特 集

回転円板法の諸問題

回転円板廃水処理装置の操業実態

—装置の動力効率を中心として（アンケート調査結果から）—

A Survey of Operating Conditions of Rotating Biological Contactors

藤江 幸一^{*}・李 国 建^{*}・久保田 宏^{*}

Practical operating conditions of the rotating biological contactor (RBC) wastewater treatment facilities were investigated by the questionnaire method.

The results showed that the exaggerated design of the treatment facilities caused from the over-estimated prediction of BOD load gives excess energy requirement in operation, while the BOD concentration in the effluent from RBC units are considerably lower than the design level. It was also noted that the electrical power consumption for the aeration in the reservoir tank is usually greater than the power consumed by the rotating discs.

In the design stage of the treatment facilities, the need of an exact estimation of BOD load is the most important. The modification of the reservoir tank system should be suggested for energy saving in RBC units.

1 はじめに

著者らは、各種の生物廃水処理装置について、“単位動力消費当りに処理されるBOD量”として定義される“動力効率”と操作条件の関係について理論及び実験の両面から検討を加えてきた。回転円板廃水処理装置は、安定した処理水水質が保証されると同時に、動力効率の面から見ても他形式装置に比べて優れた特性を持つことが理論的に示されており¹⁾、将来、特に小規模廃水処理装置の主流をなすものと期待してよいだろう²⁾。

しかしながら、その実使用での操業実態については、特に動力効率の定量的なデータについて公表されたも

のが全くなく、果してこの装置のもつ優れた動力効率特性が生かされて実用化されているかどうか不明と云ってよい。著者らは、回転円板装置の操業実態をできるだけ定量的に把握することによって、実用上での問題を指摘し、今後の装置設計及び運転の際の参考資料を提供することを目的として、まず操業実態のアンケート調査を行ってみた。現在アンケート調査票の回収率が39%とやや低く、十分正確な情報としてまとまった結果を得るに至っていると言えないが、ここに発表させていただく。

2 調査対象

国内の主要な回転円板装置メーカー各社にお願いし

^{*} 東京工業大学資源化学研究所 Koichi FUJIE Li Quo Jian Hiroshi KUBOTA

表1 原廃水性状による分類

廃水性状	処理施設数
事業所生活系雑廃水	25
コミュニティプラント	9
学校給食センター調理場廃水	7
公共下水道終末処理場	7
ゴミ処理場廃水	2
食品工場廃水	1
計	51

表2 処理施設規模による分類

計画日間処理水量 (m ³ /日)	処理施設数
50 以下	7
51 ~ 200	25
201 ~ 500	10
501 以上	9
計	51

で、現在稼動中の回転円板装置総数の約1割に相当する135のユーザーにアンケート依頼を行った。11月7日現在回答をいただいたユーザーの原廃水性状及び処理施設規模の分類を表1及び表2にまとめた。処理対象の原廃水としては大部分が生活系の廃水で、処理場規模としては、公共下水道の7施設を除いて、大部分が処理量500 m³/日以下の小規模処理施設である。

3 処理水水質

3.1 計画施設の妥当性

廃水処理施設において、目標とする処理水水質を確保することができるかどうかは、施設計画時の設計条件が妥当であるかどうかにかかっていると言ってよい。各メーカー毎に設計の基準は異なるであろうし、コミプラでは国により定められたし尿浄化槽構造基準に左右されるであろう。先に著者ら³⁾は、第1回回転円板シンポジウム(1979年10月)で発表された幾つかの実測データについて、著者らの提案する操作設計法の妥当性を示した。すなわち、BOD除去速度定数 ϕK を実

測のBOD除去率 x の値から、

$$\phi K = (nQ/A) \{1/(1-x)^{1/n} - 1\} \quad (1)$$

により求めておけば、逆に任意の水量面積負荷 Q/A (Q は処理水量、 A は円板表面積)、段数 n の実用装置における処理水のBOD除去率 x を予測することができる。 ϕK は円板回転数などに依存する定数であるが、装置の実用条件下では、廃水の性状にあまり左右されず $10 \sim 15 \times 10^{-3} \text{ m/hr}$ の値をとることも示された。

アンケート調査票に記載された計画時のデータから、式(1)によって求めた ϕK の値を表3に示した。日間の負荷変動が大きい時は、安定した処理水水質を維持する為に、やや小さな ϕK の値を用いて設計すべきであろう。表3に示された ϕK (計画)の値は、計画時の設計基準がほぼ妥当であることを示していると感じてよいだろう。

3.2 実操業条件下での処理水水質

実操業データから、上記同様式(1)で ϕK の値を求めて(アンケートの不備により実測時の温度が記載されていない)、これを ϕK (実測)として表3に示した。 ϕK (計画)と比較してかなりよい一致を示しているが、表中に同時に示した著者ら³⁾により先に求められた値(20℃における)に比べてやや低い値をとる。後者が水量均一の実験条件下でのデータから得られたのに対して、本実操業データからの ϕK は、後述のように多くの場合流量調整槽を設けてはいるが、完全な流

図-1 水量面積負荷 Q/A とBOD除去率との関係。但し、 $\phi K = 9.43 \times 10^{-3} \text{ (m/hr)}$ とした。

表3 BOD除去反応速度定数 ϕK の実測値と計画値

メーカー名	ϕK (計画) (m/hr)	ϕK (実測) (m/hr)	データ数
A 社	7.3×10^{-3}	7.6×10^{-3}	8
B 社	10.3×10^{-3}	9.5×10^{-3}	10
C 社	12.5×10^{-3}	11.4×10^{-3}	6
著者らが計画に用いて来た値 ⁴⁾	13.1×10^{-3}		

量均一の条件下で得られた値ではない。

図-1は、 ϕK (実測) の平均値を用いて、BOD 除去率と水量負荷の関係の予測値と実測値の対比を示したものである。図は処理水水質の予測に関して、著者らの提案した操作設計法が極めて有効に用い得ることを示している。

4 流量調整槽

回転円板装置での場合、公共下水道に対する以外は表2に示したように、負荷変動の大きな小規模廃水処理施設に適用されており、大部分が流量調整槽を設けて負荷のピークを避け、流量の均一化に努めている。

回転円板装置への負荷変動の影響は、平均処理水水質を低下させ、見かけ上反応速度定数 ϕK の値の減少として現われる。いま、流量調整槽内廃水の実滞留時間をもとめて、この値と ϕK (実測) の関係を図-2に示してみた、データのばらつきが大きくて、必ずしも流量調整槽内液滞留時間の増大につれて ϕK の値が高くなる傾向が示されているとはみせなかった。これ

図-2 メーカー各社流量調整槽液滞留時間と BOD 除去反応速度定数の関係

表4 円板回転動力係数, λ_1 の単位 [kW・min/m⁴]

メーカー名	λ_1 の平均値	λ_1 の範囲 ($\times 10^{-5}$)	データ数
A 社	1.03×10^{-5}	0.50 ~ 1.89	7
B 社	1.14×10^{-5}	0.72 ~ 2.00	11
C 社	0.58×10^{-5}	0.45 ~ 0.92	8
D 社	0.95×10^{-5}	0.52 ~ 1.66	6
E 社	1.53×10^{-5}	1.22 ~ 1.85	3
著者らが計算に用いて来た値 ⁴⁾	0.86×10^{-5}		

(注) 定格出力に一律に負荷減率0.5を乗じて推算した。

図-3 流量調整槽容積と流量調整のために消費される電力 (攪拌用ブロワー, ポンプ) との関係

をいい換えれば、流量調整槽の設置は必ずしも処理水水質に明確に寄与していないともいえる。

一方、流量調整槽の設置は、装置の所要動力の面から問題を含んでいる。調整槽内には耐えずば気が行われており、また分配槽まで持ち上げられた揚水の一部が無駄に調整槽にオーバーフローしている。従って図-3に示すように、調整槽容積にほぼ比例してそこでの消費電力が増加している。しかもこの電力は後述するように、処理施設での所要電力のかなり大きな割合を占めている。

5 円板回転動力

円板回転のための動力としては、調査対象の操作条件下では、円板単位面積当たりの所要動力 P_w/A に対して次式が成立するとしてよい⁴⁾。

$$P_w/A = \lambda_1 (mD)^2 \quad (2)$$

ここで D は円板直径, m は回転数を表す。

円板回転用動力の実測値は、単独に実測されていないため、モーターの定格電力に係数0.5を乗じて所要動力を推定した。従って得られた動力値に誤差は避けられないが、この値を用いて式(2)により係数 λ_1 を求めて表4に示した。各メーカーによる λ_1 の値の差は、円板の表面加工状態による差と考えるよりも、実際に必

要な電力と設置されたモーターの定格値との比による差と考えてよい。特定の円板に対する電力の実測値から著者らが求めた λ_1 の値と比較して、調査結果から得られた λ_1 の値はやや大きめであるが、ほぼ妥当な範囲にあるとしてよいだろう。

6 動力効率

動力効率 η の値は、動力として円板の回転動力 P_w のみをとる、

$$\eta = W / P_w \quad (3)$$

によって計算した。ここで W は装置内で処理された BOD 量で次式から求められる。

$$W = Q (S_o - S_e) \quad (4)$$

Q は平均処理水量、 S_o 、 S_e は原廃水及び処理水の平均 BOD 値である。

図-4には動力効率の値を計画 BOD 処理量に対する実際の BOD 処理量の比に対してプロットしてみた。実際の操業では BOD 負荷が計画時に想定したものに較べて一般にかなり小さくなる傾向があり、それに伴って動力効率が計画当初予定された値に較べて著しく低い値となっている例が多く見られることに注意する必要がある。図はまた、円板の種類等による動力効率の差は見られず、むしろ同一種の円板についても計画時での動力効率の値に大きなばらつきが見られることに注意したい。すなわち省エネルギーの観点から、高い動力効率を得ようとするには、計画時での BOD 処理量の正確な予測と同時に、計画時に高い動力効率を得るような設計についての配慮がなされるべきことを示している。

もちろん、(実 BOD 処理量) / (計画 BOD 処理量) の

図-4 計画 BOD 処理量に対する実 BOD 処理量の比と動力効率との関係

値が小さくなれば動力効率が低下する代わりに当然処理水の BOD 値はその計画値より低下する。図-5にはその様子を示している。過剰な設備では処理水の質を必要以上に高めるために無駄に電力が消費されることになる。

周知のように実 BOD 負荷量が、計画時に予定されたものに較べて小さくなってしまった場合に、動力効率を低下させないですませることは、生物廃水処理施設では一般にかなり難しく、特に小規模施設では困難が大きい。回転円板法の場合、円板回転数を BOD 負荷に応じて変化させることは実用上不可能である。対応策として複数台ある円板装置の一部を運転休止するとか、多段の槽の一部を空にして処理水をバイパスさせるなどの方法が考えられる。

先にも触れたように、回転円板装置の場合、円板回転動力よりもむしろ流量調整槽でより多くの電力が消費されていることが本アンケートの結果明らかにされた。図-6には、処理施設での全消費電力に対する円板回転電力と流量調整槽電力のそれぞれの占める割合の関係をプロットした。円板回転電力は全消費電力の 50% 程度以下で場合によっては 10% 程度にしか達しない場合もある。一方流量調整槽の所要電力は 20% から 70% に達する場合もある。また、円板部分および流量調整槽以外にもかなりの電力消費がある点にも注意する必要がある。

図-7には流量調整槽電力と円板回転電力の比を計画時の調整槽平均液滞留時間に対してプロットしてみた。

図-5 計画処理水 BOD 値に対する実際の処理水 BOD 値の比と計画 BOD 処理量に対する実際の BOD 処理量の比との関係

調整槽での平均液滞留時間を大きくとよう計画された装置では、流量調整槽で本来の廃水処理には不必要な電力が多量に消費されている様子を見ることが出来る。省エネルギーのためには、特に流量調整槽での所要電力を小さくするための努力が必要であることが示されている。

7 処理コスト

図-8には、単位水量当りの処理コストを計画処理水

図-6 円板回転電力と流量調整槽電力（ブロー、ポンプ）との対比。白ヌキは回転円板による廃水処理のみを行っている所であり、黒ヌキは汚泥の脱水・砂汨過等の付帯設備を備えている所を示す。

図-7 計画調整槽平均液滞留時間と円板回転電力に対する調整槽所要電力の比との関係

量に対してプロットしてみた。処理コスト21円/m³から368円/m³までかなり広い範囲にばらついており、計画処理水量すなわち処理場規模の増大とともに処理コストが低下するとは言いきれない。

図-9には処理コストを（実処理水量）/（計画処理水量）に対してプロットしてみた。実処理水量が計画処理水量に近づくに従って、処理コストが多少低下する傾向にあるが、実処理水量がほぼ計画水量に等しい場合にも、処理コストが20円/m³から230円/m³と10倍以上もの開きがある。同様のプロットを縦軸に単位質量のBOD処理量当りのコスト（円/kg・BOD）をとり、横軸には（実BOD処理量）/（計画BOD処理量）をとって示したのが図-10である。縦軸の目盛を対数にしてあるが、横軸の値が1より小さくなるに従ってBOD処理コストが急激に増大する様子がはっきりと見てとれる。この図-10には参考のため単位BOD処理量当りの所要電

図-8 施設の計画処理水量と廃水1m³当りの処理費用との関係

図-9 計画処理水量に対する実際の処理水量の比と処理コストの関係

図-10 計画 BOD 処理量に対する実際の BOD 処理量の比と BOD 処理コストの関係

力 (kW時/kgBOD) も同時にプロットしてある。BOD 処理コスト同様、その最低値と最高値の比が100倍以上に達することに注意する必要があるだろう。

8 回転円板法に対する運転者の評価

アンケートに対する回答として、廃水処理施設を設置するにあたって回転円板方式を選択した理由として挙げられた項目を表5に示した。実際の運転経験から回転円板方式が優れていると考えられる点を挙げてもらった結果が表6である。

維持管理が容易であるということは共通の認識とみなされるが、表5および表6に2番目に多い項目として挙げられているランニングコストが低いという点は、他のどの形式の装置との比較で考えているのか、図-9図-10の結果から見られるように疑問の残る解答である。同程度の規模でのコミュニティプラントでの活性汚泥処理装置に較べて²⁾、BOD 処理コストのばらつきがより大きく、平均としてはむしろやや高目の値になっている。

表5および表6に第3番目の項目として挙げられている負荷変動に強いという点についても、多くの場合流入負荷変動が滞留時間のかなり大きな流量調整槽によって平均化されており、負荷変動に強いという本来の意味がどこにあるのか疑問が残る。

これら疑問の残る回答項目は、むしろアンケート紙上での著者らの設問方法に問題があったので、反省し

表5 回転円板方式を選択した理由

1) 維持管理が容易である	 31
2) ランニングコストが低廉である	 18
3) 耐負荷変動性に優れている	 15
4) 装置がコンパクトである	 8
5) 飛沫・臭気が少ない	 6
(注) 回答総数51。但し重複して回答している。	

表6 回転円板装置の優れていると考えられる点

1) 維持管理が容易である	 30
2) ランニングコストが低い	 11
3) 負荷変動に強い	 9
4) 臭気の発生が少ない	 5
5) 余剰汚泥の発生が少ない	 5
(注) 回答総数51。但し重複して回答している。	

て今後の検討項目とすることで、回答のまま記載させていただいた。

9. おわりに

以上、アンケート調査に表われたデータを中心に、回転円板廃水処理装置の操業実態をできるだけ定量的に把握を試みた。使用モーターの定格値から消費電力の推定を行なわなければならなかったなど、得られた数値に一部不正確なところがあるが、主として動力効率という観点から、回転円板廃水処理装置に対する一応の問題点の指摘を行うことができたと考えている。結果を要約すると、

- 1) 目標水質に対する施設計画時の設計基準は、ほぼ妥当であることが明らかにされた。
- 2) 実操業での BOD 負荷は、施設計画時の値に比べてかなり小さい場合が多く、計画時の目標よりかなりよい処理水質を得ている反面、単位 BOD 処理量当りの電力および経費が相当大きな値を示している例が多い。
- 3) 処理施設での電力消費の内訳では、円板回転動力よりも流量調整槽でのばっ気などの電力として消費される割合が多いことも明らかにされた。

以上の結果から、回転円板廃水処理施設での省エネルギーのためには、施設計画時の BOD 負荷量のできるだけ正しい予測を行うことと、流量調整槽での電力消費を低下させる具体的方策を構ずる必要があること

を強調しておきたい。

最後に、アンケート調査にご協力いただいた各位に心から感謝の意を表わしたい。

使用記号

A : 円板表面積 [m^2]

D : 円板直径 [m]

m : 円板回転数 [$1/\text{min}$]

n : 円板段数 [—]

P_W : 円板回転動力 [kW]

Q : 廃水流量 [m^3/hr]

S_e : 処理水 BOD 値 [mg/ℓ] 又は [kg/m^3]

S_0 : 流入 BOD 値 [mg/ℓ] 又は [kg/m^3]

W : BOD 処理量 [kg/hr]

x : BOD 除去率 [—]

λ_1 : 回転円板動力係数 [$\text{kW min}^2/\text{m}^4$]

ϕK : みかけの反応速度定数 [m/hr]

η : 動力効率 [kg/kWhr]

引用文献

- 1) 藤江幸一, 久保田宏: 第2回回転円板法研究シンポジウム論文集, p 67 (1980)
- 2) 金谷健, 久保田宏: 環境情報科学, 10-3, 45 (1980)
- 3) 久保田宏: 環境技術, 9, 472 (1980)
- 4) 久保田宏: 水処理技術, 20, 955 (1979)

主 な 既 刊 書

下水・廃水・污泥処理ガイドブック

<著者> 松本順一郎 外32名
A 5 判 1250 頁, 定価 13,000 円

し尿処理ガイドブック

<著者> 岩井重久 外50名
A 5 判 760 頁, 定価 9,000 円

生活系排水処理ガイドブック

<著者> 洞沢 勇 外22名
A 5 判 480 頁, 定価 8,500 円

下 水 道 必 携

<著者> 野中徹一 外24名
B 5 判 650 頁, 定価 7,500 円

悪臭防止技術要覧

<編著者> 西田耕之助
石黒 辰吉
B 5 判 330 頁, 定価 3,300 円

汚 泥 研 究 年 報 '81

<著者> 川島 普 外25名
B 5 判 500 頁, 定価 6,000 円

公害防止のための計測機器概説

<編著者> 柳沢三郎 外8名
B 5 判 240 頁, 定価 2,800 円

わかり易い公害分析計測基礎講座

<著者> 日色和夫 外5名
B 5 判 113 頁, 定価 1,800 円

廃棄物処理技術総集編

<編著者> 吉田総夫
B 5 判 258 頁, 定価 4,200 円

◆ 申込み・問合わせ先

環境技術研究会 図書係宛

〒550 大阪市西区京町堀1-14-25(京二ビル)

☎ (06) 443-6445・9027