特集・生物膜法研究の今後

生物膜法研究の視点

— 故石黒政儀先生の思い出, 回転円板法への期待 —

渡 辺 義 公 *

1. はじめに

石黒政儀先生が昨年2月13日早朝逝去されてから1年が経過した。本誌は石黒先生の1周年忌に当たり、特集テーマ「生物膜研究の今後」を企画した。著者は1972年以降20年間にわたり、同じ研究室で石黒先生と生物膜法、特に回転円板法（以下、RBC）の研究を行ってきた。この20年はわが国におけるRBCのいわば揺籃期であり、石黒先生が育ての親であった。石黒先生は生物膜法研究部会長として毎年生物膜シンポジウムを企画し、生物膜法の発展に貢献された。第6回シンポジウムは平成5年3月の石黒先生の定年退官の記念とすべく、平成3年11月に宮崎大学で開催された。皮肉にもこれが石黒先生にとって最後のシンポジウムとなってしまった。

本文では、石黒先生の思い出と先生がその発展に努力されたRBCの今後についての私見を述べさせていただきたい。

2. 石黒先生と回転円板法

石黒先生がRBCの研究に着手したのは1965年であった。その頃、南九州には多数の甘藷でん粉工場があり初冬に一斉に操業し、濃厚な有機廃液を河川に放流していた。そのために、1964年冬に大淀川下流部から取水している宮崎市下北方浄水場は河川水中に大量に発生したスフェロチルスにより砂戸過池が閉塞し、逆洗を1日に36回行いついには取水停止に至った。石黒先生は北大（当時）の神山桂一先生（現北海学園大学）が馬鈴薯でん粉廃液処理に回転円板法（神山先生が命名したと聞いている）を用いた例を参考にして、南九州の甘藷でん粉廃液処理に同法を適用しようと考えたそうである。先生は、1965～1968年の4年間、宮崎県

工業試験場との協同研究として、RBCによる甘藷でん粉廃液処理の実験を行った^{1, 2)}。1966年冬の甘藷すり込み期に、円板直径が2mで材質が発泡スチロールのパイロットプラント実験を行い、COD負荷1.5kg/m²/日で70%のCOD除去率を得た。この時の接触槽のpHは4～5で、接触体上には酵母菌が付着生育し非常に特殊な生物酸化処理法と云えると結論づけている。石黒先生は1968年10月から半年間、RBC発祥の地であるスツツガルト大学に文部省在外研究員として滞在し、RBCについての研鑽を積まれた。その時の感想を、1969年9月発行の宮崎大学土木会報第22号に次のように綴っている。「この処理施設の中で異色を放っているのは、やはり回転円板装置であり、ペッペル教授から最初に見せてもらった時は、この研究のために、これを知らんがために地球を半周してこの大学までやって来たのだ、という胸の高なるのを覚えた。文献や写真で知ってはいたが、やはり、この研究に十年の才月を費し、活性汚泥法と散水ろ床法の次の廃液処理法として登場するのが、回転円板法であると絶対の自信を持つドイツ人の実験準備と周知なる実験計画である。直径3米、全長6米、百十七枚の円板（発泡スチロール）が四段並べてあり、常時運転し各種のデータが連続記録されている」。スツツガルトでは京都大学岩井門下生としての同僚である申丘澈先生との交流を深められた。申先生には1988年5月に宮崎大学で特別講演をお願いした。写真1はその折に霧島温泉に一泊した時の一コマである。お二人にとっての最後の歓談となろうとは、人生は分からないものである。

1972年4月に宮崎大学工学部土木工学科に衛生工学の学科目（1976年4月から修士講座）が設置され、私は助教授として採用された。着任直後の私に石黒先生は、水の研究はこれからは「量」から「質」へ移ること、宮崎大学のような地方大学ではユニークな研究が必要であることを力説され、回転円板法の研究への夢

* 宮崎大学工学部教授
Yoshimasa WATANABE

写真1 石黒先生(右)と申先生(左)の霧島での一コマ(1988年5月)

を話された。最初の実験装置は市販のし尿浄化槽に取付けてあった回転円板で、それを都市下水の三次処理に用いた³⁾。私にとっては初めての生物学的処理法に関する実験であり、硝化が活発に進行するのが新鮮な感動であった。石黒先生は私から見ると無謀とも思えるほどの決断で、実装置サイズの回転円板法の新しい適用にチャレンジされた。その1つが、1976年11月に完成した宮崎市萩の台市営埋立地の浸出污水处理装置である。この装置は浸出汚水中のアンモニア性窒素の酸化のための硝化用半水没型回転円板と、次段の脱窒用全水没型回転円板及び再曝気用半水没型回転円板から構成されている。この種の装置として国際第1号とすることである。当研究室での少ない実験データを基に、石黒先生の天性の勘で設計したものである。装置の試運転段階から14ヶ月にわたって、毎週1回のサンプリングにより装置の性能を調査した⁴⁾。図-1は硝化用回転円板への流入水と流出水の無機態窒素濃度の月別平均値である。これらのデータは夏季において大量の窒素がガスとして飛散したことを示しており、好気性の生物膜内でも脱窒が生じていることを示唆している。この知見は、生物膜内に硝化細菌と脱窒細菌が共存し、膜内が微好気性になると硝化・脱窒反応が生ずる証左である。この研究を発展させて、本講座の増田純雄助手が、学位論文「回転円板法による硝化・脱窒・有機物酸化同時反応に関する基礎的研究」(平成元年5月九州大学)をまとめた。

石黒先生は、河川水の汚濁に伴う浄水プロセスへの生物処理導入についても先見の明があり、福岡県中間市浄水場に水道原水硝化処理用回転円板法の導入についても技術的に指導された。また、恒例となっていた生物膜法シンポジウムにおける「回転円板法の現状と展望」についての特別講演では、その時点までの回転

図-1 萩の台埋立地浸出污水处理施設硝化用RBCの処理実績

円板法の実績についてのデータを紹介された。表1は第6回シンポジウム論文集に掲載されている回転円板法の処理水量別処理場数であり、先生の几帳面な性格がしのばれるデータである。

石黒先生は回転円板法の海外への技術移転にも大いに貢献された。1985年10月には、韓国政府科学技術庁の韓国科学技術高等研究所(KAIST)より、「回転円板法による水処理技術の研究開発指導」の名目で招聘された。1986年5月には、中国の同济大学、上海市政工程设计院、全中国給水排水工程標準技術委員会より、「回転円板法による廃水処理の原理と適用」についての指導のため招聘された。

上記のような先生の努力にもかかわらず、現在のRBCの評価は必ずしも高いとは言い難い。しかし、石黒先生の指導の下に20年間にわたってRBCの研究に従事してきた私は、決してRBCの将来を悲観的に考えてはいない。むしろ、後述するような視点において、RBCは大きな可能性を持った下・廃水処理装置であると期待している。すなわち、1) 維持管理が容易で省エネ型の小規模下水処理装置として、2) 生物学的硝化・脱窒プロセスとして、3) 難分解性有機物除去装置として、の視点である。以下、本文では宮崎大学で開発した小規模下水処理のための改良型RBC

表1 処理水量別処理場数(1991年12月31日現在)

処理水量 (m³/日)	1～ 99	10～ 999	1,000～ 4,999	5,000～ 29,999	30,000～ 69,999
処理場数	1,859	1,215	91	14	3
累 計	1,859	3,074	3,165	3,179	3,182
%	58.4	96.6	99.4	99.9	100.0

について説明し、石黒研究室の20年にわたるRBC研究の1つの成果を紹介したい。

3. 改良型RBCの概要⁵⁾

1970年代に我が国においても普及し始めたRBCは、維持管理が容易で省エネ型の下・廃水処理装置としての特徴を認識されたものの、その普及に伴っていくつかの欠点も顕在化した。その例として、初期の段階ではシャフトが折れたりメディアが破損するといった機械的トラブルや、次に処理水が白濁化したり季節の変わり目に生物膜が大量に剥離するといった操作上のトラブルが挙げられる。RBC発祥の地ドイツでは、平板メディアを持つ単純な形状のRBCが用いられた。しかし、1970年代初頭に米国のメーカーがRBCの改良に努めた結果、一軸当りのメディア面積を大きくするために複雑な形状のメディアが用いられた。このことと上述のRBCに係るトラブルが何らかの関連を持っていることは否定できない。また渡辺らは、RBCの後段に最終沈殿池を置き剥離生物膜を分離するフローを採用してきたことと、処理水の白濁化やけん濁性の有機物に由来するBODの発現が関連していることを指摘し、その改善策を提案した。

我が国の今後の下水道整備が地方へと波及すること、及び合併処理浄化槽のような個別の汚水処理装置も普及する可能性があることを考慮すると、処理施設の小規模化と維持管理面での簡素化への対応は、今後の大きな課題となっているのは周知の通りである。さらに、水道原水の水質の悪化、特にトリハロメタン問題と関連して、下水処理工程への硝化プロセスの導入が必要となっている。以上のような背景を考えると、維持管理が容易で硝化プロセスとして優れているRBCのハード面での改良の意義は大きい。

ここで紹介するRBCは、ドイツや米国で開発されたRBCを以下に述べる三つの点において改良した。

(1) 剥離生物膜を最終沈殿池ではなく接触槽内で分離する：従来のRBCの接触槽は生物膜と汚水を接触させる機能と、剥離生物膜を最終沈殿池へ輸送する機能を持つ。RBCは通常は多段で操作され前段部ほど生物膜の剥離が頻繁である。剥離生物膜は活性の低い生物塊であり、接触槽内で沈殿と浮上を繰り返しつつ流動する間に破壊される。そのため、剥離生物膜の最終沈殿池での分離効率性は極めて低く、処理水中に微細な有機性けん濁粒子が多数残留し、処理水のBOD濃度を高め、見かけの清澄度を低下させる。改良型RBC

では、接触槽底部を開口してイムホフ槽型の構造として、剥離生物膜を速やかに分離することにより、その微粒子化を防止するので見かけの清澄度が高い処理水が得られる。改良型RBCは、接触槽内で生物学的処理と固液分離を同時に行う、最終沈殿池不要の生物膜反応槽である。

(2) 接触体表面に微細突起を付け生物膜への物質移動速度を大きくした：RBCの処理能力は接触体表面積に比例する。したがって、RBCの処理能力を上げるために、接触体の直径を大きくしたり形状を複雑にしたりして、接触槽に収容する接触体表面積の増大に努めてきた。その結果、接触体重量が増し、軸が折れたり、複雑な形状の接触体による過度の攪拌による剥離生物膜の破壊による処理水清澄度の低下といった問題が生じた。改良型RBCでは、接触体表面に微細突起を付け、そこに発生する渦による攪乱作用により、生物膜への気質Fluxを大きくして、接触体単位面積当りの処理能力を高めた。

(3) ステンレス網メディアにより接触体を軽量化した：従来のRBCは発泡スチロールやプラスチックのような板状メディアを用いている。改良型RBCでは、ステンレス網をメディアとした。薄くて空隙の大きい網メディアは軽量で、しかも、生物膜の生育も早く、両サイドの生物膜が直接接し強固な生物膜が形成される。ステンレス網は外枠として用いている塩ビ板と溶着できるので、接着加工のプラスチックメディアよりもメディアの脱着は生じにくい。

改良型RBCは接触体直径が30cmのベンチスケールの実験を終了し、1991年秋から直径2mの八角形メディアを持つパイロットプラント実験によりその処理性能の確認を行っている。写真2がパイロットプラントの全景であり、写真3は接触体の1ブロックである。図-2は水温が20℃前後におけるパイロットプラントの処理実績である。流入原水は宮崎市木花下水処理場の最初沈殿池流出水である。水量負荷 $70\text{ l}/\text{m}^2/\text{日}$ （BOD負荷 $10\text{ g}/\text{m}^2/\text{日}$ 程度）では、処理水のTOC濃度は $10\text{ mg}/\text{l}$ 程度、DOCは $5\text{ mg}/\text{l}$ 程度（BODとして $5\text{ mg}/\text{l}$ 以下）、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度は $3\sim 4\text{ mg}/\text{l}$ となっている。この時の処理水量と単位処理水量当りのRBC駆動電力はそれぞれ $62\text{ m}^3/\text{日}$ と $0.1\text{ kWh}/\text{m}^3$ であった。昭和54年～57年にかけて日本下水道事業団が採用したRBC施設における単位処理水量当りのRBC駆動電力は $0.1\sim 0.3\text{ kWh}/\text{m}^3$ と報告されている⁶⁾。パイロットプラントの処理水量を考慮すると、改良型RBC

写真2 改良型RBCパイロットプラント

写真3 ステンレスメディア

図-2 改良型RBCパイロットプラントの処理実績（回転速度 = 2 rpm）

Cは極めて省エネ型の処理装置である。生物膜法の1つであり、多くの合併処理浄化槽や農業集落排水施設で使用されている接触曝気法では、500 m³/日の処理能力の装置の場合、単位処理水量当りのブロー電力は1.5kWh/m³程度との報告（宮崎県のある町における資料）があることから、改良型RBCが省エネ型であることがわかる。

来年度には、南国宮崎の気候風土を生かした太陽エネルギーを利用した太陽光発電によりRBCの駆動電力の一部を供給する実験を予定している。

4. お わ り に

我が国における回転円板法の育ての親であった故石黒政儀先生の一周忌に企画された本号に、先生と回転円板法の関りと宮崎大学での20年にわたる研究の成果の1つである改良型RBCについての概要について

報告した。このような特集を企画していただいた環境技術研究協会に衷心より謝意を表したい。

参 考 文 献

- 1) 石黒政儀, 高畑征三郎, 中村邦夫: 回転円板接触体による甘藷でん粉廃液処理について, 土木学会第21回年次学術講演会概要集, 1966年5月
- 2) 石黒政儀, 大野重直, 都留敏郎: 回転円板接触体による甘藷でん粉廃液処理の実験的研究, 土木学会第22回年次学術講演会概要集, 1967年5月
- 3) 石黒政儀, 渡辺義公, 友森拓雄, 田中春夫: 回転円板法による下水高度処理について, 土木学会西部支部研究発表会論文集, 1973年2月
- 4) 石黒政儀, 渡辺義公, 増田純雄: 回転円板法による塵芥埋立地の浸出汚水処理, 環境技術, Vol. 7, No. 6 (1978)
- 5) Watanabe Y. et al: Pilot Plant Study of an Upgraded Rotating Biological Contactor, Proc. of 2nd International Specialized Conference on Design and Operation of Small Wastewater Treatment Plants, Trondheim, Norway 28-30 June 1993
- 6) 中本 至: 最近の中小規模下水道対策と回転円板法, 環境技術, Vol. 14, No. 6 (1985)