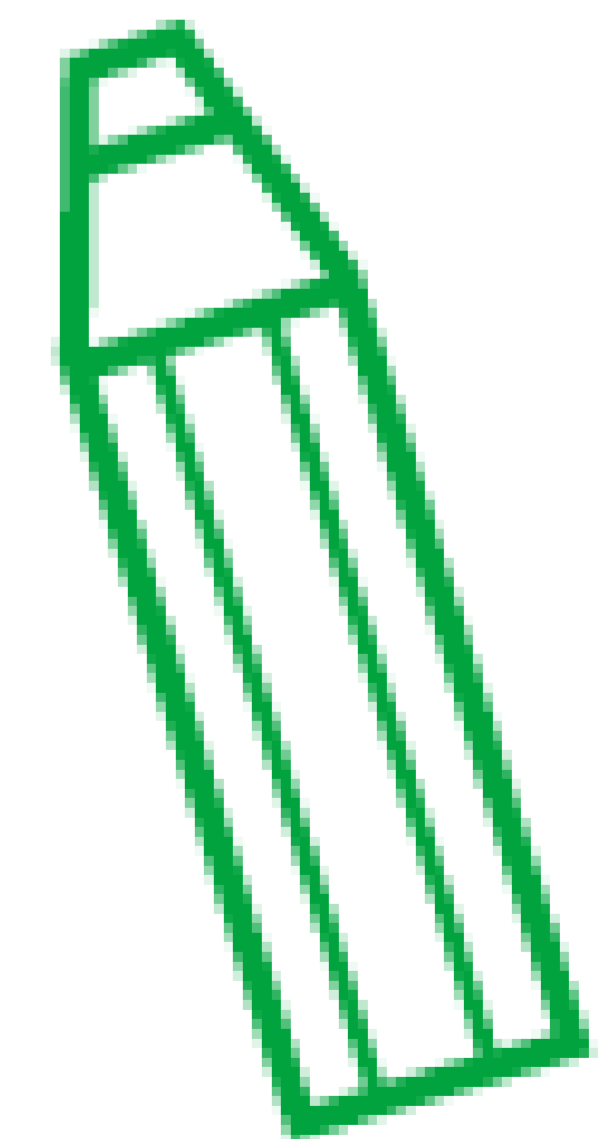
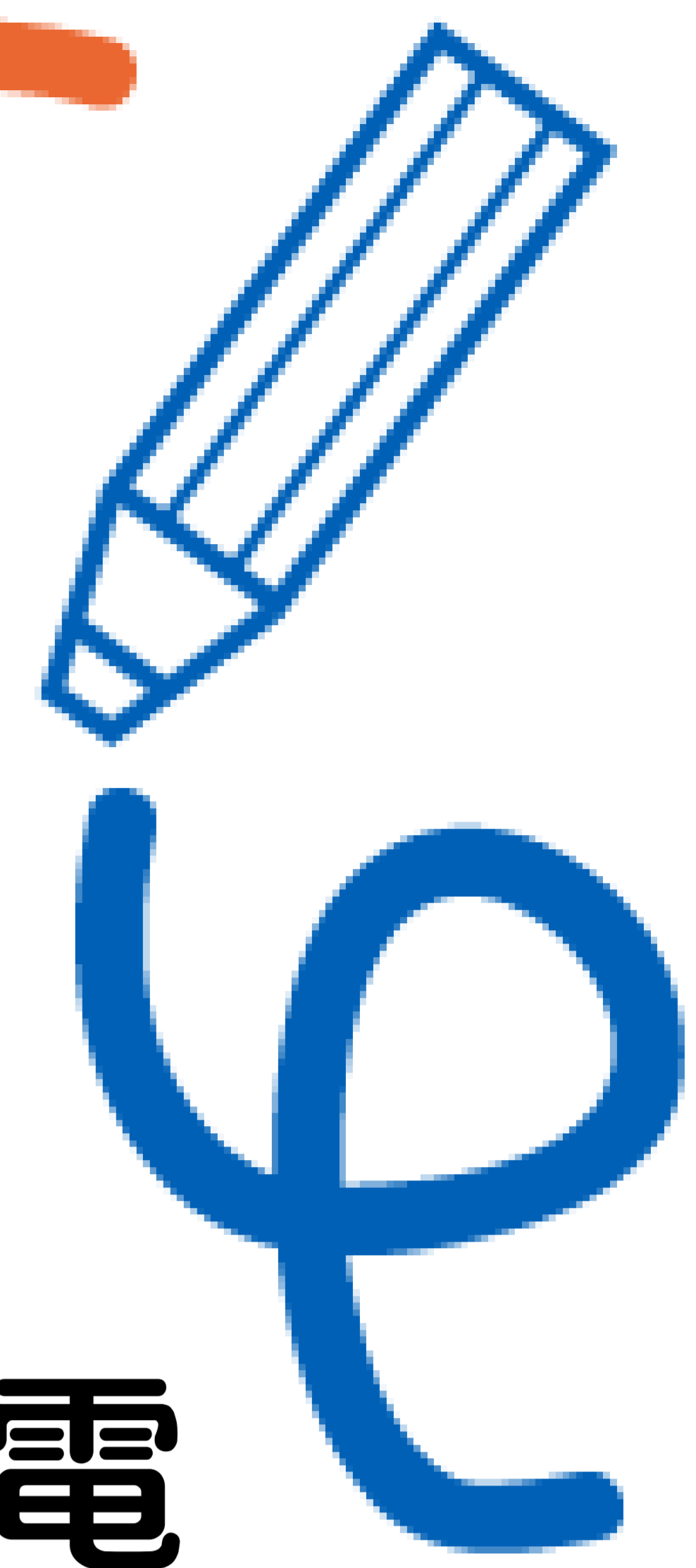


スパコンで見る 原子炉の中のお湯炊き状態

日本原子力研究開発機構
原子力基礎工学研究部門
熱流動研究グループ
吉田啓之

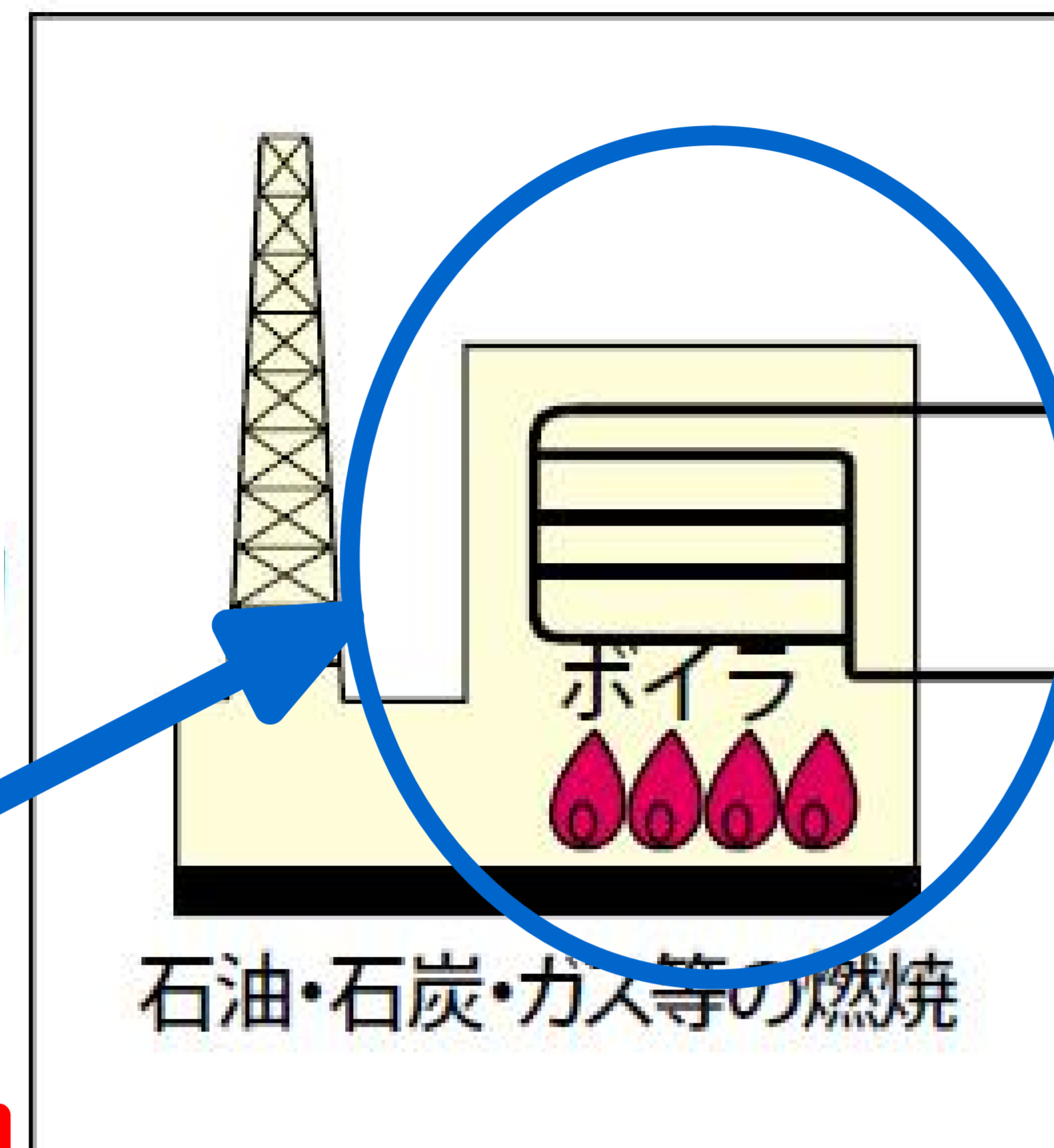


火力発電と原子力発電



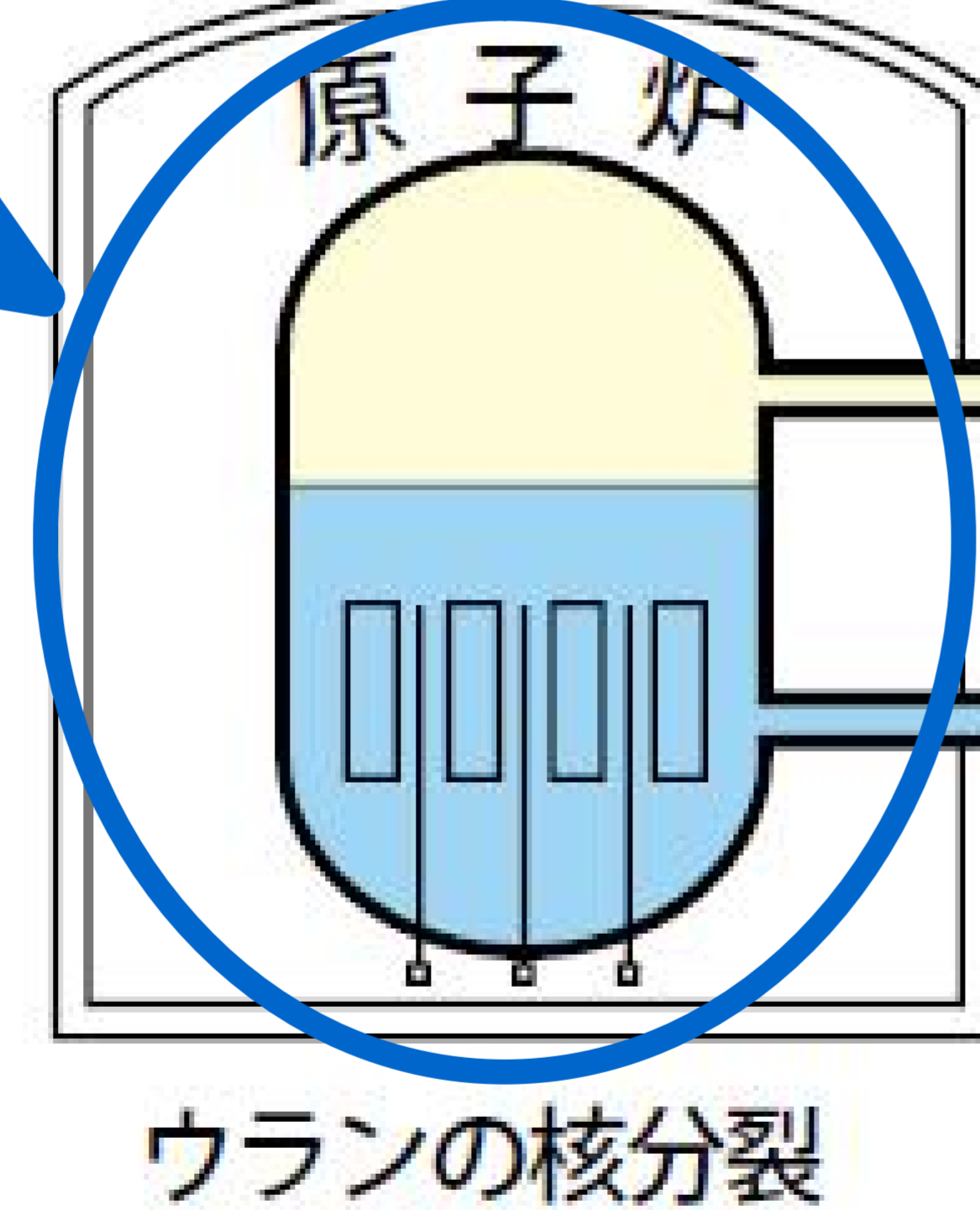
火力発電

大きい
「湯沸器」



沸かした蒸気

原子力発電

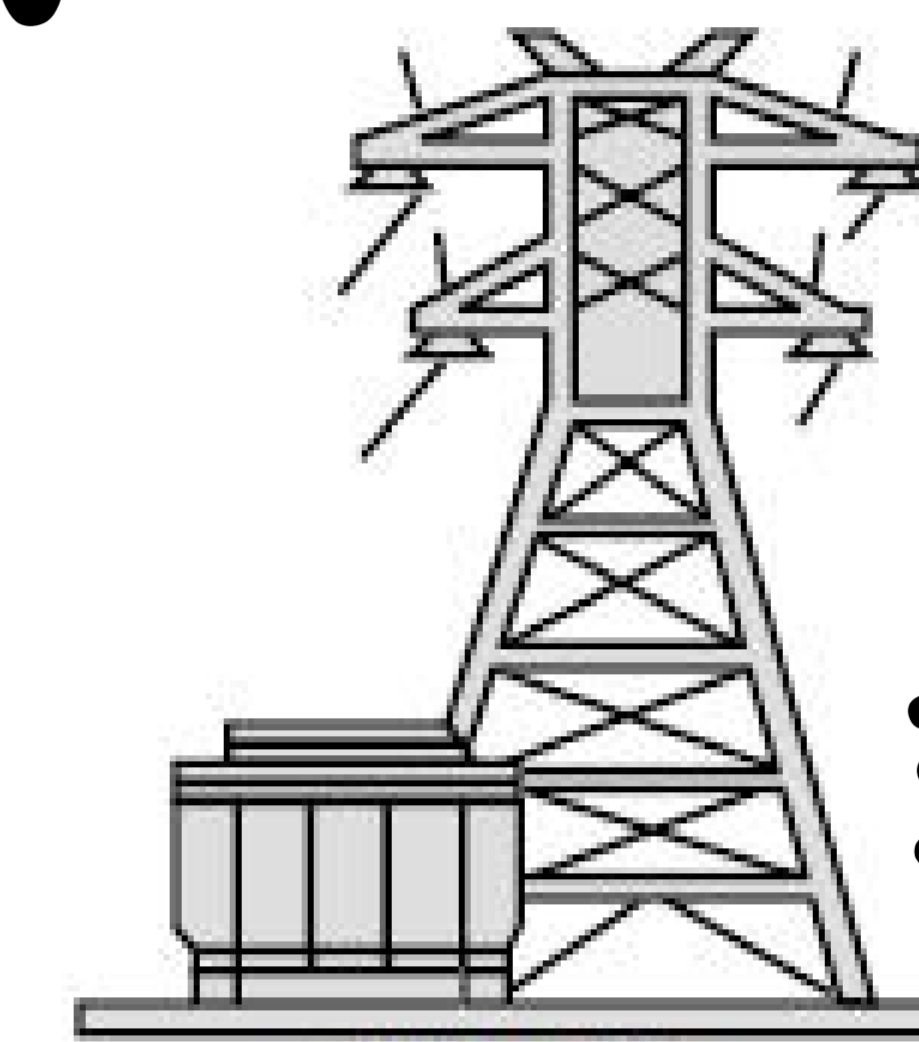


蒸気

水

水

給水ポンプ



発電

変圧器

タービン

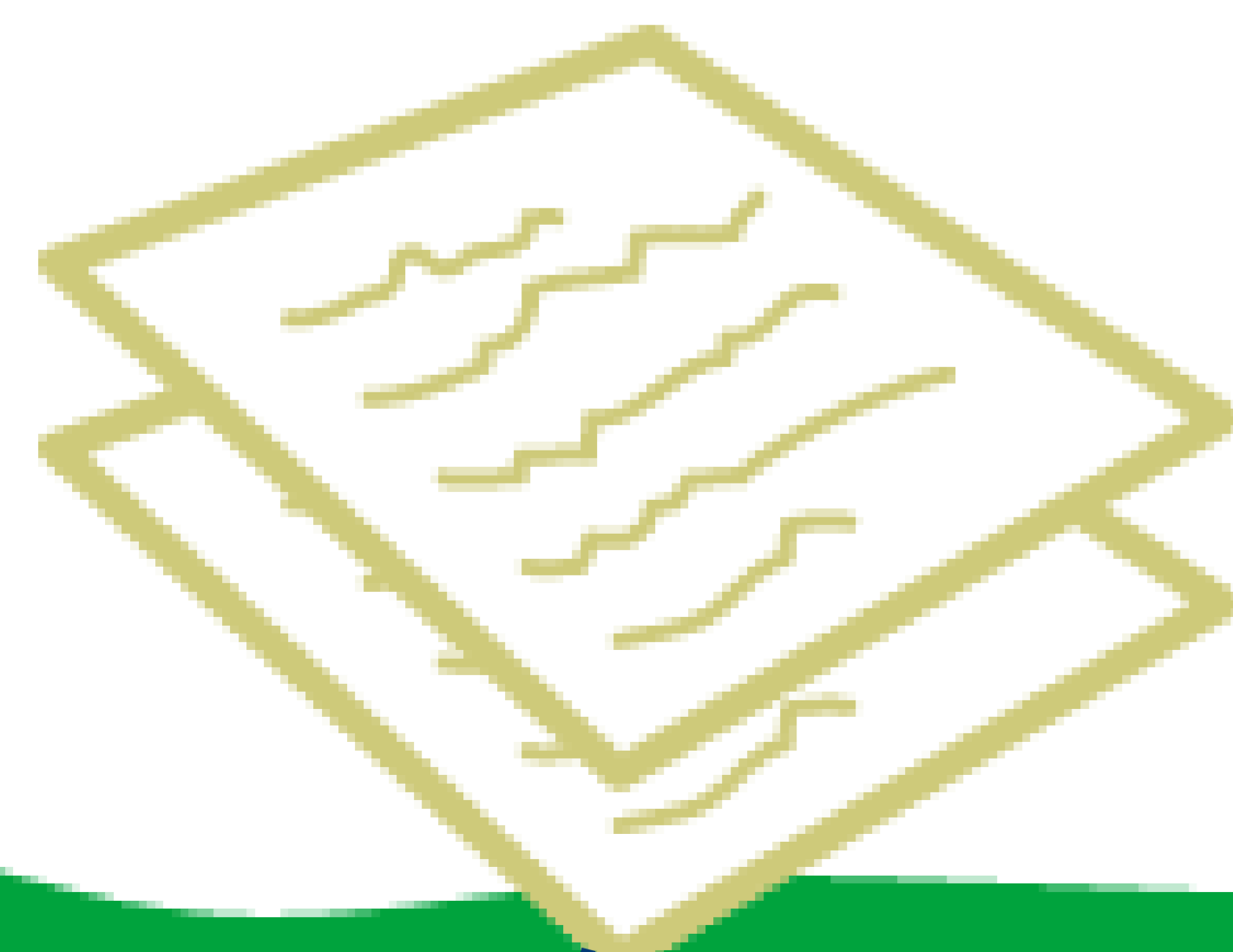
発電機

タービンを回す

復水器

放水路へ
冷却水
(海水)

循環水
ポンプ



- ・ 「湯沸器」が違う → 何が違う？
— エネルギーのもと (石油など → ウラン)

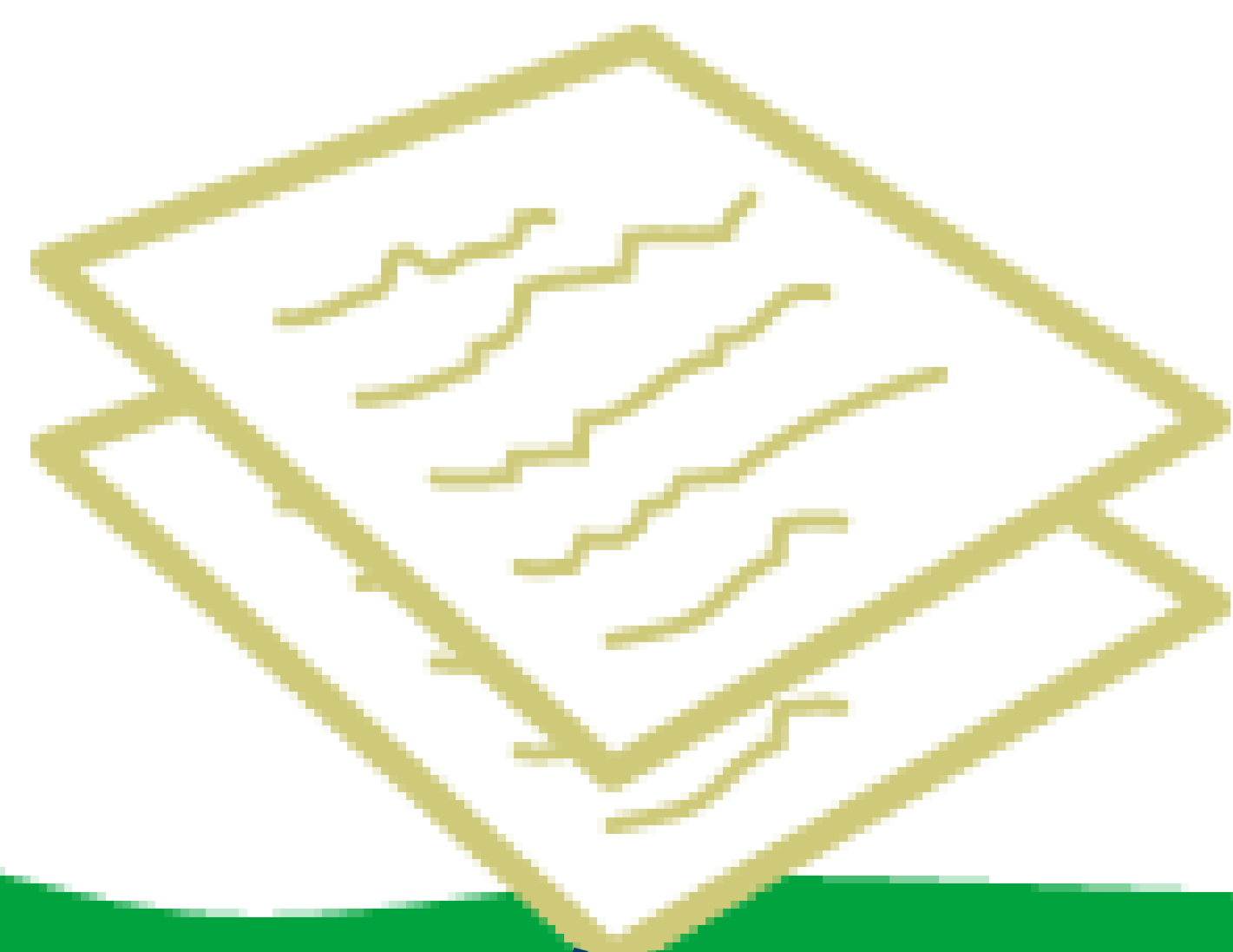
原子力発電所の「湯沸器」

- 放射性物質(ウラン, 核分裂生成物など)を

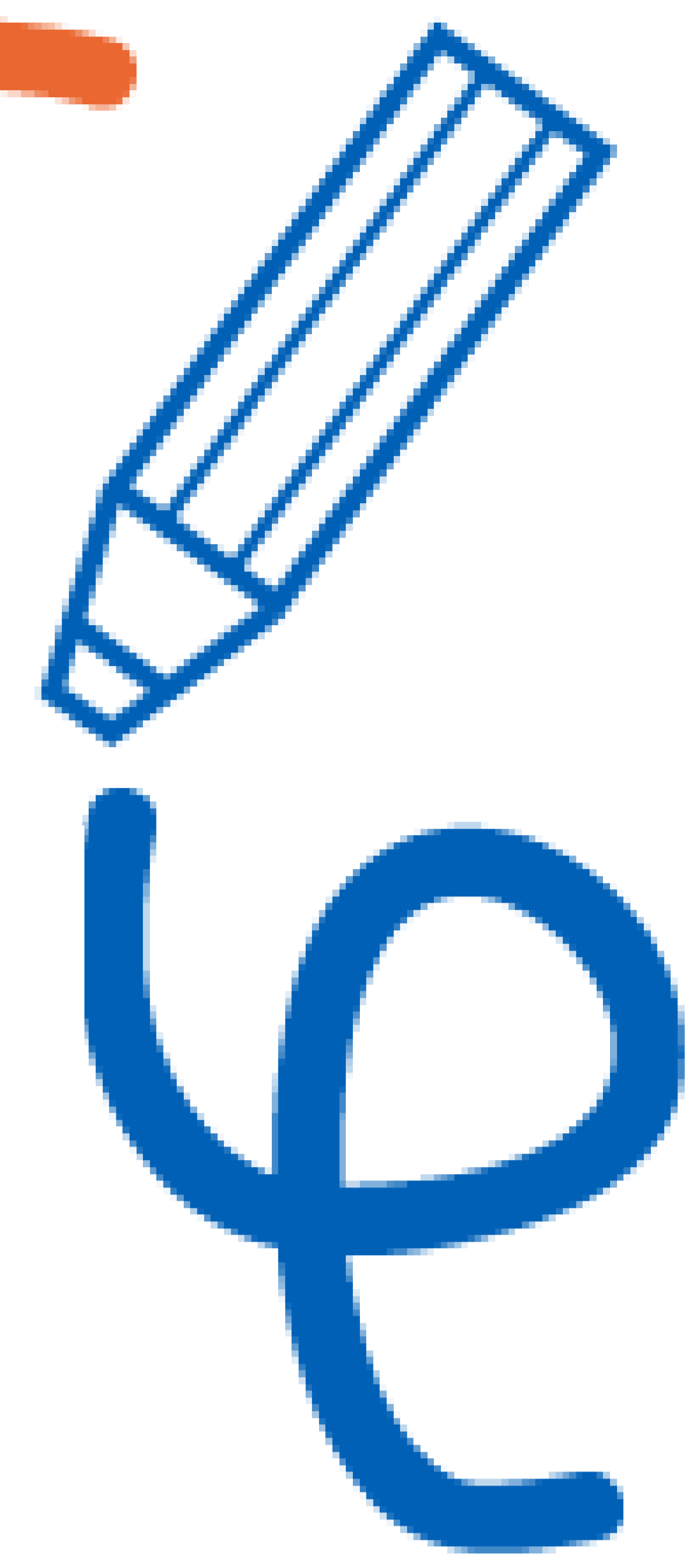


- 放射性物質をとじこめることができるように

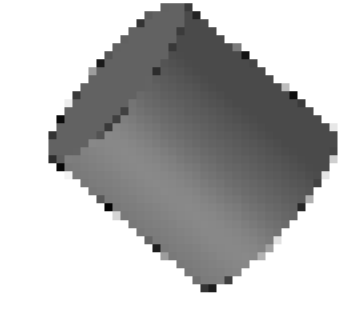
に  する



原子炉の燃料の作り方



燃料ペレット



二酸化ウランの粉末

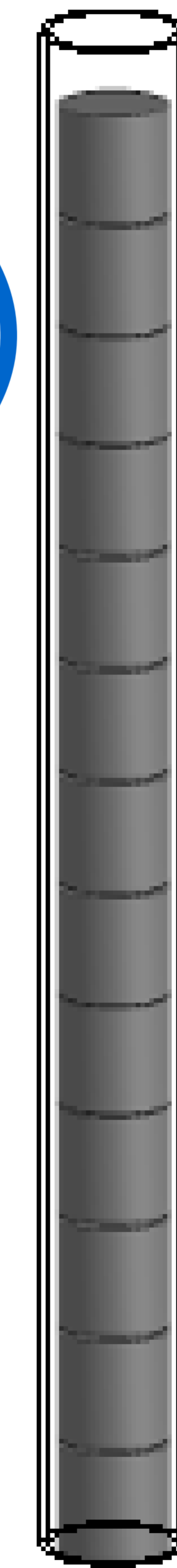
成型し
焼き固める



高さ:約1 cm
直径:約1 cm

燃料ペレット

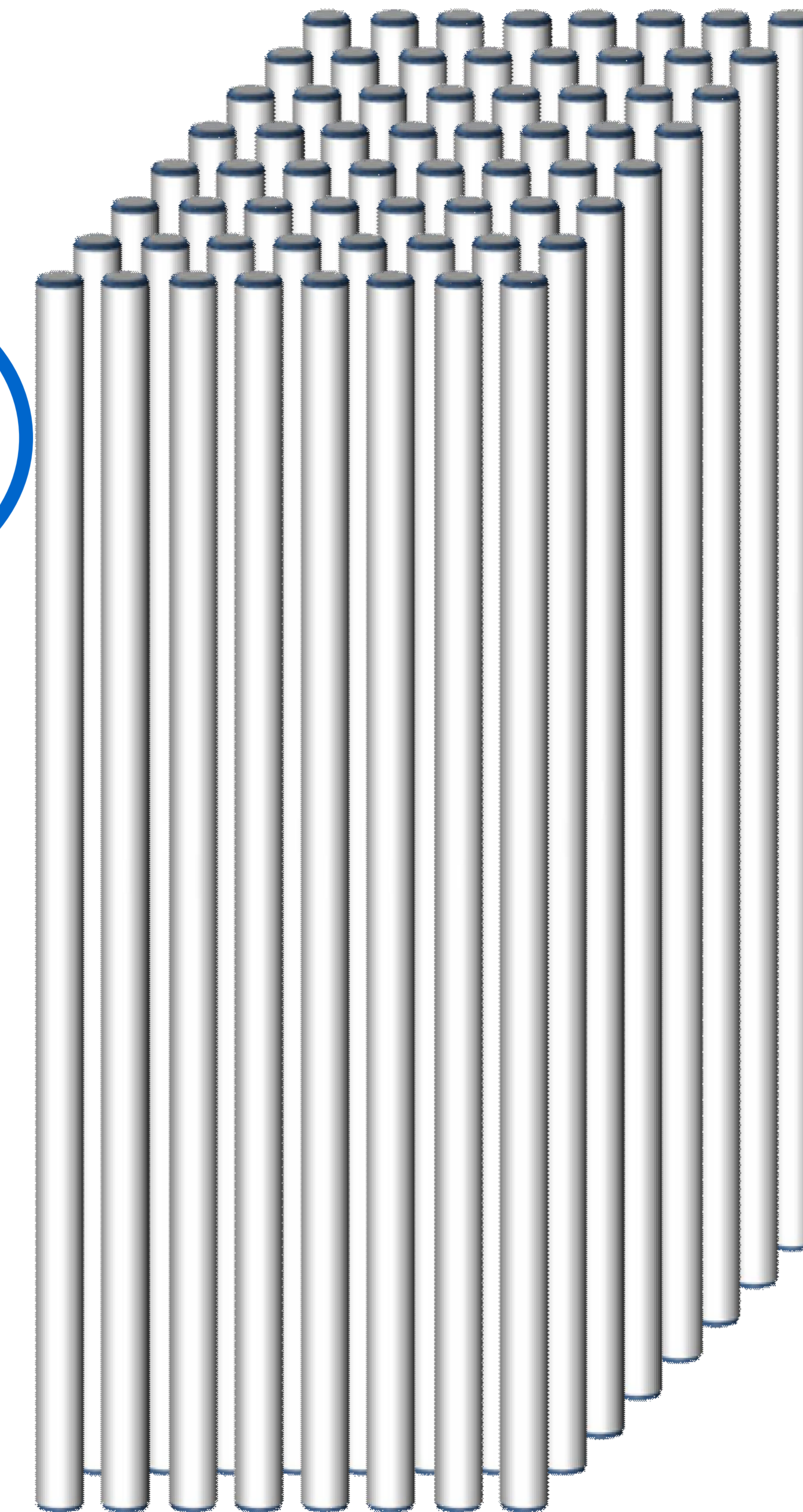
金属の管に
約350個の燃料
ペレットをつめる



長さ:約4[m]
直径:約1 [cm]

燃料棒

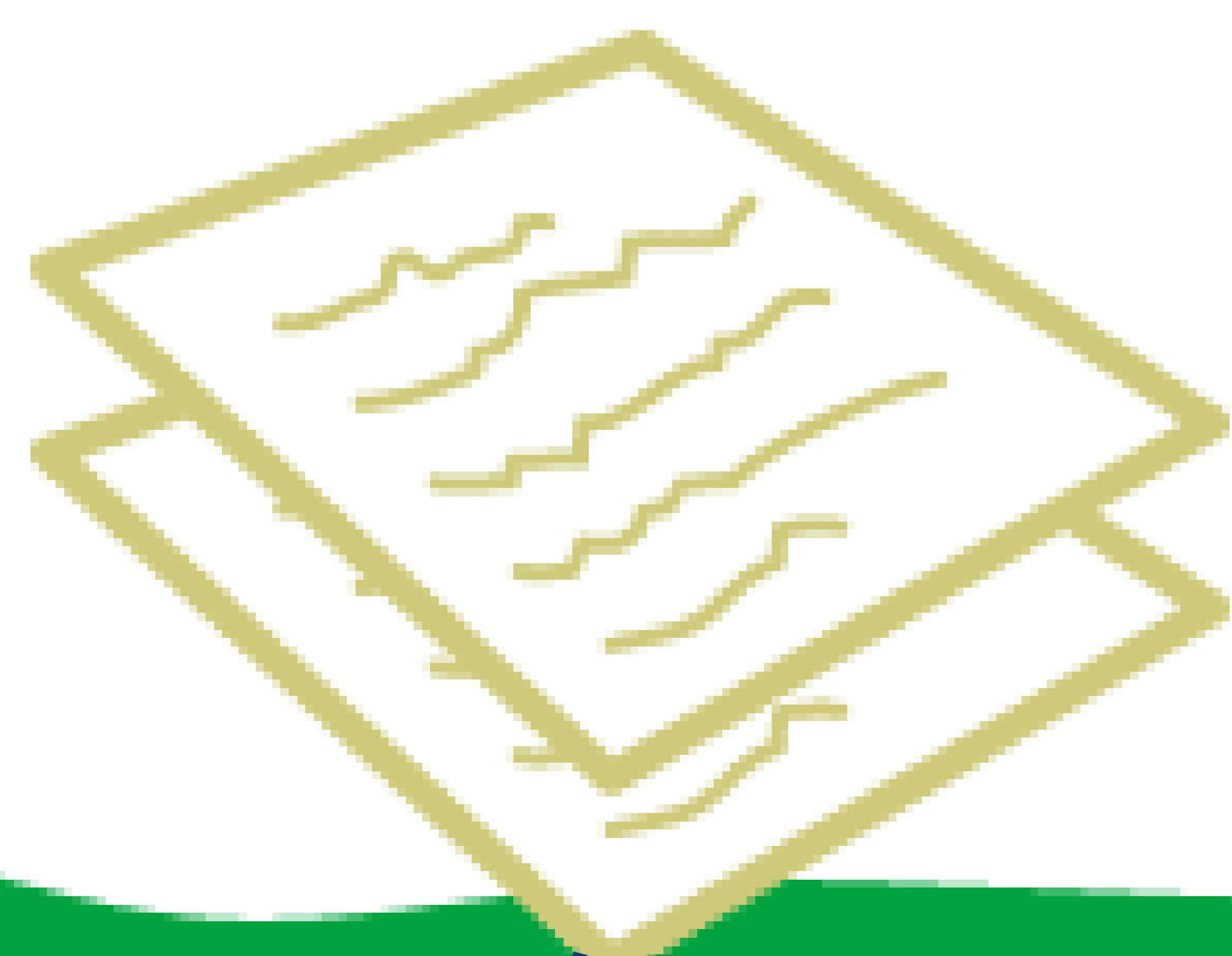
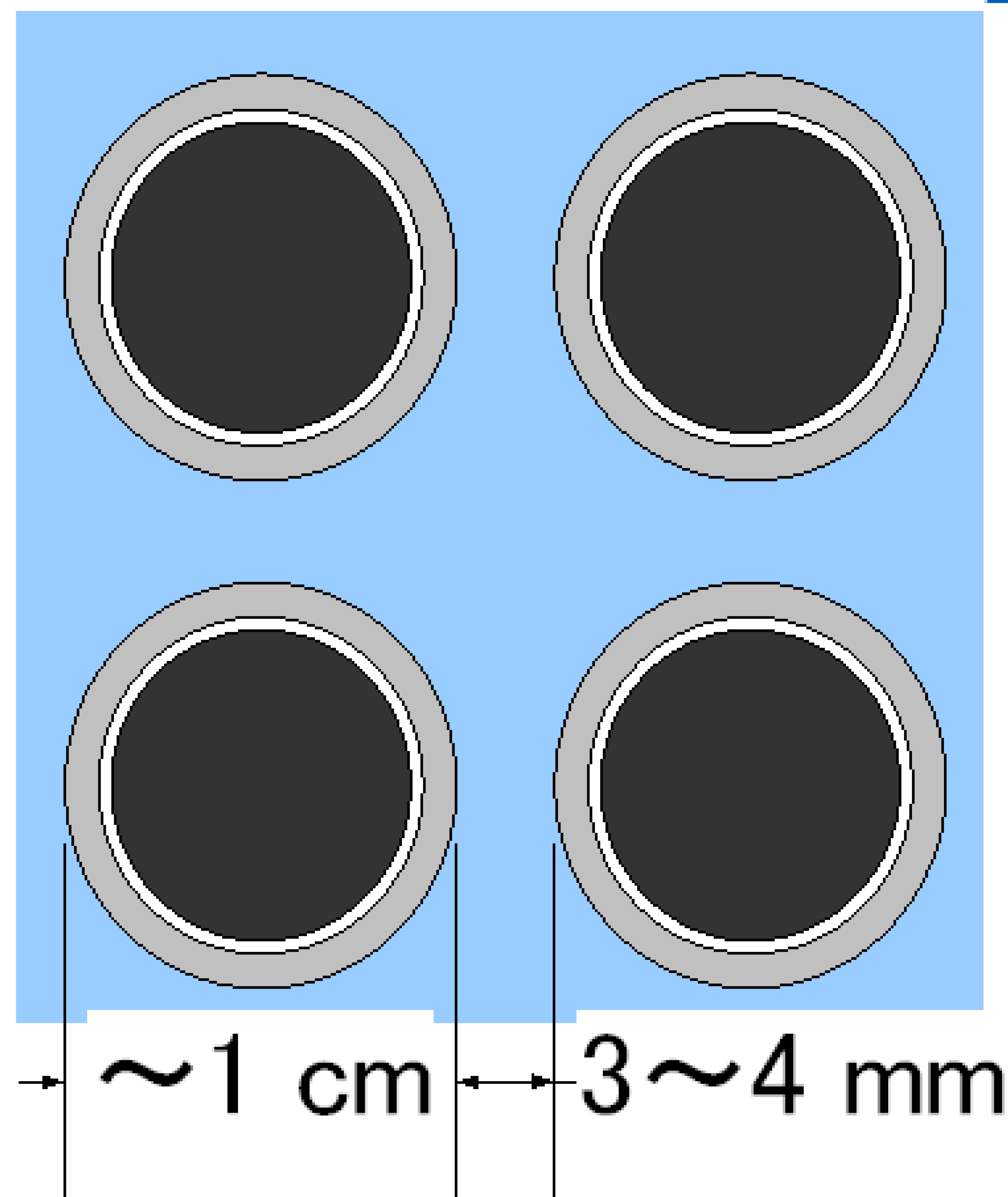
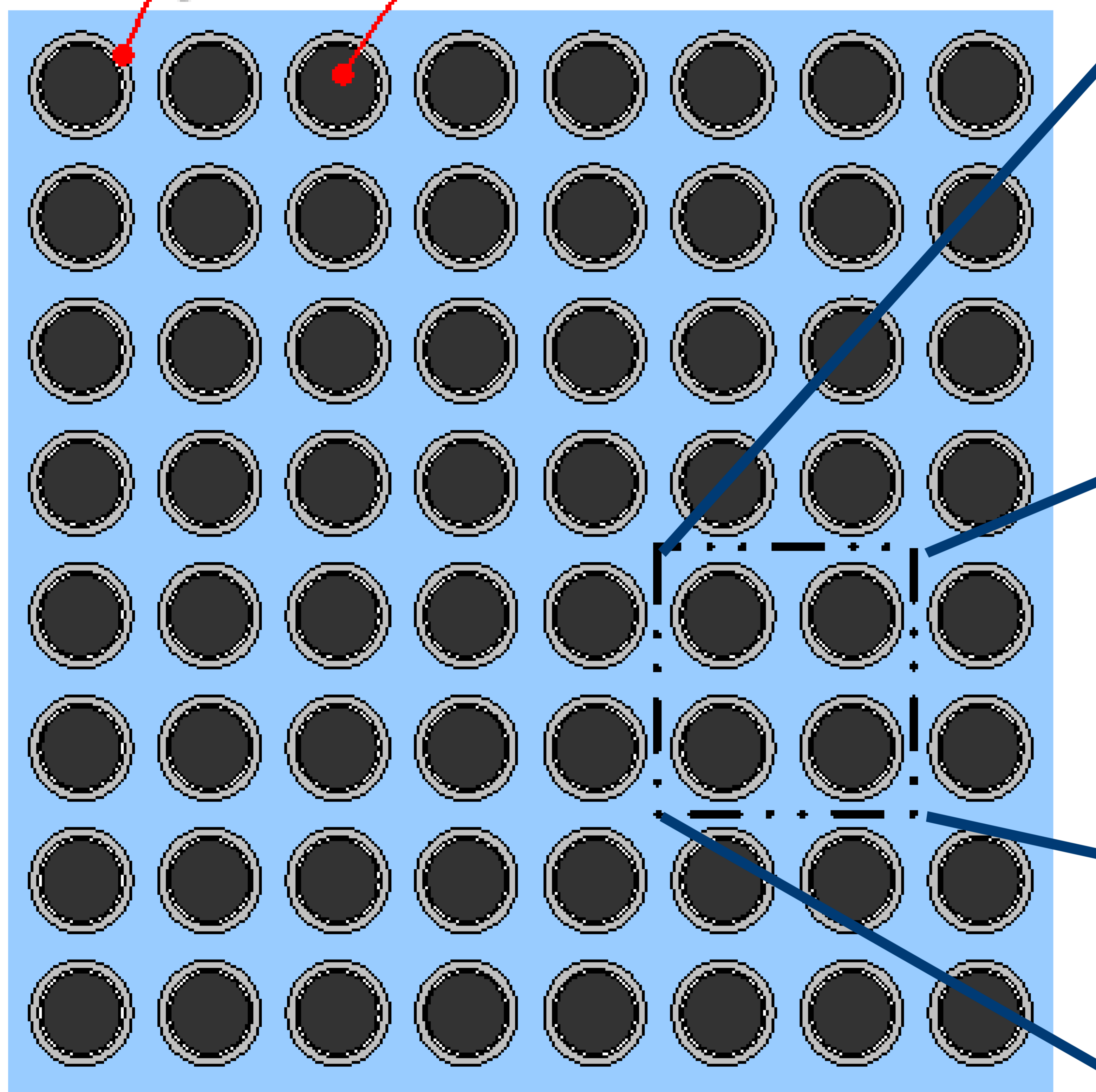
数十本
束ねる



燃料
(燃料集合体)

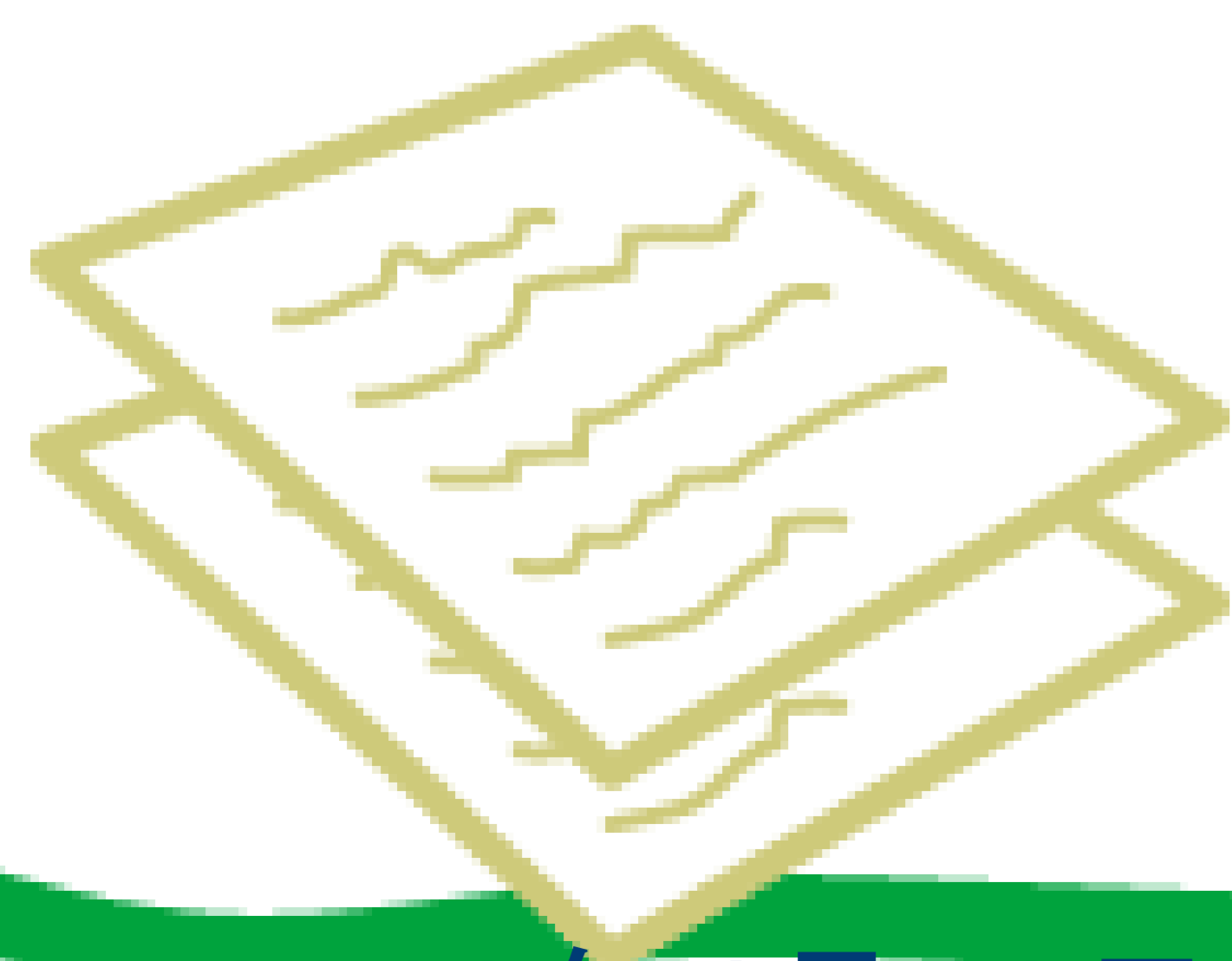
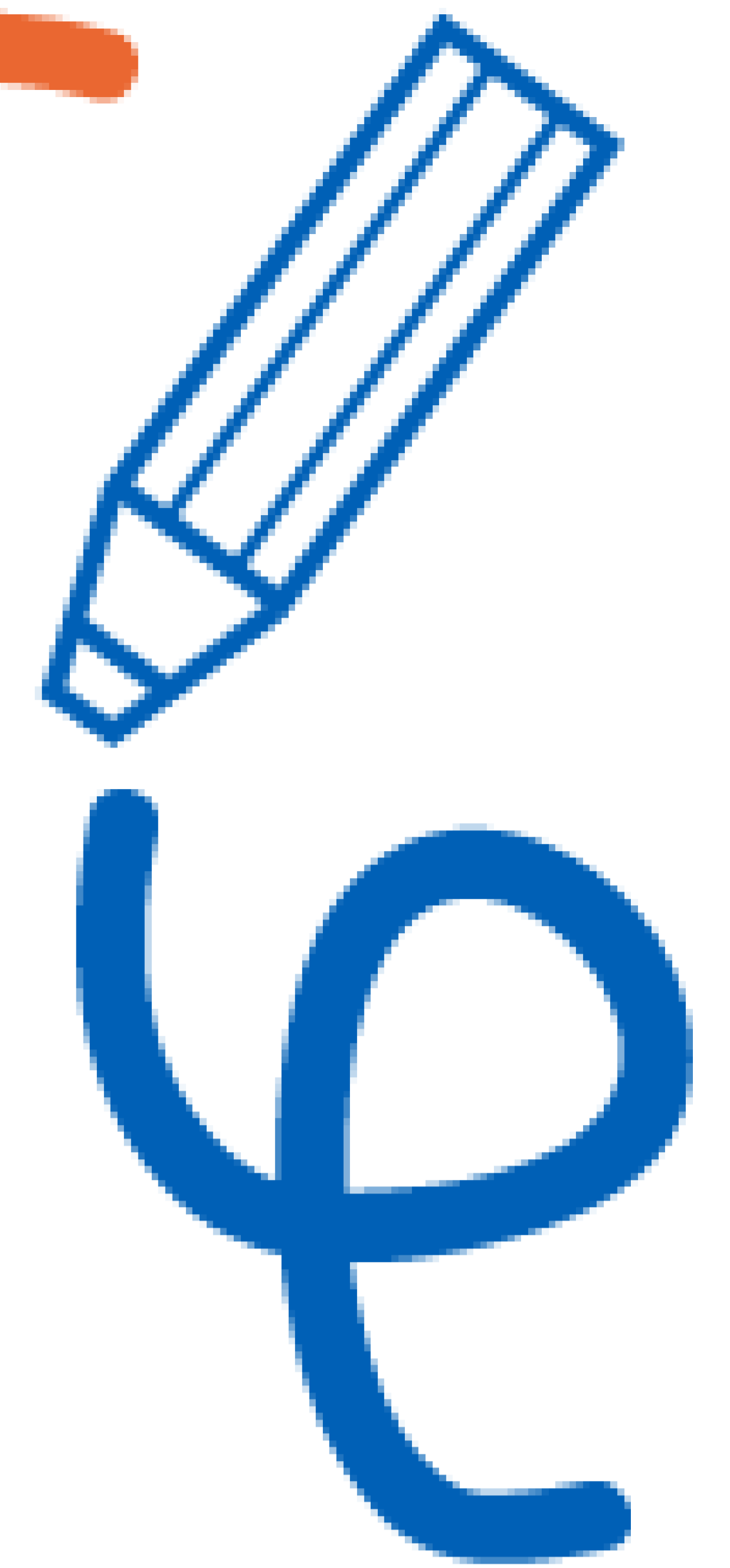
原子炉の燃料ってどんな形？

金属管 燃料ペレット

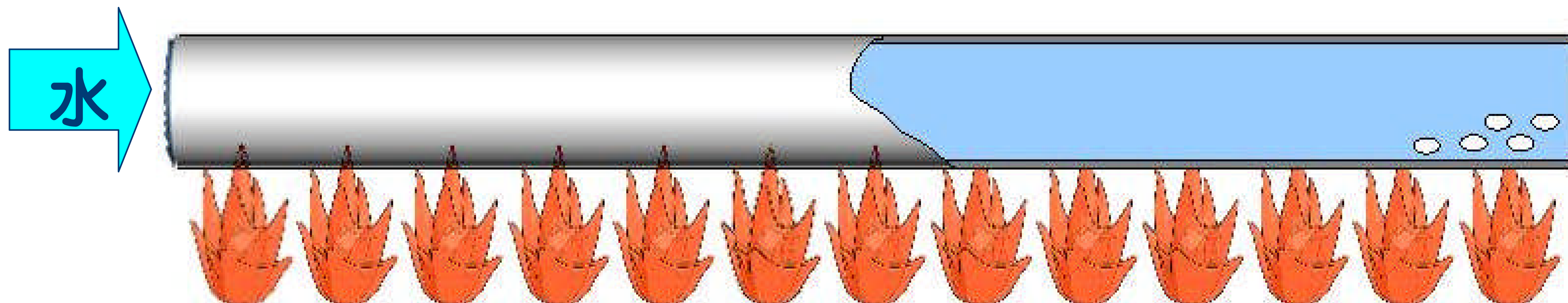
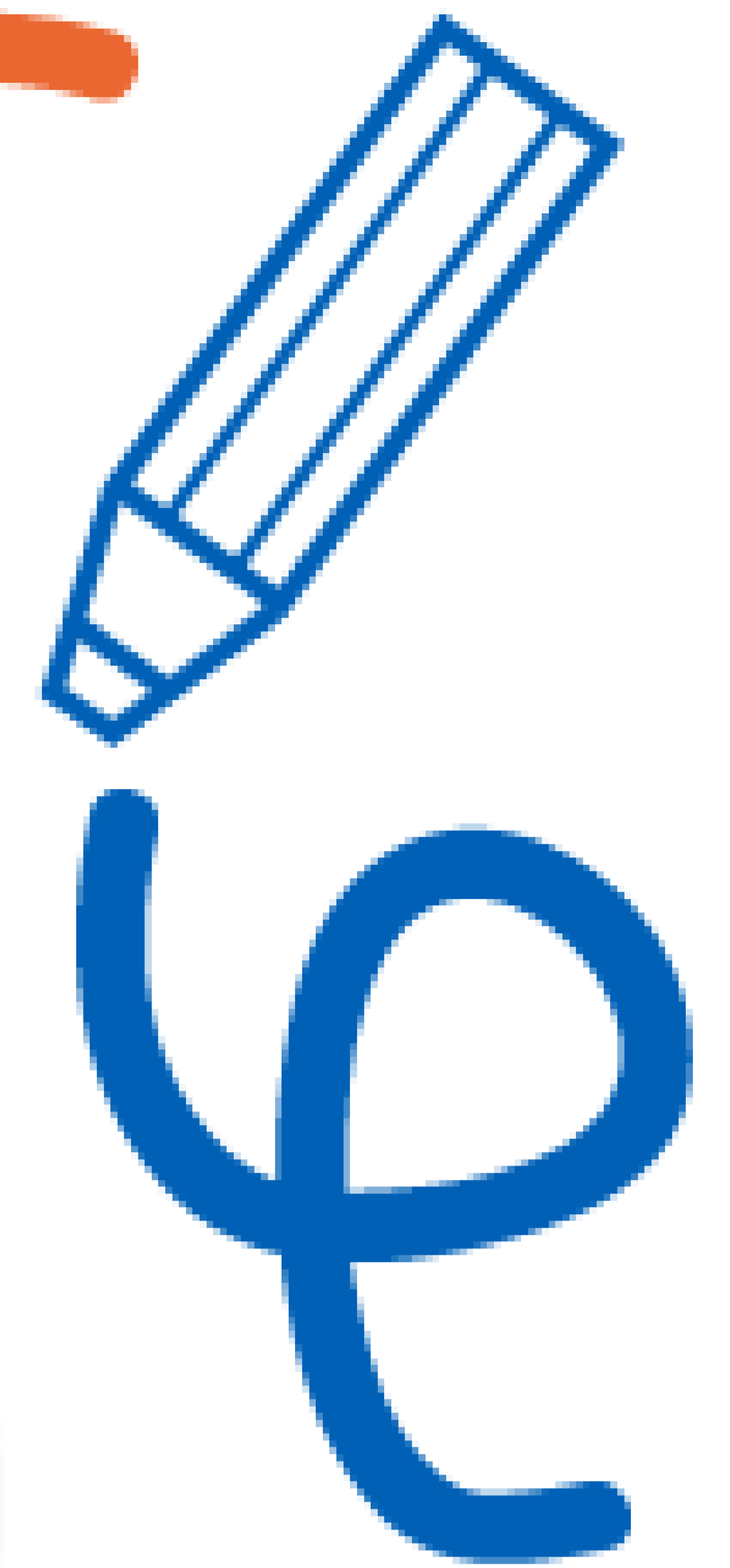


燃料を冷やしましょう

- 燃料棒と燃料棒の間に水を流す
- 水の中では沸騰が起こる
 - 沸騰でできた蒸気で発電する
- たくさん水を流せば冷えます



たくさんのお水で冷やすと…



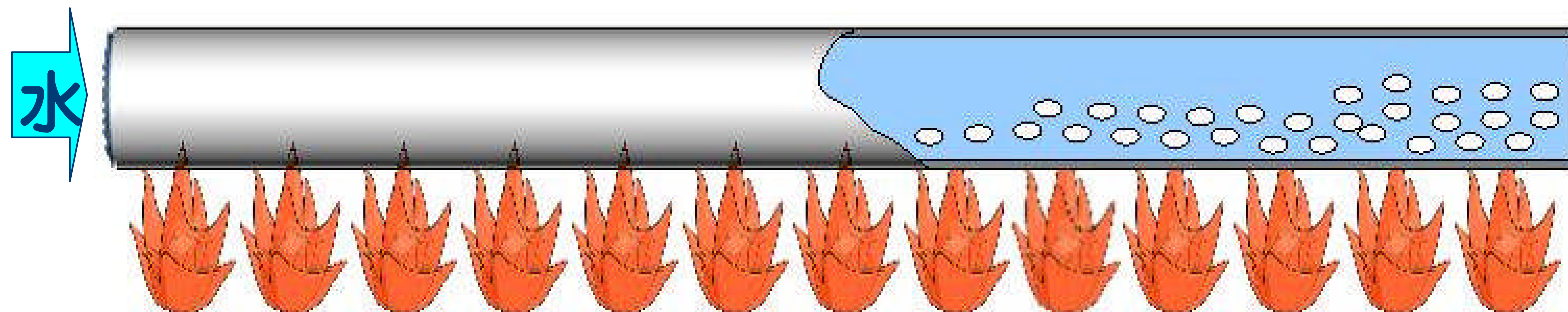
- ほとんど蒸気ができません



- **少しの電気**しかできません



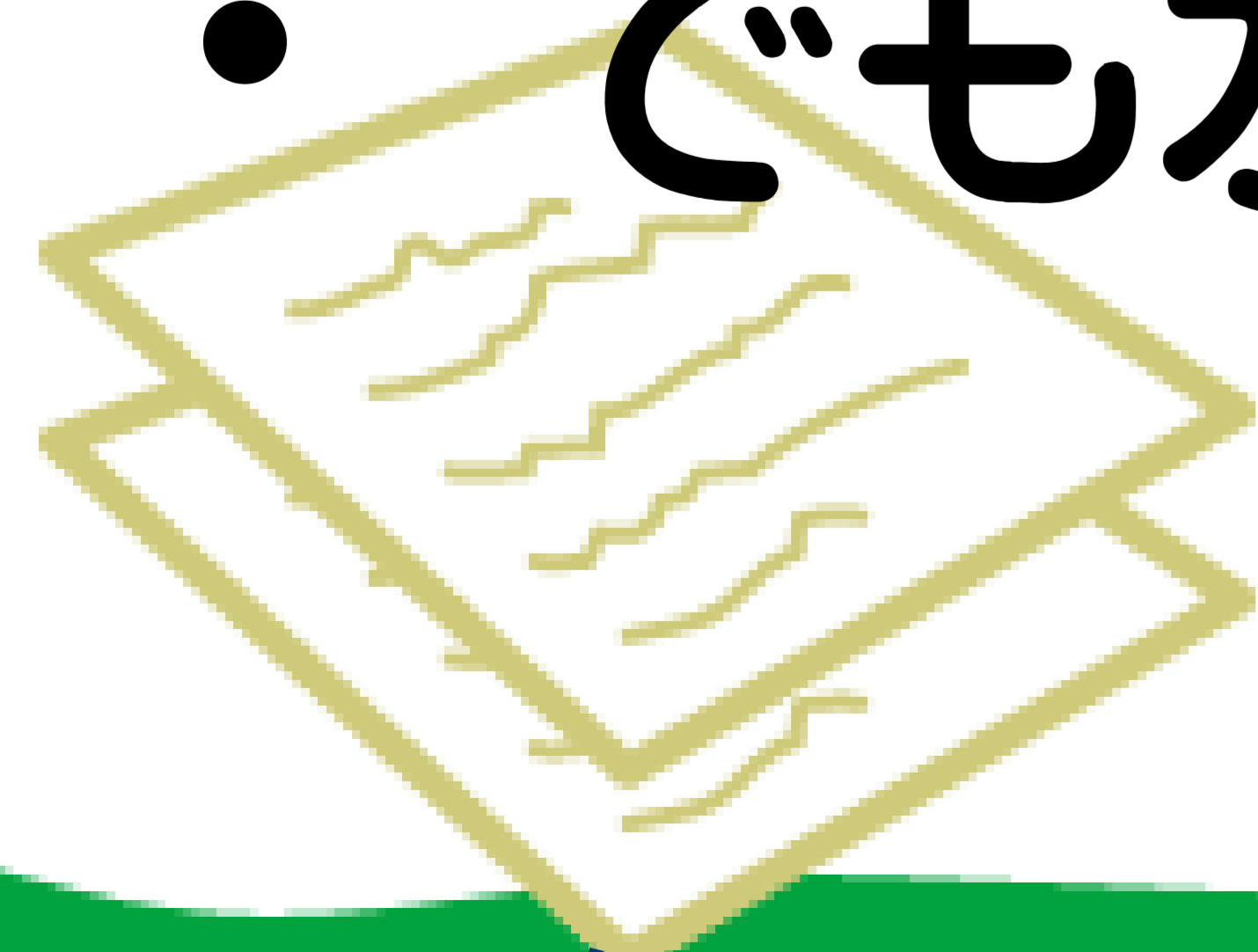
少ない水で冷やすと…



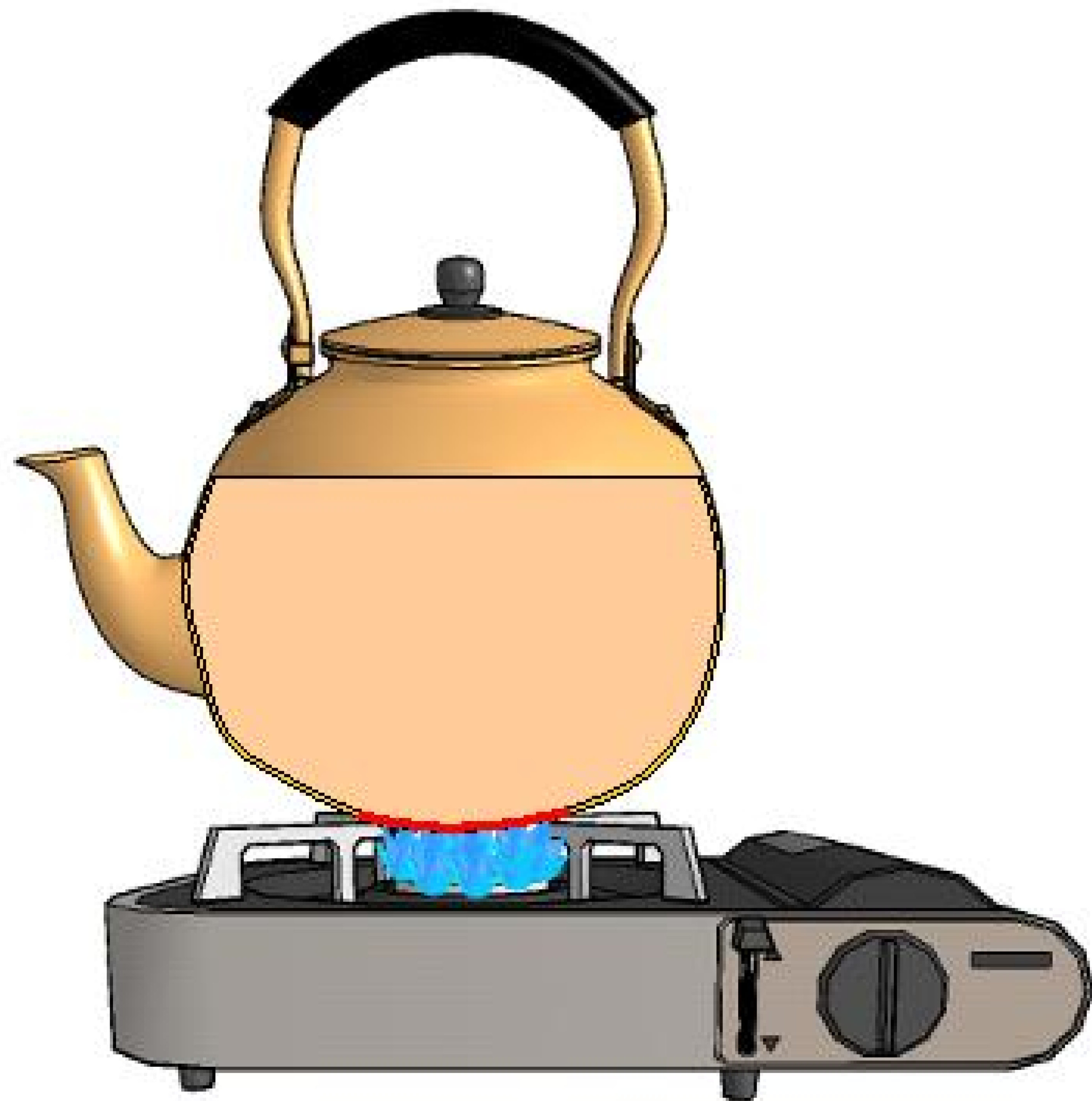
- たくさん蒸気ができます



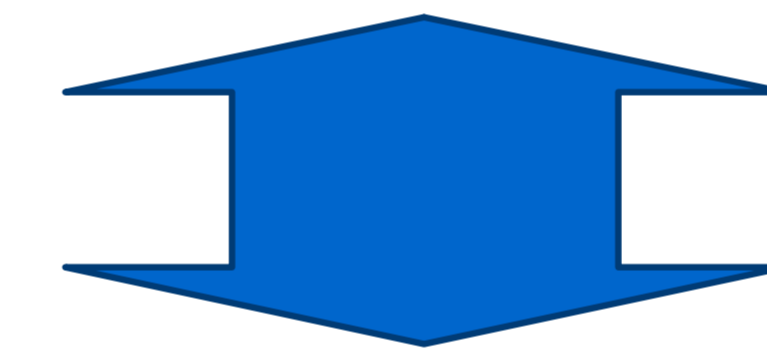
- でも水がなくなると…



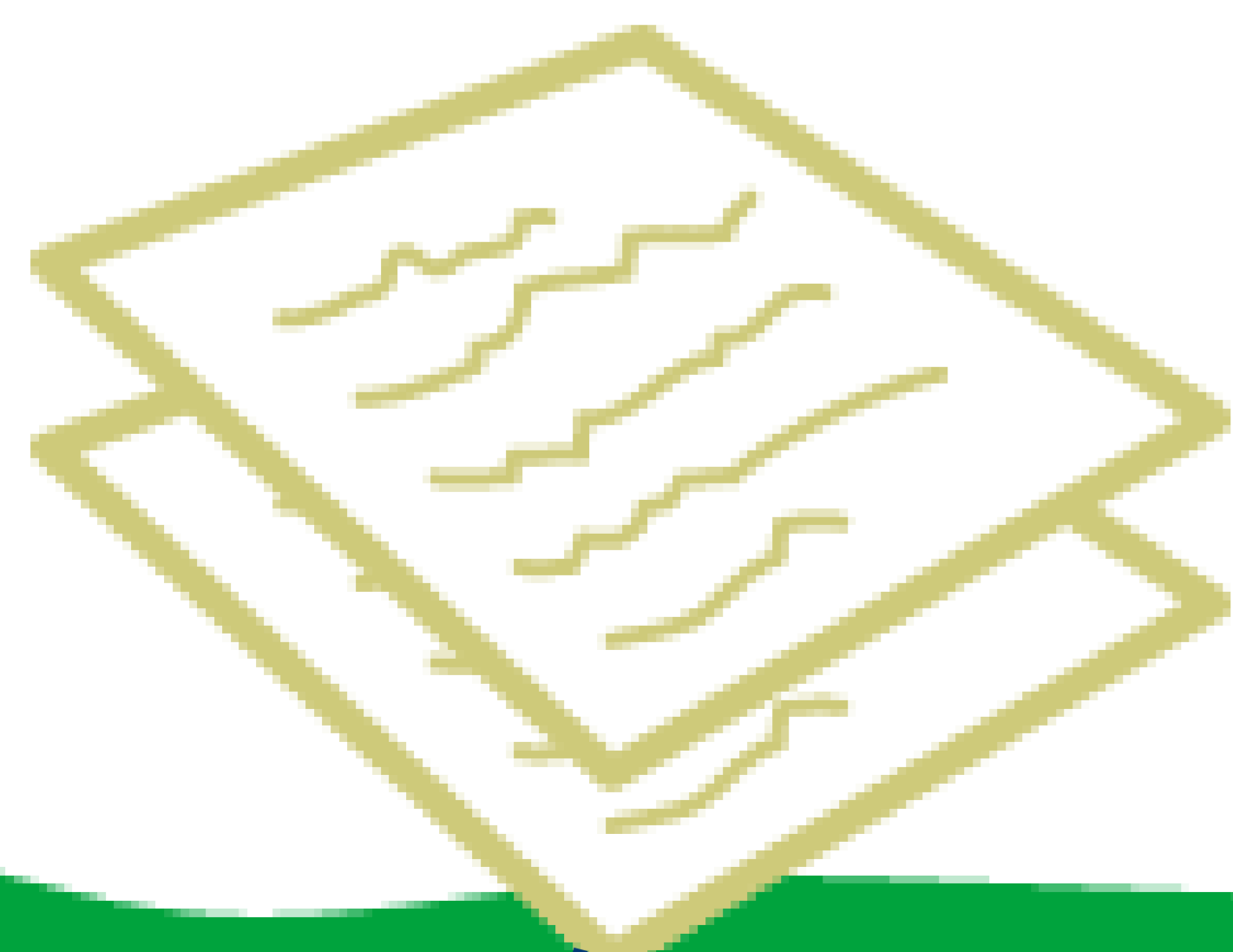
水がなくなると...



- 空だきしたやかん
 - 形がゆがむ
 - 穴が開く

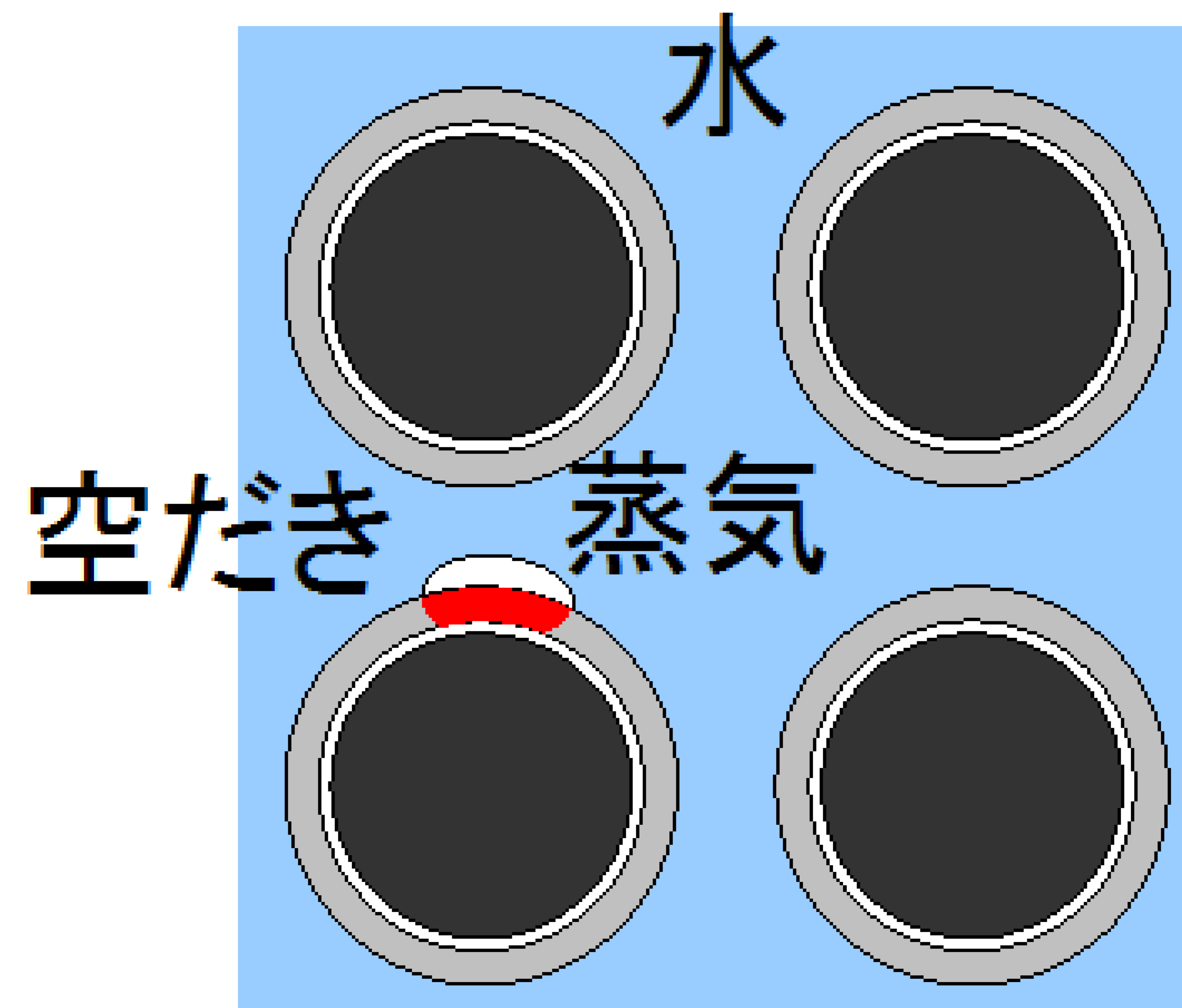


- 燃料棒
 - 曲がる
 - もろくなる

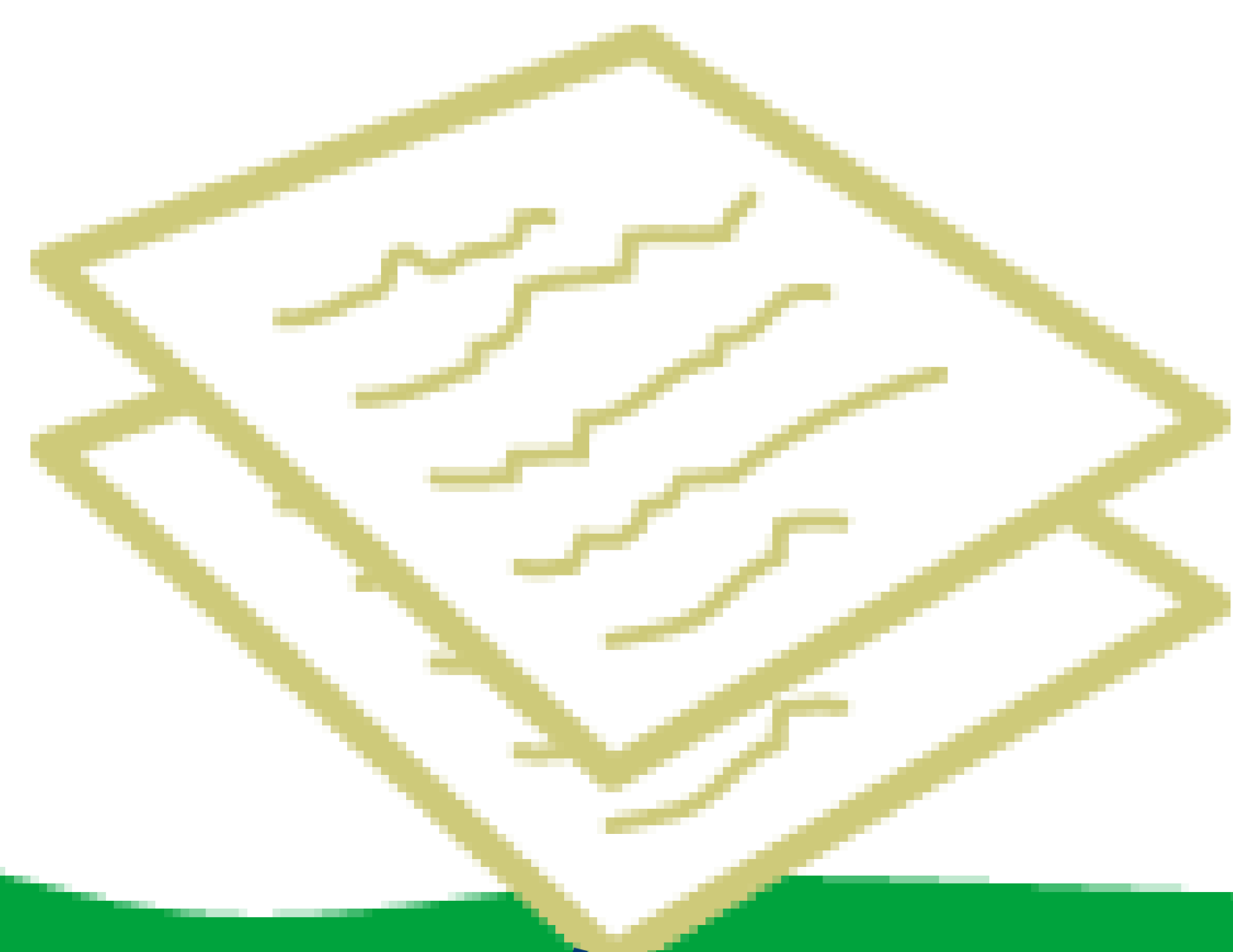
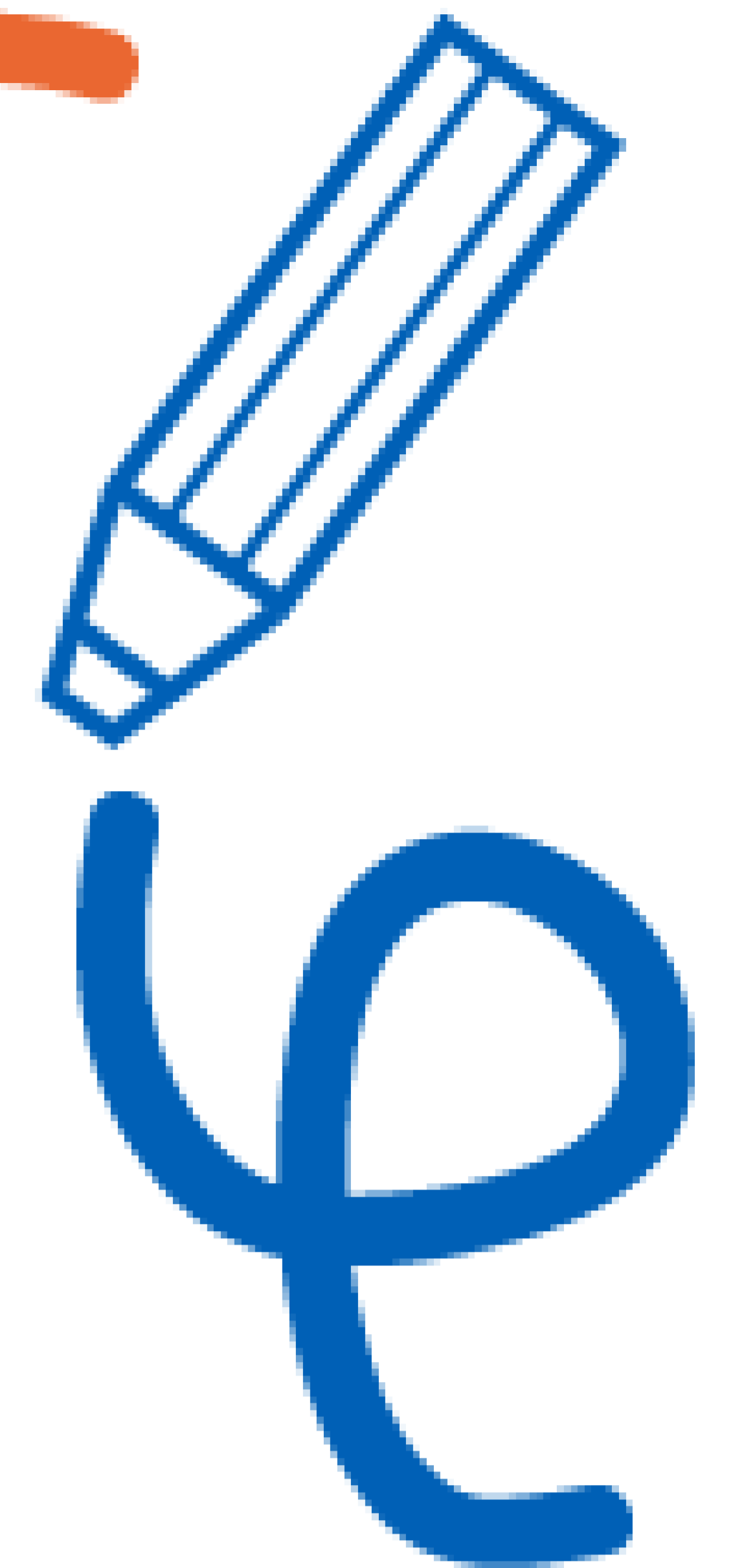


燃料の冷やし方

- 流す水はできるだけ少なく
- 「むら」なく、水がなくならないように冷やす！

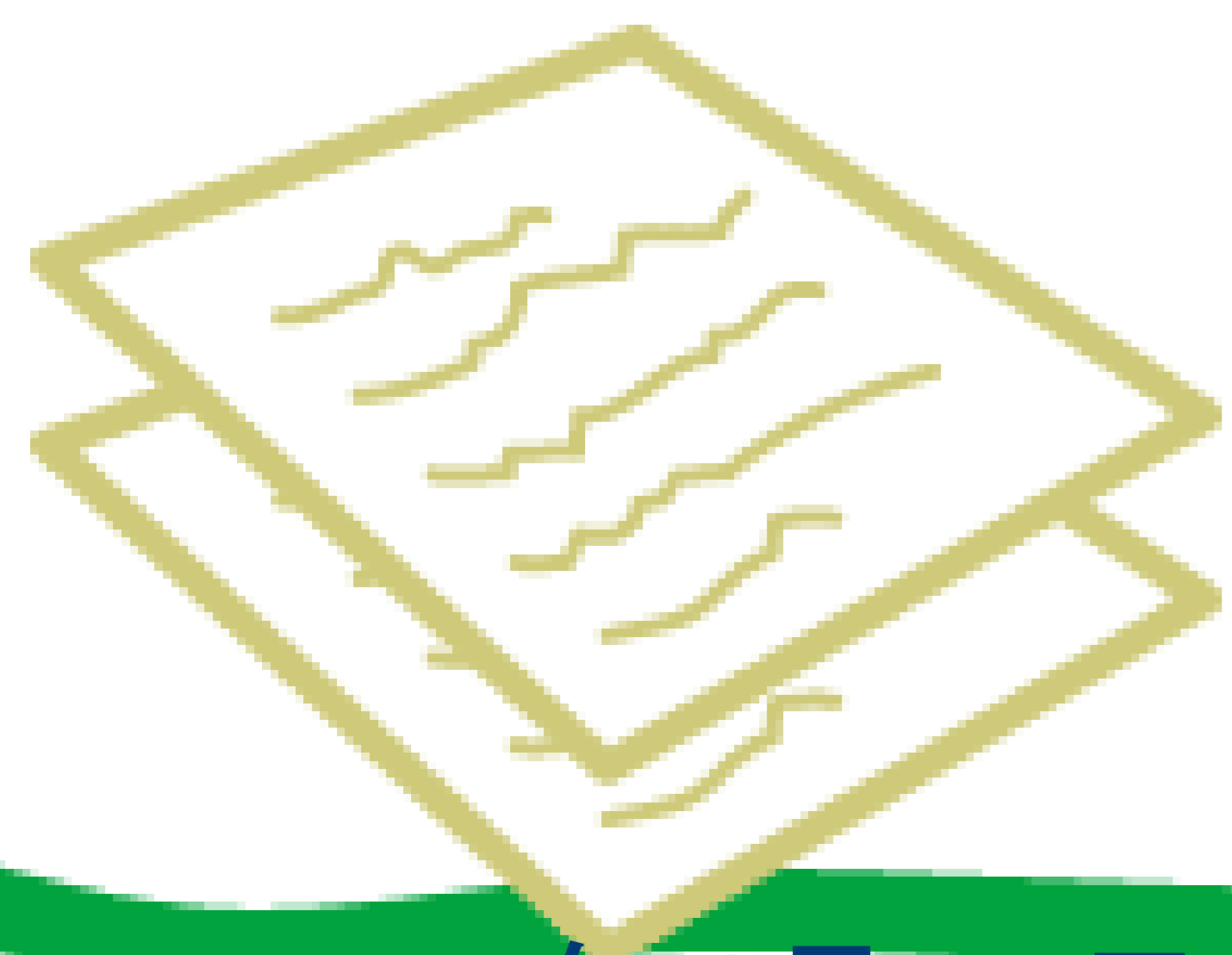
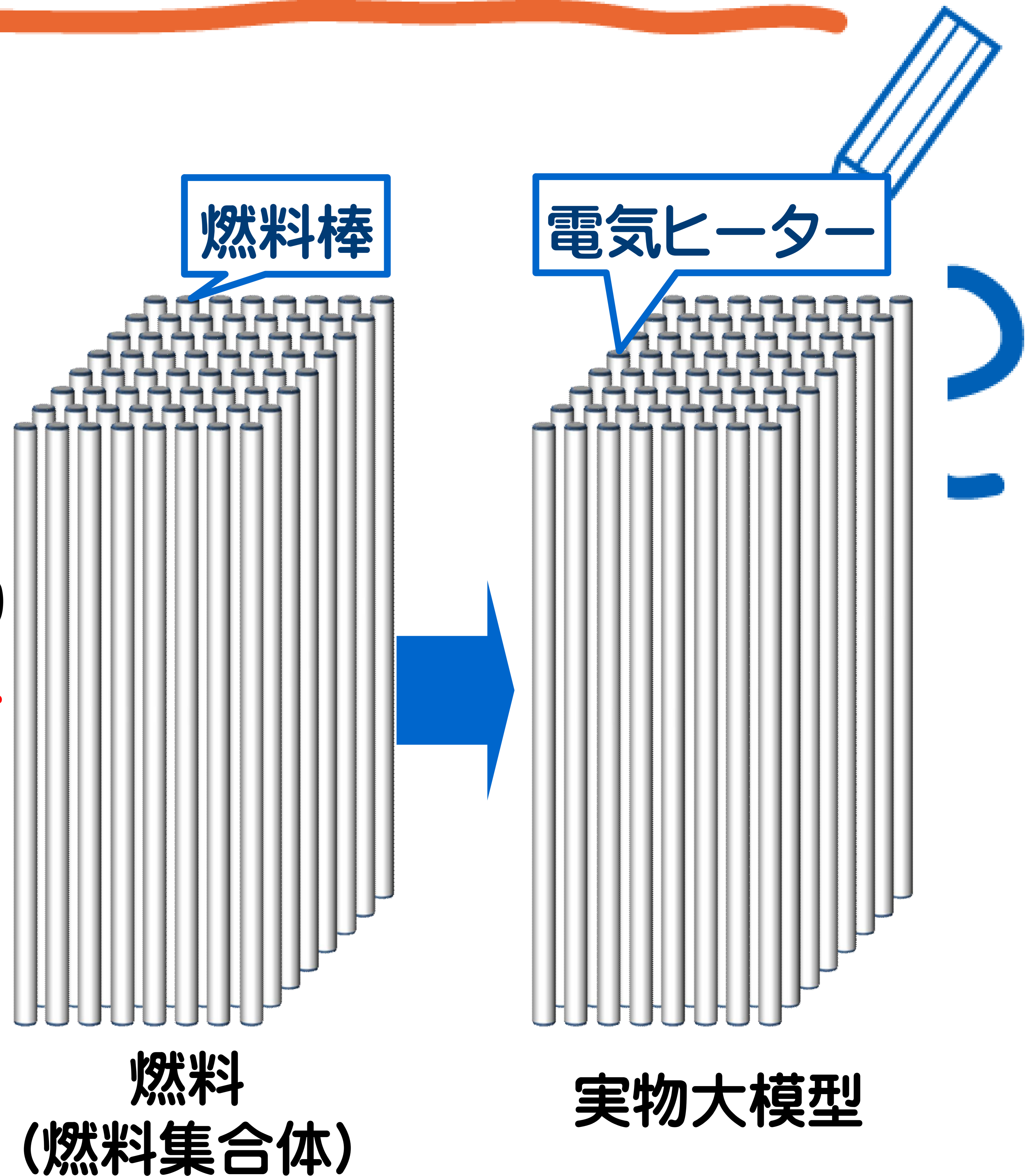


「むら」がある場合

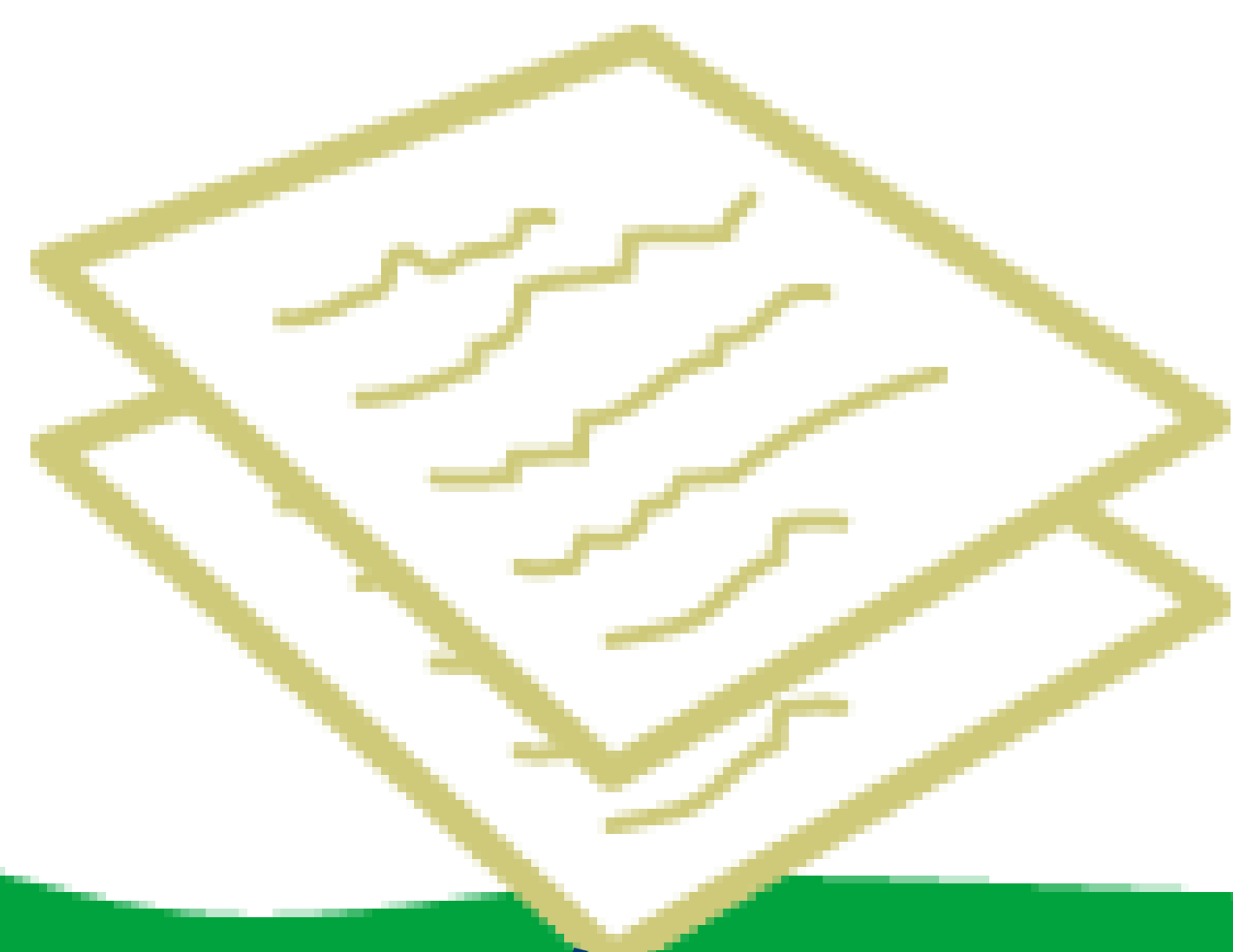
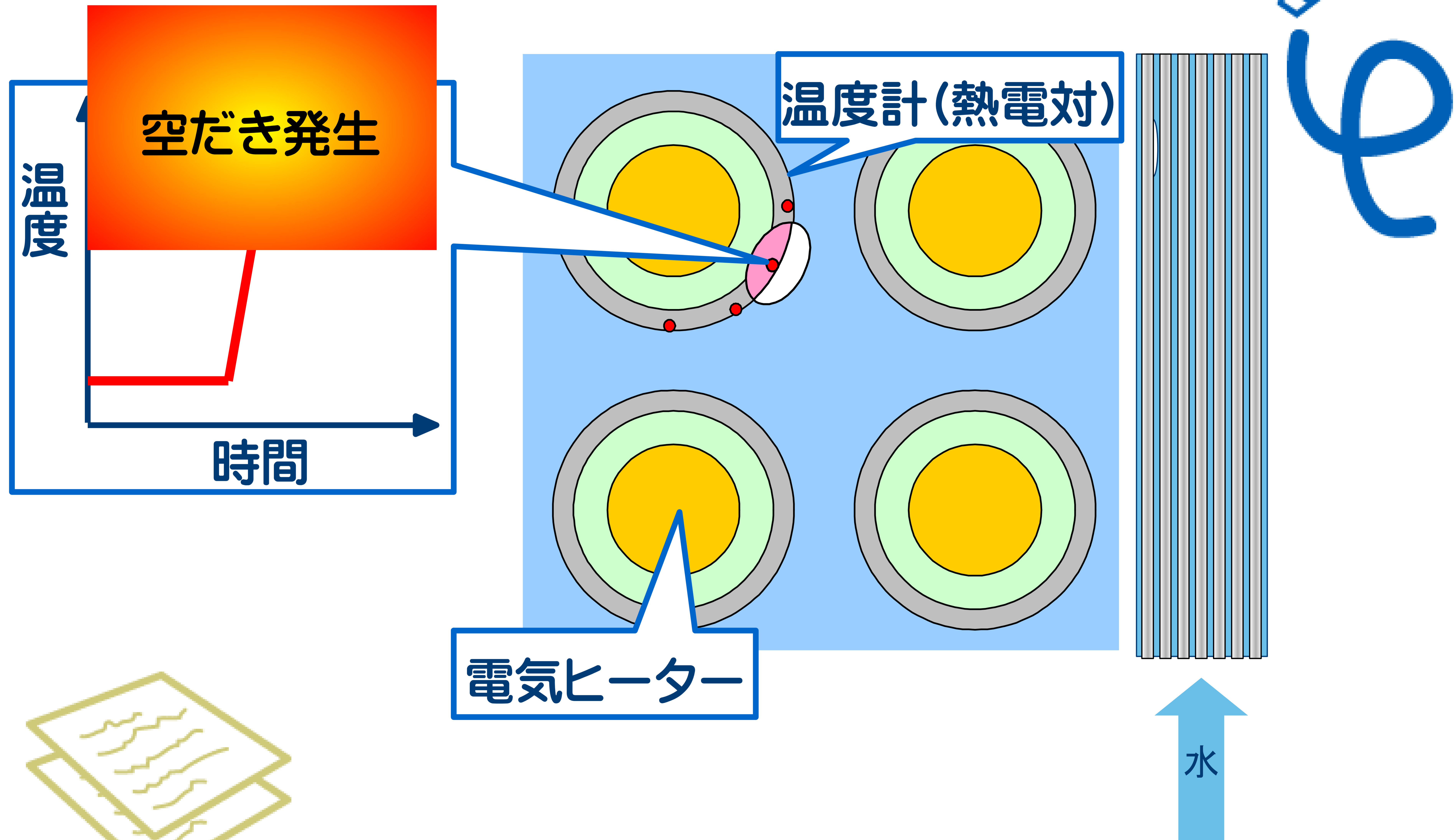


燃料の設計

- 同じ大きさの模型を使って同じ温度、圧力で実験
 - 燃料棒のかわりに電気ヒーター



空だきにならない水の量をはかる



実物大模型を使った設計の課題

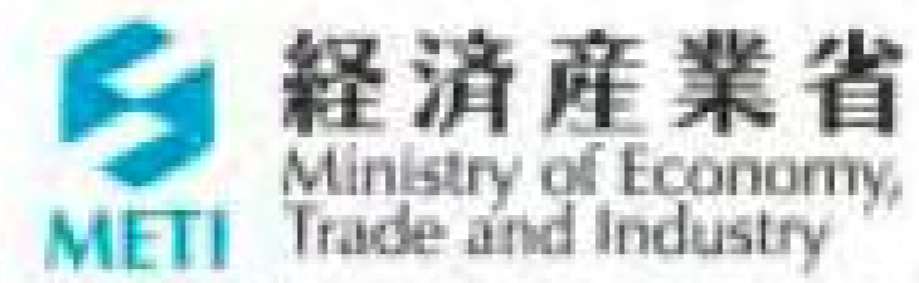


- お金がかかる
 - 電気ヒーター
 - 高い圧力と温度
- 時間がかかる
 - 模型の製作
- 設備の維持が大変
- 設計を変えるとやり直し

- 燃料棒の数を増やす
 - 発電量を増やすため
- 安全性の向上のための変更



News Release



平成19年9月12日
経済産業省
電気事業連合会
(社)日本電機工業会

世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の開発について (お知らせ)

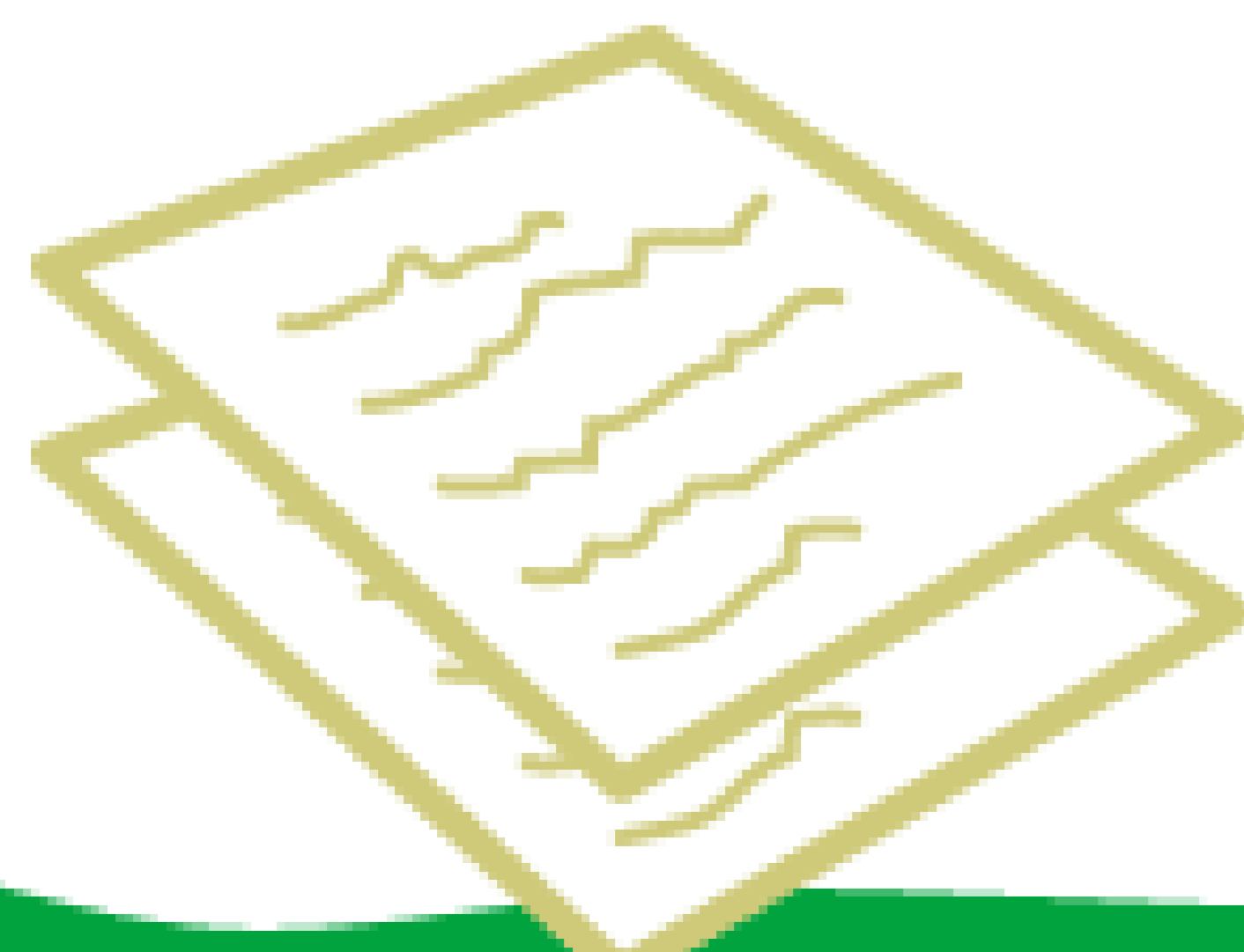
「原子力立国計画」(平成18年8月8日、総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会)を踏まえ、平成18年度から、約20年ぶりとなる次世代軽水炉開発に向けた検討を、官民一体となって進めてきました。

本日、経済産業省、電気事業連合会及び(社)日本電機工業会は、これまでの検討結果を踏まえ、平成20年度より、世界標準を獲得し得る次世代軽水炉を本格的に開発していくことを決定しましたのでお知らせいたします。

【添付資料】世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の開発について

【報道発表】世界標準を獲得し得る次世代軽水炉の開発について

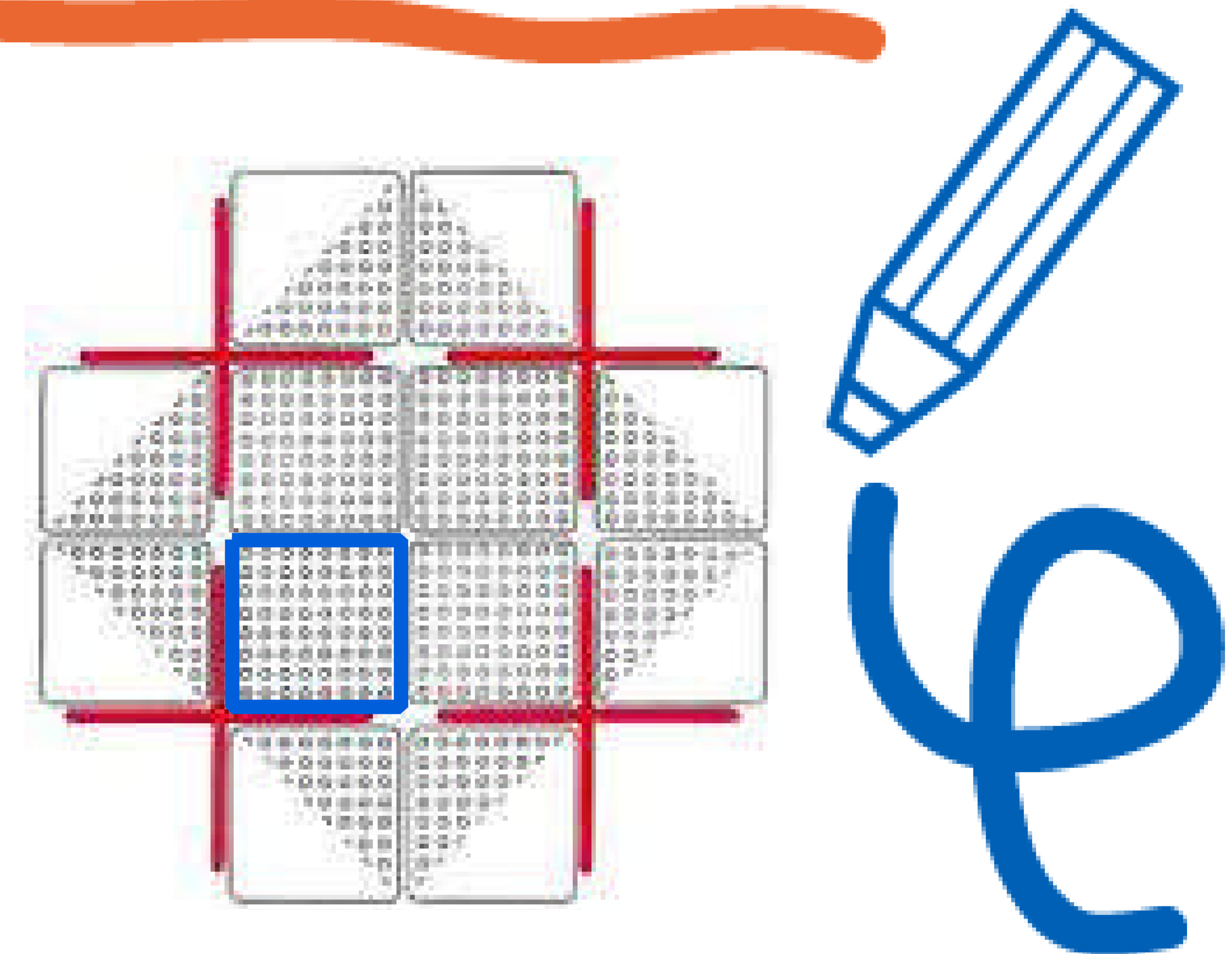
約20%の出力増加



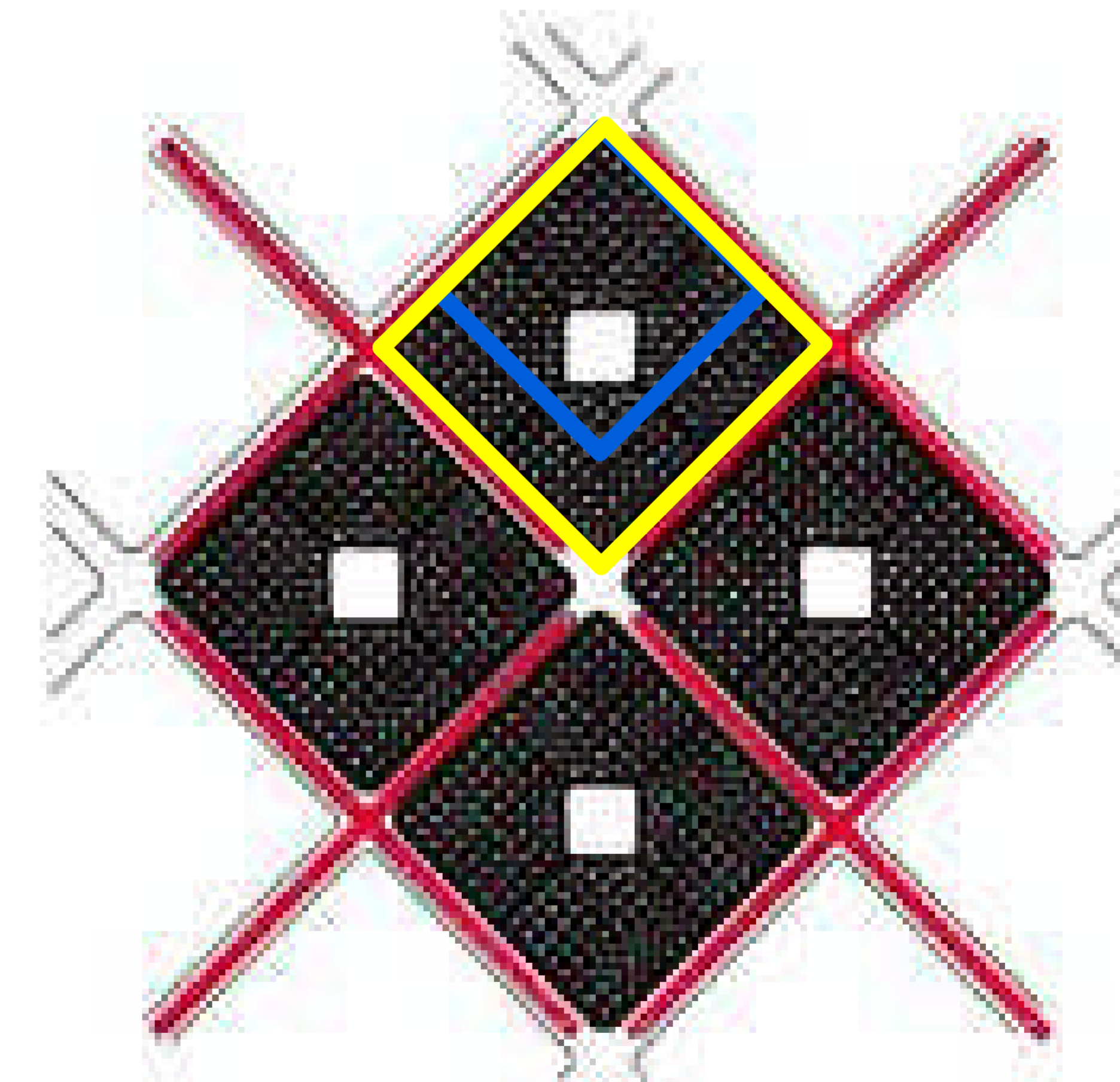
2010年4月13日(火)

第51回科学技術週間 サイエンスカフェ

14

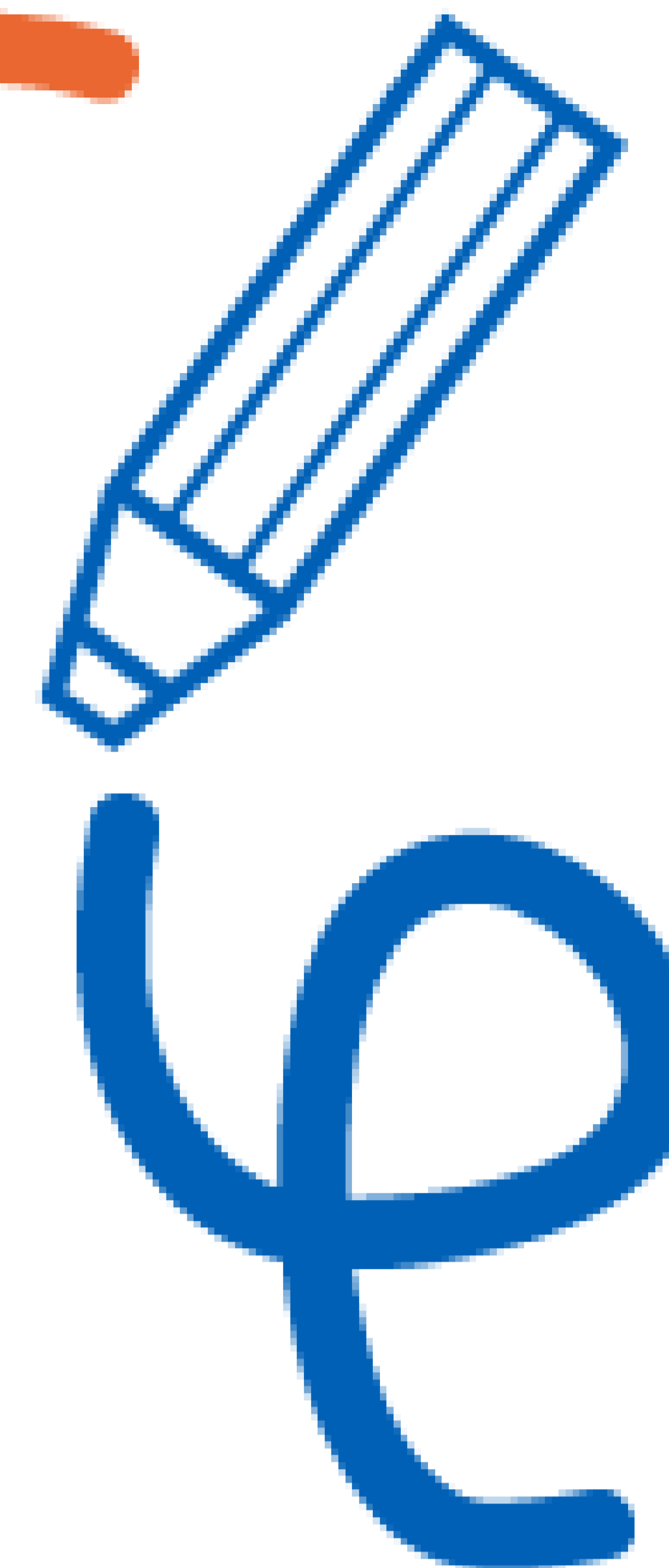


燃料の大型化



「来るべき大規模建設時代に向けた次世代BWRの開発」日立評論 2009.02

実物大模型の一例

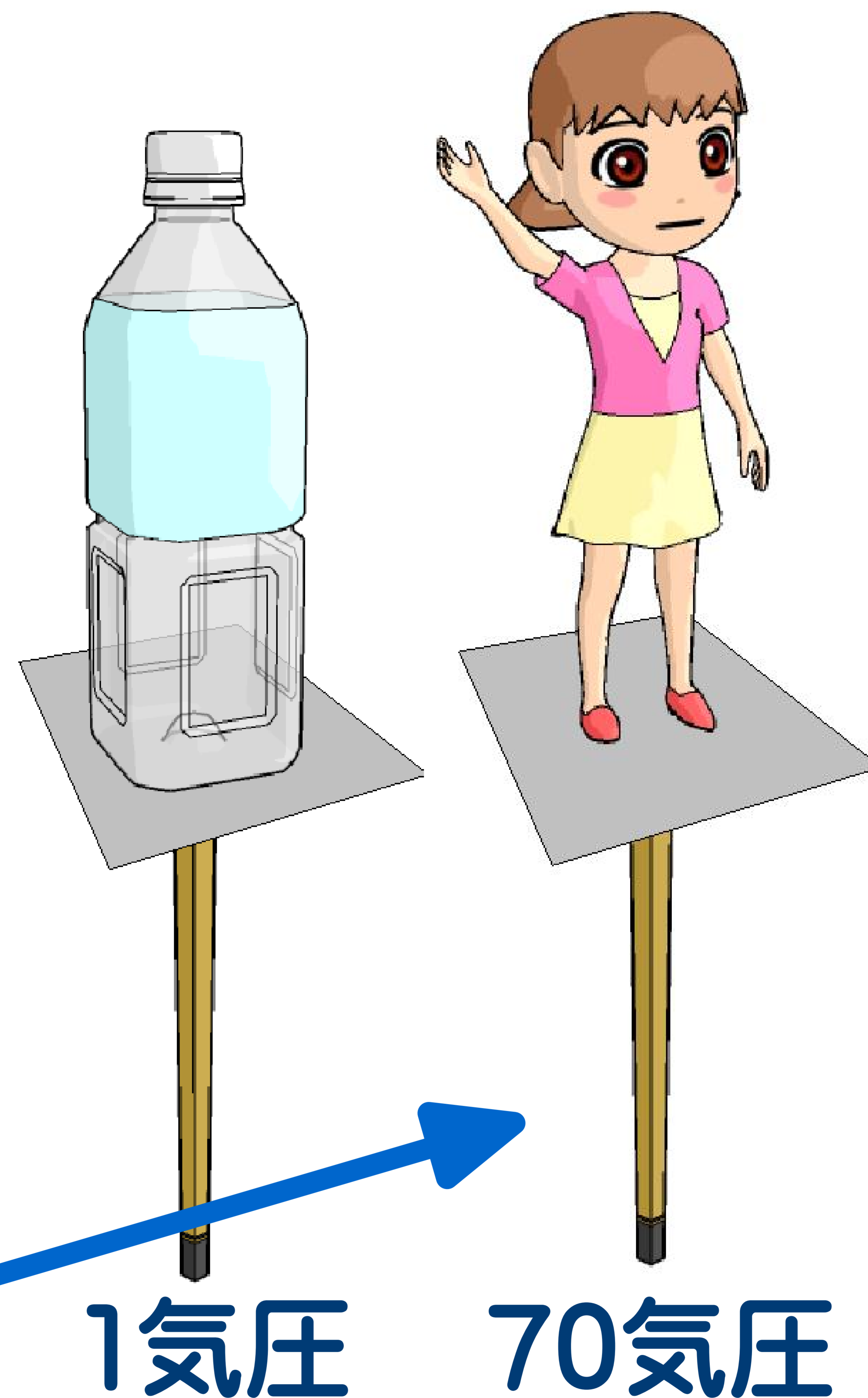


原子炉の中は高温・高圧です

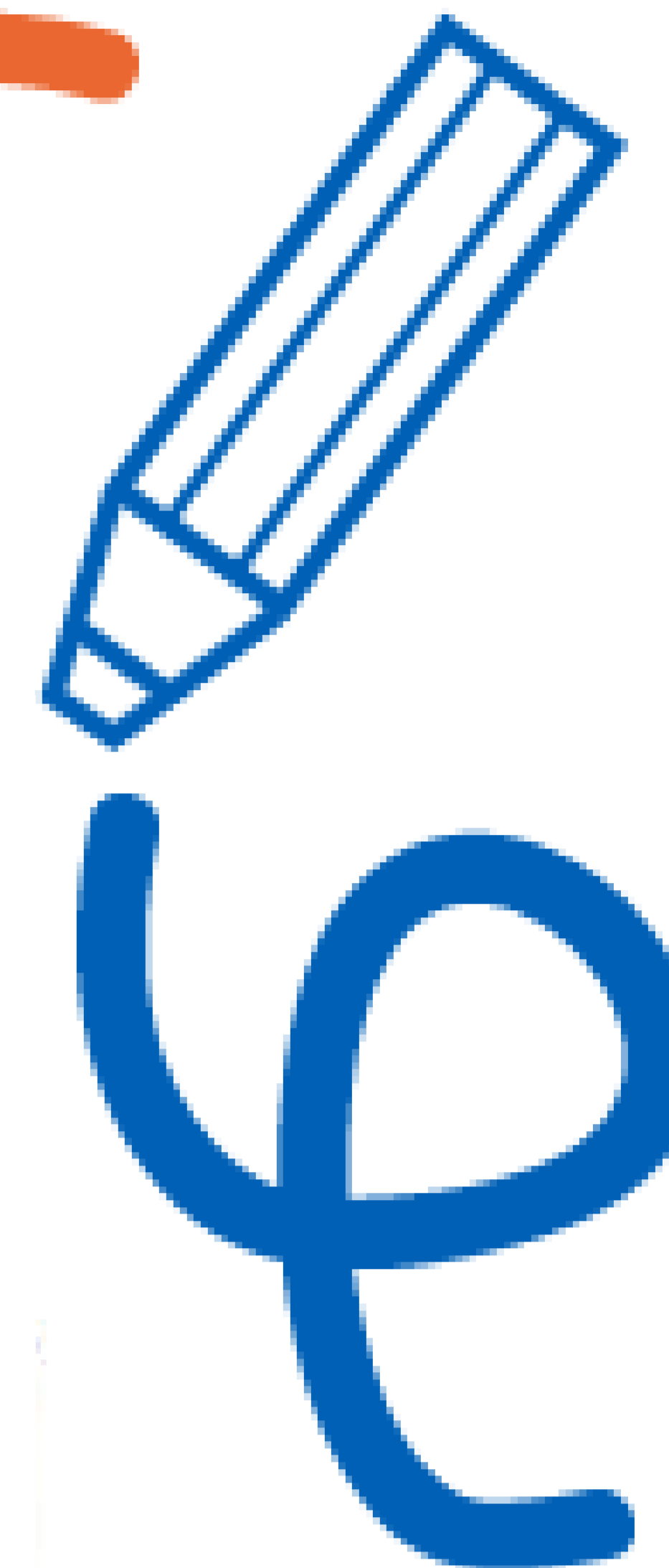
- 原子炉の中は**圧力が高い**
(約70気圧)
- 原子炉の中は**温度が高い**
(約285°C)



- 模型は高価になります
- 模型に水を流すために特別な設備が必要です



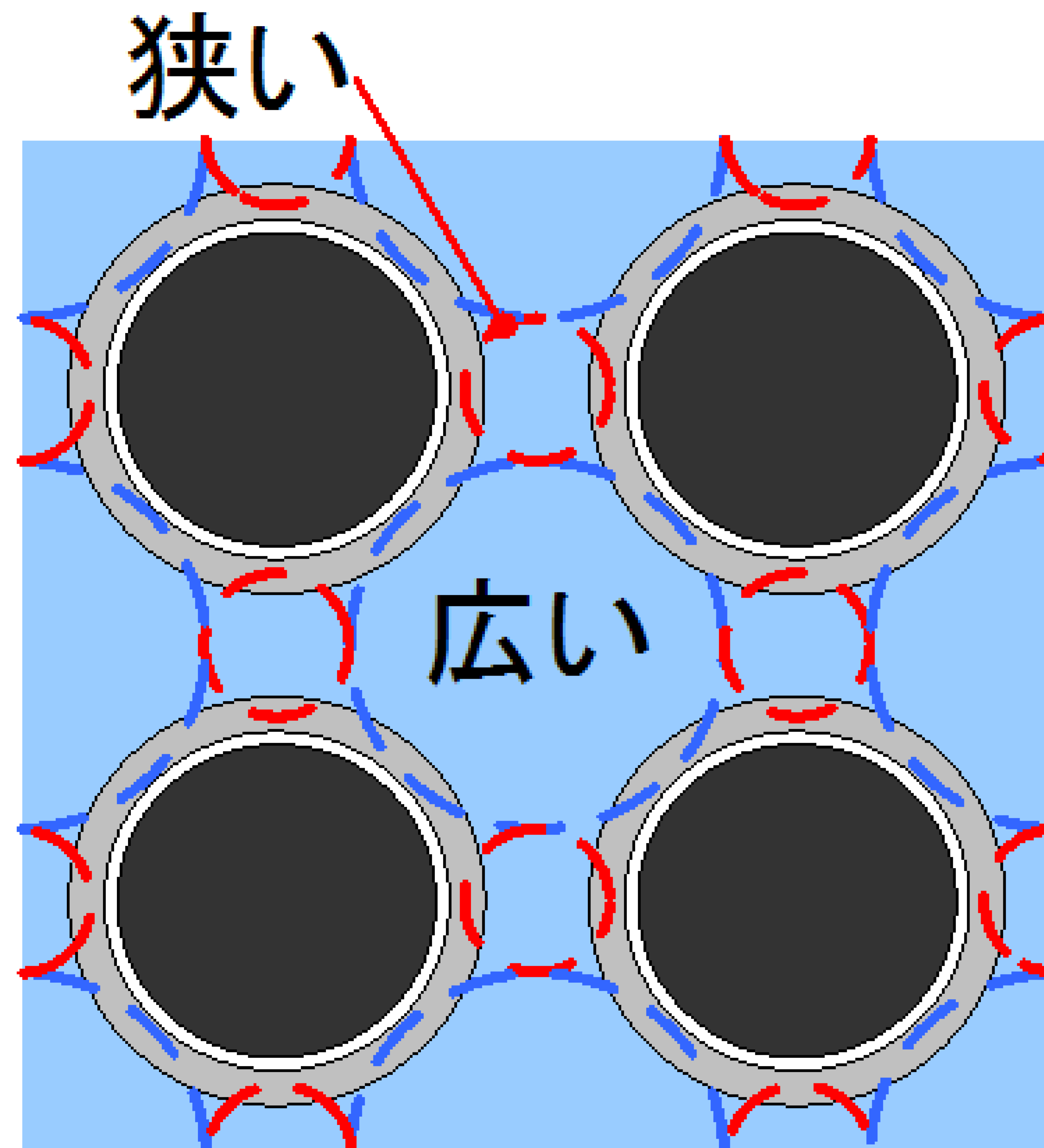
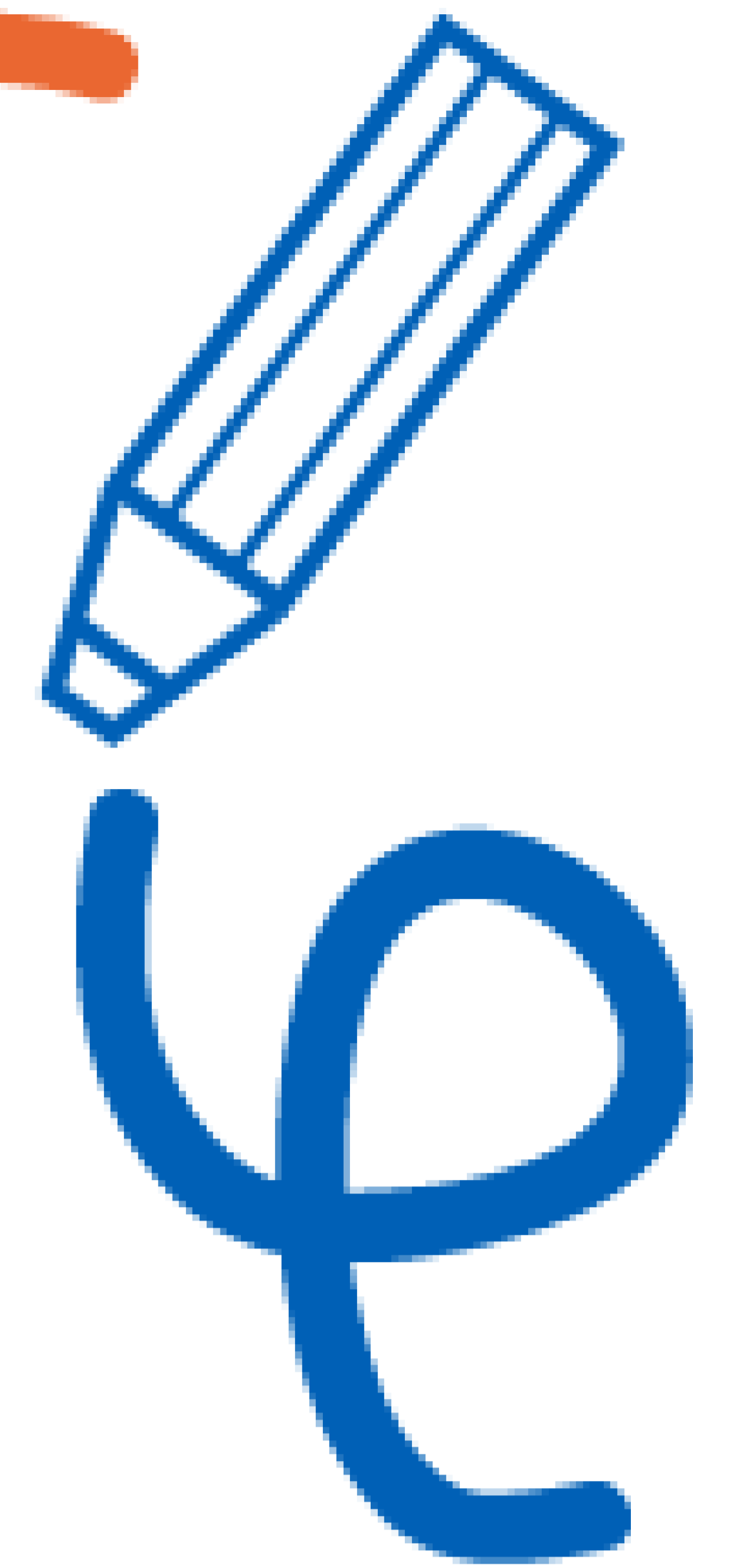
鉛筆の上に30kgの人がのった時の鉛筆の下の圧力



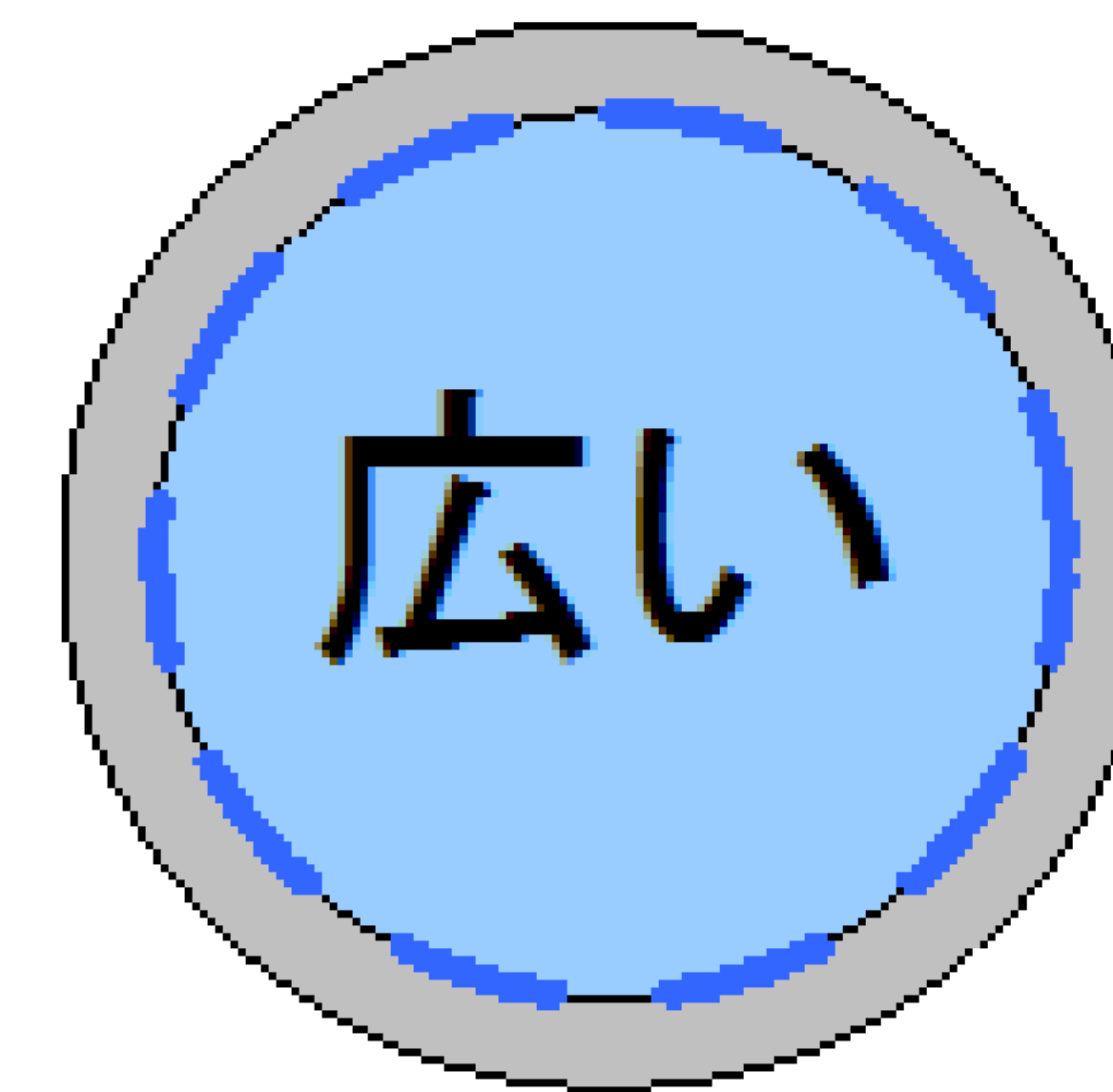
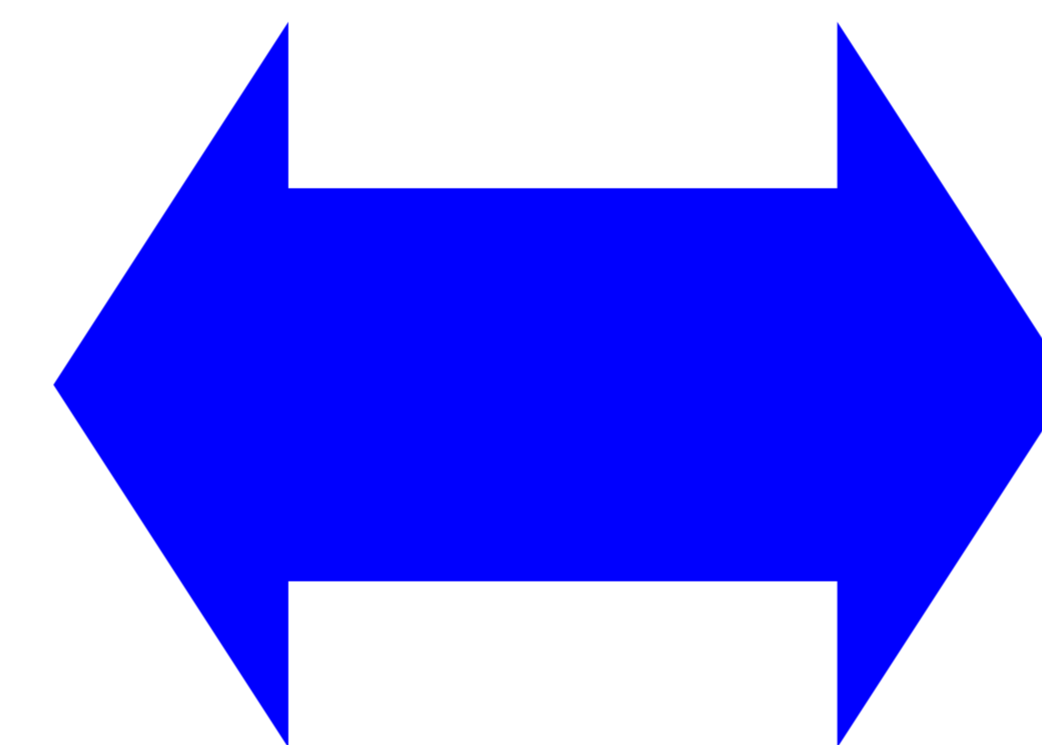
実物大模型を使った実験なしに設計するには？

- 実物大模型を使う理由
 - 水や蒸気がどのように流れるのか分からない
- 水や蒸気が流れる様子が分かれば実物大模型を使わなくても良くなる
- 燃料の中を流れる水や蒸気について考える
 - 水の流れ
 - 水と蒸気の流れ

燃料の中の水の流れを考える



燃料(集合体)

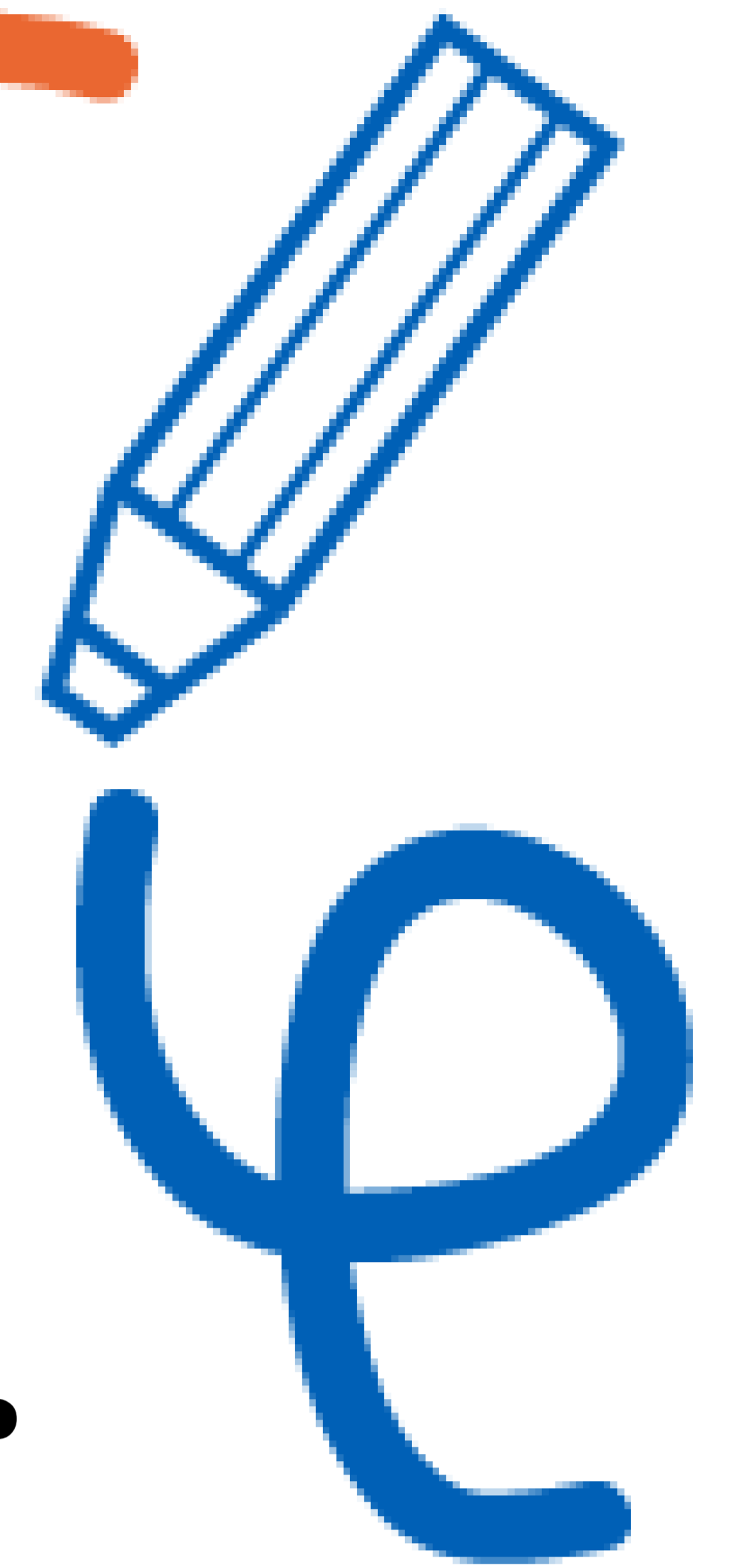


円(丸い)管

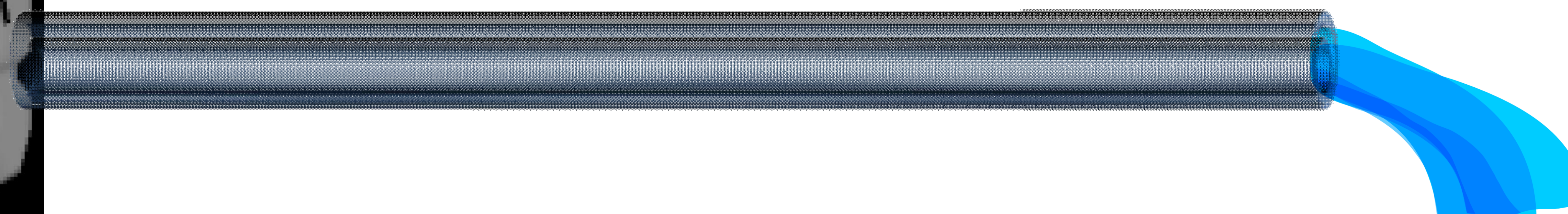
- 原子炉の燃料(燃料集合体)の特徴
 - 広いところとせまいところが交互に



「広いところ」と「せまいところ」

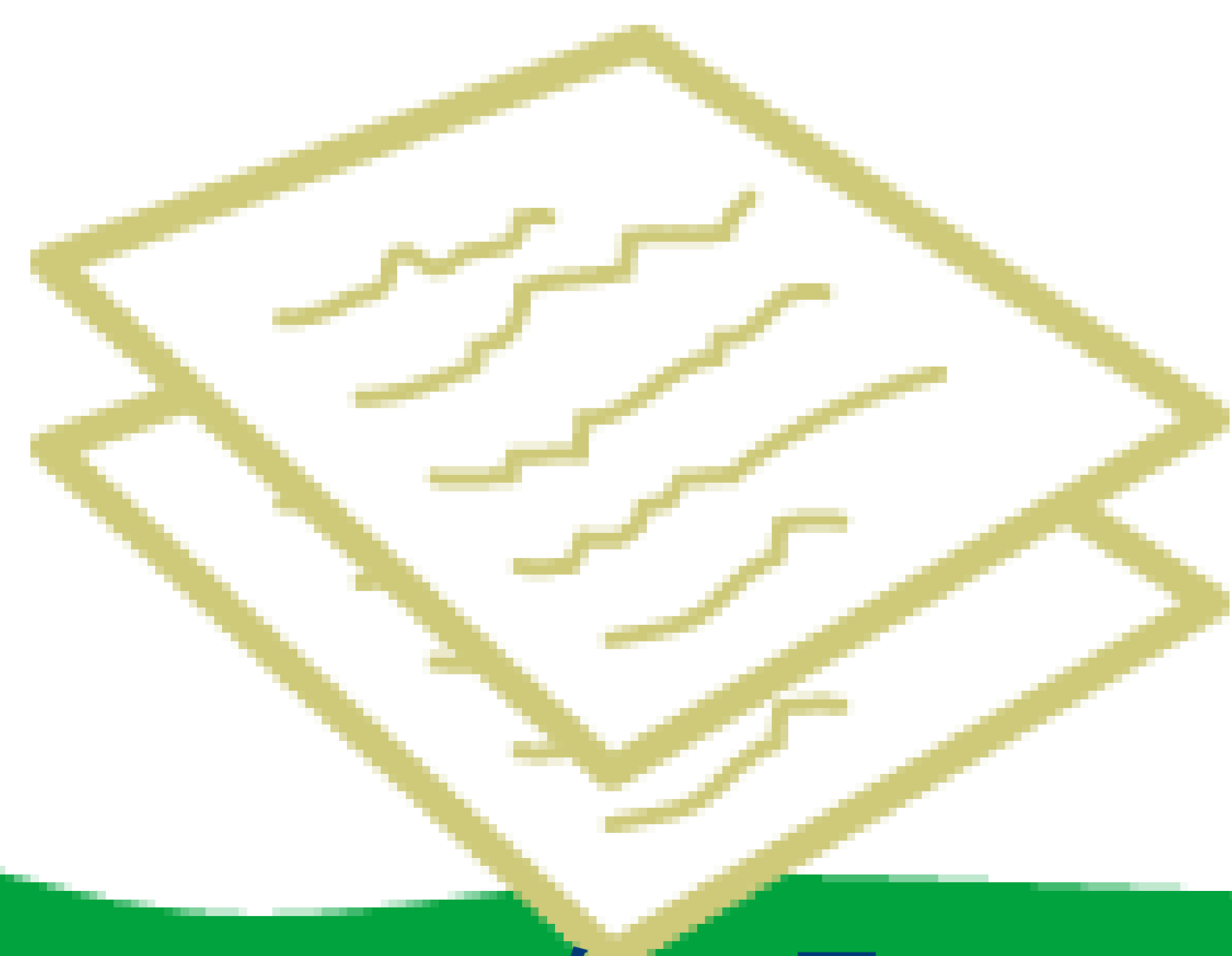
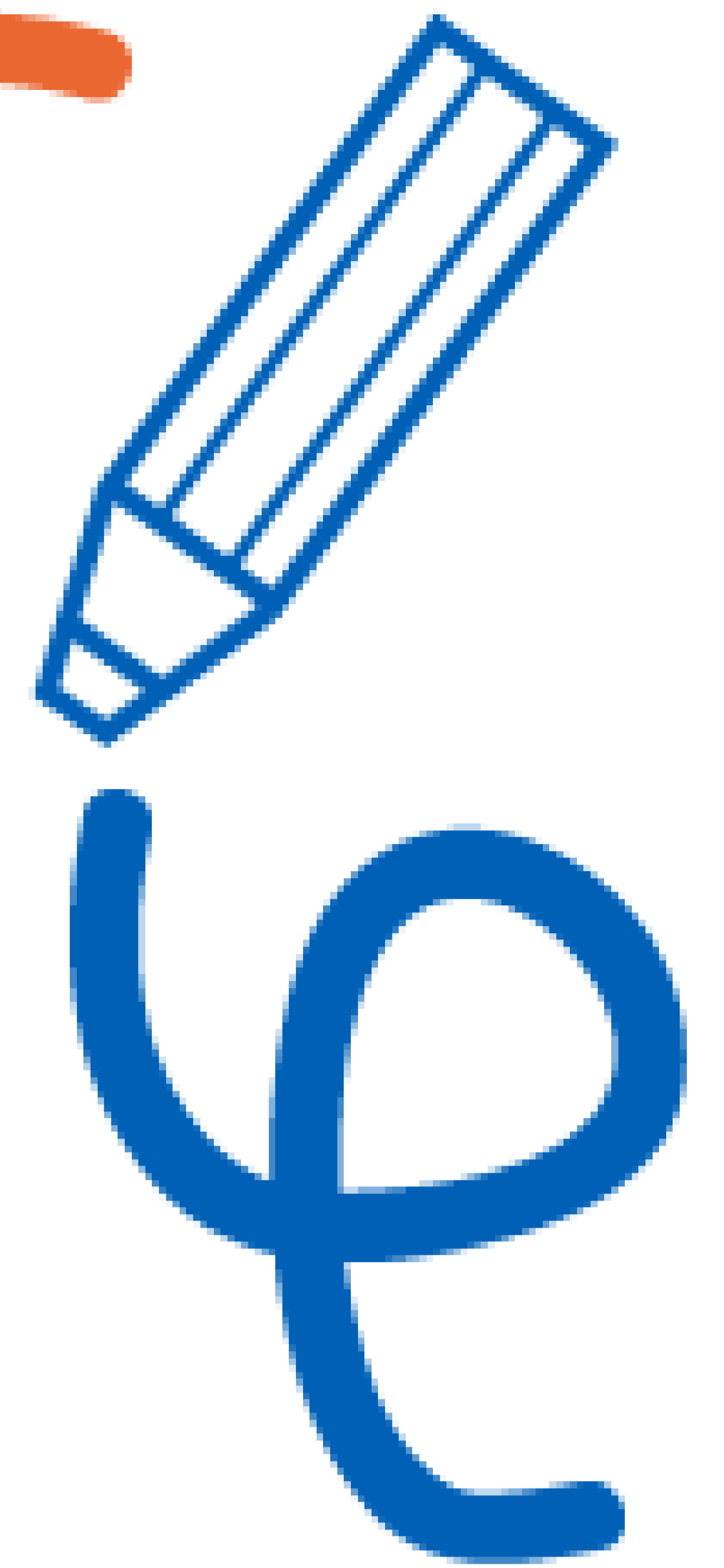


- 水の入ったペットボトル
 - 太いパイプをつけると…
 - ・ 「 」
 - 細いパイプをつけると…
 - ・ 「 」

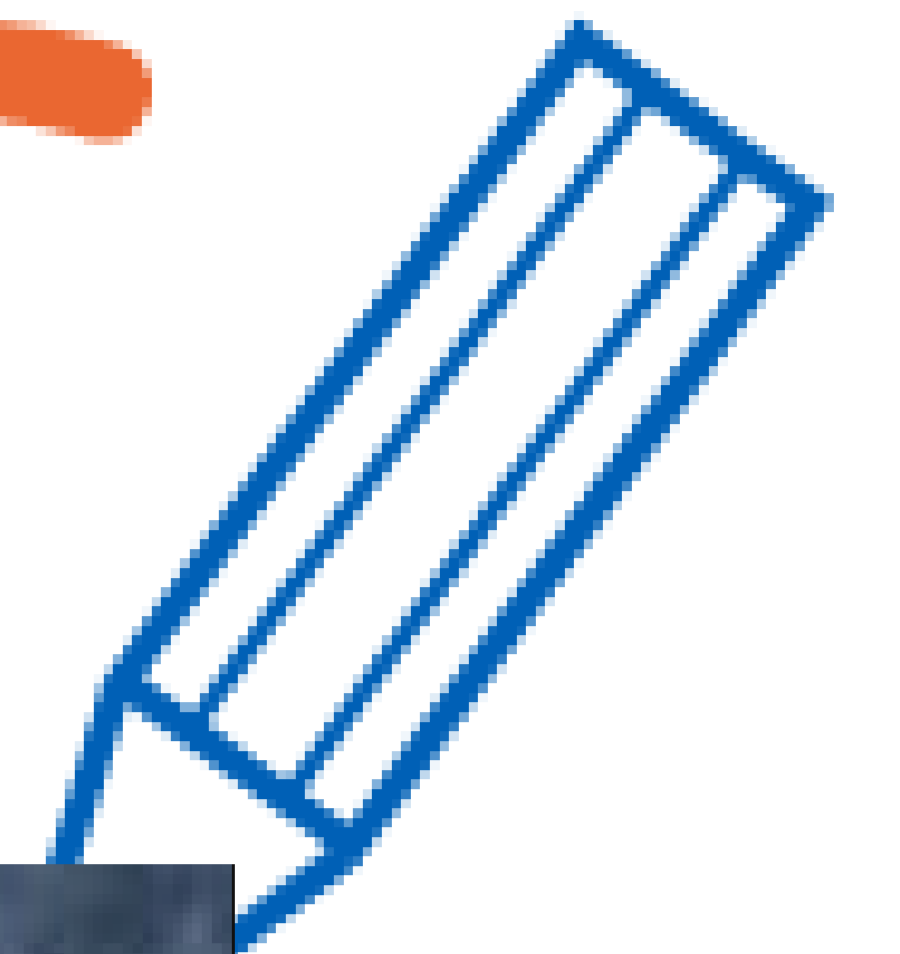
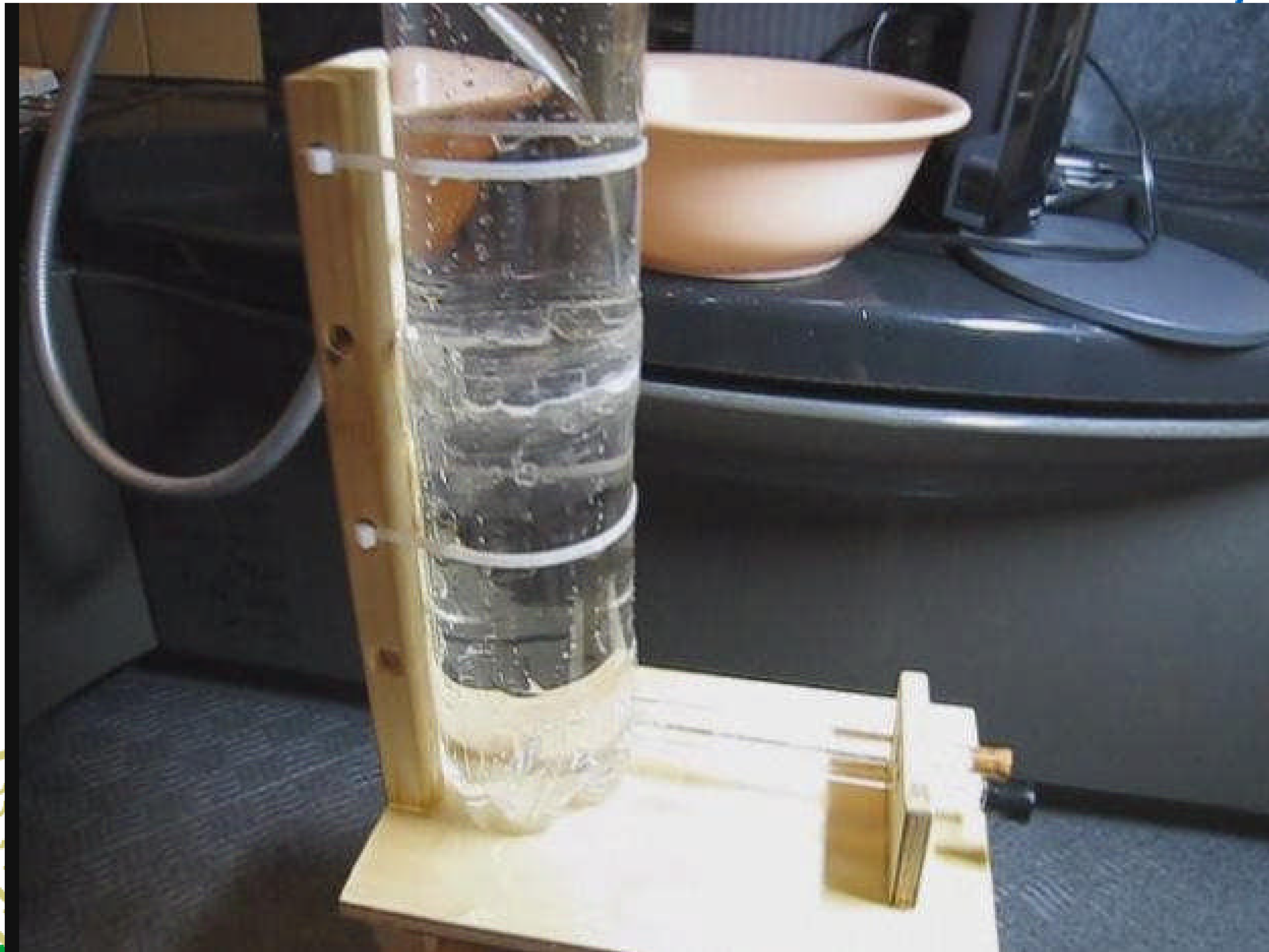


実験してみましよう

- ペットボトルに**太いパイプ**をつける
- ペットボトルに**細いパイプ**をつける
- ペットボトルに**太いパイプ**と**細いパイプ**をつける



実験してみました



実験結果

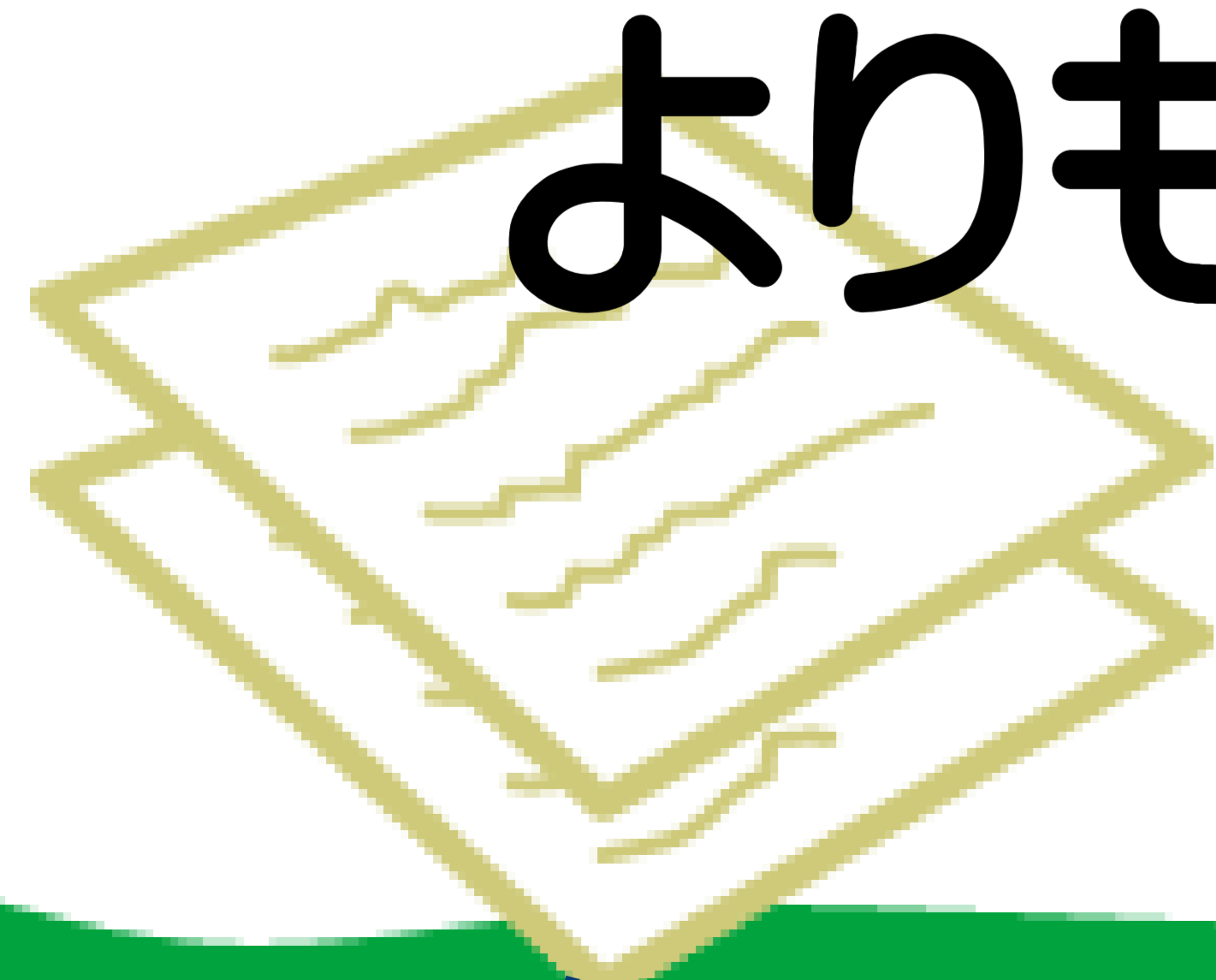
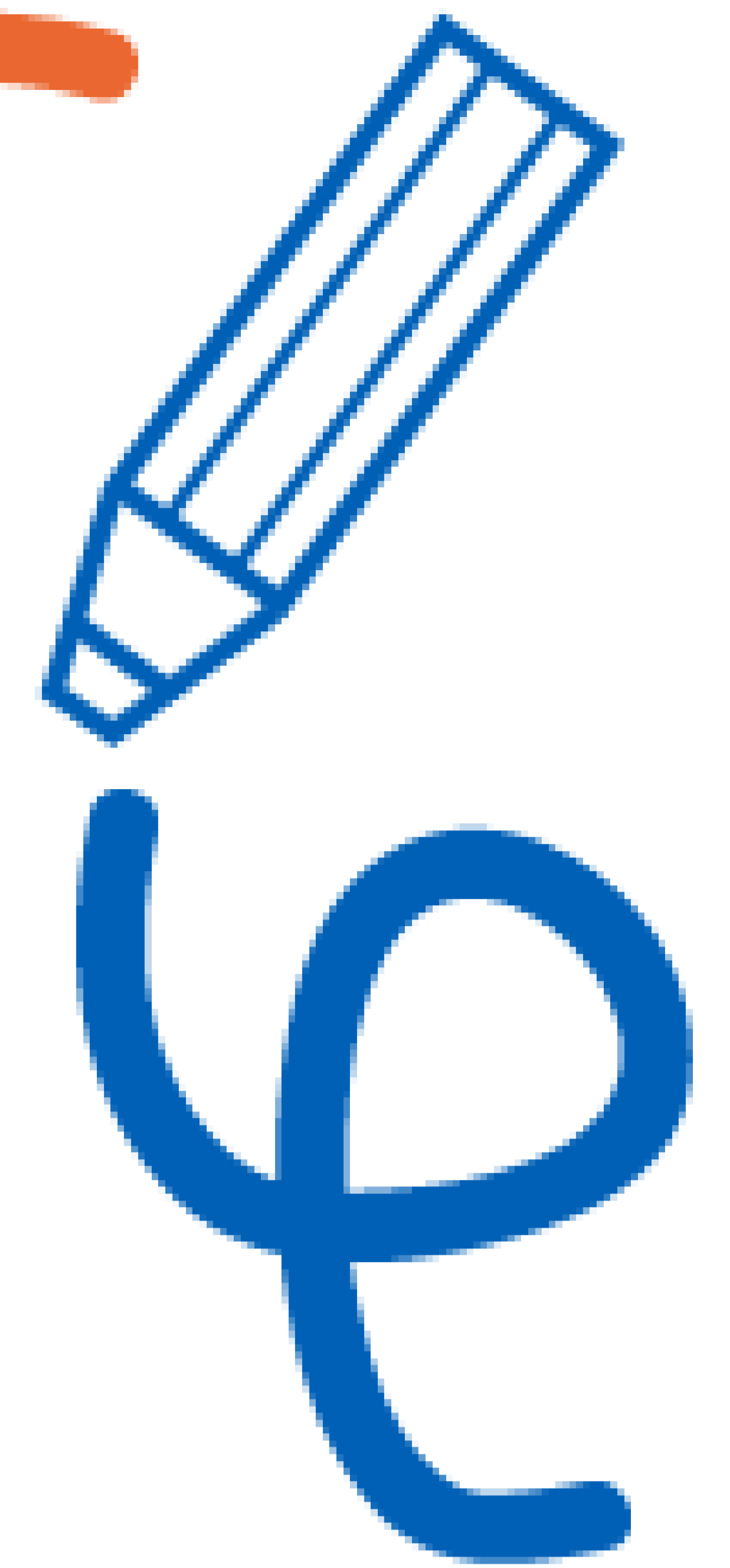
- 太いパイプの方が細いパイプよりも水が遠くまで飛ぶ



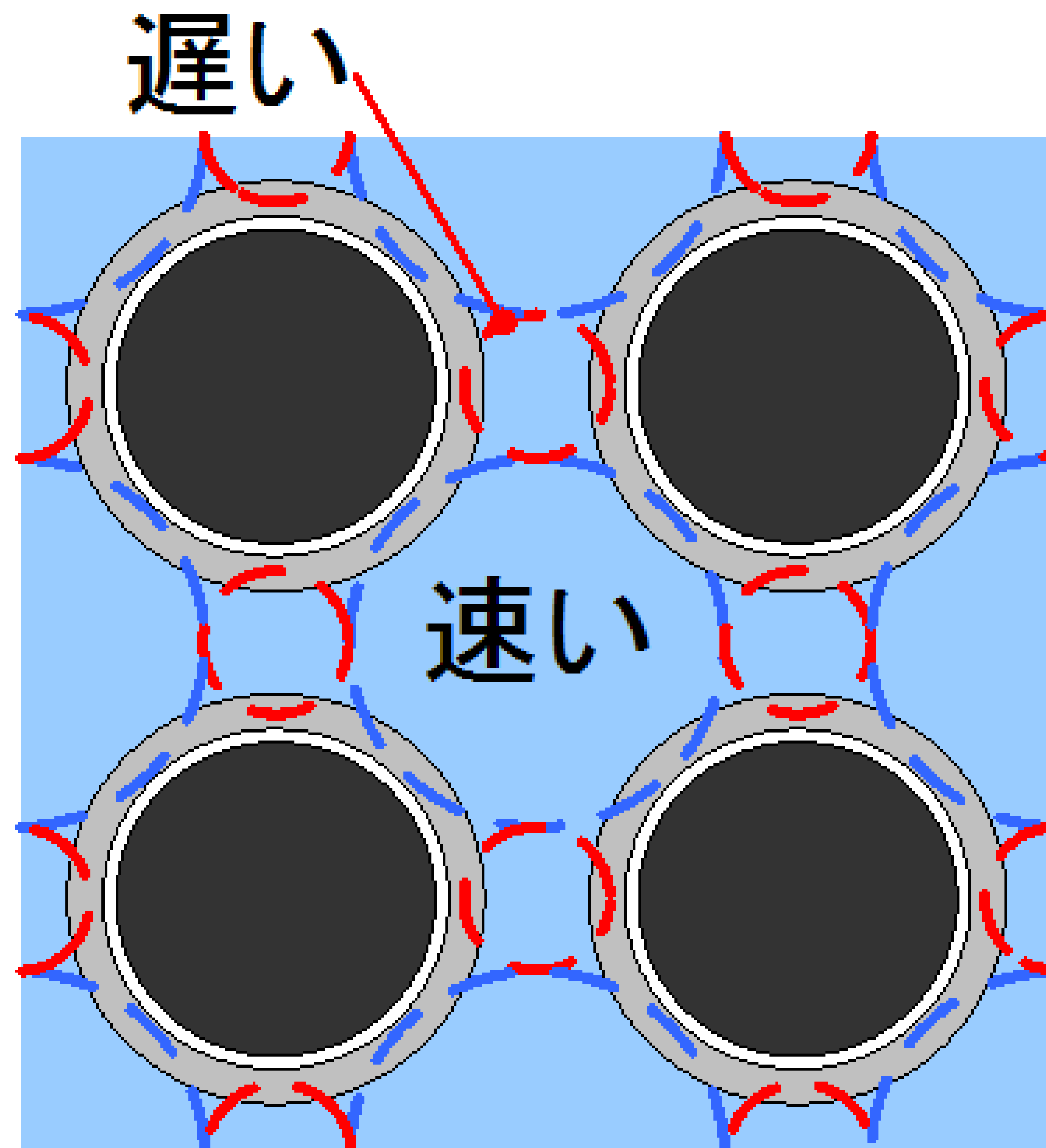
- 太いパイプの方が流れが速い



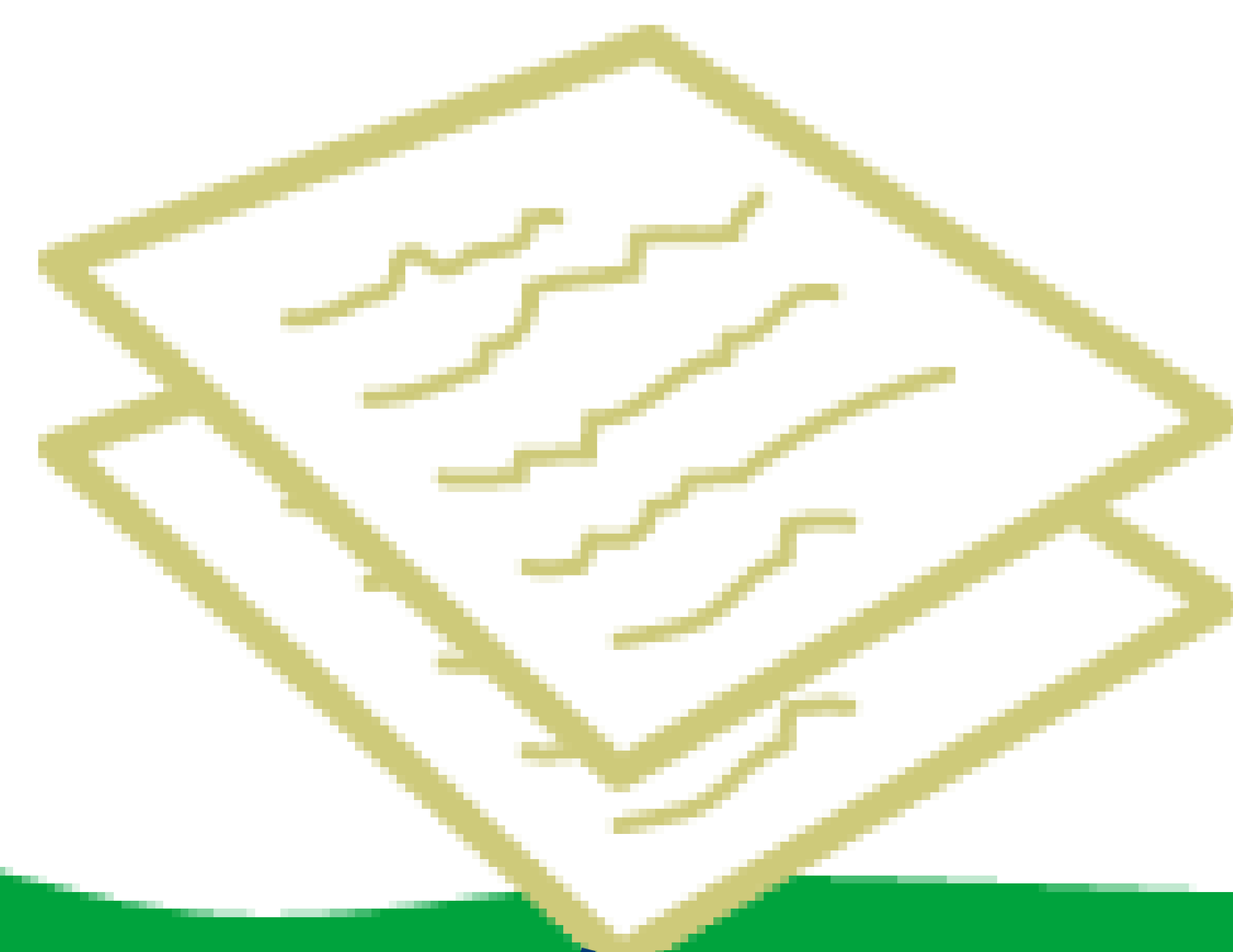
- の方が「 」よりも流れが速い



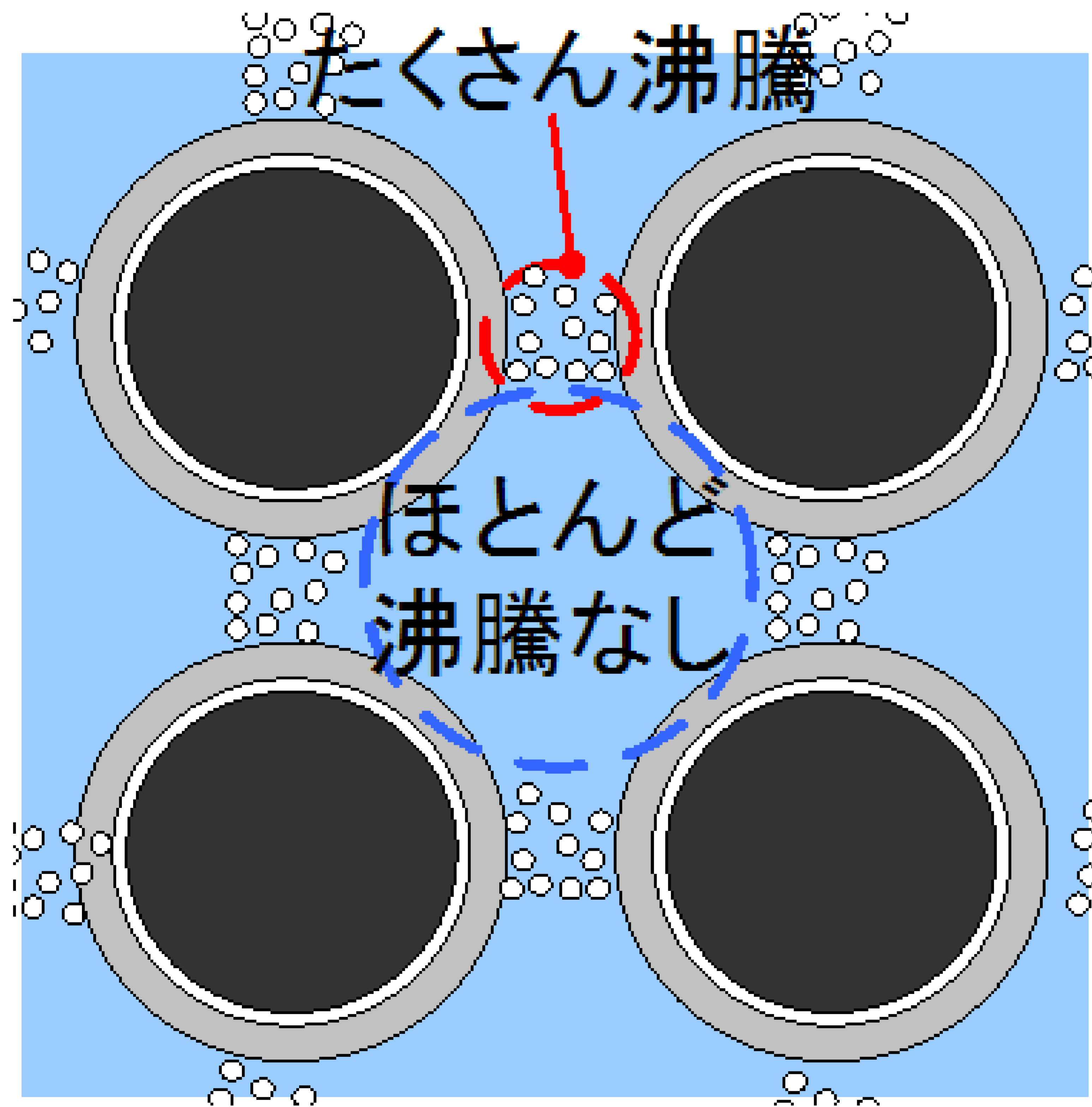
燃料の中の水の流れ



- 「広いところ」では流れが速い
- 「せまいところ」では流れが遅い



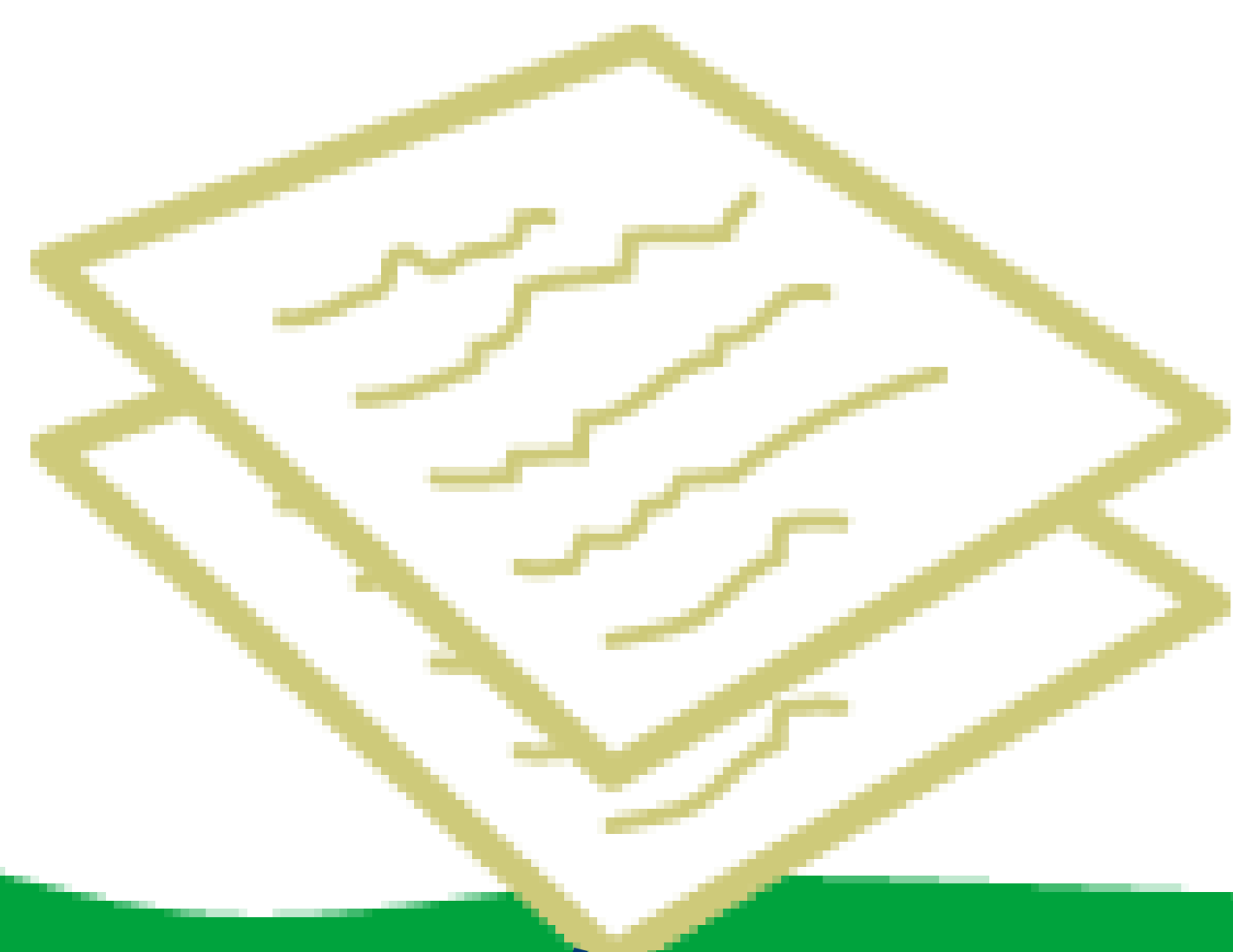
燃料の中の沸騰のようす



- 流れが遅いと沸騰しやすい



- 「広いところ」よりも「せまいところ」で早く沸騰する



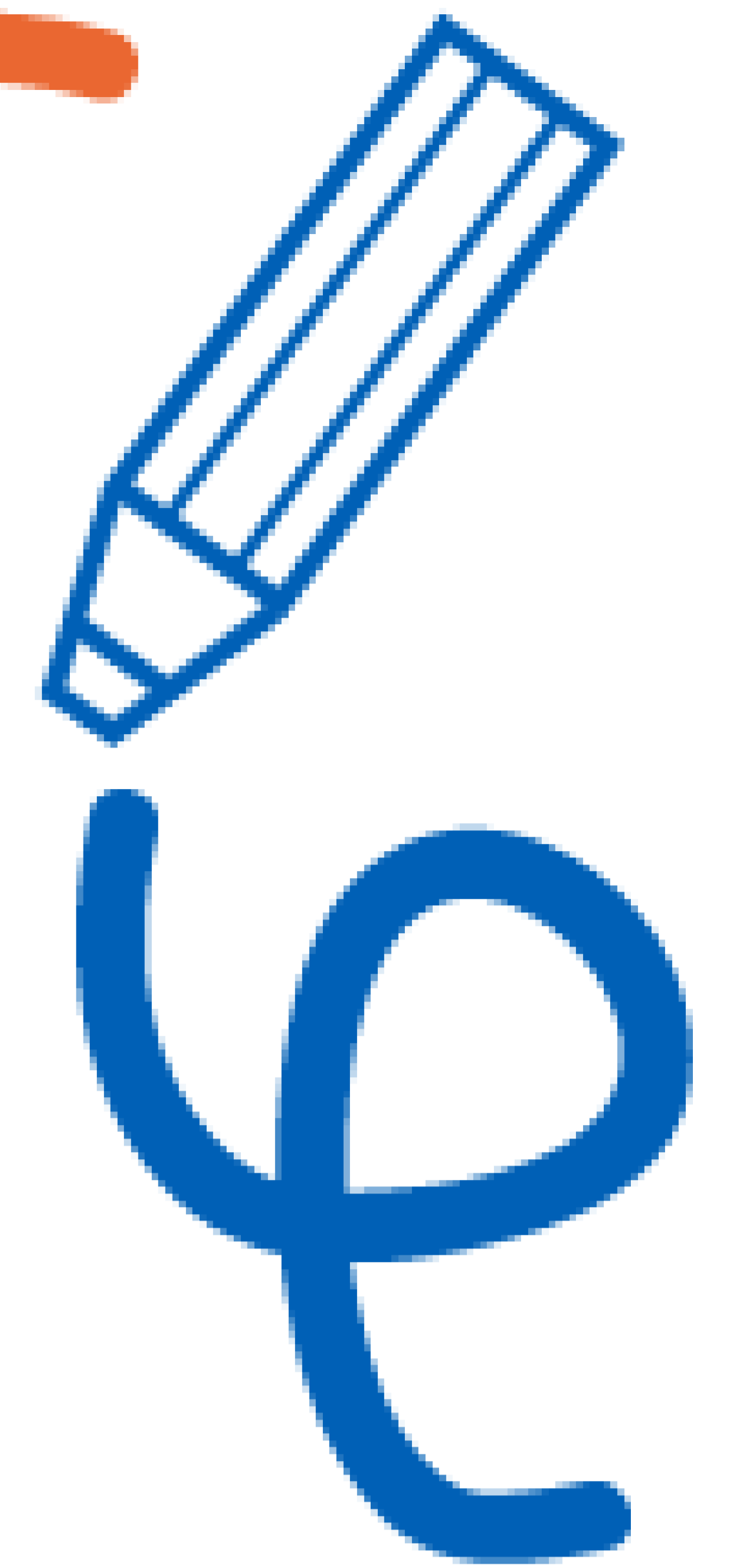
水と蒸気の流れを考えます

- 原子炉の燃料(燃料集合体)の中では、水が沸騰して蒸気ができます
- 沸騰でできた蒸気は集まって大きな泡を作ります

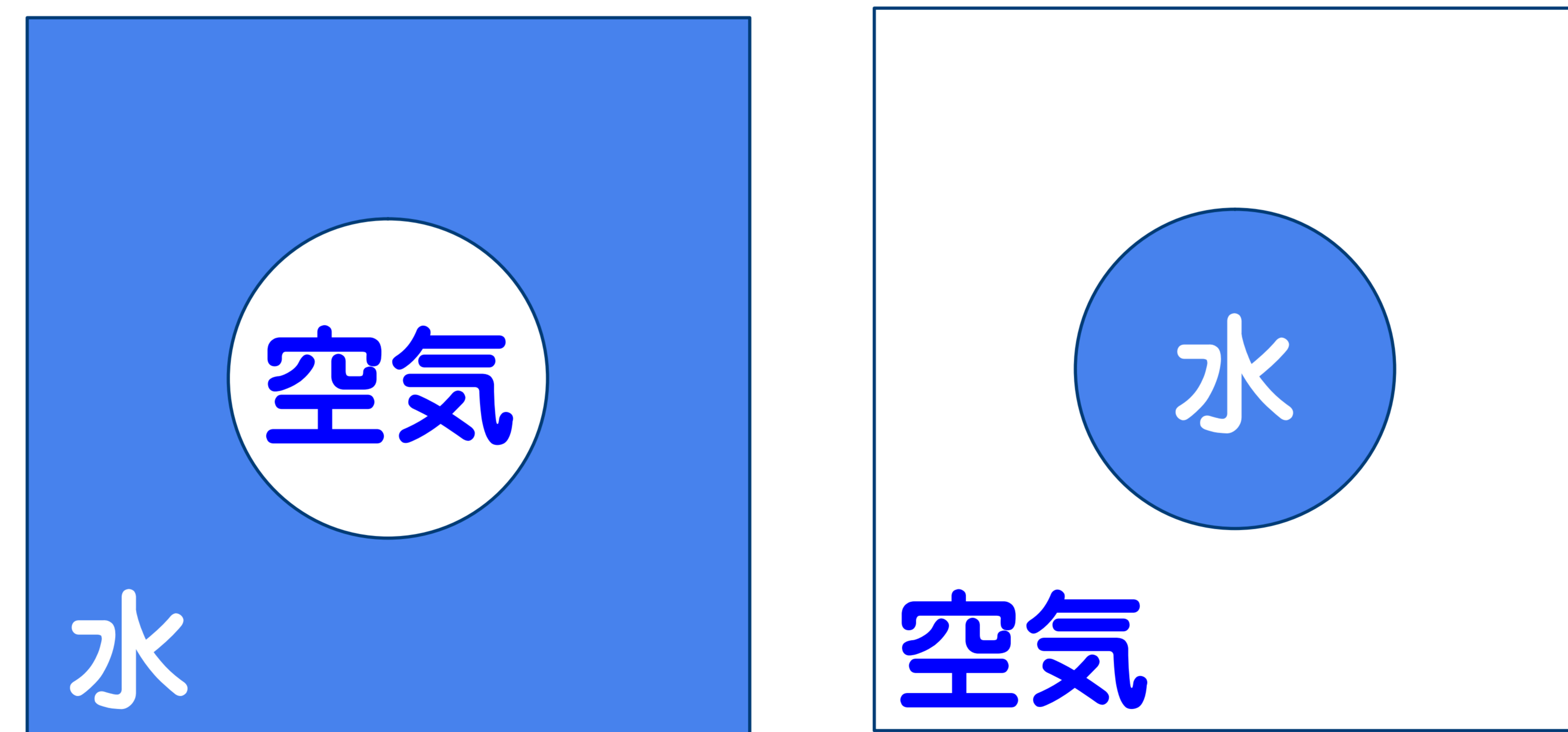


- **水の中に蒸気の泡が混ざった流れを考えます**

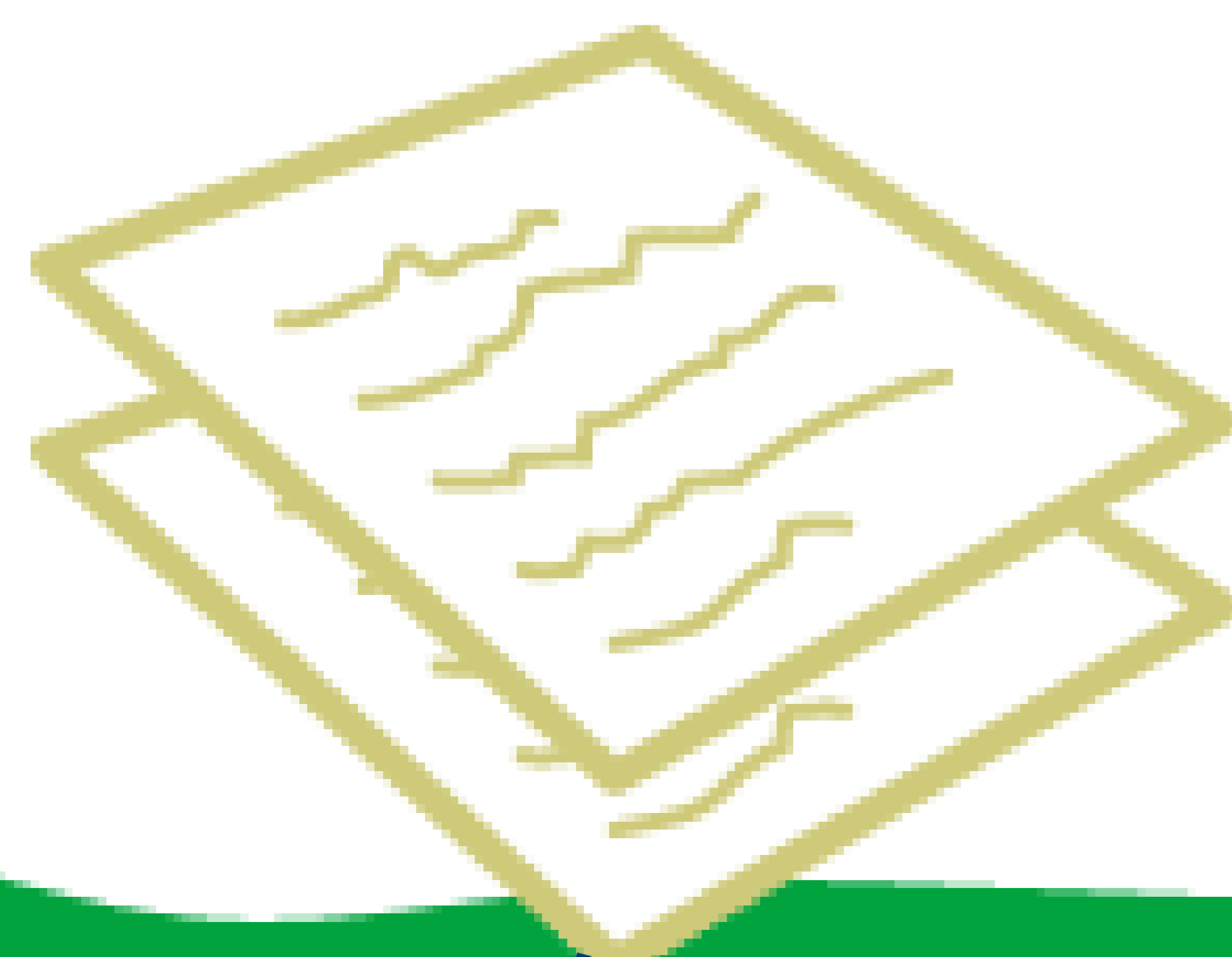
泡は丸くなろうとします



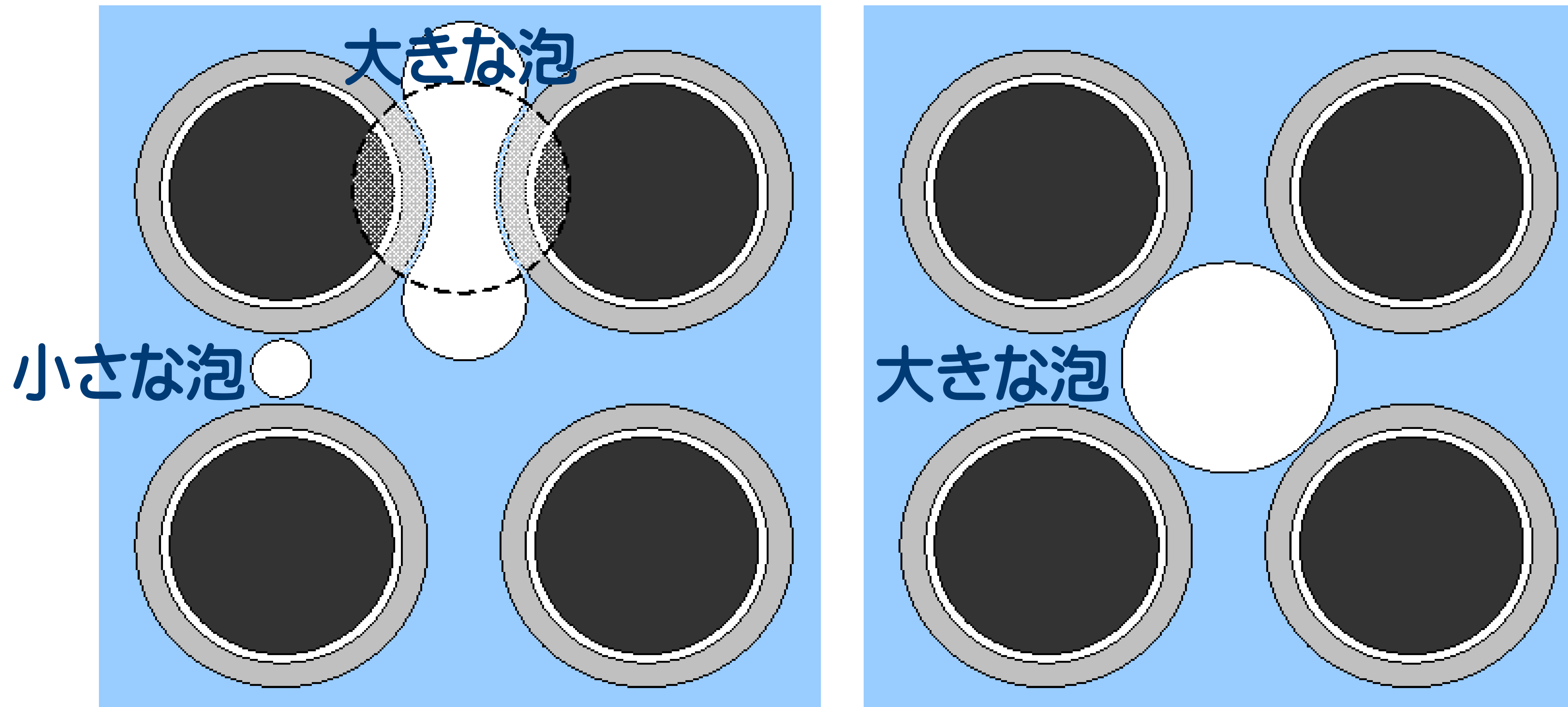
- 丸くなるように働く力を表面張力と呼びます
- 無重力空間に水を放つと、水は表面張力により丸くなります



どちらも丸くなります



燃料の中でも泡は丸くならろうとします



- 「せまいところ」では大きな泡は丸くならないことができません
- 「広いところ」では大きな泡でも丸くならないことができます

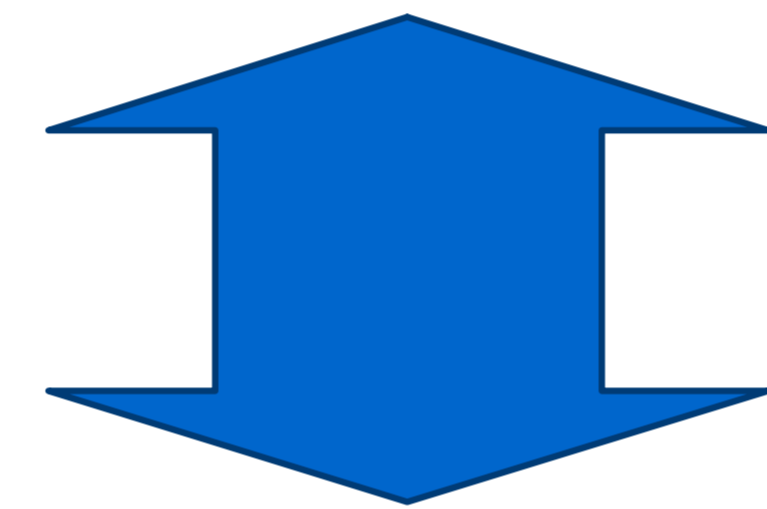


- 大きな泡は「広いところ」に集まりやすい

水や蒸気の流れは複雑です



- 水の流れを考えると…, 「せまいところ」で蒸気は作られます

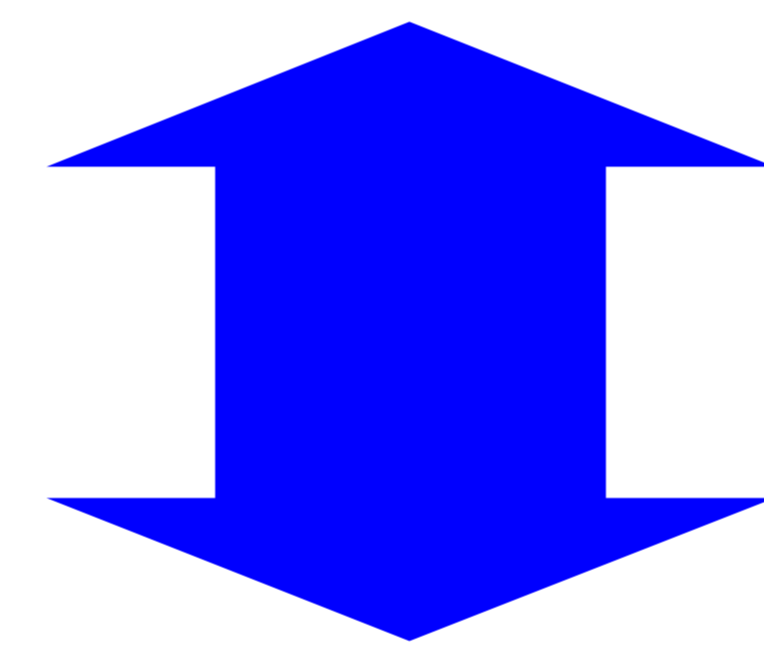


- 水と蒸気が混ざった流れを考えると…, 蒸気は「広いところ」に集まります

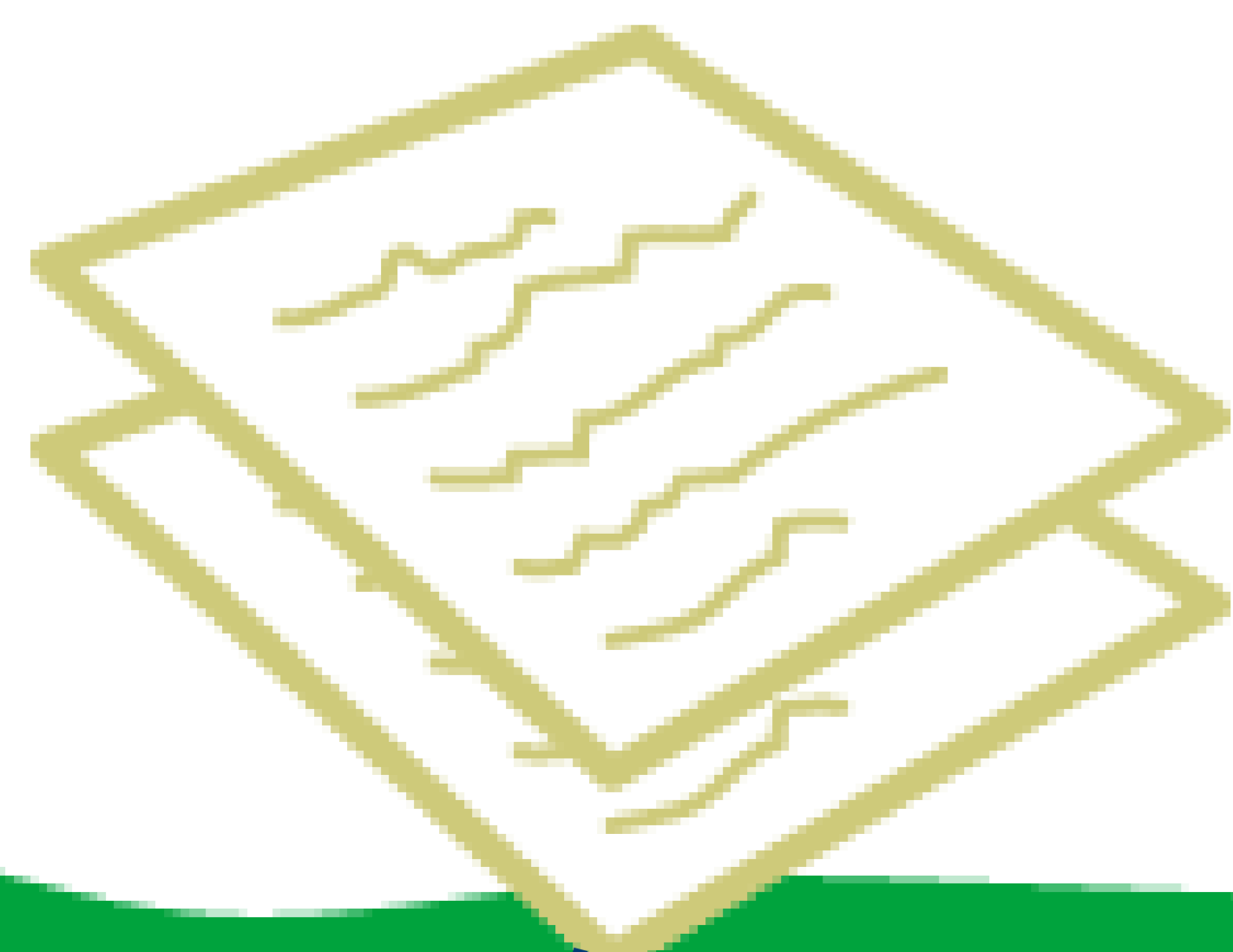
- 実際にはどうなるでしょうか？

燃料の中の流れをしりたい！

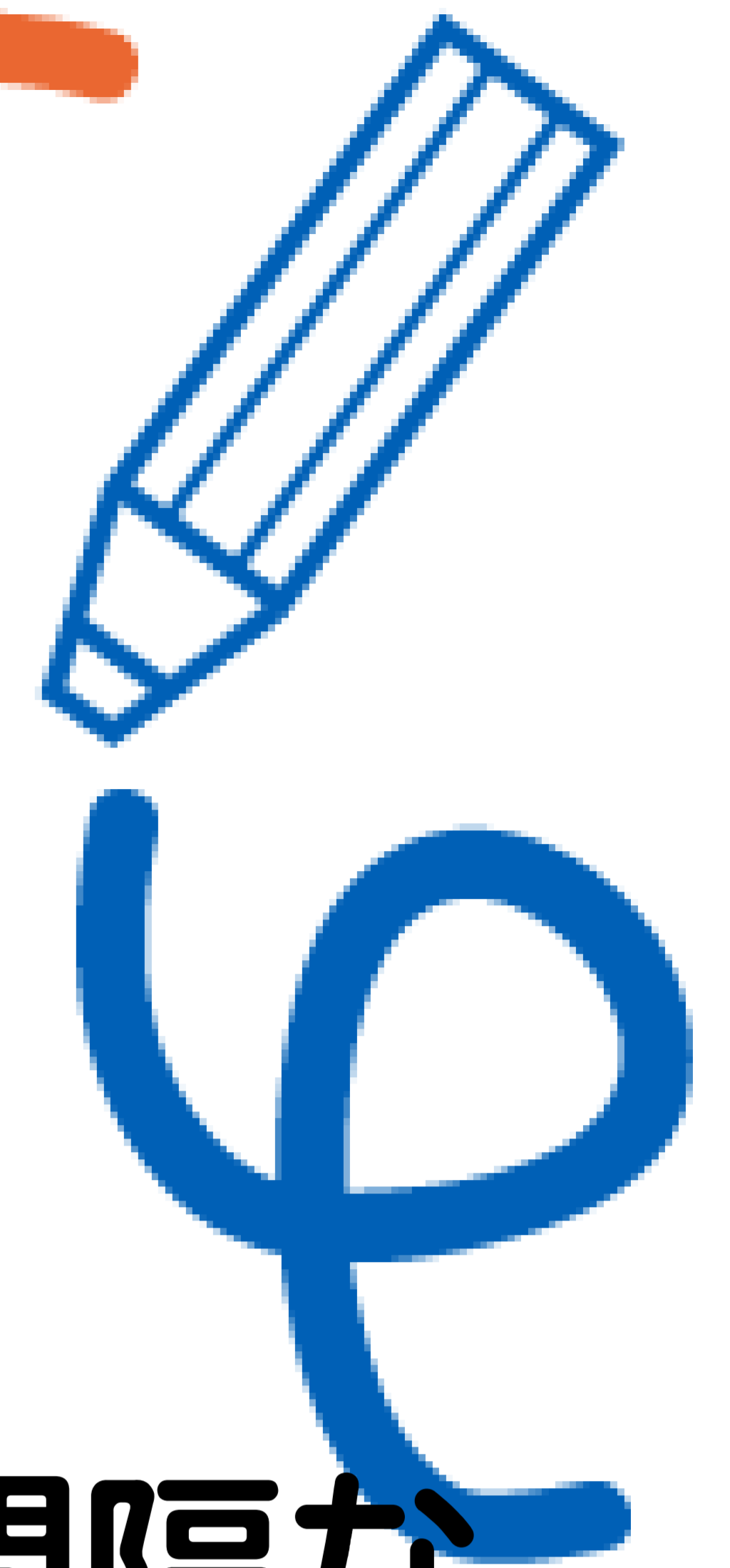
- 2つの方法が考えられます
 - 低い温度・圧力で実験する(モデル実験)



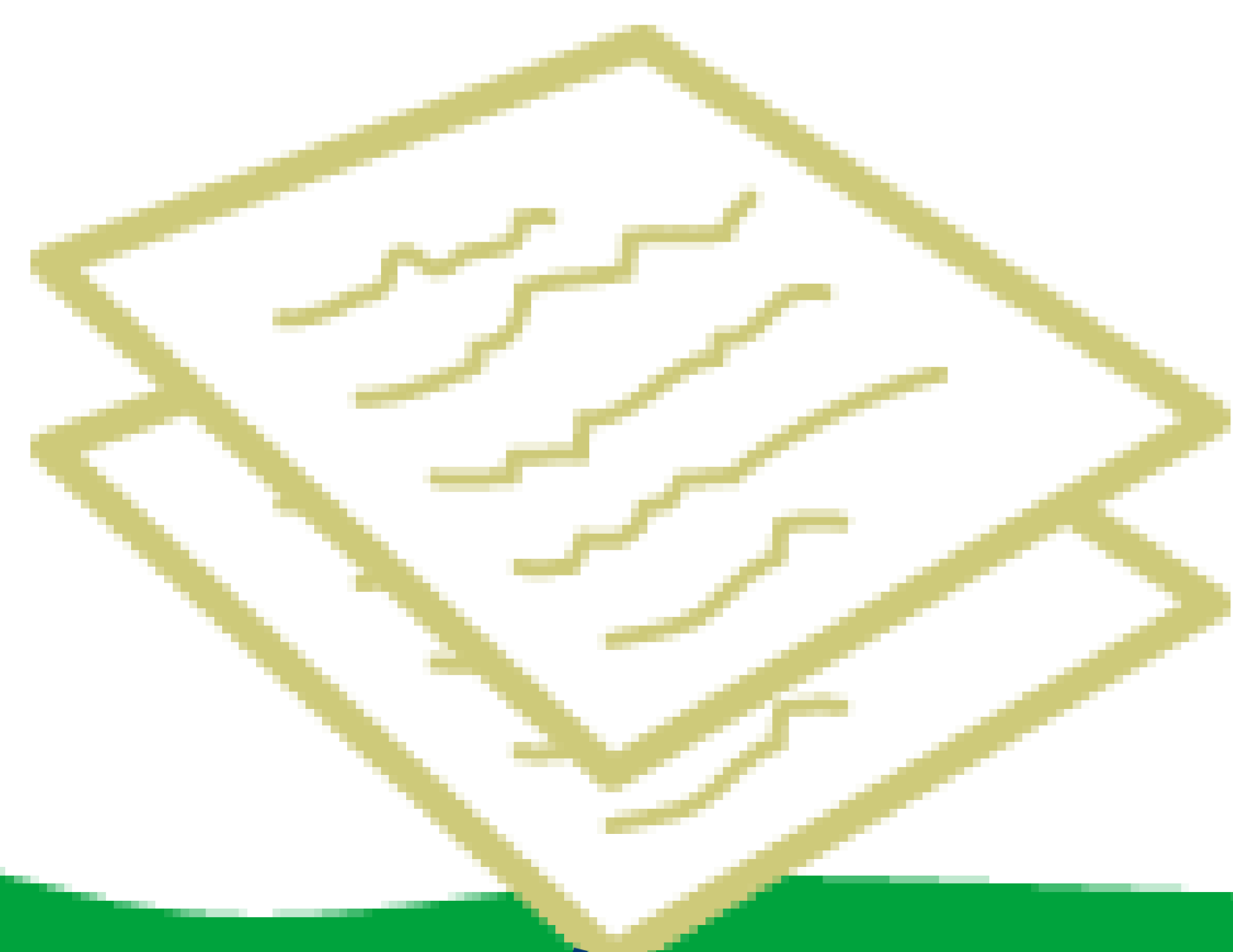
- スーパーコンピュータ(スパコン)を使った計算で流れを再現



スパコン(計算)で流れを再現



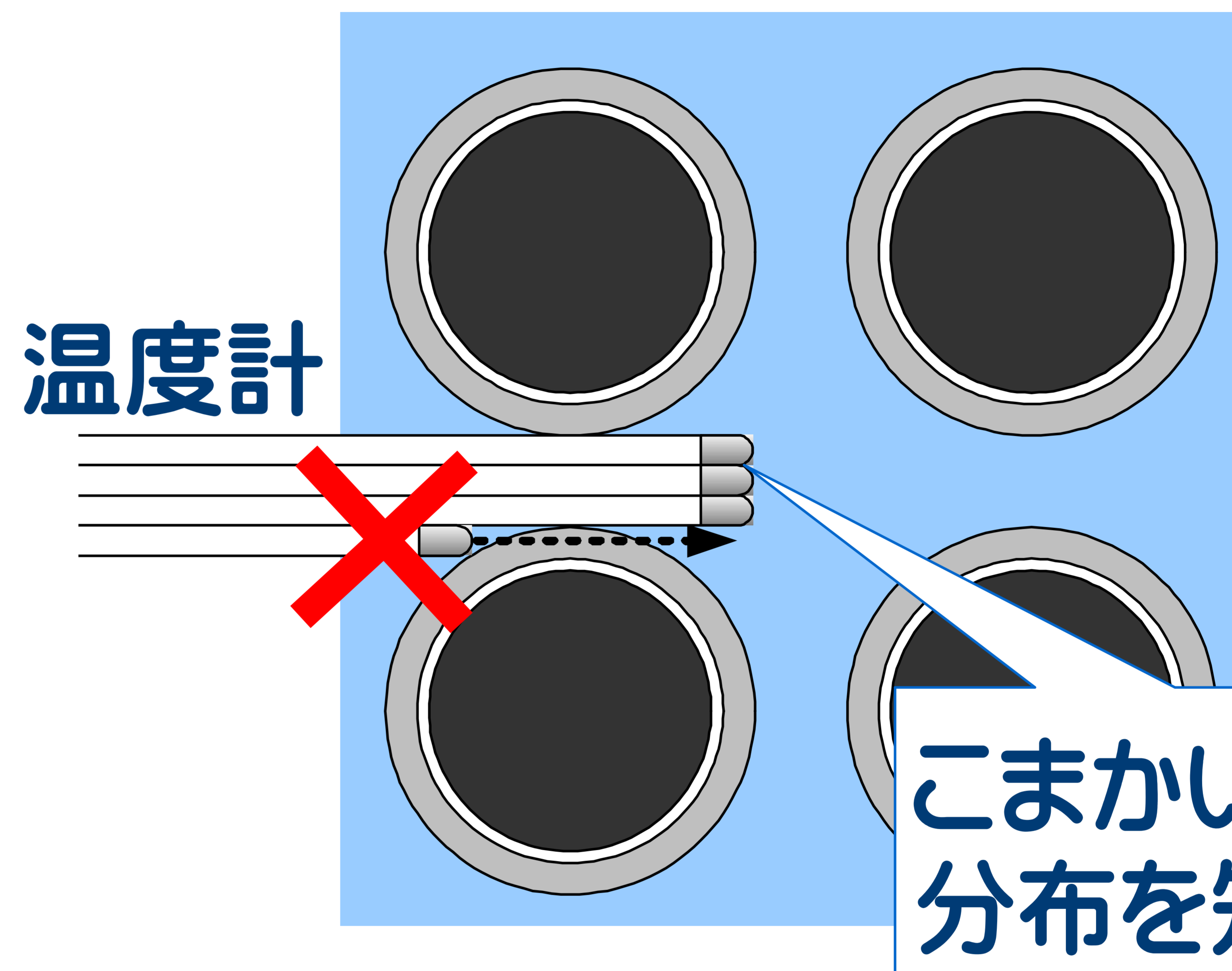
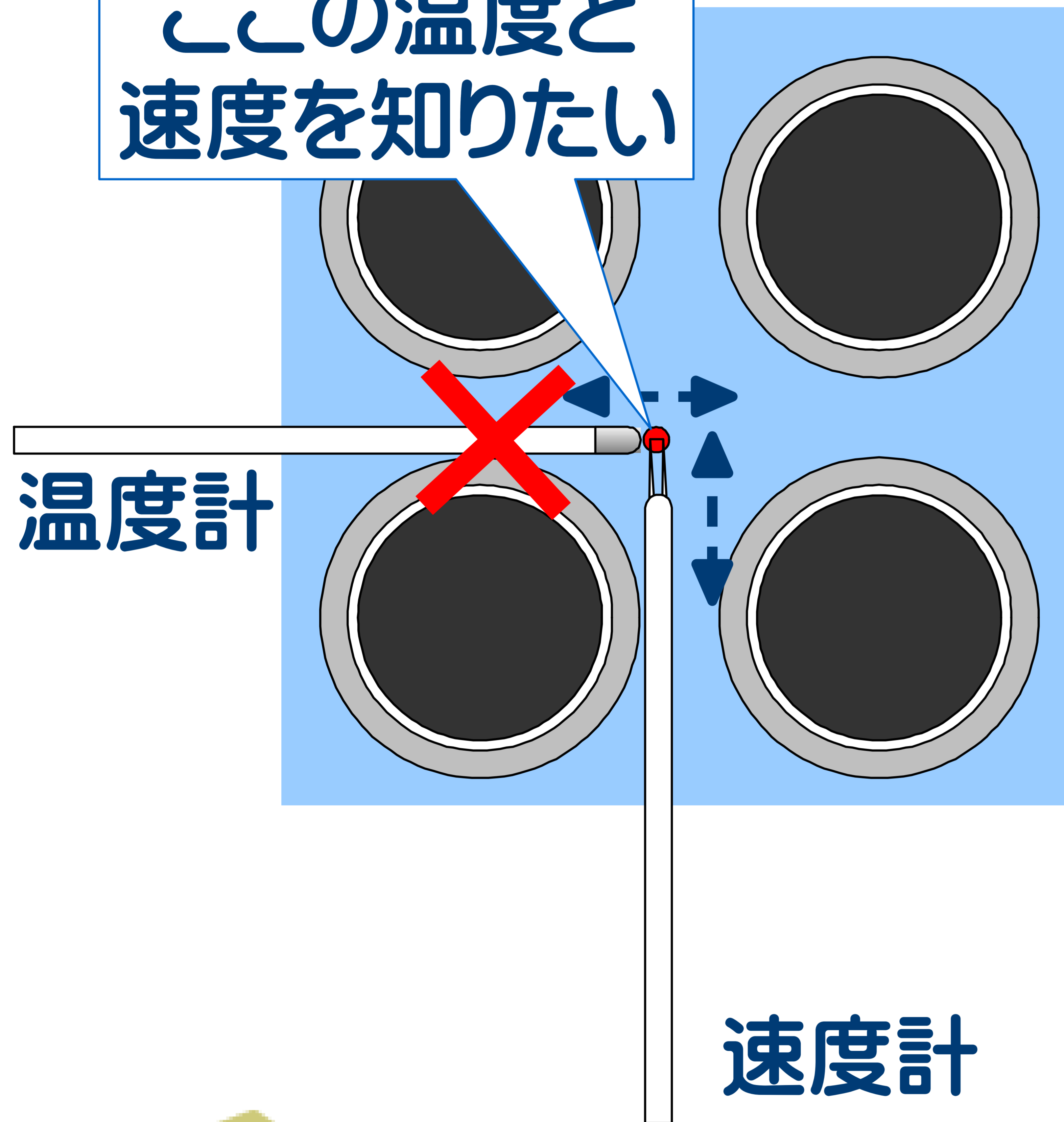
- モデル実験にくらべて良い点
 - 条件(圧力, 温度など)が**実際の燃料と同じ**
 - 条件(圧力, 温度など)や形(燃料棒の直径, 間隔など)を**変えることが簡単**
 - **くわしいことがわかる**



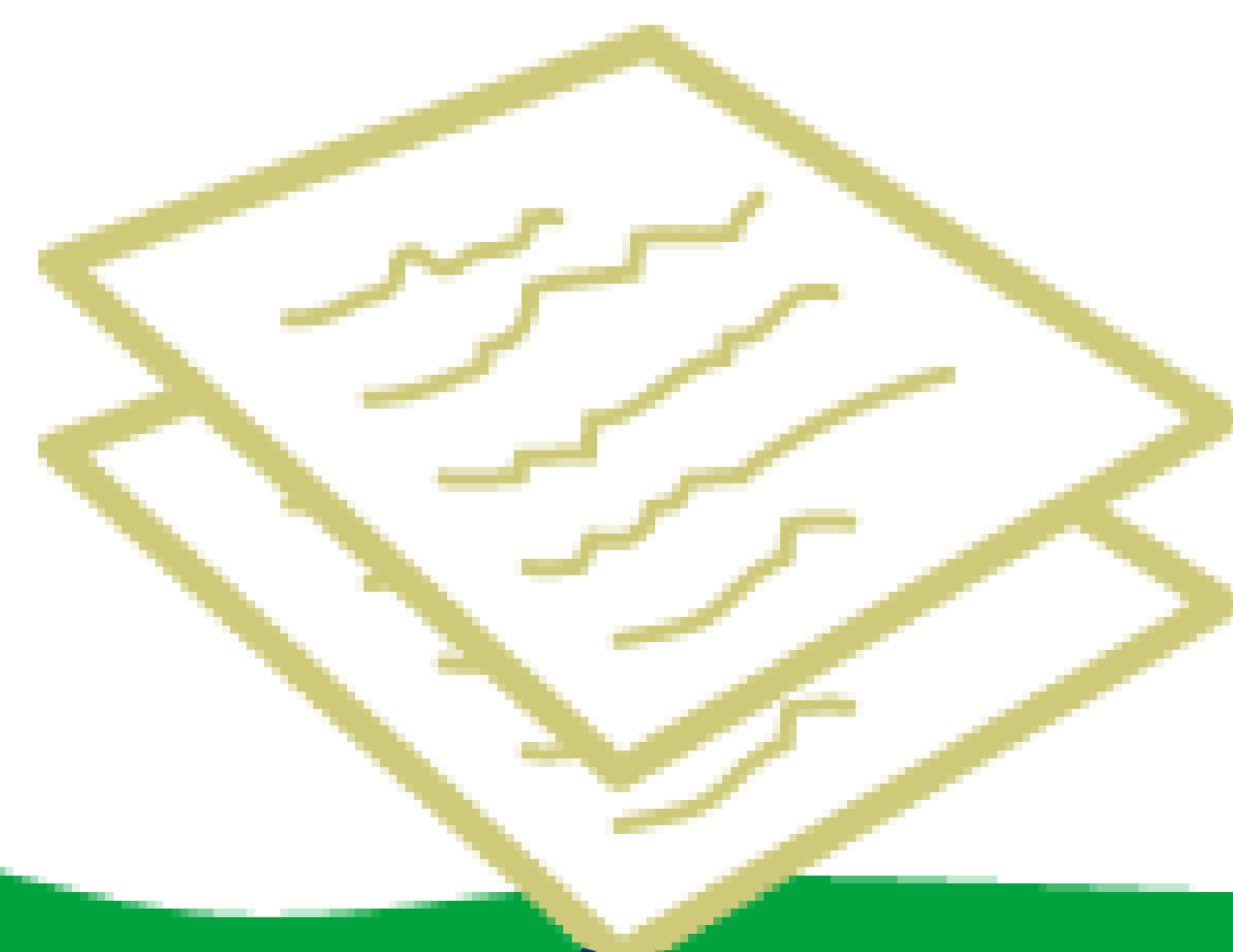
実験には制限があります



ここの温度と速度を知りたい

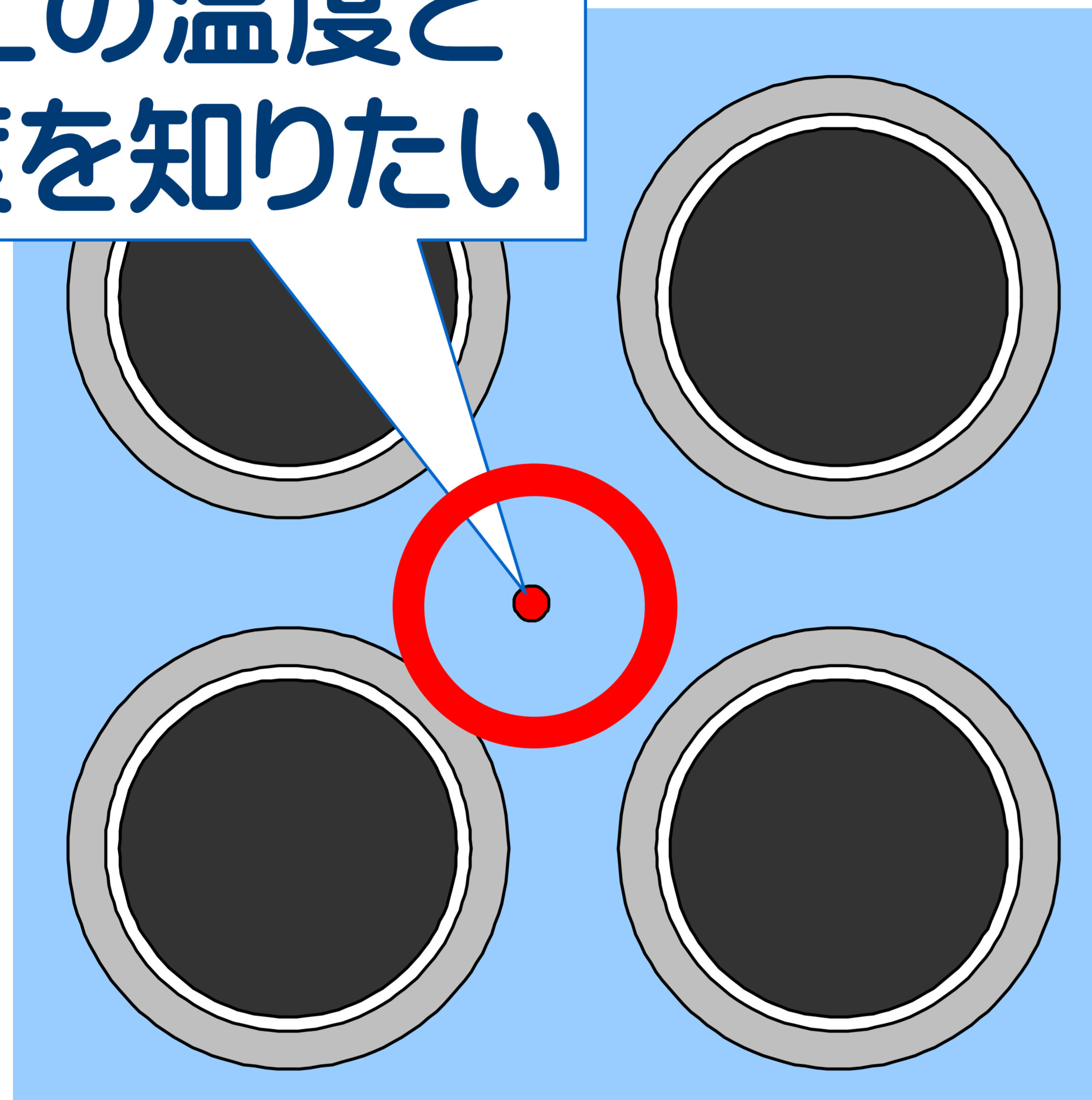


こまかい温度の分布を知りたい

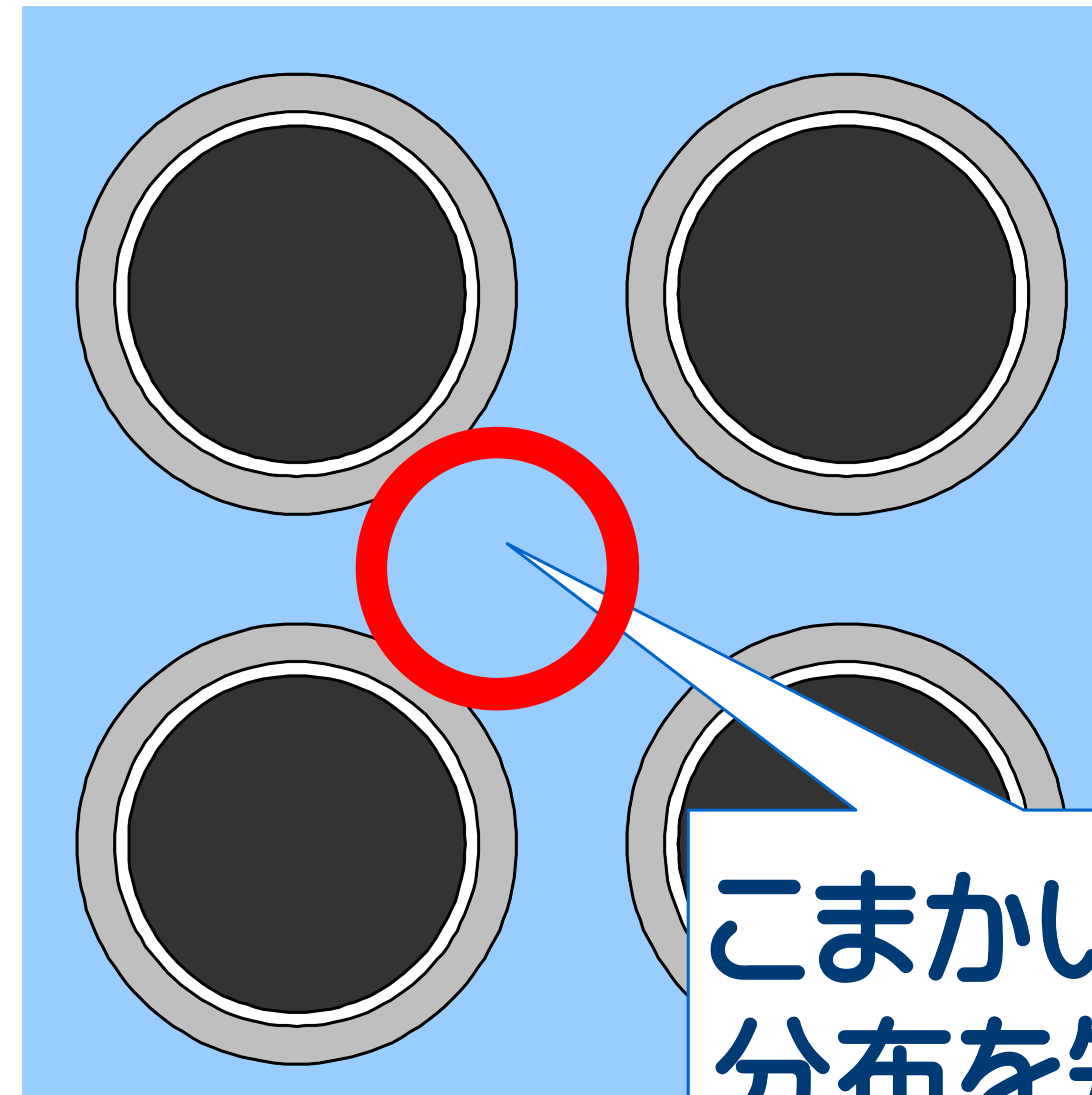


計算には制限がありません

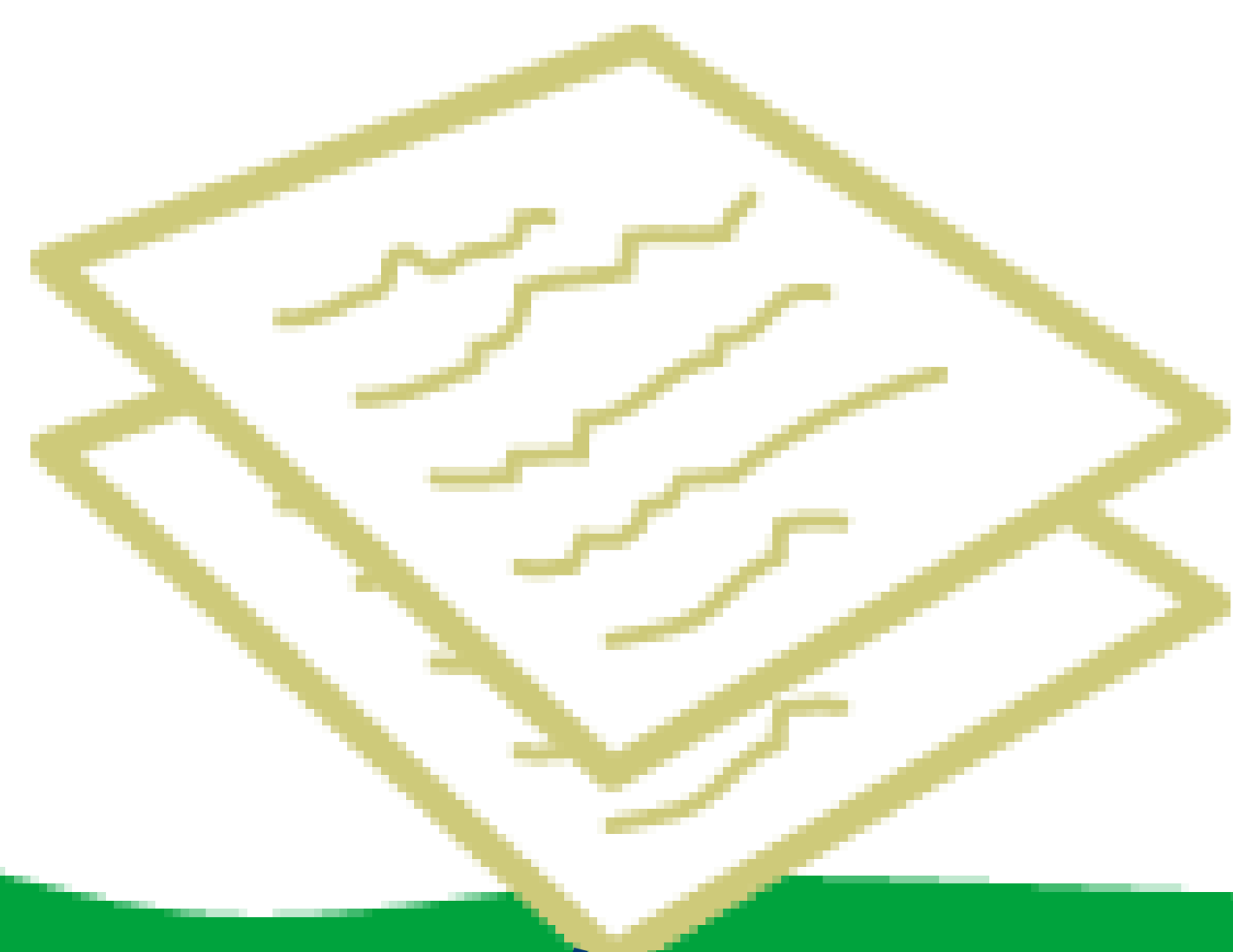
ここの温度と速度を知りたい



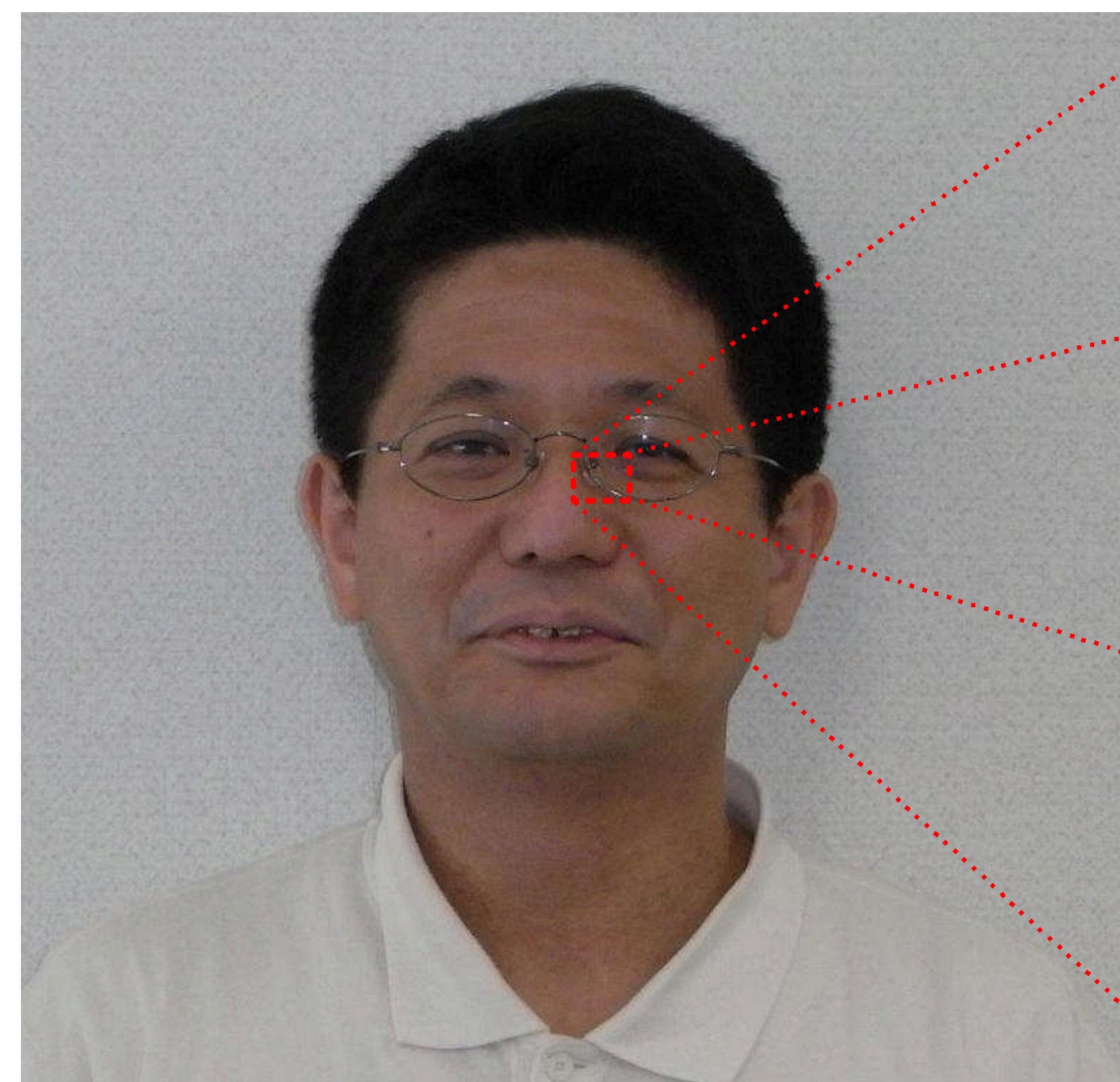
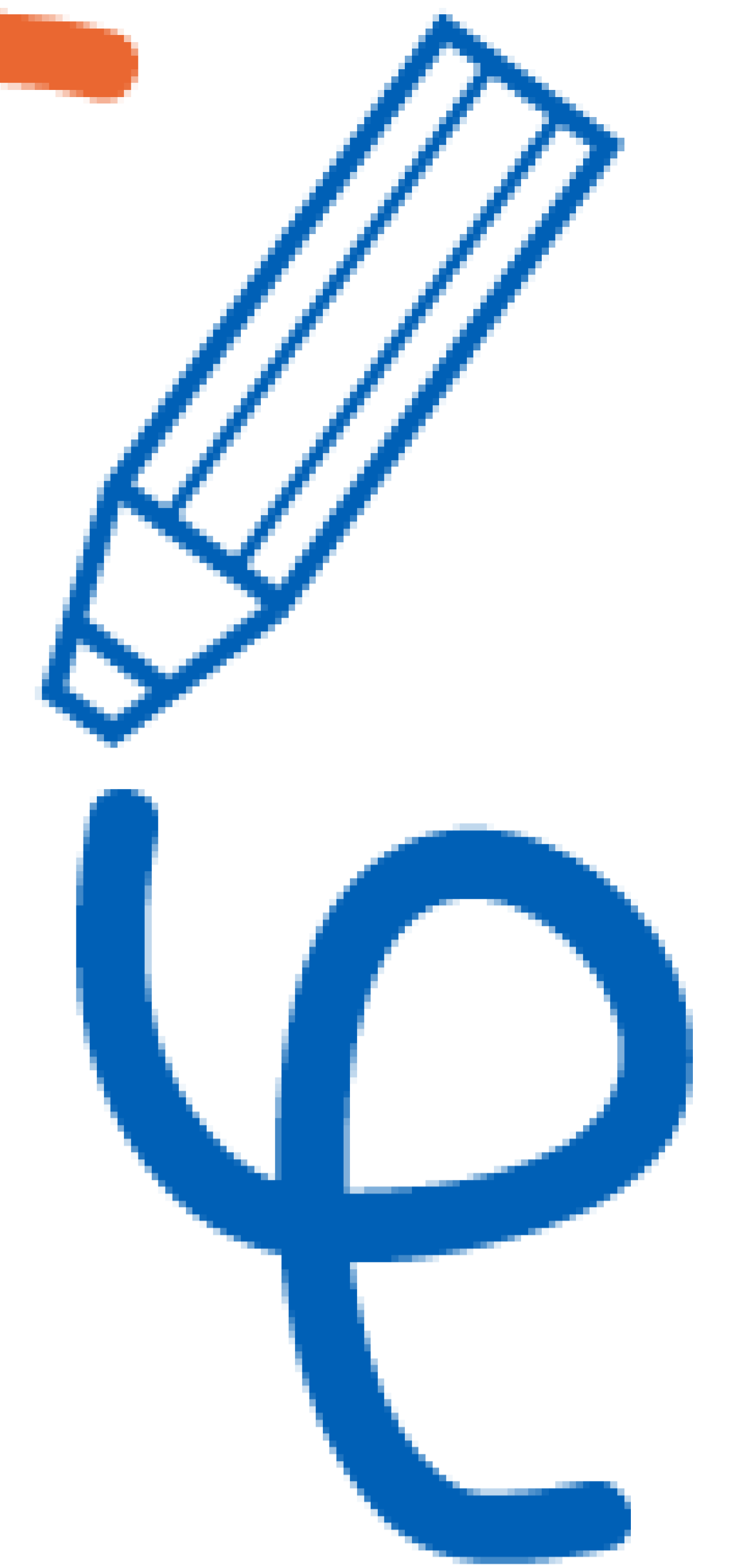
こまかい温度の分布を知りたい



- 温度計や速度計を入れないので
 - 同じ点の速度, 温度や圧力などがわかる
 - こまかい分布もわかる



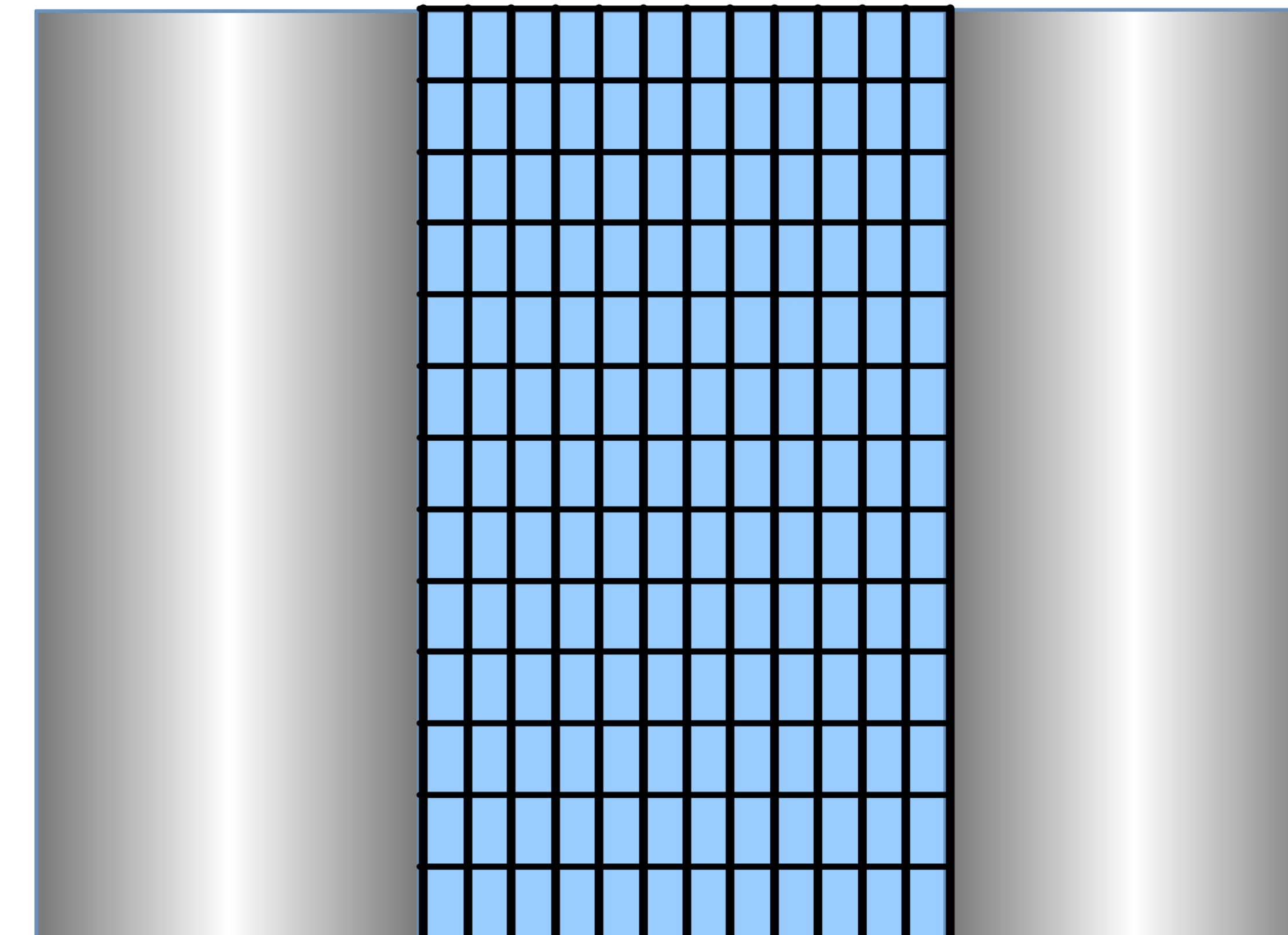
計算で流れを再現



写真



拡大



領域を計算セルに分割

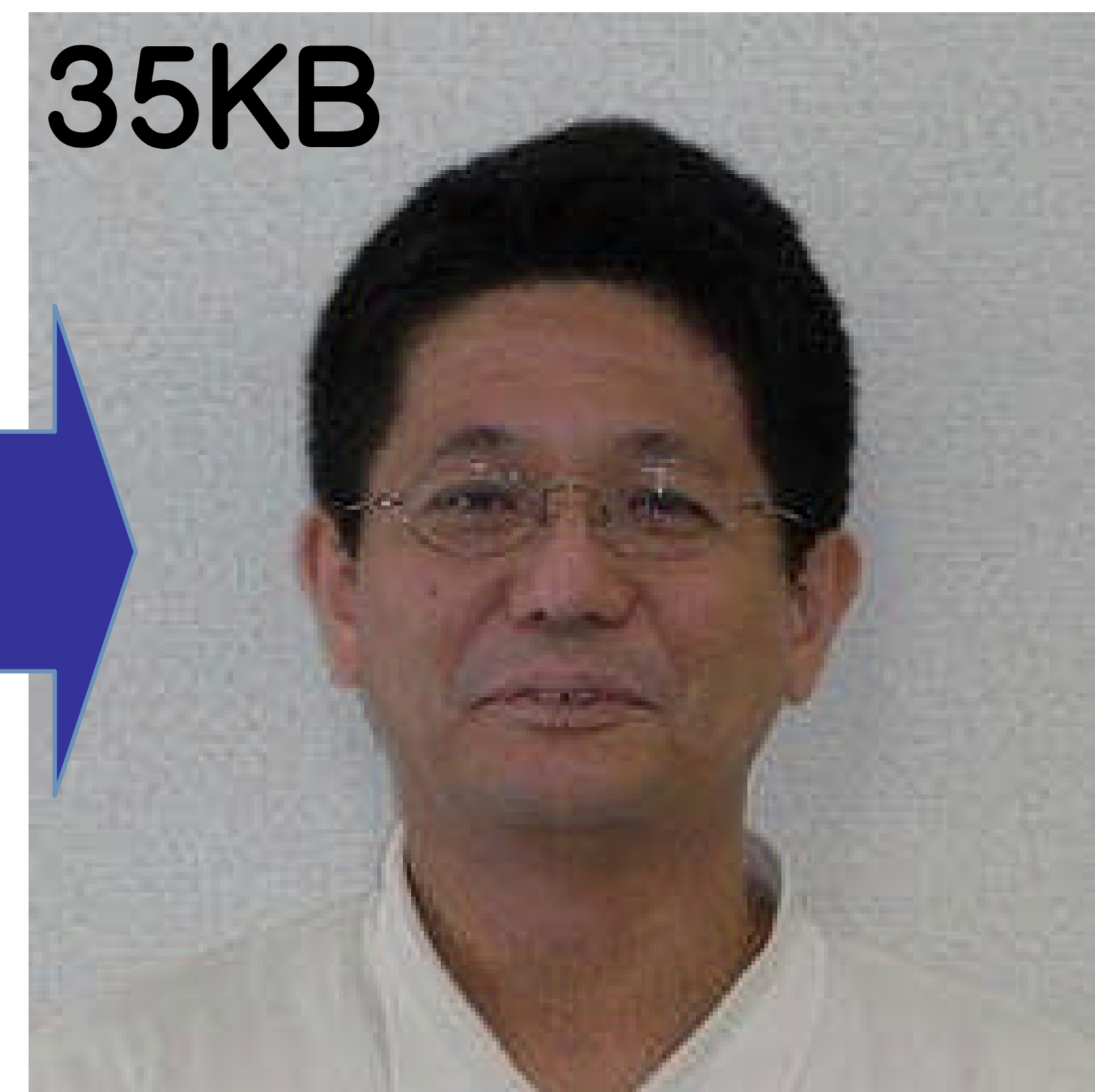
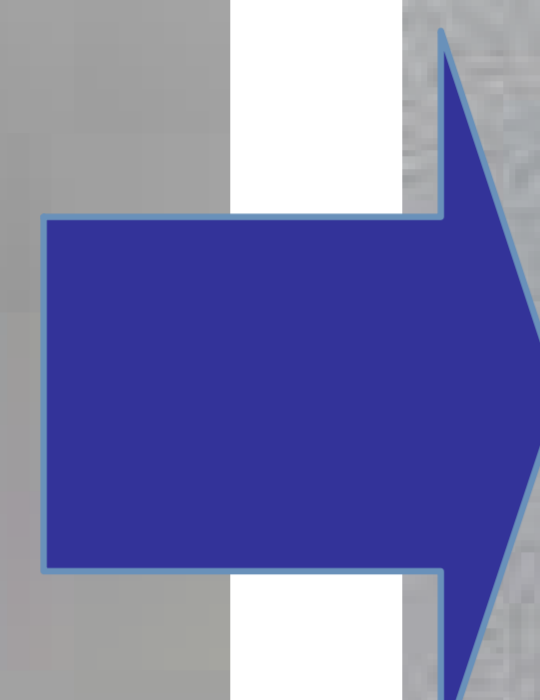
- 写真→画素の集合で表現
 - 画素: 一色で塗りつぶされている
- 計算で流れを再現
 - 領域を**計算セル**と呼ぶ**小さな領域に分割**
 - ・ 計算セルの中では速度, 温度, 圧力などが一定

計算で流れを再現



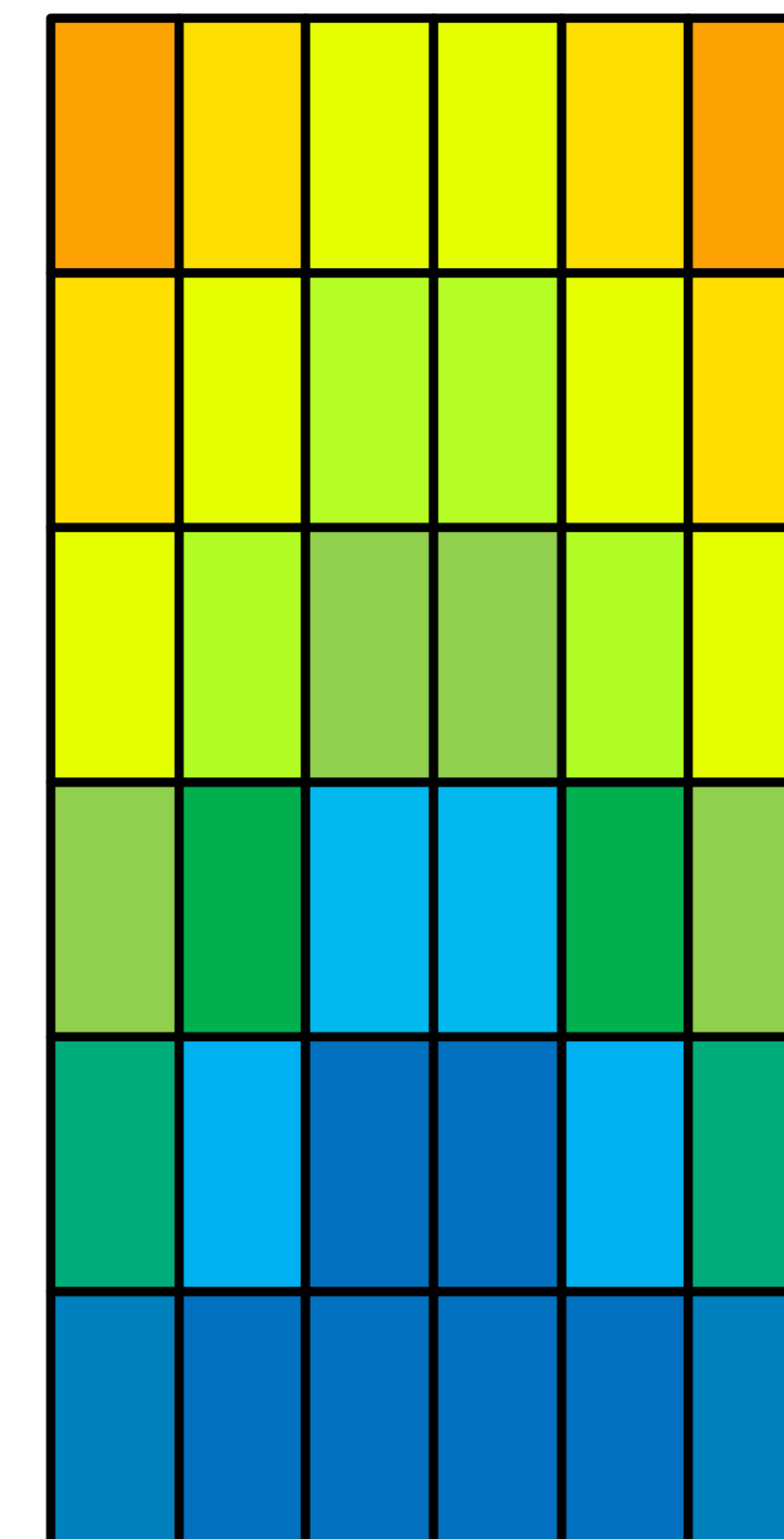
3.2KB

画素少ない



35KB

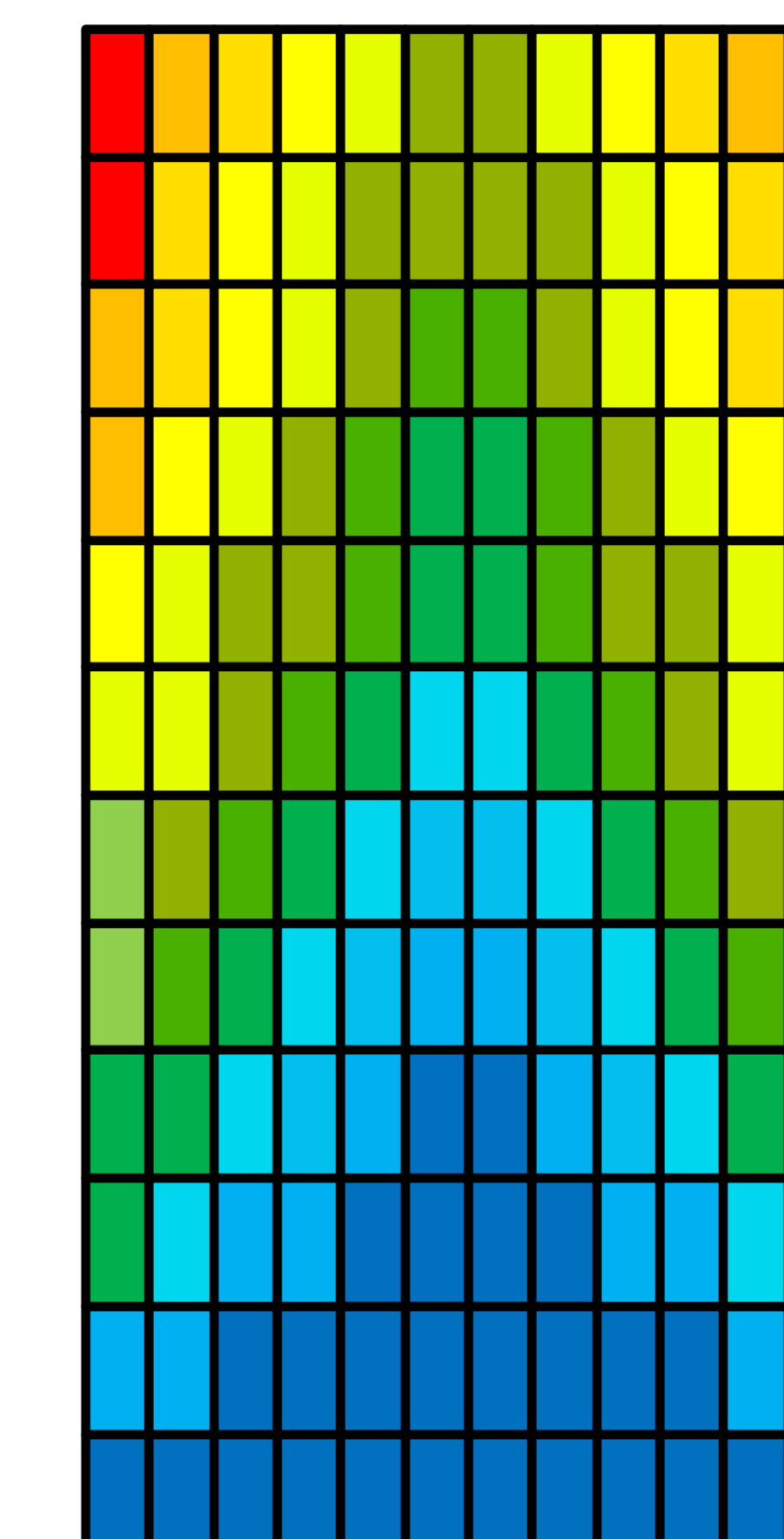
画素多い



計算セル少ない



4倍

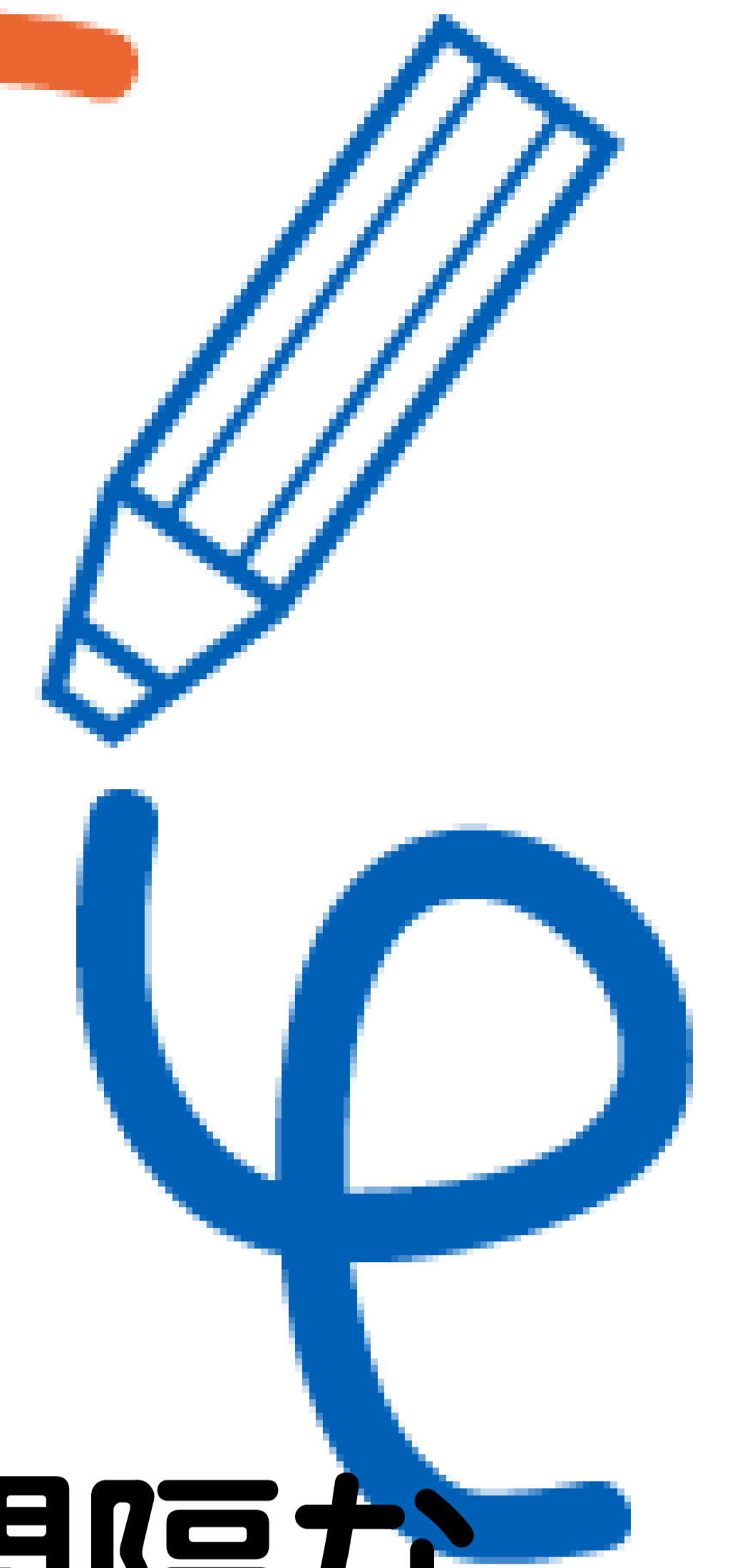


計算セル多い

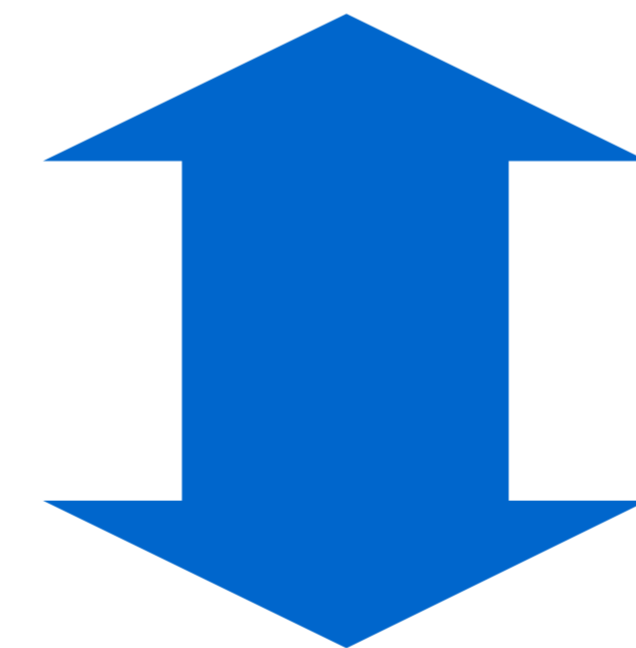
- 写真
 - 使う画素を増やすときれいに見える
 - ファイルサイズが大きくなる

- 計算
 - 計算セルの数を増やすと詳しく計算できる(情報増, 精度向上)
 - 必要とする計算時間や計算機のメモリーが増える

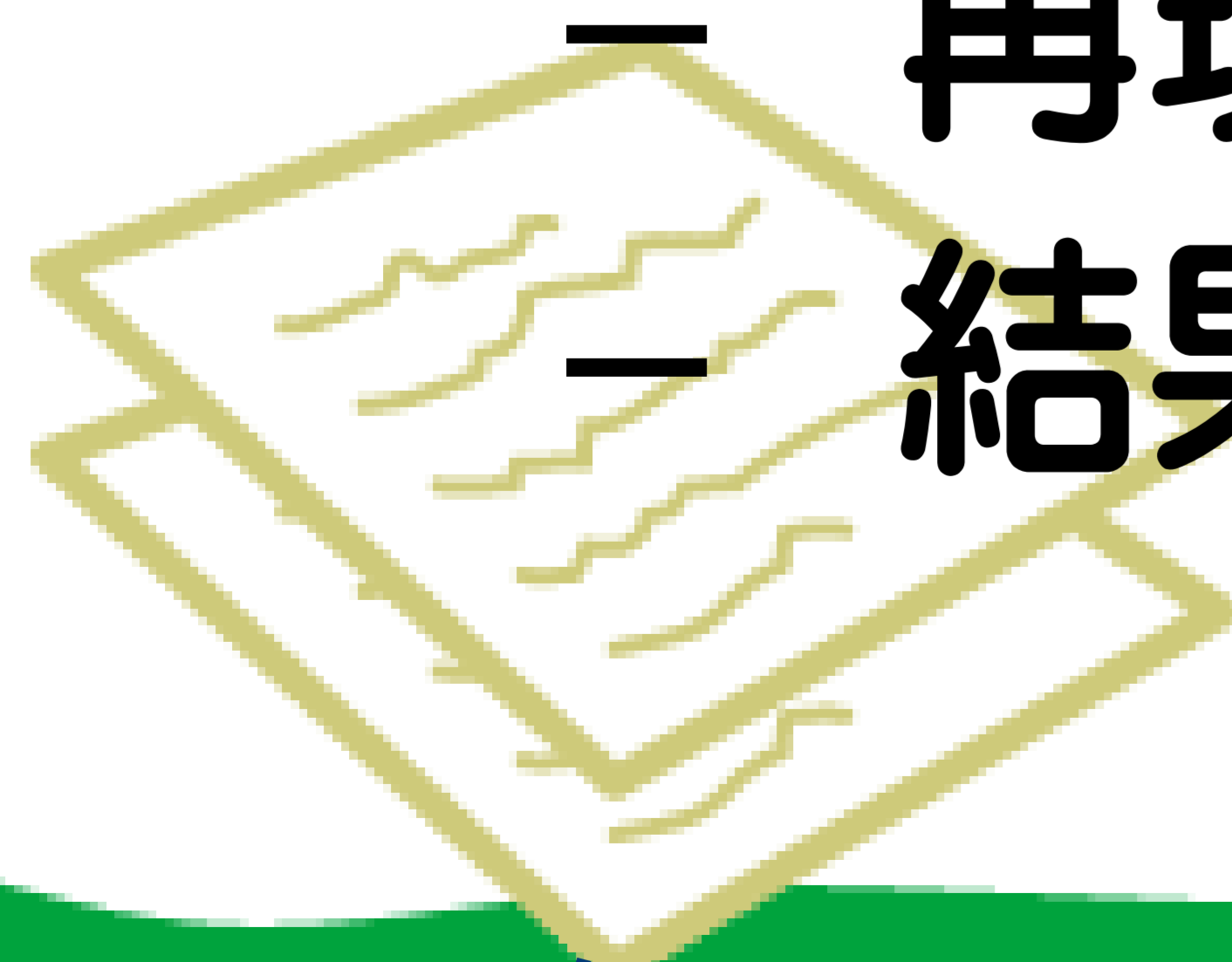
スパコン(計算)で流れを再現



- モデル実験にくらべて良い点
 - 条件(圧力, 温度など)が実際の燃料と同じ
 - 条件(圧力, 温度など)や形(燃料棒の直径, 間隔など)を変えることが簡単
 - くわしいことがわかる



- 実際に目で見ること(実験)にくらべて良くない点
 - 再現する**方法を作る**必要がある
 - 結果が正しいのかを**確かめる**必要がある

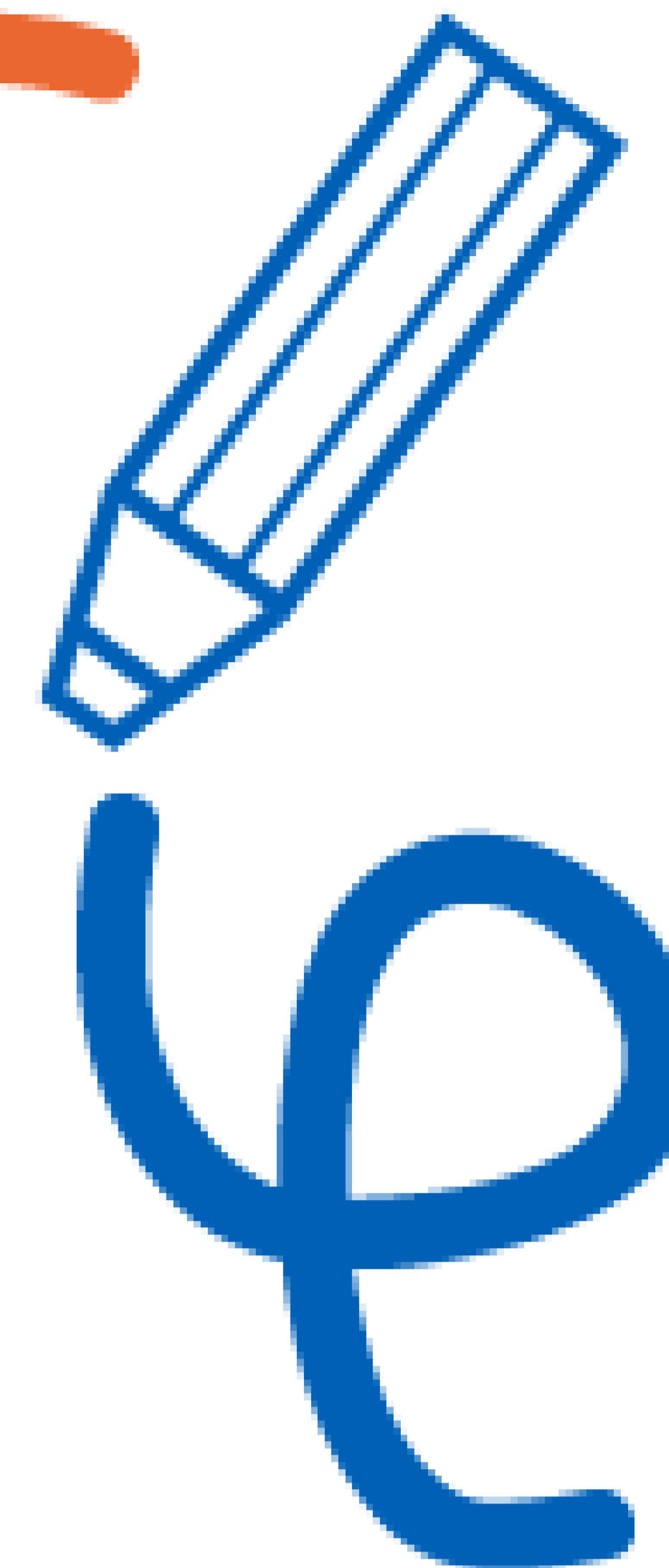


実際にコンピュータを使って流れを再現した例

風洞実験

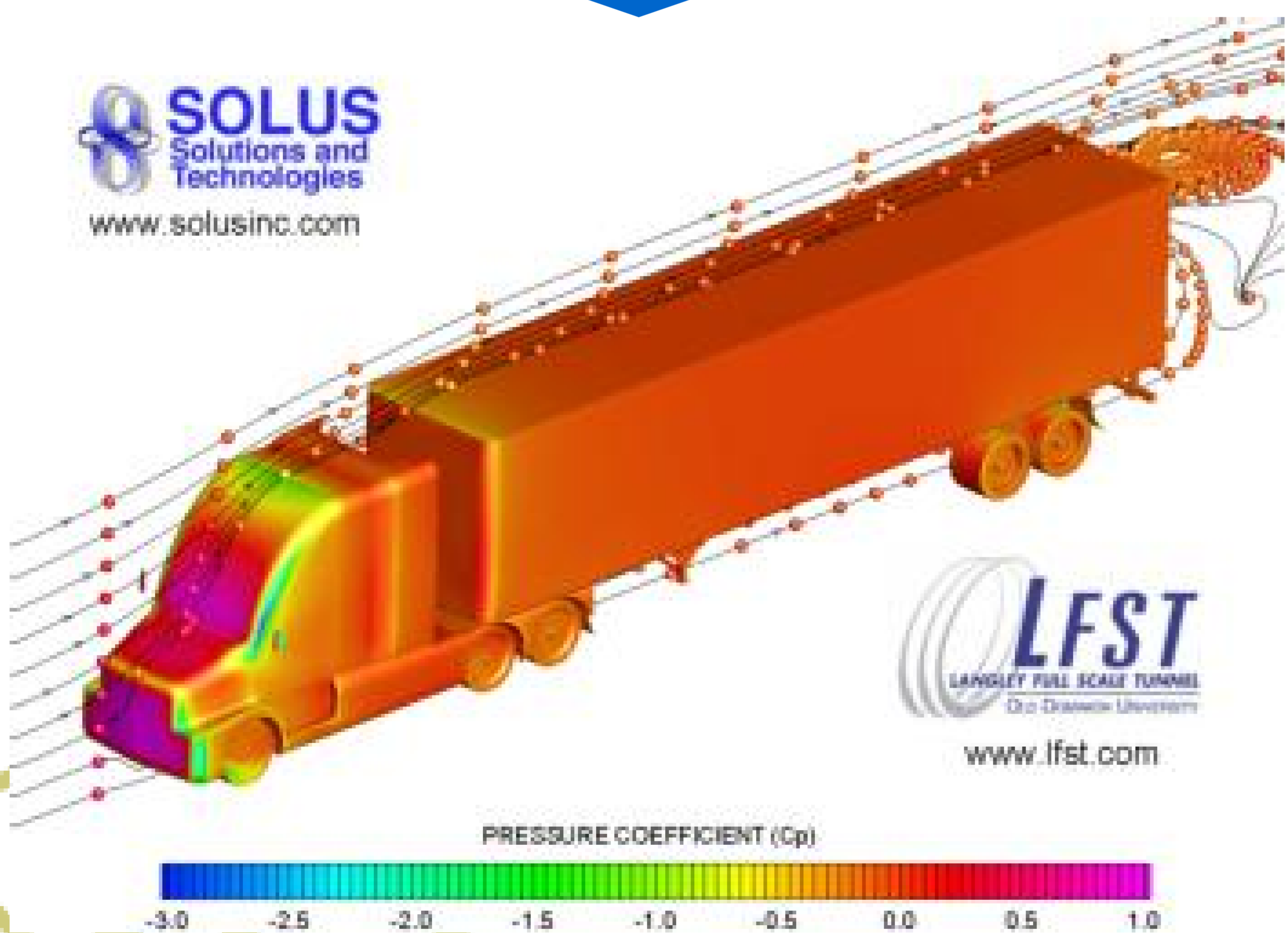


- トラックの燃費向上のための形の検討
 - 風洞実験
 - コンピュータを使った流れの再現



結果が正しいことをたしかめる

 **SOLUS**
Solutions and
Technologies
www.solusinc.com



形の決定



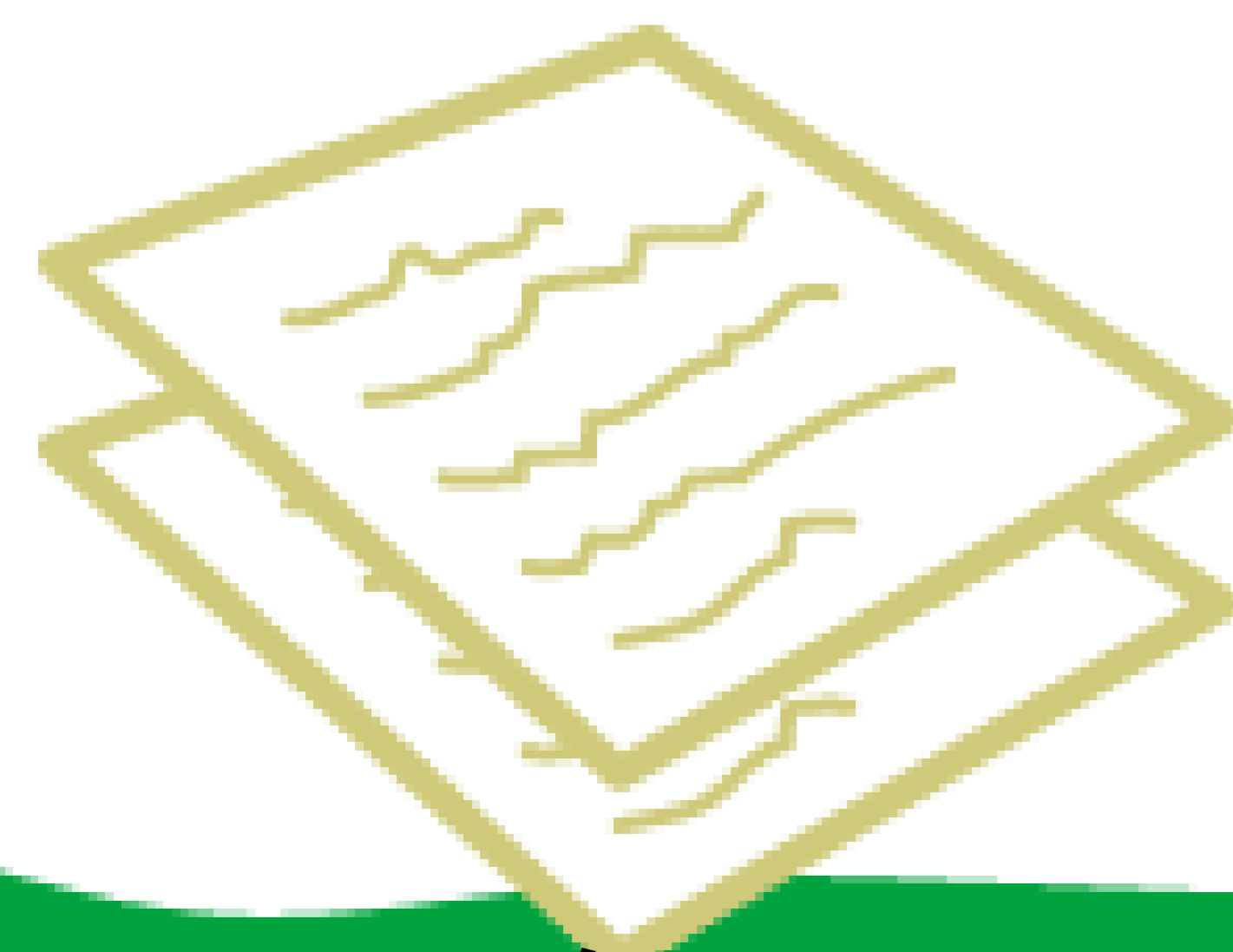
原子炉の中の流れを計算で再現



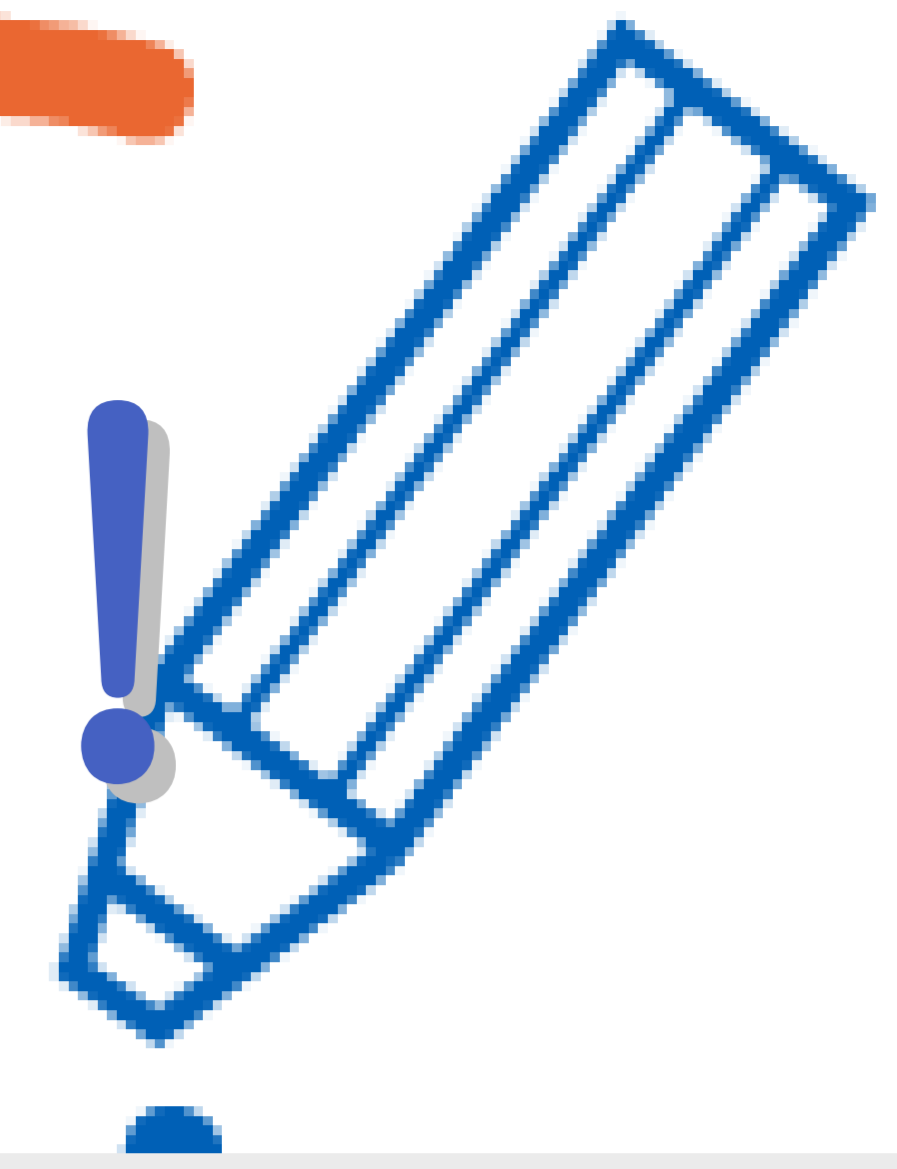
- これまでは主に、水あるいは空気だけの流れ
- ↓
- 複雑な水や蒸気のみざった流れ
 - 時間や場所が変わる泡の形まで再現



時間や場所が変わる泡の形の一例



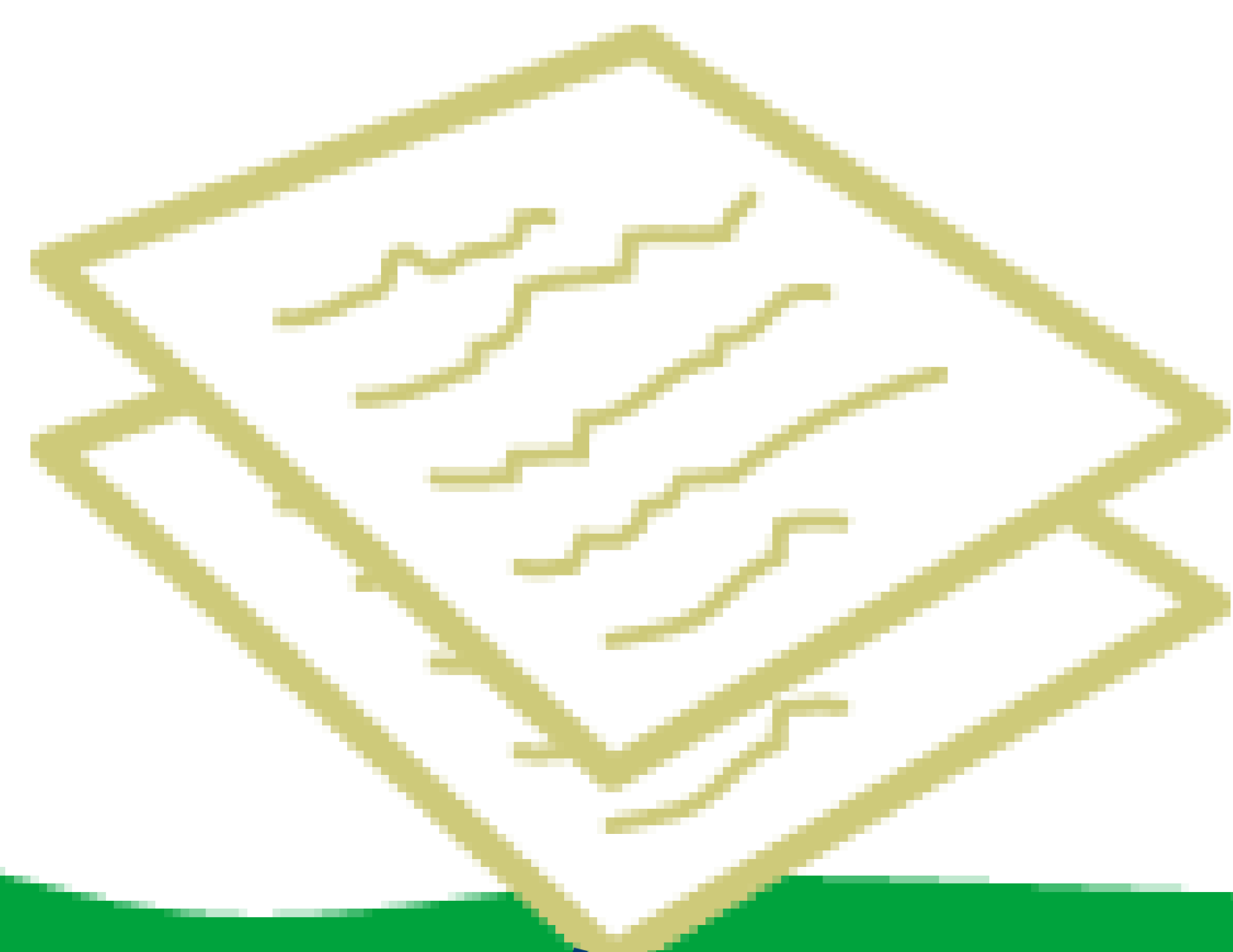
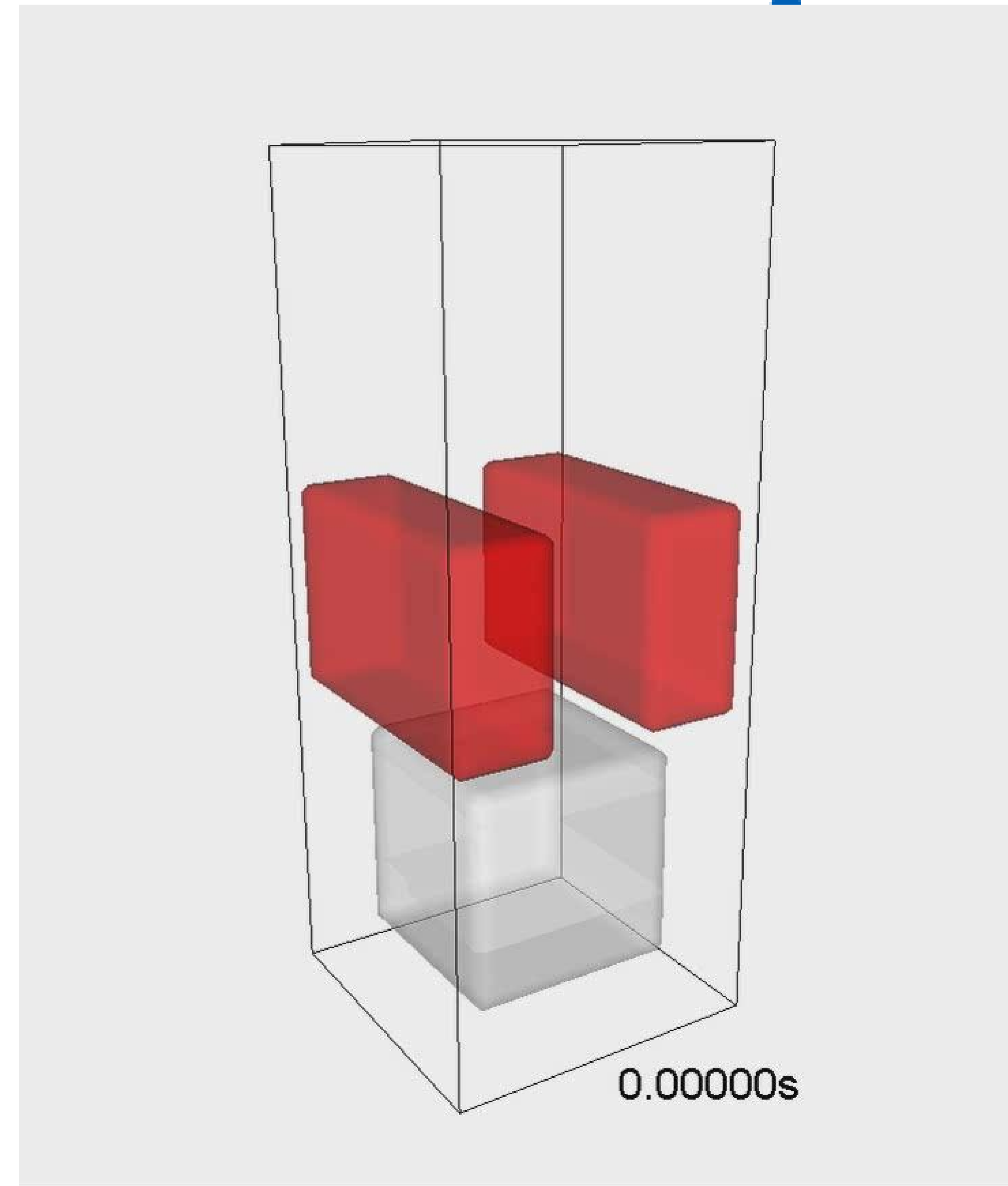
新しい計算方法を作っています！



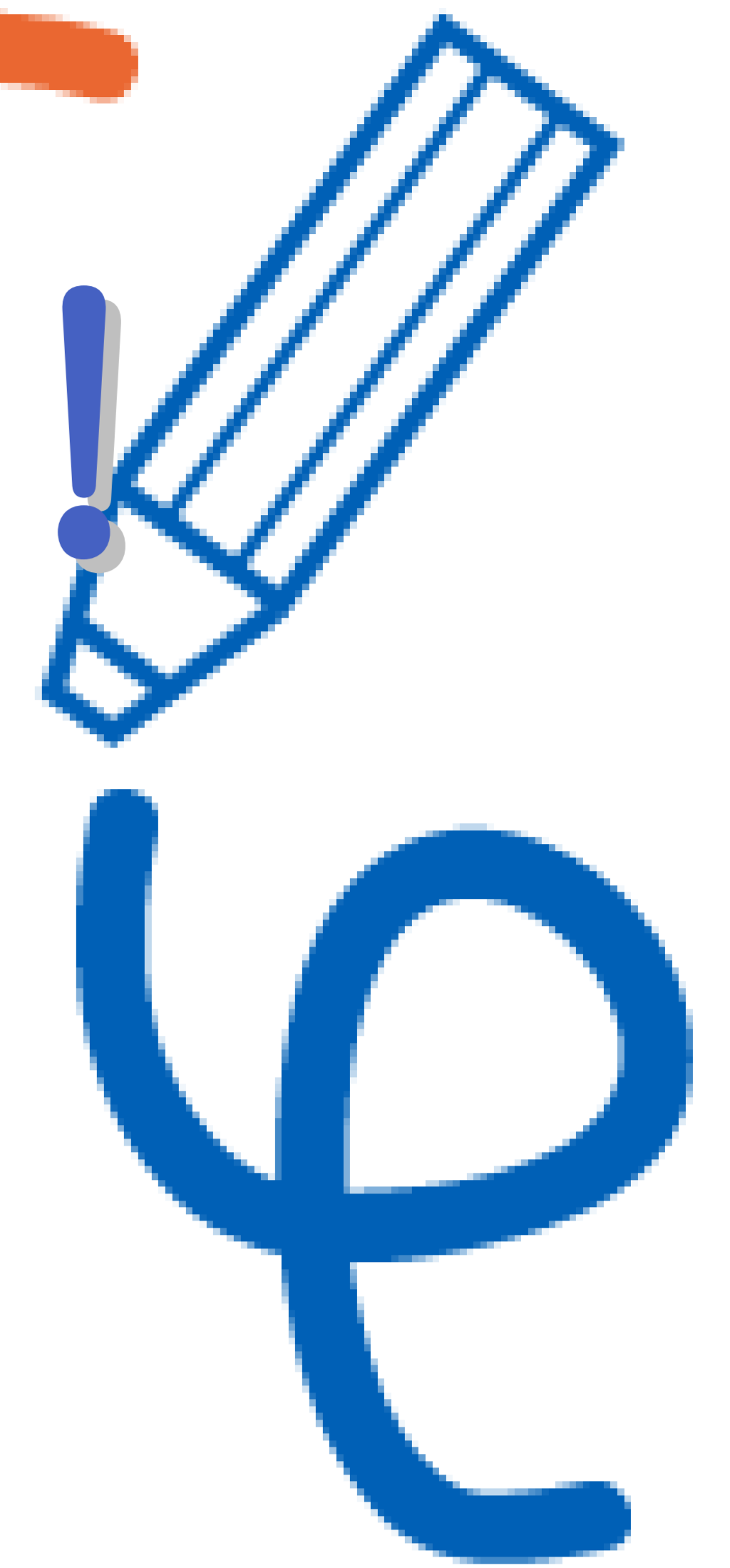
- 水あるいは空気だけの流れ



- 複雑な水や蒸気のままざった流れ
 - 時間や場所で変わる泡の形まで再現

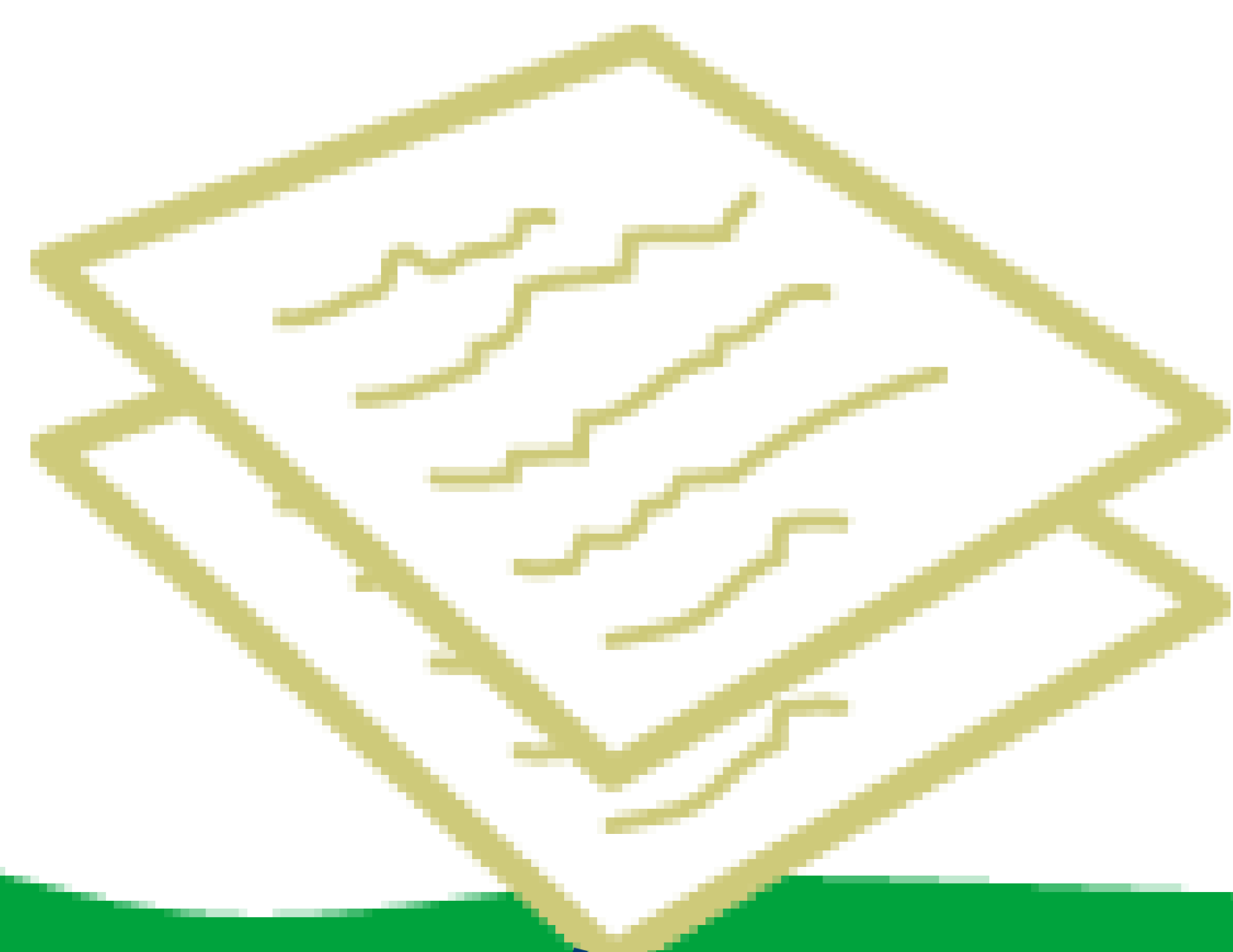
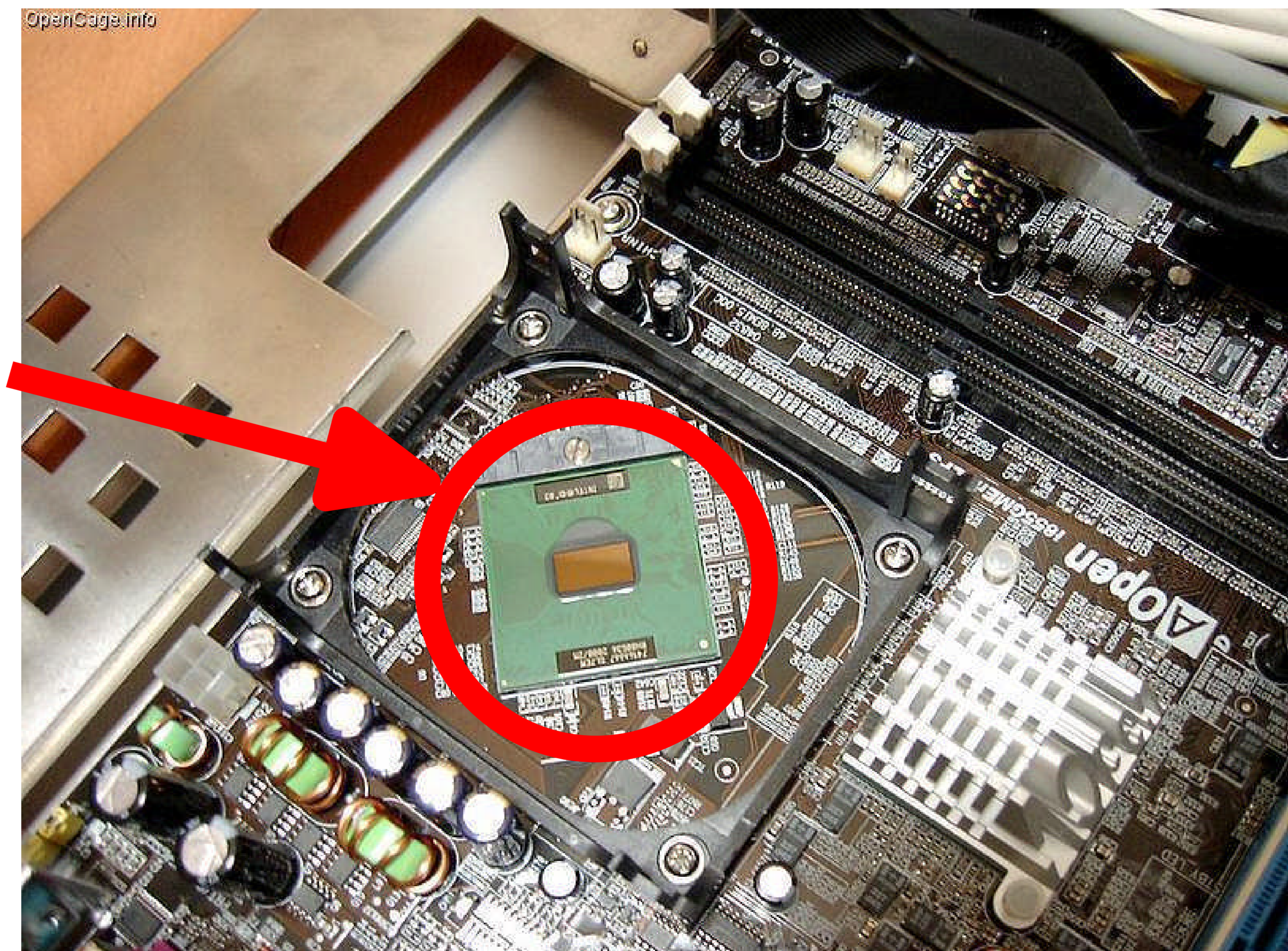


新しい計算方法を作っています！



- たくさんのCPU(コンピュータの中の計算をする部品)を使うことができます
 - 普通のパソコン:1個~2個のCPU
 - 原子力機構の大型計算機:2048個のCPU

CPU

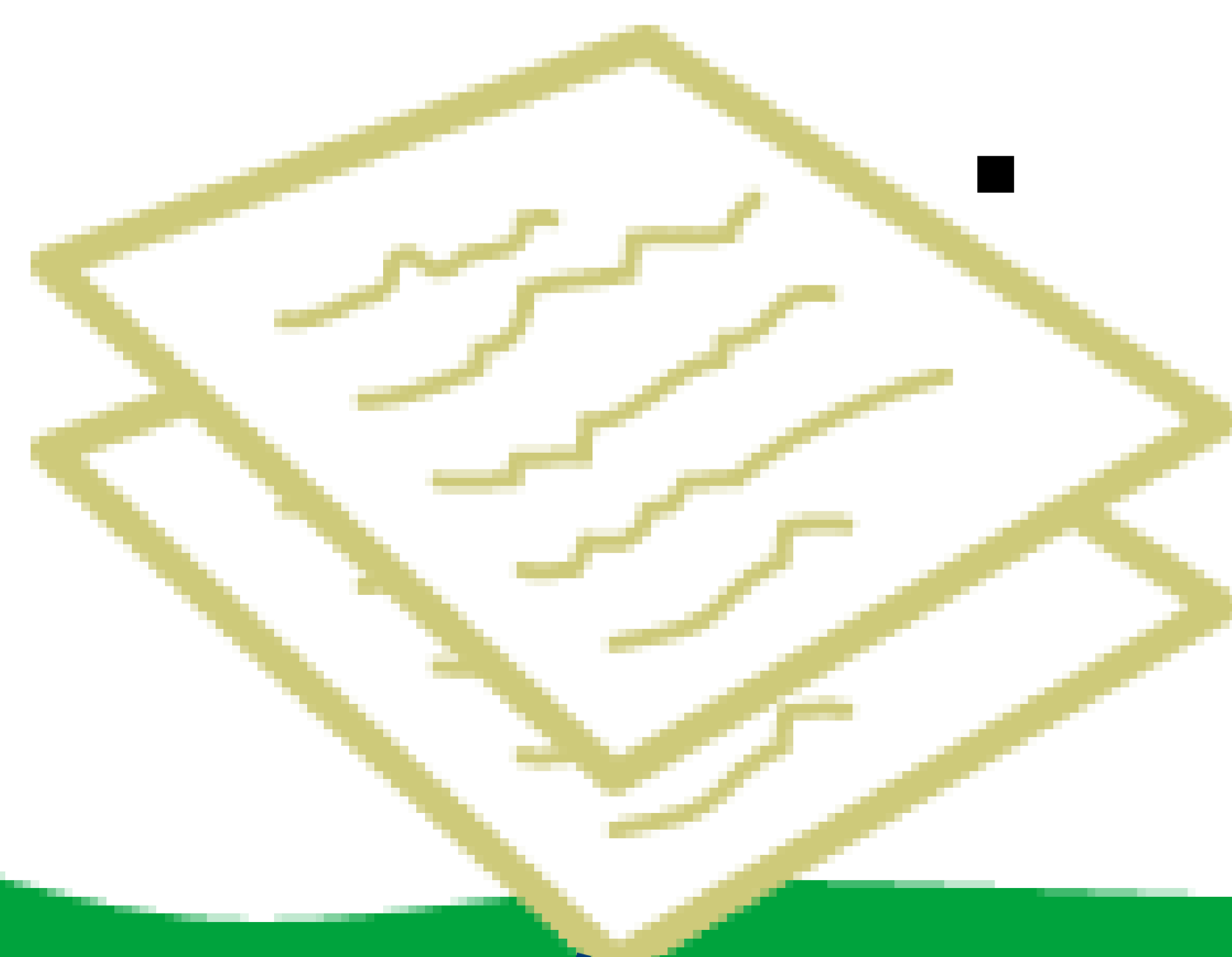


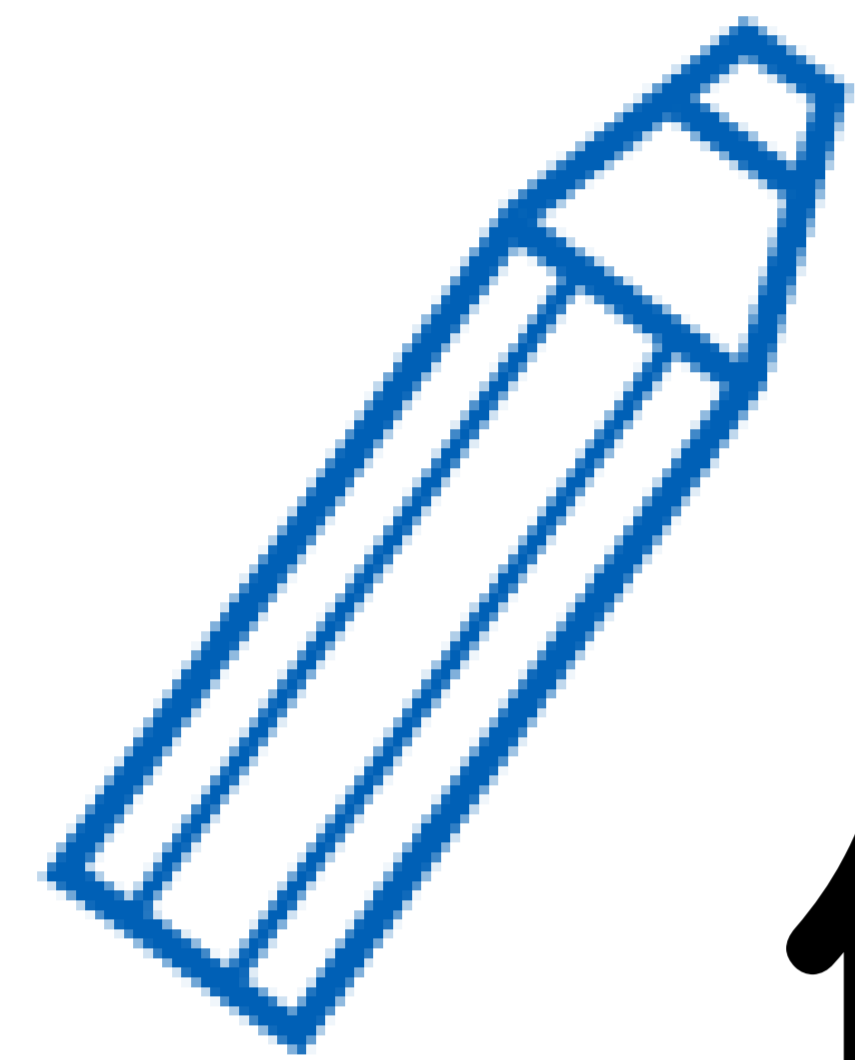
新しい計算方法では…

- 複雑な水や蒸気のまざった流れを計算することができます

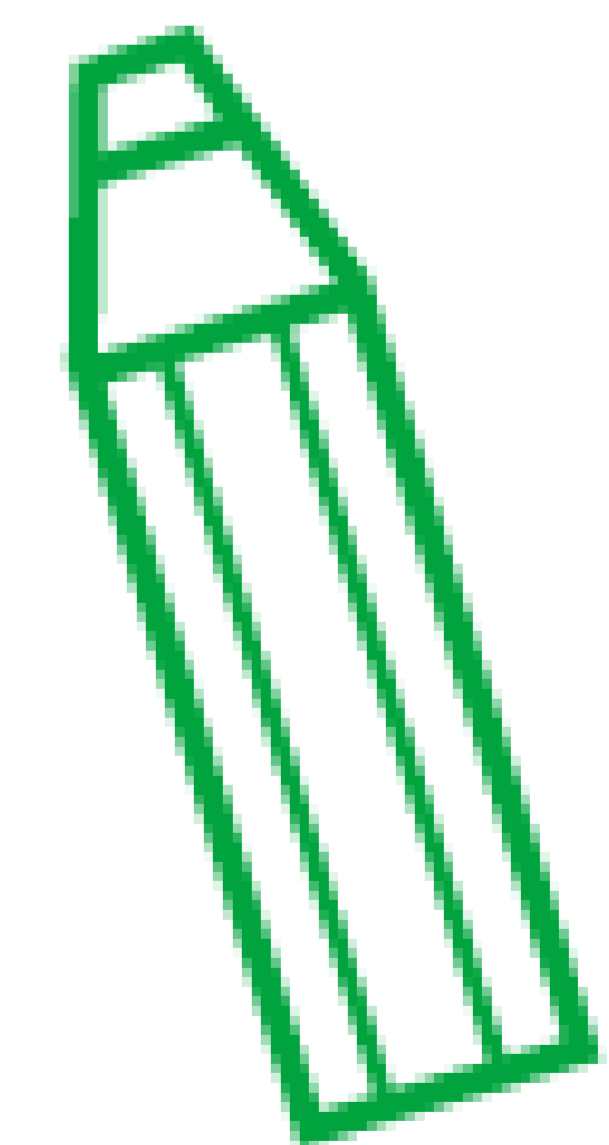
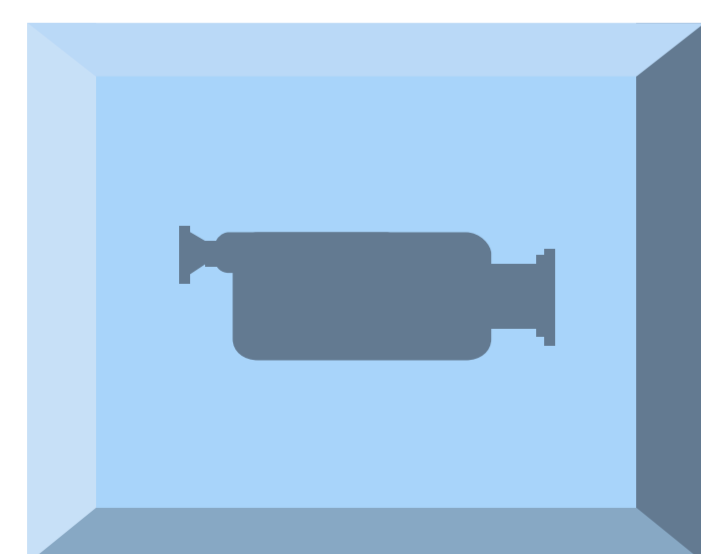


- 実物大模型を使った実験なしに設計できます
 - お金も時間も節約できます
 - くわしいことが短い時間でわかります
 - より良い設計ができる可能性があります





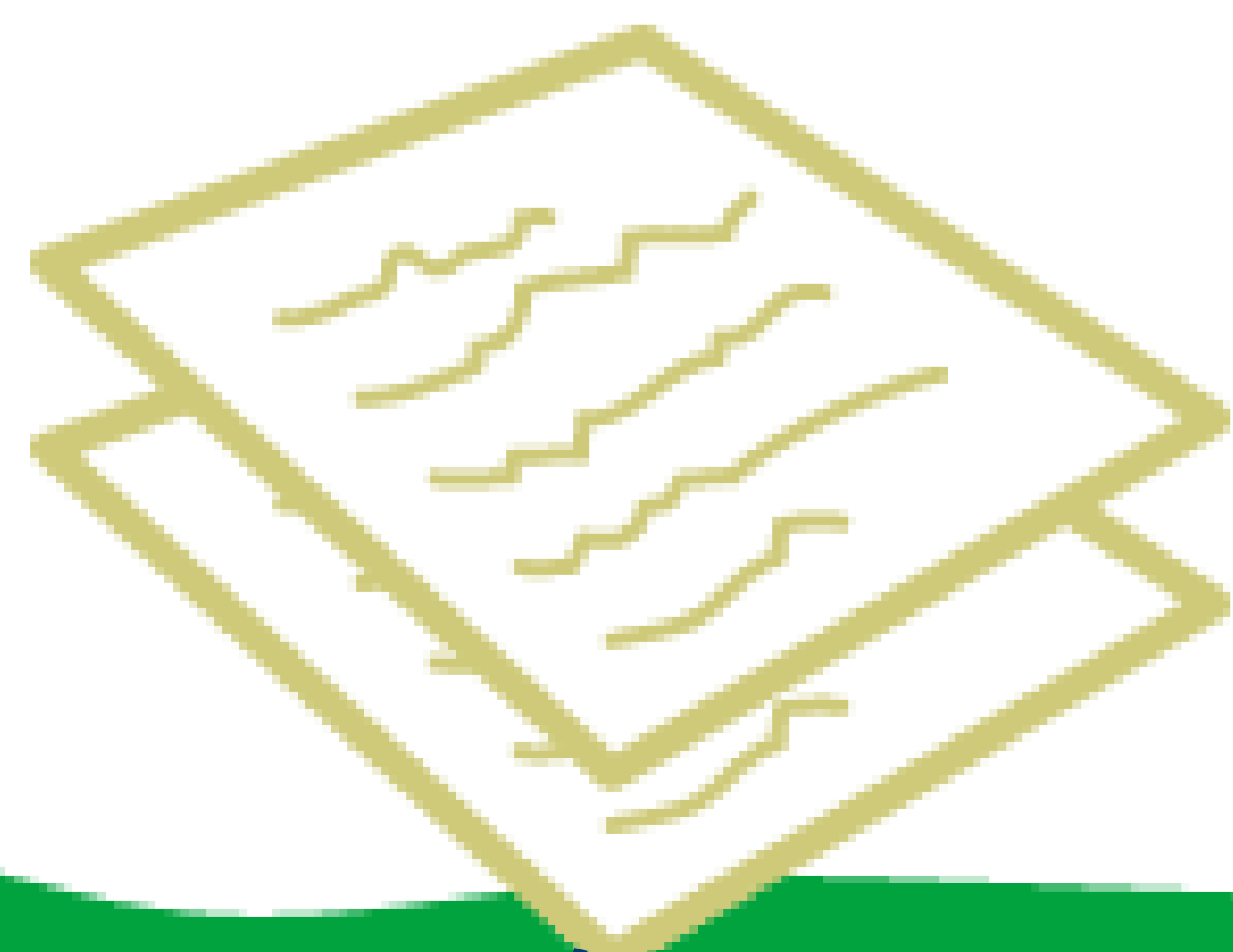
作った方法を確かめました




分かったこと, 確かめられたこと

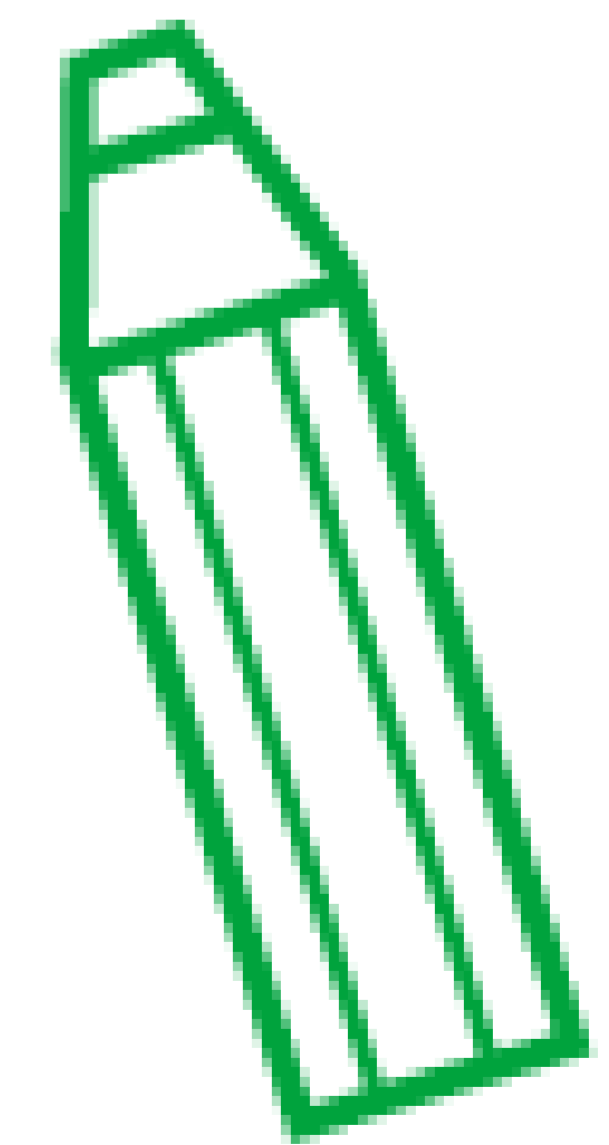
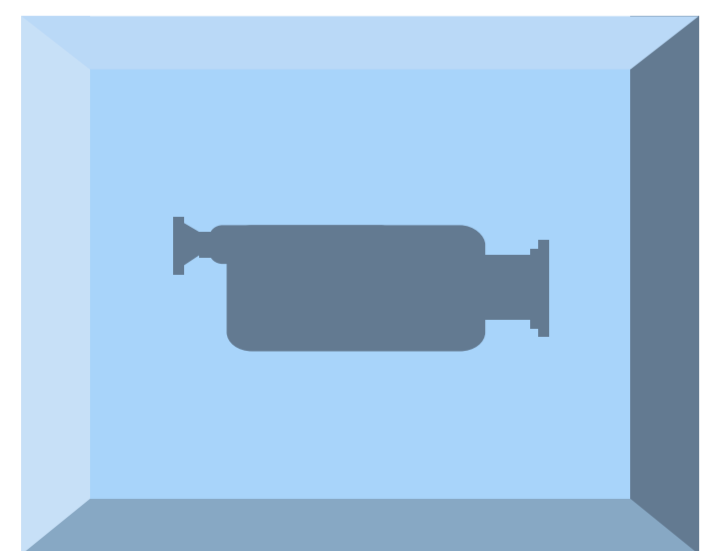


- 実験と同じような泡などの形や変形が再現できました
 - きちんとした計算ができることが確かめられました
- くわしいことがわかりました
 - 泡が移動する理由がわかりました



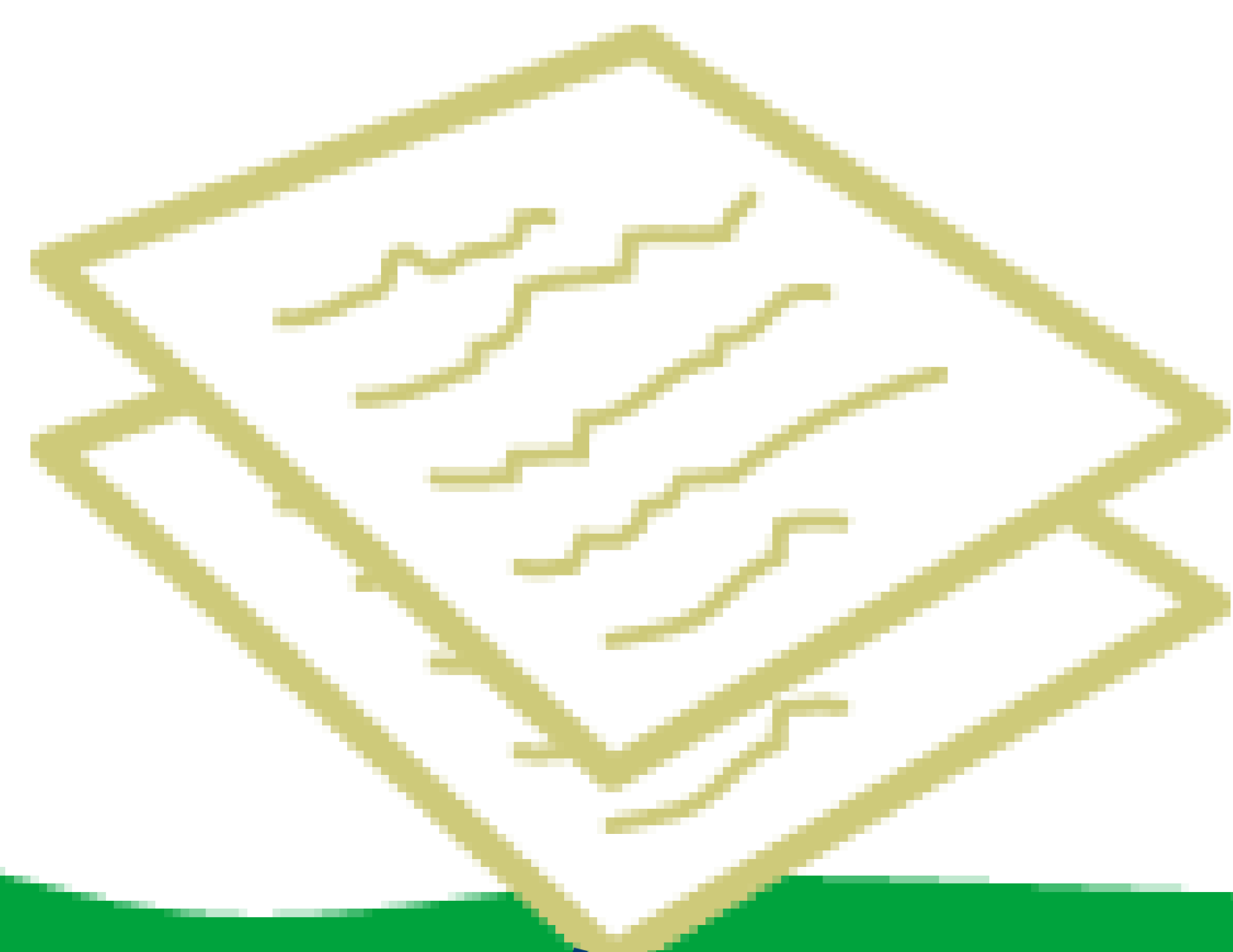
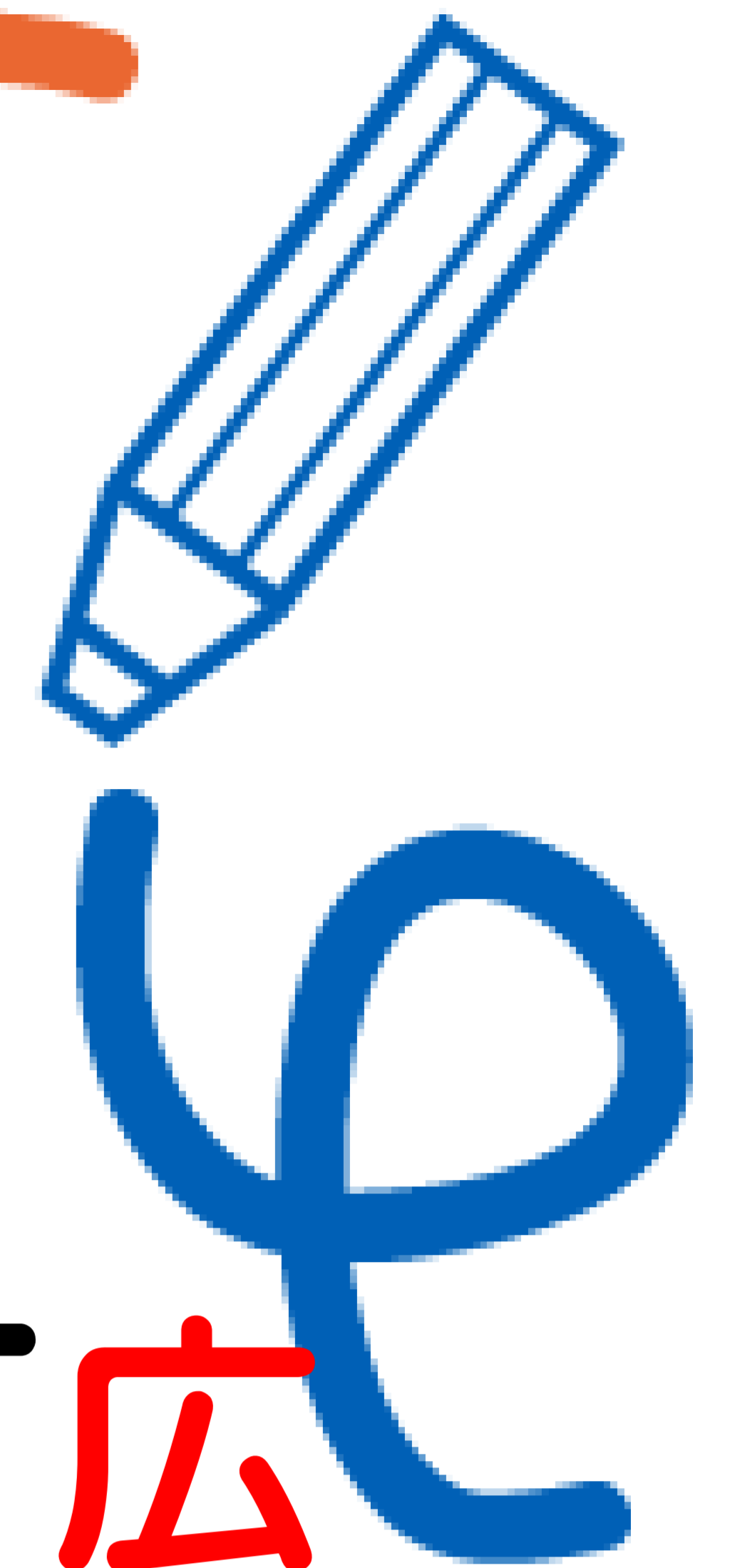


燃料中の流れを再現してみました



わかったこと

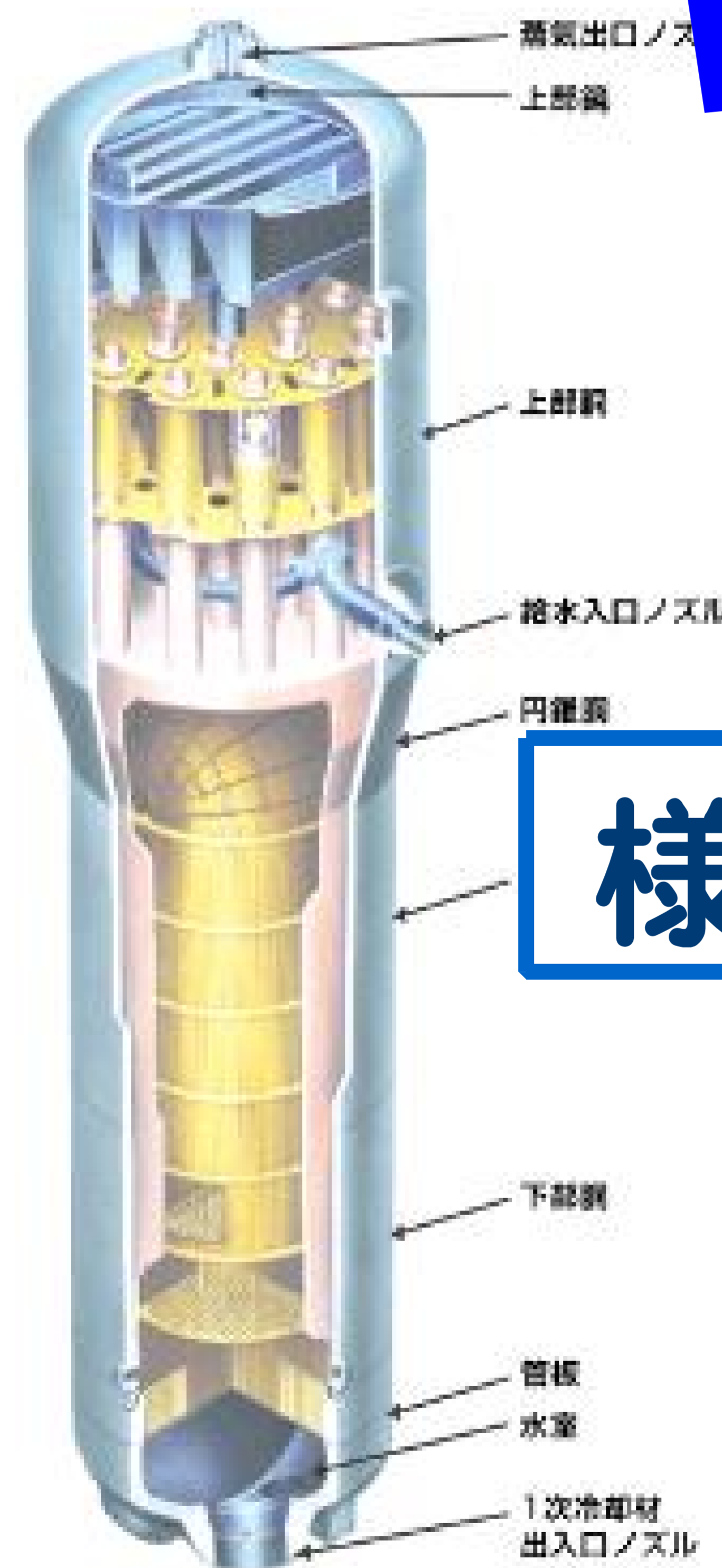
- 蒸気は「せまいところ」で作られます
- 蒸気がたまると「せまいところ」から「広いところ」に移動します



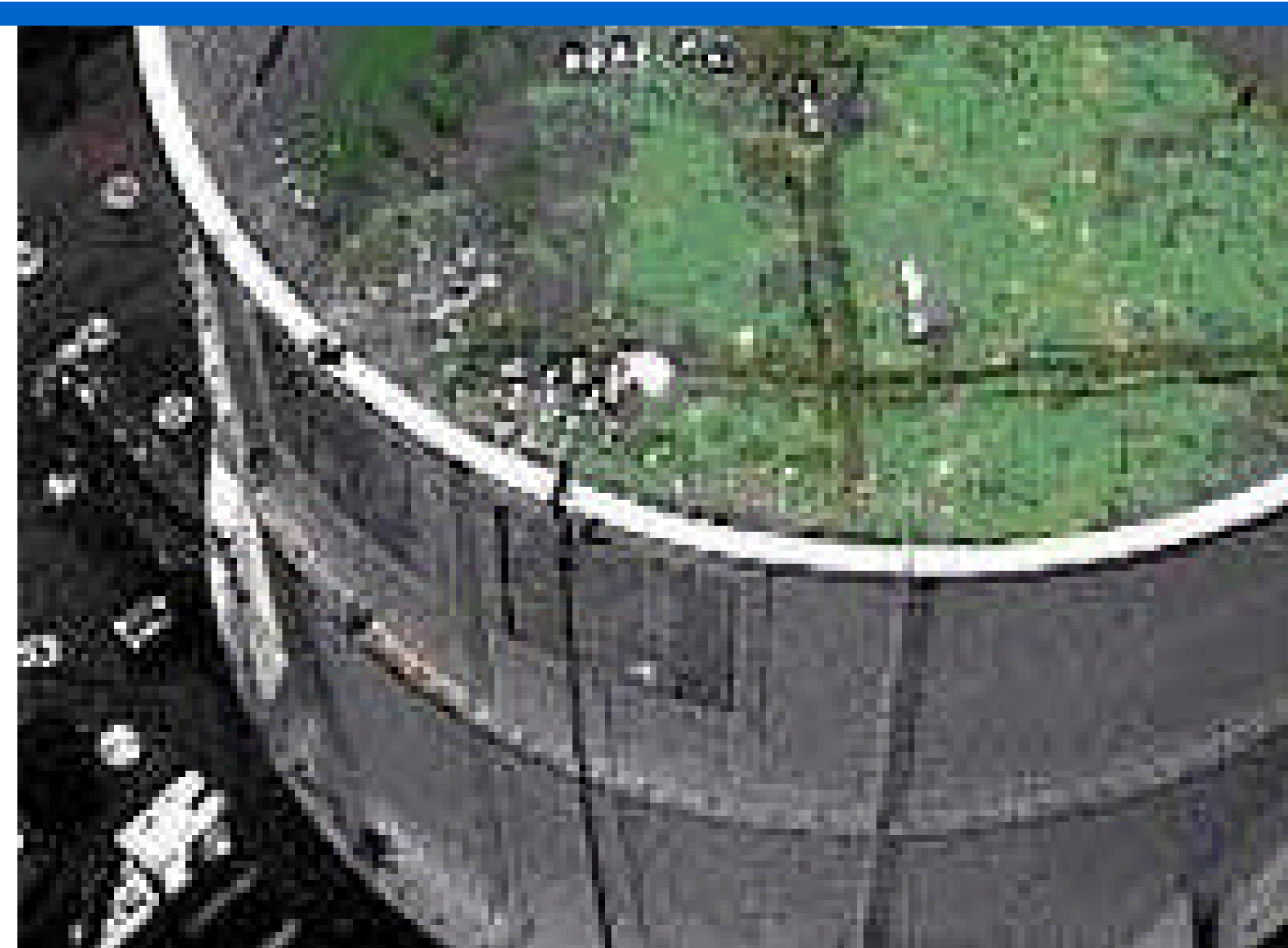
原子炉の燃料以外への展開

作った計算の方法

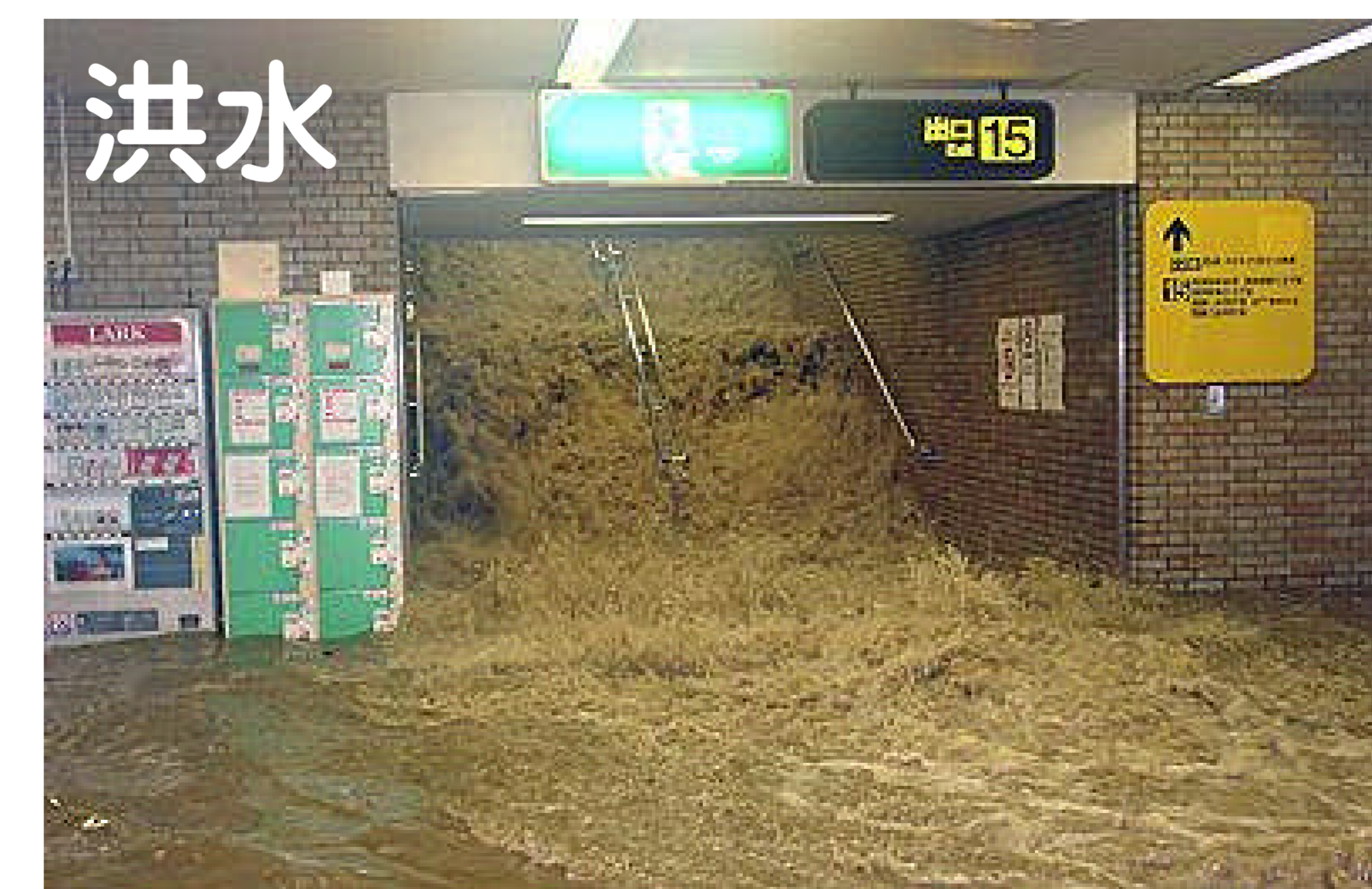
液体と気体が混ざった流れ



蒸気発生器



石油タンク内のスロッシング



洪水

様々な問題への適用が可能です