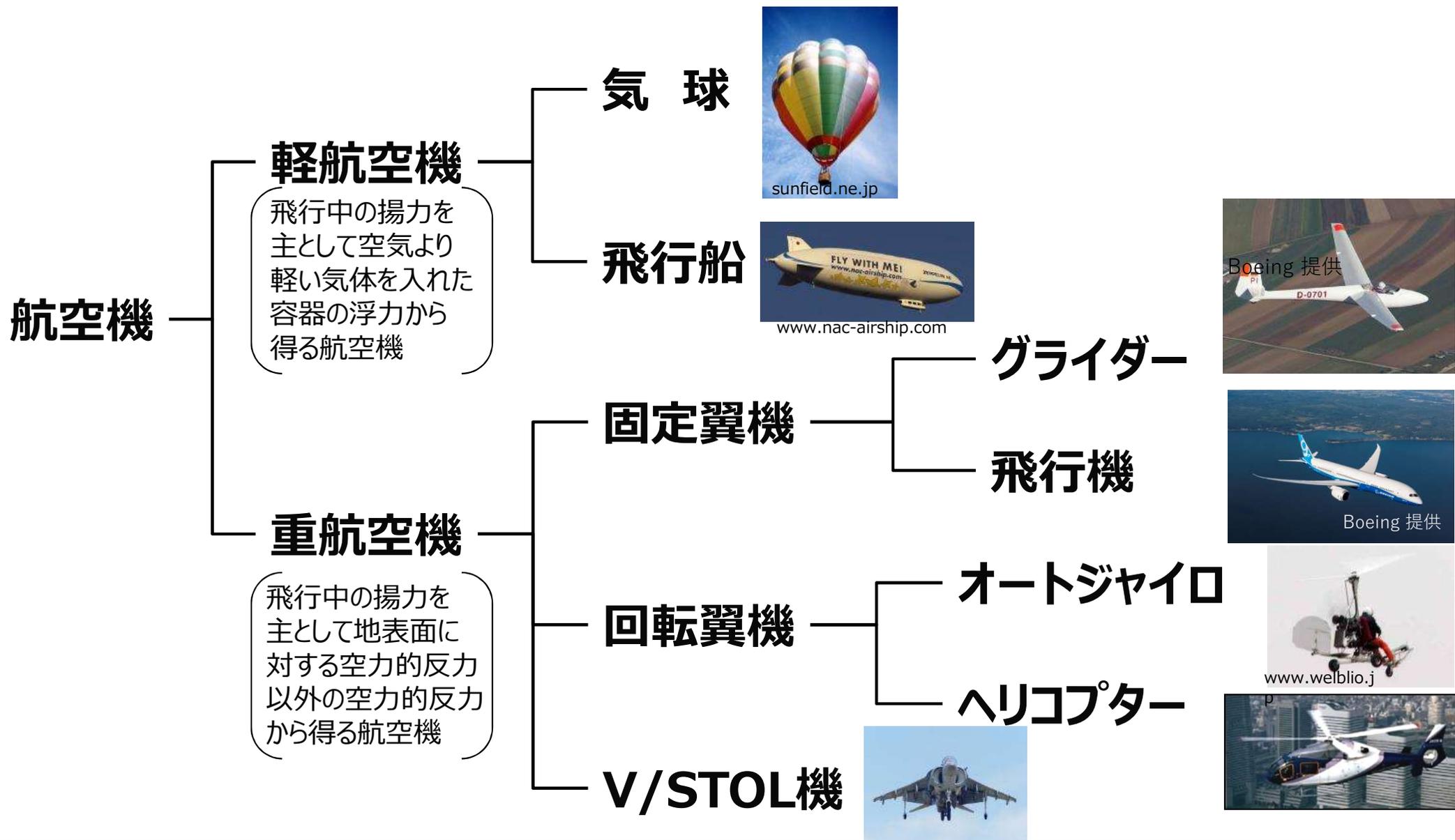
- 日本の空を飛ぶ航空機を作るには、**航空法**を遵守する必要がある。
- 航空法の目的（航空法 第1条）

国際民間航空条約の規定並びに同条約の附属書として採択された標準、方式及び手続に準拠して、航空機の航行の安全及び航空機の航行に起因する障害の防止を図るための方法を定め、並びに航空機を運航して営む事業の適正かつ合理的な運営を確保して輸送の安全を確保するとともにその利用者の利便の増進を図ることにより、**航空の発達を図り、もって公共の福祉を増進することを目的**とする。
- 航空機の定義（航空法 第2条）

「航空機」とは、**人が乗って航空の用に供することができる**飛行機、回転翼航空機、滑空機及び飛行船その他政令で定める航空の用に供することができる機器をいう。

航空法：航空機の分類

・航空機の分類は航空法より以下となる。



航空法：航空機の分類

- 航空機は、飛行用途に応じた機体構造・強度に設計される。
耐空類別とは、その用途に合わせた設計基準を示し、その用途に応じた飛行を行えば耐空性（安全な飛行に耐える性能）が保証できるとしたものである。

例：飛行機

耐空類別	摘要	制限運動荷重倍数	機体例
飛行機曲技 A (Acrobatic)	最大離陸重量5,700kg以下の飛行機であって、飛行機普通Nが適する飛行、及び曲技飛行に適するもの	6.0	 mari.cocolog.nifty.com
飛行機実用 U (Utility)	最大離陸重量5,700kg以下の飛行機であって、飛行機普通Nが適する飛行及び60°バンクを超える旋回、錐揉、レジャーイト、シャンデル等の曲技飛行（急激な運動及び背面飛行を除く。）に適するもの	4.4	 gallito.com
飛行機普通 N (Normal)	最大離陸重量5,700kg以下の飛行機であって、普通の飛行〔60°バンクを超えない旋回及び失速（ヒップストールを除く。）を含む。〕に適するもの	3.8 ~ 2.5	
飛行機輸送 C (Commuter)	最大離陸重量8,618kg以下の多発のプロペラ飛行機であって、航空運送事業の用に適するもの（客席数が19以下であるものに限る。）	3.8 ~ 2.5	 Gulf.or.j
飛行機輸送 T (Transport)	航空運送事業の用に適する飛行機	3.8 ~ 2.5	 Boeing 提供

航空法：耐空証明と型式証明

● 耐空証明

航空機は、有効な耐空証明を受けているものでなければ、航空の用に供してはならない（航空法第11条）

耐空証明の検査基準は、強度、構造及び性能の基準（施行規則第14条・附属書第1）、騒音の基準（附属書第2）、発動機の排出物の基準（附属書第3）である（航空法第10条、第4項）

型式証明を受けた航空機や輸入航空機は、一部検査を省略できる（航空法第10条、第5項）

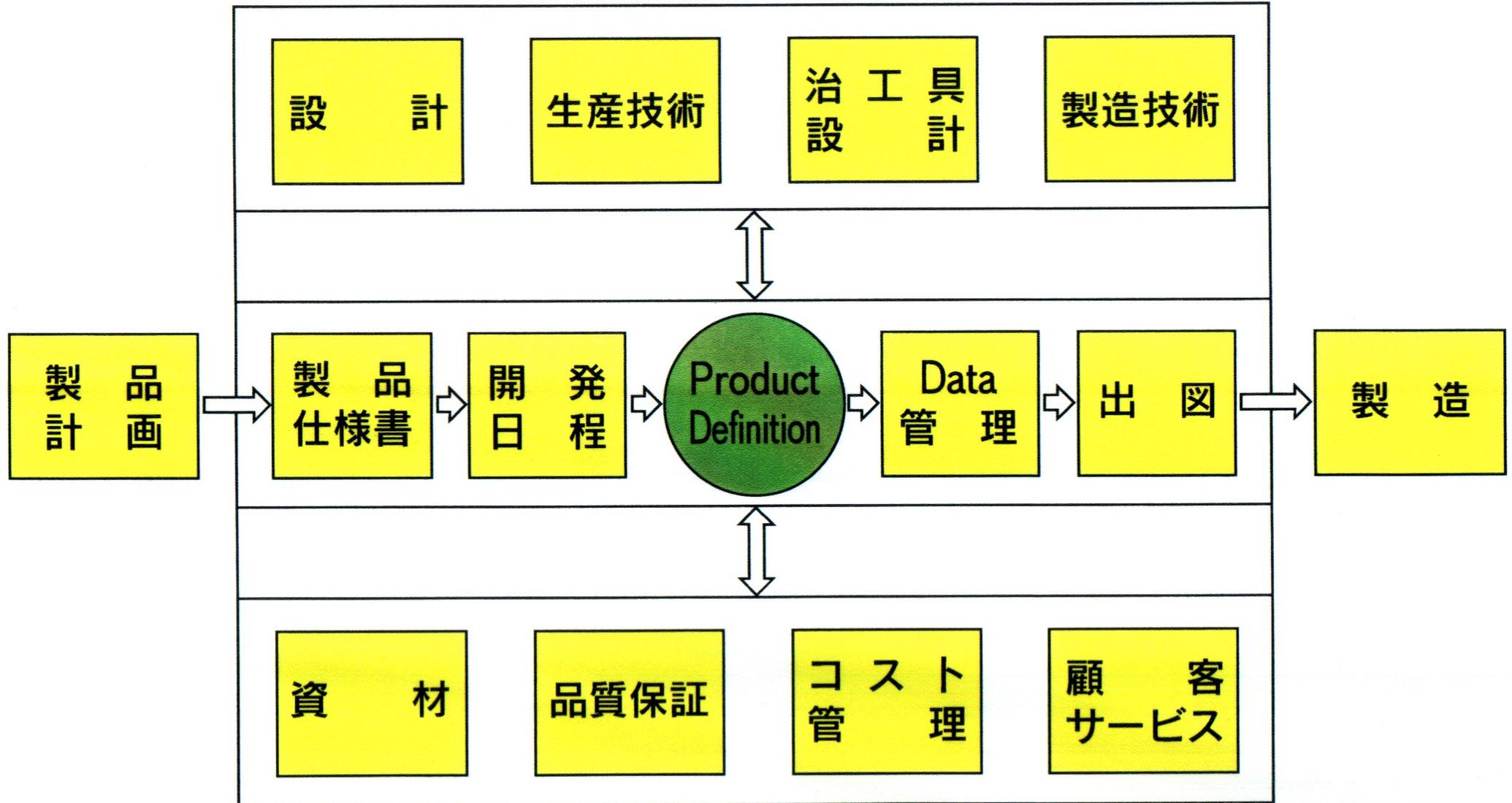
● 型式証明

航空機の型式が、航空法10条第4項の基準に適合するときに型式証明する（航空法第12条）

型式証明の検査は、当該型式の設計並びにその設計に係る航空機のうち1機の製造過程及び現状について行う（施行規則第18条）

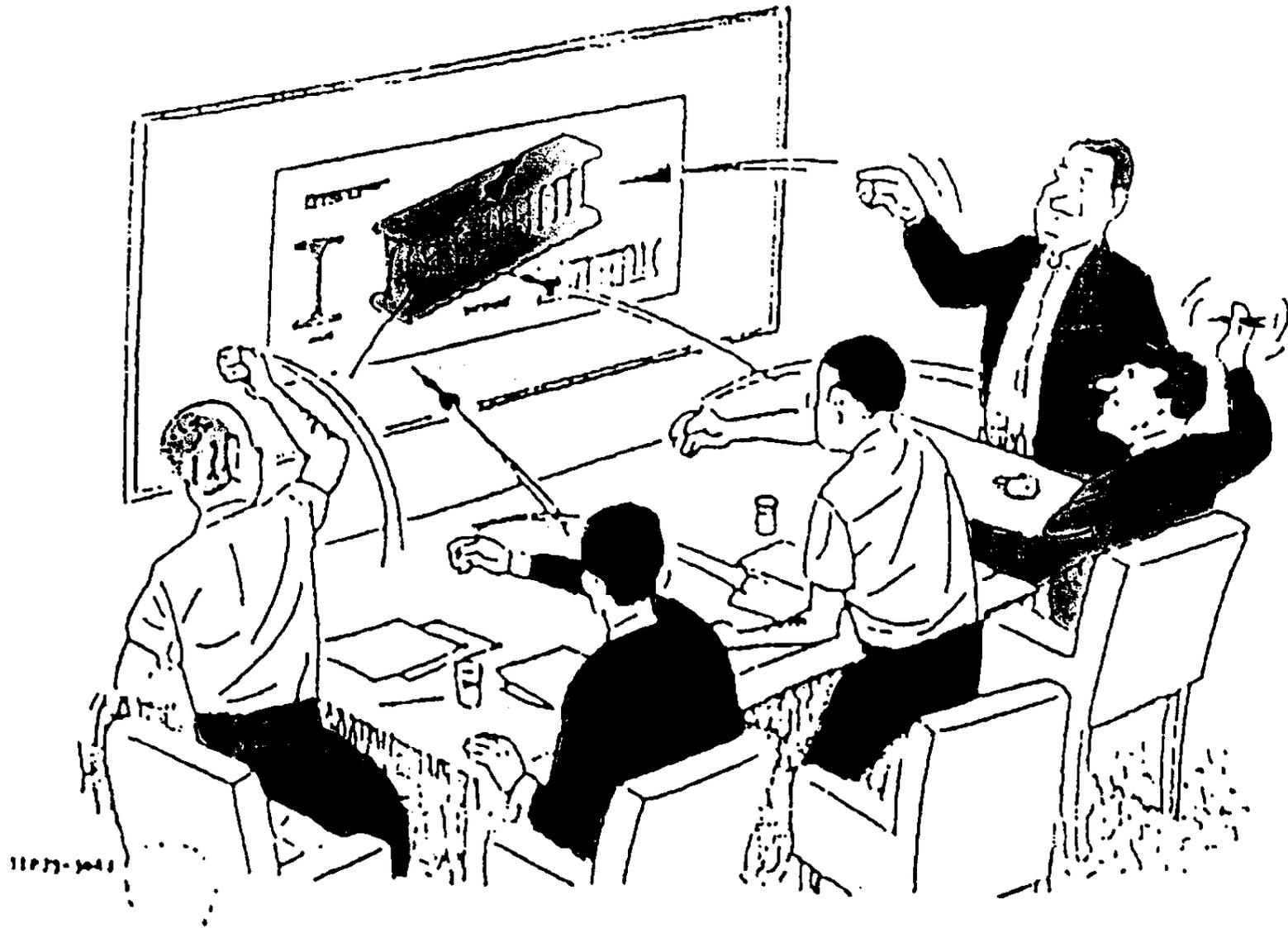
航空機開発の流れ：設計開発手法

コンカレント設計開発



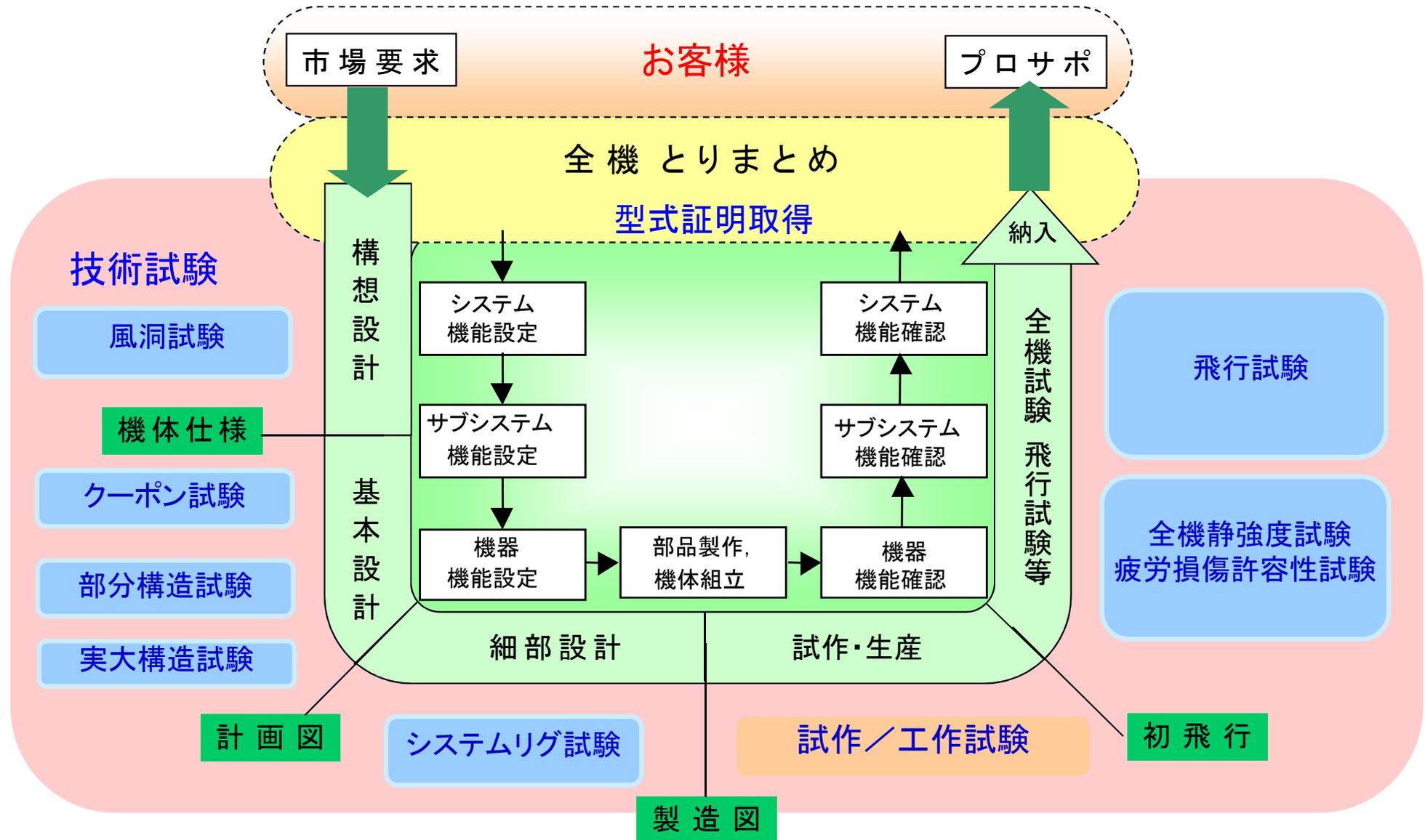
航空機開発の流れ：設計開発手法

コンカレント・エンジニアリング・プロセス



航空機開発の流れ：概念図

- 航空機開発とは、お客様からの要望に始まり(市場要求)、それに基づく各設計段階での設定を試験により確認し、最後にお客様へ納入し運用を支援(プロサポ)していく一連の作業である。



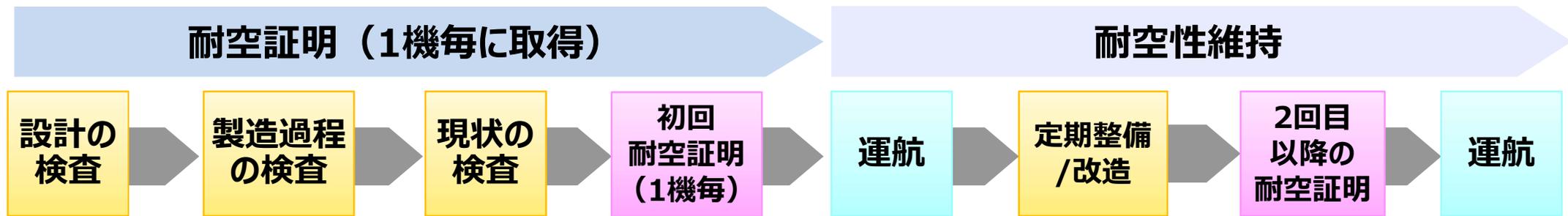
航空機開発の流れ：耐空証明と型式証明

耐空証明：安全に飛行できる機体であることの証明

『正しく**設計**され，正しく**製造**され，正しくメンテナンスされている（**現状**）』

型式証明：安全に飛行できる型式であることの証明

『**設計・製造過程**が安全性及び環境適合性の基準を満たしている』



型式証明 (機種毎に取得)

↑ 同じ型式であれば耐空証明を受けるための設計・製造の検査の一部を省略可



航空機の開発
(設計・試験)



製造・検査 (量産)



運航 (使用開始)



定期的な整備

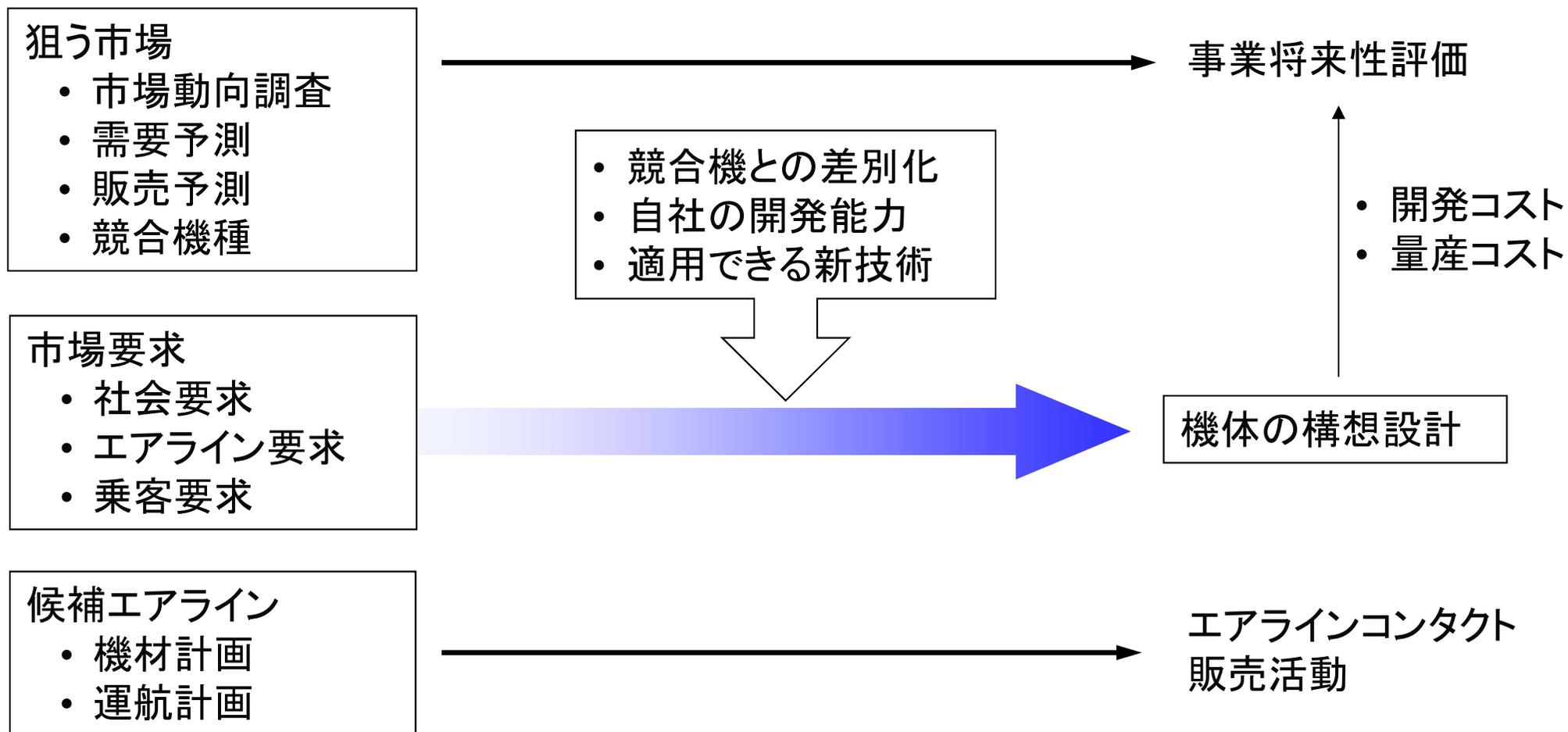
3. 商品企画/構想設計

- ◆市場調査
- ◆狙う市場と需要予測
- ◆市場要求と開発能力
- ◆市場要求仕様の例

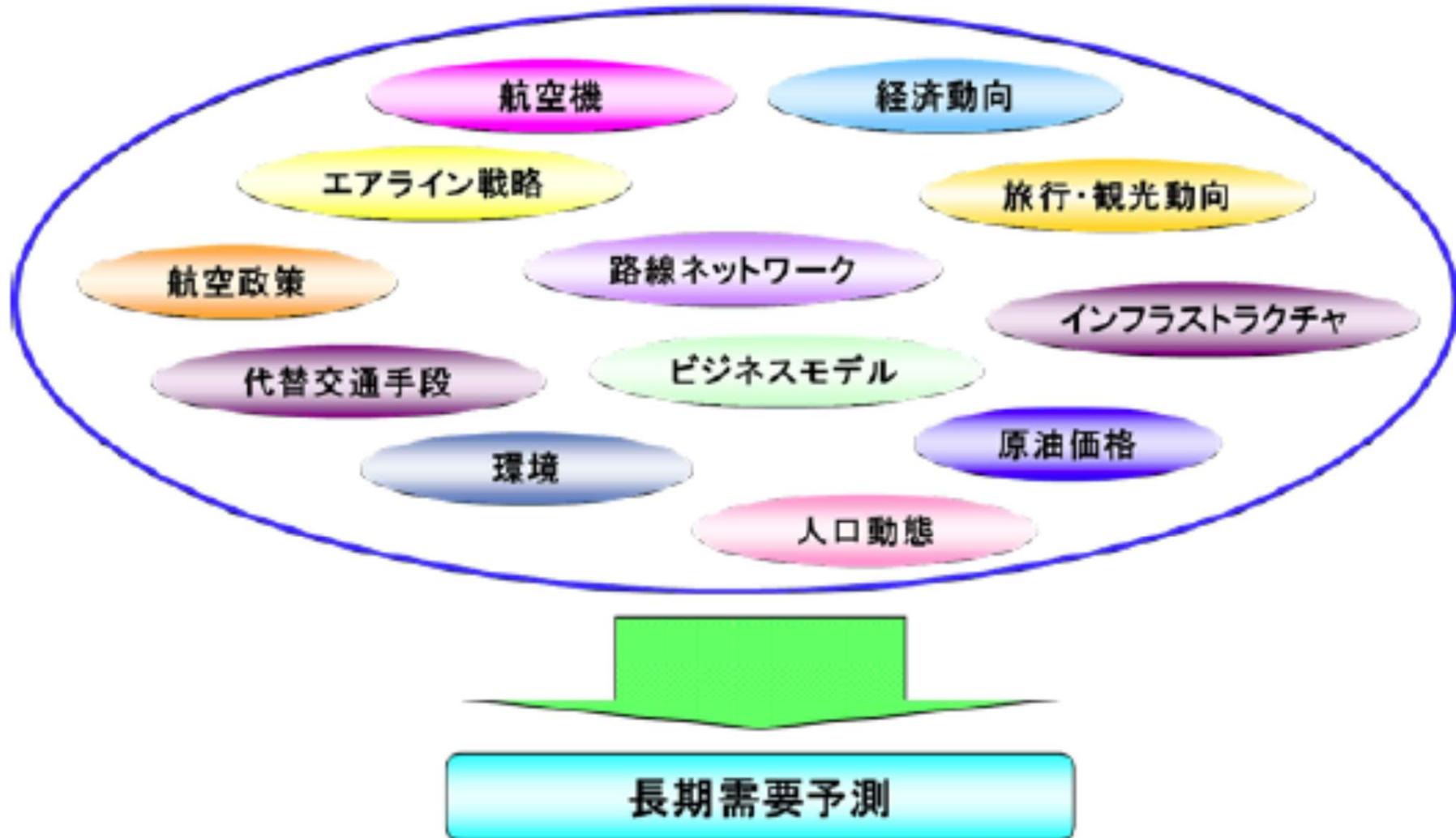
3. 商品企画/構想設計

- 民間航空機開発における商品企画は、市場調査により「狙う市場」、「市場要求」、「顧客候補エアライン」を明確にし、競合機との差別化や自社の開発能力と適用できる新技術を評価した上で機体の構想設計を行い、開発開始を決心させる作業である。

市場調査



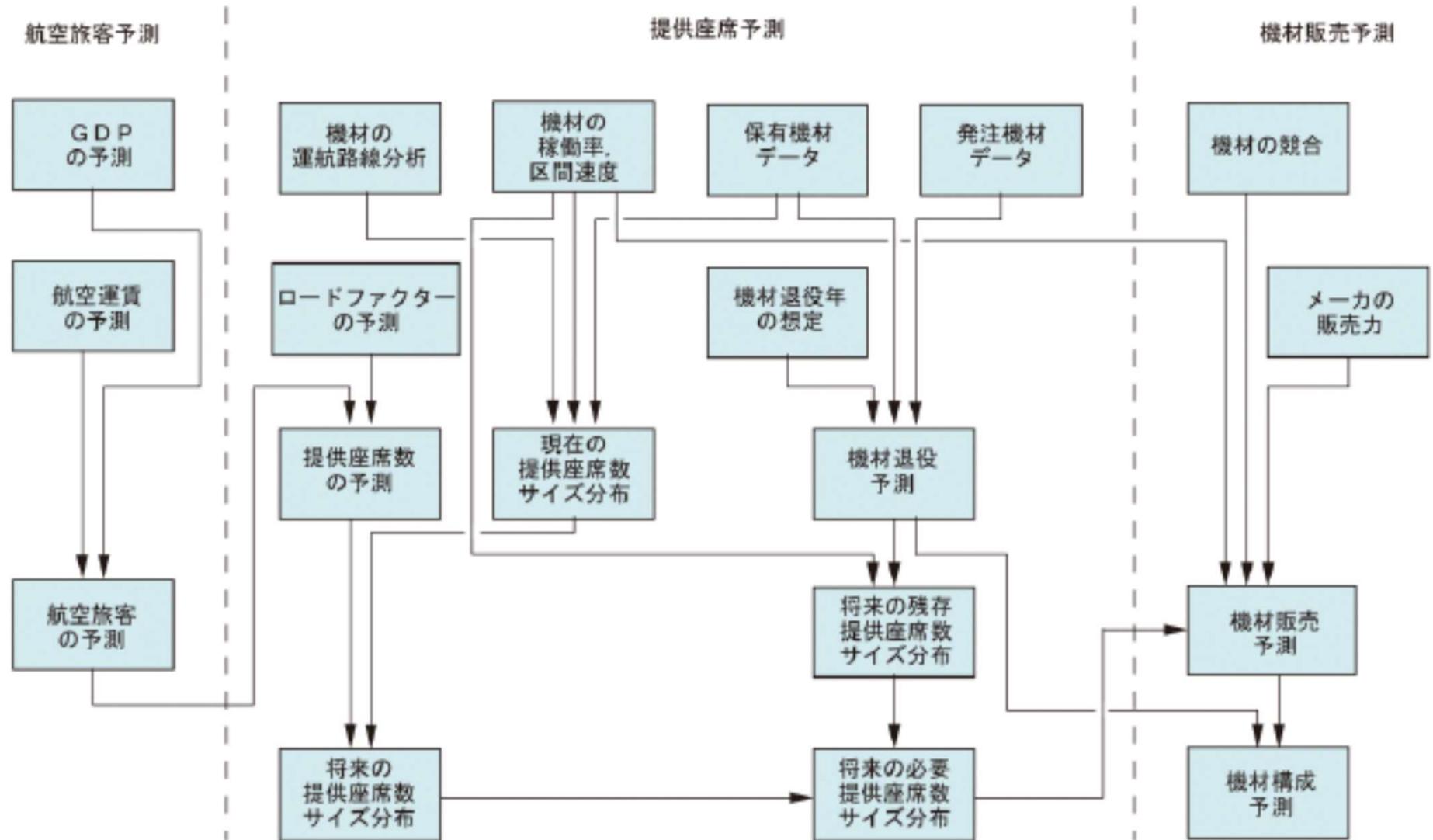
需要予測で考慮される内容



出典：(一財)日本航空機開発協会

市場調査：需要予測フローチャート

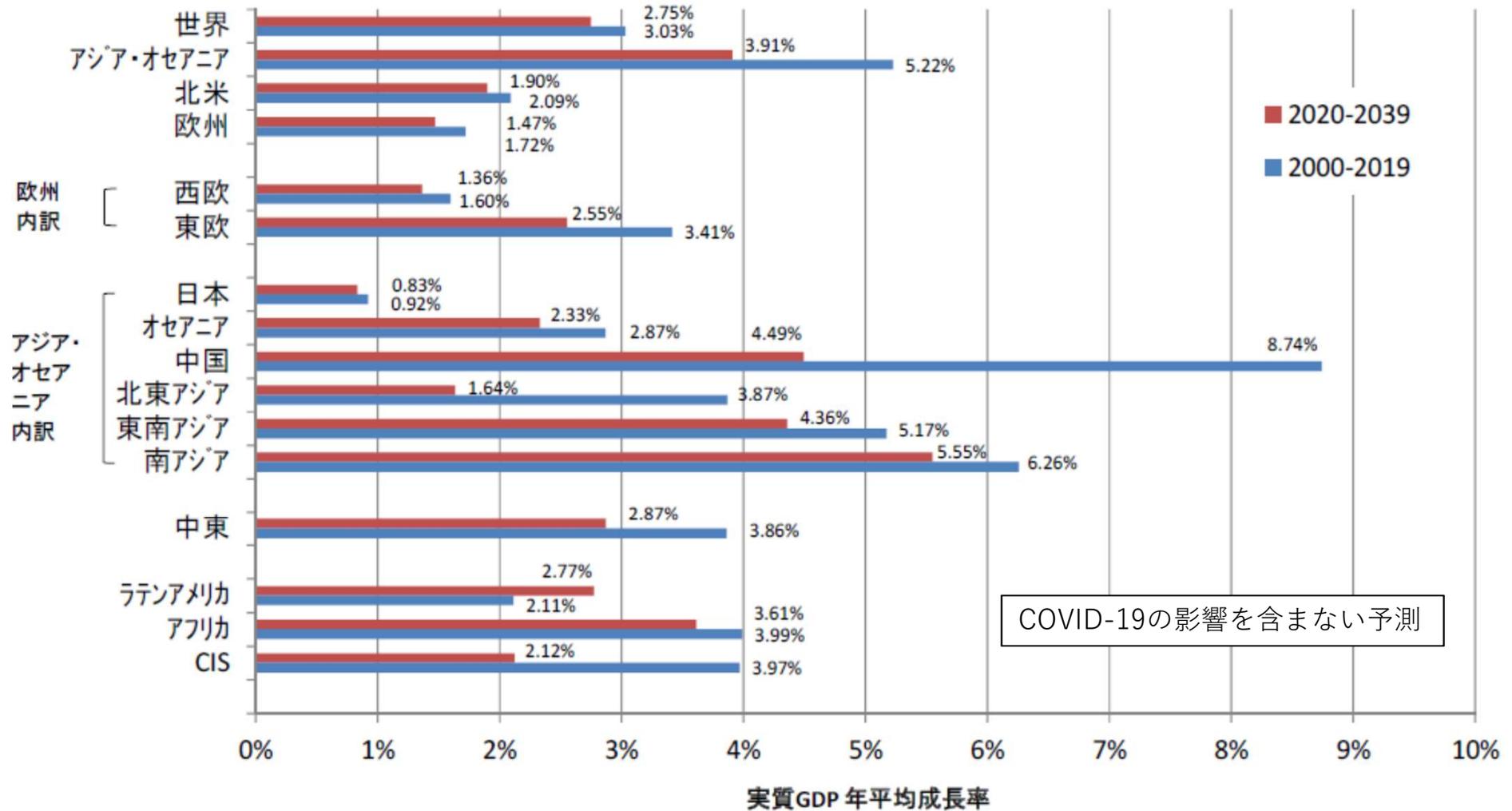
世界マクロ需要予測フローチャート



出典：(一財)日本航空機開発協会

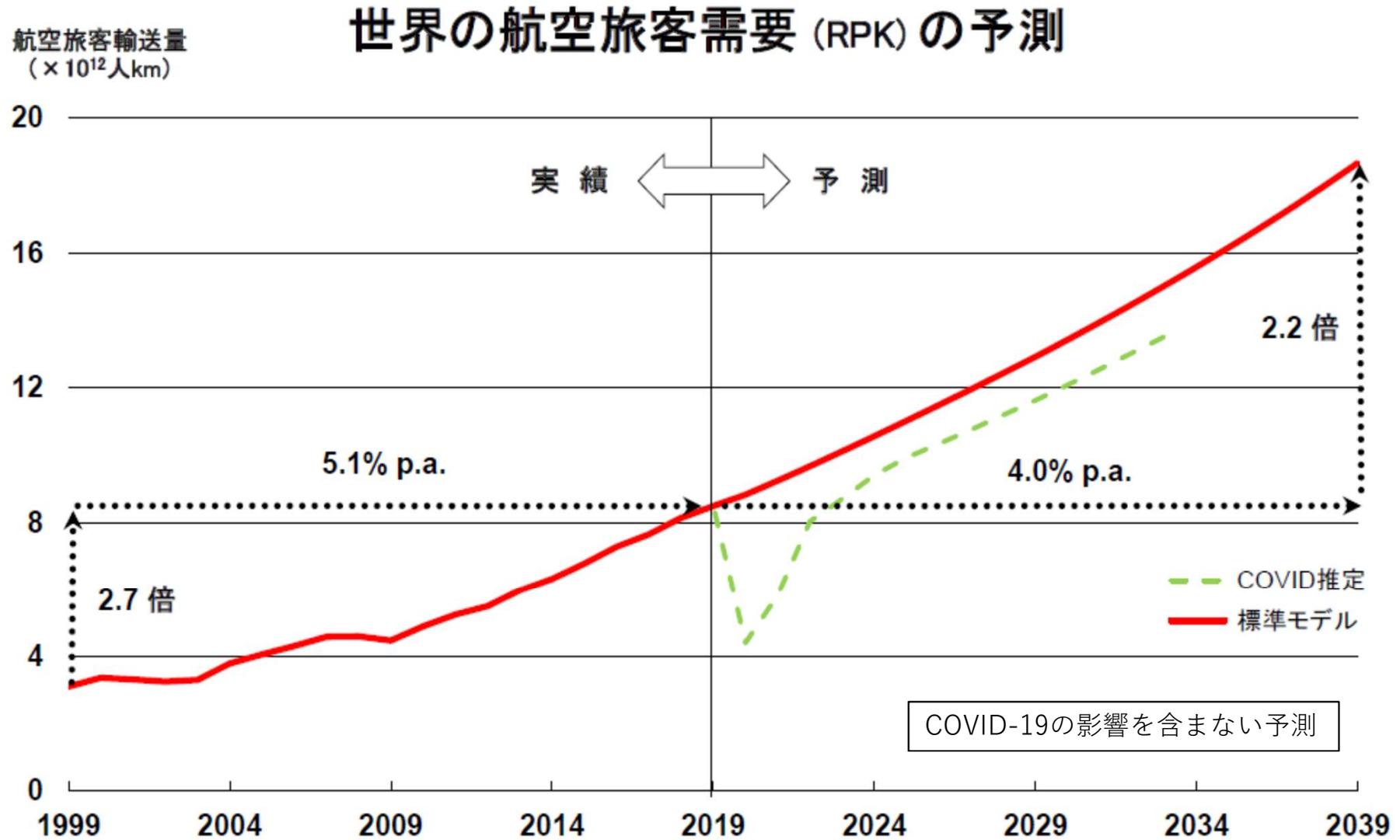
市場調査：地域別経済予測

地域別 経済予測(実質GDP成長率)



出典：(一財)日本航空機開発協会

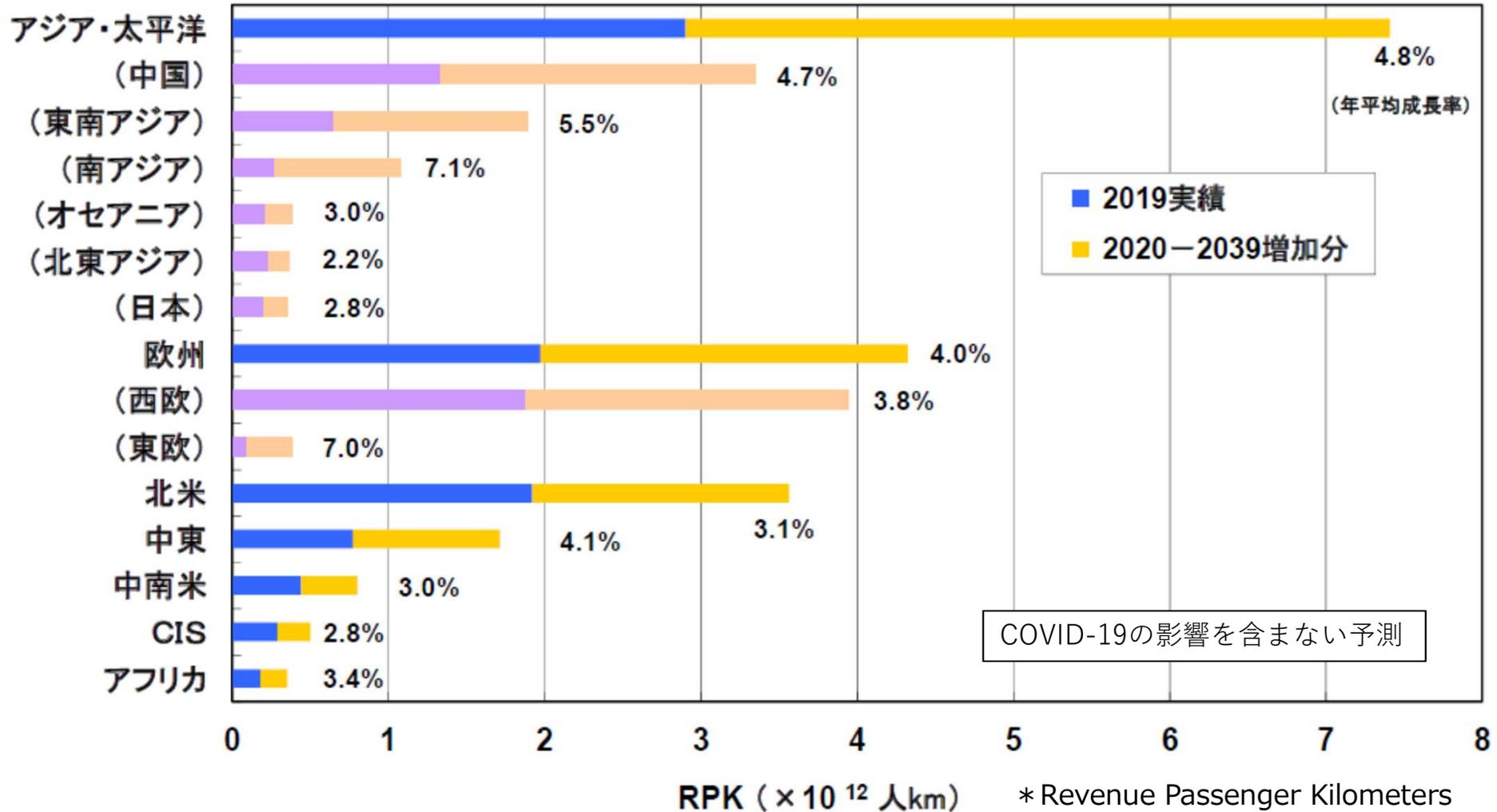
市場調査：航空旅客需要予測



出典：(一財)日本航空機開発協会

市場調査：航空旅客需要予測

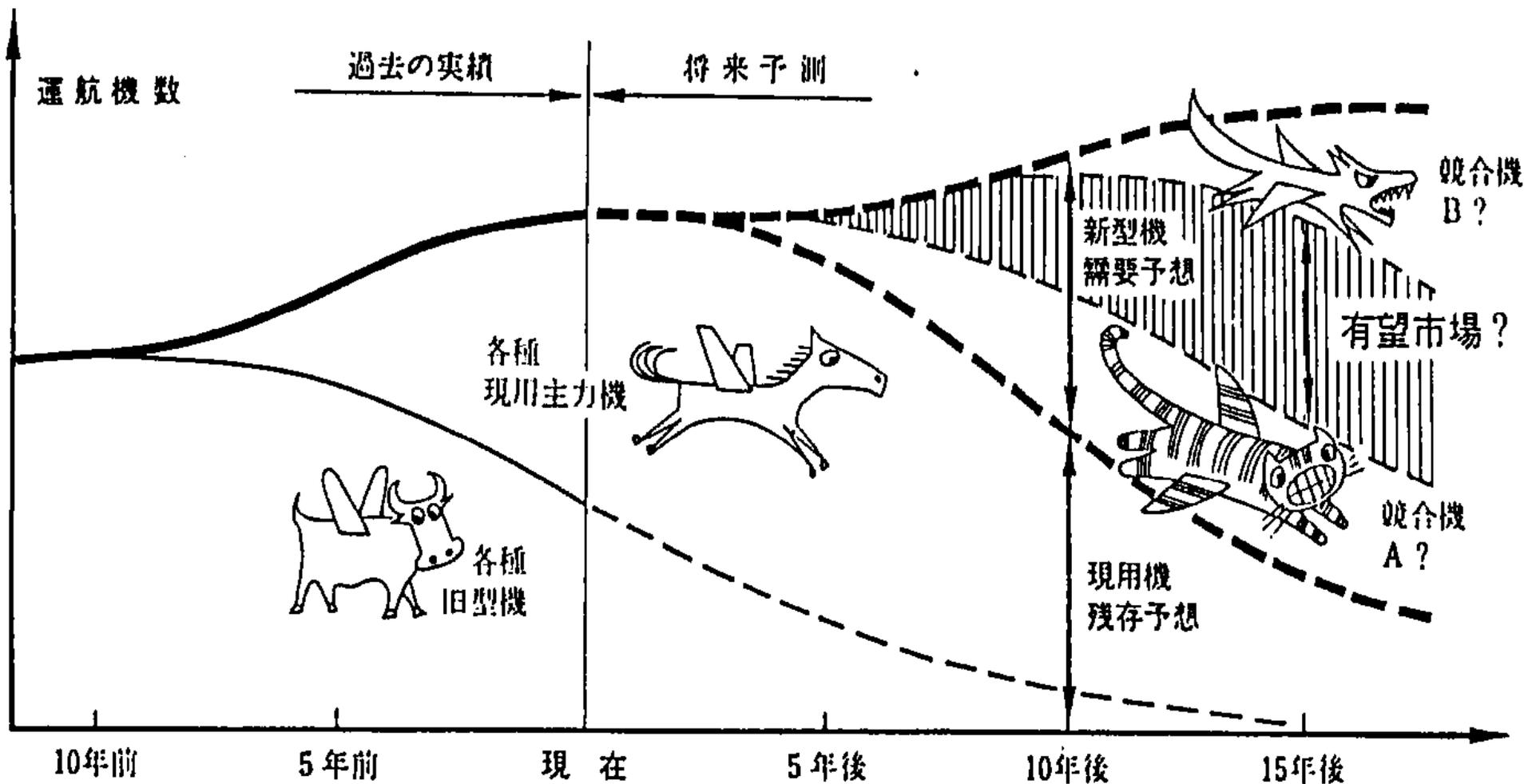
地域別 航空旅客需要予測結果



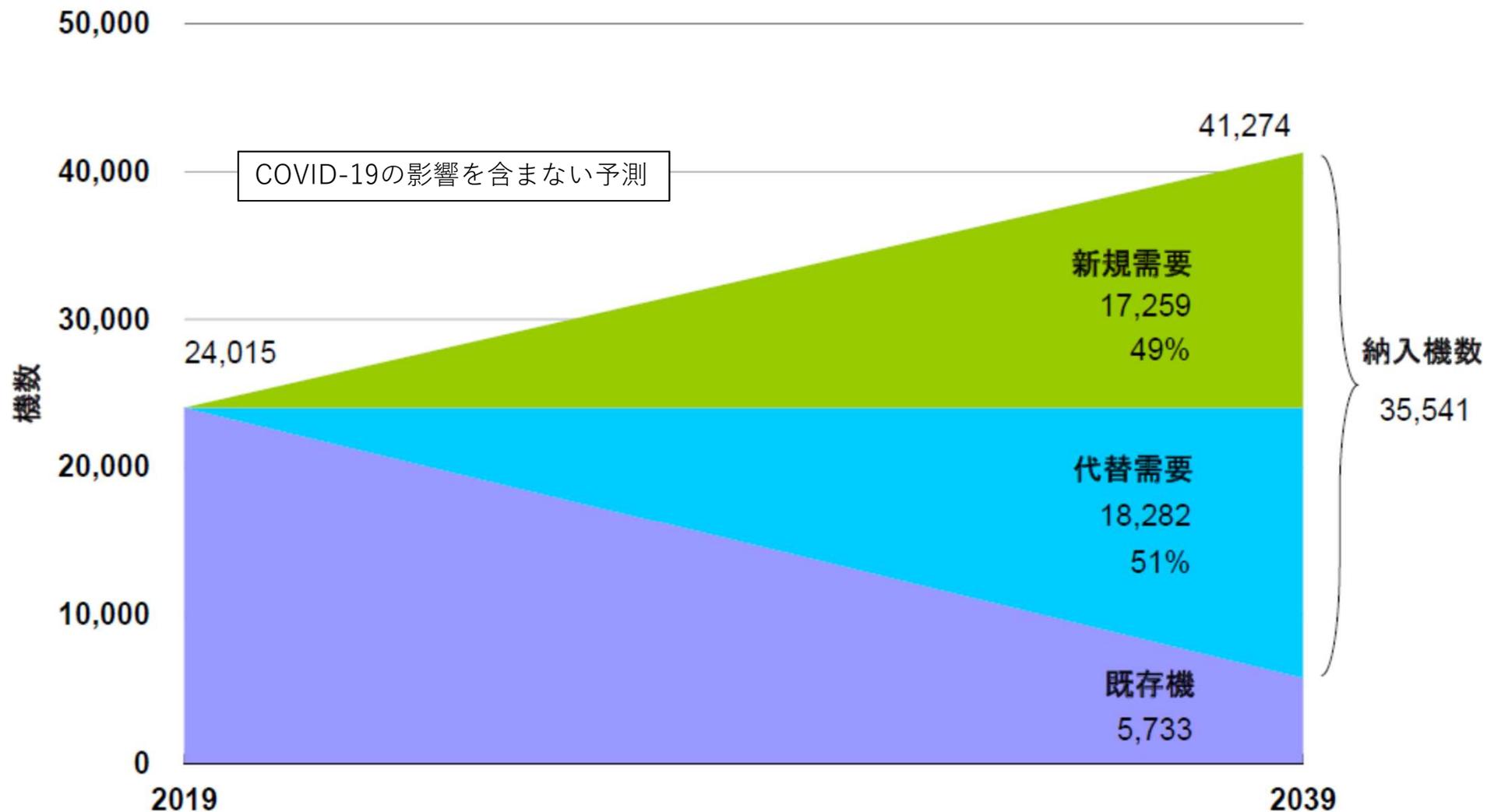
出典：(一財)日本航空機開発協会

狙う市場と需要予測

- 過去の機体運航機数実績と将来予測をもとに、競合機の占有も考慮して新型機の需要予測を立てる。



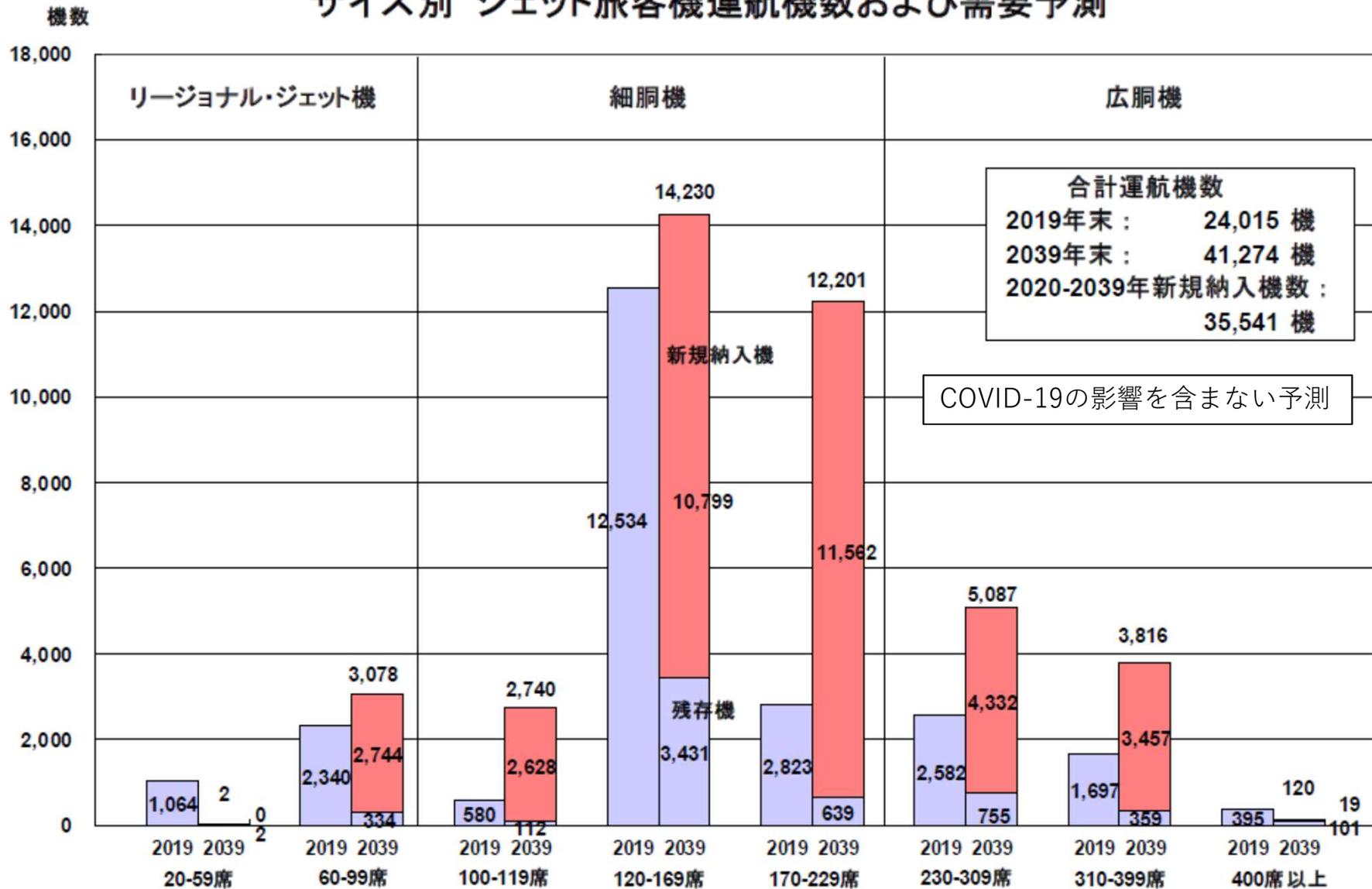
ジェット旅客機の需要予測結果



出典：(一財)日本航空機開発協会

狙う市場と需要予測

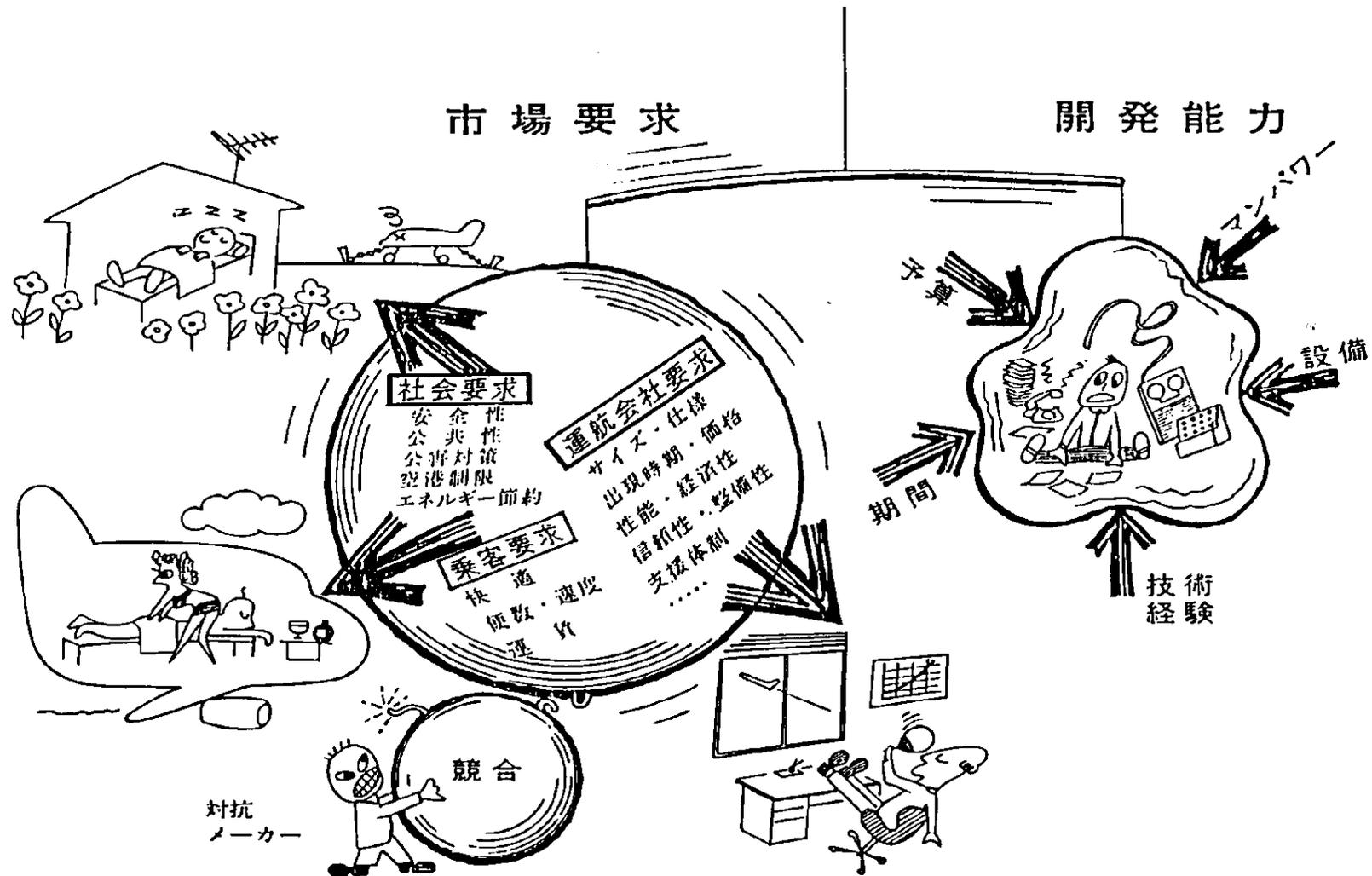
サイズ別 ジェット旅客機運航機数および需要予測



出典：(一財)日本航空機開発協会

市場要求と開発能力

- 多様な市場要求に対して、競合機との差別化や自社の開発能力と適用できる新技術を勘案し「設計要求仕様」を設定する。



市場要求仕様の例

機体を開発する際には、最初に市場調査により得られた具体的な市場の要求を「**市場要求仕様**」としてまとめる。

(例)

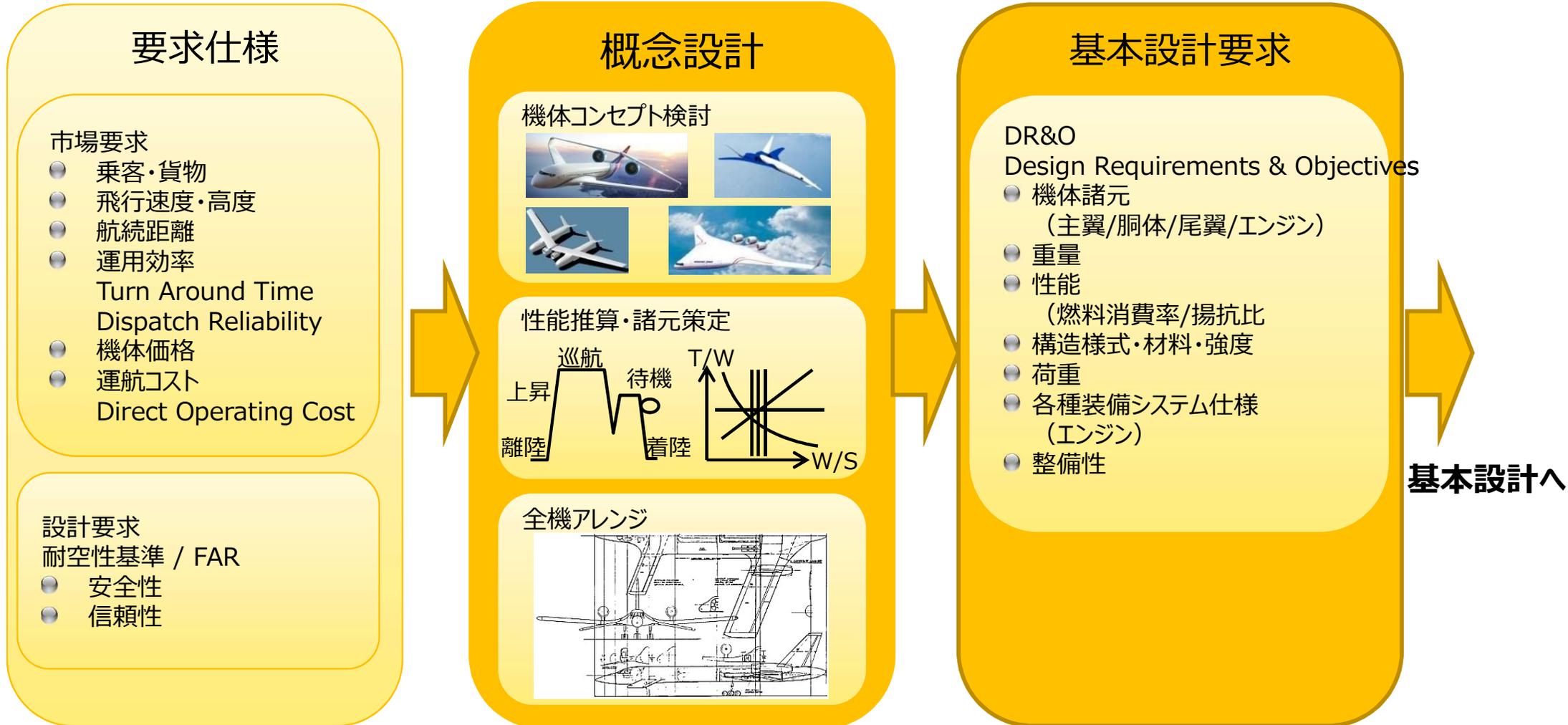
項目		市場要求仕様
性能	航続距離	1,300nm (約 2,400km)
	最大巡航速度	0.76 マツハ
	着陸進入速度	130kt (約 240km/h)
	離着陸距離	1,500m
	片発停止上昇限度	13,000ft (約 4,000m)
	最大巡航高度	35,000ft (約 10,700m)
客室	シート幅	18in (約 46cm)
	シート・ピッチ	32in (約 81cm)
	通路幅	20in (約 51cm)
貨物室	貨物容量	乗客一人当たり 8ft ³
	貨物重量	(23lb/bag × 2.5 個/乗客)+500lb
その他	信頼性	実証済みのシステム・部品を採用
	整備性	地上整備設備を最小とする
	騒音	ステージⅢを余裕を持って満足させる
	エンジン排気	排気ガス(NOx)の少ないエンジン選定

4. 概念設計（諸元策定/空力設計）

- ◆ 航空機レベルの要求定義
- ◆ 初期概念スケッチ
- ◆ 機体コンセプト検討
- ◆ 諸元策定
- ◆ 空力設計の流れ
- ◆ C F D解析/風洞試験

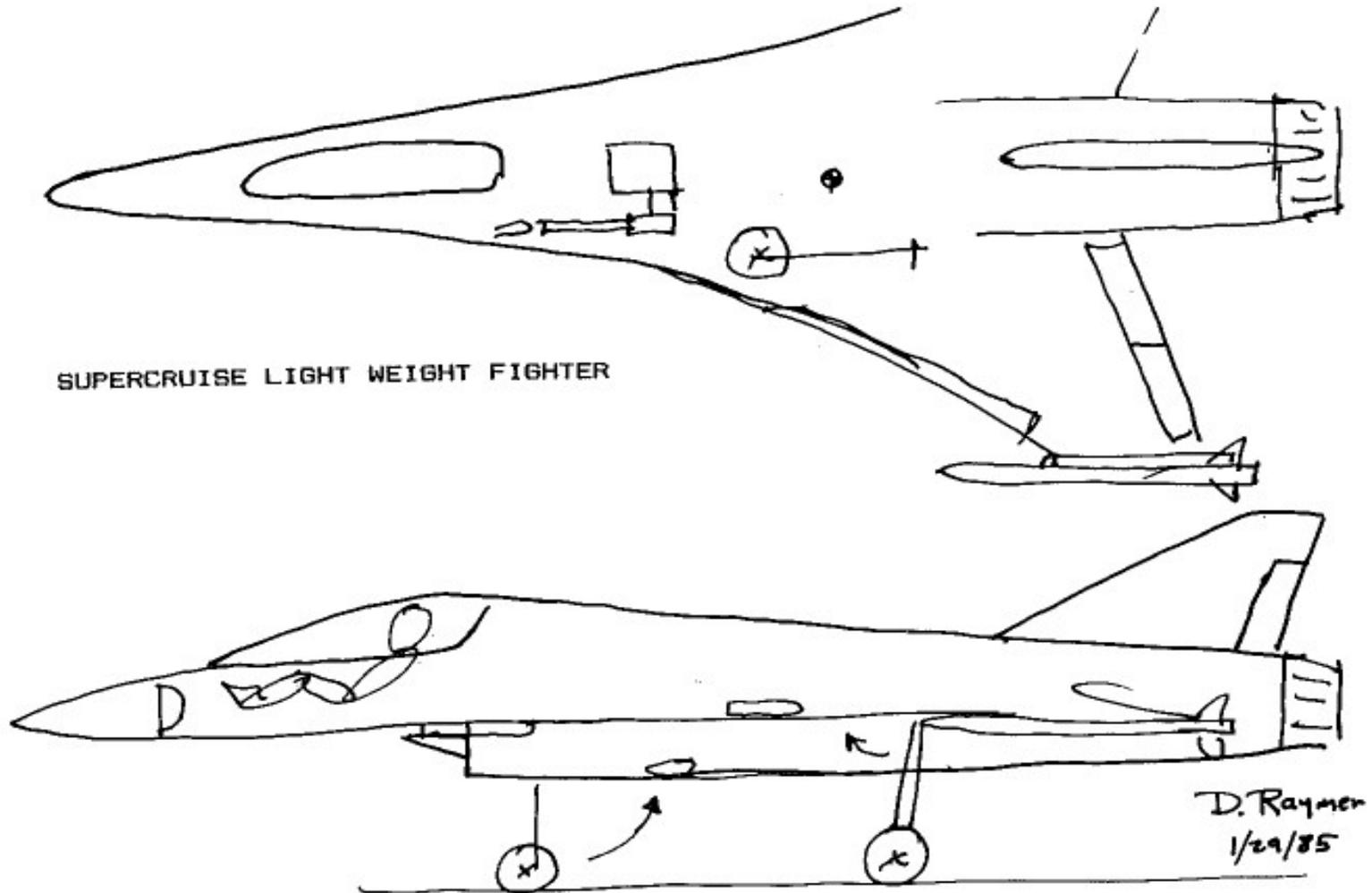
航空機レベルの要求定義

- 概念設計とは、市場要求・客先要求・T/C要件（法令/規制）を基に、機体仕様を策定し、次フェーズの基本設計に対する航空機レベルの設計要求（DR&O）を定義する作業のこと。



写真：左上：popsci.com, 右上：dailymail.co.uk, 左下：ardz21.blogspot.com, 右下：aerospace-technology.blogspot.jp
全機アレンジ図：Aircraft Design: A Conceptual Approach

機体コンセプト検討：初期概念スケッチ



初期概念スケッチの例
Initial Sketch

Aircraft Design: A Conceptual Approachから引用

機体コンセプト検討：エンジンマウント方式



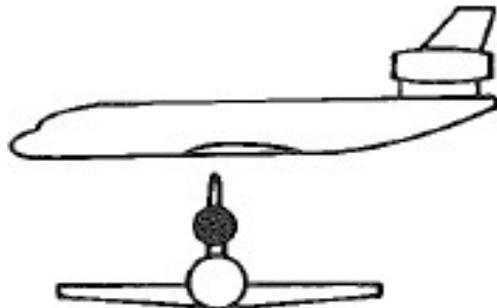
UNDER-WING



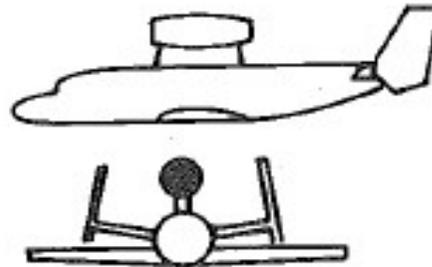
OVER-WING



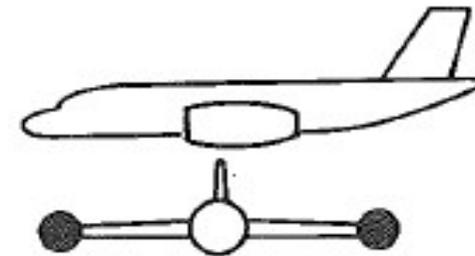
AFT-FUSELAGE



TAIL



OVER-FUSELAGE

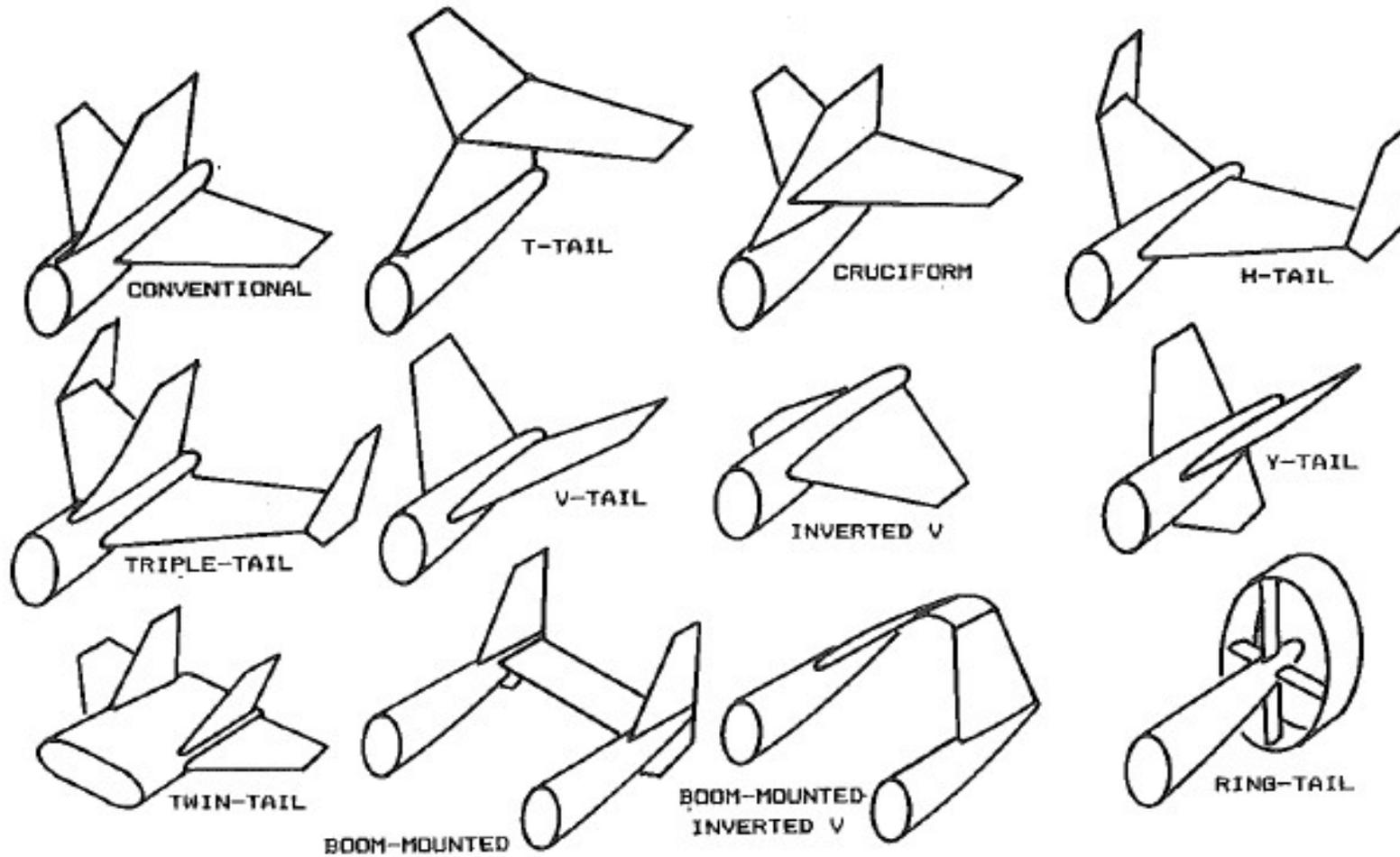


WINGTIP

ポッド（ナセル）搭載ジェット機の場合

Aircraft Design: A Conceptual Approachから引用

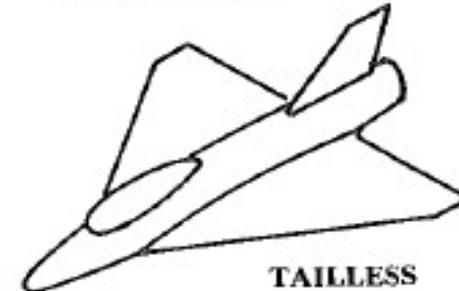
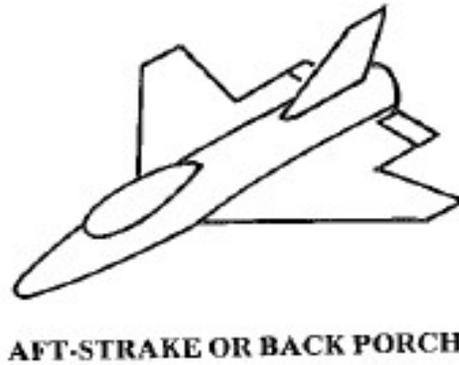
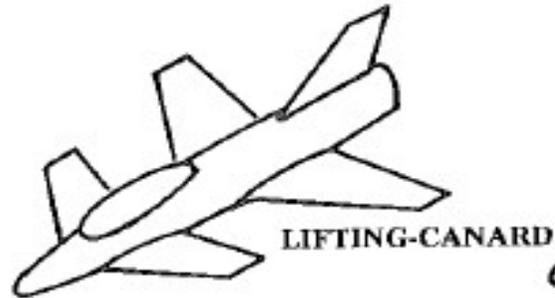
機体コンセプト検討：尾翼形態



尾翼形態例

Aircraft Design: A Conceptual Approachから引用

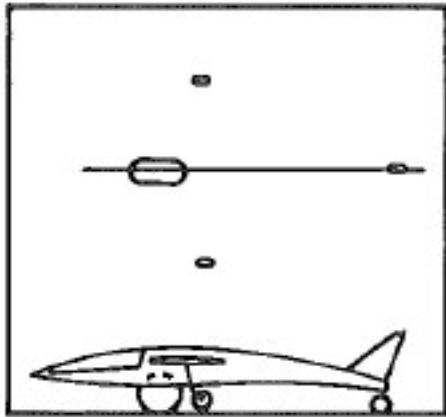
機体コンセプト検討：尾翼形態



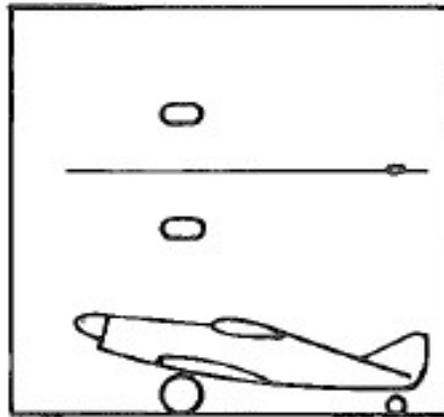
尾翼形態例

Aircraft Design: A Conceptual Approachから引用

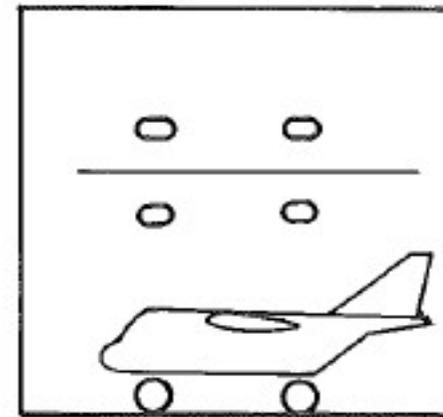
機体コンセプト検討:脚配置



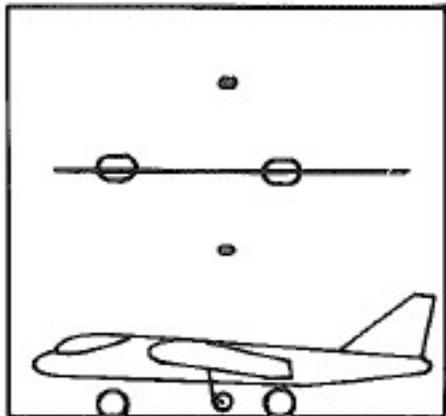
SINGLE MAIN



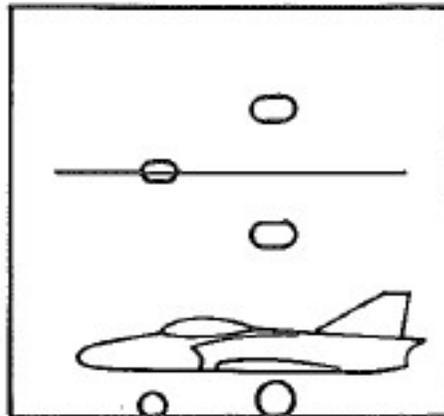
TAILDRAGGER



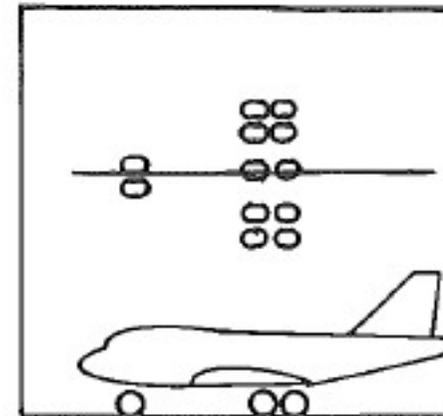
QUADRICYCLE



BICYCLE



TRICYCLE



MULTI-BOGIEY

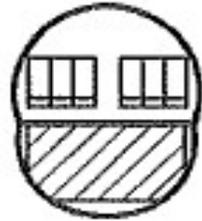
脚配置例

Aircraft Design: A Conceptual Approachから引用

機体コンセプト検討:胴体・座席配置



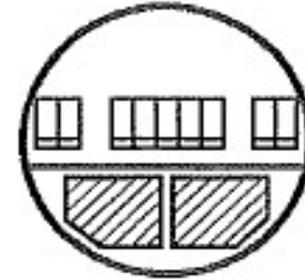
(a) A320



(b) B737



(c) DHC-7



(d) DC-10

胴体断面例



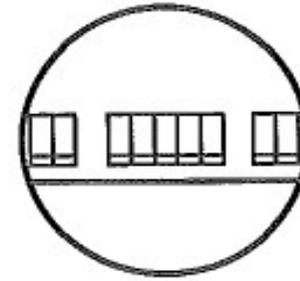
(a) DC-9



(b) A320



(c) Fokker-50



(d) DC-10

座席横配列例

飛行機設計法から引用

機体コンセプト検討：戦闘機の例

- 要求性能仕様が同一でも異なる形態が成立し得る例



YF-22



YF-23

出典：Lockheed Martin及びNASA ホームページより

機体コンセプト検討 : 737の例

737開発当時のconfiguration trade-off studyの事例



出典: FLIGHT INTERNATIONAL

機体コンセプト検討：将来機の事例



- 2030～2035年頃実現目標
- 燃費は既存機比70%減
- 離陸時などパワーが必要な時はガスタービンエンジン、巡航時は電動モーターで駆動するハイブリッドエンジン



- 2025年頃実現目標
- 主翼と尾翼の結合翼
- 燃費改善のための大径エンジン

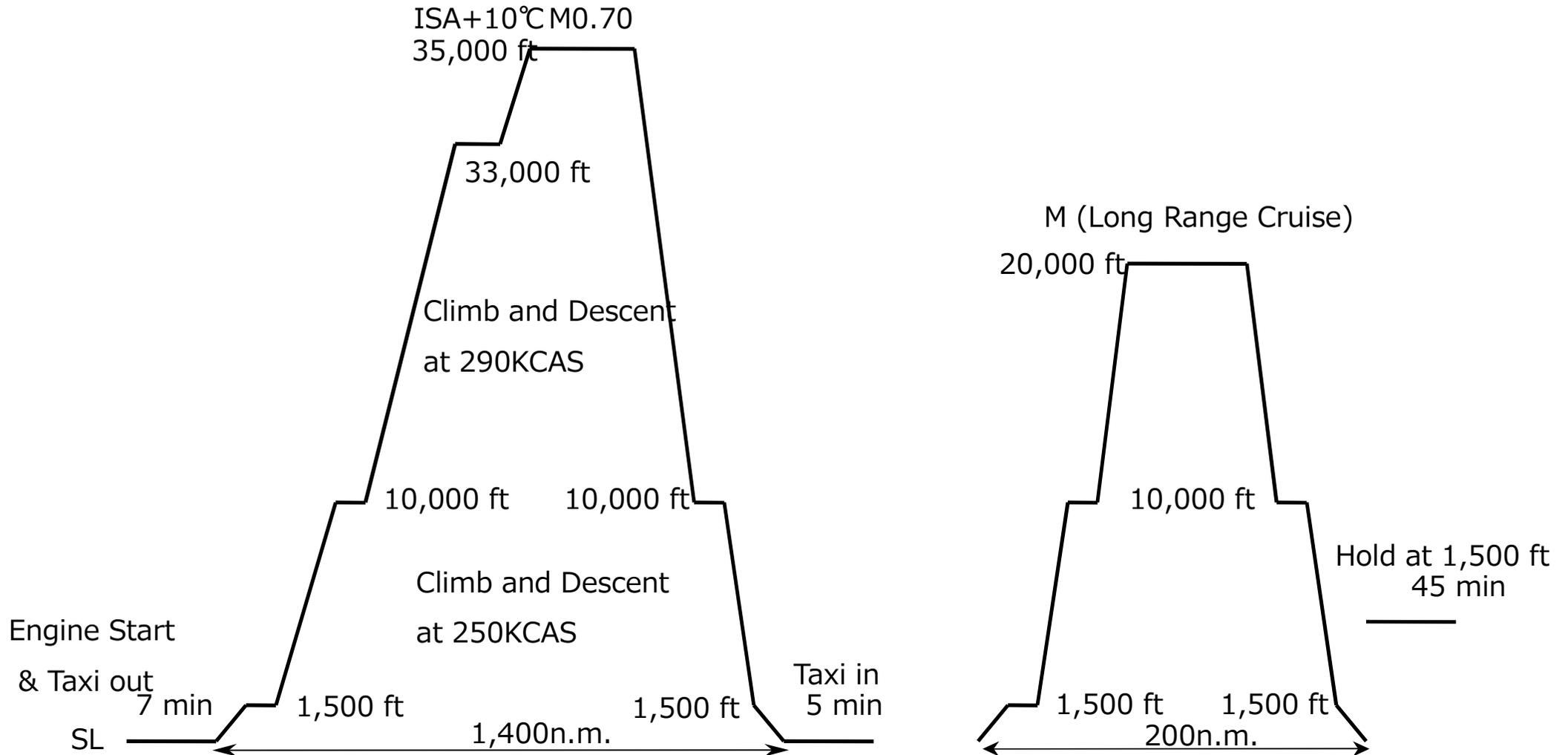
- 2030～2035年頃実現目標
- 尾翼のない全翼形態
- スラストベクタリング



- 2030～2035年頃実現目標
- “Double Bubble”胴体
- エンジン騒音を胴体・尾翼で遮蔽

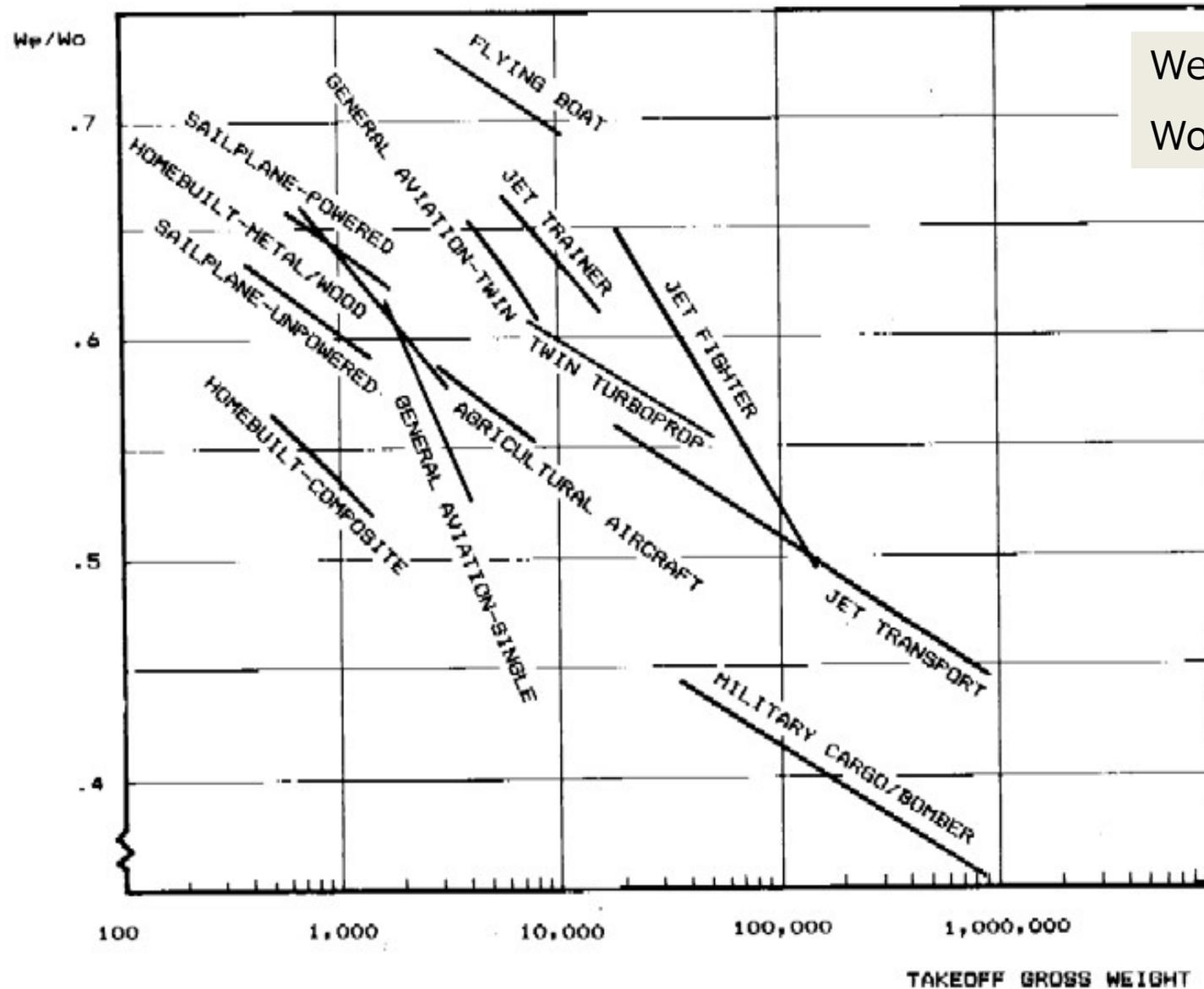
諸元策定：設計ミッションプロフィール

- 設計ミッションプロフィールに従ったシミュレーションを行ない、必要な燃料量、エンジン推力、主翼面積、機体重量、性能を求める



諸元策定：統計値の活用（機体重量）

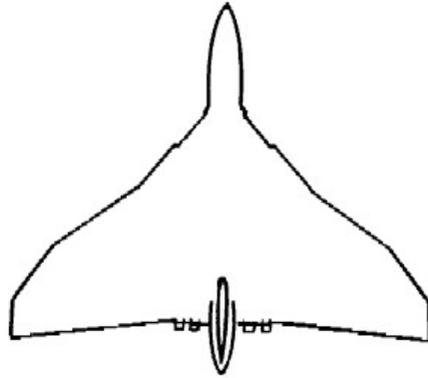
●Empty Weight Fraction Trends



W_e : Empty Weight
 W_o : takeoff gross weight

出典：D.Raymer ; Aircraft Design : A Conceptual Approach, AIAA Education Series

諸元策定：統計値の活用（揚抵比）



	B-47	AVRO VULCAN
S reference	1430	3446
S wetted	11300	9600
SPAN	116	90
Swet/Sref	7.9	2.8
ASPECT RATIO	9.4	3.0
WETTED ASPECT RATIO	1.2	1.1
L/D max	17.2	17.0

Fig. 3.4 Does aspect ratio predict drag?

出典：D.Raymer ; Aircraft Design : A Conceptual Approach, AIAA Education Series

デルタ翼機は、通常翼機と比較した場合、全機ぬれ面積に対し主翼面積の比率が大きい。

つまり、揚力を発生する主翼の割合が高いため、多少アスペクト比（A R）が小さく空力効率が悪くても、全機としての効率（L/D）が同等となる。



諸元策定：統計値の活用（揚抗比）

- 統計データから、同種の機体は、濡れアスペクト比と最大揚抗比 $(L/D)_{max}$ には相関があることがわかっている。

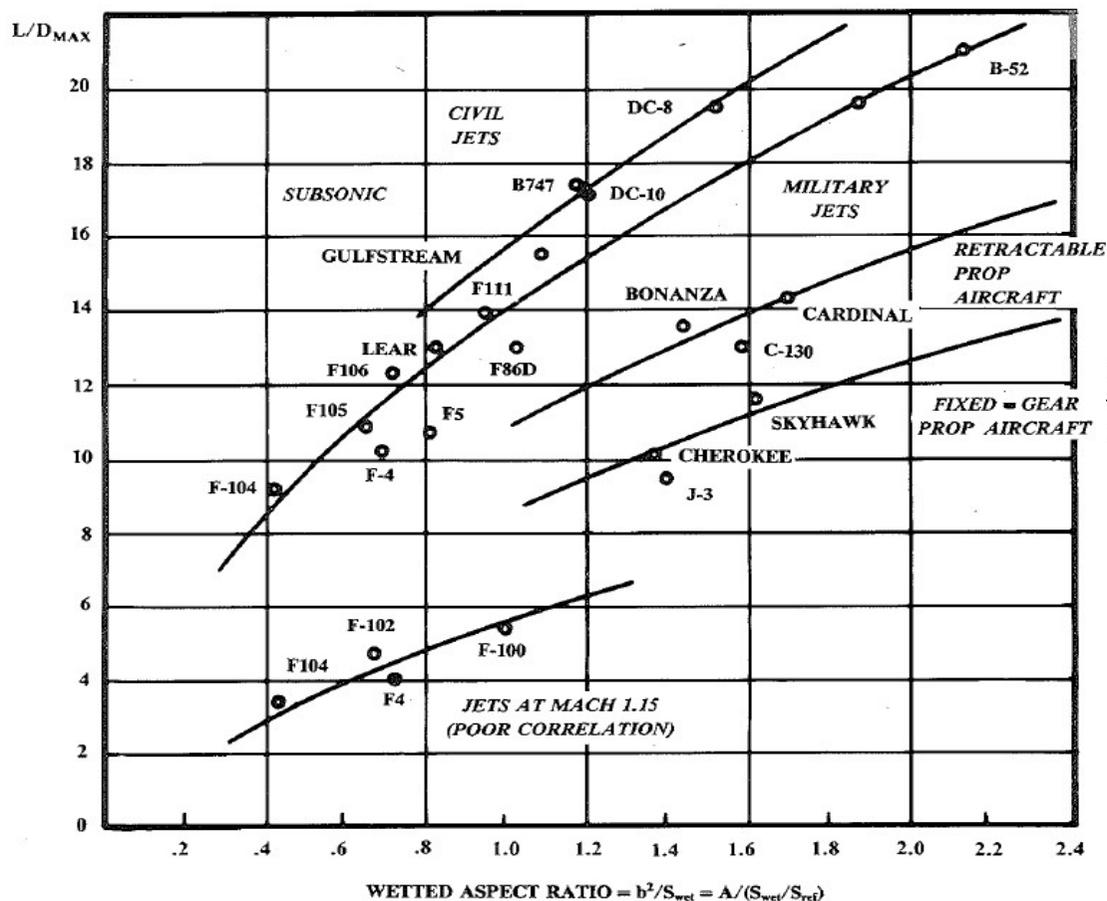


Fig. 3.6 Maximum lift to drag ratio trends.

Aircraft Design: A Conceptual Approachから引用

$$\text{ここで濡れアスペクト比} = \frac{b^2}{S_{wet}} = \frac{AR}{S_{wet}/S}$$

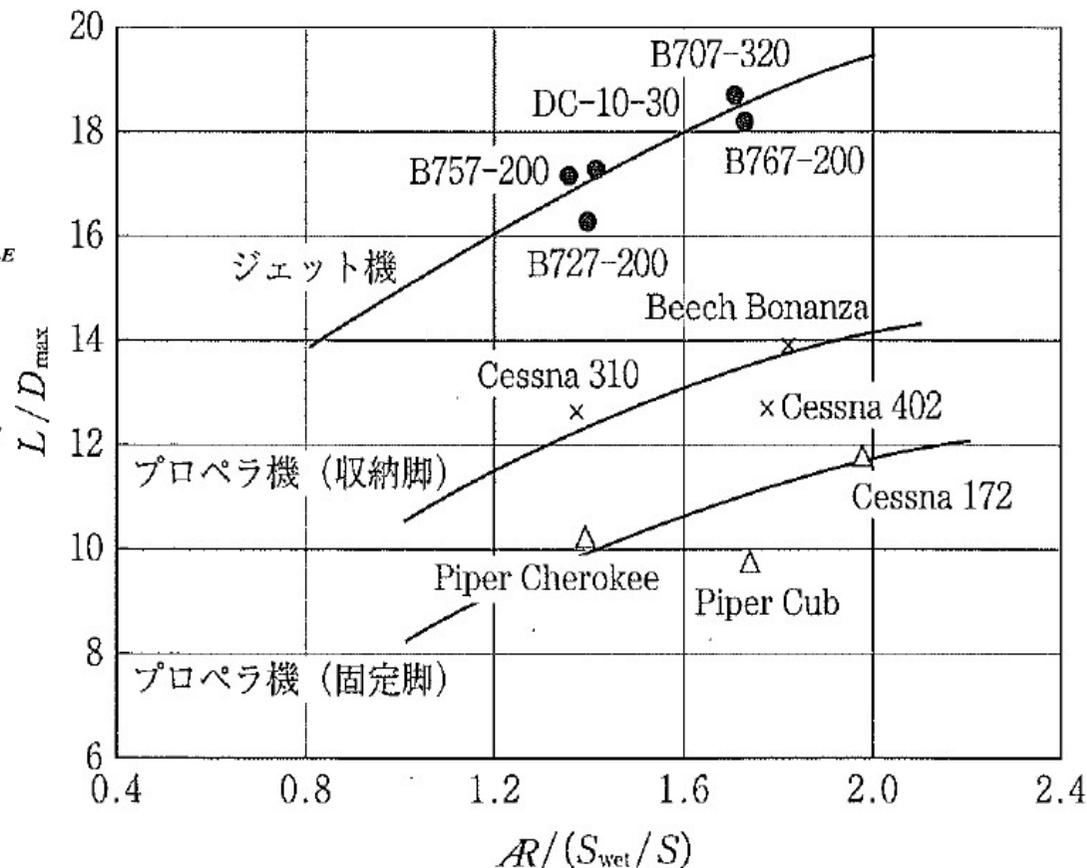
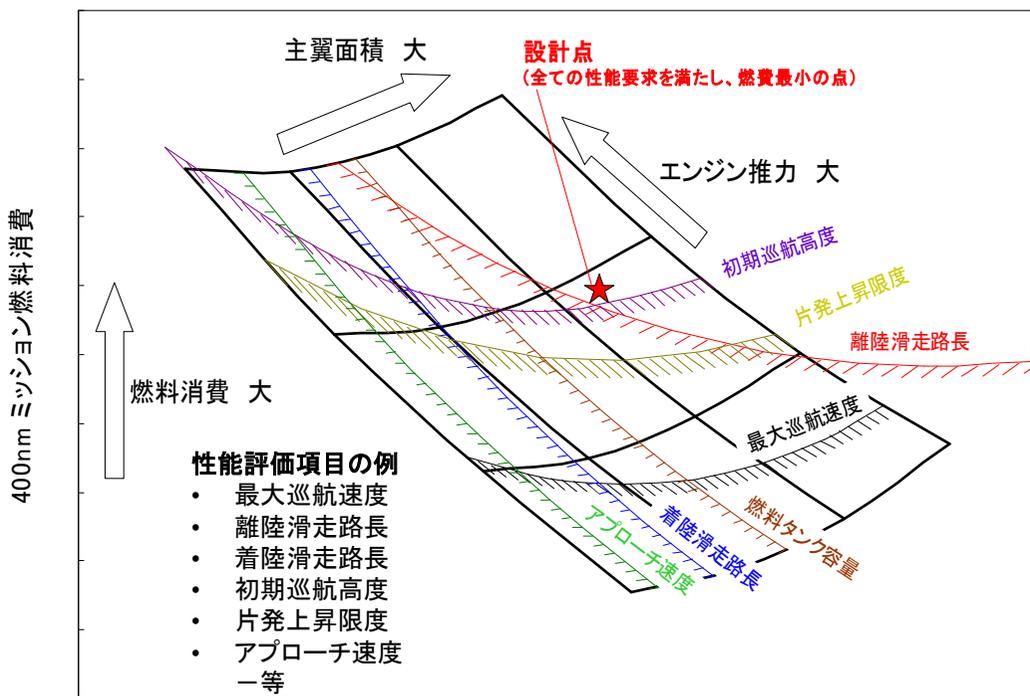


図 4.3 濡れアスペクト比と揚抗比（最大値）の関係

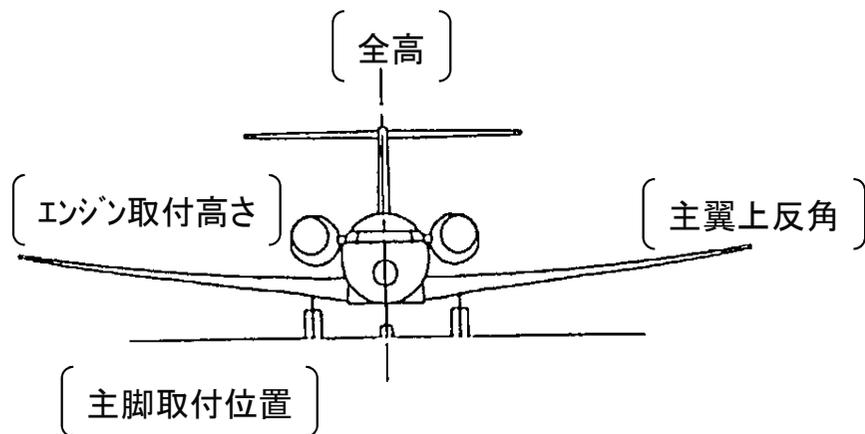
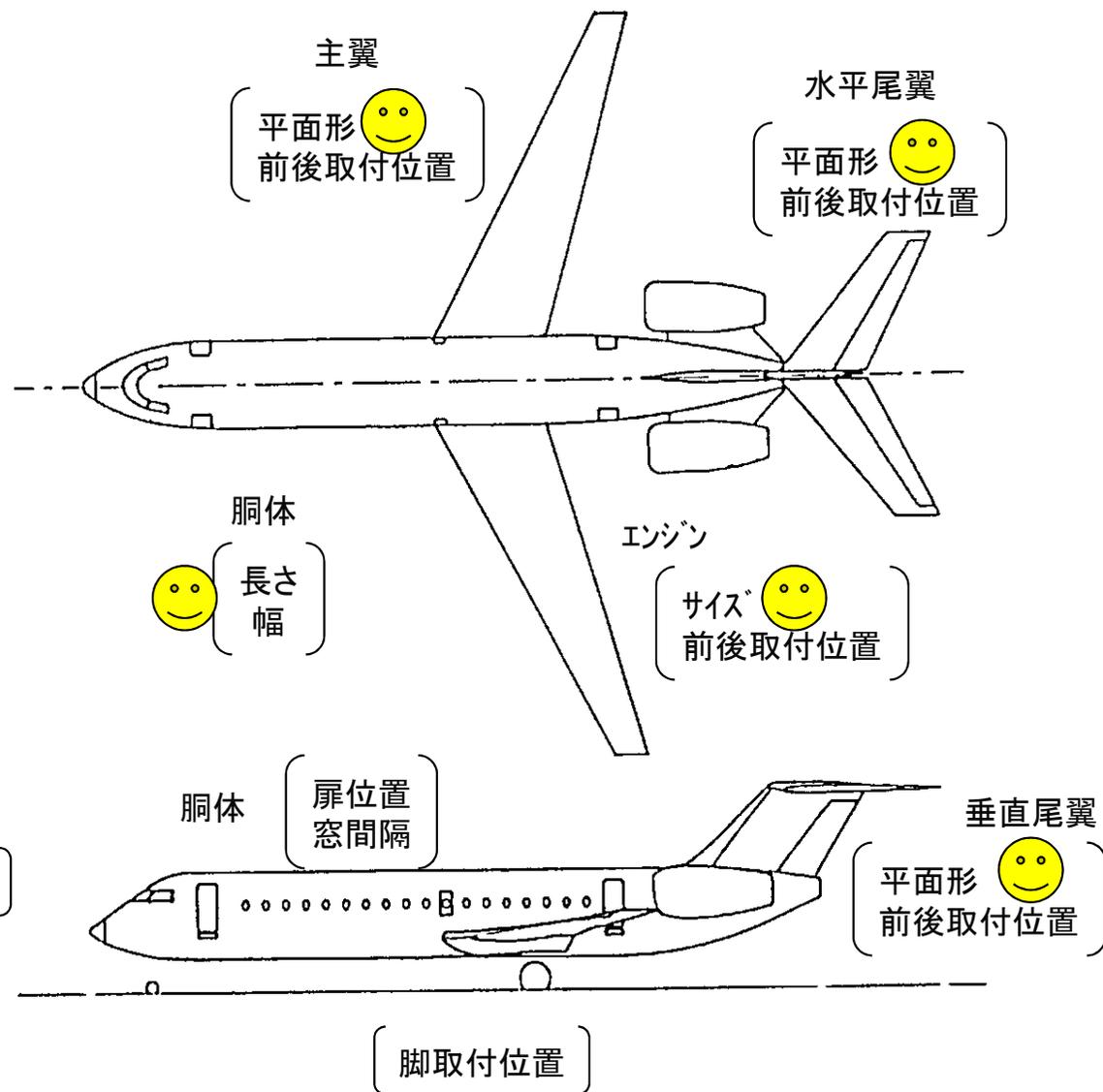
飛行機設計法から引用

諸元策定：主翼存在領域と全機アレンジ

サイジング結果 - カーペットチャート



😊: 機体諸元策定で扱うもの



諸元策定：クリアランス要求の例

【Tail Down Angle】

尻すり角に余裕があること

【Roll Clearance】

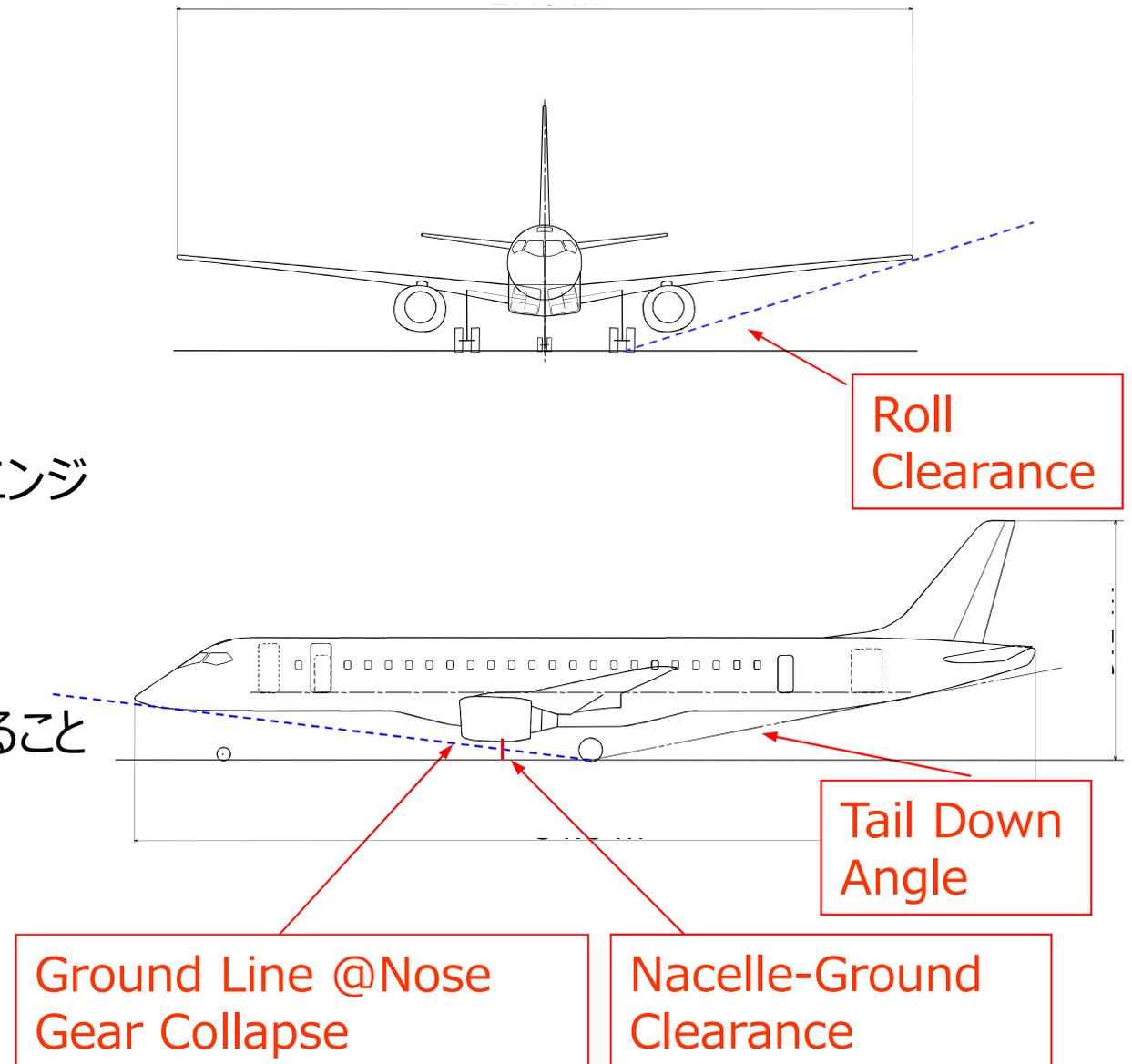
地上付近でのRoll動揺を考慮

【Nose Gear Collapse】

前脚不作動時の非常着陸においてエンジンが破損を受けないこと

【Nacelle-Ground Clearance】

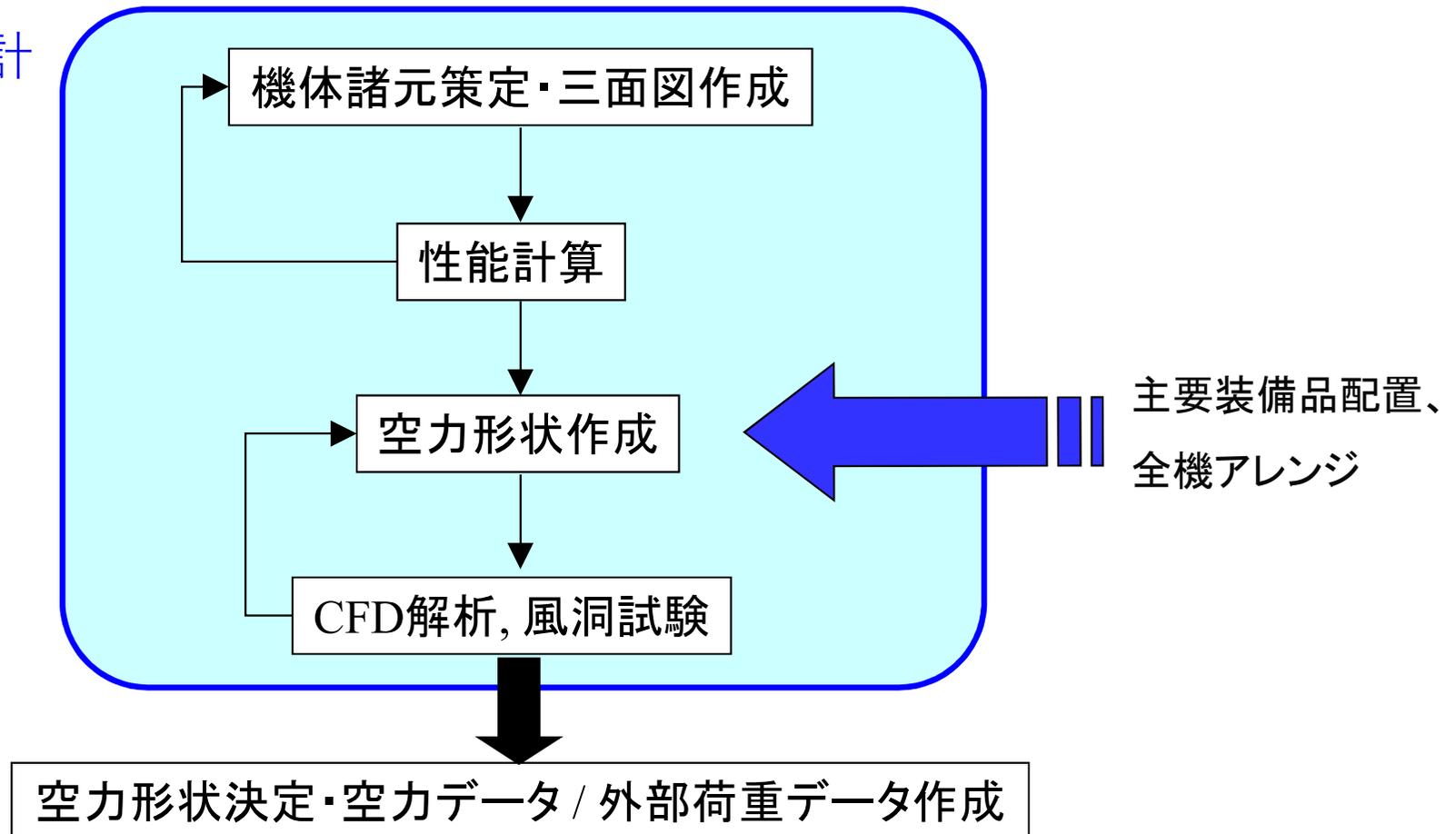
ナセル下端が地上から十分離れていること



空力設計の流れ

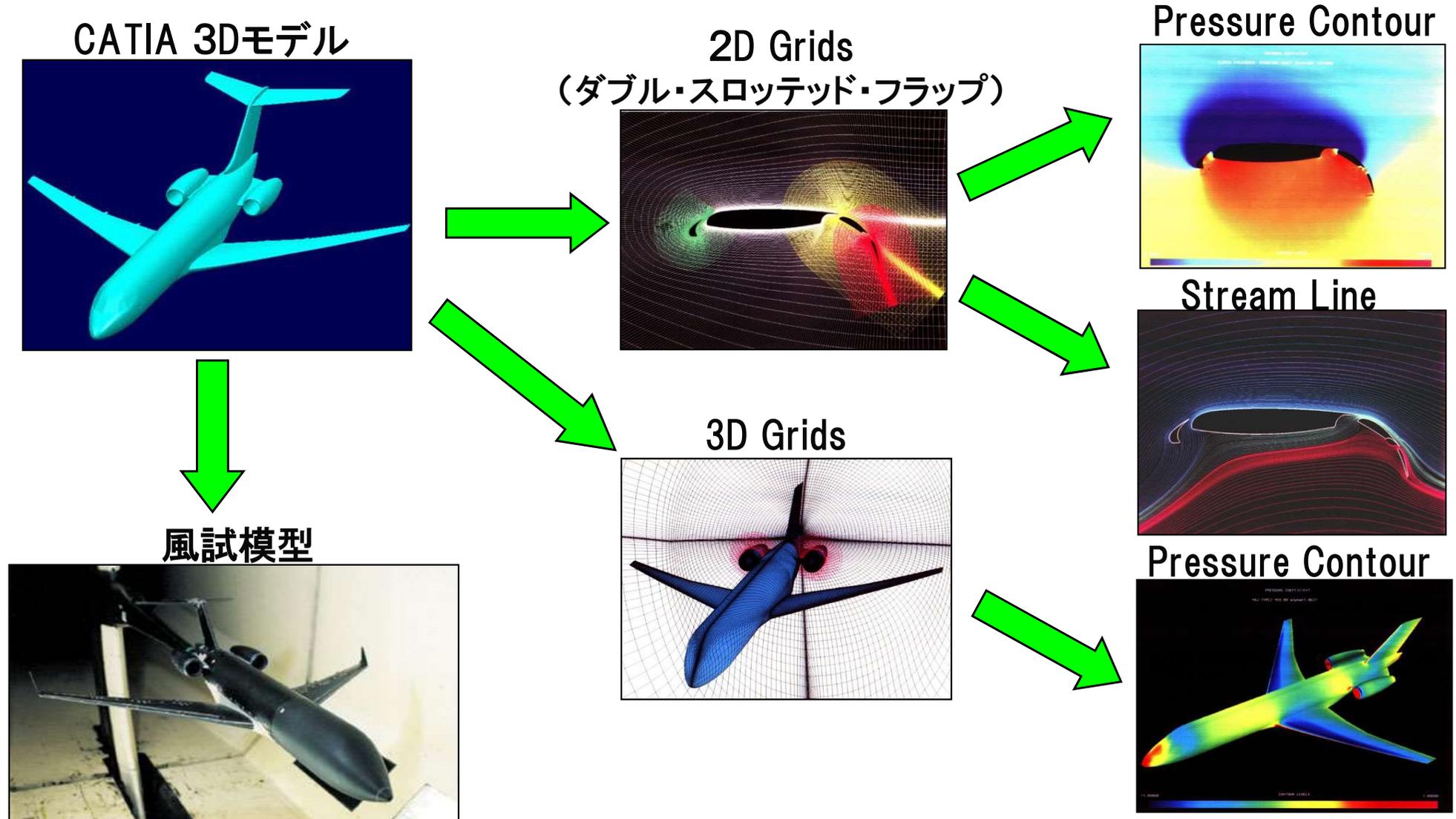
- 空力設計は、設計要求及び安定性・操縦性の要求を満たす機体諸元・性能の設定、及び高揚力装置等の設計を行い、要求される空力性能及び特性を満たした空力形状を決定する作業である。
また、構造/装備設計に空力荷重等の必要な設計データを提供する。

空力設計

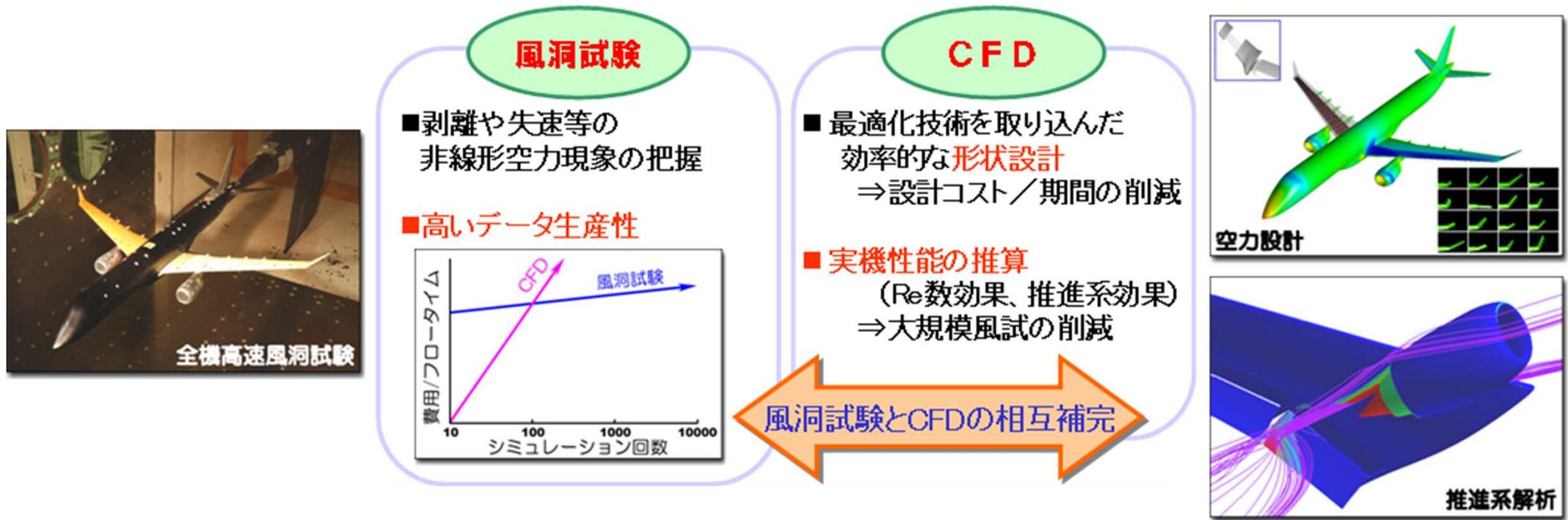


CFD解析/風洞試験

- 機体形状は、空力性能や圧力分布をCFD解析や風洞試験を実施して算出し、それらが要求される値に収束するまで形状の変更・修正を繰り返すことによって決定される。



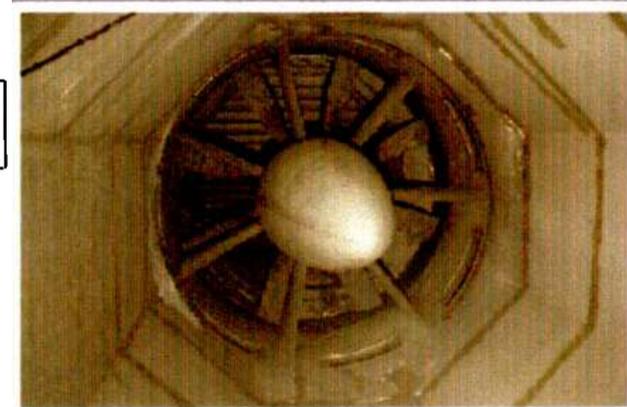
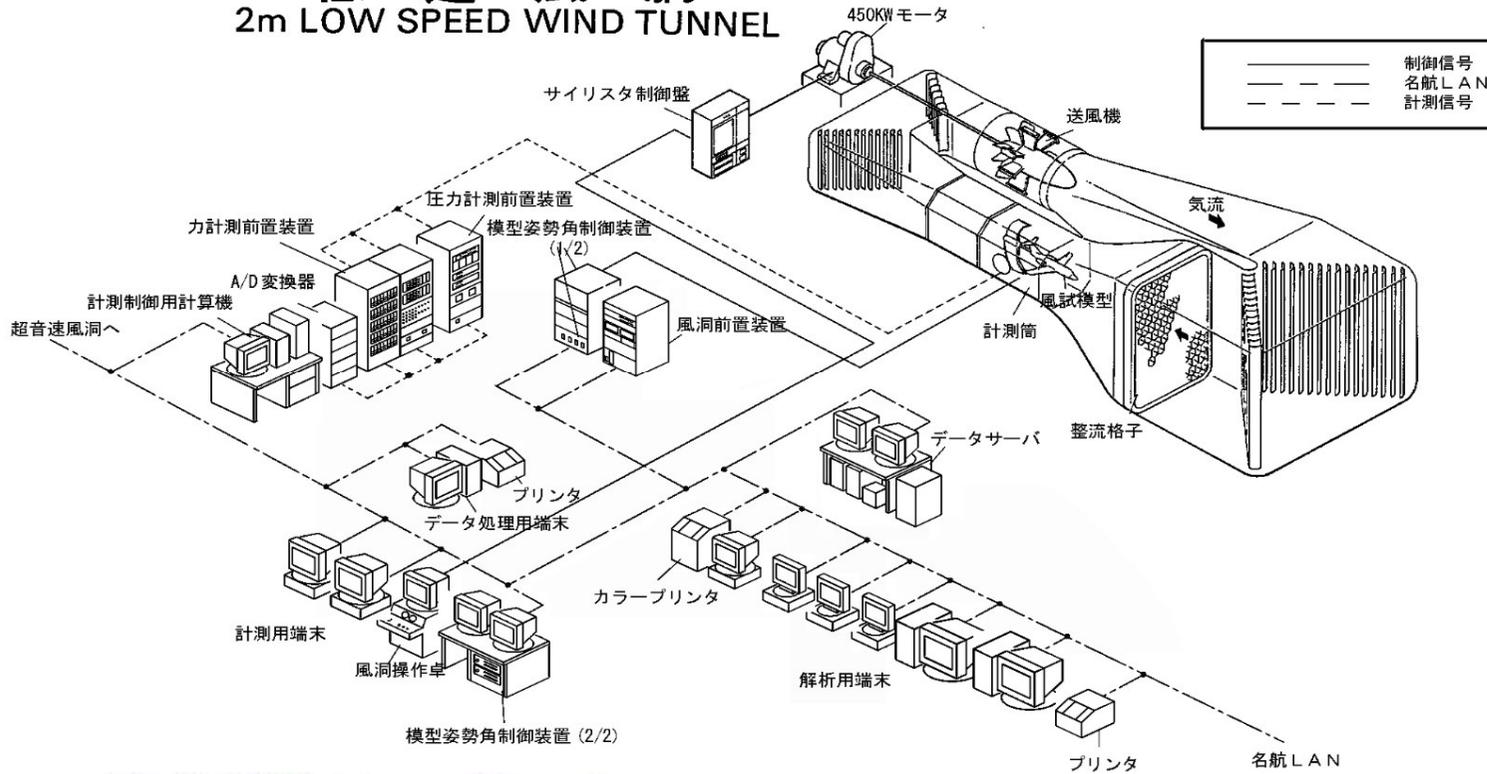
CFD解析/風洞試験：ツールの使い分け



スパコン+CFD活用による風洞試験の削減：ボーイングの例
Boeing 767(1980年代の開発)・・・風洞で77の異なる翼を試験
Boeing 787(2000年代の開発)・・・風洞で5の異なる翼を試験
(NASA CP-2004-213028)

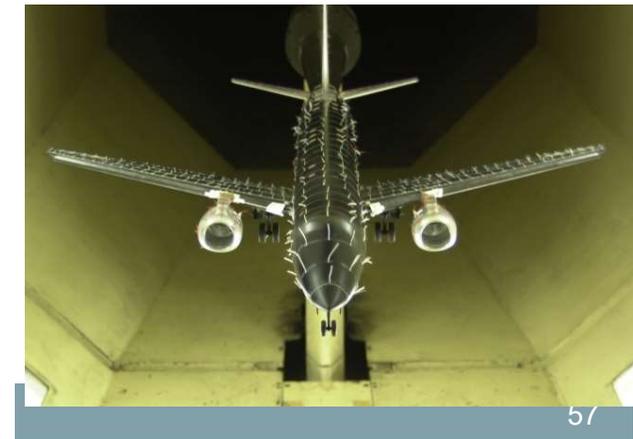
国内風洞試験設備 (MHI低速風洞)

低速風洞 2m LOW SPEED WIND TUNNEL



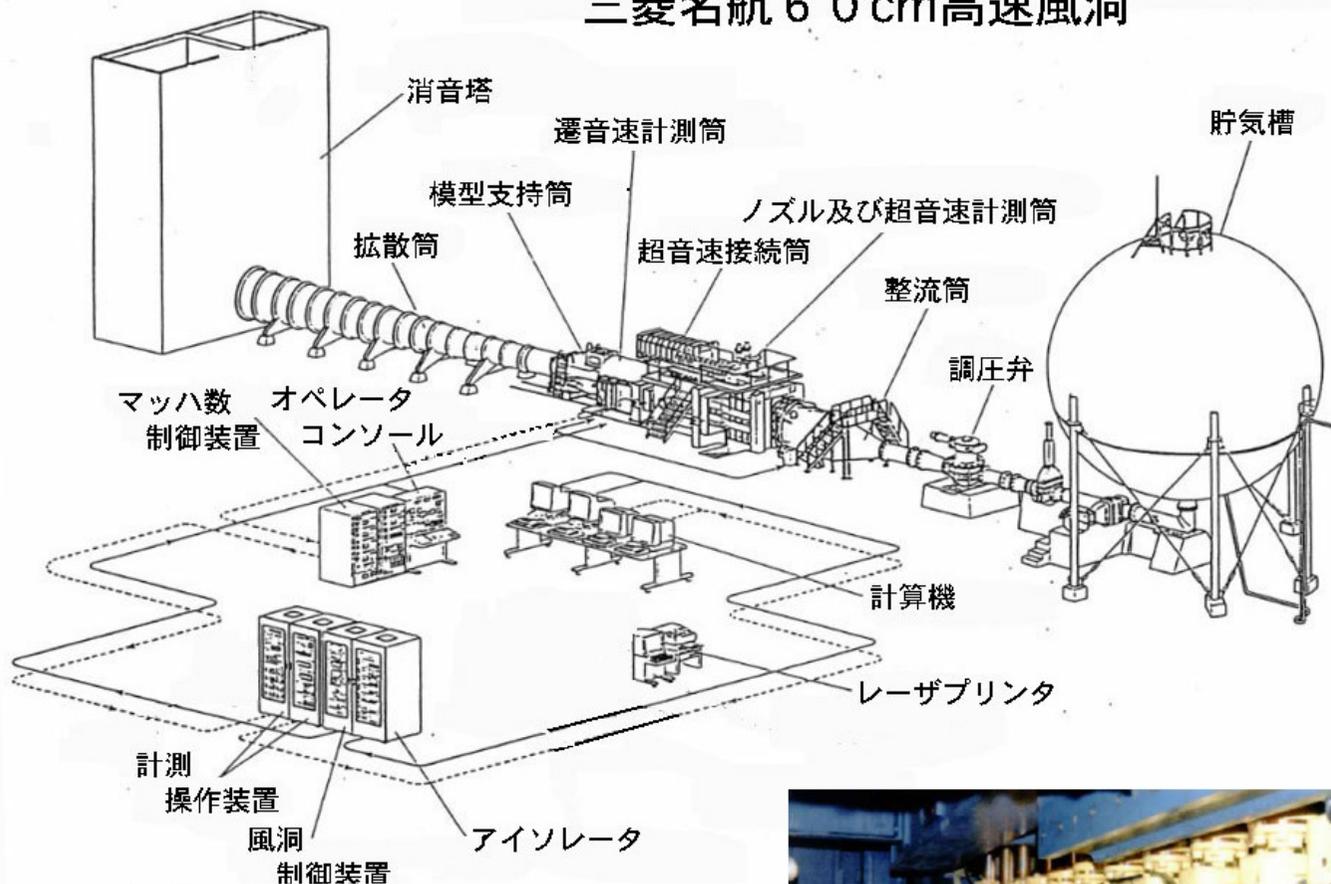
●主要目 Specifications

型式 Type	単回路密閉型 (ゲッチンゲン型式) Goettingen type
計測部 Test section	幅2.0m×高さ1.8m八角断面×長さ2.5m (絞り比約5:1) 2.0mW×1.8mH×2.5mL octagonal (Contraction ratio 5:1)
風速 Speed	最大約100m/s, 常用60~70m/s 風速変動±0.25%以内 Max. 100m/s Reg. 60-70m/s Variation ±0.25%
動力 Power	450kw直流電動機, 遠隔制御装置付 450kwDC motor
送風機 Fan	8枚羽根, 可変ピッチプロペラ 8blades, variable pitch



国内風洞試験設備 (MHI高速風洞)

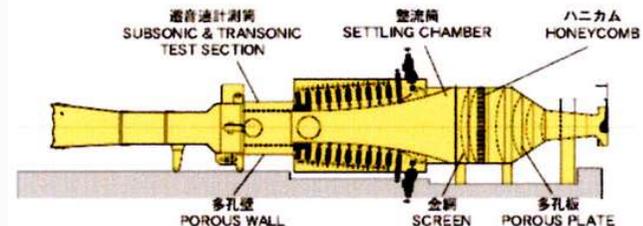
三菱名航 60cm高速風洞



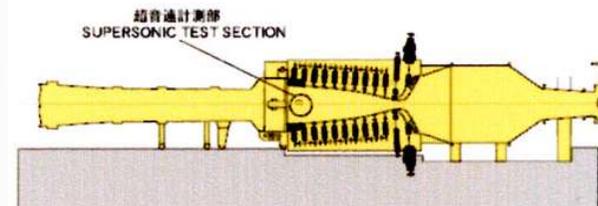
主要目

GENERAL DESCRIPTION

形式 TYPE	間欠型吹出式 INTERMITTENT BLOW DOWN
計測部 TEST SECTION	0.6m×0.6m
マッハ数 MACH NUMBER RANGE	0.4~4.0
計測時間 MEASURING TIME	20sec



遷音速試験状態
TRANSONIC TESTING CONFIGURATION



超音速試験状態
SUPERSONIC TESTING CONFIGURATION

建設時期 1968.9

CONSTRUCTION (DESIGN/PRODUCTION: MHI)

気流特性改善 1981.11~1982.6

FLOW QUALITY IMPROVEMENT

計測/制御システム更新 1987.4~1987.9

MEASURING & CONTROL SYSTEM ENHANCEMENT

特徴

SPECIAL FEATURES

1. 日本で最初の三音速風洞
THE FIRST TRISONIC WIND TUNNEL IN JAPAN
2. マッハ数高精度制御
HIGH ACCURACY MACH NUMBER CONTROL
3. 非定常空気力のオンライン取得処理
ON-LINE ACQUISITION AND PROCESSING OF UNSTEADY AERODYNAMIC DATA
4. 光学計測専用カート(感圧塗料)
OPTICAL FLOWFIELD MEASUREMENT SECTION

MOVE THE WORLD FORWARD

mitsubishi
heavy
industries
group

#8 風洞試験

航空機ビジネスプロフェッショナル養成講座

2020.10.24

三菱重工業株式会社

- 1 風洞試験とは
- 2 風洞の目的・種類
- 3 相似則
- 4 風 洞
- 5 模型と支持法
- 6 計測法
- 7 風試データの利用について

1. 風洞試験とは

風洞とは気体（空気）流れを作り出す装置であり，広く流体の研究に利用されている。風洞を使って流体力学（空気力学）の現象を定性的，あるいは定量的に調べることを風洞試験（風試）と呼ぶ。

2. 風洞試験の目的・種類

流体力学は他の物理学の分野に比べれば、実証された十分な数学的基礎を持っており、流れの状態はいくつかの微分方程式で記述することができる。計算機の発達により、これらの方程式を数値的に解く（CFD）ことも可能になってきているが、信頼性、汎用性の面から風試は今後とも最も有効な空力検討手段である。

航空機メーカーにおける風洞試験は主として、次の目的で行われる。

- (1) 空力設計データ（性能・安定・操縦性・空力荷重）の取得
- (2) 空力特性の改善
- (3) 空力要素の開発
- (4) 実機空力問題の検討
- (5) 空力特性推算技術の改良

2. 風洞試験の目的・種類

全機の空力特性は種々の空力要素の特性が組み合わさったものと考えることができる。風試はこれら空力要素単体，部分的な組み合わせまたは全機形態について，前頁の目的のために行われる。それらを系統的に分類すると下表のようになる。

模型形態による分類	2次元翼試験	試験目的による分類	力計測試験	
	半截模型試験		圧力計測試験	
	部分模型試験		フラッタ試験	
	全機試験		投下試験	
				CTS試験
				空気取入口試験
				動安定試験
				スピン試験
				尾部排気試験
				自由飛行試験
				気流可視化試験
				その他（着氷試験等）

風洞試験は、通常、縮尺模型を使って行われるが、その風洞試験結果から実機の空力特性を推定しうる根拠又は条件を与えるのが相似則である。

相似則が満たされている限り、各風洞試験に固有な基準量で無次元化した風試結果（係数）は、模型の寸度や流体の相違によらず、これらの係数は同じ値となる。

代表的な相似パラメータとしては、次のようなものがある。

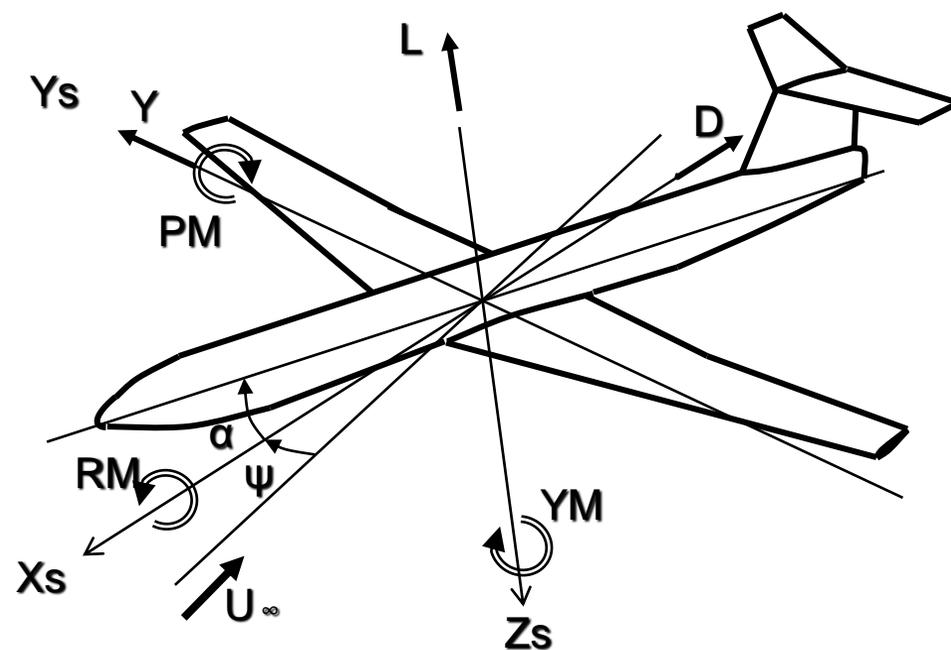
相似パラメータ	定義	意味
レイノルズ数	$Re = \rho UL / \mu$	(慣性力) / (粘性力)
マッハ数	$M = U / a$	$\sqrt{}$ (慣性力) / (圧縮性による力)
フルード数	$Fr = U / \sqrt{gL}$	$\sqrt{}$ (慣性力) / (重力)
ストローハル数	$St = f L / U$	$\sqrt{}$ (振動に係わる力) / (慣性力)

3. 相似則

風洞試験の中で最も一般的な剛体模型による力計測試験を例に，縮尺模型を用いる模型試験と実機試験の対応を説明する。

ここで模型試験とは以下のような試験である。

- ・ 形状：風洞模型と実機とは幾何学的に相似
- ・ U_∞ ：風洞試験では，風洞内一様流の速度ベクトル
実機では，飛行速度ベクトル
- ・ 座標軸：安定軸 (X_s - Y_s - Z_s)基準
- ・ 6分力：力 = 揚力 L ，抵抗 D ，横力 Y
モーメント
= ローリングモーメント RM ，
ピッチングモーメント PM ，
ヨーイングモーメント YM



安定軸座標系 (Stability Axis)

3. 相似則

抵抗を例にとると、実機試験と模型試験では、次のような条件の違いがある。（つまり、抵抗は次のようなパラメータに支配される）。

- ・ 模型の大きさ（縮尺比） \longrightarrow 基準面積（S）
- ・ 流速（実機の場合は対気速度） } 動圧（ $1/2\rho U^2$ ）
- ・ 空気密度（実機は高空を飛行） }

次に示すように無次元化された抵抗係数が両者を結びつける鍵となる。

$D = C_D \frac{1}{2} \rho U^2 S$ <p style="text-align: center; margin-top: -10px;"> 動圧 基準面積 </p>	実機試験 模型試験	$D_F = C_D \frac{1}{2} \rho_F U_F^2 S_F$ $D_M = C_D \frac{1}{2} \rho_M U_M^2 S_M$										
ここで、	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 100%;"> <tr> <td style="padding: 5px;">C_D</td> <td style="padding: 5px;">抵抗係数</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">ρ</td> <td style="padding: 5px;">空気密度 (kg/m³)</td> </tr> <tr> <td style="padding: 5px;">S</td> <td style="padding: 5px;">基準面積 (m²)</td> </tr> </table>	C_D	抵抗係数	ρ	空気密度 (kg/m ³)	S	基準面積 (m ²)	<table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="padding-right: 20px;">D</td> <td>空気抵抗 (N)</td> </tr> <tr> <td style="padding-right: 20px;">U</td> <td>流速 (m/s)</td> </tr> </table>	D	空気抵抗 (N)	U	流速 (m/s)
C_D	抵抗係数											
ρ	空気密度 (kg/m ³)											
S	基準面積 (m ²)											
D	空気抵抗 (N)											
U	流速 (m/s)											
	添字 F 実機試験 M 模型試験											

流れが定常のとき，流れは慣性力，粘性力，弾性力に支配される。

$$\rho U^2 L^2 \sim (\text{動圧}) \times (\text{面積}) \sim \text{慣性力}$$

$$\frac{\mu U}{L} \cdot L^2 \sim (\text{粘性応力}) \times (\text{面積}) \sim \text{粘性力}$$

$$E L^2 \sim (\text{弾性率}) \times (\text{面積}) \sim \text{弾性力}$$

レイノルズ数

$$Re = \frac{\rho U L}{\mu} = \frac{\rho U^2 L^2}{(\mu U / L) L^2} \sim (\text{慣性力}) / (\text{粘性力})$$

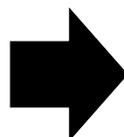
マッハ数

$$M = \frac{U}{a} = \sqrt{\frac{\rho U^2 L^2}{\rho a^2 L^2}} = \sqrt{\frac{\rho U^2 L^2}{E L^2}} \sim \sqrt{(\text{慣性力}) / (\text{弾性力})}$$

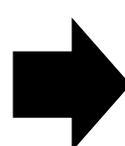
ここで、風洞試験データと実機データが同じであるための相似条件を求めてみる。
レイノルズ数，マッハ数の相似パラメーターが模型と実機で等しくならなければならないから、

$$\text{Re} = \frac{\rho UL}{\mu} = \frac{UL}{\nu} = \frac{U'L'}{\nu'} \quad \nu = \frac{\mu}{\rho} \quad : \text{動粘性係数}$$

$$M = \frac{U}{a} = \frac{U'}{a'}$$


$$\frac{U}{U'} = \frac{L'}{L\nu} \quad \frac{U}{U'} = \frac{a}{a'}$$

気流の特性が同一であるとすると、 $\nu = \nu'$ ， $a = a'$


$$\frac{U}{U'} = \frac{L'}{L} \quad \frac{U}{U'} = 1 \quad \img alt="Arrow" data-bbox="580 670 640 772"/> **不成立**$$

相似則を完全に満たすことはできないので、色々な工夫(妥協，条件の緩和など)が必要となる

3. 相似則

ここでは、模型を使った実験において、実機の物理現象を再現するための法則（相似則）を微分方程式から導く方法を示す。

$$\begin{aligned}
 x &= L x' & y &= L y' & z &= L z' \\
 u &= U_\infty u' & v &= U_\infty v' & w &= U_\infty w' \\
 \rho &= \rho_\infty \rho' & t &= \tau t' & F_x &= g F'_x
 \end{aligned}$$

‘は無次元量

Navier-Stokesの方程式は

$$\begin{aligned}
 & \frac{L}{\tau U_\infty} \frac{\partial u'}{\partial t'} + u' \frac{\partial u'}{\partial x'} + v' \frac{\partial v'}{\partial y'} + w' \frac{\partial w'}{\partial z'} \\
 &= \frac{Lg}{U_\infty^2} F'_x - \frac{\rho_\infty}{\rho U_\infty^2} \frac{\partial p'}{\partial x} + \frac{\nu}{LU_\infty} \left(\frac{\partial^2 u'}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial y'^2} + \frac{\partial^2 u'}{\partial z'^2} \right)
 \end{aligned}$$

ストロー
ハル数

(フルード数)⁻²

オイラー数

レイノルズ数

3. 相似則

次に次元解析によって導く方法を示す。次元解析は「全ての物理量が少数の基礎物理量の乗べき積で表されること。べきの次数について整合がとれていること」という原理に基づくものである。

基礎物理量は、質量(m), 長さ(L), 時間(t), 温度(T), 電流(i)である。

空気力学の物理量と次元

時間	t	粘性	m/Lt
長さ	L	動粘性	L ² /t
面積	L ²	表面張力	m/t ²
体積	L ³	仕事	mL ² /t ²
速度	L/t	仕事率	mL ² /t ³
加速度	L/t ²	トルク、モーメント	mL ² /t ²
力	mL/t ²	温度	T
質量	m	熱量	mL ² /t ²
圧力、応力	m/Lt ²	比熱	L ² /t ² T
弾性率	m/Lt ²	熱伝導率	mL/t ³ T
密度	m/L ³		

3. 相似則

空気抵抗を例にとって説明する。

$$D = f_D(l, \rho, V, \mu, E)$$



物体の大きさ(l), 空気密度(ρ), 流速(V), 粘性係数(μ), 弾性率(E)の関数であると実験的に分かったとする

$$D = \sum C_i l^{\alpha_i} \rho^{\beta_i} U^{\gamma_i} \mu^{\delta_i} E^{\epsilon_i}$$



多項式で近似的に表現

この式を次元で表現

$$L^{\alpha_i} \cdot \left(\frac{m}{L^3}\right)^{\beta_i} \cdot \left(\frac{L}{t}\right)^{\gamma_i} \cdot \left(\frac{m}{L t}\right)^{\delta_i} \cdot \left(\frac{m}{L t^2}\right)^{\epsilon_i} = \frac{m L}{t^2}$$

$$m : \beta_i + \delta_i + \epsilon_i = 1$$

$$L : \alpha_i - 3\beta_i + \gamma_i - \delta_i - \epsilon_i = 1$$

$$t : -\gamma_i - \delta_i - 2\epsilon_i = -2$$



$$\alpha_i = 2 - \delta_i$$

$$\beta_i = 1 - \delta_i - \epsilon_i$$

$$\gamma_i = 2 - \delta_i - 2\epsilon_i$$

$$D = \sum C_i l^{2-\delta_i} \rho^{1-\delta_i-\epsilon_i} U^{2-\delta_i-2\epsilon_i} \mu^{\delta_i} E^{\epsilon_i}$$

従って

左辺と同じ次元を持つ量を抽出

$$= \rho U^2 l^2 \sum C_i \left(\frac{\mu}{\rho U l}\right)^{\delta_i} \left(\frac{E}{\rho U^2}\right)^{\epsilon_i}$$

$$= \rho U^2 l^2 \sum C_i \left(\frac{1}{Re}\right)^{\delta_i} \left(\frac{1}{M^2}\right)^{\epsilon_i}$$



$$C_D = \frac{D}{\rho U^2 l^2 / 2} = g(Re, M)$$

抵抗係数はReとMの関数

航空機の飛行範囲（速度・高度）は広く、一つの風洞で全てをカバーすることはできない。通常の航空宇宙機の場合、速度範囲に応じて主として次の風洞が使われる。

◇航空機開発に使われる風洞

- (1) 低速風洞(Low Speed Wind Tunnel)
- (2) 遷音速風洞(Transonic Wind Tunnel)
- (3) 超音速風洞(Supersonic Wind Tunnel)

(1) 回流型(Closed Circuit)

- ・ 密閉式(Closed Jet)
- ・ 開放式(Open Jet)

(2) 開流型(Open Circuit)

- ・ 吸込式(Suction)
- ・ 押込式(Blow Down)

(1) 連続型(Continuous)

(2) 間けつ型(Intermittent)

◇宇宙機開発に使われる風洞

次の風洞も使われる

(1) 極超音速風洞(Hypersonic Wind Tunnel)

(2) 高エンタルピー風洞

(High Enthalpy Wind Tunnel)

また、次のような新技術を用いた風洞もある。

(1) アダプティブ壁風洞(Adaptive Wall Wind Tunnel)

風洞の壁の影響を最小化する風洞

(2) 磁気浮上式風洞(Magnetic Suspension)

支持装置の影響をなくす風洞

(3) 低温風洞(Cryogenic Wind Tunnel)

実機に近いレイノルズ数を達成できる風洞

4. 風 洞

代表的な航空機開発風洞を下表にまとめる。

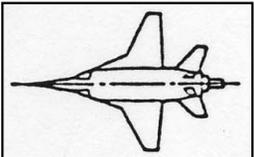
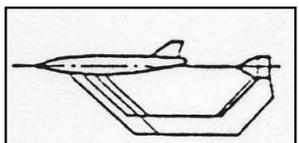
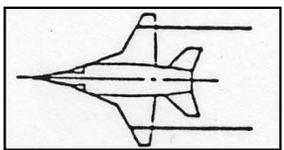
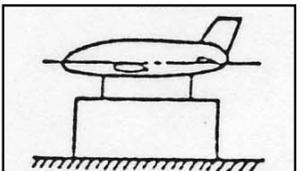
国内/外	区分	機関	名称	型式	測定部	風速	全圧	温度	Re数	建設
国内	低速風洞	JAXA	6.5m × 5.5m低速風洞	連続・回流型	6.5m × 5.5m	65m/s			$3.6 \times 10^6/m$	1965
	遷・超音速風洞	JAXA	2m × 2m遷音速風洞	連続・回流型	2m × 2m	0.3-1.4M	1.5bar		$18 \times 10^6/m$	1960
		JAXA	1m × 1m超音速風洞	簡けつ押込式	1m × 1m	1.4-4.0M	13bar		$54 \times 10^6/m$	1961
		防衛省	防衛省三音速風洞	簡けつ押込式	2m × 2m	0.3-4.0M	13.8bar		$100 \times 10^6/m$	2006
	極超音速風洞	JAXA	1.27m極超音速風洞	簡けつ押込式	1.27mφ	10M	99bar	1200K	$6.8 \times 10^6/m$	1995
	高エンタルピー風洞	JAXA	高温衝撃風洞	高エンタルピー (衝撃風洞)	1.2mφ	4-7km/s	1500bar	10500K		1999
国外	低速風洞	NASA	80ft × 120ft低速風洞	連続・吸込式	24m × 36.5m	56.6m/s			$3.6 \times 10^6/m$	1982
		DNW	LLF	連続・回流型	9.5m × 9.5m	62m/s			$4.1 \times 10^6/m$	1979
		QinetiQ	5m Low Speed Wind Tunnel	連続・回流型	4.2m × 5m	109m/s	3bar		$18 \times 10^6/m$	1978
	遷・超音速風洞	ETW	ETW	連続・回流型	2.0m × 2.4m	0.51-1.35M	4.5bar	110-313K	$230 \times 10^6/m$	1993
		NASA	NTF	連続・回流型	2.5m × 2.5m	0.1-1.2M	9bar	116-339K	$475 \times 10^6/m$	1982
		ONERA	S2MA	連続・回流型	1.75m × 1.77m 1.75m × 1.93m	0.1-1.3M 1.5-3.1M	2.5bar		$29.4 \times 10^6/m$	1961
	極超音速風洞	AEDC	Tunnel C	連続・回流型	1.27mφ	10M	136bar	1250K	$15 \times 10^6/m$	1954
高エンタルピー風洞	Calspan	96in Shock Tunnel	高エンタルピー (衝撃風洞)	0.6m-2.4mφ	6.5-24M	1379bar	6389K	$246 \times 10^6/m$	1963	

風洞試験によってデータを得るには模型を何らかの方法で支持することが必要となる。支持法は模型の種類，風洞試験の目的によって異なってくるが、どのような支持法を用いるにせよ、模型への空力干渉を避けることはできない。（除、磁気浮上式風洞）

一般的な模型支持法の分類を次に示す。

模型	支持法
2次元模型	風洞壁または端板壁
全機，部分模型	ワイヤ吊り
	ストラット
	スティング
	プレート
	フォーク
半載模型，片翼部分模型	風洞壁または端板壁

各種模型支持方式の比較

支持方式	空力干渉	構造	汎用性	費用
スティング方式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 模型胴体の寸法とスティングの寸法を適切な範囲に選べば、一般に空力干渉小 2. 相対後部形状が複雑な模型の支持には空力干渉大となる。 	胴体後端にエンジン排気口がある模型形態に対しては、構造簡単で剛性もあり、支持方式として適当。	エンジン排気口が胴体後部に存在する航空機、ロケット模型に広く利用。	単純な丸棒から製作できるので、安価であり、技術的に問題なし。
ストラット方式 	胴体上下面の比較的空力干渉の少ないところで支持できるので、空力干渉小。	<ol style="list-style-type: none"> 1. スティング方式に次いで構造簡単 2. ストラットの横方向剛性を強くする必要あり。 	胴体上下面の空力干渉の少ないところで支持できるので、汎用性大。	スティング方式に比べやや高価。
フォーク方式 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 翼を直接支持した場合、空力干渉が大きく、翼空力特性が変化する。 2. 胴体後部付近は空力干渉小。 	組み立て構造をとるため、全体としての仕上げ精度が劣る。	模型形態に適合した専用の装置となり、汎用性に乏しい。	組み立て構造のためスティング方式より高価。
プレート方式 	支持装置の正面面積を小さくすることにより空力干渉を減少可能。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 揚力・縦揺れモーメント方向の強度は十分にあるが、横揺れモーメント方向は強度的に厳しい。 2. 迎角の変角は狭い範囲に制限される。 	抵抗の高精度計測に適する。	プレート形状によっては比較的安価。

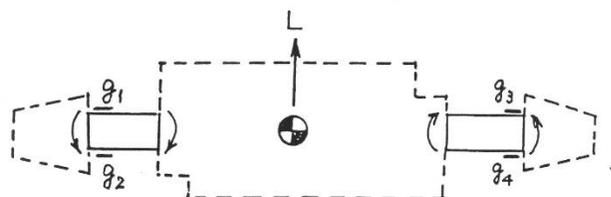
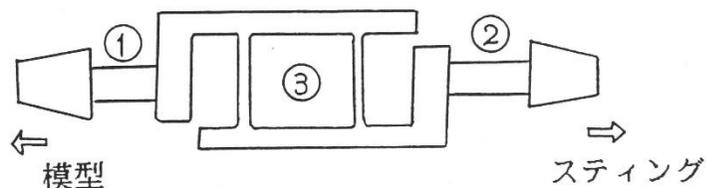
風洞試験で計測する主な項目は、力，モーメント，圧力，流速，流向で、時として加速度，応力の計測を行う。

(1) 力の計測

力を計測する方法は、支持法と密接な関係がある。ワイヤ吊り天秤ではピアノ線などの細いワイヤーで模型を吊り、各線に働く張力を秤（天秤はかり）またはロードセル（力の大きさを電気信号に変換するセンサー）で計測する。模型支持装置の空力干渉を小さくできるメリットがあるが、取り扱いが面倒というデメリットもある。

支持部からの空力干渉を極力小さくするため、模型の後方からスティングで支持するものが多い。この場合に用いられるものが歪ゲージ型天秤である。天秤の各部分に生じる力を歪ゲージで測定し、これらの歪から、力やモーメントを算出する。

力, モーメント計測 - 天秤 (歪ゲージ型天秤)



揚力に対しては $g_1 = -g_2 = -g_3 = g_4$



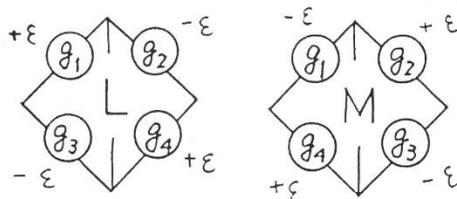
ピッチングモーメントに対しては $g_1 = -g_2 = g_3 = -g_4$ となる。

各々 $g_1 - g_2 - g_3 + g_4$ $g_1 - g_2 + g_3 - g_4$ が出力されるように配線しておく。

抵抗は③の素子で検出。

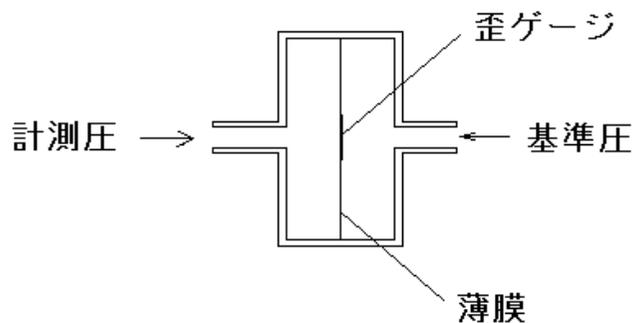
但し、検出用の素子間の干渉が完全に除去できず、必ず較正とそれに基づくデータ処理が必要。

※ブリッジ回路

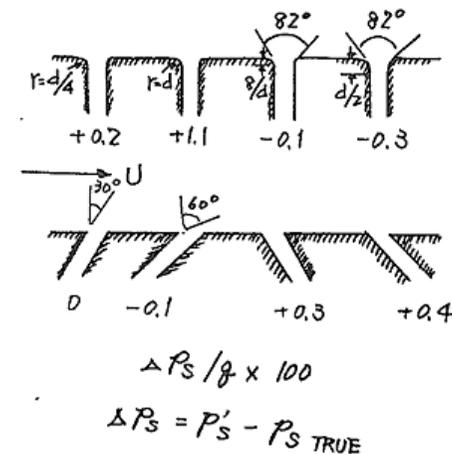


(2) 圧力の計測

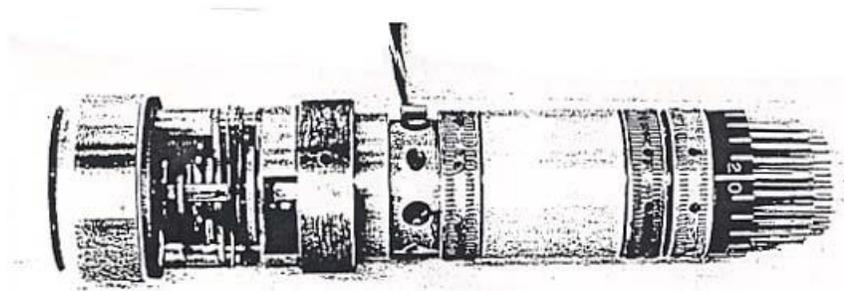
圧力計測 - 圧力変換器



静圧の計測 $\rightarrow U$



圧力計測 - スキャニバルブ



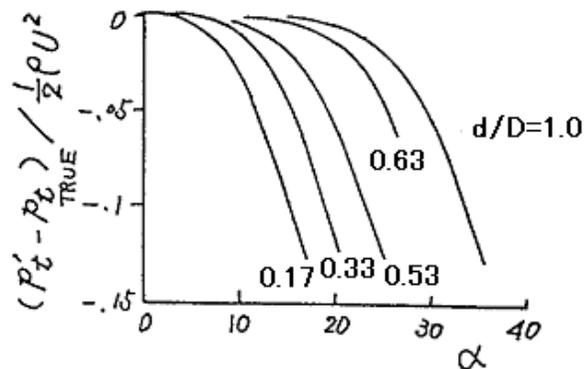
ESPスキャナ



6. 計測法

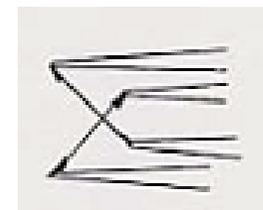
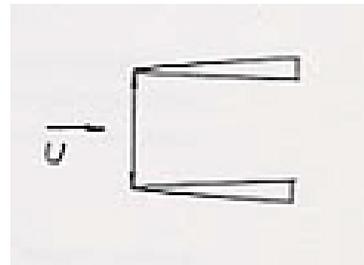
(2) 圧力の計測

総圧の計測 - ピト-管



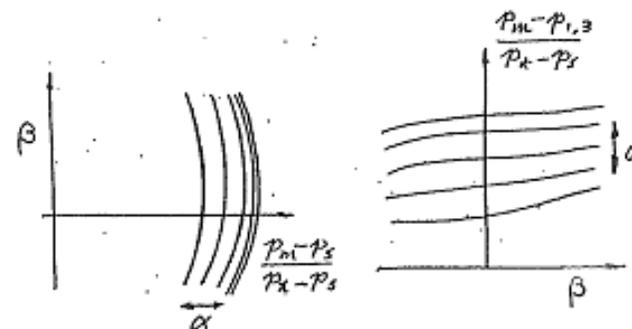
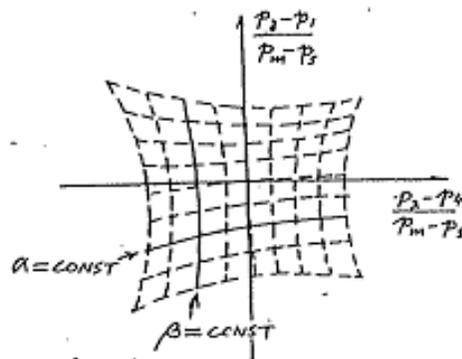
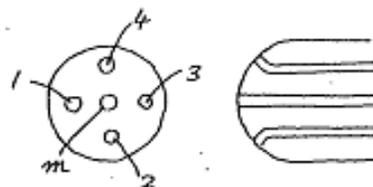
(3) 流速の計測

熱線風速計



(4) 流向の計測

ヨーメーター



さらに、最近では光学的な手法を用いた計測法も開発されてきている。

- ・ 感圧塗料 (Pressure Sensitive Paint)
- ・ PIV(Particle Image Velocimetry)

7. 風試データの利用について

航空機メーカーにおける風試には、空力現象そのものの解明、空力要素の開発、空力特性が好ましくないときの原因追求及び改善など、どちらかといえば機体の部分的な流れを対象にすることも多いが、言うまでもなく最も重要な目的は実機特性推定のための信頼できるデータを得ることである。

風試データ取得から実機特性の推定、飛行試験結果との比較の各段階において考慮すべきことは、次の通りである。

(1) 風試時

実機状態の忠実な再現

- ・ 外形幾何形状
- ・ パワー効果
- ・ 支持干渉の除去又は補正
- ・ 境界層の遷移点の模擬
- ・ 風洞壁干渉の除去又は補正

信頼性のある計測データの取得

- ・ 模型セット誤差
- ・ 計測精度－天秤，センサ，計測機器
- ・ データ処理法
- ・ 再現性

7. 風試データの利用について

(2) 風試データから実機データへの補正

レイノルズ数効果（遷移点/境界層）

- ・高レイノルズ数試験データとの対応
- ・理論計算（CFD）

微細形状

- ・リベット
- ・外板ギャップ
- ・アンテナ等

(3) 飛行試験データの解析時

計測データの信頼性

- ・飛行試験データ解析
（ノイズ，解析法）
- ・不確定成分の減少

風試との差の補正

- ・機体の変形

ところで、各風洞には固有の特性があり、同じ模型，計測装置を用い同じデータ処理，補正法を適用したとしても同じ特性が得られることはない。特に、失速特性（流向，流速，総圧など）の非一様性及び騒音特性（境界層遷移に影響を与える）の相違があげられる。従って、実機開発に使用する種々の風洞の間及びそれらの風試と飛行試験結果との間に対応付けしておくことが重要となる。

MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**

「プロジェクト・マネジメント」講座

2019/12/14

三菱重工業株式会社

VC本部 VC技術部

当講座は、航空機開発のプロジェクトマネジメントにおいて、管理すべく具体的項目を紹介することにより、航空機開発全体像の理解を深めることを狙っている。

当テキストの内容は、種々の実践的プロジェクトマネジメントの知識を広くカバーするもので、各々の詳細内容を深く説明することは目的とせず、プロジェクトマネージの管理項目の必要性を認識できることを目指している。

将来、プロジェクトマネージを実践する時に、個々の管理項目を企画検討するきっかけ・一助となることを期待している。

目次

1. **プロジェクトマネジメントとは**
 - ✓ プロジェクトとは
 - ✓ 世界の標準“PMBOK®”
 - ✓ 実践的プロジェクトマネジメント
2. **航空機開発でのプロジェクトマネジメント**
3. **航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)**
4. **プロジェクトマネジメント手法**
 - ✓ 原価企画
 - ✓ MCMD
 - ✓ DFX
 - ✓ MBSE
 - ✓ ツール
 - ✓ 狩野モデル
 - ✓ QFD
 - ✓ DSM
 - ✓ EVM
 - ✓ その他
5. **終わりに**

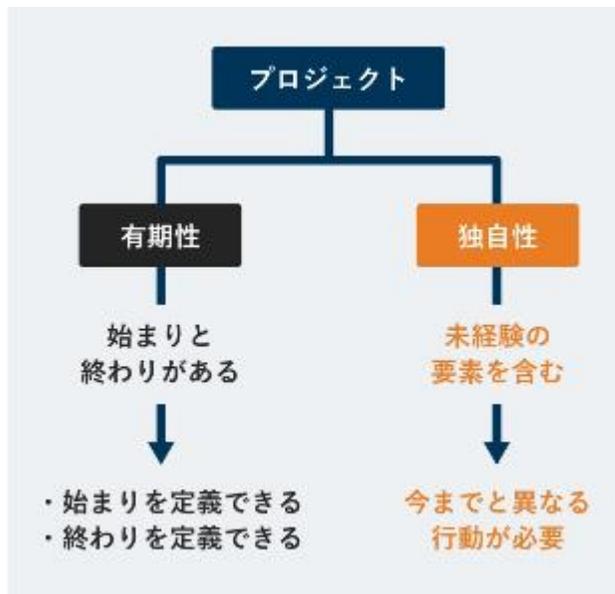
目次

1. **プロジェクトマネジメントとは**
 - ✓ プロジェクトとは
 - ✓ 世界の標準“PMBOK®”
 - ✓ 実践的プロジェクトマネジメント
2. 航空機開発でのプロジェクトマネジメント
3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)
4. **プロジェクトマネジメント手法**
 - ✓ 原価企画
 - ✓ MCMD
 - ✓ DFX
 - ✓ MBSE
 - ✓ ツール
 - ✓ 狩野モデル
 - ✓ QFD
 - ✓ DSM
 - ✓ EVM
 - ✓ その他
5. 終わりに

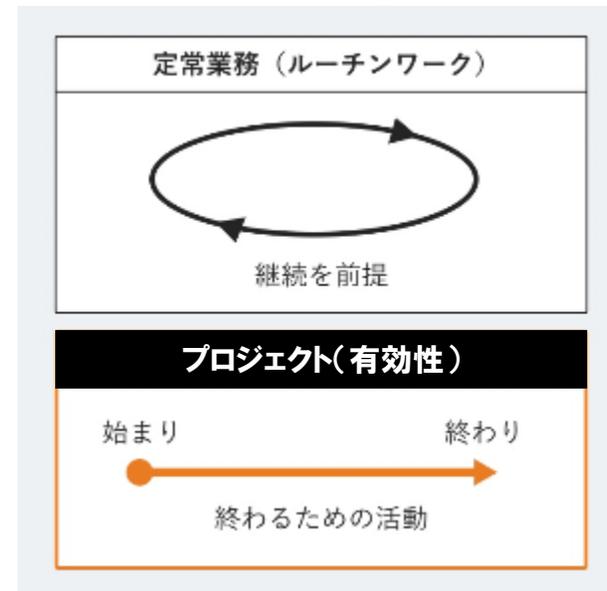
プロジェクトとは

プロジェクトとは、新商品開発、ITプログラム開発、建設工事、新サービス開発など、目的を達成するための期間が定められている業務です。プロジェクトには有期性・独自性という2つの特長があります。

プロジェクトの特徴



プロジェクトの有期性



<https://www.i-think.co.jp/about/project-management/>

“Project”と“Program”

Project: 独自の製品、サービス、所産を創造するために実施される有期性の業務

Program: 共通の利益の下に関連するProjectの集合体

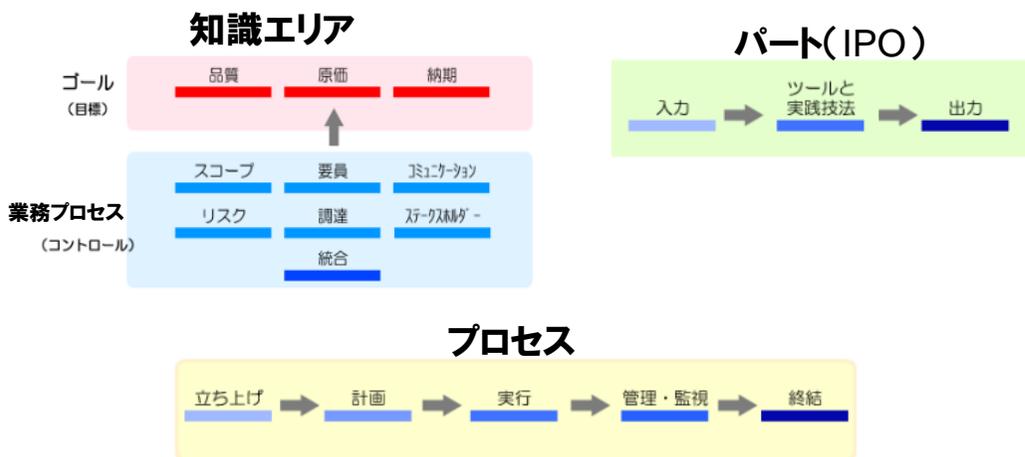
航空機開発では、全機レベルの開発業務を“Program”と呼び、全機レベルのマネージメントを議論する中では、ProgramとProjectを同義と見なして良い。

1. Project Managementとは

世界の標準 “PMBOK®”

プロジェクトをどのように遂行するか計画を立て、プロジェクトの目的を達成のために活動推進、活動をコントロールしていくプロジェクトマネジメントが重要となる。また、次のプロジェクトの為に経験知識を生かすように知識を残すプロジェクトの終結もプロジェクトマネジメントの重要なプロセスとなっている。

そこで、プロジェクトマネジメントの世界標準(事実上の標準)として世界各国に浸透しているPMBOK (Project Management Body of Knowledge)では、プロジェクトマネジメントに関するノウハウや手法を体系立ててまとめている。



実際の作業 PMBOKの知識管理体系

管理の分相	プロジェクトの時間軸					
	入力	出力	プロセス			
	Initiating (立ち上げ)	Planning (計画)	Executing (実行)	Controlling (監視・管理)	Closing (終結)	
Integration Management (総合管理)	・プロジェクト外スコープ記述書暫定版作成	・プロジェクト管理計画書作成	・プロジェクト実行の指揮・管理	・プロジェクト作業の監視・管理 ・統合的な変更管理	・プロジェクト終結	
Scope Management (スコープ管理)		・スコープ計画 ・スコープ定義 ・WBSの作成		・スコープ管理 ・スコープ変更管理		
Time Management (スケジュール管理)		・作業の定義 ・作業順序の設定 ・必要リソース見積もり ・所要時間の見積もり ・スケジュール作成		・スケジュール管理		
Cost Management (コスト管理)		・コスト見積もり ・予算設定		・コスト管理		
Quality Management (品質管理)		・品質計画	・品質保証	・品質管理		
Human Resource Management (組織管理)		・委員計画	・チーム結成/育成	・プロジェクトチームの管理		
Communication Management (コミュニケーション管理)		・コミュニケーション計画	・情報の配付	・実績報告 ・ステークホルダー管理		
Risk Management (リスク管理)		・リスク管理計画 ・リスクの定義 ・リスクの定性化 ・リスクの定量化 ・リスク対策の計画		・リスクの監視/管理		
Procurement Management (調達管理)		・引合計画 ・契約の計画	・提案依頼 ・発注先選定	・契約管理	・契約の完了	
Stakeholders Management (ステークホルダー管理)	ステークホルダー特定	ステークホルダー管理計画	ステークホルダー・エンゲージド管理	ステークホルダー・エンゲージド・コントロール		

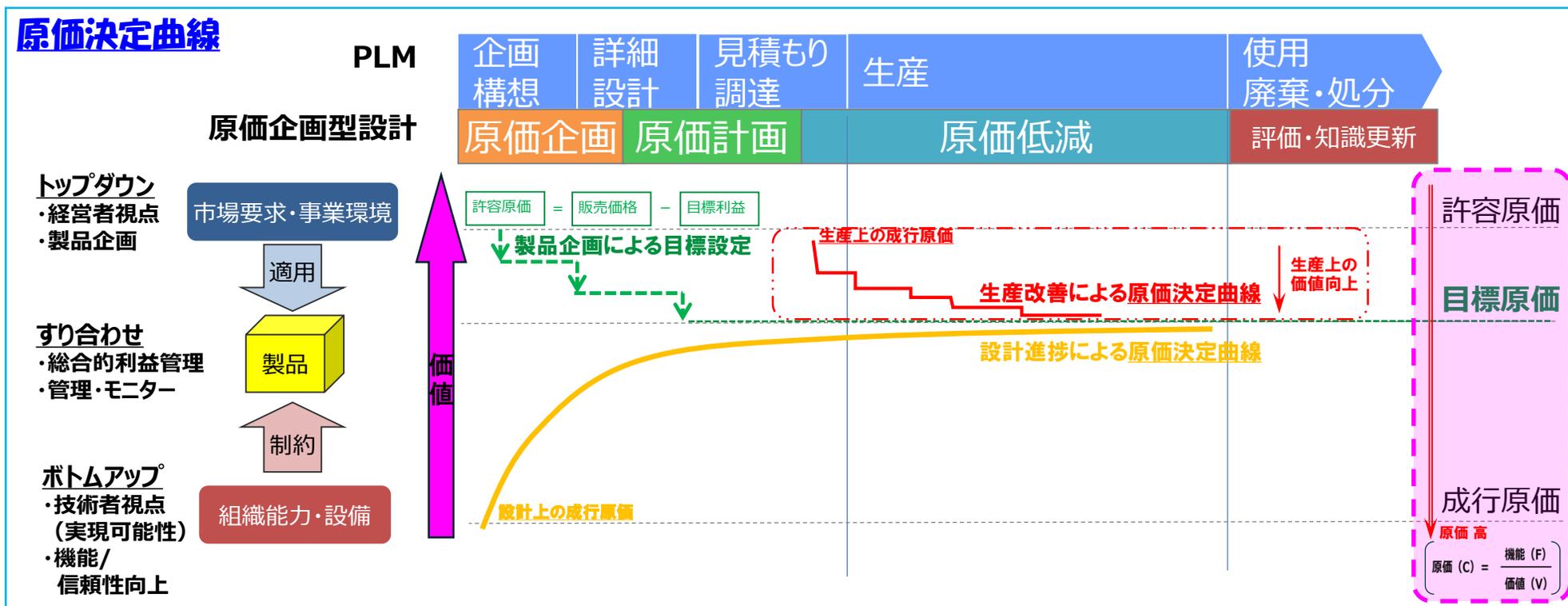
<https://products.sint.co.jp/obpm/blog/serial-umeda01>

1. Project Managementとは

実践的プロジェクトマネジメント

また製品開発プロジェクトでは、目標を達成させるべくPMBPKで体系化されているプロジェクト知識情報を管理しプロジェクト運営を実践する原価企画型開発の適用も同時に考えることが有効と考える。

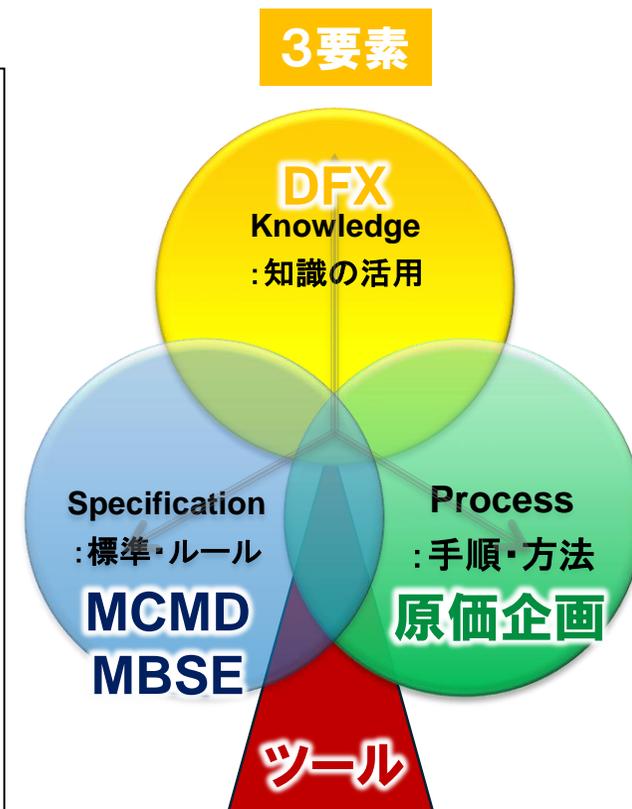
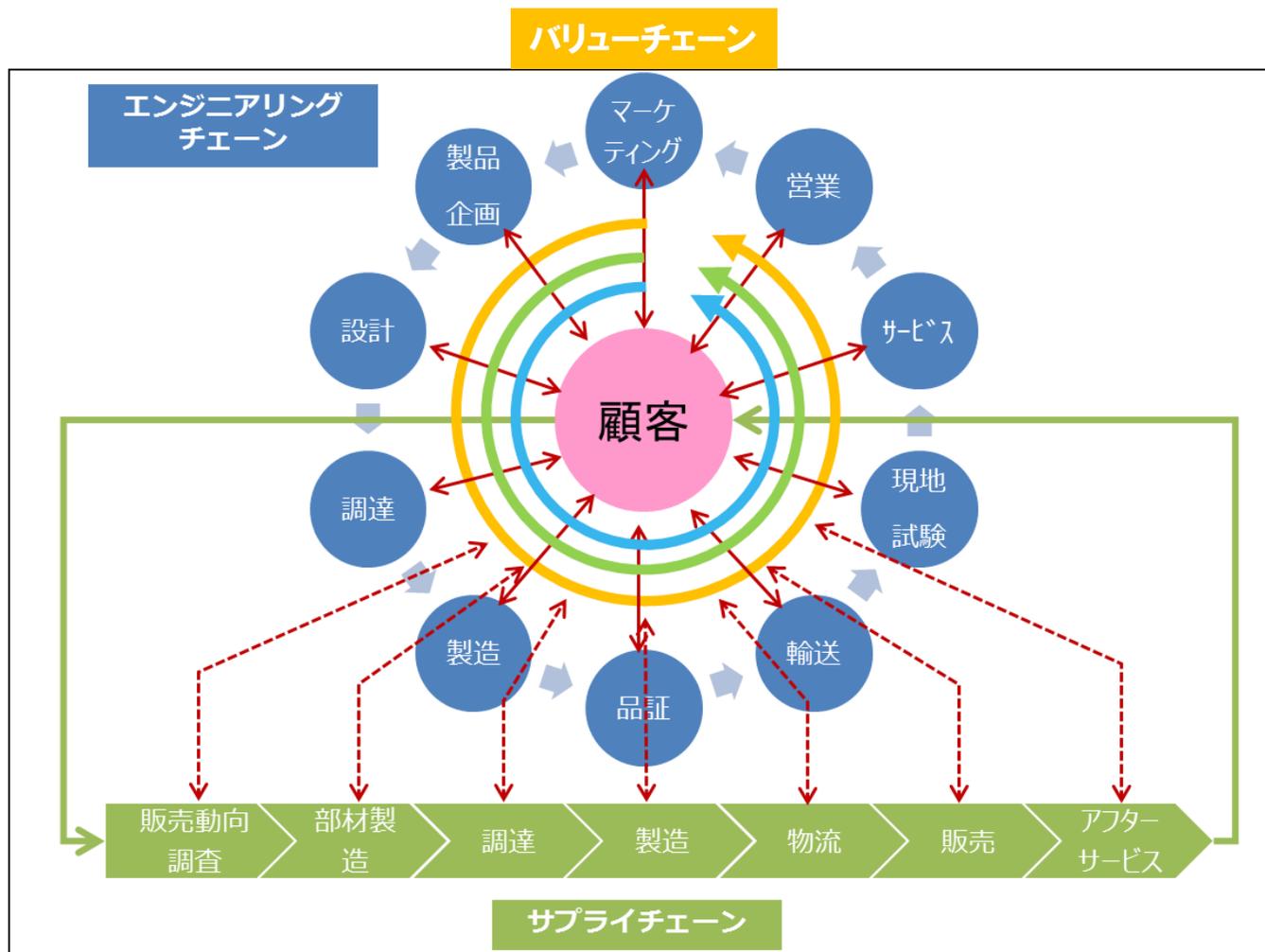
日本会計研究学会(1996)による原価企画の定義は、製品の企画・開発にあたって、顧客ニーズに適合する品質・価格・信頼性・開発期間等の目標を設定し、上流から下流までのすべての活動を対象として、それらの目標の同時的な達成を図る総合的利益管理活動とされる。その原価企画の活動は製品の開発段階において目標原価を設定し、その達成方策を立案して実現することである。



1. Project Managementとは

実践的プロジェクトマネジメント

プロジェクト管理の全体像【バリューチェーンと3要素】

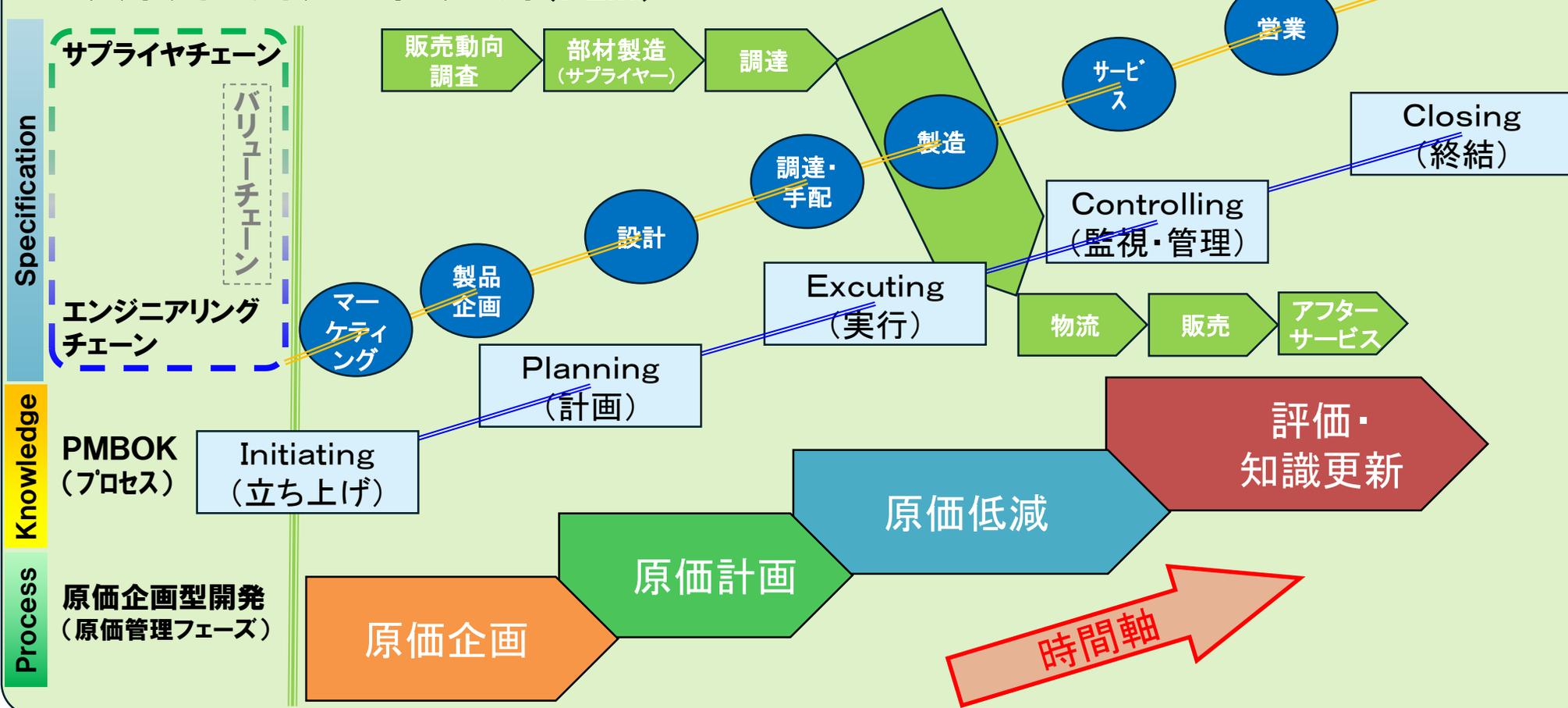


1. Project Managementとは

実践的プロジェクトマネジメント

製品開発においては、プロダクトライフサイクルマネジメント(PLM)と言われる手法が適用される。このPLMでは、製品のバリューチェーンを通し、PMBOKで言われるプロジェクト知識情報を、プロジェクトライフサイクルに沿って、原価企画的に情報管理を実践していくことである。(バリューチェーンに時間軸を付加)

プロダクトライフサイクルマネジメント(PLM)



目次

1. **プロジェクトマネジメントとは**
 - ✓ プロジェクトとは
 - ✓ 世界の標準“PMBOK®”
 - ✓ 実践的プロジェクトマネジメント
2. **航空機開発でのプロジェクトマネジメント**
3. **航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)**
4. **プロジェクトマネジメント手法**
 - ✓ 原価企画
 - ✓ MCMD
 - ✓ DFX
 - ✓ MBSE
 - ✓ ツール
 - ✓ 狩野モデル
 - ✓ QFD
 - ✓ DSM
 - ✓ EVM
 - ✓ その他
5. **終わりに**

2. 航空機開発でのプロジェクトマネージメント

航空機開発のアクティビティ

以下は、航空機開発に必要なプロジェクトマネージメント関連アクティビティ。

- ① マスタースケジュール設定
- ② 開発要求の設定
- ③ 開発体制
- ④ 重量管理
- ⑤ ノイズ管理
- ⑥ 形態管理
- ⑦ Certification
- ⑧ 環境規定
- ⑨ サプライチェーンマネージメント(SCM)

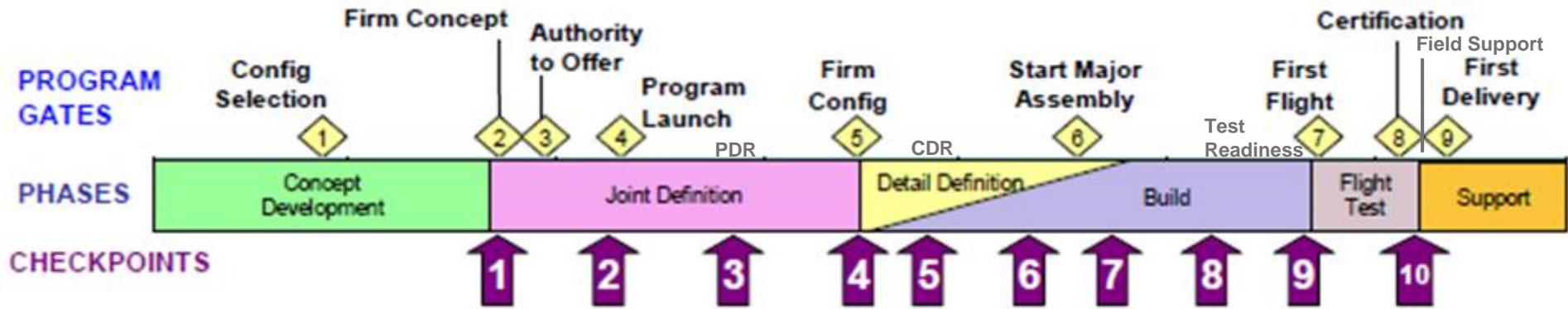
バリューチェーン内のプロジェクト情報管理の為のアクティビティを設定し、その関連の標準化・ルール化を進める。

2. 航空機開発でのプロジェクトマネージメント

航空機開発のアクティビティ

① マスタースケジュール設定(プログラムマイルストーン)

- プログラムゲート:プロジェクトのマイルストーン(MPP)における主要イベント
- プロジェクト開発フェーズ
- 開発チェックポイント:設計進捗に合わせて、設計のマチュリティーを確認するポイント

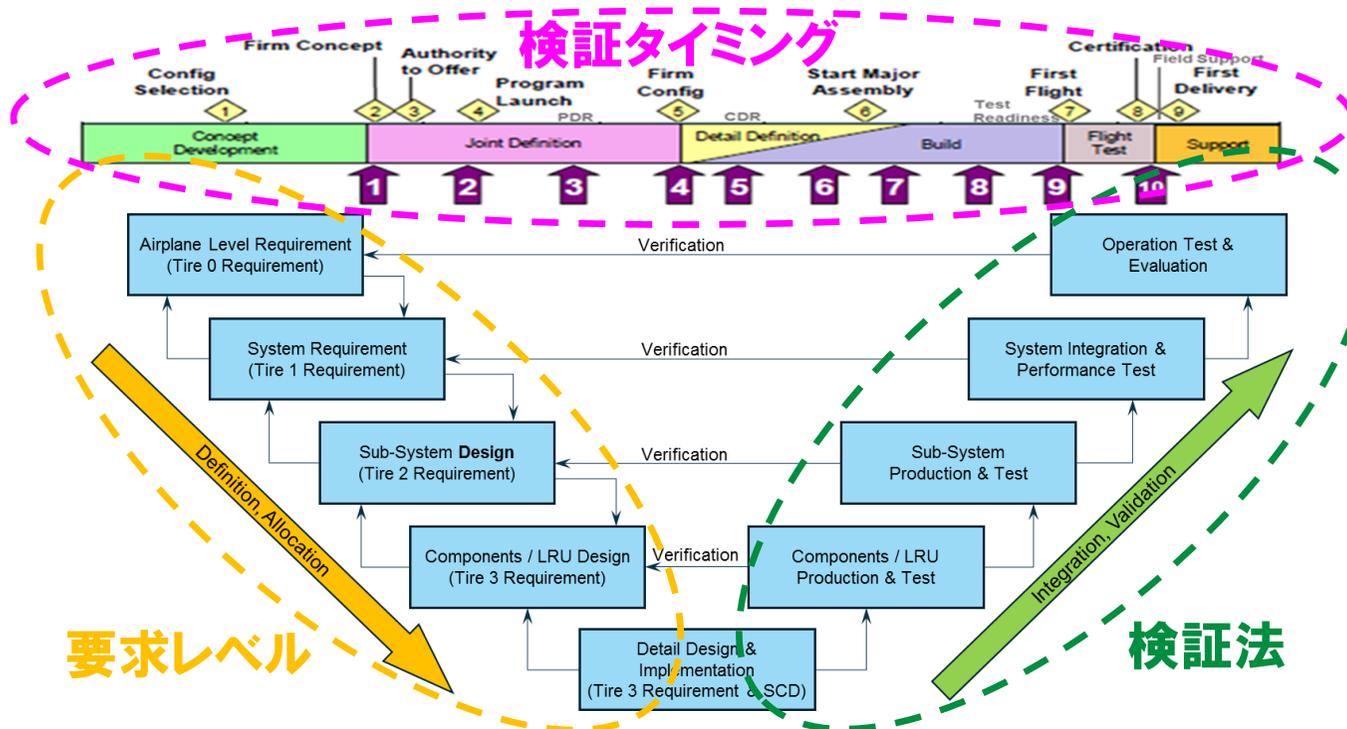


航空機開発のアクティビティ

② 開発要求の設定

開発要求の管理項目(例) <DR&O: Design Requirement & Objective> DFXの知恵化による要件定義も含む

#	要求事項	タイプ	レベル	上位要求	オーナー	影響エリア	対象	背景	検証法	継承内容	検証タイミング
管理 体系 番号	要求内容	要求タイプを分類 >法規 >要求 >目標 >情報	要求階層 >T0:全機レベル >T1:システムレベル >T2:サブシステムレベル >T3:コンポーネントレベル >T4:部品レベル	関連上位要求	要求領域	影響対象領域	コモディティ (システム、部品等)	要求設定の背 景、理由、目的	検証方法 >解析 >検査 >飛行試験 >地上試験 >コンポーネント試験 >確性試験 >設計・図面 >安全性評価 >シミュレーション試験 >デモンストレーション	検証方法の具 体的説明	マイルストーン錠 の検証するタイ ミング >詳細設計 >主要組立時 >全機組立時 >飛行試験時 >TC時



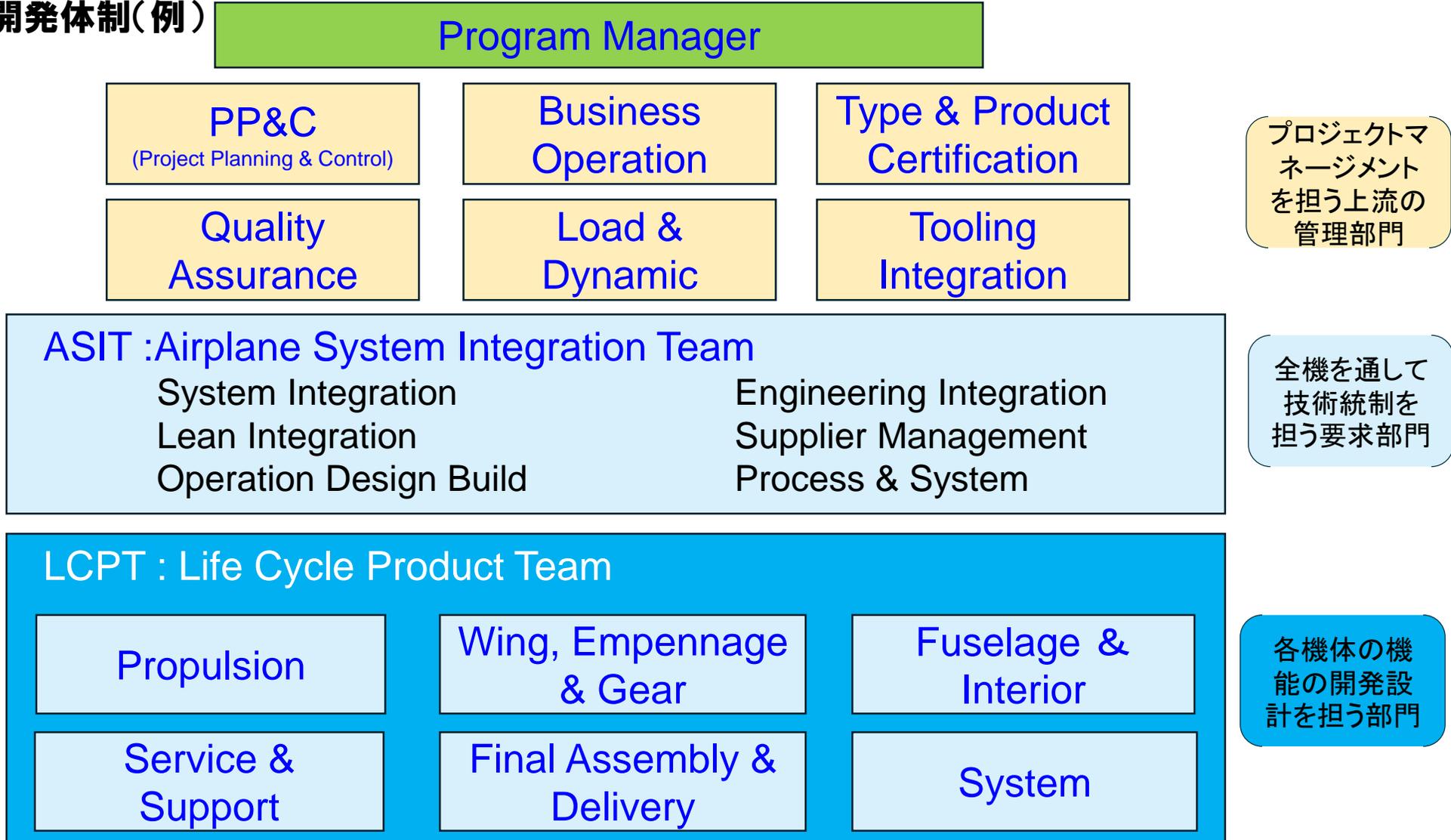
要求レベル

検証法

2. 航空機開発でのプロジェクトマネージメント

航空機開発のアクティビティ

③開発体制(例)

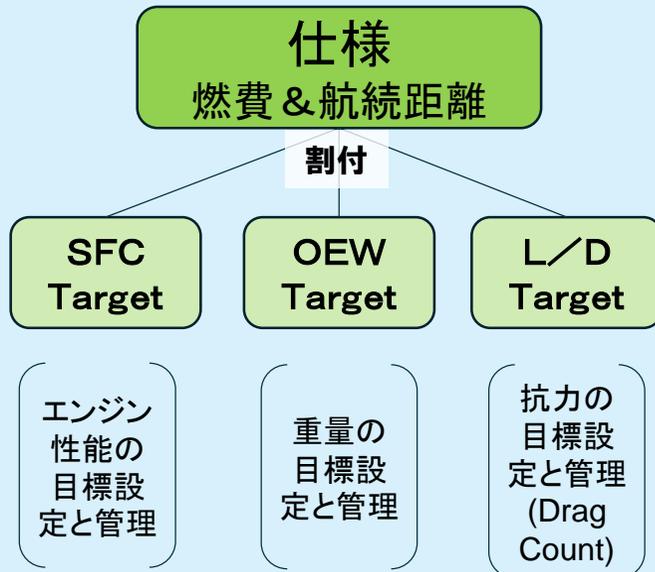


航空機開発のアクティビティー

④重量管理

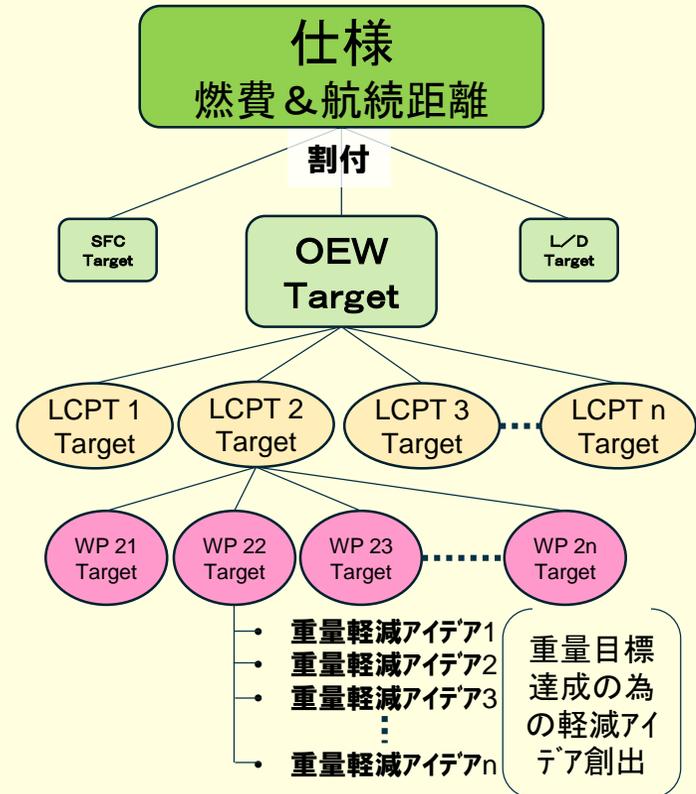
目標重量の達成を図る重量管理活動。原価企画活動と同じスキーム(企画⇒計画⇒削減)で活動を展開する。

重量企画:
全機レベルの目標重量の設定



SFC: Specific Fuel Consumption
OEW: Operating empty weight
L/D: lift-to-drag ratio

重量計画:
全機レベル目標重量の割付と削減計画立案



航空機開発のアクティビティ

④重量管理

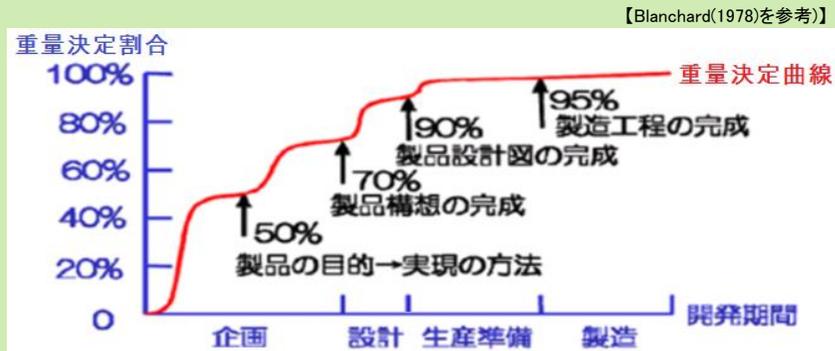
目標重量の達成を図る重量管理活動。原価企画活動と同じスキーム(企画⇒計画⇒削減)で活動を展開する。

重量削減活動: 設計の成熟度向上に沿って重量削減を進める。

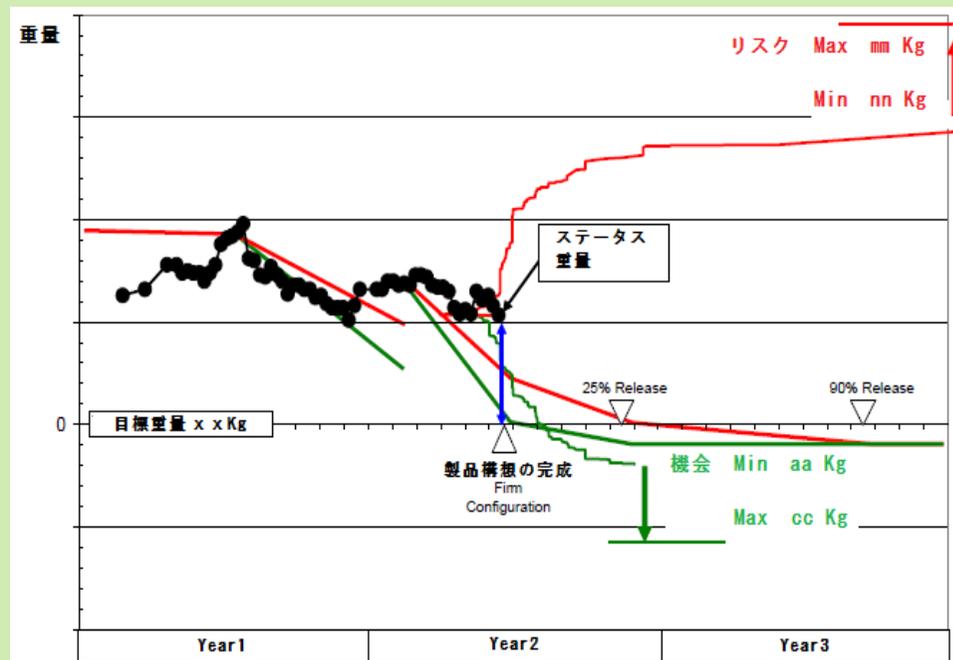
設計の進捗に沿って成熟度(精度)を上げていく。

削減進捗を管理する。

リスクとオポチュニティー(機会)を把握し、将来予測(Forecast)を考え、将来の目標未達のリスクに備える。必要に応じて追加アイデアを出す。



設計の進捗に応じて重量見積手法を考える



航空機開発のアクティビティ

⑤ノイズ管理

- ✓ 全機レベルのノイズ要求を満足させるために、コンポーネントレベルの設計要求を設定する。このアクションは、DFX(CS)の知恵化(要件化)である。
 - 全機通した胴体設計に適用されるノイズ対策設計(材料、ゾーン毎の防音ブランケットの厚み、機器装着形態)
 - 音響や振動によるノイズを抑えるための配管/配線、機器やブランケット、防音材に対するデザインガイド

- ✓ ノイズクリティカルなコンポーネントの詳細設計と製造手法に対し、全機レベルの要求を満足しているかを確認し、承認する。
 - 初品検査と試験での確認
 - 防音検証供試体での検証
 - 製造ラインでの確認

航空機開発のアクティビティ

⑥形態管理

形態管理プロセスにおける5つの機能要件
特に、**変更管理**は重要な要件となっている。

1. 形態管理計画とマネージメント

- ✓ 要求の識別
- ✓ プロセス文書の設定
- ✓ 役割、責任及びリソースの決定
- ✓ 手段の識別
- ✓ トレーニングの設定と展開
- ✓ 評価方法の識別
- ✓ サプライヤ形態管理要求

2. 形態識別

- ✓ 製品構造(WBS)
- ✓ ベースライン形態
- ✓ 文書化/データセット基準
- ✓ 製品図書のリリース
- ✓ シリアル管理
- ✓ 製造文書改訂
- ✓ 製品マーキング

3. 形態変更と差異の管理

- ✓ 変更管理プロセス
- ✓ 変更識別及び区分
- ✓ 変更評価及び認可
- ✓ 変更実施計画
- ✓ 変更盛り込み/モニター
- ✓ 差異管理
- ✓ 開発管理部品変更
- ✓ 製造使用制限プロセス

4. 形態適合の確認

- ✓ 記録および報告

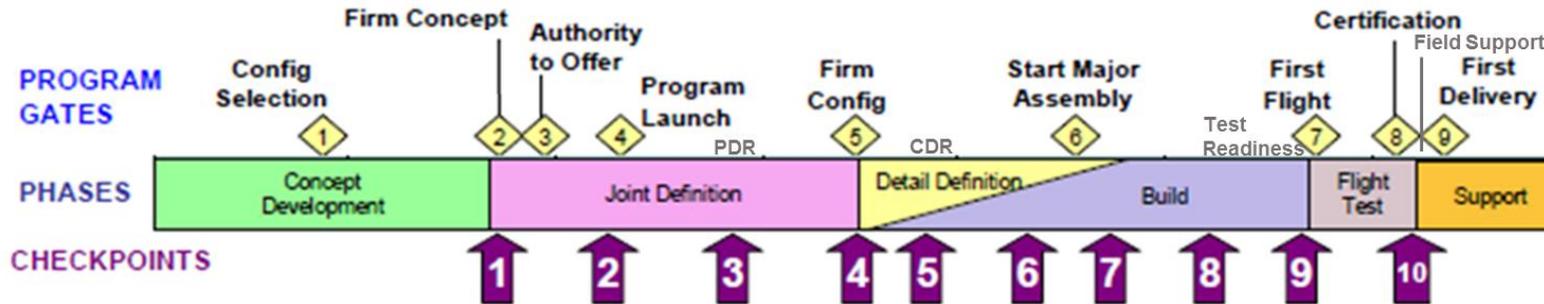
5. 形態検査と監査

- ✓ 機能的な検証
- ✓ 物理的な形態検証
- ✓ 生産システム検証
- ✓ 不適合の解決

2. 航空機開発でのプロジェクトマネージメント

航空機開発のアクティビティ

⑦ Certification



TC (Type Certification)

1. Application for Type Certificate
2. Type Certification Basis
3. Type Certification Planning
4. Compliance
5. Issuance of Type Certificates
6. Post Type Certification Design Changes
7. Retention of Records

PC (Production Certification)

AC (Airworthiness Certification)

1. Certificate of Airworthiness
2. Continued Airworthiness
3. Incident Investigation



https://www.visionsafe.com/docs/certifications/easa/10015333_CERT_REV_9_20160920.pdf

https://www.google.co.jp/search?q=b777+type+certification+FAA&tbm=isch&ved=2ahUKEwJgzu_u5r3IAhXMBaYKHax5A9YQ2-cCegQIABAA&oq=b777+type+certification+FAA&gs_l=img.3...6583.9564..10151...1.0..0.416.621.1j1j4-1.....0....1..gws-wiz-img.EB_7imglBk&ei=cUS2XaDSGsyLmAWi84-wDQ&bih=1014&biw=2021&hl=ja#imgrc=jj8ZRnsRopJP-M

航空機開発のアクティビティ

⑧環境規定

環境にやさしい航空機開発の為、設計・製造及びマーケティングへ考慮すべく
DFX(環境)の原則/考え方を定義する。

このアクションは、DFX(環境)の知恵化により要件設定し、DR&Oへ設計要求として規定すること。

【B787で要件定義(例:DR&O)】

環境法規に対応する環境管理システムに従って製造設備での生産を規定している。

航空機開発のアクティビティ

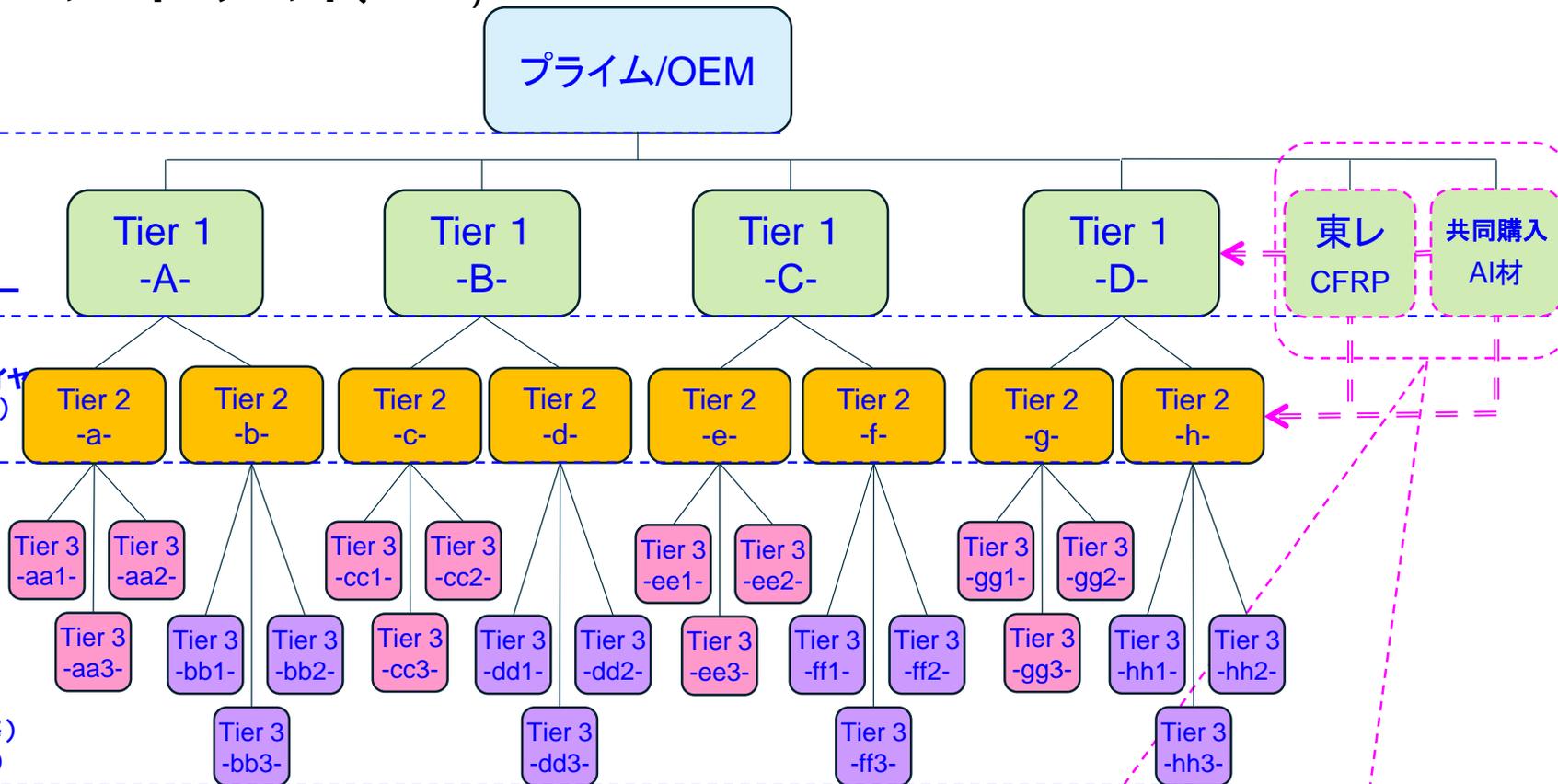
⑨ サプライチェーンマネージメント(SCM)

- 全機インテグレーション
- Customer Delivery
- TCホルダー

- コンポーネントサプライヤ
- 装備品メーカー(エンジン、フラコンシステム等)
- リスクシェアリングパートナー

- サブコンポーネントサプライヤ
- 構成部品メーカー(ポンプ等)

- 部品メーカー(コネクタ等)
- 素材メーカー(シール材等)



所要量の大きい素材に対しては、Tier3の分離にあてはめず、プログラム全体での共同購入とする場合がある。

B787の例では、複合材を供給する東レのTier1パートナー扱いや、ボーイング社関連商社によるアルミ材などの共同購入とするなどの形態を取っている。

関連文書体系

Business

- RAA: Responsibility, Accountability & Authority
開発作業の責任範囲の定義
- SOW: Statement of Work
開発担当の対象部位/作業を定義
- SBP: Special Business Provision
業務プロセスの詳細を定義する特例契約規定
- IWS: Integrated Work Statement (WBS)
開発に必要な作業を定義

Engineering

- DR&O: Design Requirement & Objective
設計・製造等開発に必要な要求の定義
- Configuration Memo
設計・製造等開発される航空機の仕様を定義
- Design Manual
設計手法等を定義したマニュアル
- DFX-HB: Design For X – Hand Book
過去の経験や試験結果を反映したルールをまとめたハンドブック(DFXの知恵化により要件化(ルール))

Process & System

- Commonality Matrix
 - ✓業務プロセスとそれに使用するツールを定義。
 - ✓ツールの定義では、プログラム全体の統制を考え、必要性レベル(要求、推奨、例)を定義している。
 - ✓業務プロセスのインプット/プロセスアウトプット/(IPO)を定義
- Business Process Standard
 - ✓業務プロセスを定義した標準

目次

1. **プロジェクトマネジメントとは**
 - ✓ プロジェクトとは
 - ✓ 世界の標準“PMBOK®”
 - ✓ 実践的プロジェクトマネジメント
2. **航空機開発でのプロジェクトマネジメント**
3. **航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)**
4. **プロジェクトマネジメント手法**
 - ✓ 原価企画
 - ✓ MCMD
 - ✓ DFX
 - ✓ MBSE
 - ✓ ツール
 - ✓ 狩野モデル
 - ✓ QFD
 - ✓ DSM
 - ✓ EVM
 - ✓ その他
5. **終わりに**

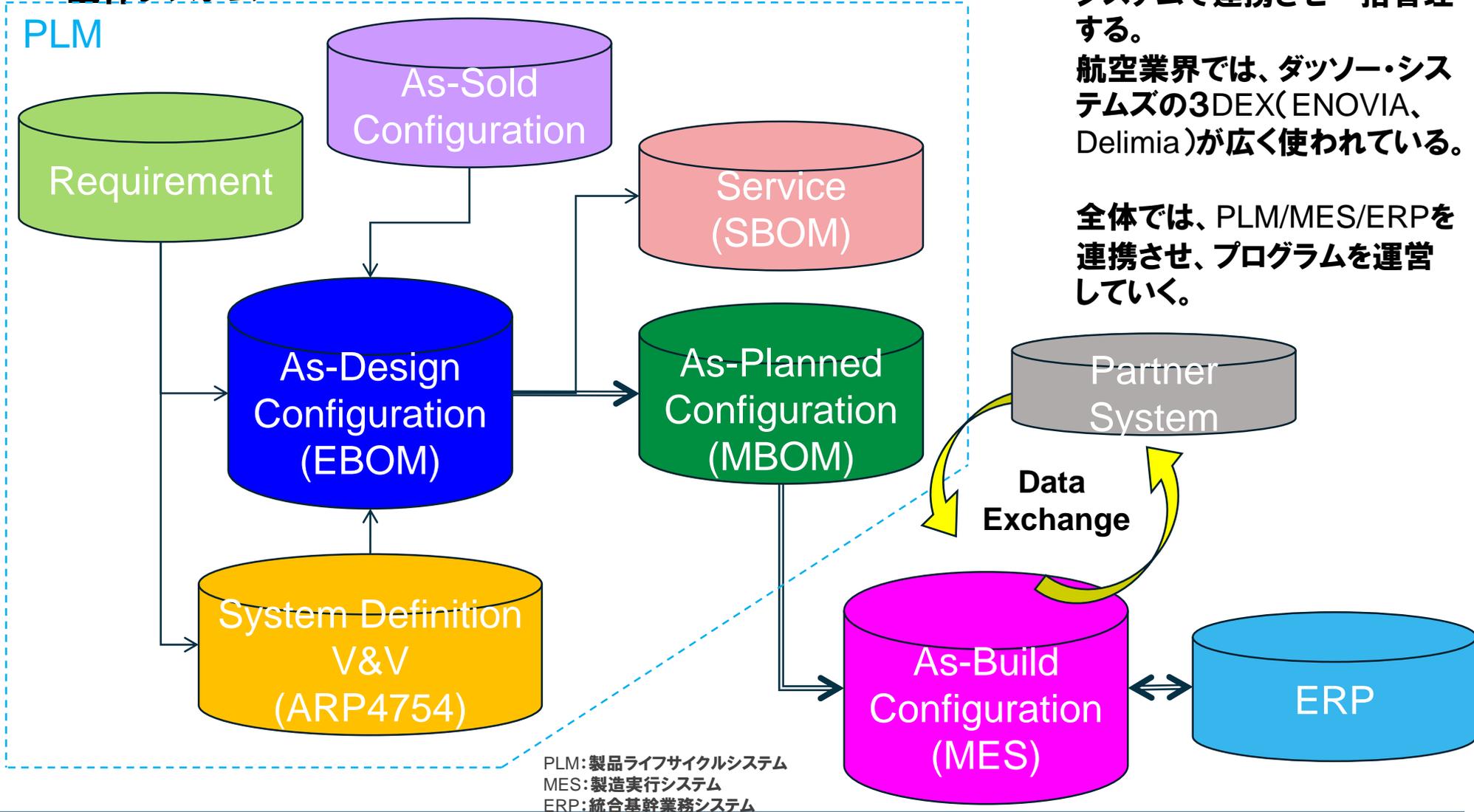
業務プロセス

航空機開発で計画される業務プロセスとそのシステム化
開発の初期の段階で、開発を統制するために決めるべき事項。

- 全体システム
- 要求管理
- リスク管理(RIO管理)
- 開発マイルストーンと技術進捗管理
- 技術データ
- 技術品証
- 空間統制(Volume Integration)とインタフェース管理
- リレーショナルデザイン
- モジュラーデザイン
- 号機管理
- 製造技術開発
- 生産性分析
- 整備性デザイン

3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス ・ 全体システム

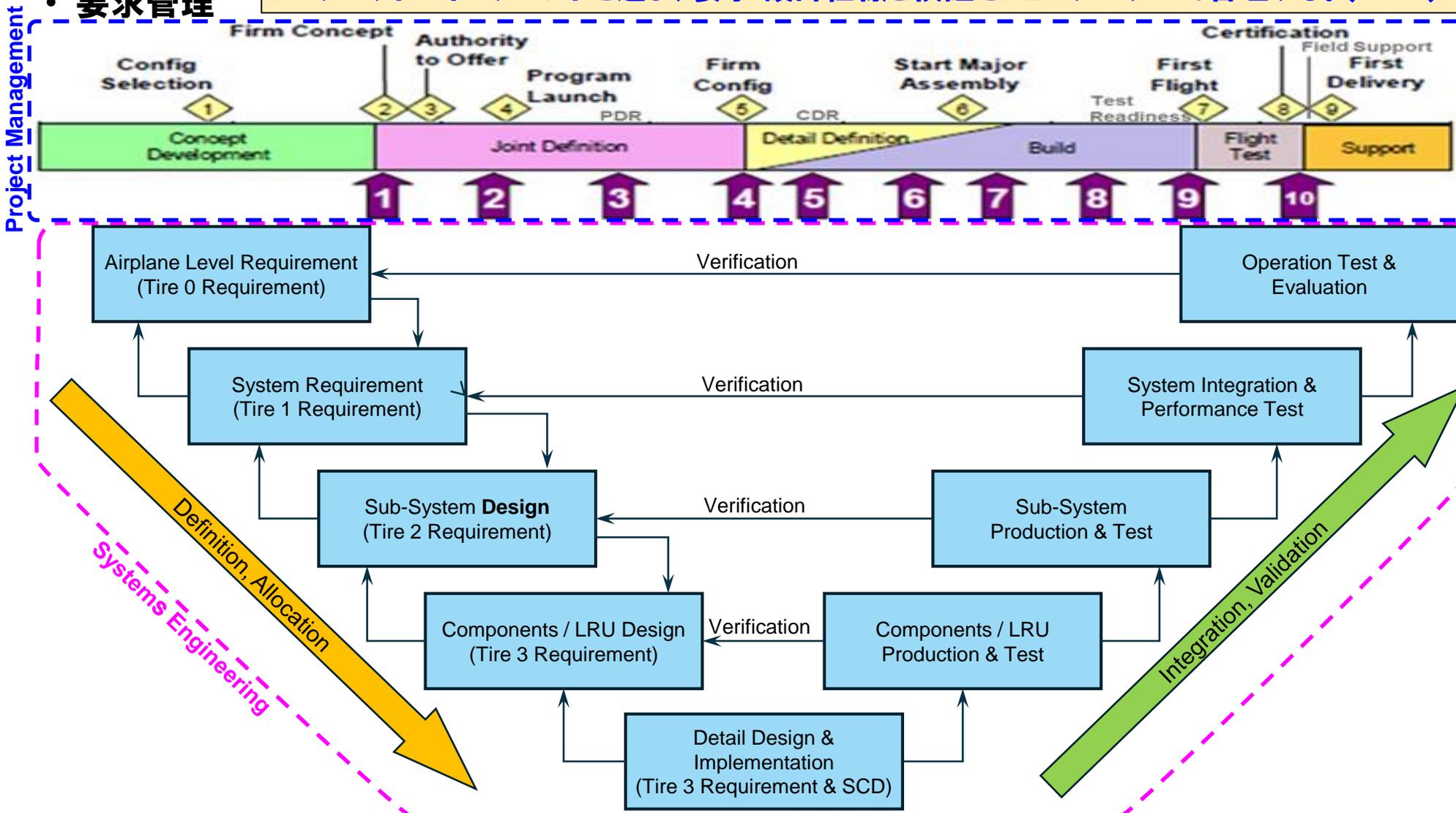


3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス

・ 要求管理

プロジェクトマネージメントを通し、要求/設計仕様と検証をPLMシステムで管理する。(V&V)

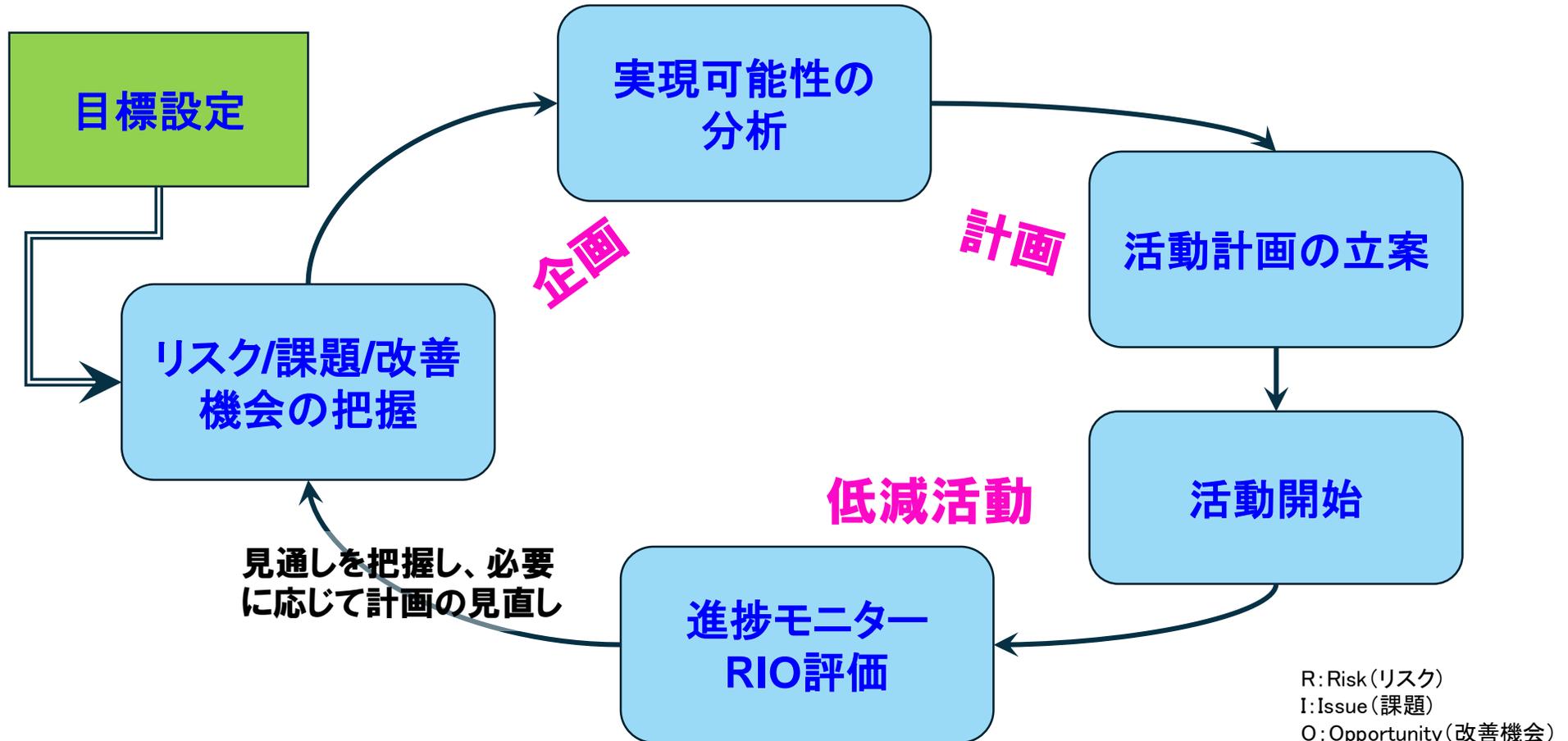


3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス

・ リスク管理(RIO管理)

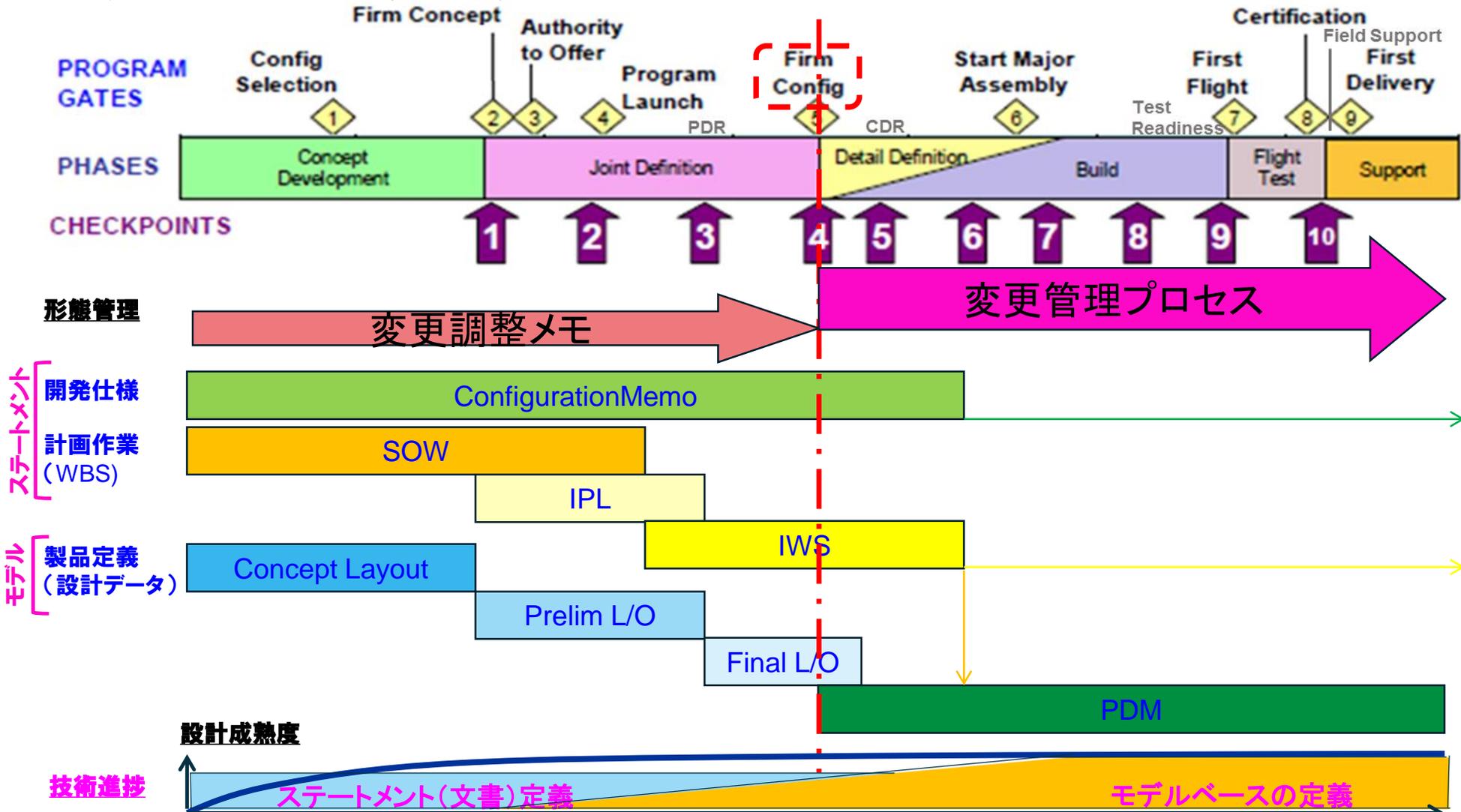
原価企画開発プロセスを適用し、改善(コスト、重量、スケジュール<VSM>等)の目標の設定と現状とのギャップを認識する。開発の進捗に沿って、リスク(R)/課題(I)/改善機会(O)の進捗と見通しを把握し、事前対策などのアクションを管理し、目標達成を図る。



3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)

業務プロセス

開発マイルストーンと技術進捗管理



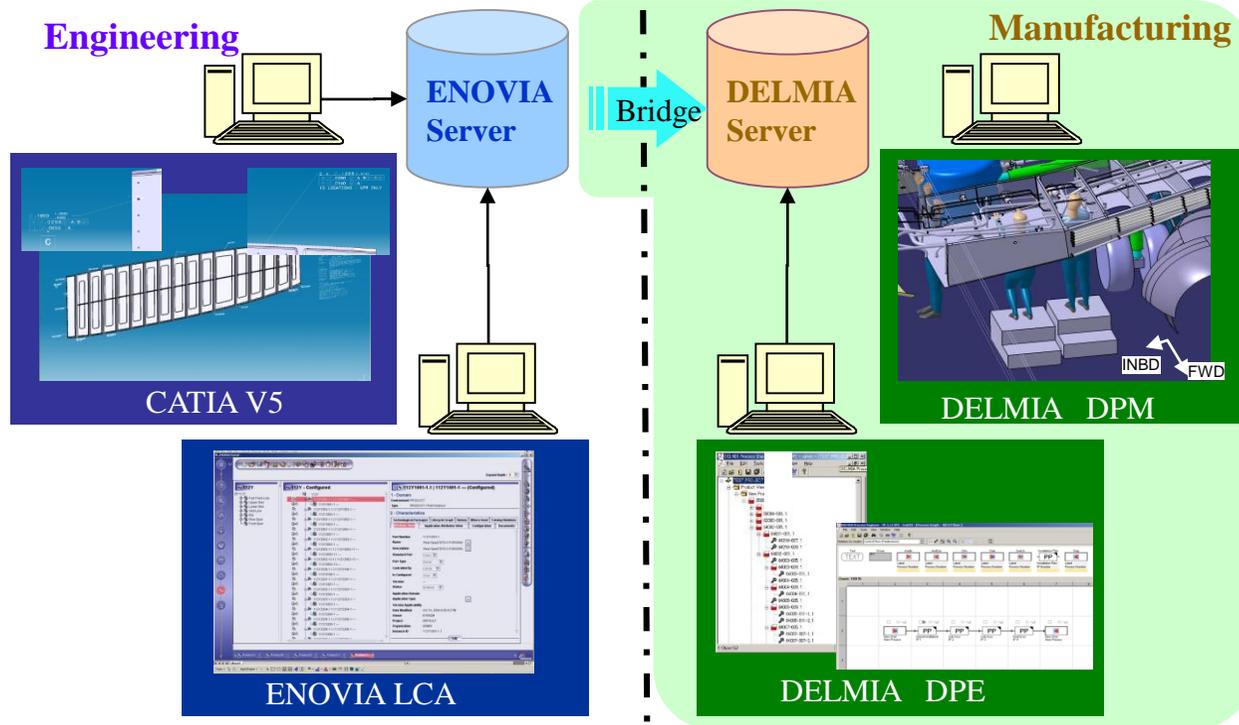
3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス

- ・ 技術データ

MBDによるモデルベースの技術意図定義。

このMBDを一元データとして、関連部門と共有し、他部門の情報と関連付けていく。



MBD(Model Based Definition)

<Specification View>

- ・ 形状情報@CATIA
- ・ テキスト情報(材料情報等)@ENOVIA
- ・ Application情報(位置、個数等)@ENOVIA

Digital Process Engineering

<Process View>

- ・ 製造ステップ
- ・ 製造要求定義
- ・ Digital作業指示書
等

3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)

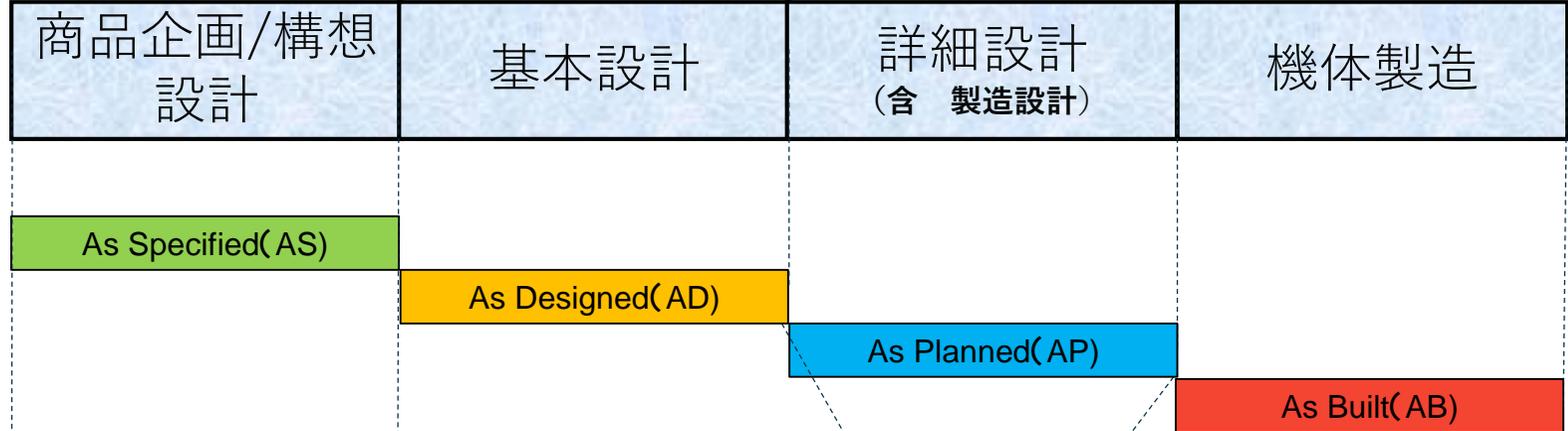
業務プロセス

- ・ 技術データ

形態管理(情報<意図>の流れ)

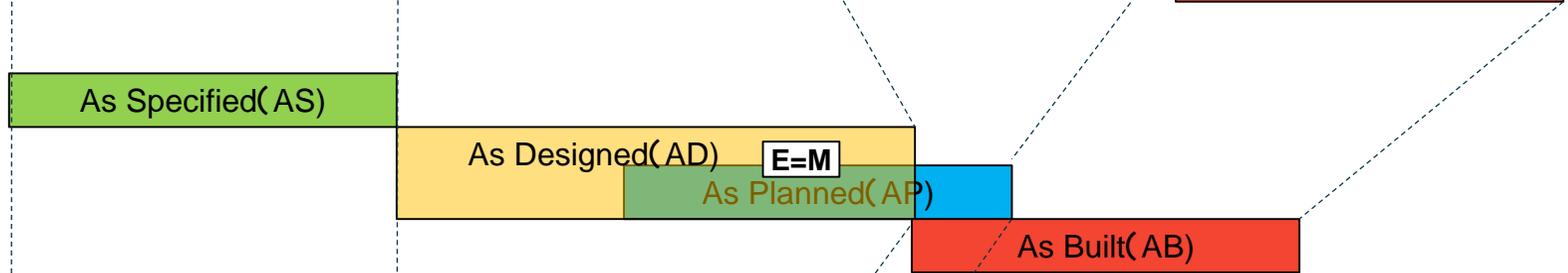
・ 1980~1990年

Sequential Process



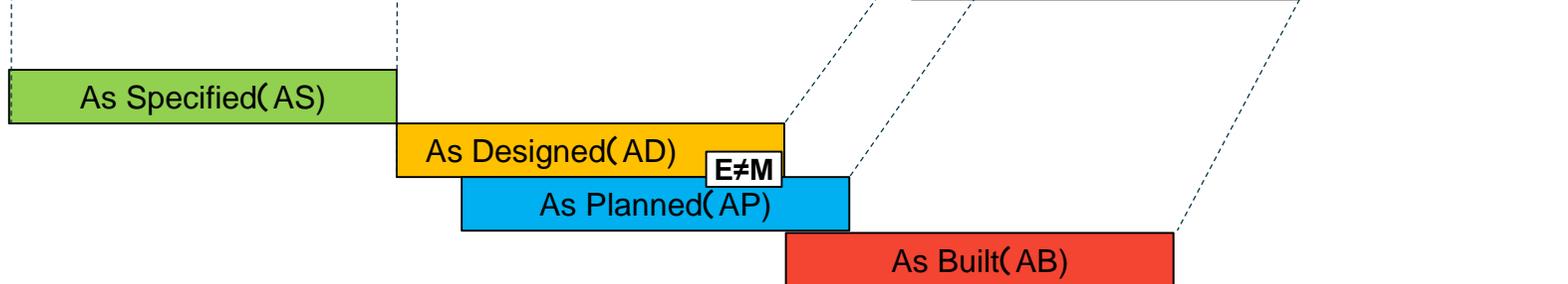
・ 1990~2000年

Concurrent Process (E=M) \ (Colocation)



・ 2000~現在

Concurrent Process (E≠M) \ (Collaboration)



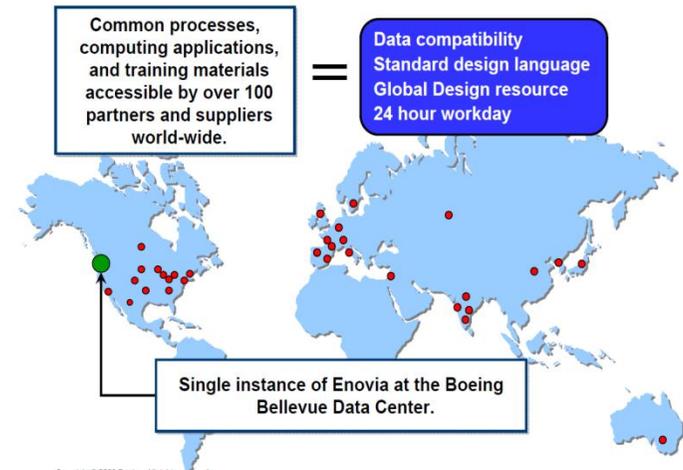
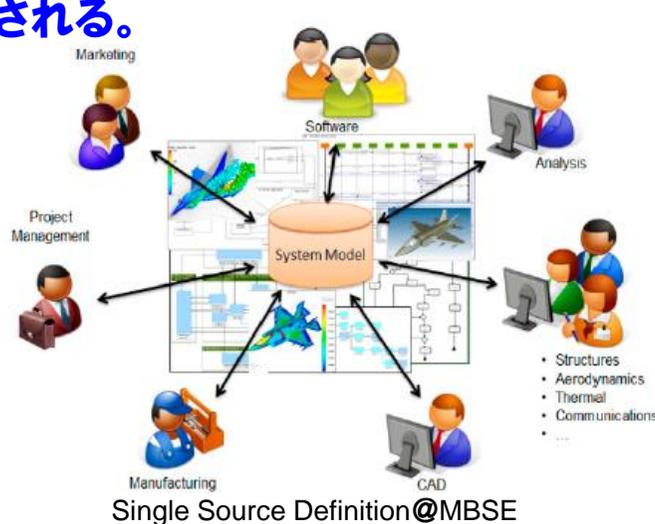
3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス

・ 技術品証

技術情報をモデルベース(MBD: Model Based Definition)による一元管理(Single Source Definition)を実践することにより、種々のステークホルダーが同時にGCE(Global Collaboration Environment)の環境下で、技術情報を活用することができる。(Concurrent Engineering)

エンジニアリングチェーンを通して情報を共有するプロダクトライフサイクルマネジメント(PLM)において必須なプロセスに、MBSE(Model Based System Engineering)の考え方が導入される。



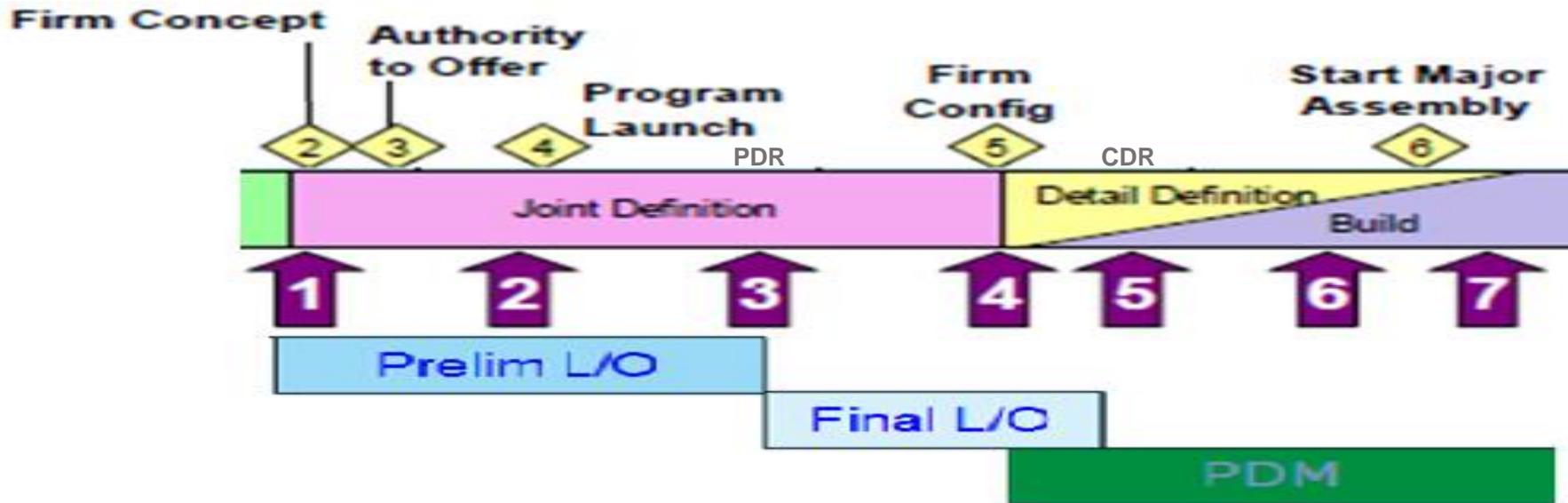
GCE(Global Collaboration Environment) 出典: Boeing

データを一元的に共有・活用するためには、データフォーマットなどのデータ品質を維持するためのルール設定が必要。

3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

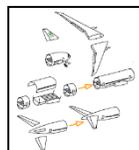
業務プロセス

- 空間統制(Volume Integration)とインタフェース管理



空間設計フェーズ

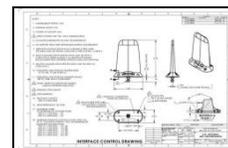
- 空間統制形態の設定**
- ツール面などのインタフェース仕様
 - SOWをもとに分担



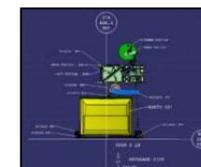
- インタフェース文書とスケジュールの設定**
- インテグレーション計画
 - IPL/IWS維持
 - ICD発行計画



- インタフェースの確定**
- ICDリリース



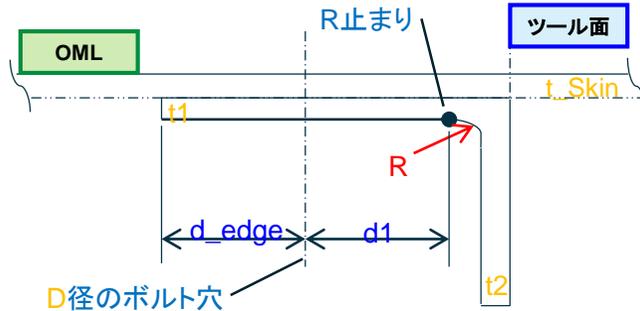
- インタフェース仕様の確定**
- PDM確定
 - ICD確定



業務プロセス

・ **リレーショナルデザイン**(Relational Design)
 設計上の基準や製造上の基準からのパラメーター
 (変数 & 定数)により設計(形状)を決めるルールを設定する
パラメトリックデザイン。

【事例】



- ✓ **設計基準: 設計仕様・性能上必要な基準**
 OML: Outer Mold Line、空力線図(外形形状の定義)
- ✓ **製造基準: 製造上必要とする基準**
 ツール面: 部品を位置決めするツールを充てる面
- ✓ **設計ルール: 経験知識などから知恵化したルール**
 - ・ **定数**
 R: 標準工具(カッター)の隅R (=3mm)
 - ・ **変数(設計値<Given>): 強度解析などの結果**
 t: 部材の板厚(=解析値)
 D: ボルト径(=解析値)
 - ・ **変数(計算値<出力>): ルールから見出した値**
 $d1 = d1 + 1.3mm$
 : ボルト頭がRに乗らないようにする。
 (製造上のバラツキを考慮して1.3mmを加算)
 $d_edge = 2 \times d1 + 1.3mm$
 : 損傷許容性を考慮したボルト穴から部品の端までの距離

・ **モジュラーデザイン**(Modular Design)
 航空機の開発において、以下の観点で共通/標準化
 (Commonality)は重要。そのために、設計要求・アー
 キテクチャー、材料/部品、ベストプラクティスを設定し、
 それらに従う必要がある。

- ✓ 安全性
- ✓ 保守性
- ✓ 試験計画
- ✓ 修理性

航空機開発の標準化を進めるために、設計のルール
 化やモジュール化を考える。

実践するために、開発の初期の段階に以下を設定し要件化
 する。

- デザインガイドライン
- 標準部品ガイドライン(推奨部品と使用条件)
- 標準モデル(パラメトリックデザイン、Seed Model)
- DFX-HB
- 等

3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス

・ 号機管理

航空機の形態管理上、号機管理は重要。

形態管理対象とするレベルの部品に対して、号機管理を行う。

航空機では、単品レベルを形態管理の対象として、ボルトなどの標準部品は対象外としている。

この号機管理にて、顧客オプション形態も管理する。

可用性(設計適用可能範囲) <Availability>

共通仕様 (Option1)

Op1a # 1 → # 100

Op1b # 101 → # 999

派生型仕様 (Option2)

Op2a # 1 → # 999

Op2b # 1 → # 999

標準オプション (Option3)

Op3a # 1 → # 999

Op3b # 101 → # 999

特注オプション (Option4)

Op4a # 102

適用性(顧客毎仕様) <Applicability>

顧客A (Op1a+Opt2a+Opt3a)

顧客B (Op1b+Opt2b+Opt3b+Opt4a)

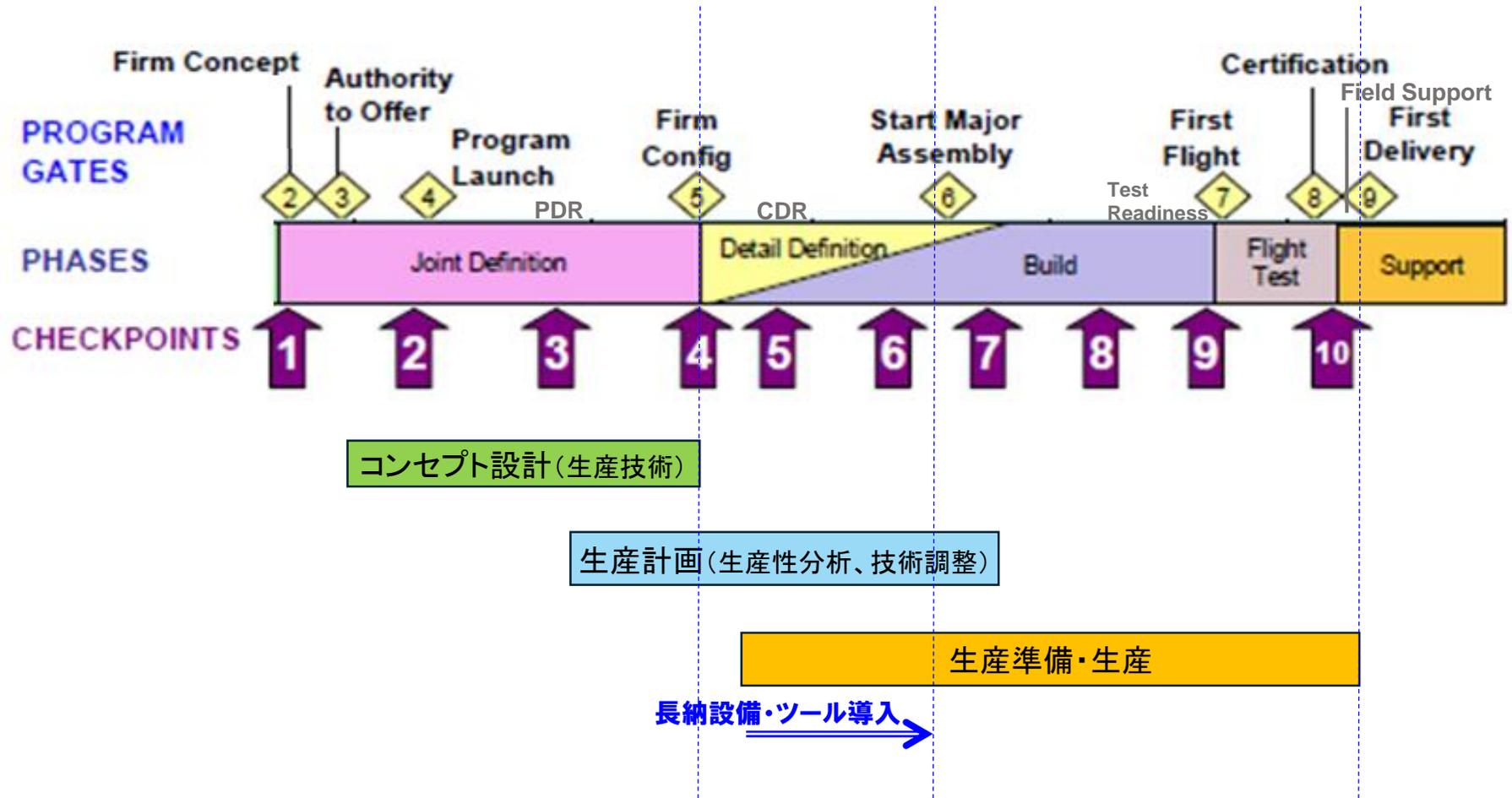
号機(生産計画) <Effectivity>



3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

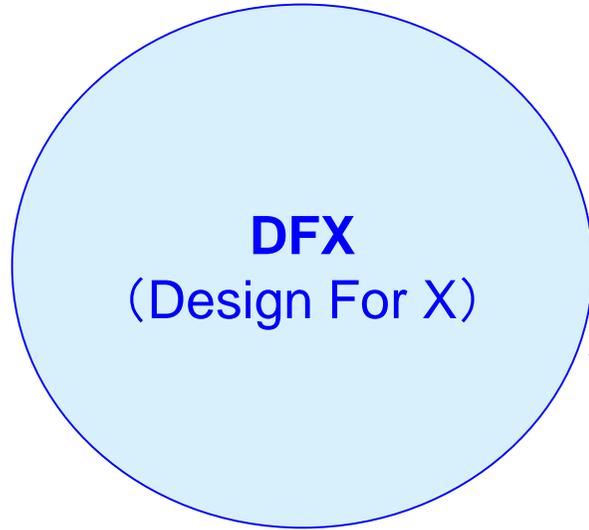
業務プロセス

・ 製造技術開発

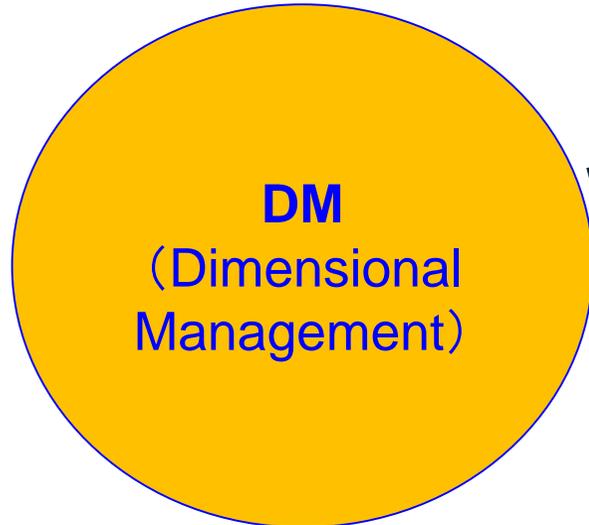
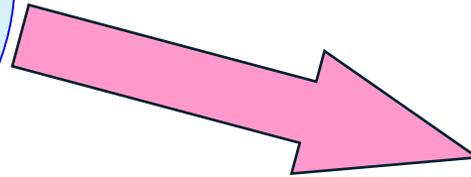


業務プロセス

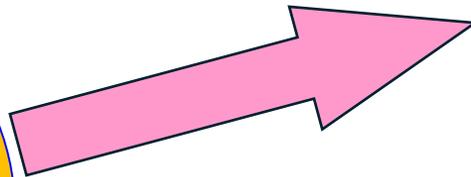
- 生産性分析



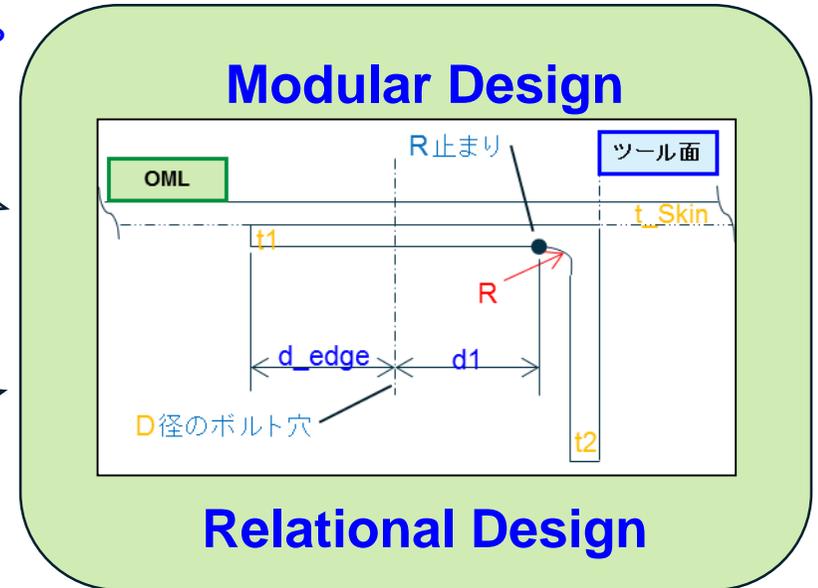
生産における経験知識を要件化し、設計の標準化(ルール化やモジュール化)を図る。



生産設計(基準、手順等)を考慮した公差配分を検討。



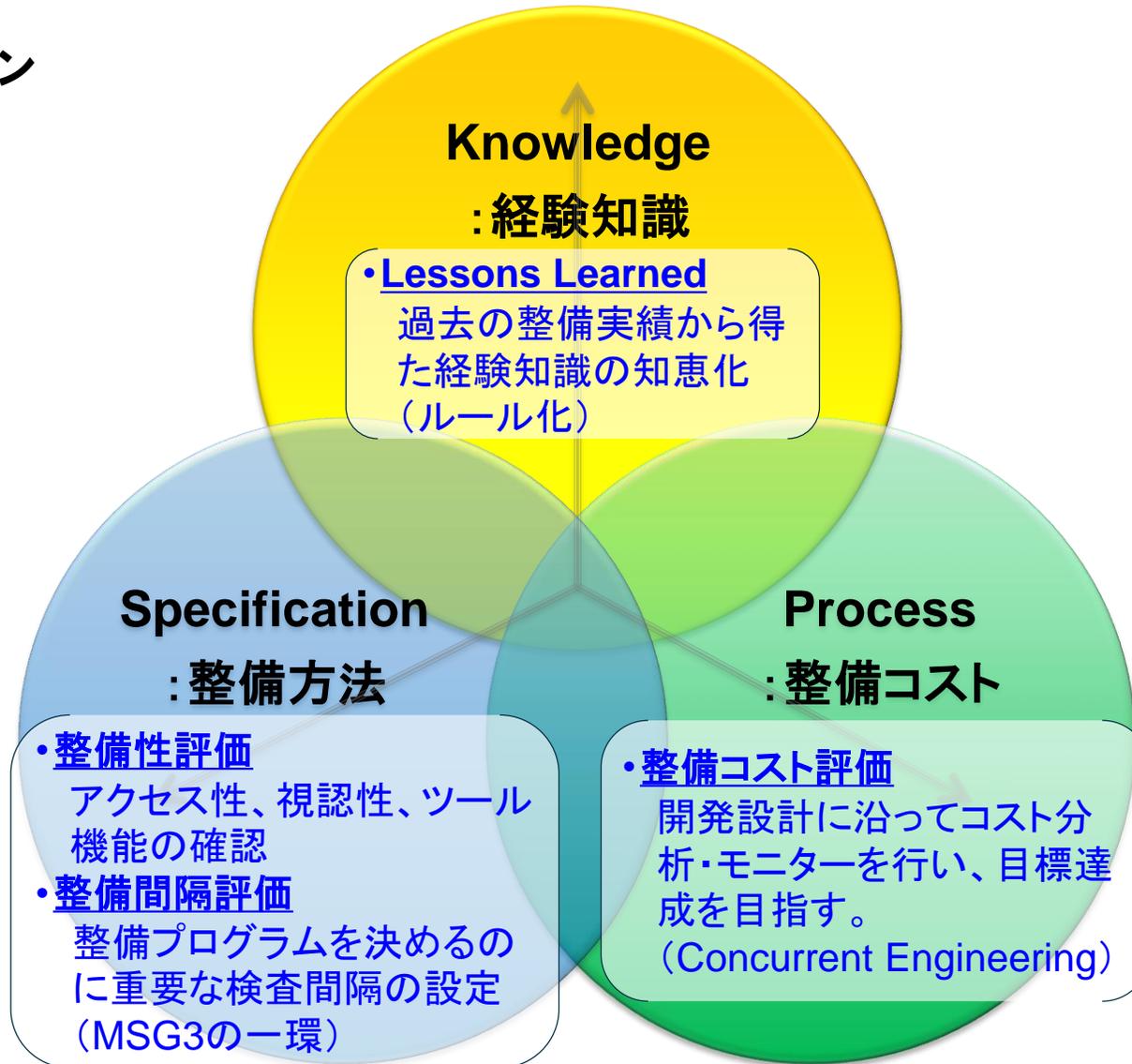
市場に多く出回っている公差解析ソフトを活用も。



3. 航空機開発でのプロセスとシステム(P & S)

業務プロセス

- 整備性デザイン



目次

1. **プロジェクトマネジメントとは**
 - ✓ プロジェクトとは
 - ✓ 世界の標準“PMBOK®”
 - ✓ 実践的プロジェクトマネジメント
2. **航空機開発でのプロジェクトマネジメント**
3. **航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)**
4. **プロジェクトマネジメント手法**
 - ✓ **原価企画**
 - ✓ MCMD
 - ✓ DFX
 - ✓ MBSE
 - ✓ **ツール**
 - ✓ **狩野モデル**
 - ✓ QFD
 - ✓ DSM
 - ✓ EVM
 - ✓ **その他**
5. **終わりに**

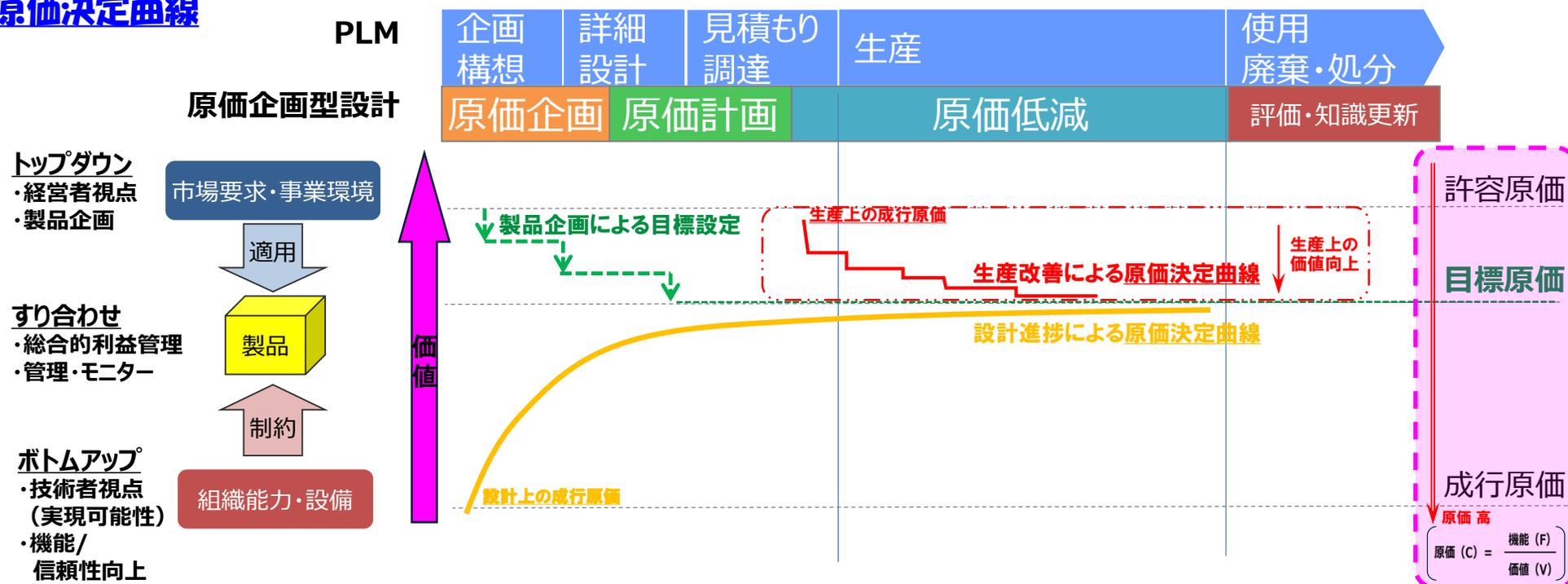
4. プロジェクトマネジメント手法

原価企画型開発

原価企画型開発とは、総合的利益管理活動

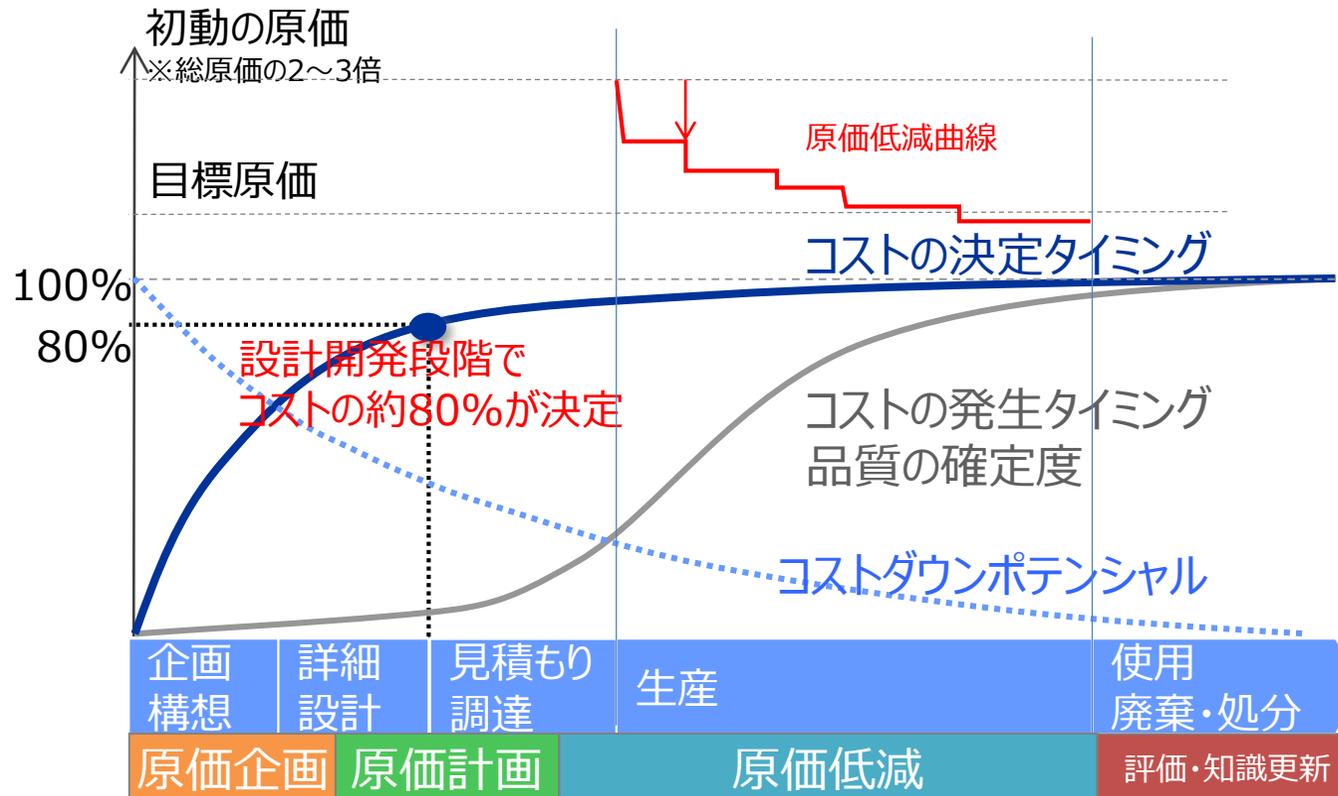
- ・ 経営者視点の期待する原価「許容原価」と技術者視点の企画時点での実現可能な原価「成行原価」とのギャップを認識。
- ・ 製品企画を通して、利益の見直し等を検討、「目標原価」を設定
- ・ 目標原価との差を埋めるべく原価低減の計画を立案
- ・ 目標を達成すべく原価低減活動を管理。
- ・ 最後に事業の評価、経験知識の知恵化を実施し、再利用を図る。

原価決定曲線



原価企画:背景

- 原価の教科書によると、下記のような記載がある。
原価決定曲線をとおして、コスト（原価）の80%は詳細設計までで決まり、製品の規模、機能、使用材料、構造、生産工法などが決まると、下流での発生コストも決まる。
- だからこそ、企画/構想段階から組織横断した活動とその管理が必要。



MCMD:背景

MCMD: Mass-Customization & Modular-Design

海外市場での
競争

ニーズ多様化

製品高度化

限られた
リソース

多様な要望に応じて
一品ずつから設計
する伝統



設計負荷の増大、不十分なリードタイム



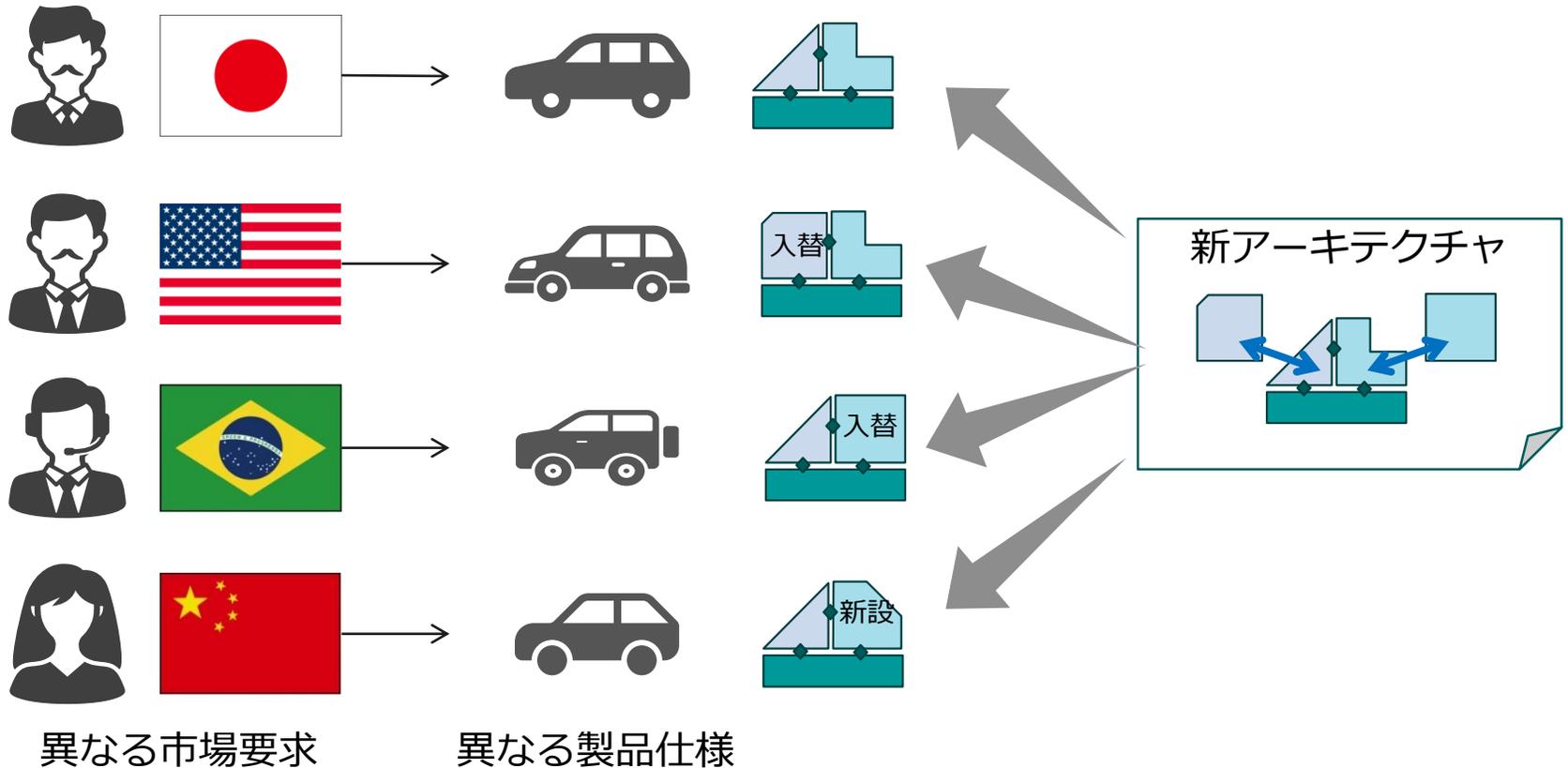
一から設計していたのでは十分なQCDDが得られない。

4. プロジェクトマネジメント手法

MCMD:MCMDとは

リソース制約の中で、多様なニーズに対応した幅広い製品を設計する手法。
品質を維持しながらコストや製品リードタイムを改善する。

■ モジュール化は多様なバリエーションの商品を効率的に実現する。



MCMD:MCMDとは

プラットフォーム化 = 標準化 × 共通化 × モジュール化と定義できる。

■ そのため、モジュラーデザインを行う際には、標準化、共通化、を含めて行う場合がある。



「作業標準」「標準時間」「設計標準書」のように、ルールを定めることで、ばらつきを抑えて品質を高める。

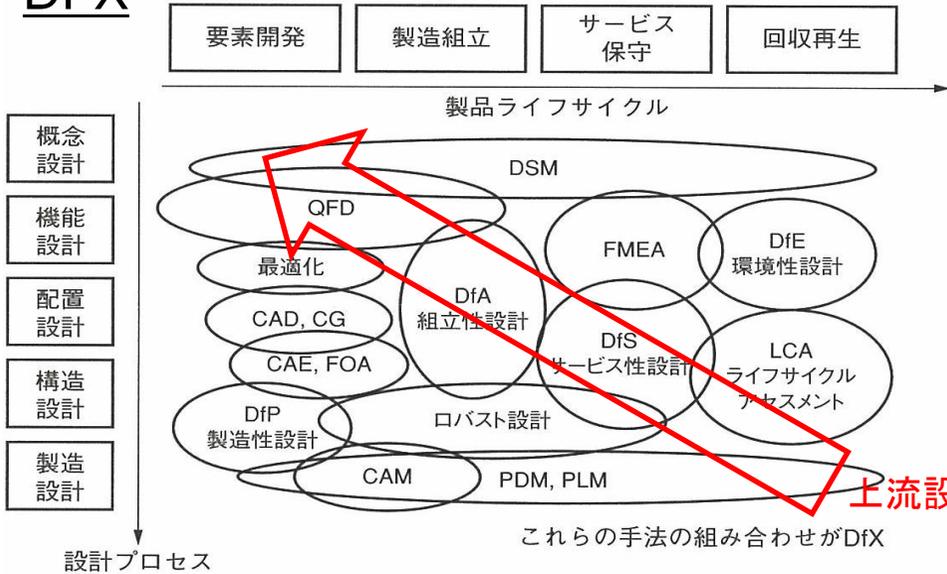
同一技術・部品の使用頻度を高め、開発効率向上や量産効果を通じたコスト削減を行う。

塊の単位で開発を進め、部分的な完成度を早期に高める。また、分業化を並行で進めLT短縮を行う。

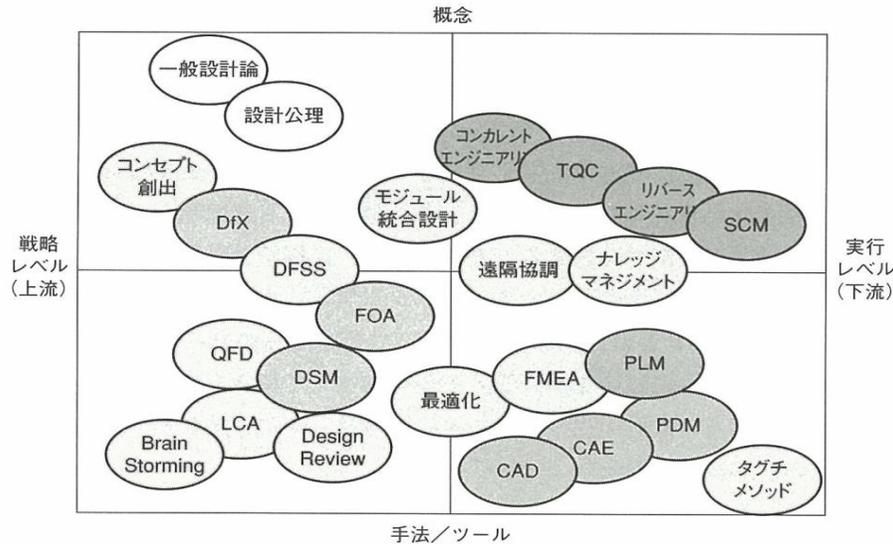
プラットフォーム化

4. プロジェクトマネジメント手法

DFX



- 具体的な製品に対し
- 手法やツールを組み合わせ
- 想定される諸問題を上流で検討



考え方の枠組みは多岐にわたる

- 戦略⇔実行
- 概念⇔手法/ツール

DFX

DIKWモデルに基づき、経験情報を活用するプロセスとして、①データや情報を蓄積し、②事故要因、改善の背景や理論として経験として知識化し③設計に活用できる知恵に変え、業務への積極活用を実現、DR&Oに反映し、次のプロジェクトへの要件化を推進する。

DIKW モデル

Wisdom:
知恵

Knowledge:
知識

Information:
情報

Data:
データ

設計へ活用

- 設計ルール化（設計要件定義）
- DRチェックリスト 他

STEP3 : W (知恵)

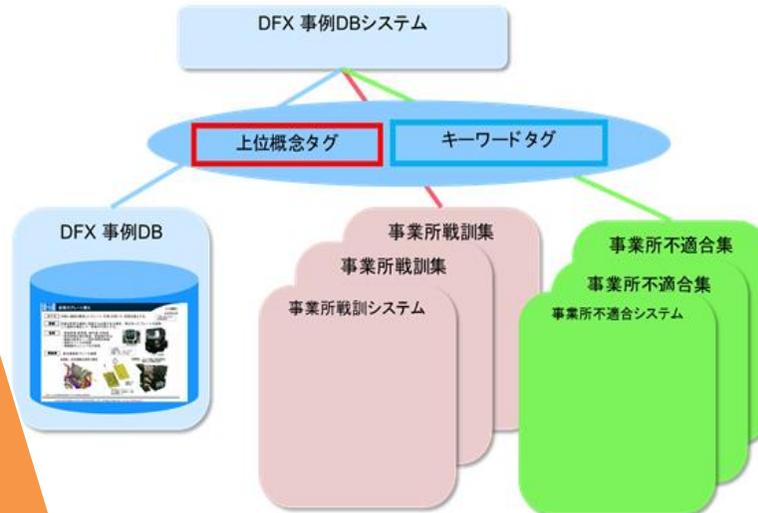
過去事例から学ぶものを活用（設計へ活かすルール化）
製品への要求事項とし、設計プロセスに組込む
コンテンツ：要件要求集

STEP2 : K (知識)

過去事例から学ぶもの（事例の背景にあるRational）
製品で起こった事例の原因、改善点の決め手となった背景や論拠
コンテンツ：知識リスト

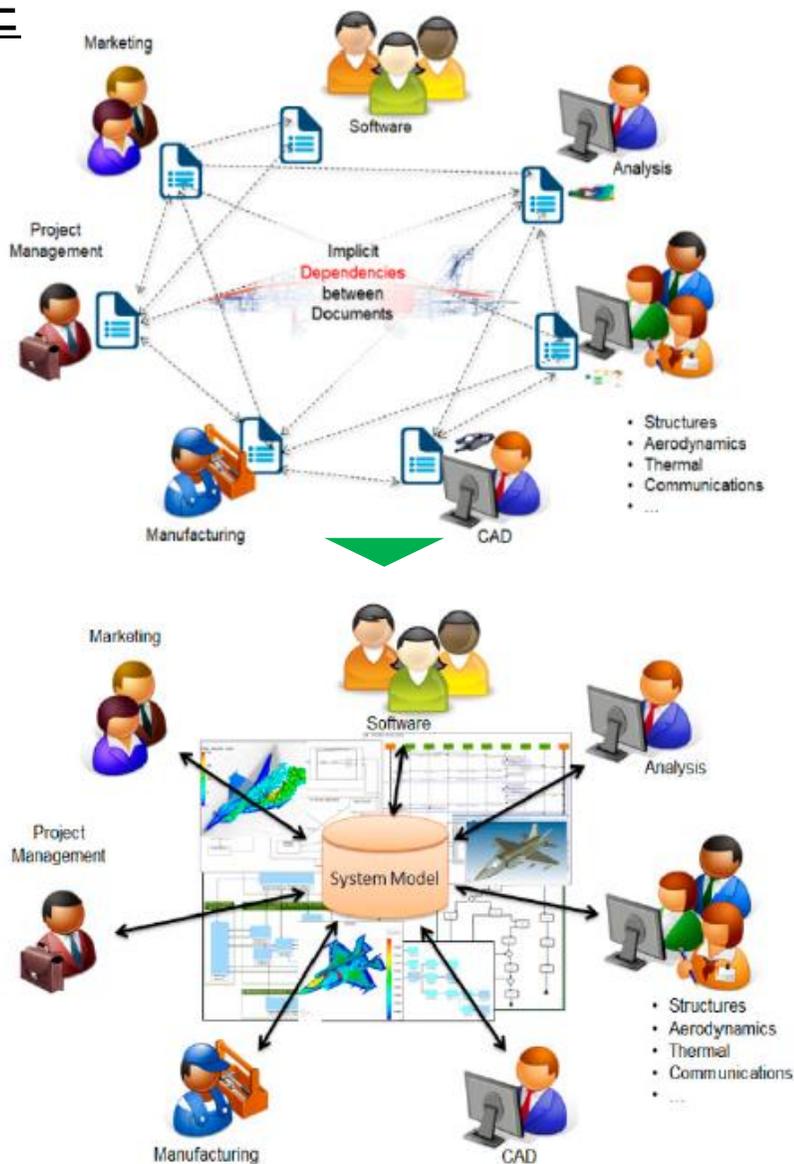
STEP1 : D (データ) & I(情報)

製品事例：DFX、戦訓、改善提案 他
製品で起こった事例を具体的に示す。原因、改善点
コンテンツ：戦訓集、不具合事例集
改善事例集 他



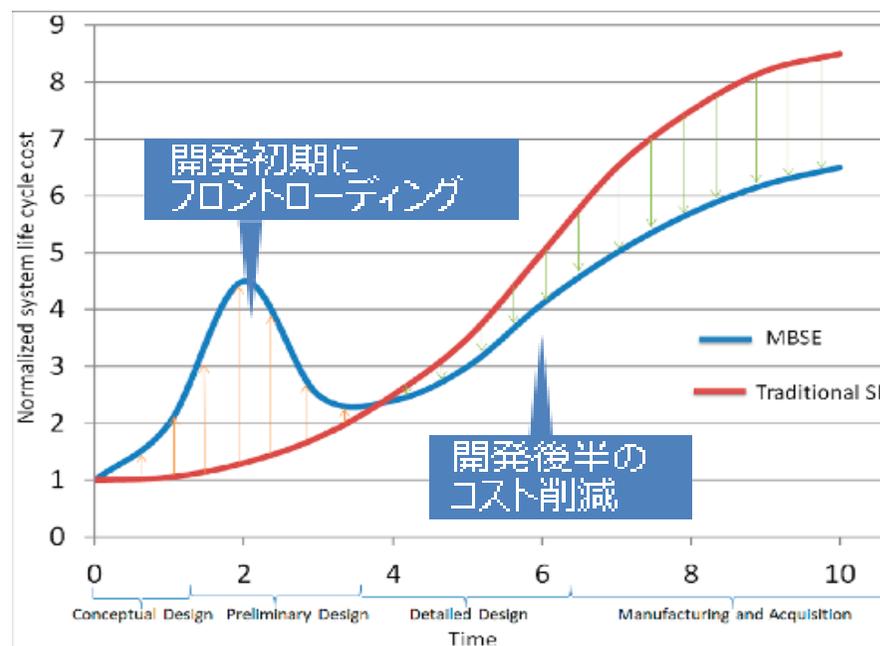
MBSE

MBSE: Model Based Systems Engineering



MBSE導入のメリット

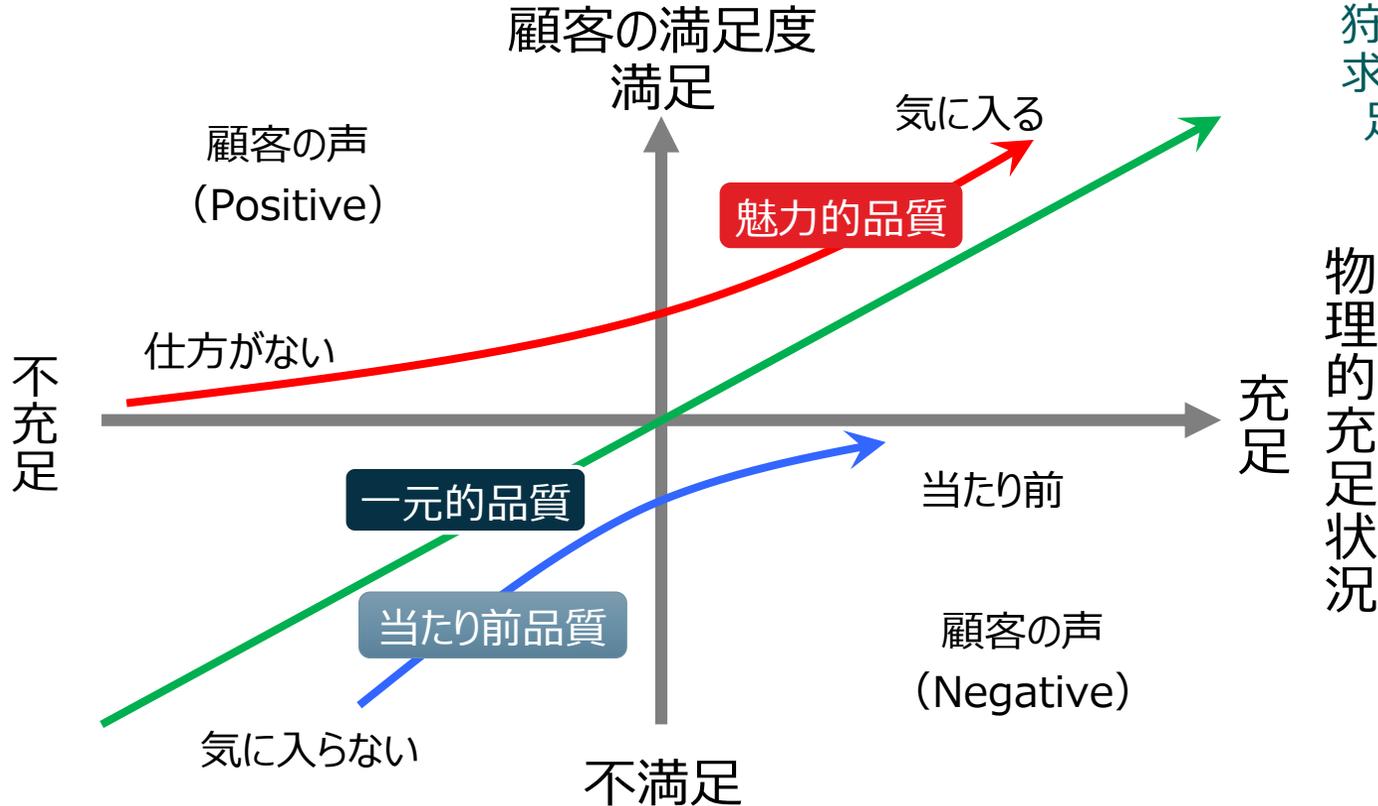
- ドキュメントの変更作業負荷低減
- 開発初期段階でエラー検出
- データの再利用
- 規格・標準への対応等



ツール

狩野モデル

品質の定義 = 顧客の“要求”を満たす程度（日科技連）



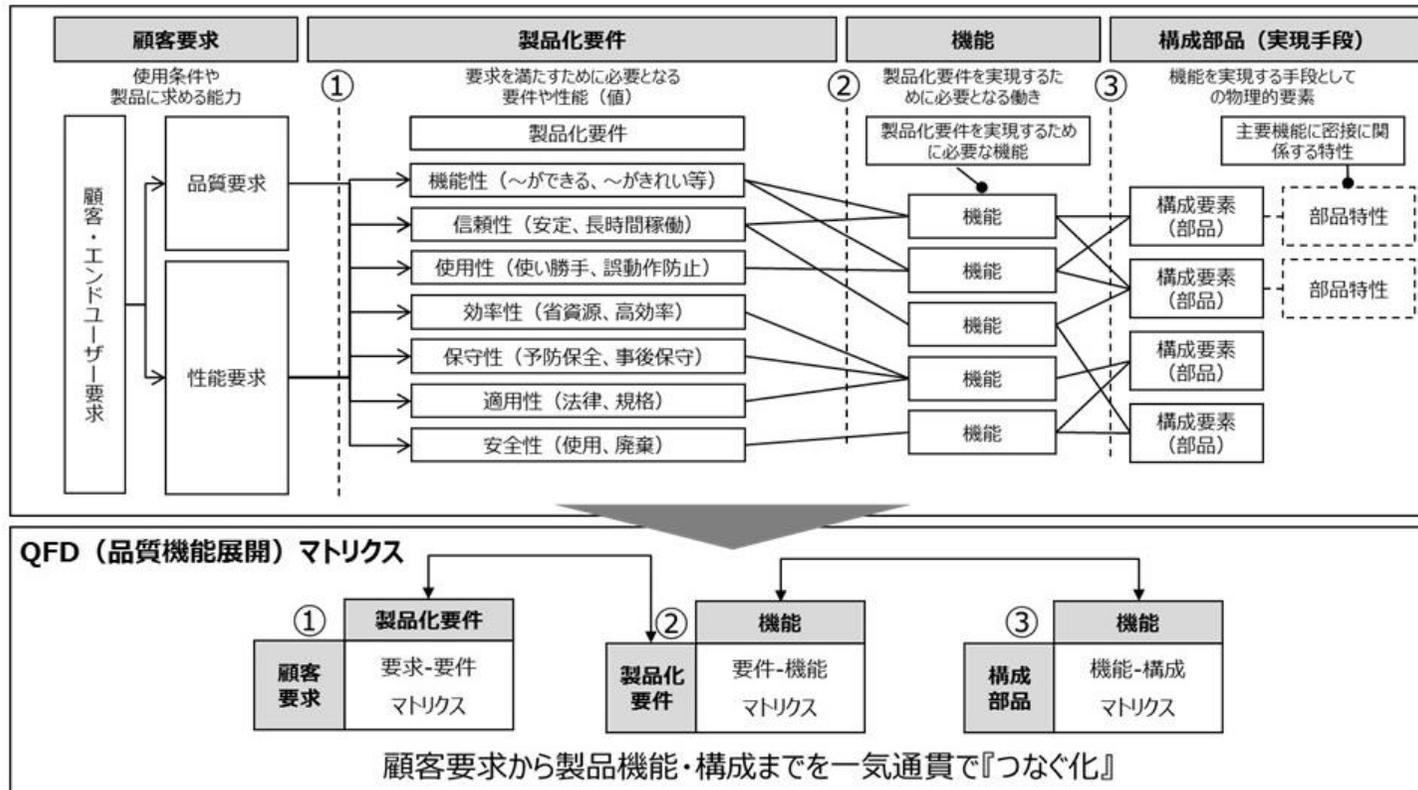
狩野モデルにおける品質を要求に置き換えて、重要度・充足度の評価軸に採用可能。

品質指標と満足度（狩野モデル） 1984年に狩野紀昭教授らが提起

ツール

QFD

- QFD (Quality Function Development) とは、顧客要求を満足させるための製品化要件を設定し、製品機能や構成部品といった製品化に必要な情報や関係性を二元表 (マトリクス) によって可視化していく手法



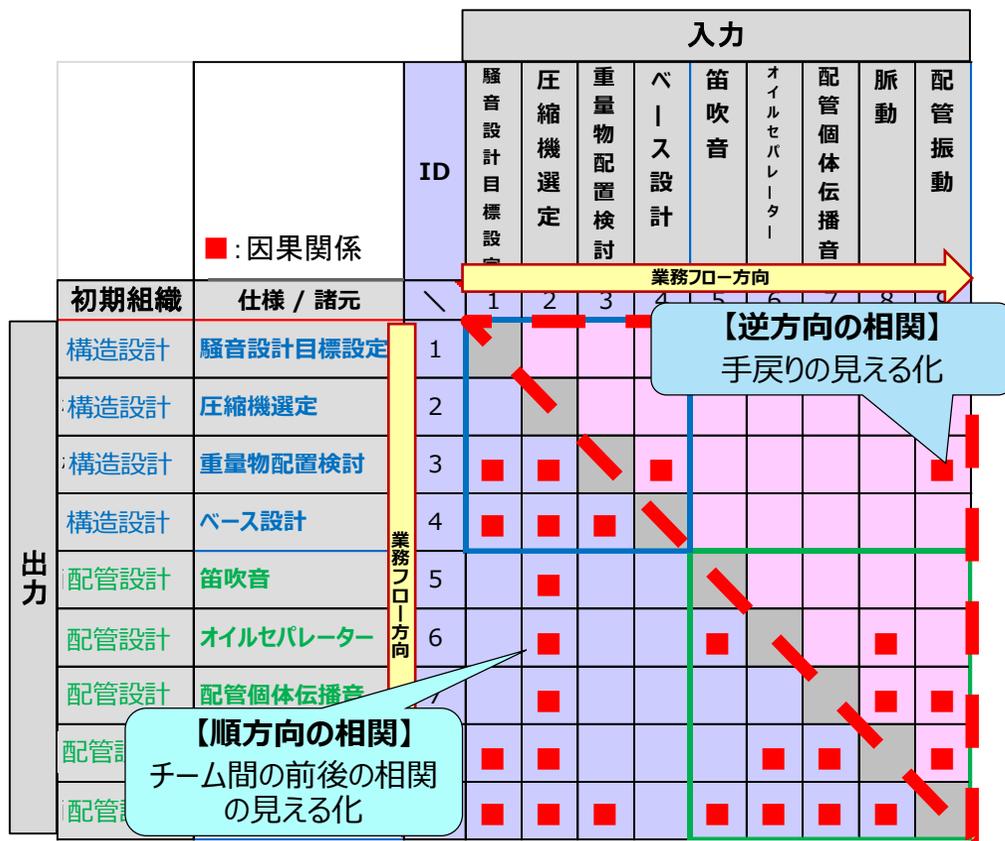
4. プロジェクトマネジメント手法

ツール

DSM

【DSMとは】

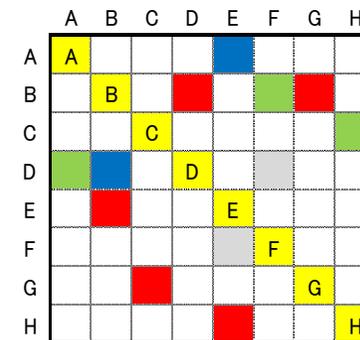
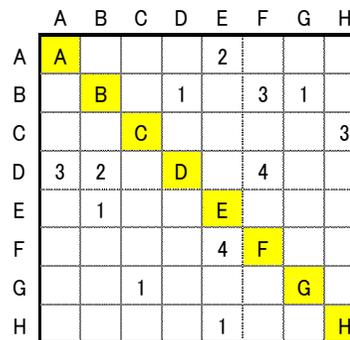
- DSMは業務で扱われる情報の整流化と知識の見える化できる。
- DSMを活用することで、業務の仕組みを可視化/構造化できる。



入力/出力の相関を表す

DSM表記

- 業務タスクを、フローなどの相関順序で同じタスクを縦軸・横軸に並べる。
- 横軸が入力となり、縦軸を出力するといった関係をマトリックス上に表現します。

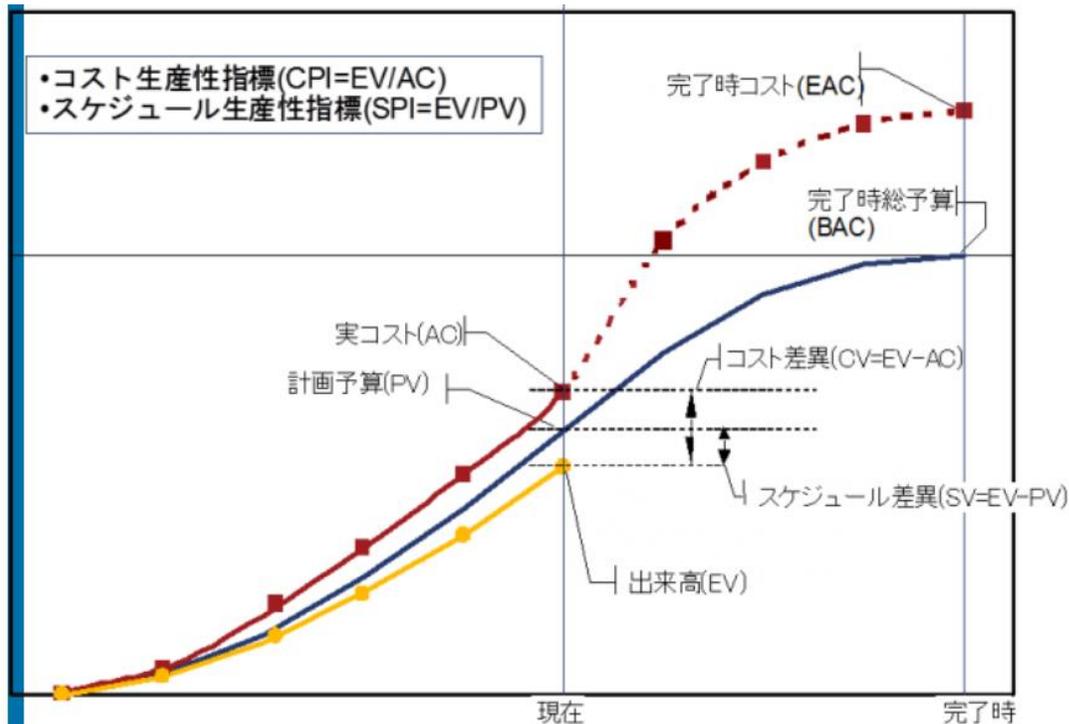


相関の強さを数値または色で表現もできる

ツール

EVM

プロジェクトの進捗(コスト管理)を実績コストと作業の着手/完了を把握管理する手法を出来高(価値を生み出す進捗)も管理することで、将来の見通しコストも評価することを図る。



<https://www.innovationmanagement.co.jp/column/no17/>

- PV(Planned Value): 計画予算
- AC(Actual Cost): 実績コスト
- EV(Earned Value): 出来高(価値を金額で表現)
- EAC(Estimate at Completion): 最終予想コスト

- **コスト生産性指標**
(CPI: Cost Performance Index) = EV/AC
計画に対しどの程度の生産性(コスト)で価値を生み出したかを表す指標
- **スケジュール生産性指標**
(SPI: Schedule Performance Index) = EV/PV
計画に対しどの程度の進捗(時間的コスト消化)かを表す指標

4. プロジェクトマネジメント手法

ツール その他

業務管理において、以下の3つの目的に有効な見える化ツールの活用を考える。

- ・ 設計検討の見える化
- ・ プロセス管理の見える化
- ・ プロジェクト管理の見える化

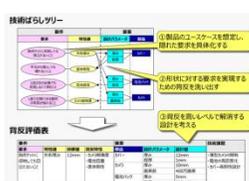


設計検討の見える化

プロセス管理の見える化

プロジェクト管理の見える化

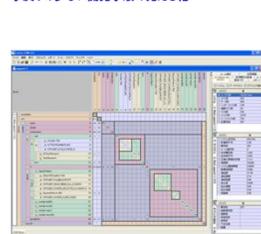
背反評価表



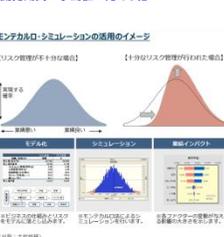
要求機能コスト分析



パーティション分析



モンテカルロ分析

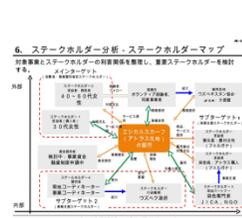


技術・タスクDMM

設計変更時の業務への影響の見える化

設計変更	技術	タスク	DMM
変更1	技術A	タスクB	DMM値
変更2	技術C	タスクD	DMM値

ステークホルダー分析



WBS

開発プロジェクトに必要な業務の見える化

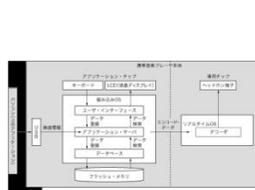
WBS (Work Breakdown Structure)	タスク	担当者	開始日	終了日
1.1	要件定義	田中	2023/01/01	2023/01/15
1.2	設計	佐藤	2023/01/16	2023/02/01

バリエーションDMM

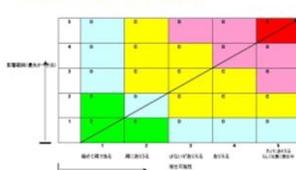
要求の種とオプションの関係の見える化

要求	オプション	関係
機能A	オプション1	必須
機能B	オプション2	任意

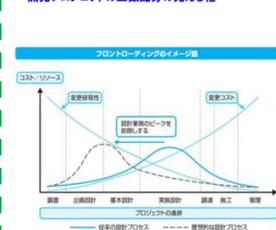
機能ブロック図



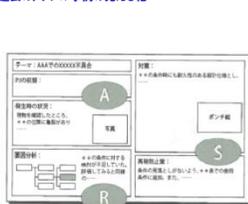
リスクマトリクス分析



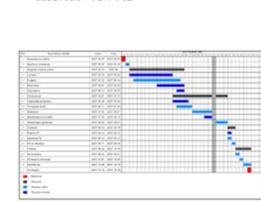
フロントローディング率



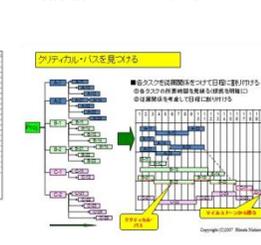
過去トラ



ガントチャート



クリティカルパス



FMEA

問題のリスクと対策の見える化

品目	機能	故障モード	影響	原因	子部	検出	発生
1	出力	出力低下	10	部品不良	部品A	目視	10

変更点・変化点管理表

従来製品との違いの見える化

変更点	従来製品	変更内容
1	機能A	仕様変更

直交表

最小の実験パターンの見える化

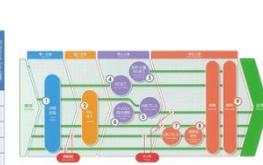
要因	水準	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

RACIチャート

役割の見える化

タスク	R	A	C	I
1	R	A	C	I

工程図

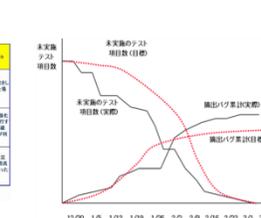


リスク管理表

プロジェクトのリスクの見える化

リスク	発生	影響	対策
1	発生	影響	対策

問題発見カーブ



参照: 製品開発の見える化99

目次

1. **プロジェクトマネジメントとは**
 - ✓ プロジェクトとは
 - ✓ 世界の標準“PMBOK®”
 - ✓ 実践的プロジェクトマネジメント
2. **航空機開発でのプロジェクトマネジメント**
3. **航空機開発でのプロセスとシステム(P&S)**
4. **プロジェクトマネジメント手法**
 - ✓ 原価企画
 - ✓ MCMD
 - ✓ DFX
 - ✓ MBSE
 - ✓ ツール
 - ✓ 狩野モデル
 - ✓ QFD
 - ✓ DSM
 - ✓ EVM
 - ✓ その他
5. **終わりに**

5. 終わりに

PMBOKと航空機開発における実践的プロジェクトマネジメント(おさらい)

航空機開発におけるプロジェクトマネジメントとPMBOKの体系と照らし合わせてみる。

出力 ↓ ゴールと実務技法 ↑ 入力		プロセス				
		Initiating (立ち上げ)	Planning (計画)	Executing (実行)	Controlling (監視・管理)	Closing (終結)
知識 エリア	Integration Management (総合管理)	<ul style="list-style-type: none"> RAA SBP マスタースケジュール DR&O 開発体制 原価企画型開発 バリューチェーン 	<ul style="list-style-type: none"> Configuration Memo Commonality Matrix Certification Plan 重量管理計画 形態管理計画 環境規定 MCMD/DFX/過去トラ 	<ul style="list-style-type: none"> 重量管理 抗力管理 ノイズ管理 形態/変更管理 与機管理 製造技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> 原価低減活動 技術進捗管理 	<ul style="list-style-type: none"> 活動評価 知識更新/知恵化
	Scope Management (スコープ管理)		<ul style="list-style-type: none"> SOW/ICD/RACIチャート IWS/WBS 原価企画/計画 狩野モデル 	<ul style="list-style-type: none"> EVM 原価低減活動 技術進捗管理 モジュラーデザイン 	<ul style="list-style-type: none"> EVM 原価低減活動 技術進捗管理 	
	Time Management (スケジュール管理)		<ul style="list-style-type: none"> SOW IWS/WBS 作業順序の設定 必要リソース見積もり 所要時間の見積もり スケジュール作成 	<ul style="list-style-type: none"> EVM ERP MES 	<ul style="list-style-type: none"> PERT図 ガントチャート クリティカルパス スケジュール管理 	
	Cost Management (コスト管理)		<ul style="list-style-type: none"> 原価企画/計画 コスト見積もり 予算設定 	<ul style="list-style-type: none"> EVM ERP 	<ul style="list-style-type: none"> 要求コスト分析 コスト管理 	
	Quality Management (品質管理)		<ul style="list-style-type: none"> Biz Process STD 技術データ規定 Design Manual DFX-HB/QFD/DSM DM 	<ul style="list-style-type: none"> Single Source Definition シミュレーション MBSE 生産性分析 	<ul style="list-style-type: none"> 品質管理 	

・O : Output
 ・P : Process
 ・I : Input

<https://products.sint.co.jp/obpm/blog/serial-umeda01>

5. 終わりに

PMBOKと航空機開発における実践的プロジェクトマネジメント(おさらい)

出力 ↑ ↓ 入力		プロセス				
		Initiating (立ち上げ)	Planning (計画)	Executing (実行)	Controlling (監視・管理)	Closing (終結)
知識 エリア	Human Resource Management (組織管理)		<ul style="list-style-type: none"> • SOW • IWS/WBS • 要員計画 	<ul style="list-style-type: none"> • 原価低減活動 • SCM • ECPTチーム結成/育成 	<ul style="list-style-type: none"> • プロジェクトチームの管理 	
	Communication Management (コミュニケーション管理)		<ul style="list-style-type: none"> • 全体システム計画 • 要求管理計画 • 技術データ規定 • ステークホルダー計画 	<ul style="list-style-type: none"> • 原価低減活動 • SCM • GCEの配付 • LCPT • インターフェース管理 	<ul style="list-style-type: none"> • 実績報告 • ステークホルダー管理 	
	Risk Management (リスク管理)		<ul style="list-style-type: none"> • リスク管理計画 • リスクの定義 • リスクの定性化 • リスクの定量化 • リスク対策の計画 	<ul style="list-style-type: none"> • RIO管理 	<ul style="list-style-type: none"> • RIO管理 • リスクマトリクス分析 • FMEAの監視/管理 	
	Procurement Management (調達管理)		<ul style="list-style-type: none"> • SOW • SCM計画 • 契約の計画 	<ul style="list-style-type: none"> • SCM • 提案依頼 • 発注先選定 	<ul style="list-style-type: none"> • 契約管理 	<ul style="list-style-type: none"> • 契約の完了
	Stakeholders Management (ステークホルダー管理)	<ul style="list-style-type: none"> • 開発体制 • ステークホルダー特定 	<ul style="list-style-type: none"> • SOW • IWS/WBS • ステークホルダー管理計画 	<ul style="list-style-type: none"> • 原価低減活動 • SCM • GCE • ステークホルダー分析 • ステークホルダー管理 	<ul style="list-style-type: none"> • ステークホルダー・エンゲージド • コントロール 	

• O : Output
 • P : Process
 • I : Input

<https://products.sint.co.jp/obpm/blog/serial-umeda01>

5. 終わりに

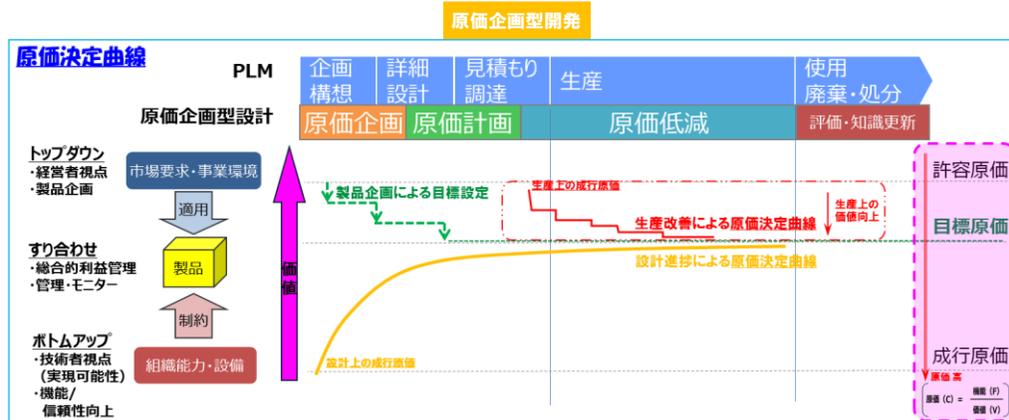
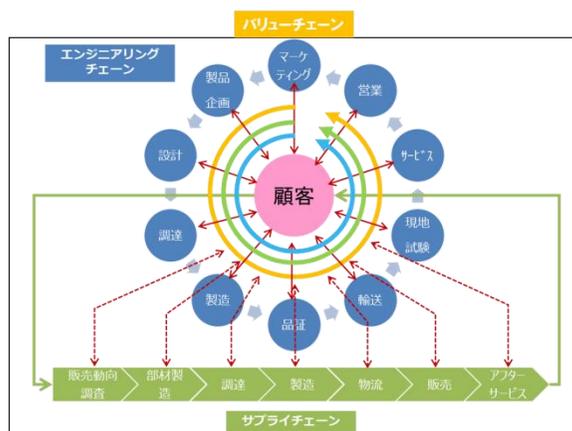
PMBOKと航空機開発における実践的プロジェクトマネジメント(おさらい)

航空機開発においては、“Knowledge”、“Specification”、“Process”の3要素の連携が重要である。

- 過去の経験知識を知恵化し、ルール化した“Knowledge”を有効に活用
- 再現性のある設計ルールである“Specification”に従った高度な開発設計
- 複雑なシステムを設計進捗/開発フェーズ毎に管理する“Process”による設計品質の保証

バリューチェーンの中ライフサイクルを通して、これらを連携させ整合性を保ち、開発目標を達成する事を目指す原価企画型開発を実践することが有効です。

将来、プロジェクトマネジメントに携わる時には、ここで紹介した具体的項目が、開発プログラムの企画・計画の検討に役立つことを期待します。



MOVE THE WORLD FORWARD

**MITSUBISHI
HEAVY
INDUSTRIES
GROUP**