

本資料は 2001年6月 日付で登録区分、
変更する。

[技術情報室]

(U,Pu)O₂燃料の炉外焼きしまりと組織変化

Densification and Structure Change of (U,Pu) O₂
Fuel by Resintering Experiments at 1700°C

1982年2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

旨だけに配布す
い。なお、この

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

配 布 限 定

N 841-8-2-14

1 9 8 2 年 2 月

録区分

6
示

(U, Pu)O₂燃料の炉外焼きしまりと組織変化

Densification and Structure Change of (U, Pu)O₂
Fuel by Resintering Experiments at 1700°C

報 告 者 : 八登 唯夫* 山口 俊弘**

長井修一朗** 金子 洋光**

要 目

混合酸化物燃料の1700°Cにおける再焼結試験を行い、PuO₂富化度、初期密度、製造条件等が異なる7種類のペレットの密度変化と金相組織とを対比させ、炉外焼きしまりについて評価し以下の結論が得られた。

1. 生原料粉を主原料として製造したペレットは焼きしまり量が小さい(0.5~0.6%)
2. 乾式回収粉を主原料として製造したペレットは焼きしまり量が大きい(4~5%)
3. 低密度ペレットでかつ焼きしまりを起らせないためには、ポアフォーマーの添加は有効である。
4. 製造時に多量の不純物ガスを内部に取りこんだペレットではむしろ焼きぶくれが生ずる。

* 現三菱金属中央研究所

** プルトニウム燃料部 開発課

目 次

1. 序 論	1
2. 実験方法	2
2.1 試料作成	2
2.2 再焼結試験	2
2.3 ペレット特性評価	2
2.3.1 密度測定	2
2.3.2 金相組織観察	2
3. 結 果	3
3.1 密度変化	3
3.2 金相組織変化	3
4. 考 察	5
4.1 焼きしまりの機構	5
4.2 焼きしまりと気孔特性の関係	5
4.3 焼きしまりと結晶粒径の関係	6
4.4 焼きしまりの制御	6
5. 結 論	8

1. 序　　論

酸化物燃料ペレットの照射下での焼きしまり (Densification) は 1972 年に米国の Ginna 炉をはじめ幾つかの炉で被覆管のコラプスが発見されて以来各方面に大きな関心を集め、特に、軽水炉燃料については数多くの研究が行われて来た。〔1, 2, 3, 4, 5〕 その結果、加圧燃料棒高密度燃料の採用により焼きしまりの問題は実用的には一度解決したとされている。その機構については、幾つかのモデル〔4〕が提案されてはいるものの、いずれのモデルもまだ改良の余地を残しているものと考えられる。

(U, Pu)O₂混合酸化物燃料の焼きしまりは基本的には UO₂ 燃料と同様に取扱う事が出来ると考えられるが、(U, Pu)O₂ 燃料に関する報告は少なく、特に、低密度ペレットを用いる高速炉燃料に関しては皆無に等しい。動燃では、現在、高速炉タイプの燃料を含む幾つかの (U, Pu)O₂ 燃料の照射下での焼きしまりを評価するための照射試験を進めており、その結果についてはいずれ報告を行う予定である。

照射下での焼きしまりは、炉外再焼結試験により予測できると考えられる。旧 USAEC の見解〔1〕では炉内の最大焼きしまり量は、炉外で 1700°C, 24 h の再焼結を行った際の焼きしまり量と同程度かそれ以下である。

EEI/EPRI の焼きしまり研究でもこの見解は支持されている。従って、本研究では混合酸化物燃料における 1700°C, 24 h 再焼結による焼きしまりについて評価を行った。本報告では PuO₂ 富化度、初期密度、製造条件等が異なる 7 種類のペレットの再焼結による密度変化と金相組織とを対比させ、炉外焼きしまりについて考察した。

2. 実験方法

2.1 試料作成

本実験に用いた試料は PuO_2 富化度が 1 ~ 30 wt % の 7 種類の $(\text{U}, \text{Pu}) \text{O}_2$ 燃料ペレットであり、製造条件は表 1 に示す。

原料粉末の履歴は全て異なり、成型前の有機物添加剤も異なる。2 ~ 3 t/cm²で加圧成型した。グリーンペレットは、まず 800 °C で約 2 時間予備焼結することにより有機物添加剤の放出を行い、その後、1600 ~ 1730 °C で 2 ~ 8 時間の焼結を行った。

雰囲気は $\text{N}_2 - 5\% \text{H}_2$ ガスである。

製造時ペレットの密度、径、高さ、結晶の粒径を表 2 に示す。タイプ A, B, C, D は 93 ~ 96 % TD の高密度ペレットであり、タイプ E, F は 83 ~ 86 % TD の低密度ペレットである。タイプ G にはポアフォーマー添加量を変化させることにより密度が 85 ~ 96 % TD と異なる 4 種類のタイプのペレットを含む。

2.2 再焼結試験

各試料は $\text{N}_2 - 5\% \text{H}_2$ 気流中で 1700 °C での再焼結を 6 時間毎 4 回繰り返し、合計 24 時間の再焼結を行った。

2.3 ペレット特性評価

2.3.1 密度測定

全てのペレットは 6 時間の再焼結毎に密度を測定して、各タイプについての平均で求めた。

密度は、寸法重量法で決定し、その際、かけの影響を除くために重量は全てのペレットについて製造時の重量を用いた。また、直徑は高さ方向 3 ケ所の平均値を用いた。

各タイプについての測定値の誤差は最大 ± 1.28 % TD (2 σ) であった。

2.3.2 微細組織観察

6 時間の再焼結毎に各タイプについてペレットを任意に選び、金相写真より気孔特性と結晶粒径等の組織変化の観察を行った。特に、気孔特性の定量的評価のために気孔径分布の測定を行った。その方法は光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡により 10 ~ 5000 倍の金相断面写真を撮り、これを画像解析装置を用いることにより二次元分布を求め、さらに、計算コード POREDIS-1.2^[6] により三次元空間分布に変換した。また、金相断面をエッチングした 250 ~ 500 倍の金相写真からはインターチェプト法により結晶粒径を求めた。

3. 結 果

3.1 密度変化

再焼結中の密度変化を図1から図4に示す。また表3には1700°C、24時間再焼結後の密度変化と寸法変化を示す。密度の変化量を基準にとれば、タイプAからGは3グループに分類できる。第1グループは密度増加が約1%TD以下と比較的焼きしまりが小さいグループでタイプA, B, C, D, Eがこれに含まれる。第2グループは密度増加が4~5%TDと焼きしまりの大きなグループでタイプFがこれに相当する。第3は体積膨張により密度が減少しているグループでタイプGの4つのタイプがこれに含まれる。

第1グループの中では、タイプAの焼きしまりが他に比べて大きい。第2グループでは、初期密度の小さいタイプF₂の方がF₁より焼きしまりが大きい。第3グループにおいては、初期密度の高い順に体積膨張は大きく、特に、ポアフォーマー無添加のタイプG₁は他の3つのタイプに比べ膨張が著しい。

3.2 金相組織変化

写真1から8にはタイプA, B, C, D, E, F₂, G₁, G₄の再焼結前後の金相写真を示す。さらに、タイプA, B, C, Dについては気孔径分布の変化を図5から図8に示す。タイプE, F, Gについては金相断面に気孔以外のかけ落ち及び、マイクロクラックが存在するために気孔径分布の測定が不可能であった。結晶粒径の変化を表4に示す。

タイプAからGの金相組織は1700°C、24時間の再焼結により次の様な変化を示した。

〔タイプA〕

製造時ペレットの結晶粒内に存在した多数の1μm前後の気孔は再焼結によりかなりの部分が消滅し、逆に、粒界で10μm前後の気孔がわずかに生成した。また、ポアフォーマーにより生じた約100μmの気孔もわずかに成長した。結晶粒径は再焼結により3倍に増加した。

〔タイプB〕

再焼結による金相組織の変化は非常にわずかであった。粒内の微小な気孔はわずかに消滅が見られ、粒界の比較的大きい気孔に変化はない。粒成長はほとんど見られない。

〔タイプC〕

粒内と粒界に10μm以下の気孔が分布している。粒内気孔はタイプA, B, Cに比べて大きいが、再焼結によりわずかに消滅している。粒径の変化はほとんど観察されない。

〔タイプE〕

金相断面にはくずれ落ちと思われる領域が見られる。粒内および粒界の気孔に顕著な変化は観察されない。結晶粒径は約2倍に増加している。

再焼結後ペレットにはわずかなマイクロクラックの発生が見られる。

[タイプ F]

製造時ペレットには結晶粒界の会合点に空隙と $10 \mu\text{m}$ 前後の球状気孔が存在する。これらは再焼結によりほとんど消滅している。粒内に気孔は見られない。ポアフォーマーにより生じた粗大な気孔には変化が観察されない。粒径変化はほとんど見られない。

[タイプ G]

金相断面上にはタイプ E と同様のくずれ落ちと思われる領域が見られる。気孔は粒界と共に粒内にも存在する。再焼結後ペレットには製造時に見られなかった。 $10 \mu\text{m}$ 前後の気孔が存在する。そして、この気孔に沿って多数のマイクロクラックが見られる。再焼結による気孔の生成とマイクロクラックの発生は低密度タイプ G₄ より高密度タイプ G₁ の方が顕著である。粒径の変化はタイプ G のいずれも同じで約 3 倍に増加している。

以上の結果より、タイプ A から G は焼きしまりと密接な関係にある気孔特性の変化の観点から表 5 に示すように 3 つのグループに分類できる。タイプ A, B, C, D では粒内の $1 \mu\text{m}$ 前後の微小な気孔は除々に消滅に向かうが、粒界気孔は安定である。これに対し、タイプ F では $10 \mu\text{m}$ 前後の粒界気孔が急速に消滅している。また、粒内気孔は最初から存在しない。ポアフォーマーにより生じた気孔は上記のいずれのタイプでも安定である。タイプ E と G ではマイクロクラックの発生が観察される。また、タイプ G では $10 \mu\text{m}$ 前後の気孔の生成が顕著である。

4. 考 察

4.1 焼きしまりの機構

焼きしまりとは広義には粉末の焼結過程において焼結体が収縮してゆく現象であるが、ここで問題としているのは焼結がかなり進行したペレットをさらに再焼結した場合の焼きしまりである。

一般に、粉末の焼結過程は3段階に分けることができる。それらは2粒子間の首部の面積が肥大する初期段階、粒子間を連結した気孔が収縮し、同時に結晶成長が始まる中間段階、そして、孤立した気孔の収縮が起こる末期段階である。一般的な製造工程で作られたペレットは焼結の末期段階にあり、ペレット内部には孤立した気孔が存在する。従ってペレットの再焼結における焼きしまりはそのような気孔の収縮、消滅による起こる。

気孔収縮の機構は気孔表面に存在する空孔の系外の拡散、すなわち、気孔内部への物質移動である。一般に、負の曲率半径をもつ気孔表面には平面部に比べて過剰な空孔濃度は大きい。従って、気孔とまわりの結晶粒界の間には空孔濃度差が生じ、空孔は気孔から粒界に拡散する。粒界は空孔のシンクとして働くので全体として系は収縮する。気孔収縮の速度は気孔の大きさ、位置、空孔拡散係数などに依存する。一般的には気孔は小さい方が、そして、粒界に近い方が収縮速度は大きい。気孔内部にガスが存在する場合には空孔の拡散以外にガスの拡散も焼きしまりに影響を及ぼす。

結晶成長は粒界の両率の空孔濃度差により正から負の曲率半径の側に物質が移動し、その結果、粒界が逆方向に移動する現象であり、焼きしまりとは別個の過程である。しかし、気孔の収縮より結晶成長が十分速い場合に粒内気孔が生じることや、粒界に大きな気孔が存在する場合には結晶成長が抑制されることなどから気孔特性と結晶成長は密接な関係にあると考えられる。

4.2 焼きしまりと気孔の特性

焼きしまりの小さいタイプA、B、C、Dでは $1\text{ }\mu\text{m}$ 前後の微小な粒内気孔は除々に消滅し、また、粒界気孔は安定であった。一方、焼きしまりの大きなタイプFでは $10\text{ }\mu\text{m}$ 前後の粒界気孔は不安定であり急速に消滅した。両者の気孔に見られた安定性の相違は空孔のシンクとなる粒界の巾と気孔内ガス量の違いが原因となって生じたと考えられる。粒界の巾はタイプA、B、C、Dでは焼結が比較的十分進んでいたために狭く、一方、タイプFでは焼結が不十分なために広かったと考えられる。粒界巾が小さい場合には空孔が粒界で消滅する割合は小さく、気孔は安定に存在しうる。

次に、 N_2 等のガスは前者の気孔に多量に含まれ、後者で少なかったと考えられる。なぜならば、粒内気孔は粒界の移動速度が大きい場合に生じるので、粒界に沿ってガスが系外に逃げる割合は小さく、ガスは気孔内にトラップされ易い。一方、気孔が焼結過程でずっと粒界に存在する場合には焼結があまり進行していない段階でガスは系外に放出される。そして、気孔内部の N_2 等のガスは粒内拡散が遅いために気孔を安定化する作用があるので、タイプA、B、C、Dでは気孔が安定であったと考えられる。

タイプEとGについては全体の密度変化をボアの収縮、消滅による密度増加とマイクロクラック発生による密度減少の和として考える必要がある。タイプEでは金相組織観察からは気孔消滅が顕著ではない。しかし、マイクロクラックがわずかに発生しているにもかかわらず密度は増加していることから判断して、マイクロクラック発生による密度減少を上まわる量の気孔消滅が起っていたと推定できる。タイプGではマイクロクラックの発生が著しい結果密度は減少したと考えられる。また、タイプGの再焼結後ペレットには $10\text{ }\mu\text{m}$ 前後の気孔が見られた。この気孔は微小な気孔の中で比較的大きな核となる気孔が近くの気孔を吸収して成長する結果生成したと考えられる。高密度タイプG₁に比べて低密度タイプG₄でそのような気孔の生成が少なかったのは、ボアフォーマーによって生じた開気孔に微小な気孔が吸収されたためであろう。次に、マイクロクラック発生の原因について考えてみる。マイクロクラックの発生はタイプG₁で特に大きく、 $10\text{ }\mu\text{m}$ 前後の気孔の生成の大きさと対応していることから、両者は密接な関係にあると考えられる。そこで、マイクロクラック発生の機構として図9に示すような比較的多量のガスを含む気孔どうしの結合を考えることができる。簡単のために、2つの等大球の気孔が結合する場合を考える。

状態1では気孔表面には気孔半径に対応する内側への表面応力と外側へのガス圧に平衡が保たれている。しかし、2つの気孔が結合した状態2では表面応力が小さくなるために平衡がくずれ、気孔をおしあげよう力が働く。そして、さらに幾つかの気孔が結合してこの力がペレットの破断応力を上まわる状態になれば気孔内面からクラックが発生する。タイプGでは実際に再焼結により生成した気孔に沿ってマイクロクラックが見られている。

4.3 焼きしまりと結晶粒径の関係

気孔の収縮速度は気孔と粒界の間の距離が大きい程小さいので、初期結晶粒径が大きい程ペレットの焼きしまりは小さくなると考えられる。しかし粒内気孔の消滅により焼きしまりが起ったと考えられるタイプA, B, C, Dについて焼きしまり量と初期粒径を比較すると、必ずしも明確な関係は見られない。例えば、焼きしまりが非常に小さいタイプBでは初期粒径が $9\text{ }\mu\text{m}$ であるのに対し、タイプBより焼きしまりの大きいタイプDでは $23\text{ }\mu\text{m}$ である。この結果は気孔内ガスのような他の因子により初期粒径の効果が消されたためと考えられる。

再焼結による粒径の変化と焼きしまりを比較した場合、両者は気孔の特性を介して密接な関係にあることがわかる。タイプA, B, C, Dでは粒内気孔の消滅による焼きしまりと結晶成長がほぼ対応して起っているのに対し、タイプFでは粒界気孔が消滅する間結晶成長はほとんど見られない。

4.4 焼きしまりの制御

焼きしまりに対して安定なタイプA, B, C, Dと不安定なタイプFの製造条件を比較すると、最も顕著な相違は原料粉であることがわかる。すなわち、タイプFでは100%乾式回収粉を原料粉として用いたために、製造工程はほぼ同じでも焼結の進行が遅く不安定なペレットになったと考え

られる。次にタイプA, B, C, Dについて見ると焼結条件がペレットの安定性に重要な因子であることがわかる。タイプAが4つのタイプの中で比較的不安定であったのは焼結温度が1650 ℃と低かったためであろう。また、タイプBは焼結時間が8時間と非常に長かったために最も安定になったと考えられる。

添加剤として原料粉に加えるポアフォーマーは低密度ペレットの製造において特に重要である。ポアフォーマーにより生じた大きな気孔は本実験結果からは焼きしまりに寄与しないと考えられる。

5. 結 論

1. 燃料ペレットの焼きしまりは、ポアの収縮、消滅により起こることが混合酸化物ペレットにおいても起ることが確認される。
2. 従って、ペレット中のポアの特性に最も大きな影響を与える、原料粉の性状、および焼結条件が焼きしまり量を決定する。

すなわち

 - 生原料粉もしくはそれを多く含んでいる原料粉より製造したペレットは焼結が早く進行するため、再焼結実験による焼きしまり量は小さい（0.5～0.6%）
 - 回収粉を原料として製造したペレットは、原料粉の活性度が低いため、焼結の進行が遅いので再焼結による焼きしまり量は比較的大きくなる（4～5%）
3. ポアフォーマーを添加することにより生じた大きなポアは焼きしまりを起きない。
4. 製造時に多量の不純物ガスを内部に取りこんだペレットではむしろ焼きぶくれが生ずる。

表1 (U, Pu) O₂試料の製造条件

タイプ	PuO ₂ 濃度	原 料 粉	混 合	ボアフォーマー	バインダー	成 型 圧	焼結条件	備 考
A	1 wt%	UO ₃ 15%回収*	マスター混合 BM [†] 3 h, 6 h 本混合 BM 4 h, 6 h	ステロテックス 0.3 wt%	/	3 t/cm ²	1650 °C 2 h	ふげん試作品 ロットNo.5301-02, 03
B	4	生**	?	/	ノニオン 2 wt%	2	1700 °C 8 h	美浜製品 (JRR-2 照射)
C	6	生	?	ポリエチレン 0.2. wt%	ノニオン 2 wt%	2	1700 °C 2 h	EPR1製品 (JRR-2) ロットNo.EP-30
D	17.7	(U, Pu) O ₂ 40%回収	BM 6 h	/	ステアリン酸 0.2 wt% ノニオン 1.5 wt%	3	1730 °C 3 h	常陽残材 ロットNo.FR-233
E	30	生	SV ⁺⁺ 2 h BM 6 h	ポリエチレン 1.3. wt%	ノニオン 2 wt%	2	1600 °C 2 h	GETR 試作品 No.GT-10-41, 42
F ₁ F ₂	30	(U, Pu) O ₂ 100%回収	SV 30分 BM 6 h	ポリエチレン F ₁ : 0.45 wt% (100 μm) F ₂ : 0.65 wt% (15 μm)	ノニオン 2 wt%	3	1700 °C 2 h	JMTR照射 試作品: GT-51 製品: GT-61
G ₁ G ₂ G ₃ G ₄	30	生	SV 2 h BM 4 h	ポリエチレン G ₁ : 0 wt% G ₂ : 0.8 G ₃ : 1.2 G ₄ : 1.5	ノニオン 2 wt%	3	1650 °C 2 h	Rap-6, 7 試作品 PN-01-01, 02, 03, 04

*回収: 成型
ペレット

より焙焼

還元で得

た乾式回

収紛

**生: 湿式
沈殿工程
より得た

紛

+ BM: ボー
ルミル++ SV: Sブ
レンダー

表2 製造時ペレットの特性

タイプ	密 度 (%T. D)	直 径 (mm)	高 さ (mm)	結晶粒径 (μm)
A	94.34	14.416	18.048	5
B	95.56	9.279	12.521	9
C	95.24	9.268	9.115	13
D	92.80	5.371	9.974	23
E	82.68	5.659	9.765	7
F ₁	85.57	5.414	9.812	—
F ₂	82.80	5.488	9.853	12
G ₁	95.63	5.242	9.720	7
G ₂	90.69	5.295	10.123	7
G ₃	87.80	5.295	9.998	—
G ₄	85.38	5.300	10.906	7

表3 1700°C, 24 h 再焼結による密度・寸法の変化

タイプ	密度増加 (%TD)	径減少 (mm)	径減少率 (%)	高さ減少 (mm)	高さ減少率 (%)
A	1.11	0.076	0.53	0.096	0.53
B	0.15	0.001	0.01	0.017	0.14
C	0.48	0.009	0.10	0.028	0.31
D	0.62	0.014	0.25	0.025	0.25
E	0.54	0.007	0.12	0.062	0.64
F ₁	4.16	0.072	1.32	0.202	2.06
F ₂	4.80	0.093	1.69	0.212	2.15
G ₁	-4.76	-0.081	-1.54	-0.185	-1.87
G ₂	-1.08	-0.016	-0.31	-0.058	-0.58
G ₃	-0.77	-0.007	-0.14	-0.062	-0.61
G ₄	-0.59	-0.014	-0.26	-0.022	-0.20

表4 再焼結中の結晶粒径変化

タイプ	平均結晶粒径 G (μm)					G_{24}/G_0
	0 h	6 h	12 h	18 h	24 h	
A	5	9	11	13	15	3
B	9	—	—	—	11	1.2
C	13	—	—	—	18	1.4
D	23	24	26	26	28	1.2
E	7	9	11	12	13	1.9
F ₂	12	—	—	—	16	1.3
G ₁	7	—	13	—	20	2.9
G ₂	7	—	—	—	20	2.9
G ₄	7	—	13	—	20	2.9

表5 再焼結による気孔特性変化

グループ	気孔特性変化
A, B, C, D	粒内微小 ($\sim 1 \mu\text{m}$) 気孔は除々に消滅 粒界気孔は安定 ポア・フォーアーによる気孔は安定
F	粒界気孔 ($\sim 10 \mu\text{m}$) は急速に消滅 粒内気孔は存在しない ポア・フォーアーによる気孔は安定
E, G	マイクロクラックの発生 Gでは $\sim 10 \mu\text{m}$ 気孔が生成

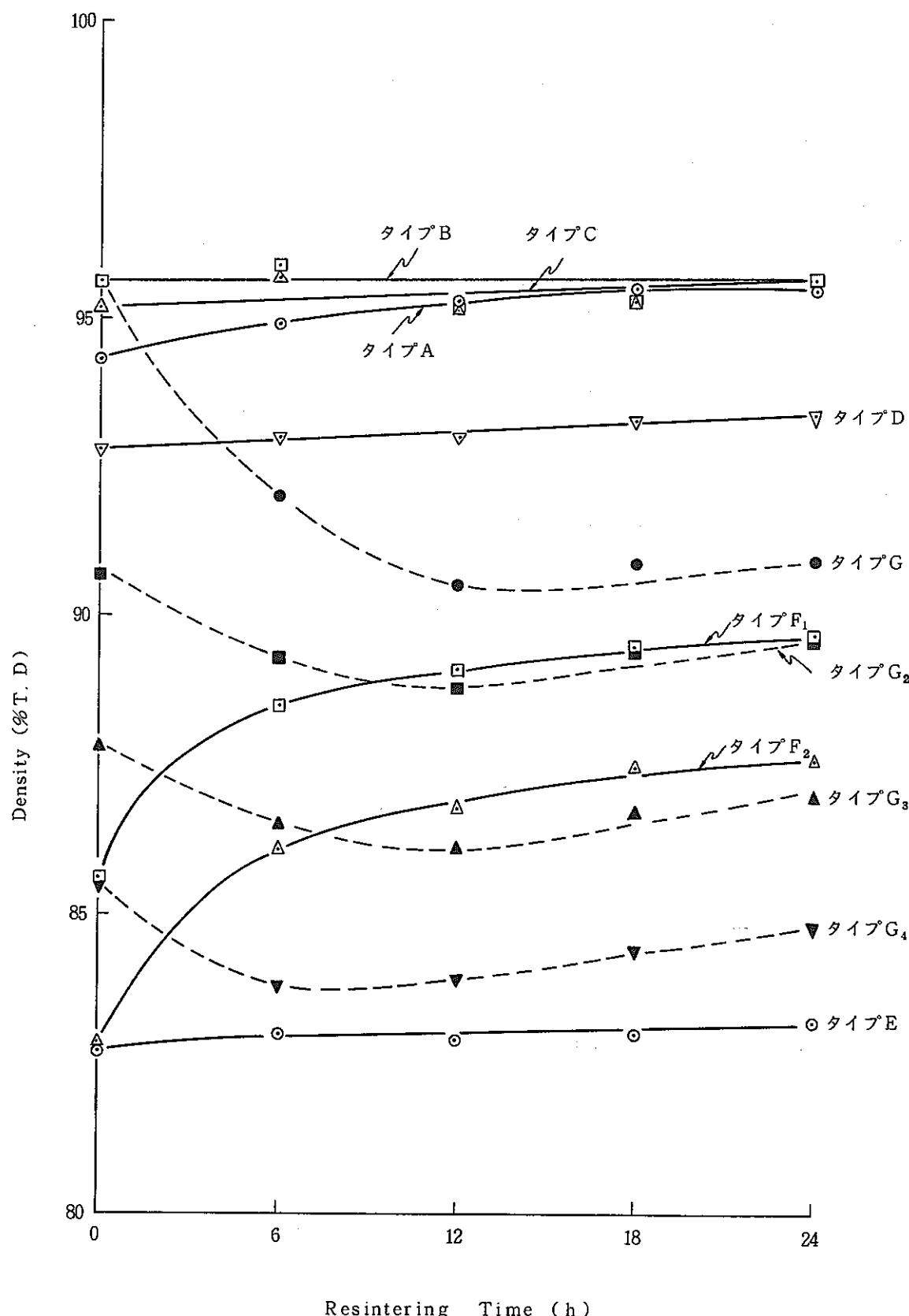


図1 再焼結中の密度変化

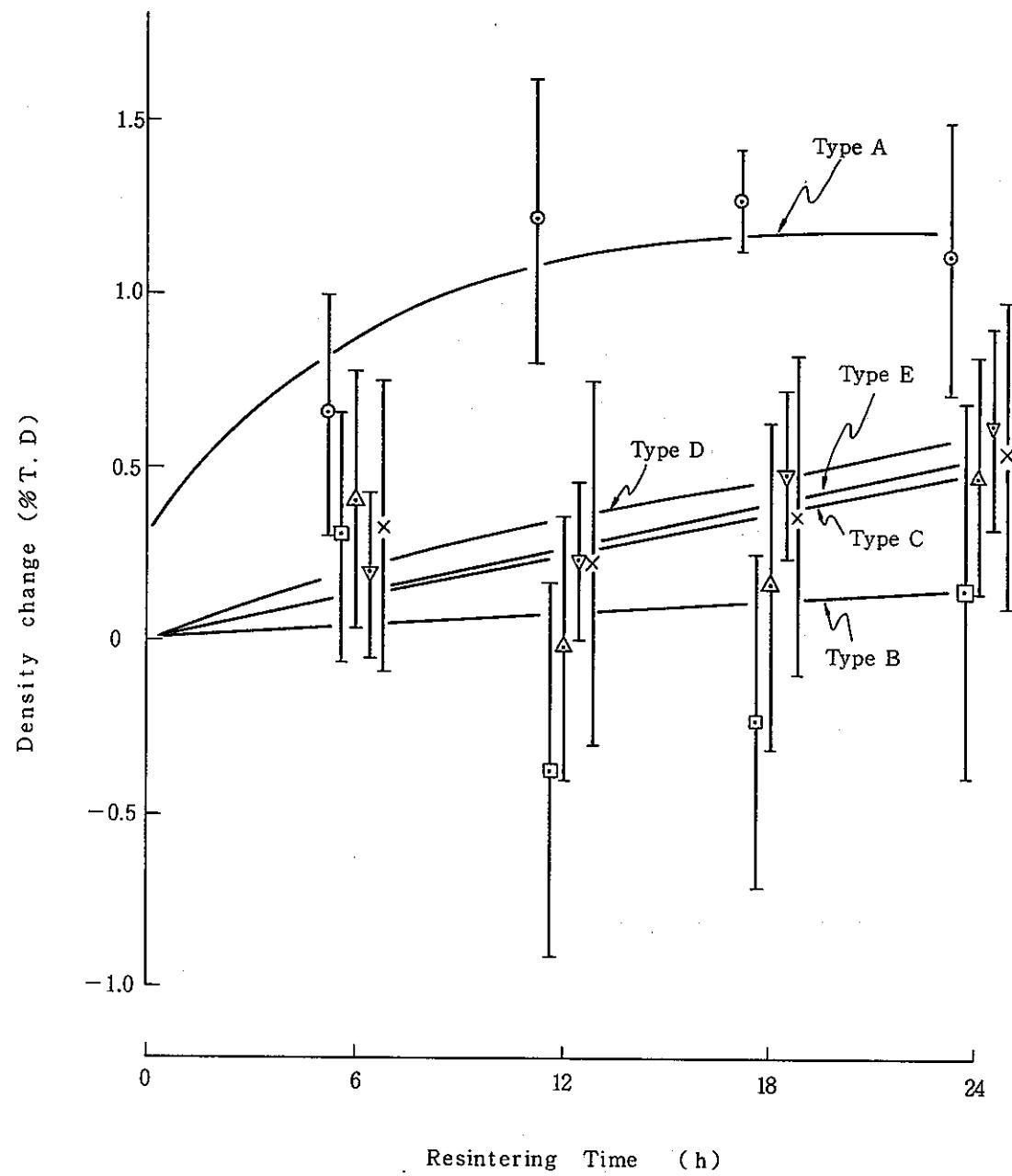


図2 再焼結中の密度変化 (タイプA, B, C, D, E)

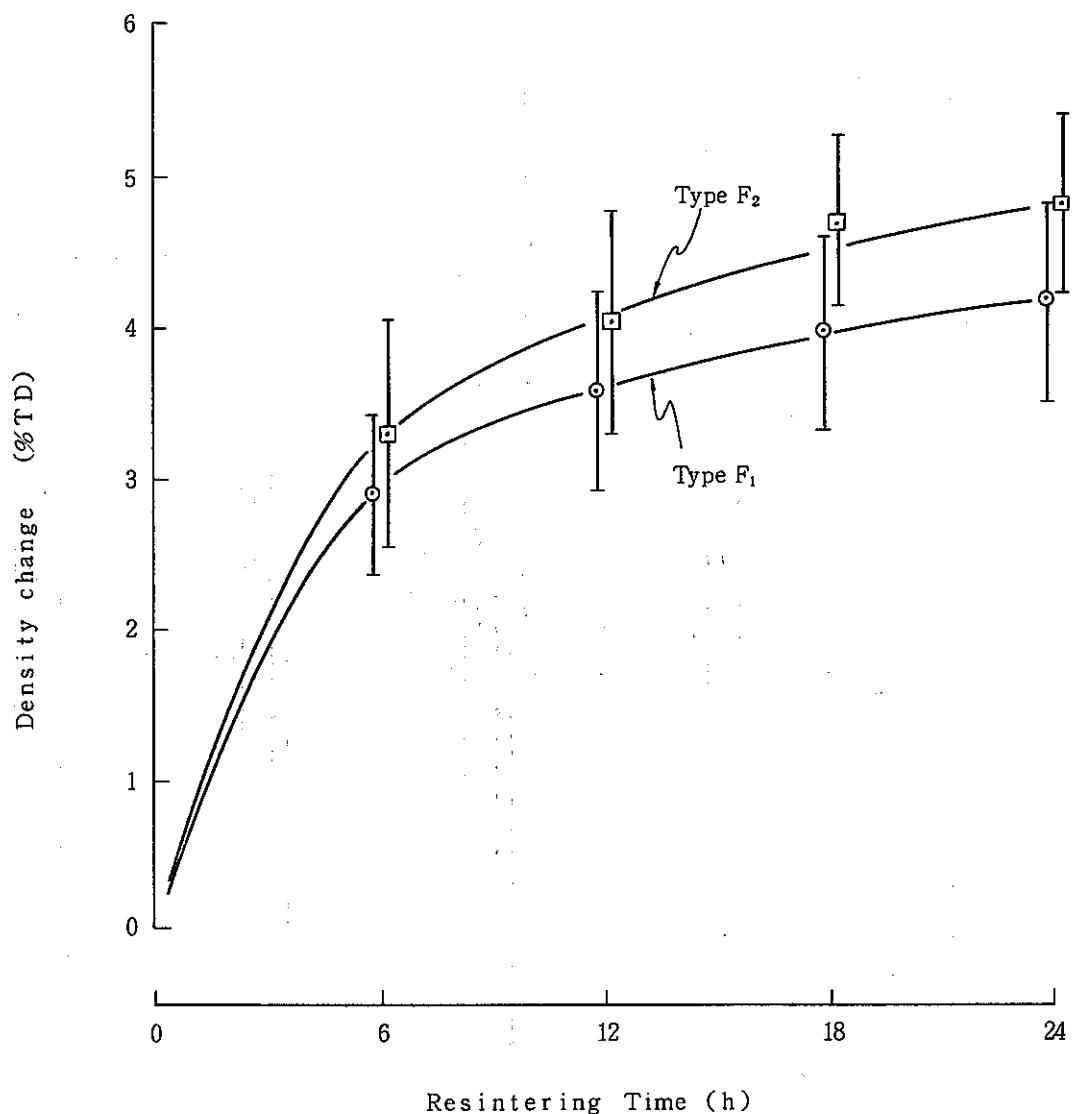


図3 再焼結中の密度変化 (タイプF)

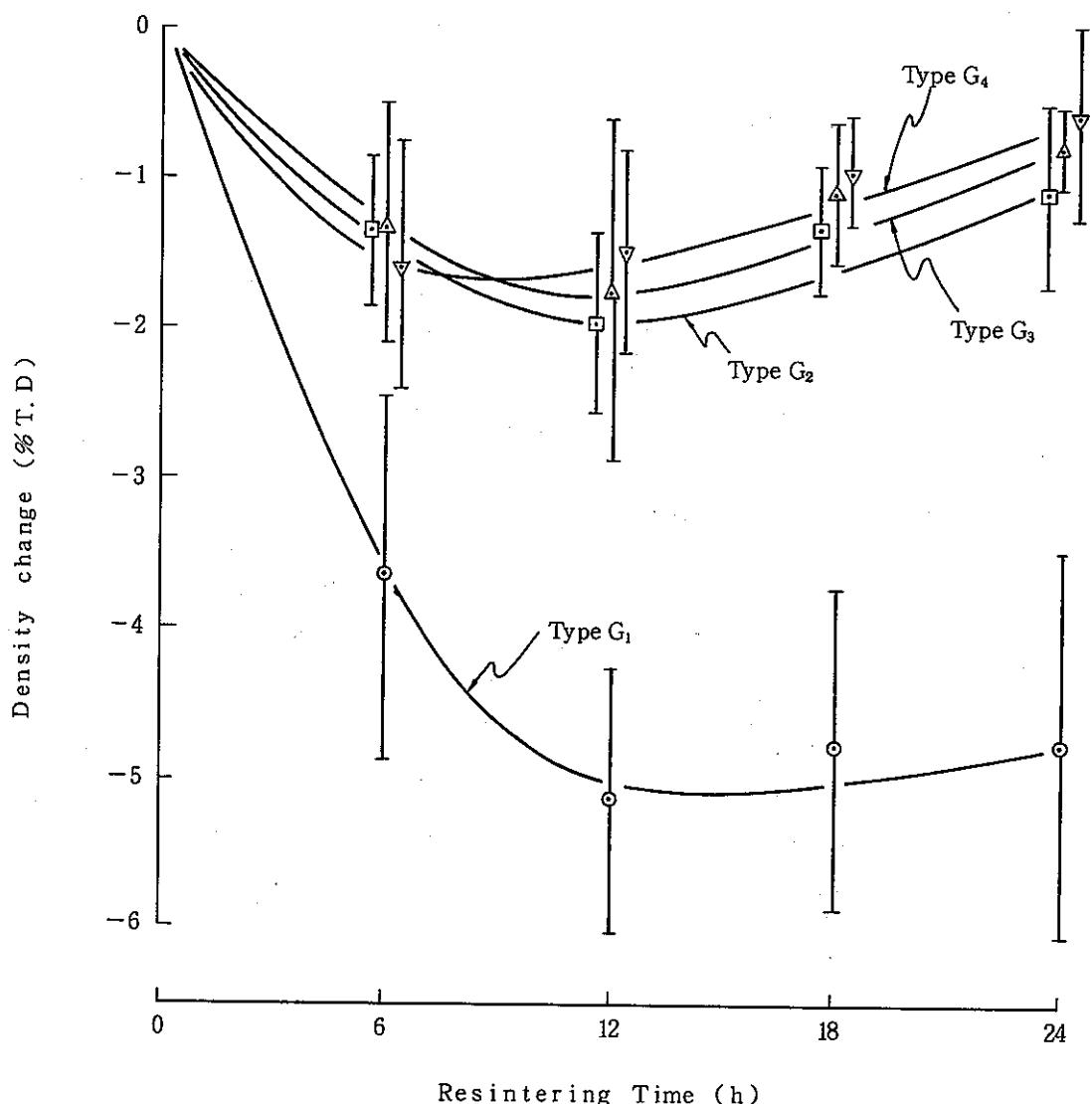


図4 再焼結中の密度変化 (タイプG)

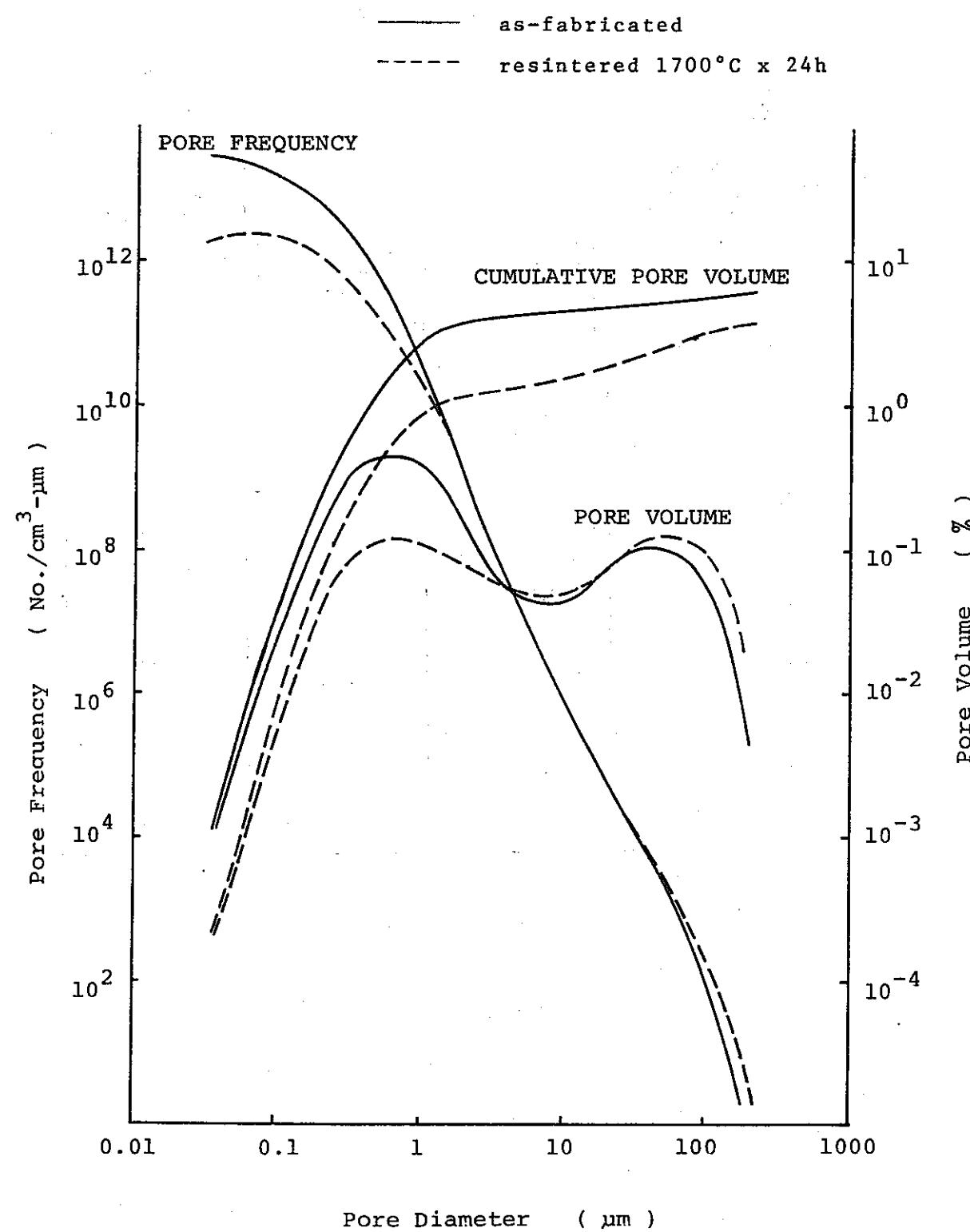


図 5 タイプ A

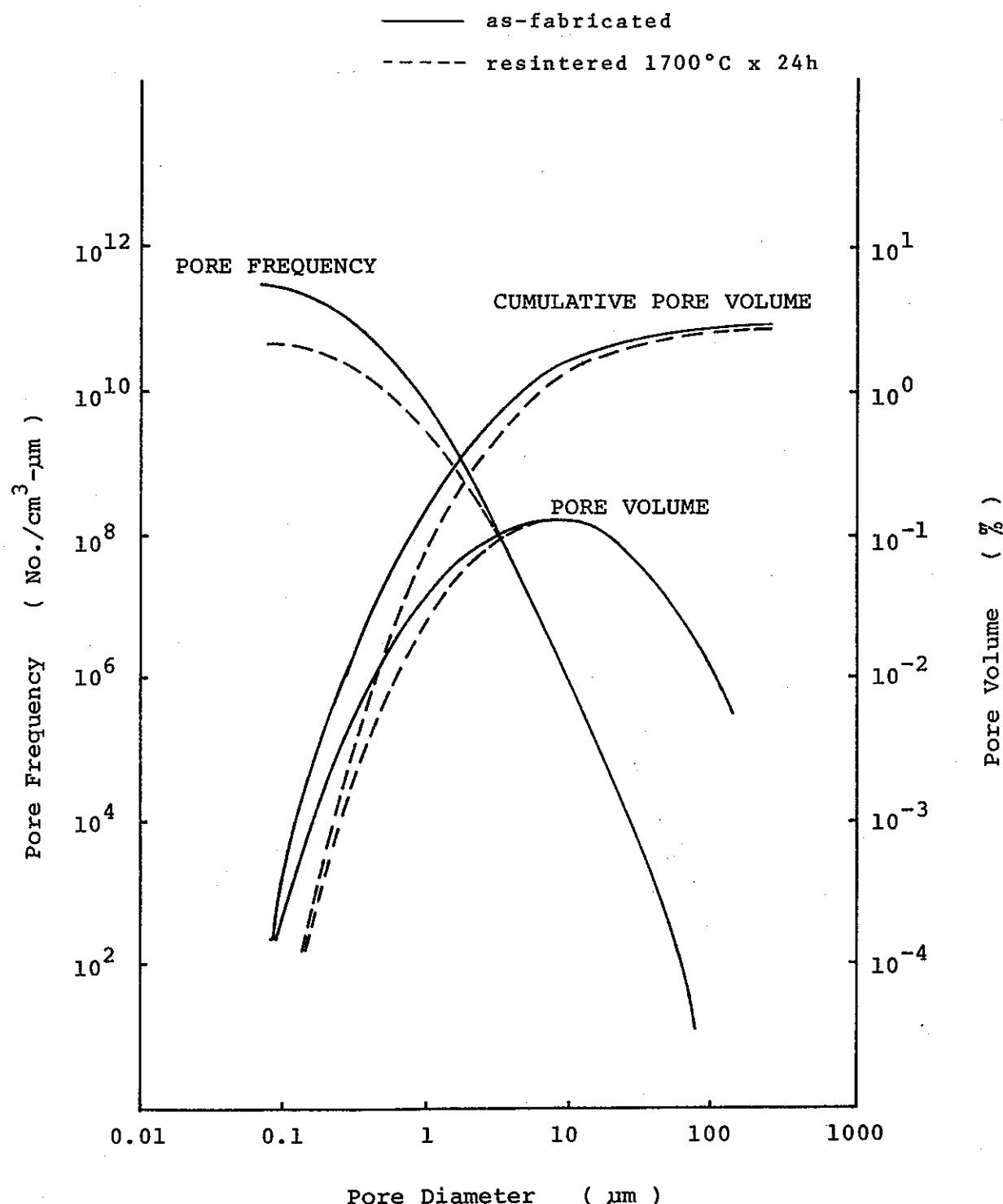


図 6 タイプ B

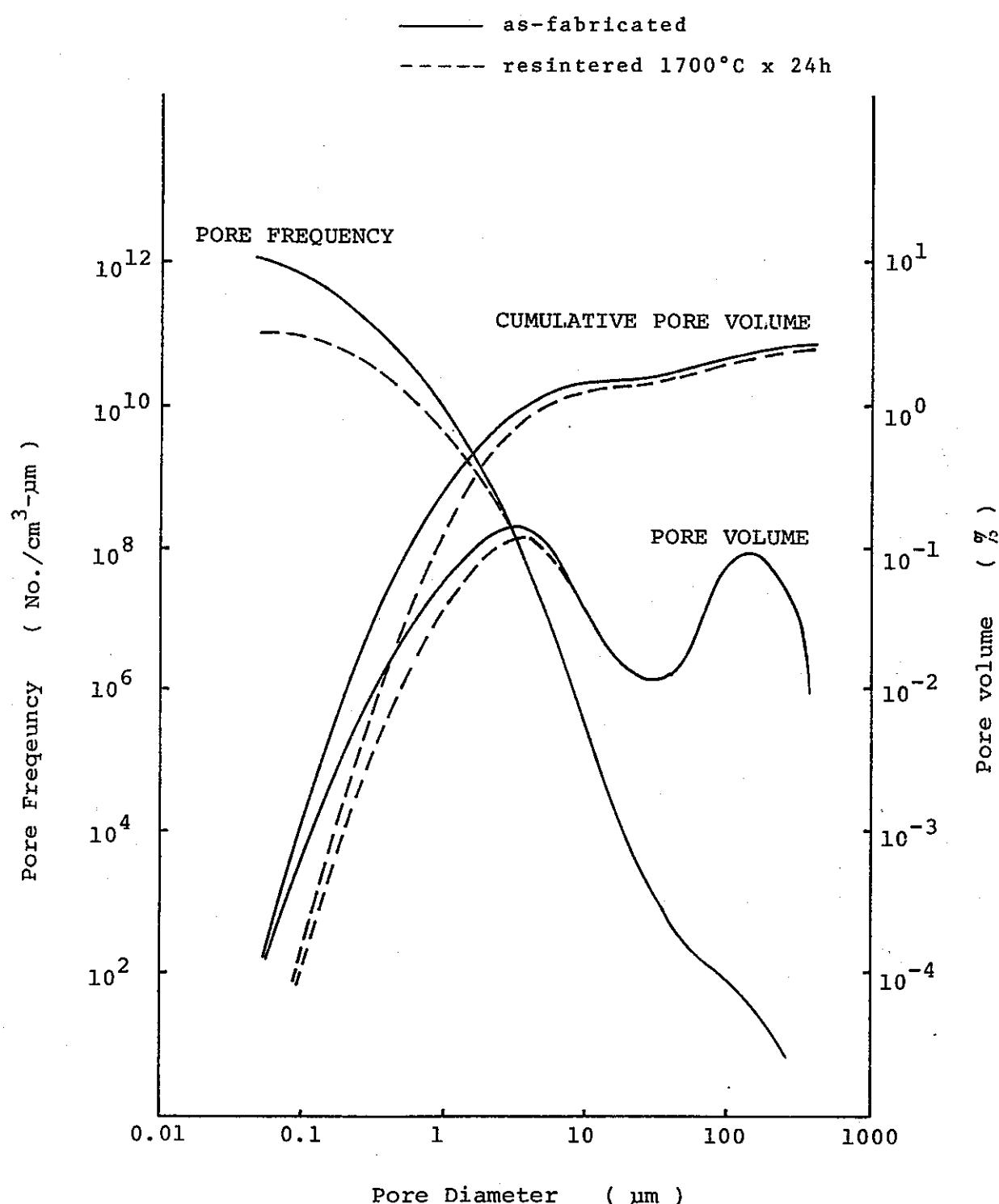


図 7 タイプ C

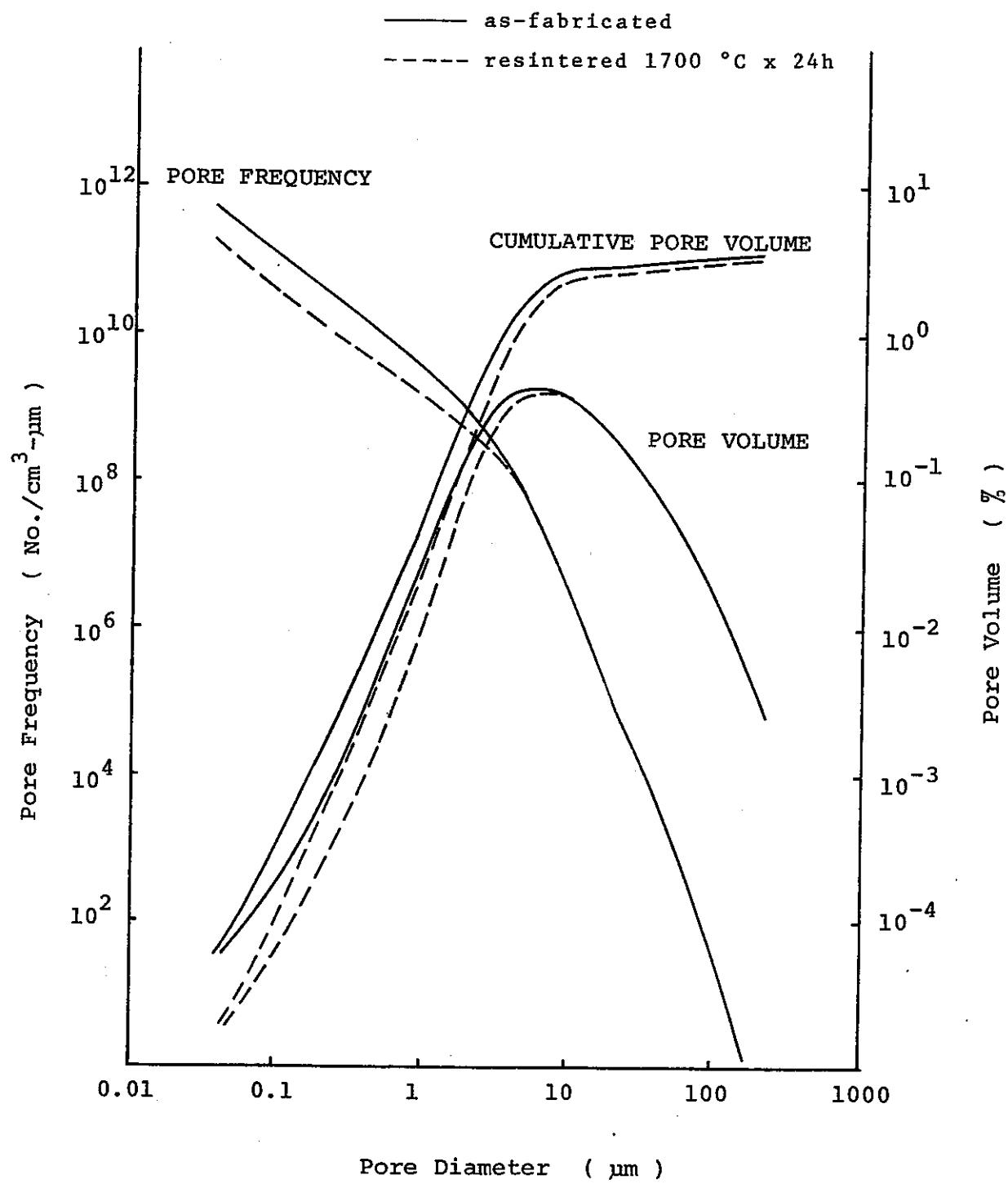


図 8 タイプ D

参考文献

- (1) USAEC Segulatony Staff, USAEC Report Dec 14, 1973
Supplement 1 to the Technical Report on Densification of General Electric Reactor Fuels
- (2) M.D. Freshley et al, J.Nucl. Mat. 62 (1976) 138.
Irradiation - induced Densification of UO₂ Pellet Fuel
- (3) J.B. Ainscough et al, J.Nucl.Mat. 49 (1973/74) 117.
Isothermal Grain Growth Kinetics in Sintered UO₂ Pellets
- (4) M.O. Marlowe, NEDO-12240 July, 1973
In-reactor Densification Behavior of UO₂
- (5) W.Dienst, Enlarged HPG Meeting (1976) №6/21
Fast Breeder Oxide Fuel Irradiation Results relevant to LWR Fuel
- (6) 落合洋治 他: SN841-76-33 (1976)
燃料ペレット中のポア分布の計算

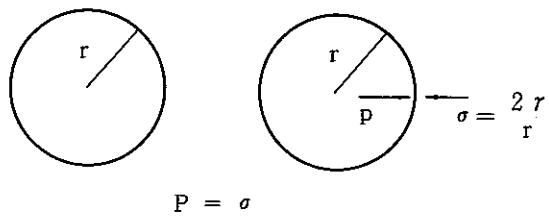
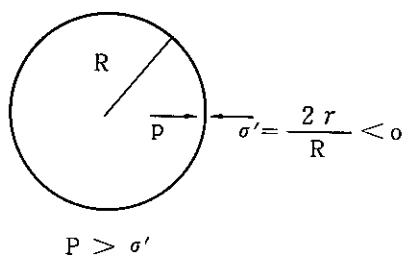
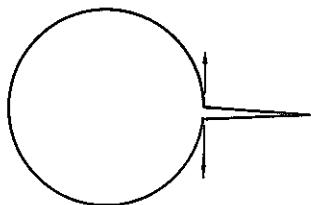
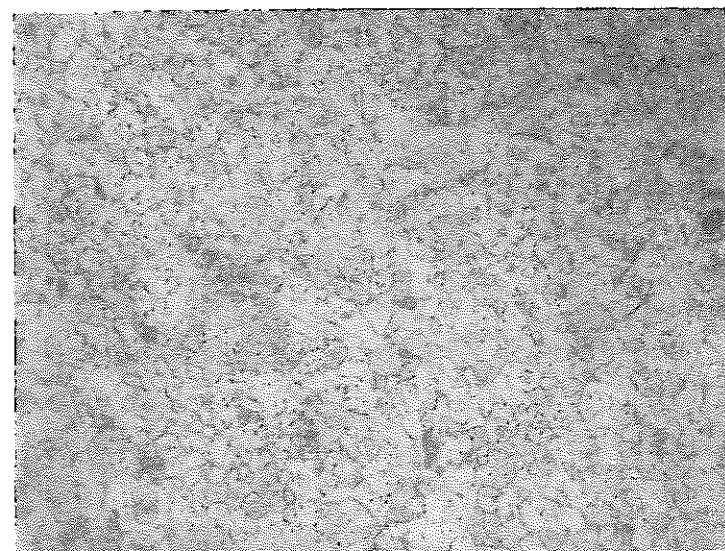
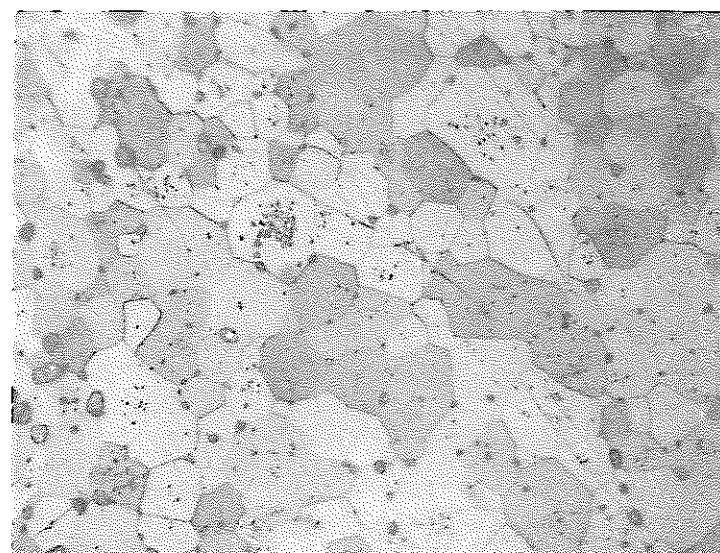
State 1State 2State 3

図9 マイクロクラックの発生



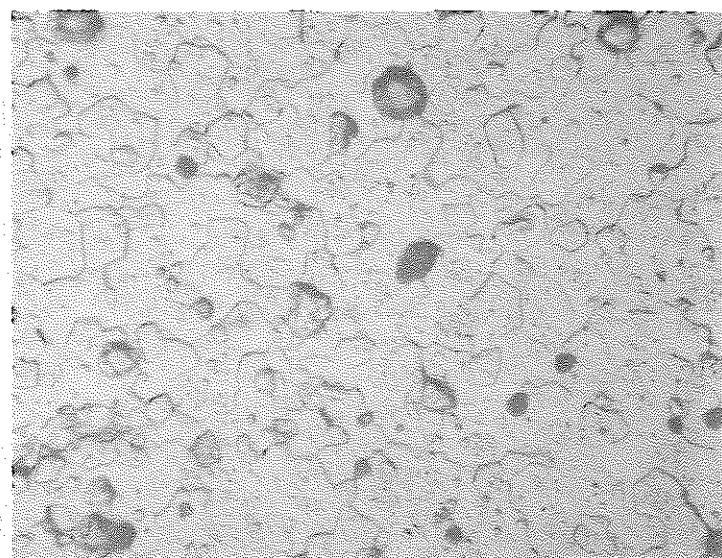
0 hr



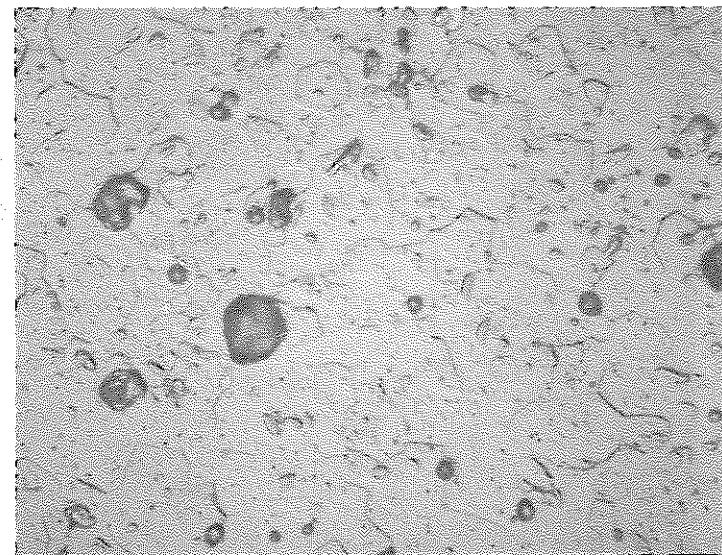
24 hr

100 μ

Fugen タイプ A



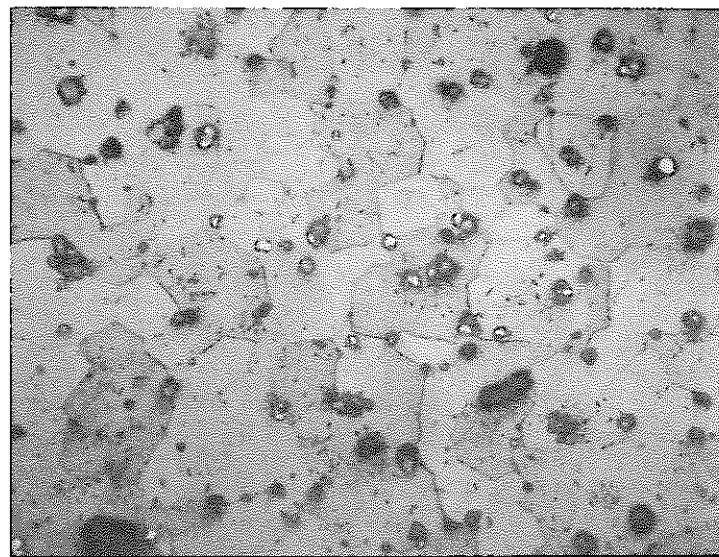
0 hr



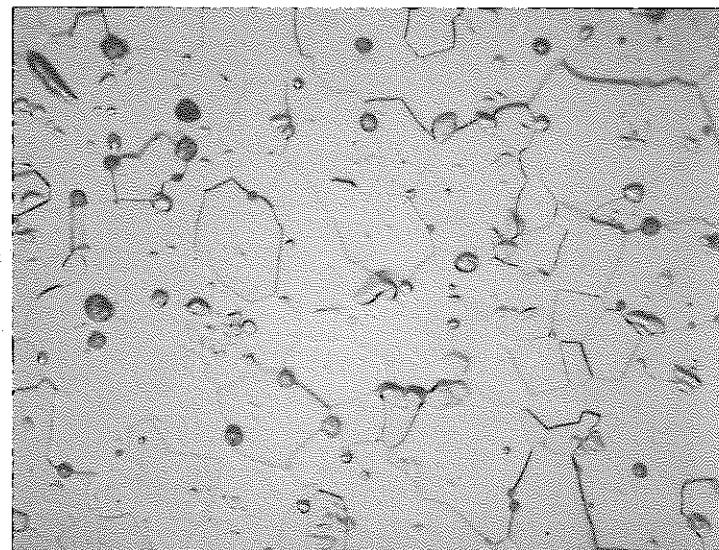
24 hr

100 μ

美浜タイプ B



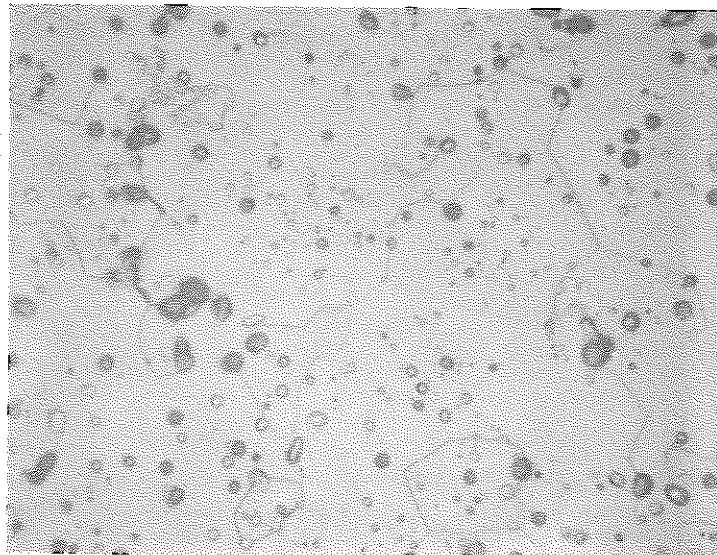
0 hr



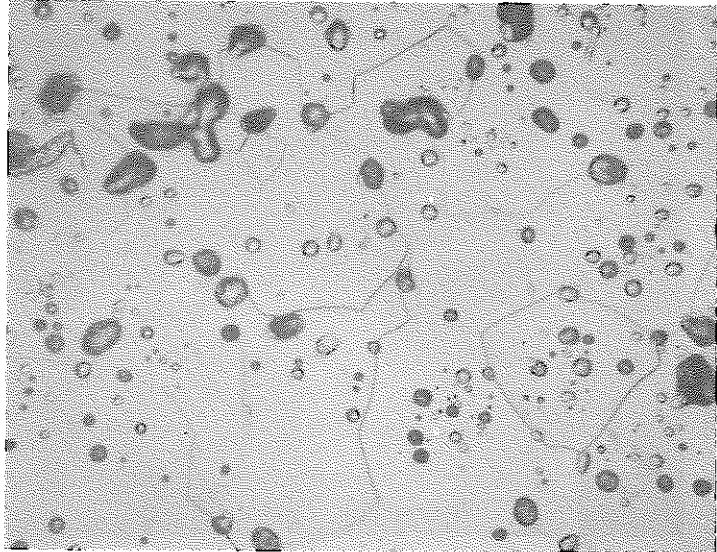
24 hr

100 μ

E P R I タイプ C



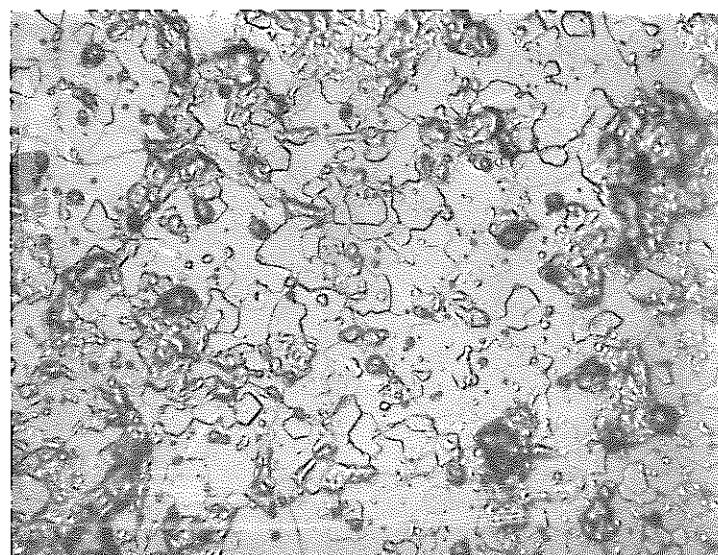
0 hr



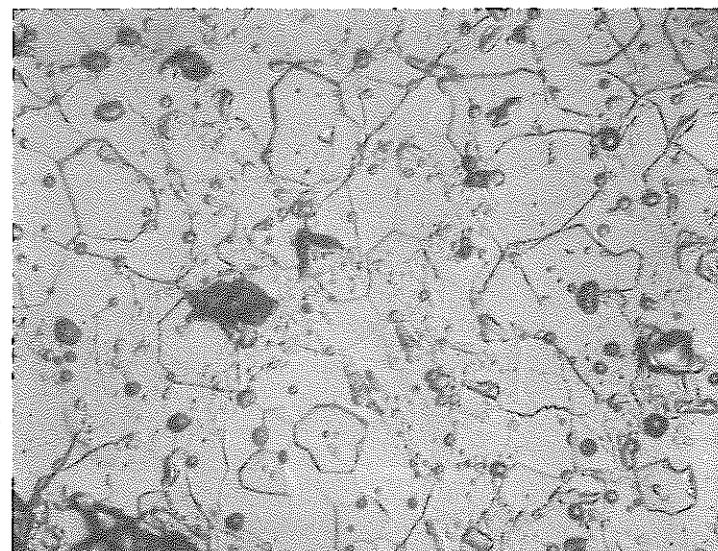
24 hr

100 μ

J o y o タ イ プ D



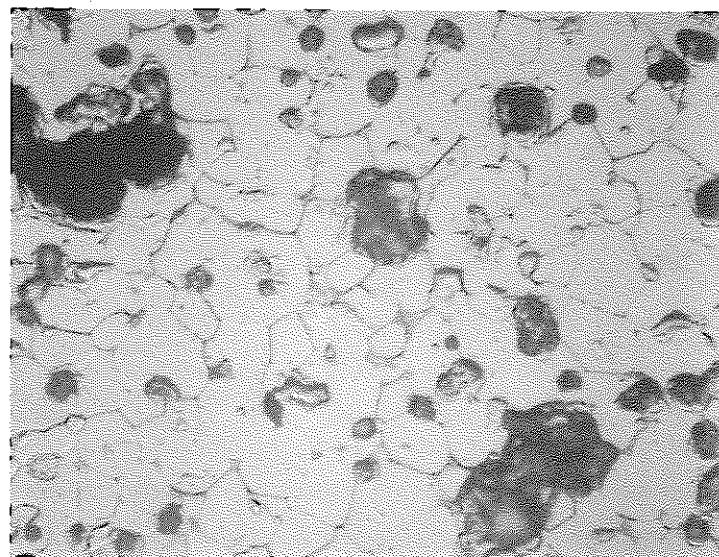
0 hr



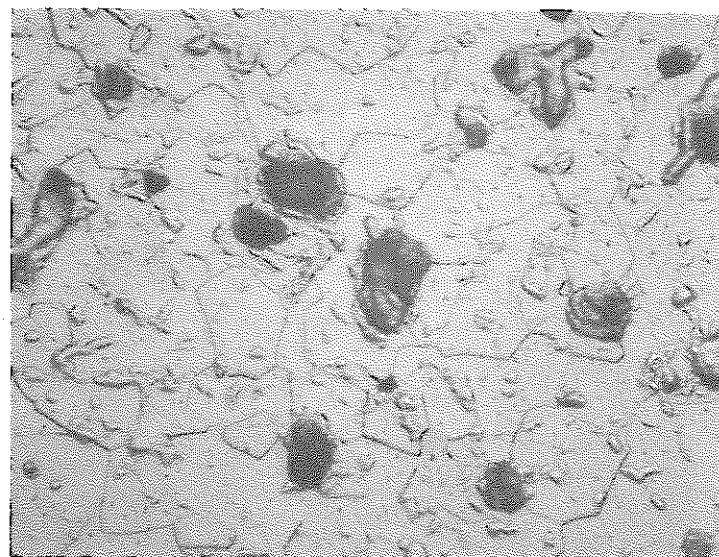
24 hr

100 μ

G T タイプ E



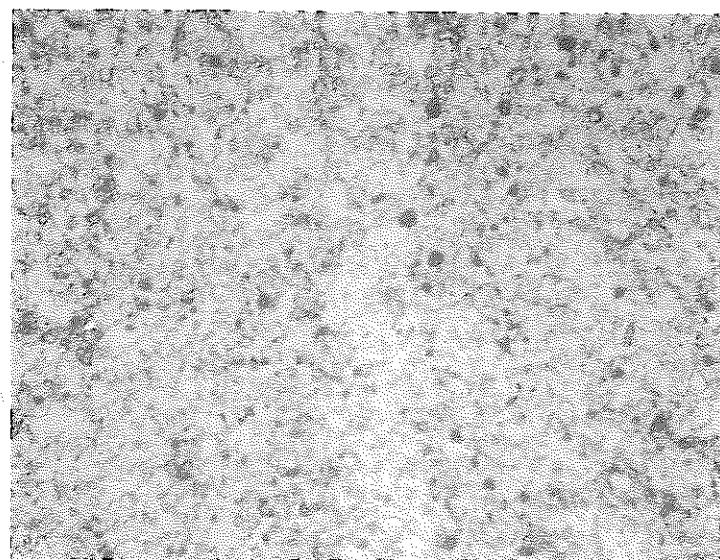
0 hr



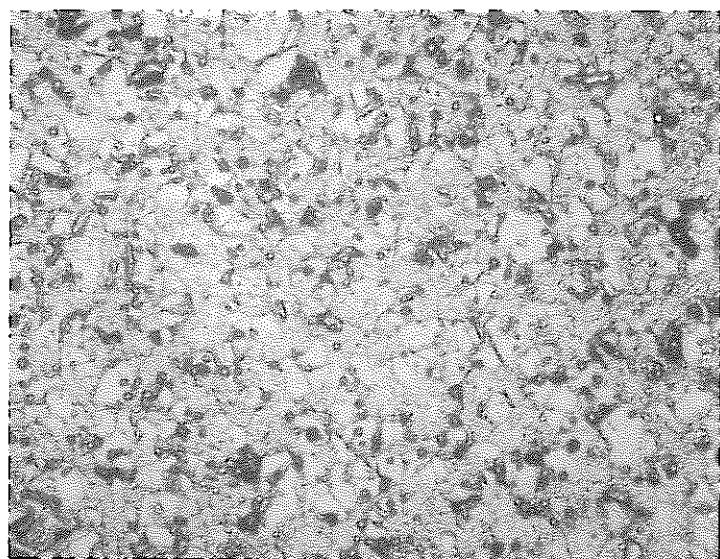
24 hr

100 μ

G T - 61 タイプ F₂



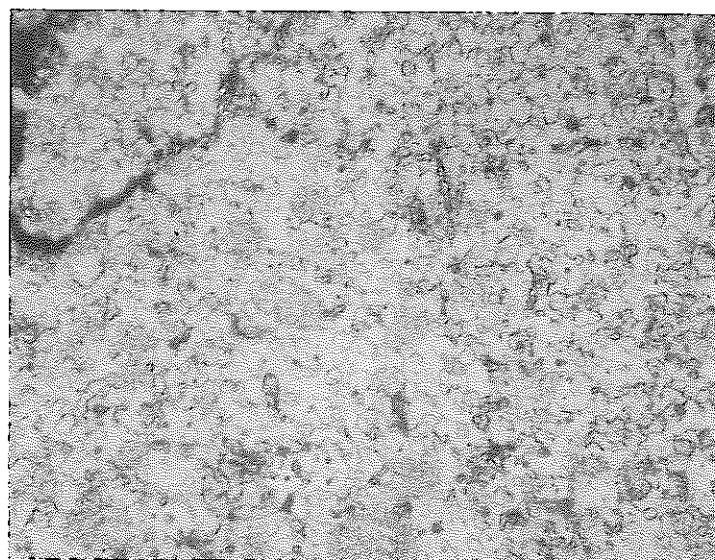
0 hr



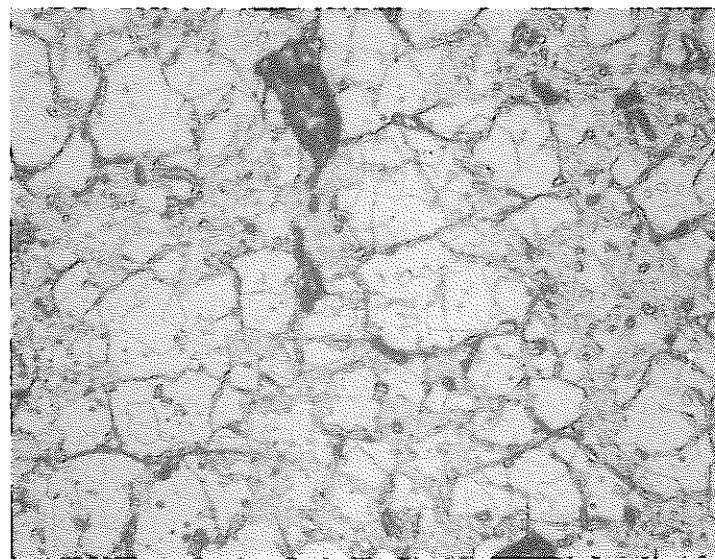
24 hr

50 μ

タ イ ブ G₁



0 hr



24 hr

50 μ

タイプ G₄