<報　文>

養殖・蓄養水槽の浄化装置用微生物担体に関する研究

―多孔質セラミックス担体について―

竹内正美*　深川勝之**
岡本静雄***　隅岡俊一****
中西弘*****　村上定瞭******

1．はじめに

漁船，活魚輸送用車両，活魚店，活魚料理店等に設置される蓄養水槽の浄化装置は，生物膜法が主流である。また，養殖池や養殖水槽の浄化装置についても，同様な方法を採用している。これは，好気性バクテリアを微生物担体に付着させ，これに通水して魚の排泄物や食餌の残さ等を微生物により酸化分野して，無害な物質に変換する方法である。この方法により，魚にとって有害な有機物やアンモニアを，炭酸イオンや硝酸イオンに酸化分解する。

この浄化装置の性能を評価する重要な項目として，次の２点があげられる。

(1)　微生物の保持容量が大きいこと

(2)　再生が容易であること

浄化装置の性能は装置の構造と微生物担体に依存し，これらは相互に密接な関係を持っている。微生物担体の材質や形状により，装置の構造も異なる。従来，担体として，砂，砂利，プラスチックス，セラミックスなど種々の担体が利用されている。

砂，砂利は安価であるが，多孔質でないため微生物の保持容量が小さく，微生物の増殖による装置の閉塞が起こり易く，再生までの使用期間が短い。また，比重が大きいため，装置が大きくなると再生が困難となる。プラスチックス系担体は，生活排水用に開発されたもので，微生物の保持容量は極めて大きく，養殖池等で大量に食餌を投与する場合には適している。しかし，この場合滞留時間を十分に取る必要があり，装置が大きくなる。また，蓄養水槽のように魚を生きたままで保存する場合には，生物膜が十分成長せず不適当である，さらに，形状によっては，再生が困難なものがある。

今回，微生物保持量が大きく，かつ再生が容易な微生物担体を試作検討したところ，連続通気孔を有する多孔質セラミックスが担体として優れていることが分かったので，その検討結果について報告する。この担体は，表面に凹凸があり，さらにマクロな連続通気孔を有するため微生物の保持量が極めて大きい。さらに見掛け比重が0.8であり，水に浸漬したときの比重はおよそ1.2である。このため，空気爆気で容易に撹拌再生でき，さらに充填槽全体に渡って均一に撹拌可能であるため，再生不十分による通水の短絡も生じない。また，連続通気孔を有するため完全閉塞は起こらず徐々に圧力損失が増加するだけであるので，所定の圧力損失に達した時点で再生を行うことができる。

なお，今回は淡水について検討した結果を報告する。海水については，現在実験中である。

*宇部工業高等専門学校　助手
**同　助教授
***株式会社松山マリン　社長
****フィルトンインターナショナル株式会社　社長
*****山口大学工学部　教授
******宇部工業高等専門学校　教授

2．実　　験

2．1　微生物担体

2．1．1　多孔質セラミックス

所定の割合の粘土，珪石および水酸化アルニウムの混合物に，気孔形成剤を添加し，水を加えて十分に混和する。これをブロック型に成型して乾燥した後，温度1,200～1,350　℃で焼成し，多孔質セラミックスを製造する[1]，これを，粉砕して篩分し，粒径4～6㎜のものを用いた。

2．1．2　玉砂利

玉砂利は，一般に市販されている粒径4～6㎜のものを使用した。

2．2　水槽および浄化装置

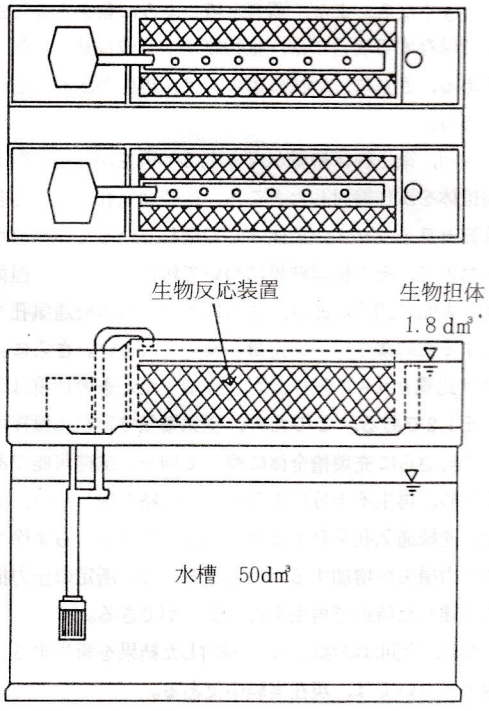
2．2．1　ベンチスケール実験

ベンチスケール実験には，第1図に示す50ｄ㎥のガラス製水槽を用い，この上に市販品の浄化装置（共和物産(株)製サモアペットPM 1800S）を設置して，これに微生物担体として玉砂利あるいは多孔質セラミックスを1.8ｄ㎥充塡した。この装置を1つの水槽に2台設置した。微生物が増殖して圧力損失が増加し，担体充塡槽から水がオーバーフローし始めた時点で，担体を取り出して他の容器に移し水を加えて機械的に撹拌して微生物を剥離，洗浄した後，再充塡して使用した，この際に担体の性能比較のための微生物の分析等を行う（詳細は3．2に記載）。

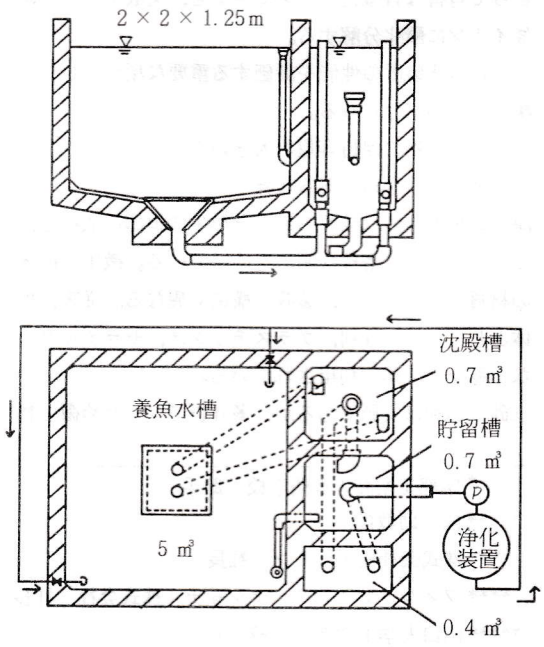
2．2．2　ミニプラント実験

ミニプラント実験には，第2図に示す0.7㎥の沈澱槽，0.7㎥の貯留槽を有する5㎥の養殖水槽に浄化装置を設置したものを用いた。浄化装置の詳細図を第3図に示す。この装置の有効容積は170ｄ㎥で，底部に再生用爆気装置を有し，上部に散水装置を有す。この装置の底部には，再生用曝気装置を覆うように玉砂利（粒径4～6㎜，10ｄ㎥）を詰め，その上部にセラミックス担体（粒径4～6㎜）を120ｄ㎥充塡した。循環ポンプを用いて，上部の散水装置より水を導入して，通水した。この装置は密封型で，最上部に空気弁を設け内部の空気を自動的に除いた。第2図のように，養殖水槽の水は，沈澱池を経由して貯留槽より循環ポンプにより，浄化装置内を通水した後，養殖水槽に戻した。エアポンプを用いた空気爆気は行わず，処理水を水槽に戻す2つのパイプの先端にジェット装置をそれぞれ取り付け，酸素を補給した。水の循環量は1日18回程度とした。ポンプと浄化装置の間に圧力計を設け，稼動開始直後あるいは再生直後と比較して，圧力損失の増加が0.1㎏／㎠以上になった時に再生するように運転した。

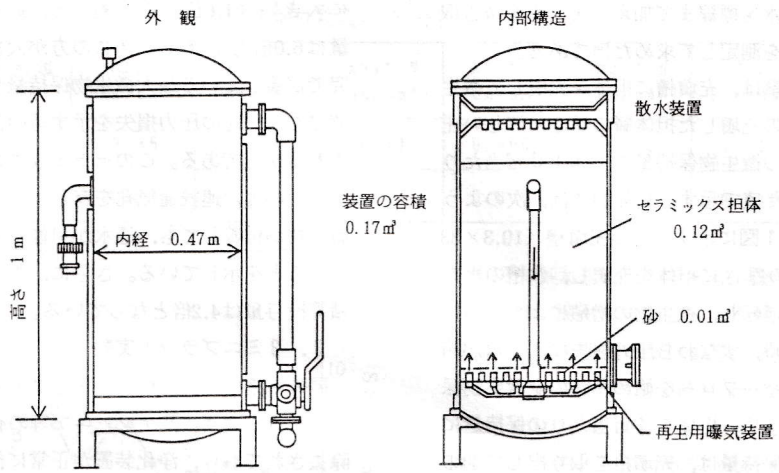
再生は循環ポンプを停止した後，切り換えバルブを再生用にセットして空気ポンプ（世晃産業(株)製D



第1図　ベンチスケール実験装置



第2図　ミニプラント実験装置



第3図　ミニプラント浄化装置の構造

F－120）を用いて1分程度担体を曝気撹拌して，増殖した微生物を剥離させる。この時，浄化装置内の水は満水状態となっている。空気は上部の散水装置を経由して，排水パイプより排気される。空気ポンプを停止した後，循環ポンプを再稼動して，剥離した微生物を排出パイプより排水する。排水が適当に清浄になった時点で，再生用バルブを元の位置に戻して，養殖水槽の水を再び循環させる。再生に要する時間は，5分程度である。

2．3　魚種

ベンチスケール実験には，淡水魚としてウグイ，オイカワ（平均体長9.5cm，平均体重10.5g，11尾，室温で飼育）および金魚（平均体長8.0cm，平均体重11.1g，22尾，25℃で飼育）を用いた。食餌は，熱帯魚，金魚用市販品（日本ペットフード(株)製エンジェル）を用いた。

ミニプラント実験には，コイ（体長30～50cm，10尾，屋外温度で飼育）を用いた。食餌はコイ用市販品（日本ペットフード(株)製スイミー）を用いた。

3．結果および考察

3．1　ベンチスケール水槽の水質

第1表に50d㎥水槽の水質分析の一例を示す。これは魚としてオイカワ，ウグイを用いた結果である。魚の神経毒であるアンモニアや亜硝酸イオンはそれぞれ0.1，0.01mg／d㎥以下であり，浄化装置が正常に作動していることがわかる。硝酸イオンおよびリン酸イオンが多量に存在しているのは，有機物やアンモニアの酸化分解生成物が水槽内に蓄積するからである。したがって，定期的に水槽内の水を一部交換した。これらの蓄積イオンは，有毒ではないが，化学的ストレスとなる。光合成細菌[2]によるこれらの蓄積イオンの除去法については既に開発しているが，[3]この方法については別の機会に報告する。

3．2 微生物担体の性能

多孔質セラミックスおよび玉砂利について，微生物担体として性能比較を第2表に示す。

担体間隙率は，担体1d㎥を充填した時の空隙の量を㎤で示したものである。実際には1Lのシリンダー

第1表　ベンチスケール水槽の水質分析の一例

年　月　日	水温 [℃]	COD [mg/dm³]	Kj-N [mg/dm³]	NH_4^+-N [mg/dm³]	NO_2^--N [mg/dm³]	NO_3^--N [mg/dm³]	T-P [mg/dm³]	PO_4-P [mg/dm³]
'87. 6.26	24.9	8.59	1.090	0.084	0.005	53.3	4.75	3.93
8. 6	29.8	7.63	0.000	0.121	0.016	98.7	30.52	----
9. 2	28.7	5.89	0.000	0.095	0.015	60.0	12.30	8.88
11.30	21.0	5.24	0.000	0.055	0.003	75.7	8.80	8.95
'88. 1.11	18.9	5.45	0.000	0.052	0.004	93.8	5.13	11.18

に担体を充塡して水を標線まで加えた後，水を抜き取り，この水の容量を測定して求めた値である。

最大微生物保持量は，充塡槽に担体を充塡して微生物を付着させ，その充塡した担体層の深さに等しい圧力損失を生じた時の微生物保持量を担体１ｄ㎥当たりの保持量に換算した値で示す。具体的には，次のようにして求めた。第１図に示す箱型の充塡槽（10.3×33×7.0㎝）に６㎝の厚さに担体を充塡し，水槽の水を上部より散水して運転し，微生物の増殖により圧力損失が６㎝に達した時，すなわち圧力損失により水が箱型の充塡槽よりオバーフローを始めた時の全微生物保持量を乾燥重量で求め，担体１ｄ㎥当たりの保持量に換算する。微生物保持量は，充塡槽を取り出して別の容器に担体を移し，水を加えて撹拌洗浄して（砂利は機械撹拌，セラミックスは曝気撹拌），微生物を剥離させ洗浄液を取り出す。この操作を繰り返して，微生物を洗い出す。この洗浄液を集めて，均一に混合し，その一部を重量分析して全微生物量を求める。

最大微生物真濃度は，上記圧力損失時の担体間隙中の微生物濃度で，最大微生物保持量を間隙量で割ったものである。

以上のような生物担体の性能を示す指標を比較すると次のようになる。

増殖した生物膜の剥離は，通常の逆洗等では困難であるため，顆粒状担体については，比重は再生法に関して極めて重要な因子である。玉砂利のような比重の大きいものは，装置が大型になると機械撹拌による再生が困難である。これに対して多孔質セラミックスは，浸漬した時沈降するが，比重が水に極めて近いため，逆洗あるは曝気等で容易に撹拌が可能であり，生物膜の剥離が容易であることから再生法が簡単である。

担体間隙率は，セラミックスの方が玉砂利より僅かに大きい（1.6倍）のに対して，最大微生物生物保持量は6.0倍もセラミックスの方が大きい。これは本研究で定義している最大微生物保持量が，間隙率の関数でなく，一定の圧力損失を示す時の微生物保持量で示されるからである。このセラミックス担体の保持量が大きいのは，連続通気孔を有し，セラミックス間隙に微生物が付着しても，通水が可能であり，圧力損失が低いことを示している。さらに，再生時までの食餌の積算投与量は4.2倍となっている。

３．３ミニプラント実験

屋外水槽の水質分析の一例を第３表に示す。この図に見られるように，アンモニア等の有害物質は十分に除去されており，浄化装置が正常に作動していることを示している。なお，本実験中は水の交換は１度も行っていない。

第４図に水温および藻類に由来する懸濁物質（ＳＳ）を示す。実験を開始した９月初旬では26℃であったものが，徐々に低下して12月に最低値７℃を示し，その後２月まで横這いの値を示している。一方，藻類は，10月中旬と12月初旬に極大値を示しており，１月中旬以後は殆ど存在しない。この藻類に由来するＳＳが１月以降殆ど存在しないのは，浄化装置の生物膜の増殖によるろ過効果によるものか，温度の低下により藻類の増殖が低下したものかは，１年間の実験が必要である。

第５図に食餌の積算投与量と蓄積無機イオンの例として，硝酸イオンおよびリン酸イオンの濃度を示す。餌の積算投与量にほぼ比例して，無機イオンが蓄積している（比例関係からずれるのは，藻類への取り込みがあるからである）。

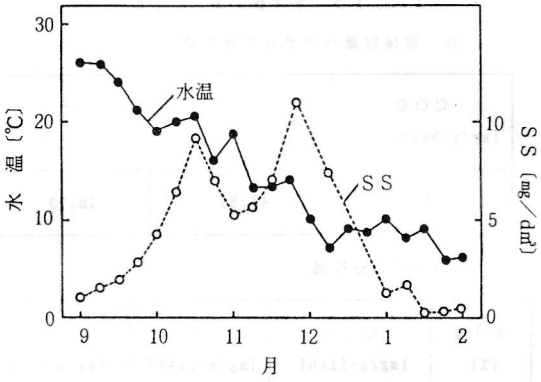
第６図にポンプと浄化装置の間に設置した圧力計の値の経日変化を示す。開始直後より圧力損失が0.56kg

第２表　微生物担体性能比較表

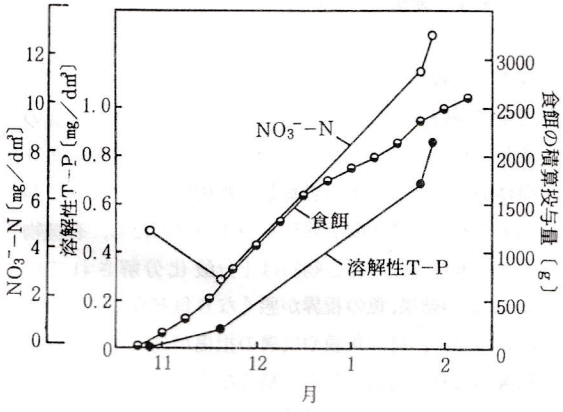
項　　目	玉砂利	セラミックス担体
粒度［mm］	4～6	4～6
見掛比重	1.64	0.80
担体間隙率［cm³/dm³-担体］	354	555
最大微生物保持量［g-biomass/dm³-担体］	2.77	16.70
最大微生物真濃度［g-biomass/dm³］	7.92	31.28
再生までの食餌の積算投与量［g］	55.8	234.4

第3表　ミニプラント水槽の水質分析（溶解性物質）の一例

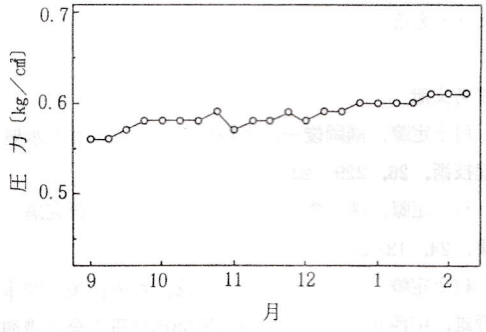
年　月　日	水温 [℃]	COD [mg/dm³]	Kj-N [mg/dm³]	NH_4^+-N [mg/dm³]	NO_2^--N [mg/dm³]	NO_3^--N [mg/dm³]	T-P [mg/dm³]	PO_4-P [mg/dm³]
'87.10.28	15.7	2.35	0.604	0.11	0.005	4.896	0.013	----
'88. 1.29	7.0	2.97	0.112	0.03	0.003	13.35	0.860	0.99



第4図　水温および藻類濃度（SS）の季節変化



第5図　食餌の積算投与量と水槽内の蓄積物質



第6図　圧力損失の経日変化

／cm²もあるが，これは処理水を水槽に戻すパイプの先端に取り付けた酸素補給用の空気ジェット装置による圧力損失が大きいためである。微生物の増殖による圧力損失は，徐々に増加しているが，現在までの6カ月間の圧力損失の増加量は0.05kg／cm²であり，再生を必要とする圧力損失の増加量0.1kg／cm²に達していない。なお，10月下旬の圧力損失が僅かに減少しているのは，テスト的に曝気再生を行ったためである。

3．4　物質収支

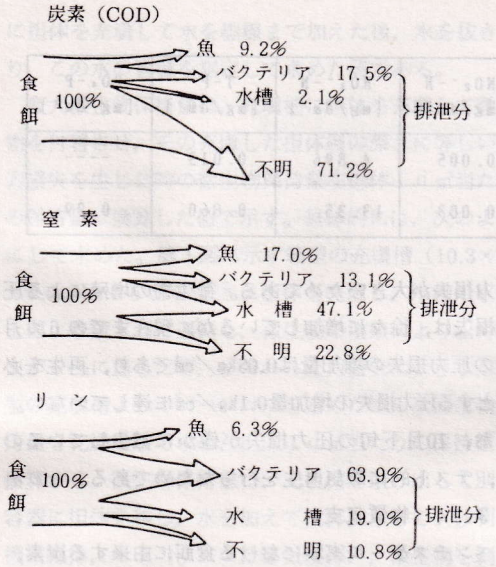
ベンチスケール実験における食餌に由来する炭素，窒素およびリンの物質収支を検討した結果を**第7図**に示す。なお，炭素の指標としてCODの値を用いた。物質収支は，水の交換を行っていない約1カ月間のデータを用い，魚は淡水種であるウグイ，オイカワについての結果である。なお，食餌は食べ残しがないように投与したので，餌は全て一旦魚に摂取されている。物質収支の計算に必要な食餌，浄化装置に保持されているバクテリアおよび魚の分析値を**第4表**に示す。

まず，炭素については，全て一旦魚に摂取され，9.2%が体重増加分となる。残りは排泄され，17.5%が浄化装置のバクテリアに摂取され，2.1%が水槽に残留する。不明分が多く71.2%であるが，この大部分は魚やバクテリアの呼吸反応に利用され，炭酸ガスとして系外に放出されたものと思われる。

次に，窒素については17.0%が魚の体重増加分となる。排泄分の内，47.1%が水槽に残留しておりこれは硝酸イオンとして水槽内に蓄積する。不明分が22.8%もあるが，これは脱窒反応によるものではなく（容存酸素は飽和状態に近いので），分析誤差等によるものと思われる。

最後に，リンについては，3元素の中では魚の体重増加に寄与する率が最も少なく，バクテリアに移行する割合が高く63.9%である。また，窒素と比較して水槽に残留する割合は窒素の半分以下で，19.0%である。

金魚については，魚の体重増加分は，炭素，窒素，リンがそれぞれ12.9，30.2，20.9%である。オイカワ，ウグイと比較して体重増加分が炭素1.40，窒素1.78，リン3.32倍多い。この差異はウグイ，オイカワは流れ



第7図 養殖系内の物質収支
魚種：オイカワ、ウグイ

の速い川に生息する魚で，水槽内での運動量が大きいためと思われる。しかし，排泄分の割合，すなわちバクテリアへの移行，水槽への残留，不明分についての比率は，同じ傾向である。

以上のことから，魚の体重増加と水質管理の双方から食餌の成分を考慮した場合には，なるべく水槽への残留の割合がバランスの取れたものが望ましい。

4．まとめ

養殖池や蓄養水槽の浄化装置用微生物担体として開発した多孔質セラミックスの性能について，淡水魚を用いたベンチスケールおよびミニプラントレベルでの実験を行って，次のような結論を得た。

(1) 従来より用いられている玉砂利と比較して，微生物保持量が約6倍程度大きい。

(2) 連続多孔質であるため，完全閉塞が起らず圧力損失が小さい。

(3) このため，食餌積算投与量は4倍大きい。

(4) 浸漬した時の比重が水に近く，曝気による撹拌が可能で，再生が容易である。

また，食餌から由来する養殖系内の物質収支を炭素，窒素およびリンについて明かにした。

なお，現在海水魚を用いたベンチスケールおよびミニプラントレベルでの微生物担体の性能について実験中である。海水の場合には，バクテリアのフロックが

第4表 物質収支の計算に用いた分析値

A：食餌*の分析値

COD [mg/g-feed]	N [mg/g-feed]	P [mg/g-feed]
196.70	54.62	11.80

* 日本ペットフード（株）エンジェル

B：担体付着バクテリア分析値

COD [mg/g-bacteria]	N [mg/g-bacteria]	P mg/g-bacteria]
146.25	47.85	38.73

C：魚*の分析値

水分量 [%]	COD [mg/g-fish]	N [mg/g-fish]	P [mg/g-fish]
75.1	43.40	22.18	1.78

* オイカワ、ウグイ

淡水と比較して柔らかく，バクテリアを微生物担体に完全に保持することが容易でない。この結果，水温の変動，食餌の投与量や魚の密度などの負荷変動により，担体からバクテリアが剥離して水槽内でバクテリアが増殖するため透明度が悪化しやすい（ただし，有機物やアンモニア等の有害物質は十分酸化分解されている。）この結果，魚の視界が悪くなり魚どうしの接触が起こるため，目の角膜や皮膚の損傷が起こり，眼球が白濁したり，病気を起こし易くなる。現在，担体の定量的な評価については結論が出ていないが，多孔質セラミックスは淡水よりも海水に対して，特に効果があるようである。

参考文献

1）村上定瞭，隅岡俊一，大野晃生，村田哲雄：水処理技術，26，229—232（1985）．

2）村上定瞭，深川勝之，中西弘：衛生工学研究論文集，24，13-21（1988）．

3）村上定瞭，深川勝之，原田邦彦，竹内正美，岡本静雄，中西弘：化学工学協会第53年会研究発表講演要旨集B310（1988）．