

ガラス成形シミュレーション コード「V-Glace」の開発

(国) 理化学研究所 山形豊

はじめに

- ガラス成形・光学シミュレーション研究チームが発足し5年が経過しました。
- 5年間でV-Glaceのコード開発は大きく進展し、Ver.1.0として販売を開始できる状況になりました。
- これまでの開発の経緯と技術的課題そして今後の展望について述べたいと思います。

V-Glace開発に関わる経緯

- 2010年ごろ サポイン事業にてガラスプレスモールド機・ガラス物性試験装置の開発
- 2011年 ガラス成形シミュレーションコードの構想について打ち合わせ
- 2012～2016年 外部資金等によりガラスシミュレーションソフトウェアの基本形を開発
- 2014 VCADシステム研究会 光学素子分科会を開始
- 2017年理研融合連携研究チーム「ガラス成形・光学シミュレーション研究チーム」が発足
- 2018 武内製作所様よりプレスモールド装置、ガラス物性測定装置を移譲
- 2022 V-Glace Ver.1.0を発売

理研における金属プレス成型シミュレーションソフトウェア開発

- 板成型シミュレーション研究会（コンソーシアム）を組織(1990-1996)（牧野内昭武先生）板金プレスシミュレーションソフトITASを開発
 - 参加企業31社 1社200万円
- 理研ベンチャー(株)先端力学シミュレーション研究所 設立(1999年4月)
- シミュレーションソフトウェア ASU/P-form商品化
- 生体力学シミュレーション研究(理研プロジェクト)(1999-2004)

- 牧野内先生が、Teodosiu先生らと共に自動車車体の板金のプレス成型のシミュレーションのために静的陽解法を用いたシミュレーションソフトウェア(ITAS)の開発を始められたのが、すべての始まり。

VCADプロジェクトについて

- ものづくり情報技術統合化研究(2001-2005)
- VCADシステム研究プログラム(2006-2010)

CADで設計された形状のみならず、X線CTなどで得られた任意の形状に対しても形状処理を行い、シミュレーションを実行できるようにする。

日本のエンジニアリング向けソフトウェアは、90%近くが輸入品であるということに一石を投じたいと牧野内先生はお考えであった。

V-Struct, V-DualGridが開発された。V-Glaceは、V-Structにガラス粘弾性則を組み込んだものである。

平成21年2月5日
第20回VCADシステム研究会

VCADシステムの進捗状況と 今後の展開

理化学研究所
知的財産戦略センター
VCADシステム研究プログラム
ディレクター 牧野内 昭武



VCADシステムの目的

1. 「ものづくり」を支援するために、以下の要件を満たすシステムを開発する。

(1) 個別ばらばらの要素技術の寄せ集めではない、「設計」、「計測」、「モデリング」、「シミュレーション」、「可視化」、「加工」などの機能が**統合された**ものであること。

(2) 形だけでなく、**ものの内部の構造や物性、欠陥**まで扱えること。

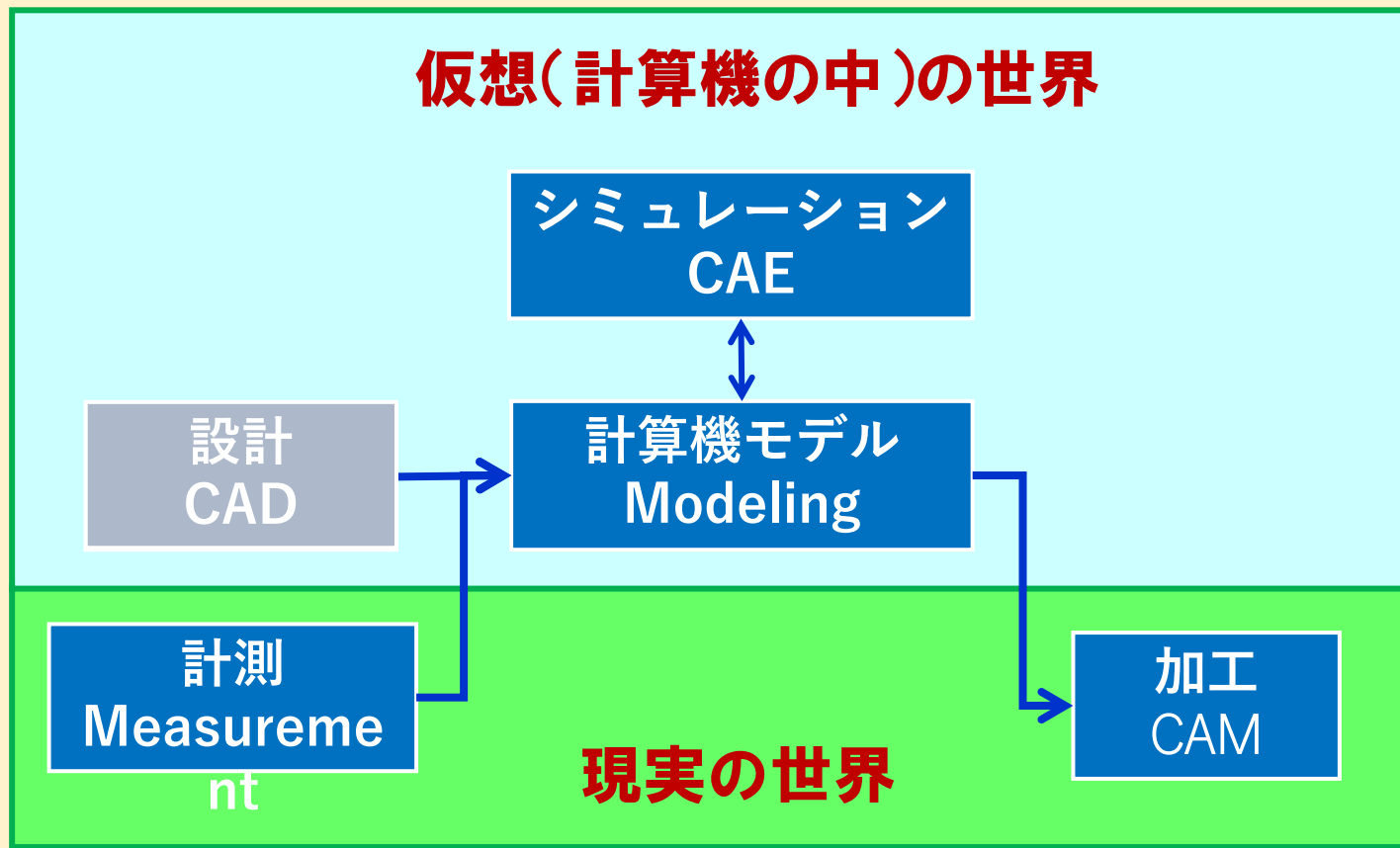
2. 対象を**医療分野**や**生物科学分野**に拡張する。

VCADシステム研究・チーム構成

プログラムディレクター： 牧野内 昭武

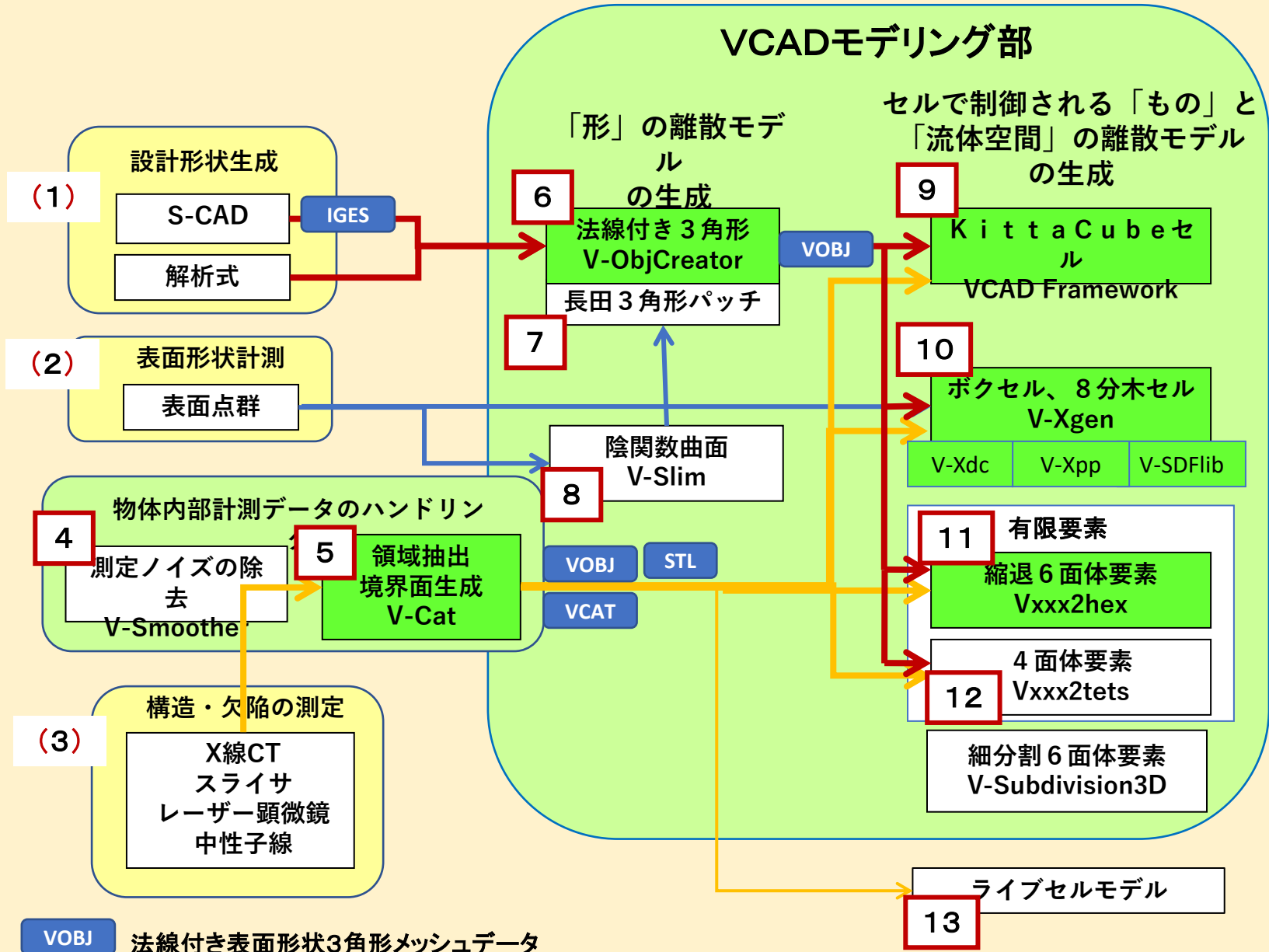
| チーム名 | チームリーダー |
|-----------------|-------------------|
| ボリウムCADモデリングチーム | 加瀬 究 |
| 機能情報シミュレーションチーム | 小野 謙二 |
| 加工成形シミュレーションチーム | TEODOSIU Cristian |
| 加工応用チーム | 山形 豊 |
| 事業化推進チーム | 須長 秀行 |
| 生物研究基盤構築チーム | 横田 秀夫 |
| 細胞シミュレーションチーム | 安達 泰治 |

従来のCAD/CAM/CAEとVCADシステム



VCADシステムの進捗状況

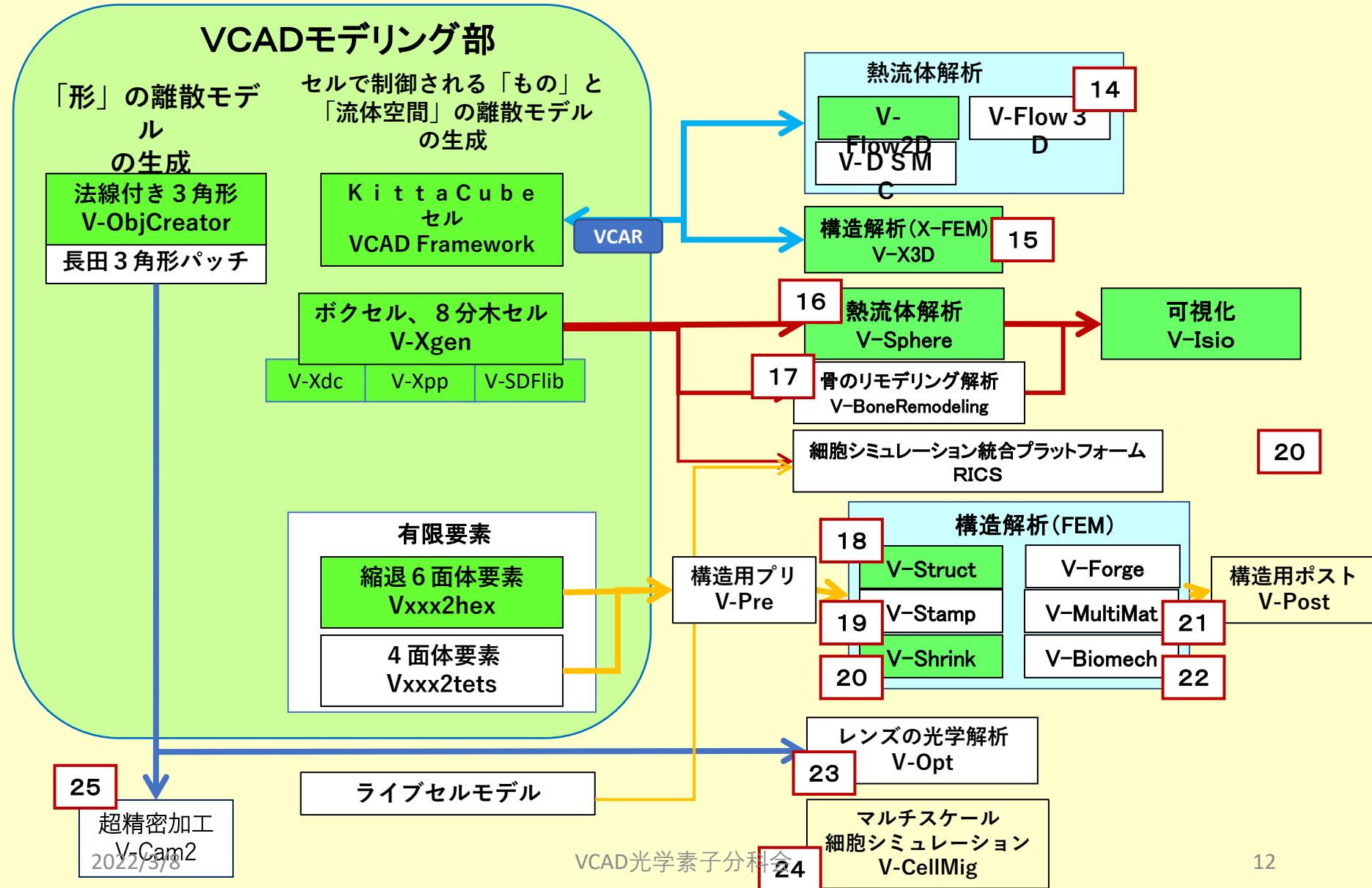
入力データおよびモデリング部



VOBJ 法線付き表面形状3角形メッシュデータ

VCAT 領域情報付きボリュームデータ

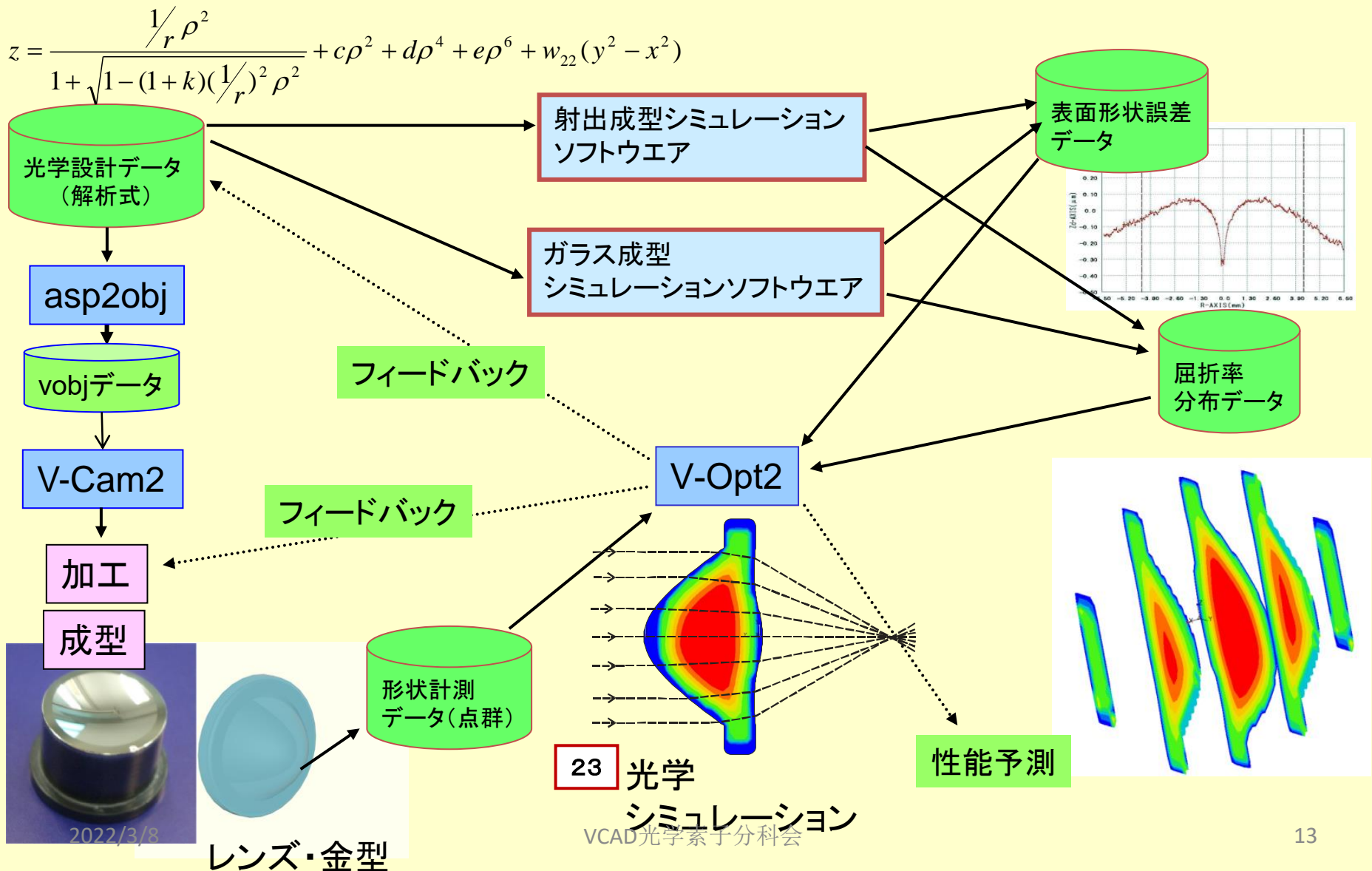
モデリング・解析・加工



23

25

光学素子の設計製造における 成形解析・光学解析・超精密金型加工・計測のループ



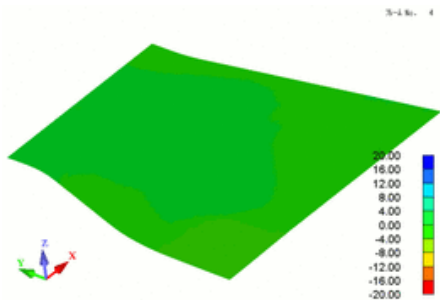
2022/3/8

レンズ・金型

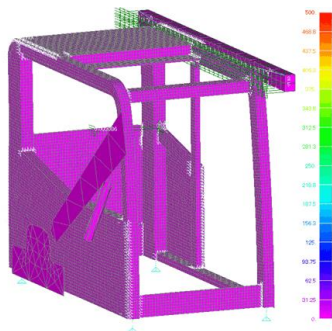
23 光学シミュレーション
VCAD光学素子分科会

理研VCAD研究から生まれたソフトウェア

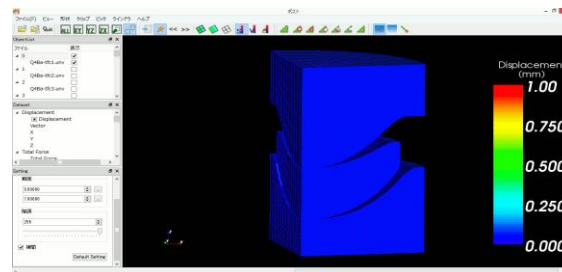
様々な製造過程のシミュレーションコードが生まれている



プレス成型シミュレーションソフトウェア
ASU/P-Form
(株) 先端力学シミュレーション研究所



3次元弾塑性構造解析ソフトウェア
TP-Struct
(株) トライアルパーク



ガラスレンズ成型シミュレーションコード
V-Glace
インテグレーションテクノロジー (株)

1989年の牧野内先生の研究に端を発し、VCADシステム研究へとつながった理研のソフトウェア開発研究の成果は、京コンピュータのグループやAIセンター、生物研究向けの画像処理、ポリゴンエンジニアリングなど多岐にわたっている。

V-Glaceの概要と特徴

- 静的陽解法ソルバー
 - つりあい弾塑性構成式を解くことにより、確実に解が得られる。(計算時間は長い)
- 縮退6面体メッシュ
 - 4面体メッシュで発生する体積ロッキング現象を回避し、大変形でも比較的安定した計算が可能。
- ガラス材料構成則(クリープ)
 - クリープ(Norton則)および熱膨張を考慮
- 伝熱解析
 - 伝熱解析・変形体接触アルゴリズムに基づく伝熱解析を実行
- 仮想温度
 - 構造緩和時間遅れを指数関数の重みづけにより表現し、仮想温度を計算しガラス物性を予測。

V-Glace開発の課題

- ガラスの粘弾性物性の表現と物性測定
- 熱伝導解析との連携
- 摩擦の測定とシミュレーション
- 計算速度
- メッシュ生成

粘弾性の構成式

- Norton-Baileyの式

$$\dot{\epsilon} = k\sigma^p$$



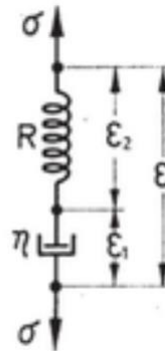
V-Glanceで採用

- Soderberg

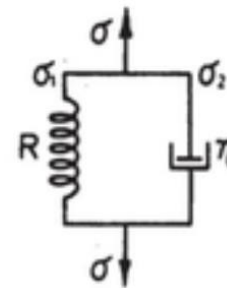
$$\dot{\epsilon} = c(e^{\frac{\sigma}{\sigma^+}} - 1)$$

- Maxwell model

$$\dot{\epsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{R} + \frac{\sigma}{\eta}$$



Maxwell model



Kelvin model



- Kelvin model

$$\sigma = R\epsilon + \eta\dot{\epsilon}$$

Kelvin-Voigt model と書いてあることが多い。

σ : 応力、 ϵ : ひずみ R : ばね定数 η : 粘性係数

Maxwell, Kelvin いずれのモデルも線形和であらわされるので、定式化として取り扱い易いが、単一のモデルでは、応力応答、ひずみ応答を正しく表現できないため、多段とする必要がある。

熱伝導解析

- V-Glaceの熱伝導解析

- 金型、ガラスの内部の熱伝導解析と接触面の熱伝導を接触状態を利用して解いている。熱伝導解析は、プレス成型解析と同時進行で行われる。
- 境界条件は現状では、金型上下の温度変化のみ
- ヒーターによる放射入熱、窒素ガスによる冷却などの導入は今後の課題

- 外部コードとの連携

- COMSOL Multiphysicsなどの市販の熱流体解析ソフトの結果を取り込んで、初期温度分布とすることが可能。

摩擦と測定のスミュレーション

- 摩擦の測定

- 高温かつ高圧力のガラスプレスにおける摩擦を計測することは容易ではなく、現状ではリング圧縮法がおそらく唯一の解析方法。
- ただし、リング圧縮は、スミュレーションとの比較により摩擦係数を推定するので、スミュレーションができることが前提条件となる。

- 摩擦スミュレーションの課題

- 現状では1以上の摩擦も入力することは可能だが、実際の挙動が正しいかどうか検証が必要。
- 融着や抱き付きなどの現象はスミュレーションできるか？

計算速度

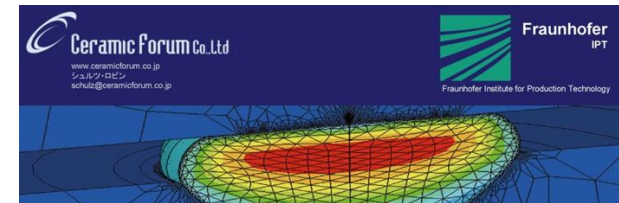
- 静的陽解法を採用しているため、計算速度は比較的遅いと考えられるが、現在のCPUの進化は非常に早く、比較の実用的な時間でシミュレーションが可能と考えられる。
 - 比較的粗いメッシュで、8コアのノートPCで2 - 3時間ぐらい
- 将来的には、多条件をパラメータスイープにてクラスターで動かすことも可能と思われる。
 - 詳細なパラメータ解析などにも適応可能と考えられる。

メッシュ生成

- 縮退6面体メッシュを採用しているため、ガラスプレス成型のような大変形でもほぼ破綻なくシミュレーションが可能。
- 4面体メッシュと異なり、6面体メッシュは生成が難しく、万能な生成アルゴリズムは無い。
- 当初は、VCADシステム研究プログラムにて開発されたV-DualGridを用いていたが、メッシュの品質があまりよくないため、パラメトリック生成法によることにした。
- 市販のメッシュ生成ソフトで作成した6面体メッシュでも原理的には使用可能。

海外の状況

- Fraunhofer PTB
 - SimPGMと称するABAQUS/ANSYSをベースとしたガラスプレスシミュレーションを実施している。
- Ohio大学
 - DEFORMという3D金属変形シミュレーションソフトウェアにガラス物性を組み込んだ論文が発表されている。
- 信州大学
 - ANSYSにMaxwellモデルを組み込んだシミュレーションが論文として発行されている。
- TU Denmark
 - 自家製の実験装置でABAQUSを用いたMaxwellモデルを用いて、リング圧縮試験などを行った論文が発表されている。



SimPGM

精密プレス成型のためのシミュレーションソフト

SimPGMはガラスの精密プレス成型プロセスのための“使いやすい”シミュレーションソフトです。本シミュレーションソフトの活用により金型成形プロセスを予測することができ、ガラスの精密プレス成形技術を幅広く活用することができます。SimPGMは貴製品のデザインの可能性をより高めることができます。

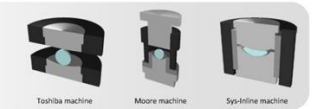
顧客が使いやすいグラフィカルなインターフェース

- プレス機にデータ入力すると同じようなデータ入力画面
- シミュレーション技術の知識は必要ない
- 高い計算能力
- 自動的に計算結果を解析し図示する



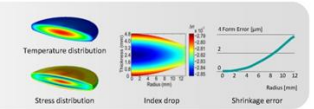
顧客が使いやすいソフトのコンセプト

- 種々のプレス機の型式に対応できる
- 種々の形状のガラスブランクに対応できる
- 種々の金型に対応できる
- 種々の成形プロセスに対応できる



予測可能な成形プロセス

- 成形プロセス中の材料の流れ
- 歪や温度の分布
- 冷却過程における屈折率の変化
- 収縮による誤差発生



より高度な金型成形へのステップ

- 2D 軸対称非球面レンズ
- 3D Free-formレンズ
- 3D ウェブアーレベル光学デバイス
- 種々のアドバンス光学デバイス



セラミックフォーラム株式会社, 〒135-0064 東京都江東区青海二丁目7-4 the SOHO 735号室, Tel 03-6457-1251, Fax 03-6457-1253

基本的なソースコードの権利を有し、基礎からシミュレーションの研究開発が可能で、かつ商品としてソフトウェアの提供が可能なのは、世界でも理研/ITCグループのみ！

今後の課題

- 実験データとの照合・精度検証
- ガラス材料物性データベース
 - 金型材料、コーティング
- 目的とする情報の抽出
 - プレスモールドの成否判定（割れ、融着）
 - 最大プレス力の評価
 - 金型寿命（コーティング寿命）
 - プリフォーム設計の最適化
 - ばらつき、オフセットの解析
 - 温度分布、温度誤差の影響

将来展望

- 日本のものづくり技術は、非常に高いレベルにあるといわれながら、デジタル化が遅れているといわれています。
- また、デジタル化に必要なソフトウェアも多くが海外からの輸入品であるという事実があります。
- こうした状況を打破するためにも、国内産のソフトウェアと結びついたものづくり技術のノウハウの蓄積が重要であると私は考えています。
- **V-Glace**は、ガラス成形という分野に特化したシミュレーションソフトウェアですが、この分野はガラス材料、金型材料、超精密加工、計測など多くの基礎技術で日本が非常に高い技術を持つ分野です。
- こうした強みをソフトウェアで保護することで、日本のものづくり技術の競争力を高められると考えています。
- 皆様と一緒に今後も**V-Glace**を育てていきたいと考えております。

謝辞

早くから静的陽解法の有限要素法コードの開発を進められ、VCADシステム研究の発展を通じて、私たちのV-Glace開発の礎を築かれた牧野内昭武先生、Christian Teodosiu先生に深くお礼を申し上げます。