

赤外線透過性カルコゲナイドガラスの 粘弾性特性評価と非球面レンズ成型条件の最適化

東京電機大学 工学部 先端機械工学科 ○安藤海人, 森田晋也
理化学研究所 光量子工学研究センター 山形豊

研究背景

赤外線を用いた光学素子

利用例



サーモグラフィ

<https://www.avio.co.jp/products/infrared/lineup/ir-thermo/ts300sw/>



車載カメラ

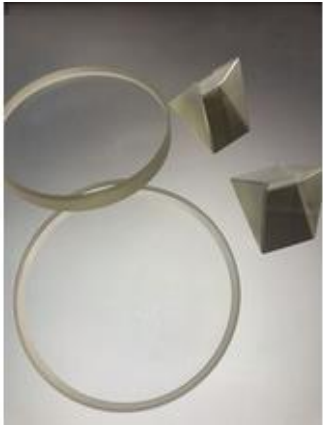
https://www.cornestech.co.jp/tech/products/products_boson-2-4/



暗視カメラ

<https://n-sk.jp/product-list/ns-ah812virc>

通常、使用するレンズの材料



光学ガラス

<https://www.ipros.jp/product/detail/2000133292>



プラスチックレンズ

https://www.nalux.co.jp/pro_hdpe.html

→赤外線を
多く通さない

赤外線透過に優れた材料

一般的な赤外透過ガラスの問題点

- 素材や加工のコストが高い (Ge, Si, サファイア)
- プレス成形が困難 (ZnS, ZnSe)



カルコゲナイドガラスに注目した



カルコゲナイドガラス

<https://www.phototechnica.co.jp/14000/>



今回、使用するガラス
安価・プレス成型可能・毒性元素を含まない
カルコゲナイドガラスIIR-SF2を使用

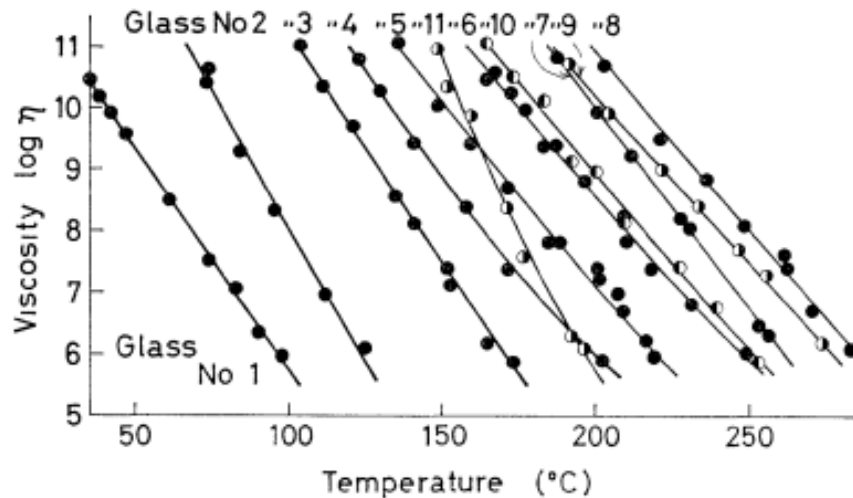
カルコゲナイドガラスとは

カルコゲン・・・16族の酸素族元素の総称

- ・酸素、硫黄、セレン、テルル、ポロニウムの5元素の加工物からなる非晶質のことをいう

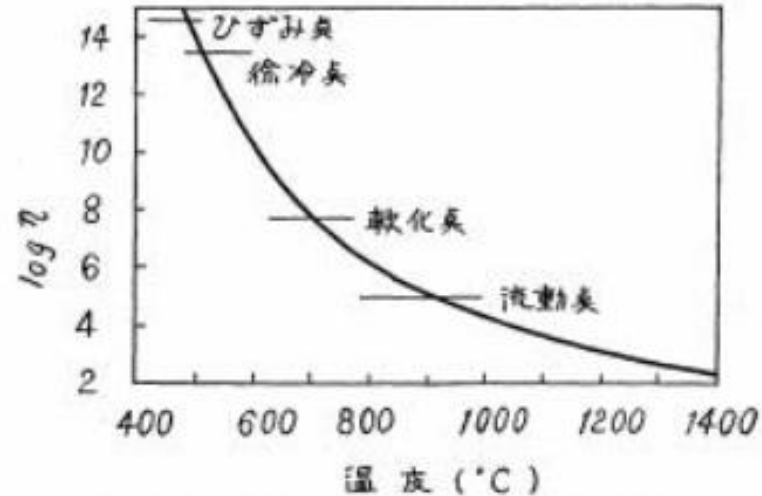
株式会社ウイング,カルコゲナイドガラス(Chalcogenide Glass),
<https://wing-eco.com/infrared/chalcogenide-glass/>

- ・無機質ガラスと異なる粘度曲線を描く



As-Se系カルコゲナイドガラスの粘度曲線

功刀雅長,大田陸夫,鈴木松郎,As-Se,As-Se-S,As-Se-TeおよびAs-Se-Tl系ガラスの粘度,p146



無機質ガラスの粘度曲線

功刀雅長,ガラスの粘度について,p886

研究目的

カルコゲナイドガラスのガラスモールド成形による非球面レンズの成形

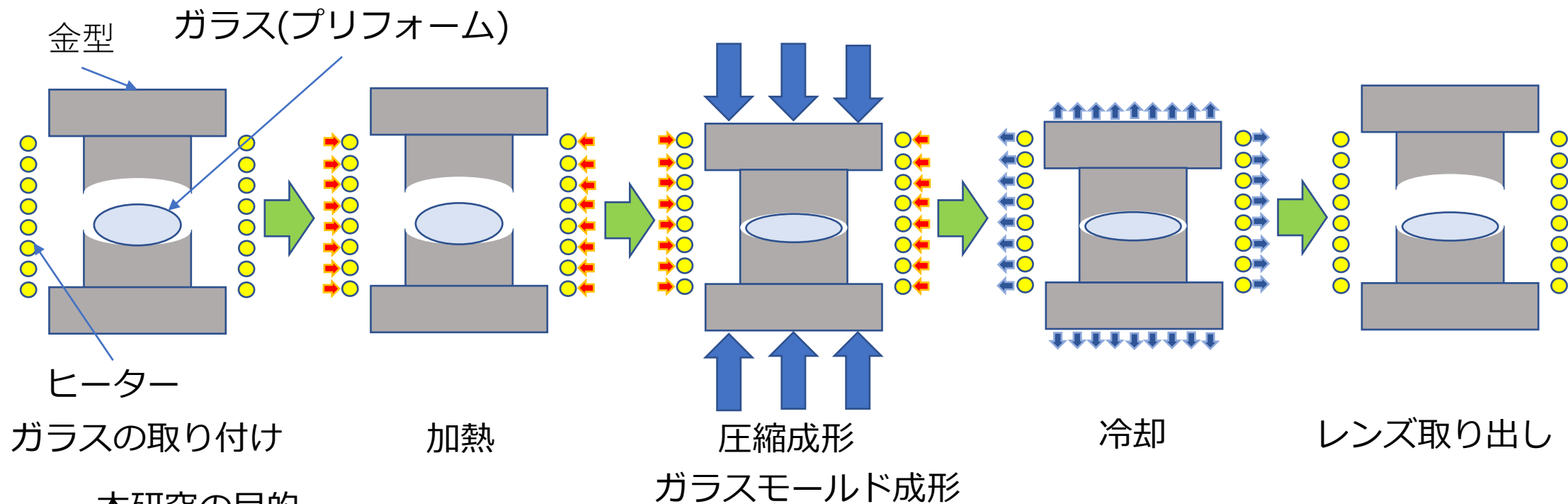
ガラスモールド成形

利点

- ・ 非球面レンズが安く早く作れる
- ・ 研磨廃液が生じず、環境にやさしい

課題

- ・ 成型温度や圧力により、レンズの形状不良や割れ、金型の損傷が生じやすい



➡ 事前にシミュレーションすることで成形不良を防ぐ

研究目的

研究の実施内容

1. クリープ試験を行い、カルコゲナイドガラスの粘弾性特性を測定し、Norton則に基づいて定式化する。
2. 粘弾性特性の結果から、V-Glanceを用いてカルコゲナイドガラスの最適な成形温度と成形圧力を求める。
3. 求めた最適な成形条件を基に、非球面レンズのモールド成形を行う。

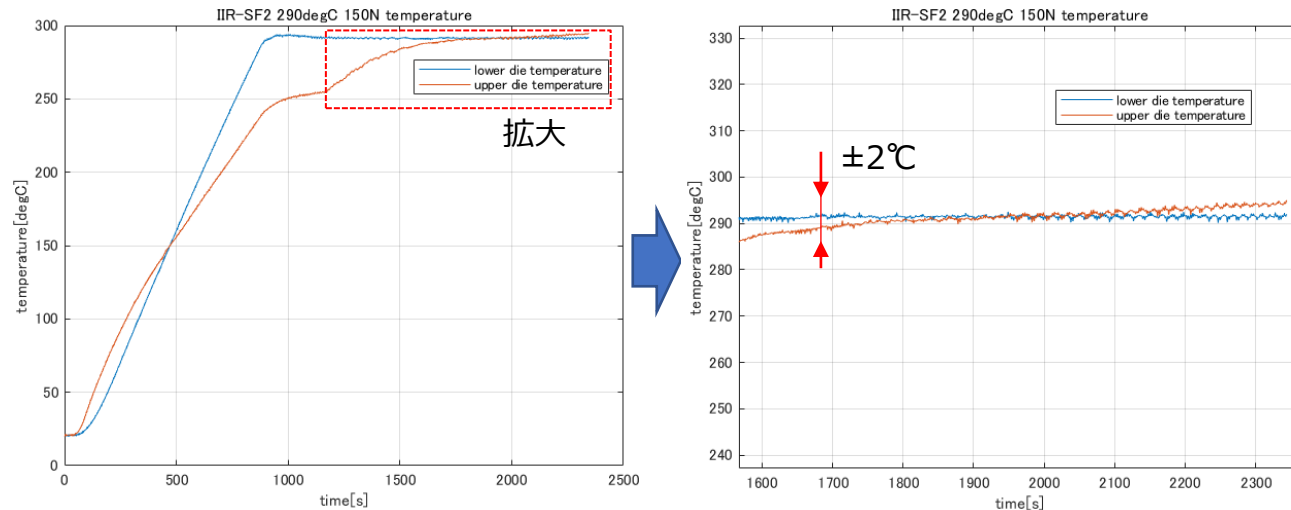
クリープ試験

手順

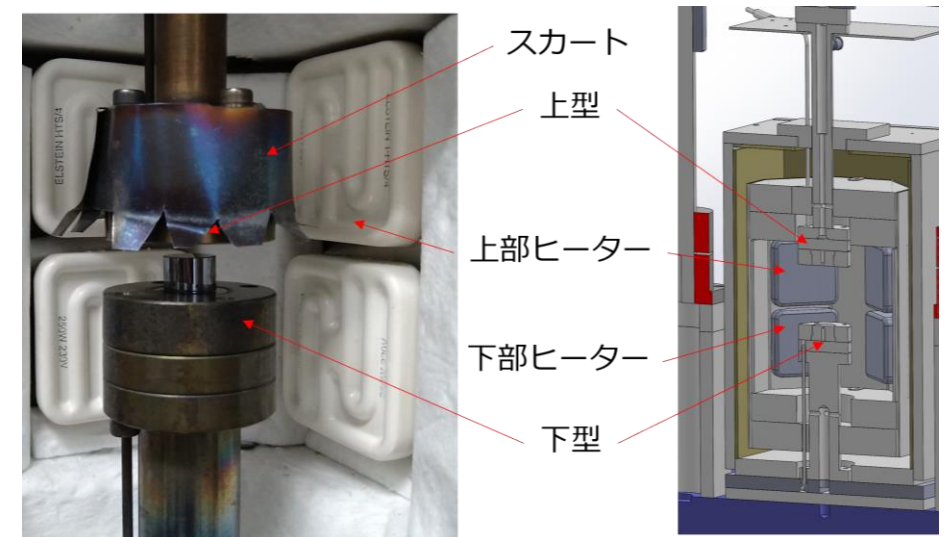
- ①電気炉内を窒素雰囲気を満たすため、窒素ガスを流した。
- ②目的温度に設定したヒータの電源をつけ、金型を温めた。
- ③上下金型が設定温度になった後、試料に圧縮荷重を加えた。

困難だった点

300℃周辺のヒータの温度調整が困難であり、スカート(ステンレスSUS304)を上金型に覆うことで、ヒータの加熱を抑えられ、 $\pm 2^{\circ}\text{C}$ の範囲で実験が行うことができた。ただし、上下金型には温度差がある。



上下金型の温度(全体図)と(拡大図)



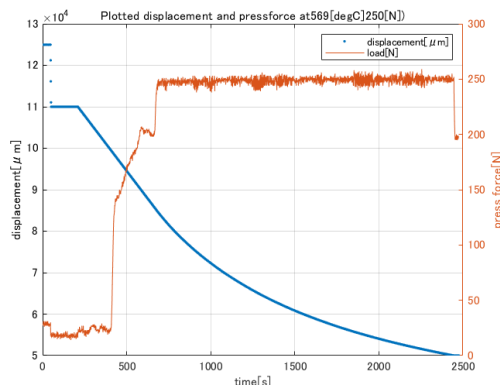
スカート取り付け図

実験装置

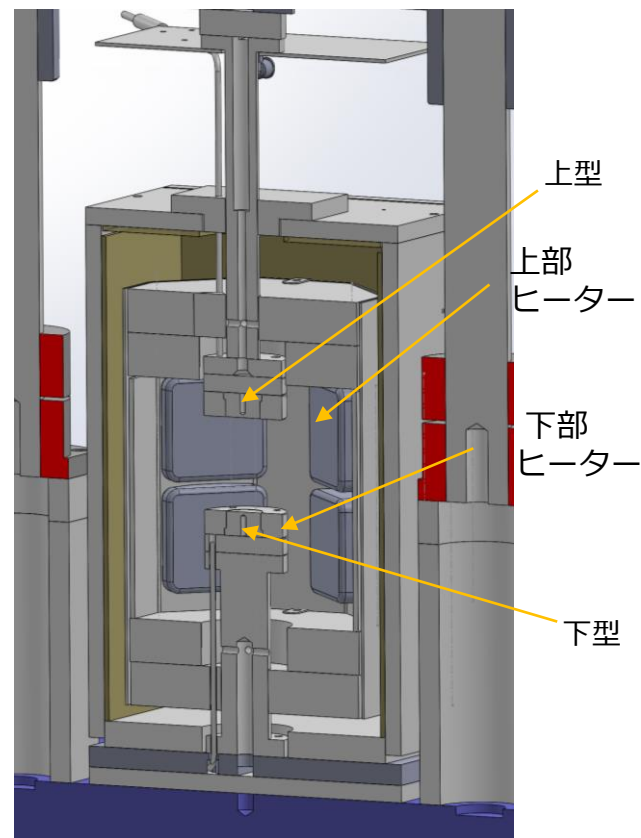
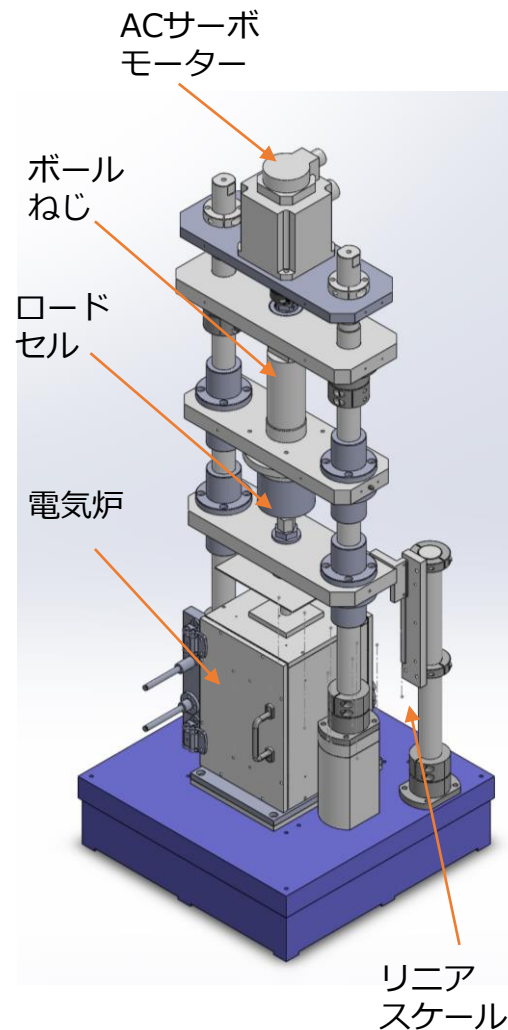
平行プレート式物性測定装置

機能

- ・ 定プレス力モード、定速度モード、付着応力測定モードがあり、多様な計測が可能である。
- ・ 400~850℃のガラス試料をACサーボモーターとロードセルにより圧縮し、その際の圧縮変位と圧縮荷重を測定する。
- ・ 電気炉内は窒素雰囲気で満たされている。
- ・ 上下別に制御されたヒーター(合計2kW)により、金型温度を制御している。
- ・ 熱電対により、上下金型の温度を測定している。



測定された生データ



ヒーター部拡大断面図

クリープ試験の温度範囲の推定

クリープ試験を行うには、軟化点と屈伏点の温度が必要であり、軟化点の導出を行う必要があった。
ガラスの粘度が温度により変化することを表すアレニウス則により求め、
IIR-SF2特性表のように求まった。

実験温度の選択

屈服点と軟化点の間を5分割し、
実験開始の温度として中点の290℃を選択した。

IIR-SF2特性表

	温度(℃)	絶対温度(1/K)	粘度(log η)
作業点	342	1.63×10^{-3}	3
軟化点	303	1.74×10^{-3}	6.65
屈伏点	276	1.82×10^{-3}	9.5
転移点	250	1.91×10^{-3}	12.5
歪点	242	1.94×10^{-3}	13.5

5分割

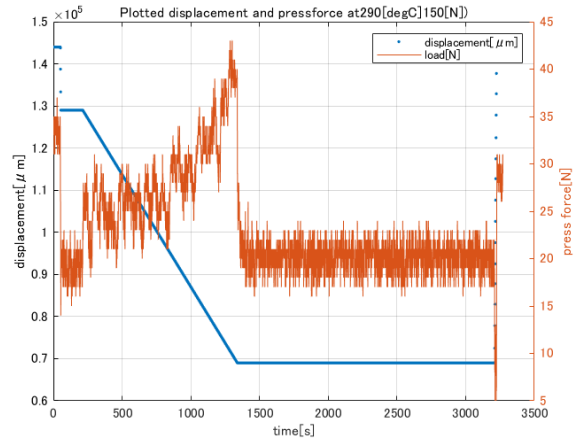


粘弾性測定の温度範囲

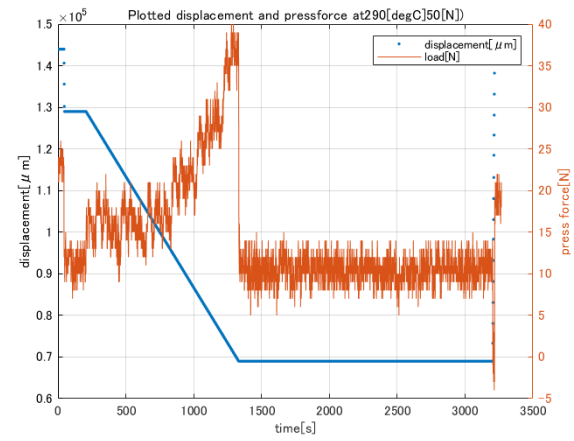
	温度(℃)
軟化点	303
	296
	290
	283
屈伏点	276

実験結果

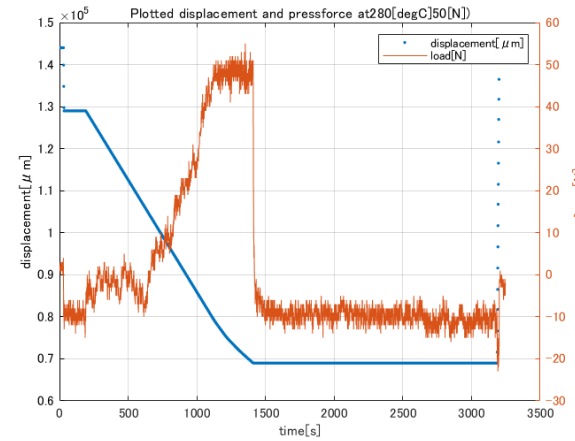
① 290°C, 150N



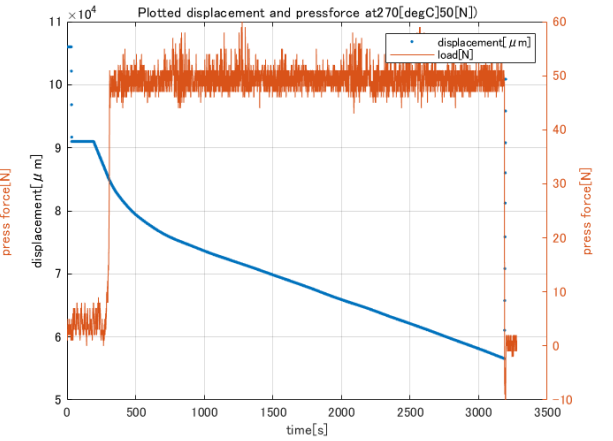
② 290°C, 50N



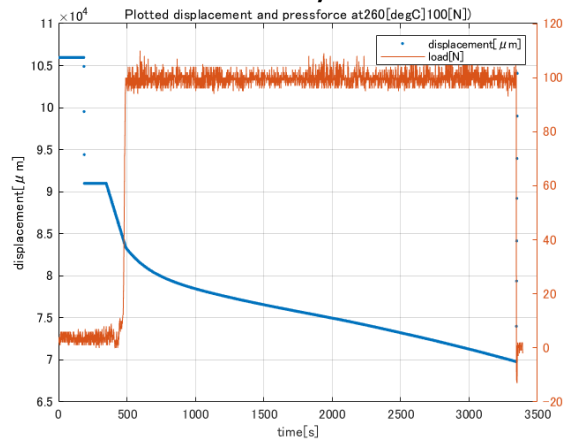
③ 280°C, 50N



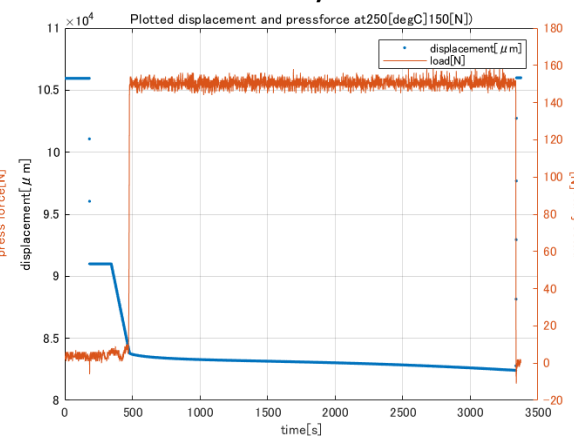
④ 270°C, 50N



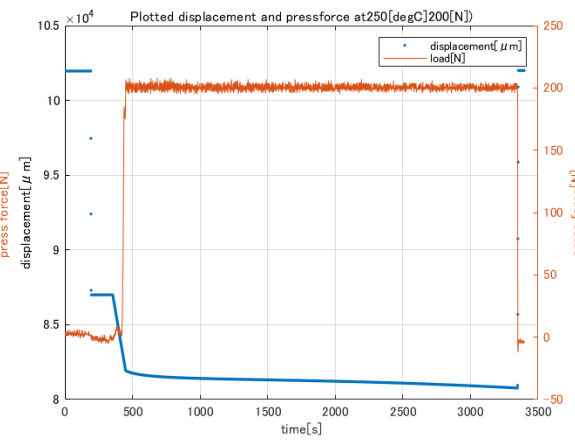
⑤ 260°C, 100N



⑥ 250°C, 150N



⑦ 250°C, 200N

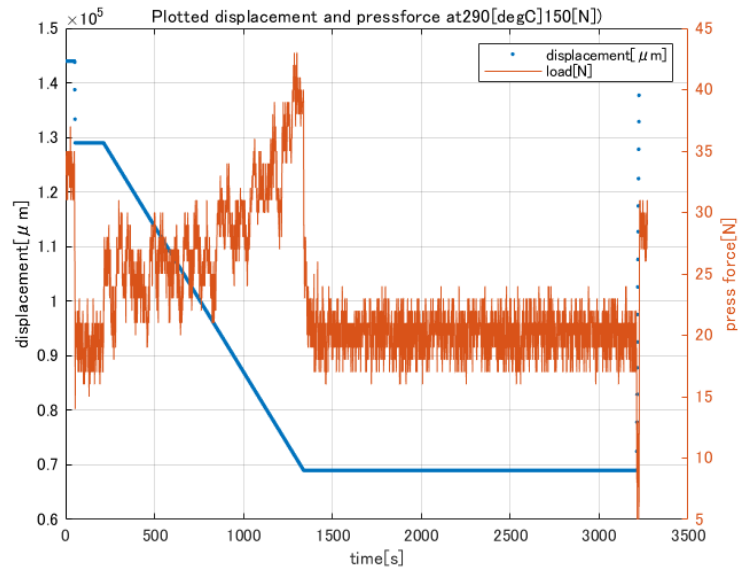


— 圧縮位置 — 圧縮荷重

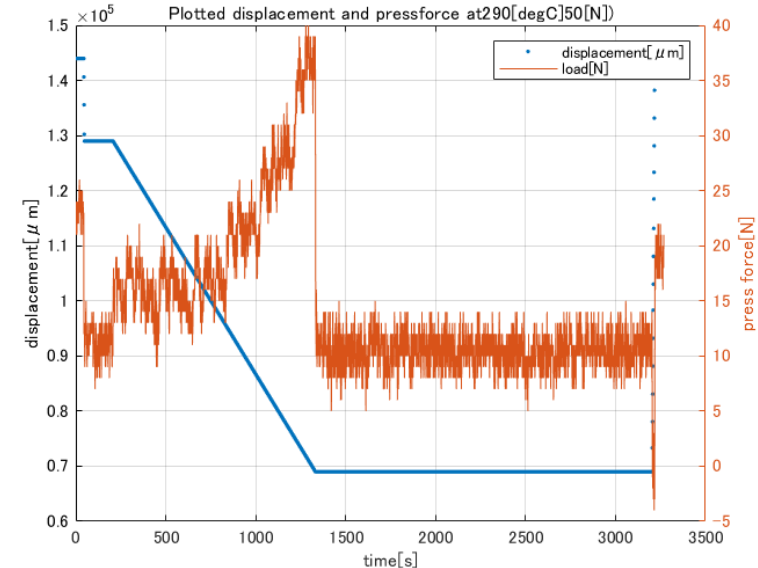
※実験番号は、実験を行った順に並んでいる。

実験結果

① 290°C, 150N



② 290°C, 50N



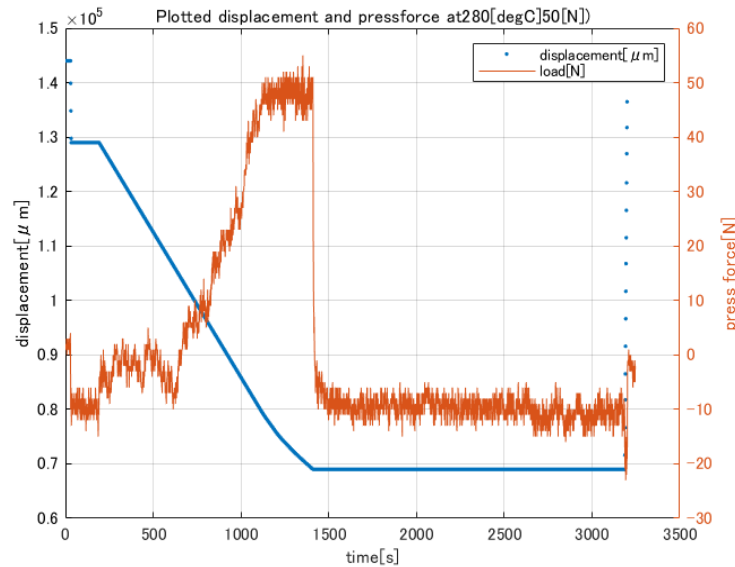
①,②屈伏点と軟化点の midpoint である 290°C で行った。

②圧縮荷重を 50N に下げたが、一定荷重を与えることができず、クリープ曲線は観察できなかった。

→予想よりもガラスは、柔らかく、温度を低くした実験条件にする必要があった。

実験結果

③ 280℃, 50N



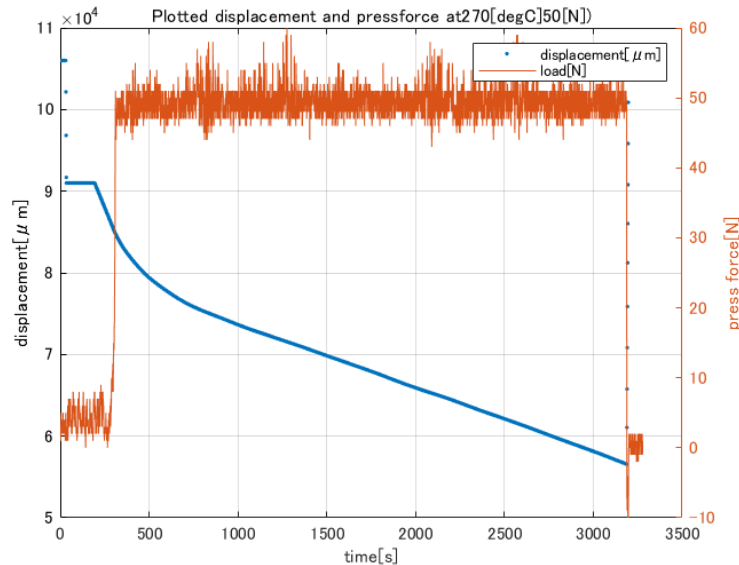
③一定荷重を少しの間、与えることができおり、
クリープ曲線が、わずかに観察できたが、有意のあるデータはとれなかった。

→④,⑤では、さらに温度を10℃下げて実験を行った。

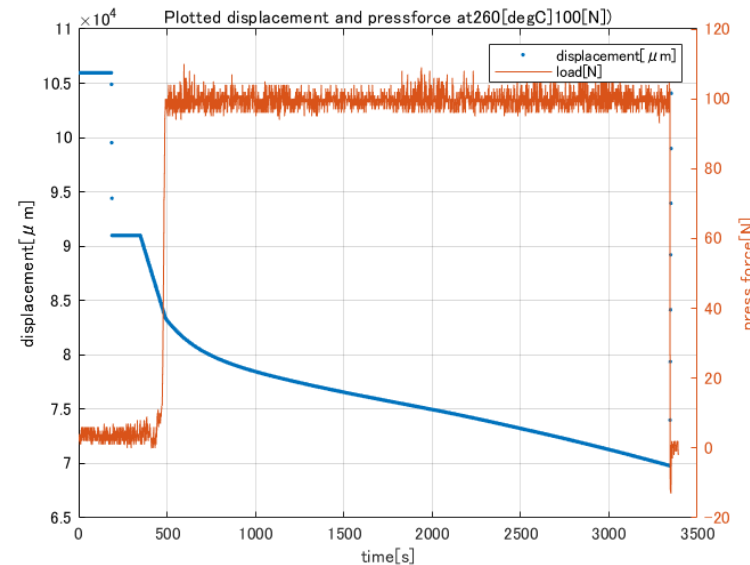
実験結果

IIR-SF2

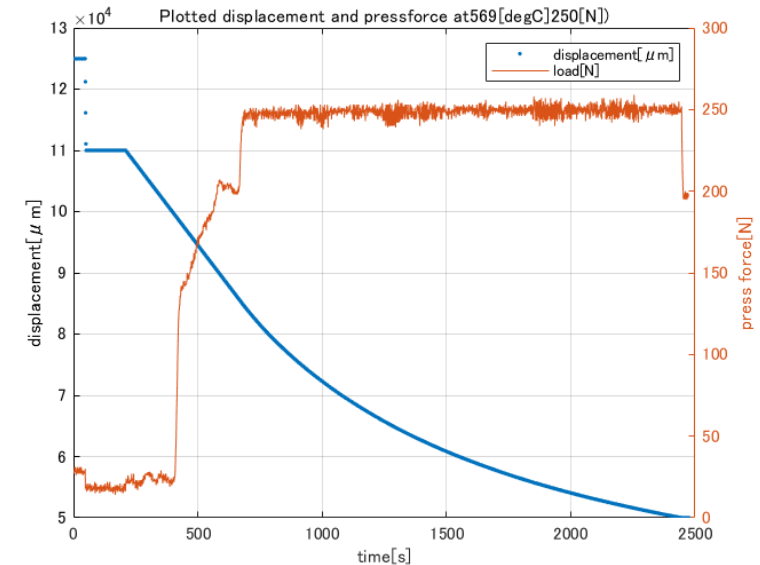
④ 270°C, 50N



⑤ 260°C, 100N



K-PBK40



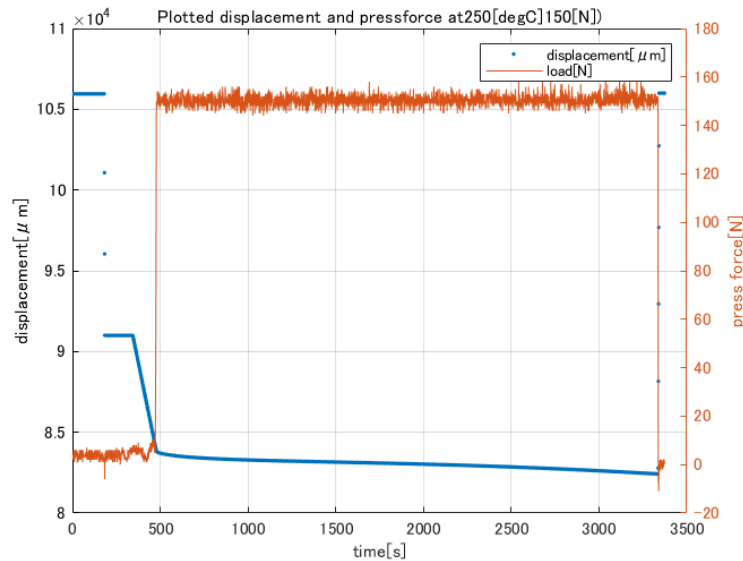
④,⑤クリープ曲線が明瞭に観察できた。

無機質なガラス(K-PBK40)と比較すると異なる形のクリープ曲線を描いていることが分かった。
要因として、2つ以上の粘性が混ざった非ニュートン粘性の可能性がある。

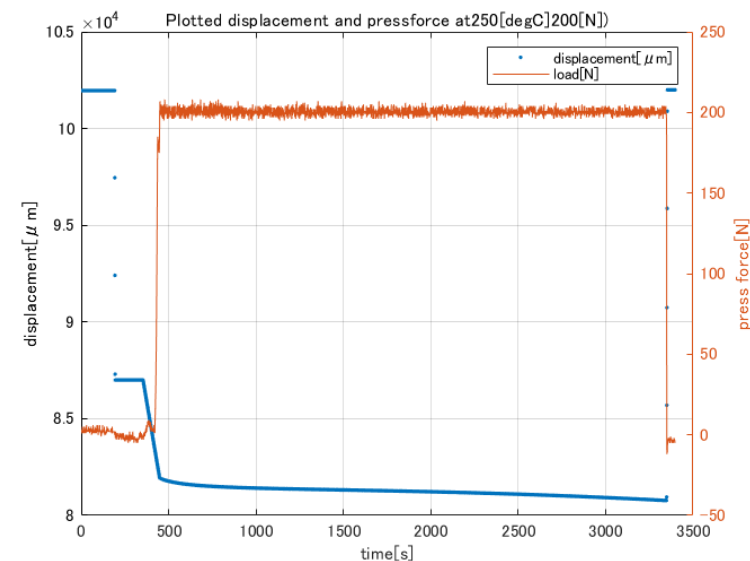
→④,⑤に続くように、⑥も温度を10°C下げて行った。

実験結果

⑥ 250°C, 150N



⑦ 250°C, 200N



⑥,⑦温度を250°Cまで下げたところで、圧縮位置が、ほとんど進まなかった。

⑥圧縮荷重を200Nまで上げたが、ほとんど進んでいなかった。

試料がとても硬くなったことが分かる。

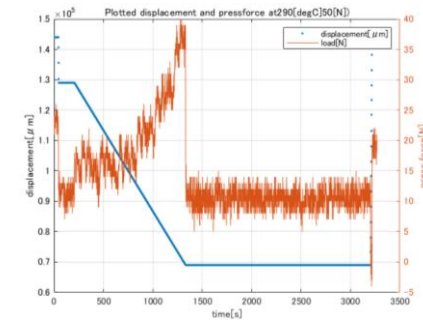
→クリープ曲線を観察するには、250°C以上の温度で実験を行う必要があることが分かった。

考察

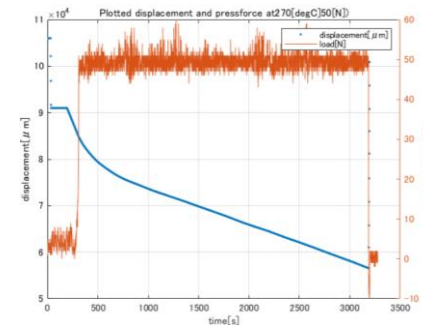
今回のクリープ試験で以下のことが分かり、考えられる。

- ・ 軟化点と屈伏点の midpoint の 290°C で実験を始めたが、予想より試料が柔らかかったため、クリープ曲線が観察できたのは、 20°C 低い、 270°C であった。
(② 290°C , 50N)
- ・ 無機質なガラスと異なるクリープ曲線を描いており、以下の2点が考えられる。(④ 270°C , 50N)
 - ・ Norton則に沿わない
 - ・ 重畳している。
- ・ 250°C 以下の温度では、試料が硬く、試験条件に好ましくない。
(⑦ 250°C , 200N)

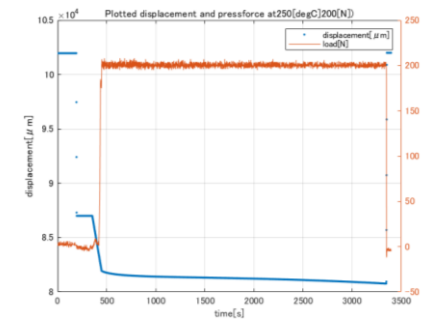
② 290°C , 50N



④ 270°C , 50N



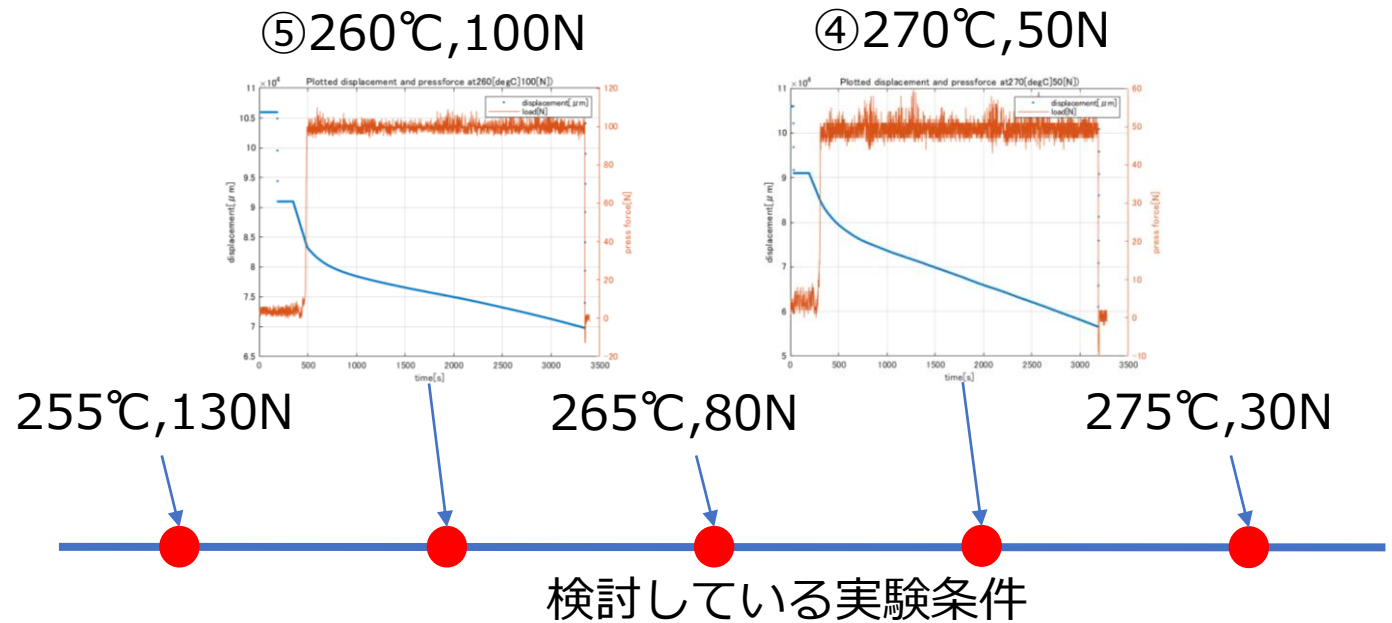
⑦ 250°C , 200N



考察

クリープ試験の今後の指針

- 実験条件④270℃,50Nと⑤260℃,100Nでは、クリープ曲線が観察することができた。
今後、260℃と270℃の5℃差がある以下のような実験条件を行う。
- 検討している実験条件
 - 255℃,130N
 - 265℃,80N
 - 275℃,30N



ご清聴ありがとうございました