

JAERI-Research

2002-006



JP0250184



BWR核熱不安定模擬試験装置THYNCの
試験部オリフィス及びスペーサの流動抵抗

2002年3月

井口 正・浅香 英明・中村 秀夫

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。

入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費領布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken, 319-1195, Japan.

© Japan Atomic Energy Research Institute, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

BWR 核熱不安定模擬試験装置 THYNC の
試験部オリフィス及びスペーサの流動抵抗

日本原子力研究所東海研究所安全性試験研究センター原子炉安全工学部
井口 正・浅香 英明・中村 秀夫

(2002年2月4日受理)

BWR 炉心での核熱水力不安定性の機構を解明するために、THYNC 実験を行っている。THYNC 実験では、実炉の炉心流動を忠実に模擬すべく、試験部出口にオリフィス抵抗体を、試験部内に丸セル型スペーサを設置している。THYNC 実験データの解析には、オリフィス抵抗体やスペーサの流動抵抗を知っておく必要がある。そこで、THYNC 試験装置のオリフィス抵抗体及びスペーサの単相流時及び二相流時の流動抵抗を測定した。その結果を用いて、流動抵抗のパラメータ依存性を検討した。併せて、分離流などの基本的な二相流モデルの二相流増倍係数に対する適用性を検討した。

その結果、単相流時の流動抵抗については、 Re 数の関数として、圧力、質量流束の影響を表現できること、オリフィスの流動抵抗・スペーサの流動抵抗とともに従来の予測法が適用できることがわかった。ただし、スペーサについては、流路占有率などの複雑な形状依存性があるため、予測手法のみで流動抵抗を高精度で予測することは困難で、実験で実験定数を定める必要があった。

また、二相流時の流動抵抗については、以下のことがわかった。

- (1) 二相流増倍係数とクオリティの関係は、圧力 2MPa～7MPa では線型関係とみなせる。二相流増倍係数とクオリティの関係は、圧力、形状に依存し、質量流束の影響は小さい。
- (2) 二相流増倍係数とボイド率の関係は、圧力 0.2MPa～7MPa、ボイド率 0.6 以下では、圧力、流量、形状に僅かに影響されるだけである。すなわち、二相流増倍係数とクオリティの関係に比べて、形状の影響が小さい。二相流増倍係数は、ボイド率の増加とともに増加し、ボイド率 0.7 以上ではその増加率は急激になる。
- (3) オリフィスの二相流増倍係数、スペーサの二相流増倍係数とともに、分離流モデルで ±20% の精度で予測できる。適用範囲は、圧力 2MPa～7MPa、質量流束 133kg/m²s～667 kg/m²s である。一方、均質流モデルでは、実験定数を導入しないと高精度の予測はできない。形状に依存した実験定数を導入することにより、±20%の精度で予測できる。

Flow Resistance of Orifices and Spacers
of BWR Thermal-hydraulic and Neutronic Coupling Loop

Tadashi IGUCHI, Hideaki ASAKA and Hideo NAKAMURA

Department of Reactor Safety Research
Nuclear Safety Research Center
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received February 4, 2002)

Authors are performing THYNC experiments to study thermal-hydraulic instability under neutronic and thermal-hydraulic coupling. In THYNC experiments, the orifices are installed at the exit of the test section and the spacers are installed in the test section, in order to properly simulate in-core thermal-hydraulics in the reactor core. It is necessary to know the flow resistance of the orifices and spacers for the analysis of THYNC experimental results.

Consequently, authors measured the flow resistance of orifice and spacer under single-phase and two-phase flows. Using the experimental results, authors investigated the dependency of the flow resistances on the parameters, such as pressure, mass flux, and geometries. Furthermore, authors investigated the applicability of the basic two-phase flow models, for example the separate flow model, to the two-phase flow multiplier.

As the result of the investigation on the single-phase flow experiment, it was found (1) that the effects of pressure and mass flux on flow resistance are described by a function of Reynolds number, and (2) that flow resistances of the orifice and the spacer are calculated with the previous prediction methods. However, it was necessary to introduce an empirical coefficient, since it was difficult to predict accurately the flow resistance only with the previous prediction method due to the complicated geometry dependency, for example a flow area blockage ratio.

On the other hand, according to the investigation on two-phase flow experiment, the followings were found.

- (1) Relation between the two-phase flow multiplier and the quality is regarded to be linear under pressure of 2MPa – 7MPa. The relation is dependent on pressure and geometry, and is little dependent on mass flux.

- (2) Relation between the two-phase flow multiplier and void fraction is little dependent on pressure, mass flux, and geometry under pressure of 0.2MPa – 7MPa and void fraction less than 0.6. The relation is less dependent on geometry than the relation between the two-phase flow multiplier and the quality. The two-phase flow multiplier increases with void fraction, and the increase is significant at the void fraction higher than 0.7.
- (3) The two-phase flow multipliers of orifice and spacer is predictable with separate flow model under the accuracy of $\pm 20\%$. Applicable range is pressure of 2MPa – 7MPa, and mass flux of $133\text{kg/m}^2\text{s} \sim 667\text{ kg/m}^2\text{s}$. On the other hand, it is necessary to introduce an empirical coefficient to the homogeneous flow model, in order to obtain the accurate prediction of the two-phase flow multipliers. Two-phase flow multipliers could be predicted within $\pm 20\%$ accuracy, when an empirical coefficient, which was dependent on the geometry, was introduced.

Keywords: Two-phase Flow, Flow Resistance, Two-phase Flow Multiplier, Orifice, Spacer, Quality, Void Fraction, Separate Flow Model, Homogeneous Flow Model, Prediction

This is a blank page.

目 次

| | |
|---|-----|
| 1. 概 要 | 1 |
| 2. 検討の対象としたオリフィス及びスペーサ | 2 |
| 3. 試 験 | 2 |
| 3. 1 試験方法 | 2 |
| 3. 2 試験条件 | 2 |
| 3. 3 流動抵抗の定義 | 3 |
| 4. 単相流条件の流動抵抗 | 4 |
| 4. 1 得られたデータ | 4 |
| 4. 2 流動抵抗のパラメータ依存性 | 4 |
| 4. 3 従来の知見との比較 | 4 |
| 5. 二相流条件の流動抵抗 | 7 |
| 5. 1 得られたデータ | 7 |
| 5. 2 流動抵抗のパラメータ依存性 | 8 |
| 6. 従来の知見による二相流増倍係数の評価 | 12 |
| 6. 1 分離流モデル及び均質流モデル | 12 |
| 6. 2 オリフィス | 13 |
| 6. 3 スペーサ | 15 |
| 6. 4 分離流モデル及び均質流モデルの予測性能のまとめ | 15 |
| 7. まとめ | 17 |
| 参考文献 | 17 |
| 付録 1 単相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa) | 75 |
| 付録 2 単相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa) | 83 |
| 付録 3 単相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa) | 91 |
| 付録 4 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa, 133kg/m ² s) | 99 |
| 付録 5 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa, 400kg/m ² s) | 105 |
| 付録 6 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa, 666kg/m ² s) | 111 |
| 付録 7 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa, 133kg/m ² s) | 117 |
| 付録 8 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa, 400kg/m ² s) | 123 |
| 付録 9 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa, 666kg/m ² s) | 129 |
| 付録 10 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa, 133kg/m ² s) | 135 |
| 付録 11 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa, 400kg/m ² s) | 141 |
| 付録 12 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa, 666kg/m ² s) | 147 |

Contents

| | | |
|-------------|---|-----|
| 1. | Introduction | 1 |
| 2. | Investigated Orifice and Spacer | 2 |
| 3. | Experiment | 2 |
| 3.1 | Experiment Method | 2 |
| 3.2 | Experimental Condition | 2 |
| 3.3 | Definition of Flow Resistance | 3 |
| 4. | Flow Resistance under Single-phase Flow | 4 |
| 4.1 | Experimental Data | 4 |
| 4.2 | Parameter Dependency of Flow Resistance | 4 |
| 4.3 | Comparison to Previous Researches | 4 |
| 5. | Flow Resistance under Two-phase Flow | 7 |
| 5.1 | Experimental Data | 7 |
| 5.2 | Parameter Dependency of Flow Resistance | 8 |
| 6. | Evaluation of Two-phase Flow Multiplier with Previous Researches | 12 |
| 6.1 | Separate Flow Model and Homogeneous Flow Model | 12 |
| 6.2 | Orifice | 13 |
| 6.3 | Spacer | 15 |
| 6.4 | Summary on Predictability of Separate Flow Model and Homogeneous Flow Model | 15 |
| 7. | Summary | 17 |
| | References | 17 |
| Appendix 1 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Single-phase Flow (0.2MPa) | 75 |
| Appendix 2 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Single-phase Flow (2MPa) | 83 |
| Appendix 3 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Single-phase Flow (7MPa) | 91 |
| Appendix 4 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (0.2MPa, 133kg/m ² s) | 99 |
| Appendix 5 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (0.2MPa, 400kg/m ² s) | 105 |
| Appendix 6 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (0.2MPa, 666kg/m ² s) | 111 |
| Appendix 7 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (2MPa, 133kg/m ² s) | 117 |
| Appendix 8 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (2MPa, 400kg/m ² s) | 123 |
| Appendix 9 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (2MPa, 666kg/m ² s) | 129 |
| Appendix 10 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (7MPa, 133kg/m ² s) | 135 |
| Appendix 11 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (7MPa, 400kg/m ² s) | 141 |
| Appendix 12 | Data of Flow Resistances of Orifice and Spacer under Two-phase Flow (7MPa, 666kg/m ² s) | 147 |

図表リスト

- 図2. 1 オリフィス(口径20mm)の概略図
 図2. 2 スペーサ概略図
 図2. 3 THYNC 試験装置概略図
 図2. 4 THYNC 試験部の概略
 図2. 5 THYNC 試験部構造図
 図3. 1 スペーサ差圧測定用差圧導管位置
 図3. 2 THYNC 試験部の計測位置図
 図4. 1 单相流時Kファクターの圧力依存性及び流量依存性
 図4. 2 单相流時Kファクターと Re の関係
 図5. 1 圧力0.2MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 2 圧力0.2MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 3 圧力0.2MPa、流量0.5kg/s(質量流束666kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 4 圧力2MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 5 圧力2MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 6 圧力2MPa、流量0.5kg/s(質量流束666kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 7 圧力7MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 8 圧力7MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 9 圧力7MPa、流量0.5kg/s(質量流束666kg/m²s)のときの流動抵抗関連データ
 図5. 10 二相流増倍係数とクオリティの関係(オリフィス)
 図5. 11 圧力0.2MPa～7MPa、質量流束133kg/m²s～666kg/m²sにおける二相流増倍係数とクオリティの関係(オリフィス)
 図5. 12 二相流増倍係数と圧力の関係(オリフィス)
 図5. 13 二相流増倍係数とクオリティの関係(スペーサ)
 図5. 14 圧力0.2MPa～7MPa、質量流束133kg/m²s～666kg/m²sにおける二相流増倍係数とクオリティの関係(スペーサ)
 図5. 15 二相流増倍係数と圧力の関係(スペーサ)
 図5. 16 規格化した二相流増倍係数と圧力の関係(オリフィス及びスペーサ)
 図5. 17 実験式による二相流増倍係数の予測
 図5. 18 計測されたボイド率の2速度モデルによるフィッティング
 図5. 19 補正したボイド率と二相流増倍係数の関係(オリフィス)
 図5. 20 圧力0.2MPa～7MPa、質量流束133kg/m²s～666kg/m²sにおける補正したボイド率と二相流増倍係数の関係(オリフィス)
 図5. 21 ボイド率と二相流増倍係数の関係(スペーサ)
 図5. 22 圧力0.2MPa～7MPa、質量流束133kg/m²s～666kg/m²sにおけるボイド率と二相流増倍係数の関係(スペーサ)
 図6. 1 ボイド率とクオリティの関係(オリフィス)
 図6. 2 ボイド率とクオリティの関係(スペーサ)
 図6. 3 分離流モデルによる二相流増倍係数とクオリティの関係(オリフィス)
 図6. 4 分離流モデルによる二相流増倍係数と圧力の関係(オリフィス)
 図6. 5 分離流モデルによる規格化した二相流増倍係数と圧力の関係(オリフィス)
 図6. 6 分離流モデルによる二相流増倍係数比(Data/Prediction)と圧力の関係(オリフィス)

- 図 6. 7 均質流モデルによる二相流増倍係数とクオリティの関係（オリフィス）
図 6. 8 均質流モデルによる二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）
図 6. 9 均質流モデルによる規格化した二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）
図 6. 10 均質流モデルによる二相流増倍係数比（Data/Prediction）と圧力の関係（オリ
フィス）
図 6. 11 分離流モデルによる二相流増倍係数比（Data/Prediction）と圧力の関係（スペ
ーサ）
図 6. 12 均質流モデルによる二相流増倍係数比（Data/Prediction）と圧力の関係（スペ
ーサ）
図 6. 13 分離流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
（全データ）
図 6. 14 分離流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
（高圧データ）
図 6. 15 均質流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
（全データ）
図 6. 16 均質流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
（高圧データ）

1. 概 要

沸騰水型原子炉(BWR)の自然循環運転時や再循環ポンプトリップなどの過渡変化時には、炉心の核熱水力不安定性によって流動振動現象や間欠的な燃料被覆管の露出が生じることが報告されている。原研ではこの様な BWR 炉心での核熱水力不安定性の機構を解明するため、炉心を模擬した 3 つの並列試験部を有する核熱結合模擬試験装置（THYNC 試験装置）を用いて、炉心でのポイド反応度フィードバック効果等を実験的に調べると共に、原研で開発した TRAC-SKETCH コードの検証・改良を行っている。THYNC 実験では、実炉の炉心流動を忠実に模擬すべく、3 基並列とした試験体の出口にオリフィス抵抗体を設置している。さらに、これらの並列試験体全てに、現行 BWR に用いられているものと同じ形状の丸セル型スペーサを軸方向 7ヶ所に設置している。これらのオリフィス抵抗体及び炉心スペーサによる流動抵抗は、試験目標である核熱水力特性に影響を与えることがわかっているが、高圧下での蒸気／水二相流動の流動特性については必ずしも充分なデータと予測モデルがない。このため、THYNC 実験データの解析に必要な装置特性データとして、BWR 炉心の流動条件で単相流時及び二相流時についてあらためて計測を行った。さらに、得られた計測データに基づき、使用したオリフィス抵抗体及び炉心スペーサの流動抵抗の圧力及び流量依存性を検討するとともに、THYNC 装置の制御系で関数として利用することを念頭に、従来二相流動抵抗予測に用いられてきたモデルの適用性を検討した。

2. 検討の対象としたオリフィス及びスペーサ

検討の対象としたオリフィス及びスペーサの概略図を図2.1及び図2.2に示す。いずれも、図2.3に示すTHYNC試験装置⁽¹⁾に取り付けられているものである。オリフィスは口径20mの薄刃オリフィス、スペーサは現行BWRで広く用いられている丸セル型スペーサをTHYNC試験装置用に調整したものである。

オリフィスはTHYNC試験部上部に、スペーサはTHYNC試験部内に取り付けられている。取付け位置を図2.4及び図2.5に示す。オリフィスは円管路内に、スペーサは管群内に取り付けられている。

3. 試験

3.1 試験方法

試験は、以下の手順で行った。

1. THYNC試験装置の加圧器圧力、THYNC試験部の入口水流量、入口水温を所定の値に設定する。
2. THYNC試験部に取り付けた電気ヒータ（模擬燃料）の出力レベルを段階的に増加する。
3. 各出力レベルで流動状況を定常化させる。
4. 定常状態が達成されたとき、以下の項目を測定する。
 - ・加圧器圧力
 - ・試験部入口水流量（チャンネル流量）
 - ・試験部入口水温
 - ・電気ヒータ出力（チャンネル出力）
 - ・オリフィス差圧
 - ・スペーサ差圧
 - ・試験部内ボイド率
 - ・試験部内流体温度

オリフィス差圧及びスペーサ差圧の測定用差圧導管の取付位置を図2.1及び図3.1に示す。

試験部内のボイド率及び流体温度の測定位置を図3.2に示す。

ボイド率は、著者らが開発したコンダクタンス式ボイド率計^{(2),(3),(4)}を用いて計測した。

3.2 試験条件

以下の単相流条件及び二相流条件で試験を行った。

単相流条件

1. 圧力 0.2MPa, 2MPa, 7MPa
2. チャンネル流量 0kg/s - 0.5kg/s
(質量流束 = 0kg/m²s - 667kg/m²s)
3. 試験部入口水温 (目標値) サブクール 10K
4. チャンネル出力 0kW

二相流条件

1. 圧力 0.2MPa, 2MPa, 7MPa
2. チャンネル流量 0.1kg/s, 0.3kg/s, 0.5kg/s
(質量流束 = 133kg/m²s, 400kg/m²s, 667kg/m²s)
上記の質量流束は、試験部流路断面積 = 752.9 × 10⁻⁶m² のときの値である。
3. 試験部入口水温 (目標値) サブクール 10K
4. チャンネル出力 0kW - 試験部内ボイド率が 90%までを目標

3. 3 流動抵抗の定義単相流時

オリフィス及びスペーサの単相流時の流動抵抗は、以下に定義するKファクターで表示する。

$$K_0 = \frac{\Delta P - \Delta P_f - \Delta P_{st}}{\left(\frac{G^2}{2\rho_l} \right)}$$

ここで、

ΔP : 全差圧

ΔP_f : 摩擦損失

ΔP_{st} : 静水頭

G : 質量流束

ρ_l : 水の密度

ただし、 ΔP_f は、対象とする区間長さが短い（オリフィス 5cm、スペーサ 12.8cm）ので、ゼロと見なす。別途、 ΔP_f をゼロと見なした誤差の評価を行う。

二相流時

オリフィス及びスペーサの二相流時の流動抵抗は、以下に示すふたつの尺度で示す。

(1) Kファクター : 二相流時のKファクターを K_{tp} と表すことにする。

$$K_{tp} = \frac{\Delta P - \Delta P_f - \Delta P_{st}}{\left(\frac{G^2}{2\rho_l} \right)}$$

(2) 二相流増倍係数 : 等しい質量流束の条件での二相流時と単相流時の形状損失の比

$$\frac{\Delta P_{tp}}{\Delta P_0} = \frac{(\Delta P - \Delta P_f - \Delta P_{st})_{tp}}{(\Delta P - \Delta P_f - \Delta P_{st})_0} = \frac{K_{tp}}{K_0}$$

ここで、 ΔP_{tp} : 二相流時の形状損失 ($= (\Delta P - \Delta P_f - \Delta P_{st})_{tp}$)

ΔP_0 : 飽和温度の単相流時の形状損失 ($= (\Delta P - \Delta P_f - \Delta P_{st})_0$)

ただし、 ΔP_f は、対象とする区間長さが短いので、ゼロと見なす。

4. 単相流条件の流動抵抗

4. 1 得られたデータ

付録1に、圧力0.2MPa(質量流束133kg/m²s～666kg/m²s)の単相流条件で行った試験で得られた下記のデータを示す。

1. 圧力(横軸=時間)
2. 流体温度(横軸=時間)
3. チャンネル流量(横軸=時間)
4. チャンネル出力(横軸=時間)
5. 測定された全差圧(スペーサ、オリフィス)(横軸=時間)
6. ボイド率(横軸=時間)
7. 静水頭補正を行った差圧(スペーサ、オリフィス)(横軸=時間)
8. 差圧対質量流束(チャンネルa)
9. 差圧対質量流束(チャンネルb)
10. 差圧対質量流束(チャンネルc)
11. Kファクター(スペーサ、オリフィス)(横軸=時間)
12. Kファクター対質量流束(スペーサ、オリフィス)

同様に、付録2及び付録3に、圧力2MPa及び7MPaの単相流条件で行った試験で得られたデータを示す。付録1～付録3のデータを用いて、本章の検討を行った。

4. 2 流動抵抗のパラメータ依存性

上記の試験結果から得られたKファクターの圧力依存性及び流量依存性を図4. 1に示す。

スペーサのKファクターは、流量0.3kg/s以上(質量流束400kg/m²s以上)では、圧力、流量にかかわらずほぼ一定($=1.7\sim 2.0$)である。流量が0.3kg/s以下(質量流束400kg/m²s以下)では、流量の減少とともに増加する。これは、低圧ほど著しい。一方、オリフィスのKファクターは、圧力、流量にかかわらずほぼ一定($=15\sim 20$)である。スペーサのKファクターが流量の減少とともに増加するのは、 ΔP_f をゼロと見なしている評価法に起因していると考えられる。

図4. 2は、横軸を Re としたものである。スペーサのKファクターは、 $Re \geq 4 \times 10^4$ ではほぼ一定であり、 $Re \leq 4 \times 10^4$ では Re の減少とともに増加する。図4. 1によれば、低流量条件($\leq 0.3 \text{ kg/s}$)で低圧ほどスペーサのKファクターは大きい傾向が見られたが、図4. 2のように、横軸を Re にすると、スペーサのKファクターの圧力依存性はほとんどなくなる。すなわち、スペーサのKファクターの圧力、流量依存性は、 Re のみの関数として表現できる。

一方、オリフィスのKファクターは、 $1 \times 10^4 \leq Re \leq 12 \times 10^4$ で圧力、流量にかかわらずほぼ一定である。

4. 3 従来の知見との比較

オリフィス

オリフィスでの流量と差圧の関係は、下式で表される。⁽⁵⁾

$$m = \alpha A_{or} \sqrt{2\rho \Delta P}$$

ここで、
 m : 流量
 α : 流量係数
 A_{or} : オリフィス流路面積
 ρ : 流体密度
 ΔP : 差圧

である。上式と、Kファクターの定義式から、次式が得られる。

$$K_0 = \left(\frac{1}{\alpha} \right)^2 \left(\frac{A_{TS}}{A_{or}} \right)^2$$

ここで、
 A_{TS} : 試験部流路面積
 A_{OR} : オリフィス流路面積

上式で求めた K_0 ($\equiv K_{0*}$ と置く。) と試験で得られた K_0 を比較する。上式によれば、

$$K_{0*} = \left(\frac{1}{0.62} \right)^2 \left(\frac{\frac{752.9 \times 10^{-6}}{\pi \times 0.02^2}}{4} \right)^2 = 2.60 \times 5.74 = 14.93$$

上式では、 $\alpha=0.62$ を用いている。この値は、 $Re \geq 2 \times 10^4$ で成立するとされている。⁽⁵⁾

以上から、

$$\frac{K_0}{K_{0*}} = \frac{15.5}{14.93} = 1.038$$

となる。すなわち、オリフィスの単相流流動抵抗は、 $Re \geq 2 \times 10^4$ 範囲では、従来の知見による上記の予測法でほぼ予測することができる。ただし、実験結果は、上記の予測結果より約 4% 大きい。

スペーサ

大久保らによれば、スペーサの単相流流動抵抗は、形状変化（流路の縮小・拡大）に起因した損失と流動摩擦に起因した損失の和として解釈できる⁽⁶⁾。この考えに沿って、本試験の結果を評価する。

流路の縮小による圧力損失 ΔP_c は、次式で表される⁽⁵⁾。

$$\Delta P_c = \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} \right)^2 \left(\frac{\rho u_{TS}^2}{2} \right)$$

流路の拡大による圧力損失 ΔP_e は、次式で表される。

$$\Delta P_e = \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} - 1 \right)^2 \left(\frac{\rho u_{TS}^2}{2} \right)$$

形状変化に起因した圧力損失は、流路の縮小及び拡大に起因する圧力損失の和であるとすると、

$$K_{ce} = \left\{ \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} \right)^2 + \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} - 1 \right)^2 \right\}$$

一方、流動摩擦に起因した圧力損失 ΔP_f を、

$$\Delta P_f = \lambda \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} \right)^2 \left(\frac{\rho u_{TS}^2}{2} \right)$$

で表せるとすると、

$$K_f = \lambda \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} \right)^2$$

更に、スペーサの圧力損失は、形状損失と摩擦損失の和であるとすると

$$K_{SP} = \left\{ \left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} \right)^2 + \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} - 1 \right)^2 \right\} + \lambda \left(\frac{l}{d} \right) \left(\frac{A_{TS}}{A_{SP}} \right)^2$$

上式に、以下の数値

$$\left(\frac{1}{C_c} - 1 \right)^2 = 0.15 \quad (5)$$

$$\frac{A_{TS}}{A_{SP}} = 1.47 \quad (\text{スペーサの流路占有率 } 0.32 \text{ に相当})$$

$$\lambda = 0.02 \quad (Re=50000 \text{ のとき})$$

$$l/d = 30/10$$

を代入すると、 K_{SP} は次のようになる。

$$\begin{aligned} K_{SP} &= \{0.15 \times 1.47^2 + (1.47 - 1)^2\} + 0.02 \times (30/10) \times 1.47^2 \\ &= 0.32 + 0.22 + 0.13 = 0.67 \end{aligned}$$

上記のスペーサ占有率の見積もりには、スペーサの上部に付いているベーンの流路閉塞を考慮していない。仮に、スペーサの流路占有率が、0.4 または 0.5 あるとすると、上記と同じ見積もり法により

$$\begin{aligned} K_{SP} &= 1.11 \quad (\text{スペーサの流路占有率}=0.4 \text{ のとき}) \\ &= 2.20 \quad (\text{スペーサの流路占有率}=0.5 \text{ のとき}) \end{aligned}$$

となる。これらの値は、実験データ (1.7~2.0) とほぼ一致する。すなわち、適当な流路占有率を用いれば従来の手法によりスペーサのKファクターを見積もることができると考えられる。ただし、上記のように、流路占有率の K_{SP} に及ぼす感度が大きいので、複雑な形状では正確な見積もりが困難で、形状データから K_{SP} を求めるよりも、実験により求める方が実効性があると考えられる。

上記の見積もり手法では、管路の摩擦係数 λ は低質量流束ほど大きいので、上記の見積もり手法で低 Re ほどスペーサのKファクターが増加することが説明できる。ただし、低流量のときのKファクターについては現時点では定量的に説明できるには至っていない。

5 二相流条件の流動抵抗

5. 1 得られたデータ

付録4に、圧力0.2MPa、流量0.1kg/sの二相流条件で行った試験の試験条件及び得られた下記のデータを示す。

- (1) 圧力、チャンネル流量 対 時間
- (2) 流体温度 対 時間
- (3) チャンネル加熱電力 対 時間
- (4) 差圧(スペーサ) 対 時間
- (5) 差圧(オリフィス) 対 時間
- (6) ボイド率 対 時間
- (7) 差圧測定値-静水頭(スペーサ) 対 時間
- (8) 差圧測定値-静水頭(オリフィス) 対 時間
- (9) スペーサKファクター 対 時間
- (10) オリフィスKファクター 対 時間
- (11) クオリティ、ボイド率 対 時間
- (12) クオリティ、ボイド率 対 チャンネル加熱電力

同様に、圧力、流量をパラメトリックに変えて行った試験の上記の(1)～(12)の試験条件及びデータを付録5以降に示す。付録4～付録12のデータを用いて、本章の検討を行った。

- ・付録4 圧力0.2MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録5 圧力0.2MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録6 圧力0.2MPa、流量0.5kg/s(質量流束666kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録7 圧力2MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録8 圧力2MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録9 圧力2MPa、流量0.5kg/s(質量流束666kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録10 圧力7MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録11 圧力7MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)の試験条件のデータ
- ・付録12 圧力7MPa、流量0.5kg/s(質量流束666kg/m²s)の試験条件のデータ

図5. 1に、圧力0.2MPa、流量0.1kg/s(質量流束133kg/m²s)の二相流条件で行った試験で得られた下記のデータを示す。

1. ボイド率とクオリティの関係(オリフィス部及びスペーサ部)
2. ボイド率とKファクターの関係(オリフィス部)

Kファクターは、オリフィスでの圧力損失と単相流時動圧との比で定義する。
3. ボイド率とKファクターの関係(スペーサ部)

Kファクターは、スペーサでの圧力損失と単相流時動圧との比で定義する。
4. クオリティとKファクターの関係(オリフィス部及びスペーサ部)
5. ボイド率と二相流増倍係数(K_f/K_{f0})の関係(オリフィス及びスペーサ)
6. クオリティと二相流増倍係数(K_f/K_{f0})の関係(オリフィス及びスペーサ)

同様に、各試験条件の結果を以下の図に示す。

図5.2 圧力0.2MPa、流量0.3kg/s(質量流束400kg/m²s)

- 図 5.3 圧力 0.2MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s)
 図 5.4 圧力 2MPa、流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s)
 図 5.5 圧力 2MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s)
 図 5.6 圧力 2MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s)
 図 5.7 圧力 7 MPa、流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s)
 図 5.8 圧力 7 MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s)
 図 5.9 圧力 7 MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s)

どの圧力 (0.2MPa~7MPa)、どの流量 (質量流束 133kg/m²s~666kg/m²s) においても、次の傾向が見られる。

- (1) Kファクターは、ボイド率の増加とともに増加する。ボイド率が 0.7 以上になると急激に増加する。
- (2) Kファクターは、クオリティの増加とともにほぼ線型に増加する。
- (3) 二相流増倍係数は、ボイド率の増加とともに増加する。ボイド率が 0.7 以上になると急激に増加する。
- (4) 二相流増倍係数は、クオリティの増加とともにほぼ線型に増加する。

5. 2 流動抵抗のパラメータ依存性

(1) オリフィス

5. 1 節の結果をもとに、オリフィスについて得られたクオリティと二相流増倍係数の関係を以下に示す。

図 5. 1 0 は、圧力 0.2MPa、2MPa、7MPa のときの二相流増倍係数である。流量 0.1kg/s~0.5kg/s (133kg/m²s~666kg/m²s) の範囲では、流量が異なっても等しいクオリティでは二相流増倍係数はほぼ等しい。また、両者の関係はほぼ直線関係である。

図 5. 1 0 の結果をひとつのグラフ (図 5. 1 1) にまとめる。等しいクオリティで比較したとき、圧力が大きいほど二相流増倍係数は小さい。

図 5. 1 2 に、クオリティをパラメータとして圧力と二相流増倍係数の関係を示す。圧力 2MPa から 7MPa の変化時の二相流増倍係数の変化に比べて、圧力 0.2MPa から 2MPa の変化時の二相流増倍係数の変化は大きい。すなわち、低圧では、二相流増倍係数に及ぼす圧力の影響は著しい。

(2) スペーサ

5. 1 節の結果をもとに、スペーサについて得られたクオリティと二相流増倍係数の関係を以下に示す。オリフィスの場合と定性的には同じである。

図 5. 1 3 は、圧力 0.2MPa、2MPa、7MPa のときの結果である。流量 0.3kg/s~0.5kg/s (400kg/m²s~666kg/m²s) の範囲では、流量が異なっても等しいクオリティでは二相流増倍係数はほぼ等しい。また、両者の関係はほぼ直線関係である。これは、オリフィスの場合と同じである。流量が小さい場合 (0.1kg/s、133kg/m²s)、実験結果のばらつきが大きい。これは、低流量条件では圧力損失が小さいため、計測精度がよくないためであると考えられる。

図 5. 1 3 の結果を図 5. 1 4 にまとめて示す。上図は、流量 0.1kg/s の場合であり、下図は流量 0.3kg/s、0.5kg/s の場合である。下図によれば、等しいクオリティで比較したとき、圧力が大きいほど二相流増倍係数は小さい。

図 5. 1 5 に、クオリティをパラメータとして圧力と二相流増倍係数の関係を示す。圧力 2MPa から 7MPa の変化時の二相流増倍係数の変化に比べて、圧力 0.2MPa から 2MPa の変化時の二相

流増倍係数の変化は大きい。すなわち、低圧では、圧力の二相流増倍係数に及ぼす影響は著しい。これは、オリフィスの場合と同じである。

(3) 二相流増倍係数の圧力依存性

図5. 12（オリフィスの場合）及び図5. 15（スペーサの場合）に示す二相流増倍係数の圧力依存性の相似性を定量的に調べるために、圧力が7MPaのときの二相流増倍係数で規格化した結果を図5. 16に示す。図からわかるように、圧力が2MPa以上では、クオリティにかかわりなく、またオリフィスであるかスペーザであるかにかかわりなく、データはほぼ一本の線上にある。すなわち、規格化した二相流増倍係数は圧力のみに依存し、クオリティ、形状の影響は小さい。

(4) 二相流増倍係数とクオリティの関係のまとめ

以上のパラメータ依存性をまとめると以下のようになる。

- (1) 二相流増倍係数は、圧力、クオリティ、形状（オリフィスとスペーザの違い）に依存する。同じクオリティで比較すれば、流量が異なっても二相流増倍係数は等しい。すなわち、流量の影響はクオリティで表現できる。
- (2) 二相流増倍係数とクオリティの関係は、ほぼ直線関係である。
- (3) 特定の圧力の二相流増倍係数で任意の圧力の二相流増倍係数を規格化すると、二相流増倍係数比は、クオリティ、形状（オリフィスとスペーザの違い）の影響の小さい、圧力のみの関数で近似できる。（ただし、P=2MPa～7MPaのとき）

以上をまとめると、オリフィス及びスペーザに対して、二相流増倍係数は次のように近似できる。

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_0} = f_1(P) \{f_2(\text{geometry})x + 1\}$$

ここで、 $f_1(P)$ は、図5. 16の結果をフィッティングすれば、次式のように定められる。

$$f_1(P) = 5.0993e^{-0.2436P}$$

P : (MPa)

また、右辺第2項は、図5. 11及び図5. 14の結果を直線でフィッティングすれば、次式のように定められる。

| | | |
|-------|-------------|---------|
| 右辺第2項 | $= 13x + 1$ | (オリフィス) |
| | $= 20x + 1$ | (スペーザ) |

上記の近似式で求めた二相流増倍係数と実験値の比較を図5. 17に示す。上記の近似式により、ほぼ±20%で実験結果を予測できる。

以上の結果は、二相流増倍係数とクオリティの関係が単純である（複雑でない）ことを示すが、形状によって異なることに対し、何の見通しも得られない。このため、以下にボイド率と二相流増倍係数の関係を検討する。

(5) 二相流増倍係数とボイド率の関係

スペーザに対しては、差圧測定位置でボイド率を測定している。これに対し、オリフィスに対

しては差圧測定位置近傍でボイド率を測定していない。最も近い位置でも測定は試験部発熱上端でのボイド率測定である。試験部発熱上端でのボイド率測定結果からオリフィス部ボイド率を求めるために、実績があるとされるドリフトフラックスモデル⁽⁷⁾を用いた。

ドリフトフラックスモデルは、一般に下式で表される。

$$\frac{j_g}{\alpha} = C_0(j_g + j_l) + V_g$$

これを、変形すれば、

$$\alpha = \frac{j_g}{C_0(j_g + j_l) + V_g} = \frac{G_g / \rho_g}{C_0(G_g / \rho_g + G_l / \rho_l) + V_g} = \frac{x G / \rho_g}{C_0 G (x / \rho_g + (1-x) / \rho_l) + V_g}$$

上式を、ボイド率測定位置である加熱部上端及びオリフィス部に適用すれば、

$$\alpha_{TS} = \frac{x m / S_{TS} \rho_g}{C_{0TS} (m / S_{TS}) (x / \rho_g + (1-x) / \rho_l) + V_{gTS}}$$

$$\alpha_{OR} = \frac{x m / S_{OR} \rho_g}{C_{0OR} (m / S_{OR}) (x / \rho_g + (1-x) / \rho_l) + V_{gOR}}$$

ドリフトフラックスは、 C_0 及び V_g に対して多くの表式がある。スラグ流に対しては、次式がある。

$$\zeta = 1.2$$

$$V_g = 0.35 \left\{ g D (\rho_l - \rho_g) / \rho_l \right\}^{1/2}$$

以上の諸式、及び以下の形状データを、 α_{TS} を与えれば α_{OR} を求められる。

$$S_{TS} = 753 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (テスト部流路面積)}$$

$$S_{OR} = 3745 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ (オリフィス部直下の管路流路面積)}$$

$$D_{TS} = 0.01 \text{ m} \text{ (テスト部等価直径)}$$

$$D_{OR} = 0.0691 \text{ m} \text{ (オリフィス部直下の管路等価直径)}$$

図5. 18は、発熱部上端におけるボイド率測定結果と、上諸式による補正を施したボイド率の関係を示す。発熱部上端に比べてオリフィス部直下における補正ボイド率は小さい。これは、オリフィス部直下では発熱部上端に比べて流路面積が広く、蒸気速度が低下するためである。

上記の補正を行った前後のボイド率と二相流増倍係数の関係を図5. 18に示す。補正を行うと二相流増倍係数は増加する。

図5. 19に、補正したボイド率と二相流増倍係数の関係を、0.2MPa～7MPa の範囲で示す。これを、図5. 20にまとめて示す。二相流増倍係数とクオリティの関係は圧力によって著しく異なったが（図5. 11参照）、二相流増倍係数とボイド率の関係に及ぼす圧力の影響は小さいことがわかる。圧力影響は、質量流束が 400～666kg/m²s で特に小さく、133kg/m²s でやや大きい。

図から、質量流束 400～666kg/m²s、圧力 0.2MPa～7MPa、ボイド率 0.6 以下では、ボイド率と二相流増倍係数の関係は 1 本の線で表せることがわかる。

スペーサにおけるボイド率と二相流増倍係数の関係を、0.2MPa, 2MPa, 7MPa について、図5. 21に示す。スペーサ部では差圧測定位置とボイド率測定位置はほぼ同じなのでボイド率の位置の補正を要さない。各圧力では、流量 0.3kg/s と 0.5kg/s (質量流束 400kg/m²s, 666kg/m²s)

とでほぼ等しい二相流増倍係数である。

図5.22に各圧力のデータを1図にまとめた結果を示す。オリフィス部における結果と同様に、圧力 0.2MPa～7MPa の範囲で、ボイド率と二相流増倍係数の関係は1本の線で表せることがわかる。このように、クオリティと二相流増倍係数の関係は圧力に著しく影響されたのに対し、ボイド率と二相流増倍係数の関係は圧力に僅かに影響されるだけである。

図5.20と図5.22を比べることにより、オリフィス部とスペーサ部でのボイド率と二相流増倍係数の関係の違いがわかる。両図を比較すると、オリフィス部ではスペーサ部に比べて約20%小さい。これは、クオリティと二相流増倍係数の関係はオリフィス部とスペーサ部とでは著しく異なったのに対し、大きな違いである。すなわち、ボイド率と二相流増倍係数の関係で見れば、二相流増倍係数に及ぼす形状の影響は小さい。

6 従来の知見による二相流増倍係数の評価

実験で得られた二相流増倍係数を、分離流モデルや均質流モデルなどの基本的なモデルにより評価する。

6. 1 分離流モデル及び均質流モデル

分離流モデル

分離流モデルによれば、二相流時の圧力損失は次式で表せる。

$$\begin{aligned}\Delta P_p &= K_2 \left(\frac{\rho_l u_l^2}{2} + \frac{\rho_g u_g^2}{2} \right) \\ &= K_2 \left(\frac{G_l^2}{2\rho_l(1-\alpha)} + \frac{G_g^2}{2\rho_g\alpha} \right) \\ &= K_2 G^2 \left(\frac{(1-x)^2}{2\rho_l(1-\alpha)} + \frac{x^2}{2\rho_g\alpha} \right)\end{aligned}$$

同様に、単相流時には、

$$\Delta P_0 = K_0 \left(\frac{\rho_l u_l^2}{2} \right) = K_0 \left(\frac{G^2}{2\rho_l} \right)$$

したがって、二相流増倍係数は、

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_0} = \frac{K_p}{K_0} = \left(\frac{K_2}{K_0} \right) \left(\frac{(1-x)^2}{(1-\alpha)} + \frac{x^2}{\alpha} \frac{\rho_l}{\rho_g} \right)$$

上式によれば、クオリティ x とボイド率 α の関係がわかれば、二相流増倍係数（予測値）とクオリティの関係が求められる。2速度モデルによれば、クオリティとボイド率の関係は次式で表される。

$$\alpha = \frac{x}{x + s(1-x) \rho_g / \rho_l}$$

ここで、 s : スリップ比
である。

実験で得られたクオリティとボイド率の関係（図5. 1～図5. 9）に対して、前章に記述したドリフトフラックスモデルでボイド率の補正を行った後、スリップ比 s の二相流としてデータをフィッティングすると以下のようになる。

| 圧力(MPa) | 質量流束(kg/m ² s) | 最適スリップ比 (オリフィス口径 20mm) | 最適スリップ比 (丸セルスペーサ) |
|---------|---------------------------|---------------------------|----------------------|
| 0. 2 | 1 3 3 | 1 5 | 1 1 |
| 0. 2 | 4 0 0 | 5 | 6 |
| 0. 2 | 6 6 7 | 3. 5 | 5. 5 |
| 2. 0 | 1 3 3 | 1 0 | 3 |

| | | | |
|------|-------|------|------|
| 2. 0 | 4 0 0 | 3. 5 | 1. 4 |
| 2. 0 | 6 6 7 | 2 | 1. 2 |
| 7. 0 | 1 3 3 | 1 0 | 2 |
| 7. 0 | 4 0 0 | 2. 8 | 1 |
| 7. 0 | 6 6 7 | 1. 8 | 0. 8 |

実験データと、上記の最適スリップ比を用いたときの結果を図6. 1 (オリフィス) 及び図6. 2 (スペーサ) に示す。上記のスリップ比で実験データをほぼフィッティングできていることがわかる。

K_2/K_0 に適当な数値を代入すれば、上諸式からクオリティと二相流増倍係数の関係が求められる。

均質流モデル

分離流モデルにスリップ比 $s = 1$ を適用することにより、均質流モデルによる二相流増倍係数が以下のように得られる。

$$\Delta P_p = K_2 \frac{G^2}{2\rho_m}$$

上式で、 ρ_m は均質流の流体密度で、次式で表される。

$$\frac{1}{\rho_m} = \frac{(1-x)}{\rho_l} + \frac{x}{\rho_g}$$

したがって、二相流増倍係数は、

$$\frac{\Delta P_p}{\Delta P_0} = \frac{K_p}{K_0} = \left(\frac{K_2}{K_0} \right) \left(\frac{\rho_l}{\rho_m} \right)$$

均質流モデルによる二相流増倍係数は、 K_2/K_0 、クオリティ及び流体密度で表される。

6. 2 オリフィス

分離流モデル

オリフィスに対して、分離流モデルを適用する。第1近似として、 $\frac{K_2}{K_0} = 1.0$ とする。後述のよ

うに、本試験に対する $\frac{K_2}{K_0}$ の最適値は、1.06 であり、ほぼ第1近似とした 1.0 である。

分離流モデルによる二相流増倍係数（予測値）とクオリティの関係を図6. 3 に示す。圧力 7 MPa では、クオリティの増加とともに二相流増倍係数（予測値）はほぼ直線的に増加している。この点は、実験結果と一致している。

図6. 4 に、二相流増倍係数（予測値）の圧力依存性を示す。図中には、分離流モデルによる予測結果と実験結果を示す。予測結果、実験結果ともに、圧力の増加に伴い二相流増倍係数は減少する。分離流モデルにより圧力効果をどの程度定量的に表せているかを調べるために、圧力が 7 MPa のときの二相流増倍係数で規格化した結果を図6. 5 に示す。本図と図5. 1 6 を比較す

ると、二相流増倍係数の比（予測値）の圧力依存性は実験結果と同程度であることがわかる。

図6. 6に、予測結果と実験結果の比(Data/Prediction)を示す。クオリティ 0.05~0.4 の範囲では、Data/Prediction は、ほぼ一本の線にまとまっている。すなわち、クオリティの影響は、分離流モデルで表現できる。これに対し、Data/Prediction は、圧力の増加とともにやや増加している。すなわち、分離流モデルでは、圧力の影響を十分には表現できない。しかし、圧力 2MPa 以上では、Data/Prediction はほぼ一定であり、この圧力範囲では分離流モデルで圧力の影響をほぼ表現できる。

圧力 2MPa~7MPa では、

- ・流量 0.3kg/s (400kg/m²s) で、Data/Prediction=0.97~1.13
- ・流量 0.5kg/s (666kg/m²s) で、Data/Prediction=0.75~0.96

であり、Data/Prediction は、流量に影響されている。二相流増倍係数（実験結果）は、等しいクオリティで比較すると流量にほとんど影響されなかったのに対し、分離流モデルでは影響される。この点が、実験結果と異なる。上記の予測法で、圧力 2MPa~7MPa に対しては精度 25% で二相流増倍係数を予測できる。

Data/Prediction が 1 と異なることは、第1近似として用いた $\frac{K_2}{K_0} = 1.0$ に起因すると考え、

これの最適値 1.06($=1/(0.75+1.13)/2$)を用いると、圧力 2MPa~7MPa では、

- ・流量 0.3kg/s (400kg/m²s) で、Data/Prediction=1.03~1.20
- ・流量 0.5kg/s (666kg/m²s) で、Data/Prediction=0.80~1.02

となり、精度 20% で二相流増倍係数を予測できる。このように、 K_2/K_0 を実験データから最適化すれば、実験データのフィッティング式とほぼ同等な精度で二相流増倍係数を予測できる。

均質流モデル

オリフィスに対して、均質流モデルを以下に適用する。第1近似として、 $\frac{K_2}{K_0} = 1.0$ とする。後

述のように、本試験に対する $\frac{K_2}{K_0}$ の最適値は、1.69 である。

得られた二相流増倍係数（予測値）とクオリティの関係を図6. 7に示す。圧力 2MPa 及び 7MPa では、クオリティの増加とともに二相流増倍係数（予測値）はほぼ直線的に増加している。この点は、実験結果とほぼ一致している。

図6. 8に、二相流増倍係数（予測値）の圧力依存性を示す。図中には、均質流モデルによる予測結果と実験結果を示す。予測結果、実験結果ともに、圧力の増加に伴い二相流増倍係数は減少する。均質流モデルにより圧力効果をどの程度定量的に表せているかを調べるために、圧力が 7MPa のときの二相流増倍係数で規格化した結果を図6. 9に示す。本図と、図5. 16を比較すると、二相流増倍係数（予測値）の圧力依存性は、実験結果と同程度であることがわかる。

図6. 10に、計算結果と実験結果の比(Data/Prediction)を示す。クオリティ 0.1~0.4 の範囲では、Data/Prediction は、ほぼ一本の線にまとまっている。すなわち、クオリティの影響は、均質流モデルで表現できる。Data/Prediction は、圧力の増加とともに増加している。すなわち、均質流モデルでは、圧力の影響を十分には表現できない。しかし、圧力 2MPa 以上では、Data/Prediction はほぼ一定であり、均質流モデルで圧力の影響をほぼ表現できる。

圧力 2MPa~7MPa では、

- Data/Prediction = 0.48~0.70

である。Data/Prediction は、流量に影響されていない。

Data/Prediction が 1 と異なることは、第 1 近似として用いた $\frac{K_2}{K_0} = 1.0$ に由来すると考え、

この最適値 $1.69 (=1/((0.48+0.70)/2))$ を用いると、圧力 2MPa~7MPa では、

- Data/Prediction = 0.81~1.19

となり、精度 19% で二相流増倍係数を予測できる。この精度は、分離流モデルの精度をやや上回る。

このように、均質流モデルでクオリティの影響を表せるものの、精度のよい二相流増倍係数の予測を行うには、実験データから定めた最適な実験定数 $\frac{K_2}{K_0}$ を得る必要がある。

6. 3 スペーサ

分離流モデル

スペーサに対して分離流モデルを適用した結果 ($K_2/K_0 = 1$ を仮定) を図 6. 1 1 に示す。オリフィスの場合に比べて、Data/Prediction は、1 に近い。圧力の影響も比較的よく表現されている。 K_2/K_0 の最適値は、0.3kg/s に対して 1.15、0.5kg/s に対して 1.0 である。

以上から、分離流モデルはスペーサ及び前記のようにオリフィスに対して適用できることがわかる。

均質流モデル

スペーサに対して均質流モデルを適用した結果 ($K_2/K_0 = 1$ を仮定) を図 6. 1 2 に示す。オリフィスの場合に比べて、Data/Prediction は、1 に近い。圧力の影響も比較的よく表現されている。 K_2/K_0 の最適値は、0.3kg/s に対しても 0.5kg/s に対しても、1.0 である。

以上から、均質流モデルはスペーサに対しては適用できるが、前記のようにオリフィスには適用できないことがわかる。

6. 4 分離流モデル及び均質流モデルの予測性能のまとめ

前節までに示したように、分離流モデルは、オリフィス及びスペーサに対して、適用できる。この際、次の範囲ではなんの実験定数も要さない。

図 6. 1 3 に以下の範囲のデータについて、分離流モデルによる予測値と実験値を示す。45 度の線から離れているデータがあるが、これは低圧 (0.2 MPa) のデータである。

- 圧力 0.2MPa~7MPa
- 質量流束 133kg/m²s~667 kg/m²s
- クオリティ 0%~40%
- 形状 オリフィス及びスペーサ

圧力 2MPa 以上、質量流束 400kg/m²s 以上の範囲のデータを図 6. 1 4 に示す。この条件範囲では、分離流モデルにより、±20% の精度で二相流増倍係数を予測できる。

図 6. 1 5 に、上記の条件範囲のデータについて、均質流モデルによる予測値と実験値を示す。45 度の線から離れているデータがあるが、これは低圧 (0.2 MPa) のデータである。圧力

2MPa 以上、質量流束 $400\text{kg/m}^2\text{s}$ 以上の範囲のデータを図 6. 1 6 に示す。同図の下図に示すように、この条件範囲では、スペーサの二相流増倍係数を、均質流モデルにより、 $\pm 20\%$ の精度で予測できる。一方、オリフィスについては、図 6. 1 6 の上図に示すように、均質流モデルは過大予測する。図中の細線は、データの 1.7 倍を示す。均質流による予測値は、データの 1.7 倍と $\pm 20\%$ の範囲で一致している。すなわち、実験定数 1.7 を導入することにより、 $\pm 20\%$ の精度で二相流増倍係数を予測できる。

以上のように、分離流モデルは、上記の適用範囲に対して、 $\pm 20\%$ の精度で二相流増倍係数を予測できる。このモデルの適用に際しては、圧力、質量流束の他に、ボイド率を必要とする。このため、ボイド率の予測が必要となり、これの精度が二相流増倍係数の予測精度に影響する。一方、均質流モデルは、形状に依存した実験定数を要する。適切な実験定数を導入すれば、上記の適用範囲に対して、 $\pm 20\%$ の精度で二相流増倍係数を予測できる。このモデルの適用に際しては、ボイド率の予測を要しない。

7. まとめ

BWR 炉心での核熱水力不安定性の機構を解明するために、THYNC 実験を行っている。THYNC 実験では、実炉の炉心流動を忠実に模擬すべく、試験部出口にオリフィス抵抗体を、試験部内に丸セル型スペーサを設置している。THYNC 実験データの解析には、オリフィス抵抗体やスペーサの流動抵抗を知っておく必要がある。

そこで、THYNC 試験装置のオリフィス抵抗体及びスペーサの単相流時及び二相流時の流動抵抗を測定した。その結果を用いて、オリフィス抵抗体及びスペーサの流動抵抗の圧力、流量、クオリティに対するパラメータ依存性を検討した。併せて、分離流などの基本的な2相流モデルの二相流増倍係数に対する適用性を検討した。その結果、以下の知見を得た。

(1) 単相流時の流動抵抗

- (1) 単相流時の流動抵抗は、 Re 数の関数として、圧力、質量流束の影響を表現できる。
- (2) オリフィスの流動抵抗、スペーサの流動抵抗ともに従来の予測法が適用できた。ただし、スペーサについては、流路占有率などの複雑な形状依存性があるため、予測手法のみで流動抵抗を高精度で予測することは困難で、実験で実験定数を定める必要がある。

(2) 二相流時の流動抵抗

- (1) 二相流増倍係数とクオリティの関係は、圧力 2MPa～7MPa では線型関係とみなせる。二相流増倍係数とクオリティの関係は、圧力、形状に依存し、質量流束の影響は小さい。
- (2) 二相流増倍係数とボイド率の関係は、圧力 0.2MPa～7MPa、ボイド率 0.6 以下では、圧力、流量、形状に僅かに影響されるだけである。すなわち、二相流増倍係数とクオリティの関係に比べて、形状の影響が小さい。
二相流増倍係数は、ボイド率の増加とともに増加し、ボイド率 0.7 以上ではその増加率は急激になる。
- (3) オリフィスの二相流増倍係数、スペーサの二相流増倍係数とともに、分離流モデルで±20%の精度で予測できる。適用範囲は、圧力 2MPa～7MPa、質量流束 133kg/m²s～667 kg/m²s である。均質流モデルでは、形状に依存した実験定数を導入することにより、±20%の精度で予測できる。

参考文献

- (1) 井口 正、他：“軽水炉過渡事象炉心伝熱流動試験(14) 安定性試験の現状”、日本原子力学会 2000 年春の大会、E28(2000), 2000
- (2) 渡辺博典、井口正、木村守、安濃田良成：“瞬時計測型流路断面平均ボイド率計の開発”、JAERI-Research 2000-043, 2000
- (3) 井口正、渡辺博典、木村守、安濃田良成：“瞬時計測型流路断面平均ボイド率計の開発—BWR 条件への適用—”、JAERI-Research 2001-032, 2001
- (4) 井口正、渡辺博典：“コンダクタンス式ボイド率計”、原子力学会「二相流計測に関する評価」研究専門委員会報告書・計測技術編
- (5) 例えば、池森亀鶴：“水力学”コロナ社、1966
- (6) 日本原子力研究所伝熱流動研究室：“高転換軽水炉の熱水力工学の研究”、JAERI-M 91-055, 1991
- (7) 例えば、日本機械学会編：“気液二相流技術ハンドブック”，コロナ社、1989

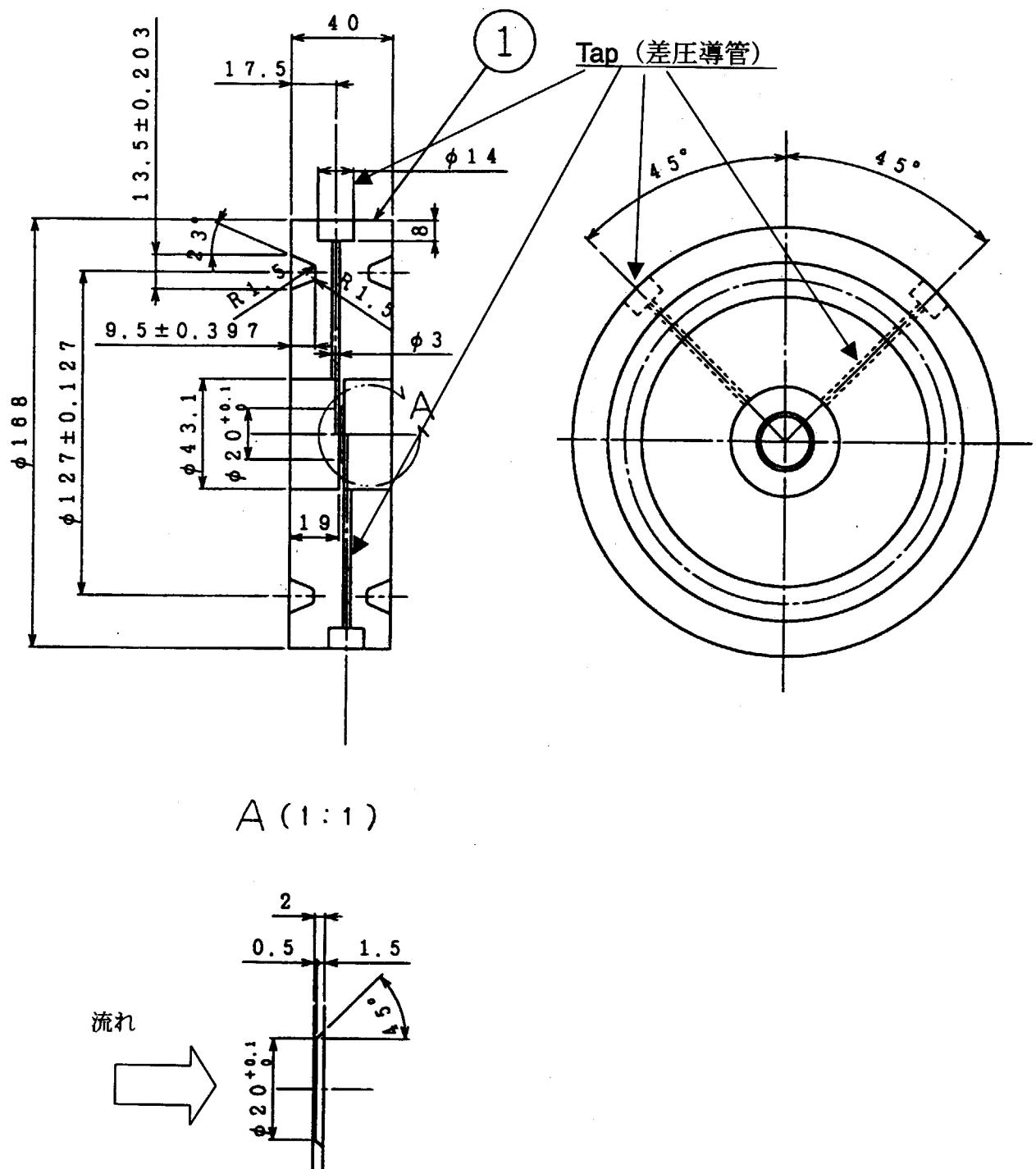
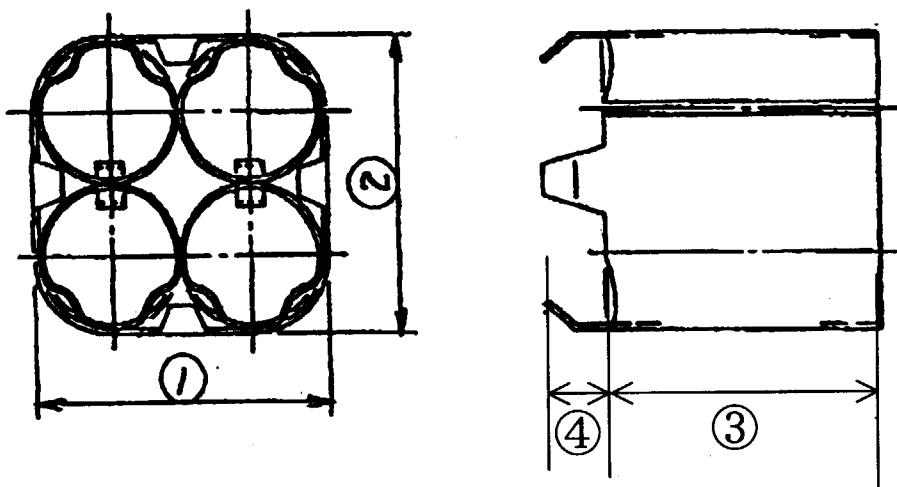


図2. 1 オリフィス(口径20mm)の概略図



- ① 33.8mm
- ② 33.8mm
- ③ 30.0mm
- ④ 7.0mm

図2. 2 スペーサ概略図

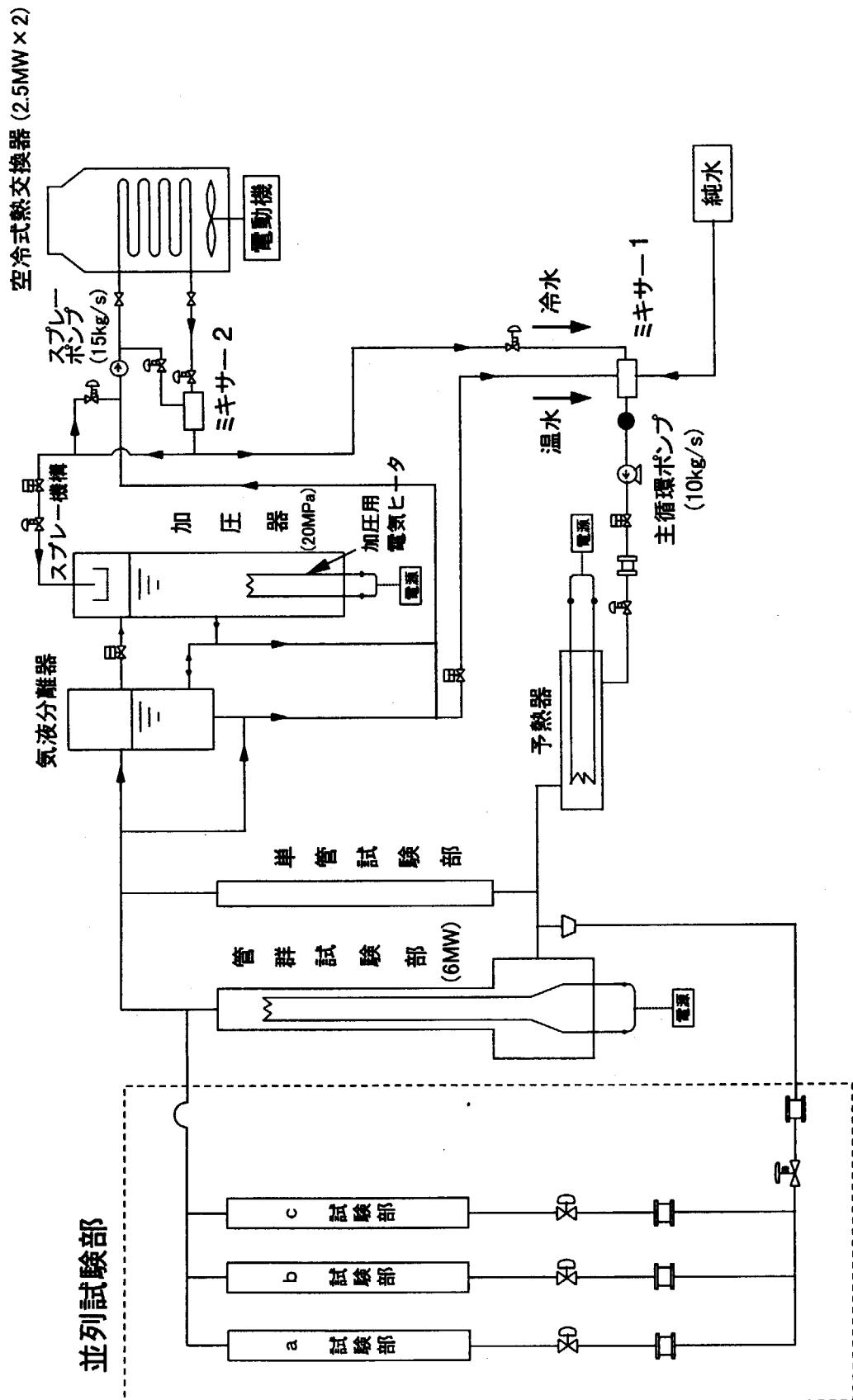


図 2. 3 THYNC 試験装置概略図

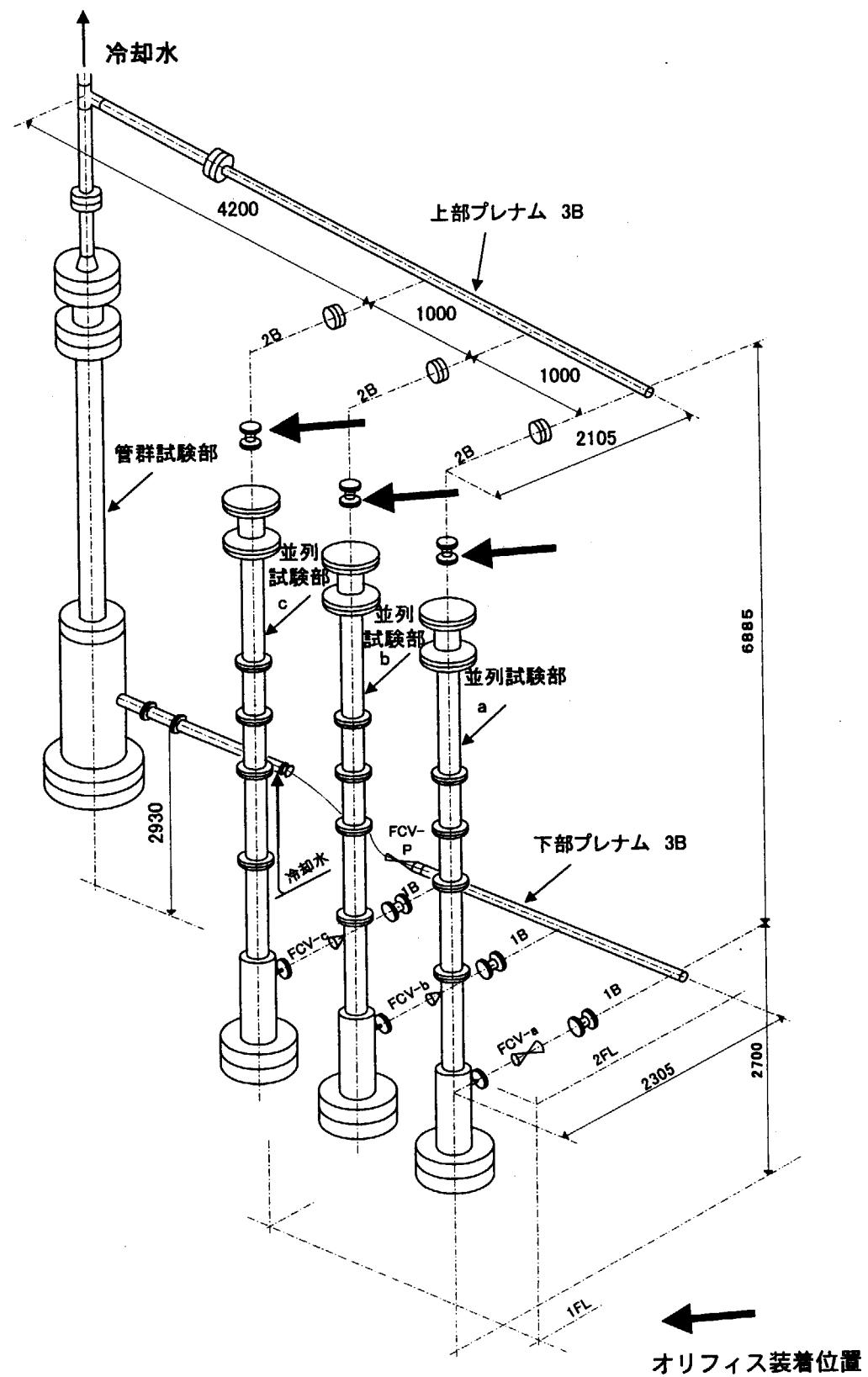
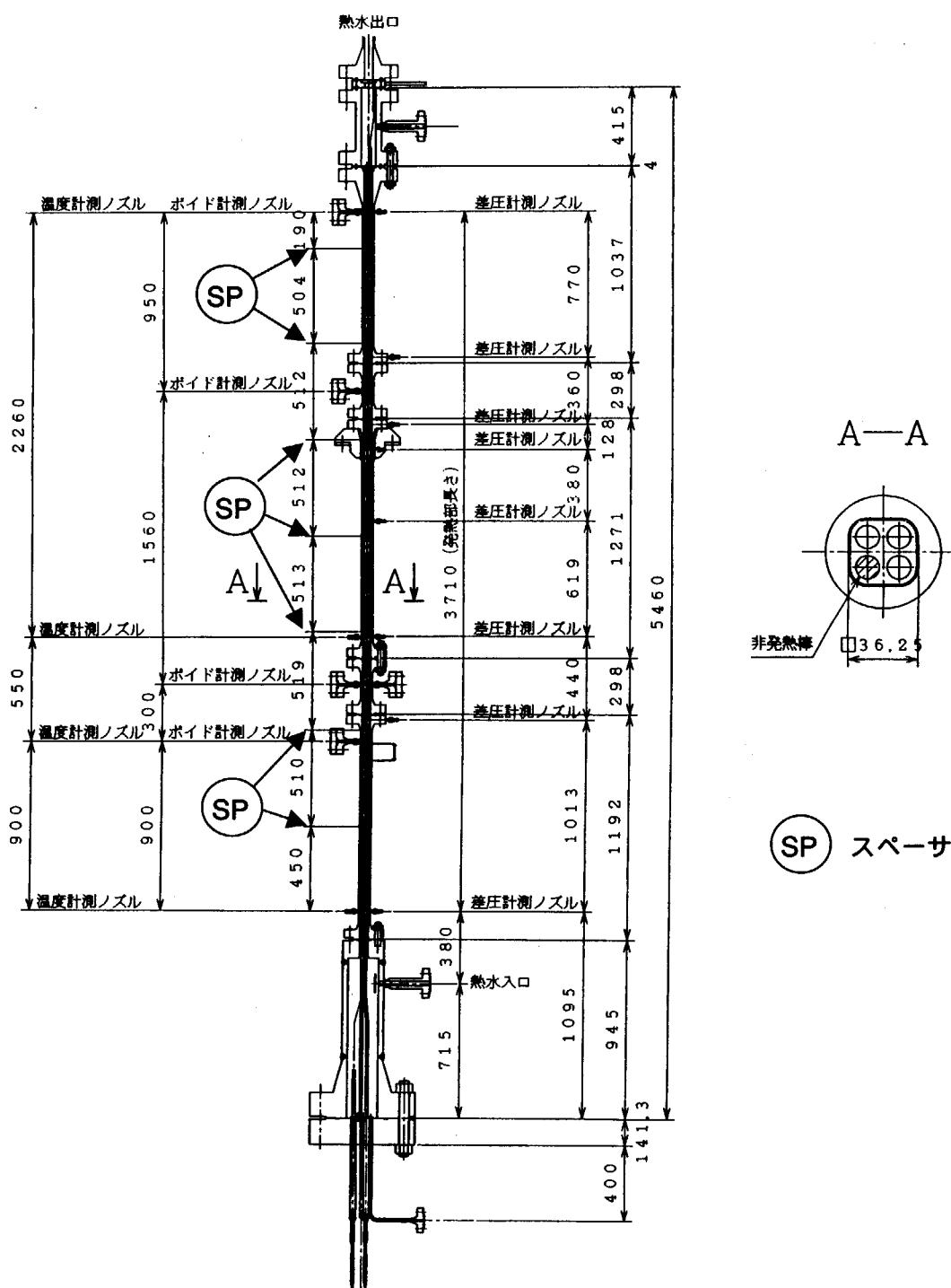


図 2. 4

THYNC 試験部の概略



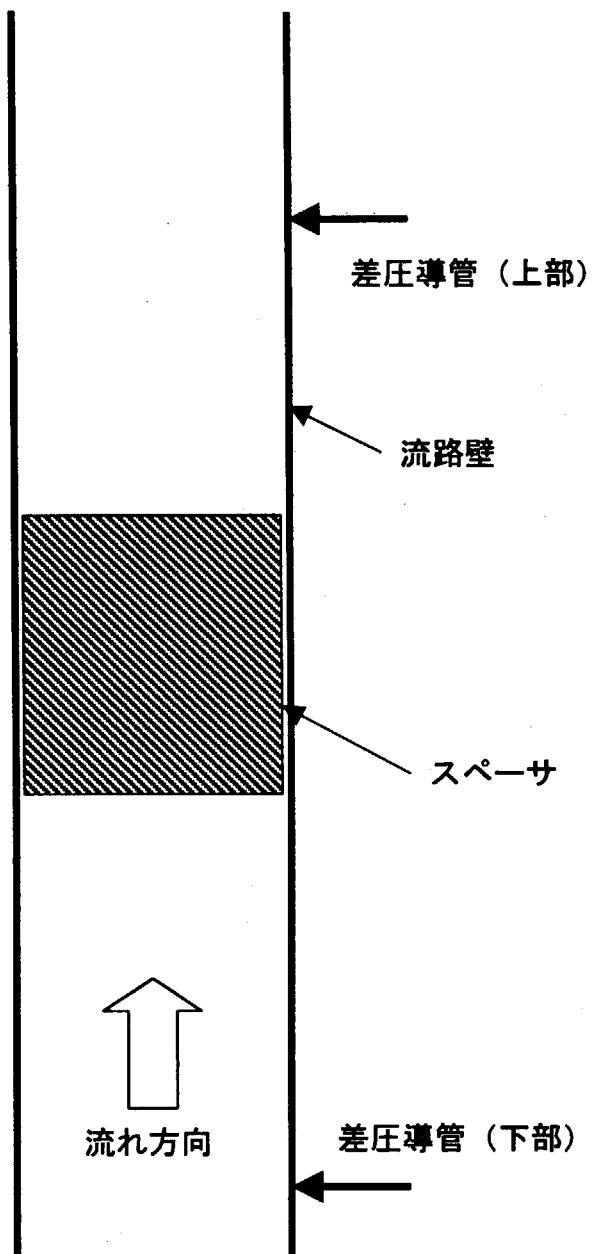
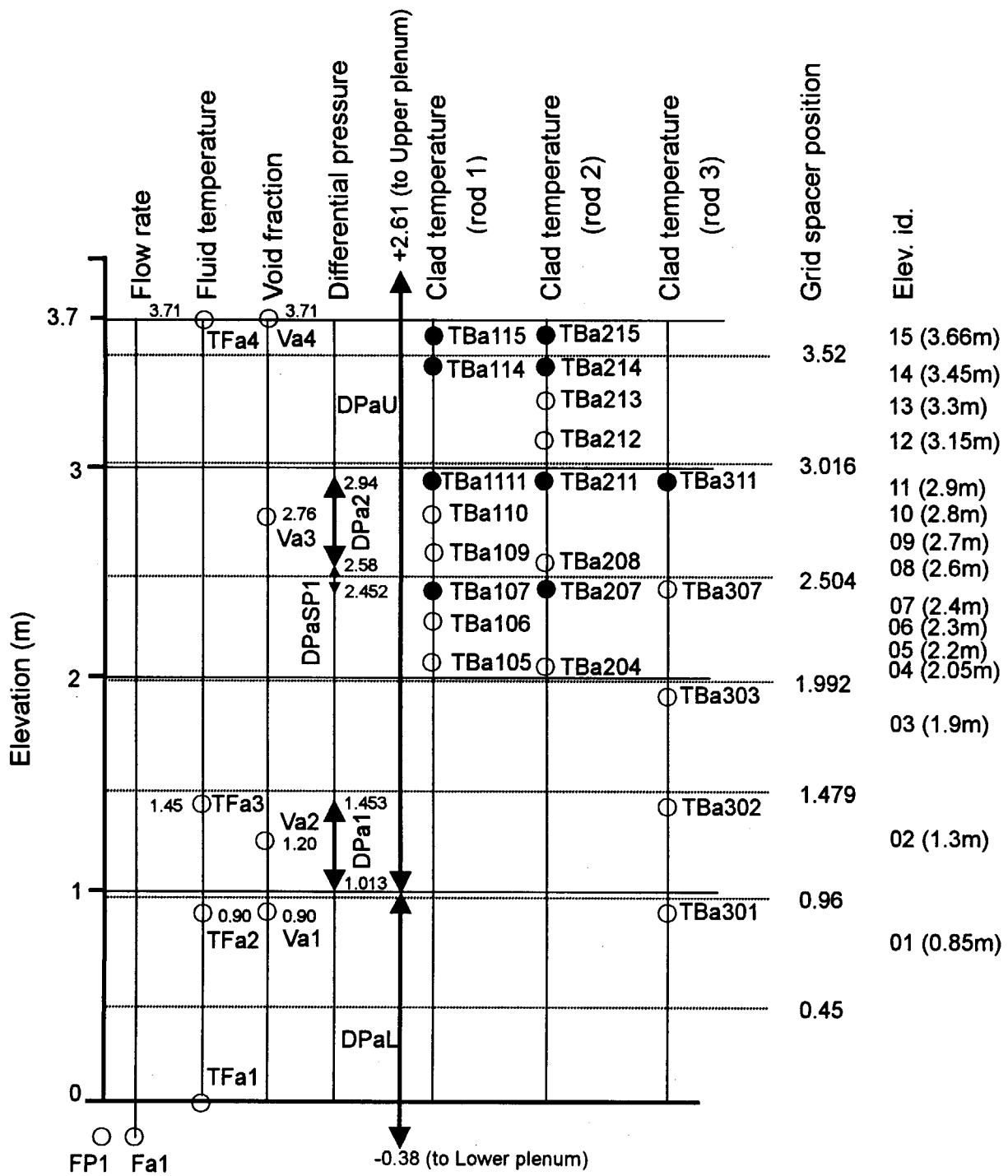


図3. 1 スペーサ差圧測定用差圧導管位置



注1：並列試験部b, cの計測位置も同じ
 注2：●はDNB検出に使用
 注3：Va2は貫通ノズル

図3.2 THYNC 試験部の計測位置図

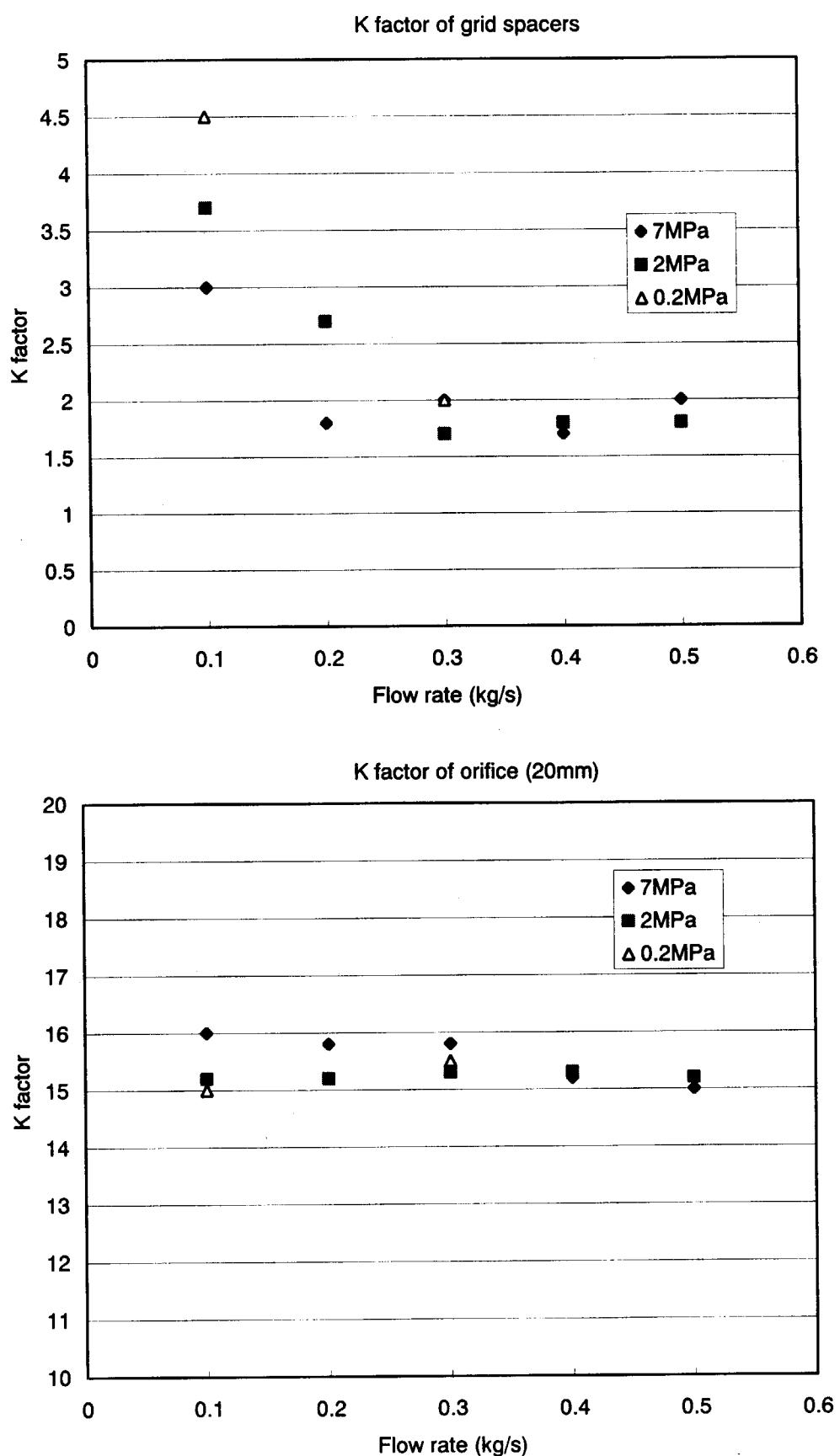
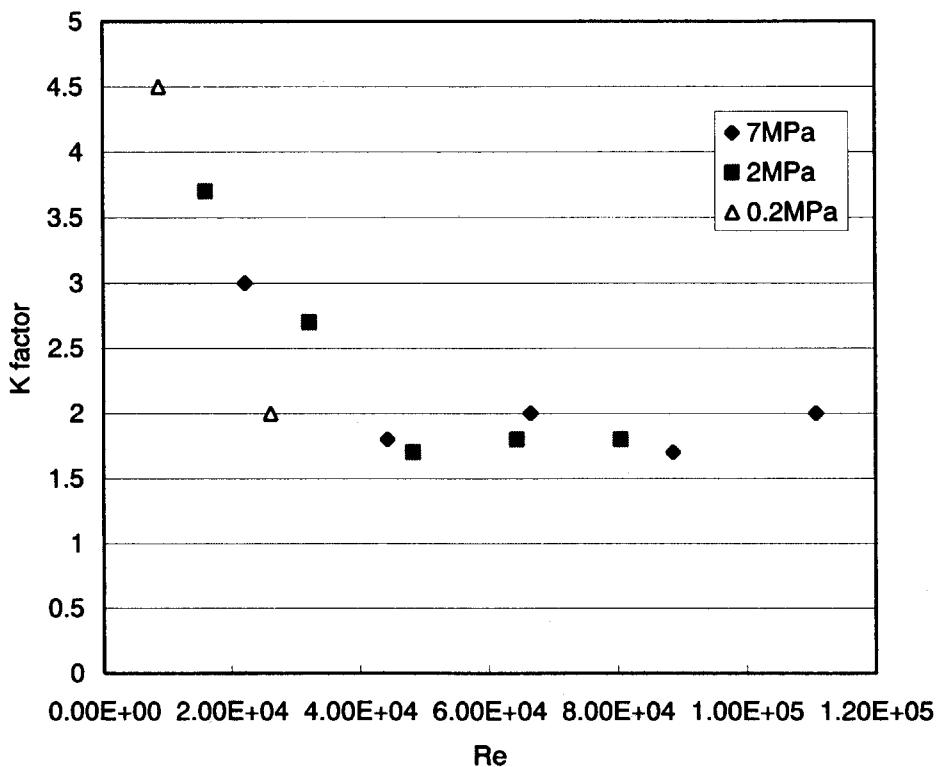


図4. 1

単相流時Kファクターの圧力依存性及び流量依存性

K factor of grid spacers



K factor of orifice (20mm)

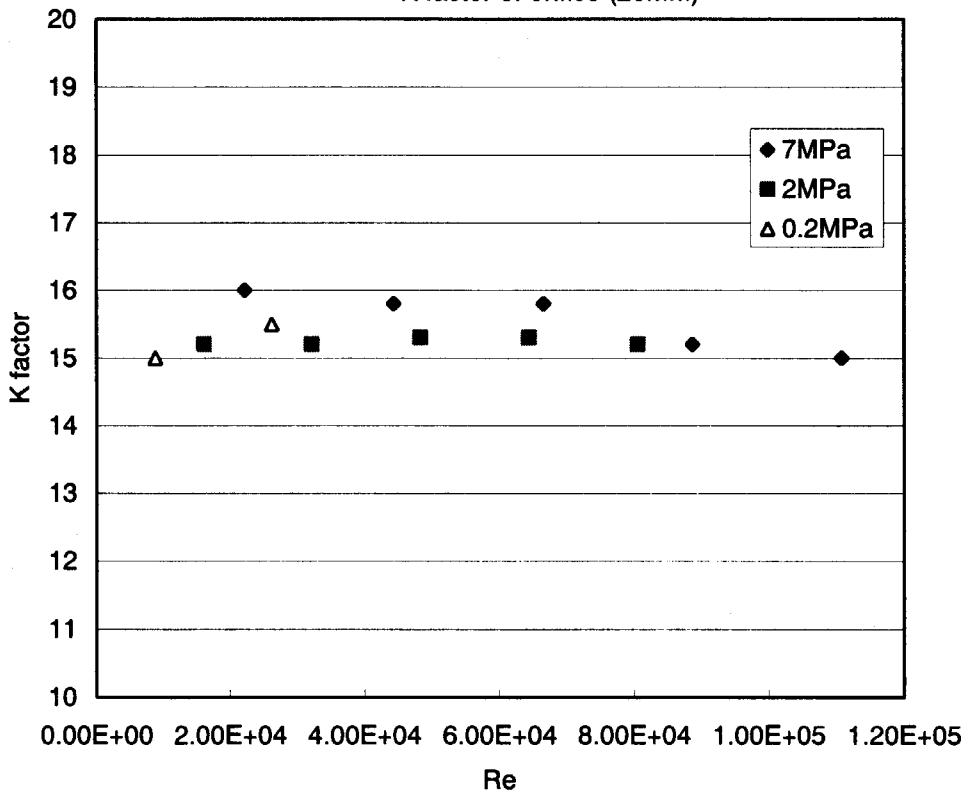


図4. 2

単相流時Kファクターと Re の関係

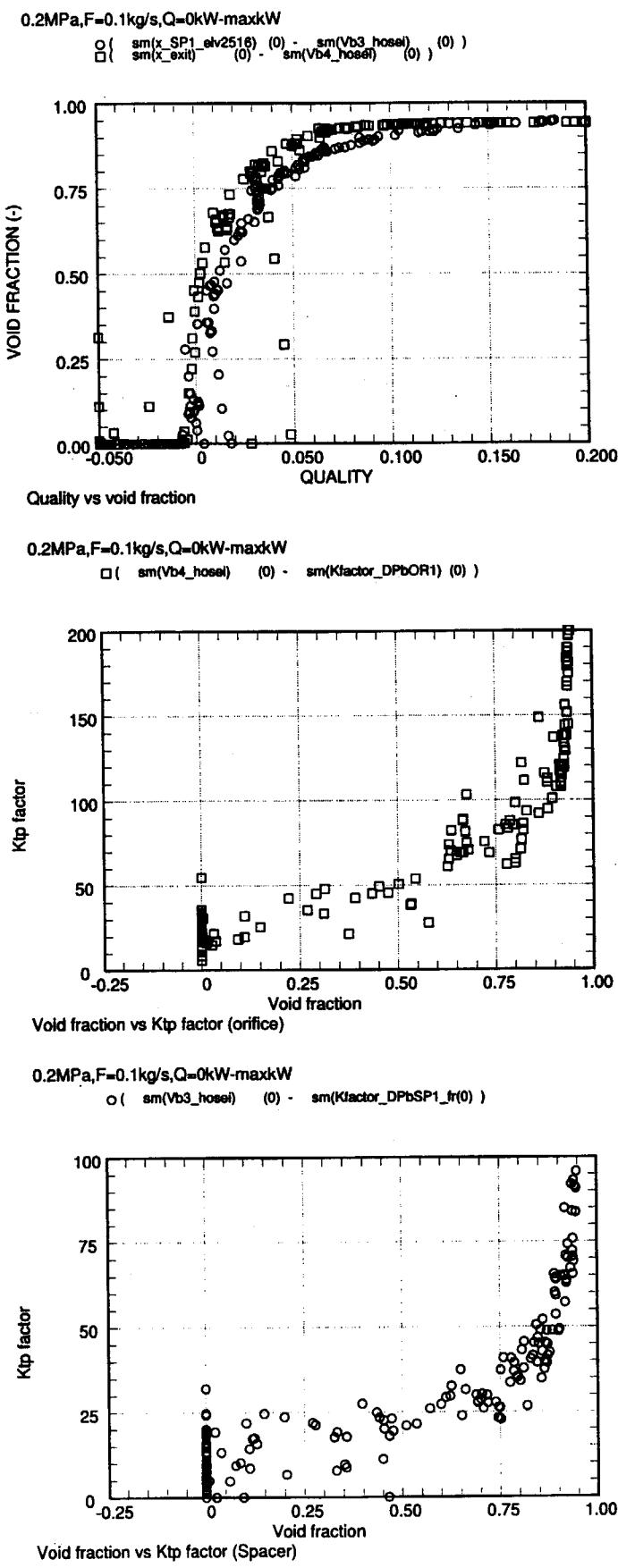


図 5. 1

圧力 0.2MPa, 流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

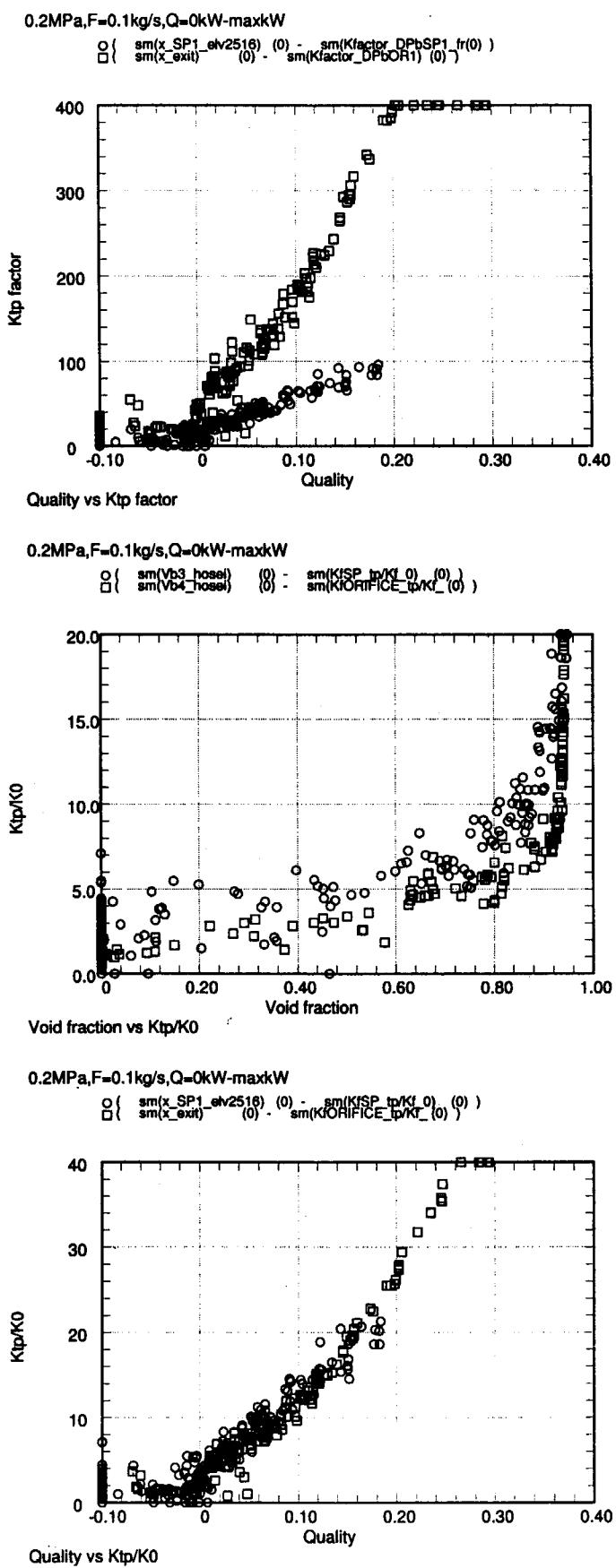


図 5. 1

圧力 0.2MPa、流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

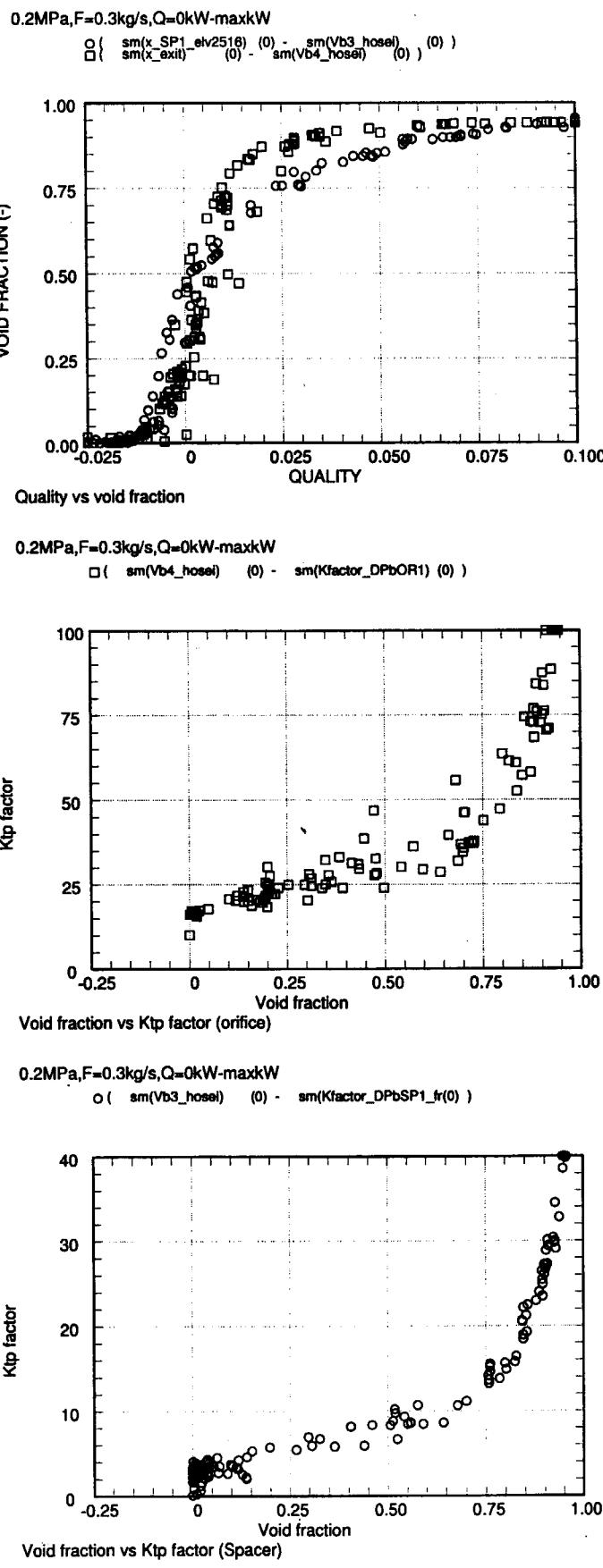


図 5. 2

圧力 0.2MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

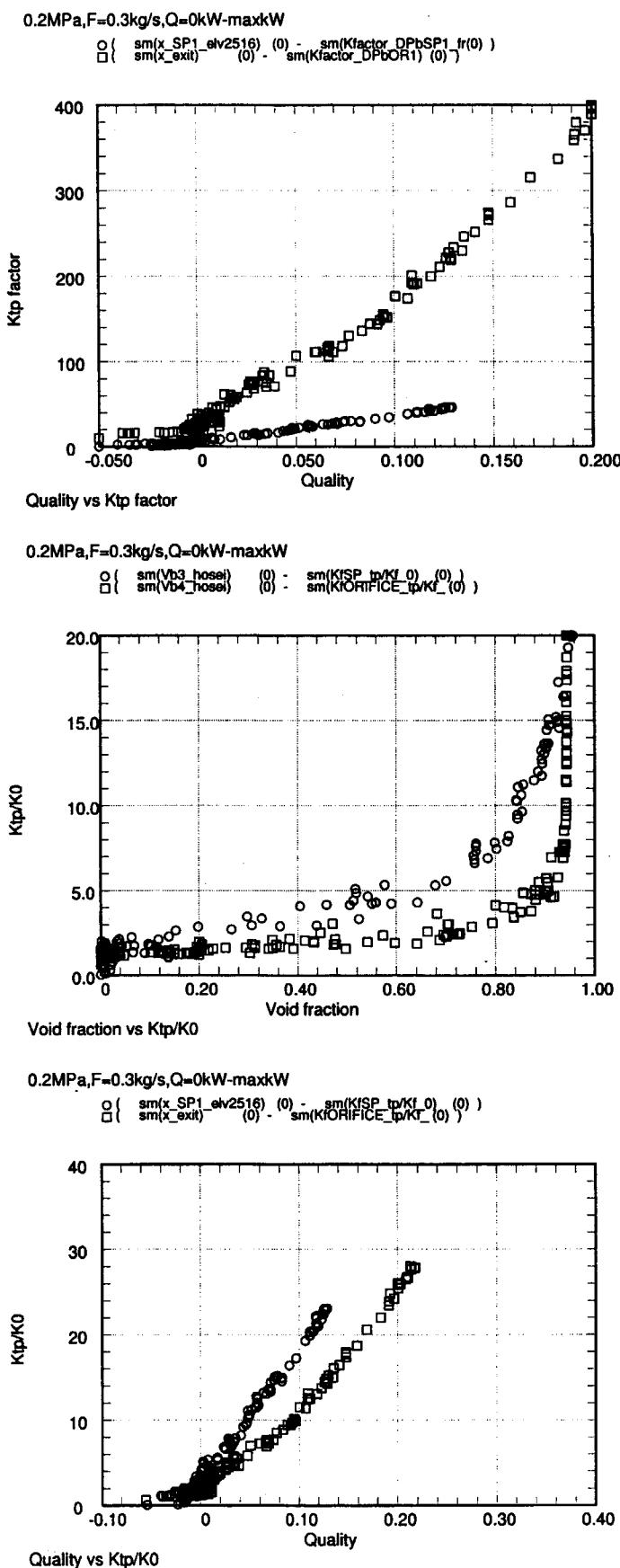


図 5. 2

圧力 0.2MPa, 流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

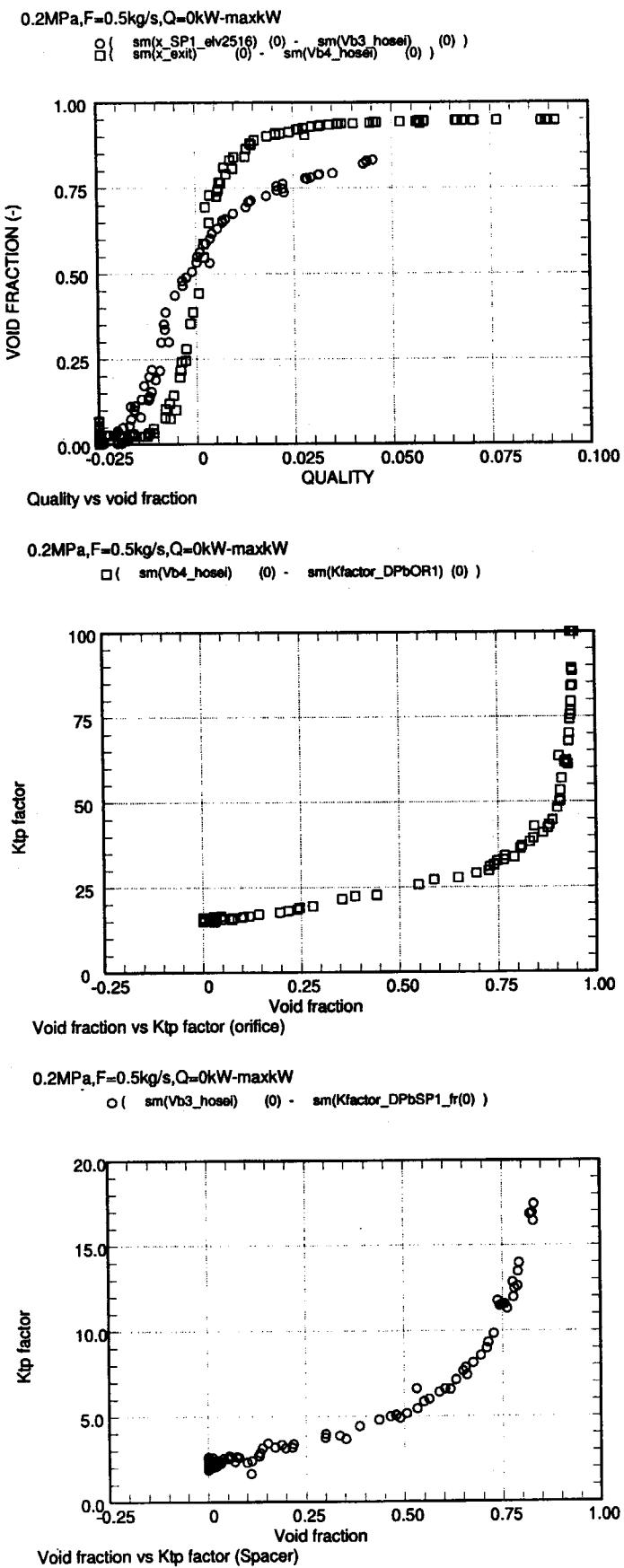


図 5 . 3

圧力 0.2MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

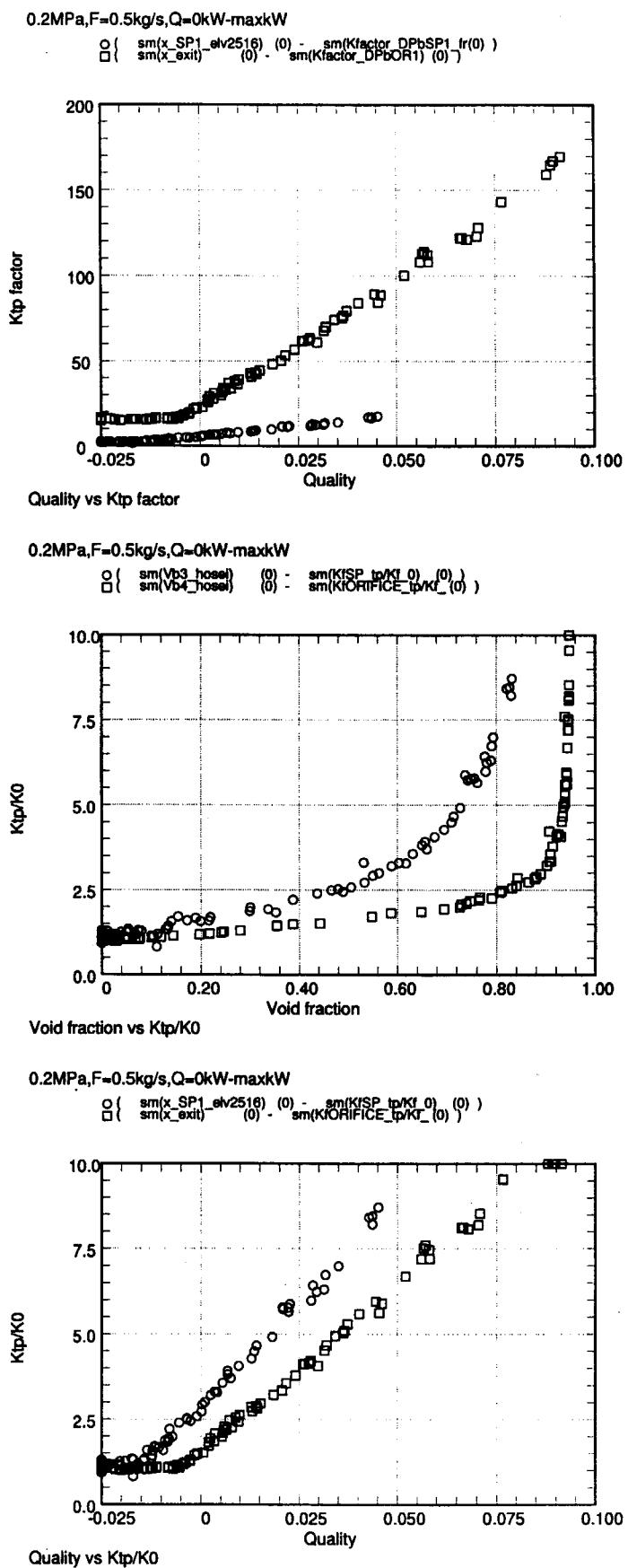
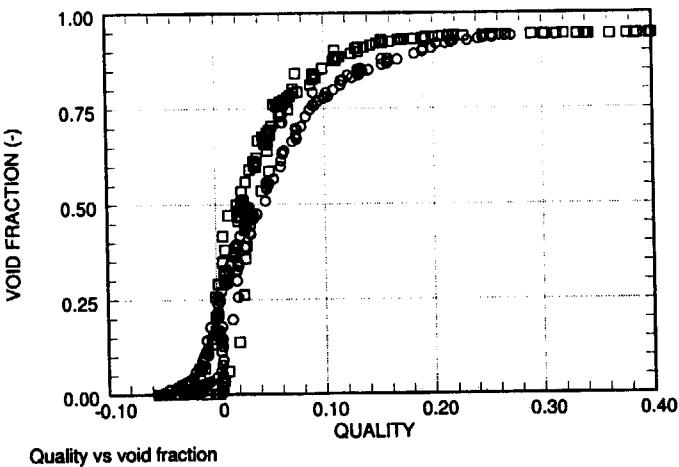


図 5. 3

圧力 0.2MPa, 流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

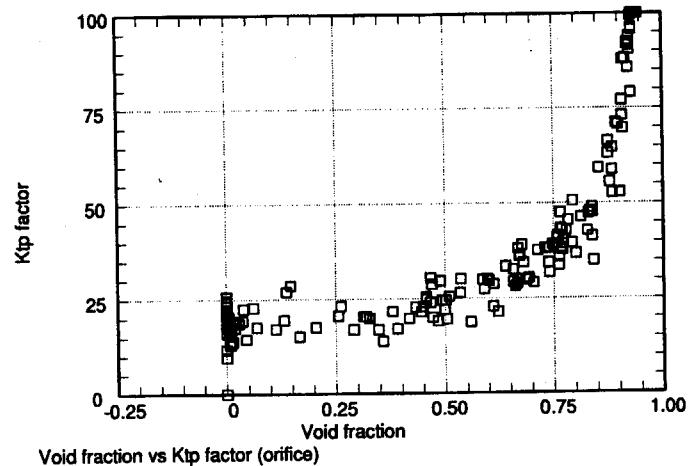
2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

$$\square \{ \frac{\text{sm}(x_SP1_elv2516)(0)}{\text{sm}(x_exit)(0)} - \frac{\text{sm}(Vb3_hose1)(0)}{\text{sm}(Vb4_hose1)(0)} \}$$



2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

$$\square (\text{sm}(Vb4_hose1)(0) - \text{sm}(Kfactor_DPbOR1)(0))$$



2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

$$\circ (\text{sm}(Vb3_hose1)(0) - \text{sm}(Kfactor_DPbSP1_fr)(0))$$

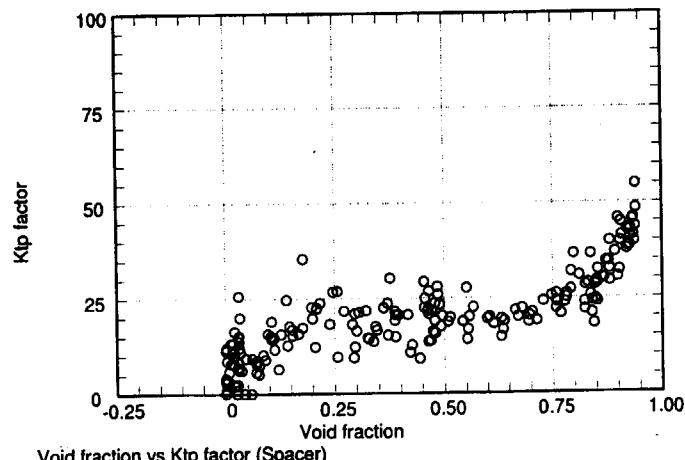
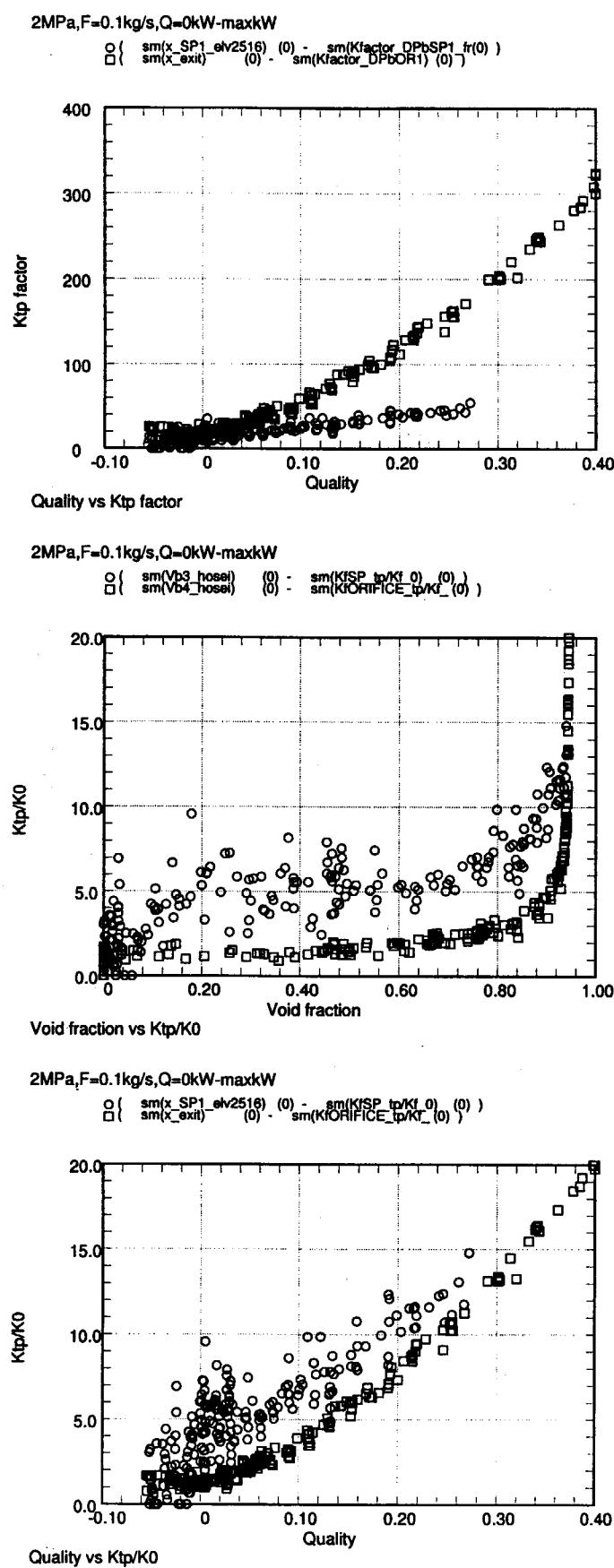


図 5. 4

圧力 2MPa、流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

図5. 4 圧力 2MPa、流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

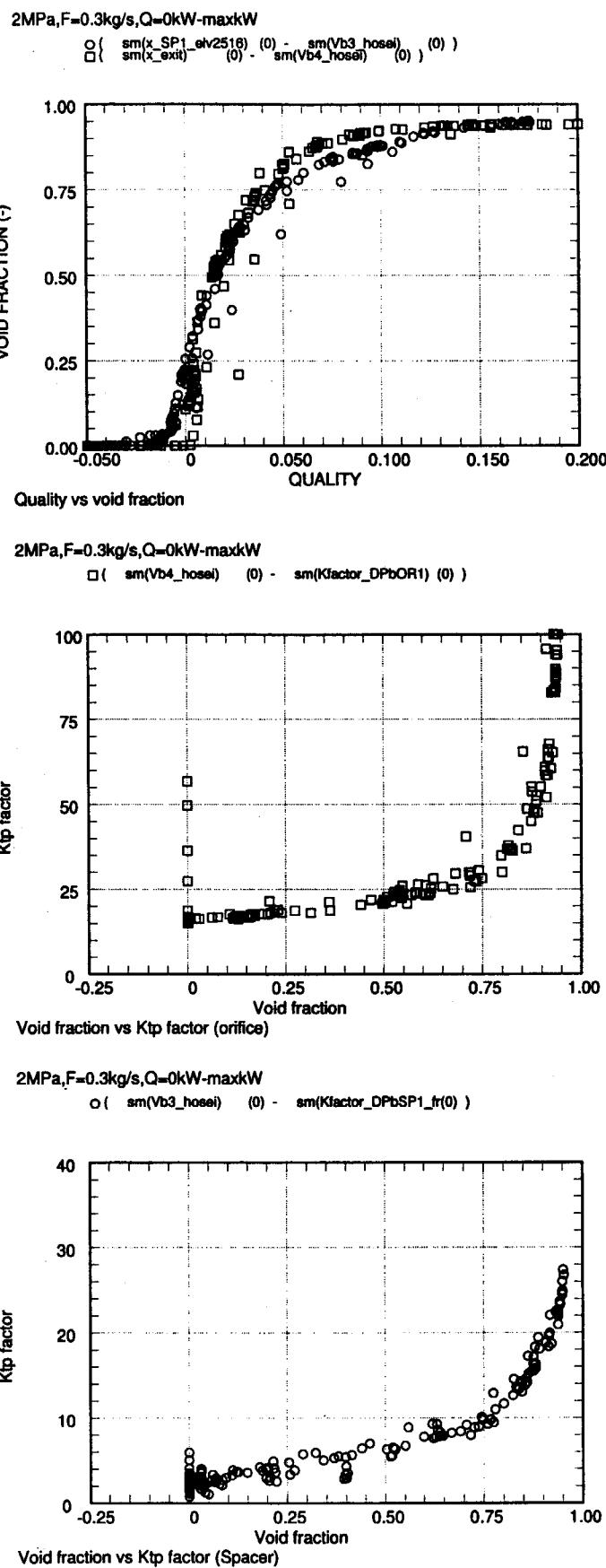


図 5. 5

圧力 2MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

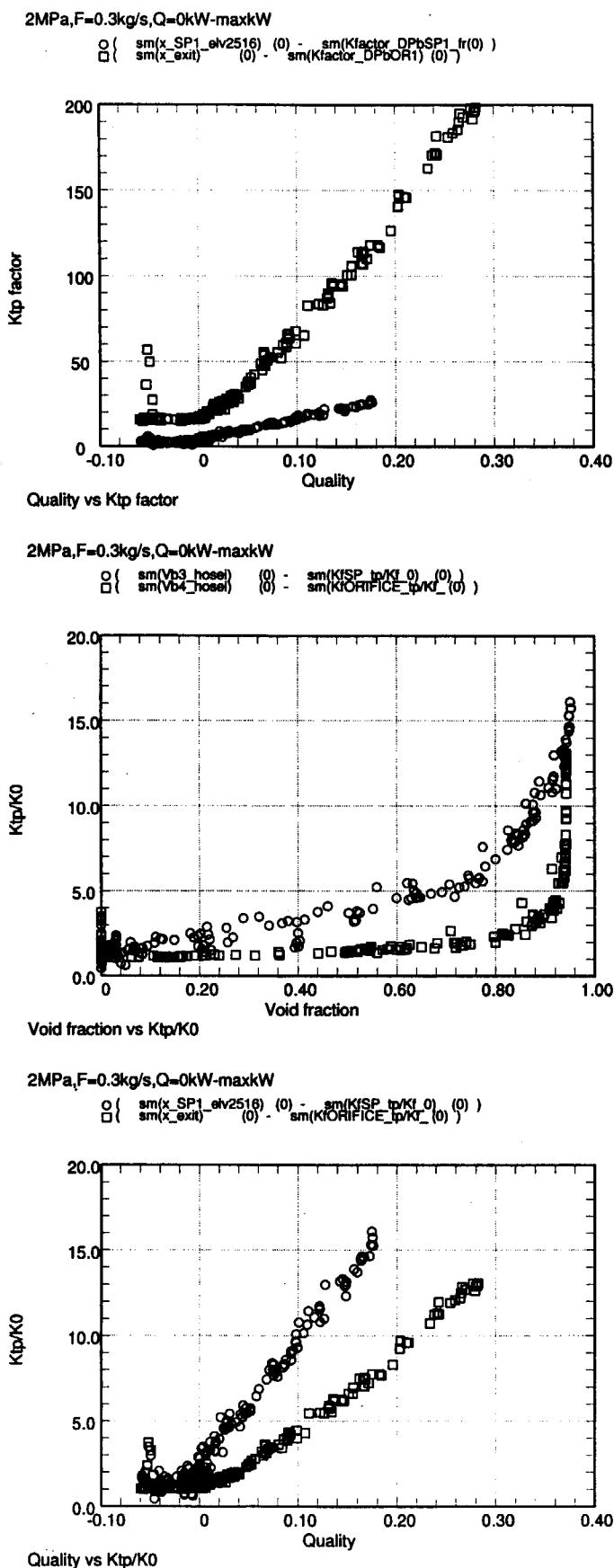
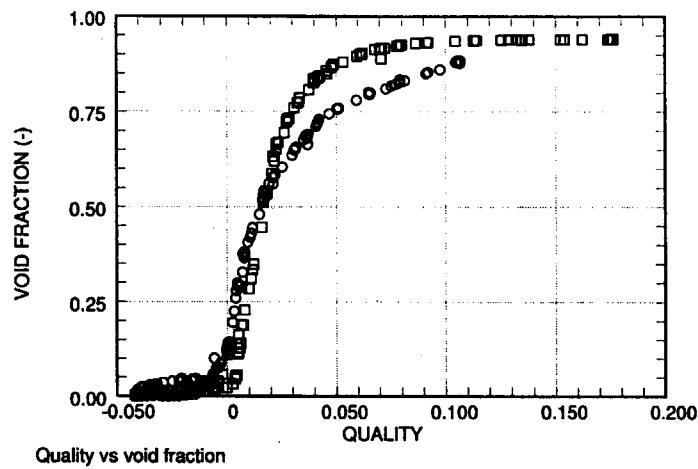


図 5. 5

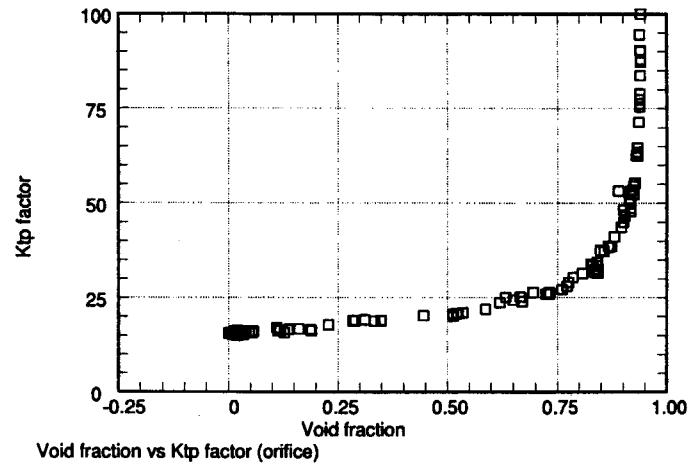
圧力 2MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW

$$\square \left(\frac{\text{sm}(x_SP1_elv2516)}{\text{sm}(x_exit)}(0) - \frac{\text{sm}(Vb3_hose1)}{\text{sm}(Vb4_hose1)}(0) \right)$$


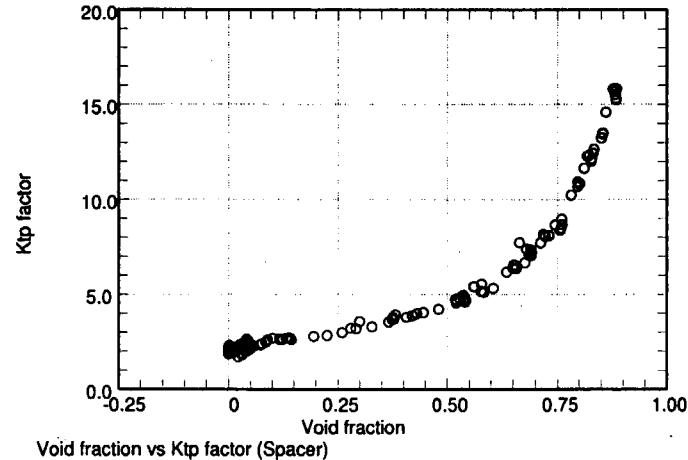
Quality vs void fraction

2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW

$$\square \left(\text{sm}(Vb4_hose1)(0) - \text{sm}(Kfactor_DPbOR1)(0) \right)$$


Void fraction vs Ktp factor (orifice)

2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW

$$\circ \left(\text{sm}(Vb3_hose1)(0) - \text{sm}(Kfactor_DPbSP1_fr)(0) \right)$$


Void fraction vs Ktp factor (Spacer)

図 5 . 6

圧力 2MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

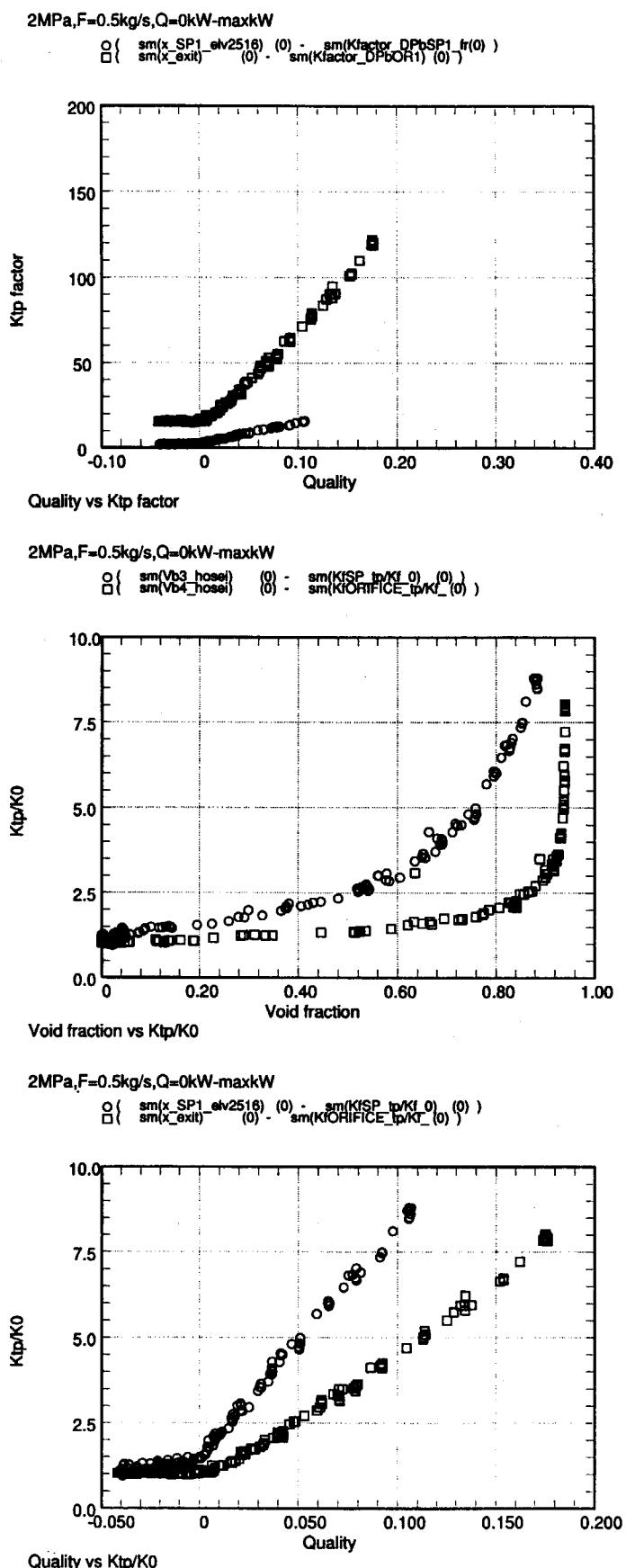


図 5 . 6

圧力 2MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

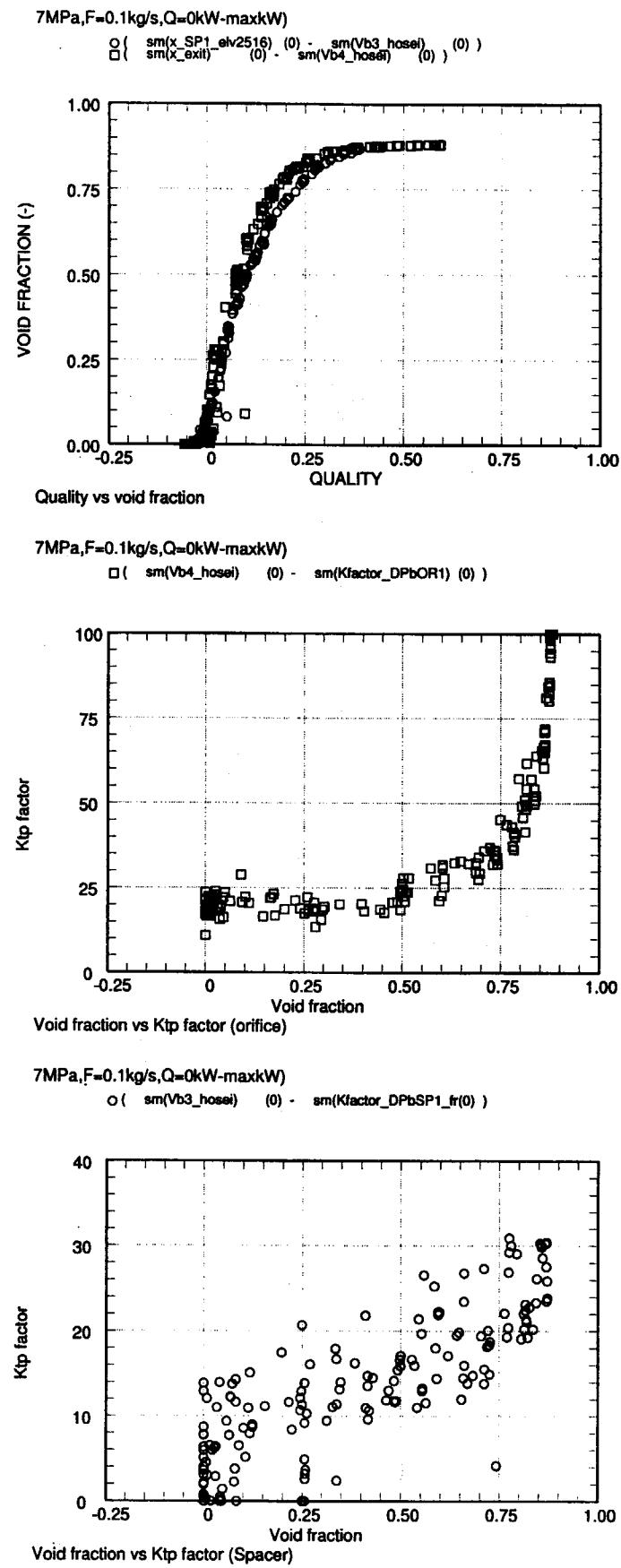


図 5. 7

圧力 7MPa、流量 0.1kg/s（質量流束 133kg/m²s）のときの流動抵抗関連データ

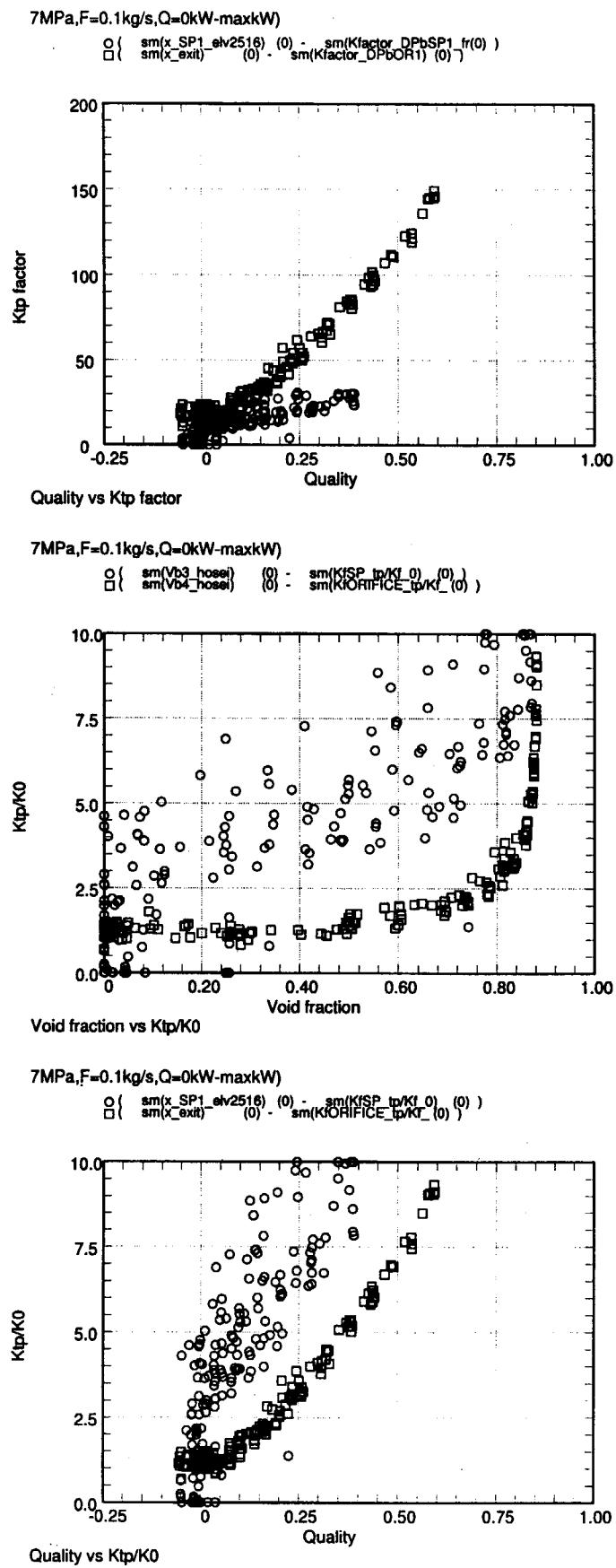


図 5. 7

圧力 7MPa、流量 0.1kg/s (質量流束 133kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

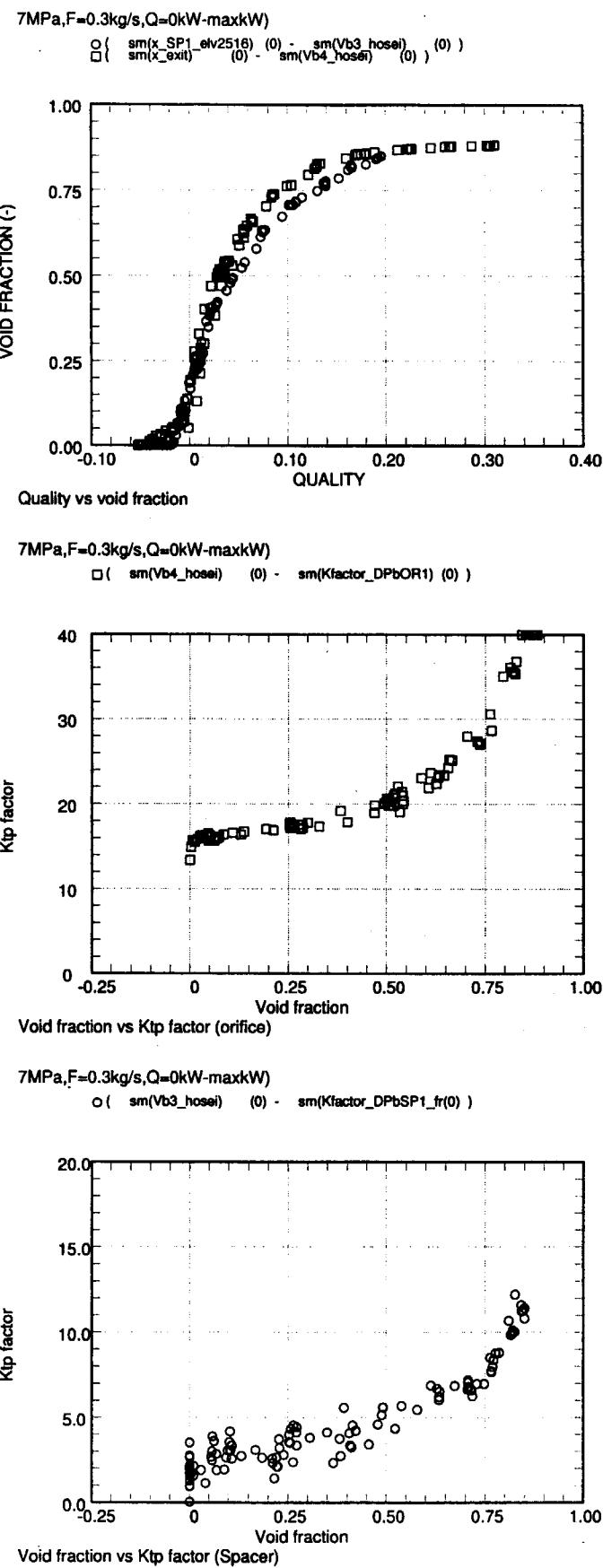


図 5. 8

圧力 7MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

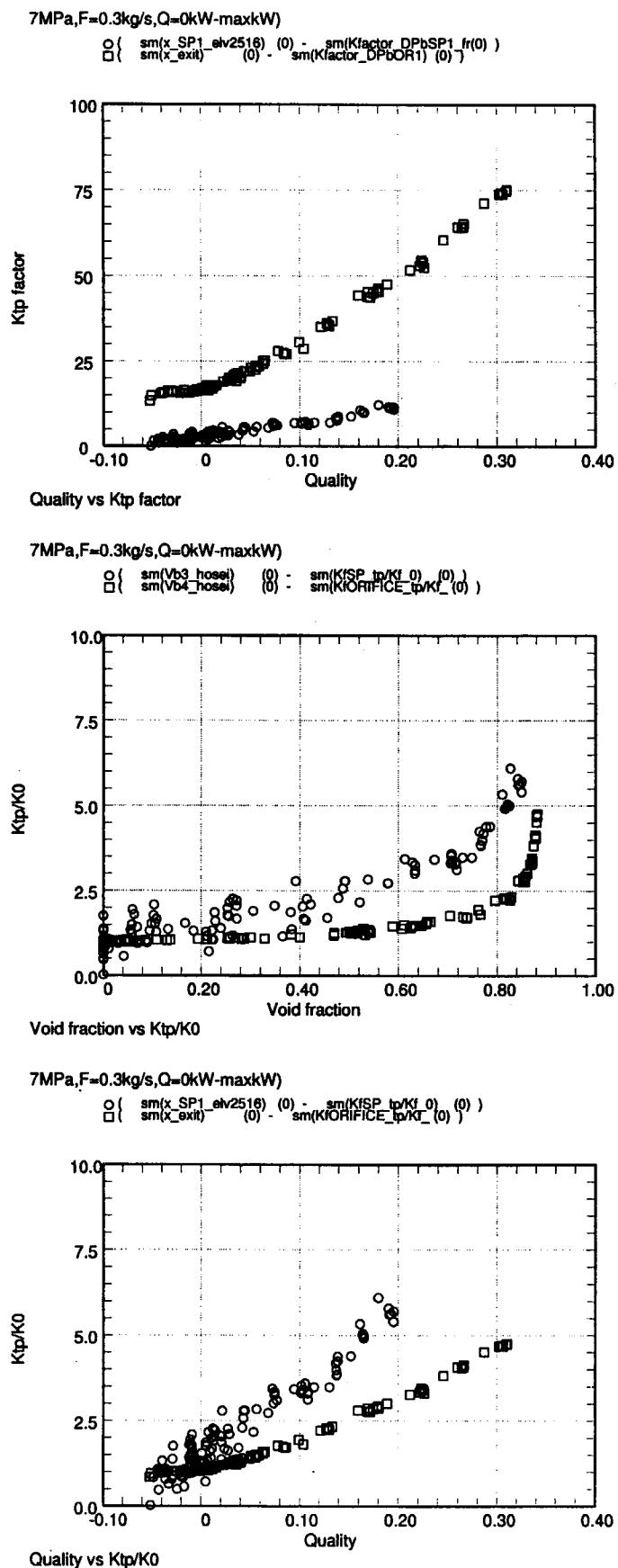


図 5. 8

圧力 7MPa、流量 0.3kg/s (質量流束 400kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

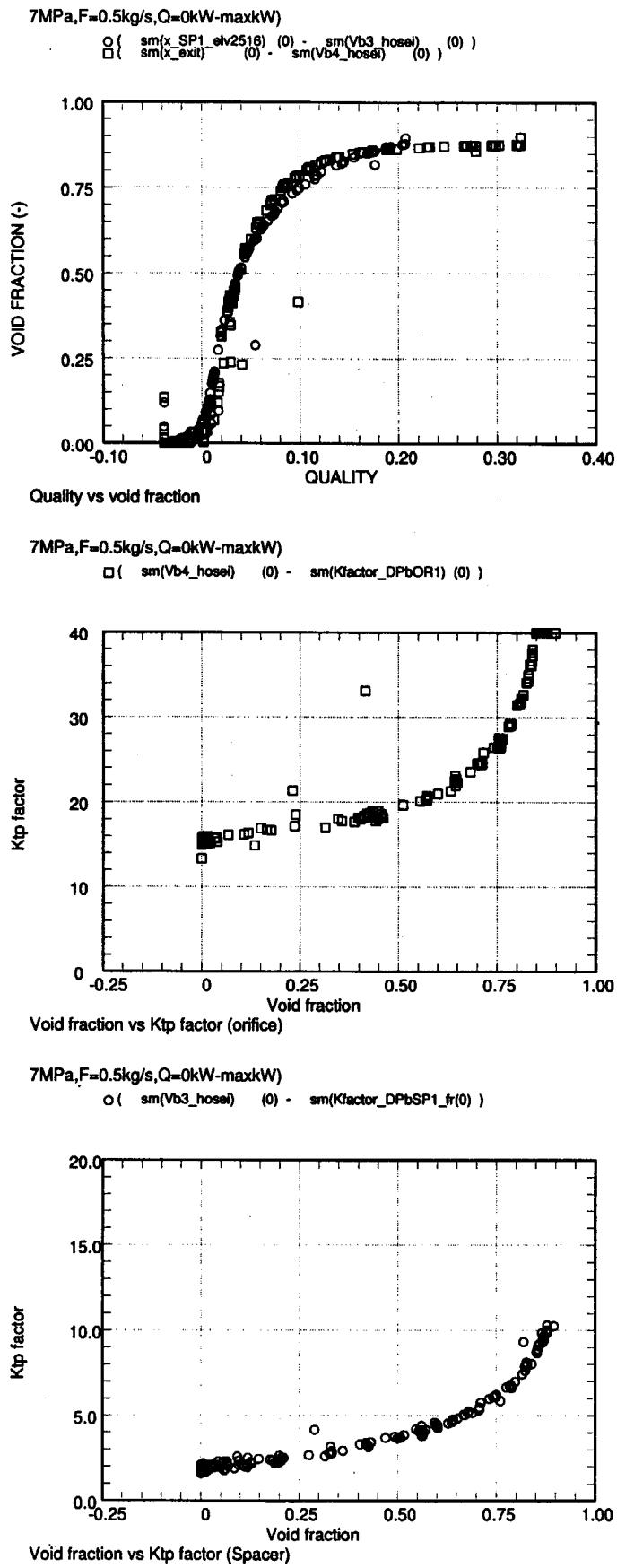


図 5. 9

圧力 7MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

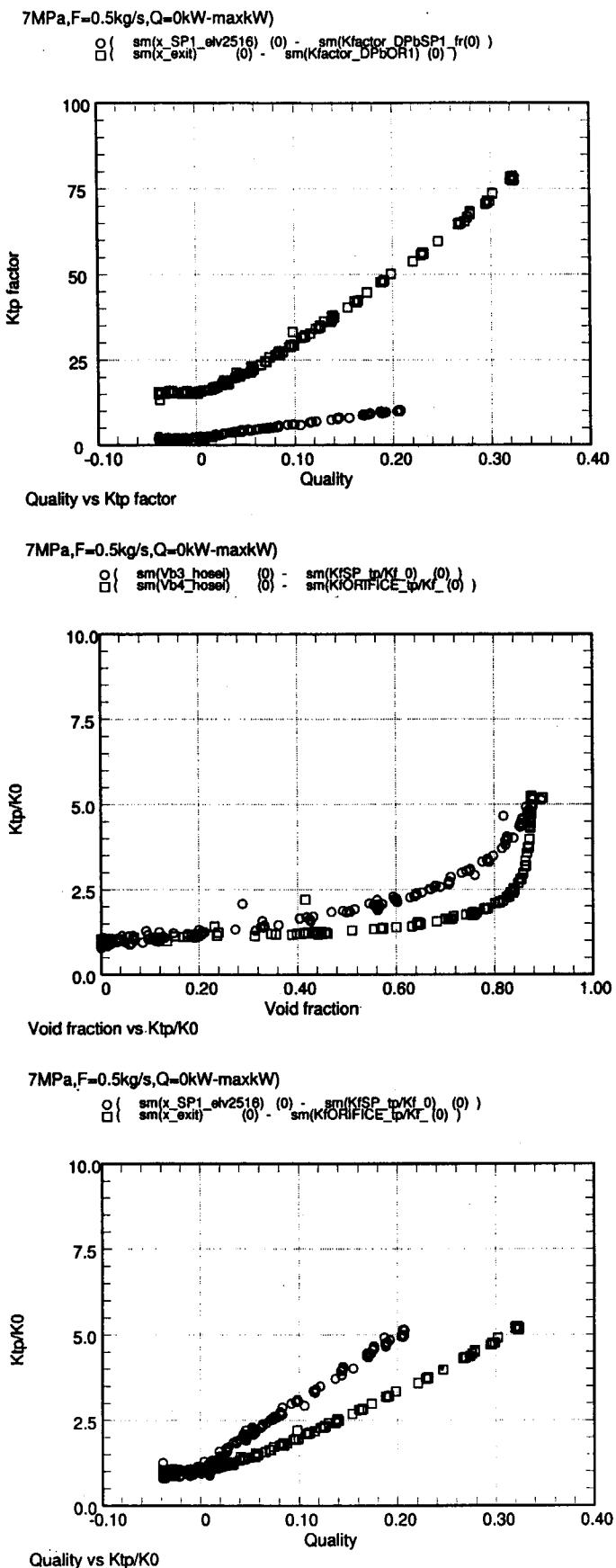


図 5. 9

圧力 7MPa、流量 0.5kg/s (質量流束 666kg/m²s) のときの流動抵抗関連データ

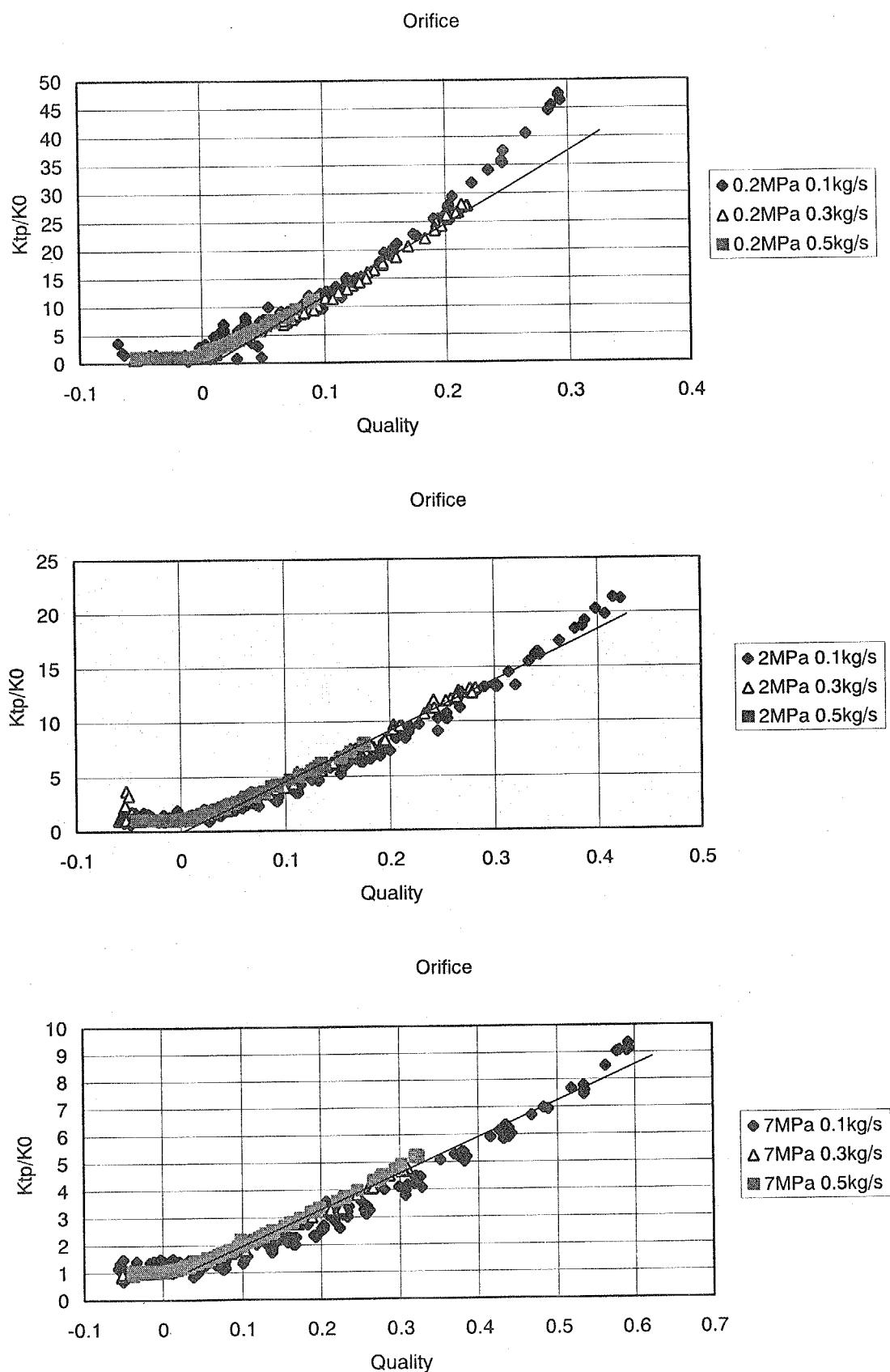


図 5. 10 二相流増倍係数とクオリティの関係（オリフィス）

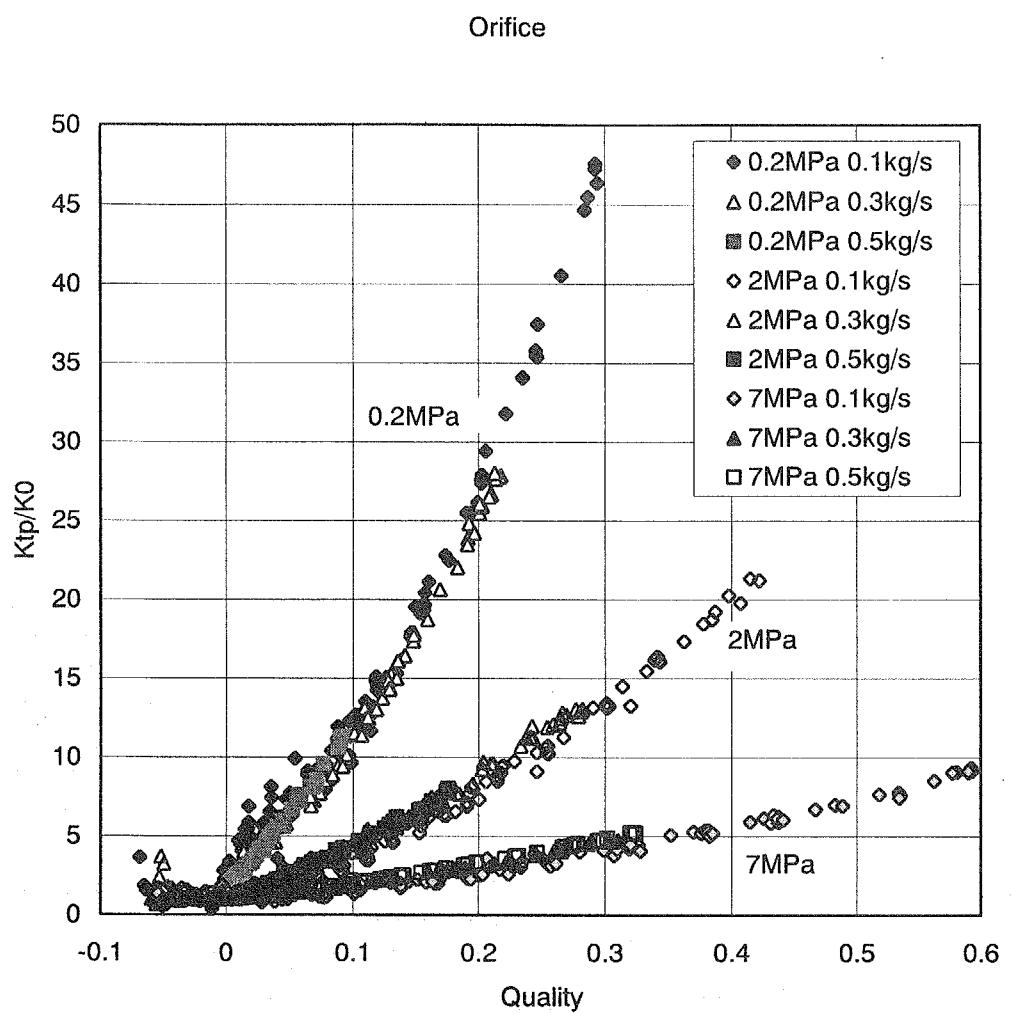


図 5. 11 圧力 0.2MPa～7MPa、質量流束 $133\text{kg/m}^2\text{s}$ ～ $666\text{kg/m}^2\text{s}$ における二相流増倍係数とクオリティの関係（オリフィス）

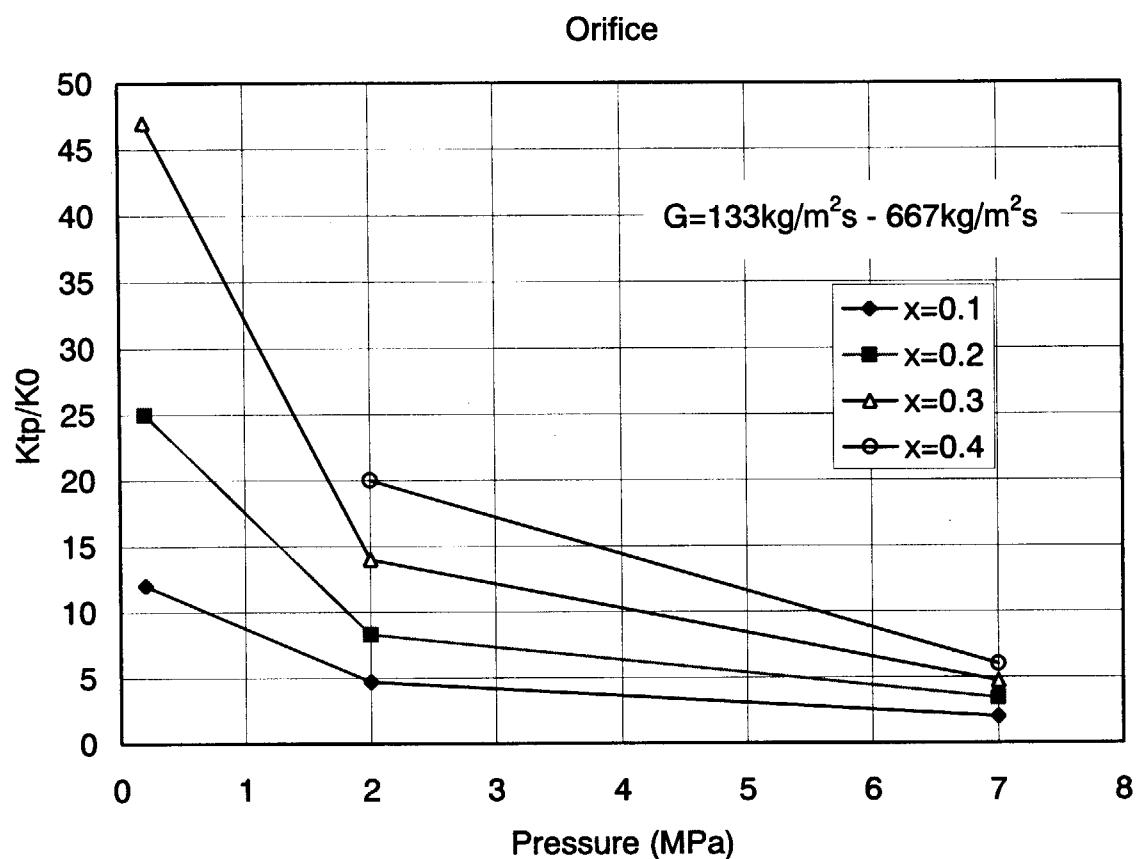


図 5. 12 二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）

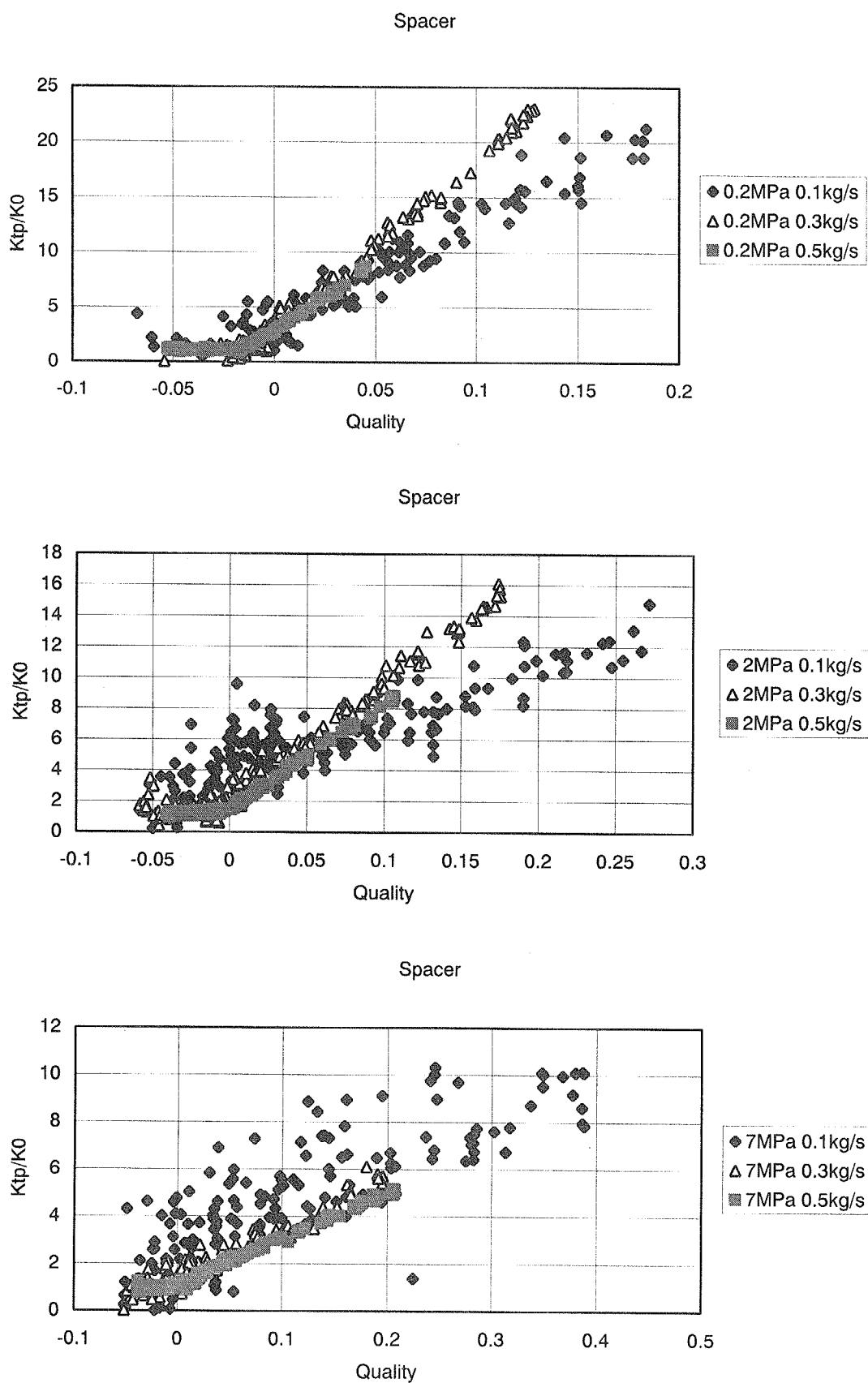


図 5. 1 3 二相流増倍係数とクオリティの関係（スペーサ）

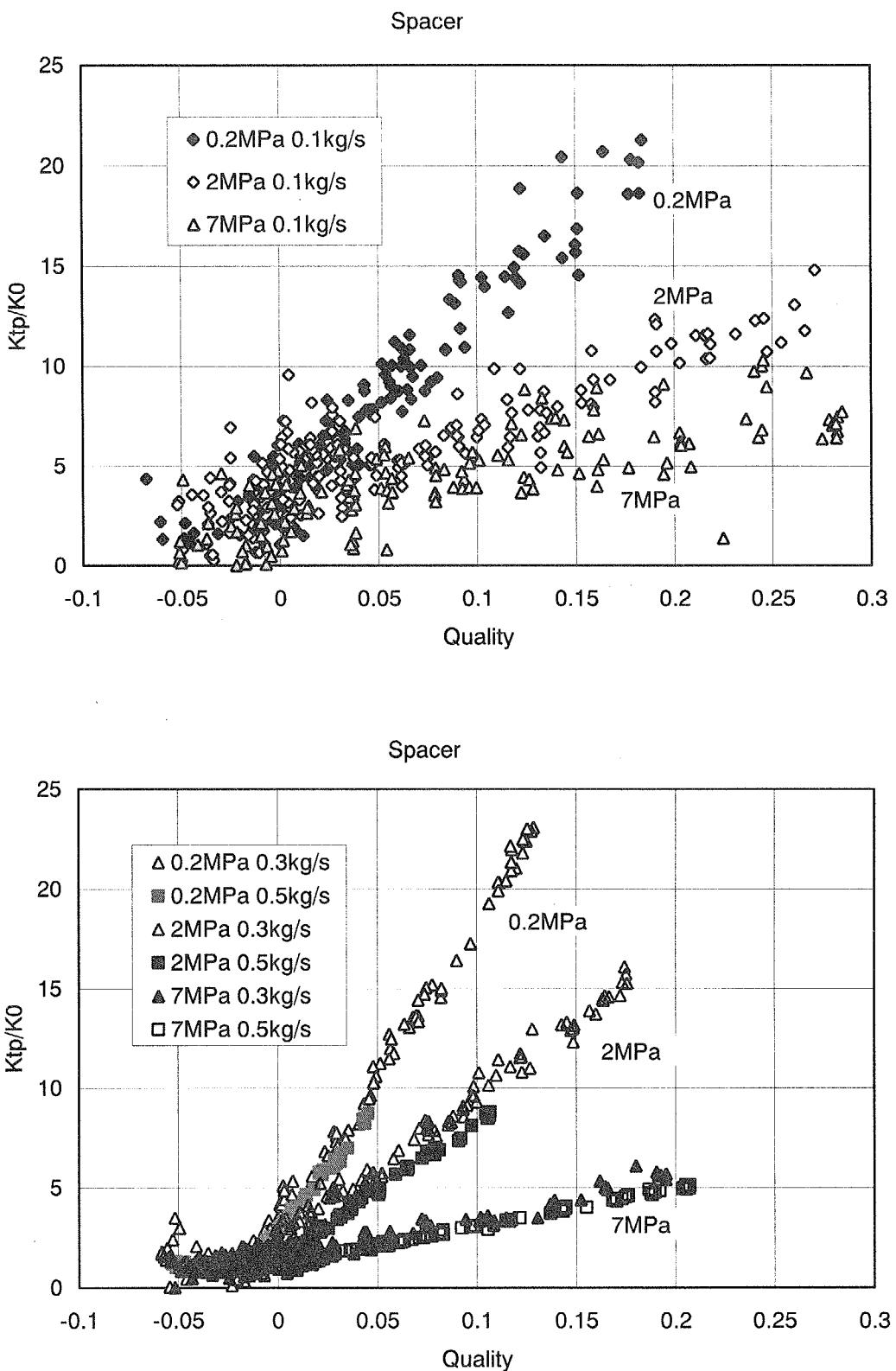


図5. 14 圧力 0.2MPa～7MPa、質量流束 $133\text{kg/m}^2\text{s}$ ～ $666\text{kg/m}^2\text{s}$ における二相流増倍係数とクオリティの関係（スペーサ）

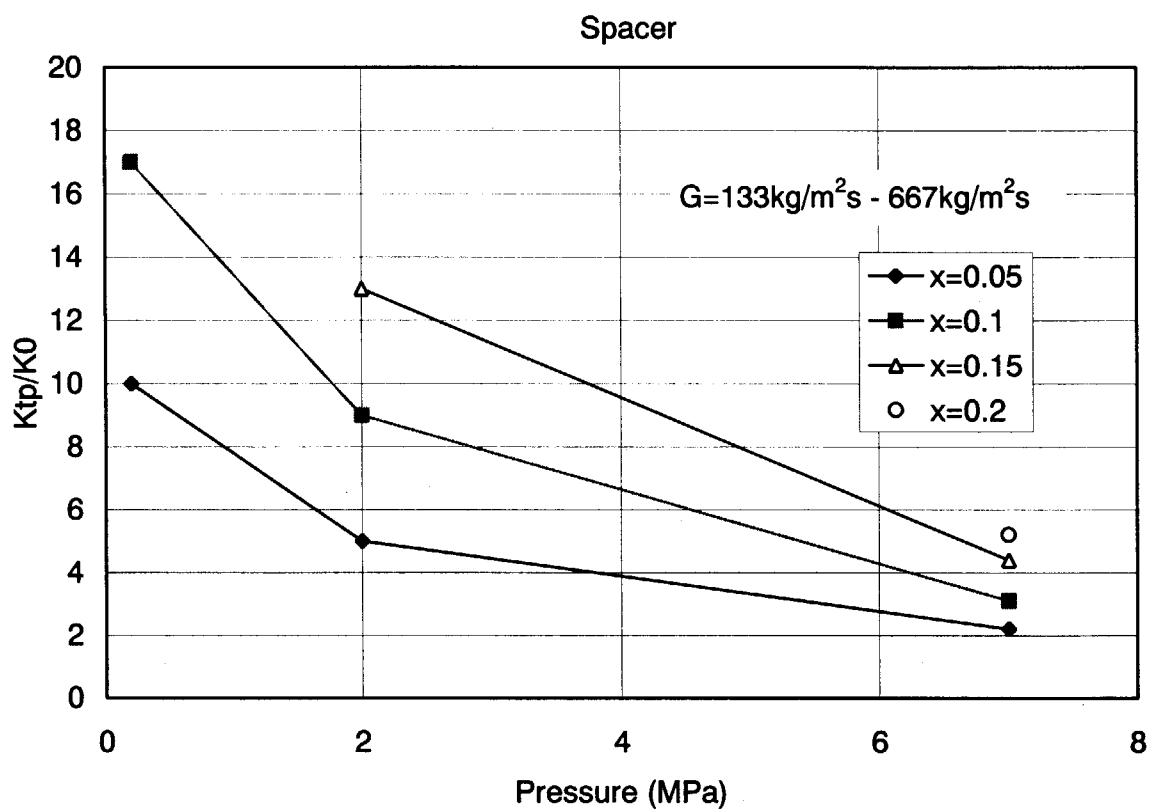
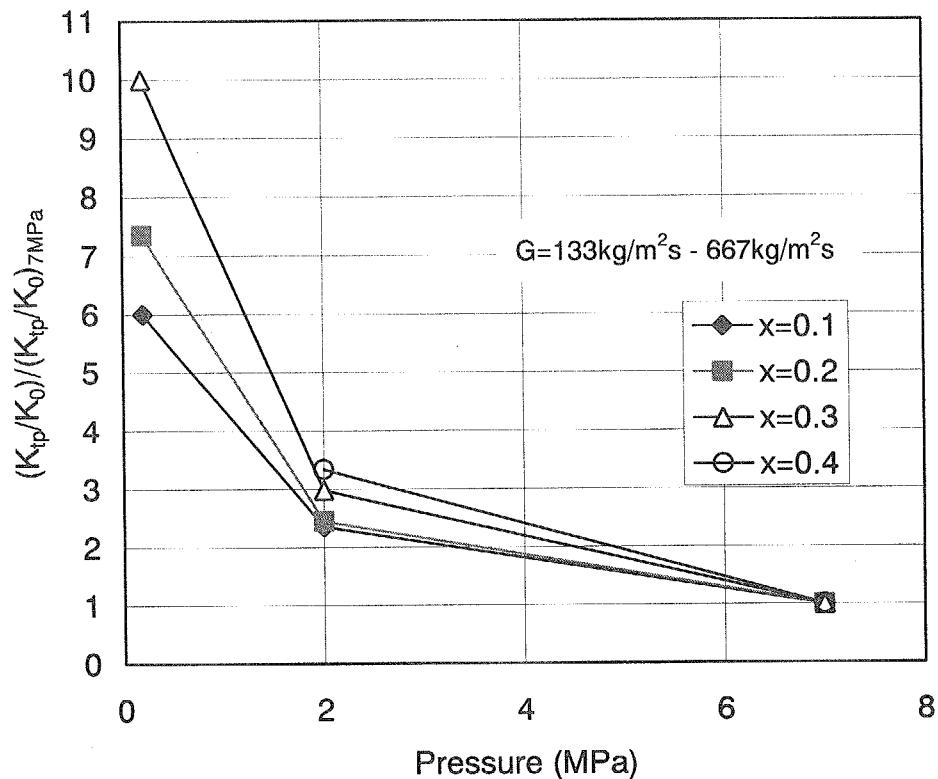


図 5. 15 二相流増倍係数と圧力の関係 (スペーサ)

Orifice



Spacer

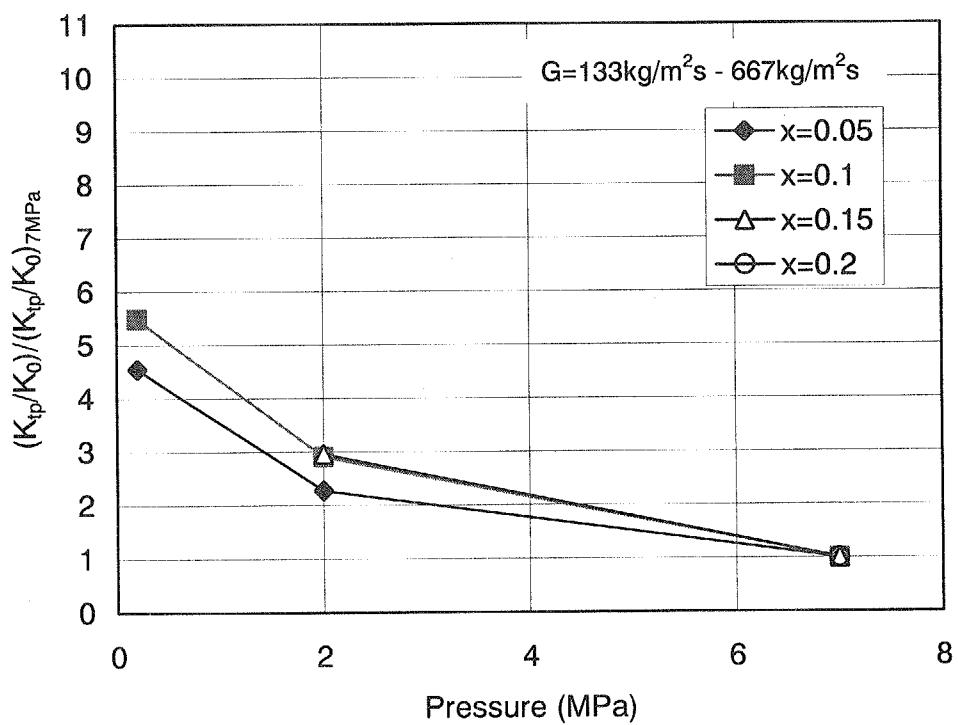


図5. 16 規格化した二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス及びスペーサ）

Orifice & Spacer (by Fitting equation)

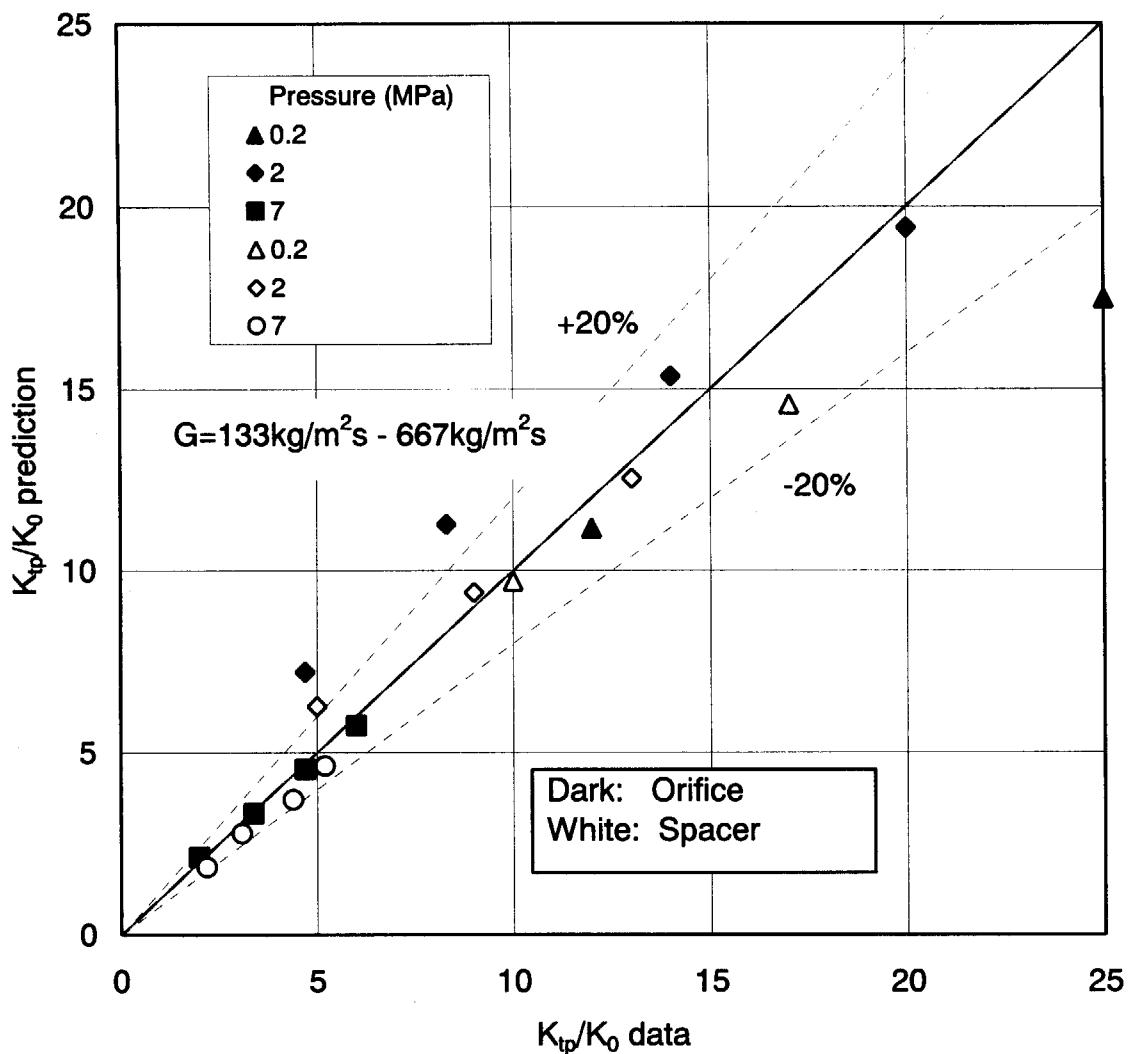


図 5. 17 実験式による二相流増倍係数の予測

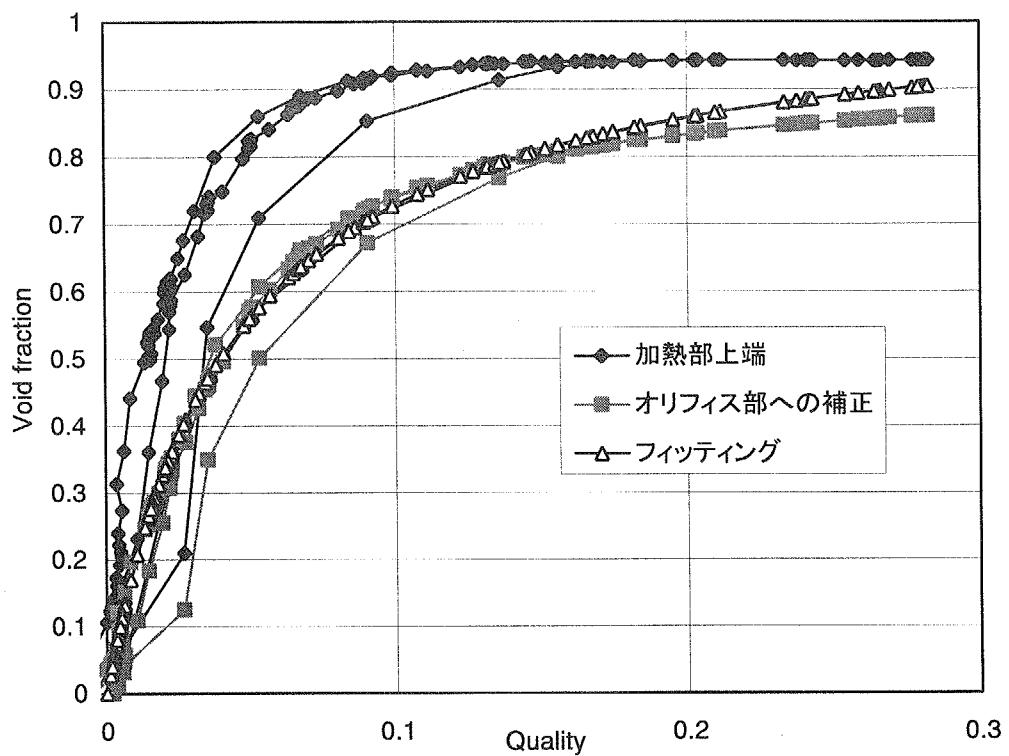
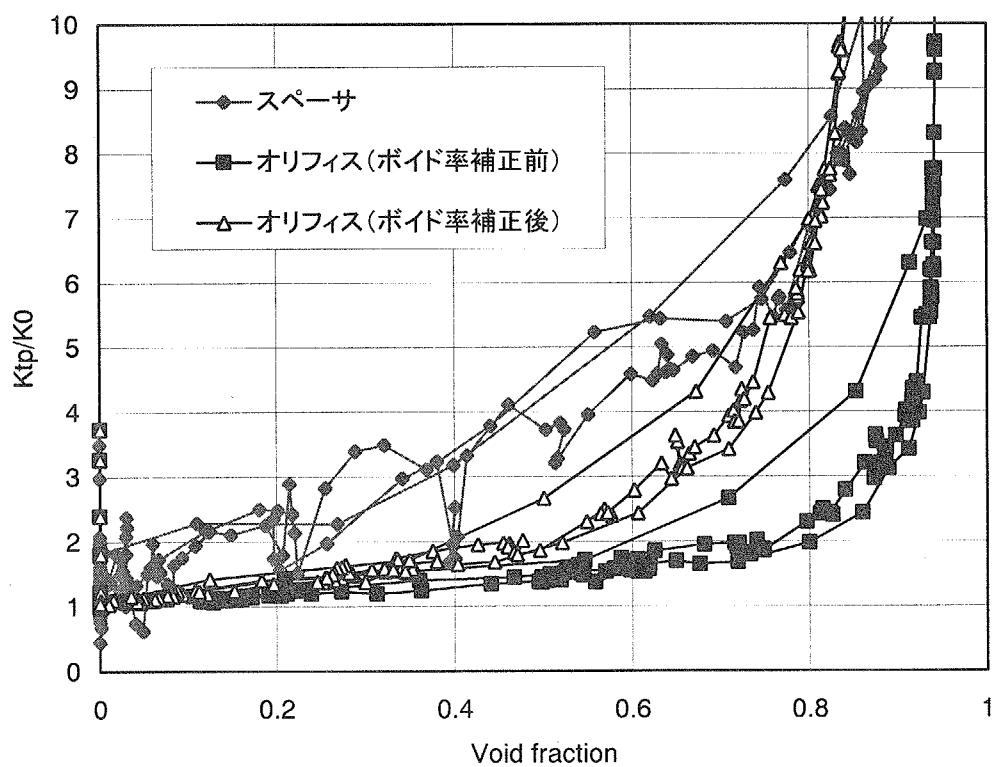
Orifice 2MPa, 0.3kg/s(400kg/m²s)2MPa, 0.3kg/s (400kg/m²s)

図5. 18 計測されたボイド率の2速度モデルによるフィッティング

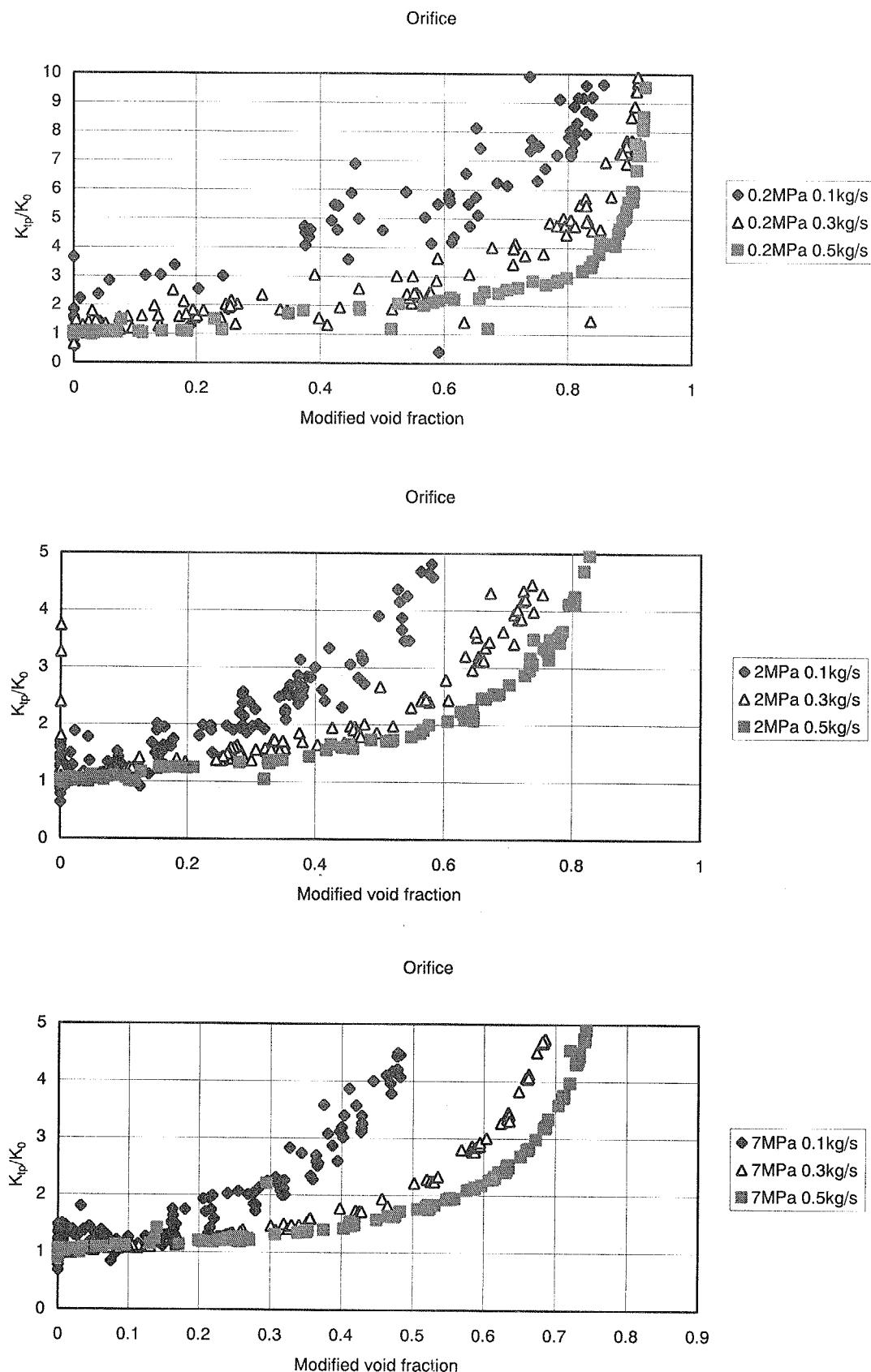


図 5. 19 補正したボイド率と二相流増倍係数の関係（オリフィス）

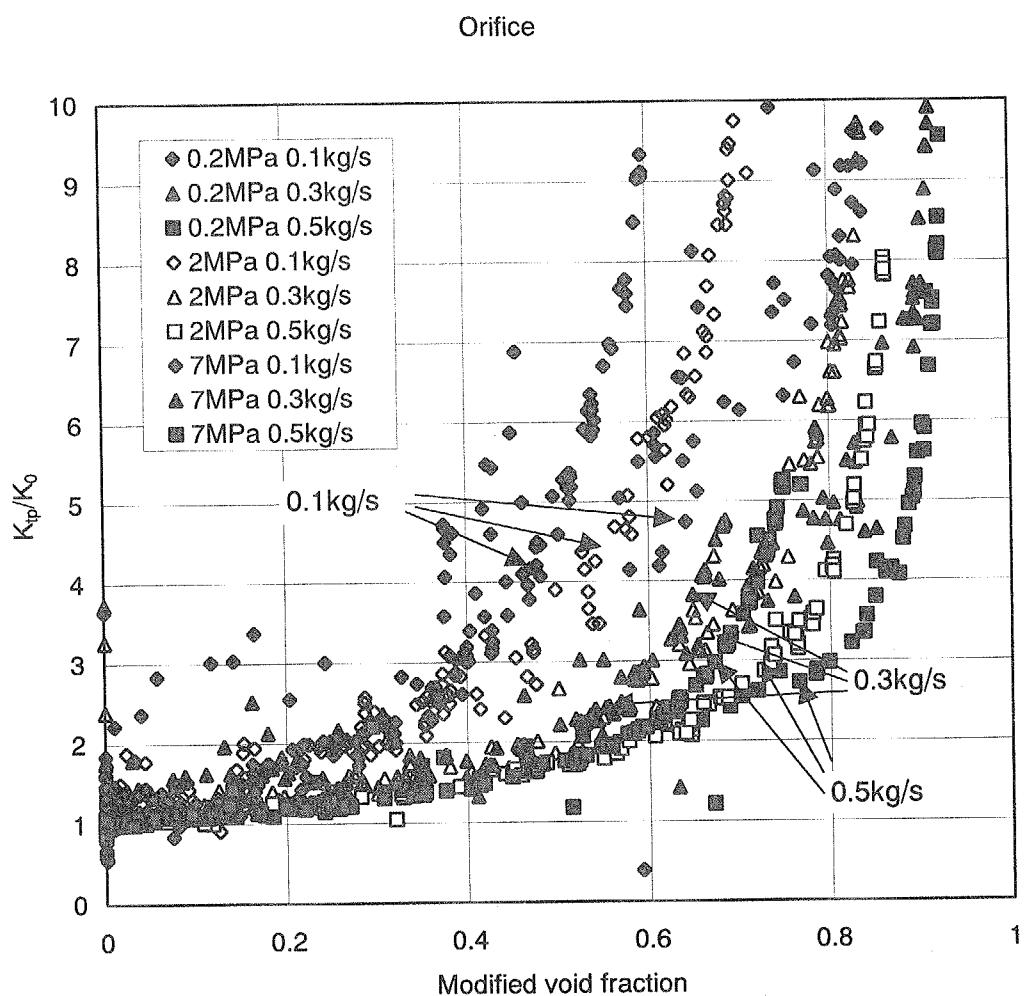


図 5. 20 圧力 0.2MPa～7MPa、質量流束 $133\text{kg/m}^2\text{s}$ ～ $666\text{kg/m}^2\text{s}$ における補正したボイド率と二相流増倍係数の関係（オリフィス）

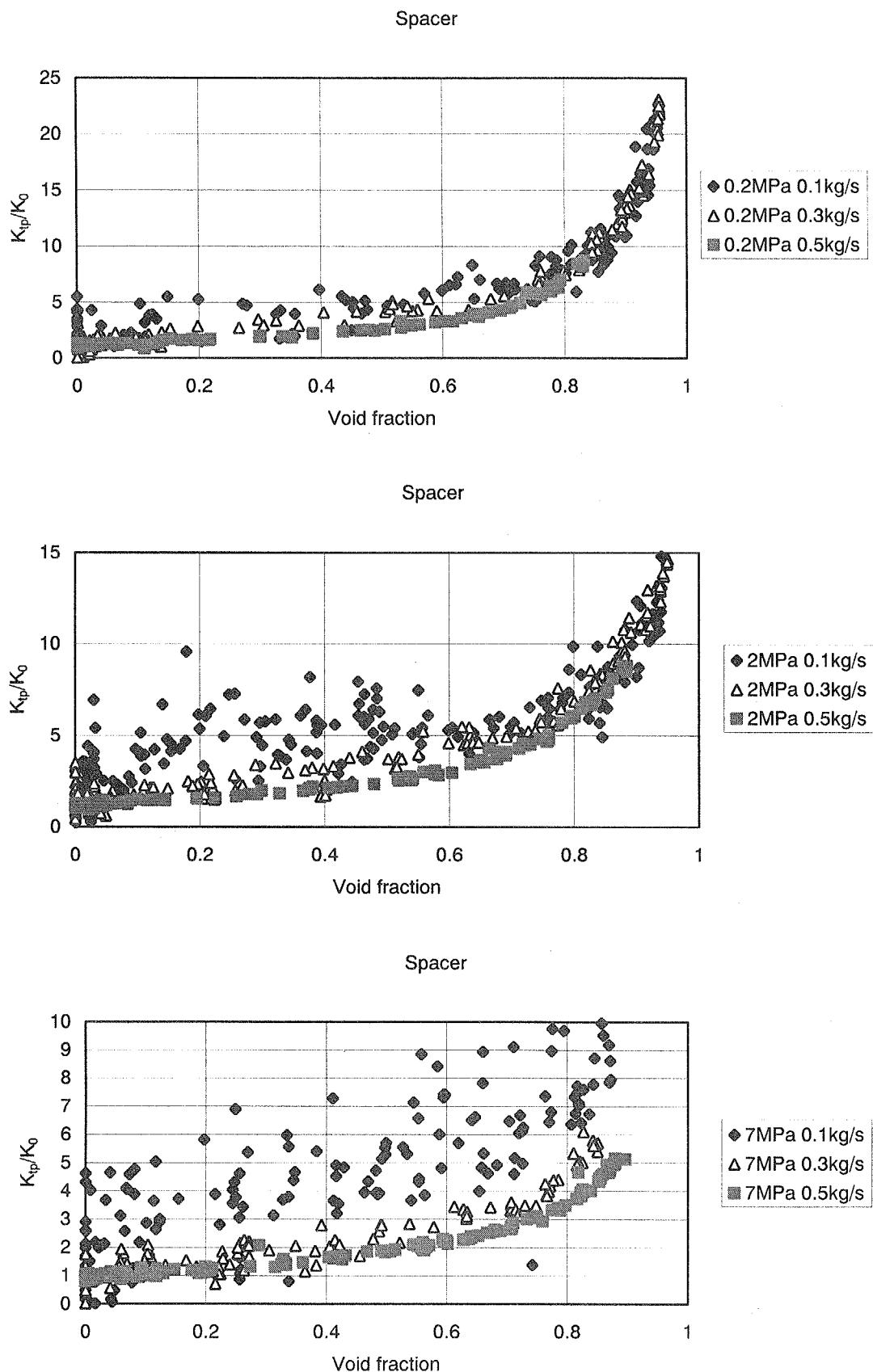


図5. 21 ボイド率と二相流増倍係数の関係（スペーサ）

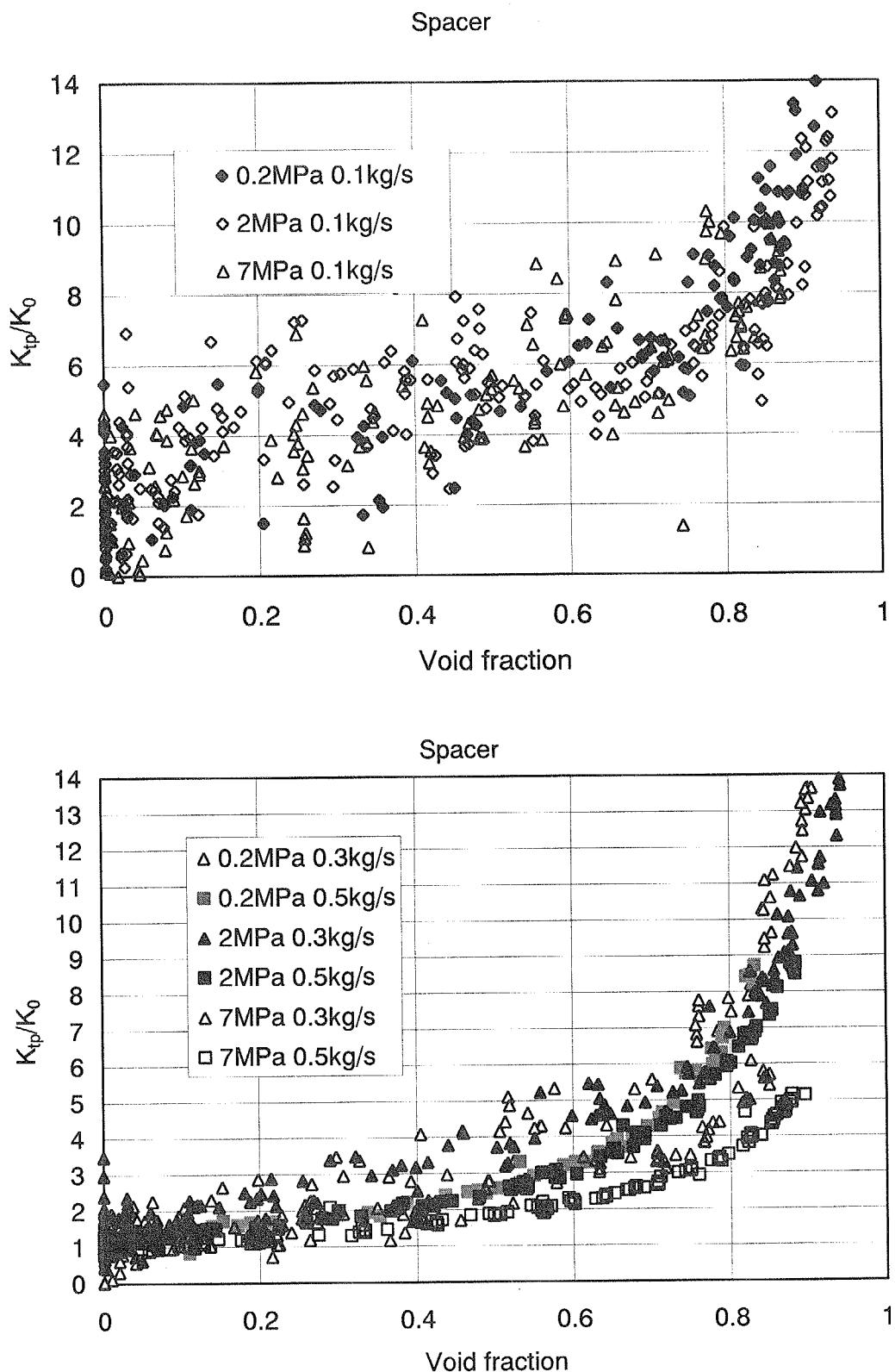


図5.22 圧力 0.2MPa～7MPa、質量流束 $133\text{kg/m}^2\text{s}$ ～ $666\text{kg/m}^2\text{s}$ におけるボイド率と二相流増倍係数の関係（スペーサ）

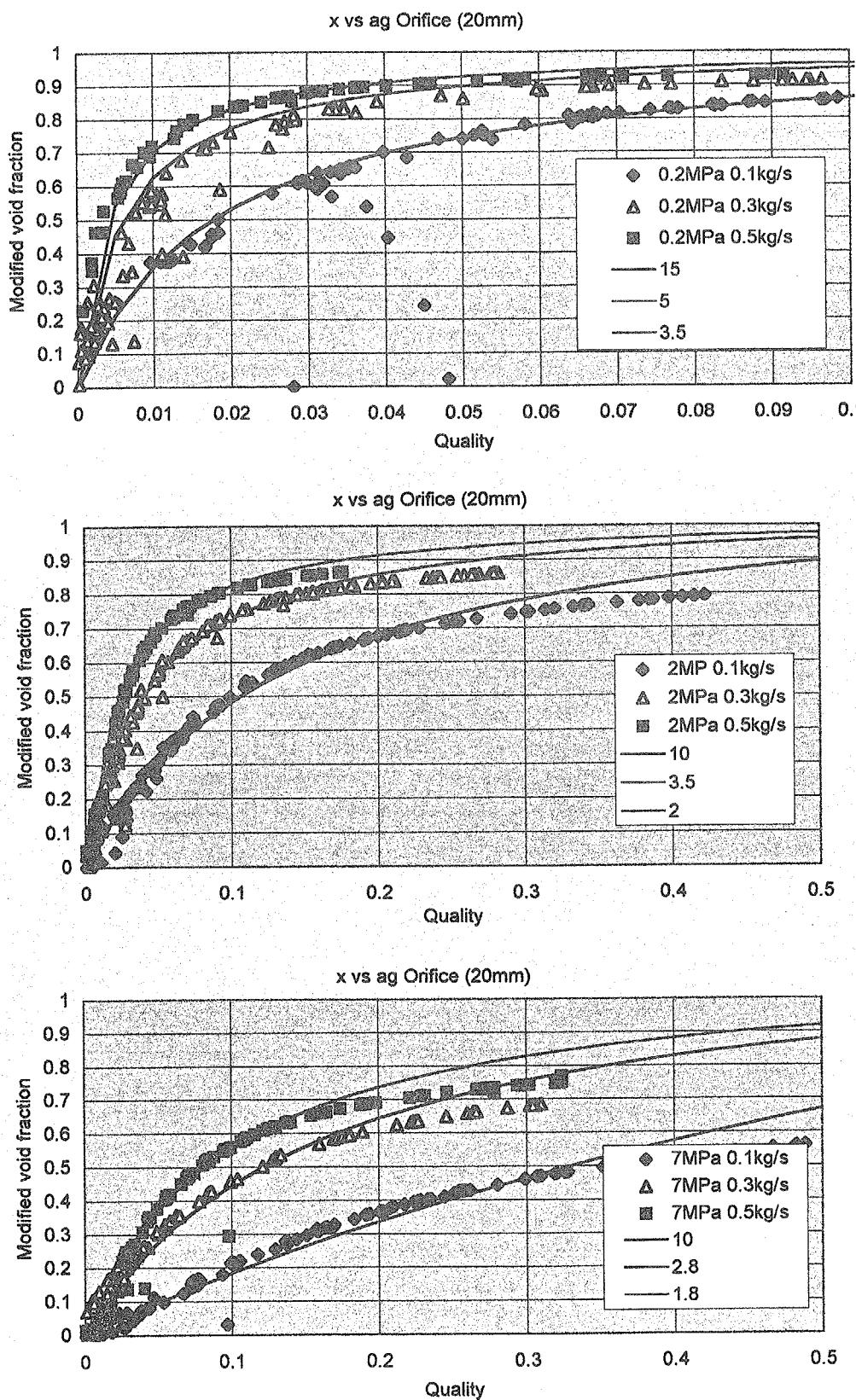


図6. 1 ボイド率とクオリティの関係（オリフィス）

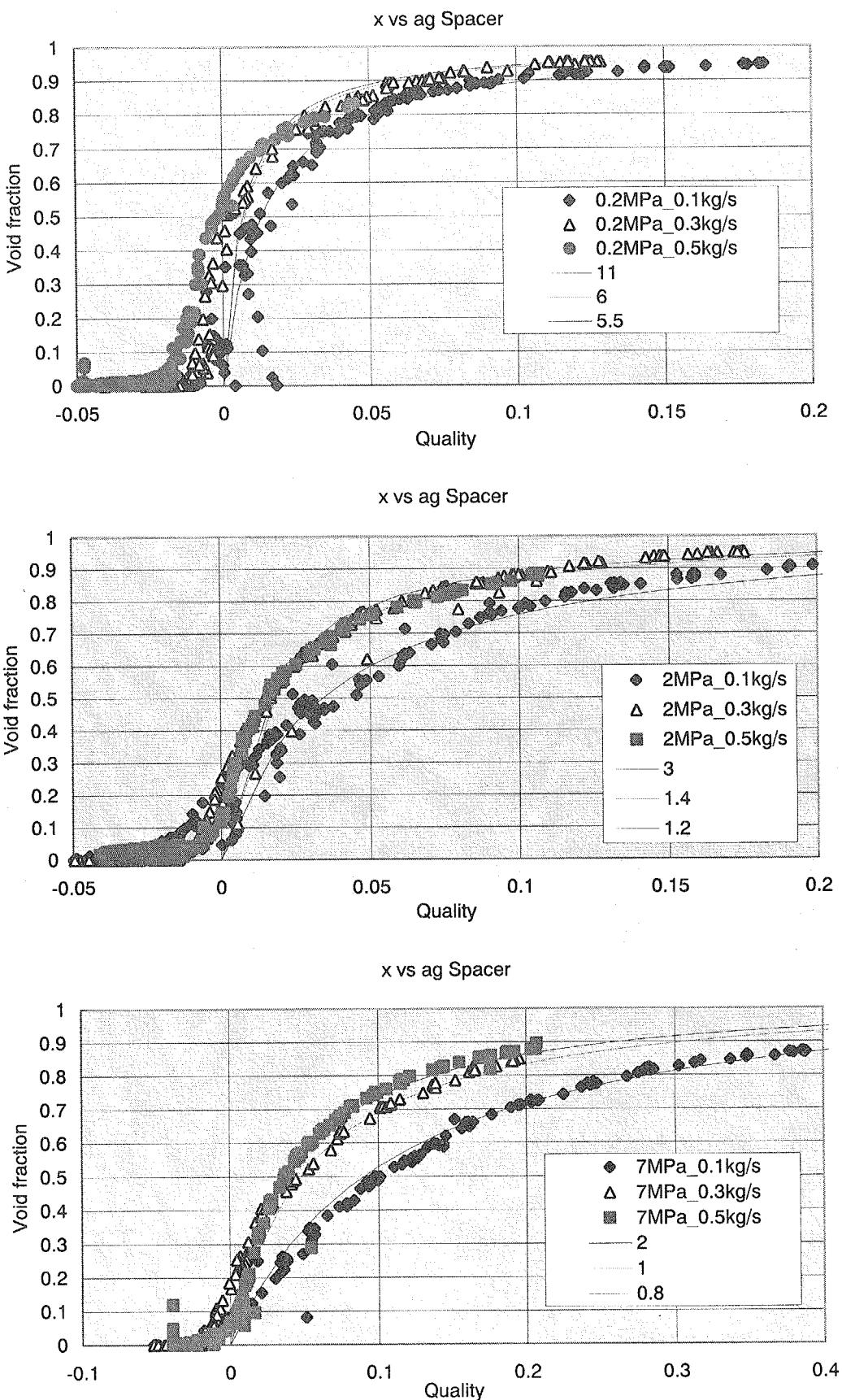


図6. 2 ボイド率とクオリティの関係（スペーサ）

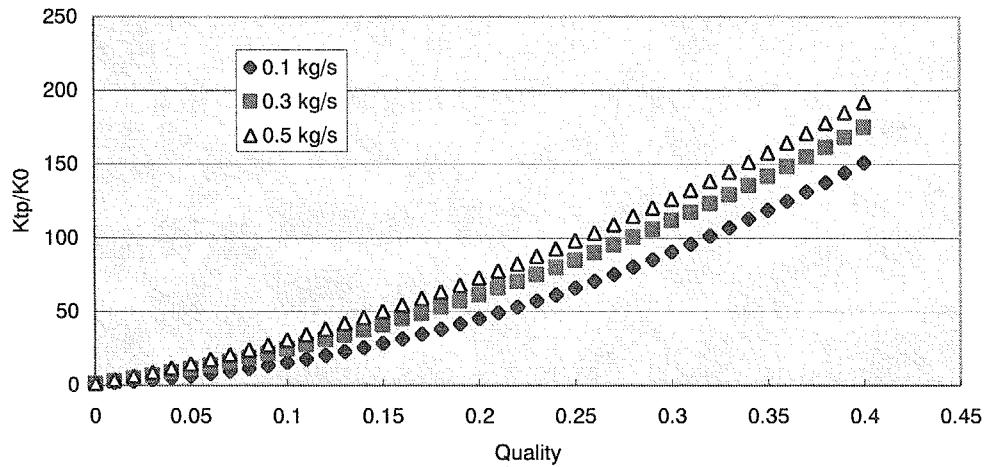
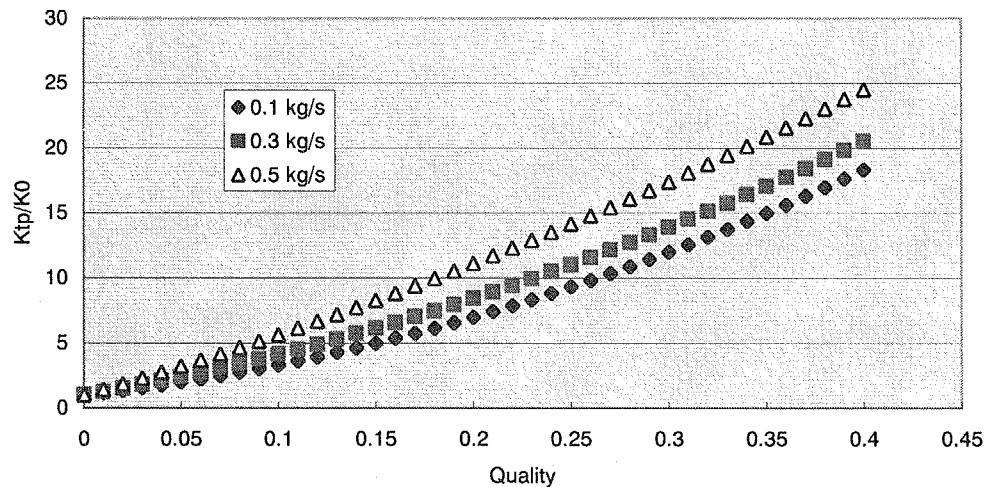
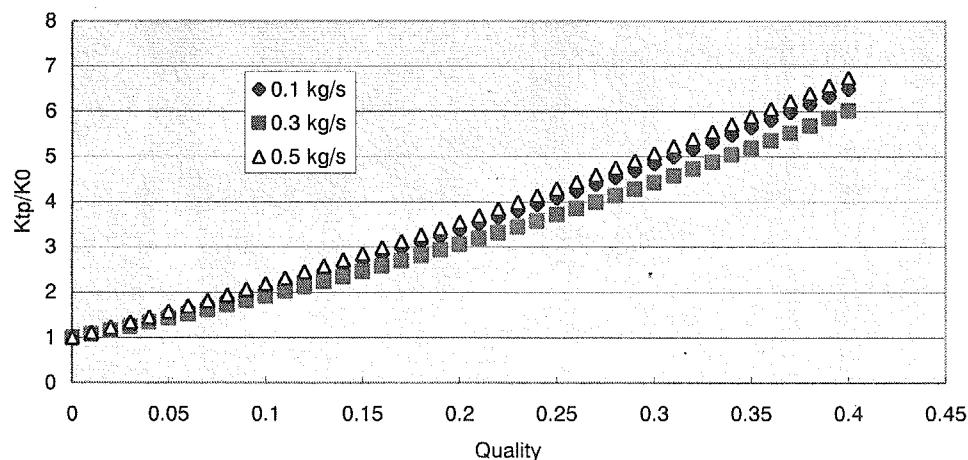
分離流モデル 0.2MPa Assumption: $K_2/K_0=1.0$ 分離流モデル 2MPa Assumption: $K_2/K_0=1.0$ 分離流モデル 7MPa Assumption: $K_2/K_0=1.0$ 

図 6. 3 分離流モデルによる二相流増倍係数とクオリティの関係（オリフィス）

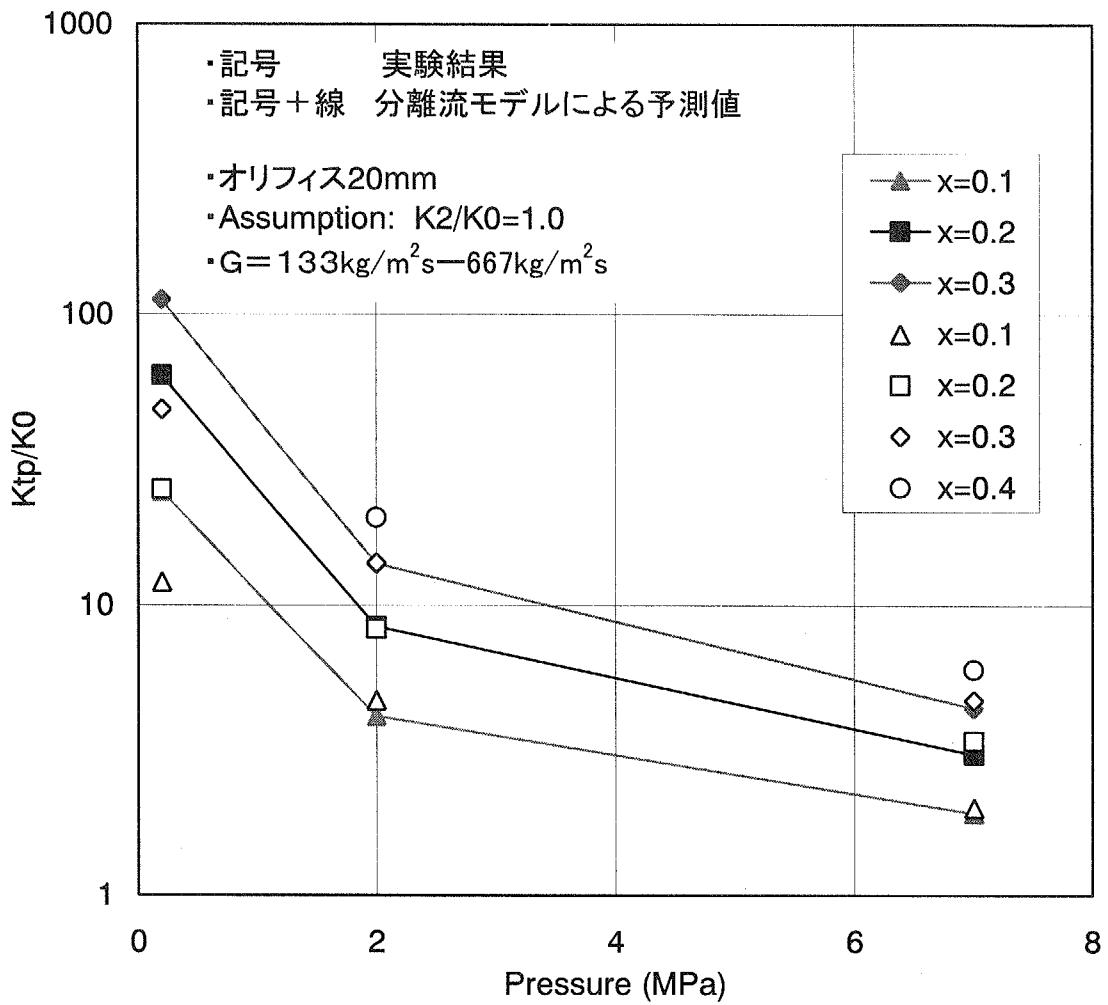


図6.4 分離流モデルによる二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）

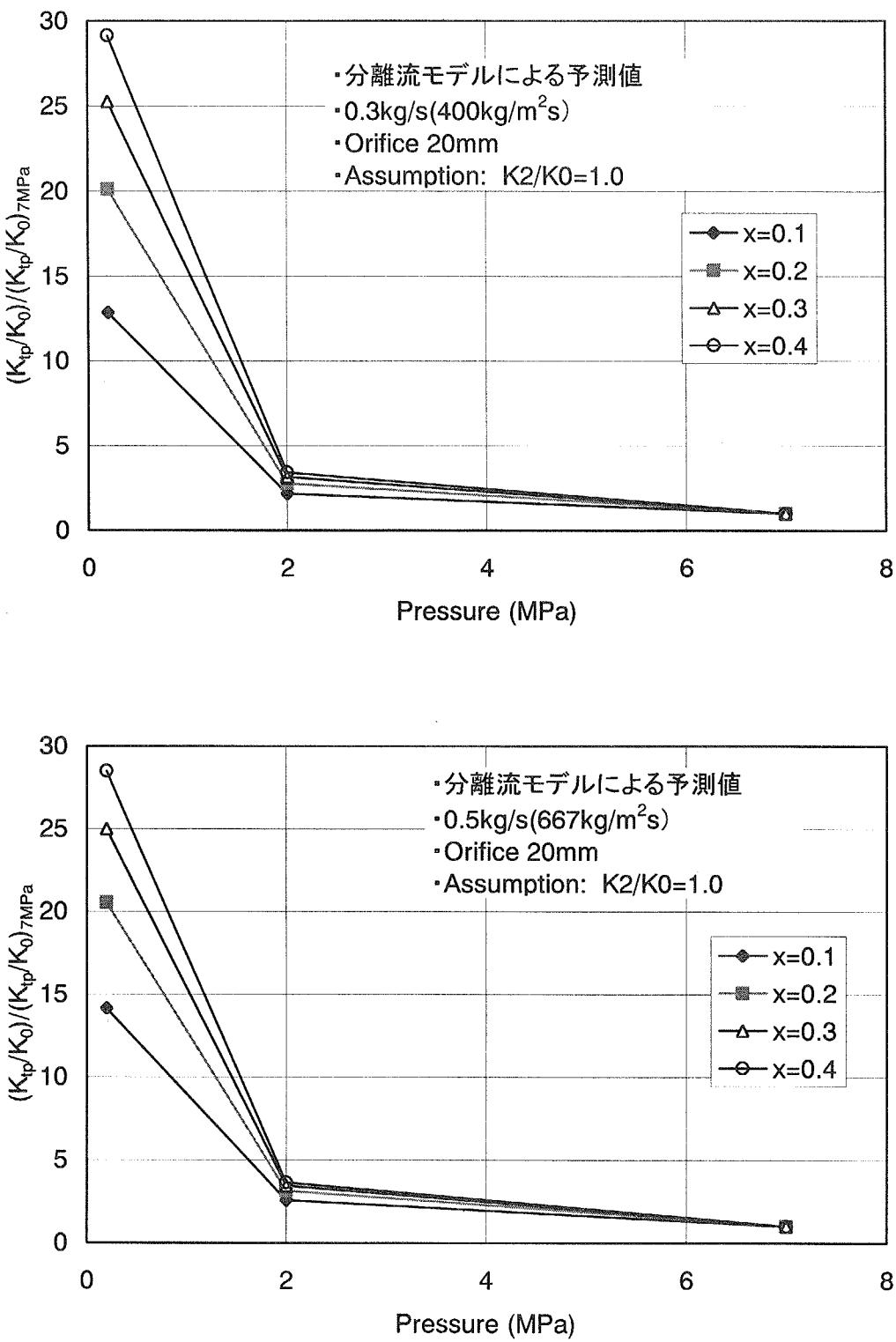


図 6. 5 分離流モデルによる規格化した二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）

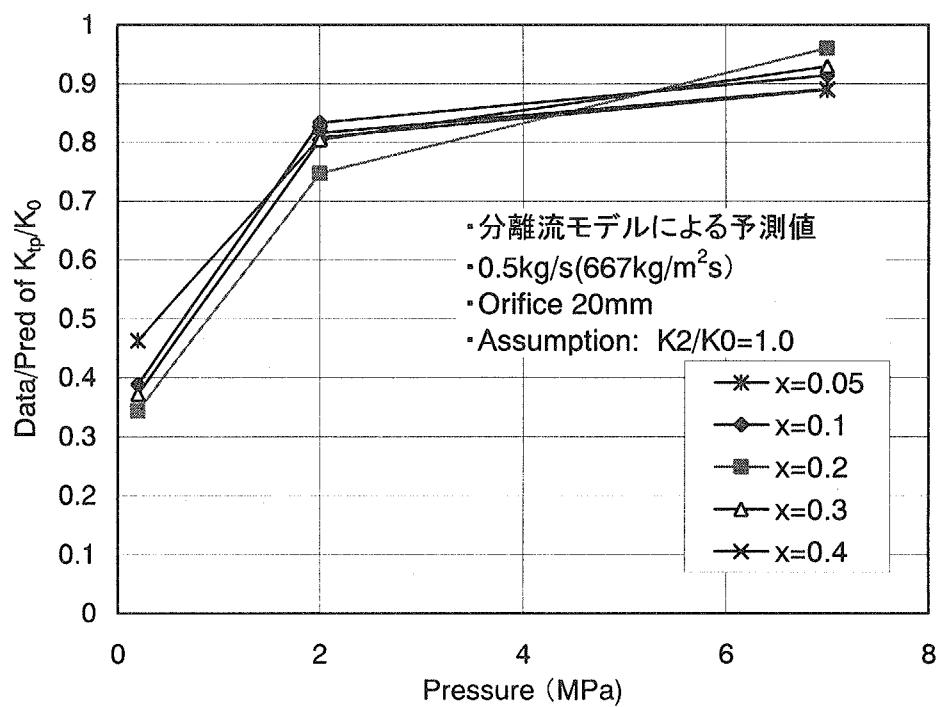
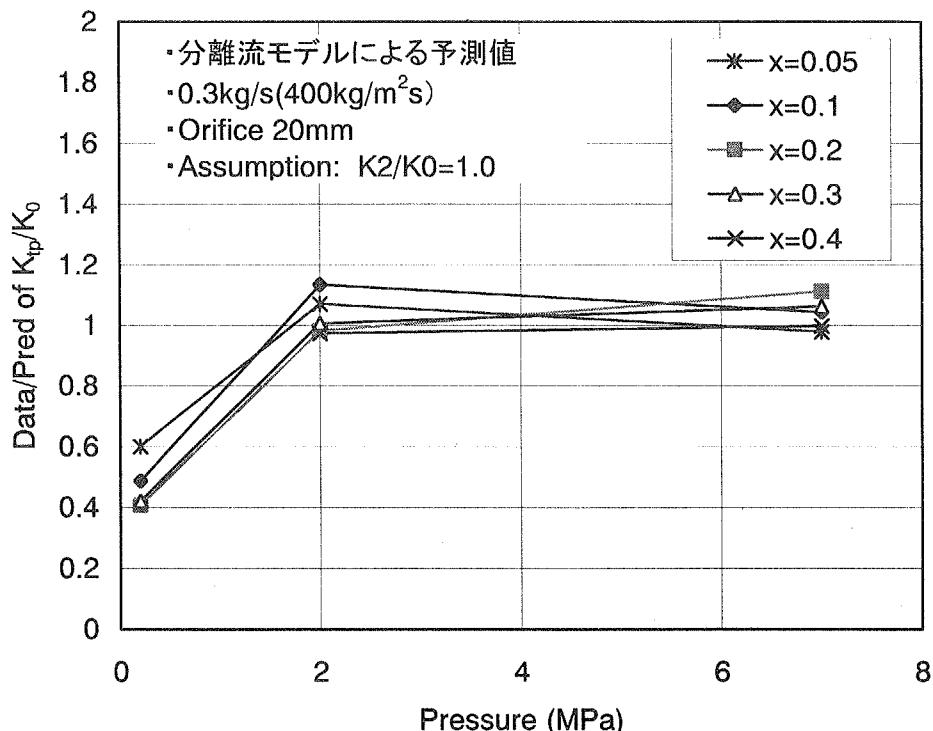
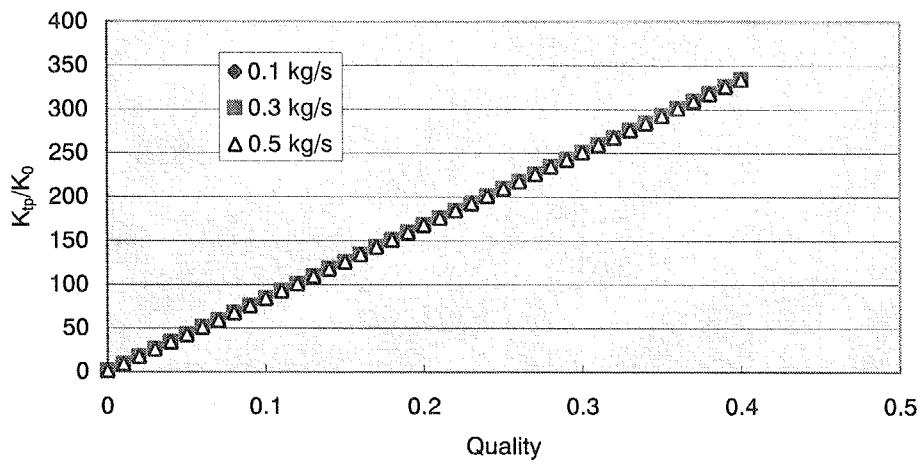
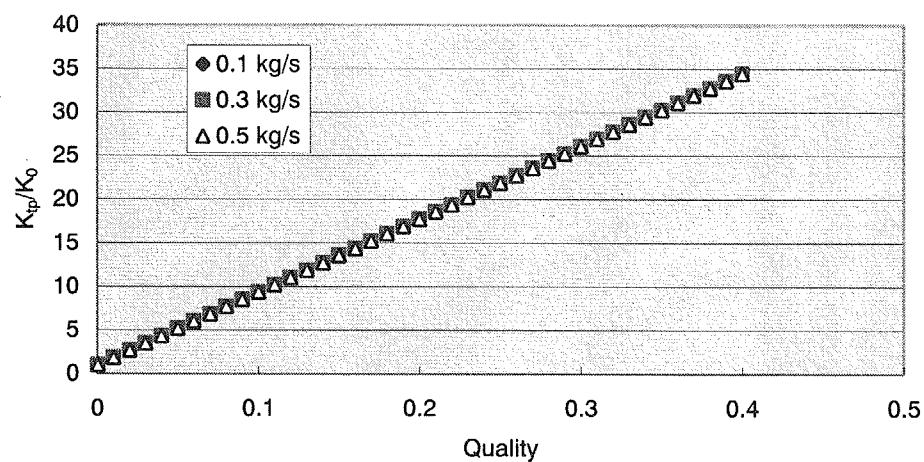


図 6. 6 分離流モデルによる二相流増倍係数比 (Data/Prediction) と圧力の関係 (オリフィス)

均質流モデル 0.2MPa



均質流モデル 2MPa



均質流モデル 7MPa

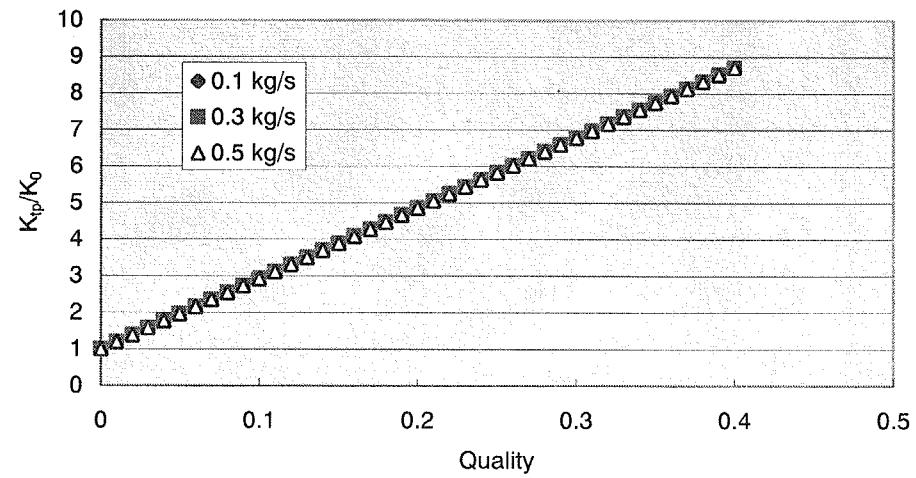


図 6. 7 均質流モデルによる二相流増倍係数とクオリティの関係（オリフィス）

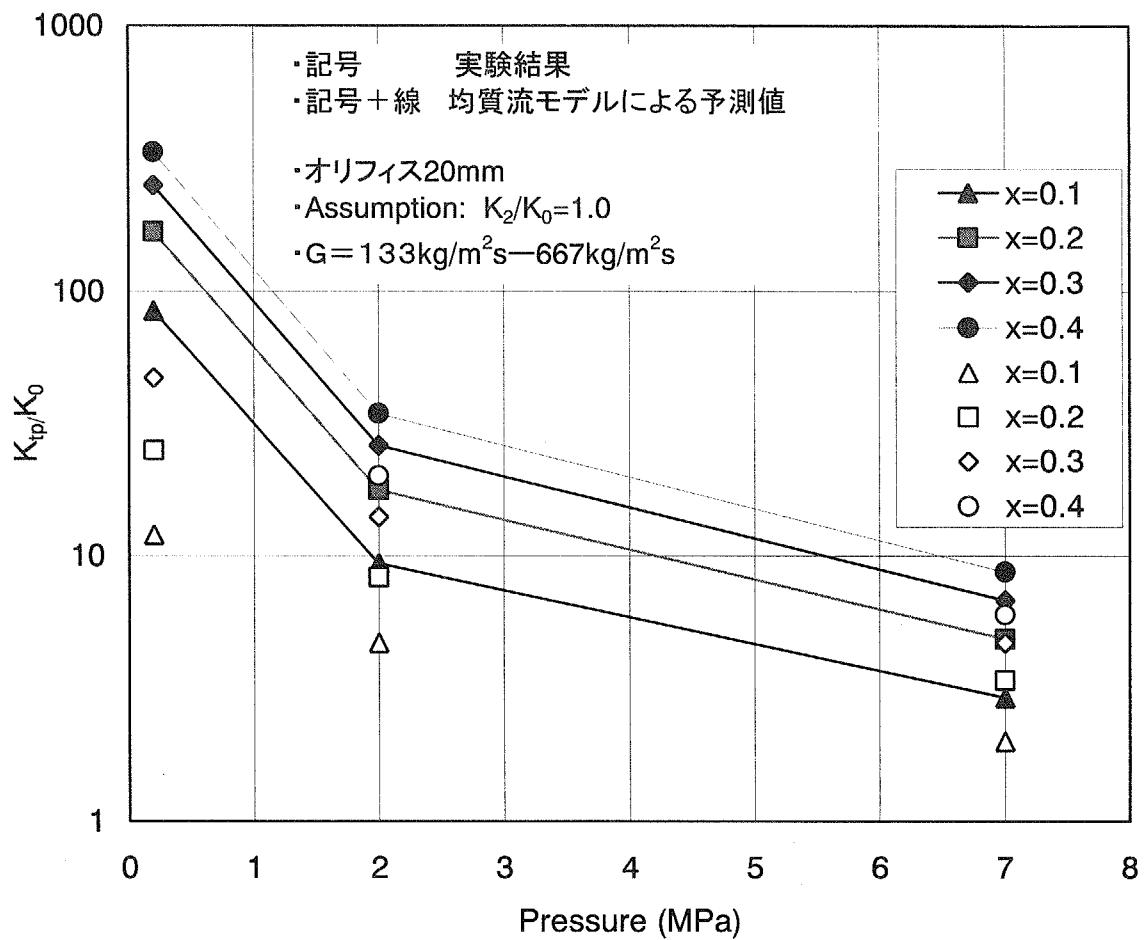


図6.8 均質流モデルによる二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）

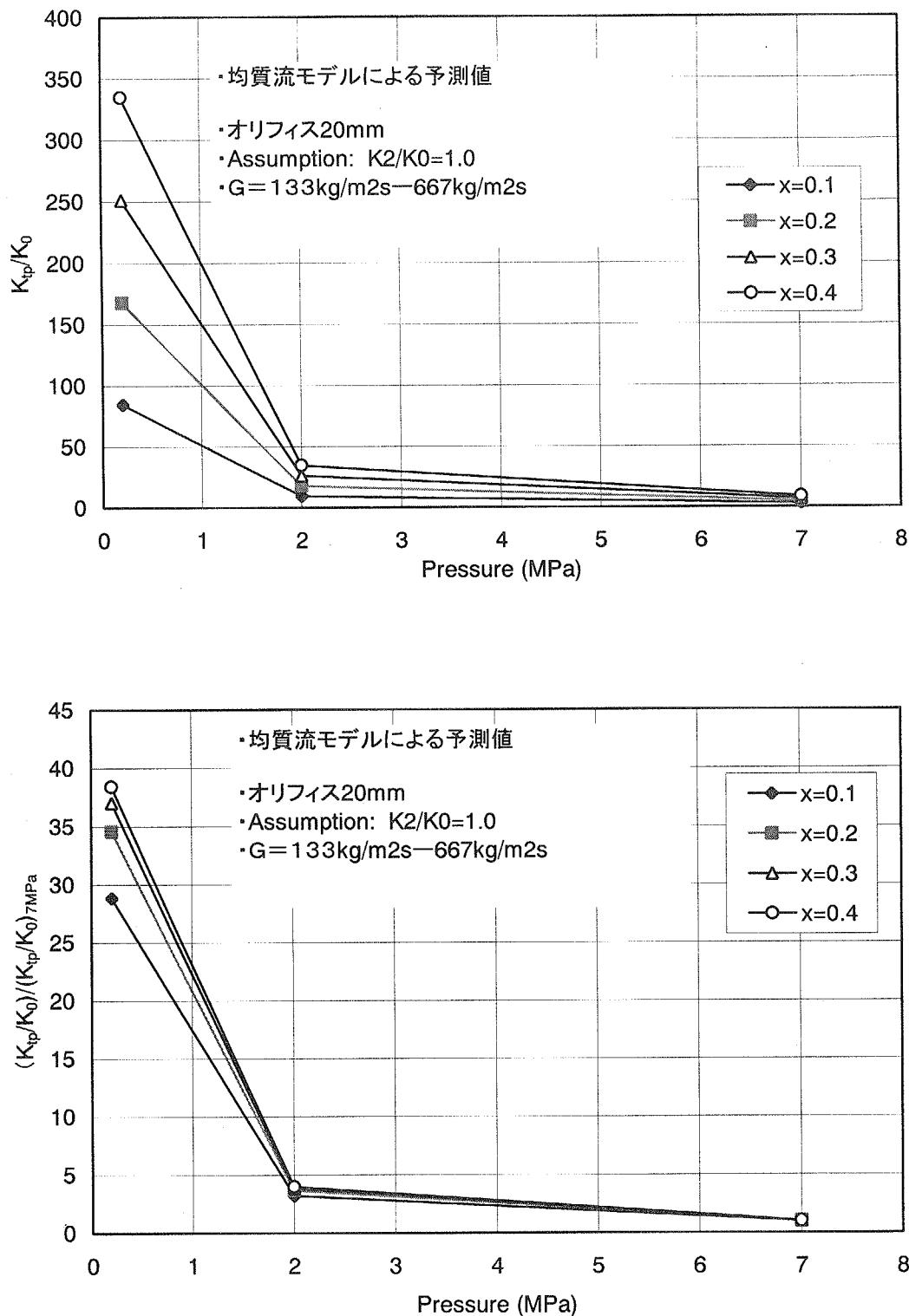


図 6. 9 均質流モデルによる規格化した二相流増倍係数と圧力の関係（オリフィス）

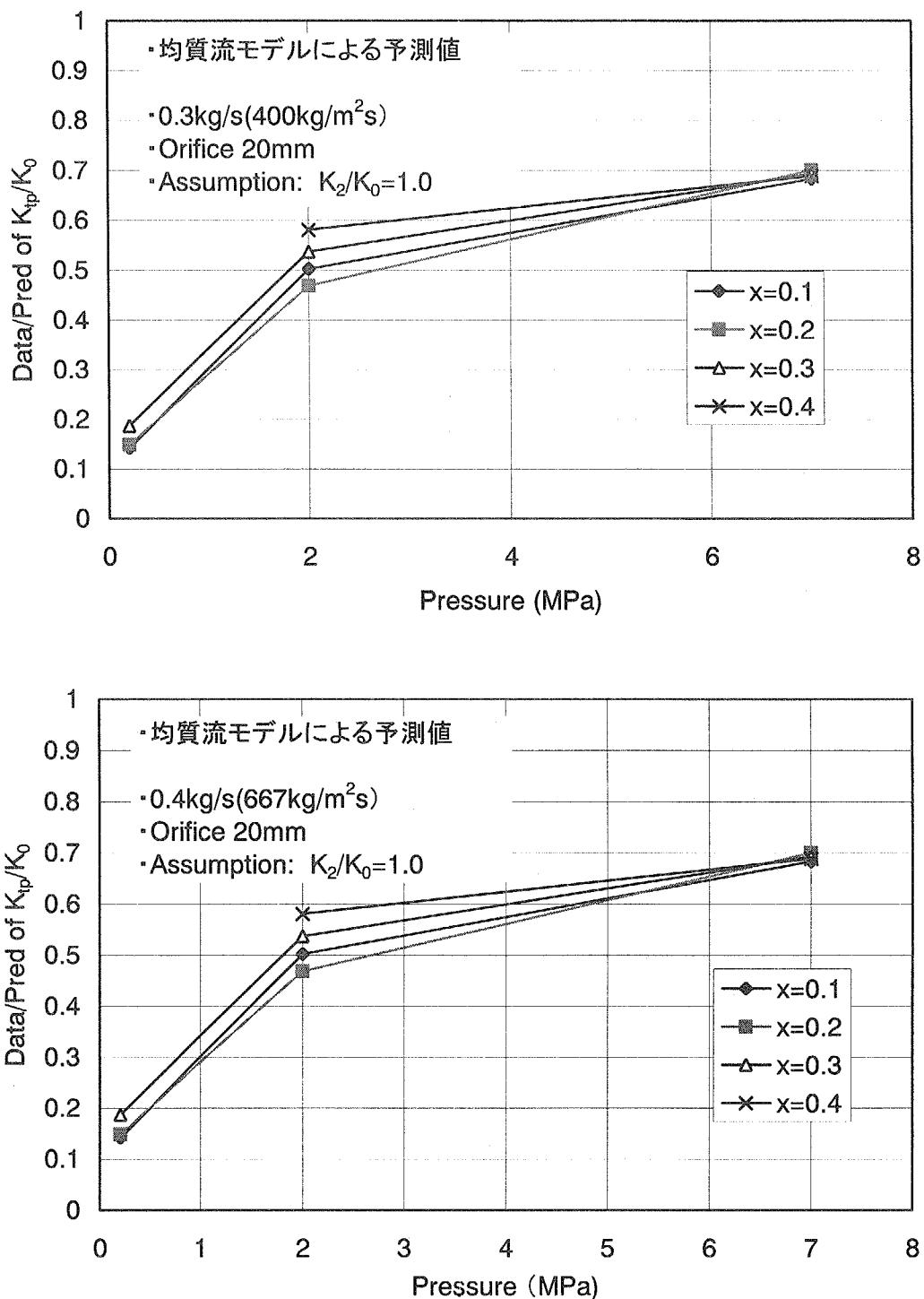


図 6. 10 均質流モデルによる二相流増倍係数比 (Data/Prediction) と圧力の関係 (オリフィス)

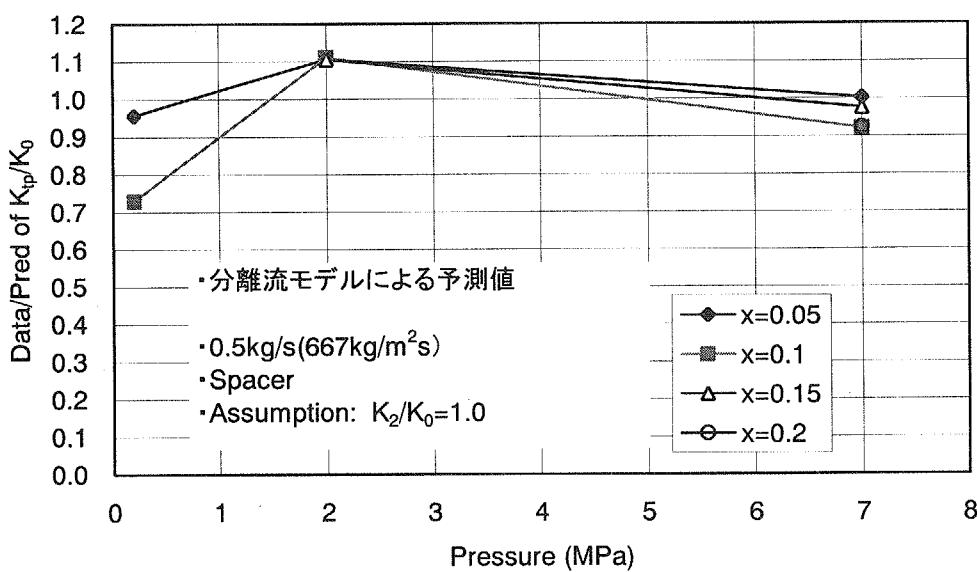
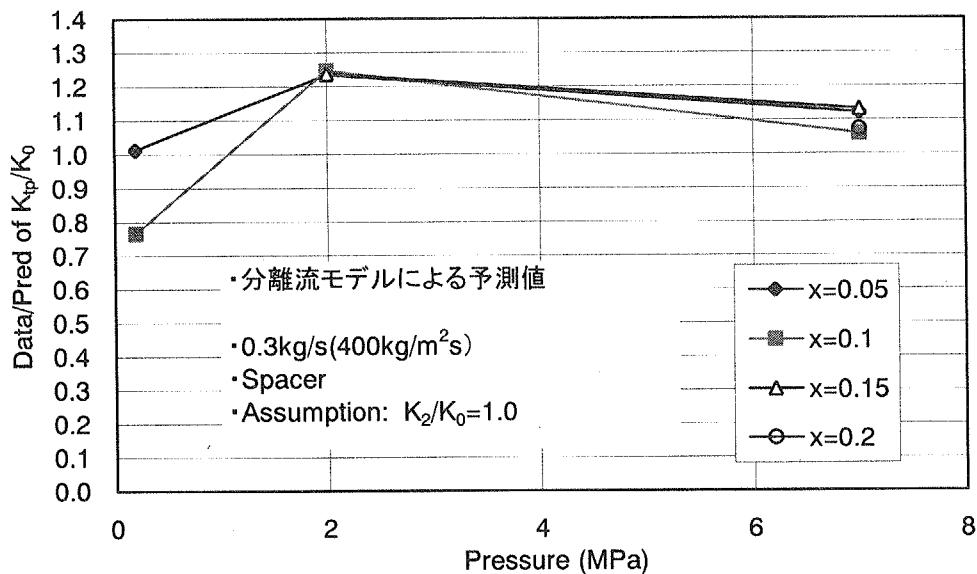


図 6. 11 分離流モデルによる二相流増倍係数比 (Data/Prediction) と圧力の関係 (スペーサー)

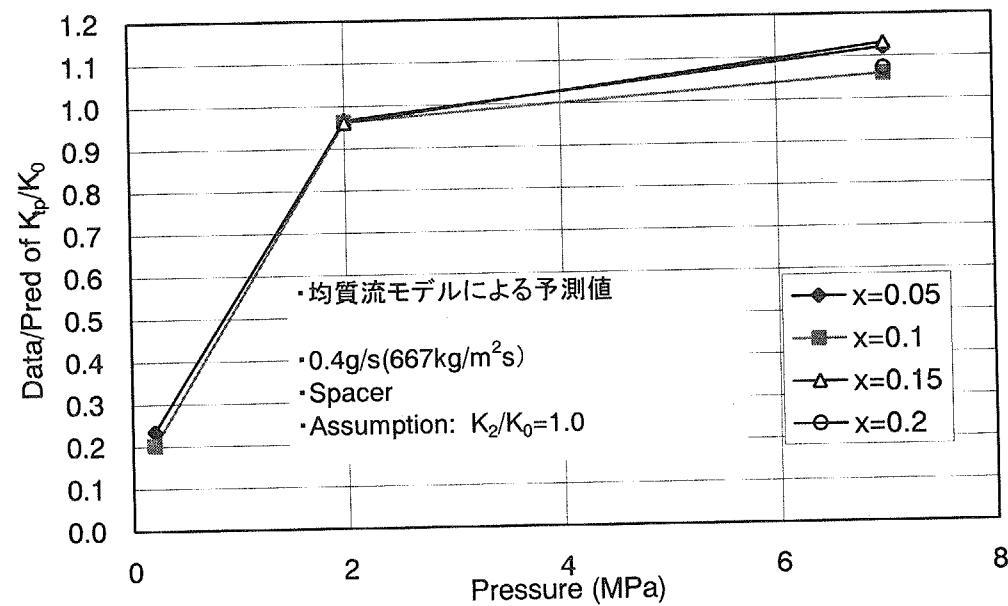
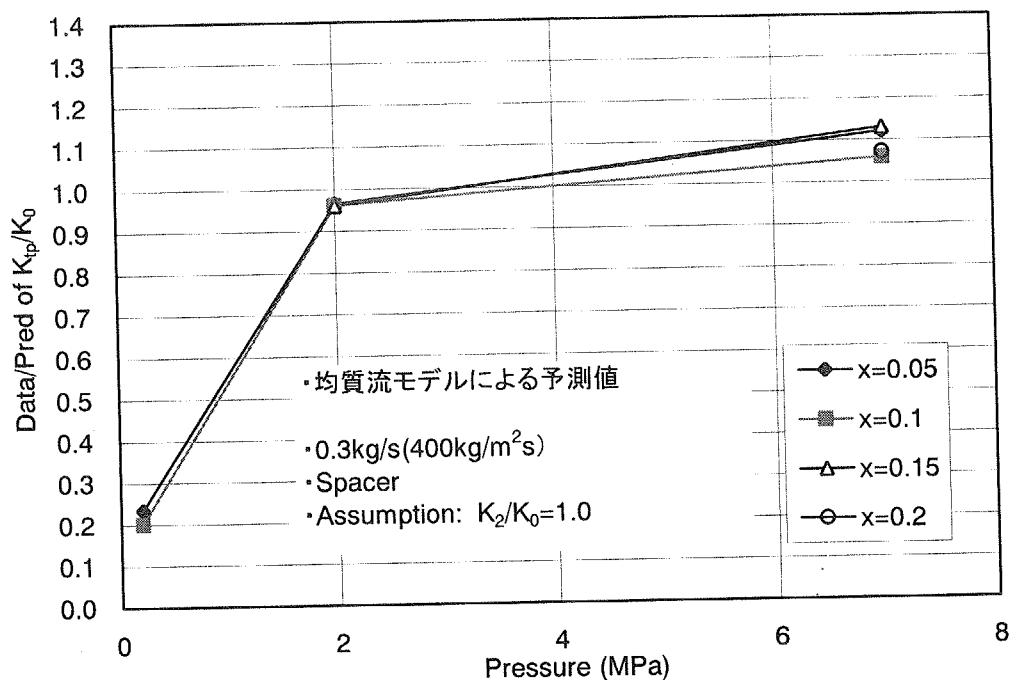
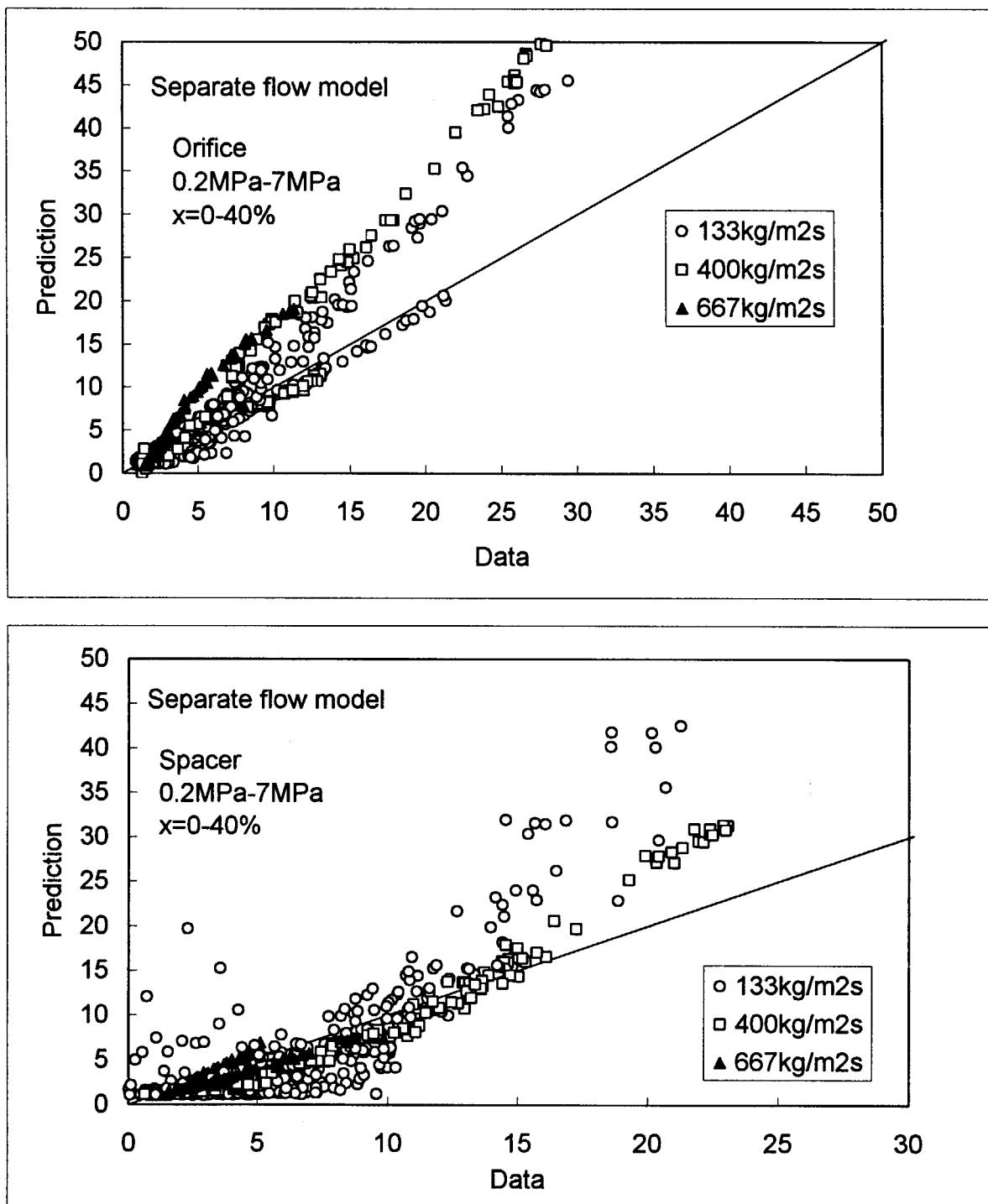
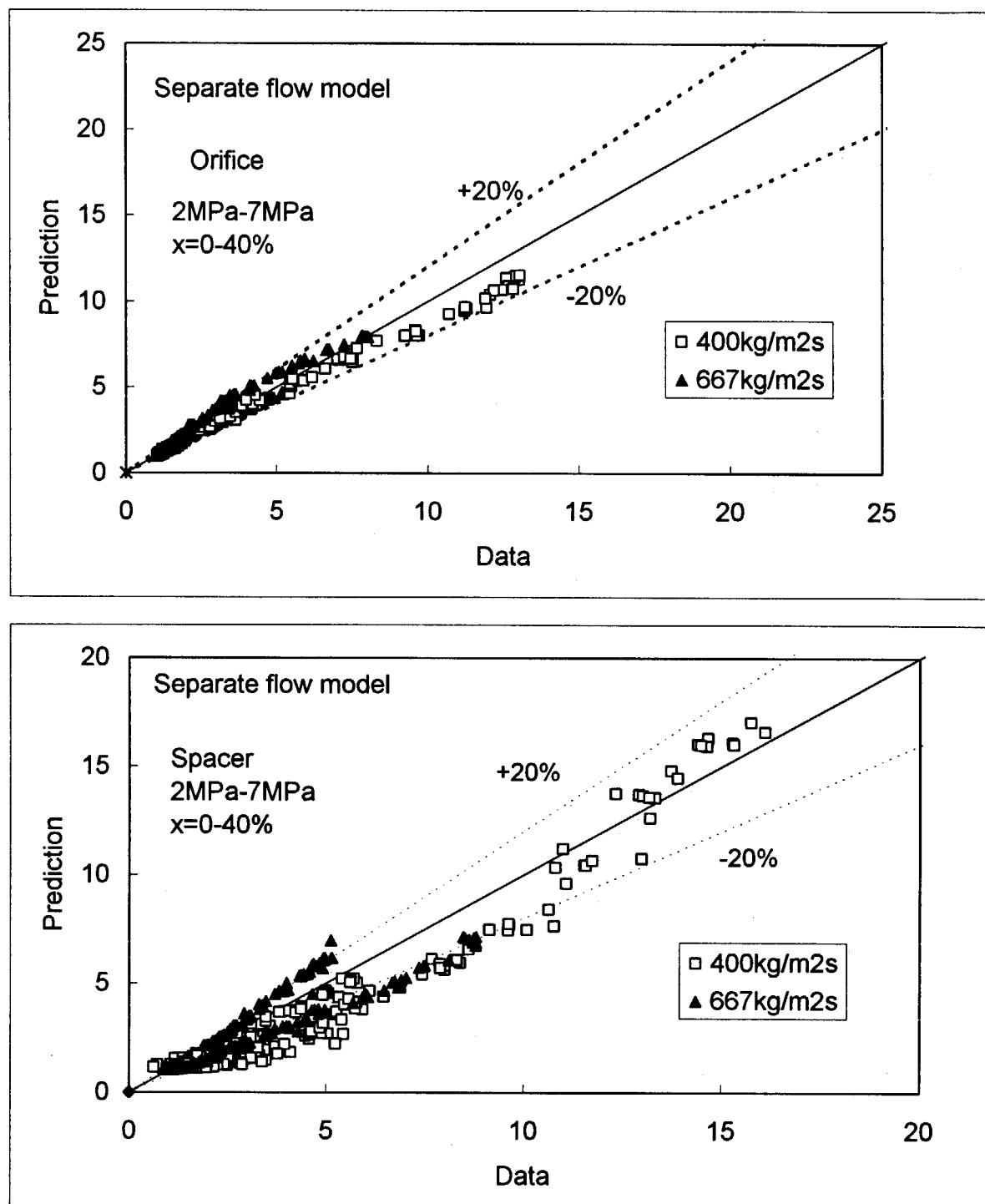


図 6. 12 均質流モデルによる二相流増倍係数比 (Data/Prediction) と圧力の関係 (スペーサー)



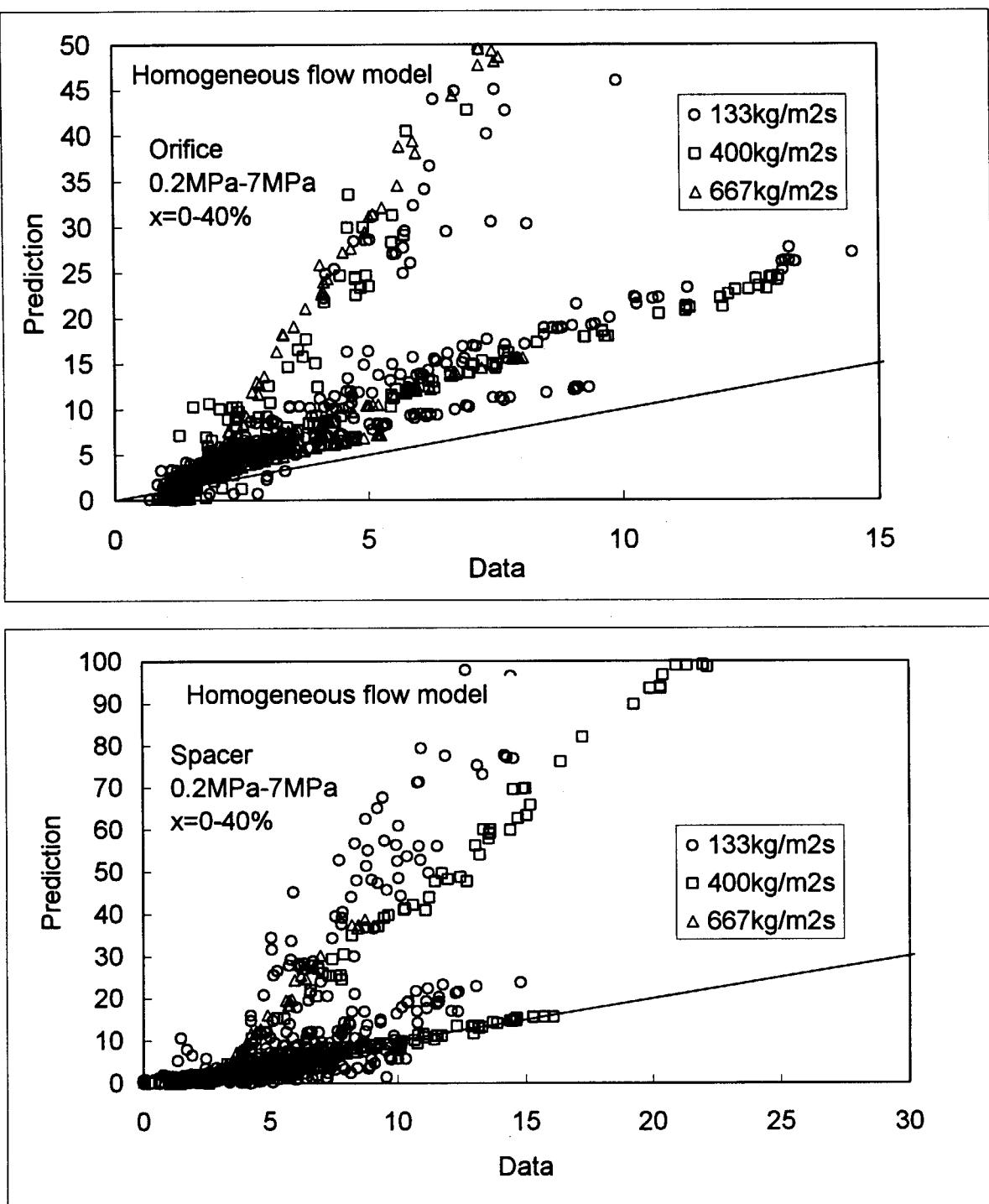
分離流モデルによる2相流増倍係数の予測値とTHYNC実験データの比較
(全データ)

図 6. 13 分離流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
(全データ)



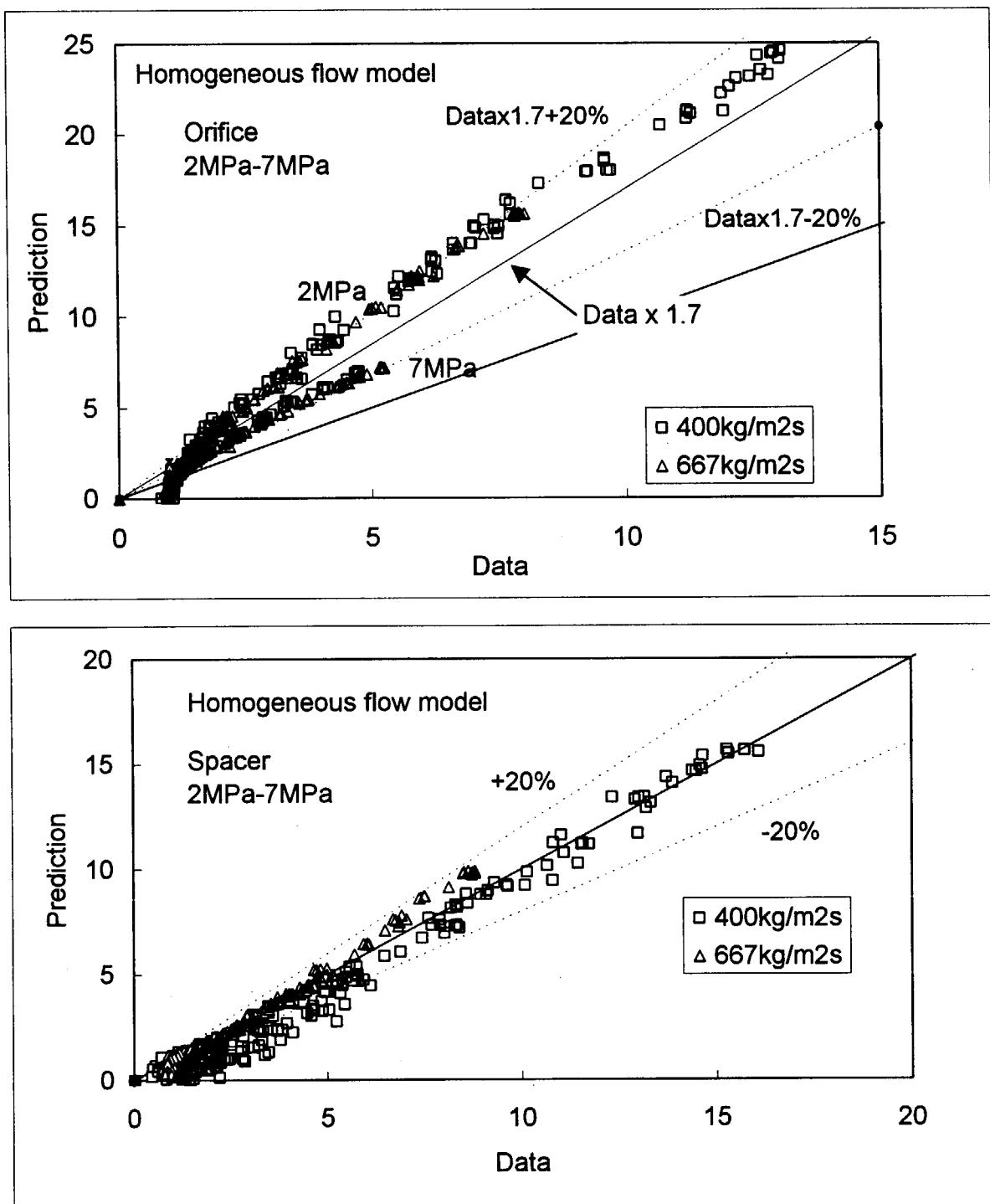
分離流モデルによる2相流増倍係数の予測値とTHYNC実験データの比較
(高圧データ)

図6.14 分離流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
(高圧データ)



均質流モデルによる2相流増倍係数の予測値とTHYNC実験データの比較
(全データ)

図 6. 15 均質流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
(全データ)



均質流モデルによる2相流増倍係数の予測値とTHYNC実験データの比較
(高圧データ)

図 6. 16 均質流モデルによる二相流増倍係数の予測値と THYNC 実験データの比較
(高圧データ)

This is a blank page.

付録1 単相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

- 1 ページー (1). 圧力 (横軸=時間)
- 1 ページー (2). 流体温度 (横軸=時間)
- 1 ページー (3). チャンネル流量 (横軸=時間)
- 2 ページー (1). チャンネル出力 (横軸=時間)
- 2 ページー (2). 測定された全差圧 (スペーサ) (横軸=時間)
- 2 ページー (3). 測定された全差圧 (オリフィス) (横軸=時間)
- 3 ページー (1). ポイド率 (横軸=時間)
- 3 ページー (2). 静水頭補正を行った差圧 (スペーサ) (横軸=時間)
- 3 ページー (3). 静水頭補正を行った差圧 (オリフィス) (横軸=時間)
- 4 ページー (1). 差圧対質量流束 (チャンネルa)
- 4 ページー (2). 差圧対質量流束 (チャンネルb)
- 4 ページー (3). 差圧対質量流束 (チャンネルc)
- 5 ページー (1). Kファクター (スペーサ) (横軸=時間)
- 5 ページー (2). Kファクター (オリフィス) (横軸=時間)
- 5 ページー (3). Kファクター対質量流束 (スペーサ)
- 6 ページー (1). Kファクター対質量流束 (オリフィス)

This is a blank page.

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

| | |
|---------|-----------|
| ○ -PPRZ | (1305238) |
| □ -PLP1 | (1305238) |
| △ -PUP1 | (1305238) |

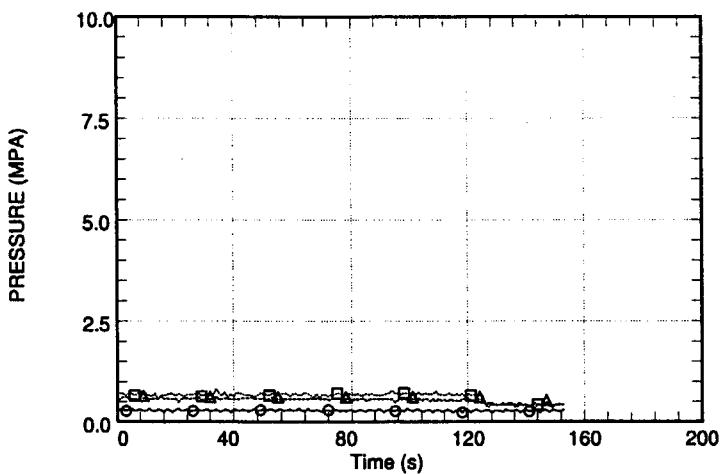


Fig. Pressure

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

| | | | |
|----------|-----------|-------------|-----------|
| ○ -TFeIN | (1305238) | + -TsatPPRZ | (1305238) |
| □ -TFDIN | (1305238) | × -TsatPUP1 | (1305238) |
| △ -TFCIN | (1305238) | | |
| ◊ -TFLP1 | (1305238) | | |
| ▽ -TFUP1 | (1305238) | | |

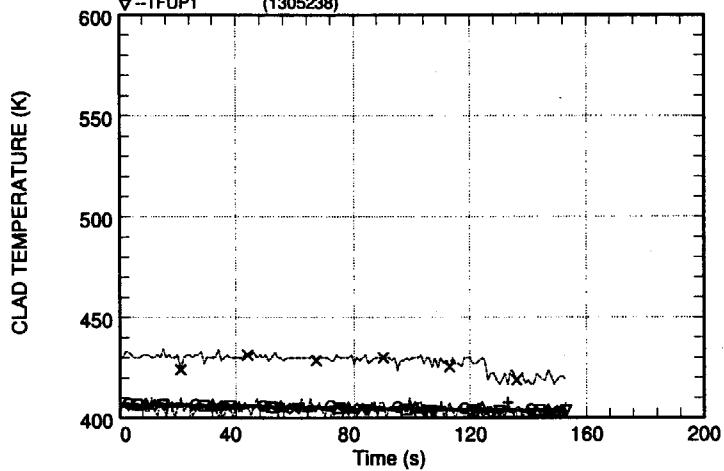


Fig. Tfluid

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -FbIN | (1305238) |
| □ -FcIN | (1305238) |
| △ -FaIN | (1305238) |
| ◊ -FPM101 | (1305238) |

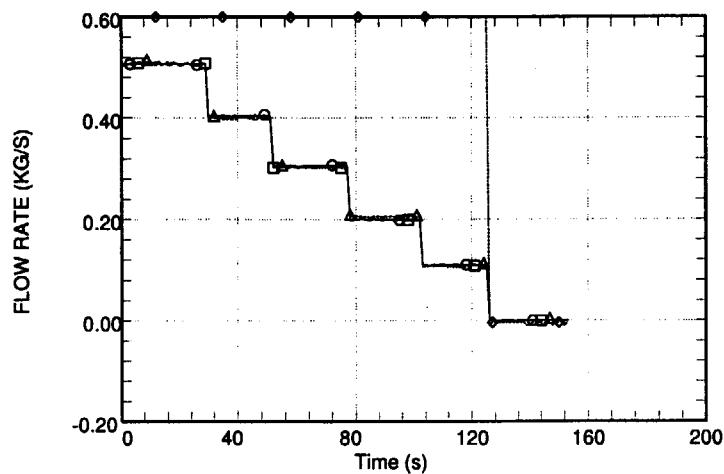


Fig. Flow rate

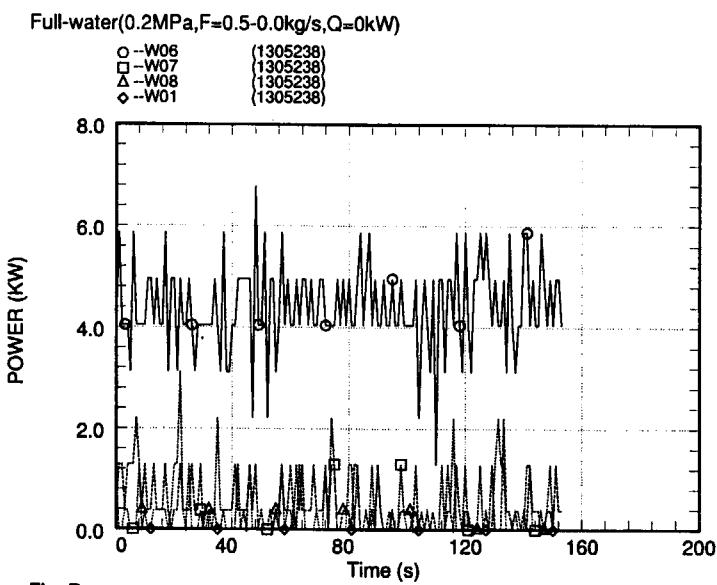


Fig. Power

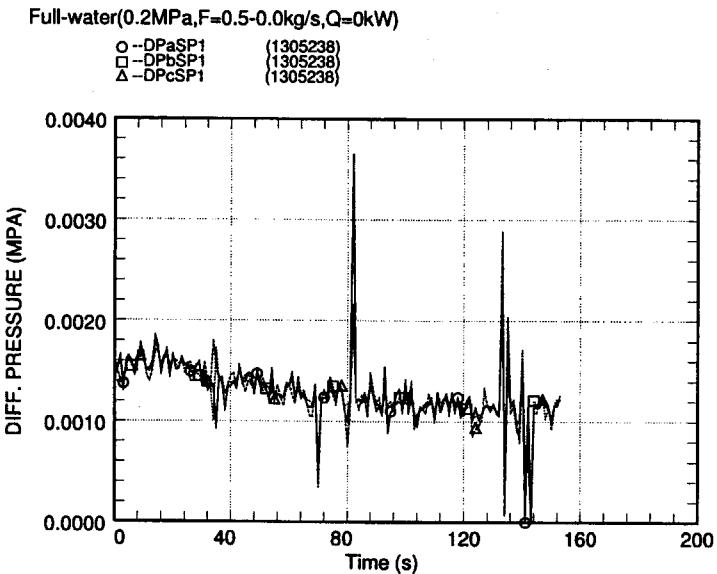


Fig. DP

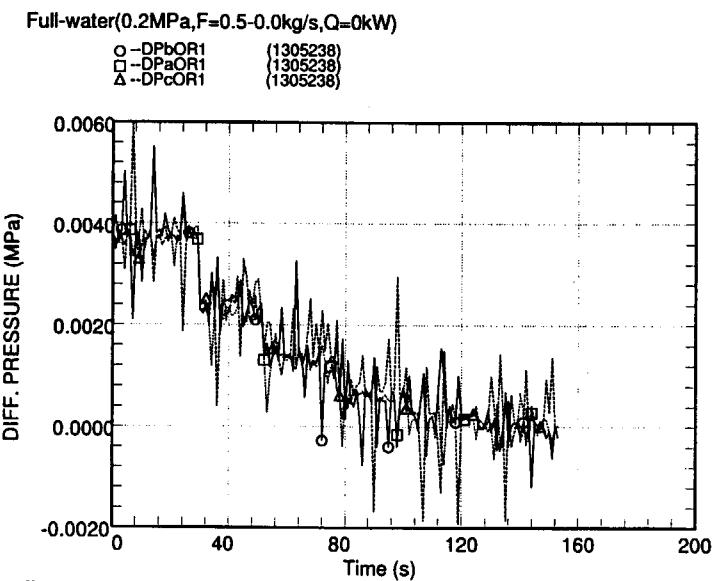


Fig. DP

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

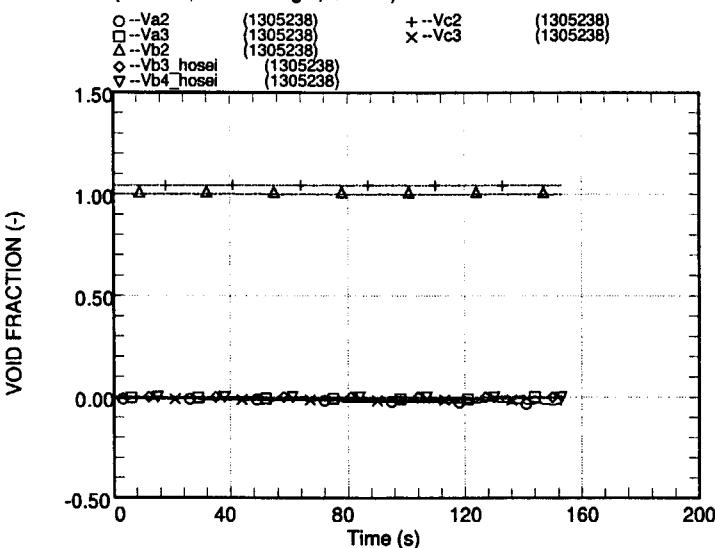


Fig. Void fraction

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

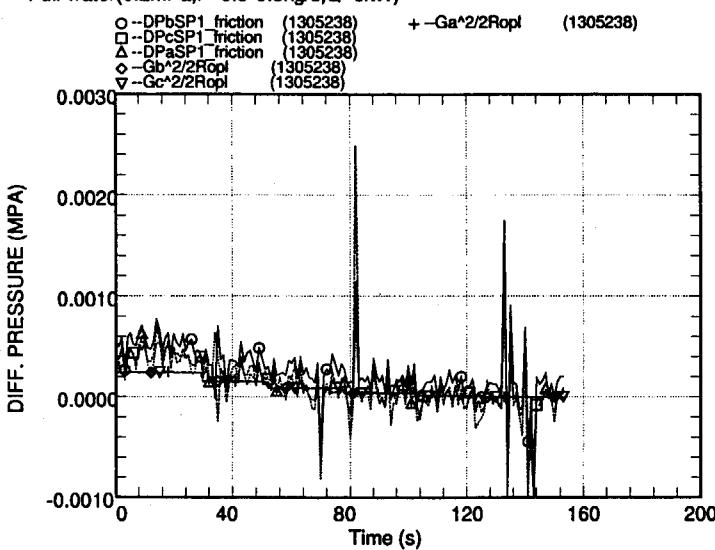


Fig. DP friction & Momentum flux

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

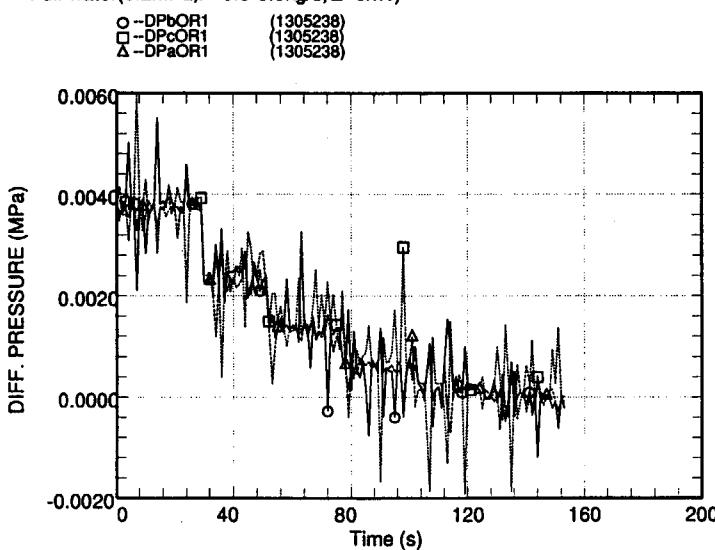


Fig. DP friction & Momentum flux

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

○ -DPaOR1 (1305238)
 □ -DPaSP1_friction (1305238)
 Δ -Gb^2/2Ropl (1305238)

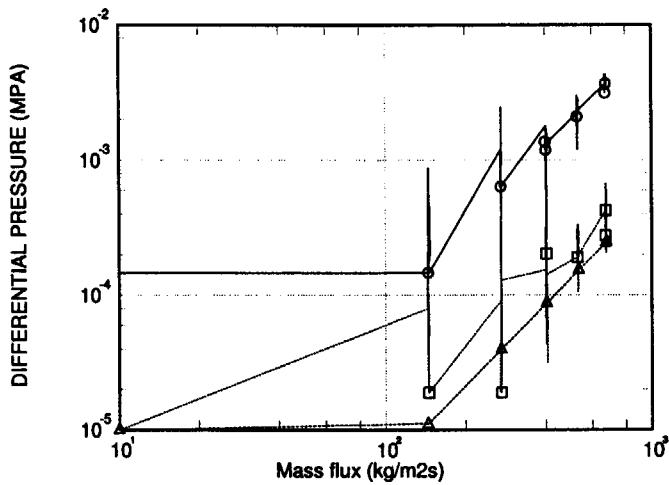


Fig. G vs DP

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

○ -DPbOR1 (1305238)
 □ -DPbSP1_friction (1305238)
 Δ -Gb^2/2Ropl (1305238)

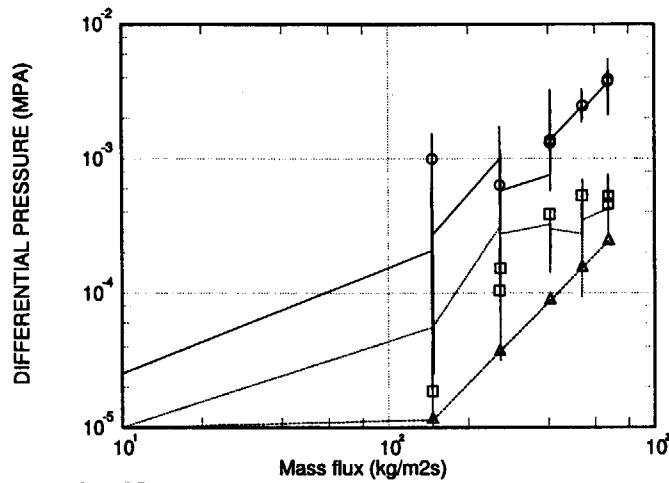


Fig. G vs DP

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)

○ -DPcOR1 (1305238)
 □ -DPcSP1_friction (1305238)
 Δ -Gc^2/2Ropl (1305238)

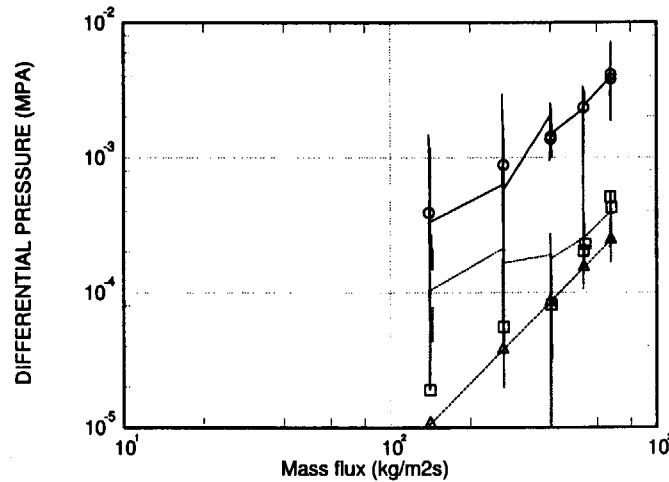


Fig. G vs DP

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)
 ○ -Kfactor_DPbSP1_fric(1305238)

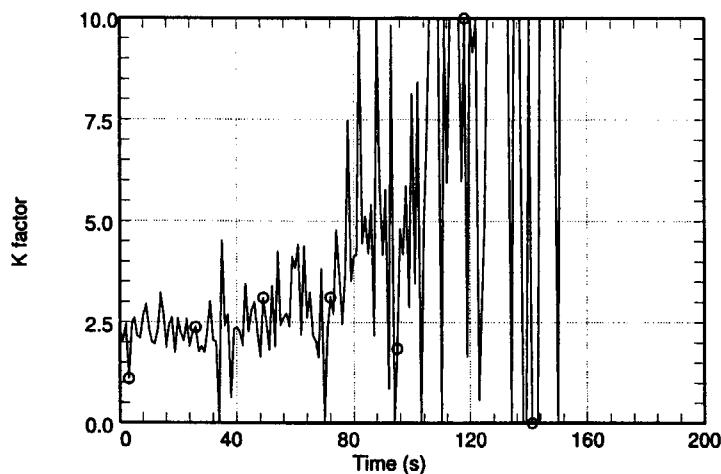


Fig. Kfactor_spacer

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)
 ○ -Kfactor_DPbOR1 (1305238)

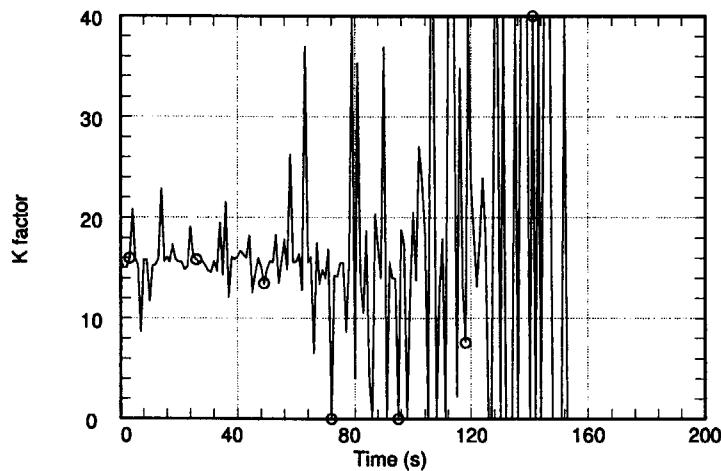


Fig. Kfactor_orifice

Full-water(0.2MPa,F=0.5-0.0kg/s,Q=0kW)
 ○ -Kfactor_DPaSP1_fric(1305238)
 □ -Kfactor_DPbSP1_fric(1305238)
 Δ -Kfactor_DPcSP1_fric(1305238)

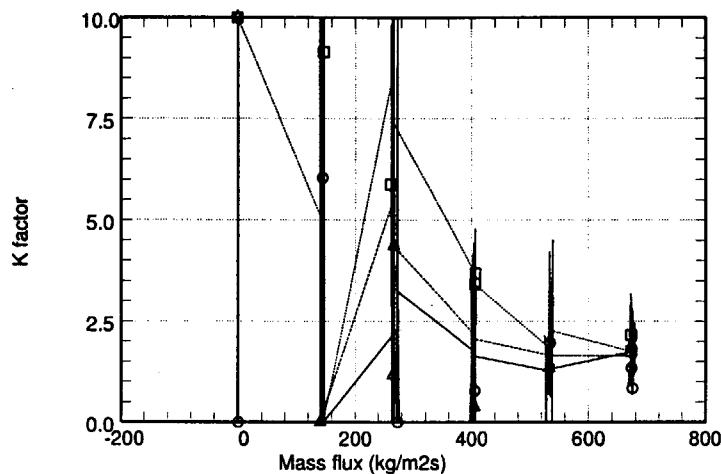
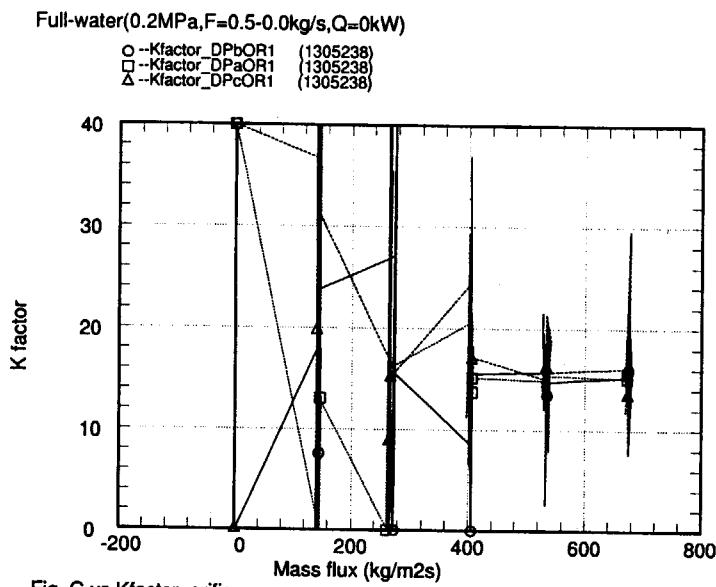


Fig. G vs Kfactor_spacer



付録2 単相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

- 1ページ (1). 圧力 (横軸=時間)
- 1ページ (2). 流体温度 (横軸=時間)
- 1ページ (3). チャンネル流量 (横軸=時間)
- 2ページ (1). チャンネル出力 (横軸=時間)
- 2ページ (2). 測定された全差圧 (スペーサ) (横軸=時間)
- 2ページ (3). 測定された全差圧 (オリフィス) (横軸=時間)
- 3ページ (1). ポイド率 (横軸=時間)
- 3ページ (2). 静水頭補正を行った差圧 (スペーサ) (横軸=時間)
- 3ページ (3). 静水頭補正を行った差圧 (オリフィス) (横軸=時間)
- 4ページ (1). 差圧対質量流束 (チャンネルa)
- 4ページ (2). 差圧対質量流束 (チャンネルb)
- 4ページ (3). 差圧対質量流束 (チャンネルc)
- 5ページ (1). Kファクター (スペーサ) (横軸=時間)
- 5ページ (2). Kファクター (オリフィス) (横軸=時間)
- 5ページ (3). Kファクター対質量流束 (スペーサ)
- 6ページ (1). Kファクター対質量流束 (オリフィス)

This is a blank page.

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|---------|-----------|
| ○ -PPRZ | (1304202) |
| □ -PLP1 | (1304202) |
| △ -PUP1 | (1304202) |

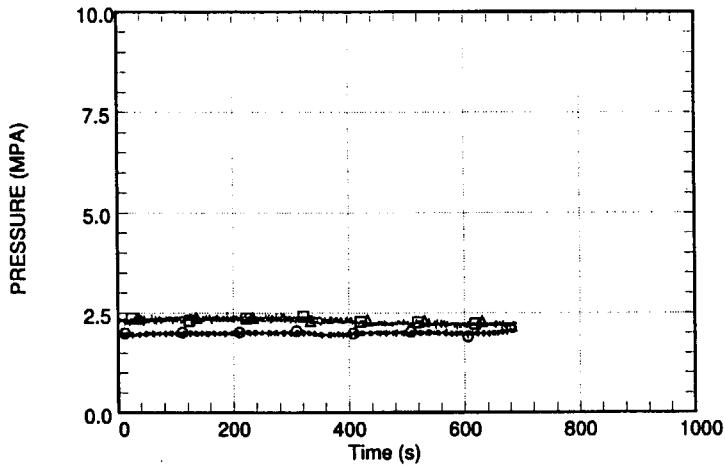


Fig. Pressure

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | | | |
|----------|-----------|---------------------------|-----------------------------------|
| ○ -TFaIN | (1304202) | + -Ts _{sat} PPRZ | (1304202) |
| □ -TFbIN | (1304202) | × | -Ts _{sat} PUP1 (1304202) |
| △ -TfcIN | (1304202) | | |
| ◊ -TfLP1 | (1304202) | | |
| ▽ -TFUP1 | (1304202) | | |

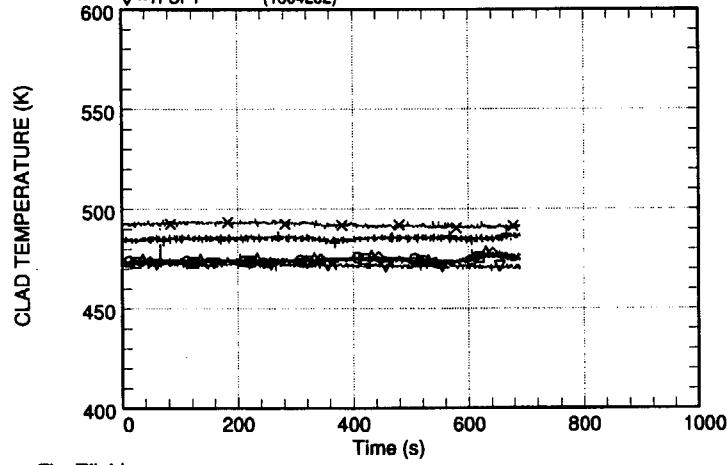


Fig. Tf_{fluid}

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -FbIN | (1304202) |
| □ -FcIN | (1304202) |
| △ -FaIN | (1304202) |
| ◊ -FPM101 | (1304202) |

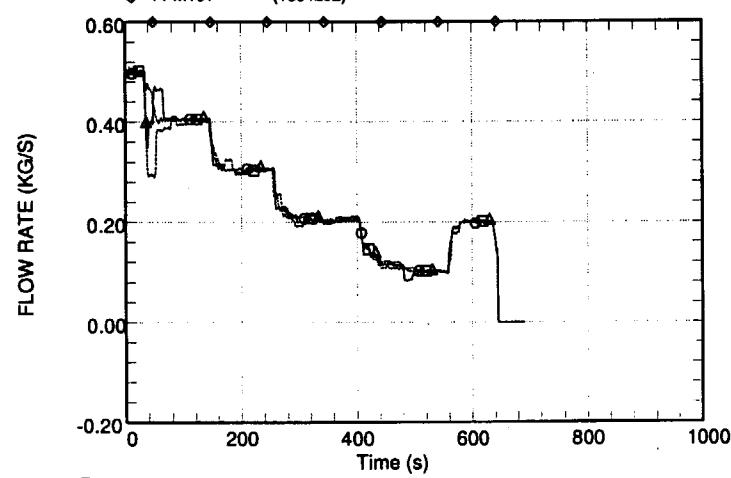


Fig. Flow rate

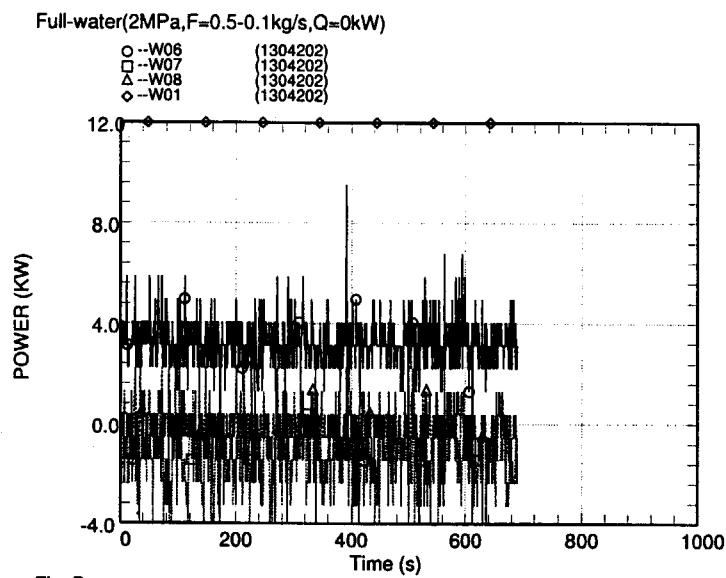


Fig. Power

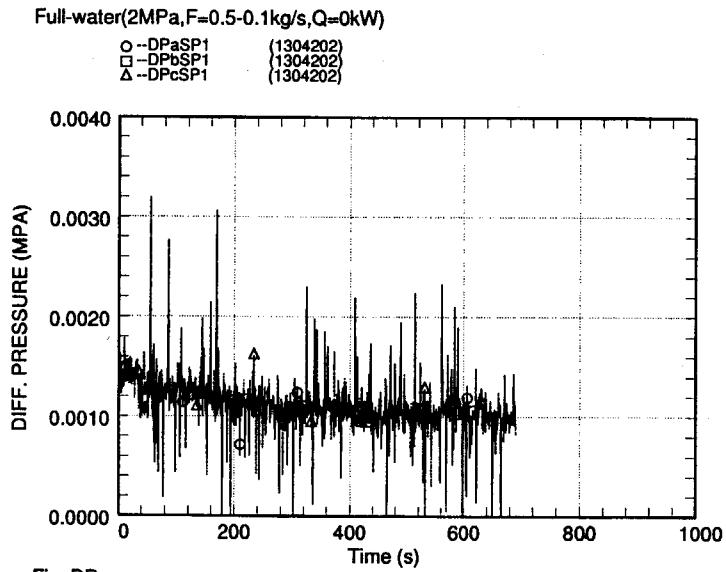


Fig. DP

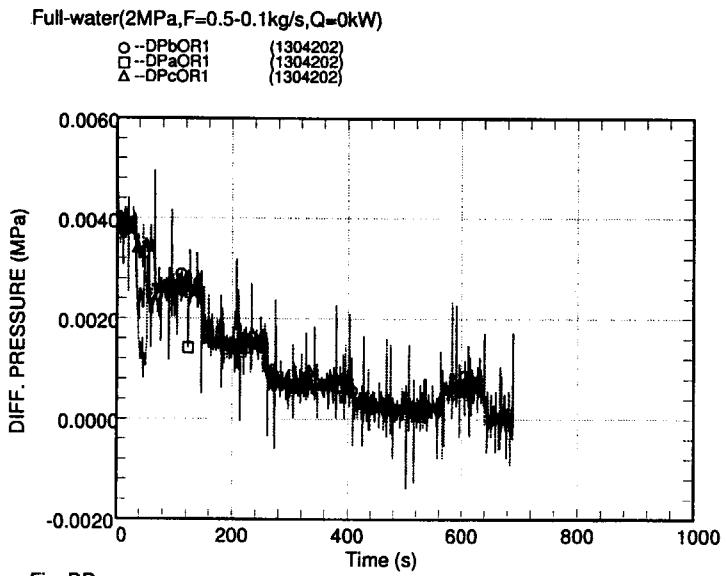


Fig. DP

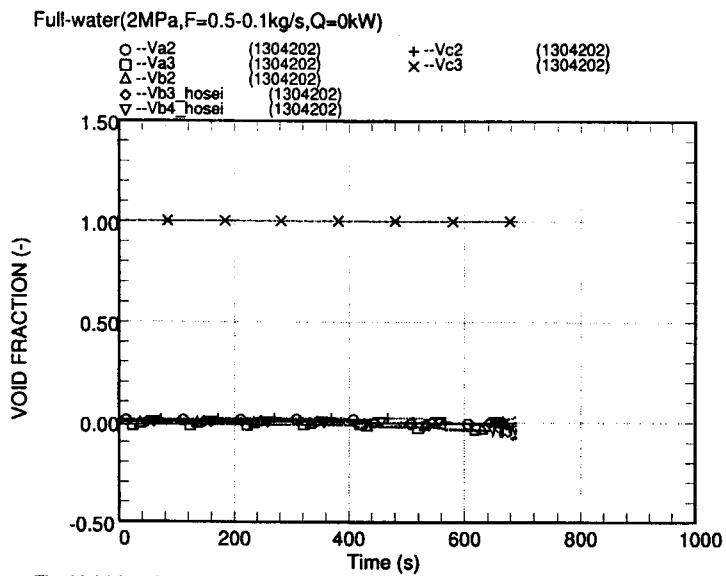


Fig. Void fraction

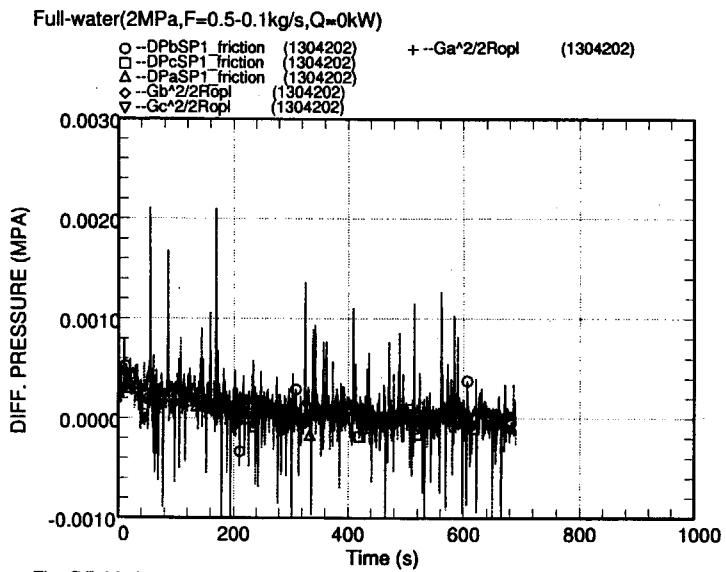


Fig. DP friction & Momentum flux

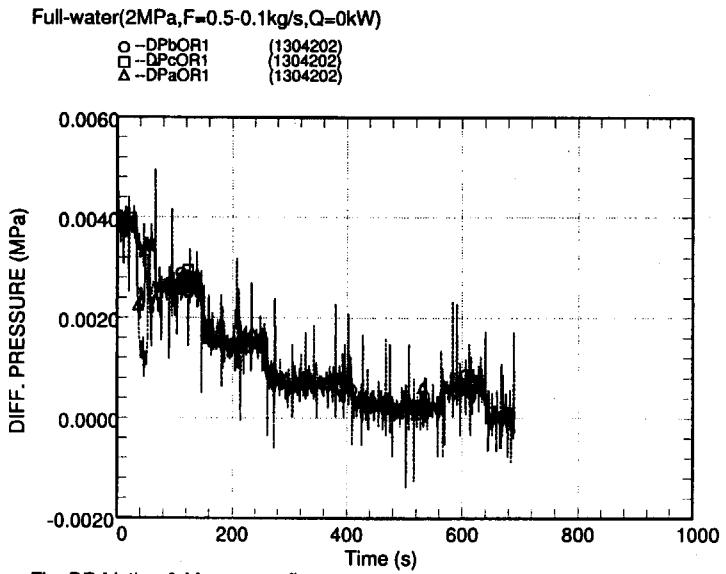


Fig. DP friction & Momentum flux

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

○ -DP_aOR1 (1304202)
 □ -DP_aSP1_friction (1304202)
 Δ -G_a²/2R_{opl} (1304202)

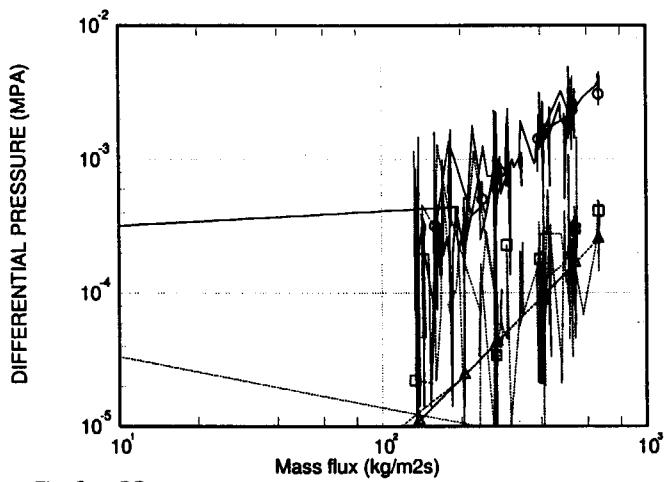


Fig. G vs DP

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

○ -DP_bOR1 (1304202)
 □ -DP_bSP1_friction (1304202)
 Δ -G_b²/2R_{opl} (1304202)

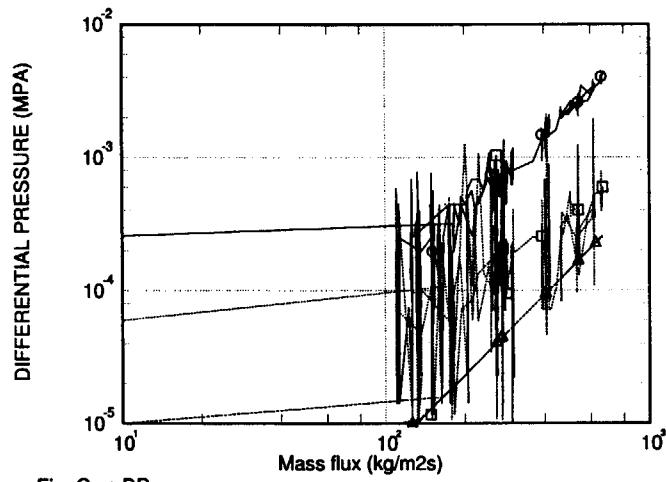


Fig. G vs DP

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

○ -DP_cOR1 (1304202)
 □ -DP_cSP1_friction (1304202)
 Δ -G_c²/2R_{opl} (1304202)

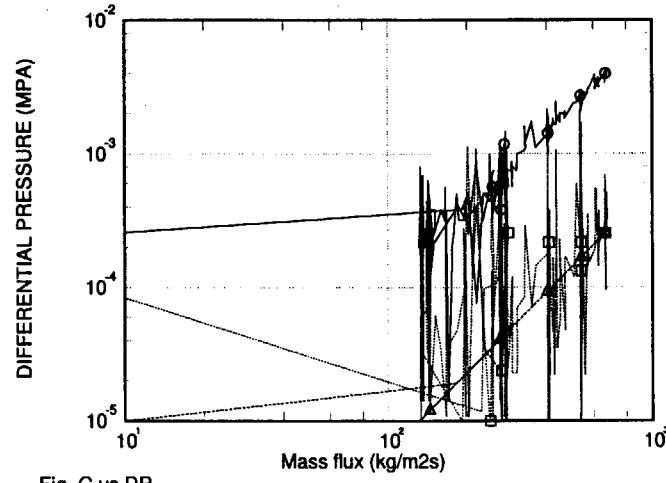


Fig. G vs DP

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)
 ○ --Kfactor_DPbSP1_fric(1304202)

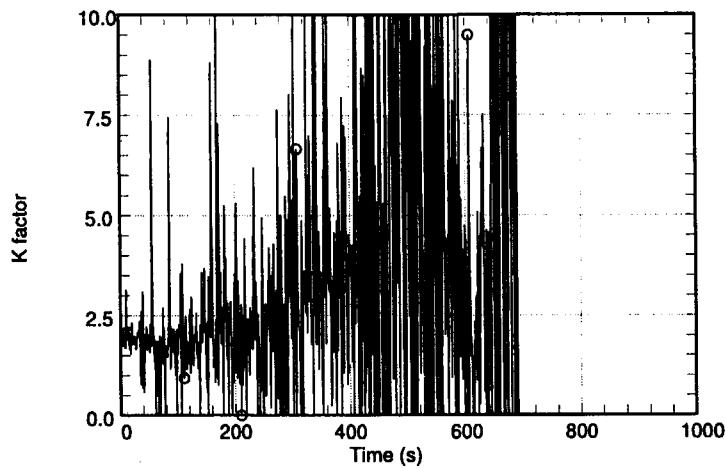


Fig. Kfactor_spacer

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)
 ○ --Kfactor_DPbOR1 (1304202)

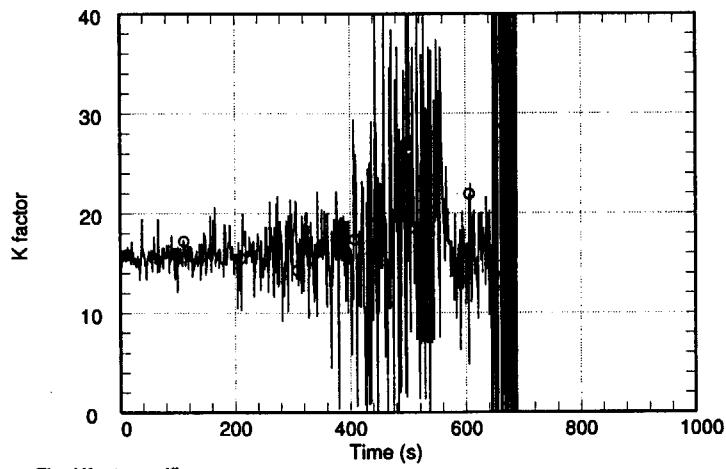


Fig. Kfactor_orifice

Full-water(2MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

○ --Kfactor_DPaSP1_fric(1304202)
 □ --Kfactor_DPbSP1_fric(1304202)
 Δ --Kfactor_DPcSP1_fric(1304202)

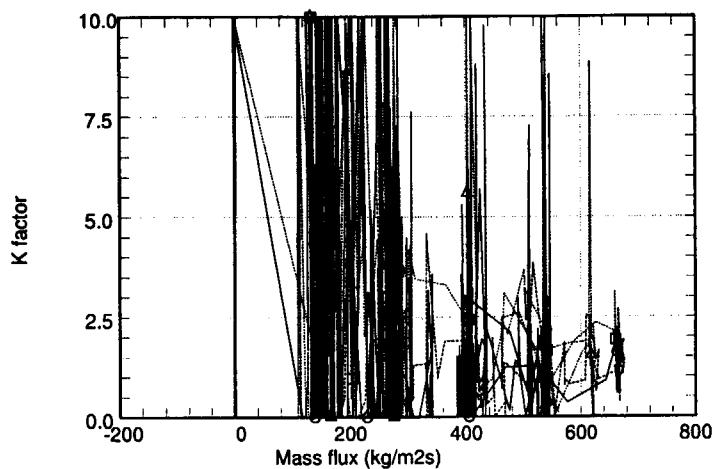
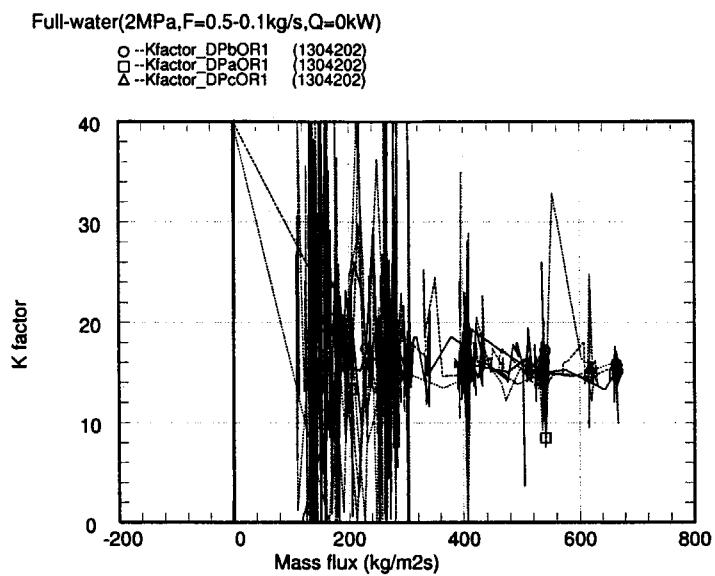


Fig. G vs Kfactor_spacer



付録3 単相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

- 1 ページー (1). 圧力 (横軸=時間)
- 1 ページー (2). 流体温度 (横軸=時間)
- 1 ページー (3). チャンネル流量 (横軸=時間)
- 2 ページー (1). チャンネル出力 (横軸=時間)
- 2 ページー (2). 測定された全差圧 (スペーサ) (横軸=時間)
- 2 ページー (3). 測定された全差圧 (オリフィス) (横軸=時間)
- 3 ページー (1). ボイド率 (横軸=時間)
- 3 ページー (2). 静水頭補正を行った差圧 (スペーサ) (横軸=時間)
- 3 ページー (3). 静水頭補正を行った差圧 (オリフィス) (横軸=時間)
- 4 ページー (1). 差圧対質量流束 (チャンネル a)
- 4 ページー (2). 差圧対質量流束 (チャンネル b)
- 4 ページー (3). 差圧対質量流束 (チャンネル c)
- 5 ページー (1). Kファクター (スペーサ) (横軸=時間)
- 5 ページー (2). Kファクター (オリフィス) (横軸=時間)
- 5 ページー (3). Kファクター対質量流束 (スペーサ)
- 6 ページー (1). Kファクター対質量流束 (オリフィス)

This is a blank page.

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|----------|-----------|
| ○ --PPRZ | (1304194) |
| □ --PLP1 | (1304194) |
| △ --PUP1 | (1304194) |

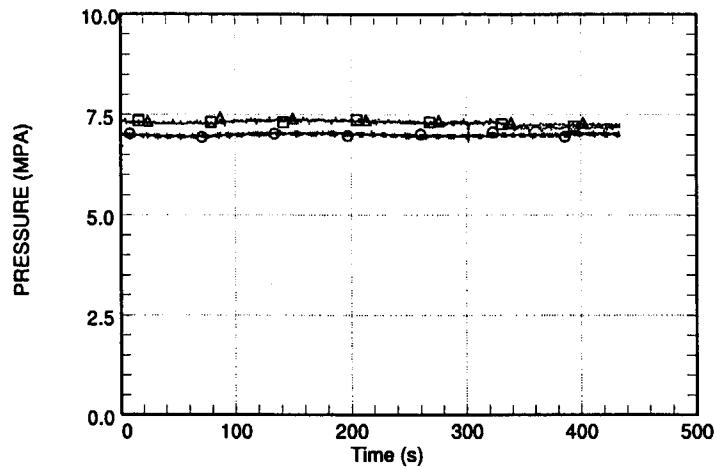


Fig. Pressure

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | | | |
|-----------|-----------|--------------|-----------|
| ○ --TFinN | (1304194) | + --TsatPPRZ | (1304194) |
| □ --TFbin | (1304194) | × --TsatPUP1 | (1304194) |
| △ --TfcIN | (1304194) | | |
| ◊ --TFLP1 | (1304194) | | |
| ▽ --TFUP1 | (1304194) | | |

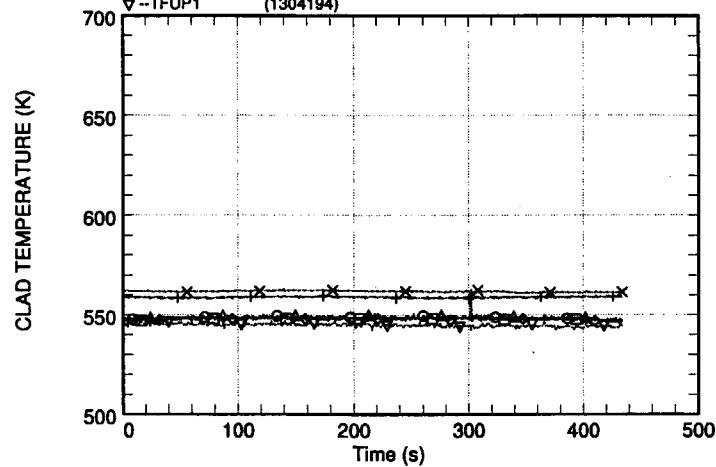


Fig. Tfuid

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|------------|-----------|
| ○ --FblN | (1304194) |
| □ --FcIN | (1304194) |
| △ --FaIN | (1304194) |
| ◊ --FPM101 | (1304194) |

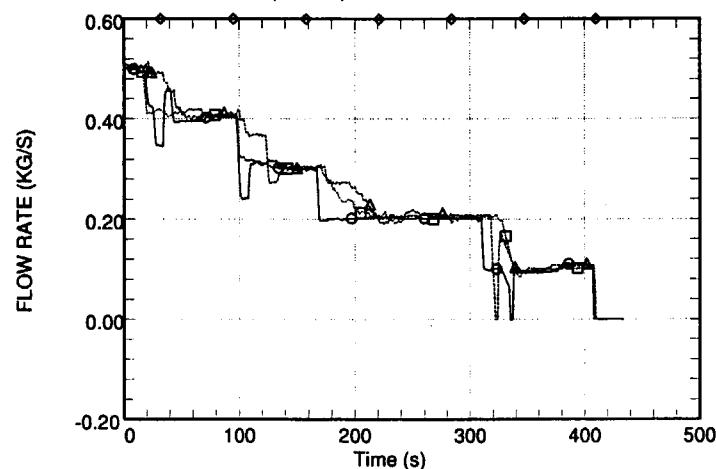


Fig. Flow rate

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|--------|-----------|
| ○ -W06 | (1304194) |
| □ -W07 | (1304194) |
| △ -W08 | (1304194) |
| ◇ -W01 | (1304194) |

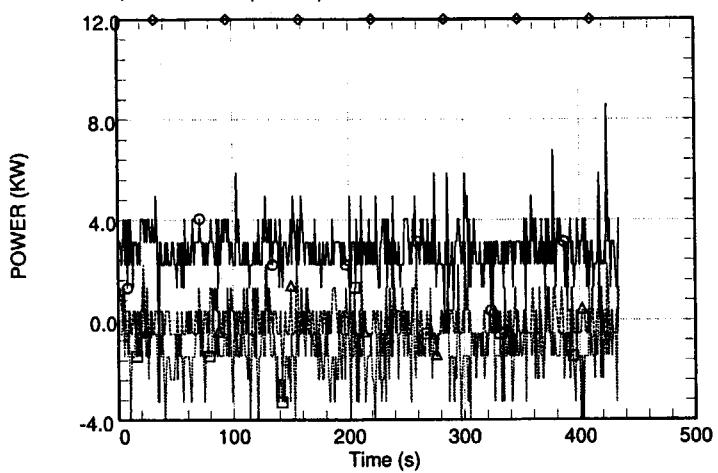


Fig. Power

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -DPaSP1 | (1304194) |
| □ -DPbSP1 | (1304194) |
| △ -DPcSP1 | (1304194) |

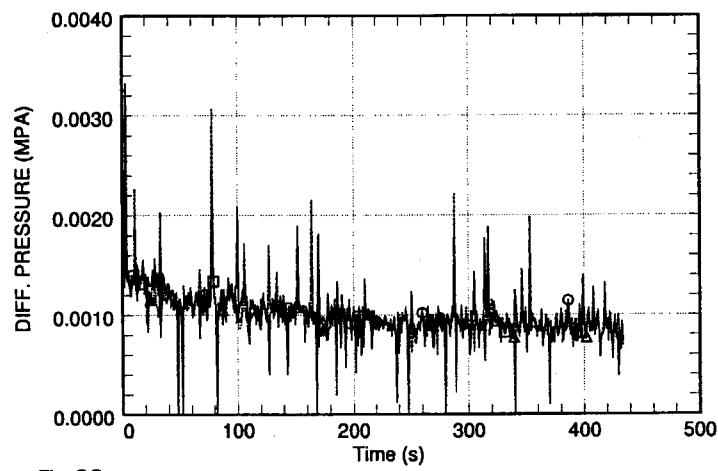


Fig. DP

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -DPaOR1 | (1304194) |
| □ -DPbOR1 | (1304194) |
| △ -DPcOR1 | (1304194) |

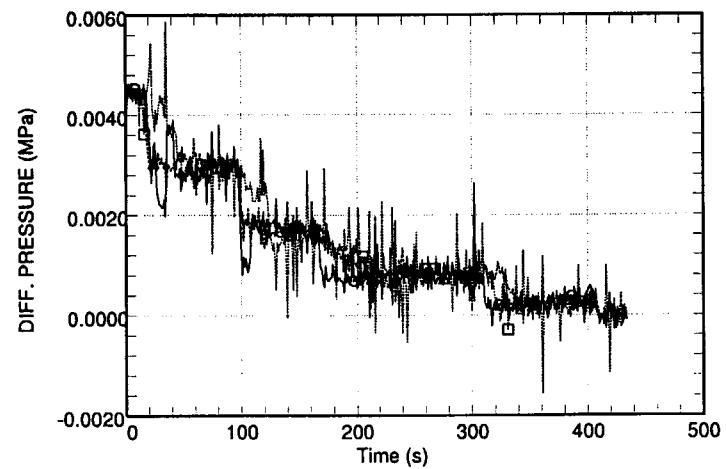


Fig. DP

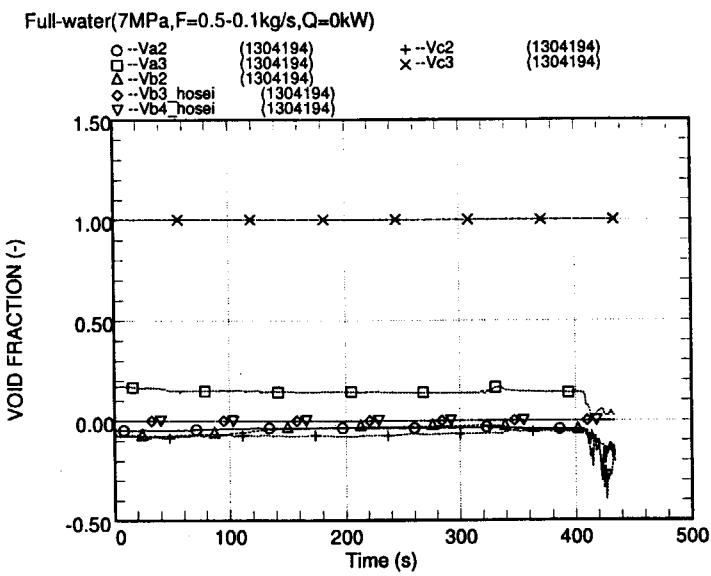


Fig. Void fraction

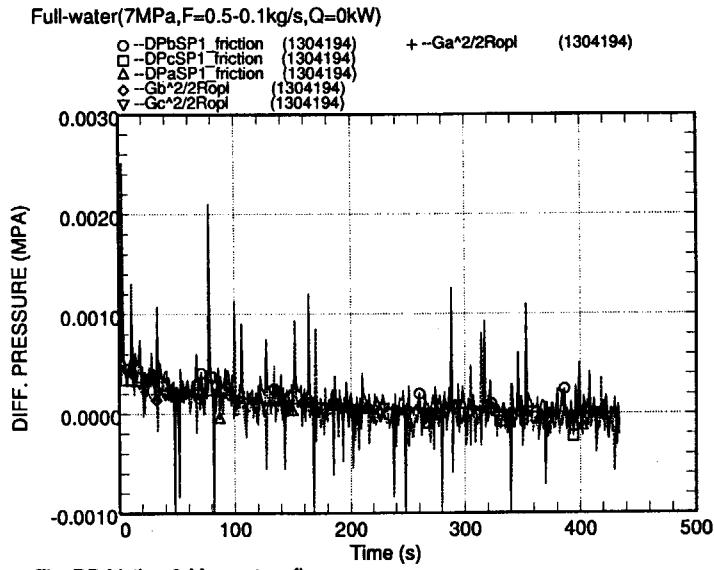


Fig. DP friction & Momentum flux

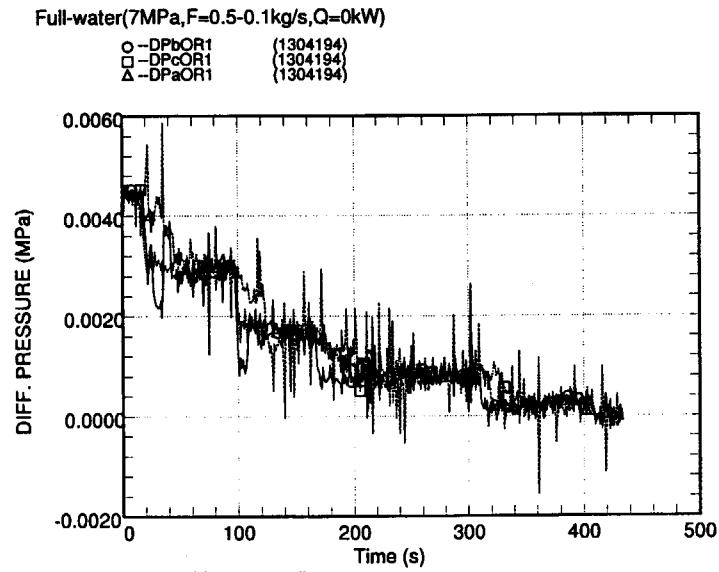


Fig. DP friction & Momentum flux

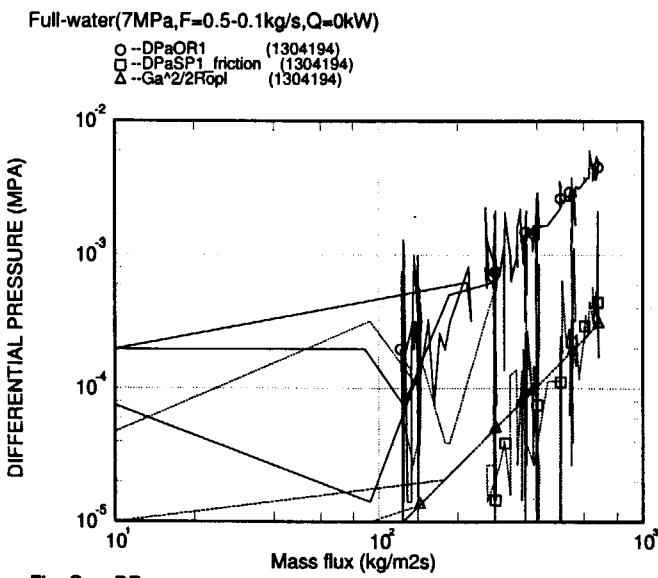


Fig. G vs DP

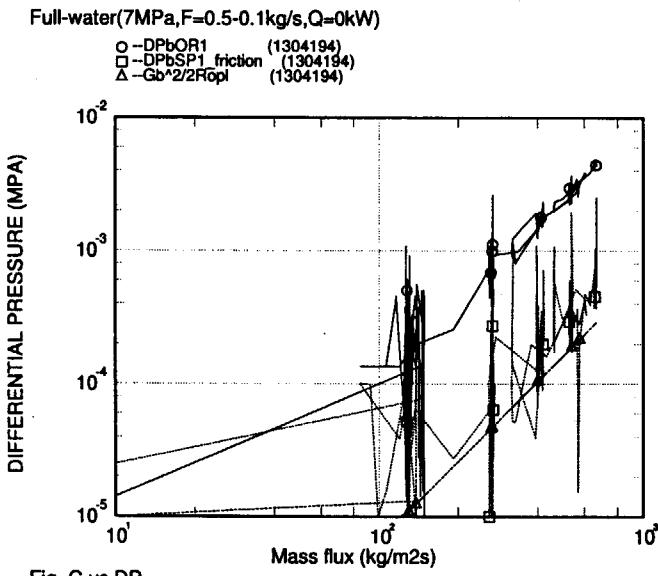


Fig. G vs DP

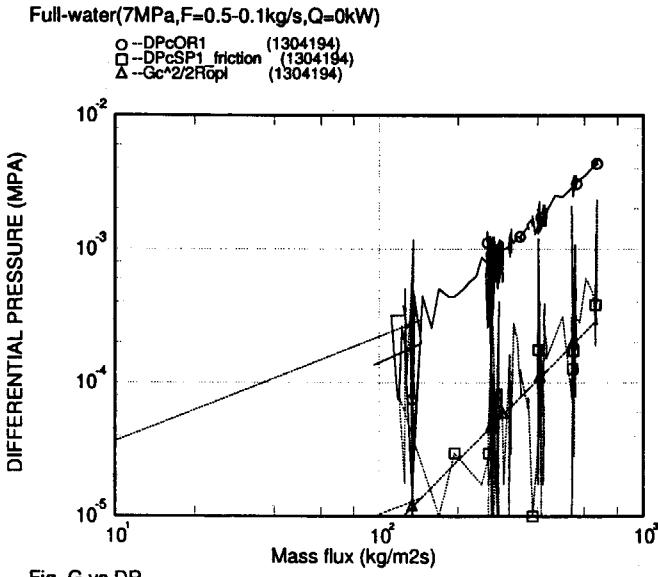


Fig. G vs DP

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)
 ○ -Kfactor_DPbSP1_fric(1304194)

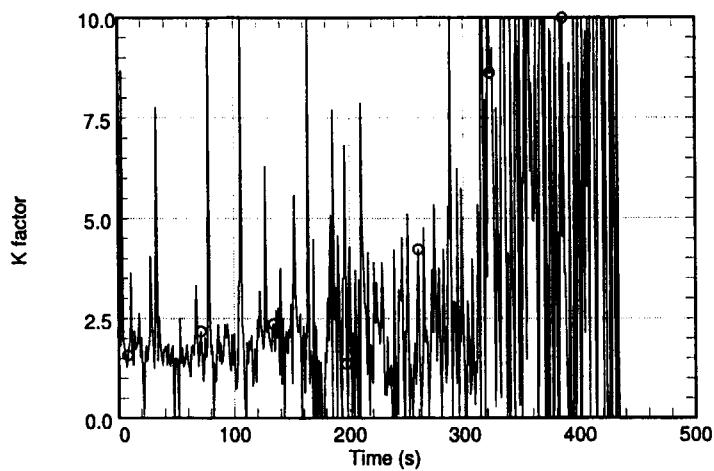


Fig. Kfactor_spacer

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)
 ○ -Kfactor_DPbOR1 (1304194)

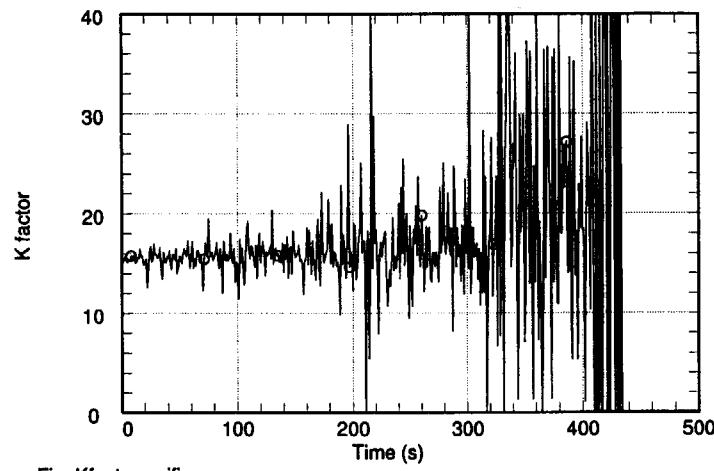


Fig. Kfactor_orifice

Full-water(7MPa,F=0.5-0.1kg/s,Q=0kW)
 ○ -Kfactor_DPaSP1_fric(1304194)
 □ -Kfactor_DPbSP1_fric(1304194)
 Δ -Kfactor_DPcSP1_fric(1304194)

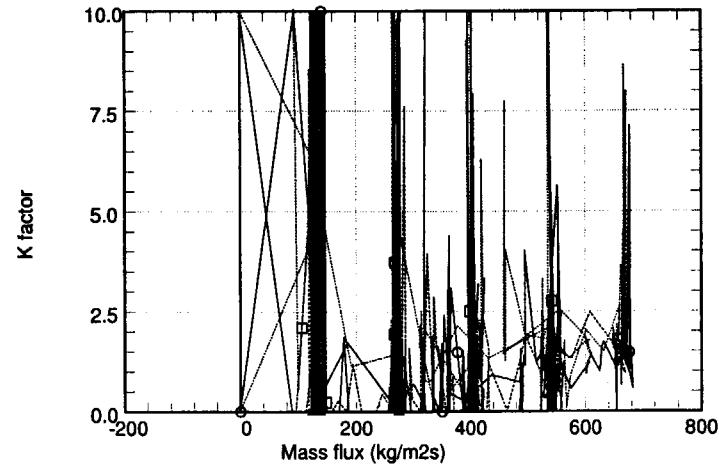
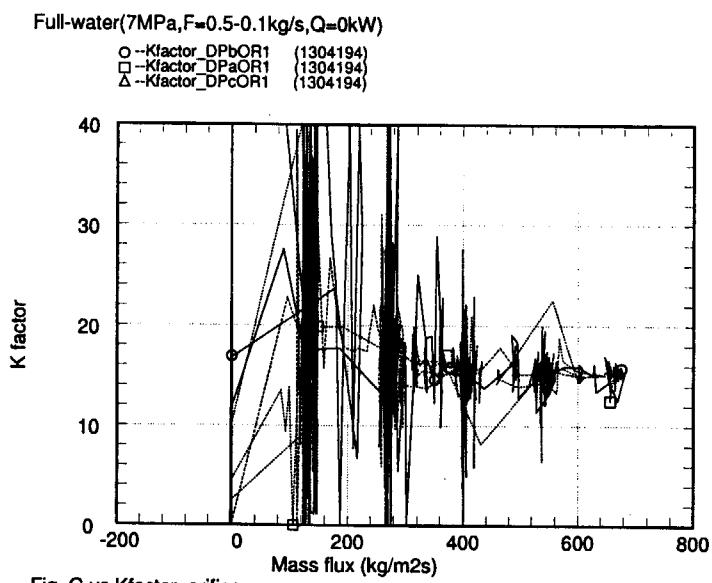


Fig. G vs Kfactor_spacer



付録4 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa、133kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|----------|--------------------------|
| 1ページ (1) | 圧力、チャンネル流量（横軸＝時間） |
| 1ページ (2) | 流体温度（横軸＝時間） |
| 1ページ (3) | チャンネル加熱電力（横軸＝時間） |
| 2ページ (1) | 差圧（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 2ページ (2) | 差圧（オリフィス（横軸＝時間） |
| 2ページ (3) | ボイド率（横軸＝時間） |
| 3ページ (1) | 差圧測定値－静水頭（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 3ページ (2) | 差圧測定値－静水頭（オリフィス）（横軸＝時間） |
| 3ページ (3) | スペーサKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページ (1) | オリフィスKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページ (2) | クオリティ、ボイド率（横軸＝時間） |
| 4ページ (3) | クオリティ、ボイド率（横軸＝チャンネル加熱電力） |

This is a blank page.

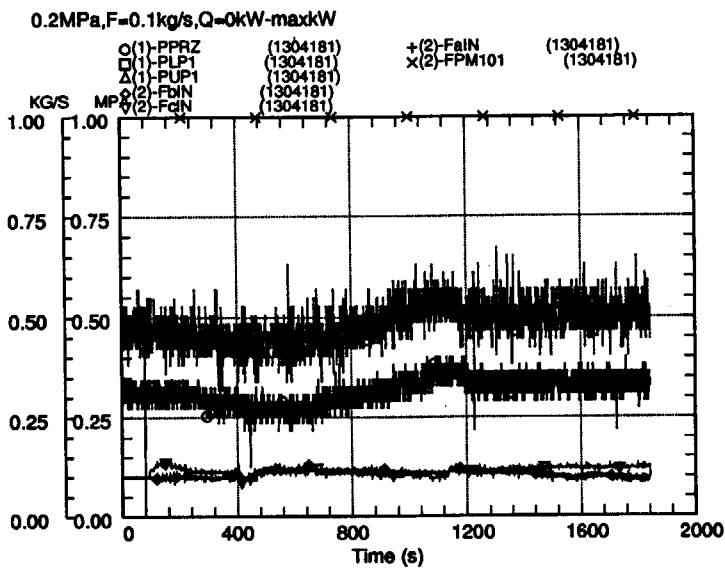


Fig. Pressure & flow rate

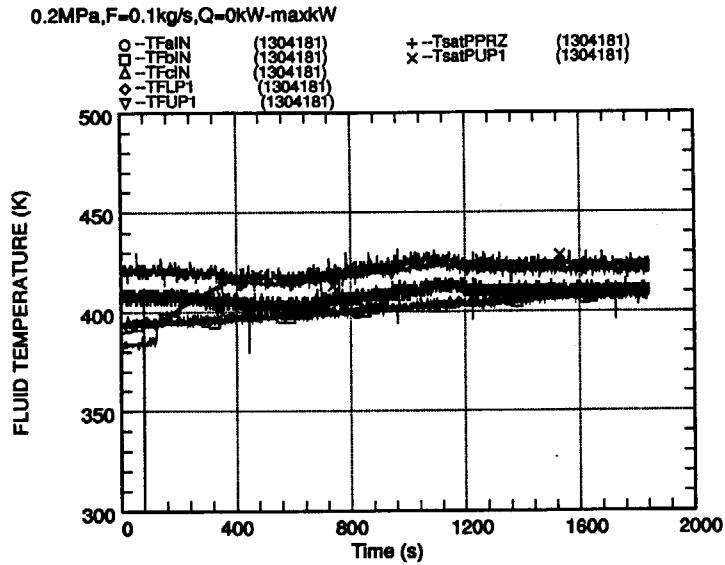


Fig. Tfluid

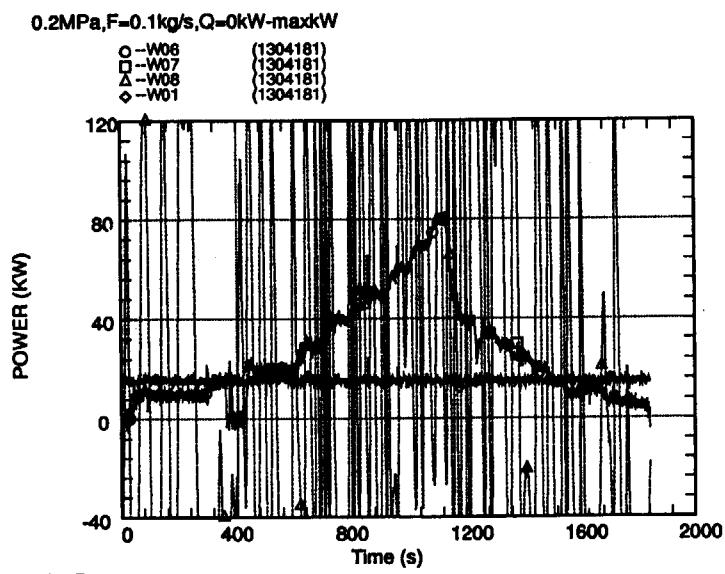


Fig. Power

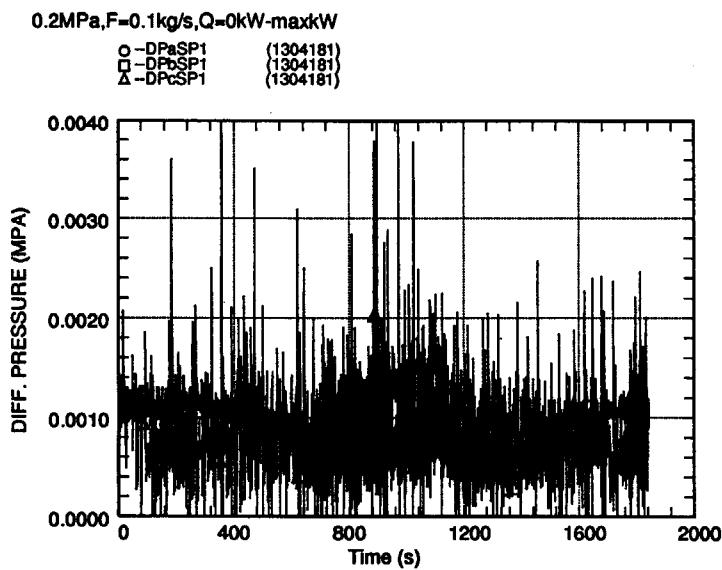


Fig. DP

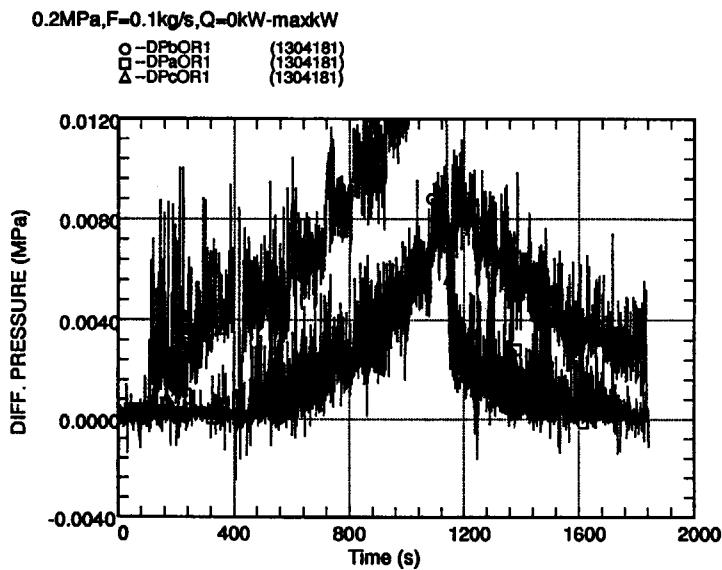


Fig. DP

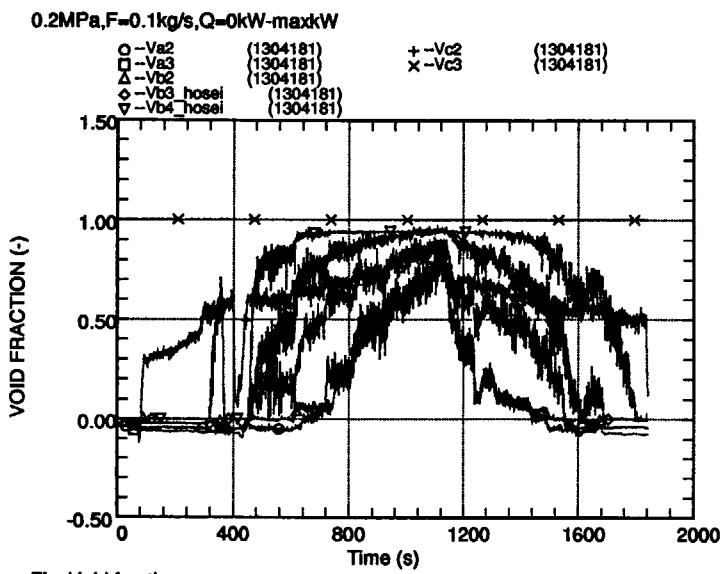


Fig. Void fraction

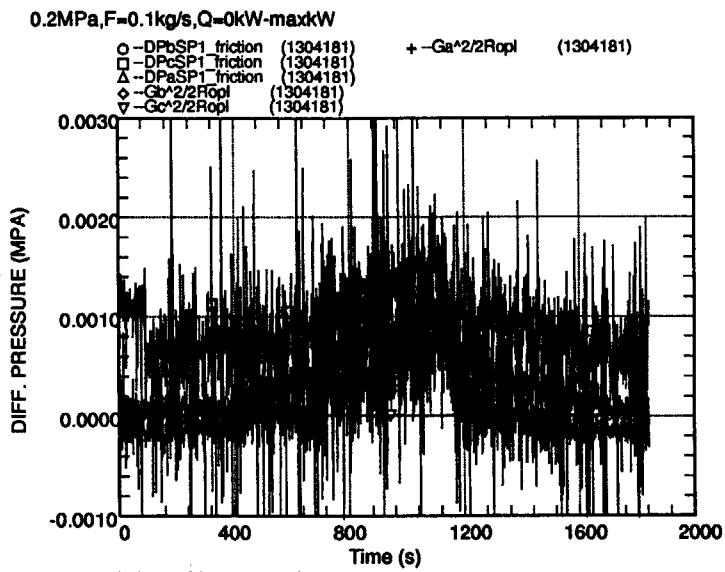


Fig. DP friction & Momentum flux

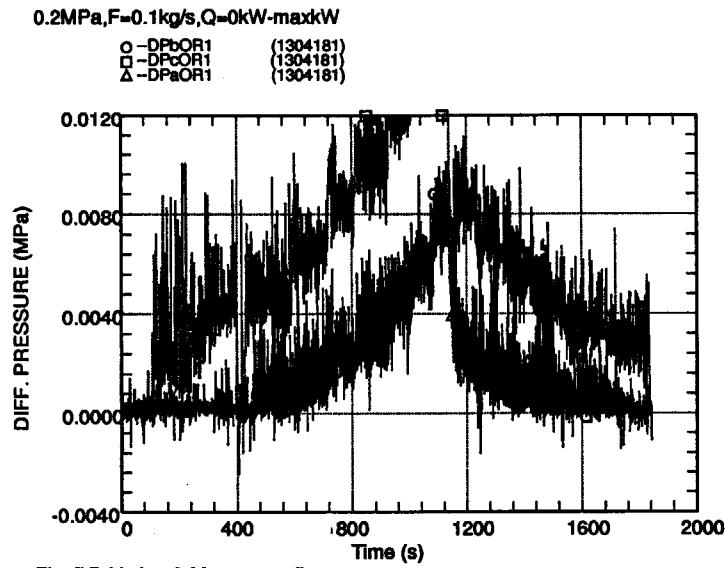


Fig. DP friction & Momentum flux

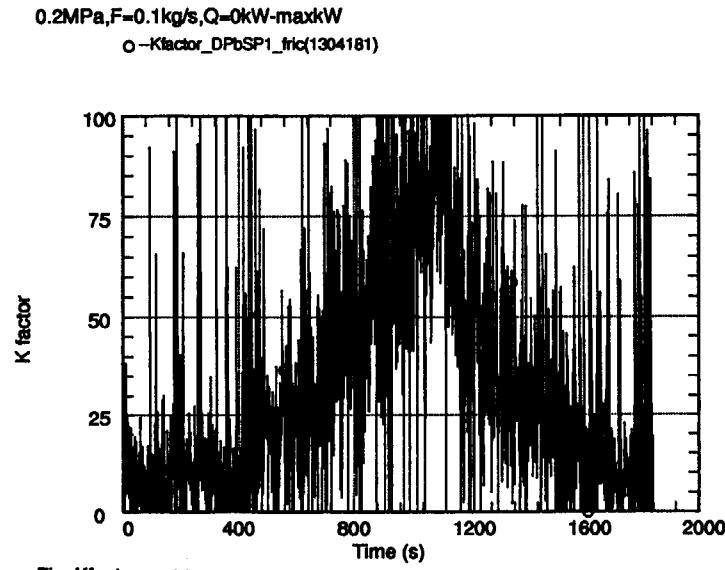


Fig. Kfactor_spacer

0.2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW
 o -Kfactor_DPbOR1 (1304181)

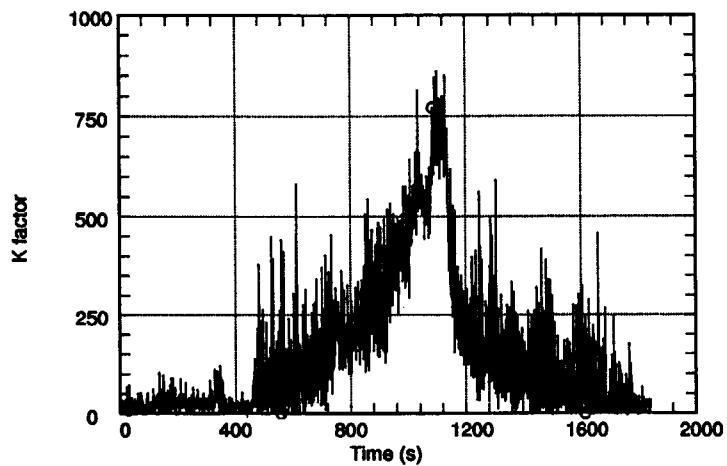
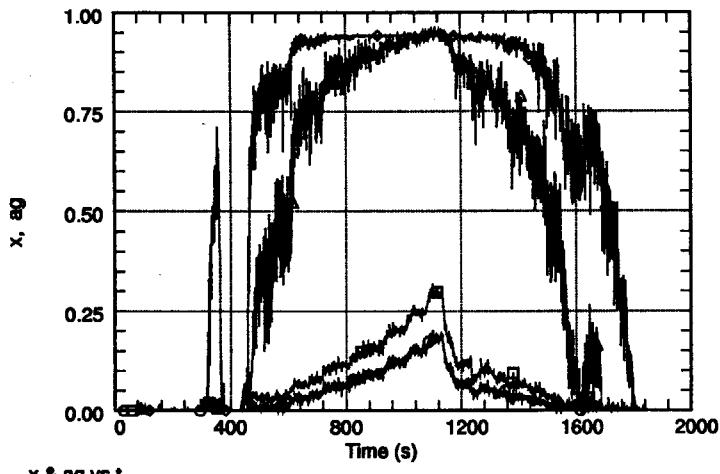


Fig. Kfactor_orifice

0.2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

| |
|---|
| o TIME-1 (1304181) -x_SP1_elv2516 (1304181)) |
| □ TIME-1 (1304181) -x_exit (1304181)) |
| △ TIME-1 (1304181) -Vb3_hosei (1304181)) |
| ◊ TIME-1 (1304181) -Vb4_hosei (1304181)) |



x & ag vs t

0.2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

| |
|---|
| o (W07 (1304181) -x_SP1_elv2516 (1304181)) |
| □ (W07 (1304181) -Vb3_hosei (1304181)) |
| △ (W07 (1304181) -x_exit (1304181)) |
| ◊ (W07 (1304181) -Vb4_hosei (1304181)) |

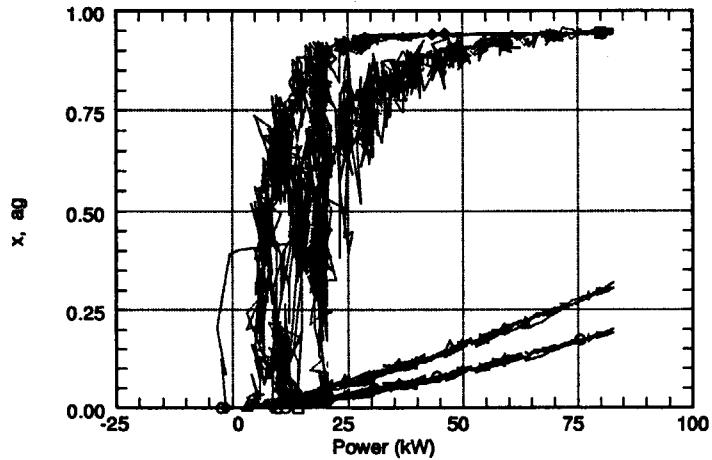


Fig. x & ag vs Q

付録5 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa、400kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|------------|---------------------------|
| 1 ページー (1) | 圧力、チャンネル流量 (横軸=時間) |
| 1 ページー (2) | 流体温度 (横軸=時間) |
| 1 ページー (3) | チャンネル加熱電力 (横軸=時間) |
| 2 ページー (1) | 差圧 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 2 ページー (2) | 差圧 (オリフィス (横軸=時間) |
| 2 ページー (3) | ポイド率 (横軸=時間) |
| 3 ページー (1) | 差圧測定値-静水頭 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 3 ページー (2) | 差圧測定値-静水頭 (オリフィス) (横軸=時間) |
| 3 ページー (3) | スペーサKファクター (横軸=時間) |
| 4 ページー (1) | オリフィスKファクター (横軸=時間) |
| 4 ページー (2) | クオリティ、ポイド率 (横軸=時間) |
| 4 ページー (3) | クオリティ、ポイド率 (横軸=チャンネル加熱電力) |

This is a blank page.

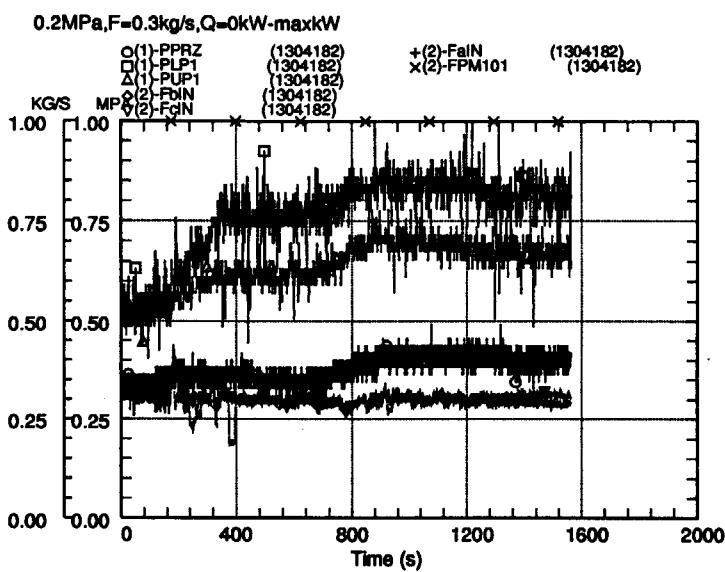


Fig. Pressure & flow rate

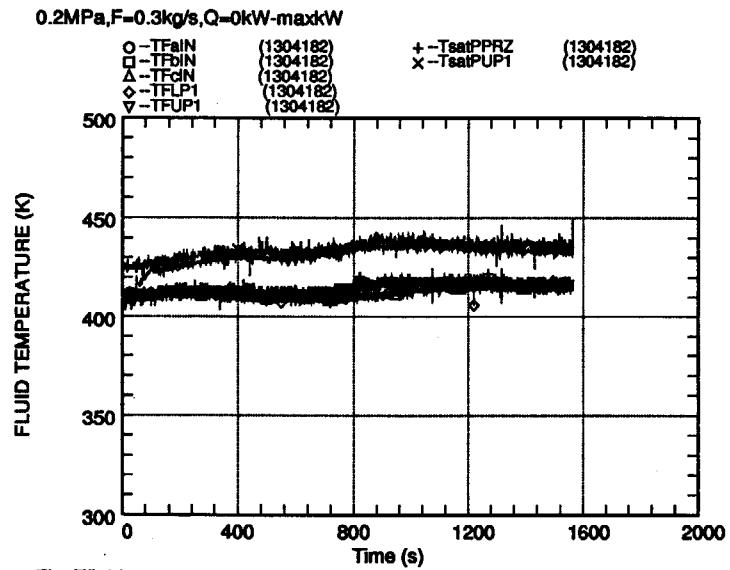


Fig. Tfluid

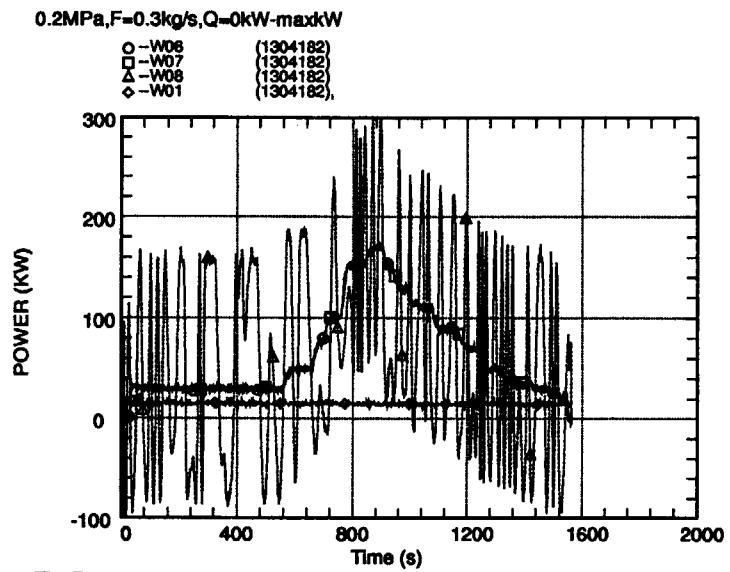


Fig. Power

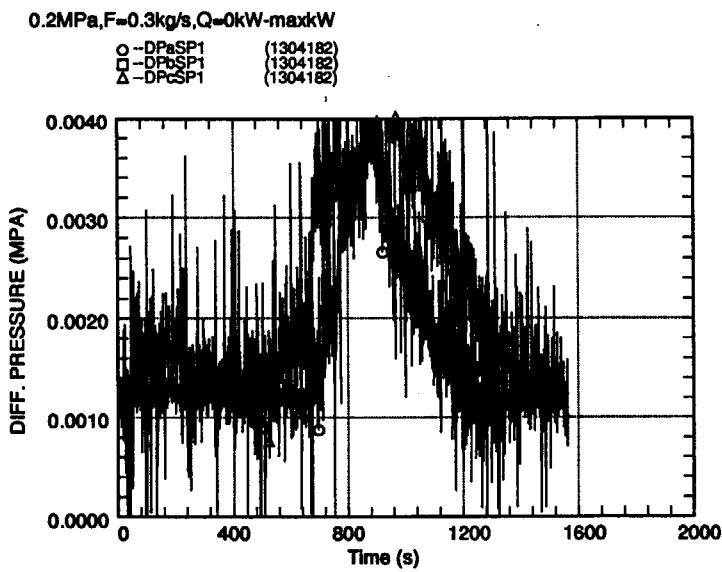


Fig. DP

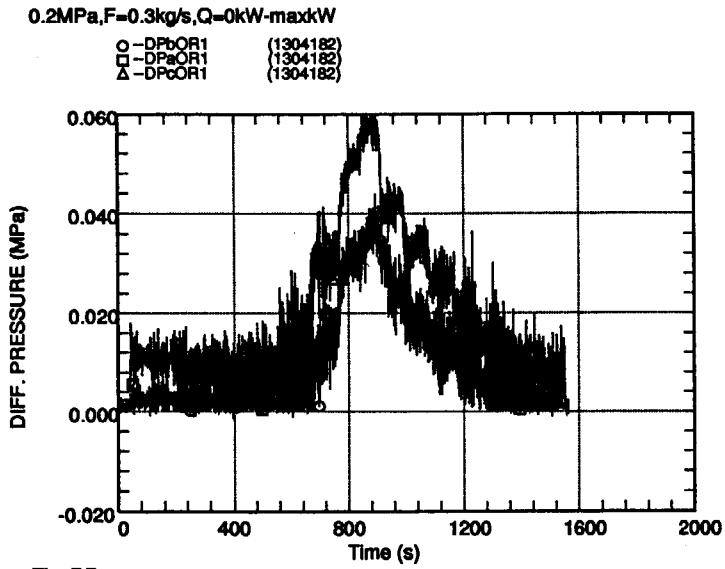


Fig. DP

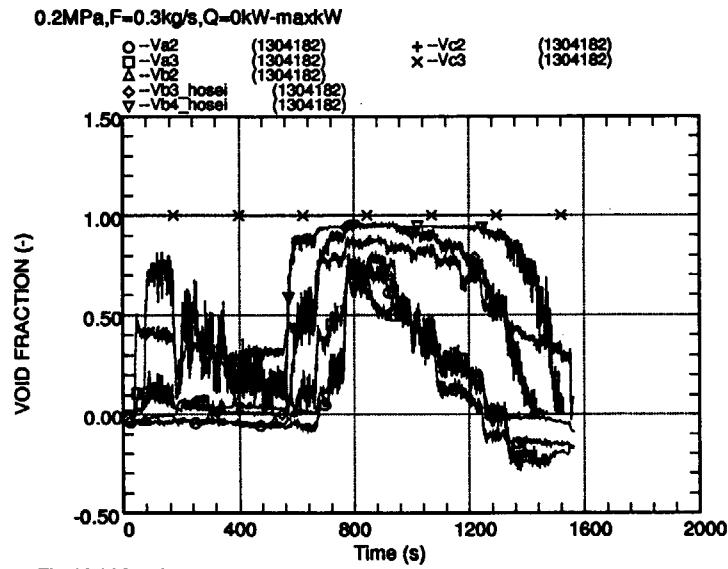


Fig. Void fraction

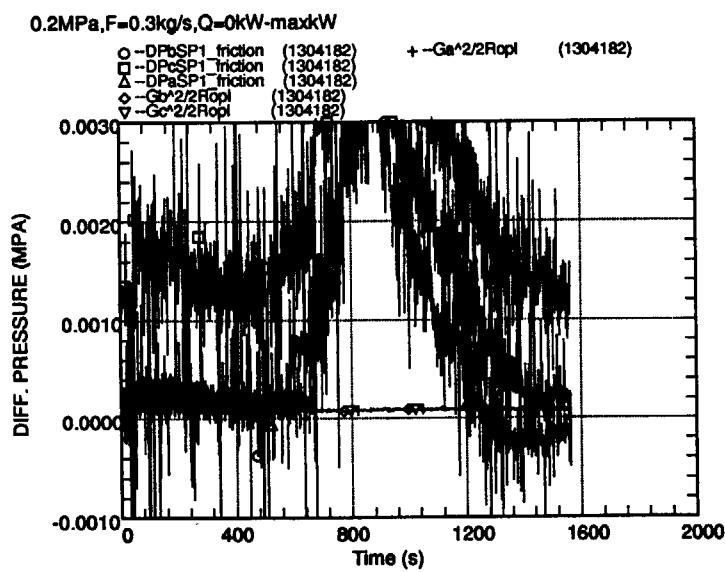


Fig. DP friction & Momentum flux

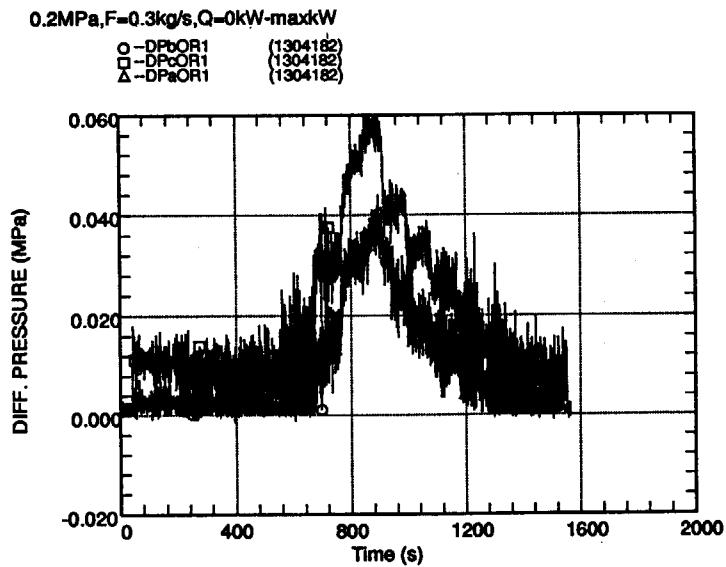


Fig. DP friction & Momentum flux

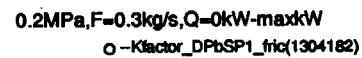


Fig. Kfactor_spacer

0.2MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ -Kfactor_DPbOR1 (1304182)

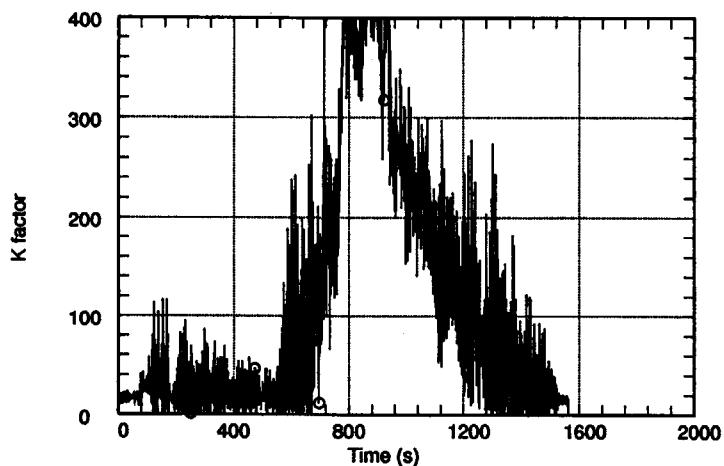
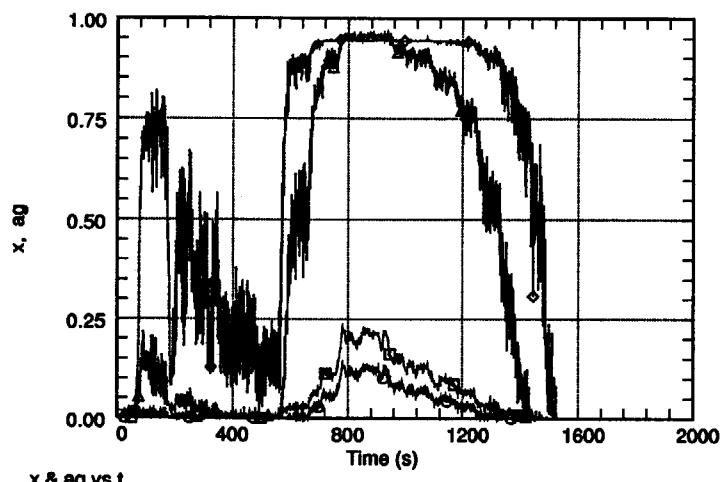


Fig. Kfactor_orifice

0.2MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW

○ (TIME-1 (1304182) -x_SP1_elv2516 (1304182))
 □ (TIME-1 (1304182) -x_ext (1304182))
 △ (TIME-1 (1304182) -VB3_hosei (1304182))
 ◇ (TIME-1 (1304182) -VB4_hosei (1304182))



0.2MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW

○ (W07 (1304182) -x_SP1_elv2516 (1304182))
 □ (W07 (1304182) -VB3_hosei (1304182))
 △ (W07 (1304182) -x_ext (1304182))
 ◇ (W07 (1304182) -VB4_hosei (1304182))

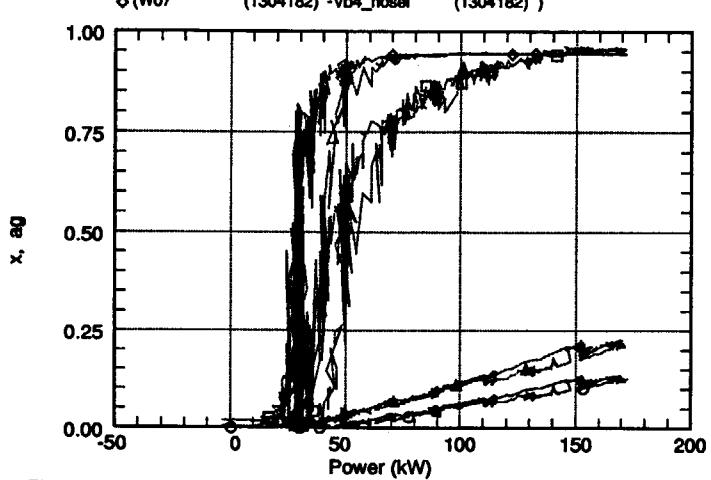


Fig. x & ag vs Q

付録 6 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (0.2MPa、666kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|------------|---------------------------|
| 1 ページー (1) | 圧力、チャンネル流量 (横軸=時間) |
| 1 ページー (2) | 流体温度 (横軸=時間) |
| 1 ページー (3) | チャンネル加熱電力 (横軸=時間) |
| 2 ページー (1) | 差圧 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 2 ページー (2) | 差圧 (オリフィス (横軸=時間) |
| 2 ページー (3) | ボイド率 (横軸=時間) |
| 3 ページー (1) | 差圧測定値-静水頭 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 3 ページー (2) | 差圧測定値-静水頭 (オリフィス) (横軸=時間) |
| 3 ページー (3) | スペーサKファクター (横軸=時間) |
| 4 ページー (1) | オリフィスKファクター (横軸=時間) |
| 4 ページー (2) | クオリティ、ボイド率 (横軸=時間) |
| 4 ページー (3) | クオリティ、ボイド率 (横軸=チャンネル加熱電力) |

This is a blank page.

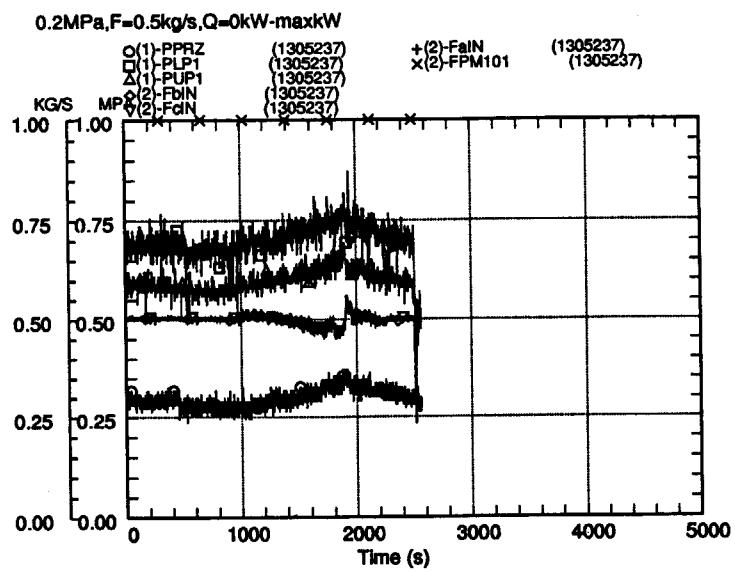


Fig. Pressure & flow rate

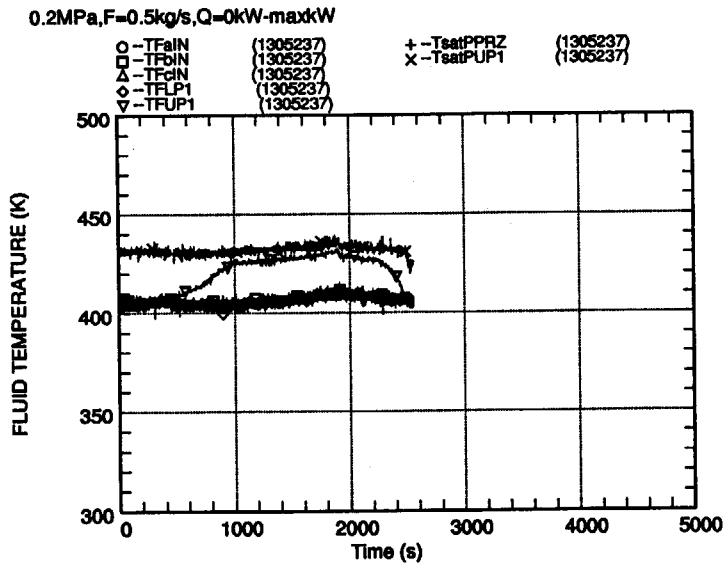


Fig. Tfluid

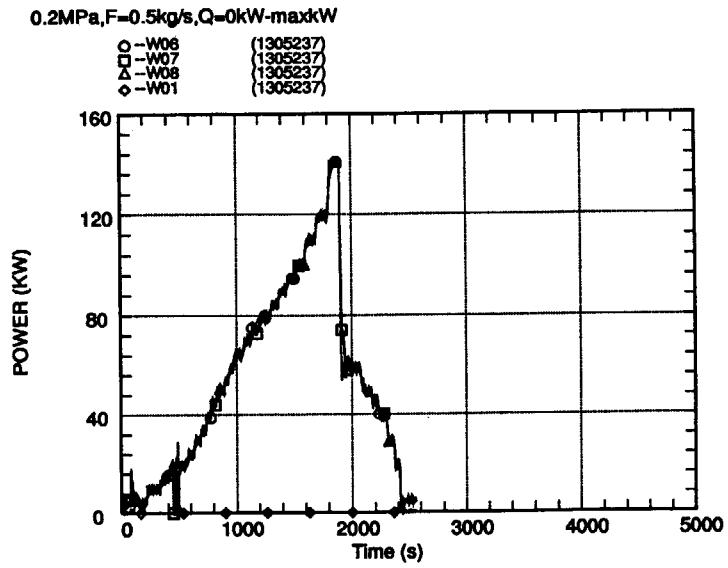


Fig. Power

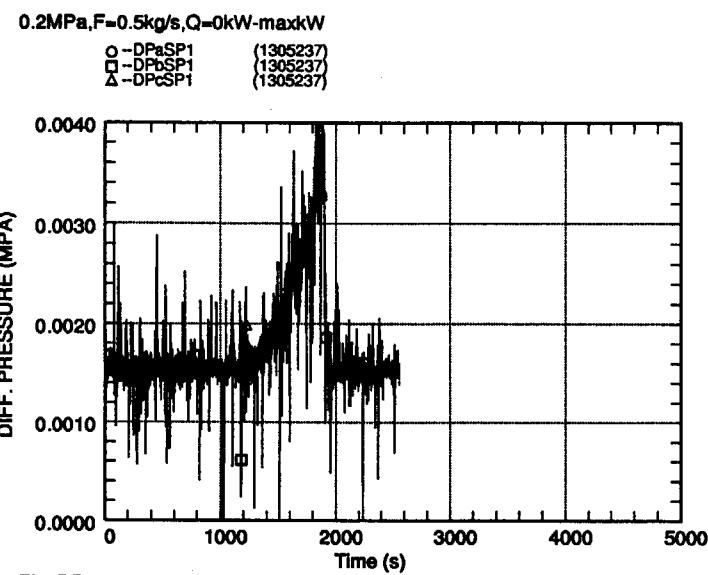


Fig. DP

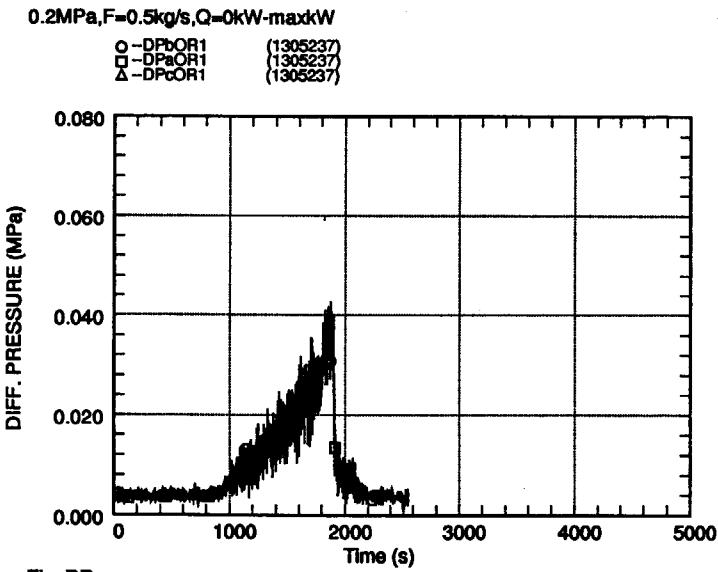


Fig. DP

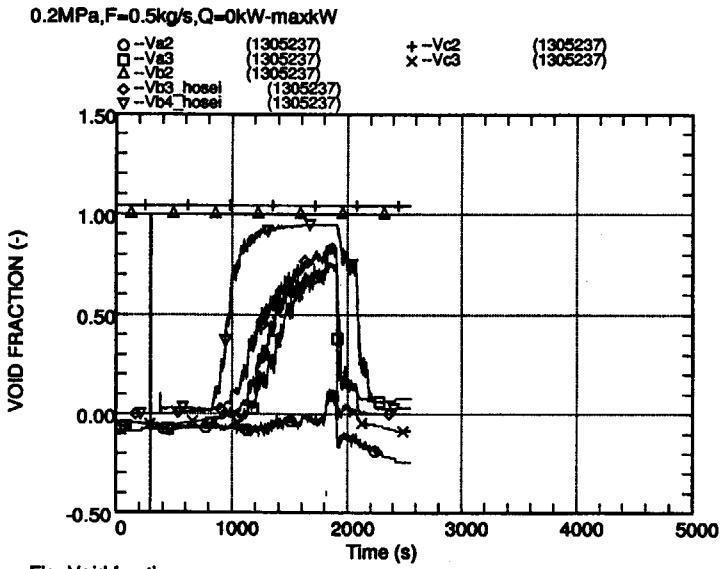


Fig. Void fraction

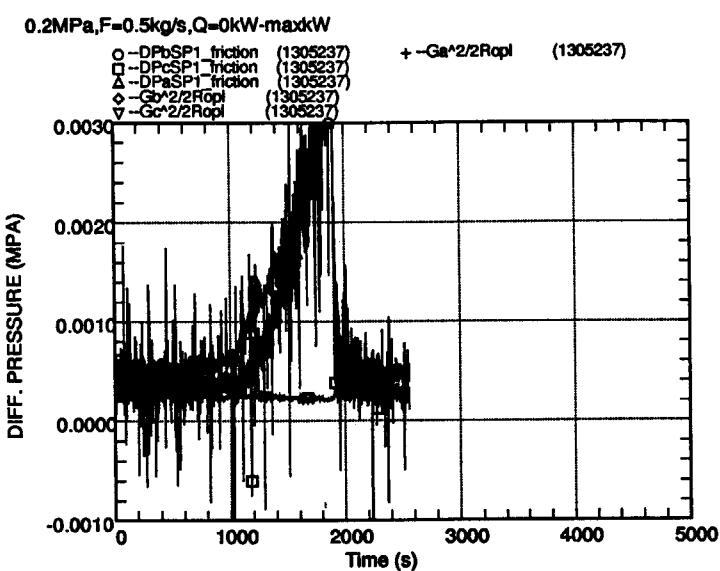


Fig. DP friction & Momentum flux

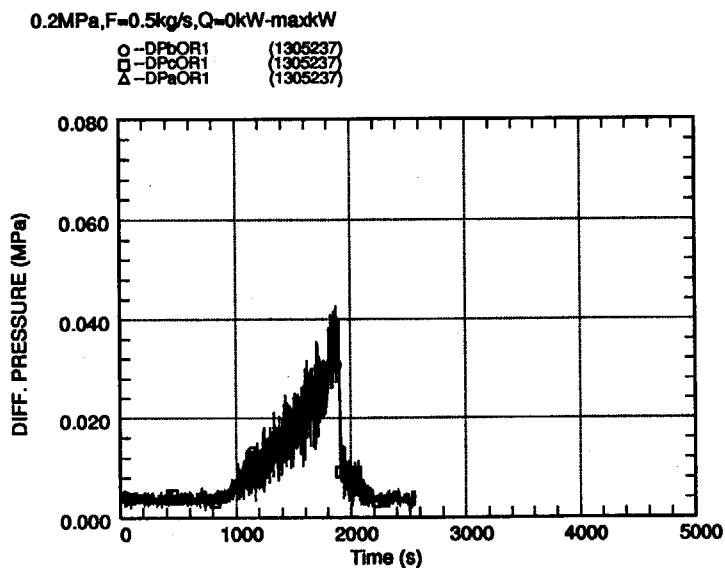


Fig. DP friction & Momentum flux

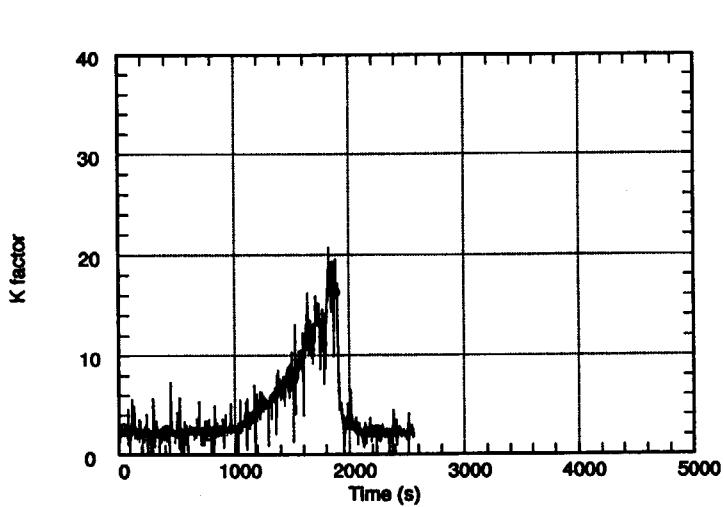
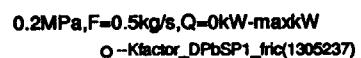


Fig. Kfactor_spacer

0.2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ -Kfactor_DPbOR1 (1305237)

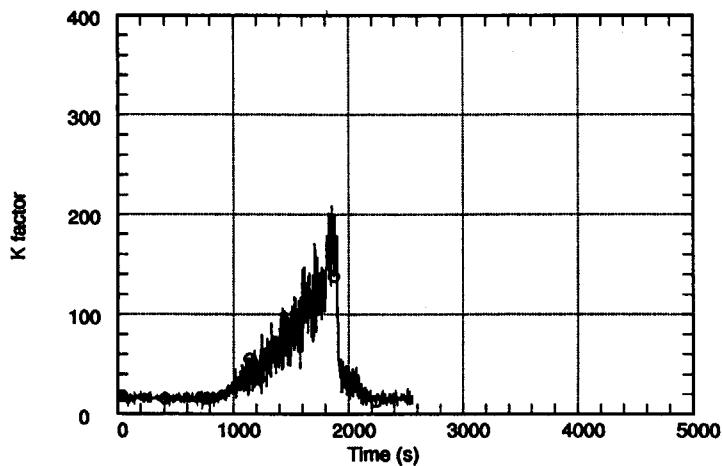
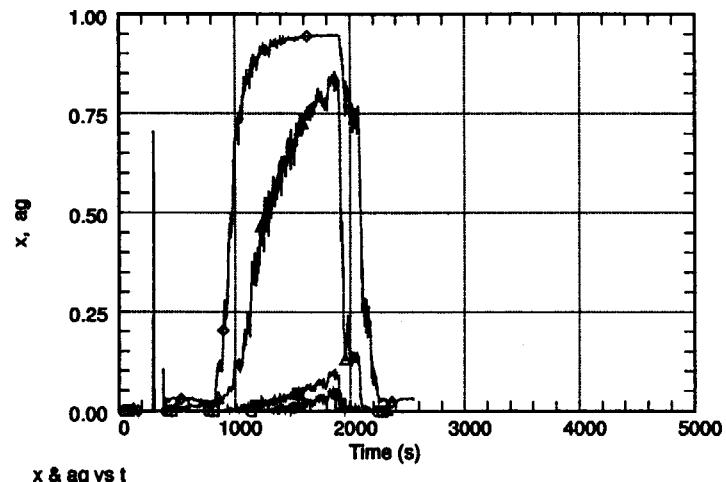


Fig. Kfactor_orifice

0.2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ (TIME-1 (1305237) -x_SP1_elv2516 (1305237))
 □ (TIME-1 (1305237) -x_exit_ (1305237))
 △ (TIME-1 (1305237) -VB3_hosei (1305237))
 ◇ (TIME-1 (1305237) -VB4_hosei (1305237))



0.2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW

○ (W07 (1305237) -x_SP1_elv2516 (1305237))
 □ (W07 (1305237) -VB3_hosei (1305237))
 △ (W07 (1305237) -x_exit_ (1305237))
 ◇ (W07 (1305237) -VB4_hosei (1305237))

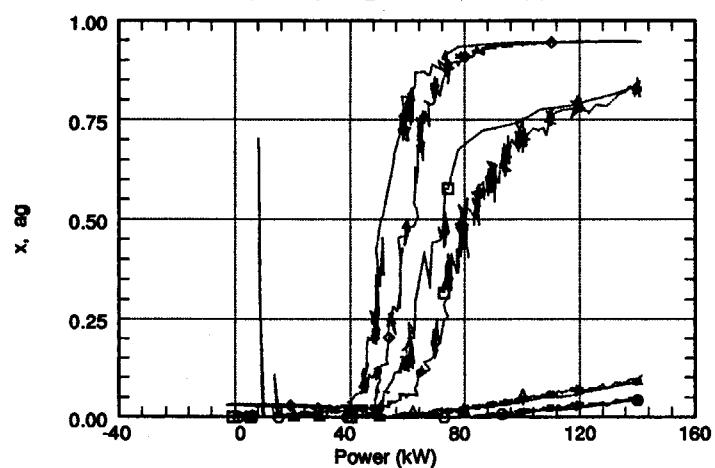


Fig. x & ag vs Q

付録7 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa、133kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|----------|---------------------------|
| 1ページ (1) | 圧力、チャンネル流量 (横軸=時間) |
| 1ページ (2) | 流体温度 (横軸=時間) |
| 1ページ (3) | チャンネル加熱電力 (横軸=時間) |
| 2ページ (1) | 差圧 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 2ページ (2) | 差圧 (オリフィス (横軸=時間) |
| 2ページ (3) | ボイド率 (横軸=時間) |
| 3ページ (1) | 差圧測定値-静水頭 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 3ページ (2) | 差圧測定値-静水頭 (オリフィス) (横軸=時間) |
| 3ページ (3) | スペーサKファクター (横軸=時間) |
| 4ページ (1) | オリフィスKファクター (横軸=時間) |
| 4ページ (2) | クオリティ、ボイド率 (横軸=時間) |
| 4ページ (3) | クオリティ、ボイド率 (横軸=チャンネル加熱電力) |

This is a blank page.

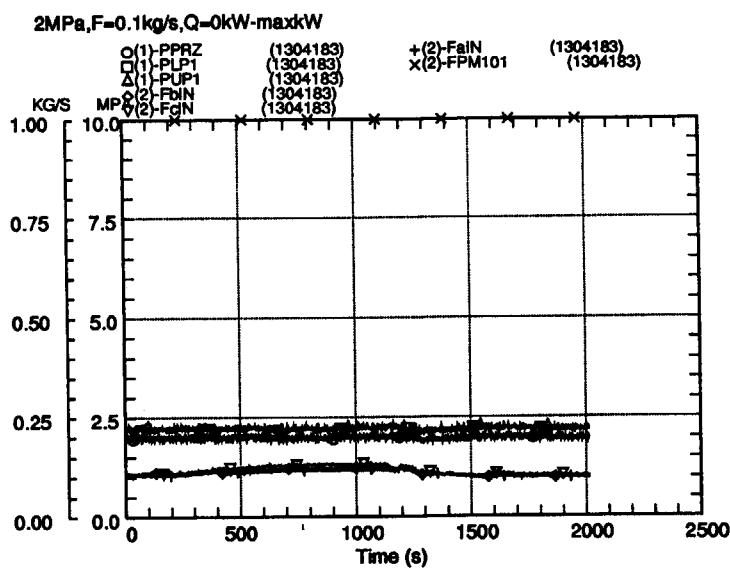


Fig. Pressure & flow rate

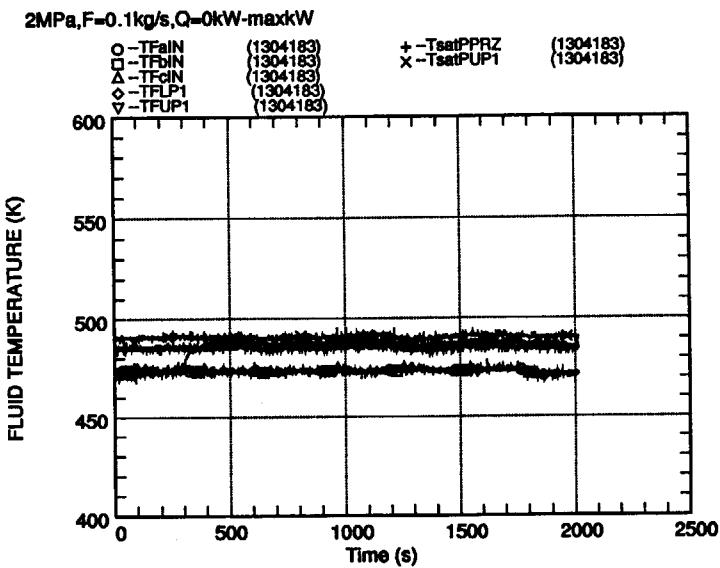


Fig. Tfluid

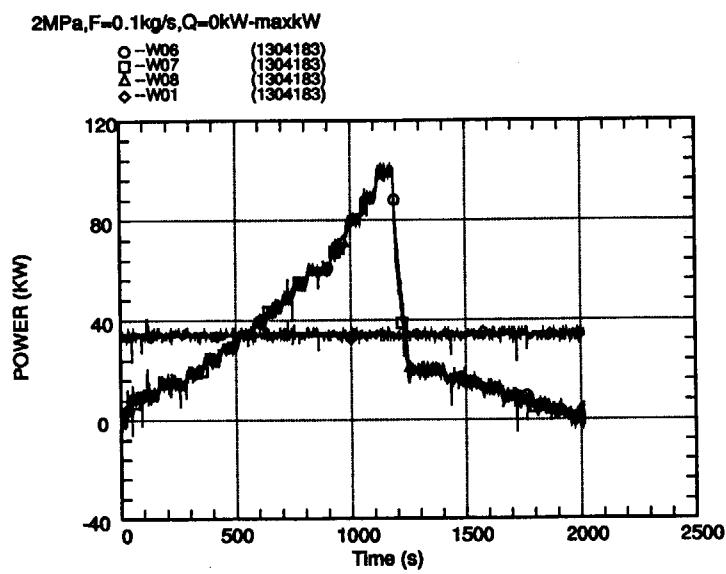


Fig. Power

2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -DPaSP1 | (1304183) |
| □ -DPbSP1 | (1304183) |
| △ -DPcSP1 | (1304183) |

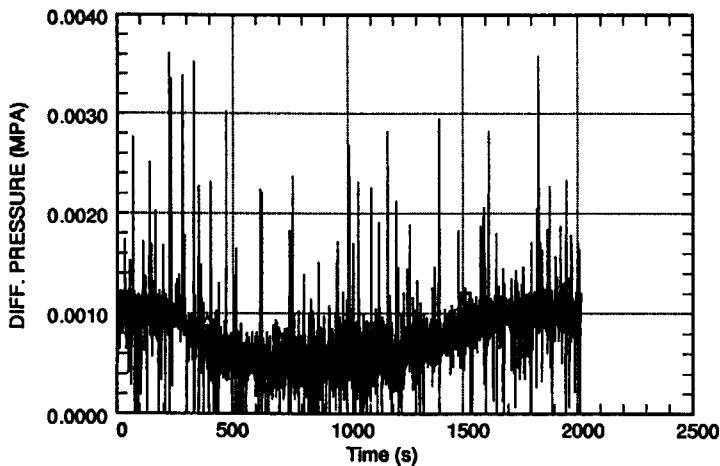


Fig. DP

2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -DPbOR1 | (1304183) |
| □ -DPaOR1 | (1304183) |
| △ -DPcOR1 | (1304183) |

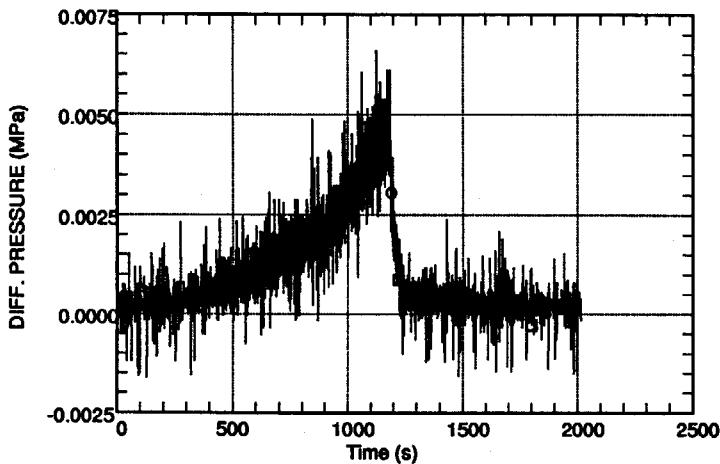


Fig. DP

2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW

| | | | |
|---------------------------|-----------|--------------------|-----------|
| ○ -V _{a2} | (1304183) | + -V _{c2} | (1304183) |
| □ -V _{a3} | (1304183) | × -V _{c3} | (1304183) |
| △ -V _{b2} | (1304183) | | |
| ◊ -V _{b3} _hosei | (1304183) | | |
| ▽ -V _{b4} _hosei | (1304183) | | |

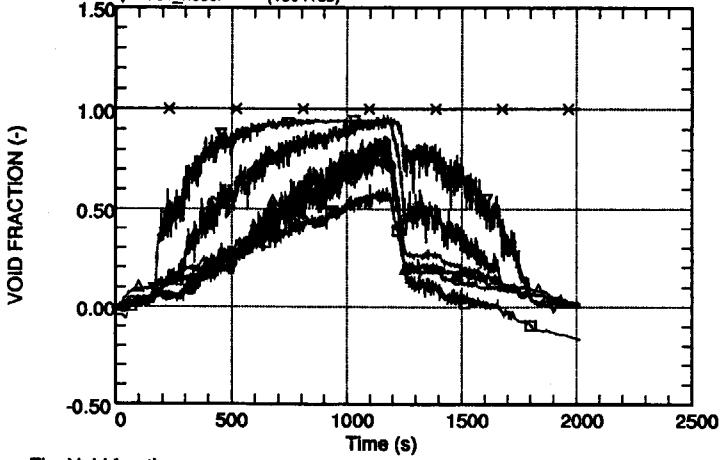


Fig. Void fraction

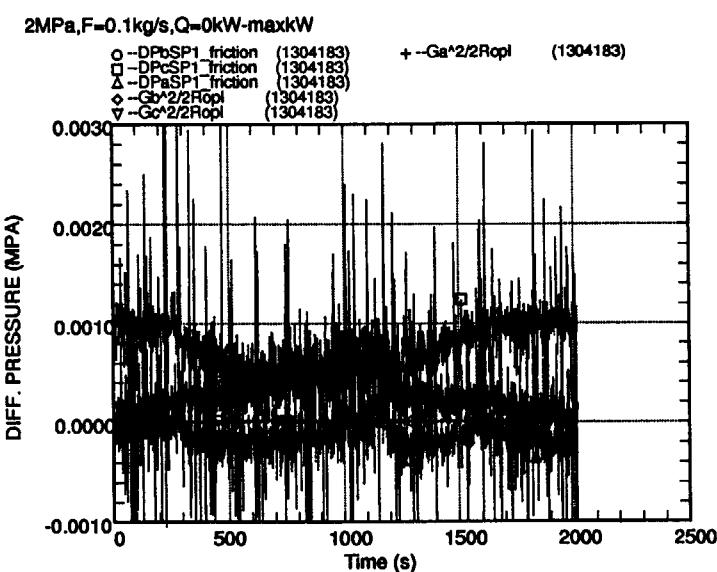


Fig. DP friction & Momentum flux

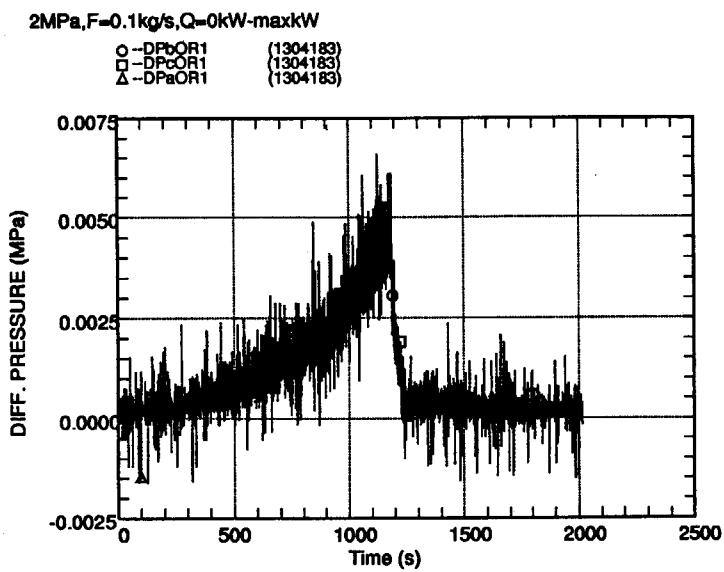


Fig. DP friction & Momentum flux

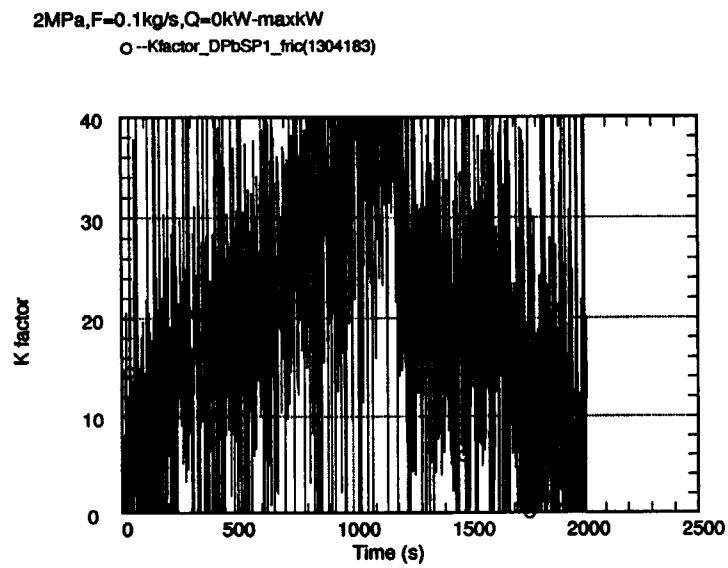


Fig. Kfactor_spacer

2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ -Kfactor_DPbOR1 (1304183)

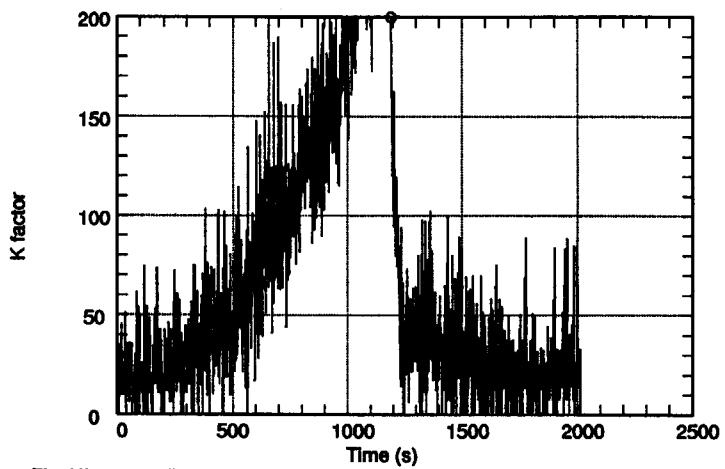
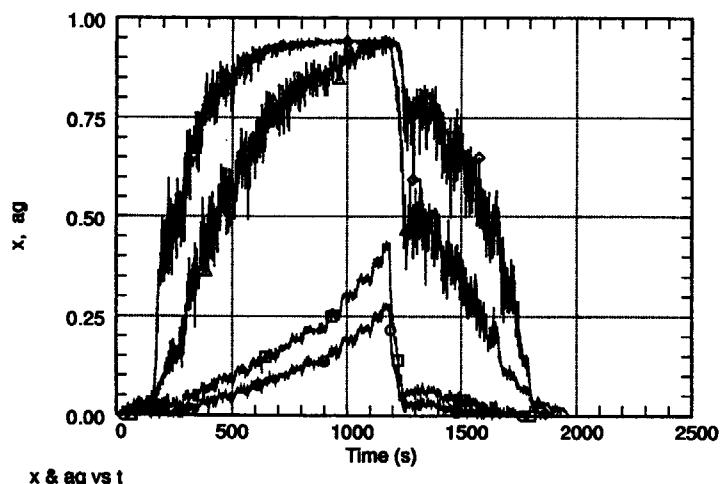


Fig. Kfactor_orifice

2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ (TIME-1 (1304183) -x_SP1_elv2516 (1304183))
 □ (TIME-1 (1304183) -x_exit_hosei (1304183))
 △ (TIME-1 (1304183) -Vb3_hosei (1304183))
 ◇ (TIME-1 (1304183) -Vb4_hosei (1304183))



x & ag vs t

2MPa,F=0.1kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ (W07 (1304183) -x_SP1_elv2516 (1304183))
 □ (W07 (1304183) -Vb3_hosei (1304183))
 △ (W07 (1304183) -x_exit_hosei (1304183))
 ◇ (W07 (1304183) -Vb4_hosei (1304183))

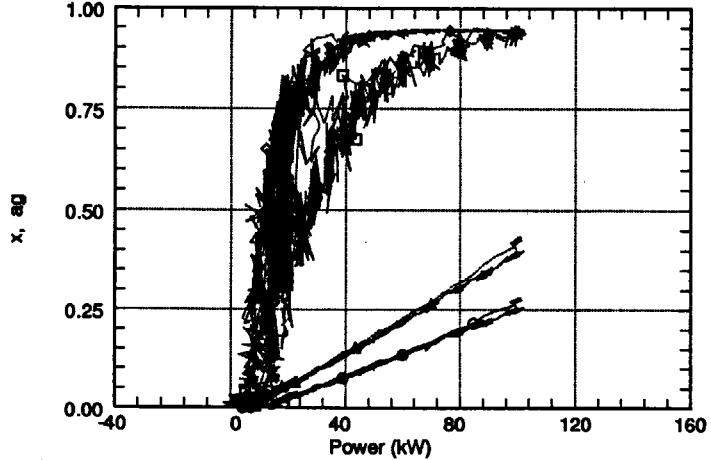


Fig. x & ag vs Q

付録8 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa、400kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|----------|--------------------------|
| 1ページー(1) | 圧力、チャンネル流量（横軸＝時間） |
| 1ページー(2) | 流体温度（横軸＝時間） |
| 1ページー(3) | チャンネル加熱電力（横軸＝時間） |
| 2ページー(1) | 差圧（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 2ページー(2) | 差圧（オリフィス（横軸＝時間） |
| 2ページー(3) | ボイド率（横軸＝時間） |
| 3ページー(1) | 差圧測定値－静水頭（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 3ページー(2) | 差圧測定値－静水頭（オリフィス）（横軸＝時間） |
| 3ページー(3) | スペーサKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページー(1) | オリフィスKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページー(2) | クオリティ、ボイド率（横軸＝時間） |
| 4ページー(3) | クオリティ、ボイド率（横軸＝チャンネル加熱電力） |

This is a blank page.

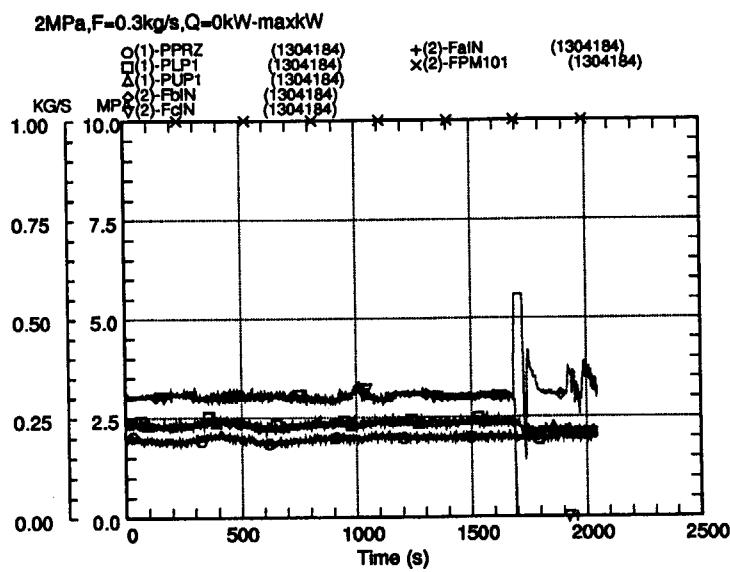


Fig. Pressure & flow rate

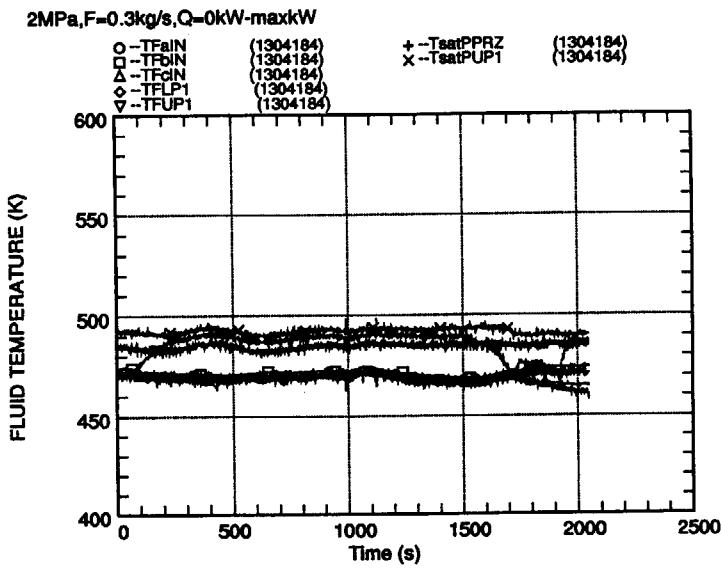


Fig. Tfluid

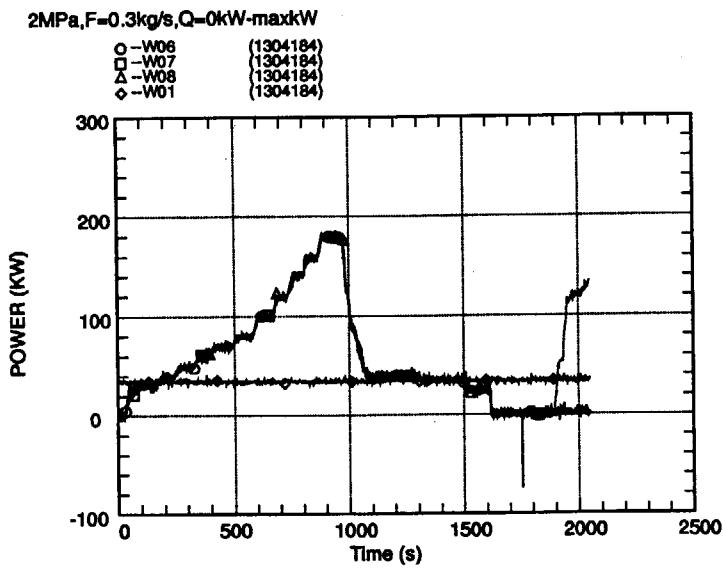


Fig. Power

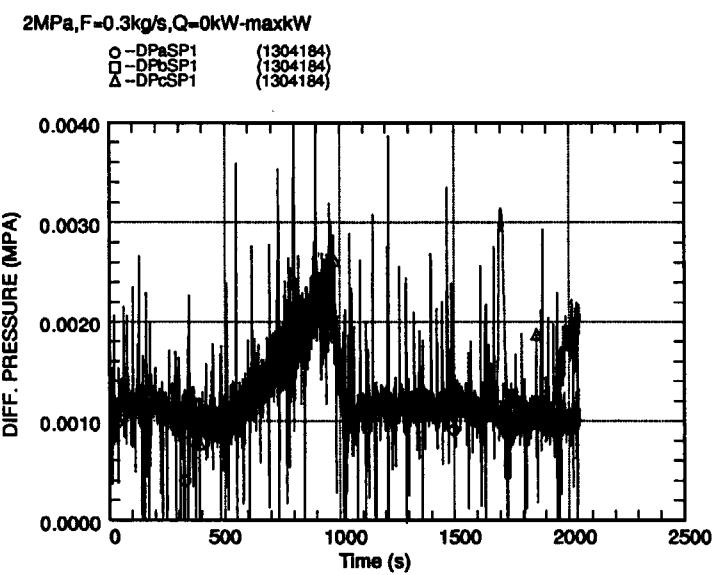


Fig. DP

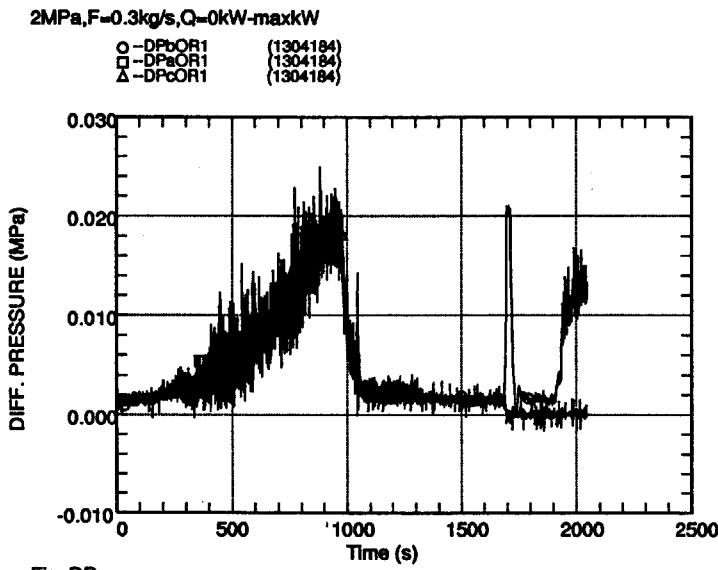


Fig. DP

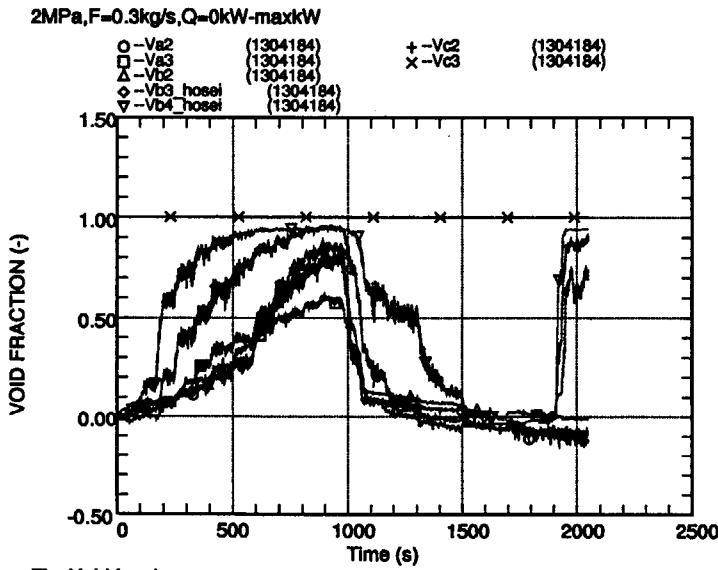


Fig. Void fraction

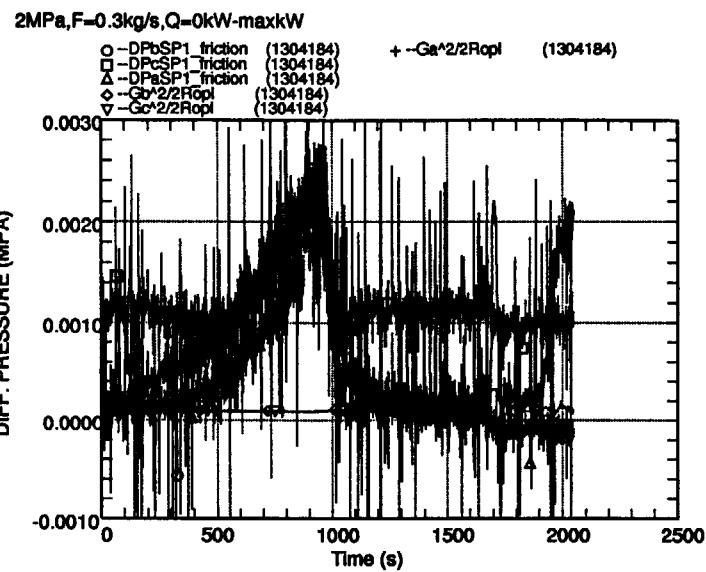


Fig. DP friction & Momentum flux

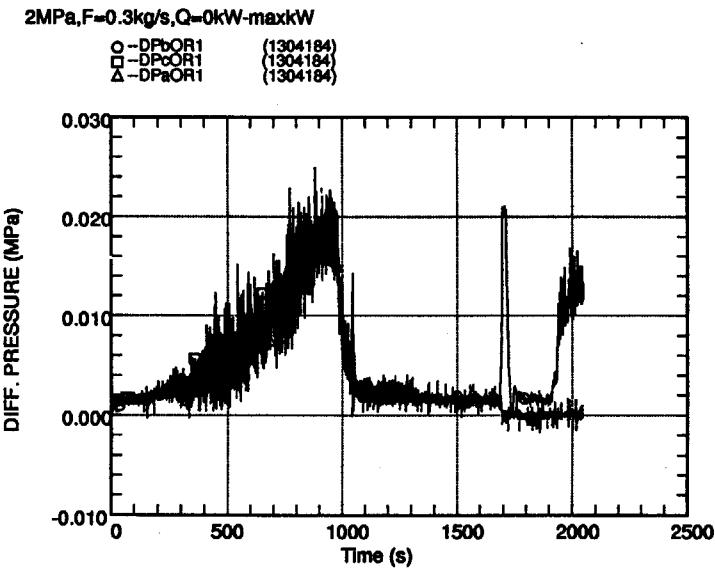


Fig. DP friction & Momentum flux

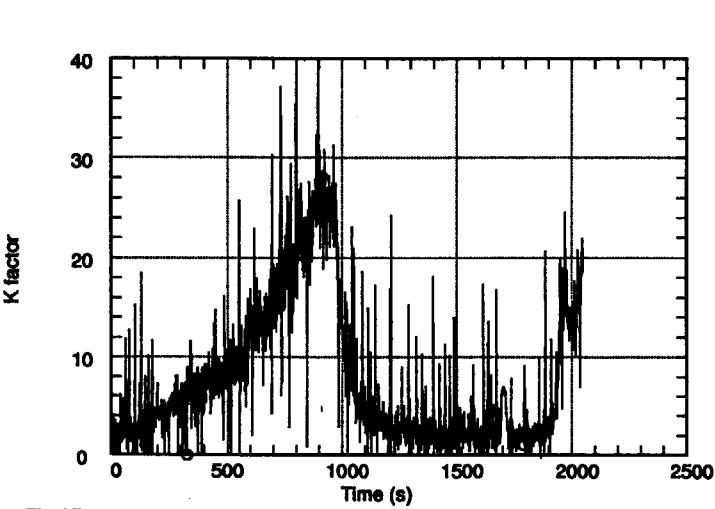
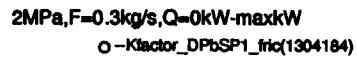


Fig. Kfactor_spacer

2MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW
 o -Kfactor_DPbOR1 (1304184)

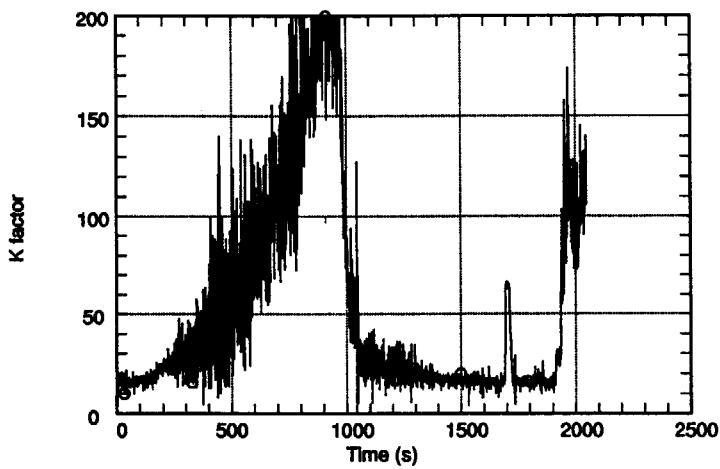
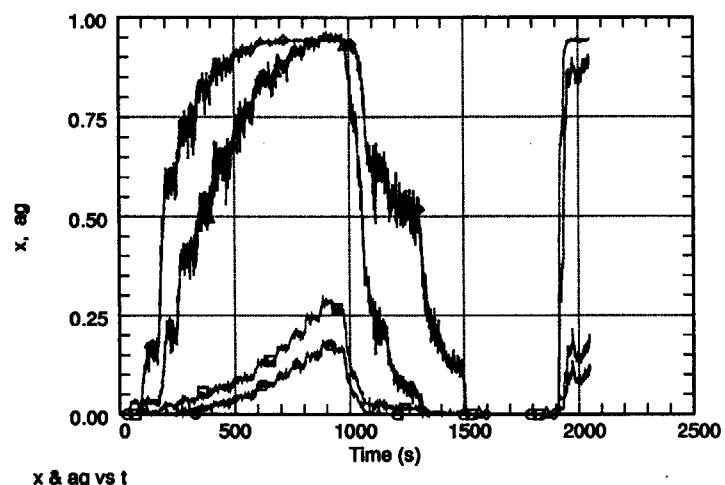


Fig. Kfactor_orifice

2MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW
 o (TIME-1 (1304184) -x SP1_elv2516 (1304184))
 □ (TIME-1 (1304184) -Vb3_hosei (1304184))
 △ (TIME-1 (1304184) -exit (1304184))
 ◊ (TIME-1 (1304184) -Vb4_hosei (1304184))



2MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW

o (W07 (1304184) -x SP1_elv2516 (1304184))
 □ (W07 (1304184) -Vb3_hosei (1304184))
 △ (W07 (1304184) -exit (1304184))
 ◊ (W07 (1304184) -Vb4_hosei (1304184))

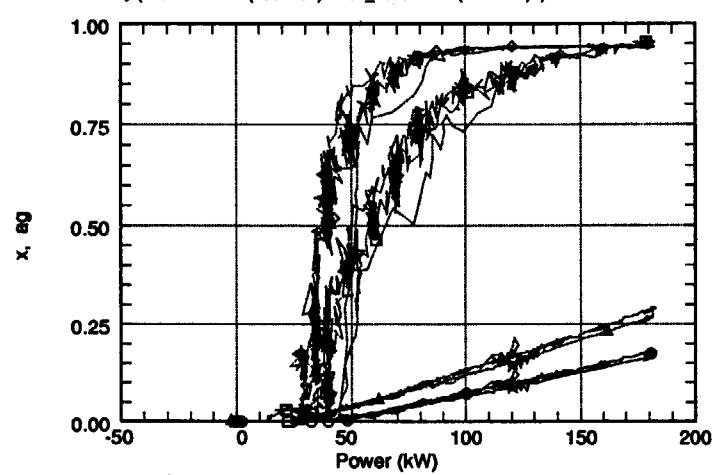


Fig. x & ag vs Q

付録9 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (2MPa、666kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|----------|--------------------------|
| 1ページー(1) | 圧力、チャンネル流量（横軸＝時間） |
| 1ページー(2) | 流体温度（横軸＝時間） |
| 1ページー(3) | チャンネル加熱電力（横軸＝時間） |
| 2ページー(1) | 差圧（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 2ページー(2) | 差圧（オリフィス（横軸＝時間） |
| 2ページー(3) | ボイド率（横軸＝時間） |
| 3ページー(1) | 差圧測定値－静水頭（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 3ページー(2) | 差圧測定値－静水頭（オリフィス）（横軸＝時間） |
| 3ページー(3) | スペーサKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページー(1) | オリフィスKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページー(2) | クオリティ、ボイド率（横軸＝時間） |
| 4ページー(3) | クオリティ、ボイド率（横軸＝チャンネル加熱電力） |

This is a blank page.

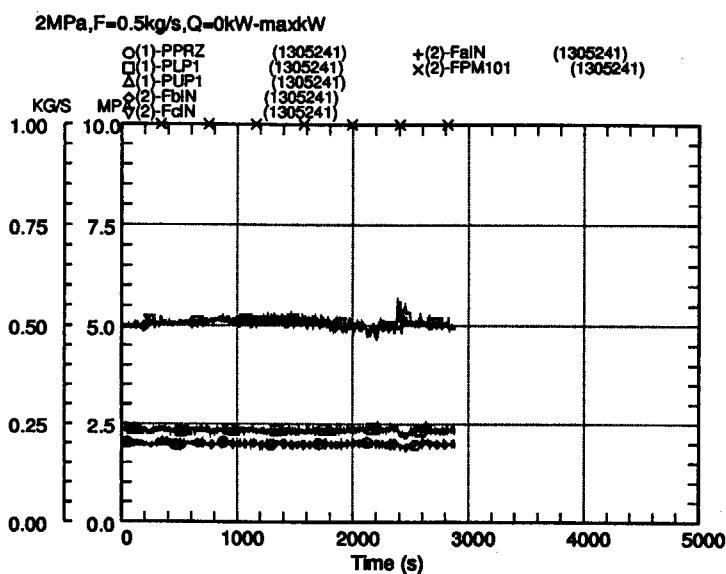


Fig. Pressure & flow rate

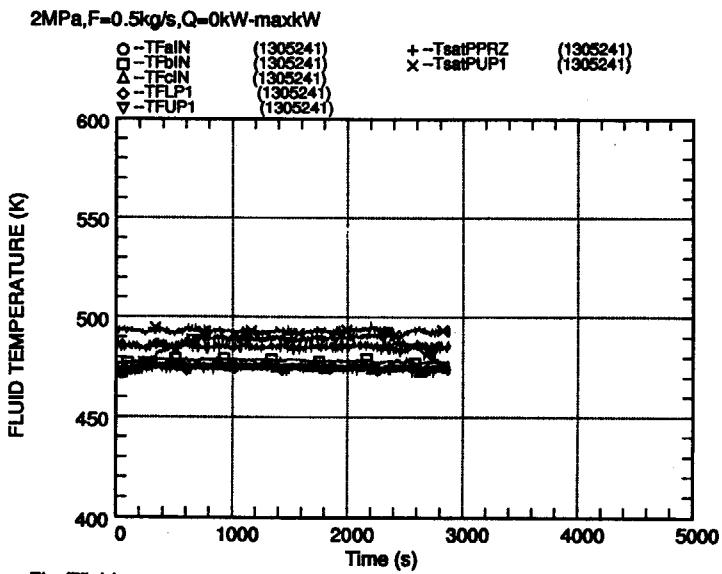


Fig. Tffluid

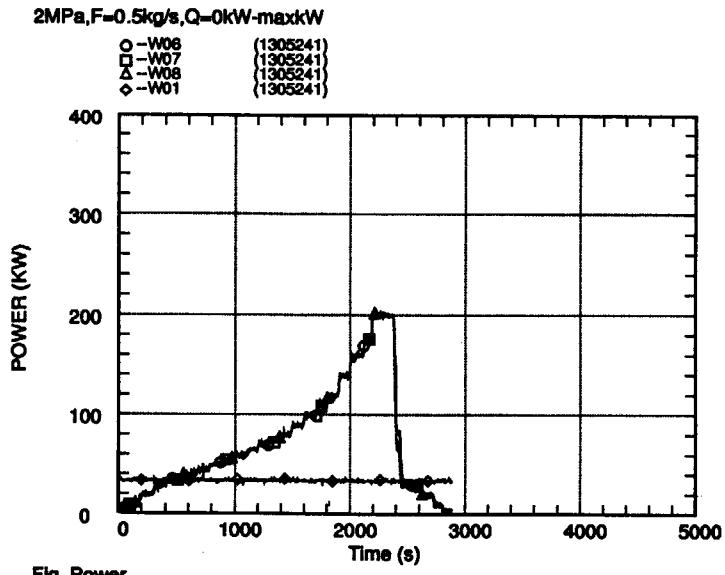


Fig. Power

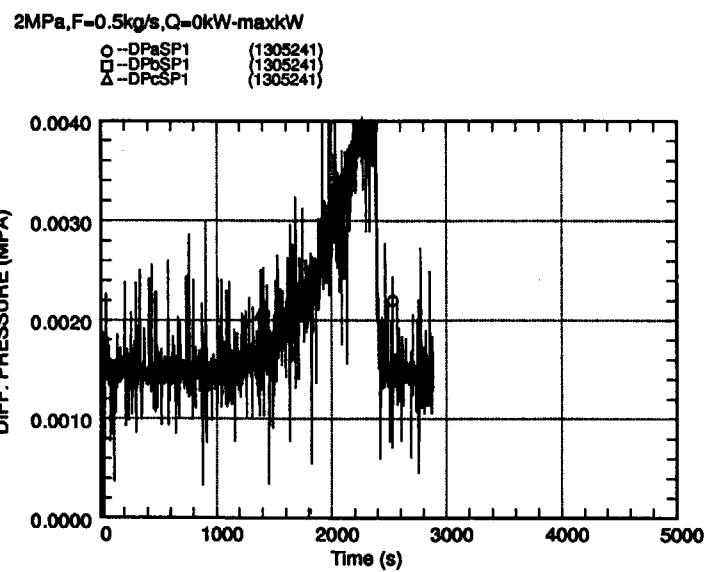


Fig. DP

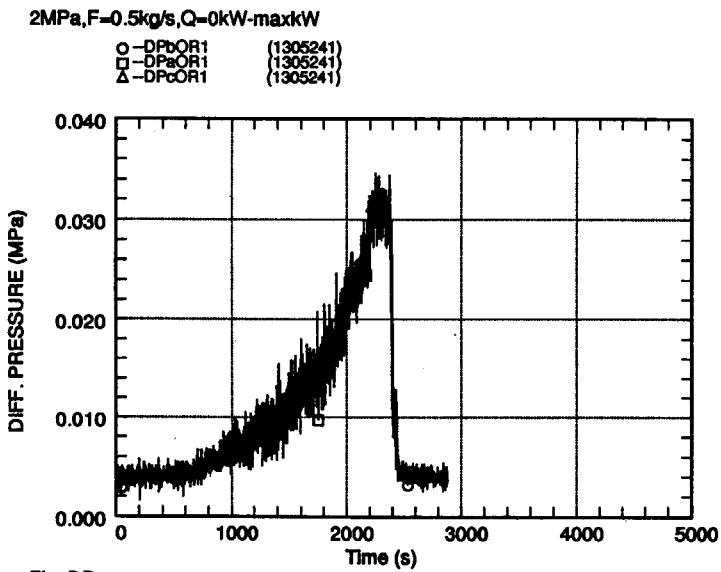


Fig. DP

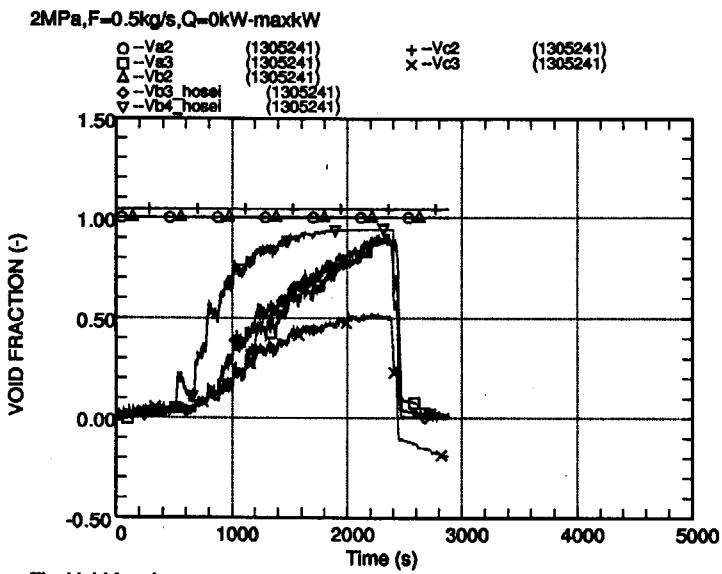


Fig. Void fraction

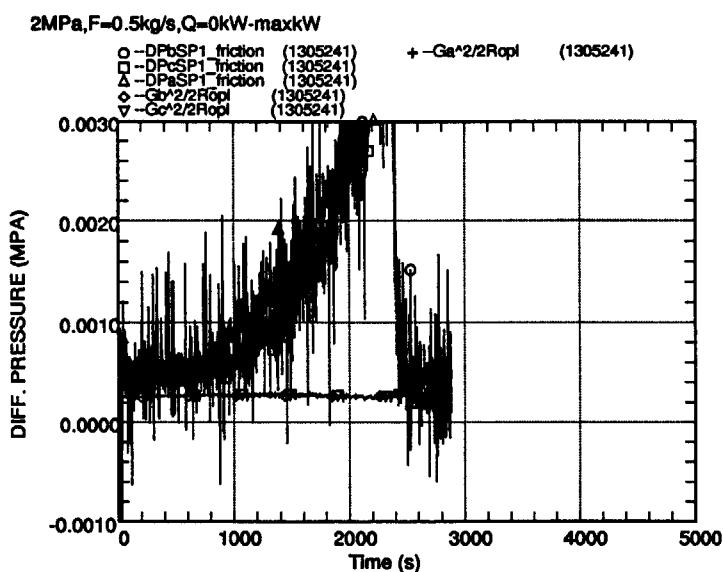


Fig. DP friction & Momentum flux

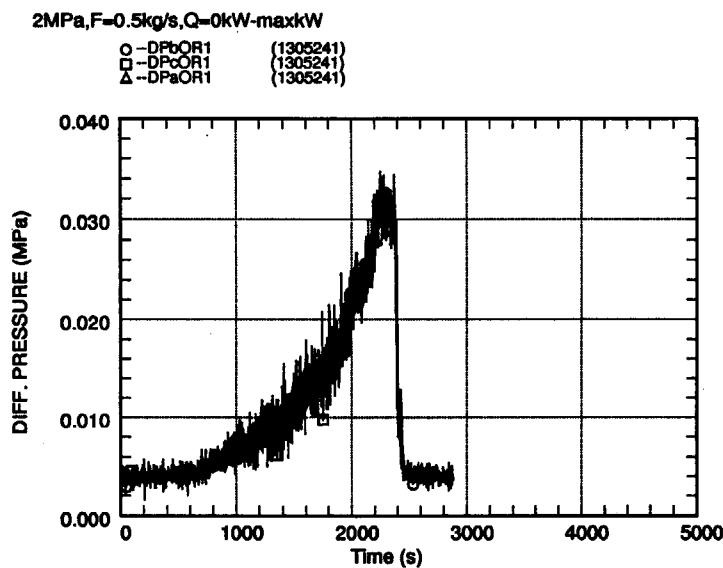


Fig. DP friction & Momentum flux

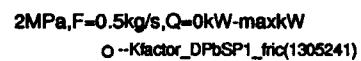


Fig. Kfactor_spacer

2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW
 o -Kfactor_DPbOR1 (1305241)

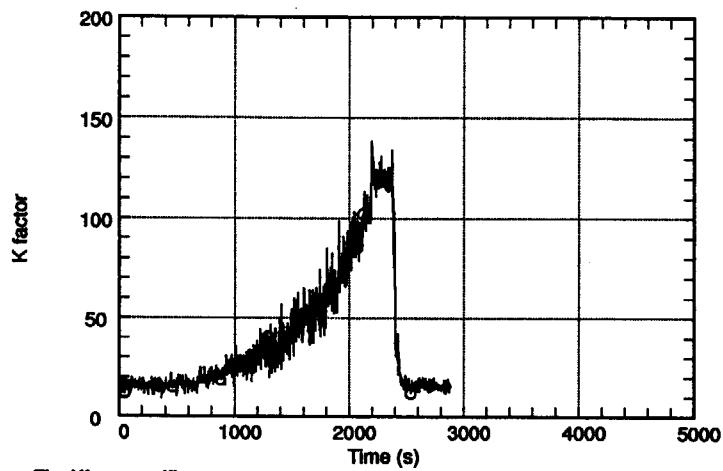
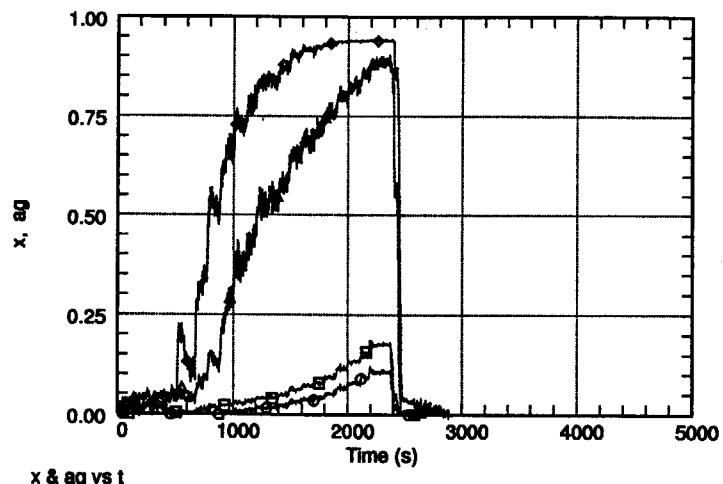


Fig. Kfactor_orifice

2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW

o (TIME-1 (1305241) -x_SP1_elv2516 (1305241))
 □ (TIME-1 (1305241) -x_exit (1305241))
 △ (TIME-1 (1305241) -Vb3_hosei (1305241))
 ◇ (TIME-1 (1305241) -Vb4_hosei (1305241))



2MPa,F=0.5kg/s,Q=0kW-maxkW

o (W07 (1305241) -x_SP1_elv2516 (1305241))
 □ (W07 (1305241) -Vb3_hosei (1305241))
 △ (W07 (1305241) -x_exit (1305241))
 ◇ (W07 (1305241) -Vb4_hosei (1305241))

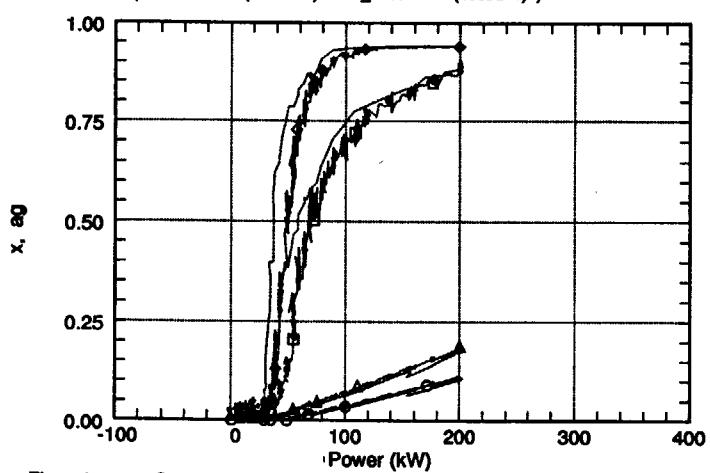


Fig. x & ag vs Q

付録 10 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa, 133kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|-----------|--------------------------|
| 1ページー (1) | 圧力、チャンネル流量（横軸＝時間） |
| 1ページー (2) | 流体温度（横軸＝時間） |
| 1ページー (3) | チャンネル加熱電力（横軸＝時間） |
| 2ページー (1) | 差圧（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 2ページー (2) | 差圧（オリフィス（横軸＝時間） |
| 2ページー (3) | ボイド率（横軸＝時間） |
| 3ページー (1) | 差圧測定値－静水頭（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 3ページー (2) | 差圧測定値－静水頭（オリフィス）（横軸＝時間） |
| 3ページー (3) | スペーサKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページー (1) | オリフィスKファクター（横軸＝時間） |
| 4ページー (2) | クオリティ、ボイド率（横軸＝時間） |
| 4ページー (3) | クオリティ、ボイド率（横軸＝チャンネル加熱電力） |

This is a blank page.

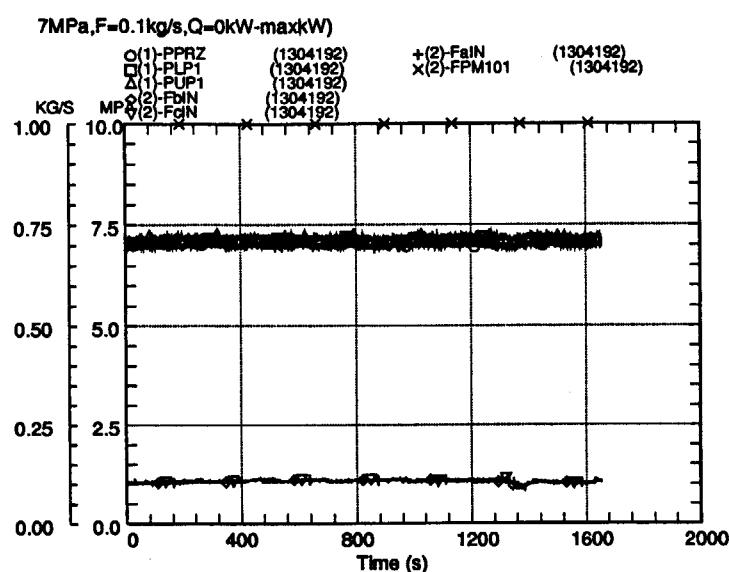


Fig. Pressure & flow rate

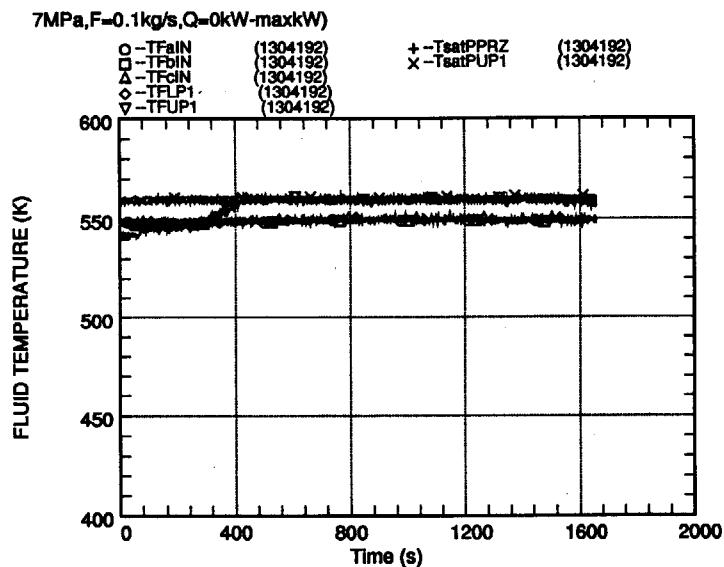


Fig. Tfuid

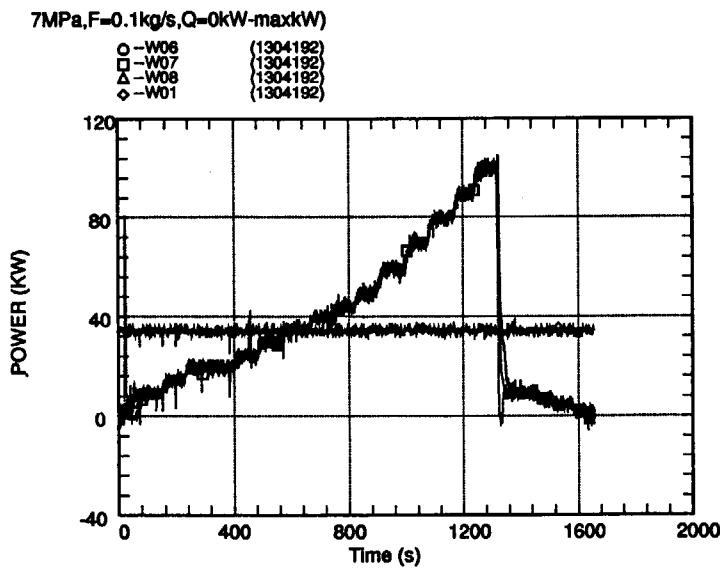


Fig. Power

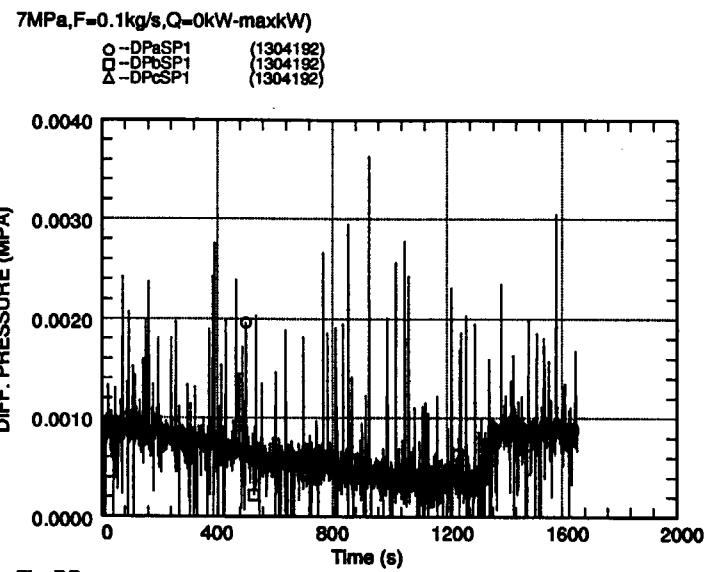


Fig. DP

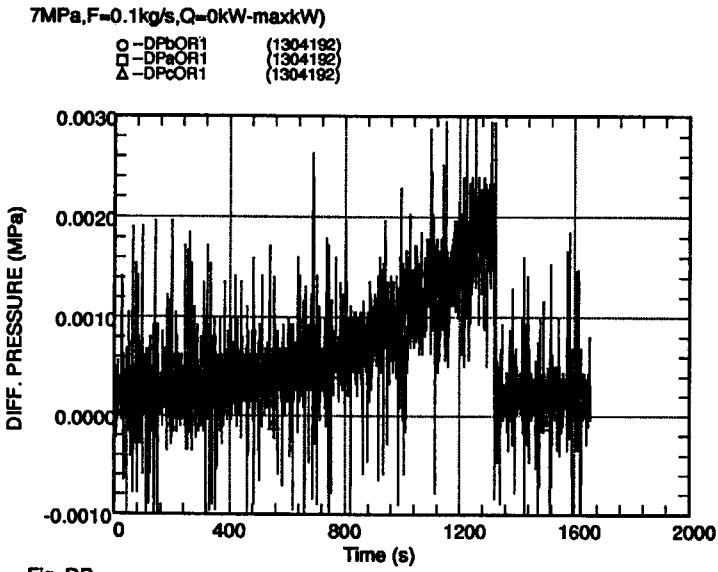


Fig. DP

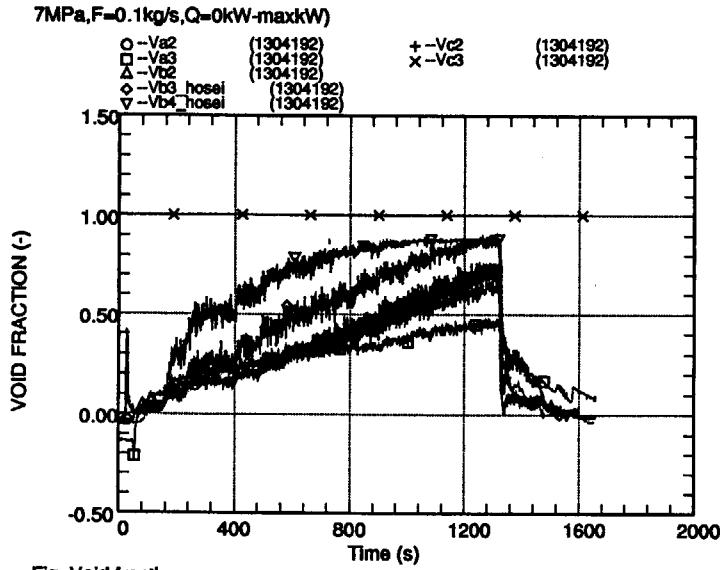


Fig. Void fraction

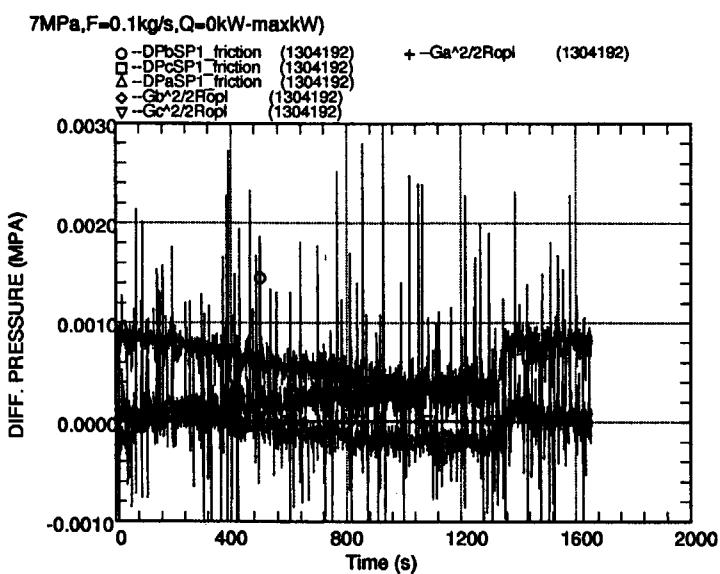


Fig. DP friction & Momentum flux

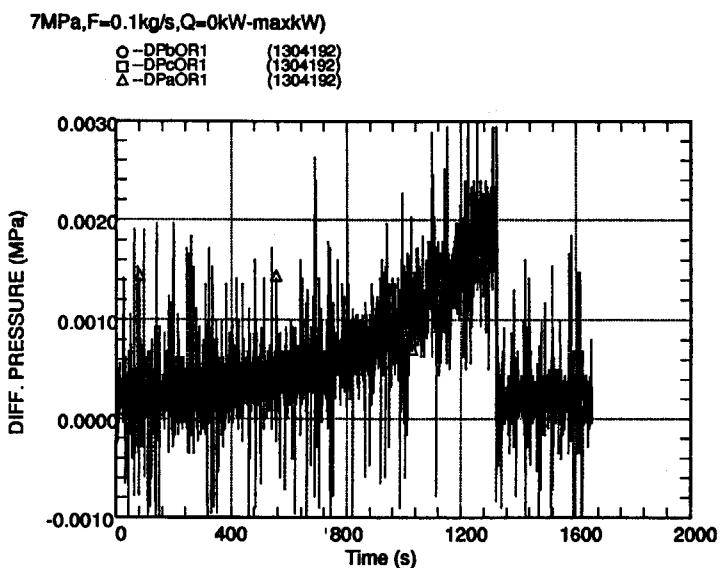


Fig. DP friction & Momentum flux

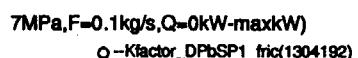


Fig. Kfactor_spacer

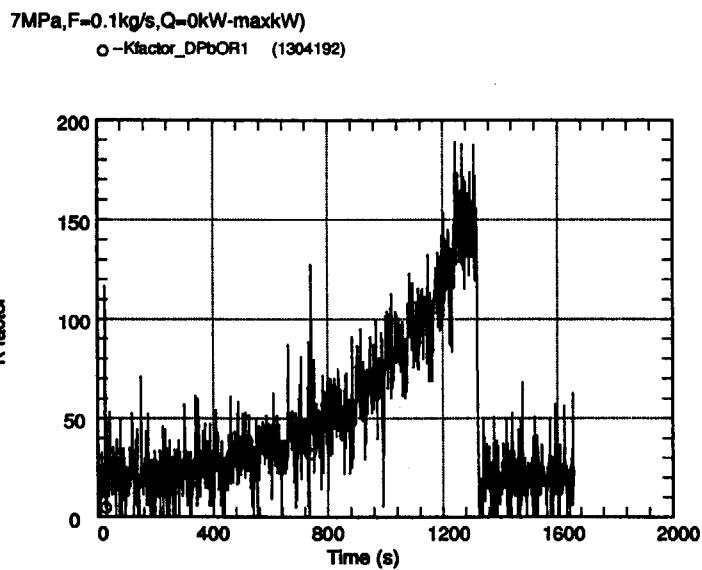


Fig. Kfactor_orifice

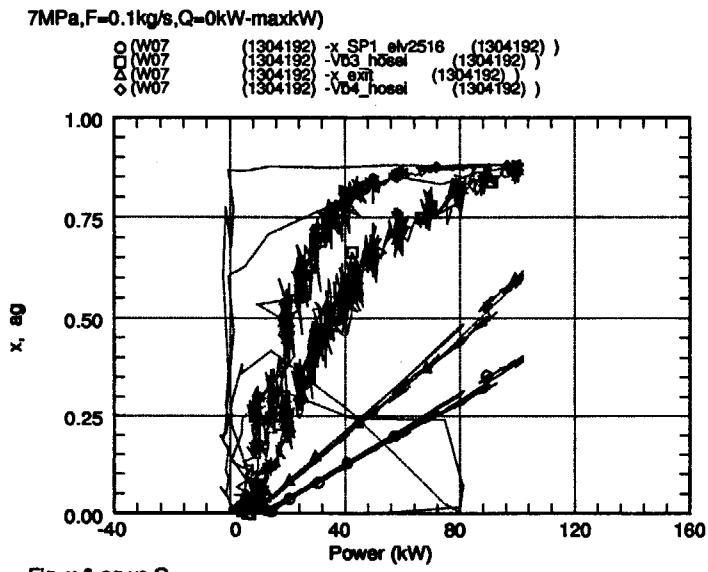
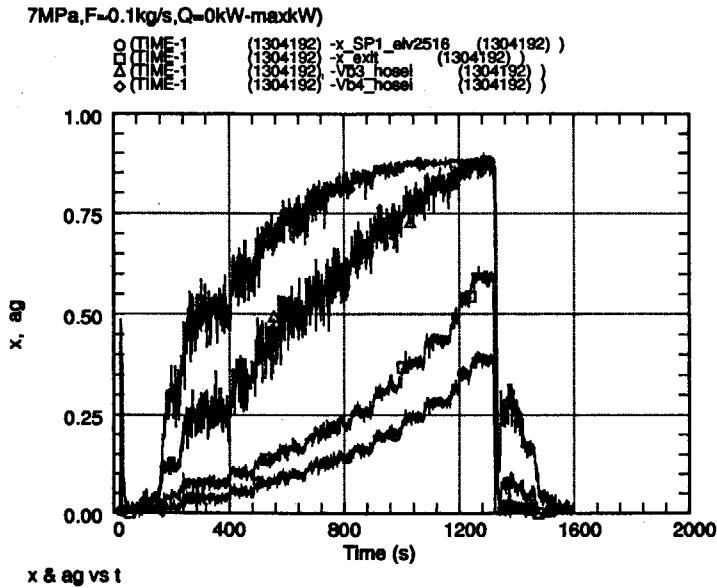


Fig. x & ag vs Q

付録 1.1 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa, 400kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|------------|--------------------------|
| 1 ページー (1) | 圧力、チャンネル流量（横軸＝時間） |
| 1 ページー (2) | 流体温度（横軸＝時間） |
| 1 ページー (3) | チャンネル加熱電力（横軸＝時間） |
| 2 ページー (1) | 差圧（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 2 ページー (2) | 差圧（オリフィス（横軸＝時間） |
| 2 ページー (3) | ポイド率（横軸＝時間） |
| 3 ページー (1) | 差圧測定値－静水頭（スペーサ）（横軸＝時間） |
| 3 ページー (2) | 差圧測定値－静水頭（オリフィス）（横軸＝時間） |
| 3 ページー (3) | スペーサKファクター（横軸＝時間） |
| 4 ページー (1) | オリフィスKファクター（横軸＝時間） |
| 4 ページー (2) | クオリティ、ポイド率（横軸＝時間） |
| 4 ページー (3) | クオリティ、ポイド率（横軸＝チャンネル加熱電力） |

This is a blank page.

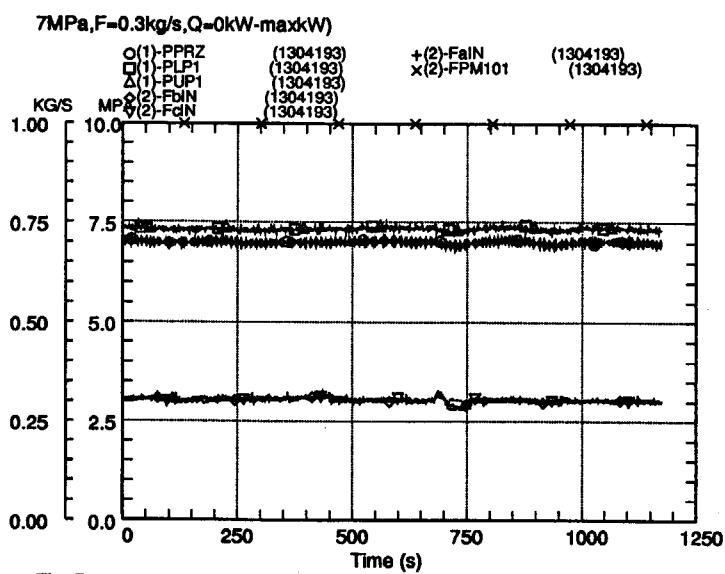


Fig. Pressure & flow rate

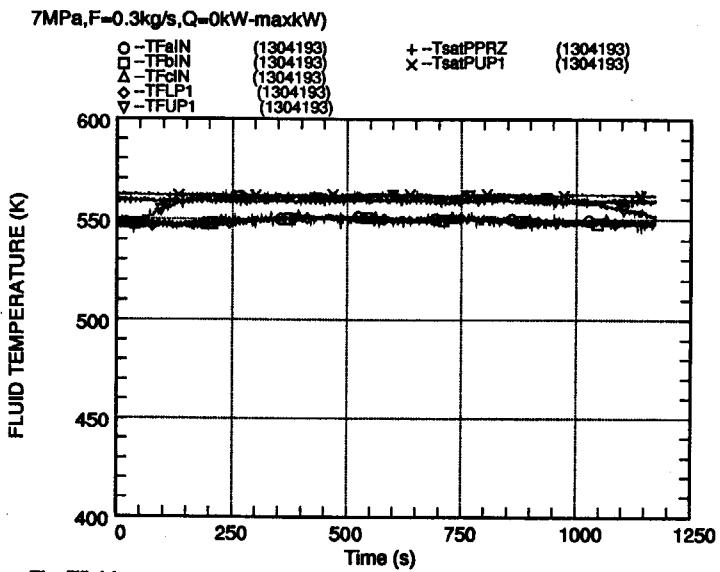


Fig. Tfluid

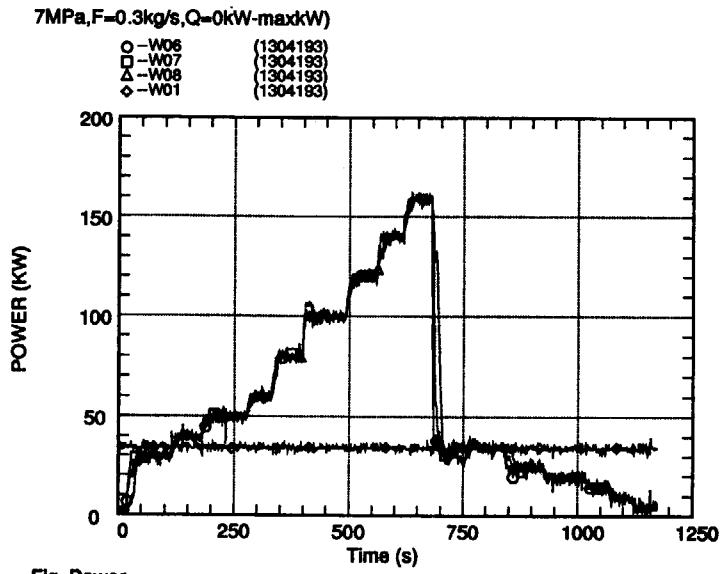


Fig. Power

7MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -DPaSP1 | (1304193) |
| □ -DPbSP1 | (1304193) |
| △ -DPCSP1 | (1304193) |

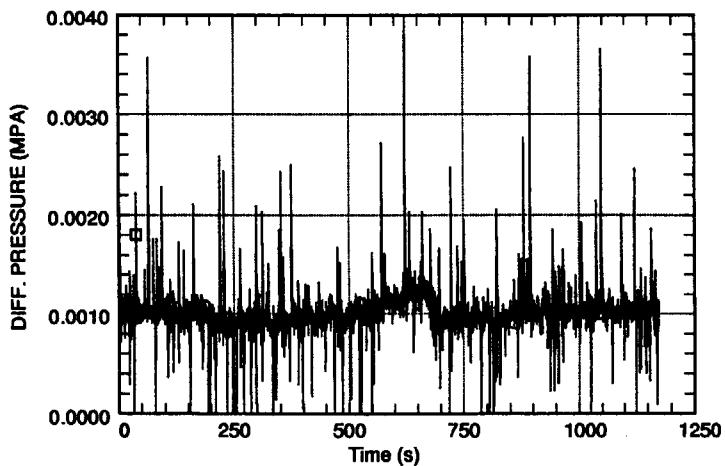


Fig. DP

7MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW

| | |
|-----------|-----------|
| ○ -DPbOR1 | (1304193) |
| □ -DPaOR1 | (1304193) |
| △ -DPCOR1 | (1304193) |

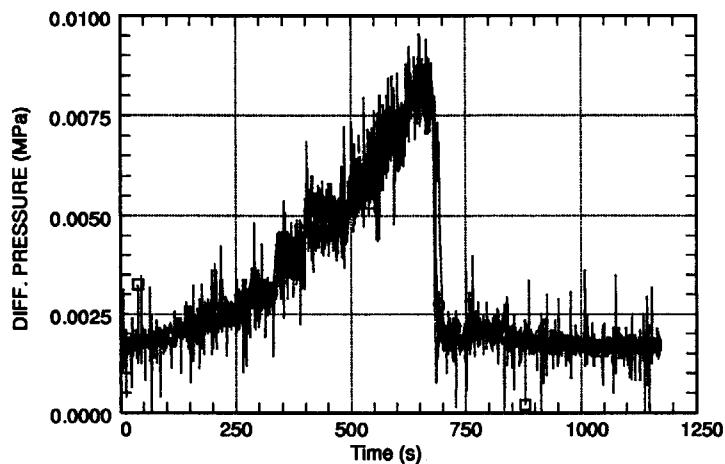


Fig. DP

7MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW

| | | | |
|--------------|-----------|--------|-----------|
| ○ -Va2 | (1304193) | + -Vc2 | (1304193) |
| □ -Va3 | (1304193) | × -Vc3 | (1304193) |
| △ -Vb2 | (1304193) | | |
| ◊ -Vb3_hosei | (1304193) | | |
| ▽ -Vb4_hosei | (1304193) | | |

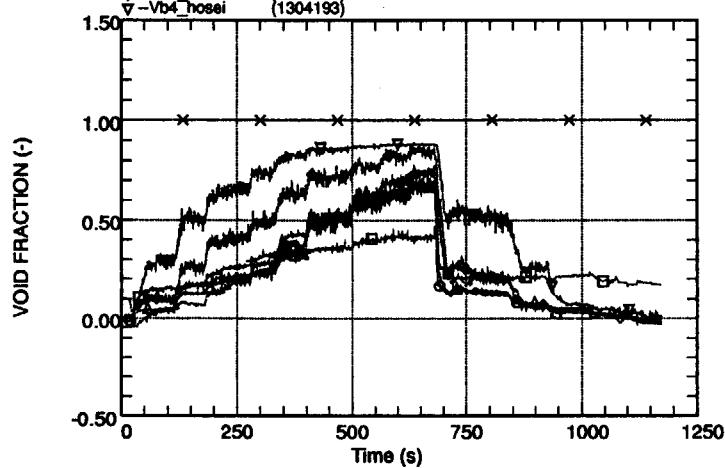


Fig. Void fraction

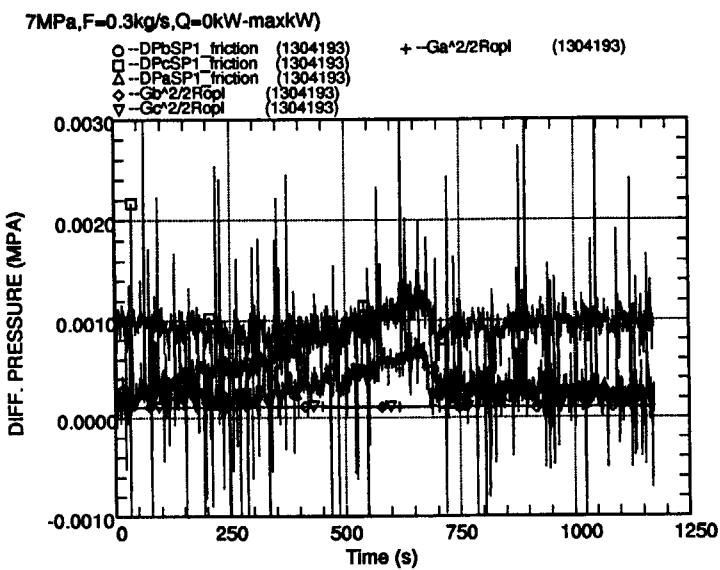


Fig. DP friction & Momentum flux

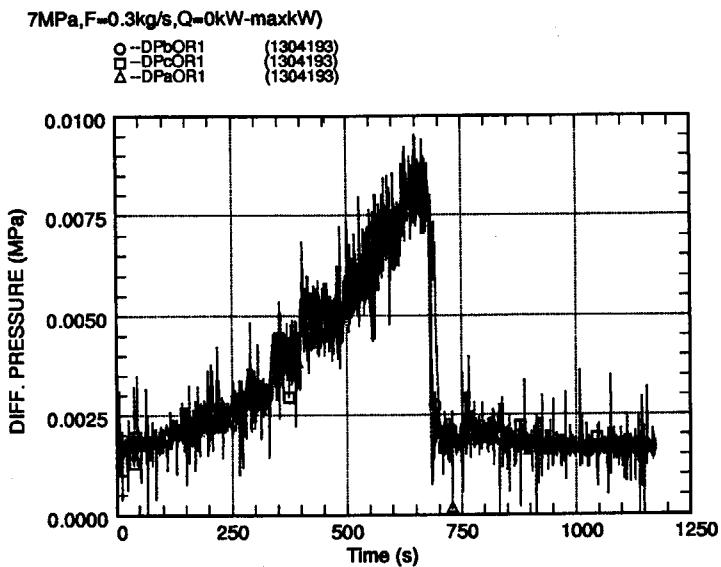


Fig. DP friction & Momentum flux

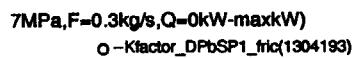


Fig. Kfactor_spacer

7MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ -Kfactor_DPbOR1 (1304193)

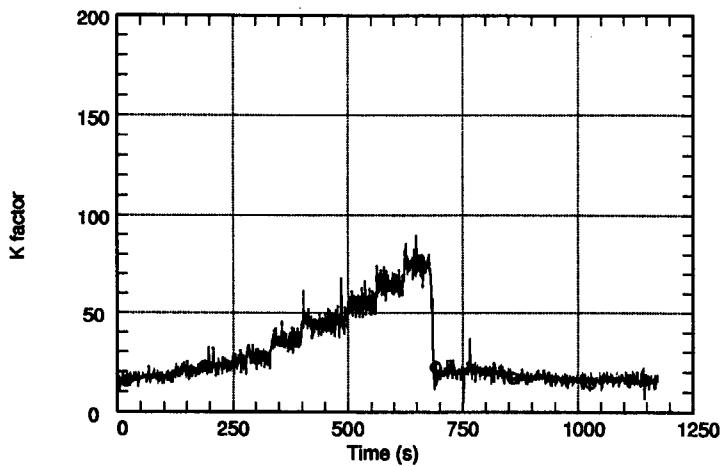
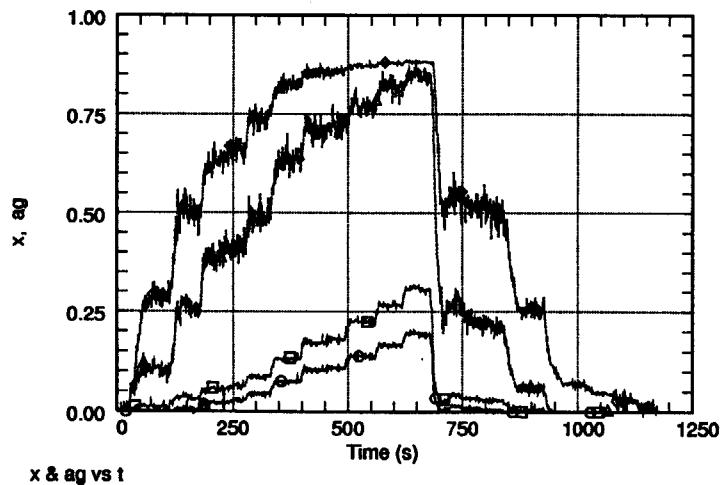


Fig. Kfactor_orifice

7MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW
 ○ (TIME-1 (1304193) -x_SP1_ehv2516 (1304193))
 □ (TIME-1 (1304193) -x_exit_hosei (1304193))
 △ (TIME-1 (1304193) -VB3_hosei (1304193))
 ◇ (TIME-1 (1304193) -VB4_hosei (1304193))



7MPa,F=0.3kg/s,Q=0kW-maxkW)

○ (W07 (1304193) -x_SP1_ehv2516 (1304193))
 □ (W07 (1304193) -VB3_hosei (1304193))
 △ (W07 (1304193) -VB4_hosei (1304193))
 ◇ (W07 (1304193) -VB4_hosei (1304193))

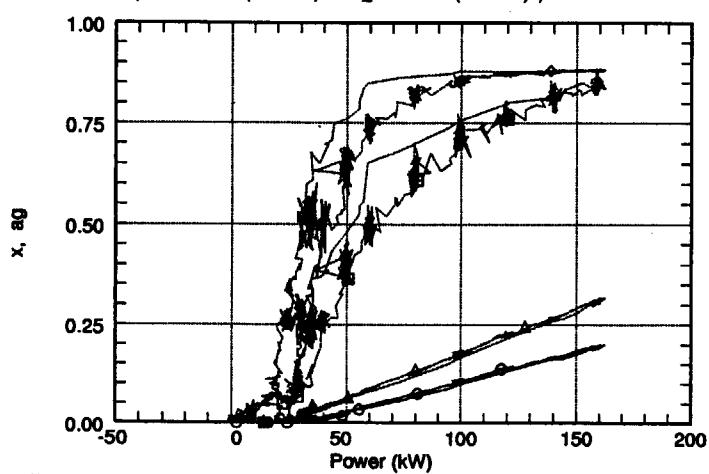


Fig. x & ag vs Q

付録 1.2 二相流条件のオリフィス及びスペーサの流動抵抗データ (7 MPa, 666kg/m²s)

Calculated by iguchi/godata/Kfactor_spacer

| | |
|-----------|---------------------------|
| 1ページー (1) | 圧力、チャンネル流量 (横軸=時間) |
| 1ページー (2) | 流体温度 (横軸=時間) |
| 1ページー (3) | チャンネル加熱電力 (横軸=時間) |
| 2ページー (1) | 差圧 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 2ページー (2) | 差圧 (オリフィス (横軸=時間) |
| 2ページー (3) | ボイド率 (横軸=時間) |
| 3ページー (1) | 差圧測定値-静水頭 (スペーサ) (横軸=時間) |
| 3ページー (2) | 差圧測定値-静水頭 (オリフィス) (横軸=時間) |
| 3ページー (3) | スペーサKファクター (横軸=時間) |
| 4ページー (1) | オリフィスKファクター (横軸=時間) |
| 4ページー (2) | クオリティ、ボイド率 (横軸=時間) |
| 4ページー (3) | クオリティ、ボイド率 (横軸=チャンネル加熱電力) |

This is a blank page.

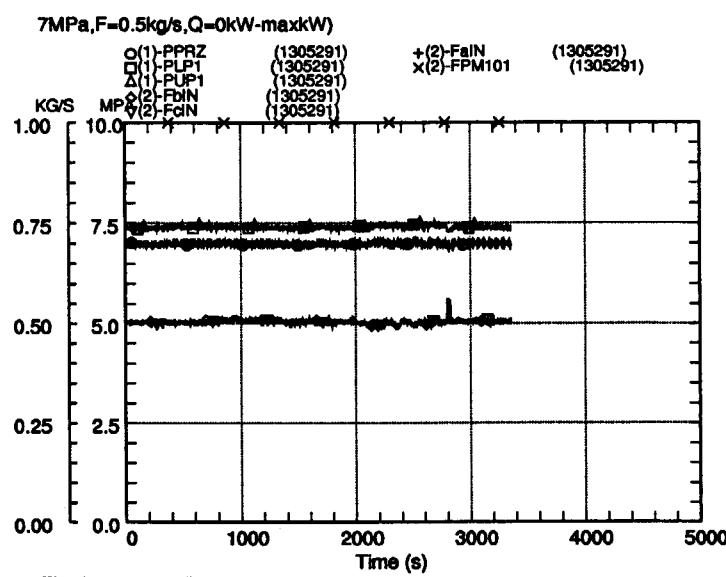


Fig. Pressure & flow rate

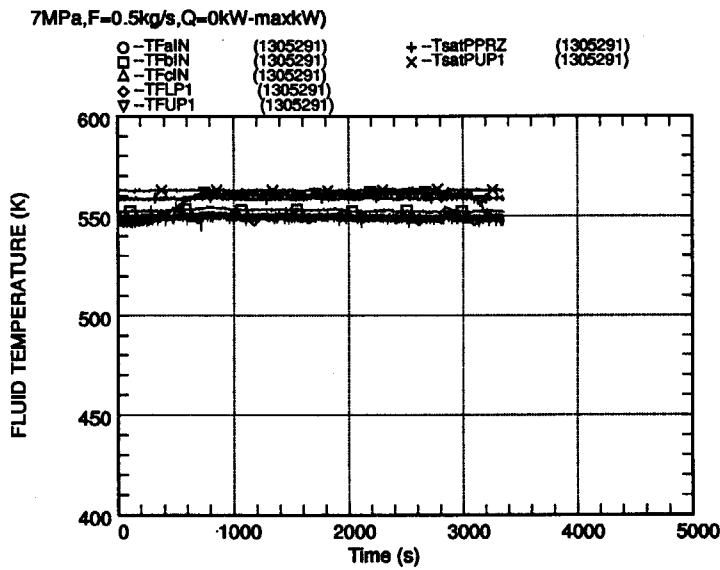


Fig. Tfluid

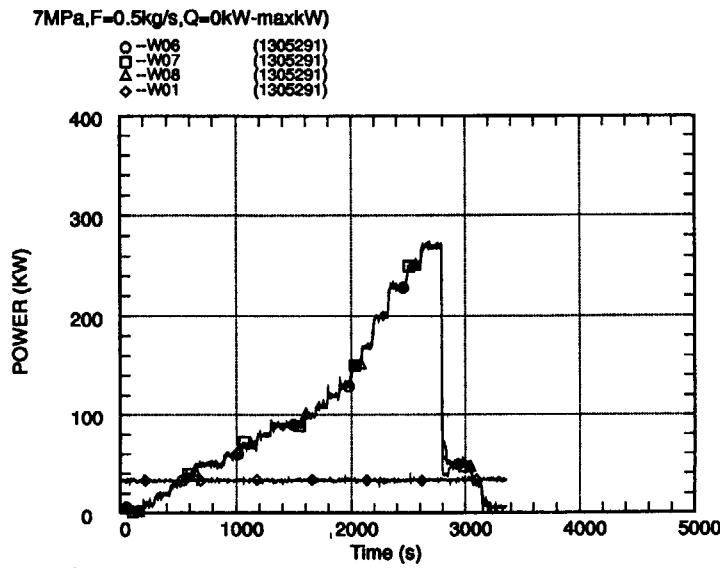


Fig. Power

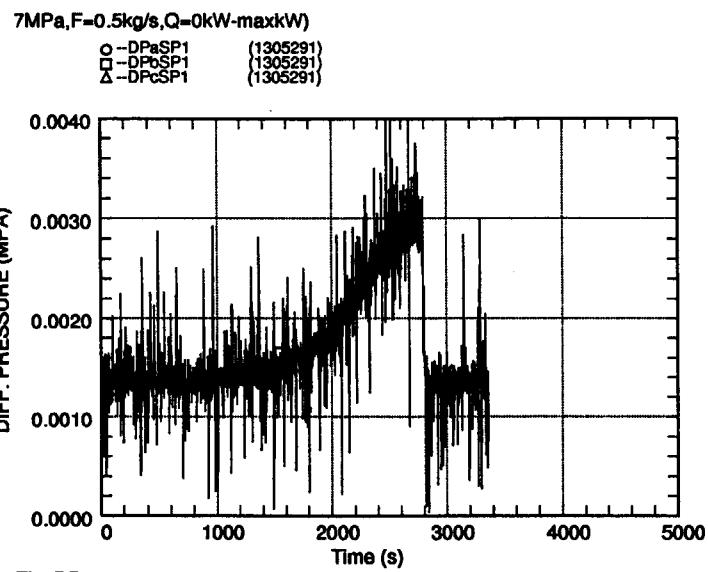


Fig. DP

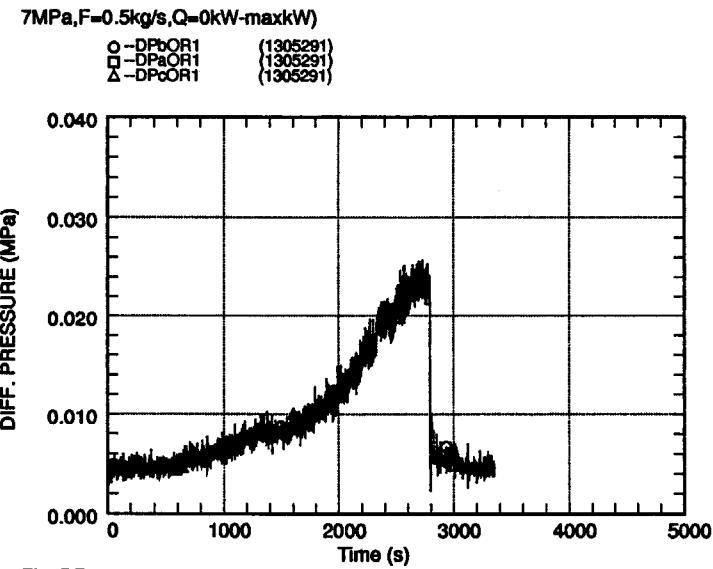


Fig. DP

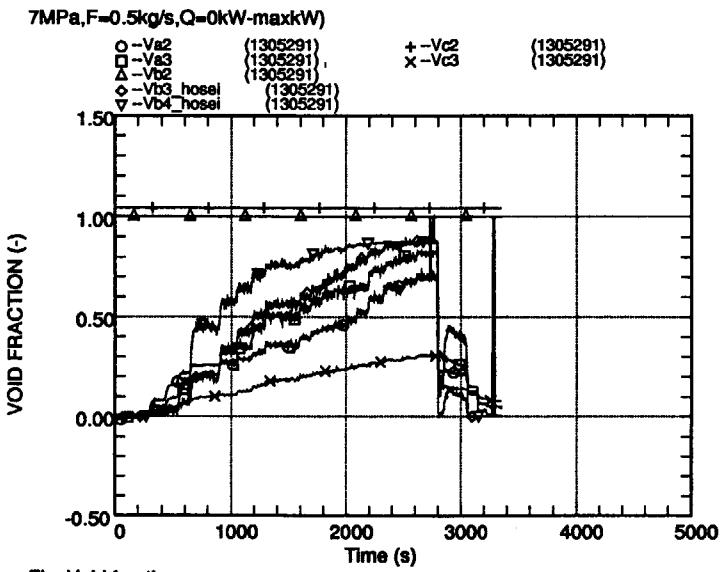


Fig. Void fraction

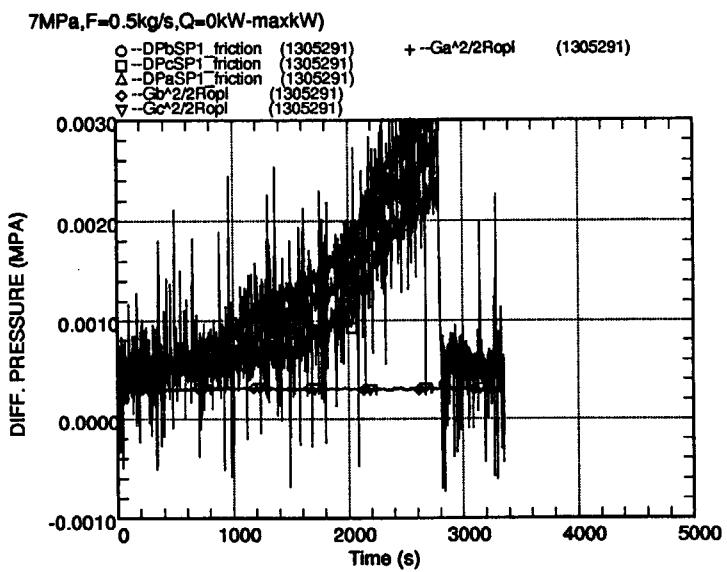


Fig. DP friction & Momentum flux

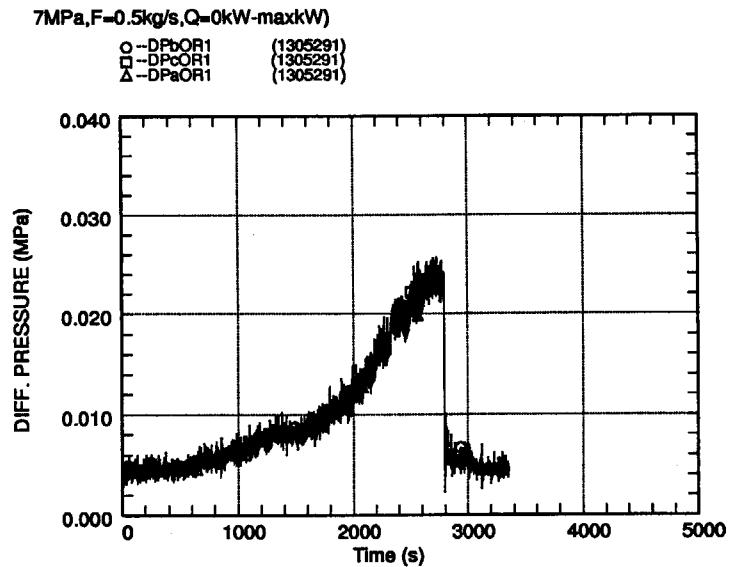


Fig. DP friction & Momentum flux

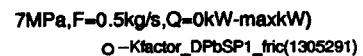


Fig. Kfactor_spacer

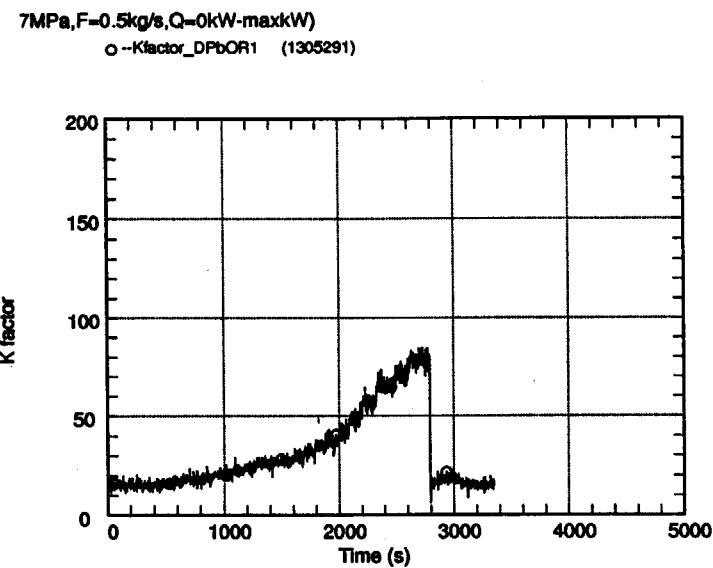
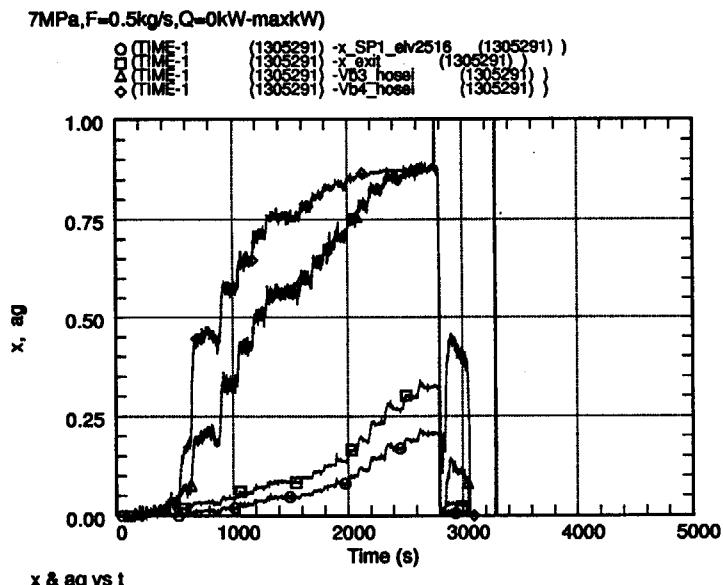


Fig. Kfactor_orifice



x & ag vs t

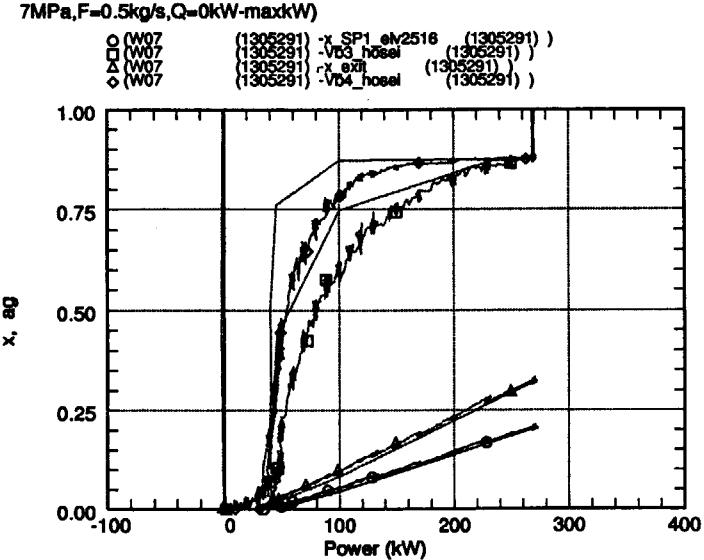


Fig. x & ag vs Q

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

| 量 | 名称 | 記号 |
|-------|--------|-----|
| 長さ | メートル | m |
| 質量 | キログラム | kg |
| 時間 | 秒 | s |
| 電流 | アンペア | A |
| 熱力学温度 | ケルビン | K |
| 物質量 | モル | mol |
| 光度 | カンデラ | cd |
| 平面角 | ラジアン | rad |
| 立体角 | ステラジアン | sr |

表3 固有の名称をもつSI組立単位

| 量 | 名称 | 記号 | 他のSI単位による表現 |
|-------------|--------|----------|------------------|
| 周波数 | ヘルツ | Hz | s^{-1} |
| 力 | ニュートン | N | $m \cdot kg/s^2$ |
| 圧力、応力 | パスカル | Pa | N/m^2 |
| エネルギー、仕事、熱量 | ジュール | J | $N \cdot m$ |
| 功率、放射束 | ワット | W | J/s |
| 電気量、電荷 | クーロン | C | $A \cdot s$ |
| 電位、電圧、起電力 | ボルト | V | W/A |
| 静電容量 | ファラード | F | C/V |
| 電気抵抗 | オーム | Ω | V/A |
| コンダクタンス | ジーメンス | S | A/V |
| 磁束 | ウェーバ | Wb | $V \cdot s$ |
| 磁束密度 | テスラ | T | Wb/m^2 |
| インダクタンス | ヘンリー | H | Wb/A |
| セルシウス温度 | セルシウス度 | °C | |
| 光束度 | ルーメン | lm | $cd \cdot sr$ |
| 照度 | ルクス | lx | lm/m^2 |
| 放射能 | ベクレル | Bq | s^{-1} |
| 吸収線量 | グレイ | Gy | J/kg |
| 線量等量 | シーベルト | Sv | J/kg |

表2 SIと併用される単位

| 名称 | 記号 |
|--------|-----------|
| 分、時、日 | min, h, d |
| 度、分、秒 | °, ', " |
| リットル | L, L |
| ト | t |
| 電子ボルト | eV |
| 原子質量単位 | u |

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

| 倍数 | 接頭語 | 記号 |
|------------|------|----|
| 10^{18} | エクサ | E |
| 10^{15} | ペタ | P |
| 10^{12} | テラ | T |
| 10^9 | ギガ | G |
| 10^6 | メガ | M |
| 10^3 | キロ | k |
| 10^2 | ヘクト | h |
| 10^1 | デカ | da |
| 10^{-1} | デシ | d |
| 10^{-2} | センチ | c |
| 10^{-3} | ミリ | m |
| 10^{-6} | マイクロ | μ |
| 10^{-9} | ナノ | n |
| 10^{-12} | ピコ | p |
| 10^{-15} | フェムト | f |
| 10^{-18} | アト | a |

(注)

- 表1~5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここでは省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- E C閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

表4 SIと共に暫定的に維持される単位

| 名称 | 記号 |
|----------|-----|
| オングストローム | Å |
| バーン | b |
| バール | bar |
| ガル | Gal |
| キュリ | Ci |
| レントゲン | R |
| ラド | rad |
| レム | rem |

$$1 \text{ Å} = 0.1 \text{ nm} = 10^{-10} \text{ m}$$

$$1 \text{ b} = 100 \text{ fm}^2 = 10^{-28} \text{ m}^2$$

$$1 \text{ bar} = 0.1 \text{ MPa} = 10^5 \text{ Pa}$$

$$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2 = 10^{-2} \text{ m/s}^2$$

$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq}$$

$$1 \text{ R} = 2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$$

$$1 \text{ rad} = 1 \text{ cGy} = 10^{-2} \text{ Gy}$$

$$1 \text{ rem} = 1 \text{ cSv} = 10^{-2} \text{ Sv}$$

換算表

| 圧 | MPa(=10bar) | kgf/cm ² | atm | mmHg(Torr) | lbf/in ² (psi) |
|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------------|
| 力 | 1 | 10.1972 | 9.86923 | 7.50062×10^3 | 145.038 |
| | 0.0980665 | 1 | 0.967841 | 735.559 | 14.2233 |
| | 0.101325 | 1.03323 | 1 | 760 | 14.6959 |
| | 1.33322×10^{-4} | 1.35951×10^{-3} | 1.31579×10^{-3} | 1 | 1.93368×10^{-2} |
| | 6.89476×10^{-3} | 7.03070×10^{-2} | 6.80460×10^{-2} | 51.7149 | 1 |

$$\text{粘度 } 1 \text{ Pa} \cdot \text{s} (\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2) = 10 \text{ P} (\text{ポアズ}) (\text{g}/(\text{cm} \cdot \text{s}))$$

$$\text{動粘度 } 1 \text{ m}^2/\text{s} = 10^4 \text{ St} (\text{ストーカス}) (\text{cm}^2/\text{s})$$

| エネルギー・仕事・熱量 | J(=10 ⁷ erg) | kgf·m | kW·h | cal(計量法) | Btu | ft·lbf | eV | 1 cal = 4.18605 J (計量法) | |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------|
| | | | | | | | | = 4.184 J (熱化学) | = 4.1855 J (15°C) |
| | 1 | 0.101972 | 2.77778×10^{-7} | 0.238889 | 9.47813×10^{-4} | 0.737562 | 6.24150×10^{18} | | |
| | 9.80665 | 1 | 2.72407×10^{-6} | 2.34270 | 9.29487×10^{-3} | 7.23301 | 6.12082×10^{19} | | |
| | 3.6×10^6 | 3.67098×10^5 | 1 | 8.59999×10^5 | 3412.13 | 2.65522×10^6 | 2.24694×10^{25} | | |
| | 4.18605 | 0.426858 | 1.16279×10^{-6} | 1 | 3.96759×10^{-3} | 3.08747 | 2.61272×10^{19} | | |
| | 1055.06 | 107.586 | 2.93072×10^{-4} | 252.042 | 1 | 778.172 | 6.58515×10^{21} | | |
| | 1.35582 | 0.138255 | 3.76616×10^{-7} | 0.323890 | 1.28506×10^{-3} | 1 | 8.46233×10^{18} | | |
| | 1.60218×10^{-19} | 1.63377×10^{-20} | 4.45050×10^{-26} | 3.82743×10^{-20} | 1.51857×10^{-22} | 1.18171×10^{-19} | 1 | | |

| 放射能 | Bq | Ci | 吸収線量 | Gy | rad |
|-----|----------------------|---------------------------|------|------|-----|
| | | | | | |
| | 1 | 2.70270×10^{-11} | | 100 | 1 |
| | 3.7×10^{10} | 1 | | 0.01 | 1 |

| 照射線量 | C/kg | R | 1 |
|------|-----------------------|------|---|
| | | | |
| | 1 | 3876 | 1 |
| | 2.58×10^{-4} | 1 | |

| 線量当量 | Sv | rem | 1 |
|------|------|-----|---|
| | | | |
| | 1 | 100 | |
| | 0.01 | 1 | |

(86年12月26日現在)

BWR核熱不安定検査試験装置THYNCの試験部オリフィス及びスペーサの流動抵抗



古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています