

本資料は 年 月 日付けで登録区分、  
変更する。  
2001. 6. 6

[技術情報室]

## 海外返還プルトニウム粉末の特性評価

1994年1月

動力炉・核燃料開発事業団  
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ください。

〒319-1184 茨城県那珂郡東海村大字村松4番地49  
核燃料サイクル開発機構  
技術展開部 技術協力課

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:

Technical Cooperation Section,  
Technology Management Division,  
Japan Nuclear Cycle Development Institute  
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184  
Japan

© 核燃料サイクル開発機構 (Japan Nuclear Cycle Development Institute)  
2001

今

社内資料

PNC-PN8410 94-072

1994年1月



## 海外返還プルトニウム粉末の特性評価

実施責任者 上村勝一郎\*

報告者 大代 操\* 大沼 紀彦\*\* 高橋 邦明\*

河野 秀作\* 山本 純太\*

### 要旨

海外返還プルトニウムの原料粉の基本的な粉末特性を把握し、その特性値とPNCにおいて転換製造した1:1MOX粉の特性とを比較・検討した。その結果、粒子密度と比表面積の関係から海外粉はプラント毎に似通った特性を持つことが確認され、1:1MOX粉は海外粉と比べて粒子密度が小さく、比表面積も小さい粉末であることがわかった。また、プラントUP-2は1:1MOX粉と比較して比表面積はほとんど同じであるが、粒径が1桁ほど大きく、UP-3は粒径は同じであるが、比表面積は2倍以上大きいことがわかった。

これらより、受け入れた海外粉はPNC製1:1MOX粉と特性が異なるだけでなく、プラント毎に粉末特性が異なっていると推定される。したがって、燃料ペレットを製造する際にはこれらのことにも考慮すべきだと考えられる。

\* 核燃料技術開発部 プルトニウム燃料開発室

\*\* 檢査開発株式会社

## 目 次

1. 目 的	1
2. 試験方法	1
2-1 試験項目	1
2-2 試験試料	1
3. 試験結果及び考察	1
3-1 SEM写真像観察結果	1
3-2 粒子密度測定結果	2
3-3 比表面積測定結果	3
3-4 粒径・粒度分布測定結果	4
4. 検 討	6
5. まとめ	7
6. 課 題	7
7. 参考文献	8
別添 1 平均値の差の検定	40
別添 2 1:1 MOX粉末の粒径と照射時間の関係	41
別添 3 COGEMA粉末の粒径と照射時間の関係	42

## 1. 目的

平成5年に受け入れた海外返還プルトニウム粉の基本的な粉末特性を把握し、その特性値とPNCにて転換製造した1:1MOX転換粉の粉末特性とを比較・検討する。

## 2. 試験項目

### 2-1 試験試料

本試験では、今回受け入れた海外粉のうち、プラント毎にPu-fissile率の異なる3試料の粉末を試験試料として使用した。また、参考データとして、1:1MOX粉（ロットNo.AM0035、以下参考1:1MOX粉）、1987年頃受け入れたCOGEMA製PuO<sub>2</sub>（ロットNo.237、以下参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉）及び1983年頃受け入れたBNFL製PuO<sub>2</sub>（ロットNo.J-012、以下参考BNFL製PuO<sub>2</sub>粉）を用いた。

なお、Pu-fissile率については再処理した使用済燃料の特性を反映していることから、各プラント中で大・中・小のPu-fissile率を持つ試料を選定した。

表1 試験試料

プラント	ロットNo	Pu-fissile (%)
UP-2	562	65.795
	571	69.269
	750	78.035
UP-3	3001	70.362
	3011	74.320
	3014	68.703

### 2-2 試験項目

試験項目としては、これまでと同様にSEM写真像観察、粒子密度、比表面積測定及び粒径・粒度分布測定を実施し、各粉末の特性を比較・評価した。

## 3. 試験結果及び考察

### 3-1 SEM写真像観察

海外粉のSEM写真像を図1～図6に示す。また、参考1:1MOX粉、参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉及び参考BNFL製PuO<sub>2</sub>粉のSEM写真像をそれぞれ図7、図8及び図9に示す。

プラントUP-2における試料については、参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉と同様な層状で正方形形状を有しており、その粒径（正方形の1辺）はそれぞれ約8μmである。しかし、参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉には観察されなかった、表面上に粒状粒子が多く存在し、層も数多くなっていることが見られる。

また、プラントUP-3における試料については、プラントUP-2及び参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉とは異なり、参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉と参考BNFL製PuO<sub>2</sub>粉の中間位の形状を有し

ているが、プラントUP-2の粉末の様にな形状の均一性は見られなく、その粒径は約0.5  $\mu\text{m}$ ～約20  $\mu\text{m}$ と範囲が広い。また、表面上にはプラントUP-2と同様に粒状粒子が多く存在している。

海外粉のSEM写真像と比較して参考1:1MOX粉は、約1  $\mu\text{m}$ 以下の二次粒子（走査型電子顕微鏡で判別できる粒子の最小単位のこと）が数個集まって数十  $\mu\text{m}$ の凝集体を形成しているものが観察され、その大きさあるいは形状はプラントUP-3粉よりもさらにバラツキが大きい。また、その形状は海外粉とは異なり全体的に“ゴツゴツ”しているようである。

### 3-2 粒子密度測定

各試料の粒子密度の測定結果を表2に示す。

表2 粒子密度測定結果

試 料	測定平均値 $\pm \sigma$
562	12.27 $\pm$ 0.11
571	11.74 $\pm$ 0.27
750	12.40 $\pm$ 0.21
3001	11.28 $\pm$ 0.20
3011	11.58 $\pm$ 0.24
3014	11.54 $\pm$ 0.12
参考COGEMA	10.41 $\pm$ 0.35
参考BNFL	10.40 $\pm$ 0.04
参考1:1MOX	10.56 $\pm$ 0.30

単位: g/cm<sup>3</sup>

測定回数: 3回

いずれの試料も参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉及び参考BNFL製PuO<sub>2</sub>粉よりも大きな値となつた。また、プラントUP-2の方がプラントUP-3よりも密度が大きくなっている。PuO<sub>2</sub>の理論密度(11.46g/cm<sup>3</sup>)と比較すると、試料562と試料750が3 $\sigma$ よりも大きくなつたが、それを除く試料は3 $\sigma$ 範囲内である。粒子密度から測定物質の結晶構造が保たれているかどうか推定できることから、海外粉はPuO<sub>2</sub>相を維持していると思われる。

プラントUP-2とプラントUP-3とで粒子密度が異なっていることから、プラントUP-2とUP-3とでは製造条件が違うと思われる。また、統計的手法に基づく平均値の差の検定によってもやはりプラントUP-2とプラントUP-3の平均値に有意差(信頼度95%)が認められた。しかし、プラント内について測定値が似通った値である。

MOX(U濃度及びPu濃度50%、O/M比1.98)の理論密度が11.15g/cm<sup>3</sup>であることから、PNCにおいて転換された1:1MOX粉はその3 $\sigma$ 範囲内であった。

## 3-3 比表面積測定

表3にBET多点法によって得られた各試料の比表面積値をまとめて示す。

表3 比表面積測定結果

試 料	測定平均値±σ	PFPF測定値	COGEMA測定値
562	4.75±0.07	4.87	7.4
571	4.92±0.04	5.44	7.1
750	6.00±0.01	6.88	5.4
3001	10.01±0.05	11.87	15.3
3011	10.00±0.09	11.61	13.8
3014	7.56±0.04	9.18	10.6
参考COGEMA	3.35±0.04		
参考BNFL	7.86±0.06		
参考1:1MOX	4.59±0.07		

単位:  $\text{m}^2/\text{g}$

測定回数: 3回 (プル開室のみ)

プル開室測定値とPFPF測定値及びCOGEMA測定値とを比較すると、いずれの場合もプル開室の値の方が小さい値となっており、また、COGEMA測定値の方がPFPF測定値よりも大きな値となっている。

各測定方法の原理はBET吸着式によるガス吸着法をそれぞれ用いており、プル開室ではBET多点法、PFPF及びCOGEMAではBET1点法にて比表面積値を算出している。また、測定前処理としてプル開室は150°C、1時間(空気中)、PFPFでは200°C、20分(空気中)及びCOGEMAにおいては800°C、時間については不明(空気中)の条件にて脱ガス熱処理を施している。

したがって、各測定箇所において脱ガス処理条件が異なっていることから、比表面積値の違いはこの脱ガス熱処理温度の違いによるものだと推定し、プル開室において標準物質及び海外粉を用いて比表面積値と脱ガス熱処理温度の関係把握の試験<sup>1)</sup>を実施した。試験試料はCommunity Bureau of Referenceの基準粉体であるCRM171 ALUMINA(以下、酸化アルミニウム)、CRM173 TITANIUM DIOXIDE(二酸化チタン)及び海外返還プルトニウムのプラントUP-3 ロットNo.3014を使用した。その結果を表4に示す。

表4 比表面積値と熱処理の関係

試 料	処理温度; 25°C	処理温度; 150°C	処理温度; 300°C
酸化アルミニウム	4.32	4.47	4.47
二酸化チタン	2.56	2.98	3.32
海外粉	6.74	7.56	8.19

単位:  $\text{m}^2/\text{g}$

表4から、どの試料についても処理温度を高くするにつれ、比表面積の値が大きくなることがわかった。

したがって、COGEMA側の比表面積値が高いのは、処理温度がPNCと比べ800°Cと高いため比表面積値が大きくなつたと推定される。この原因については、粉末中に含まれていた水分あるいはガスが蒸発したためという一つの可能性がある<sup>2)</sup>が、詳細については現在検討中である。しかし、COGEMA側の値が小さい試料750もあり、真の原因究明は、これから検討していく必要がある。

表3の結果より、同一プラントで製造された粉末でもその値に差が生じていた。製造プラント間に関しては、プラントUP-3の方がプラントUP-2よりも比表面積値が大きくなっている。また、平均値の差の検定から粒子密度の結果と同様に、プラントUP-2とプラントUP-3の平均値に有意差が認められた。このプラント毎の比表面積値の差の違いの原因として、各粉末のSEM写真像観察から粉末の形状が異なることより、粉末粒子の形状の違いが考えられる。

同じCOGEMA製の粉末でも、過去に受け入れたPuO<sub>2</sub>粉と今回受け入れたPuO<sub>2</sub>粉では、今回の粉末の方が比表面積値が大きくなっている。また、粒子形状が参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉と類似しているプラントUP-2の粉末でもプラントUP-2の方が値が大きくなっている。これは、SEM写真像観察から今回の海外粉の粒子表面上に参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉には見られなかった粒状粒子が存在していることより、この粒状粒子の存在が比表面積値の違いに影響を及ぼしていると考えられる。

参考1：1MOX粉と海外粉とをプル開室側のデータで比較すると、1:1MOX粉の比表面積値の方が小さい。

### 3-4 粒径・粒度分布測定

各試料の粒度分布図をそれぞれ図10～図27に示す。図10から図18は、頻度を積算値で表したものであり、図19～図27は、頻度を差分値で表したものである。なお、積算グラフにおいてグラフ中の点線は50%平均径を示しており、以下の基準の代表径として使用した。

結果を表5にまとめて示す。

表5 粒度分布測定結果

試 料	個数基準平均径	体積基準平均径	P F P F 測定値
562	<0.25*	9.00	1.66
571	<0.25*	7.80	1.54
750	<0.25*	2.60	1.29
3001	<0.25*	0.39	1.12
3011	<0.25*	0.70	1.20
3014	<0.25*	1.70	1.58
参考COGEMA	<0.25*	2.50	単位；μm
参考BNFL	<0.25*	0.30	測定回数；3回
参考1:1MOX	<0.25*	0.70	(プル開室のみ)

\*印は、測定装置の検出限界である。

プル開室測定値と PFPF 測定値とが異なるのは、測定装置及び測定原理の違い（プル開室はレーザー回折法、PFPF は空気透過法；一般にはサブシープサイザー（SSS）と呼ばれているものをそれぞれ使用）によるものである。なお、表4中の個数基準とは、ある粒度区分に含まれる粒子が全粒子数  $\Sigma n$  に対する個数を表しており、体積基準とは、全粒子体積の総和  $\Sigma n d^3$  中どれだけの体積かを表したものである。

表5からプラントUP-2の試料の方がプラントUP-3の試料よりも粒径が大きいこと、また、粒径についてはプラント内にバラツキ（プラントUP-2の標準偏差=2.78、プラントUP-3の標準偏差=0.56）があった。特に、プラントUP-2の標準偏差がプラントUP-3に比べて大きいことからロット間のバラツキが大きい可能性がある。ただし、本試験では、1試料／1ロットの試料の測定であるので検定することはできなかった。

参考1：1MOX粉については、プラントUP-2の海外粉よりも粒径が小さく、プラントUP-3とは比較的その値が類似していることがわかる。

図10～図18の粒度分布図から個数基準平均径が0.10あるいは0.15  $\mu\text{m}$  と示されているが、プル開室における測定装置の検出限界が0.25  $\mu\text{m}$  であり、これ以下の粒径については計算に基づいて算出されているため個数基準平均径は信頼性がない。しかし、0.25  $\mu\text{m}$  以下の粒径が存在することは間違いない。

一般に、パチンコ玉の様に粒径が揃っており粒度に分布がない、いわゆる單一分散型の場合には、個数基準と体積基準の分布型が等しくなることが知られていることから、個数基準分布と体積基準分布を比較するとある程度の分布が推定できる。

図10～図18からプラントUP-2の試料よりもプラントUP-3の試料の方が分布幅が狭く、プラントUP-2の試料と参考COGEMA製PuO<sub>2</sub>粉の粒度分布が類似している。また、参考1：1MOX粉については、海外粉よりも分布幅が狭いことが確認される。

表6に各試料の比表面積から算出した比表面積径とレーザー回折法による粒度分布から求めた50%平均径をまとめて示す。比表面積径は  $d = K / \rho \cdot S$  ( $d$ ；比表面積径、 $K$ ；形状係数（粒子を球または立方体に近いと仮定し、6とする）、 $\rho$ ；粒子密度、 $S$ ；比表面積) である。また、表中の凝集度は体積基準平均径／比表面積径で求めた値である。なお、比表面積径は粒子を構成する単結晶の平均径を表したものである。したがって、この粒子を形成する出発結晶を一次粒子とする。

表6 比表面積径とレーザー回折法による粒径の比較

試 料	比表面積径	体積基準平均径	凝集度
562	0.10	9.00	90.0
571	0.10	7.80	78.0
750	0.08	2.60	32.5
3001	0.05	0.39	7.8
3011	0.05	0.70	14.0
3014	0.07	1.70	24.3
参考COGEMA	0.17	2.50	14.7
参考BNFL	0.07	0.30	4.3
参考1:1MOX	0.12	0.70	5.8

単位:  $\mu\text{m}$ 

図28に各試料の比表面積径と体積基準平均径の関係を示す。

一般に、比表面積径と体積基準平均径を比較することにより、粒子の凝集状態がわかり、粒子を構成している一次粒子の数が多いほど両者の値はかけ離れていると言われている。

表6と図28から明らかなように、海外粉と1:1MOX粉とでは凝集状態は異なる。また、凝集体を構成している一次粒子の数は海外粉の方が多い。また、先の試験<sup>3)</sup>で行った超音波照射による分散時間に対する粒度分布の変化の評価において、どの原料粉（参考COGEMA、参考1:1MOX）においても、分散時間の増加により粒度分布は小さくなる傾向を示した。その結果をまとめて別添2及び別添3に表す。これらの図より、最大粒子径付近の粗大粒子の変化は原料粉によって異なっていた。参考1:1MOXの場合では、10秒という短時間の超音波照射による分散で粒度分布が大きく変化し、それ以降分散時間を長くしても粗大粒子径はほとんど変化が見られず分布も同じ様な型であった。また、その時の50%平均径は0.4  $\mu\text{m}$ であった。しかし、参考COGEMAの場合には粗大粒子径は分散時間の増加とともにわずかに小さくなる傾向を示している。また、長い分散時間の場合のみ分布型が顕著に変化し、50%平均径は1桁小さい値となった。以上より、参考1:1MOX粉末は粗大粒子が二次粒子として存在し、超音波によりこれが容易に解碎されたと考えられる。また、解碎された粒子は一次粒子が数個集まつたもので、それらの凝集力は強いとも考えられる。一方参考COGEMA粉末はより強力な分散条件の場合のみ解碎されたことから、参考1:1MOX粉末と比べてかなり硬い二次粒子であり、分散しにくい原料粉だと考えられる。

#### 4. 検討

粒子密度、比表面積及び粒径の関係を図29～図31に示す。

図29の粒子密度と比表面積の関係から、海外粉についてはプラント毎に似通った特性を持つことが再確認される。また、PNCにおいて転換製造された1:1MOX粉は

粒子密度が小さく、比表面積値も小さい粉末である。

また、図30の粒子密度と粒径の関係から、粒子密度と比表面積の関係と同様に、海外粉についてはプラント毎に似通った特性を持つことが確認された。

焼結性に大きく関係すると思われる比表面積値と粒径の関係図からは、プラントUP-2の粉末は1:1MOX粉と比べて比表面積値はほとんど同じであるが、粒径が1桁ほど大きい。また、プラントUP-3の粉末はプラントUP-2の粉末の特性とは反対に粒径は同じであるが、比表面積値は約2倍以上大きい。また、1:1MOX粉は今回測定した試料の中で比表面積値及び粒径が一番小さい粉末であることがわかる。

## 5. まとめ

以上より、今回受け入れた海外粉は、PNC製1:1MOX粉と特性が異なるだけでなく、プラント毎に粉末特性が異なっており、統計的手法による検定でもプラントUP-2とプラントUP-3の間には有意差（危険率5%）が認められた。したがって、プラントUP-2とプラントUP-3の粉末は異なっているものだと言える。

海外粉は1:1MOX粉と比較して原料粉の粉末特性だけから見ると、焼結等の挙動が異なる可能性があり、ペレットの製品特性を1:1MOX粉のときと同じにするには製造条件をよくコントロールする必要がある。また、プラント毎にも比較的大きな差があり、ペレット製造時に条件を変える必要があると思われる。

## 6. 課題

なお、今回の試験は受け入れ時の原料粉の粉末特性を調査したが、燃料ペレットにするまでにはボールミルによる粉碎等の処理が施されるので、今回測定した粉末特性が変わるとと思われる。したがって、ペレット製品の特性に与える影響の差をより詳しくみるために、燃料ペレットにいたるまでの間の粉末特性を把握する必要がある。

また、1:1MOX粉については1ロットの試験結果でしか比較していないため、信頼性に欠けると思われる。したがって、今後は1:1MOX粉についても試験数（ロット内及びロット間の検討）を増やして検討及び比較する。

粒径・粒度分布測定における平均径については、他の機関の測定結果あるいは文献等の調査により、基準の明確化を早急に図かる必要がある。

## 7. 参考文献

- 1) 大代 操：プルトニウム燃料開発室 エンジニアリングシート プル開-05-273  
(1994)
- 2) J.B.Thompson, E.R.Washburn, L.A.Guildner (SURFACE COMPLEXES ON CARBON BLACKS. I. HIGH TEMPERATURE EVACUATION STUDIES) : J. Phys. Chem.,  
56, 979 (1952)
- 3) 大代 操、大沼 紀彦、高橋 邦彦、河野 秀作、山本 純太、上村 勝一郎：  
社内資料 PNC PN8440 93-026 (1993)

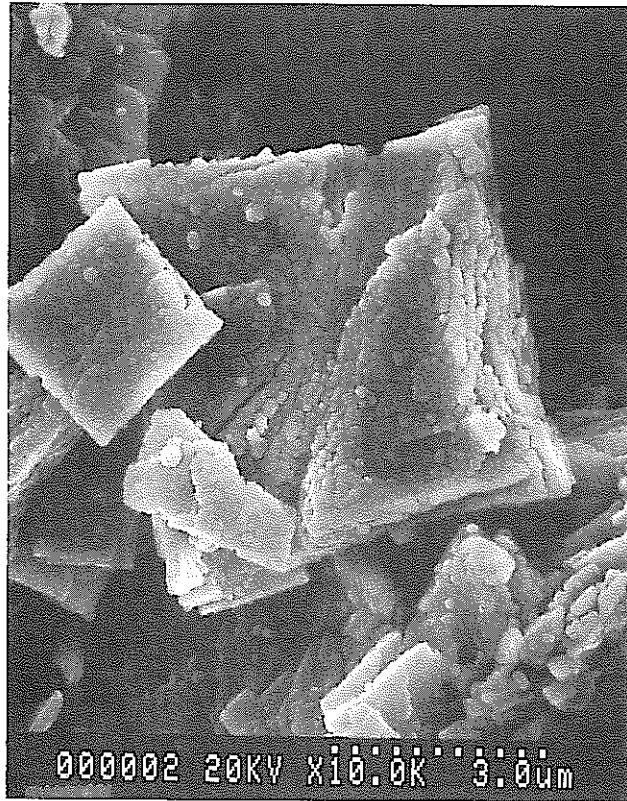
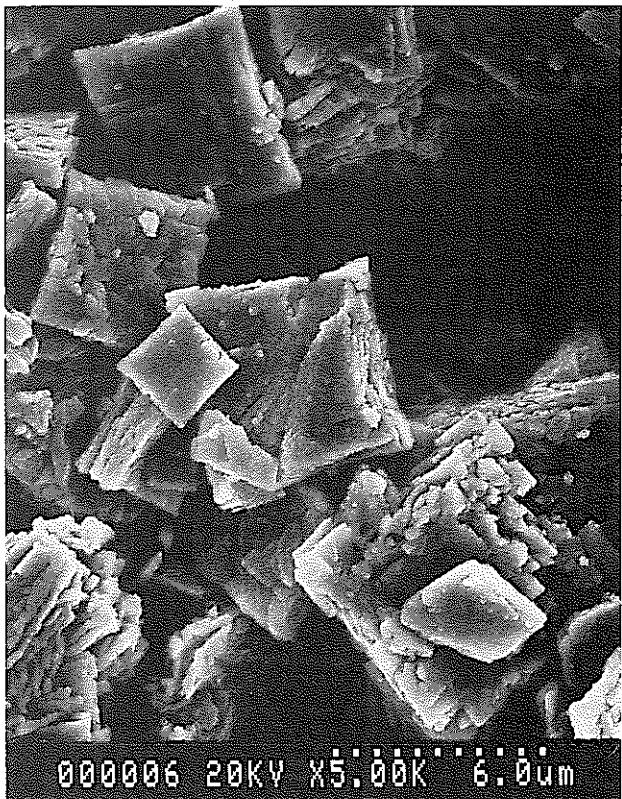
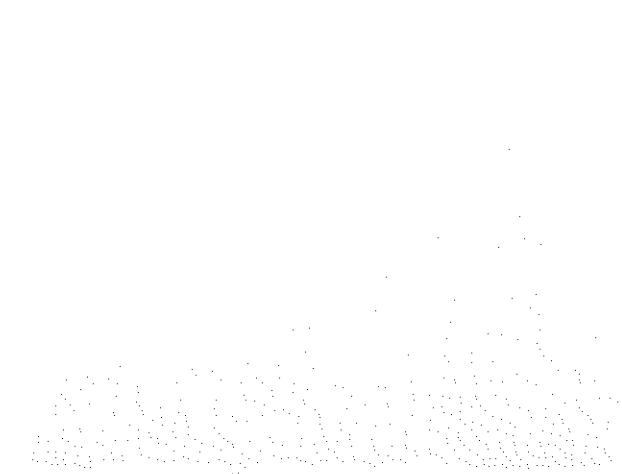
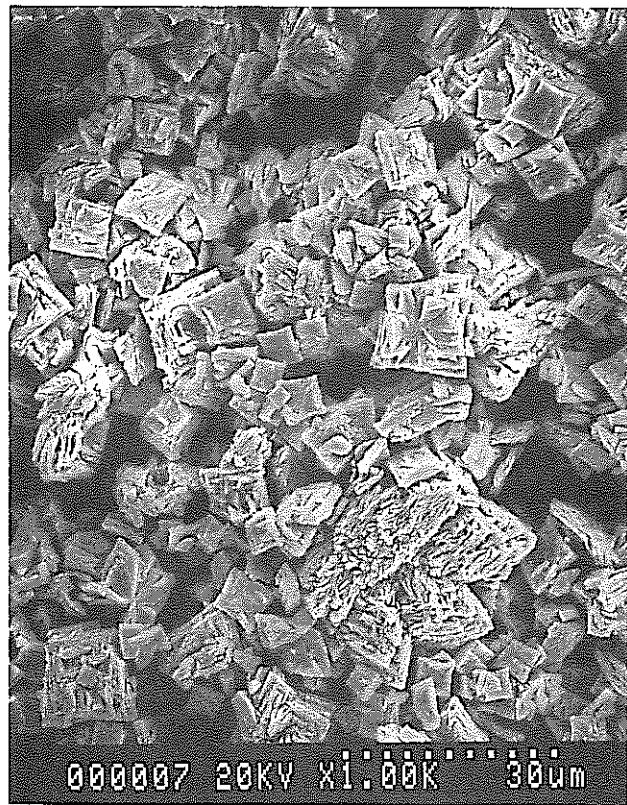


図 1 Pu02-Lot562

JP-2

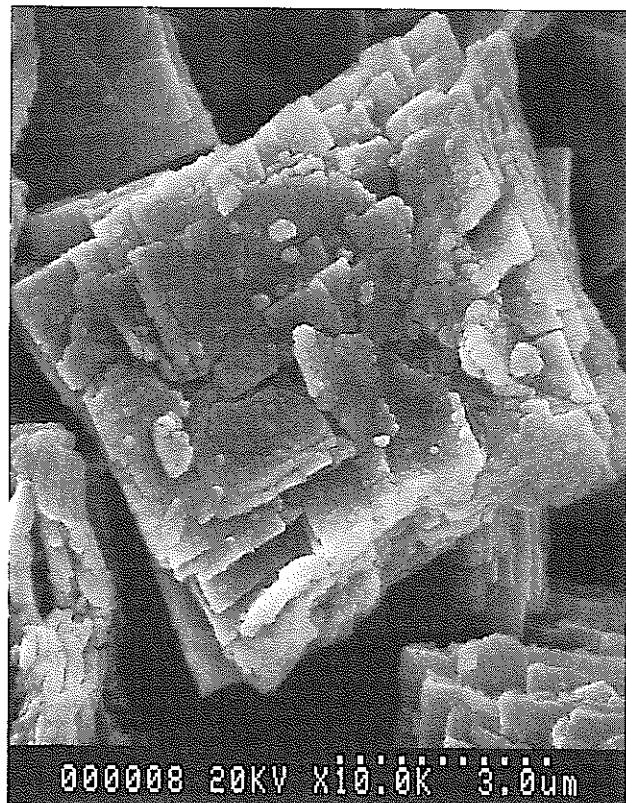
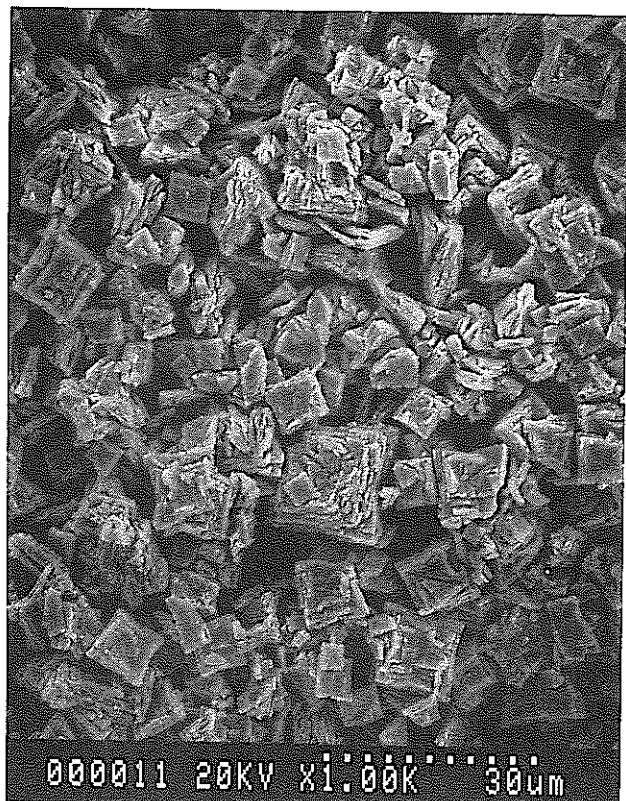


図2 Pu02-Lot571

UP - 2

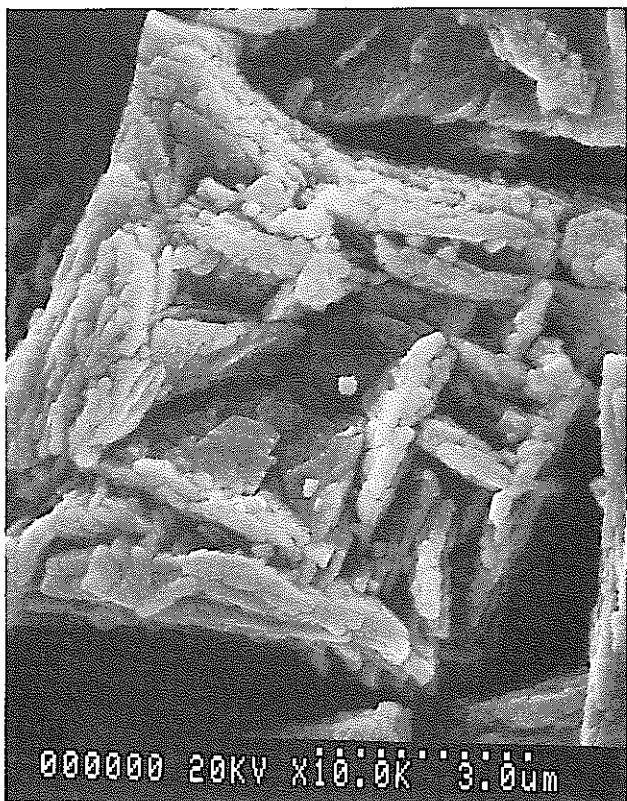
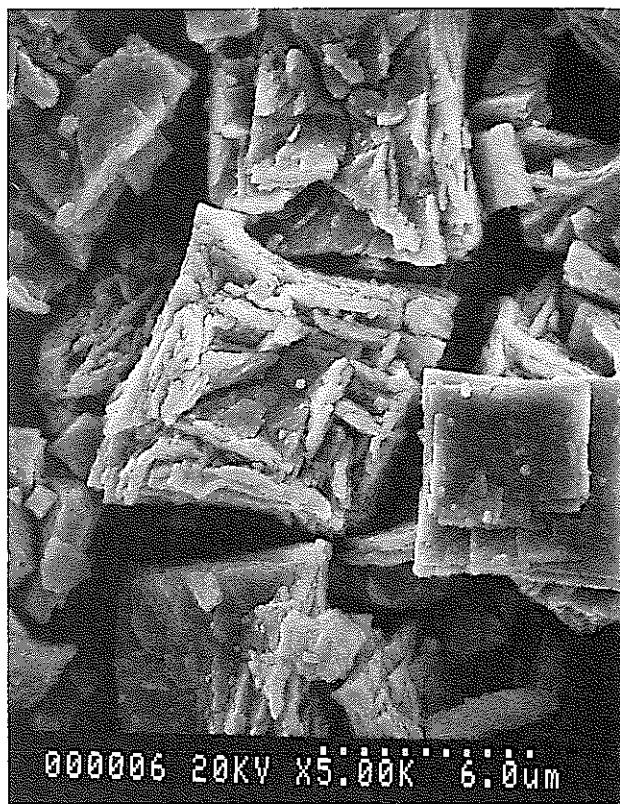
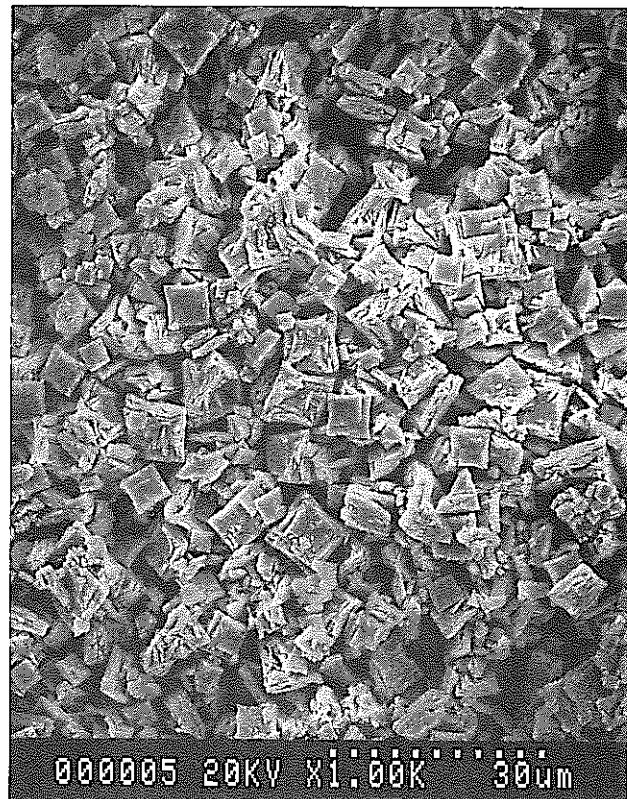


図3 Pu02-Lot750

UP-2

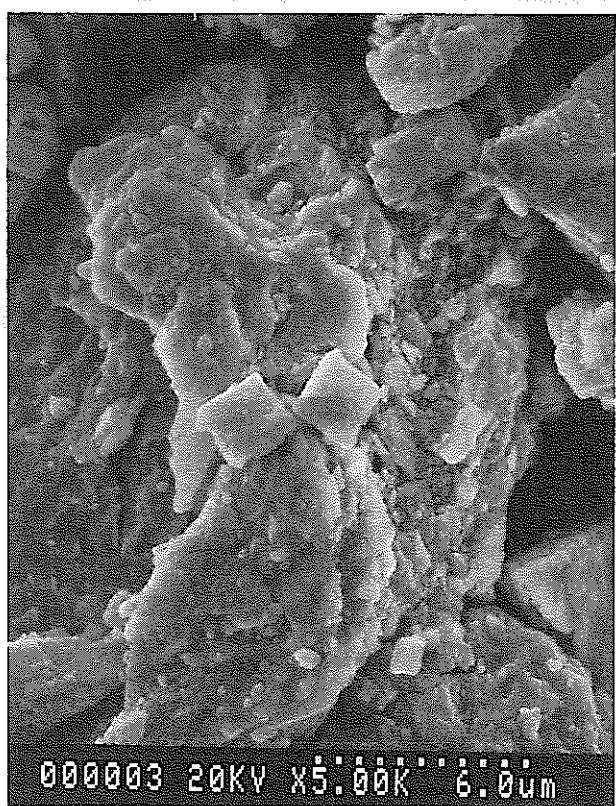
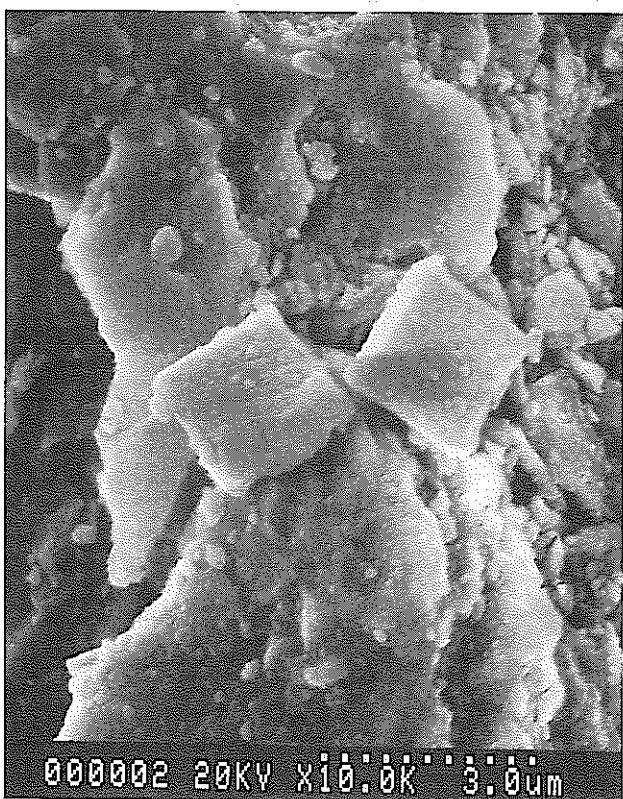
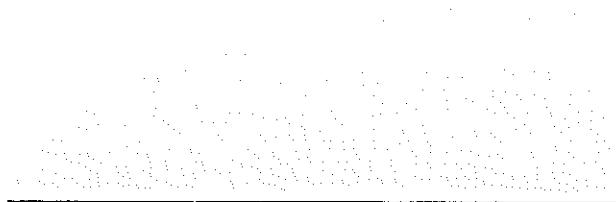
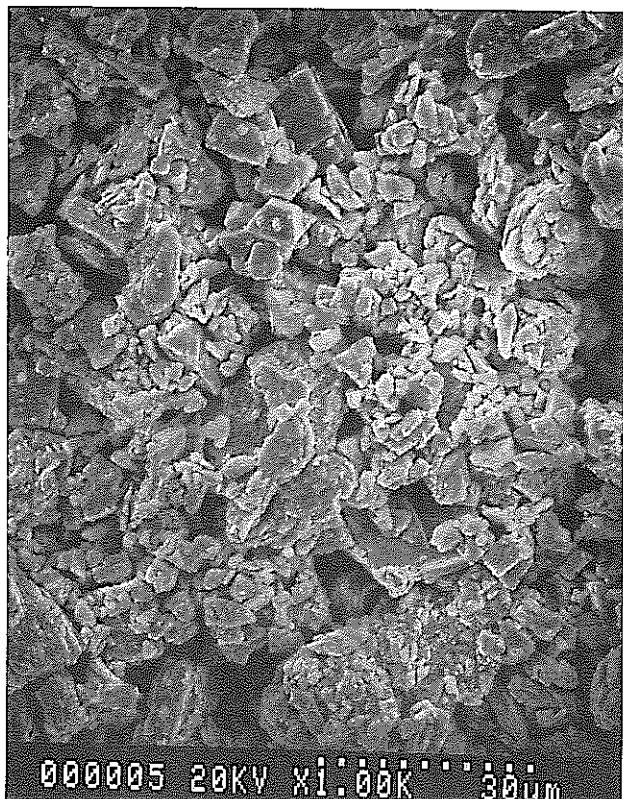


図4 Pu02-Lot3001

UP-3

PNC PN8410 94-072

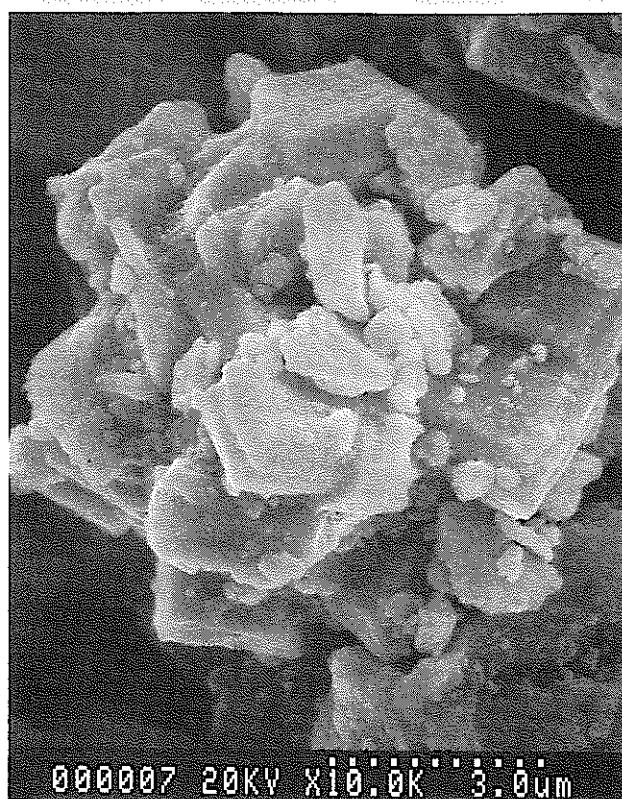
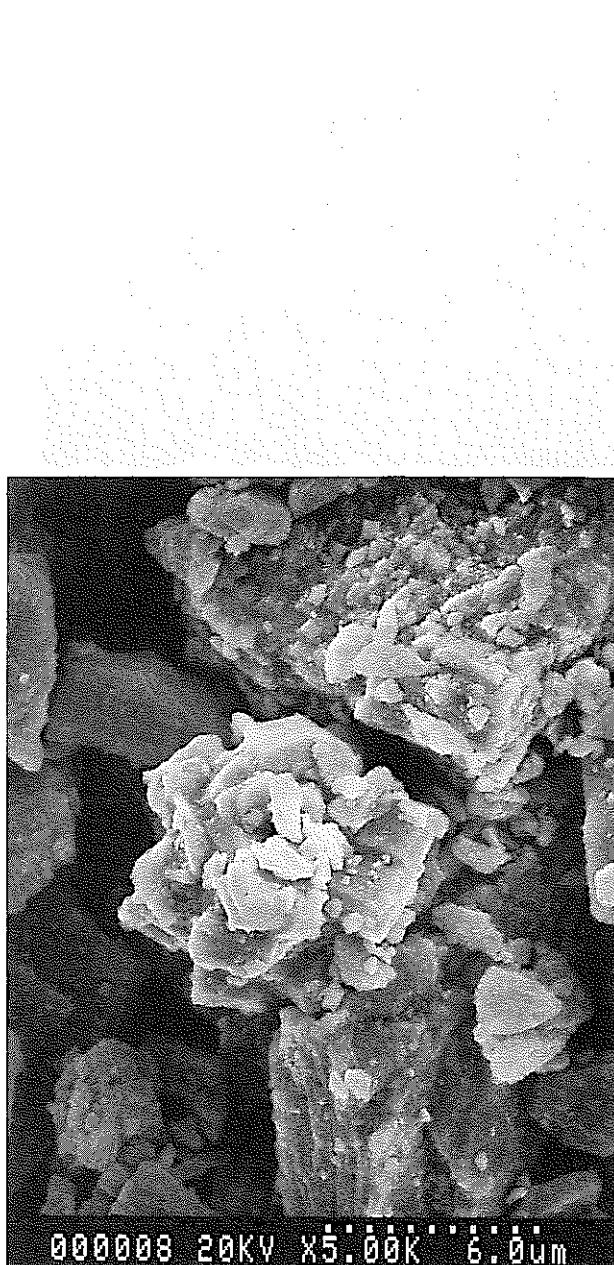
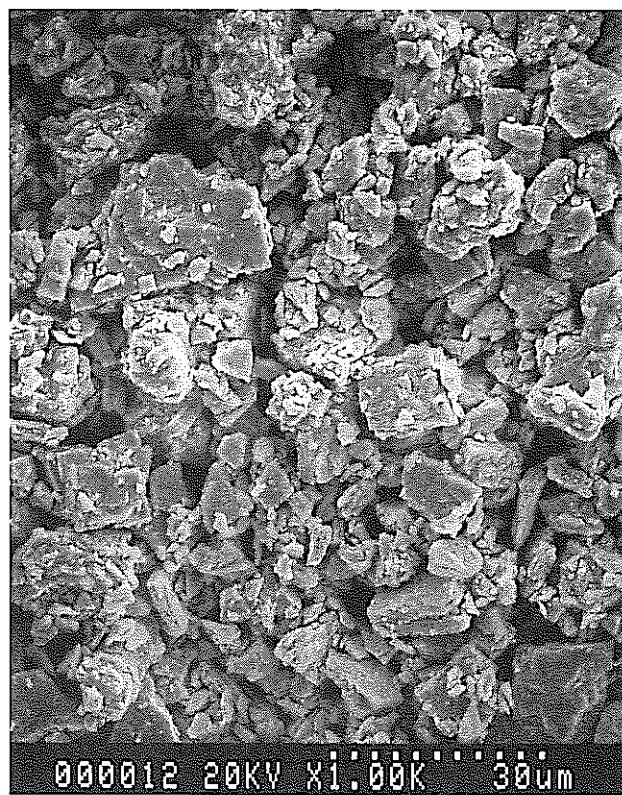


図5 Pu02-Lot3011

OP-3

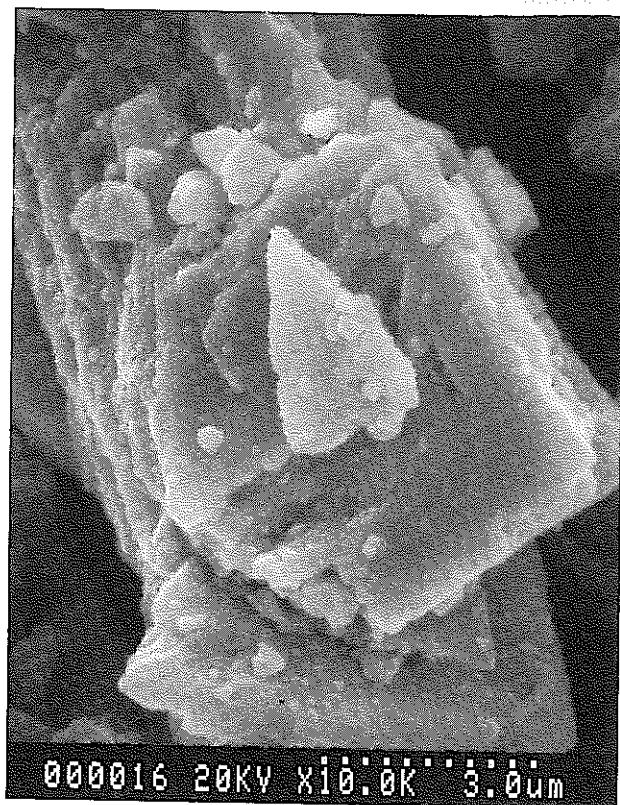
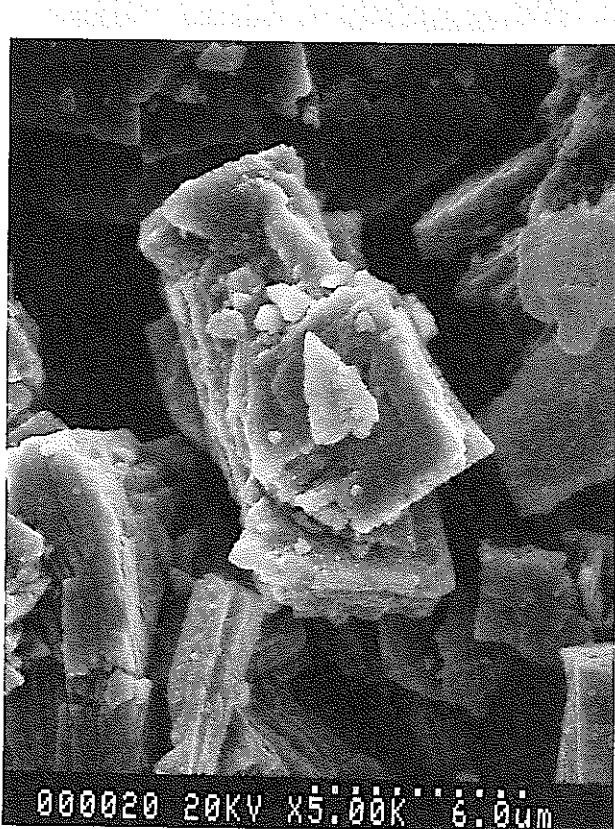
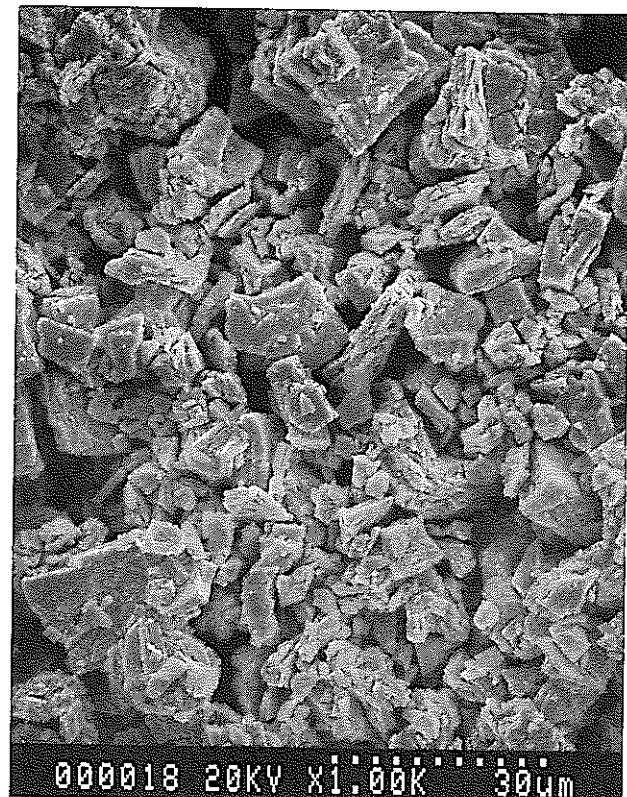


図 6 Pu02-Lot3014

VP-3

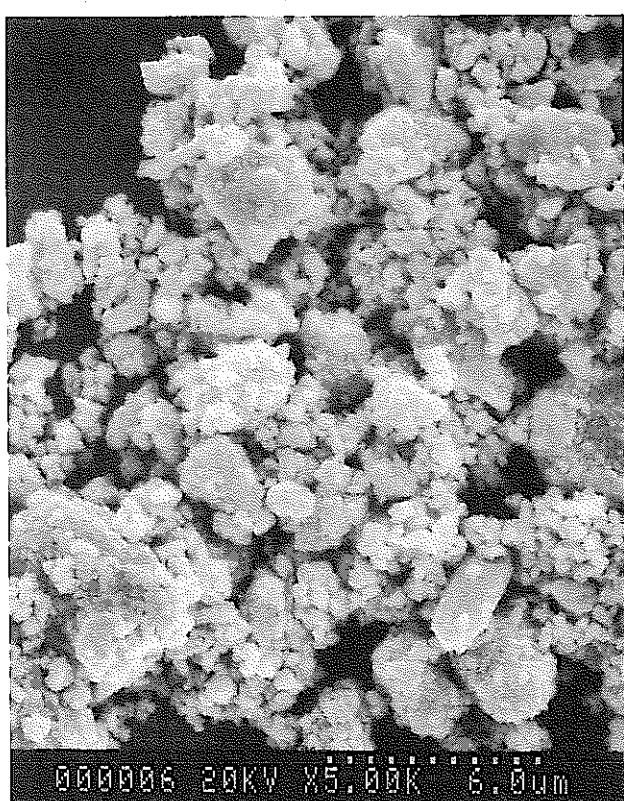
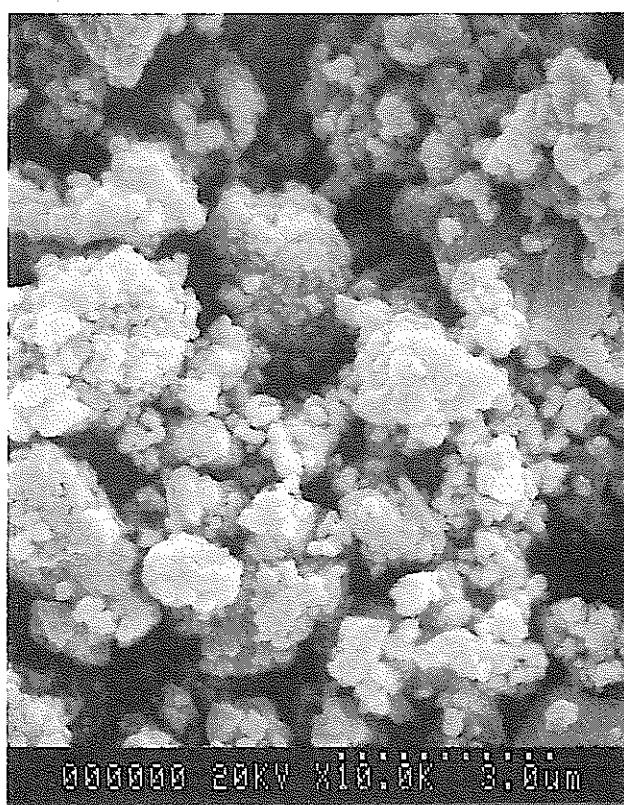
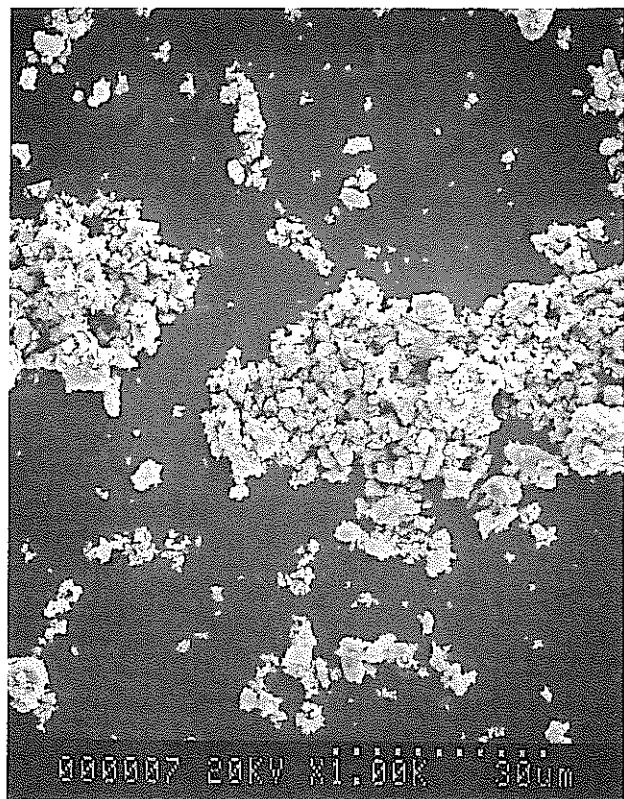


図 7 参考図 1 : 1 MOX

PNC

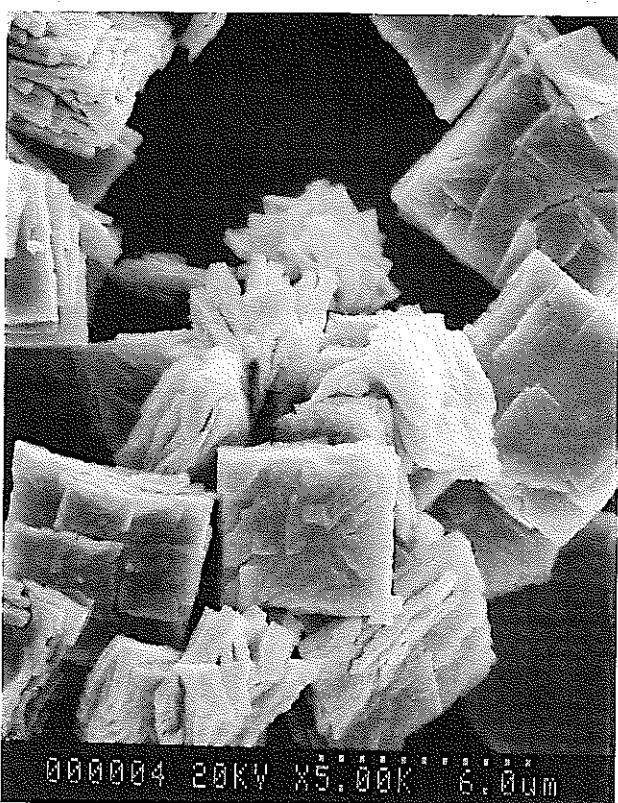
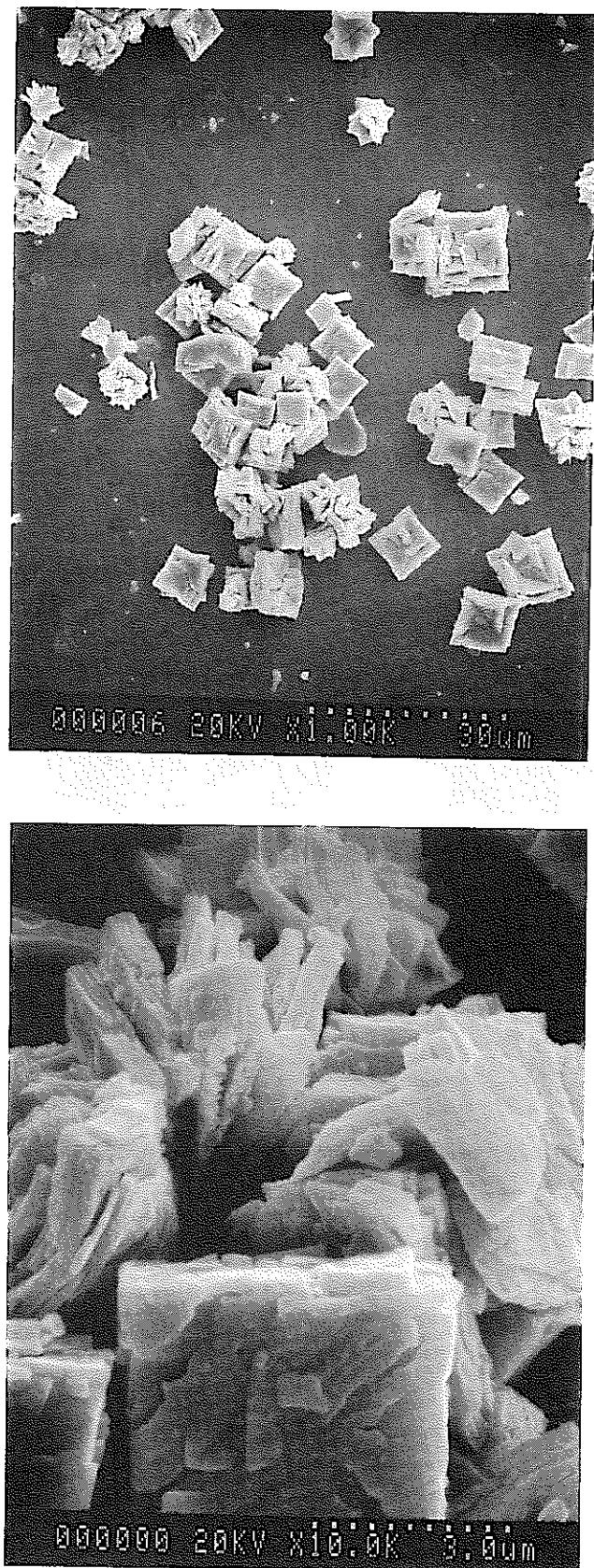


図 8 参考図COGEMA社製Pu02

(987年季入 57-7"43)

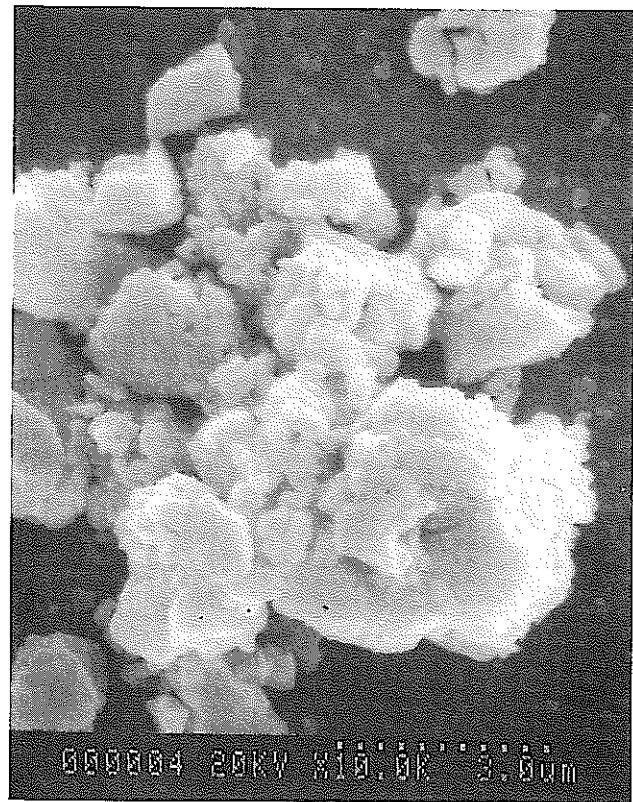
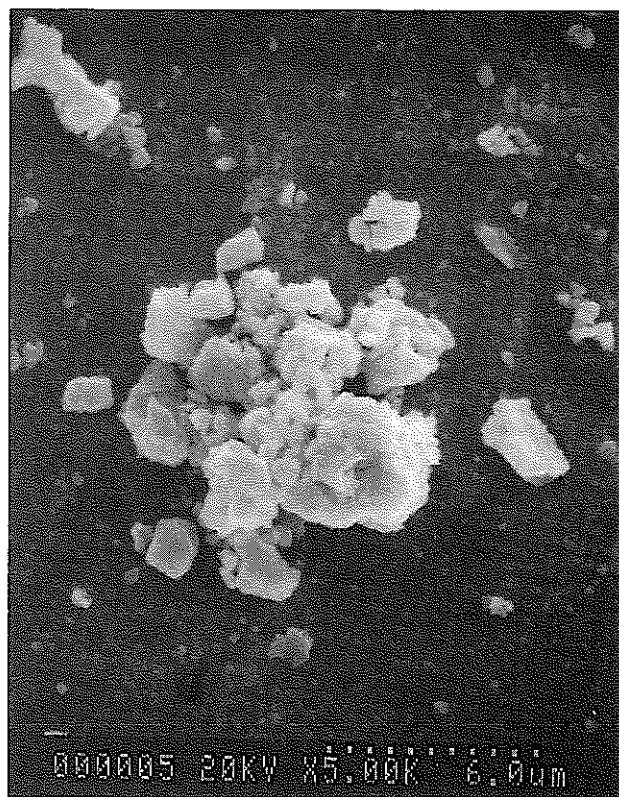


図 9 参考図BNFL社製Pu02

(1983年2月)

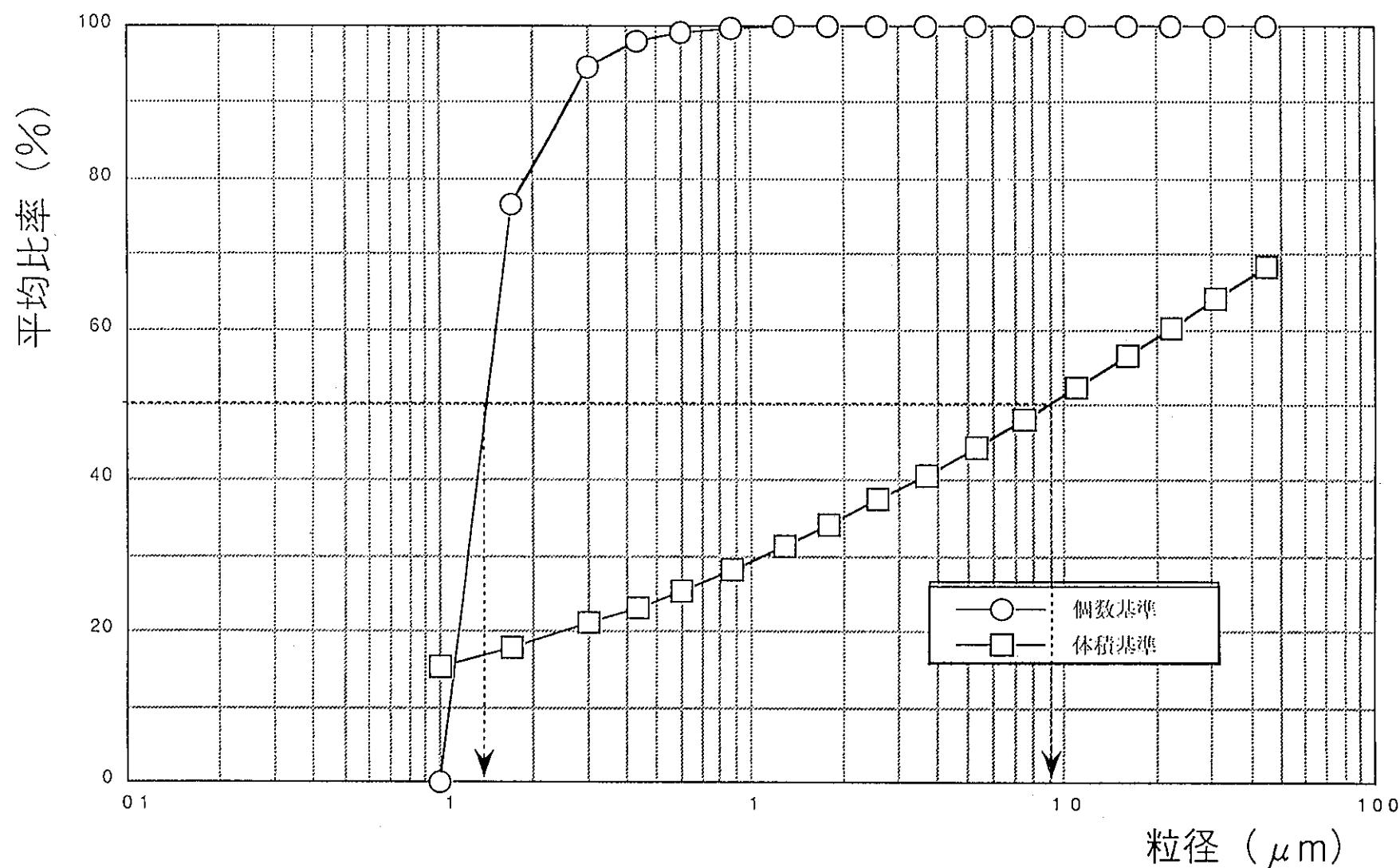


図10 PU02-562の粒度分布図

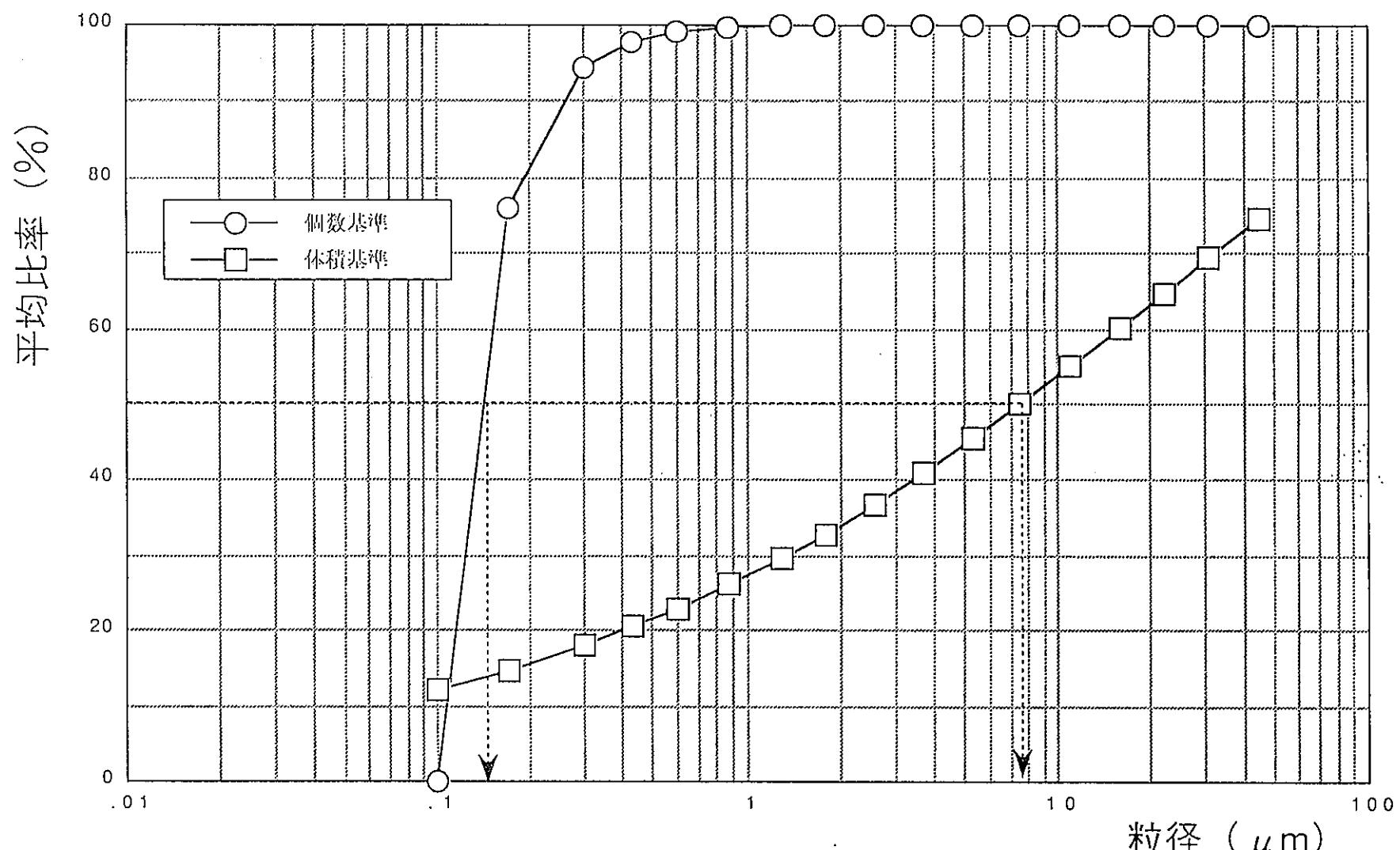
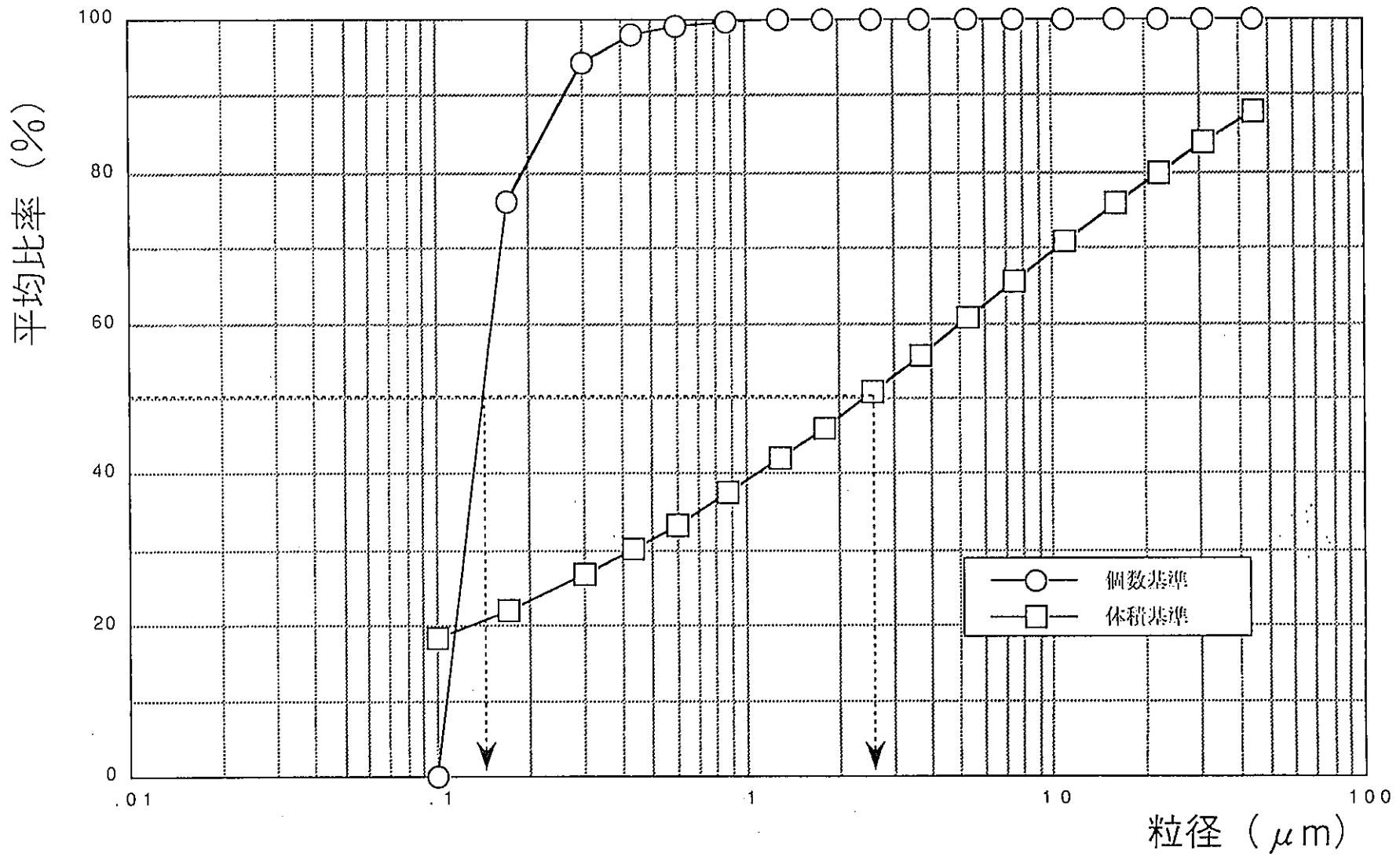


図11 PU02-571の粒度分布図

- 20 -

図12 PUO<sub>2</sub>-750の粒度分布図

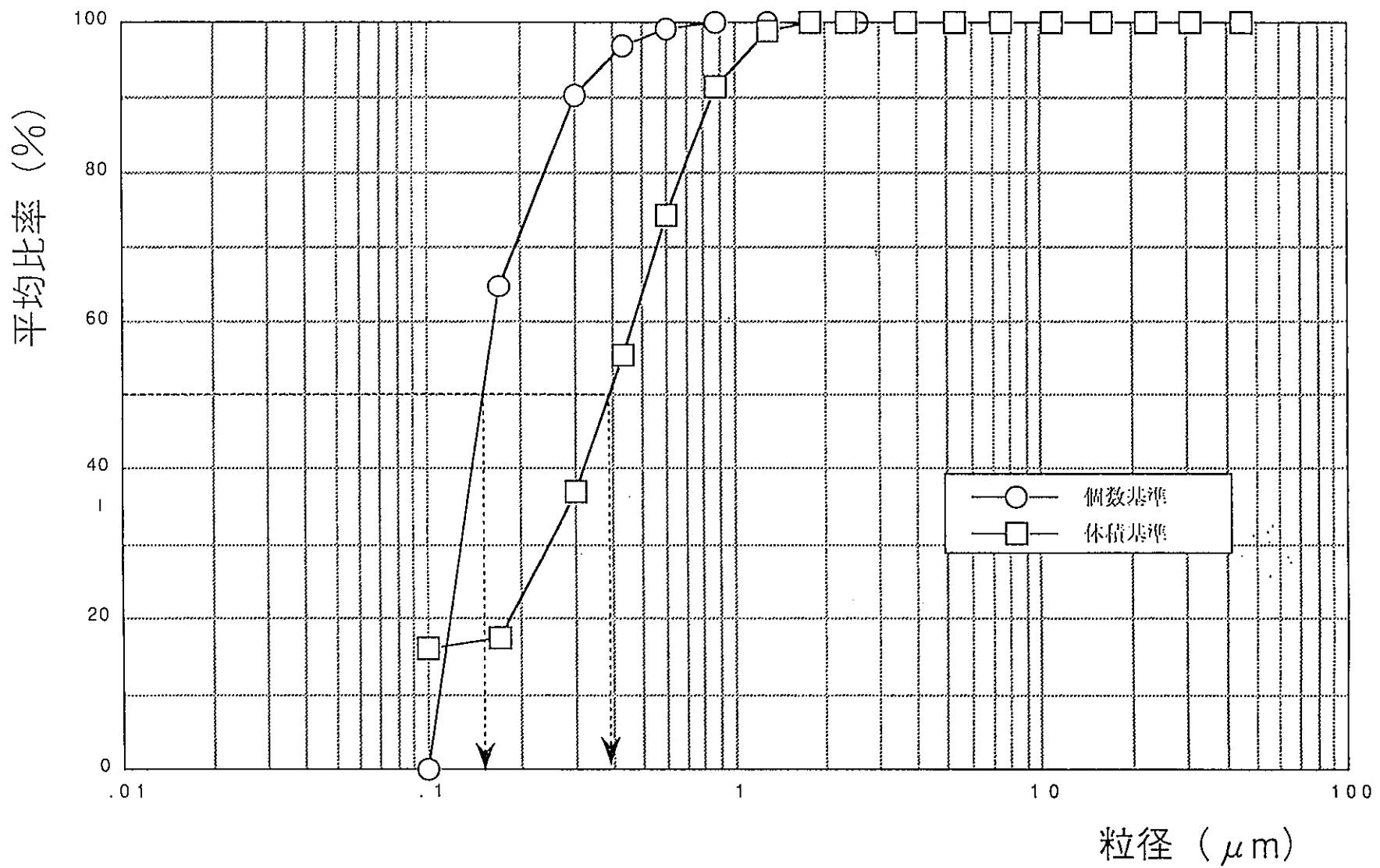


図13 PU02-3001の粒度分布図

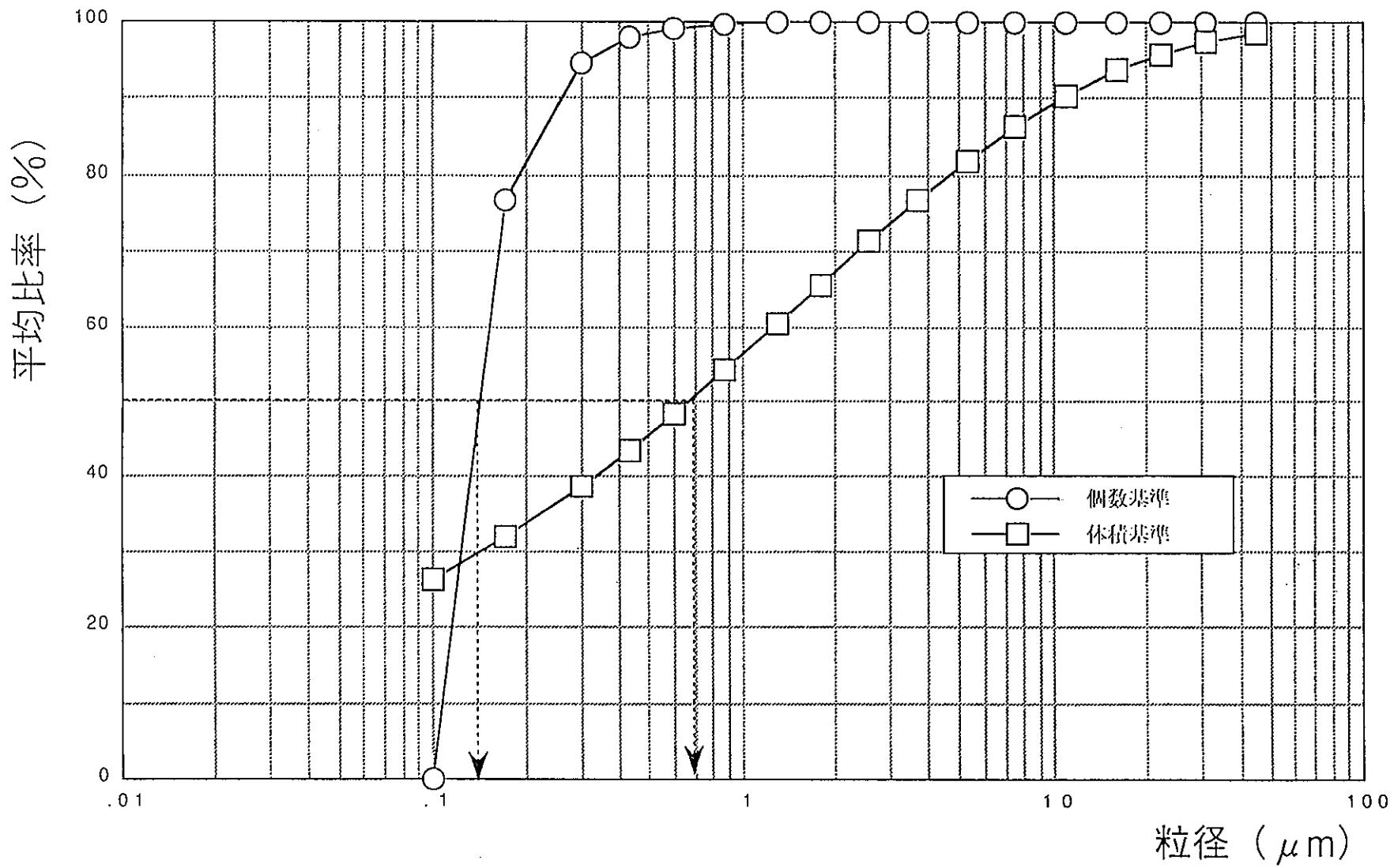


図14 PU02-3011の粒度分布図

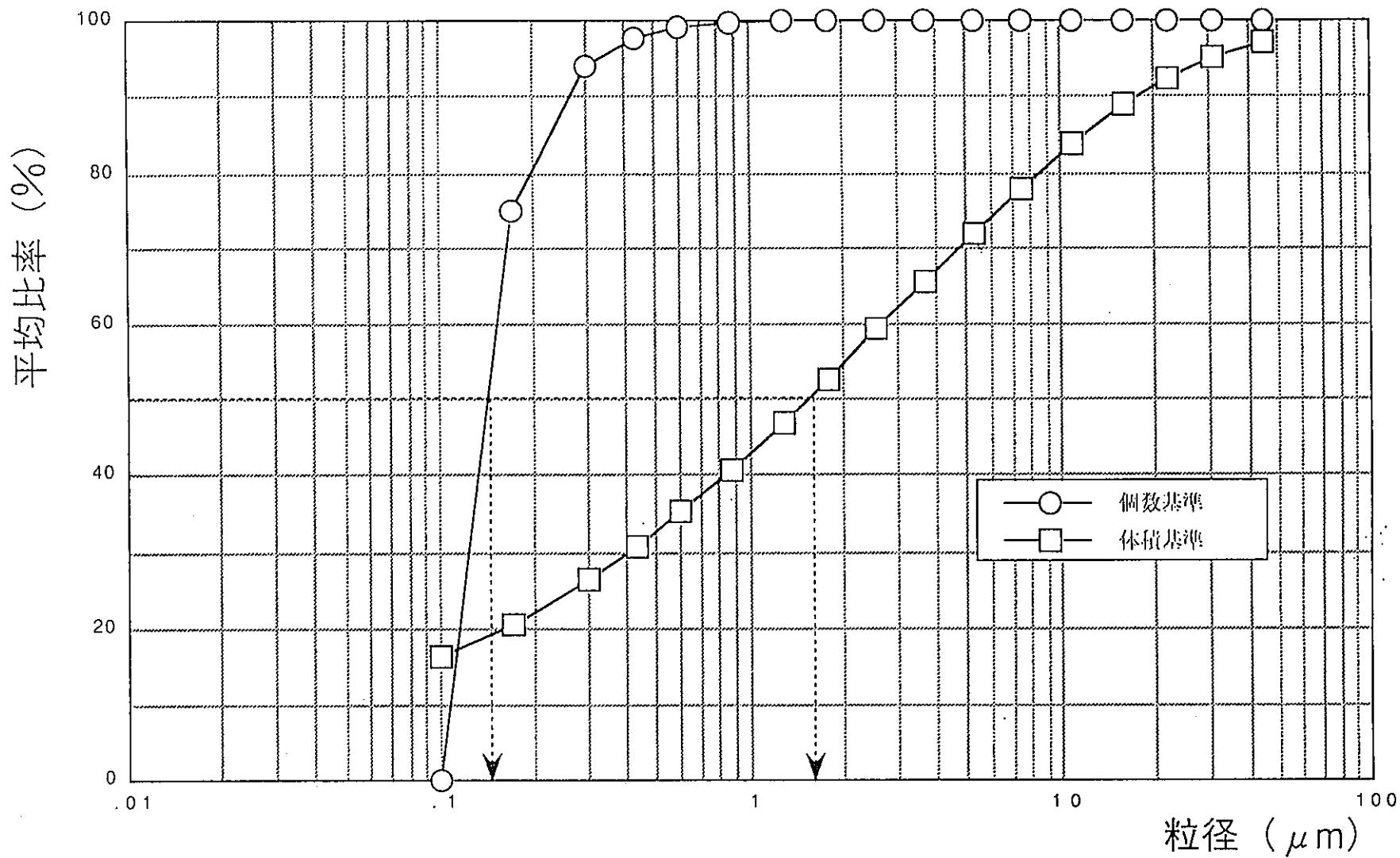


図15 PU02-3014の粒度分布図

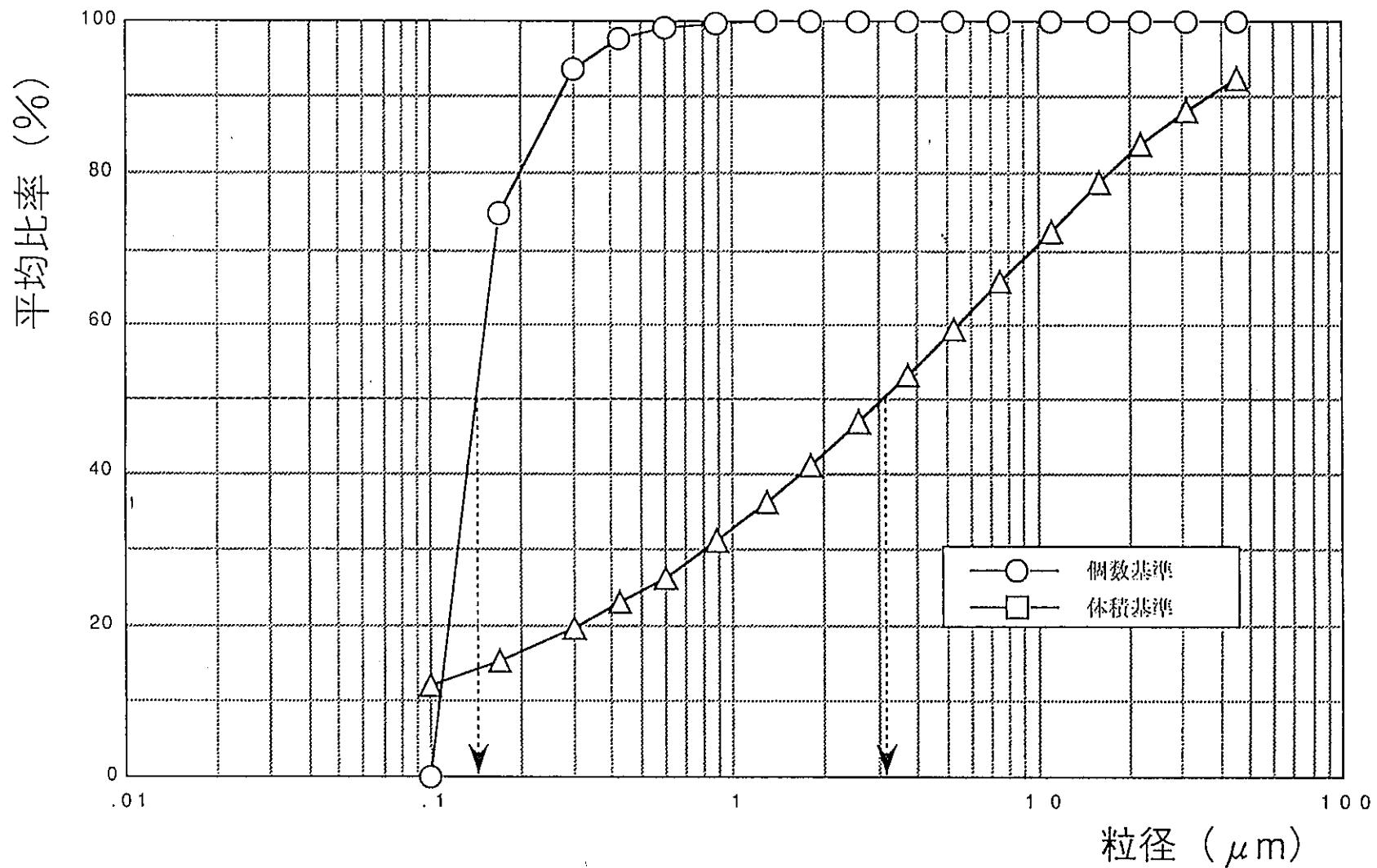


図16 COGEMAの粒度分布図

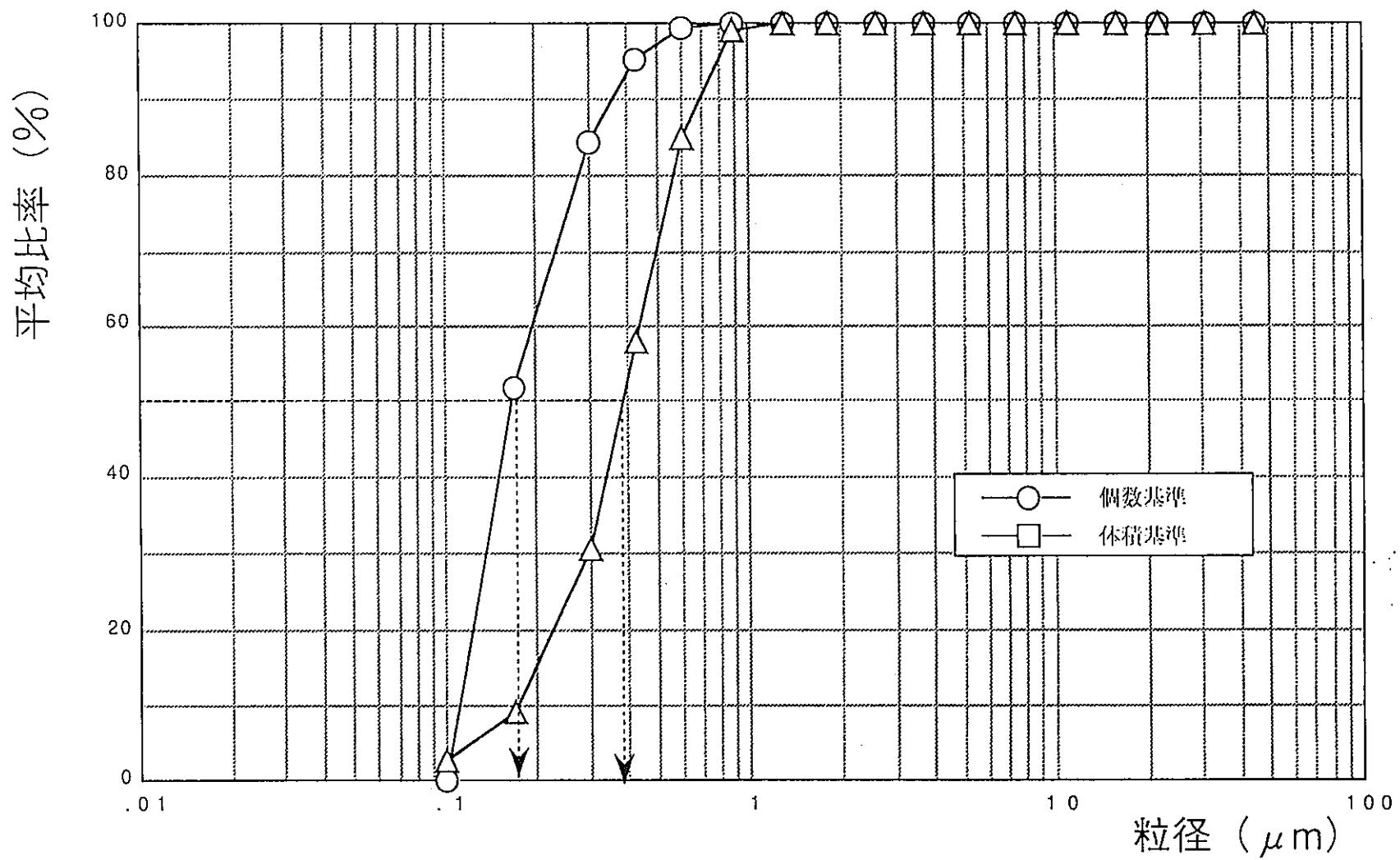


図17 BNFLの粒度分布図

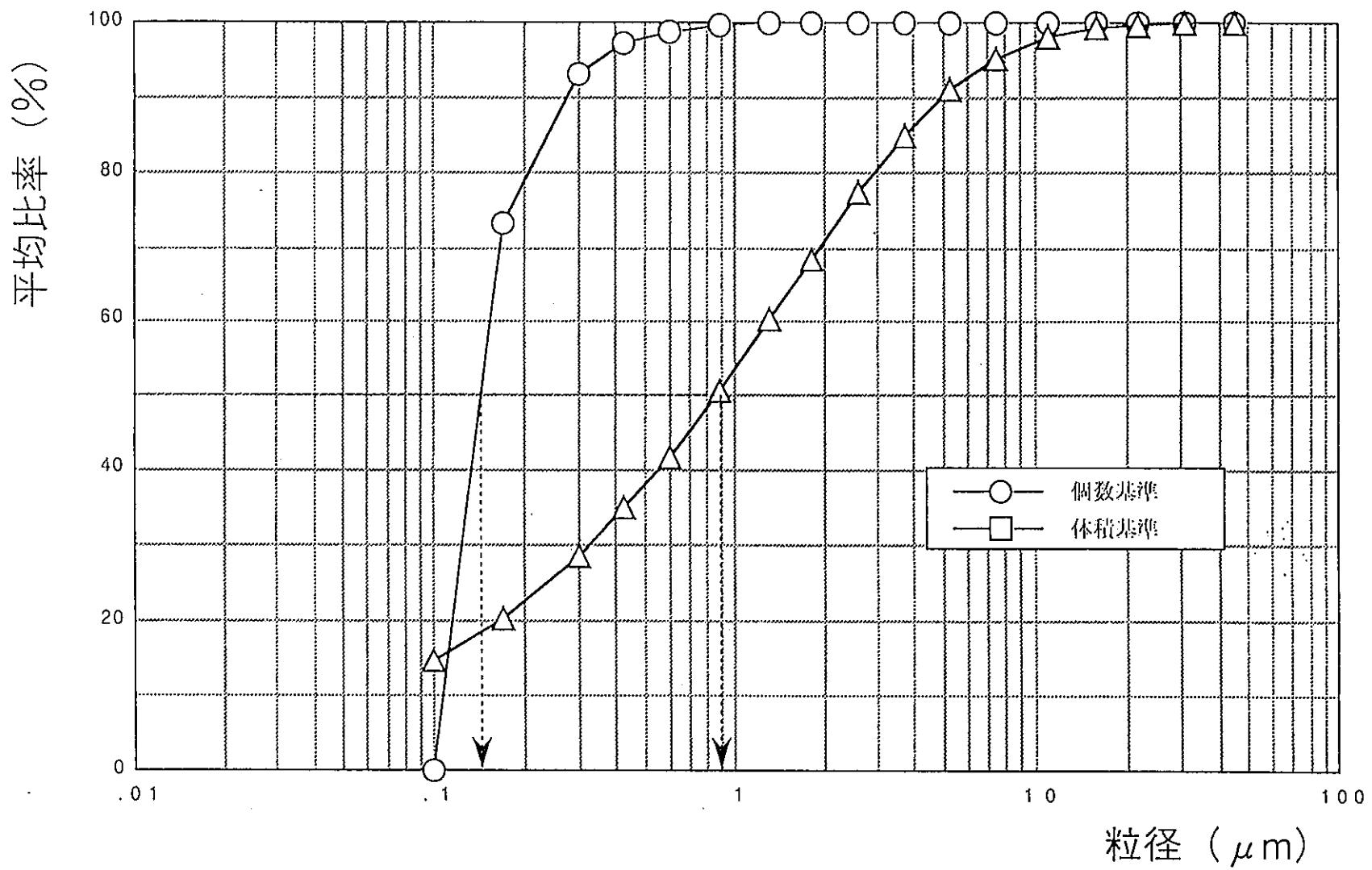


図18 1:1 MOXの粒度分布図

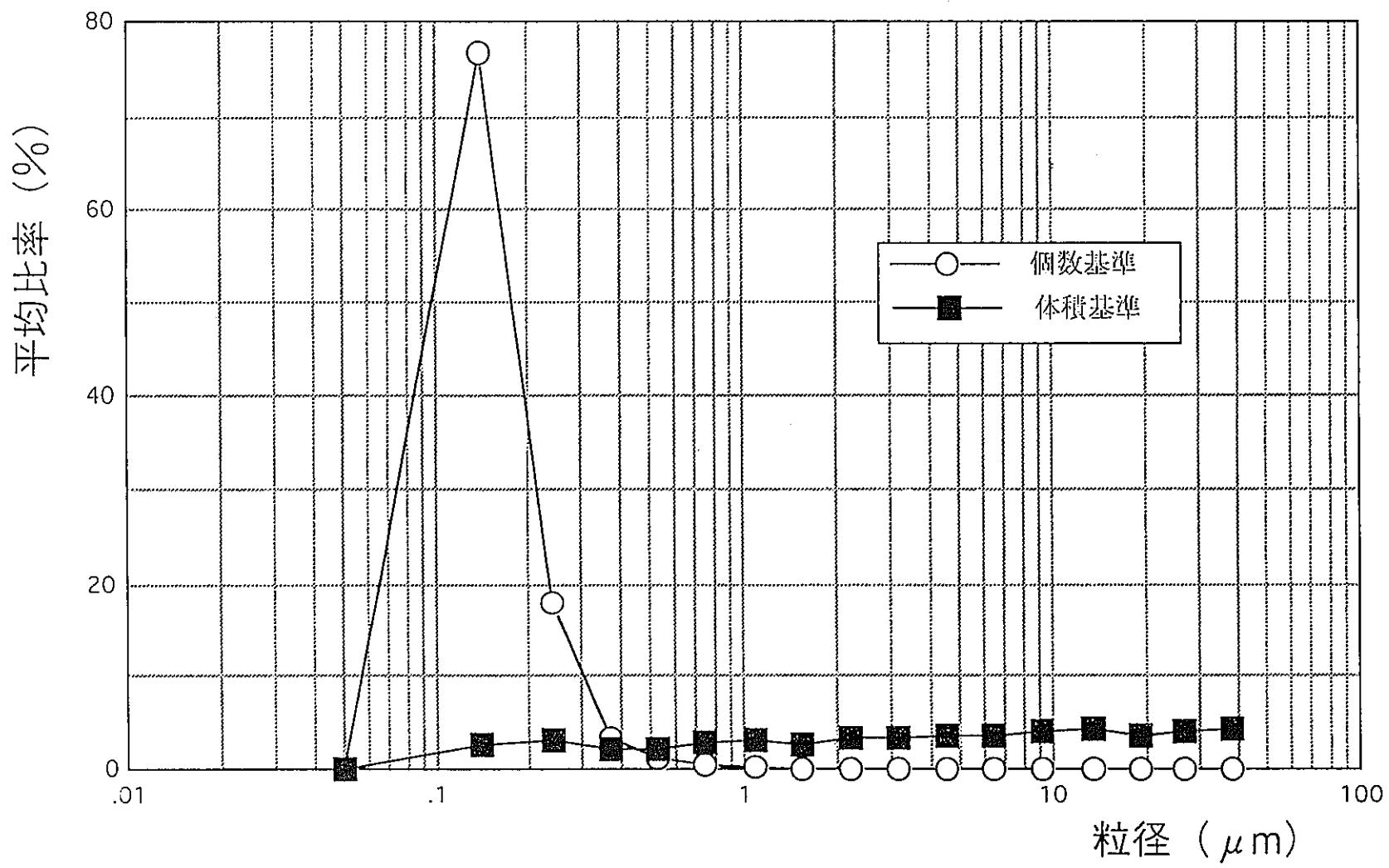


図19 PU02-562の粒度分布図

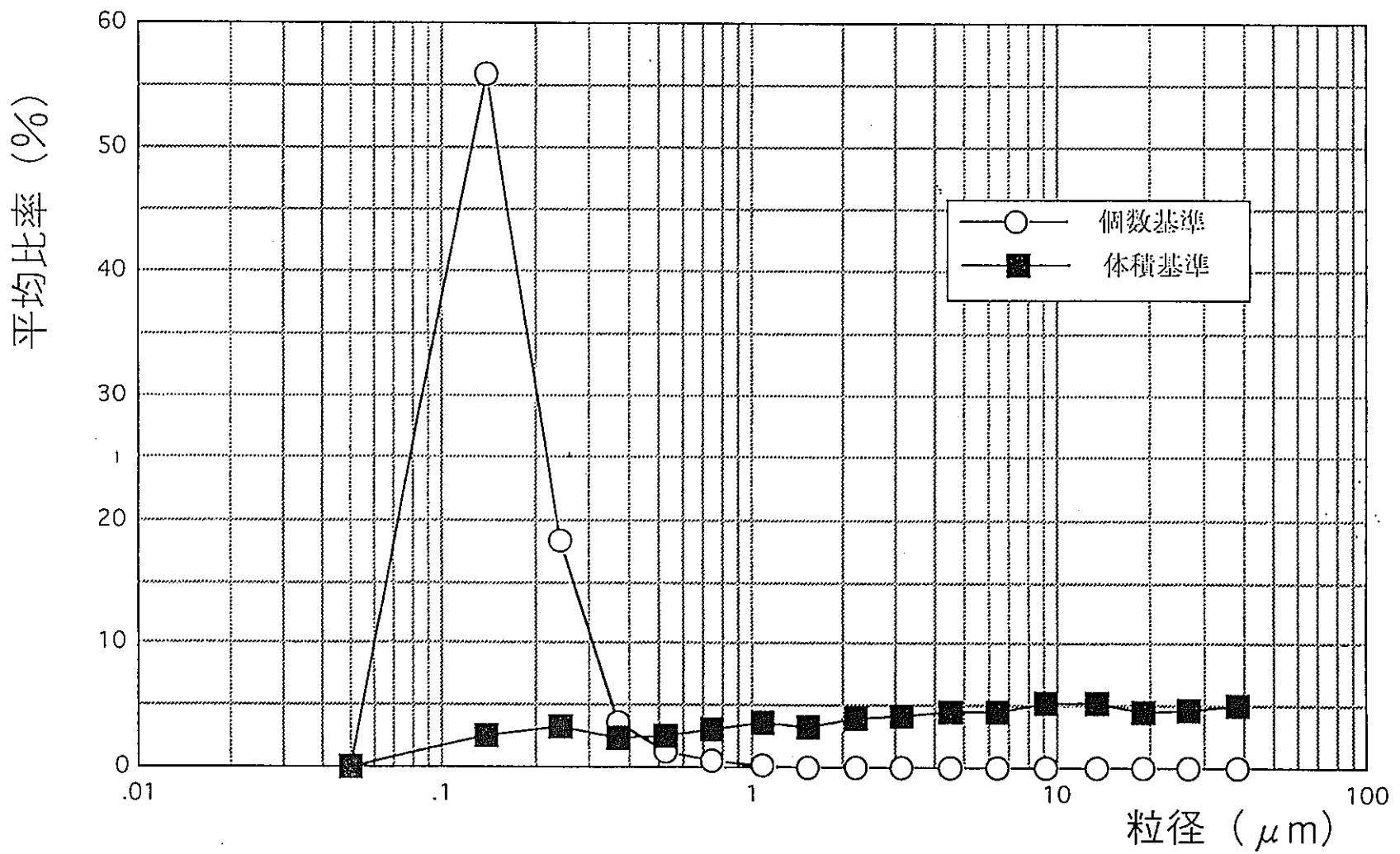


図20 PU02-571の粒度分布図

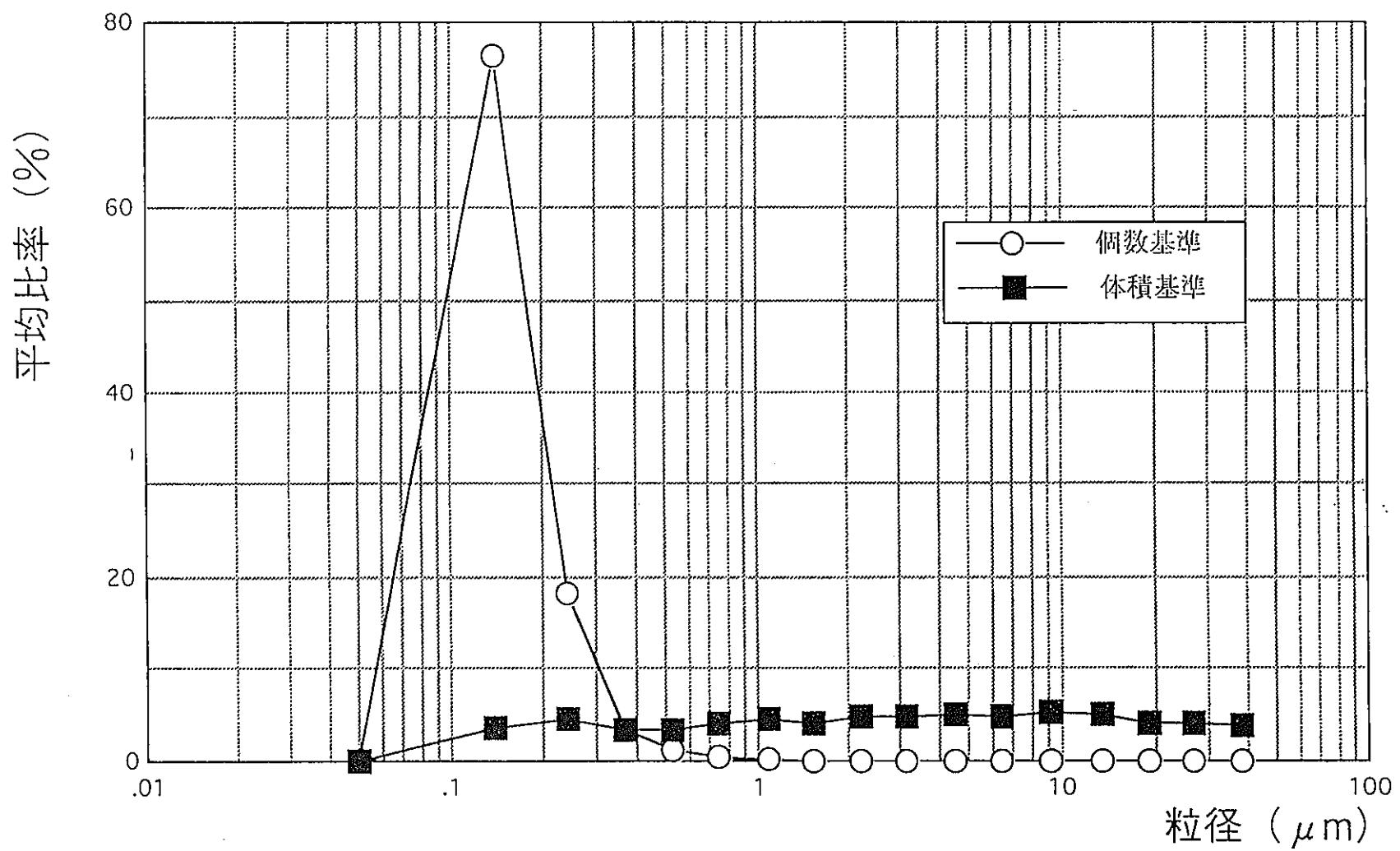


図21 PU02-750の粒度分布図

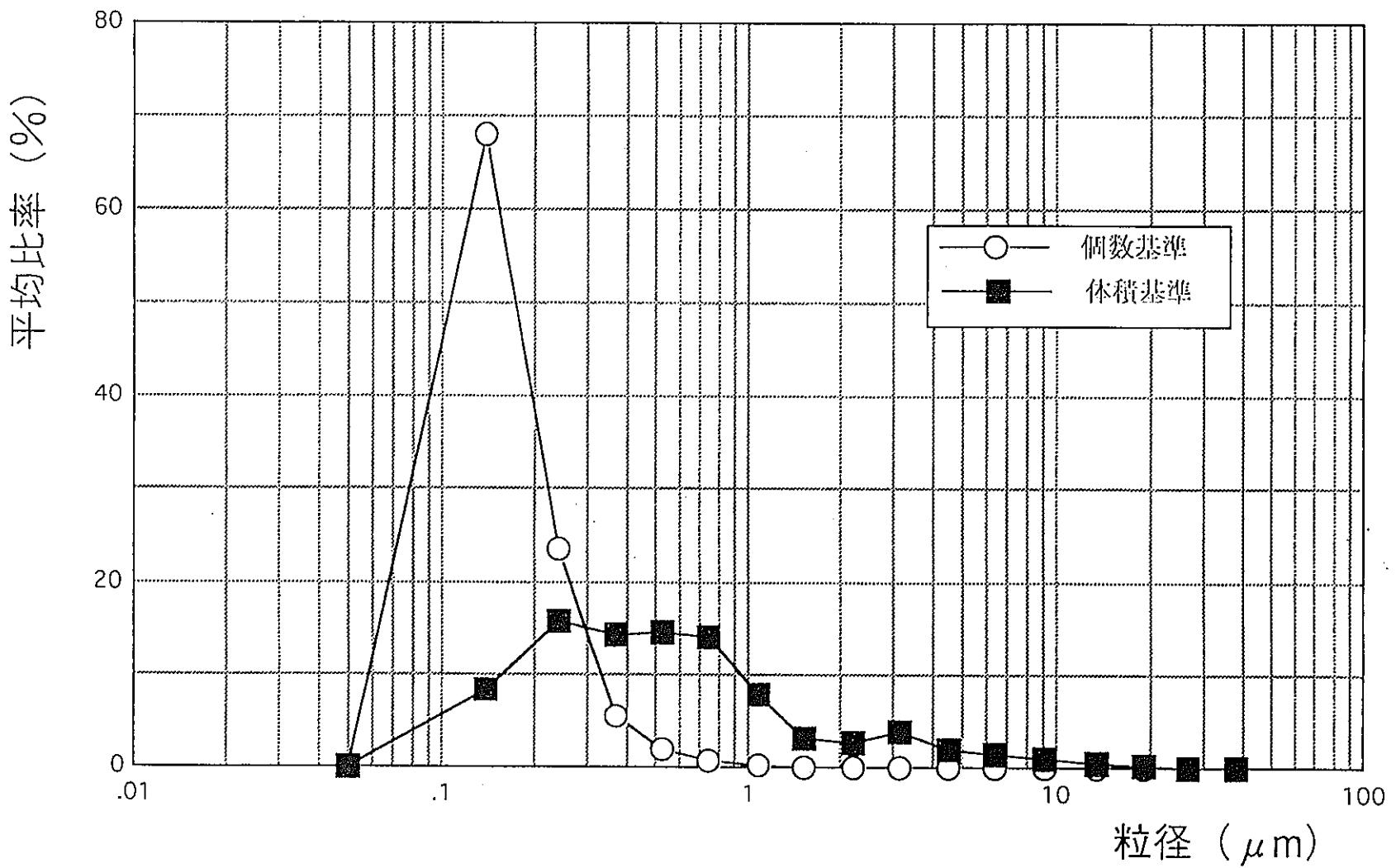


図22 PU02-3001の粒度分布図

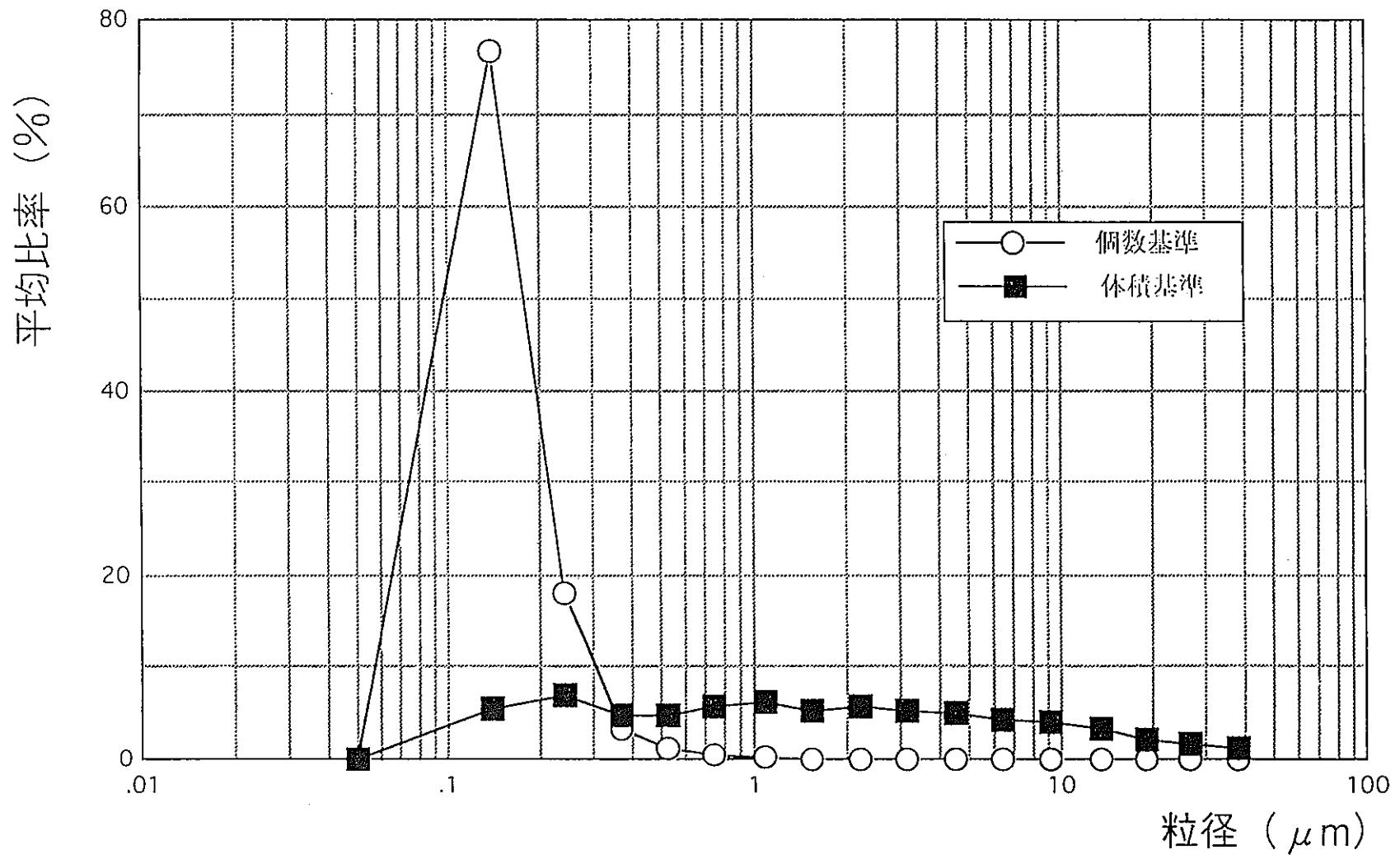


図23 PU02-3011の粒度分布図

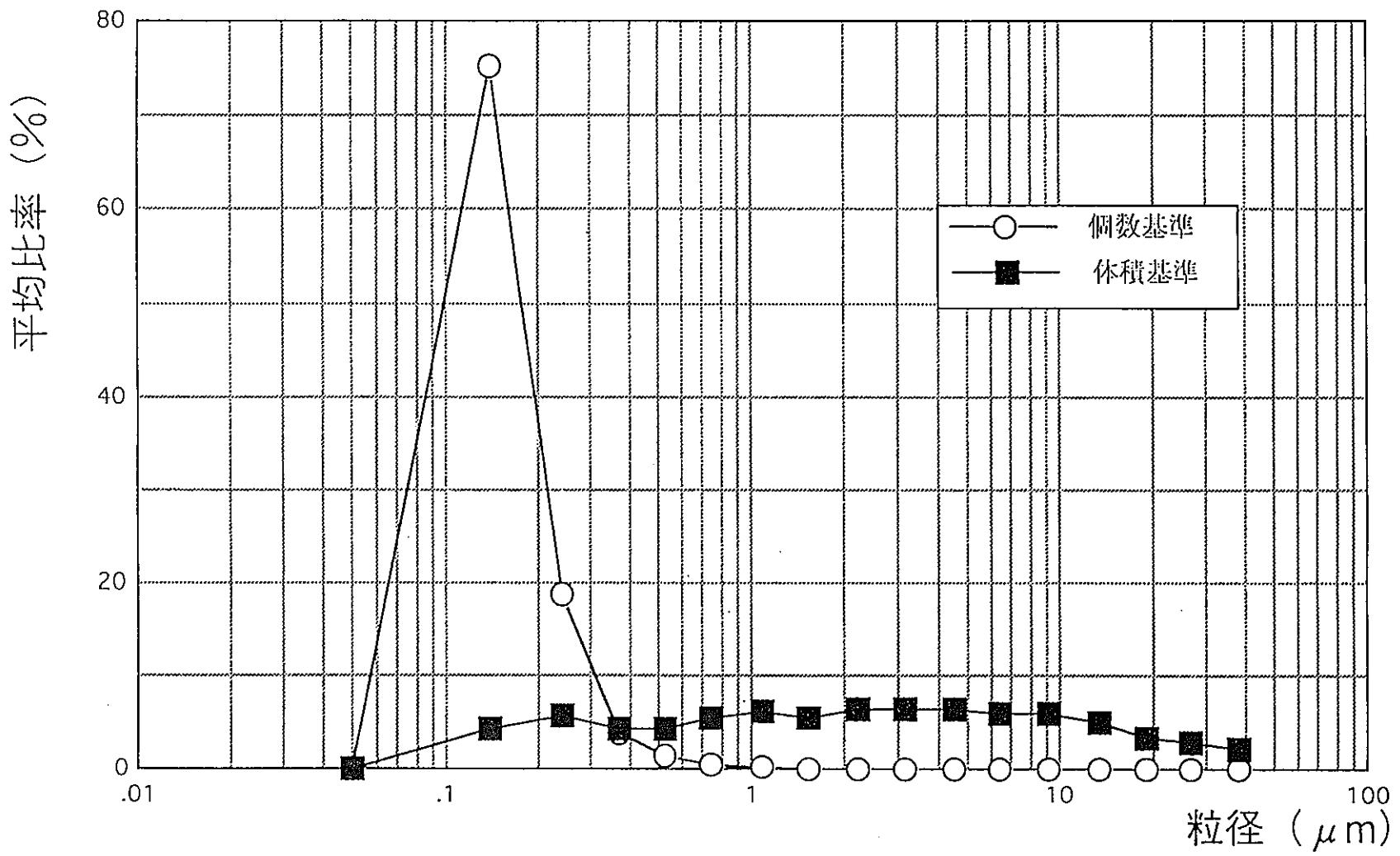


図24 PU02-3014の粒度分布図

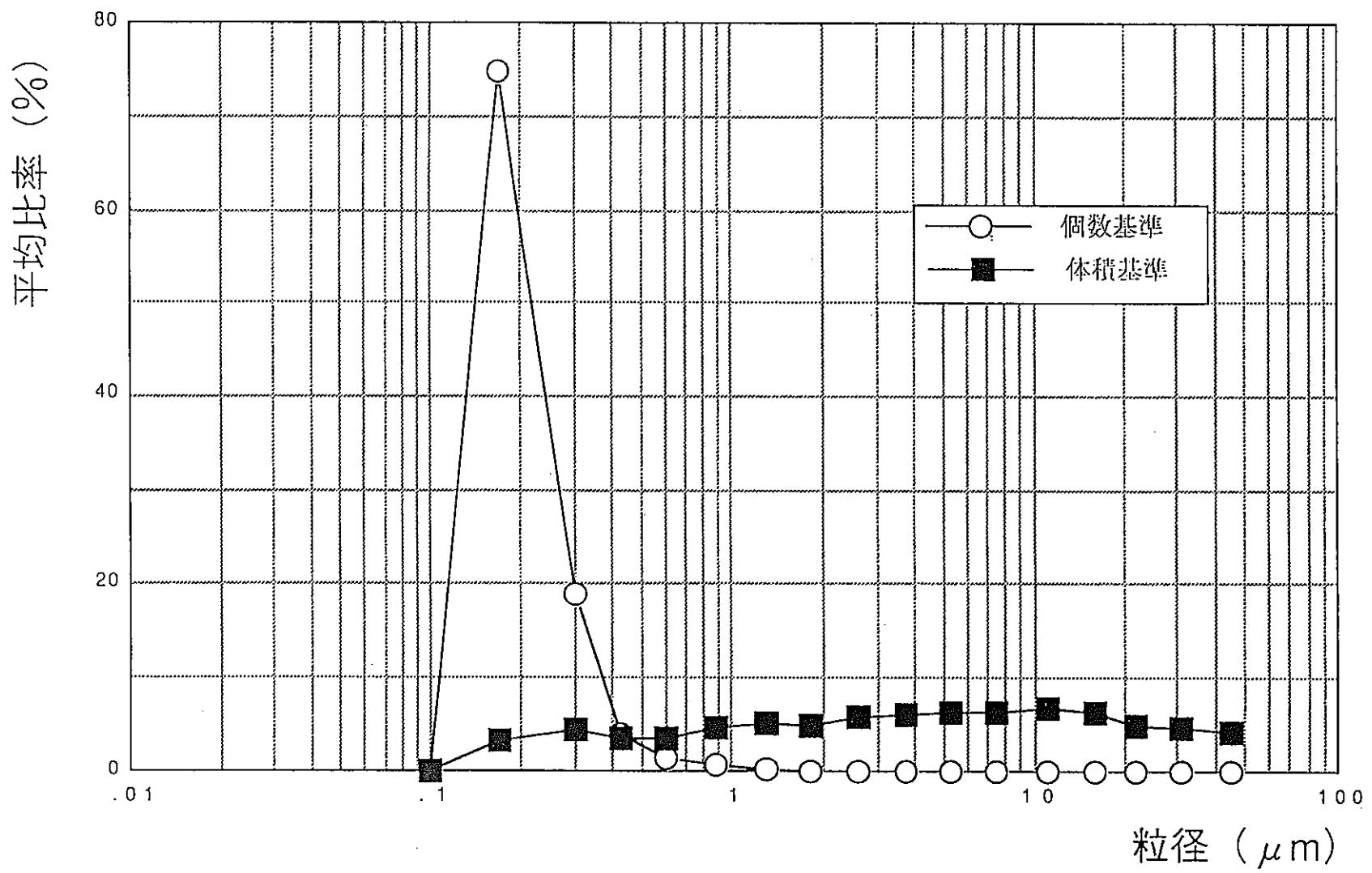


図25 COGEMAの粒度分布図

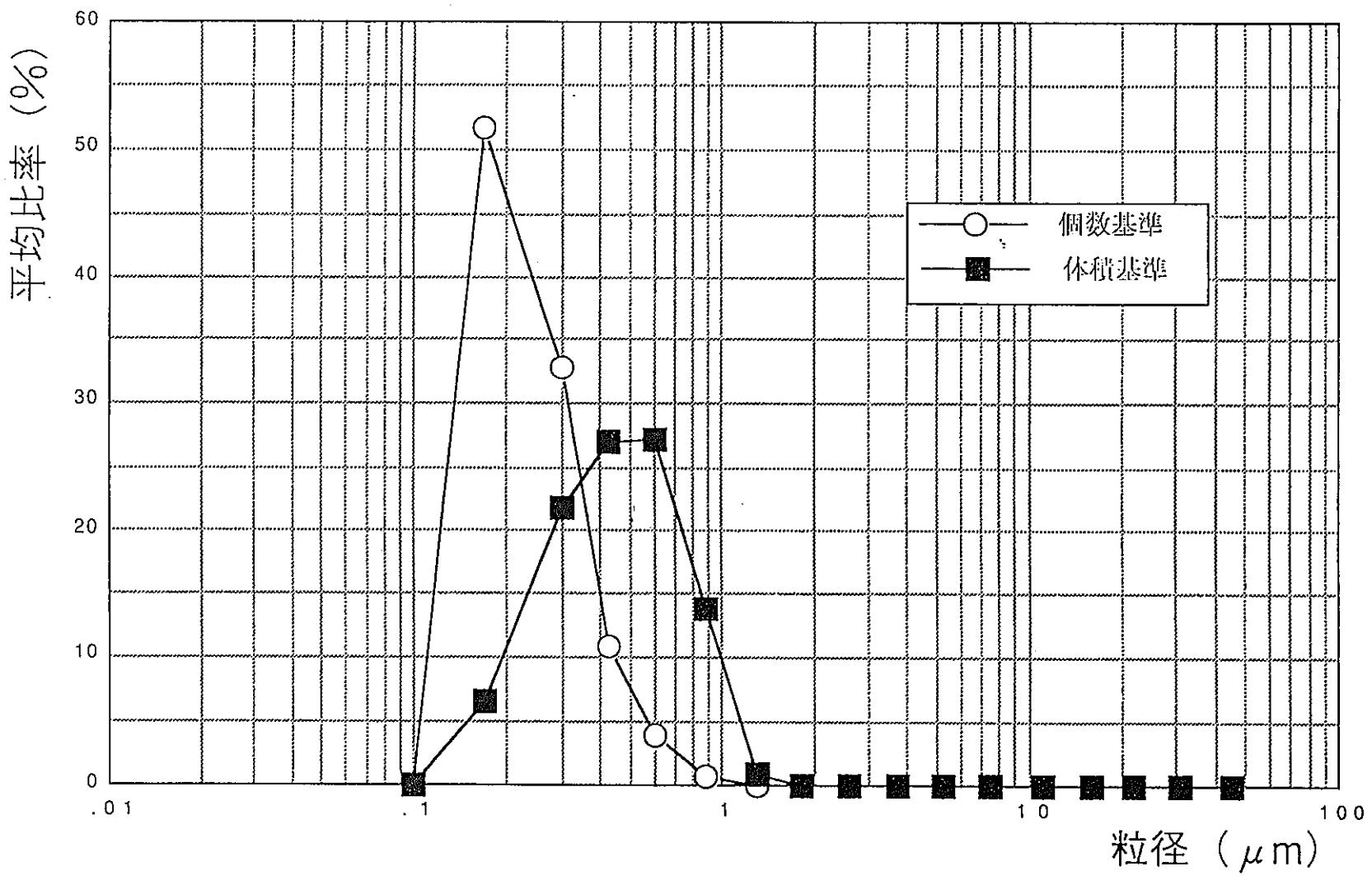


図26 BNFLの粒度分布図

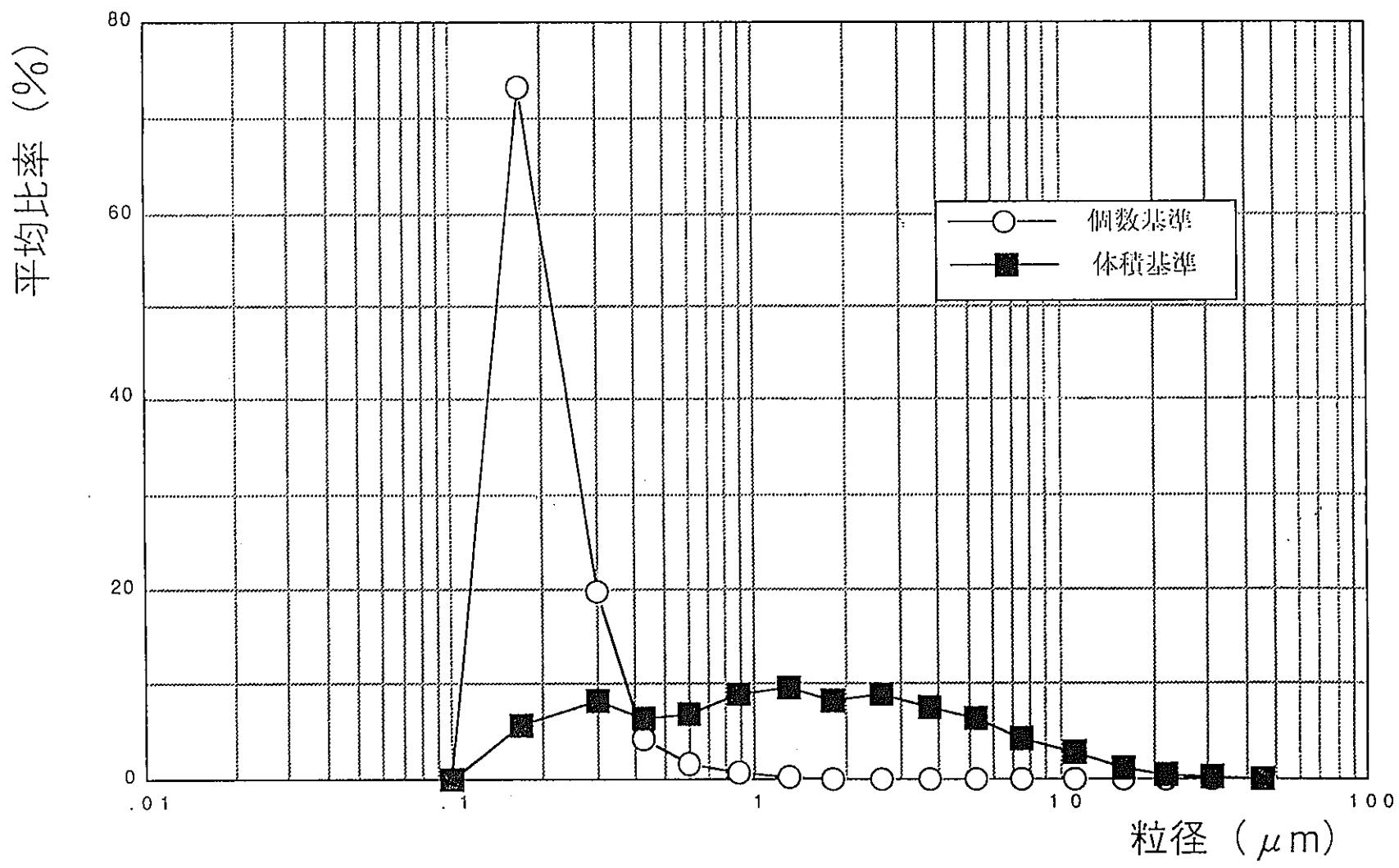


図27 1:1MOXの粒度分布図

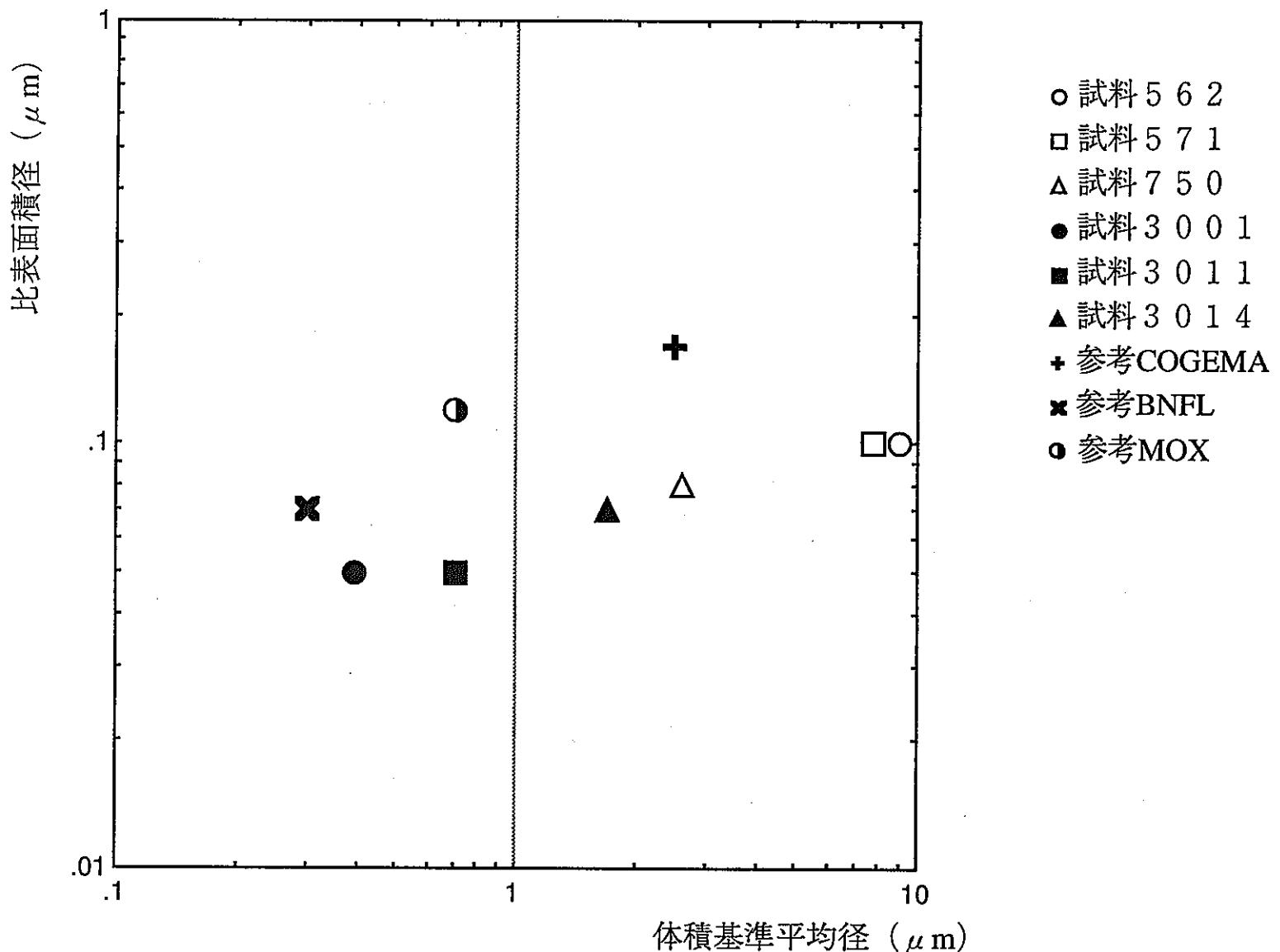


図 28 比表面積径と体積基準平均径の関係

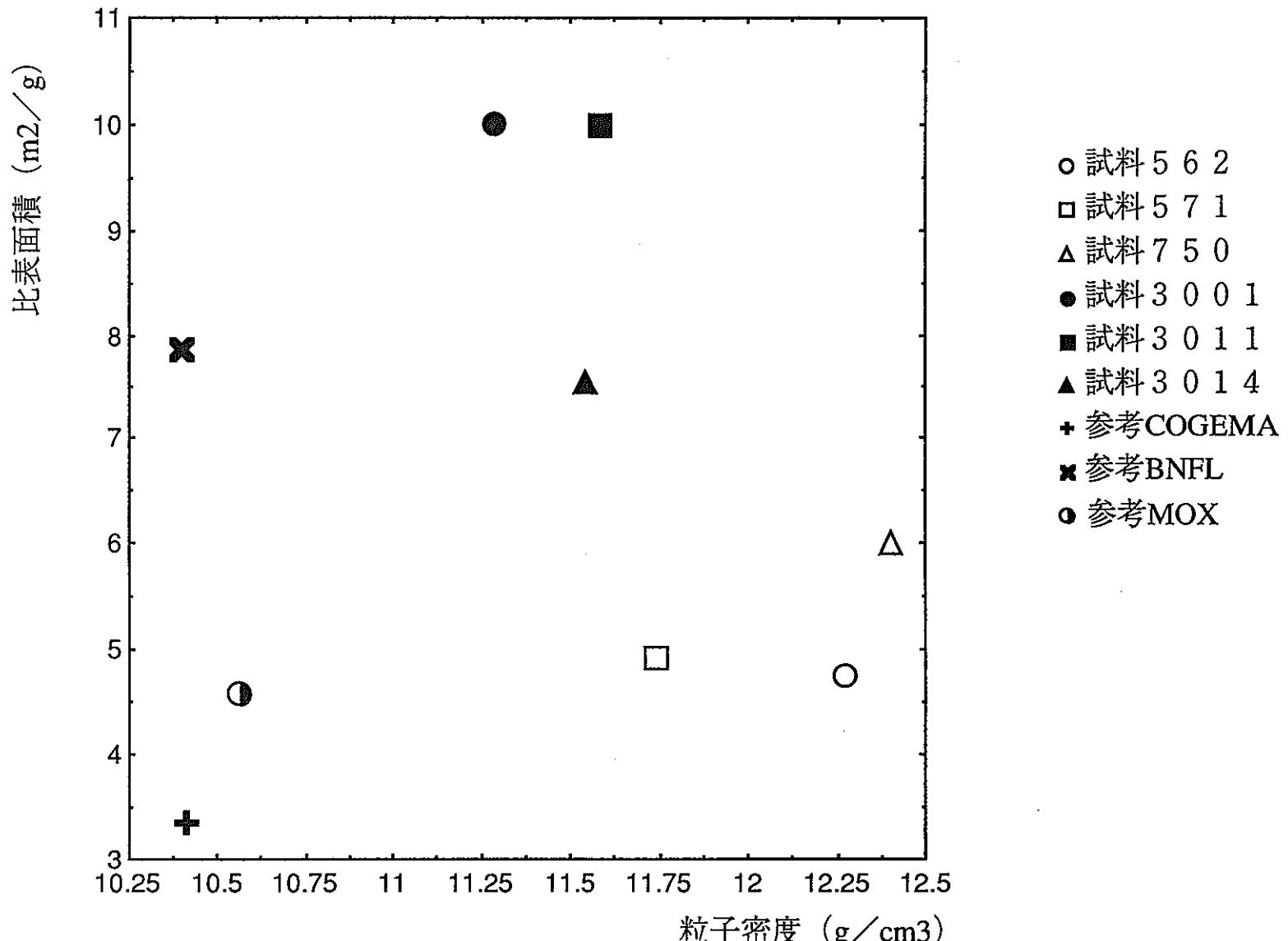


図 29 粒子密度と比表面積の関係

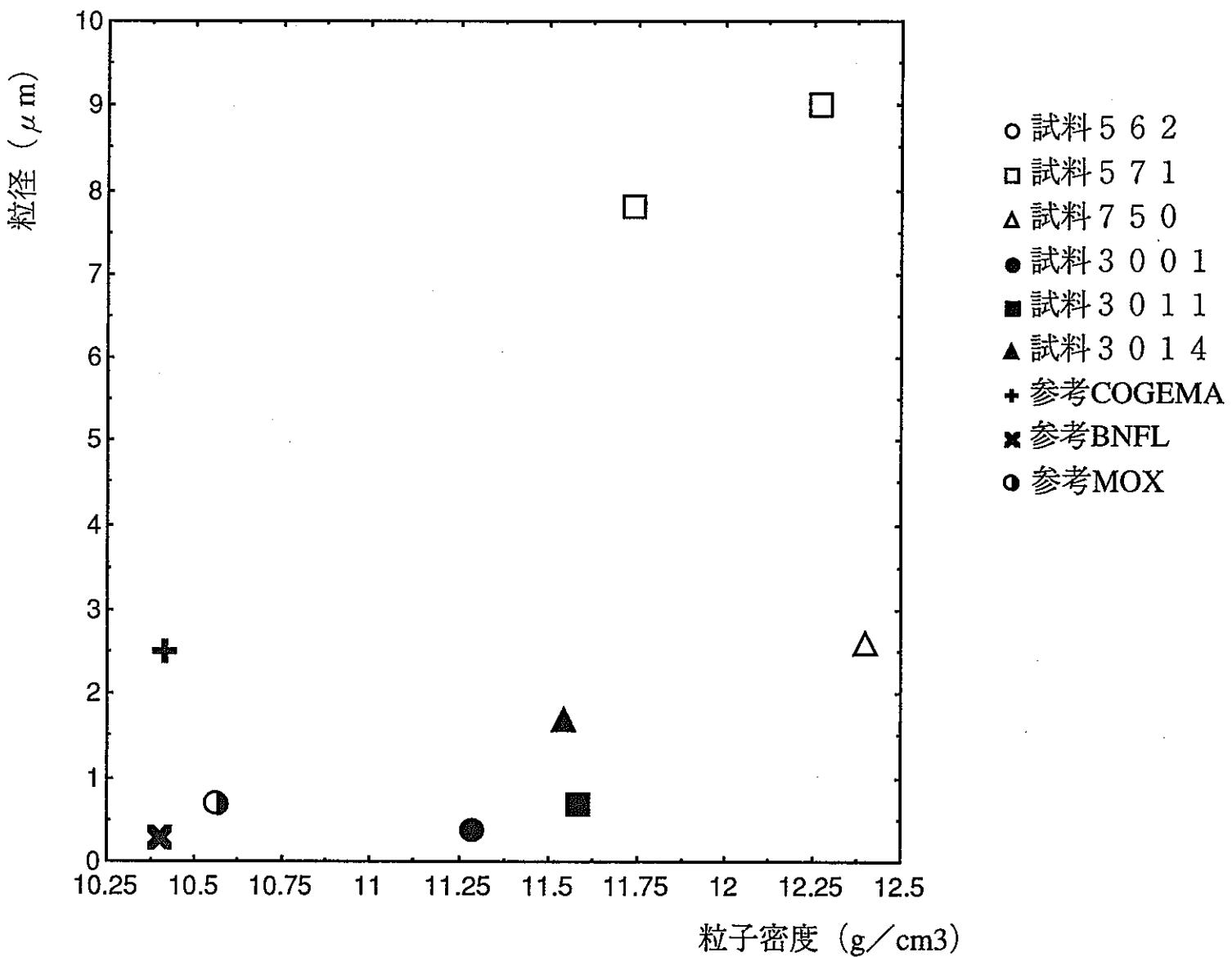


図 30 粒子密度と粒径の関係

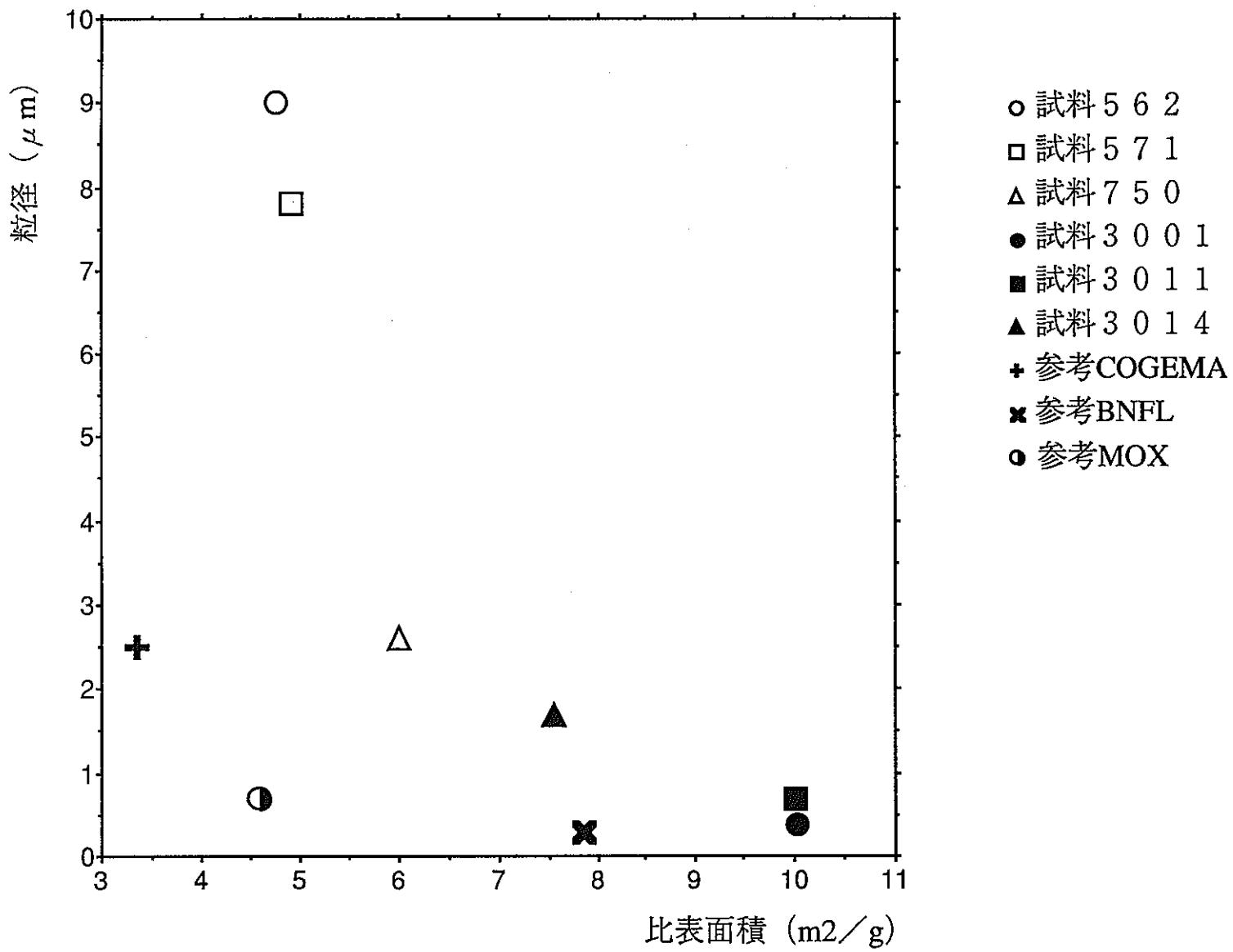


図 3 1 比表面積と粒径の関係

## 別添1 平均値の差の検定

## (1) 粒子密度の検定

A : 12.27, 11.74, 12.40

B : 11.28, 11.58, 11.54

(I) 両者の間に差があるかどうか、検定する。

1. 仮説をたてる。

$$H_0: \mu_A = \mu_B \quad , \quad H_1: \mu_A \neq \mu_B$$

2. 危険率  $\alpha$  を0.05とする。

3. 分散の違いの検定を行う。

$$V_A = 0.12225 \quad V_B = 0.02655$$

$$F_0 = \frac{V_A}{V_B} = 4.60 < F(2, 2; 0.025) = 19.0$$

したがって、両者の分散に差があるとはいえない。

4.  $t_0 = 3.02$

5.  $|t_0| = 3.02 \geq t(4, 0.05) = 2.776$

よって、危険率5%で  $H_0$  を捨てる。したがって、両者には差がある。

## (2) 比表面積の検定

A : 4.75, 4.92, 6.00

B : 10.01, 10.00, 7.56

(I) 両者の間に差があるかどうか、検定する。

1. 仮説をたてる。

$$H_0: \mu_A = \mu_B \quad , \quad H_1: \mu_A \neq \mu_B$$

2. 危険率  $\alpha$  を0.05とする。

3. 分散の違いの検定を行う。

$$V_A = 0.45965 \quad V_B = 1.9927$$

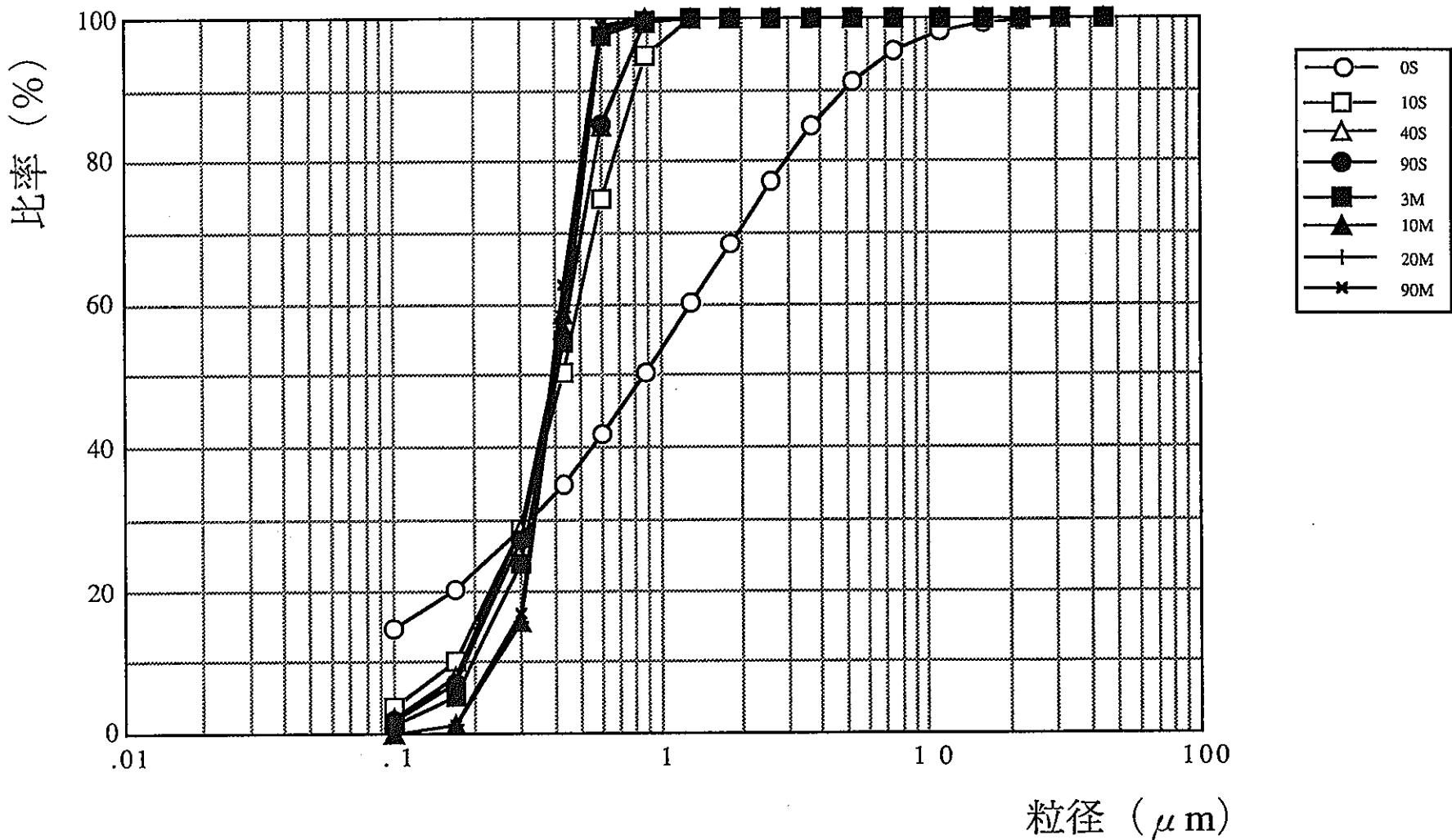
$$F_0 = \frac{V_B}{V_A} = 4.34 < F(2, 2; 0.025) = 19.0$$

したがって、両者の分散に差があるとはいえない。

4.  $t_0 = 4.38$

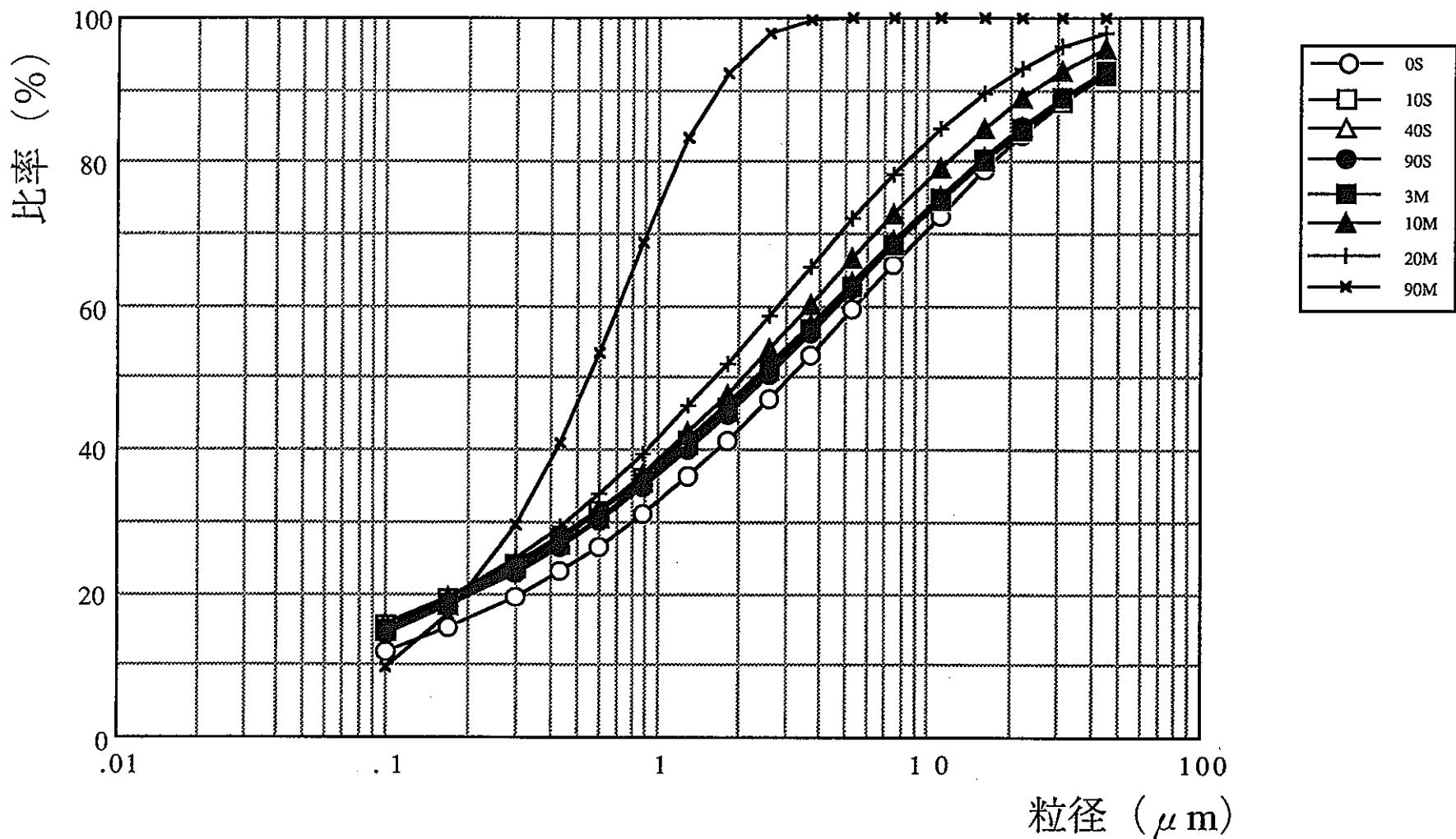
5.  $|t_0| = 4.38 \geq t(4, 0.05) = 2.776$

よって、危険率5%で  $H_0$  を捨てる。したがって、両者には差がある。



別添 2

1 : 1 MOXの粒径と照射時間の関係



別添 3

COGEMAの粒径と照射時間の関係