

# 製品開発学 第5回

—マイクロリアクター, コンビケム, 製品選択の指針—

平成24年5月24日

青木宣明

# 新たな生産手段のニーズ

- 実験室でとある有用な物質が合成できそう, ただし高発熱反応
  - 従来の合成の道具ではそもそも合成は不可能?
  - フラスコでは温度制御ができず選択率・収率が極小
  - 冷却を上手くしようとする液体窒素のような高コストな冷媒が必要
- 一度には少量生産でもいいから, 生産条件を厳密に制御しつつオンサイト・オンデマンド生産したい



上記のニーズを満たす生産手段としてマイクロリアクターが実生産に活用されつつある (顔料, 化粧品原料など)  
マイクロリアクターを用いた合成システムも市販されている (日立, YMC, Velocys, Corning, Ehrfeld Mikrotechnik BTS)

# 本講義で扱う内容

- マイクロリアクターの概要・実施例
  - マイクロリアクターの特徴
  - コンビケムへの応用
  - 生産量増加への対応
  - 流体セグメントの導入
- マイクロリアクターのモデル
  - 流体セグメントサイズの決定法
  - 温度変化・活性化エネルギーの影響
- マイクロリアクターのまとめ
- 製品スクリーニングの方法

化学工学の長所ともいえる“**収支をとらえてモデル化する**”  
“**俯瞰的に物事をとらえる**”という点を強化していただきたい

# マイクロリアクターの特徴

- 数十 $\mu\text{m}$ から数mm程度の流路サイズを含む
- 微小化による特徴から効率的な生産手段, 新規物質の創製的手段として注目されている
  - 層流・大きな比面積・小さな装置サイズ・短滞留時間・精密温度制御
- スケールアップに基づくプロセス設計から, 装置開発時に実生産に直接用いるものを考えるようになる
- 長所だけでなく, 高圧力損失・閉塞などの問題点もある
- 流れが層流になり流路断面方向に濃度分布が生じやすい



マイクロリアクターの特徴を引き出し, 実生産に貢献するための新しい操作論・設計論が必要となる

# 層流

- 流路サイズが小さくなることでレイノルズ数 $Re$ が小さくなり、流路での流れは層流になる

## 精緻な流れの利用

粒子の分級

Segmented Flow

M. Seki et al., *Lab Chip*, **5**, 1233 (2005)

R.F. Ismagilov et al.,  
*J. Am. Chem. Soc.*, **125**, 11170 (2003)

## 分子拡散による混合

混合時間は拡散距離の2乗に比例

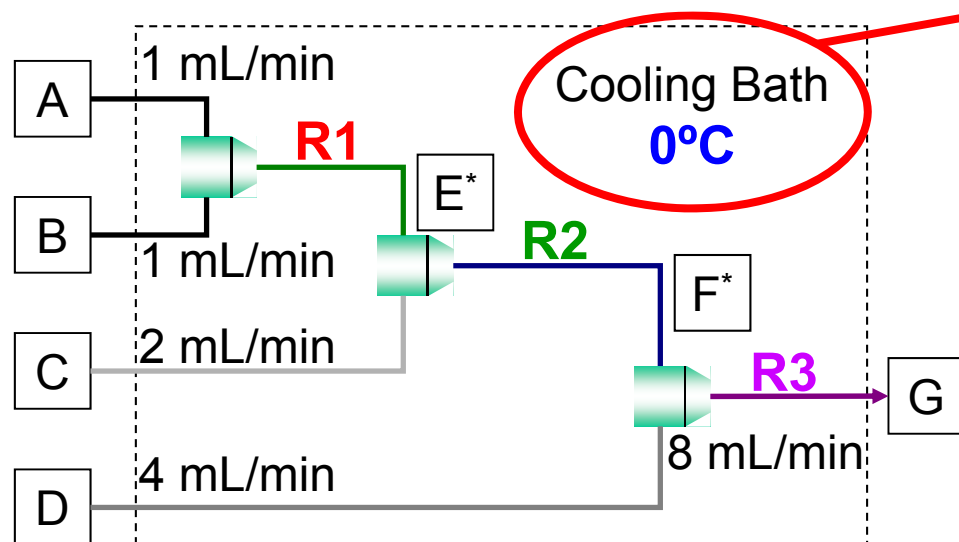
迅速混合のために流体を微小分割(流体セグメントの利用)

## 流れのモデル化が正確にできる

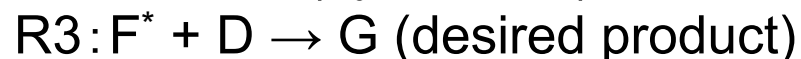
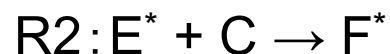
反応速度定数などの反応系の情報を抽出するのに利用可能

# 短滞留時間・精密温度制御

## マイクロリアクターによる多段合成: Swern酸化反応



Batchで選択率を上げるには  
-78°Cの冷媒が必要



A: Dimethyl sulfoxide

B: Trifluoroacetic anhydride

C: R-CHOH-R'

D: Et<sub>3</sub>N

G: R-CO-R'

平均滞留時間

R1: 0.01 s, R2: 1.2 s, R3: 1.2 s

Conversion 95%, Selectivity of G 70%

Batch (0°C): Conversion 73%, Selectivity of G 11%

T. Kawaguchi et al., *Angew.Chem.Int.Ed.*, **44**, 2419 (2005)

# 大きな比表面積・小さな装置サイズ

- 比表面積は流路サイズに反比例する
  - 流路壁に触媒を塗布した反応
  - 不均相系反応(界面積増大)
  - 不均相抽出(界面積増大)
  - 液滴形成を厳密にコントロールして流れの状態から粒子サイズ・形状の設計
- 流路サイズの微小化は装置全体としての小型化にもつながる
  - On-site/On-demand合成(自動車・PCのバッテリー用の燃料電池)
  - 流路の多数並列による触媒のスクリーニング・コンビナリアルケミストリー

# 表面張力効果増大の活用例

- 表面の効果が大きいいため液滴形成を厳密制御可能
- 流路サイズ・流れが材料の形状・サイズを決定
  - リアクターオリエンテッドな材料開発
- 表面の効果が大きいいため液滴形成を厳密制御可能
- 流路サイズ・流れが材料の形状・サイズを決定
  
- 例：安藤拓哉，初澤毅，西迫貴志，化学工学会第75年会，J202 (2010)



# コンビナトリウムケミストリーとは

コンビナトリウムケミストリー (combinatorial chemistry, コンビケム) とは・・・

- 組み合わせ論に基づいて列挙し設計された一連のケミカルライブラリーを系統的な合成経路で効率的に多品種合成するための実験手法, 触媒のスクリーニングも含まれる
- **マイクロリアクターの特長はコンビケム向き**
  - 小型なリアクター
  - 試薬の量を減らせる
  - 高速な混合・反応
  - 並列に合成をするのにも向いている

# マイクロリアクターのコンビケムへの応用

- 96個のマイクロリアクターを並列して高分子合成の反応条件の探索

例: R.A. Potyrailo et al., *J. Comb. Chem.*, **5**, 8 (2003)

- 第一三共がCorningからCorning® Epic® Systemを導入(2007年)

# マイクロリアクターで生産量を増やすには？

- 流路サイズが小さいから実生産には向かない？

従来のマクロな装置での生産：**スケールアップ**  
→反応工学：反応器の体積を求める  
実験室スケール→ベンチスケール→実生産スケール

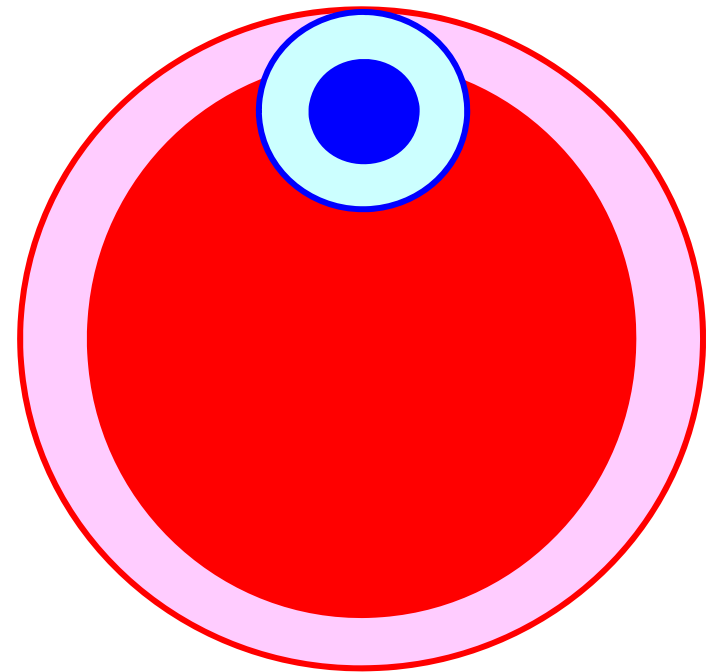
一つのマイクロリアクターでは生産量が小さい  
→リアクターを並列化する：**ナンバリングアップ**  
実験室で用いたリアクターを実生産に用いることも可能  
→実生産プロセスの設計が簡略化

1基あたり100 mL/minの生産量で、  
年間8000時間、密度1 kg/m<sup>3</sup>の製品を20基で生産すると  
 $0.0001 \times 60 \times 8000 \times 1 \times 20 = 960 \text{ kg/年}$   
→高付加価値な製品の製品には対応可能

# イクオリングアップ

- 微小な空間を作りつつ断面積を稼ぎたい  
→環状部を利用した  
**イクオリングアップ (Equaling-up)**

桃色の部分と水色の部分は  
幅は同じ(水力相当径も一致)  
断面積は桃色のほうが大きい  
→微小な空間を利用しながら  
**多くの量の原料・製品を  
流せるようになる**



# 混合性能の影響を受ける反応系の例

- 多くの合成では原料が2成分以上で、混合操作が不可欠
- 多くの化学反応は複合反応(競争反応を含む)
- 目的生成物の多くはその中間体
- 混合性能と中間選択率は密接に関係

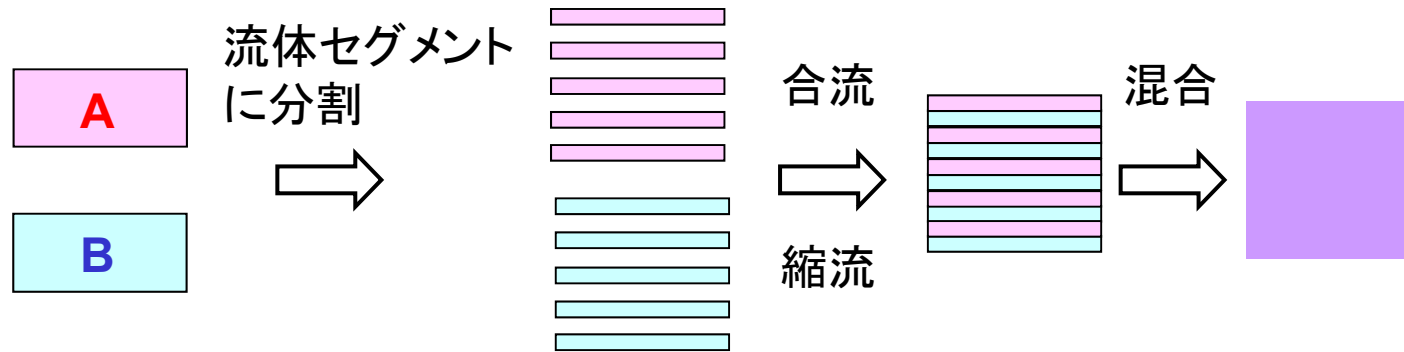


混合操作と反応による生成物組成の関係を検討することが効率的な生産には不可欠になる

- 反応系の例
  - Villermaux/Dushman反応(中和反応と酸化還元反応の並列)
  - 芳香族化合物のハロゲン化物による逐次・置換反応
  - エステルの加水分解と中和反応
  - ジアゾカップリング反応

# マイクロミキサー：薄層利用

- 層流下における拡散支配の混合を迅速化するために反応流体を微小に分割したマイクロ流体セグメントによる混合



IMM mixer

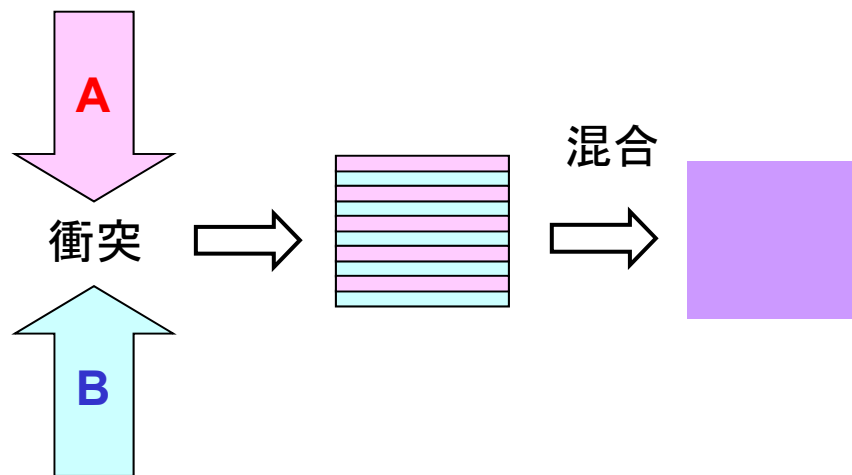
W. Ehrfeld et al.,  
*Ind. Eng. Chem. Res.*, **38**, 1075 (1999)

SuperFocus mixer

S. Hardt et al.,  
*AIChE J.*, **49**, 578 (2003)

# マイクロミキサー：流体衝突

- 流体衝突時にかかるせん断によって流体を分割して混合を促進→最もシンプルなのはT字路  
(1/16”ユニオン・ティーも立派なマイクロリアクター)



Jet mixer

R. Yang et al.,  
*J. Micromech. Microeng.*, **14**, 1345 (2004)

# 本講義で扱う内容

- マイクロリアクターの概要・実施例
  - マイクロリアクターの特徴
  - コンビケムへの応用
  - 生産量増加への対応
  - 流体セグメントの導入
- マイクロリアクターのモデル
  - 流体セグメントサイズの決定法
  - 温度変化・活性化エネルギーの影響
- マイクロリアクターのまとめ
- 製品スクリーニングの方法



# 現象をモデル化する

- 製品開発に限らず現象を定量的に理解するのにモデル化は便利
- 人口の増減も収支式で常微分方程式でモデル化  
マルサス  $dN/dt = aN$  ( $N$ : 個体数,  $t$ : 時刻,  $a$ : 定数)
- 無次元化されたモデルは汎用性が高い
- **システムバウンダリー** (物事を考える範囲) を広くして物事を理解するためにも全体の収支をとりながら考えることは大切



**流れと伝熱の収支式を導出し、現象を支配する無次元量を導出できることを目指す**

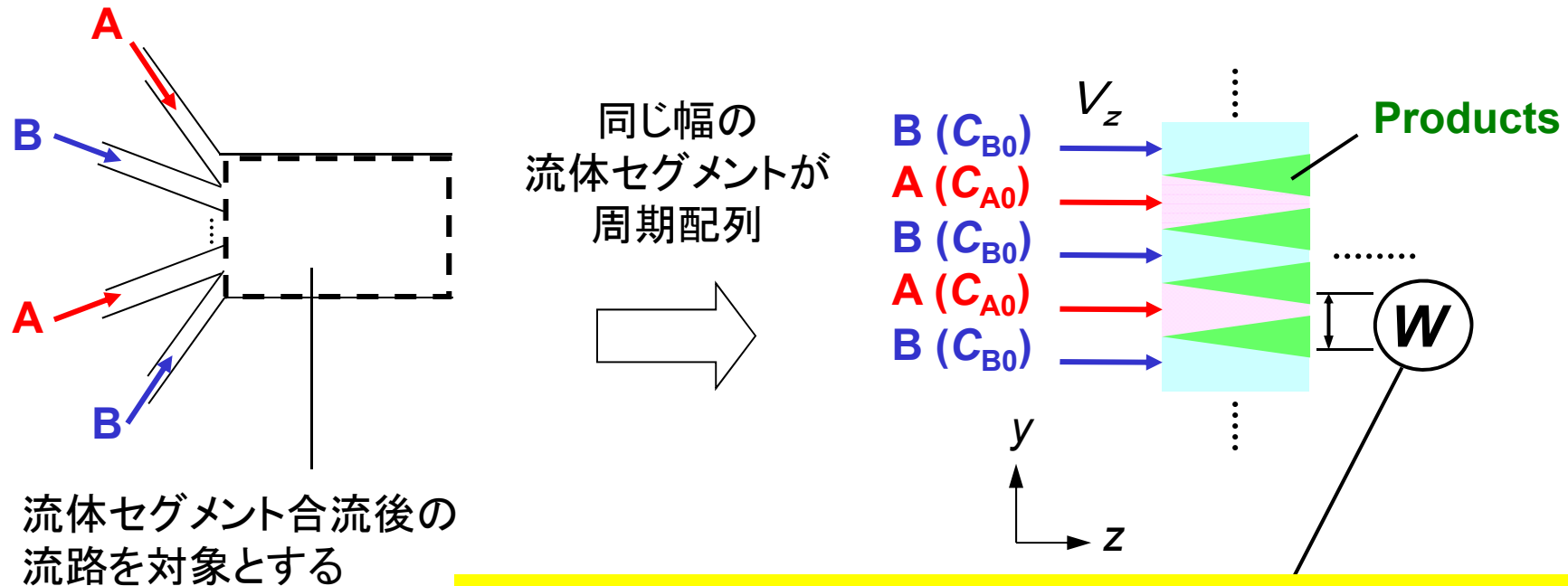
# マクロからマイクロリアクターのモデル化へ

- 流れが層流になり流路断面方向に濃度分布が生じやすい(利用することも考えられる)
- 層流の精緻流れによって, 形状まで含めた混合・反応の制御も可能になる
- マイクロリアクター特有の操作・設計論が必要



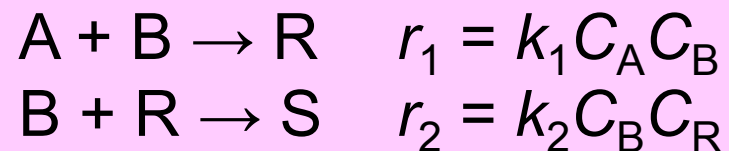
マイクロ流体セグメントに基づいた混合・反応操作に着目し, マイクロリアクターのモデル化を講述する

# 流体セグメントによる反応操作のモデル化



混合操作を代表する流体セグメントのサイズ

逐次並列反応について検討 ( $D = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ , 等温系)



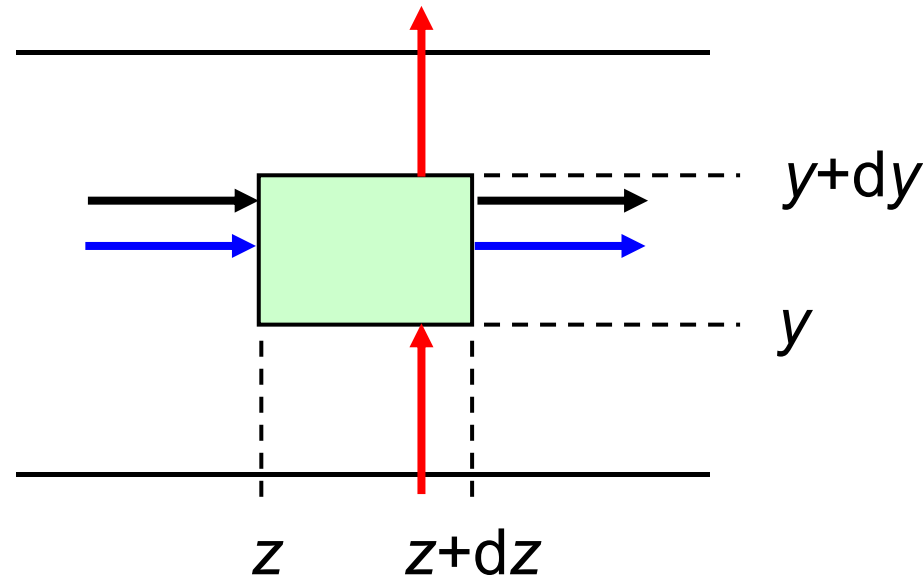
# 物質収支からの無次元数の導出

物質収支式を立て、それを無次元化することで無次元数を導出する

$$\text{物質収支式} \quad \underbrace{-v_z \frac{\partial C_B}{\partial z}}_{\text{対流}} + \underbrace{D_B \left( \frac{\partial^2 C_B}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_B}{\partial z^2} \right)}_{\text{拡散}} - \underbrace{(k_1 C_A C_B + k_2 C_B C_R)}_{\text{反応}} = 0$$

$$\text{Second Damköhler number } \phi = \frac{\text{反応速度}}{\text{拡散速度}} = \frac{k_1 C_{B0} W^2}{D_A}$$

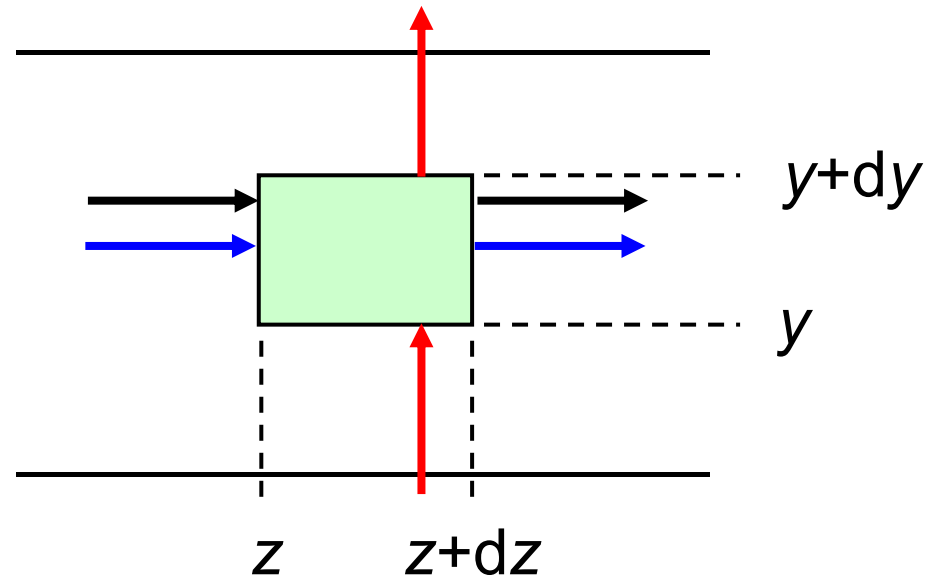
# 物質収支式の導出



(Bの蓄積速度) = (対流による流入) - (対流による流出)  
+ (y方向の分子拡散による流入) - (y方向の分子拡散による流出)  
+ (z方向の分子拡散による流入) - (z方向の分子拡散による流出)  
+ (Bの生成速度)

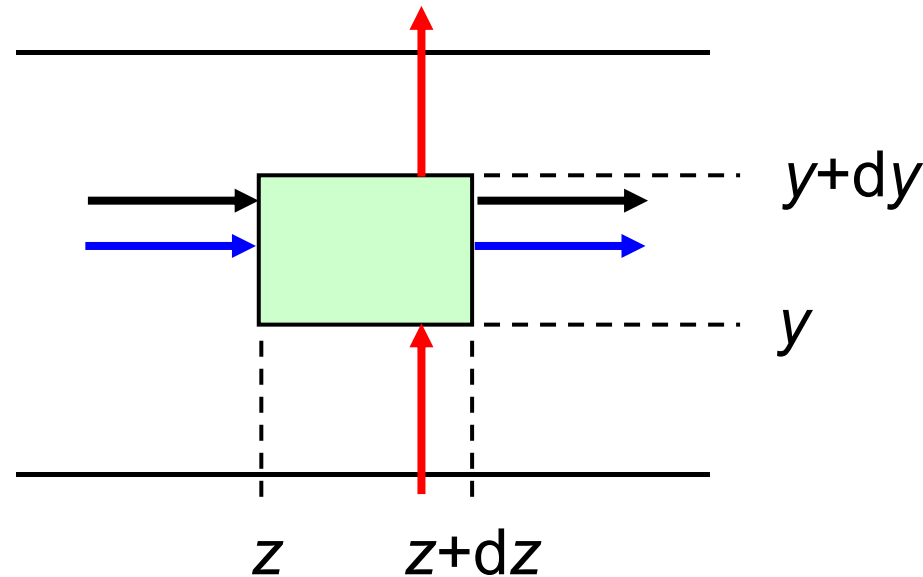
対流は軸方向(z方向)のみ考える

# 物質収支式の導出(対流項)



$$\begin{aligned} & (\text{対流による流入}) - (\text{対流による流出}) \\ &= \{v_z C_B(z) - v_z C_B(z+dz)\} dy \\ &= [v_z C_B(z) - v_z \{C_B(z) + (\partial C_B / \partial z) dz\}] dy \\ &= -v_z (\partial C_B / \partial z) dy dz \end{aligned}$$

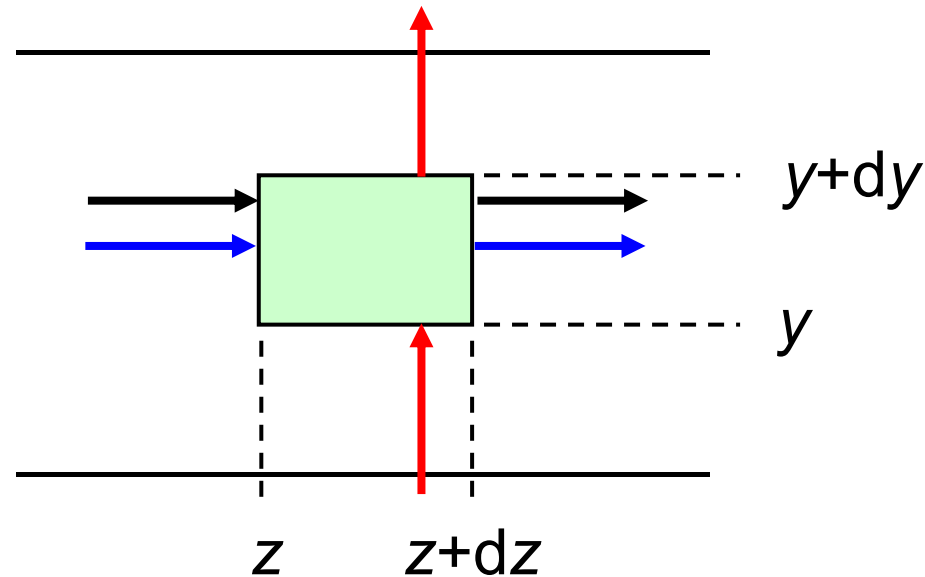
# 物質収支式の導出(拡散項)



$$\begin{aligned} & (y\text{方向の分子拡散による流入}) - (y\text{方向の分子拡散による流出}) \\ &= \{-D_B (\partial C_B / \partial y)_y + D_B (\partial C_B / \partial y)_{y+dy}\} dz \\ &= \{-D_B (\partial C_B / \partial y) + D_B \{ (\partial C_B / \partial y) + (\partial^2 C_B / \partial y^2) dy \}\} dz \\ &= D_B (\partial^2 C_B / \partial y^2) dy dz \end{aligned}$$

$z$ 方向の拡散項(赤↑)は $y$ と $z$ が入れ替わるだけ

# 物質収支式の導出(生成項)



(Bの生成速度)

$$= (-r_1 - r_2)dydz$$

$$= -(k_1 C_A C_B + k_2 C_B C_R)dydz$$



$$r_1 = k_1 C_A C_B$$

$$r_2 = k_2 C_B C_R$$



# 物質収支からの無次元数の導出

物質収支式  
(前3ページの  
最後の項を足して  
dydzで割る)

$$-v_z \frac{\partial C_B}{\partial z} + D_B \left( \frac{\partial^2 C_B}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C_B}{\partial z^2} \right) - (k_1 C_A C_B + k_2 C_B C_R) = 0$$

対流
拡散
反応

無次元化



両辺に  $W^2/(C_{A0}D_A)$  をかけて  $c_A = C_A/C_{A0}$ ,  $c_B = C_B/C_{B0}$ ,  $c_R = C_R/C_{R0}$ ,  $Y = y/W$ ,  $Z = z/W$ ,  $\tau = zD_A/(v_zW^2)$  を代入

$$-\frac{C_{B0}}{C_{A0}} \frac{\partial c_B}{\partial \tau} + \frac{D_B C_{B0}}{D_A C_{A0}} \frac{\partial^2 c_B}{\partial Y^2} + \frac{D_A D_B C_{B0}}{C_{A0} W^2 v_z^2} \frac{\partial^2 c_B}{\partial \tau^2} - \frac{k_1 C_{B0} W^2}{D_A} (c_A c_B + \frac{k_2}{k_1} c_B c_R) = 0$$

軸方向の拡散
 $\phi$ 
 $\frac{k_2}{k_1}$

Second Damköhler number  $\phi = \frac{\text{反応速度}}{\text{拡散速度}}$

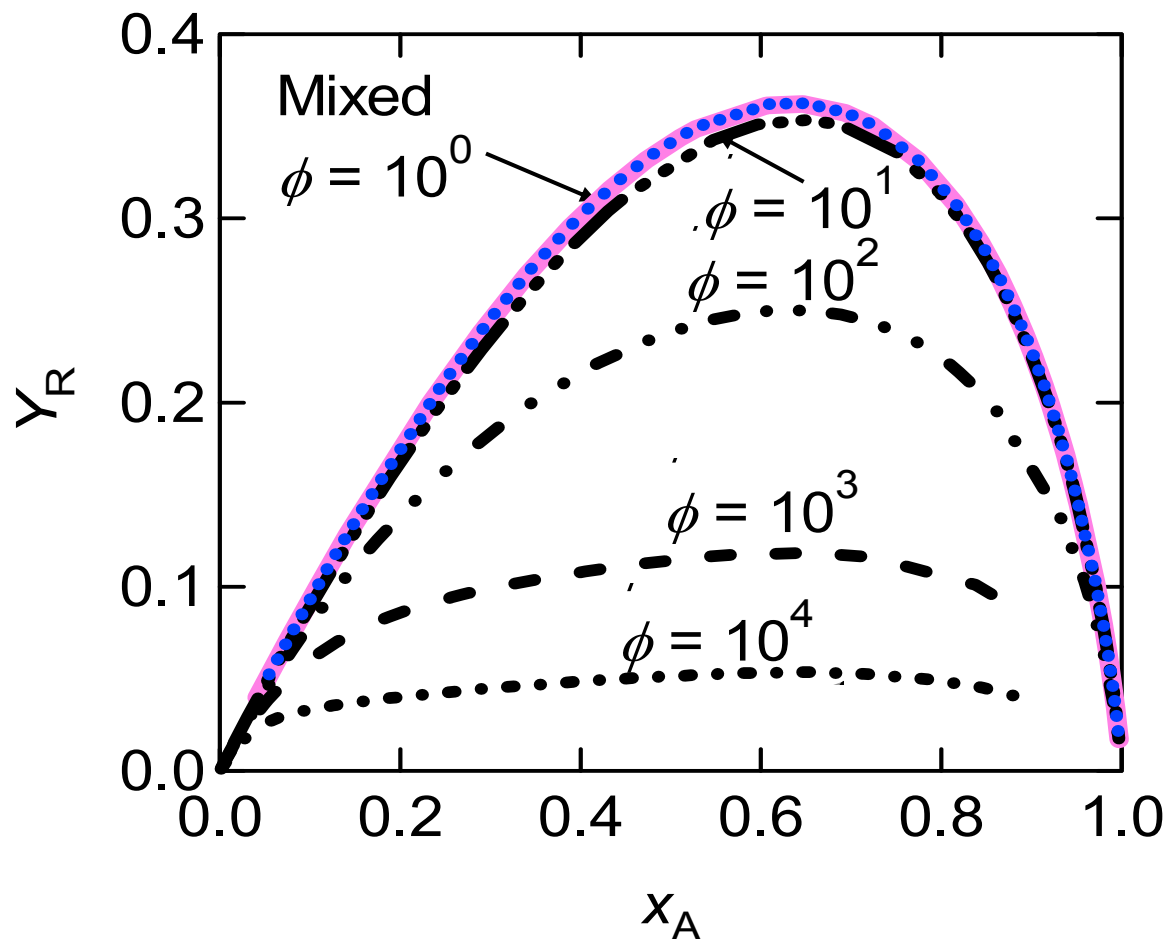
軸方向の拡散の影響が無視できる場合に  $\frac{C_{B0}}{C_{A0}}, \frac{D_B}{D_A}, \frac{k_2}{k_1}$  の値を固定



反応器内の濃度分布は  $\phi$  のみに依存

# 無次元数と収率の関係

$$\begin{aligned} C_{B0}/C_{A0} &= 2 \\ D_B/D_A &= 1 \\ k_2/k_1 &= 1 \end{aligned}$$



$\phi$  が小さいほどRの収率・選択率は高くなり、 $\phi = 1$ で反応律速になる

# 無次元数の計算例

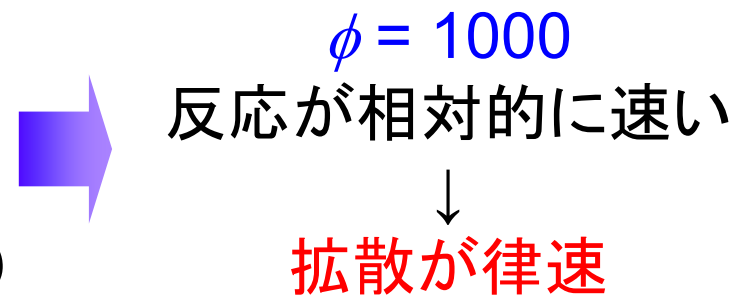
$$\text{Second Damköhler number } \phi = \frac{\text{反応速度}}{\text{拡散速度}} = \frac{k_1 C_{B0} W^2}{D_A}$$

$$k_1 = 1 \text{ m}^3/(\text{mol s})$$

$$C_{B0} = 1 \text{ kmol/m}^3 = 1 \text{ mol/L}$$

$$W = 1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$$

$$D_A = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (液相一般のオーダー)}$$

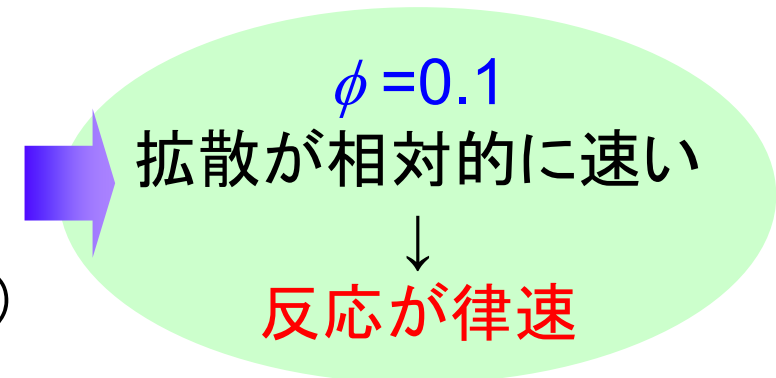


$$k_1 = 1 \text{ m}^3/(\text{mol s})$$

$$C_{B0} = 1 \text{ kmol/m}^3 = 1 \text{ mol/L}$$

$$W = 10 \text{ }\mu\text{m} = 10^{-5} \text{ m}$$

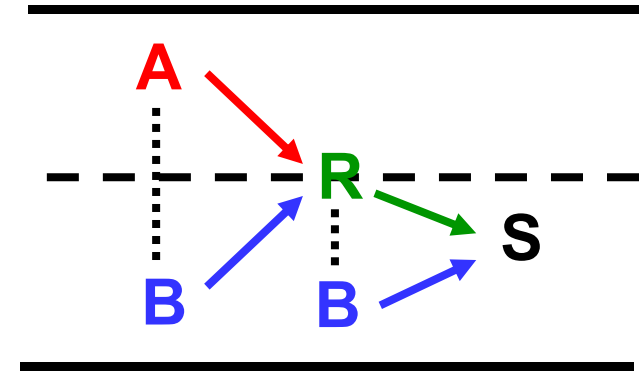
$$D_A = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s} \text{ (液相一般のオーダー)}$$



反応律速になるように反応操作を設計するのが基本

# 収率に差が出る理由

- 1段階目の反応は反応物AとBが混合して初めて進む
  - $k \cdot W$ が大きくなると拡散律速となる
- 2段階目の反応は、目的生成物RがAとBの間に存在
  - BとRの拡散による混合速度はAとBのそれに比べて速く1段階目と比べて反応律速に近い



↓  $k \cdot W$ が大きくなる,  $\phi$ が大きくなる

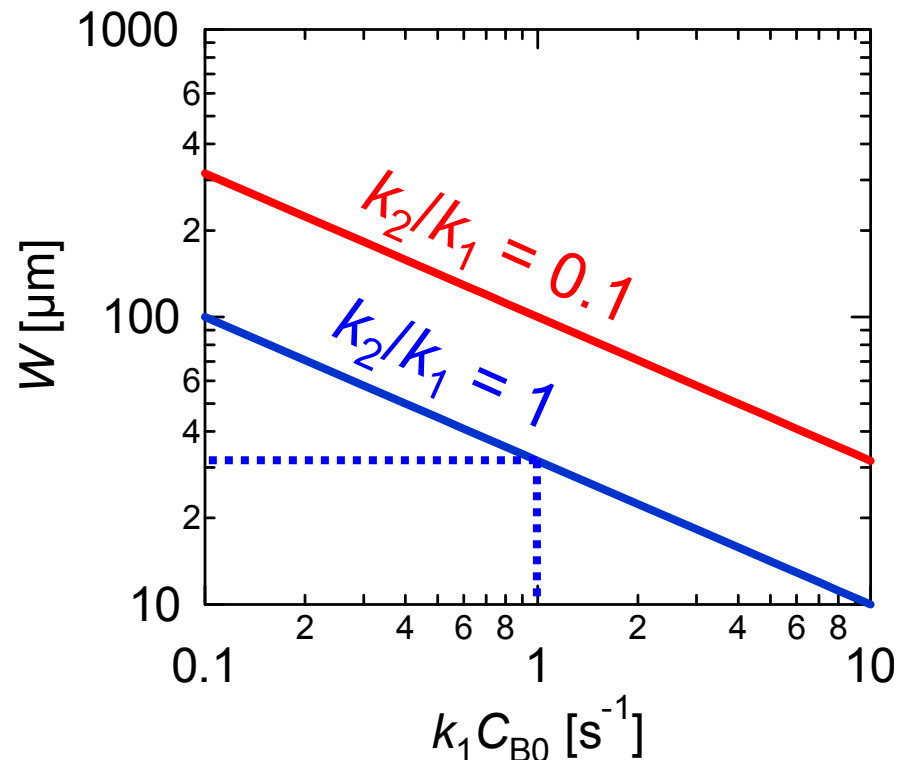
1段階目のRの生成よりも2段階目のRの消費が相対的に有利となり,  $Y_R$ 増加が抑制される

反応律速になるように迅速混合を行うためには  
流体セグメントサイズ的设计が不可欠

# 反応律速を満たす流体セグメント幅の設計

$\phi \leq 1$  ( $k_2/k_1 = 1$ ),  $\phi \leq 10$  ( $k_2/k_1 = 0.1$ )で完全混合で原料を供給する場合と反応効率が同じになる

反応律速を満たす流体セグメント幅  
( $D = 10^{-9} \text{ m}^2/\text{s}$ )



たとえば,  $k_2/k_1 = 1$   
 $kC_{B0} = 1 \text{ s}^{-1}$ のときには  
**32  $\mu\text{m}$** 以下の  
流体セグメント幅が  
反応律速となる混合を  
行うのに必要

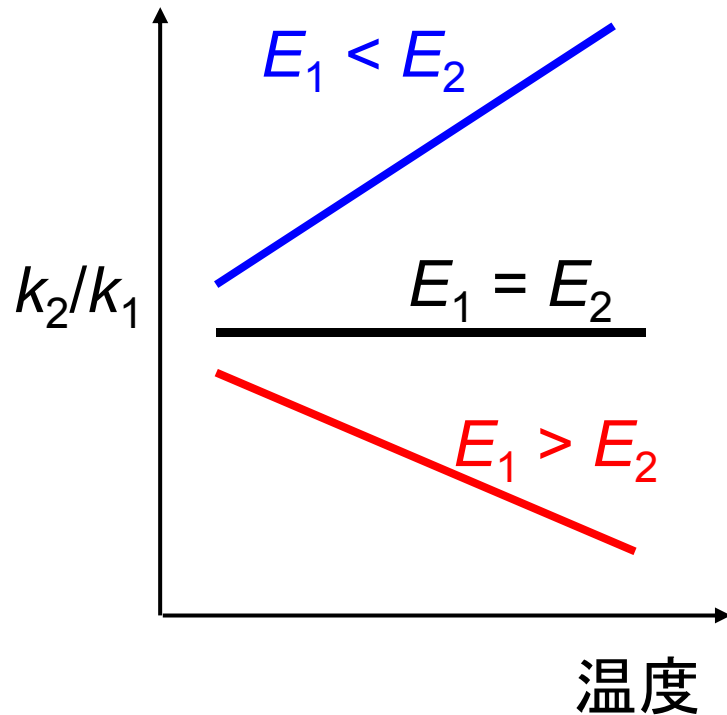
# 熱収支のモデル化

- マイクロリアクターは伝熱効率が高いが等温系になるとはかぎらない  
→ 高速・高発熱反応を扱うことが多いため
- マイクロリアクターでの非等温系の検討例: 水素酸化 (Rebrov et al, 2003), 水性ガスシフト反応 (Kim et al, 2005), アンモニアの分解 (Deshmukh et al, 2005)



熱収支のモデル化も必要となる

# 活性化エネルギーと速度比の関係



$$r_1 = k_{10} \exp(-E_1/RT) C_A C_B$$

$$r_2 = k_{20} \exp(-E_2/RT) C_B C_R$$

- Rが目的生成物とすると $k_2/k_1$ は小さいほうがよい

- $E_1 < E_2$ の場合: 温度が低いほうがRの選択率は高くなる, ただし反応が遅くもなる

- $E_1 = E_2$ の場合: 高温になって拡散律速になるとRの選択率が落ちる

- $E_1 > E_2$ の場合: 温度が高いほうがRの選択率は高くなる, ただし非常に高温では拡散律速につながりRの選択率を下げることもなる

# 反応器の設定と無次元数

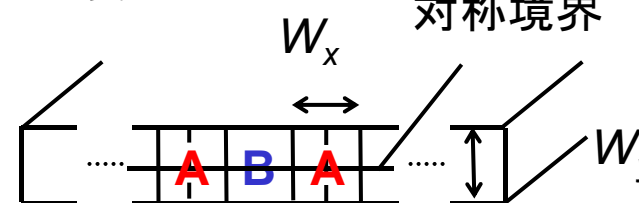
長方形断面の流体セグメントが  
一列に周期配列

流路上下の壁の温度

$$T_0 = 300 \text{ K}$$

周期境界

対称境界



## 物質収支

$$-V_z \frac{C_{B0}}{C_{A0}} \frac{\partial c_B}{\partial \tau} + \frac{D_B}{D_A} \frac{C_{B0}}{C_{A0}} \left( w \frac{\partial^2 c_B}{\partial X^2} + w^{-1} \frac{\partial^2 c_B}{\partial Y^2} \right) - \phi_0 w \left[ \exp\{\varepsilon(1-\theta^{-1})\} c_A c_B + S_0 \exp\{\kappa\varepsilon(1-\theta^{-1})\} c_B c_R \right] = 0$$

## エネルギー収支

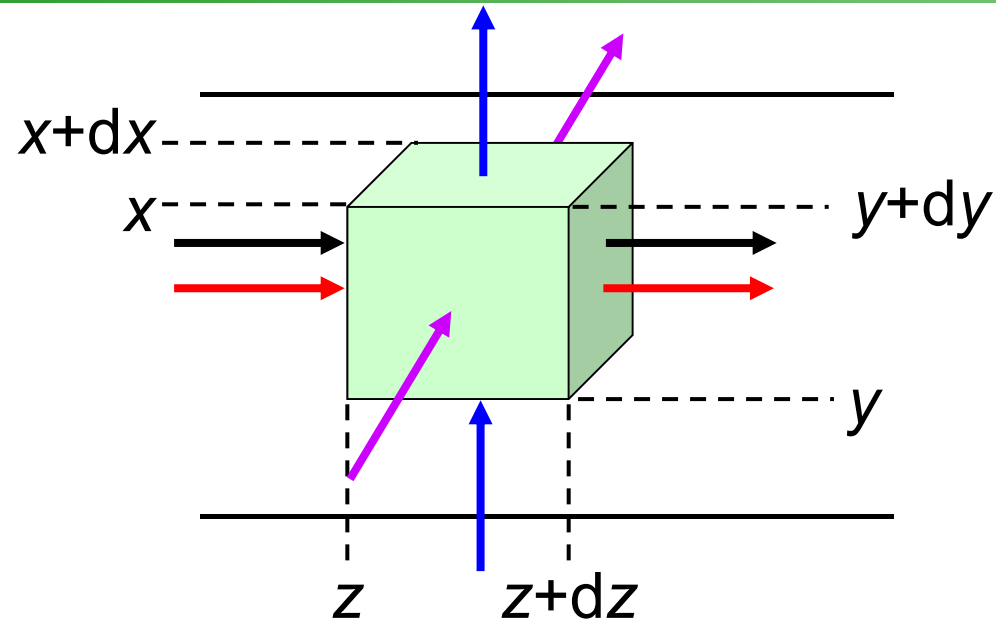
$$-V_z \frac{\partial \theta}{\partial \tau} + A \left( \frac{\partial^2 \theta}{\partial X^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial Y^2} \right) - \phi_0 w B \left[ \exp\{\varepsilon(1-\theta^{-1})\} c_A c_B + S_0 \exp\{\kappa\varepsilon(1-\theta^{-1})\} c_B c_R \right] \alpha = 0$$

$$\phi_0 = \frac{k_{10} \exp(-E_1/RT_0) C_{B0} W_x^2}{D_A}, \quad \theta = \frac{T}{T_0}, \quad S_0 = \frac{k_{20}}{k_{10}} \exp\left(-\frac{E_2 - E_1}{RT_0}\right), \quad \varepsilon = \frac{E_1}{RT_0}, \quad \kappa = \frac{E_2}{E_1}$$

$$A = \frac{\lambda}{\rho c_P D_A}, \quad B = \frac{C_{A0} \Delta H_1}{\rho c_P T_0}, \quad \alpha = \frac{\Delta H_2}{\Delta H_1}$$



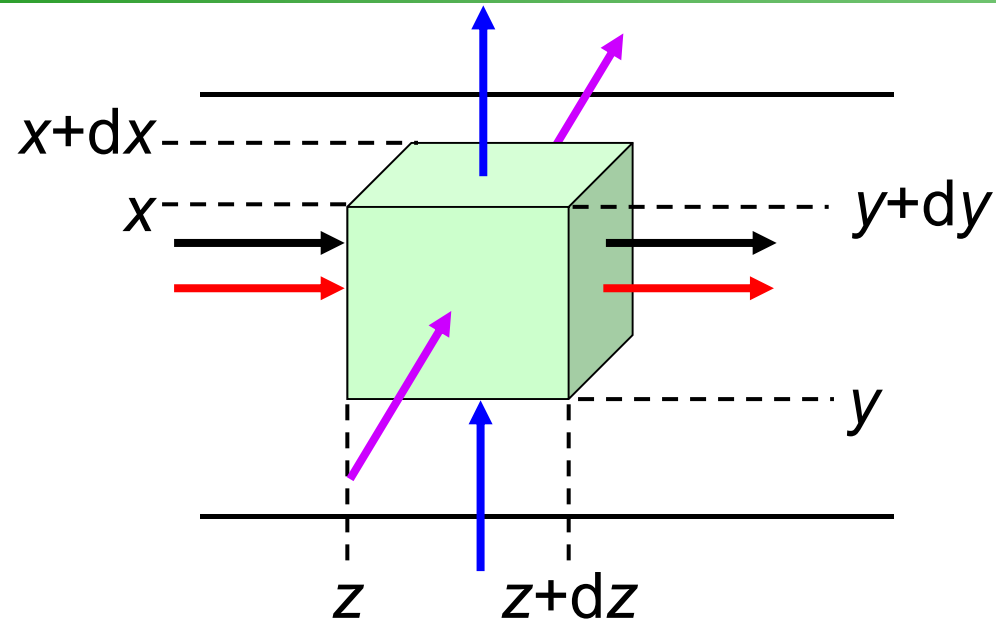
# 熱収支式の導出



(熱蓄積速度) = (対流による流入) - (対流による流出)  
+ (x方向の熱伝導による流入) - (x方向の熱伝導による流出)  
+ (y方向の熱伝導による流入) - (y方向の熱伝導による流出)  
+ (z方向の熱伝導による流入) - (z方向の熱伝導による流出)  
+ (反応による発熱速度)

軸方向の熱伝導は通常は無視できる

# 熱収支式の導出(対流項)



(対流による流入) - (対流による流出)

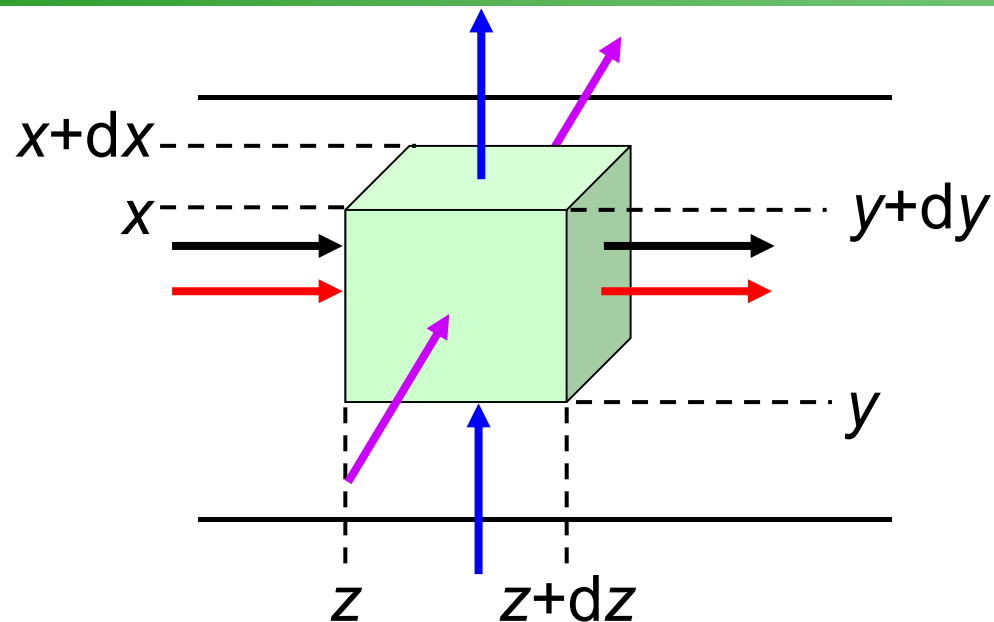
$$= \rho v_z c_p T(z) dx dy - \rho v_z c_p T(z+dz) dx dy$$

$$= [\rho v_z c_p T(z) - \rho v_z c_p \{T(z) + (\partial T / \partial z) dz\}] dy dz$$

$$= -\rho v_z c_p (\partial T / \partial z) dx dy dz$$

$$\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \frac{\text{m}}{\text{s}} \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}} \text{K} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

# 熱収支式の導出(拡散項)

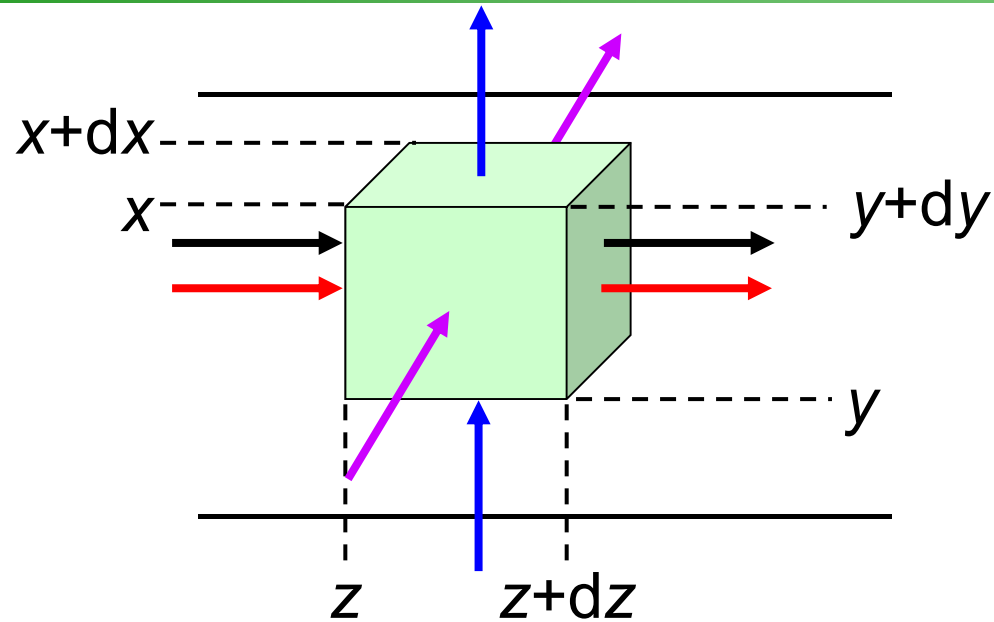


$$\begin{aligned}
 & (\text{y方向の熱伝導による流入}) - (\text{y方向の分子拡散による流出}) \\
 &= \{-\lambda(\partial T/\partial y)_y + \lambda(\partial T/\partial y)_{y+dy}\} dx dz \\
 &= -\lambda(\partial T/\partial y)_y + \lambda\{(\partial T/\partial y) + (\partial^2 T/\partial y^2)dy\} dx dz \\
 &= \lambda(\partial^2 T/\partial y^2) dx dy dz
 \end{aligned}$$

**x(紫↑), z(赤→)方向の拡散項は  
yがx, zと入れ替わるだけ**

$$\frac{\text{J}}{\text{m} \cdot \text{K} \cdot \text{s}} \frac{\text{K}}{\text{m}^2} \text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

# 物質収支式の導出(生成項)



(反応による発熱速度)

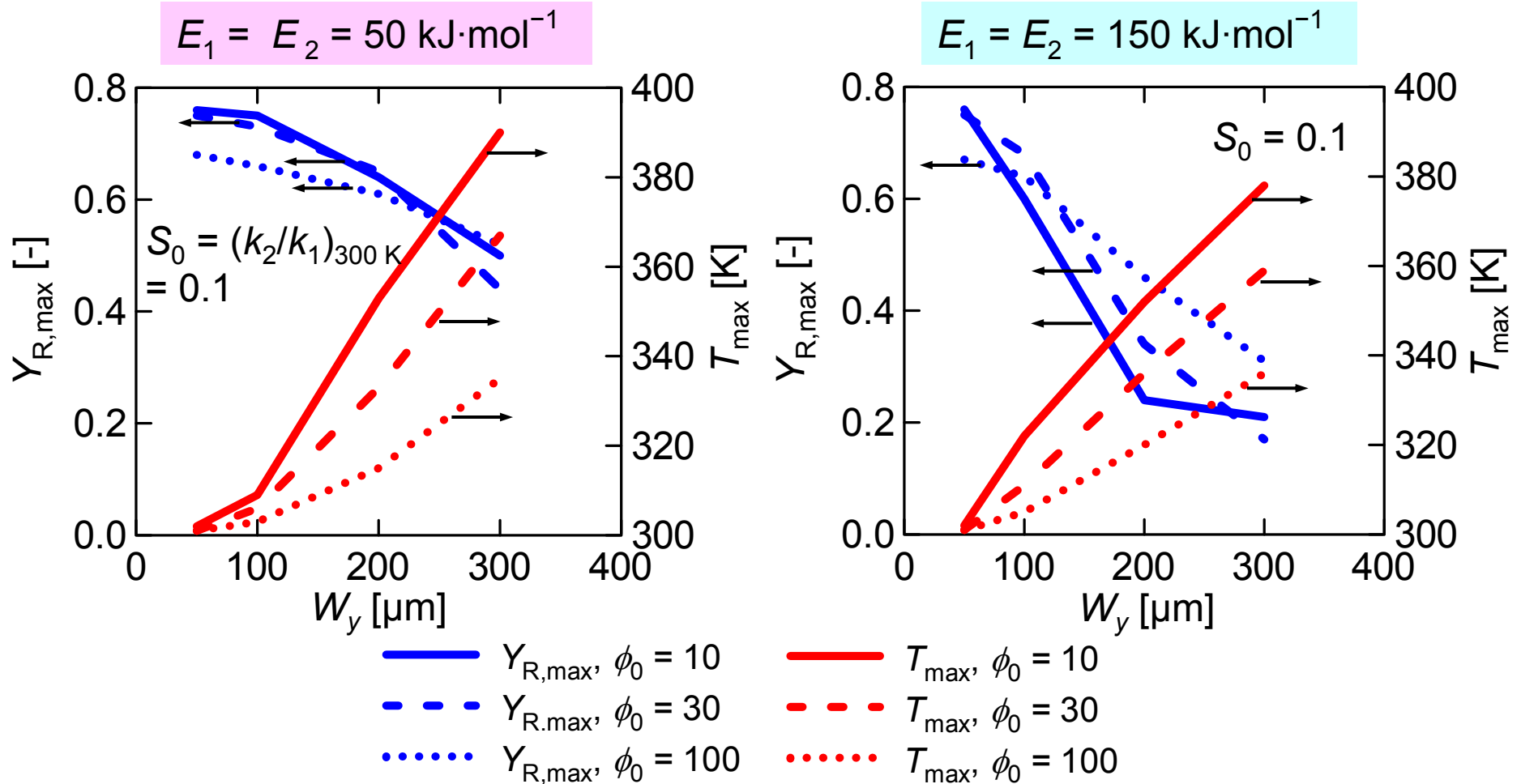
$$= (-r_1\Delta H_1 - r_2\Delta H_2)dxdydz$$

$$= -(k_1C_A C_B\Delta H_1 + k_2C_B C_R\Delta H_2)dxdydz$$

$$= -(k_{10}\exp(-E_1/RT)C_A C_B\Delta H_1 + k_{20}\exp(-E_2/RT)C_B C_R\Delta H_2)dxdydz$$

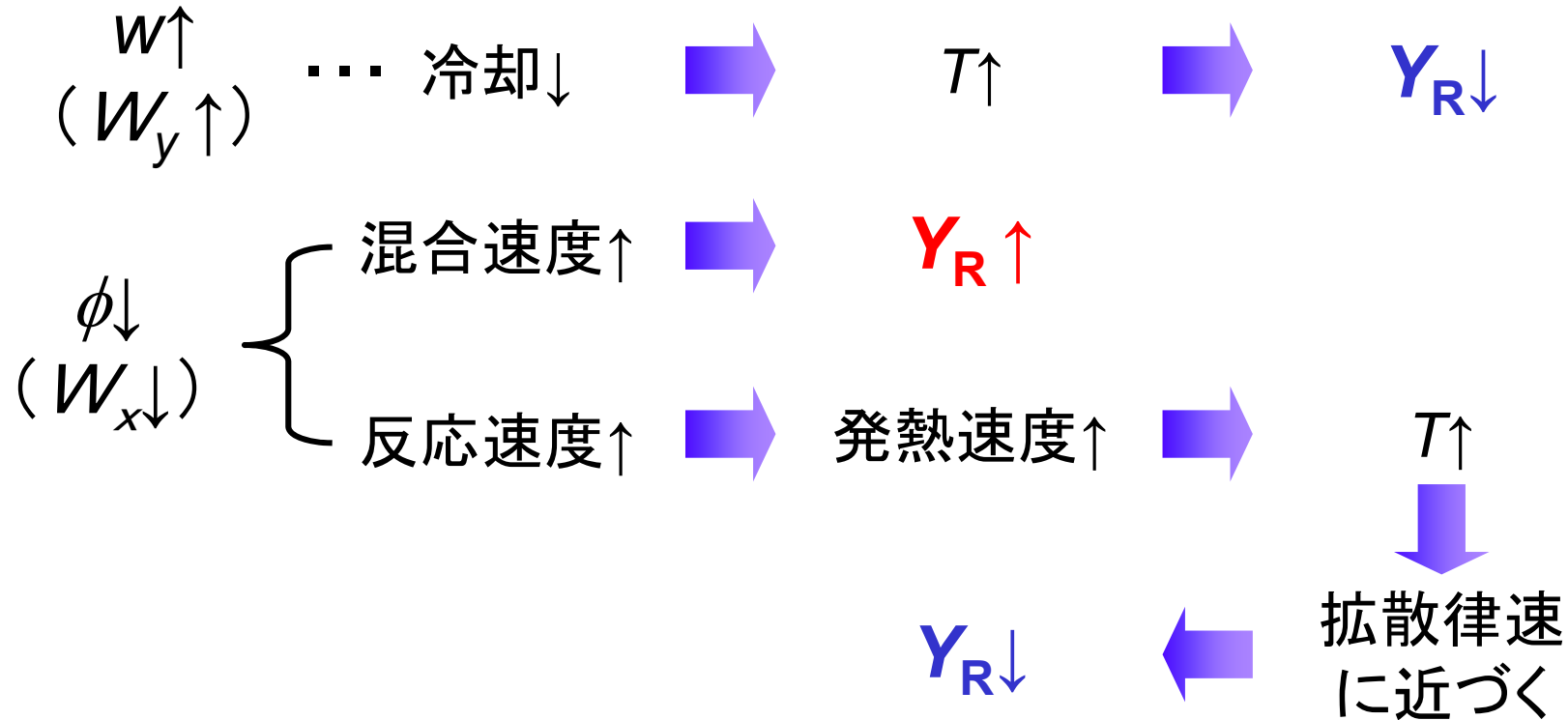
$$\frac{\text{mol}}{\text{m}^3 \cdot \text{s}} \frac{\text{J}}{\text{mol}} \text{m} \cdot \text{m} \cdot \text{m} = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

# 活性化エネルギーの絶対値 ( $\varepsilon$ ) の影響



- $\phi$  が小さいほど混合・反応・発熱が速くなり温度上昇が大きくなる→拡散律速に近づきやすく  $Y_{R,\max}$  が低下
- 活性化エネルギーが高いほど上記の傾向が顕著になる

# 温度変化の影響



- $\phi$ が小さくなることは $Y_{R,max}$ の向上と低下の両方の効果を及ぼす
- $W_y$ が大きいときは $\phi$ が大きくなるほど $Y_{R,max}$ が低くなることもある $\rightarrow$ 高発熱反応では混合制御の必要性

# まとめ: マイクロリアクターの特徴

- ・マイクロリアクターは迅速な混合・物質移動・温度制御が必要な系に向いている

- ・流れを精密に制御できるので、流れの状態と材料の形状・機能をダイレクトにリンクできる

- ・処理量はマクロな反応器よりも小さいが、ナンバリングアップ・イクオリングアップで年間tonオーダー以上も対応可能  
→ **スペシャルティケミカルズ**の生産に向いている

- ・反応操作設計法を導く指針  
物質収支式→無次元化  
→無次元数( $\phi$ ,  $w$ )によって現象の整理→設計法の抽出

# まとめ: マイクロリアクターの設計指針

- ・一般にマイクロリアクターに適した反応系(高速・高発熱)で, 目的生成物の選択性を最大化するには反応律速

⇒迅速混合が必須

→流体セグメントサイズを微小化することに相当する操作が必要となる

- ・速度論によっては混合速度を制御したほうが選択率が高くなる反応系もある(活性化エネルギー, 発熱速度に注目)

→層流下でマイクロ流体セグメントに基づく反応操作が有効



# 本講義で扱う内容

- マイクロリアクターの概要・実施例
  - マイクロリアクターの特徴
  - コンビケムへの応用
  - 生産量増加への対応
  - 流体セグメントの導入
- マイクロリアクターのモデル
  - 流体セグメントサイズの決定法
  - 温度変化・活性化エネルギーの影響
- マイクロリアクターのまとめ
- 製品スクリーニングの方法

# 製品開発の指針：選択肢のスコアの比較

E.L. Cussler,

G.D. Moggridge

**“Chemical Product  
Design”**

(Cambridge Series in  
Chemical Engineering)

2nd Edition,

Cambridge University

Press (2011)

(Kindle版もある)

# 製品開発の指針：選択肢のスコアの比較

- ・製品の選択肢を各評価項目について点数づけし、各項目の重み付けを掛け合わせて全ての項目について足し合わせたものがその選択肢のスコアになる
- ・最もスコアの高い選択肢を選ぶ

例：自動車の選択

	重み付け	電気	ガソリン	ハイブリッド
価格	0.4	6	8	4
静かさ	0.3	10	2	6
便利さ	0.2	5	9	7
環境	0.1	9	3	6
	総和は1			
総スコア		7.3	5.9	5.4

どうやって測定するか？測定されたものは改善される

# 俯瞰的製品開発指針:ビジネスの視点から

神田昌典

“60分間・企業ダントツ化  
プロジェクト  
—顧客感情をベースにした  
戦略構築法”  
ダイヤモンド社 (2002)

# 製品開発の指針：Sカーブ

- 製品のライフサイクルは四季がめぐるように四つの時期に分かれる
- 四つの期間はおおよそ同じ長さになる
  - =素早く流行ったものは廃れるのも早い
- 使用しうる人の1割以上が使うようになると爆発的に浸透する

1割を超えられないと広まらずに廃れてしまう  
広まった例：携帯電話, 廃れた例：ISDN

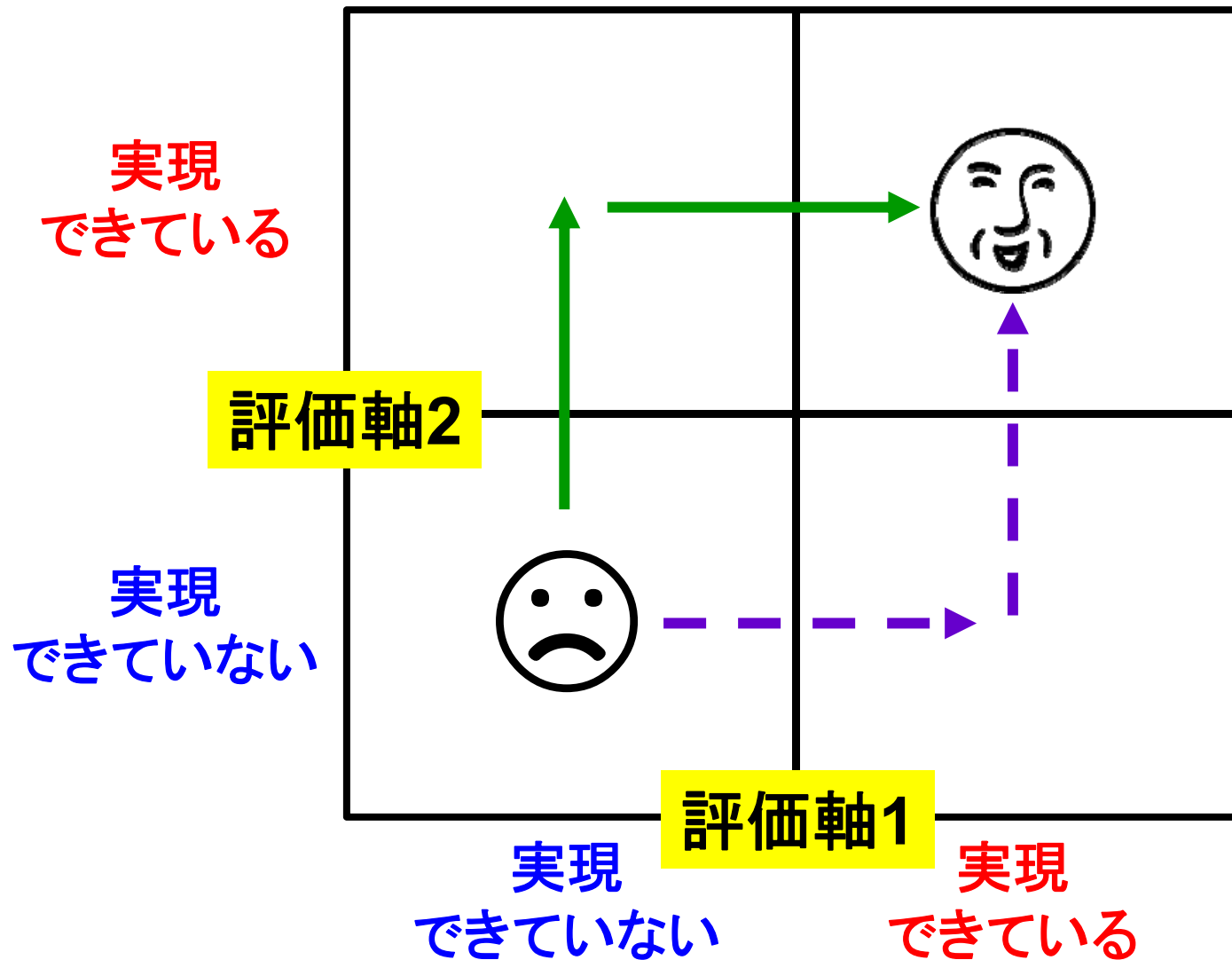
- ・来夢 神田昌典 春夏秋冬 シーズンズ 『春夏秋冬サイクル』とは?,  
<http://www.seasons-net.jp/wss/ditail/index.cgi?mode=main&newno=14>
- ・James Skinner, 経営者育成塾 (オンライン教材)

# 組織の成長カーブ

- 四季の変化は組織のライフサイクルにもあてはまる
  - 起業時には**起業家(軍人)**が活躍
  - 成長してくると企業家のアイデアを**実務家(魔術師)**が形にするようになる
  - さらに成長すると実務家だけでは回らないので**管理者(官僚)**が事務などの仕事を請け負う
  - **まとめ役(恋人・道化師)**: 場の雰囲気や和ませる人・まとめる人, 企業の成長において生じる歪みの影響を一身に受ける
  - システム化に向かうときに起業家がどんどん新しいことをしようとするとうまく進まない

神田昌典: 成功者の告白, 講談社, p282, 285 (2004)

# 製品開発の指針：マトリックスで考える



# 俯瞰的に製品を開発する

- 多面的に考えて製品とその周辺を構築する
  - 商品
  - 顧客
  - 競合
  - 収益シミュレーション
  - タイミング
  - メッセージ
- 理想的な世界, 制限のない世界をまずは想像してみる
- 背筋がゾクゾクするような発想が出ることが製品開発成功へのカギ



# 人が商品・サービスを買うのは？


- 背筋がゾクゾクするような発想が出ることが製品開発成功へのカギ



- 根本に立ち返ると、感情の変化が欲しくてその商品・サービスを買うから
  - 満足, 愛情, つながり, 成長, 恐怖, 変化, 貢献, 自己重要感, 安定, 退屈さ・寂しさ・虚しさ・ストレスからの開放
- 人は「痛みを避けて, 快樂を得る」ように行動する
  - どうすれば痛み(面倒, つらい, マイナス感情)を取り除けるか?
  - どうすれば快樂(プラス感情)を与えられるか?

James Skinner, 経営者育成塾 (オンライン教材)

# ブランドを作る

- 現代はモノがあふれているので買うのが大変
    - 例: デジカメを買おうと思ったら即決できますか？
  - 同じような商品なら**有名なメーカー, ブランド**のものを購入するはず
- 
- ブランドの定義は”1語(3単語まで)”に絞ったもので
  - 「楽」でありながら「高級」といった2語以上ではダメ
  - 一つの言葉と一つのシンボルしか客の脳を占有できない
    - 今日テレビや大学に来るまでに街中で見た広告をどれくらい覚えていますか？
  - しかも最初に覚えてもらうこと(=**ファーストポジションをとる**)

(例) ナイキもスウッシュ(Swoosh) マークのみ, 企業名すらない  
「Just do it」という言葉をスポーツと関連させているだけ  
何千億もかけてもこれくらいしか覚えてもらえない



**一つの言葉・一つのシンボル・一つのエモーション**

# 強いブランドとは

- **簡潔(1文, 10秒以内)**で説明しやすいものがよい。広げてわかりやすいとなおよい→多くの人のニーズになりやすい
  - 例:ダスキン, マットから掃除全体
- **コアコンピタンス**(=その業界で一番になるため, リードするために必要な能力)に資源を投入する, 世界クラスでないことはアウトソースできているようになっていくこと
  - 自分の強みではない。参加の必要条件に過ぎないことが多い。
  - 高エネルギー・高エンターテイメント教育では「講師がいい」というのは参加条件, 「照明・音響」がコアコンピタンス
- タイムリーなもの
- 簡単に複製できる
- 知的所有権や特定の能力で参入障壁が高いこと
- 大きいキャッシュフローを生み出してくれる
- ノールーズの(半自動的に成功できる)状況を作り出せること
- 最小限の努力で収入が継続する
  - ダスキンはマットを売らず毎月交換するから継続的に収入が出る
- 楽しいものである

# 革新的な製品を開発するためのポイント

- 売れる名前(ラベル)をつける(知的所有権(商標登録, 特許)でブランドを守る)
- **商品そのもの**(リサイクルタイヤでできた靴:環境に興味がある人は喜んで買う, 永久張替保証つき)
- パッケージ(商品がダメならそれを包む物にチカラを入れる)
- プロセス(販売, **製造**, お客様に届けるまで)
- ブランドそのもの
- 価格帯(100円ショップ, 高いとそれなりモノと思ってくれる, 高くするほど人気ができることも, 住宅の質と価格が連想していないことがよくある, 価格は水物)
- 添付商品・サービス(自動車メーカーがファイナンスもする)
- サービスの中身
- 敵の定義(でかいヒーローになるには敵が必要, **物語を提供**する, We are Number 2, but we try harder. というCM文句: Avis(レンタカー会社))

# ビジネスと製品開発の関係

- **ビジネスを生み出すということは商品ではなくシステムを築くということ**
  - コンビニやチェーン店を思い浮かべてみよう
- システム化できないといい製品を開発しても広まらない(個人商店レベルで止まってしまう)
- システムの中に商品が組み込まれている
- 本当の意味で製品開発を学ぼうと思うとビジネスやシステムについての学びも必要
  
- 競争・欠乏マインド(競合からシェアを奪う)から**豊かさマインド(新たな次元の価値を提供する)**へ、実現するための資源・方法は必ずある