

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** m<sup>2</sup>  
(尼崎、滋賀、和歌山)

従業員数:

**1,067**名

**1,765**名



東京本社

SPH

SPPNECO

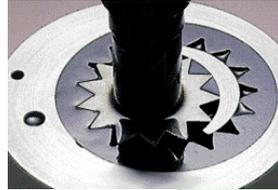
和歌山工場

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)

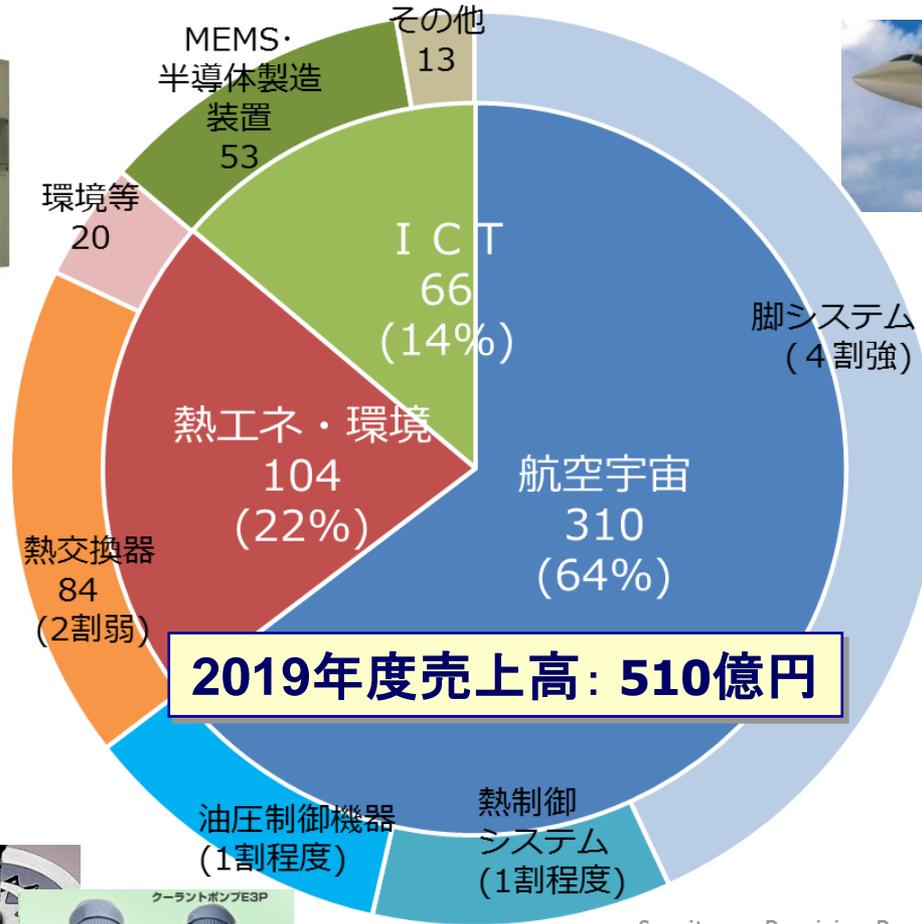
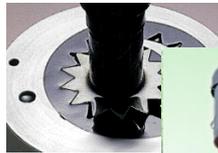


## 小型オゾン発生器



## 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.

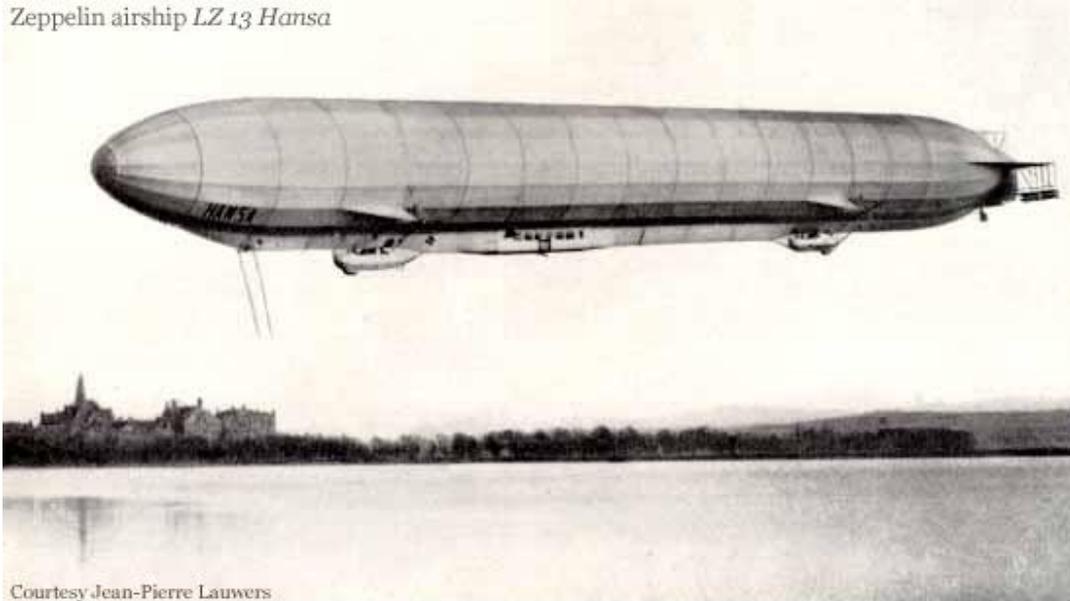
## 2. 民間航空機装備品事業の取組

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Al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 m<sup>3</sup> 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)

21<sup>th</sup> 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



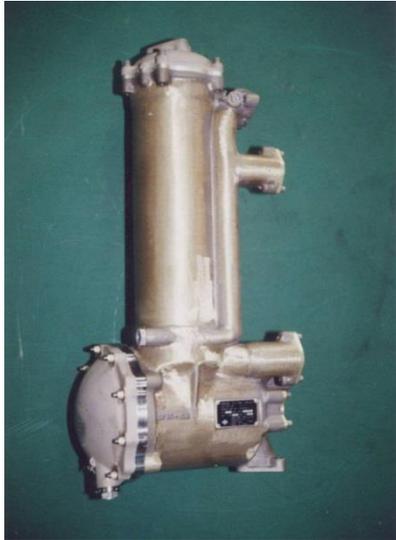
Airbus A320



Airbus A321



Boeing MD-90



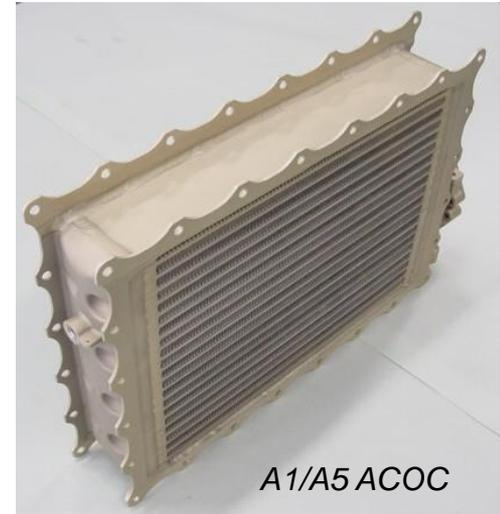
A1 FCOC



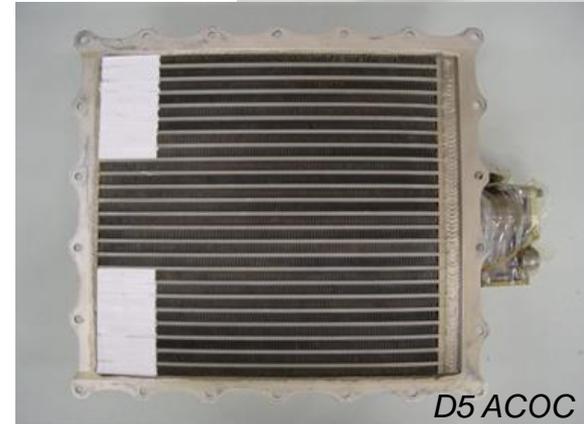
A5 FCOC



D5 FCOC



A1/A5 ACOC



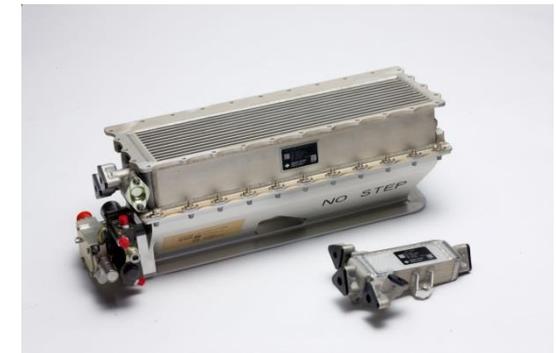
D5 ACOC

# 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
<b>ATA32: LANDING GEAR</b>
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"> <li>• 2012年9月合併しUTC Aerospace Systemsに。</li> <li>• 2012年売上高; \$13 Billion</li> <li>• 787装備品Work Shareが25% (日本企業連合: 機体構造の35%)</li> </ul>					
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。

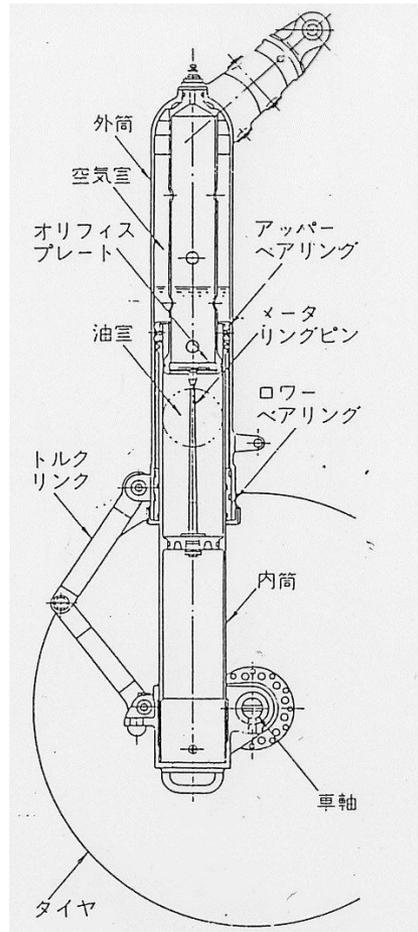
基本的な役割としては、自動車で求められる「走る」、  
「曲がる」、「止まる」に加えて、降着装置の場合には、  
「着陸する」、「離陸する」の役割が追加して求められます。

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

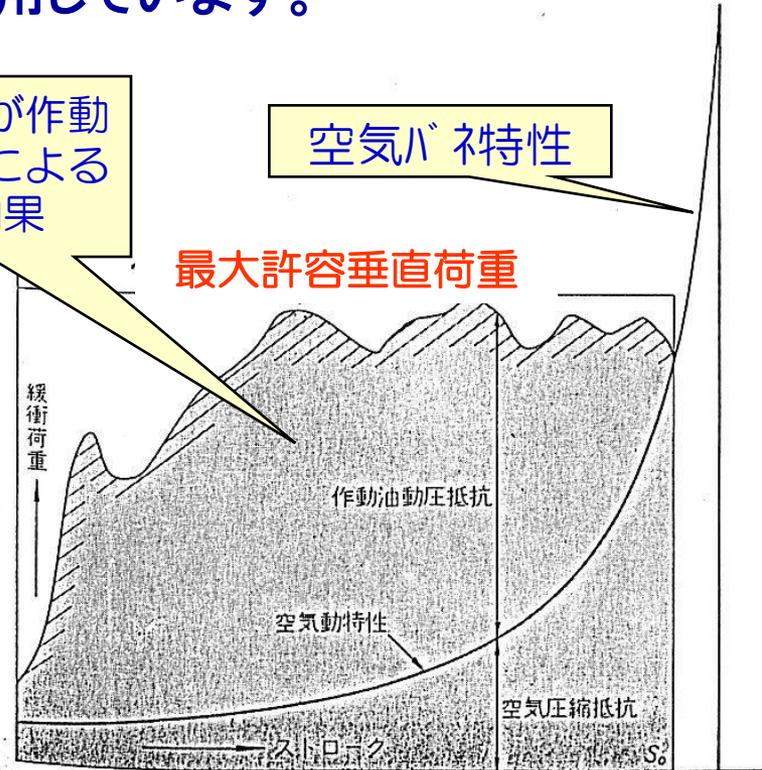


この範囲が作動油の粘性による緩衝効果

空気バネ特性

最大許容垂直荷重

↑ 緩衝荷重



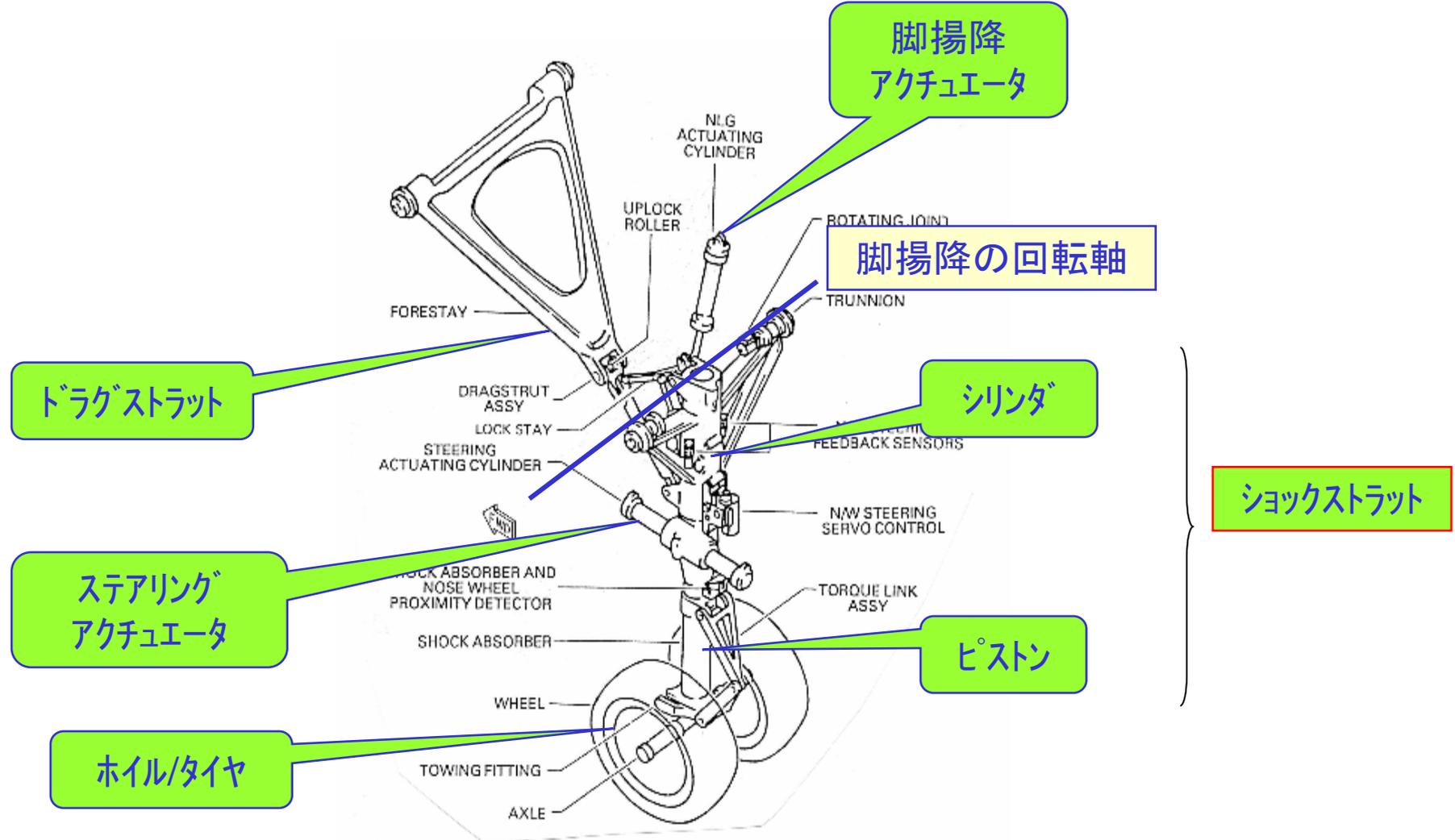
ストローク量 →

引用: 航空機と設計技術

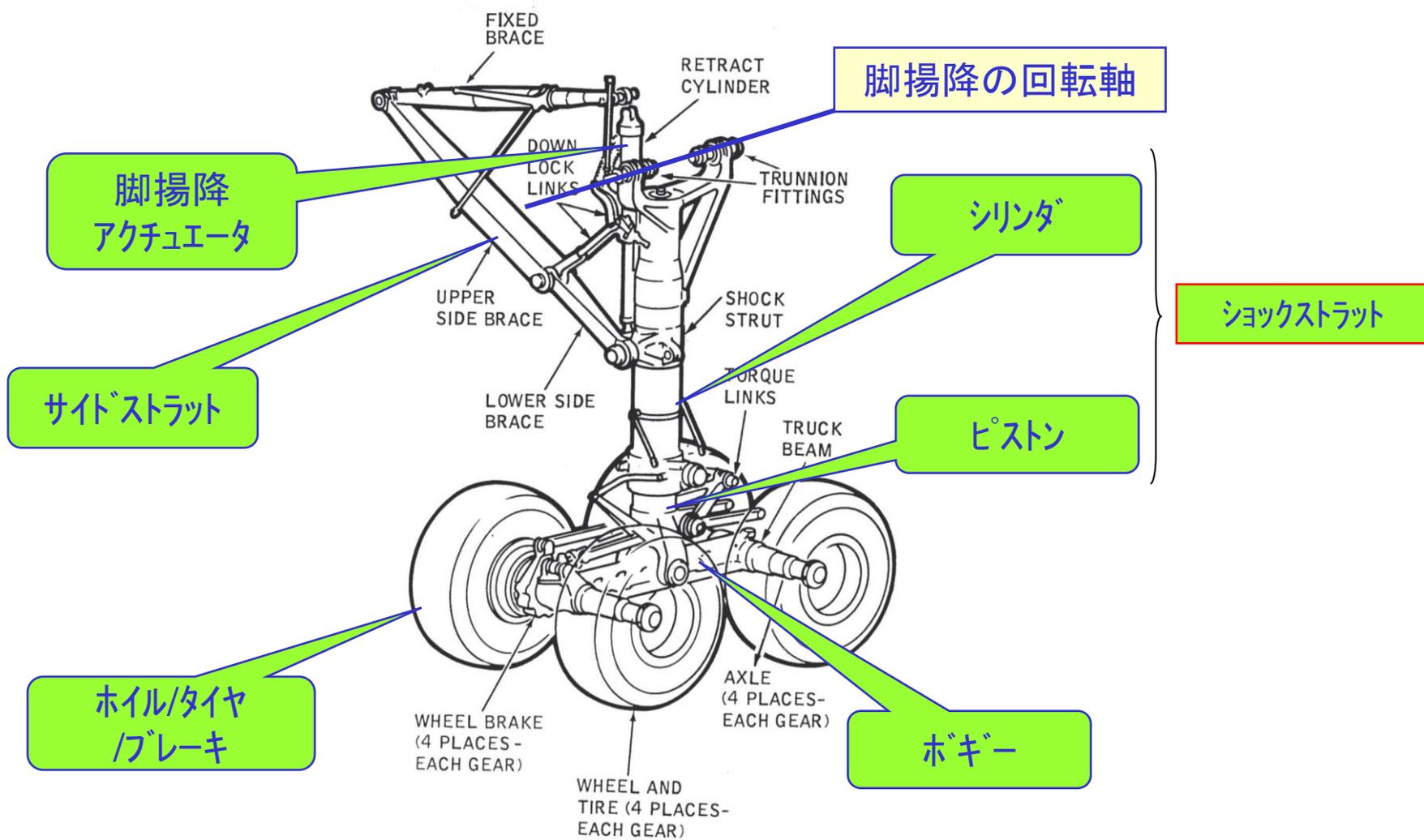
衝撃干涉性能図

ストローク対緩衝荷重を如何に平坦にするか課題です。

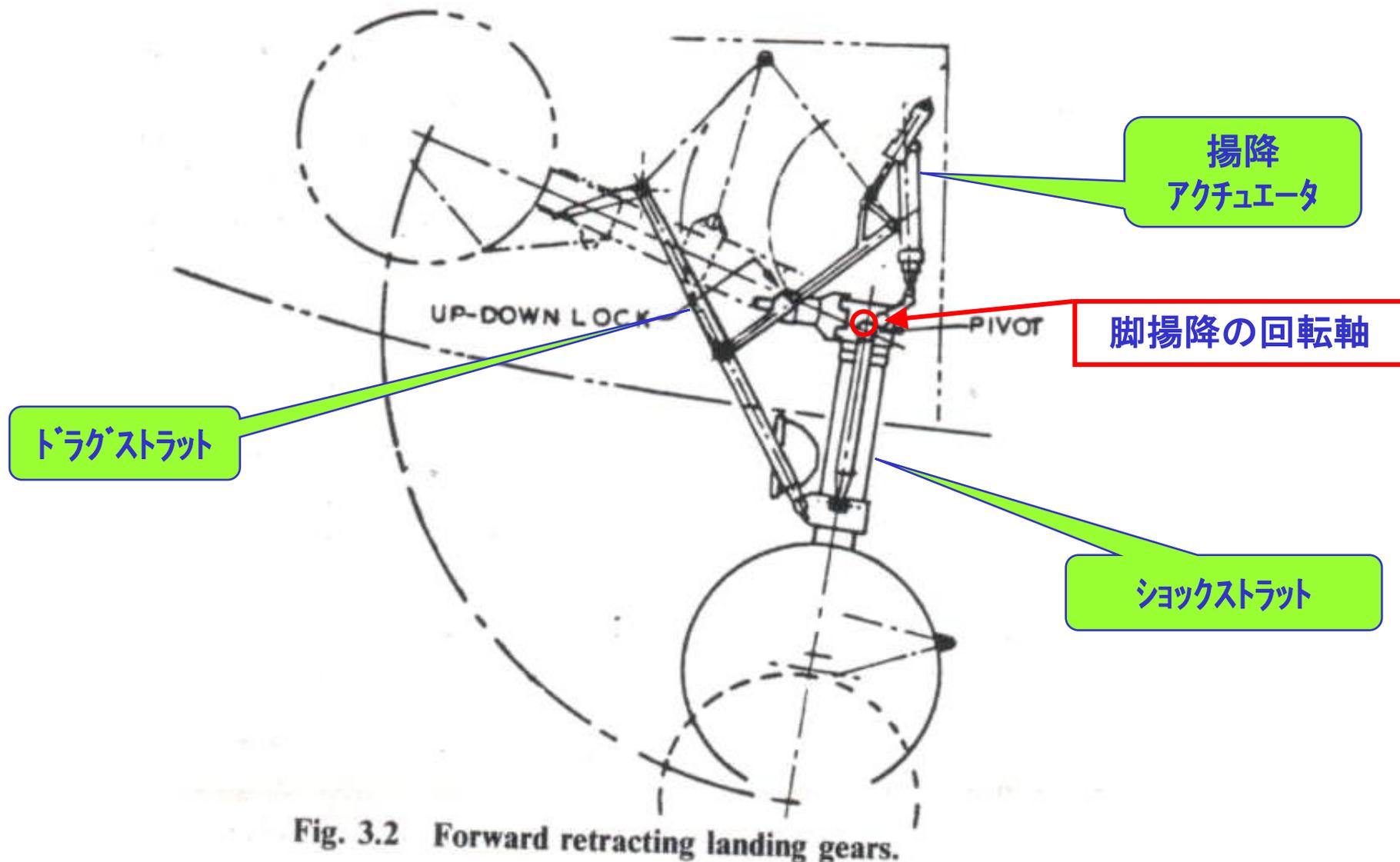
# 4.3 降着装置の構造：前脚



# 4.3 降着装置の構造：主脚 4輪ボギー

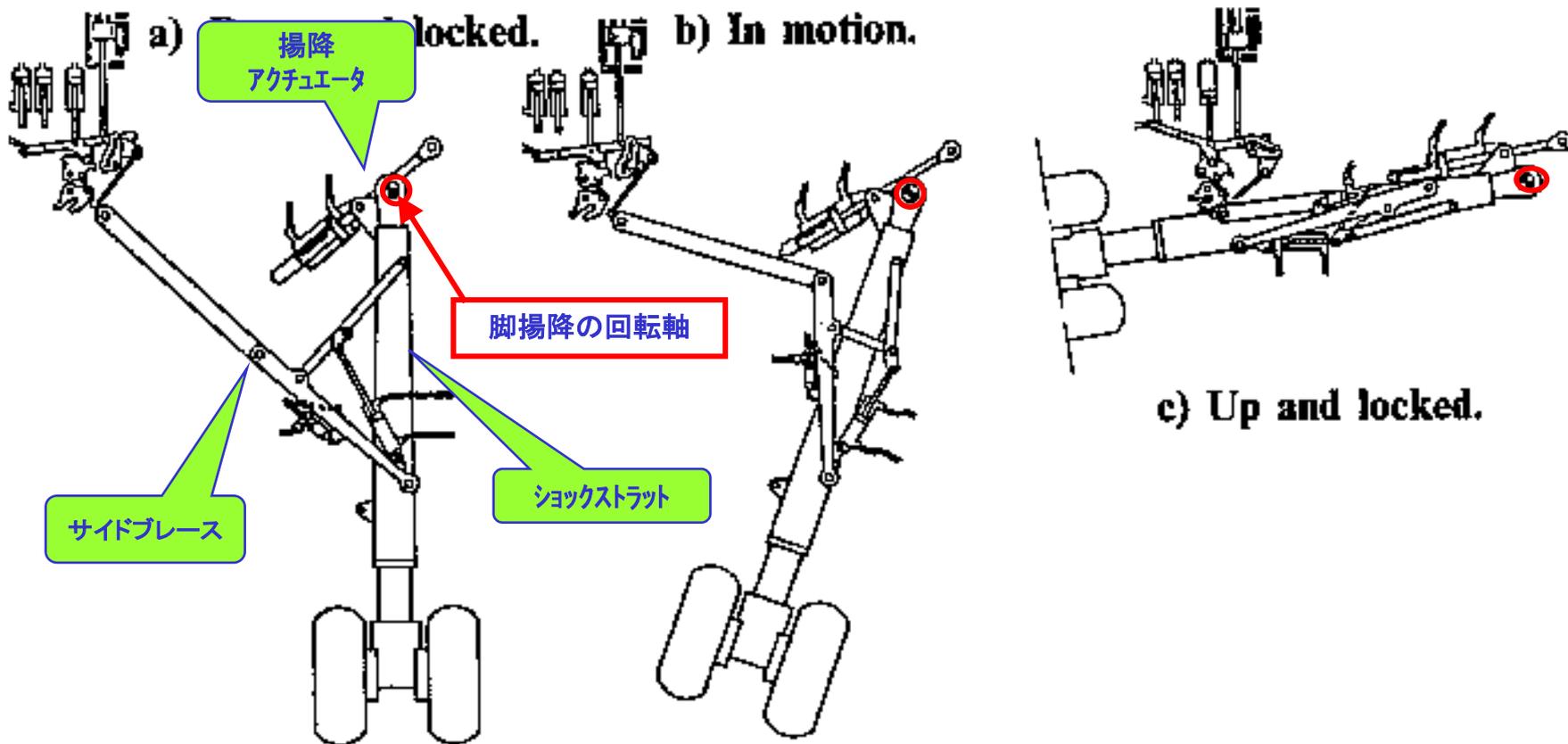


# 4.4 脚揚降のメカニズム- 前上げタイプ -



# 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



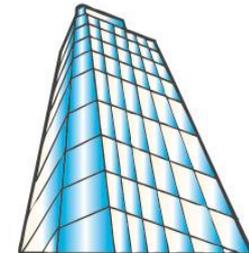
1,250MPa

Automobile (Super-High-ten)



600MPa

Construction, Bridges,  
Automobile (High-Ten)



400MPa

Automobile

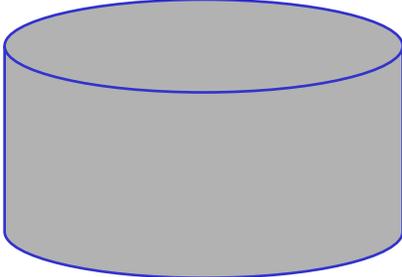
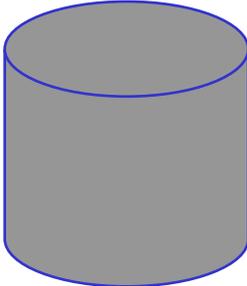


# 5.3 比強度の効果

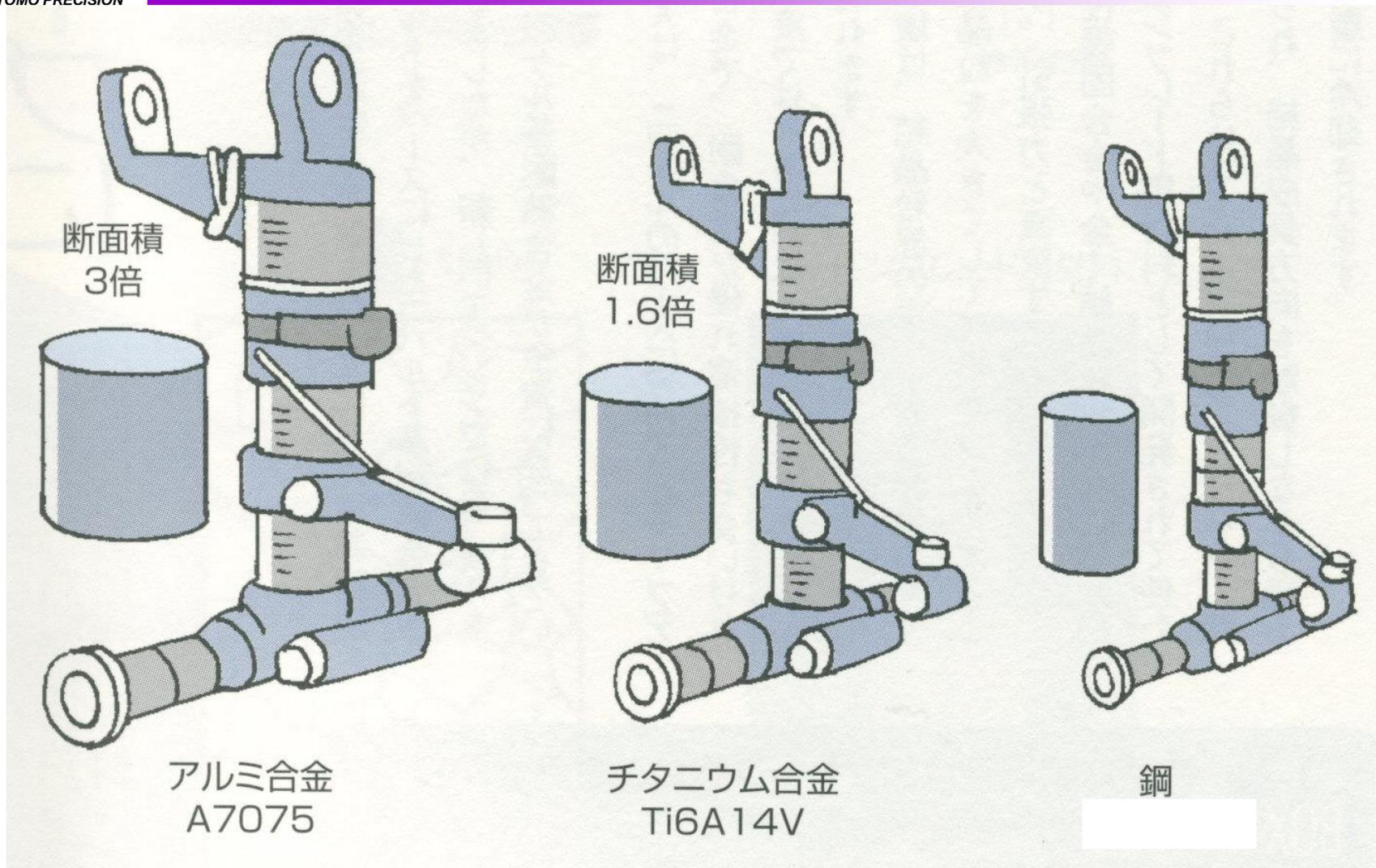
$$\text{Specific Strength} = \frac{(\text{Strength})}{(\text{Density})}$$

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

To have same strength...

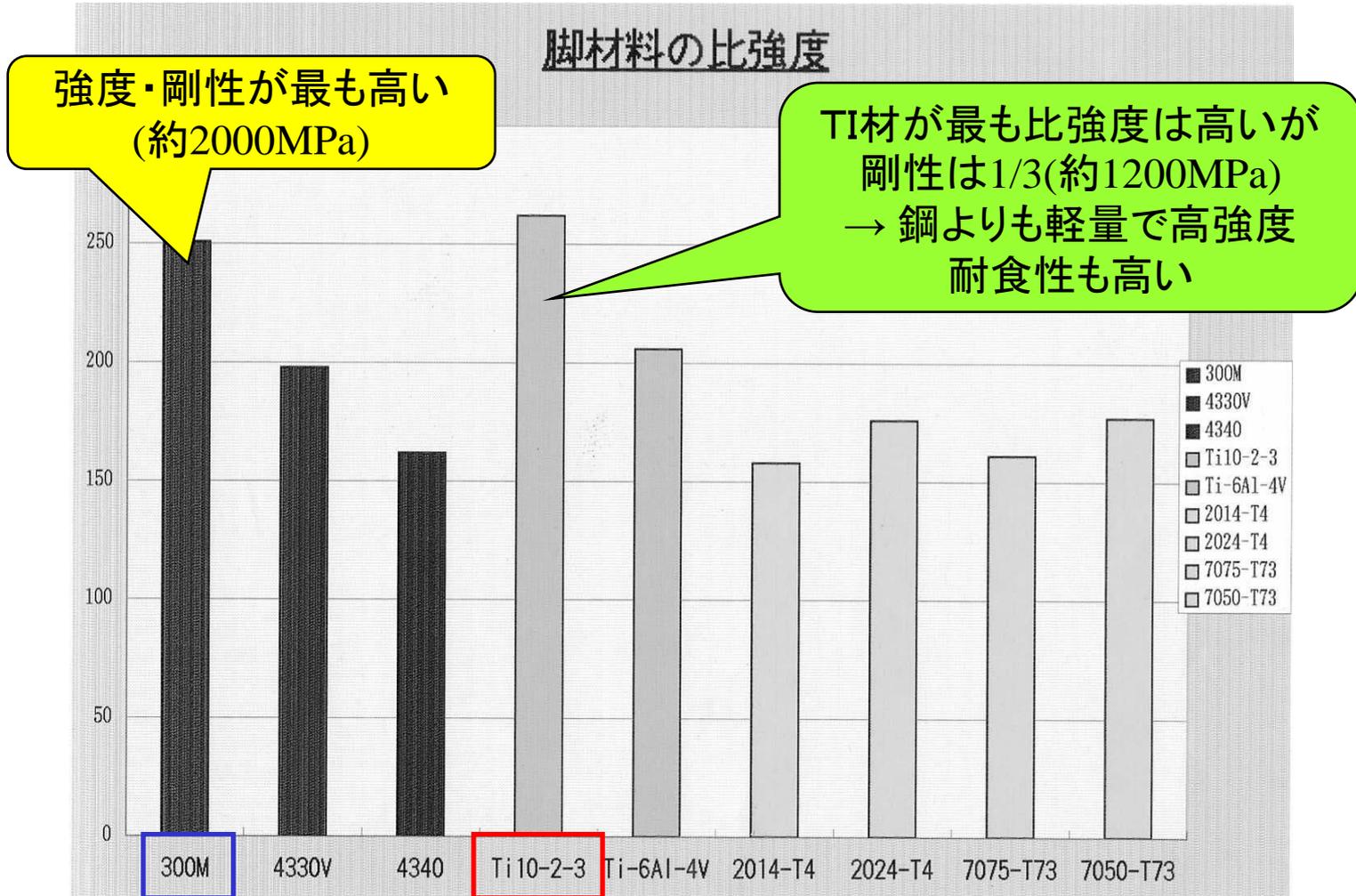
		
Volume	400	100 <b>Compact</b>
Weight	145	100 <b>Light</b>
Specific Strength	175(kN·m/kg)	255(kN·m/kg)

## 5.4 緩衝装置 (Shock Strut) の材料と容積の関係

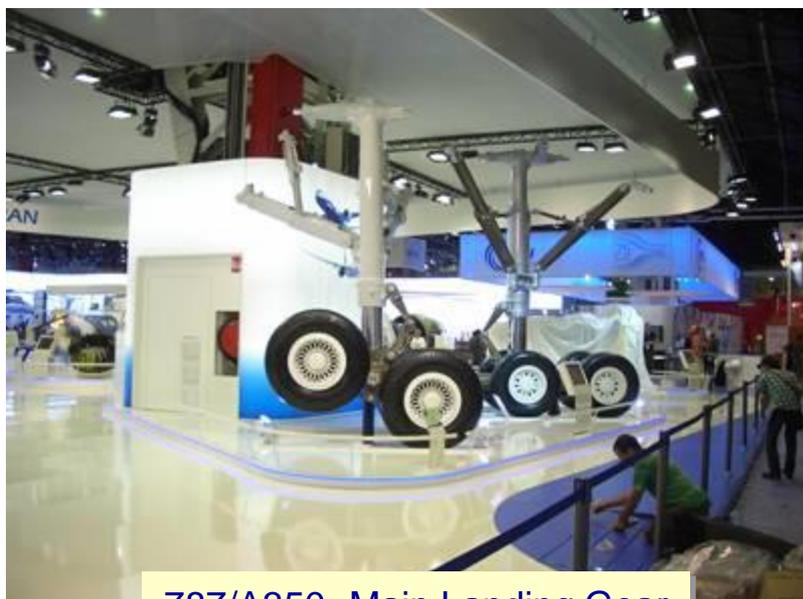


(引用：航空工学の本)

# 5.5 高強度材料に対する比強度(強度÷比重)



# 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) 21<sup>th</sup> 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

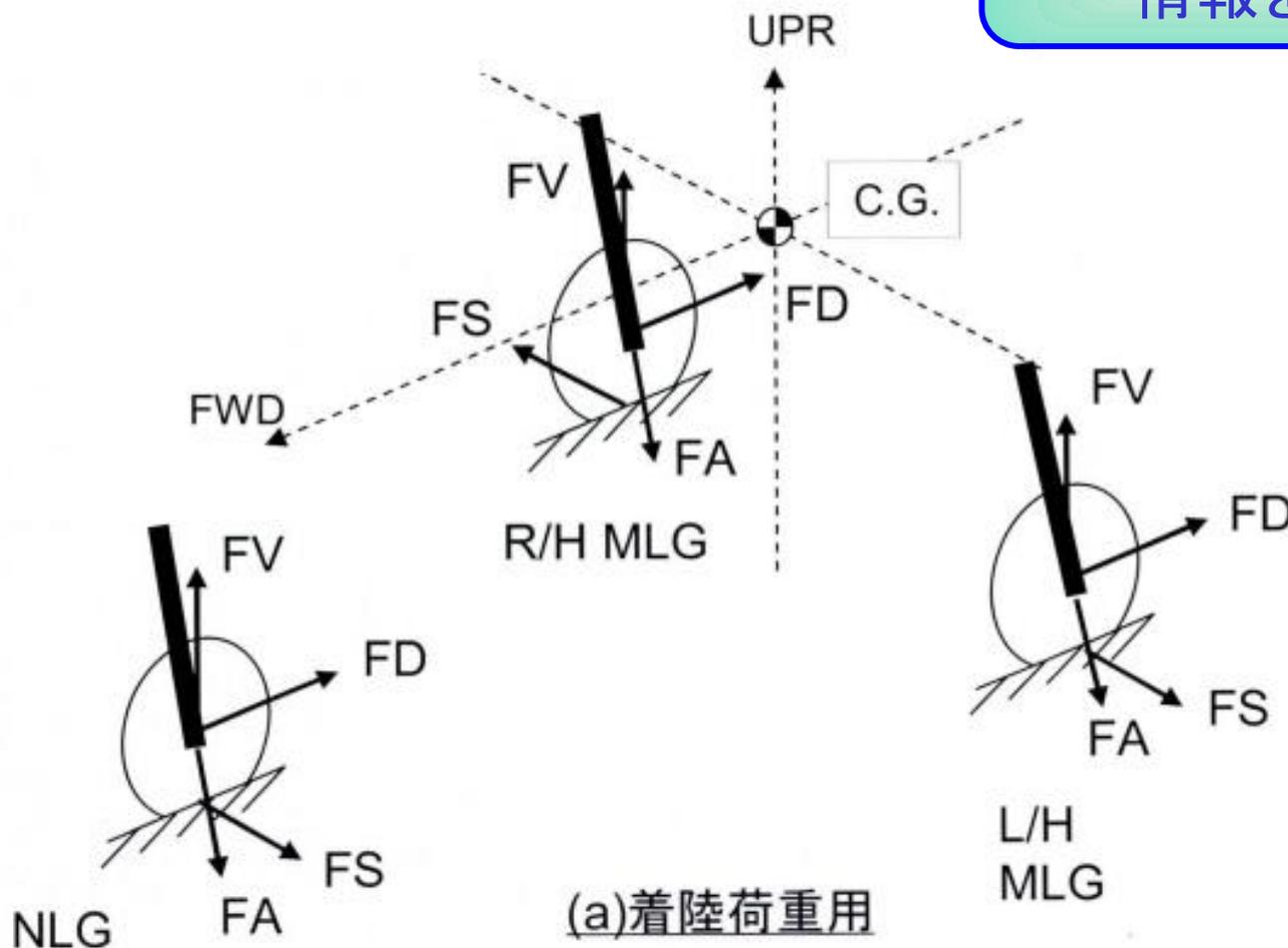


4. 評価する

## 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

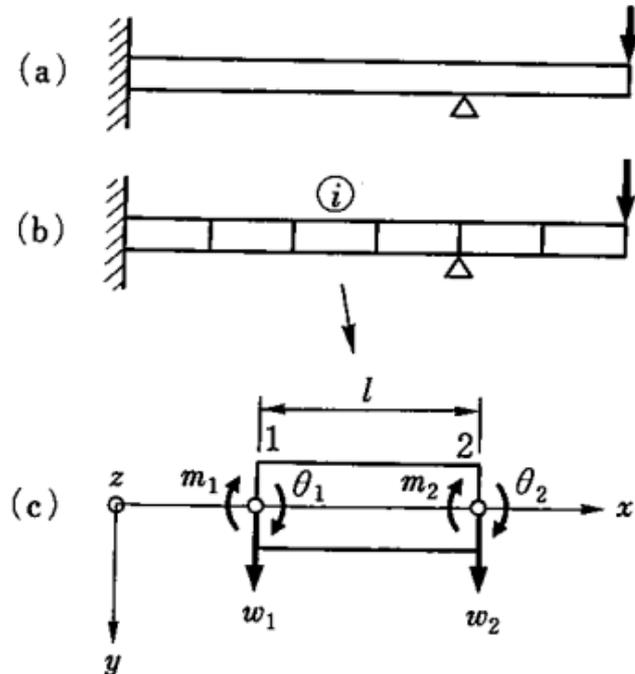


## 2. 各部材に入る荷重を算出する

例えば...

有限要素法

### 12.3 一次元はりの有限要素法



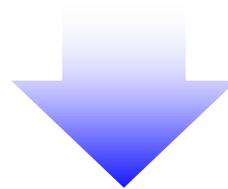
$z$  軸は紙面に垂直, 手前から紙面を貫通する向きを正とする

図 12.11 一次元はり

## 5.6 降着装置(脚)の強度計算(4/10) 21<sup>th</sup> 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

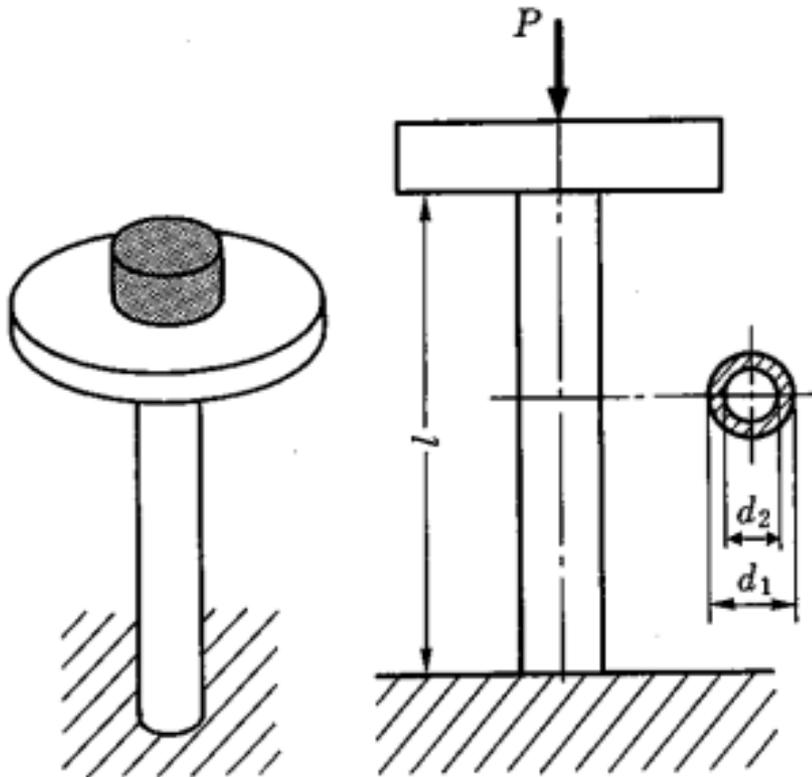


各要素の各接点に入る、  
荷重およびモーメントが得られる。

# 5.6 降着装置(脚)の強度計算(5/10) 21<sup>th</sup> November 2020

## 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。

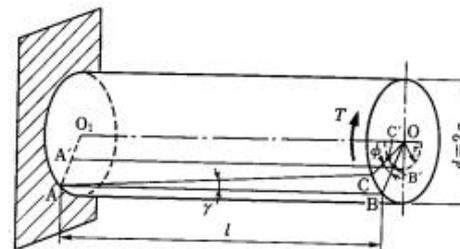


図 6.1 ねじりを受ける丸軸

- [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  $I_P = \frac{\pi}{32} (d_2^4 - d_1^4)$

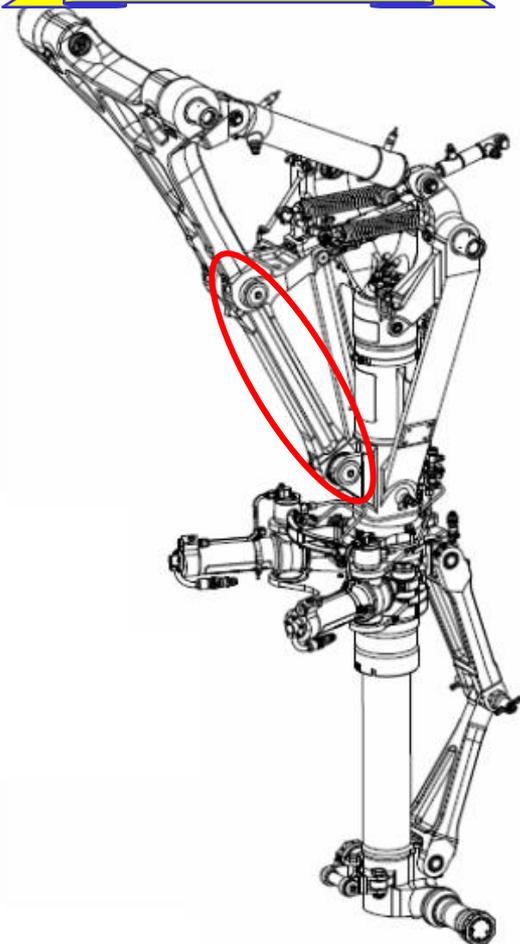
極断面係数 中実丸軸  $Z_P = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{\pi a^3}{2}$

中空丸軸  $Z_P = \frac{\pi}{16 d_2} (d_2^3 - d_1^3)$

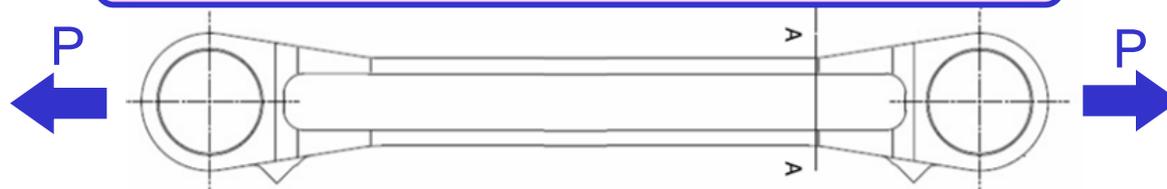
せん断応力  $\tau = G\gamma = G\gamma \frac{\phi}{l} = \frac{T\gamma}{I_P} \quad (6.1)$

## 3. 各部材の主要断面に生じる応力を算出する

例えば...



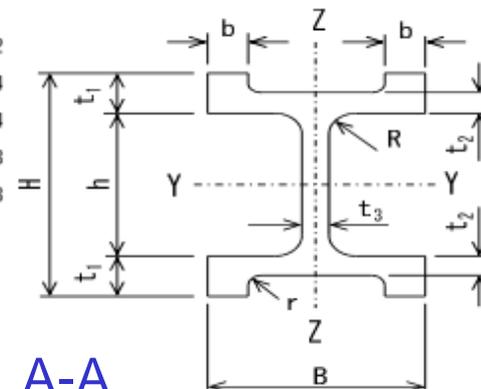
引張力  $P = 1000\text{kN}$ が入るとすると...



### LOWER DRAG BRACE

#### SECTION PROPERTY

B =	40.500 mm	A =	1421.8 mm <sup>2</sup>
H =	64.500 mm	I <sub>y</sub> =	132471 mm <sup>4</sup>
b =	20.250 mm	I <sub>z</sub> =	745686 mm <sup>4</sup>
h =	42.000 mm	Z <sub>y</sub> =	6542 mm <sup>3</sup>
t <sub>1</sub> =	11.250 mm	Z <sub>z</sub> =	23122 mm <sup>3</sup>
t <sub>2</sub> =	11.250 mm	SF <sub>y</sub> =	1.665
t <sub>3</sub> =	10.500 mm	SF <sub>z</sub> =	1.307
R =	9.000 mm		
r =	0.000 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) 21<sup>th</sup> November 2020

### 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) 21<sup>th</sup> 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??

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

## 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・・・?

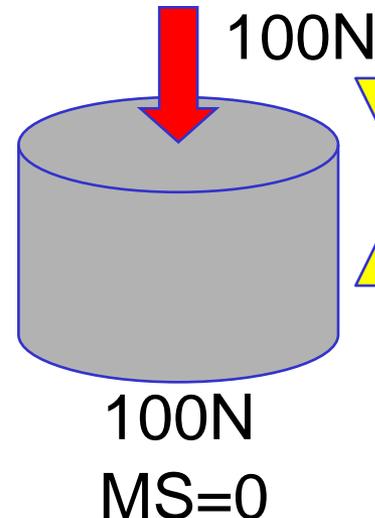
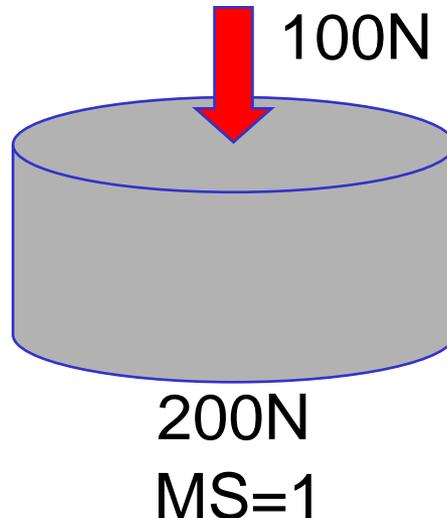
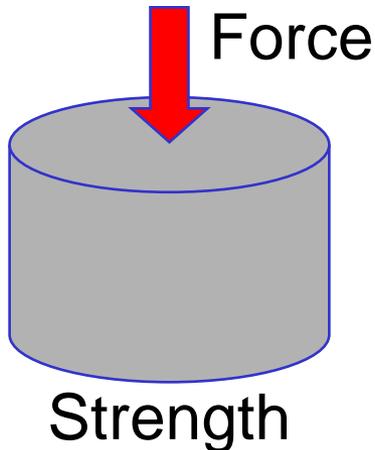
**Margin of Safety (MS) : “0”以上でなければならない!**

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

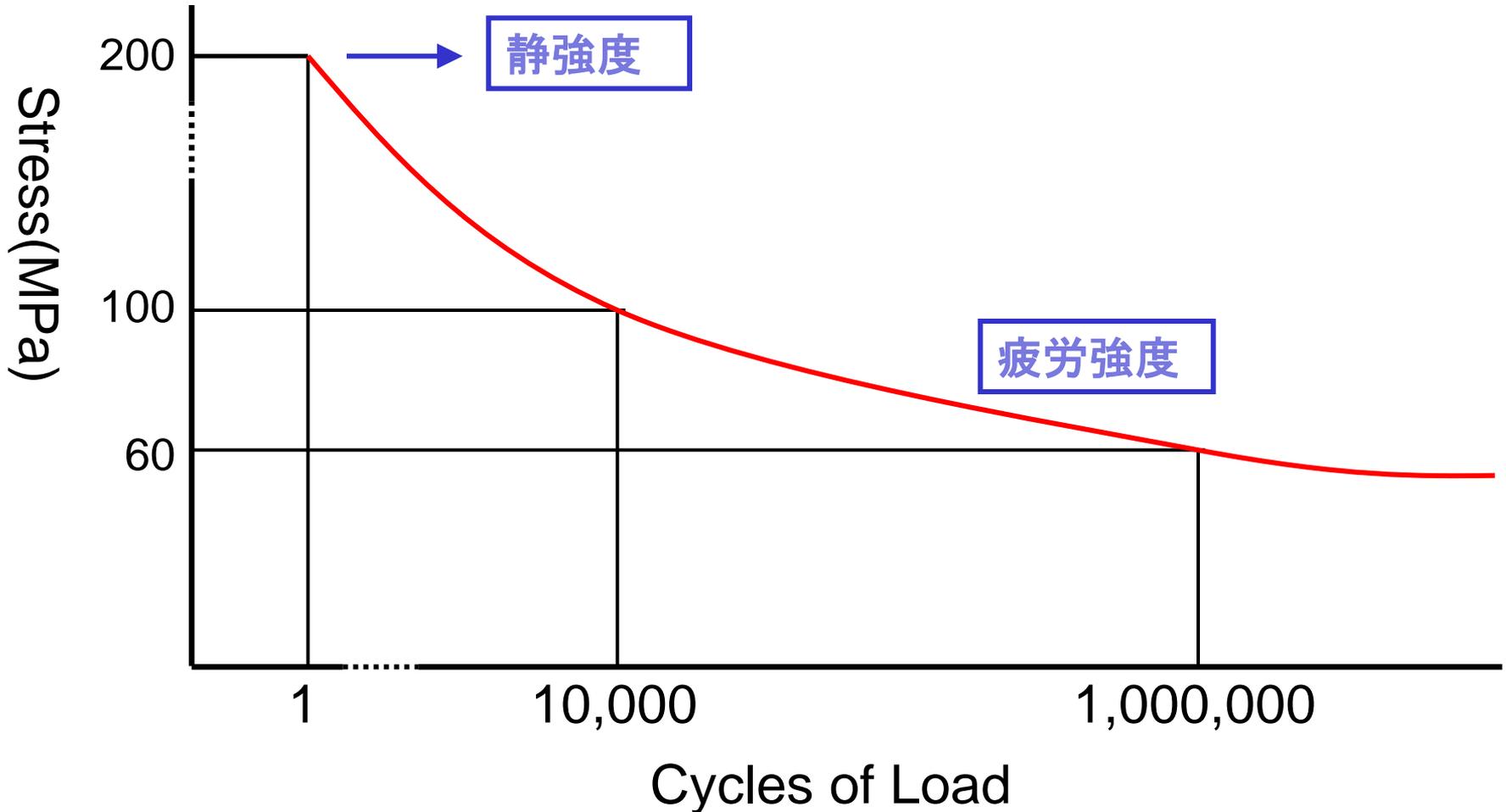
**安全第一!**

**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

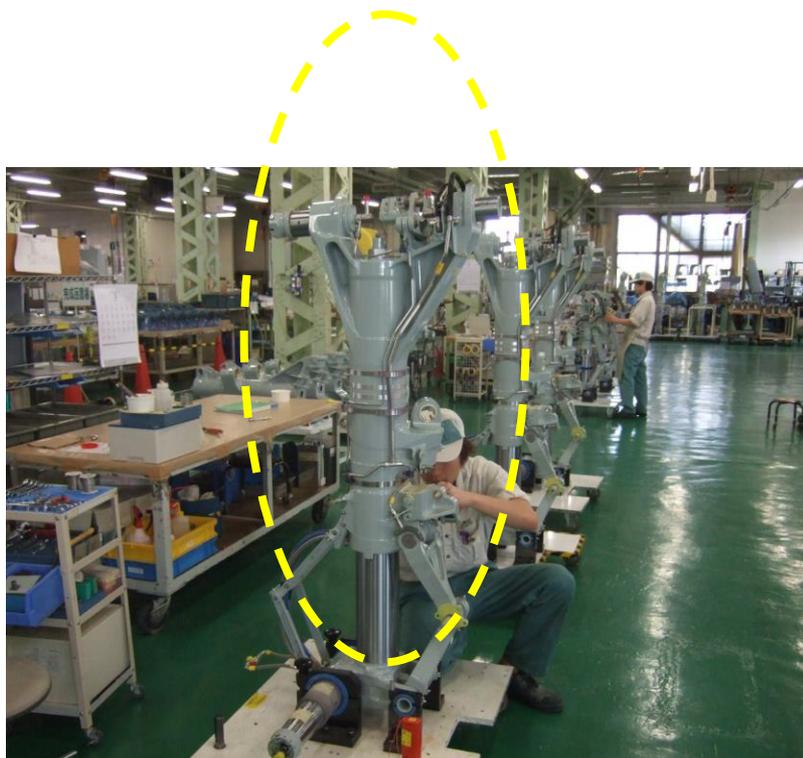
For Landing Gear...

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

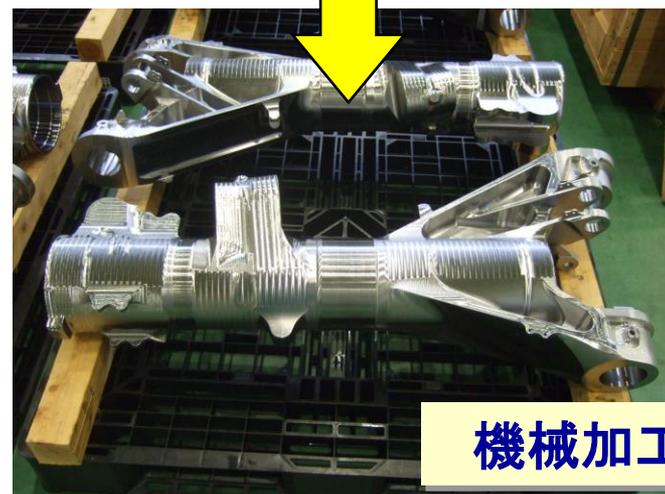
## 7.降着装置部品を加工工程

軽くするために

# 7.1 軽くする為の工夫：余肉なし



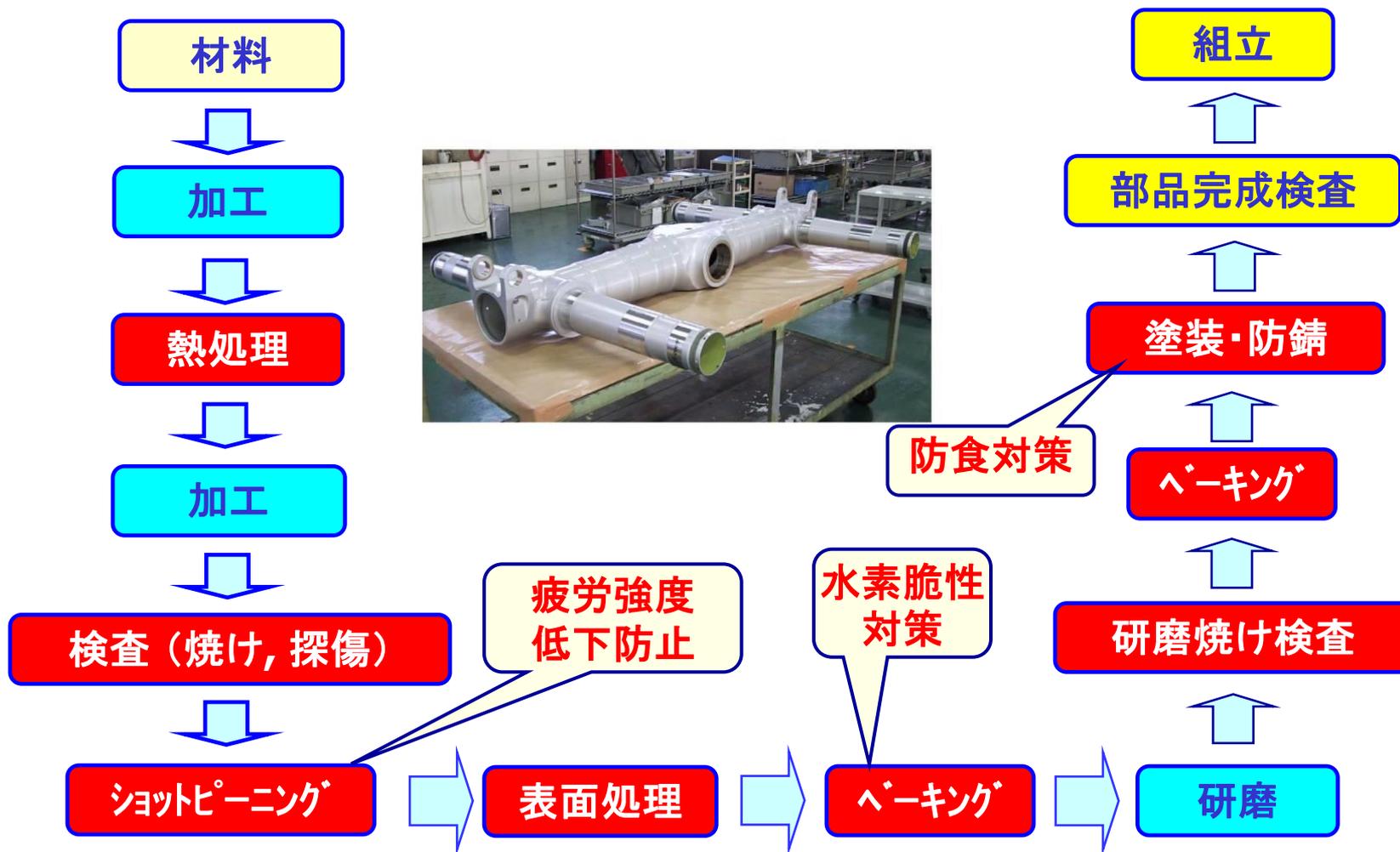
素材形状



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 of 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

21<sup>th</sup> 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。

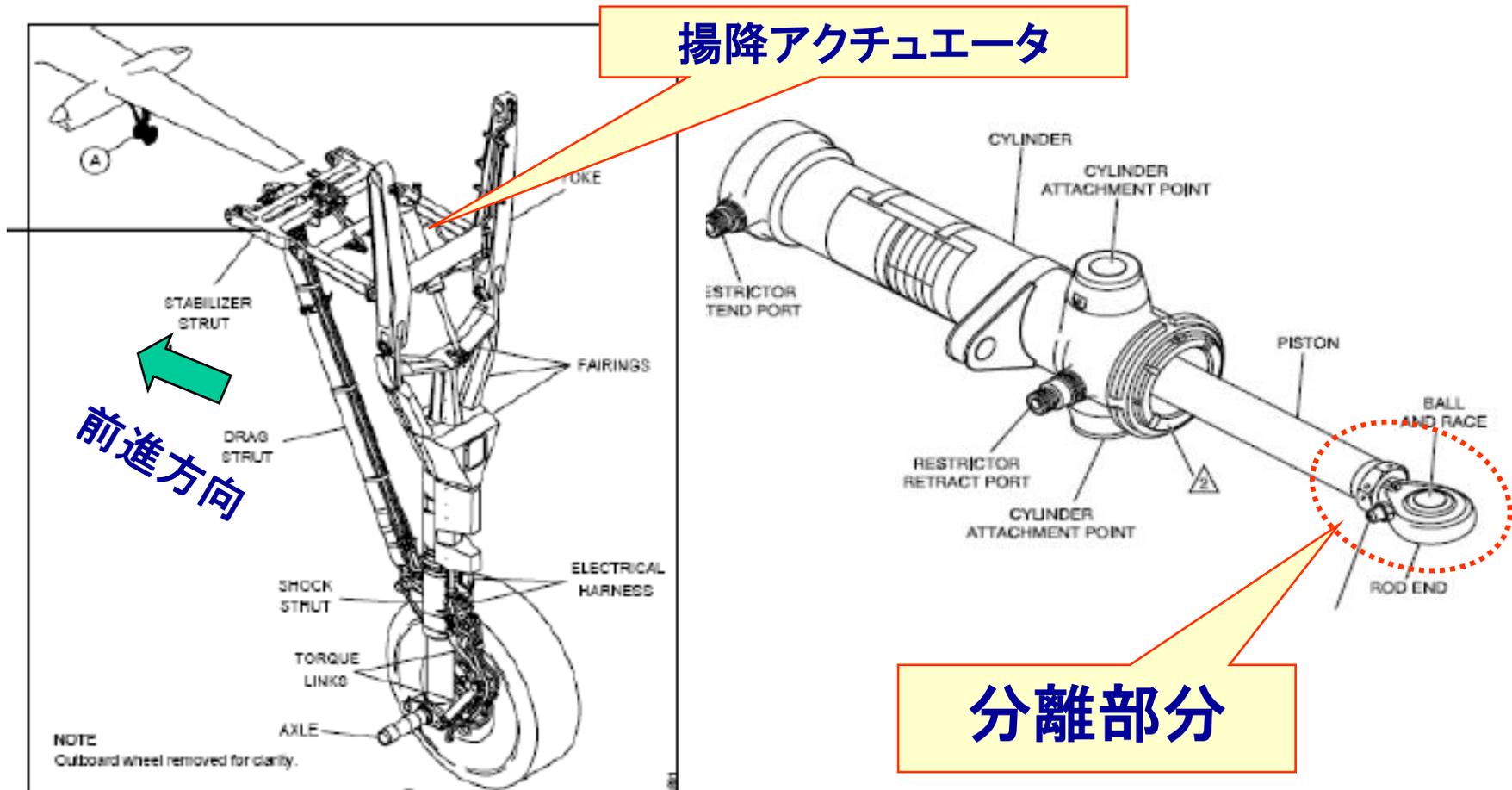
# DASH8-Q400機の事故事例紹介(1/3)



**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。**

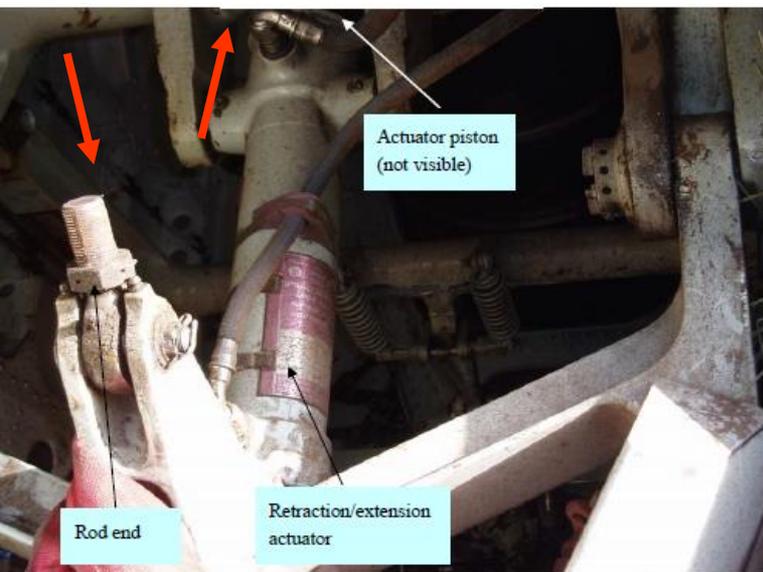
Accident Investigation Board Denmark Report HCLJ510-000433より抜粋

# 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。

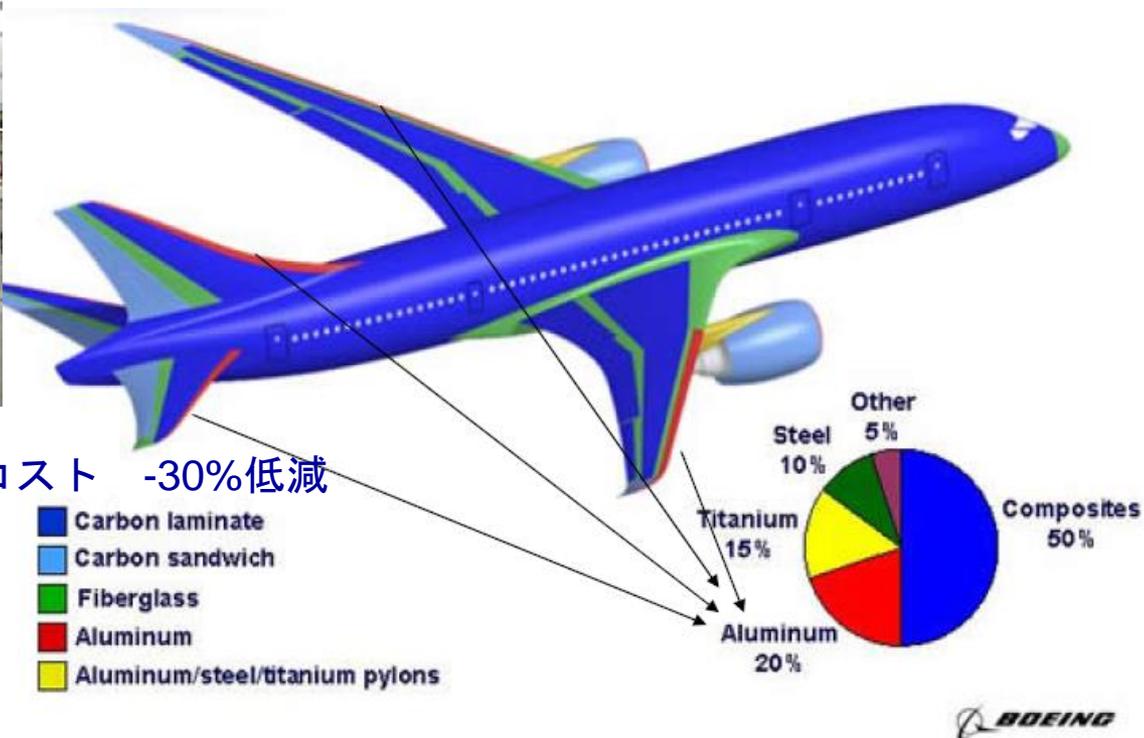
## 9. ATA32降着装置システムの技術動向

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。

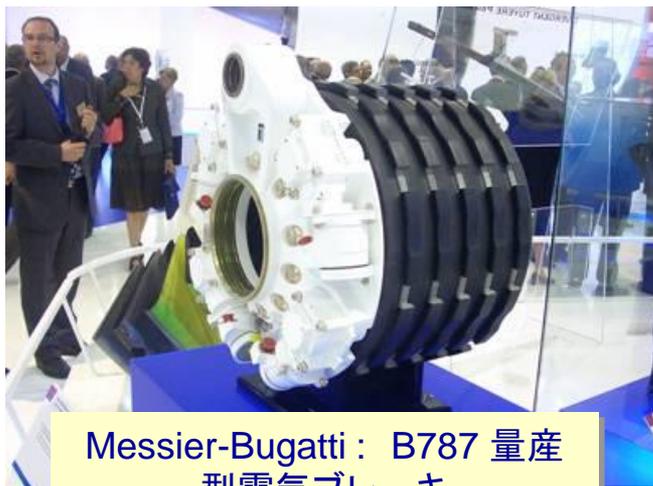
# 9.3 電動ブレーキ技術(1/2)



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



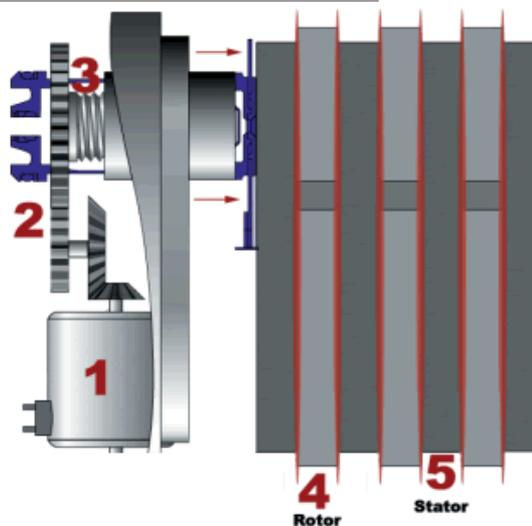
# 9.3 電動ブレーキ技術(2/2)



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

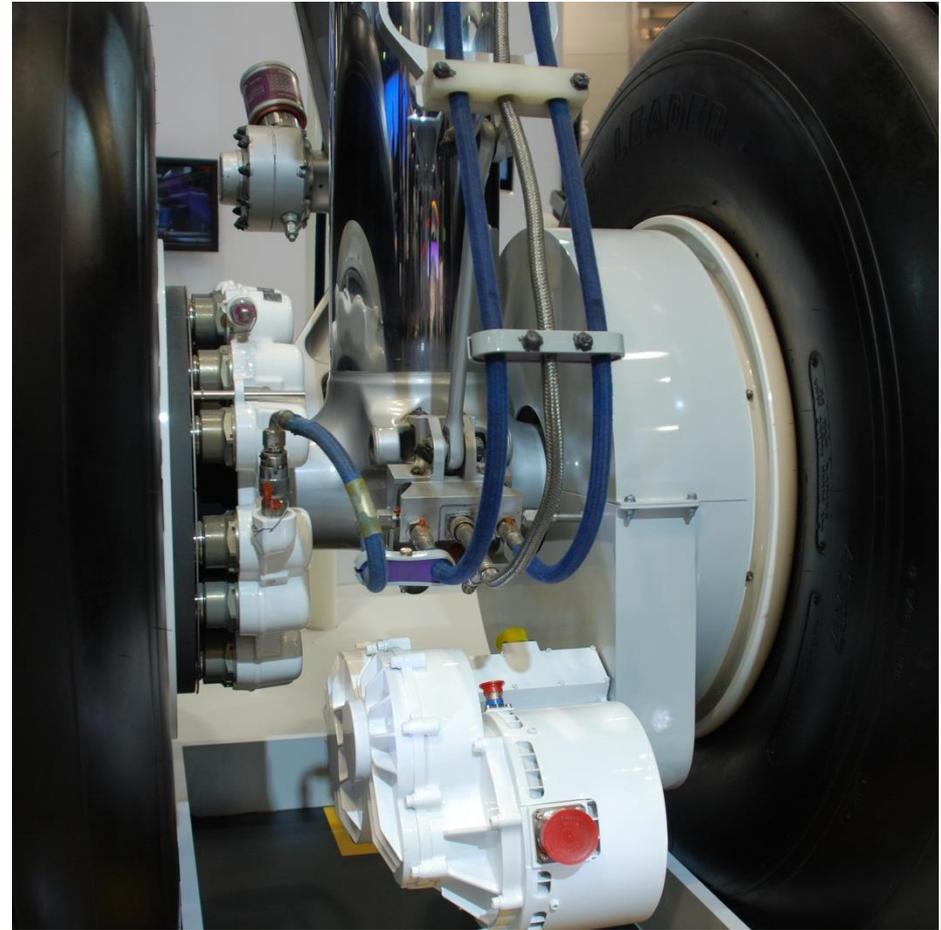
# 9.4 Lufthansa and Israel Aerospace Industries the TaxiBot™への取り組み

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



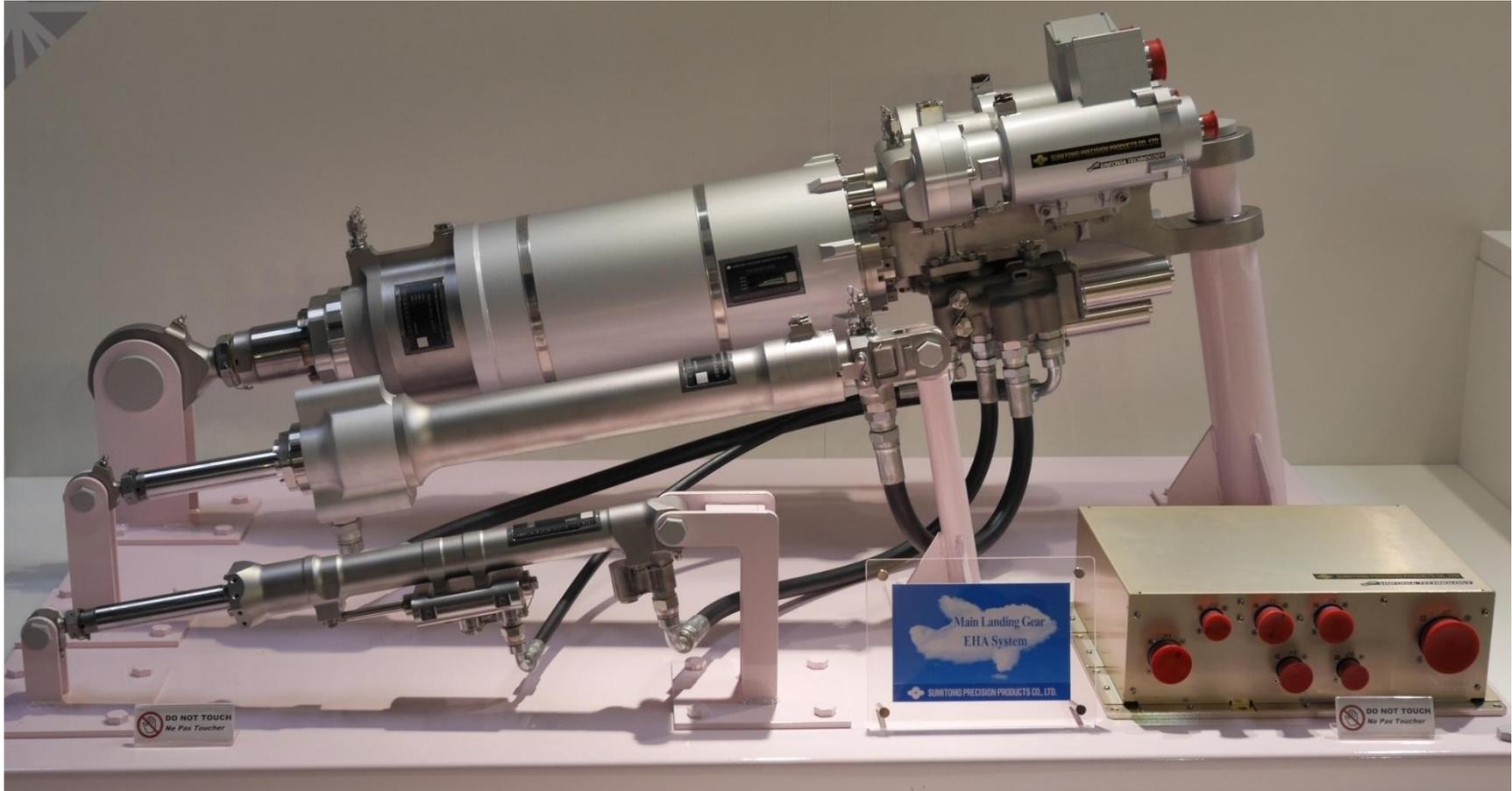
A320NEO向けオプション品として開発中。100KW級のモータを2個主脚に搭載。タクシーイン・アウト用燃料の大幅削減を目指す。(一回当りの飛行で150kgの燃料消費を削減可能と推算)

# 9.5 SAFRAN

## 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)

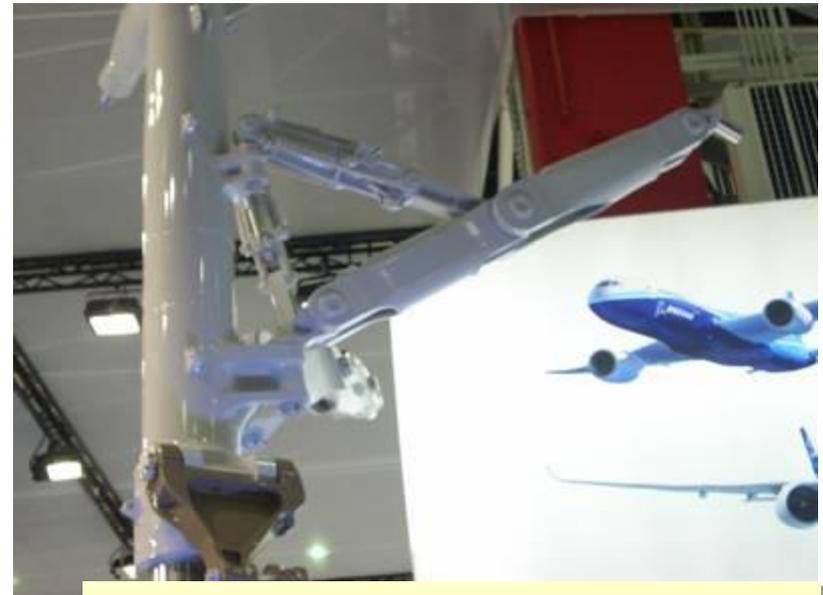


Electro-Hydrostatic Actuation System for Aircraft Landing Gear Actuation

# Safran Booth:787 Main Landing Gear



787 Main Landing Gear Assembly

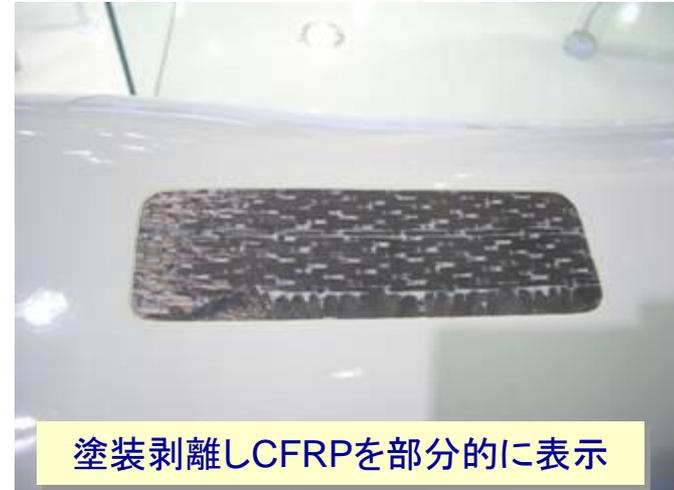


787 MLG Double Composite Side Stay

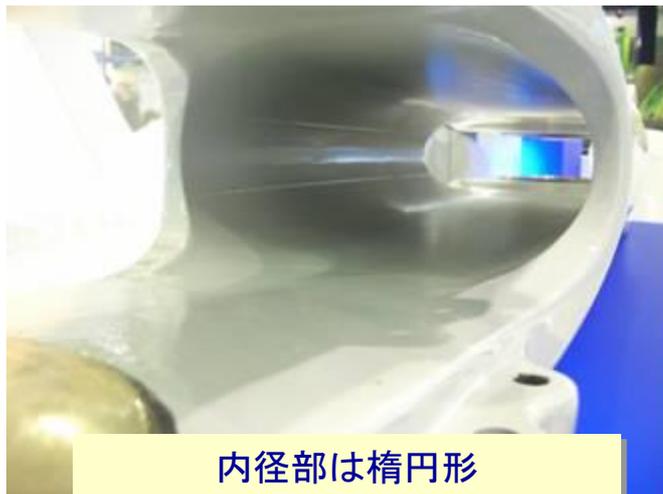
# Usage of CFRP Composite Material



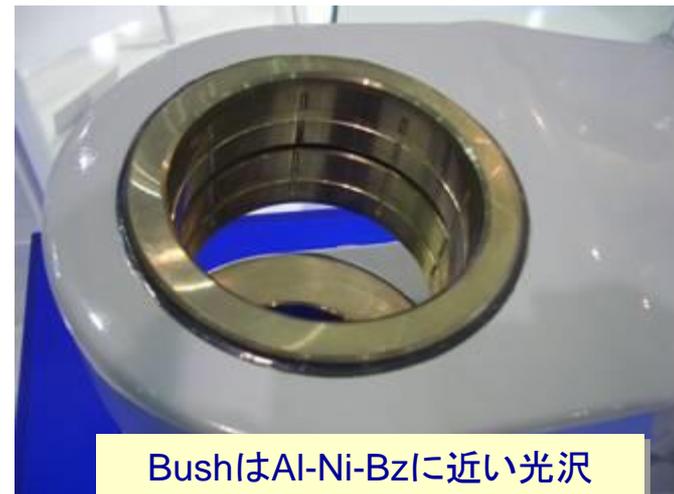
787 Composite Side Stay



塗装剥離しCFRPを部分的に表示



内径部は楕円形



BushはAl-Ni-Bzに近い光沢

## 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。