

第13回光学素子分科会（2023年7月31日）

当社におけるV-Glance取り組みについて
－企業紹介および技術紹介など－

「ガラス成形解析を中心に」

於：会津大学

芝浦機械株式会社

芝浦機械（株）
R&Dセンター 研究開発部 第一開発課
福山 聡

Shibaura Machine

当資料の著作権は芝浦機械に属し、その目的を問わず無断で複製、転載することを禁じます。



- ・ 設立 : 1949年3月18日
- ・ 本社 : 東京本社 東京都千代田区内幸町2-2-2 富国生命ビル
沼津本社 静岡県沼津市大岡2068-3
- ・ 代表者 : 取締役社長 坂元 繁友
- ・ 資本金 : 124億8千4百万円 (2023年3月31日現在)
- ・ 連結売上高 : 1,231億9千7百万円 (2022年度)
- ・ 従業員数 : 連結 3,037名・単独 1,683名 (2023年3月31日現在)



機械遺産登録 船舶用タービン親歯車ホブ盤(1953年) 7th φ5000 累積ピッチ4um 世界最高精度

当資料の著作権は芝浦機械に属し、その目的を問わず無断で複製、転載することを禁じます。

- ・ **事業内容**

射出成形機・ダイカストマシン・押出成形機・工作機械・精密加工機
産業用ロボット・電子制御装置・鋳物などの製造、販売

- ・ **国内主要拠点**

東京本社・沼津本社・国内支店（東北・中部・関西・九州）
国内営業所（高崎・浜松・広島・尾道）

- ・ **製造拠点**

沼津工場・相模工場・御殿場工場・中国工場・タイ工場・インド工場

- ・ **海外主要拠点**

中国・台湾・タイ・シンガポール・インドネシア・ベトナム・インド
米国・メキシコ・ブラジル・イタリア



成形機カンパニー

「新たな産業を創造する力」で
「価値共創メーカー」へと進化
してまいります。

工作機械カンパニー

制御機械カンパニー

光学関連産業に貢献

お客様のアプリケーション製造工程に最適な加工機をお選びいただけます。

ULC / ULG シリーズ

加工対象と通用機種

ウエハレベルレンズアレイ金型加工

プレーナ方式による曲線溝加工

自由曲面 (f- θ レンズ等) 加工

プレーナ方式による直線溝加工

X-Z-C軸による自由曲面加工

ガラスレンズ研削

ガラスレンズ用金型研削

プラスチックレンズ用金型旋削

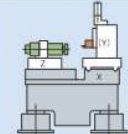
固定金型式 GMP-311VA 移動金型式 GMP-54-7S



ULGシリーズで加工された金型で成形する
東芝機械製光学ガラス素子成形機 GMP シリーズ

シリーズ機種と軸構成

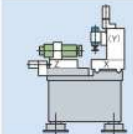
ULC-100D(S)



旋削加工

ULC

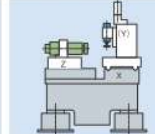
ULG-100E(HY)



研削加工

ULGシリーズ

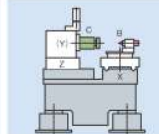
ULG-100D(HYS)



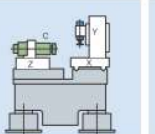
旋削・研削加工

ULGシリーズ

ULG-100D(HYB)



ULG-100D(H θ)



旋削・研削・フライカット・プレーナ加工

ULGシリーズ

ULG-100D(5A)



(注1) 2024年最新型機を指します。
(注2) 軸構成は機種により異なります。

GMPシリーズの歴史

Shibaura Machine

MO-2C (1986) 高周波誘導加熱、油圧プレス

GMP-211 (1993) 赤外線ランプ加熱、電動サーボプレス

GMP-415 (1997) 最大金型外径：150mm

GMP-211V (1998) 真空成形装置

GMP-315VW(1998) 2軸プレス

GMP-106-2C(V) (2000) マルチチャンバ、小径レンズ用

GMP-207HV (2001) 最大加熱温度: 1500°C、石英成形対応

GMP-311VA (2002) 真空成形、オートローダ

GMP-58-7Z (2005) 移動金型式成形装置

GMP-54-5S (2006) 移動金型式成形装置、小径専用

GMP-310V-3R (2006) 移動金型式真空成形装置、中大径レンズ用

GMP-54-7S (2007) 移動金型式成形装置、小中径レンズ用

GMP-0204V (2008) 小型固定金型式成形装置

GMP-1013-10S (2011) 移動金型式成形装置、意匠ガラス用

GMP-1026V(2016) 固定金型式成形装置、大口径用

主仕様
プレス力：50gf～4tonf
最高温度：750°C～1500°C
金型径：φ40～260mm

1. 平成10年度 新エネルギー・産業技術総合開発機構 即効型提案公募事業
「超精密・大口径光学素子の連続成形技術の開発」
 - ・石英成形装置開発（最高加熱温度 750°C→**1500°C**）
 - ・離型性能劣化メカニズムの究明
 - ・**粘性流体解析**を用いたガラス成形シミュレーション
2. 平成18年～22年度「次世代光波制御材料・素子化技術」
 - ・ロールインプリント試験装置製作
3. 平成19年～21年度 地域イノベーション創出開発事業
「高品位高速非球面ガラスレンズ成形装置並びに金型の開発と事業化」
 - ・**超音波加振**成形試験装置製作
 - ・「**非線形マルチフィジックスシミュレータ**（既存）」による成形解析
4. 平成26年～29年度 SIP「ガラス部材の先端的加工技術開発」
 - ・大口径成形装置開発（金型径 ϕ 110→ **ϕ 260mm**）

「成形技術」に関わるシミュレーションには国プロでしかタッチしていない。

出願特許件数（国内外）：約300件（内約200件が登録）
累計出荷台数：700台弱

石英ガラス成形機



開発装置外観

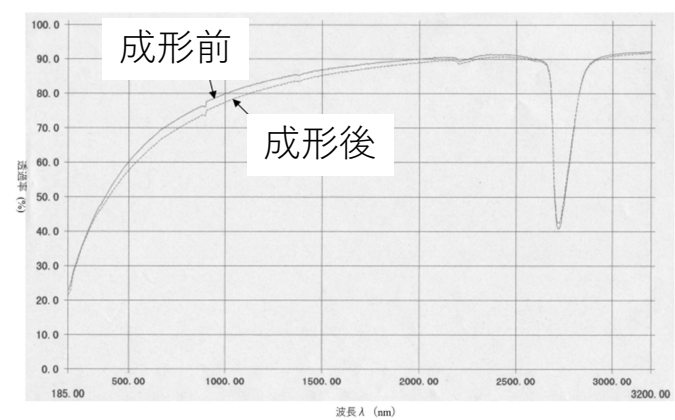
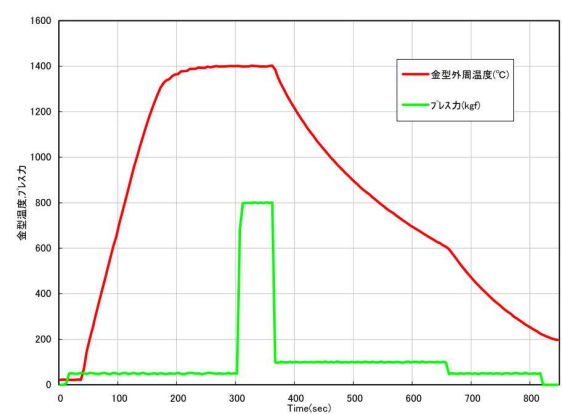
硝種	特性	転移点 (Tg:°C)	軟化点 (At:°C)	屈折率 (n _D)	熱膨張係数 (10 ⁻⁷ /°C)	透過率 (λ=300nm :%)	成形温度 (概略:°C)
一般光学ガラス (BK7)		576	718	1.51626	86	31	700
石英ガラス (合成:ES)		1080	1720	1.458434	6.0	92 (カタログ値)	1400

BK-7ガラスと石英ガラスの熱的特性 (カタログ値)

硝材
 形状: φ20×t3.0mm
 素材: ES (日本石英硝子製)
OH濃度: 1200ppm
屈折率: 1.455 (アッペ屈折計 (アタゴ製))

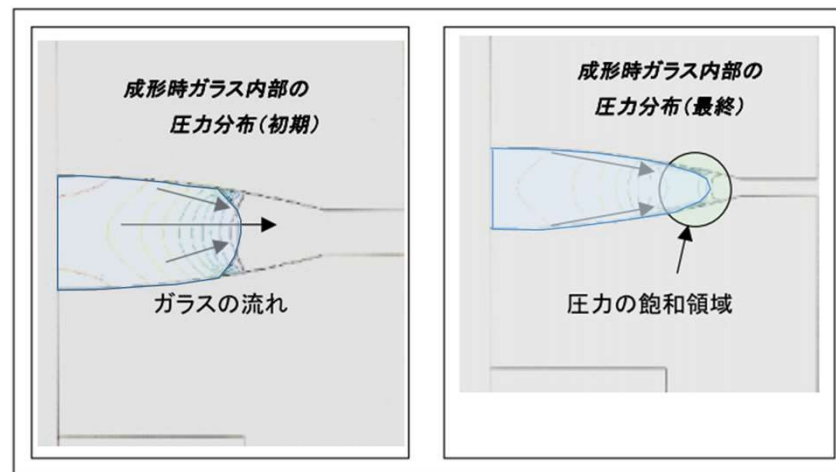
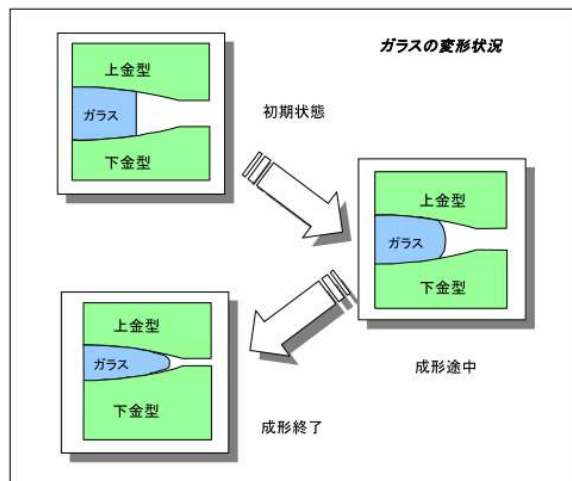


成形品外観
OH濃度: 1194ppm
屈折率: 1.458



結論: **成形前後でOH濃度, 透過率について大きな変化無**, 型材として**GC**を使用, 懸念されていた**蛍光も発生せず**
 課題: **残留応力については評価無**

高温下での石英ガラス流動解析



ガラス内部圧力分布（等圧線に垂直方向に流動）

必要なプレスカは？

熱流体解析コード（FiDAP：計算力学センター製）で流動解析（1450°C相当粘度）

硝材：合成石英ES（日本石英硝子（株）製）

OH濃度1200ppm，脈理フリー

熱特性：歪点970°C，転移点1080°C，軟化点：1720°C

成形条件：1450°C，1000kgf×60secで想定

結論：成形はできたが**残留応力**，**光学性能予測不能**で**光学部品**を成形するための成形条件最適化まで至らず

→課題：残留応力まで計算できる解析手法開発が必要

平成19～21年度 「地域イノベーション創出開発事業」 解析

Shibaura Machine

Confidential



成形品：L-BAL35
両非球面レンズ

成形装置

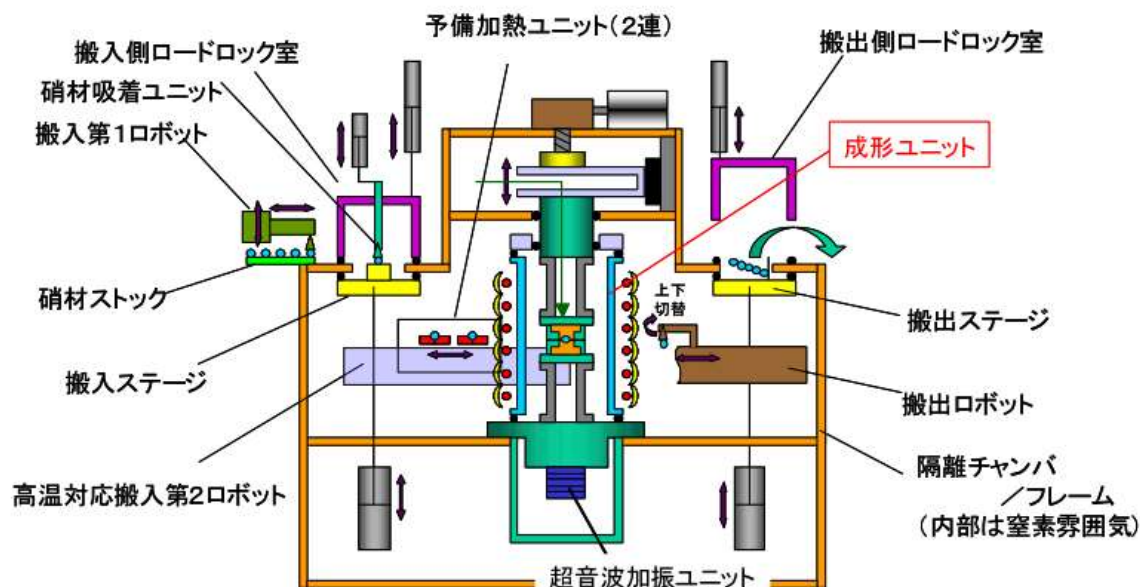
プロジェクト目的：自動車に搭載される広角レンズのサイクルタイム短縮
 コンセプト：金型の昇降温時間を極力短縮して常にほぼ一定（**非等温成形**）

予備加熱ユニット
 成形温度以上まで硝材加熱
 (~630°C)

高温搬送

成形ユニット
 成形～徐冷 (585~590°C)
 (成形時**超音波加振**)

急冷ユニット
 成形品の急冷



第 2.1.1-1 図 平成 21 年度装置概念図

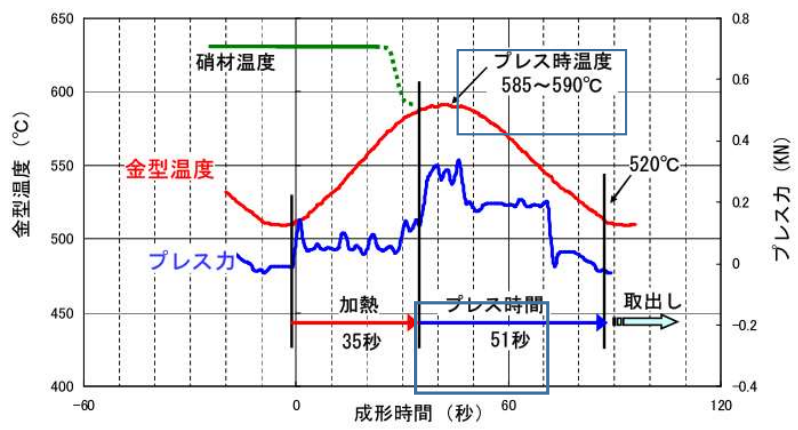


実機写真

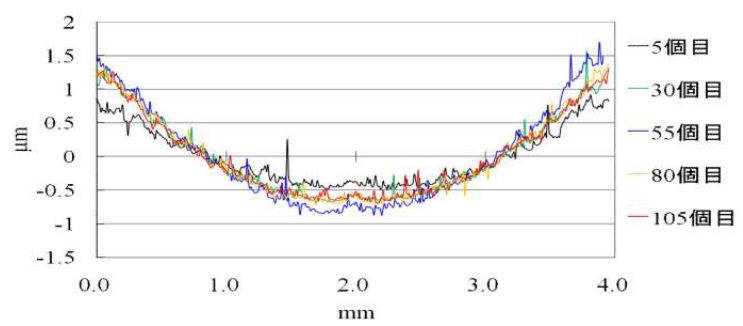
出典：平成21年度 地域イノベーション創出研究開発事業 成果報告書

成形時間短縮

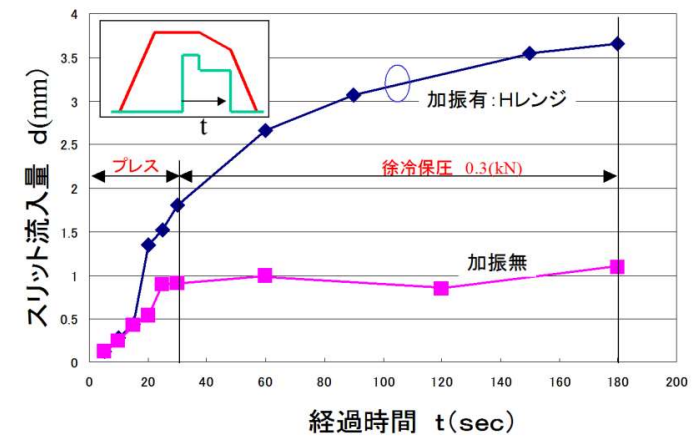
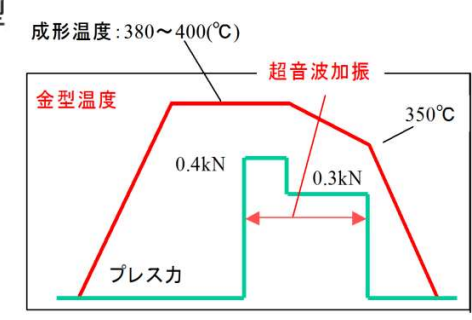
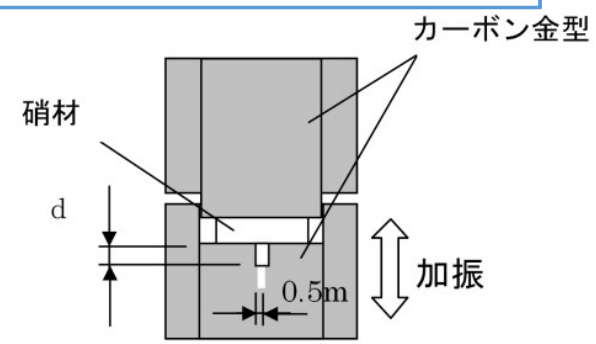
超音波加振による成形時間短縮



プレス時間 51 (sec) まで短縮



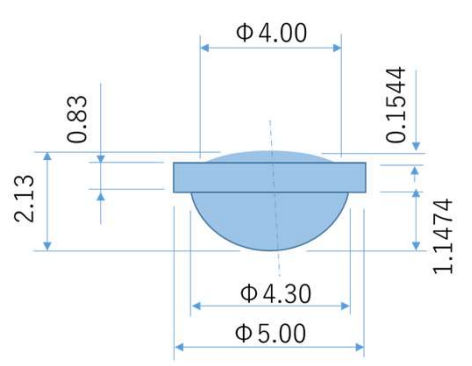
成形品形状精度バラツキ (1.5μm ± 0.5μm)



変形速度 0.03→0.06 (mm/sec)

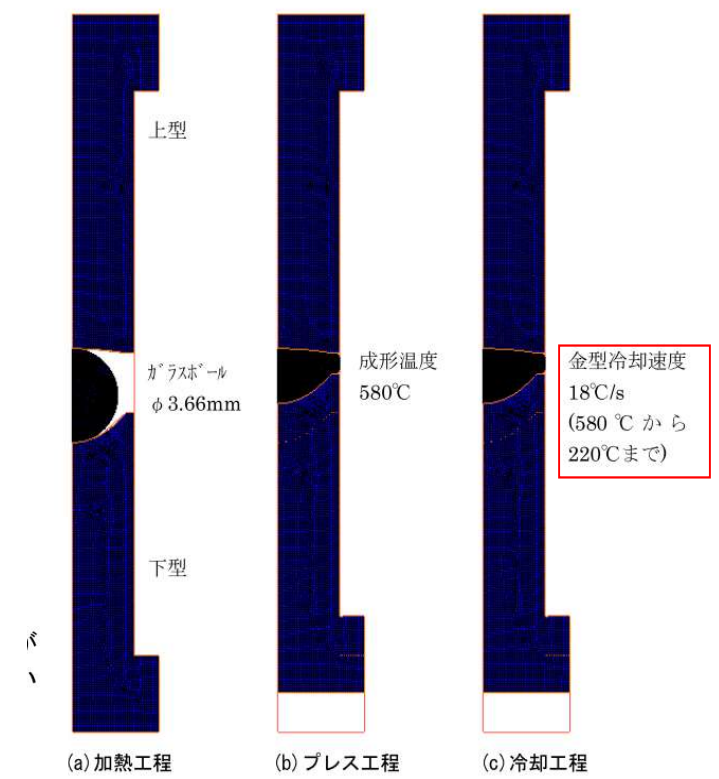
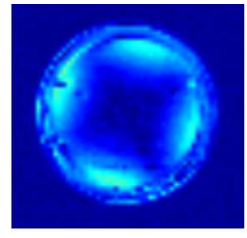
結論：超音波加振により変形速度は向上した。非等温成形においても再現性確認できた
 課題：徐冷中の変形は超音波による加熱効果，成形速度向上は摩擦抵抗の減少によるものと推定

大変形構造解析コードと熱解析連動による解析 (成形解析)



成形品形状

歪強度分布 (実測)



成形条件

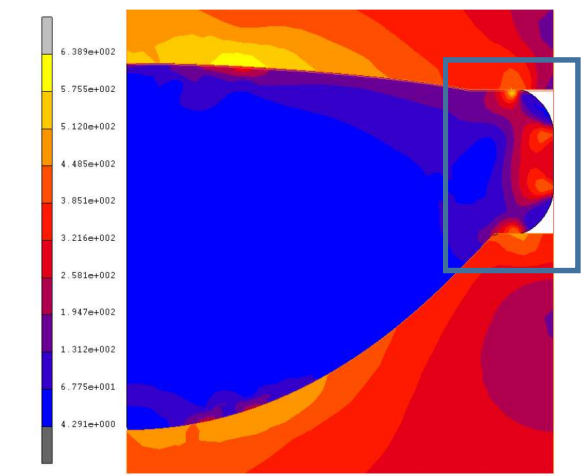
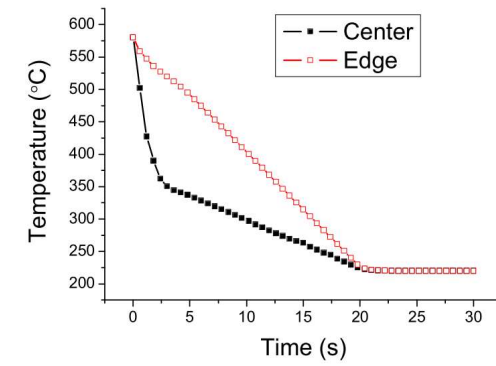


図 2.3.1-2 応力分布のシミュレーション結果

残留応力大

成形品内部歪分布



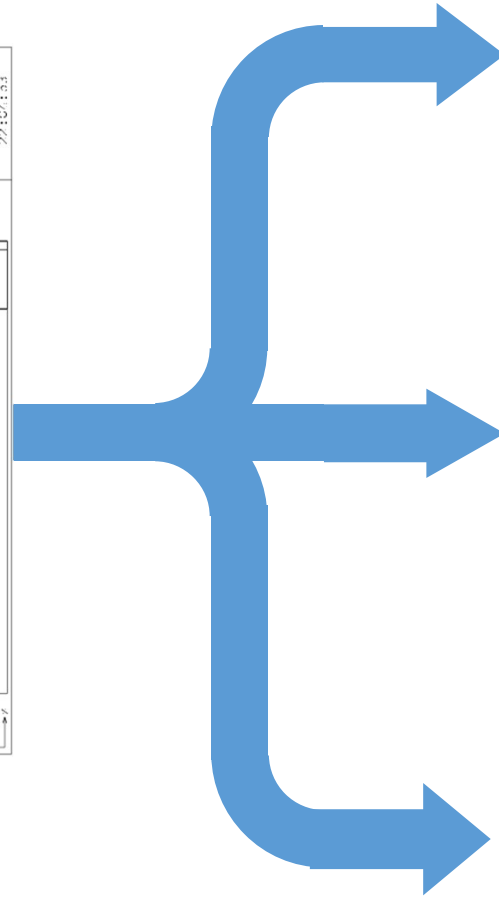
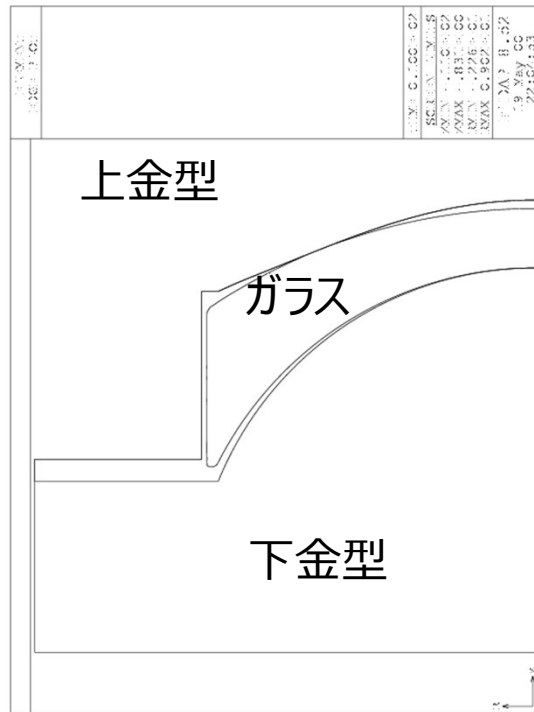
レンズ中心とエッジの冷却速度の差

結論：徐冷速度が成形品の光学性能に大きく影響 (特に内外周で差異)

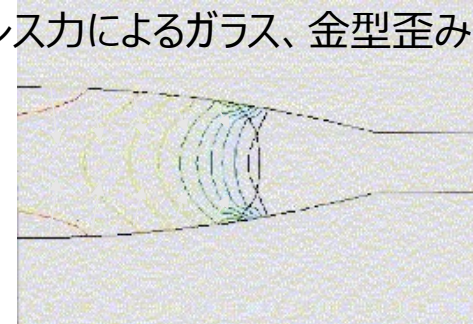
課題：ガラス専用の解析コードではないけど…?

お客様テスト対応する中での解析へのモチベーション（1）

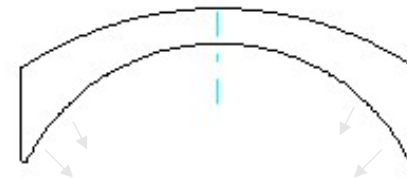
成形品形状精度に関わる3つの要因



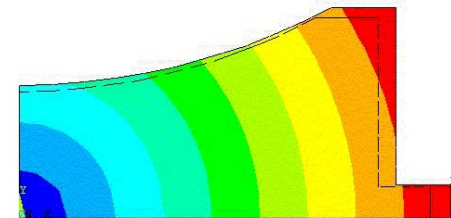
プレスカによるガラス、金型歪み

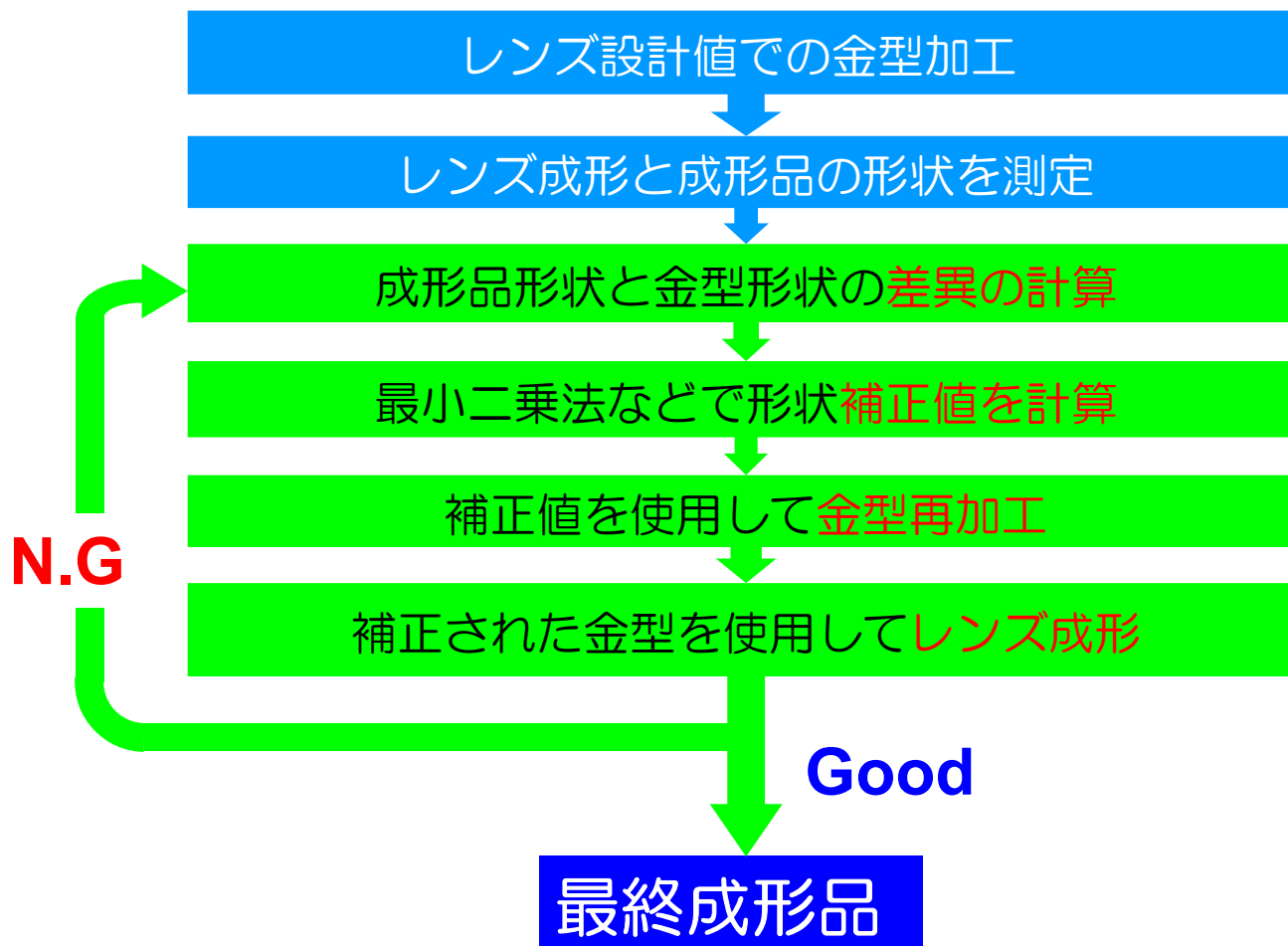


ガラスの収縮



金型の熱膨張

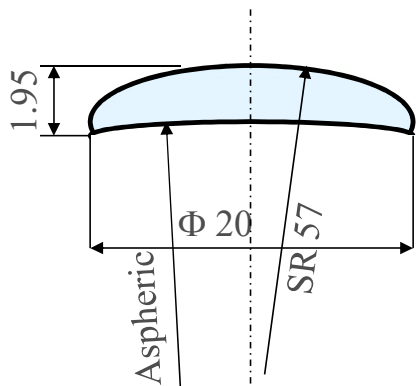




課題：解析で成型品形状を高精度に計算して形状補正加工回数を1回にしたい

形状補正例

成形品の目標形状精度 : 0.3 μ m以内



成形品形状 (Lens Form)

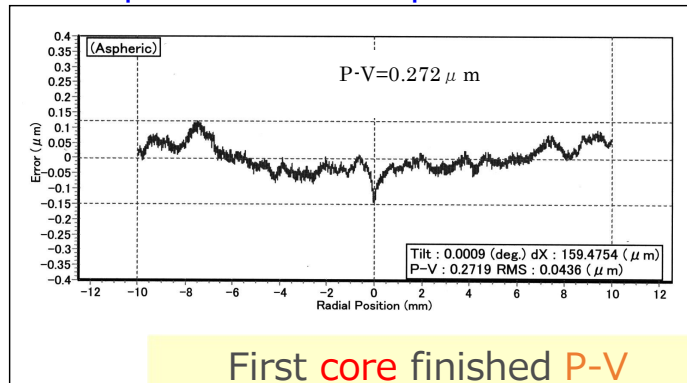
非球面



金型外観

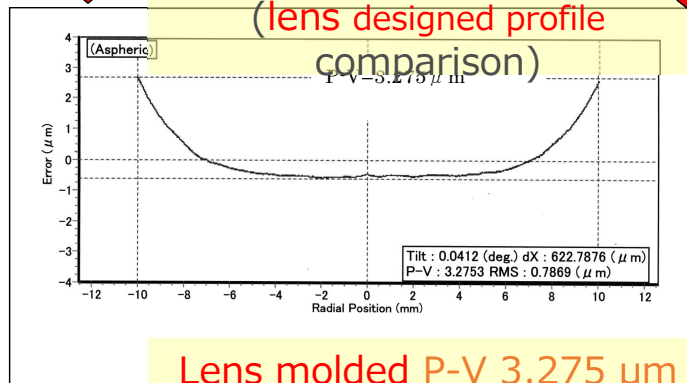
F 20 Aspheric lens compensated

成形品の目標形状精度 : 0.3 μ m以内

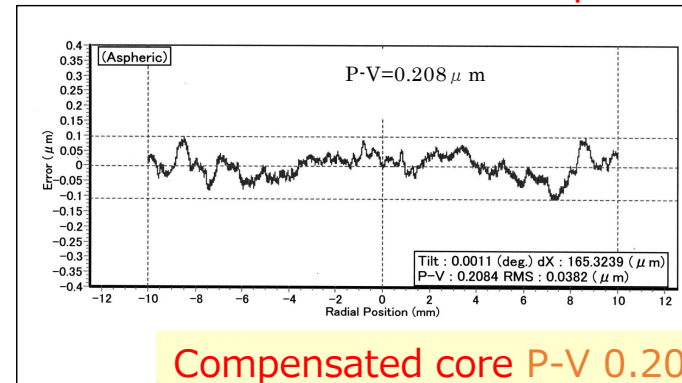


First core finished P-V
0.272, μ m

(lens designed profile
comparison)

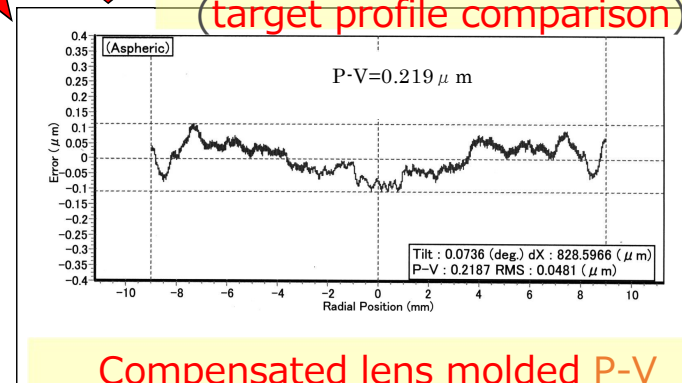


Lens molded P-V 3.275 μ m
(lens designed profile
comparison)



Compensated core P-V 0.208
 μ m

(target profile comparison)



Compensated lens molded P-V
0.219 μ m
(lens designed profile comparison)

成形後補正加工により形状精度P-V値を3.275 μ m→0.219 μ mまで改善→目標クリア

ゴール：成形**補正回数を低減**する手法の確立と裏付けデータ収集

実際にレンズとして機能する領域内での**残留応力を低減できる成形条件の策定**（徐冷時間，急冷開始のタイミング）

残留応力と光学性能間の関係

最適条件を簡便に実現できるH/W開発（**リバースエンジニアリング**）

V-Glace開発と評価させて頂くため，同**ソフト使用方法の学習**と**実装置でのテスト**を計画中

対象：弊社デモ成形品

硝材：L-BAL42：オハラ様

金型：バイナレス超硬

離型膜：DLC

使用方法習得進捗

2023.1月～ V-Glaceを借用してモデル構築方法，成形条件設定方法を習得中

- ・プレス軸変位制御から**プレス力制御**も可能なバージョンを先行でご提供頂き**計算中**

テスト成形取組進捗

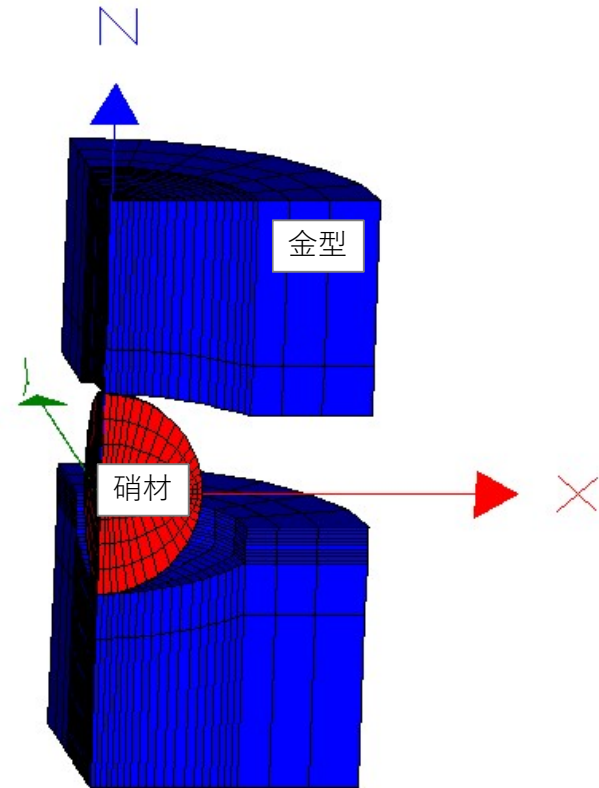
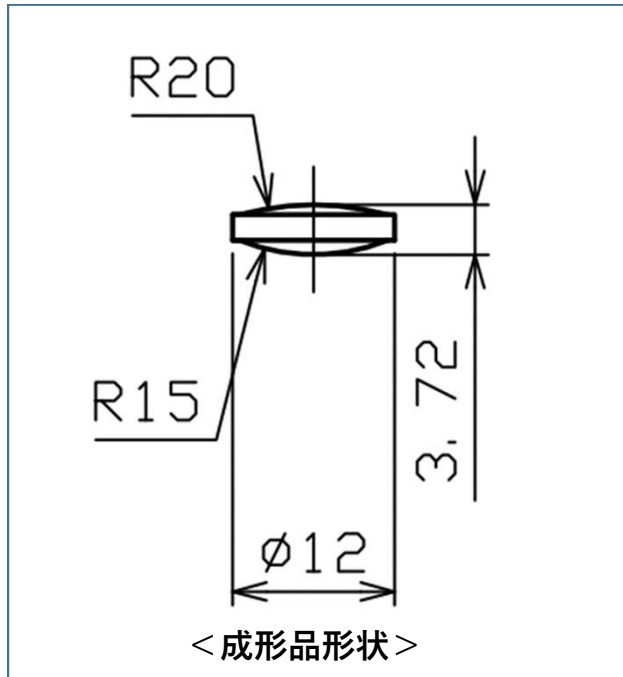
デモ用金型修正加工完了

コーティング完了

金型形状計測中

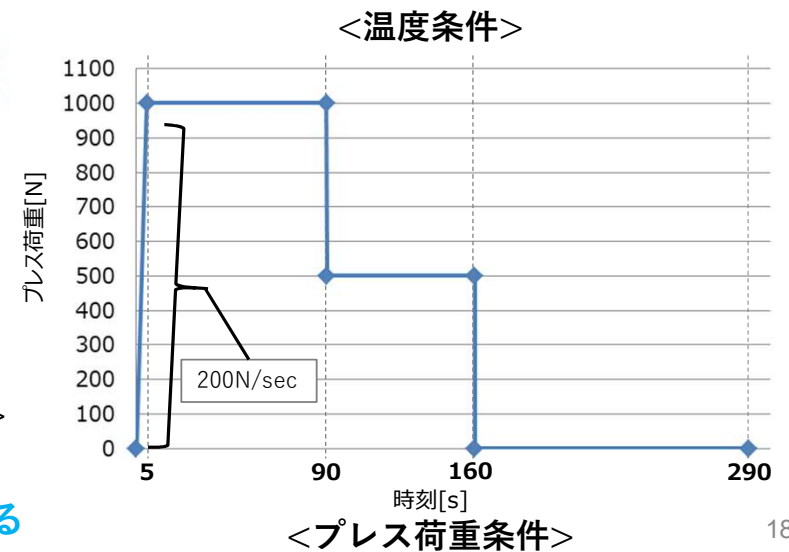
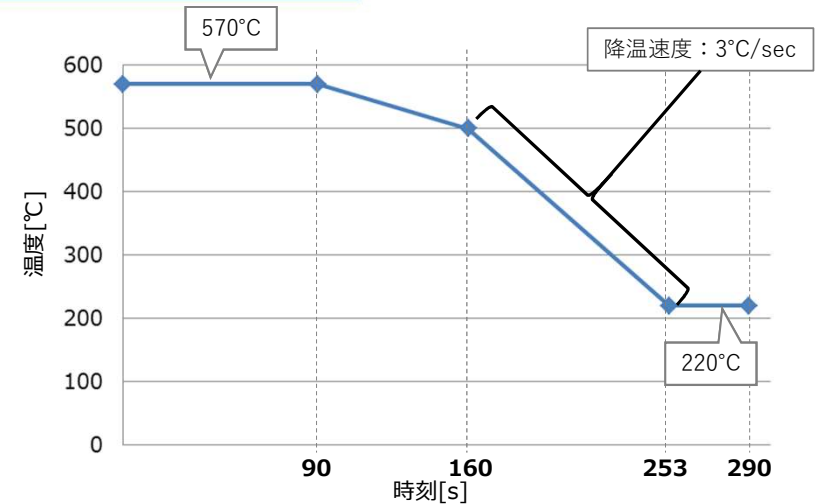
V-Glace 弊社テスト金型, 成形条件で解析 (1)

成形品形状, 解析モデルおよび解析条件

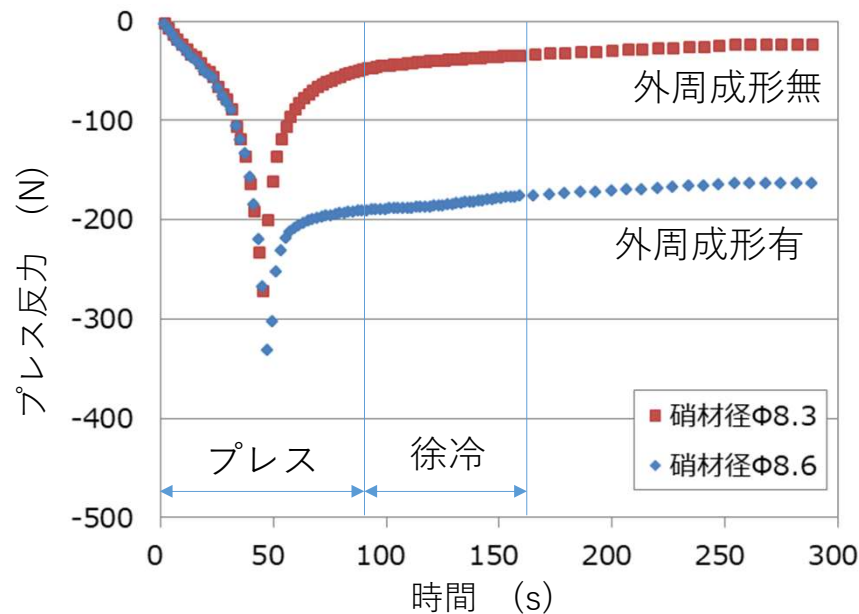


硝材: L-BAL42 (オハラ社製)
 ガラス転移点 T_g : 506 (°C)
 屈伏点 A_t : 538 (°C)
 軟化点 S_p : 607 (°C)
 成形温度: 570 (°C)

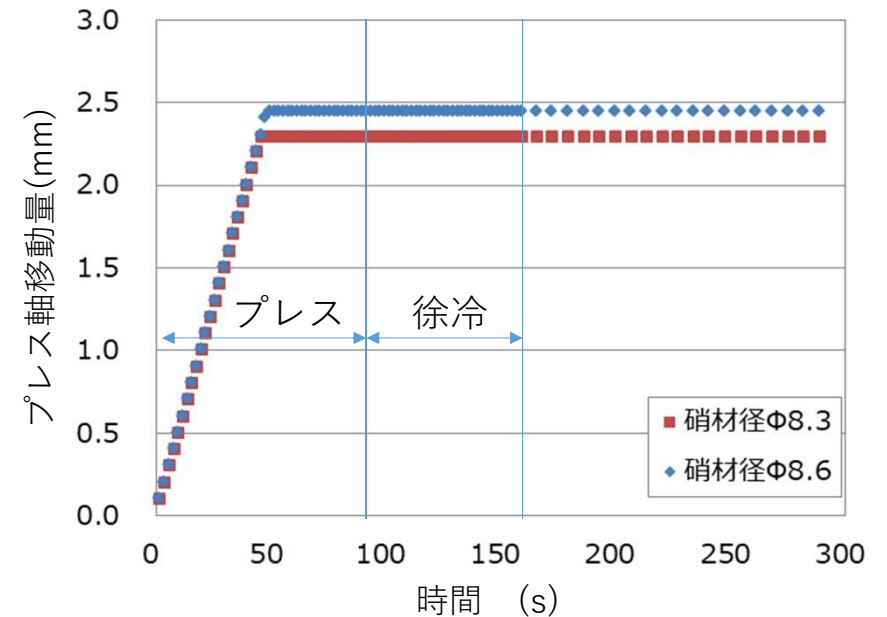
疑問点: 解析初期温度570°Cでは熱膨張により硝材, 金型形状が異なる



解析結果 プレス反力・プレス変位



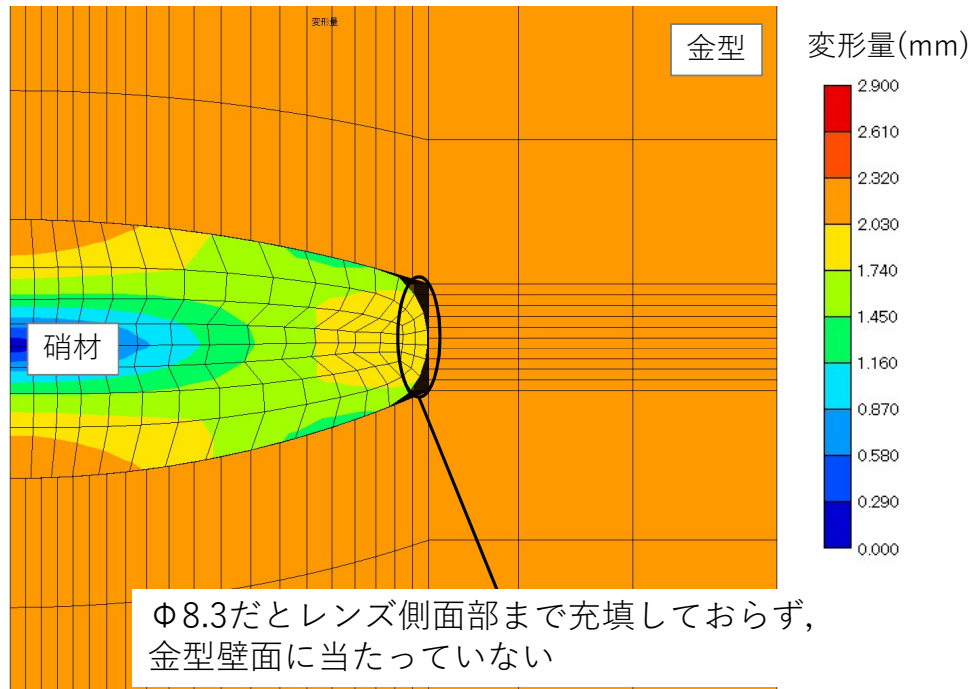
<プレス反力経時変化>



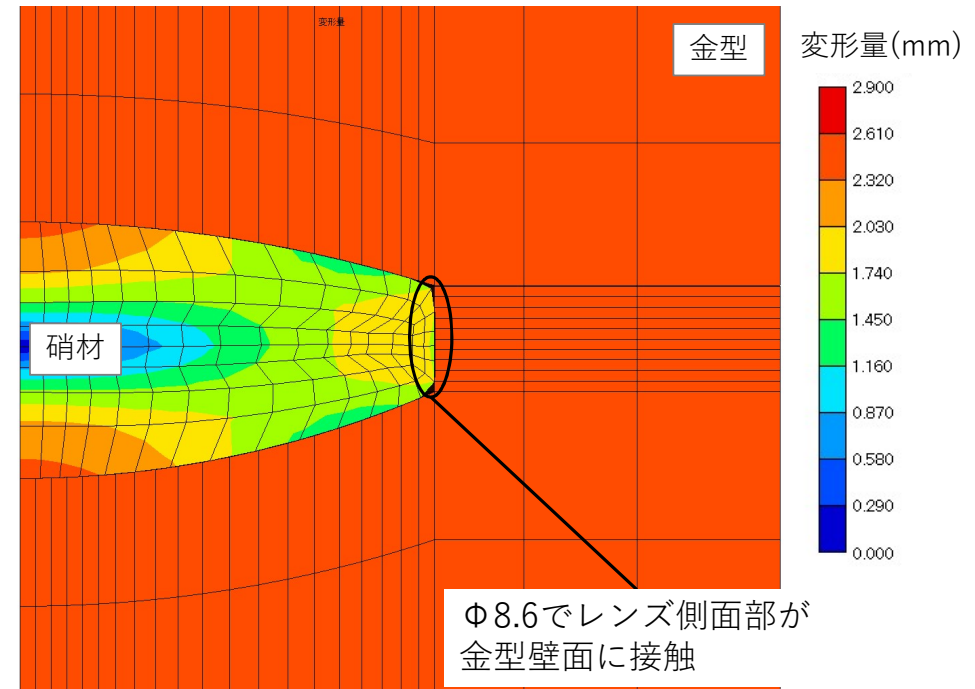
<プレス軸位置変化>

- ・ 想定されるプレス時間**90秒** (反力**1000[N]**) 対し, 解析では**50秒** (反力**300[N]**) 程度で終了してしまう
- 要因: 解析ではプレス開始時に金型-硝材で温度均一な状態を仮定しているが, **実成形では硝材温度が低い状態** (ガラスが硬い状態) で成形している可能性有
- 今後, **実験でプレス時間と荷重を確認**する

解析結果 金型内充填状態



<金型内充填状態_硝材径Φ8.3>

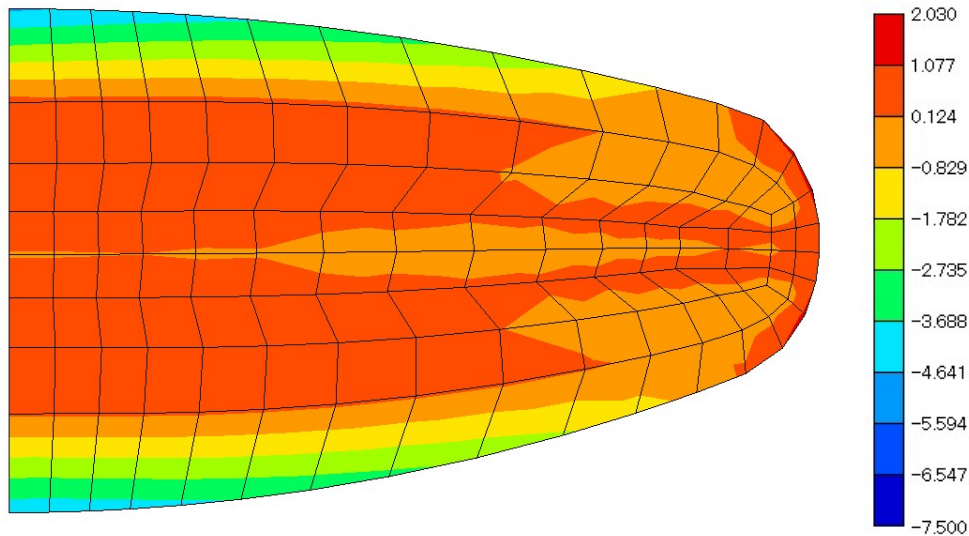


<金型内充填状態_硝材径Φ8.6>

- ・ 金型のキャビティ体積より硝材径Φ8.3で充填される想定となるが、解析では**充填しきれていない状態**
→上記の点について、ITC (株) 殿より**改善策検討中**との回答をいただいている

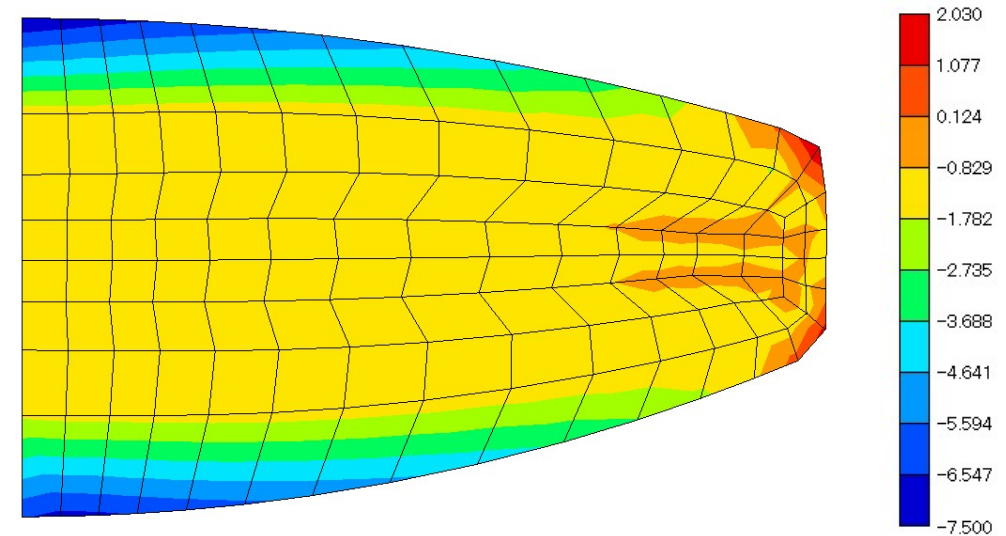
解析結果（内部応力分布）

最大主応力(MPa)



<最大主応力分布_硝材径Φ8.3>

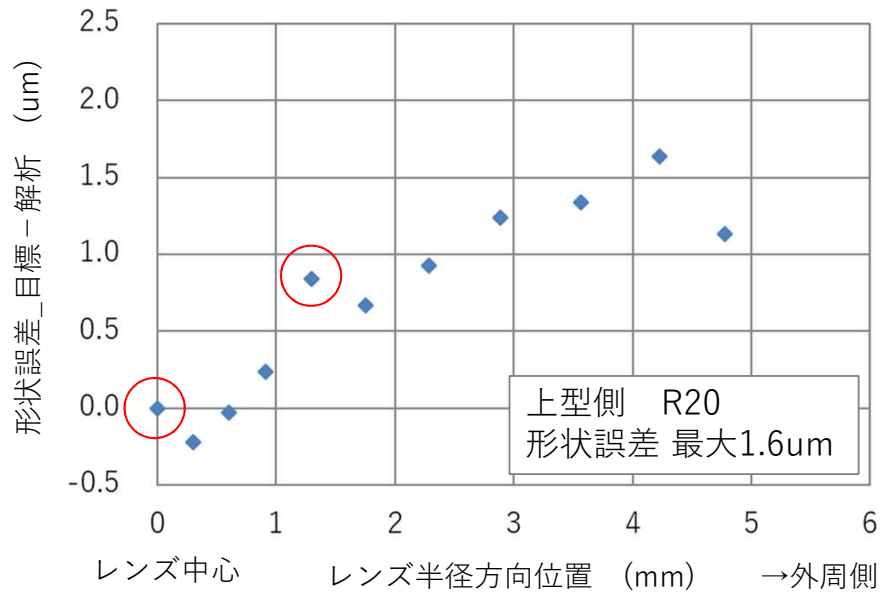
最大主応力(MPa)



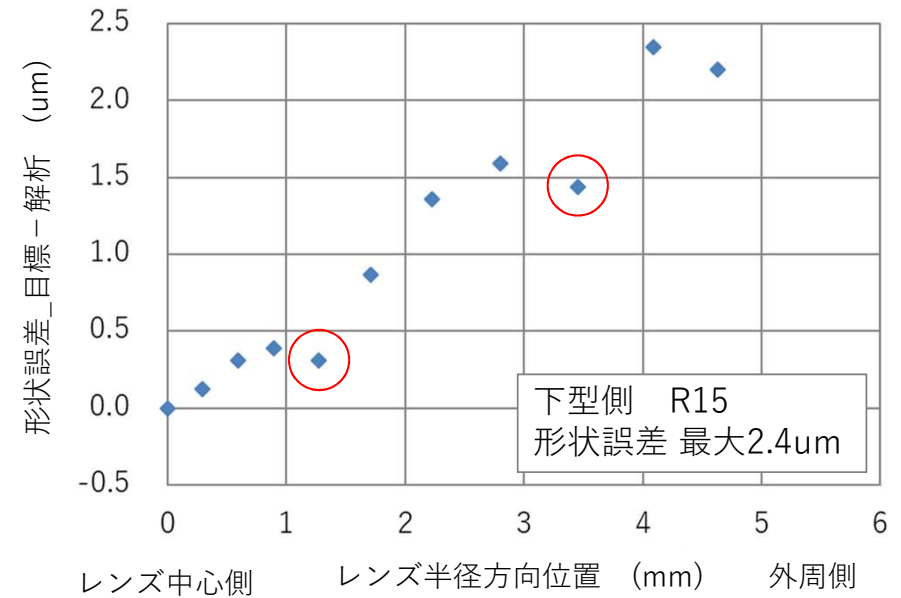
<最大主応力分布_硝材径Φ8.6>

- 硝材径Φ8.3→Φ8.6で**圧縮応力が生じる領域（コンター図の黄色～青の領域）が広がる**
これは側面が金型壁面に接触し拘束されたこと，より大きい硝材をプレスしていることが影響と考えられる
→応力分布の評価には**充填状態の再現が課題**
- 解析では外周カド部で引張の応力が大きい傾向にあり，**実成形で生じるカド部の欠けとの相関**が考えられる

解析結果 形状精度



(a)上型側



(a)下型側

< レンズ形状誤差（硝材径Φ8.3） >

- ・ 実成形品との精度比較には金型から取り出した状態（無負荷）での評価が必要
- ・ 今回，解析結果と目標形状の差を算出するやり方は習得できた
→但し解析モデル精度（プレス開始前の熱膨張の考慮等）検証が必要

END

Shibaura Machine

ご静聴有難うございました。

芝浦機械株式会社

東京本社

〒100-8503 東京都千代田区内幸町二丁目2番2号（富国生命ビル）

TEL (03)3509-0200 FAX (03)3509-0333 URL : <https://www.shibaura-machine.co.jp/>

予備加熱ポッドにおける熱伝導現象モデル

硝材／金型界面での熱伝達率評価

課題：ガラスの温度が計測できないと、算定できない。

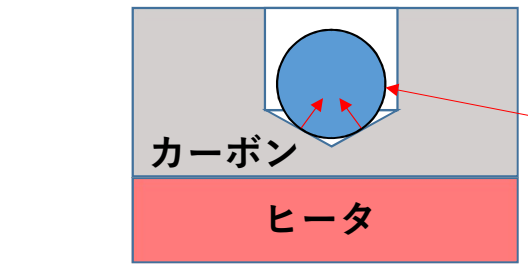
硝材：L-BAL35

ガラス転移点：527 (°C)

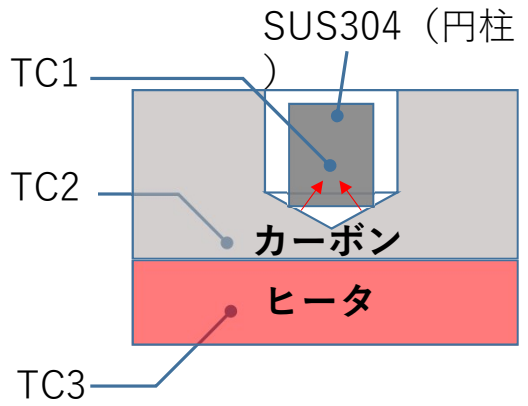
屈伏点：567 (°C)

軟化点：619 (°C)

比熱温度依存性：オハラ様分析センターに依頼



L-BAL35 (φ 3.6mm)



熱伝導率 $\lambda \times 距離 \ll 1$

熱容量： L-BAL35 0.09(J/K)

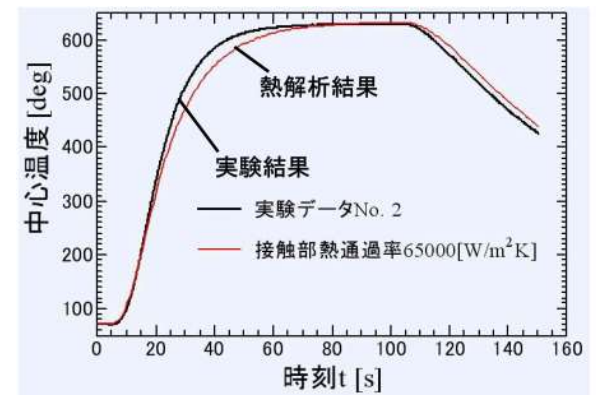
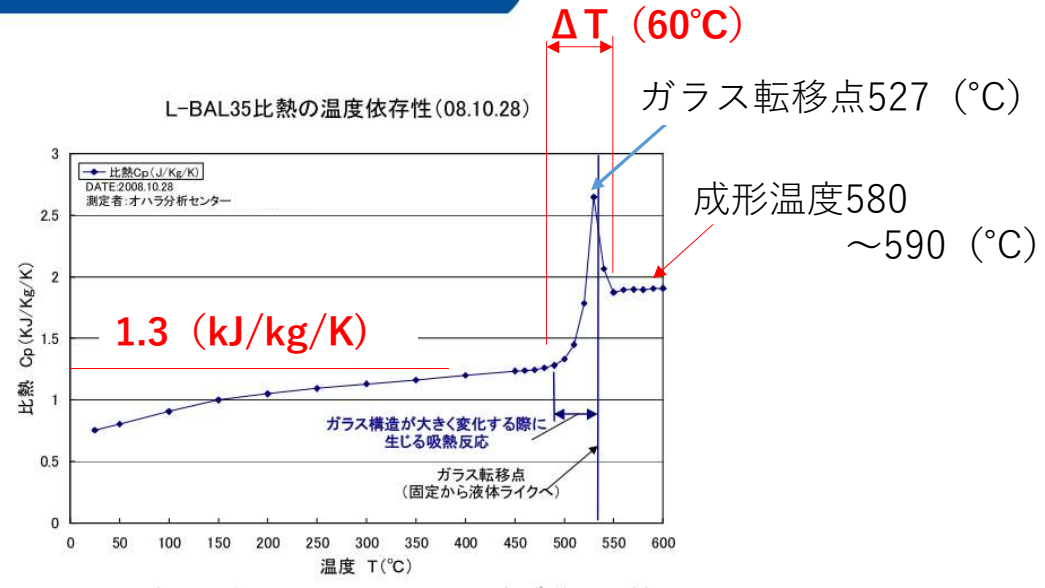
SUS304 0.1(J/K)

→ 測温結果からカーボン／ガラス界面の熱伝導率を計算

6500 (W/m²/K) : 但し汎用性無

・ガラス転移点付近で幅 ΔT のピークを有する。

熱容量が同等になるようSUS304に置換したら測温可能に？



END 2

Shibaura Machine

芝浦機械株式会社

東京本社

〒100-8503 東京都千代田区内幸町二丁目2番2号（富国生命ビル）

TEL (03)3509-0200 FAX (03)3509-0333 URL : <https://www.shibaura-machine.co.jp/>