

新しい高度処理技術による 水環境改善への取り組み

環境庁国立環境研究所 稲森悠平, 高井智文, 水落元之

1. 水環境の現状と必要とされる対策

我国における水環境の保全への取り組みは、主に各種法的整備の充実によって推進が図られてきた。昭和42年に制定され平成5年に環境基本法に引き継がれた公害対策基本法においては、各種の公害対策の総合的推進を図るために、事業者、国および地方公共団体の公害の防止に関する責務を規定したものであった。すなわち、公害の防止に関する施策の基本となる事項を定め、水質汚濁、大気汚染等に係る環境上の条件についてそれぞれ人の健康を保護し、また生活環境を保全する上で維持されることが望ましい基準として環境基準をはじめ導入・制定した。また、これを受けた形で昭和46年に水質汚濁に係る環境基準が定められ、この基準を達成するために、同時に実施法として水質汚濁防止法が策定され各種施策がなされてきた。

しかしながら、一時的な危機的状況は脱したものの一向に公共用水域における水質改善は進んでおらず、¹⁾ 河川、湖沼、海域の水質環境基準は平成6年度の生活環境項目の達成率で見ると67.9% (平成5年度77.3%)、40.6% (同46.1%)、79.2% (同79.5%)であり、ここ数年来横這い状態がつついていたものが、全体としてみても68.9% (同76.5%)で前年度に比べて10%近く大きく低下した。これは、平成6年度は湯水等の環境条件等が重なったこともあるが、湖沼、内湾、内海などの

閉鎖性水域と都市中小河川の汚濁状況の改善が遅々として進まないことに起因していることは明らかである。なお、湖沼における全窒素・全リンに係る達成率は41.7% (前年度33.3%)と48当てはめ水域中20水域で達成と、依然低いままである。²⁾

湖沼はその閉鎖性により汚濁物質が蓄積されやすく、窒素・リン等の栄養塩類の増大により、藻類等の一次生産者の増殖が促進され、いわゆる富栄養化が進行している。湖沼・ダム湖は、水道水源となっていることが多く、藍藻類由来のカビ臭発生や濾過障害といった問題を誘発している。また、アオコの発生は悪臭、極端な水質および景観の悪化の原因にもなっており、水利用にとって大きな被害が生じている。中小都市河川では、表1に示すようにBODが50mg/lを超えたり、また湖沼においてもCODが20mg/lを超えるなど、その浄化対策が叫ばれて久しい。

基本的な浄化対策としては下水道整備が挙げられるが、平成8年度3月末には54% (平成7年度3月末51%)の処理人口普及率が見込まれている。³⁾しかし、この普及率を早急に伸ばすことは財政的視点から見ても、傾斜地の多い我国の国土条件から見ても極めて困難であるのが現状である。平成6年度末に東京都区部の普及率が100%に達し、また横浜市、名古屋市、京都市、北九州市など大都市圏の普及率も軒並み95%を超えていることは、専

表1. 水質汚濁の進んだ河川、湖沼のワースト5（平成6年度公共用水域水質測定結果，生活環境項目について7,059地点で実施）²⁾

測定地点	順位	河川・湖沼名	県名	年度平均値 (mg/ℓ)	最大濃度** (mg/ℓ)
河川	1	牛津江川下流	佐賀県	55 (69)*	100
	2	飯江川高田堰より下流	福岡県	30 (50)	130
	3	不老川	埼玉県	29 (35)	73
	4	備前川	茨城県	29 (33)	76
	5	江戸上川	茨城県	27 (18)	170
湖沼	1	手賀沼	千葉県	21 (24)	31
	2	佐鳴湖	静岡県	13 (14)	17
	3	印旛沼	千葉県	11 (12)	20
	4	油ヶ淵	愛知県	10 (10)	18
	4	児島湖	岡山県	10 (11)	12

* 括弧内の数値は75%値を示す。 ** 最大濃度は日間平均値の最大値である。

ら投資効率の高い大都市部での下水道の整備が進められてきたことを示唆している。未着手の市町村が1,200以上もあり、普及に都市規模や地域別の格差が生じている現状を鑑みると、第8次下水道整備5カ年計画に寄せる期待も大きい。よりコストが安く迅速な環境改善効果の得られる高度小規模合併処理浄化槽等の設置促進が必須と考えられる。更に発生源対策以外にも、人工干潟等による自然の浄化性能を強化する手法の活用も重要と考えられる。

また、この他に水環境において必要とされる対策は、農薬、有機塩素化合物、油分、埋立地浸出水等に代表される各種の化学物質による汚染防止である。地下水をはじめ海洋汚染等を引き起こす可能性が指摘されており、トリブチルスズ、トリフェニルスズ、ダイオキシン類などの汚染と同様に、重大な社会問題へと発展する危険性をはらんでいる。

このような背景を鑑み、本報では新しい高度処理技術としてバイオエンジニアリング、またエコエンジニアリングを活用した近年の水環境改善への取り組みをまとめ展望する。

2. 環境基本計画に基づく水環境対策

水環境汚染等の都市・生活型公害、廃棄物の増大、身近な緑の減少さらには地球規模の環境問題の顕在化が進む中、新たな対策の枠組みの必要性への認識の

高まりを受けて、「人類共有の共存基盤である有限な地球環境を維持し、環境の恵沢を享受、継承、その際、先人の知恵を受け継ぎつつ現代文明のあり方を問い直し、生産と消費のパターンを持続可能な物に変えていく」という基本的考え方のもとに環境基本計画は策定された。⁴⁻⁵⁾ また、その基本方針の中では、長期的な目標として「環境への負荷の少ない循環を基調とする経済社会システムの実現」、「自然と人間との共生の確保」、「公平な役割分担の下での全ての主体の参加の実現」および「国際的取組みの推進」を掲げている。

水環境の動向を把握し保全施策を適正に実施するためには、効果的な監視等の体制整備が必要であり、環境基本計画においては、表2に示す施策を推進することとしている。

なお、これらの中でさらに水処理技術開発と密接に関係する項目を列記すると以下の通りである。

(1) 工場・事業場については、適切な排水規制を行うとともに、環境への負荷を低減する見地から、水の循環利用等を組み込んだ生産工程の導入等を促進する。また、建築物等における水の循環利用、雨水利用を促進する。

(2) 生活排水については、下水道整備を促進

表2 環境基本計画における施策の総合的・計画的推進の内容

<p>○関係省庁、地方公共団体の連携の下での、環境基準設定項目等に係る監視等の効果的な実施。また、それに必要な水質測定計画の策定・実施体制の適切な整備。</p> <p>○国が実施すべき要監視項目、その他必要な項目に係る監視等を効果的に実施する体制の適切な整備。</p> <p>○生物指標により水環境を総合的に評価する手法の開発、および住民の協力を得た適切な調査、監視等の実施。</p> <p>○地下水汚染の地域的な広がりについて、総合的な調査監視等の実施。</p> <p>○海洋環境保全のための総合的な調査、監視等の実施。</p>	<p>(6) 有害物質に汚染された地下水については、汚染機構の解明および浄化技術の開発を推進し、適切な対策を実施する。</p>
<p>するほか、地域実情に応じコミュニティプラント、農業集落排水処理施設、合併処理浄化槽等各種生活排水処理施設の整備を進める。また、生活排水対策重点地域においては、生活排水対策推進計画を策定・実施するとともに、台所等からの汚濁負荷を低減するため、その方法等について必要な情報の提供、普及啓発を進める。</p>	<p>(7) 硝酸性窒素による地下水汚染については、汚染原因と汚染状況との因果関係に関する調査研究を進めるとともに、汚染原因および地域特性に応じた適切な対策についても検討を進める。</p>
<p>(3) 市街地、農地等の非特定汚染源については、汚濁負荷量の把握等の調査研究、都市排水や農業等における対策技術の開発・普及等の適切な施策を推進する。</p>	<p>(8) 都市域における健全な水循環を確保するため、下水道処理水等の効果的利用および緑化、透水性舗装や浸透ますの設置等による雨水の適正な地下浸透を進める。</p>
<p>(4) 下水道の高度処理技術の一層の開発・普及を推進するとともに、排水規制の対象となっていない小規模事業場や一般家庭等からの負荷を低減するため、小規模事業場に適用可能な排水処理技術や合併処理浄化槽における高度処理技術の開発・推進を進める。</p>	<p>(9) 海域においては、自然海岸、干潟、藻場、浅海域の適正な保全を推進するとともに、自然浄化能力の回復に資するよう、必要に応じ人工干潟・海浜等を適切に整備する。</p>
<p>(5) 排出源が生活系、産業系など多岐にわたるトリハロメタン前駆物質については、水道の浄水場での塩素注入によりトリハロメタンが生成されることに鑑み、浄水場での対策を踏まえて、生活排水対策、工場・事業場の排水規制等を実施する。また、河川等における浄化対策を進める。</p>	<p>環境基本法は、公害対策基本法の「公害の防止による国民の健康の保護、生活環境の保全」という基本的考え方から「環境保全に対する施策の総合的・計画的推進による国民の健康で文化的な生活の確保、人類の福祉への貢献」という一歩進んだ積極的な環境保全を打ち出しており、⁶⁾このような環境基本計画に則って、高度な水・汚泥処理技術開発を今後進めていくことが、その理念とするところを充足する上で必須と考えられる。</p> <p>また、地球温暖化問題、酸性雨の生態系に及ぼす影響等をはじめ、総合的かつ地球規模</p>

で環境問題を捉え議論し、大気、水、土壌、またそのクロスメディアにおける負荷の低減を図っていくことが必須である。

て、顕著な拡がりを見せている。なかでも、し尿と生活雑排水をあわせて処理する合併処理浄化槽は、小規模分散型処理

表3 水質汚濁防止法に基づかない市町村の条例等に基づく小規模合併処理浄化槽に対する上乗せ基準の例

都道府県*	市町村	BOD (mg/ℓ)	T-N (mg/ℓ)
福島県	白沢村, 須賀川氏, 北塩原村	10	20
	山都町, 昭和村, 猪苗代村	10	
長野県	阿智村, 四賀村	10	15
	真田町	10	
京都府	京北町	10	
福岡県	久山町	5	5**
	瀬高町	10	5**
	遠賀町, 宇美町	10	
佐賀県	武雄市	10	
大分県	玖珠町	20	25
	直川村	20	20
宮崎県	川南町	20	25

注) *計画中也含む, ** NH₄-N

施設としてその重要性、有効性が広く国民に理解されるとともに、BODのみならず窒素等の栄養塩類の高度除去等により、非常に高い環境改善効果が期待できること等、その多くのメリットにより生活排水対策の要となっている。^{7~9)} 従来より生活雑排水を垂れ流し、処理機能自体にも非常に問題のあった単独処理浄化槽は、平成7年の生活環境審議会の答申では、3年後を目途に廃止することが打ち出されており、¹⁰⁾ 合併処理浄化槽の設置促進が各地方自治体で急速に進むことが予想されるとともに、

3. バイオエンジニアリングによる水環境改善対策

3.1 生活排水の高度処理技術の進展

近年の生活排水処理技術、特に浄化槽をとりまく環境の変遷は目を見張るものがあり、その処理機能および社会システムの高度化・発展への取り組みは、水環境問題の顕在化したそれに伴う住民の環境意識の高まりと相まっ

その処理性能に対する要望も益々強くなってきている。¹¹⁾ 表3、4に地方自治体が独自に設定した上乗せ排水基準を示す。厳しい上乗せ基準を課す市町村が増えていると同時に、滋賀県のように平成8年度より県内全域で下水道未整備地域での新築住宅について高度な合併処理浄化槽の設置を条例で義務づけるといった施策を打ち出し、生活雑排水により汚濁の進む琵琶湖の保全を図っていく例も見られる

表4 高度小規模合併処理浄化槽の構造指定に基づく上乗せ基準の例*

都道府県	市町村	構造	指定
東京都		窒素除去のできる高度な処理方式。	
茨城県	土浦市	流量調整方式を基本とする。好気処理水を嫌気ろ床槽へ循環可能であり、循環水量を計量可能な構造を有していること。	
	長野県 西賀村	同	上
宮崎県	川南町	同	上
茨城県	つくば市	流量調整方式のみに限定し、好気処理水を嫌気ろ床槽へ循環可能であり、循環水量を計量可能な構造を有していること。	
大分県	直川村	同	上
石川県	小松市	流量調整機能を有し、嫌気槽と好気槽が組み合わせられており、かつ循環装置が負荷されており、好気槽から嫌気槽への循環水量を設定できる構造になっている。この場合流量調整機能が無い槽については窒素除去を考慮した槽容量を有し、かつ循環装置に準ずる循環水量の把握ができる構造になった装置が整備されていることを条件とする。	
千葉県	佐倉市	同	上

注) 高度な処理水質を満足する構造指定を行う市町村が急速に増加しつつある。つくば市においては下水道以外の生活排水対策は高度合併処理浄化槽で図ることとし、単独処理浄化槽の設置を認めないこととしている。

ようになってきた。

このような背景のもと、処理機能の構造を定める浄化槽構造基準は、昭和55年の全面改正、昭和63年の処理対

象人員5人以上50人以下の小規模合併処理浄化槽の基準追加，平成2年の水質汚濁防止法の改正に伴った，総量規制地域における指定地域特定施設として，201人以上500人以下の

人以下の合併処理浄化槽の基準追加等，随時技術開発力，社会情勢に見合った改正が行われてきた。この段階において，5人以上の合併処理浄化槽においてはすべてBOD20mg/ℓ

表5 浄化槽の新旧構造基準の概要と比較

新構造基準		単独と合併の区分	処理性能 (mg/ℓ)					処理対象人員						旧構造基準							
告示区分	処理方式等		BOD除去率 (%)	BOD	COD	T-N	T-P	50	100	200	500	2000	5000	告示区分	処理方式等						
第1	一 分離接触ばっ気	単独	60	90	-	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						第1	一 分離接触ばっ気						
	二 分離ばっ気							合併	90	20	-	-	-		[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						二 分離ばっ気
	三 散水ろ床														三 散水ろ床						
	四 分離接触ばっ気 嫌気ろ床接触ばっ気	四 分離接触ばっ気 嫌気ろ床接触ばっ気																			
	五 脱窒ろ床接触ばっ気	五 脱窒ろ床接触ばっ気																			
	六 脱窒ろ床接触ばっ気	六 脱窒ろ床接触ばっ気																			
	七 一般構造	各項共通の一般構造										六 一般構造									
第2	一 回転板接触	合併	70	60	60	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						第2	一 回転板接触						
	二 接触ばっ気							二 接触ばっ気													
	三 散水ろ床							三 散水ろ床													
	四 長時間ばっ気							四 長時間ばっ気													
第3	一 回転板接触	合併	85	30	45	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						第3	一 回転板接触						
	二 接触ばっ気							二 接触ばっ気													
	三 散水ろ床							三 散水ろ床													
	四 長時間ばっ気							四 長時間ばっ気													
	五 標準活性汚泥							五 標準活性汚泥													
第4	腐敗槽	単独	55	120	-	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						第4	腐敗槽						
第5	地下浸透	単独	SS除去率55%、SS濃度250					[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						第5	地下浸透						
第6	一 回転板接触	合併	90	20	30	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]						第6	一 回転板接触						
	二 接触ばっ気							二 接触ばっ気													
	三 散水ろ床							三 散水ろ床													
	四 長時間ばっ気							四 長時間ばっ気													
	五 標準活性汚泥							五 標準活性汚泥													
第7	一 接触ばっ気砂ろ過	合併	-	10	15	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]													
	二 分離凝集							二 分離凝集													
第8	一 接触ばっ気活性炭吸着	合併	-	10	10	-	-	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]													
	二 分離凝集活性炭吸着							二 分離凝集活性炭吸着													
第9	一 硝化液循環活性汚泥	合併	-	10	15	20	1	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]													
	二 三次処理脱窒・脱磷							二 三次処理脱窒・脱磷													
第10	一 硝化液循環活性汚泥	合併	-	10	15	15	1	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]													
	二 三次処理脱窒・脱磷							二 三次処理脱窒・脱磷													
第11	一 硝化液循環活性汚泥	合併	-	10	15	10	1	[Bar chart showing performance for 50, 100, 200, 500, 2000, 5000 people]													
	二 三次処理脱窒・脱磷							二 三次処理脱窒・脱磷													
第12	水質汚濁防止法対応	水質汚濁防止法の排水基準										第7	水質汚濁防止法対応								
第13	建設大臣認定	その他建設大臣が上記構造と同等以上の効力があると認めるもの										第8	建設大臣認定								

注) 第9、第10、第11は日平均汚水量が10m³以上の場合に限る。

浄化槽の規制開始，また，平成3年に告示1292号の改正による排水がBOD20mg/ℓ以下に対応できる処理対象人員51人以上500

以下に対応できる構造基準の整備がなされた。

そして，平成7年12月にはさらに浄化槽構造基準を技術開発の進展を反映させ，維持管

理面についても十二分に配慮させた形で改正を行い、窒素・リンの除去を中心とする高性能な浄化槽の構造基準を追加した構造基準が示された。その中で、BOD10mg/ℓ、T-N 10mg/ℓ、T-P 1mg/ℓ以下の構造基準が告示第11として盛り込まれるなど、現状の技術力の着実な進歩を勘案し、その発展に見合った構造基準の改正が行われた(表5)。¹²⁾

いかにして快適で安全な水辺環境を維持するか、限られた水資源を次世代に残すかが社会的緊急課題として取り上げられるなか、BODを安定して除去するのみならず、窒素やリン除去を含めた合併処理浄化槽の高度化が求められるようになったのは必然であり、その要請に対する政策面、技術面での鋭敏なレスポンスが更に強く求められている。

我国では1970年代から窒素、リン除去のための活性汚泥法が開発され、現在各種の高度窒素・リン除去プロセスが確立され、改訂された下水道施設設計指針においても窒素・リン除去能を有する高度処理プロセスの構造、管理法が位置づけられた。すなわち、生態系を健全に保全する上では、特に窒素・リン除去が必須であるが、その基本となるプロセスが嫌気・好気条件をサイクリックに繰り返す生物学的硝化・脱窒、生物学的リン除去プロセスである。嫌気・好気条件による効果的な脱窒・脱リンを行う代表的プロセスである循環式嫌気好気活性汚泥(A₂O)法等では、効果的に微生物が機能するとBOD10mg/ℓ以下、T-N10mg/ℓ以下、T-P1mg/ℓ以下に処理することが可能である。更に、間欠曝気活性汚泥法、嫌気好気回分式活性汚泥法などの他、通常の活性汚泥法などの微生物浮遊懸濁法では洗い出され定着しにくい硝化細菌などの増殖速度の遅い有用微生物をポリエチレ

ングリコール等で包括固定化し、有用微生物を生物処理反応槽中で強制的に機能させる、現状のBOD除去方式の活性汚泥法の反応槽容量で高度処理化が可能なベガガスと称される嫌気好気包括固定法¹³⁾も普及し始め、大きな期待がもたれている。なお、これらの高度処理を管理の容易性、省コスト性等から効率的に行う上では、有用微生物が適切に機能するようなMLSS、DO、ORP等に着目した自動制御システムの開発と導入が重要になってくるものと考えられる。すなわち、有用微生物の機能が最大限に発揮される管理技術開発は極めて重要である。また、生活排水対策の中でディスポーザーを組み込んだゴミの減容と生活の快適性を目指した高度な水処理技術の開発も建築研究所と国立環境研究所でなされ、その成果が大きく期待されている。

3.2 難分解性排水の高度処理技術

各種産業活動により排出される難分解性物質を含む排水は、多種多様な化学物質の生産・普及に伴い多岐にわたり、質的にも量的にも大きな負荷源となっている。その汚濁負荷源としては、写真現像廃液、染料廃液、電気メッキ廃液、酸・アルカリ表面処理廃液、発電所廃水等の化学工業・事業場からのものに加え、農地からの農薬を含んだ流出水、埋立地からのフミン質等を含んだ浸出水等が挙げられる。

この中で写真現像廃液は、チオ硫酸ソーダ、食塩等の塩濃度が極めて高いと同時に、生物阻害性の極めて高い成分を含有している難分解性排水である。写真撮影や病院等におけるX線撮影、新聞社、印刷所における写真製版などによるフィルムの現像、印画紙への焼付け等、広く日常生活において排出源があり、量的にも現像廃液および定着液として

年間約20万トンも排出されている。現状は約65%が海洋投棄により処分されているが、¹⁴⁾ ロンドンダンプ条約の発効により平成8年1月より海洋投棄が禁止される項目に該当するため、その処理対策の確立が迫られている。その中で、一部は焼却法による処理を実施しているが、焼却ガス中のSO_x、NO_x等による大気汚染や、焼却のための大量の燃料消費によるコストアップ、またそれに伴う大量のCO₂排出等により代替策としては極めて不十分である。ほとんどの場合、生物処理を組み合わせた化学処理法が採用されているが、フェントン酸化法、¹⁵⁾ オゾン酸化法、¹⁶⁾ 鉄粉添加法等により難分解性物質を除去し、生分解性の比較的高い部分を生物処理する場合においても、大量の化学薬品の使用とそれに伴うコストアップ、また大量に発生する汚泥の最終処分問題が生じ、更なる技術開発が必要とされている。

難分解性の多様な成分を含有する排水として知られている埋地地浸出水については新技術としての嫌気好気生物活性炭流動床・中間

オゾン酸化・嫌気好気生物活性炭流動床法(図1)が、難分解性物質を効果的に除去する上で効果的なことがヒューマンサイエンスプロジェクト研究で明らかにされている。¹⁷⁾

また、近年では先端産業、洗濯産業等で使用されているトリクロロエチレン、テトラクロロエチレン等有機塩素化合物による土壌・地下水汚染が問題となっている。¹⁸⁾

有機塩素化合物は難分解性物質であり、何らかの対策が講じられない限り汚染状態が解消しない蓄積性の汚染物質である。¹⁹⁾ そのため、平成元年6月に水質汚濁防止法の一部改正により有害物質を含む水の地下浸透が禁止され、地下水質の常時監視が行われることになったことに加え、平成5年3月においては、15項目の水質環境基準健康項目の追加が行われた。また、それに伴い、地下水の評価基準も改正されている。評価基準は水質環境基準健康項目の基準値と同一値となっており、ジクロロメタン等の13物質(トリクロロエチレン、およびテトラクロロエチレンは従来より評価基準あり)が追加されている(表6)。²⁰⁾

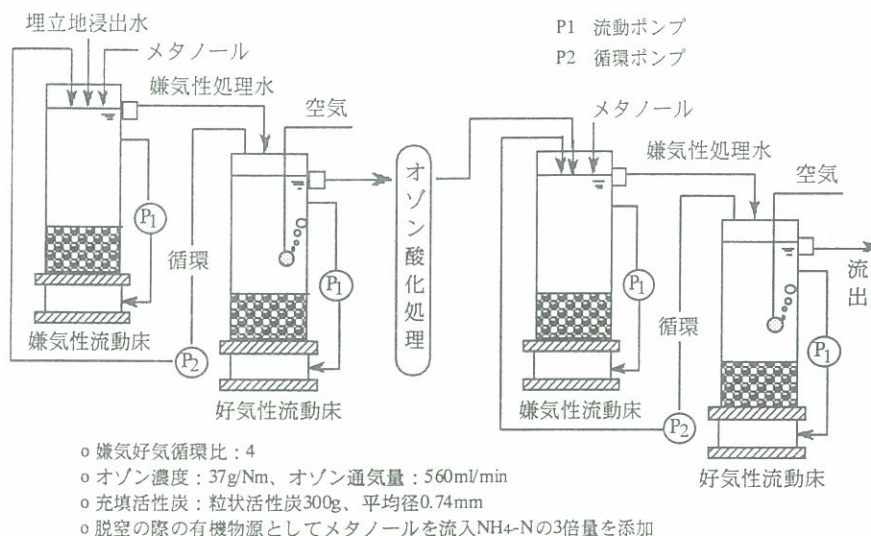


図1 オゾン中間微生物活性炭流動床処理装置の模式図

表6 有機塩素化合物等の地下水水質評価基準項目と基準値の概要

評価基準項目	基準値 (mg/ℓ)	評価基準項目	基準値 (mg/ℓ)
【有機塩素化合物】		チラウム*	0.006
トリクロロエチレン	0.03	シマジン*	0.003
テトラクロロエチレン	0.01	チオベンカルブ*	0.02
ジクロロメタン*	0.02	ベンゼン*	0.01
四塩化炭素*	0.002	セレン*	0.01
1,2-ジクロロエタン*	0.004	カドミウム	0.01
1,1-ジクロロエチレン*	0.02	全シアン	検出されないこと
cis-1,2-ジクロロエチレン*	0.04	鉛	0.01 (0.1)**
1,1,1-トリクロロエタン*	1.0	六価クロム	0.05
1,1,2-トリクロロエタン*	0.006	ヒ素	0.01 (0.05)**
1,3-ジクロロプロペン*	0.002	総水銀	0.005
		アルキル水銀	検出されないこと
		PCB	検出されないこと

* 平成5年3月の水質環境基準改正に伴い追加された項目。

**また、その時同時に評価基準値が強化された項目。()内は旧基準値。

水質汚濁防止法の改正以来、地下水質のモニタリングとして(1)概況調査、(2)汚染井戸周辺地区調査、(3)定期モニタリング調査等が行われてきた。その平成元年から5年度までの調査結果を表7に示すが、概況調査からは評価基準を超えて検出される有害物質の8割以上がトリクロロエチレン等の有機塩素化合物であったうえ、汚染井戸周辺地区調査では、超過率は概況調査より更に高くなってい

表7 有機塩素化合物等の地下水水質評価基準項目に対する平成元年度から5年度までの概況調査結果

評価基準項目	調査数累計 (本)	超過数累計 (本)
トリクロロエチレン	24,605	134
テトラクロロエチレン	24,605	224
1,1,1-トリクロロエタン*	20,130	6
四塩化炭素*	9,522	3
カドミウム	13,260	3
全シアン	12,853	1
鉛	13,337	7
六価クロム	13,588	3
ヒ素	13,005	55
総水銀	13,161	13
アルキル水銀	3,333	0
PCB	7,625	0

* 1,1,1-トリクロロエタン、四塩化炭素は調査期間中は暫定指導指針により指導が実施されていた項目。

** 超過数とは、測定当時において評価基準等を超過していた井戸の数を示す。

る。そのため、平成6年2月に土壤環境基準に有機塩素化合物が追加され、また地下水汚染が発見された場合の汚染源究明の手順を示す必要性が生じたことより、環境庁では「土壤・地下

水汚染対策技術委員会」を設置し、平成6年11月に「有機塩素系化合物等にかかる土壤・地下水汚染調査・対策暫定指針」が策定・通知された。²⁰⁾

その中で有機塩素化合物等による汚染処理対策としては、これまでに実用化されているものとして土壤ガス吸引法、地下水揚水法、土壤掘削法が表8に示すように記されている。しかし、経済性や処理効率等の観点からみてまだまだ上記の手法は十分とは言えない状況であり、汚染の機構解明と新しい技術の開発が必須である。

また、有機塩素化合物の適切な高度処理技術の確立は社会的急務であるが、その処理・回収法としては、ほとんど液相、気相における活性炭吸着処理法等が主体である。しかし、吸着飽和後の活性炭の再生処理等に問題を抱えているため、分解処理による無害化が必要である。

そのため、紫外線と二酸化チタン等の触媒を使用する光触媒分解が、その分解効率の高さより新しい処理技術として着目さ

れている。また、触媒の回収方法を考慮した処理法も報告されており、ゾルーゲル法として石英管に触媒を固着した液相中での分解法²¹⁾ また曝気により気相中に有機塩素化合物

み合わせは不可欠となる。

なお、生物による環境修復またその修復技術という意味を示すバイオレメディエーションにより、有用微生物の機能を活用して有機

塩素化合物、硝酸性窒素、油分等の汚染物質を分解し、無害化する手法が新たに開発されるようになってきている。²¹⁾

表8 既設汚染土壌浄化処理施設における処理対策手法

処理対策	技術手法
土壌ガス吸引法	不飽和体に存在する対象物質を強制的に吸引除去し、汚染土壌の処理対策を図るものである。
地下水揚水法	汚染地下水を揚水し、対象物質を除去、回収することにより地下水および土壌の処理を行うものである。揚水井戸は汚染地下水が広域拡散を防止することも可能である。
土壌掘削法	汚染された土壌を掘削し、掘削した汚染土壌を現地内または現地外において風力乾燥、加熱処理等することにより対象物質の除去・回収を行うものである。

を移した後に気相中で分解する方法²²⁾が提案されている。この気相中での分解は、光照射後5分以内にトリクロロエチレンが100%分解できたことから極めて処理効率は高いと考えられるが、水道法に基づく水質基準中の監視項目であるジクロロ酢酸およびトリクロロ酢酸が分解副産物として検出されることから、いかに二次汚染を防ぐか複合技術の開発が急がれるところである。

また、地下水は硝酸性窒素や油による汚染も進んでおり、硝酸性窒素においては10mg/ℓ以下の水道水質基準（要監視項目としても同基準値）を超えて検出された井戸の割合は毎年5%前後もある。この原因としては、従来から畑地などへの過剰な施肥や畜産廃棄物の農地還元、生活排水の地下浸透処理が原因とされている。また、ガソリンスタンドから漏洩したガソリンによる地下水汚染も明らかとなっている。²³⁾ これらのことから、発生源対策で防止できる場合、例えば生活排水処理水を土壌浸透するような場合は、窒素の高度に除去できる合併処理浄化槽と土壌トレンチとの組

3.3 高濃度有機性排水の高度処理技術

高濃度有機性排水を排出する業種は多くあるが、食品加工業、ラーメンショップ、畜産業といった業種がその多くを占める。その食品産業の代表的なものとして、ビール製造業があるが、ビール工場排液においては、製麦工程、醸造工程、びん・缶詰工程等の工程排液として、浸麦排水、酵母排水、ビール仕込み粕排液、洗ビン排液等、多種多様な排水が発生する。これらの排水は高濃度のBODを含有する有機性排水であり、SSが多く、酸敗しやすく、pHが低くなっているなどの特徴を有している。²⁵⁾ このため、通常の活性汚泥処理システムでは、原水を水で希釈する必要が生じたり、余剰汚泥が著しく多くなるなどの問題を有するため、高負荷がかけられ余剰汚泥の問題が少なく、消費動力が小さい嫌気性処理等の開発が進んでいる。

この嫌気性処理では、図2に示すような嫌気性細菌群の自己集塊作用を利用したUASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) 等が開発され、実用化されつつあるが、粒状汚

泥（グラニュール）の生成に6ヶ月から1年という期間を要するため、種グラニュールの常時確保が必須とされている。そのため、短期間でグラニュールを形成させることを目的とし、アルミナ-シリカ系の多孔室微小担体を添加する改良型のUASBも開発されるようになってきている。²⁶⁻²⁷⁾

また、食品材料として近年注目されている大豆蛋白を生産する工程では、油を搾り取った大豆（豆乳）から蛋白質を分離回収した後、BOD1,000~5,000mg/lの高濃度有機性廃液（大豆ホエー）が発生するが、この廃液においても改良型のUASBの導入が試みられ、好気性の処理方式と比較して約7分の1の低コストで安定した処理が可能となることが明らかとなっている。²⁸⁾

さらに、業種、工程によっては窒素等の栄養塩類を非常に多く含むことが考えられるため、有機物のみならず窒素までも除去できるプロセスとして、UASB・セラミックス充填好気ろ床循環プロセス等が開発されてきている。²⁹⁾ この方式は、嫌気性、好気性の各有用微生物を槽内に高密度に保持すると同時に、その活性を高め、維持するために好気性処理

水を嫌気槽内に循環する装置を付加したものであり、安定してCOD 10 kg-COD/m³/day, 0.6kg-T-N/m³/dayの負荷においても各々98%以上、70%以上の除去が行えることが明らかとなっている。

これらの処理法は、いずれも絶対嫌気性のメタン生成菌によるメタン発酵および通性嫌気性菌の脱窒反応を利用したものであるが、エネルギー源として利用可能なメタンを回収する技術開発も進んでいる。昭和60年から平成2年まで実施された通産省の「水総合再生利用システムの研究開発-アクアルネッサンス'90計画」で開発された方式に、酸発酵リアクターとUASB式のメタン発酵リアクターの間に分離膜を導入した膜複合メタン発酵処理システムがあるが、でんぶん排水を処理する方式に導入され、高度な浄化が可能となると同時に安定したメタンの回収が行えることが明らかとなっている。³⁰⁾

また、有用微生物を活用した処理法の一つに、酵母による処理がある。活性汚泥法と比較してこの酵母処理は、1) 高負荷運転が可能であるため、容積が1/3~1/4とコンパクト化が可能となる、2) 低い溶存酸素でも十分酸化が進行するため、送風量が少なくすむため、動力費の低減化が可能となる、3) 酵母は増殖量が少なく、活性汚泥の2/3程度であるため、焼却処分による燃料費が削減可能となる、4) 余剰酵母は無薬注脱水が可能であり脱水性がよい、5) 酵母は蛋白質、脂質、ビタミン含有量が多く、肥料、飼料に使用できる、6) 酵母処理ではn

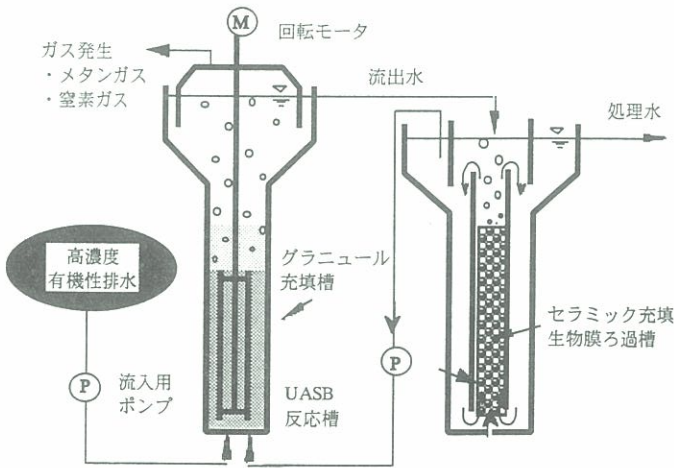


図2 高濃度有機物および窒素除去可能なUASB・セラミック充填生物膜ろ過槽の模式図

－ Hexane 抽出物質、抗生物質等の活性汚泥法では処理できない排水も処理可能であること等、非常に多くの利点を有する。³¹⁾

なお、有用微生物を活用する手法に加え、その活性助剤として微生物製剤等の検討もいくつか行われている。なかでも油分濃度が高い排水に対しサポニンを添加した試験や、実施設における使用も報告され、その有効性が確認されている。³²⁾ さらに、有価資源の回収といった観点から酵母だけでなく、水生植物であるホテイアオイを用いて、高濃度の乳製品工場排水の処理を行った報告がある。³³⁾ ホテイアオイは汚濁耐性が十分強く、ホテイアオイの繁殖する調整池により COD が 3,600mg/ℓ までの乳製品工場排水の二次処理として適用が可能であると同時に、ホテイアオイをバイオガス、コンポスト、飼料に利用することができる。

また、平成6年2月には水道水源保全にかかるとる法案が環境庁、厚生省によりそれぞれ立案され、成立したが（水源保全二法）、その中で発生源対策としてのトリハロメタンの抑制が強く求められていた。すなわち、食品産業排水によっては、ミカン缶詰工場排水中のクエン酸、フラバノン類、豆腐・油揚げ製造業排水中のイソフラボン類のように、トリハロメタン生成能の高い物質を多く含有する場合があります。³⁴⁾ 排水中の BOD、N、P に加え、さらにトリハロメタン前駆物質の除去の面からも排水処理システムの適正化が必要とされている。

なお、高温好気発酵法を用いた高濃度有機性排水の処理法も応用例が多く、食品加工排液のみならず、醸造排水、食堂残飯スラリー等の処理処分に活用されている。有機物を 60℃前後の高い温度で好氣的に分解させると

いう原理は、コンポスト化法と同じであるが、反応槽中に占める副資材の割合がコンポスト化法の 30% と比較して 90% と高いのが特徴であり、反応期間も 1ヶ月以上かかるものを数日に短縮できるというメリットがある。副資材としてはオガクズ、モミガラが使用される場合が多いが、これ以外にも未利用資源としての裁断した水生植物アシも活用の可能性が高く、有機物分解を促進する効果として通気性の保持、水分調整、微生物の住みかとしての担体が重要な役割を演じている。この装置の特性としては他に、反応槽底部より連続通気を行い、機械攪拌を行うと同時に有機物分解に伴う反応熱が外部に漏れないように遮断し、かつエネルギー源として廃食用油を添加することにより高温好気微生物の活性を高め、有機物を二酸化炭素まで分解すると同時に、反応熱により水分の蒸発を図ることである。これにより反応槽に連続的に排液を注入しても処理水が排出されない資源循環リサイクルシステムが達成できることになる。

3.4 上水の高度処理技術

我国の取水源となりうる汚濁の進んでいる湖沼やダム湖の水中においては、特定藻類の異常増殖（水の華）、すなわちアオコ、毒性藻類、カビ臭産生藻類等の増殖によって、発ガン性と密接な関連のあると考えられるトリハロメタン前駆物質の増加、有毒物質ミクロキスチン RR および LR の生成、³⁵⁾ カビ臭物質 2-メチルイソボルネオールやジェオスミンの生成等が生じ、上水源としての安全で良質な水の確保が懸念されている。また、非点源汚染源から流入する農薬等の微量化学物質も DOC（溶解性有機炭素）として、水源の水質に大きな影響を及ぼすようになってきている。

こうした背景を下に、国民からおいしく安全な飲み水に対する要望が大きくなってきており、浄水処理においては極めて強い高度処理の必要性が生じている。

この浄水処理技術の中では、特に、生物活性炭法がDOCの処理能力の向上、イオン性物質の除去能、長期的処理の安定性などの点において優れており、非常に注目を集めている処理法である。活性炭上における生分解性と吸着能との関係、トリハロメタン前駆物質の分解機構およびそれに携わる有用微生物等の研究が推進されており、その成果が大きく期待されている。

なお、水源保全二法により取り上げられた物質はトリハロメタン前駆物質に加え、アンモニア性窒素であったが、このアンモニア性窒素は塩素添加量を増大させる物質であると同時に、環境保全上望ましくない化学物質である。生活排水をはじめとした処理プロセスにおいて、硝化を完全に進行させ、かつ脱窒を組み込んだ生物学的硝化脱窒法による発生源対策を行うことは必須である。また、水道水源中のアンモニア性窒素を除去する方法として、ゼオライト等イオン交換物質を活用した処理法も開発されている。

また、平成6年度から3年間MAC21計画を進展させた膜利用型新高度浄水技術開発研究が行われており、通常の浄水処理では除去できないとされるトリハロメタン前駆物質、微量化学物質、異臭味さらにはウイルス等の除去をも可能とするより高度な膜ろ過浄水処理システムの確立を目的として研究が進められている。

例えば、従来の凝集混和池、沈殿池、砂ろ過の組み合わせによる処理であったのが、浸漬型膜処理法を用いることによりプロセスの

簡略化が可能となり、スペースの縮小も同時に図れる。この分離膜としては、MF膜（精密ろ過膜）、UF膜（限外ろ過膜）、RO膜（逆浸透膜）等があるが、セラミック分離膜のように耐食性があり、強度・剛性が大きく細孔径の変化のない特殊なモジュールに関する研究も進められており、水質の高度化・安定化、維持管理面等で優れたシステムであることも実証されている。³⁶⁾

4. エコエンジニアリングによる水環境改善対策

4.1 バイオレメディエーションの高度処理技術

バイオレメディエーションによる有用微生物を活用した環境修復技術はエコテクノロジーの有効活用として最近大きな注目を浴びている。このバイオレメディエーションテクノロジーは、Clean up（汚染環境浄化）とPrevention（環境汚染防止）の二つの側面からなり、浄化技術としてBiostimulation（土着微生物の活性化、すなわち自浄作用の強化）、Bioaugmentation（微生物の導入・利用）の利用があげられている。また、微生物の導入利用の手法としては天然微生物の利用のみならず、遺伝子操作微生物の利用も含めている。³⁷⁾

そのステップとしては、（1）汚染現場の環境中に存在する微生物を人工的に増殖させる既存有用微生物の活性化、（2）自然界から分離した化学物質分解微生物を大量培養して汚染現場に散布する天然外来有用微生物の環境導入、（3）遺伝子操作で人工的に化学物質等の分解能を獲得させた分解有用微生物を大量培養し、汚染現場に散布する遺伝子操作有用微生物の環境導入の順となる。³⁸⁾

バイオレメディエーションはその適用場所により、in-situ と on-site の二つのタイプに分けられる。in-situ は汚染環境内でそのまま直接処理を行い、on-site は汚染土壌や汚水を一度地上に移し、バイオリアクターで処理した後、再び元の場所に戻すバイオレメディエーションテクノロジーである。on-site バイオレメディエーションは配管、タンク、リアクター内の閉鎖系であり、開放系のin-situ と比較して、より予測評価のもとに計画的な実施を行えるものである。

また、バイオレメディエーションのメリット、デメリットをまとめると表9に示すとおりである。

表9 バイオレメディエーションのメリットおよびデメリット

長 所	短 所
○無害化処理技術	●天候・気候条件に依存
○現場での応用が可能	●浄化時間に一定期間必要
○省エネルギー	●生分解性化合物分解に限定
○低濃度汚染に対応	
○二次汚染が少ない	
○広範囲な適用が可能	
○コストが低廉	

4.2 水生植物・水路浄化による高度処理技術

環境庁では平成8年度より5ヶ年計画で、霞ヶ浦、琵琶湖、諏訪湖、野尻湖等で生態系が持つ自然の浄化作用を積極的に利用する「エコテクノロジー」によって、汚濁が進む湖沼の水質浄化事業に乗り出したが、これは人工的に整備したアシ原やホテイアオイを利用したものである。この計画中において、窒素やリン、CODを3割程度削減することを計画している。

建設省においては、水道水のカビ臭を取り除く「安全でおいしい水の確保」事業を平成8年度における重点施策に盛り込み、取水口から上流の川や湖沼の水質改善に取り組むこととしている。³⁹⁾ 浄水場でのカビ臭対策に限界があるとの判断によるが、既存の「河川浄化事

業」等を集中的に組み合わせた本格的な対策となる。事業としては浄水場にはいる前に河川水の一部を半透膜などによるろ過処理や担体を充填した水路浄化、また川辺にアシ等の水生植物を植栽し、窒素・リンを高度に除去していくこととしている。

また、広島県筒賀村では台風や集中豪雨による風倒木を利用して木炭を作り、川に沈め水質浄化をはかる治水・治山事業が試みられるなど、各方面でエコテクノロジーを実際に応用した浄化事業が進んでいる。

また、未利用資源として焼却灰、カキ殻、廃陶磁器、ヘドロ、火山灰、廃プラスチック等の水路浄化への応用も行われつつあり、廃

タイヤを原料にして賦割化し、活性炭として利用するといった例も、千葉県船橋市内等で報告されている。

また、国立環境研究所、名古屋工業技術研究所、神奈川県環境研

究センター、長崎県衛生公害研究所および東京都環境科学研究所では、地域未利用資源を活用した河川浄化対策のプロジェクト研究が推進され大きく期待されている。

5. 高度処理技術導入の資源循環と水環境改善へ及ぼす効果

高度処理技術の開発と同時に重要なこととして、処理水の再利用および汚泥の資源化・リサイクルを考慮した地域完結型高度エコシステム技術開発、またその環境改善効果に対する評価である。

生活レベルの向上に伴い水使用量が増大する傾向にあるが、限られた水資源の有効利用の必要性を考慮すると処理水の再利用は必須である。特に、平成7年度の濁水等において

は、下水を中水として再利用する試みが西日本各地の地方自治体でなされているし、首都圏においても水使用量（需要）は増大しているのに対し、安定した取水源の確保（供給）が追いついていない状況にある。利根川水系における冬期の取水制限が平成7年度から8年度にかけて度々行われており、恒常化する様相を呈しているため、早急な水源ダム建設による対応に迫られている。現行の利根川・荒川水系の「水資源開発計画」における水源開発の進捗率は43.1%にとどまっており、利根川からの上水道の取水量は平成5年度において一日当たり910万 m^3 であるが、その半分は水源としてのダムが未完成の不安定流量（河川からの直接取水）でまかなっている。すなわち、渇水等により河川流量が減少し足りなくなると取水できなくなる。⁴⁰⁾ また、早急なダム建設は、水の供給を求める都市と、環境保護の観点から時間をかけてじっくり取り組むべき課題であると考えられる。

このような状況を鑑みると、これからは水を限られた資源として扱い、排水の再利用を積極的に図っていくことが大切であり、そのための技術開発は21世紀の大きな課題となるものと考えられる。河川の生態系保全を考慮し、河道に水を戻し、自然の浄化能力を期待しつつ水の循環再利用を図っていく施策も重要であることことを考慮すると、従来のような流域下水道から、小規模分散型高度合併処理浄化槽に寄せる期待も大きくなると同時に、その意味合いも高度処理施設としてだけでなく、水の循環再利用施設として、すなわちゼロエミッション型に脱皮していく必要がある。なお、埼玉県越谷市等では、下水道の普及に伴い使用しなくなった浄化槽を雨水貯留施設として活用している場合もあり、⁴¹⁾ 廃

棄物の有効な再利用の一例として今後考慮される施策の一つである。

また、再利用の形態にもよるが、下水処理水の親水公園への導入等を考慮するならば、糞便性大腸菌、ウイルスの問題等の有害微生物問題の解決は必須である。

また、下水汚泥等の有機質を資源として有効利用することの重要性を鑑み、改訂された下水道施設設計指針にはコンポスト化技術が位置づけられた。コンポストの地方自治体での活用法の義務づけはもちろんのこと、これからは枯渇資源としてのリン回収技術の開発を推進することが重要である。

更に、汚水処理工程で発生する汚泥、熱、処理水の資源化・エネルギー化を考慮した排水処理施設および都市施設としての高度化と機能化が、下水処理施設においては必要である。

このような技術として地球温暖化ガスとしての N_2O 、 CH_4 の発生を抑制あるいは有効利用し、かつ窒素・リンを同時除去する高度下水処理と消化ガス発電、コンポスト化等を組み合わせたハイブリッドシステム技術開発がなされている。平成7年9月には、環境庁、農水省、厚生省、通産省、建設省、運輸省など6省庁は共同で温暖化防止技術の開発を始めた。排出源を排水処理、廃棄物、水田、交通、草地等にわけ、 N_2O 、 CH_4 の発生抑制技術を開発すると同時に、中国や韓国との共同研究を進め国際協力を図っており、 N_2O 、 CH_4 の発生抑制型の対策技術の研究開発に対し大きな期待が寄せられている。

6. 課題および展望

現状程度の生活および産業活動がこのまま存続し、水質保全政策に大きな変更がないな

らば、21世紀初頭になっても湖沼や内湾等の閉鎖性水域での富栄養化、都市河川の汚濁、地下水汚染、微量化学物質による水質汚染は解消されるどころか、かえって進行してしまうものと懸念されている。富栄養化に伴って毒性を有する藻類が水源地に発生したり、微量化学物質の流出や生成が広域化したりして飲料水の確保が深刻になることが予想される。

このようなことを鑑みると、富栄養化対策は湖沼水質保全特別措置法をはじめとして強化されると考えられるが、抜本的に考え直さない限り解決は困難である。富栄養化が進行すれば有毒物質産生藻類の発生の可能性も高くなる。これまで問題にされる機会が少なかった藍藻類に属する有毒ピコプランクトンの発生が既にいくつかの水域で認められている。なお、これらの有毒アオコ問題については、平成7年8月のデンマークにおける国際会議で有毒物質が世界的な水源危機を引き起こす可能性の高いことが指摘されている。これらの毒性藻類等は、窒素／リン比が著しく高くなったときに異常増殖する可能性が極めて高く、生態系を健全に保全する上で重大な社会問題を引き起こすことが懸念されている。その他、放線菌、細菌類、ウイルス等の有害微生物の発生も起こりうる。

これまで環境基準は水質のみで議論され、機能優先・基準数値至上主義的な発想による水環境保全対策がなされてきたが、今後は水辺環境の復興を考慮した潤いのある町づくりを水質改善と同時に達成させていくことが必須である。環境庁では平成7年9月に、水質だけでなく、水量、水生生物、水辺地を含め、総合的に望ましい水環境の創造を目指し、「水環境ビジョン」を提案している。⁴²⁾ その中では、さらに水と人との望ましい関係を作り上

げるには、流域などの水環境に着目し、{場の視点}と{循環の視点}で捉えることが重要としている。

このような背景を鑑みた場合の、これからの技術開発と普及にあたっての課題は以下に列記する通りである。

1) 生物処理法は従来好気処理が基本とされていたが、既存の処理システムにおいて嫌気条件を組み込み、窒素、リン除去機能を高める技術開発と普及を強化する必要がある。

2) 嫌気好気活性汚泥法における窒素、リン除去機能は微生物活性と連動していることから、微生物が適切に働く場づくりとメンテナンスフリーのためのORP、DO等に着目した自動制御の高度処理システムの技術開発を更に行う必要がある。このメンテナンスフリー化は嫌気好気生物膜の高度処理法においても共通するものである。

3) 公共用水域の窒素／リン比が高まり、生態系の不健全化の進行をくい止めるためにも自治体による厳しい窒素、リンの上乗せ基準による強化を図ることが緊急に必要である。

4) 高度処理水の再利用システムづくりを阪神大震災の教訓を生かして、高度小規模下水道の技術開発と同時に推進する必要がある。

5) 生活系をはじめとする汚水処理施設から、温暖化ポテンシャルがCO₂の1に比べ、特に数百倍のポテンシャルを有するN₂Oが運転条件によっては大量に発生するが、生物学的硝化・脱窒が効率的になされれば発生しなくなることから、生物機能に着目した窒素、リン除去の最適操作条件の確立化の技術開発を更に強化する必要がある。

6) 資源循環型社会を構築する上では、汚泥の再利用は重要な位置付けにあることから、汚泥のコンポスト化、高温好気発酵処理等の

高度化技術開発と緑農地還元システムづくり等の義務づけ等、の対策法の開発を行う必要がある。

7) 水域によっては生態系の不健全化、水資源の安全化のため窒素、リン等を各々1mg/l、0.1mg/l以下の極めて低濃度に同時除去する必要があることから、省エネ、省コストを考慮した生物処理と物理化学処理の適正な組合せによるハイブリッドシステムの適正技術の確立を急ぐ必要がある。

なお、快適水辺環境創りのための水処理施設整備のあり方は図3に模式化するとおりと考えられる。

7. おわりに

今日の環境問題は都市・生活型公害や地球温暖化問題等に見られるように、日常生活や通常の事業活動に起因する部分が多く、その

解決のためには経済社会システムのあり方や生活様式を見直していくことも必要である。また、水環境を改善していく高度処理技術の進展は、社会全体を環境への負荷の少ない形に変えていく手法の中で極めて重要な位置づけにあり、アメニティを確保し、環境基本法の理念に基づいた施策の展開上欠かすことのできないものである。なお、ここでいうアメニティとは豊かな自然環境の確保の観点から、良好な大気や水域生態系を確保し、自然環境に調和した景観や自然環境と一体となった歴史的環境を保全することである。

21世紀は循環を基調とした経済社会システムが基本であり、バイオテクノロジー、エコテクノロジーのよりゼロエミッションをめざした一層の技術の発展と、社会への貢献が期待されている。

参考文献

- 1) 環境庁編：平成6年版環境白書,(1995)
- 2) 環境庁：平成6年度公共用水域水質測定結果,(1996)
- 3) 内藤勇：都市計画中央審議会答申と今後の下水道整備の方向, 月刊下水道, 19 (1) p4 - 6,(1996)
- 4) 環境基本計画(全文)【I】, 資源環境対策, 31 (2) p8 - 14.,(1995)
- 5) 小林繁：環境基本計画の解説【1】, 資源環境対策, 31 (2) p15 - 20,(1995)
- 6) 環境基本法, やっと成立, 月刊生活排水, 13 (12),(1993)
- 7) 稲森悠平, 林紀男, 高井智丈, 西村修：新しい生活排水処理技術, 空気調和・衛生工学会誌, 68 (7) p21 - 27,(1994)
- 8) 須藤隆一：第10回全国環境・公害研究所交流シンポジウム予稿集, 国立環境研究所,(1995)
- 9) 水環境改善技術開発のための最新展望, JETI, 43 (3, 4) p37 - 41,(1995)
- 10) 生活環境審議会：単独処理浄化槽の廃止について,(1995)
- 11) 初見日出男：茨城県における生活排水対策の全体像と今後の動向, 31 (12) p5 - 10,(1995)
- 12) 建設省告示2094号, 官報, 12月27日付,(1995)
- 13) 森直道, 江森弘祥：包括固定化微生物を用いた下水からの窒素除去技術, 公害と対策, 27 (11) p7 - 14,(1991)
- 14) 中央環境審議会：産業廃棄物の海洋投棄のあり方について(答申),(1995)
- 15) 中島良三, 石原豊, 黒川利一：写真工業廃液の処理, 水処理技術, 30 (8) p11 - 19,(1989)
- 16) 岩野治彦, 松下幸雄, 石川強：写真廃水処理に対するオゾンの適用の研究(I), 日本写真学会誌, 39 (3) p131 - 138,(1975)
- 17) ヒューマンサイエンスプロジェクト研究報告書, ヒューマンサイエンス振興財団,(1994)
- 18) 鶴戸口昭彦：土壌汚染への取り組み, 水環境学会誌, 17 (2) p2 - 9,(1994)
- 19) 平田健正：土壌・地下水汚染の浄化技術の現状と課題, 17 (2) p20 - 24,(1994)
- 20) 近藤恵美子：最近の地下水の状況と対策, 資源環境対策, 31 (8) p77 - 85,(1995)
- 21) 吉田克彦, 岡村和雄, 平野浩二, 井口潔, 伊藤公紀, 村林眞行：ゾルーゲル法による二酸化チタン薄膜を用いた水中のトリクロロエチレンの光触媒分解, 水環境学会誌, 17 (5) p324 - 329,(1994)
- 22) 岡村和雄, 吉田克彦, 平野浩二, 井口潔, 伊藤公紀, 村林眞行：曝気法と気相光反応の組み合わせによる水中トリクロロエチレンの分解処理, 水環境学会誌, 17 (4) p270 - 275,(1994)
- 23) 中熊秀光, 佐藤市子, 渡辺修治, 川上俊, 丸山博史, 田島幸治：ガソリンによる地下水汚染, 水環境学会誌, 17 (5) p315 - 323,(1994)
- 24) 矢木修身, 内山裕夫：揮発性有機塩素化合物の微生物による分解, 除去, 水環境学会誌, 15, p493 - 498,(1992)
- 25) 食品産業クリーンエコシステム技術研究組合編：食品産業のための最新バイオ水処理技術, 82 - 89,(1993).
- 26) 依田元之, 井口雅勝, 北川幹夫：マイクロキャリアベッド(改良型UASB)方式によるビール工場総合廃水の嫌気性処理, 用水と廃水, 32 (9), 19 - 27,(1990).

- 27) 依田元之,今林誠二,鈴木紀幸:パイロット規模および実装置規模におけるビール酵母洗浄廃水の嫌気性処理,用水と廃水,33 (3),32 - 39,(1991).
- 28) 依田元之,山内英世,北川幹夫:マイクロキャリアベッド(改良型UASB)法による大豆ホエーの嫌気性処理,31 (1),49 - 54,(1989).
- 29) 孔海南,稲森悠平,中西弘,須藤隆一:自己造流による高度処理,用水と廃水,34 (10),25 - 31,(1992).
- 30) 堀口真:でんぷん製造廃水のメタン発酵処理について-アQUALネッサンス'90計画より-,工業用水,420 (9),48 - 53,(1993).
- 31) 辰巳憲司:酵素による排水処理の現状と将来展望,工業用水,420 (9),24 - 36,(1993).
- 32) 長坂實上,田代榮一:サポニンを用いた油含排水処理,資源環境対策,31, p37 - 44,(1995)
- 33) C.Michelotti,S.Perdomo:高濃度乳製品工場排水のホテイアオイによる処理,日本水処理生物学会誌,28 (2),83 - 87,(1992).
- 34) 松尾宏,永淵義孝,中村又善,永淵修:事業所排水中のトリハロメタン前駆物質の検討-豆腐・油揚製造業排水中のイソフラボン類-,用水と廃水,32 (5),25 - 30,(1990).
- 35) I.T. Cousins, D.J. Bealing, H.A. James and A. Sutton:Biodegradation of Microcystin - LR by Indigenous Bacterial Populations, Water Research, 30 (2) p481 - 485,(1996)
- 36) 山本康次,奥村早代子,土井均,木曾祥秋,鳴上善久,松田恒男:セラミック膜を用いた膜分離活性汚泥法による生活排水処理,用水と廃水,36 (2) p29 - 35,(1994)
- 37) 滝口洋:バイオリメディエーションの概要,用水と廃水,36 (5) p26 - 34,(1994)
- 38) 稲森悠平,西村修,林紀男,須藤隆一:有用微生物を活用した環境修復,用水と廃水,36 (8) p5 - 10,(1994)
- 39) 朝日新聞,8月17日付朝刊,(1995)
- 40) 日本経済新聞,1月25日付朝刊,(1996)
- 41) 国分清嗣:越谷市における浄化槽の雨水貯留施設転用助成制度,月刊浄化槽,219 (7) p47 - 51,(1994)
- 42) 環境庁:水環境ビジョン,水環境ビジョン懇談会,(1995)