

東京都環境科学研究所

No. 7 ニュース

水辺環境と窒素

— 脱窒素型の小規模合併処理浄化槽の開発 —

し尿浄化槽の構造を定める建設省告示が平成7年12月27日に改正され、本年4月1日から、脱窒素型の小規模合併処理浄化槽^{*1}（以下「脱窒ろ床接触ばつ気方式」と言います。）の設置が認められることとなりました。

この脱窒ろ床接触ばつ気方式の構造の指定に当たっては、当研究所の「家庭用合併処理浄化槽の水質向上に関する研究」の成果が、参考資料として活用されました。

窒素の削減は、東京湾や水道水源湖沼の富栄養化対策、水辺環境の改善にとって重要ですが、東京都の場合、下水道が普及しているため、脱窒ろ床接触ばつ気方式を削減対策に活用できる地域は限定されます。しかし、東京都は水道水源の多くを他県の河川水に依存しており、東京湾に流入する窒素の約6割も他県に由来しています。一方、これらの地域の中には下水道の普及が当分の間見込まれない地域も在ることから、脱窒ろ床接触ばつ気方式の普及の途が開けたことは、他県の水質保全に役立つだけでなく、東京都にとっても波及効果が大きいと言えます。

今回は、水辺環境に及ぼす窒素の影響と脱窒素型の小規模合併処理浄化槽の開発に関する調査研究の概要を報告します。

1 河川や海域中の窒素

河川や海域の中には、次に示すようないろいろな形態の窒素が存在しています。

窒素は、蛋白質の構成元素であり、窒素を含む化合物は、硝酸（工業用原材料）や硫酸（窒素肥料）など、

*1 脱窒素型の小規模合併処理浄化槽

小規模合併処理浄化槽とは、トイレ排水と、台所、風呂、洗濯等の生活雑排水を併せて処理する家庭用（処理対象人員50人以下）の浄化槽を指します。小規模合併処理浄化槽は、トイレ排水のみを処理する単独浄化槽に比べ、生活排水のBODの除去効果が非常に大きいので、東京都では市町村と共同で、下水道の普及が当分の間見込まれない地域を対象に、設置者に補助金を交付するなど、その普及に努めています。

脱窒ろ床接触ばつ気方式は、この小規模合併処理浄化槽に、窒素除去機能を付加させたものです。

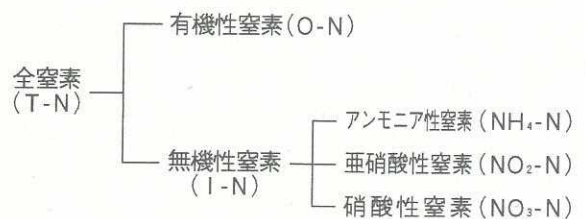


図1 水中の窒素の形態

様々な分野で使用されています。このため、窒素の発生源は多様ですが、東京都の場合は生活排水が主要な発生源となっています。

生活排水中では、窒素は、主として、蛋白質の分解物であるアミノ酸などの有機性窒素や、有機性窒素が分解したアンモニア性窒素として存在しています。

生活排水は、下水処理場で浄化後、河川等に放流され、最終的には東京湾に流入しますが、その過程でも、

窒素は、微生物の働きにより、有機性窒素→アンモニア性窒素→亜硝酸性窒素→硝酸性窒素、の順に酸化されていきます。一方、水の中では、植物プランクトンが、窒素を利用し増殖する等、生物の働きにより、新たに有機性窒素がつくられます。

したがって、河川や海域の中には、その場所の状況により、濃度や存在割合は異なりますが、通常、すべての形態の窒素が存在することになります。

2 水辺環境に及ぼす窒素の影響

窒素は、「りん」とともに富栄養化の原因物質ですが、ここでは、窒素の、①BOD（生物化学的酸素要求量）と、②生物、に及ぼす影響について報告します。

(1) BODへの影響

BODとは、水中の汚濁物質を、微生物が酸化分解する際に消費する酸素量のこと、5日間の消費量で表されます。したがって、BOD濃度が高いと、水中の溶存酸素量が減り、水生生物の生息が困難となり、ひどくなると悪臭を発生ようになります。

東京の主要河川のBODの状況は、図2に示すとおり、昭和40～50年代に比べると大幅に改善されましたが、近年はやや横ばいの傾向にあります。

水質改善が進まない原因の一つとして、次に示す水質調査結果等から、アンモニア性窒素の存在が考えられます。

ア 玉川上水の水質調査結果

玉川上水は、多摩川上流処理場の二次処理水を砂ろ過した下水の高度処理水を水源としていますが、その水質縦断調査結果を図3に示します。

この図から、BOD濃度は61年度の方が62年度より大幅に高いことがわかります。この原因は、61年度の高度処理水のアンモニア性窒素濃度が、62年度より高いことにあると考えられます。

すなわち、BODは、BOD酸化菌が有機物を酸化分解する際に消費する酸素量（「C-BOD」と言います。）と、硝化菌がアンモニア性窒素を亜硝酸性、硝酸性窒素に酸化（硝化）する際に消費する酸素量（「N-BOD」と言います。）から成り立っています。

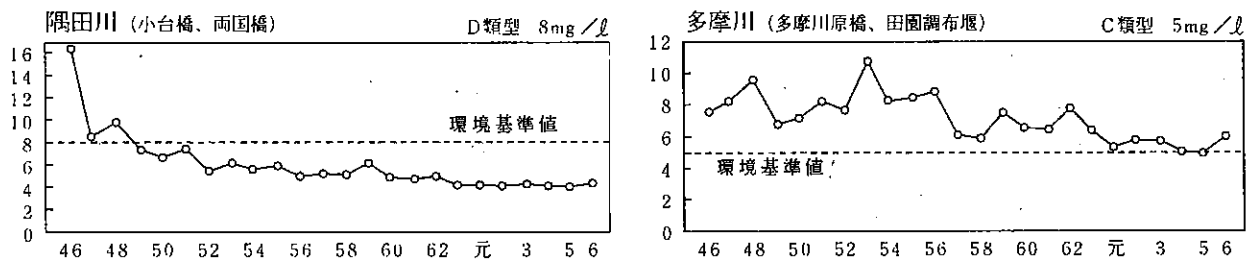
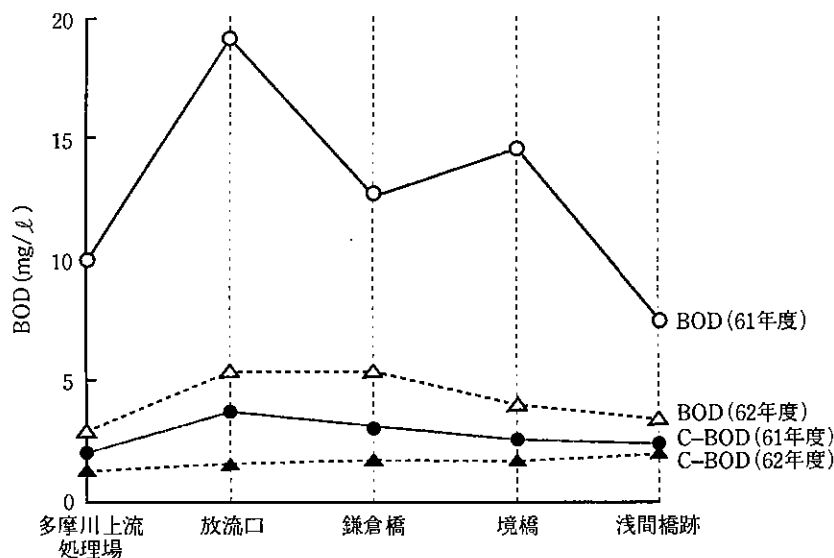


図2 河川の水質(BOD)の経年変化



T-N、NH₄-N濃度 (単位: mg/l)

年度	項目	多摩川上流処理場	浅間橋跡
61	T-N	14.0	14.2
	NH ₄ -N	9.00	1.40
62	T-N	8.74	10.0
	NH ₄ -N	0.88	0.13

図3 玉川上水の水質縦断変化

このうち、61、62年度のC-BOD濃度は、図3からも分かるようにほぼ同一なので、61年度のBOD濃度が高いのは、N-BOD濃度が高いことが原因と推定できます。玉川上水内で硝化が活発なことは、61年度の多摩川上流処理場と浅間橋跡とを比較すると、全窒素濃度はほとんど変化がないのに対し、アンモニア性窒素濃度は下流の浅間橋跡の方が大幅に低いことから推定できます。

イ 河川の水質調査結果

多摩川原橋（多摩川）と小台橋（隅田川）の水質調査結果を図4に示します。この図から、河川により相違はありますが、①BOD濃度に占めるN-BODの割合が大きいこと（従来は、BOD濃度に占めるN-BODを無視できる程度でした。）、②N-BOD濃度はアンモニア性窒素濃度に比例しないこと、がわかります。

次に、河川水を採水し、窒素の形態の経日変化を試験した結果を図5に示します。この図をみると、多摩川原橋では、アンモニア性窒素は3日目から減少し、7日目にはほとんどなくなるのに対し、小台橋で

はや遅れ、4日目から減少し、11日目にはほとんどなくなっています。アンモニア性窒素の減少は、硝酸性窒素の増大と逆比例の関係にあることから、硝化によるものであることがわかります。

このように、硝化の開始時期・速度は、河川水により異なることから、N-BOD濃度は、アンモニア性窒素濃度だけではなく、河川水中の硝化菌の存在量によっても変化すると考えられます。

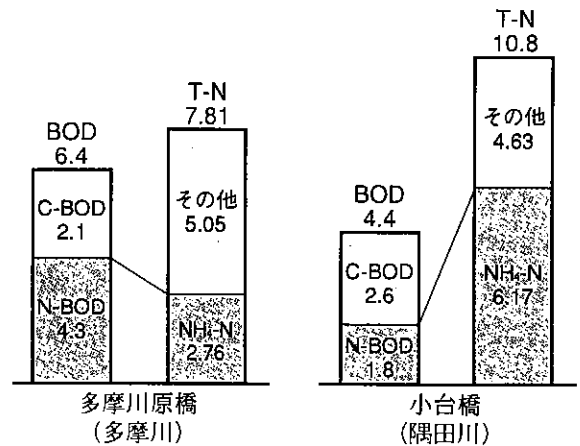


図4 河川水中のN-BODとアンモニア性窒素
(注) 調査期間：1991～1992年、単位：mg/ℓ

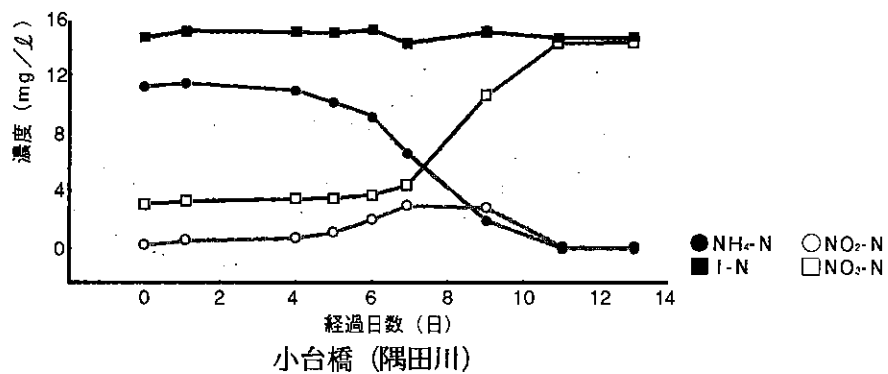
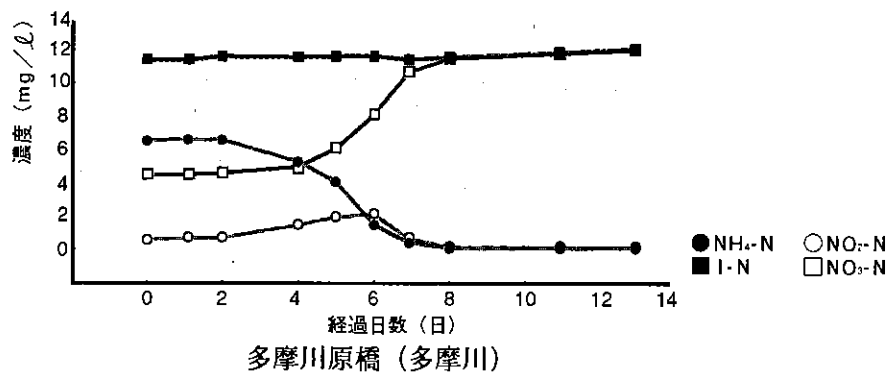


図5 窒素の形態の経日変化
(注) 採水日：1992年1月

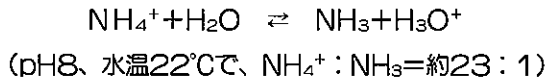
従来、硝化菌は、河川水中では数が少なく、増殖速度も遅いため、BOD濃度に占めるN-BODの割合は、非常に小さいものとされてきました。

しかし、これらの調査から分かるように、東京の河川の中には、下水道の普及により有機物濃度が下がったのに対し、アンモニア性窒素濃度がそれほど低下していないため、硝化菌が繁殖し易くなり、これが原因で、N-BOD濃度が高い河川が存在します。このような河川の水質（BOD）改善のためには、有機物対策と合わせ、排水中の窒素の除去が必要であり、少なくともアンモニア性窒素を硝化しておく必要があります。

また、BODは、従来、微生物に分解されやすい有機物の量に比例するものとされてきましたが、これらの河川では、この関係が成立しないので、今後、BODの水質指標としての意義も再検討の必要があると考えられます。

(2) 生物への影響

アンモニア性窒素は、水中では大部分がアンモニウムイオン (NH₄⁺) として存在していますが、一部は、次式に示すように、遊離アンモニア (NH₃) の形態をとっています。この遊離アンモニアは、魚や水生生物にとって非常に有毒な物質です。



その急性毒性濃度は、当研究所の調査によれば、表1のとおりです。

表1 アンモニア性窒素の急性毒性試験結果

試験時間	アンモニア性窒素の半数致死濃度	
	コイ (稚魚)	ヒメダカ (成魚)
48h	8.4 (mg/ℓ)	7.1 (mg/ℓ)
96h	7.3 (mg/ℓ)	6.5 (mg/ℓ)

(注) ①実験条件：水温 22℃
 pH コイ (稚魚) 7.1~8.0
 ヒメダカ (成魚) 7.5~8.0
 試料 塩化アンモニウム
 ②半数致死濃度：供試魚の半数が死ぬ濃度

図5の多摩川原橋と小台橋のアンモニア性窒素濃度は、表1の値の1/10以下です。このことから分かるように、東京の河川のアンモニア性窒素濃度は、魚をへい死させるような濃度ではありませんが、生態系の多様化を図るためにはできる限り濃度を下げる必要があります。

例えば、図6は、多摩川の田園調布堰における魚の種類数と水質の関係ですが、魚のように遊泳力のある生物は、小台橋より低いアンモニア性窒素濃度でも、MBAS (合成洗剤の主成分) 濃度が一定値以上になると忌避行動をとるため、種類数が少なくなる傾向がみられます。

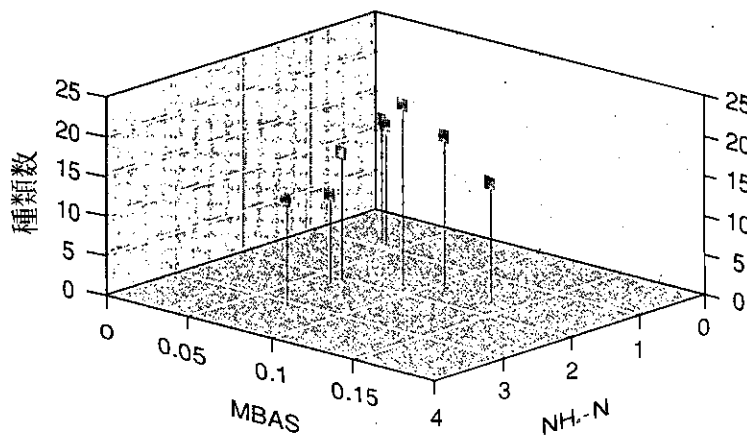


図6 魚の種類数と水質の関係
 (多摩川田園調布堰：1986～1993年度)

アンモニア性窒素とトリハロメタン

水道の浄水工程では、原水中の鉄、マンガ、アンモニア性窒素等の処理のために、原水に塩素を注入する前塩素処理が行われますが、この際、塩素と原水中のフミン質などの有機物が反応して、トリハロメタンが生成されます。

東京都の場合は、トリハロメタン濃度は、水質基準を下回っていますが、安全でおいしい水を確保するためには、原水の水質を向上させ、前塩素注入量を削減させることが重要です。

水道事業年報等に基づき、塩素注入量と原水水質の関係をみてみると、図7に示すとおり、塩素注入量はアンモニア性窒素と密接な関係があり、その削減のためには、発生源におけるアンモニア性窒素の除去が基本であることが分かります。

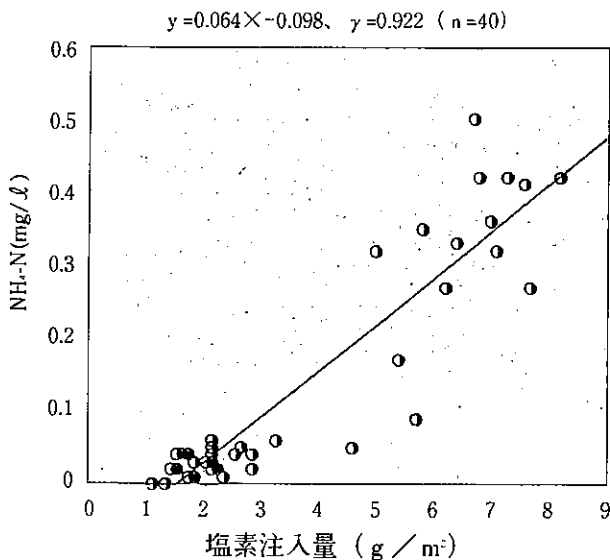


図7 塩素注入量とアンモニア性窒素濃度
(年度平均値)

日本では、アンモニア性窒素又は遊離アンモニアに関する基準はありませんが、アメリカやヨーロッパでは、魚類等水生生物の生息環境保全などのために基準が設けられています。

当研究所では、「生態系へのリスク評価に関する研究」を行っていますが、その中で、アンモニアのリスク評価も実施する予定です。

3 脱窒素型の小規模合併処理浄化槽の開発

河川的环境基準を達成し、魚等多様な生物が棲む快適な水辺環境をつくりだすためには、アンモニア性窒素を減らすことが大切なことをご理解いただけたと思います。

また、窒素は富栄養化の原因物質であるので、東京湾浄化のためには、窒素自体の除去も必要となります。

当研究所では、排水中の窒素除去に関する研究の一環として、小規模合併処理浄化槽に窒素除去機能を付加させる研究を行い、その開発に成功しました。

次に、この研究の概要を、窒素除去の原理を含めて報告します。

(1) 窒素除去の原理

排水中の窒素の除去法は各種ありますが、微生物の働きにより、窒素を窒素ガスとして除去する生物学的硝化脱窒素法が、どのような形態の窒素にも適用可能で、最終産物が無公害であることから広く用いられています。この方法は、硝化工程と脱窒素工程から成り立っています。

ア 硝化工程

硝化工程とは、酸素が豊富な条件下で、硝化菌により、アンモニア性窒素を、亜硝酸性窒素を経て硝酸性窒素に酸化する工程です。

硝化菌は、無機物から生物化学的に有機物を合成して生活している細菌です。

イ 脱窒素工程

脱窒素工程とは、酸素不足の条件下で、通性嫌気性菌により、亜硝酸性窒素や硝酸性窒素の中の酸素を奪い窒素ガスに還元する工程です。

通性嫌気性菌は、BOD酸化菌のうち、通常は酸素呼吸をし、酸素が不足すると、硝酸性窒素等の中の酸素を用いて呼吸をし、有機物を分解して生活している細菌です。

(2) 研究概要

建設省告示の小規模合併処理浄化槽の中には、嫌気ろ床槽と接触酸化槽（接触ばつ気槽）を組み合わせた構造のもの（嫌気ろ床接触ばつ気方式）があります。

このうち、嫌気ろ床槽は、BODの高い原水が流

入するため、槽内は酸素不足の条件下にあり、接触酸化槽は、散気管から空気をばっ気しているため、槽内は酸素が豊富な条件下にあります。

当研究所では、嫌気ろ床槽が脱窒素工程、接触酸化槽が硝化工程に適した条件下にあることから、この小規模合併処理浄化槽に窒素除去機能を付加させることにしました。

ア 試験施設

試験施設は、一番最初は当研究所設計の都型、次

に市販品の改造型（3施設）、最終的にはそれまでの実験でえられたデータに基づいて、設計し直した新都型と変遷しました。

参考のために、市販型、市販品の改造型、新都型を図8に示します。

また、市販型の家庭用合併式浄化槽に対する試験施設の改善点を表2に、新都型の除去効果を表3に、設計諸元を表4に示します。

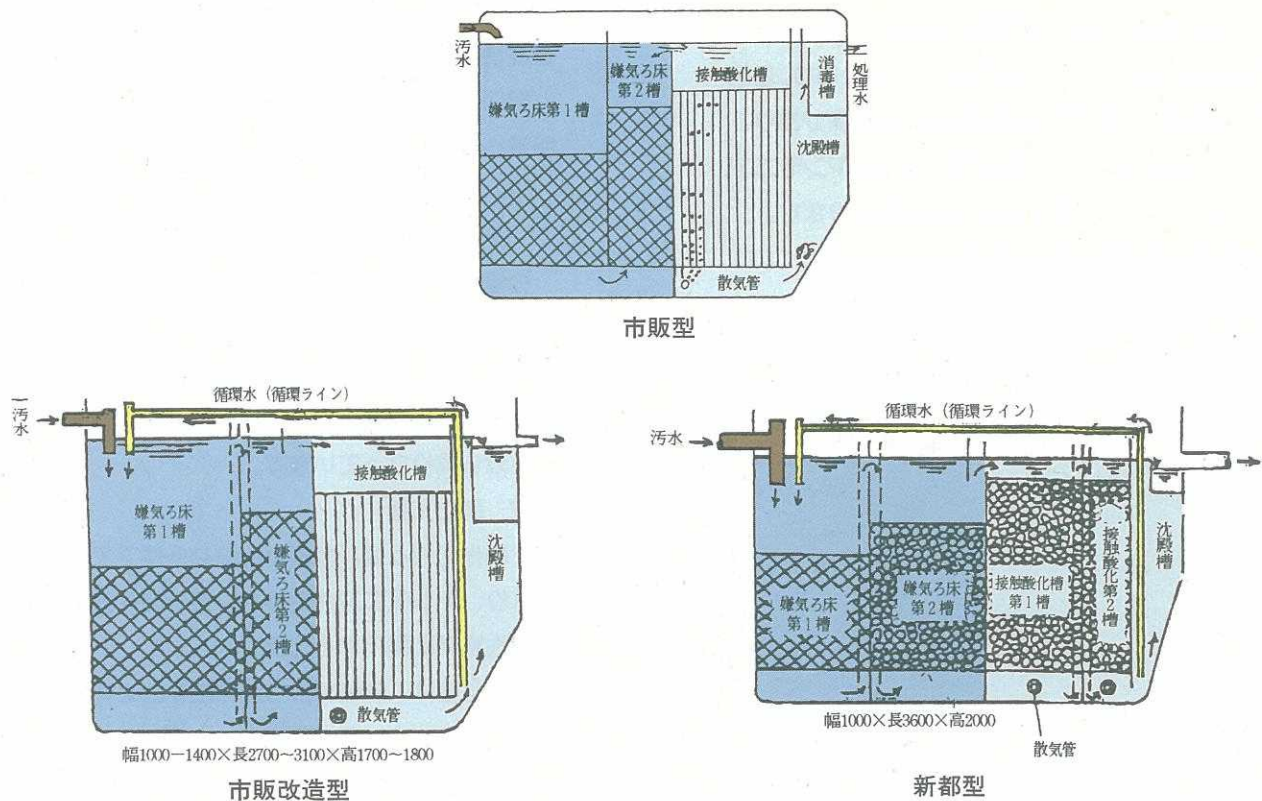


図8 家庭用合併式浄化槽の構造

(注) 市販B改造型は接触酸化槽が2槽に分かれています。

表2 市販型の家庭用合併式浄化槽の改善点

	市販型	市販改造型	新都型
接触酸化槽の設置数	1槽	1槽または2槽	2槽
循環ラインの設置	なし	あり	あり

表3 新都型の除去効果

	流入水 → 処理水	除去効率
BOD (mg/l)	190 → 2.8	約98%
T-N (mg/l)	37 → 3.8	約90%
T-P (mg/l)	3.5 → 1.2	約70%

(参考) 市販型の家庭用合併式浄化槽の除去効率はBOD90%、T-N、T-Pは10~20%とされています。

表4 試験施設の諸元

		容 量 (m ³)						接 触 材			循環ポンプの 種類
		嫌気 第1	嫌気 第2	接酸 第1	接酸 第2	沈殿 槽	合計	嫌気ろ床 第1槽	嫌気ろ床 第2槽	接触酸化 槽	
(1) 4 施 設	都 型	0.95	0.95	1.22	0.61	0.36	4.09	小円筒	小円筒	ひも状	水中ポンプ
	市販B改造型	1.31	0.65	0.62	0.63	0.41	3.62	網球	ヘチマ状	波板	エアリフトポンプ
	市販型 A	1.81	0.90	1.60	-	0.60	4.91	小円筒	小円筒	ひも状	水中ポンプ
	市販型 C	1.16	0.77	1.20	-	0.39	3.52	ネット状	ネット状	波板	エアリフトポンプ
(2)	新 都 型	1.50	1.50	1.20	0.58	0.43	5.21	小円筒	発泡ろ材	発泡ろ材	エアリフトポンプ

窒素除去機能を付加させるために行った改造の概要は次のとおりです。

① 都型と市販B改造型及び新都型は、接触酸化槽を2槽に仕切りました。これは、硝化菌が、BOD酸化菌に比べ増殖速度が遅いため、同一環境下では、BOD酸化菌が接触材表面の優占種となり、硝化が進まないおそれがあるので、硝化菌が繁殖し易いBOD濃度の低下した環境（第2槽）を設けるためです。

硝化菌は、無機物から生物化学的に有機物を合成し生活するので、BOD酸化菌と異なり、有機物濃度が低くても生活でき、このような条件下では、BOD酸化菌が少ないため、接触材表面を占有でき、繁殖し易くなるのです。

② 硝化脱窒素処理は、硝化工程→脱窒素工程という順に進むので、接触酸化槽で硝化された水を嫌気ろ床槽に戻す循環ラインを設けました。

嫌気ろ床槽には、BOD濃度の高い原水が流入するので、通性嫌気性菌は、このBOD（有機物）を分解し、その際、硝酸性窒素等を窒素ガスに変えるので、BODと窒素が同時に処理できることとなります。

イ 実験条件

実験は、下水道未普及地域にある団地の生活排水処理場で行いました。原水(流入水)の平均水質を表5、運転条件を表6に示します。

表5 流入水の平均水質

(単位: mg/l)

BOD	COD	SS	T-N	T-P
190	100	170	37	3.5

表6 運転条件

	平均 流入 水量 m ³ /日	滞 留 日 数 (日)				空 気 吹 き 込 み 量		
		嫌気ろ床槽	接触酸化槽	沈殿槽	合計	あ1 た分 り l	1接 触 酸 化 槽 あ た り m ³ /時	あ1流 入 水 あ た り 日 m ³ /時
都 型	0.99	1.9	1.8	0.4	4.1	100	3.3	6.1
市販B改造型	0.71	2.8	1.7	0.6	5.1	87	4.2	7.4
市販型 A	0.97	2.8	1.7	0.6	5.1	72	2.7	4.5
市販型 C	0.72	2.7	1.7	0.5	4.9	65	3.3	5.4
新 都 型	1.20	2.5	1.5	0.3	4.3	30	1.0	1.5

4 合併処理浄化槽と富栄養化対策

窒素とりんは、植物の成育に必要な元素ですが、汚濁のない水域では、その濃度は低く、植物プランクトンなどの増殖の制限因子となっています。しかし、東京湾の窒素、りん濃度は、流入量が多いうえ、水の交換速度も遅いため、高濃度状態です。このため、夏期を中心に、植物プランクトンが異常増殖して、赤潮が発生し、水質汚濁の原因となっています。

このような状態を富栄養化と言いますが、富栄養化の程度を測定する方法に、藻類を接種し、その増殖状況を測定するAGP（藻類増殖の潜在能力）測定法があります。

参考として、各種合併処理浄化槽処理水のAGP測定結果を表9に示しますが、AGP濃度は、普通の合併処理浄化槽の処理水に比べ、脱窒素処理をすると1/5、脱窒素・脱りん処理をすると1/40に低下します。

この結果は、下水道の普及が当分の間見込まれない地域の富栄養化対策としては、合併処理浄化槽よりも脱窒素型合併処理浄化槽の普及を図る方が効果的であり、それとともに、脱窒素・脱りん型合併処理浄化槽の開発を進める必要があることを示しています。

当研究所で測定した東京湾に流入する主な河川のAGP測定結果を図9に示します。図9から分かるように、AGP濃度は、隅田川水系、多摩川中流部で高く、特に、新河岸川の芝宮橋、志茂橋、及び新河岸川の影響を受ける隅田川の岩淵水門は、合併処理浄化槽処理水と同レベルであり、東京湾の富栄養化対策のためには、これらの河川の窒素、りんの削減が必要となります。

表9 合併処理浄化槽処理水のAGP測定結果例

(単位: mg/ℓ)

処理水の種類	T-N	T-P	AGP
浄化槽放流水	31.0	3.8	420
脱窒処理水	7.0	3.5	80
脱窒・脱りん処理水	6.5	0.1	10

(注) 藻類1mgはCOD_{Cr}で平均0.46mgに相当するのでAGPが420mg/ℓであれば、浄化槽放流水1ℓからCODが193mg生産されることになる。
 出典：稲森悠平、松重一夫、須藤隆一「用水と排水」vol.130 No.4 (1988)

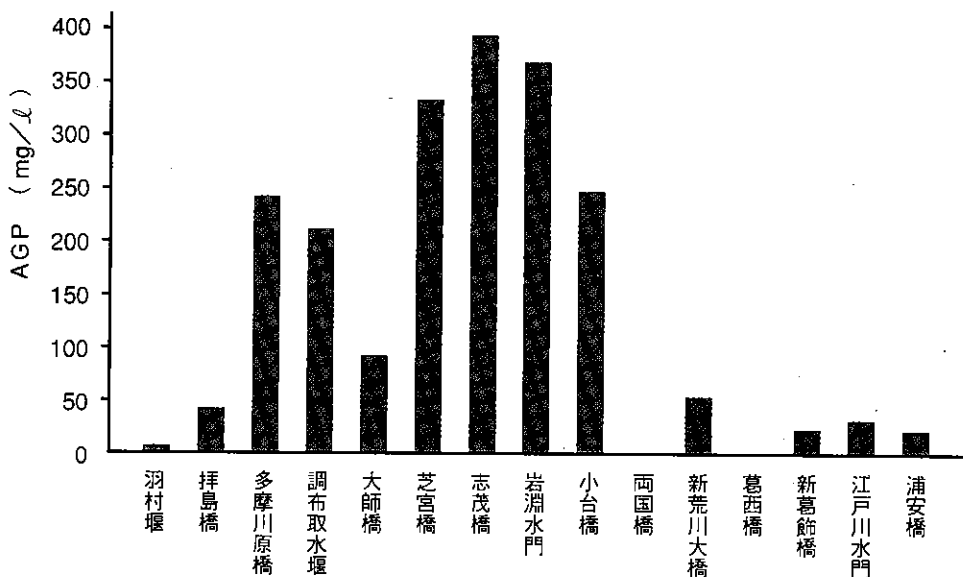


図9 都内河川のAGP測定結果

(注) 両国橋、葛西橋は、塩分の影響による藻類の成長阻害の可能性がある。

ウ 実験結果

都型と市販改造型3施設の平均処理水質の比較結果は、表7に示すとおりです。表7から、都型は、市販改造型に比べ、全窒素を含む大部分の項目で水質が良いことが分かります。アンモニア性窒素濃度が、特に低くなっていますが、これは、接触酸化槽を仕切った効果と考えられます。ただし、循環率の不足等により硝酸・亜硝酸（NO_x-N）が残留しているため、全窒素濃度は11mg/ℓになっています。接触酸化槽が2槽に別れている市販B改造型も同様な傾向を示しています。

表8は、新都型と市販B改造型の平均処理水質の比較結果です。市販B改造型を基準に表7と表8を比較すると、新都型は、全窒素濃度も3.8mg/ℓと非常に低い値となって、都型よりも更に水質が良くなっています。

新都型の除去効率は、表3に示すとおり、BODは約98%、全窒素は約90%、全りん（T-P）^{*2}は約70%となります。また、安定した処理状態における透視度は100cm以上で、たとえば、秋川、平井川などにおける透視度に該当する値で、清澄感のある処理水が得られました。

*2 りんの除去

新都型は、他の試験施設より、りん濃度が低くなっています。これは、新都型が、りんの除去のために、接触材に、けい酸カルシウムの発泡材を用いているためです。

除去の原理は、けい酸カルシウムが、排水中のりんと結合して水に溶けないりん酸カルシウムをつくり、接触材から剥離することを利用して、剥離したりん酸カルシウムは、汚泥として処分されますが、このとき、消耗した接触材を補給します。

当研究所では、現在、この方式の確立を目指して研究を進めています。

表7 4施設の平均処理水質

(単位:透視度以外はmg/ℓ、透視度はcm)

	B O D	C O D	S S	T N	NH. N	NO _x N	T P	PO ₄ P	透 視 度
都 型	5.2	15	6.0	11	2.2	7.0	2.6	2.2	54
市販B改造型	9.3	21	7.3	14	7.1	5.6	3.1	2.7	40
市 販 型 A	7.3	17	6.6	18	11	4.4	3.1	2.8	47
市 販 型 C	17	27	14	20	12	4.4	3.2	2.5	20

(注) T-N、NH₄-N、NO_x-Nは循環率200%以上の期間の平均を示す。また、透視度の平均は相乗平均を示す。

表8 新都型の処理水の平均水質 (1990年4月～9月)

(単位:mg/ℓ)

	B O D	C O D	S S	T N	NH. N	NO _x N	T P	PO ₄ P
新 都 型	2.8	12	2.1	3.8	0.4	2.4	1.2	1.1
[参考] 市販B改造型	6.0	19	5.6	12.8	6.7	3.6	2.7	2.4

「研究所の窓」(研究所の活動の紹介)

研究所施設が公開される

4月18日(休)、19日(金)の両日、科学技術週間行事の一環として、環境科学研究所の施設を公開しました。

例年に比べ、個人参加で来られた方も多く(参加者135名)、当所への関心の高まりが感じられました。

見学者は、自動車排出ガス実験棟でのシャーシダイナモメーター等の設備の大きさに目をみはっていました。また、大型バスに装着した排ガス中の粒子状物質を除去するディーゼル・パーティキュレート・フィルターについての説明にも熱心に耳を傾けておりました。



植野副知事が研究所を視察

4月10日(水)に植野副知事が当研究所を視察されました。

副知事は、分析機器の操作や自動車排出ガス実験の状況などを視察されましたが、ディーゼル排気微粒子の汚染実態とその除去研究に強い関心を示され、早急な対策推進の必要性を強調されていました。



東京都環境科学研究所運営委員会が開催される。

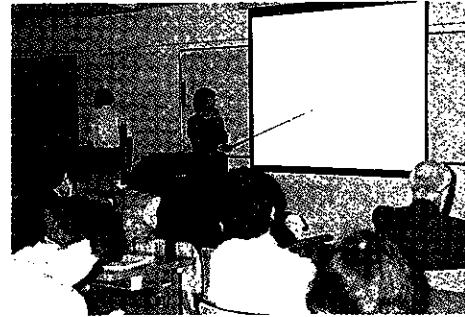
3月29日に都庁会議室において、第7回東京都環境科学研究所運営委員会を開催しました。

議事事項は次のとおりです。

- (1)平成8年度研究計画(案)について
- (2)研究所の管理運営について

公開講座の開催

3月29日(金)に、東京都環境学習センターで、環境トピックス講座「化学物質による環境汚染」を開催しました。出席者は78名と満席状態で、化学物質に関する関心の高さが感じられました。



環境トピックスシリーズ

「化学物質による環境汚染」の発行

環境問題を分かりやすく解説した環境トピックスシリーズNo.9「化学物質による環境汚染」を発行しました。

人事異動

3月31日付で菊地秀幸広報係長、宇田川満主任研究員、青木一郎主任研究員、菅野菊江主任研究員、伊藤政志主任研究員が退職いたしました。長い間、ご苦労さまでした。

また、4月1日付人事異動で所関係では12名の転出・入がありました。よろしくお願いたします。

5.17)

資源保護のため古紙を利用した再生紙を使用しています

発行 東京都環境科学研究所
〒136 東京都江東区新砂1-7-5
TEL 03 (3699) 1331(代)
FAX 03 (3699) 1345

制作 (株)東京デザインセンター
印刷 大新舎印刷株式会社
平成8年度 登録第1号
1996年5月発行