

オンラインセミナー プラントシミュレーションによる リスク評価/製品紹介と技術セミナー

2022年10月7日(金)開催

プログラム

1. アドバンスソフト株式会社のご紹介 主催者あいさつ 1

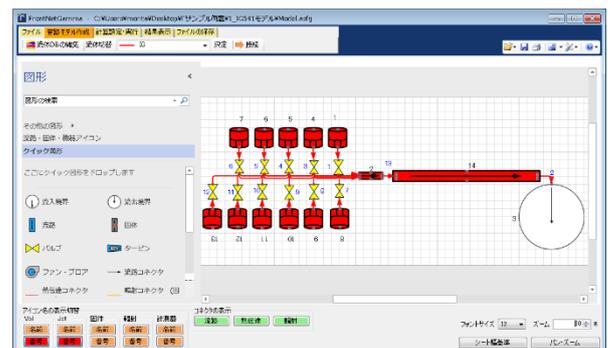
2. **招待講演①** ※資料は非公開です
「最新 IEC 規格による防爆エリアの設定 (危険区域の精緻なリスク評価)」
 株式会社 FPEC 代表取締役 加藤 義幸 様

3. Advance/FrontNet/Γ の最近の取り組みと計算事例紹介 5
 事例 1 : 不活性ガス消火設備の解析
 事例 2 : 蒸気ブローダウン解析 (高温蒸気で水を押し出す解析)
 熱流動エンジニアリングセンター 主任研究員 秋村 友香

4. **招待講演②**
「Dynamic Draw - オープンソースの Vector Graphics Editor」 31
 株式会社グラフィ工房 代表取締役 福代 昌之 様

5. DynamicDraw を使った Advance/FrontNet/Γ GUI の紹介.....39
 熱流動エンジニアリングセンター 研究員 神長 龍一

6. 関連サービスのご紹介49



AdvanceSoft

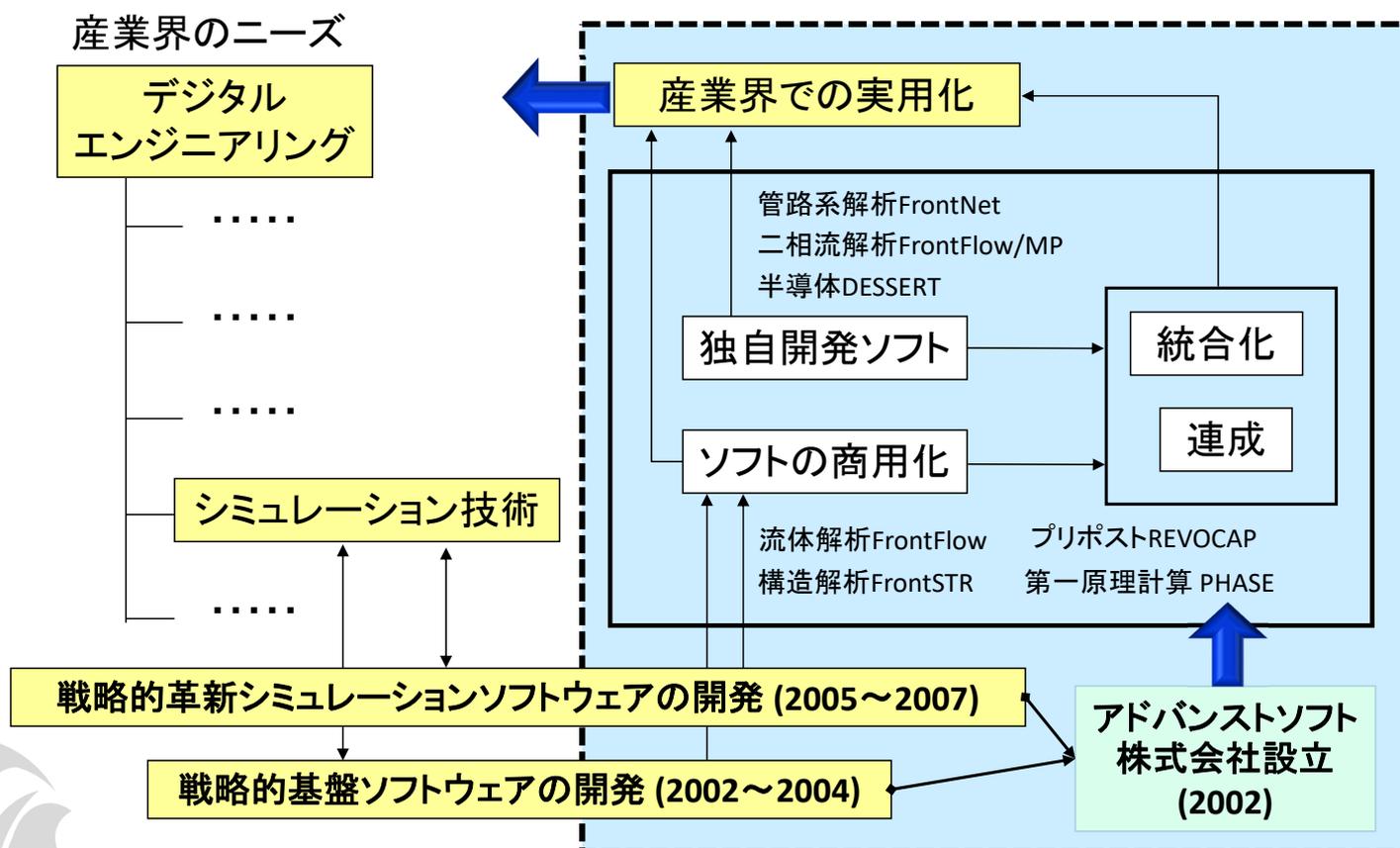


アドバンスソフト株式会社のご紹介

プラントシミュレーションによるリスク評価/製品紹介と技術セミナー

2022年10月7日（金）開催
アドバンスソフト株式会社

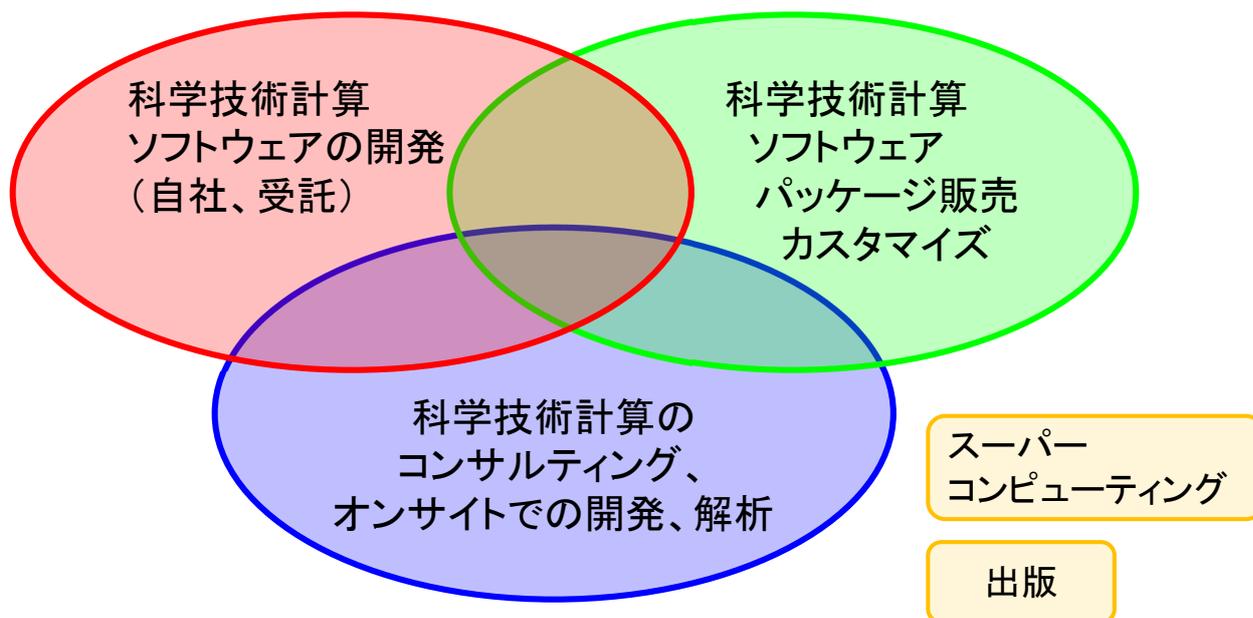
アドバンスソフトとは





事業内容

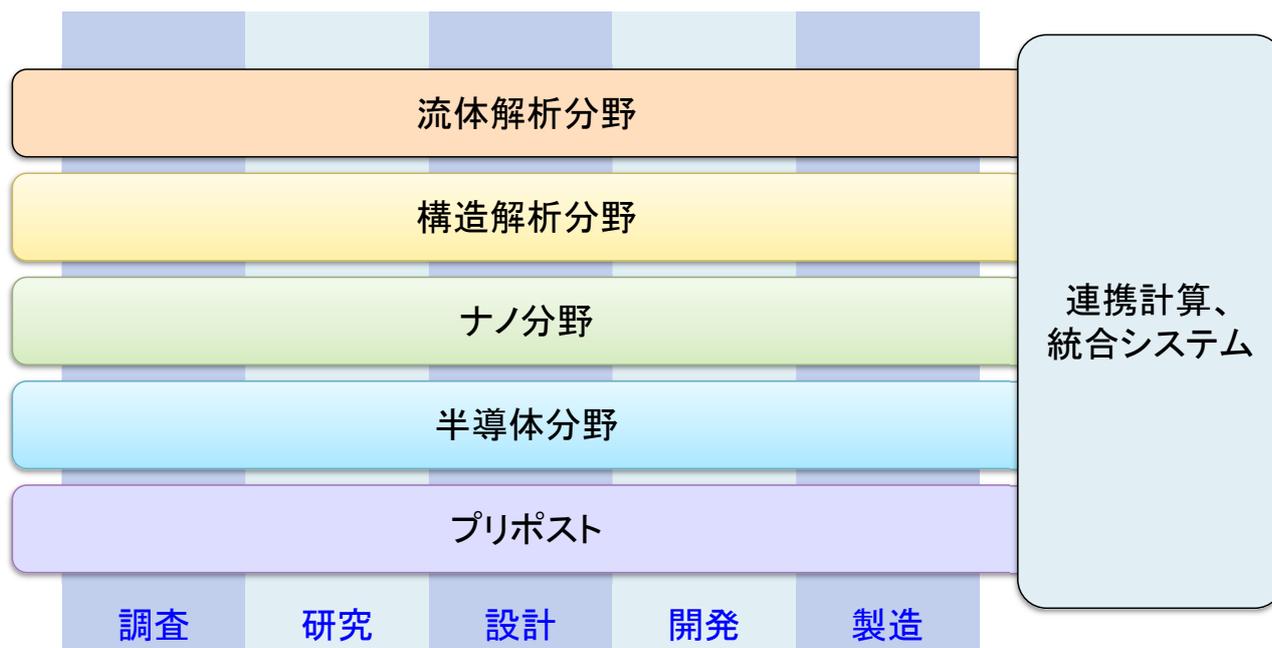
アドバンスソフトがご提供するサービス



科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。



事業分野



産業の主要な分野のあらゆるフェーズで直面する課題に対し、科学技術計算によるソリューションをご提供します。

ソフトウェアご紹介

<p>第一原理計算ソフトウェア Advance/PHASE</p> <p>密度汎関数理論に基づき、物質の性質を原子・分子レベルから解析する第一原理計算ソフトウェアです。</p>	<p>ナノ材料 GUI 付属</p> <p>ナノ材料解析統合 GUI Advance/NanoLabo</p> <p>ナノ材料 プリポスト</p> <p>材料解析ソフトウェア QuantumESPRESSO と LAMMPS に対応した総合 GUI です。</p>	<p>流体解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/red</p> <p>流体</p> <p>非圧縮性から圧縮性流れまで、広範囲で複雑な流れに対応した汎用3次元流体解析ソフトウェアです。</p>	<p>圧縮性流体解析ソルバー Advance/FOCUS-i</p> <p>流体</p> <p>非構造格子に対応した圧縮性流体解析ソルバーです。特に遷音速や超音速の流れに適しており、高い並列化効率で計算出来ます。</p>
<p>大規模3次元TCADシステム Advance/TCAD</p> <p>超微細半導体デバイスからパワーデバイスまで、高度な機能と使いやすいGUIを備えた3次元TCADシステムです。</p>	<p>半導体デバイス GUI 付属</p> <p>ニューラルネットワーク分子動力学システム Advance/NeuralMD</p> <p>ナノ材料 AI・機械学習</p> <p>Neural Network Potential に基づいた分子動力学のソフトウェアです。第一原理計算の結果を教師データとして分子力場を作成します。</p>	<p>気液二相流解析ソフトウェア Advance/FrontFlow/MP</p> <p>流体</p> <p>沸騰と凝縮を伴う気液二相流の流動特性や伝熱特性を3次元で解析するソフトウェアです。</p>	<p>管路系流体過渡解析ソフトウェア Advance/FrontNet</p> <p>流体 GUI 付属</p> <p>配管や流体機器から成る管路系内流体に対する1次元過渡解析の実用的なソフトウェアです。</p>
<p>大規模電磁波解析ソフトウェア Advance/ParallelWave</p> <p>光波・電磁波</p> <p>マクスウェル方程式をFDTD法で3次元的に解く電磁波解析ソフトウェアです。アンテナの電波解析から光の干渉や回折を考慮した光波解析まで幅広く適用できます。</p>	<p>構造解析ソフトウェア Advance/FrontSTR</p> <p>構造</p> <p>固体の変形や熱伝導を、有限要素法を用いた3次元で解析するソフトウェアです。</p>	<p>大気拡散影響予測システム Advance/Emerg</p> <p>流体 GUI 付属</p> <p>大気拡散物質の挙動予測に影響評価のためのソフトウェアシステムです。</p>	<p>深層学習用ツール Advance/iMacle</p> <p>AI・機械学習</p> <p>機械学習のうち、ニューラルネットワークによる深層学習に特化、最小限の機能に絞込んだ比較的軽いツールです。</p>
<p>汎用プリポストプロセッサ Advance/REVOCAP</p> <p>プリポスト</p> <p>解析の一連の流れをスムーズに行う事を実現した汎用プリポストプロセッサです。</p>	<p>音響解析ソフトウェア Advance/FrontNoise</p> <p>音響</p> <p>環境騒音、機器内の共振等における音場を有限要素法を用いた3次元で解析するソフトウェアです。</p>	<p>自社による開発（国プロ含む） 開発チームによる質の高いサポートサービス カスタマイズや機能追加も応相談 並列数無制限（追加料金なし）</p>	

ソフトウェアの解析事例

解析事例Webページをご覧ください。

アドバンスソフト 事例集

検索

<http://case.advancesoft.jp>

- ソフトウェア名からだけでなく、産業分野別、解析分野別の検索が可能となりました。
- 最新の事例を掲載しました。今後も逐次最新事例を紹介いたします。

産業分野別	解析分野別
自動車・運輸	流体
材料・化学	爆発・燃焼
産業機械	構造
航空宇宙	振動音響
エレクトロニクス	ナノ・バイオ
建設土木	プリポスト
原子力	半導体デバイス
エネルギー	光・電磁波
環境・防災	

facebook、YouTubeでも関連記事を掲載中

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

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



Advance/FrontNet/Γの 最近の取り組みと計算事例紹介

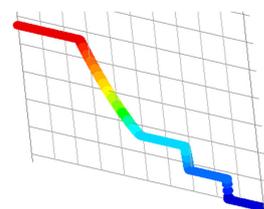
熱流動エンジニアリングセンター 秋村 友香

プラントシミュレーションによる
リスク評価/製品紹介と技術セミナー

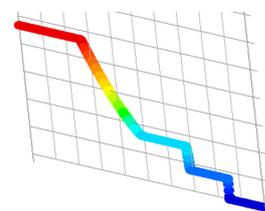
2022年10月7日（金）
アドバンスソフト株式会社

アジェンダ

1. プラントの管路系流体解析
2. Advance/FrontNet/Γの紹介
3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」
4. 最近の取り組みの紹介
5. 事例 2 「蒸気ブローダウン解析
(高温水蒸気で水を押し出す)」
6. まとめ、今後の課題
7. 開発計画、サービス&ソリューション



1. プラントの管路系流体解析



1. プラントの管路系流体解析

プラントリスクの過渡シミュレーションでは、リスクイベントを想定し、個々の流体機器の動作が、配管を通してどのように影響するかを調べることができる。

① リスクイベント

- ・トリップ、異常検知、事故、地震
- ・機器の故障、詰まり、バルブ固着
- ・圧力や流量の時間変動
- ・リスクイベントではないが（起動、停止）

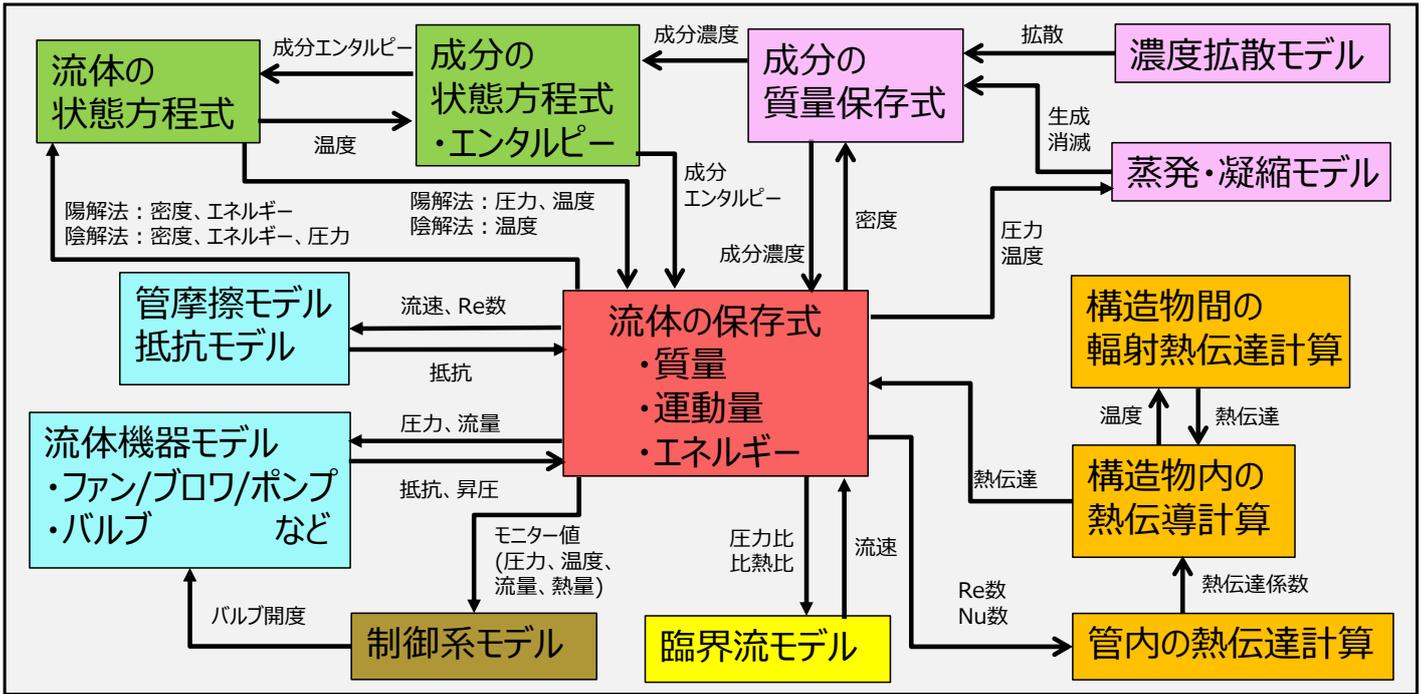
② 流体機器

- ・バルブ（遮断、開放）
- ・制御弁（応答遅れ）
- ・熱交換器（温度変化）
- ・ファン、ブロワ、ポンプ（起動、停止、トリップ）
- ・ガスホルダー

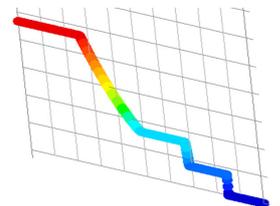
③ 物理現象

- ・水撃（ウォーターハンマー）やスチームハンマーなどの圧力上昇
- ・衝撃波、圧力波伝播、圧力脈動
- ・臨界流（チョーク）
- ・蒸発、沸騰、凝縮などの相変化
- ・弁のハンチング（制御弁の開度が振動する）
- ・熱伝導、熱伝達、濃度拡散

シミュレーションモデルと物理量の相関図



2. Advance/FrontNet/Γの紹介



【基礎式】管路系システムの過渡シミュレーションにおいて、管内の流れを1次元流とするのは良い近似であり、計算時間短縮のメリットがある。

流体の式（圧縮性を考慮した式）

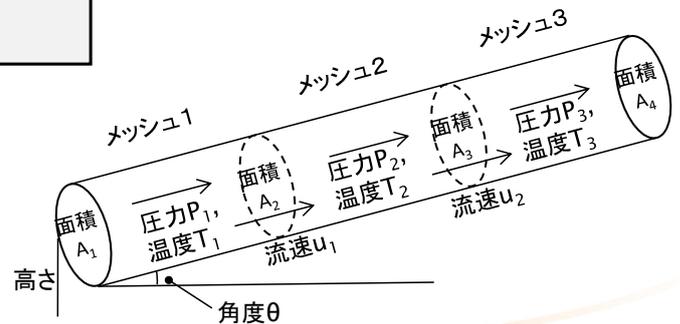
$$\begin{aligned} \text{質量保存式} \quad & \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0 \\ \text{運動量保存式} \quad & \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{2L} K \rho u^2 = 0 \\ \text{エネルギー保存式} \quad & \frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial u(E+p)}{\partial x} \\ & = \frac{\partial}{\partial x} \sum_{i=1}^N \left[h_i \rho (D_{iN}^{mol} + D_{iN}^{flow}) - h_i \frac{\lambda}{C_p} \right] \frac{\partial Y_i}{\partial x} + q \\ \text{状態方程式} \quad & p = f(\rho, e), T = g(\rho, e) \end{aligned}$$

状態方程式は気体を想定した式（理想気体、Van Der Waals、Peng Robinson, SRK）を使用するか、または、高精度物性推算プログラム Refprop※の数値テーブルを使用する場合は、液体、超臨界流体も扱える。

※ <https://www.nist.gov/srd/refprop>

成分の式（気体を想定）

$$\begin{aligned} \text{質量保存式} \quad & \frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho Y_i u}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\rho (D_{ij} + D_i) \frac{\partial Y_i}{\partial x} \right) \\ \text{状態方程式} \quad & h_i = f_i(T), h = \sum_{i=1} Y_i h_i \end{aligned}$$



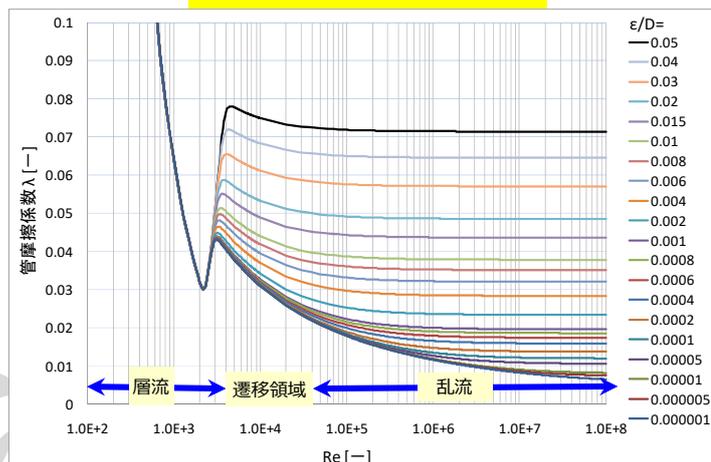
【管摩擦モデル】

層流から乱流まで取り扱えるChurchill(参考文献)の式を用いる。(Moody線図と良く一致)

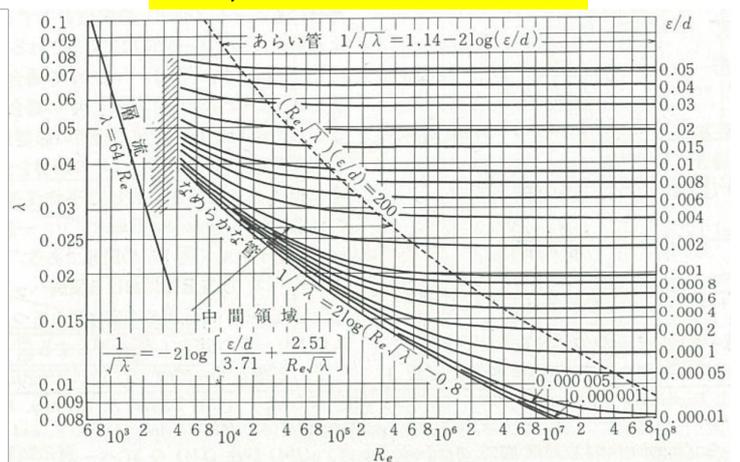
$$\Delta p = f \frac{L}{D_e} \frac{\rho u^2}{2}$$

$$f = 8 \left\{ \left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A+B)^{-1.5} \right\}^{\frac{1}{12}}, A = (2.457 \log C)^{16}, B = (3.753 \times 10^4 / Re)^{16}, C = \frac{1}{(7/Re)^{0.9} + 0.27(\epsilon/D)}$$

Churchillの式による管摩擦係数



Moody線図（機械工学便覧より抜粋）



参考文献：Churchill, S. W., "Friction-factor equation spans all fluid-flow regimes", Chem. Eng., Nov.7, (1977)

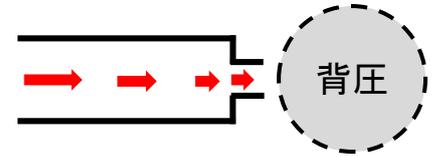
2. Advance/FrontNet/Γの紹介

【臨界流モデル】

流速が音速に至ると、背圧に関係なく、流速が音速程度に制限される。
このときの圧力は以下で表される。

$$\text{臨界圧力比 } P_{\text{ratio}} = \frac{p_{\text{out}}}{p_{\text{in}}} = \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}$$

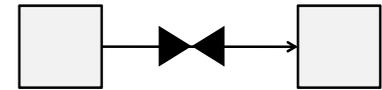
$$\text{臨界流量 } \frac{W}{A} = \sqrt{2 C_p T \left(1 - P_{\text{ratio}}^{\frac{\gamma - 1}{\gamma}} \right)}$$



参考文献：M.M.EL-WAKIL著、西原英晃訳「原子炉の熱工学」、同文書院

【バルブモデル】

バルブの抵抗はCv値と呼ばれる抵抗係数で表わされる。



$$\Delta p = \frac{1}{2} K_V \rho u^2$$

$$K_V = 2 \left(\frac{A_{100}}{C_V f_{CV}} \right)^2 \frac{1}{\rho_{H_2O,60F}}$$

$f_{CV} = 7.598 \times 10^{-7}$ 英国単位系からSI単位系への単位換算係数

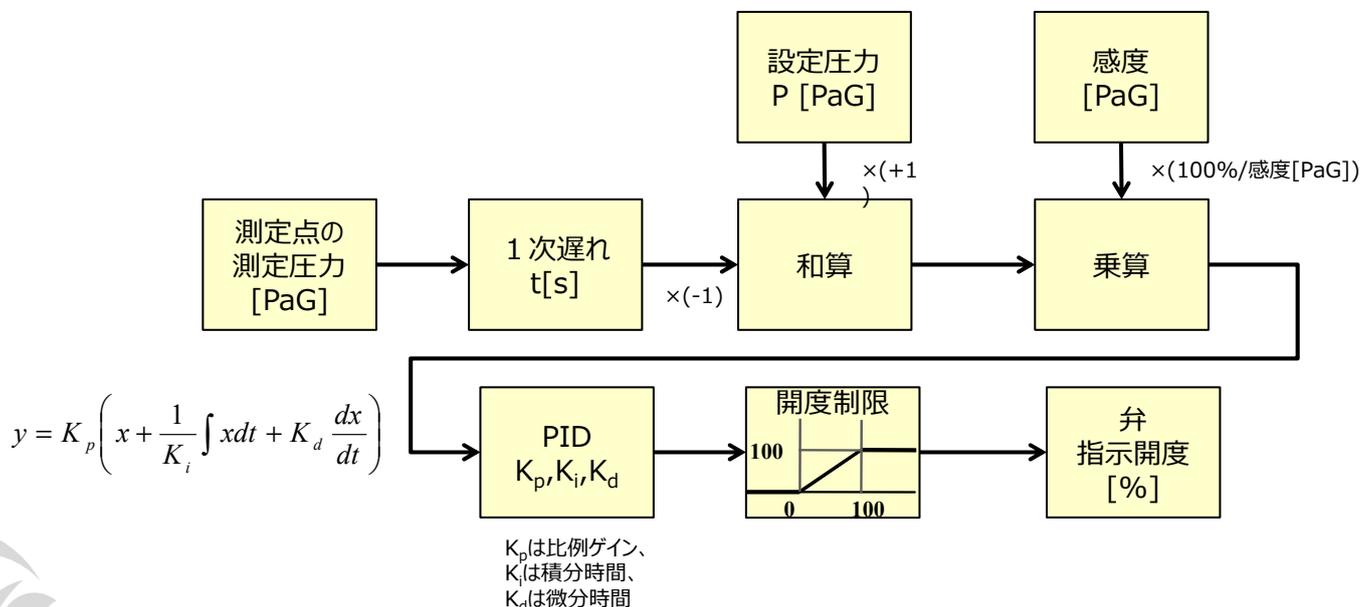
$\rho_{H_2O,60F} = 999.091$ 60°Fにおける水の密度[kg/m³]

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2. Advance/FrontNet/Γの紹介

【制御系モデル】

測定圧力(PV)と設定圧力(SV)の差に基づいて、
制御バルブの開度を決定する圧力制御の仕組みを、
時間遅れ、PID制御などの制御要素を組み合わせでモデル化している。



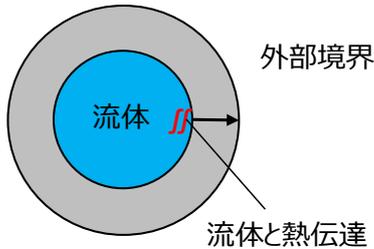
Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

【構造物熱伝導モデル】

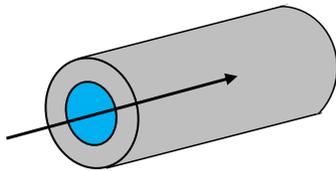
構造物中の厚み方向一次元非定常熱伝導方程式は以下のように表される。

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial t} = \left(\frac{1}{r}\right)^\alpha \frac{\partial}{\partial r} \left(kr^\alpha \frac{\partial T}{\partial r} \right) + q$$

構造物の熱伝導の方向（厚み方向 1 次元）



流体の流れ方向（配管長手方向 1 次元）



ρ : 構造物密度[kg/m^3], C : 構造物比熱[$\text{J}/(\text{kgK})$],
 κ : 構造物熱伝導率[$\text{W}/(\text{mk})$]
 r : 座標[m], T : 構造物温度[K], q : 発熱密度[W/m^3]

$\alpha=0$ 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）

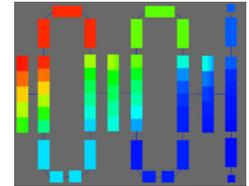
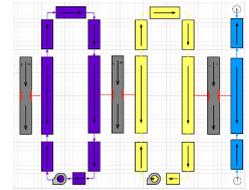
【熱伝達率モデル】

円管の強制対流に対する熱伝達率の式は Dittus-Boelterの式を用いる。

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.4}$$

$$Nu = \frac{hL}{\kappa}$$

Re :レイノルズ数、 Pr :プラントル数、
 Nu : ヌッセルト数
 h :熱伝達率、 L :代表長さ[m]
 κ : 流体の熱伝導率[$\text{W}/(\text{mk})$]



【機能一覧表】

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)
数値計算法	・一次元の有限差分法 ・ボリューム・ジャンクション法 ・スタガード格子
時間発展スキーム	・Euler予測子修正子による陽解法 ・陰解法（SETS法など）
対流項のスキーム	・1次精度風上差分法 ・TVD(minmodまたはsuperbeeによる制限関数)
流体物性	・NISTで公開されている物性テーブルデータ(単成分単相流（液、ガス、超臨界）) ・理想気体型（理想気体式、Van Der Waals式、Peng Robinson式、SRK式）
物理モデル	・摩擦損失モデル ・臨界流モデル ・制御系モデル ・固体熱伝導解析モデル(厚み方向一次元) ・対流熱伝達モデル ・輻射熱伝達モデル ・直接熱伝達モデル、直接物質伝達モデル ・濃度拡散モデル（分子拡散、乱流拡散） ・ポーラスモデル（移動物体モデル） ・パッシブスカラーの質量保存式
流体機器	・バルブ、オリフィス、ファン/ブロウ/ポンプ、タービン、合流分岐、ガスホルダー
専用GUI	・接続関係構築、入力支援、ソルバー実行、可視化機能

【ソフトウェアの主な適用実績】

原子力、火力等のプラント関連

- ・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)
- ・高温ガス原子炉全炉心の燃料温度および冷却材流量分配解析
- ・核融合炉液体リチウムターゲット施設管路網熱交換器機能喪失時の温度挙動解析
- ・未熱調ガス&LPG混合システムの熱量制御解析 ・ LNG配管溶解窒素挙動解析
- ・火力プラント制御弁PID値検討解析 ・バルブ開放時の圧力波解析 ・排熱回収ボイラ蒸気制御応答解析
- ・ガスホルダーモデルの導入および発電所トリップ解析 ・プロワトリップ解析

都市ガス(低圧、中圧、高圧導管網)、LNG基地等

- ・地震時の供給停止に伴う圧力振動過渡解析 ・漏洩時の過渡解析 ・導管網窒素パーシ解析
- ・ブロック化時の過渡解析 ・ミキシングタンク設置検討解析 ・消費量の変動に伴う過渡解析
- ・制御バルブのPID過渡解析 ・LNG&LPGガス混合システムの熱量制御解析
- ・LNG&LPGガス混合システム異常時熱量変動解析 ・配管内にたまった水の蒸発量解析
- ・熱量料金およびラインパック料金計算機能の導入 ・起動停止解析 ・訓練シミュレータの開発

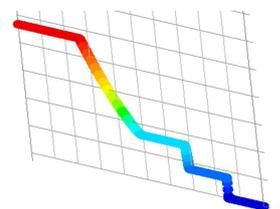
宇宙関連

- ・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開発
- ・液体燃料エンジンシステム再生冷却部の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

その他

- ・高速列車のトンネル突入/退出時の圧力波解析 ・燃料電池システムの圧力分布解析

3. 事例1 「不活性ガス消火設備の解析」



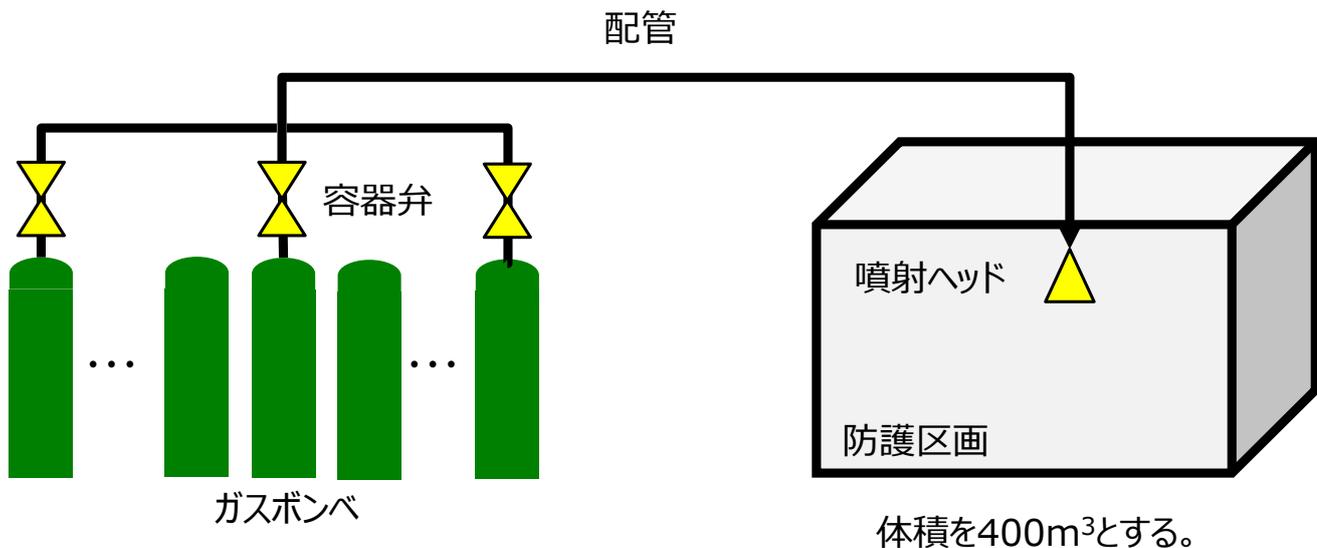
【背景】

- ・法令などに従って、プラントには消火設備が設置されている。
- ・水を利用した消火設備を利用できない場合などに、ガスを使った消火設備が設置される。
(通信機室、制御室、駐車場、危険物関連)
- ・不活性ガスの種類は以下のようなものがある。

窒素ガス	窒素100%
IG55(アルゴナイト)	窒素50%, アルゴン50%
IG541(イナージェンガス)	窒素52%, アルゴン40%、二酸化炭素8%
二酸化炭素	二酸化炭素100% (液化貯蔵)
- ・消防法により、不活性ガス消火設備性能について、「消火剤量の90%を1分以内に放射できること。」と決められている。※
- ・消火剤の量 消火する領域の体積に下記の量に乗じた量は以下と決められている。※
 $N_2 : 0.52m^3$ $IG541 : 0.472m^3$ $IG55 : 0.4766m^3$

※(財)日本消防設備安全センター、「消防用設備のしくみとはたらき(消火設備編)」、H12

【計算体系】以下のような消火設備の管路系を考える。



3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算条件】ガスボンベの本数と圧力の検討

・本数

消火剤	容器 1 本あたりの充填量	必要な消火剤の量	容器の数
窒素	20.3m ³	400×0.52=208m ³	208÷20.3=11本
IG541	22.6m ³	400×0.472=188.8m ³	188.8÷22.6=9本
IG55	21.8m ³	400×0.4766=190.64m ³	190.64÷21.8=9本

・圧力

消火剤	容器の容積	ボイル・シャルルの式	容器内圧力
窒素	83L =0.083m ³	$P \times 0.083 = 0.101325 \times 20.3$	24.782MPaA
IG541		$P \times 0.083 = 0.101325 \times 22.6$	27.590MPaA
IG55		$P \times 0.083 = 0.101325 \times 21.8$	26.613MPaA

参考：さいたま市消防用設備等に関する審査基準2019
https://www.city.saitama.jp/001/011/014/004/005/p030834_d/fil/05_02_ina-toGS.pdf

消火剤の種類別	貯蔵容器の内容積	容器 1 本当たりの充てん量
窒素	83 ℓ	20.3m ³
	77 ℓ	18.8m ³
	68 ℓ	16.6m ³
IG - 55	83 ℓ	21.8m ³
	68 ℓ	17.8m ³
IG - 541	83 ℓ	22.6m ³ 、15.7m ³ 、13.2m ³ 、11.6m ³
	82.5 ℓ	15.7m ³ 、13.2m ³ 、11.6m ³
	68 ℓ	9.6m ³

3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算条件】配管の検討

使用可能な配管径は限られるため、以下から選定する。
 オフィス等を設置すれば、オフィスの 2 次圧で検討可能。

表 3. 11. 8 継目無鋼管の最高許容圧力

接 続	呼 び 径	最高許容圧力 (MPa)			接 続	呼 び 径 A	最高許容圧力 (MPa)		
		スケジュール 40	スケジュール 80	スケジュール 160			スケジュール 40	スケジュール 80	スケジュール 160
溶 接	15	16.3	25.4	36.2	ね じ	15	13.2	23.6	36.1
	20	13.6	21.4	35.0		20	10.8	19.5	34.7
	25	13.7	20.6	33.4		25	9.8	17.3	31.4
	32	11.7	18.1	25.8		32	8.4	15.2	23.5
	40	10.6	16.6	25.6		40	7.7	14.0	23.6
接 続	50	9.1	14.5	26.0	接 続	50	6.6	12.2	24.3
	65	10.5	15.4	22.5		65	8.3	13.3	20.7
	80	9.6	14.4	22.9		80	7.6	12.5	21.3
	100	8.3	12.9	22.0		100	6.6	11.3	20.7
	125	7.6	11.7	21.4		125	6.1	10.4	20.3
	150	7.0	11.7	20.8	150	5.7	10.5	19.9	

スケジュール40及び80は、JIS G 3454圧力配管用炭素鋼鋼管
 スケジュール160は、JIS G 3455高圧配管用炭素鋼鋼管

※(財)日本消防設備安全センター、「消防用設備のしくみとはたらき(消火設備編)」、H12より

3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算モデル】

①ガスボンベ（＝ガスホルダーモデル）

- ・容積一定モデルを選択（初期圧力、初期温度から、消火剤噴射により減圧して、断熱膨張により、容器内の温度が下がることを模擬）

②流体物性

気体を想定した理想気体型の状態方程式とRefpropによる実流体物性のうち、理想気体型(SRK式)を選択。

（IG541とIG55の臨界点などの物性情報が見つからないことより）

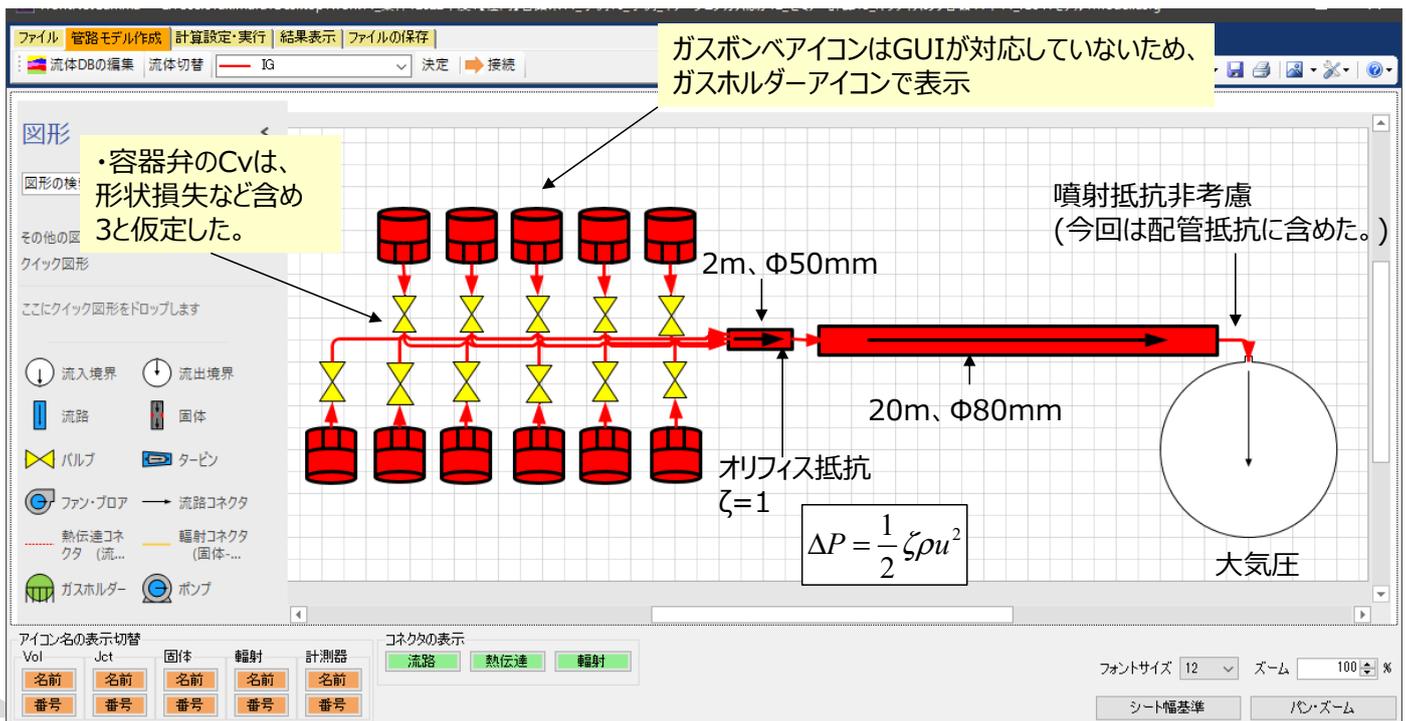


計算の難しいところとして、以下が挙げられる。

- ・貯蔵圧力が高圧のため、臨界流になること
- ・断熱膨張により、容器内の温度が下がること

3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算モデル】管路系



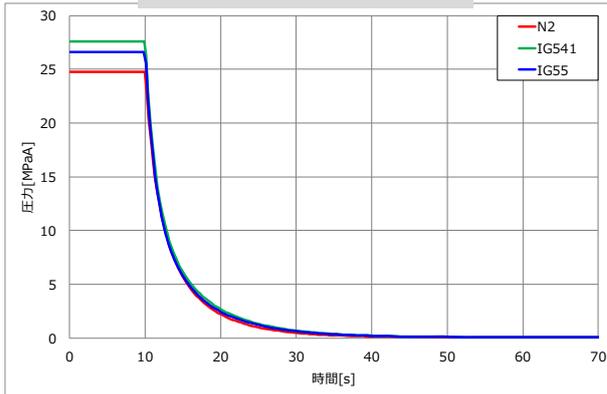
・管摩擦はChurchillモデル、配管粗度1μm

・容器弁のCv特性は線形特性とした。

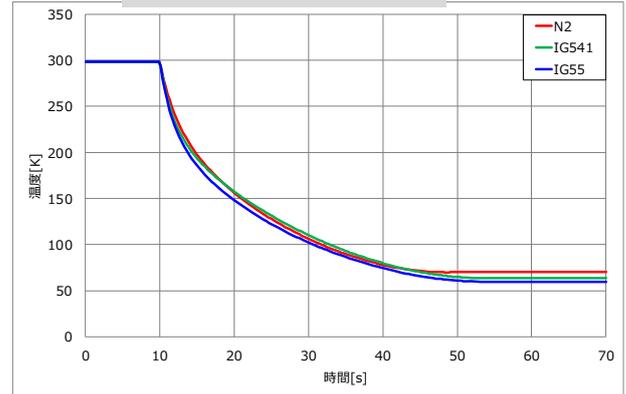
3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算結果】

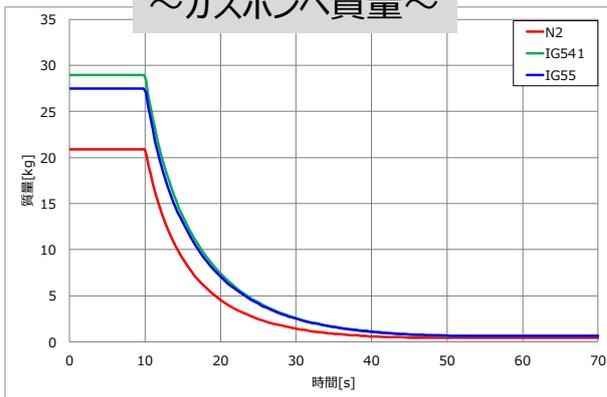
～ガスボンベ圧力～



～ガスボンベ温度～



～ガスボンベ質量～



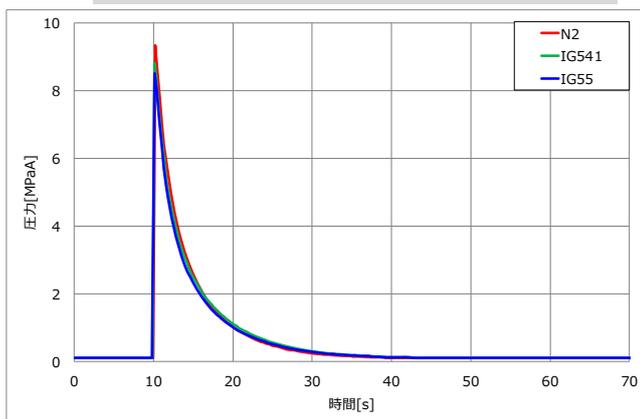
・バルブをあけた時刻10sから圧力、温度、質量は滑らかに減少している。

・温度は断熱膨張により、100K (-170℃)以下まで下がった。実際はここまで下がらないと思われる。理想気体を仮定していることが原因。Nist-Refprop物性を使えば温度低下が抑制されるかも知れない。

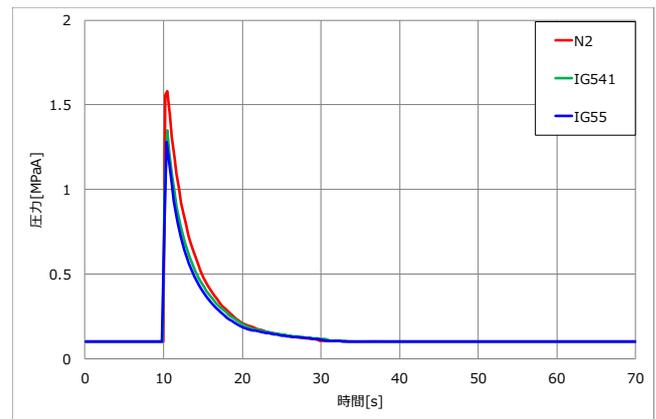
3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算結果】

～圧力@オリフイス 1 次側配管～



～圧力@配管圧力末端～



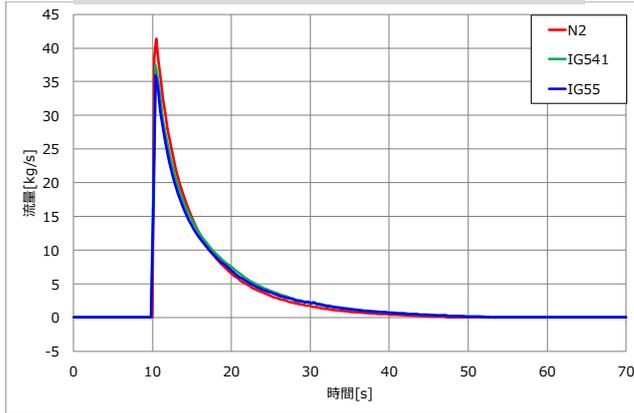
・オリフイス 1 次側で最高10MPa程度となった。容器弁での臨界流や圧損が考慮された結果。

・配管末端で2MPa以内となった。オリフイスでの臨界流やオリフイスの圧損および配管の管摩擦が考慮された結果。

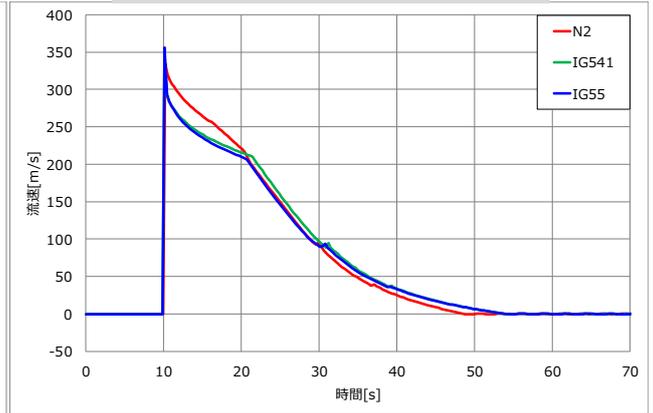
3. 事例 1 「不活性ガス消火設備の解析」

【計算結果】

～質量流量@配管圧力末端～



～流速@配管圧力末端～



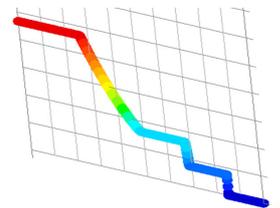
・流速は臨界流により音速程度に抑えられた。

放出量の検討

消火剤	放出質量 (質量流量の 時間積分値)	ノルマル密度 (SATP※: 25°C, 1bar)	放出体積		評価基準
窒素	224.38kg	1.13kg/m ³	198.57m ³	>	208×0.9=187.2m ³
IG541	243.26kg	1.374kg/m ³	177.05m ³	>	188.8×0.9=169.92m ³
IG55	237.78kg	1.371kg/m ³	173.44m ³	>	190.64×0.9=171.58m ³

※SATP : standard ambient temperature and pressure (25°C、1bar)
STP : standard temperature and pressure (0°C、1bar)

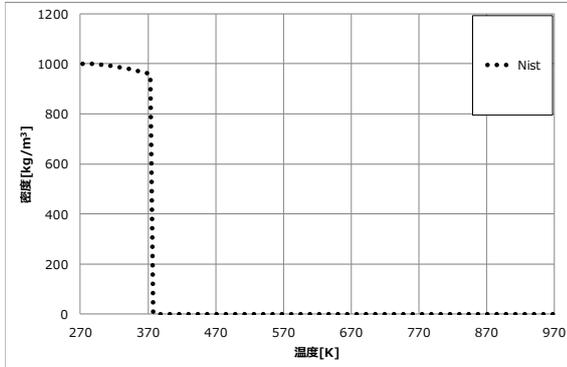
4. 最近の取り組みの紹介



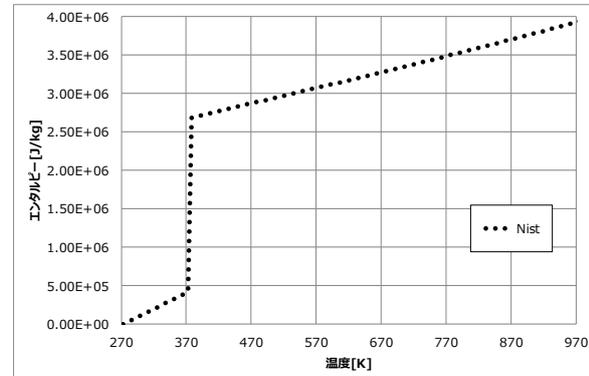
4. 最近の取り組みの紹介

【背景】Advance/FrontNet/Γでは・・・

- Nist-Refprop物性を使って、「水-水蒸気系」「気液二相流」への適用を目指してきた。
- Nist-Refprop物性では、水も水蒸気も1つの「水物性」であり、気液の密度差、エンタルピー差を超える条件では安定に計算することができない。



水の密度@大気圧
(Nist-Refprop)



水の比エンタルピー@大気圧
(Nist-Refprop)

→ 今回の報告では、水と水蒸気の“二成分”として扱う方法を検討し、配管内にある常温水を高温水蒸気が押し出すような解析ができることを目指す。

4. 最近の取り組みの紹介

【定式化】質量保存式、平均比エンタルピー、質量分率と体積分率

$$\begin{aligned} \text{混合ガス (既存機能)} \quad \frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho Y_i u}{\partial x} &= 0, \quad h(T) = \sum_i^n Y_i h_i(T) \\ X_i &= \bar{M} \frac{Y_i}{M_i}, \quad \bar{M} = 1 / \sum_i \frac{Y_i}{M_i} \end{aligned}$$

Y_i は質量分率
 h_i は成分の比エンタルピー
 X_i はモル分率、 M_i は分子量

拡張



$$\begin{aligned} \text{水-水蒸気系 (新規取り組み)} \quad \frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho Y_i u}{\partial x} &= 0, \quad h(T) = \sum_i^n Y_i h_i(T) \\ \alpha_L \rho_L &= \rho Y_L, \quad \alpha_G \rho_{LG} = \rho Y_G \end{aligned}$$

i は水蒸気(G)または水(L)
 Y_i は質量分率=クオリティ
 α は体積分率(ポイド率)

エネルギー保存式と、比内部エネルギーの式は拡張後も同じ式が使える。

$$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial (E + p)u}{\partial x} = 0, \quad p = \rho(h - e)$$

【定式化】成分の状態方程式、比エンタルピー

水蒸気 (既存機能)

- ・圧力と温度、密度 $p = \rho RT$ (理想気体式)
- ・比エンタルピーの式 (温度のみに依存) (NASA多項式) $\frac{C_p}{R} = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + a_4T^4$ (係数 $a_1 \sim a_4$ は文献値※1参照)

水蒸気の状態方程式は最初の試みとして、最も簡単な理想気体の式で検討する。

水 (新規取り組み)

- ・圧力と温度、密度 $\frac{1}{\rho RT} = \frac{1}{p^*} \sum_{i=1}^{34} \left[-n_i I_i \left(7.1 - \frac{P}{p^*} \right)^{I_i-1} \left(\frac{T^*}{T} - 1.222 \right)^{J_i} \right]$
- ・比エンタルピーの式 (温度のみに依存) (Chaseの式) $C_p = a_0 + a_1T + a_2T^2 + a_3T^3 + \frac{a_4}{T^2}$ (係数 $a_1 \sim a_4$ は文献値※3参照)

実用国際状態式IF97の「圧縮水」の式 (Wagnerの式 (文献※2より))
(係数 I_i, J_i は文献値※2参照)

※1: Bonnie J. McBride, Sanford Gordon and Martin A. Reno, Coefficients for Calculating, Thermodynamic and Transport Properties of Individual Species, NASA, Technical Memorandum 4513, 1993.

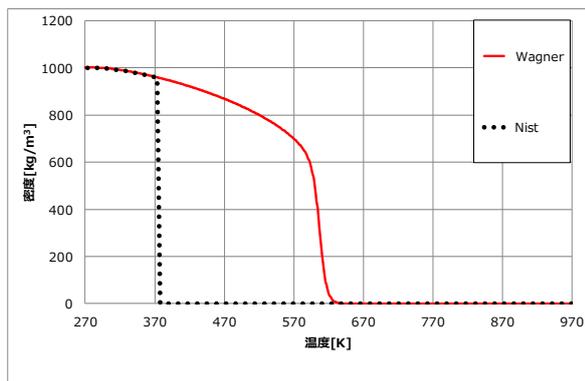
※2: 日本機械学会 蒸気表, 1999. 丸善株式会社

※3: Chase, M, W, Jr. Nist-JANAF Thermochemical Tables. Fourth Edition, J.Phys.Chem.Ref.Data.Monograph 9. 1998, p1-1951.

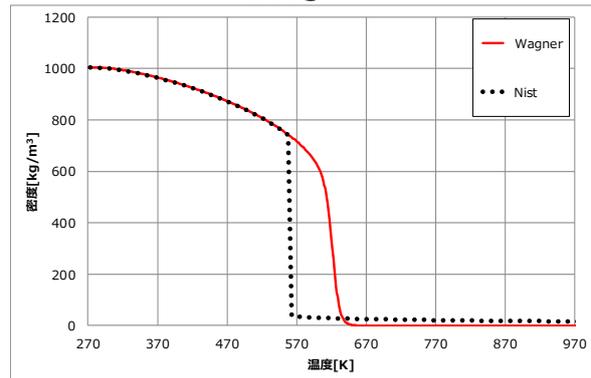
4. 最近の取り組みの紹介

【水の物性モデル確認】密度

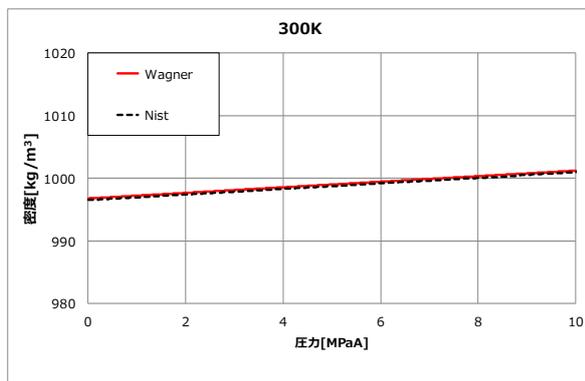
水の密度@大気圧



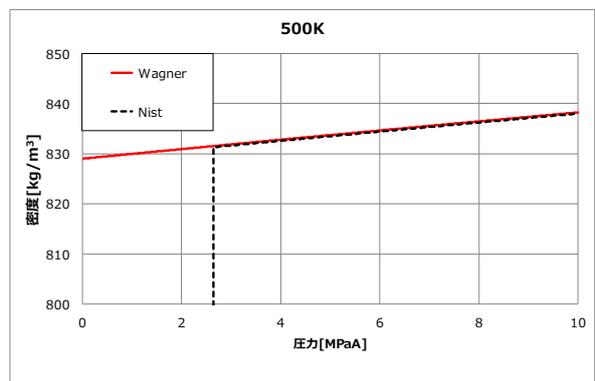
水の密度@7MPaA



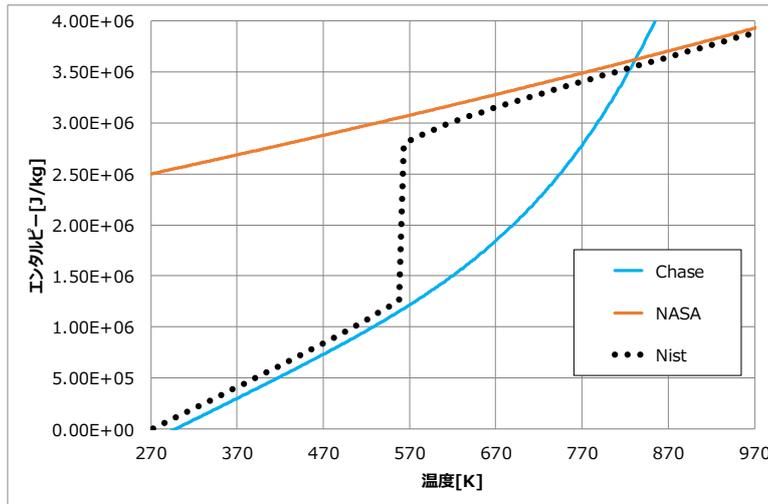
水の密度@300K



水の密度@500K



【水の物性モデル確認】比エンタルピー



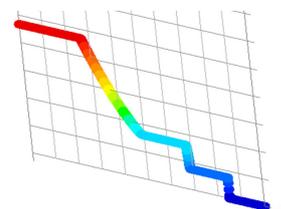
Chaseの式が298.15Kでゼロとなるように基準を取っている。(SATP)

Nist-Refpropは273.15Kに基準。(STP)

Advance/FrontNet/Γでは、298.15Kでゼロとなるように基準を取り、NASA多項式とは298.15Kで潜熱分2253kJ/kgだけ、かさ上げして基準を合わせる。

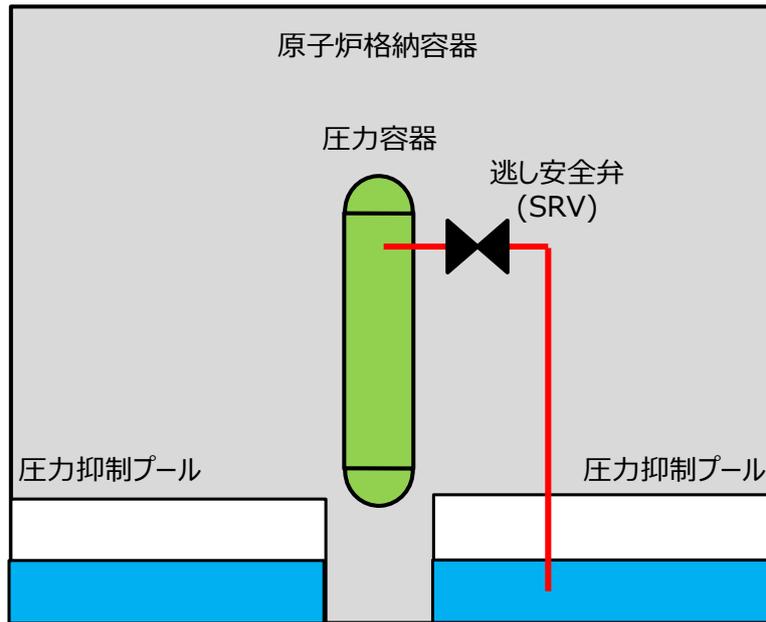
※SATP : standard ambient temperature and pressure (25°C, 1bar)
STP : standard temperature and pressure (0°C, 1bar)

5. 事例 2 「蒸気ブローダウン解析」 (高温水蒸気で水を押し出す)



5. 事例2 「蒸気ブローダウン解析」

【背景】原子カプラント施設では、安全対策として逃し安全弁(SRV)がついており、圧力容器内の圧力上昇時に設定圧で逃し安全弁が開き、水蒸気を逃がして圧力を下げる。

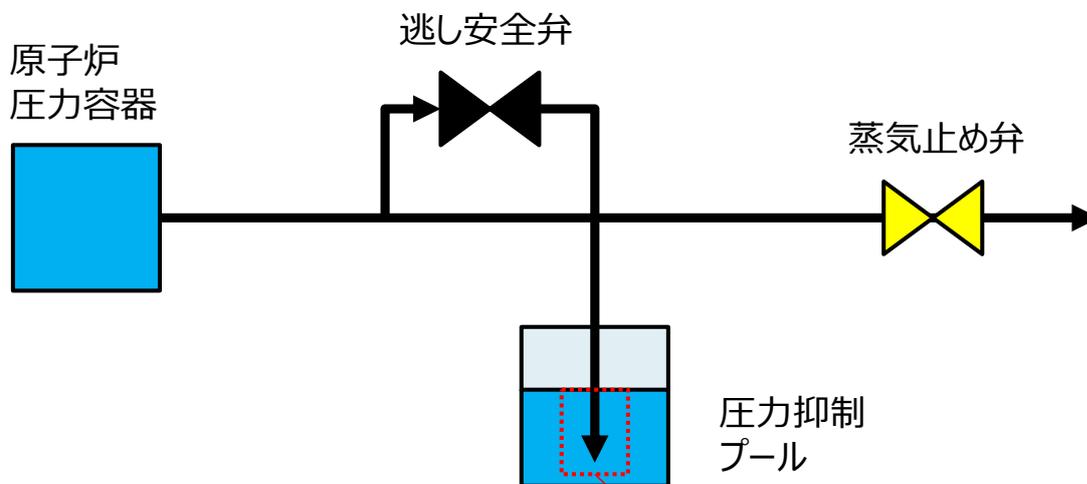


原子カプラント施設の逃し安全弁

参考 : https://www.tepco.co.jp/decommission/information/accident_unconfirmed/pdf/2017/171225j0132.pdf

5. 事例2 「蒸気ブローダウン解析」

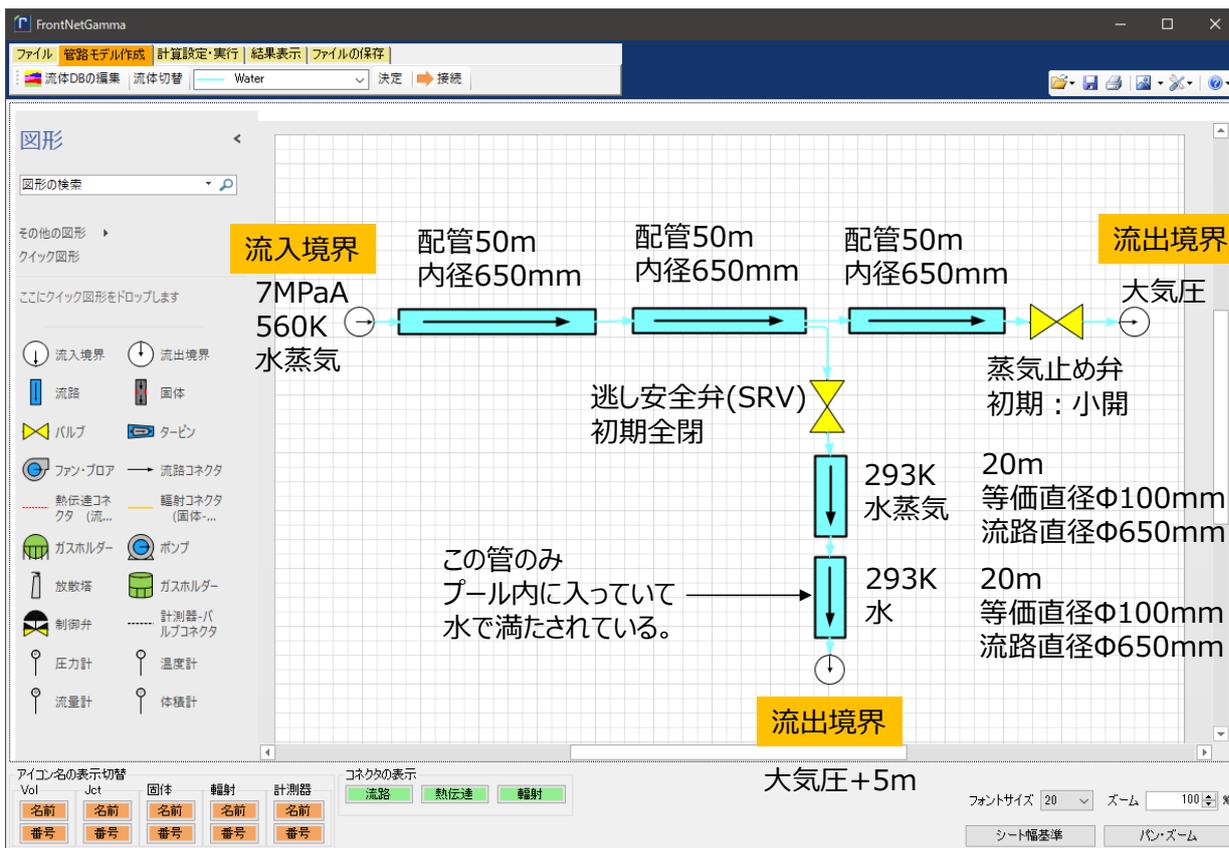
【計算体系】原子カプラントの水蒸気系を考える。



この部分の配管は水が詰まっている。

【計算モデル】

数値は今回の解析用に推定した。

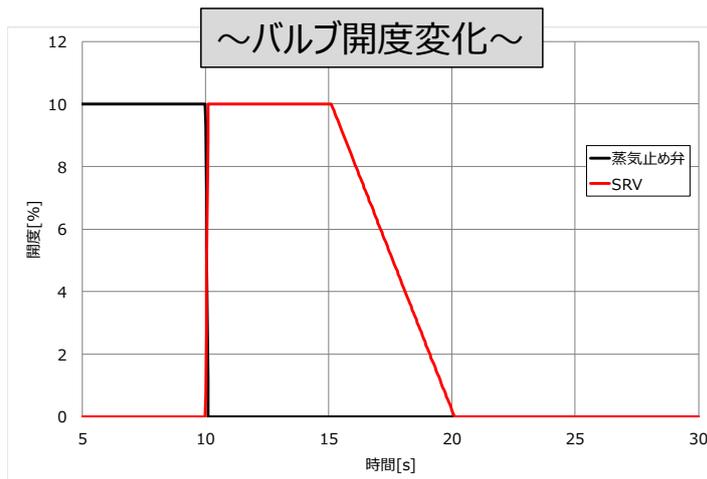


33

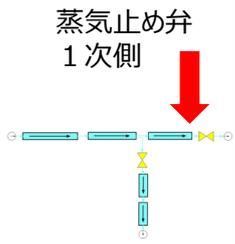
5. 事例2 「蒸気ブローダウン解析」

【計算条件】

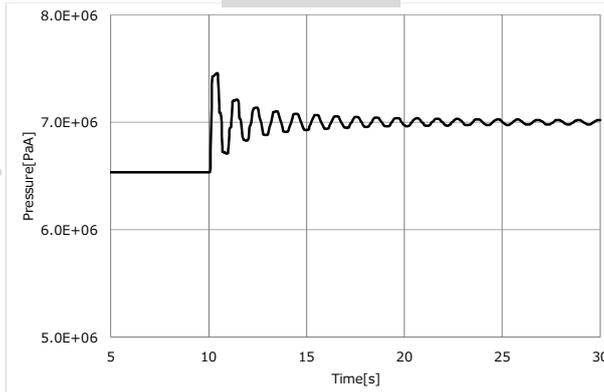
- ・時刻10sまでは定常解析。蒸気止め弁では臨界流となる。
- ・時刻10sに異常を検知したと想定。
- ・時刻10sから蒸気止め弁が遮断。遮断速度を0.1s/100%とした。
- ・時刻10sから逃し安全弁が開放。開速度を0.1s/100%とし、5s間開度を保持し、その後、5sかけて閉まる。(ここでは開条件などを設定せず、時間で開度を指定。)



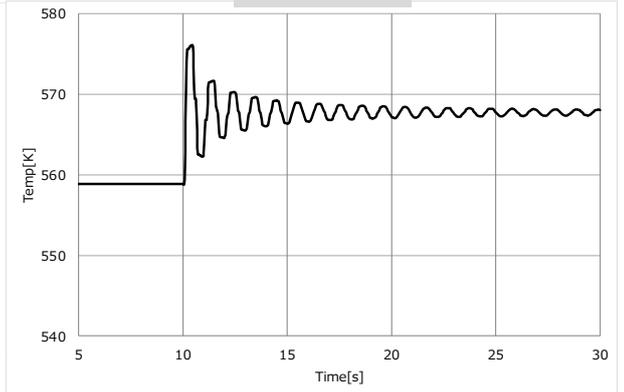
【計算結果】



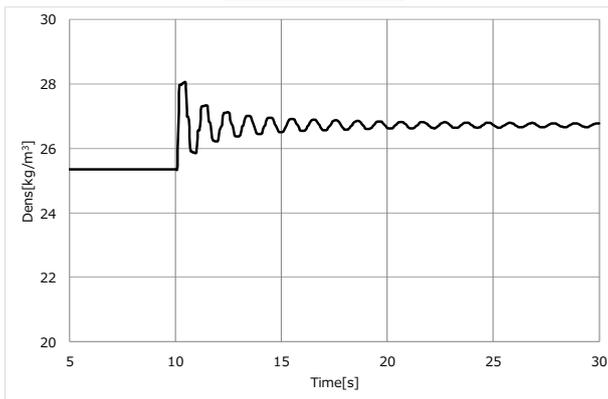
～圧力～



～温度～



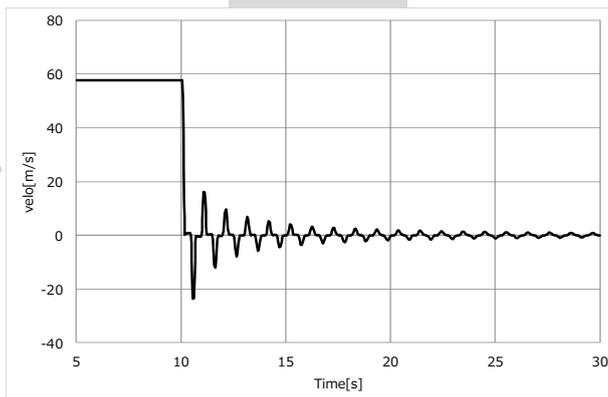
～密度～



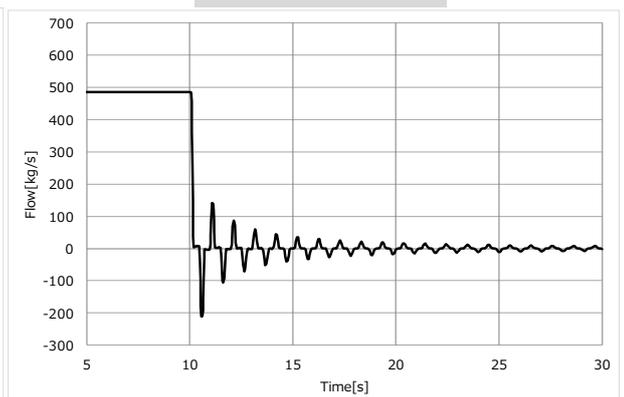
- 蒸気止め弁を急閉すると、運動エネルギーが遮断されたことによる圧力上昇（スチームハンマー）が見られた。
- 密度は圧縮性で振動している。
- 温度は圧力、密度変化に追従した。

【計算結果】

～流速～

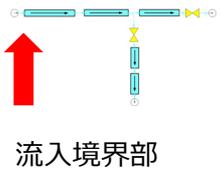


～質量流量～

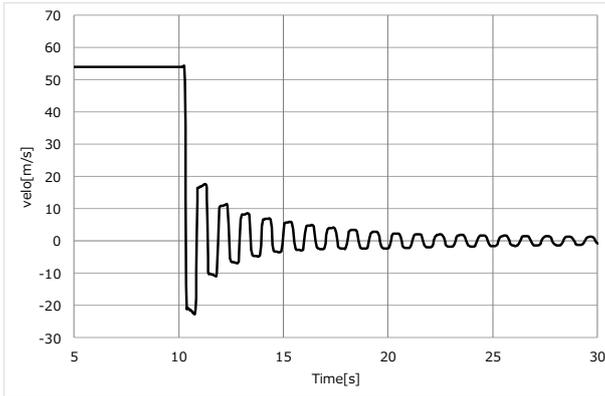


- 初期状態（10sまで）は蒸気止め弁（約10%に絞られている）で臨界流になっていることから、管内流速は約60m/sとなった。
- 蒸気止め弁急閉と共に流量、流速とも遮断され、圧力振動に伴い、逆流も見られた。SRVが開いている間は圧力抑制プールへの逆流も起こっていると考えられる。

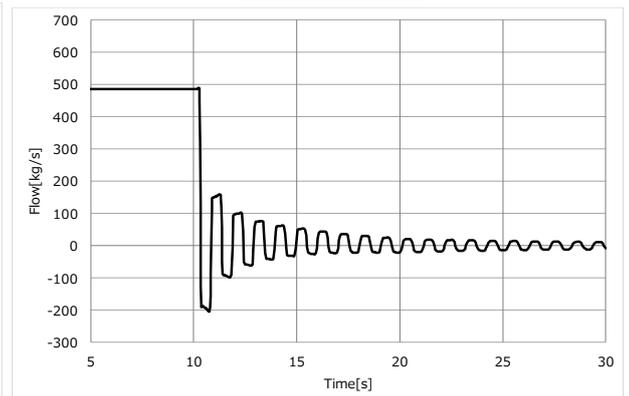
【計算結果】



～流速～

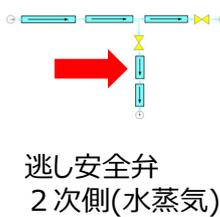


～流量～

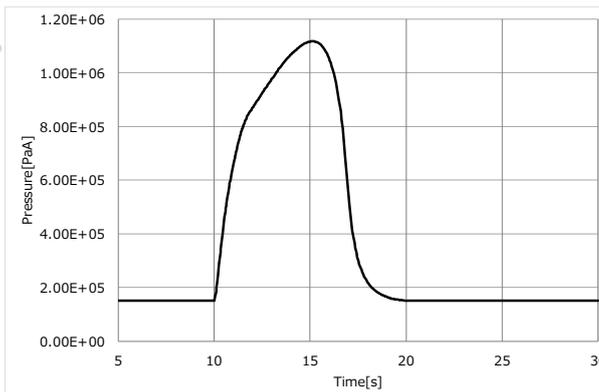


- ・圧力、温度は一定。
- ・蒸気止め弁急閉による流量振動が末端から伝わっている。

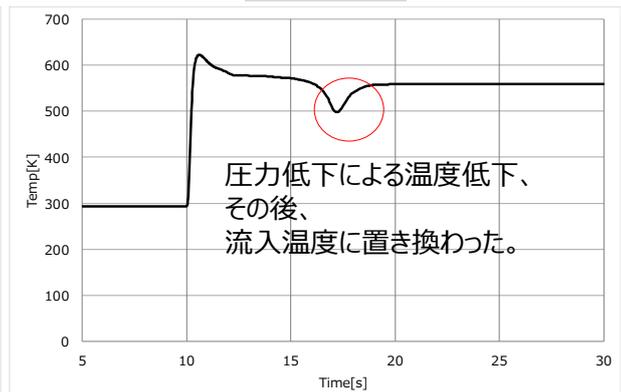
【計算結果】



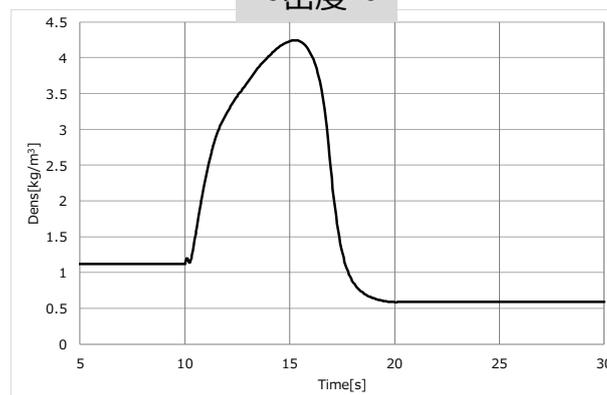
～圧力～



～温度～

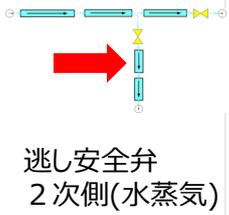


～密度～

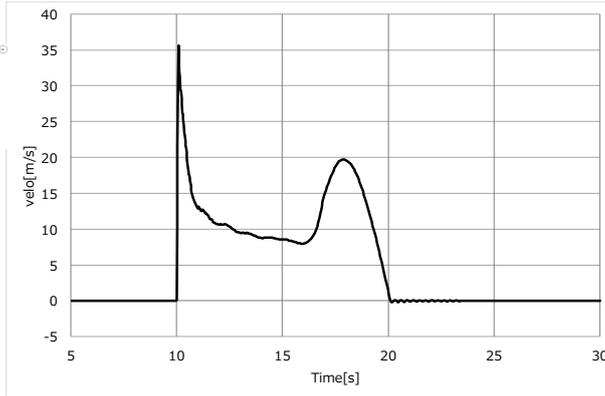


- ・SRVが開くと水蒸気流入で圧力が上昇し、SRVが閉じると元の圧力に落ち着いた。
- ・密度は圧力と同じような振る舞いとなった。

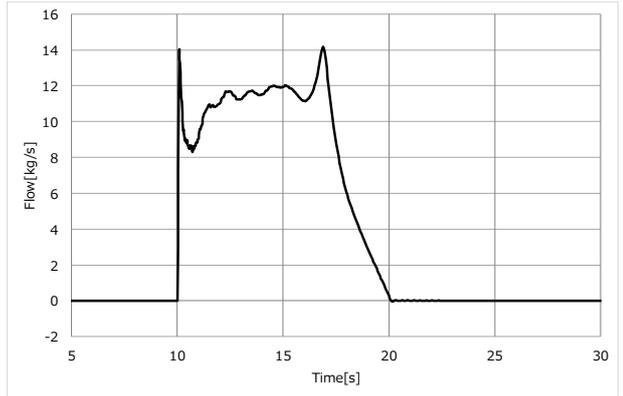
【計算結果】



～流速～

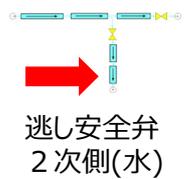


～流量～

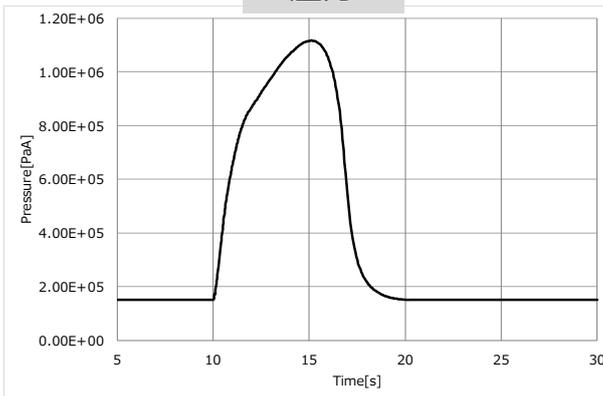


・SRVが開くとSRVで臨界流となり、流速が低く抑えられている。

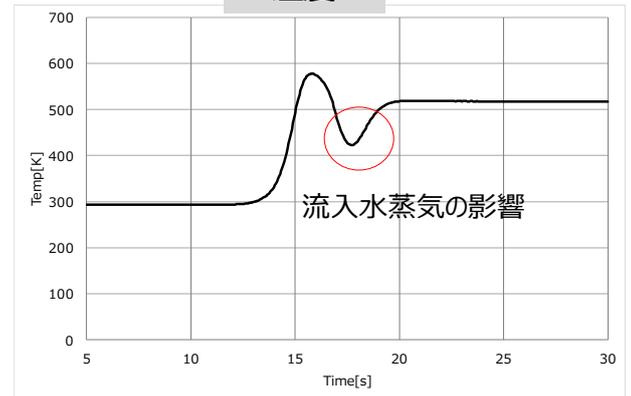
【計算結果】



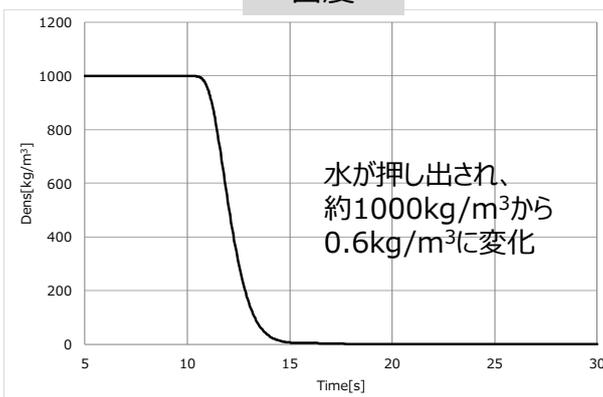
～圧力～



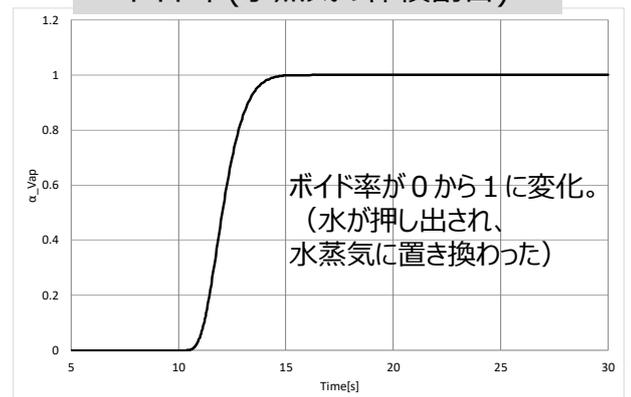
～温度～



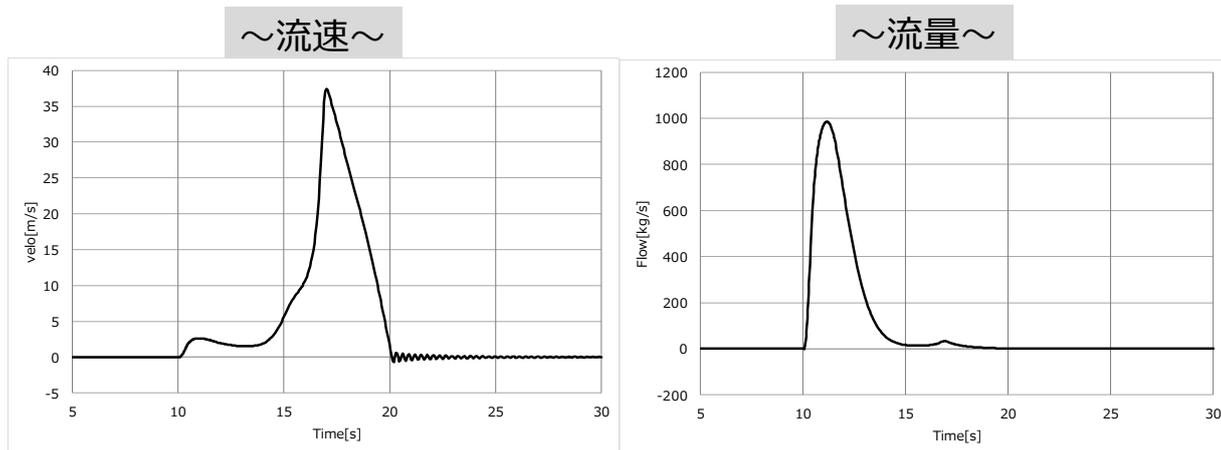
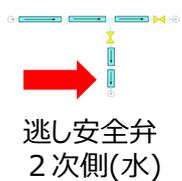
～密度～



～ボイド率(水蒸気の体積割合)～

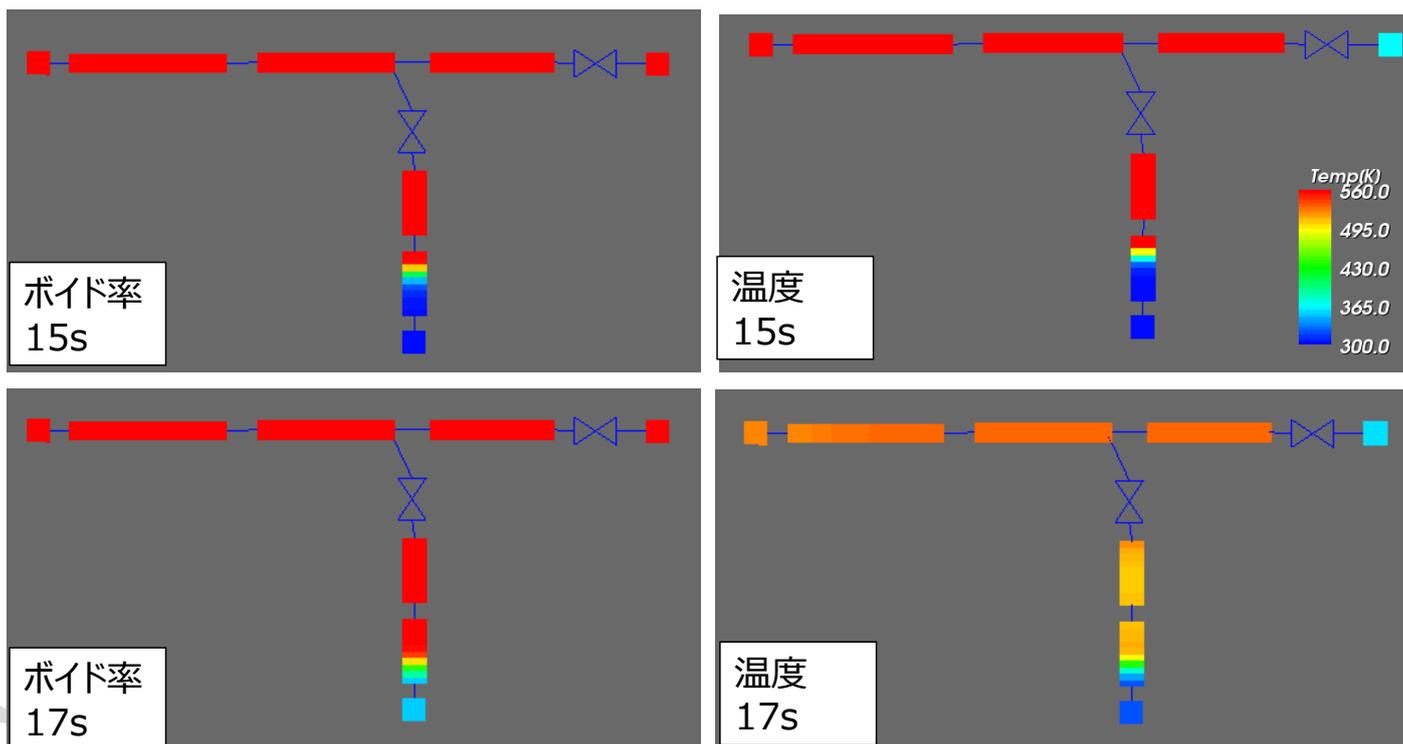


【計算結果】

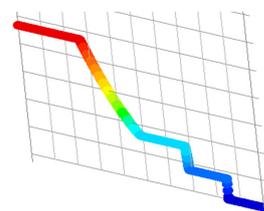


- ・最大流速は水蒸気とほぼ同じ。
- ・質量流量は、水の密度が大きいいため、水蒸気の約1000倍となった。

【計算結果】ボイド率分布（左）と温度分布（右）



6. まとめ、今後の課題



6. まとめ、今後の課題

【まとめ】

①不活性ガスの消火設備の解析事例を紹介した。

既存機能のSRK状態方程式や、臨界流モデルを使って、放出流量の評価を行うことができた。

②最近の取り組みとして、水-水蒸気の“二成分モデル”の定式化を紹介し、定式化に基づいてプログラム開発を行い、蒸気ブローダウンの解析に適用した。

高温の水蒸気で常温の水を押し出す解析を行うことができた。

詳細な気液二相流には立ち入っていないが、密度差、圧力差、温度差のある水と水蒸気の“二成分”の混合計算を行うことができた。

気液二相流への拡張への第一歩と考えられる。

【今後の課題】

①消火設備

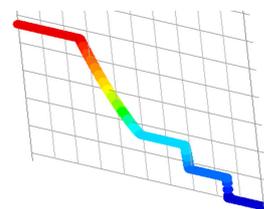
- ・ベンチマークによる精度確認の事例を増やすことや計算安定性向上。

②水と水蒸気の“二成分”の混合計算

- ・水蒸気側の物性計算の高精度化（SRK式や実用国際状態式への対応）
- ・重力を入れた場合の初期状態作成機能（等温計算、圧力分布作成）が必要。
- ・計算の安定化、高速化、ベンチマーク、V&V、精度確認
- ・二相流解析への拡張と機能整備（多成分ガス、スリップ比/ドリフトフラックスモデルや二流体モデル、二相増倍係数、流動様式、凝縮、蒸発、沸騰モデルの導入など）



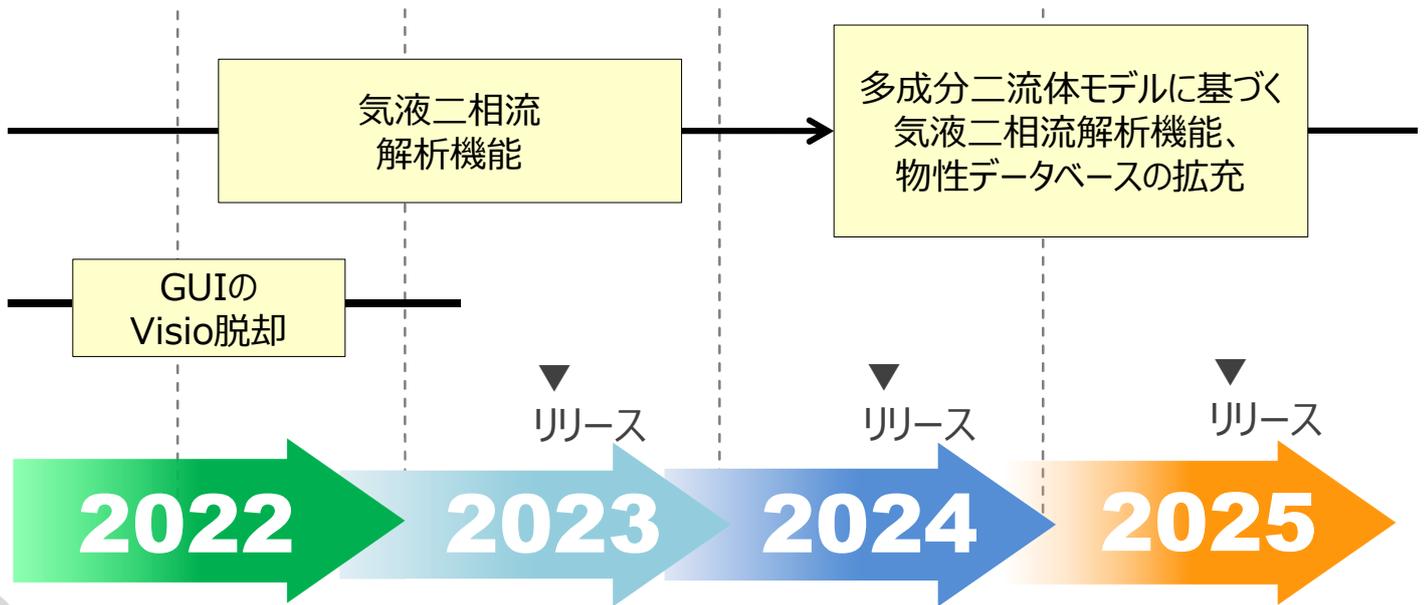
7. 開発計画、サービス&ソリューション



【開発計画】

MATLAB連成

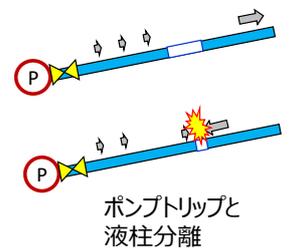
流体構造連成



- ・予定は変更になる可能性があります。
- ・ユーザーからの要望の多い機能が優先して開発されます。

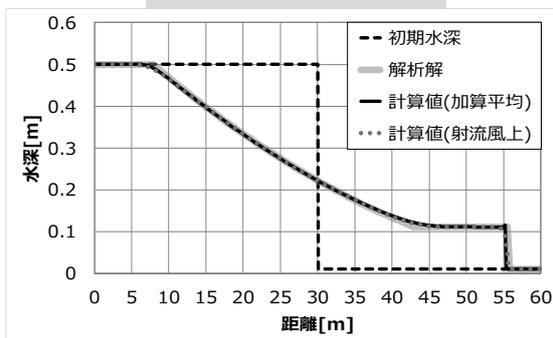
【姉妹ソフトの紹介】管路系液体過渡解析ソフトウェアAdvance/FrontNet/Ω

- ・**閉水路**に対する**水撃解析**に特化。計算時間が速く（軽い）、ロバスト性が優れている。
- ・主に、「バルブ遮断時の水撃解析」「ポンプトリップ時の液柱分離発生有無の検討」に用いられる。
- ・水撃値の計算のほか、水撃対策検討が可能。
(遮断速度、ポンプフライホイール設置、空気弁設置、サージタンク、エアチャンバーの条件検討)
- ・最近のトピックスとして、**開水路**の基本解析機能が開発された。
(弊社発行雑誌「アドバンスシミュレーションVol29,特集「原子力安全解析」、秋村ほか、「管路系液体過渡解析ソフトウェアAdvance/FrontNet/Ωへの1次元開水路流れの解析機能の導入検討」参照)

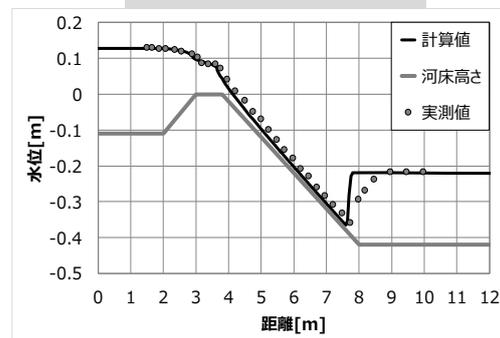


ポンプトリップと液柱分離

ダム崩壊問題



石狩川模型実験



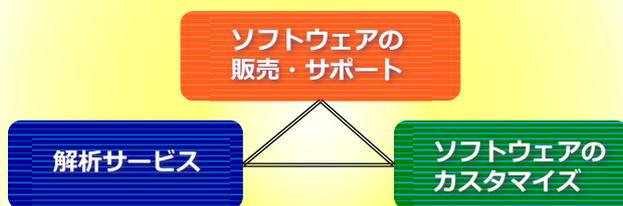
【サービス&ソリューション】

- ①パッケージソフトウェアのカスタマイズ
(自社開発、ソースコード保有のため可能)
- ②パッケージソフトウェアを使用した受託解析
(納品物は計算結果)
- ③パッケージソフトウェアの販売
年間ライセンス、買取ライセンス
- ④御社保有のソフトウェアのカスタマイズや新規開発

御社で必要な機能のモデル化、
カスタマイズ後、ソフトウェア納入

ソフトウェアは年1回しか使わない、
ソフトウェアを覚える時間がないなど、
結果のみを知りたいとき

たびたび計算が必要になる、
計算条件を外部に公開できない等



管路系流体解析ソフトウェアの
販売だけでなく、自社開発のメリットを活かして
さまざまなサービスをご提供しています。

Dynamic Draw

オープンソースのVector Graphics Editor

株式会社グラフィ工房

福代 昌之

講演内容

1. 自己紹介
2. Dynamic Drawの歴史
3. Dynamic Drawの概要
4. Dynamic Drawの特徴

自己紹介

- 福代 昌之 ふくしろ まさゆき
- 株式会社グラフ工房 代表取締役
- Dynamic Draw/Thought Tickler 作者



歴史

2000年～2022年

Dynamic Draw **Ver. 1 ~ Ver. 6**

～2011年

個人事業主 として開発・QA・障害対応

2011年～

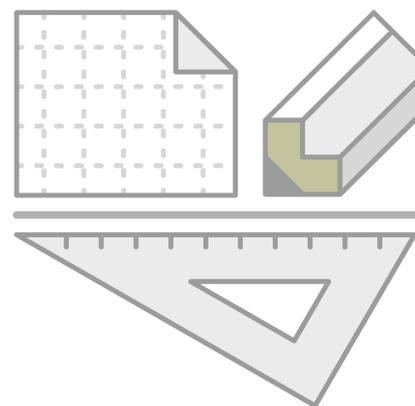
株式会社グラフ工房 が開発・QA・障害対応

概要

- オープンソースのVector Graphics Editor

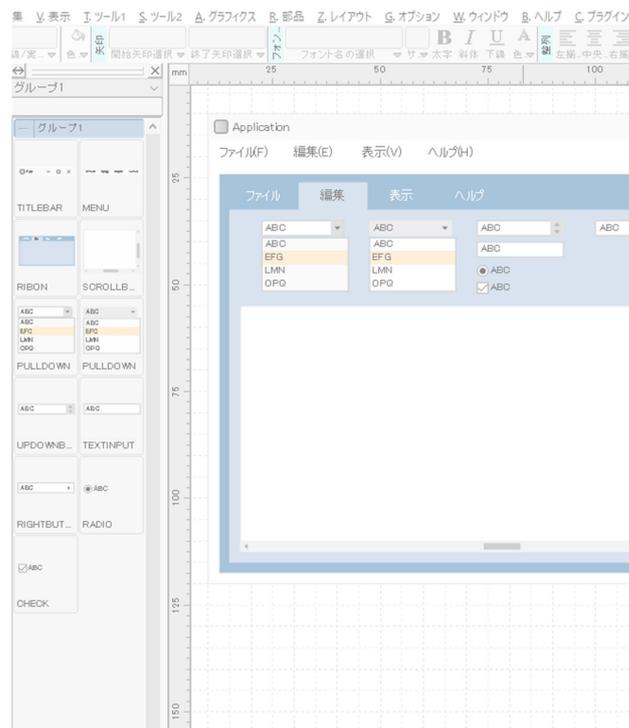
➡ ソースコードが誰でも利用できる

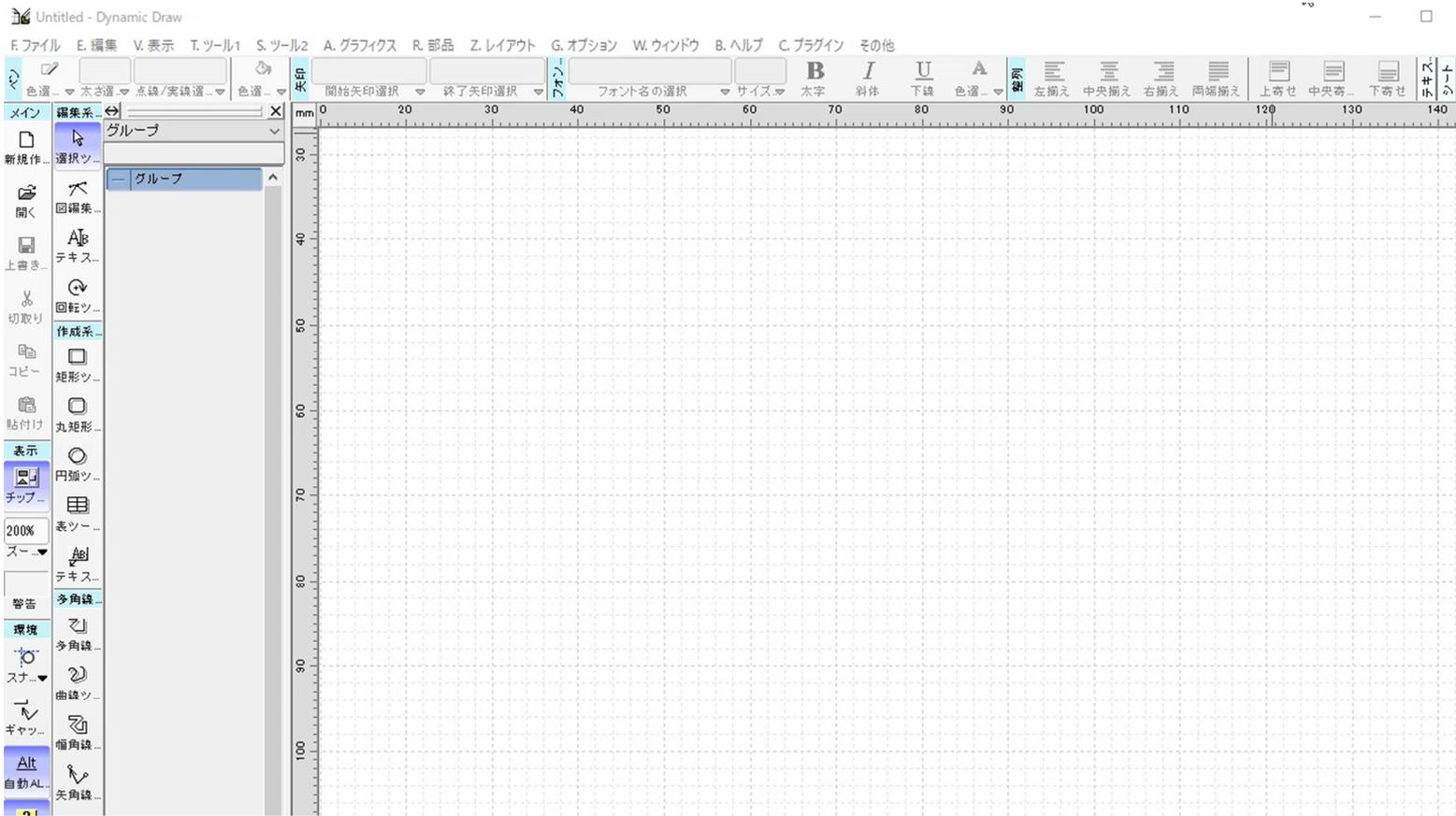
- フローチャート等で広く使われる
- 国内だけでなく国外でも
- 他のアプリケーションへの組み込み用として



特徴

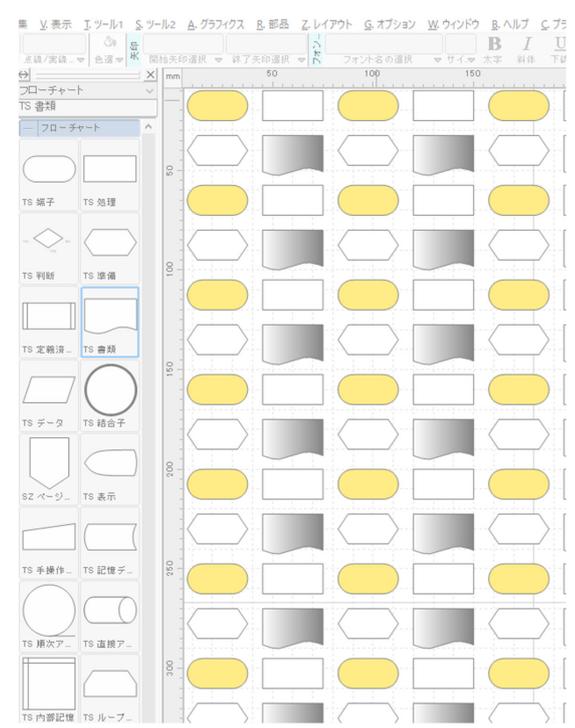
- 軽快な動作

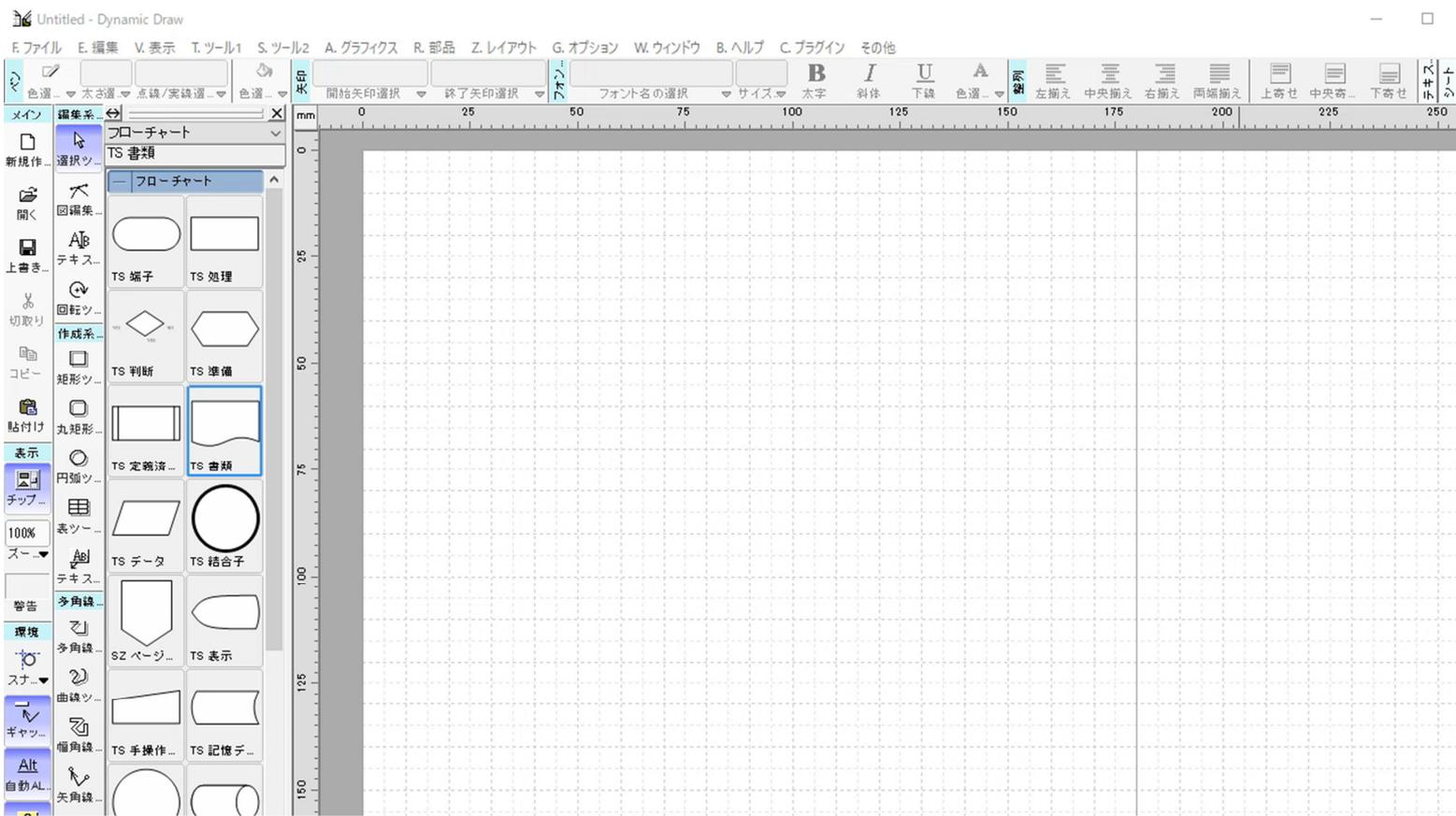




特徴

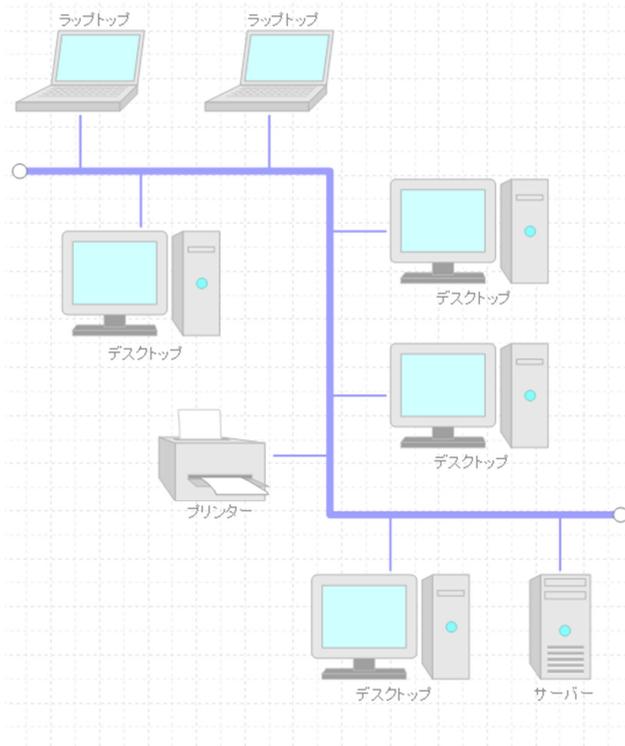
- 大量のオブジェクトを作成できる

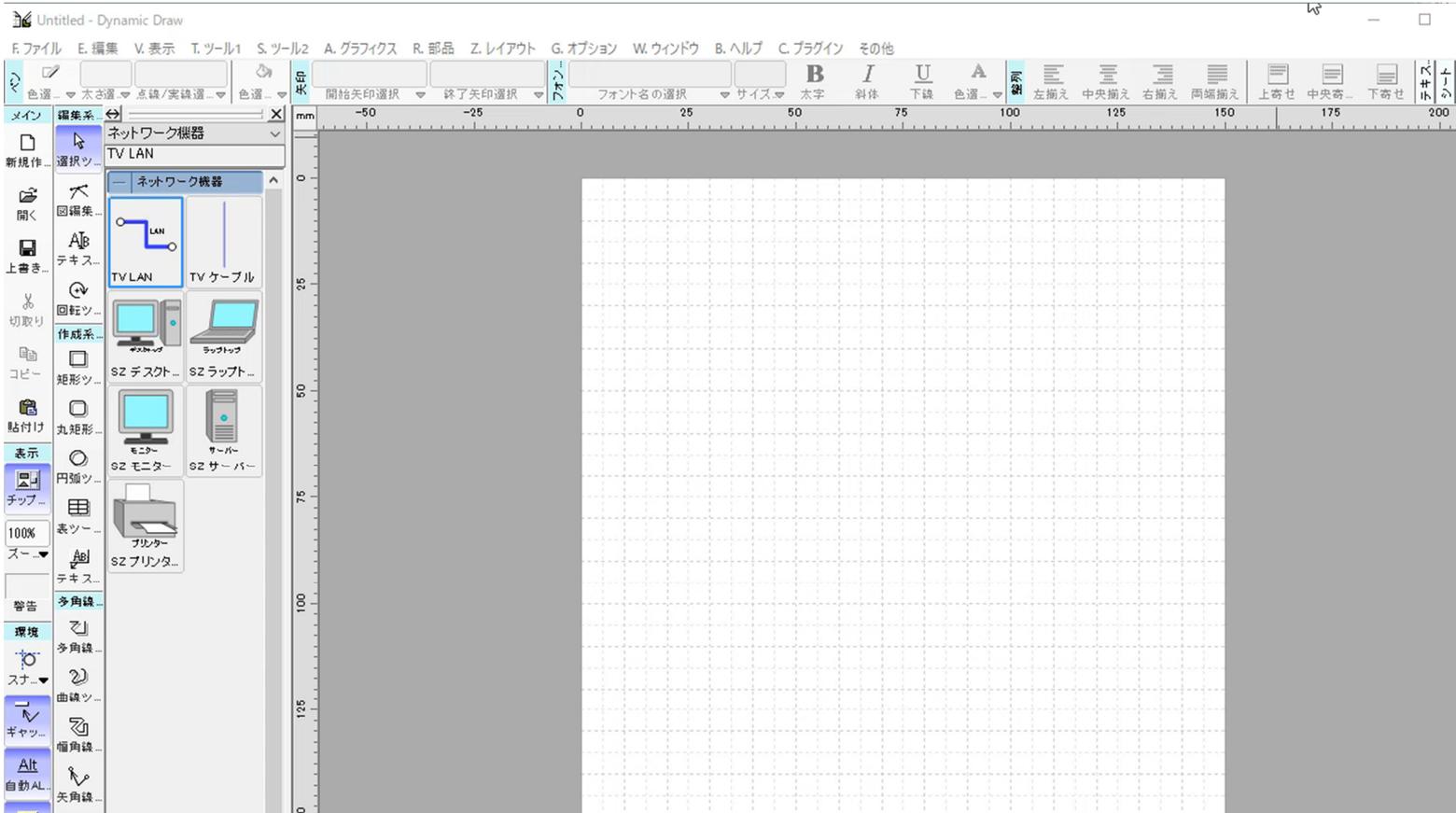




特徴

- オブジェクト間のリンク機能





特徴

- チップ（ステンシル）の作成機能
- 矢印の作成機能
- スクリプト
- インストール版、Portable版、Web版

Group Type mdpf svg mdwt

Name	Type	Summary	Owner	Date edited	
Sample2	mdpf		fukushirom	2022-09-26 00:01	Edit View Dup Del
Sample3	mdpf		fukushirom	2022-09-28 17:21	Edit View Dup Del
Symbols	mdpf		fukushirom	2022-10-01 11:42	Edit View Dup Del
Test monospace	mdpf		fukushirom	2022-09-25 13:17	Edit View Dup Del
Test standard	mdpf		fukushirom	2022-09-21 16:03	Edit View Dup Del
UI Design	mdpf		fukushirom	2022-10-01 11:39	Edit View Dup Del

New

• Template (mdwt):

• Name:

DynamicDrawを使った Advance/FrontNet/ΓGUIの紹介

熱流動エンジニアリングセンター 神長 龍一

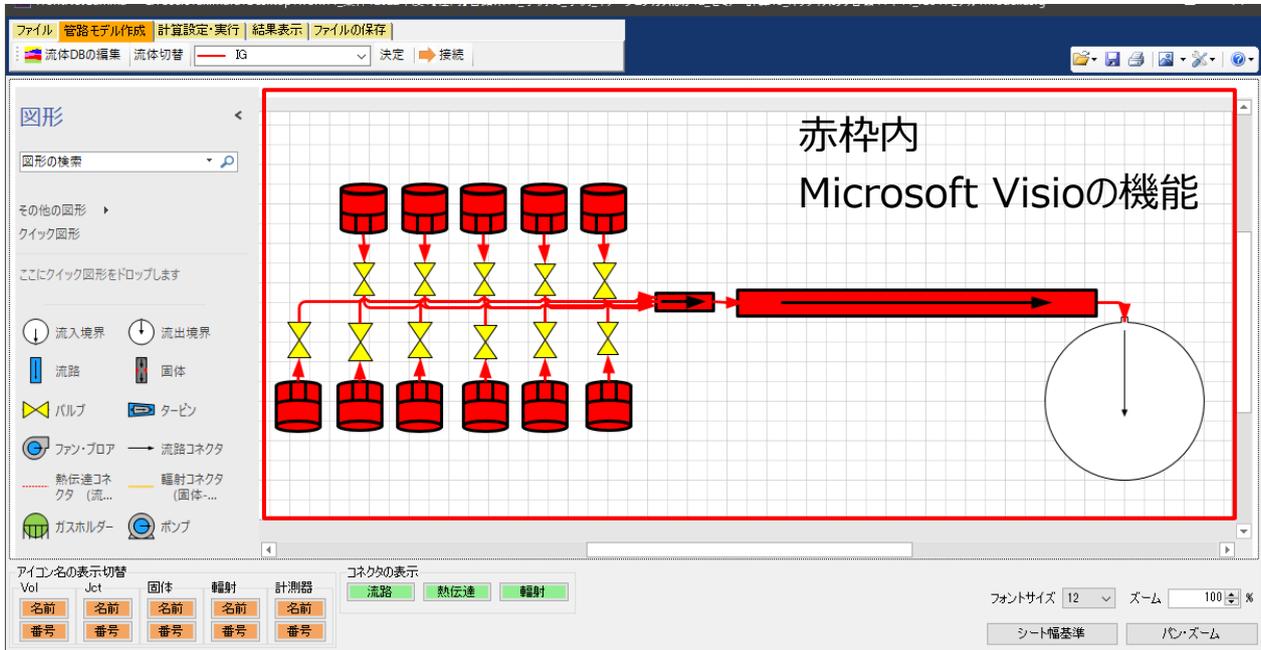
プラントシミュレーションによる
リスク評価/製品紹介と技術セミナー

2022年10月7日（金）
アドバンスソフト株式会社

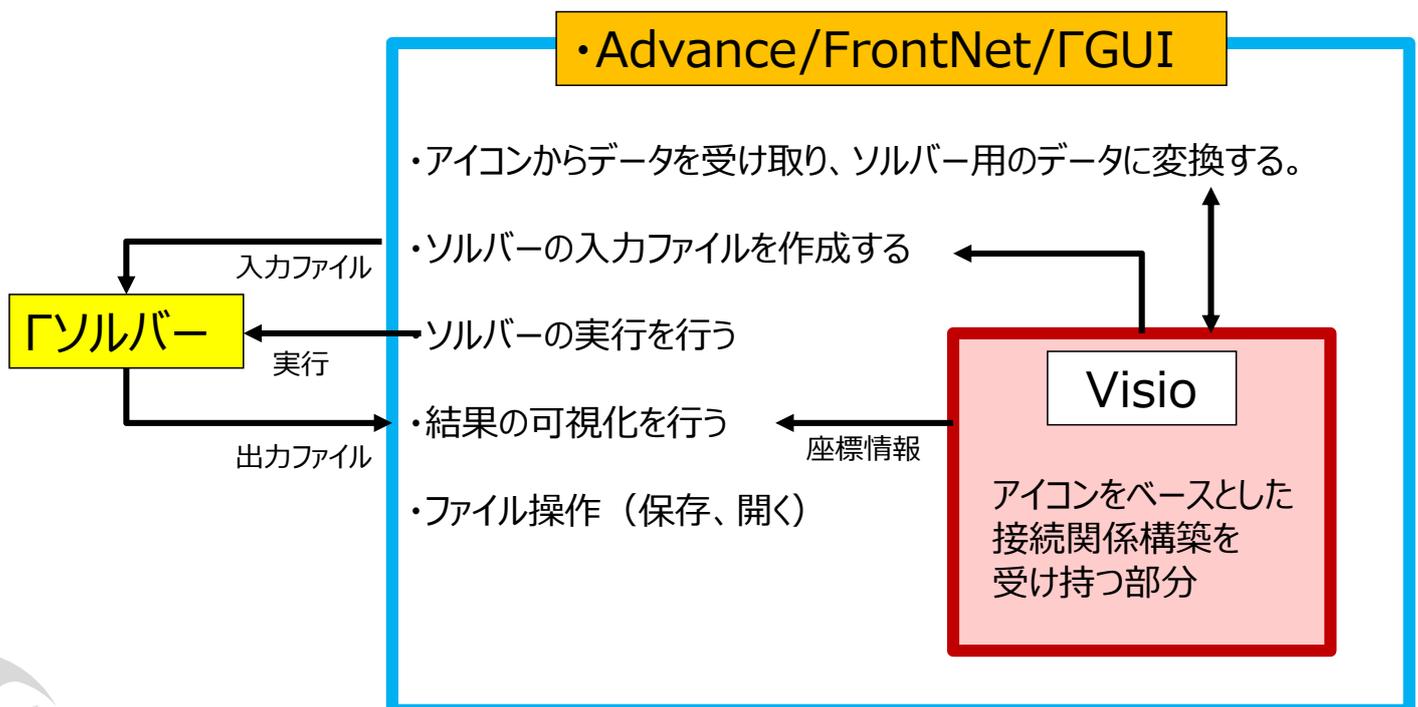
アジェンダ

1. 背景
2. Advance/FrontNet/ΓGUIの紹介
3. ロードマップとサポート

- Advance/FrontNet/Γは2009年の初期リリースから Microsoft Visioの機能を使ってアイコンを管路系の接続関係に使って作られてきた。



- Advance/FrontNet/ΓGUIの構造 (Visioの位置づけ)



・Microsoft VisioはOfficeのバージョンやインストールテクノロジーにより年々多種多様化してきている。
それに伴い、GUIの保守・メンテナンスが大変になっている。

Office リリース	バージョン ¹	インストール テクノジ
Office 365	16.0	クイック実行 Microsoft Store
Office 2019	16.0	クイック実行 Microsoft Store
Office 2016	16.0	クイック実行 Windows インストーラー (MSI) Microsoft Store
Office 2013	15.0	クイック実行 Windows インストーラー (MSI)
Office 2010	14.0	Windows インストーラー (MSI)

¹ コントロール パネルに移動してこのバージョン情報を見つけることができます > プログラム > プログラムと機能。に関するダイアログ ボックスのこのバージョンは、Office アプリケーションのでもあります。たとえば、Word を開く、ファイルに移動する > アカウント > の単語。Microsoft Word について] ダイアログ ボックスの上端の線には、バージョン番号が表示されます。たとえば、Microsoft Word 2019 MSO (16.0.10336.20044) 32-bit。

<https://docs.microsoft.com/ja-jp/deployoffice/install-different-office-visio-and-project-versions-on-the-same-computer>より抜粋

1つのPCにおいて使用できるVisioのバージョンには制約がある。※

○インストール可能
×インストール不可能
△要確認

追加で同じ PC にインストールするVisio製品

	Office製品	インストールテクノロジー	追加で同じ PC にインストールするVisio製品					
			Visio 2019	Visio 2016	Visio 2013	Visio 2010		
すでにPCにインストールされているOffice製品	Office 2019	クイック実行	△※※	○	○	○	○	
	Office 2016	クイック実行	○	○	×	○	×	○
		Windows インストーラー (MSI)		×	○	×	○	○
	Office 2013	クイック実行	○	○	×	○	×	○
		Windows インストーラー (MSI)		×	○	×	○	○
	Office 2010	Windows インストーラー (MSI)	○	○	○	○	○	○
Office 365	クイック実行	○	○	△	○	△	○	

※2つの製品のバージョンは同じものの、使用しているインストールテクノロジーが異なる場合には、一緒にインストールできません。

※※ Officeがプリインストール版のSuite、Professionalの場合はボリュームライセンスである場合があるため、要確認。

さらにはOfficeの更新が2018年10月29日リリース、
1810以降のバージョンである場合、
今まで使ってきた Microsoft Visioの機能が
Advance/FrontNet/ΓGUIで使えなくなりました。
(メモリのアクセス制限またはメモリ壊し)

以上の理由により、Advance/FrontNet/ΓGUIは
Microsoft Visioをベースとしたものとは別に、
新たなものを開発していくこととした。

→福代様ご紹介の「Dynamic Draw」を使った
Advance/FrontNet/ΓGUIの開発に着手している。

「Visioを使ったAdvance/FrontNet/ΓGUI」

→以降VisioΓと略記

メリット : 既存機能が充実している。

デメリット : 多様なバージョンに対する保守メンテナンスが大変。

ユーザー側に購入費用が発生する。

「Dynamic Drawを使ったAdvance/FrontNet/ΓGUI」

→以降DDΓと略記

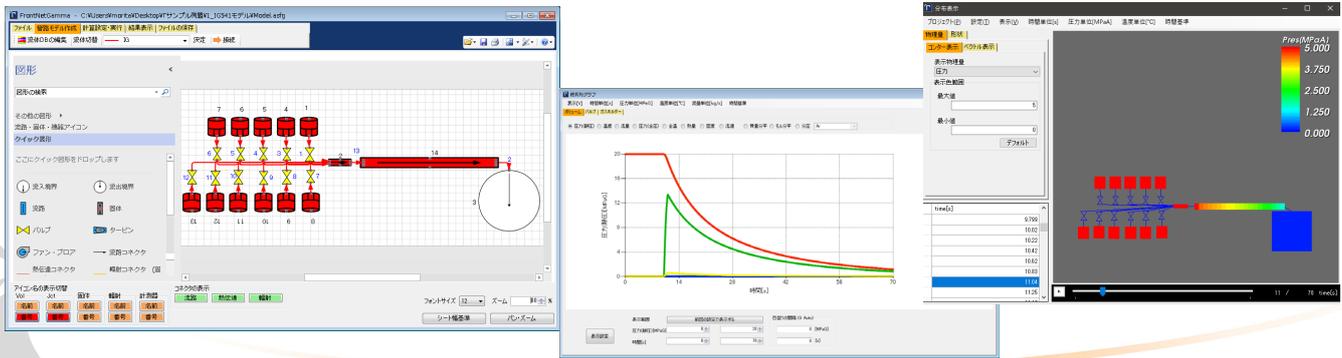
メリット : オープンソースのため、開発側で管理できる。

ユーザー側に購入費用が発生しない。

デメリット : VisioΓユーザーにとって当面は機能ダウンとなる。

開発側にとって開発工数が発生する。

- Advance/FrontNet/Γ ソルバーのプリポストおよび計算の実行をサポートするソフトウェア
- プロジェクトの管理もサポート
- ソルバーと同様にGUIも自社で開発しているため、特定ニーズの機能の追加やユーザー限定モデルの追加に対応可能



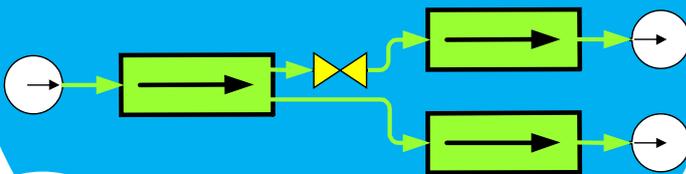
Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

9

プリ機能

流路接続機能

Visio により流体機器間の接続を定義
(DDF は Dynamic Draw により定義)
次ページにこれらのツールの必要性を説明



流体
物性DB

理想気体 (単成分・混合成分)
実流体物性

流体機器のパラメータ設定機能

バルブ
制御バルブ
タービン
ファン・ブロー
ポンプ
ガスホルダー

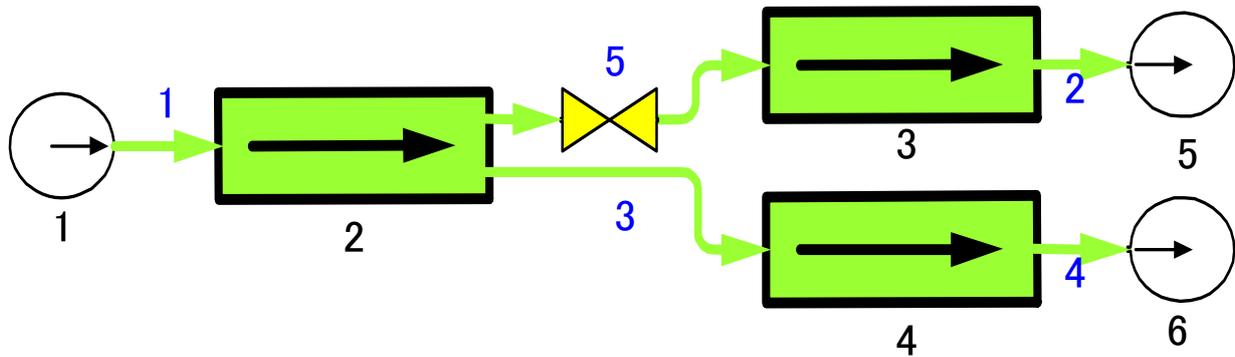
計算制御
などの計算設定

時間発展スキーム
差分スキーム
物理モデル

Copyright ©2022 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

流路接続機能

- 複雑な管路系の接続関係の設定ファイルをユーザーがテキストベースで作成するには慣れと時間が必要であり、設定ミスが発生も起こりやすい。



- 次ページでテキストを示す。

流路接続機能

- 前頁のように簡易的なモデルでも、流体機器の始端・終端、ジャンクションの始点・終点の接続を定義すると以下のように冗長かつ数多になる

```
va_to_jj(00002,00001) = 1
va_to_jj(00003,00001) = 5
va_to_jj(00004,00001) = 3
va_to_jj(00005,00001) = 2
va_to_jj(00006,00001) = 4
```

```
vb_to_ji(00001,00001) = 1
vb_to_ji(00002,00001) = 3
vb_to_ji(00002,00002) = 5
vb_to_ji(00003,00001) = 2
vb_to_ji(00004,00001) = 4
```

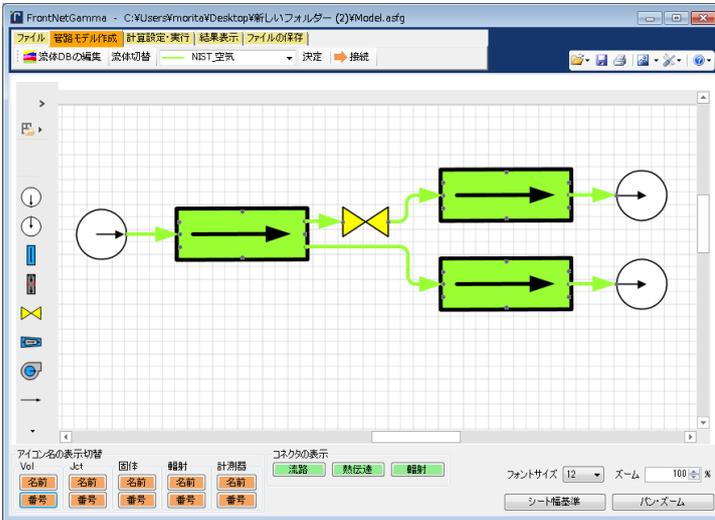
```
id_jedge(00001) = 1
id_jedge(00002) = 3
id_jedge(00003) = 2
id_jedge(00004) = 4
id_jedge(00005) = 2
```

va_to_jj: ボリュームの始端に終点が接続しているジャンクションの番号
 vb_to_ji: ボリュームの終端に始点が接続しているジャンクションの番号
 id_jedge: ジャンクションの始점에接続しているボリュームの番号
 id_jedge: ジャンクションの終점에接続しているボリュームの番号

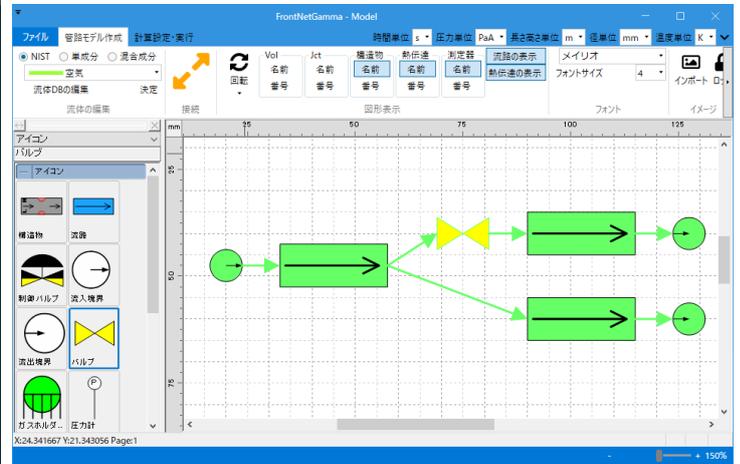
```
id_jedge(00001) = 2
id_jedge(00002) = 5
id_jedge(00003) = 4
id_jedge(00004) = 6
id_jedge(00005) = 3
```

流路接続機能

- VisioΓ と DDIΓ（開発中）の管路モデル作成画面

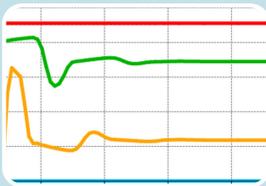


VisioΓ



DDIΓ（開発中）

ポスト機能



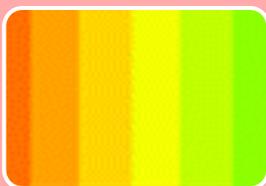
時系列グラフ

- 表示物理量、表示範囲・目盛り間隔の変更
- 単位変換機能
- グラフの書式設定機能（凡例名、表示/非表示、カラー、線のスタイル等）



ラインチャート

- 時系列グラフに実装されている機能を使用可能
- 表示時刻の切替によるアニメーション表示に対応



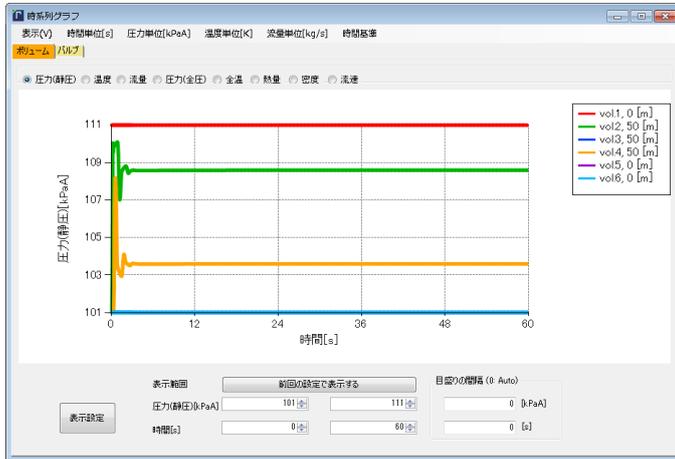
コンター

- 表示物理量、カラーマップ範囲の変更
- ベクトル表示に対応（流速、流量）
- アニメーション再生に対応

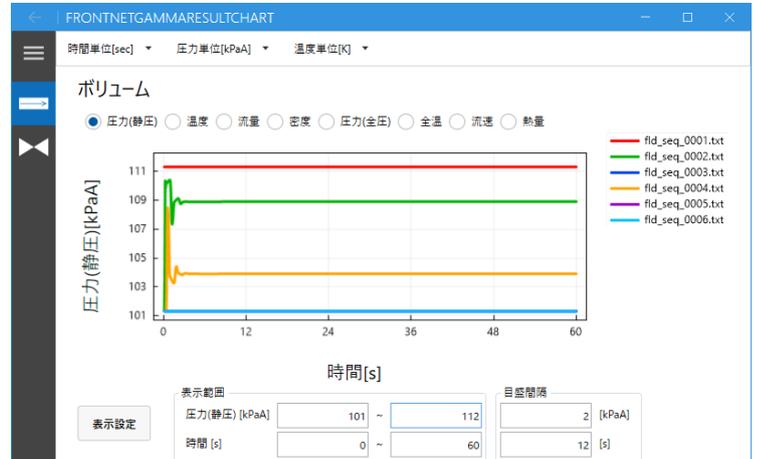
一覧表示、サマリー

ポスト機能

- VisioΓ と DDFΓ（開発中）の時系列グラフ



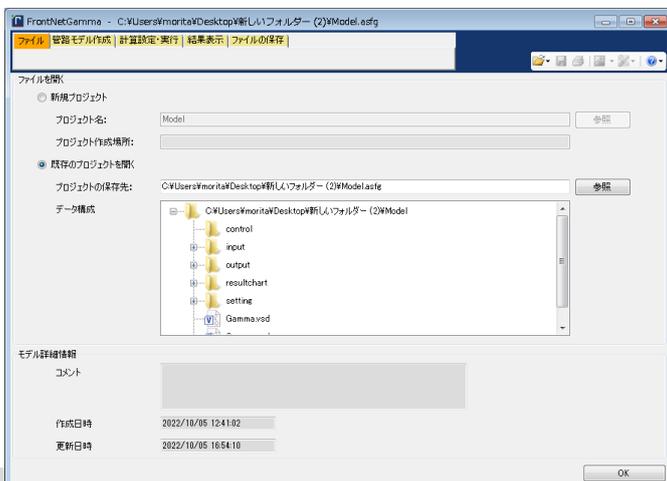
VisioΓ



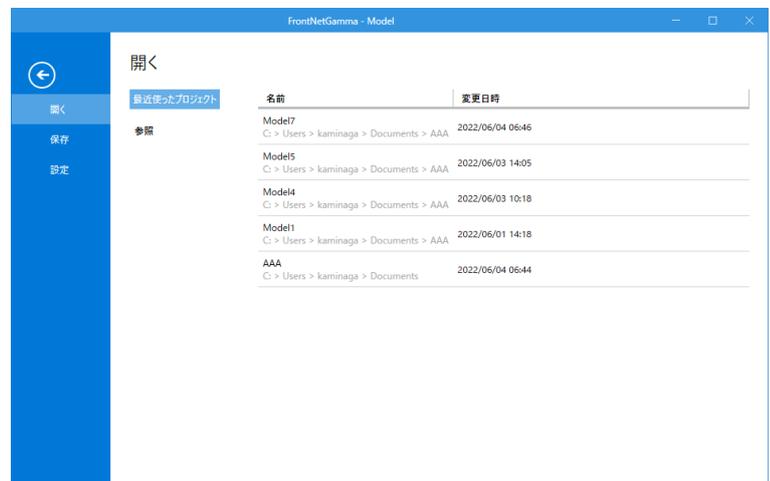
DDFΓ（開発中）

プロジェクト管理

- VisioΓ と DDFΓ（開発中）のプロジェクトオープン画面



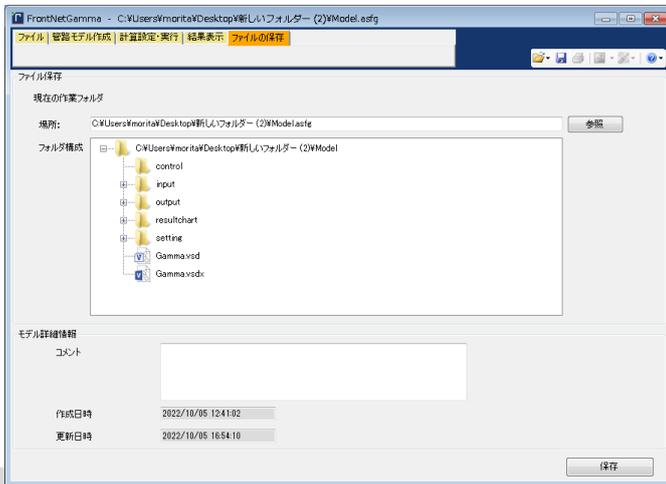
VisioΓ



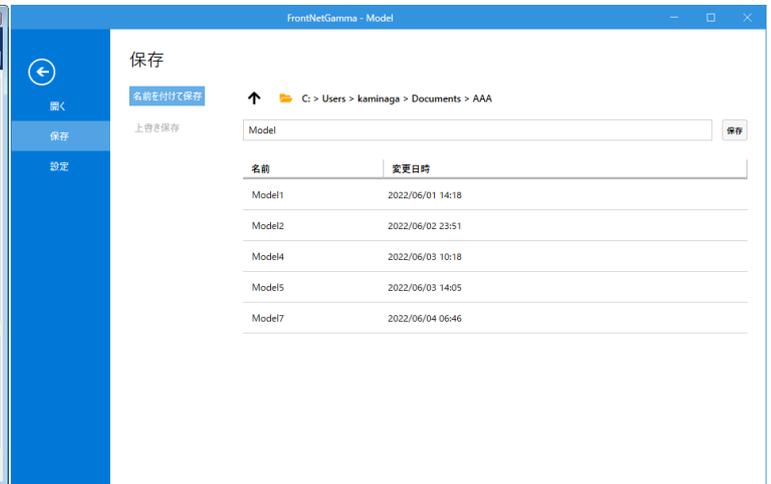
DDFΓ（開発中）

プロジェクト管理

- VisioΓ と DDΓ（開発中）のプロジェクト保存画面



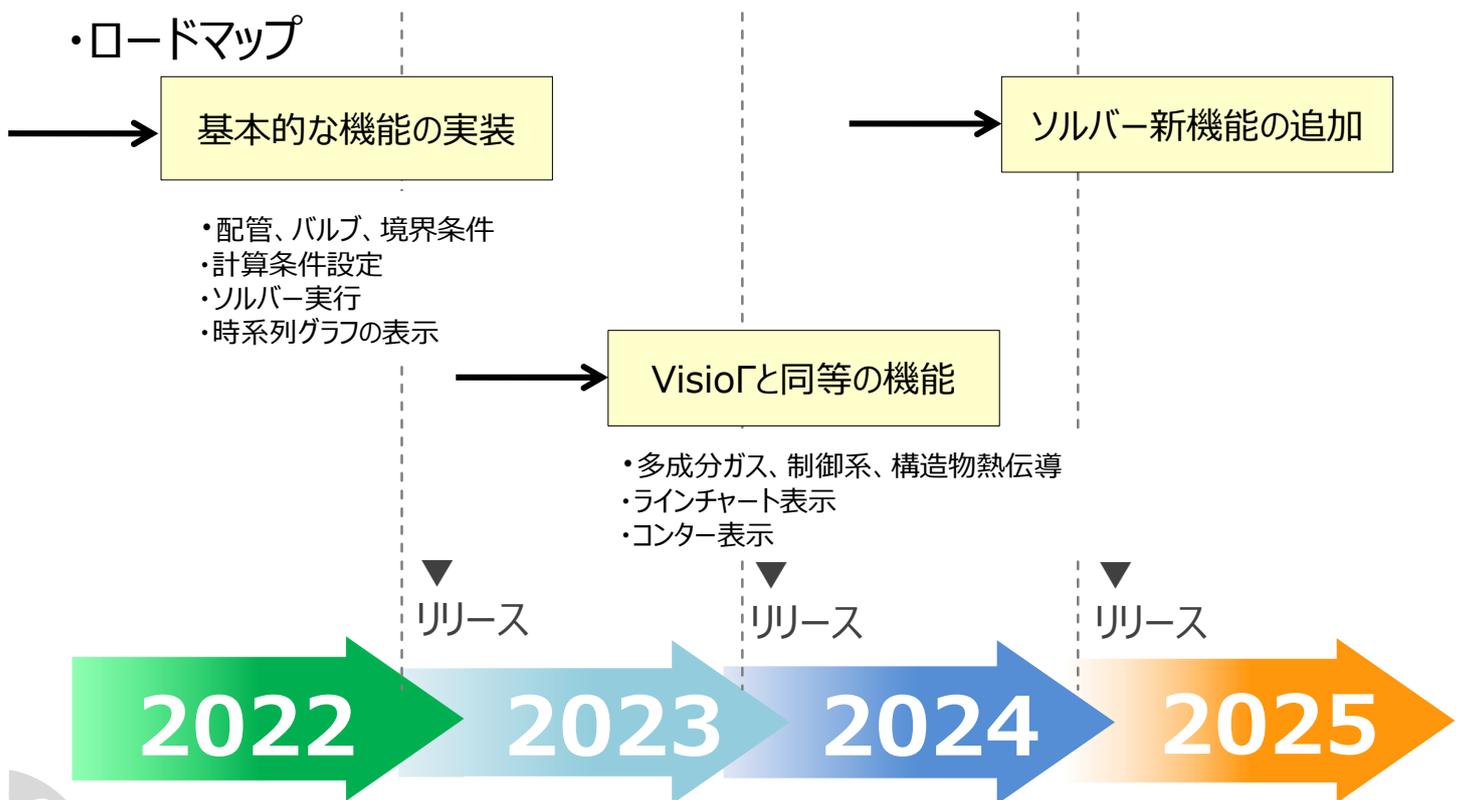
VisioΓ



DDΓ（開発中）

3. ロードマップとサポート

•ロードマップ



- 予定は変更になる可能性があります。
- ユーザーからの要望の多い機能が優先して開発されます。

・サポートと推奨バージョン

DDΓの開発状況 ユーザー	基本的な機能の実装	VisioΓと同等の機能	ソルバー新機能の追加
既存ユーザー	VisioΓ 推奨 DDΓ 可能	VisioΓ 推奨 DDΓ 可能	VisioΓ 個別サポート DDΓ 推奨
新規ユーザー	VisioΓ ^注 可能 DDΓ 推奨	VisioΓ ^注 可能 DDΓ 推奨	VisioΓ サポートなし DDΓ 推奨

(注) 以下の環境等により、動作可能かどうか前提となる。

- Visioのバージョン
- Officeバージョンのロールバックが可能かどうか

価格および関連サービスのご紹介

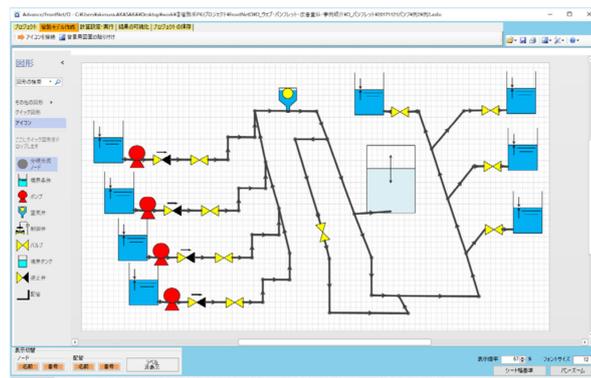
2022年10月7日(金)
アドバンスソフト株式会社
営業部 後藤 吉正

管路系液体過渡解析ソフトウェア Advance / FrontNet / Ω

液体パイプラインの過渡解析ソフトウェア 「水撃」「液柱分離」など液体の急激な現象解析に特化

適用範囲：等温とみなせる液体管路系の非定常解析

- バルブ遮断時の水撃圧、バルブ条件検討
- ポンプトリップ時の液柱分離発生、ポンプのGD2検討
- 圧力脈動の大きさ、減衰時間検討
- サージタンク設置検討
- 空気弁設置検討



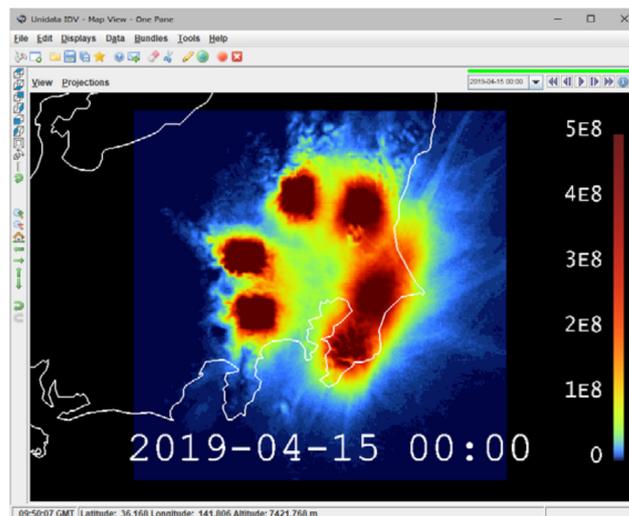
大気拡散影響予測システム Advance / Emerg



大気拡散物質の挙動予測と影響評価のための ソフトウェア・システム

迅速に気象を予測、大気中に放出される化学物質等の挙動を地球規模で解析、その影響を予測する機能

- 非静力学メソスケール気象モデル
- ラグランジュ型粒子拡散モデル
- 初期設定入力支援GUI
- プリポスト・コマンド
- 解析結果の可視化
- 機能カスタマイズ



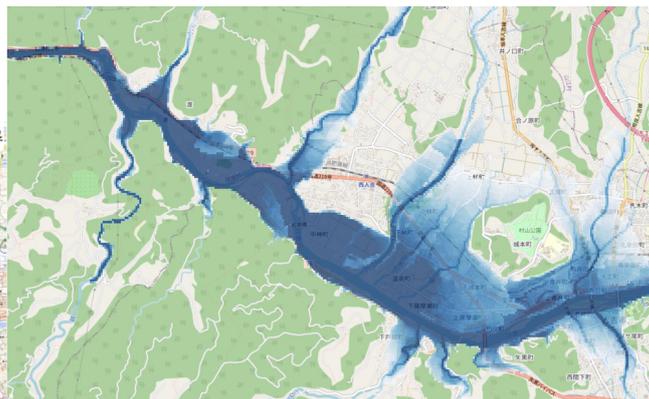
河川氾濫シミュレーションシステム Advance / RiverFlow



全球スケールから詳細な地域の河川流量、浸水深 などの計算が可能

洪水リスクとして100年に一度や1000年に一度の河川氾濫
における浸水深を評価

- 最新の研究成果に基づくソルバー
河川氾濫モデル『CaMa-Flood』
- 前処理GUI
- 後処理GUI
- サポート



アドバンスソフトのサービス について

◇各サービスのご紹介

1. パッケージソフトウェアの販売・サポート

アドバンスソフトが取り扱っているパッケージソフトウェアは、国家プロジェクトまたは自社により開発した日本の国産製品です。

ソースコードを熟知した開発者が直接お客様のご質問にお答えするため、迅速で的確なサポートサービスをご提供することが出来ます。また、お客様のご要望に沿ったカスタマイズを行うことも可能です。

2. ソフトウェアの受託開発サービス

お客様の解決すべき課題に則した、計算科学技術用のソフトウェアを新規に開発いたします。また、お客様が現在ご利用になっているソフトウェアへの機能追加および改良にも対応いたします。

3. 解析サービス

計算科学用ソフトウェアを用いた解析計算を行います。さらに、その結果をシミュレーションの専門家ならではの見識をもって評価しご報告いたします。各種分野の専門技術者が、「お客様の課題解決にはどのような手法が有効であるか。」といったご相談にも対応させていただきます。

4. コンサルティング

CAEに関わる様々な課題をお客様と一緒に解決すべく、専門研究者がコンサルティングサポートをさせていただきます。また、「フリーソフトを使ってみたいがサポート体制が無いので不安がある。」といった声にお応えして、ParaView、LAMMPSといったフリーソフトのコンサルティングもいたします。



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になります。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。