

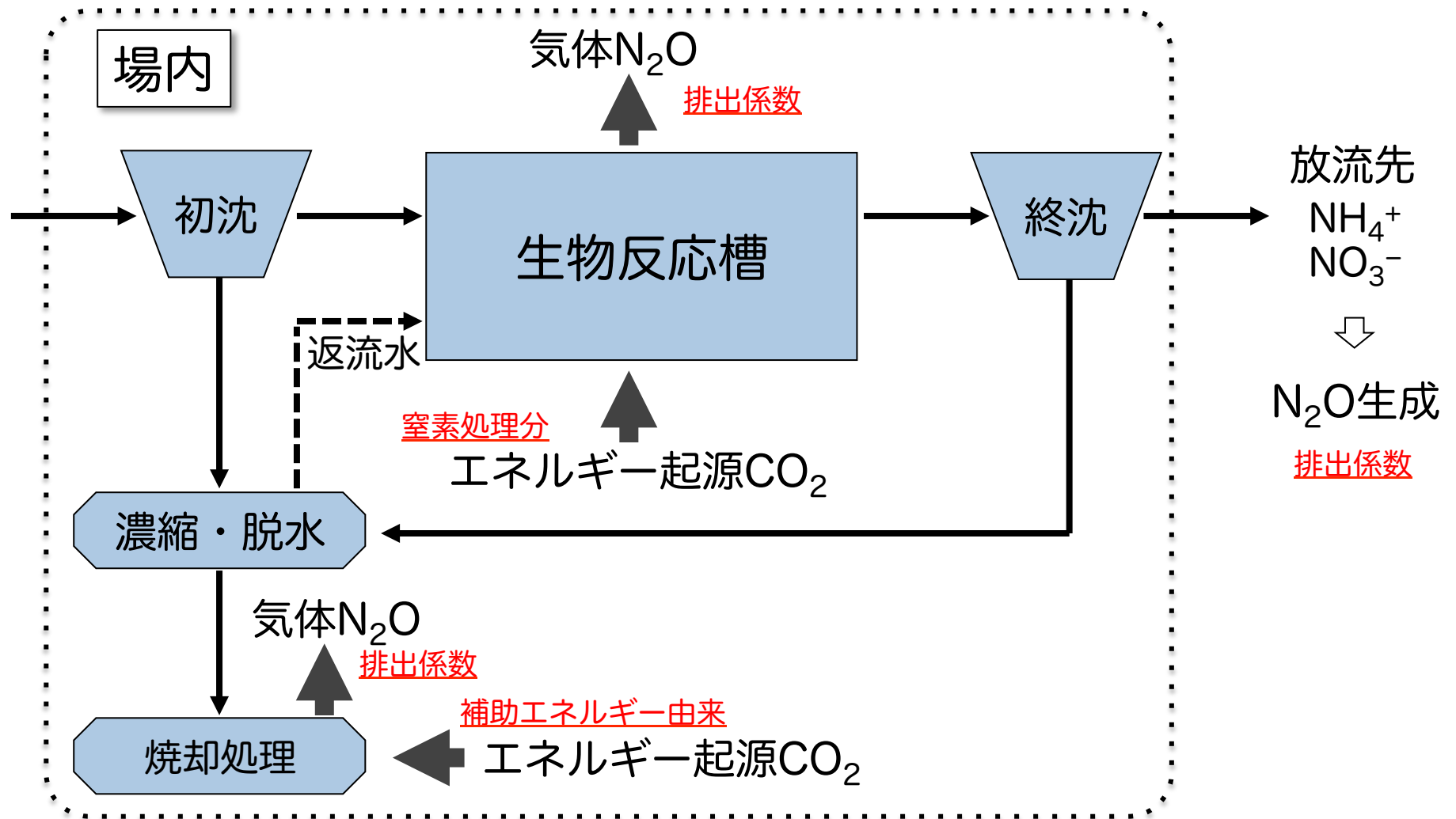
下水道技術開発会議 第3回エネルギー分科会

温室効果ガス排出抑制を目的とした 窒素処理のあり方に関する一考察

令和4年1月13日

日本大学 齋藤利晃

処理方式比較のための検討範囲



単位流入/投入窒素あたりによる水処理方式と汚泥処理（焼却）方式の
温室効果ガス排出量の比較

N₂O転換率換算による処理方式の比較結果

$$\text{N}_2\text{O転換率} = \frac{\text{N}_2\text{O生成量}}{\text{流入/投入窒素量}} \text{ 又は } \frac{\text{N}_2\text{O換算エネルギー消費量}}{\text{流入/投入窒素量}}$$

水処理プロセス

処理方式	反応槽流入窒素あたりの転換率(%)			
	N ₂ O* ¹	エネルギー* ²	自然界* ³	合計
標準活性汚泥法	0.42	-	0.50	0.92
循環式硝化脱窒法	0.03	0.82	0.15	1.00

*1：排出係数より
 *2：中規模処理場における高度処理による増分
 *3：IPCCデフォルト値

汚泥焼却

処理方式	投入窒素あたりの転換率(%)		
	N ₂ O* ⁴	エネルギー* ⁵	合計
高分子凝集剤・流動床炉(高温燃焼)	4.10	0.33	4.43
高分子凝集剤・多段炉	5.61	0.33	5.94
多段吹込燃焼式流動床炉等(高温燃焼)	1.67	0.33	2.00

*4：排出係数より
 *5：補助燃料等

算定条件

標準活性汚泥法	流入窒素36mgN/L, 60%水処理系へ流入, 脱窒無し, 排出係数142mgN ₂ O/m ³
循環式硝化脱窒法	流入窒素36mgN/L, 60%水処理系へ流入, 全量硝化(脱窒70%, 30%放流) 地球温暖化対策マニュアル(平成28年3月)を基に中規模処理場(40,000m ³ /日)の高度処理に伴うエネルギー増分(0.16kWh/m ³)を考慮, N ₂ OのGWP298, 排出係数11.7mgN ₂ O/m ³
自然界の排出	IPCCデフォルト0.5%を使用, 標準法では水処理系への流入窒素全て放流, 循環法では水処理系への流入窒素の30%が放流
汚泥焼却	排出係数(263~882gN ₂ O/t), 含水率80%, 乾燥汚泥あたりの窒素含有率5%
汚泥焼却のエネルギー	補助燃料等エネルギー30kWh/t, 電力の炭素排出係数0.52kgCO ₂ /kWh, N ₂ OのGWP298

窒素固定に要するエネルギーの推定

窒素固定に必要なエネルギーの概算値

35 MJ/kg-N

流入窒素36mgN/Lを仮定すると、
0.35kWh/m³に相当

表 窒素ガスのアムモニアへの転換に係るエネルギー(MJ/kg-N)

世界統計年鑑からの推定	40	* 1
電気分解により調達した水素からの製造	54	* 2
	30	* 3
天然ガスから調達した水素からの製造	35	* 2
	35	* 3
(参考) アムモニア生産を目的とした水素製造	25	* 4
(参考) 生物による窒素固定	23	* 5
	17	* 6

- * 1 世界統計年鑑より石油換算消費量 1.4×10^{11} L/年, アムモニア生産量 1.6×10^8 t-NH₄/年
および原油の熱量38MJ/Lを用いて算出
- * 2 <https://yumenavi.info/douga/2014/doc/27686.pdf> より算出
- * 3 comtecQuestのホームページ <http://comtecquest.com/RD/rd011.html> より
- * 4 資源エネルギー庁燃料電池推進室『水素の製造、輸送・貯蔵について』より算出
- * 5 丸山芳治. (1976). 生物による窒素固定. 日本農芸化学会誌, 50(5), R121-R132.
- * 6 ニトロゲナーゼ反応のみ

流入窒素の有する仮想エネルギー

表 仮想エネルギーと下水処理関連エネルギーの比較

施設規模			小規模	中規模	大規模
処理量		m ³ /日	10,000	40,000	100,000
			標準法 循環法	標準法 循環法	標準法 循環法
消費	消費エネルギー	kWh/m ³	0.42 0.71	0.31 0.47	0.26 0.36
	流入アンモニアの 仮想エネルギー	kWh/m ³	0.35 (仮定：36gN/m ³)		
生成	有機物 (全ポテンシャル)	kWh/m ³	1.33 (仮定：190gBOD/m ³)		
	メタン生成	kWh/m ³	0.41 (仮定：転換効率31%)		

出展：地球温暖化対策マニュアル（平成28年3月）を基に作成

微細藻類を用いた窒素回収の意義

表 窒素除去およびエネルギーに関する簡易比較

		微細藻類 培養*1	循環型 硝化脱窒法*3	太陽光 発電*2
窒素除去	gN m ⁻² d ⁻¹	5	190	-
発電量	kWh m ⁻² d ⁻¹	-	-	0.160
仮想エネルギー 回収	kWh m ⁻² d ⁻¹	0.049	-	-

- * 1 Gross, M., Mascarenhas, V., & Wen, Z. (2015). Evaluating algal growth performance and water use efficiency of pilot-scale revolving algal biofilm (RAB) culture systems. *Biotechnology and Bioengineering*, 112(10), 2040–2050. 窒素含有率10%で算出
- * 2 下水処理場におけるエネルギー自立の可能性調査研究技術資料, 日本下水道新技術機構 (2019年, 3月) I市の例. 夜間を含めた年間平均値
- * 3 滞留時間16h, 水深5mとして, 25mgN/Lの窒素を脱窒すると仮定