

大学発アーバンイノベーション神戸 研究成果報告書



大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe

研究課題名：湿潤バイオマス資源化のための新規高効率脱水装置の研究開発

研究期間：2024年4月～2026年3月

交付決定額(研究期間全体)：2970千円

申請区分：一般助成型
課題番号：A24105

研究代表者：神戸市公立大学法人神戸市立工業高専門学校 機械システム工学科
教授 鈴木 隆起

1. 研究成果の概要

本研究では、下水処理工程における汚泥の脱水処理前状態において、提案する「ラインミキサーと真空浮上技術を統合した脱水システム」により、現在の水分含水率約80%の状態から、75～70%程度へと低減させる（これにより、脱水後の汚泥焼却における大幅な補助燃料の削減と費用削減が可能となる）ことを目的とした、システムの検証とその可能性の確認を実施した。

その結果、以下のことを明らかにした。

- （１）汚泥を流動させる前の内部流動の基本特性として、水単相流と気体が混在する場合、ラインミキサー通過後は気液二相流の複雑流動状態となった。
- （２）ラインミキサー通過後の気液二相流については、気相体積流束よりも液相体積流束に強く依存し、主に４つのパターンになることが明らかになった。
- （３）条件によっては、気体はマイクロバブル化し、効率的な浮上分離効果となる可能性が見い出せた。
- （４）汚泥を使用した浮上分離実験においては、ラインミキサーを用いることで、より細かな気泡が増加しており、浮上分離に効果的に作用する可能性が示唆された。
- （５）分離層の設置パターンは浮上分離効果に影響をおよぼすことが明らかになった。また、適切な条件においては安定的な汚泥の浮上分離が確認できた。

以上の結果により、当初の目的としていた75～70%への含水率低下に対しては、目視上可能である可能性を確認できた。

本成果をもとに、今後、定量的な評価を実施予定である。

2. 研究成果の学術的意義や社会的意義

【学術的意義】混相流分野への応用

・気液二相流の流動パターンのモデル化

これまで報告例がないラインミキサーを用いた場合の流動パターンのモデルとして、液相体積流束および気相体積流束に対して、4つの流動パターンに分類されることを解明した。また、ラインミキサーの形状を変更することで、異なる流動様式となる可能性が示唆され、学術的な検証が今後必要となることを示した。

・気相細分化技術の提示

駆動部（動力）を持たない静的なラインミキサーにより、気泡のマイクロバブル化を確認した。ラインミキサーは効率的な混合攪拌が可能であることから、汚泥に対しては混合攪拌と同時に、気泡のマイクロバブル化による浮上分離効率が格段に増加する可能性があることを示した。

【社会的意義】脱炭素とインフラ財政への貢献

・大幅なCO2排出量削減

含水率を80%から70～75%へ低減させる可能性を示すことができたことから、焼却時の効率が劇的に改善され、カーボンニュートラルに直結する可能性を示せた。

・自治体の維持管理費の圧縮

焼却時の補助燃料（重油・ガス等）の消費を抑え、さらに脱水・焼却後の容量削減により、運搬・処分コストに悩む自治体の財政負担の軽減に繋がる可能性を示せた。

・高い社会実装性（レトロフィット）

本システムにおいては、既存の下水処理ラインを大規模改修することなく、後付けで導入・高度化が可能なたため、迅速な社会普及が期待できることを示せた。

3. 研究開始当初の背景

【現状】下水汚泥処理における「80%の壁」

- ・ 水分含有量の停滞：

現在の下水処理プロセスにおける脱水後の汚泥は、水分が約80%を占める泥状のままであり、これ以上の低減が技術的な限界となっていた。

- ・ 高濃度懸濁液の制御困難

汚泥は粘性が高く不均一な流体であるため、効率的な固液分離（水と固形分の分離）をインラインで高速に行う手法が確立されていなかった。

【課題】膨大なエネルギー消費とコストの増大

- ・ 焼却時の過大な熱量消費

水分を多く含んだ汚泥を焼却処分するためには、水分を蒸発させるための膨大な補助燃料（重油や都市ガス）が必要であった。

- ・ 自治体の財政圧迫と環境負荷

燃料費の高騰が地方自治体の維持管理費を逼迫させており、同時に多量のCO2排出がカーボンニュートラル（脱炭素）推進の大きな障壁となっていた。

4. 研究の目的

【着眼点】ラインミキサーと真空浮上の統合

- ・「あと10%」を下げるブレイクスルーの模索含水率を75～70%にまで下げることができれば、焼却エネルギーを劇的に削減できることに着目。
- ・動力を使わずに微細気泡を作る「ラインミキサー」と、浮上を加速させる「真空浮上技術」を統合し、低コストかつ高効率に汚泥の水分を絞り出す新たなシステムの開発・検証へと至った。

【目的】新型脱水システムの検証と可能性の確認

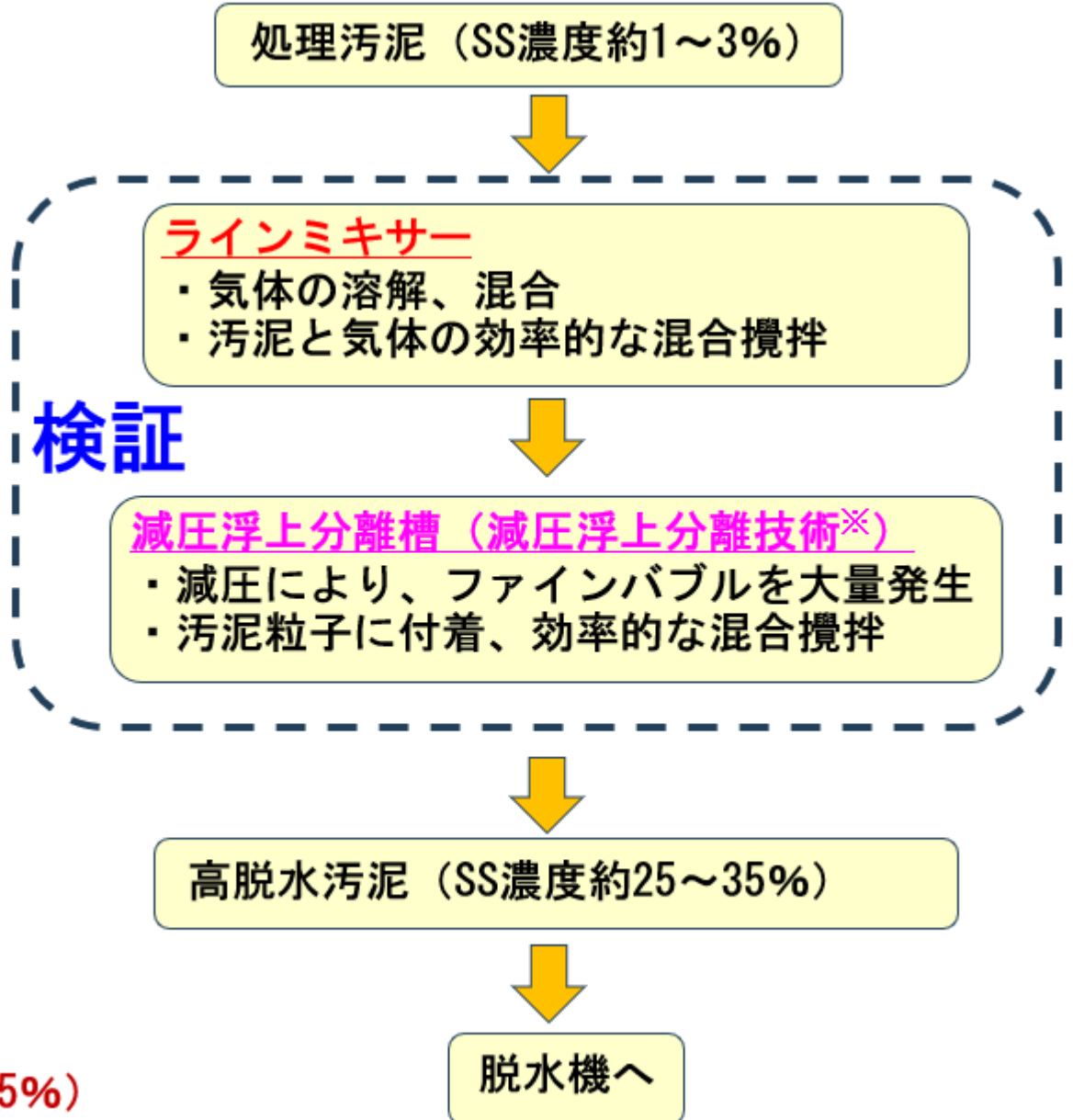
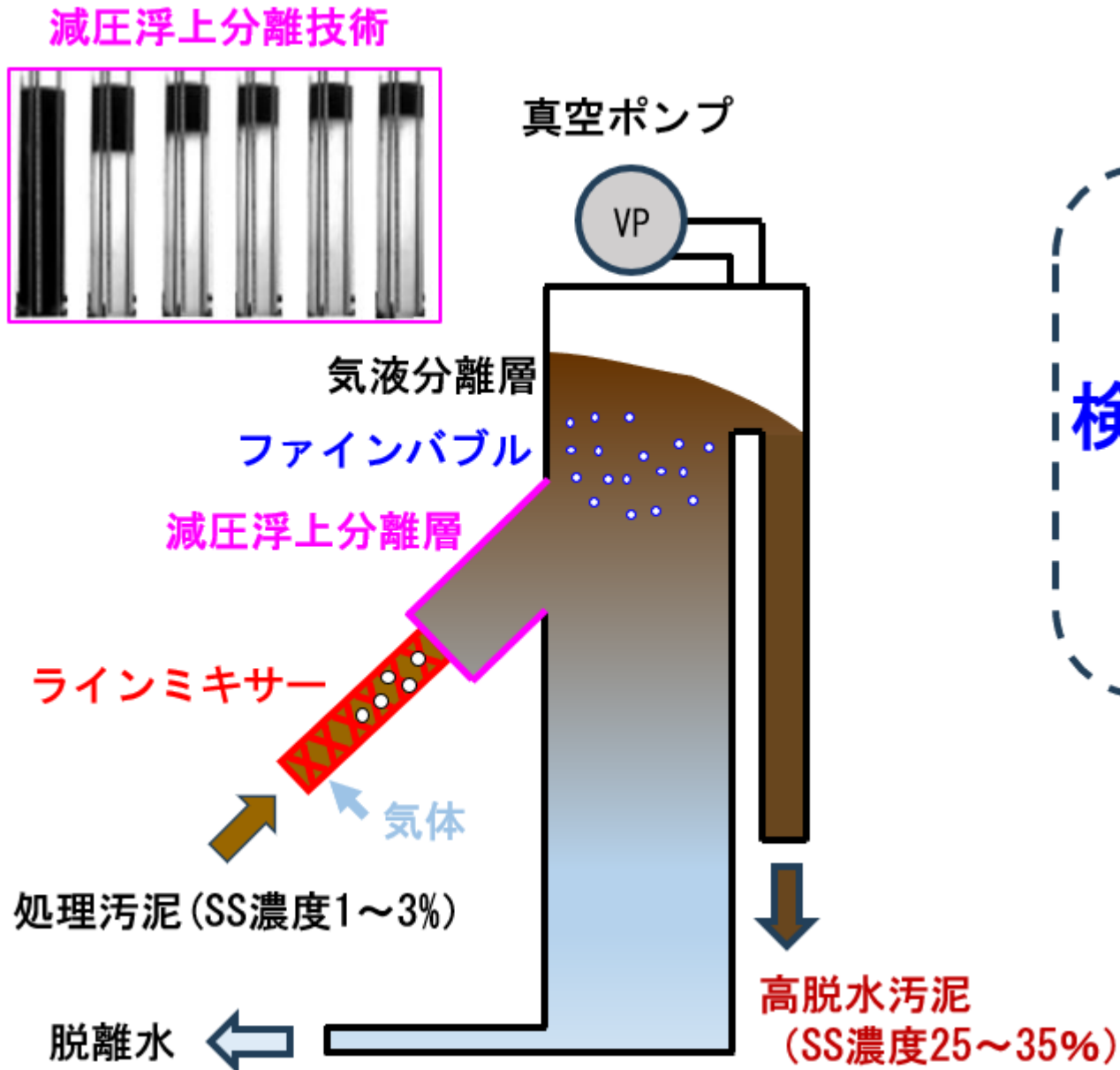
（１）液単相流におけるラインミキサー一部の流動状況の解明

ラインミキサー一部の基本特性を把握するために、単相流において、液相流束と気相流束を変化させることで、旋回長さ、圧力損失および、流動パターンの調査を実施する。

（２）汚泥を用いた分離実験

実際に下水処理場から汚泥を採取し、提案するシステムにおいて、浮上分離試験を実施し、目標とする含水率（75～70%）へ低減可能かを検討する。

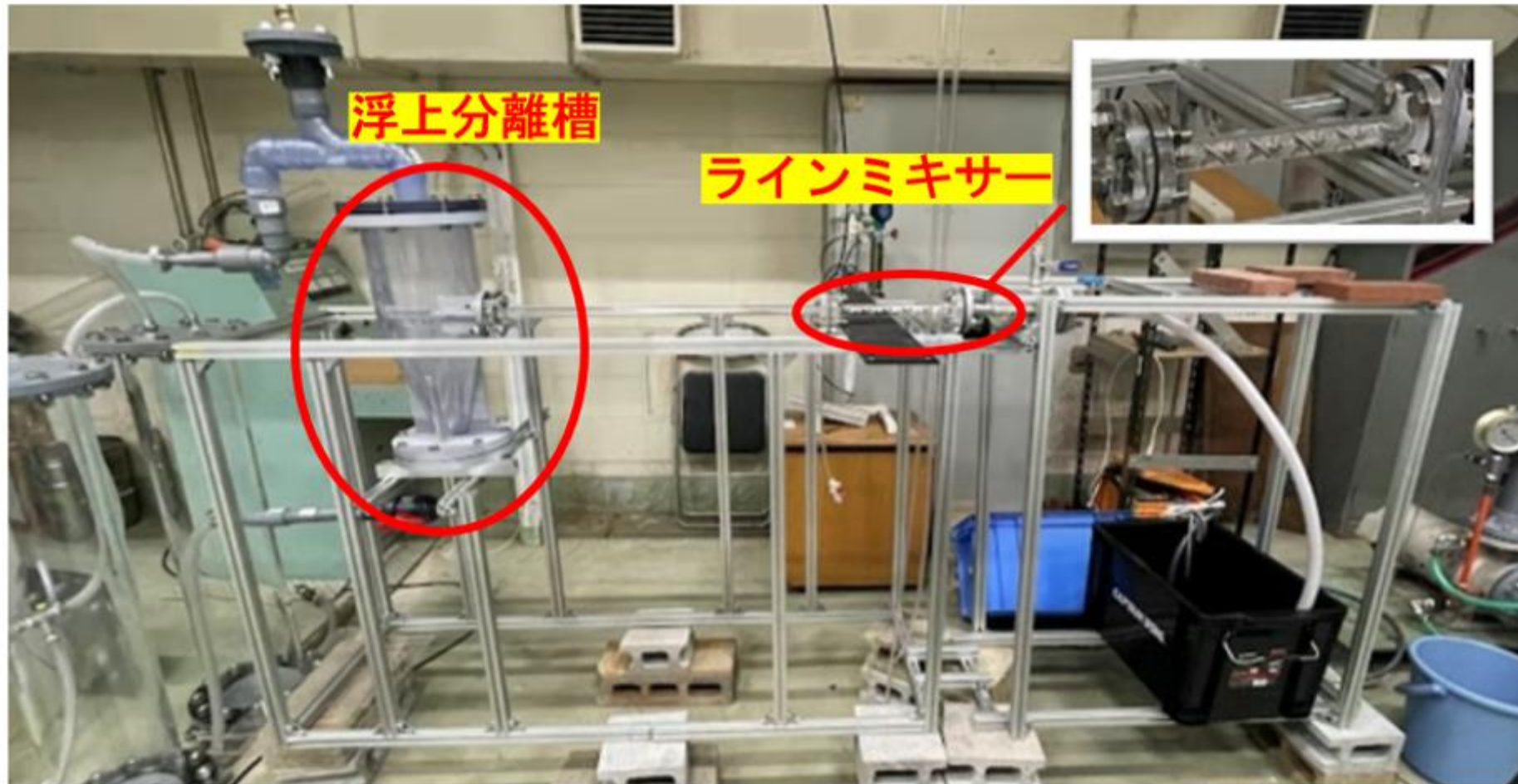
5. 研究の方法



6. 研究成果



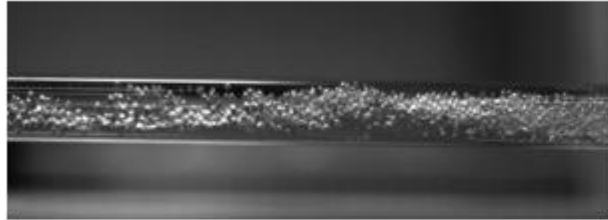
大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe



実験装置全体の外観

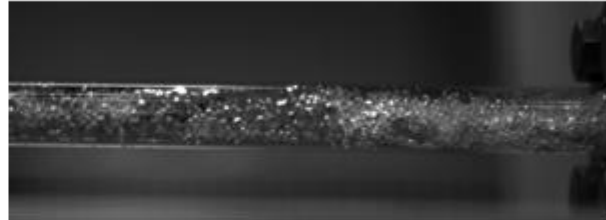
6. 研究成果

(1) 液単相流におけるラインミキサー部の流動状況の解明



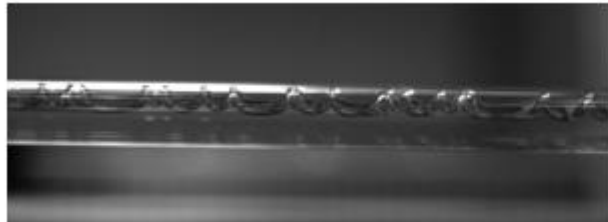
(a) Flow pattern A.

$J_L = 1.5 \text{ [m/s]}$, $J_G = 0.2 \text{ [m/s]}$



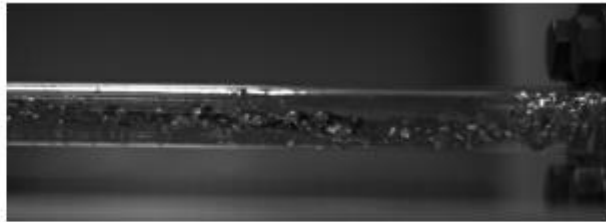
(b) Flow pattern B.

$J_L = 1.0 \text{ [m/s]}$, $J_G = 1.0 \text{ [m/s]}$



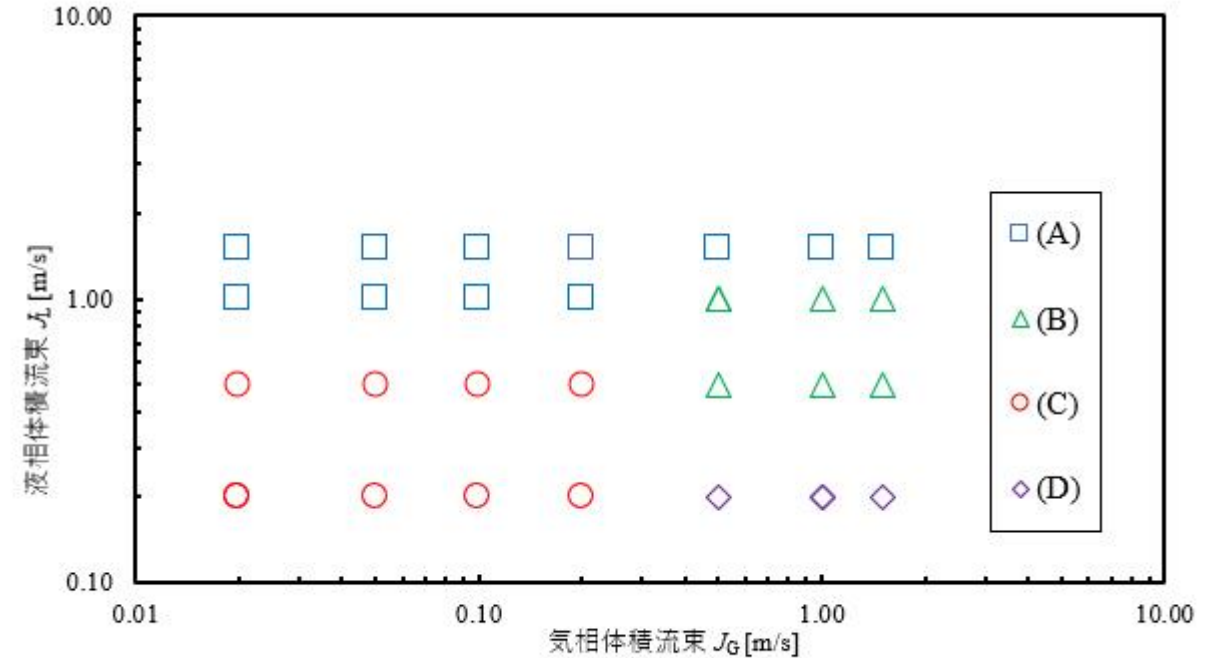
(c) Flow pattern C.

$J_L = 0.2 \text{ [m/s]}$, $J_G = 0.05 \text{ [m/s]}$



(d) Flow pattern D.

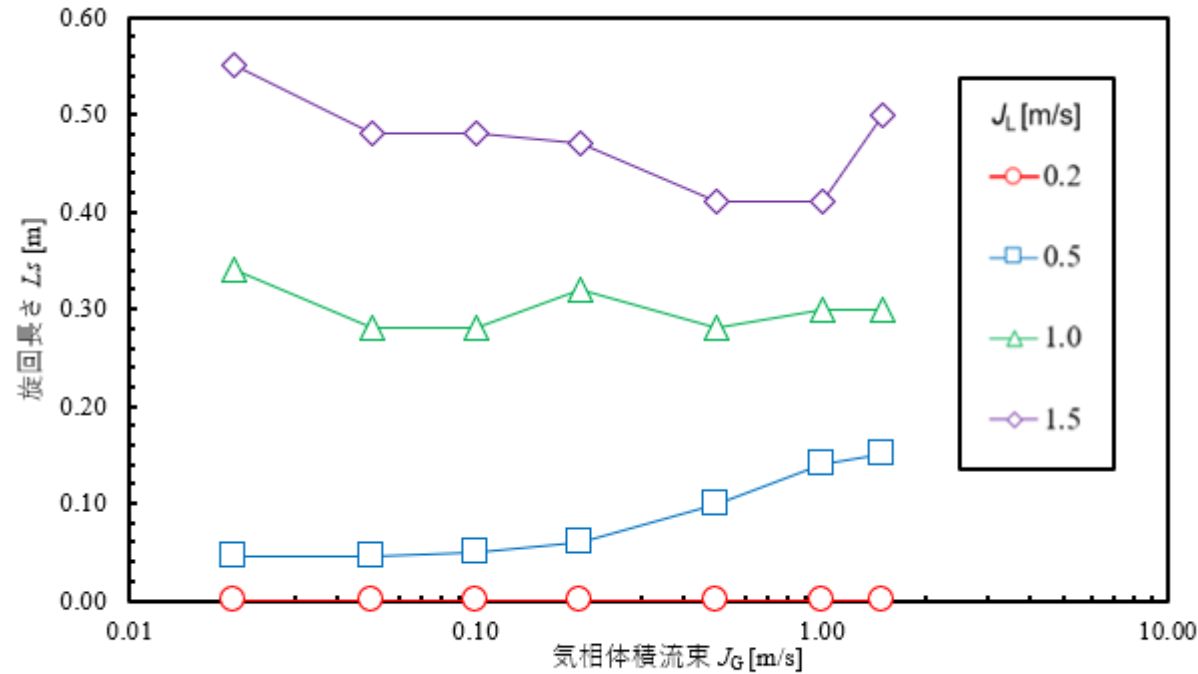
$J_L = 0.2 \text{ [m/s]}$, $J_G = 1.0 \text{ [m/s]}$



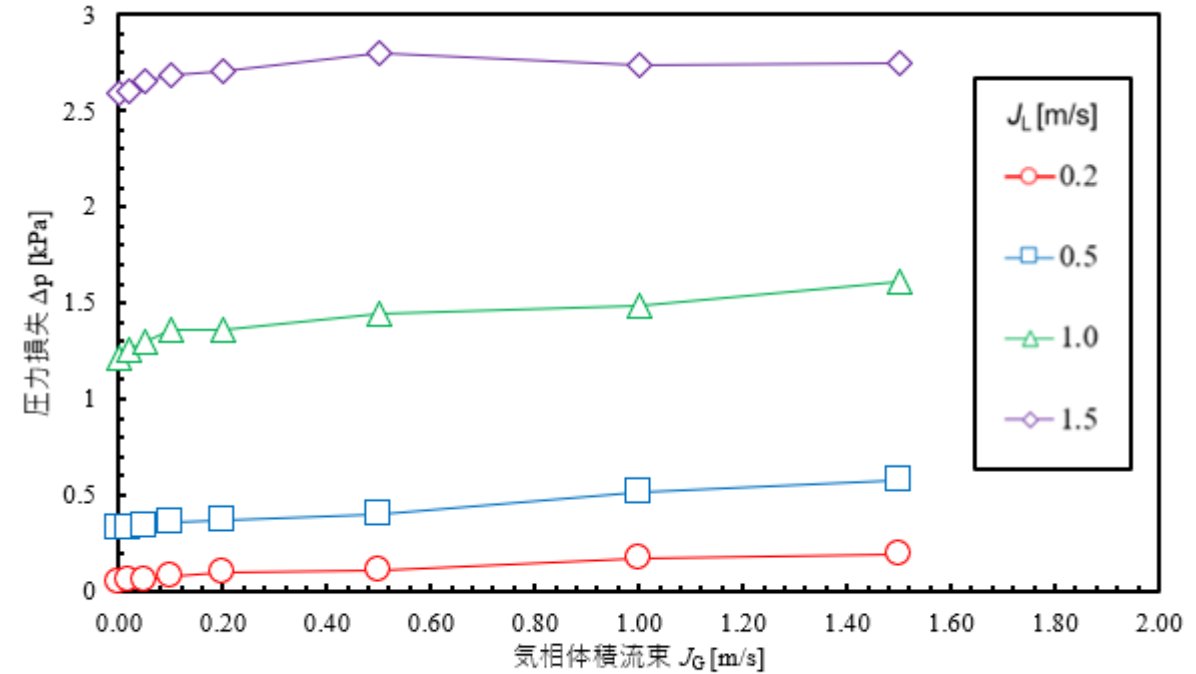
⇒ラインミキサー通過後は、液相・気相体積流束に対して4つの流動パターンに分類されることを解明した
汚泥を用いる場合は、混合攪拌や気泡の状態からAもしくはBのパターンが最適と考えられる

6. 研究成果

(1) 液単相流におけるラインミキサー部の流動状況の解明



(a) 旋回長さ



(b) 圧力損失

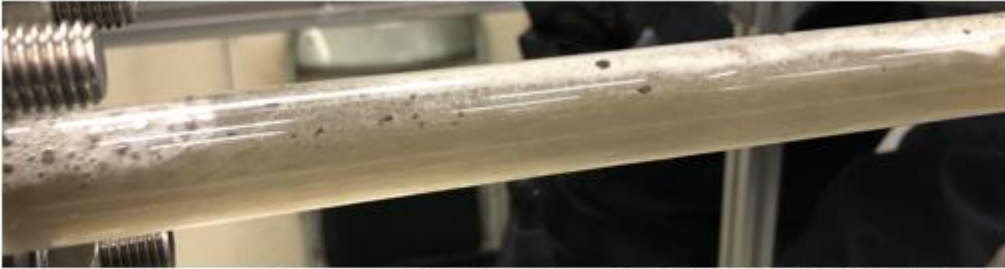
⇒気液二相流の基本特性として旋回長さや圧力損失の関係性を明確にした。
本システムの最適設計のために利用可能

6. 研究成果

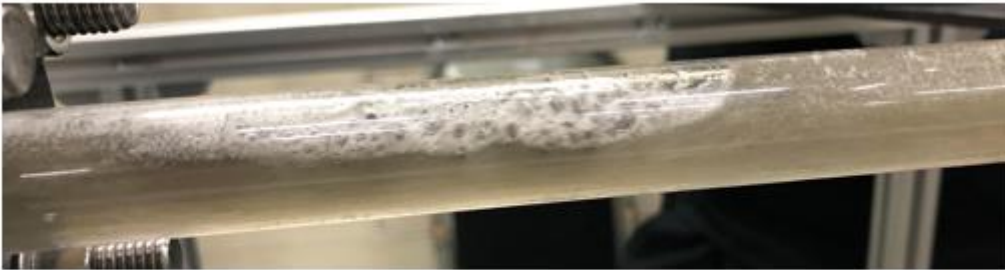


大学発アーバンイノベーション神戸
University's Urban Innovation Kobe

(2) 汚泥を用いた分離実験



ラインミキサーあり（気泡は細分化傾向）



ラインミキサーなし（上部に大きな気泡群）



不良



良好

分離の様子（槽形状の影響）

- ・発生する気泡はラインミキサー有無により異なり、ある場合は、細分化傾向であった
- ・浮上分離は流動条件や槽形状によって異なったものの、良好な浮上分離を確認できた

⇒定量的には評価できなかったものの、目視上目標となる浮上分離が可能となる可能性が高い
(今後、定量的に検証していく)

- (1) 国土交通省 水管理・高度保全局 下水道部, 2050年カーボンニュートラル実現に向けた 最近の動向と下水道事業における取組, 8-9,令和3年6月.
- (2) 大隈ほか, 湿潤バイオマスの発酵乾燥・エネルギー自立炭化プロセスの開発 (I)下水汚泥の発酵乾燥, 94(12), 1414-1421,2015.
- (3) 鈴木ほか, 活性汚泥の給泥前減圧浮上濃縮法に関する研究, 混相流, 31(3), 292-298, 2017.
- (4) Taitel,Y.,Lee,N.and Duklar.A.E.,AIChE J.,24(1978), 920-934.
- (5) 大津紀人, スタティックミキサー通過後の水平円管内気液二相流の流動様式に関する研究, ポスター発表, 日本混相流学会, 2025年9月3-5日.
- (6) 神戸の下水道 (<https://www.city.kobe.lg.jp/a78445/kurashi/sumai/sewage/shikumi/index.html>)