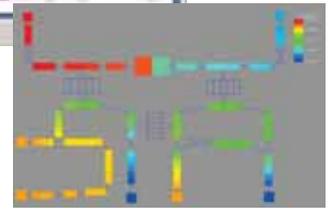


# 管路系流体解析の 応用セミナーのご案内



管路系流体解析技術

2014年8月29日（金）開催

## プログラム

13:30～13:35 (5分)	アドバンスソフト株式会社のご紹介 主催者あいさつ	事業部長 中森 一郎
13:35～14:20 (45分)	管路系流体解析ソフトウェア Advance/FrontNet の概要と新機能	主任研究員 秋村 友香
14:20～15:05 (45分)	管路系流体解析ソフトウェアの解析事例 セッション 1 (水系) (1) 建物内の温水配管の 24 時間温度低下評価解析 (ユーザー様事例) (2) 地震時の冷却系の加振時の応答解析	主管技師長 吉岡 逸夫
15:05～15:20 (15分)	休憩	
15:20～16:00 (40分)	管路系流体解析ソフトウェアの解析事例 セッション 2 (混合ガス系) (3) 熱量調整系の制御系と流体の連成過渡解析 (4) 燃料ガス系の緊急時の送出過渡解析 ～株式会社 オメガシミュレーション様とのコラボ事例～	主任研究員 秋村 友香
16:00～16:15 (15分)	価格および関連サービスのご紹介、質疑応答	営業部 課長 河口 洋子

memo





# アドバンスソフト株式会社のご紹介

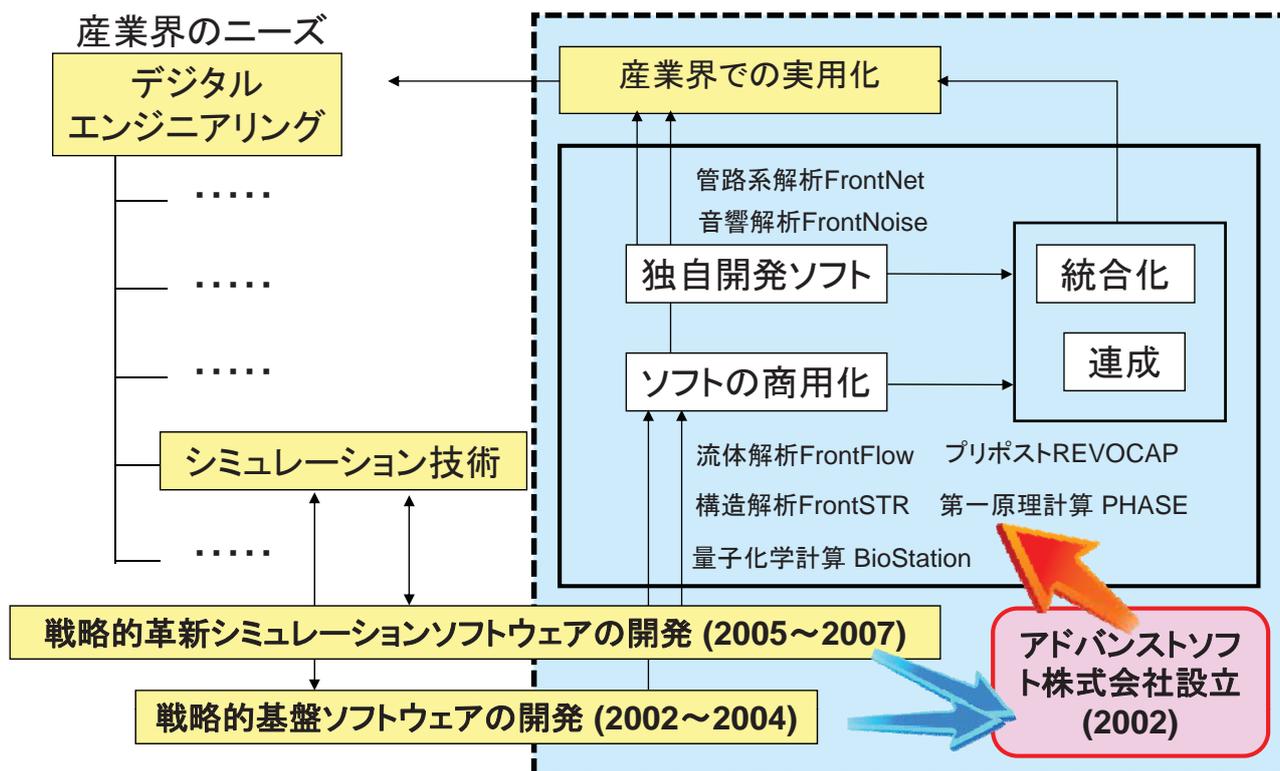
管路系流体解析の応用セミナー

2014年8月29日(金)

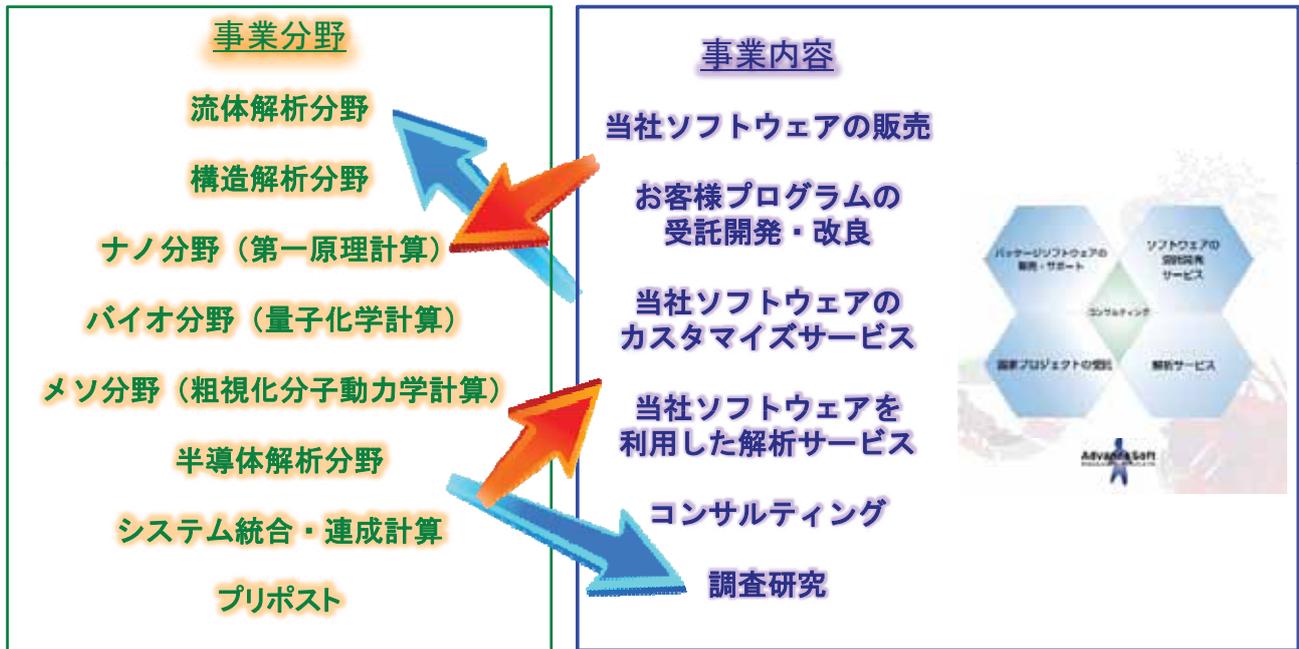
アドバンスソフト(株)

1

## アドバンスソフトとは



# アドバンスソフトの事業分野と事業内容



Copyright©2014 All right reserved.

3

# アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

<p><b>ナノ</b></p> <p>Advance/PHASE</p> <p>Advance/TFLAGS</p>	<p><b>流体</b></p> <p>Advance/FrontFlow/red</p> <p>Advance/FrontFlow/MP</p> <p>Advance/FrontFlow/FOCUS</p> <p>Advance/EVESAYFA</p>	<p><b>構造</b></p> <p>Advance/FrontSTR</p>
<p><b>バイオ</b></p> <p>Advance/BioStation</p> <p>Advance/ProteinDF</p>	<p><b>メソ</b></p> <p>Advance/OCTA</p>	<p><b>統合プラットフォーム</b></p> <p>Advance/PSE Workbench</p>
		<p><b>管路系</b></p> <p>Advance/FrontNet</p>

(注)図には主要なものを挙げている。詳細は[www.advancesoft.jp](http://www.advancesoft.jp) へ

Copyright©2014 All right reserved.

4

# アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

ソフトウェア名称	解析内容
Advance/FrontFlow/red	流体解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/MP	気液二相流解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/FOCUS	高速流・爆発解析ソフトウェア
Advance/FrontFlow/SSMP	超音速気液二相流解析ソフトウェア
Advance/EVE SAYFA	都市安全・環境シミュレータ
Advance/FrontNet	管路系1次元流体解析ソフトウェア群
Advance/FrontSTR	構造解析ソフトウェア
Advance/FrontNoise	音響解析ソフトウェア
Advance/REVOCAP	構造解析・流体解析プリポストプロセッサ
Advance/PSE Workbench	統合プラットフォーム
Advance/PHASE	第一原理バンド計算ソフトウェア
Advance/DESSERT	半導体デバイスシミュレータ
Advance/BioStation	大規模タンパク質の量子化学計算解析ソフトウェア
Advance/OCTA	ソフトマテリアル統合シミュレータ

(注)表には主要なものを挙げている。詳細は[www.advancesoft.jp](http://www.advancesoft.jp)へ

Copyright©2014 All right reserved.

5

# アドバンスソフトの連成解析用ソフトウェア

ソフトウェア	解析種類	特徴	適用
Advance/FrontFlow/red	流体解析	汎用の3次元流体解析ソフトウェア 乱流解析、燃焼解析、騒音解析、回転機械解析、自由液面解析、粒子追跡解析など幅広く対応	Advance/FrontSTRとの流体構造連成解析 Advance/FrontNoiseとの流体音響連成解析
Advance/FrontFlow/FOCUS	流体解析	超音速流等の高速流体解析、爆発解析に特化した3次元流体解析ソフトウェア	DYNA3D2000との爆発時の流体構造連成解析 Advance/FrontSTRとの流体構造連成解析
Advance/FrontSTR	構造解析	汎用の3次元構造解析ソフトウェア 部品アセンブリ機能・リファイナー機能を備えた大規模並列計算が特徴のひとつ、並列接触解析にも対応	Advance/FrontFlow/redとの流体構造連成解析 Advance/FrontNoiseとの構造音響連成解析
Advance/FrontNoise	音響解析	有限要素法による周波数領域での汎用の3次元音響解析ソフトウェア 大規模並列計算が特徴のひとつ	Advance/FrontSTRとの構造音響連成解析 Advance/FrontFlow/redとの流体音響連成解析
Advance/FrontNet/TP	流体解析	1次元気液二相流管路系過渡解析 独自の流体構造解析機能を装備	高圧容器配管破断時の流体構造連成解析
Advance/FrontNet/r	流体解析	1次元ガス管路系過渡解析 ガスの他、液体、超臨界流体も解析可能	Adventureとの管群構造体の流体構造連成による亀裂進展解析

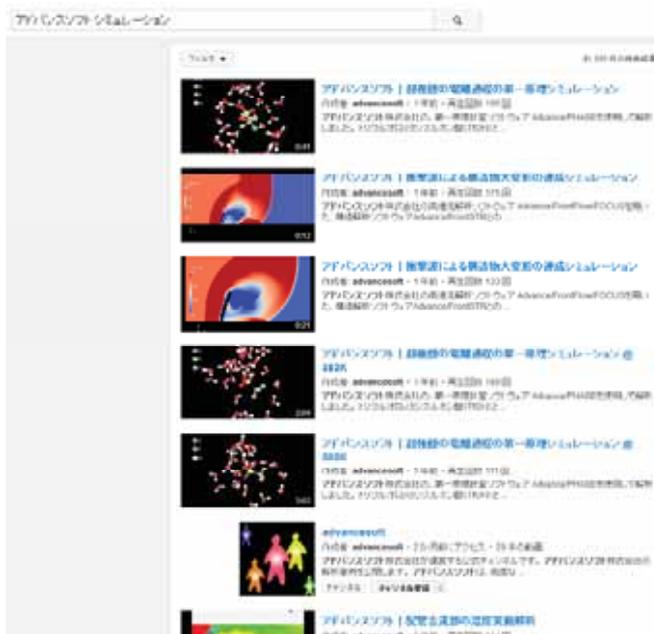
Copyright©2014 All right reserved.

6

# facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

<http://www.facebook.com/advancesoft.jp>

<http://www.youtube.com/user/advancesoft>



Copyright©2014 All right reserved.

# 管路系流体解析ソフトウェア Advance/FrontNetの 概要と新機能

技術第4部 秋村 友香

管路系流体解析の応用セミナー  
2014年8月29日（金）  
アドバンスソフト株式会社

## 内容

1. 管路系流体解析
2. ソフトウェアの機能紹介 (AFN/ $\Omega$ )
3. ソフトウェアの機能紹介 (AFN/ $\Gamma$ )
4. ソフトウェアの機能紹介 (AFN/ $\Lambda$ )
5. 今後の開発項目

# 1. 管路系流体解析

## 1. 管路系流体解析

### 管路系流体解析への要望の推移

原子力分野  
気液2相流  
詳細な情報

1970'sベース

- ・1970'sから原子力分野で構築された管路系流体解析の知識をベースに開発
- ・シミュレーションとしての「管路系流体解析」
- ・専門家が使用するソフトウェア



- ・「精度」への要求の多様化
  - (1)3D解析で時間がかかるから1Dを利用したい  
⇒精度が必要、情報がある
  - (2)設計ツールでは機能が足りないので1D解析をしたい  
⇒精度は不要、情報はない
- ・「設計」や「仮の検討」で利用したい
- ・初心者も使用できるソフトウェア
- ・ロバスト性が求められている

# 1. 管路系流体解析

## 管路系流体解析の適用分野と応用テーマ

原子力分野  
気液2相流  
詳細な情報

1970'sベース

様々な分野

ライフライン  
水力火力、地熱発電  
ロケットエンジン  
農業、ビル施設

様々な物理現象、  
連成解析ニーズ

制御系との連成  
流体構造連成  
1D3D連成  
粒子の輸送

様々な使われ方

情報がない  
設計で利用  
24時間解析  
プラントシミュレータ  
非専門家

様々なニーズに適用していく必要性

# 1. 管路系流体解析

## アドバンスソフトの管路系流体解析ソフトウェア

⇒扱う流体(液体のみ/ガス・液・超臨界の単相/気液二相)に応じて異なる基礎式や数値解法を用い、計算負荷削減や安定化

液体過渡AFN/ $\Omega$

液体の水撃などの急激な過渡現象に特化  
温度変化は考慮しない

単相過渡AFN/ $\Gamma$

ガス・液・超臨界の単相の過渡解析に特化  
熱流動解析機能、多成分ガス解析機能

気液二相過渡AFN/TP

気液二相の流動過渡解析  
ドリフトフラックスモデル

NEW!!

単相定常AFN/ $\Lambda$

(準定常)

ガス・液・超臨界の単相の解析  
圧力・流量は定常解析、温度は過渡解析機能を新規導入

# 1. 管路系流体解析

## 管路系流体解析ソフトウェア分類

管路系液体過渡解析ソフトウェア  
Advance/FrontNet/Ω

管路系流体過渡解析ソフトウェア  
Advance/FrontNet/Γ

管路系気液二相流過渡解析ソフトウェア  
Advance/FrontNet/TP

NEW!!

管路系流体定常解析ソフトウェア  
Advance/FrontNet/Λ

シミュレーション向き  
情報が必要  
精度○  
計算負荷△  
ロバスト性△

・どんな乱暴な使われ方をしても  
時間刻みを大きくしても  
発散しない"強さ"

設計/長時間解析向き  
計算負荷◎  
ロバスト性○

## 2. ソフトウェアの機能紹介 (AFN/Ω)

## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

### ①ソフトウェアの特長

「水撃、液柱分離」など液体の急激な現象解析をターゲット

### ②主要実績

(LNG関連主要実績)

- ・ LNG輸送システム緊急遮断弁閉鎖時の水撃解析
- ・ LNGパイプライン最適制御解析

(農業関連主要実績)

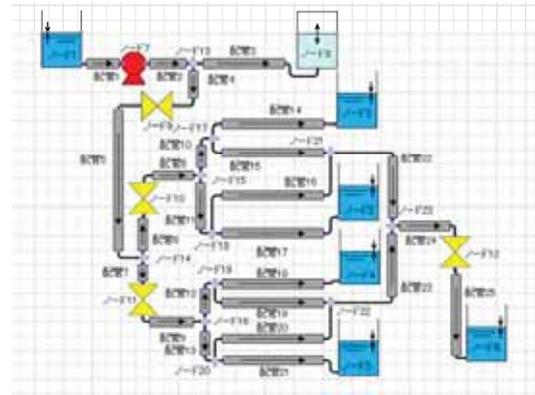
- ・ 農業用パイプラインのポンプ停止時の解析
- ・ 農業用の樹枝状パイプラインの水撃解析

(上水道関連主要実績)

- ・ 浄水場配管網ポンプトリップ時の過渡解析

(その他)

- ・ 地熱発電所のポンプトリップ時過渡解析
- ・ 冷却システムON/OFF弁過渡応答解析
- ・ ビル施設内ポンプトリップ時の過渡解析



## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

### ③機能概要

基礎方程式	質量保存式と運動量保存式	
数値解法	特性曲線法	
音速の取り扱い	配管材質から算出	
流体機器モデル	管	直管、テーパ管
	接続	分岐および合流 ベンド、エルボ
	弁	弁（制御モデルと連動も可）
	ポンプ	ポンプ
	タンク	リザーバタンク、サージタンク
物理モデル	液柱分離モデル	
	摩擦損失係数モデル(層流から乱流までを統一的に取り扱う円管に対するChurchillモデル)	
工学モデル	制御モデル（PID要素、一次遅れ要素等を実装）	
入力	配管情報及びモデルパラメータ、計算パラメータ	
出力	指定部分の圧力、流量の時系列データ 圧力の最大・最小値とその時刻	

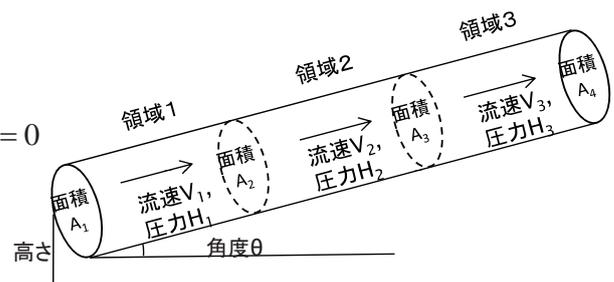
## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

### ④基礎式

質量保存式 
$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{a^2}{gA} \frac{\partial Q}{\partial x} + V \left( \frac{\partial H}{\partial x} - \sin \theta \right) = 0$$

運動量保存式 
$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \left( V \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{\lambda Q}{2gDA^2} |Q| = 0$$

音速の式 
$$a = \sqrt{\frac{K}{\rho}} / \sqrt{1 + \frac{K D}{E e}}$$

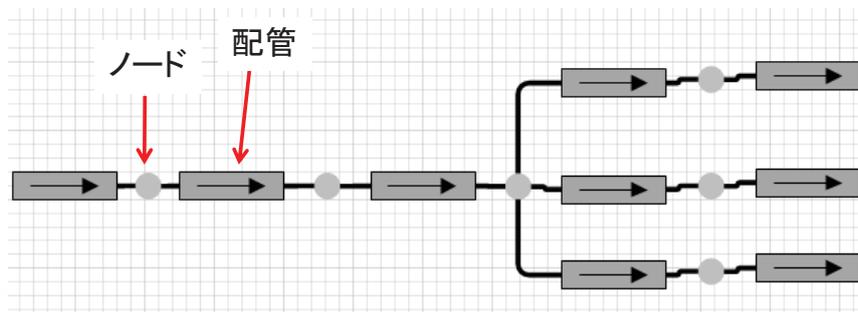
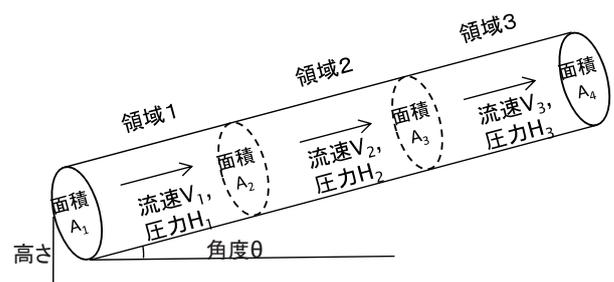
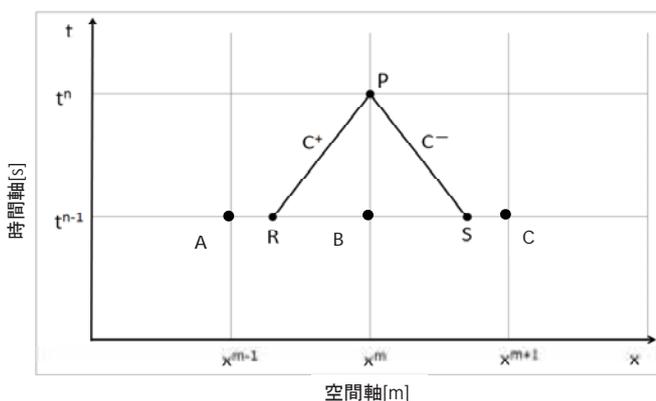


ここで、HはPiezo水頭[m]、Vは流速[m/s]、Aは流路断面積[m<sup>2</sup>]、Q=AVは体積流量[m<sup>3</sup>/s]、  
θは管勾配[rad]、gは重力加速度[m/s<sup>2</sup>]、Kは液体の体積弾性係数[Pa]、Dは管直径[m]、  
eは管壁厚さ[m]、Eは管路構造材のヤング率[Pa]、λは管摩擦係数[-]、aは音速[m/s]である。  
音速の式は、液体の圧力変化による管路構造材のたわみを考慮した式となっている。

⇒これら基礎式を「特性曲線法」という数値解法で離散化することにより、水撃などの急激な過渡現象を再現する

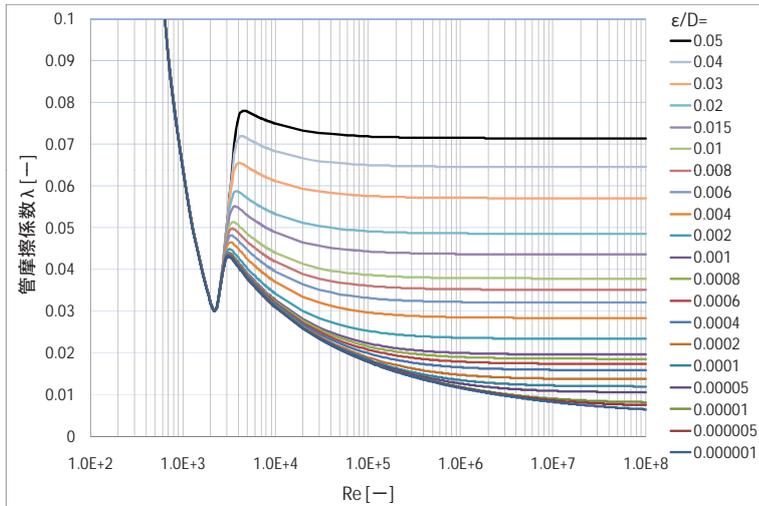
## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

### ⑤離散化、定義点

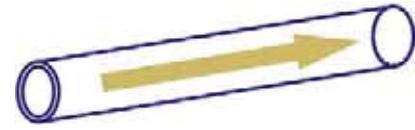


## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

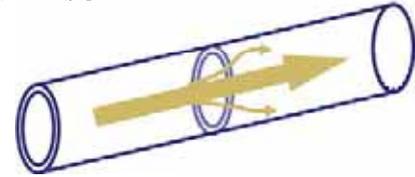
### ⑥機能詳細 (摩擦損失モデル)



1次元流



3次元流



Churchillの式による管摩擦係数

## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

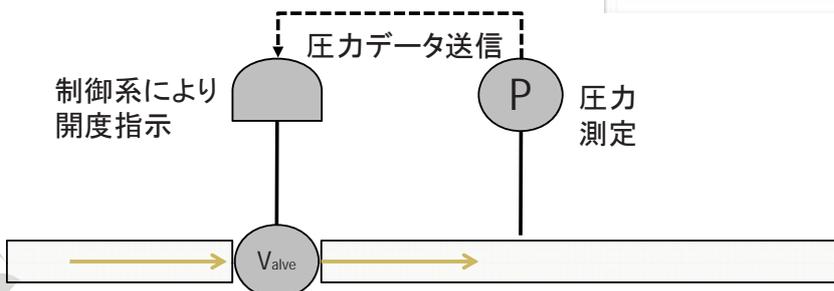
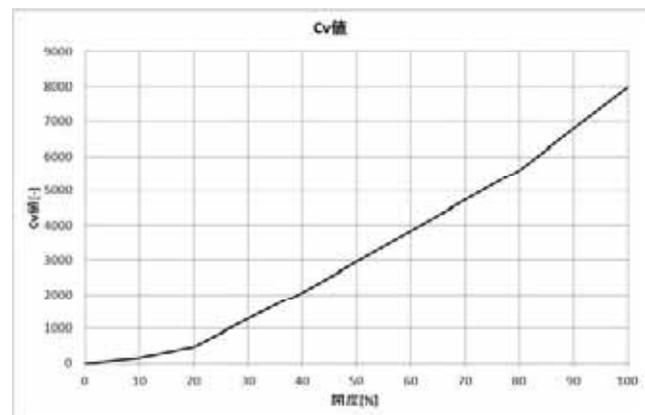
### ⑥機能詳細 (バルブと制御系モデル)

圧力損失  $\Delta P$  と抵抗係数  $K$  
$$\Delta P = K \frac{1}{2} \rho u^2$$

抵抗係数  $K$  と  $C_v$  値 
$$K = \left( \frac{A_{up}}{C_v f_{cv}} \right)^2 \frac{2}{\rho_{H2O60F}}$$

単位換算係数 
$$f_{cv} = 7.598 \times 10^{-7}$$

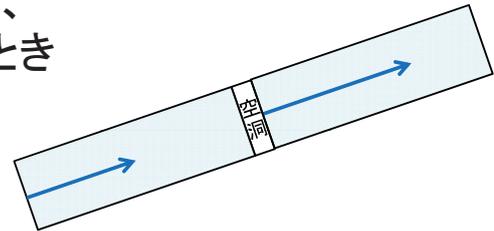
60Fにおける水の密度 
$$\rho_{H2O60F} = 999.091$$



## 2. ソフト機能 (AFN/ $\Omega$ :液体過渡)

### ⑥機能詳細 (液柱分離モデル)

・液体で満たされていた管路のある場所で、  
圧力が低下して飽和蒸気圧以下になったとき  
液体は気相へと相変化



・管路内に蒸気の空洞ができる。

・この空洞が押しつぶされると大きな圧力上昇が起こる。

蒸気の密度が1に対し、液体は1000程度と1000倍の違い。  
圧力や密度が大きく異なる流体が急激にぶつかり合うため、  
衝撃圧力が発生。(バルブ急閉、ポンプトリップ、地震時など)

⇒これらのメカニズムをモデル化し、ソフトウェアに導入している。

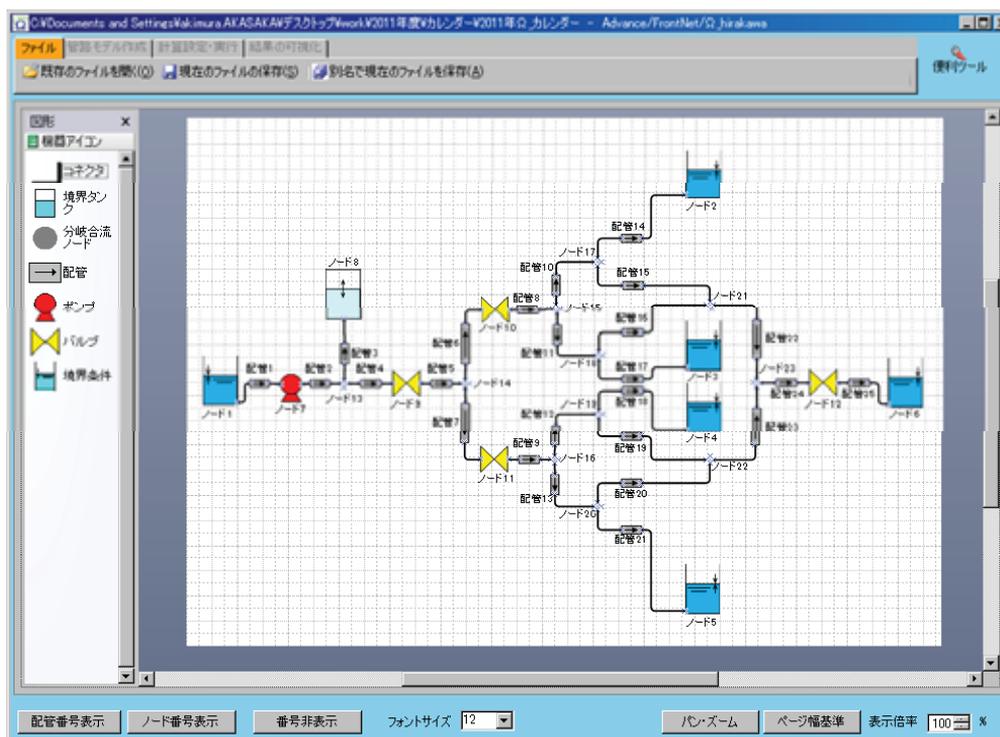
## 2. ソフト機能 (AFN/ $\Omega$ :液体過渡)

### ⑦入出力まとめ

モデル	入力	出力
管路系	配管長、配管径、配管材質、管芯高、 接続関係、摩擦損失モデル	流量配分、圧力と流速
弁	開度とCv値の関係、開閉速度、初期開度	過渡解析では特に水撃圧。
制御系	1次遅れ、PID(比例ゲイン、積分時間、1次 遅れ)、測定機器の位置、測定頻度	弁の指示開度、弁の開度の遅れ。
ポンプ	定格揚程、定格流量、定格回転数 定格効率、定格軸動力、完全特性 慣性(ポンプ、フライホイール、原動機)	トリップ後、液柱分離が起こるかどうか、 起こった場合の圧力上昇値、また、 最終的に落ち着くポンプの状態
タンク	初期液位、タンク断面積 単純形状でない場合は容積線図	通常タンクの場合、水位。 ワンウェイサージタンクの場合、液柱分離に 効果があるかどうか。

## 2. ソフト機能 (AFN/Ω:液体過渡)

### ⑧ GUI 紹介 (詳しくはデモを参照)



## 3. ソフトウェアの機能紹介 (AFN/Γ)

# 3. ソフト機能 (AFN/Γ: 单相過渡)

## ①ソフトウェアの特長

「多成分から成るガスや超臨界流体」など单相流体の熱流動過渡解析がターゲット

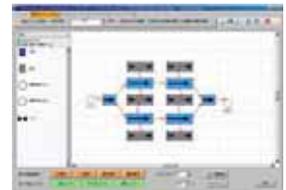
## ②主要実績

(都市ガス関連主要実績)

- ・都市ガス管路網地震時の供給停止に伴う圧力振動過渡解析
- ・都市ガス管路網漏洩時の過渡解析

(宇宙関連主要実績)

- ・極低温流体パイプライン予冷解析
- ・ロケットエンジンシステム設計ツールの開発
- ・液体燃料エンジンシステム冷却部配管閉塞時の過渡解析(3次元熱伝導解析・3次元構造亀裂進展解析シミュレータとの連成解析)



(原子力関連主要実績)

- ・原子炉施設火災試験解析(火災解析シミュレータ Advance/EVE SAYFA&FDSとの連成)
- ・原子炉冷却材流量分配と温度解析・原子炉除熱系の温度解析

# 3. ソフト機能 (AFN/Γ: 单相過渡)

## ③機能概要

基礎方程式	圧縮性を考慮した、質量保存式、運動量保存式、エネルギー保存式、状態方程式、多成分ガス質量保存式(オプション)
格子スキーム	スタガード格子
時間発展スキーム	Euler予測子修正子
対流項のスキーム	1次精度風上差分、TVD
流体物性	・実流体物性データ(単成分单相流(液、ガス、超臨界))ファイル入力 ・理想気体(多成分ガス)
物理モデル	摩擦損失モデル、構造物熱伝導解析モデル(一次元)
入力	ネームリストに記述された機器の接続情報及びモデルパラメータ、計算パラメータ
出力	各機器、管の全物理量の時系列データ
流体機器	バルブ、オリフィス、ポンプ、タービン、テーパー管、分岐合流

### 3. ソフト機能 (AFN/γ: 单相过渡)

#### ④ 基礎式

質量保存式	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0$	$\rho$ : 密度
運動量保存式	$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{2L} K \rho u^2 = 0$	$u$ : 速度
エネルギー保存式	$\frac{\partial e}{\partial t} + \frac{\partial u(e+p)}{\partial x} = q$	$e$ : 内部エネルギー
状態方程式	$p = f(\rho, e), T = g(\rho, e)$	$T$ : 温度
		$p$ : 圧力
		$q$ : 発熱項
		$f, g$ : 状態方程式



### 3. ソフト機能 (AFN/γ: 单相过渡)

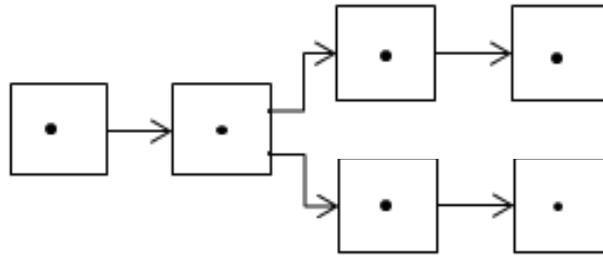
#### ④ 基礎式 (多成分ガス)

質量保存式	$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho Y_i u}{\partial x} = 0$	状態方程式 (理想気体仮定)	$p = \frac{\rho}{M} RT \bar{Z} = \rho(h - e)$
質量分率	$\sum Y_i = 1$		$h = \bar{C}_p T$
平均分子量	$\bar{M} = 1 / \sum \frac{Y_i}{M_i}$		$T = \frac{e}{\bar{C}_p - \frac{R}{M}}$
モル分率 (体積分率)	$X_i = \frac{\bar{M} Y_i}{M_i}, \sum X_i = 1$	平均定圧比熱	$\bar{C}_p = \sum_i C_{p_i} Y_i$
		平均圧縮係数	$\bar{Z} = \sum_i Z_i X_i$

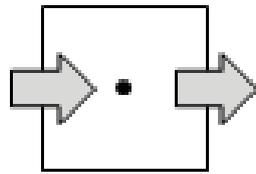


### 3. ソフト機能 (AFN/ $\Gamma$ : 单相过渡)

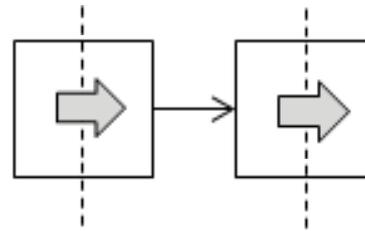
#### ⑤ 離散化、定義点



ボリューム・ジャンクションの接続



ボリューム上の質量収支



ジャンクション上の運動量収支

### 3. ソフト機能 (AFN/ $\Gamma$ : 单相过渡)

#### ⑥ 機能詳細 (実流体物性)

状態方程式として、実流体物性を使用することができる。

例えば、NIST (米国国立標準技術研究所: National Institute of Standards and Technology, USA)でウェブ公開されているデータベースなどを利用する。

(データ形式の例)

圧力[Pa]	温度[K]	エンタルピー[J/kg]	内部energy[J/kg]	エントロピー[J/(kgK)]	密度[kg/m³]	Cp[J/(kgK)]	Cv[J/(kgK)]	比熱比[-]	粘性[Pas]	熱伝導率[W/(mK)]	音速[m/s]
0.100000E+05	0.200000E+00	-0.149078E+06	-0.149192E+06	-0.984689E+04	0.880562E+02	0.283828E+04	0.346372E+04	0.819431E+00	0.710824E-04	-0.307347E-01	0.165795E+04
0.100000E+05	0.400000E+00	-0.147676E+06	-0.147790E+06	-0.974746E+04	0.878934E+02	0.289831E+04	0.348827E+04	0.830873E+00	0.704177E-04	-0.291753E-01	0.165214E+04
0.100000E+05	0.600000E+00	-0.146274E+06	-0.146388E+06	-0.964802E+04	0.877306E+02	0.295834E+04	0.351282E+04	0.842155E+00	0.697530E-04	-0.276160E-01	0.164633E+04
0.100000E+05	0.800000E+00	-0.144872E+06	-0.144986E+06	-0.954859E+04	0.875678E+02	0.301836E+04	0.353737E+04	0.853280E+00	0.690883E-04	-0.260566E-01	0.164051E+04
0.100000E+05	0.100000E+01	-0.143470E+06	-0.143584E+06	-0.944916E+04	0.874050E+02	0.307839E+04	0.356192E+04	0.864252E+00	0.684236E-04	-0.244973E-01	0.163470E+04
0.100000E+05	0.120000E+01	-0.142068E+06	-0.142183E+06	-0.934972E+04	0.872422E+02	0.313842E+04	0.358646E+04	0.875074E+00	0.677589E-04	-0.229379E-01	0.162889E+04

圧力、温度に依存した、密度、内部エネルギー...などの物性データベース

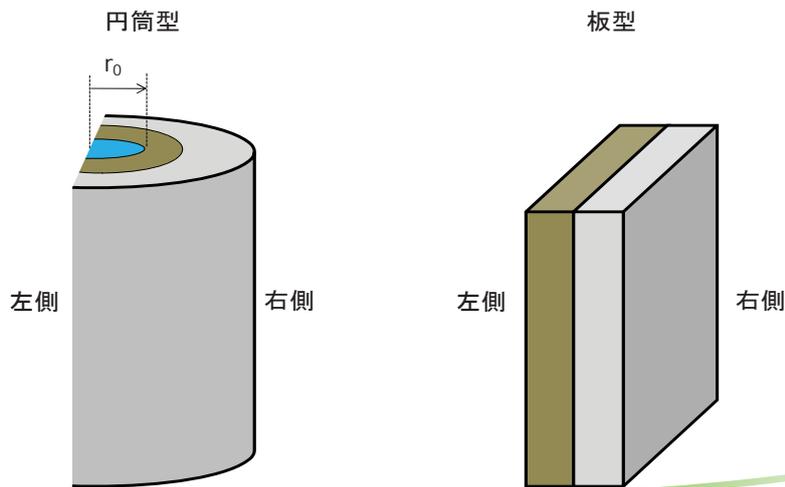
# 3. ソフト機能 (AFN/Γ: 单相过渡)

## ⑥ 機能詳細 (熱伝導)

構造物内  
熱伝導方程式  $\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \left(\frac{1}{r}\right)^\alpha \frac{\partial}{\partial r} \left( kr^\alpha \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q$

$\rho$ : 固体密度       $\kappa$ : 固体熱伝導率  
 $C$ : 固体比熱       $q$ : 固体の発熱  
 $T$ : 固体温度       $r$ : 径方向の座標

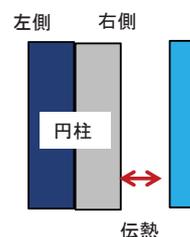
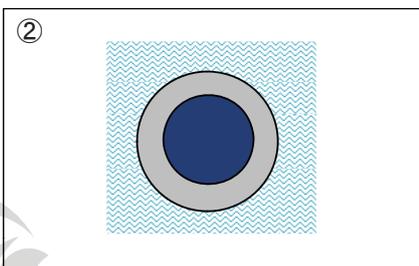
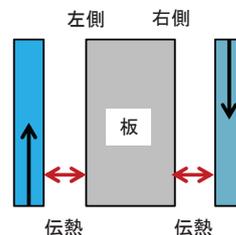
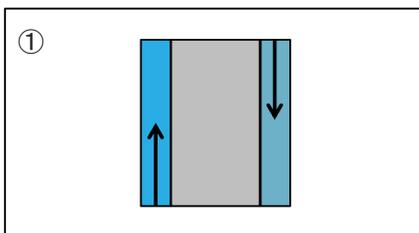
$\alpha=0$ の時、固体は平板型(デカルト座標)、 $\alpha=1$ の時固体は円筒型(円筒座標)、 $\alpha=2$ の時、固体は球面体(球座標)であることを示している。



# 3. ソフト機能 (AFN/Γ: 单相过渡)

## ⑥ 機能詳細 (熱伝達)

Dittus-Boelter式  $Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$



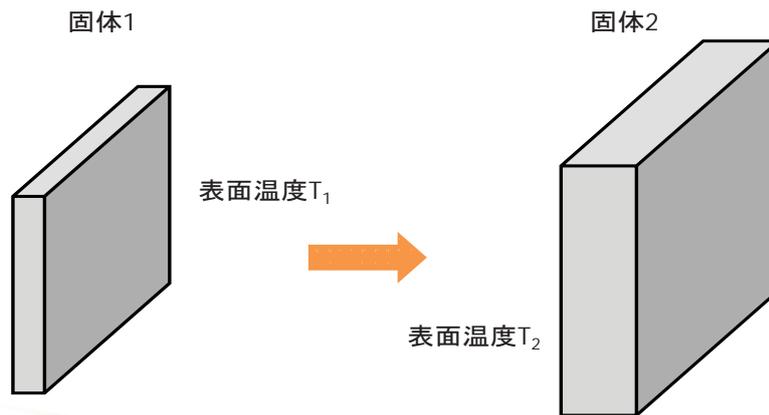
### 3. ソフト機能 (AFN/γ: 单相过渡)

#### ⑥ 機能詳細 (輻射)

輻射熱の式

$$Q_{rad} = \frac{\sigma(T_1^4 - T_2^4)}{\frac{1}{\epsilon_R} + \frac{A_1}{A_2} \left( \frac{1}{\epsilon_R} - 1 \right)}$$

ここで  $\sigma$  は Stefan-Boltzmann 係数 [ $W/m^2K^4$ ] である。A は伝熱面積である。  
 $\epsilon_R$  は輻射率であり、黒体輻射の場合は 1 をとる量である。



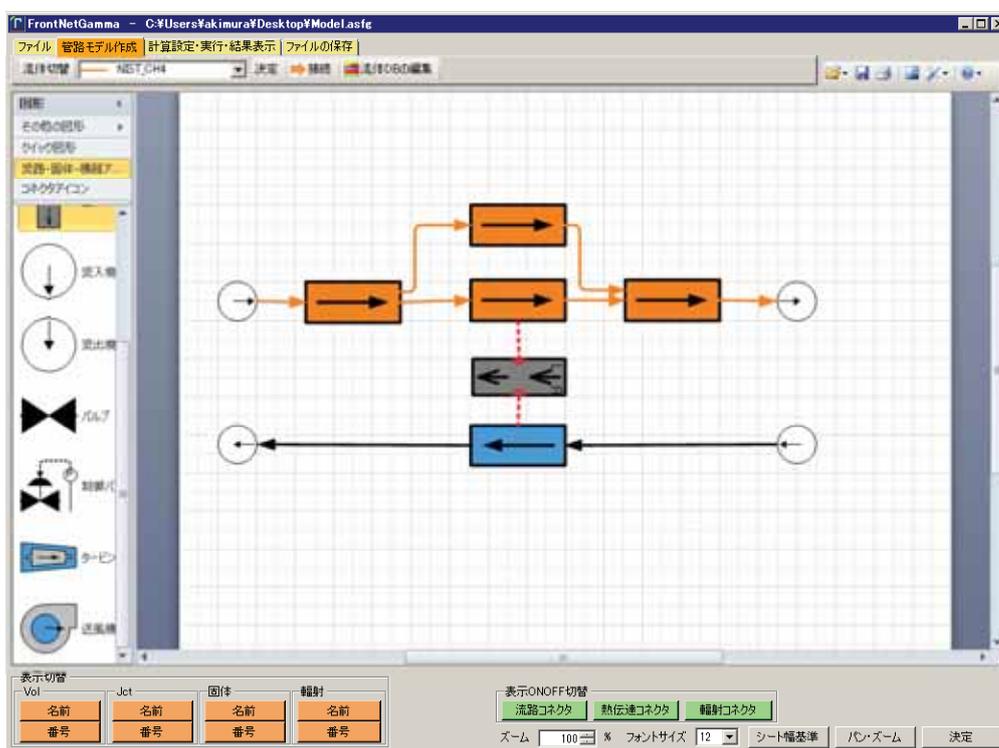
### 3. ソフト機能 (AFN/γ: 单相过渡)

#### ⑦ 入出力まとめ

モデル	入力	出力
① 管路系解析 液相 単成分ガス相 超臨界相	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管路形状境界条件</li> <li>・流体物性の指定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・圧力、温度、密度、流量の管路内分布と時系列変化</li> <li>・バルブを操作した場合、流量変化や圧力波変化と下流側への操作の時間遅れ</li> </ul>
② 管路系解析 多成分ガス系	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管路形状</li> <li>・境界条件</li> <li>・多成分ガス物性の指定</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>①に加えて</li> <li>・多成分ガスの組成(モル分率)の管路内分布と時系列変化</li> </ul>
③ 管路系解析 + 伝熱解析	<ul style="list-style-type: none"> <li>・管路系情報</li> <li>・固体形状</li> <li>・固体物性</li> <li>・固体境界条件</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・固体内温度分布と温度の時系列変化</li> <li>・固体と熱をやりとりした場合の流体の圧力、温度、密度、流量の管路内分布と時系列変化</li> <li>・冷却剤が詰まり等で冷却機能を喪失した場合の固体温度の時間変化と流量分配変化</li> </ul>

### 3. ソフト機能 (AFN/Γ: 単相過渡)

#### ⑧ GUI の紹介 (詳しくはデモを参照)



### 4. ソフトウェアの機能紹介 (AFN/Λ)

## 4. ソフト機能 (AFN/Λ: 単相定常)



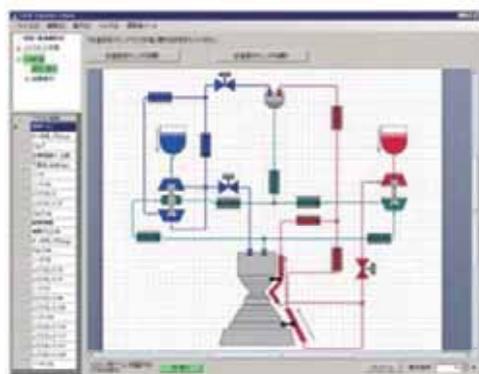
<http://www.advancesoft.jp/>

### ①ソフトウェアの特長

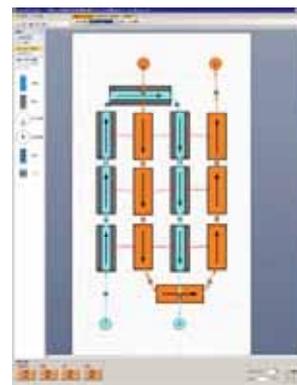
「大規模解析」や「24時間解析」などの定常解析/準定常解析をターゲット

### ②実績

- (宇宙関連実績)・液体ロケットエンジンシステムの設計検討
- (建築関連実績)・建物内の温水配管の24時間温度低下評価解析



宇宙航空研究開発機構ご提供



## 4. ソフト機能 (AFN/Λ: 単相定常)



<http://www.advancesoft.jp/>

### ③機能概要

基礎方程式	質量保存式、流量と圧損の関係式、エネルギー保存式(時間依存か非依存かを選択)、状態方程式(実流体物性または非圧縮性を仮定した一定値の入力)
数値解法	完全陰解法、行列解法は直接法
差分スキーム	1次風上差分
格子スキーム	要素-ノード
流体物性	・実流体物性データ(単成分単相流(液、ガス、超臨界))ファイル入力
入力	ネームリストに記述された配管の接続情報及びモデルパラメータ、計算パラメータ
出力	管の全物理量の時系列データ
流体機器	配管構造物(熱交換器)

# 4. ソフト機能 (AFN/Λ: 単相定常)

## ④ 基礎方程式

質量保存式

$$\sum W_{in} - \sum W_{out} = 0$$

流量と圧損の関係式

$$W^2 = \frac{\rho \Delta P}{R}, W = \sqrt{\frac{\rho}{R} |\Delta P|^{-0.5} \Delta P}$$

エネルギー保存式

$$\frac{\partial \rho V h}{\partial t} = \sum \left( W \left( h + \frac{u^2}{2} \right) \right)_{in} - \sum \left( W \left( h + \frac{u^2}{2} \right) \right)_{out} + q$$

状態方程式

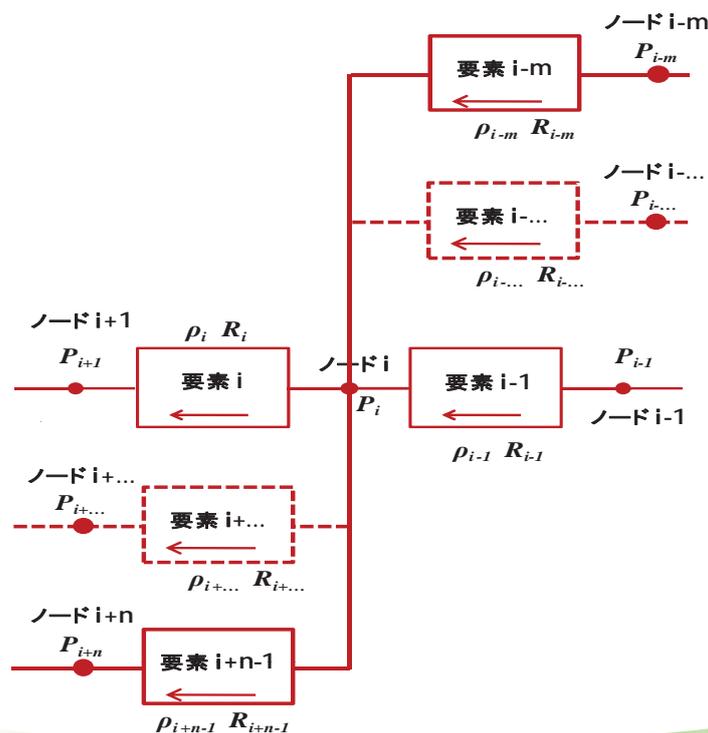
$$T = f(P, h), \rho = g(P, h) \text{ または } h = C_p T, \rho = \text{一定}$$

計算フロー

質量流量が保存するように圧力分布、流量分配を決定、  
エンタルピーが保存するようにエンタルピーを決定  
最後に圧力、エンタルピーから温度、密度を決定

# 4. ソフト機能 (AFN/Λ: 単相定常)

## ⑤ 離散化、定義点



## 4. ソフト機能 (AFN/Λ: 単相定常)

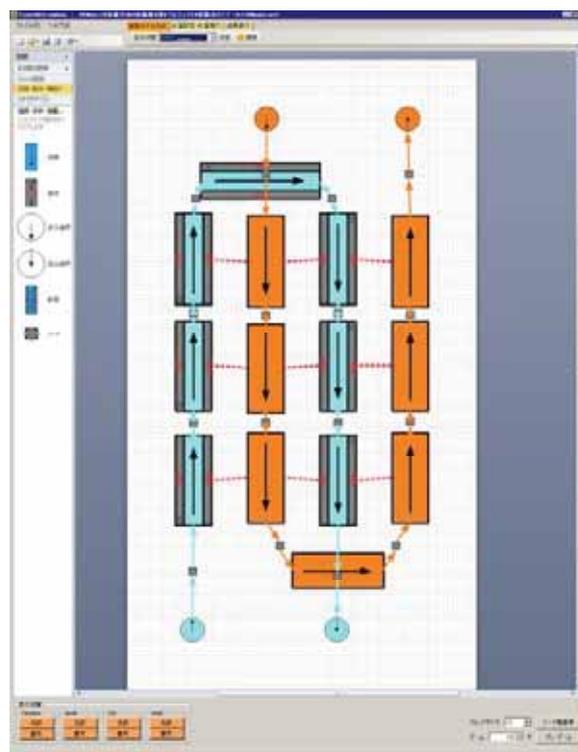
### ⑥ 入出力まとめ

モデル	入力	出力
① 管路系解析 + 伝熱解析	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 管路系情報</li><li>・ 固体形状</li><li>・ 固体物性</li><li>・ 固体境界条件</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ 固体内温度分布と温度の時系列変化</li><li>・ 固体と熱をやりとりした場合の流体の圧力、温度、密度、流量の分布、温度&amp;密度については時間変化</li></ul>



## 4. ソフト機能 (AFN/Λ: 単相定常)

### ⑦ GUIの紹介



## 5. 今後の開発項目



## 5. 今後の開発項目

- 基本は要望のあるものから開発
- いくつかの機能は、ソルバーに導入済だがパッケージとしてリリースしていない。さらなるケーススタディや検証が必要。
- ソルバー、GUI共に自社開発のため、カスタマイズ性が高いことが特長。特定ユーザー用は充実。

⇒ ⇒ ⇒ ⇒いくつかの例を紹介



## 5. 今後の開発項目

### AFN/ $\Omega$ (液体過渡)開発項目

- ①逆流逆回転まで考慮したポンプ詳細モデル  
⇒ソルバー導入済、ケーススタディ要
- ②温度の導入  
⇒passive scalar扱いで検討中
- ③加振機能のパッケージ化、流体構造連成機能  
⇒本日紹介事例、梁のモデルなど



## 5. 今後の開発項目

### AFN/ $\Gamma$ (单相過渡)開発項目

- ①粉体、固体(すすや砂利など)の解析機能  
⇒現在passive scalar扱いでソルバーに導入済
- ②流体機器の充実  
⇒圧縮機など。
- ③計算の高速化  
⇒陰解法、半陰解法的の導入も視野。
- ④初期値算出機能  
⇒AFN/ $\Lambda$ の解を使用



## 5. 今後の開発項目

### AFN/A(単相定常)開発項目

①GUIの完成

⇒入力設定まで完成、今後は出力部分の整備

②多成分ガスの扱いの導入

③流体機器の充実

⇒特に制御弁の導入 (AFN $\Gamma$ の初期値として利用)



## 5. 今後の開発項目

### 管路系全体開発項目

①1D/3D連成機能

⇒ソルバーはAFN $\Gamma$ で実績あり。

②DBの導入 (配管材質、配管サイズ、機器etc.)

⇒特に流体物性については多成分系

③パラメータ感度解析

⇒AFN/A(単相定常)で実現可能性あり

④GUI機能充実

⇒使い勝手、簡単設定、ミス防止、可視化、リアルタイム性



# 管路系流体解析ソフトウェアの 解析事例 セッション 1 (水系)

第二事業部 吉岡 逸夫

管路系流体解析の応用セミナー  
2014年8月29日 (金)  
アドバンスソフト株式会社

## 解析事例 (1) 温水配管

### 建物内の温水配管の24時間 温度低下評価解析 (ユーザー様事例)

関連キーワード: 準定常解析、温度過渡解析、24時間の解析、  
ビル設備、BIM、陰解法

## 背景

●建設業界では、BIM(Building Information Modeling)やIFC (Industry Foundation Classes) が注目されつつある。建物の形状や材質等をデータベース化するという、建設CADデータの標準化である。

メリットは、建物の設計が効率的・効果的に行えることである。BIMの適応分野は、構造設計、設備設計、気流解析、エネルギー解析など多岐に及ぶ。

●建物にはさまざまな配管設備がある。

例) 給水管、給湯管、排水管、消火管、ガス管、空調用ダクト

管路系流体解析ソフトウェアを設備設計に適応した事例を紹介する。



## 解析対象・目的

●余剰温水をビル内の各消費者に輸送したときの各消費者が利用できる最高温度と最低温度を解析により調べる。

当日、プロジェクトにて



## 要求事項

- 季節によってどのように結果が変わるかを知りたい。
- 1日24時間に対して結果を知りたい。
- 設計段階であるため、消費流量は「仮定」としたい。  
(実際の測定値などは存在しない)
- 解析1ケースに対して数分で結果を得たい。

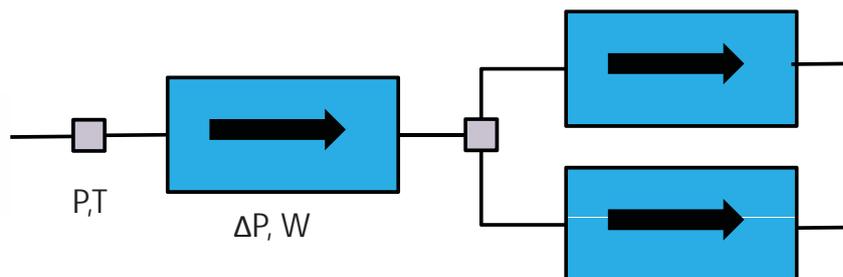


## 計算のモデル化（流体管路）

当日、プロジェクトにて

- 各消費者への供給管をモデル化した。  
⇒Advance/FrontNet/の入力ファイル参照。

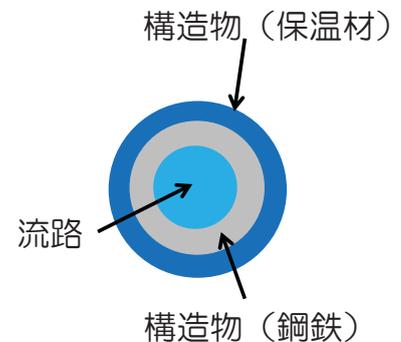
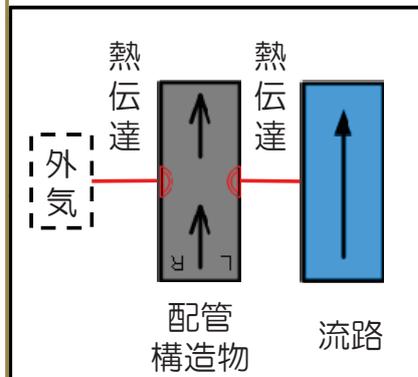
ここでは接続関係や分岐・合流、  
配管の長さ、直径の情報が設定される。



## 計算のモデル化（伝熱）

当日、プロジェクトにて

- 温水と配管構造物との熱伝達を考慮
- 外気と構造物との熱伝達を考慮



- 構造材は鋼鉄と保温材の2種類の物性、厚さを考慮

## 計算のモデル化（伝熱）

- 次の2種類のうち、総括熱伝達係数の方法②を採用
- ① 非定常の熱伝導方程式を解き、壁面と流体の間の熱伝達を考慮する方法

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( \kappa r \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q$$

- ② 総括熱伝達係数Uを使って簡易的に解く方法

$$Q = UA(T_{fluid} - T_{air})$$

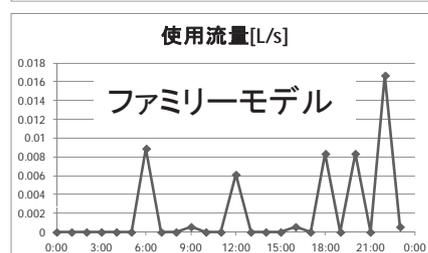
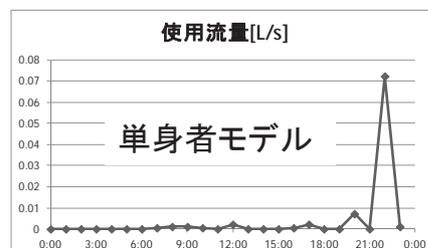
$$\frac{1}{U} = \left( \frac{1}{h_{fluid} r_0} + \sum_i \frac{\ln(r_{i+1}/r_i)}{\kappa} + \frac{1}{h_{air} r_a} \right) r_0$$

- 水の熱伝達率はDittus-Boelter式を使用して算定

## 計算のモデル化（消費流量）

当日、プロジェクトにて

●各部屋の消費流量(使用流量)は代表的な家庭における消費流量を各部屋の面積に応じてランダムに割り振る。



など、合計18パターンを想定した。

# 解析事例（1）温水配管

## 計算のモデル化（圧力・流量の計算）

24時刻の消費流量が与えられているため、準定常を仮定し、24時刻の圧力・流量の定常計算を行った。

圧力・流量を求めるための式は、Advance/FrontNet/Λの次の基礎方程式である。

- 定常の質量保存式：
$$\sum W_{in} - \sum W_{out} = 0$$
- 定常の運動量保存式：
$$W^2 = \frac{\rho \Delta P}{R}$$

ここで、Wは質量流量[kg/s]、 $\Delta P$ は圧力損失[Pa]、 $\rho$ は流体密度[kg/m<sup>3</sup>]、Rは抵抗係数である。

準定常近似は、与えられる流量条件が1時間毎と長いことや、温度が流量に与える影響を無視できるため、“妥当な”近似と考える。

## 計算のモデル化（温度の計算）

●定常解析用のAdvance/FrontNet/へのエネルギー保存式に時間項を導入し、温度の過渡解析を行えるようにした。時刻は10分とした。

（陰解法のため、大きなタイムステップをとれる）

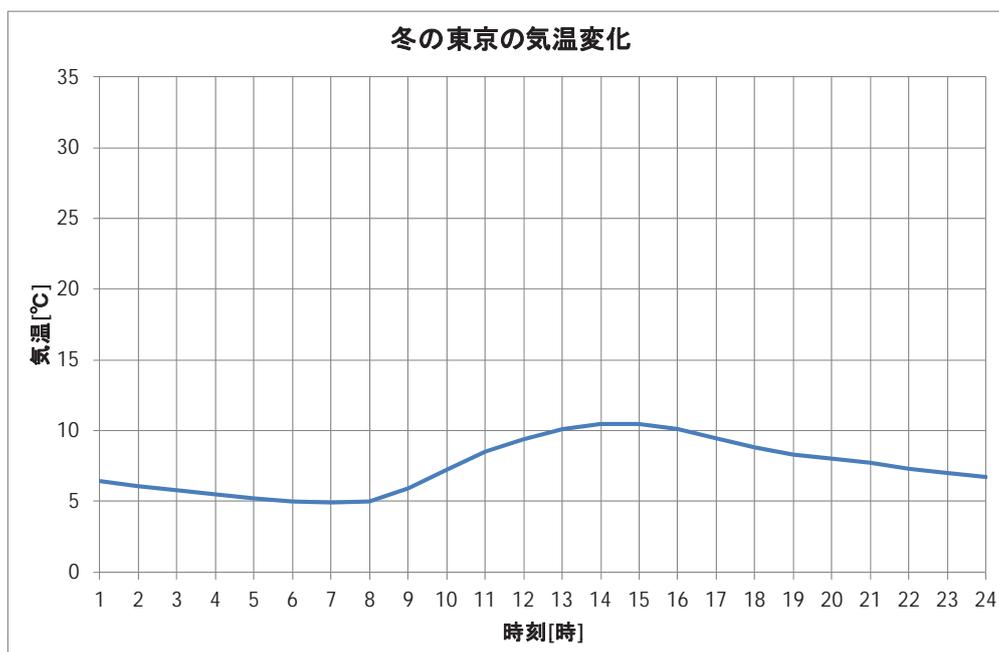
$$\frac{\partial \rho V h}{\partial t} = \sum \left( W \left( h + \frac{u^2}{2} \right) \right)_{in} - \sum \left( W \left( h + \frac{u^2}{2} \right) \right)_{out} + q$$

$$h = C_p T$$

ここで、 $\rho$ は流体密度[kg/m<sup>3</sup>]、 $V$ は流体体積[m<sup>3</sup>]、 $h$ はエンタルピー[J/kg]、 $u$ は流速[m/s]、 $q$ は配管から流体への伝熱量[W]、 $C_p$ は定圧比熱[J/(kg·K)]、 $T$ は温度[K]

## 計算条件（冬の場合）

温水温度は30℃を仮定



出典：国土交通省気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> 2007年、2008年の平均値

計算結果（冬の場合）

最低温度の時刻と階の関係

当日、プロジェクトにて

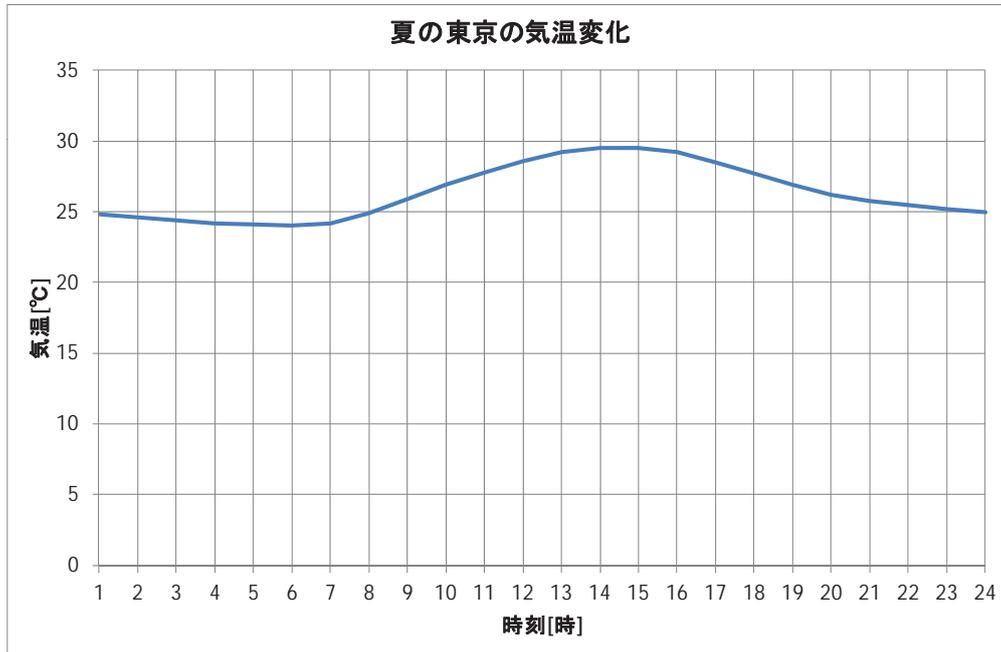
計算結果（冬の場合）

最高温度の時刻と階の関係

当日、プロジェクトにて

## 計算条件（夏の場合）

温水温度は30℃を仮定



出典: 国土交通省気象庁 <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> 2007年、2008年の平均値

## 計算結果（夏の場合）

### 最低温度の時刻と階の関係

当日、プロジェクトにて

### 計算結果（夏の場合）

### 最高温度の時刻と階の関係

当日、プロジェクトにて

### 結果のまとめ

- 「最低温度」は、温水を使っていない時間が長く、  
どんどん冷えて「最低温度」に到達している。
- 「最高温度」は、需要が多い時間がもっとも配管が温められているため、この時間帯に高い温度を示している。  
逆に需要が少ない時間は配管が冷えているため、この時間帯に低い温度を示している。  
需要の多い7時、12時、20時～23時頃にピークが出ている。
- 上の階のほうが下の階よりも温度低化が大きい傾向。  
これは冷やされる距離が長いからである。

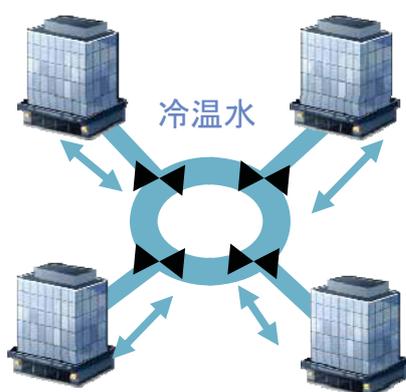
### まとめ

- 大規模配管系について24時間の計算を行った。  
圧力・流量を準定常解析とし、温度のみを過渡解析とする近似（工夫）をして、現実的な時間内（計算時間数分以内）で、温水温度低下の分布の傾向が計算できた。
- 本解析の応用として、消火設備（スプリンクラー、屋内消火栓）の性能評価（ポンプ能力、配管径）、化学プラントのユーティリティ配管のサイジング、空調設備の解析が考えられる。



### 紹介

朝日新聞デジタル2014年8月18日の記事  
「省エネ4割？ビル間で空調の冷温水を融通 大阪で実験」



各建物の冷凍機やヒートポンプで冷やしたり温めたりした水を建物内の配管に流し、空調に利用

⇒今回の計算も適用可能、エネルギーの効率利用の検討に役立てることができる。



# 地震時の冷却配管系の加振応答解析

関連キーワード：過渡解析、水撃、液柱分離、地震、加振、FFT、冷却配管系



## 解析事例（2）加振応答

### 背景

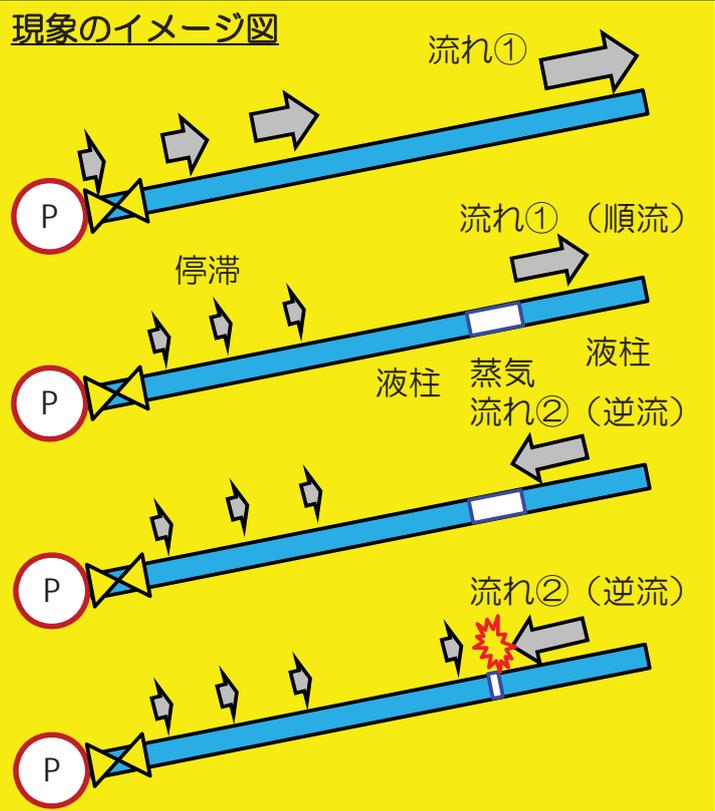
- 我が国は世界の中でも有数の地震国
- 管路系を有するプラントやライフラインでも種々の備えが必要  
⇒都市ガス管路系、原子力発電所  
⇒緊急停止、原子炉スクラム  
（破損、漏えい等を防止）
- 一方、地震時に運転が停止できない配管設備がある。  
⇒原子炉冷却系、消火設備など



管路系液体解析ソフトウェアAdvance/FrontNet/ $\Omega$ に地震加速度による加振機能と高速Fourier変換によるパワースペクトル密度計算機能を組み込み、地震時に配管内で起こる水撃に着目し、フィジビリティスタディを行った事例を紹介する。

## 液柱分離とは

- 液体圧力が飽和蒸気圧よりも小さくなると蒸気が発生する。（液柱分離）
- 液の柱が落下してきて蒸気が潰されるとき、衝突時の衝撃で大きな圧力上昇が発生する。
- ポンプトリップ時のほかバルブ急閉時のバルブ下流側や地震時などに起こる。



## 解析手法

- FrontNet/ $\Omega$ の運動量保存式に加振効果を外力項として導入

$$\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \left( \frac{\partial Q}{\partial t} + V \frac{\partial Q}{\partial x} \right) + \frac{\lambda Q}{2gDA^2} |Q| - \frac{G_{EW}(t) \cos \gamma + G_{SN}(t) \sin \gamma + G_{UD}(t) \sin \theta}{g} = 0$$

$G_{EW}$ [ $m^2/s$ ]：東西方向の加振加速度

$G_{SN}$ [ $m^2/s$ ]：南北方向の加振加速度

$G_{UD}$ [ $m^2/s$ ]：上下方向の加振加速度

$\theta$ [rad]：配管の仰角

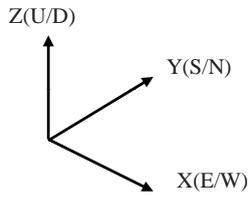
$\gamma$ [rad]：配管の東西方向に対する水平角度

$H$ [m]：配管内液体のピエゾ水頭

$Q$ [ $m^3/s$ ]：配管内液体の体積流量

# 解析事例（2）加振応答

## 管路モデルと計算条件



### 管路モデル 1

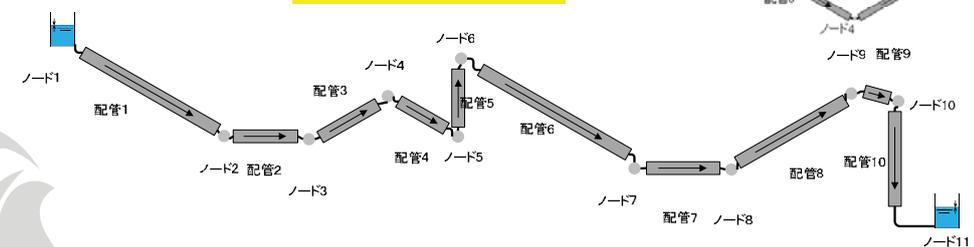
配管 5B  
鋼管 (炭素鋼)  
全長 15m

A: 流量境界  
300m<sup>3</sup>/h



### 管路モデル 2

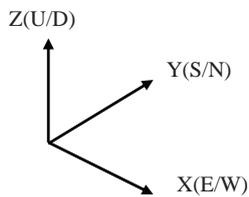
A: 流量境界  
300m<sup>3</sup>/h



配管 5B  
鋼管 (炭素鋼)  
全長 22m

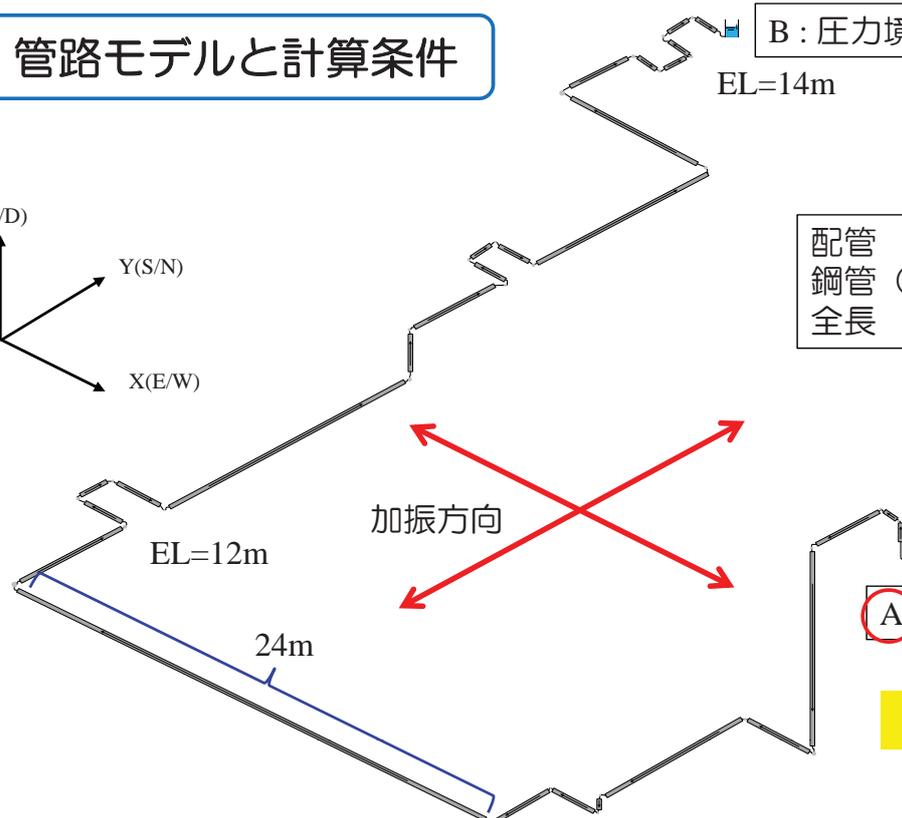
# 解析事例（2）加振応答

## 管路モデルと計算条件



B: 圧力境界  
EL=14m

配管 3・1/2B  
鋼管 (炭素鋼)  
全長 104m



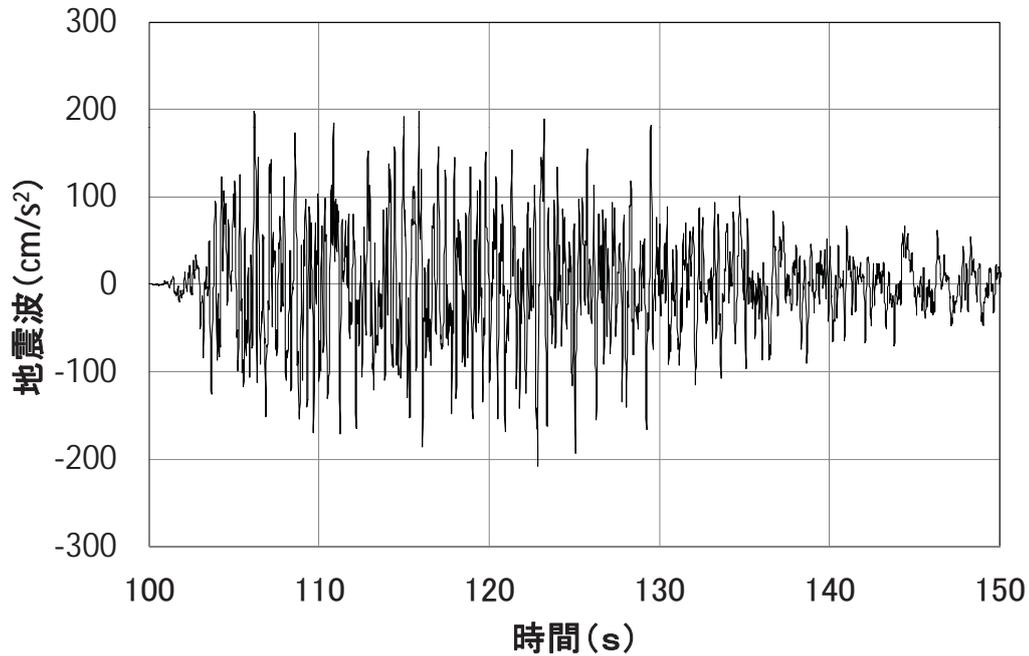
A: 流量境界 100m<sup>3</sup>/h

### 管路モデル 3

## 計算条件

地震波条件

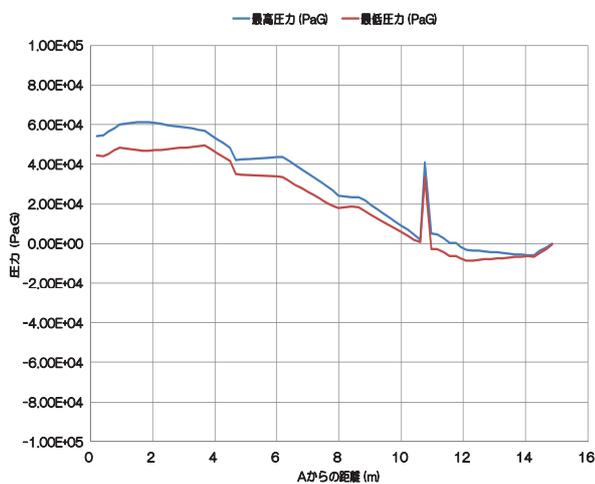
最大約200gal(震度4から5弱相当)、東西・南北共通



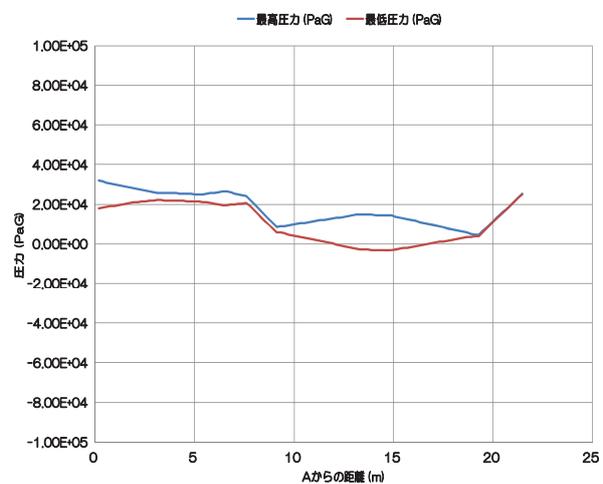
出典：一般財団法人日本建築センターの模擬波(基盤波)データ

## 計算結果（管内最高最低圧力）

管路モデル 1

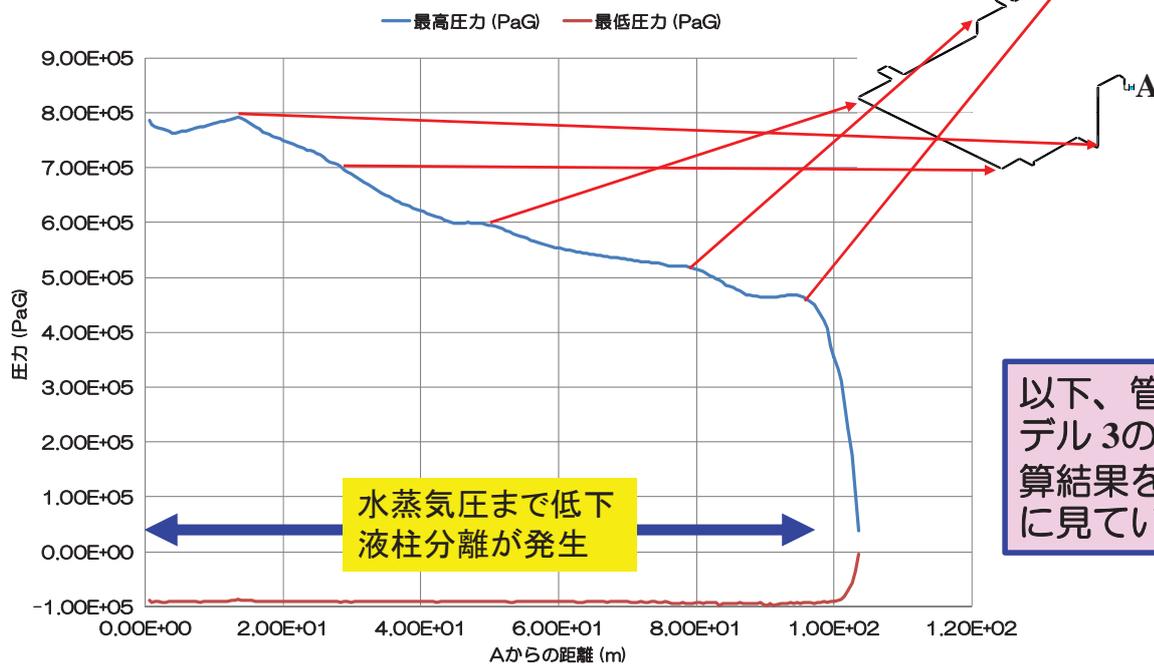


管路モデル 2

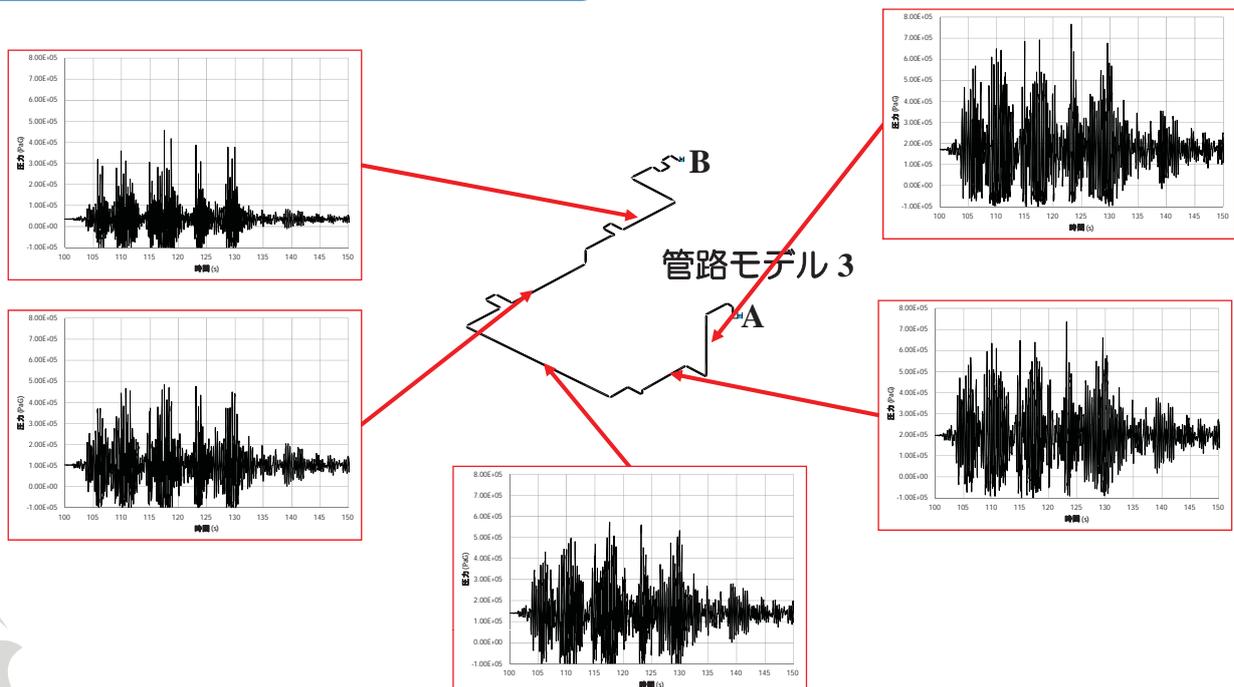


いずれも液柱分離が生じず、大きな圧力上昇が見られなかった

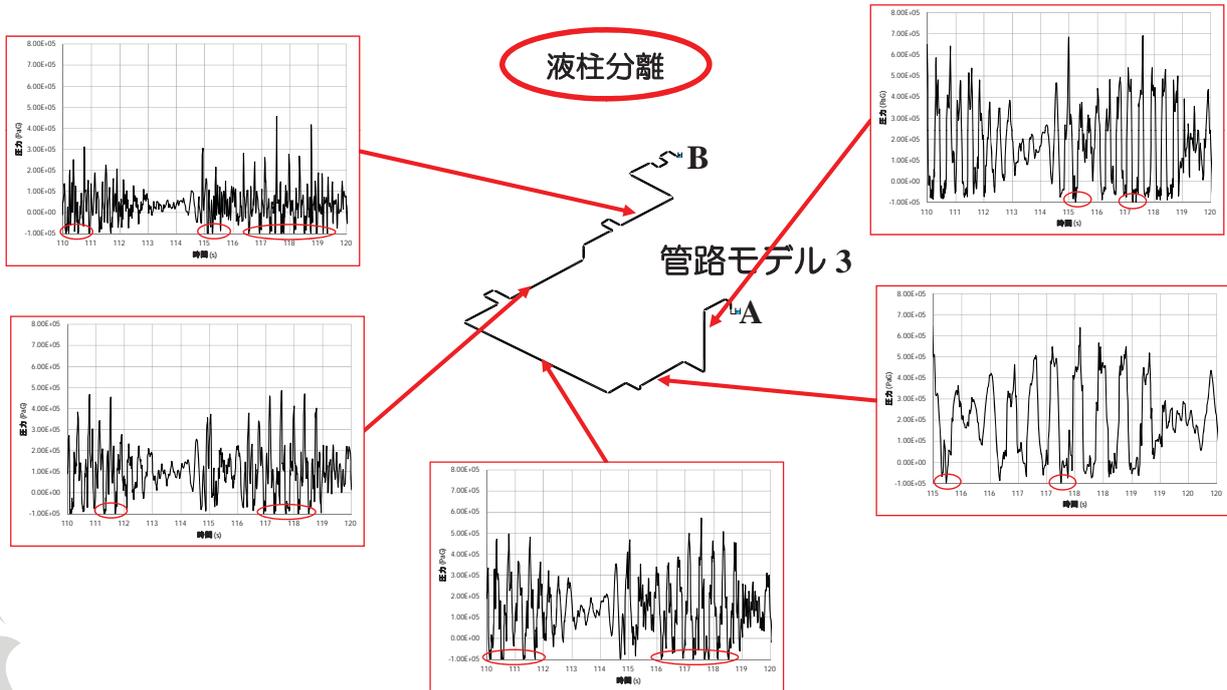
## 計算結果（管内最高最低圧力）



## 計算結果（管内圧力変動）

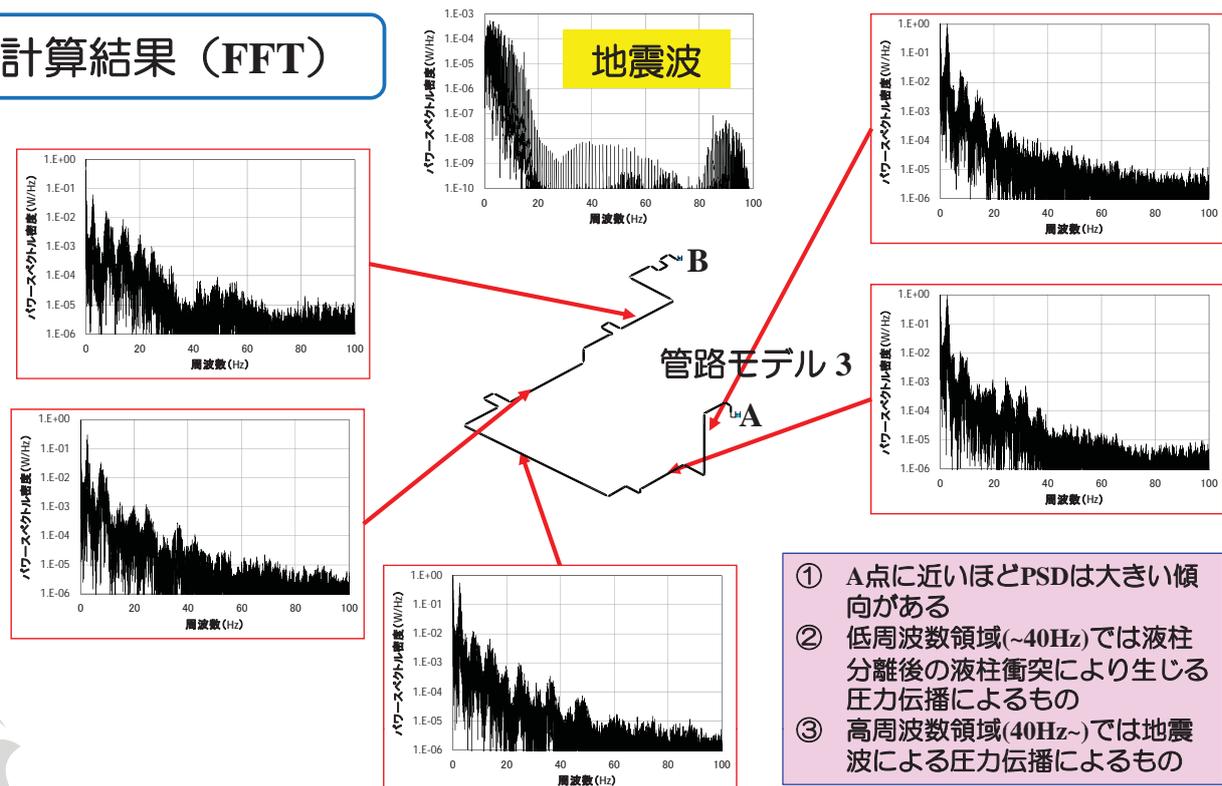


## 計算結果（管内圧力変動：拡大）



## 解析事例（2）加振応答

## 計算結果（FFT）



- ① A点に近いほどPSDは大きい傾向がある
- ② 低周波数領域(~40Hz)では液柱分離後の液柱衝突により生じる圧力伝播によるもの
- ③ 高周波数領域(40Hz~)では地震波による圧力伝播によるもの

### まとめ

- 3種類の管路モデルに対して、地震時を想定して加振応答解析を実施した。解析に用いたソフトウェアは、加振機能を組み込んだAdvance/FrontNet/Ωである。
- その結果、数mの短い配管や垂直管で構成される管路系では、加振に対して、液柱分離は生じなかった。
- 一方、数十mの比較的長い水平管路で構成される管路系では、管路系全体に渡って、液柱分離が生じ、液柱衝突に伴う圧力上昇が最高で0.9MPa(0.8MPaG)まで達した。
- また、管路系全体を見ることで、液柱分離が生じやすい場所を特定することができた。
- なお、管路系の最高使用圧力は1.3~1.4MPaと想定されているので、大きな余裕があることが分かった。
- 今回は管路内の流体のみへの加振を考慮したが、今後は管路系の構造解析との連成も考慮できるように解析機能をアップしていきたい。



# 管路系流体解析ソフトウェアの 解析事例 セッション2（混合ガス系）

技術第4部 秋村 友香

管路系流体解析の応用セミナー  
2014年8月29日（金）  
アドバンスソフト株式会社



## 解析事例(3)

### 熱量調整系の制御系と流体の連成解析

関連キーワード: 制御系、遅れ、熱量調整、DV&M、気化器、  
ガス組成変化、過渡解析、制御系と流体の連成解析

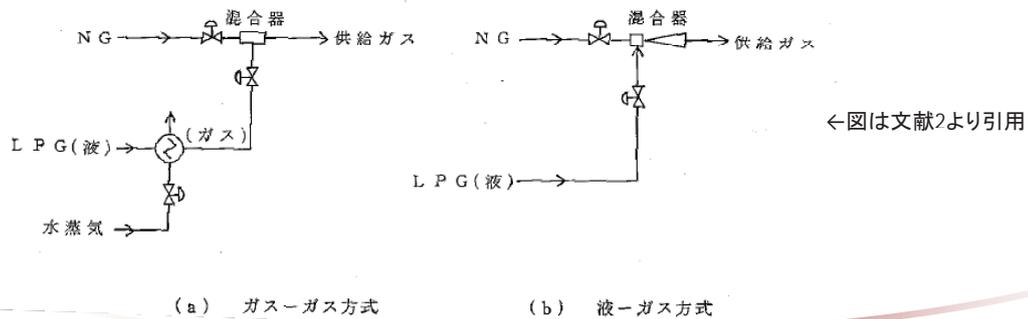
参考文献1: 日立評論74(4)、松島英雄、豊嶋弘幸、  
「簡単な操作で省エネルギーを測る都市ガス熱量調整設備」  
P344、1992-4.

参考文献2: 社団法人 日本ガス協会、  
「都市ガス工業概要(製造編)」、平成15年改訂版



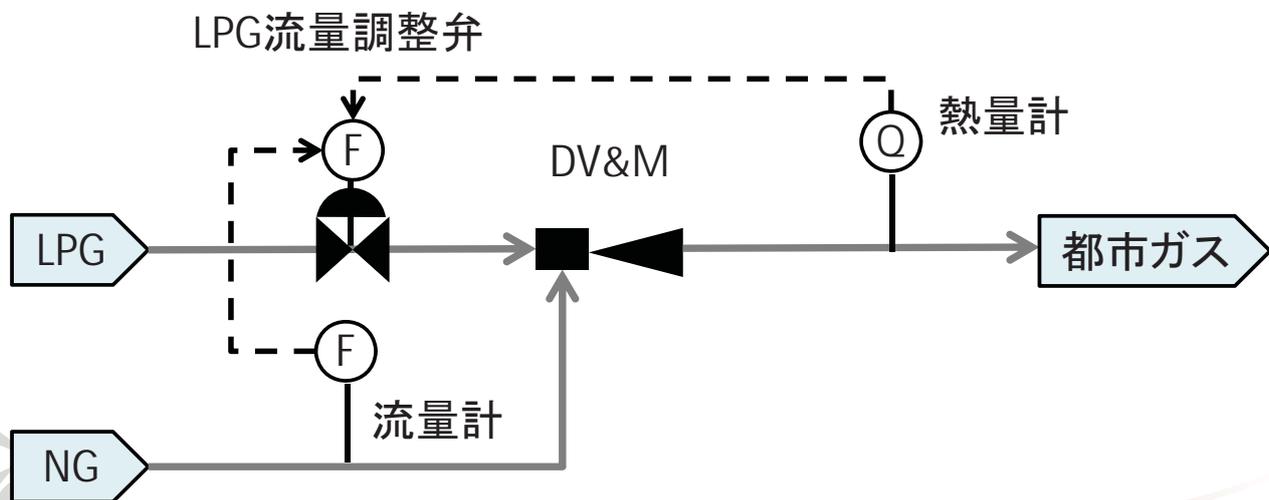
## 背景

- ・都市ガスは、LNG導入促進に伴い高カロリーガスに統一される方向。気化した天然ガス(NG)に増熱用のLPGを供給し、熱量調整してから製品化される[文献1]。
- ・3パターン(ガスガス,液ガス,液液)の熱量調整方式。文献1ではガスガス方式よりも液ガス方式(DV&M方式)のほうが安定、起動時間を30分から5分に短縮できたという結果を報告している。



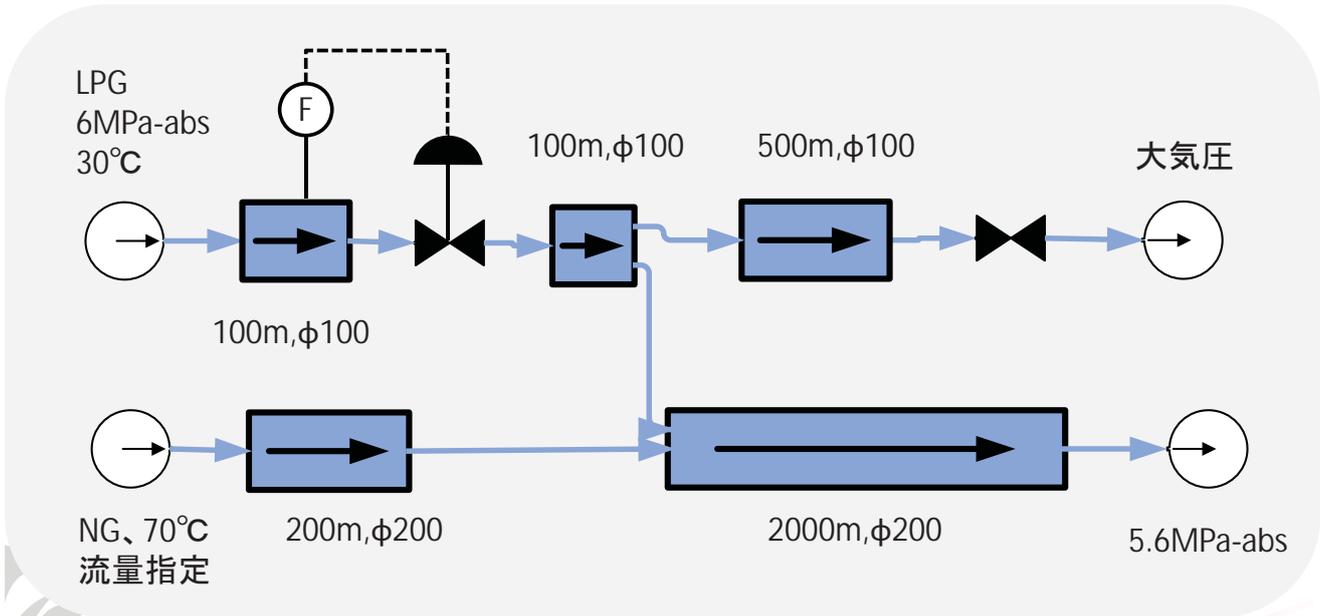
## 参考にしたモデル

- ・NG流量に対して必要なLPG流量をPID制御する。熱量変動に対し、熱量計からのフィードバック制御を行う。



## 計算モデル

NG境界は流量指定、LPG側は圧力指定境界。



## 過渡シナリオ

- 初めは、NGが少量流れており、LPGは全く流れていないような定常状態を想定
- 起動時、NGを増量し、LPGはNG流量に合わせて熱量調整をするために、流量制御系の指示値を増やす。
- 起動時間をなるべく短縮したいという要望を想定、起動時間を現行の30分から5分に短縮した場合、系が安定かどうかをシミュレーションによって調べる。

# 解析事例(3) 熱量調整系の制御系と流体の連成解析

## 計算条件(流体物性)

物性はNGを理想気体とし、LPGは実流体物性を使用する。  
(理由:LPGが高圧のため超臨界状態であることから)

分類	化学種	モル質量 [g/mol]	粘性 [Pas]	定圧比熱 [J/kgK]	混合割合 [Vol%]
NG	CH4	16	$38.3 \times 10^{-6}$	2573	100
LPG	C2H6	30.07	$9.3 \times 10^{-6}$	1764	2
	C3H8	44.10	$106 \times 10^{-6}$	2616	96
	CH4H10	58.12	$7.6 \times 10^{-6}$	1700	2

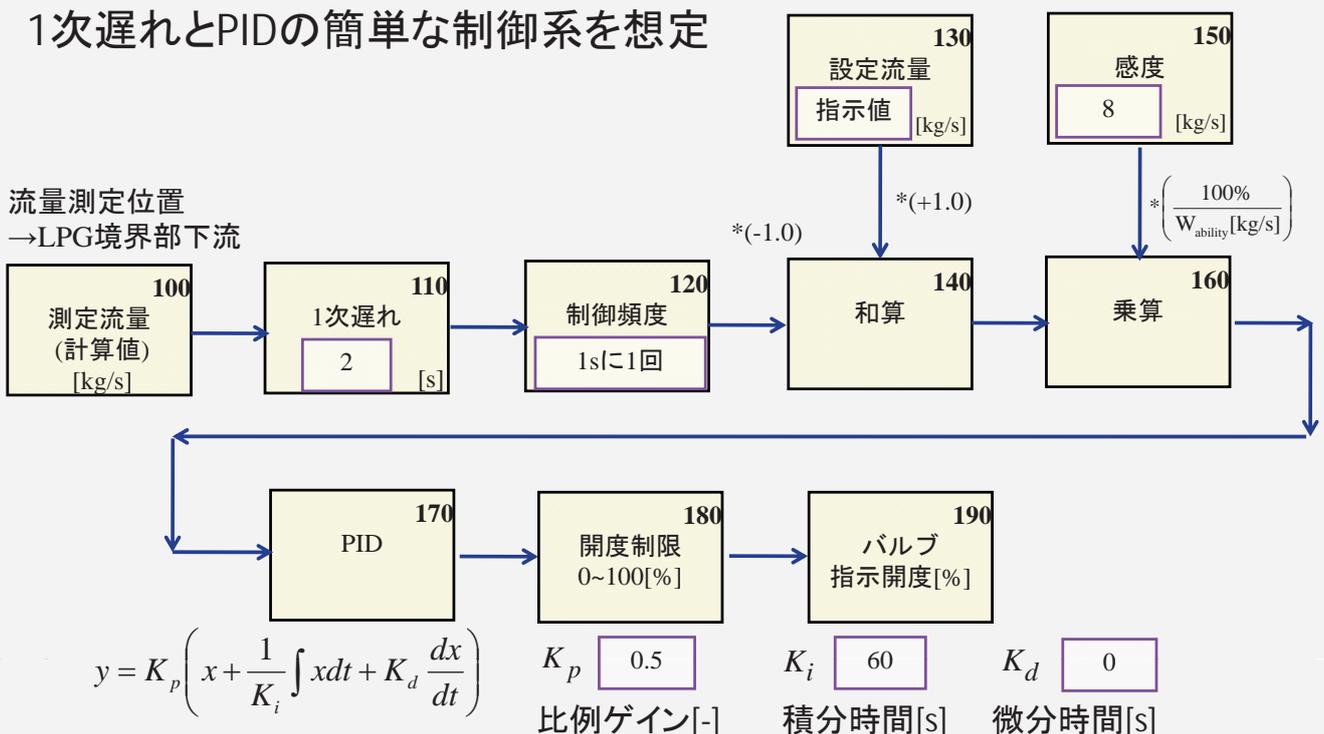
熱量の値は文献2を参照した。ブタンはiとnの平均値を使用。

成分	CH4	C2H6	C3H8	CH4H10
熱量 [MJ/m <sup>3</sup> N]	39.9	69.8	99.2	128.4

# 解析事例(3) 熱量調整系の制御系と流体の連成解析

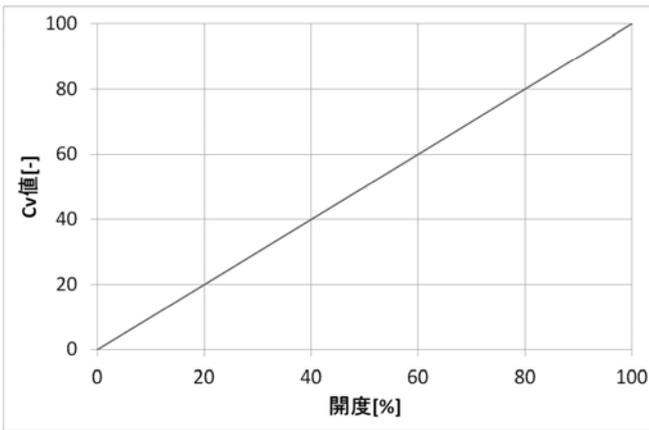
## 計算条件(制御系)

1次遅れとPIDの簡単な制御系を想定



# 解析事例(3) 熱量調整系の制御系と流体の連成解析

## 計算条件(制御バルブ)



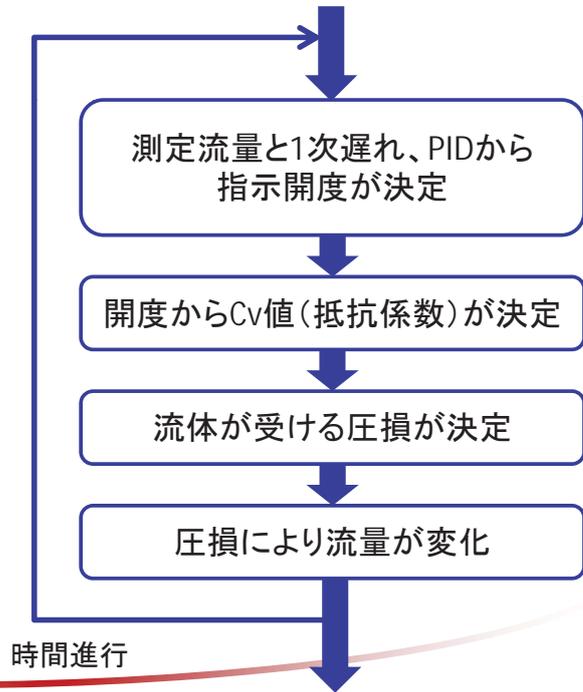
開度とCv値の関係

圧損と抵抗係数の関係  $\Delta P = \frac{K}{2} \rho u^2$

Cv値と抵抗係数の関係  $K = \left( \frac{A_{100}}{C_v f_{cv}} \right)^2 \frac{2}{\rho_{H2O60F}}$

$f_{cv}$ と $\rho_{H2O60F}$ は単位換算係数

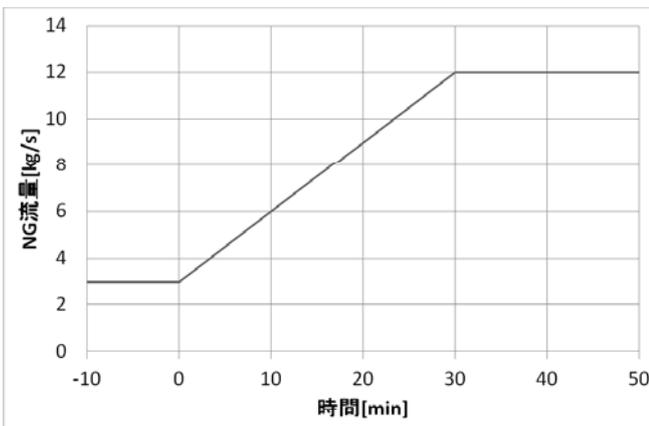
## 制御系と流体の連成解析



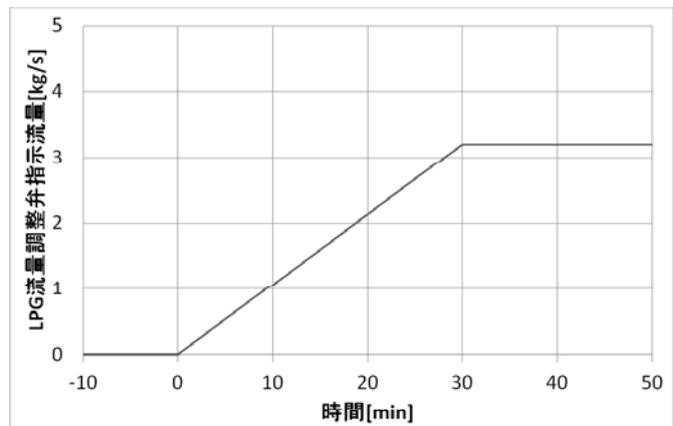
# 解析事例(3) 熱量調整系の制御系と流体の連成解析

## 計算条件(30分起動)

ここでは、シミュレーションのために簡易的な流量増加トレンドを想定

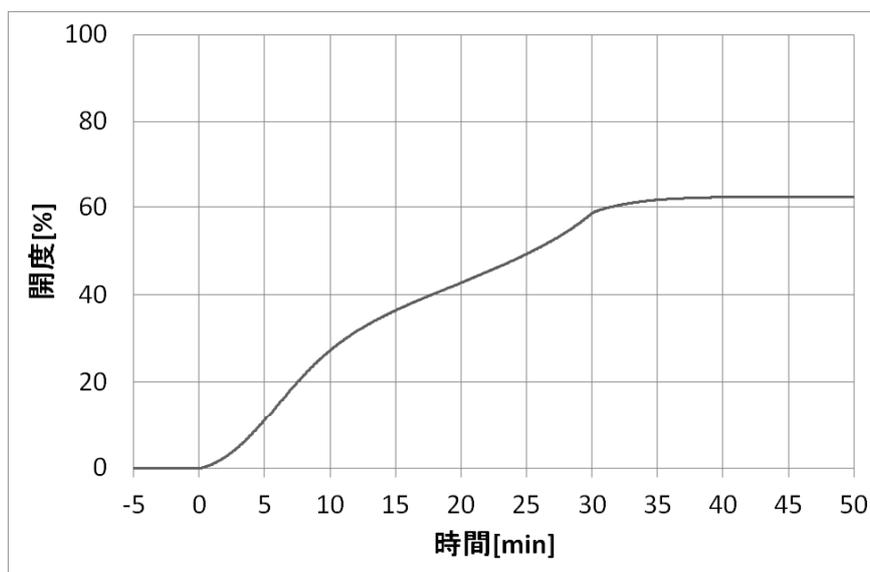


NG流量



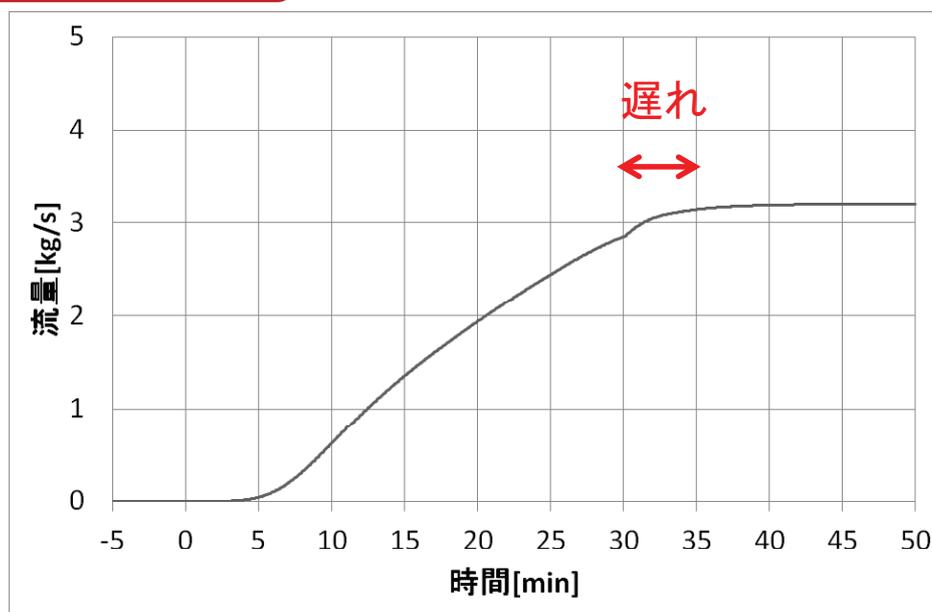
LPG指示流量

## 計算結果(30分起動)



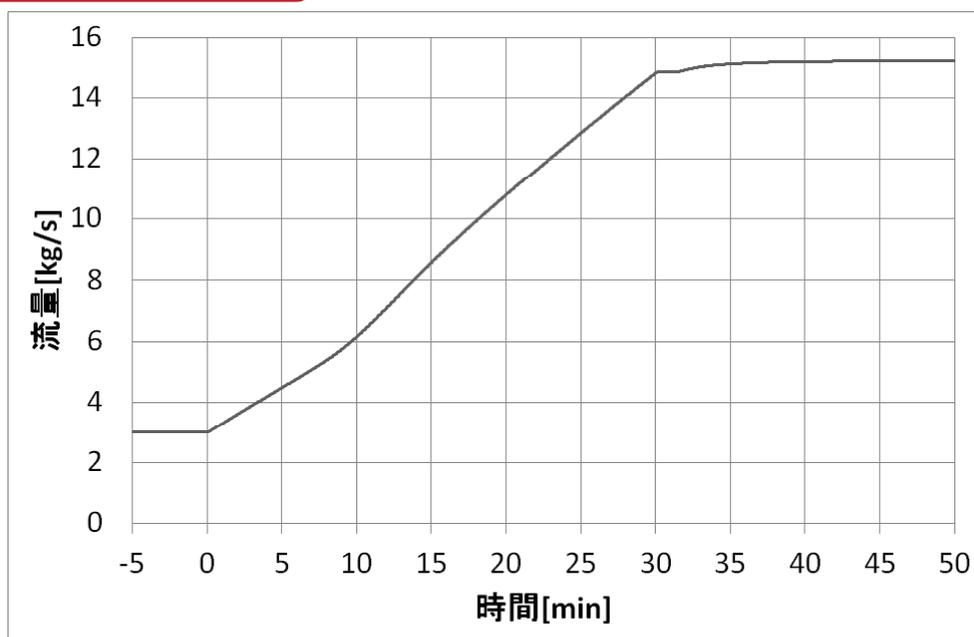
LPG流量調整弁の開度の時間変化

## 計算結果(30分起動)



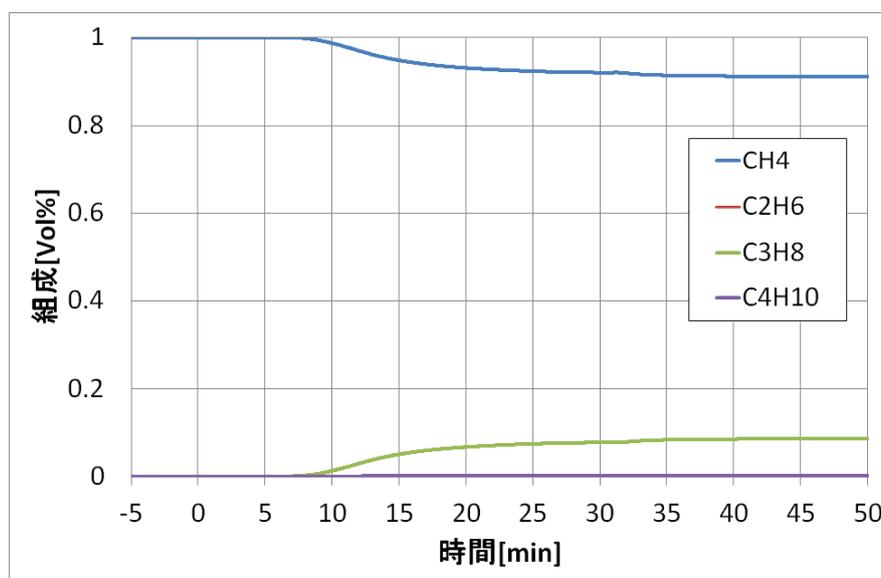
LPG流量の時間変化

## 計算結果(30分起動)



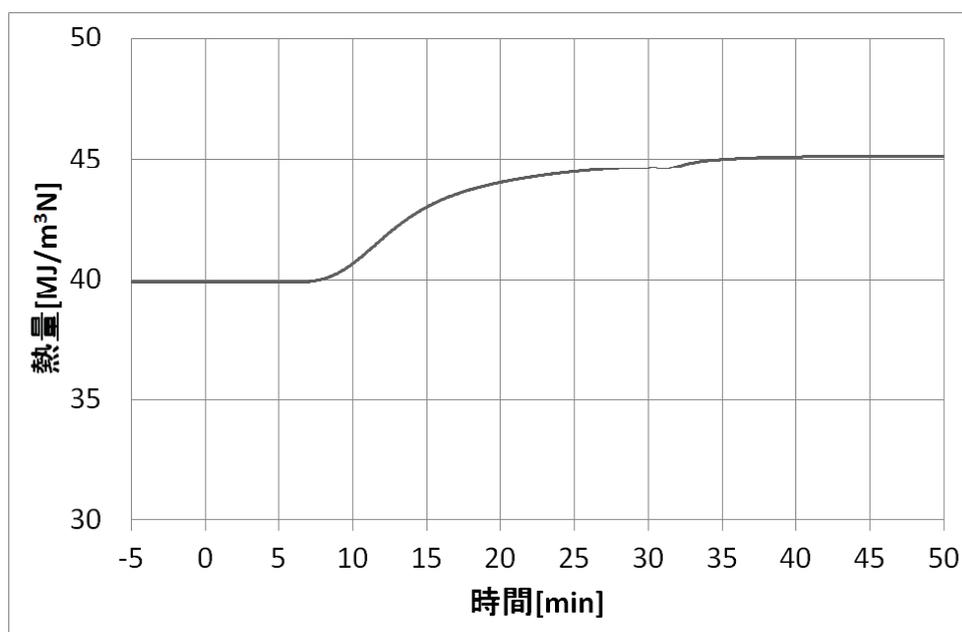
混合ガスの流量の時間変化

## 計算結果(30分起動)



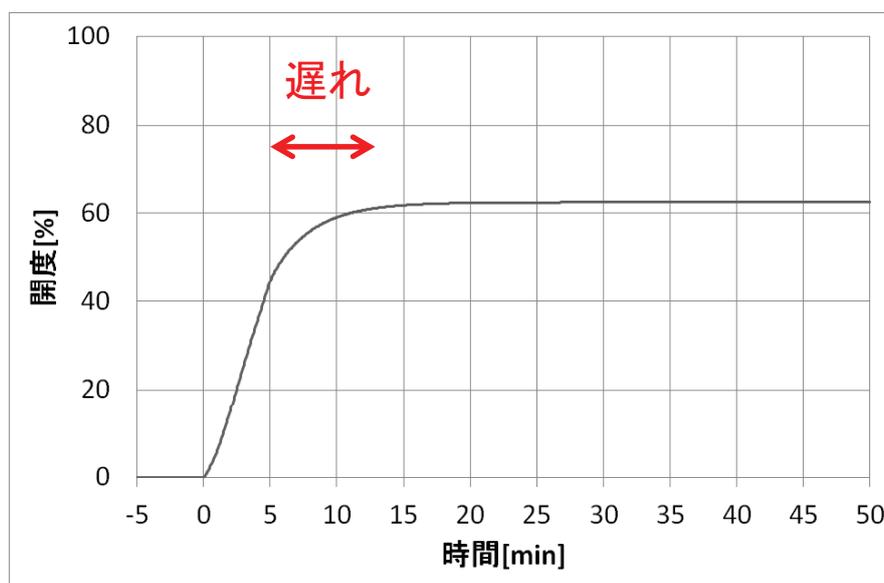
混合ガスの組成の時間変化

## 計算結果(30分起動)



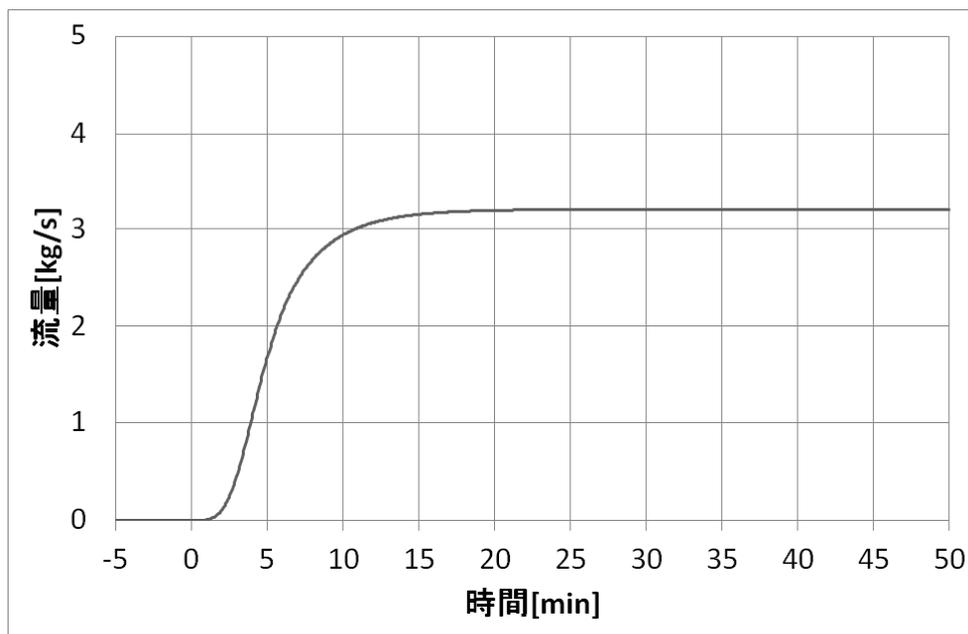
混合ガスの熱量の時間変化

## 計算結果(5分起動)



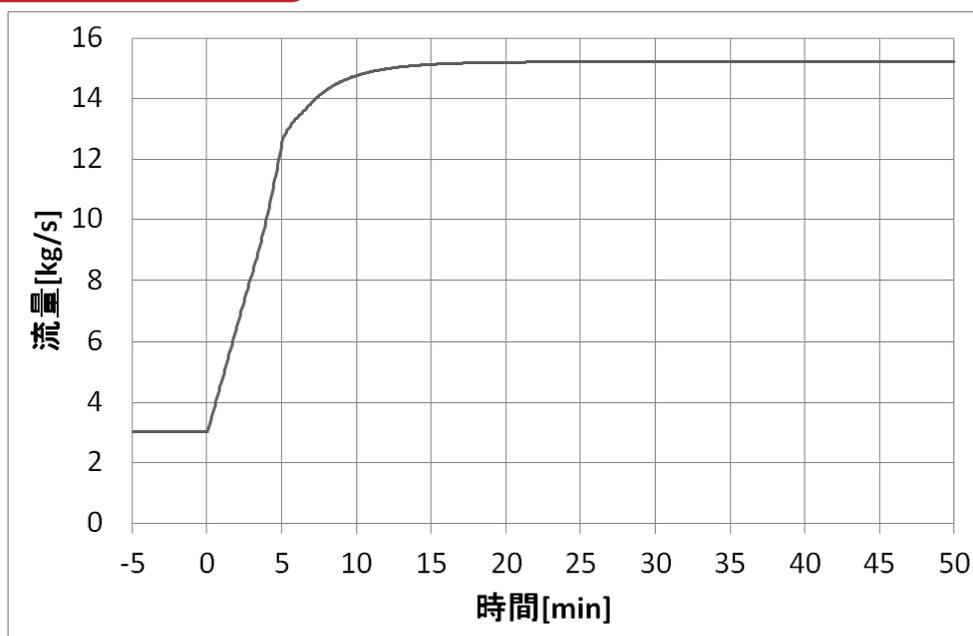
LPG流量調整弁の開度の時間変化

## 計算結果(5分起動)



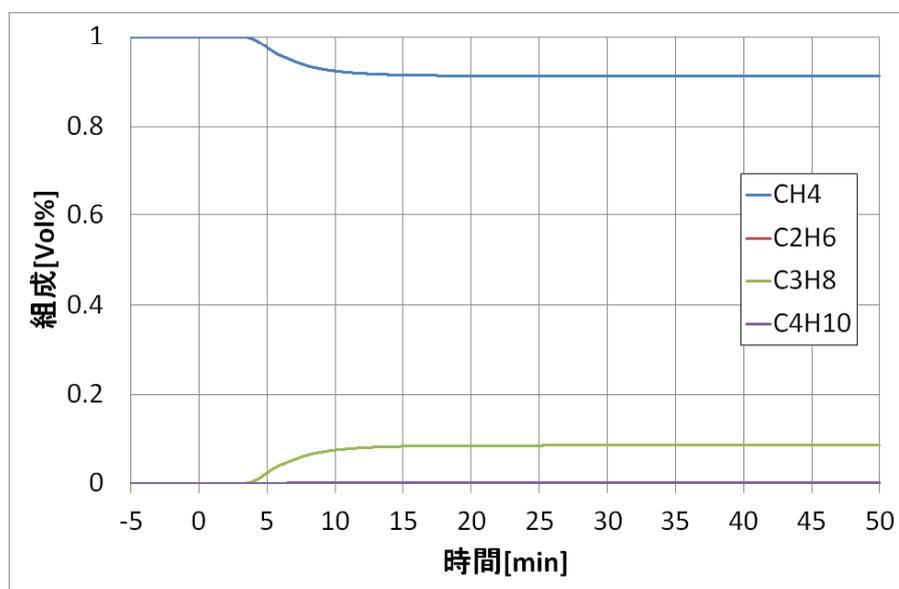
LPG流量の時間変化

## 計算結果(5分起動)



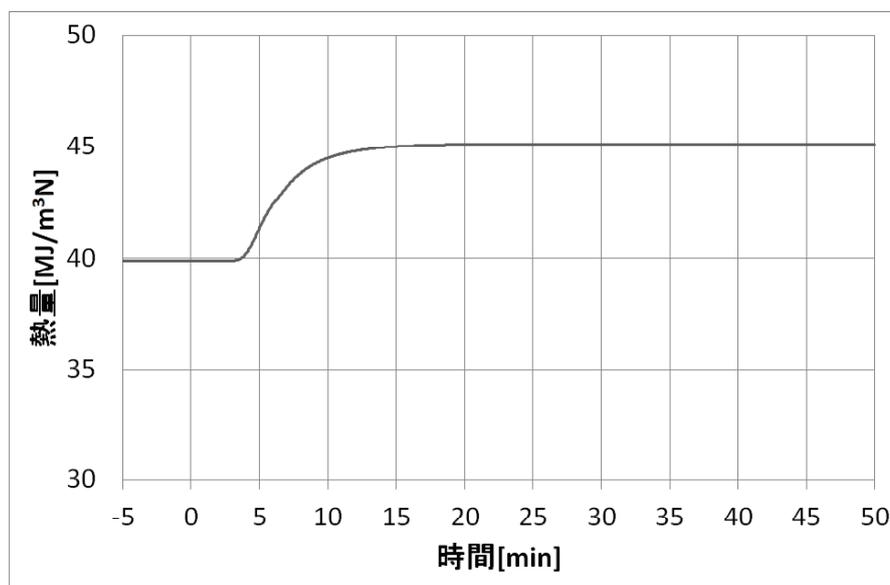
混合ガスの流量の時間変化

## 計算結果(5分起動)



### 混合ガスの組成の時間変化

## 計算結果(5分起動)



### 混合ガスの熱量の時間変化

### まとめと今後の課題

- ・AFNRを使用して都市ガスの熱量調整設備を模擬して計算を行った。LPG流量はPID制御の結果、5分程度の遅れが出ることが分かった。起動時間を5分としても流量の振動、ピークなどは出なく、安定して起動を行えるという結果を得た。
- ・NGは気化器から取り出している。気化器は夜間放置時などにもLNG液面から蒸発が続いており、プラント起動時には溜まっていたメタンリッチのNGが流出するなど、実際には流量も熱量も変動がある。
- ・本計算は、混合ガス側の計算熱量から得たLPG指示流量を使用せず、今回は予めこれを与えた。制御系内で測定熱量から指示流量を算出する機能を導入することが今後の課題である。

## 解析事例(4)

### 燃料ガス系の緊急時の送出過渡解析 ~株式会社オメガシミュレーション様とのコラボ事例~

関連キーワード: ガス組成変化、過渡解析、臨界流、  
フレアスタック

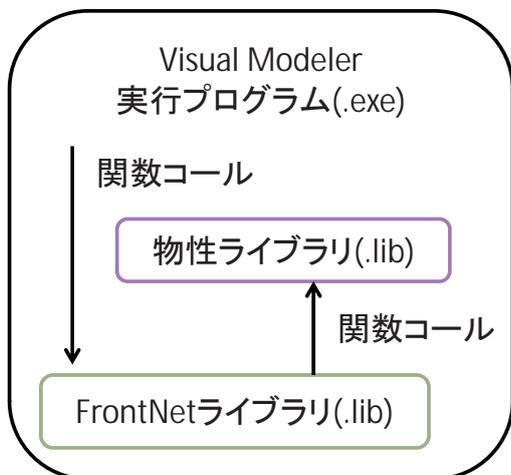
参考: 清水雅嗣、「ダイナミックプロセスシミュレータと管路系流体解析」、  
アドバンスシミュレーションVol18.

## 背景

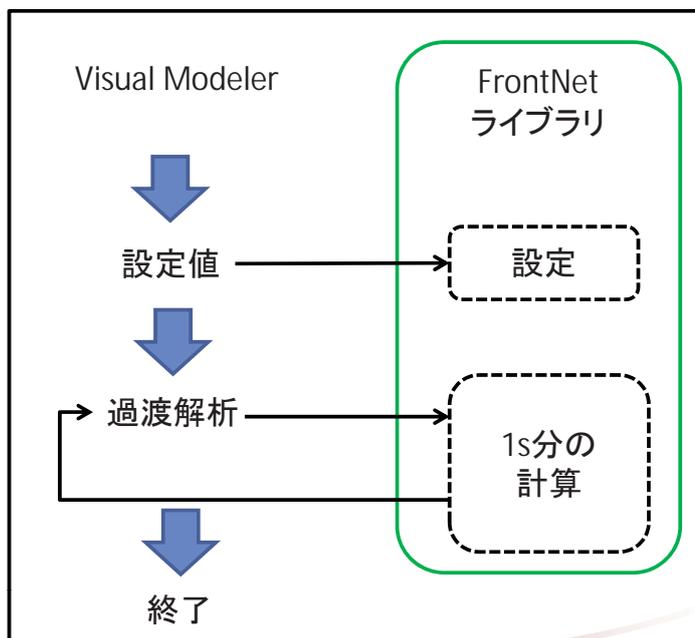
- ・福島原発事故などをきっかけに、火力発電所の稼働が活発となり、火力発電の燃料となるLNGに関する解析が増えている。
- ・株式会社オメガシミュレーション殿においては、日本国内外20か所以上のLNG受入れ基地にダイナミックプラントシミュレータ「Visual Modeler」を核としたソフトウェアパッケージ群「OmegaLand」の運転訓練シミュレータや動的解析の納入実績があり、現場のニーズを押さえている。
- ・今回、アドバンスソフト(株)と株オメガシミュレーションの取組みでOmegaLandに管路系過渡解析ソフトウェアAdvance/FrontNet/Γを組み込み、テスト解析を実施したので紹介する。

## 組み込み方法と計算の流れ

### 組み込み方法



### 計算の流れ

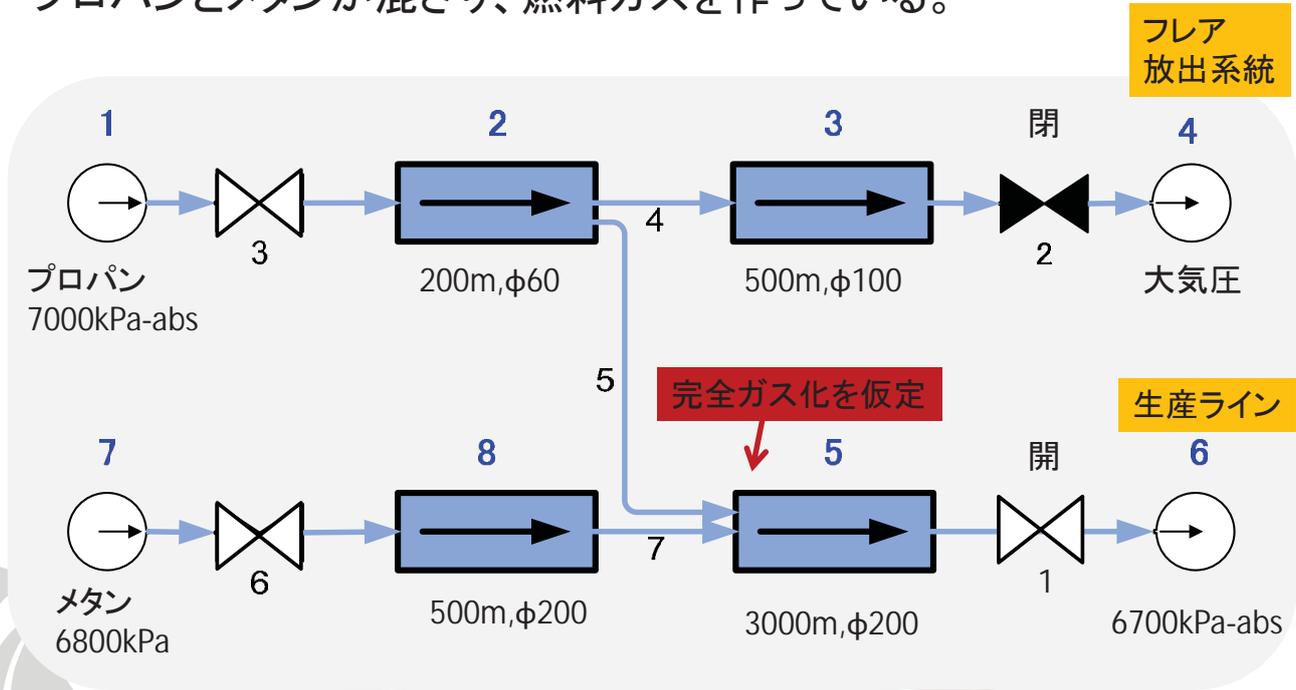


※これらは  
現在リリースに向けて整備中

# 解析事例(4)燃料ガス系の緊急時の送出過渡解析

## 計算モデル

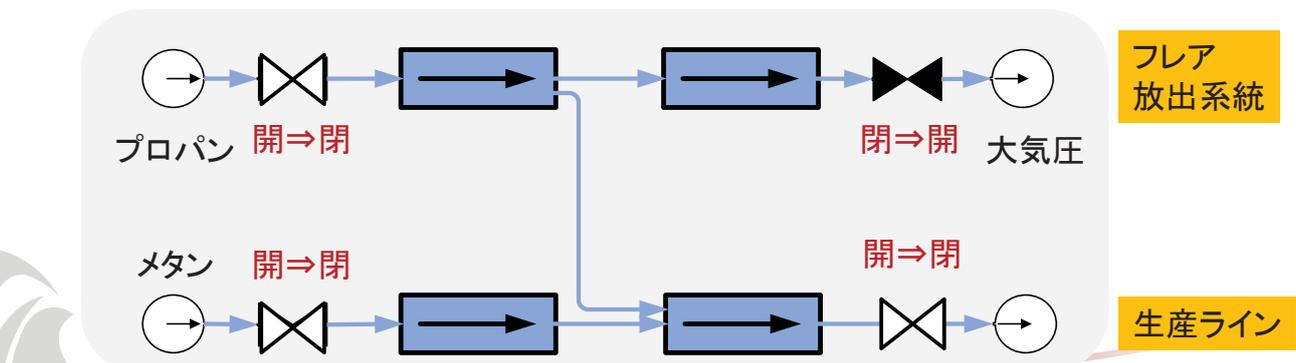
プロパンとメタンが混ざり、燃料ガスを作っている。



# 解析事例(4)燃料ガス系の緊急時の送出過渡解析

## 補足:フレアスタック

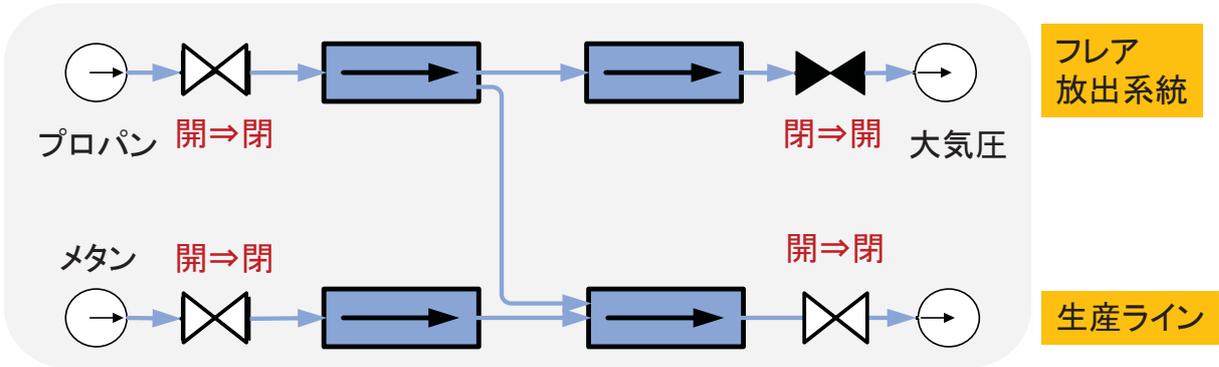
- ・フレアスタック⇒化学プラントなどで出た余剰燃料ガスを無害化するために燃やして排出する方法
- ・配管内にガスが滞留⇒爆発事故  
フレア放出システムが用意されている。
- ・燃焼までは考慮せず、大気開放までとする。  
流速は十分大きいとし、炎の配管への侵入を考慮しない。



# 解析事例(4) 燃料ガス系の緊急時の送出過渡解析

## 過渡シナリオ

- ・通常時、燃料は下側の「生産ライン」に流れている。
  - ・緊急時、生産ラインに燃料が流れ込むのをストップさせ、大気開放するような操作を実施したとする。
- このとき、大気開放部では圧力差が大きいいため、臨界流となる



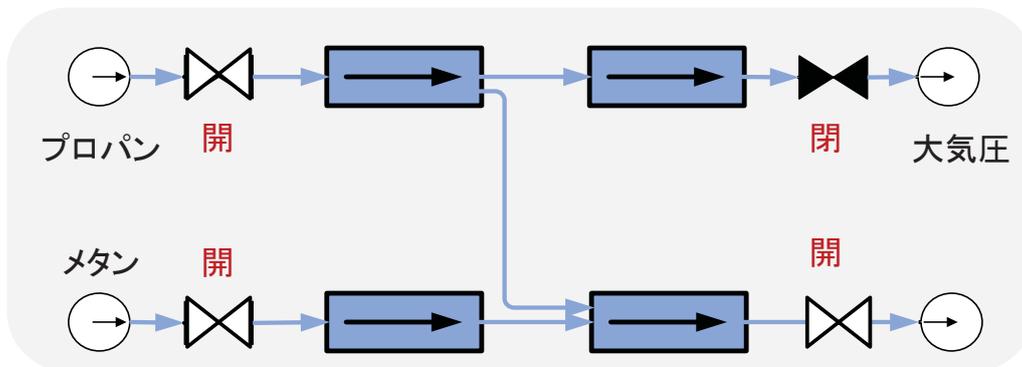
⇒配管中の燃料がすべて排出されるまでの時間を調べる。

# 解析事例(4) 燃料ガス系の緊急時の送出過渡解析

## 計算

・定常状態

プロパン100%  
メタン0%



プロパン0%      プロパン28%  
メタン100%      メタン72%

計算

・過渡時の圧力変化

当日、プロジェクトにて

生産ライン

フレア放出ライン

⇒動画を参照

計算

・過渡時の流量変化

当日、プロジェクトにて

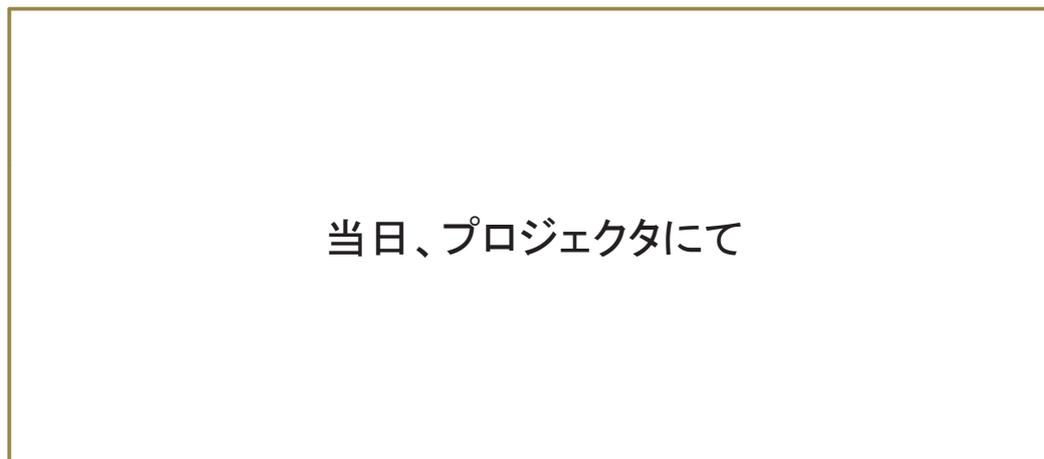
生産ライン

フレア放出ライン

⇒動画を参照

計算

・過渡時の密度変化



当日、プロジェクトにて

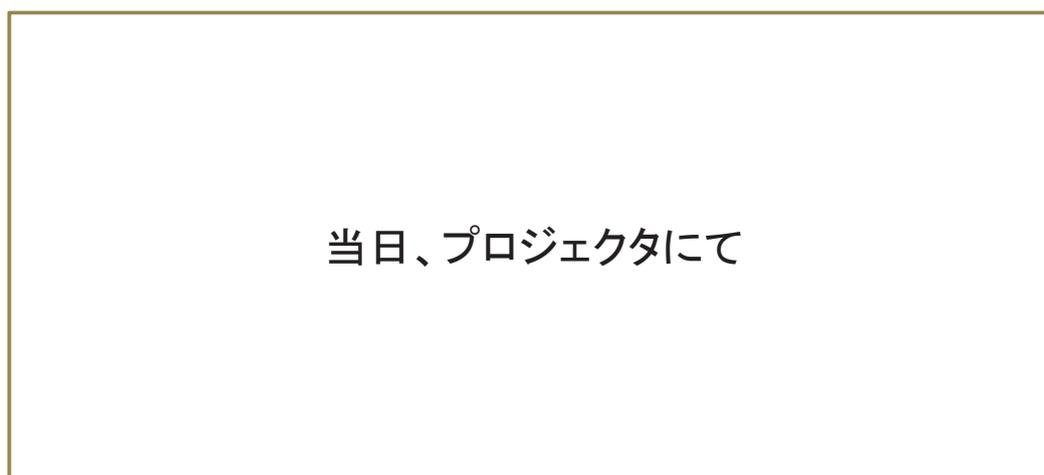
生産ライン

フレア放出ライン



計算

・過渡時の組成変化



当日、プロジェクトにて

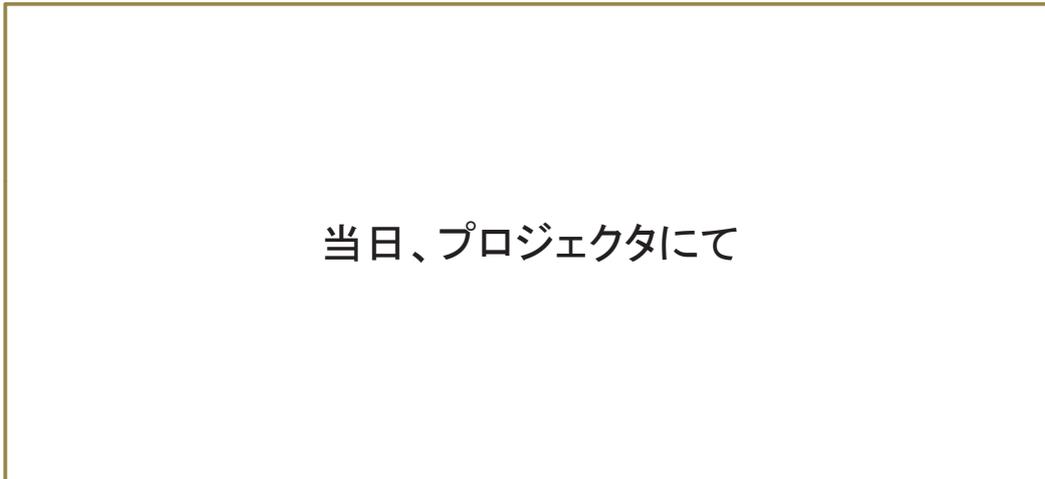
生産ライン

フレア放出ライン



計算

・過渡時の熱量変化



当日、プロジェクトにて

生産ライン

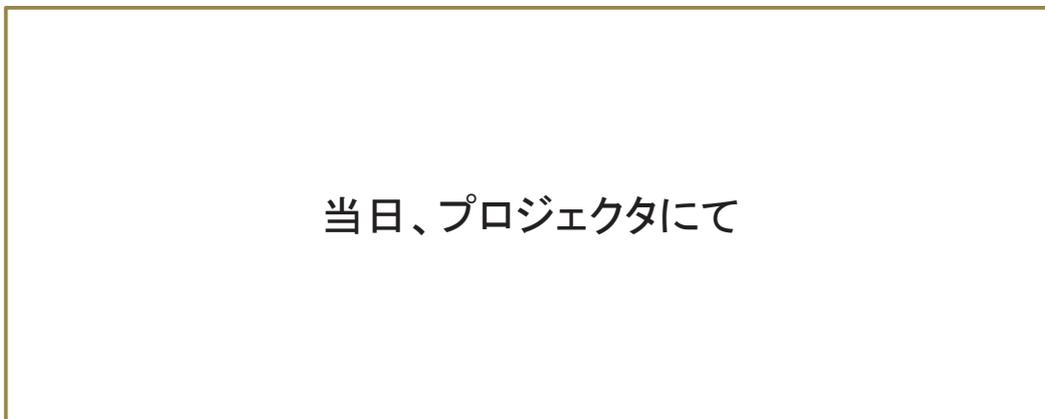
フレア放出ライン

計算

・臨界流の計算について

$$\frac{P_{out}}{P_{in}} = \left( \frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

圧力比が臨界圧力比よりも小さい場合に、  
臨界流モデルを適用し、流速を音速とする。



当日、プロジェクトにて

流速

臨界圧力比から  
得られる上流圧力

### まとめ

- ・AFNΓを用いて燃料ガス系を模擬して計算を行った。  
緊急時を想定してフレア放出弁を開け、管内の残留ガスを排気する計算を再現することができた。このとき、大気開放したことから臨界流となった。
- ・本体系では、バルブ開放後、約50分間は流速が臨界速度に相当する音速に維持されるという結果を得た。
- ・プラントシミュレータOmegaLandの機能の中でオペレータの訓練シミュレータやリアルタイムシミュレータとして緊急時のオペレーション予測に役立てられるように、さらなる開発・改良を行っていく。





**警告**

このレポートに収録されている文章および内容については、ご自身のために役立つ用途に限定して無料配布しています。このレポートを、販売、オークション、その他の目的で利用するには、著作権者の許諾が必要です。このレポートに含まれている内容を、その一部でも著作権者の許諾なしに、複製、改変、配布を行うことおよびインターネット上で提供する等により、一般へ送ることは法律によって固く禁止されています。