

省エネで処理性能良好なバチルス菌優占化回転繊維ユニット 処理法の普及

－ 食品産業における実施例紹介と技術的優位点 －

青 井 透

1. 私たちの生活とバチルス菌の関係

生物学的にはバチルス属細菌はグラム陽性の芽胞形成桿菌であり、枯草菌 (*Bacillus subtilis*, 納豆菌も含む)・微生物殺虫剤として使用されている *Bacillus thuringiensis* などが知られている。私たちの生活に最も接しているバチルス菌は納豆菌 (枯草菌に含まれる) であるが、納豆菌はどこにでも住み着き、抗生物質を分泌して他の有用微生物 (例えばコウジカビ) の成育を妨げるので、清酒造りの杜氏はまず納豆を断ってから酒蔵に入ることとは有名な話である。

このように枯草菌 (*B. subtilis*) は私どもの生活にとっても身近で有用・安全な細菌なので、菌体そのものがサプリメントとして販売されたり、台所排水管のバイオ洗浄剤として市販されている。

サプリメントとして販売されている例としてビオマイン (CALPIS)¹⁾ がある。この枯草菌 (C-3102株) は芽胞形成菌のため、胃酸に耐えて通過し腸内で乳酸菌やビフィズス菌と相性が良く腸内フローラの善玉菌をサポートするとされている。

もう一つの台所排水管バイオ洗浄剤としてビーエヌクリーン (株) 明治フードマテリア²⁾ がある。この製品はBN菌 (枯草菌の

BN1001株) が主成分であり、排水管内の酸素・有機成分をエサとして活性化し、汚れを分解する酵素・乳化剤を分泌して洗浄し、さらに悪臭発生を防ぐとされており、環境へ与える影響がないことも確認されている。一般に枯草菌は増殖速度がはやくタンパク質や澱粉糖類の分解は優れていることが知られているが、このBN菌は特に脂肪分解能力が高い株とされている。台所排水を受ける枡・排水管が油で詰まるトラブルは、どこの家庭でも体験されるので、この洗浄剤は薬品も熱も使わずに自然分解してくれ、とても魅力的である。

以上のように枯草菌は、私どもの生活にとっても近いところで安全に活用されていることがわかった。ではこれを食品産業の廃水処理に利活用することは、とても理にかなっていると思われるが、廃水処理設備のハードに枯草菌をソフト技術として活用する試みは、不思議なことに殆ど為されていなかった。

筆者は長く水処理プラントメーカーの技術者として勤務した後に、高専の教員となった履歴であるが、水処理メーカー勤務時には、生物処理に発生する微生物はその環境の成り行きで決定されるので、処理設備内の微生物を制御して有用菌のみを利用しようとは、考えたこともないことを反省している。

2. 食品産業における廃水処理の概要

水処理プラントメーカーの立場では、食品産業を対象とした廃水処理分野は、最大の市場である。食品産業の原料は食品のために、微生物分解でほぼ完全に処理が可能であり、分解残渣の余剰汚泥も堆肥化等の利活用が可能である。生物分解に時間が掛かる場面では、凝集・固液分離・吸着などの単位操作が加わるが、主処理工程は必ず生物処理である。

食品産業の生物処理は、メタンガスなどエネルギー源が回収利活用できる場合には嫌気性処理が用いられるが、食品加工や洗浄工程廃水は好気性処理が行われる。原水に含まれる除去対象有機物（SS,BODで表される）は、食品由来の炭水化物（糖・澱粉）・タンパク質及び油脂なので、活性汚泥処理が本流であり、年間の負荷変動が激しい場合には生物膜を取り込んだ接触曝気法等も用いられるが、純粋な生物膜法である散水ろ床法や回転円盤法（RBC:Rotating Biological Contactor）は過去の技術として殆ど採用されていない。

回転円盤法は高度成長時代にとても多く採用された時期があるが、生物膜過剰によるシャフト折損・処理水の透視度が悪い等の問題点により、過去の技術とされ日の目を見なくなって久しい。

3. 回転円盤処理にバチルス菌を組み合わせた初めての試み

生物処理にバチルス菌を導入することにより処理性能を高める試みは、高濃度廃水処理であるし尿処理施設で初めて検討された。し尿処理施設は汲み取りし尿・浄化槽汚泥をバキュームカーで汲み取って処理施設に運んでいるが、くみ取りし尿を20倍の希釈後処理することが一般的であった。ところが20倍の希釈水を確保することが大変であるため、希釈

倍率を下げて最終的には無希釈高負荷での処理システムが多く導入されるようになった。し尿処理では食品産業の有機物除去に加えて高濃度の窒素・リンの除去が必要とされ、放流基準を守りながら低希釈条件下で安定して処理を行うことは、運転操作者に多くの負担を与えることとなった。

その時にシリカ・マグネシウムに富んだ黒曜石粉末を曝気槽に投入することにより、枯草菌を優占化させる技術が生み出され、沈殿槽での固液分離性能向上・系内の臭気低減・余剰汚泥発生率の低減が達成されて、容易な運転操作が実現された。山口等は実下水での比較検証を行い、バチルス優占化曝気槽では、窒素除去性能が20%程度向上、汚泥発生量は38%低減し、バチルス菌の酵素生産にはFe,Ca,Mgが必須と報告している³⁾。

これらの実績から曝気槽にミネラルを投入して枯草菌優占化する技術が普遍化されたので、回転円盤装置の円盤（ポリエチレンの波板が主流）から特殊繊維を円盤状にしたもの（株）バチルテクノコーポレーション社製）に変更すると共に枯草菌優占化した回転繊維ユニットが開発された。

活性汚泥中で優占化した枯草菌群は固形物付着特性が強い訳ではないので、円盤を繊維に変更することにより、枯草菌の回転体保持率が向上したことと、広い付着表面積があることで、回転円盤に枯草菌が付着し長時間保持し続ける技術が確立した。活性汚泥で枯草菌優占化を継続するためには、枯草菌を活性化するミネラル分を投入し続ける必要があるが、回転繊維ユニットRBCでは、枯草菌が繊維に付着しているために、枯草菌を高濃度に保つことが容易である。

このようにして回転円盤のハードと枯草菌優占化のソフトを組み合わせた新技術が確立した。回転体に設置する繊維ユニットの使用

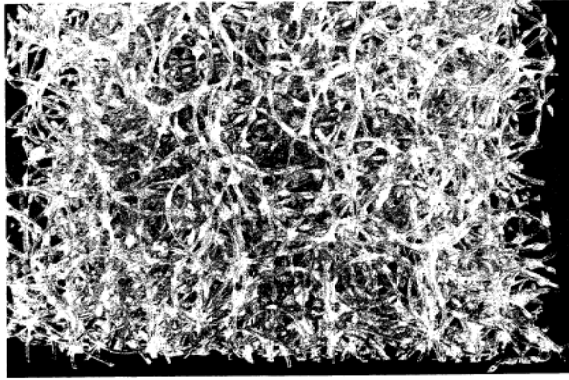


写真1 回転体に設置する繊維ユニット

前写真を写真1に示した。

完成した回転繊維ユニットは繊維ユニット・枯草菌優占化技術ともに純国産技術である。本技術は経済成長著しい中国のゴミ浸出水処理で優れた成果を実現し、下水処理施設の性能向上（処理水質の規制は中国中央政府でとても厳しい:例えば1級A $\text{NH}_4\text{N}<5\text{mg/L}$, $\text{T-N}<15\text{mg/L}$ ）に、曝気槽前の高負荷部分に後付け設置する形で納入実績を積み重ね⁴⁾、処理水質向上で高い評価を得ている。中国下水処理場に設置された回転繊維ユニット

RBCでは、流入BOD・窒素負荷の3割以上をRBCで除去し、負荷が低下した曝気槽の運転制御により、厳しい窒素放流基準をクリアしている。

中国下水処理場の機能向上で設置が続いた時期に、国内では食品産業廃水処理で、納入実績を大きく伸ばしている⁴⁾。

4. 回転繊維ユニット処理法の特長と実績

国内の食品産業廃水処理で納入実績を積み重ねている大きな理由は、消費電力料金と余剰汚泥転換率低下に伴う汚泥処理費の大幅削減である。流入BOD負荷の1/2程度を回転繊維ユニットで除去するが、本回転ユニットでは、微生物が消費する酸素は直接回転ユニット上部（空中部）で空気から供給されるために、曝気に要する電力が大幅削減される。

食品産業廃水の回転繊維ユニット廃水処理フローシートの一例を図1に示した。又廃水処理設備の全景を写真2、回転繊維ユニットの付着生物膜を写真3に示した。

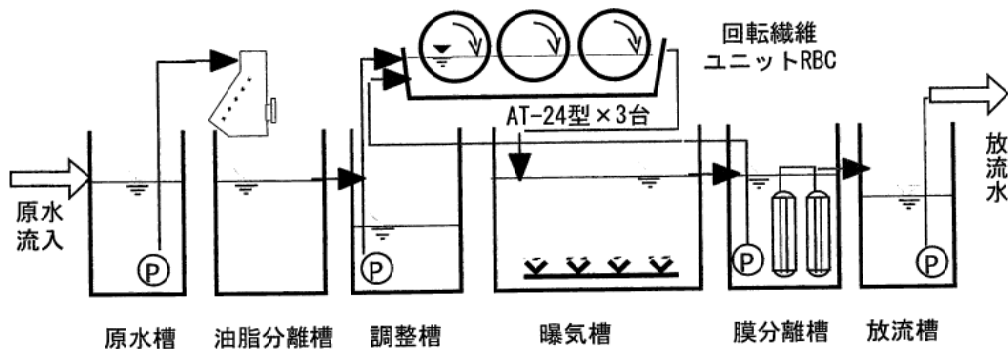


図1 バチルス菌優占化回転繊維ユニットを組み込んだD工場廃水処理フローシート

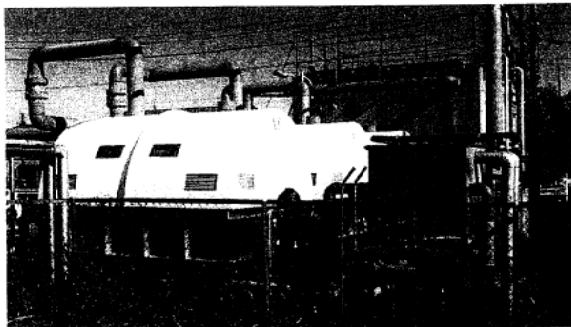


写真2 D工場排水処理施設全景（白屋根はRBC）



写真3 回転繊維ユニットの付着生物膜

枯草菌はそれ自身に脱臭能力があるために回転繊維ユニットからの臭気発生は無かった。写真3の繊維ユニットはピンク色を呈しているが、この部分を顕微鏡観察したところ、貧毛虫などのミミズが観察された。ミミズが生物膜を捕食することで余剰汚泥発生量の低減化に寄与していると思われる。次に生物膜の枯草菌濃度を平板培養（写真4）で求めたところ代表的な枯草菌コロニーが観察され、枯草菌濃度は 5×10^7 個/gで優占化レベルの菌数であった。

図1に示した生物処理槽の有機物除去量の配分は、回転繊維ユニットと曝気槽処理水の分離が困難なので正確な数字は求めにくい。別のC工場の実測水質を表1に示した。この数値ではBODの9割が円盤ユニットで除去されたことになる。

各食品工場廃水を活性汚泥処理と回転繊維ユニット法で処理した場合の曝気槽容量と設

備電力の違いと設備電力節約コストを一覧表にして表2にまとめた。敷地面積と電力量が大幅削減できることがわかる。

5. まとめ

食品産業廃水処理への回転繊維ユニットRBC法の歴史と特徴を説明させて頂いた。本法の導入により敷地面積・水槽容量と設備電力の大幅削減が達成されたが、本方法にはさらにバチルス優占化余剰汚泥の農業利活用可能性が潜んでいる。

青井はバチルス優占化した余剰汚泥を有用種菌に活用した土壌改良資材を試作し、連作障害抑止試験を実施している⁵⁾が、コンニャクイモなど根菜類に対する抑止効果は3年間の実圃場試験で実証されている。この部分についてはさらに広い農業分野での貢献が期待されている。

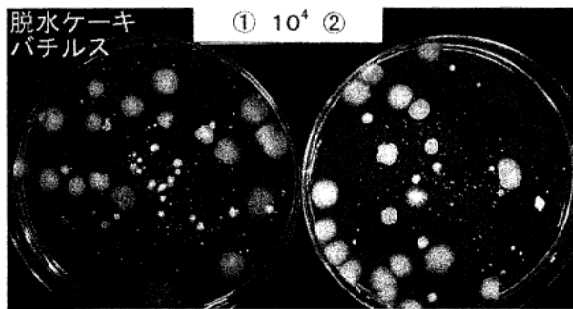


写真4 D工場脱水ケーキ平板培養時のバチルス菌コロニー

明星食品（株）嵐山工場水質
表1 A工場各処理工程水質例

水質	原水	AT処理水	放流水
pH	6.8	7.3	7.7
BOD	1500	150	8
SS	1000	80	10
N-Hex	500	10	<0.1
T-N	70	15	3
T-P	30	15	2

単位はpH以外mg/L

AT処理後に曝気槽沈殿・凝集沈殿処理

表2 食品工場排水処理における活性汚泥法と回転繊維ユニットRBC法の槽容量および使用電力対比

実施例	活性汚泥法		回転繊維ユニットRBC法		差異		設備電力節約コスト
	曝気槽容量	設備電力	曝気槽容量	設備電力	曝気槽容量	設備電力	
A食肉	4,500m ³	150kw	1250m ³	55kw	3250m ³	95kw	12,312,000円/年
B食肉	1800m ³	75kw	250m ³	15kw	1550m ³	60kw	7,776,000円/年
C食品	1350m ³	55kw	330m ³	18.5kw	1020m ³	36.5kw	4,730,400円/年
D食品	2000m ³	75kw	470m ³	22kw	1530m ³	53kw	6,868,800円/年

謝辞

本報文作成にあたり施設見学の案内や各種資料を提供頂いた（一社）バチルス普及推進機構理事長の熊倉良一殿に厚くお礼申し上げます。

参考文献

- 1) <https://www.calpis-shop.jp/products/biimine.html/>
- 2) <https://www.meijifm.co.jp/products/environment/bn/feature/>
- 3) 山口和之、佐藤匡則、花井洋輔（2017）バチルス菌による新排水処理ソリューション、富士電機技報、Vol.90, No.1 pp47-51
- 4) <http://www.bachilutechno.com>
- 5) 青井 透（2019）枯草菌・雑線虫豊富な土壌改良資材による根菜畑連作障害抑止試験でのネコブ線虫防除、日本下水道協会・再生と利用、Vol.42, No.100, pp22-27