

V-Glace開発成果報告 および事例紹介

インテグレーションテクノロジー（株）
理研、ガラス成形・光学シミュレーション研究チーム
石山英二

内容

- 背景
- V-Glanceの開発状況
- GMシミュレーションシステム「V-Glance」
- 事例紹介
- チュートリアルセミナーの紹介（アイ・フォース今田さん）



背景

GMとGMシミュレーションの問題点

研究開発の概要

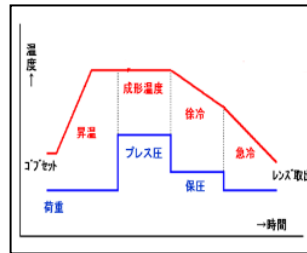
- ガラスレンズは、プラスチックに比べ、耐候性や光学性能が優れているが、製造は困難。
- ①高温での成形が必要なガラスプレス成形では、金型設計・製作後の成形トライ・金型修正・成形条件探索の繰り返しに多くの時間・コストが掛かる。
- ②シミュレーションによる効率化が求められているが、ソフトウェアは上市されていない。



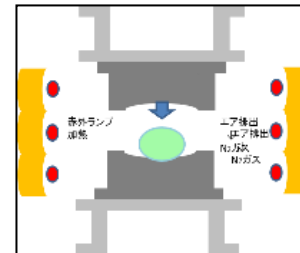
1カ月以下に短縮



金型製作



成形条件



成形イメージ



交換レンズ



ヘッドアップ
ディスプレイ



スマートウォッチ



衝突安全
自動運転

理研VCADプロジェクト(2001-2011)の成果を元にして、ガラス物性を組み込むことにより、粘弾性・構造緩和といったガラス物性を根本からシミュレートする、ガラス専用のシミュレーションソフトウェアを開発する。

ガラスレンズ製造方法の課題

□研削・研磨で作る

- 球面レンズの場合：一度に大量加工ができる優れた方法
- 非球面レンズの場合：超精密加工機で1個ずつ製造→効率悪い
- 廃棄物が多い→削り屑、研磨剤、砥石

□プレス成形（ガラスモールド）で作る

- 金型を超精密加工機で製作する
- 金型を使って、成形機（プレス機）で1個ずつ製造
 - 加熱・冷却プロセスがあるので、とても効率がいいとは言えない
 - 多段式の成型機を使うと連続的に成形できるので、効率はまあまあ
 - 小さなものなら、多数個取り金型を使うことで、複数同時成形もできる
- 製造工程で廃棄物はない



ガラスモールド (GM) で製造したい

- 金型の問題：重い（扱いづらい） 硬い（加工が困難） 高価（試行錯誤に不向き）
 - 高温（600～700℃）に耐える必要があるため特殊な材料を使う
 - 超硬合金、SiC、など

- 工程の問題：成形条件の決定・最適化、問題点の解決が難しい
 - 高温の温度制御が難しい
 - 割れる、きれいに伸びない
 - 熱収縮のため形状が歪んで、設計どおりの光学性能が出ない
 - 残留応力のため屈折率が変わって、設計どおりの光学性能が出ない
 - 金型内のガラスは見えないので、いつ・どこで問題が発生したか分からない



シミュレーションを使って、成形条件の決定・最適化をしたい

GMシミュレーションの課題




- ガラスの物性が複雑：考慮すべき物理現象が多い
 - 粘弾性、構造緩和、・・・
 - 応力、熱膨張・熱収縮、摩擦、金型への融着、・・・
- ガラスの種類が多い：
 - ガラス材料メーカーも多い
 - プレス成形用ガラス材料ラインナップも多い



- ガラス専用のシミュレーションソフトウェアが無い
 - 市販の汎用シミュレーションソフトを使っている場合が多い
 - ガラス物性の計算式が実装されていない
 - ガラス物性値が分からない



ガラス専用のシミュレーションソフトウェアが期待される

<p>12 つくる責任 つかう責任</p> 	<p>【持続可能な消費と生産】 ガラスモールドは、製造時に廃棄物を出さない ガラスモールドは、レアメタル（酸化セリウム）を使わない</p>
<p>9 産業と技術革新の 基盤をつくらう</p> 	<p>【インフラ、産業化、イノベーション】 ガラスモールドで製造した非球面レンズ・自由曲面ガラスを用いることで、光学素子の性能が向上する</p>
<p>8 働きがいも 経済成長も</p> 	<p>【経済成長と雇用】 ガラスモールドシミュレーションを用いることで、勘と経験が必要だったGM工程の様々な条件出しができるので、ガラスモールドを使いやすくなる</p>



V-Glance開発状況

2017年以前

□VCADシステム研究プログラムの成果物を組み合わせてシステムを構築

□2014年、光学素子分科会発足

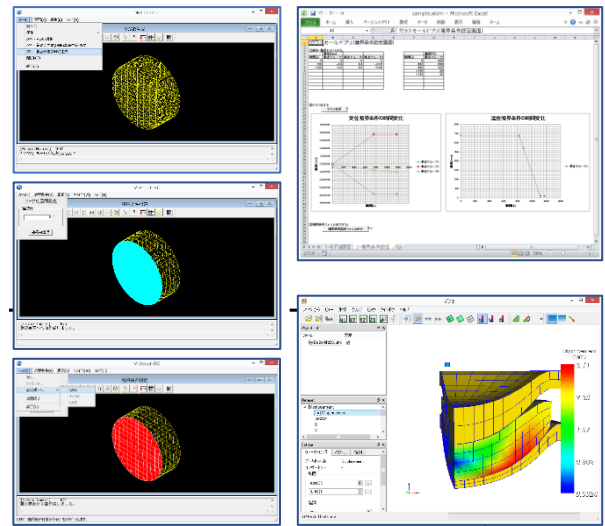
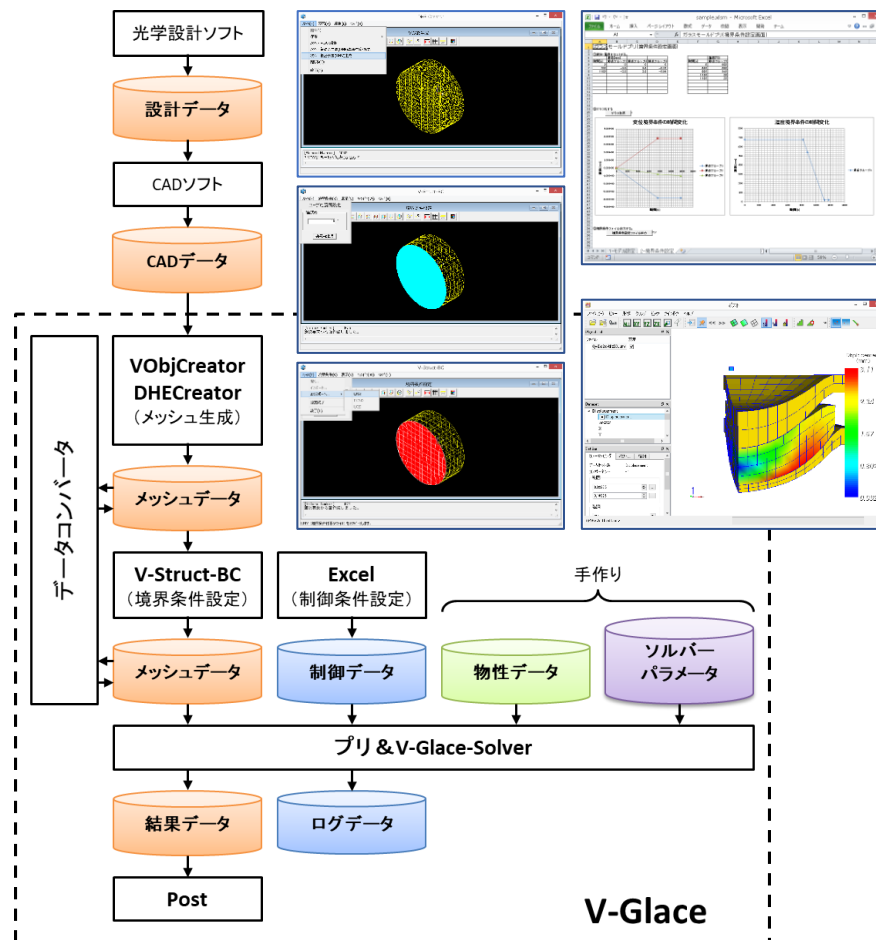
第1回光学素子分科会



- 日時:平成26年6月10日(火曜日)
- 場所:理化学研究所 和光本所(埼玉県 和光市 広沢2-1)
- アジェンダ
- 13:30-13:40 開会挨拶 牧野内昭武(理研)
- 13:40-14:00 趣旨説明 山形豊(理研)
- 14:00-14:35 基調講演① 相澤龍彦(芝浦工大)
「ガラス光学素子成形シミュレーションの機能設計」
- 14:35-15:10 基調講演② 鈴木浩文(中部大)
「単結晶ダイヤモンド製マイクロフライス工具による超硬合金型の超精密切削」
- 15:10-15:30 ~~~ 休憩 ~~~
- 15:30-16:30 研究開発報告
- 「離散的形状表現手法を用いた高精度非球面光学素子シミュレーションと製造支援技術への応用」 森田晋也(理研)
- 「ガラスモールドシミュレーションコードの開発」 石山英二(ITC)
- 16:30-17:00 理研 先端光学素子開発チーム/技術基盤支援チーム 見学会
- 17:00-17:30 全体討論
- 17:30-19:30 懇親会

2015/06/18 インテグレーションテクノロジー(株) 30

□2015年、最初の評価版リリース



□理研のVCADシステム研究プログラム（2001～2011）で開発された弾塑性構造解析ソフトウェア

□理研がソースコード著作権を保有

□実行プログラムは無償で一般公開中

□機能

□静的陽解法ソルバー

□四面体、六面体、ピラミッド、プリズム、縮退六面体、複合要素に対応

□縮退六面体メッシュにより体積ロッキング現象を回避し、大変形の弾塑性解析が可能

□様々な要素タイプによる非線形構造解析、塑性加工シミュレーションが可能

□展開

□先端力学シミュレーション研究所：ASU/P-form

□トライアルパーク：TP-STRUCT

など



2017年4月

□ ガラス成形・光学シミュレーション研究チーム発足

□ 産業界との融合的連携研究制度

□ 5年間の時限プロジェクト

□ 理研とITCの共同研究

□ 製品化のための実用化研究開発を行う

□ ガラス成形シミュレーション：V-Glace

□ 光線追跡シミュレーション：V-Opt Suite

□ メンバー

□ チームリーダー： 石山英二（ITC）

□ 副チームリーダー： 山形豊（理化学研究所）

□ 研究員： 中林啓司、永田裕作（理化学研究所）

□ 客員研究員： 森田晋也（東京電機大学）

相澤龍彦（表面機能デザイン研究所、芝浦工業大学）

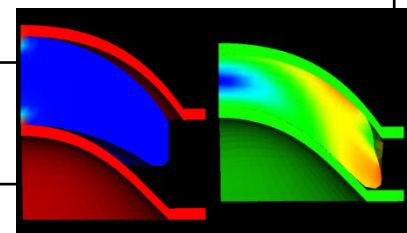
福田達也（東海エンジニアリングサービス）

福山聡（芝浦機械）

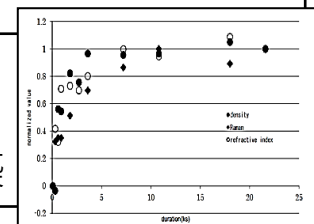
船田浩良、山田和夫、武安裕一（ITC）



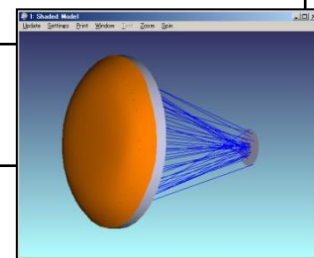
	H29	H30	H31 / R1	R2	R3
ソルバー	動作上の不安定要因の解析と対策：主に接触処理の改良・ロバスト化 処理時間の短縮、演算の高速化				
制御方式	実用的な成形条件の実装・多様化：例えば荷重制御、輻射加熱、空冷など				
メッシュ	良質な六面体メッシュの生成				
システム化	統一的で操作性の良いユーザーインターフェイスの構築				
物性測定	粘弾性、構造緩和特性の測定方法の確立 熱伝達係数、摩擦係数の同定 代表的な硝材ラインナップの測定と、物性データベースの構築				
評価	ユーザ評価				
光学ソフト連携	光学設計ソフトウェアCODE-V、ZEMAXなどとの連携強化 プラグインの開発・高精度化				



メニスカスレンズ成形



ラマンスペクトルと構造緩和

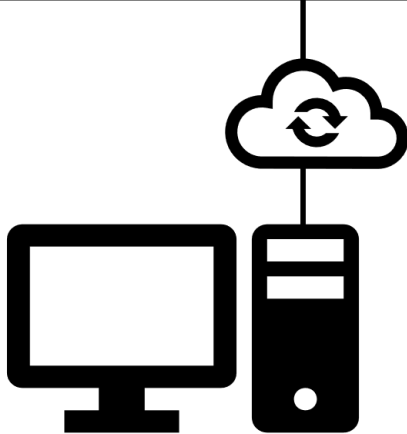
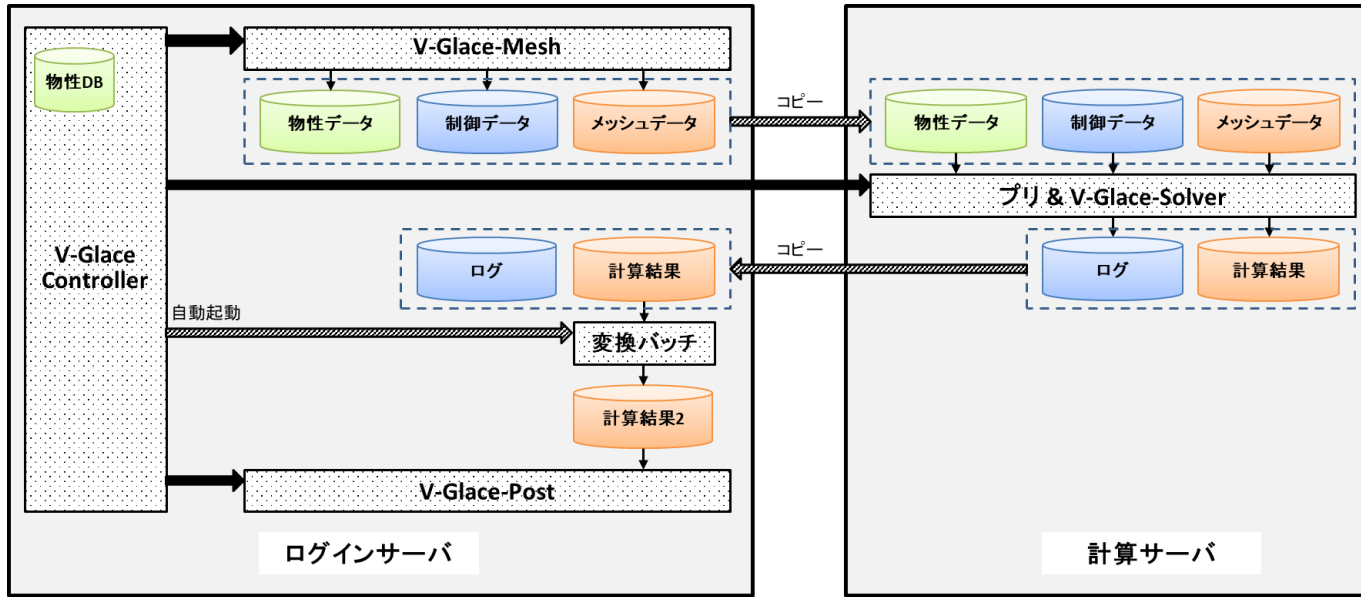


ZEMAXとV-Opt2

研究開発実績

	H29	H30	H31 / R1	R2	R3
ソルバー	コード精査	高速化	接触問題解決 高速化②	接触解析高度化	接触解析高度化
制御方式		荷重制御検討 輻射加熱検討	荷重制御試作	初期温度分布の 導入	制御高度化検討
メッシュ	六面体メッシュ 導入	ボールレンズ メニスカスレン ズ	薄板 リング圧縮	スマホガラス レンズアレイ スリーブ構造	360度モデル 芯ずれ構造 カスタムモデル
システム化	簡易GUI導入		GUI統合	制御入力GUI グラフ強化	情報表示 クラウド化試作
物性測定	手法検討	実験装置導入	粘弾性測定 摩擦係数測定	硝材5種測定	物性DB構築 構造緩和測定
評価		試用版評価 成形機導入	試用版評価② 成形実験	β 版評価 チュートリアル	形状誤差評価 熱収縮評価 ダイレクトプレ ス適用検討
光学ソフト連 携					成形～光学性能 評価フロー試作
事業化			販売準備	マニュアル作成	販売開始

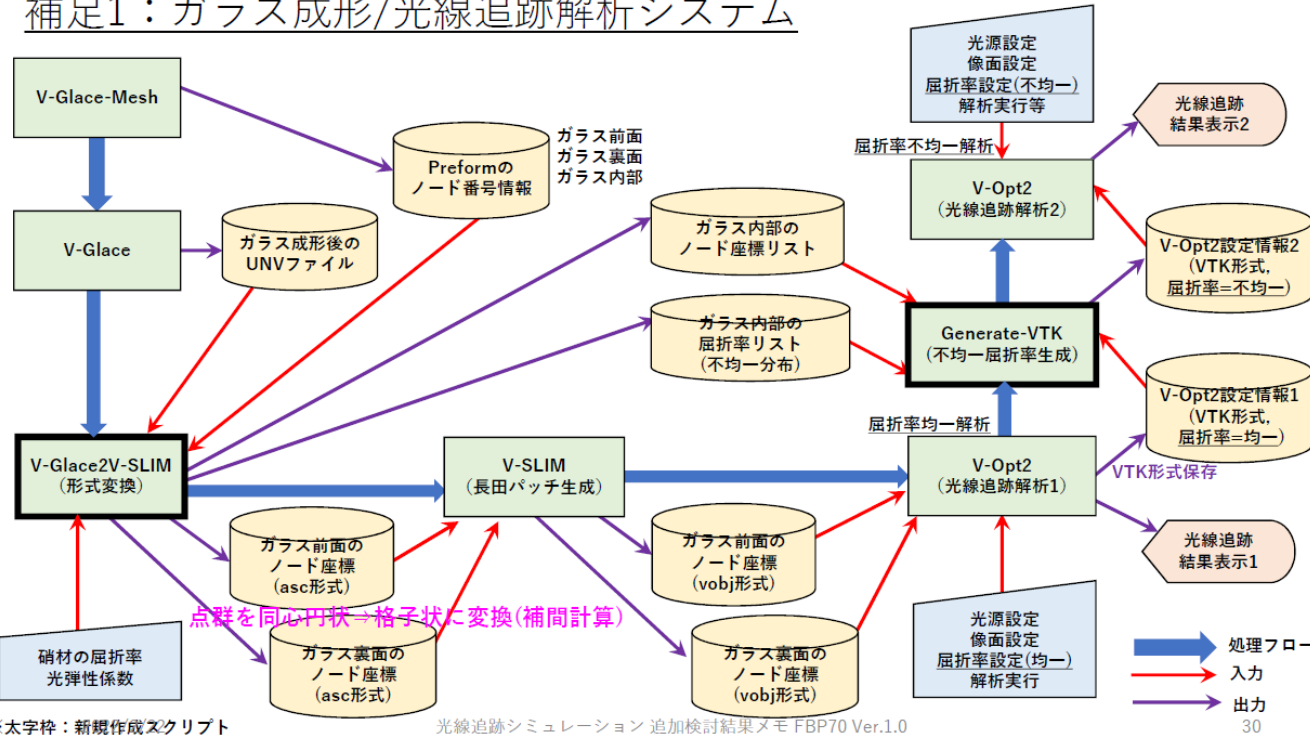
R3の主な開発①クラウド化試作



- ・ システム試作とフェージビリティテストを実施
- ・ スケーラビリティ：モデルデータの規模、希望計算時間に応じて、計算サーバのスペックを選択できる
- ・ セキュリティ：ユーザ対外部、ユーザ同士、ユーザ対システム

R3の主な開発②光学ソフト連携試作

補足1：ガラス成形/光線追跡解析システム



- ・ V-Glace、V-Slim2、V-Opt2による局所形状誤差と内部屈折率分布を考慮した光学性能評価フローを試作
- ・ V-Glace-Meshの節点構成（放射状）が、V-Slim2の異方性圧縮と相性が良くない
- ・ 継続検討する

R3の主な開発③制御高度化検討

- 成形機の温度制御・プレス制御ロジックに制御対象のモデルを組み込み、高度化する
 - 加熱時間の短縮
 - 温度一定性・一様性の向上、などをねらう
- 現行のガラス物性試験装置のヒーター加熱制御部を改造し、原理検証を行う
 - PID温度制御を、最新の現代制御理論のモデル予測制御(MPC)で作り直す
 - MPCアルゴリズムを制御器に組み込み、試験装置のヒーター温度を制御する
 - (協力：京都大学 大学院情報学研究科 システム科学専攻 大塚敏之先生)

<h3>ヒーター改良</h3> <ul style="list-style-type: none"> 250W中赤外セラミックヒーターを上下それぞれ4個づつ使用。 前面を扉として、サンプルの出し入れを容易に 金属筐体で酸素濃度を下げる。 <p>2021/12/8</p>	<h3>ヒーター制御系</h3> <ul style="list-style-type: none"> ヒーター温度と金型温度を独立したPID制御装置で調整 <ul style="list-style-type: none"> ヒータは、熱電対内蔵、上限温度超過を防止、4個並列駆動 金型は上下から熱電対を挿入 上下の金型温度を個別に制御 <p>2021/12/8</p>	<h3>非線形モデル予測制御 (NMPC) 評価関数</h3> $J = \frac{1}{2} e(t+T)^T S_f e(t+T) + \int_t^{t+T} \frac{1}{2} (e^T Q e + d^T R d) dt$ $e = x - \bar{x}, \quad \dot{d} = u - \bar{u}$ $S_f = \text{diag}(s_{f1}, s_{f2}, s_{f3}, s_{f4}), \quad Q = \text{diag}(q_1, q_2, q_3, q_4), \quad R = \text{diag}(r_1, r_2)$ <p>2022/1/16</p>
--	---	---

R3の主な開発④ダイレクトプレス検討

- ポイント：リヒートプレスに比べ、遥かに高い温度からプロセスが開始する

- 軟化点よりも高温領域の取り扱い
 - 極度に粘度の小さい固体として解析を行う
 - 物性データは、軟化点～屈伏点～転移点の数値を外挿して用いる
 - ※特に、粘性については、測定値を温度を含む式でフィッティングして決定しているため、信頼性高く外挿ができる

- ガラスの初期条件（形状、温度）の設定
 - 大まかに設定する
 - 形状：潰れた楕円体
 - 温度：炉内よりも少し温度が下がった状態

- 事例
 - 企業・東京電機大・理研の共同研究でトライアル中



GMシミュレーションシステム「V-Glace」

概要

トップ画面

V-Glace Controller

・ 硝材選択 **オハラ-L-BAL42**

・ 金型材選択 **超硬合金**

オハラ-L-BAL42 が選択されています
超硬合金 が選択されています

V-Glace-Mesh Pro

V-Glace-Post

・ オプション

結果変換(計算中)

結果変換(計算停止中)

V-Glaceマニュアルを開く

POSTマニュアルを開く

・ ソルバーパラメータ選択 **0 (標準)**

ソルバーパラメータの(標準)が選択されています

Ver.2021.10.12
Rev.2021.11.01

パラメータ表示

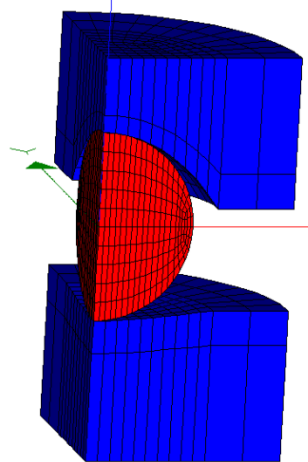
プリフォーム球直径 Dore = [10]
 プリフォーム上下比率 Apre = [1]
 タイ高さ Td = [0]

上ダイ内直径 DinU = [12.6]
 上ダイ-表面半径 (-で凹) Rup = [-5.46]
 上ダイ-内径係数 K = [-0.7277]

下ダイ内直径 DinL = [12.6]
 下ダイ-表面半径 (-で凹) Rlo = [-19.41]
 下ダイ-内径係数 K = [-59.85]

プリフォーム上下分割数 (5以上) Nz = [10]
 プリフォーム水平分割数 (4以上) Nr = [14]
 モデル周方向分割数 (楕円) Nt = [2]
 タイ水平方向分割数 (Nt以上) Dr = [10]

* V-Glace-Mesh-1.43924 Script=1.57782 * DEMO



ソリッド選択 | 描画 | Nisa 面番 | 1 2 3 4 5 6 全て | 節点・要素を | 削除 | グレー | 完全属性 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | 101 | 102 | 103 | 104 | 105 | 106 | 107 | 108 | 109 | 110 | 111 | 112 | 113 | 114 | 115 | 116 | 117 | 118 | 119 | 120 | 121 | 122 | 123 | 124 | 125 | 126 | 127 | 128 | 129 | 130 | 131 | 132 | 133 | 134 | 135 | 136 | 137 | 138 | 139 | 140 | 141 | 142 | 143 | 144 | 145 | 146 | 147 | 148 | 149 | 150 | 151 | 152 | 153 | 154 | 155 | 156 | 157 | 158 | 159 | 160 | 161 | 162 | 163 | 164 | 165 | 166 | 167 | 168 | 169 | 170 | 171 | 172 | 173 | 174 | 175 | 176 | 177 | 178 | 179 | 180 | 181 | 182 | 183 | 184 | 185 | 186 | 187 | 188 | 189 | 190 | 191 | 192 | 193 | 194 | 195 | 196 | 197 | 198 | 199 | 200 | 201 | 202 | 203 | 204 | 205 | 206 | 207 | 208 | 209 | 210 | 211 | 212 | 213 | 214 | 215 | 216 | 217 | 218 | 219 | 220 | 221 | 222 | 223 | 224 | 225 | 226 | 227 | 228 | 229 | 230 | 231 | 232 | 233 | 234 | 235 | 236 | 237 | 238 | 239 | 240 | 241 | 242 | 243 | 244 | 245 | 246 | 247 | 248 | 249 | 250 | 251 | 252 | 253 | 254 | 255 | 256 | 257 | 258 | 259 | 260 | 261 | 262 | 263 | 264 | 265 | 266 | 267 | 268 | 269 | 270 | 271 | 272 | 273 | 274 | 275 | 276 | 277 | 278 | 279 | 280 | 281 | 282 | 283 | 284 | 285 | 286 | 287 | 288 | 289 | 290 | 291 | 292 | 293 | 294 | 295 | 296 | 297 | 298 | 299 | 300 | 301 | 302 | 303 | 304 | 305 | 306 | 307 | 308 | 309 | 310 | 311 | 312 | 313 | 314 | 315 | 316 | 317 | 318 | 319 | 320 | 321 | 322 | 323 | 324 | 325 | 326 | 327 | 328 | 329 | 330 | 331 | 332 | 333 | 334 | 335 | 336 | 337 | 338 | 339 | 340 | 341 | 342 | 343 | 344 | 345 | 346 | 347 | 348 | 349 | 350 | 351 | 352 | 353 | 354 | 355 | 356 | 357 | 358 | 359 | 360 | 361 | 362 | 363 | 364 | 365 | 366 | 367 | 368 | 369 | 370 | 371 | 372 | 373 | 374 | 375 | 376 | 377 | 378 | 379 | 380 | 381 | 382 | 383 | 384 | 385 | 386 | 387 | 388 | 389 | 390 | 391 | 392 | 393 | 394 | 395 | 396 | 397 | 398 | 399 | 400 | 401 | 402 | 403 | 404 | 405 | 406 | 407 | 408 | 409 | 410 | 411 | 412 | 413 | 414 | 415 | 416 | 417 | 418 | 419 | 420 | 421 | 422 | 423 | 424 | 425 | 426 | 427 | 428 | 429 | 430 | 431 | 432 | 433 | 434 | 435 | 436 | 437 | 438 | 439 | 440 | 441 | 442 | 443 | 444 | 445 | 446 | 447 | 448 | 449 | 450 | 451 | 452 | 453 | 454 | 455 | 456 | 457 | 458 | 459 | 460 | 461 | 462 | 463 | 464 | 465 | 466 | 467 | 468 | 469 | 470 | 471 | 472 | 473 | 474 | 475 | 476 | 477 | 478 | 479 | 480 | 481 | 482 | 483 | 484 | 485 | 486 | 487 | 488 | 489 | 490 | 491 | 492 | 493 | 494 | 495 | 496 | 497 | 498 | 499 | 500 | 501 | 502 | 503 | 504 | 505 | 506 | 507 | 508 | 509 | 510 | 511 | 512 | 513 | 514 | 515 | 516 | 517 | 518 | 519 | 520 | 521 | 522 | 523 | 524 | 525 | 526 | 527 | 528 | 529 | 530 | 531 | 532 | 533 | 534 | 535 | 536 | 537 | 538 | 539 | 540 | 541 | 542 | 543 | 544 | 545 | 546 | 547 | 548 | 549 | 550 | 551 | 552 | 553 | 554 | 555 | 556 | 557 | 558 | 559 | 560 | 561 | 562 | 563 | 564 | 565 | 566 | 567 | 568 | 569 | 570 | 571 | 572 | 573 | 574 | 575 | 576 | 577 | 578 | 579 | 580 | 581 | 582 | 583 | 584 | 585 | 586 | 587 | 588 | 589 | 590 | 591 | 592 | 593 | 594 | 595 | 596 | 597 | 598 | 599 | 600 | 601 | 602 | 603 | 604 | 605 | 606 | 607 | 608 | 609 | 610 | 611 | 612 | 613 | 614 | 615 | 616 | 617 | 618 | 619 | 620 | 621 | 622 | 623 | 624 | 625 | 626 | 627 | 628 | 629 | 630 | 631 | 632 | 633 | 634 | 635 | 636 | 637 | 638 | 639 | 640 | 641 | 642 | 643 | 644 | 645 | 646 | 647 | 648 | 649 | 650 | 651 | 652 | 653 | 654 | 655 | 656 | 657 | 658 | 659 | 660 | 661 | 662 | 663 | 664 | 665 | 666 | 667 | 668 | 669 | 670 | 671 | 672 | 673 | 674 | 675 | 676 | 677 | 678 | 679 | 680 | 681 | 682 | 683 | 684 | 685 | 686 | 687 | 688 | 689 | 690 | 691 | 692 | 693 | 694 | 695 | 696 | 697 | 698 | 699 | 700 | 701 | 702 | 703 | 704 | 705 | 706 | 707 | 708 | 709 | 710 | 711 | 712 | 713 | 714 | 715 | 716 | 717 | 718 | 719 | 720 | 721 | 722 | 723 | 724 | 725 | 726 | 727 | 728 | 729 | 730 | 731 | 732 | 733 | 734 | 735 | 736 | 737 | 738 | 739 | 740 | 741 | 742 | 743 | 744 | 745 | 746 | 747 | 748 | 749 | 750 | 751 | 752 | 753 | 754 | 755 | 756 | 757 | 758 | 759 | 760 | 761 | 762 | 763 | 764 | 765 | 766 | 767 | 768 | 769 | 770 | 771 | 772 | 773 | 774 | 775 | 776 | 777 | 778 | 779 | 780 | 781 | 782 | 783 | 784 | 785 | 786 | 787 | 788 | 789 | 790 | 791 | 792 | 793 | 794 | 795 | 796 | 797 | 798 | 799 | 800 | 801 | 802 | 803 | 804 | 805 | 806 | 807 | 808 | 809 | 810 | 811 | 812 | 813 | 814 | 815 | 816 | 817 | 818 | 819 | 820 | 821 | 822 | 823 | 824 | 825 | 826 | 827 | 828 | 829 | 830 | 831 | 832 | 833 | 834 | 835 | 836 | 837 | 838 | 839 | 840 | 841 | 842 | 843 | 844 | 845 | 846 | 847 | 848 | 849 | 850 | 851 | 852 | 853 | 854 | 855 | 856 | 857 | 858 | 859 | 860 | 861 | 862 | 863 | 864 | 865 | 866 | 867 | 868 | 869 | 870 | 871 | 872 | 873 | 874 | 875 | 876 | 877 | 878 | 879 | 880 | 881 | 882 | 883 | 884 | 885 | 886 | 887 | 888 | 889 | 890 | 891 | 892 | 893 | 894 | 895 | 896 | 897 | 898 | 899 | 900 | 901 | 902 | 903 | 904 | 905 | 906 | 907 | 908 | 909 | 910 | 911 | 912 | 913 | 914 | 915 | 916 | 917 | 918 | 919 | 920 | 921 | 922 | 923 | 924 | 925 | 926 | 927 | 928 | 929 | 930 | 931 | 932 | 933 | 934 | 935 | 936 | 937 | 938 | 939 | 940 | 941 | 942 | 943 | 944 | 945 | 946 | 947 | 948 | 949 | 950 | 951 | 952 | 953 | 954 | 955 | 956 | 957 | 958 | 959 | 960 | 961 | 962 | 963 | 964 | 965 | 966 | 967 | 968 | 969 | 970 | 971 | 972 | 973 | 974 | 975 | 976 | 977 | 978 | 979 | 980 | 981 | 982 | 983 | 984 | 985 | 986 | 987 | 988 | 989 | 990 | 991 | 992 | 993 | 994 | 995 | 996 | 997 | 998 | 999 | 1000

メッシュ画面

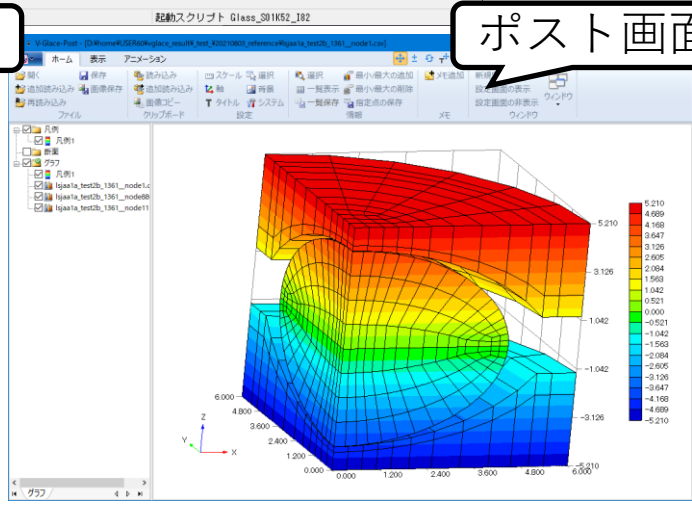
ソルバー実行画面

起動スクリプト Glass_S01K52_182

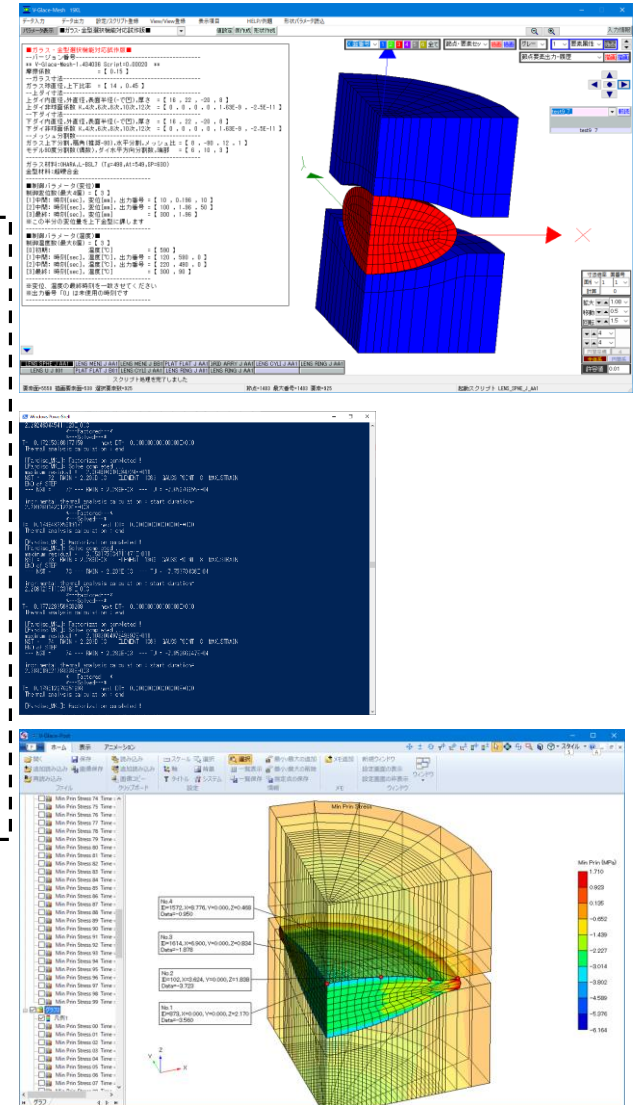
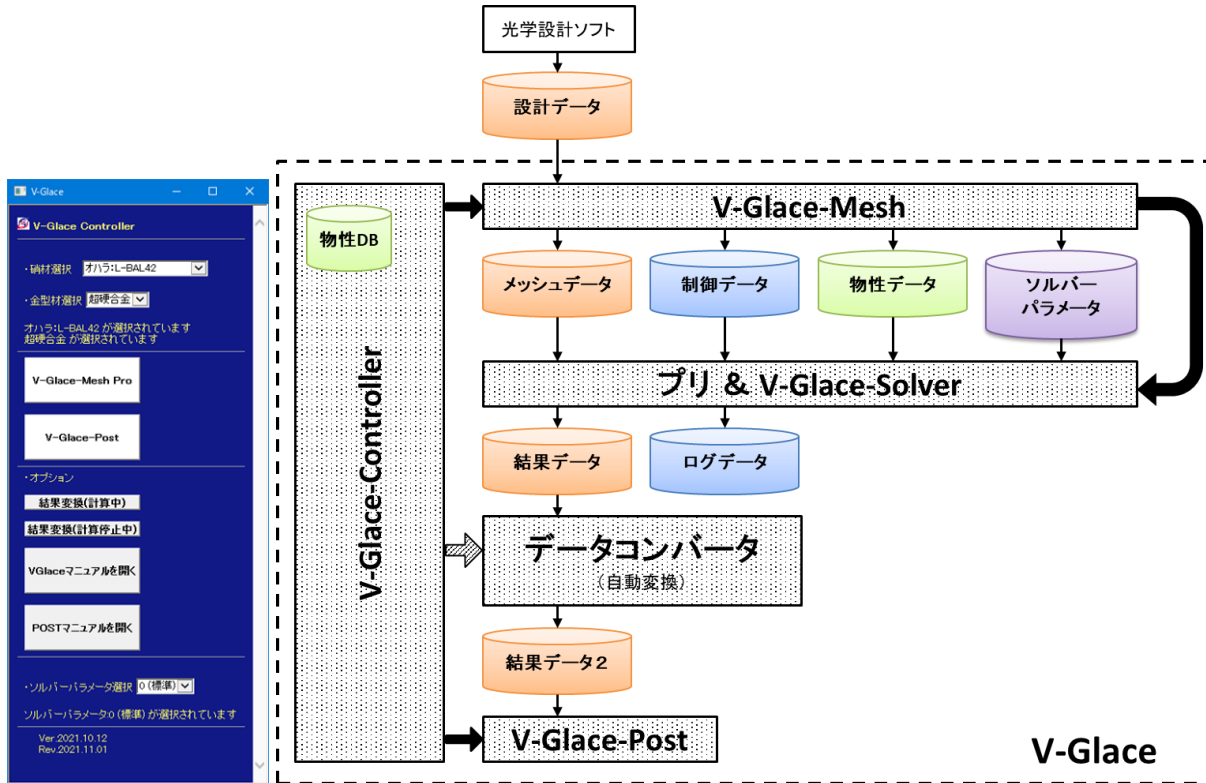
```

Windows PowerShell
4.292483143411028E-008
PS C:\Program Files (x86)\V-Glace\bin> .\V-Glace.exe
***Factored***
T: 0.17285288177252 --- next DT: 0.000000000000000E+000
Thermal analysis calculation : end
[Pardiso_M3]: Factorization completed !
[Pardiso_M3]: Solve completed
maximum residual = 3.84689310584724E-011
NST = 72 --- RMIN = 2.289E-03 --- ELEMENT 1383 GAUSS POINT 8 MAX_STRAIN
END of STEP
--- NST = 72 --- RMIN = 2.289E-03 --- TU = -7.65378655E-04
Incremental thermal analysis calculation : start duration
2.28928914201222E-003
***Factored***
T: 0.17484229391917 --- next DT: 0.000000000000000E+000
Thermal analysis calculation : end
[Pardiso_M3]: Factorization completed !
[Pardiso_M3]: Solve completed
maximum residual = 3.05817934711471E-011
NST = 73 --- RMIN = 2.289E-03 --- ELEMENT 1383 GAUSS POINT 8 MAX_STRAIN
END of STEP
--- NST = 73 --- RMIN = 2.289E-03 --- TU = -7.7537849E-04
Incremental thermal analysis calculation : start duration
2.28912191169181E-003
***Factored***
T: 0.17722998820201 --- next DT: 0.000000000000000E+000
Thermal analysis calculation : end
[Pardiso_M3]: Factorization completed !
[Pardiso_M3]: Solve completed
maximum residual = 2.1032049784887E-011
NST = 74 --- RMIN = 2.289E-03 --- ELEMENT 1383 GAUSS POINT 8 MAX_STRAIN
END of STEP
--- NST = 74 --- RMIN = 2.289E-03 --- TU = -7.85368847E-04
Incremental thermal analysis calculation : start duration
2.2891950178225E-003
***Factored***
T: 0.17951227851993 --- next DT: 0.000000000000000E+000
Thermal analysis calculation : end
[Pardiso_M3]: Factorization completed !
    
```

ポスト画面



V-Glaceのシステム構成



□ ソルバー

□ 三次元ソルバー

□ 構造解析と熱解析の連成解析

□ 六面体メッシュと静的陽解法有限要素法ソルバーによる、大変形でも安定な計算

□ ガラス物性をサポート

□ 粘弾性構成則（温度依存に拡張したNorton則）

□ 熱膨張

□ 金型の弾性変形を考慮した変形体接触をサポート

□ 金型－ガラス間の摩擦のサポート

□ 構造緩和解析による仮想温度評価（評価中）

□ パラメータ入力型プリプロセッサによる、簡単な六面体メッシュ生成

□ 応力・変位・温度の分布、プレス力、表面形状を評価できるポストプロセッサ

□ 3種類のGM用光学ガラス、2種類の金型の物性データを搭載

□ ガラス：OHARA L-BSL7、L-BAL42、L-TIM28

□ 金型：超硬合金、SiC

□ ノートPCで計算可能



V-Glanceの特長②

□プレス制御

□金型変位制御

□金型変位制御（荷重上限付き） …… ver.2で実装

□金型荷重制御（変位上限付き） …… ver.2で実装

□加熱・冷却制御

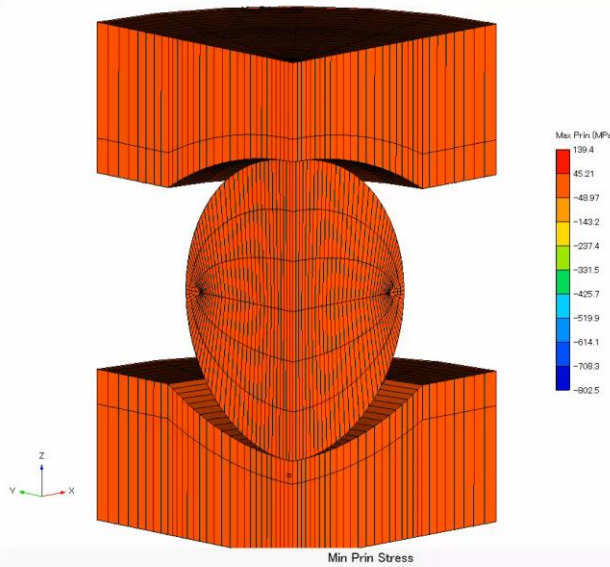
□金型温度制御

□輻射加熱 …… 別ソフトとの連携

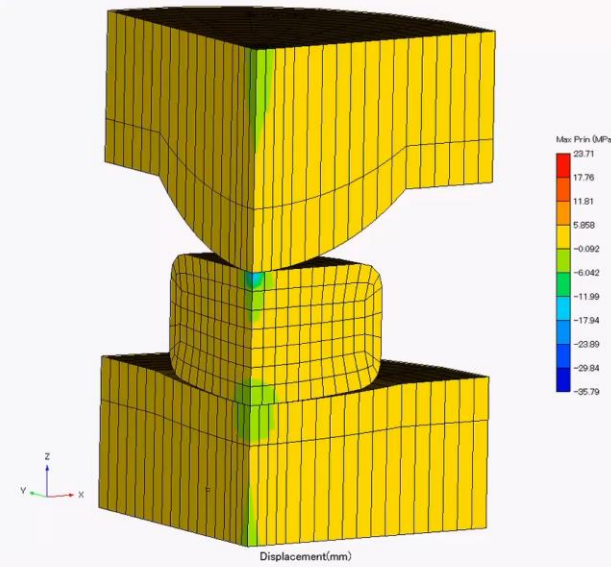
□エアフローによる冷却 …… 別ソフトとの連携

シミュレーション結果の例①

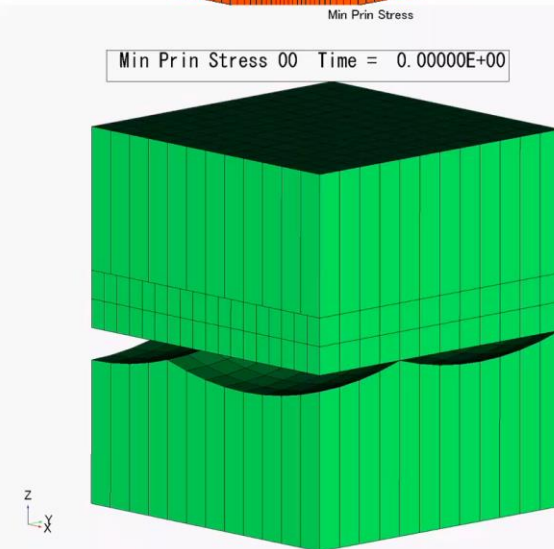
鍔付き
レンズ



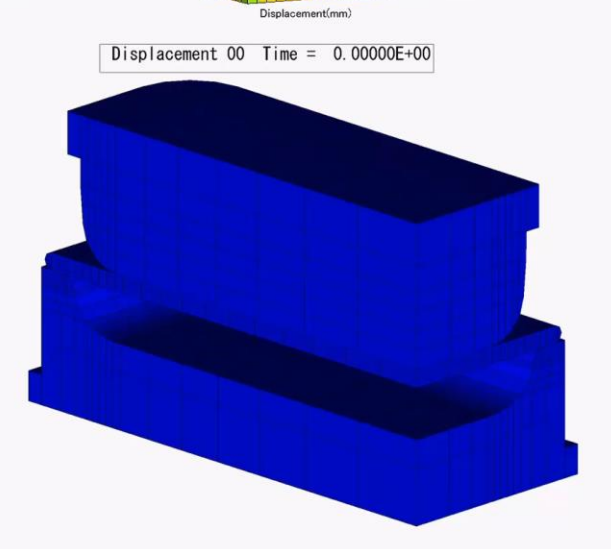
メニスカス
レンズ
(片凸片凹)



マイクロ
レンズ
アレイ

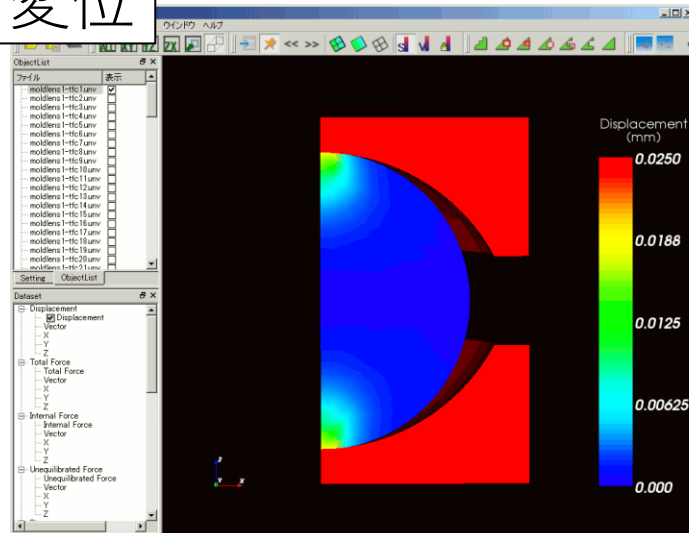


スマホ
曲面ガラス
(2次元曲げ)

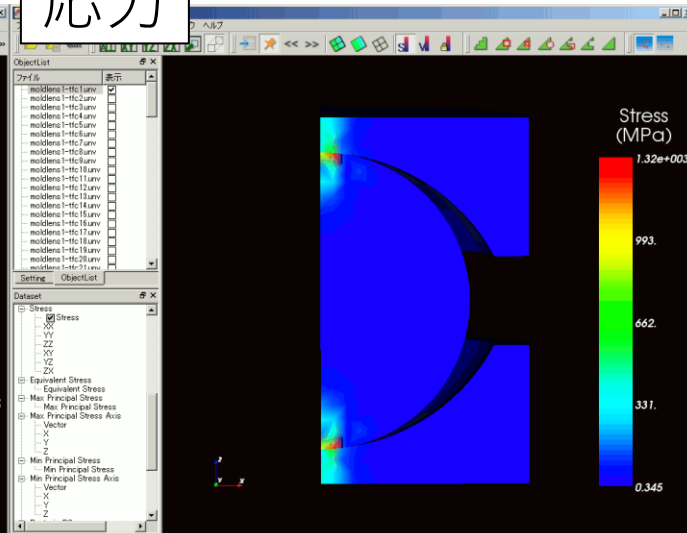


シミュレーション結果の例②

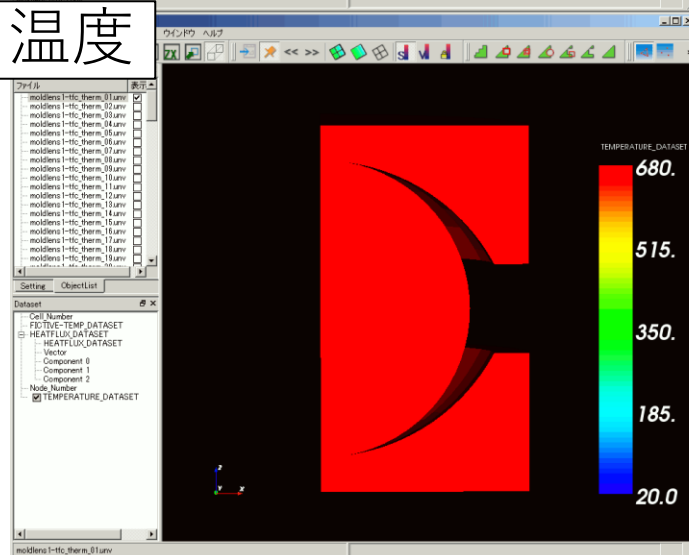
変位



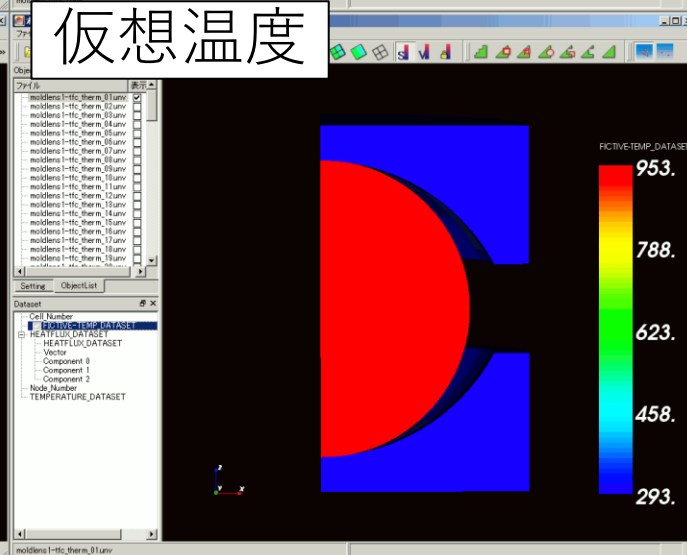
応力



温度



仮想温度



V-Glaceの動作環境

□ ハードウェア

- CPU：Intel Core-iシリーズ、Xeonシリーズ、AMD Ryzenシリーズ
- メモリ：16GB以上推奨
- HDD：
 - システム領域：約1GB（テンポラリ領域を含む）
 - ユーザ領域：約200MB以上／1解析あたり
- GPU：不問
- ネットワーク：不要
- モニタ：フルHD（1920x1080）以上推奨
- USBポート：TypeA x3（プロテクトドングル用、USBバージョン不問、USBハブ使用可）

□ ソフトウェア

- OS：Windows 10 Home/Pro（Win11は未検証）
- Sentinel社（現THALES社）Sentinel HASP ランタイムのインストールが必要

□ （ご参考：私の動作環境）

- HP Pavilion Gaming 15（ノートPC）
- Core-i7 9750H, 2.6GHz, 6コア12スレッド
- メモリ16GB、HDD1TB、15.6インチモニタ(1920x1080)

課題と今後の開発計画

□ ソルバー開発

- 荷重制御 2022中
- パラメータサーベイ機能 2023~
- 簡易計算モード（擬似軸対称計算） 2024~

□ 物性計測・実験

- 構造緩和解析パラメータの同定 2023~
- 弾性率の温度依存性の測定 2023~
- コーティング劣化指標 2025~

□ 解析／可視化機能強化

- 形状誤差表示 2023~
- エア溜まり検出と可視化 2023~
- 割れ（応力集中）検出と可視化 2024~



GMシミュレーションシステム「V-Glace」

V-Glace-Meshメッシュャー

V-Glace-Meshの特長

□ 六面体メッシュ生成専用ソフトウェア

□ パラメータ入力型のメッシュ生成

□ 従来 : CADで形状を作成→メッシュソフトが分割する

□ 本ソフト : 分割済みテンプレートを選択

搭載された非球面多項式などにパラメータ・寸法などを適用する

理想的な分割パターンを持つテンプレートを準備することで
確実に、理想的な六面体メッシュ分割が得られる

□ 使用方法

□ テンプレート毎に、寸法、表面形状の数式、メッシュ分割パターンなどが、
予め登録されている

□ ユーザは、テンプレートを選択し、サイズ・曲率・非球面多項式の係数や、
メッシュ分割数を入力する

□ 自動的に六面体メッシュデータが生成される

V-Glace-Mesh画面

形状パラメータと
メッシュパラメータを
設定する

■メニスカスレンズモデル■

摩擦係数 = 【 0.15 】

--サイズ--

ガラス: 直径,厚さ,外周角R = 【 20 , 5 , 0.5 】

ガラス: 曲率半径: 上面,下面(正:凸,負:凹,0:平面) = 【 0 , 40 】

上金型: 内直径,外直径,厚さ = 【 25.4 , 30 , 10 】

上金型: 曲率半径:R = 【 15 】

上金型: コーニック定数:K = 【 0 】

上金型: 非球面係数:A2,A4,A6,A8,A10,A12 = 【 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 】

上金型: そのまま(0)/反転(1) = 【 0 】

下金型: 内直径,外直径,厚さ = 【 25.4 , 30 , 6 】

下金型: 曲率半径:R = 【 50 】

下金型: コーニック定数:K = 【 0 】

下金型: 非球面係数:A2,A4,A6,A8,A10,A12 = 【 0 , 0 , 0 , 0 , 0 , 0 】

下金型: そのまま(0)/反転(1) = 【 0 】

※金型の表面形状(R,K,A2~A12)は設計式のとおりに入力し、
凹凸の向きは「そのまま/反転」で調整してください。

--メッシュ--

ガラス: 上下分割,水平分割,扇角,メッシュ比 = 【 6 , 18 , 120 , -2 】

金型: 水平分割,水平分割(外側) = 【 18 , 2 】

共通: 周方向分割 = 【 8 】

--サグ計算(形状作成時に実行)--

高さ = 【 10 】

上金型サグ(z軸正方向がプラス/readonly) = 【 3.81966011250105 】 **

下金型サグ(z軸正方向がプラス/readonly) = 【 1.01020514433644 】 **

--各種情報(readonly)--

プリフォーム体積 = 【 338.925327334944 】 **

接触部メッシュ比 = 【 1.23082192570483 】 **

--バージョン--

** V-Glace-Mesh-1.434040 Script=1.71000 **

ガラス材料:OHARA,L-BAL42 (Tg=506,At=538,SP=607)

金型材料:SiC

■制御パラメータ(変位)■

制御変位数(最大8個) = 【 2 】

[1]中間: 時刻[sec], 変位[mm], 出力番号 = 【 100 , 2.5 , 50 】

[2]最終: 時刻[sec], 変位[mm] = 【 260 , 2.5 】

※この半分の変位量を上下金型に課します

LENS SPHE J AA1 | LENS MENI J AA1 | PLAT FLAT J AA1 | LENS ARRY J AA1 | LENS CYLI J AA1 | LENS RING J AA1

要素面=10278 描画要素面=2498 最大番号=2498 要素=1713

起動スクリプト LENS_MENI_J_AA1

形状と
メッシュパターンを
確認する

テンプレートを選択する

例：形状・メッシュパターンを選択

The figure displays four screenshots of the V-Glace-Mesh software interface, each showing a different lens design and its corresponding mesh pattern. The software window includes a menu bar, a toolbar, and a parameter list on the left. The lens models are shown in a 3D perspective view, with the mesh pattern highlighted in green or red. The parameter lists are as follows:

- Top Left (Meniscus Lens):** Predisp = [1], Time_D1 = [120], Time_D2 = [320], Tempal = [680], Temperature parameters, Dore = [19.2], Apre = [6], Rpre = [2], Din = [20], Dout = [22], Rip = [-15], Rlo = [-15], Mz = [6], Nr = [6], Nz = [7].
- Top Right (Ball Lens):** Predisp = [2.8], Time_D1 = [120], Time_D2 = [320], Tempal = [680], Temperature parameters, Dore = [19.2], Apre = [1], D = [8], Din = [20], Dout = [22], Rip = [-15], Rlo = [-15], Mz = [6], Nr = [6], Nz = [7].
- Bottom Left (Meniscus Lens - Different Pattern):** Dore = [20], Apre = [5], Rpre = [2], Din = [20], Dout = [20], Rip = [-80], Rlo = [-80], Mz = [6], Nr = [12], Nz = [7].
- Bottom Right (Ball Lens - Different Pattern):** Dore = [10], Apre = [1], D = [8], Rip = [-19.41], Rlo = [-19.41], Mz = [10], Nr = [14], Nz = [7].

Each screenshot has a callout box with the lens name and mesh pattern description. The software interface also shows a 'Script' window at the bottom of each window, indicating that a script was executed for each model.

例：サイズを変更

プリフォーム板厚を薄くする

プリフォーム上面と上金型の曲率半径を小さくする

その他いろいろ変更する

強制変位量 Predisp = [1]

変位完了時間 Time_D1 = [120]

温度完了時間 Time_D2 = [320]

初期温度 Ttempal = [680]

温度時間1,温度1 = [157, 678]

温度時間2,温度2 = [200, 555]

温度時間3,温度3 = [250, 480]

温度時間4,温度4 = [300, 480]

プリフォーム直径 Dpre = [18.2]

プリフォーム板厚 Tpre = [5]

プリフォーム外半径 Rpre = [2]

プリフォーム上面(0θ-平面) Rr = [60]

プリフォーム下面(0θ-平面) Rr = [8]

上ダイ表面半径 (-Z-面) = [15]

下ダイ表面半径 (-Z-面) = [-15]

モデル横方向分割数 (横数8以上) N1 = [6]

タイ水平分割数 (N1/2以上) Dr = [6]

プリフォーム水平分割数 (N1/2以上) Nr = [6]

プリフォーム上下分割数 (7以上) Nz = [7]

プリフォーム直径 Dpre = [18.2]

プリフォーム板厚 Tpre = [3]

プリフォーム外半径 Rpre = [1]

プリフォーム上面(0θ-平面) Rr = [15]

プリフォーム下面(0θ-平面) Rr = [7]

上ダイ表面半径 (-Z-面) = [10]

下ダイ表面半径 (-Z-面) = [-10]

モデル横方向分割数 (横数8以上) N1 = [6]

タイ水平分割数 (N1/2以上) Dr = [6]

プリフォーム水平分割数 (N1/2以上) Nr = [6]

プリフォーム上下分割数 (7以上) Nz = [7]

例：メッシュ数を変更

メッシュを粗くする

メッシュを細かくする



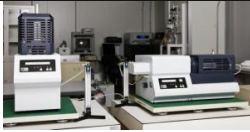




メッシュをさらに細かくする

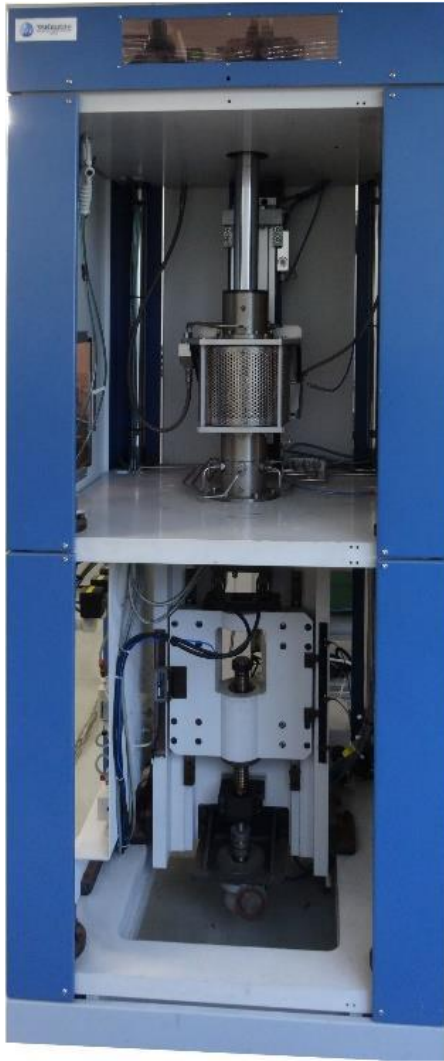


GMシミュレーションシステム「V-Glace」

ガラス物性測定

測定項目と測定方法

項目	測定方法	測定装置
ヤング率 ポアソン比	超音波パルスエコー法	弾性率測定装置 
熱伝導率	パルス加熱法	Xeフラッシュアナライザ 
比熱、熱膨張係数	示差熱分析、熱重量測定	熱分析装置 
密度	比重測定	電子天秤 
クリープパラメータ	圧縮試験	材料試験機を用いた実験 
摩擦係数	リング圧縮試験	成形機を用いた実験 
構造緩和パラメータ	密度測定（比重測定）	構造緩和測定装置と比重測定を用いた実験 



- 型番
 - 武内製作所MVP-2010
- プレス部
 - ストローク：125mm
 - 最大加圧力：5kN
- 加熱部
 - 方式：赤外線セラミックヒーター
 - 最高温度：約900℃
- 真空部
 - 到達真空度：10Pa以下
 - チャンバー内径：約φ70mm
- その他
 - ロガー機能
 - 徐冷速度制御機能



□試験内容

□弾塑性特性試験：5kN

□クリープ試験：5kN

□応力緩和試験：5kN

□付着応力試験：500N

□その他

□加熱ユニット（電気炉）



- 構造緩和測定のための試料を作成する
 - 2つの電気炉と、構造緩和現象の停止装置を持ち、構造緩和中の任意の時刻の測定用試料を作成できる
 - 構造緩和が停止（凍結）した試料を取り出し、物理量の測定を行う
 - 温度変化に対する物理量のステップ応答を長時間測定することで、構造緩和の各パラメータを決定できる



事例紹介

カスタム形状①



A社様ご提供データより

カスタム形状②

摩擦係数 = 【 0.3 】

■プリフォーム：カスタム■

--形状--

直径,厚さ = 【 10.5 , 8 】

上面(平面) :半径 = 【 2 】

下面(非球面) :球面R = 【 16.26075 】

下面(非球面) :非球面K = 【 XXXXXXXXXX 】

下面(非球面) :非球面A2 = 【 XXXXXXXXXX 】

下面(非球面) :非球面A4 = 【 XXXXXXXXXX 】

下面(非球面) :非球面A6 = 【 XXXXXXXXXX 】

側面(球面) :球面R = 【 4.2 】

--メッシュ--

分割数:横,縦(偶),周(偶) = 【 11 , 8 , 6 】

側面扇形中心角 = 【 120 】

横分割メッシュ比 = 【 1 】

横分割補正係数(0.0~1.0) = 【 1 】

--上ダイ寸法--

上ダイ内直径,外直径,表面半径(-で凹),厚さ = 【 12 , 14 , 188.6124 , 6 】

上ダイ非球面係数 K,2次,4次,6次,8次,10次,12次 = 【 XXXXXXXXXX , 0 , 0 , 0 , 0 】

--下ダイ寸法--

下ダイ内直径,外直径,表面半径(-で凹),厚さ = 【 12 , 14 , -16.2608 , 6 】

下ダイ非球面係数 K,2次,4次,6次,8次,10次,12次 = 【 XXXXXXXXXX , 0 , 0 , 0 , 0 】

ダイ水平方向分割数,端部 = 【 10 , 3 】

ダイ外側粗密 = 【 1.6 】

変位、温度の最終時刻を一致させてください
※出力番号「0」は未使用の時刻です

LENS SPHE J AA1	LENS MENI J AA1	PLAT FLAT J AA1	LENS ARRY J AA1	LENS CYLI J AA1	LENS RING J AA1	LENS SPHE J AA1	LENS MENI J AA1
test SPRT3		LENS CYLI J AA1		LENS RING J AA1			

要素面=5550 描画要素面=506 選択要素数=925

節点=1403 最大番号=1403 要素=925

起動スクリプト

成形形状の評価①特定断面上での評価

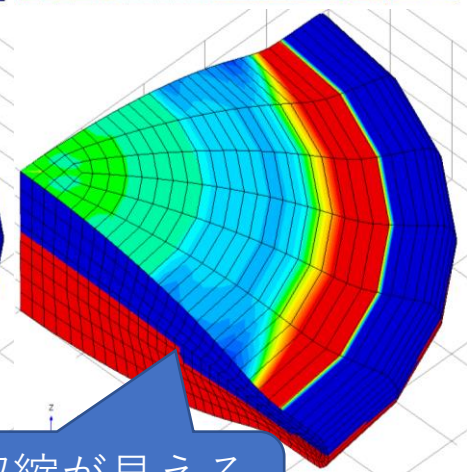
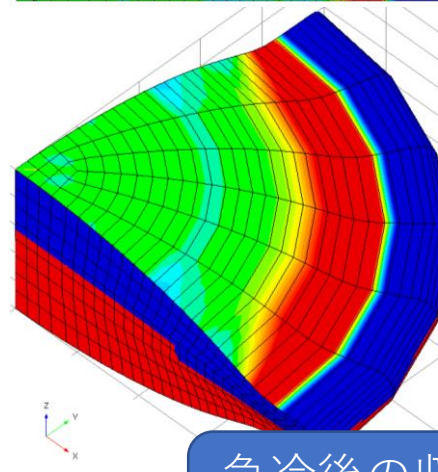
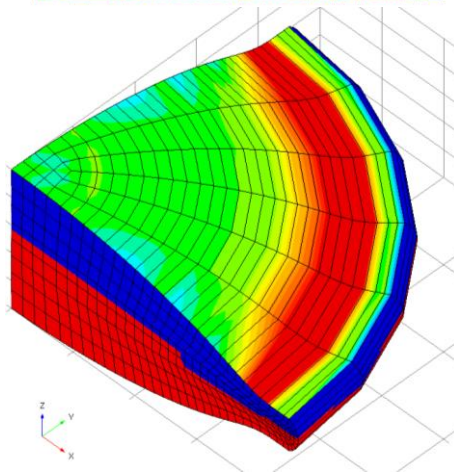
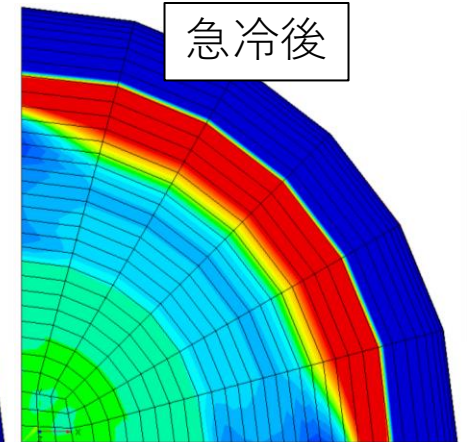
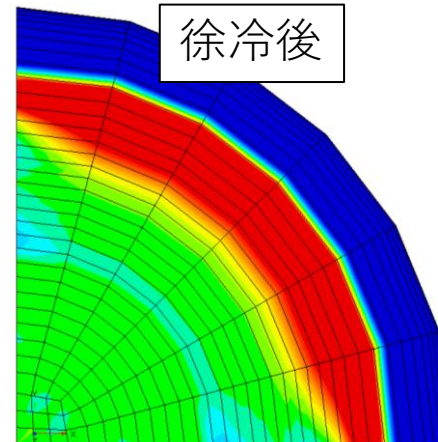
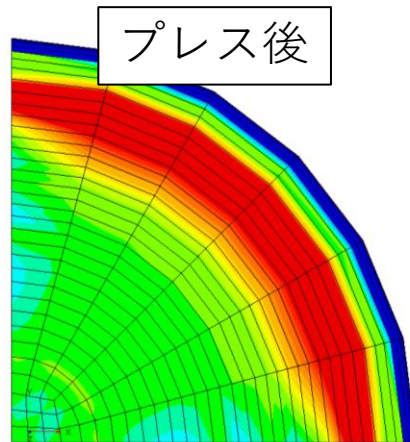
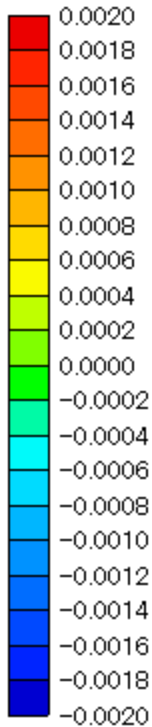
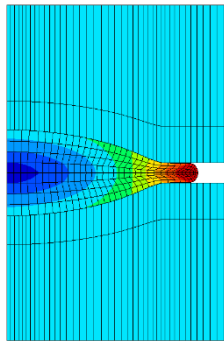
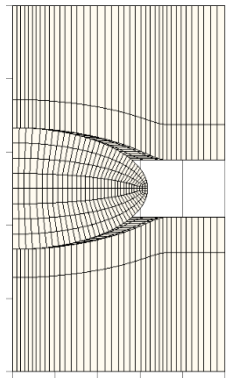
A社様ご提供データより

成形形状の評価②空間分布評価



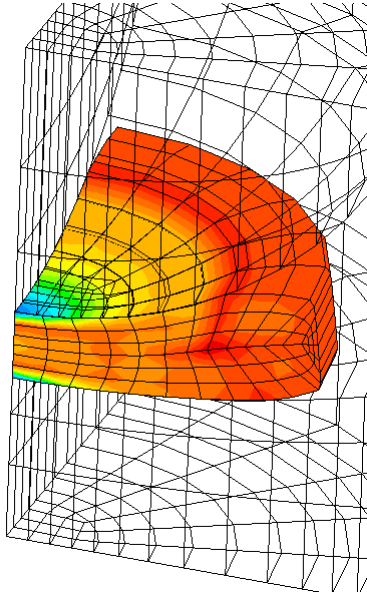
A社様ご提供データより

熱収縮の評価

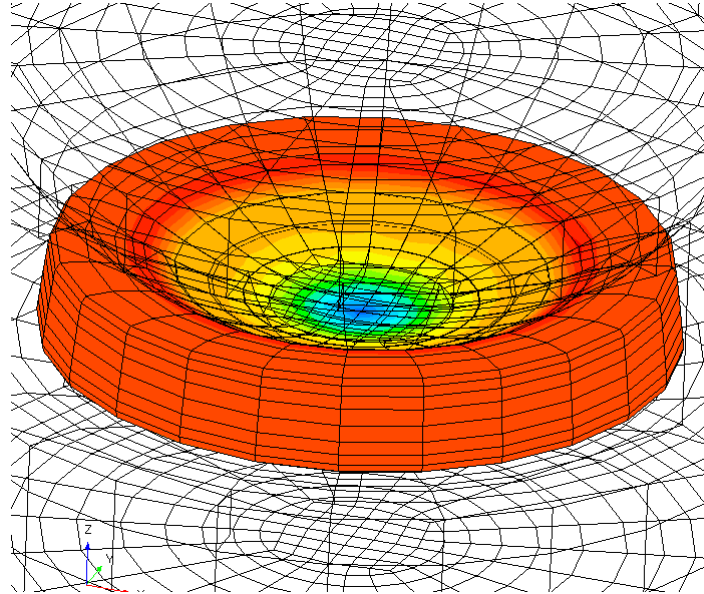


急冷後の収縮が見える
水色領域 $\sim 0.6 \mu\text{m}$ 程度

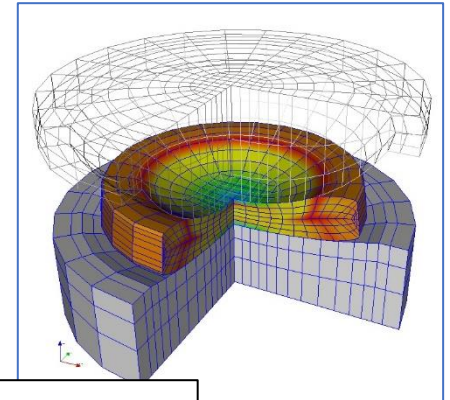
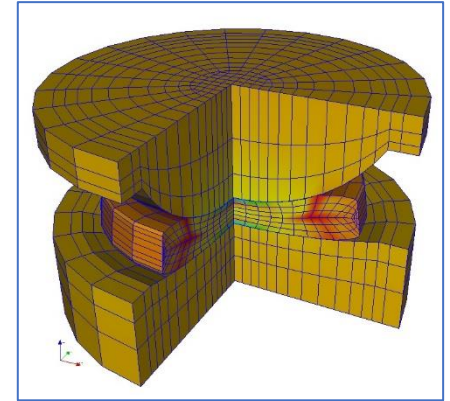
90度モデルと360度モデル



90度モデル



360度モデル



90度でも360度全周でも、同様に計算できる

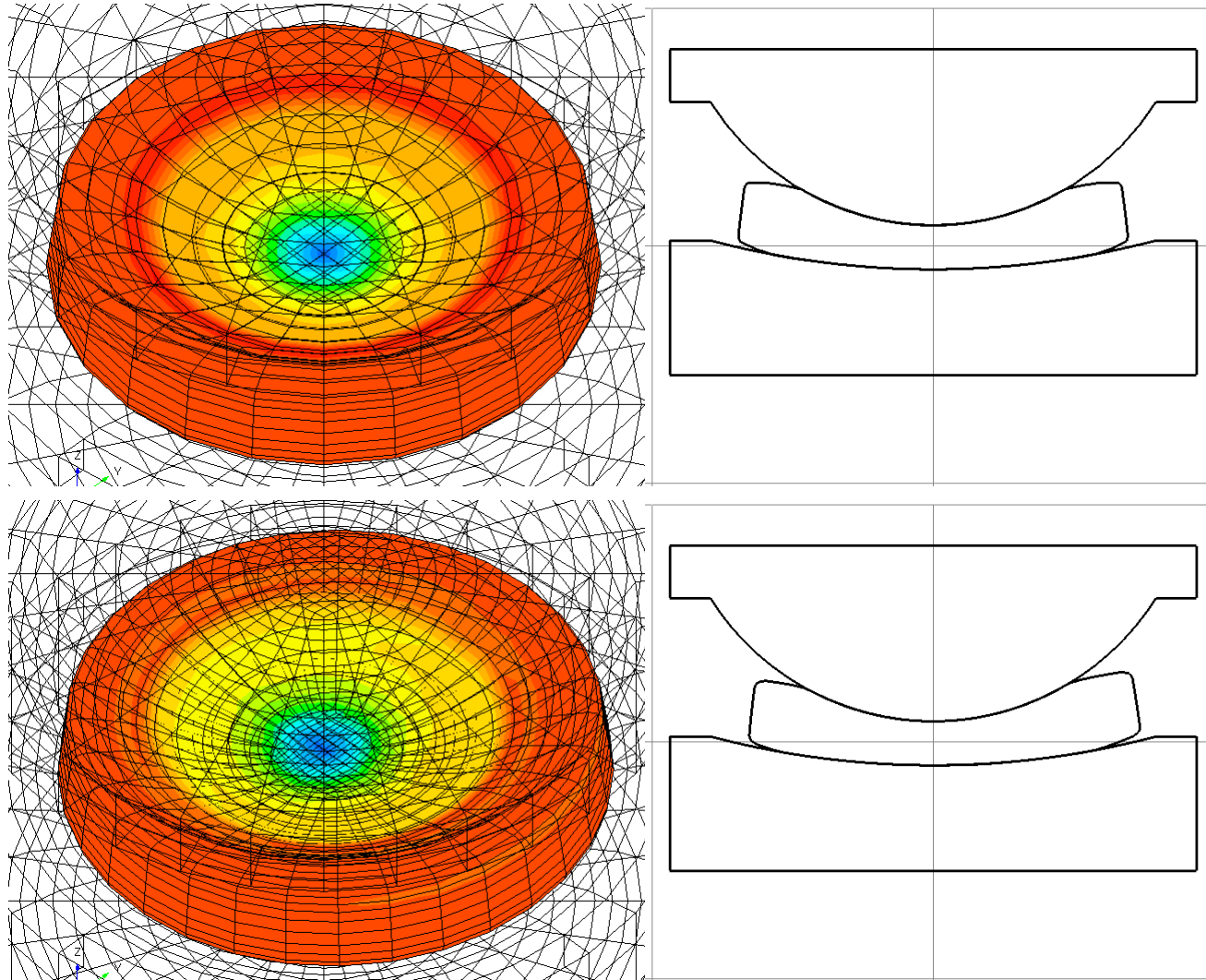
(参考)

90度モデル：1368節点、889要素、58分 (Core-i7 9750H)

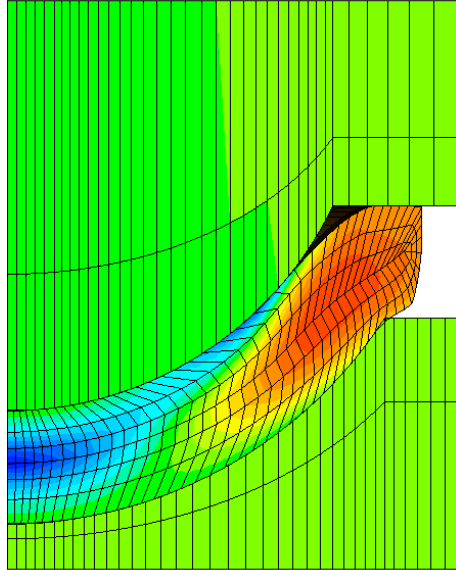
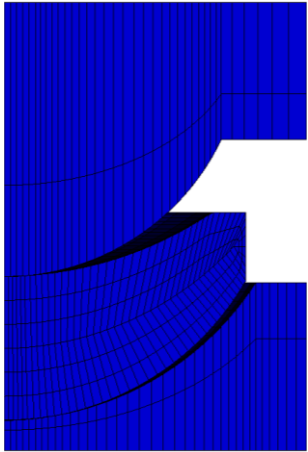
360度モデル：4587節点、3553要素、約180分 (Core-i7 10750H)

360度モデルと非軸対称条件の解析

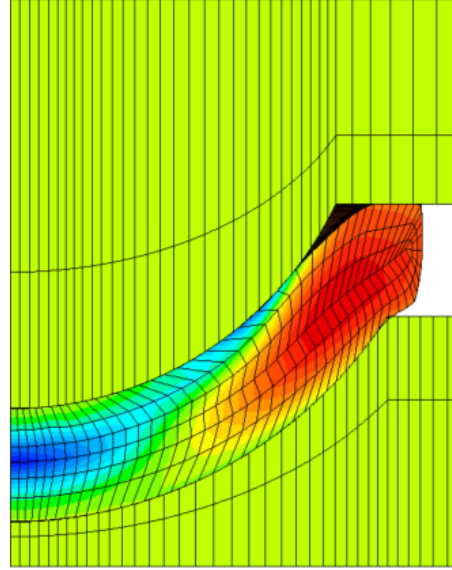
例：芯ずれ配置



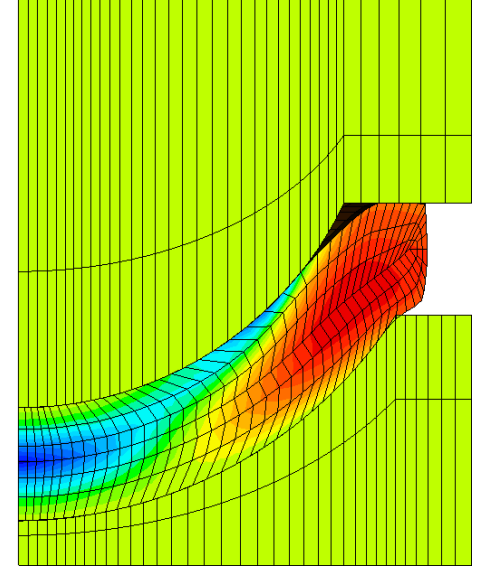
温度条件サーベイ



上下プレート等温



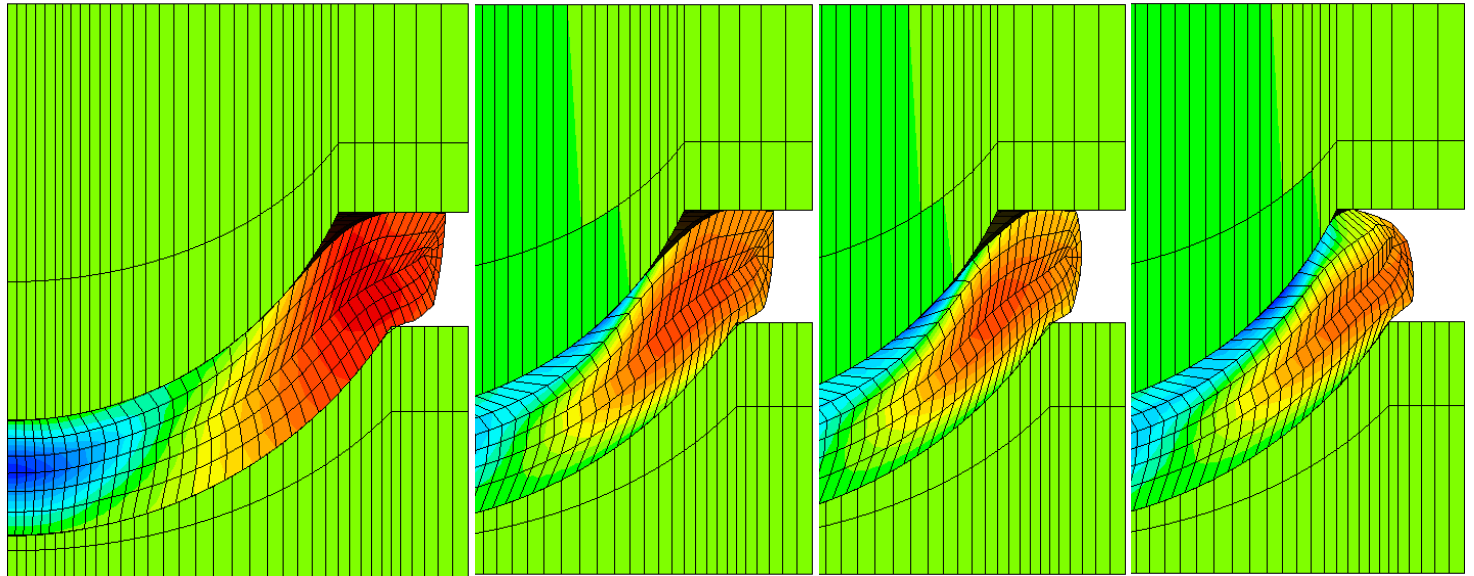
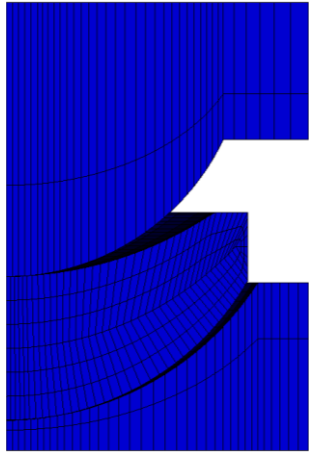
上プレートは
10°C低い



上プレートは
20°C低い

温度差による
ガラスの伸長の違いが
見える

摩擦係数サーベイ



$\mu = 0.15$

$\mu = 0.5$

$\mu = 0.75$

$\mu = 1.0$

摩擦係数サーベイは普通しないが、
コーティングの劣化⇒摩擦の増大
の影響などを推測できる



まとめ

まとめ

- ガラス物性に特化した、材料構成則、構造緩和解析機能（仮想温度計算機能）を持つ、ガラス成形シミュレーションシステム「V-Glace」を開発した。
- ガラス材料の物性値の測定実験を進めている。
- ユーザ企業と協力しながら、評価・改良を進めている。
- 商品化を開始する。



ご静聴ありがとうございました