



Title	地熱発電所熱排水の脱ひ素に関する研究
Author(s)	永井, 忠雄; Nagai, Tadao; 富樫, 林太郎 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 110, 25-35
Issue Date	1982-09-20
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/41751">https://hdl.handle.net/2115/41751</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	110_25-36.pdf



## 地熱発電所熱排水の脱ヒ素に関する研究

永井 忠雄 富樫 林太郎 山口 雅憲\*  
(昭和57年6月15日受理)

### Removal of Arsenic from the Waste Hot-Water from Geothermal Power Plants

Tadao NAGAI, Rintaro TOGASHI and Masanori YAMAGUCHI  
(Received June 15, 1982)

#### Abstract

Removal of arsenic by means of ion-exchange technique was studied for the treatment of waste hot-water from geothermal power plants, in order to utilize the thermal energy for multi-purpose use. An inorganic ion-exchanger, hydrated zirconium oxide, was used in both the column adsorption and the two-stage counter-current adsorption techniques.

A specially designed ion-exchanger was used in the former technique, i. e., the hydrated zirconium oxide was dispersed on a granular porous carrier. Although some loss of the hydrated zirconium oxide from the carrier occurred during repeated experiments, no arsenic was found in the effluent until the break-through point and a significant improvement on the adsorption kinetics was observed in comparison with some commercial exchangers.

In the latter technique, the hydrated zirconium oxide powder, made by the Freeze-Melt process, was used for its adequate particle size for solid-liquid separation at the thickener. The results obtained were sufficient to pass the Government's regulation tests ( $<0.5$  ppm), but insufficient for some local regulation tests ( $<0.05$  ppm). Since the operations and maintenance are simple and also the assurance for the arsenic level in the effluent stream can be easily given, the latter technique seems to be practical, while some improvement are still required to pass the local regulation tests.

#### 1. 緒 言

ヒ素の毒性は古くから知られていたが、いわゆるヒ素中毒としての毒性が現れるのは微量ではないので、近年まで農工医薬品として盛んに使用されてきた。最近、ヒ素は発がん物質の1つと認識されたことから、その排出基準は極めて低レベルに設定され、ヒ素処理技術の確立が望まれている。とくに非鉄金属製錬工業では、鉱石中の微量のヒ素が工程の一部に濃縮し、操業の障害

金属工学科 金属工学第一講座

\* 現在 東邦チタニウム㈱勤務

となるばかりでなく、終末処理の大きな負荷となっている。われわれは非鉄製錬におけるヒ素処理に関する研究を数年来進めてきたが、この間に開発した技術の一部、とくに凍結融解法による亜ヒ酸結晶の湿式製造法<sup>1)</sup>を地熱発電所熱排水の脱ヒ産物の終末処理に応用できるものと考え、本研究に着手した。

地熱エネルギーの利用に関する近年の技術開発は目覚ましいものがあり、その代表的なものとして地熱発電所がある。湿った蒸気を主として産出する我が国では、松川発電所を除く全発電所で、発電に先立ち気水分離器により蒸気から熱水を分離している。この100℃以上の熱水は、発電所ごとに若干異なるが、5万kW級の発電所で1500 t/h程度であり、この熱を50℃だけ利用したとすると、その熱量は10万kWの電力から得られる熱量に相当する。この膨大なエネルギーを利用するため、バイナリー発電、鉄共沈法によるヒ素とシリカの除去、河川水との熱交換などが試みられてきたが<sup>2)</sup>現在のところ種々の事情ではほぼ全量がそのまま地中深くに還元されている。この熱水を熱源として農業、暖房などに多目的利用することは、地域住民の願望であり、水力、火力および原子力発電所と異なり地熱発電所の建設が歓迎されている大きな理由にもなっている。この観点からも熱水利用の技術開発は将来の地熱発電所の立地問題に関係する重要な課題といえよう。

### 1. 1 従来の研究

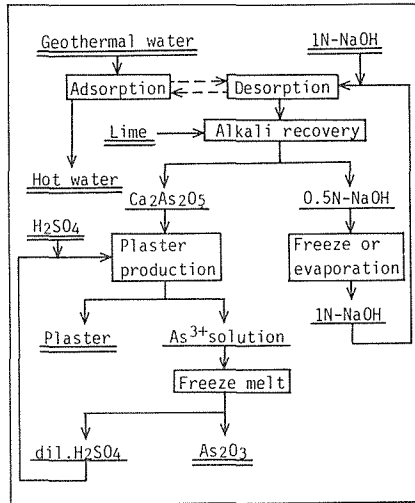
熱水の多目的利用に際しての問題点としては、a)シリカおよび炭酸カルシウムなどの析出、b)熱利用後の低温地熱水の処理法およびc)排水基準を超える数ppmのヒ素などがある。300℃にも達する地熱貯留層では、かなりのシリカが溶解しているが、100℃付近まで冷却されると過飽和状態になり、析出を起しやすくなっている。このためパイプラインや還元井の閉塞、あるいは熱交換器に付着しての効率低下などの実例が各所で見られるが、柳ヶ瀬ら<sup>3)</sup>の研究により、ある程度成長したシリカコロイドは壁面への付着性が著しく減少することが明らかになり、既にこの性質を利用する対策が一部で実施されている。また、熱利用後の冷却された熱水を地下還元することには、地下亀裂でのシリカなどの析出による還元井の熱水飲み込み容量の減少、および地熱貯留層での熱バランス悪化による蒸気生産井の出力減少などが懸念され、ようやく試験的データの蓄積が始まった段階にある。

地熱水の脱ヒに関しては、共沈法と吸着法が報告されている。共沈法では鉄およびアルミニウム水酸化物が主として研究されたが<sup>2)</sup>多量のヒ素含有固型廃棄物を副生するので、この終末処理が問題であり、現在検討されている。吸着法に関しては鉱業廃水を対象とした柳ヶ瀬らの研究があり、最近には地熱水の脱ヒに対して多孔質チタン水和物の製造法を開発し、その現地試験の結果を報告している<sup>4)</sup>。

### 1. 2 本研究の目的

本研究はジルコニア水和物( $ZrO_2 \cdot xH_2O$ )を用いる地熱水脱ヒ法の研究である。ジルコニア水和物がヒ素を吸着することは古くから知られていたが、近年、高温と放射線照射に強い一連の無機イオン交換体の特性が原子力関係の研究者に注目され、系統的に研究された。Maeckらはジルコニア水和物が弱酸性から中性領域で $As^{3+}$ を吸着するときの分配係数を1万程度と報告している<sup>5)</sup>。

筆者らは既に市販ジルコニア水和物、および多孔質担体に水和物を担持させた試作吸着剤による吸着試験結果を報告したが<sup>6)</sup>本報では吸着剤の性能改善のための検討結果、およびカラム吸着法と連続向流多段吸着法を比較検討した結果について述べる。本研究の目的は、a)地熱水から



第1図 イオン交換法脱着系クローズド化のフローシート

表1 損失を考慮しない理想的な場合の物量収支

Input	
Hot water with 1.53ppm-As	360,000m <sup>3</sup> / month
Ca(OH) <sub>2</sub>	0.82t / month
98%-H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.10t / month
Output	
As-free hot water	360,000m <sup>3</sup> / month
CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O	1.90t / month
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.73t / month

の経済的脱ヒ法の開発、およびb) 脱着液処理に際して有害固型廃棄物を発生しない処理法の開発の2点にある。後者に関しては、筆者らが開発した凍結融解法による亜ヒ酸結晶の湿式製造法を組入れた第1図のフローシートにもとづき基礎実験を行い、脱着液処理を水溶液に関して完全クローズド化するとともにアルカリを再生して脱着に再利用し、この方法

の経済性の改善を計り、さらに工業用の亜ヒ酸および石膏を製造して有害固型廃棄物の排出を回避する方法を提案した<sup>1)</sup>。これらについては前報で詳細に述べたので、理想的な場合の物量収支を第1表に示すに止める。

経済的脱ヒ法の開発で、第1の問題は吸着剤原料であるジルコニウムが高価な点にある。カラム吸着法では吸着速度の極めて速いイオン交換樹脂でさえも空間速度(S. V. と略記)で40程度が最大級の通液速度であり、これは吸着剤1m<sup>3</sup>で1時間当たり40m<sup>3</sup>の熱水処理量にしかない。しかも市販品の吸着速度は前報で述べたようにジルコニア水和物の緻密なネットワーク構造内部での拡散に律速され、S. V. 10程度でしか通液できない。前報において多孔質担体型の試作吸着剤を製造し、少量のジルコニウムで大量の熱水を処理することを報告したが、脱着・水洗時に水和物微粉の脱着が認められ、また、脱着・水洗の液量が多いことが問題点として残った。

本報ではこれらの問題点の改善のための検討結果を述べるとともに、これらの問題点を回避する方策の1つとして実施した水和物粉末を用いる連続向流多段吸着法の試験結果を述べる。

## 2. 実験試料

現在、北海道森町濁川地区において森地熱発電所の建設が本年運転開始の予定で進められているが<sup>2)</sup> 地熱水試料は経時変化が大であり、また、研究も基礎的段階にあるので、試薬から合成して使用することにした。地熱水の組成は発電所毎に変わり、同一地域の蒸気生産井間でも時には相違するが、SiO<sub>2</sub>400~900 ppm, Na 400~4000 ppm, Cl 500~7000 ppmなどが含まれている。シリカについては壁面への析出防止技術開発のため、溶存形態の経時変化が研究されつつあるが<sup>3)</sup>、極めて複雑な現象であり、実験室的に再現することは困難なので当面は対象外とした。また、多種の塩類が溶存しているが、これを食塩3g/lの添加で代表させることとした。ヒ素は亜ヒ酸ソーダの形で添加し、NaOHおよびHClでpH 8付近に調節した。

カラム吸着法に用いる吸着剤は、速度論的吸着性能の優れた吸着体構造として、多孔質担体に水和物を附着させたものを使用した。価格および性能を総合的に考慮して、シラス火山灰(十和

田地方産)の $-35/+100$  mesh 粒度を用い、まず、オキシ塩化ジルコニウム水溶液を含浸させ、これをアンモニア水溶液中に投入して水酸化ジルコニウムを沈殿させ、乾燥してジルコニア水和物に変える。普通、この操作を2~4回繰返して $ZrO_2$  4~8 wt%を付着させる。

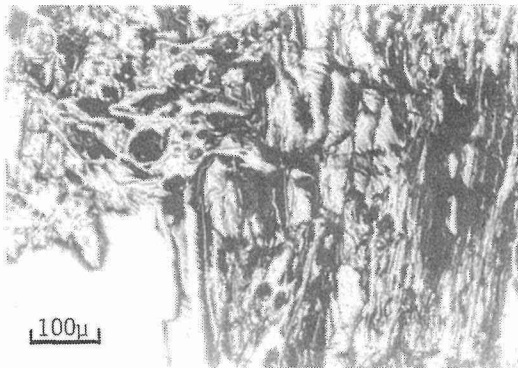
連続向流多段吸着法に用いる水和物粉末は、凍結融解法により製造した。即ち、この方式ではシックナーにおける固液分離のための沈降性が吸着特性とともに重要である。オキシ塩化ジルコニウム水溶液をアンモニアで中和して得られる水酸化物を良く水洗した後、 $-20^{\circ}C$ で一旦凍結した後、氷を融解すると、ゲル状水酸化物はろ過しやすい粉末状沈殿に変化する。これを $60^{\circ}C$ で5時間乾燥し、 $-100$  mesh 粒度のものを簡単に水ひして使用した。

ヒ素はモリブデンブルー比色法、ジルコニウムはマンデル酸を用いる重量法により定量した。

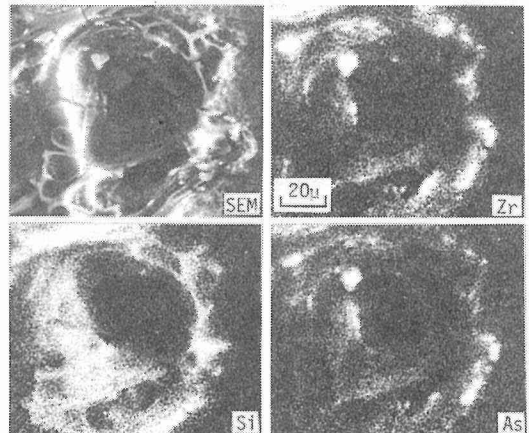
### 3. 実験結果と考察

#### 3.1 多孔質担体型吸着剤によるカラム吸着法

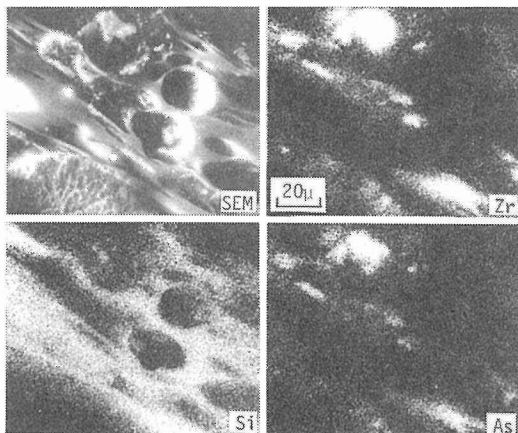
第2図に使用したシラス火山灰断面の顕微鏡写真を示したが、不規則に発達した平行管束が



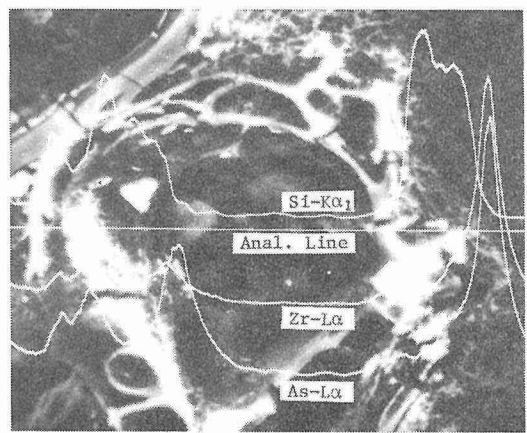
第2図 十和田地方産シラス火山灰断面の顕微鏡写真



第3図 ヒ素を吸着した多孔質担体型吸着剤のEPMA観察の結果(シラス細孔に垂直な断面の場合)



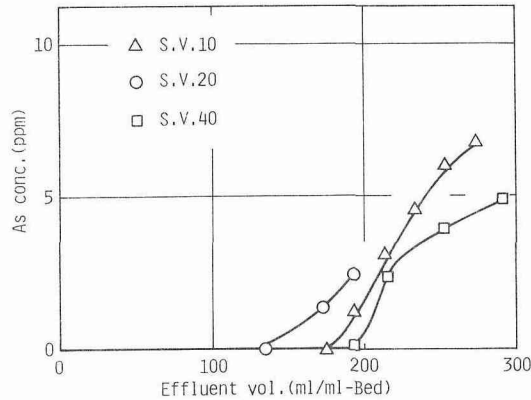
第4図 前図と同じ(シラス細孔に平行な断面の場合)



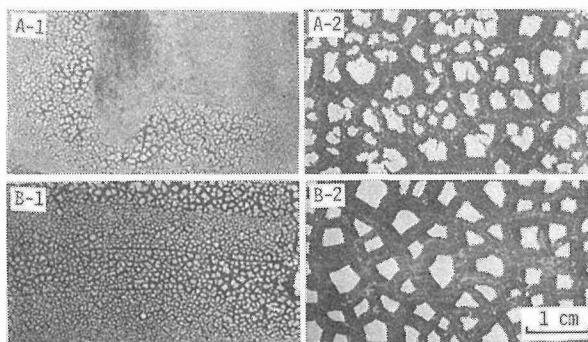
第5図 EPMAによる線分析の結果

観察される。このような多孔質粒子にジルコニア水和物を担持させ、亜ヒ酸水溶液と接触させた後、水和物の分布と付着状態およびヒ素吸着状況を X 線マイクロアナライザーにより観察した結果を第 3~5 図に示した。第 3 図はシラス細孔に垂直な断面、第 4 図は平行な断面の観察結果でそれぞれ SEM 像、シラス骨格の代表成分としての Si-X 線像, Zr-X 線像, および水和物に吸着されている As-X 線像である。Zr の分布と As の分布が酷似していることは、シラス細孔中のジルコニア水和物が吸着に有効に利用されていることを示すものである。第 5 図は線分析の結果で、分析線に沿っての Zr および As の X 線強度変動は良く一致し、付着している水和物はその中心部まで良くヒ素を吸着したことを示している。前報に記したカラム吸着実験装置により、このような吸着剤を充填しての実験結果の一例を第 6 図に示した。第 6 図は S. V. を 10, 20 および 40 と変化させたときのもの、S. V. 40 では吸着剤粒子の約 1/4 は上向き通液の流れにより浮上し、カラム上端に詰った状態となったが、大幅な流速変化に対しても、貫流点および流出曲線の立上り形状に大きな相違はなく、高速通液での熱水処理が可能であることを示している。

細孔中のジルコニア水和物は、壁面に均一な薄膜として付着させることが理想的であるが、本実験の場合、SEM 像などに見られるように粗い水和物粒子が辛うじて付着しているものもあり、



第 6 図 通液速度を変えたときの流出曲線  
(流入液ヒ素レベル: 10ppm)



第 7 図 擦りガラス板にジルコニウム水酸化物を塗付、乾燥する付着性試験の一例  
上段(A):  $Zr(OH)_4$  沈殿,  
下段(B): これに30%の消石灰粉を混合,  
左側(1): 塗付厚さ0.1mm, 右側(2): 同1mm

繰返し使用に際して水和物微粉末の脱落も観察された。このため水和物の分布状態および固着性の改善を目標として、製造条件を変えた吸着剤を多種類調製し、性能試験を行ったが、比較的良好的な結果が得られたのは0.2 M ジルコニウム水溶液を用い、付着操作を4回繰返した場合で、 $ZrO_2$ 含有量約8 wt%のものである。しかしこの場合にも吸着-脱着-水洗のサイクルを3回繰返した後には、 $ZrO_2$ 含有量は当初の85%に低下していた。水和物の脱落は吸着容量の低下と処理水質の劣化につながる問題なので、第7図の写真のように擦りガラス板にゲル状水酸化物を薄く塗付して乾燥し、付着状況を観察した。その結果、乾燥初期に収縮割れが一面に発生し、その後の著しい収縮のためガラスとの界面ですべりが起り、付着性が失われることが判明した。この収縮は十分に水分を絞った水酸化物沈殿でも、その体積が1/25になるほど激しいものであり、これを阻止する目的で水酸化マグネシウム粉末などの混合を試みたが効果は認められなかった。

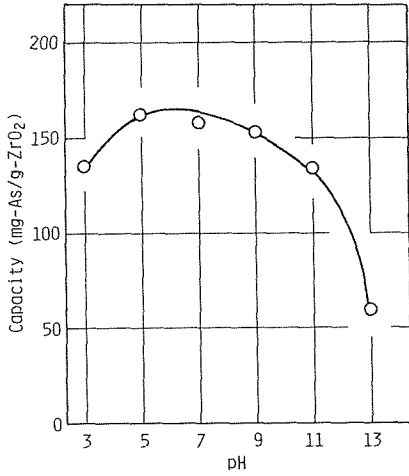
### 3.2 ジルコニア水和物粉末を熱水に懸濁させる吸着法

前節で述べたように、多孔質担体型吸着剤をカラム法に用いると有利な点も多いが、水和物の脱落と脱着・水洗での使用量が多いことに問題が残った。最初に述べたように、高価な原料を使用しているので、少量の吸着剤を大量の熱水に効果的に接触させないと経済性は望めない。この意味でジルコニア水和物粉末を熱水に懸濁させる方式も有効な吸着法といえる。この吸着方式では上記問題点は解消するが、シリカ析出などを考慮すると固液分離にろ過が使えないので、沈降分離に頼らざるを得ない。また粗い粒子では、前報で述べたように内部まで吸着に利用されないことになる。また、吸着平衡から考えて、脱び率を高めようとする、利用できる吸着容量が小さくなることも予想されるので、ミキサーでの吸着とシックナーでの固液分離を向流2段で組合せることにした。段数の少ない場合、カラム法のような完全脱びは困難であるとしても、次の利点が期待される。即ち、試験した種々の多孔質担体の中でシラス火山灰が性能および価格を考慮して最適と考えたが、シラスは高温アルカリ水溶液に侵されて粉化しやすくなる傾向が認められたので、アルカリ脱着および初期の水洗は室温で実施した。このためもあって、脱着・水洗の所要液量が多い。一方、粉末懸濁法では固液分離後の脱着処理は小型化され、高温アルカリも使用できることになる。また、植田ら<sup>9)</sup>のシリカスケール析出状況の走査電顕観察によれば、地熱水からのシリカ析出速度は極めて速い。吸着剤の被毒が避けられないならば、対策として熱水との接触時間の短縮と、高温アルカリでのシリカの溶解除去が必要となる。この点で粉末を使用する方法は接触時間を1時間程度に短縮することも可能であるが、カラム吸着法では能率から考えてサイクルは1日程度が最小限であろう。

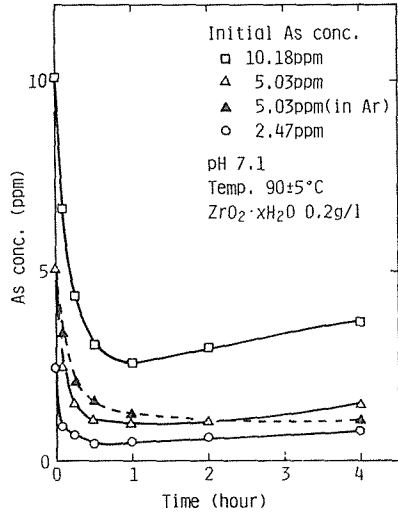
### 3.3 バッチ試験による連続向流2段吸着法のシミュレーション

凍結融解法により製造したジルコニウム水和物の亜ヒ酸吸着容量をAs 100 ppm水溶液で調べた結果を第8図に示した。pH 5~9で150 mg-As/g- $ZrO_2$ 程度の吸着容量があり、地熱水はおよそこのpHの範囲にある。また第9図に懸濁系における吸着速度と脱びの程度を知るために行ったバッチ試験の結果を示す。1 lの亜ヒ酸水溶液に0.2 gの水和物粉末を投入し、インペラでかくはんし、ヒ素濃度の変化を追跡した。30分までの急激な濃度減少のあとに、 $As^{3+}$ の $As^{5+}$ への酸化の影響で脱着が起ったが、アルゴンガスを通じるにより防止できる。以後のバッチ試験は不活性ガス中で実施したが、地熱発電所では復水器から大量の非凝縮性ガスが抽出されていて、この目的に利用可能なので、コスト上の問題はない。

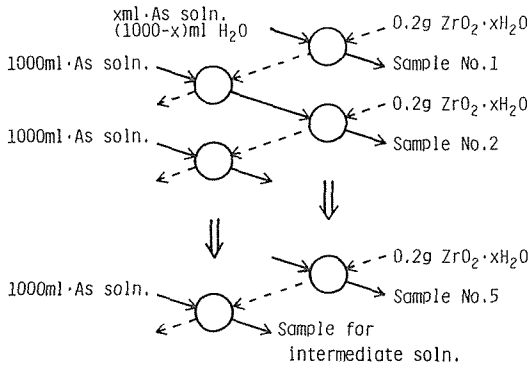
以上の結果を参考にして、バッチ試験を組合せることにより連続向流2段吸着法のシミュレーションを実施した。第10図はその手順のフローチャートで、図中の○印は接触時間30分のバッチ



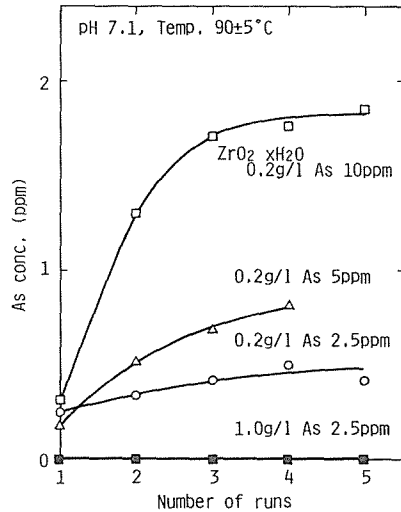
第8図 ジルコニア水和物粉末のヒ素吸着容量におよぼすpHの影響 (As 100ppm 水溶液使用)



第9図 バッチ吸着試験結果

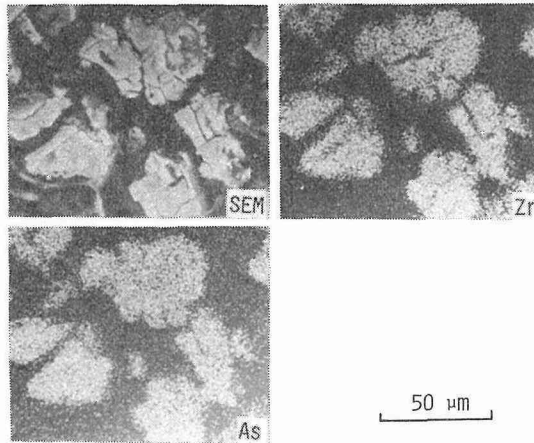


第10図 シミュレーション実験の手順



第11図 シミュレーション実験：ジルコニウム水和物添加率とヒ素濃度を変えた場合 (約4サイクルの繰返しの後に定常状態となる)

チ吸着試験を表す。試料水溶液は図中の実線矢印に従って2回のバッチ吸着操作により脱ピされた後、ヒ素濃度が分析される。この脱ピ液中のヒ素濃度が一定になるまで実験を続け、その状態をもって連続向流2段吸着法の効率を推定するというシミュレーションである。結果を第11図に示したが、ヒ素2.5ppmの熱水を0.5ppmまで脱ピするには、水和物0.2g/lの添加が必要である。この実験では固液分離にフィルターを使用した。連続実験ではシックナーになるので、スラリーとして水溶液も若干還流してしまうこと、および連続的に給排水が行なわれるので平均滞留・接触時間となるので、これより幾分多い水和物添加が必要と予想された。第12図はヒ素10ppmの実験に使用した後の水和物のEPMAによる観察結果で、水和物粒子の中心部までヒ素が吸着さ

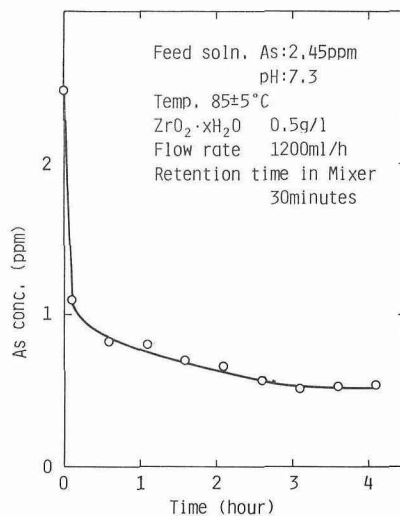


第12図 ヒ素を吸着したジルコニア水和物粉末のEPMA 観察の結果

れていることが観察された。

### 3. 4 連続1段吸着試験

内容積 600 ml のインペラかくはん型ミキサーに、内容積 400 ml のシックナーを連結し、ヒ素約 2.5 ppm 水溶液を 1200 ml/h で連続給液した。ジルコニア水和物は 10 分毎に 0.1 g (0.5 g/l の割合) を間欠的に投入した。結果を第 13 図に示したが、0.5 ppm までの脱ピが可能である。この実験で水和物粉末中の比較的粗い部分は沈降しやすく、ミキサー下端の排出口から短時間で排出されてしまう傾向が認められ、これを防止するためにインペラ回転数を高めると水和物の粉碎が起り、シックナーのオーバーフローとして得られる脱ピ液に混濁が認められ、ヒ素の流失につながる。このことから以後の実験ではエアリフトかくはん型パチュカタンクを使用することにし



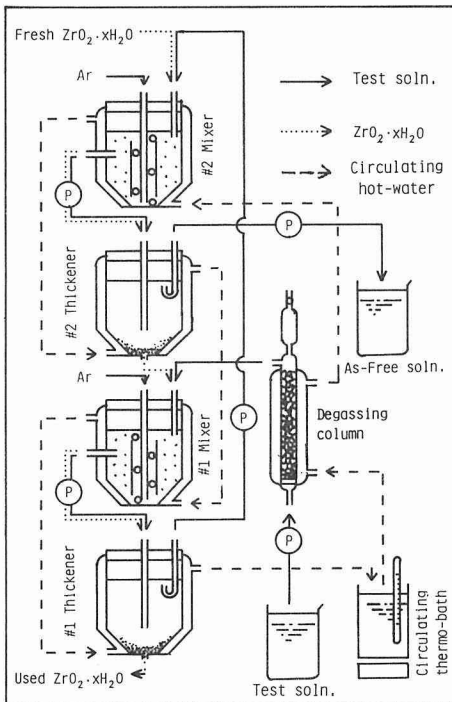
第13図 連続1段吸着試験の結果

た。

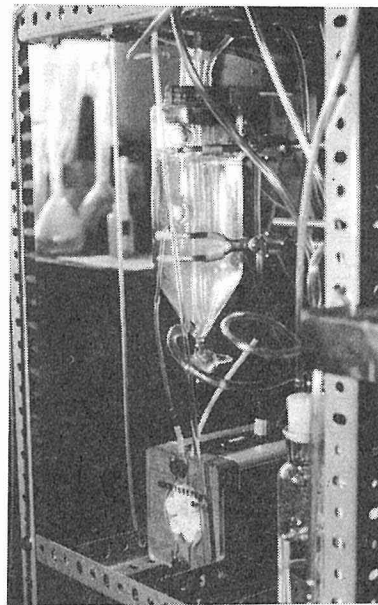
3. 5 連続向流 2 段吸着試験

以上の予備的試験結果に基づき、第 14 図のような連続向流 2 段吸着装置を組立てた。室温の試料溶液を加温すると、溶解していた空気が気泡となって器壁および水和物に附着し、シックナーでの固液分離の障害となるので、シリカ破片を充填した脱ガス塔で十分に加温してから給液する。各槽は保温ジャケット付ガラス容器で、約 85℃ に保持した。パチュカタンクのかくはんはんはアルゴンガスを用いたが、エアリフトされた水和物粒子の沈降は中心部で密度が大きい。この性質を利用して、タンク側壁中央部の懸濁液排出管のそう入深度を調節すると、固液排出比率を変えることができる。同様な効果は排出管先端の形状を変えても可能である。これらの調整により、先ず吸着剤と試料溶液の滞留時間が一致するようにして試験した。懸濁液のパチュカタンクからの排出速度は、ローラーチューブポンプを横倒しにして調節した。この方法は懸濁液の移送に際してポンプ内での粉末の沈積と破碎を防止できるという利点がある。最上段にある No. 2 ミキサーへの水和物の投入および両シックナー底部のストップコックからの排泥は、前と同様 10 分間隔で行った。この装置では水和物粒子の破碎は起らず、シックナーからのオーバーフローは清澄であった。第 15 図に実験装置の一部の写真を示す。

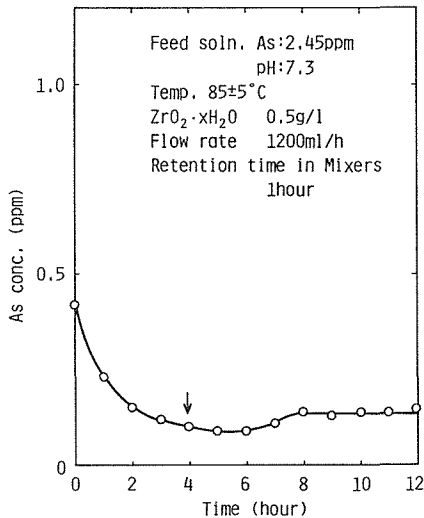
第 16 図は前節と同条件(給液速度 1200 ml/h, 水和物添加率 0.5 g/l, 85℃)で実施した連続向流 2 段吸着試験の結果で、水溶液および水和物粉末の平均滞留時間は、両者ともパチュカタンク 1 槽当り 30 分、合計 1 時間である。図中の矢印において実験条件に再調整を加えたので、8 時間以降が定常状態と考えられ、脱砒は 0.15 ppm まで行なわれた。この値は前節の結果と比較して著しく改善されたものであり、シミュレーションで得られる理想的な場合に近いものといえよう。



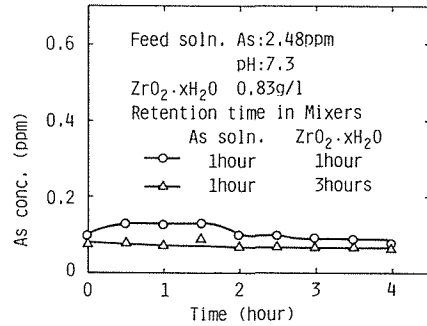
第14図 連続向流 2 段吸着法の実験装置の概要



第15図 パチュカタンクとローラーチューブポンプ



第16図 連続向流2段吸着試験の結果  
(その1)



第17図 連続向流2段吸着試験の結果  
(その2)  
(水和物添加率および水和物懸濁密度を増した場合)

即ち、2段吸着の効果は大であり、これに加えてパチュカタンクでの固液接触の状態が極めて良好なことを示すものである。

脱ビ率を更に高めるためには、水和物添加率の増加あるいは固液接触の一層の強化などが考えられる。前述のようにパチュカタンクを使用すると、固相と液相のタンク内平均滞留時間は独立して変えることができるので、タンク内の懸濁濃度も任意に設定することができる。第17図は水和物添加率を0.83 g/lと前の実験に比較して約60%増しにしたときの結果で、両相平均滞留時間を同様1時間とした場合と、固液接触を強化するために固相の平均滞留時間だけを3時間に変更して水和物懸濁濃度を3倍にした場合のもので、それぞれ脱ビ液中のヒ素濃度を0.09 ppm および0.07 ppm にまで低下させることができた。

### 3.6 吸着方式の比較検討

排水基準を定める総理府令によりヒ素の許容限度は0.5 ppm とされている。しかし地域の事情に応じて、これより厳しい環境基準が適用されていて、最も厳しいものは0.05 ppm 以下となっている。水系の乏しい地域に立地する場合、地熱発電所熱排水の直接利用のためには、この環境基準までの脱ビが必要となることもあり得ることを考えると、カラム吸着法を用いる完全脱ビの方法が現在までの結果では優位にある。しかしながらカラム吸着法では、水和物の脱落および脱着・水洗液量が多いなどの問題点、シリカ析出対策が困難なこと、さらに吸脱着サイクルの切替え時期の判定など操業技術上からくる脱ビの不確実性も考えられる。これに対して連続向流2段吸着法では、熱水との接触時間は短くなるのでシリカ析出による吸着剤の被毒が最小限に止められること、脱着は別工程となるので吸着工程は単純な連続操業となり、脱ビ率の保証が容易になること、および脱着系は高温アルカリを使用できるので小型化され、シリカ析出対策として有効と考えられることなどの利点がある。これらを総合して現場での操業を考えると、吸着方式としては排水許容限度0.5 ppm の場合には明らかに連続向流2段吸着法が有利であり、0.05 ppm までの脱ビが必要となったとしても、何らかの改良を重ねることによってこの方式を利用する方が有利と

思われる。改良の方針としては固液接触の効率化を計るためのミキサー形状および操作条件の最適化と3段以上への多段化、および吸着剤性能の改善あるいは水和物添加率の増大などが考えられる。なお添加率を増すことによって確実にこの基準は達成できると予想されるが、操業の経済性が低下することを考えるとこの方策以外で解決しなければならない。

#### 4. 結 論

地熱発電の将来の発展のためにも、熱排水の多目的利用技術の確立が望まれている。熱交換器の改良・進歩も目覚ましいが、直接利用の1つの障害であるヒ素の除去に無機イオン交換法を適用することを検討した。ジルコニア水和物を用いての結果によれば、吸着方式としては連続向流多段吸着法がカラム吸着法より優れている。連続向流2段吸着法による現在までの脱ヒ実験では0.07 ppm までの脱ヒが可能であり、総理府令排水基準の0.5 ppm は容易に達成される。しかし、地域の実情により最も厳しい環境保全のための基準である0.05 ppm を達成するためには、なお若干の検討が必要である。

本研究は文部省科学研究費補助金（エネルギー特別研究）により実施されたことを付記する。また本研究に協力された工学士大原雅洋君に深甚なる謝意を表するものである。

#### 参 考 文 献

- 1) 永井忠雄, 小林満, 東岡耕嗣: 亜ヒ酸の湿式製造法, 日本鉱業会分科研究会資料 G-6 (1977)
- 2) たとえば工業技術院編集, “サンシャイン計画 地熱エネルギー研究開発成果・講演要旨集”, 日本産業技術振興会 (1979)
- 3) 柳ヶ瀬健次郎, 杉之原幸夫, 植田安昭, 柳ヶ瀬勉: 地熱発電におけるシリカの付着とその抑制, 日本鉱業会分科研究会資料 A-14 (1979)
- 4) 角田成夫, 宮本乙次郎, 森永健次, 柳ヶ瀬勉: チタン水和物による排水中のヒ素の除去, 日本鉱業会春季大会講演要旨集, 319 (1980)
- 5) W. J. Maeck, M. E. Kussy and J. E. Rein: Adsorption of the elements on inorganic ion exchangers from nitrate media, *Anal. Chem.*, **35**, No. 13, 2086 (1963)
- 6) 永井忠雄, 富樫林太郎: 脱着系をクローズ化したイオン交換法による地熱発電所熱排水の脱ヒ, 旭硝子工業技術奨励会研究報告, **38**, 1 (1981)
- 7) 瀬戸弘, 地熱資源の利用とその開発, 日本伝熱研究会第15回伝熱セミナー講演要旨集, 8 (1981)
- 8) 樽谷俊和: 水酸化鉄(III)に吸着したケイ酸の重合に及ぼす温度の影響, 日本地熱学会講演要旨集, 45 (1981)
- 9) 植田安昭, 杉之原幸夫, 柳ヶ瀬健次郎: 熱水および蒸気の環境化学処理, 同上, 47 (1981)