

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

1. 航空機製造ってどんなもの

航空機の製造とは100万点部品の**奇跡の合体ショー**



高い安全性が求められシステムがどんどん複雑に。
 何十万人が関与、気が遠くなる根気のいる作業。
たやすく作れない製品
→だからこそ面白い

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のと並行して、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仕分けって何？

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、APU、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-BOM、 製造用の系列 M-BOM の二つがある。

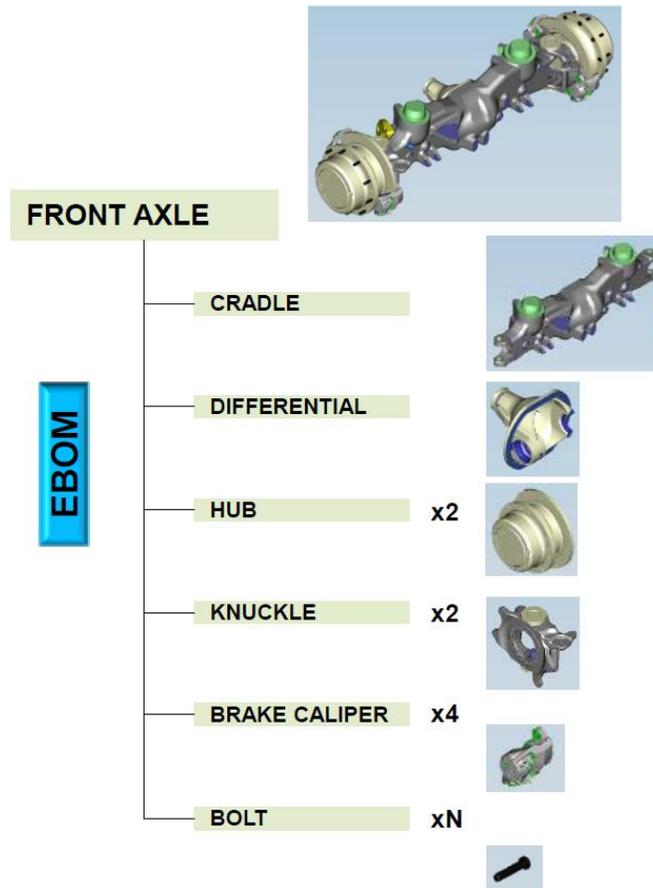
E=M が基本だが、製造が独自に部品番号を付けて管理する場合（Manufacturing Numberという）はE≠M となることがある。

正しい飛行機を作るには正しいBOMを構築すること

・ BOMって何？

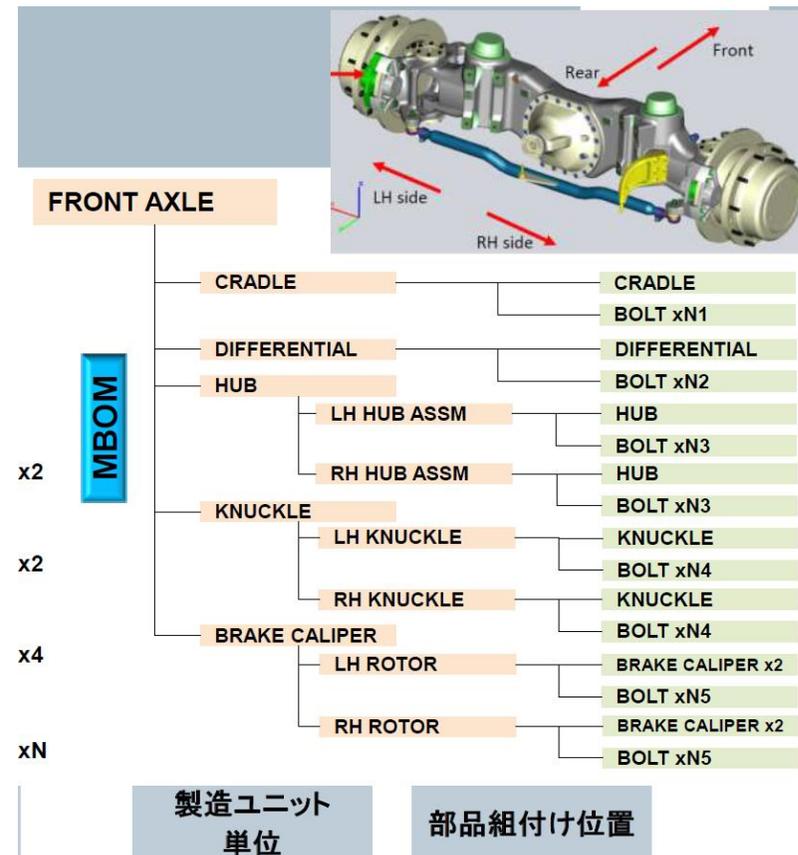
設計系列(E-BOM)

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 (MANUFACTURING ASSEMBLY PART LIST)																							
機種 777												DATE 2018.04.12	PAGE 1 / 2										
MDL	製造組立番号	REV	CL	JOB NO	部品名称	SEG	BOOK NO	IDNO	号機	担当													
FP1	131W1102-1201-9101			221L0100	MAJOR A	:221	1/4NL	298501	02567	NYDO													
M S	PL,SMP,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	訂符	REC	Remarks (SHT./ZONE)
				部品番号	名称											PLAN情報	スタート						
				**** APPLICATION ****																			
				**** PARTS LIST ****																			
				131W1001-9111N				221	010	004	31	FLA				2567	9996	1	EA	N			
				131W1110-1103-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1110-1203-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1103	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1203	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1303	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1405-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1503-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1607-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1707	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1803	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1131-1903	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1141-1103	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1141-1203	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1141-1303	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1141-1403	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1141-1503	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1142-1103	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1142-1303	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1142-1503	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1143-1103	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1143-1303	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1143-1403	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1143-1503	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1144-1103-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1144-1505	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1145-1103-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1145-1203-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1145-1303	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1146-1103	A						11					2567	9996	1	EA	N		1	
				131W1146-1403-911							31	LF				2567	9996	1	EA	N		1	
				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)

區区分	LEVEL	号機	標種	MAPLNO	MSHOP	NEXTASSY	共通区分	PARTNO	START	END	QTYASSY	QTYSHIP	UNIT	仮付	SEGNO	ECCD	SPOS	CPGS	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	006		FRA-A	NB20	LF
M	05	01059	T	146T1211-43-901	NB20	146T1211-43	M	146T1262-3	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	BACF3T01G767	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	146T5011-29	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	452T120-76	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	BACN10K0808F	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	BACB30M9K8	01020	01069	3	3	EA	REM	255	74				" BOLT, HEX HEAD"		
M	06	01059	T	146T1213-46-901	NB20	146T5010-2	K	BACF3F09K068NN	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	146T0201-9	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								SUPPORT 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		SKIN	N220	PLA
M	03	01059	T	DCAC-146T0200-300F-9500	N220	146T1209-42	M	146T1209-42-9502	01002	01063	1	1	EA		255	31	008	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																					

・ インターフェース管理に注力せよ

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。

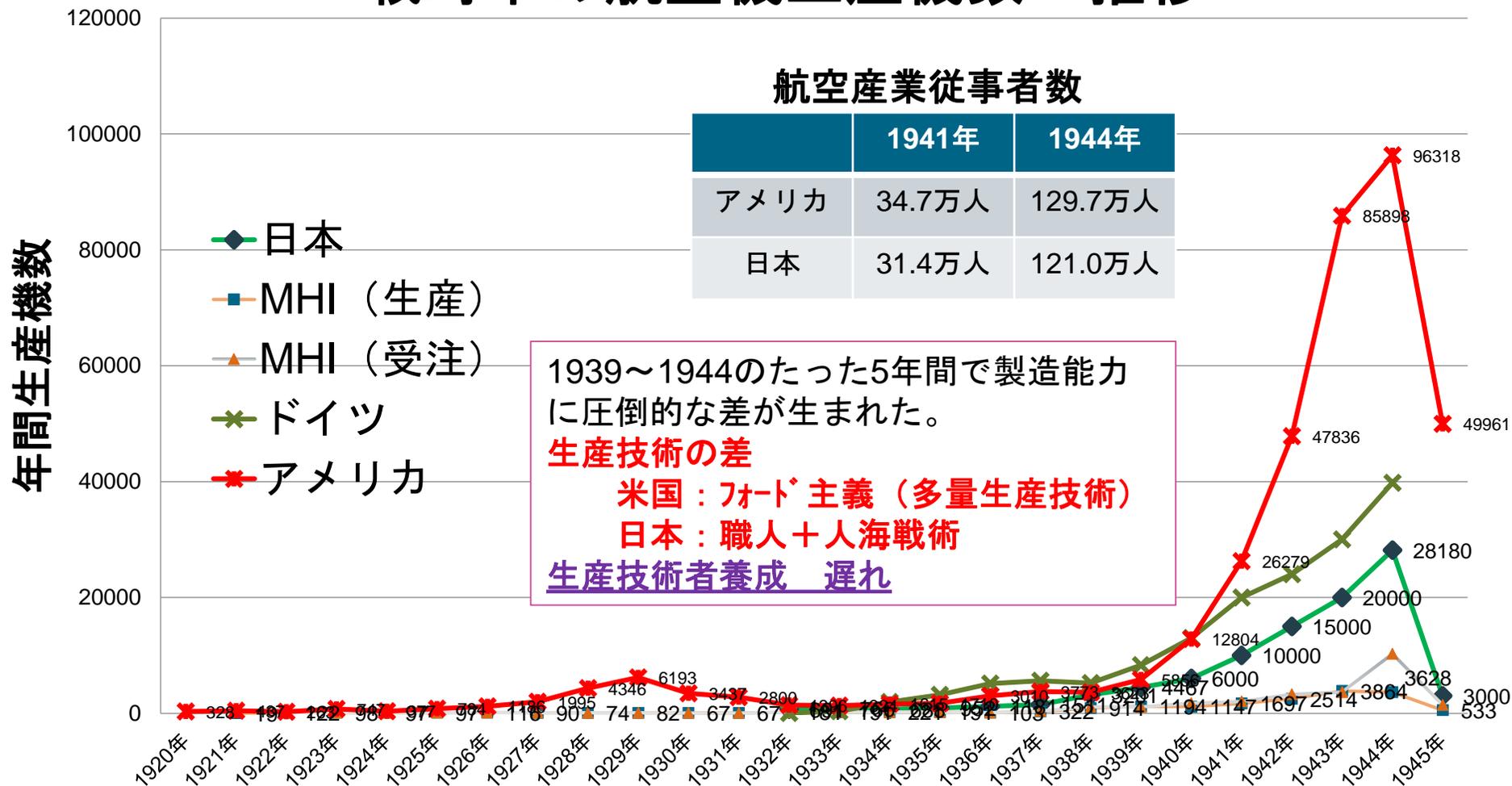
多すぎるとがんじがらめだが、応用動作で基準を変えてしまう行為は決して許されない。

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

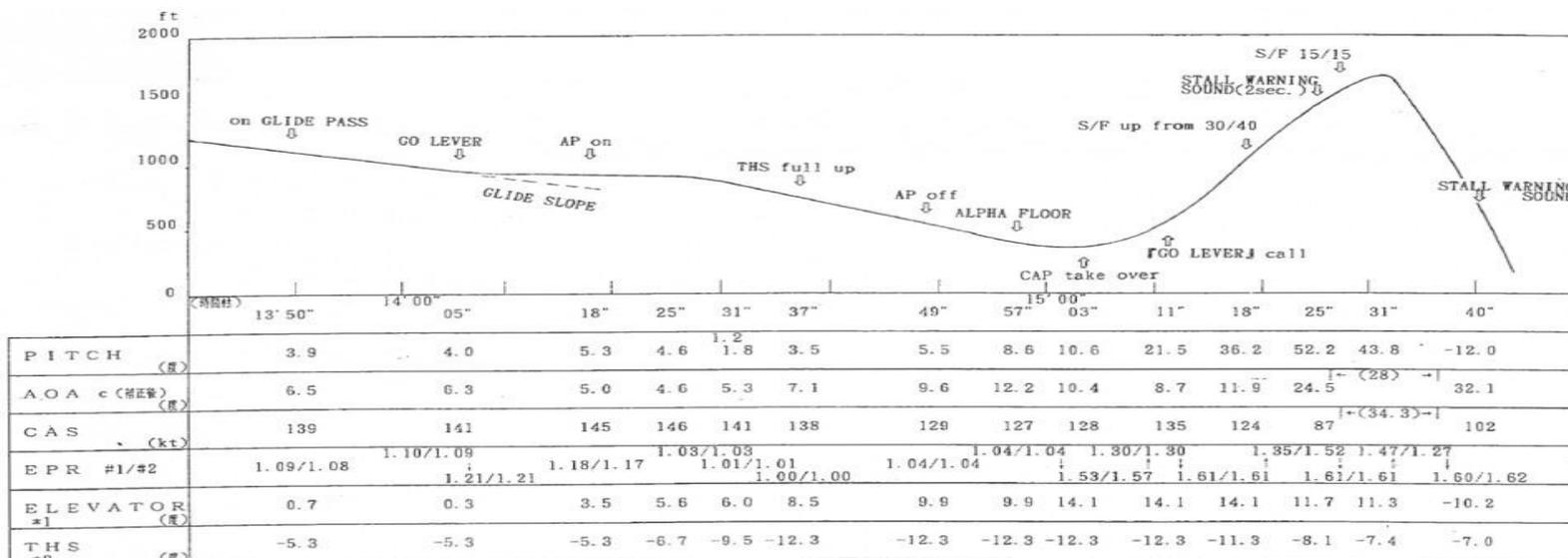
身近な航空事故を通じて航空機の危うさ、恐ろしさを体験した。

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（振じり角、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

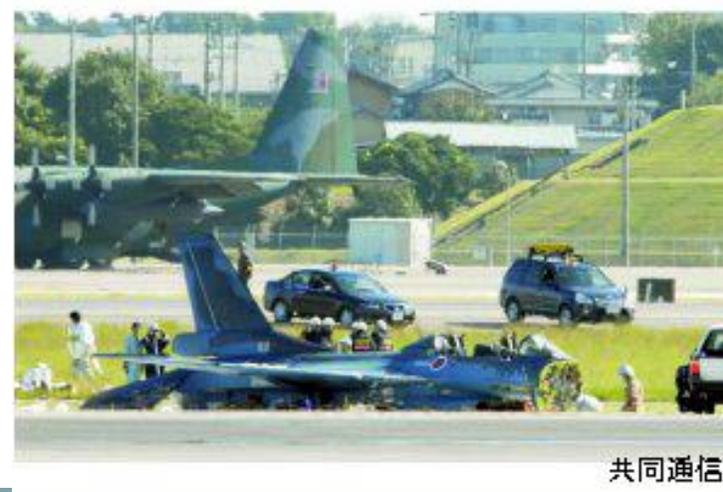
2007年10月31日 F-2B (#8126) が離陸後直ぐに名古屋空港に墜落。三菱重工テストパイロット2名が重傷。

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。

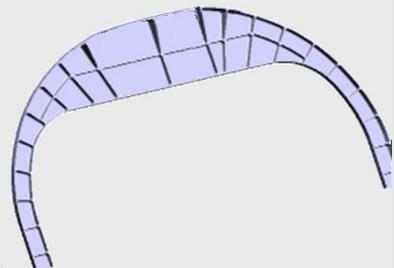
しかし人間は想定しないことをやろうとして飛行機を落とす。

技術者はどこまで想定して設計すれば良いのか。

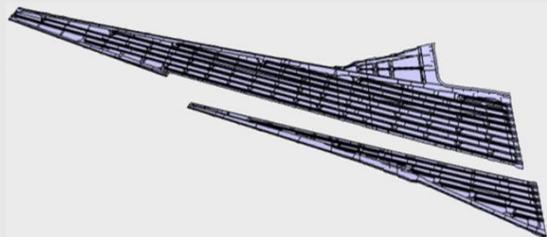


4.主要構造と各種加工技術

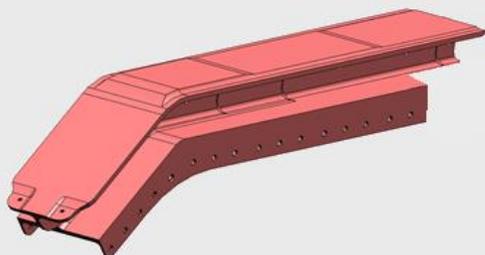
胴体構造部材 (高強度アルミ合金)



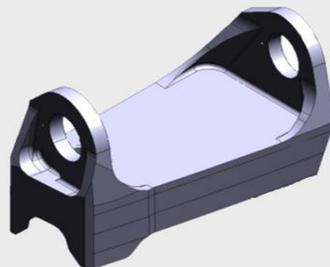
主翼構造部材 (高強度アルミ合金)



動翼レール (高強度鋼材)



脚廻り金具 (大型Ti合金)



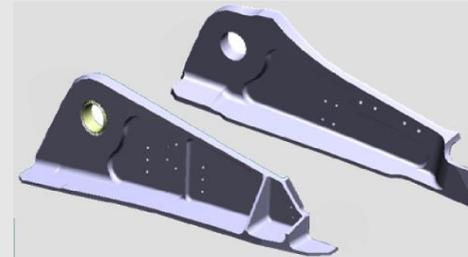
尾翼構造部材 (複合材料)



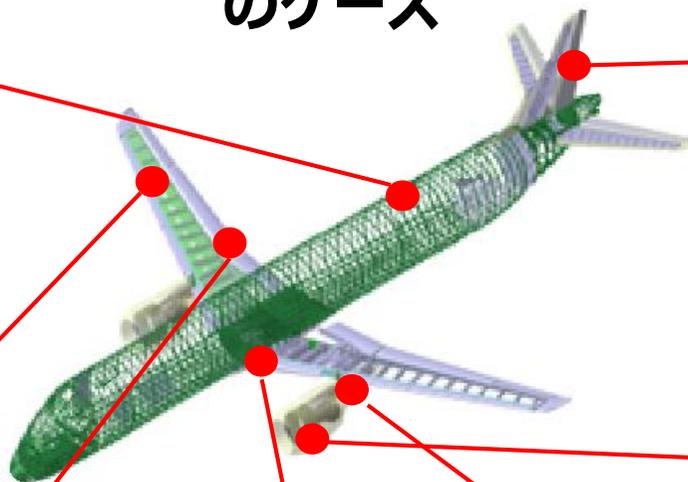
エンジン (Ni基耐熱合金)



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

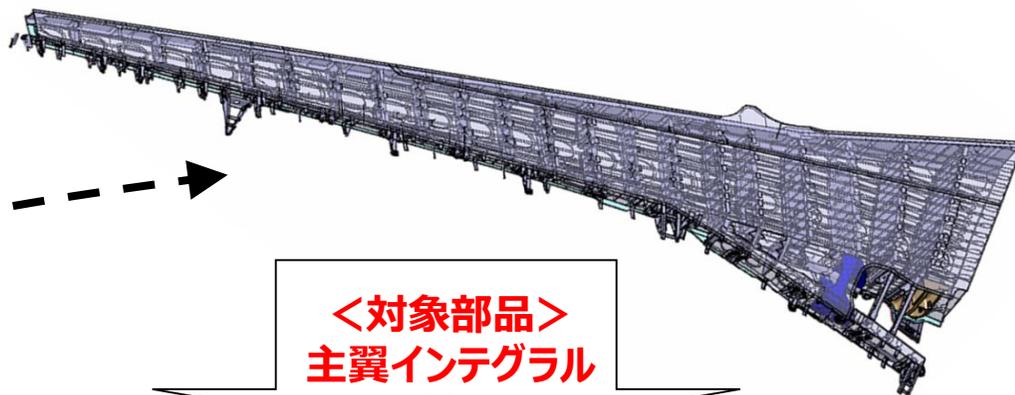
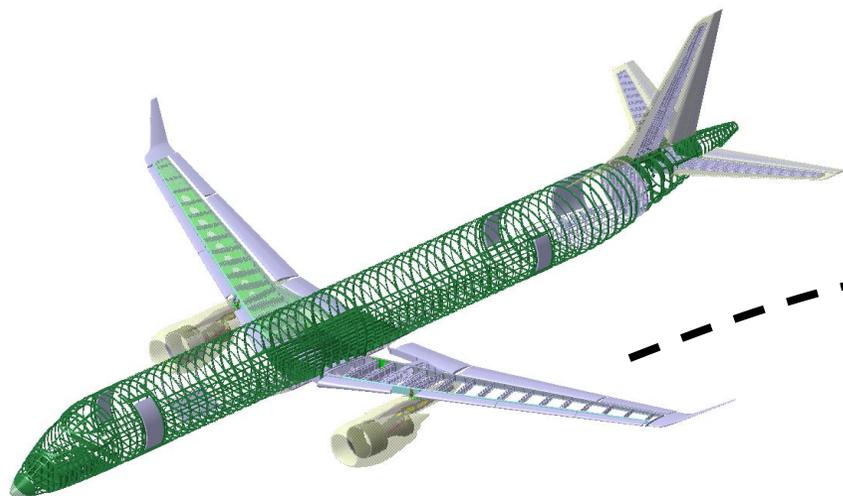
自動打鋌システム

画像認識システムによる
外観検査

レーザー位置決め

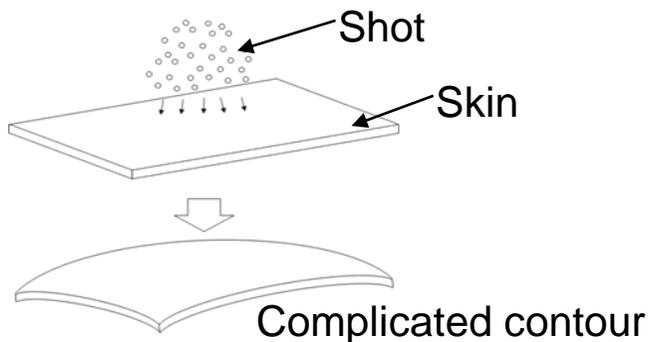
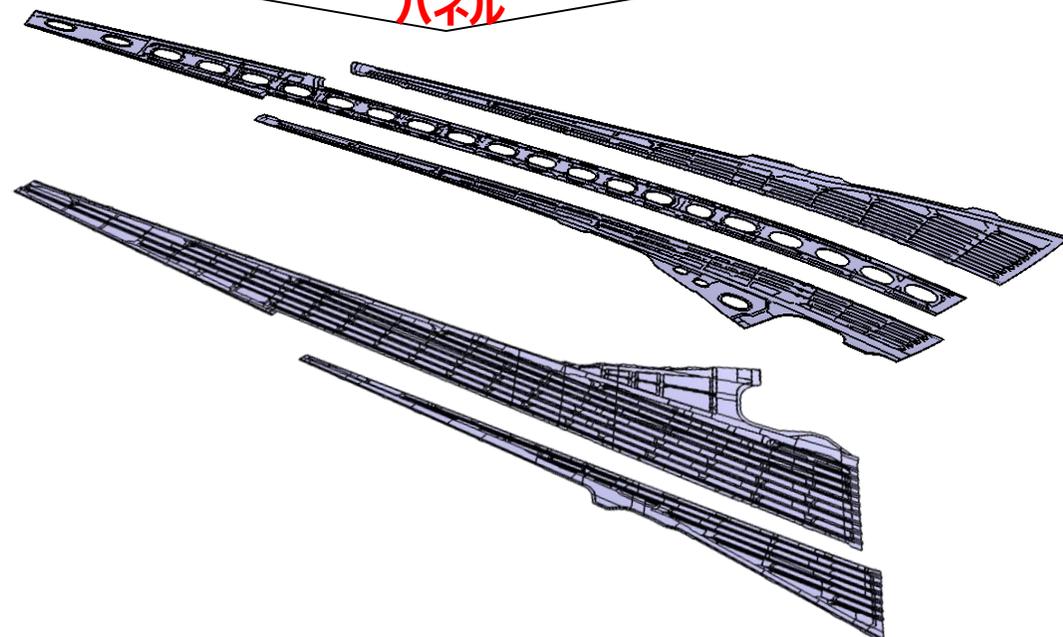
デジタルシミュレーション

⋮

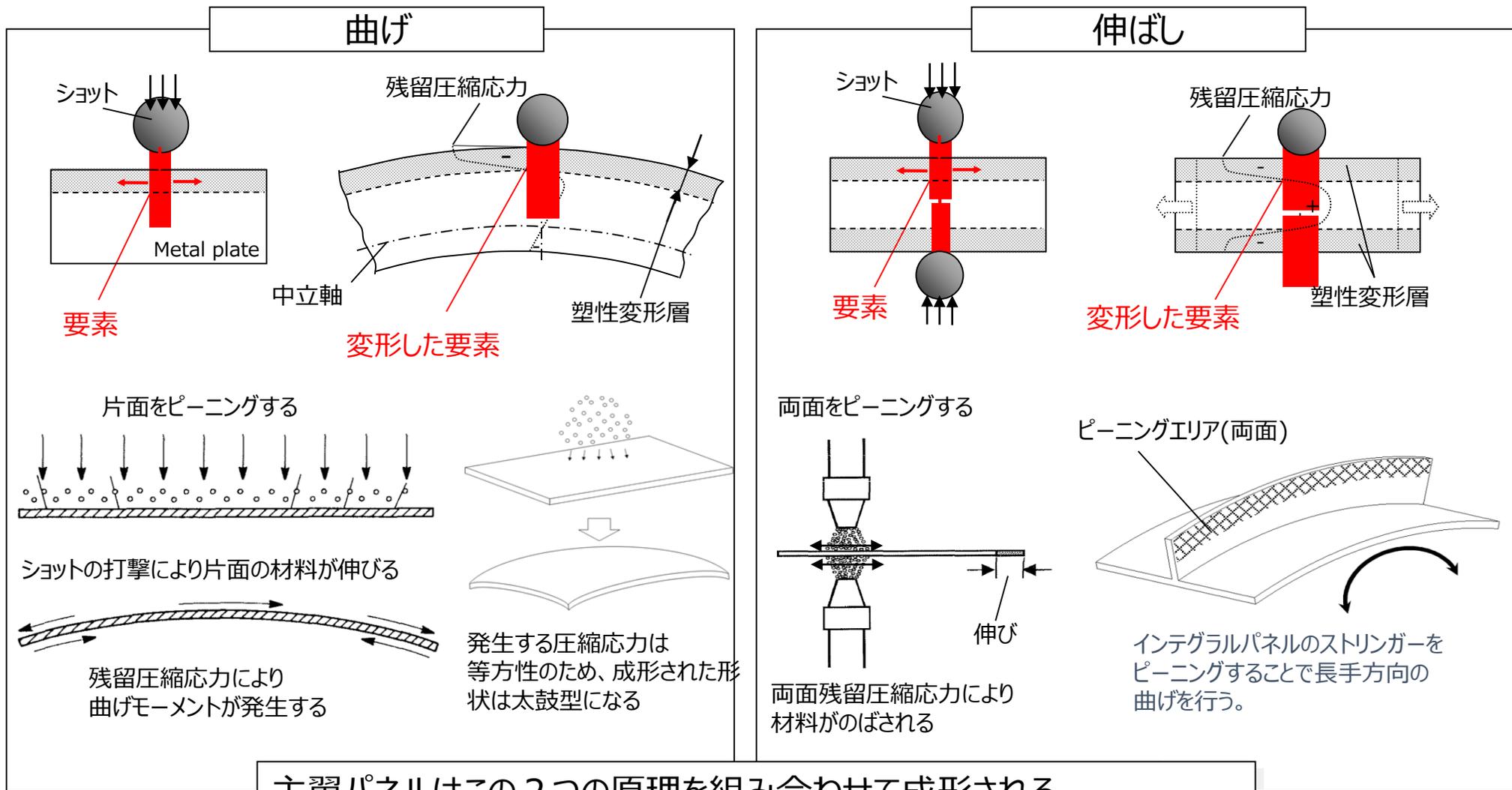


＜対象部品＞
主翼インテグラル
パネル

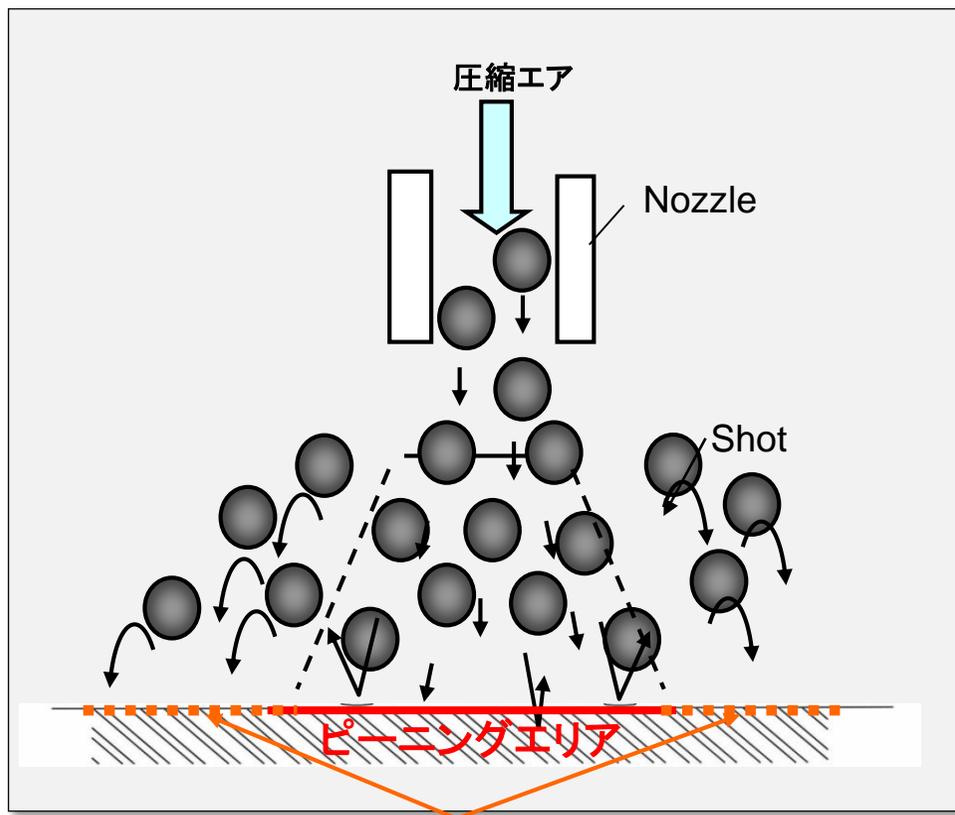
- ✓ ショットピーニングを板材の片面のみに行い、表裏の応力差により曲率を付与する加工法。
- ✓ 型や治具を用いずに複雑な曲面を形成することができる。



ショットピーニング原理



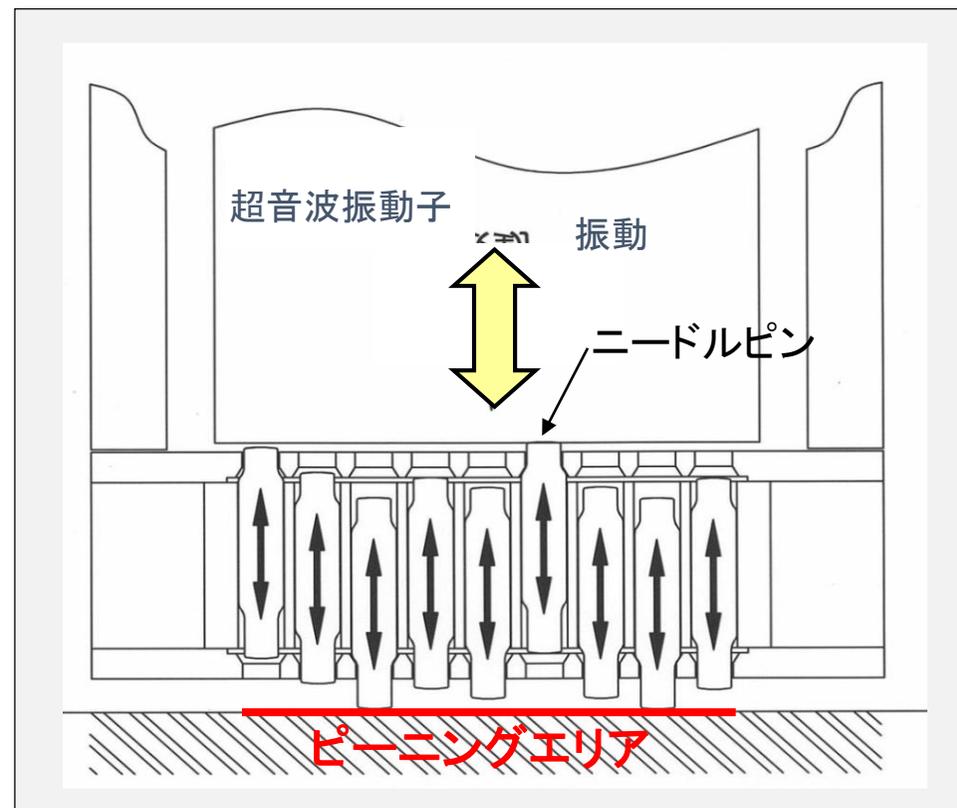
従来



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。

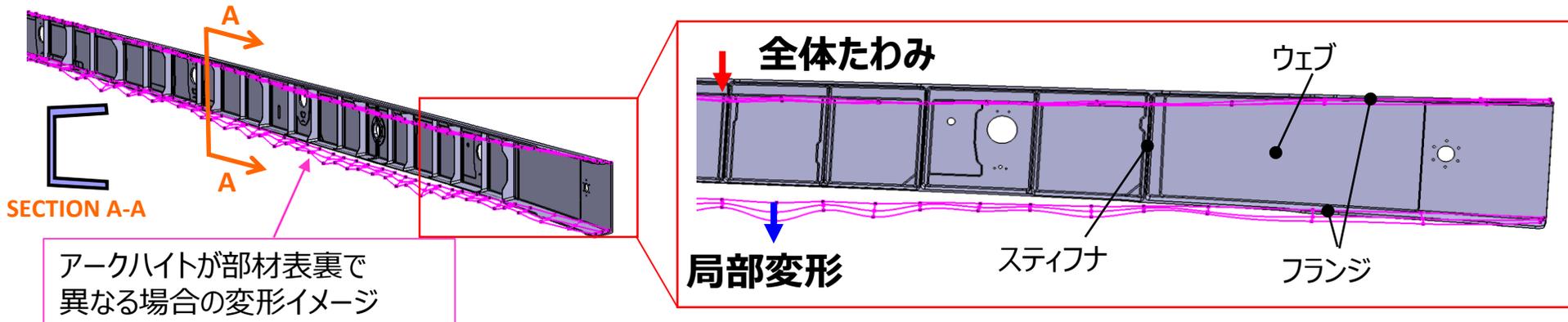
超音波ピーニング成形



部分超音波ピーニング成形



代表：コの字断面部品

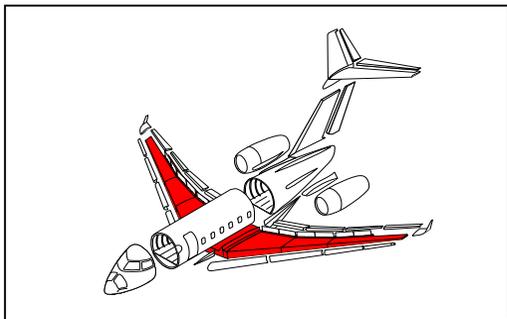


アーカハイトが部材表裏で異なる場合の変形イメージ

局部変形	全体たわみ
<p>フランジ内側のアーカハイトが高い場合 →コの字断面が開く方向に変形が生じる</p> <p>SECTION A-A</p>	<p>フランジ上下でアーカハイトが異なる場合 →アーカ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</p>

ショットピーニング歪抑制の為には、部材表裏のアーカ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



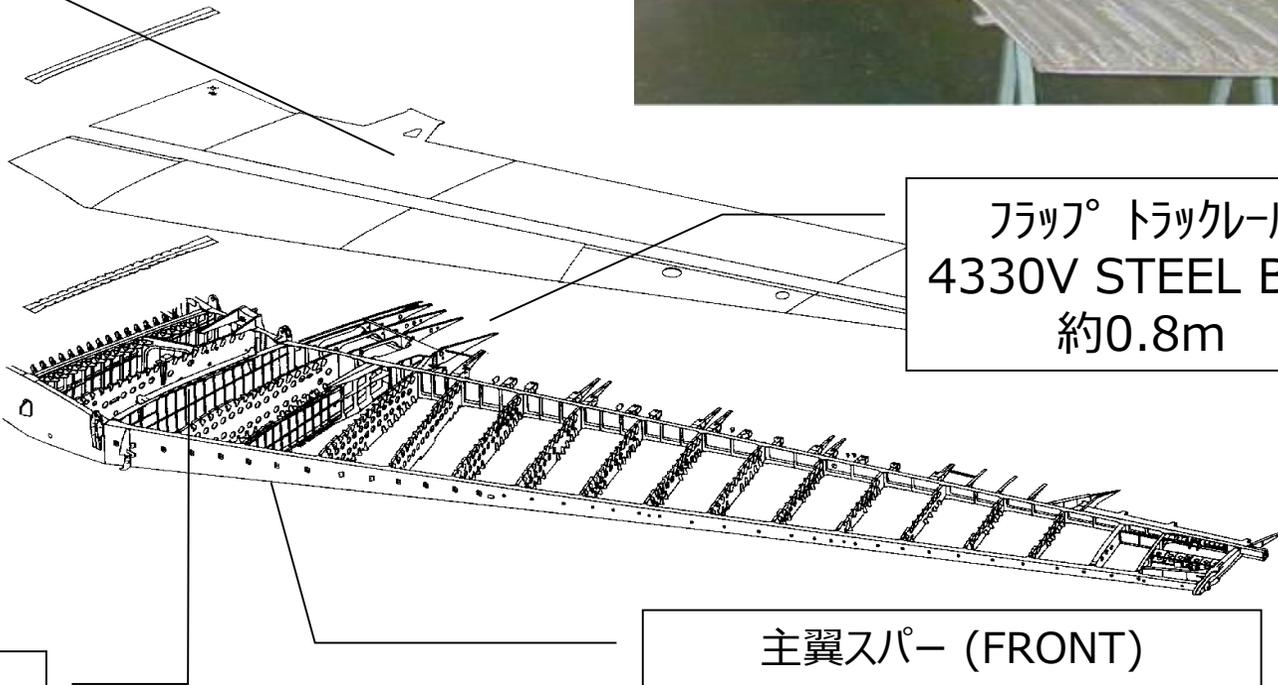
主翼スキン (AFT)
7050-T7451 PLATE
約10m



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

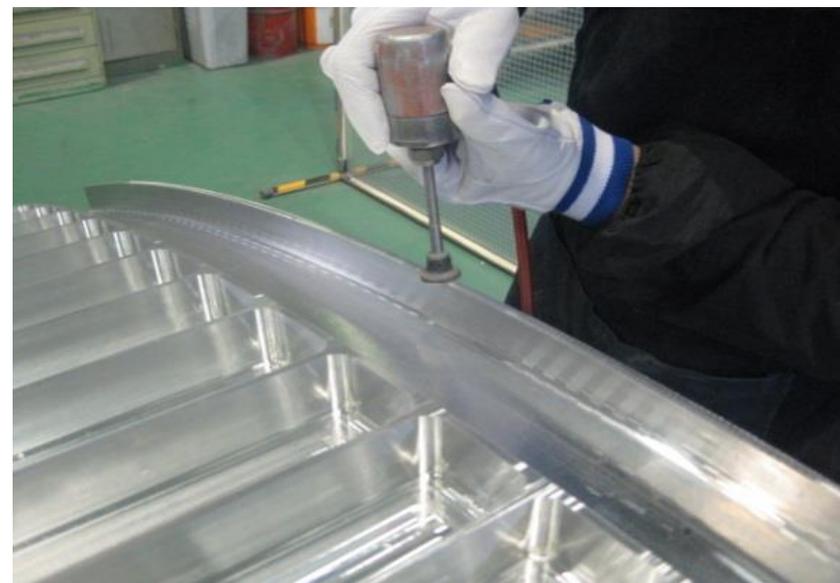
代表的な機械部品



びびり振動の例

びびり振動が引き起こす問題

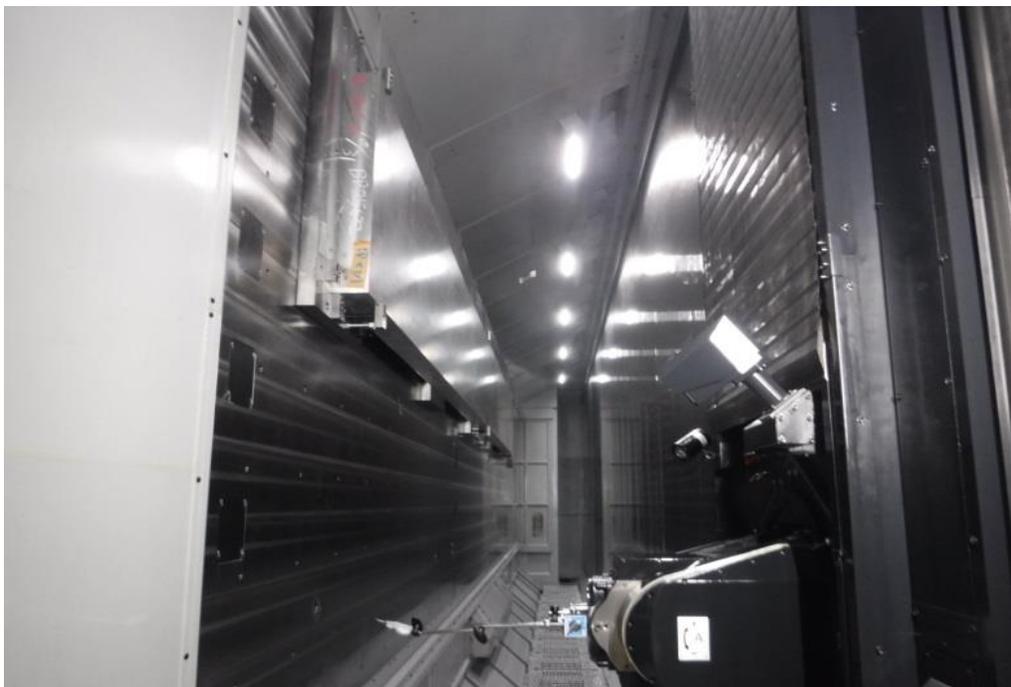
- 板厚過小などの不良発生
- 手仕上げ修正の増加
- 工具の破損



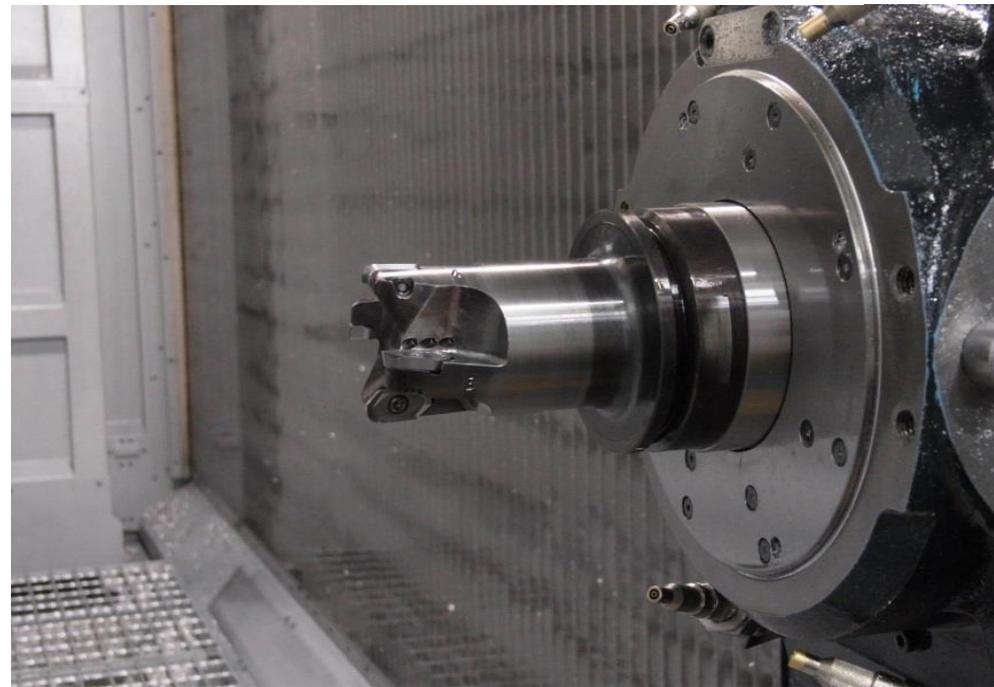
びびり振動発生で手仕上げ作業が増加

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

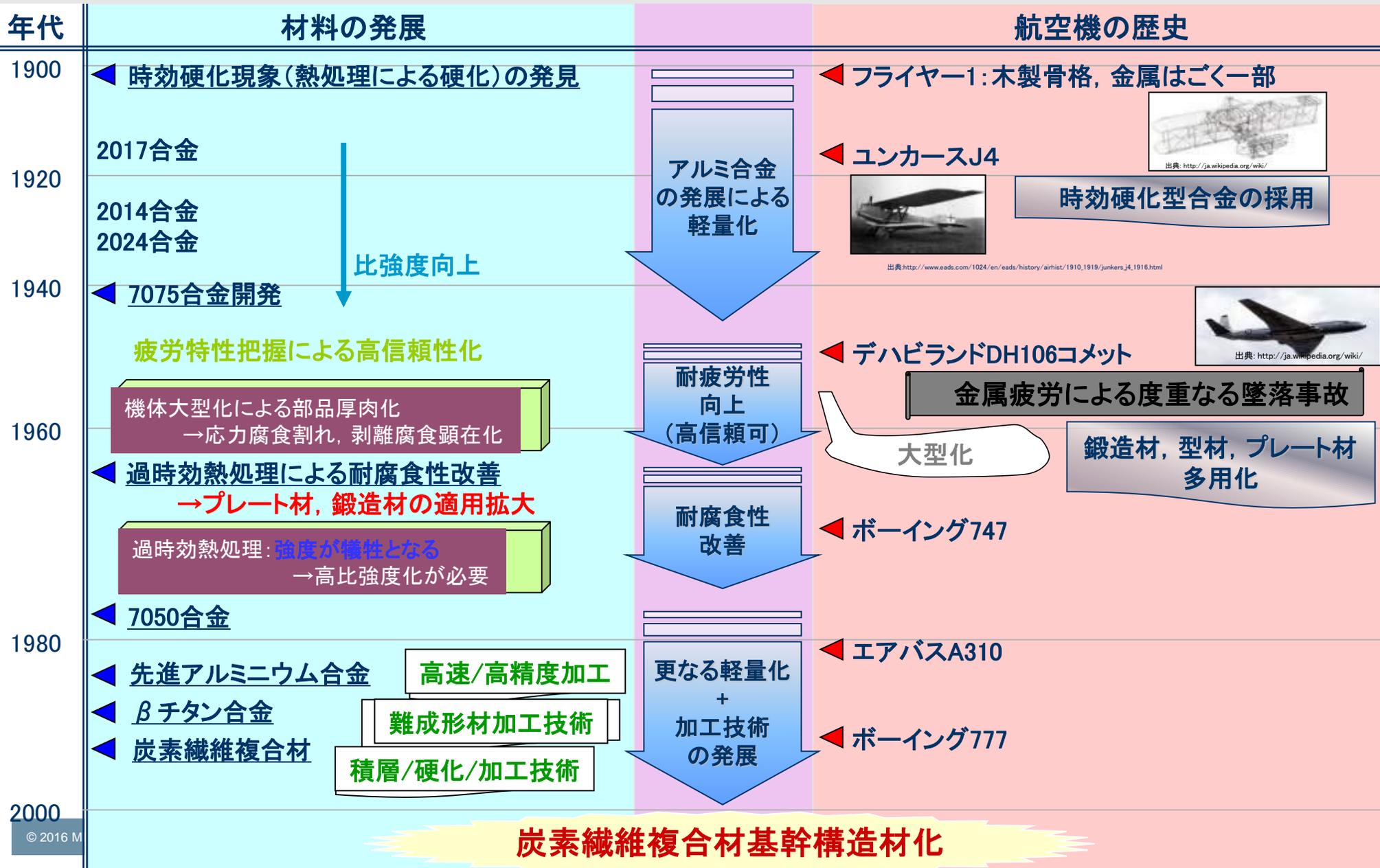


Da50mm 荒加工用カッター

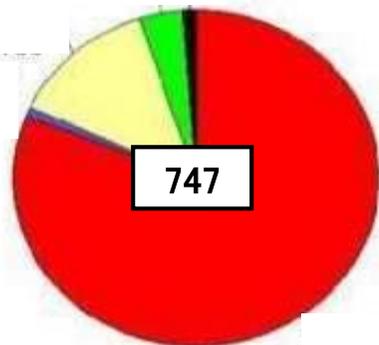
切粉排出量は**最大8,000cc/min (荒加工時)**に達する。

6. 複合材製造技術の紹介

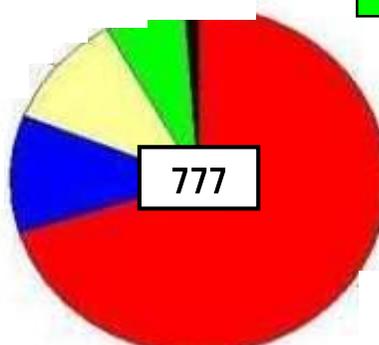
航空機構造の材料変遷



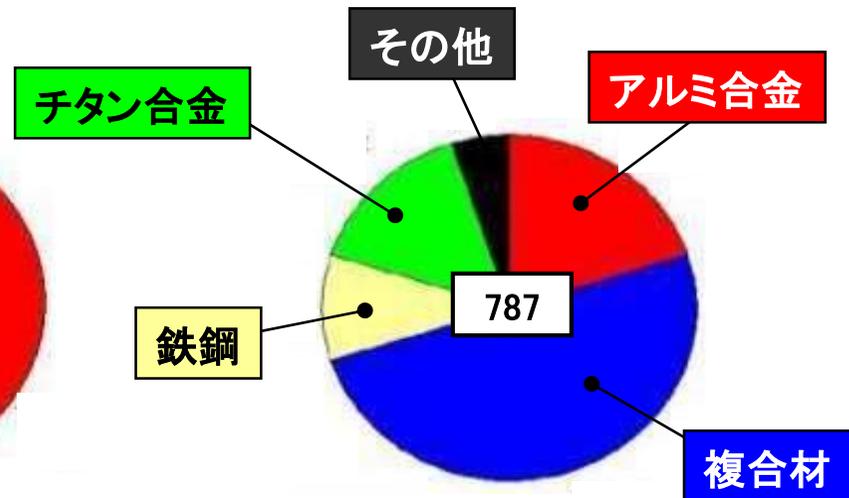
ボーイング機種使用材料の推移



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

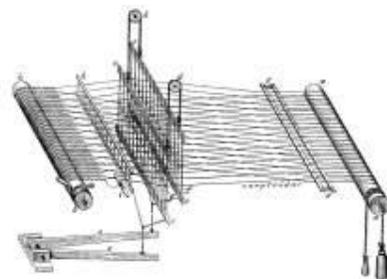


1. 最初は糸



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

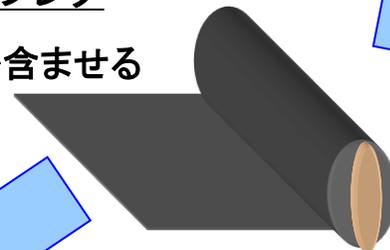


出展: Twaron HPより

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

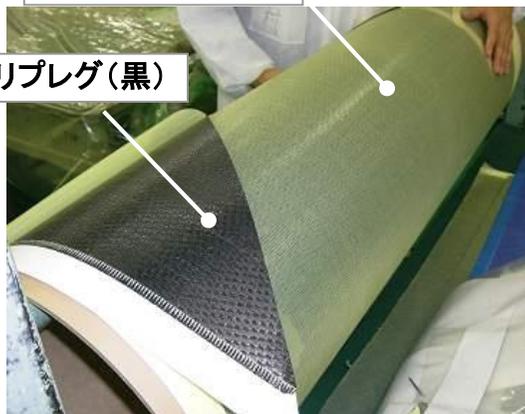
樹脂を含ませる



4. 成形型に積層

保護フィルム(黄)

プリプレグ(黒)

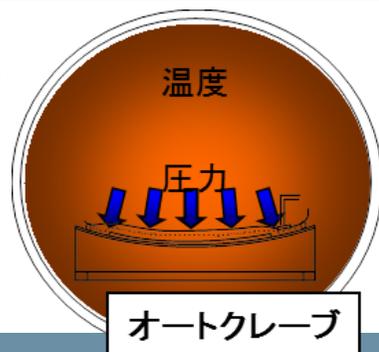


5. 硬化

温度

圧力

オートクレーブ

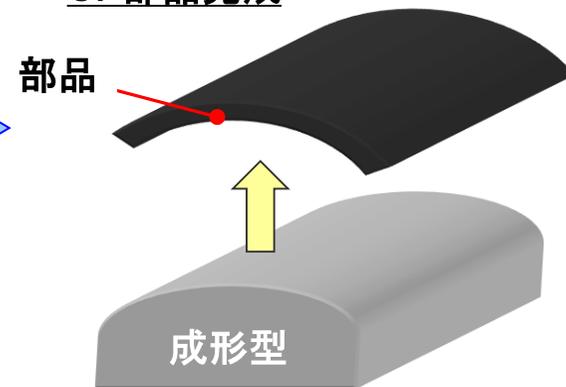


6. 部品完成

部品

成形型

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



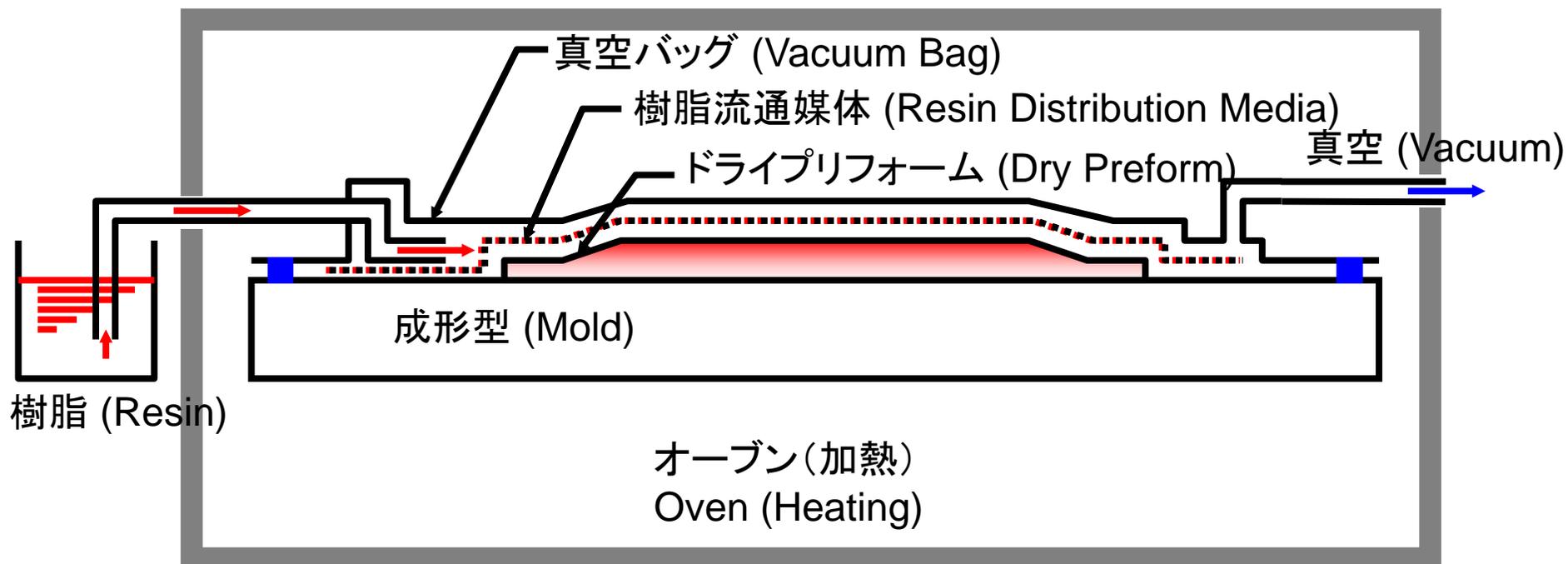
出展：Boeing社 HPより



設備：圧力釜（オートクレーブ）

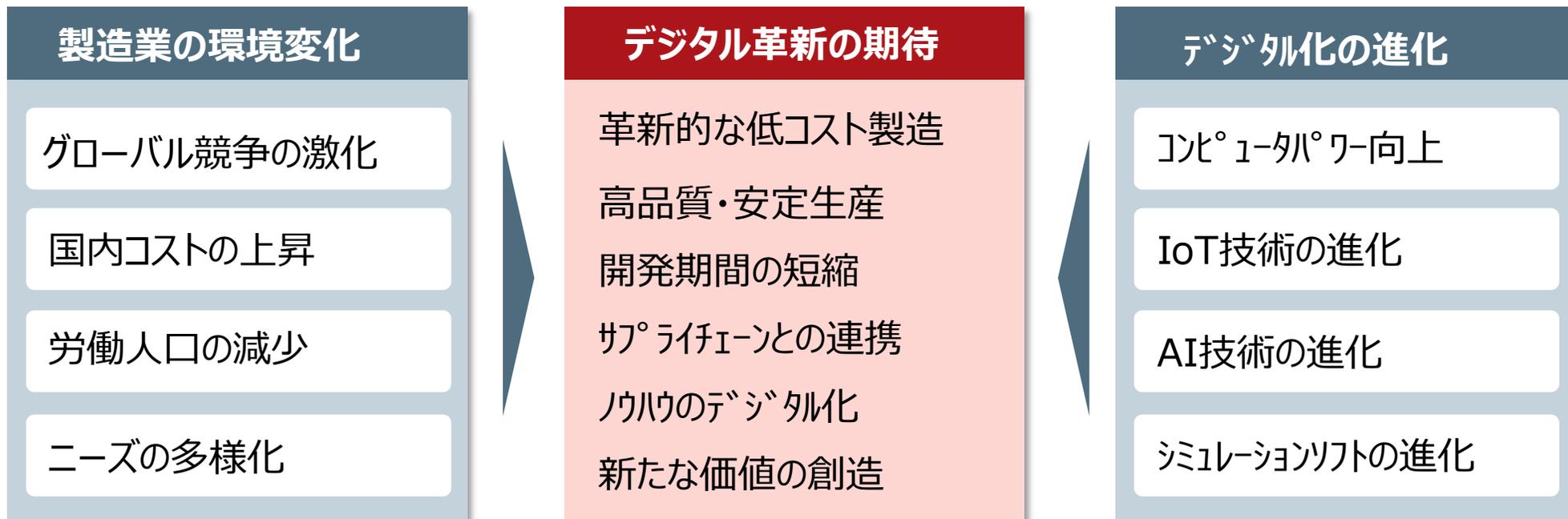
VaRTM (Vacuum Assisted Resin Transfer Molding)

- ▶ 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^{*})
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。

※<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。

開発
期間短縮

生産現場での課題

- ✓ 生産ラインの迅速設計と実現性検証
- ✓ 設計・調達・工作・品証部門との連携
- ✓ 立上げ不適合の撲滅（出戻り削減）
- ✓ 治具・設備の準備期間短縮
- ✓ 投資規模最小化

生産
最適化

- ✓ 生産リードタイムの削減
- ✓ ラインバランスの最適化
- ✓ 省エネ・設備稼働率最大化
- ✓ 人員配置の最適化&自動化
- ✓ 増産・減産への即時対応
- ✓ 在庫の縮減

生産
安定化

- ✓ ライン停止、品質不良撲滅
- ✓ 品質計測、記録の効率化
- ✓ トレーサビリティの向上
- ✓ 安全の確保

デジタル化による解決の方法

- ✓ 3Dシミュレーション、VR技術による革新アイデア創造^(※1)
- ✓ PLMによるデジタル連携の強化^(※2)
- ✓ サイバー空間の中で不適合の事前検証
- ✓ FRM解析と3Dシミュレーションの融合
- ✓ 3Dラインシミュレーションによるリソース検討

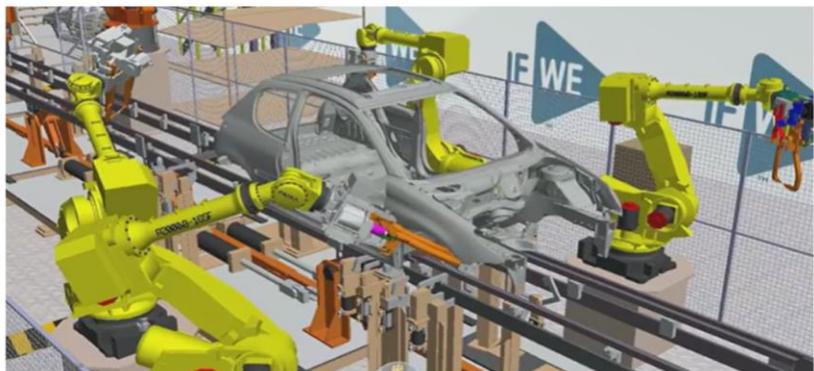
- ✓ 3Dシミュレーションによるネックジョブ特定と改善検討
- ✓ 設備稼働データの収集・分析・改善（IoT）
- ✓ 製造現場とマネジメント情報のKPI可視化
- ✓ デジタルとリアルの融合（Digital Twin）
- ✓ 3Dシミュレーションによる増産・減産時の事前検証
- ✓ サプライヤーとのデジタル情報共有と管理の容易化

- ✓ 故障予知、品質不良予知（IoT⇒AI）
- ✓ 計測/記録の自動化（レーザー/画像認識等）
- ✓ PLMによるデータマネジメント向上
- ✓ 安全の事前検証と作業教育（VR）

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

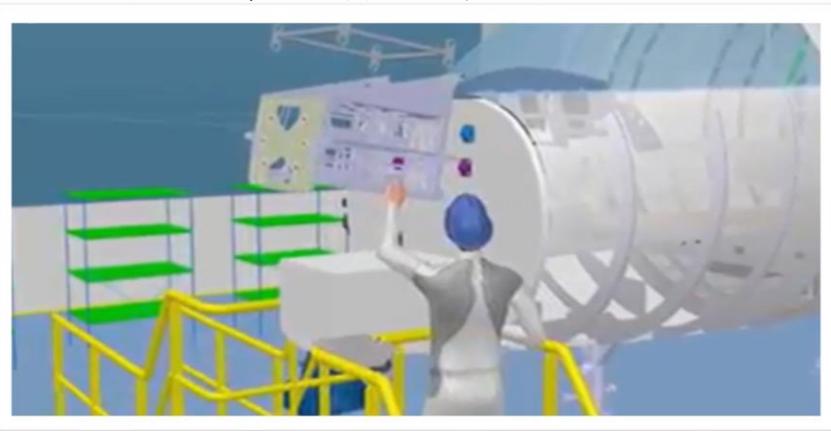


出典： Robot Programmer in the Transportation & Mobility | DELMIA
URL： <https://www.youtube.com/watch?v=sUrXHsx3nnk>

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コンセプト動画

Airbus future factory

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**