

高密度比気液二相流に関する基礎研究
— 先行基礎工学分野に関する平成7年度報告書 —

1996年5月

動力炉・核燃料開発事業団
大洗工学センター

複製又はこの資料の入手については、下記にお問い合わせ下さい。

〒311-13 茨城県東茨城郡大洗町成田町4002

動力炉・核燃料開発事業団

大洗工学センター

システム開発推進部技術管理室

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to : Technology Management Section, O-arai Engineering Center, Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation 4002 Narita-machi, O-arai-machi, Higashi-Ibaraki, Ibaraki-Ken 311-13, Japan.

動力炉・核燃料開発事業団

(Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corporation) 1996

高密度比気液二相流に関する基礎研究
— 先行基礎工学分野に関する平成7年度報告書 —

三島嘉一郎[†]、西浦 英晃[†]、
日引 俊^{††}、飛田 吉春^{†††}

要旨

本研究は、高速炉の炉心損傷事故時に炉心に形成される燃料とスチールの混合プールの沸騰挙動の解明に関する基礎研究であり、動燃と京都大学原子炉実験所との共同研究である。

内容は溶融低融点金属に気泡注入を行う模擬試験に対して、中性子ラジオグラフィー手法を用いた可視化計測を行って、高密度比気液二相流の気泡径状、動態及びボイド率などの基礎データを取得すると共に、このデータを用いて動燃の SIMMER-III コードのモデル検証・改良などを行うものである。

本年度は、共同研究の初年度として、低融点合金の予熱と吹き込みを可能とする実験装置一式の製作と気泡模擬形状の空間を有する固体資料を置いた状態でのラジオグラフィー可視化測定性確認試験を実施した。

本報告書ではこの可視化測定性試験結果について報告する。

† 京都大学原子炉実験所 教授

†† 京都大学原子炉実験所 助手

††† 動力炉・核燃料開発事業団 大洗工学センター 基盤技術開発部 リスク評価技術開発室

The basic research on a high-density ratio gas-liquid flow.
1995 fiscal year report on the study in advanced fundamental field.

Kaichiro MISHIMA†, Hideaki NISHIJIMA†,
Takashi HIBIKI†, Yoshiharu TOBITA††

Abstract

This study is the basic research on boiling behavior of mixing pool which consists of fuel and steel formed in the reactor core during the core damage accident of fast breeder reactor. This study is performed under the cooperative research between Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp. and Res. Reactor Inst., Kyoto Univ.. The objective of this study is the visualization using the neutron radiography technique for the simulation test which injects bubbles from the bottom of molten metal pool. This experiments serves basic data such as bubble diameter, movement, and void fraction of a high-density ratio gas-liquid flow. In addition, these experimental data will be applied for the model verification and improvement of the SIMMER-III code. As a first year of the cooperative research, in this fiscal year, the visualization performance of the radiography technique was tested using the solid sample with the void space which simulated a bubble. The result of this experiment is described in this report.

† Res. Reactor Inst., Kyoto Univ.

†† Power Reactor and Nuclear Fuel Development Corp.

高密度比気液二相流に関する基礎研究

— 先行基礎工学分野に関する平成7年度報告書 —

【研究目的】

高速炉の炉心損傷事故時に炉心に形成される燃料とスチールの混合プールの沸騰挙動の解明に関する基礎研究を行う。平成7年度は、低融点合金内の気泡模擬形状の空間を有する固体試料を用いて、中性子ラジオグラフィによる可視化実験を行い、測定性能を確認することを目的とする。

【実験】

鉛-ビスマス系等の熔融金属とガスの二相流のボイド率計測の可能性を調べるため、内径10mmの円柱状の穴をあけた厚さ50mmの鉛ブロックを標準試験部として用い、中性子ラジオグラフィ実験を行った。この円柱状の穴によりボイド率0～20%を模擬することが可能である。また、実際の実験体系では、ロックウール等の断熱材を装置周辺に巻く可能性があるため、50mmのロックウール2枚で鉛ブロックを挟み込んだ体系での実験も行った。なお、中性子源としては、日本原子力研究所のJRR-3Mを用い、撮像系として、同炉の中性子ラジオグラフィ設備に付設のSIT管(Hamamatsu,C1000-12)を用いた⁽¹⁾。計測システムの概略⁽²⁾を図1に、画像処理システムの概略⁽³⁾を図2に示した。撮像条件は、以下のとおり。

| | | | |
|-----|----|-------------|---------------------------------------|
| RUN | 15 | 18～19分(ビデオ) | 画像：鉛ブロック |
| RUN | 16 | 19～20分(ビデオ) | 画像：ロックウール(50mm) + 鉛 + ロックウール(50mm) |
| RUN | 17 | 20～21分(ビデオ) | 画像：暗電流 |
| RUN | 18 | 21～22分(ビデオ) | 画像：シェーディング |

【結果】

解析手順① 可視化のみを対象とする場合には、以下の画像処理を施し、画像改善を行った。

1. シェーディング補正
2. ダイナミックレンジの拡大

得られた鉛ブロック画像を図3に示した。また、鉛+ロックウール画像に関しては、図3と殆ど同じ画像が得られた。これは、ロックウールの密度が極めて小さいこととその巨視的断面積が小さいことから、ロックウールが中性子に対して殆ど透明であることによると考えられる。

解析手順② ボイド率計測を行う場合には、画像定量化法として Σ スケールリング法を用いた⁽⁴⁾。図4にシェーディング画像および鉛画像の輝度分布を示した。なお、解析位置は、図5に示したように、 $(x_p, y_p) = (0, 255) - (511, 255)$ の範囲である。

厳密な Σ スケールリング法を行うには、標準試験部等の情報が不足しているため、ここでは、以下の近似的な手法で解析を行った。なお、鉛の中性子の巨視的断面積 Σ_{pb} は、 0.0799mm^{-1} である。

仮定……シェーディング画像、鉛画像間で暗電流データは変化していないものとする。

- ① シェーディング補正
- ② 鉛ブロック中のボイド部左右($150 \leq x_p \leq 250$, $400 \leq x_p \leq 480$)の平均輝度 G_{mean} 計測
- ③ 鉛ブロック中のボイド部($285 \leq x_p \leq 395$)の輝度最高値 G_{max} 計測
- ④ $G_{\text{mean}} = C \cdot \exp(-0.0799 \cdot 50) + G_0$ と $G_{\text{max}} = C \cdot \exp(-0.0799 \cdot 40) + G_0$ の連立方程式から C, G_0 を決定。なお、本解析では、 $G_{\text{mean}} = 47.44$, $G_{\text{max}} = 63$, $C = 690.9$, $G_0 = 34.72$ であった。
- ⑤ 次式を用いた鉛厚さ δ_{pb} 計測

$$\delta_{pb} = \frac{1}{\Sigma_{pb}} \ln \left(\frac{C}{G - G_0} \right)$$

- ⑥ 次式を用いたボイド率 α 計測

$$\alpha = 1 - \frac{\delta_{pb}}{50}$$

図6に鉛厚さの空間分布を図7にボイド率分布を示した。また、図中の実線は次式で表される設計値からの計算線を示している。

$$\delta_{pb} = 50 \quad (x < -5, 5 < x), \quad \delta_{pb} = 50 - 2\sqrt{5^2 - x^2} \quad (-5 \leq x \leq 5)$$

$$\alpha = 0 \quad (x < -5, 5 < x), \quad \alpha = \frac{2\sqrt{5^2 - x^2}}{50} \quad (-5 \leq x \leq 5)$$

図より計測値と計算値は良好に一致しており、中性子ラジオグラフィ法は熔融鉛系沸騰二相流のボイド率計測に適用可能であることがわかる。

【参考文献】

- (1) T.Hibiki, K.Mishima, K.Yoneda, S.Fujine, K.Kanda, H.Nishihara, A.Tsuruno and M.Matsubayashi, *J. Nucl. Sci. Technol.*, **30**, 516-523 (1993).
- (2) K.Mishima and T.Hibiki, *Nucl. Eng. Sci.*, (Reg. No., 60-95, in press).
- (3) T.Hibiki, K.Mishima and M.Matsubayashi, *Nucl. Technol.*, **110**, 422-435 (1995).
- (4) T.Hibiki and K.Mishima, *Trans. JSME*, **62**-595 (in press).

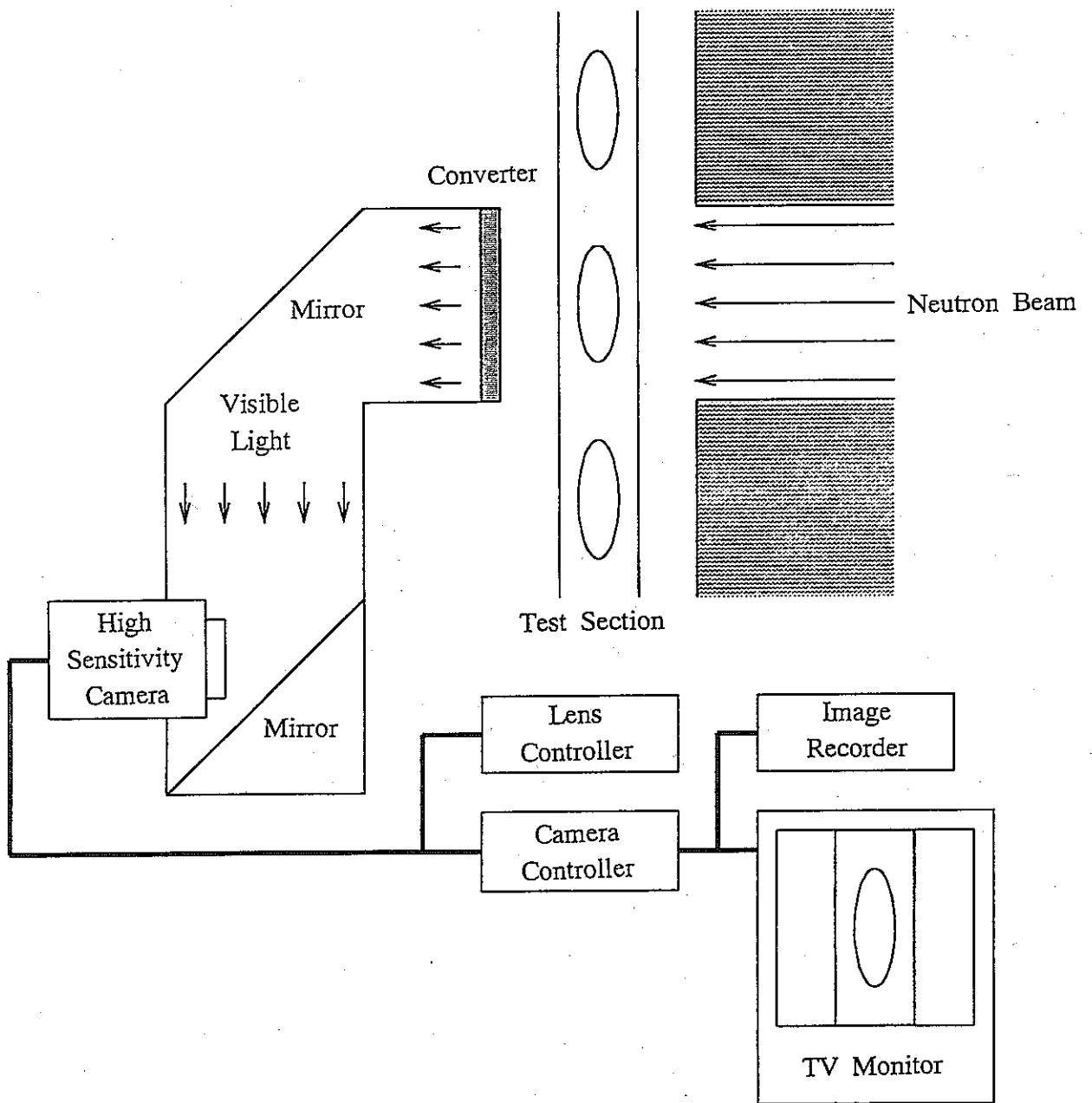


图 1

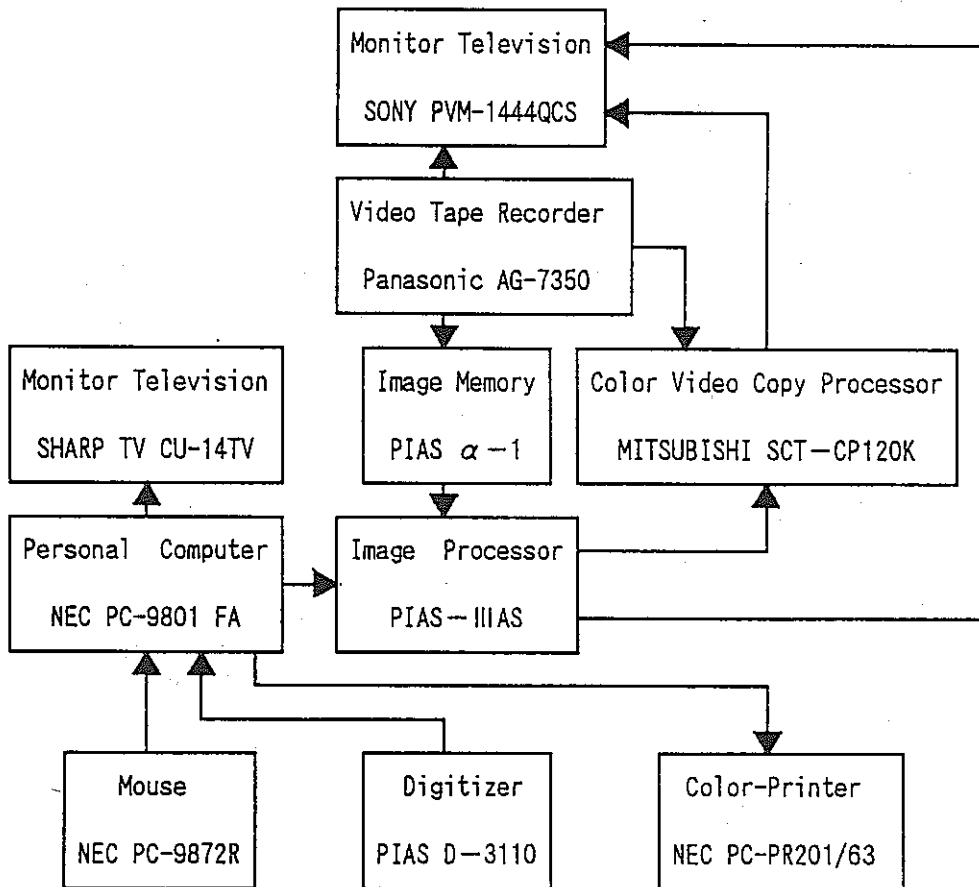


図 2

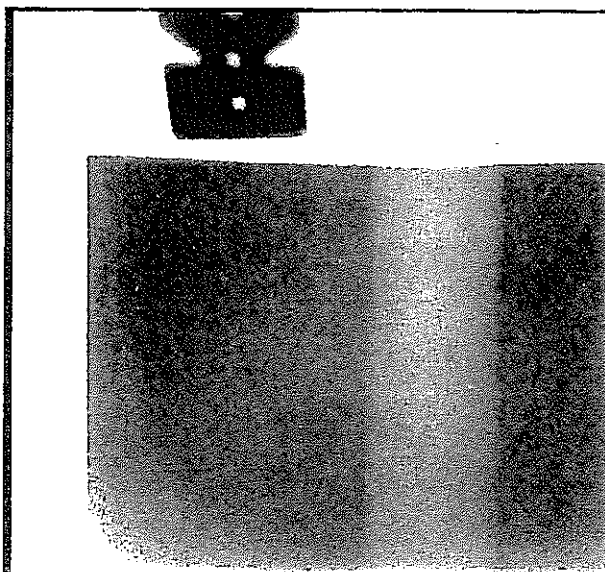


图 3

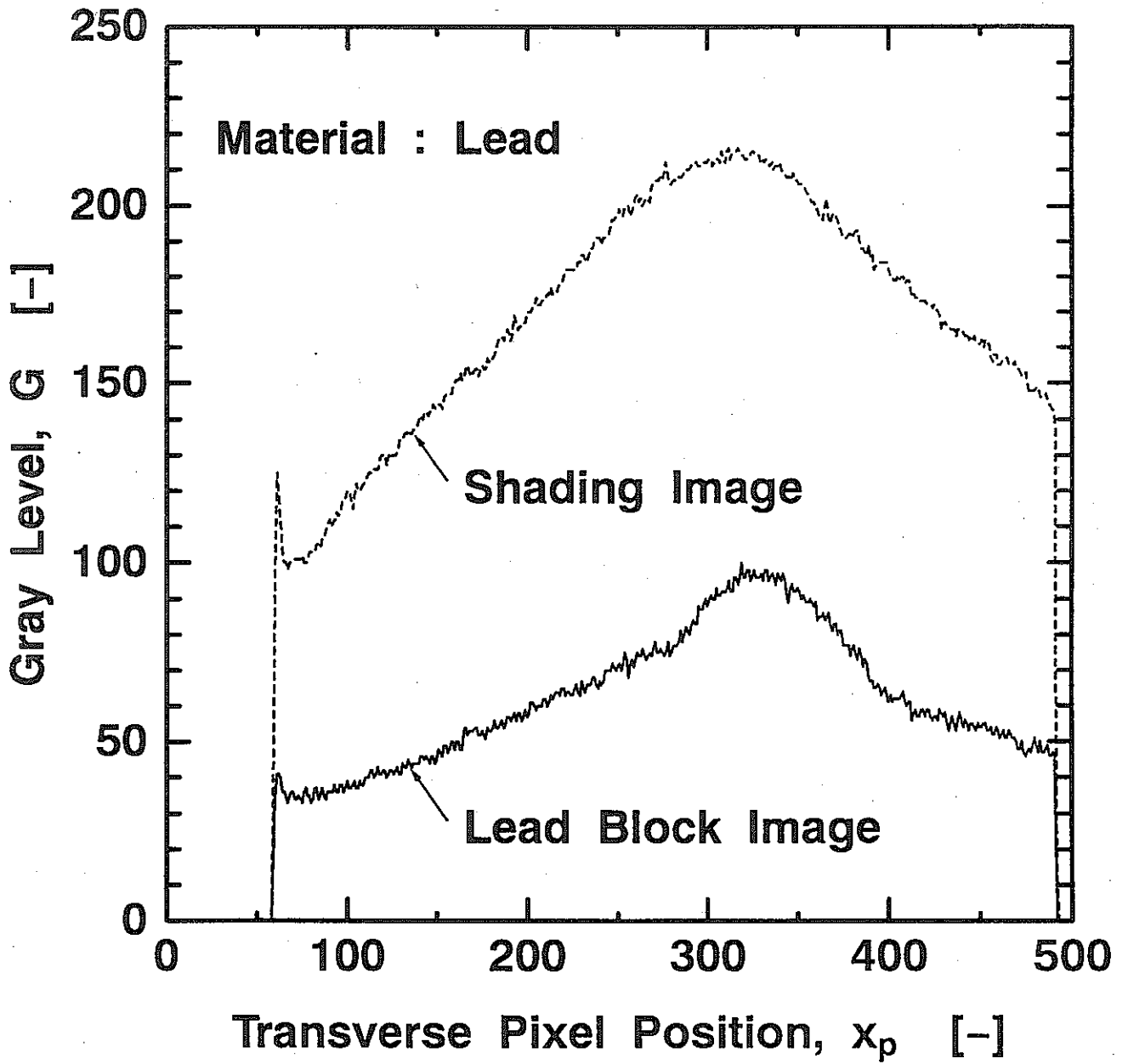


図 4

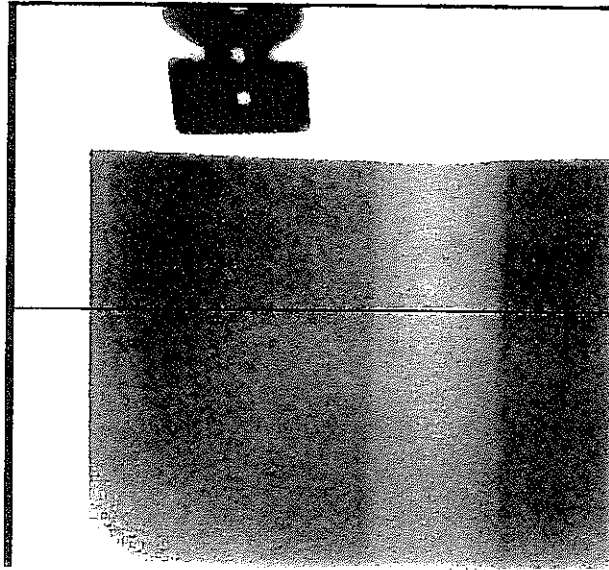
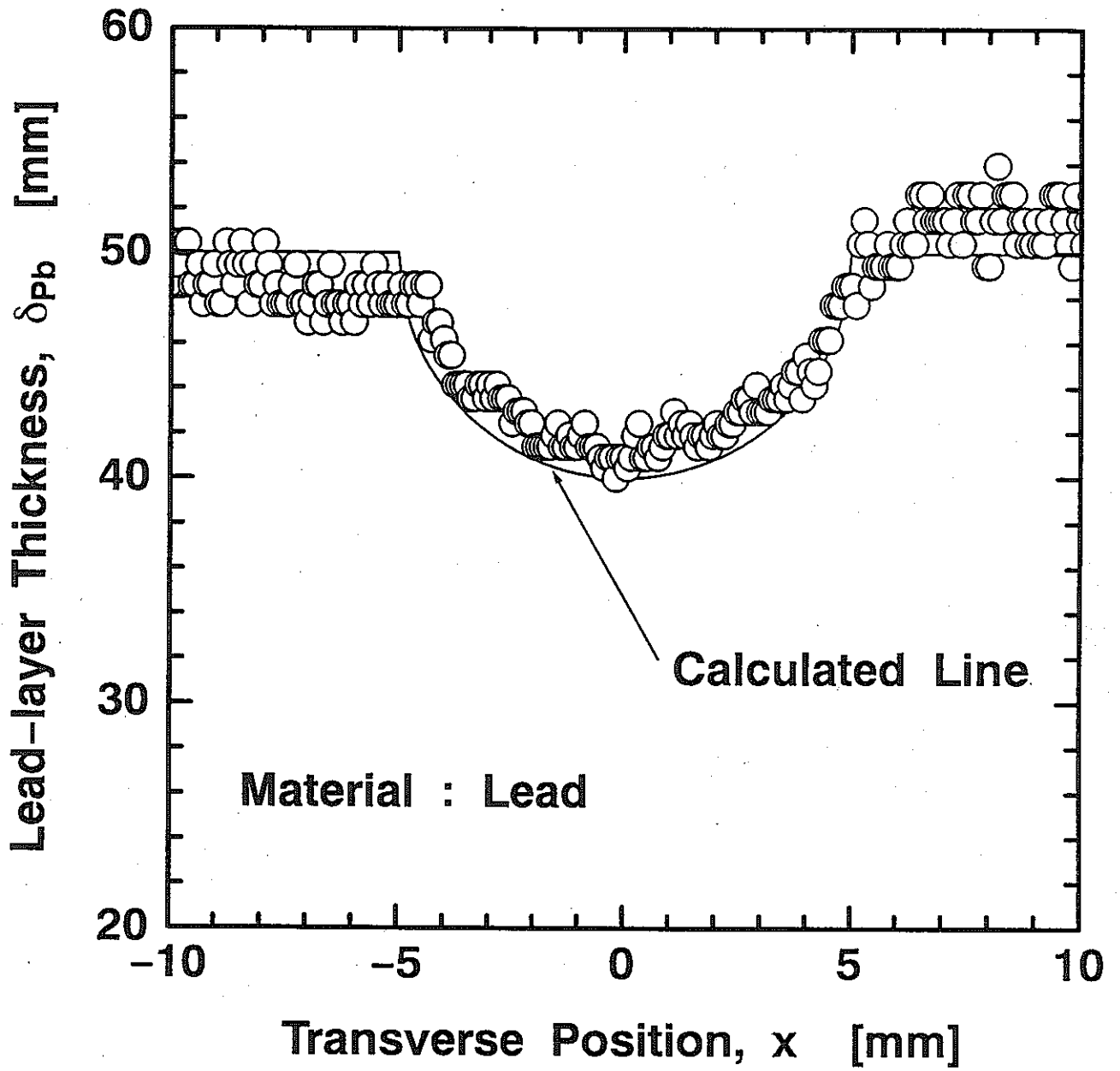


图 5



⊠ 6

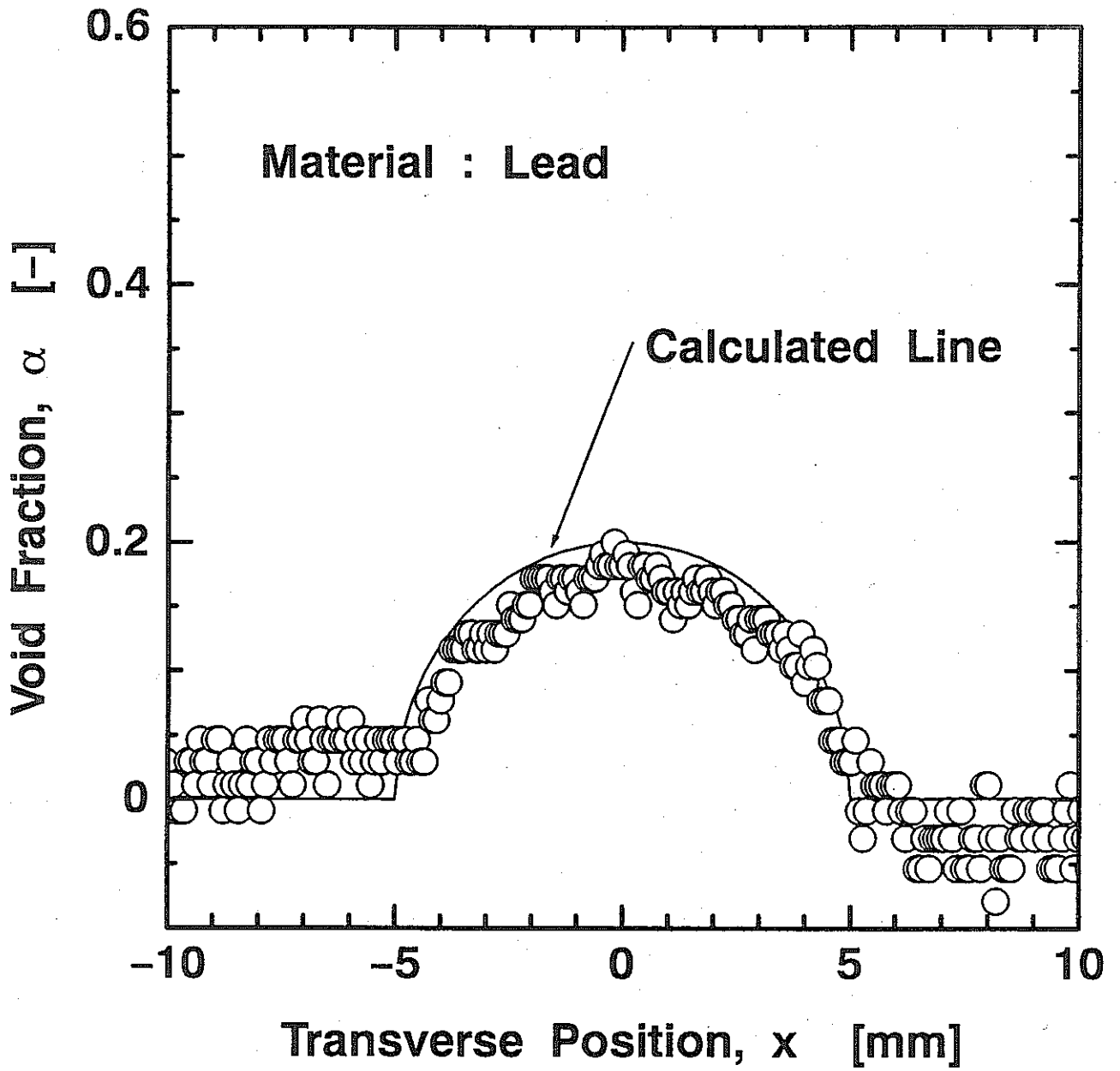


図 7