

微生物の珪砂混合ベントナイト中の
移行に関する実験的研究
(試験報告)

1999年11月

核燃料サイクル開発機構
東 海 事 業 所

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせ下さい。

〒319-1194

茨城県那珂郡東海村大字村松 4-33

核燃料サイクル開発機構 東海事業所

運営管理部 技術情報室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Information Section,

Administration Division,

Tokai Works,

Japan Nuclear Cycle Development Institute

4-33 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1194

Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)

1999

1999年11月

微生物の珪砂混合ベントナイト中の移行に関する実験的研究
(試験報告)

嶺 達也* 三原 守弘* 大井 貴夫*

要旨

放射性廃棄物の地層処分の安全評価においては、処分システムの性能に影響を及ぼすと考えられる様々な現象についての検討評価が行われている。これまでに抽出されたこれらの現象の中には、処分システム内外での微生物活動の影響が含まれる。

微生物が緩衝材内部において活動する場合、最終的に核種の移行挙動に影響を与えると考えられる。しかしながら、緩衝材内部に存在する微生物の数が限られ、なおかつ、微生物が緩衝材内部に侵入しない場合は、緩衝材内部においてその影響が有意にならない可能性がある。

本研究では、処分場における緩衝材の候補材であるベントナイト系材料が有するフィルトレーション効果により緩衝材内部への微生物の侵入が妨げられるか否かを確認するため、ベントナイト系材料の成型条件である乾燥密度及び珪砂混合率をパラメータとして、ベントナイト系材料中に比較的小型の微生物を含む菌液を透過させる試験を実施した。

その結果、ベントナイト系材料の成型条件である乾燥密度を 1200kg/m^3 以上、珪砂混合率を 50wt%以下に設定すれば、微生物の移行が抑制されるとの評価結果を得た。

* 東海事業所 環境保全・研究開発センター 処分研究部 システム解析G r.

November, 1999

Experimental Study of Microbial Transport on Bentonite Sand Mixture

Tatsuya Mine* Morihiro Mihara* Takao Ooi*

Abstract

On the geological disposal system of the radioactive wastes, the activities of the microorganisms that could penetrate through the buffer material might be significant for the assessment of this system. In this system, it is expected that the bentonite sand mixture, which is a candidate material of the buffer material, has a function to prevent the penetration of the microorganism into the buffer material.

The microbial activity that arises in the buffer material inside seems to affect transport behavior of nuclides. But the effect of the microbial activity may not be significant in the case that the number of the microorganism that exists in the buffer material inside is limited and that the microorganism can not penetrate through the buffer material.

In this study, it was confirmed whether the microorganisms would penetrate through the bentonite sand mixture. The results show that the microbial transport would not occur easily under the condition which is more than 1200kg/m³ of dry density and less than 50wt% of silica sand contents of the bentonite sand mixture.

* Repository System Analysis Group, Waste Isolation Research Division, Waste Management and Fuel Cycle Research Center, Tokai Works

目次

1	はじめに	1
2	試験準備	2
2.	1 使用した微生物	2
2.	2 菌液の準備	3
2.	3 使用したベントナイト系材料	3
2.	4 試験装置	3
3	試験方法	4
3.	1 ベントナイト系材料成型	4
3.	2 膨潤処理	4
3.	3 菌透過処理	5
3.	4 菌測定	5
4	試験結果及び考察	6
5	おわりに	9
	謝辞	10
	参考文献	11

図目次

図 1	アクリル製試験装置の概略図	13
図 2	ステンレス製試験装置の概略図	14
図 3	試験フロー	15
図 4	ベントナイト系材料の切り出し	16
図 5	ベントナイト系材料のフィルトレーション効果に関する模式図	17

表目次

表 1	L B 培地の組成	1 8
表 2	E M B 培地の組成	1 9
表 3	試験条件	2 0
表 4	一般生菌数計測用寒天培地の組成	2 1
表 5	透過試験後のペントナイト系材料中での大腸菌の分布	2 2

付録目次

付録-1	コロニー計測結果	2 3
------	----------	-----

1 はじめに

放射性廃棄物の地層処分の安全評価においては、処分システムの性能に影響を及ぼすと考えられる様々な現象についての検討評価が行われている（サイクル機構、1999a）。これまでに抽出されたこれらの現象の中には、処分システム内外での微生物活動の影響が挙げられている（サイクル機構、1999a）。

処分システムにおける微生物活動の影響は、既存の研究により以下のように大別されている（McCabe、1990、West et al.、1984）。

- ・材料の劣化／腐食
- ・ガス生成
- ・地下水の化学的性質の変化
- ・核種の取り込み

材料の劣化／腐食においては、微生物がセメント系材料、炭素鋼などの材料を劣化あるいは腐食させ、これらの材料から構成される人工バリアの地下水の浸入、放射性核種（以下、核種と記す）の移行遅延機能が影響を受けることが指摘されている（McCabe、1990、West et al.、1984、Stroes-Gascoyne et al.、1994）。

ガス生成においては、微生物による材料の劣化あるいは腐食によってガスが生成し（McCabe、1990）、人工バリアの破壊や人工バリア中の汚染水の押し出しといった物理的な影響のほか、二酸化炭素の発生に起因するセメント系材料中の炭酸カルシウムの沈殿生成、それに伴うセメント系材料の吸着能力の低下といった化学的な影響が指摘されている（去来川ら、1996）。

地下水の化学的性質の変化については、微生物の新陳代謝の結果生じる、地下水のpH、Ehの変化、錯化材の生成など（West et al.、1984）による人工バリアの変質、核種の化学形態及び溶解度、人工バリアの吸着能力などへの影響が指摘されている（Stroes-Gascoyne et al.、1994）。

核種の取り込みについては、微生物が細胞の内側あるいは外側に核種を取り込み（Stroes-Gascoyne et al.、1994）、細胞内外での酸化反応、還元反応、イオン交換、キレート化、沈殿生成などにより、核種の移行が促進されることが指摘されている（Pedersen et al.、1995）。

以上のように、いずれの活動も処分システムの健全性に影響を与えると考えられる。そのため、処分システムの安全評価においては、これらの検討評価が必要不可欠となる。しかし、放射性廃棄物の処分の観点から、これらの活動について研究された例はほとんどない。そのため、これらの活動の影響を定量的に考慮した地層処分システムの安全評

価はなされていない。

上記のような微生物活動が緩衝材内部において発生した場合、最終的に核種の移行挙動に影響を与えると考えられる。しかしながら、緩衝材内部に存在する微生物の数が限られ、なおかつ、微生物が緩衝材内部に侵入しない場合は、緩衝材内部においてその影響が有意にならない可能性がある。

そこで、本研究では、微生物の影響評価の一環として、処分場における緩衝材の候補材である珪砂混合ベントナイト（以下、ベントナイト系材料と記す）が有するフィルトレーション効果（サイクル機構、1999b）により緩衝材内部への微生物の侵入が妨げられるか否かを微生物の透過試験を実施することにより確認することとした。なお、フィルトレーション効果とは、圧縮成型したベントナイト系材料中の微細な間隙構造により、分子量の大きな有機物、コロイドなどがろ過される効果のことである（サイクル機構、1999b）。

具体的には、ベントナイト系材料の成型条件である乾燥密度（珪砂、ベントナイト、空気間隙で構成される密度）及び、熱伝導性、施工性向上のために混合する珪砂の混合率を試験パラメータとし、比較的小型の微生物（大きさ 0.5~4.0 μm）を含む菌液を用いてベントナイト系材料中を微生物が透過するか否かを確認する試験を実施した。また、得られた結果を基にベントナイト系材料中での微生物の移行に関する評価を行った。

2 試験準備

2. 1 使用した微生物

微生物がベントナイト系材料中を透過するか否かは、微生物の大きさに依存する。しかし、地下深部の微生物の生態についてはほとんど情報がなく、その大きさを特定することは困難である。ここでは、ベントナイト系材料中の微生物の透過性を確認するため、できるだけ小さい微生物を対象と考えた。また、好気的、嫌気的条件であっても、微生物の増殖が可能であること、他の雑菌との識別が容易に行えることも考慮することとした。

以上より、本試験では、微生物の中でも比較的小型であり、好気的、嫌気的条件であっても増殖が可能である大腸菌（大きさ 0.5~4.0 μm）を使用することとした。なお、他の雑菌との識別を容易にするため、抗生物質（本試験ではアンピシリン）への耐性を持たせることとした。この場合、他の雑菌が混入してもアンピシリンへの耐性を調査することにより、他の雑菌は死滅し、この大腸菌のみ検出することが可能になる。

2. 2 菌液の準備

大腸菌がベントナイト系材料中を透過するか否かを確認するためには、大腸菌が生存した状態で試験を実施する必要がある。そこで、吉川らの方法（吉川ら、1995）に準じて菌液を準備することとした。すなわち、pH指示薬であるBTB（プロモチモールブルー）を含むLB培地（日水製薬（株）製）及び色素（エオシンイエロー、メチレンブルー）を含むEMB培地（日本製薬（株）製）を使用し、30°Cで大腸菌を培養させ、この培養液を菌液とした。各培地の組成を表1及び表2に示す。

2. 3 使用したベントナイト系材料

現在、地層処分システムの安全評価においては、国内産ベントナイトであるクニゲルV1（クニミネ工業（株）製）と日陶連原料（株）製の珪砂（3号及び5号珪砂を1:1で混合したもの）を混合したベントナイト系材料を基本として、透水係数などの基本特性に関するデータなどの蓄積が図られている（前田ら、1998）。

したがって、本試験でも上記と同様に作製したベントナイト系材料を使用することとした。

ベントナイトはモンモリロナイトを主成分とする粘土の一種である。処分システムにおいて緩衝材としての使用が想定されているベントナイトには機械的安定性、自己シール性、止水性などの機能が期待されており、乾燥密度が大きいほど優れた性能を示すことが明らかになっている（動力炉・核燃料開発事業団、1992）。このベントナイトの実用においては、珪砂を混ぜることにより熱伝導性や施工性が向上するため、珪砂混合のベントナイトを用いることが検討されている（動力炉・核燃料開発事業団、1996）。

そこで、ベントナイト系材料の成型条件である乾燥密度及び珪砂混合率をパラメータとした試験を実施することとした。

2. 4 試験装置

試験当初では吉川らの方法（吉川ら、1995）に準じて図1に示すアクリル製の装置を使用していたが、雑菌の加熱滅菌の容易さ、ベントナイトの膨潤にともなう装置破損の防止の観点からステンレス製装置を採用することとした。ステンレス製装置の概略図を図2に示す。

アクリル製装置では、図1に示すようにベントナイト系材料の上部にアルミナ焼成フィルタ（目開き10~100μm）または中空フィルタ（目開き1mm²角）を設置していた。しかし、ステンレス製装置では、図2に示すようにベントナイト系材料をミリポアフィルタで挟み込めるようにした。さらに、パッキンでベントナイト側面からの菌の回り込みを阻止できるようにした。また、蓋部にOーリングを用いることにより、雑菌の

侵入を防止できるようにした。パッキン及びO-リングの材質については、当初、シリコン製としていたが、後述する加熱滅菌処理時にパッキン及びO-リングに歪みが生じる傾向があったため、バイトン製に変更し（パッキンについては、幅3mmであったものを5mmに変更）、密閉性の信頼度を高くできるようにした。

3 試験方法

試験条件を表3に、試験フローを図3に示す。なお、本試験は繰り返し数を2あるいは3として実施した。

3. 1 ベントナイト系材料成型

(1) 珪砂混合率80wt.%の場合

成型圧力約23MPaでの成型を試みたが、成型体がもろく、形が保てなかつたため、試験装置内で水によって浸潤させ、成型調整することとした。まず、ベントナイト系材料を紫外線により滅菌し、さらに107°C1時間での加熱滅菌を2回実施した。これらのベントナイト系材料を乾燥密度が1200kg/m³あるいは1800kg/m³となるように100°Cで5分間蒸気滅菌したアクリル製試験装置に充填した。その後、滅菌蒸留水を添加した。乾燥密度が1200kg/m³の場合にはこの蒸留水が浸潤するのに約10日間、1800kg/m³では2週間を要した。その後、真空脱気し、装置をたたきながら気泡を取り除いた。このように調整した直径50mm、厚さ29mmのベントナイト系材料を後述する菌透過処理に使用した。

(2) 上記以外の場合

珪砂混合率80wt.%以外のケースは、表3の乾燥密度となるように以下に示す調整を行った。所定の割合で混合したベントナイト系材料を冷間等方加工プレスを使用して直径50mm、厚さ23mmとなるように所定の成型圧力、処理時間で成型した。成型後、100°Cで1時間加熱滅菌し、それぞれ121°Cで30分間加熱滅菌しておいたステンレス製試験装置に設置した。その後、ベントナイト系材料を設置した装置の滅菌（121°Cで20分間加熱滅菌）を2回実施した。

3. 2 膨潤処理

ベントナイト系材料は処分場に設置された後、地下水により膨潤すると考えられる。このことを考慮して、滅菌蒸留水をベントナイト系材料上部から添加し、ベントナイト系材料を膨潤させた。膨潤には2週間から3週間を要した。

膨潤期間の妥当性については、前田らが報告したベントナイト系材料の最大膨潤圧測定試験の結果（前田ら、1998）から判断した。前田らは直径40mm、厚さ20mmの

クニゲルV 1と珪砂を混合したベントナイト系材料を使用し、蒸留水を添加することにより最大膨潤圧を測定している。その結果、試験開始から 20 日程度で膨潤圧が平衡に達し、ベントナイト系材料中の水分の飽和度が 95%以上となることを示している。この結果から、本試験で膨潤処理したベントナイト系材料は十分膨潤した状態であったと考える。

3. 3 菌透過処理

菌透過処理時にアルミナ焼成フィルタ（目開き 10~100 μm）が目詰まりする可能性が考えられたため、膨潤処理が終了した後に目開きが大きい中空金網フィルタ（目開き 1mm²角）と交換した。

事前に準備しておいた大腸菌を含む菌液を試験装置上部から添加し、30℃程度の恒温槽内で菌透過処理を開始した。菌液は 1 週間ごとに交換し、大腸菌が試験期間を通じて常に生存できるようにした。また、処理中は菌液がベントナイト系材料上部から均等に透過するように、中空金網フィルタに直径 3mm のガラス玉を入れて試験装置自体をロータリーシェーカー上で回転攪拌（85rpm）した。菌透過処理期間については、培養液に含まれる色素（エオシンイエロー）がベントナイト系材料底部へ達する期間とした。ただし、ステンレス製試験装置では色素が透過する様子が見えないため、別途、アクリル製試験装置を使用し、培養液のみの透過処理を実施することによって、処理期間を決定することとした。この結果より、処理期間を 2~3 週間とした。

菌透過処理終了後のベントナイト系材料の抜き出し時に、ベントナイト系材料上部の大腸菌がベントナイト系材料底部に付着、混入することを防止するため、菌液を添加したベントナイト系材料上部を滅菌したアルミナ製の円柱治具によって押し、底部から先に装置から抜き出した。

3. 4 菌測定

大腸菌がベントナイト系材料中を透過したか否かを判断するために、深さごとに切り出したベントナイト系材料を培養し、大腸菌のコロニーが形成されるかどうかを調査した。以下に詳細を示す。

抜き出したベントナイト系材料の切り出しは図 4 に示すように、滅菌カッターを使用してベントナイト系材料底部から深さごとに一定量のサンプルを切り出す方法で実施した。なお、アクリル製試験装置を使用した珪砂混合率 80wt%の場合には 6 切片（厚さ 2mm、重量 0.5g）、ステンレス製試験装置を使用したそれ以外のパラメータの場合には 5 切片（厚さ 1mm、重量 0.2g）を切り出した。珪砂混合率 80wt%のサンプルの厚さがそれ以外の場合に比べて厚い理由は、珪砂の混合率が高くなると切り出しにくくな

るためである。

このように切り出したサンプルにベントナイトの塊などが含まれていた場合、後述するコロニーの計測において、誤差を生じさせる可能性があるため、サンプルに生理食塩水を添加し、ホモジナイザーで均一に懸濁させた。さらに、コロニーとベントナイト粒子との見分けがつきにくいことから、できる限りベントナイト粒子を懸濁液から取り除くため、懸濁液は 20 μm のナイロンメッシュ布を用いてろ過した。ろ過後においてもなお、ベントナイトの粒子が残っている場合には、形成されるコロニーと区別するため、寒天培地による培養前にベントナイト粒子に油性ペンで目印を付けてから培養を行った。なお、珪砂混合率 80wt%の場合には、ベントナイトの粒子が少なく、見分けがつくため、このろ過は実施しなかった。

この懸濁液を平板計数法 (Stanier et al., 1989) に準じて 100 倍に希釈し、シャーレに分注した。さらに、LB 培地に寒天を添加した寒天培地をそれぞれのシャーレに加え、30~32°C で 2~5 日間培養した。なお、LB 培地中の BTB により、LB 培地が変色し、コロニーとベントナイト粒子との見分けがつかなくなる可能性があったため、一般生菌数計測用寒天培地（日水製薬（株）製）を使用した培養も合わせて実施した。この培地の組成を表 4 に示す。

培養後、それぞれの寒天培地に形成されたコロニーを計測した。

なお、コロニーが計測されたサンプルについては、そのコロニーを形成している微生物が菌透過処理に使用した大腸菌であるかどうか確認するために、その微生物を単離培養して、微生物の形態、アンピシリンへの耐性の有無を調査した。

4 試験結果及び考察

微生物透過試験を実施した後のコロニー計測結果を基にベントナイト系材料中の大腸菌の分布の結果を表 5 のようにまとめた。なお、コロニーを形成している微生物がすべて菌透過処理に使用した大腸菌であり、他の雑菌が混入していないことを確認している。コロニー計測結果は付録として添付した。

乾燥密度 1200kg/m³ の場合では、珪砂混合率を 0wt%、30wt%、50wt%、80wt% として試験を実施した。ベントナイト系材料の菌液透過面から 0mm の地点（上面）においては、当然ながらすべてのケースにおいて大腸菌が計測された。しかしながら、珪砂混合率が 0wt%、30wt% の場合には、上面より下の切り出し部では、大腸菌は全く計測されなかった。珪砂混合率が 50wt% の場合については、菌液透過面から 5mm より下方の地点では大腸菌は計測されなかった。80wt% の場合については 25mm の地点

(底面)までのすべての地点において大腸菌を検出できた。

乾燥密度 1800kg/m^3 の場合では、珪砂混合率を 0wt%、50wt%、80wt%として試験を実施したが、乾燥密度 1200kg/m^3 の場合と同様に珪砂混合率が 0wt%の場合には、上面より下の切り出し部では、大腸菌は全く計測されず、50wt%の場合についても、菌液透過面から 5mm より下方の地点では大腸菌は計測されなかった。80wt%の場合については底面までのすべての地点において大腸菌が計測された。

乾燥密度 1600kg/m^3 の場合では、珪砂混合率は 50wt%のみであるが、乾燥密度 1200kg/m^3 及び 1800kg/m^3 の場合と同様に菌液透過面から 5mm より下方の地点では大腸菌は計測されなかった。

乾燥密度 1800kg/m^3 及び 1600kg/m^3 の場合は、乾燥密度 1200kg/m^3 の場合より珪砂混合率のパラメータ数が少ないが、珪砂混合率が 50wt%の条件ではいずれの乾燥密度においても、菌液透過面から 5mm より下方の地点では大腸菌は計測されなかった。また、乾燥密度 1800kg/m^3 の場合は、珪砂混合率 30wt%での試験は実施していないが、珪砂混合率 0wt%、50wt%、80wt%の条件では乾燥密度 1200kg/m^3 の場合と同様の大腸菌の透過挙動が確認できている。したがって、乾燥密度 1200kg/m^3 及び 1800kg/m^3 の中間の値である乾燥密度 1600kg/m^3 の場合でも珪砂混合率を 0wt%、30wt%、80wt%として試験を実施すれば、乾燥密度 1200kg/m^3 の場合と同様の大腸菌の透過挙動が確認できると推測できる。

珪砂混合率が 50wt%の場合、乾燥密度によらず、菌液透過面から 5mm より下方の地点では大腸菌は計測されなかったことから、珪砂混合率 50wt%以下であれば、微生物の透過は抑制できると考えられる。

ここで、ベントナイト系材料の止水性や力学的安定性といった物理的、化学的な性能指標の一つである透水係数とベントナイト系材料中の大腸菌の透過挙動との関係について考察する。前田らは、乾燥密度 1200kg/m^3 、珪砂混合率 50wt%のベントナイト系材料の透水係数が約 $2 \times 10^{-12}\text{m/s}$ となることを示している(前田ら、1998)。さらに、ベントナイト系材料の乾燥密度が大きくなるほど、また、珪砂混合率が小さくなるほど、透水係数が小さくなることを示している。このことから、乾燥密度が 1200kg/m^3 以上で、珪砂混合率が 50wt%以下のときのベントナイト系材料の透水係数は $2 \times 10^{-12}\text{m/s}$ 以下となることが推定できる。本試験では、乾燥密度が 1200kg/m^3 以上で、珪砂混合率が 50wt%以下であれば、微生物の透過が抑制される可能性があることを示した。このときの透水係数は $2 \times 10^{-12}\text{m/s}$ 以下となることが推定できる。以上を考慮すると、 $2 \times 10^{-12}\text{m/s}$ 以下の透水係数を有する材料であれば、微生物の透過を抑制でき

る可能性があると考えられる。

本試験では、上記のように微生物を対象としたベントナイト系材料中の透過試験を実施した。これに対して、サイクル機構は地層処分研究開発第2次取りまとめにおいて、ベントナイト系材料がそのフィルトレーション効果によって 15nm の金コロイドを物理的にろ過できるか否かを検討している（サイクル機構、1999a）。この検討結果を整理すると図5のようまとめることができる。なお、コロイドのフィルトレーション効果が働く領域を示す曲線は実験値を基に推定されたものである（サイクル機構、1999a）。ここで、図5に本試験で得られた結果を追加する。図5より、ベントナイト系材料の底面までの微生物の透過が見られなかった珪砂混合率 50wt%以下という条件はベントナイト系材料におけるコロイドのフィルトレーション効果が働く領域に含まれていることが分かる。一方、乾燥密度が 1800kg/m³ で珪砂混合率が 80wt%という条件は、コロイドのフィルトレーション効果が働く領域に含まれているにもかかわらず、微生物の透過が確認される結果となっている。このように大きさが 0.5~4.0 μm の微生物が透過し、15nm の金コロイドが透過しないという結果については、その精度を含めて今後検討する必要がある。ただし、これらの結果はベントナイト系材料が有するフィルトレーション効果を期待することができる透過物質の大きさに関する情報の提供に資するものと考える。

5 おわりに

本研究では、処分場における緩衝材の候補材であるベントナイト系材料が有するフィルトレーション効果によって緩衝材内部への微生物の侵入が妨げられるか否かを確認するため、ベントナイト系材料の成型条件である乾燥密度及び珪砂混合率をパラメータとして、ベントナイト系材料中に比較的小型の微生物を含む菌液を透過させる試験を実施した。

その結果、ベントナイト系材料の乾燥密度が 1200kg/m^3 から 1800kg/m^3 の範囲では、乾燥密度によらず、珪砂混合率が 50wt%以下であれば、微生物が移行しないことを示した。また、この結果から $2 \times 10^{-12}\text{m/s}$ 以下の透水係数を有する材料であれば、微生物の移行を抑制できる可能性があること、微生物の移行はコロイドの移行と同様にベントナイト系材料のフィルトレーション効果によって抑制される可能性があることを示した。

したがって、緩衝材としてベントナイト系材料を使用する場合には、乾燥密度を 1200kg/m^3 以上とし、珪砂を 50wt%以下となるように混合すれば、緩衝材内部への微生物の侵入を抑制することができると考えることができる。

今後は、緩衝材が長期的には変質するというシナリオを考慮して、変質したベントナイト系材料を使用した微生物の透過試験を実施し、ベントナイト系材料の微生物を透過させない機能が長期間維持できるか否かを検討していく。また、すでに緩衝材内部に存在する微生物、あるいは、なんらかの理由で緩衝材内部に侵入した微生物にとって緩衝材内部の環境が適しているか否かを検討していく。

謝辞

最後に、種々の試験においてご助力を頂きました石川島播磨重工業（株）福永栄氏、本谷益良氏、横山英一氏、荒井和浩氏、並びに石川島検査計測（株）千手隆史氏に心から謝意を表します。

参考文献

去来川汎人、伊藤勝、他：T R U廃棄物処分に係る研究開発の現状調査(1)、PNC TN1420 96-014 (1996)

サイクル機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－総論レポート、JNC TN 1400 99-020 (1999a)

サイクル機構：わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－分冊3 地層処分システムの安全評価、JNC TN 1400 99-023 (1999b)

動力炉・核燃料開発事業団：高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書－平成3年度－、PNC TN1410 92-081 (1992)

動力炉・核燃料開発事業団：地層処分研究開発の現状（平成8年度）、PNC TN1410 96-071 (1996)

前田宗宏、伊藤勝、他：T R U廃棄物の処分施設に関する設計研究－岩盤の力学特性及び発熱性廃棄体の影響を考慮した処分空洞径の検討－、動燃技報、No.104、P107 (1997)

前田宗宏、棚井憲治、他：カルシウム型化及びカルシウム型ベントナイトの基本特性－膨潤圧、透水係数、一軸圧縮強度及び弾性係数－、PNC TN 8410 98-021 (1998)

吉川英樹、川上泰、他：地層処分システムにおける微生物の影響について（2）－微生物の栄養源と透過性について－、放射性廃棄物研究、vol.1、No.2、P213 (1995)

McCabe, A. : The Potential Significance of Microbial Activity in Radioactive Waste Disposal, Experientia, vol.46, No.8, P779 (1990)

Pedersen, K. and Karlsson. F. : Investigation of Subterranean Microorganisms - Their Importance for Performance Assessment of Radioactive Waste Disposal-, SKB TECHNICAL REPORT 95-10 (1995)

Stanier, R. Y., Ingraham, J. L. et al. : "The Microbial World", 第5版、培風館、P172
(1989)

Stroes-Gascoyne, S. and West, J. M. : Microbial Issues Pertaining to the Canadian
Concept for the Disposal of Nuclear Fuel Waste, AECL-10808 (1994)

West, J. M. and McKinley, I. G. : The Geomicrobiology of Nuclear Waste Disposal,
Mat.Res.Soc.Symp.Proc., vol.26, P487 (1984)

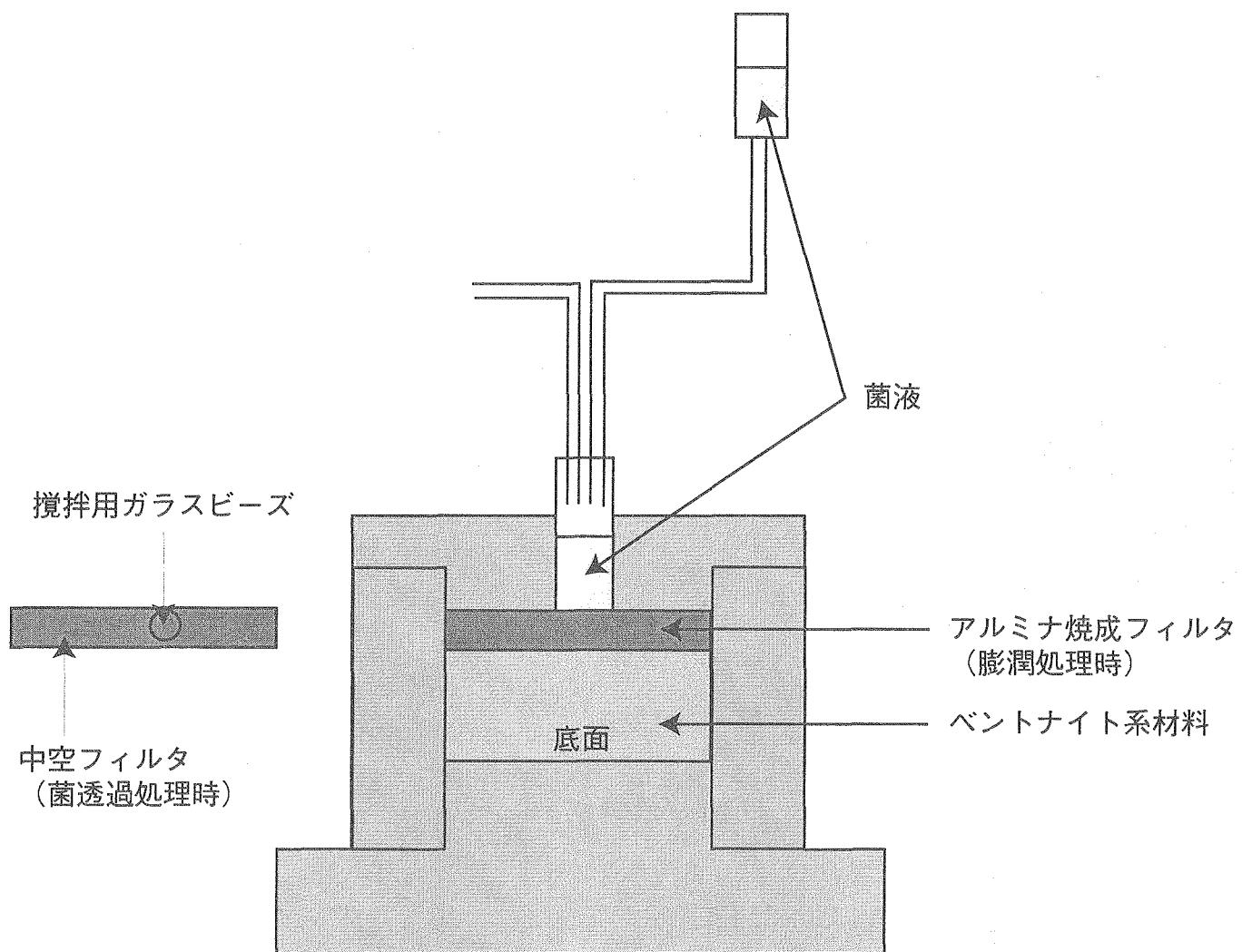


図1 アクリル製試験装置の概略図
(珪砂混合率80wt%の場合)

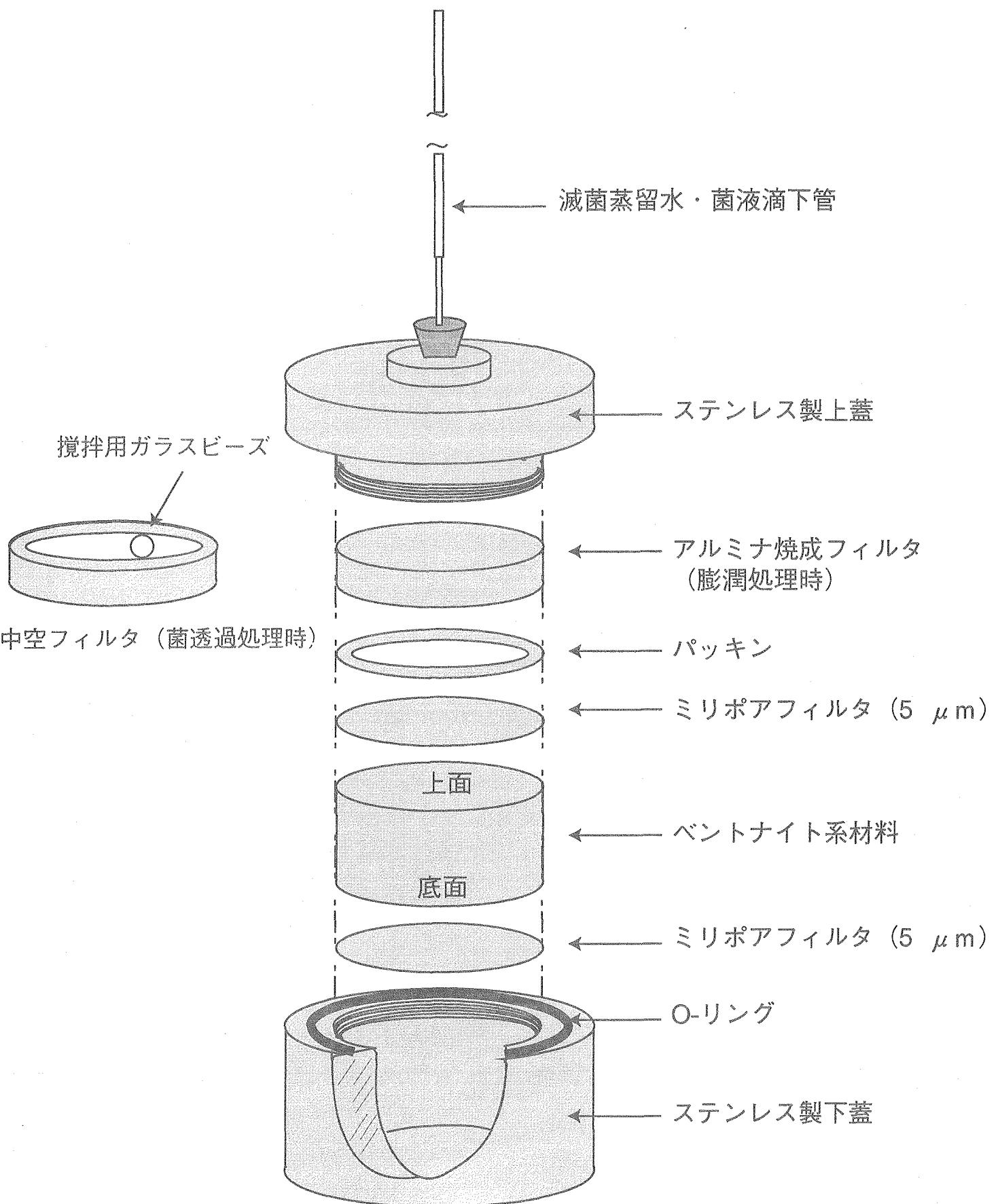


図2 ステンレス製試験装置の概略図
(珪砂混合率80 wt%以外の場合)

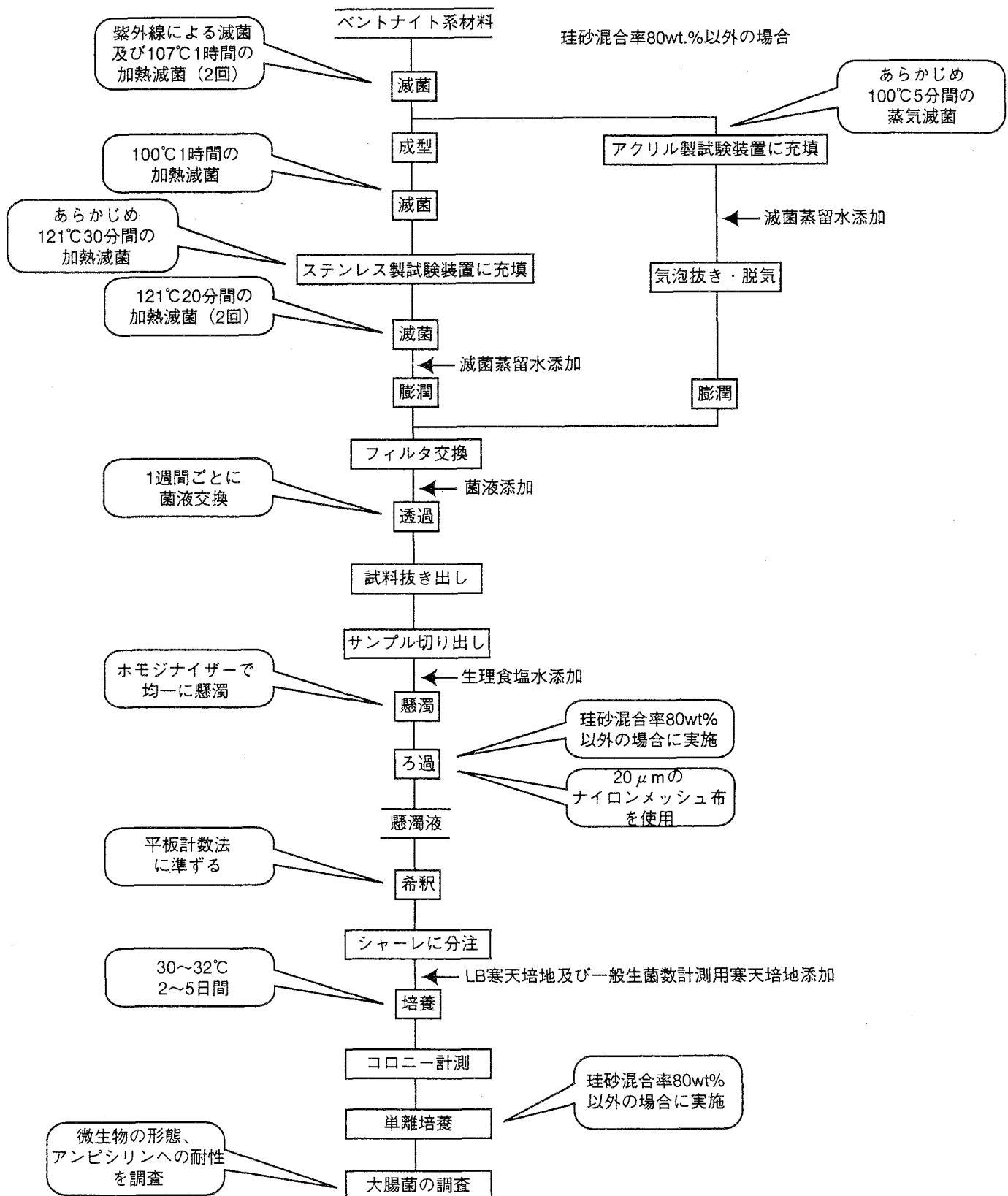
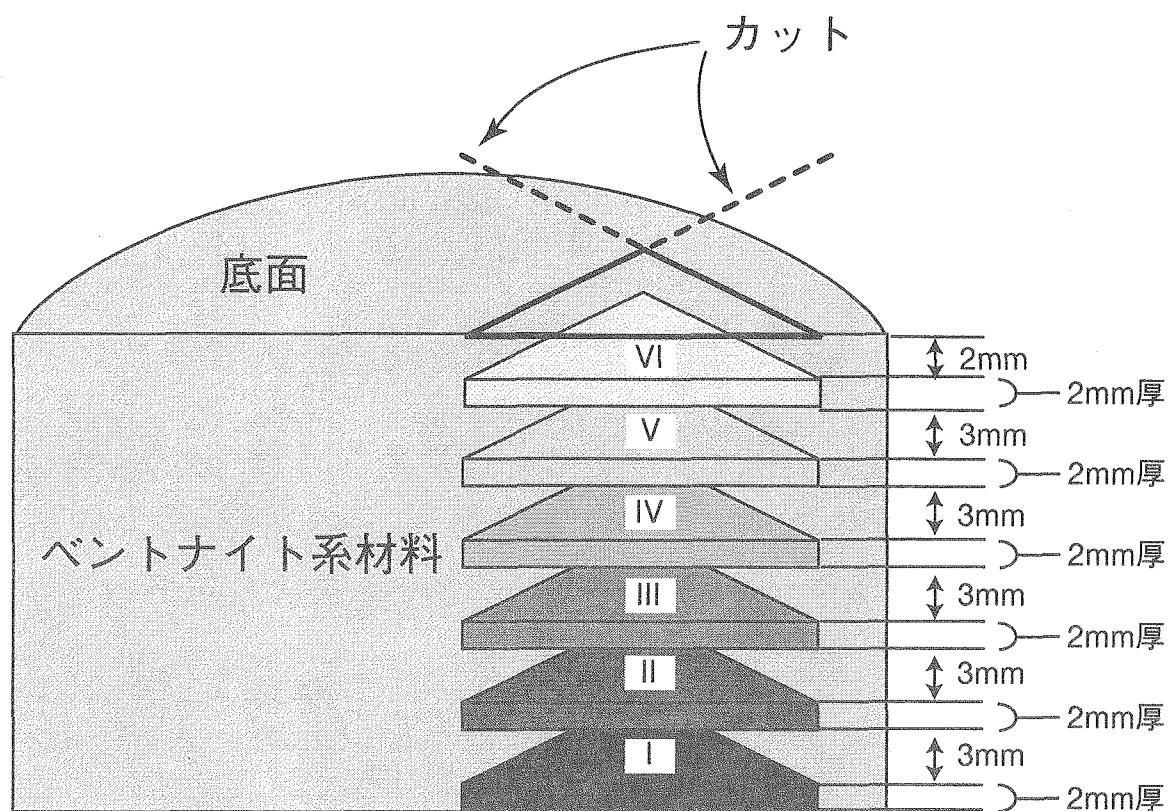
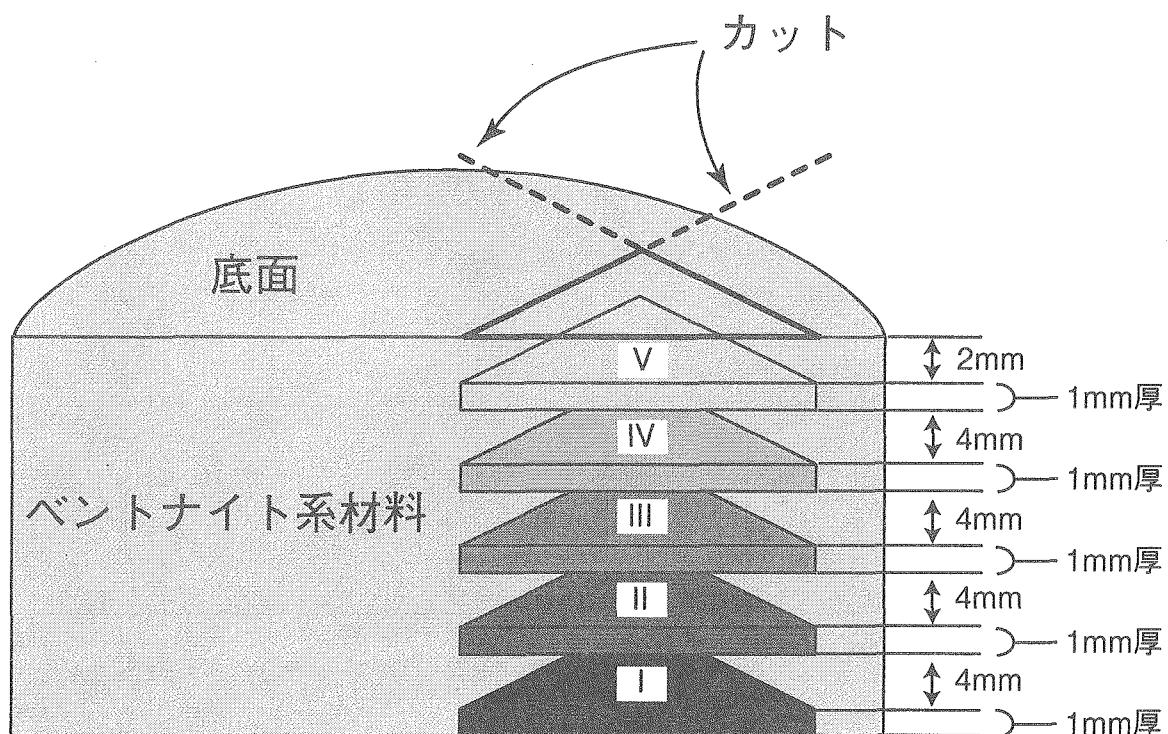


図3 試験フロー



珪砂混合率80wt%の場合（アクリル製試験装置を使用）



上記以外の場合（ステンレス製試験装置を使用）

図4 ベントナイト系材料の切り出し

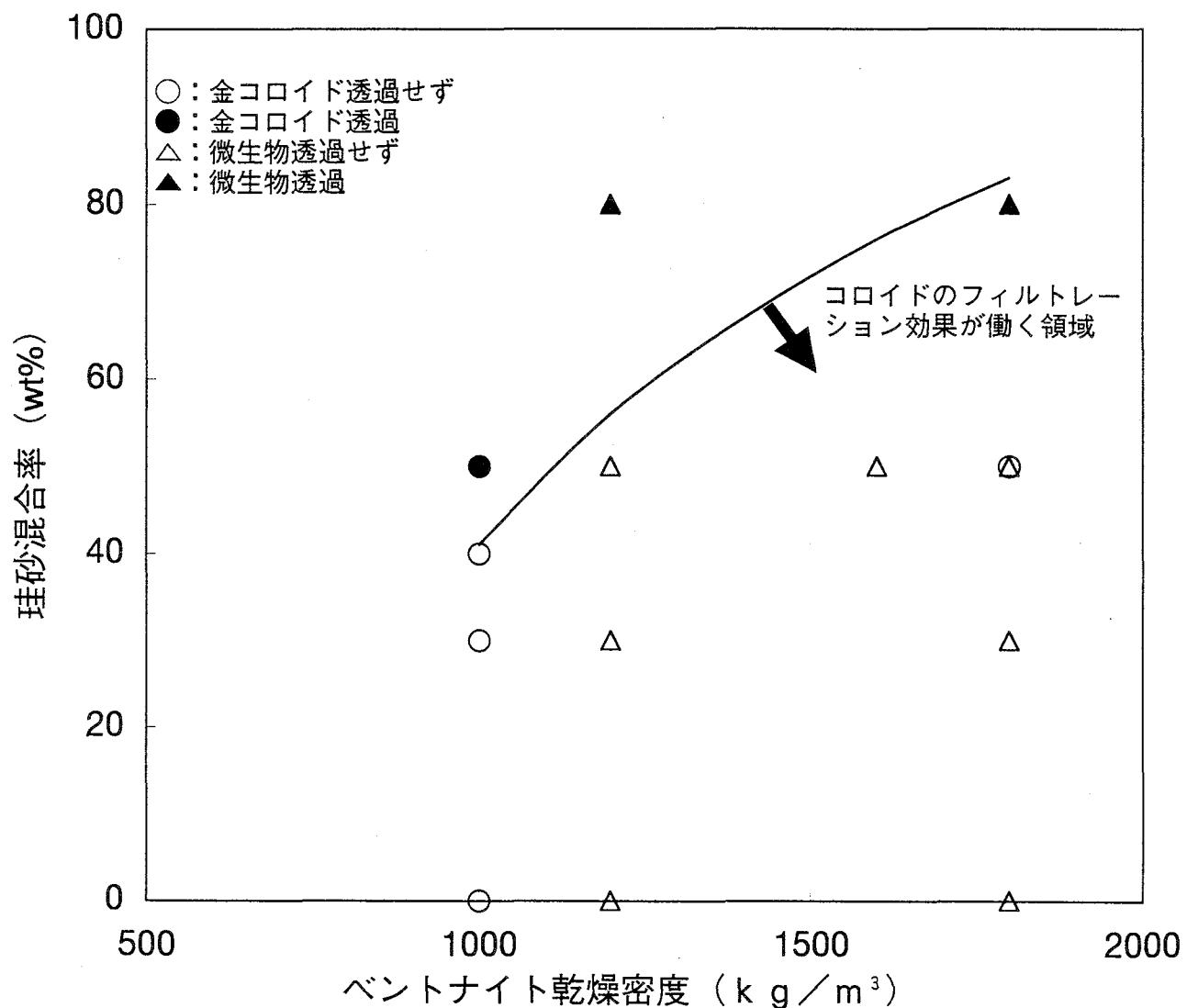


図5 ベントナイト系材料のフィルトレーション効果に関する模式図

表1 L B 培地の組成

組成	添加量 (g)
肉エキス	3.0
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (ラクトース)	5.0
ペプトン	10.0
BTB (ブロモチモールブルー)	0.024
H ₂ O (脱塩水)	1000 c m ³
pH=7.2	

表2 EMB培地の組成

組成	添加量 (g)
C ₁₂ H ₂₂ O ₁₁ (サッカロース)	10.0
Na ₂ C ₄ H ₄ O ₄ ·6H ₂ O (コハク酸ナトリウム)	5.0
NaCl (塩化ナトリウム)	1.0
MgSO ₄ (硫酸マグネシウム)	12.0
K ₂ HPO ₄ (リン酸水素二カリウム)	5.0
C ₂₀ H ₈ O ₅ Br ₄ (エオシンイエロー)	0.4
(C ₁₆ H ₁₈ N ₃ SCl) ₂ ·ZnCl ₂ ·H ₂ O (メチレンブルー)	0.5
H ₂ O (脱塩水)	1000 c m ³
pH=6.8	

表3 試験条件

乾燥密度 (kg/m3)	1200			1600	1800			
珪砂混合率 (wt%)	0	30	50	80	50	0	50	80
試験装置の材質	ステンレス製			アクリル製	ステンレス製			アクリル製
ベントナイト系材料 成型条件	方法	成型した試料を試験容器に設置			試験容器に 粉末試料を 添加	成型した試料を試験容器に設置		
	成型圧力	1.2 MPa	1.2 MPa	1.8 MPa	成型なし	5.9 MPa	15 MPa	9.8 MPa
	処理時間	両面から1 分ずつ	両面から3 分ずつ	両面から 30秒ずつ		両面から 30秒ずつ	1分	両面から1 分ずつ
透過処理期間		3週間		2週間	3週間	3週間		
繰り返し数		3回			2回	3回		2回

表4 一般生菌数計測用寒天培地の組成

組成	添加量 (g)
酵母エキス	2.5
ペプトン	5.0
ブドウ糖	1.0
寒天	15.000
H ₂ O (脱塩水)	1000 c m ³
pH=7.0	

表5 透過試験後のベントナイト系材料中での大腸菌の分布

乾燥密度 (kg/m ³)	1200				1600	1800		
珪砂混合率 (wt%)	0	30	50	80	50	0	50	80
菌液添加面からの距離	~0 mm	●	●	●	●	●	●	●
	~5 mm	○	○	▲	●	▲	○	▲
	~10 mm	○	○	○	—	○	○	—
	~15 mm	○	○	○	●	○	○	●
	~20 mm	○	○	○	●	○	○	●
	~25 mm	—	—	—	●	—	—	●

●：大腸菌のコロニーが認められたもの

▲：3回の繰り返し試験において1回でも大腸菌のコロニーが認められたもの

○：大腸菌のコロニーが認められなかったもの

—：測定せず

付録-1 口口二一計測結果

乾燥密度1200kg/m³、珪砂混合率0wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目		繰り返し3回目	
	a	b	a	b	a	b
菌液透過面からの距離						
I層 ~0mm	300	230	115	113	706	136
II層 ~5mm	0	0	0	0	0	0
III層 ~10mm	0	0	0	0	0	0
IV層 ~15mm	0	0	0	0	0	0
V層 ~20mm	0	0	0	0	0	0

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1200kg/m³、珪砂混合率30wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目		繰り返し3回目	
	a	b	a	b	a	b
菌液透過面からの距離						
I層 ~0mm	200	105	95	20	509	636
II層 ~5mm	0	0	0	0	0	0
III層 ~10mm	0	0	0	0	0	0
IV層 ~15mm	0	0	0	0	0	0
V層 ~20mm	0	0	0	0	0	0

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1200kg/m³、珪砂混合率50wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目		繰り返し3回目	
	a	b	a	b	a	b
菌液透過面からの距離						
I層 ~0mm	4760	1190	420	410	3760	3621
II層 ~5mm	2	5	1	0	0	0
III層 ~10mm	0	0	0	0	0	0
IV層 ~15mm	0	0	0	0	0	0
V層 ~20mm	0	0	0	0	0	0

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1200kg/m³、珪砂混合率80wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目	
	a	b	a	b
菌液透過面からの距離				
I層 ~0mm	228		37	1134
II層 ~5mm	12		49	674
III層 ~10mm	測定せず		測定せず	測定せず
IV層 ~15mm	23		25	616
V層 ~20mm	48		49	472
VI層 ~25mm	97		35	248

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1600kg/m³、珪砂混合率50wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目		繰り返し3回目	
	a	b	a	b	a	b
菌液透過面からの距離						
I層 ~0mm	2831	1346	441	262	2920	3722
II層 ~5mm	0	0	0	0	2	1
III層 ~10mm	0	0	0	0	0	0
IV層 ~15mm	0	0	0	0	0	0
V層 ~20mm	0	0	0	0	0	0

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1800kg/m³、珪砂混合率0wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目		繰り返し3回目	
	a	b	a	b	a	b
菌液透過面からの距離						
I層 ~0mm	525	測定せず	556	測定せず	640	750
II層 ~5mm	0	測定せず	0	測定せず	0	0
III層 ~10mm	0	測定せず	0	測定せず	0	0
IV層 ~15mm	0	測定せず	0	測定せず	0	0
V層 ~20mm	0	測定せず	0	測定せず	0	0

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1800kg/m³、珪砂混合率50wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目		繰り返し3回目	
	a	b	a	b	a	b
菌液透過面からの距離						
I層 ~0mm	2597	2565	26	59	426	251
II層 ~5mm	1	1	0	0	0	0
III層 ~10mm	0	0	0	0	0	0
IV層 ~15mm	0	0	0	0	0	0
V層 ~20mm	0	0	0	0	0	0

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地

乾燥密度1800kg/m³、珪砂混合率80wt%のコロニー計測結果

培地	繰り返し1回目		繰り返し2回目	
	a	b	a	b
菌液透過面からの距離				
I層 ~0mm	702	2870	234	
II層 ~5mm	15	42	285	
III層 ~10mm	測定せず	測定せず	測定せず	
IV層 ~15mm	42	49	122	
V層 ~20mm	78.5	63	348	
VI層 ~25mm	31	23	244	

 $\times 10^2$ (CFU : Colony Forming Unit)

a : 一般生菌数用寒天培地

b : LB寒天培地