

## 第3回 CMIシンポジウム



**DMG MORI**

Deckel Maho Pfronten  
Aerospace Excellence center  
Mr. Michael Kirbach

DMG森精機株式会社  
5軸コンペテンスセンタ  
加治 敏

# 航空機業界のための革新的なテクノロジー



- 航空機関連部品への要望
- 航空機エクセレンスセンタ
- 航空機要素部品、機械構造部品、エンジン部品の加工
- 複合材加工への超音波の適用
- アディティブマニュファクチャリング

# 航空機部品



## 機体構造部品

Wing Components / Pylon Parts



Engine Mounts



## 機体構造部品

Horizontal Stabilizer



Structural Parts Fuselage



Structural Parts Wing Box



## ランディングギヤ



Landing Gear Components

[www.bohler-forging.com](http://www.bohler-forging.com)

## ジェットエンジン部品



Engine parts

# 航空機部品への要望



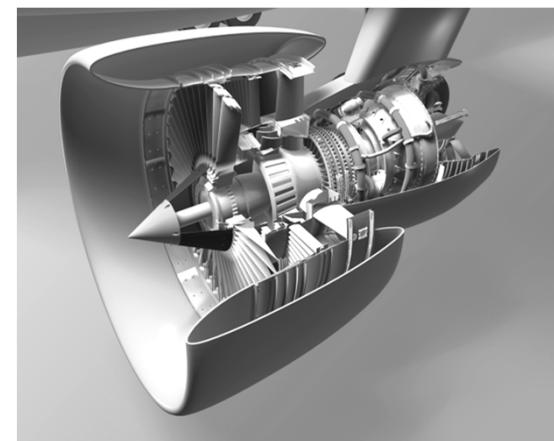
## 1. ジェットエンジン

### 材料

- 軽量なチタン合金
- Ni基などの耐熱合金

### 加工技術

- 難削材の高効率加工
- 円筒・円板形状ワークに対する複合加工



## 2. ランディングギヤ

### 材料

- 耐疲労性の高い高張力鋼、ステンレス鋼、
- 軽量なチタン合金

### 加工技術

- 他方向から工具のアプローチが可能な5軸加工



# 航空機部品への要望

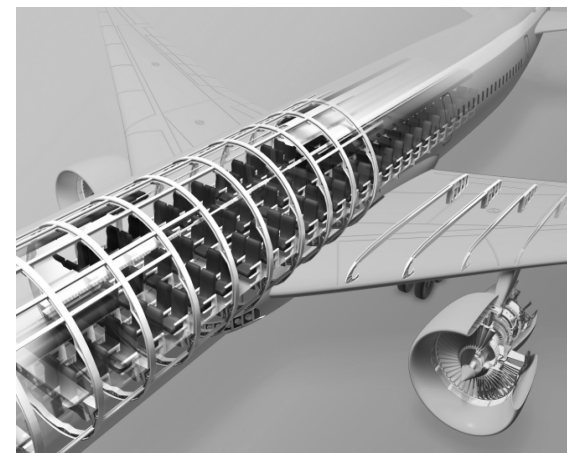


## 3. 機体構造部品

### 材料

- アルミ合金
- 比重の低いCFRP\*などの複合材
- 軽量で、線膨張係数が複合材に近いチタン合金

\*Carbon Fiber Reinforced Plastic (炭素繊維強化プラスチック)

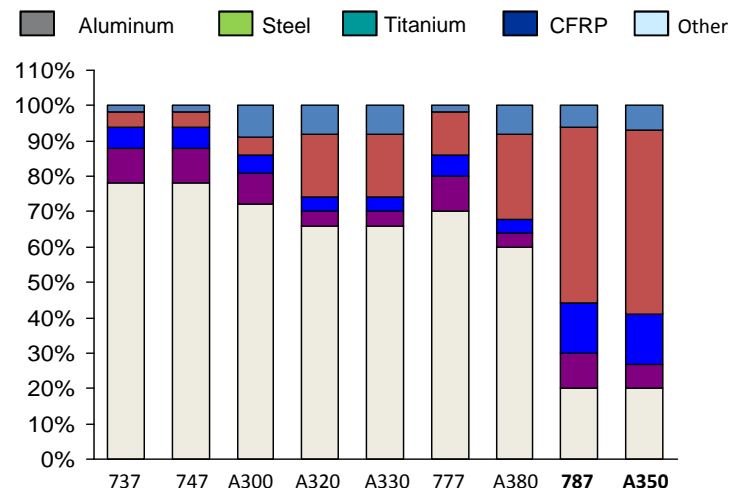


### 加工技術

- アルミ合金、チタン合金の高効率加工
- 複合材の高品位加工

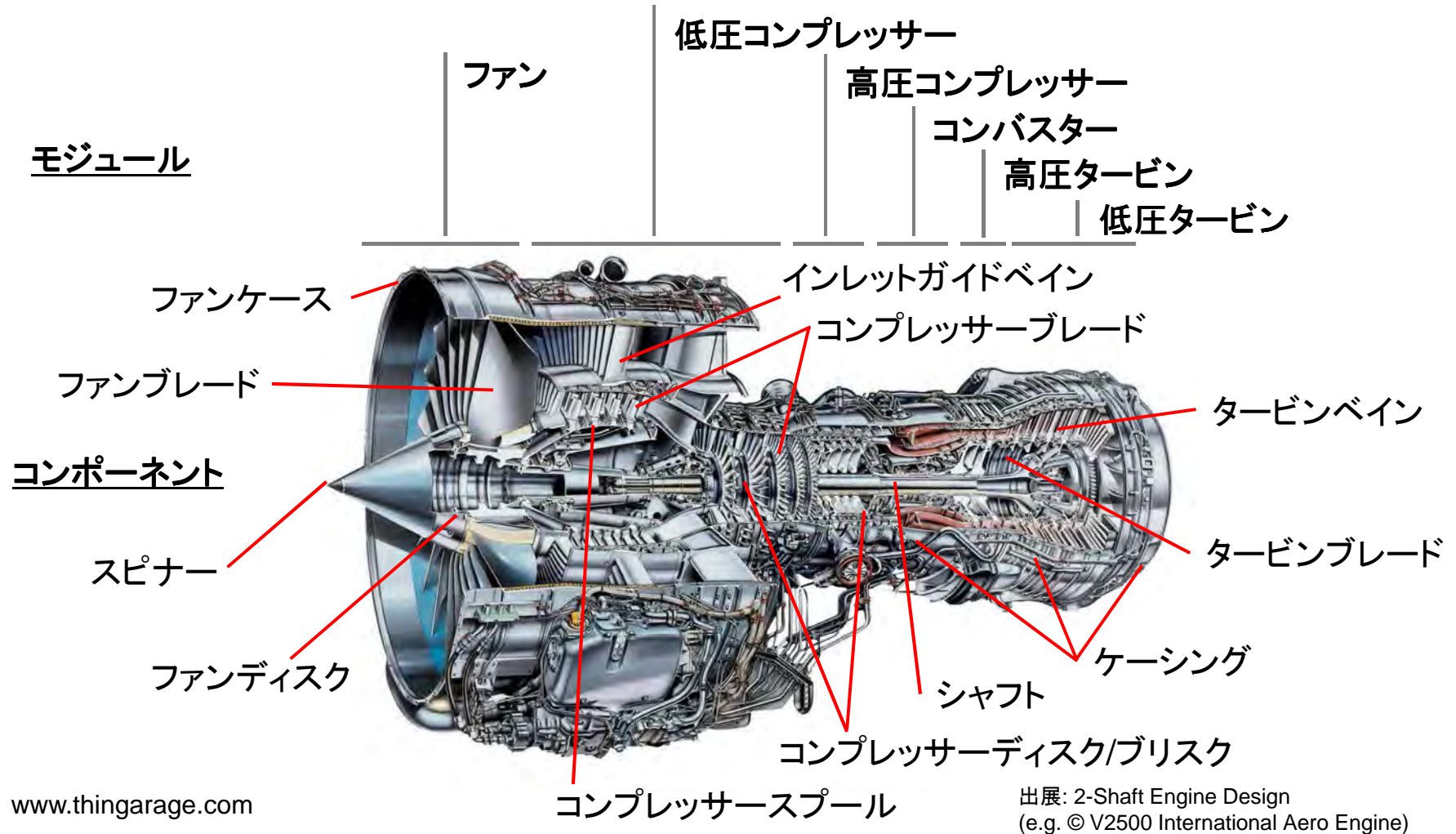
	比重	比強度 (kN·m/kg)	線膨張係数 (10 <sup>-6</sup> /°C)
アルミ合金	2.7	222	23.6
チタン合金*	4.5	288	8.2
CFRP	1.5	785	0.3

\*Ti6Al4V



Source: Roskill Economics of Titanium Metal

# ジェットエンジンの構造



# ジェットエンジン部品



ブリスク



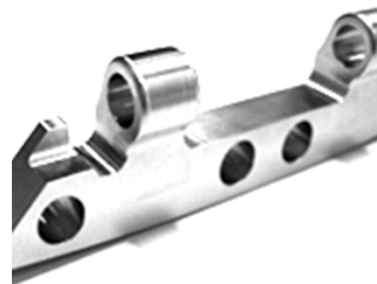
ファンディスク



ディフューザーケース



コンプレッサーケーシング

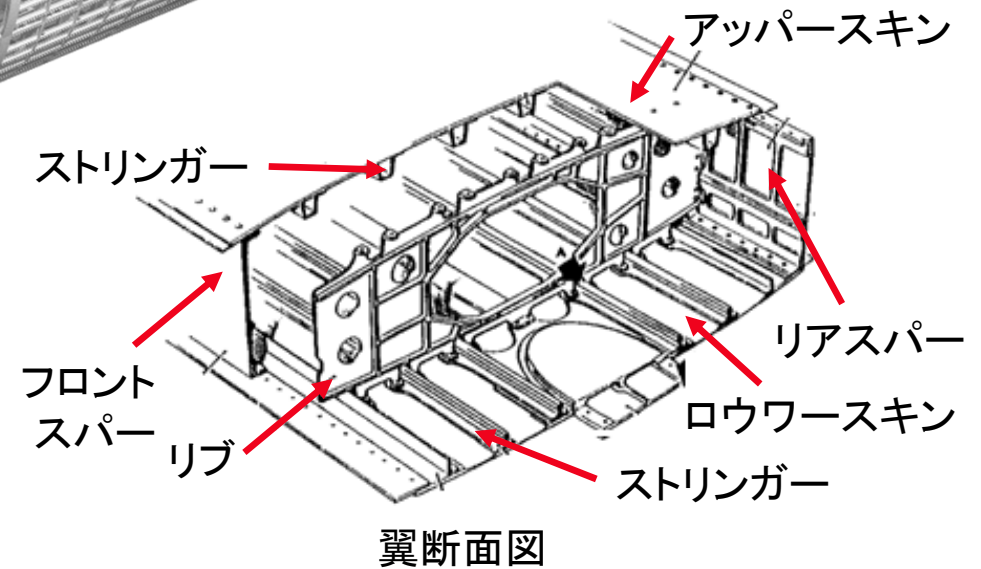
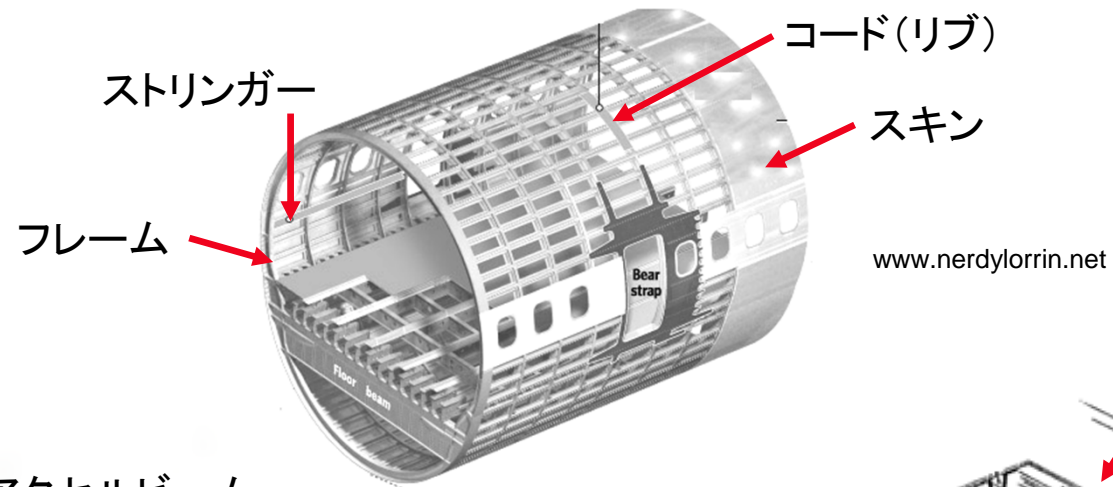


コネクタ



ブレード

# ランディングギヤ、機体の構造





# ランディングギヤ、機体構造部品



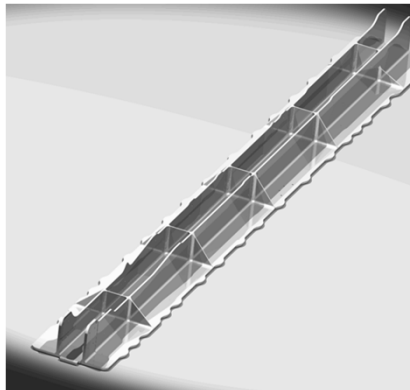
ランディングギヤ



フラップ部品



ヒンジ、固定具



ビーム/ストリンガー



パネル



フレーム

# 推奨機種



ジェットエンジン: 回転部品      ジェットエンジン: 固定部品      機体構造部品      ランディングギヤ部品



	ディスク	フリスク	インペラ	スタフ/シャフト	リンク	フレード	フレード(冷却穴)	ケーシング	リング	コンバスタ	ティフューサ	固定具	ペイン	フレーム	パネル	Planking	ストリンガ/リフ	スバー	ドア部品	サポート	シリンダ	アクセルピーム	アクチュエータ	フレーム	固定具	
monoBLOCK Series																										
duoBLOCK Series																										
H linear series																										
Portal Series																										
DMF Series																										
eVo Series																										
NT / CTX Series																										
Lasertec																										
Ultrasonic																										

# 航空機業界のための革新的なテクノロジー



- 航空機業界市場
- 航空機関連部品への要望
- 航空機エクセレンスセンタ
- 航空機要素部品、機械構造部品、エンジン部品の加工
- 複合材加工への超音波の適用
- アディティブマニュファクチュアリング

# 航空機エクセレンスセンター 概要



## 日々のビジネス

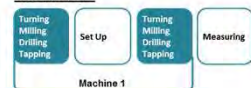
- 技術コンサルタント、加工検討
- テスト加工、タイムスタディー
- 特殊オプション、ターンキー



Traditional solution



Our solution



## 航空機

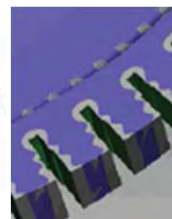
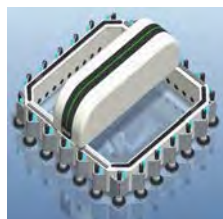
## エクセレンスセンター

## 研究機関パートナー

- 大学
- 研究施設
- 研究プロジェクト



Advanced Manufacturing Research Centre



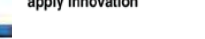
## 将来のビジネス

- 新機種、新オプション
- 新プロセス
- 新素材へのソリューション



## 産業パートナー

- 工具、周辺機器、ソフトウェア
- 新製品、新機能のテスト
- プロセスの開発



# 航空機エクセレンスセンタ DMG森精機の対象



金属材料 - Al-, Ti-, Ni-合金

5-軸機 (A-/B-軸, 傾斜回転テーブル)

主軸能力 (回転数、出力、トルク)

複合加工 (旋削加工 + ミーリング)

サイズ (小型から大型まで)



新素材 - 超音波加工  
(複合材、セラミクス)



レーザ加工 - パワードリル  
/ アイティブマニファクチュアリング



プロセスチェーン / シミュレーション



お客様に合わせたソリューション

技術プロジェクト    技術コンサルティング    プロセス開発    ターンキー    グリーンボタン    付加加工

# 航空機エクセレンスセンター 開発ステップ



## 機種選定

- コンセプト
- 軸構成
- 性能
- 使い易さ



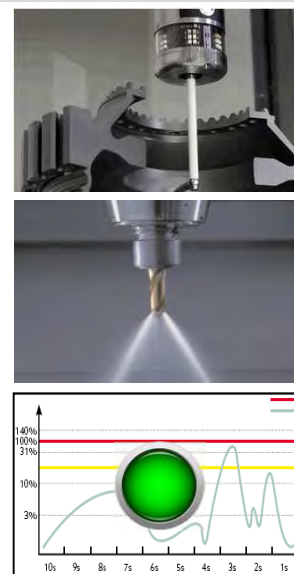
## 製造プロセス

- 加工法
- 治具
- NCプログラム&シミュレーション
- 工具



## プロセスの自動化

- 工程能力
- インプロセス計測
- モニタリング
- グリーンボタン



## ハンドリングの自動化

1. パレットチェンジャー
2. ロボットハンドリング
3. フレキシブルセル
4. 生産ライン



# 航空機業界のための革新的なテクノロジー



- 航空機業界市場
- 航空機関連部品への要望
- 航空機エクセレンスセンタ
- 航空機要素部品、機械構造部品、エンジン部品の加工
- 複合材加工への超音波の適用
- アディティブマニュファクチュアリング

# 航空機部品加工



- 組織
- 工作機械
- スキル
- コスト構造
- 新しい技術への取り組み

- 機体構造部品 / プリズム形状
- エンジン / 円形、円筒形状
- 薄肉
- 中空
- サイズ .....

„理念“

航空機部品

材料

- 信頼性
- 制限
- モニタリング
- プロセスの安定
- 自動化 .....

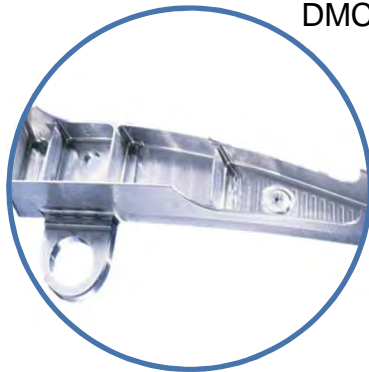
- 快削材
- 難削材
- 非金属材料
- 素材
- 応力状態 ....

形状

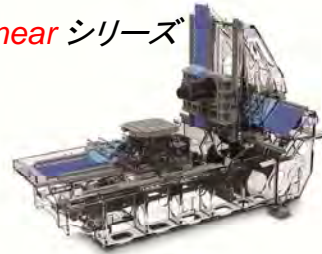
仕様



# 機体構造部品の加工 様々な被削材



DMC H *Linear* シリーズ

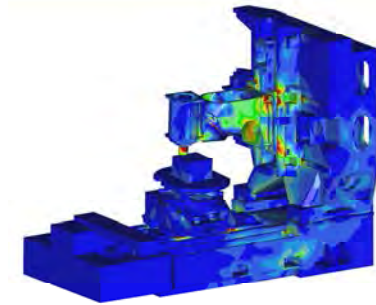


DMF *linear* シリーズ



## 快削材 (アルミ, ...)

- 可能な限り的高速加工
- 動的特性
- 高速主軸(特に小径工具を使用の場合)
- 強力主軸
- 切り屑排出性



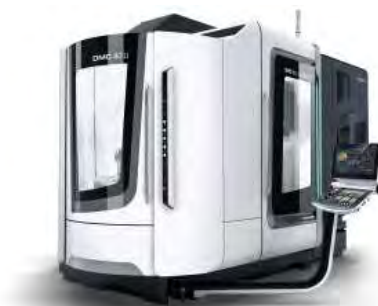
DMU/C duoBLOCK シリーズ

## 難削材 (Ti, Ni, ...)

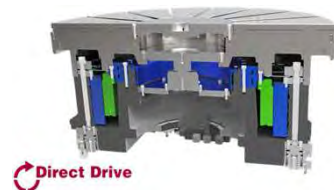
- 高剛性の機械コンセプト
- 安定した高精度
- 減衰性能
- 強力で高精度な主軸
- クーラント圧力と流量

何を優先するか?

# エンジン部品の加工 難削材 (Ti, Ni)



DMC 80 FD duoBLOCK



## ディスク, リング, ケーシング

- 高剛性な機械デザイン
- 荒・仕上げ加工に適用できる主軸
- 旋削・ミーリングの複合加工
- クーラント圧力と流量
- 測定とモニタリング



DMU 65 monoBLOCK



ダイレクトドライブ  
傾斜回転テーブル

## ブリスク

- 高剛性な機械デザイン
- 回転テーブルの動的特性
- 強力な主軸
- コンパクトな機械

プロセスに最適なデザイン

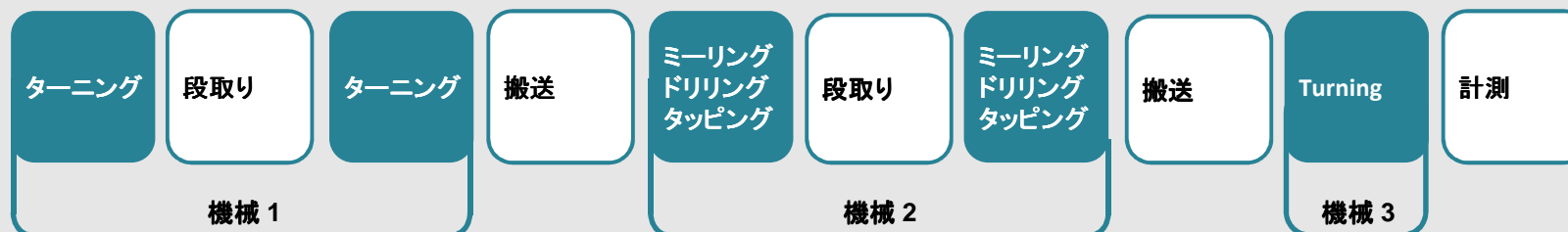
# 加工事例 – エンジン部品 複合加工技術



## サクセスストーリー

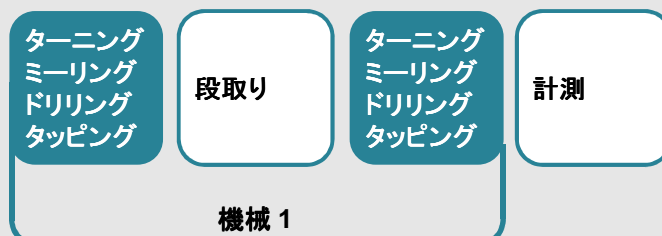
### 従来のソリューション

3台、9工程



### DMG森精機の提案

1台、4工程



Source: Rolls-Royce

# BLISK (ブリスク)

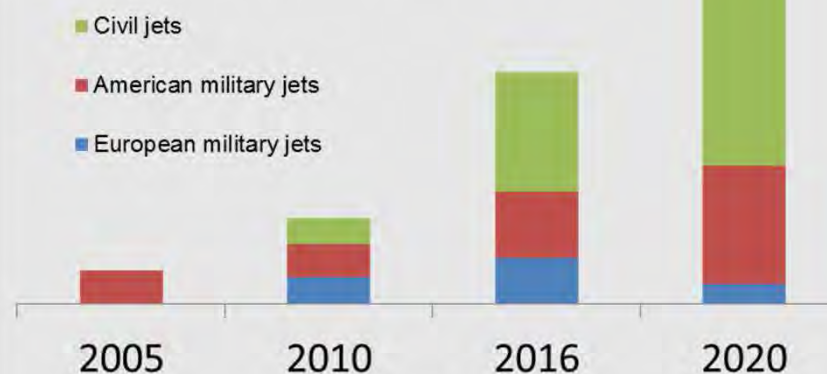
Blade Integrated Disk (integrally bladed rotor, IBR)



- 将来、ブリスクの大幅な需要の増大
- Ti合金ブリスクの全加工、Ni基合金ブリスクの中仕上げ加工
- 複雑で高品質な3次元形状と計測への挑戦
- 修正加工の技術



## ブリスクの需要増加予測



# 加工事例 – ブリスク



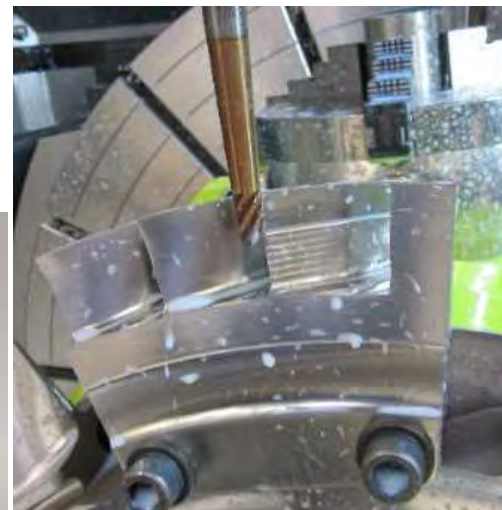
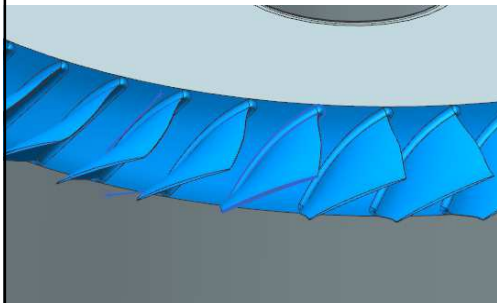
## 薄いブレードへのステップ ミーリング // 最大ステップ 5 mm

### 材料 / 加工物:

- チタン合金 Ti6Al4V 3.7165
  - ブレード高さ 71.4 mm - 46 枚 / ブリスク
  - ブレード先端の厚み 1.25 mm
  - ブレード間の最小距離 16.05 mm
  - 加工時間: 107分 / ブレード
- 薄いブレードの加工を実現

### 工具:

- 超硬バレルカッター
- 最大3倍の加工能率の向上  
(対ボールエンドミル比)
- 最大1/3の工具磨耗  
(対ボールエンドミル比)



DMU 65 monoBLOCK

# 航空機業界のための革新的なテクノロジー



Source: Boeing



Source: Mitsubishi



Source: Airbus

- 航空機業界市場
- 航空機関連部品への要望
- 航空機エクセレンスセンタ
- 航空機要素部品、機械構造部品、エンジン部品の加工
- 複合材加工への超音波の適用
- アディティブマニュファクチュアリング

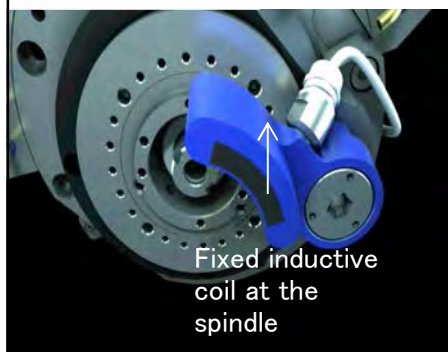
# 複合材 非金属材料



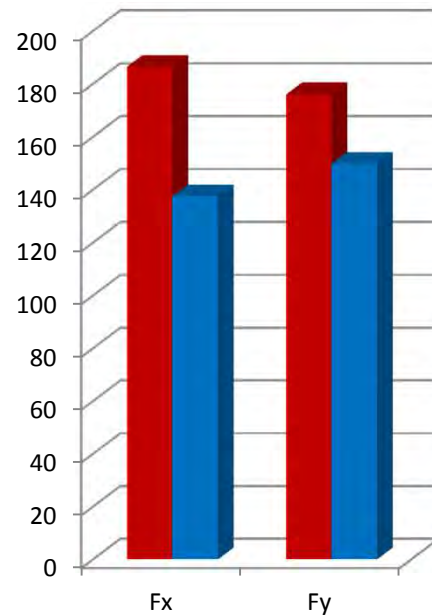
複合材への超音波加工の適用

従来のミーリングに対して  
300%加工能率向上

# 複合材 超音波加工の優位性



### 切削抵抗の比較

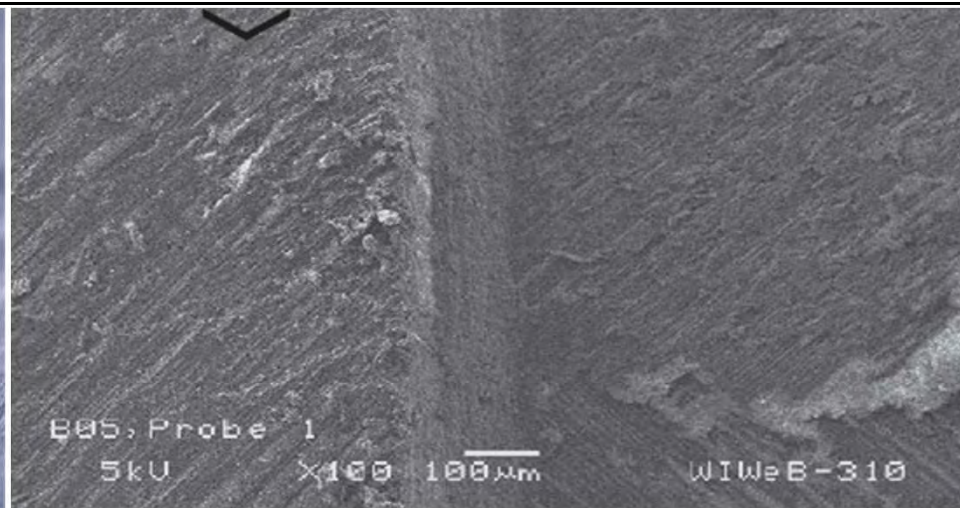


■ conventional  
■ ULTRASONIC

- 最大で 40 % の切削抵抗を低減による積層面の剥離の抑制
- 超音波の適用による切削低減により、送り速度の増大
- 構成刃先の生成を抑制し、工具寿命を延長
- 切削粉の適正な排出
- 鋭利なエッジ  
積層面の維持  
高品位な表面性状



# 複合材加工 超音波加工の優位性

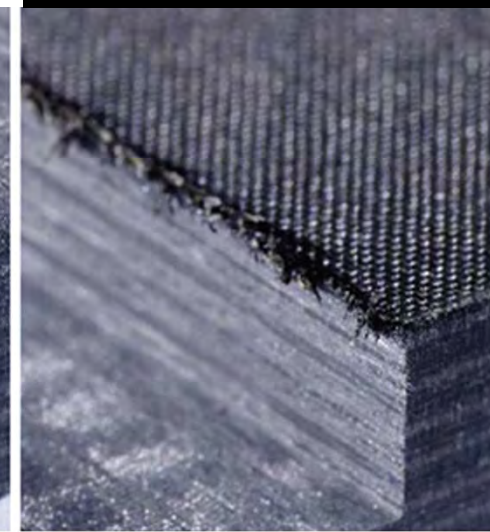
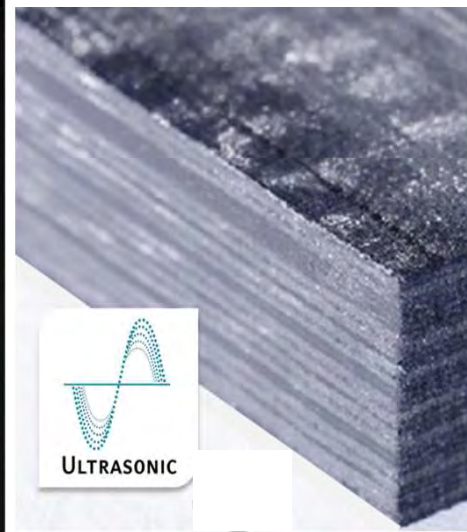
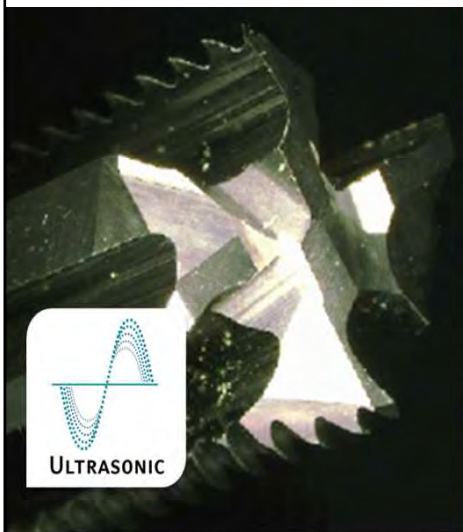


超音波あり

超音波なし

超音波あり

超音波なし



# 航空機業界のための革新的なテクノロジー



- 航空機業界市場
- 航空機関連部品への要望
- 航空機エクセレンスセンタ
- 航空機要素部品、機械構造部品、エンジン部品の加工
- 複合材加工への超音波の適用
- アディティブマニュファクチュアリング

# ハイブリッド アディティブマニュファクチュアリング & 切削加工



LASERTEC 65 3D

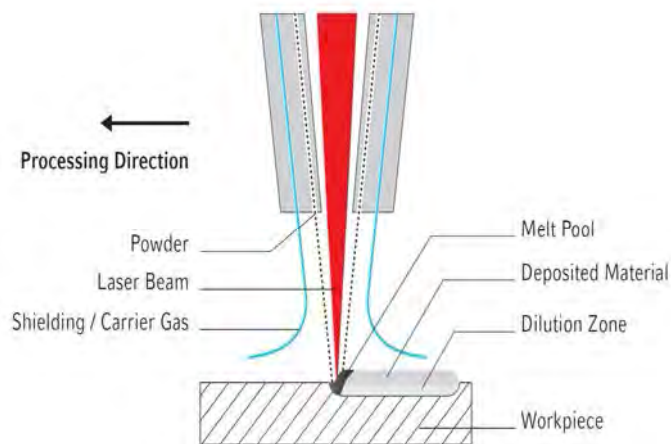


LASERTEC 4300 3D



- ❖ 対パウダーベッドタイプ 最大20倍の積層能率
- ❖ チャンパーを必要としない完全加工
- ❖ 0.1 ~ 5 mm の積層幅
- ❖ サポートを必要としない3次元形状の積層  
(例: フランジ、コーン)
- ❖ レーザ積層と切削加工を組み合わせることにより、完成品では切削工具が届かない部位の加工も実現

実績のある5軸マシニングセンタ/複合加工機への搭載  
DMU65 monoBLOCK NT4300



積層



ミーリング

# アディティブマニュファクチュアリング LASERTEC 3D – レーザ積層 & 切削加工



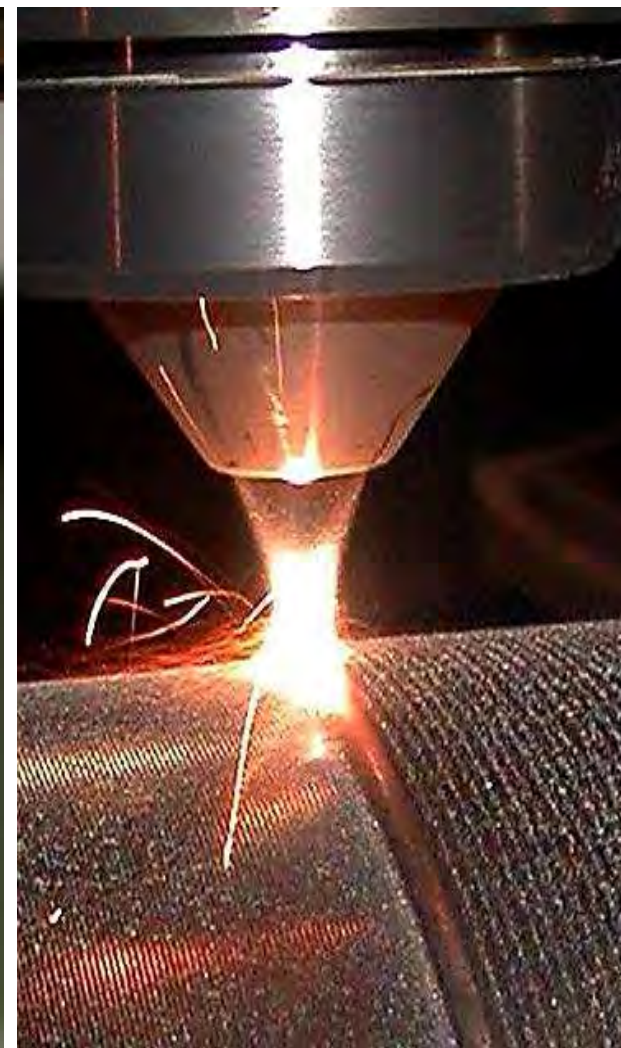
3次元形状部品の積層



修復



コーティング





Source: Boeing



Source: Mitsubishi



Source: Airbus

ご静聴ありがとうございました。