



マルチエージェントシミュレーションを用いた AIやIoTと親和性のある 熱処理シミュレーション

旭川工業高等専門学校 機械システム工学科
北海道大学 工学部

○杉本 剛
秦 虹希





本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ マルチエージェントシミュレーション
- ✓ AI (Artificial Intelligence)と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -
- ✓ AIと熱処理シミュレーションの組み合わせ
- ✓ 実際の熱処理問題への適用とその結果
- ✓ 発展形，工場ラインへの適用について





本日の発表の流れ

✓ 研究の背景

✓ マルチエージェントシミュレーション

✓ AI (Artificial Intelligence) と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -

✓ AI と熱処理シミュレーションの組み合わせ

✓ 実際の熱処理問題への適用とその結果

✓ 発展形、工場ラインへの適用について



DX in 製造業



実験をシミュレーションで置き換える



CAD/CAEによる
従来の設計技術の支援



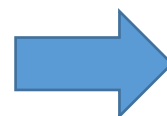
自動運転
etc...



仮想空間上での製品開発
MBD (Model Based Development)は
開発の中心・リスク管理に必須



製品開発はMBD (Model Based Development)
に移行している

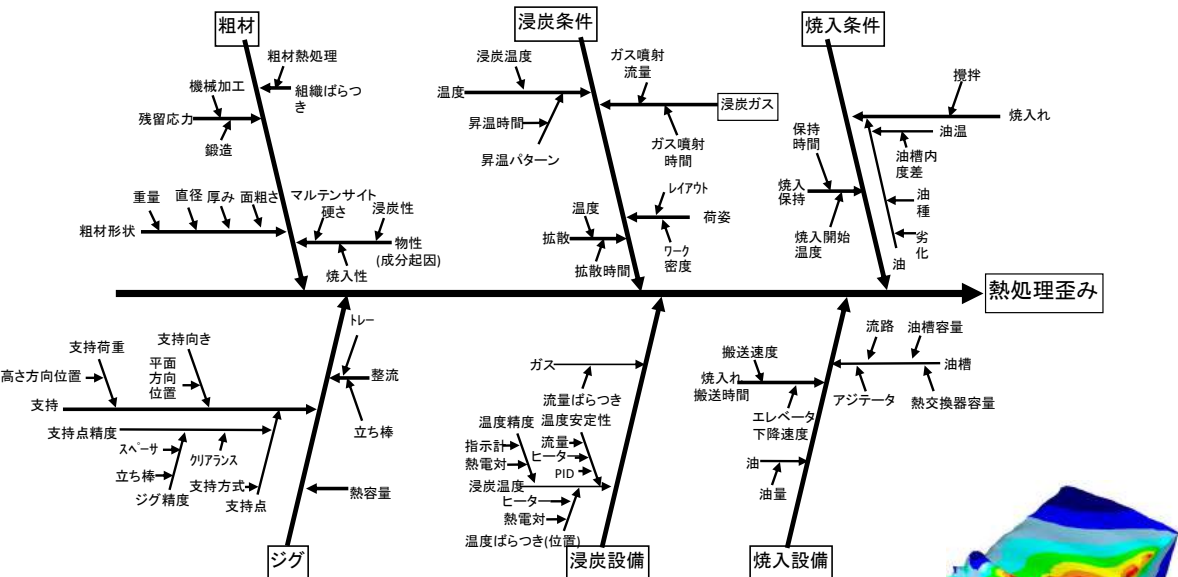


材料や製品開発も MBDに移行する
必要がある！！

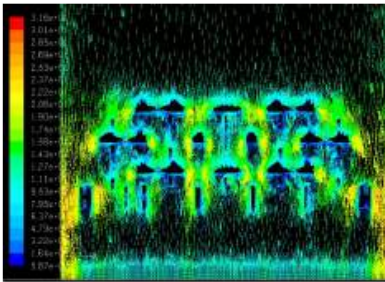




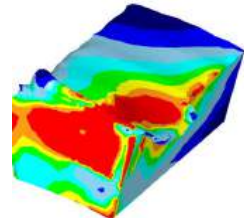
熱処理シミュレーションの困難さ



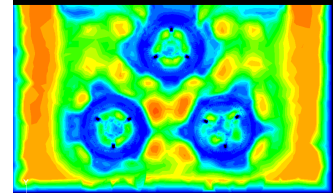
複雑な要因効果



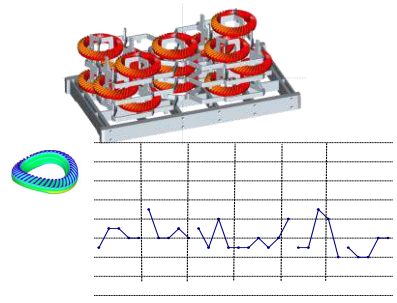
ガス焼き入れでの
流体の流れ



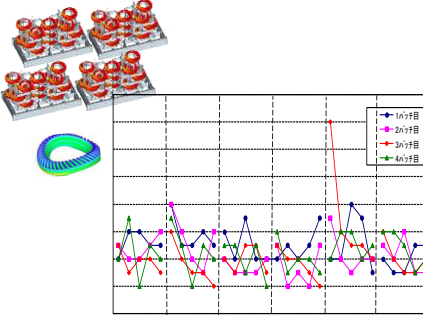
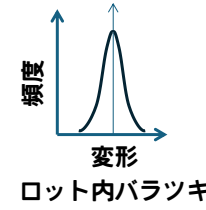
加工完
残留応力分布



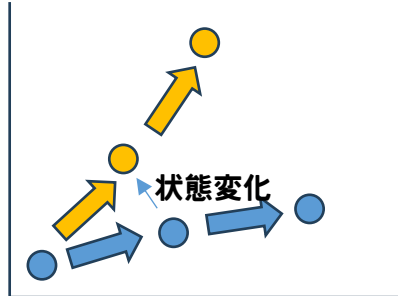
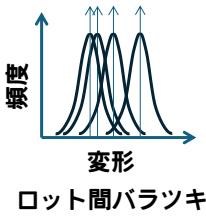
油焼き入れでの
流体の流れ



空間的変動



時間的変動

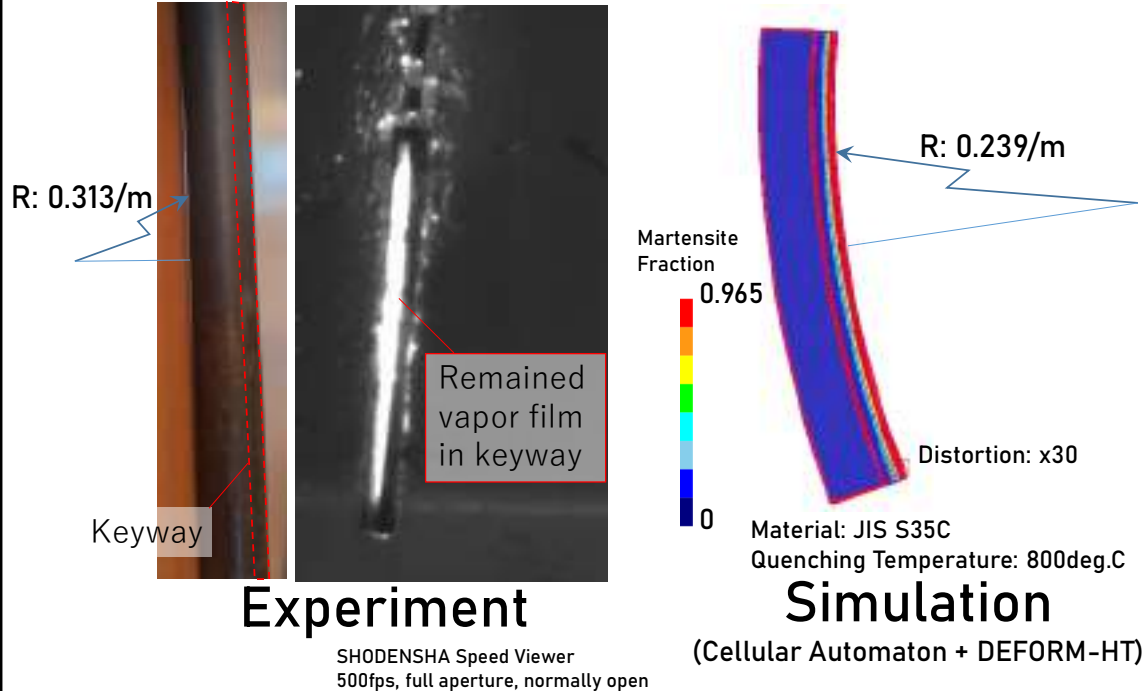


少しの差が大きな
結果の差につながる
→複雑性(カオス性)

- ✓ 複雑なパラメタ群
 - ✓ 広い空間・時間的変動
 - ✓ 複雑性(カオス性)をもつ挙動
 - ✓ 理解しがたいパラメタの空間内分布
- 従来の逐次的な
計算では
「組合せ爆発」！

熱処理シミュレーションの使い方

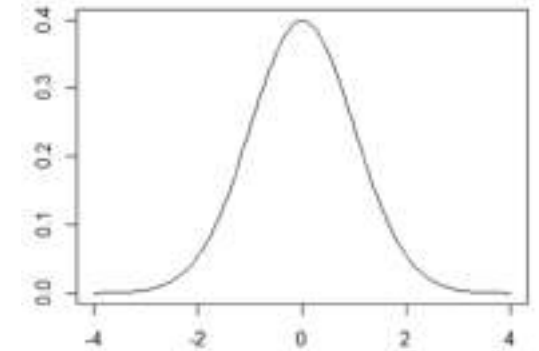
Correlation – Bar shape with Keyway-



熱処理シミュレーションの目的

① なぜ変形しているのか、細かい原因を調査する

② 全体的な品質分布を知り、源流 or 流出後対策を実施する





本研究の目的

- ✓ 生産条件から全体的な品質分布を知る方法を構築する

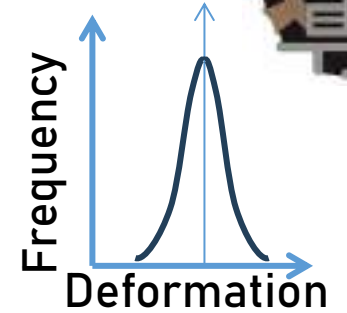




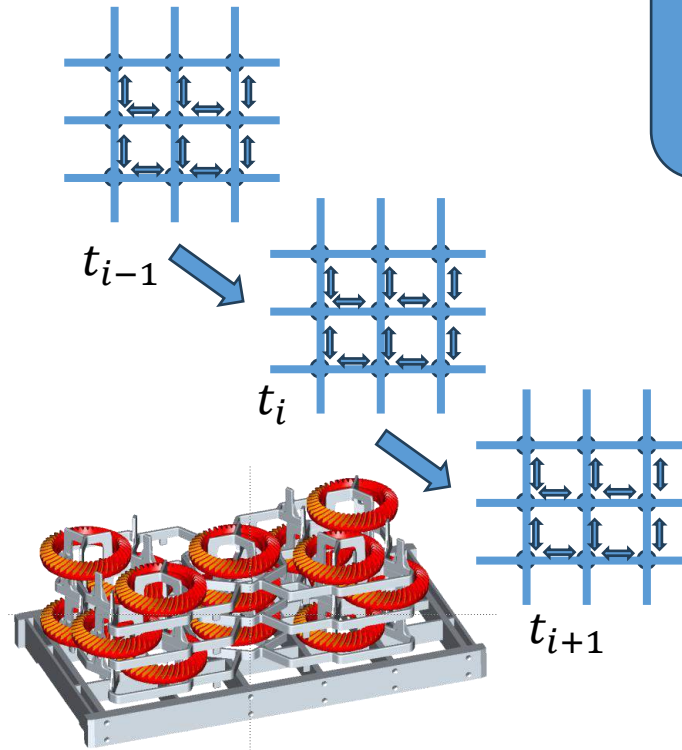
本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ マルチエージェントシミュレーション
- ✓ AI (Artificial Intelligence)と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -
- ✓ AIと熱処理シミュレーションの組み合わせ
- ✓ 実際の熱処理問題へ
- ✓ の適用とその結果
- ✓ 発展形、工場ラインへの適用について

マルチエージェントシミュレーションとは？

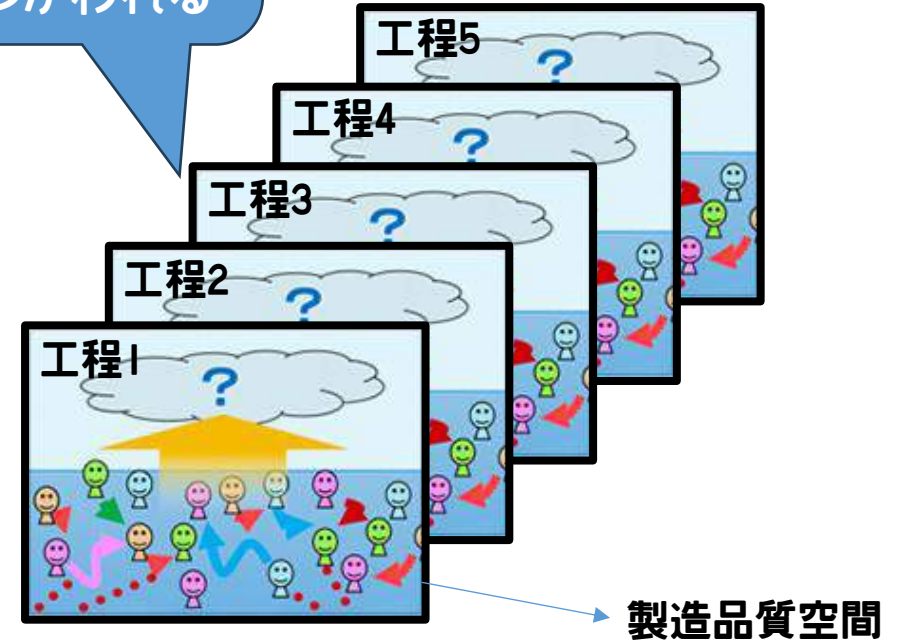


集団のステップ
遷移と交互作用
交通分野等で
よくつかわれる



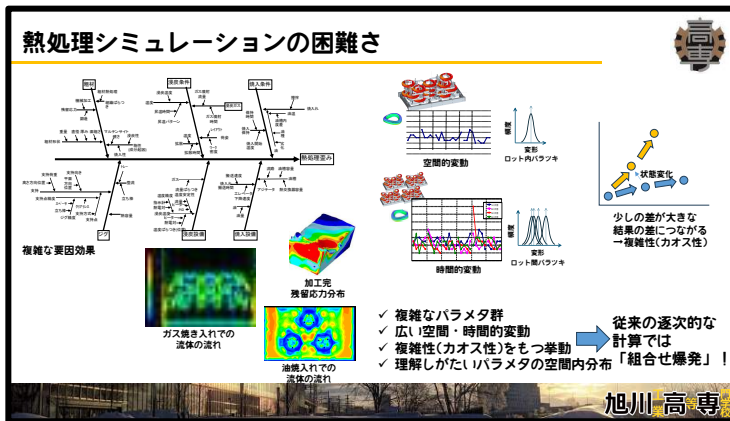
計算規模：
(空間サイズ³×時間ステップ数)物理式数

FEMによる逐次計算

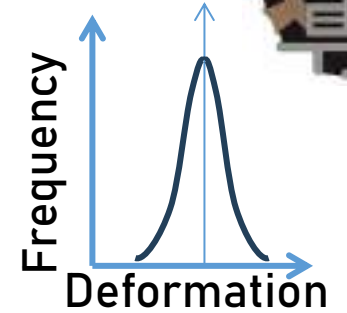


計算規模：
(ワーク数×交互作用構成式)ステップ数

マルチエージェント(群衆挙動)

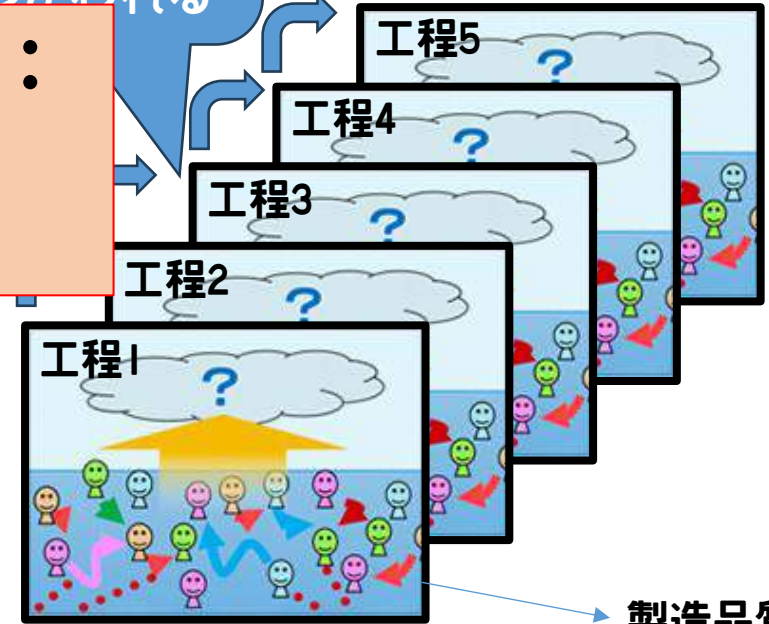


マルチエージェントシミュレーションとは？



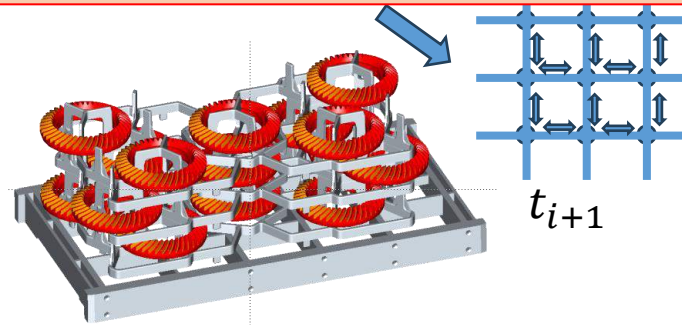
集団のステップ
遷移と交互作用
交通分野等で
よくつかわれる

マルチエージェントの課題：
遷移と交互作用を
どう扱うのか??



計算規模：
(ワーク数×交互作用構成式)ステップ数

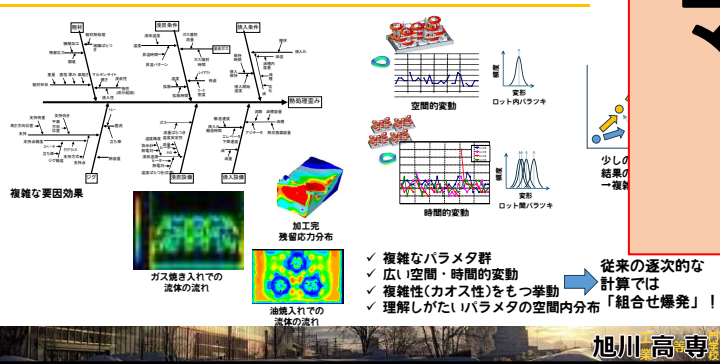
マルチエージェント(群衆挙動)



計算規模：
(空間サイズ³×時間ステップ数)物理式数

FEMによる逐次計算

熱処理シミュレーションの困難さ





本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ マルチエージェントシミュレーション
- ✓ AI (Artificial Intelligence)と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -
- ✓ AIと熱処理シミュレーションの組み合わせ
- ✓ 実際の熱処理問題への適用とその結果
- ✓ 発展形、工場ラインへの適用について



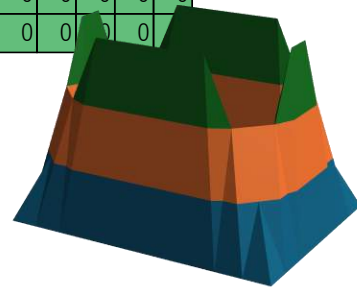


畳み込み積分とは

A

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	2	3	3	3	3	3	2	1	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
0	3	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
0	1	2	3	3	3	3	3	2	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

元行列



畳み込み演算子
(行列の掛け算の総和)

B

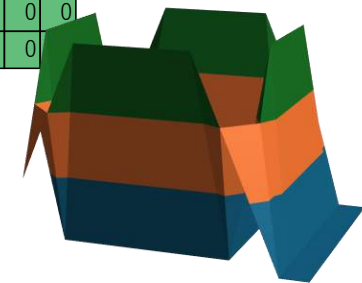
0	0	0
0	1	0
0	0	0

フィルタ

=

1	2	3	3	3	3	3	2	1
2	0	0	0	0	0	0	0	2
3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	0	0	0	0	0	3
2	0	0	0	0	0	0	0	2
1	2	3	3	3	3	3	2	1
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

出力行列

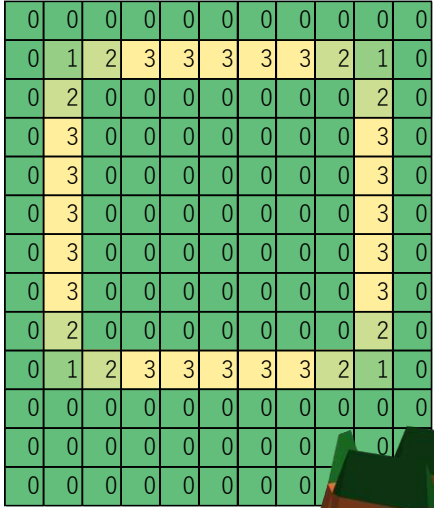


$A \times B$
Aを全行列上に掃引し
全て足し合わせる

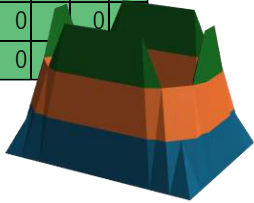
- 畳み込み積分によって...
- ・元行列の特徴が抽出できる
 - ・フィルタサイズ分情報は少なくなる



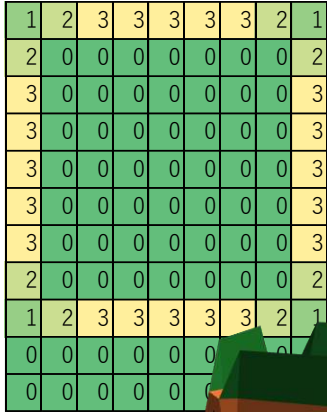
畳み込み積分とは



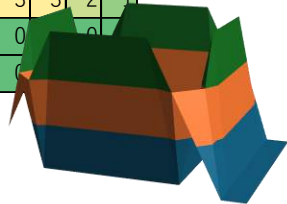
元行列



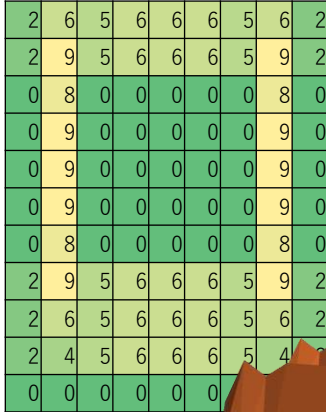
0	0	0
0	1	0
0	0	0



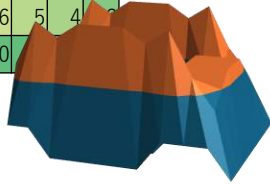
そのまま



1	0	1
1	0	1
1	0	1

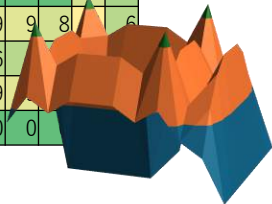
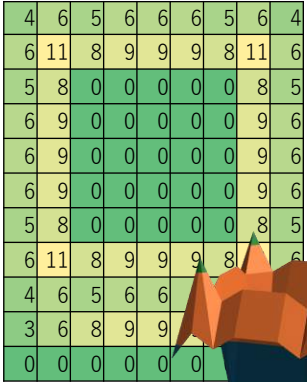


縦線強調

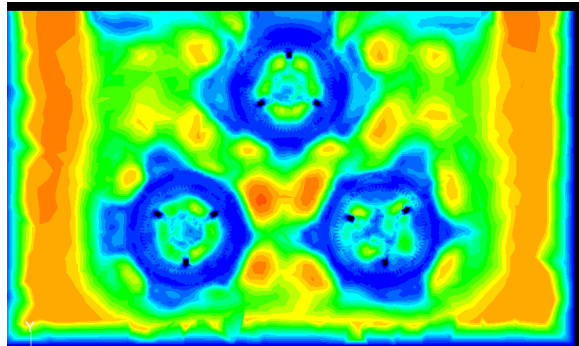
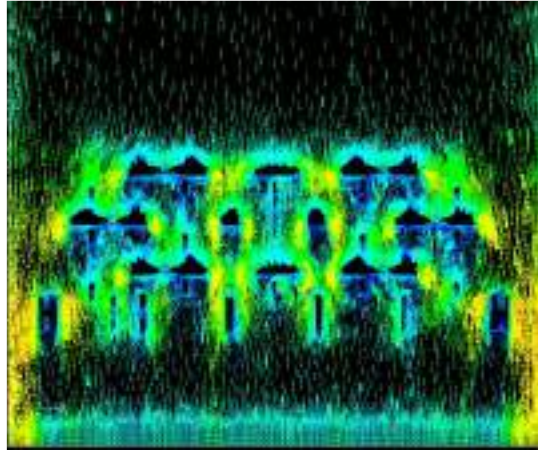


1	1	1
1	0	1
1	1	1

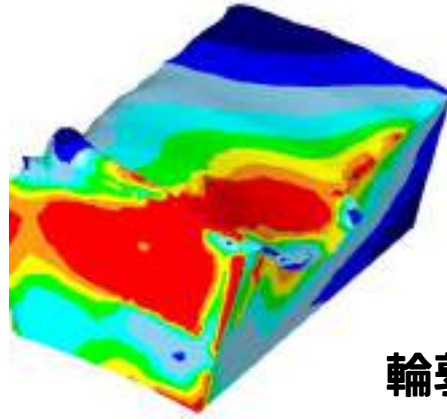
輪郭抽出



畳み込み積分の活用法



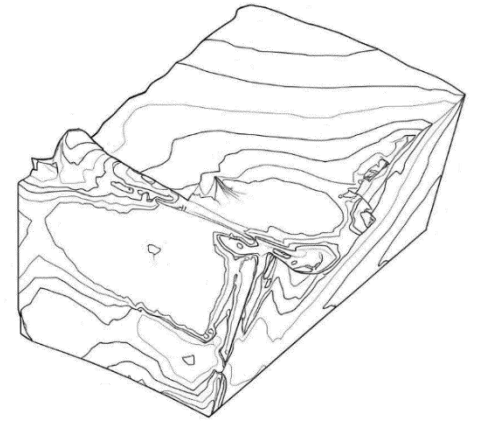
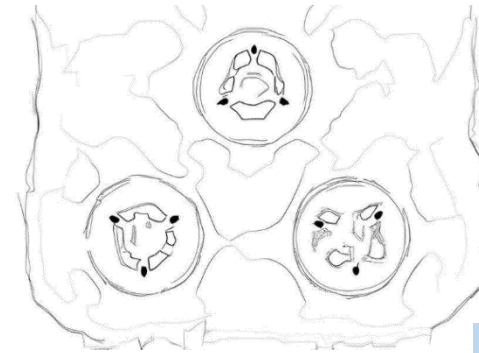
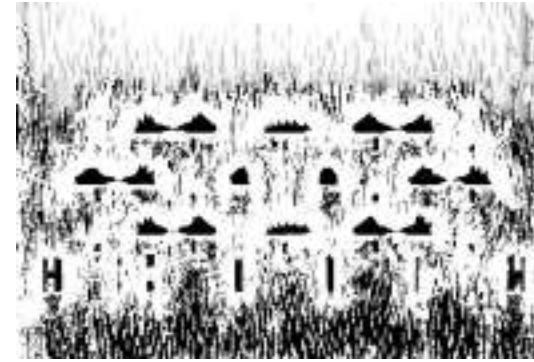
冷媒の流れ



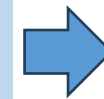
残留応力分布



輪郭抽出フィルタ



- ✓ 特徴が抽出される
- ✓ 画像サイズは小さくなる

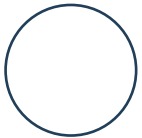
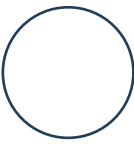
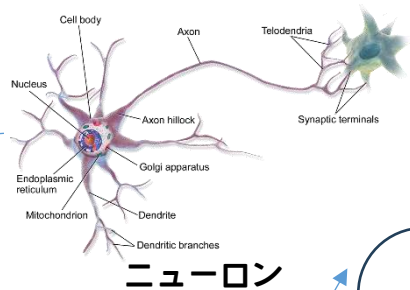
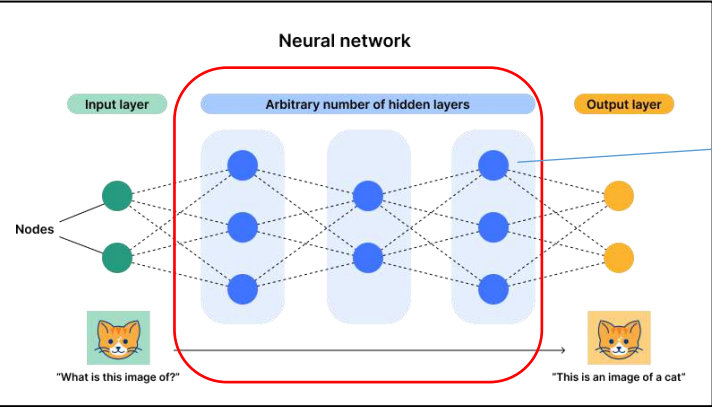


- ✓ 繰り返すと|x|まで小さくでき、特徴だけを抽出したパラメタを構築できる



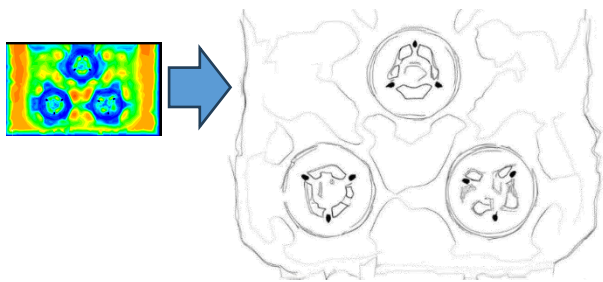


Neural Networkとは

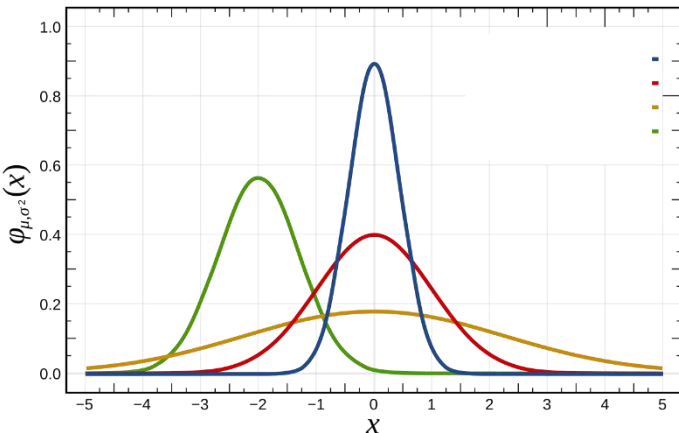


三つ並んでいることには
あまり意味がない

$$\mu = a \text{ 部品の数} + k$$



線の密度(流速勾配)
には意味がある



多数の重ね合わせで出力ができる

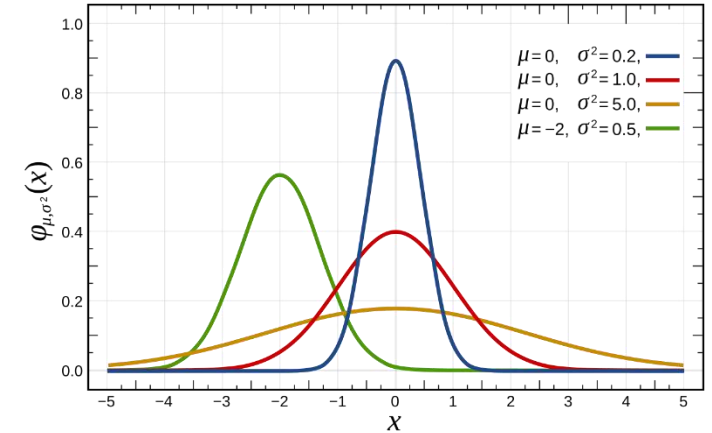
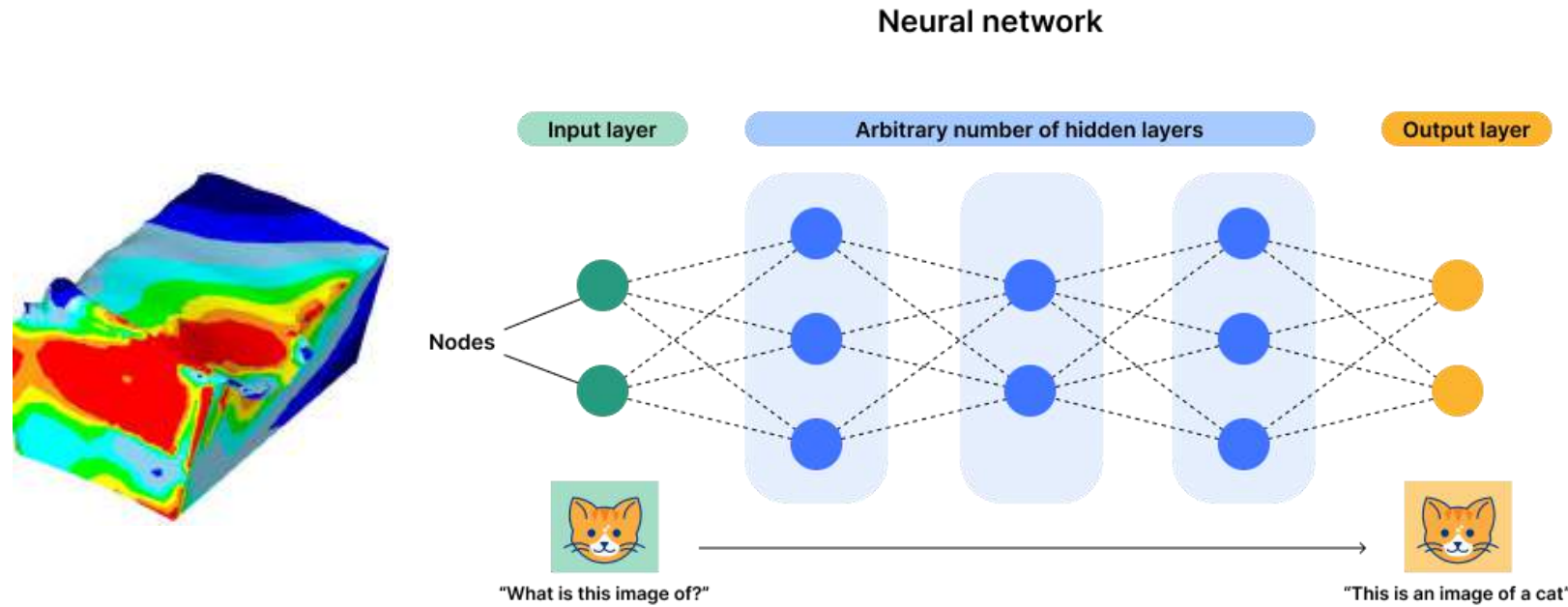
単純な式の組み合わせで関数を製作する

$$\mu = a \cdot \frac{\partial \text{線の太さ}}{\partial x} + k$$

この推論の課程をニューラルネットワークという ➡ 小さな現象の組み合わせは熱処理に近い

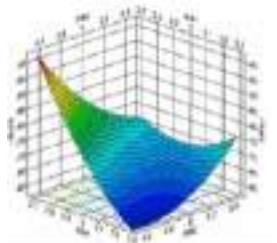


誤差逆伝播法(Back Propagation)



誤差が最小になるように前に前に推論していく
+ 推論をシミュレーションでサポートする
=シミュレーション画像をNNで関数化する

ネットワーク $\hat{y} = f(x; w)$ に対し,
誤差関数 $E(\hat{y}; y)$ を定義し $\frac{\partial E}{\partial x} \Big|_{w_k = a_{now}}$
で E を最小化するように w_k を更新する



勾配降下法



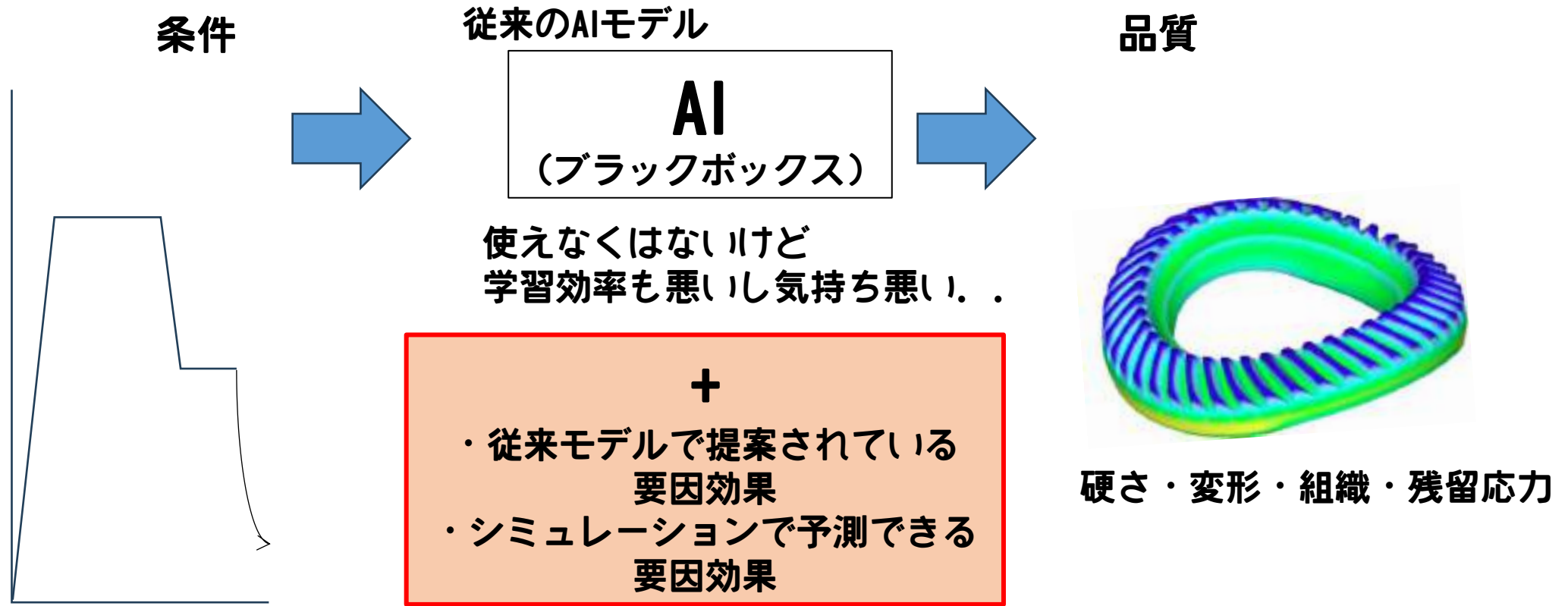
本日の発表の流れ

- ✓ 研究の背景
- ✓ マルチエージェントシミュレーション
- ✓ AI (Artificial Intelligence)と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -
- ✓ **AIと熱処理シミュレーションの組み合わせ**
- ✓ 実際の熱処理問題への適用とその結果
- ✓ 発展形，工場ラインへの適用について



熱処理マルチエージェントモデル

つまり．．．．



とすれば効率的に品質予測できるのでは??



本日の発表の流れ

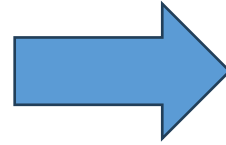
- ✓ 研究の背景
- ✓ マルチエージェントシミュレーション
- ✓ AI (Artificial Intelligence)と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -
- ✓ AIと熱処理シミュレーションの組み合わせ
- ✓ **実際の熱処理問題への適用とその結果**
- ✓ 発展形，工場ラインへの適用について



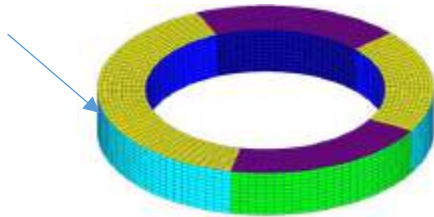
対象工程



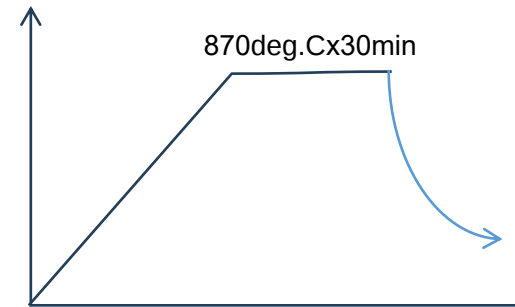
機械加工



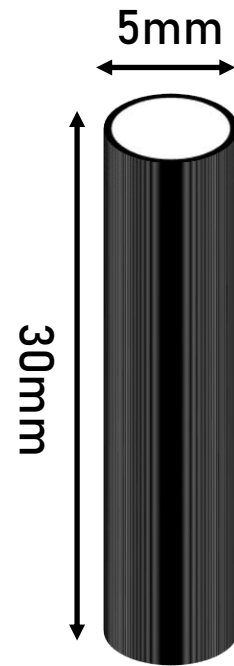
熱処理



ターニング



機械加工の影響評価



JIS SCM420H

Raw Material



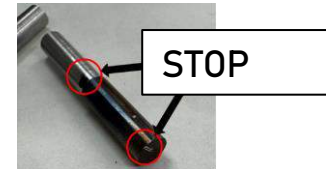
Machining as Left Figure



Stress relief annealing
(600deg.C 1hour > FC)



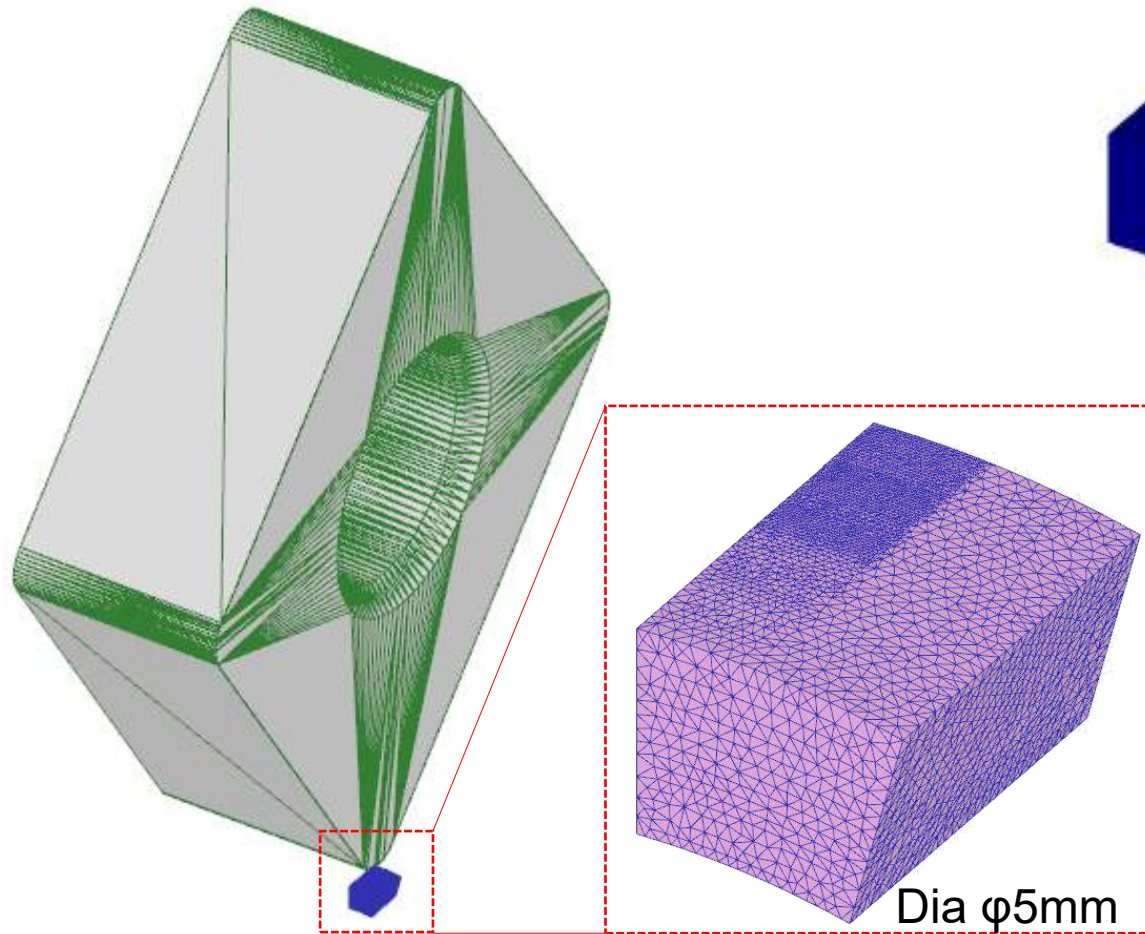
Machining is performed
halfway and stopped halfway.



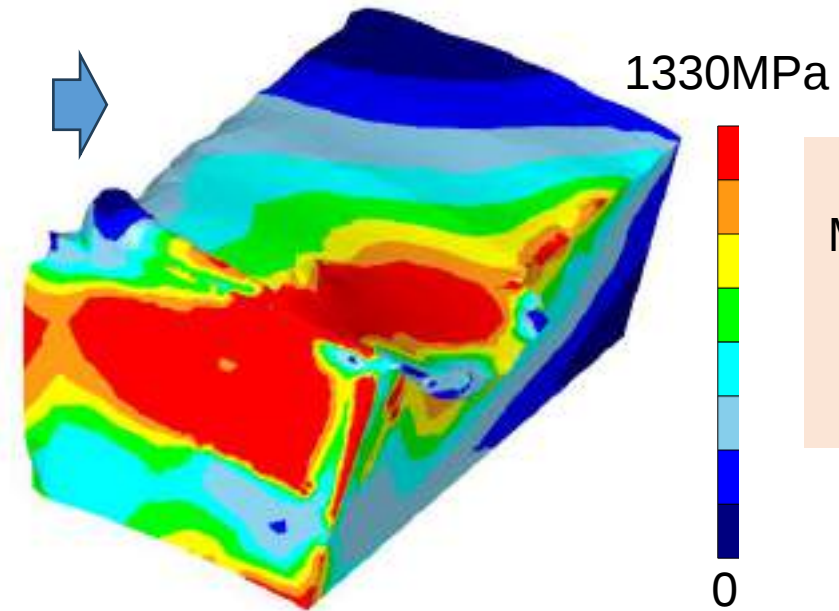
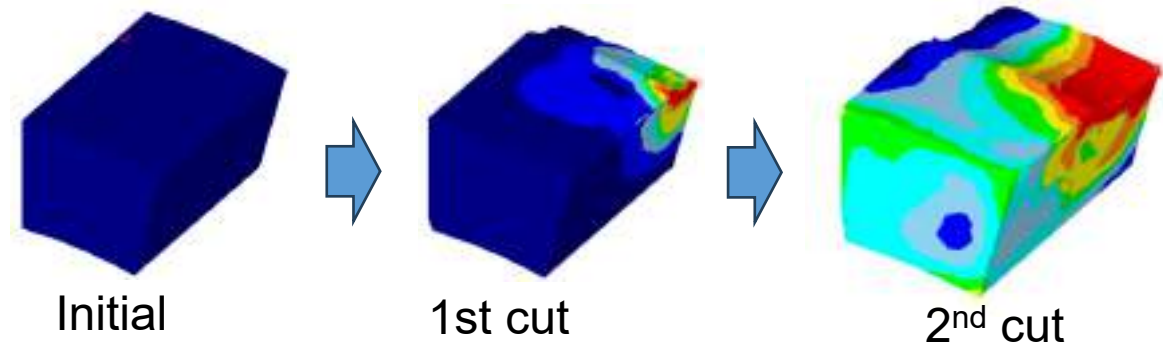
Measure



Machining Simulation



DEFORM Ver 14.0
Material JIS SCM420HC
Elements 55330, Nodes 12228(Adaptive)



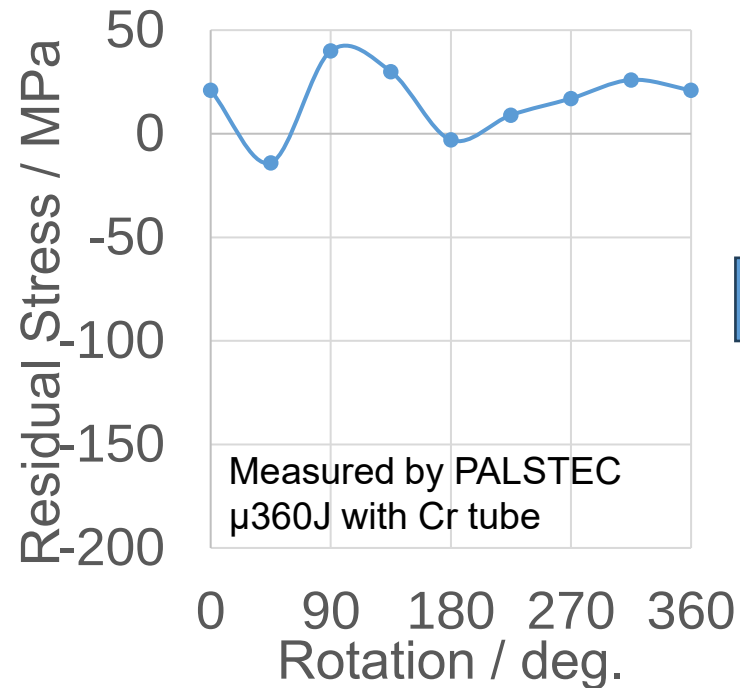
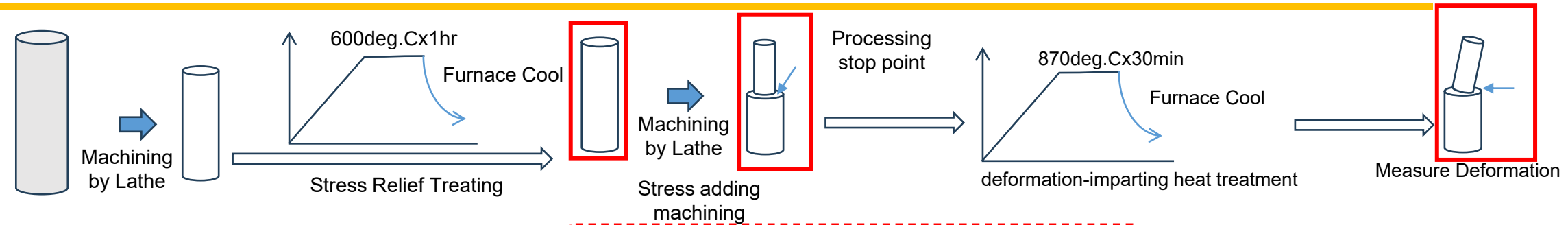
Final (Stopped)

0
Effective
Stress

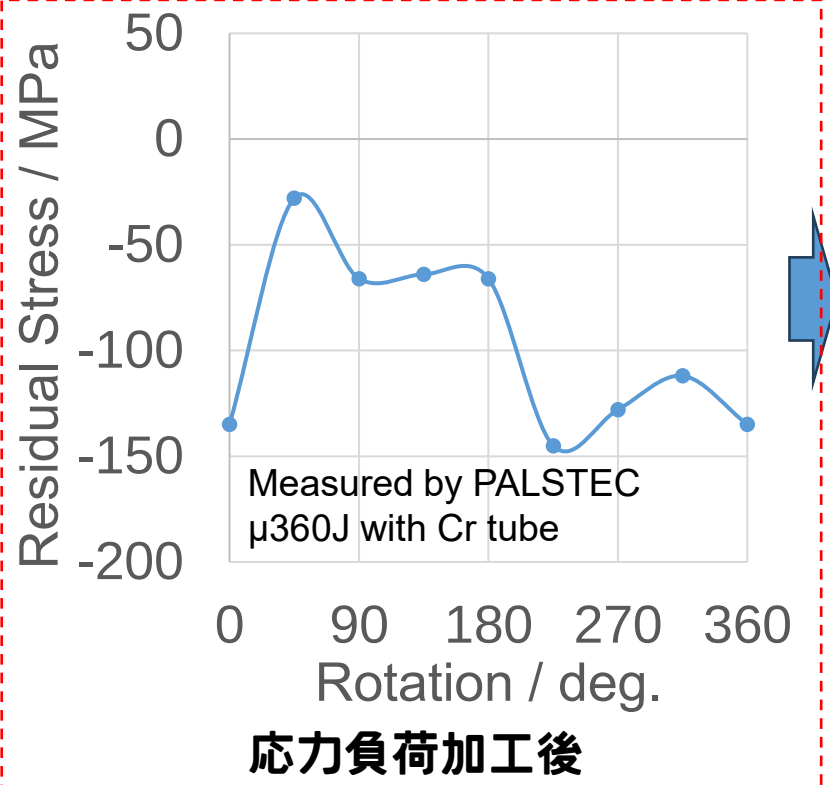
Stress of 1330
MPa was applied
by repeated
machining by
lathe



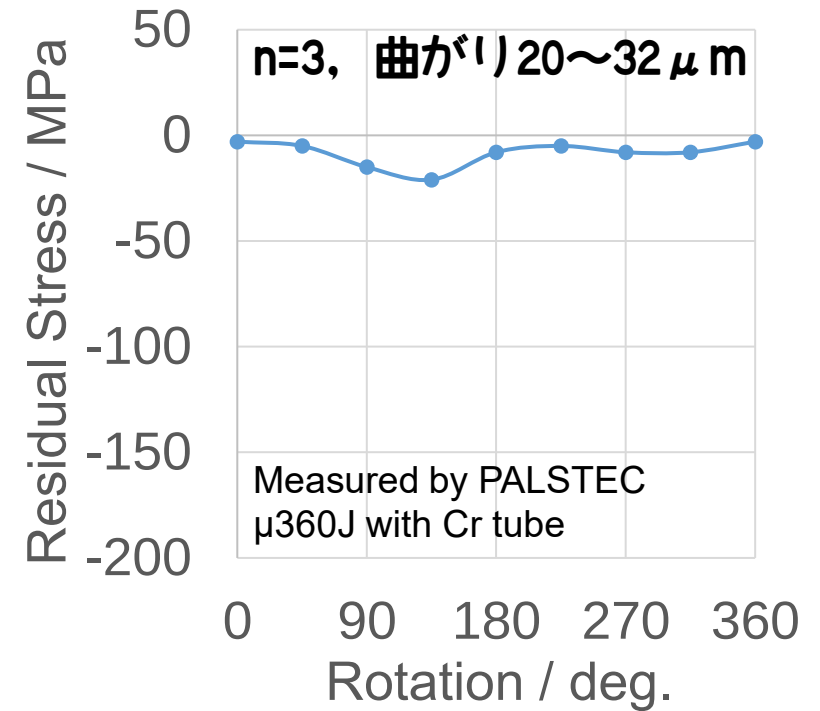
機械加工残留応力の影響



残留応力除去焼きなまし後



応力負荷加工後

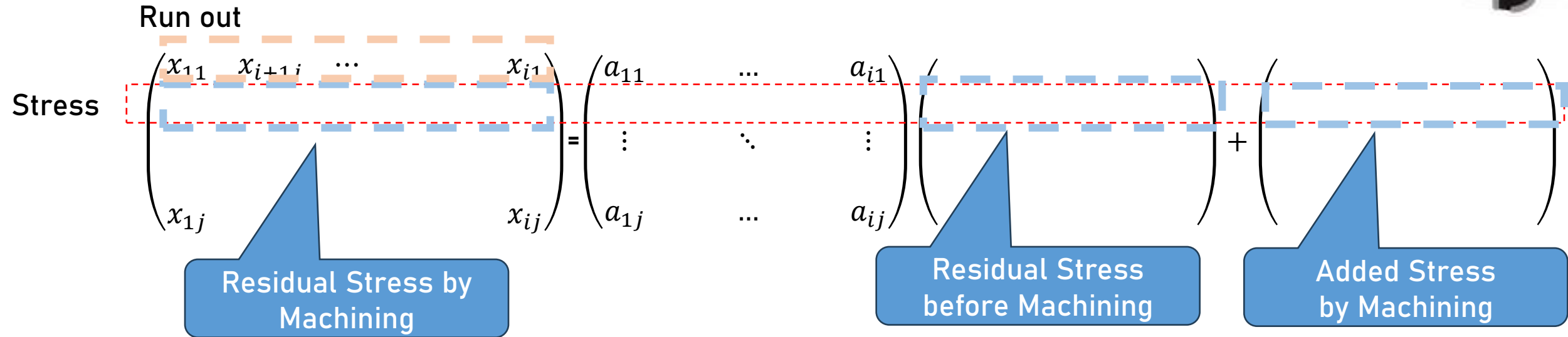


応力解放熱処理後





Calculation of Adding of Machining Stress



$$a_{ij} = r_{ij}(\cos \theta + i \sin \theta)$$

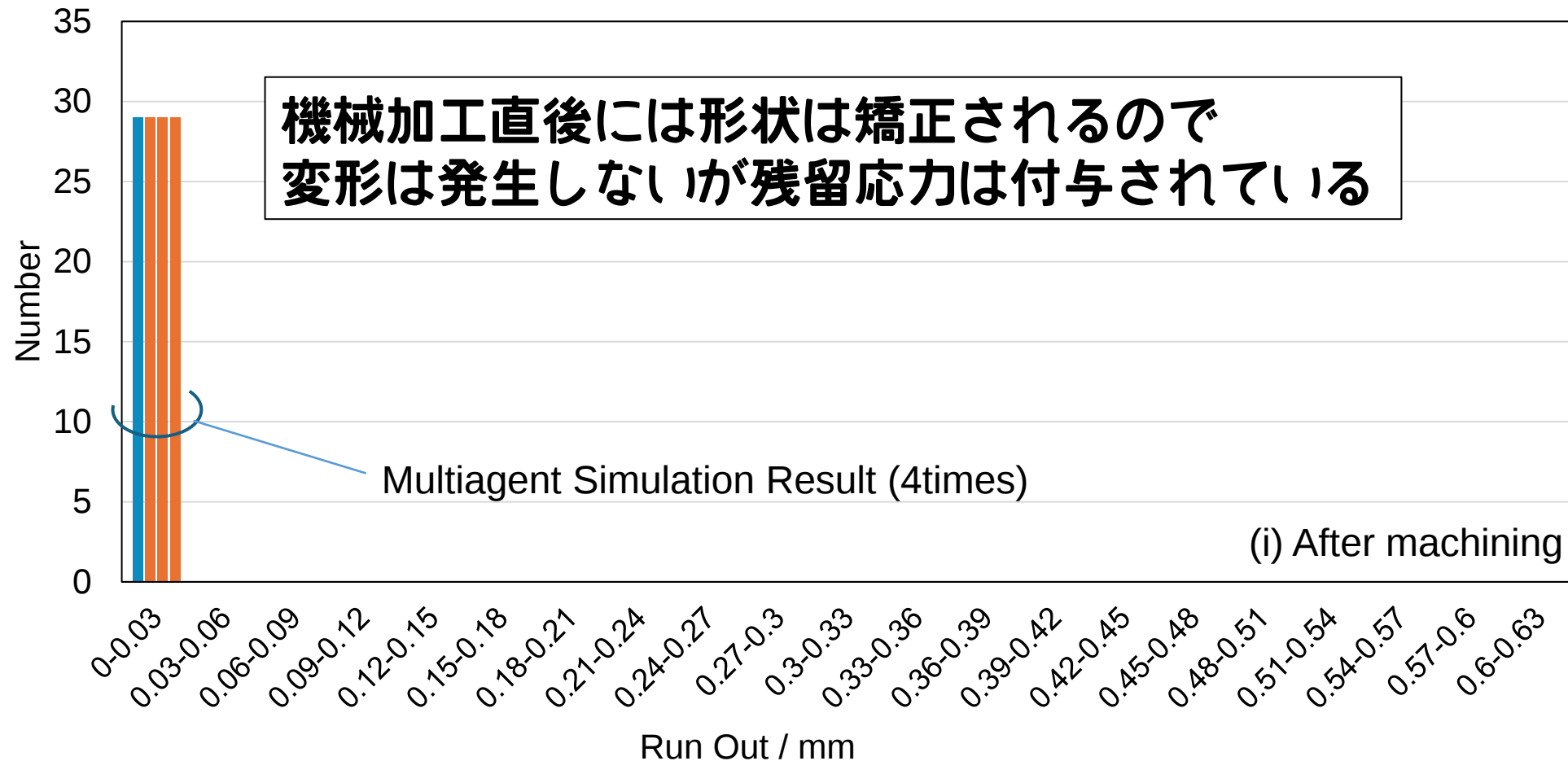
r_{ij} -150MPa(Effective)

θ 方向は未定(加工と熱処理時積載方向は相関無しとする)

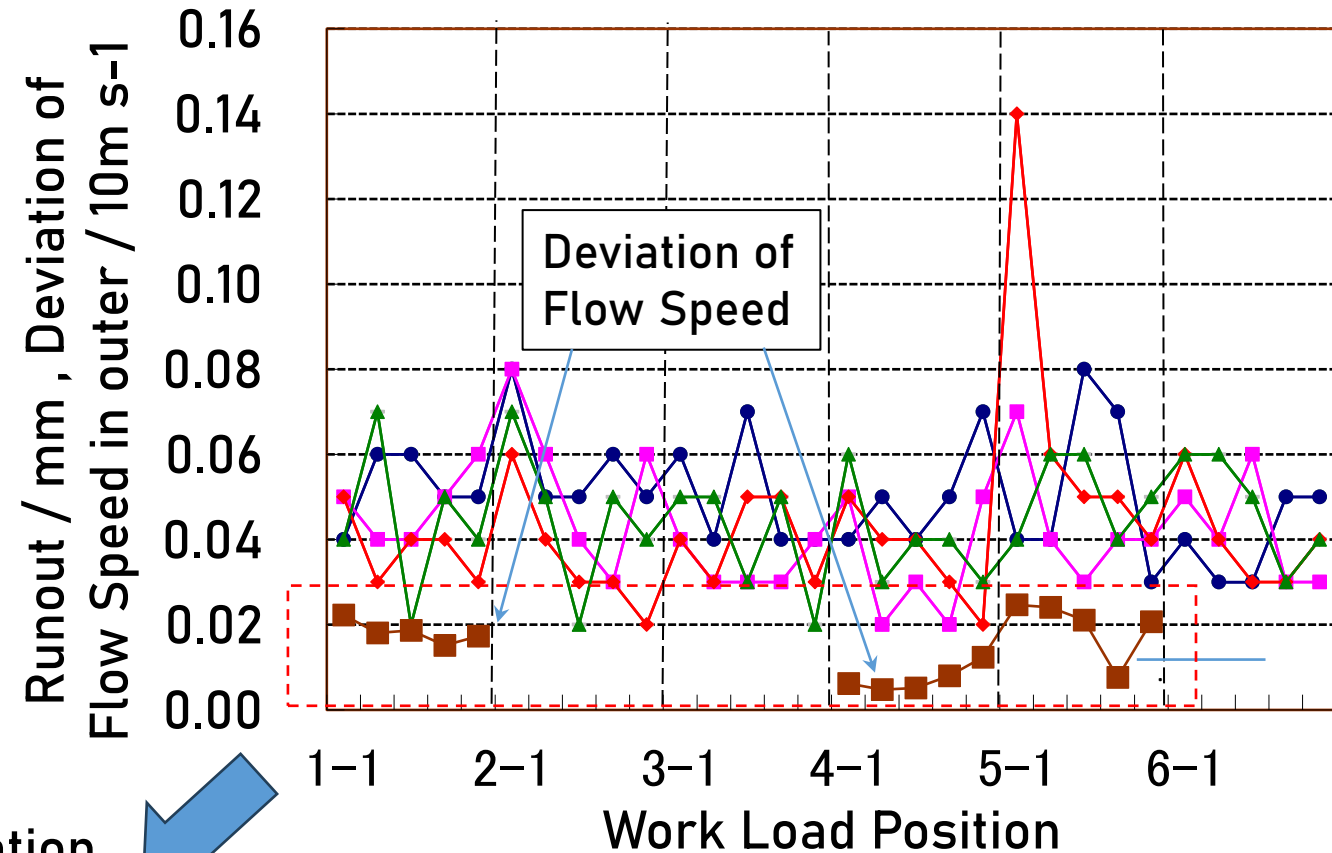
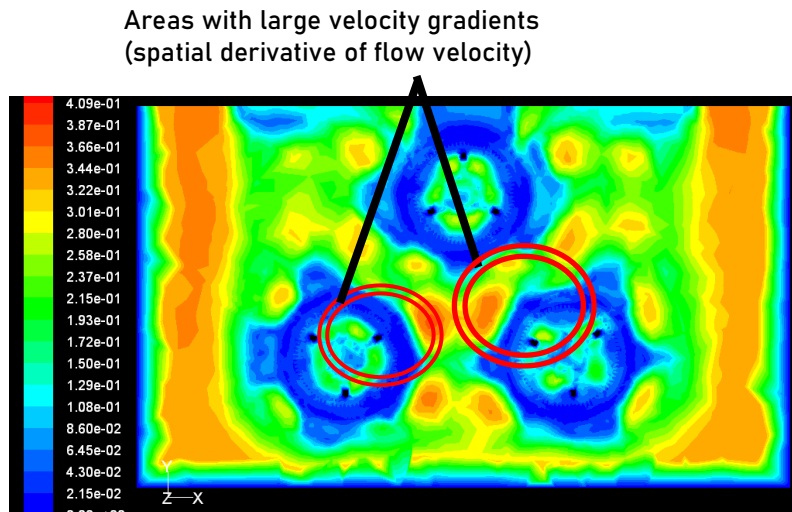




機械加工後のRun out

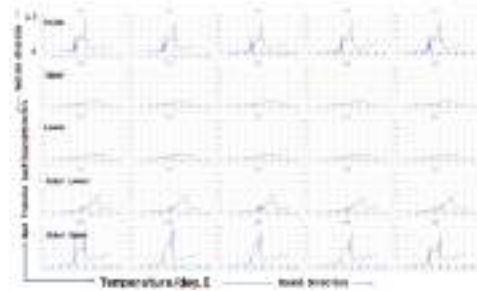
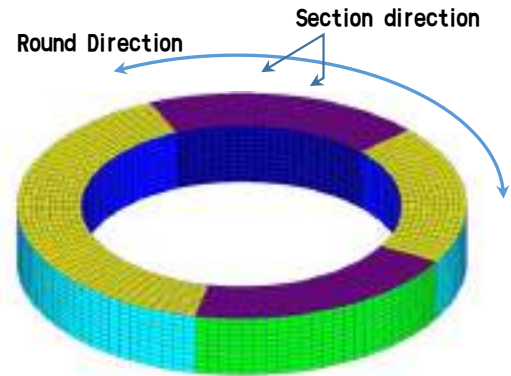


実荷姿での冷却のばらつきと変形



Able to calculate correlation
between Flow speed & runout

冷却不均一性による変形

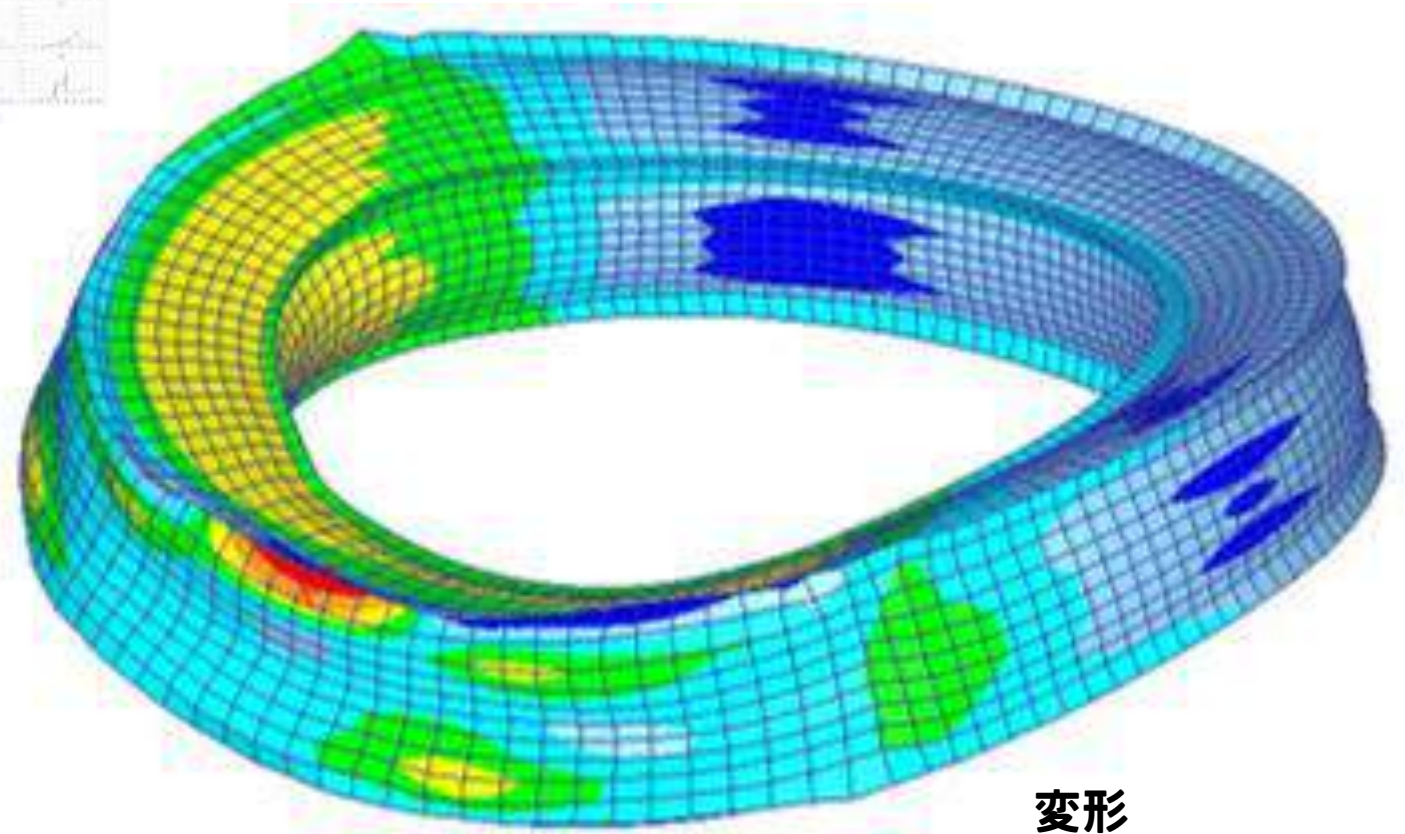


冷却ムラ



Calculation Condition

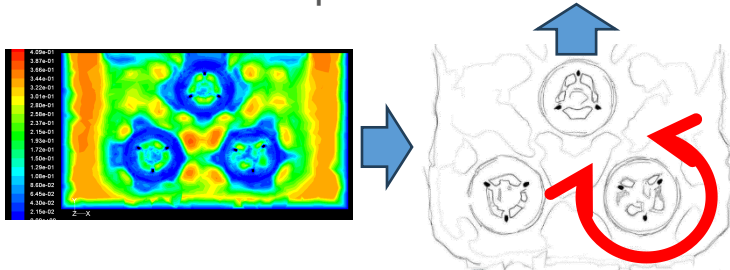
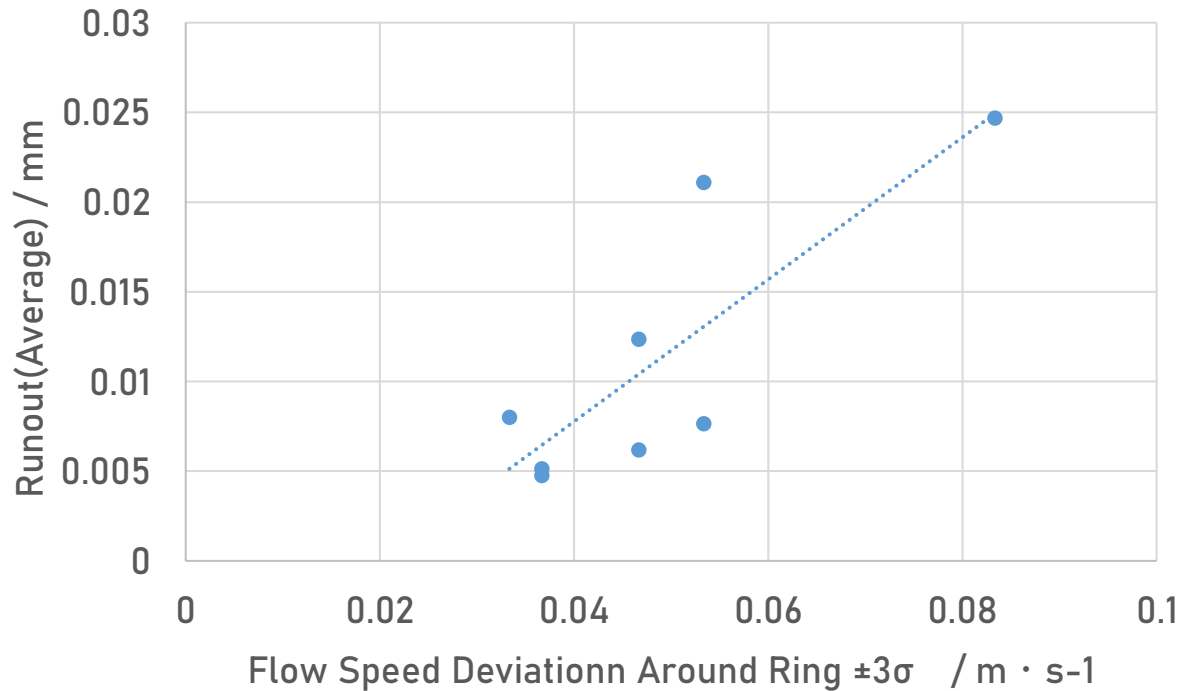
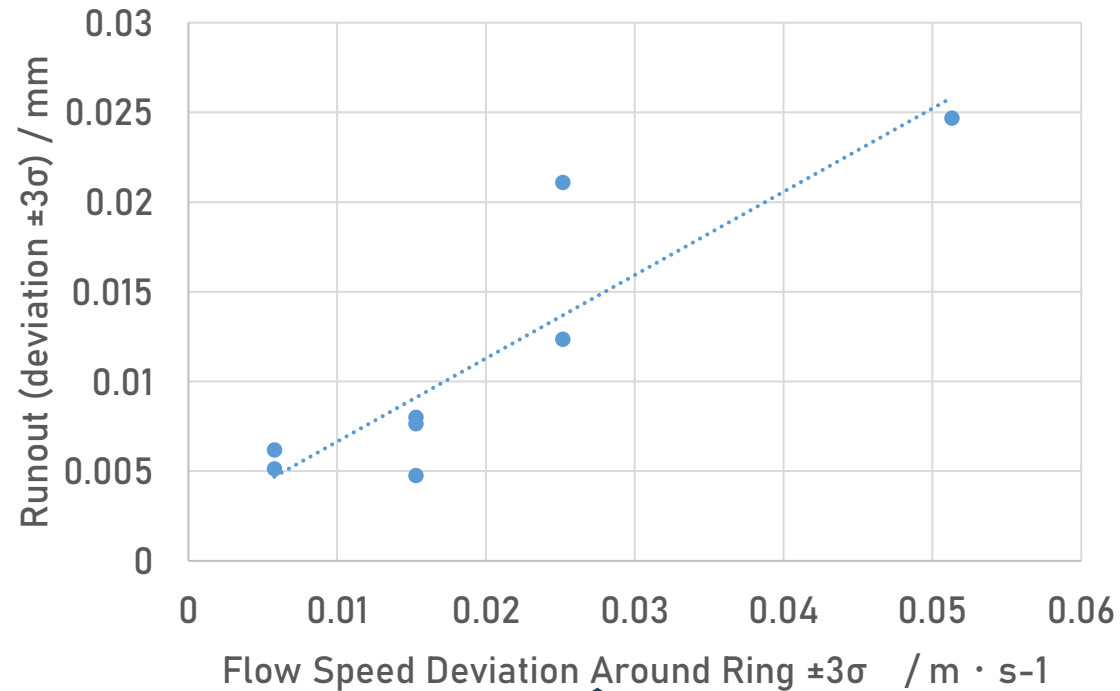
Solver	SFTC DEFORM-HT ver14.0
Nodes	14520
Elements	12000
Coating Mesh	0.1mm /per layer
Element shape	Hexagon



変形

冷却速度ばらつきと変形・変形ばらつき

流速ばらつきと変形・変形ばらつきは良い相関を持つ





加工残留応力と冷却速度ばらつきへの反映

Run out

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{i+1i} & \cdots & x_{i1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{1j} & & & x_{ij} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \cdots & a_{i1} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ & & a_{ij} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \text{Residual Stress before Heat Treatment} \\ \vdots \\ \text{Basic heat treatment deformation} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{Basic heat treatment deformation} \\ \vdots \\ \text{Basic heat treatment deformation} \end{pmatrix}$$

Total Run Out

Flow Effect For Run out With anisotropy

Residual Stress before Heat Treatment

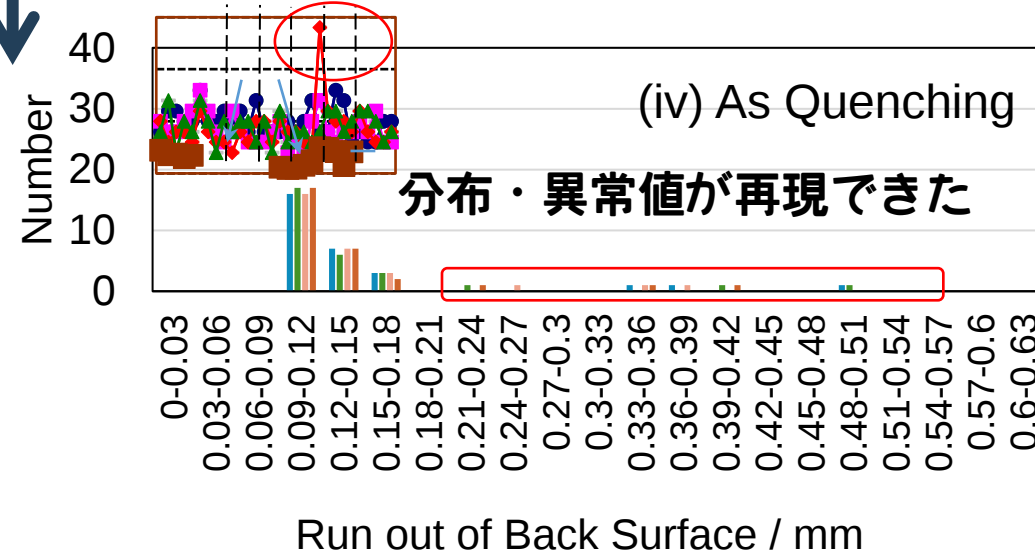
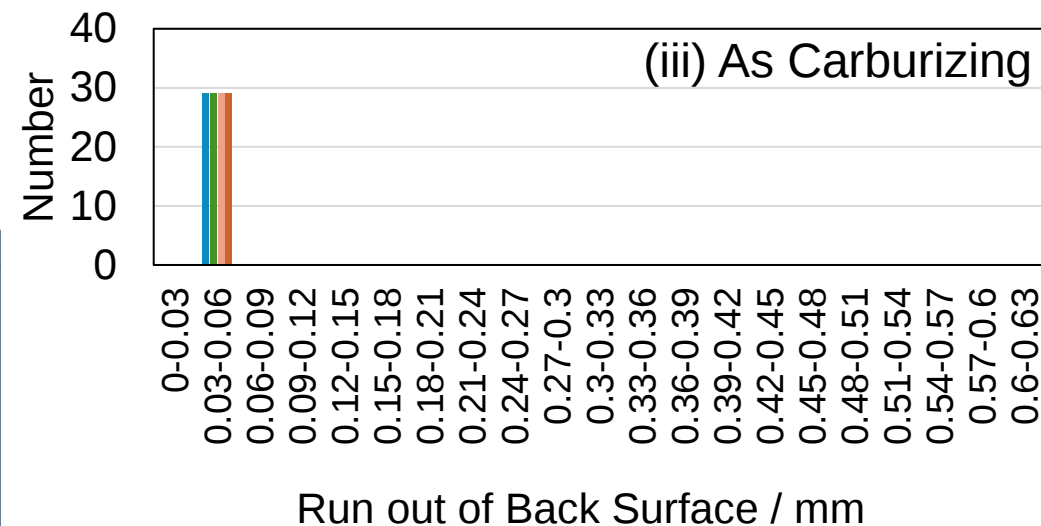
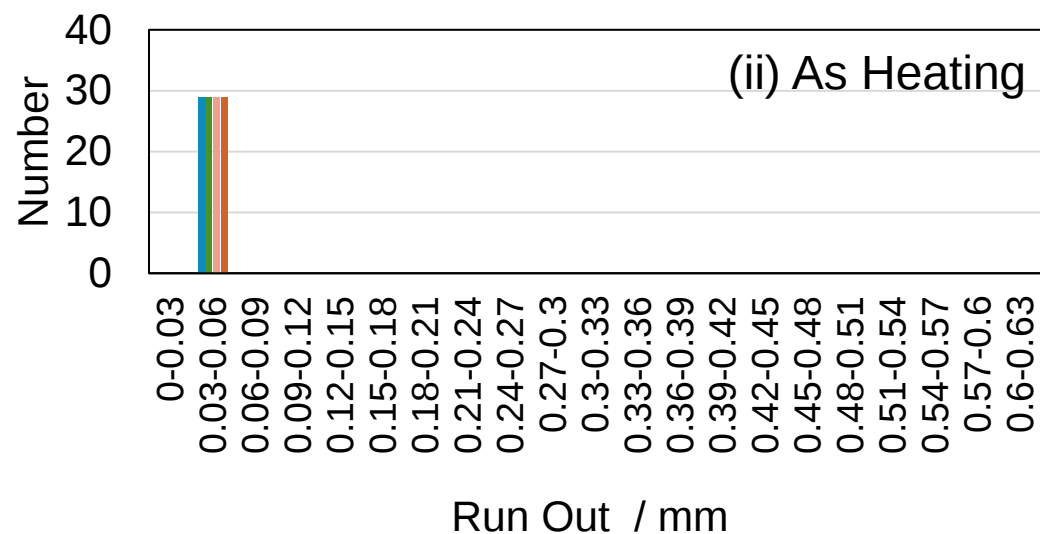
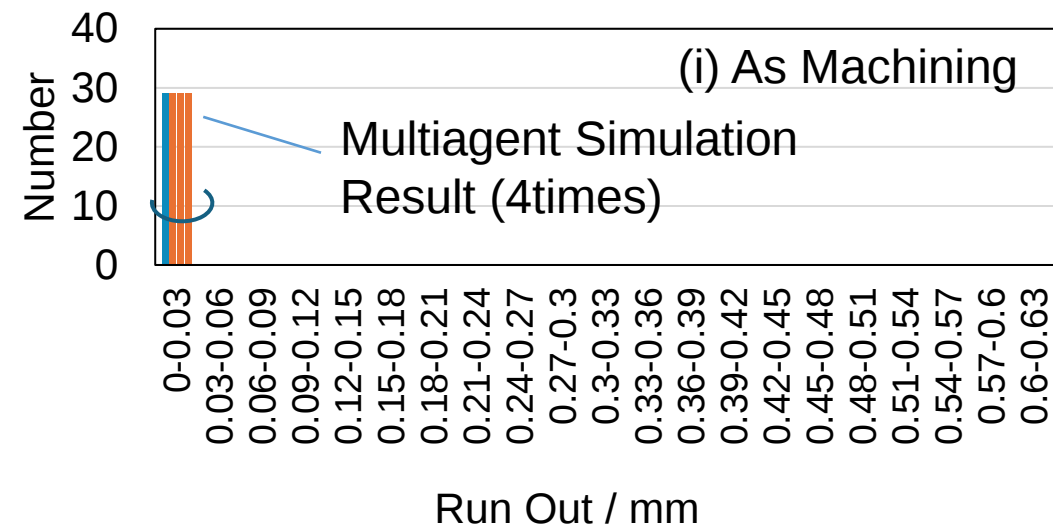
Basic heat treatment deformation

$$a_{ij} = r_{ij}(\cos \theta + i \sin \theta)$$

冷却速度異方性



計算結果



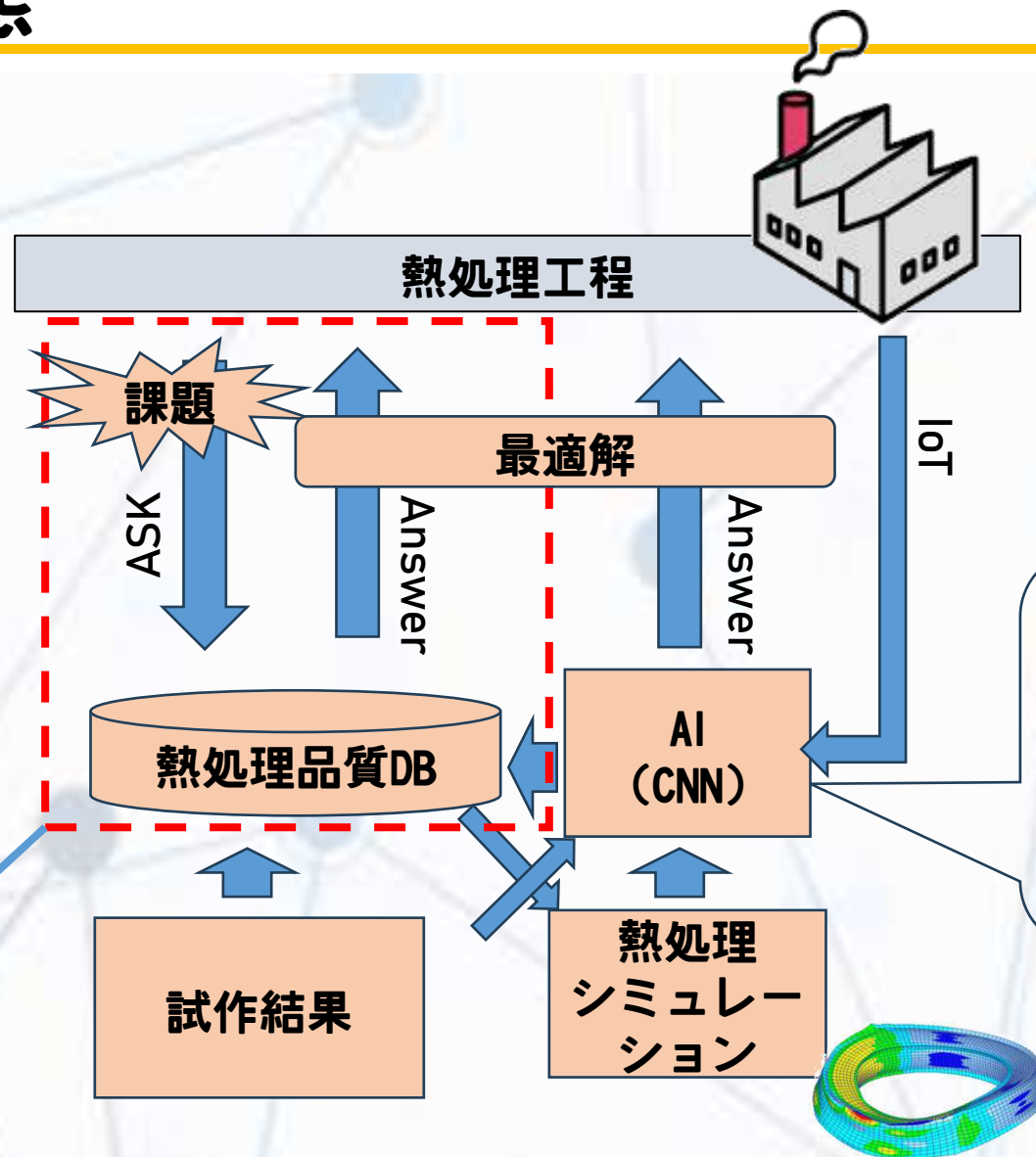


本日の発表の流れ

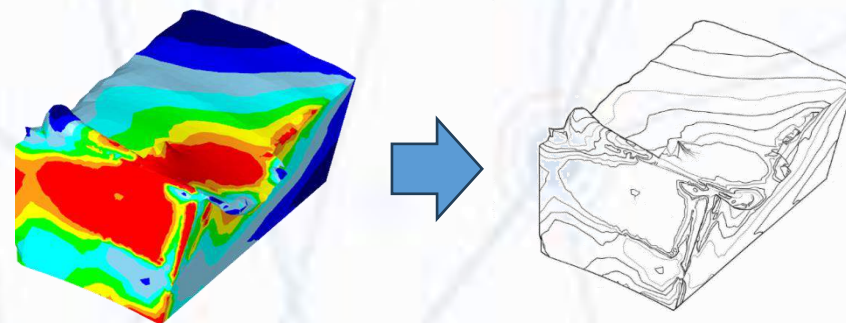
- ✓ 研究の背景
- ✓ マルチエージェントシミュレーション
- ✓ AI (Artificial Intelligence)と呼ばれるものたち
- 畳込み積分・ニューラルネットワーク・誤差逆転伝播法 -
- ✓ AIと熱処理シミュレーションの組み合わせ
- ✓ 実際の熱処理問題への適用とその結果
- ✓ 発展形，工場ラインへの適用について



将来形態



マルチエージェントシミュレーションに熱処理シミュレーションやIoTを組み合わせる



実データ及び熱処理シミュレーションの結果を反映させ、解を求める



まとめ

- ✓ CNNを用いたマルチエージェントシミュレーションにより、熱処理変形異常値の再現ができた
- ✓ 遷移行列については熱処理シミュレーションから情報を抽出することで制度の向上に寄与できた
- ✓ 本技術とAI・IoTの組み合わせについて引き続き検討を進める

本研究はJSPS 科研費25K17526
“LCCO2の低減に寄与する、機械加工工程の影響を考慮した熱処理シミュレーション”
の援助を受けた

