

# 製造業DXを推進する 設計と製造プロセスの融合

オートデスク株式会社

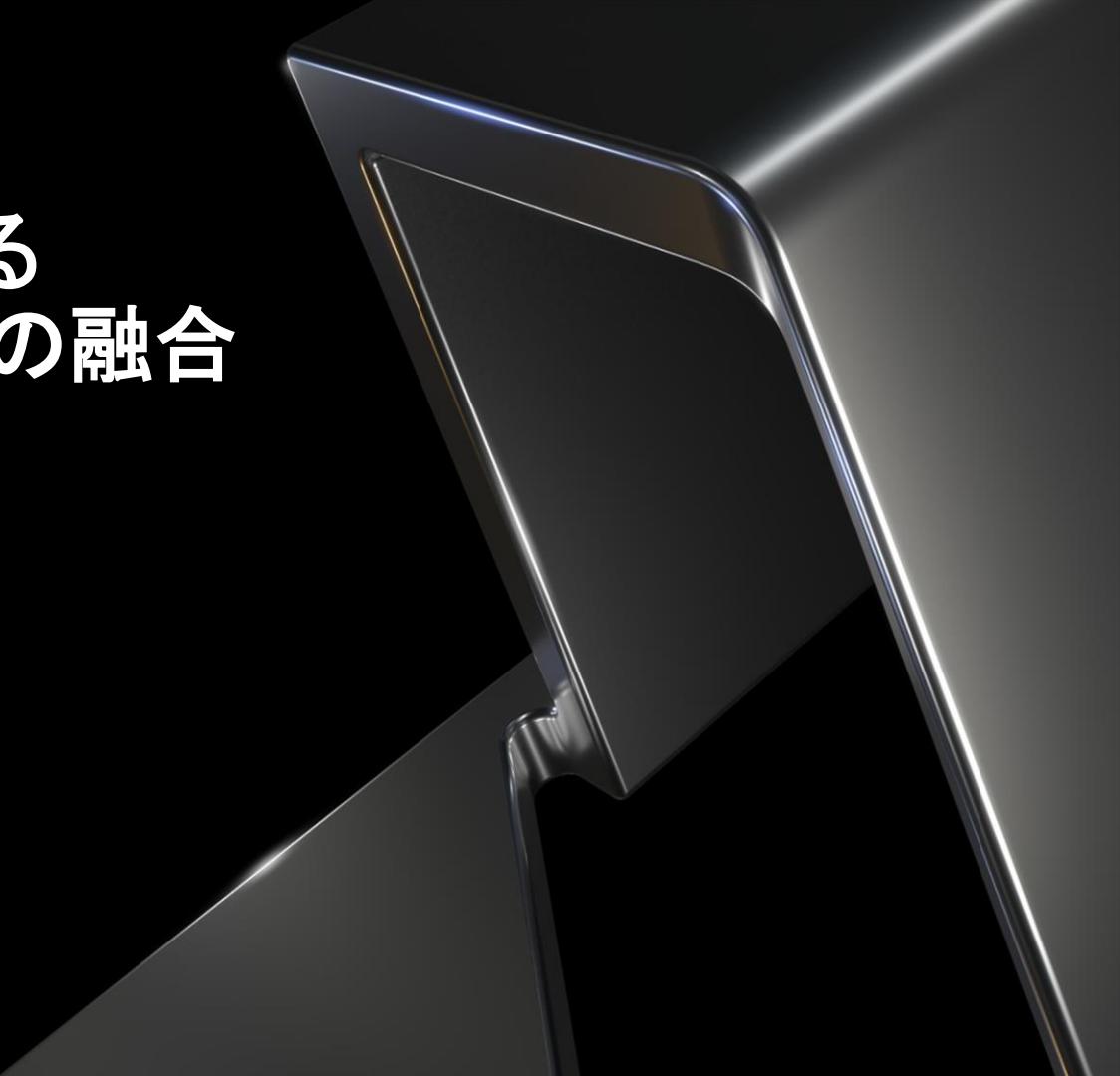
ジョン・ウォンジン

松本 哲

梅山 隆

鈴木 裕志

佐々木 秀成



社会変化による需要減  
設備の老朽化 働き方改革

人手不足 デジタル人材育成 現場力の低下  
不確実性 プロセスの分断

国際競争力の低下 市場縮小 設計開発手法改革

IT活用の遅れ コスト削減 サプライチェーン寸斷

属人的改善による部分最適 進まない技術継承 生産性改善  
貿易戦争  
マスカスタマイゼーションへの対応



# Digital Transformation

デジタルトランسفォーメーション

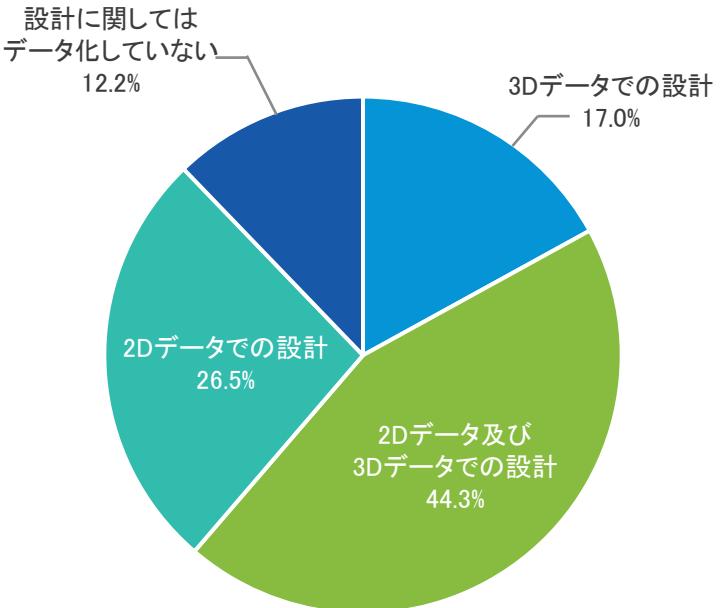
# Digital + Transformation

デジタル

変革

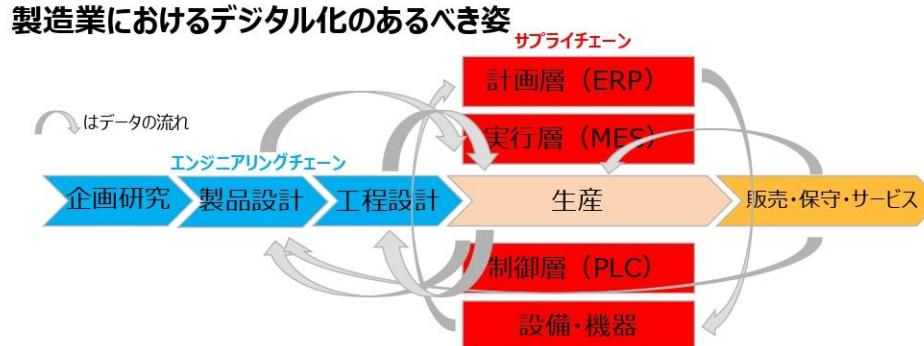


# 自社に合ったDXを目指すことが大事



# 日本の製造業のデジタル・トランスフォーメーションにおける課題①

- 製造業には、企画研究-製品設計-工程設計-生産などの連鎖である「エンジニアリングチェーン」と、受発注-生産管理-生産-流通・販売の連鎖である「サプライチェーン」が存在。
- 日本は従来「現場が強い」といわれてきたが、いま「サプライチェーン」と「エンジニアリングチェーン」は人手不足、属人的改善による部分最適、設備の老朽化等、様々な問題を抱えている。



# 設計と製造プロセスの融合

CONVERGENCE OF DESIGN & MANUFACTURING

# 設計と製造プロセスの融合

---

データを中心として密接に連携

統一された製品定義の確立

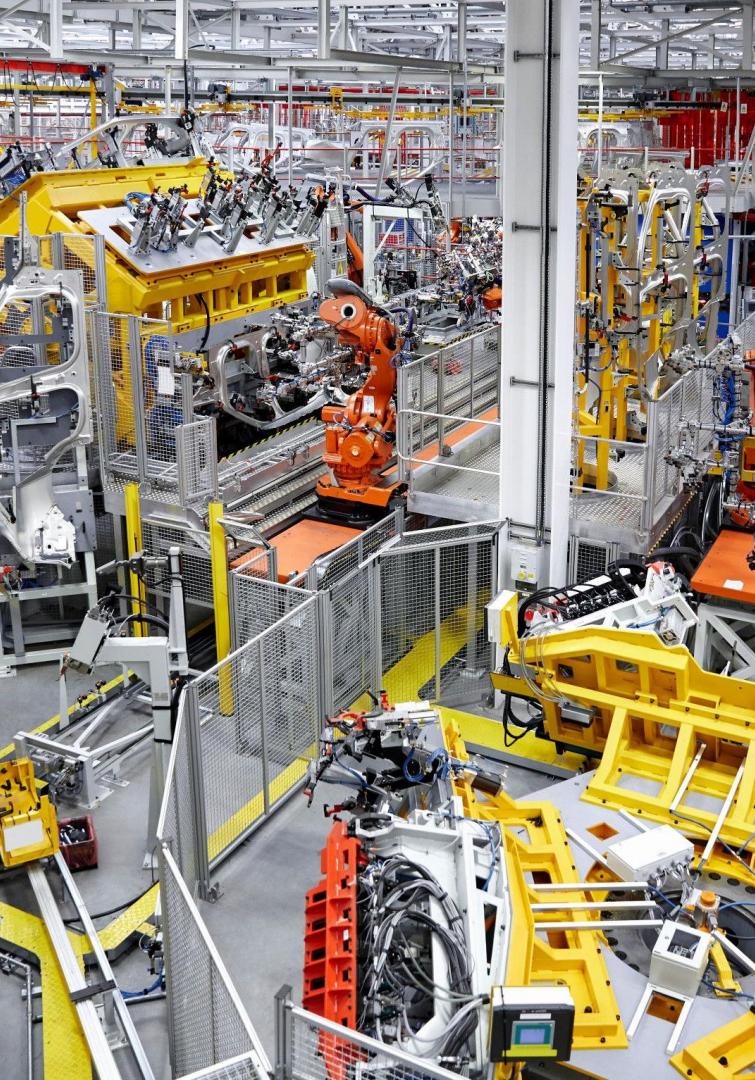
チーム全体がシームレスにコラボレーション

無駄や手戻りが削減

製品の市場への早期投入

# 本日ご紹介するものづくりの話

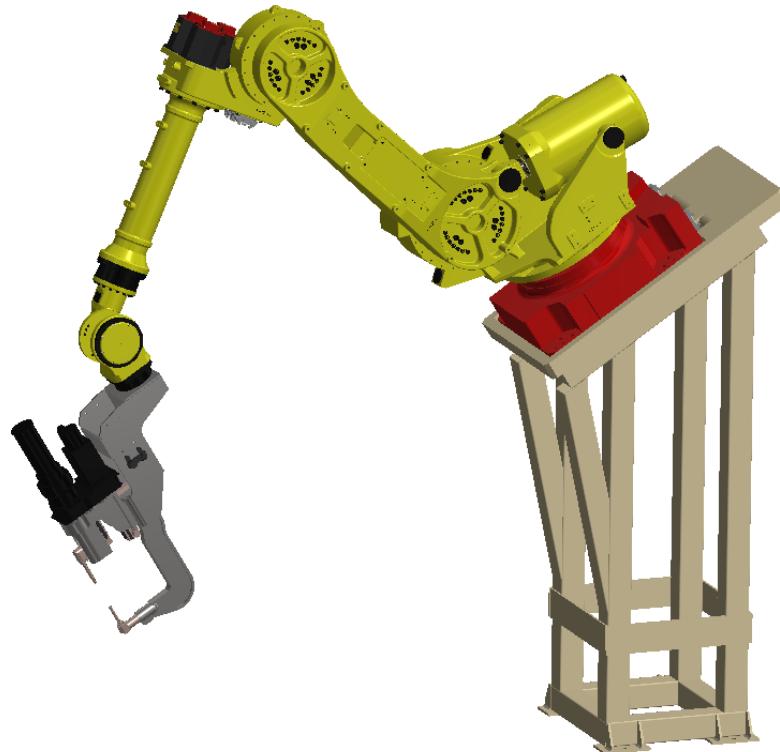
- 架空の生産システム案件
- 顧客から要求されている生産性に達するためには、提案の改良が必要
- ロボット挙動の高速化を図ると共に動作精度の向上



# 顧客からの要求～動作精度の向上～

動作精度の向上のためには

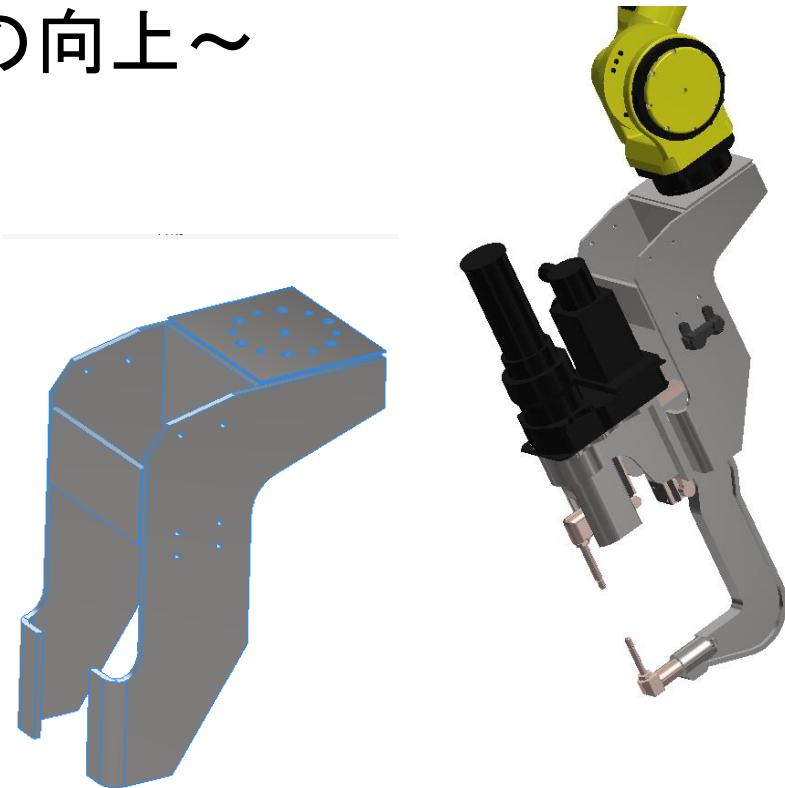
- ロボットの精度に必要な要素
  - 絶対精度
  - 軌跡精度
  - 剛性
- 動作精度向上のアイデア
  - 動力部の性能変更
  - 制御プログラムの見直し
  - 軽量化
  - 動力学を考慮したモデル
- 注意点
  - 安全性
  - 処理量
  - 周辺機器



# 顧客からの要求～動作精度の向上～

動作精度の向上のためには

- 軽量化プロジェクト
  - 8点パーツの組付けを無しに
  - 21kgよりも軽い
  - 従来品と同等の強度は確保
  - 安全性も考慮
- 軽量化のメリット
  - 停止位置の精度向上、スピードアップ
  - 動力の小型化、消費電力削減
  - 材料費削減
  - パーツ数低減による組付け、製造コストの削減
  - 市場への革新的な製品の投入



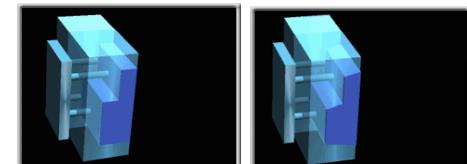
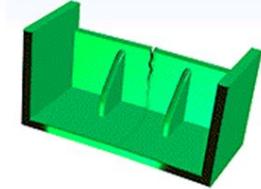
質量(S) 21.637 kg (相対誤差 :

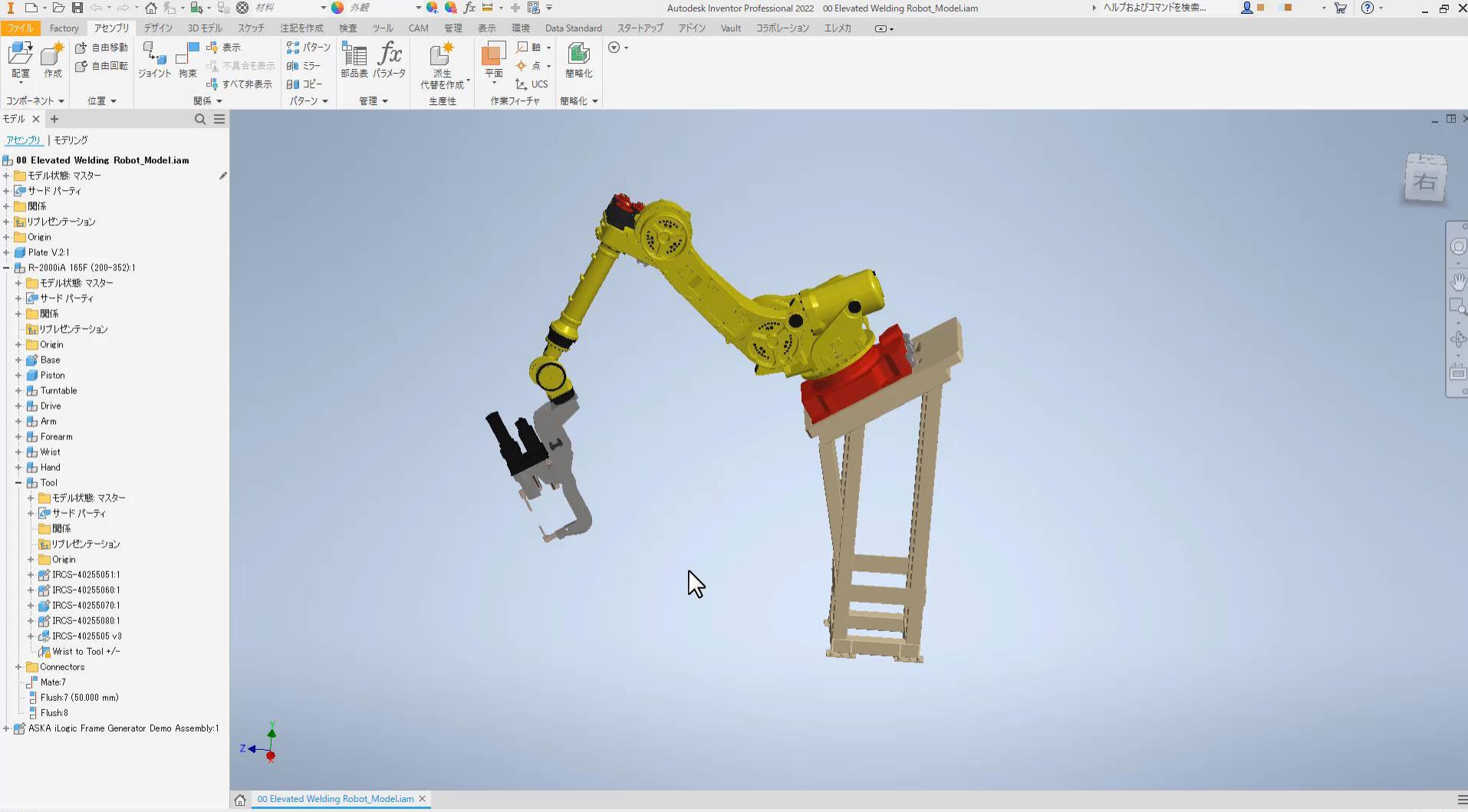
# 樹脂化のための 3次元モデル作成

# 樹脂部品設計

## 設計のポイント

- 材質
  - 用途に合わせて選定。耐久性、耐熱性、耐候性、耐摩耗性、耐薬品性・・・
- サイズ
  - 製造できる大きさ
- 肉厚
  - 極力均等肉厚。極端な薄肉、厚肉はさける
- 強度・安全性
  - 壊れない、溶けない・・・
- 重量
  - 元の部品(22kg)より軽い
- 製造
  - 製造機器の選定。射出成形の場合は、金型の抜き方向や勾配も考慮





# 樹脂部品設計の結果

## ブラケット部品に対して

- 材質
  - 用途に合わせて選定。耐久性、耐熱性、耐候性、耐摩耗性、耐薬品性・・・
  - PEEK材
- サイズ
  - 製造できる大きさ
  - 樹脂部品と板金部品に分割
- 肉厚
  - 極力均等肉厚。極端な薄肉、厚肉はさける
  - 均等2.5mm肉厚
- 強度・安全性
  - 壊れない、溶けない・・・
  - 樹脂部品と板金部品に分割。リブ補強。  
**壊れない？？？**
- 重量
  - 元の部品(22kg)より軽い
  - 総重量8kg
- 製造
  - 製造機器の選定。射出成形の場合は、金型の抜き方向や勾配も考慮
  - 一応抜き方向を考慮したけど・・・

# 樹脂化による軽量化の検討

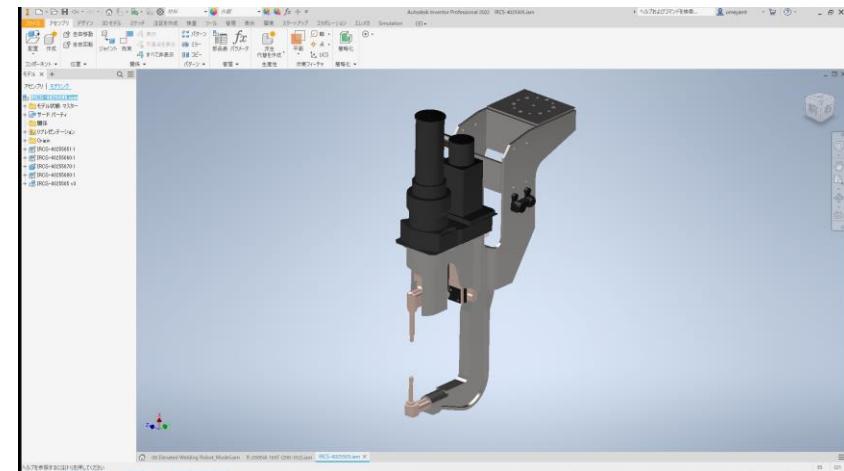
# まずは簡単に樹脂化ができるかを検討

Inventor Nastranで確認

元の設計データから 125kg の耐荷重が必要  
※軽量化設計により、より軽くなる可能性あり

材料の候補例

- ・PA: ポリアミド  
(強化/非強化)
- ・PPS: ポリフェニレンスルフィド  
(強化/非強化)
- ・PEEK: ポリエーテルエーテルケトン  
(強化/非強化)

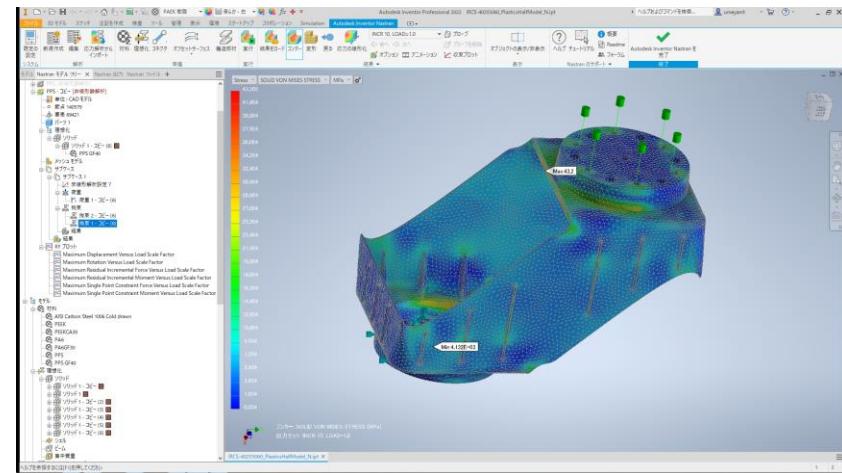


# Inventor Nastranの解析結果

等方性材料物性を用いたInventor Nastranでの解析

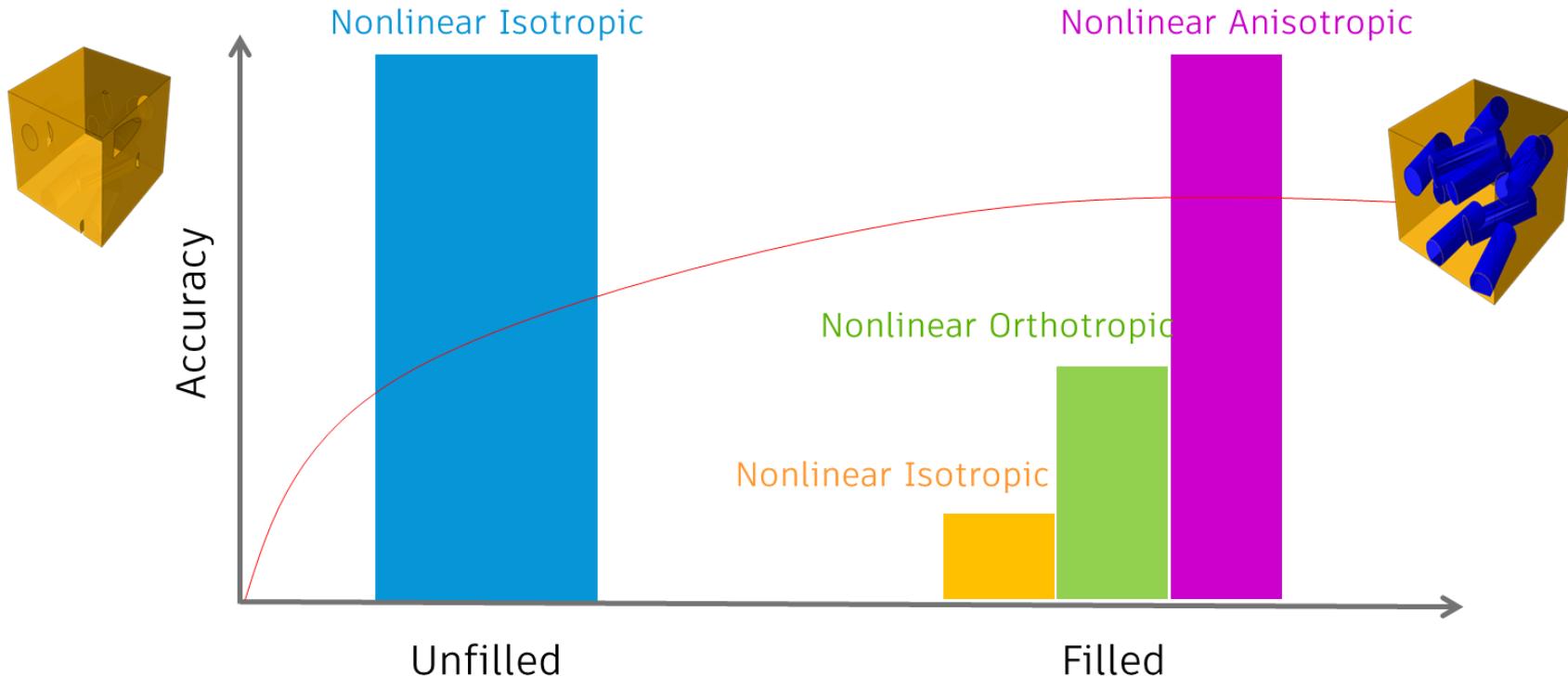
材料	耐荷重	評価
PA6	40kg	×
PA6 GF30	150kg	○
PPS	70kg	×
PPS GF40	160kg	○
PEEK	100kg	×
PEEK CF30	230kg	◎

繊維強化材料が必要と思われる



# 等方性材料での構造解析の懸念点

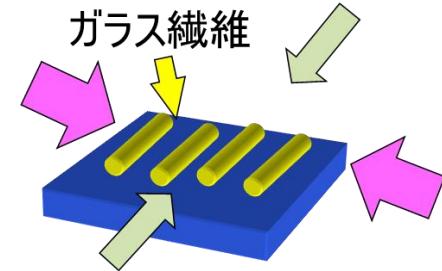
射出成形品の場合



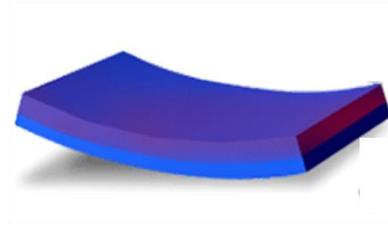
# 異方性材料として考慮すべき理由

射出成形品の場合

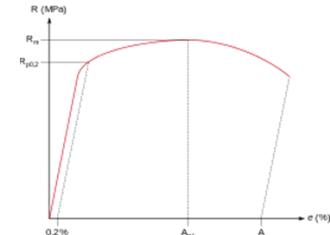
- 繊維配向による機械物性の異方性  
繊維配向の考慮：等方性材料vs異方性材料



- 成形の影響  
変形・残留ひずみ、ウェルドラインの考慮

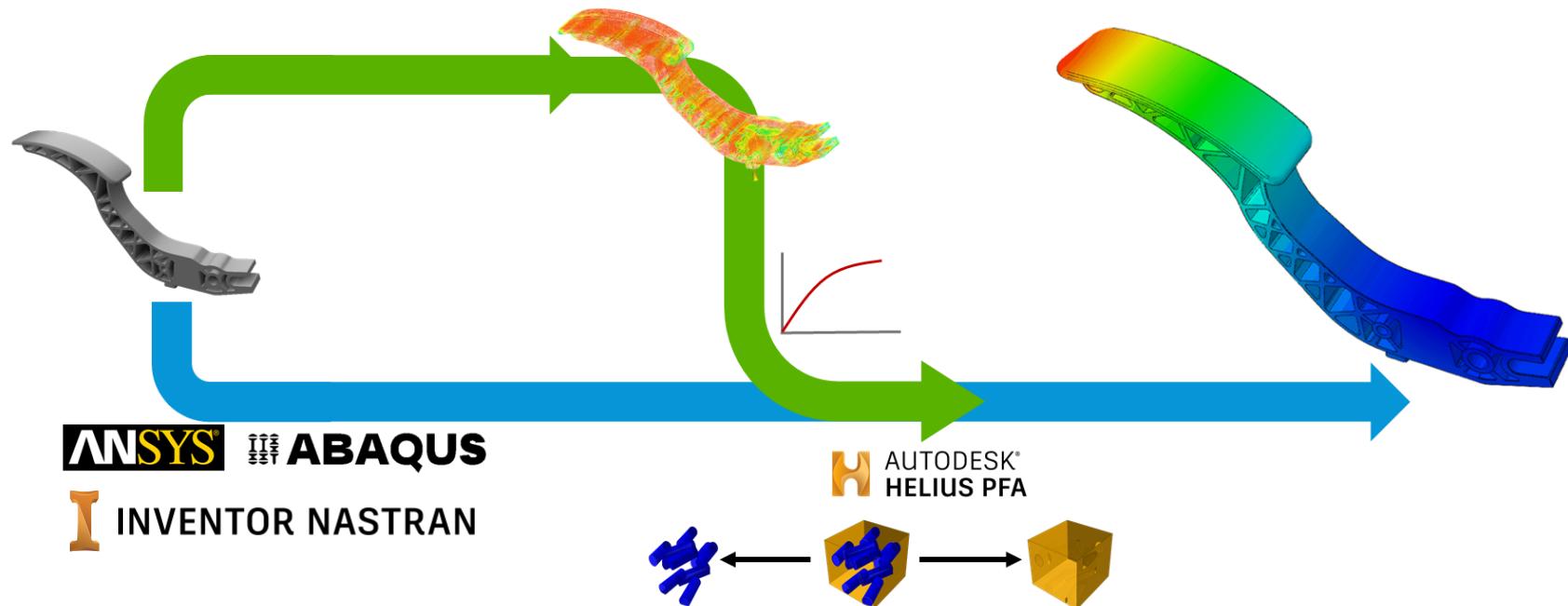


- 非線形材料物性  
樹脂部品の特徴的な応答と破断の考慮：  
線形材料特性vs非線形材料特性



# 射出成形の影響を考慮した構造解析

Moldflow Insight-Helius PFA-Inventor Nastranの連携



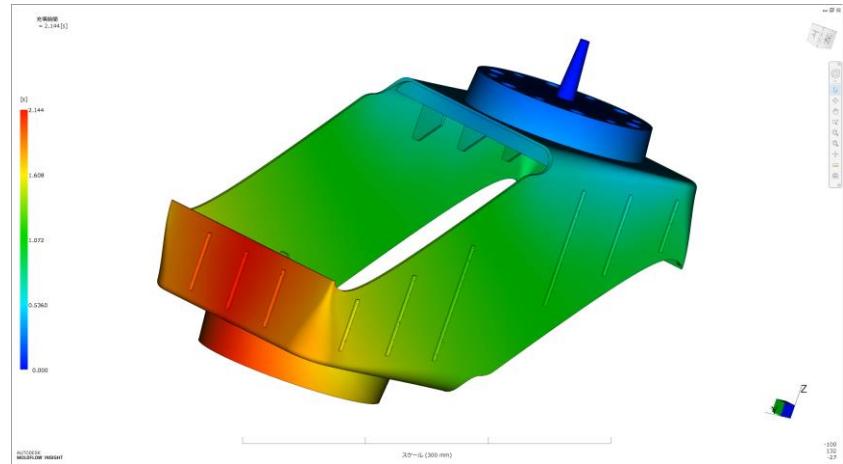
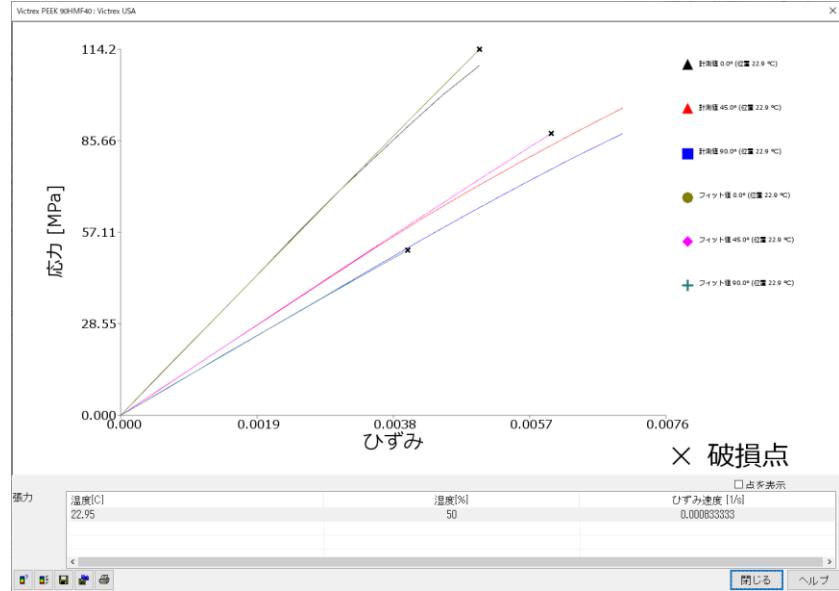
# Moldflow – Helius PFA – Inventor Nastranの連携

## 連携ワークフロー

- Inventor Nastranで解析モデルを準備 Inventor Nastran
- Moldflowで解析モデルを準備、実行(充填保圧) Moldflow Insight  
※NastranモデルとMoldflowモデルは異なる形状/座標系も可能
- Helius PFAにMoldflowおよびNastranモデルをインポート Helius PFA
- 材料非線形データをインポート(オプション) Helius PFA
- マッピング Helius PFA
- Moldflowモデルのインポート～マッピング(アセンブリモデル時) Helius PFA
- Nastranモデルをエクスポート Helius PFA
- Nastran解析実行(Helius PFAがFEAのアドインとして動作) Inventor Nastran

# Moldflow Insight 解析結果

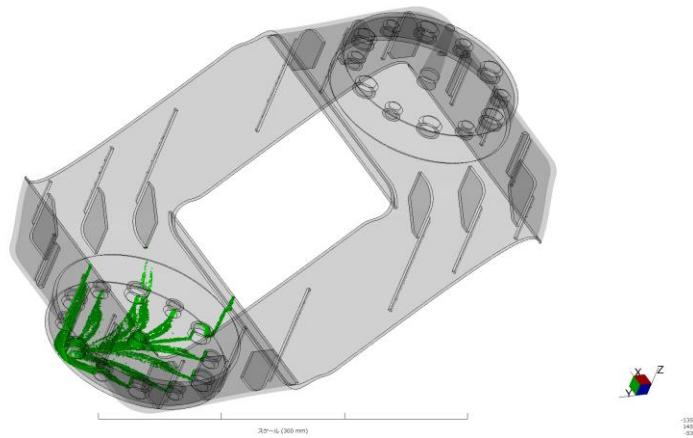
PEEK 繊維強化材での解析



# Moldflow Insight解析結果

PEEK 繊維強化材での解析

ウエルド サーフェスの移動(3D)  
時間 = 30.000[2]

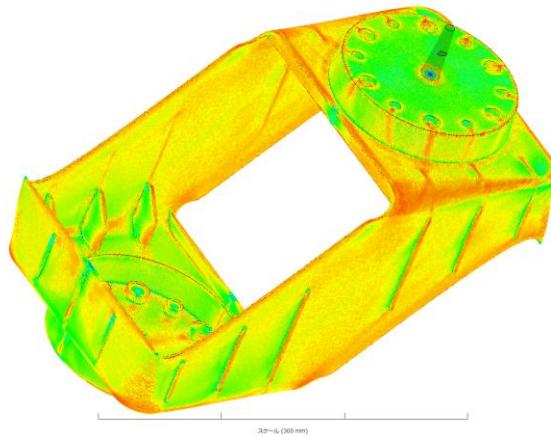


AUTODESK  
MOLDFLOW INSIGHT

拘束条件アングル  
= 0.3049



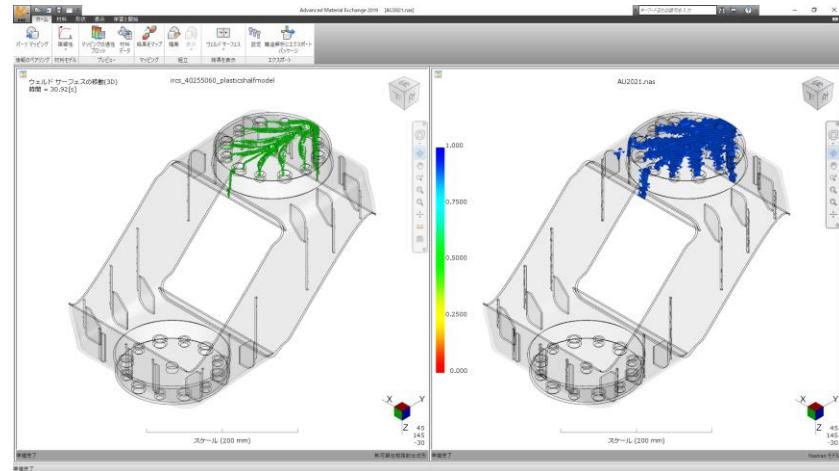
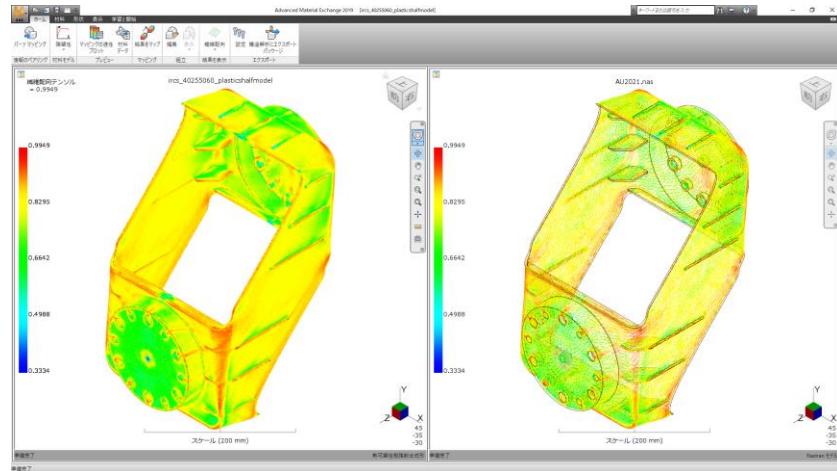
AUTODESK  
MOLDFLOW INSIGHT



135  
145  
-33

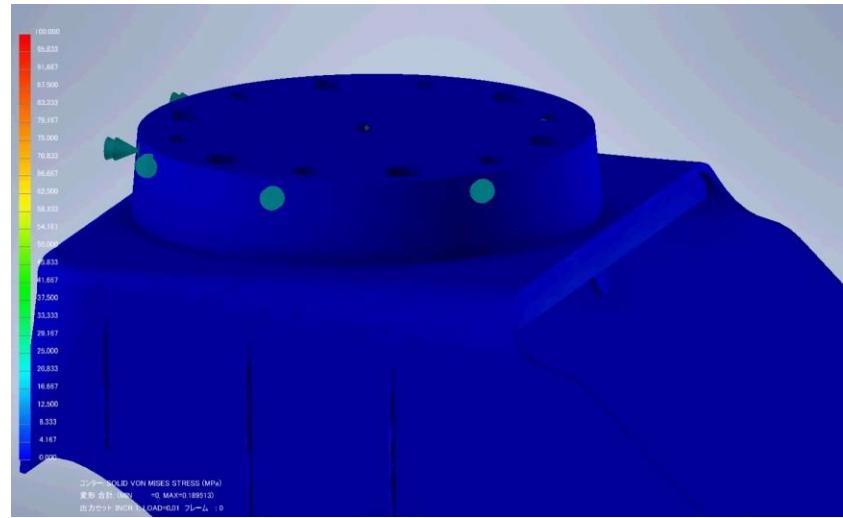
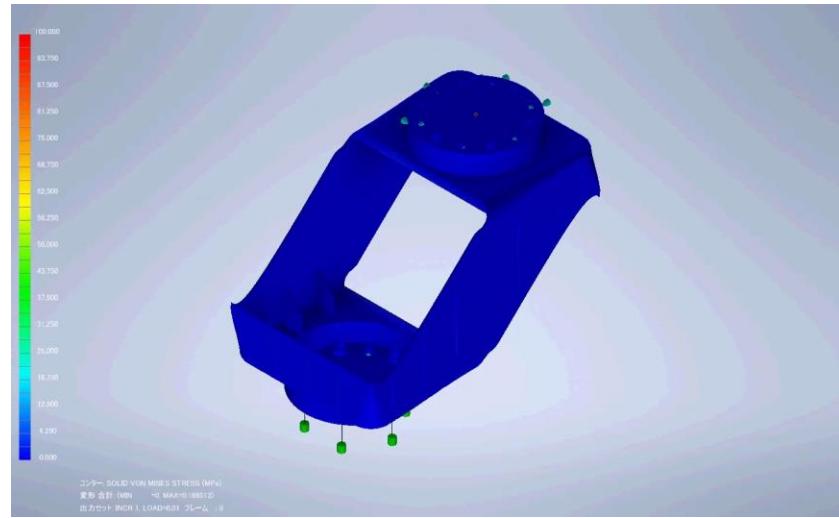
# Helius PFAによるマッピング

繊維配向とウェルドサーフェス (Moldflowモデル(左)とNastranモデル(右))



# Moldflow結果を用いたInventor Nastran解析結果

纖維配向・ウェルド強度低下・破断を考慮した構造解析

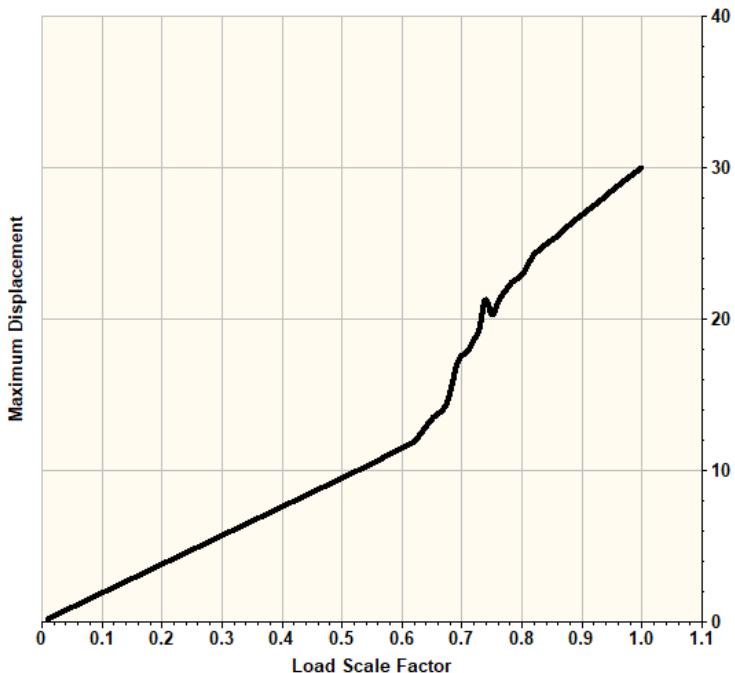


# 破断発生時の荷重を確認

荷重スケールvs変位量のグラフから読み解く

- 荷重スケール : 0.62で破断
- 破断までの最大荷重 : 1670N(170kgf)

*Maximum Displacement Versus Load Scale Factor*



# 樹脂化の効果

同形状として材料比較

- 炭素鋼の場合  
部品重量 : 4.8kg
- PEEK CF30の場合  
部品重量 : 0.8kg

⇒80%以上の軽量化

※他の部品の軽量化設計が進めば、より安価な樹脂も選択肢に。。。

# 樹脂化検討のポイント

解析にかかる時間と解析精度を考える

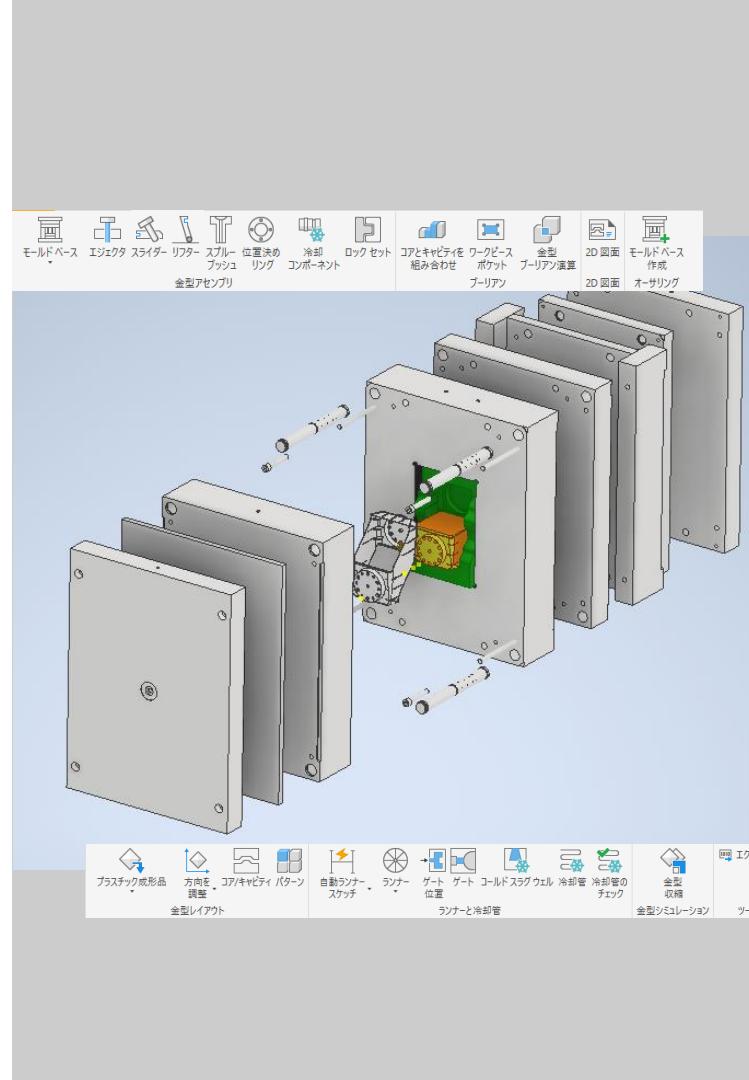
- まずは、線形解析、等方性材料で要件を満たすことが可能かを確かめる  
等方性材料物性であれば、機械物性が容易に入手可能  
線形解析であれば、解析時間がかかるない
- 纖維強化樹脂を用い射出成形で成形する場合には、  
MoldflowとInventor Nastranの連成を行う  
纖維配向の影響が大きく、等方性材料では正しく評価できない
- 非強化材でもウェルド強度が気になる場合には、  
MoldflowとInventor Nastranの連成を行う  
ウェルド部の強度低下による破断の可能性を検討

InventorからFeatureCAMへ  
～加工部門への繋がり～

# 加工へ繋げる

Inventorの“MoldDesign”を利用して金型設計を行っていきます。

様々な専用コマンドで“必要なときに必要な指示”を行いながら金型設計が行なえます。



# 加工へ繋げる “構造部”

FeatureCAMへの穴加工

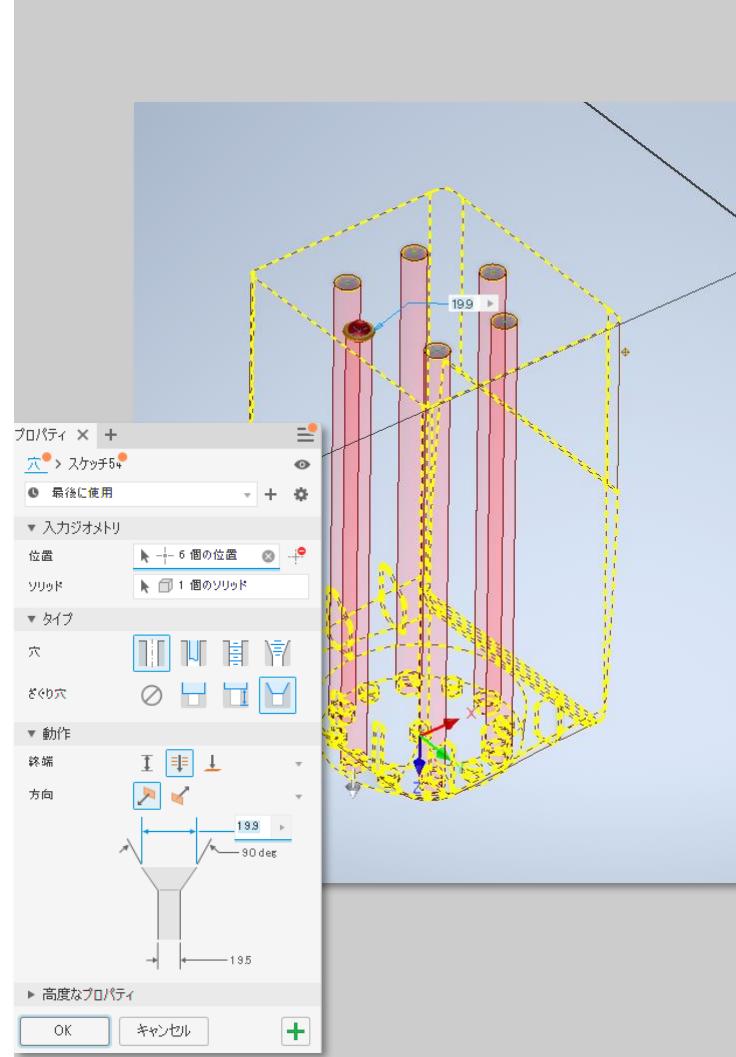
部品配置

プレートと干渉させる

集合演算(ブーリアン)

加工箇所の完成

しかし、金型では干渉箇所＝穴形状ではない



# 加工へ繋げる “構造部”

FeatureCAMへの穴加工

ネジ等の穴

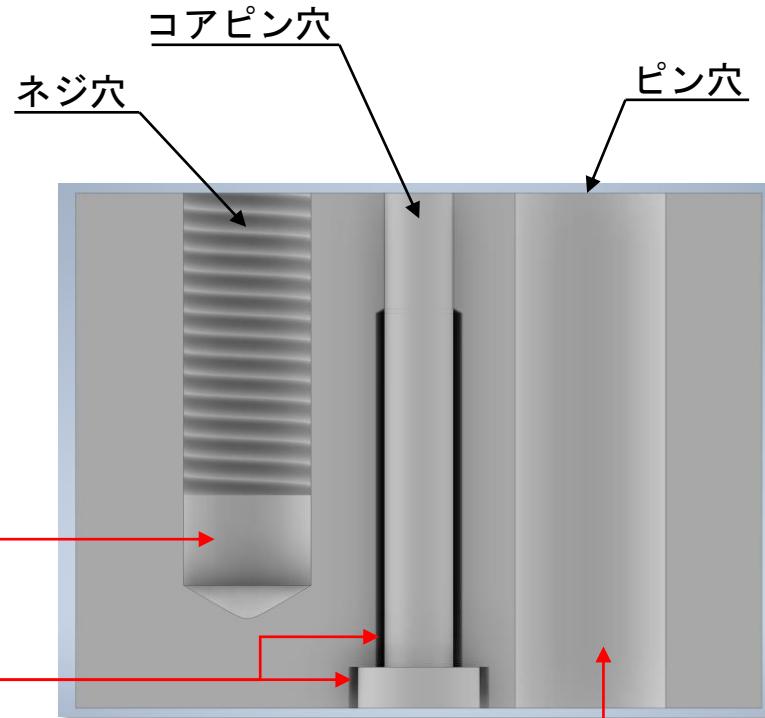
- ・下穴深さ

コアピン等の穴

- ・H公差の穴と逃し
- ・ザグリの高さ決めと逃し径

構造ピン穴

- ・用途による公差違い



干涉プレートによる  
精度の違い

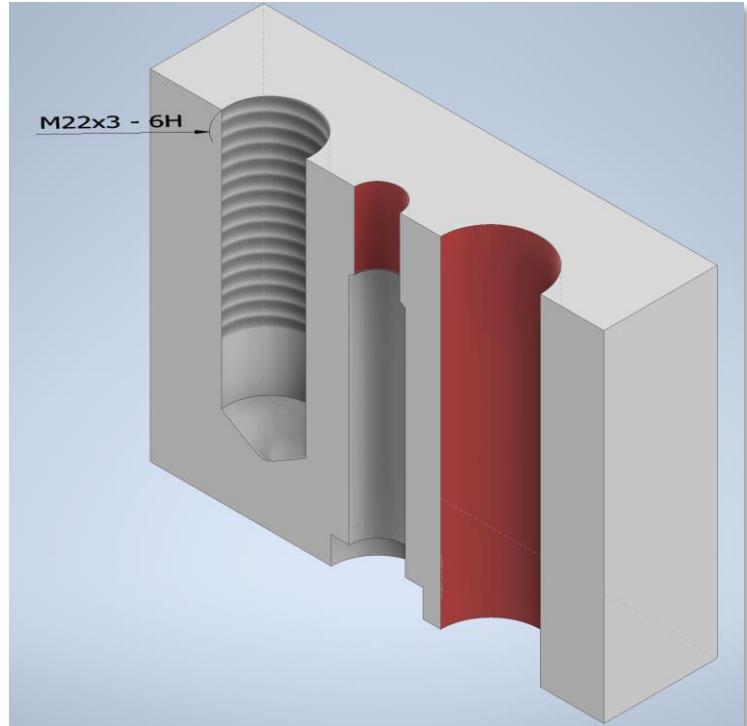
# 加工へ繋げる “構造部”

FeatureCAMへの穴加工

CAMでの解釈を考慮する

- ・穴属性を考慮できるか  
→穴属性を最優先に考える
- ・集合演算で利用できるか  
→連動性を優先する  
→同一径での違いを出す必要がある

穴属性を最優先で利用  
パーティでの集合演算での穴や  
任意の逃しがある穴は色で  
公差の表現を行う



# 加工へ繋げる “構造部”

FeatureCAMでの穴加工①

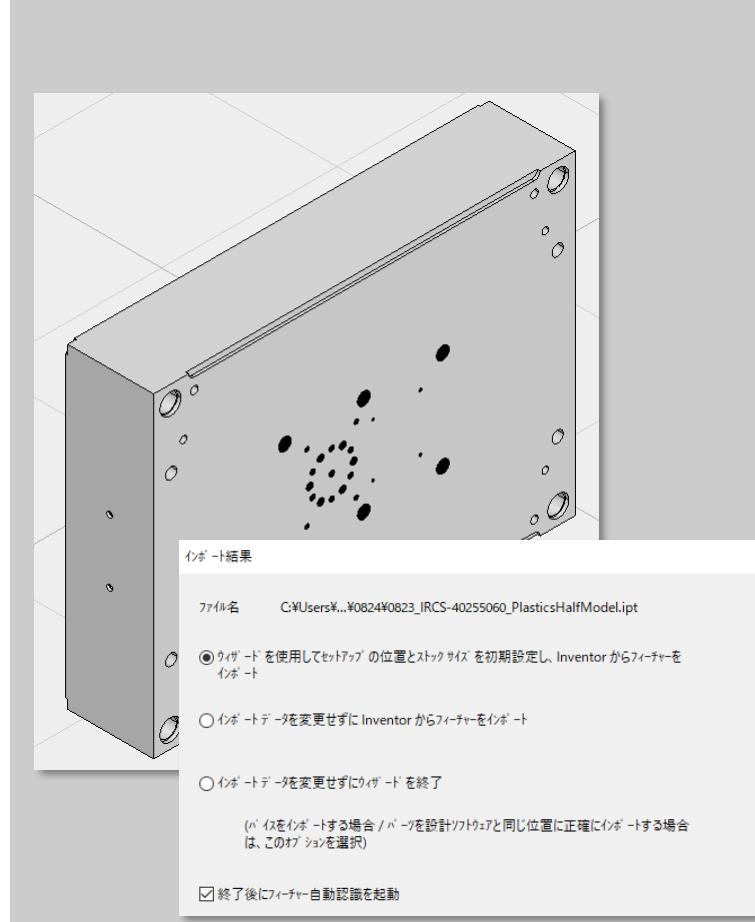
Inventorのファイル“ipt”をインポートすると

FeatureCAMでは特別なセットアップウィザードが

実行されます

Inventorで作成された“穴フィーチャー”をどう活用するか

ウィザードに沿って設定していきます



# 加工へ繋げる“構造部”

FeatureCAMでの穴加工③

セットアップウィザード

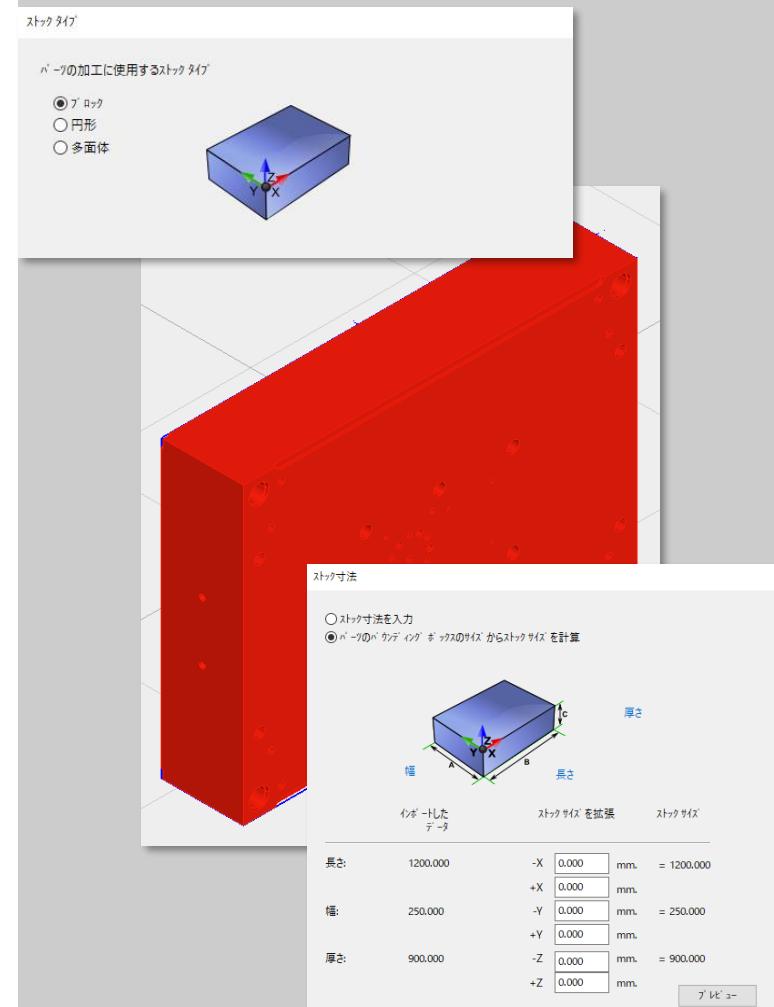
加工の向きの指示を行いその後

ストック(初期素材)の形を指示します。

現在のソリッドの大きさを参照して初期素材とします。

クリアランスを持って素材を定義するのであれば

肉厚を下の項目で指示します。



# 加工へ繋げる “構造部”

FeatureCAMでの穴加工⑤

セットアップウィザード

原点設定や多軸割り出し加工の設定を行います

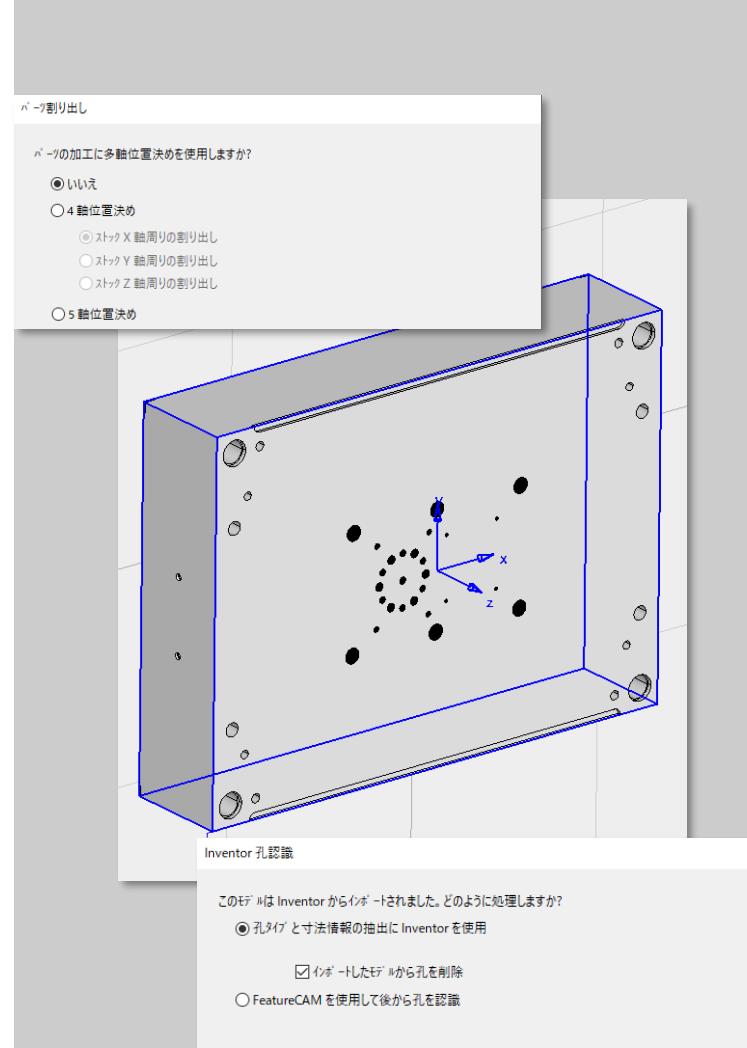
多軸では位置決め方法と割り出し方を決定します。

今回は割り出しを行いません。

そしてInvektorで作成された穴を抽出、利用するか

どうかを指示します。

“終了”するとセットアップウィザードが終了します。



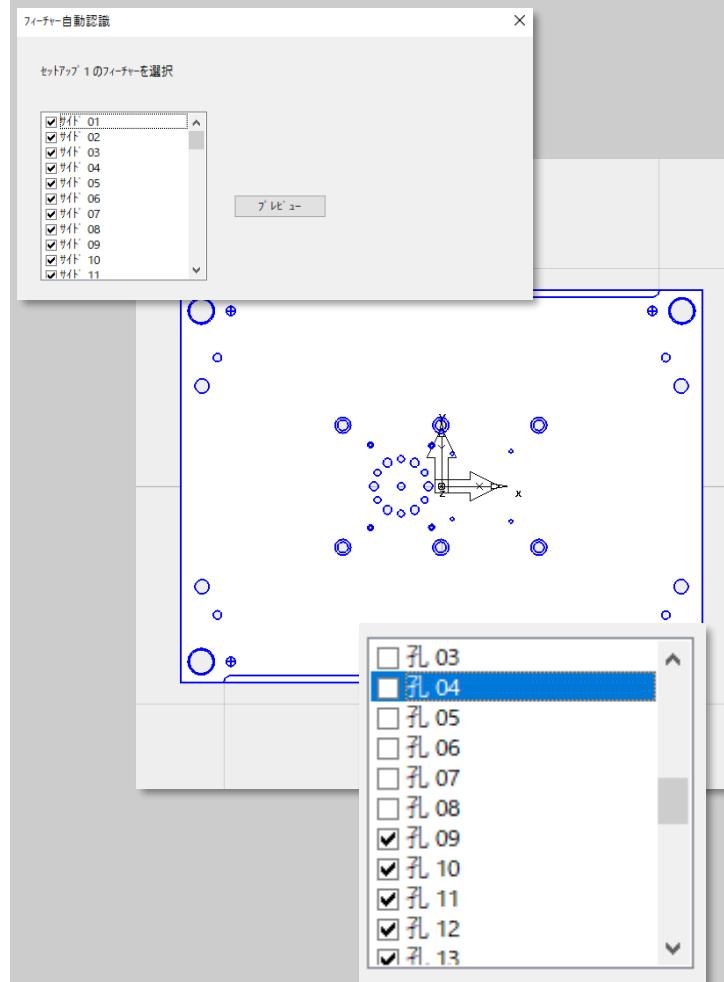
# 加工へ繋げる“構造部”

## FeatureCAMでの穴加工⑥

### 自動フィーチャー認識

加工する方向や基準が設定されると加工部位の抽出を行います。対象となるソリッド番号と設定した原点を指示して加工方向(Z)から形状を優先的に導き出します。

ミリング、穴がどのように認識されたか画面上で確認を行います。



# 加工へ繋げる“構造部”

FeatureCAMでの穴加工⑦

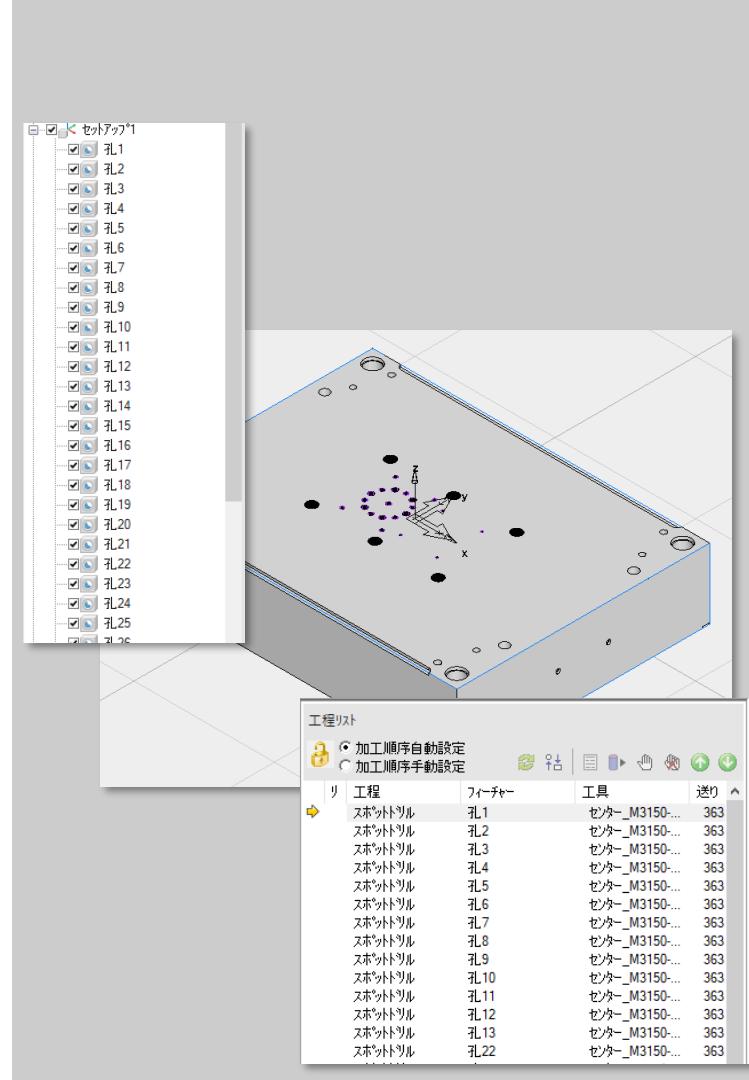
自動フィーチャー認識

“完了”を押すと指示した部位を加工対象として

展開を行います。

展開が行われると左には穴の部位が展開され

右側には工程リストが作成されます。



# 加工へ繋げる “構造部”

FeatureCAM

Inventorの穴を認識



径や深さから最終工具を算出



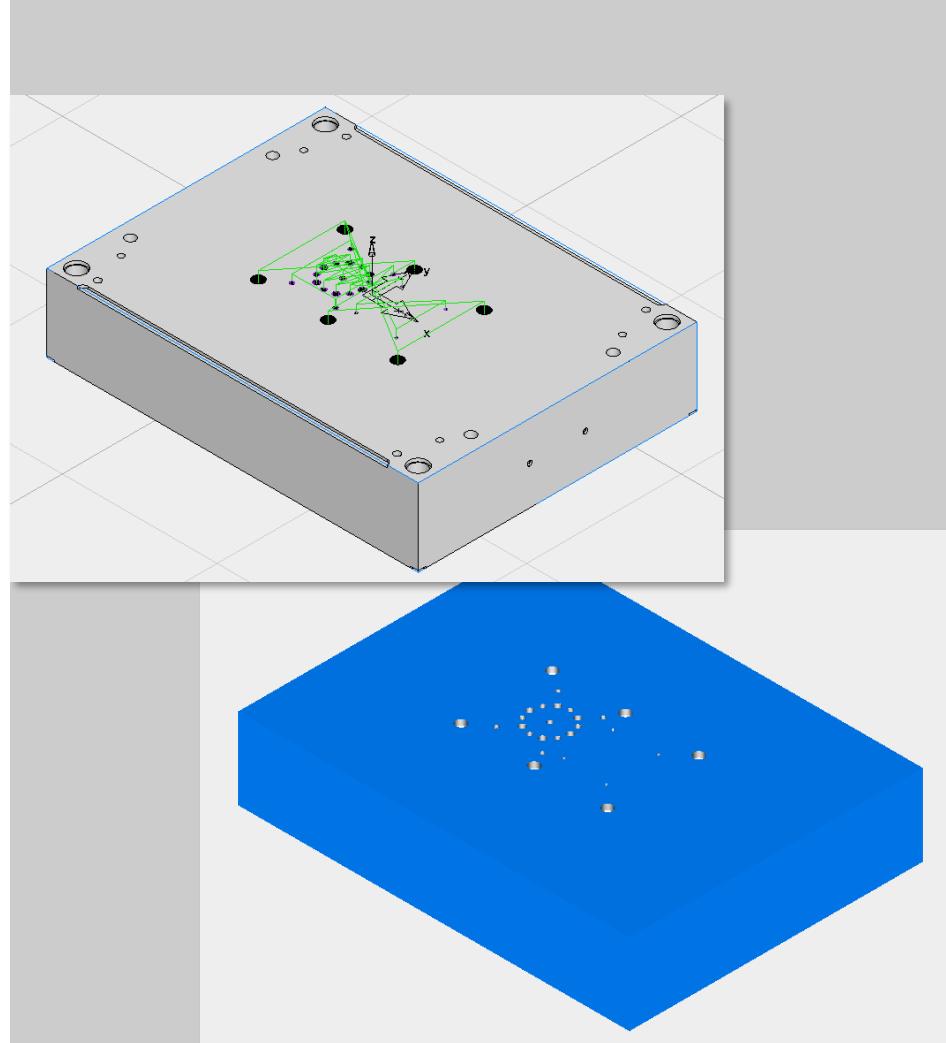
DBから工具を選択

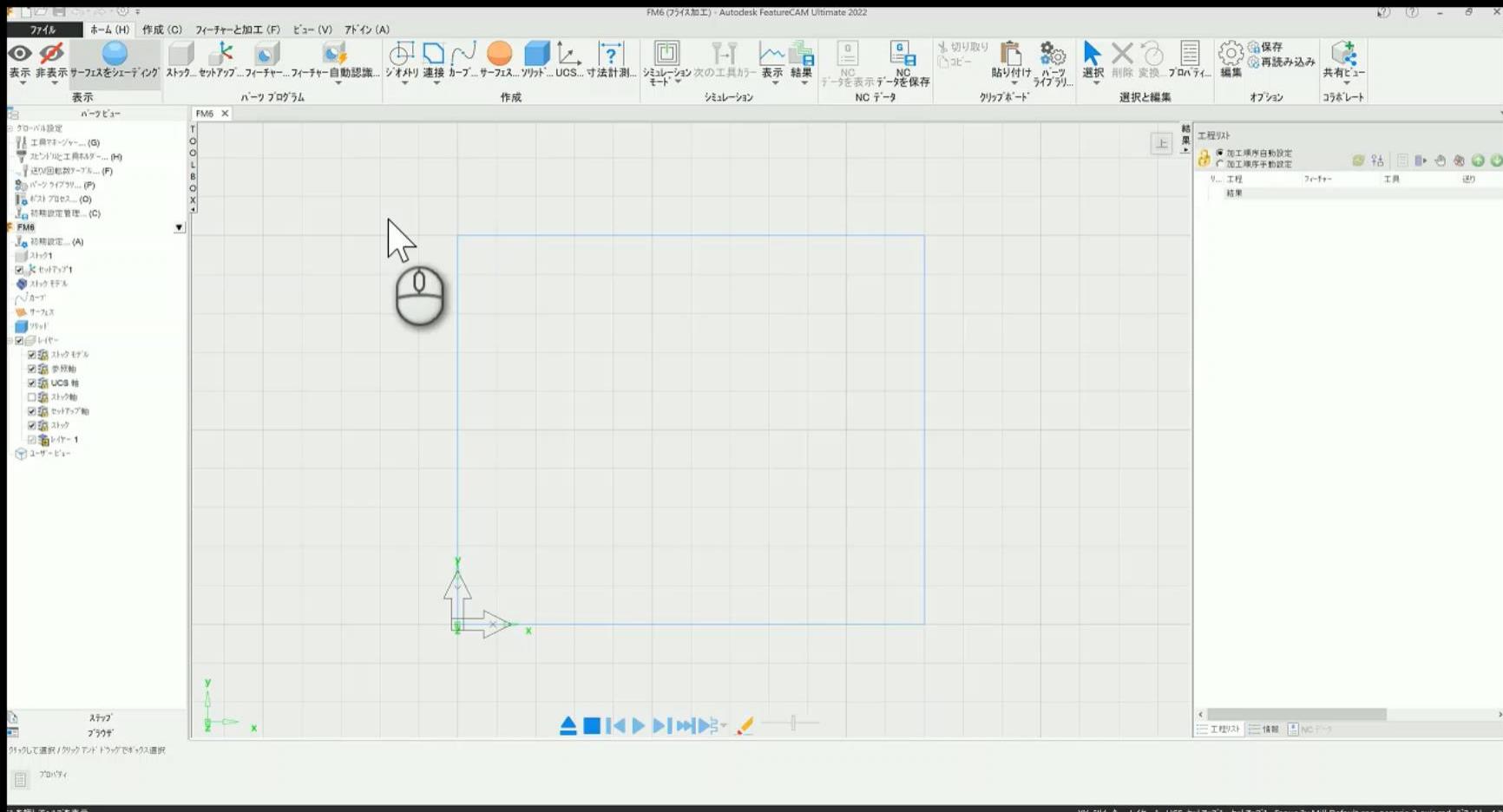


穴のパターンから前工程のセンタードリルを選択



カッターパスの生成





# 加工へ繋げる “意匠部”

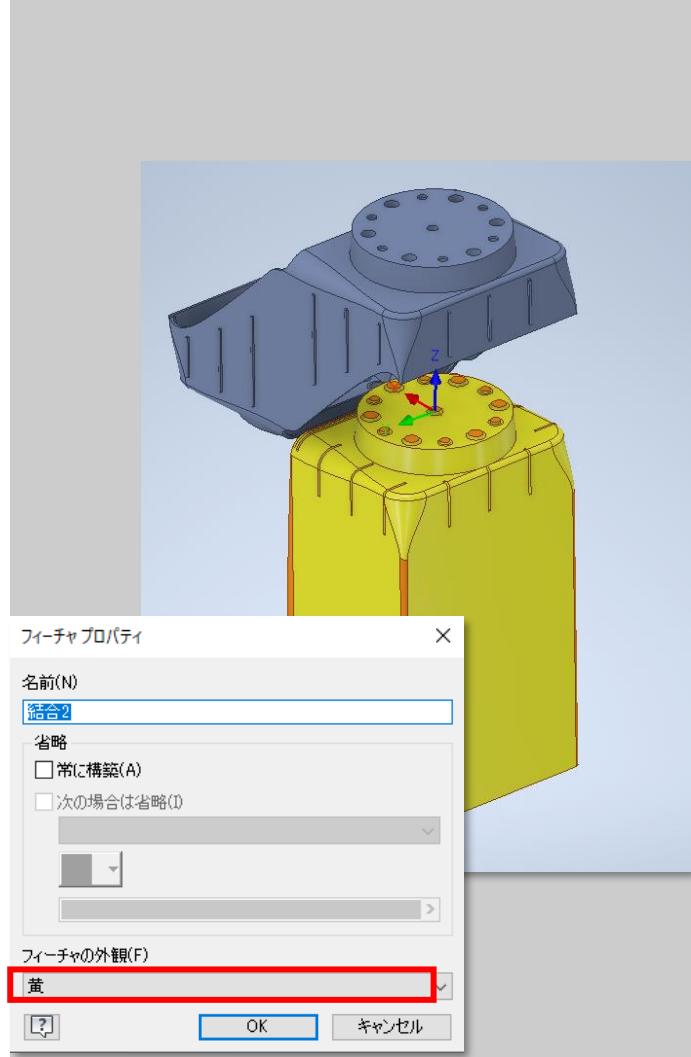
FeatureCAMへの形状加工

形状を“結合”コマンドで集合演算(ブーリアン)します

その際には“フィーチャー属性”で

形成された部分の色分けを行い

どこが製品部なのか分別がある程度付く状態にします。



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAMへの形状加工

エジェクタピン等の構造部品が入る穴や

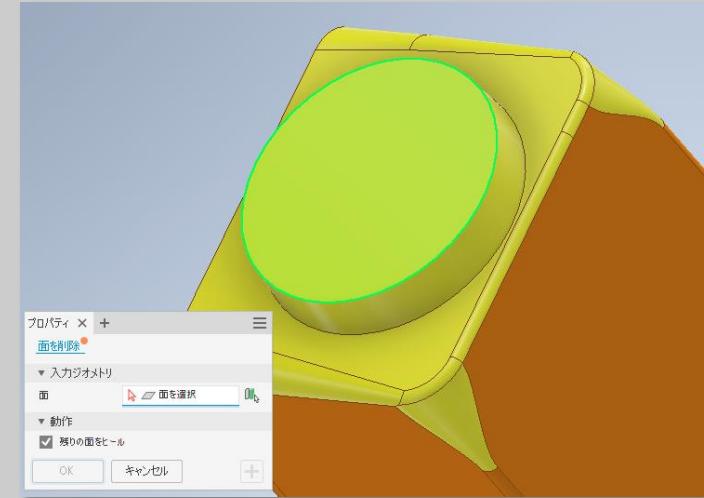
リブのように別工程で加工を行う部位を

排除してきます。

その際には“面を削除”コマンドを利用して

“残りの面のヒール”を利用すると削除とパッチを

同時に行ってくれます



# 加工へ繋げる “意匠部”

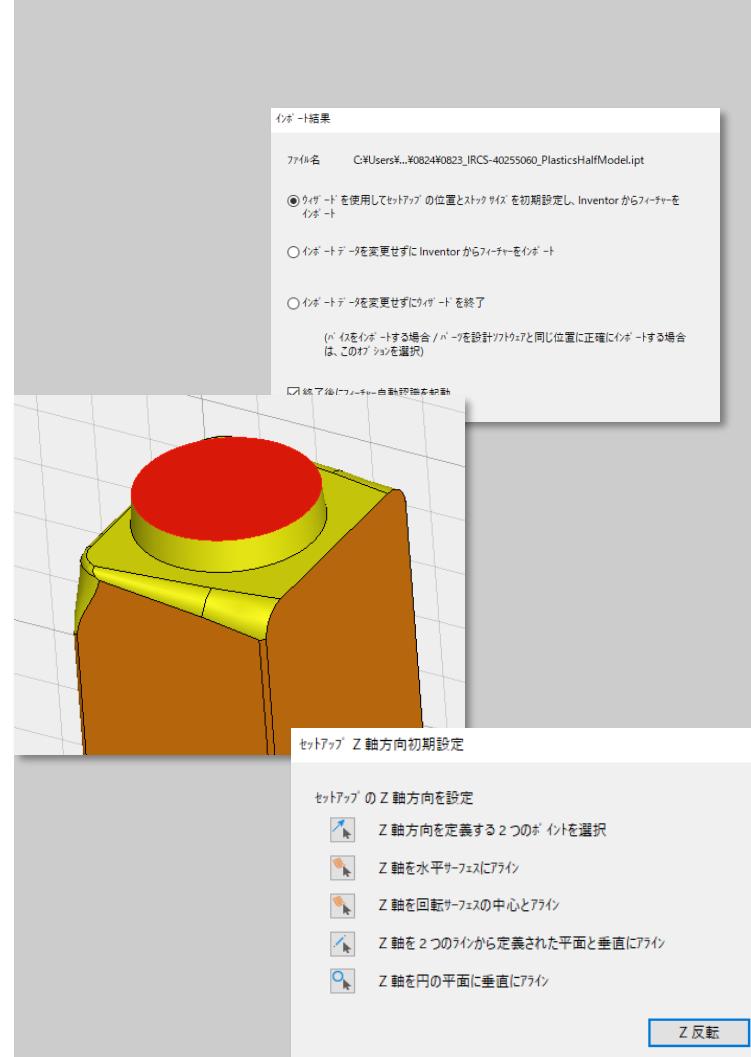
FeatureCAMでの形状加工①

先に紹介したインポート部品に対しての

加工原点や向き、素材の大きさに関する

ウィザードは同様となります。

Zの基準平面を指示



# 加工へ繋げる “意匠部”

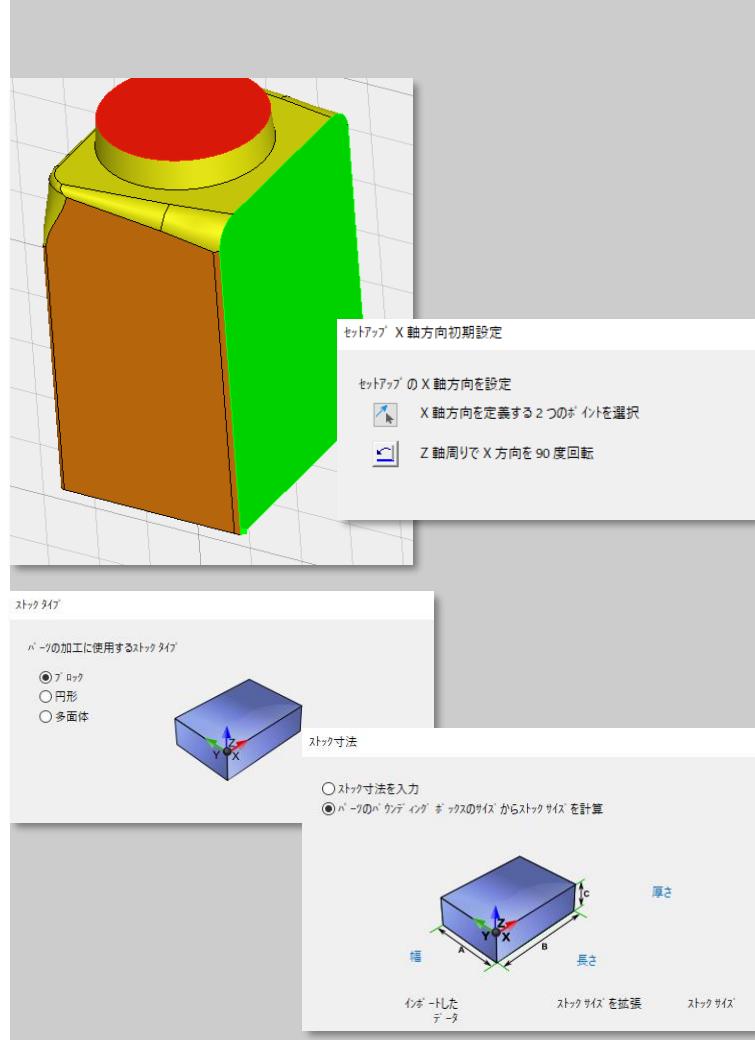
FeatureCAMでの形状加工②

X方向になるエッジ2点を指示

素材の大きさに関する設定

ブロックを基準として

現在のソリッドの大きさを参照します。



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAMでの形状加工③

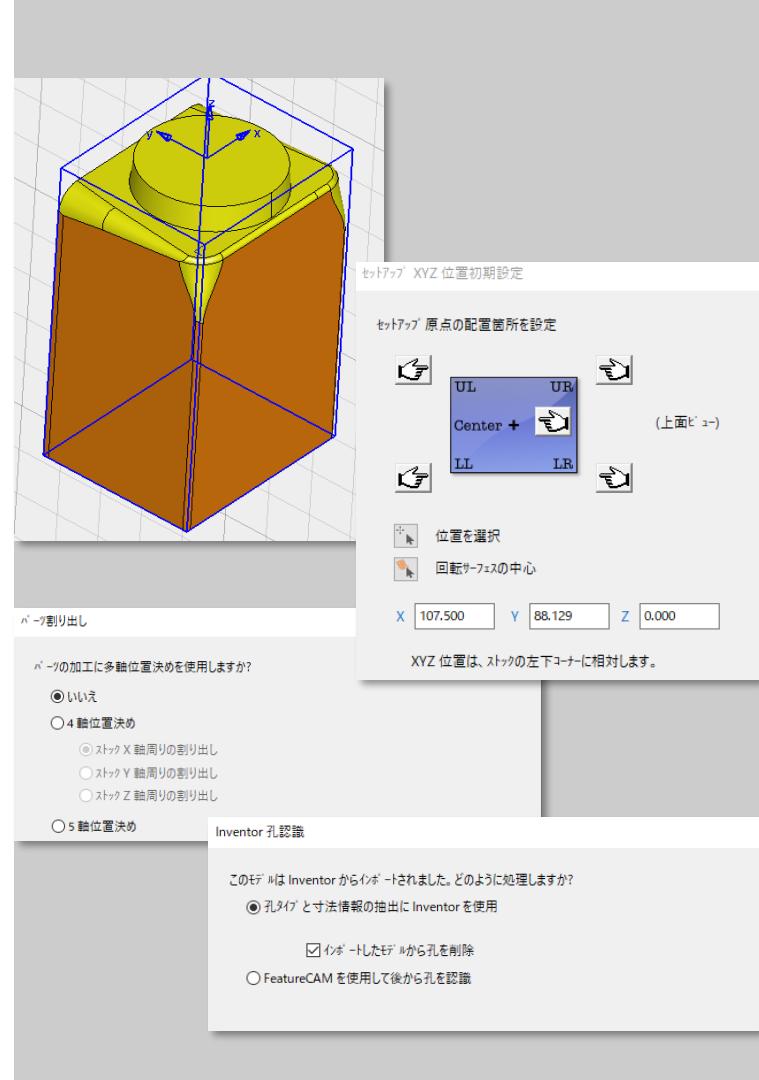
そのブロックから原点をどう設定するか決めます。

位置決めやInventorでの穴認識は

今回は行いません。

インポート直後の“セットアップウィザード”を

終了します。



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAMでの形状加工④

今回は形状部分を手動でフィーチャーとして

認識させます。

“フィーチャー作成”を実行します。

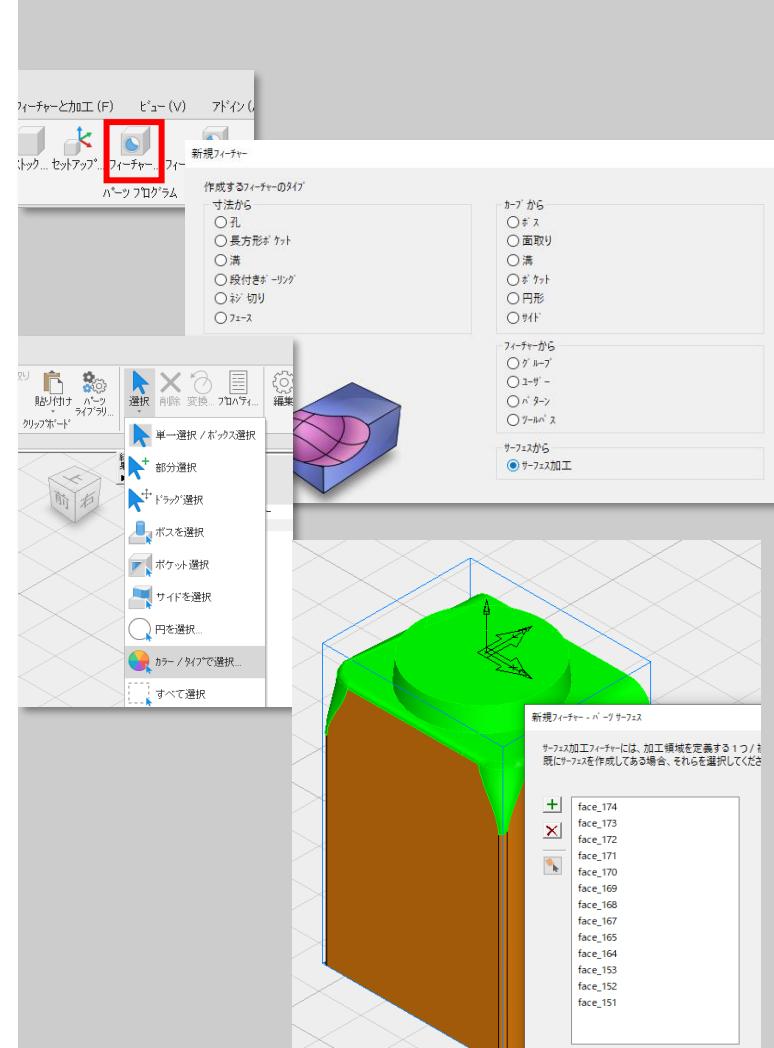
新規フィーチャーとして“サーフェース”を選択します

選択の中の“カラー/タイプ”を利用します

モデルに含まれている色が選択できますので“黄色”を

選択してダイアログ内の“+”マークを押して登録します

穴の色種別も同様に色からフィーチャーを割り当てます



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAMでの形状加工⑤

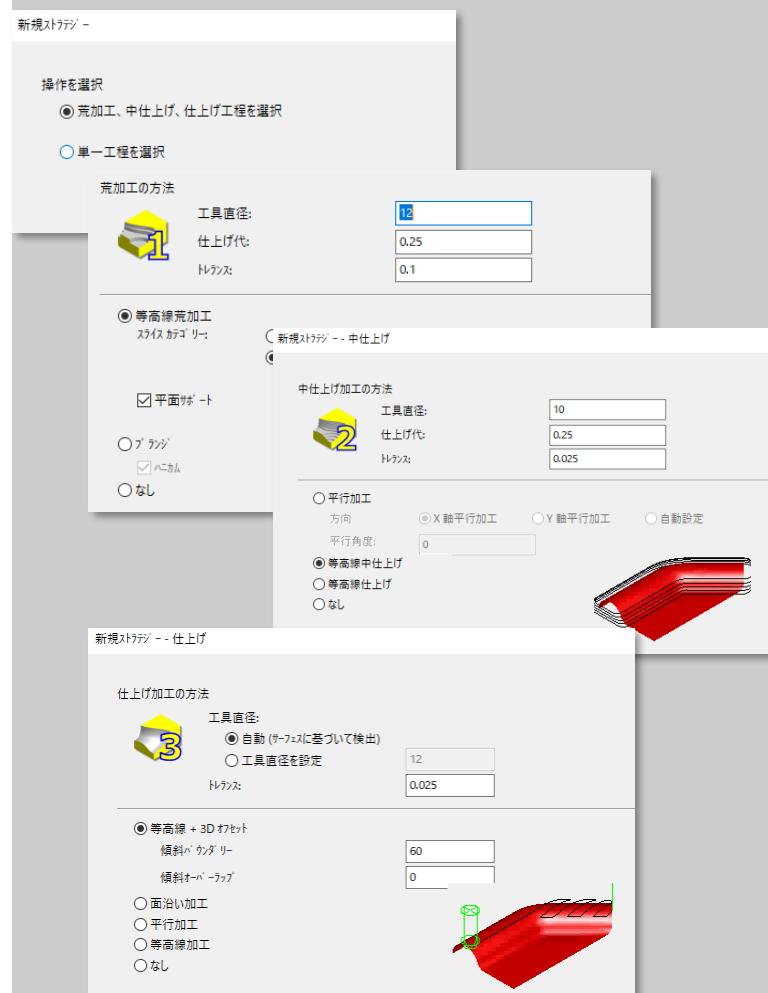
加工方法として荒取り、中仕上げを行うか決定します

1工程目の工具や仕上代を決定します。

中仕上げに関しても同様の設定を行います

3工程目は仕上げる加工方法の選択と

パラメータの設定を行います。



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAMでの形状加工⑥

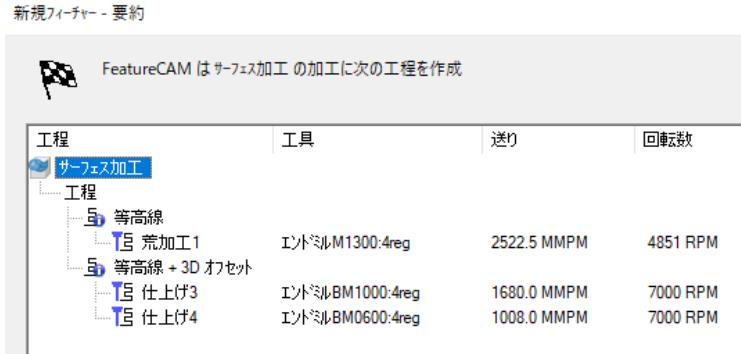
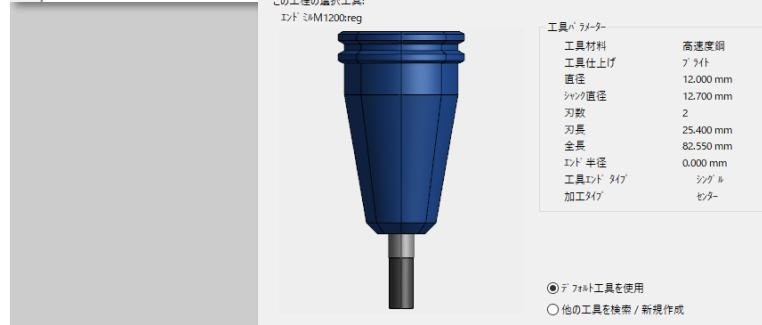
作られる工程と工具、加工条件の確認を行います

荒取りの加工工具の確認を行います。

DBから検索しますが変更も可能です

変更はDBの工具一覧から行います。

中仕上げ、仕上げに関しても同様の設定を行います



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAMでの形状加工⑦

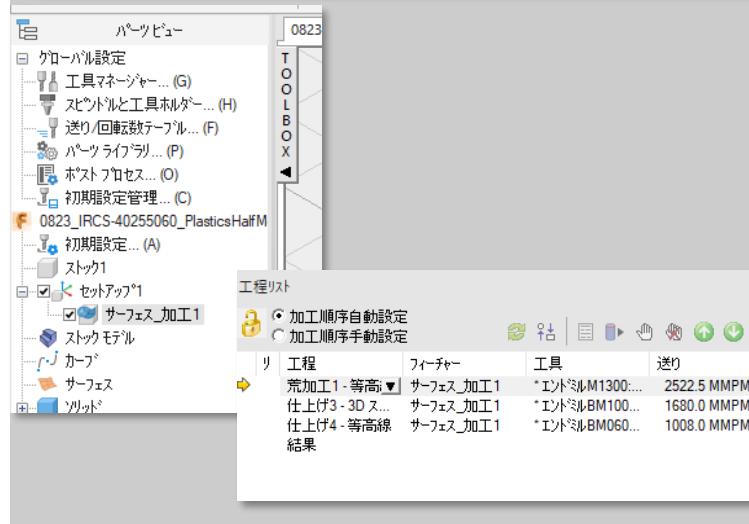
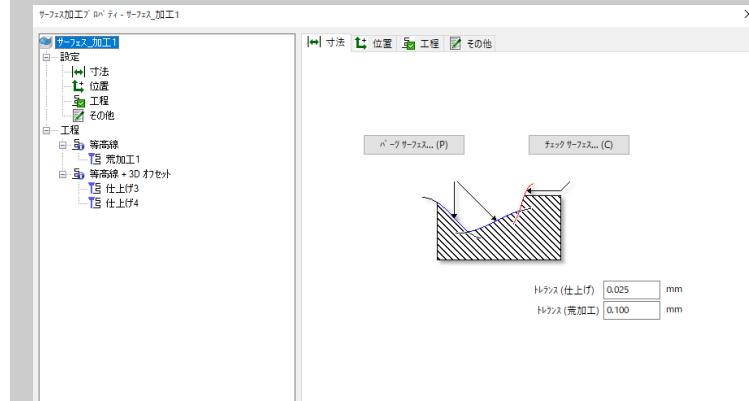
終了すると各加工工程の詳細設定画面になります。

OKを押すと左側のパーティビューには“サーフェース加工”

が作成され、右側の工程リストには荒取り～仕上げ

までの加工工程が作成されます。

シミュレーションを行うことでツールパスの計算を行います。



# 加工へ繋げる “意匠部”

FeatureCAM

Inventorの色を認識



サーフェースフィーチャーを作成



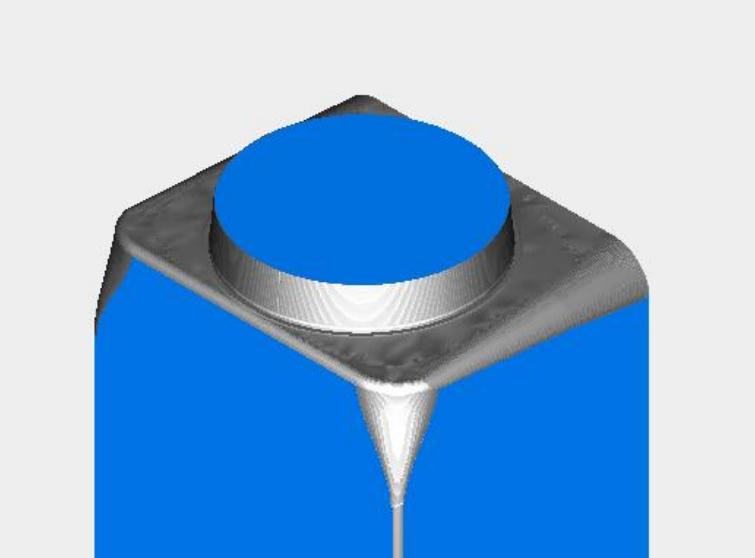
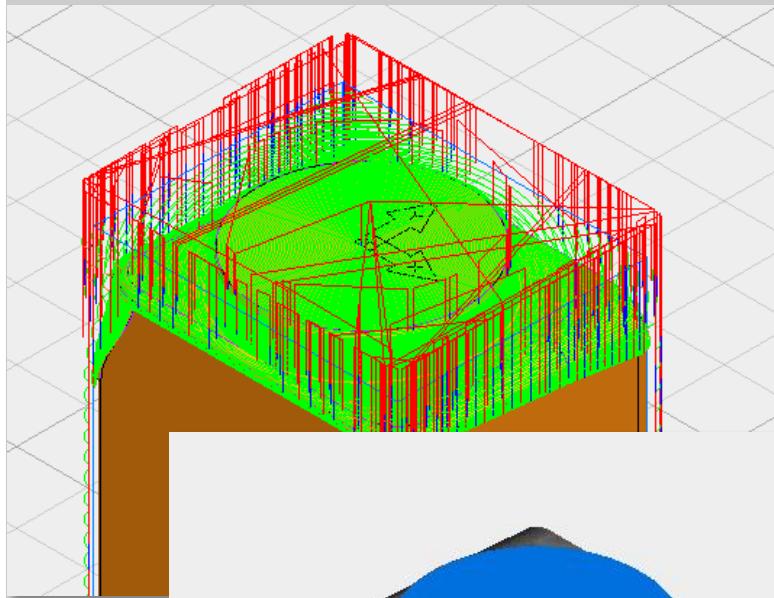
DBから任意の工具を選択

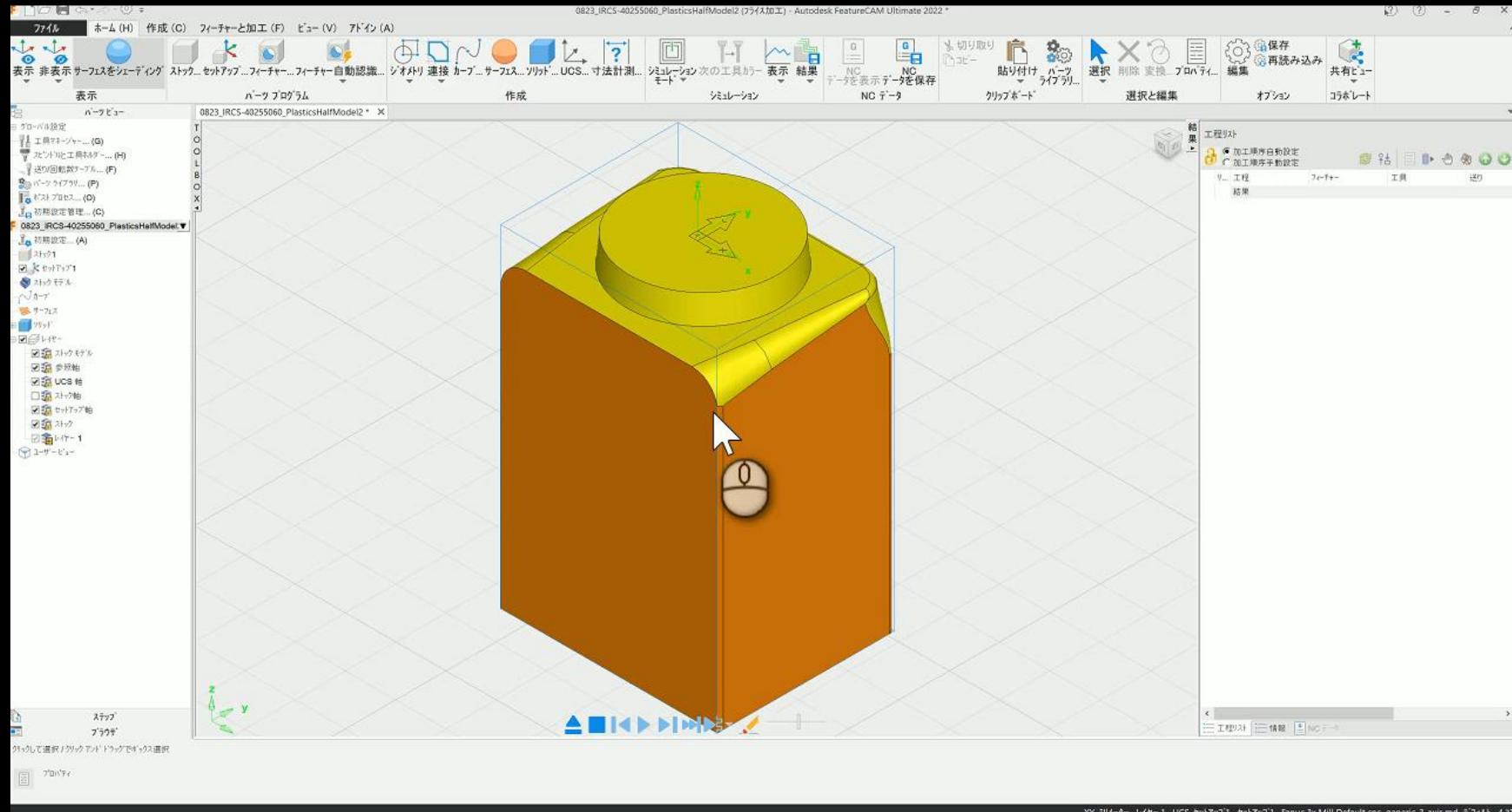


工程パラメータの設定



カッターパスの生成





# 加工へ繋げる

今回の様にInventorで金型設計までを行い

穴は穴フィーチャーで加工工程を考慮した穴をあけ、

任意の穴と意匠部分に関しては色で加工の範囲選択を自動化しています。

それらが設計の負荷をあまり大きくせず行える設計と製造の融合だと考えます。





**新しい手法に挑戦！**  
Generative Design

# ジェネレーティブデザインとは

## ジェネレーティブデザインの種類

- ジェネレーティブデザイン→コンピュータにて導き出された形状

トポロジー最適化



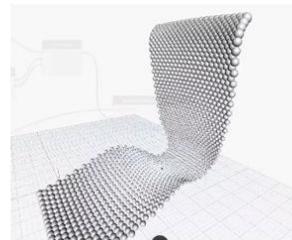
ジェネレーティブデザイン  
形状生成



ラティス



アルゴリズム



ストラクチュアル



INVENTOR®



FUSION 360™



NETFABB®

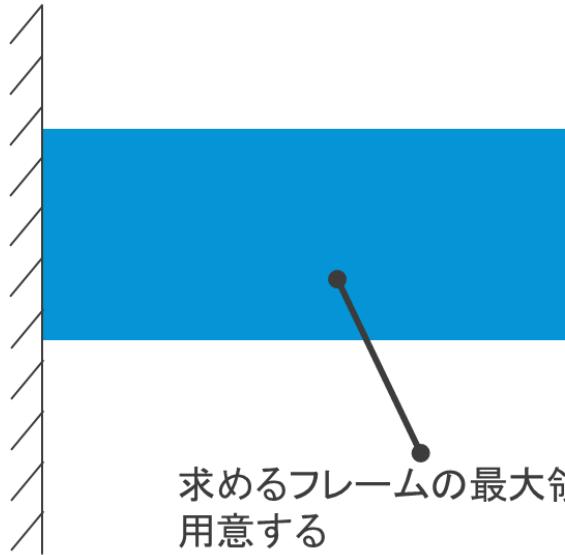


DYNAMO STUDIO

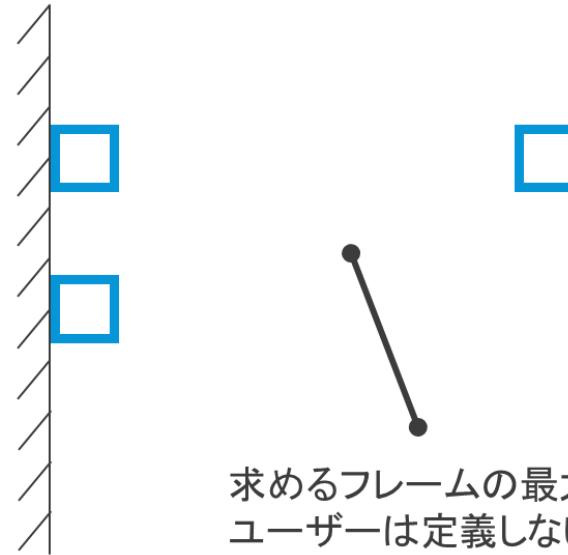
# ジェネレーティブデザインとは

ジェネレーティブデザインのアプローチ

トポロジー最適化  
(SIMP法)



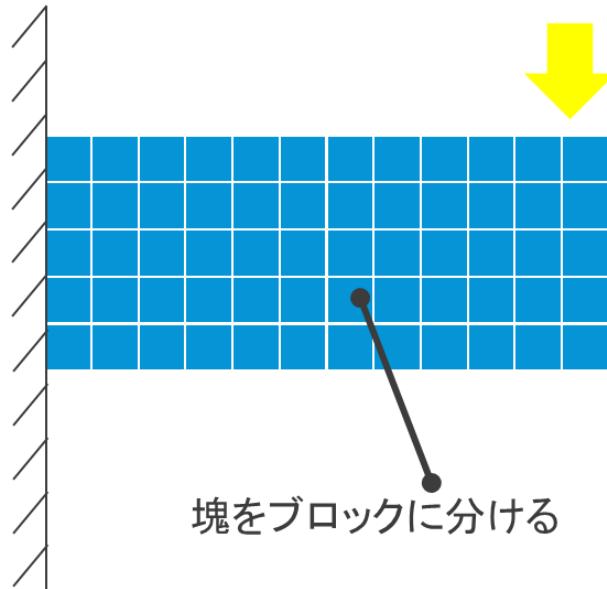
ジェネレーティブデザイン  
(レベルセット法)



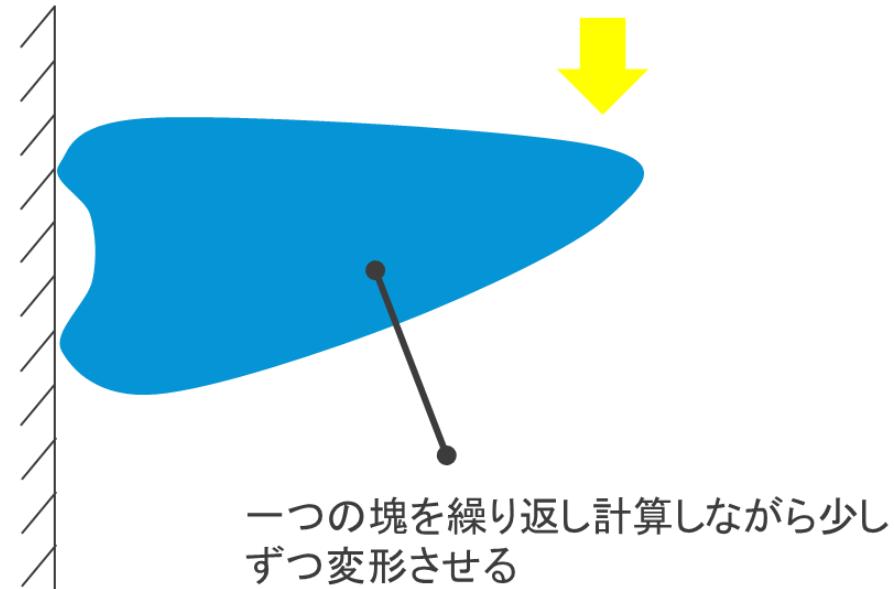
# ジェネレーティブデザインとは

ジェネレーティブデザインのアプローチ

トポロジー最適化  
(SIMP法)



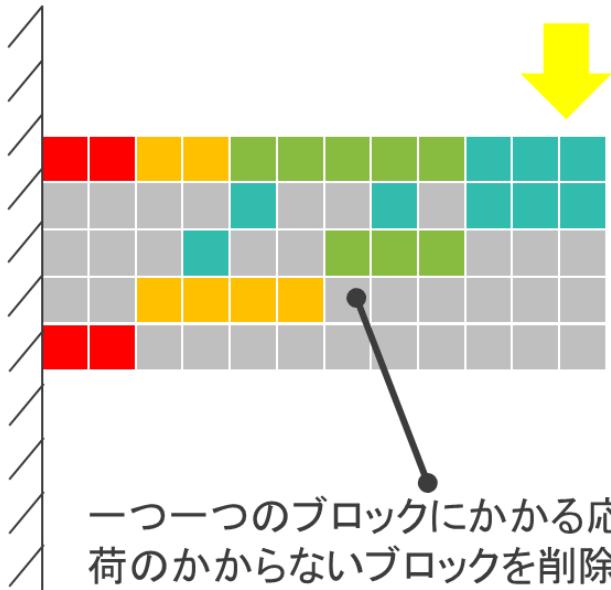
ジェネレーティブデザイン  
(レベルセット法)



# ジェネレーティブデザインとは

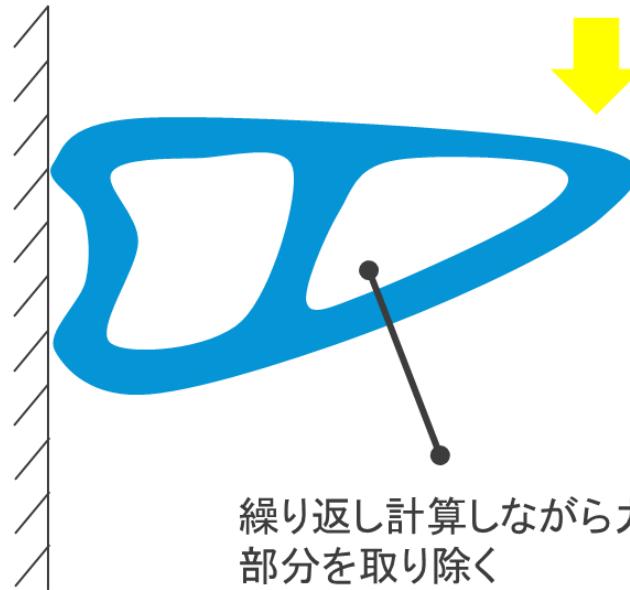
ジェネレーティブデザインのアプローチ

トポロジー最適化  
(SIMP法)



一つ一つのブロックにかかる応力より、負荷のかからないブロックを削除

ジェネレーティブデザイン  
(レベルセット法)

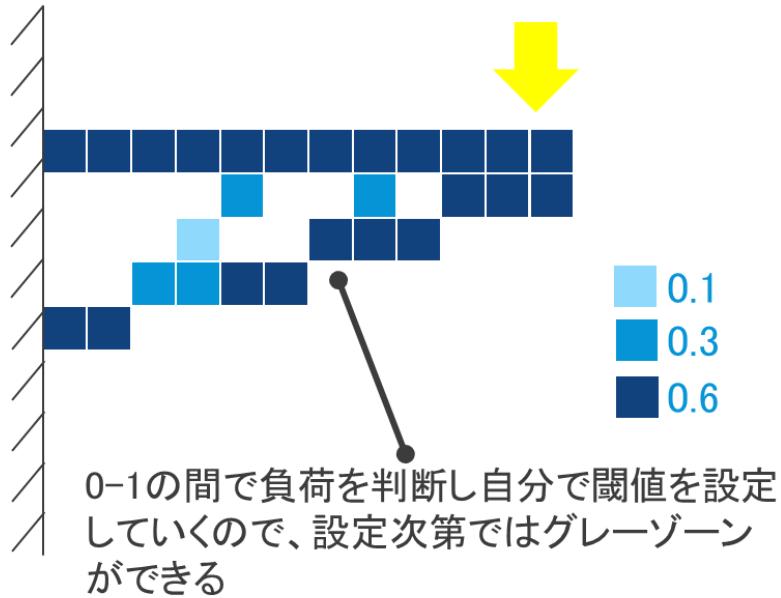


繰り返し計算しながら力のかからない部分を取り除く

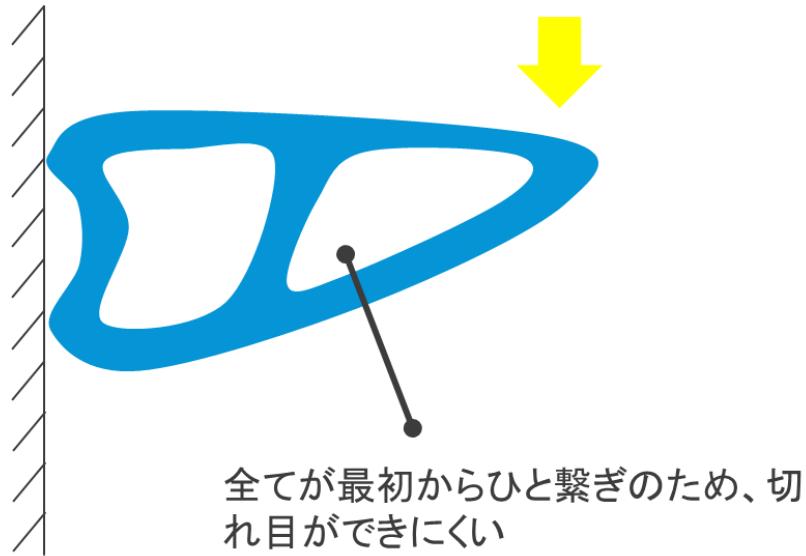
# ジェネレーティブデザインとは

ジェネレーティブデザインのアプローチ

トポロジー最適化  
(SIMP法)



ジェネレーティブデザイン  
(レベルセット法)



# ジェネレーティブデザイン

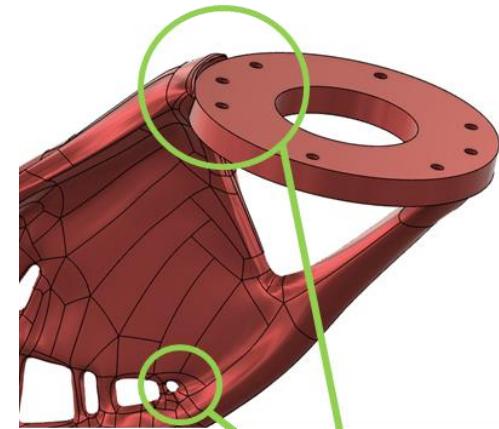
## 活用のポイント

- 指標としての利用
  - 生成形状を参考に、製作・加工方法を考慮したデザインをつくる

生成された形状で必ず作らないといけない



- 学びとしての利用
  - 必要な機能・形状を純粋に知りたい時に
- 構造解析の利用
  - 最終デザインに対して構造解析を実施し最終確認



無くてもよさそうな形状

Autodesk Fusion 360 フィルタ 定義

IRCS-40255060\_GDBaseModel\_R03\_上部モデル v5\*

IRCS-40255060\_GDBaseModel\_R03\_下部モデル v3\*

デジネーティブ デザイン

モデルを編集

デザイン スペース

荷重と拘束

デザイン 基準

マテリアル

生成

検討

検査

選択

ブラウザ

単位: カスタム

ジェネレーティブ モデル 1

- ビューマネージメント
- 原点
- モデルのコンポーネント
- 構造スタディ 1**
  - 保持ジョイント
  - 降着物ジョイント
  - 降着物のオフセット
  - 開始形状
  - 割り当てられていないジョイント
- 目標
- 製造
- 荷重ケース 1
- 荷重ケース 2
- 荷重ケース 3
- 荷重ケース 4
- 荷重ケース 5
- 荷重ケース 6

# ジェネレーティブデザイン部品の結果

ブラケット部品に対して

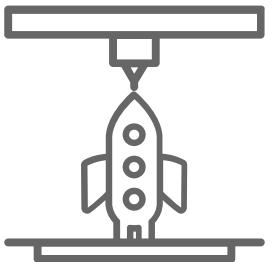
- 材質
  - 用途に合わせて選定。耐久性、耐熱性、耐候性、耐摩耗性、耐薬品性・・・
  - チタン
- サイズ
  - 製造できる大きさ
  - 2パートに分割
- 肉厚
  - 造形できない極端な薄肉はさける
  - 最小肉厚10mm
- 強度・安全性
  - 壊れない、溶けない・・・
  - チタン品。確認のための構造解析実施
- 重量
  - 元の部品(22kg)より軽い
  - 総重量12kg
- 製造
  - 製造機器の選定。切削の場合は、加工方法なども考慮
  - 金属3Dプリンターを想定しているけど・・・

# 3Dプリント

Okay,  
It's time for  
3D Printing !!

でも、どうして？

[But, why me?]



# 3D Printのハードル

コスト、時間、設備の問題ではない

## 1. アディティブエンジニアの不在

- 3Dデータがあるだけではダメ
- 3D Printには適切な準備が必要
- 適切な準備にはスキルが必要

## 2. 積層造形の加工知識不足がバイアスを生む

- コストを過剰に高く見積もる
- デメリットばかり注目してしまう
- メリットを過小評価する



# 積層造形の知識と準備

失敗要因を理解し、準備で対策

正しい準備をしないと造形は“確実に失敗”します。  
これは造形方法、素材、大きさ等に関係しません。  
でも、失敗の要因は三つだけ！

## 要因1 : 3Dプリンタ

- プリンタの停止、加工不全など

## 要因2 : 3Dデータ

- 体積のないデータ、表裏の定義が甘い  
データが原因で正しく出力されない
- STLのエラーがスライスデータを破壊する

## 要因3 : プロセス

- 追加工忘れ、本体部分切断など

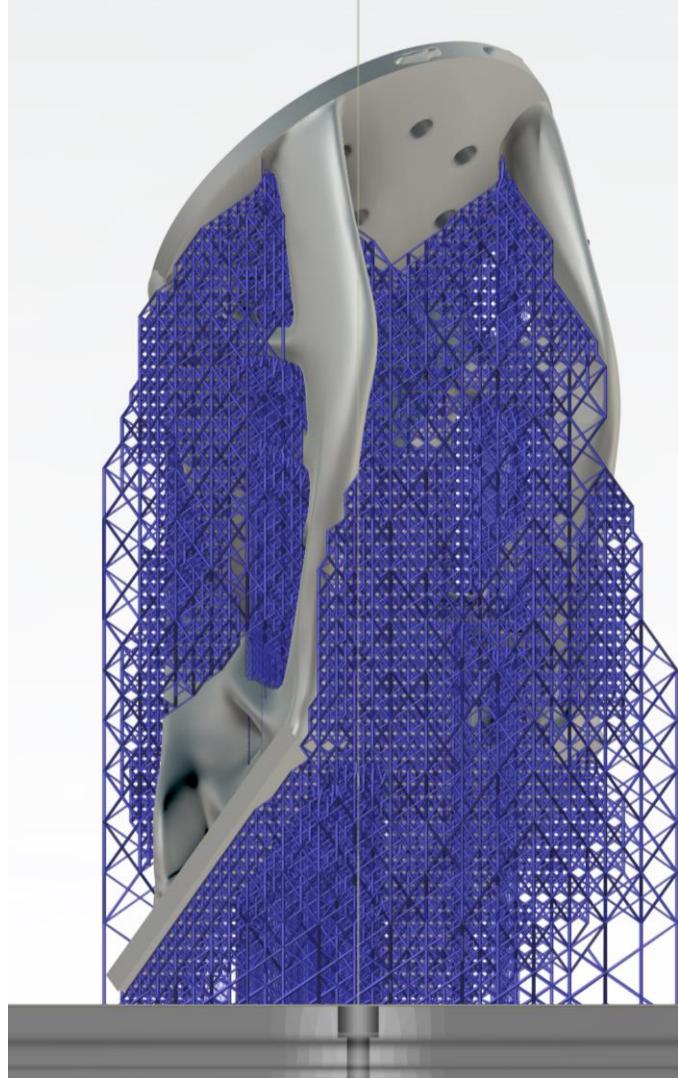
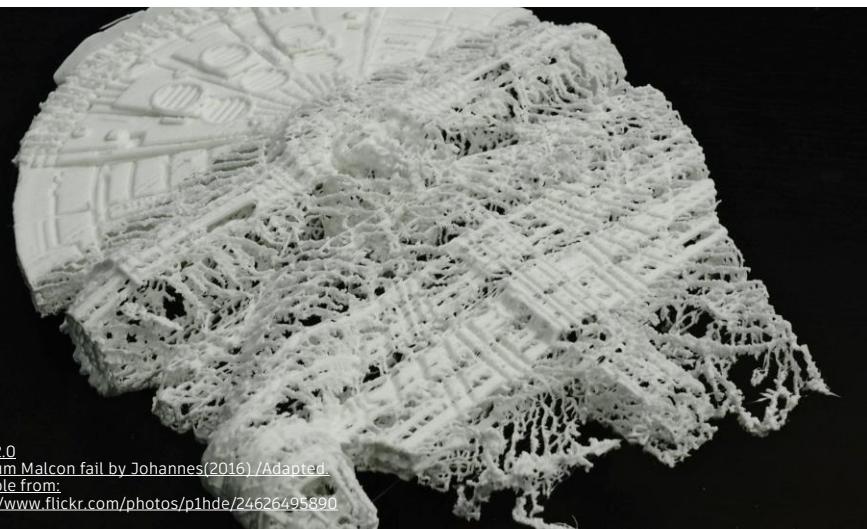




Image Courtesy of Imgur



CC BY 2.0  
Fillenium Malcon fail by Johannes(2016) / Adapted.  
Available from:  
<https://www.flickr.com/photos/p1hde/24626495890>

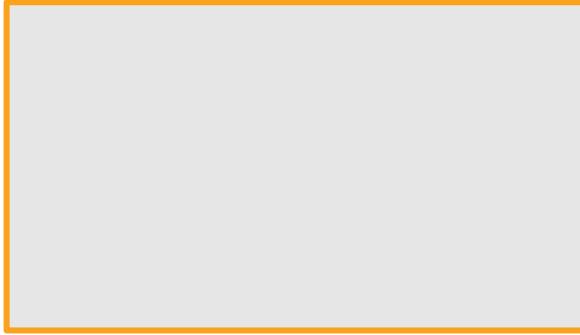


CC BY-NC-ND 4.0  
Additive manufacturing of Ti6Al4V alloy: A review - Scientific Figure on ResearchGate.  
Available from:  
[https://www.researchgate.net/figure/a-Crack-formation-induced-by-the-build-up-of-residual-stresses-during-manufacturing-of\\_fig8\\_329769042](https://www.researchgate.net/figure/a-Crack-formation-induced-by-the-build-up-of-residual-stresses-during-manufacturing-of_fig8_329769042) [accessed 1 Sep, 2021]

# 5ステップで造形準備 (1/2)

Fusion360 Additive & Build Simulation でカンタン、半自動化

## 造形方向決め



### ポイント

#### 積層の向き:

強度に影響、積層部分は剥がれやすい

積層痕を消す必要がある場合は方向に留意

#### 造形時間:

多くの場合、高さと造形時間は比例する

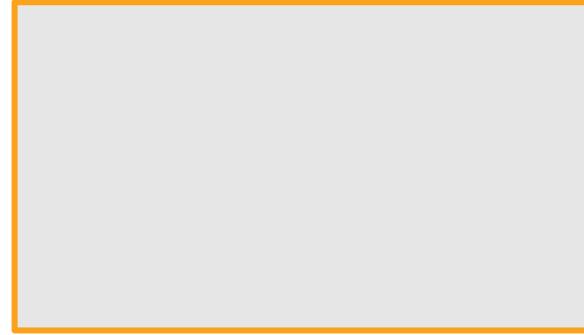
造形時間と造形物が必要になる時刻を考慮

#### 後加工の大変さ:

サポート除去の手間に大きく影響

ツールが届かずサポートが取れない事態も

## サポート設計



### ポイント

#### 必然性:

サポート設計を必要としないマシンもある

#### サポートの種類:

生成に掛かる時間はサポートの種類によって差が大きい、加えて設定次第で外しやすさに雲泥の差がある場合にはマニュアル設計を：

稀なケースではあるが、サポートをモデリングすることで大きなメリットを享受できることがある。サポートは自動生成されるもの、と思い込むのは損

# 5ステップで造形準備 (2/2)

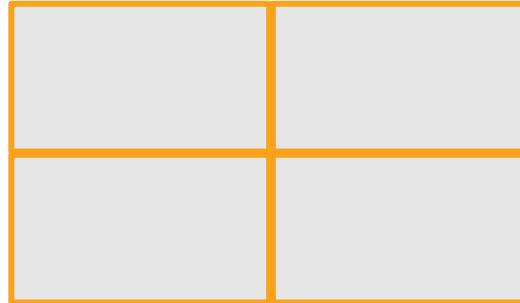
サブタイトル

## レイアウト



一度にどれだけの数が造形できるか決まる  
熱だまりを避け、マシンの弱点も避ける  
リコーターへの負荷もレイアウト次第

## 熱変形対策



金属造形には必須、金属溶解の際の熱で造形物は膨張する  
肉厚部位と肉薄部位では冷えるスピードが異なる為に、反りや割れが発生する  
予め熱変形をシミュレーションし、3Dモデルに逆変形を掛けることで解決

## 情報共有



どこがサポートでどこが本体か後加工者へ正しく伝える  
3Dプリンタも工作機械、寸法などは必ず確認  
出力物からマシンや材料のコンディションが把握可能、統計をとってみよう

# まとめ

造形準備はFusion360で全部できる

造形準備は造形失敗を回避する上で必須

造形失敗の要因と、対策は限定的

対策を講じる際には優先順位付けが重要

優先順位はシチュエーションによって都度異なる

造形準備のスキルを高め、アディティブエンジニアへ！



# 設計と製造プロセスの融合

CONVERGENCE OF DESIGN & MANUFACTURING

# 循環型プロセスで製造業DXを推進



# AUTODESK UNIVERSITY

Autodesk およびオートデスクのロゴは、米国およびその他の国々における Autodesk, Inc. およびその子会社または関連会社の登録商標または商標です。その他のすべてのブランド名、製品名、または商標は、それぞれの所有者に帰属します。オートデスクは、通知を行うことなくいつでも該当製品およびサービスの提供、機能および価格を変更する権利を留保し、本書中の誤植または図表の誤りについて責任を負いません。