



2023.2.22

厚生労働科学研究シンポジウム
「小規模水供給システム研究の進展」

小規模水供給施設に適した 消毒技術の検討

東京大学大学院工学系研究科 都市工学専攻

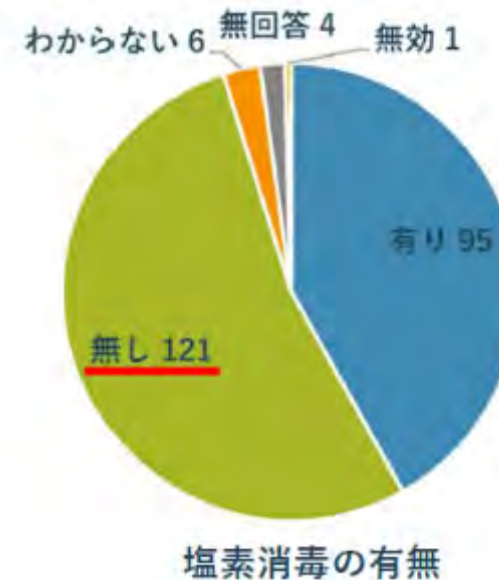
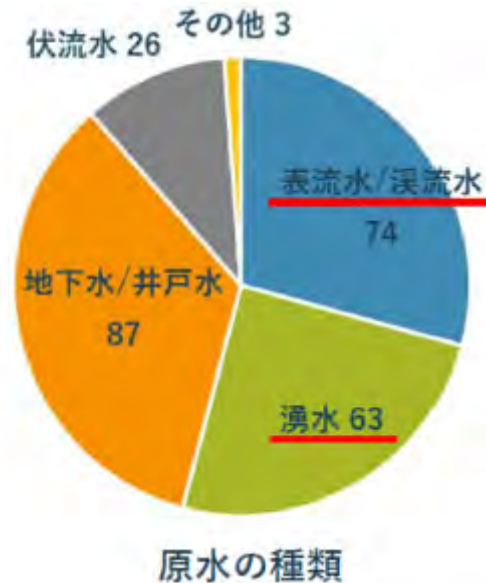
小熊 久美子

oguma@env.t.u-tokyo.ac.jp



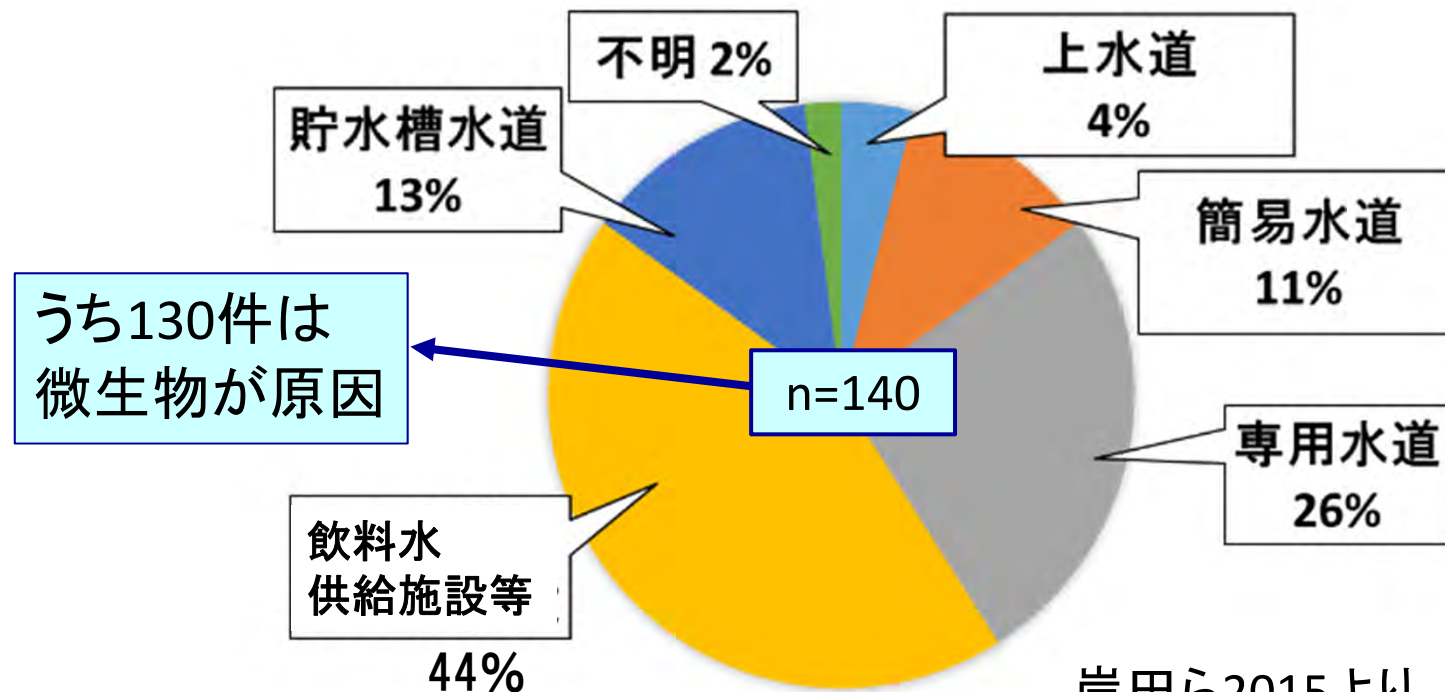
日本の小規模水供給施設の実態

西日本12 府県250集落におけるアンケート調査
(増田ら, 2020)



- ◆半数以上の集落が微生物汚染リスクの高い表流水や湧水を原水として利用
- ◆半数以上の集落が塩素消毒なし

日本で発生した飲み水による健康被害事例 の施設別うちわけ(1983-2012年)

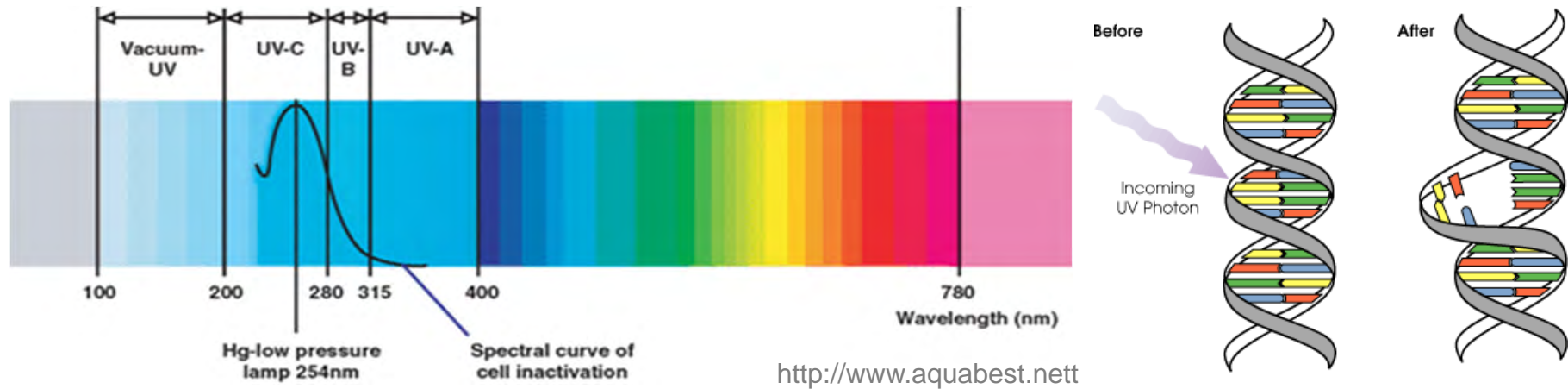


岸田ら2015より、改編

- 健康被害(死亡・発症・感染)の93%(130/140)は微生物が原因
- 被害の80%超は小規模/自己管理型の施設(専用水道、飲料水供給施設、貯水槽水道)で発生

→ 小規模な施設で使いやすい消毒技術が必要

紫外線消毒



- 有害な紫外線(主に220-300nm)を生物に照射し、遺伝子に損傷を与えることで、自己増殖能を奪う“不活化”技術
- 薬剤添加なし、味や臭いに影響なし、残留性なし、有害な消毒副生成物なし(塩素消毒と対照的)
- 幅広い微生物(ウイルス、細菌、原虫)に有効
- 塩素耐性が高い病原原虫クリプトスポリジウムに極めて有効
→国内外の浄水場で導入増加

紫外発光ダイオード

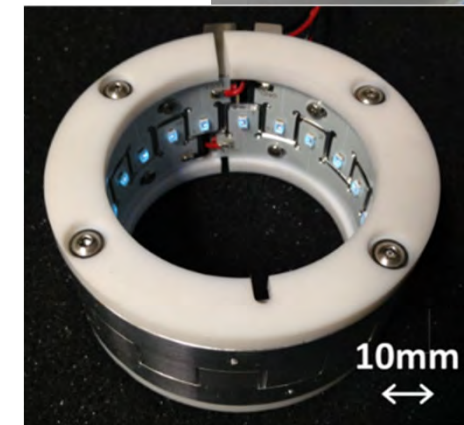
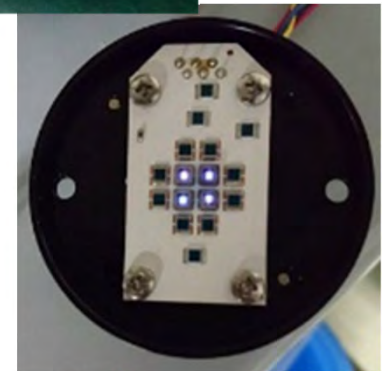
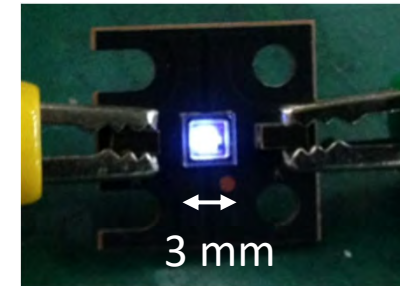
(UV Light-Emitting Diode, UV-LED)

水処理で「強み」となる特徴

- 無水銀
- 超小型
- 長寿命
- 装置設計の自由度大
- ウォームアップ不要



- ✓ 従来の水銀UVランプの置き換え需要
- ✓ 強みを生かした、“UV-LEDだからこそ”の用途展開が鍵

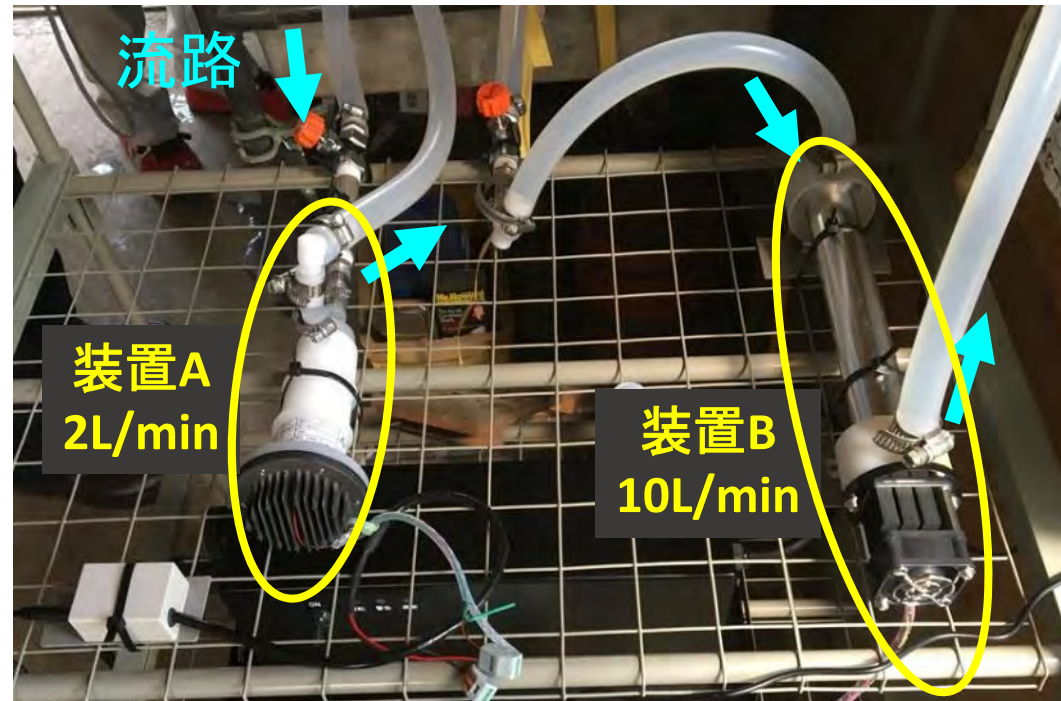


小規模水施設にUV-LEDを勧める理由

- ◆ 斜面や狭い敷地でも利用可能な**小型装置**が望ましい
- ◆ 飲料水供給施設等**給水人口100人以下**の施設→水道法の「水道事業」に該当しない→**塩素消毒は任意**(行政指導)
- ◆ 多くの利用者は現状で**塩素を使いたくない/使っていない**(味・臭いへの懸念、塩素補充の負担)
- ◆ 利用者自身(多くの場合高齢者)が自己責任で運転・維持・管理→**無水銀/薬品補充不要**は大きな強み
- ◆ 水需要量の日変動/季節変動が大きい→**オンデマンド運転**(こまめな点灯/消灯、出力調整)で省エネの可能性
- ◆ 点灯時間10,000時間(417日)の製品増、35,000時間(約4年)超の製品も登場→**実用に耐える寿命**(オンデマンド運転なら実質寿命はさらに長い)

給水栓規模での実証(2018/6月-2019/6月)

- 山間の**沢水を原水**とする給水栓でUV-LED装置2機種を並列運転
装置A: **2 L/min**
装置B: **10 L/min**
- 毎月2回(隔週)、原水、A処理水、B処理水を採水・分析(台風・停電による欠損3回を除く計21回)
- 微生物項目: 大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌(野生株)
- 物理化学項目: 濁度、色度、UV透過率、硬度、Fe、Mn、水温、pH、EC



- ◆ 大腸菌を散発的に検出、**常時飲用には消毒が必要**
- ◆ 装置A, Bともに処理水は菌数低下、**装置Bは年間を通じて大腸菌不検出を達成**

処理前後の細菌濃度/陽性率の変化

	原水		装置A処理水		装置B処理水	
	min-max (CFU/mL)	陽性率	min-max (CFU/mL)	陽性率	min-max (CFU/mL)	陽性率
大腸菌	0 - 1.5	19.0%	0 - 0.5	4.8%	0	0.0%
大腸菌群	0 - 2.5	38.1%	0 - 0.5	9.5%	0 - 1.0	4.8%
一般細菌	0 - 15.5	90.5%	0 - 6.0	66.7%	0 - 2.5	52.4%
従属栄養細菌	30.5 - 2650	100.0%	3 - 485	100.0%	0 - 82	81.0%

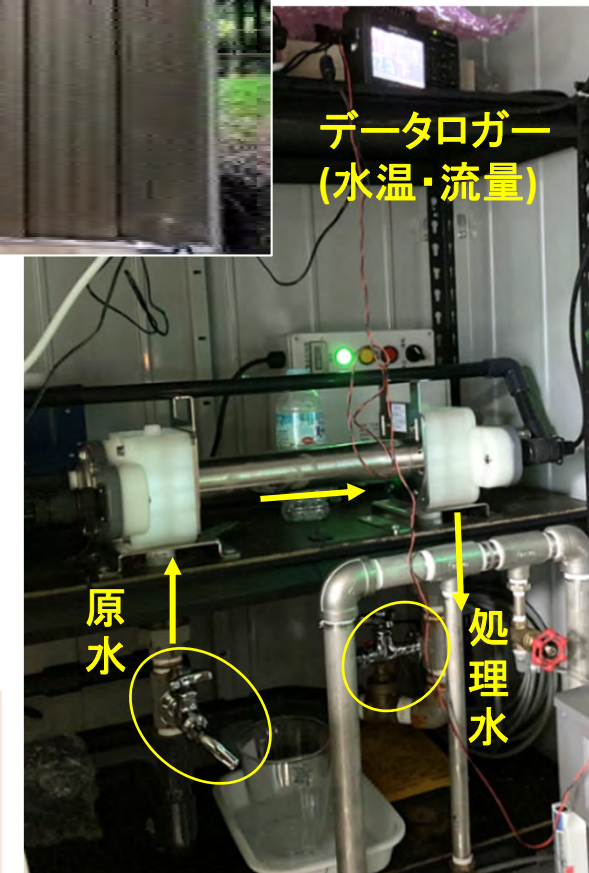
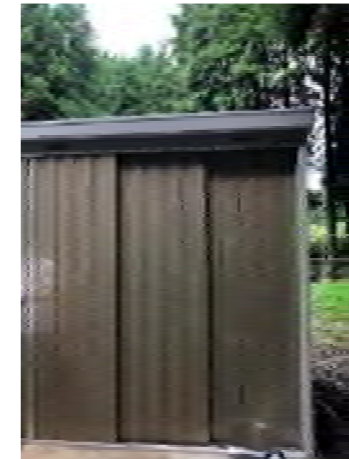
(測定21回) 小熊と渡邊, 水環境学会誌 43(4), 119-126, 2020

- ◆ 原水は突発的に大腸菌陽性の場合や従属栄養細菌が目標値を超過する場合あり→**リスク対策として飲用には消毒が望ましい**
- ◆ 装置A,Bいずれの処理でも総じて細菌濃度と陽性率が低下、装置Bは**年間を通じて処理水中の大腸菌不検出を達成**

適切な紫外線装置を選定し**分散型の消毒を行う**ことで
水の微生物学的な安全性を高められる

集落規模の水供給施設(2020/8月～2022/7月)

- 民営の簡易水道事業として**住民主体(水道組合)**で運営・管理(S25年～)
- 2020年に簡易水道から飲料水供給施設に認可変更
- 給水人口:31戸(1950年), 22戸102名(1994年), 65名(2015年), 21戸50名(2017年), 18戸44名(2022年) 30年で人口57%減
- 原水は山間の湧水
- 前処理なく原水を直接UV-LED装置で処理(30L/min)
- UV-LED処理前後を隔週で月2回採水、途中渇水で2度中断, 全34回
 - ◆ 2年間にわたり良好な性能を維持(処理後は1回(0.5/100mL)を除き大腸菌不検出)
 - ◆ 住民・行政にデータを還元
 - ◆ 市内の集落水道**3施設で稼働中**(塩素併用)

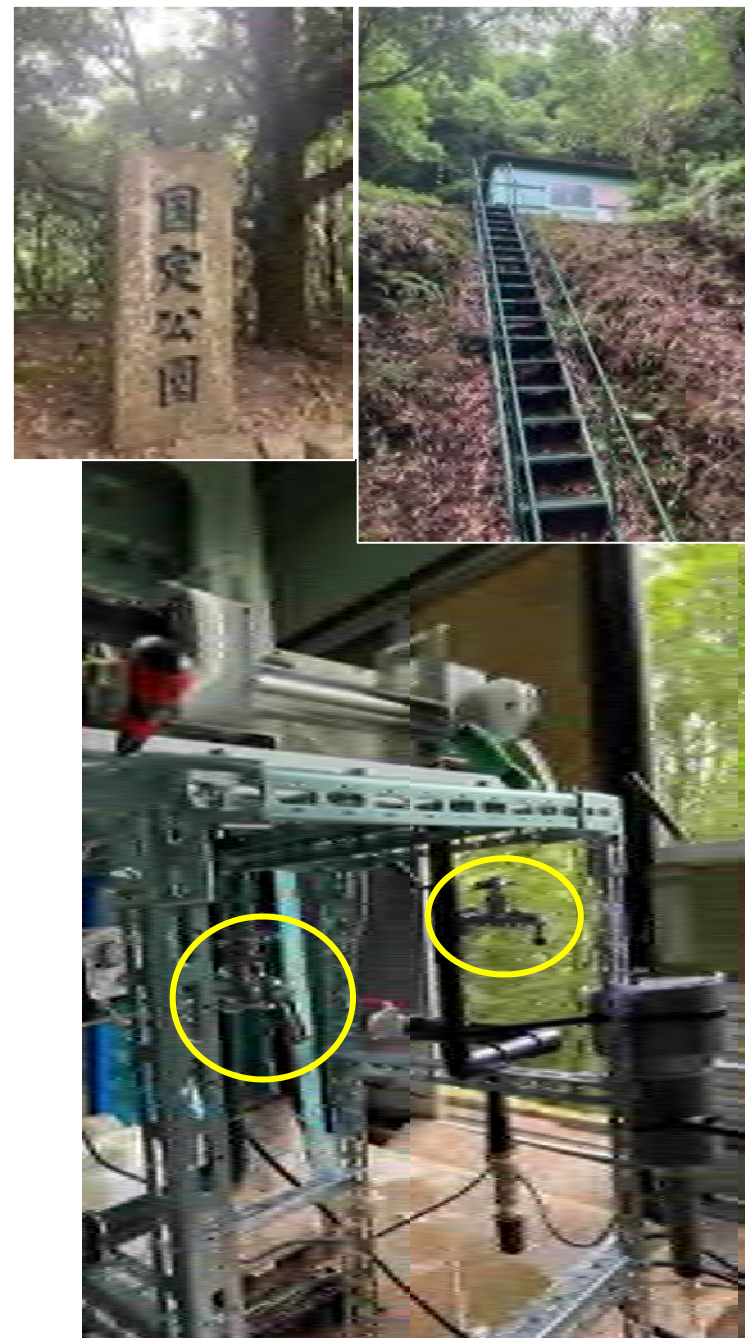


国定公園での実証

(2021/6月～2022/6月)

- ◆国定公園内の水処理施設
- ◆以前は飲用したが現在はトイレのみ
(消毒なし)
- ◆観光誘致のため飲用可能な水質としたい行政の意向あり
- ◆水源河川から施設にポンプアップ
→原水受水タンクに貯留
→UV-LED装置へ(流量50L/min)
- ◆UV-LED装置前後の水質を定期モニタリング(隔週で毎月2回検査、全26回)

- 良好な性能を維持
- 行政に知見報告、**導入決定**



分散型紫外線消毒、実証まとめ

1. 遠隔地における分散型水処理技術として、**UV-LEDを光源とする消毒装置の実証試験を多地点**で実施
2. いずれの実証サイトでもUV-LED処理水では微生物濃度（大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌）が低下し、**大腸菌は不検出またはごく低濃度で推移**
3. 1-2年程度の連続通水運転では不活化性能の経時劣化や装置内の**目だった汚損は観察されず**（間欠運転の場合はさらに検証が必要）
4. 実証結果が一助となり**実装に至った事案**が複数ある
5. 小規模施設向けの消毒技術として**UV-LED装置は有効な選択肢**となりうる