The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Xonotliteによる活性汚泥の結合固定化に関する研究
Author(s)	橋本, 奨; 岩堀, 恵祐
Citation	日本水処理生物学会誌. 1991, 27(1), p. 39-45
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/3299
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

日本水処理生物学会誌
Jap. J. Water Treat. Biol.,
Vol. 27, No. 1, 1991

Xonotliteによる活性汚泥の結合固定化に関する研究

Effect of Xonotlite on Activated Sludge Immobilization

橋本　奨[1)]・岩堀恵祐[2)]
Susumu HASHIMOTO[1)] and Keisuke IWAHORI[2)]

(福井工業大学[1)]・大阪大学工学部[2)]
(Fukui Institute of Technology[1)]. Faculty of Engineering, Osaka University[2)])

Abstract

Experimental investigations were carried out on the immobilization effect of activated sludge in case of supplying Xonotlite continuously to the aeration basin, which was calcium silicate hydrate.

Initial diameters of activated sludge floc were about 30～100 μm. But, the floc diameters of activated sludge were about 500～1000 μm after 3 weeks, increasing gradually during the experimental period. It was shown obviously that Xonotlite was to act as the bridge-building material and to promote the binding immobilization of activated sludge from microscopic observation.

The accumulated amount of Xonotlite in activated sludge was derived from the mass balance in aeration basin. It was suggested that set values of both sludge retention time and influent Xonotlite were very important, applying its formula to the experimental results.

Moreover, it was considered that theoretical and experimental investigations on the influent inorganic matter affecting to activated sludge were significant problems in future.

1. 緒言

近年，酵素の固定化利用ばかりでなく，酵素活性を持った微生物細胞そのものを固定化して利用する技術が実用化されてきた。水処理の分野でも，微生物固定化法を活用した新しい排水処理システムの開発気運が高まり，現在，多くの研究者により鋭意研究・開発が行われている。

微生物の固定化法は，担体を用いる方法と用いない方法に大別できる。前者の方法には，担体に微生物を結合させる結合法，高分子ゲルで微生物を包み込む包括法があり，後者の方法には，微生物自身の持つ自己固定化・造粒能を発揮させる自己固定化法がある。

従来から排水処理に活用されてきた生物膜法は，広義の結合固定化法と考えられ，また現在，アクリルアミド[1)]，カラギーナン[2)]，アルギン酸ソーダ[3)]，PVA[4)]などを担体とした包括固定化法が開発・実用化されている。これらの固定化法は，担体を反応槽内に設置あるいは直接投入するか，微生物を別途固定化した後，反応槽内に

投入する方法である。しかし，これまで，担体を含んだ流入水を反応槽に連続供給することにより，その微生物固定化効果を検討した事例はまだ報告されていない。また，下・廃水中には，多種多様の有機・無機成分が多量に含まれており，これらの成分が，実際には，微生物の結合固定化を促進させている可能性も考えられる。

そこで，本研究では，活性汚泥の固定化に有効と考えられる無機物を担体として流入水に投入し，活性汚泥連続培養における微生物固定化効果を実験的に検討するとともに，その成績をもとに，活性汚泥法における流入水由来の無機成分の役割を考察したので，その概要を報告する。

2. 実験材料並びに方法

(1) 実験材料

○ 供試活性汚泥：肉エキス・ペプトン主体の合成下水(表-1)を用いてFill and Draw方式で長期間培養した活性汚泥を水洗いして実験に供した。

○ 固定化材料：スリラー状のXonotlite(ニチアス製，含水率94.13%)を固定化材料として使用した。Xonotliteはケイ酸カルシウム水和物の総称[5]で，写真-1に示したように，直径30～50 μmの球状粒子である(以下，X物質と称す)。

○ 実験装置：実験装置の模式図を図-1に示した。曝気槽は実容積4.72 *l* で，底部の多孔球から約0.8 *l*/分で曝気し，槽内の完全混合と好気状態を保持した。また，曝気槽流出口には実容積0.28 *l* の活性汚泥ろ過フィルター(住友スリーエム製スコッチブライト)を装着し，極めて澄明な処理水が流出するようになっている。

組　成	濃度 (mg/ℓ)
肉エキス	187.0
ペプトン	125.0
NaCl	18.7
KCl	8.7
$CaCl_2$	8.7
$MgSO_4$	6.3
$NaHCO_3$	53.0
pH	7.4
TOC	100

表1. 合成下水の組成

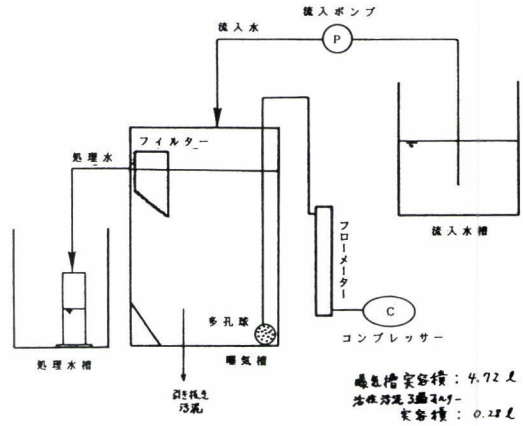


図1. 実験装置の模式図

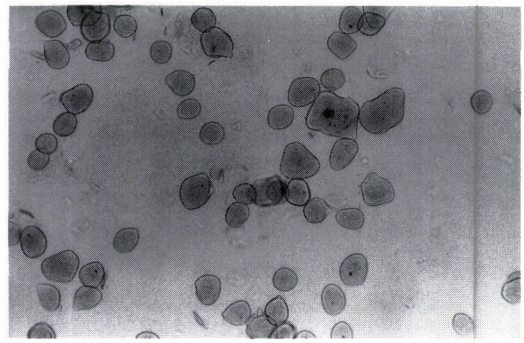


写真1. X物質(×150)

(2) 実験方法

表-1の合成下水40 *l* にX物質1.0g湿重(乾重1.47mg/*l* に相当)を添加して，流入水量20 *l*/日で曝気槽に連続供給しながら，活性汚泥滞留時間(以後，t_sと略す)を15日，10日および7.5日に適宜設定し，このt_s値を一定に維持するため，1日1回曝気槽から所定量の活性汚泥混合液を引き抜いた。

ここで，流入水量をQ_s (*l*/日)，曝気槽実容積をV (*l*)，曝気槽内活性汚泥濃度をS (mg/*l*)，処理水SS濃度をSe (mg/*l*)，処理水SS濃度をSe (mg/*l*)および引き抜き汚泥量をQ_w (*l*/日)とすると，水理学的滞留時間(以後，t_dと略す)およびt_sとは，それぞれ次式で表される。

$$t_d = \frac{V}{Q_s} \quad (1)$$

$$t_s = \frac{V \cdot S}{(Q_s - Q_w) \cdot S_e + Q_w \cdot S} \quad (2)$$

式(1)から，本実験で設定したt_d値は0.236日即ち5.66時間となる。また，曝気槽流出口には活性汚泥ろ過フィルターを装着したので，$S_e=0$と考えられ，式(2)は次式で表される。

$$t_s=\frac{V\cdot S}{Q_w\cdot S}=\frac{V}{Q_w} \qquad (3)$$

式(3)から次式が成り立つ。

$$Q_w=\frac{V}{t_s} \qquad (4)$$

したがって，本実験では，式(4)から，所定t_s値に見合った汚泥引き抜き量Q_wを算出して，活性汚泥連続培養実験を行った。

(3)測定項目並びに方法

測定項目は，流入水と処理水のTOC，曝気槽内のMLSS，MLVSSとDOの各濃度および初期沈降速度(以後，ISVと略す)，SV_{30}，SVIである。TOC濃度以外の項目は1～2日に1回測定し，TOC濃度は適宜測定した。TOC濃度はTOC計で，DO濃度はガルバニセル型DO計で，その他の項目はすべて下水試験方法[6]に準じてそれぞれ測定した。なお，実験期間中，毎日，光学顕微鏡で活性汚泥フロックを観察した。

3. 実験成績並びに考察

MLSS濃度，ISV，SV_{30}およびSVIの経日変化を図-2に示した。また，曝気槽内DO濃度は，全実験期間中，5.8mg/l以上に維持され，さらに処理水TOC濃度は，TotalおよびSolubleともほぼ同じ値で，4.75～6.30mg/lであった。したがって，X物質の連続供給は活性汚泥のTOC除去能に何の影響も及ぼさないことがわかる。

一方，t_s値を7.5日に変更した実験開始18日目以降，活性汚泥ろ過フイルターに目詰りが生じ，活性汚泥が処理水に流出することがあった。そこで，フィルターを毎日洗浄するとともに，流出水の遠心沈殿物(1000rpm，10分)を曝気槽にもどし，汚泥引き抜き以外に活性汚泥が曝気槽から排出されないようにした。

以上の実験から，連続供給されているX物質による活性汚泥の固定化効果について種々検討・考察する。

(1)顕微鏡観察による活性汚泥のフロック形成

実験開始時の曝気槽内活性汚泥混合液の顕微鏡写真を写真-2に示した。これより，活性汚泥の平均フロック径は30～100μm程度であることがわかる。次に，実験開始4日目，6日目，12日目，18日目と25日目における活性汚泥混合液の顕微鏡写真を写真-3～写真-7にそれぞれ示した。実験開始4日目にはフロック径が供試活性汚泥の

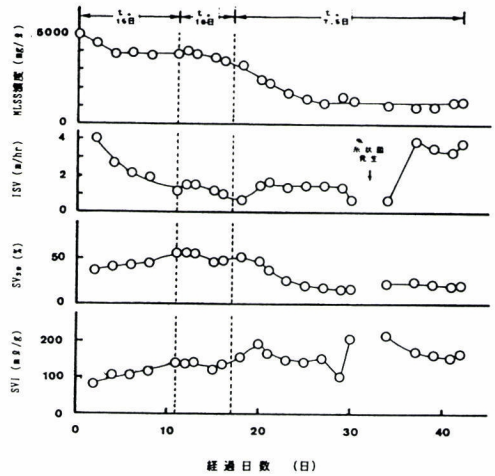


図2. MLSS濃度，初期沈降速度(ISV)，SV_{30}とSVIの経日変化

それよりも大きくなり，その後徐々に増加して，12日目には300μm程度のフロックが最も多く，1000μm程度のフロックも観察された。さらに，t_s値を7.5日に変更した18日目以降には，500～1000μm程度のフロックがほとんどであり，実験終了時(42日目)まで同程度のフロック径が維持されていた。しかし，写真-6，写真-7から明らかなように，t_s値を7.5日に変更してから，髭状に伸びた*Geotrichum*様糸状菌の存在がフロック周辺で確認された。先に述べたフィルターの目詰りは，この糸状菌に起因したものと考えられる。また，実験開始32日目には，この糸状菌が大量に発生し，汚泥沈降性が悪化したが，1日だけの現象であり，その大量発生・消失の原因は不明である。

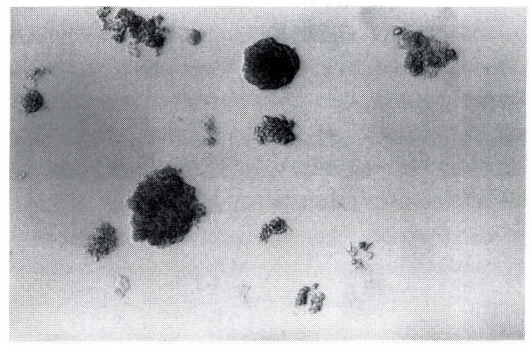


写真2. 実験開始直前の活性汚泥フロック(×150)

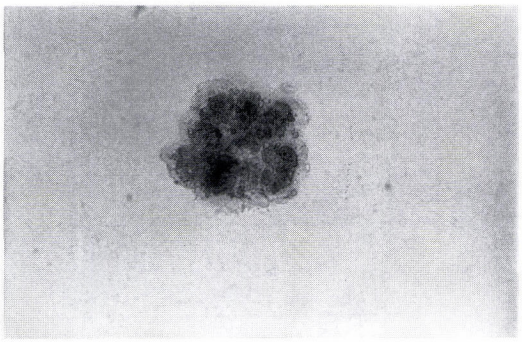


写真3. 実験　開始4日目(t_s：15日)の活性汚泥フロック(×150)

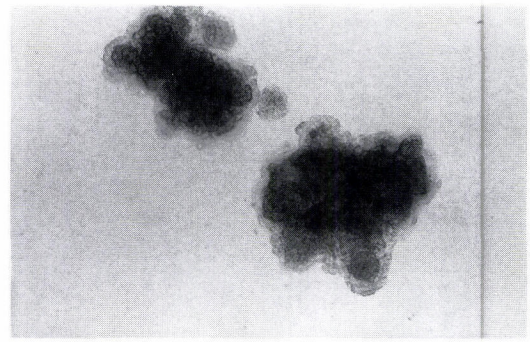


写真4. 実験開始6日目(t_s：15日)の活性汚泥フロック(×150)

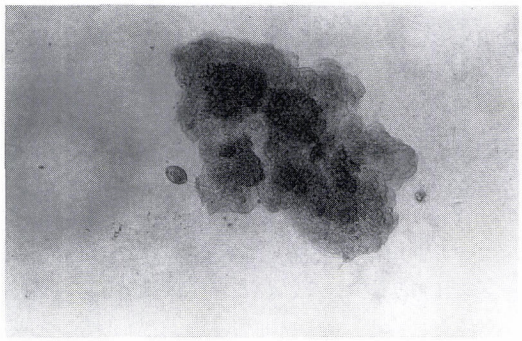


写真5. 実験開始12日目(t_s：10日)の活性汚泥フロック(×150)

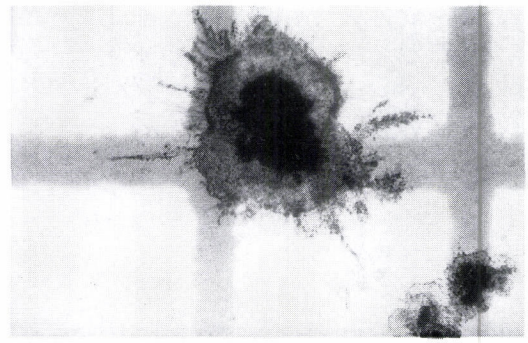


写真6. 実験開始18日目(t_s：7.5日変更直後)の活性汚泥フロック(×60)

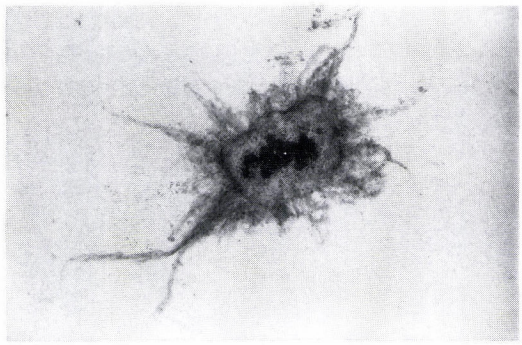


写真7. 実験開始25日目(t_s：7.5日)の活性汚泥フロック(×60)

著者らは，これまで，X物質を添加せずに同一装置で同様操作の運転を行うと，1週間程度でフィルターが閉塞することを何度も経験している。本実験ではX物質を添加しない同一運転条件での実験と比較しなかったが，上述した活性汚泥フロックの顕微鏡観察と著者らの経験から，X物質は，活性汚泥のフロック形成に有効であると判断できる。しかし，顕微鏡写真から明らかなように，球状粒子のX物質が核となって活性汚泥フロックが形成・増大するのではなく，何らかの原因でゲル化したX物質が活性汚泥フロックを結合させて，フロック径が大きくなったものと考えられる。したがって，X物質は，活性汚泥に対して，架橋剤の役割を果たしているといえる。

(2)曝気槽内X物質蓄積量の推定

本実験の運転操作模式図を図-3に示した。これより，曝気槽内X物質の物質収支は次式で示される。

[n日目までのX物質蓄積量] = [(n-1)日目までのX物質蓄積量]
− [(n-1)日目のX物質引き抜き量]
+ [n日目のX物質流入量]　(5)

活性汚泥滞留時間t_s一定条件下で，一日当りのX物質流入量をX_s，(n-1)日目およびn日目までのX物質蓄積量をそれぞれX_{n-1}，X_nとすると，式(5)から次式の関係が成り立つ。

$$X_n = X_{n-1} - \frac{X_{n-1}}{t_s} + X_s \qquad (6)$$

曝気槽内の初発X物質量をX_0とおいて式(6)を解くと，次式が得られる。

$$X_n = X_0 \cdot \left(1 - \frac{1}{t_s}\right)^n + X_s \cdot t_s \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{1}{t_s}\right)^n\right] \quad (7)$$

したがって，汚泥引き抜き以外にX物質が曝気槽から流出しなければ，t_s一定条件下でn日目までのX物質蓄積量は式(7)から算出できる。

また，t_sが1日より大きな値であれば，式(7)は次式のようになる。

$$\lim_{n \to \infty} X_n = X_s \cdot t_s \quad (8)$$

式(8)は，X物質の連続供給日数が大きくなると，初発X物質量にかかわらずX物質蓄積量が$X_s \cdot t_s$の値をとることを意味している。

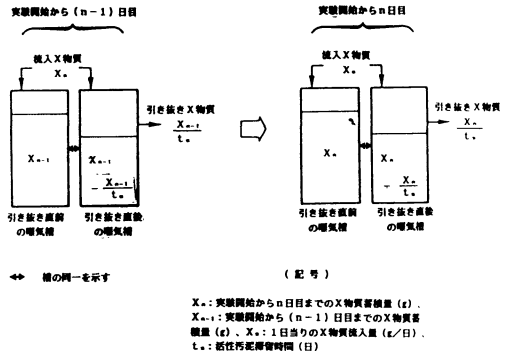


図3. 活性汚泥連続培養における運転操作模式図

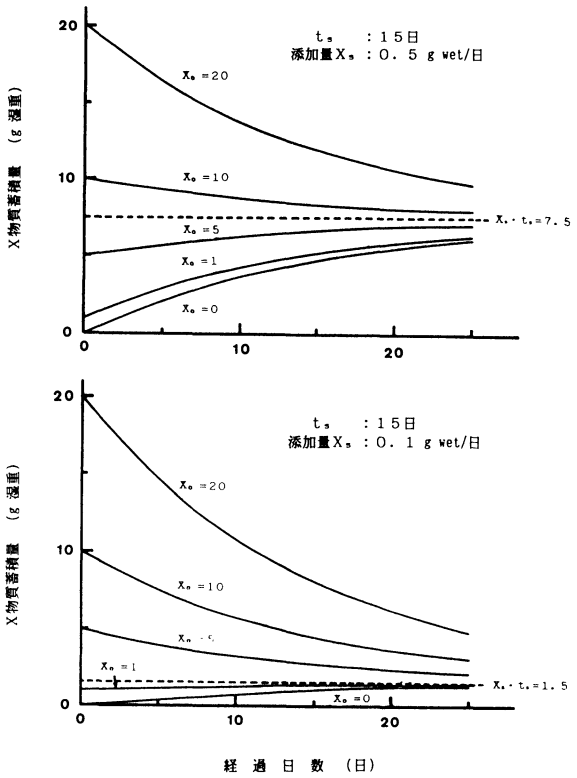


図4. X物質蓄積量に及ぼす初発量，流入量の影響

いま，t_sが15日，X物質流入量(X_s)が0.1g湿重/日あるいは0.5g湿重/日であると仮定すると，初発X物質量(X_0)を種々設定した場合のX物質蓄積量(X_n)の経日変化を図-4に示した。本図より，X_0にかかわらず，X_nは$X_s \cdot t_s$に収束することがわかる。したがって，初発X物質量を$X_s \cdot t_s$として，X_s量を毎日供給すれば，t_s値に見合った最も効率的な運転が可能となる。

次に，本実験は3種類のt_s値で運転したので，式(7)から各t_s値に見合ったX物質蓄積量X_nを算出し，その経日変化を図-5に示した。本図より，t_s値が15日と10日の

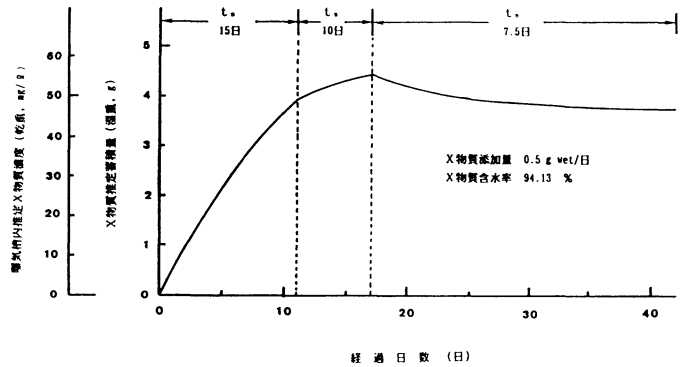
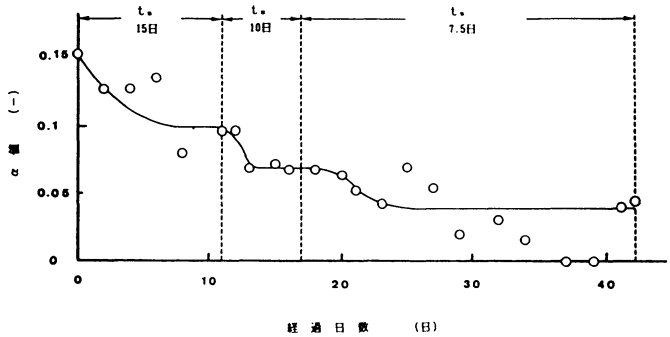


図5. X物質推定蓄積量の経日変化

場合には，X_nは増加するが，t_s値を7.5日変更すると，X_nは減少することがわかる。また，実験終了時には，曝気槽内に約50mg乾重/lのX物質が存在していたと推定できる。

以上のことから，X物質を曝気槽に連続供給する場合には，t_s値と添加量X_sの設定が極めて重要であるといえる。

一方，活性汚泥は有機成分と灰分から成り立っており，X物質は灰分である。そこで，先に推定したX物質濃度をもとに，X物質以外の灰分量即ち活性汚泥由来の灰分量と有機物量の比率(α)を算出し，その経日変化を図-6に示した。実験開始時のα値は0.155であり，t_s値が15日，10日，7.5日では，α値はそれぞれ0.1，0.07，0.04程度の値が得られた。これより，t_s値の低下とともに，α値が低下する，即ち活性汚泥中の有機成分の割合が増加することがわかる。これは，活性汚泥微生物の成分と運転パラメーターの関係を検討した既往研究[7)~9)]と一致している。



$$\alpha = \frac{(MLSS-MLVSS)-推定X物質濃度}{MLVSS}$$

図6. α値の経日変化

(3)活性汚泥に及ぼす流入無機成分の影響について

実際の下・廃水には，多種多様の無機成分が多量に含まれている。この中には，本実験で使用したX物質のように，活性汚泥のフロック形成に有効な成分も含まれているはずである。しかし，活性汚泥フロックの形成要因として，流入無機成分に着目した研究事例は，これまで，ほとんど報告されていない。したがって，活性汚泥構成微生物あるいはその代謝産物に着目するだけでなく，流入無機成分の影響を考慮して，活性汚泥のフロック形成能を評価する必要があると考えられる。

また，活性汚泥法の動力学的な取り扱いは，従来，流入SSを考慮しなかったり，流入SSが曝気槽内ですべて活性汚泥になると仮定し，流入SSの影響を収率係数で評価してきた。しかし，流入SSは有機成分と無機成分から構成されいるので，その成分比率が活性汚泥法動力学に深く関与していることは明白である。したがって流入SS成分を有機・無機の各成分に分け，両成分ごとの物質収支から活性汚泥法の動力学理論を構築する必要があると考えられる。このような理論構築とその実験的検討から，活性汚泥に及ぼす流入無機成分の影響を明らかにできるはずであり，今後の発展を期待したい。

4.要　約

ケイ酸カルシウム水和物であるXonotliteの曝気槽連続供給による活性汚泥の固定化効果について検討し，次の知見が得られた。

(1)　供試活性汚泥のフロック径は30～100μmであったが，X物質含有合成下水の連続供給により，そのフロック径は徐々に増加し，約3週間後には500～1000μmの活性汚泥フロックになった。X物質は，架橋剤の役割を果たし，活性汚泥の結合固定化を促進できることが明らかとなった。

(2)　活性汚泥中のX物質蓄積量を推定する式を導出して実験成績に適用したところ，活性汚泥滞留時間t_sとX物質流入量X_sの設定が極めて重要であることがわかった。

(3)　流入SS成分を有機・無機の各成分に分け，両成分ごとの物質収支による活性汚泥法動力学理論の構築とこれに基づいた実験的検討から，活性汚泥に及ぼす流入無機成分の影響を評価することが重要な課題であることを考察した。

参考文献

1)中村裕紀，大竹康友，森　直道，中島一郎：包括固定化微生物による排水中の窒素除去技術，公害と対策，22(2)，27 (1986)

2)設楽惣助，渡辺　昭，鈴木達彦：固定化微生物による汚水処理の基礎的研究(2)-固定化脱窒菌の活性比較-，下水道協会誌，21 (236)，35 (1984)

3)Nilsson, I., Ohlson, S.: Columnar Denitrification of Water by Immobilized Pseudomonas denitrificans Cells, European. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., 14、86(1982)

4)橋本　奨，古川憲治，濱　　宏：活性汚泥の固定化とその浄化機能に関する研究-PVA-ホウ酸法について-，下水道協会誌，23 (262)，41 (1986)

5)久保和彦，竹内幹広，江角正夫，山口悟郎，田村英雄：球状ゾノトライト二次粒子の生成課程，窯業協会誌，82 (8)，414 (1974)

6)日本下水道協会編：下水試験方法(1974)

7)Tench, H.B.: Sludge Activity and the Activated Sludge Process, Water Pollut. Contro. 67 (3), 408 (1968)

8)Upadhyaya, A. K.,Eckenfelder, W. W. Jr.: Biodegradable Fraction as an Activity Para meters of Activated Sludge, Water Res., 9(8) , 691 (1975)

9)Nelson, P. O., Lawrence, A. W.: Microbial Viability Measurements and Activated Sludge Kinetics, Water Res., 14 (3), 217 (1980)