

金型と成形体の伝熱を測る技術

広島県立総合技術研究所

西部工業技術センター 加工技術研究部

主任研究員 寺山 朗

2023年11月30日

どんな技術？

- 熱伝達係数を測定する技術
- 温度シミュレーションの境界条件を知ることができ、高精度な温度シミュレーションが可能になる

応用すれば・・・

- ⇒ 伝熱の評価/コントロール
- ⇒ 接触界面の伝熱メカニズム解明

“熱”を利用した素形材プロセス

◇ 金属やプラスチックの成形

- ✓ 鋳造（ダイカスト）
- ✓ 熱間鍛造
- ✓ 粉末冶金
- ✓ 射出成形

金型を用いた
成形

素形材プロセスでは、
成形体(金属,プラスチック)と金型の間での伝“熱”のコントロールが重要

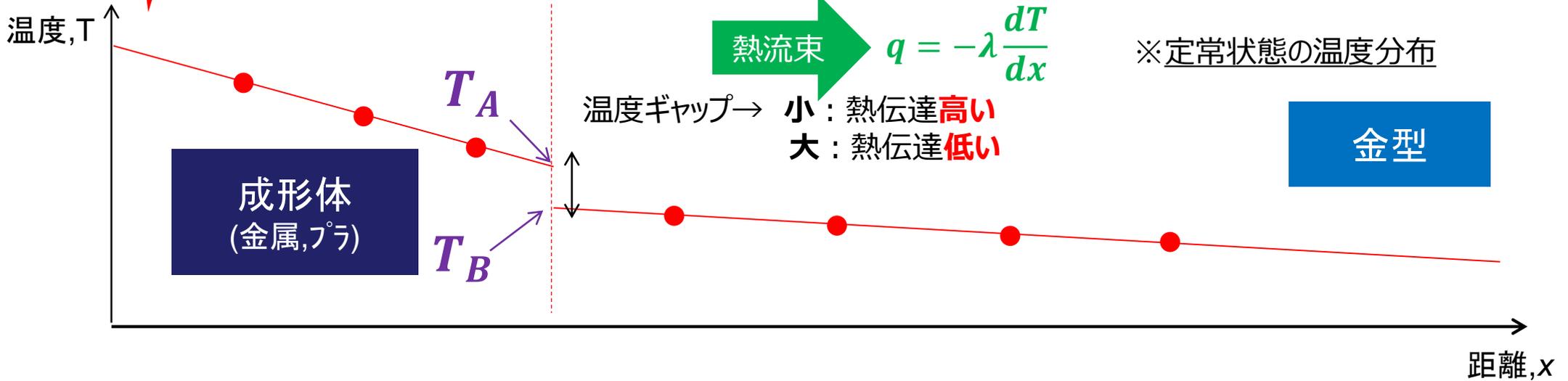
熱伝達係数とは・・・

2つの物体間の熱の伝えやすさを表す値，物性値ではなく主に接触状態に影響を受ける

$$h = \frac{q}{(T_A - T_B)} \quad (h: \text{熱伝達係数, W/m}^2\text{K})$$

加熱

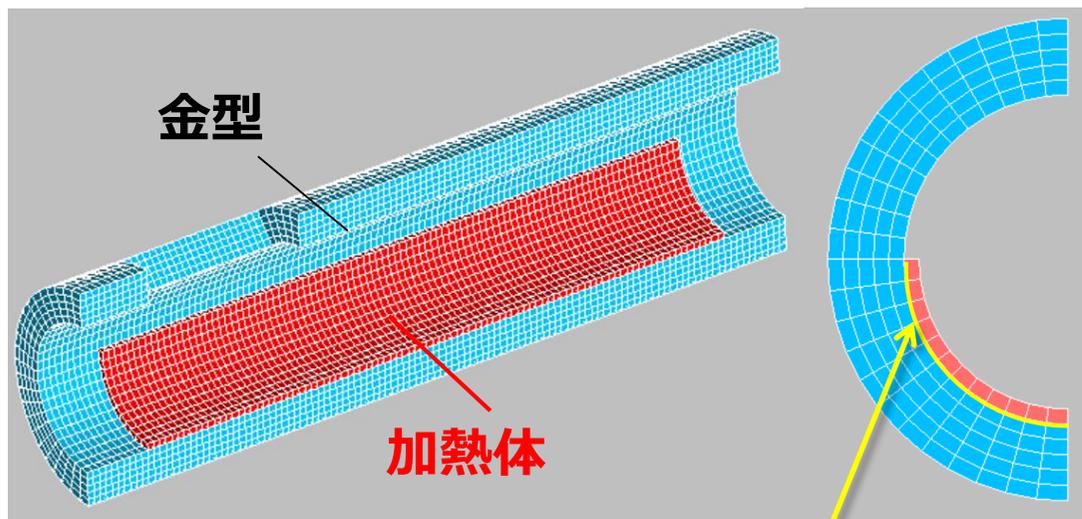
冷却



✓ 金型成形における温度制御やシミュレーションには、正確な熱伝達係数の把握が必要

温度シミュレーションには熱伝達係数が重要

◆ 温度分布に及ぼす熱伝達係数の影響

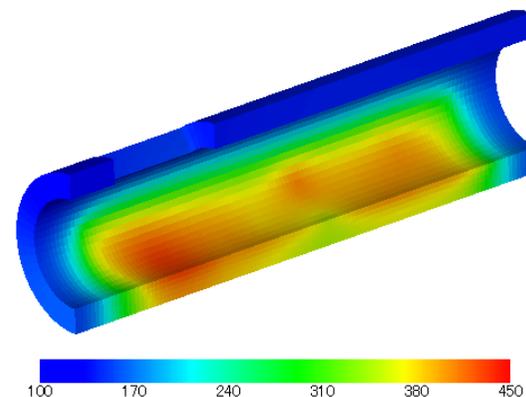


全体イメージ

断面

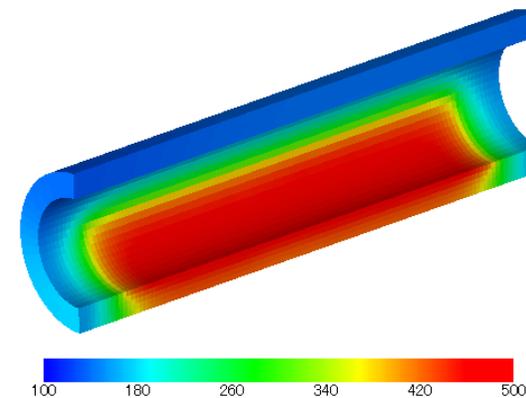
加熱体 - 金型間の熱伝達数
を変えて計算する

初期温度：同じ
30秒後の温度
分布を計算



100 170 240 310 380 450

熱伝達係数は場所と
時間によって変化



100 180 260 340 420 500

熱伝達係数：一定

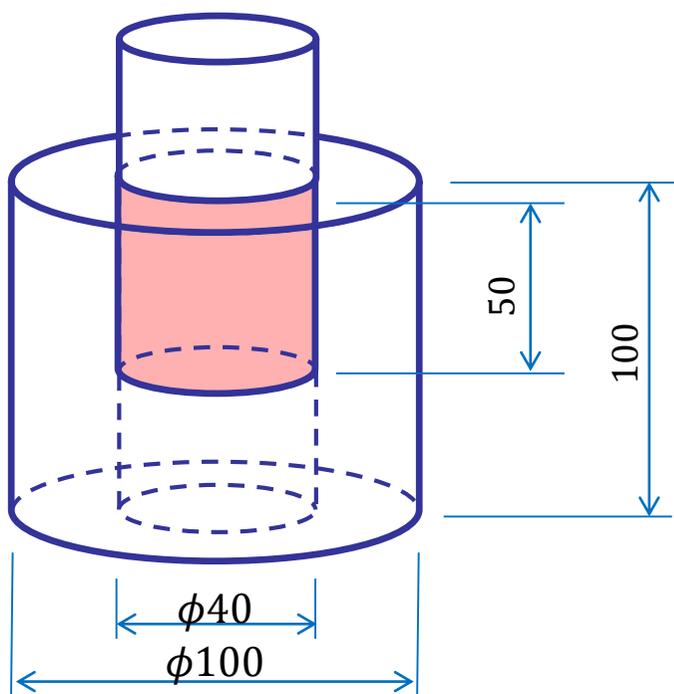
加熱体と金型間の熱伝達係数を変えることで
温度分布が大きく異なる結果になる

従来技術とその問題点

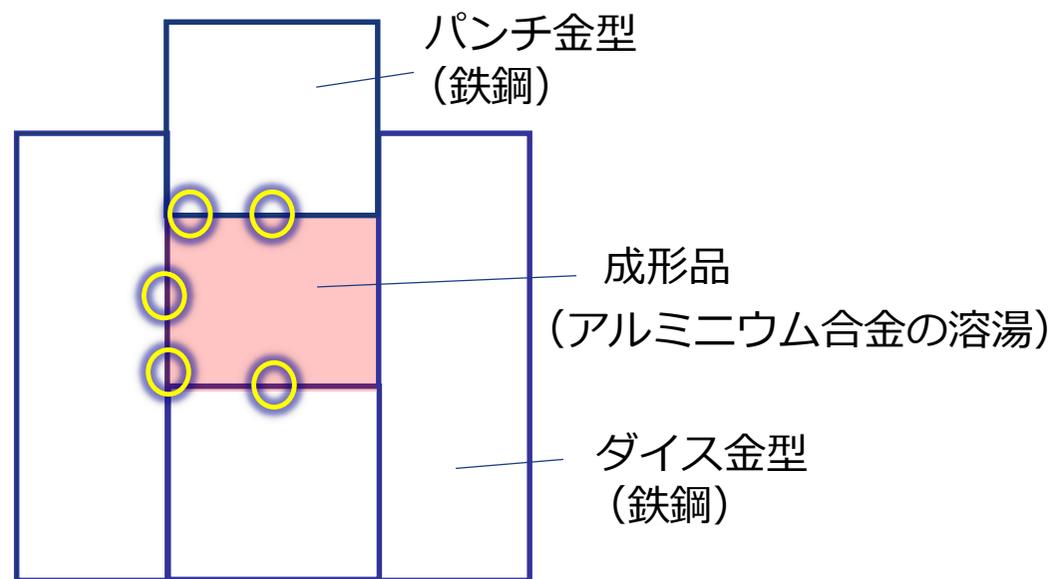
- 熱成形プロセスの温度シミュレーションにおいては、成形体と金型間の“**熱伝達係数**”が**不明**なため、文献値や経験的に用いられる一定値を使うことが多い。結果として**温度解析の精度が低い**問題がある。
- 正確な熱伝達係数を知るために、実測する場合において、
 - **成形体内部の温度測定**が煩雑
 - **専用のセンサがない**、などの問題がある。
- 熱伝達係数を**事前予測**することができれば測定が不要となるが熱伝達係数の**支配因子が不明**である。

アルミニウム合金の加圧鋳造における 熱伝達係数測定の実例

◆ 鋳造方法



金型の概略寸法



金型の断面図

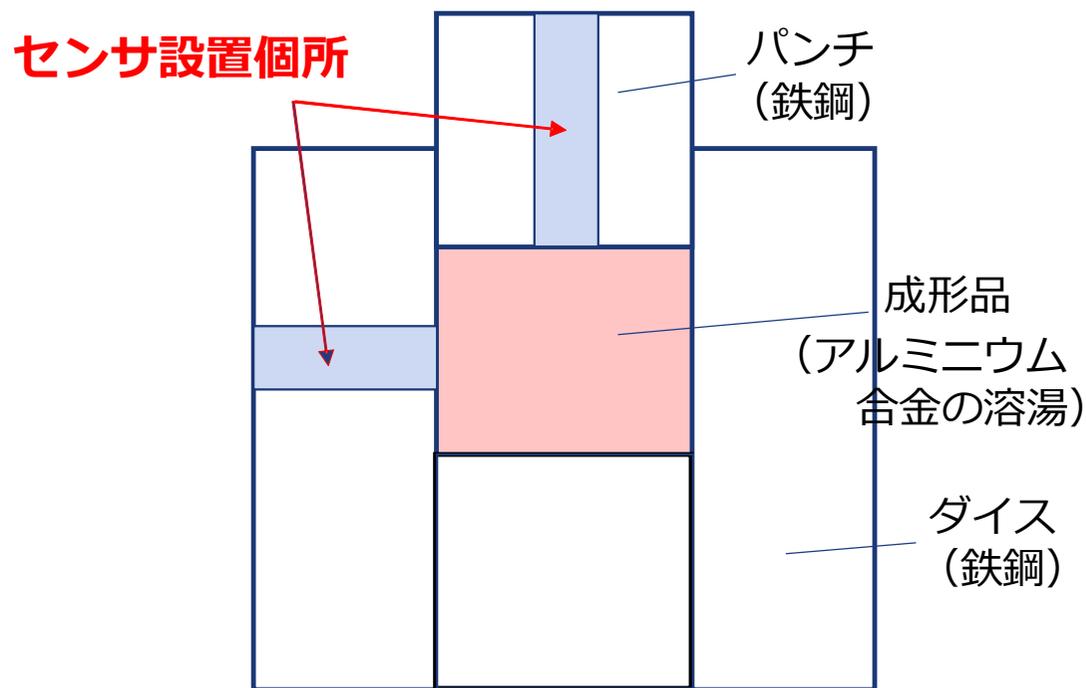
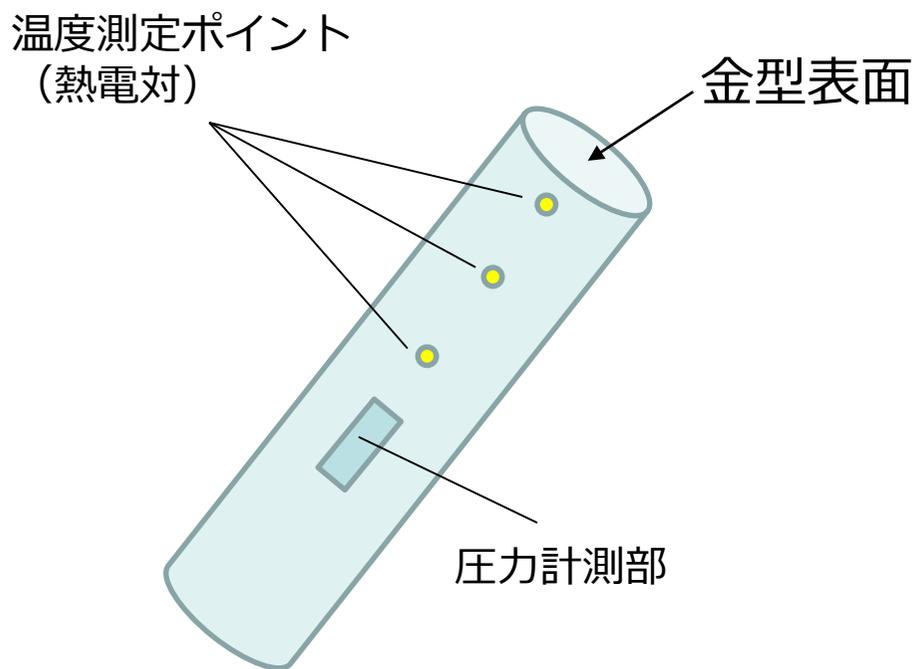
異なる複数個所の熱伝達係数を測定

熱伝達係数を求める手順：

温度測定 ⇒ 計算 ⇒ 熱伝達係数の導出

① 金型温度の測温技術

◎ 溶湯 - 金型間の熱伝達係数の測定には
金型内部複数点および溶湯表面の温度が必要



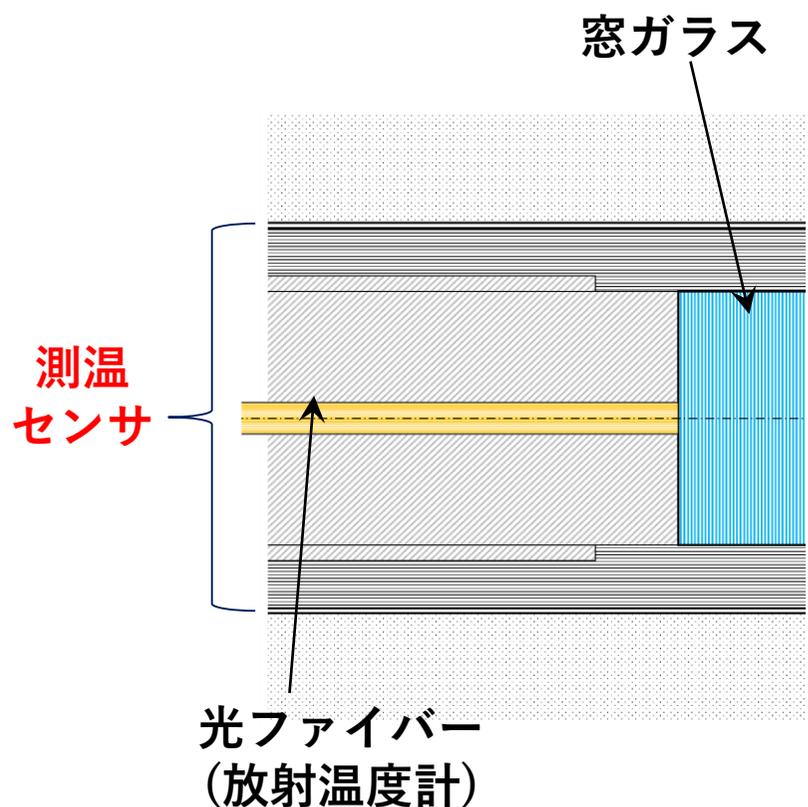
熱伝達測定専用のセンサ概略

★ポイント

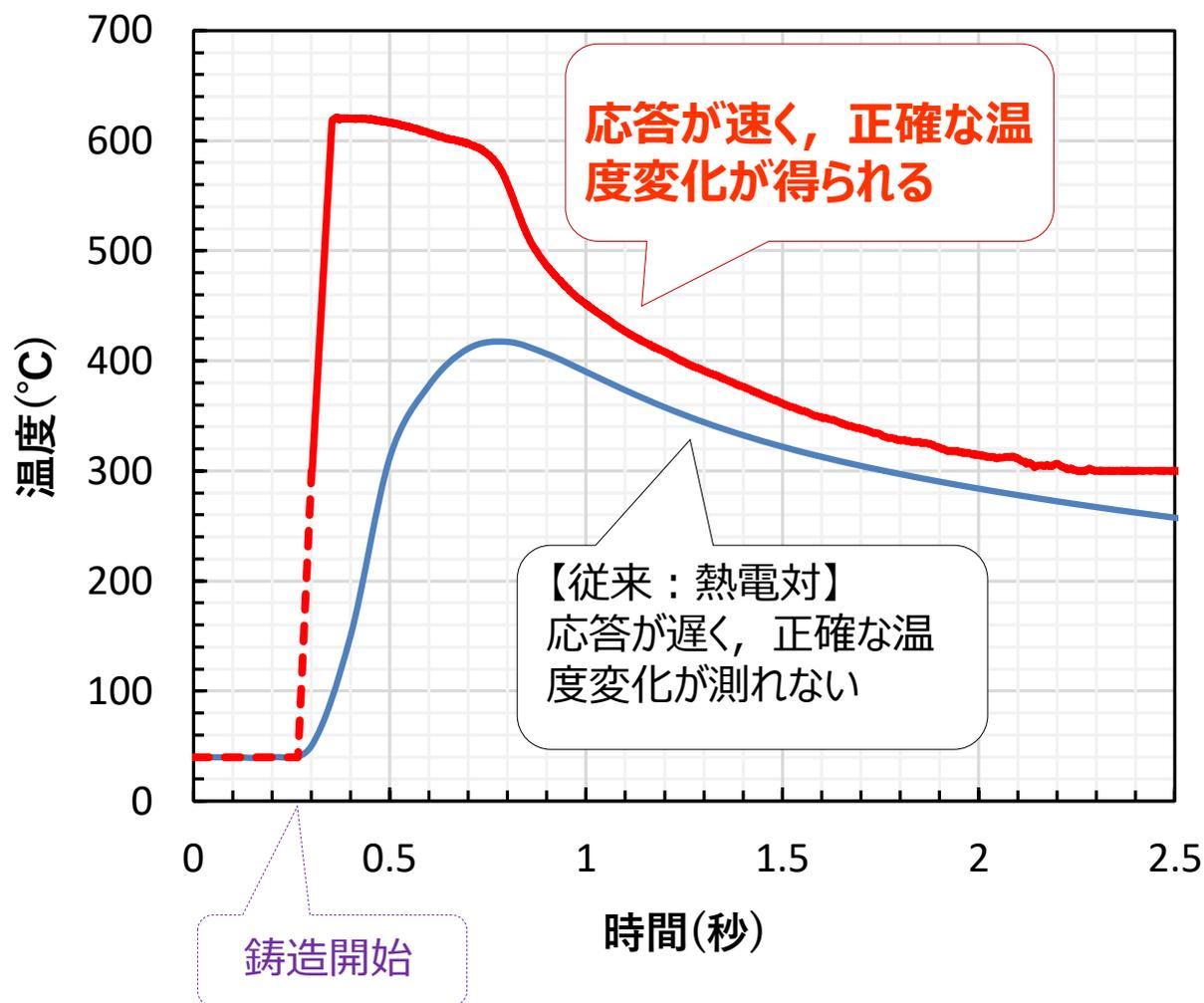
特定箇所の接触圧力と熱伝達係数を1本のセンサで測定可能

②成形体(金型内部)の測温技術

◎ 光ファイバ温度計によるアルミ溶湯の温度測定

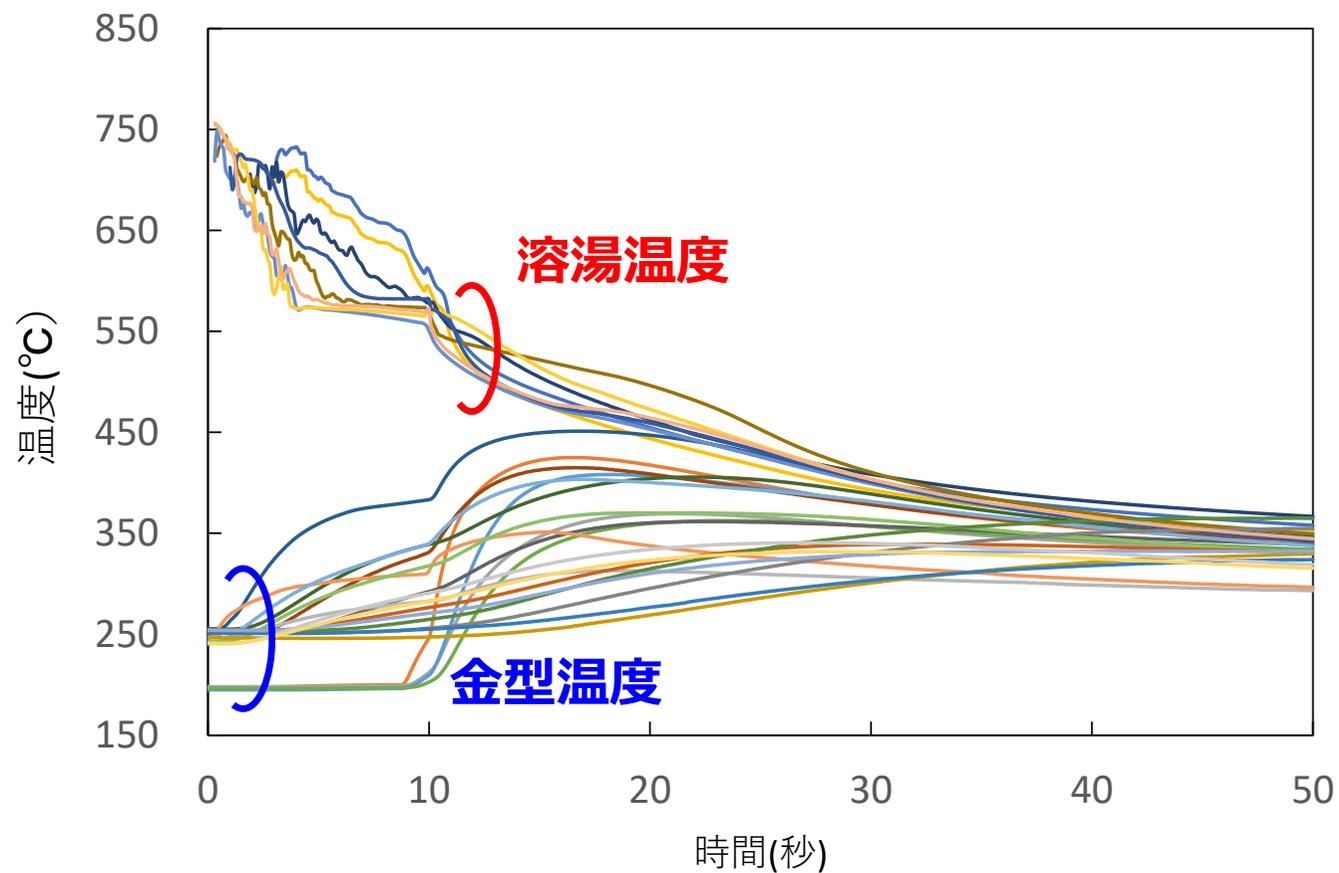


金型の断面イメージ



温度測定の結果

溶湯と金型の温度変化

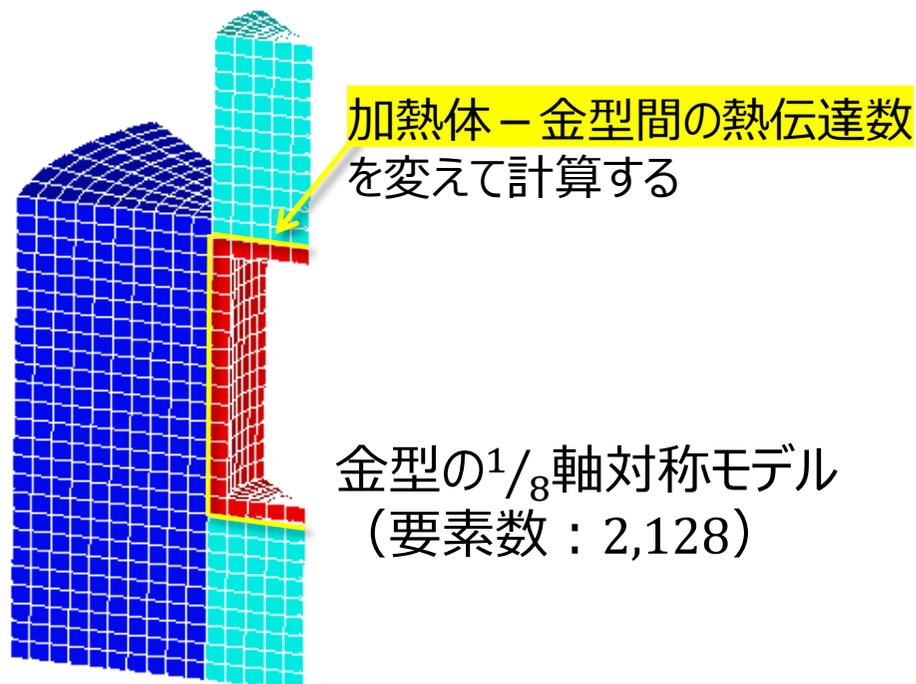


熱伝達係数の導出

◎ 導出方法

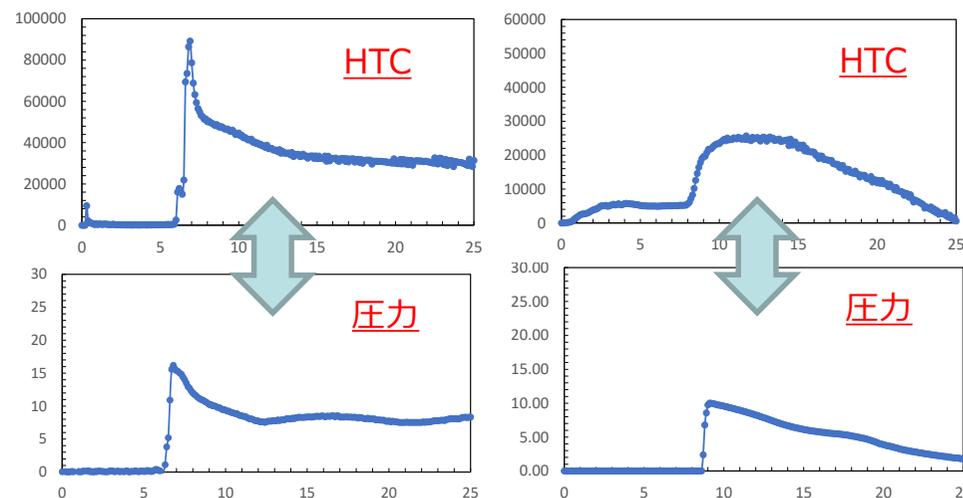
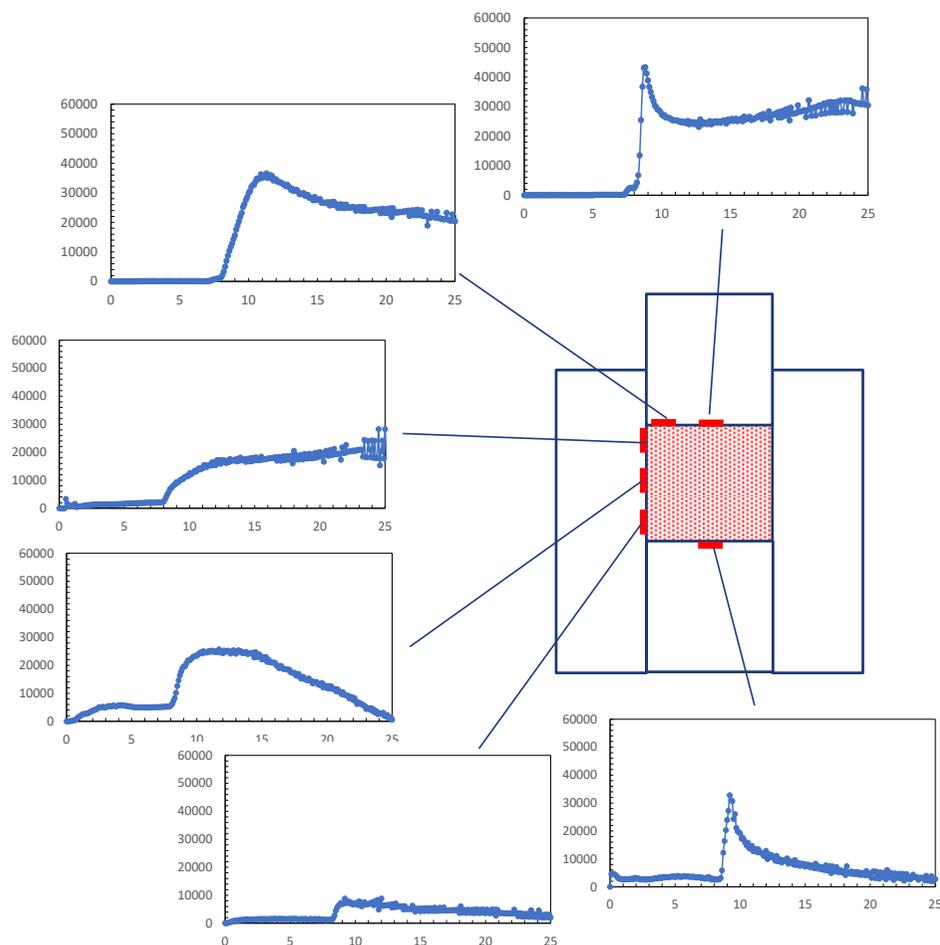
・温度シミュレーションに用いる熱伝達係数を知ることが目的なので、シミュレーションと同じモデルを用いる。

- ⇒ 熱伝達係数を変えて温度シミュレーション（熱伝導解析）を繰り返す
- ⇒ 実測温度と計算温度の誤差が最小になる熱伝達係数を探索する



熱伝達係数の測定結果

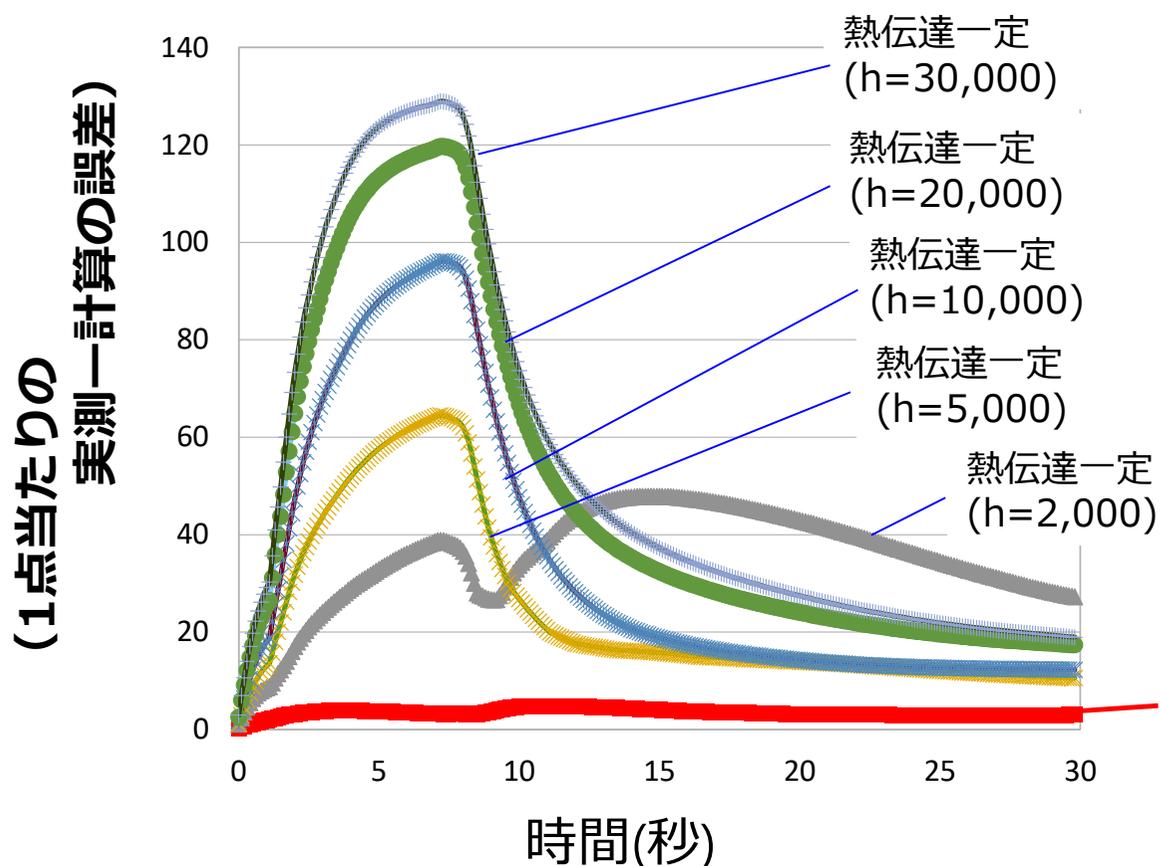
◎ 熱伝達係数は場所によって経時変化の挙動が異なり、
接触圧力と相関がある。



異なる2か所の熱伝達係数(HTC)と
接触圧力の関係。それぞれ波形に相関
がある。

熱伝達を考慮した温度シミュレーション

◎測定した熱伝達係数を用いて（戻し入れて）温度シミュレーション精度を確認

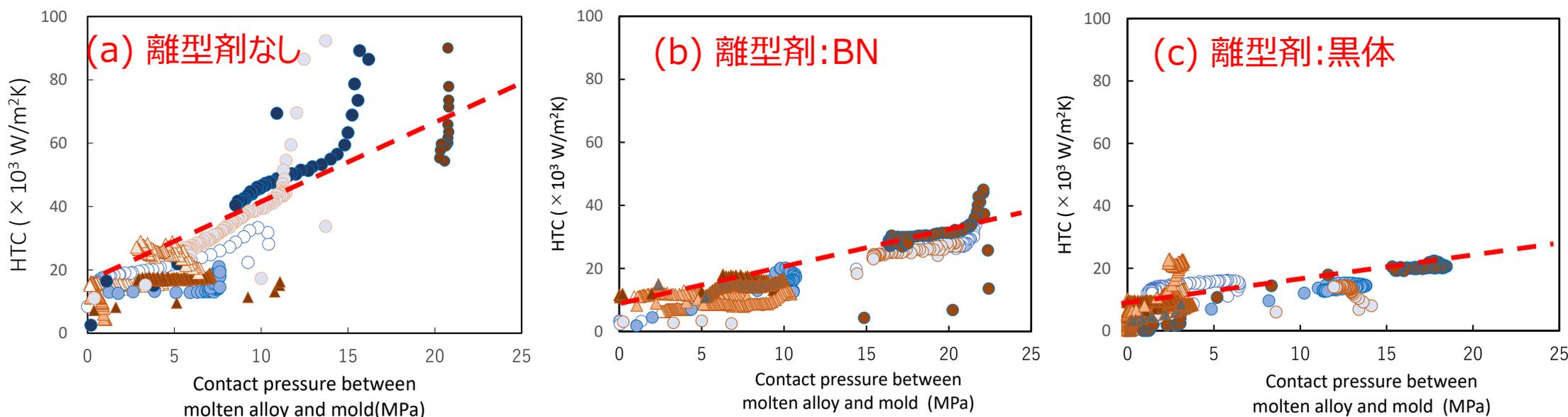


測定した熱伝達係数を用いることで、温度シミュレーションの解析精度を向上できる

測定した熱伝達係数(時間と場所に変化)を用いた場合

熱伝達係数の支配因子

◎ 熱伝達係数と接触圧力の関係



● 熱伝達係数は接触圧力とほぼ線形の関係にあり、
離型剤の種類によって傾きは異なる

機械学習で熱伝達係数予測

◎ 多数のパラメータと熱伝達係数の相関を取り，熱伝達係数を予測

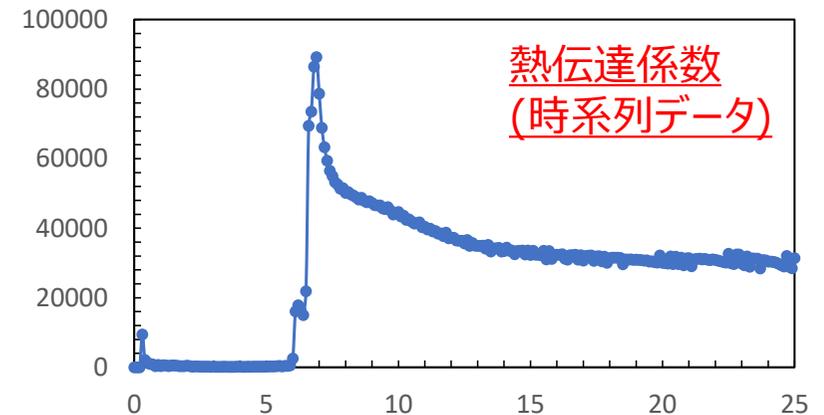
⇒ 機械学習による時系列分析

(前時間の特徴量から

次時間の熱伝達係数を予測)

(特徴量) 前のタイムステップのデータ

- 接触圧力
- 離型剤
- 溶湯表面温度
- ...

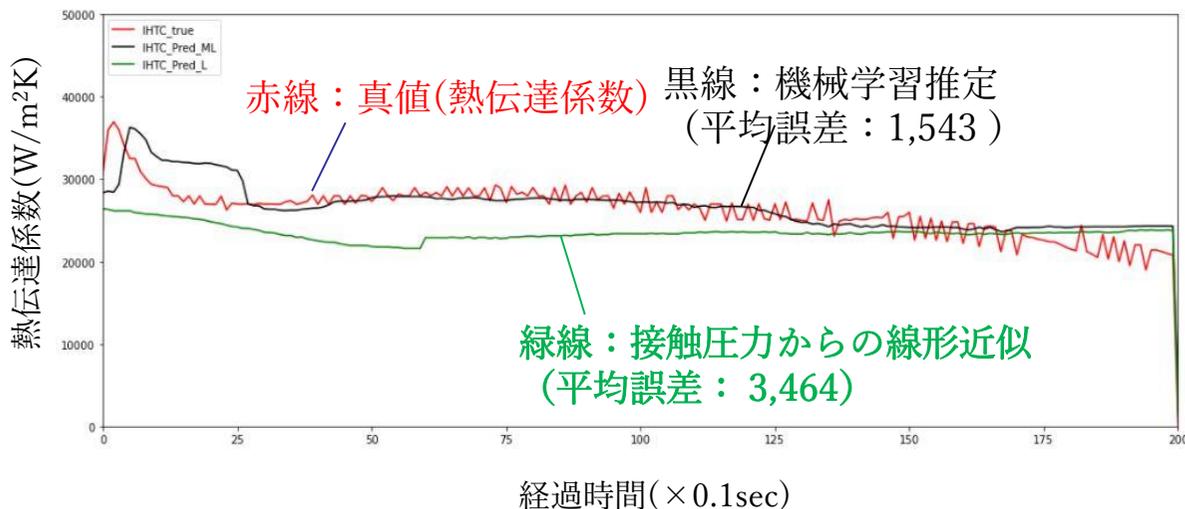


時間 (タイムステップ)	接触 圧力	溶湯 温度	物理 量A	物理 量B	熱伝達 係数
0	0.0	700	50
0.1						?
0.2						?
0.3						?

(予測データ) 次のタイムステップの熱伝達係数

機械学習で熱伝達係数予測

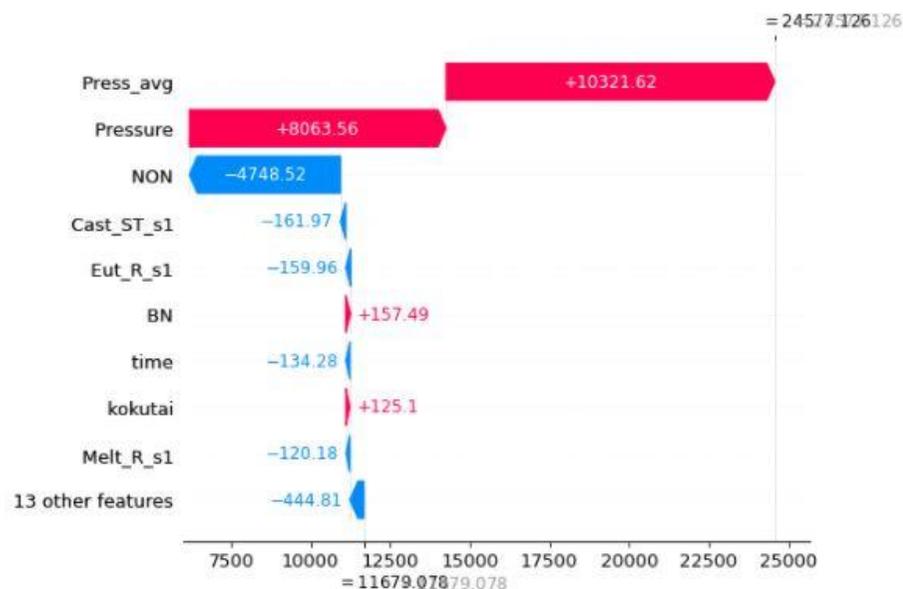
学習データ (4937) → 未知のテストデータ (789) を機械学習で予測



HTC予測に対する寄与度

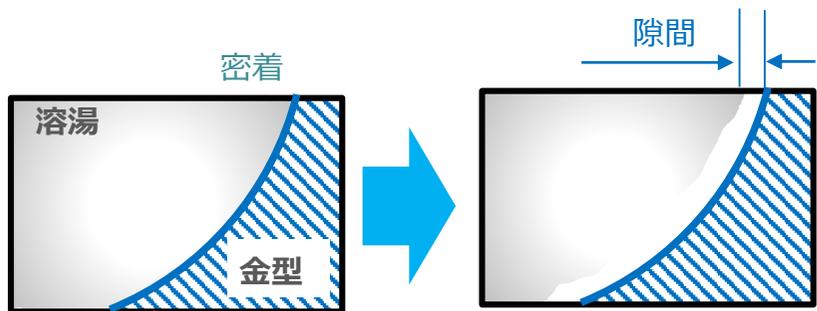
1. 接触圧力
2. 離型剤
3. 溶湯表面温度

機械学習を使えば
前のタイムステップのデータから
次のタイムステップのHTCを予測できる

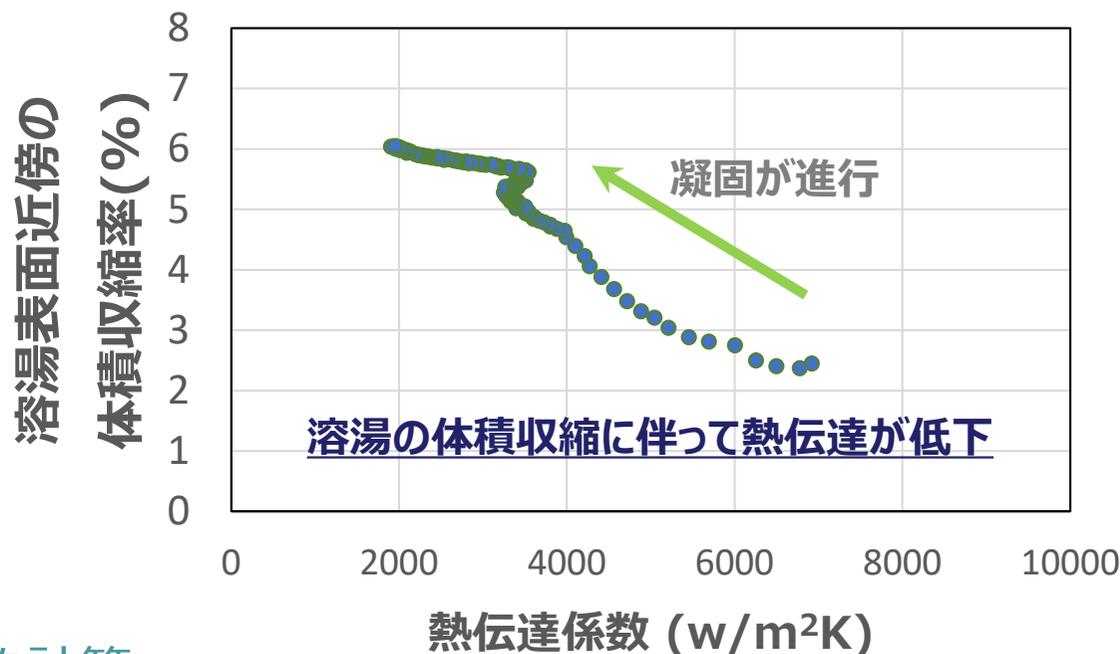
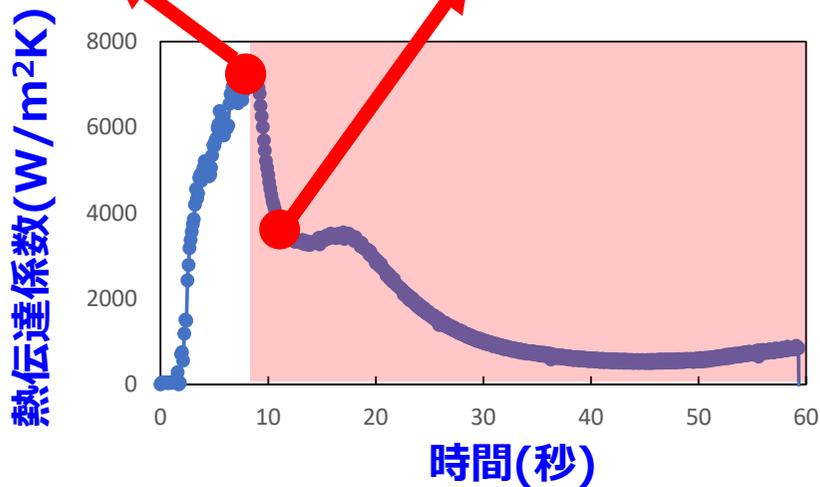


★ 汎化性能上げるためのデータセットの作成が課題

熱伝達係数と物理現象の関連



溶湯の凝固収縮に伴って界面に隙間が発生
→ 熱伝達係数が低下したと予想される



熱伝達係数が低下する領域に注目

溶湯表面温度→凝固による体積収縮率を計算

新技術の特徴・従来技術との比較

成形体－金型間の熱伝達係数測定における課題であった

- クローズな金型内部の温度測定技術
- 専用の測定センサ を開発した。

アルミ鋳造において熱伝達係数の支配因子を明らかにし、機械学習を組み合わせることで熱伝達係数が事前予測できる可能性を見出した。

本技術の適用により、温度シミュレーションの高精度化が期待される。

実用化に向けた課題

- 現在、鋳造においては機械学習に必要なデータセット作成を進めている。
- 実用化に向けて、場所/時間によって熱伝達係数を変える機能や熱伝達予測機能を搭載したCAEで精度向上の効果を確認してゆく必要がある。
- 今後は鋳造以外の熱加工プロセスにおいても実験データを取得してゆく予定。

企業への期待

熱伝達測定/CAEへの搭載に向けて、共同で取り組んでいただける企業の方を探しています。

- 温度測定用のセンサを取り扱う企業
- 熱伝達係数データを取得したい企業
- 温度シミュレーションを扱うソフトベンダー

本技術に関する知的財産権

- ①発明の名称 : 解析装置, 制御プログラムおよび解析方法
 - 出願番号 : 特願2022-25055
 - 出願人 : 広島県
 - 発明者 : 寺山朗, 府山伸行

- ②発明の名称 : 推定装置, シミュレーション装置, 制御プログラム, データセットおよび推定方法
 - 出願番号 : 特願2022-25059
 - 出願人 : 広島県
 - 発明者 : 寺山朗, 筒本隆博

- ③発明の名称 : 測温センサピン及びそれを備える測温センサ
 - 出願番号 : 特願2020-6492
 - 特許番号 : 特許第7138868号
 - 出願人 : 芝浦機械・広島県
 - 発明者 : 波多野好幸, 藤本亮輔, 横山豪志, 寺山朗, 府山伸行, 大石郁

お問い合わせ先

○技術に関することについて

広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター
技術支援部

TEL 0823-74-1151

FAX 0823-74-1131

e-mail wkcgijutsu@pref.hiroshima.lg.jp

○契約に関することについて

広島県立総合技術研究所 企画部

TEL 082-223-1200

FAX 050-3156-3479

e-mail sgkkikaku@pref.hiroshima.lg.jp