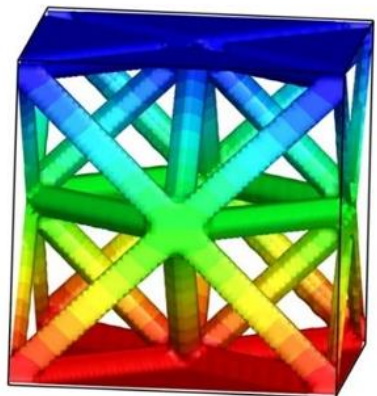


静岡名産： 干物，お茶，温泉，海洋深層水 を輸送論から考えると

佐野 吉彦

静岡大学 学術院工学領域
機械工学系列 准教授

～人工知能により伝熱を提案する◎～



- ・多孔質構造の伝熱メカニズムの解明と冷却技術の開発
- ・構造最適化理論による伝熱促進構造の開発

◎科研費プロジェクト

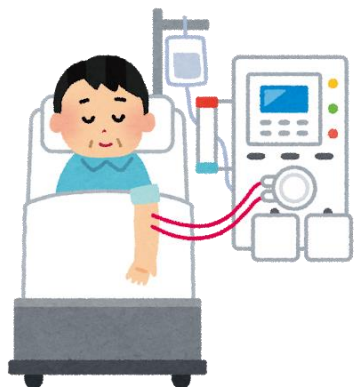
～分離膜から暮らしを支える～



- ・海水淡水化処理の高効率化(RO&ED)
- ・海水からの資源回収技術の開発*
- ・スケールレス技術の開発*

輸送論

～医療で世界を救う～



- ・ポータブル人工腎臓の開発**
- ・人工透析の科学的治療条件の決定* *
- ・狭窄レス人工血管の開発* *

～食を科学する～



- ・コーヒー抽出 & 焙煎を科学する*
- ・乾燥食品を科学する*
- ・微細藻の培養プラントの開発*

* 民間, * * 研究機関との共同研究

輸送論とは

Shizuoka University

輸送論： 熱や物質の移動を扱う学問

○ コーヒーで例えてみましょう。

焙煎 ⇒ 熱が豆に**移動**して化学反応が生じる。

抽出 ⇒ 豆の成分がお湯に**移動**する。

移動が分かれば、味をコントロールできる。



豆に熱が移動 ⇒ 豆の温度が上昇
⇒ 化学反応が発生 ⇒ 豆の味が決まる



豆からお湯に成分が移動 (様々な因子)
⇒ **コーヒーの味が決まる**

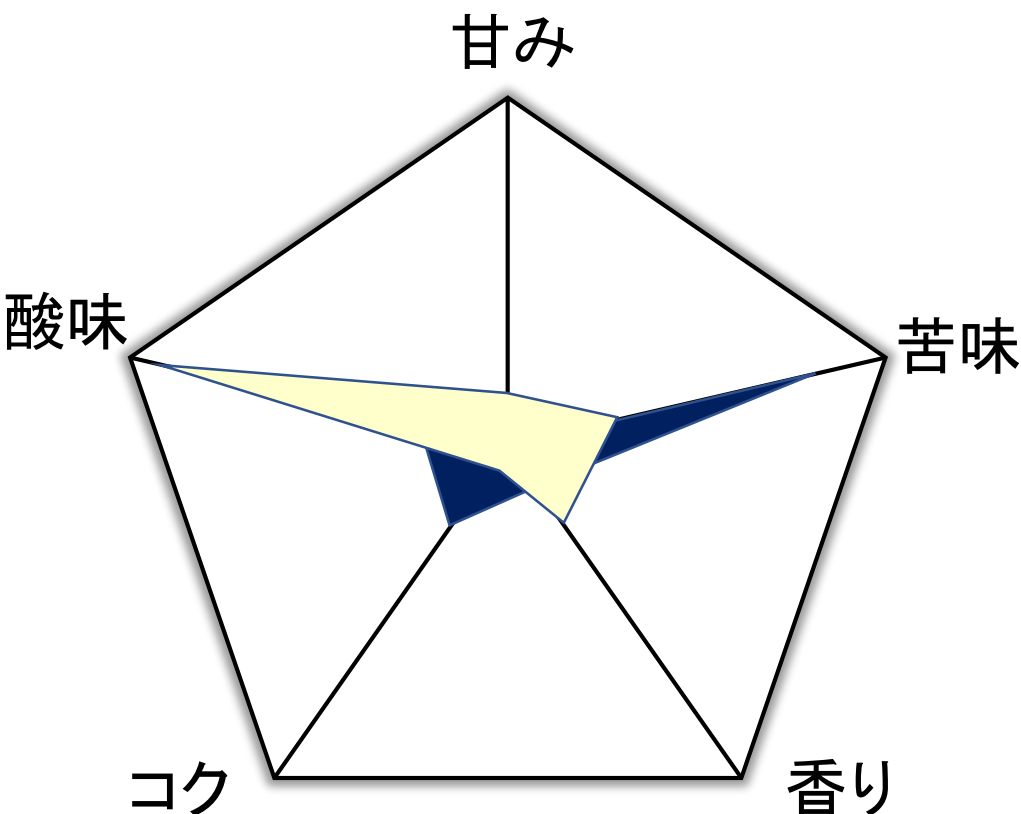
将来のコーヒー抽出

Shizuoka University

個人の嗜好(個人の主観)に合わせたコーヒーマシンの開発

(※大手飲料水会社との共同研究)

- Coffee Data -



- Motivation -

自分好みの味を作る装置





静岡名産:干物を輸送論から考えると 品質を保ち短時間で乾燥させる乾燥法の提案が可能！？

※あくまで可能性について述べています.

乾燥過程とは輸送過程

Shizuoka University

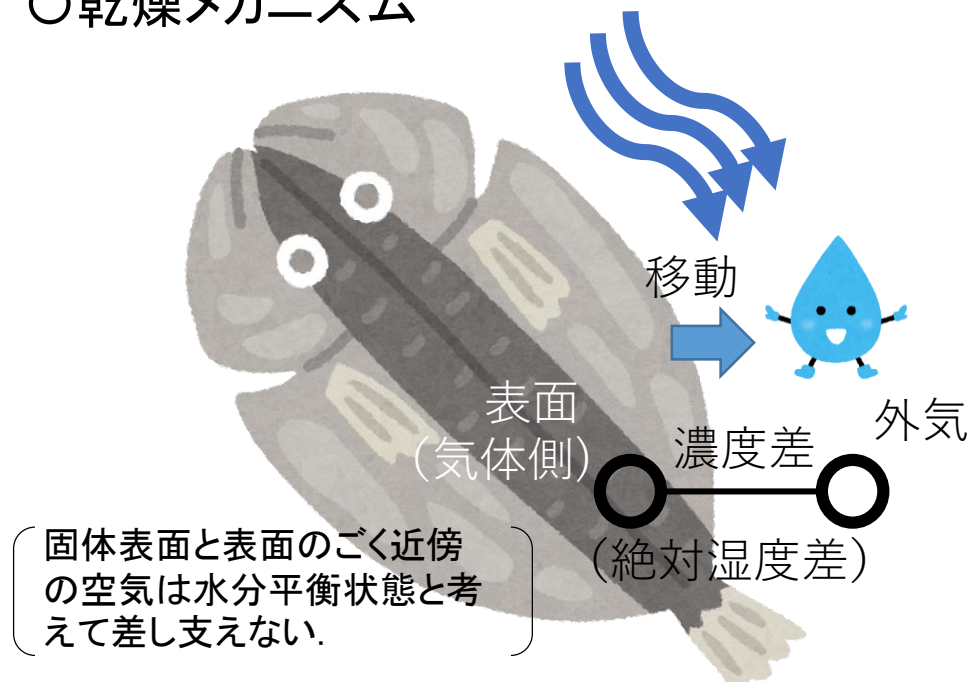
○乾燥食品：風味，保存性の向上の為に乾燥させた食品
（干した魚，干し柿，干し芋，ドライフルーツ，乾麺など）

輸送論から捉える乾燥食品

- ・固体から水分が蒸発する物質移動
- ・固体内での水分移動
- ・温度変化に伴う風味の変化



○乾燥メカニズム



○乾燥を速めるためには

1. 絶対湿度差を大きくする.
 - ・気体側の絶対湿度の低下
 - ・固体側の絶対湿度の上昇
⇒ 温度を上げる.
(飽和水蒸気量の上昇)
2. 物質移動抵抗を小さくする.
 - ・風速を上げる.

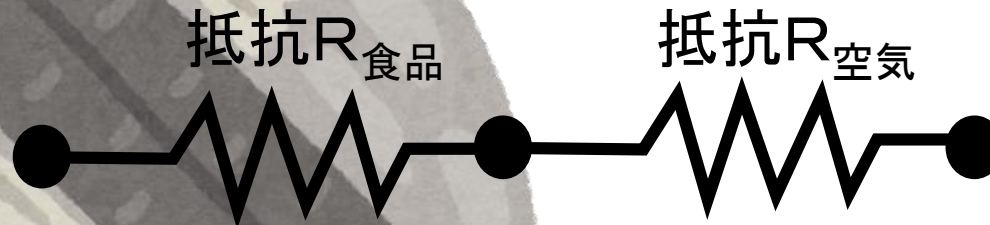
品質にかかわる内部水分

Shizuoka University

乾燥あるある

乾かし始めは乾燥するが、すぐに乾燥が停止
⇒ 内部からの水分供給が追いついていない。

$$\text{抵抗}R_{\text{食品}} \gg \text{抵抗}R_{\text{空気}}$$



○表面乾燥は問題？

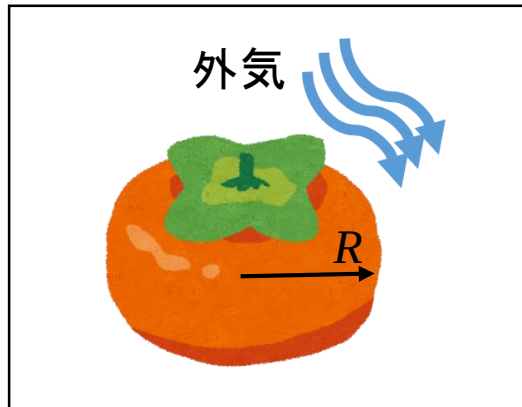
- ・乾燥不十分
- ・乾燥後、内部から表面にかけて水分が移動し、カビの原因

干し柿を例に乾燥過程の数値計算を行ってみた。

干し柿乾燥ソフト

Shizuoka University

コンセプト: 誰でも簡単に乾燥シミュレーション(Excel)



✓ 拡散方程式(固体部のみに注目)

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial r} \left(D r^2 \frac{\partial c}{\partial r} \right)$$

✓ 初期条件

$$c = c_0$$

✓ 境界条件 (ロビン条件)

$$r = 0, \quad \frac{\partial c}{\partial r} = 0$$

$$r = R \quad \begin{cases} -D_s \frac{\partial c}{\partial r} = h(c_{sat} - c_\infty) & (\text{if } c_w > c_{sat}) \\ -D_s \frac{\partial c}{\partial r} = h(c_w - c_\infty) & (\text{if } c_w < c_{sat}) \end{cases}$$

仮定:

- ・柿を球体と扱う.
- ・体積変化は考えない.
- ・均一に風が当たる.

$D[\text{m}^2/\text{s}]$: 固体内拡散係数

$c_0[\text{kg}/\text{m}^3]$: 固体初期水分量

$c_w[\text{kg}/\text{m}^3]$: 固体壁面水分量

$c_{sat}[\text{kg}/\text{m}^3]$: 飽和水分量

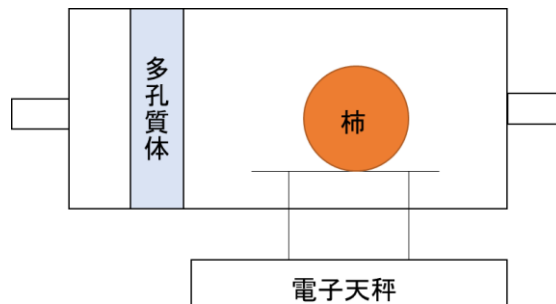
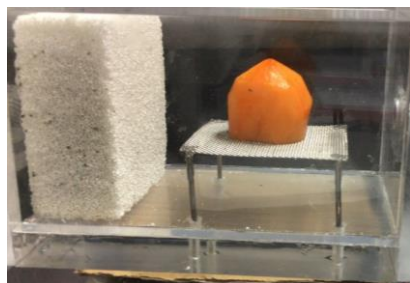
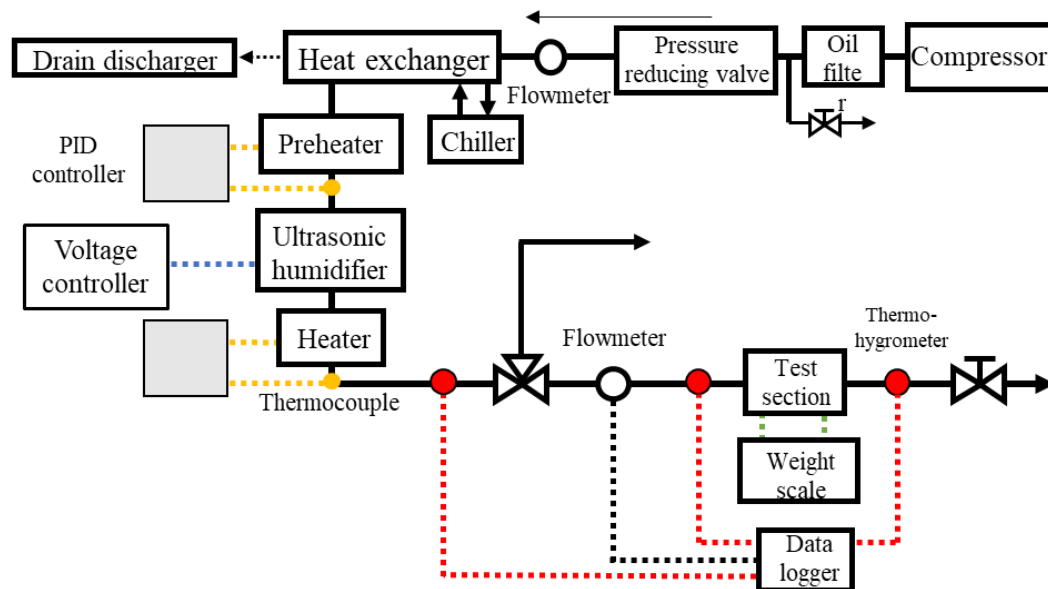
$c_\infty[\text{kg}/\text{m}^3]$: 気体水分量(境界層外)

$h[\text{m}/\text{s}]$: 物質移動係数

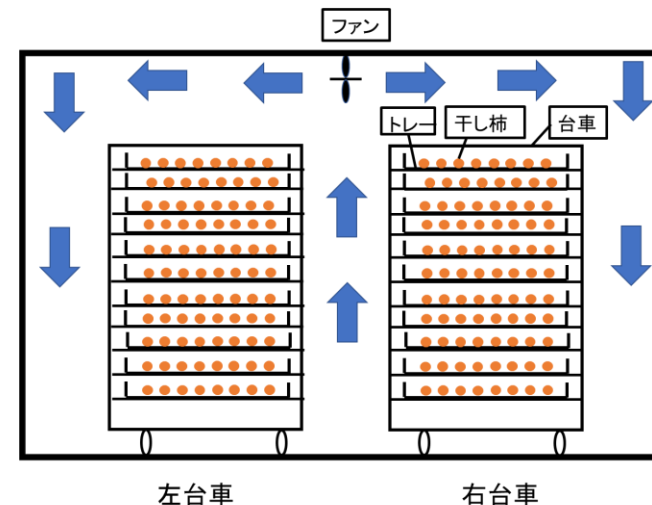
妥当性の検証

Shizuoka University

○柿の乾燥のためだけに作った精密乾燥装置



○工業用食品乾燥装置



妥当性の検証

実験での乾燥量

V.S.

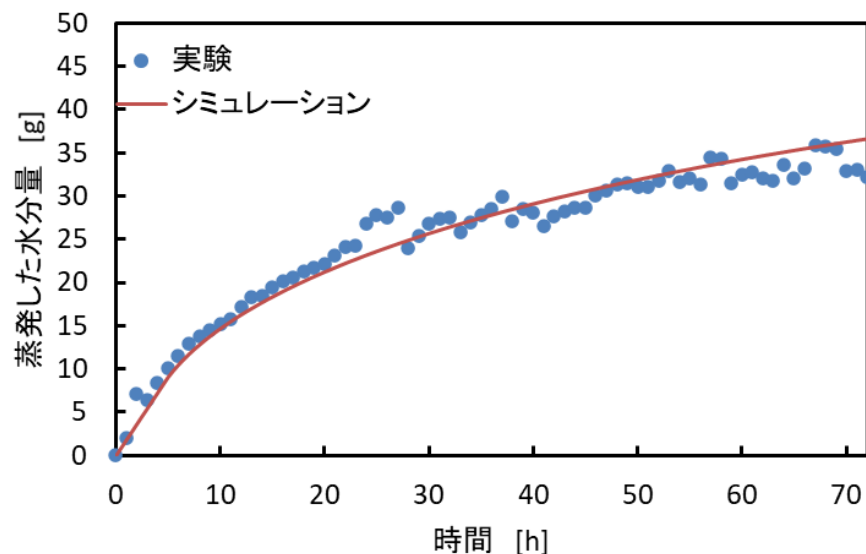
干し柿乾燥ソフトでの乾燥量

比較を行った。

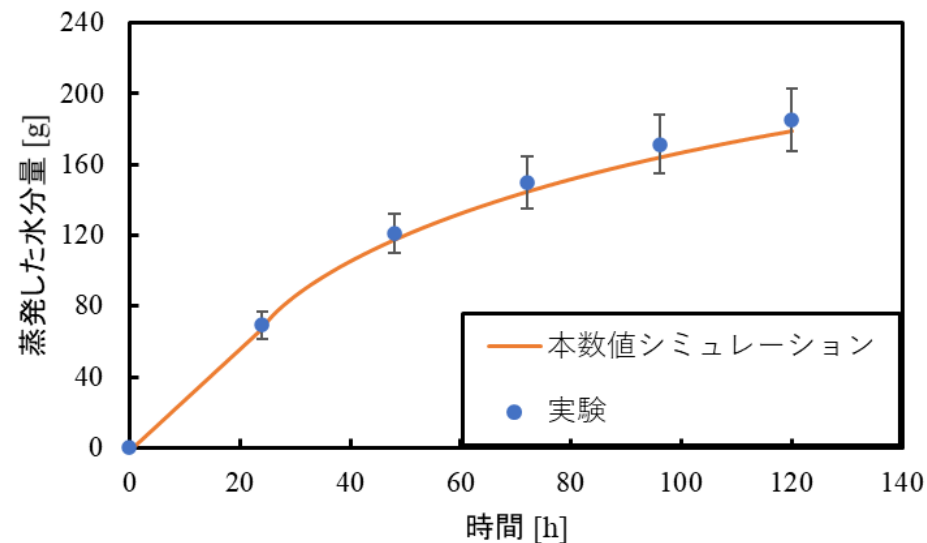
妥当性の検証

Shizuoka University

○精密乾燥実験



○工業用食品乾燥実験



本ソフトは食品乾燥の乾燥挙動をうまく再現できることが分かった。

○乾燥ソフトを活用して

- ・品質の向上(内部の水分移動に基づく乾燥条件を決定)
- ・使用エネルギー的, 時間的にみた最適乾燥条件の決定
- ・タンニンの分解反応による甘味の向上

⇒これらの技術は静岡県の干物生産技術にも応用できると考える。

静岡名産:お茶を輸送論から考えると
さらなる美味しいお茶の製造条件に提案できる！？

※あくまで可能性について述べています.

お茶製造過程は輸送だらけ

Shizuoka University

お茶ができるまで
(ざっくり)

お茶摘み



蒸し



乾燥



火入れ

抽出

お茶製造＝輸送現象



蒸し，乾燥，火入れは先の干物乾燥とよく似ているので，ここでは抽出に注目

お茶抽出の数理モデルを考えてみた

Shizuoka University



お茶成分の抽出挙動の数理モデルを考案

by 茶葉を多孔質体と捉え, 局所平均理論を活用
(急須内のお湯の流れと温度の変化も計算可能)

○お茶の抽出数理モデル

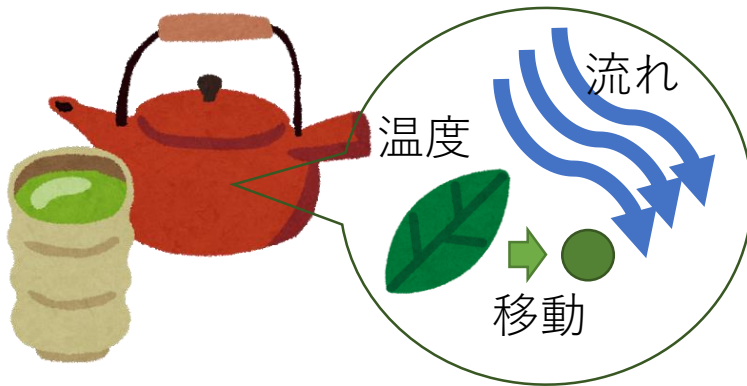
$$\frac{\partial \langle u_j \rangle}{\partial x_j} = 0$$

$$\frac{1}{\varepsilon} \frac{\partial \rho_f \langle u_i \rangle}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\frac{\rho_f \langle u_j \rangle \langle u_i \rangle}{\varepsilon^2} - \frac{\mu_f}{\varepsilon} \frac{\partial \langle u_i \rangle}{\partial x_j} \right) = - \frac{\partial \langle p \rangle^f}{\partial x_i} - \frac{\mu_f}{K} \langle u_i \rangle$$

$$(\rho_{ap} c_s + \varepsilon \rho_f c_{pf}) \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial t} + \rho_f c_{pf} \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(((1-\varepsilon)k_{se} + \varepsilon k_{fe}) \frac{\partial \langle T \rangle}{\partial x_j} \right)$$

$$(1-\varepsilon) \frac{\partial \langle c \rangle^s}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left((1-\varepsilon) D_{se} \frac{\partial \langle c \rangle^s}{\partial x_j} \right) - a_{sf} h (\langle c \rangle^s - \langle c \rangle^f)$$

$$\varepsilon \frac{\partial \langle c \rangle^f}{\partial t} + \langle u_j \rangle \frac{\partial \langle c \rangle^f}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\varepsilon D_{fe} \frac{\partial \langle c \rangle^f}{\partial x_j} \right) - a_{sf} h (\langle c \rangle^f - \langle c \rangle^s)$$

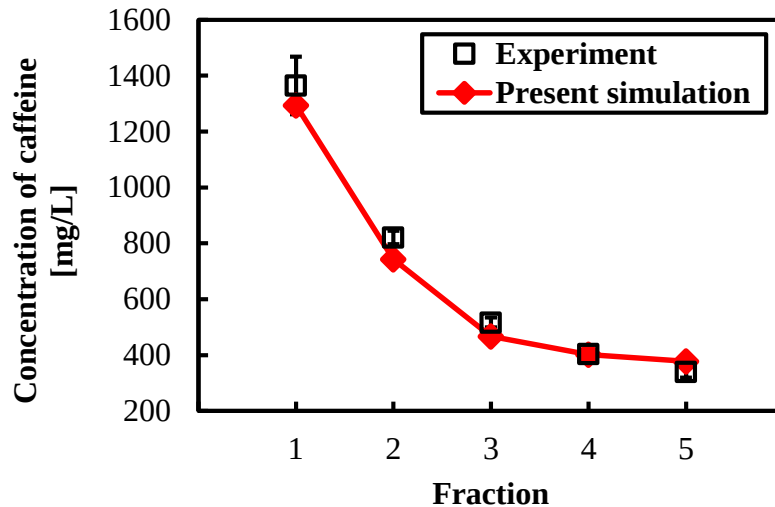


コーヒー抽出を例に抽出過程の計算を行ってみた.

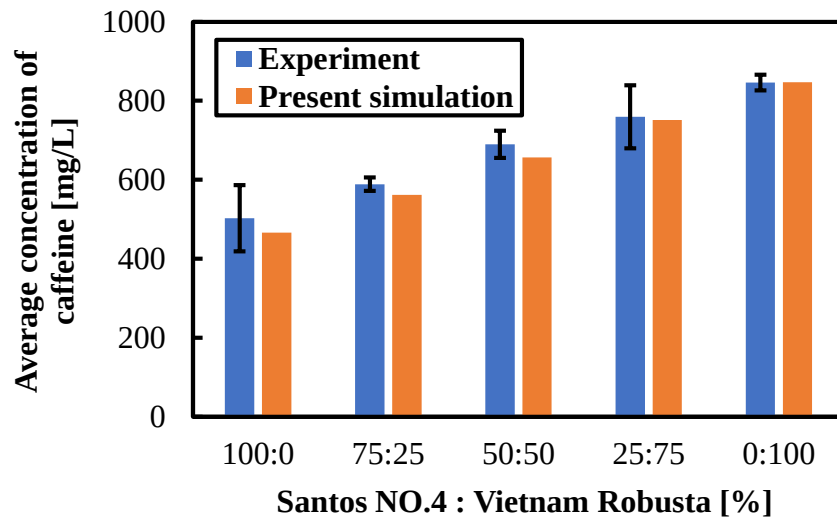
コーヒー抽出例

Shizuoka University

➤ サントスNO.4 50:50 ベトナムロブスタ



➤ ブレンド割合と平均カフェイン濃度の関係



○この抽出ソフトは

流量, 豆量, 粒径, 抽出量を変化させても
正確なコーヒー抽出を再現可能。

〔ドリップコーヒー, エスプレッソ, コンビニ
& 工場抽出で妥当性を実証済み〕

⇒この技術は静岡県のお茶の製造
技術にも応用できると考える。

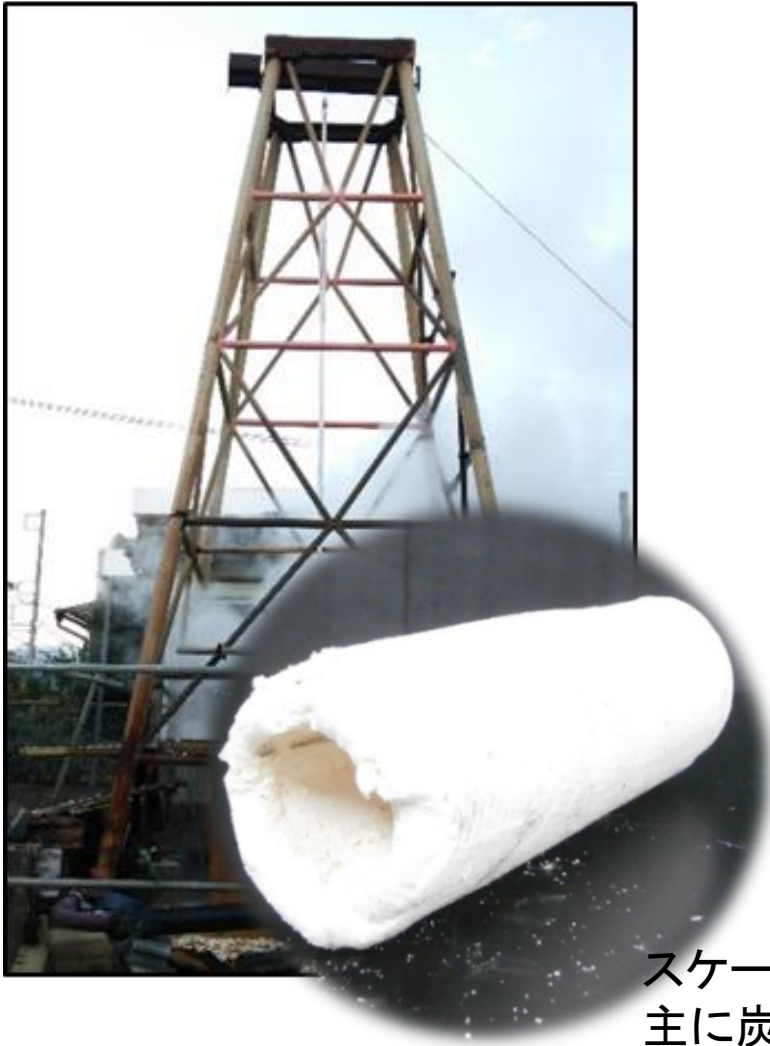
静岡名産:温泉を輸送論から考えると 詰りなし！温泉スケール問題を解決できる！？

※あくまで可能性について述べています.

スケール生成とはイオン輸送

Shizuoka University

伊豆の温泉街に行くと



○スケール生成メカニズム

地下 地表(減圧)



○現行のスケール対策

- ・薬品の添加
- ・定期的なメンテナンス
- ・(水の添加)

コスト, 環境, (人道的)に問題

スケール
主に炭酸カルシウム

以前, NEDOの温泉を使った地熱発電プロジェクトのスケール対策を担当

熱交換器内部

対策あり



3か月後

対策なし



3日後

使用したもの
温泉
少しのエネルギー

⇒この技術は静岡県スケール問題の解消に貢献できると考える.

静岡名産:海洋深層水を輸送論から考えると 海を汚すことなく海水に含まれる資源を回収できる！？

Collaborated by アンヴァール株式会社



海水中のミネラル

Shizuoka University

海水のミネラルの主成分

陽イオン: ナトリウムイオン

陰イオン: 塩化物イオン(塩素イオン)

海水の希少元素

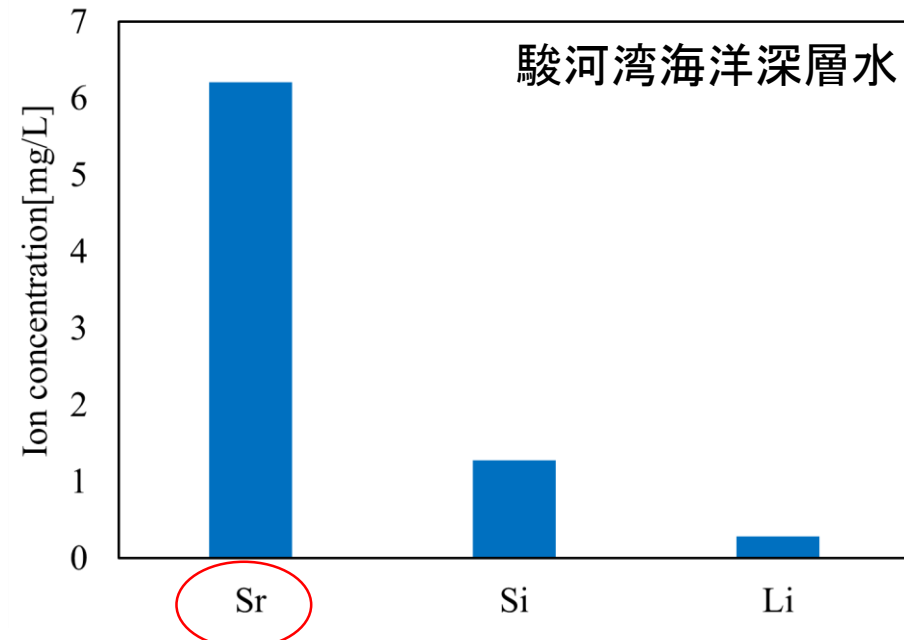
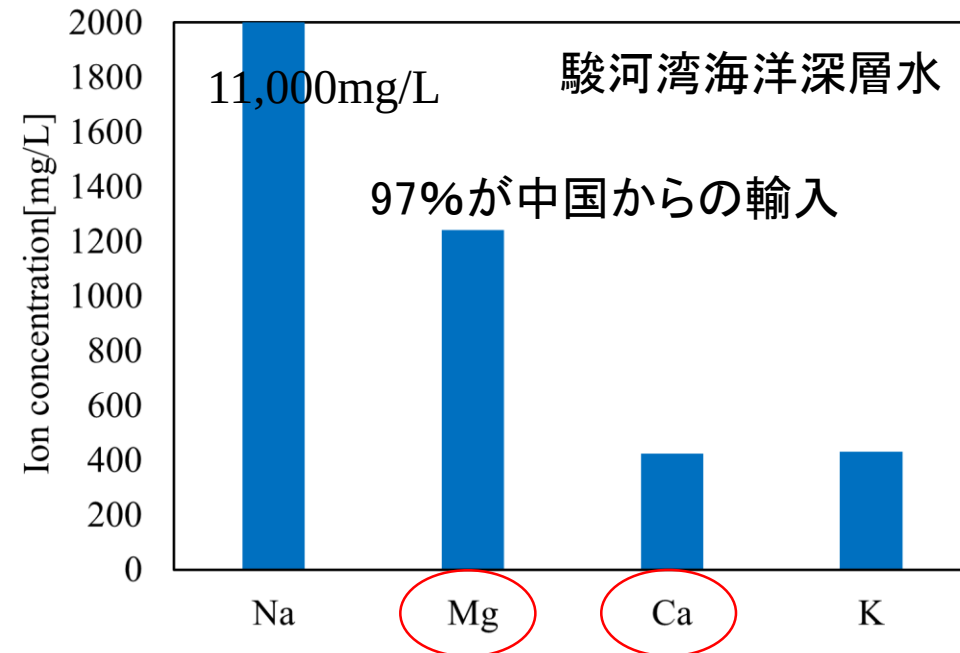
リチウム: 0. 29mg/L

ウラン, パナジウム: 2~3 μ g/L

疑問

資源回収するとなると...

- 採算が合うか? (濃縮がカギ)
- 海洋汚染は起きないのか?
(大前提になるべき)

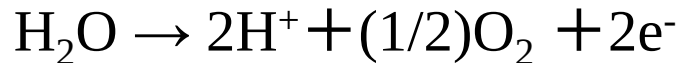


陽イオン交換膜電解法

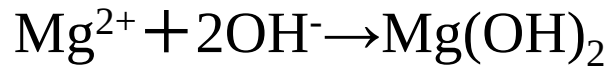
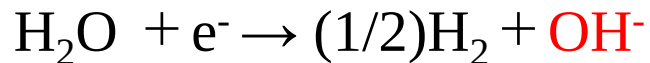
Shizuoka University

陽イオン交換膜を隔てた海水を電解処理する。

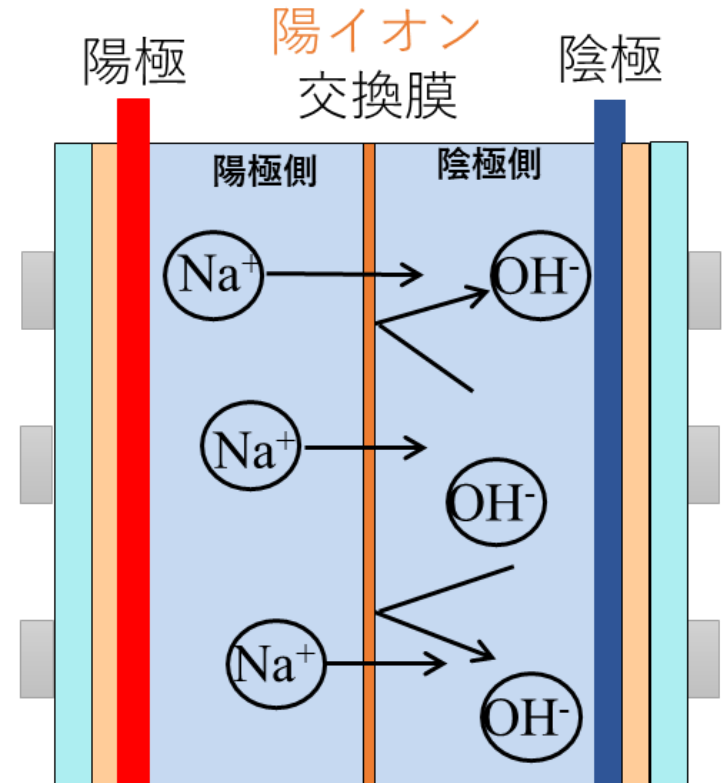
陽極側(電極液)



陰極側(海水)



燃料電池



独自の回収プロセス:

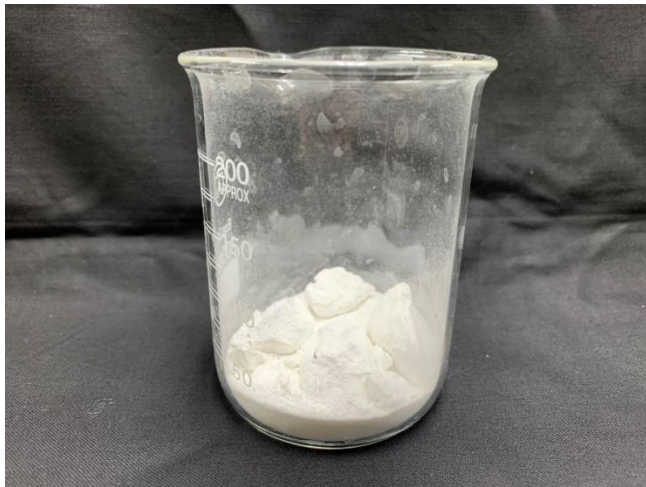
独自プロセス(特許出願中)を行うことで、海水はマグネシウムとカルシウムのみが抜けたような海水となり、海水を汚すことなく資源回収が可能となる。

資源回収結果

Shizuoka University

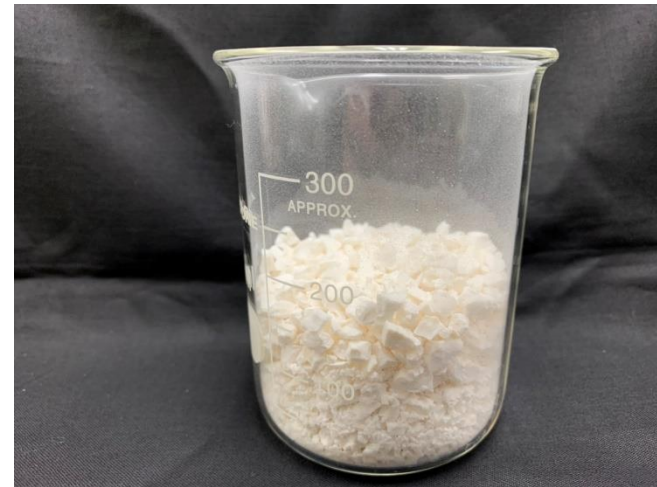
輸送論により海を汚すことなく海水資源を回収できる。

カルシウムの析出



炭酸カルシウムの回収量 63.8[g]
カルシウム純度 97.4[%]

マグネシウムの析出



水酸化マグネシウムの回収量 201.2[g]
マグネシウム純度 98.8[%]

(100L当たり)

タイトル： 静岡名産：
干物，お茶，温泉，海洋深層水を輸送論から考えると



品質を保ち短時間で乾燥させる乾燥法の提案が可能！？
(さらに，低コスト化やうま味の増強も検討できる)



さらなる美味しいお茶の製造・抽出条件を提案できる！？
(家庭・工場抽出は問わず)



温泉配管の温泉スケール問題を解決できる！？



海から海水資源を取り出すことができる！？