

## 論文の内容の要旨

論文題目 Fluctuation Characteristics of Gas-Liquid Two-Phase Flow Splitting at a Vertical T-Junction  
(垂直 T 字型分岐管における気液二相流の脈動特性)

氏名 汪 双鳳

### はじめに

T字型分岐管は原子力発電所や熱機関の冷却系機器，ランキンサイクルを利用した蒸気機関や冷凍サイクル，石油パイプラインや各種化学プラントの配管などに工業的に広く使われている．また，近年では蒸気圧縮式冷凍機の効率の向上やコンパクト化の手段として熱交換器の細管化や，電子機器の冷却，冷凍機，微小機械等に関係して，マイクロチューブ内の流動や伝熱なども研究されるようになってきた．しかし，従来の研究は平均値を考えているのが多く，偏流現象と圧力損失に集中している．また，水平な母管から同じく水平な枝管に分岐する T 字分岐管を用いている研究が多い．そこで本研究は，時間を考え，垂直な母管から水平な枝管に分岐する T 字分岐管を配置し，垂直な T 字分岐管における気液二相流の脈動特性とその要因を解明することを目的とした．

解析方法は古典統計量 RMS(root mean square)で脈動の強さを示す．FFT で計算した PSD で脈動の周波数を表す．また，非線形カオス力学手法でシステムの複雑性を解明する．

### 実験装置及び実験方法

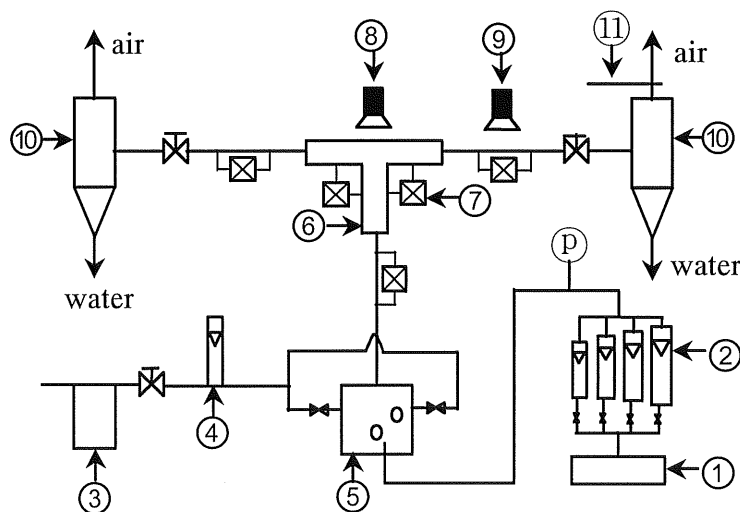


Fig. 1 schematic diagram of experimental apparatus

①Compressor②Air flowmeters③Filter④Water flowmeter⑤ Mixingroom⑥ T-junction⑦  
Differential pressure sensor⑧ High speed video⑨CCD ⑩Separator⑪ Hot wire anemometer

実験装置の概略図を Fig.1 に示す. 作動流体として空気および水を用いた. テストセクションは, アクリル板に T 型に内径 15mm の穴をあけたもので, これと気液混合部とは内径 15mm, 高さ 1.5m のアクリル管により接続されている. 二相流は T 型管で二つの枝管に分けられ, 一方の枝管で流量の行った. 分岐出口に設けたバルブの開度を調節することによって各枝管での流量配分を変えた. 空気流量は熱線流速計で, 水の流量は天びんで量った. 差圧計は母管分岐部や枝管で差圧の時系列を得た. また分岐部及び直管部での流動状態を観察するために, 高速ビデオカメラによる撮影を行った.

## 実験結果及び考察

### 1. 不安定脈動現象が起こる要因と起こる流量範囲

水平の枝管から垂直の母管に逆流はしているかどうかによって, 脈動現象は四つに分けられている (Table. 1). タイプ II とタイプ III は不安定なので, 注目する.

Table. 1 Classification of the fluctuation

	Type I	Type II	Type III	Type IV
Flow reversal	No	Yes	yes	No
Period	no	Yes	obscure	no
Amplitude	small	Largest	larger	large
Flow pattern in inlet tube	bubbly	Bubbly-slug, slug	Churn, annular	Annular, mist

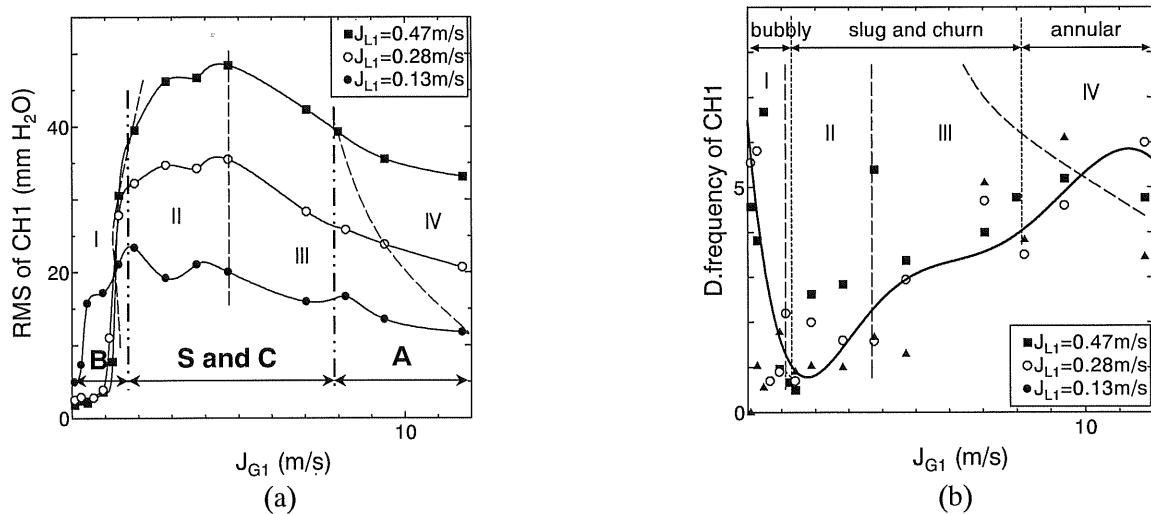


Fig. 2 Fluctuation characteristics: (a) intensity, (b) frequency (“---” fluctuation transition zone; “----” flow pattern transition zone; CH1: differential pressure at dividing area)

Table1 に示しているように, 不安定な脈動をし始めるのは入り口の流動様式は気泡流からスラグへの遷移領域である. 終わるのは環状流である. 気液二相流 T 字型管で分岐されるとき, 空気は膨張するとともに, 慣性力の違いにより枝管に入りやすい. 水は速度を半分

に落としたとき、重力で逆流する。この逆流と母管中の二相流の圧縮性交相互作用で脈動を維持する。逆流が起こる流量範囲は Fig. 3 で示す(影を掛けた領域)。Mishima-ishi の流動様式線図にプロットした結果と観察した結果に少しずれがあるのは T 型と垂直管の違いと考えられる。

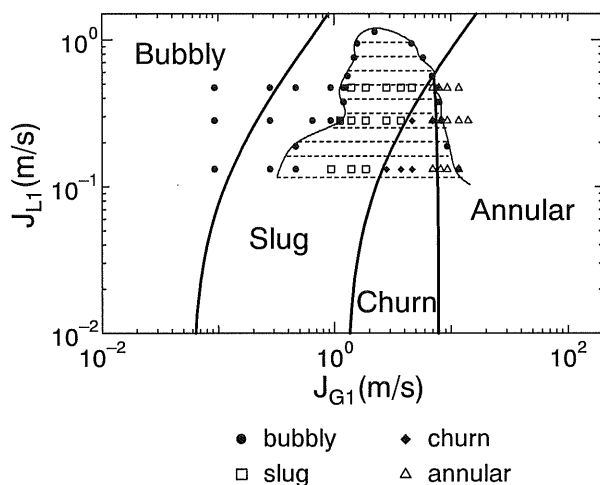


Fig. 3 Flow rate range for reversal flow occurring plotted in Mishima-ishi map

## 2. 圧力損失

実験結果から分岐部の圧力損失は線形ではないことがわかった (Fig. 4)。非線形カオス力学手法によって、差圧時系列のアトラクター、相関次元、パワースペクトル、リアプノフ指数などを計算し、差圧変動特性にどのような非線形性が内在しているか、複雑性の程度が如何ほどかを明らかにした。Fig. 5 に示しているように、複雑性のランクは：入り口の流動様式は環状流の場合一番高い、次は気泡流、その次はチャーン流である。この結論は現象のモデル化の参考資料とられる。

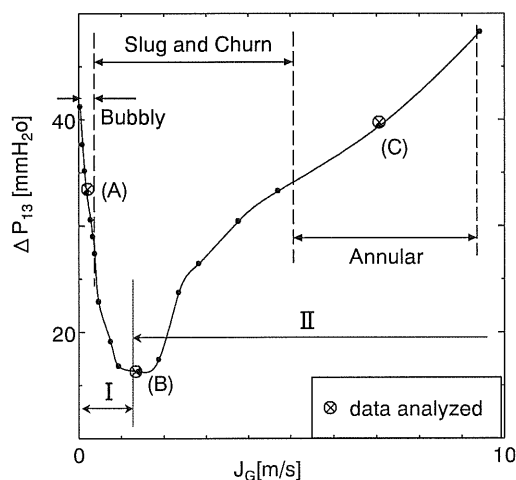


Fig. 4 Characteristic of the pressure drop ( $J_{L1}=0.13\text{m/s}$ ; (A)~(C): data analyzed)

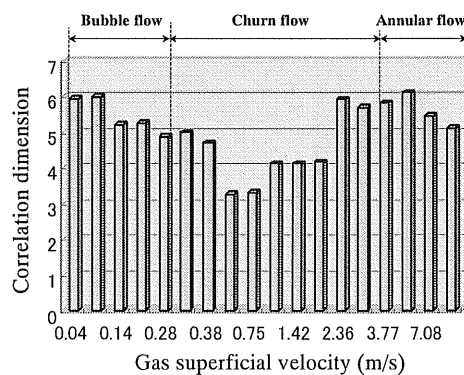
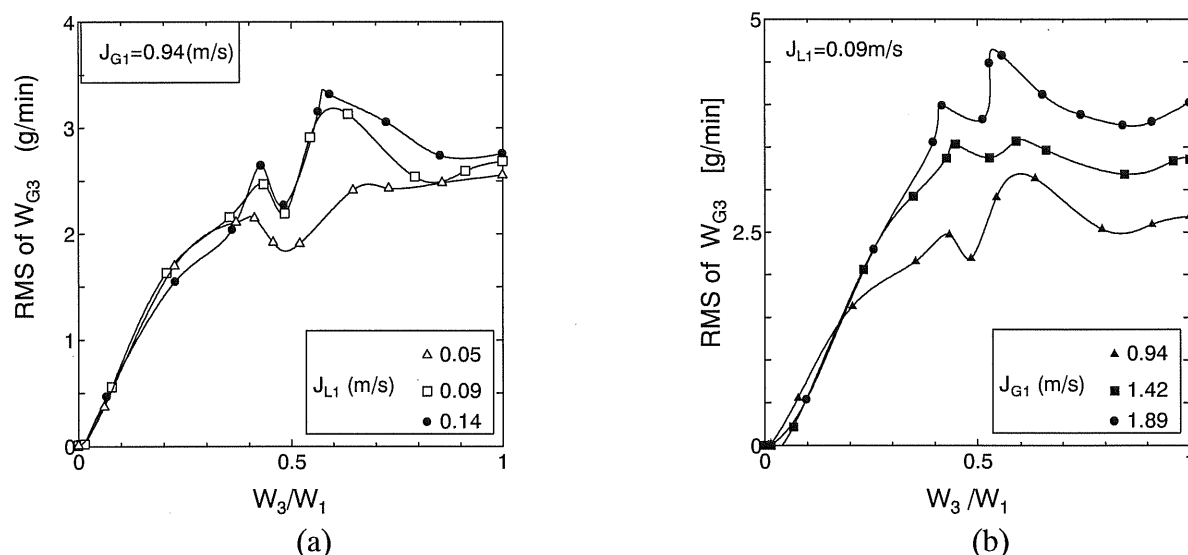


Fig. 5 Correlation dimensions with inlet gas superficial velocity

### 3. 抽出比(枝管と母管の流量比 $W_3/W_1$ )と脈動の関係

T字管の最も重要な役割は流体を母管から枝管へ配ることである。その流量分配比は如何に脈動の強さと周波数に影響を及ぼしているか？入り口の流動様式を変えて、気泡流から環状流まで実験で調べた。Fig. 6 に示すのは、入り口がチャーン流の場合の、枝管の脈動強さと抽出比の関係である。(a)は空気流量固定、水の流量を変えた結果、(b)は水の流量を固定、空気流量を変えた結果である。普通は、流量増えると、脈動は強くなると考えられる。しかし、T字管で二相流が分岐される場合は、相分離と流動様式が脈動に影響を与える。相分離特性の実験結果によると、抽出比 0.5 の場合は相分離起こらない、だから、curve は 0.5 のとき、深い谷が出ている、その谷を除いて、curve が単純に上昇していない要因は枝管の中での流動様式の影響である。



**Fig. 6** RMS of  $W_{G3}$  versus at  $W_3/W_1$  for inlet churn flow: (a) superficial gas velocity kept constant; (b) superficial liquid velocity kept constant

### 4. 相分離特性

相分離とは、分岐前後の二相流の quality が一致しないことである。Fig.7(a)の中の、 $X_1=X_3$  は均等な分配ラインである。(a)と(b)は交互に換算できる。Fig.7(a)に見られるように、 $W_3/W_1=0.5$  の時のみ均等分配される。入り口が環状流の場合は、運動量の低い液膜はガスより先に曲がって、測定側(3側)に出る。チャーン流も同じ傾向が認められた。唯気泡流は相分離できなかった。

環状流について、実験データから半経験式を求めた：

$$F_{BL} = 0.5 + a(F_{BG} - 0.5)(F_{BG})^b \quad F_{BG} \leq 0.5$$

$$F_{BL} = 0.5 + a(F_{BG} - 0.5)(1 - F_{BG})^b \quad 0.5 \leq F_{BG} \leq 1$$

$a=0.1336$ 、 $b=-0.3092$ .

この式で予測した結果と実験結果はよく一致している(Fig.7(b)).

### 5. 相分離と脈動の関係

Fig.8 に示しているように、脈動曲線と相分配曲線とはよく似ている。これから、相分離は脈動に強い影響を及ぼしていることがわかった。一番注目されるのは、二つの曲線が同時に最大値となることである。つまり、同じ流量抽出比で、各自の最大値となる。それで、従来の相分配研究結果から、一番強い脈動が起こる流量比が得られる。アプリケーションにおいてはこの流量比が推しよめる。

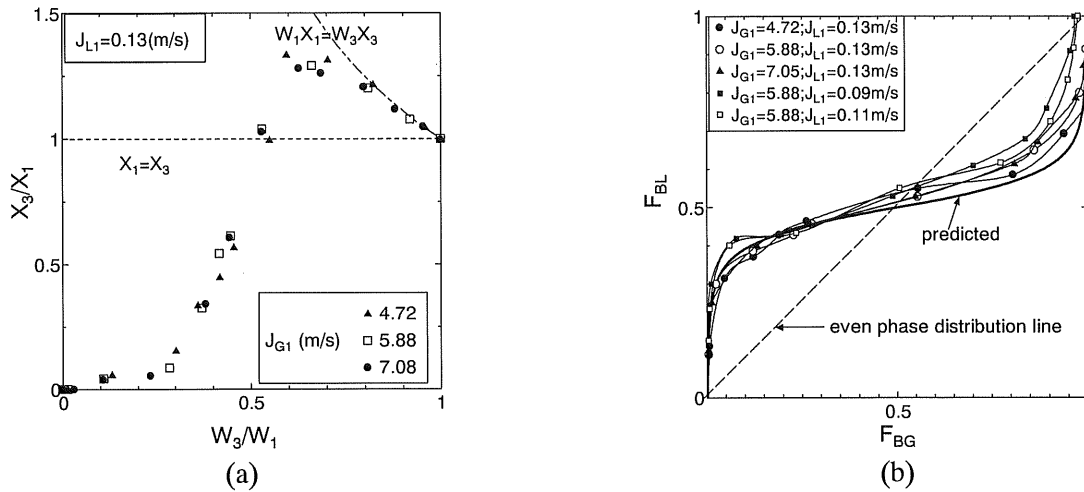


Fig.7 Characteristics of phase separation for inlet annular flow

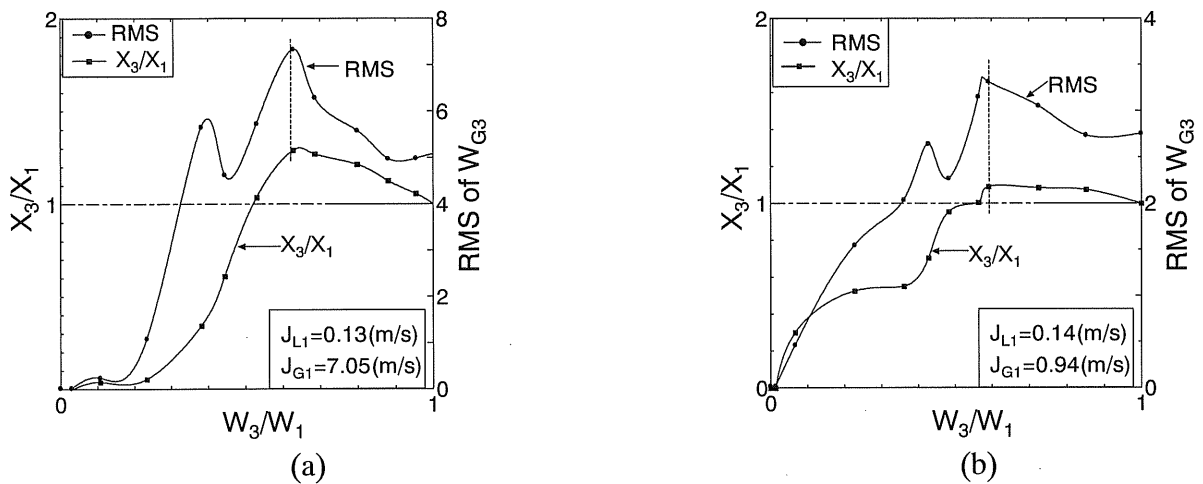


Fig.8 Effect of phase separation on fluctuation: (a) inlet annular flow; (b) inlet churn flow

## 結論

(1)各流動様式による脈動の特徴を明らかにした。更に、不安定な脈動現象について起こる要因、起こる流量範囲を明らかにした。気液二相流はT字型管で分岐されるとき、空気流量が膨張するとともに、慣性の違い水より枝管に入りやすい。水は速度を落とすとともに、重力で逆流する。この逆流と母管の中の二相流圧縮性交相互作用で脈動を維持する。

(2) システムのカオス的挙動，現象の複雑さを解明した．複雑性のランクは母管の流動様式は環状流のとき一番高く，次に気泡流，その次がチャーン流である．

(3) 流量比と脈動の関係を明らかにした．流量比が増えても，脈動強さは単純に上昇しない．流動様式と相偏離の影響も脈動に効く．

(4) 相分離特性：上流が環状流とチャーンの場合は，運動量が低い液膜はガスより先に曲がる．気泡流の場合は，相分離は出来なかった．

(5) 相偏離と脈動の関係：偏流が強いとき，脈動も強い．同じ流量比で，両者は最大値を取る．従来の相分配モデルによって，その流量比が求まる．これを応用すれば最大脈動を避けることができる．