

気液二相流管路系 非定常解析ソフトウェア Advance/FrontNet/TPの概要

アドバンスソフトにおける
二相流解析技術の最新動向セミナー
2013年2月13日(水)開催



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

気液二相流管路系非定常解析ソフトウェア

気体と液体の二相流管路の一次元流体解析

ドリフトフラックスに基づく気液二相流モデル

水、メタン、自然冷媒の物性値を装備

有限差分法、完全陰解法、バルブ・凝縮器・蒸発器等の流体機器モデル

流体構造連成解析機能

(原子力関連実績)

- ・ 高圧高温水ブローダウン試験Edwards' Pipe解析
- ・ 高圧高温水ブローダウン試験IITR解析
- ・ ブローダウン時PWR圧力容器動荷重試験の流体構造連成解析
- ・ ブローダウン時隔壁衝撃応答試験の流体構造連成解析

(その他分野実績)

- ・ 大型冷熱機器の性能評価過渡解析
- ・ LNG受入配管の凝縮を伴う気液二相流過渡解析



Copyright ©2013 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved

項目	内容	
基礎方程式	質量保存、気相質量保存、運動量保存、エネルギー保存式の4本	
基本変数	圧力、エンタルピー、ボイド率、質量流束、変位	
流体構造連成		ビームモデル、強連成
要素機器	蒸発器	二相域と過熱域モデル
	凝縮器	二相域と過熱域モデル
	圧縮器	循環流量を与えるモデル
	膨張弁	弁流量を与えるモデル
	受液器	幾何形状（高さ等）を考慮したタンクモデル
物性値	蒸気表	NISTや日本機械学会の物性値関数をもとに実装
	その他	ユーザが上記の形式で作成する
初期条件	各物理量	GUIでユーザが指定する。または、リスタート機能を利用する
数値解法	アルゴリズム	完全陰解法、修正Newton法
	空間離散化	一次元有限差分法（ネットワーク可能）
	二相流	ドリフト・フラックスモデル
	時間積分	完全陰解法
	リスタート	結果ファイルを利用し任意時刻からリスタート可能
入出力	入力	ネームリストで記述された機器の接続情報およびモデルパラメータ、計算のためのパラメータ
	出力	時系列の全ノードの全物理量（またはそれを間引いた量）、および、システム全体の成績係数、各機器のエネルギー損失

気液二相流の基礎方程式は、ドリフト・フラックスモデル(非均質熱的平衡モデル)に基づく、気相の質量保存式、混合相の質量・運動量・エネルギーの保存式

混合相質量保存式
$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \frac{\partial G}{\partial z} = 0$$

気相質量保存式
$$\frac{\partial}{\partial t} (\alpha \rho_g) + \frac{\partial}{\partial z} \left(\alpha \rho_g \frac{G}{\rho_m} \right) = \Gamma_g - \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\alpha \rho_g \rho_l}{\rho_m} U_{gj} \right)$$

混合相運動量保存式
$$\frac{\partial G}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{G^2}{\rho_m^2} + \frac{\rho_g \rho_l}{\rho_m} \frac{\alpha}{1-\alpha} U_{gj}^2 \right\} = -\frac{\partial p}{\partial z} - g \rho_m - F_w$$

混合相エネルギー保存式
$$\frac{\partial \rho_m h_m}{\partial t} + \frac{\partial G h_m}{\partial z} = \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{G}{\rho_m} \frac{\partial p}{\partial z} - \frac{\partial}{\partial z} \left\{ \frac{\alpha \rho_g \rho_l}{\rho_m} (h_g - h_l) U_{gj} \right\} + q$$

ρ : 密度, G : 質量流束, h : エンタルピー, α : ボイド率, p : 圧力,

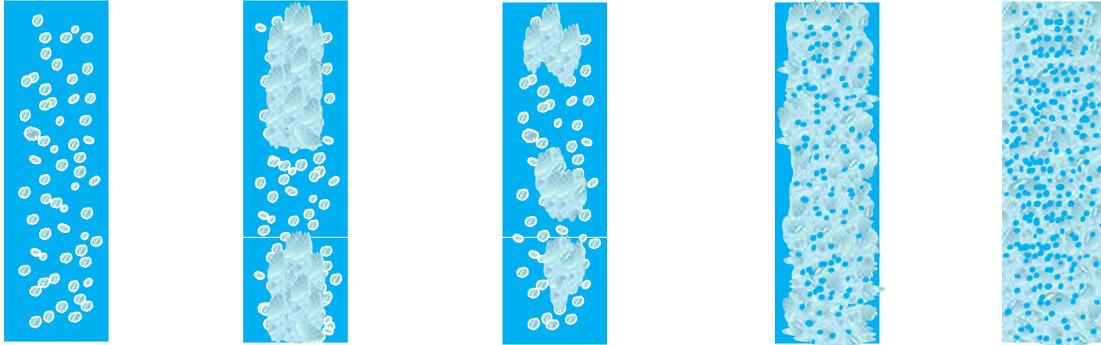
m : 混合相, g : 気相

U_{gj} : 平均ドリフト速度、 C_0 : 分布パラメータ、 j : 体積流束

気液二相流解析を目的としているので、基本物理量が、気相と液相に関連して定義されていることである。
 特に気液の速度差には、ドリフトフラックスモデルを採用している。
 気液の速度差に対して、下図流動様式に応じた構成式を用意

流動様式(例:垂直上向き)

流動方向



気泡流

スラグ流

フロス流

環状噴霧流

噴霧流



気液の速度差を考慮したドリフトフラックスモデルでは、気相速度 u_g 、液相速度 u_l は全体の体積流束から次のように求められる

$$u_g = C_0 j + U_{gj} \quad u_l = \frac{j - \alpha u_g}{1 - \alpha}$$

C_0, U_{gj} は、たとえば、以下の構成方程式で与えられる

・ 上昇二相流

$$C_0 = 1.2 - 0.2 \sqrt{\rho_g / \rho_l} \{1 - \exp(-22 < D_{sm} > / D)\}$$

$$U_{gj} = \sqrt{2} \left(\frac{g \sigma \Delta \rho}{\rho_l^2} \right)^{1/4} (1 - \alpha)^{1.75} \quad \text{for } \mu_l \gg \mu_g$$

・ 下降二相流

$$C_0 = -0.0214 < j^* > + 0.772 + (0.0214 < j^* > + 0.228) \sqrt{\rho_g / \rho_l} \quad \text{for } -20 \leq j^* < 0$$

$$C_0 = 0.2 e^{0.00848 < j^* > + 20} + 1.0 - 0.2 e^{0.00848 < j^* > + 20} \sqrt{\rho_g / \rho_l} \quad \text{for } < j^* > < -20$$

$$U_{gj} = \sqrt{2} \left(\frac{g \sigma \Delta \rho}{\rho_l^2} \right)^{1/4}$$

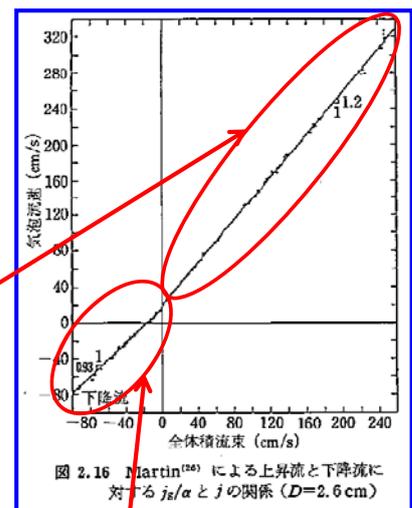
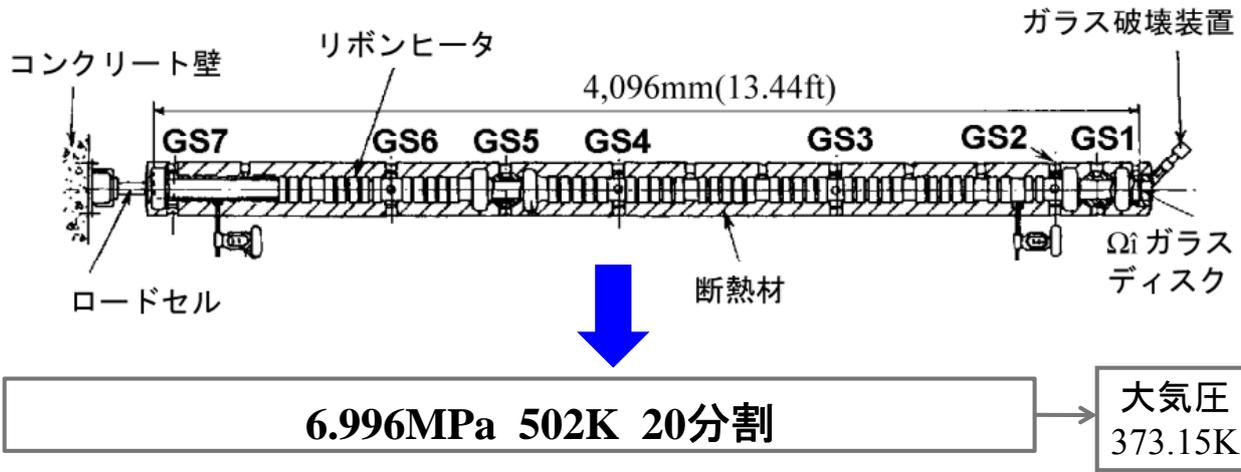


図 2.16 Martin⁽²⁶⁾ による上昇流と下降流に対する j_g/α と j の関係 ($D=2.6\text{ cm}$)



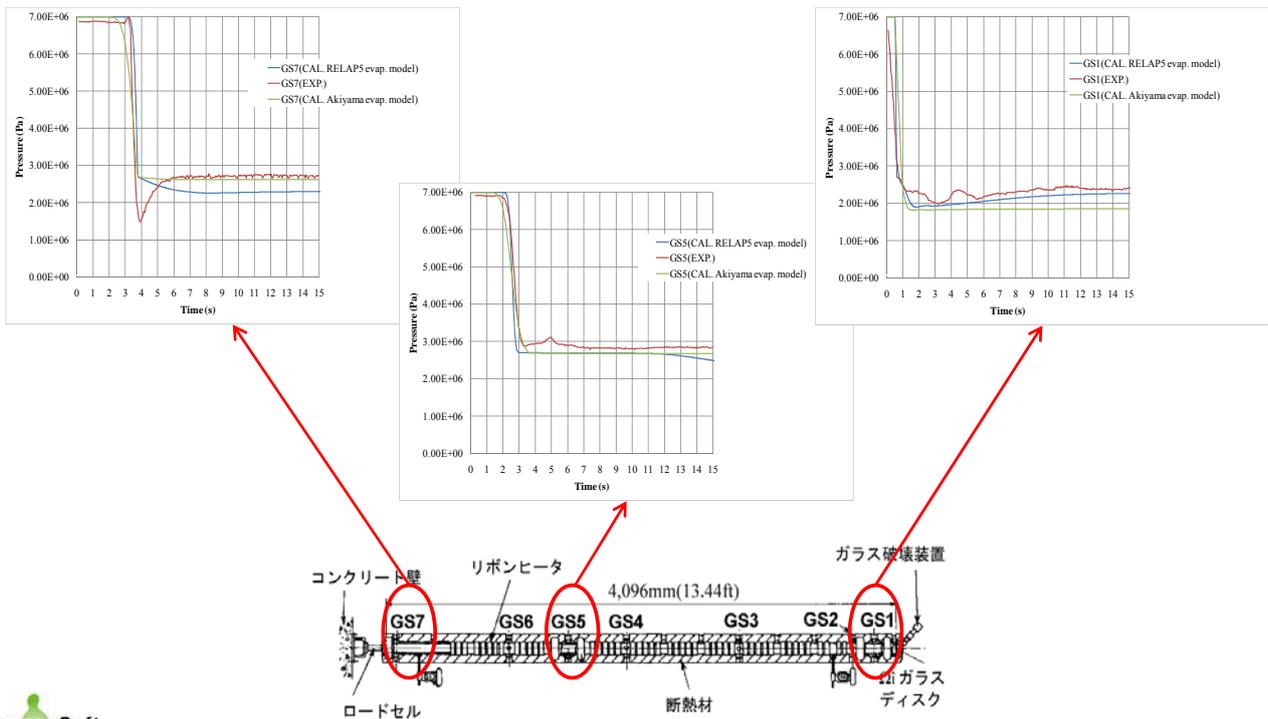
解析例)高圧高温水ブローダウン試験解析(Edwards' Pipe)



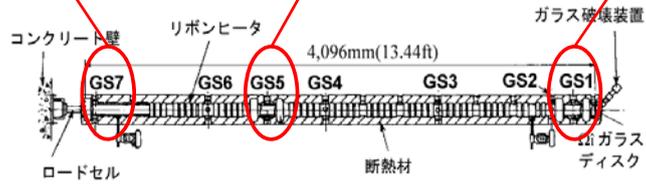
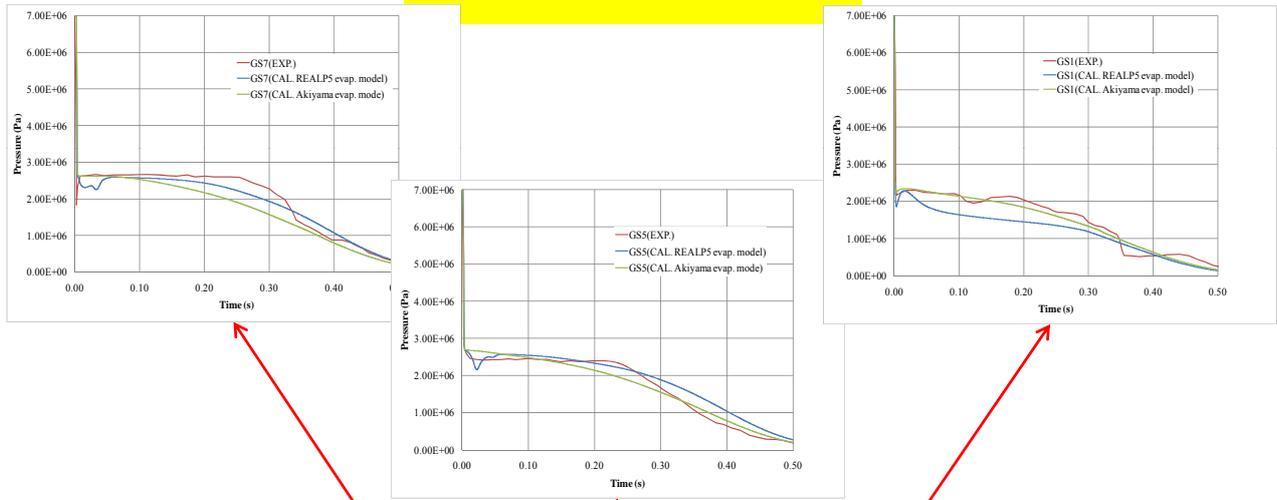
Advance/FrontNet/TP にRELAP5蒸発モデルとAkiyama蒸発モデルを組み込んで、2ケースの計算を実施した結果、Akiyama蒸発モデルを用いた方がより良い結果となった



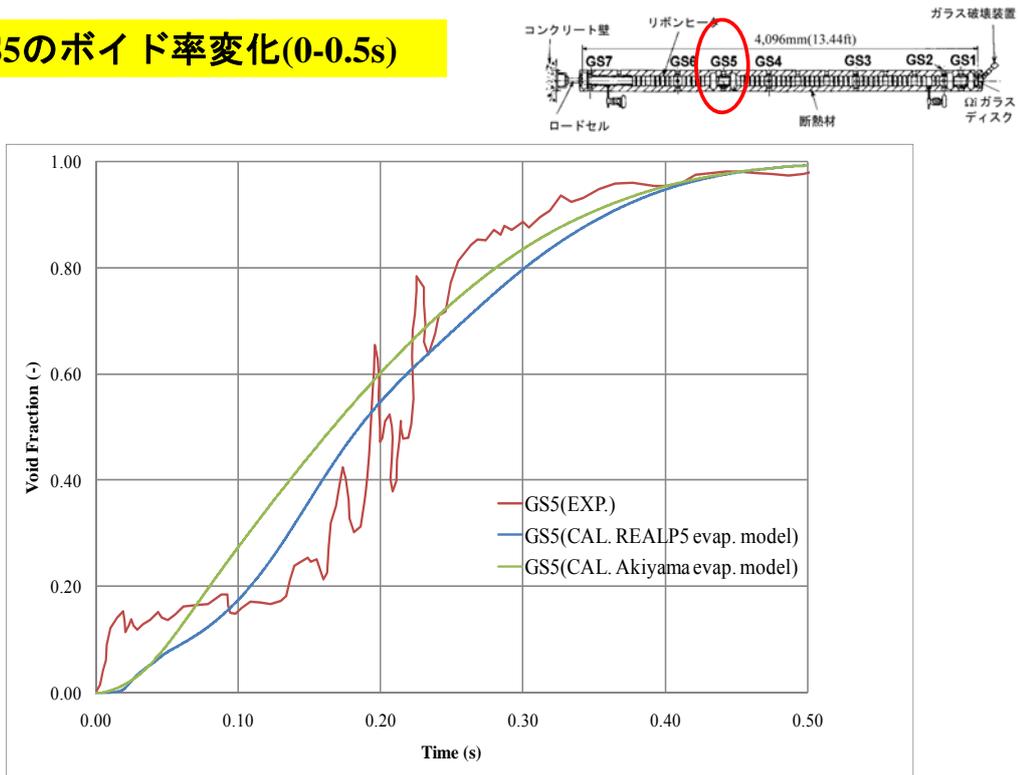
GS1/5/7の圧力変化(0-15ms)



GS1/5/7の圧力変化(0-0.5s)



GS5のボイド率変化(0-0.5s)



解析例)流体構造連成試験解析

ビーム構造に関する運動方程式

$$[M]\{\Delta\ddot{x}\}_{n+1} + [C]\{\Delta\dot{x}\}_{n+1} + [K]\{\Delta x\}_{n+1} = \Delta f(p)_{n+1}$$

をNewmark-β法で離散化し、圧力、エンタルピー、ボイド率、質量流束の流体基本変数と構造側の基本変数である変位を加えて、大行列を作成して、Newton法による完全陰解法によって、流体構造連成計算を行う

- 制御データ、ノードデータの読み込み
- 内部ノードの作成
- ノードテーブル (INOD,RNOD 等) の作成
- ジャンクション特性のセット
- 境界条件
- 分岐特性のセット
- ノードの方向チェック
- 近隣ノードのセット
- ジャンクションの方向チェック
- 壁の特性セット (RWAL)
- 出力情報セット
- ファイル入力 (マスフラックス、エンタルピー、温度)
- 変数初期化

