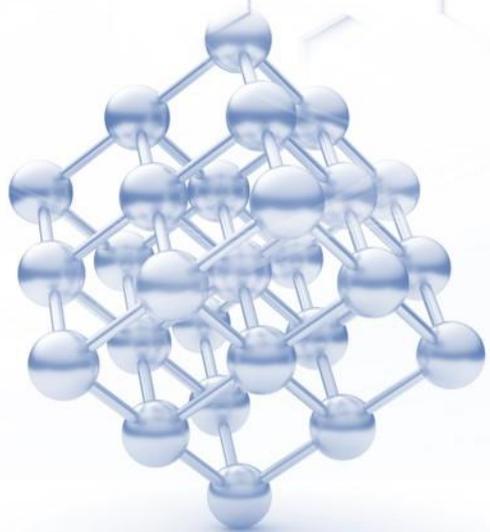


# 革新的低熱膨張合金を利用した CFRTP プレス成形用金型の開発



藤井 啓道

新報国マテリアル 研究開発部

[fujii@shst.co.jp](mailto:fujii@shst.co.jp)



新報国マテリアル株式会社  
SHINHOKOKU MATERIAL CORPORATION

## 1. 低熱膨張合金の特徴と応用例

- ✓ インバー合金の特徴
- ✓ CFRP 成形用金型としてのインバー合金の応用
- ✓ 次世代輸送機器用部品の成形金型としてのポテンシャル

## 2. 低熱膨張合金型による成形精度の向上

- ✓ CFRTP プレス成形試験片の形状測定
- ✓ 試験片の機械特性評価

## 3. 量産成形に向けた金型特性の改善

- ✓ クライオプロセスによる鋳造合金の強化
- ✓ 強化低熱膨張鋳造金型の特性と期待される効果
- ✓ 低熱膨張合金の難削性の克服

## 4. まとめ

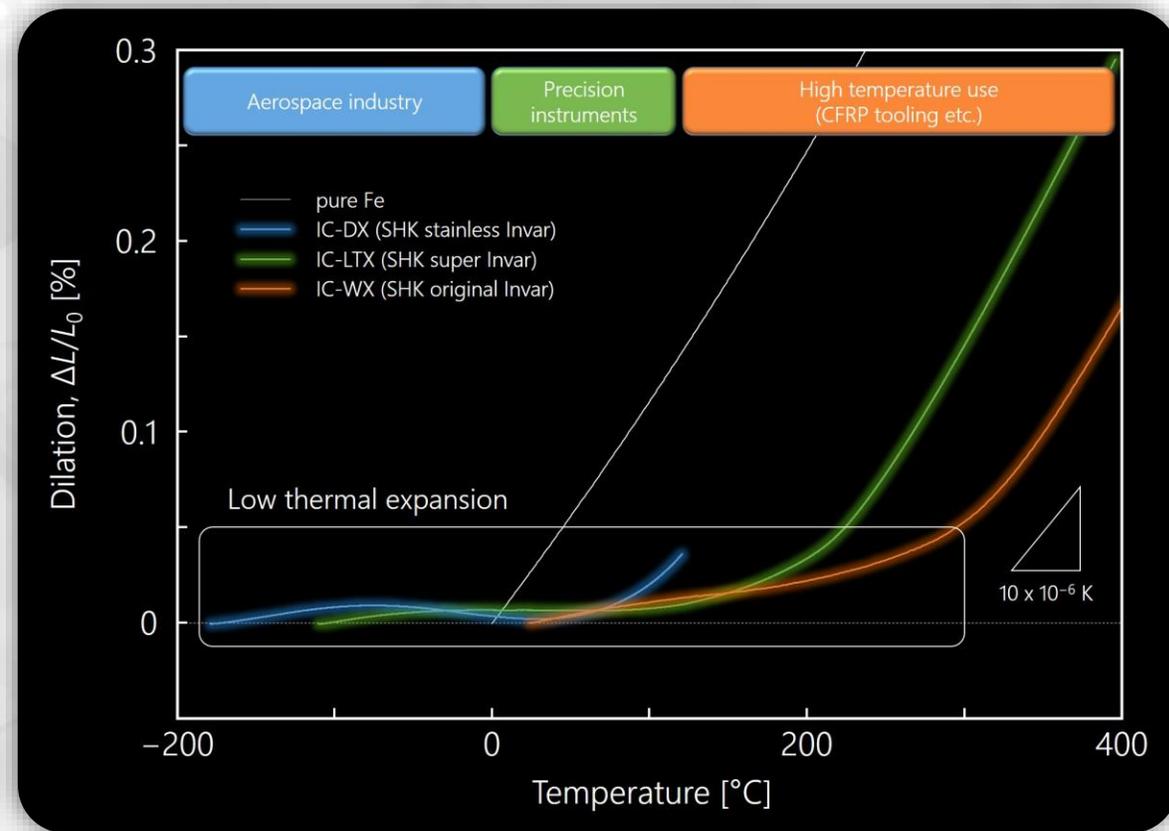
# インバー合金の低熱膨張特性

## □ インバー合金

- ✓ 1897年 スイスの Guillaume 博士により発見
- ✓ Fe-36mass%Ni 合金
- ✓ 低熱膨張

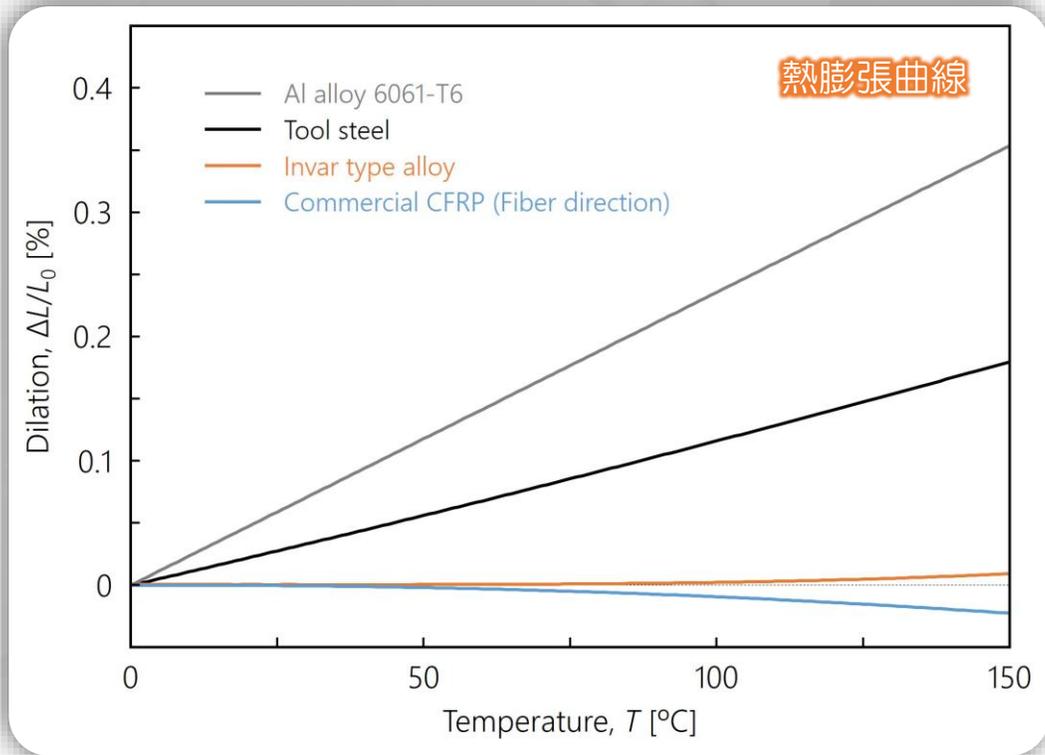
## □ 低熱膨張合金の応用例

- ✓ 宇宙関連事業  
(観測機器用構造部材)
- ✓ 精密機器  
(半導体製造装置)
- ✓ 温間金型  
(**CRRP 成形**)



新報国マテリアルにおいて開発した低熱膨張合金の熱膨張曲線：幅広い温度域において低熱膨張合金の使用が可能。

# CFRP 成形用金型としてのインバー合金の特徴



構造材料用アルミニウム合金，工具鋼およびスーパーインバー合金と市販 CFRP の熱膨張挙動の比較

\* 125°C における成形を仮定

	インバー合金	CFRP
成形サイクル数	2000	200
上限温度 [°C]	230	190
上限応力 [MPa]	なし	0.69
重量	大	小
複雑形状	容易	困難
材料費	高価	安価
マスター金型	不要	グラファイト，インバー等

# 次世代航空機器用部品の精密成形を支える金型材料

## 従来の航空機

- ✓ 大型部品（低曲率）
- ✓ 少量生産

## 次世代輸送機器

- ✓ 小型部品（複雑形状）
- ✓ 大量生産

## 次世代 CFRP 成形金型



寸法安定性



複雑形状の精密成形



ニアネットシェイプ



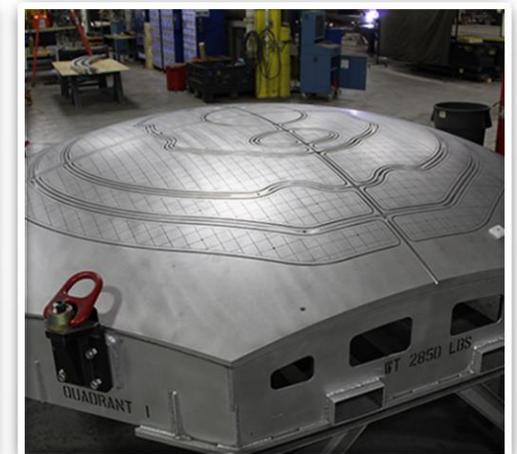
鋳放しで製品形状に



高い機械特性



へたりの低減，長寿命化



航空旅客機用 CFRP 部品のインバー金型  
(Ascent Aerospace 社 HP より)

# 次世代航空機器用部品の課題



市場規模

2030年 9,600 億円  
(必要機体数：日本 1万機, 世界 15万機)



導入目標

2030年 12都市以上  
数十万人/日のエアタクシー



必要部品数

~数万点/年 (自動車産業と同等)



社会受容

設計に応える高い生産技術が不可欠



スタートアップ  
企業

(米) Joby Aviation (独) Volocopter (日) SkyDrive  
(中) Ehang (英) Vertical Aerospace 等

次世代輸送機器の社会実装に向けた高品質・高信頼性の小型・複雑形状CFRTP 部品の量産成形用金型を開発する。

## 成形精度



低熱膨張金型

ニーズに応じた開発

## 複雑形状



鑄造技術

実績多数

## 量産成形



金型の機械特性

長寿命化に向けた改善

# 低熱膨張金型による成形精度の向上



# インバー金型を用いたプレス成形試験

## □ 成形試験用 CF RTP

樹脂	炭素繊維	プレス荷重 [t]	加圧時間 [s]	成形温度 [°C]	
PP	UD	10	180	200	
PA6	Cross			260	
	UD		300	350	
PPS	Cross			180	400
PEEK	UD				



引張試験および曲げ試験用プリプレグ



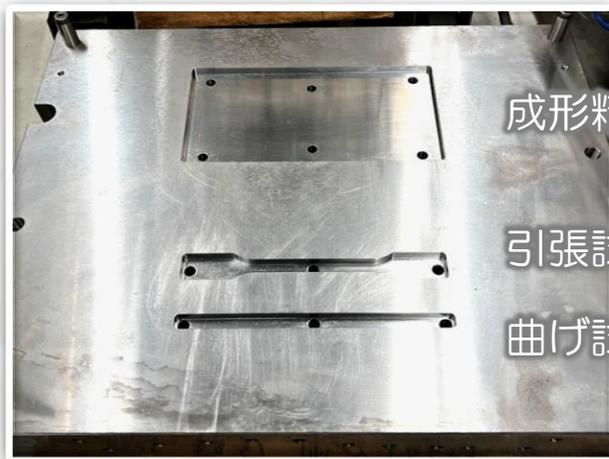
CF RTP プレス成形用試験機（郷製作所）

# 成形試験用金型の特徴

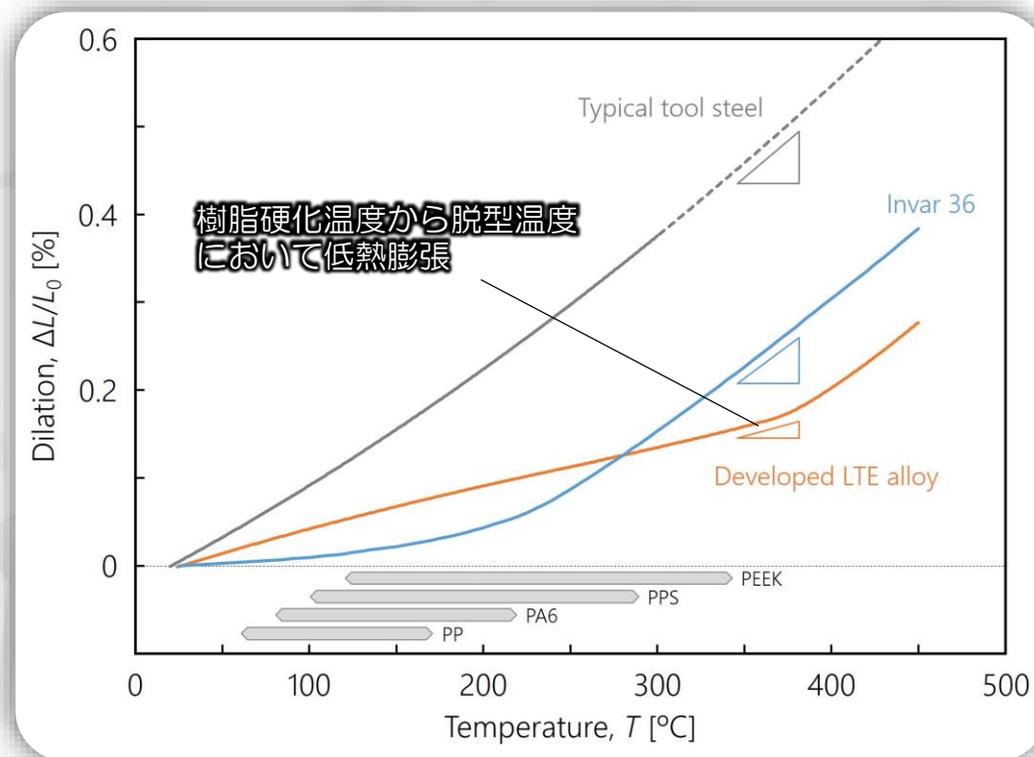
## □ 成形試験用金型

- ✓ 低熱膨張金型 VIC-65
- ✓ 工具鋼金型（比較用）

## □ 試験片形状

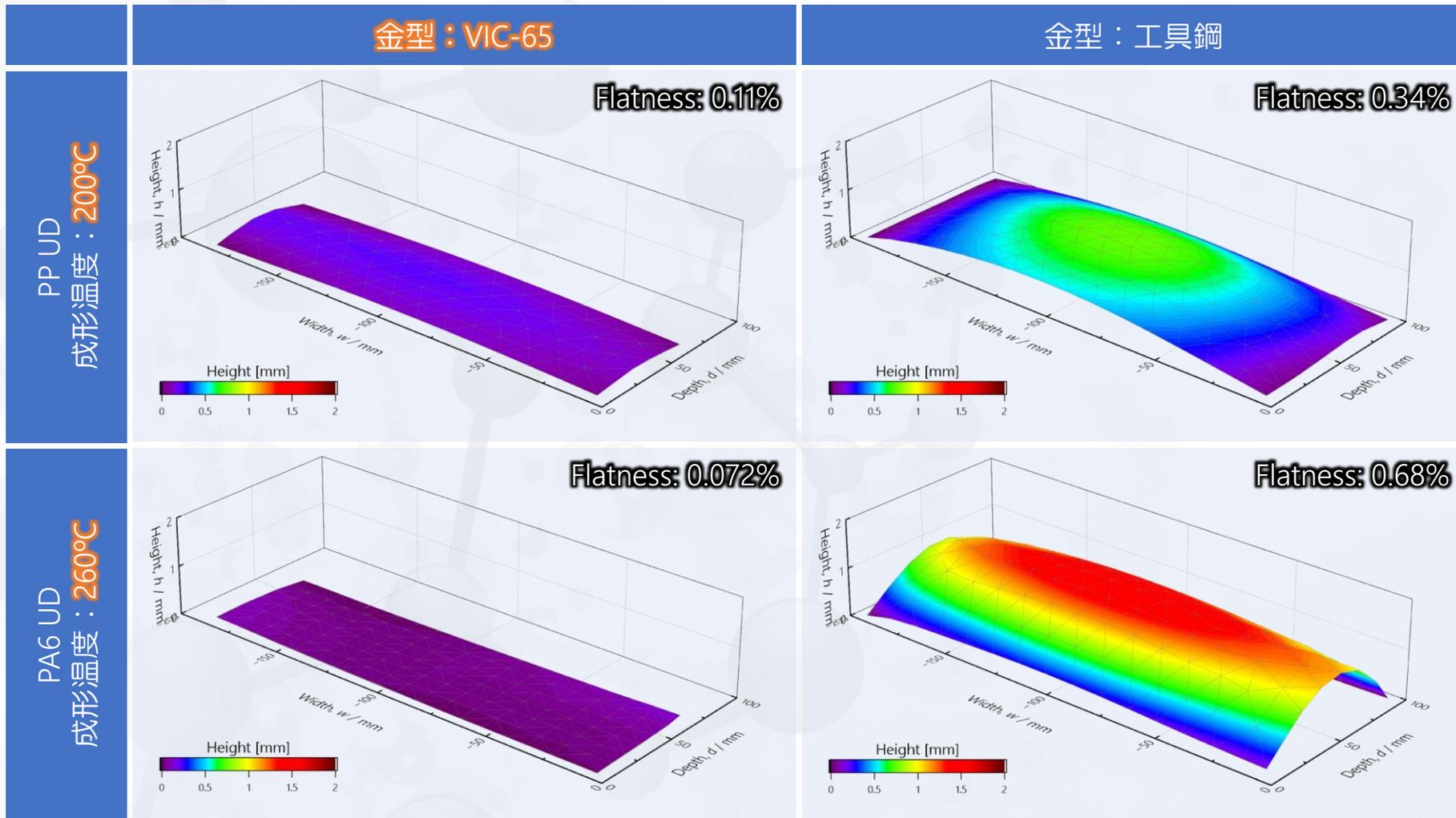


CFRTP プレス成形用試験に用いた金型

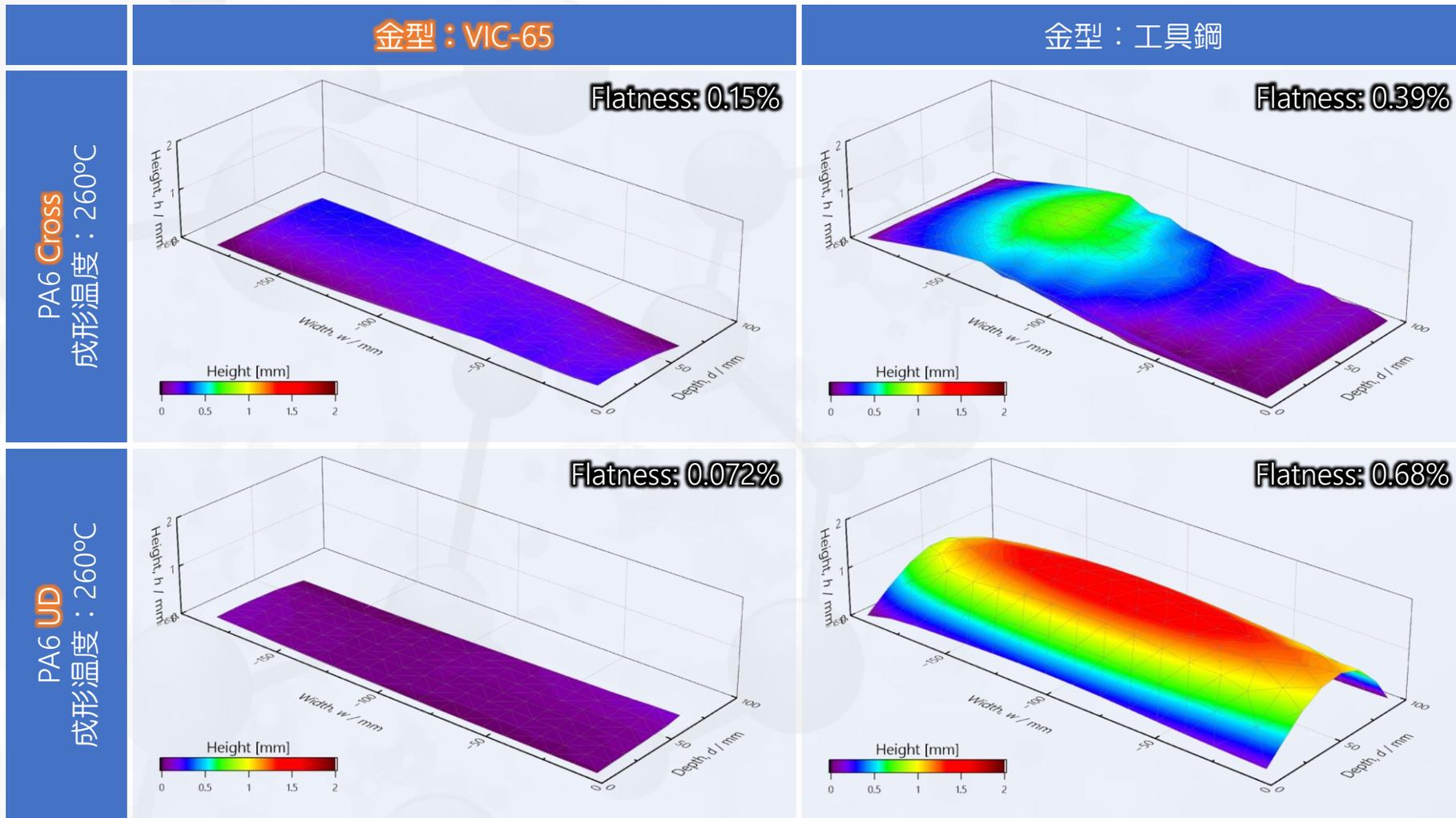


CFRTP プレス成形用試験に用いた金型材料の熱膨張曲線

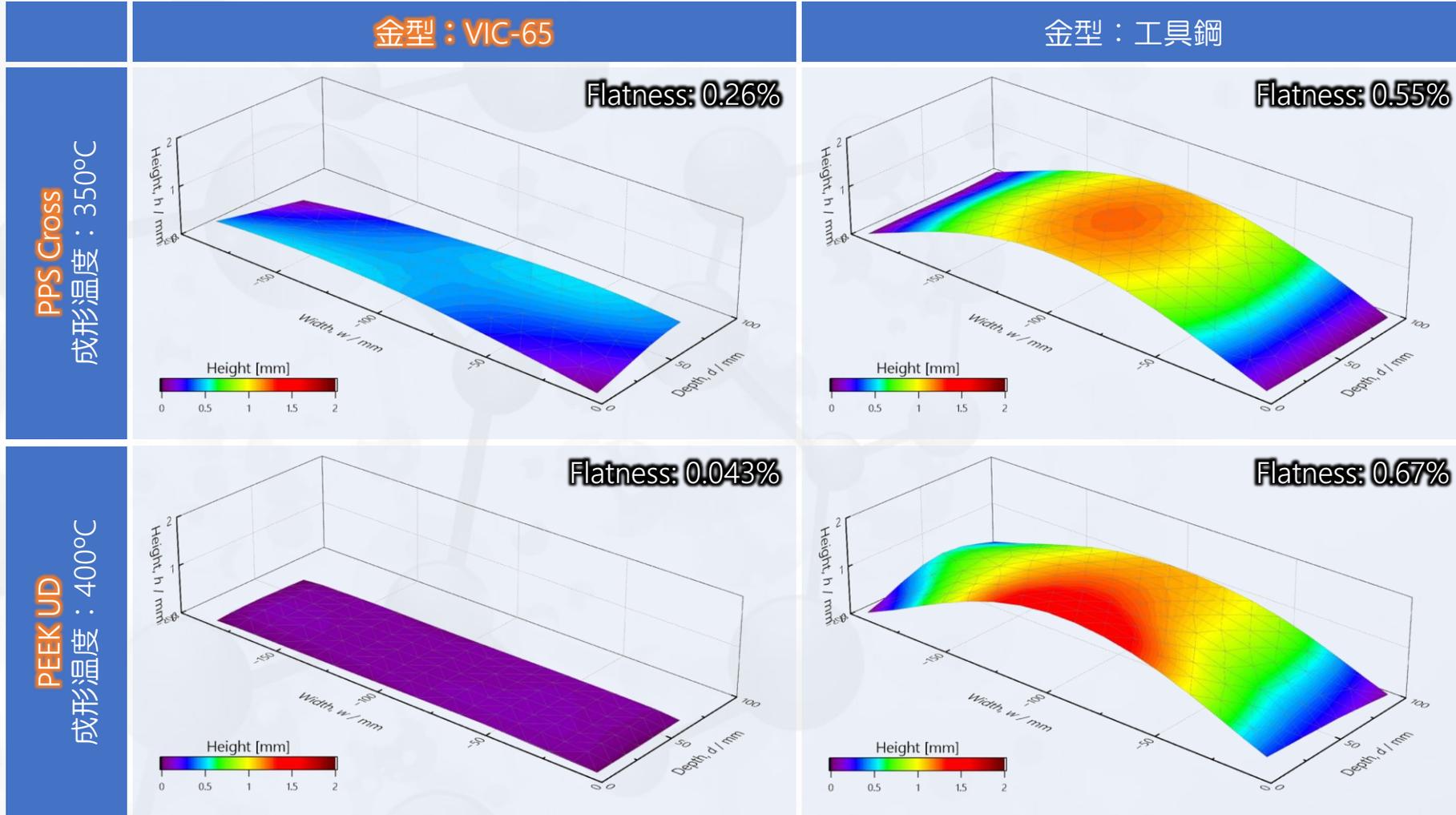
# 成形精度の評価：成形温度の比較



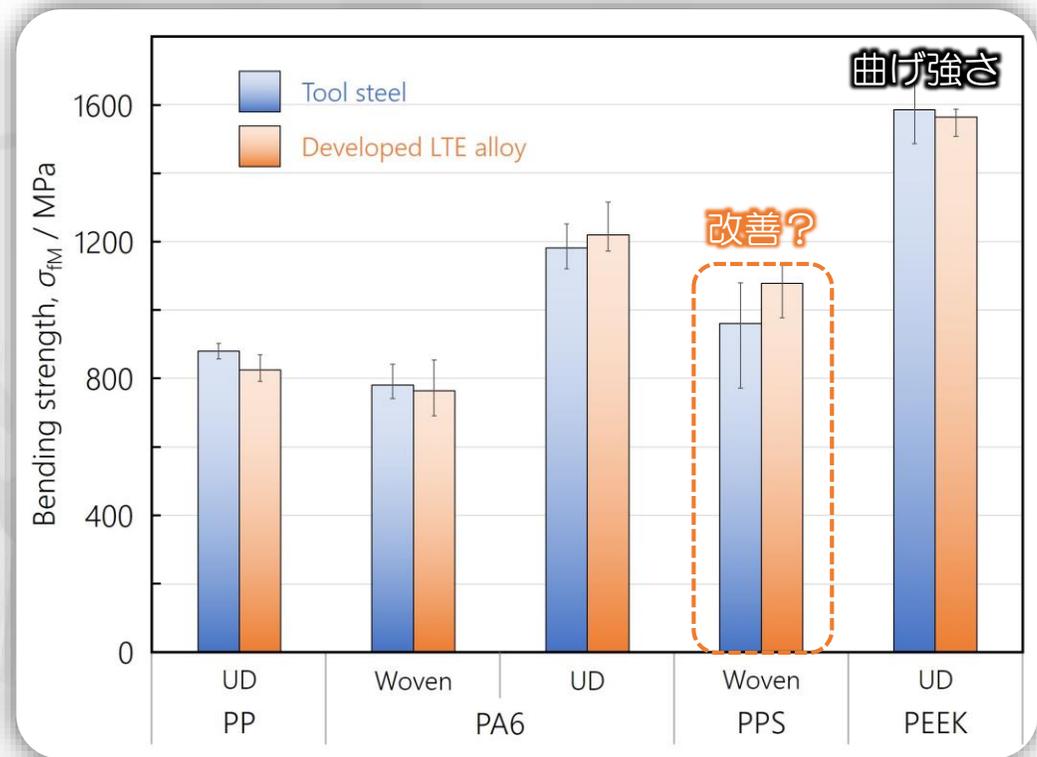
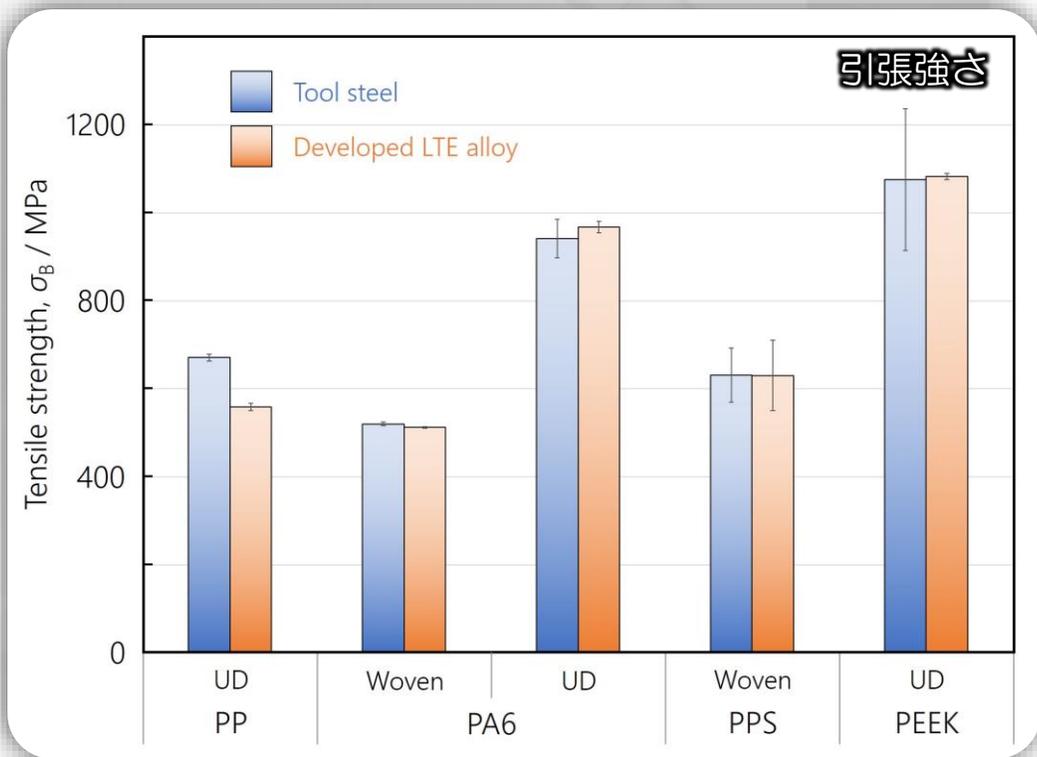
# 成形精度の評価：炭素繊維の比較



# 成形精度の評価：スーパーエンブラの成形



# 成形試験片の機械特性



異なる樹脂，炭素繊維を用いた CFRTP 試験片の引張強度：従来の樹脂成形金型と低熱膨張金型を用いて成形した試験片の比較。

異なる樹脂，炭素繊維を用いた CFRTP 試験片の曲げ強度：従来の樹脂成形金型と低熱膨張金型を用いて成形した試験片の比較。

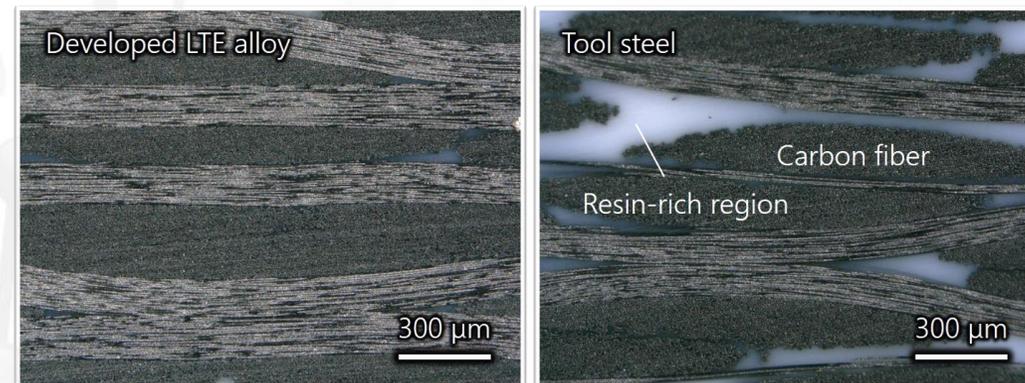
# 炭素繊維分布に対する低熱膨張金型の効果

## □ 炭素繊維密度の改善

- ✓ 低熱膨張金型を用いることにより、炭素繊維の体積分率 ( $V_f$ ) が増加した。
- ✓ 従来の工具鋼の金型を用いた場合、樹脂硬化から脱型までの温度低下時に金型の熱収縮が生じる。
- ✓ 金型の熱収縮により、成形時の応力分布が不均一となり、炭素繊維密度も不均一となる可能性がある。



(a)



(b)

低熱膨張金型および従来の工具鋼金型を用いてプレス成形した CFRTP 試験片の (a) 断面マクロ写真および (b) マクロ写真の拡大図

## 量産成形に向けた金型特性の改善\*



\* H.T. Fujii, N. Sakaguchi, H. Ohno and K. Ona: "Novel tooling materials with extremely high dimensional stability for press forming of CFRTP", *Proc. CAMX*, (2021), 1-14.

# 量産成形に向けた低熱膨張金型の課題

## 成形精度



低熱膨張金型

ニーズに応じた開発

## 複雑形状



鑄造技術

実績多数

## 量産成形



金型の機械特性

長寿命化に向けた改善



## 課題

- ✓ 積層造形法の開発試作により製造技術強化中

## 課題

- ✓ 鑄造インバーの高強度化・品質安定化

# インバー鋳鋼の強度劣化と改善プロセス

## □ 低熱膨張金型の機械特性

- ✓ インバーは強度材料ではない
- ✓ 鋳造時に形成する粗大な柱状結晶組織が強度を劣化させる

## □ 特性改善プロセス

- ✓ 一般的に鉄鋼材料の強化には塑性加工プロセスが用いられる
- ✓ 鋳物の複雑形状を活かすために、変形を伴う塑性加工は用いたくない

(a) As-cast



(b) Forged

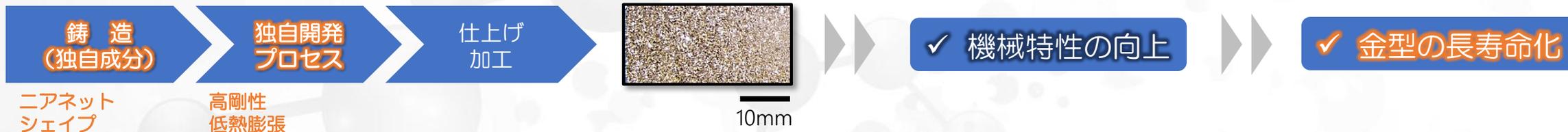


スーパーインバー合金における (a) 鋳造時に形成する粗大な柱状結晶組織および (b) 鍛造プロセスによる結晶粒の微細化

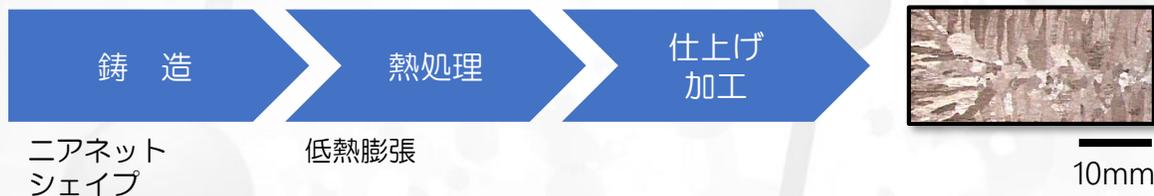
クлайオー再結晶処理による強度改善

# 独自の低熱膨張金型製造プロセス

## □ 先進インバー鋳鋼



## □ 従来のインバー鋳鋼



## □ インバー鍛鋼

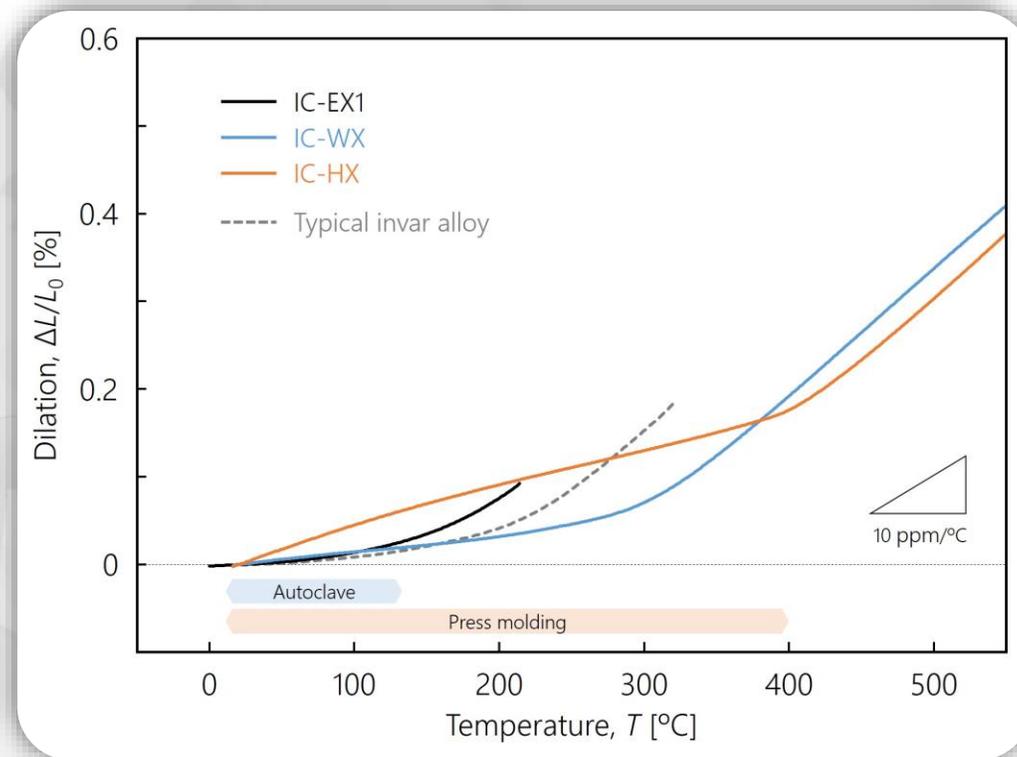
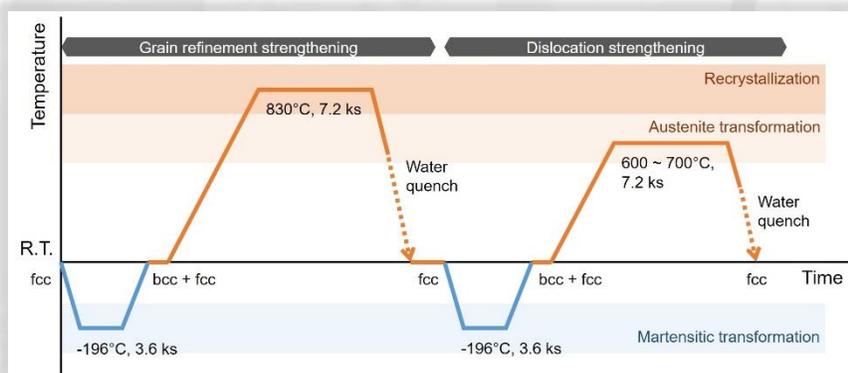


# 低熱膨張金型の強化試験

## □ 試験材料

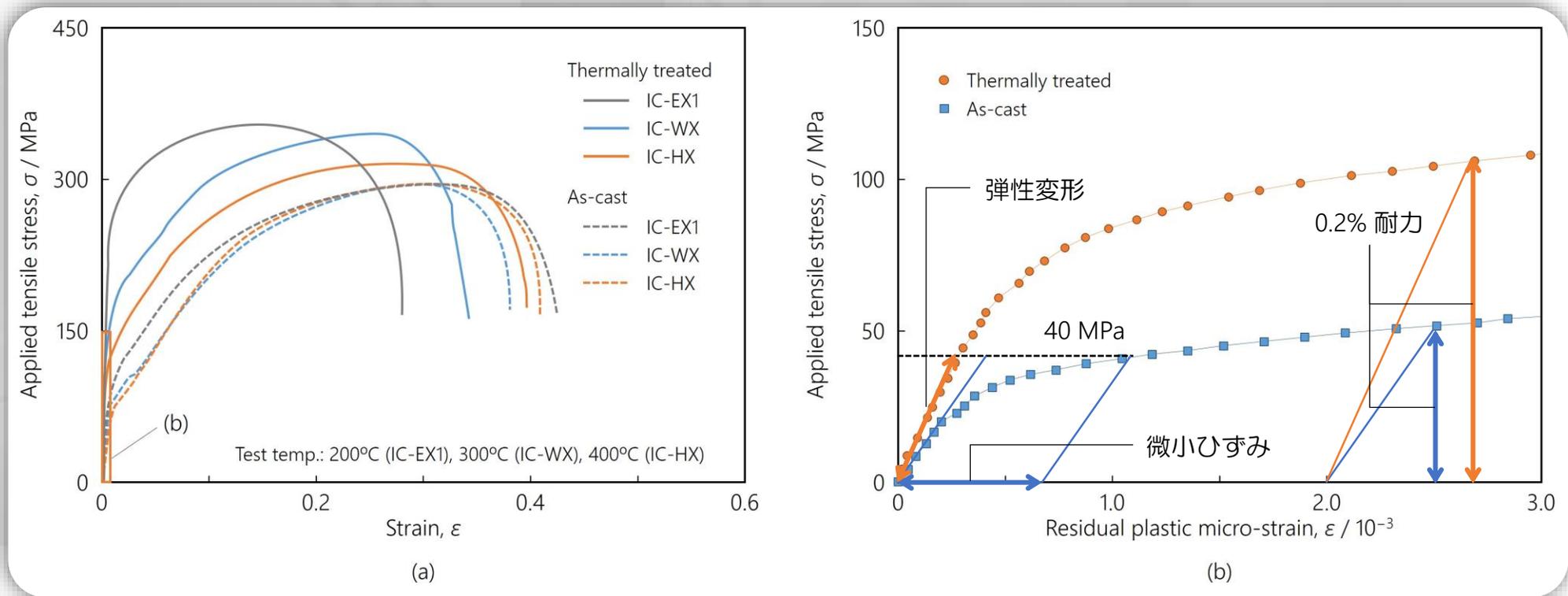
材 料	化学成分	低熱膨張温度域
IC-EX1	Fe-Ni	R.T. ~ 200°C
IC-WX	Fe-Ni-Co	R.T. ~ 300°C
IC-HX	Fe-Ni-Co	R.T. ~ 400°C

## □ 熱処理プロセス



低熱膨張金型の強化試験に用いた鑄造材料の熱膨張曲線

# 金型損傷と強化材料の効果



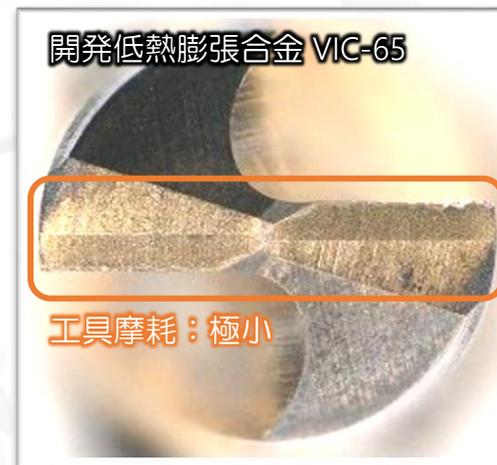
(a) 鋳造プロセスにより作製した低熱膨張合金の応力-ひずみ曲線における強化プロセス前後の比較 および (b) 低ひずみ領域の拡大図

金型の強化により「へたりの低減」「高寿命化」「高精度化」が期待される

# 低熱膨張金型の難削性の克服

## □ ドリル加工試験

- ✓ 加工工具： ハイスドリル
- ✓ 被削材： 開発低熱膨張合金（VIC-65）  
市販の低熱膨張合金（Kovar）
- ✓ 加工条件： 切削速度 45 m/min  
送り量 0.013 mm/rev  
穴径  $\phi 2.6$  mm  
加工深さ 13 mm  
加工回数 100 回



(a)



(b)

ハイスドリルを用いて (a) 開発低熱膨張合金（VIC-65）および (b) 市販の低熱膨張合金（Kovar）に対して切削加工を行った後の工具摩耗の比較

革新的合金技術により、低熱膨張金型の弱点である被削性の大幅な改善を実現した

低熱膨張金型により CF RTP プレス成型部品の成形精度が著しく向上し、  
鋳造金型の機械特性はクライオプロセスにより大きく改善されることが確認  
された。これらの成果は、次世代輸送機器の部品製造プロセスの発展に大  
きく貢献することが期待される。

## 成形精度



低熱膨張金型

ニーズに応じた開発

## 複雑形状



鋳造技術

実績多数

## 量産成形



金型の機械特性

長寿命化に向けた改善



webpage



e-mail

**THANK YOU**



新報国マテリアル株式会社  
SHINHOKOKU MATERIAL CORPORATION

Hiromichi T. Fujii



049-242-1955



fujii@shst.co.jp



www.shst.co.jp

