

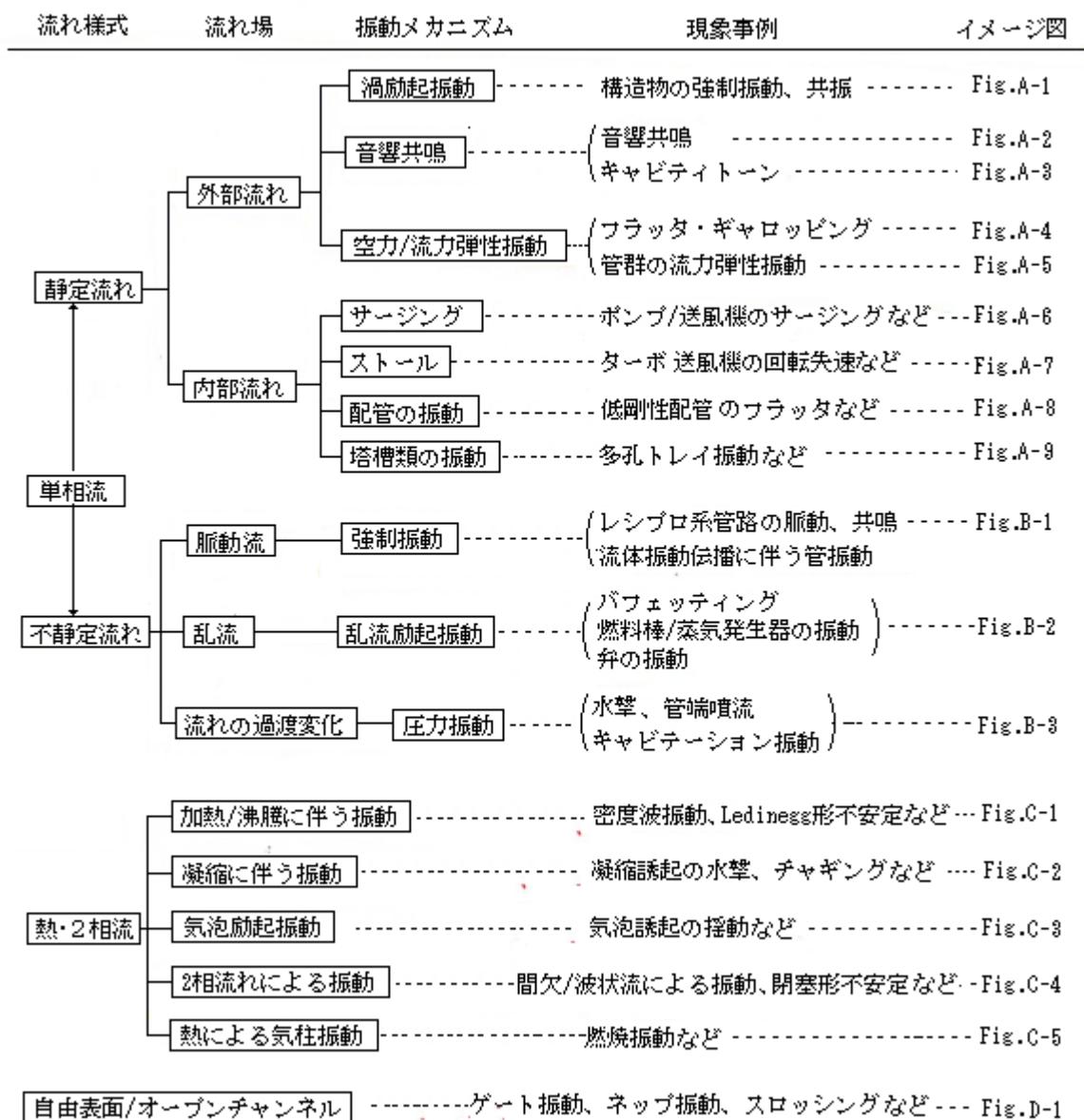
【整番】 FE-19-TG-005	【標題】 流体振動のパターンとそのイメージ
分類：流れ(流体振動)／種別：技術手引き	作成年月：H20.3／改訂：Ver0.0 (H20.3) 作成者：N.Miyamoto

全 13 枚

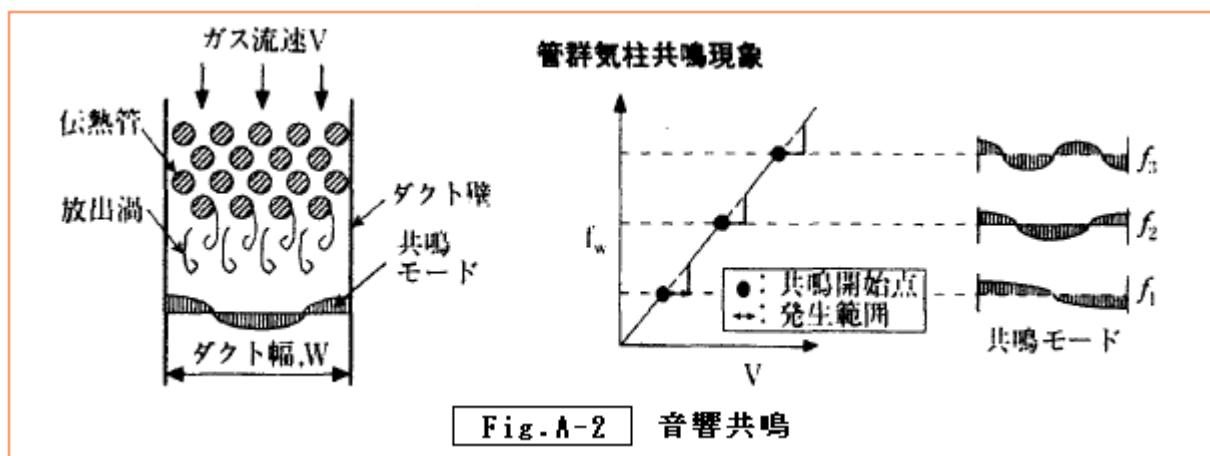
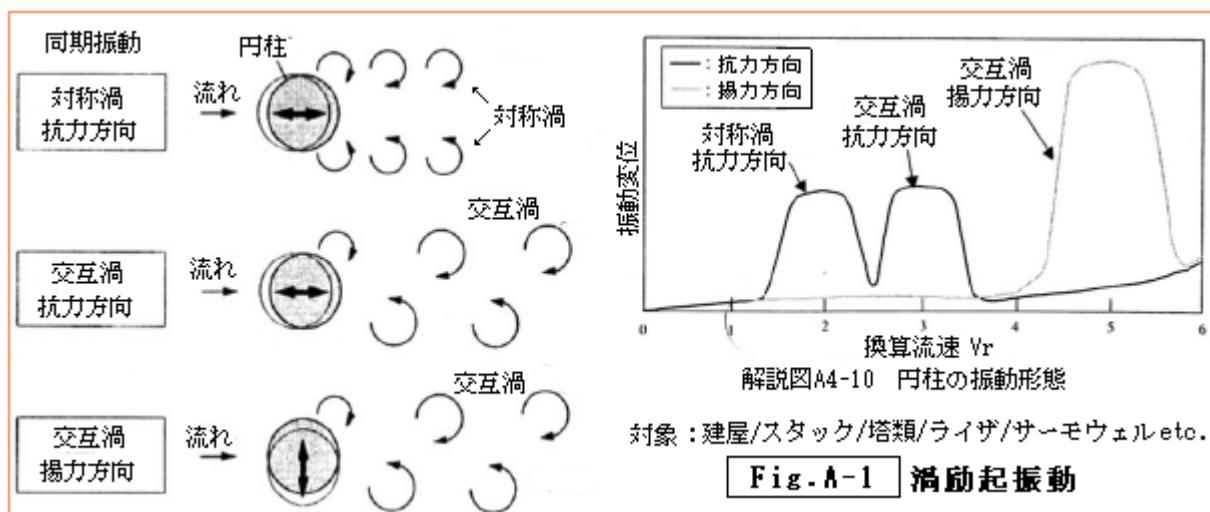
流体振動は多様多種であって、これを合理的に分類することは相当に難しい。ここでは、その発生のパターン(流れ・構造物・振動メカ)によってその分類を行い、パターン毎にその振動の様態をまとめてみた。流体振動問題の総覧(あるいは早見)として利用できると思う。

\*\*\*\*\*

### 流体振動のパターン分類

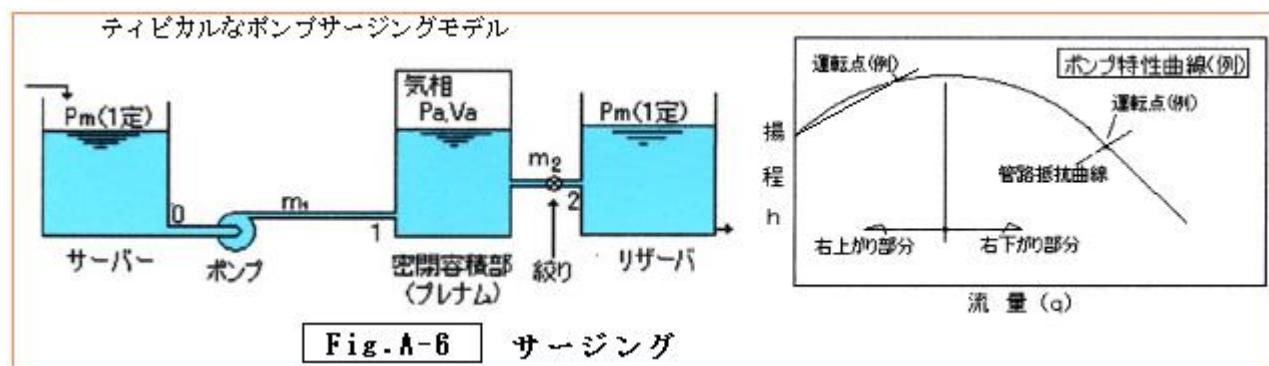
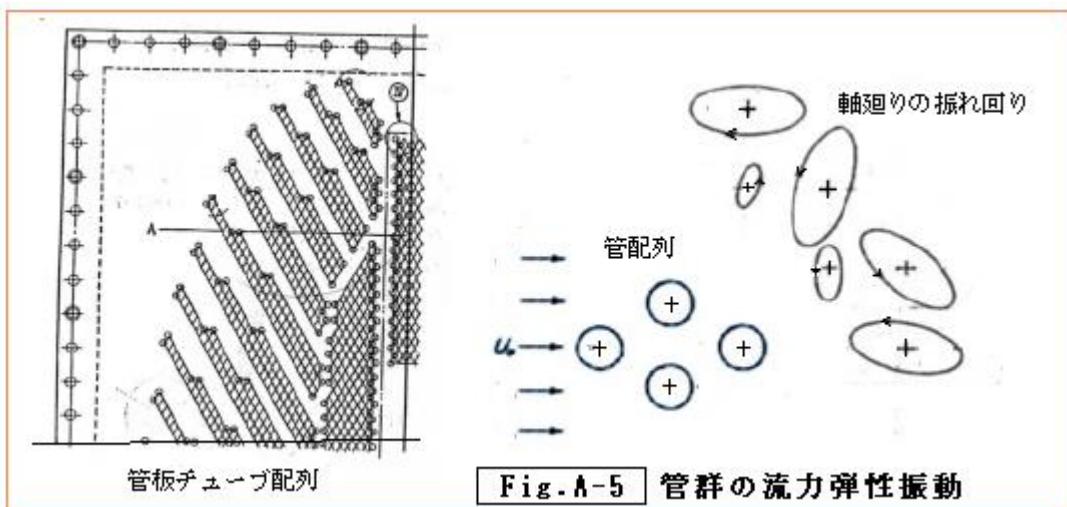
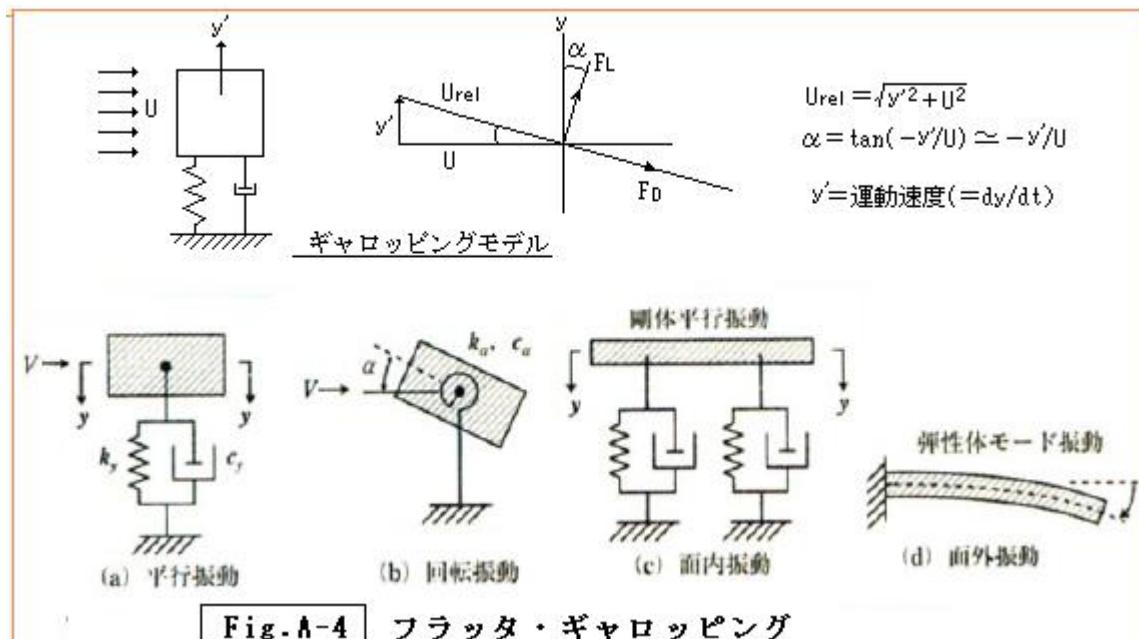


以上の分類は、文献(1)を多少補足したもの。分類に関する他の提案を添付 A,B に示す。添付 B は上記の分類に類似している。2相流の詳しい分類については添付 C を参照のこと。



	基本キャビティ	基本キャビティの亜種		
流体振動	単純キャビティ	軸対称外周キャビティ	キャビティ多孔板	ペローズ
		軸対称内周キャビティ	リップつきゲート	
流体共鳴	浅いキャビティ	すきまつきキャビティ	拡大部つきキャビティ	ヘルムホルツ共振器
	深いキャビティ	ポートつき壁面噴流	サイドプランチ	円形キャビティ
流力弹性	壁面振動キャビティ	振動ゲート	振動ペローズ	振動フラップ

Fig. A-3 キャビティトーンを誘起する種々の様式



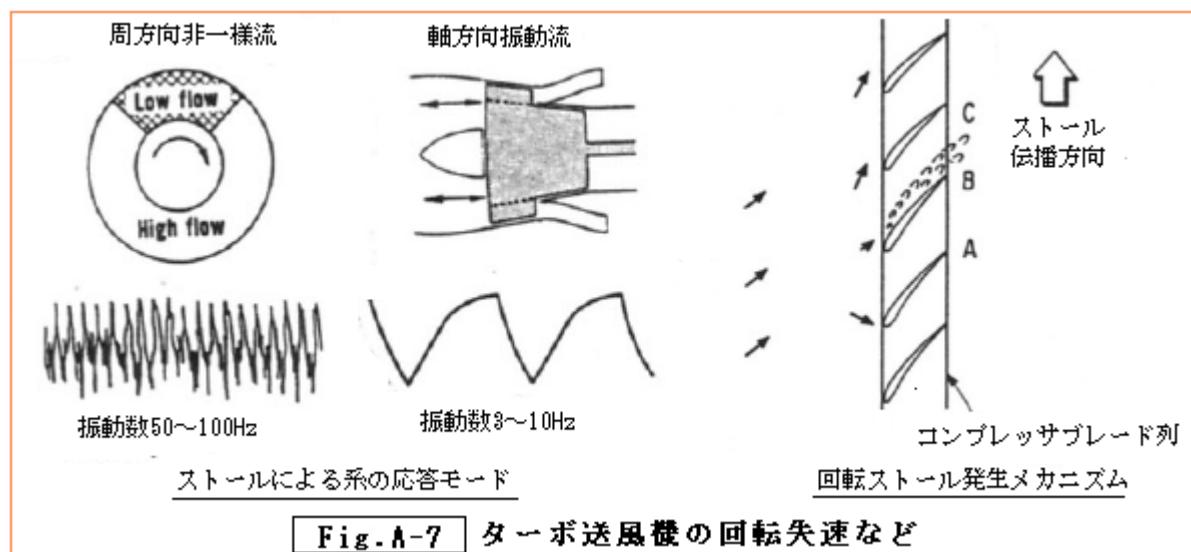


Fig. A-7 ターボ送風機の回転失速など

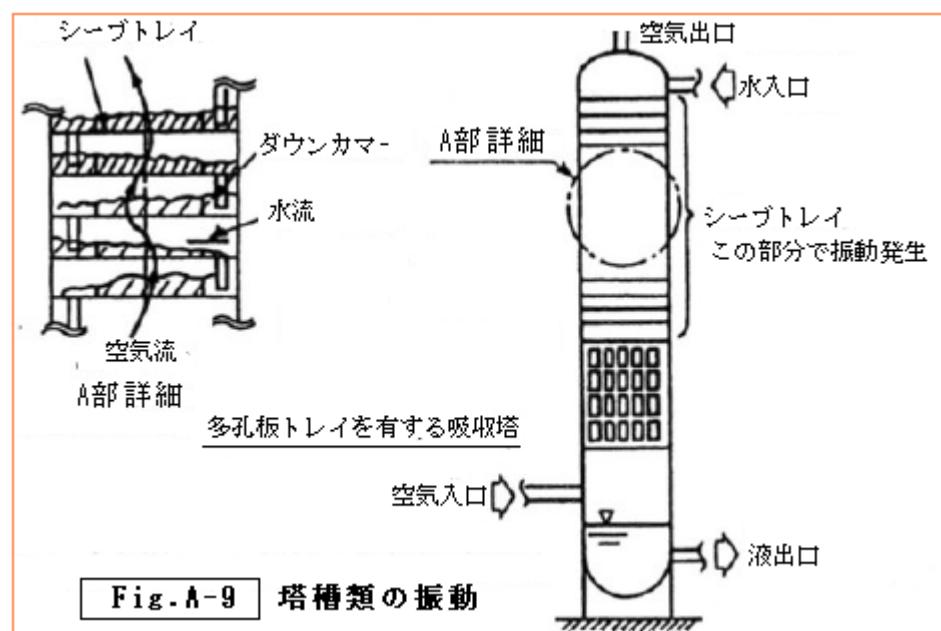
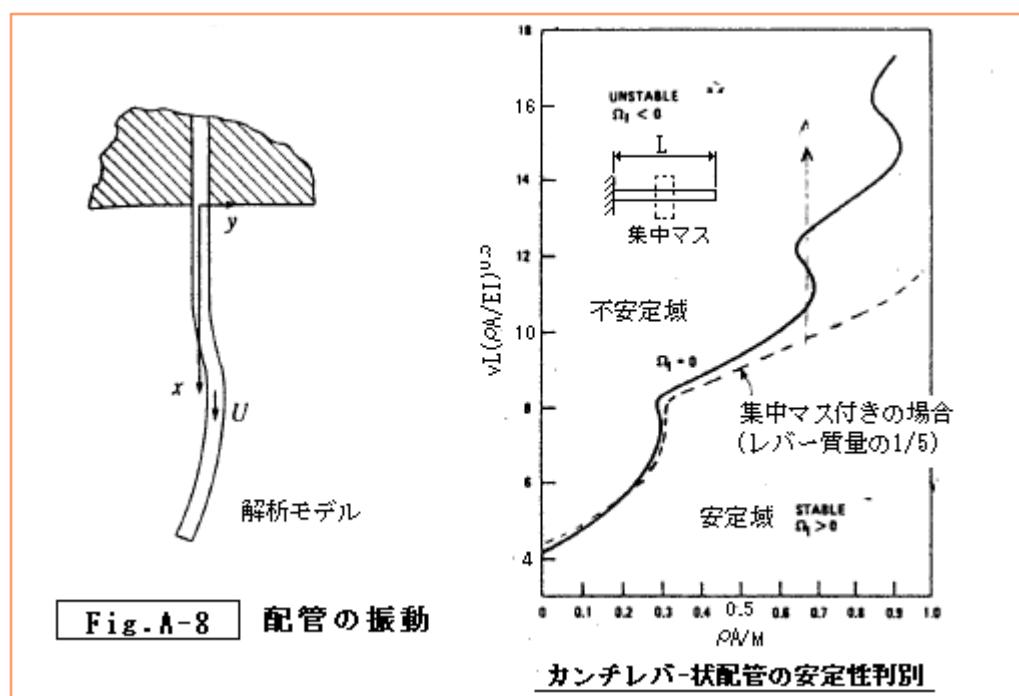
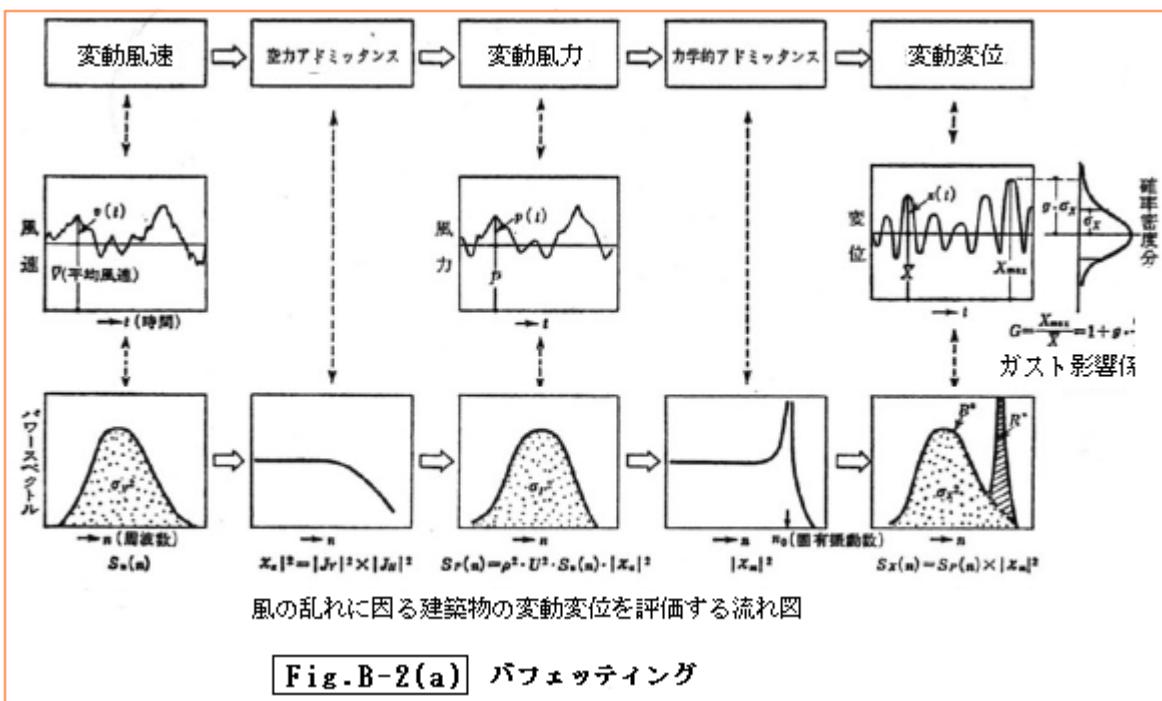
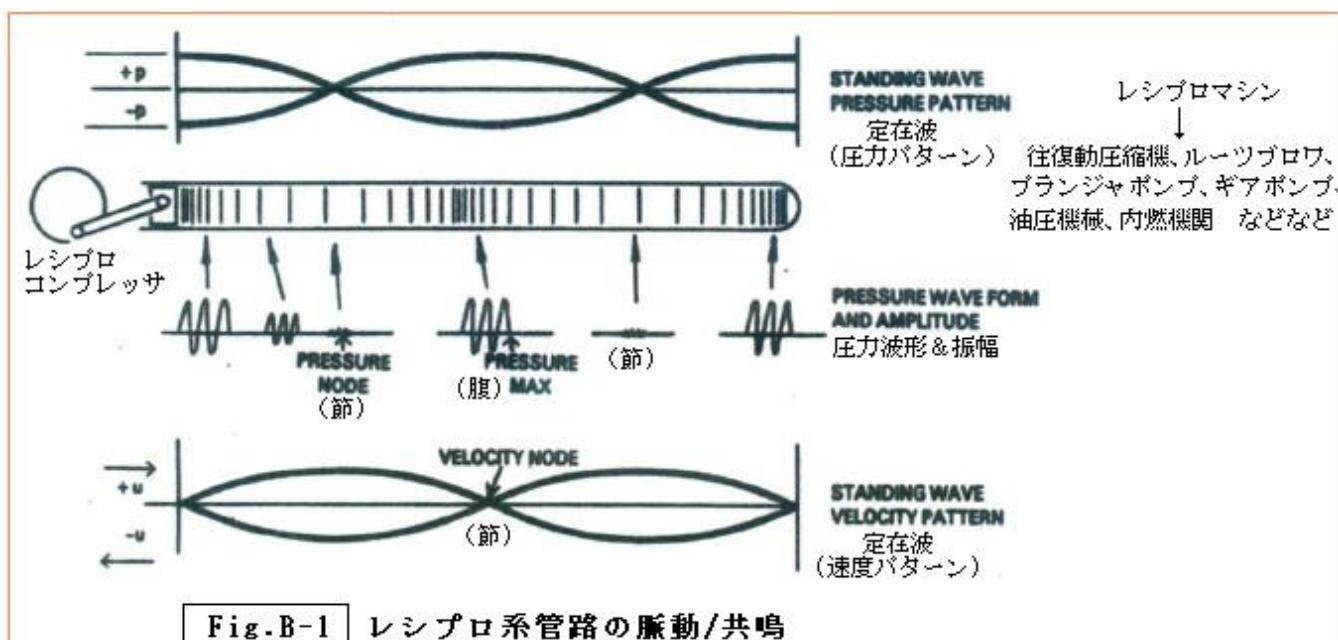


Fig. A-9 塔槽類の振動



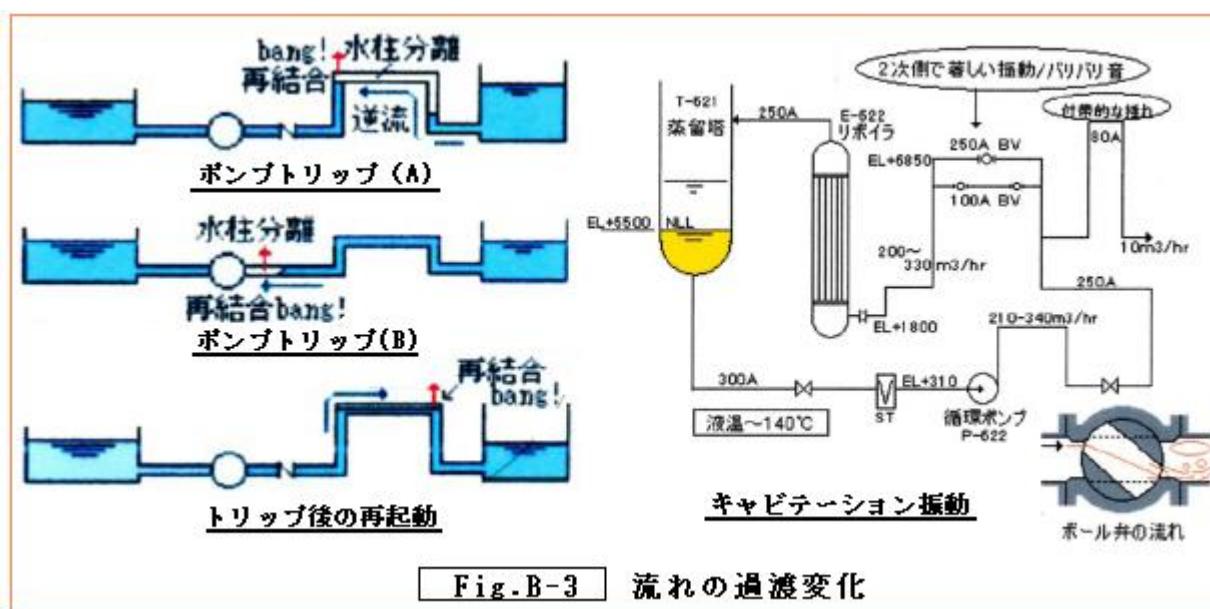
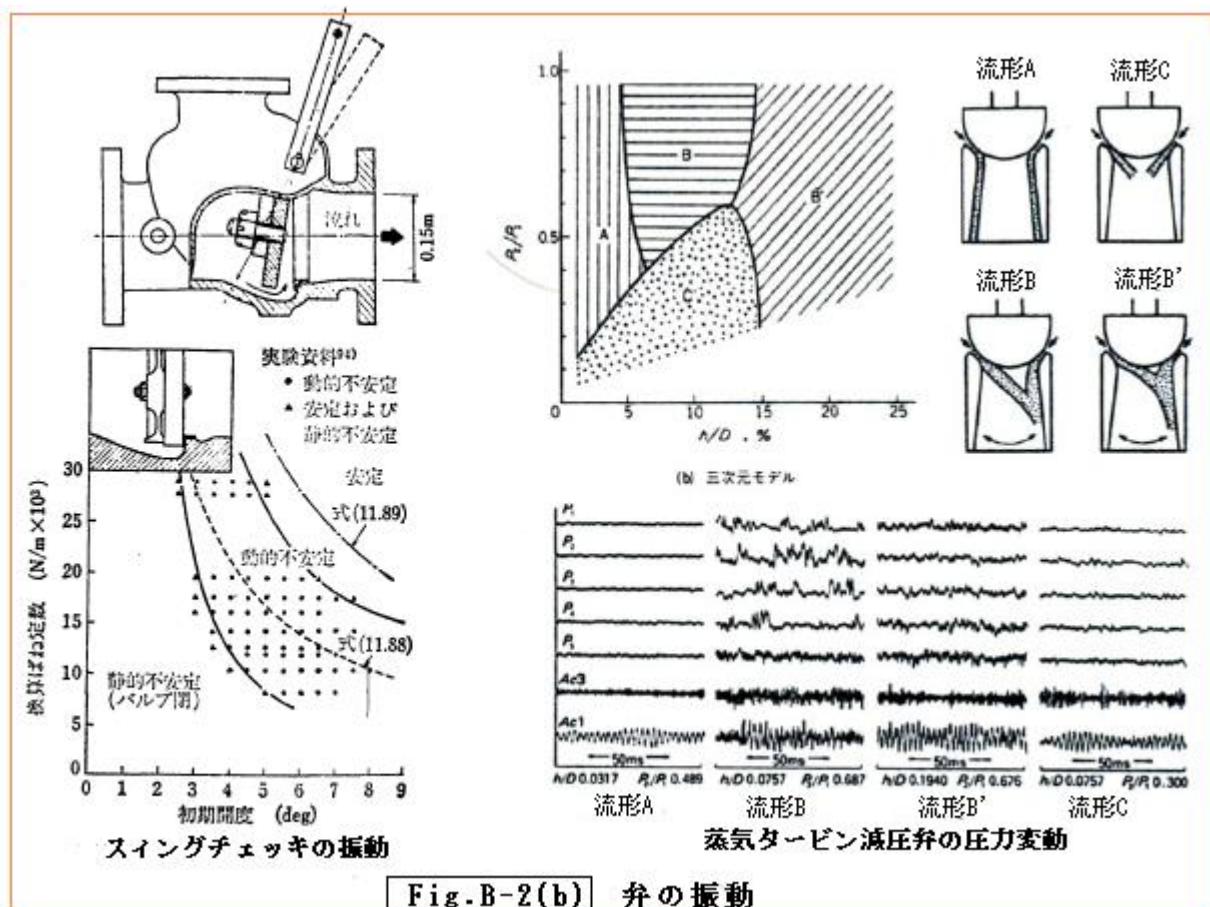


Fig.C-1 加熱/沸騰に伴う振動

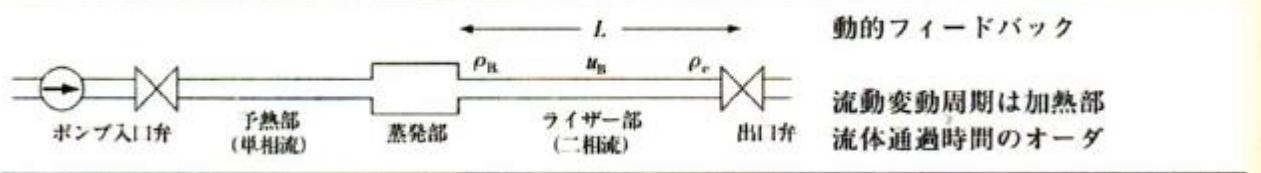
## ① 圧力損失-流量の静特性に起因する不安定流動

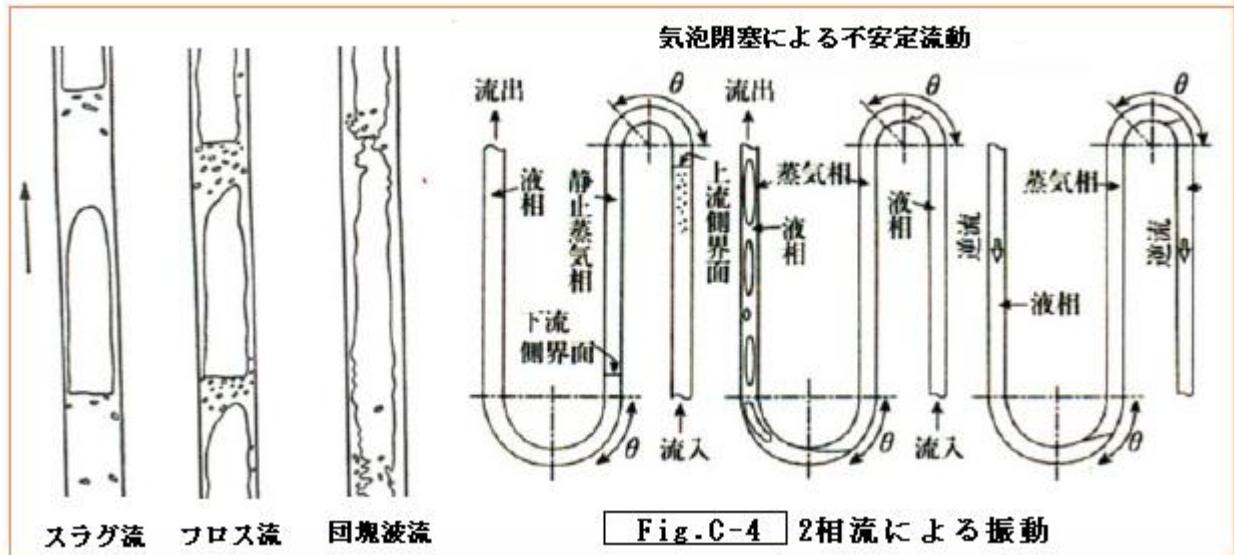
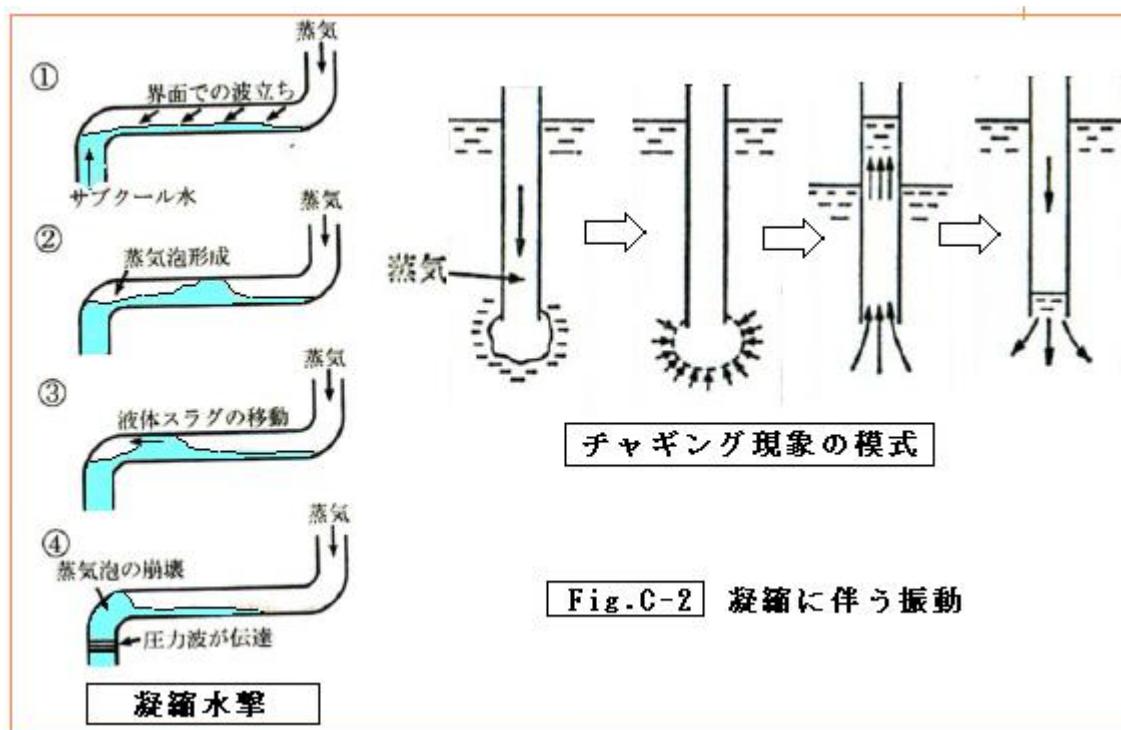
流量逸走形不安定	流量分配差異	圧力降下形不安定
<p>圧力損失のN字特性（負性抵抗特性）とポンプ特性に基づく</p>	<p>热水力条件の不均一 圧力損失のN字特性</p>	<p>圧縮性容量と圧力損失のN字特性の存在 弛緩振動および擬調和振動</p>

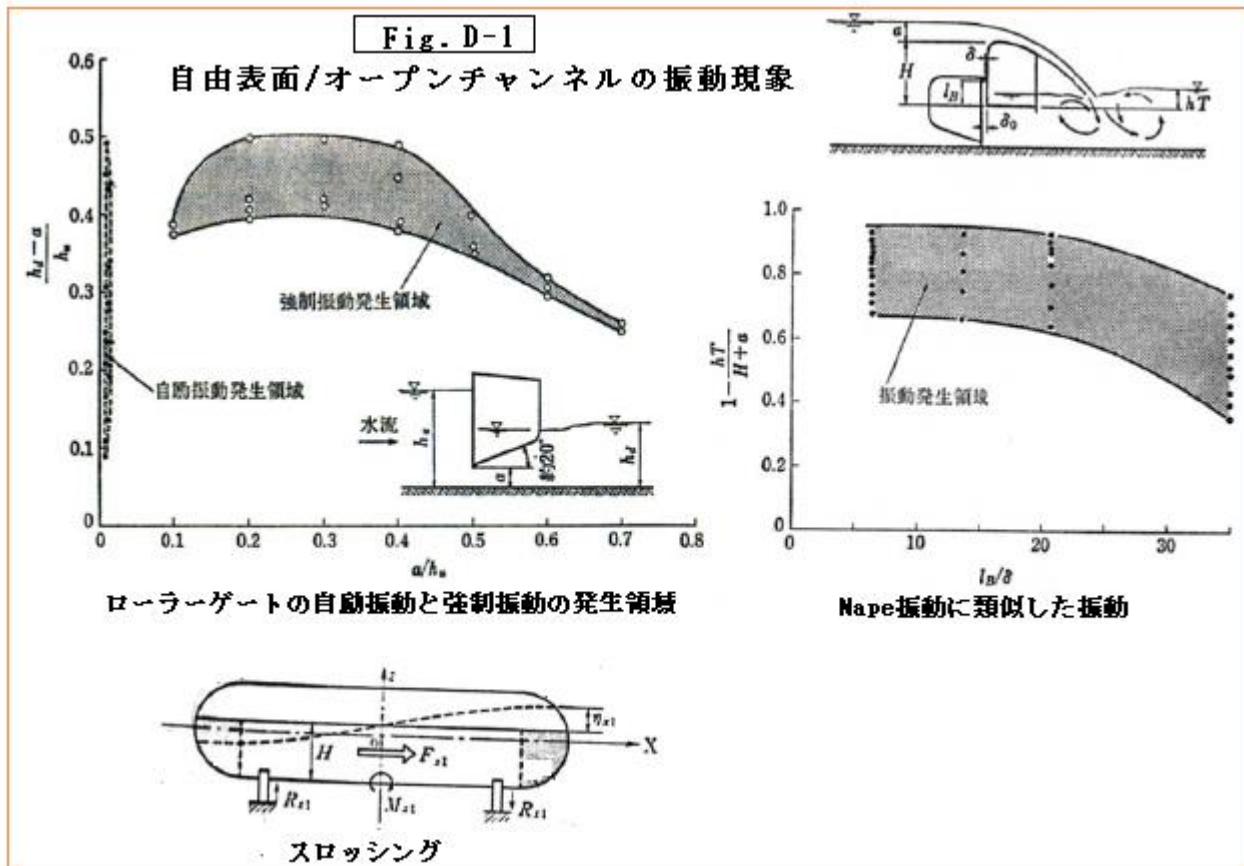
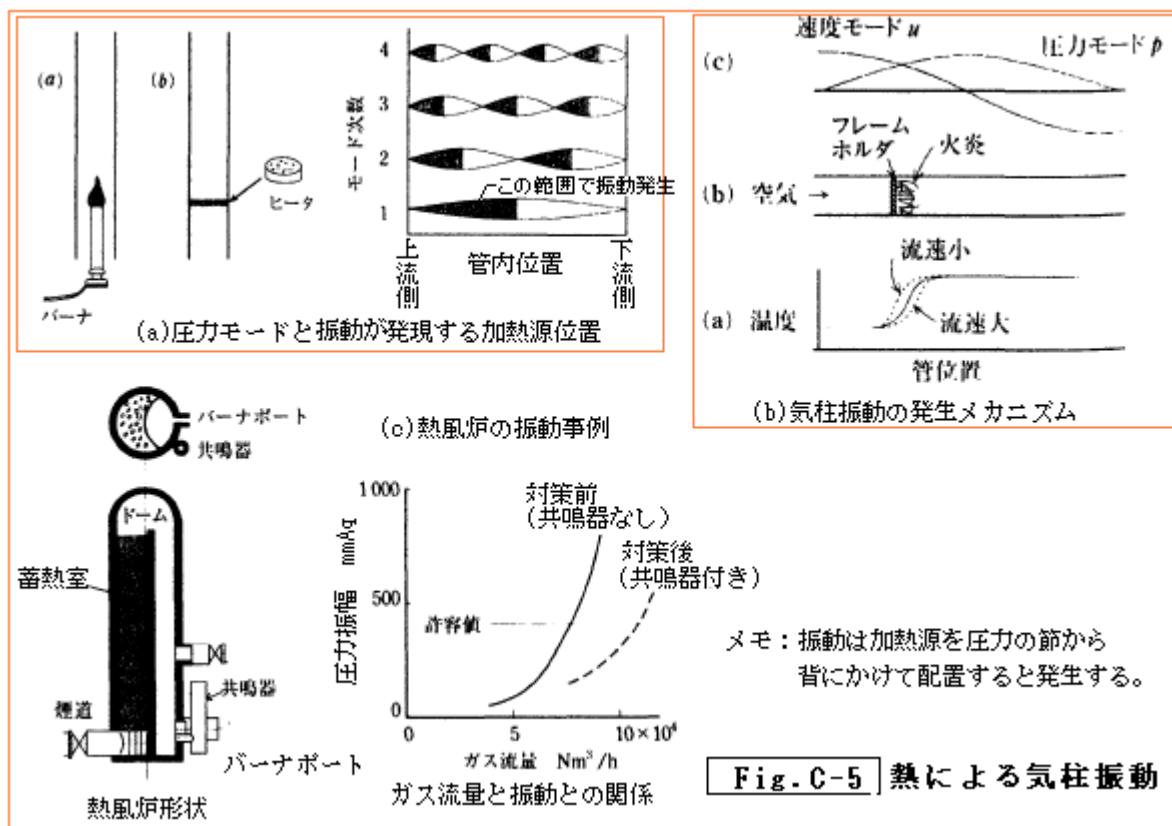
## ② 伝熱形態の遷移に起因する不安定流動

ガイゼリング	膜沸騰の遷移に起因する不安定流動
<p>液体の過熱と突沸により間欠的な気液の噴出と液体の逆流を繰り返す</p>	<p>Inverted Annular Flowの形成</p> <p>伝熱壁—過熱蒸気 コア部—サブクール液体</p> <p>クエンチ点 入口流速 0.17m/s 0.57m/s 1.43m/s</p>

## ④ 密度波形不安定流動







## 添付A “流体関連振動” 田島（「油圧と空気圧」Vol.12 No.6）抜粋

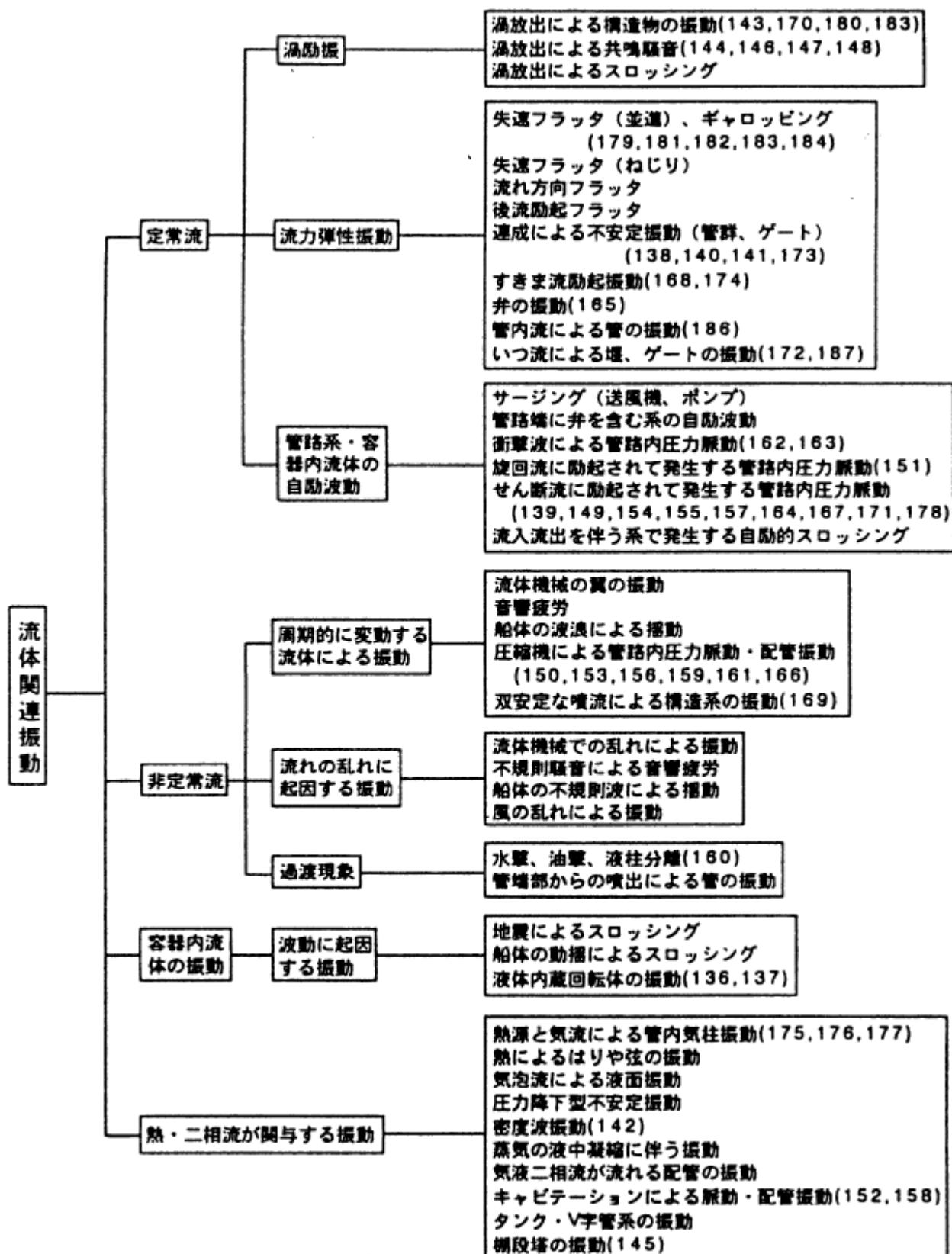
表1 振動源と振動系の例

振動源	振動系	例
流 体 系	流 体 系	<p>(1)流れの負抵抗特性による場合 送風機・圧縮機のサーチング、右下り弁特性による振動、沸騰チャンネルの水力学的不安定</p> <p>(2)うず流出による場合 ボイラのかま鳴り、羽根流からの流出うずによる音の発生</p> <p>(3)波動・流れ場の不安定による場合 エッジトーン、キャビティーノイズ、ホールトーン、厚板などの二重エッジによる自動音、ジェット・スクリーナ、Hartmann-Sprenger チューブ、衝撃波の不安定振動、ディフューザ内の圧力振動</p> <p>(4)複数の安定流动状態をもつ系の場合 流体素子のジェットの切換振動、遷移レイノルズ数範囲の管内圧力振動</p> <p>(5)熱が関係する場合 急激な熱勾配による気柱振動、サブクール沸騰によるboiling song</p> <p>(6)二相流动による場合 蒸気の水中凝結に伴う振動、気泡の浮力（や上界流の慣性力）による液面振動、気泡の供給によるV字管系の弛張振動、キャビテーションを伴うポンプ系の流体振動、ポンプ吸込水槽からの空気吸込による振動</p>

振動源	振動系	例
流 体 系	構 造 系	<p>(1)揚・抗力係数の特性から生じる負抵抗による場合 ギャロッピング、失速フラッタ、流れ中の物体の遷移レイノルズ数範囲における流れ方向振動、後流中の物体の振動</p> <p>(2)振動系に流入する流体慣性力の仕事による場合 内部を流体が流れる弾性管・シェルの振動、軸方向流れ中の管・シェルの振動（いずれも境界は移動可能）、パイプ・ホイップ</p> <p>(3)流体の回転流れによる場合 オイルホイップ、オイルホワール、内部に液体を含む中空回転体の振動</p> <p>(4)ターボ機械内の流体力による場合 羽根車輪のふれまわりに伴う自動振動、水車ランナ入口段差によるスラスト変動による振動、水車ランナシール流量と背圧の変化による振動</p> <p>(5)流体管路内の二次流れ、はく離による場合 ポンプ・送風機入口管路内の流動不安定に伴う振動、leak-off 分岐管をもつ給水ポンプ系の振動</p> <p>(6)流出うずによる場合 橋・塔・煙突・建造物の風による振動、海中パイプなどの流れ方向振動</p> <p>(7)波動・音響・乱れによる場合 超音速航空機・ガス冷却原子炉などにおける音響振動、低周波騒音による振動、流れ中の乱れ成分による管・シェルの不規則振動、衝撃波の不安定による管や翼の振動、波浪・表面波による構造物・容器の振動</p> <p>(8)多自由度系の連成効果による自動振動の場合 管群・管列の連成フラッタ、翼列の非失速フラッタ、単独翼の曲げ・ねじり連成フラッタ、軸方向流れ中の弾性構の2モード連成フラッタ（山端が固定または支持）</p>

振動源	振動系	例
		<p>(9)複数個の安定点間の移動による場合 音群・音列のジェット・スイッチによる自動振動、はく離の不安定による蒸気加減弁の振動</p> <p>(10)熱が関係する場合 熱応力による弾性振の自動振動、発熱弦の自動振動</p> <p>(11)二相流動による場合 内部を二相流体が流れる管の係数励振、水車吸出管内センタホワールによる軸系振動、蒸気導入管の下方水中吹出しに伴う導入管構造振動</p>
構造系	流体系 構造系	<p>(1)容積形ポンプ・圧縮機管路における流量・圧力脈動と騒音 回転数×次数×羽根数、歯数、並列台数などで定まる1/1の振動</p> <p>(2)容積形流量計・タービンの管路における圧力脈動と騒音 (1)の場合と同様を振動数の脈動</p> <p>(3)ターボ機械(ポンプ・水車・送風機・圧縮機・タービン)の管路における圧力脈動と騒音 羽根数×回転数の振動、旋回失速(通常回転数に比して小さい振動数)による励振、案内羽根と羽根車の羽根との干渉による振動、回転数の異なる機械の並列運転時におけるうなりによる低周波励振</p> <p>(4)地震 地震による液体貯槽のスロッシング、地震による液体機械系・流体管路系の応答</p>

## 添付 B 流体関連機器のトラブル対策(JSME 講習会資料)抜粋



## 添付C JSME 気液2相流ハンドブック抜粋

表 6.2 ここで提案する凝縮二相流を含めた不安定流動の分類

発生機構	不安定流動の分類	特徴
圧力損失-流量の静特性	1. Ledinegg 形不安定流動 a. 流量逸走(静的) b. 流量分配差異(静的) c. 圧力降下振動(動的)	圧力損失-流量の負性こう配が原因 $(\partial P/\partial G)_{in} > (\partial P/\partial G)_{ex}$ : 静特性と外力の関係 プレナム間差圧は流路間で一定, 多群並列管間の流量の再分配 加熱部上流側に圧縮性空間存在, 二つの正こう配間の弛緩振動
	2. 流量分配差異	多群並列管で流路間に熱水力的差異が存在, プレナム差圧一定
沸騰二相流	1. ガイセリング 伝熱(沸騰)形態遷移	長い垂直流路で下端閉じているあるいは流量が小, 過熱液相の実沸による水頭減少, さらに蒸発量増加, 実沸と液再流入繰り返す
	2. 膜沸騰の遷移に起因する不安定流動	$T_w > T_{min}$ , 低沸点流体, 核沸騰と膜沸騰のしつこくした交番現象
フローパターン遷移	1. フローパターン遷移不安定流動	スラグ流の形成と流出, 消滅過程における摩擦損失の変化
	2. 蒸気閉塞形不安定流動	下降管, ベンド管内の蒸気停頓が流动抵抗, 静特性を超える下降管内ボイド蓄積で差圧増加, 流量逸走, あるいは蒸気の停留・流出による流量振動
動的フィードバック	1. 密度波振動	入口流速変動とボイド率, 両相の流速, 各三方損失項の変動間に時間遅れ存在, 出入口差圧の拘束条件により, 入口流速にフィードバック 流量振動の周期は加熱部通過時間のオーダ
凝縮二相流	1. チャギング 伝熱(凝縮)形態遷移	サブクール液の混合状態に凝縮量依存 流入蒸気量と凝縮量の時間的アンバランス 完全凝縮面下流部の液塊の慣性と凝縮量, 圧力変動の関係
	2. サブクール液中の蒸気トラップ水撃現象	サブクール液内にトラップされた蒸気が完全凝縮する際に水撃発生
	3. 管内凝縮二相流	冷却水量の急変による凝縮量の急変と完全凝縮面下流部の液塊の慣性との関係による流量振動

- 引用文献 (1) JSME 「事例に学ぶ流体関連振動」  
 (2) JSME 「気液2相流技術ハンドブック」