

# 名大Business Professional講座

## 航空機製造

## 講義資料

2020.12.05

**MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD.**

名古屋ヒューマンバリューセンター

センター長 石川 彰彦

## 「航空機製造」

0. 自己紹介
1. 航空機製造ってどんなもの？
  - ・ 航空機製造の美学とは
  - ・ 製造の起点は分割。どうやって分割する？
  - ・ MAKE／BUY仕分けって何？
  - ・ どこで生産するの？
  - ・ マスタースケジュール
  - ・ BOMって何？
  - ・ インターフェースコントロールに注力せよ
  - ・ Q（品質） C（コスト） D（納期）を守る
2. 閑話休題
  - ・ 戦時中航空機生産
3. 航空機の恐ろしさ
  - ・ 中華航空機墜落
  - ・ MH－2000 墜落
  - ・ F－2 戦闘機墜落
4. 主要構造と各種加工技術
5. 部品製造技術の紹介
  - ・ ショットピーン成形技術/歪抑制技術、
  - ・ 超高速加工と振動解析技術
6. 複合材製造技術の紹介
7. 自動組立技術の紹介
8. デジタル技術の紹介
9. まとめ

## 石川彰彦

- 福岡県久留米市出身
- 64歳（1956年生まれ）
- 三菱重工（株）39年勤務
- 製造部門（製造部、品質保証部の担当長い）
- 艀装、機能試験、飛行試験が専門
- 執行役員フェロー就任（2015）
- 三菱航空機副社長としてモーゼスレイク  
フライトテストセンター長（2016）
- 現在、名古屋ヒューマンバリューセンターで  
人材育成関連業務担当

**構造組立**

**機装**

**試験**

**顧客サービス**

高い安全性が求められシステムがと  
何十万人が関与、気が遠くなる根拠  
**たやすく作れない製品**  
→だから

## カスタマーサービス

飛行機は世界中の人々の生活を豊かにする乗り物

飛行機のものづくりの楽しさ、遣り甲斐、  
達成感を知って欲しい

飛行機製造とは、100万点部品の奇跡の合体ショー である。  
たやすく作れないものを最高品質であつという間にやってみせることこそ、  
プロの美学。

極意は

**BEST QUALITY を「流れ」で作る。**

# ・ 製造の起点は分割。どうやって分割するの

航空機の仕様が決まると並行して、作り方検討が始まる。

まずは**作れるサイズ、運べるサイズに分割**。

- ・ 部品加工の限界 加工機の最大ストローク、表面処理槽の最大容積、等
  - ・ 搬送方法とその限界 最大コンテナサイズ、道路の幅員、高さ制限、
  - ・ 特殊加工、試験の限界 事業所のサイズ条件
  - ・ 各分割単位で仕事量が一定になるように。（**ポジションバランス**）
- 等の知見を必要とする

機能上分割できる場所と出来ない場所がある。  
区画の設計要求が変化するところで分割するのが基本。

生産ピッチ（すなわち量産レート（機／月））を決める重要要素。途中で変更し  
難い。意外と面白い作業である。

# ・ MAKE／BUY仕分けて何？

部品構成が決まったらどこの部品を作り、どこの単位で購入するか、を一つひとつ決めてゆく作業

## 事業戦略に関わる重要プロセス。

自分の会社の強みを生かし、**優位に立てるシナリオ**を作る。機体の性能、価格、品質を確保するために

- ①自主コントロールできる内作部分を増やす方法→生産技術を磨く
- ②サプライヤに任せ購入部分を増やす方法→管理技術を磨く

従来のM社の強みは炭素繊維複合材、アルミ合金加工、電装品、  
将来は→内装品、エンジン、A P U、油圧機器、AVIONICS機器、パイロン、脚、  
搭乗客の好みに合わせたシート、エンターテインメントソフト、  
最適飛行経路データ製造、  
データ/運用データを活かしたMRO（Maintenance, Repair and Overhaul）

近年はサプライヤ統合拡大→主導権が逆転

「この単位で発注してくれなければ受注しない」とサプライヤが機体メーカーに注文 **サプライヤ管理力が重要**

政治的な配慮、営業的な配慮も必要になってきている。

**オフセット**と呼ばれるものは、発注の交換条件として一部の構成品をその国の関連メーカーに生産移管するもの。  
販売促進用の材料として使われる。

## ・ B O M って何？

BOM(Bill of Material)は1機分の航空機の構成部品を示すリストである。  
約100万点の部品で構成される飛行機の構成表。設計、生産技術プランニング作業の結果がここに集大成され、**材料、部品の手配の原器**となる。

BOMが整備されていない機種は未成熟。

設計変更のたびに構成品が変化するため、膨大な維持管理が必要だがこれを堅持できる仕組みが重要。どの号機はどんな部品が付いているのか形態管理を行う原器ともなる。（ダッソー社のDELMIAは3Dシステム形態管理ツールの最新型）

設計用の系列 E-B O M、 製造用の系列 M-B O M の二つがある。

E = M が基本だが、製造が独自に部品番号を付けて管理する場合（Manufacturing Numberという）は  $E \neq M$  となることがある。

正しい飛行機を作るには正しいB O Mを構築すること

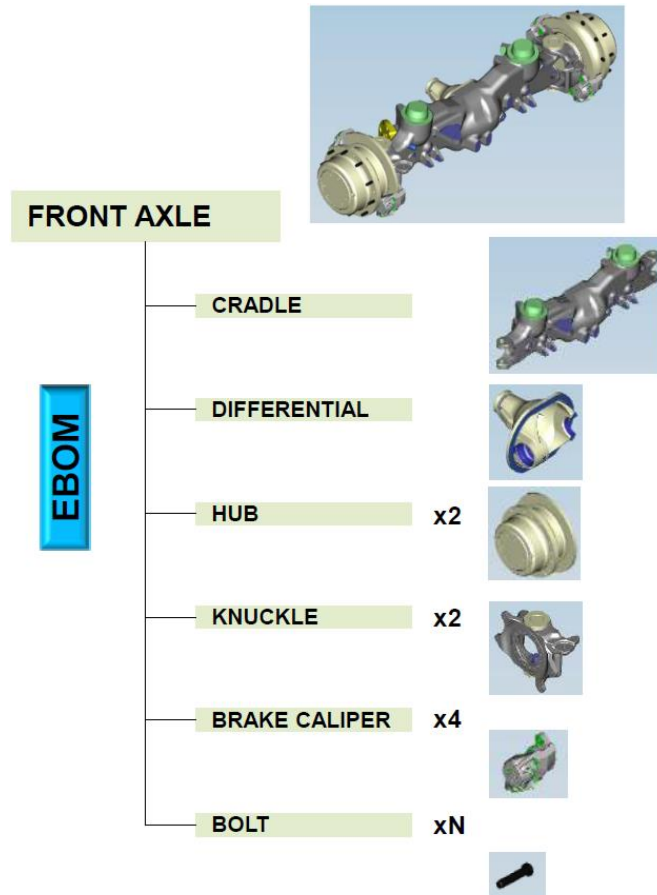


# ・ BOMって何？

## 設計系列(E-BOM)

設計図面で規定された部品表。

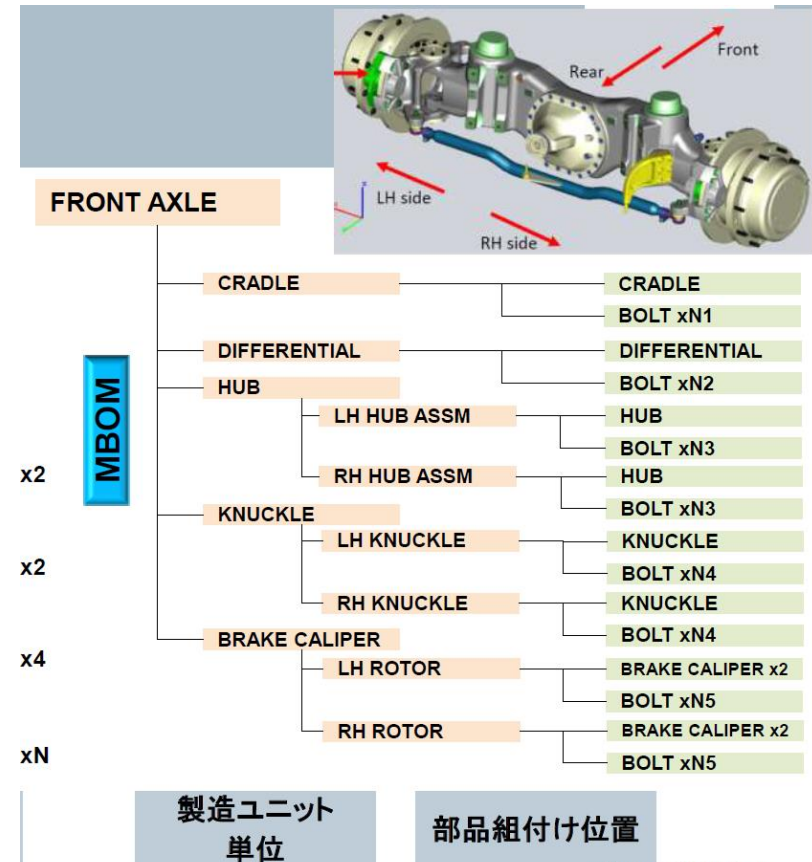
部品の技術情報や仕様、代替可能部品などの情報から構成されている。



## 製造系列(M-BOM)

製造時に参照される部品表。

製品ごとの構成部品情報からなり、部品の在庫確認や部品手配、資材調達などで利用される。



Siemens PLM Software

# ・ BOMって何？

## MAPL (Manufacturing Assembly Part List) サンプル

組立作業に必要な構成部品を組立体単位で、個々の部品の内作・購入区分等を明示した部品表である。これはショップにおける部品の組立及び管理に使用される。

| 製造組立部品表<br>( MANUFACTURING ASSEMBLY PART LIST ) |                    |     |    |                   |  |         |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    |          |      |                    | DATE 2018.04.12 |     | PAGE 1 / 2 |                    |
|---|--------------------|-----|----|-------------------|--|---------|----|----------|--------|----------------|----|--------------|----|-----------|---|----|----------|------|--------------------|-----------------|-----|------------|--------------------|
| 機種 777  |                    |     |    |                   |  |         |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    |          |      |                    |                 |     |            |                    |
| MDL   | 製造組立番号             | REV | CL | JOB NO            |  | 部品名称    |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    |          |      |                    | 担当              |     |            |                    |
| FP1   | 131W1102-1201-9101 |     |    | 221L0100          |  | MAJOR A |    | SEG :221 |        | BOOK NO: 1/4NL |    | IDNO: 298501 |    | 号機: 02567 |   |    |          |      |                    | NYDO            |     |            |                    |
| M S   | PL,SMPL,SCML NO.   | REV | CL | 製造組立番号            |  | REV     | CL | SEG NO   | STP    | CMP            | EC | PART TYPE    | 仮付 | D         | C | 客先 | 号機       | 個数   | 単位                 | U S A G E       | 訂書  | REC        | Remarks (SHT/ZONE) |
|   |                    |     |    | 部品番号              |  | REV     | CL | 名称       | PLAN情報 |                |    |              |    |           |   |    | スタート     | エンド  | 組立                 |                 |     |            |                    |
| ***** APPLICATION *****                         |                    |     |    |                   |  |         |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    |          |      |                    |                 |     |            |                    |
| NY00  | 131W1001-1201      |     |    | 131W1001-9111N    |  |         |    | 221      | 010    | 004            | 31 | PLA          |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            |                    |
| ***** PARTS LIST *****                          |                    |     |    |                   |  |         |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    |          |      |                    |                 |     |            |                    |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1110-1103-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NY05  | 131W102-1201       |     |    | 131W1110-1203-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 30  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1103     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 30  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1203     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 30  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1303     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1405-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1503-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1607-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 30  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1707     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 30  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1803     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 30  | 131W102-1201       |     |    | 131W1131-1903     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1141-1103     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1141-1203     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1141-1303     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1141-1403     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1141-1503     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1142-1103     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1142-1303     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1142-1503     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1143-1103     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1143-1303     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1143-1403     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1143-1503     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1144-1103-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1144-1505     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1145-1103-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1145-1203-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1145-1303     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| 20  | 131W102-1201       |     |    | 131W1146-1103     |  | A       |    |          |        |                | 11 |              |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1146-1403-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| NYGS  | 131W102-1201       |     |    | 131W1146-1503-911 |  |         |    |          |        |                | 31 | LF           |    |           |   |    | 2567     | 9996 | 1                  | EA              | N   |            | 1                  |
| KIT CODE  |                    |     |    |                   |  |         |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    | JOB NO   |      | 製造組立番号             |                 | REV | CL         |                    |
|   |                    |     |    |                   |  |         |    |          |        |                |    |              |    |           |   |    | 221L0100 |      | 131W1102-1201-9101 |                 |     |            |                    |

# ・ BOMって何？

## Break Down TAPE サンプル

BOMから**機体 1号機分**に必要な部品系列を抽出したリスト。  
生産途上の部品手配、資材手配の源泉データとして使用される

LEVEL (世代)

| EM区分 | LEVEL | 号機    | 機種 | MAPLNO                  | MSHOP | NEXTASSY     | 共通区分 | PARTNO           | START | END   | QTYASSY | QTYSHIP | UNIT | 仮付  | SEGNO | ECCD | SPOS | CPOS | DATACD | PNAME             | SSHOP | PARTTYP1 |
|------|-------|-------|----|-------------------------|-------|--------------|------|------------------|-------|-------|---------|---------|------|-----|-------|------|------|------|--------|-------------------|-------|----------|
| M    | 04    | 01059 | T  | 146T1211-43-9601        | N220  | 146T1211-43  | M    | 146T1211-43-901  | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 009  | 008  |        | FRA-A             | NB20  | LF       |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T1211-43-901         | NB20  | 146T1211-43  | M    | 146T1262-2       | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 21   | 009  | 050  |        | STIFFENER         | 20    |          |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T1211-43-901         | NB20  | 146T5010-2   | C    | 146T5008-18      | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 009  | 050  |        | POST              | 20    |          |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9600 | N220  | 146T1212-23  | M    | 146T1212-23-9601 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | BRACKET           | N220  | PLA      |
| M    | 04    | 01059 | T  | 146T1212-23-9601        | N220  | 146T1212-23  | M    | BACF3701G767     | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 74   |      |      | F      | FILLER            |       |          |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9600 | N220  | 146T5010-2   | M    | 146T5010-2-9601  | 01020 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | SUPPORT           | N220  | PLA      |
| M    | 04    | 01059 | T  | 146T5010-2-9601         | N220  | 146T5010-2   | K    | 146T5010-2-901   | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 009  | 008  |        | STRUC             | NB20  | LF       |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5010-2-901          | NB20  | 146T1209-42  | M    | 146T1209-42-901  | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 010  | 009  |        | FRAME             | NB20  | LF       |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1209-42-901         | NB20  | 146T1209-42  | C    | 146T1060-7       | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 21   | 010  | 050  |        | INNER CHORD       | 20    |          |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5010-2-901          | NB20  | 146T1210-37  | M    | 146T1210-37-901  | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 010  | 009  |        | FRA-A             | NB20  | LF       |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1210-37-901         | NB20  | 146T1210-37  | C    | 146T1060-7       | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 21   | 010  | 050  |        | INNER CHORD       | 20    |          |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5010-2-901          | NB20  | 146T5010-2   | M    | 146T5010-2-911   | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | L2   | 009  | 0C0  |        | WEB-A             | NB20  | LSA      |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T5010-2-911          | NB20  | 146T5010-2   | C    | 146T5011-6       | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | L2   | 008  | 1C0  |        | WEB ASSY          | NB20  | LSA      |
| M    | 07    | 01059 | T  | 146T5011-6              | NB20  | 146T5011-6   | C    | 146T5011-6       | 00914 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 008  | 150  |        | WEB               | 20    |          |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5010-2-901          | NB20  | 146T5010-2   | M    | 146T5010-2-912   | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | L2   | 009  | 0C0  |        | WEB-A             | NB20  | LSA      |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T5010-2-912          | NB20  | 146T5010-2   | C    | 146T5011-8       | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | L2   | 008  | 1C0  |        | WEB ASSY          | 6P    | LSA      |
| M    | 07    | 01059 | T  | 146T5011-8              | 6P    | 146T5011-8   | C    | 146T5011-106     | 00914 | 01154 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 21   | 005  | 150  |        | WEB               | 20    |          |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9600 | N220  | 146T5010-2   | M    | 146T5010-2-9602  | 01020 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | SUPPORT           | N220  | PLA      |
| M    | 04    | 01059 | T  | 146T5010-2-9602         | N220  | 146T5010-2   | M    | 146T5010-2-902   | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 009  | 008  |        | STRUC             | NB20  | LF       |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5010-2-902          | NB20  | 146T1212-23  | M    | 146T1212-23-901  | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 010  | 009  |        | FRAME-A           | NB20  | LF       |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1212-23-901         | NB20  | 146T1212-23  | C    | 452T1210-76      | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 010  | 0M0  |        | FITTING           | 30    |          |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5010-2-902          | NB20  | 146T1213-46  | M    | 146T1213-46-901  | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 010  | 009  |        | FRAME             | NB20  | LF       |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1213-46-901         | NB20  | 146T1213-46  | C    | 453T1015-19      | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | L2   | 010  | 0C0  |        | DRAIN SUPPORT AS  | NB20  | LSA      |
| M    | 07    | 01059 | T  | 453T1015-19             | NB20  | 453T1015-19  | C    | 453T1015-33      | 00914 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 010  | 150  |        | DRAIN SUPPORT DE  | 20    |          |
| M    | 07    | 01059 | T  | 453T1015-19             | NB20  | 453T1015-19  | M    | BACN10K608F      | 00914 | 09990 | 4       | 4       | EA   |     | 255   | 74   |      |      |        | NUTPLAT           |       |          |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1213-46-901         | NB20  | 146T1213-46  | C    | 453T1015-5       | 01002 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 010  | 150  |        | DRAIN SUPPORT DE  | 20    |          |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1213-46-901         | NB20  | 146T5010-2   | K    | 453T1211-21      | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   | REM | 255   | 21   | 010  | 150  |        | BRACKET           | 20    |          |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1213-46-901         | NB20  | 146T5010-2   | M    | BACB30NM3K8      | 01020 | 01069 | 3       | 3       | EA   | REM | 255   | 74   |      |      |        | " BOLT, HEX HEAD" |       |          |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1213-46-901         | NB20  | 146T5010-2   | K    | BACF3F009K068NN  | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   | REM | 255   | 74   |      |      |        | FILLER            |       |          |
| M    | 06    | 01059 | T  | 146T1213-46-901         | NB20  | 146T5010-2   | C    | BACF3H08JC019HG  | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 74   |      |      |        | FILLER-RADIUSED   |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0115-905            | N000  | 146T0115-905 | C    | 140T4610-4       | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | SEAL APPLICATION  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 140T2810-86      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | DRAIN VALVE INST  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1208-11      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1209-42      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1210-37      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1211-43      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1212-23      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1213-46      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T1214-48      | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FRAME SEGMENT AS  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T0210-4       | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | SKIN ASSY         |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 146T5010-2       | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | SUPPORT STRUCT I  |       |          |
| M    | 02    | 01059 | T  | 146T0200-905            | 6620  | 146T0200-905 | C    | 453T1393-1       | 01059 | 01059 | 1       | 1       |      |     |       |      |      |      |        | FLOOR PANEL INST  |       |          |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T1208-11  | M    | 146T1208-11-9602 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | CLIP              | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T1210-37  | M    | 146T1210-37-9602 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | CLIP              | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T1211-43  | M    | 146T1211-43-9602 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | CLIP              | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T1212-23  | M    | 146T1212-23-9602 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | CLIP              | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T1213-46  | M    | 146T1213-46-9602 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | FILLER            | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T1214-48  | M    | 146T1214-48-9401 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | STIF-I            | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9400 | N220  | 146T5010-2   | M    | 146T5010-2-9401  | 01020 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | SUPPORT           | N220  | PLA      |
| M    | 04    | 01059 | T  | 146T5010-2-9401         | N220  | 146T5010-2   | C    | 146T5008-15      | 01020 | 01069 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | L2   | 008  | 0C0  |        | WEB ASSY          | 6P    | LSA      |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5008-15             | 6P    | 146T5008-15  | C    | 146T5008-14      | 00914 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 008  | 150  |        | WEB               | 20    |          |
| M    | 05    | 01059 | T  | 146T5008-15             | 6P    | 146T5008-15  | C    | 146T5008-8       | 00914 | 09990 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 11   | 008  | 150  |        | DOUBLER RING      | 20    |          |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9500 | N220  | 146T1209-42  | M    | 146T1209-42-9501 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | SHIM              | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9500 | N220  | 146T1209-42  | M    | 146T1209-42-9502 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 009  | 001  |        | BOLT I            | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9500 | N220  | 146T1210-37  | M    | 146T1210-37-9501 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | STIFF             | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9500 | N220  | 146T1212-23  | M    | 146T1212-23-9501 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | BRACKET           | N220  | PLA      |
| M    | 03    | 01059 | T  | DCAC-146T0200-300F-9500 | N220  | 146T1212-23  | M    | 146T1212-23-9502 | 01002 | 01063 | 1       | 1       | EA   |     | 255   | 31   | 008  | 001  |        | FIL I FR 1        | N220  | PLA      |

多種部品の合体をスムーズに行うためには、図面に従い部品を作り納入することだけでは不十分である。

ハードのインターフェースとは

部品同士が接する面、位置をぴったり合わせる。生じる誤差をコントロールして調整、摺合せが不要になる関係を作りあげる。

ソフトのインターフェースとは

動作を制御する信号のやり取りがロジック通り狂いなく（スツタク、フリーズ無く）作動するように作り上げる。ソフトバージョンアップで干渉しないロバストなソフト。

環境とのインターフェースとは

製造途中や運用途中で環境汚染、破壊をもたらす（加害者）ケース。（音、におい、熱、放射能、電波など）このようなことが起こらないプロセスを選び実行する。

他の施設、機体、気象などから干渉受ける（被害者）ケース。（電磁干渉、ばい煙、雷、鳥、着氷）このようなことが起こる前提で耐えうる方策を取る。

次の工程、その次の工程でどのような作業が行われるのかを知り、そこがスムーズに行くように自工程を改善、改良する努力が求められる。近年、自分Firstの傾向が強くなっており、後で相互干渉する問題が増えている。**インターフェース管理を重んじる技術者＝あれこれお節介する人が本物。**

## ・ Q（品質） C（コスト） D（納期）を守る

製造での3原則QCDはどの分野にも必ず存在する。

3つ共に大事であり、**全て守らなければならない。それがプロ。**

Q：品質基準は図面やスペックに記載され必ず守る（**基本動作**）もの。

多すぎるとがんじがらめだが、応用動作で基準を変えてしまう行為は決して許されない。

C：コストは**設計力と製造力**の両方で作り上げるもの。

管理者の強要では一時的にしか良くならぬ。知らぬ間にQを犠牲にする場合がある。

D：マスタースケジュールに沿うように言い訳なしで立ち回るのがプロ。100万点も部品あるとどこかで誰かがトラブルに遭遇している。**問題解決力**が無いと守れない。

# 戦時中の航空機生産機数 推移



### 3. 航空機の恐ろしさ

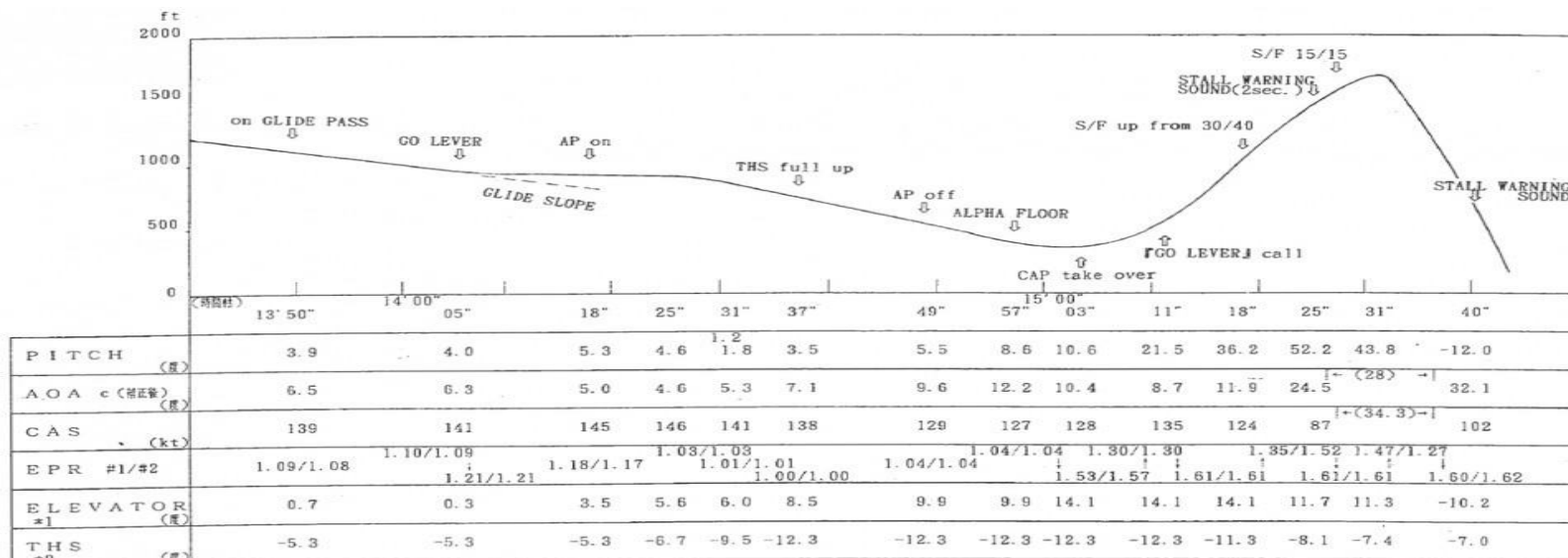
身近な航空事故を通じて航空機の危うさ、恐ろしさを体験した。

#### ①1994.4 中華航空機名古屋空港に墜落

1994年4月26日、中正国際空港（現：台湾桃園国際空港）発名古屋空港行きの中華航空140便（エアバスA300B4-622R）が名古屋空港への着陸進入中に墜落し、乗員乗客271人中264人が死亡した。

原因は**パイロットエラーによる失速**。

進入は副操縦士の手動操縦で行われていたが、副操縦士が誤ってゴーレバーを作動させ、自動操縦の着陸復航モードが起動した。そのため機体は降下せず水平飛行を開始した。機長は着陸復航モードを切るように指示したが、モードは解除されなかった。副操縦士は降下するために操縦桿を押した。水平安定板は機首上げ位置の最大に近いマイナス12.3度まで動いた。機長が操縦を交代しスロットルを引き戻すと共に操縦桿を強く押した。機長はゴーレバーと呼唱した。スロットルが全開となり機体は急上昇した。その後機体は失速し墜落した。



\*1: Movable range -30 to 15°, accuracy ±0.9°, <0 = Nose Up  
\*2: Movable range (Electrical) -13 to 2.5°, accuracy ±0.9°, <0 = Nose Up



#### ②2000.11.27 MH-2000ヘリコプター鈴鹿市の水田に墜落

2000年11月27日MH2000試作初号機が名古屋空港を出発後、三重県鈴鹿市の水田に墜落。三菱重工テストパイロット機長1名死亡、副操縦士、同乗者5名重傷。

原因は テールロータ取付部（複合材製ストラップ）の疲労による破断。（限界使用時間7000時間に対し、341時間で破断）設計者が予想していた以上に疲労が進展。**疲労試験条件（捩じり角、温度）が実態と合っていないかった。**





### 3. 航空機の恐ろしさ

③20007.10.31

#### F-2支援戦闘機名古屋空港で墜落

2007年10月31日 F-2B（#8126）が離陸後直ぐに名古屋空港に墜落。三菱重工テストパイロット2名が重傷。

原因は作業者の配線ミス。ピッチレートジャイロとロールレートジャイロへの配線を逆に取付たため。離陸時に操縦桿を引いてピッチ上げたがコンピュータはピッチ応答が無いので更に引き上げた。これに対し操縦桿を下げたところ、今度は更に過剰にピッチを下げて墜落。

複雑なシステムを支えるコンピュータや試験。

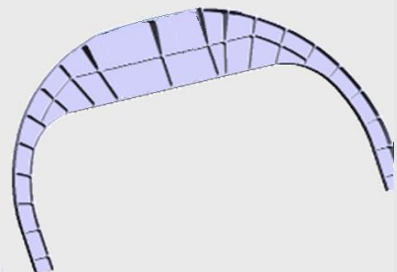
しかし人間は想定しないことをやろうとして飛行機を落とす。

技術者はどこまで想定して設計すれば良いのか。

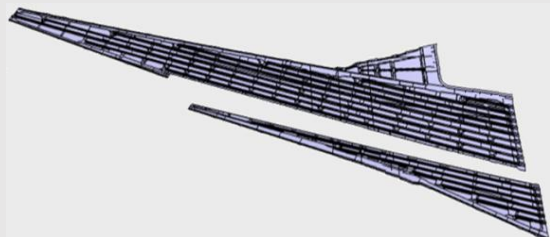


## 4.主要構造と各種加工技術

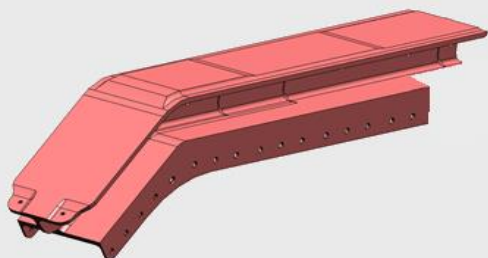
胴体構造部材（高強度アルミ合金）



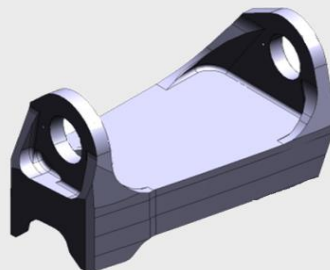
主翼構造部材（高強度アルミ合金）



動翼レール（高強度鋼材）



脚廻り金具（大型Ti合金）



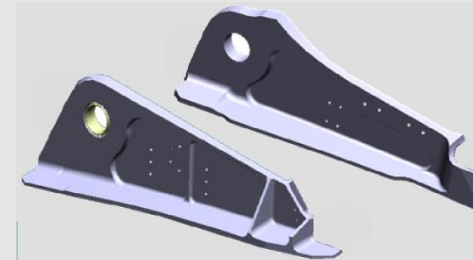
尾翼構造部材（複合材料）



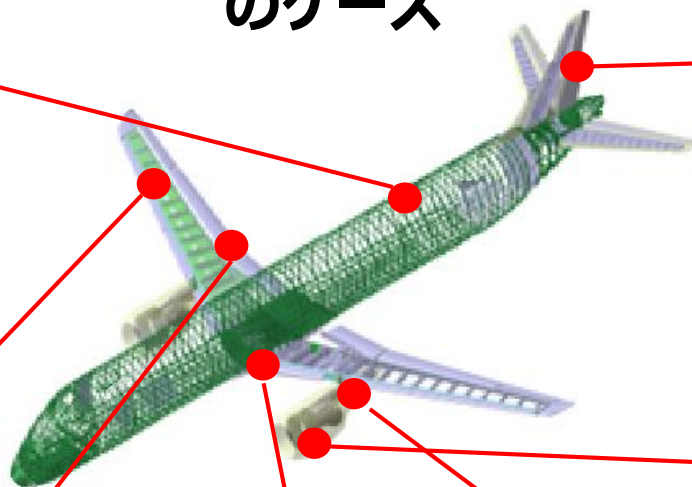
エンジン（Ni基耐熱合金）



エンジン取付金具（Ti合金）



### 航空機部品 のケース



## 4. 主要構造と各種加工技術

奇跡の合体ショーを演ずるために  
どんな苦勞をしているのだろうか。

### 部品加工

### 構造組立

#### 板金加工

プレス成形  
ブレーキプレス成形  
液圧成形  
ピン成形  
ロール成形  
⋮

#### 機械加工

同時5軸加工  
超高速加工  
振動解析  
ピン成形  
3次元空間補正  
⋮

#### プロセス加工

熱処理  
ショットピーニング  
化学処理  
ケミカルミリング  
めっき  
ロボット塗装  
画像認識による  
部品識別システム  
リアルタイムモニタリング  
⋮

#### 複合材加工

熱硬化CFRP  
Co-Bond / Co-Cure  
高速積層  
RTM / VaRTM  
熱可塑CFRTP  
Water Jet加工  
融着技術  
⋮

レーザーシステムによる高  
精度位置決め

ロボットによる  
大物ハンドリング

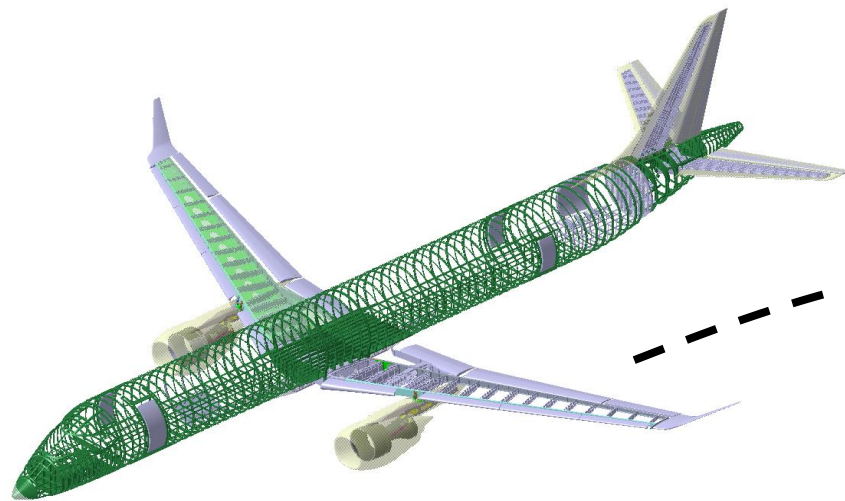
自動打鋌システム

画像認識システムによ  
る外観検査

レーザー位置決め

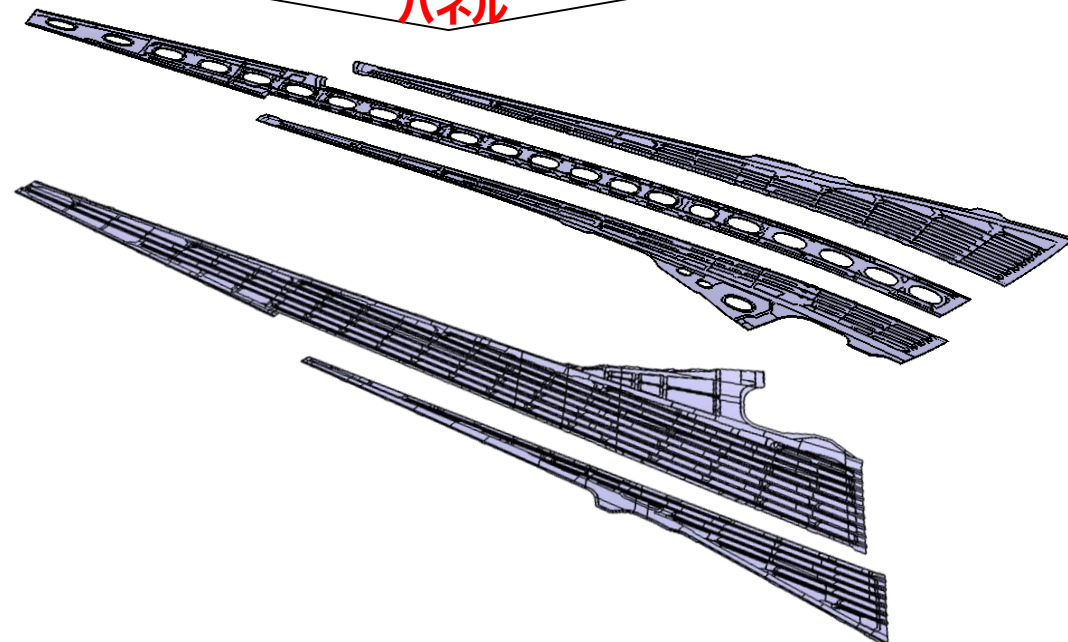
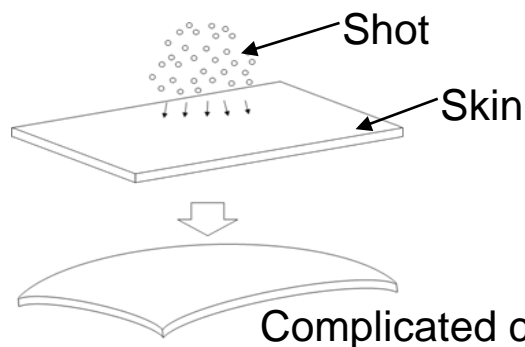
デジタルシミュレーション

⋮



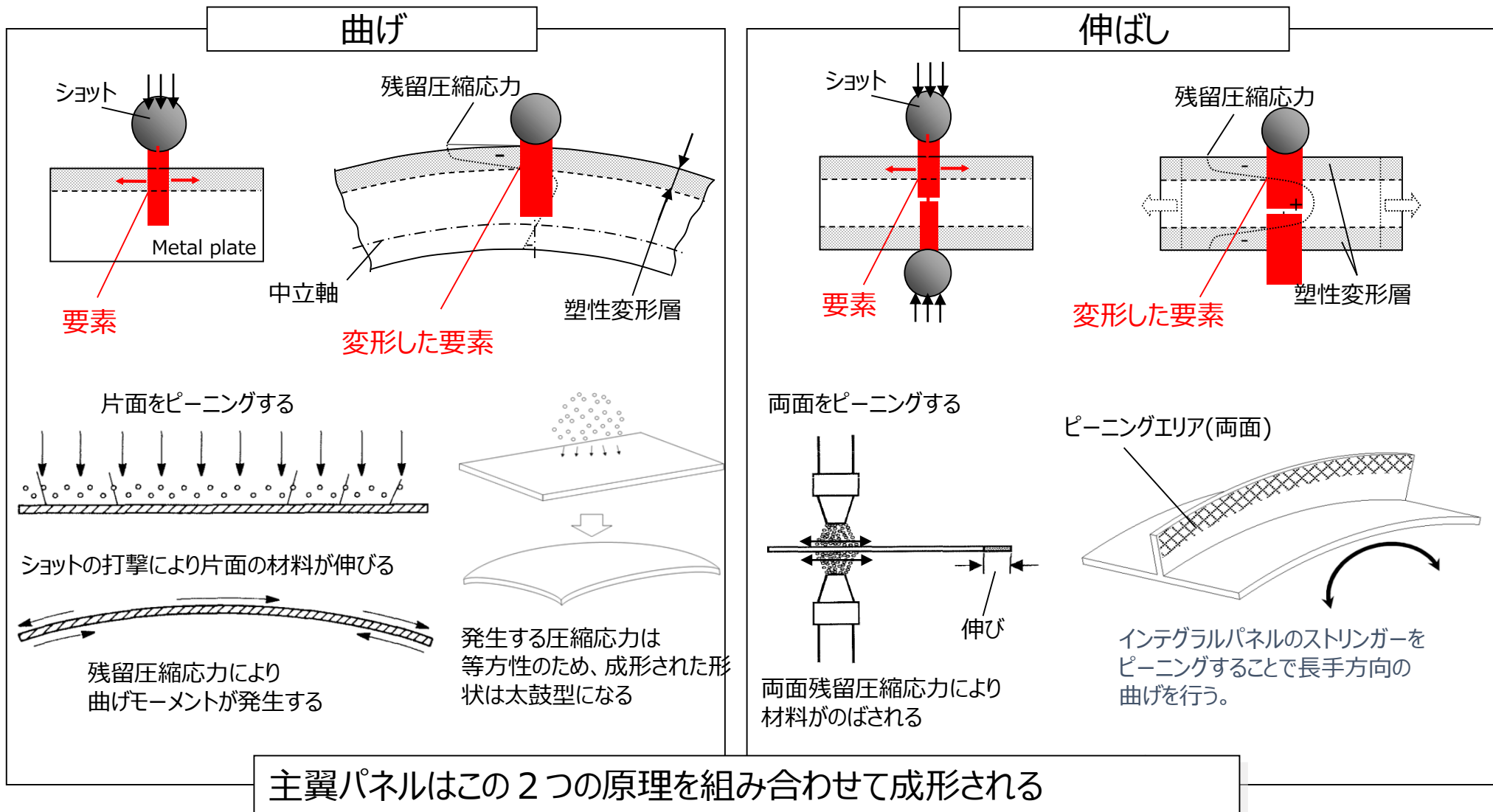
＜対象部品＞  
主翼インテグラル  
パネル

- ✓ ショットピーニングを板材の片面のみに行い、表裏の応力差により曲率を付与する加工法。
- ✓ 型や治具を用いずに複雑な曲面を形成することができる。

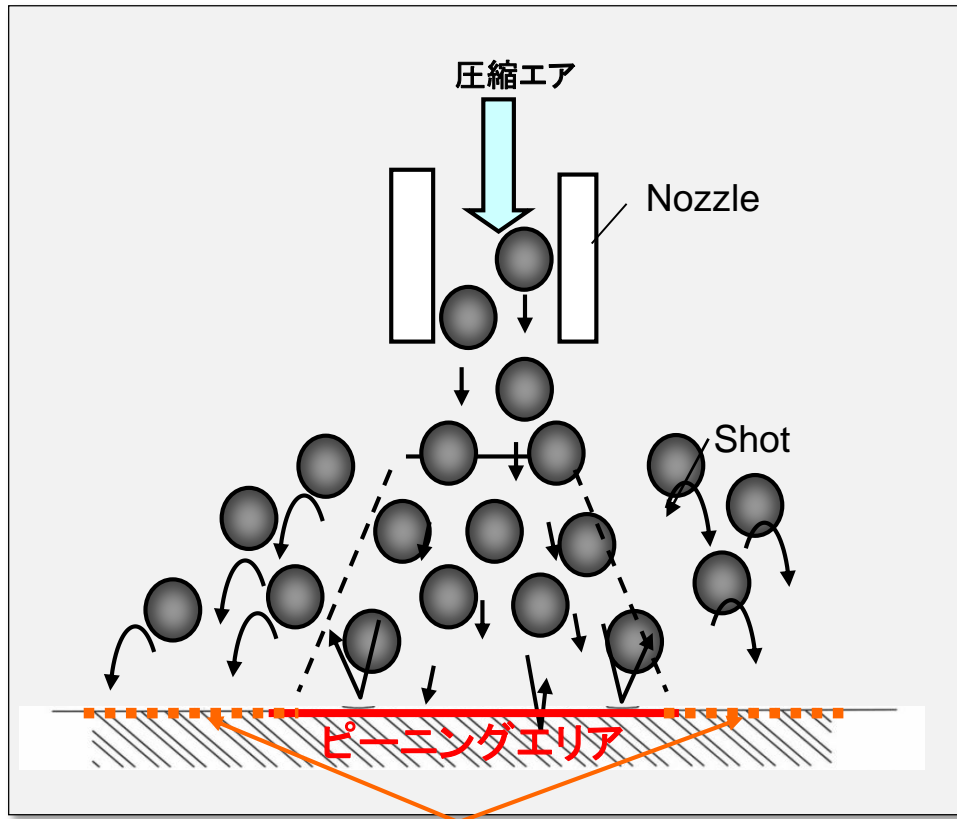




## ショットピーニング原理



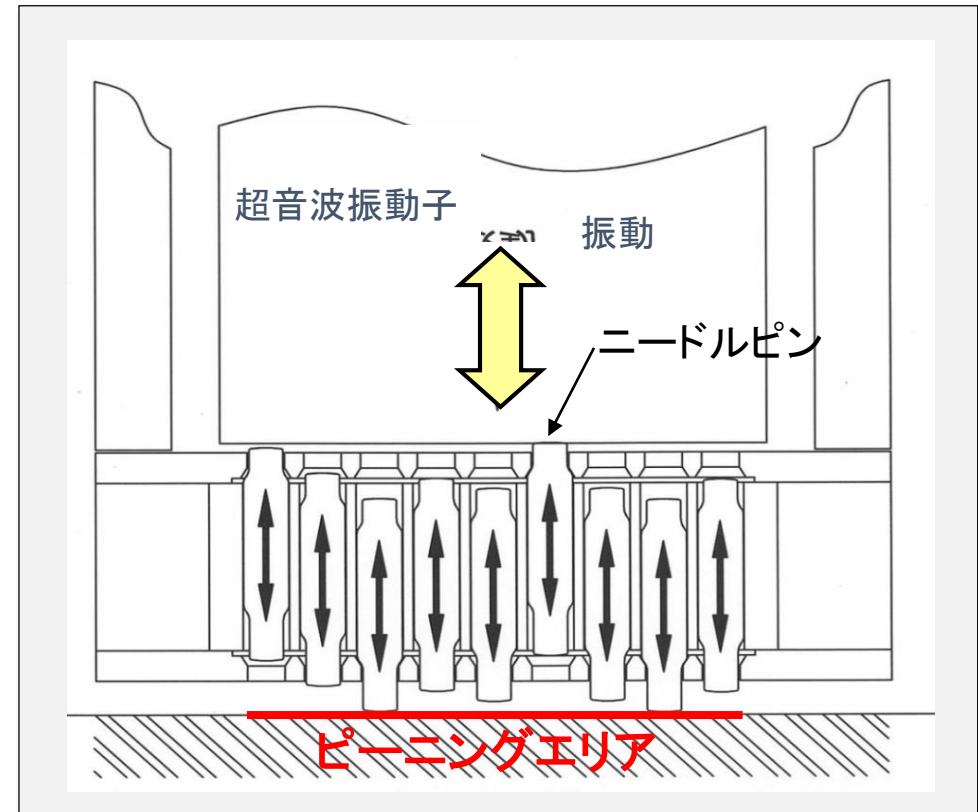
### 従来



ピーニング不要だが当たってしまうエリア

- ・マスキングが必要
- ・ショット飛散やサンディングによる粉塵による作業環境悪化

### 新手法 : 超音波ピーニング



- ・ショットピーニングよりもピーニングエネルギー大  
= より厚板の成形が可能
- ・狙った場所のみピーニングができる  
= マスキング作業が不要
- ・ピーニング後の表面粗さが良好  
= サンディング(表面仕上げが不要)

超音波ピーニング装置を活用した手作業による形状修正（従来方式）  
重労働、且つ、騒音大きく作業者負担が大。

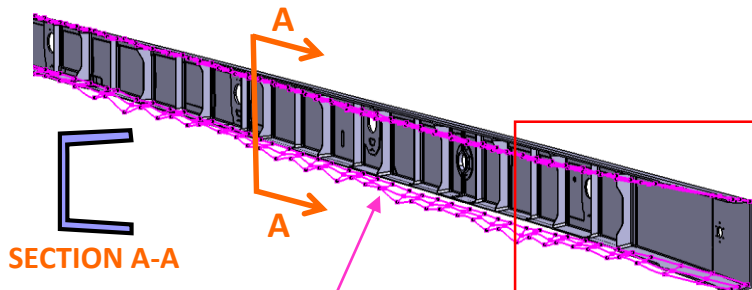
超音波ピーン成形



部分超音波ピーン成形



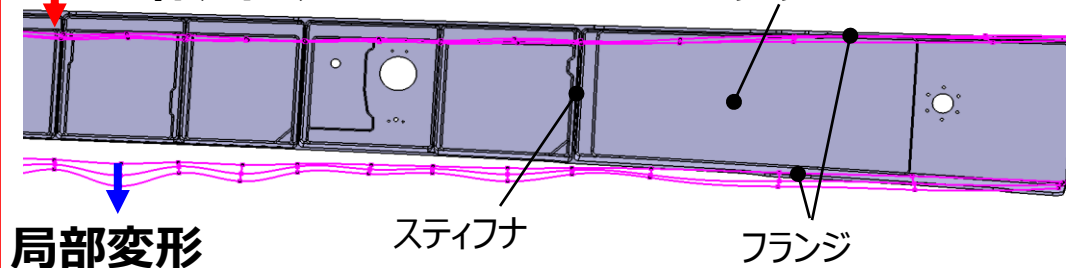
代表：コの字断面部品



アークハイトが部材表裏で異なる場合の変形イメージ

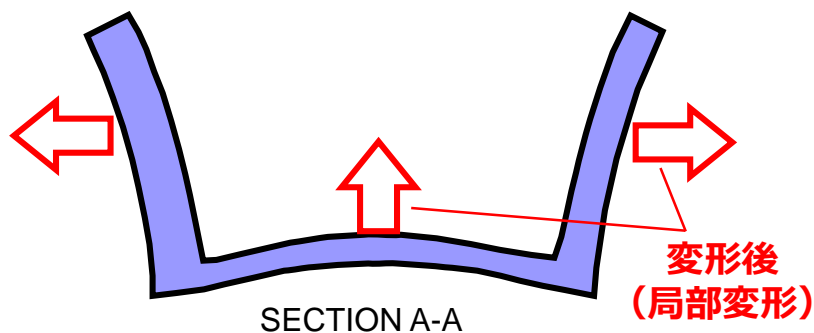
全体たわみ

局部変形



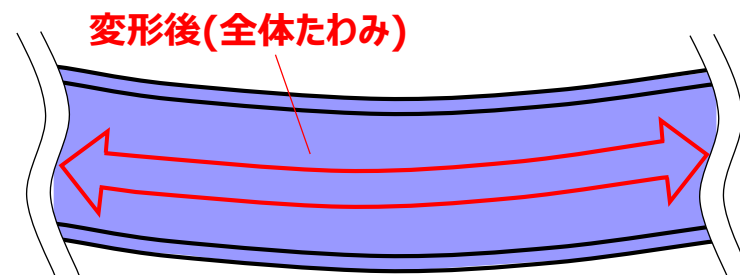
局部変形

フランジ内側のアークハイトが高い場合  
→コの字断面が開く方向に変形が生じる



全体たわみ

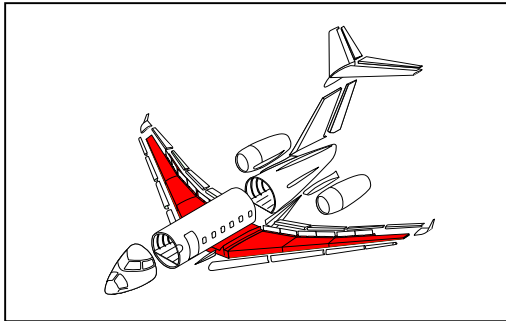
フランジ上下でアークハイトが異なる場合  
→アークハイトの高い側に部品全体がたわむような変形が生じる



ショットピーニング歪抑制の為には、部材表裏のアークハイト差を無くす必要有



主要構造部品名称：主翼スキン、スパー、リブ



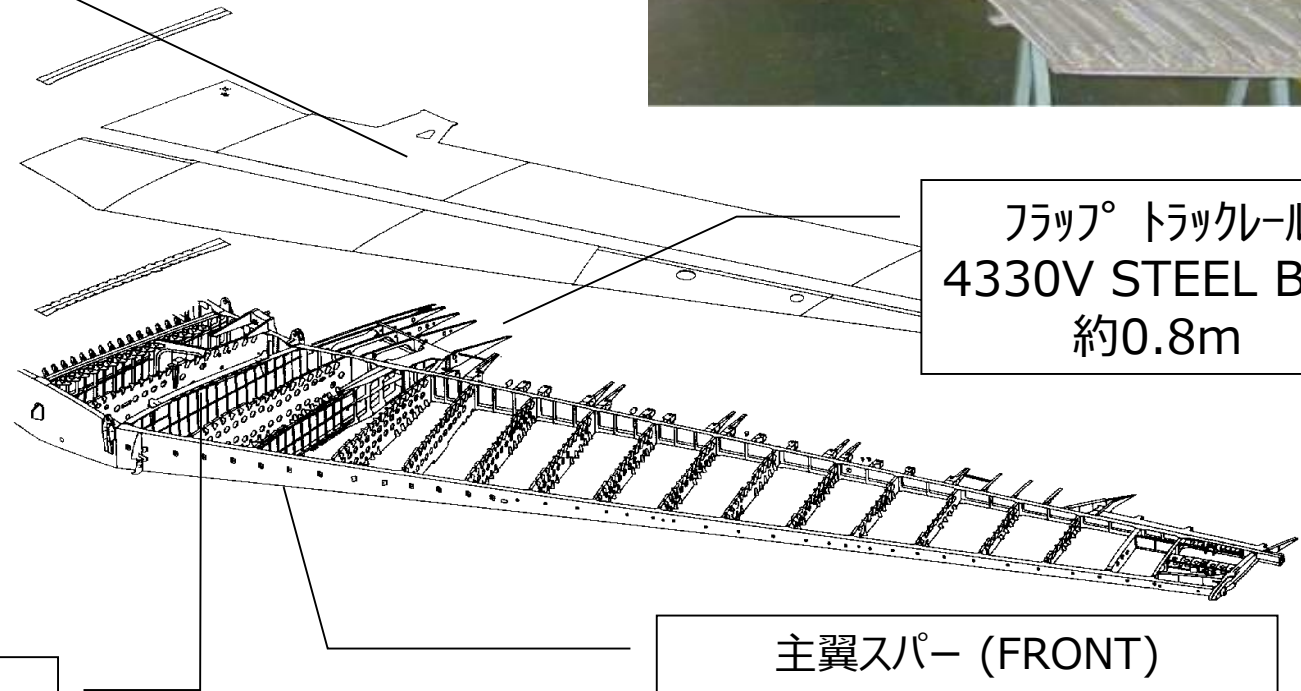
主翼スキン (AFT)  
7050-T7451 PLATE  
約10m



フラップ° トラックレール  
4330V STEEL BAR  
約0.8m



主翼桁間リブ  
7475-T7351 PLATE  
約2m



主翼スパー (FRONT)  
7475-T7351 PLATE  
約9m

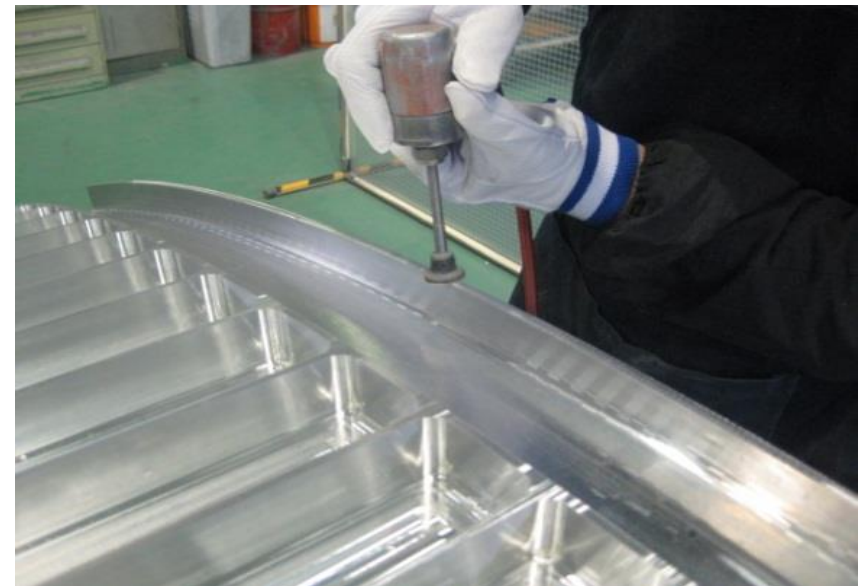
### 代表的な機械部品



びびり振動の例

### びびり振動が引き起こす問題

- 板厚過小などの不良発生
- 手仕上げ修正の増加
- 工具の破損



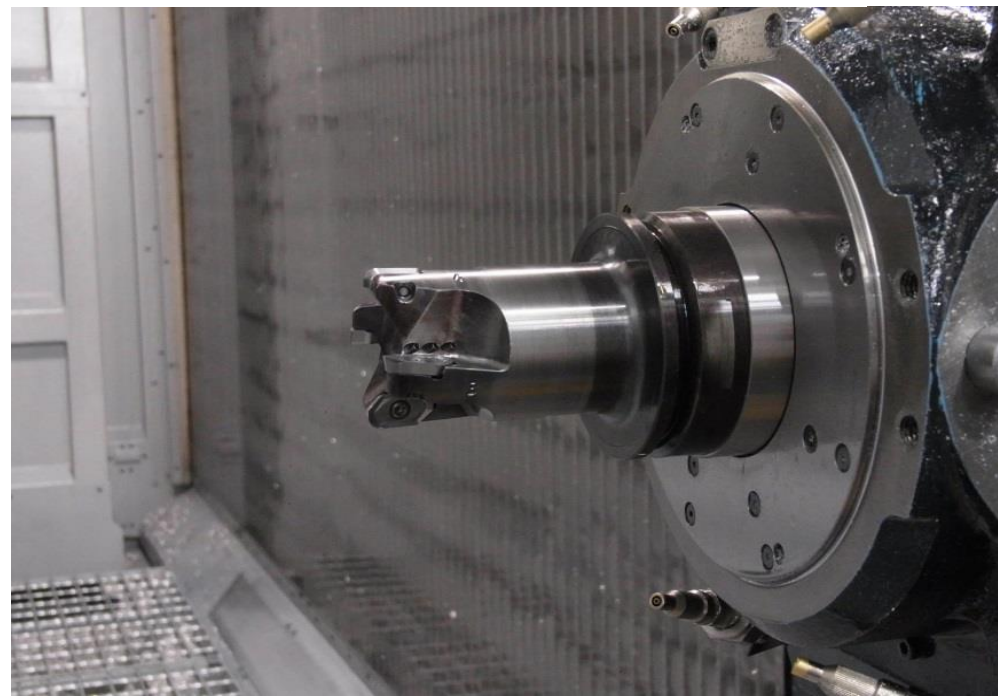
びびり振動発生で手仕上げ作業が増加

航空機アルミ部品の機械加工時間削減のために  
超高速加工機の適用が広がっている

- ①横型
- ②高速高出力主軸(80kW, 30,000rpm以上)
- ③高速送り(50m/min, 0.5G以上)



横型超高速加工機



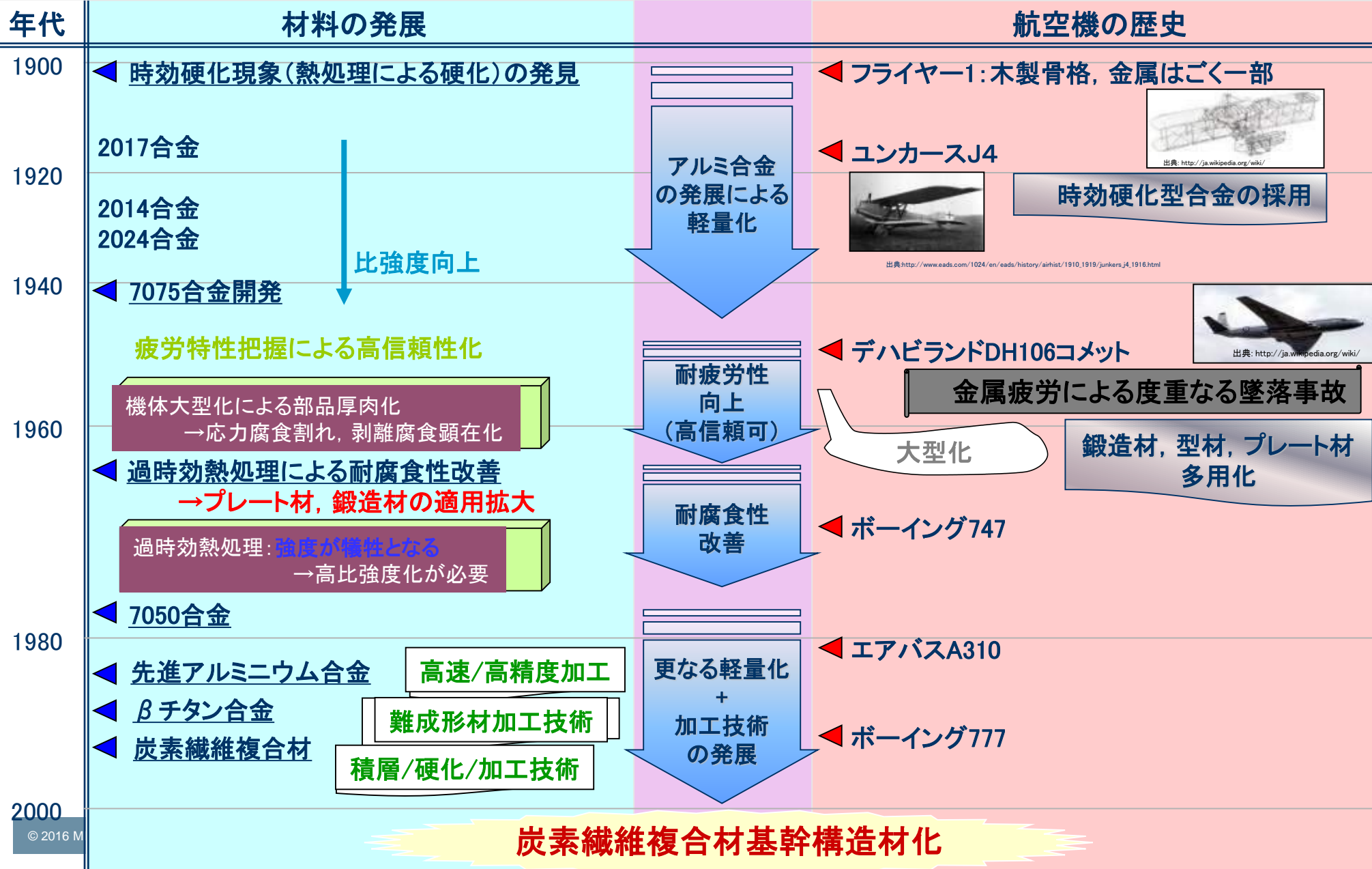
Da50mm 荒加工用カッター

切粉排出量は**最大8,000cc/min (荒加工時)**に達する。

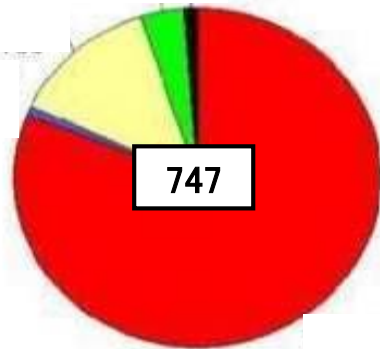


# 6. 複合材製造技術の紹介

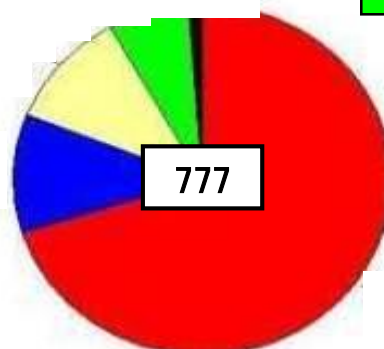
## 航空機構造の材料変遷



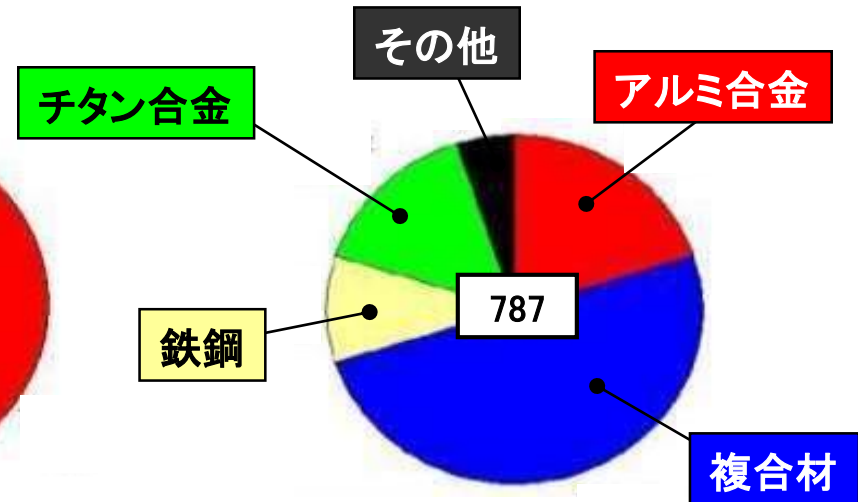
### ボーイング機種使用材料の推移



1970年代

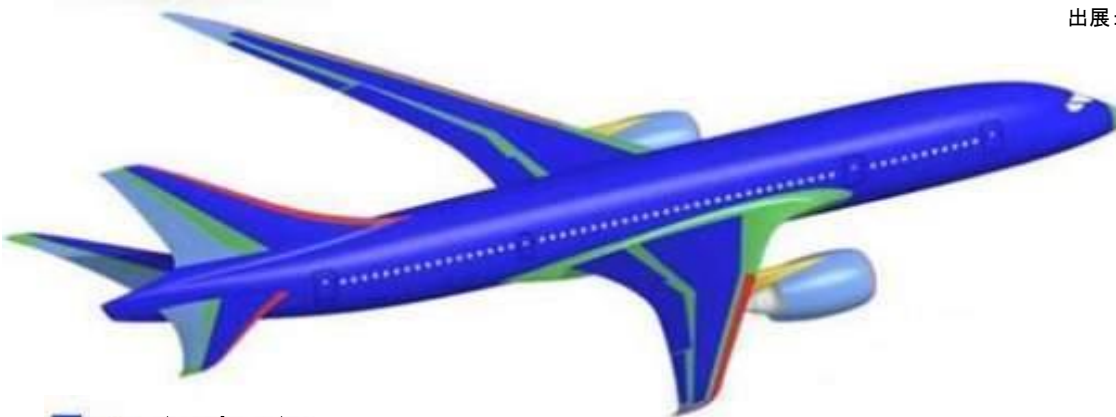


1990年代



2000年代

出展: 平 博仁「航空機へのアルミニウム合金適用の現状と今後の展開」軽金属, 56 pp.588-591 (2006)6



- CFRP (ラミネート)
- CFRP (ハニカムサンドウィッチ)
- GFRP
- アルミニウム

主翼, 胴体にも複合材を使用  
 複合材使用量: 35t/機

#### -複合材化の効果-

- 軽量化による燃費改善
- 耐腐食性良好のため整備負担削減
- 加湿可能化による客室環境改善

出典: [http://www.carbonfiber.gr.jp/english/tanso/images/plane02\\_b.jpg](http://www.carbonfiber.gr.jp/english/tanso/images/plane02_b.jpg)

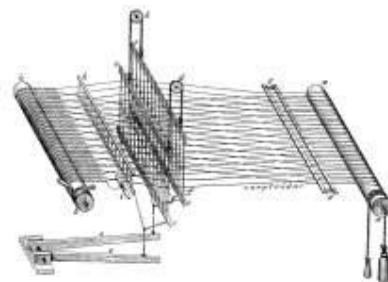
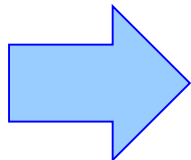


### 1. 最初は糸



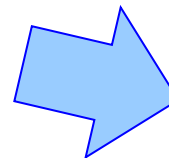
出展: 東レHPより

(素材は炭素やガラス)



出展: Wikipediaより

束ねたり編んだりして繊維にする



### 2. 次に繊維

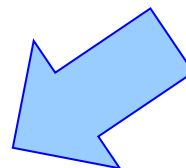
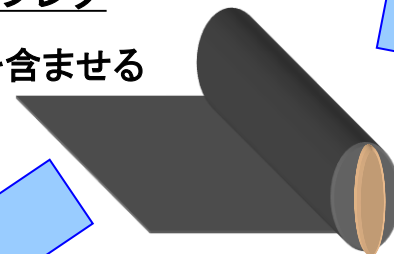


出展: Twaron HPより

引張強度は高いが  
このままでは形状保持できない

### 3. プリプレグ

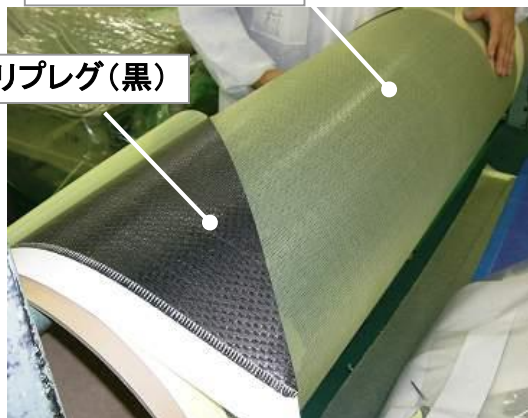
樹脂を含ませる



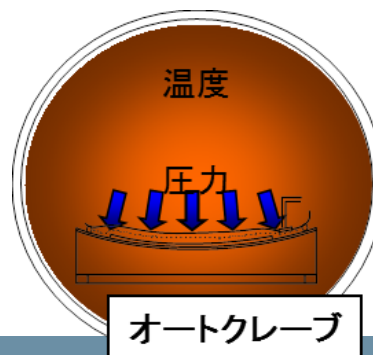
### 4. 成形型に積層

保護フィルム(黄)

プリプレグ(黒)



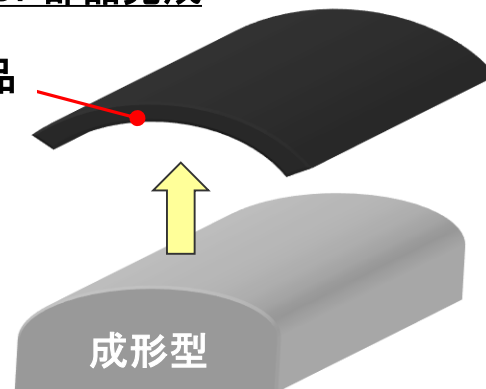
### 5. 硬化



オートクレーブ

### 6. 部品完成

部品



硬化した樹脂が形状を保持



### 大型民間機の複合材主翼

### 複合材一体接着方式



サイズ： 5.3m×29.4m



出展：Boeing社 HPより

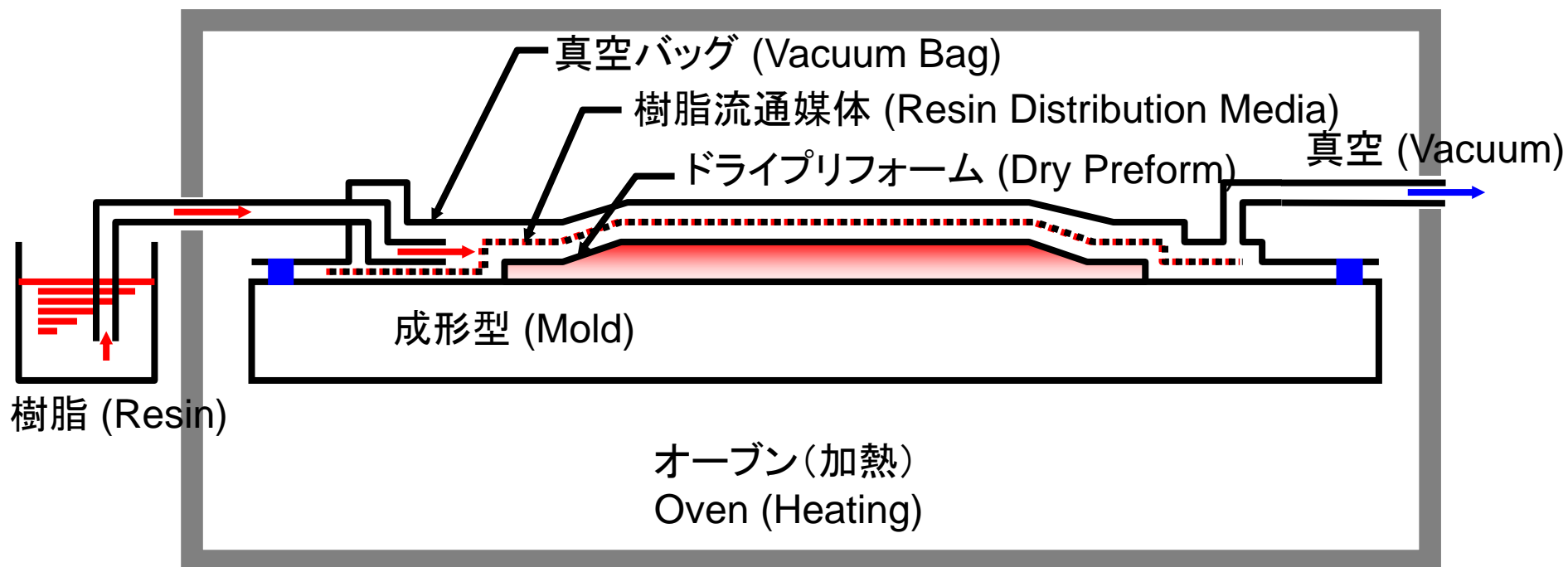


設備：圧力釜（オートクレーブ）



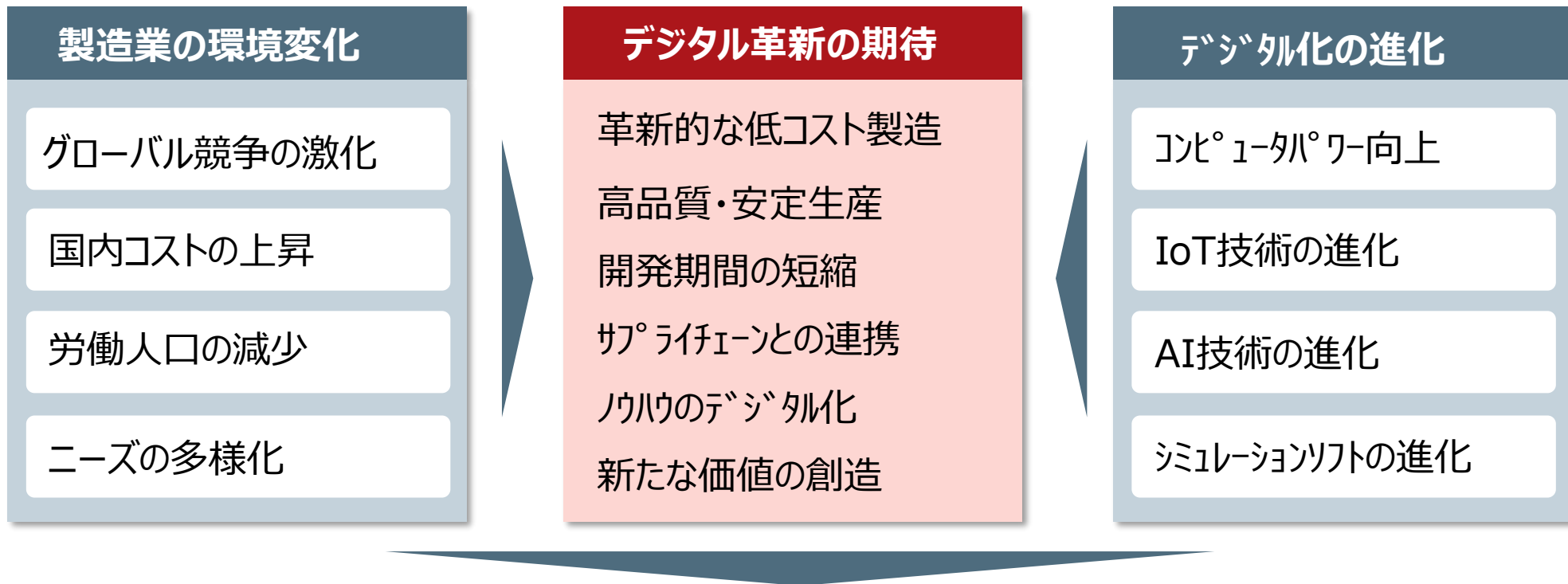
### VaRTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)

- ドライプリフォームに樹脂を真空吸引して硬化  
→ 高価なオートクレーブ設備不要
- 管理の容易なドライプリフォームの使用で低コスト化



## 8. デジタル技術の紹介

コンピュータパワーの向上、通信ネットワーク、AI技術の進化により、過去に経験したことのないスピードでデジタル革新が進行中。 様々なアプリケーションが開発され期待が膨らんでいる

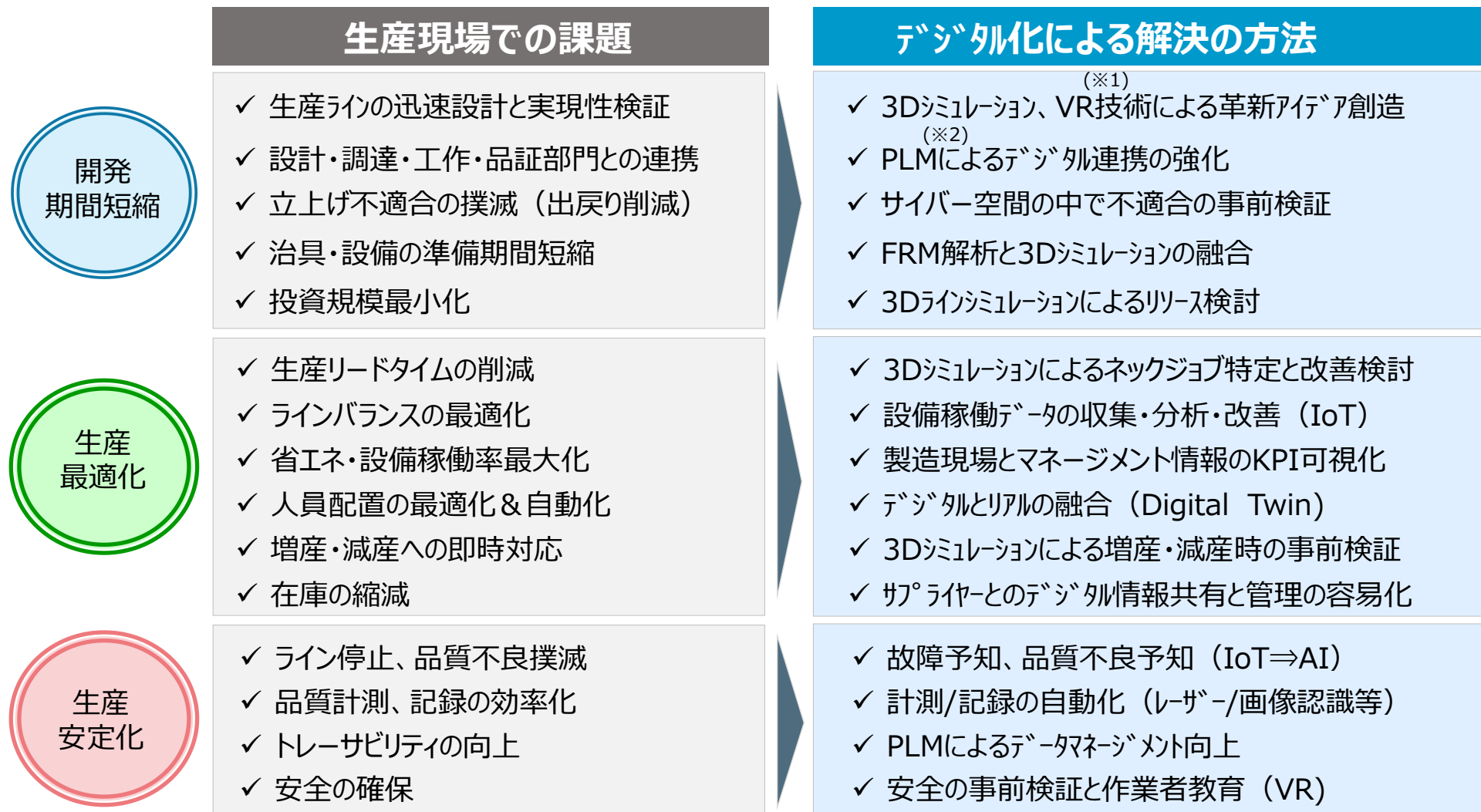


デジタル化による技術革新のスピードが速く、日本企業の遅れが顕在化。  
(経産省発行の「デジタルトランスフォーメーション (DX) にむけた報告書」 参照<sup>\*</sup>)  
先行する欧米企業に対し、生き残りをかけて追いつかねばならない。

<sup>\*</sup><https://www.meti.go.jp/press/2018/09/20180907010/20180907010.html>

## 8. デジタル技術の紹介

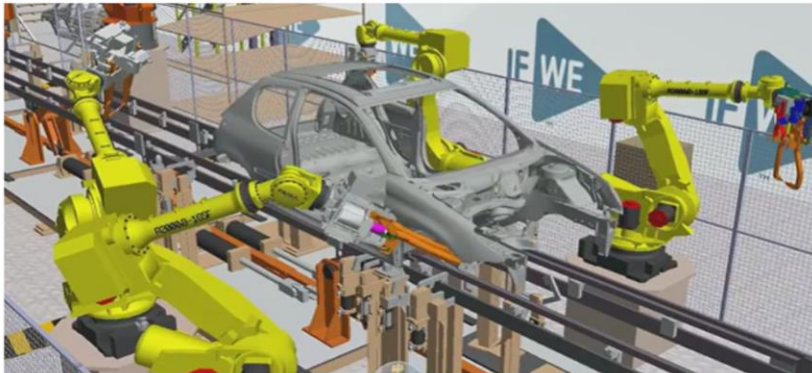
デジタルの進化によって、従来実現できなかった生産現場での課題を様々デジタル機器/ソフトウェアにより解決できるようになりつつある。



## 8. デジタル技術の紹介

3Dデジタルシミュレーションでライン構築と検証後、そのデータはリアルライン製造に活用される。

### 3Dデジタルシミュレーション

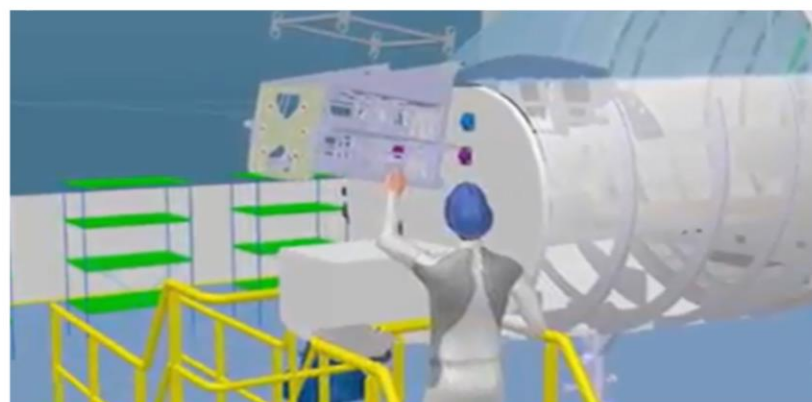


出典： Robot Programmer in the Transportation & Mobility | DELMIA  
URL： <https://www.youtube.com/watch?v=sUrXHsx3nnk>

### リアル製造ライン

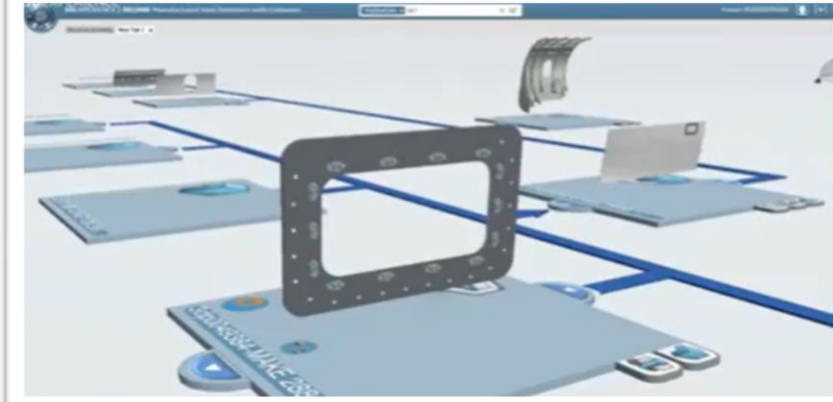


### 3Dデジタルシミュレーション



出典： Process Planning for Aerospace and Defense | DELMIA  
URL： <https://www.youtube.com/watch?v=2EB-LyDF5fQ>

### プロセスのデジタル定義



作業指示、品質保証、コスト管理のベース

### 【参考】

#### ①主翼生産ラインのデジタルシミュレーション動画

Future Lean Wing Factory Simulation in 3DEXPERIENCE - LOCOMACHS

<https://www.youtube.com/watch?v=jmmNTUKsyug>

#### ②自動車生産ラインのデジタルシミュレーション動画

DIGITAL FACTORY SIMULATION (DMWORKS)

<https://www.youtube.com/watch?v=1yL7sUxPYCo>

#### ③エアバスの将来工場のコンセプト動画

Airbus future factory

[https://www.youtube.com/watch?v=w2Qsqy2\\_Bg](https://www.youtube.com/watch?v=w2Qsqy2_Bg)

#### ④エアバスの自動組立工場 動画

<https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2019/10/airbus-inaugurates-new-a320-structure-assembly-line-in-hamburg.html>

デジタル技術が競争力の源泉に！

民間航空機とは、100万点の部品が合体すると、鳥のように動き、人々の生活を豊かにする、素晴らしい製品。

多くの人々が夢を持って参画して欲しい。

しかし、隙間に陥ると、一瞬にして多くの生命を奪い取る凶器にもなる。

これから求められる航空機エンジニアとは、飛行機の面白さと怖さを知り、あらゆる技術側面に目を向け、あらゆる人間に興味を持ち、「隙間を無くすことに全力尽くす人」のことではないだろうか。

航空機業界はCOVID-19のインパクトで戦後最大の危機に陥っている。  
だが「必ず復活」する。

その時まで一時退避し、復活の準備を怠らないこと。

2020.12.5 石川彰彦

**MOVE THE WORLD FORWARD**

**MITSUBISHI  
HEAVY  
INDUSTRIES  
GROUP**