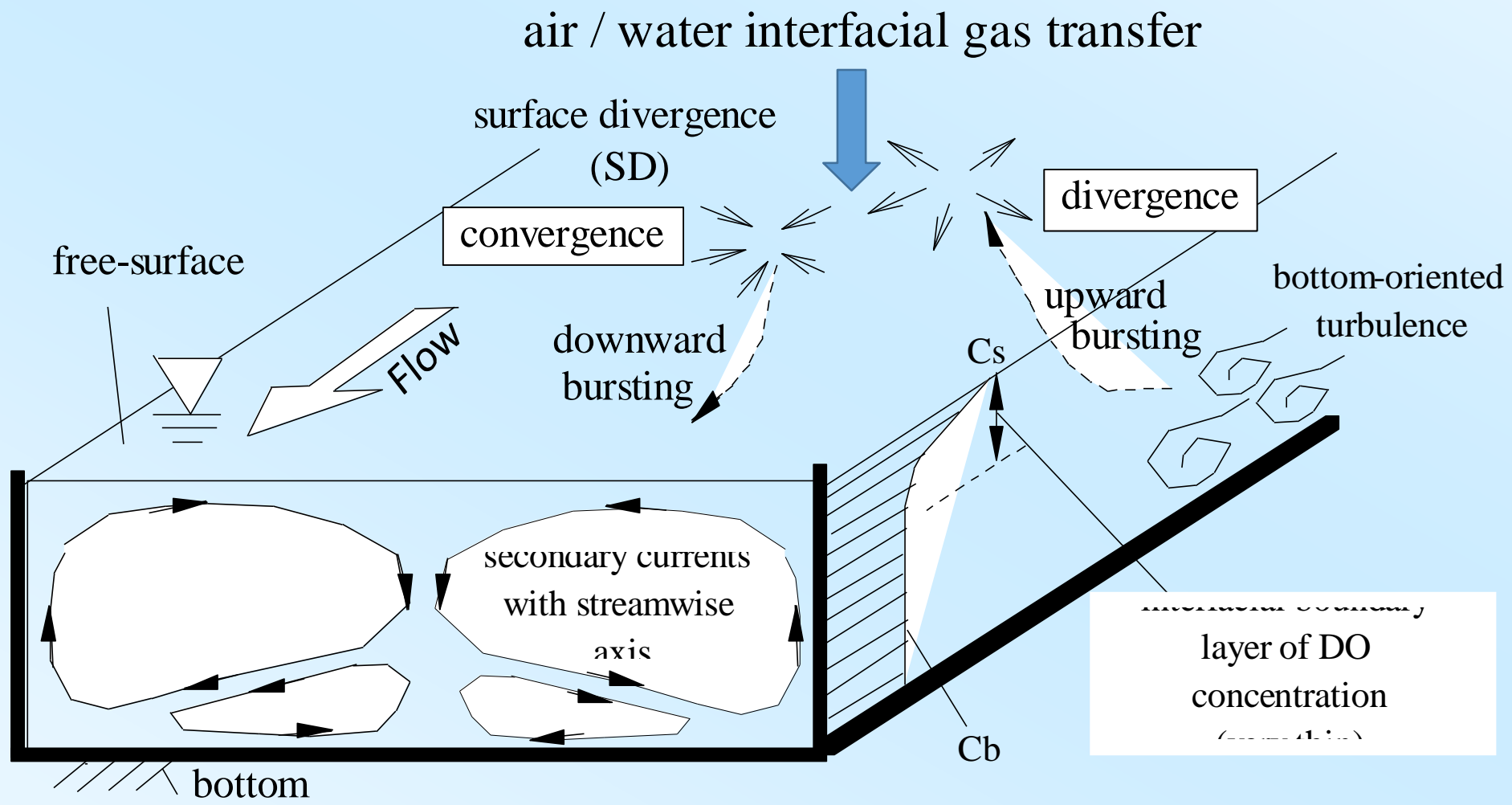


研究背景

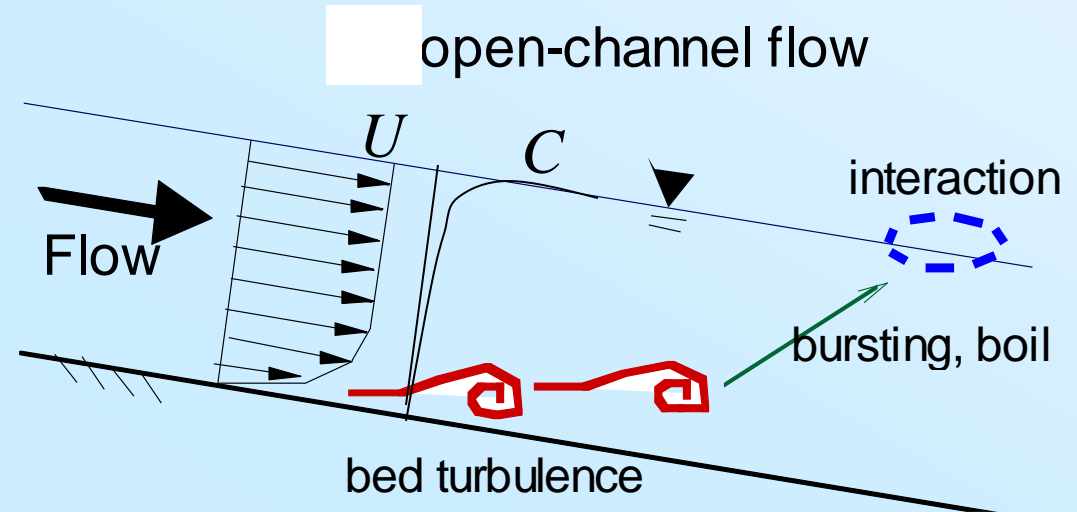


既往のガス交換モデル

- 境膜モデル $k_L = \frac{D}{\delta_w}$

- 浸透モデル $k_L = 2\sqrt{\frac{D}{\pi t_{\text{exp}}}}$

- 表面更新モデル $k_L = \sqrt{Dr}$



界面流速発散モデル(SD model)

- 界面流速発散モデル(SD model)

$$k_L = \alpha \sqrt{D \beta_{rms}}$$

β_{rms} : 界面流速発散のrms値(二乗平均平方根)

D : 気体の分子拡散係数

α : 係数

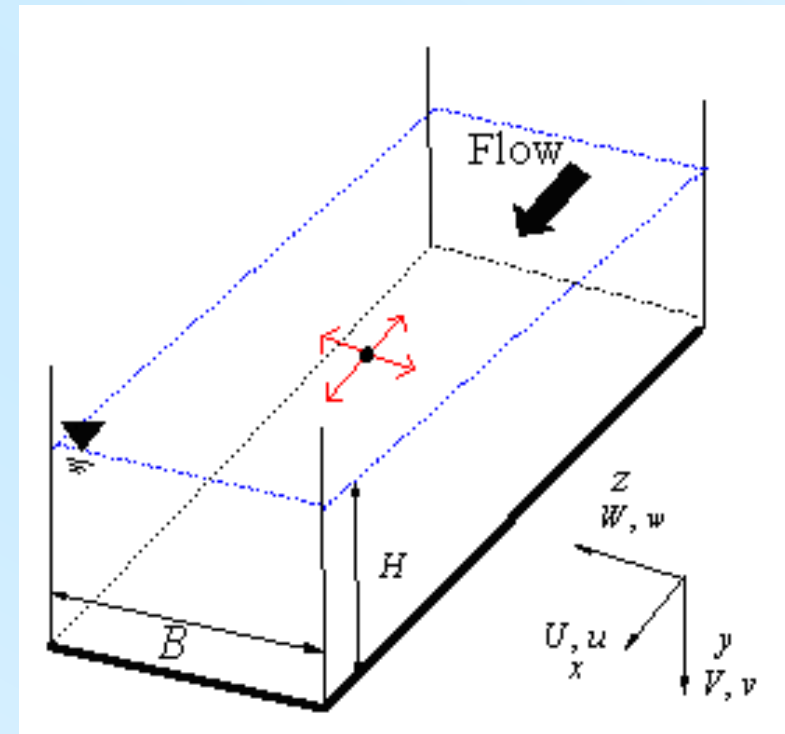
→ 界面流速発散値とは？

界面流速発散値とは

界面流速発散値 $\tilde{\beta}$ は次のように表される。

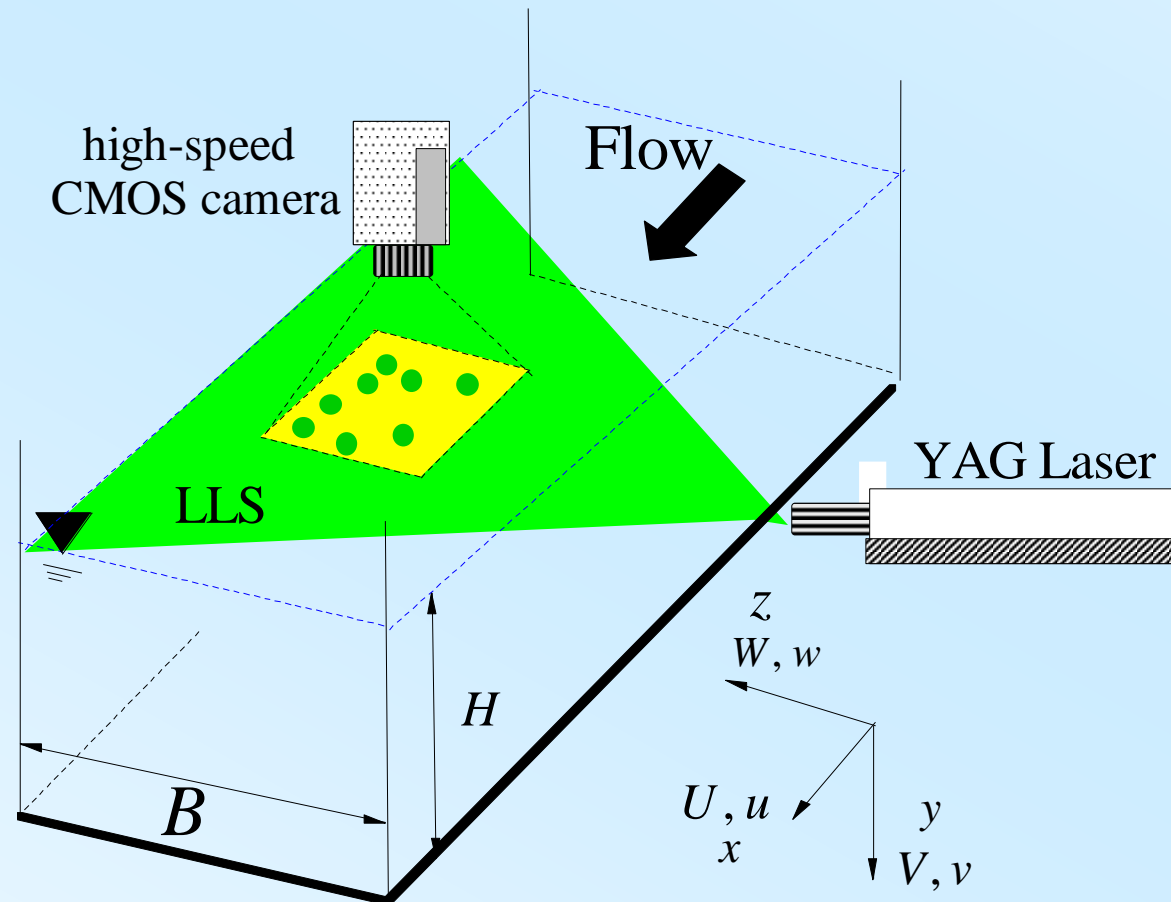
$$\tilde{\beta} \equiv \frac{\partial \tilde{u}}{\partial x} + \frac{\partial \tilde{w}}{\partial z} = -\frac{\partial \tilde{v}}{\partial y}$$

上の式は連続式において、
界面の変動が無視できると
仮定すると $y=0$ において $v=0$
となり、導かれる。



実験方法 (PIV実験)

自由水面近傍の瞬間流速分布をPIVにて計測



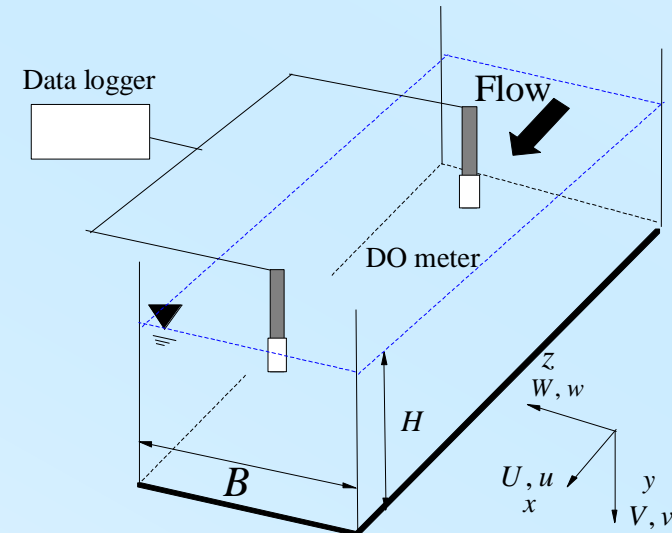
実験方法 (DO計測)

- 無次元ガス濃度 $D \equiv (C_s - C)/(C_s - C_0)$ に関する輸送方程式は次のようになる。

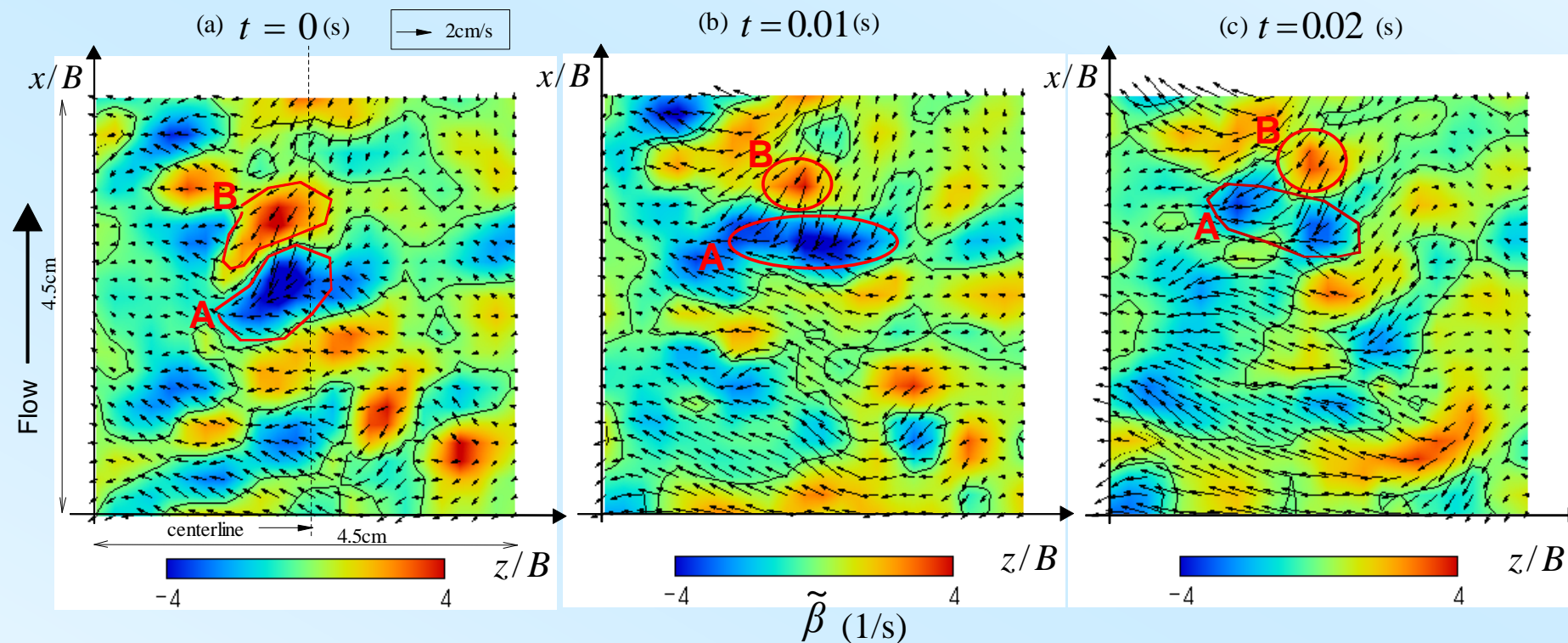
$$k_2 = -\frac{\partial \ln D}{\partial t} - \frac{\partial \ln D}{\partial x}$$

C_s : 飽和溶存ガス濃度、 C_0 : 実験開始時の溶存ガス濃度

- 上流と下流でDO濃度を測定し、この式の第一項(非定常項)と第二項(移流項)より再曝気係数 k_2 を求め、そこに水深を乗ずることで k_L を求める。
- DO計は7mの間隔を空けて上流下流に2機ずつ設置した。

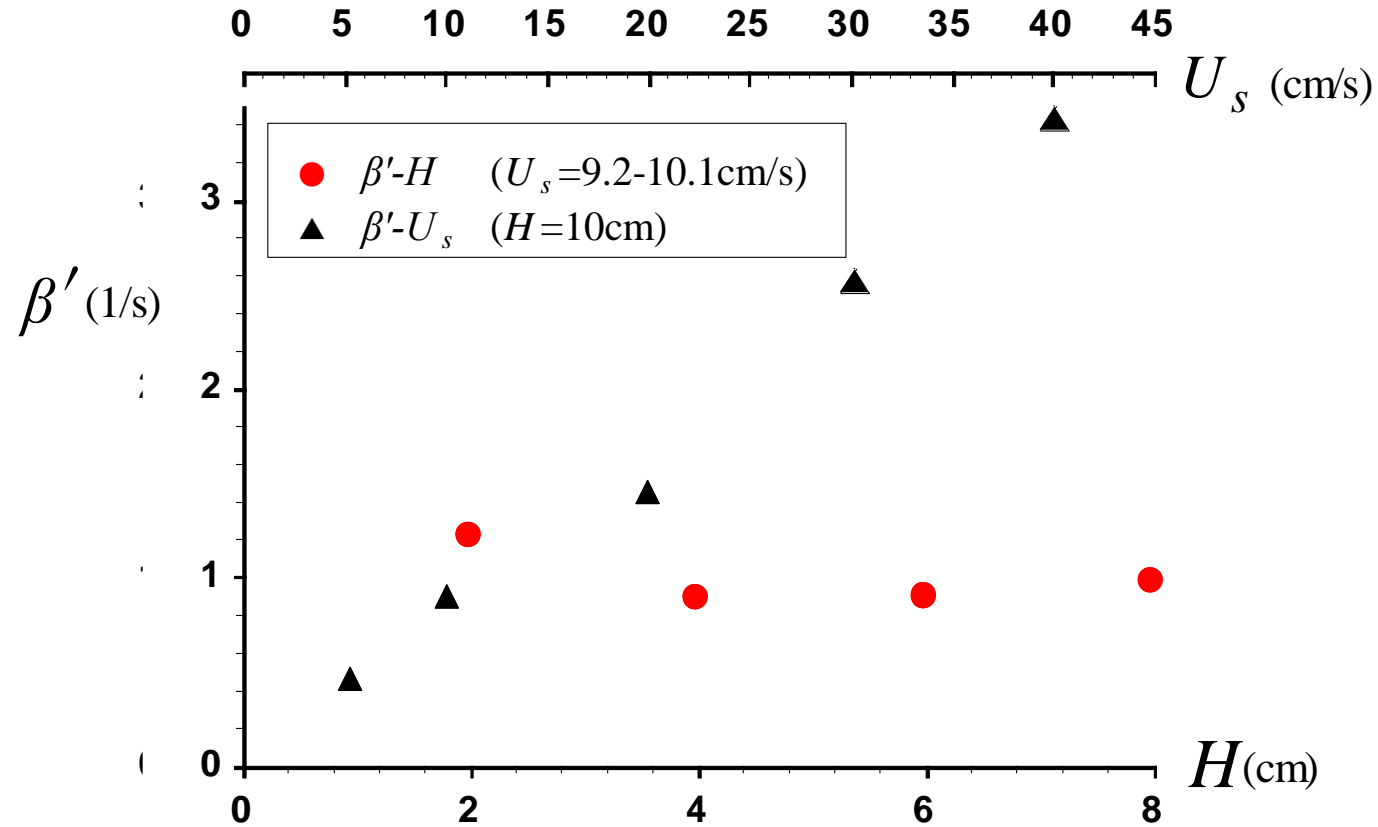


瞬間の流れ場(水面領域)



瞬間流速ベクトルと界面流速発散値の時間変化の一例 (コンターラインはゼロ値を示す)

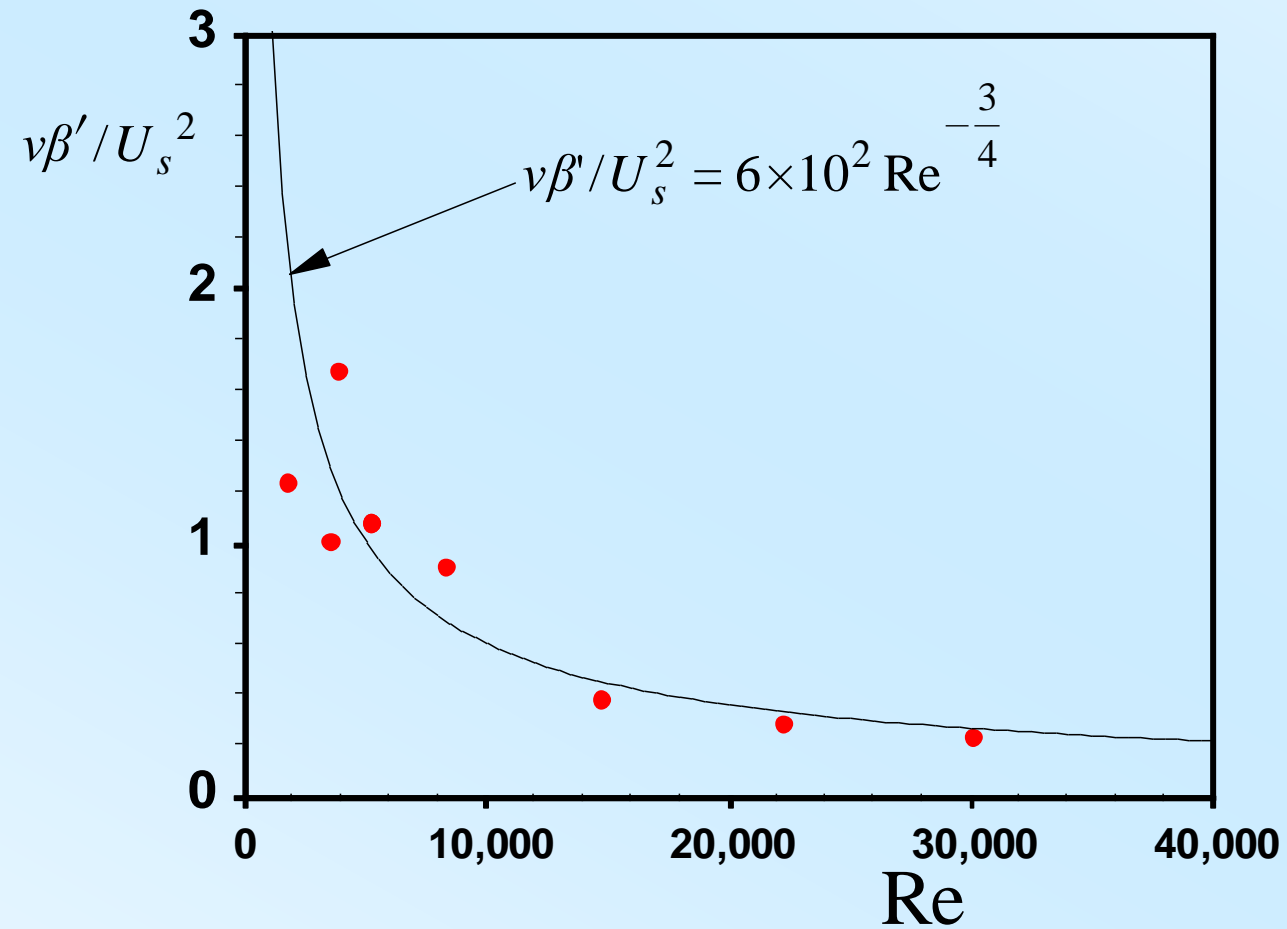
界面発散強度と流速／水深の関係



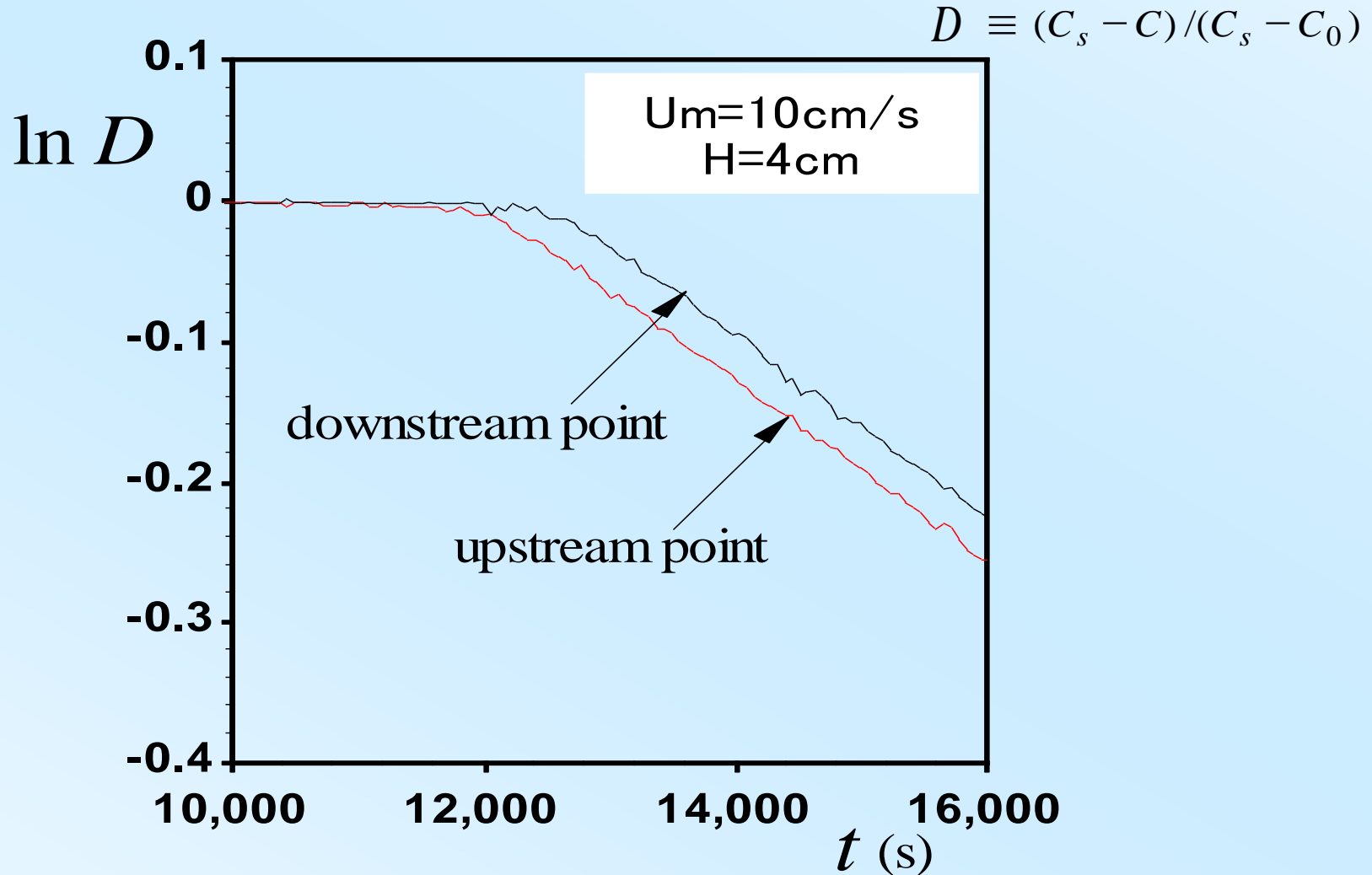
流速発散強度と時間平均表面流速および水深の関係

→ β 値は水深には依存せず、流速のみに依存している事が分かる

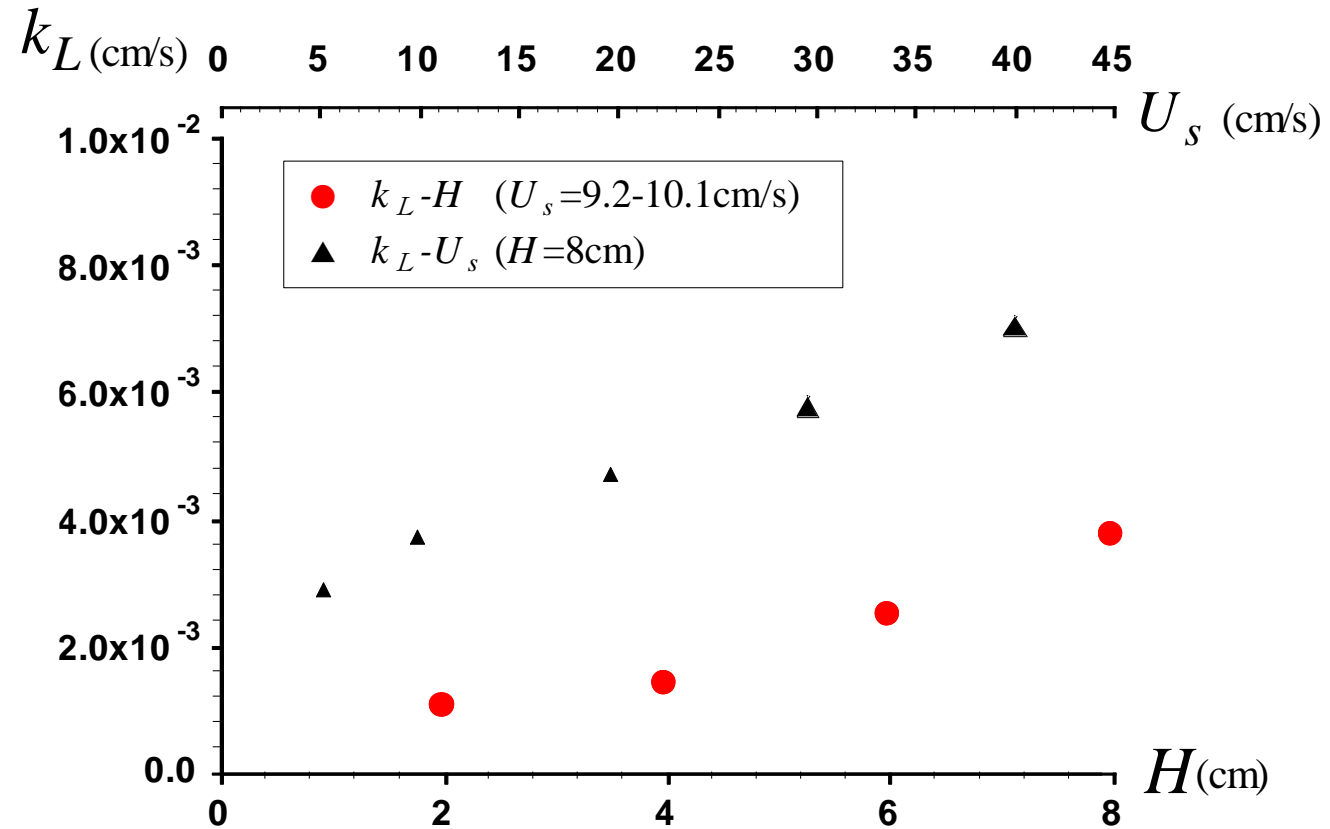
界面発散値のレイノルズ数依存性



無次元溶存酸素濃度の時間変化

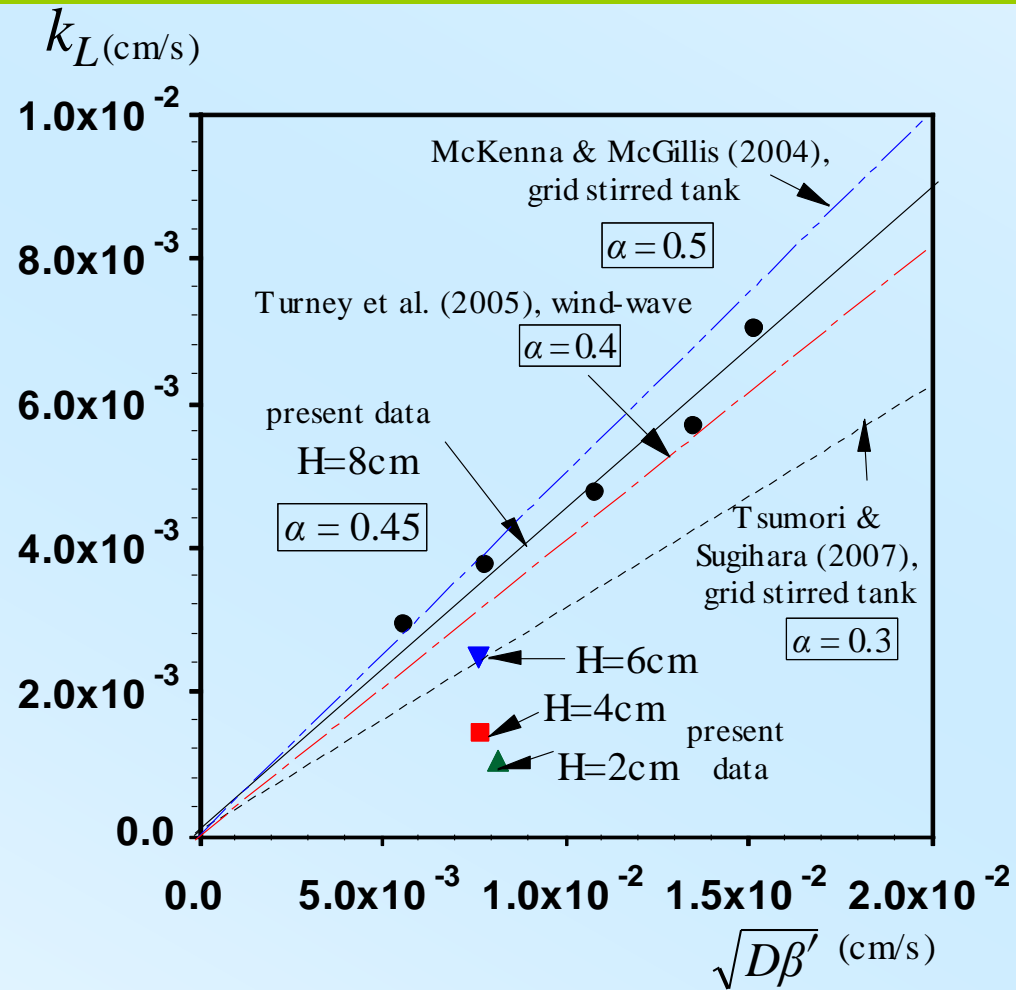


交換速度と流速／水深の関係



→ガス交換速度は、水深と流速の両方に依存

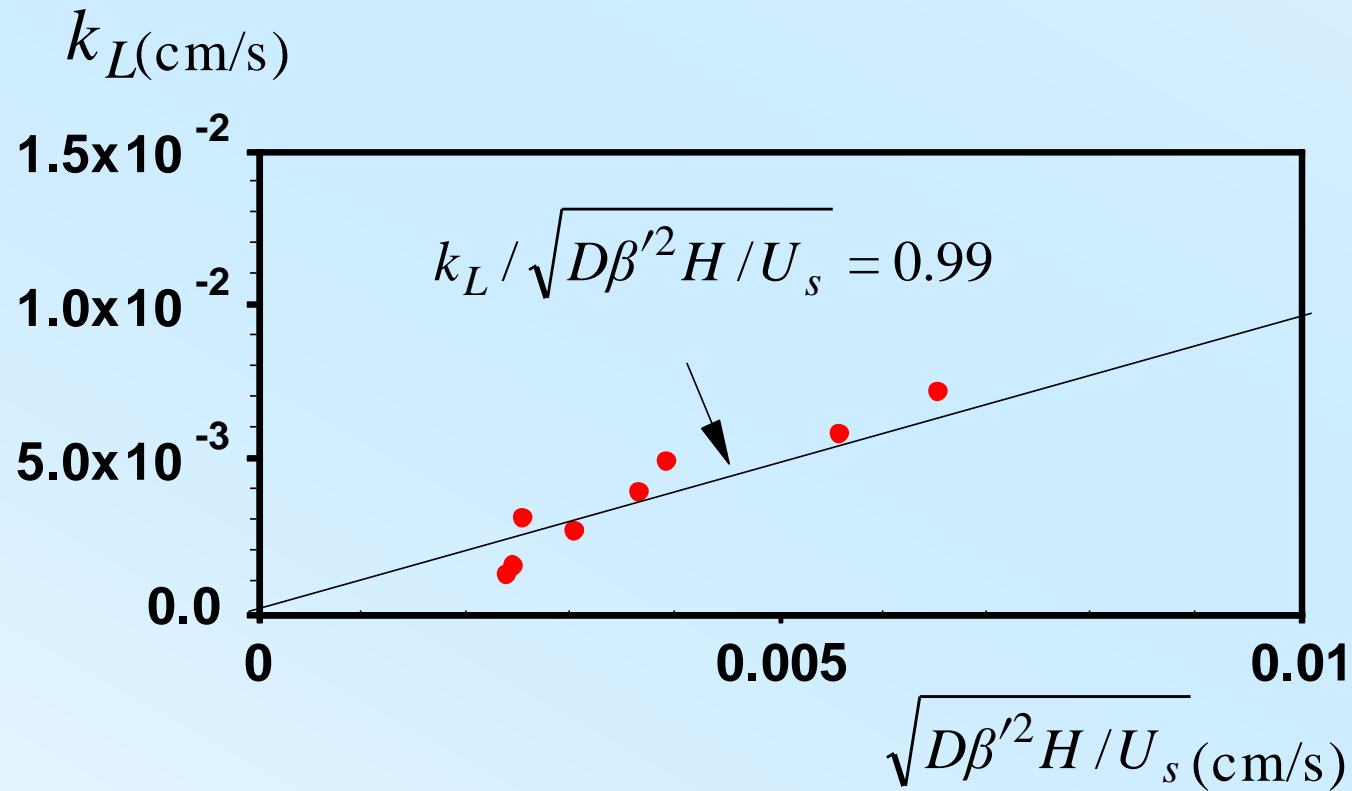
SDモデルの開水路への適用性



→SDモデル $k_L = \alpha \sqrt{D\beta'_{rms}}$ に水深を考慮する必要あり

水深を考慮した修正界面発散モデル①の提案

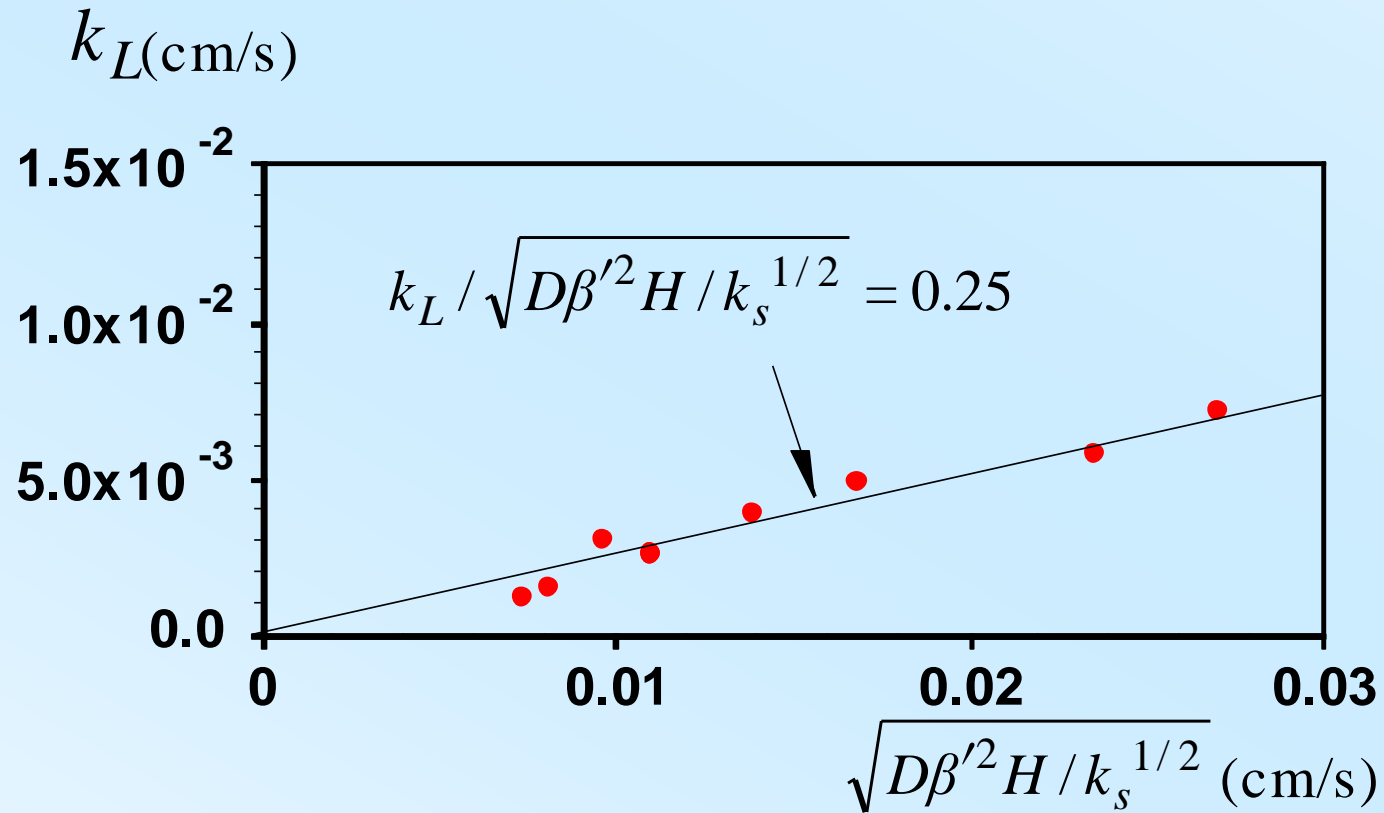
- 新モデル① $k_L = \alpha \sqrt{D \frac{H}{U_s} \beta_{rms}^2}$



→ 乱れの影響を考慮していない → 新モデル②を提案

水深を考慮した修正界面発散モデル②の提案

- 新モデル② $k_L = \alpha \sqrt{D \frac{H}{k_s^{1/2}} \beta_{rms}^2}$



→速度スケールとして乱れ強度 $k_s^{1/2} \equiv \frac{1}{2}(u'^2 + w'^2)$ を用いた

まとめ

- ガス交換速度を界面流速発散強度で評価することが出来る。
- 界面流速発散モデル $k_L = \alpha \sqrt{D\beta_{rms}}$ は水深一定では用いる事が出来るが、水深を変化させると適用できない。
- 滑面開水路流れにおいては
新モデル $k_L / \sqrt{D \frac{H}{k_s^{1/2}} \beta_{rms}^2} = 0.25$ が適用できる。

界面グループの研究成果

このテーマは、基礎科学であり、土木工学にとらわれず、広く流体力学や流体物理の研究コミュニティで活動している。

そのため、流体力学のトップジャーナルでの発表を目標としている。

(最近の成果 抜粋)

Sanjou, M.: Local gas transfer rate through the free surface in spatially accelerated open-channel turbulence, *Physics of Fluids*, AIP Publishing, Vol.32, 105103, 2020.

Sanjou, M. Okamoto, T. and Nezu, I.: Dissolved oxygen transfer into a square embayment connected to an open-channel flow, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Elsevier, Vol.125, 1169-1180, 2018.

Sanjou, M., Nezu, I. and Okamoto, T.: Surface velocity divergence model of air / water interfacial gas transfer in open-channel flows, *Physics of Fluids*, AIP Publishing, Vol.29, 045107, 2017.