

射出成形シミュレーション用 熔融樹脂粘度測定装置の開発

広島県立総合技術研究所

西部工業技術センター 材料技術研究部

部長 田平 公孝

2023年11月30日

従来技術とその問題点

既に実用化されているものには、キャピラリー式測定法等の粘度測定がある。

ガラス繊維等含有樹脂の場合、実際の射出成形ではガラス繊維切断が起きるが、キャピラリー法では正確な切断再現ができない問題があった。

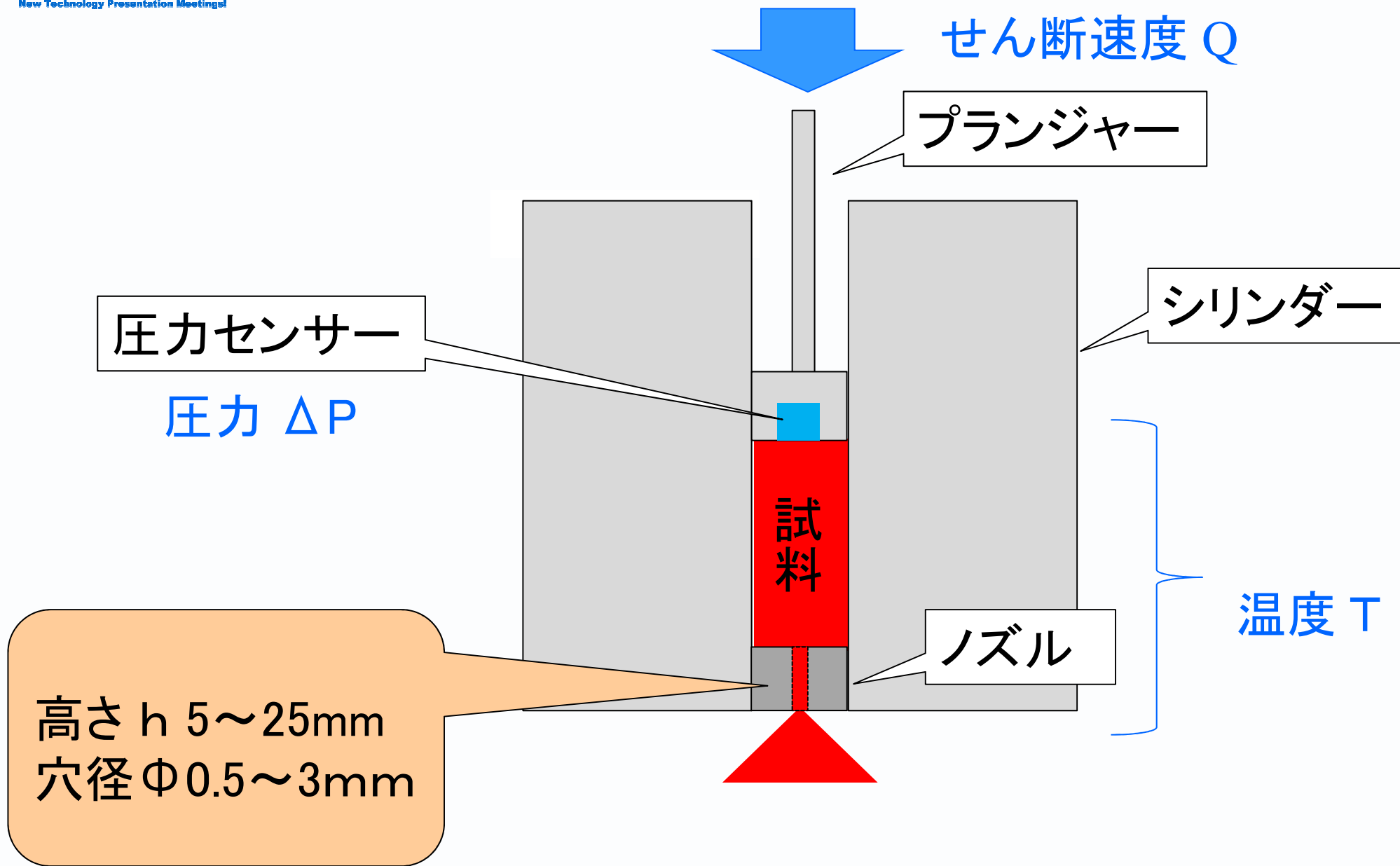
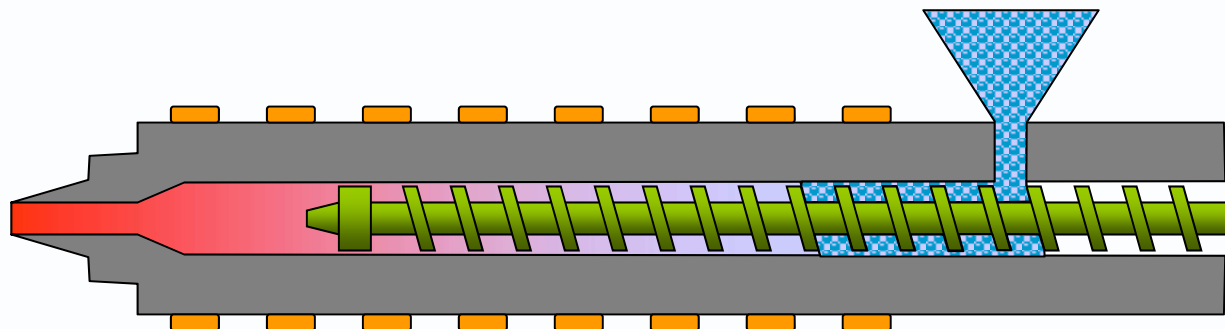
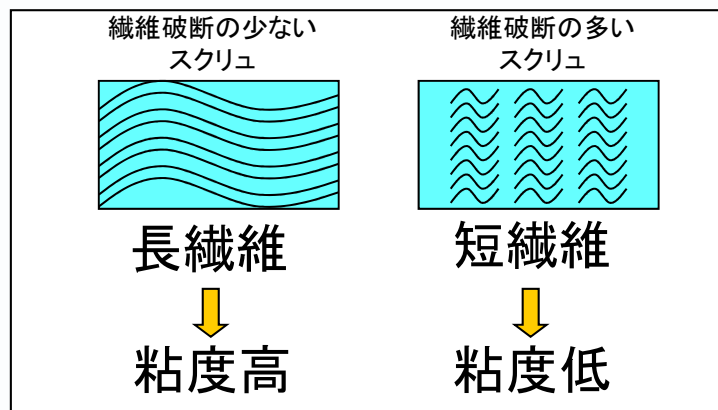


図1 キャピラリレオメータ

本法におけるメリット



スクリュ形状や各構成要素の磨耗等により、せん断発熱や繊維破断の度合いは各成形機毎に異なり、当然そこから射出される樹脂の粘度も異なる。



- ・繊維破断時の樹脂粘度が測定できる。
- ・可塑化条件の違いによる樹脂粘度への影響が測定できる。

図2 繊維せん断イメージ

新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術の問題点であった、ガラス繊維の切断の影響を反映することに成功した。
- 従来は細径シリンダで樹脂を溶融していたが、射出成形機を利用することにより、繊維切断の影響を反映することが可能となった。
- 本技術の適用により、CAE精度が向上し金型設計・開発のコスト削減に期待できる。

1. 背景

その1

業界

プラスチック製品における成形の困難増加

- ・大型化
- ・複雑化(モジュール化など)
- ・薄肉化(軽量化のため)

要求増加

- ・開発期間の短縮
- ・開発費用の削減

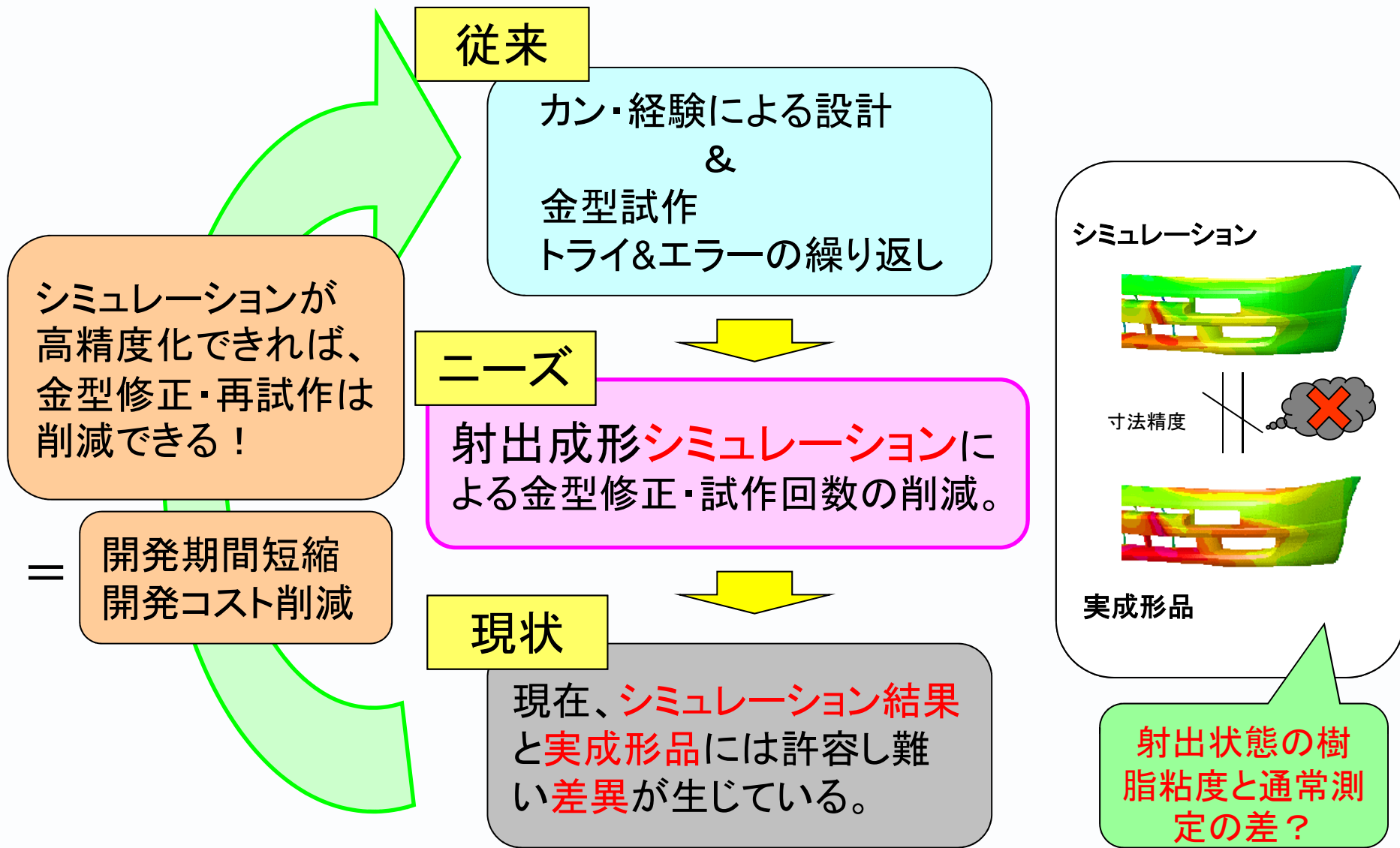
がこれまで以上に求められている。

競争は
グローバル化
激化

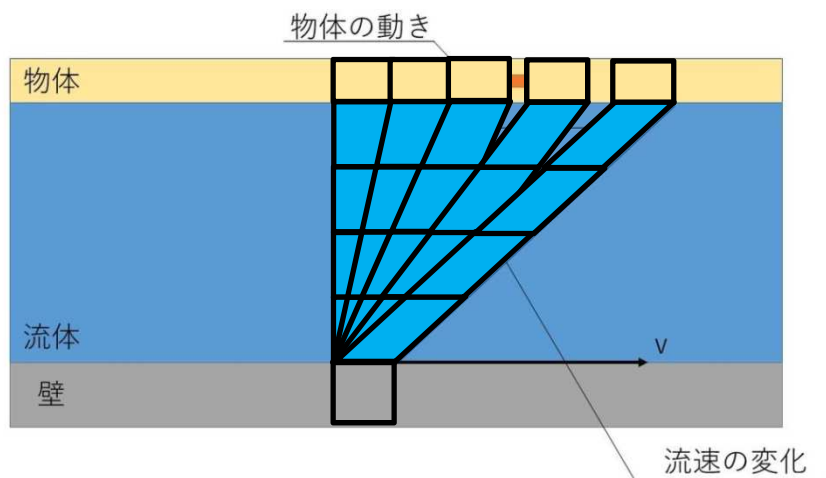


従来

カンと経験により金型形状を設計 ⇒ 金型試作・成形実験
⇒ 不具合の抽出 ⇒ 金型の修正・再試作
繰り返しによる最適化により量産開始。

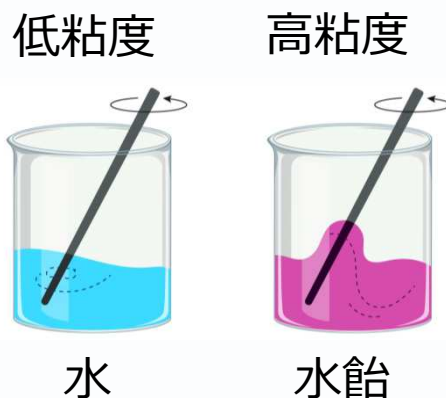


粘度について(基礎知識)



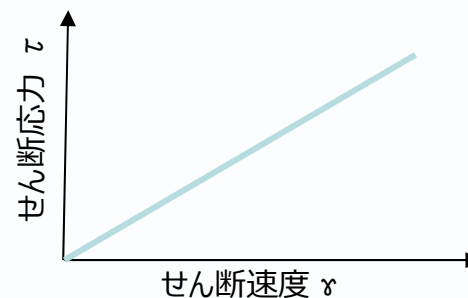
μ : 粘度
 τ : せん断応力
 γ : せん断速度 (dv/dy)

$$\mu = \tau / \gamma$$



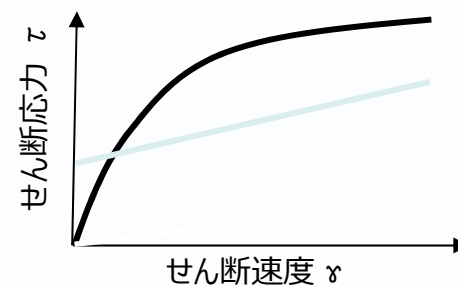
ニュートン流体 例えば、水や空気など

せん断応力 τ とせん断速度 γ が比例関係
 粘度 μ は、せん断速度 γ が変わっても一定



非ニュートン流体 例えば、溶融樹脂など

せん断応力 τ とせん断速度 γ が比例関係ではない
 粘度 μ は、せん断速度 γ が変わると変化



2. 樹脂粘度測定ユニットの開発（ハード）

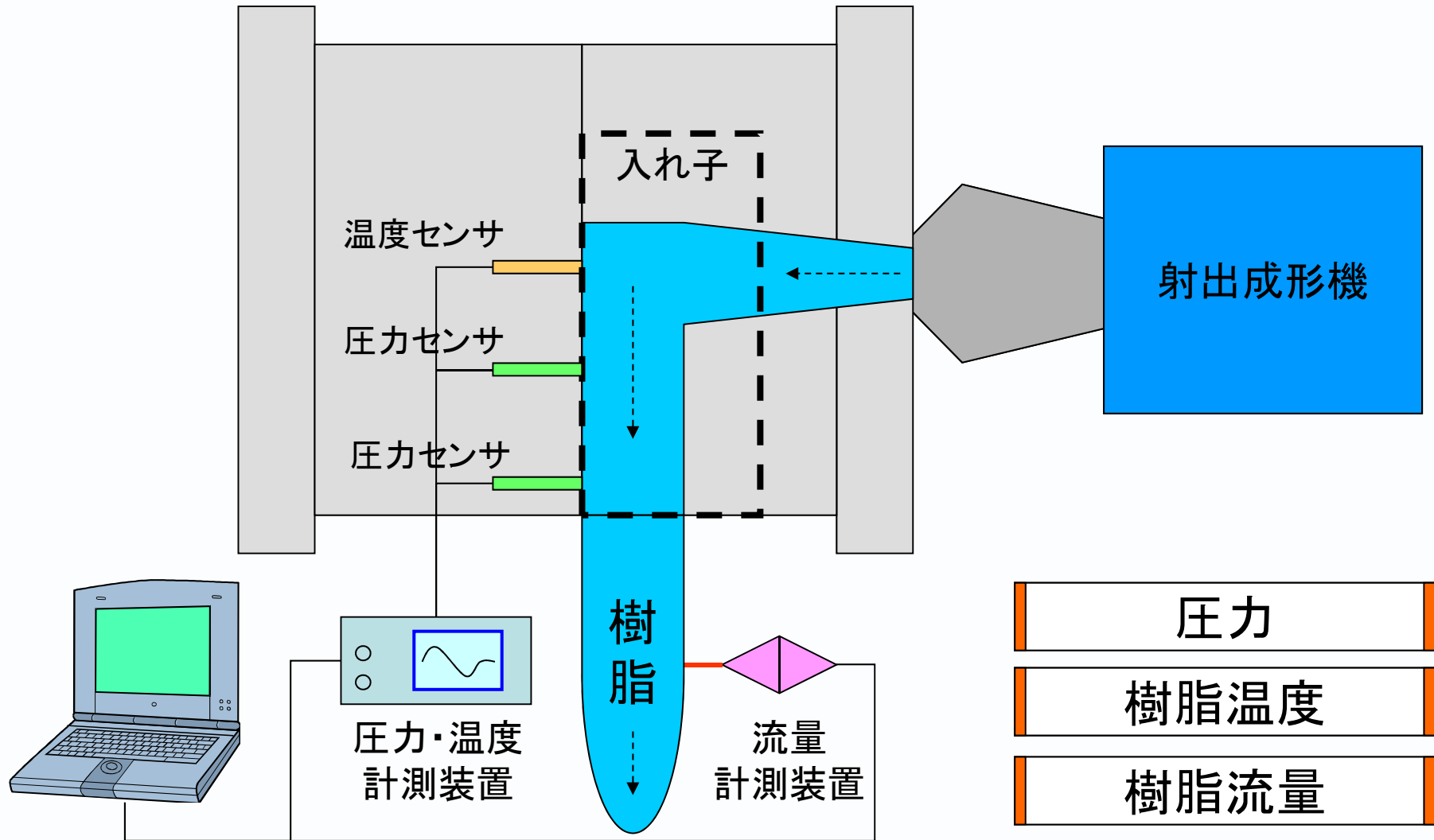
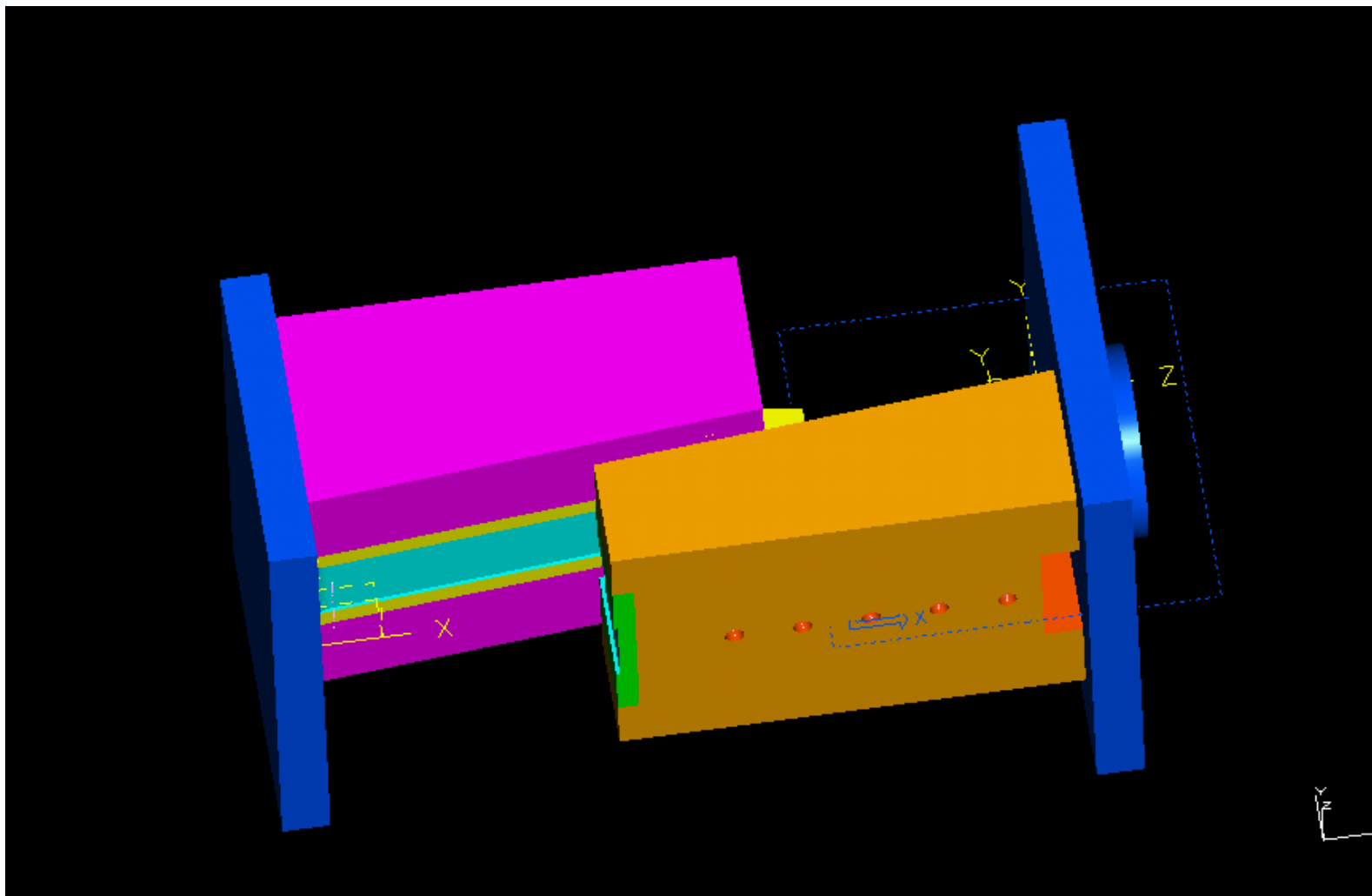


図3 粘度測定ユニット概要

ほぼ水平流路・粘度測定金型モデル



金型を下から見上げた構図

図4 樹脂粘度測定金型①

縦流路式一樹脂粘度測定金型



中央付近の縦筋が実際の流路

図5 樹脂粘度測定金型②

< 矩形流路の樹脂粘度計算式 >

樹脂粘度 $\eta = \frac{\Delta P B H^3}{12 L Q} \dots$ 式(1)

剪断速度 $\dot{\gamma} = \frac{6Q}{B H^2} \dots$ 式(2)

η : 樹脂粘度 (Pa·s)

$\dot{\gamma}$: せん断速度 (1/s)

ΔP : 圧力差 (Pa)

Q : 樹脂流量 (cm³/s)

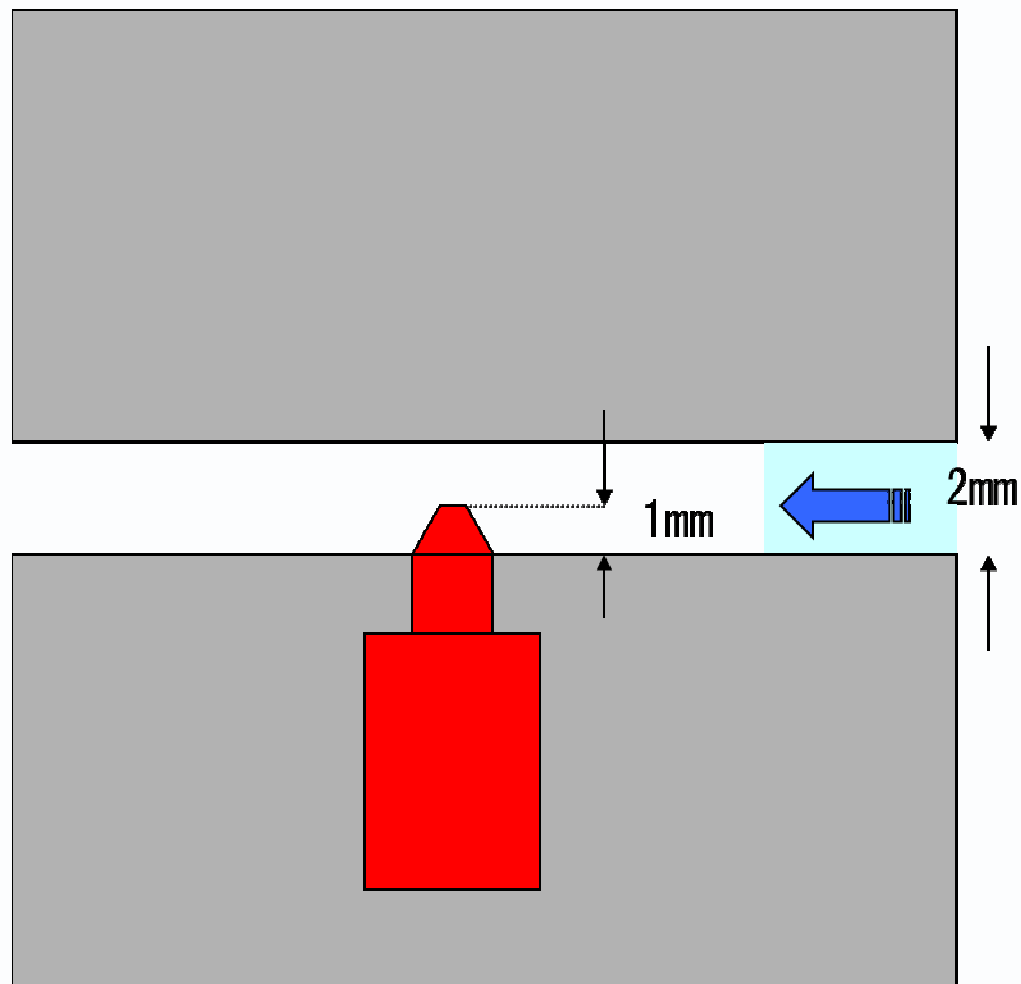
B : 流路幅(mm)

H : 流路高さ (mm)

L : 圧力センサ間距離 (mm)

温度測定手法

熱電対による直接測定法①



センサーが太いとシース部の影響が大きく樹脂温が測れない。
(=温度変化が無い。)

図7 一般シース熱電対

温度測定手法

熱電対による直接測定法②

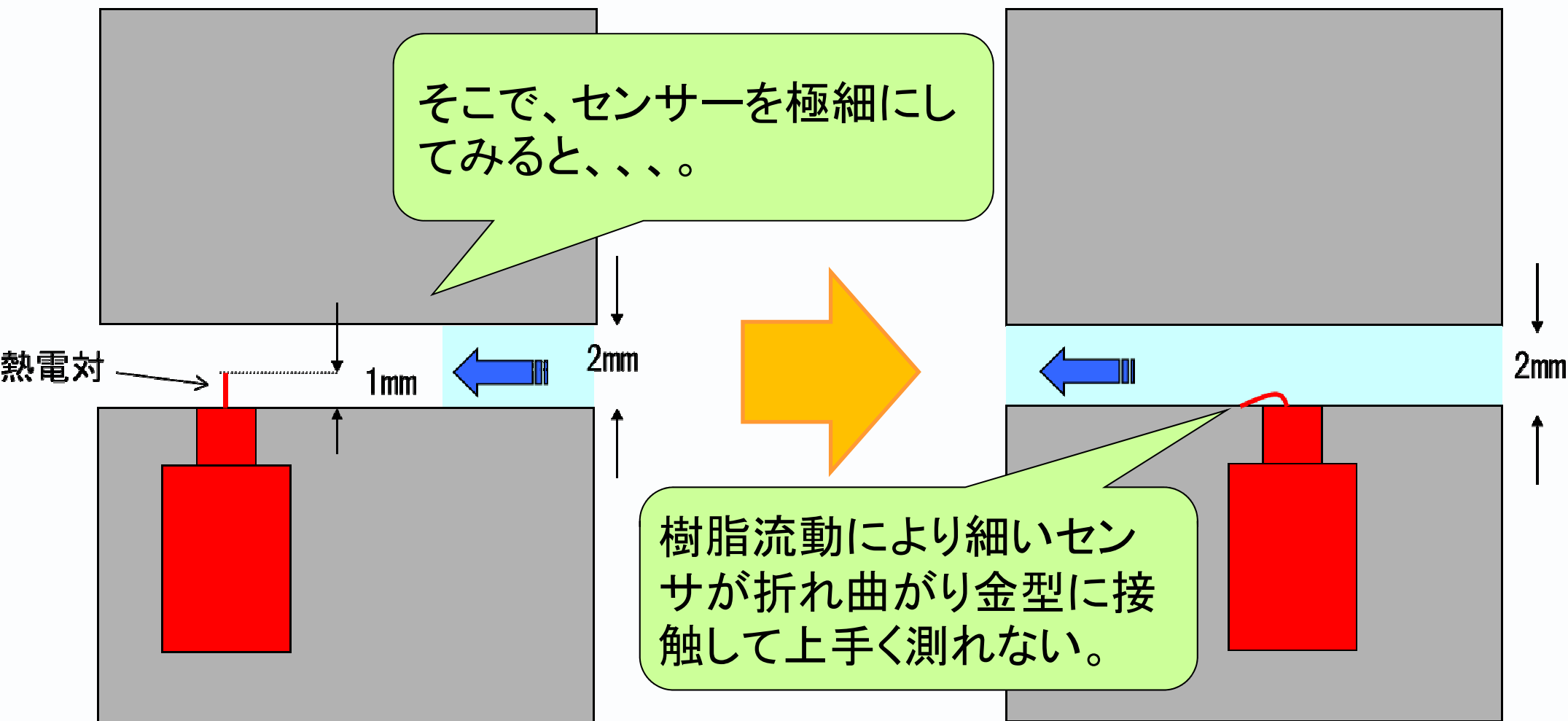
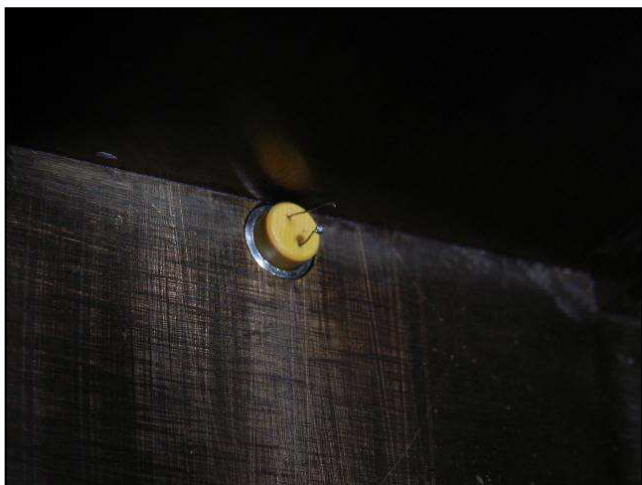


図8 極細熱電対

温度測定手法



裸の熱電対(自作)

熱電対が測定毎に切れる。



細径シース露出型(自作)

これで測れるようになったと思った。



接点むき出し式熱電対
(メーカー製)

こちらの方が温度上昇に敏感。

図9 実際の熱電対設置例

樹脂粘度測定

樹脂温度
圧力
樹脂流量

接点むき出し式熱電対
圧力センサ
計量差による複数回測定

樹脂粘度が
測定可能に！



図10 接点むき出し式熱電対

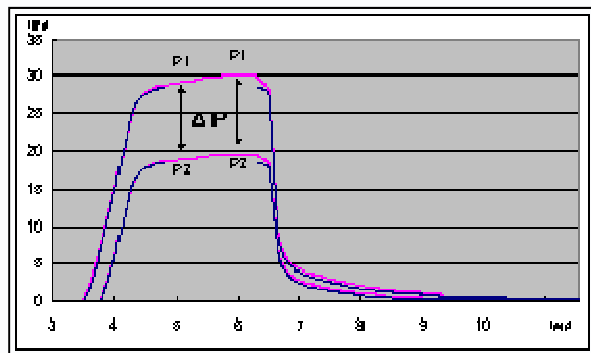
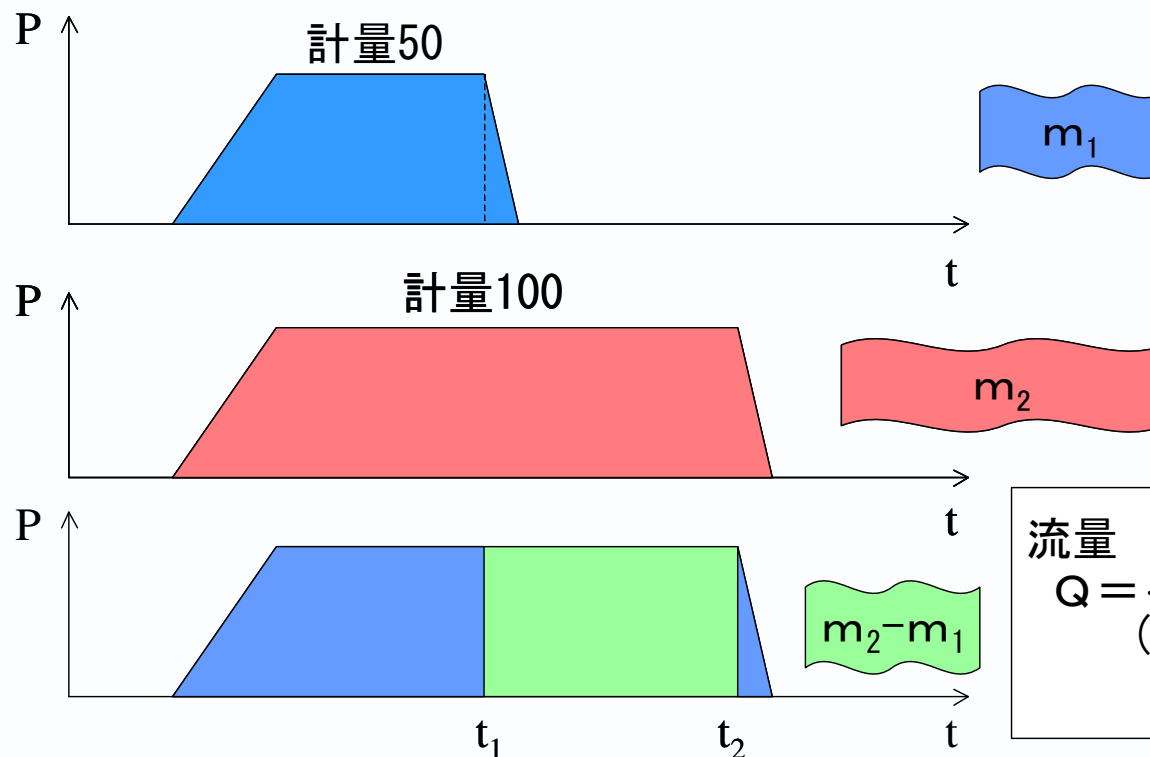


図11 圧力波形



$$Q = \frac{m_2 - m_1}{(t_2 - t_1) \cdot \rho}$$

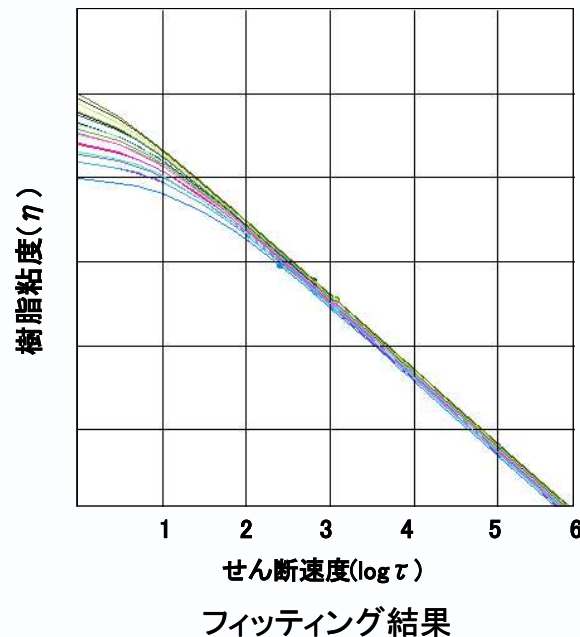
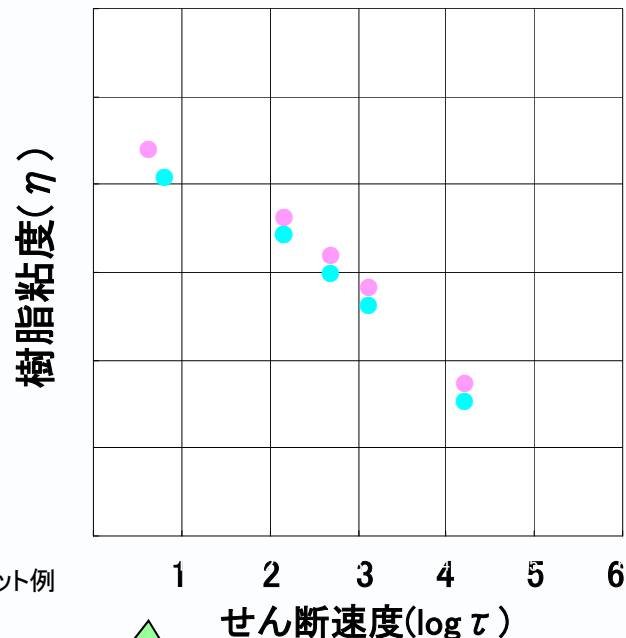
(cm³/sec)

図12 計量差による樹脂流量計算

測定結果

点を数式化し、
近似線で表示する。

フィッティング



定数の算出

生データは、ただの点なので、このままではシミュレーションソフトに使用できない。

Cross - WLF 式 (シミュレーション用定数計算式)

τ^* : 定数 (Pa)

n : 定数 (-)

D_1 : 定数 (Pa · s)

D_2 : 定数 (K)

D_3 : 圧力依存係数 (K / Pa)

A_1 : 定数 (-)

\tilde{A}_2 : 定数 (K)

シミュレーション用の定数

図13 実データとフィッティング

3. フィットティングソフトの開発 (ソフト)

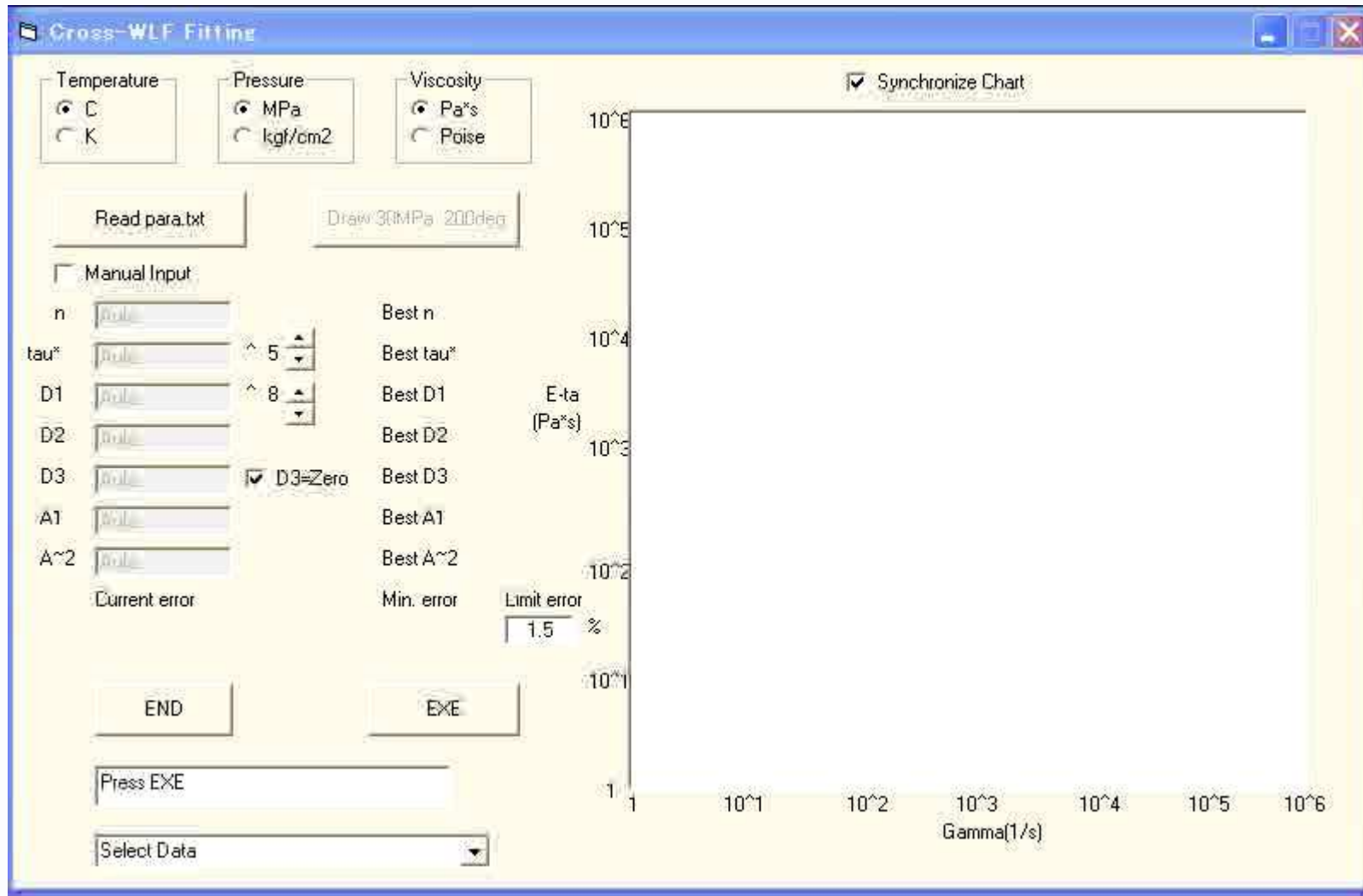


図14 フィットティングソフト画面

4. シミュレーションと実成形の検証

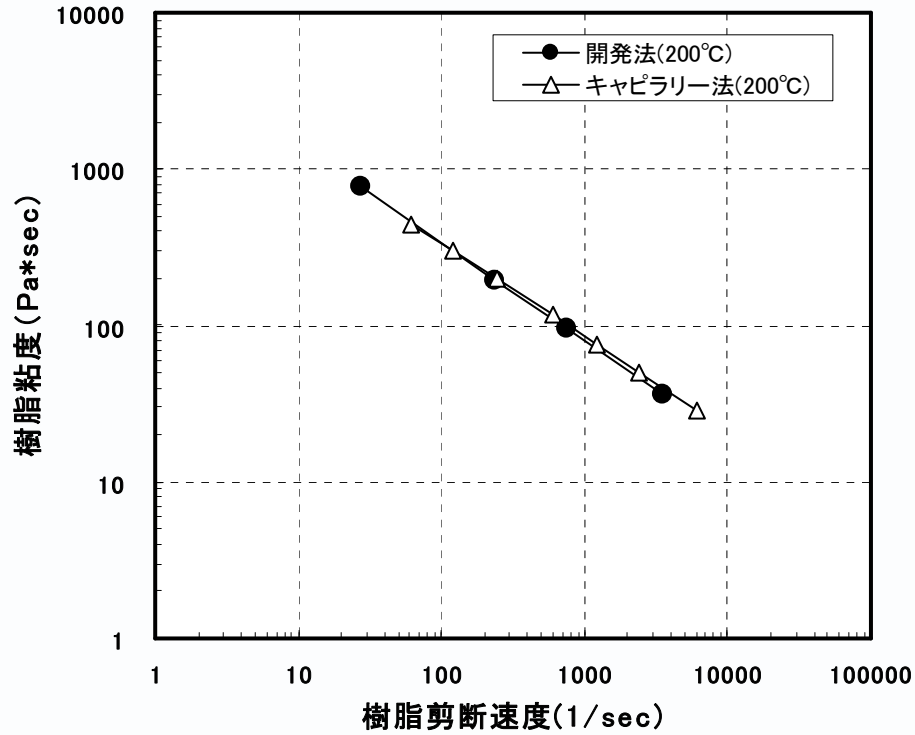


図15 PPのみの樹脂粘度

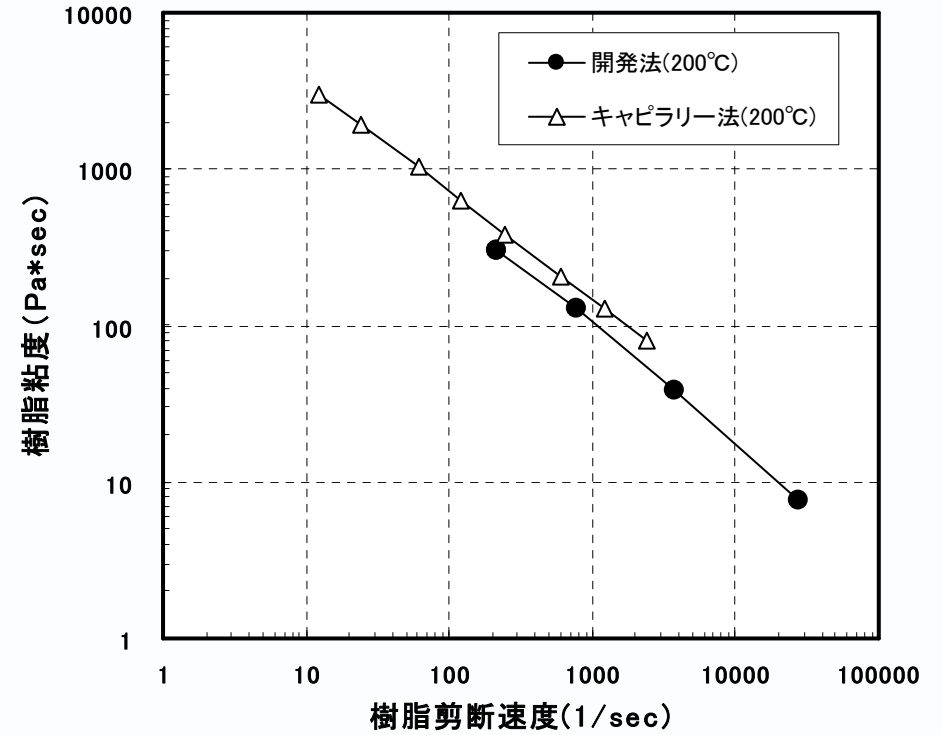


図16 短繊維GF含有PPの粘度

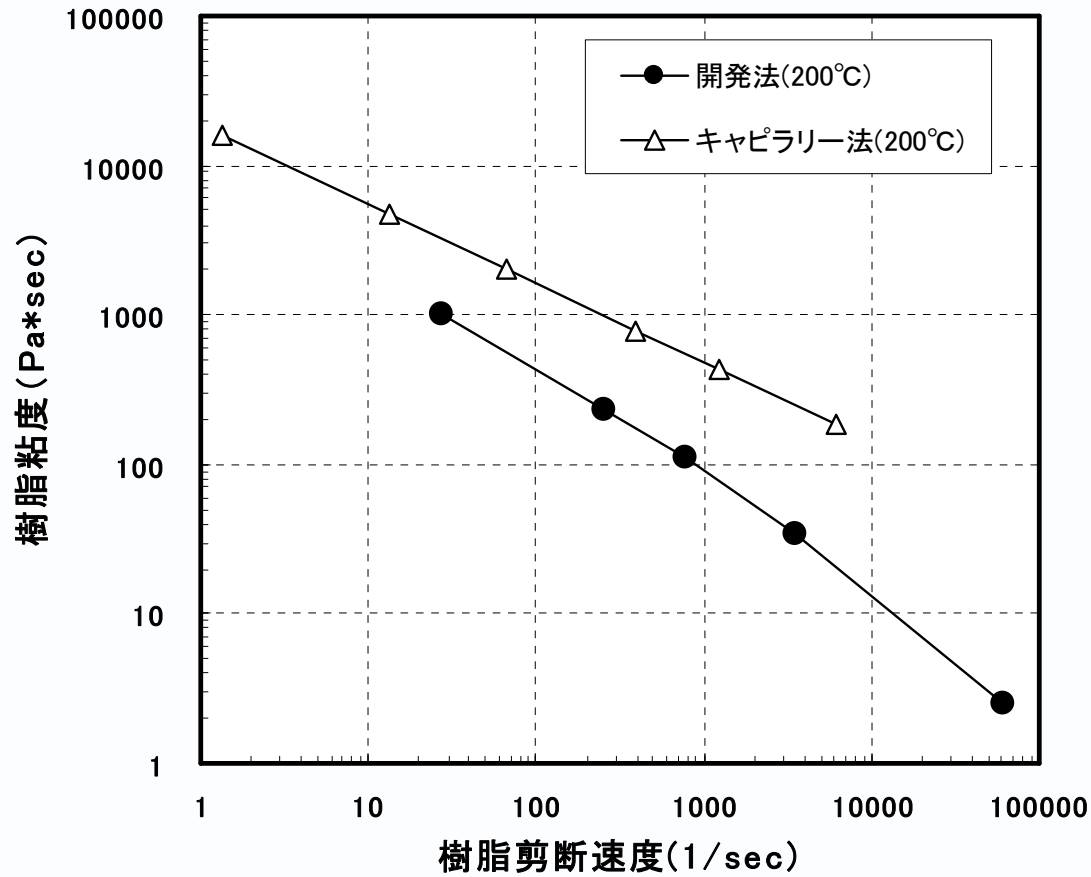
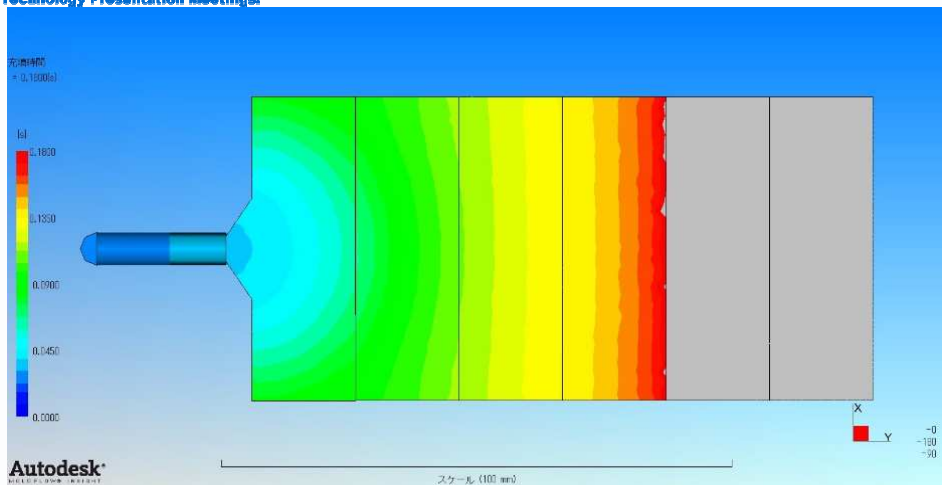


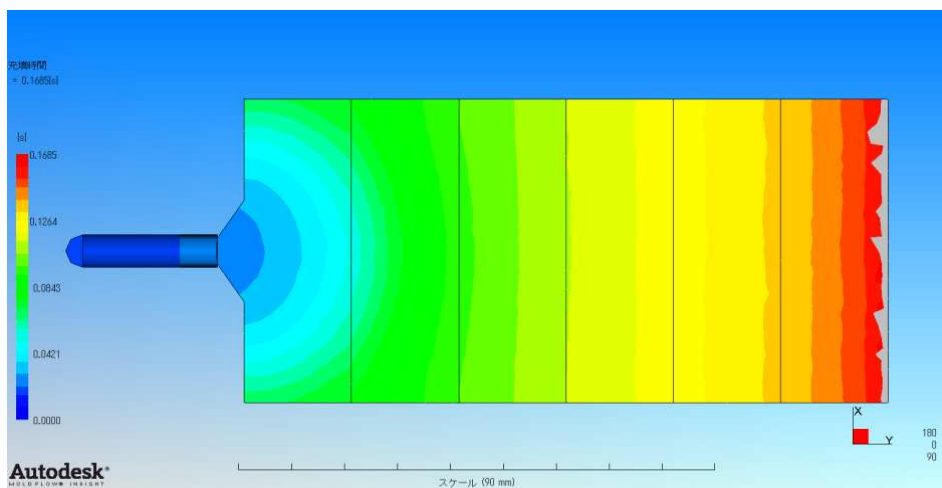
図17 長繊維GF含有PPの樹脂粘度



従来法データによる結果(長繊維)



実際の射出成形結果(長繊維)



開発法データによる結果(長繊維)

射出条件

成形機	J75-E II
シリンダ温度	200°C
金型温度	40°C
射出速度	97mm/sec
使用樹脂	LR23C

図 1 8 シミュレーションによる比較(長繊維)

想定される用途

- 本技術の特徴を生かすためには、ガラス繊維含有樹脂の成形における金型設計に適用することで精度向上・コスト削減のメリットが大きいと考えられる。
- また、達成された粘度測定法に着目すると、ゴムや熱硬化性樹脂の成形などの分野に展開することも可能と思われる。

実用化に向けた課題

- 現在、耐熱性300℃の圧力センサーを使用することで樹脂粘度が測定可能となった。しかし、それでも耐熱性に不足があり長時間の使用に耐えられない点が未解決である。
- 今後、他の圧力センサーについて実験データを取得し、耐熱性向上の検討を行っていく。

企業への期待

- まだ開発途中ではありますが、本測定法と C A E 解析・実成形比較を共同で取り組んでいただける企業を探しております。
 - ・ 射出成形業
 - ・ 樹脂メーカー
 - ・ 樹脂/フィラー混練業
 - ・ ゴム等その他成形業 など

本技術に関する知的財産権

①発明の名称：樹脂粘度測定方法及び樹脂粘度測定装置

出願番号：特願2010-25819

特許番号：特許第5678432号

出願人：広島県

発明者：佐々木憲吾 田平公孝

②発明の名称：演算装置、演算処理プログラム、および演算方法

出願番号：特願2020-13797

特許番号：特許第7297215号

出願人：広島県

発明者：田平公孝 佐々木憲吾 後藤孝文

お問い合わせ先

○技術に関することについて

広島県立総合技術研究所 西部工業技術センター
技術支援部

TEL 0823-74-0050

FAX 0823-74-1131

e-mail wkcgijutsu@pref.hiroshima.lg.jp

○契約に関することについて

広島県立総合技術研究所 企画部

TEL 082-223-1200

FAX 050-3156-3479

e-mail sgkkikaku@pref.hiroshima.lg.jp