単一槽高負荷処理方式と膜分離処理方式の事例

上 田 直 久^{*}・松 本 久 克^{**}

1. は じ め に

わが国におけるし尿処理方式の変遷をみると、昭和28年頃より建設が行われた嫌気性消化処理方式を濫觴として、昭和34年頃からは好気性消化処理方式、さらに昭和51年頃には低希釈二段活性汚泥処理方式（標準脱窒素処理方式）が出現してきている。これらは衛生処理化、建設用地の縮小化、公共用水域の汚濁防止、閉鎖系水域の富栄養化防止等、いずれも各々の時代の要請を背景として生まれたものである。こういった流れの中、当社は昭和51年当時、好気性消化処理方式主流の頃に既に、現在の高負荷脱窒素処理方式（I Zジェットエアレーションシステム）を開発し、国内で同方式の1号機として厚生省の補助を受け施設の建設を行ってきた。以来全国各地の自治体に次々と採用いただき、昨年50基（処理量3,576kl/日）受注を達成し、全国の同方式の施設120ヶ所、総処理量8,200kl/日の約50%に及んでいる。

この間、無希釈高負荷処理方式特有の発泡、発熱現象などに対し独自の技術を確認し、高度脱窒化、処理水の脱塩、無放流システム等、多様化するニーズに対処してきた。また、シンプルイズベストを念頭に使い易く、維持管理費が少しでも低減できるよう工夫を重ね、いまや完成された商品として提供できるまでになっている。

昭和60年代に入り、膜分離型高負荷脱窒素処理方式が登場したが、この方式は限外ろ過膜を固液分離に適用するもので、重力沈殿方式における分離性能の不安定さを解消できるだけでなく、その高度なる過性能により、安定した処理水の確保、活性汚泥微生物の保持・制御、あるいは有害微生物の封じ込めなどの利点を有

しており実装置化が進められている。

I Zシステムの場合においても限外ろ過膜の利点を十分に活かし、より一層の性能の安定化を達成することができることから、愛媛県伯方町（処理能力15kl/日、I Zシステム、昭和57年納入）の実施設での実証確認試験を昭和62、63年度に実施してきた。同試験終了後、同町から高い評価を賜わり、現在は膜分離型高負荷脱窒素処理方式—I Z Xシステム—への改造を完了し定常運転に入っている。

このように当社では、I Zシステム、I Z Xシステムのいずれのニーズにも即応できる体制を整えているが以下、本稿においてこの両システムの技術的内容と最新システムの運転例を述べる。

2. I Zシステムについて

2. 1 I Zジェットエアレーションのメカニズム

このI Zジェットエアレーション方式は東独にその源をおく画期的曝気方式であり、 $10\text{kg-O}_2/\text{m}^3\cdot\text{時}$ 以上の高い酸素移動速度が得られるがし尿処理用としては $0.4\text{kg-O}_2/\text{m}^3\cdot\text{時}$ 程度の経済的使用状態において高負荷処理に必要な酸素量を効率よく供給できるため、高濃度のMLSSを保持し、硝化・脱窒を考慮しても4.5日間滞留と極めて短時間でし尿を無希釈処理することを可能にしたものである。I Zシステムの心臓部である反応槽の構造は図-1に示す通り単純であり、槽内には何らの可動機器を有していない。

本方式における酸素供給の原理は以下の通りである。まず槽内液を循環ポンプで引き抜き槽上部に設けられた特殊設計したオーバーフローシャフトの頂部まで揚液し、ここから液が落下する際にエジェクター作用を利用して自然に空気を吸い込む。この際、空気は液とともに重力でシャフト内を環状流となって落下し、オーバーフローシャフト内で微細化されるとともに、気液二相が均一に混合されることとなる。この気液混合体

* アタカ工業㈱環境装置事業本部大阪設計部長
Naohisa UEDA

** " " 設計第二課長
Hisakatsu MATSUMOTO

図-1 I Z反応槽構造図

は反応槽内に深く貫入しており、槽内でさらに強烈な剪断と混合撹拌を生起させるため微細気泡集団を連続的に生成させることができる。その結果、他に見られない酸素移動速度が得られ、ブローなどを必要としないシンプルな曝気方式となっている。

2. 2 硝化・脱窒素反応のメカニズム

I Zシステムにおける生物反応は前述のI Z反応槽一槽のみで完結している。即ち、反応槽においては空間的に硝化部・脱窒部を大別するだけでなく、時間的にも好気性状態と嫌気性状態を繰り返し生起させることによって硝化と脱窒が一槽で達成できるため、98%以上の高い窒素除去率を得ることができる。

I Z反応槽内のDO分布は槽下部に行くにしたがい0近くなるような濃度勾配が生じているが、硝化部ではアンモニア性窒素の硝化と有機物の酸化分解に必要な十分な酸素供給が行われ、下部では好気性脱窒ゾーンさらに脱窒ゾーンが順次形成されし尿中の有機物を水素供与体として亜硝酸型脱窒を中心とした脱窒反応が進行していることを示している。実質的には大量のポンプ循環、し尿の間欠投入などにより好気と嫌気が繰り返され結果として、硝化と脱窒が同一槽内で起こっていると考えられる。この単一槽における硝化・脱窒法の特徴を整理すると次のように要約できる。

- ① 反応槽温度が高い(30~38℃)ので硝化・脱窒速度が速い。
- ② 反応槽が空間的に硝化部と脱窒部に分けられるので、脱窒効率が高い。
- ③ し尿の投入を間欠的に行うので、硝化時間と脱窒時間に分けられる。
- ④ 脱窒に必要な炭素源はし尿中のBODを有効に

利用できるためメタノール等の添加は不要である。

- ⑤ 単一槽内で大量の液循環を行うためpH調整剤は不要である。

3. I Zシステムの実施例

I Zシステムの稼働施設は45施設に及ぶがこの内最新の実施例として長野県あずさ施設組合殿向に建設したあずさセンターの施設を紹介する。

3. 1 施設の概要

本施設の概要は次の通りである。

- ① 事業主体：あずさ施設組合（松本市、沼田町、山形村、安曇村、奈川村、梓川村）
- ② 所在地：松本市島内1666-777
- ③ 処理能力：240kl/日（し尿210kl/日、浄化槽汚泥30kl/日）
- ④ 処理方式：高負荷脱窒素処理方式+高度処理
- ⑤ 竣工年月：平成元年3月

3. 2 処理工程の概要

当センターのフローシートを図-2に示す。

1) 受入・貯留設備

受入室は脱臭対策を万全なものとするため前室と後室を設けて各々二重の自動ドアで仕切られている。搬入し尿は前室でカードリーダーにより計量後、沈砂タンクで砂等を分離し、破碎装置で細目ドラムスクリーンに移送する。細目ドラムスクリーンを採用し、し尿中の夾雑物を極力回収することによって系内でのスカムの発生を抑え、機器類の目詰まり、損耗が低減できるだけでなく、し尿量は増えるものの、余剰汚泥が少なくなるため、より経済的な焼却設備で対応できる。

2) 高負荷脱窒素処理設備

本設備はI Z反応槽（硝化脱窒素槽）と固液分離装置（沈殿槽、汚泥脱水機）、凝集分離設備からなり、単一槽方式での生物学的脱窒素処理を行いシステム全体の中でここだけで生物処理を完結させている。

I Z反応槽は高度脱窒を安定して行えるよう、ORP計、DO計を用いた運転制御を取り入れ、かつ経済的運転となるようI Z循環ポンプの回転制御を行っている。I Z反応槽の運転状態は中央監視室のコントロールデスクに設けた2台のCRT画面で随時監視できるようにしている。

この他、I Z反応槽廻りには発泡対策用として長年の経験により造り上げた機械剪断式消泡機をまた、発熱対策用として豊富な地下水を利用した冷却装置を設けている。なお、地下水のない場合は独自に開発した

図-2 あずさセンター I Z システムフローシート

スパイラル型熱交換器と冷却塔を組み合わせた省エネルギー型熱交システムを採用している。

沈殿槽は I Z 反応槽の流出水を濃縮分離する槽で、清澄な処理水を得る目的ではなく、上部浮上汚泥と下部沈殿汚泥に分離しこれを返送汚泥として返送し反応槽の MLSS 濃度を維持する。沈殿槽から取り出した SS 約 $8,000\text{mg}/\ell$ の脱離液は凝集沈殿汚泥とともに汚泥脱水機で脱水処理をすることで高負荷脱窒素処理方式の問題点とされる固液分離を確実にものとするとともに併せて脱水まで行う合理的システムである。

汚泥脱水機は、当社の高圧ベルトプレスを採用し高分子剤とポリ硫酸第二鉄を用いて脱水を行っている。(含水率 73～78%)

なおベルトプレス用の洗浄水は前濃縮装置のろ液を再利用しているため後段の設備が過大となることのない経済的システムである。

脱水ろ液は凝集分離設備に送られ、脱水汚泥は汚泥乾燥・焼却設備へ移送される。

凝集分離は硫酸バンドよりも COD 除去効果の優れた塩化第二鉄を用いて pH5.0 程度で凝集を行う酸性凝集沈殿法を採用することで COD の他、リン、色度等の除去を行っている。この工程で COD を $100\text{mg}/\ell$ 程度にまで低減できるため後段の活性炭吸着への負荷が小さくできるメリットもある。

3) 高度処理工程

本工程は砂ろ過設備と活性炭吸着設備からなる。砂ろ過塔は重力式で処理水と空気により定期的に自動洗

浄が行われる。活性炭吸着塔は、上向流・パルスベッド式で廃炭の引き抜き・再生炭の投入・洗浄など一連の工程は全て自動化されている。有機物を吸着した活性炭は流動床式再生炉により自家再生される。

4) 汚泥乾燥・焼却設備

脱水汚泥は乾燥機で水分 30% 以下の乾燥汚泥とし脱水し渣とともに焼却炉で焼却処分される。なお、廃熱は熱回収を行い施設内の暖房・給湯用熱源などに有効利用している。

5) 脱臭設備

高濃度臭気は反応槽へ供給し生物脱臭を行っている。反応槽排ガスは中濃度臭気として酸・アルカリ洗浄脱臭および活性炭吸着脱臭塔で、また各処理室より吸引した低濃度臭気は専用の活性炭脱臭塔で各々発生源毎の臭気濃度に応じた効果的脱臭システムにより悪臭物質の処理を完璧なものとしている。

3.3 監視制御システム

前述の通り省エネ化を考慮したシステム・装置を採用するだけでなく、運転管理面においても極力省力化できるよう中央監視室における監視・制御システムに注力したものである。

本施設の監視・制御システムは図-3 に示す通り、2 台の CRT 画面（カラー）によりプロセスデータや各機器の運転状況の表示とともにプロセスのグラフィック、トレンドグラフ、バーグラフなどの表示を行うだけでなく、中央からのキーボード操作で各種運転条件の変更ができるようにしている。

図-3 監視制御システム

3. 4 処理効果の一例

本施設の運転結果の一例として表1に水質データを表2, 3に悪臭物質測定データを示す。

4. IZXシステムについて

既に数種の膜分離型高負荷脱窒素処理方式が実稼働しているが、これらは複数槽形式の高負荷脱窒素処理方式を見直し単一槽と限外ろ過膜を組み合わせたシステムとしている例が多い。限外ろ過膜は物理的ろ過装置であり、それ自身は何ら生物学的機能を有しないことからこの改変を成し遂げるために生し尿の凝集分離や、脱水機による有機物負荷の低減化といった手法が取られ装置的にはむしろ複雑化している例も見うけら

表1 各工程処理水質データ

測定対象 測定日時 測定項目	生し尿 10:05	除渣し尿 10:08	反応槽B 16:20	脱離液 16:25	分離液 16:35	凝沈処理水 16:37	放流水 日平均
pH	7.8	7.7	6.7	6.6	6.5	5.7	6.9
BOD (mg/l)	11000	9000	—	120	92	26	2.6
CODMn (mg/l)	6300	5800	—	640	300	110	8.2
SS (mg/l)	15000	8100	13000	8000	420	19	<1
全窒素 (mg/l)	3200	2900	48.1	—	—	—	5.8
NH ₄ -N (mg/l)	2900	2100	30	—	8.5	5.7	—
NO ₂ -N (mg/l)	—	<0.05	0.14	—	3.1	2.4	—
NO ₃ -N (mg/l)	—	<0.5	<0.5	—	1.2	3.7	—
Org-N (mg/l)	—	—	18	—	—	—	—
PO ₄ -P (mg/l)	—	170	—	110	64	0.093	—
T-P (mg/l)	—	—	—	—	—	—	0.067
色度 (度)	—	—	—	—	2500	360	7

れる。

IXシステムは前述のIXシステムの心臓部であるIX反応槽廻りの技術をそのまま踏襲した従来通りの単一槽システムである。即ち、限外ろ過膜を単に固液分離装置の代替として採用し、膜のもつ高度なろ過機能を利用することにより従来よりも汚泥管理を容易に、また、安定した処理水を供給できるシステムとした点で他方式とは異なるものと言える。以下、愛媛県伯方町の施設例をもとにIXシステムに関し概要を述べる。

4. 1 施設の概要

- ① 事業主体：愛媛県伯方町
- ② 所在地：愛媛県越智郡伯方町大字木浦甲2185番地
- ③ 処理能力：15kl/日（し尿12kl/日、浄化槽汚泥3kl/日）
- ④ 処理方式：膜分離型高負荷脱窒素処理方式＋高度処理
- ⑤ 改造年月：平成元年9月

4. 2 処理工程の概要

当初のIXシステムを改造しIXシステムとしたものでありそのフローシートを図-4に示す。

1) 受入・貯留設備

膜モジュールの流路閉塞防止のため目幅0.7mmのドラムスクリーンを採用した。前処理装置としては目幅が小さくなっているものの装置・取扱いとは全て従来通りで、十分にその目的を達している。

2) IX反応槽

既設IX反応槽を利用している。微細目ドラムスクリーンでの有機物負荷の軽減、膜分離による高濃度汚

表2 脱臭塔出口臭気濃度

測定場所	低濃度活性炭 脱臭塔出口	中濃度活性炭 脱臭塔出口	保証値
測定値	11	170	300以下

表3 悪臭物質濃度

単位：ppm

測定場所 測定項目	低濃度活性炭 脱臭塔出口	中濃度活性炭 脱臭塔出口
アンモニア	<0.5	<0.5
硫化水素	<0.002	<0.002
メチルメルカプタン	0.0026	0.0060
硫化メチル	0.0006	<0.0005
二硫化メチル	<0.0004	<0.0004

図-4 伯方町 I Z X システムフローシート

泥の安定的回収・保持など負荷軽減要因はあるものの、この分は負荷変動時の余裕と考え従来通りの I Z 反応槽で対応し、従来の経験・装置を生かせるものとしている。

反応槽 MLSS は高粘性化し吸引空気量に影響のないよう管理基準を $20,000\text{mg}/\ell$ 以下としている。なお、反応槽は余剰汚泥の引き抜き操作および微生物分解機能によりバランスが保たれるため、COD 等難分解性物質が蓄積することはない。

3) 限外ろ過膜

膜の型式としてはチューブラー型、平膜型などがあげられるがし尿処理プロセス用としては流路径が大きく微粒子の沈降、モジュールの閉塞の恐れのないこと、また入手の容易なことから当社ではチューブラー型を選定している。また、チューブラー型はその流路型式により、パラレルフローとシリーズフローの2機種に区別され、膜材質は PAN 膜（ポリアクリロニトリル製）他数種が汎用的となっているが、本施設での実証試験結果より、長期的に安定した透過性能を持続しかつ洗浄回復性の優れた膜として当社は PAN 膜のシリーズフローモジュールを採用している。

なお、シリーズフローのモジュールは一本当たりの圧損はやや大きいものの各モジュールにはヘッダーで通水するため、ポンプ選定上は一本分の圧損を考慮するだけでよくまた、パラモジュールに比べてモジュール

内流路が減少するため循環流量を低下させることができる。

膜の分画分子量については同試験結果より、生物処理汚泥用には $20,000$ を、凝集汚泥用には $40,000$ を選定するものとしている。

洗浄は次亜塩素酸ソーダと苛性ソーダを併用して行う方法を用い、短時間の浸漬洗浄で十分に回復させることができる。具体的には、2～3ヶ月に1回の洗浄頻度で管理基準値 $50\ell/\text{m}^2 \cdot \text{時}$ 以上のフラックスが持続でき、洗浄インターバル中の膜透過性の変化は $70 \sim 50\ell/\text{m}^2 \cdot \text{時}$ の範囲である。

4) 高度処理

IZ システムと同様、塩化第二鉄を用いた酸性凝集を実施しており膜分離と組み合わせることさらに活性炭吸着塔への SS および COD などの負荷が軽減できより一層経済性を高めることができる。

5) 汚泥処理

既設の遠心分離機を用い余剰汚泥と凝集分離汚泥を混合し脱水処理している。含水率は 82% 程度で従来と同等ではあるが、IZ システムを運転していた管理者にとっては、汚泥発生量が約 $6\text{kg}/\text{kl}$ と減少している点、長期休暇時でも、ある程度系内ホールドできる点などから毎日の脱水作業が2～3日に1回で済むため、膜分離方式の効用の一つとして大いに重宝がられている。

表4 実証試験処理工程の水量、水質表（四季平均）

処理工程		前 処 理		主 処 理		高 度 処 理		汚泥処理
項 目		し 尿	浄化槽汚泥	IZ 反応槽	UF 透過液	凝集・砂ろ過水	放流水	脱水ろ液
平均水量 ($\text{m}^3/\text{日}$) (原水倍率)		9.2 (0.68Q)	4.4 (0.32Q)	—	18.0 (1.32Q)	—	18.2 (1.34Q)	7.0 (0.51Q)
平均 水 質	pH [—]	7.96	8.16	6.96	6.97	5.93	6.31	7.12
	BOD [mg/ℓ]	8,680	2,300	13.4	3.4	—	1.5	—
	COD [mg/ℓ]	5,180	2,760	434	190	55.4	5.2	307
	SS [mg/ℓ]	7,340	5,210	14,300	N.D	—	3.2	451
	T-N [mg/ℓ]	3,750	1,130	62.0	34.2	21.8	14.7	—
	T-P [mg/ℓ]	371	152	120	107	1.3	0.54	18.6
	色度 [度]	—	—	2,110	910	161	5.1	—
	Cl^- [mg/ℓ]	3,000	1,120	—	2,070	—	2,400	—

4. 3 処理結果の一例

表4は実証試験時のものであるが改造後も同様の水質が得られており、いずれもI Zシステムと同等の水質である。なお、放流量は約1.3Qである。

5. お わ り に

I ZシステムならびにI Z Xシステムの両者について報告したが、全般的処理性能は同一であり固液分離装置の違いがあるだけである。

しかしI Z Xシステムは処理の「安全度」の面から見れば高度なる過性能をもつ限外ろ過膜を採用することで高いMLSSの保持、制御により管理が一層容易となり、処理水は膜透過水として微生物フリーの衛生的なものとすることができる。技術的特徴を要約すると次の通りである。

- ① I Z ジェットエアレーションシステムのもつ単一槽硝化・脱窒技術の継承
- ② 工程用水以外の希釈水を用いない無希釈処理
- ③ 脱リン、脱色、COD除去を達成する高度処理技術
- ④ 固液分離の確実性と維持管理操作の容易性

⑤ 微生物学的に安全な処理水の確保

一方、経済性の点は両システムとも単一槽型高負荷脱窒素処理方式を基準としたコンパクトな施設であり、建設費、維持管理費のいずれも同等で経済的に優れたシステムである。

昨今のし尿処理は高度な処理性能とともに省エネ・省資源化を図った施設が求められるだけでなく、ニーズも多様化しており当社は高負荷処理の創始者としての自負のもとにどのような要求に対しても応えていきたいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 浅田, 上垣内他: ワンリアクタープロセスによるし尿の脱窒について 水処理技術Vol. 20, No. 8 (1979)
- 2) 当津邦雄: 無希釈方式によるし尿処理 PPM Vol. 20, No. 2 (1989)
- 3) 山下, 真柄, 加藤: 膜分離技術を適用したし尿処理に関する基礎的研究 都市清掃Vol. 41, No. 163 (1988)
- 4) 鈴木, 大倉, 辻, 上垣内: 膜分離技術を適用したし尿処理システムの開発 第10回全国都市清掃研究発表会講演論文集(1989. 2)

海外行事案内

GLOBE'90

(環境産業における国際見本市と国際会議)

ビジネスと環境管理——グローバルなオポチュニティー

<会 期>1990年3月19日～23日

<会 場>バンクーヴァー見本市会場(カナダ)

<共 催>カナダ政府(国際会議担当)

メジャー イベント マネージメント社
(国際見本市担当)

GLOBE'90は民間機関と政府機関が共同で開催する北米初の大イベントである。今回は、正当と認められる開発(sustainable development)を実施するためのビジネスと環境の統合をテーマにしている。

「正当と認められる開発」という概念は、1987年に「私たちみんなの将来」と題して、国連が刊行した環境と開発に関する報告書に由来している。この報告書

は、当時世界的に注目を浴びたが、その中で「エコロジーと経済は、地域的にも国家的にも、あるいは地球規模でみても、相互に深く関わり合っており、原因と結果の縫目のないネットを形成している」と述べている。

このイベントでは、国際会議へ2000人、国際見本市へは15,000人の入場者を見込んでいる。

詳細は下記の見本市事務局までご照会下さい。

Mr. Jan Howarth
Major Event Management Inc.
Suite 250
1130 West Pender Street,
Vancouver, British Columbia
CANADA V6E 4A4