

深紫外LED流水殺菌装置の 殺菌性能シミュレーション

○岡村実奈¹，市川俊輔²，末原 憲一郎^{3,4}，橋本篤⁵，三宅秀人^{3,6}

¹三重大学 地域創生戦略企画室

²三重大学 教育学部 生物資源学研究科

³三重大学 大学院地域イノベーション学研究科

⁴三重大学 生物資源研究科

⁵三重大学 大学院生物資源学研究科

⁶三重大学 工学部電気電子工学科

発表内容

1. 三重大学における
「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の取り組み
2. 深紫外LEDによる流水殺菌装置の特徴
3. 評価システムの概要
4. 解析事例
5. まとめ

発表内容

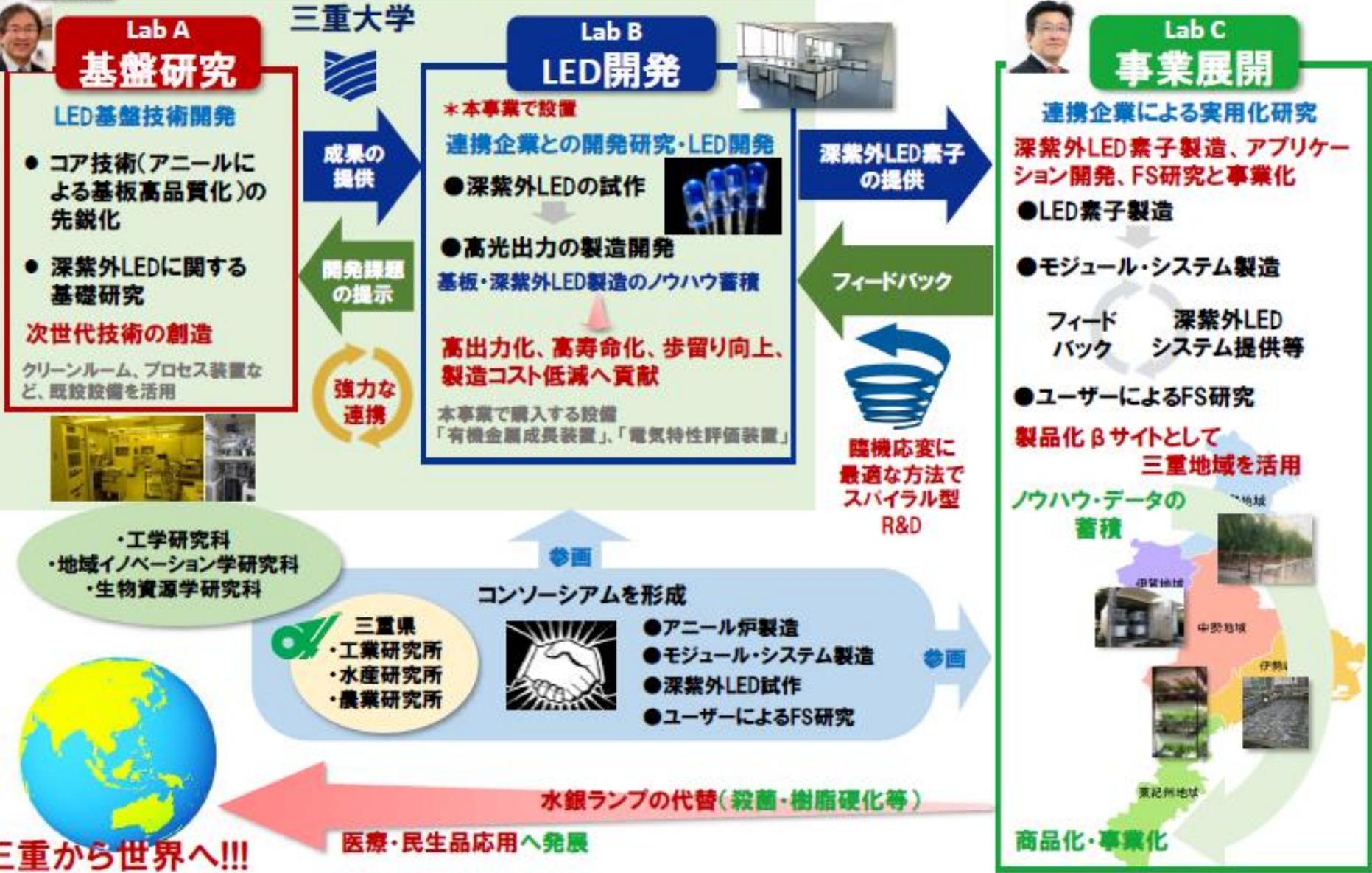
1. 三重大学における
「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の取り組み
2. 深紫外LEDによる流水殺菌装置の特徴
3. 評価システムの概要
4. 解析事例
5. まとめ

地域創生を本気で具現化するための応用展開
『深紫外LEDで創生される産業連鎖プロジェクト』



プロジェクトを遂行する「スパイラル型R&D体制」と「アクセラレーター方式」

研究成果の顕在化促進を実現するために、基礎研究を行う「Lab A(基盤研究)」、開発研究を行う「Lab B(LED開発(三重大学内に設置))」、連携企業での実用化研究を行う「Lab C(製品化βサイト)」を同時に立ち上げ、連動させる「スパイラル型R&D体制」を構築する。この挑戦は、臨機応変に最大速度で地域イノベーション・エコシステムを遂行するためのモデル(アクセラレーター方式)になると考えている。



発表内容

1. 三重大学における
「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の取り組み
2. 深紫外LEDによる流水殺菌装置の特徴
3. 評価システムの概要
4. 解析事例
5. まとめ

(参考)なぜ深紫外LEDが注目されるのか？

2017年8月16日に発効した水俣条約は、水銀のライフサイクル全体を規制し、世界各国が水銀の使用量や排出量を減らし、健康や環境へのリスク削減を推進している。我が国においても水銀を含む製品の製造や輸出入が2020年までに原則禁止される。既存の紫外線光源となっている水銀ランプを代替技術として環境負荷の低い高効率・長寿命な深紫外LEDの普及が望まれている。

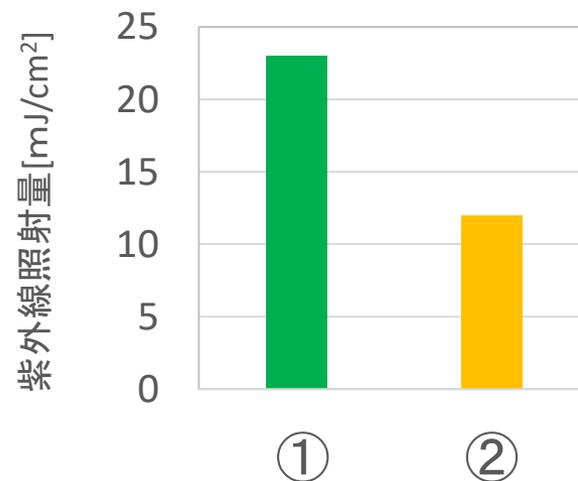
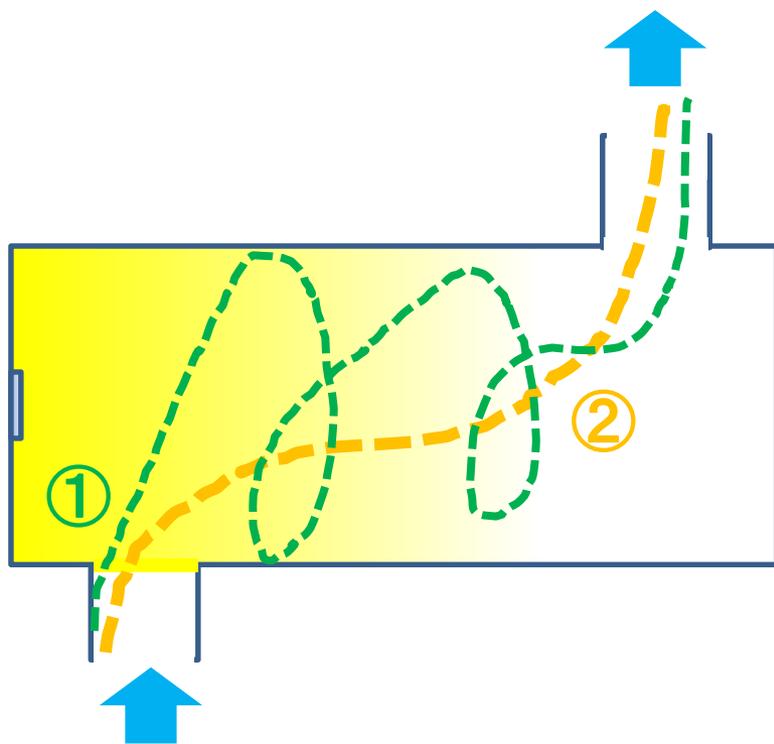
深紫外LEDと水銀ランプの比較

	深紫外LED	水銀ランプ
寿命	10,000 – 50,000 時間	2,000 – 10,000時間
重金属の使用	なし	水銀(20 – 200mg)
消費電力	小さい	大きい
点灯までのウォームアップ時間	ほぼゼロ	10 – 20分間
ランプからの発熱	小さい	大きい
光波長の取出	単一波長を選択肢して取出が可能	複数波長が混じって点灯

水銀灯に代わる殺菌灯として期待大

そもそも流水殺菌装置の評価は難しい・・・

$$\text{紫外線照射量} = \text{紫外線強度} \times \text{照射時間}$$



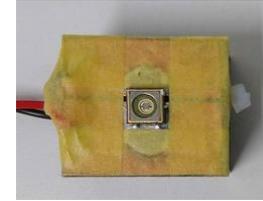
①と②の菌では受ける紫外線照射量が異なる

深紫外LEDの流水殺菌装置では・・・

水銀ランプ



LEDの特性として・・・



非常に小型（出力が小さい）
→ デザイン性が高い

$$\text{紫外線照射量} = \text{紫外線強度} \times \text{照射時間}$$

配光特性があり、点光源とみなせるLEDを用いることは、その配置のバリエーションが多く考えられ、より複雑に

流体解析と光学解析の連携により性能の事前評価をめざす

発表内容

1. 三重大学における
「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の取り組み
2. 深紫外LEDによる流水殺菌装置の特徴
3. 評価システムの概要
4. 解析事例
5. まとめ

連成解析のフロー

3Dモデル作成

- 装置の形状

流体解析

流速分布

- 流量
- 液体の粘性
- 装置壁面の特性

光学解析

照度分布

- LEDの出力
- LEDの配光特性
- LEDの数と配置
- 透過率
- 壁面での反射率

数値解析

殺菌実験

殺菌効率の評価

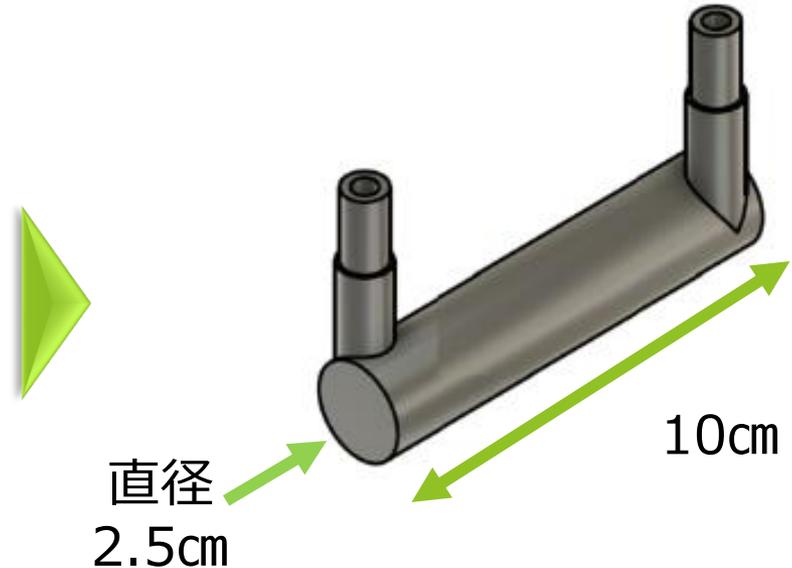
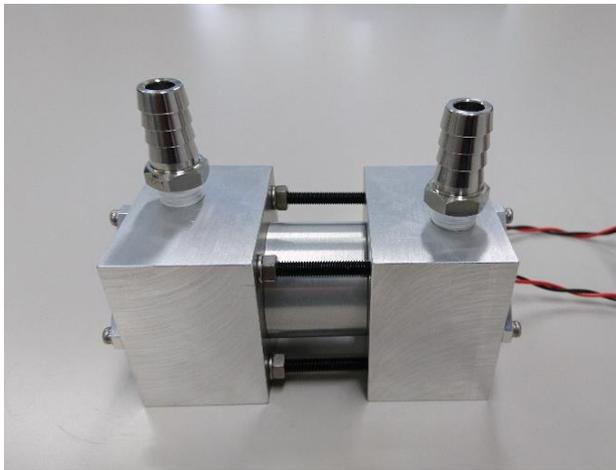
- 対象とする菌

3Dモデルの作成

流体・光学解析のため3DモデルをCADで作成

(Fusion 360 使用)

LED殺菌ユニット

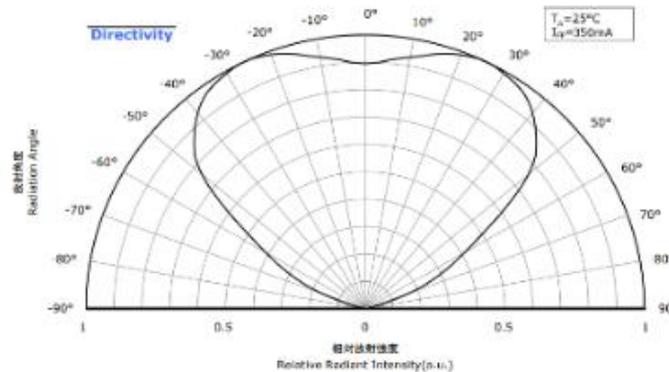


パラメータ

・装置の形状

光学解析

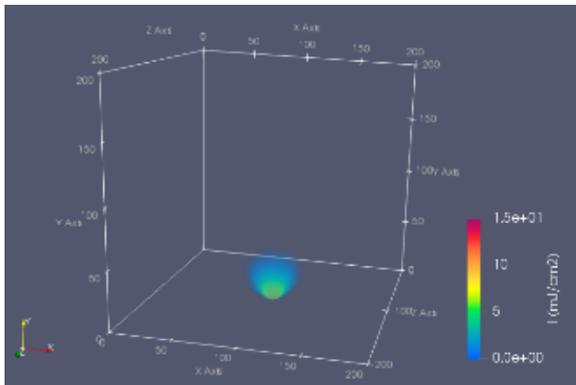
使用したLED (NICHIA/278nm/55mW) とその配光特性



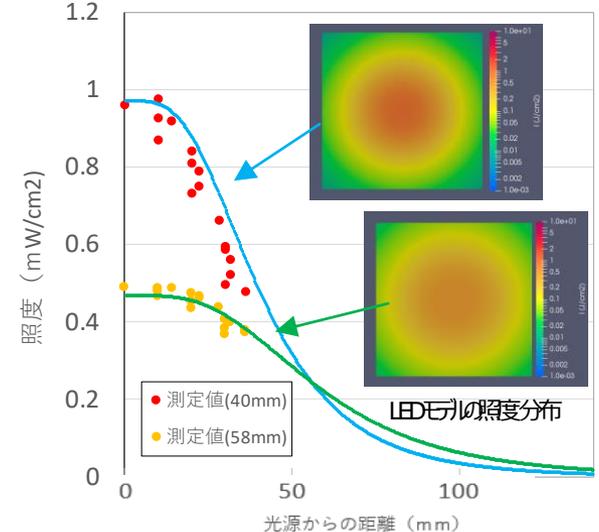
パラメータ

- ・出力
- ・波長
- ・配光特性

単一LEDの照度分布をモデル化



測定値とモデルによる計算値の比較

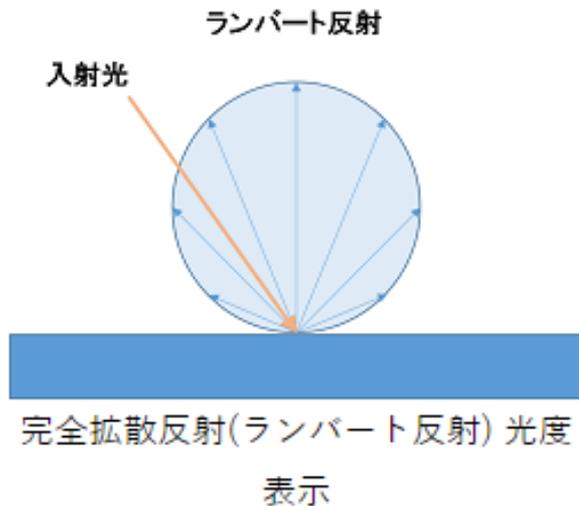


3Dモデルにおける直射光と反射光を考慮した 照度分布の作成

今回の装置はフッ素樹脂壁面

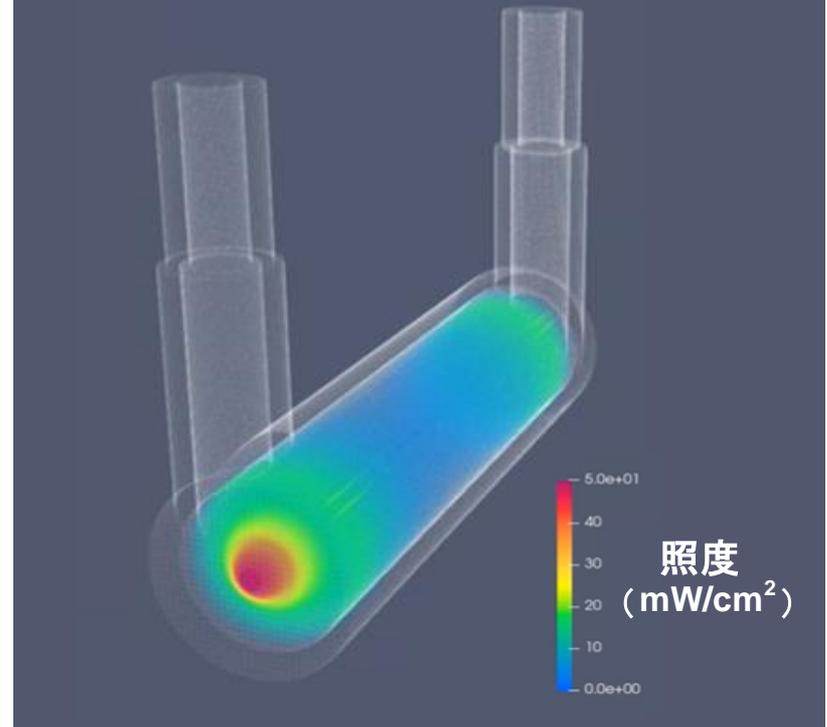


完全拡散反射(ランバート反射)



<https://www.systems-eng.co.jp/column/column03.html>

照度分布

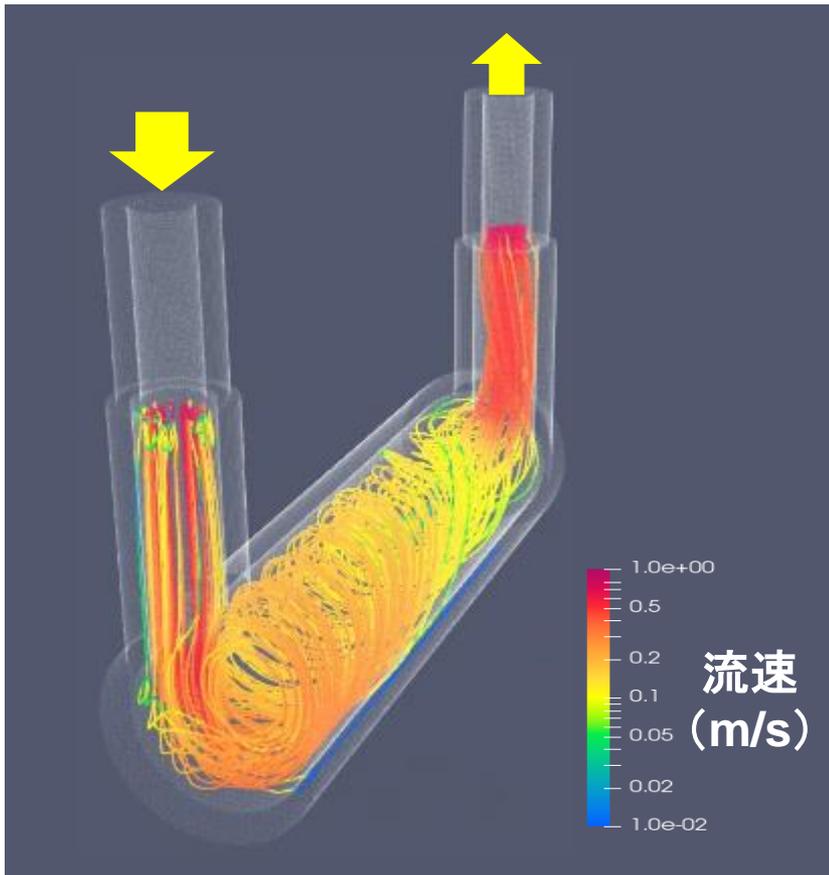


パラメータ

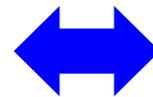
- 配置個数とその位置
- 流体の紫外線波長における透過率
- 壁面での反射率

流体解析

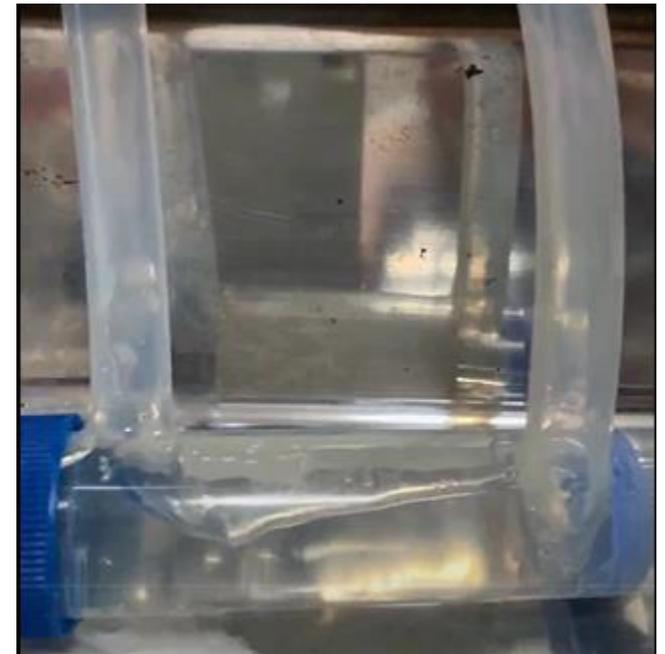
流体解析ソフト・PHOENICS を用いて装置内の水の
流れについて流体解析を行い、流速分布を作成



流れの様子（流量 2L/min）



流れの可視化



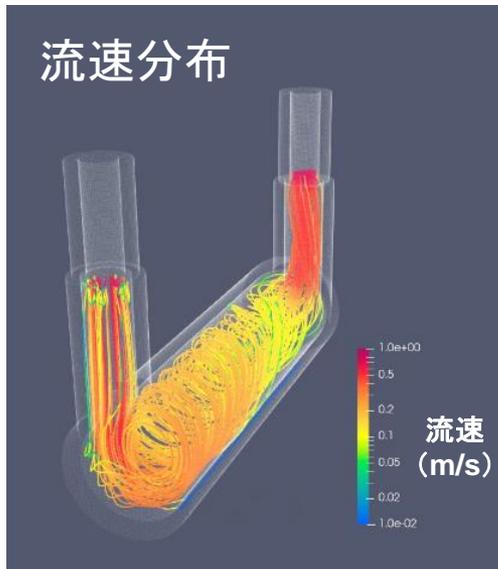
提供：三重大学 八神寿徳准教授

パラメータ・流量

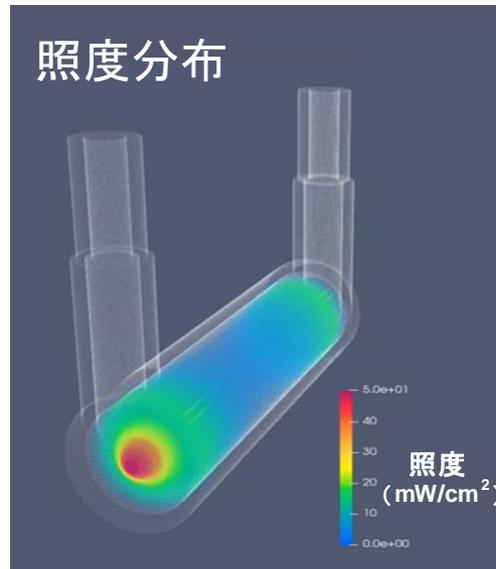
紫外線照射量の解析・評価

流体解析の結果として得られる流線に沿って対象微生物が流れていると仮定し、照度分布から微生物が装置内を通過する間にどれだけ紫外線が照射されるかを計算

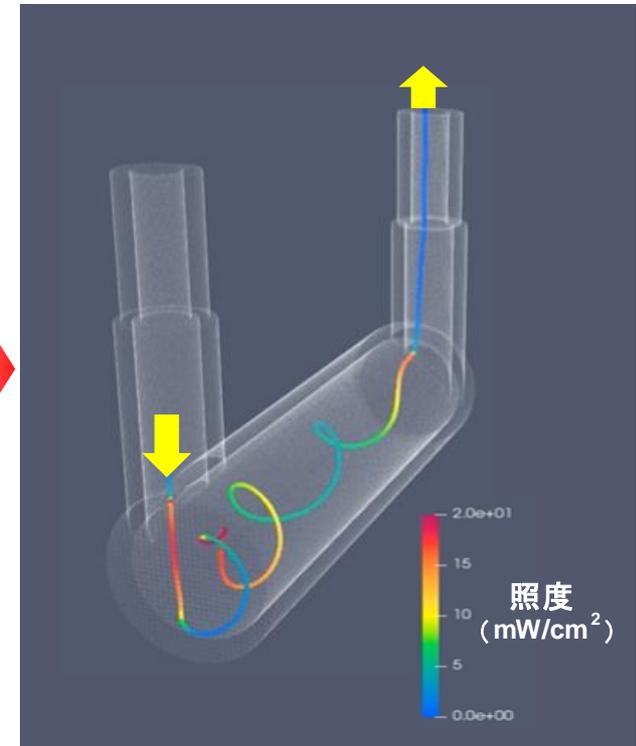
流体解析



光学解析

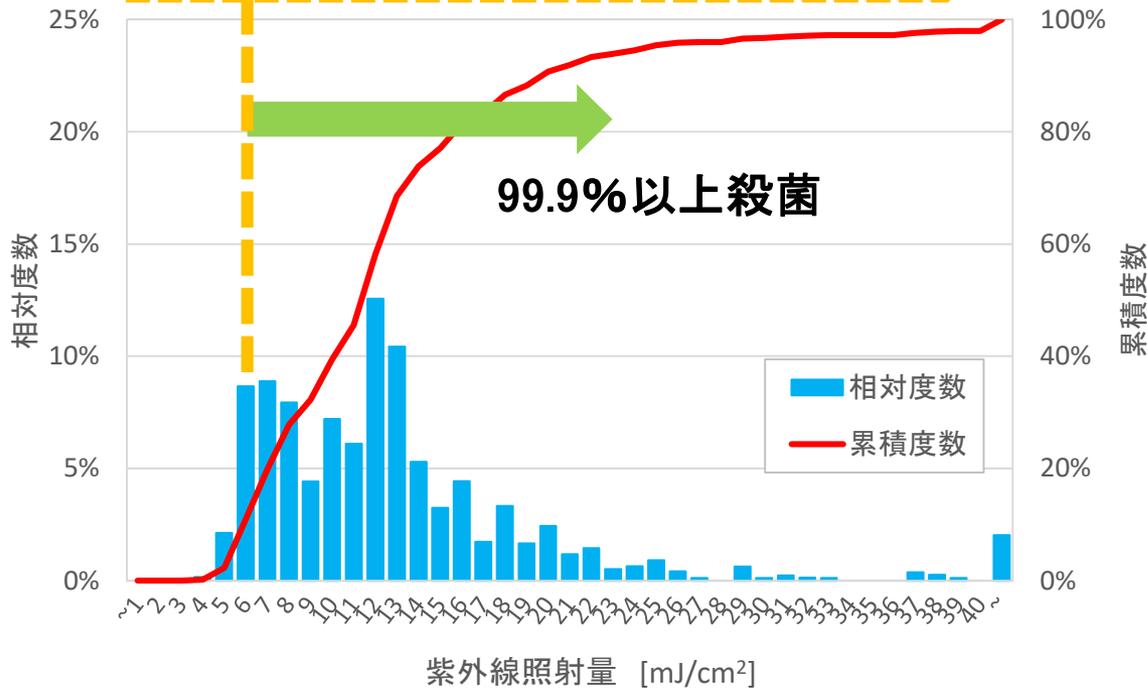


流線の一例
(流線の色は照度)

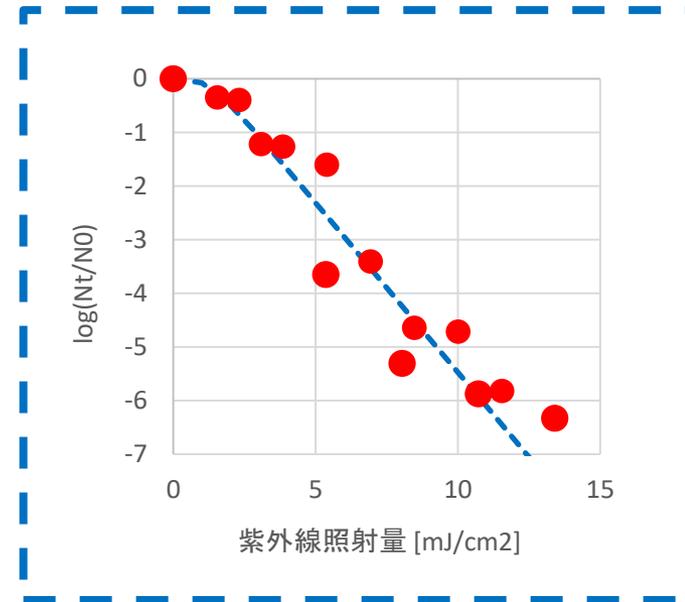


1本1本の流線について紫外線照射量を計算し、ヒストグラムに。
対象とする菌を用いた殺菌実験より得られた不活化係数を用いて
殺菌効率を評価

大腸菌が99.9%殺菌される
紫外線照射量：6.1mJ/cm²



菌の紫外線照射量に対する生残率



パラメータを変更して検討が可能

発表内容

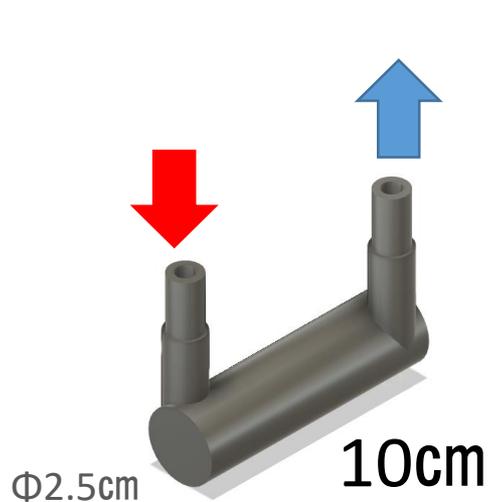
1. 三重大学における
「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の取り組み
2. 深紫外LEDによる流水殺菌装置の特徴
3. 評価システムの概要
4. 解析事例
5. まとめ

管径はそのままに、本体を2倍の長さに

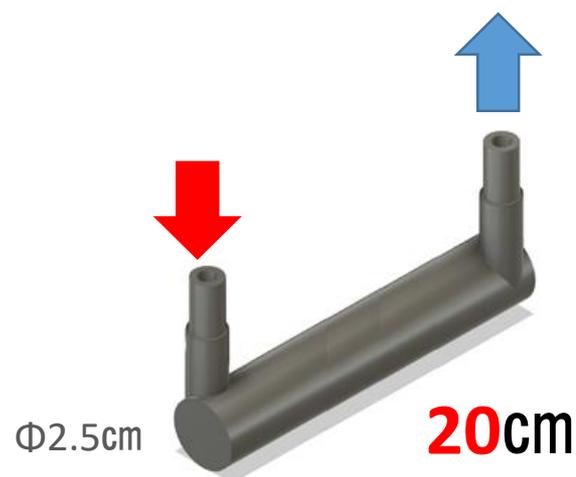
●殺菌対象・・・大腸菌（培地除去のPBS）

●流量・・・2 L/min

●搭載LED・・・NICHIA 278nm / 55 mW



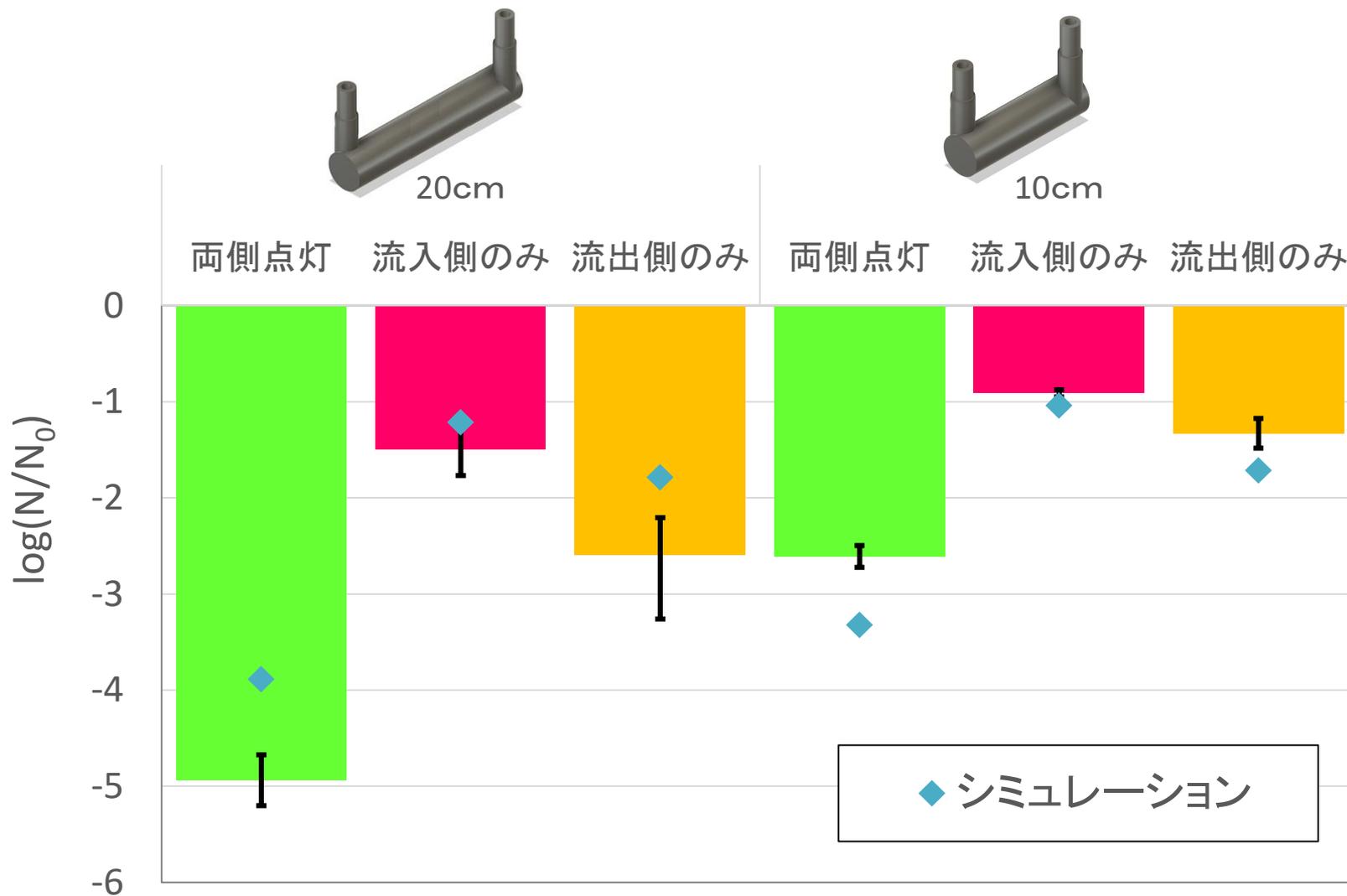
LED × 1 両側点灯
流入側のみ
流出側のみ



LED × 1 両側点灯
流入側のみ
流出側のみ

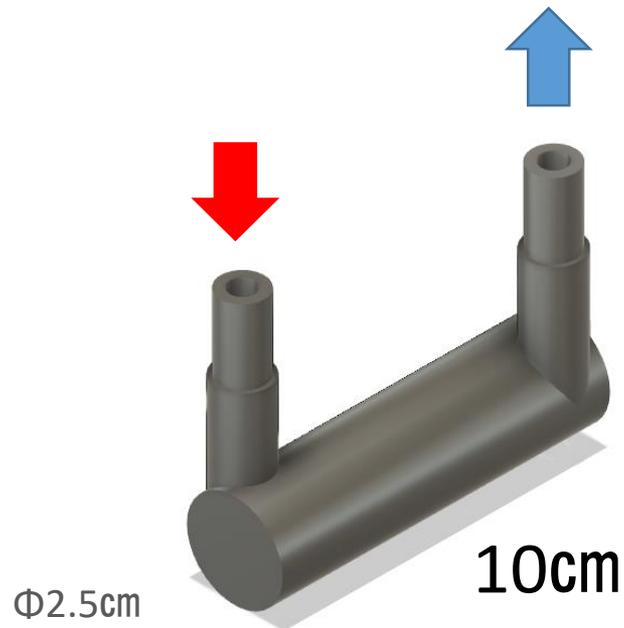
実験とシミュレーションの結果

2L/min における大腸菌の殺菌効率



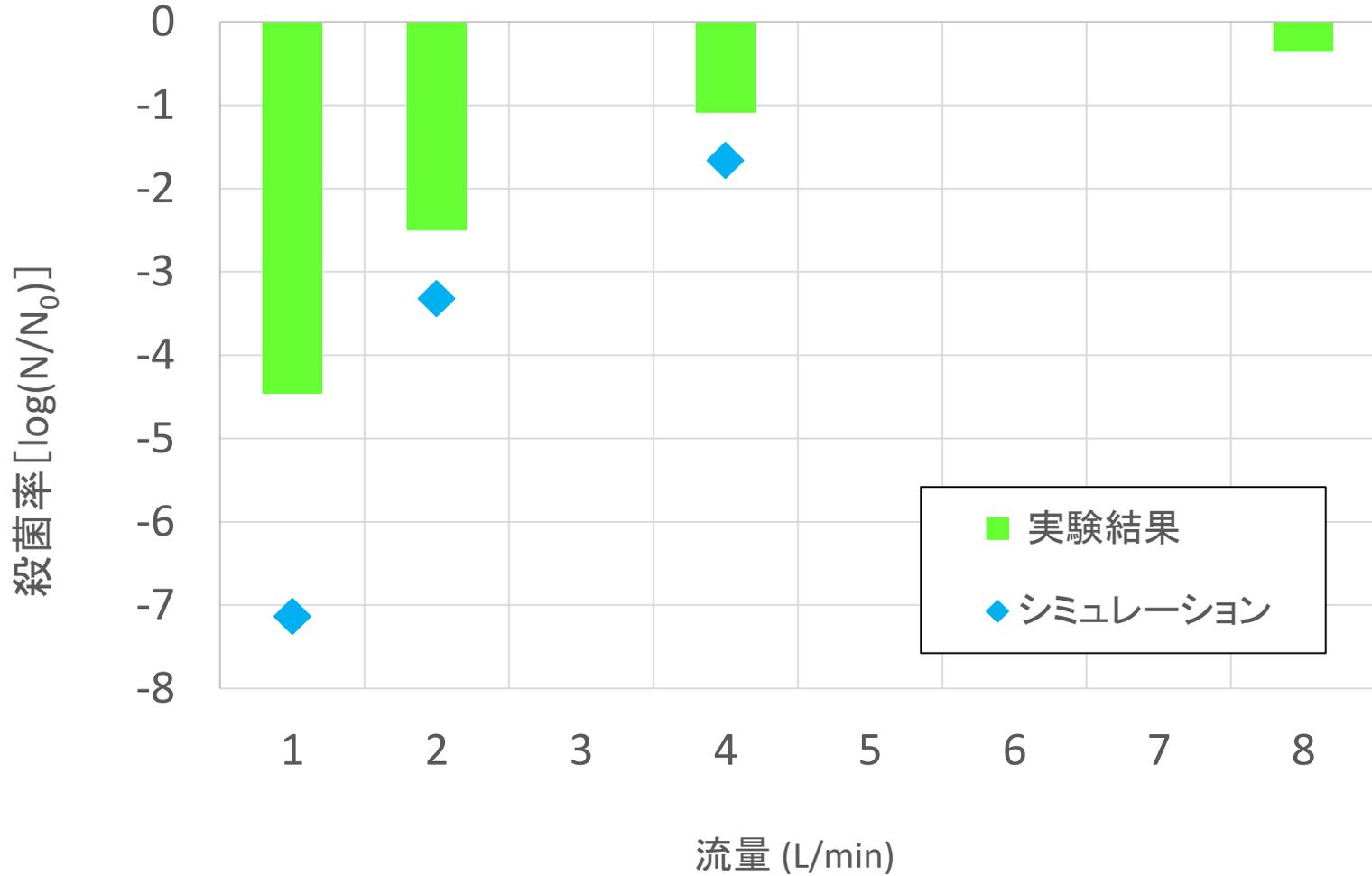
流量を変えて

- 殺菌対象・・・大腸菌（培地除去のPBS）
- 流量・・・1, 2, 4, 10 L/min
- 搭載LED・・・NICHIA 278nm / 55 mWの LED×1 両側点灯



実験とシミュレーションの結果

流量による殺菌率の変化



発表内容

1. 三重大学における
「地域イノベーション・エコシステム形成プログラム」の取り組み
2. 深紫外LEDによる流水殺菌装置の特徴
3. 評価システムの概要
4. 解析事例
5. まとめ

まとめ

- ・ 流体解析ソフト・PHOENICSを用いた流体解析と光学解析を連成し、深紫外LED流水殺菌装置試作機の流れの様子を分析、殺菌性能をシミュレーションした。
- ・ 本体形状や流量などのパラメータを変えてシミュレーションを行ったところ、実験結果と概ね一致する傾向を得られた。