

II—23 寒冷地の下水による回転円板生物膜の増殖過程と処理性

北見工業大学 正会員 海老江 邦 雄
北見工業大学 輪 島 秀 則

1. ま え が き

一般に、回転円板法は活性汚泥法に比較して、(1) 運転コストが安く維持管理が容易である、(2) 負荷変動に強い、(3) 短時間処理の割には浄化効率が高い、および、(4) 発生汚泥量が少ないなどの長所を持つと言われており、将来的には、小規模下水処理場や集落排水処理施設において広範に採用されるものと期待される。

回転円板法による下水中の有機物処理は、円板表面に自然発生する細菌から微小後生動物に至るまでの多種多様な微生物群（生物膜）の食物連鎖による好氣的な活動に依存している。それゆえ、良好な下水処理を行う上において適量の生物膜が円板表面に存在することが不可欠である。

従来、回転円板法では、運転開始してから生物膜が増殖過程を経て定常状態になるには1ヶ月程度を要する。また、処理水質の安定化については1週間程度の短期間で済むと経験的に唱えられてきた。

ここでは、下水温と有機物負荷を変えた3系列の実験結果を基に、生物膜の増殖から定常に至る過程がどの程度継続するのか、また、その時期における下水の処理性についてはどうであるかなどについて検討した結果を報告する。

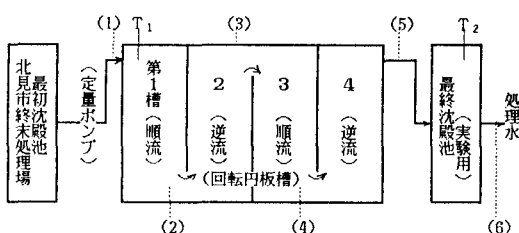


図-1. 回転円板装置のフローシート((1)~(6)は採水点の位置)

表-1. 回転円板装置の諸元

項 目	諸 元
総 容 積	208.25 Q * 4槽 = 833 Q
実 容 積	201.75 Q * 4槽 = 807 Q
円板直径・厚さ	直径1.0 m , 厚さ1.2 mm
円板枚数・間隔	14枚 / 槽 * 4 = 56 枚, 16 mm
円 板 面 積	総面積87.96 m^2 , 有効82.90 m^2
周 速・回転数	27 m / 分 , 8.59 回 / 分
液量面積比 G	9.73 Q / m^2

2. 実験の装置・方法・条件など

実験用の回転円板装置は北見市下水道終末処理場に設置した。この実験装置の流入原水としては同処理場の最初沈殿池流出水の所定量を定量ポンプを用いて揚水して利用した。実験装置の諸元については表-1に、フローシート、採水点および水温測定点 (T_1, T_2) については図-1にそれぞれ示した。円板槽は鋼製で、4段直列、円板体は FRP 製で、水の流れは軸直角流、滞留時間は約 3時間20分である。

実験においては、予め設定された時間隔で実験装置の各部から採水と生物膜の採取を行った。採水した試料については TOC (島津 TOC-10B による)、SS (GS-25 ろ紙を用いた吸引ろ過法による)、pH (ガラス電極法による) および DO (ウインクラー・アジ化ナトリウム変法による) などの測定を行った。また、生物膜については、円板周縁の10cm程度内側からスパチュラを用いて採取 (第1槽から4、その他の各槽では各2、合計10試料) した。採取面積はいずれも幅 1.8cm、長さ 4~6 cmであった。これらの生物膜試料については、

表-2. 回転円板槽各部試料のBOD/TOC

試 料	データ (個)	平 均 BOD	平 均 TOC	BOD/TOC
円板流入下水	59	86.3	50.4	1.712
第1槽流出水	58	40.6	28.3	1.435
第2槽流出水	55	32.1	23.9	1.343
第3槽流出水	52	25.4	20.4	1.245
第4槽流出水	59	24.0	20.2	1.188
沈殿後水	55	19.7	18.7	1.053

含水率、乾物量およびVSS を測定した。

今回の実験では TOCを有機物量の指標として用いたが、BODとの関係については表-2に示すように、 BOD/TOC の値は流入下水の 1.712から処理が進むにつれて次第に低下し、最終的には沈殿後水で 1に近接した値になっている。

表-3に今回の実験の諸条件を掲げた。実施した3系列の実験においては水量負荷を $70\text{ g/m}^2\cdot\text{day}$ に固定した。下水温、TOC濃度については季節によって大幅に変化することを過去の実験で捉えていたので、系列Iとしては北見市下水における高水温・低有機物負荷時、系列IIとしては下水温、有機物負荷ともほぼ平均的な値をとる時期、そして系列IIIとしては低水温・高有機物負荷時に実験を設定しデータを採取した。

3. 実験結果と考察

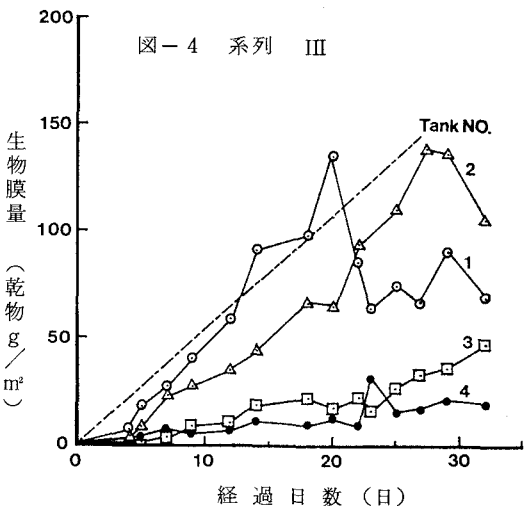
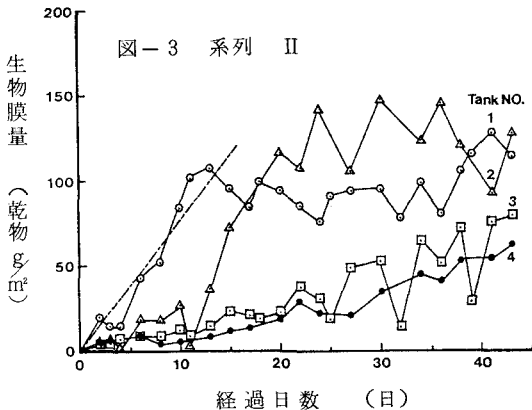
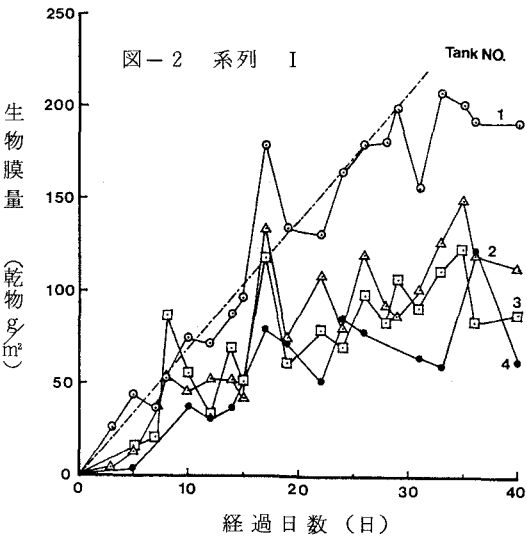
3-1. 生物膜の増殖と定常過程

系列I～IIIで得られた円板各槽の生物膜量の経日変化を図-2～4に掲げた。これらの図を基にして、有機物の大半が除去される円板第1槽の生物膜量の動きを中心に見て行きたい。

運転開始直後の生物膜量については、下水温が最も低かった系列IIIにおいてスタート時に僅かな遅滞の状況が認められるものの、その他の系列では、日数の経過とともに急速に増加している。この増加傾向は系列Iで30日、IIで13日、IIIで20日程度まで継続している。しかし、それ以後はほぼ横這い、ないしはIIIで見られるように、一旦低下して横這い状態となっており、これらの日数で生物膜の増殖と剝離がバランスする、い

表-3. 系列(I～III)の諸条件

実験	I	II	III
期間	9/2～10/12	10/25～12/7	1/5～2/6
運転日数	40	43	32
室温(℃)	18.0 (9.2～30.3)	7.8 (5.0～16.0)	6.4 (-0.5～11.6)
水温(℃)	15.8 (13.1～19.9)	10.7 (6.3～13.1)	7.3 (4.9～11.2)
平均流量(l/分)	3.91	3.99	4.03
水量負荷($\text{l/m}^2\text{日}$)	67.9	69.3	70.0
流入TOC濃度(mg/l)	39.8	76.8	104.4
TOC面積負荷($\text{g/m}^2\text{日}$)	2.70	5.32	7.31



わゆる定常状態に到達したものと推測される。定常状態に移行する境界の生物膜量はⅠ～Ⅲの順におおよそ 200、110、140g/m²（乾物）程度となっている。また、これらの期間における生物膜の1日あたりの平均増加量（勾配）は約 7.0、7.6、5.3 g/m²・day（乾物）となり、それぞれ図中に一点鎖線で示した。さらに、表-3に掲げた TOC面積負荷を用いて、単位 TOC面積負荷（単位有機物供給量）あたりの生物膜増殖量を求めると、系列Ⅰ～Ⅲの順に 0.65、0.36、0.18（無次元）となり、下水温の上昇（下降）とともに生物膜の増殖速度がほぼ直線的に上昇（下降）すること、換言すれば、低水温になるほど微生物活性が低下して増殖速度が遅くなることを明確に示している。

つぎに、図-2～4 の生物膜の増殖曲線は、第1槽のみでなく2～4槽においても頻繁に波打ち状の増減を繰り返している。しかも、運転開始から発生すると言うよりも一定の期間を経てからほぼ周期的（2～4日）に発生している場合が多いようである。また、系列Ⅲの低水温時の場合には発生回数が他の条件よりも相当少ない。こうしたことから、これらの波打ち状の増減は本質的には円板生物膜の剝離流失と剝離面における急速な回復との反復に由来する現象と考えられる。写真-1と2の第1槽（前面）の円板表面を比較すると、

写真-1は運転開始から7日目の円板表面を示しているが、生物膜は極めて均質であるのに対し、写真-2が示す28日目の円板表面は非常に凹凸が激しく、この間において局部的および全体的な剝離が相当頻繁に発生したことを窺わせている。これらのことから、生物膜量に関しては増殖過程の後ほぼ定常状態に達するが、量的には大幅な増減を伴う動的な平衡状態にあることが理解できる。

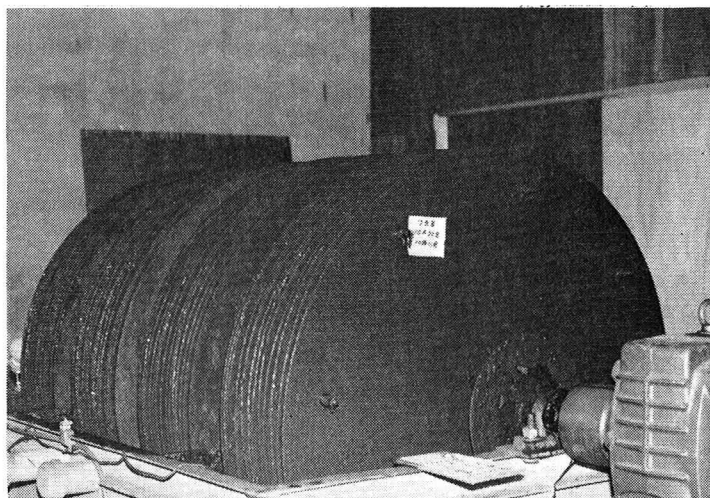


写真-1 生物膜の状況（7日目，72 g/m²・日，TOC 3.2g/m²・日，12.8℃）

3-2. 流入下水の処理傾向

図-2～4 に示した生物膜量の推移下における円板槽各部の TOCの動きを図-5～7 に掲げた。また、これら実験期間中における円板槽各部の平均水質の動きを表-4に掲げた。

最初に、図-5～7 の TOCの動きを基に処理水質の安定化に要する期間について見てみる。いずれの実験においても流入下水の TOCが相当大幅に変動しているため即断は難しいが、通常考えられているように運転開始から1週間程度の短期間で処理水質が安定したのは系列Ⅰのみであった。系列Ⅱでは2週間程度、また、Ⅲでは3週間程度と推定される。このように、処理水質の安定に要する期間は下水温の低下とともに著しく

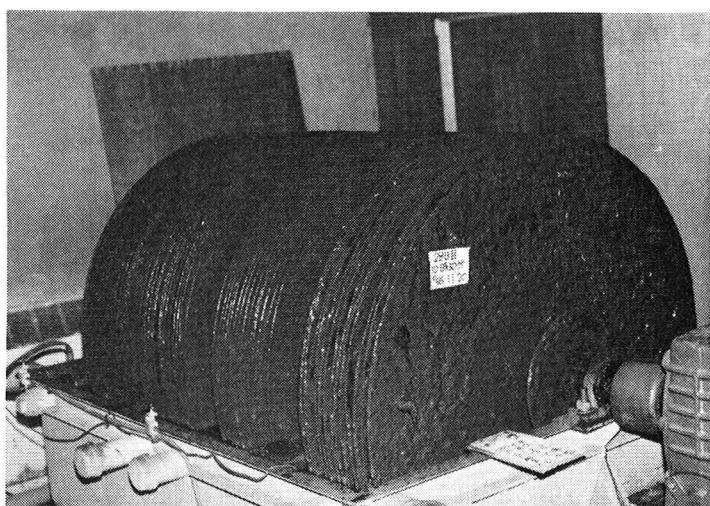


写真-2 生物膜の状況（28日目，69 g/m²・日，TOC 3.9g/m²・日，9.8℃）

長期化する傾向が認められた。

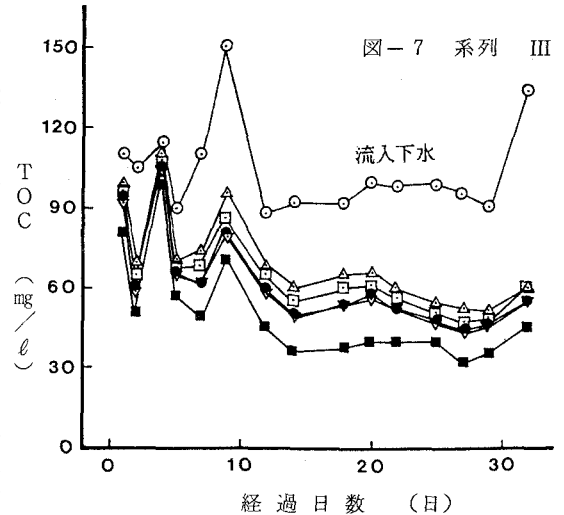
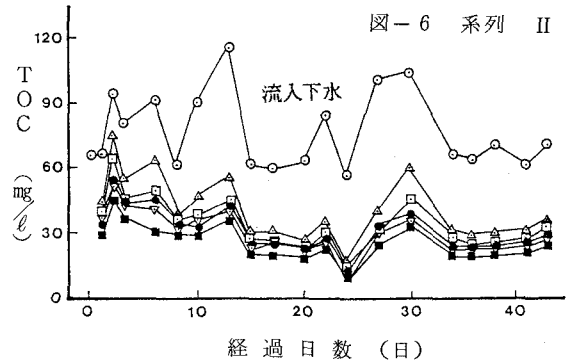
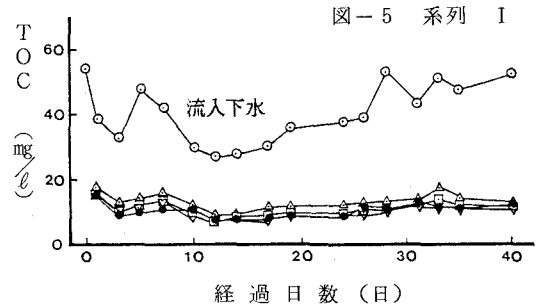
つぎに、図-5～7の流入下水のTOC濃度と円板各槽のTOC濃度の動きを比較すると、これらの変動パターンは相互に非常に類似しており、特に、下水の低温化とともにその傾向が強く現われているようだ。さらに、図-8は24時間試験の結果であるが、図-5～7と同様に、円板各槽の水質が流入水質の変動に追従している様子が認められる。また、図-9は、図-8に示したような24時間試験（7回）における円板各槽の処理水質の変動率（標準偏差／平均値）%を計算したものである。

いずれの場合にも流入水の変動率が処理水に至るまで殆んど変化していない。これらはいずれも回転円板法が短時間の負荷変動に対して、特に低温下水の場合には、弾力性に乏しいことを示しており、運転管理にあたっては流入下水の水質調整が必要であることを示唆している。

表-4において、はじめに円板槽全体のTOC除去率を見ると、下水温の低下とともに73.1, 65.1, 51.0%と低下している。これらの数値から低温下水の場合には最初沈殿池と組合わせても高級処理法に期待される有機物除去率（80～90%）は達成できないものと推定される。円板槽全体の除去率に対する円板第1槽の有機物除去割合は、別に報告した結果と同様に、系列Ⅰ～Ⅲの順に91.8, 71.6, 64.1%といずれの実験においても極めて大きく、下水温が高いほど第1槽のウエイトが高く、下水温が低くなるほど2～4槽のウエイトが高くなっている。一般に流入下水の有機物濃度が高いほどその除去率は高くなると言われているが、逆の結果となっている。その主な原因は低水温のためと考えられ、有機物除去についても下水温によって大きく影響されることを如実に示している。

図-10は、円板第1槽のTOC面積負荷とその際の除去TOC量を示している。除去率と異なり、全体としてはTOC面積負荷が大きくなるにつれて除去TOC量も増大する傾向を示している。しかし、図-10の右半部下辺に散在する一群のデータのように下水温が低く、運転経過日数の少ない頃にはTOC除去量が極端に少なくなっている。

つづいて、SSの平均除去率は、TOCの場合と同様に、下水温の低下とともに系列Ⅰ～Ⅲの順に89.5, 76.7, 62.3%と悪化しているものの、いずれもTOC除去率よりは10%強程度（Ⅰ～Ⅲの順に16.4, 11.6, 11.3%）高い値を示した。また、円板槽の流下方向におけるSSの動きは、いずれの条件でも第2槽（採水点(3)）において最大値を示している。図-3と4



で見られるように系列Ⅱ、Ⅲではそれぞれ 17.5 日、22日頃に第2槽の生物膜量が第1槽より多量になっていることのためもあるが、第2槽では円板の回転方向が水流と向かい合い、円板表面が水流の強いせん断を受けるために生物膜が剝離し易い状態にあることが原因と考えられる。円板槽内のSSの経日変化を見ると第2槽内のSSは運転開始後10～20日で第1槽内のSSと逆転している。

また、円板槽内のpHは、いずれも弱アルカリ性であるが、流下方向の動きを見ると、系列Ⅰ、Ⅱではほぼ横這い状態であるのに対し、Ⅲでは円板槽の流下方向に徐々に高くなっている。全体として、下水温が低くなるに伴ってpHが若干高くなる傾向が認められた。

円板槽の流下方向のDOについては、円板槽内を流下するに伴い、いずれの場合にも急上昇している。実験では TOC負荷が大きくなるほど TOC除去率が低くなったが、表-4のDO値の動きから判断すると、それは酸素消費速度となったためではなく、低水温のために生物活動が鈍ったためと推測される。

4. あ と が き

水温と有機物負荷の異なる下水（北見市下水道終末処理場の最初沈殿池流出水）を対象に回転円板法による生物膜増殖過程と処理性に関する実験的検討を行った。その結果、生物膜増殖過程と処理性は有機物負荷と同時に下水温に大きく影響される状況が定性的に明らかになり、寒冷地における回転円板法の設計や維持管理に役立てうる 2.3の知見が得られた。

最後に、実験装置を提供して下さった（株）松下精

表-4 平均水質の動き（(1)～(5)は図-1の採水点に対応する）

実験項目	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	沈殿後水	除去率(%)
Ⅰ	pH	7.23	7.19	7.13	7.14	7.13	
	DO	4.0	5.6	6.3	7.3	7.5	
	SS	44.6 12.8	32.6 20.1	55.6 27.7	23.7 14.7	23.9 16.6	4.7 3.2 全体89.5
	TOC	39.8 8.6	13.1 2.5	11.3 2.0	10.9 2.2	10.7 2.1	第1槽67.1 全体73.1
Ⅲ	pH	7.45	7.66	7.62	7.61	7.61	
	DO	3.0	5.5	5.6	5.8	6.8	
	SS	80.1 37.5	99.1 55.3	199 121	97.0 52.9	82.3 28.4	18.7 7.5 全体76.7
	TOC	76.8 17.2	41.0 14.6	34.7 11.3	31.7 10.1	30.8 10.0	26.8 7.6 第1槽46.6 全体65.1
Ⅱ	pH	7.52	7.79	7.89	7.91	7.94	
	DO	3.3	6.1	7.0	7.7	8.2	
	SS	95.4 24.8	80.8 15.4	156 67.6	93.4 28.1	105 38.0	36.0 16.0 全体62.3
	TOC	104 17.0	70.3 17.4	66.8 17.8	64.1 18.5	56.0 18.1	51.2 19.2 第1槽32.7 全体51.0

(注)SS、TOC欄の下段の数字はいずれも標準偏差である。

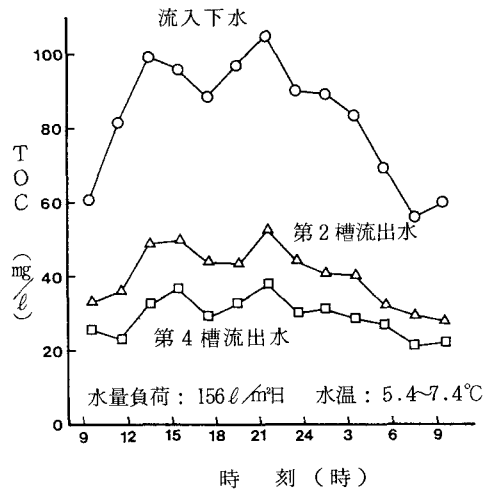


図-8 円板各層のTOCの動き
1982.1.18~19

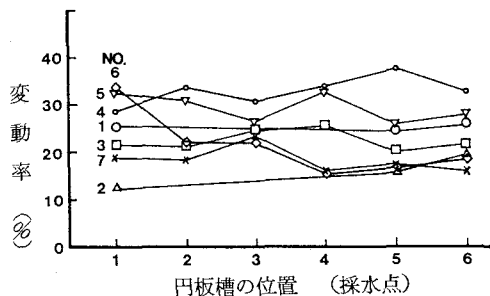


図-9 円板槽の位置と変動率の動き

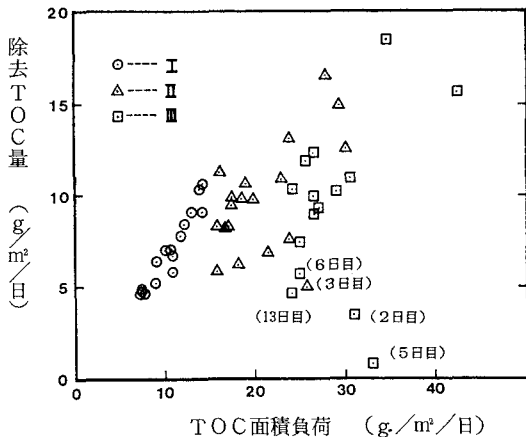


図-10 TOCの面積負荷と除去量

工に対し、また、実験装置の運転・データの採取にあたった北見工業大学土木工学科上下水道工学研究室の卒業生に対し、心から感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 1). 海老江・輪島：『負荷変動下における回転円板槽の処理特性について』
第4回回転円板法研究シンポジウム論文集（1982.11.）
- 2). 海老江・輪島：『回転円板法による都市下水の処理に関する研究』
土木学会北海道支部論文報告集 第37号（1981.2.）
- 3). 海老江 邦雄：『回転円板処理における負荷変動の影響について』
土木学会北海道支部論文報告集 第38号（1982.2.）
- 4). M.P.Filion他：『Performance of a R.B.C. under Transient Loading Conditions』
Journal of WPCF Vol.51, No.7 (July 1979)
- 5). 石黒 政儀他：『回転円板法における負荷変動の影響』
第3回回転円板法研究シンポジウム論文集（1981.11.）
- 6). 須藤 隆一他：『回転円板法における負荷変動に対する生物相（第1報）』
第17回下水道研究発表会講演集（1980.5.）
- 7). 海老江・輪島：『短時間の水質負荷上昇時における回転円板槽の挙動』
第19回下水道研究発表会講演集（1982.5.）