

HFCによる足回り部品の鋳造

Casting of suspension parts by HFC (Hybrid Fill Casting)



UBE 宇部興産機械株式会社

技術開発部 金属成形技術Gr.
三吉 博晃

1. HFC開発の背景

燃費規制による軽量化推進

■スクイズ casting

- ・優れた生産性
- ・製品の寸法精度
- ・微細な凝固組織



■低圧 casting

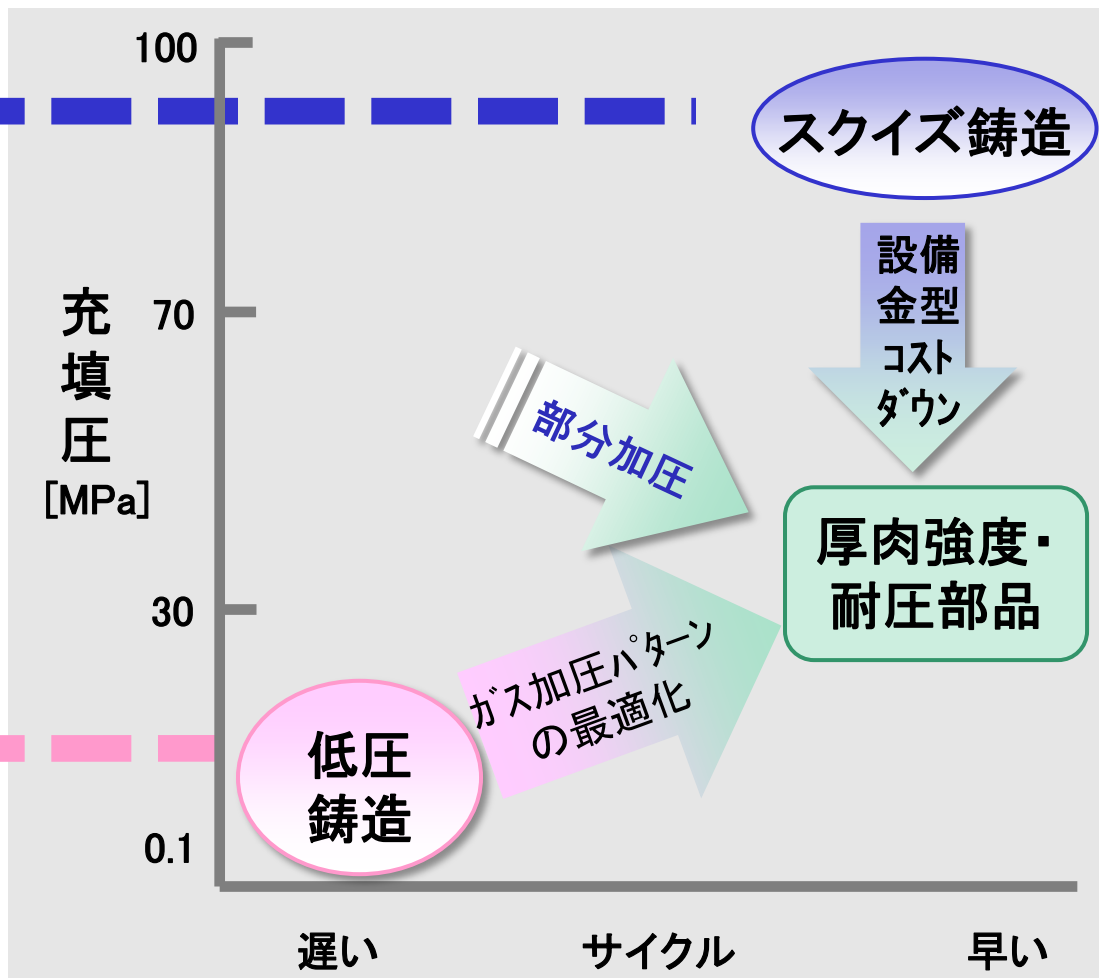
- ・簡素な casting 設備
- ・優れた溶湯品質



高強度・高靱性、優れた生産性の casting プロセス開発

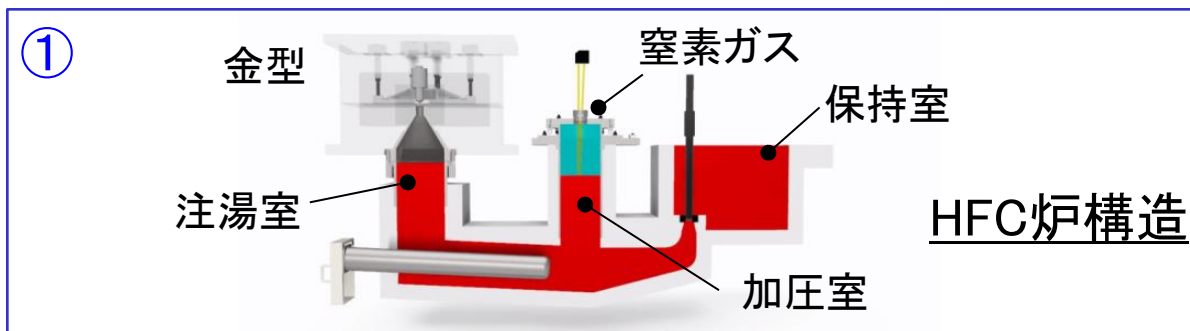


厚肉強度・耐圧部品の軽量化とコストダウン

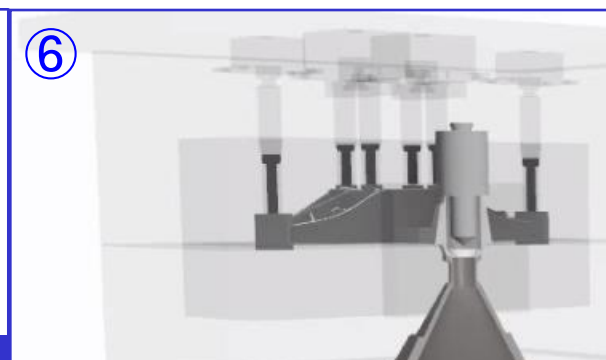


2. プロセスの説明

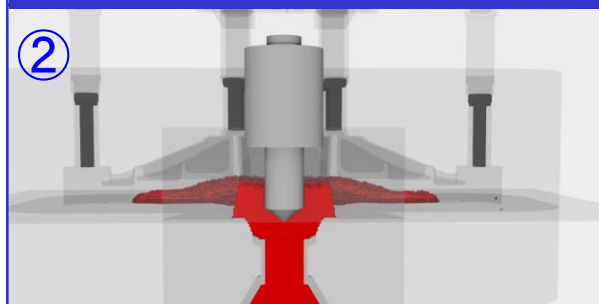
充填工程【Filling】に空圧と油圧【Hybrid】の力を使う Hybrid Fill Casting



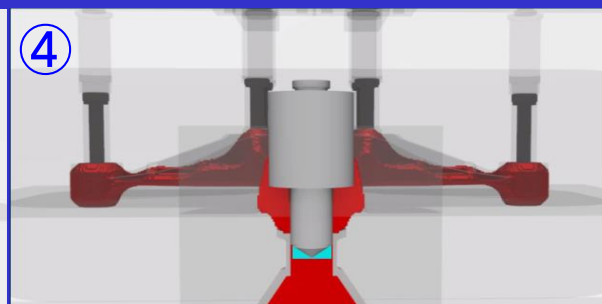
加圧室に窒素ガス導入



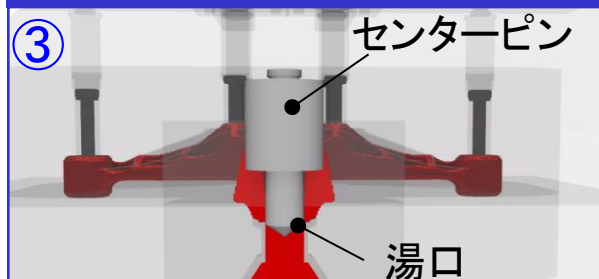
金型内メタル凝固完了



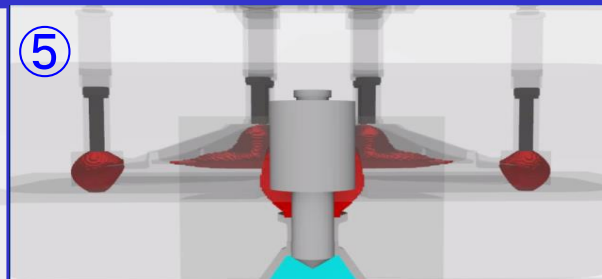
金型への溶湯充填



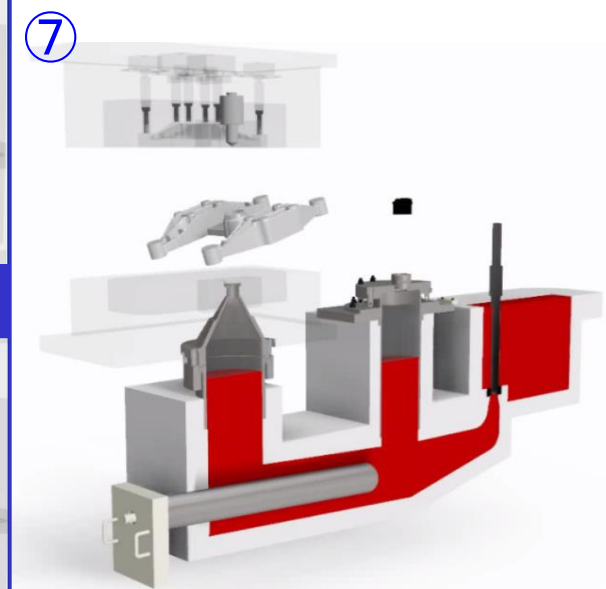
センターピン加圧



金型充填完了と湯口閉塞

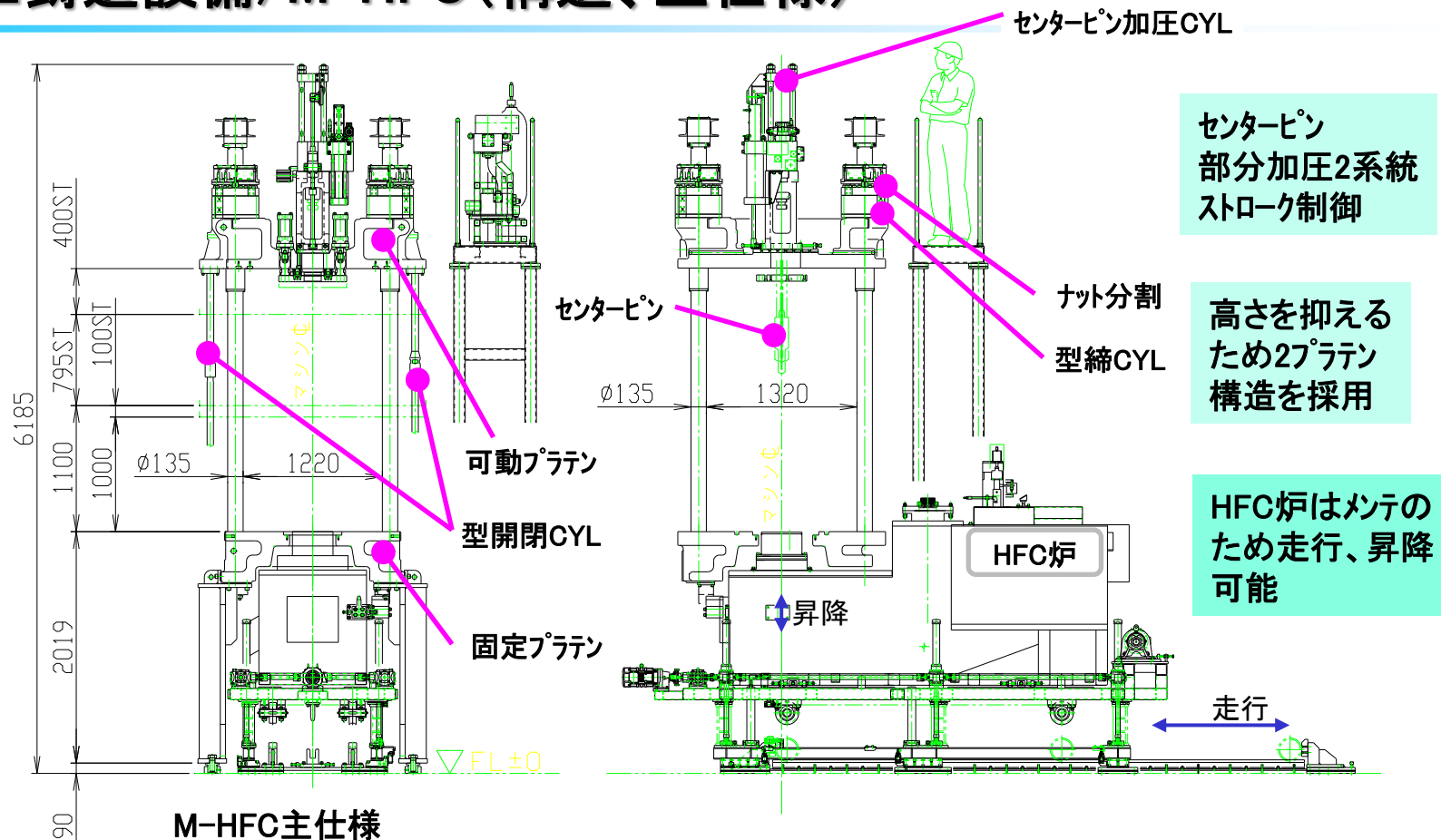


スクイズピン加圧



製品取出し&溶湯補給

3. デモ鋳造設備/M-HFC(構造、主仕様)

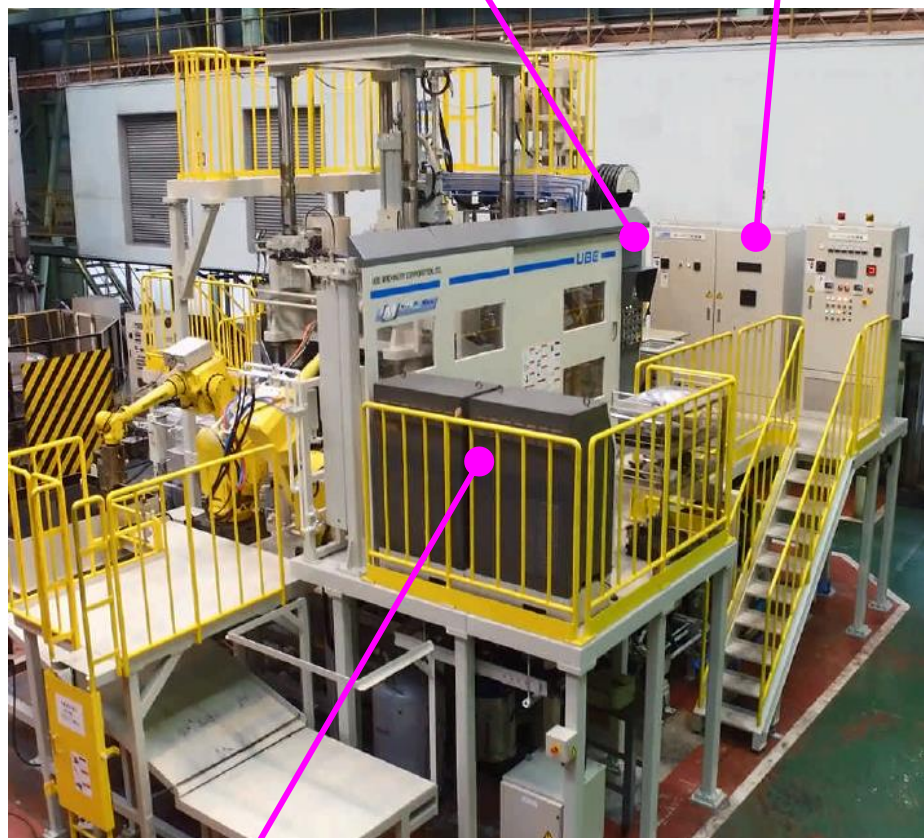


項目	仕様	項目	仕様
型締力 (mm)	315	センターピン出力 (ton)	30
型開閉St (mm)	795	センターピンSt (mm)	100
タイバー径 (mm)	$\phi 135$	押出力 (ton)	25
タイバー内法寸法 (mm)	1320/1220	押出St (mm)	50
取付金型厚さ (mm)	1000~1100	三相誘導モータ(kW)	30

3. デモ鋳造設備/M-HFC外観(配置)

操作盤

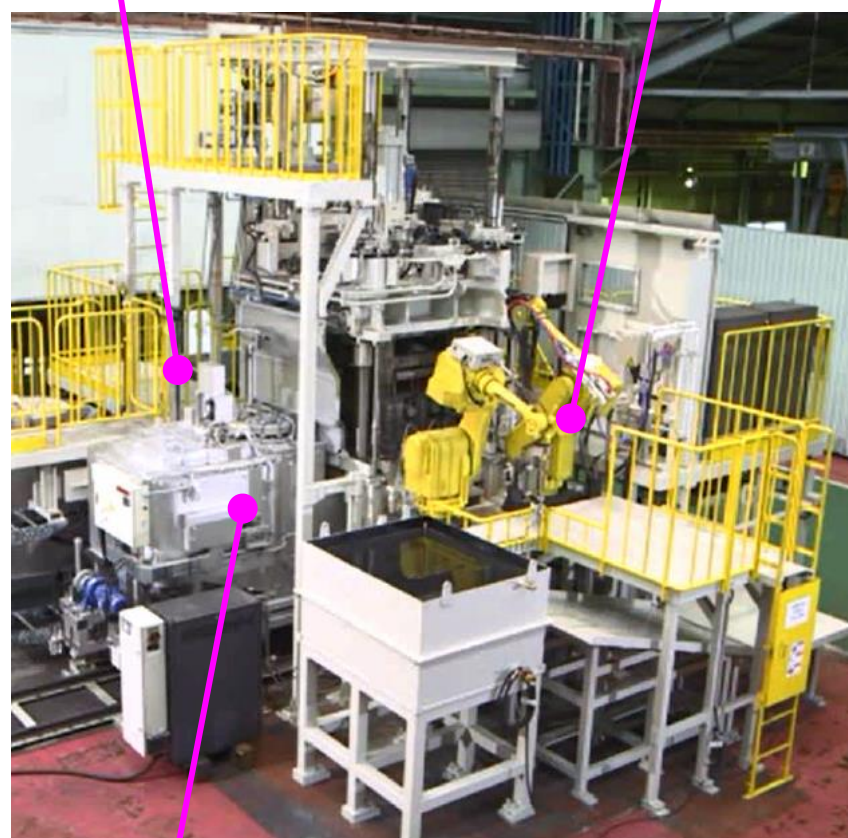
制御盤



ロボット制御盤

金型搬送台車

SP/取出ロボット

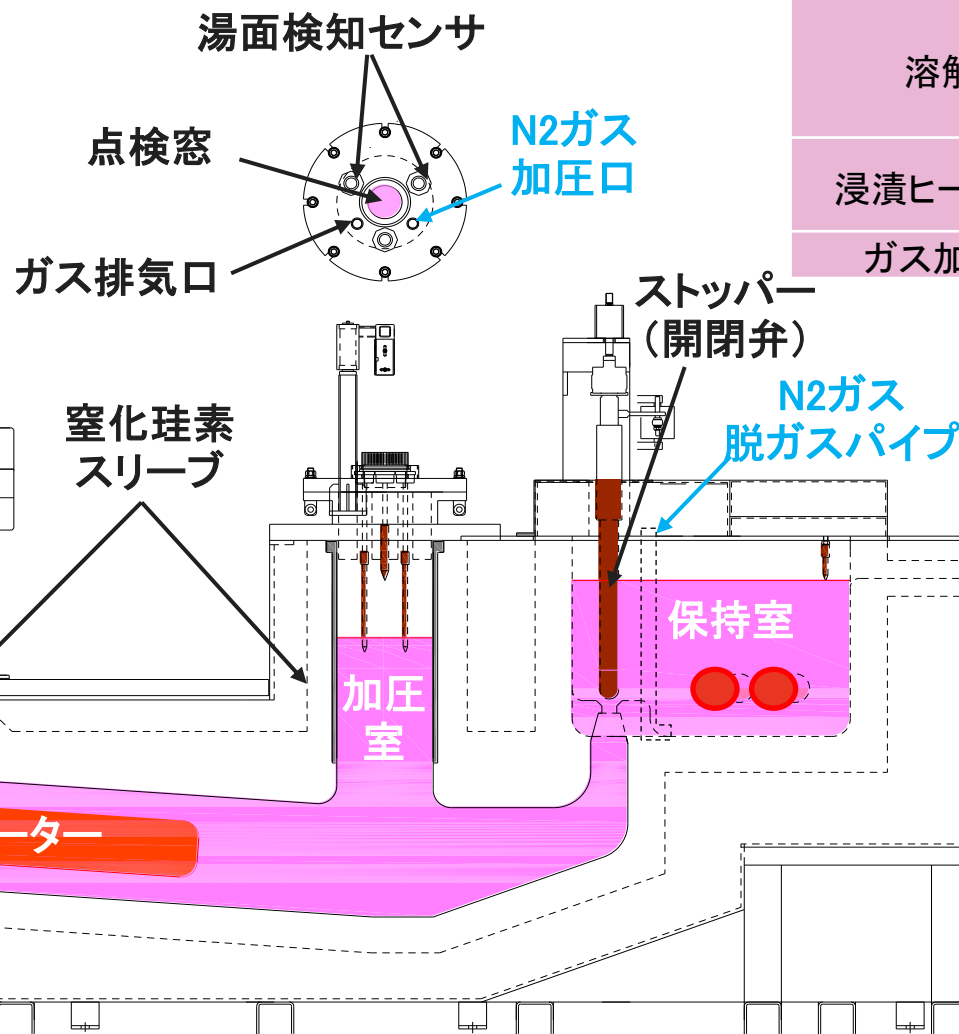


HFC炉

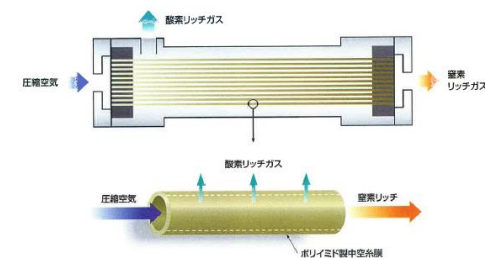
3. デモ鋳造設備/HFC炉

HFC炉の主仕様

溶解	注湯室及加圧室	410kg
	保持室	620kg
浸漬ヒーター	連続給湯量	280kg
	注湯室及加圧室	15kW
ガス加圧	保持室	9kW × 2
	最大圧	100kPa



N2ガスセパレータ

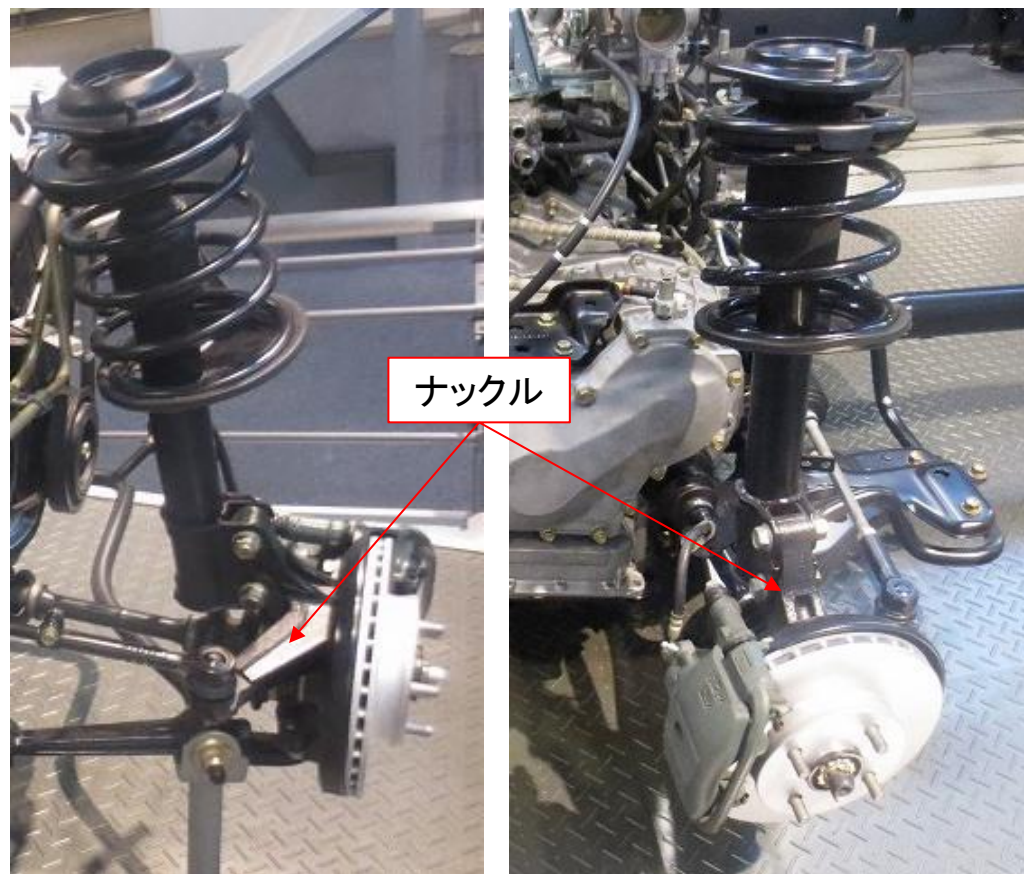


工場ドライエアより
窒素ガスを抽出

4. ターゲット部材

ナックル

現在は鋳鉄品が多く、今後軽量化のためにアルミ化が求められる部品。
重要保安部品であり優れた機械的特性が求められる。



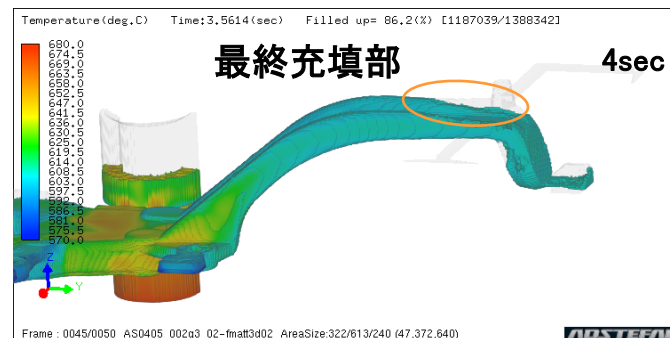
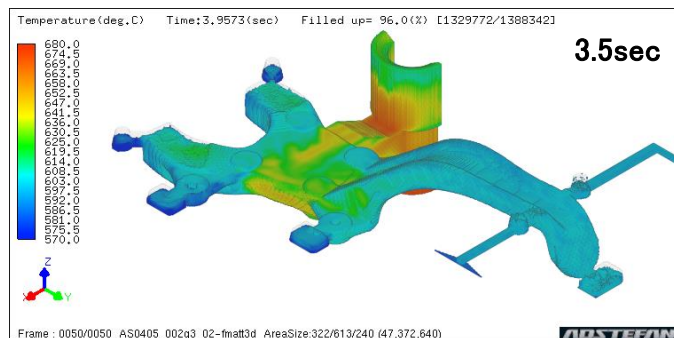
アルミ化の実績があり
投影面積の大きいハイマ
ウントナックルを選定

「トヨタ産業技術記念館提供」

4. ターゲット部材/鋳造解析による方案検討

①湯流れ解析

湯口からの充填時間が3.5～4secで湯廻り、空気巻き込み問題無し
最終充填部となる箇所を押出ピンを配置

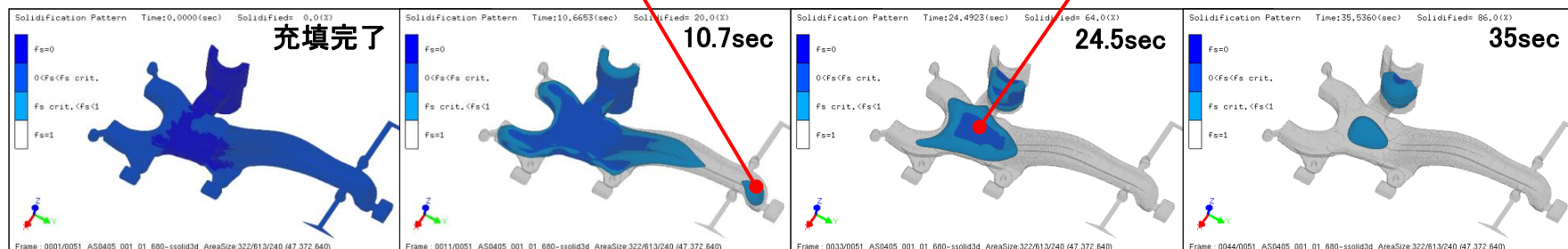


②凝固解析

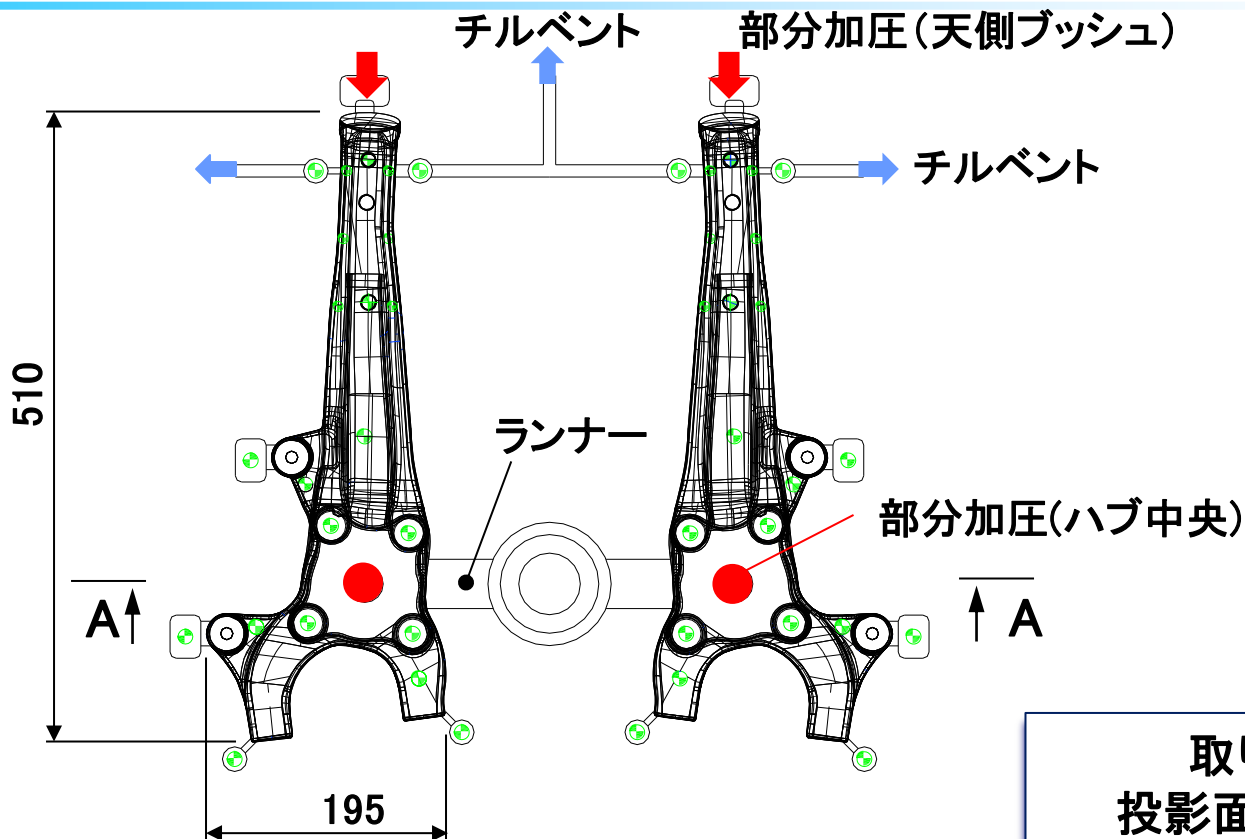
指向性凝固が途切れる箇所に部分加圧ピンを設置
未凝固金属体積より部分加圧容積(ピン径)決定
型開タイマ決定

閉ループ体積: 29cm³

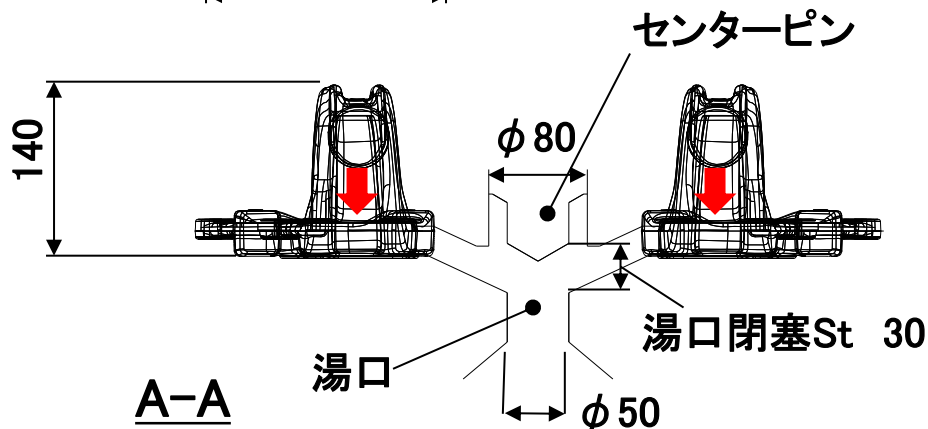
閉ループ体積: 303cm³



4. ターゲット部材/金型方案



取り数: 2個
 投影面積: 939cm²
 (製品部投影面積:
 400cm²)
 製品部重量: 2.5kg/個
 鋳込み重量: 6.0kg
 歩留り: **83%**



5. 鑄造トライ/テスト条件

【使用合金】 AC4CH

合金成分

Si	Mg	Zn	Fe	Mn	Cu	Ti	Al
7.02	0.38	0.00	0.18	0.03	0.02	0.14	Bal.

【鑄造条件】

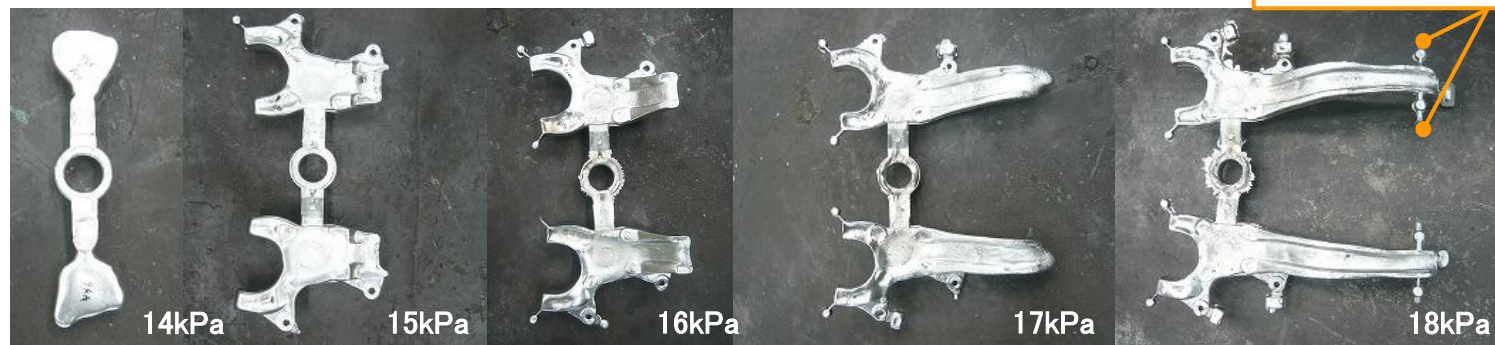
鑄込温度 : **710°C** (HFC炉注湯室・加圧室)
 金型温度 : **上型 160~200°C 下型 200~280°C**
 ガス加圧 : 最大80kPa
 センターピン加圧 : 30→70MPa(2段加圧)
 部分加圧遅延タイマ : 1.5sec(天側ブッシュ)
 部分加圧 : 70MPa
 部分加圧遅延タイマ : 7sec(ハブ中央)
 部分加圧 : 50MPa
 金型離型剤 : ネオキャストGT200 (希釈 1:30) **黒鉛系**
 型開タイマ : 35秒
 鑄造サイクル : 約145秒(スプレー時間:55秒)

5. 鑄造トライ/ガス加圧パターン検討

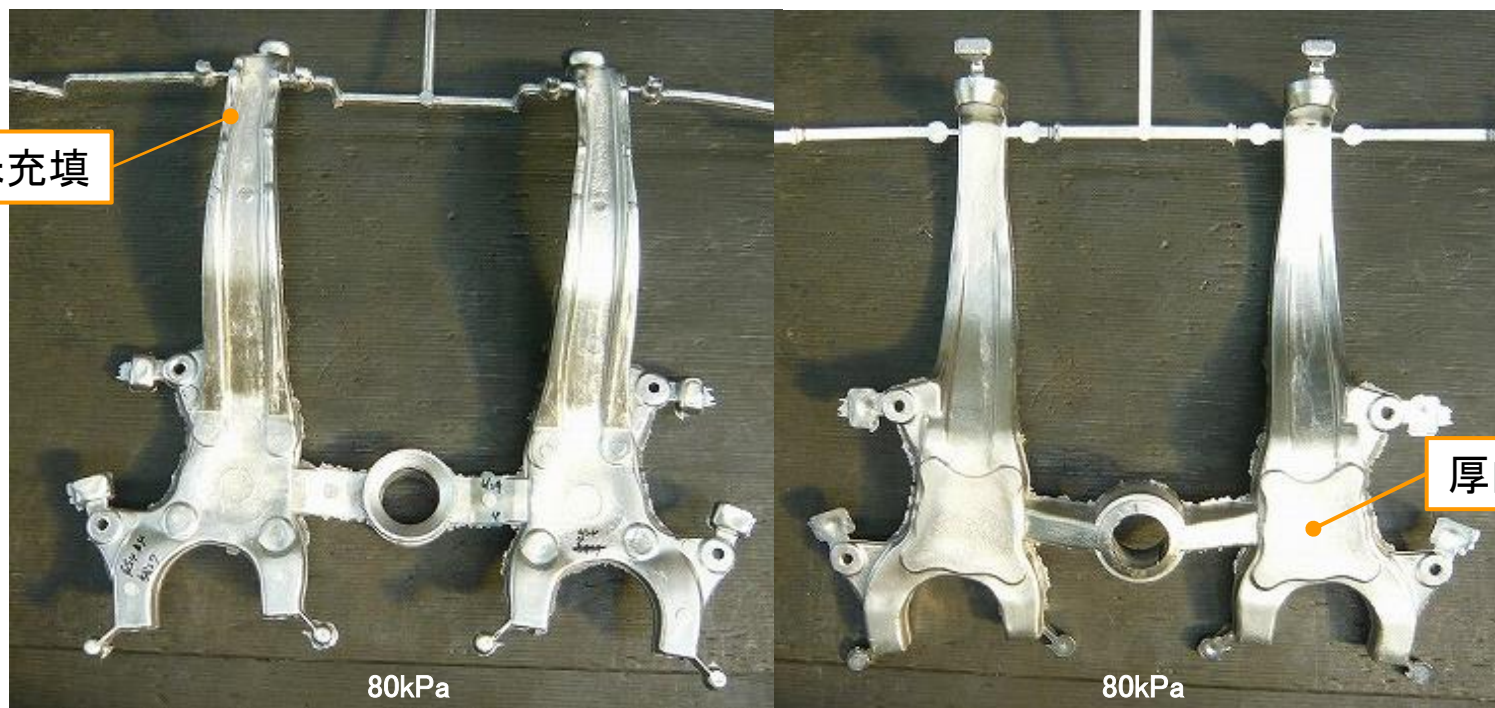
【ガス加圧のみで充填状況を確認】

湯流れ解析の最終充填部の充填状態を確認

チルベントランナー閉塞



一部未充填

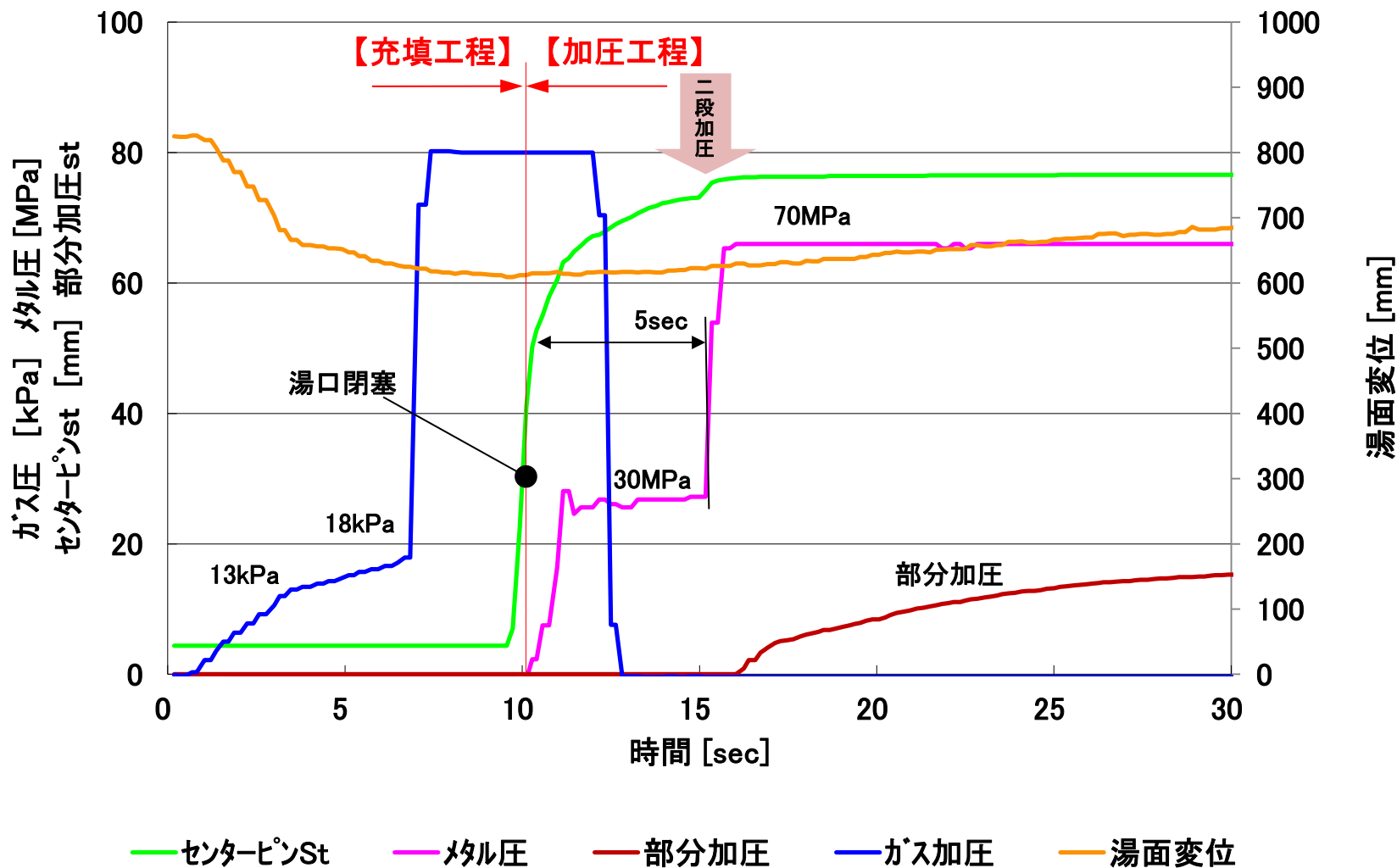


厚肉部外引け

5. 鑄造トライ/鑄造波形

【1. 鑄込み条件】

ガス加圧、センターピン加圧、部分加圧のタイミングを調整

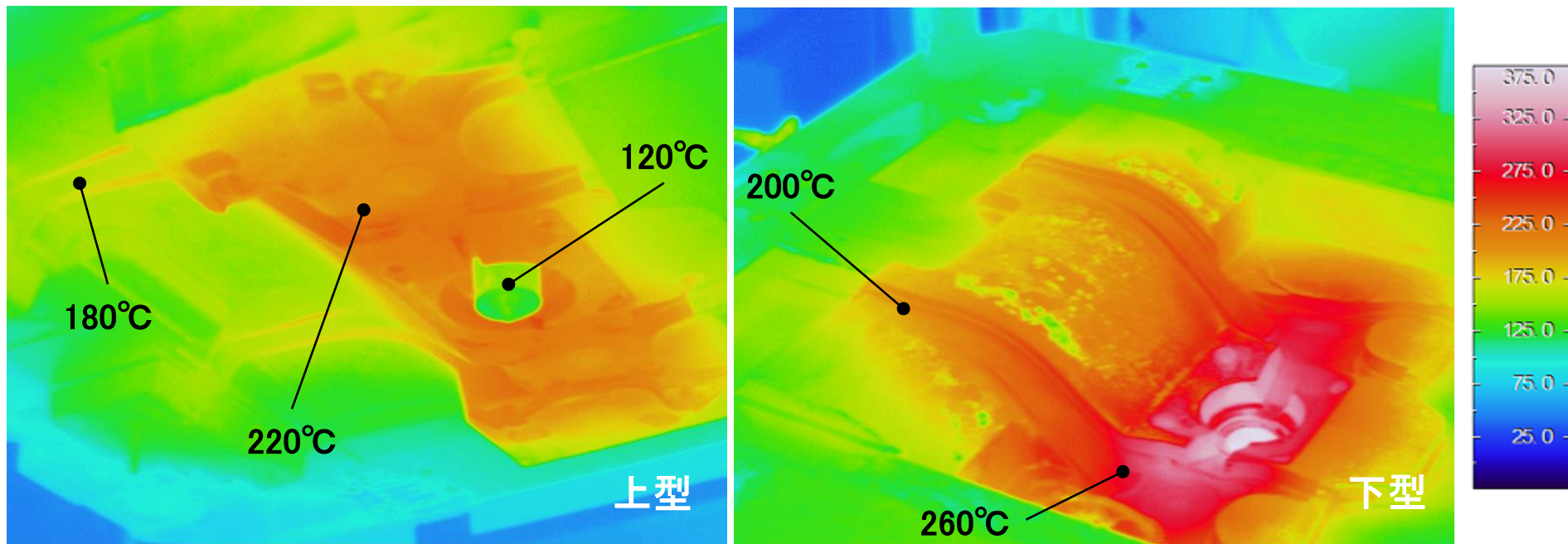


5. 鑄造トライ/ 金型温度

【2. 金型温度】

サイクルは試験機の約半分となり冷却水タイマを制御することで安定した型温で鑄造を実施

スプレー後鑄込み直前 金型表面の温度分布

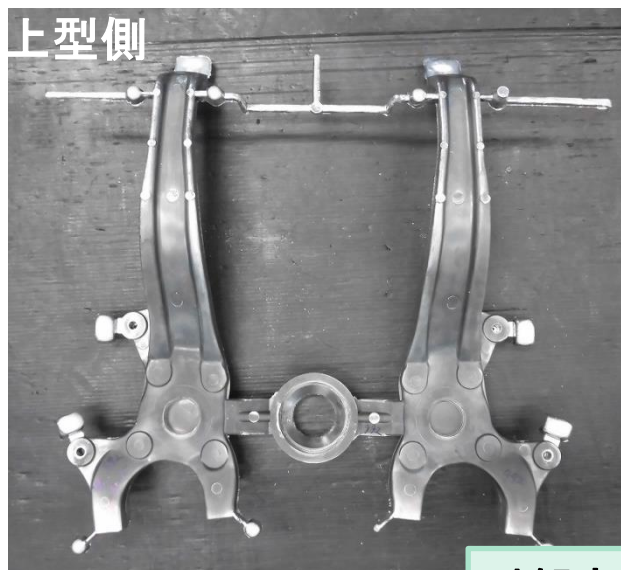


センターピン冷却: 1系統
上型冷却: 5系統
下型冷却: 5系統

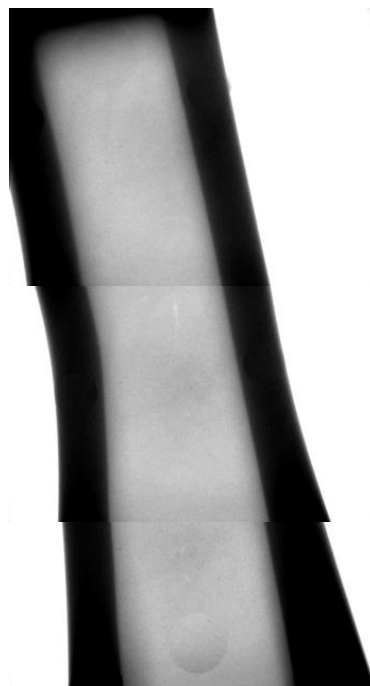
各系統をタイマー制御

Shot no.992

6. 鑄造トライ結果/サンプル外観とX線撮影



外観良好

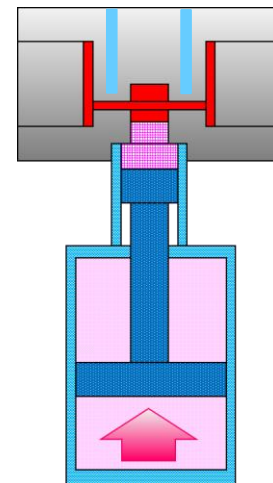
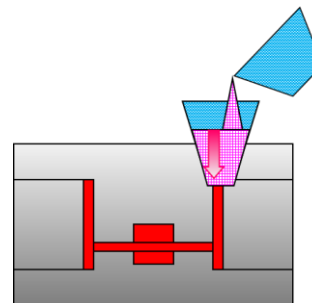
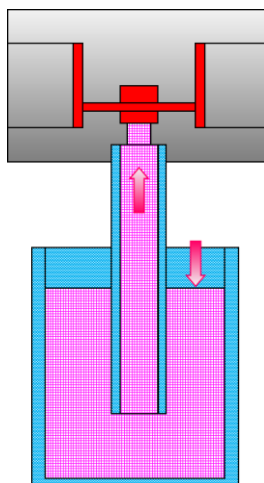
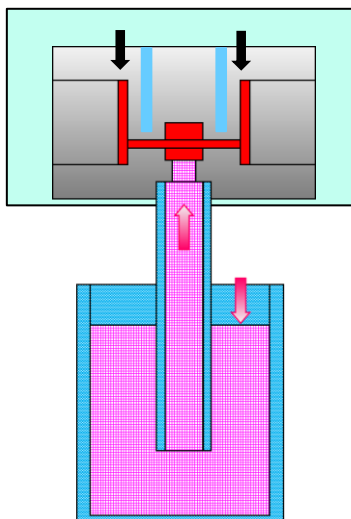


内部巣なし



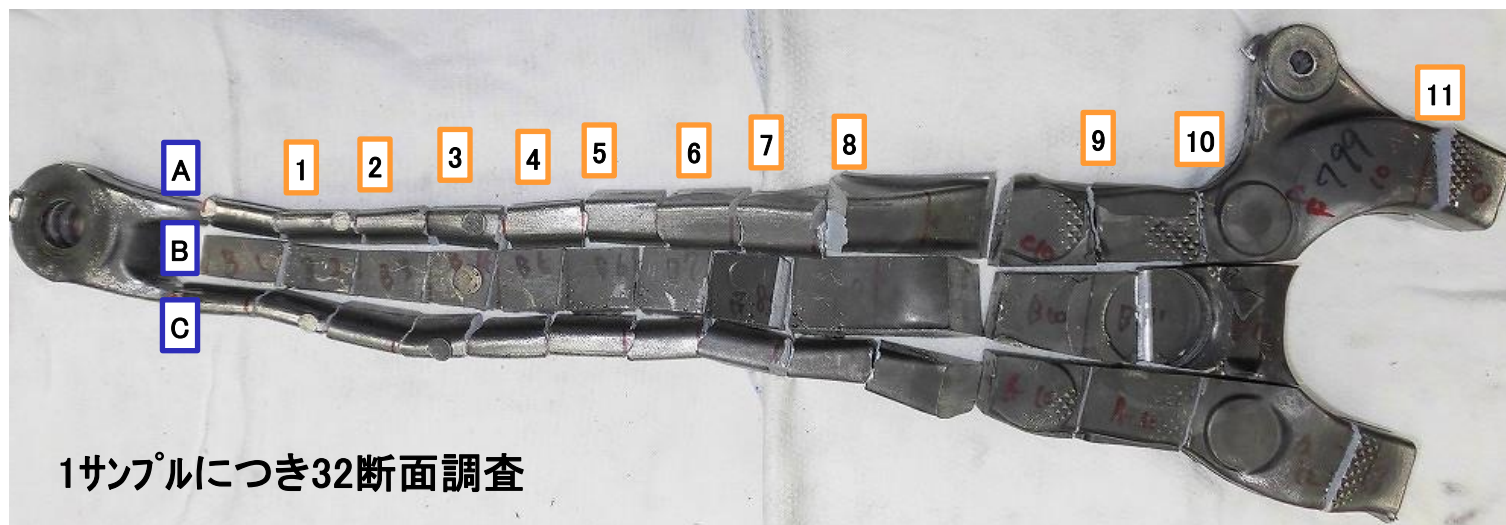
センターピンメタル圧: **30→70MPa**

7. 競合する他プロセスの特徴



	カウンタープレッシャー CPC	低圧鋳造 LPDC	重力鋳造 GDC	スクイズ鋳造 SQDC
サイクル	少し短い	長い	長い	短い
メタル圧	0.02～0.05MPa	0.02～0.05MPa	0.02～0.08MPa	80～100MPa
金型冷却	水冷	空冷	空冷	水冷
設備	コンパクト	コンパクト	コンパクト	HPDC並み
充填	層流	層流	乱流	層流

8. 他プロセスとの比較/酸化物



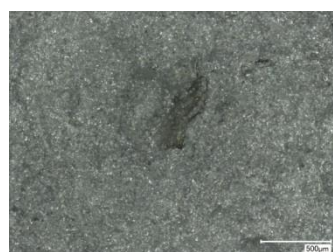
1サンプルにつき32断面調査

22サンプル合計704断面調査結果

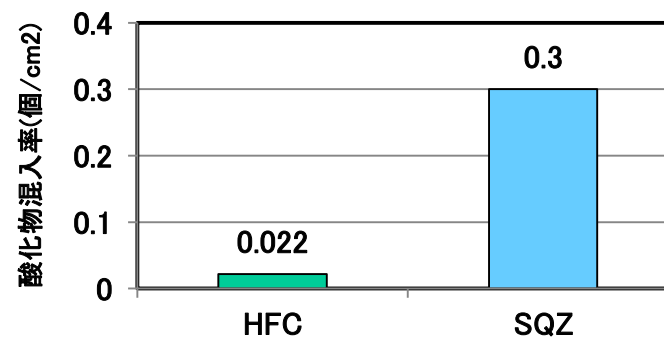
酸化物サイズ	部位											計	観察面積 cm ²	酸化物混入率 個/cm ²
mm	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11			
0.3~0.5	3	1	4	0	2	2	0	0	0	0	1	13	936	0.01
0.5~1.0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	0	0	4		0.00
1.0~1.5	1	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	17		0.02
1.5~	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0.00



健全な破断面



0.5mmの酸化物

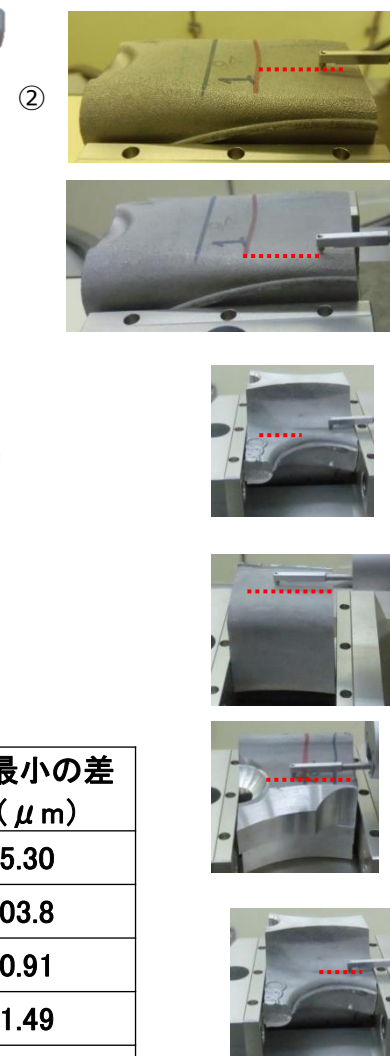
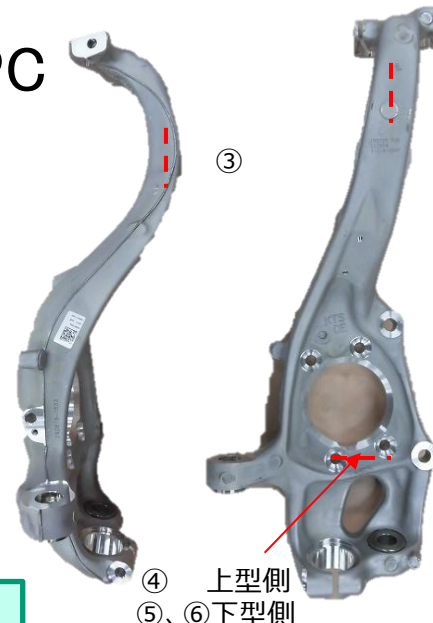


8. 他プロセスとの比較/表面粗さ測定結果

HFC



CPC

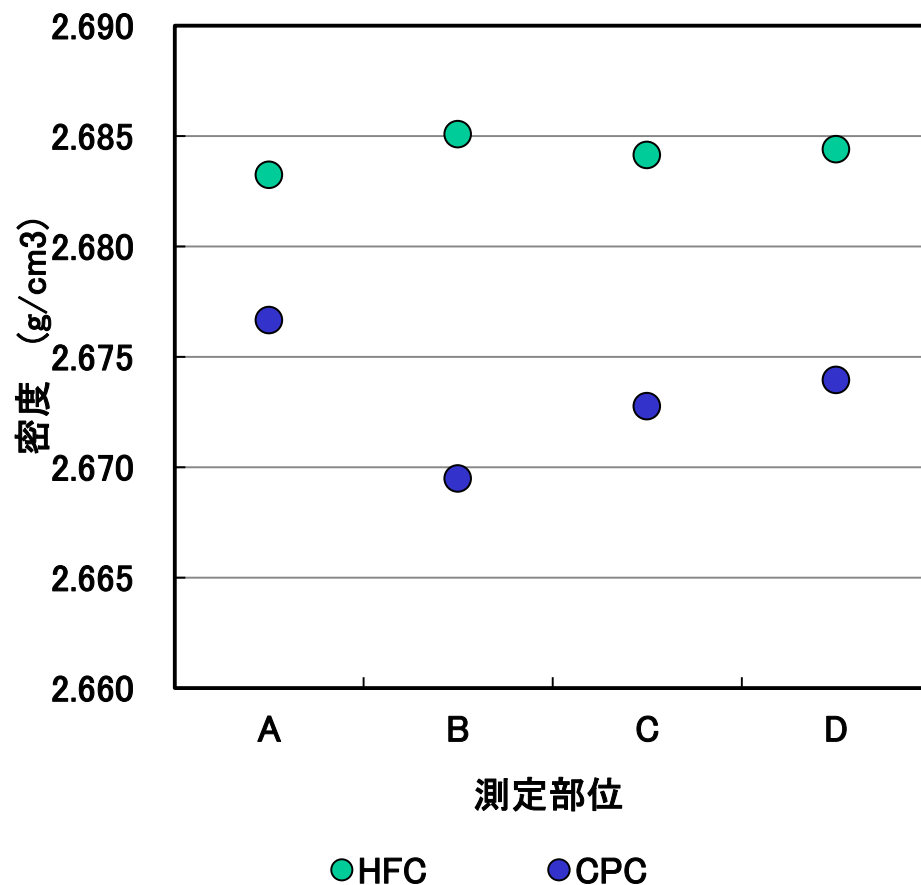
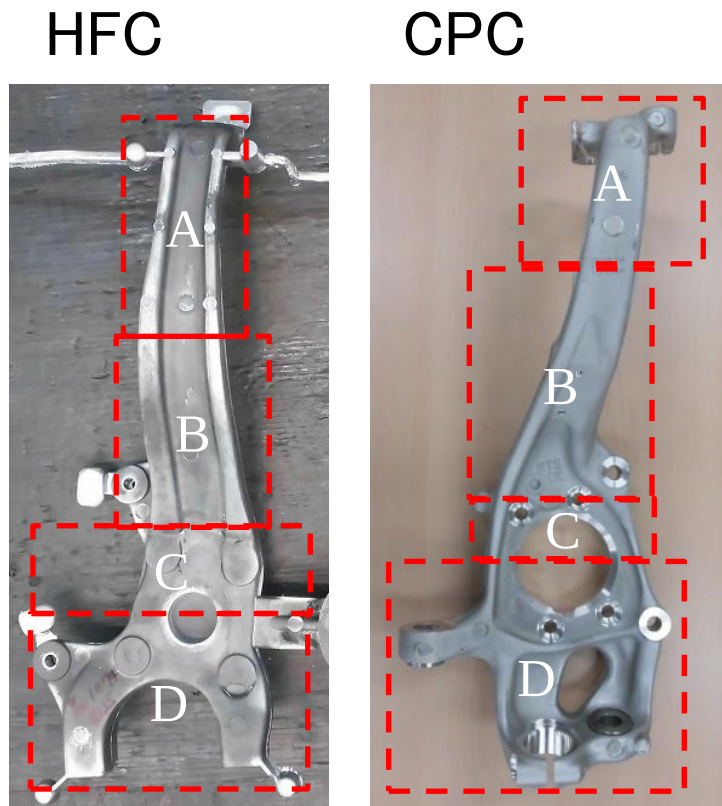


CPCの表面粗さはHFCと比較して2倍以上粗い

	平均粗さ Ra (μ m)	最大最小の差 Ry (μ m)
①アーム上型	2.97	17.50
①アーム下型	2.54	16.03
②ハブ上型	5.32	31.95
②ハブ下型	2.47	19.21

	平均粗さ Ra (μ m)	最大最小の差 Ry (μ m)
①アーム上型_中央	8.32	55.30
②アーム上型_R	17.61	103.8
③アーム側面	6.85	40.91
④ハブ部上型	10.89	61.49
⑤ハブ部下型_1	4.77	37.06
⑥ハブ部下型_2	7.82	49.94

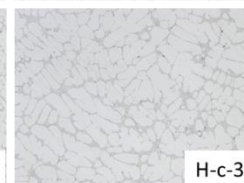
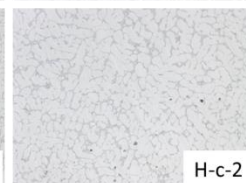
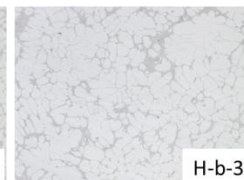
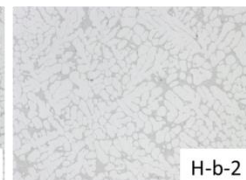
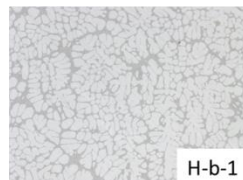
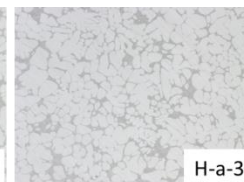
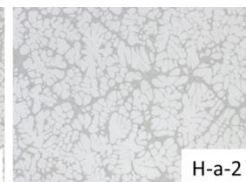
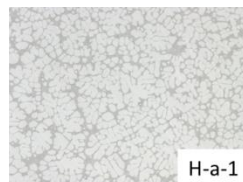
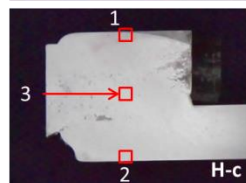
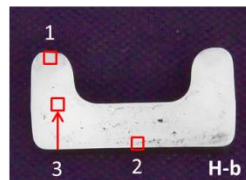
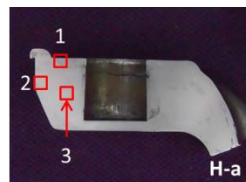
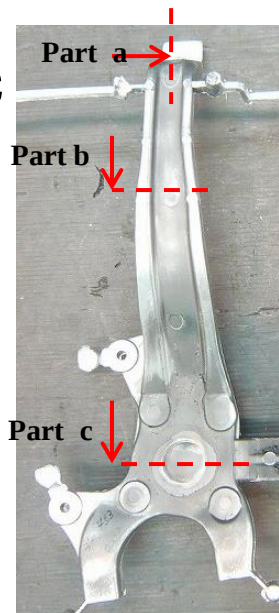
8. 他プロセスとの比較/密度



HFCの密度は2.683g/cm³以上、CPCは2.665～2.675g/cm³とばらつきがあり全体的に低い

8. 他プロセスとの比較/ミクロ組織

HFC

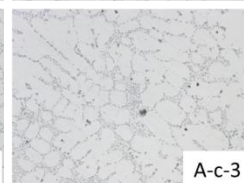
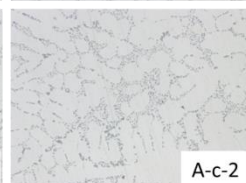
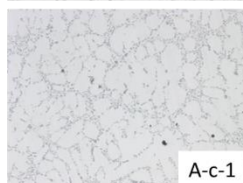
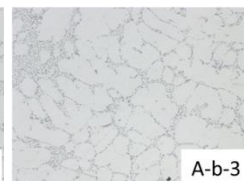
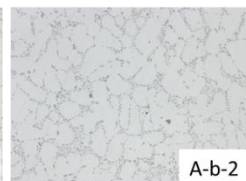
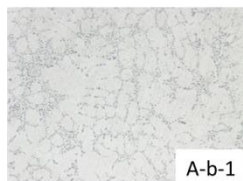
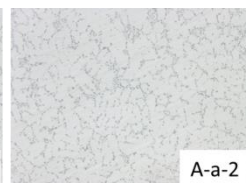
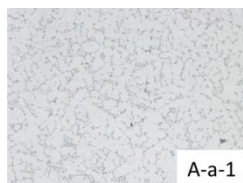
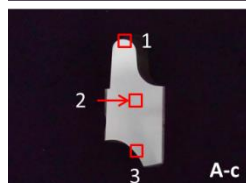
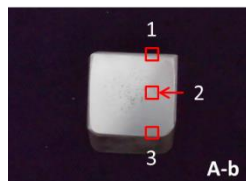
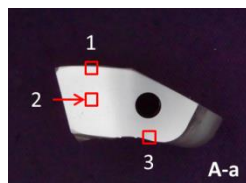
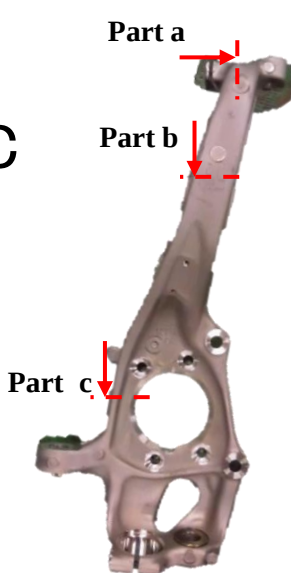


LPDCのDASと
比較してHFCは
表層、中心部とも
に緻密な組織

HFC表層: $20\mu\text{m}$
HFC中心: $30\mu\text{m}$

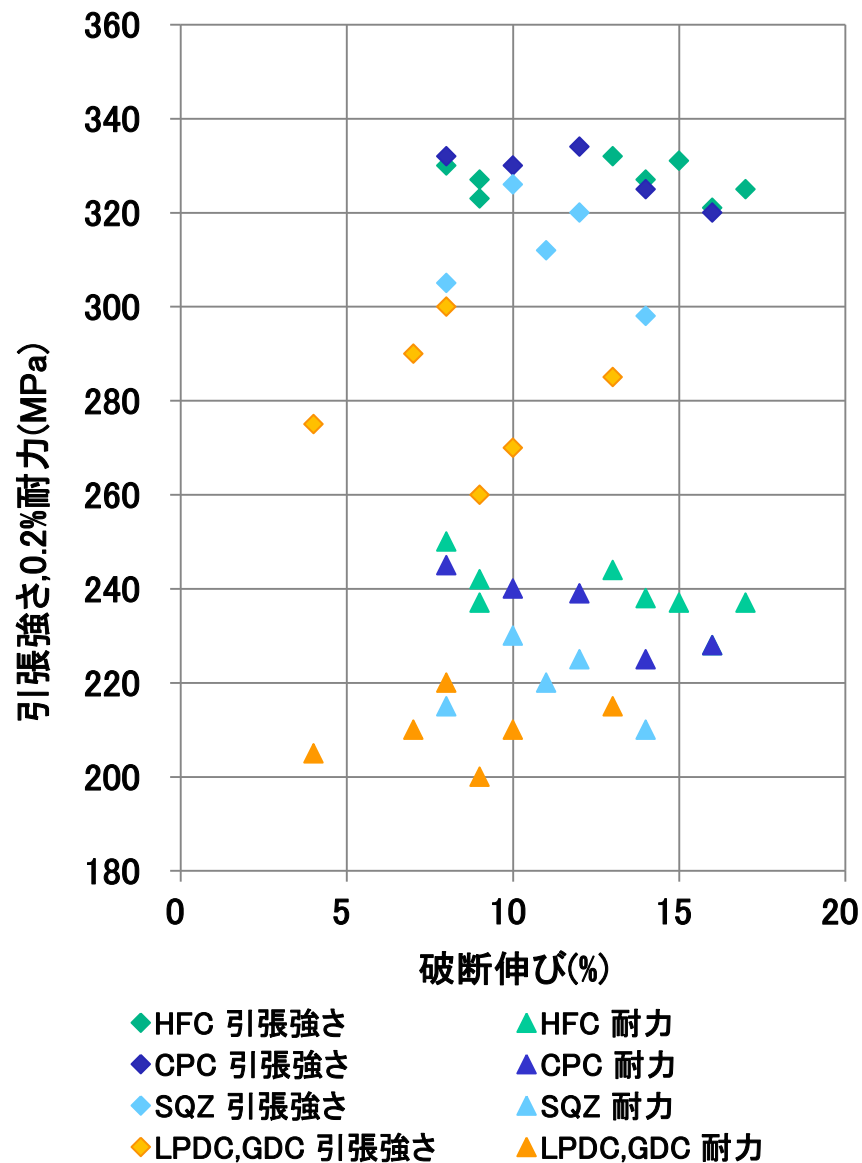
CPC表層: $30\mu\text{m}$
CPC中央: $50\mu\text{m}$

CPC

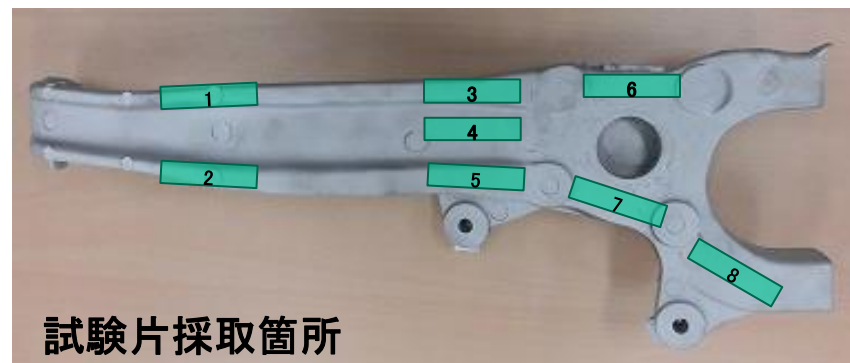


100 μm

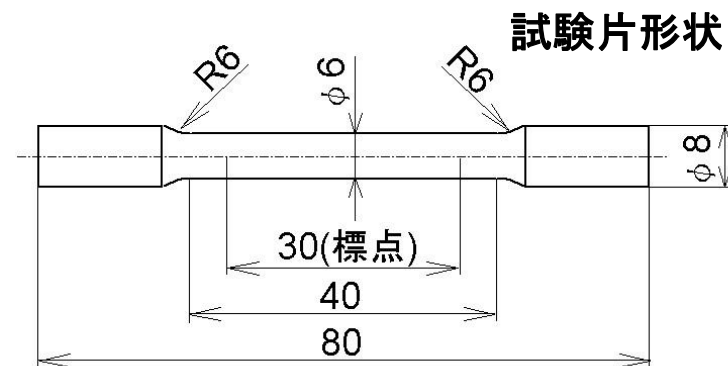
8. 他プロセスとの比較/機械的特性



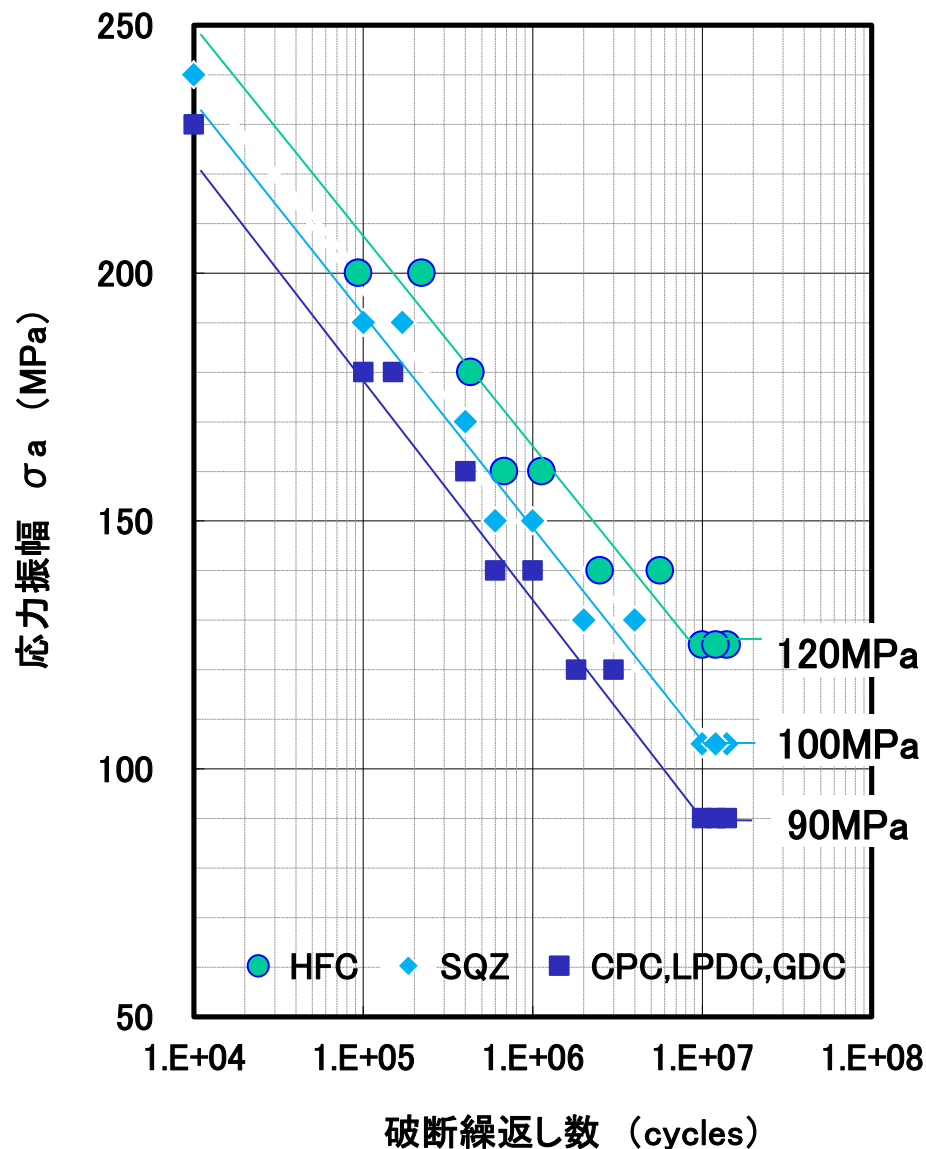
引張強さ、0.2%耐力とも高位安定
破断伸びにばらつきはあるが8%以上と
AC4C材では良好な機械的性質を示す



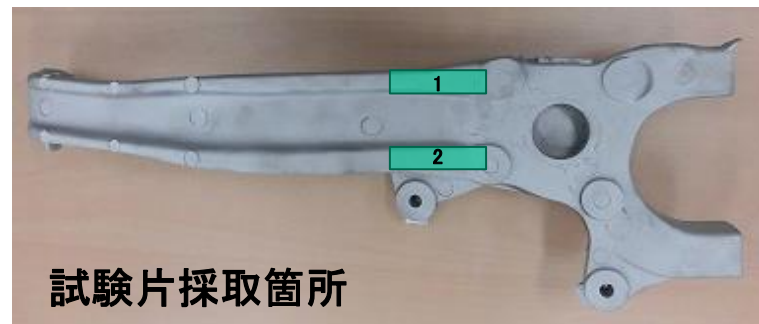
T6熱処理: 530°C × 3hr ⇒ WQ ⇒ 160°C × 3hr



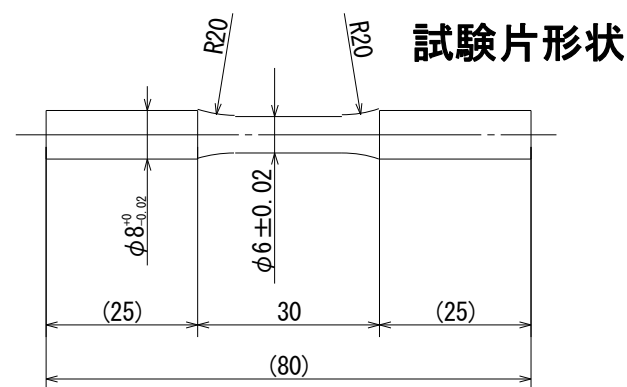
8. 他プロセスとの比較/疲労強度



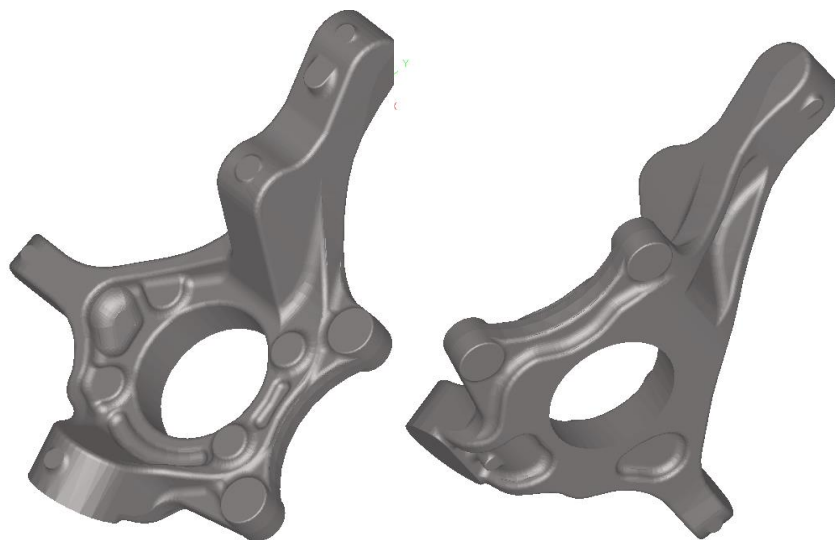
介在物の少なさと微細な組織により
他プロセスより高い疲労強度



T6熱処理: $530^{\circ}\text{C} \times 3\text{hr} \Rightarrow \text{WQ} \Rightarrow 160^{\circ}\text{C} \times 3\text{hr}$

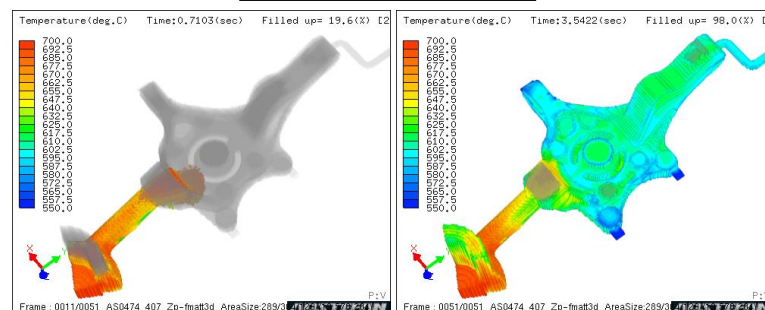


9. 4個取り軽量ナックル金型による生産性と品質確認

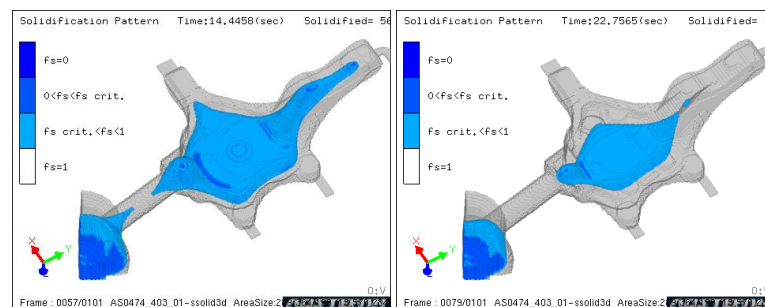


軽量ナックル
質量: 約2100g

湯流れ解析

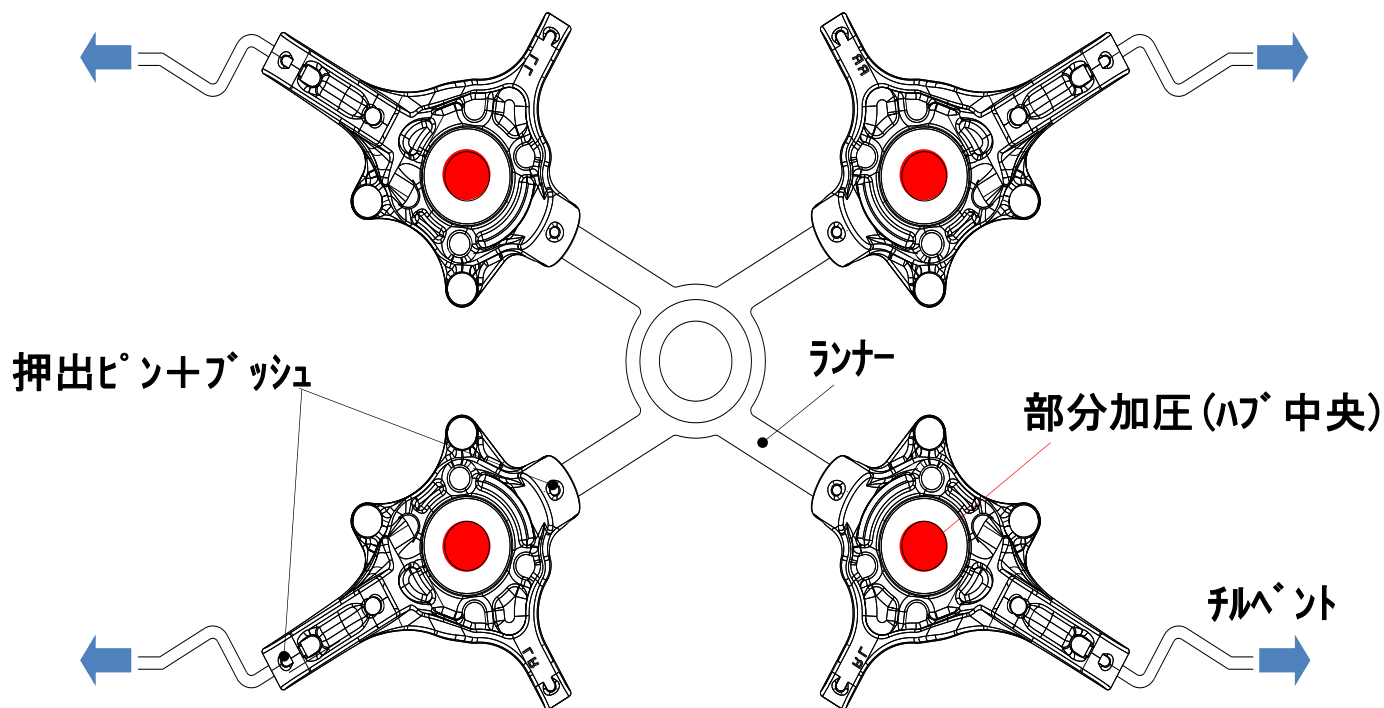


凝固解析

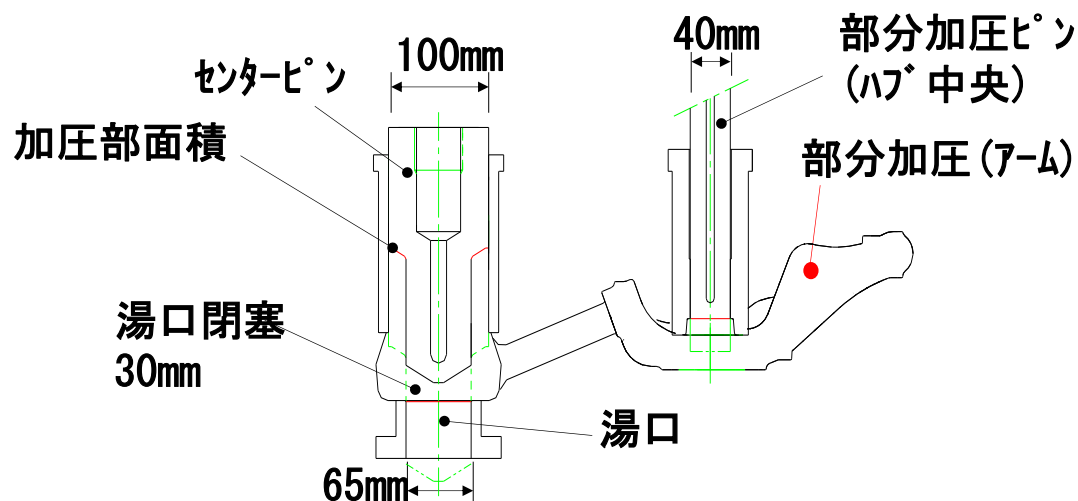


Cセグメント以下の車両には鋳鉄ナックルが搭載されている。
アルミナックルに変更するためには鋳鉄並みのコスト的が要求されるため、
低コスト化に直結する生産性の確認をおこなうため金型を製作し生産性と
品質の確認をおこなった。

9. 4個取りナックル/金型方案

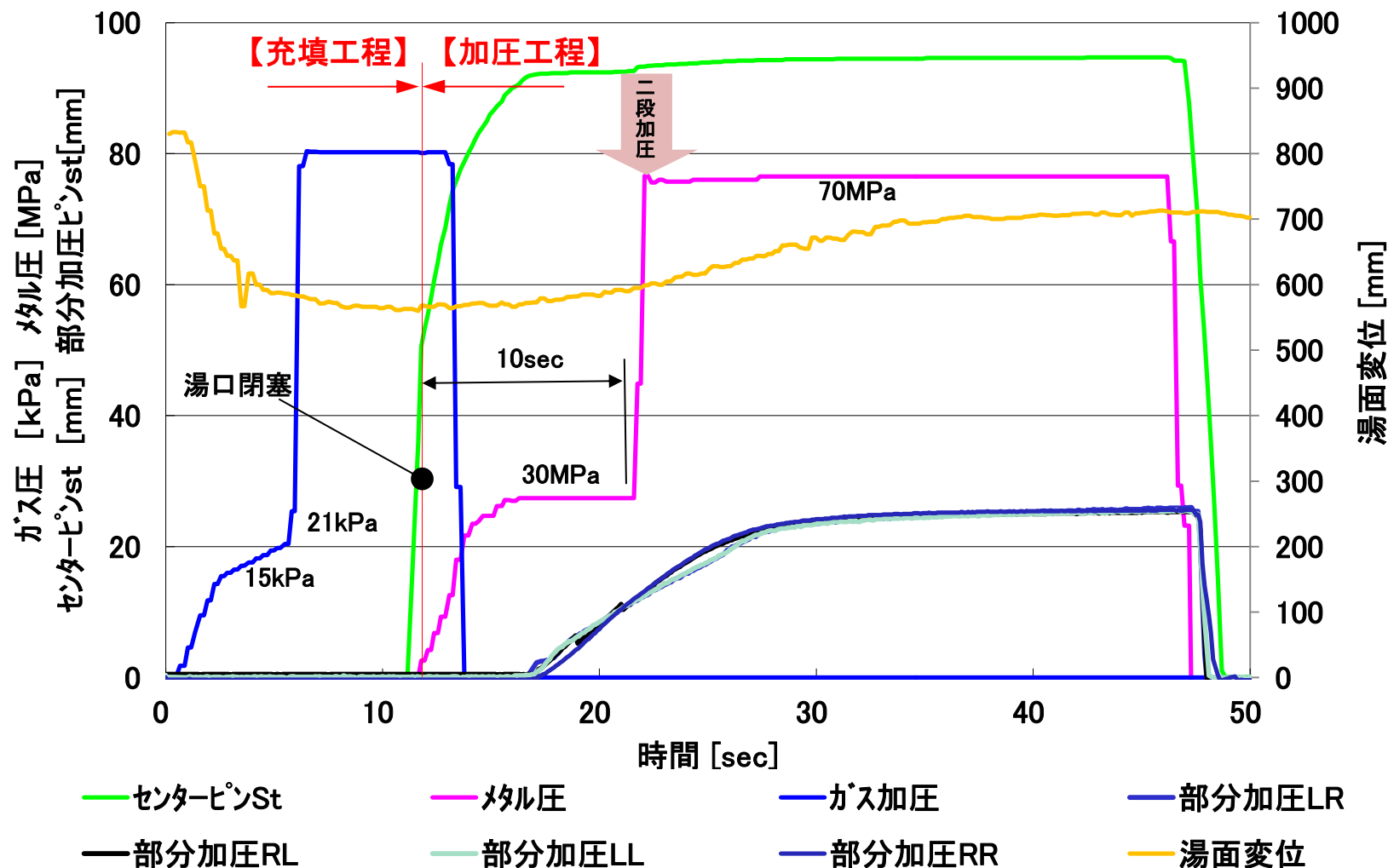


取り数: 4個
 投影面積: 1484cm²
 (製品部投影面積:
 400cm²)
 製品部重量: 2.5kg/個
 鋳込み重量: 12.0kg
 歩留り: **83%**



9. 4個取りナックル/鋳造波形

バリが吹かないようにガス加圧、センターピン加圧、部分加圧のタイミングを調整



9. 4個取りナックル/サンプル外観とX線撮影

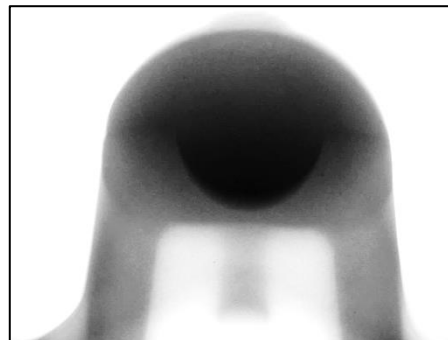
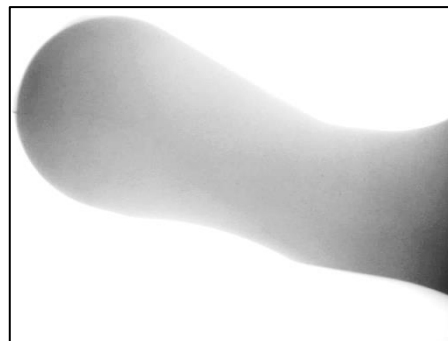


上型側

外観良好



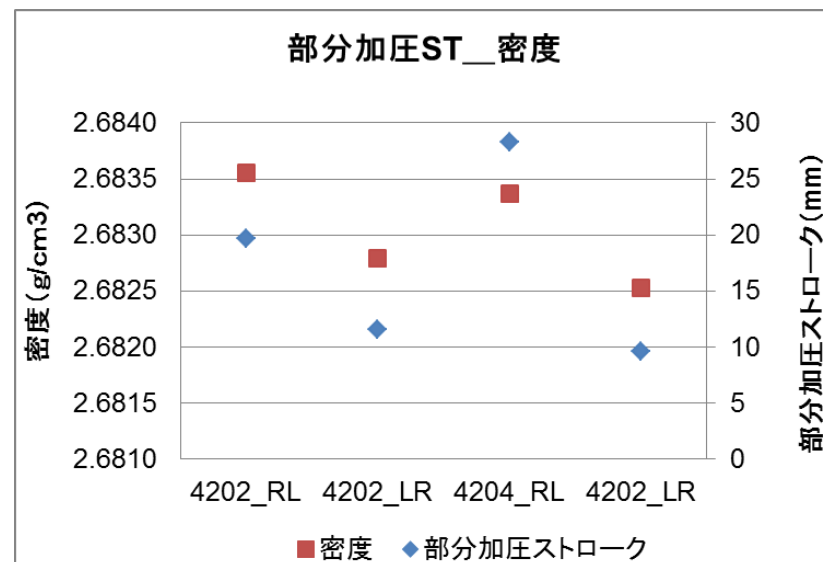
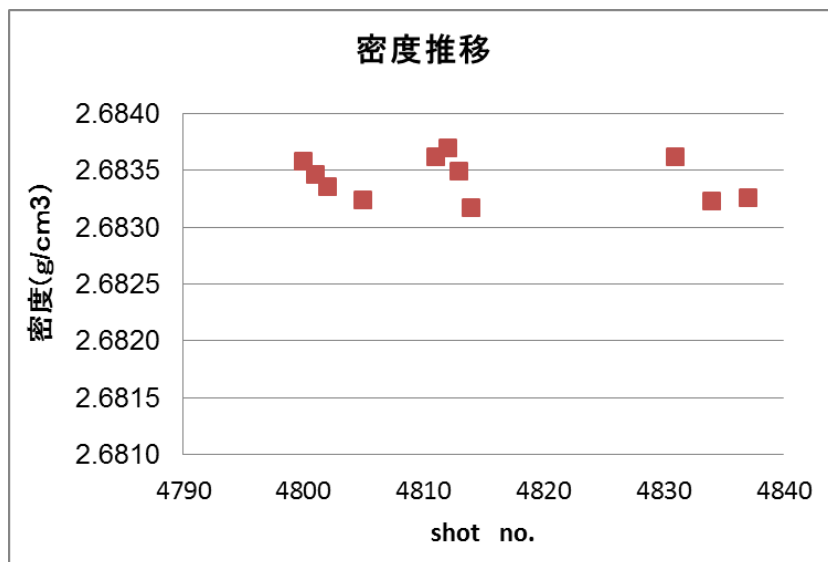
下型側



内部巣なし

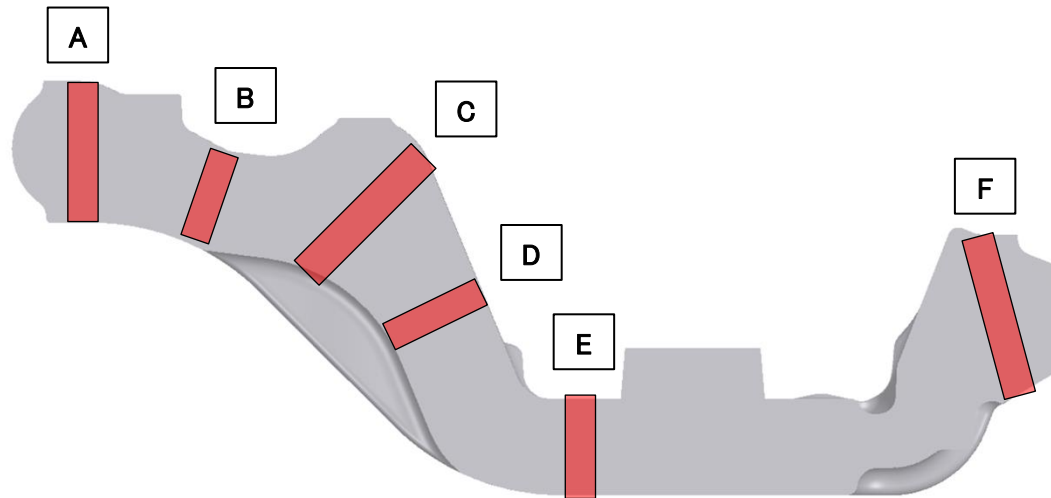
センターピンメタル圧: 30→70MPa

9. 4個取りナックル/密度



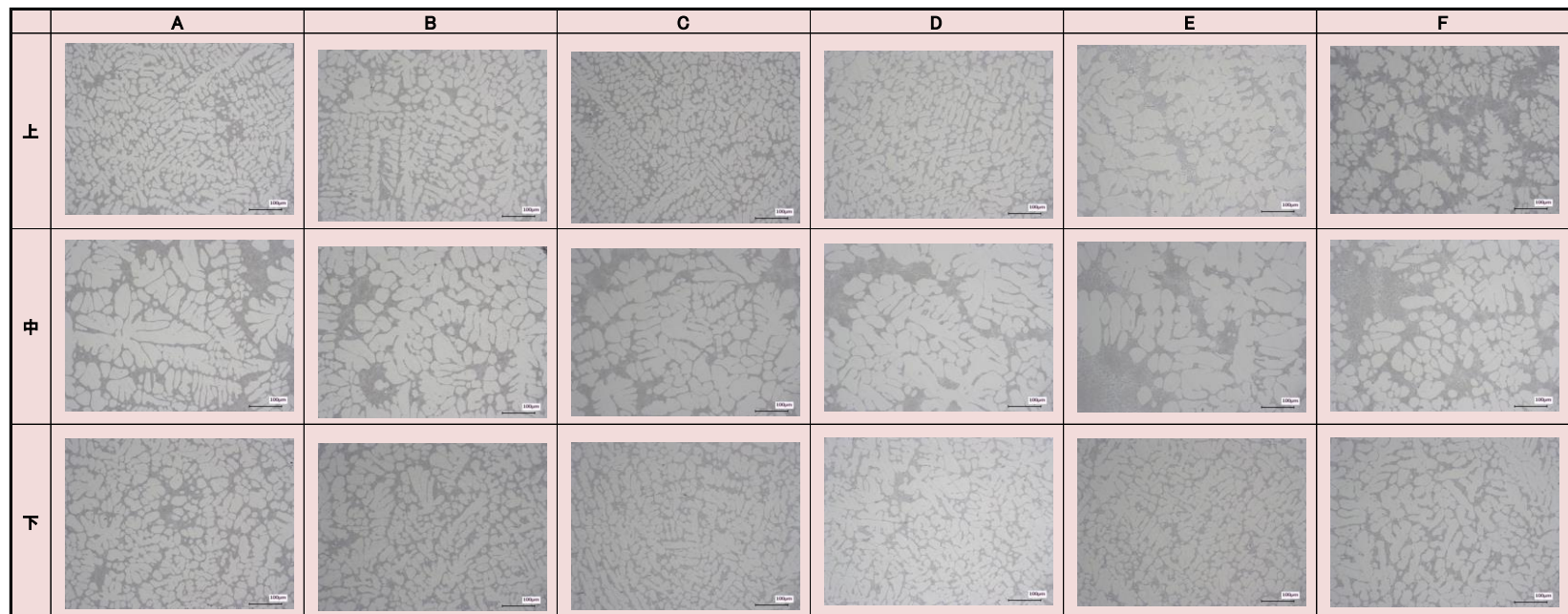
ハイマウントナックルと同様に2.683g/cm³以上の密度
ただし、部分加圧stが20mm以上必要

9. 4個取りナックル/マイクロ組織

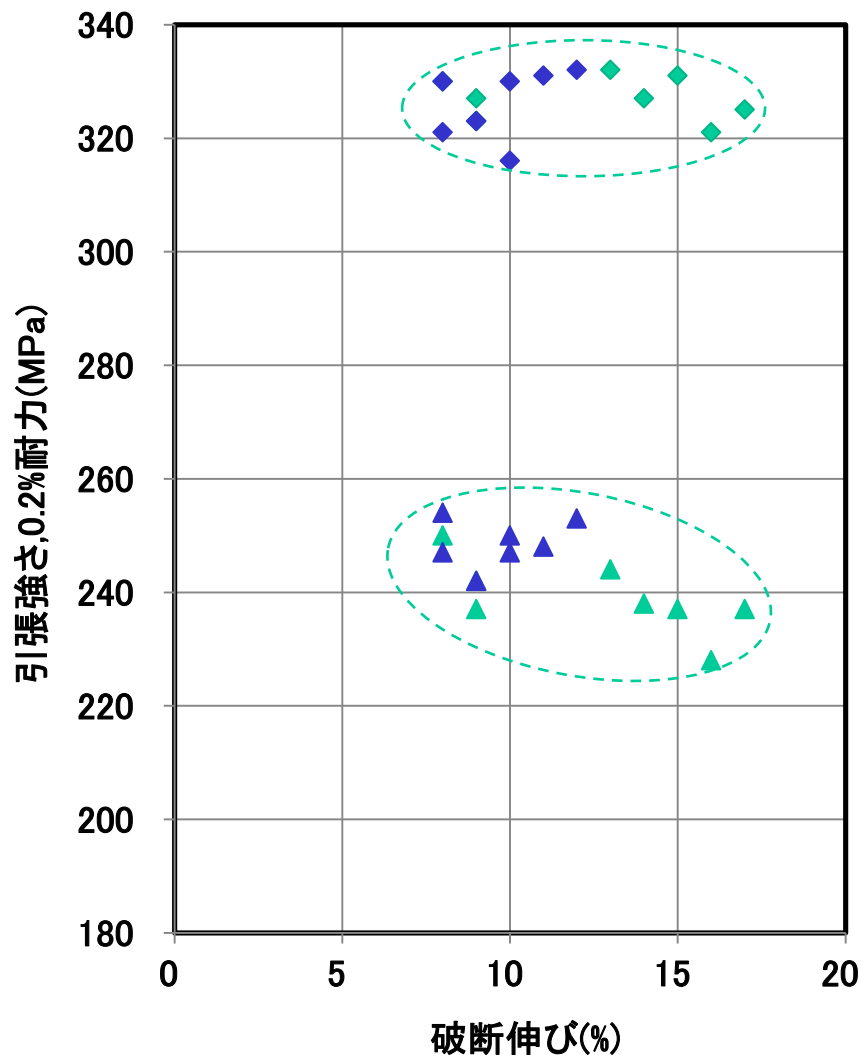


ハイマウントナックルと
同等
表層、中心部とも
に緻密な組織

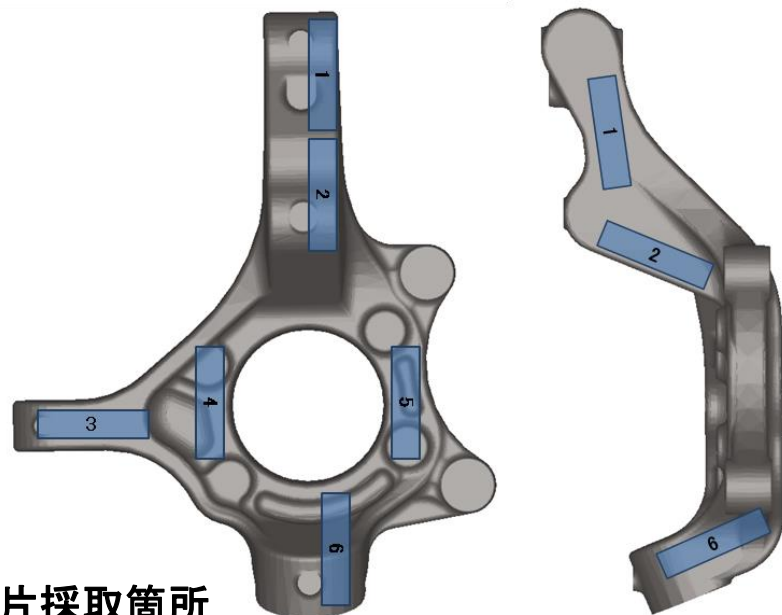
表層: $20\ \mu\text{m}$
中心: $30\ \mu\text{m}$



9. 4個取りナックル/機械的特性

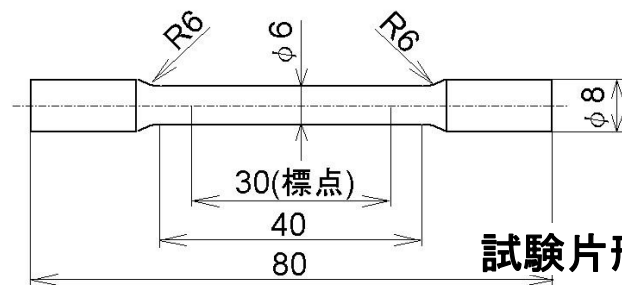


引張強さ、0.2%耐力ともハイマウントナックルと同等



試験片採取箇所

T6熱処理: 530°C × 3hr ⇒ WQ ⇒ 160°C × 3hr

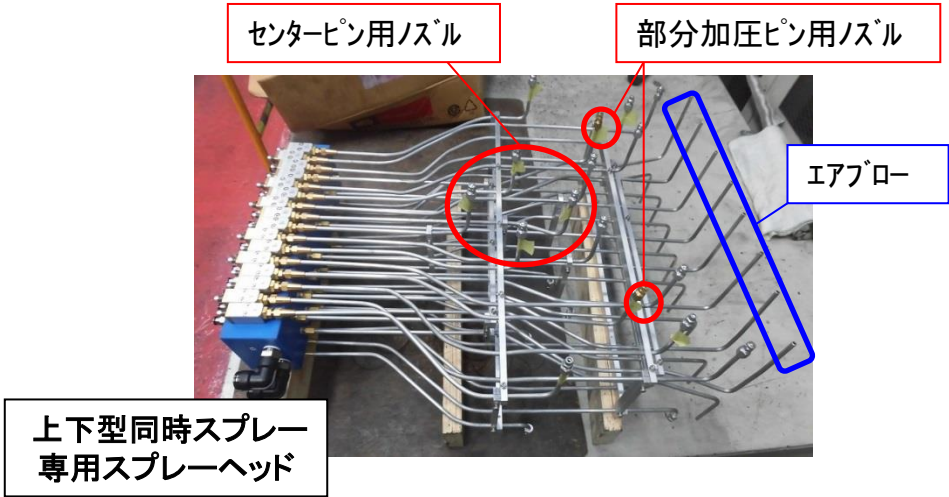


試験片形状

- ◆ HFC ハイマウントナックル 引張強さ ▲ HFC ハイマウントナックル 耐力
- ◆ HFC 4個取りナックル 引張強さ ▲ HFC 4個取りナックル 耐力

9. 4個取りナックル/鋳造サイクル

HFC サイクルチャート		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
型締時間	11.0												
加圧時間	13.0												
製品冷却時間	35.0												
型開時間	21.0												
取出時間	13.0												
スプレー時間	26.0												
	119.0												



専用スプレーヘッドを製作し
ハイマウントナックル鋳造時
よりスプレー時間を短縮し
120secを切るサイクルを実現

10. 他プロセスとの比較/HFCの優位な点

		HFC	CPC	LPDC	GDC	SQDC
サイクル	sec	120	240	360	360	120
多数個取り	個	4	6	4	4	2
サイクル/個	sec	30	40	90	90	60
DAS	μm	20以下	25～35	35～60	35～60	15
表面粗さ(Ra)	μm	3～5	5～20	5～20	5～20	3～5
酸化物	個/cm ²	0.02	—	—	—	0.3
密度	g/cm ³	2.683	2.677	2.665	2.664	2.683
引張強度 平均	MPa	327	318 ^{※1}	285	275	312
耐力 平均	MPa	239	245 ^{※1}	215	205	220
伸び 平均	%	13	10 ^{※1}	10	7	11
疲労強度	MPa	120	90 ^{※1}	90	90	100

※1 CPCカタログ値

11. まとめ

(1) HFCプロセスでは、センターピン加圧、部分加圧ピンを最適なタイミングでメタル圧30MPa以上 付加することで引け巣の無い健全な厚肉製品を鑄造することが可能。

(2) HFCプロセスでは、金型内に酸化物の少ない清浄な溶湯が充填された後センターピン、部分加圧ピンによりメタル圧が付加され、型表面に圧着され続けることから、急冷凝固により肉厚中心部まで微細組織となる。

(3) 他プロセスと比較して、良好な機械的特性(引張、疲労強度)が得られたので厚肉製品の軽量化設計が可能なプロセスである。

(4) 他プロセスと比較して、生産性(製品1個当たりのサイクル)で優位であり、製品単価のコストダウンが可能なプロセスである。



CONFIDENTIAL

- ・本文書は宇部興産株式会社、及び宇部興産機械株式会社が著作権及びその他の権利を有する営業秘密(含サプライヤー等第三者が権利を有するもの)に該当するものです。
- ・当社の許可なく複製し、利用すること、また漏洩することは「著作権法」及び「不正競争防止法」によって禁じられております。

宇部興産機械株式会社