

管路系流体シミュレーションによる プラントリスク評価

2019年7月26日(金)開催

プログラム

13:30~13:40 (10分)	主催者あいさつ アドバンスソフト株式会社のご紹介..... 1	熱流動エンジニアリングセンター 取締役 浜野 明千宏
13:40~14:25 (45分)	招待講演 「LNG受入基地における管路系流体シミュレーション活用」..... 5	東電設計株式会社 海外ビジネスユニット 火力本部 LNGエンジニアリング部 LNG第一グループマネージャー 高橋 聡 様
14:25~15:05 (40分)	ガス管路系解析ソフトウェアV&Vおよび事例紹介..... 39 (LNG基地におけるBOG流動解析、熱調系制御弁応答解析、水一過熱蒸気系温度制御弁応答解析)	熱流動エンジニアリングセンター 主任研究員 秋村 友香
15:05~15:15 (10分)	休憩	
15:15~15:40 (25分)	液体管路系解析ソフトウェアV&Vおよび事例紹介..... 60 (プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析)	第4事業部 主任研究員 大須賀 直子
15:40~16:20 (40分)	管路系流体解析ソフトウェアの機能紹介..... 77	熱流動エンジニアリングセンター 研究員 神長 龍一
16:20~16:30 (10分)	各種ソフトウェアおよび関連サービス..... 97	※資料は一部非公開です 営業部 吉留 隆也



アドバンスソフト株式会社のご紹介

取締役 浜野 明千宏

管路系セミナー「管路系流体シミュレーションによるプラントリスク評価」
2019年7月26日（金）
アドバンスソフト株式会社



Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

1

会社概要

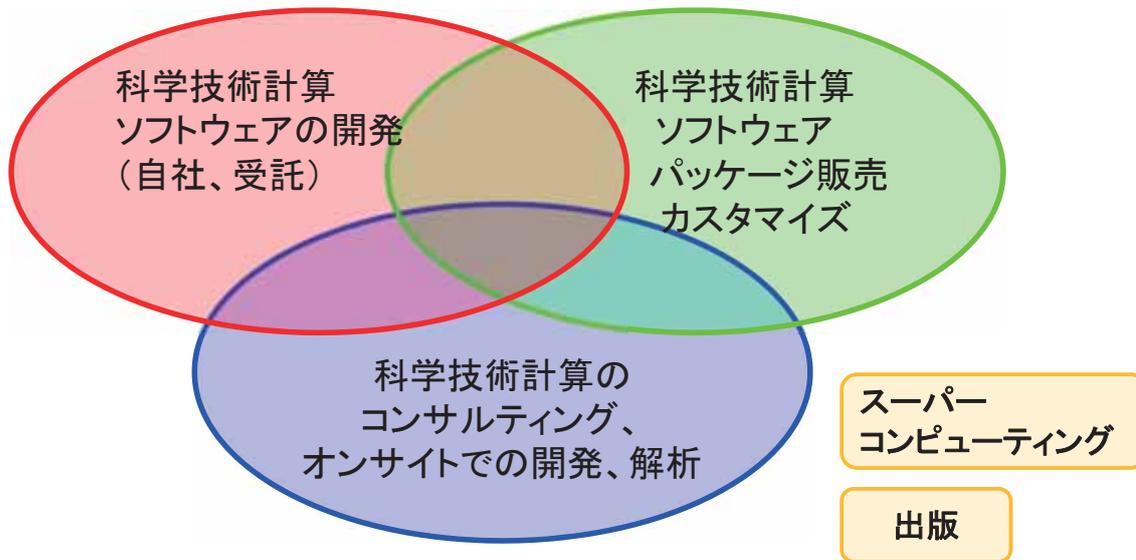
名 称 アドバンスソフト株式会社 (AdvanceSoft Corporation) 本 社 〒101-0062 東京都千代田区神田駿河台4-3 新お茶の水ビル17階 TEL: 03-6826-3970 FAX:03-5283-6580 設 立 2002年(平成14年)4月24日 資本金 3,724万円 社員数 106名(2019年5月1日時点)	事業部	部	事業内容
	第1 事業部	技術第1部	ナノ材料の第一原理計算、量子化学計算やメソ領域の開発など
		技術第部	プリポストシステム開発、連成システム開発、構造・音響解析などのエンジニアリング、構造解析ソルバーの開発など2
		技術第6部	次世代TCADシステムの開発
		材料システム 開発室	先端的なナノシミュレーション事業および関連する国プロを企画・推進
ナノシミュレーション 研究開発センター		材料設計統合システムの開発、および、関連する先端的なナノ分野の事業を企画推進	
第2 事業部	技術第4部	燃焼・爆轟に係る流体解析ソルバー開発、混相流に係る次世代流体解析システム開発、流体解析ソルバーの受託	
第3 事業部	技術第3部	乱流、燃焼、化学反応等に係わる次世代流体システム開発など	
	技術第7部	J-PARCIに係わるプロジェクトの実施等	
第4 事業部	技術第5部	原子力・エネルギー利用に係る安全性解析など 管路系流体解析エンジニアリング業務	
関西支店		西日本地区での活動拠点。ナノシミュレーションを中心としたサービスを提供	
研究 開発 部門	研究開発 センター	地球科学を中心とした事業を企画・推進します。	
	熱流動エンジニア リングセンター	原子力、管路系、気液二相流等の熱流動エンジニアリング事業	
	リスク研究開発 センター	原子力分野に関するPRAを中心としてリスク研究開発に係る事業	
総合企画部		コンサルティングサービスの提供 解析サービス、実験支援サービスの提供	
営業本部	営業部	お客様窓口	

Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2

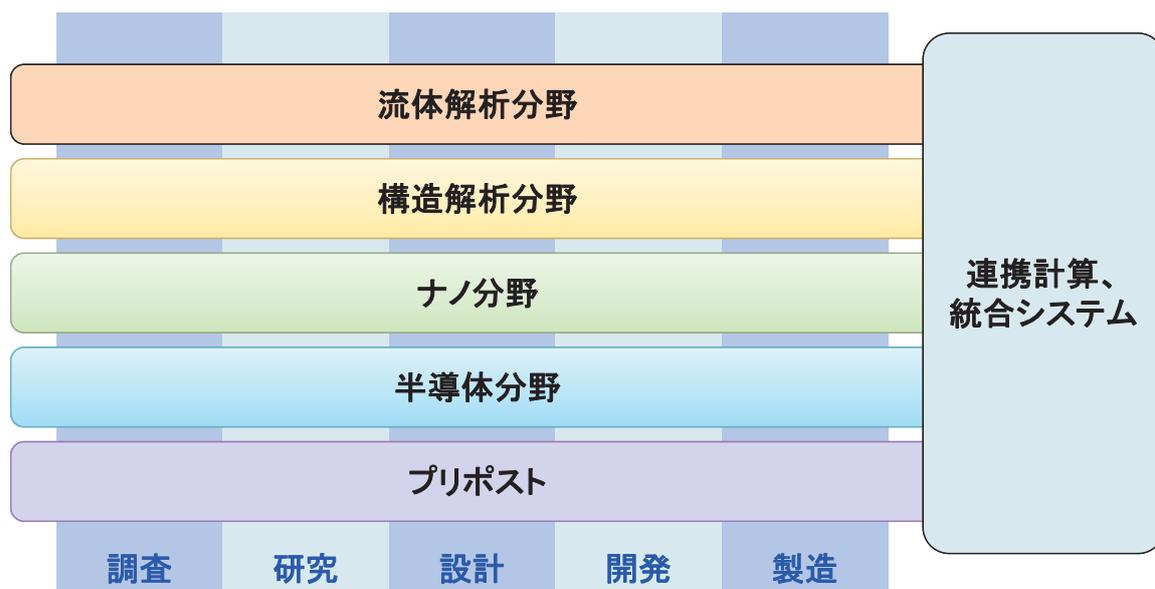
事業内容

アドバンスソフトがご提供するサービス



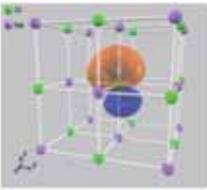
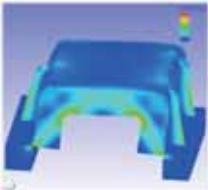
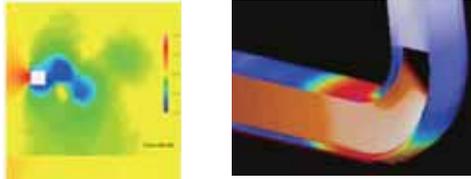
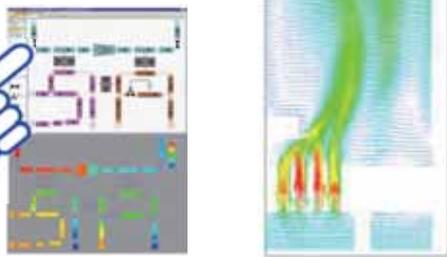
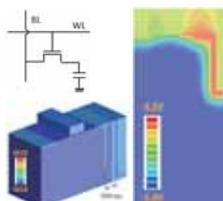
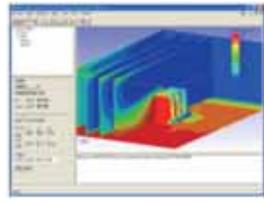
科学技術計算ソフトウェアの開発を基礎とした、科学技術計算に関する様々なソリューションをご提供します。

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。

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア

<p>ナノ</p> <p>Advance/PHASE Advance/NanoLabo</p> 	<p>構造・音響</p> <p>Advance/FrontSTR Advance/FrontNoise</p> 	<p>流体</p> <p>Advance/FrontFlow/red Advance/FrontFlow/FOCUS</p>  <p>Advance/FrontFlow/MP</p> <p>Advance/FrontNetシリーズ</p> 	
<p>半導体・光／電磁波</p> <p>Advance/TCAD Advance/ParallelWave</p> 	<p>プリポスト</p> <p>Advance/REVOCAP</p> 		

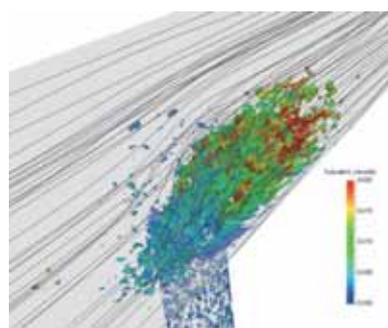
※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は当社HP(www.advancesoft.jp)をご参照ください。

アドバンスソフトのパッケージソフトウェア(流体)

Advance / FrontFlow / red

汎用の流体解析用

燃焼、乱流、温度揺らぎ、自由表面、キャビテーション、その他応用多数



合流配管のLES解析
(速度勾配テンソルの第二不変量の等値面
(カラーは乱流粘性)と流線)
(Advance/FrontFlow/red)

Advance / FrontFlow / MP

気液二相流の解析用

沸騰蒸発・凝縮、気泡・噴霧流、その他



気泡塔内気泡流試験解析
(ボイド率分布、ボイド率0.1の等値面)
(Advance/FrontFlow/MP)

Advance/FrontNetシリーズ

管路系流体解析用(ガス用、液体用)

本日はご紹介

※上記は主要パッケージを掲載しています。詳細は当社HP(www.advancesoft.jp)をご参照ください。

パッケージソフトウェアの解析事例

解析事例Webページをリニューアルしました。

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>



LNG受入基地における 管路系流体シミュレーション活用

東電設計株式会社 海外ビジネスユニット
火力本部 LNGエンジニアリング部
高橋 聡

2019年7月26日

セミナー「管路系流体シミュレーションによるプラントリスク評価」

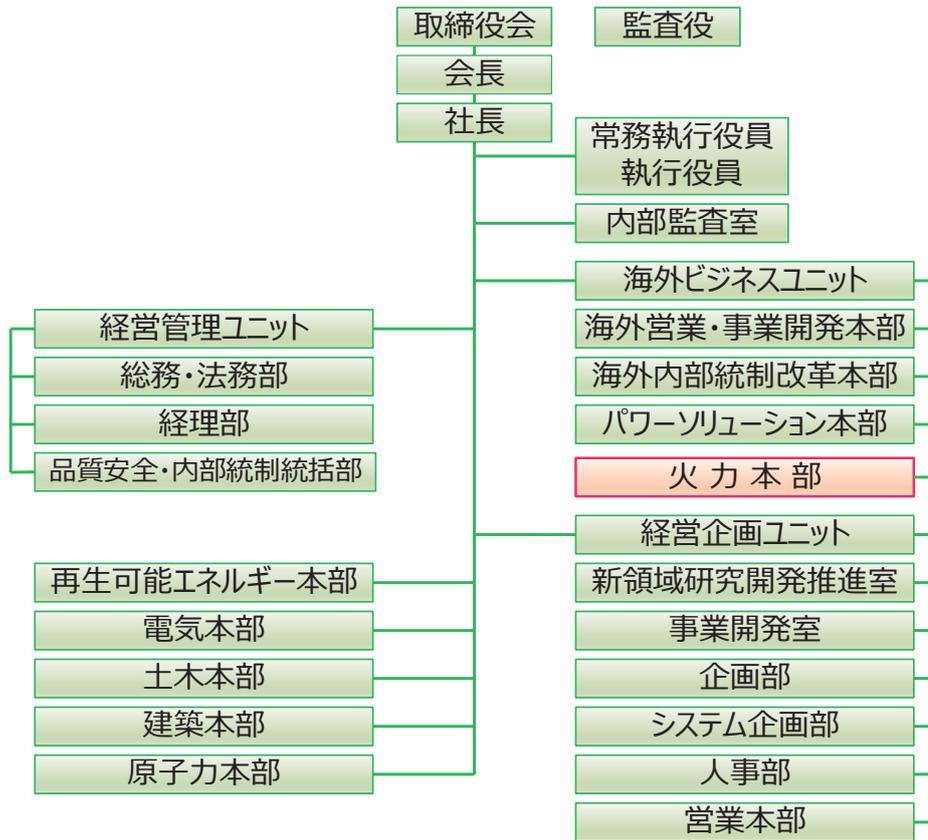
本日の発表内容

1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

東電設計の紹介

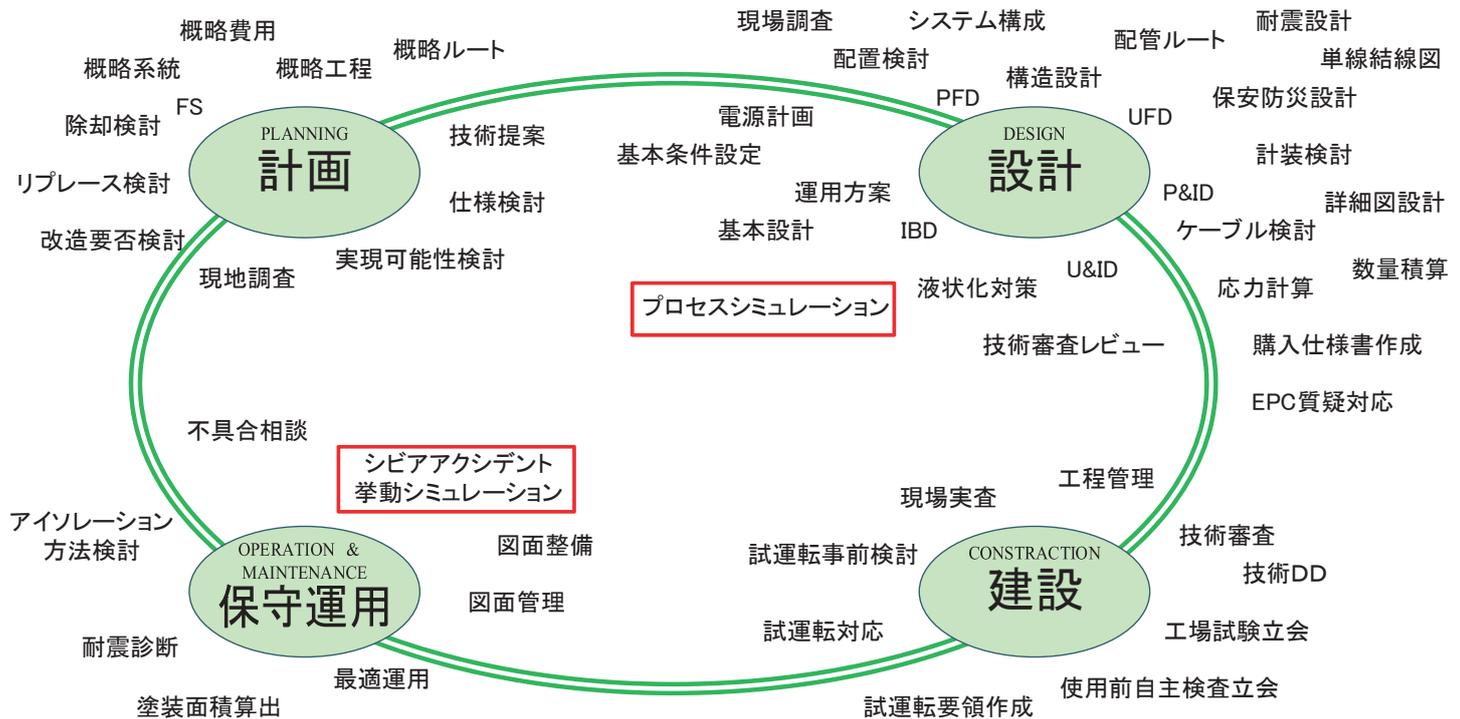
名称	東電設計株式会社 TOKYO ELECTRIC POWER SERVICES CO., LTD. (TEPSCO)
所在地	東京都江東区東雲1-7-12 KDX豊洲グランスクエア
創立	1960年12月20日
資本金	4,000万円
売上高	207億円 (2018年度)
従業員数	839名 (2019年7月1日現在)
事業内容	発電設備 (水力・火力・原子力・自然エネルギー)、 送配電設備に係わるエンジニアリング・コンサルティング サービス



事業所一覧



プラント設備の計画・設計・建設・保守運用、
それぞれの段階に合わせたコンサルティング・エンジニアリングを提供



本日の発表内容

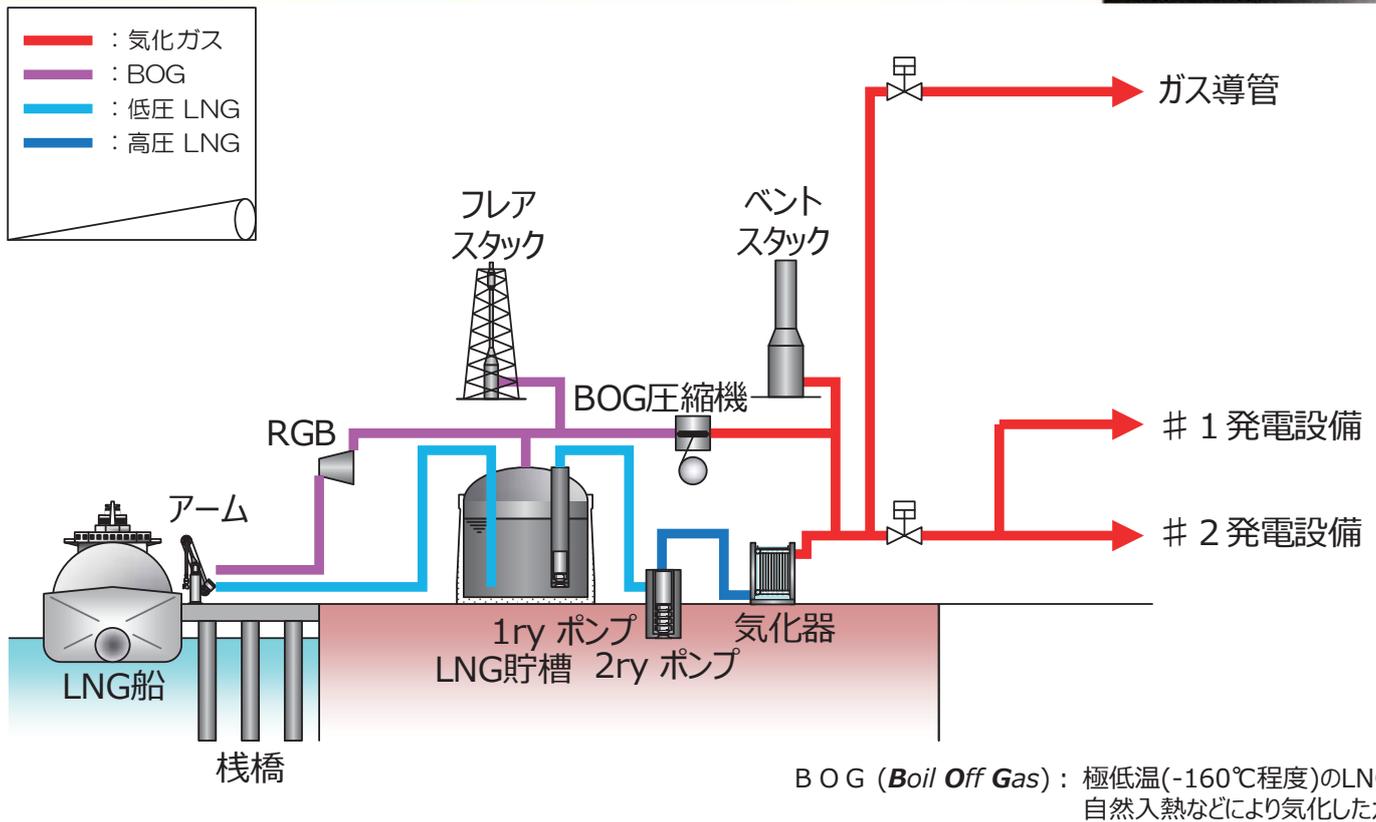
1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

当社が行っている解析業務

解析業務	備考
送電系統	受給計算, 潮流計算, 実効値解析, 瞬時値解析...
構造	建物, 鉄塔, 配管, 架構, 衝突...(DYNA, NASTRAN, Soil+, AutoPIPE, etc.)
地盤応答	3D液状化解析(FLIP), 斜面崩壊, 地盤安定性
地震到達波	断層→基盤→地表面
拡散	排煙拡散, 温冷排水拡散, ガス拡散...
換気	2D, 3D換気
騒音	敷地境界騒音予測
照明照度	照度コンタ
流送	混合物性推算, プロセス(静的, 動的), 水撃, 管路網, ヒートバランス...

本日の発表内容

1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望



本日の発表内容

1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

流体の種類	扱う流体
非圧縮性流体	LNG, 水, 海水, 液化窒素,
圧縮性流体	天然ガス, 13A, BOG, 蒸気, 空気, 窒素
2相流、固形物析出	再液化の有無確認、ハイドレート析出の有無確認

流体	扱う温度, 圧力	必要な物性	特異性
LNG	-162~-120℃ 0~15MPaG	密度, 粘度, 比熱	<ul style="list-style-type: none"> ・極低温でしか液体でられない。 ・2相混在する領域がある。
天然ガス	-120~+60℃ 0~12MPaG	密度, 粘度, 比熱 比熱比, 圧縮係数	<ul style="list-style-type: none"> ・極低温では再液化する。 ・高圧でハイドレートを析出する。
BOG	-160~+120℃ 0~12MPaG	密度, 粘度, 比熱 比熱比, 圧縮係数	<ul style="list-style-type: none"> ・大気圧領域で微差圧を扱う。 ・大気圧領域、-60℃程度でハイドレートを析出する。

本日の発表内容

1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

基本設計

- マテリアルバランスやプロセスフロー、機器仕様の検討。
- 定常解析が主。

詳細設計

- 運用方案の妥当性確認。
- 事故時の挙動確認。
- 既存設備への影響評価。

建設

試運転

- 試運転実施時のプラント状態における試運転影響評価
- 試運転データを基に妥当性を確認。
- 実機試運転により確認出来ない機能のプラント挙動を確認

運開後

- 設備改造の影響評価。
- 運用改善検討。

本日の発表内容

1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

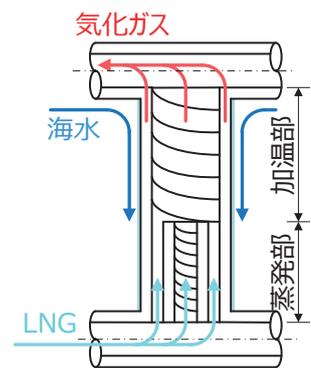
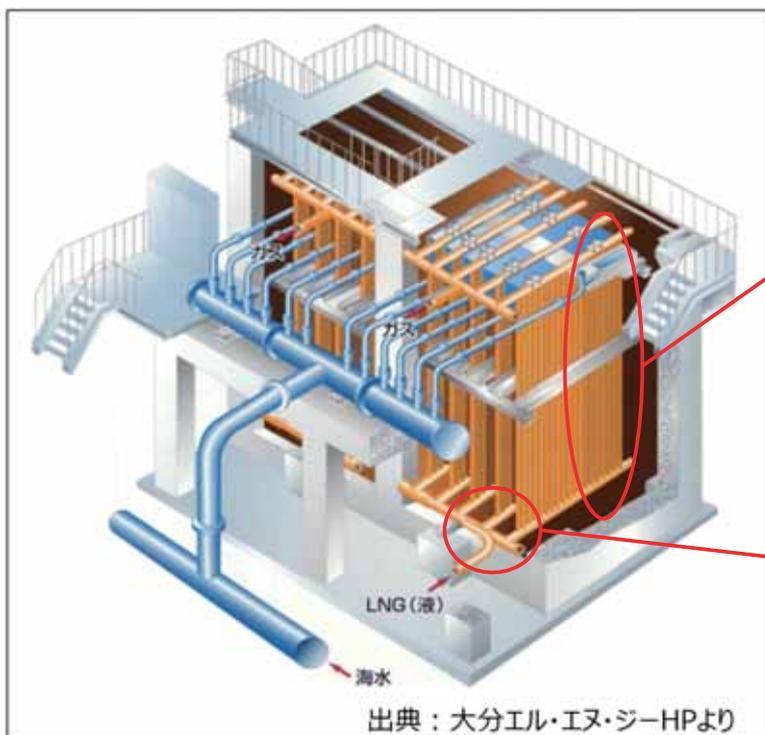
管路系流体シミュレーションのソフトは市販ソフトを使用。
当社が所有しているソフトは下記の通り。

種別	ソフト名
プロセスシミュレーター	VMGsim (定常解析) Visual Modeler (非定常解析)
管路系流体解析	FluidFlow FloMASTER Advance/FrontNet/Ω (導入検討中) Advance/FrontNet/Γ (導入検討中)

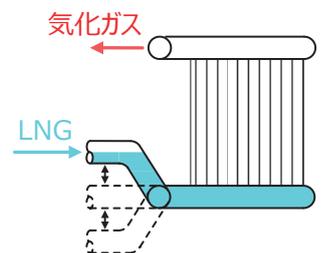
基本的には市販ソフトに用意されている標準ユニットを使用している。
シミュレーションの精度向上のためにユニットを独自開発する場合がある。

ユニットモデル開発例 (ORV)

- ・蒸発部(LNG側)と加温部(気化ガス側)に分けて熱交換を計算
- ・LNG供給ヘッダ管のボリュームを考慮した蒸発量計算



蒸発部と加温部を分けることで途中から伝熱管構造の異なるORVにも対応可能



LNG供給管の位置を考慮したモデル化が可能

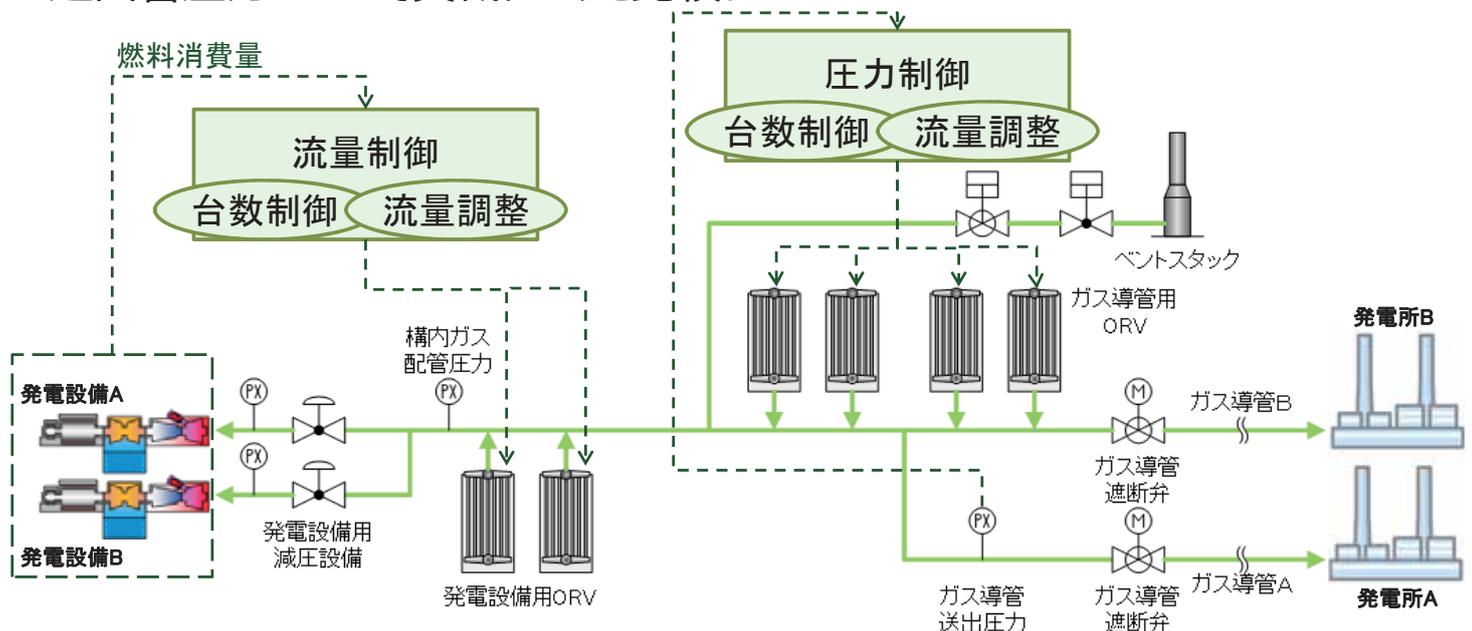
1. 東電設計の紹介
2. 当社の解析業務
3. LNG受入基地概要
4. LNG受入基地で扱う流体
5. シミュレーションの目的
6. シミュレーションソフトとモデル
7. シミュレーション活用事例
8. シミュレーションソフト開発会社への要望

1. 送ガス設備運用シミュレーションモデルの妥当性確認
2. ガス導管緊急遮断の影響評価
3. 発電設備解列による影響評価
4. BOG配管系統シミュレーションモデルの妥当性確認
5. BOG大量発生時の挙動確認

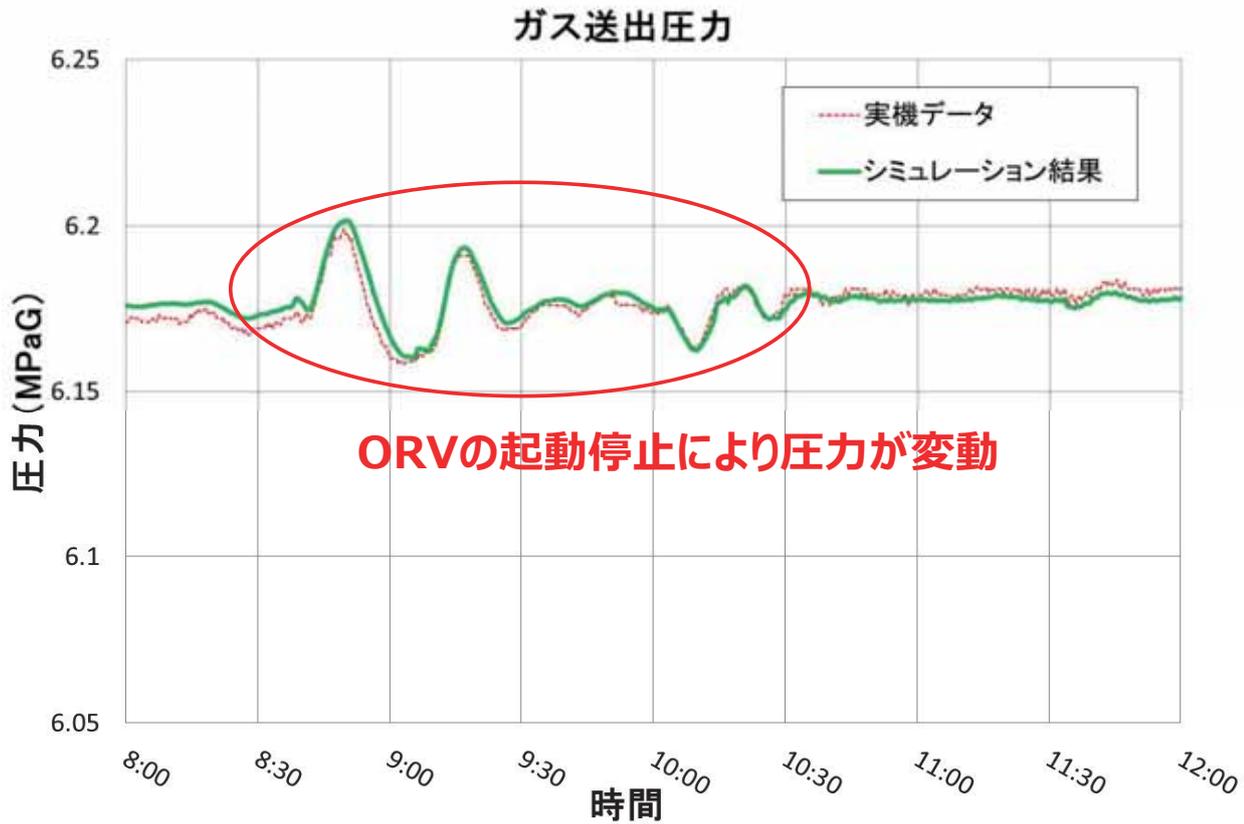
1. 送ガス設備運用シミュレーションモデルの妥当性確認
2. ガス導管緊急遮断の影響評価
3. 発電設備解列による影響評価
4. B O G 配管系統シミュレーションモデルの妥当性確認
5. B O G 大量発生時の挙動確認

1. シミュレーションモデルの妥当性確認

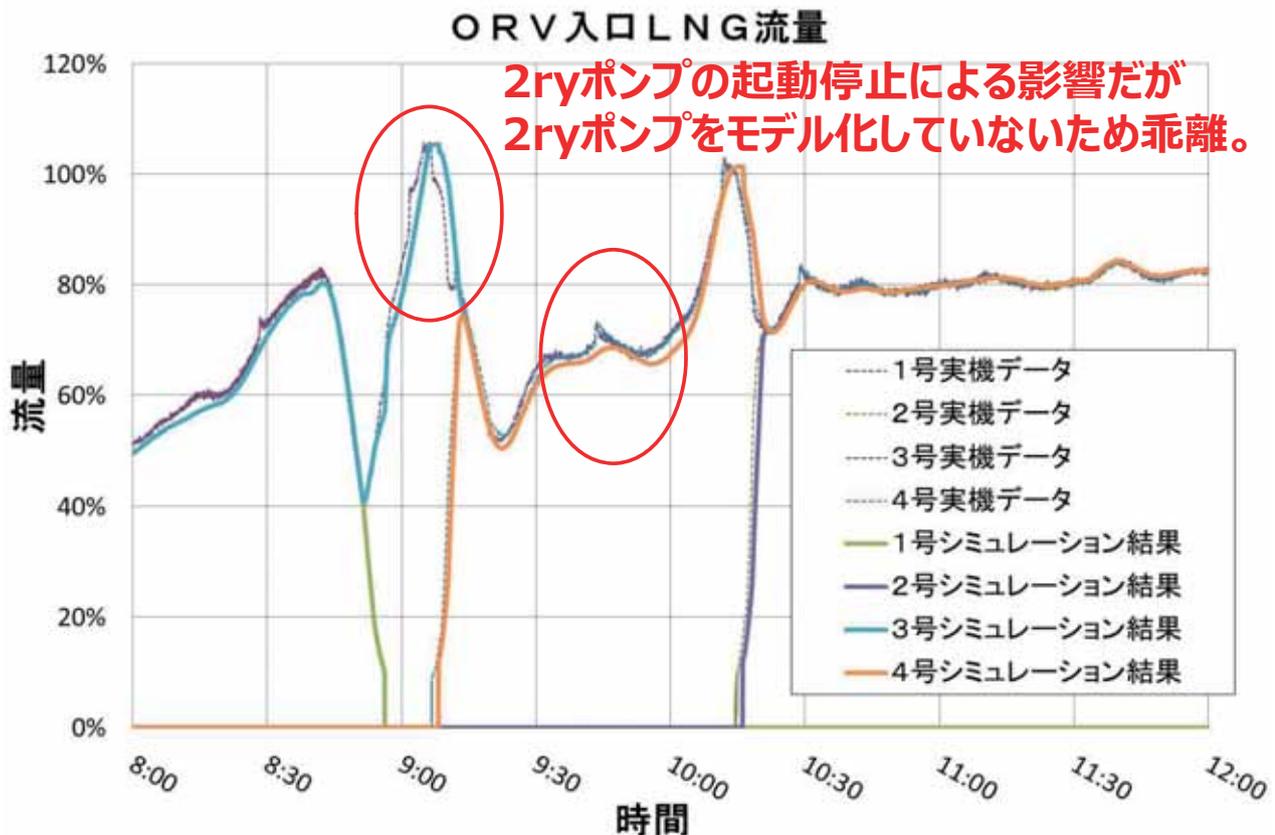
- 7 2 時間分の実機データを使用して、送ガス設備運用シミュレーションモデルの検証を実施。
- 各発電所の実機ガス消費量をシミュレータの境界条件に入力し、機器の挙動と送出管圧力について実機データと比較。



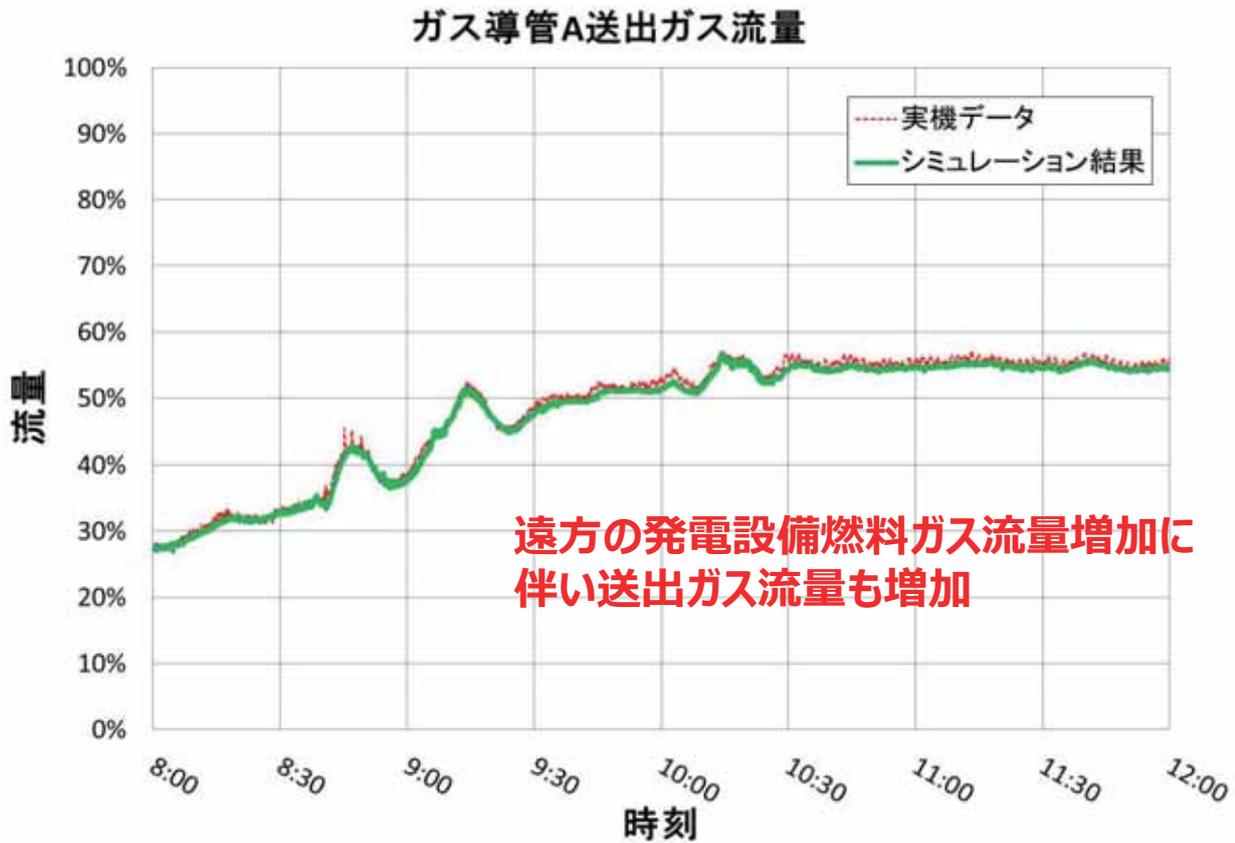
1.1 妥当性確認結果（ガス送出圧力）



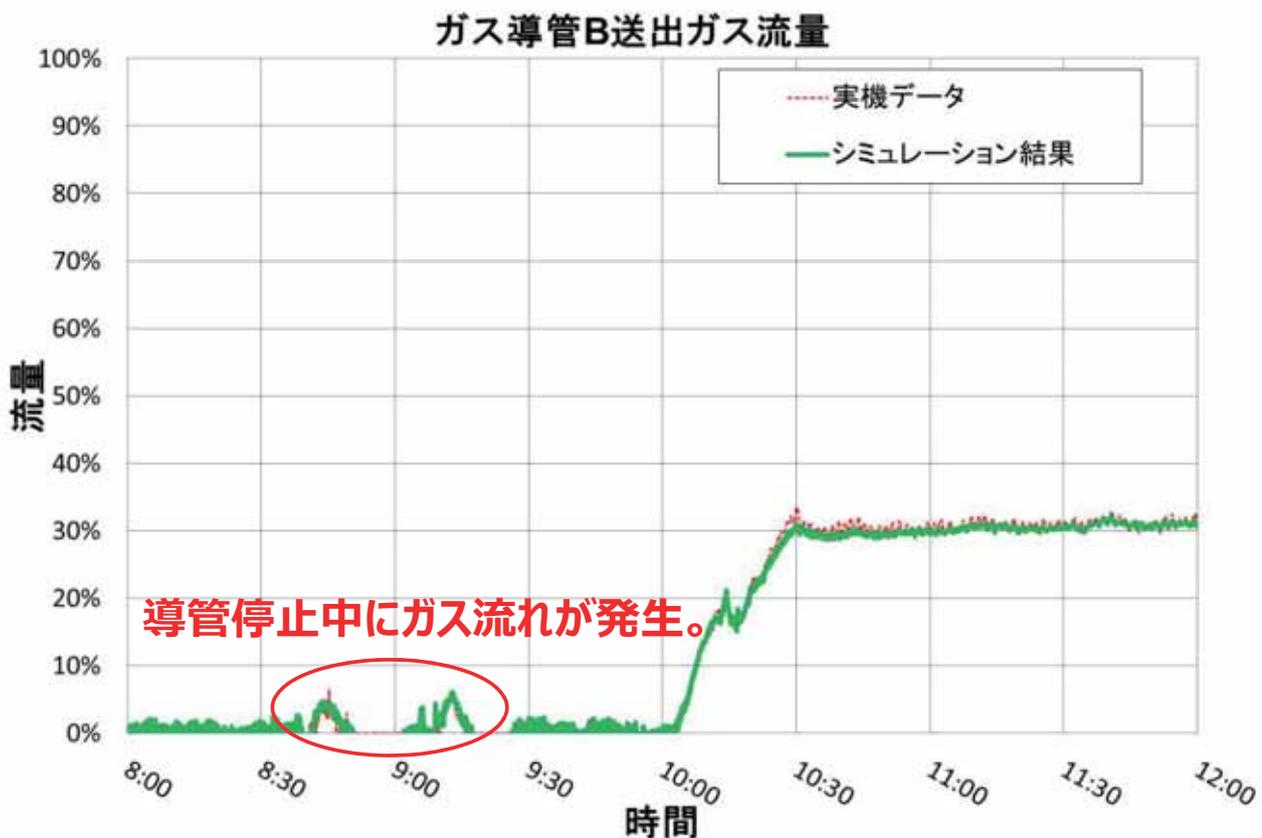
1.2 妥当性確認結果（ORV入口LNG流量）



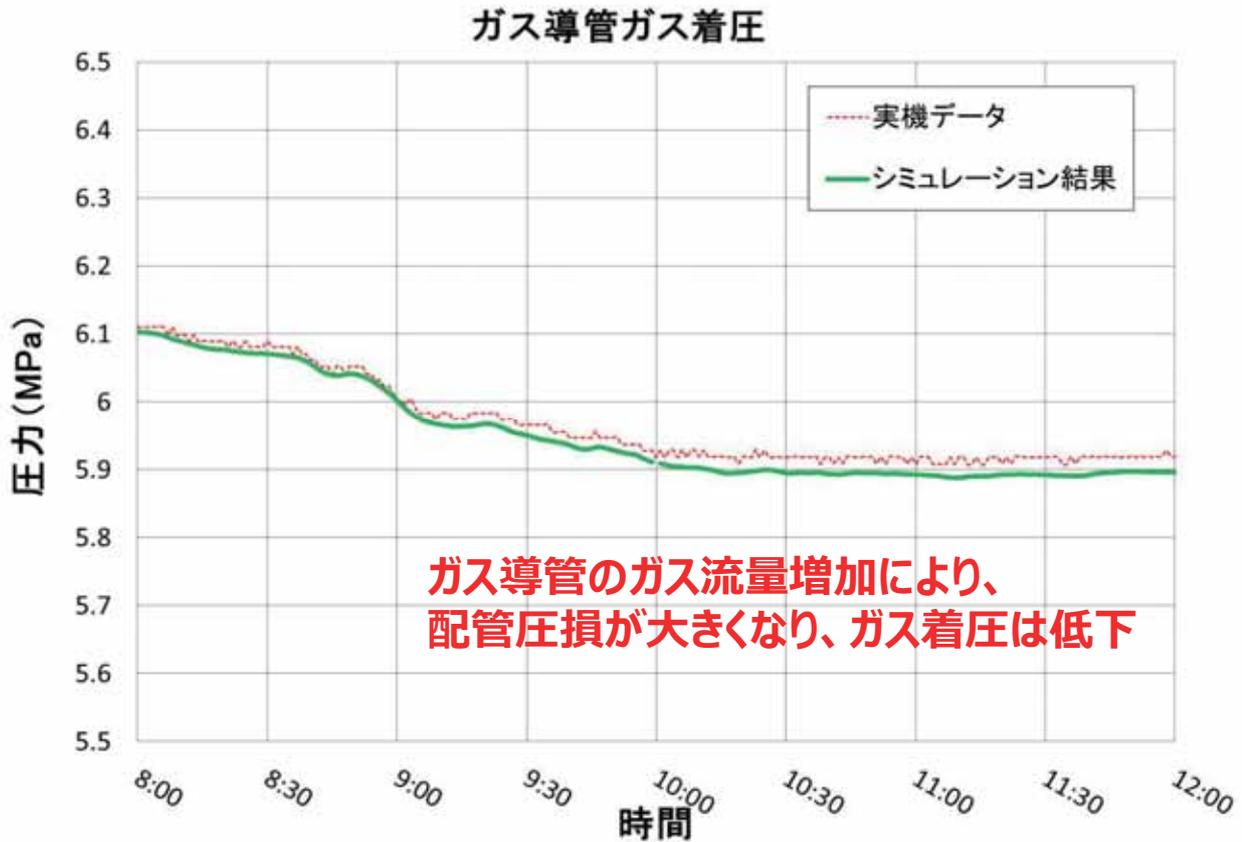
1.3 妥当性確認結果（送出ガス流量A）



1.4 妥当性確認結果（送出ガス流量B）



1.5 妥当性確認結果（ガス着圧）



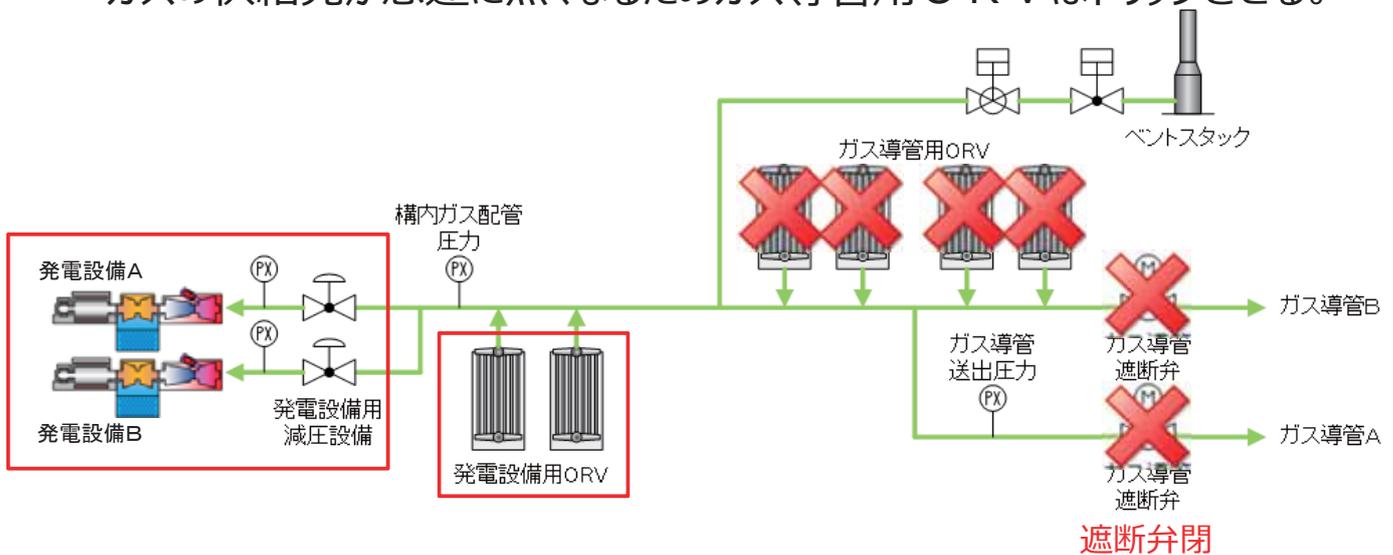
シミュレーション活用例

1. 送ガス設備運用シミュレーションモデルの妥当性確認
2. ガス導管緊急遮断の影響評価
3. 発電設備解列による影響評価
4. B O G 配管系統シミュレーションモデルの妥当性確認
5. B O G 大量発生時の挙動確認

2. ガス導管緊急遮断の影響評価

【従来の運転】

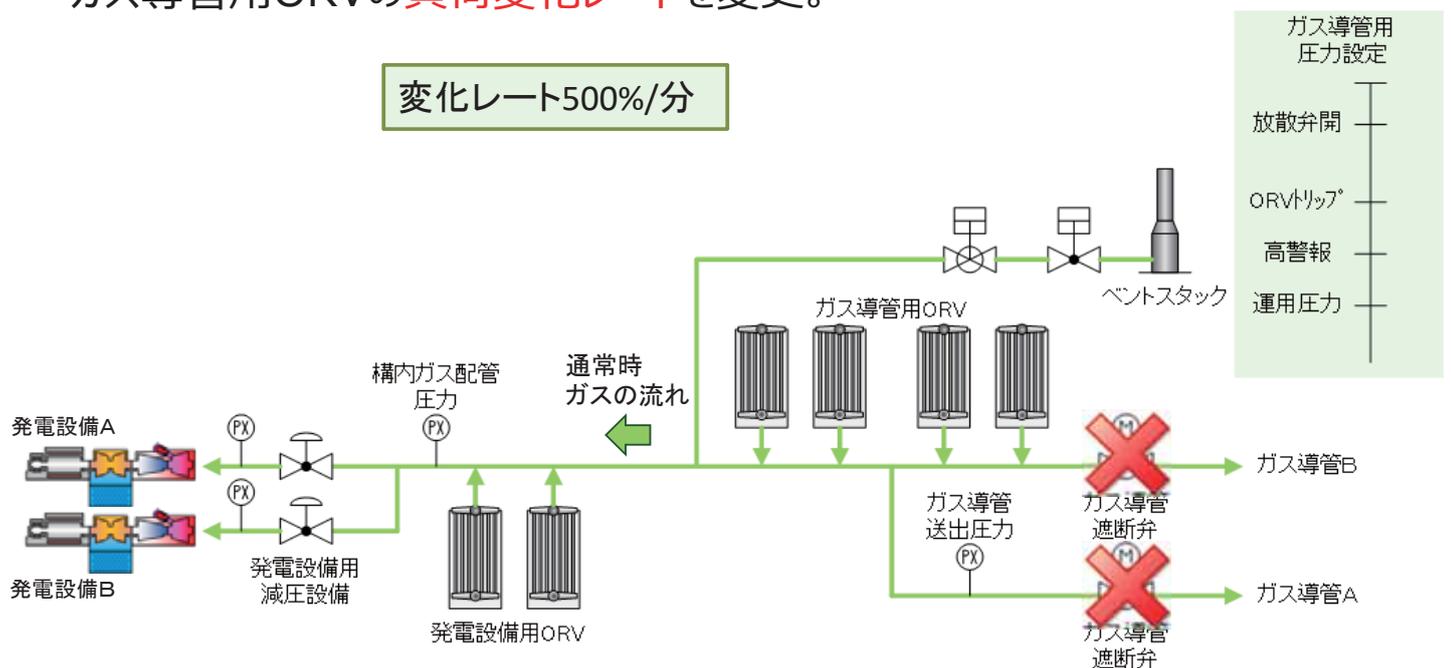
ガス導管遮断弁が閉止された場合、
 ガスの供給先が急速に無くなるためガス導管用ORVはトリップさせる。



ガス導管用ORVトリップによる圧力変動がその他設備に波及してしまう。
 ガス導管遮断弁が閉止しても発電設備用ORVの運転を継続する必要がある。

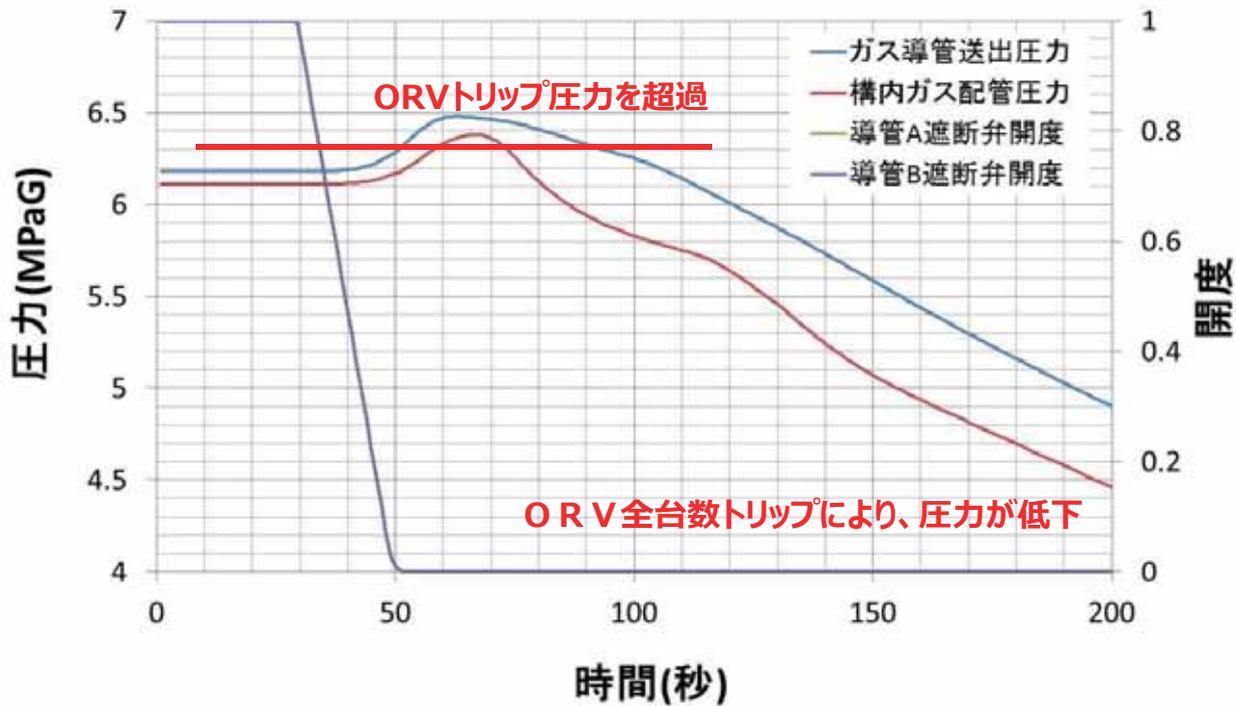
2.1 ガス導管緊急遮断の影響評価【改造検討案①】

ガス導管遮断弁閉止時のガス導管用ORVトリップロジックを廃止。
 ガス導管用ORVの負荷変化レートを変更。



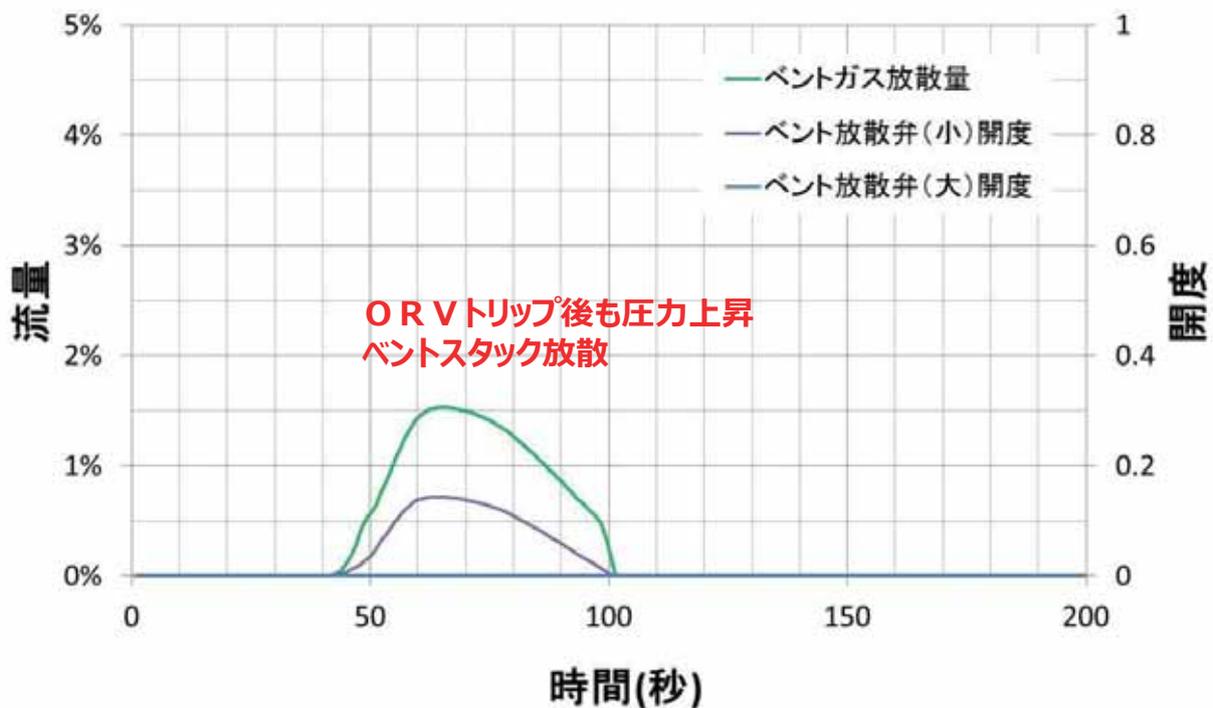
2.2 【案①解析結果】圧力と遮断弁開度

圧力とガス導管遮断弁開度



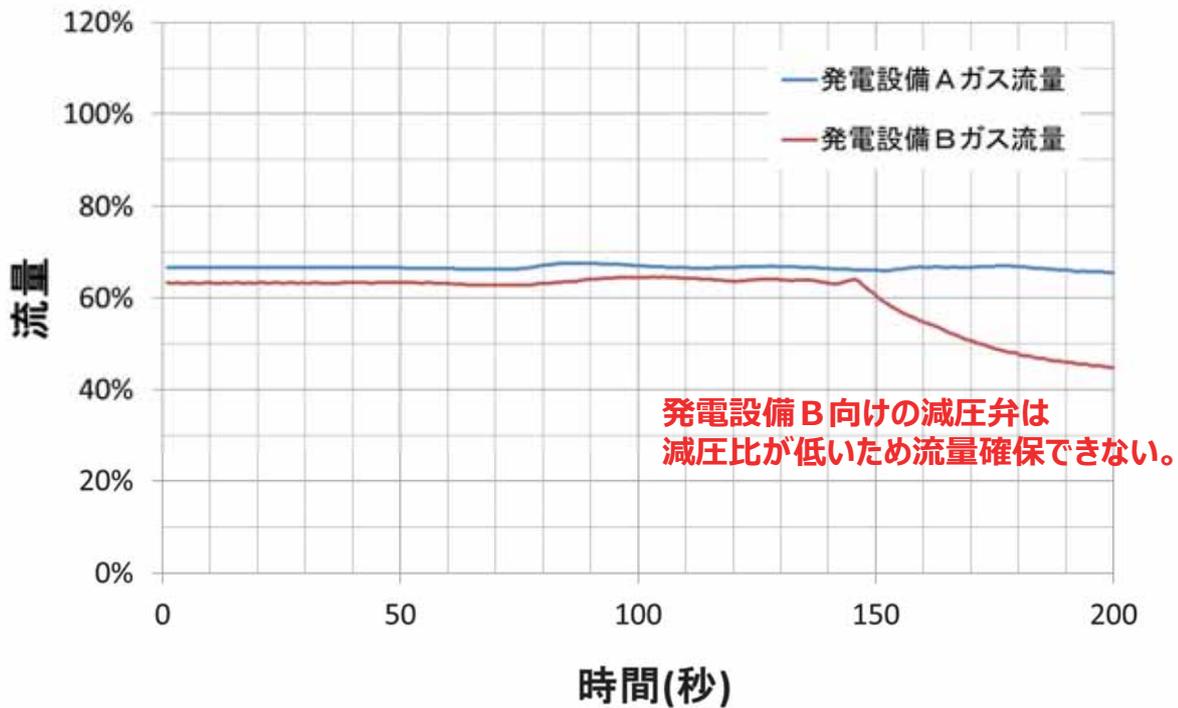
2.3 【案①解析結果】ベント放散量と放散弁開度

【改造検討案①】 ベントガス放散量と放散弁開度



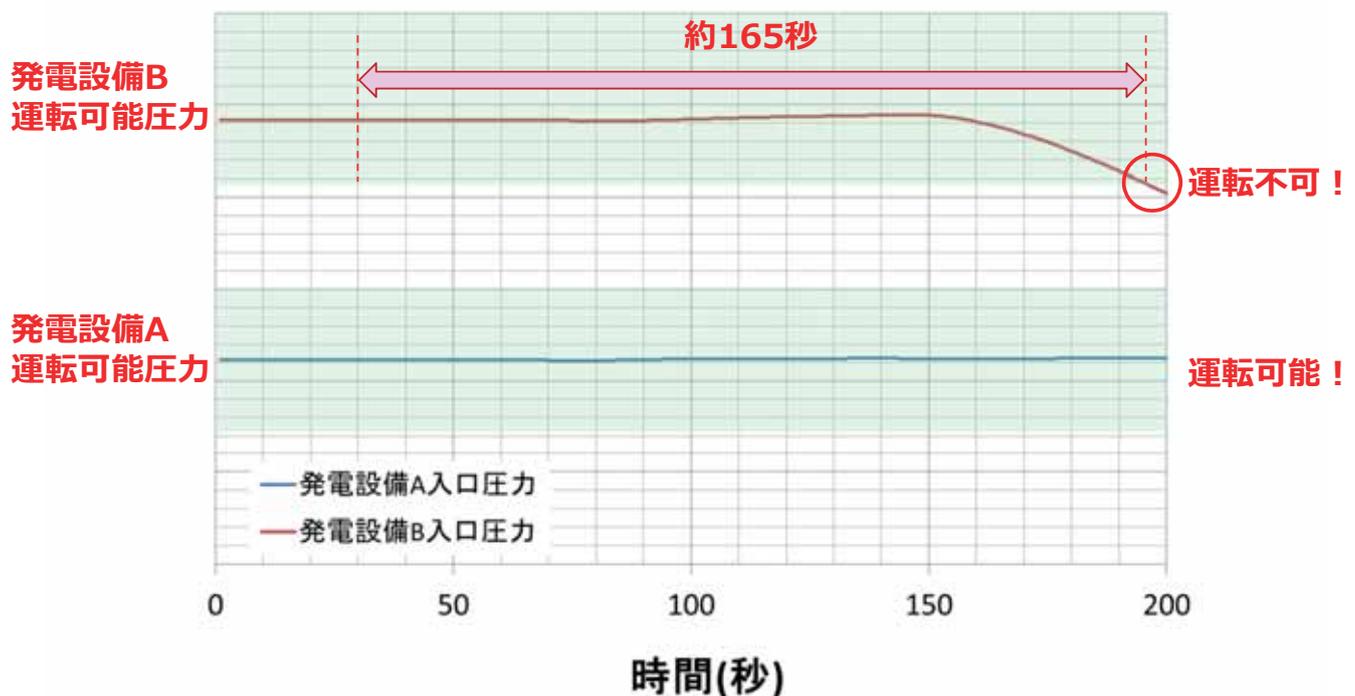
2.4 【案①解析結果】発電設備ガス流量

発電設備ガス流量



2.5 【案①解析結果】発電設備入口圧力

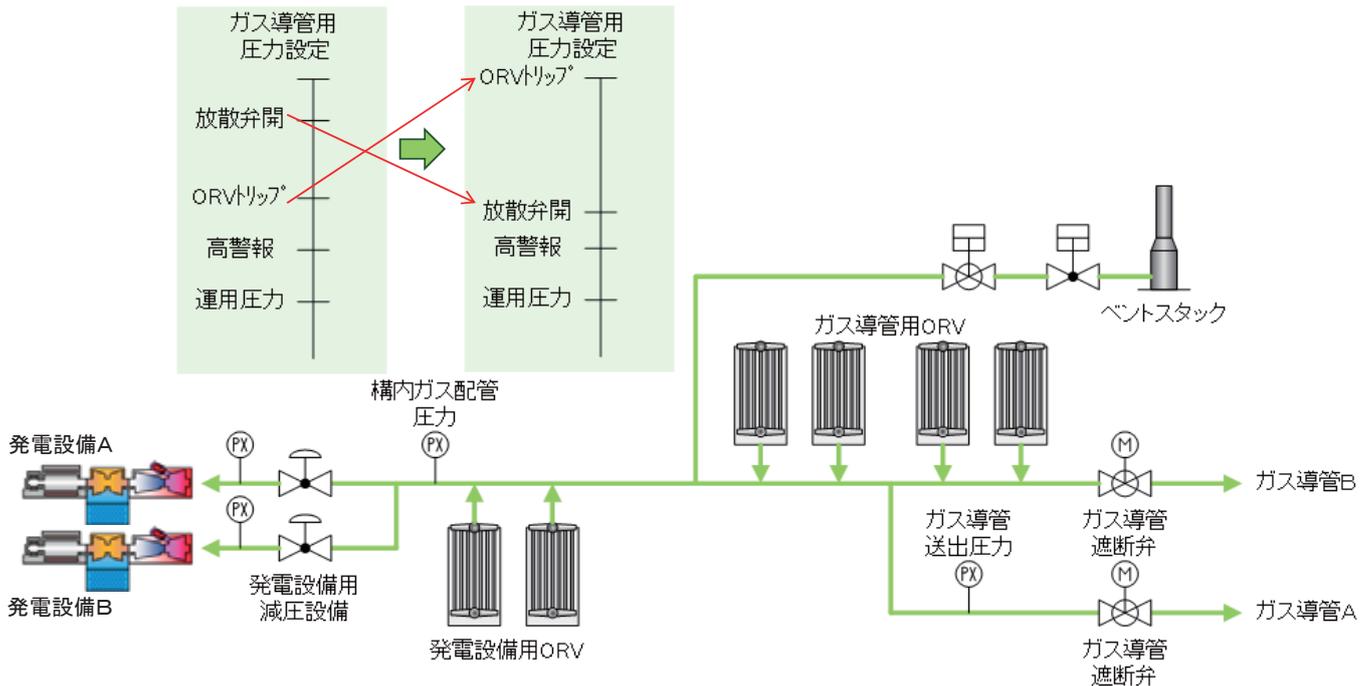
発電設備入口圧力



2. ガス導管緊急遮断の影響評価【改造検討案②】

Engineering for the NEXT

①の改造に加えてベントスタック放散弁設定、ORVトリップ値変更



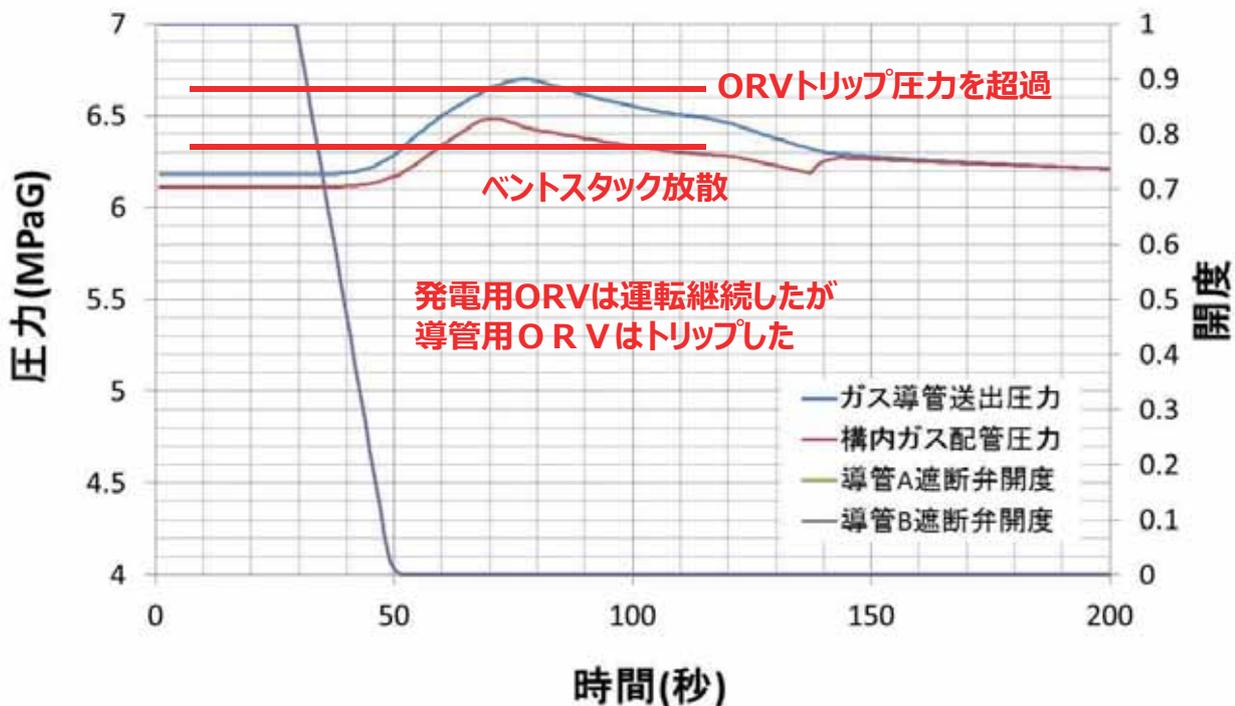
34

TEPSCO 東電設計株式会社

2.1 【案②解析結果】圧力と遮断弁開度

Engineering for the NEXT

圧力とガス導管遮断弁開度

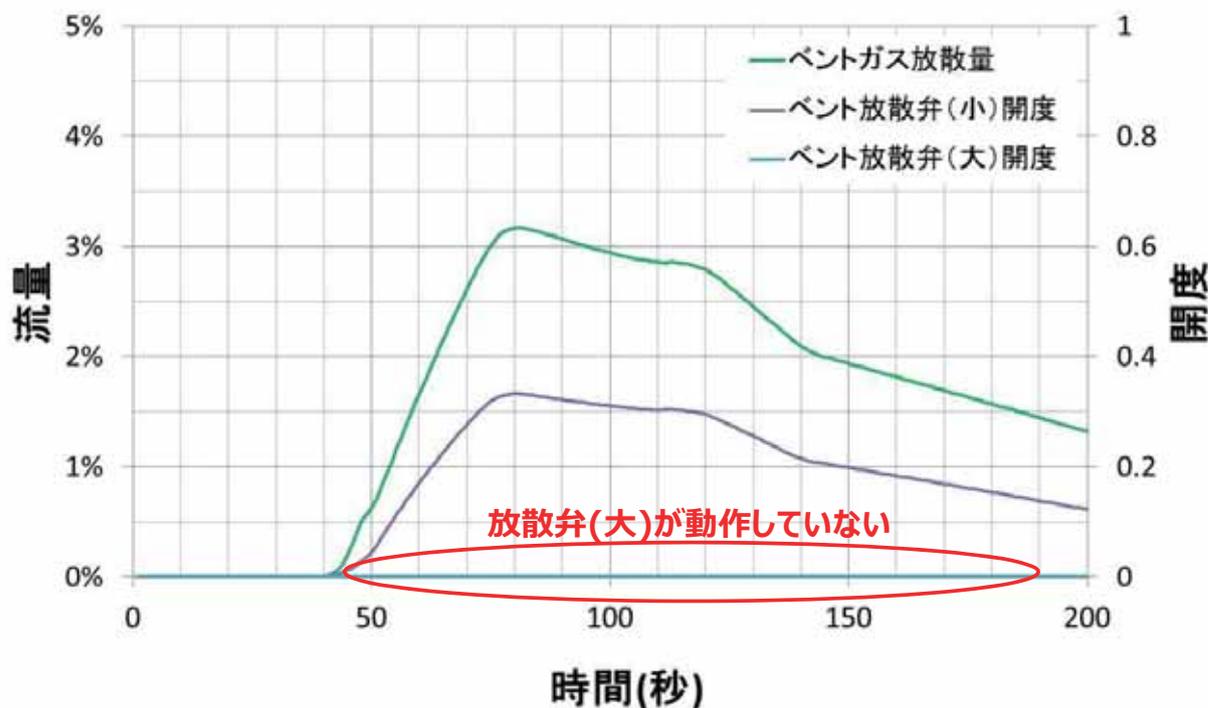


35

TEPSCO 東電設計株式会社

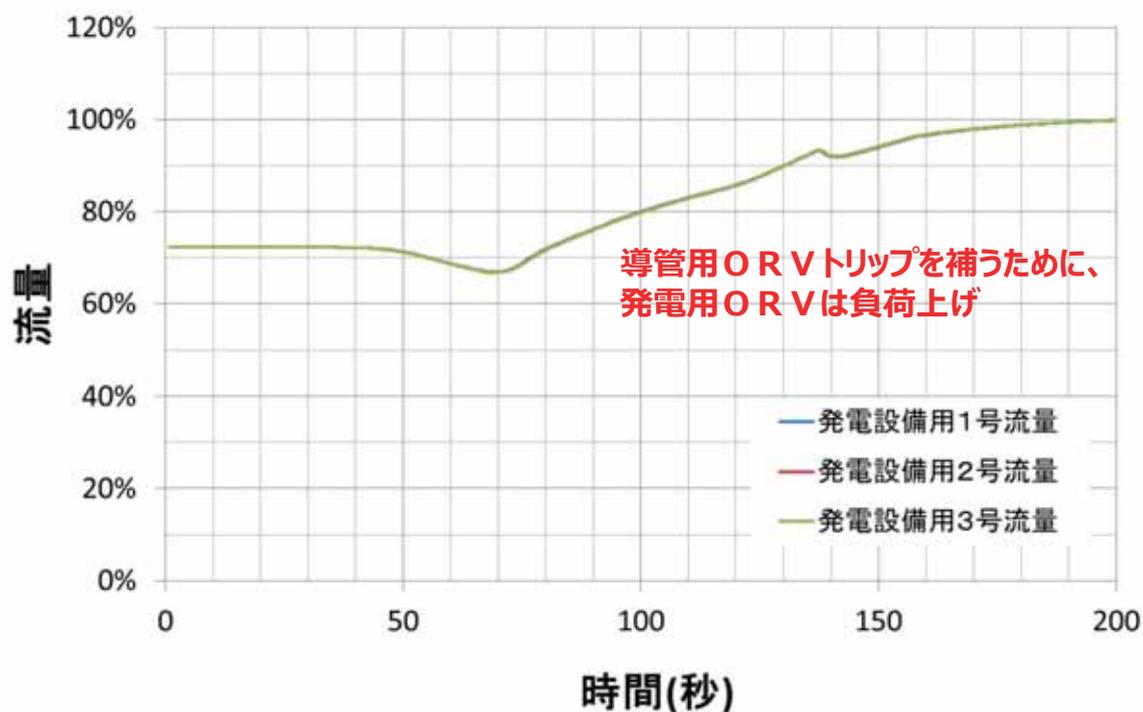
2.2 【案②解析結果】ベント放散量と放散弁開度

ベントガス放散量と放散弁開度

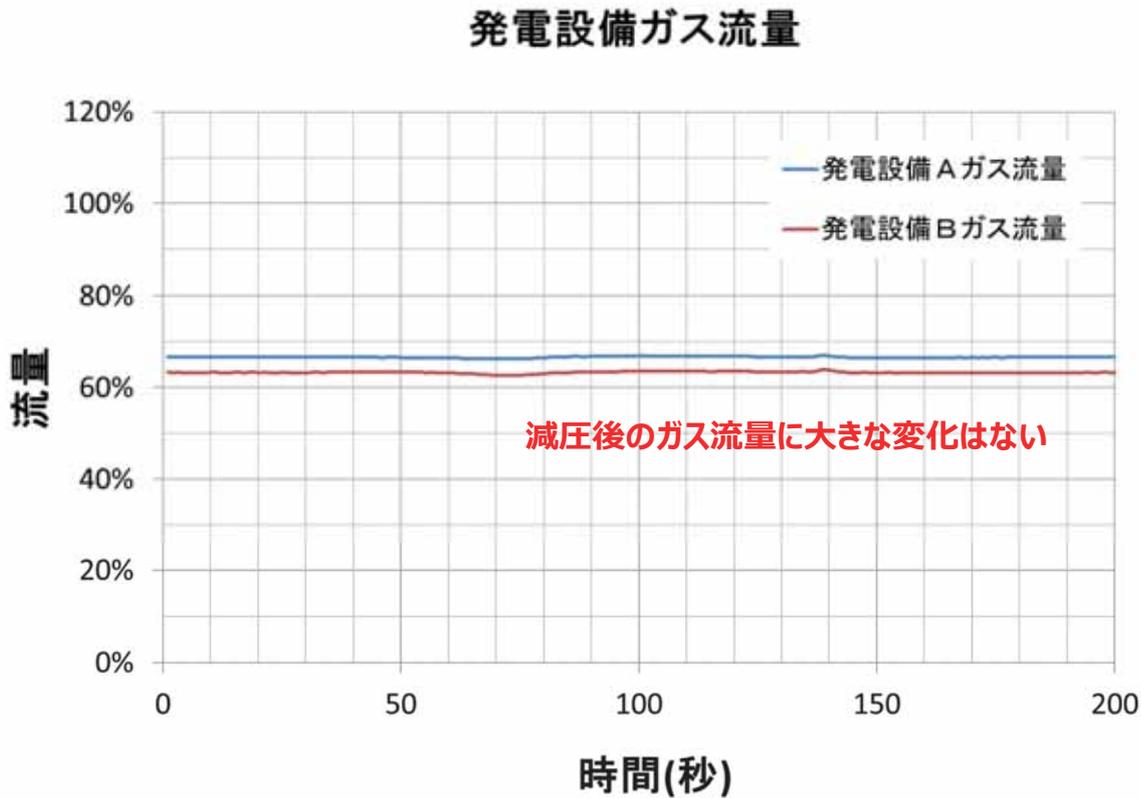


2.3 【案②解析結果】発電設備用ORV入口流量

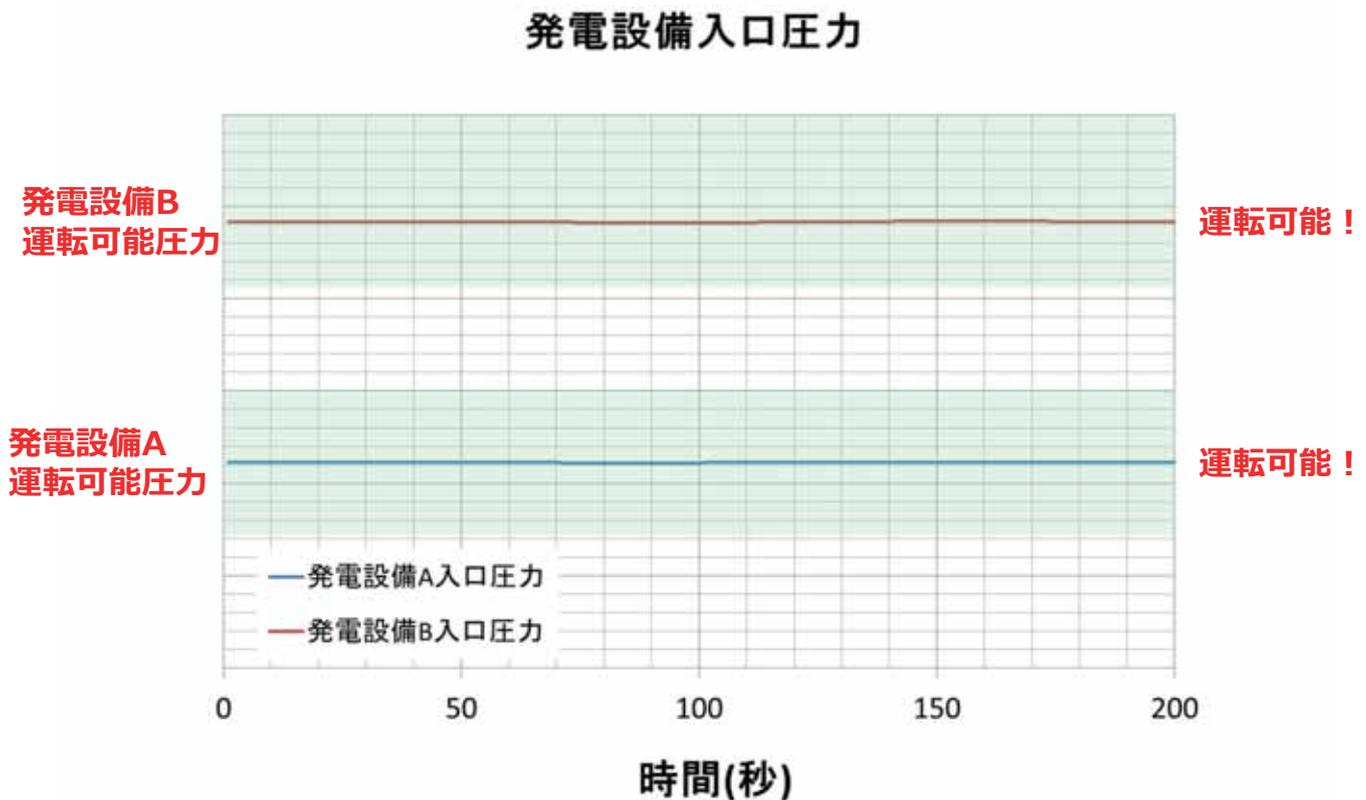
発電設備用ORV入口LNG流量



2.4 【案②解析結果】発電設備ガス流量



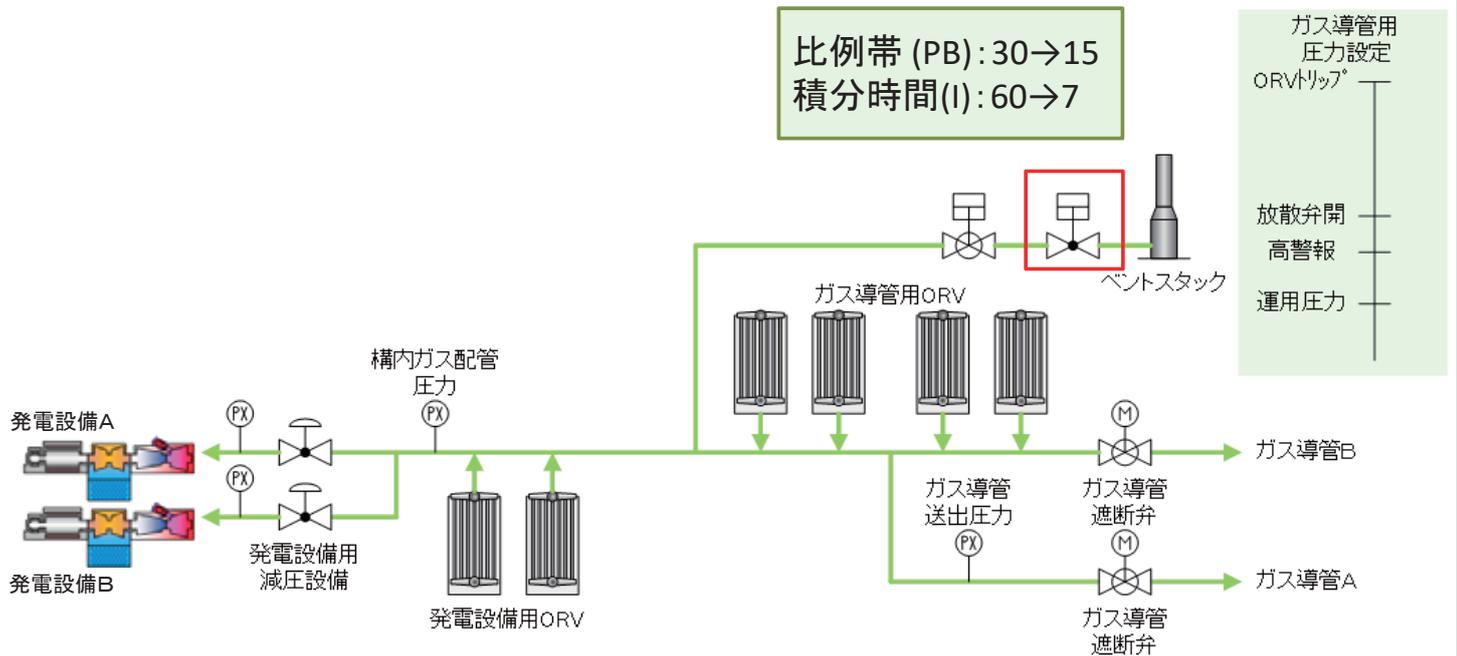
2.5 【案②解析結果】発電設備入口圧力



2. ガス導管緊急遮断の影響評価【改造検討案③】

Engineering for the NEXT

②の改造に加えて**放散弁制御用の圧力調節計制御パラメータを変更**



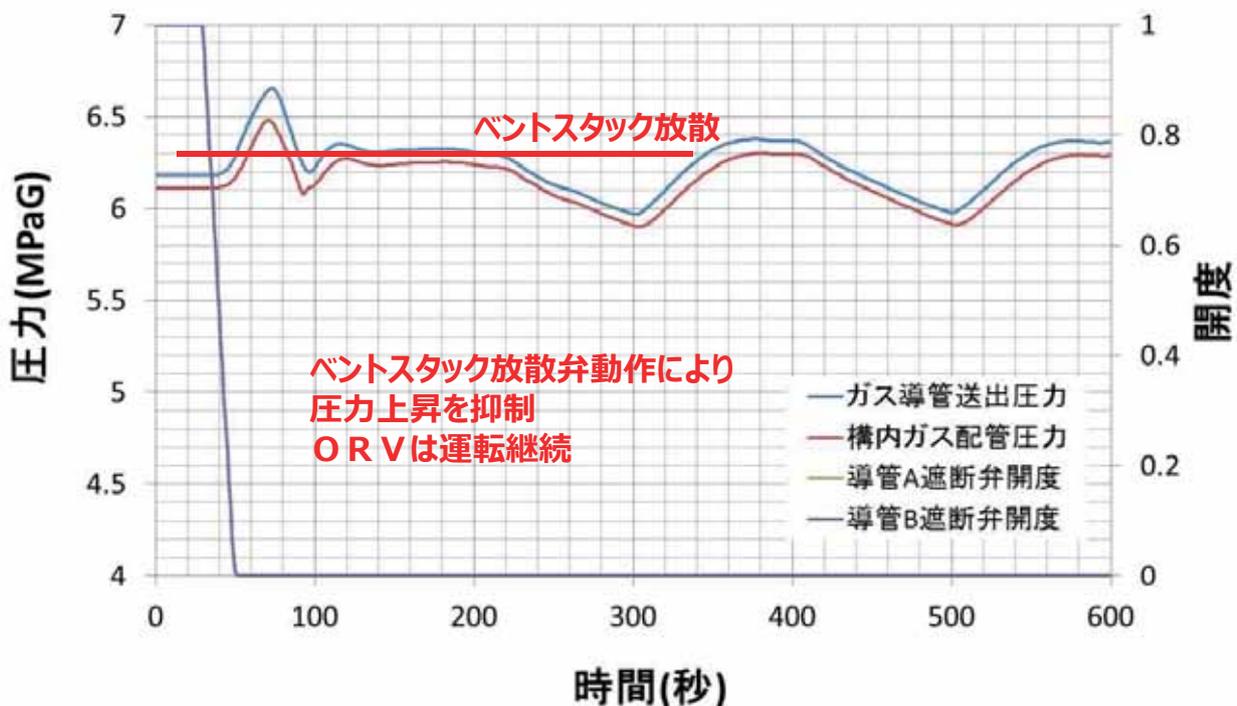
40

TEPCO 東電設計株式会社

2.1 【案③解析結果】圧力と導管遮断弁開度

Engineering for the NEXT

圧力とガス導管遮断弁開度

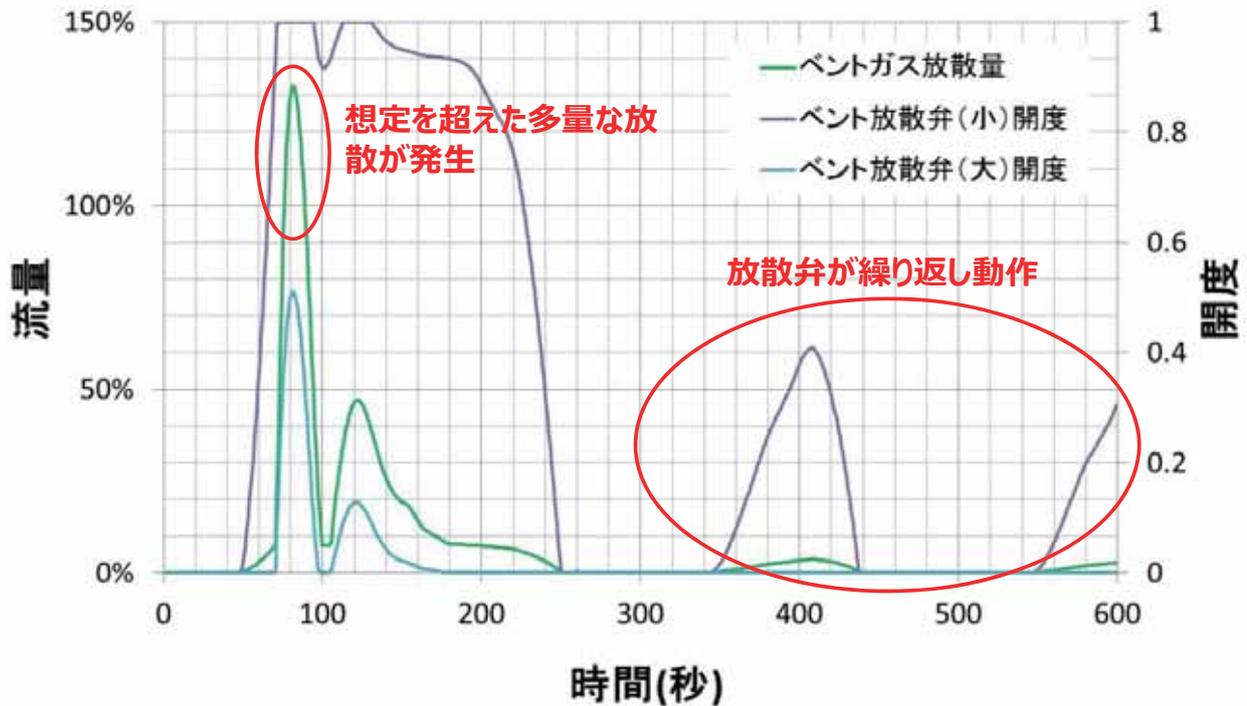


41

TEPCO 東電設計株式会社

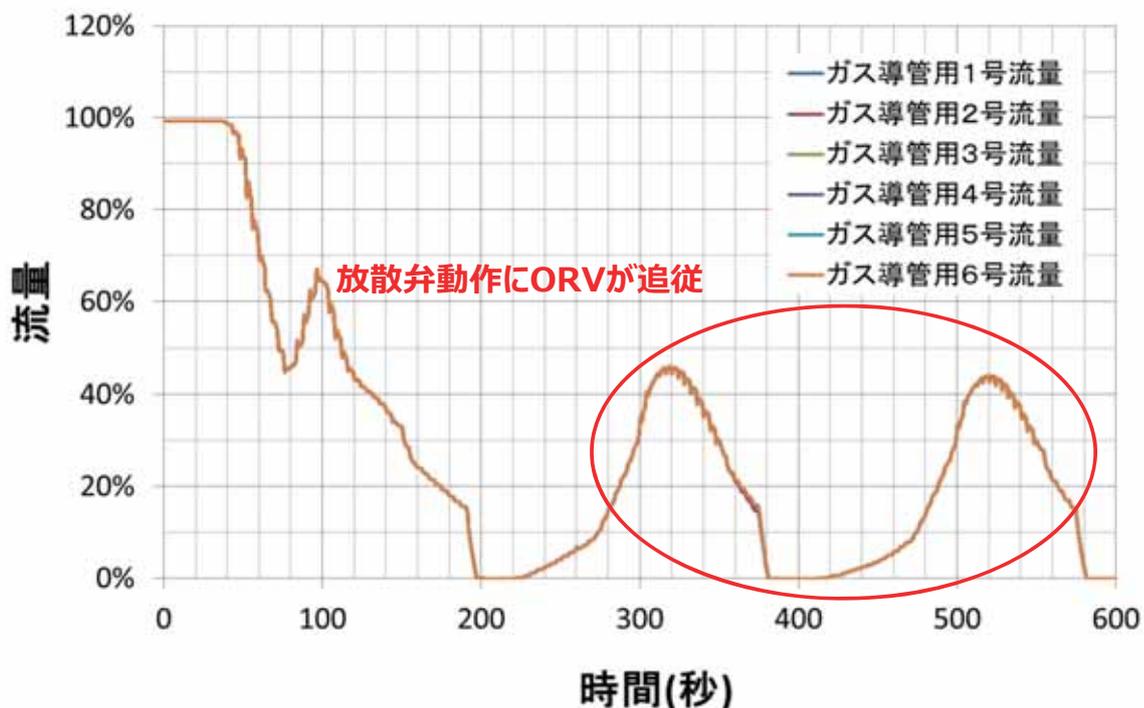
2.2 【案③解析結果】ベント放散量と放散弁開度

ベントガス放散量と放散弁開度



2.3 【案③解析結果】ガス導管用ORV入口流量

ガス導管用ORV入口LNG流量

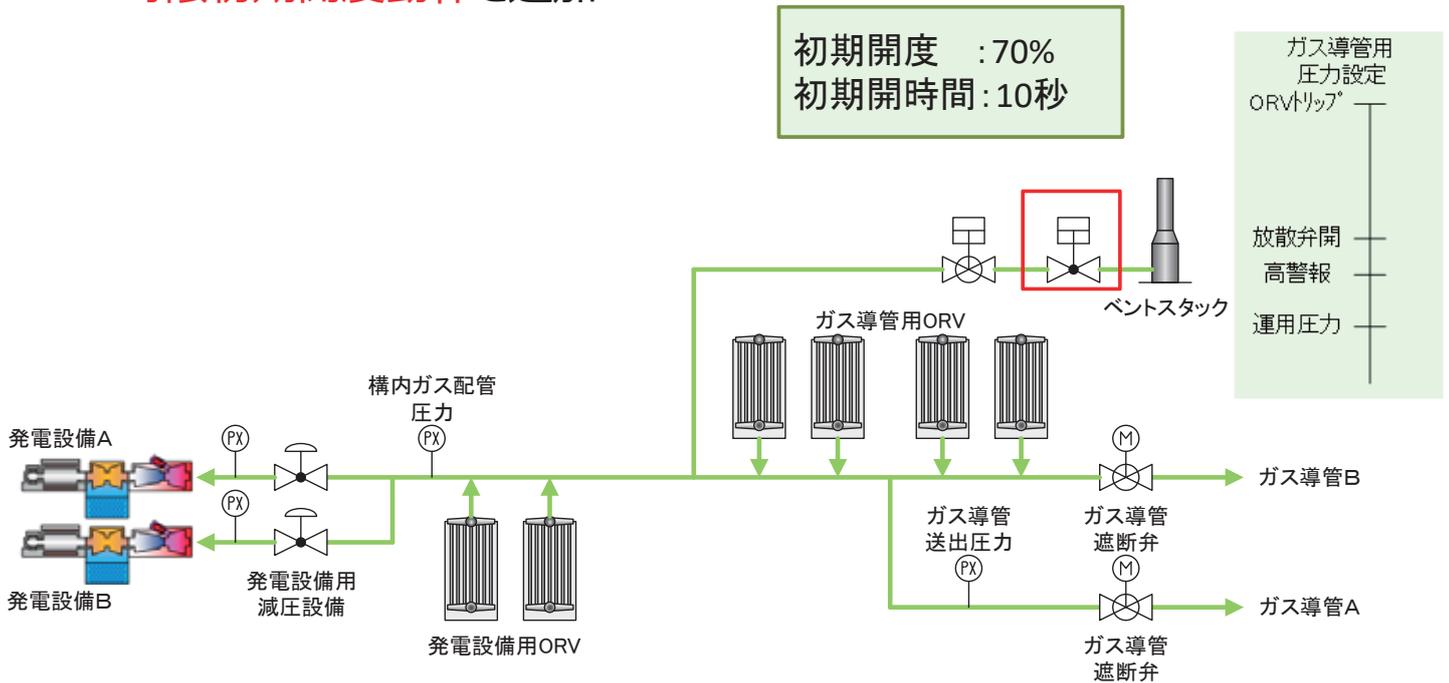


2. ガス導管緊急遮断の影響評価【改造検討案④】

Engineering for the NEXT

③の改造に加えて**放散弁制御ロジック**を変更。

- ・**時限初期開度動作**を追加



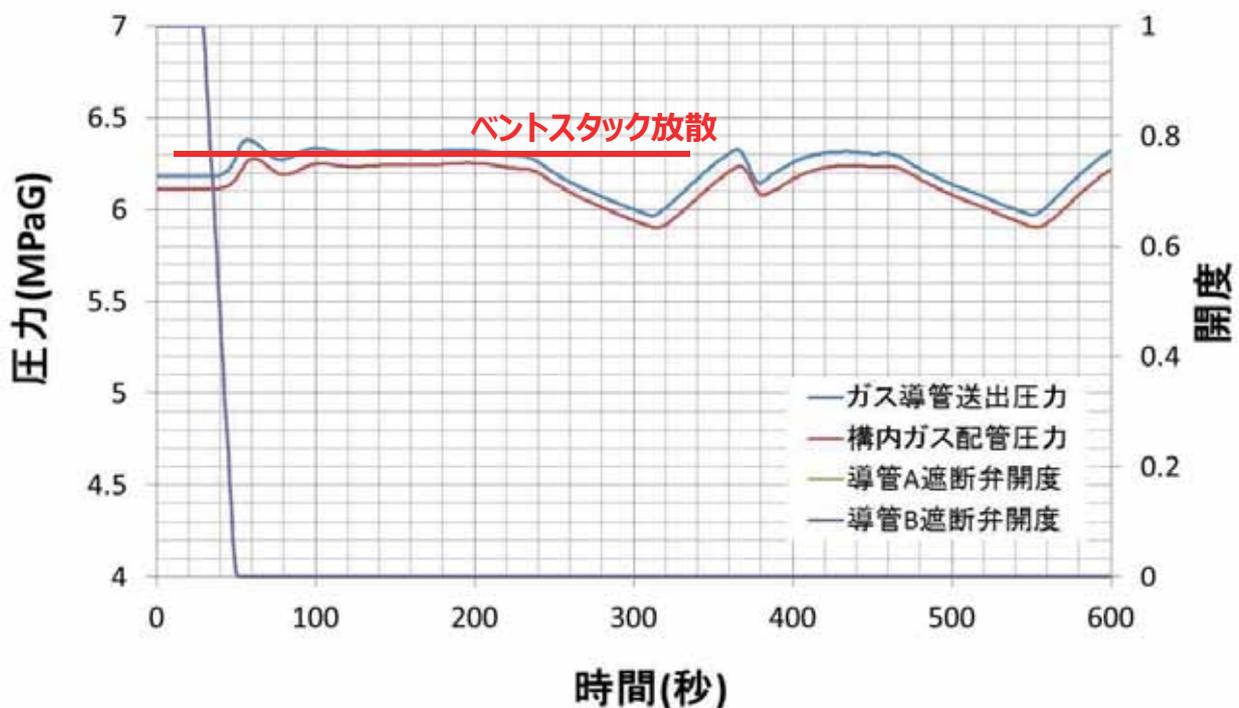
44

TEPSCO 東電設計株式会社

2.1 【案④解析結果】圧力とガス導管遮断弁開度

Engineering for the NEXT

圧力とガス導管遮断弁開度

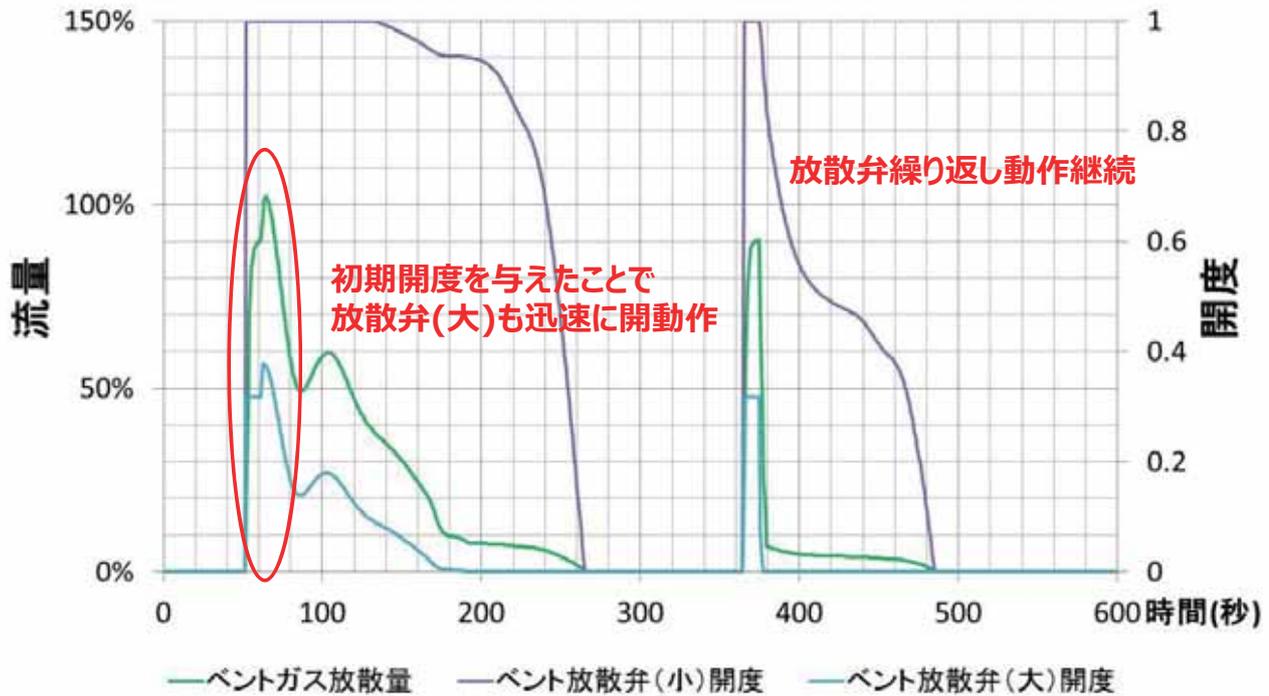


45

TEPSCO 東電設計株式会社

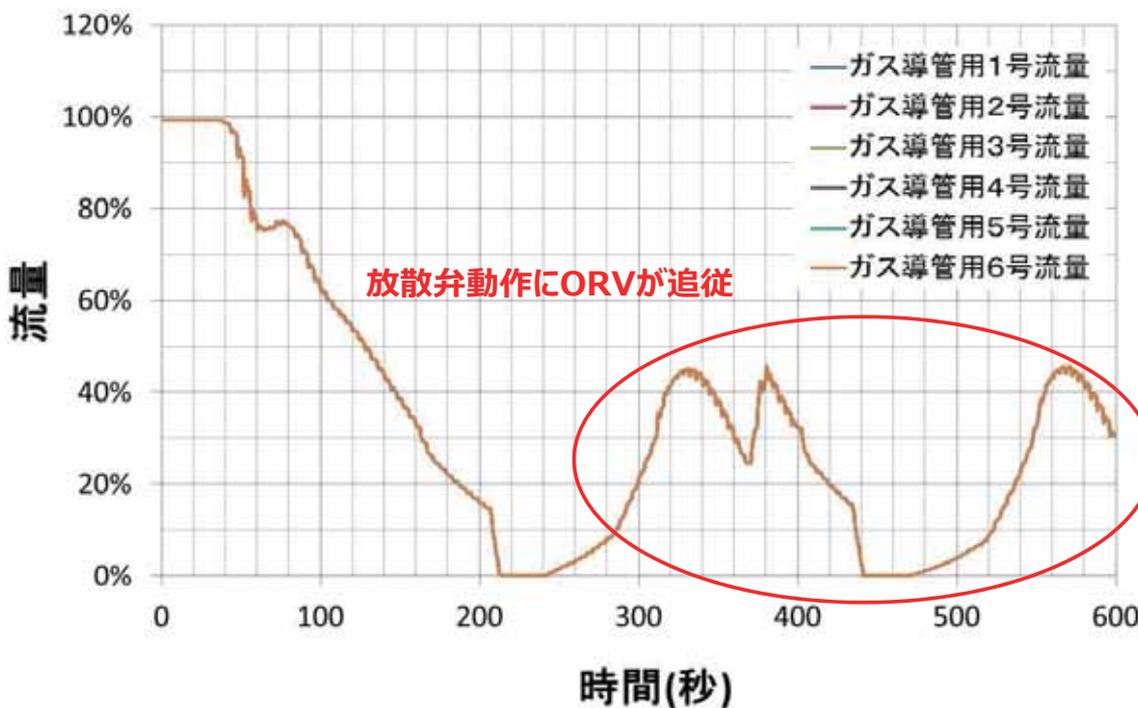
2.2 【案④解析結果】ベント放散量と放散弁開度

ベントガス放散量と放散弁開度



2.3 【案④解析結果】ガス導管用ORV入口流量

ガス導管用ORV入口LNG流量



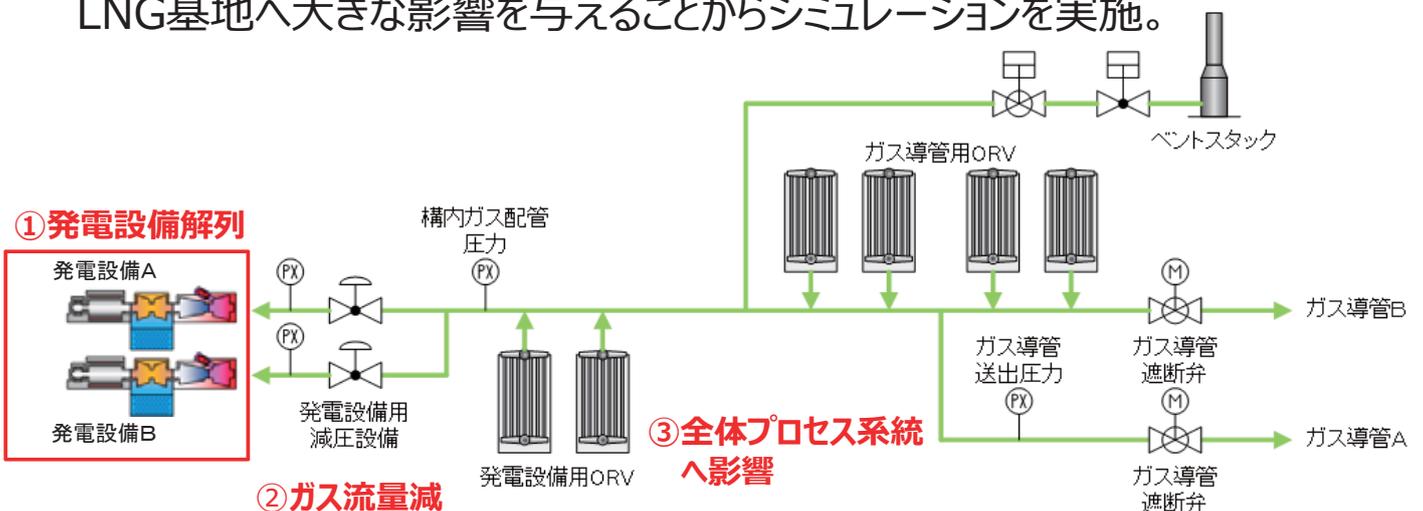
1. 送ガス設備運用シミュレーションモデルの妥当性確認
2. ガス導管緊急遮断の影響評価
3. 発電設備解列による影響評価
4. B O G 配管系統シミュレーションモデルの妥当性確認
5. B O G 大量発生時の挙動確認

3. 発電設備解列による影響評価

送電系統の事故時の対策として発電設備を送電線から解列し、需給バランスを安定化させる。

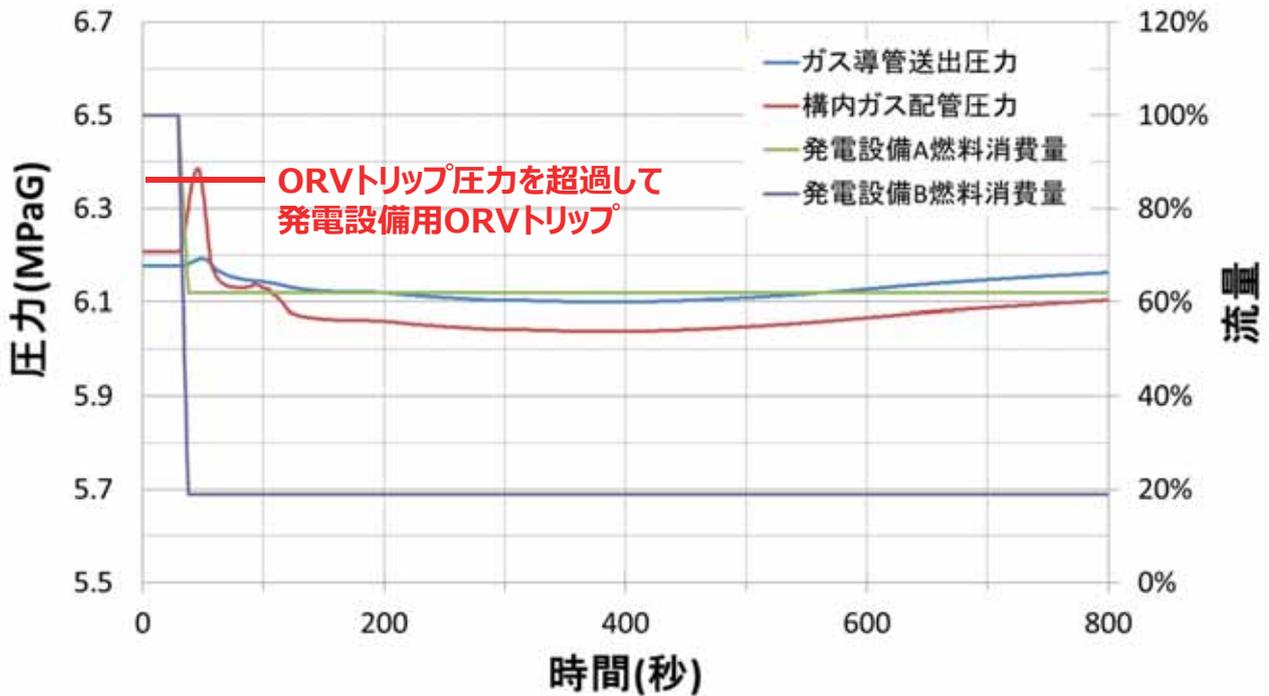
発電設備を解列することで消費するガス量が急速に減少。

LNG基地へ大きな影響を与えることからシミュレーションを実施。



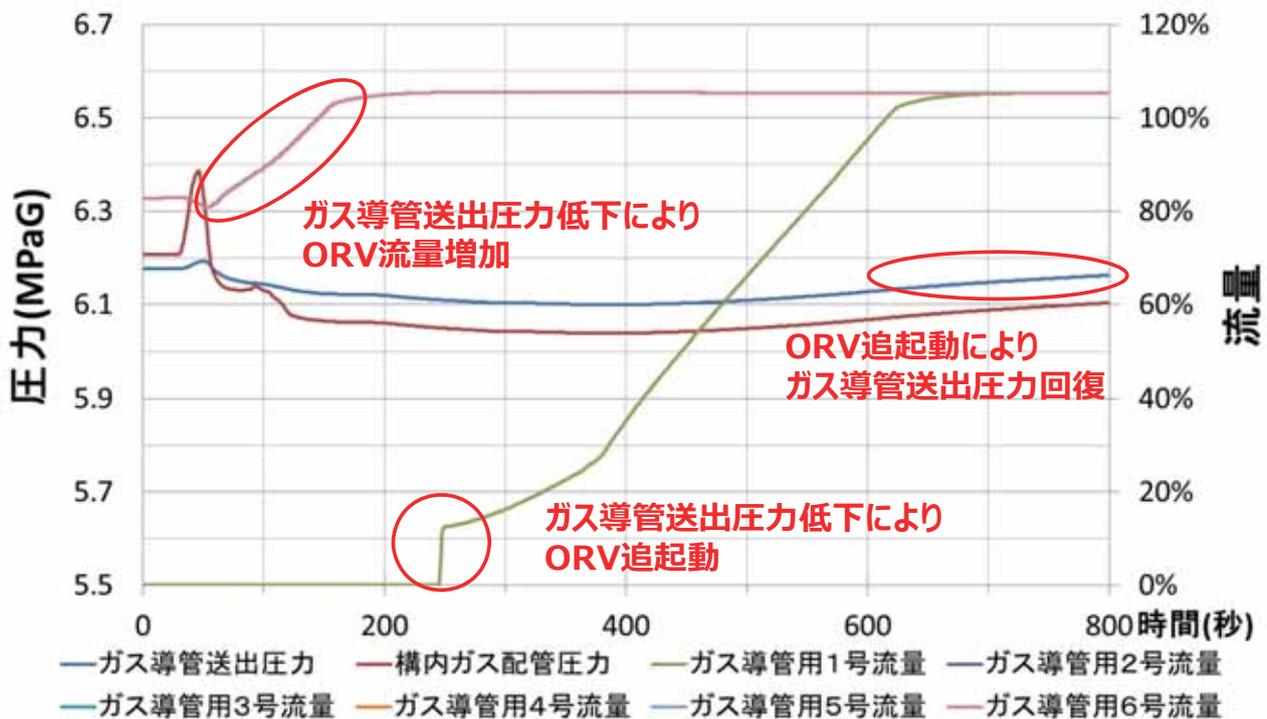
3.1 【解析結果】圧力と発電設備燃料消費量

圧力と発電設備燃料消費量



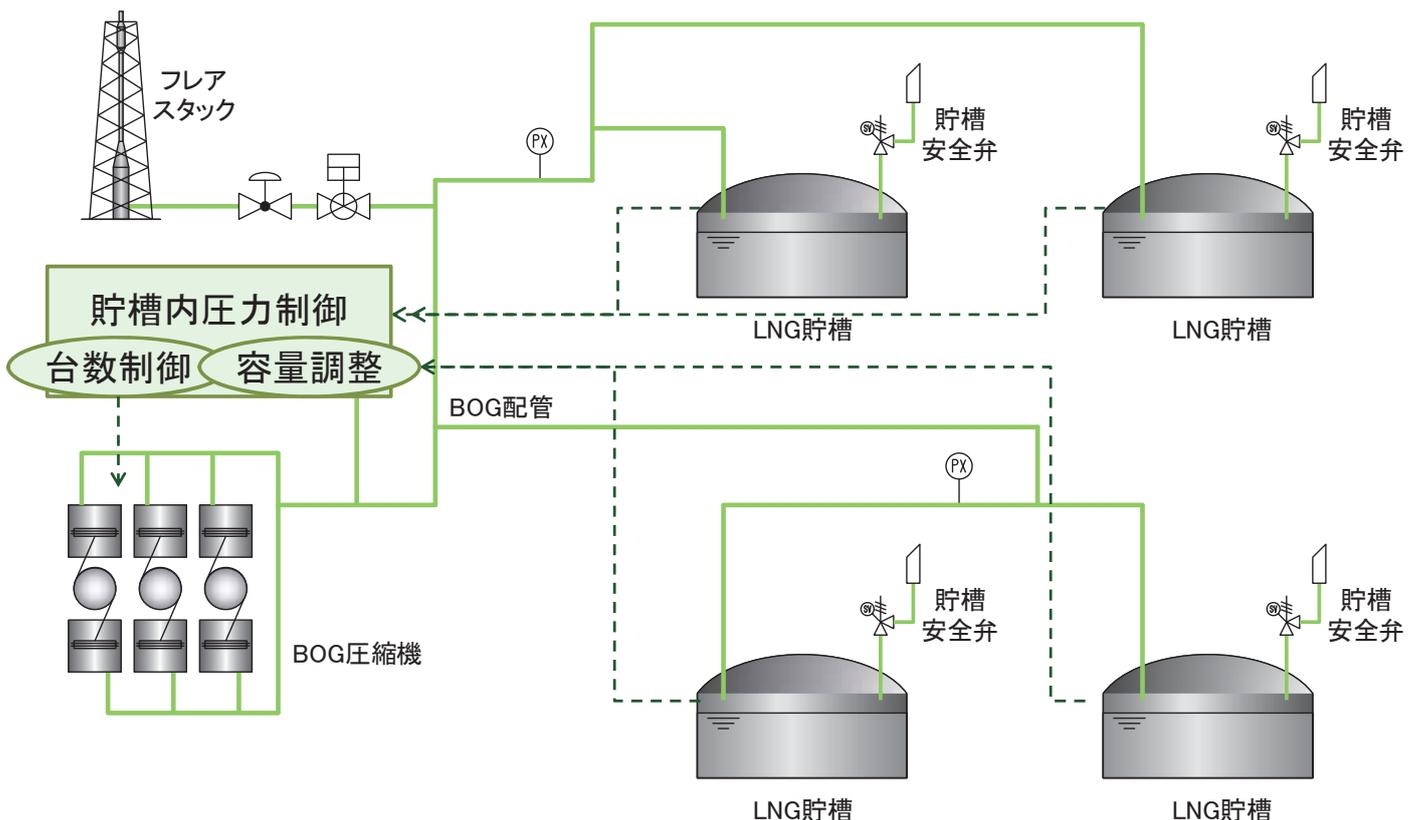
3.2 【解析結果】圧力とガス導管用ORV入口LNG流量

圧力とガス導管用ORV入口LNG流量

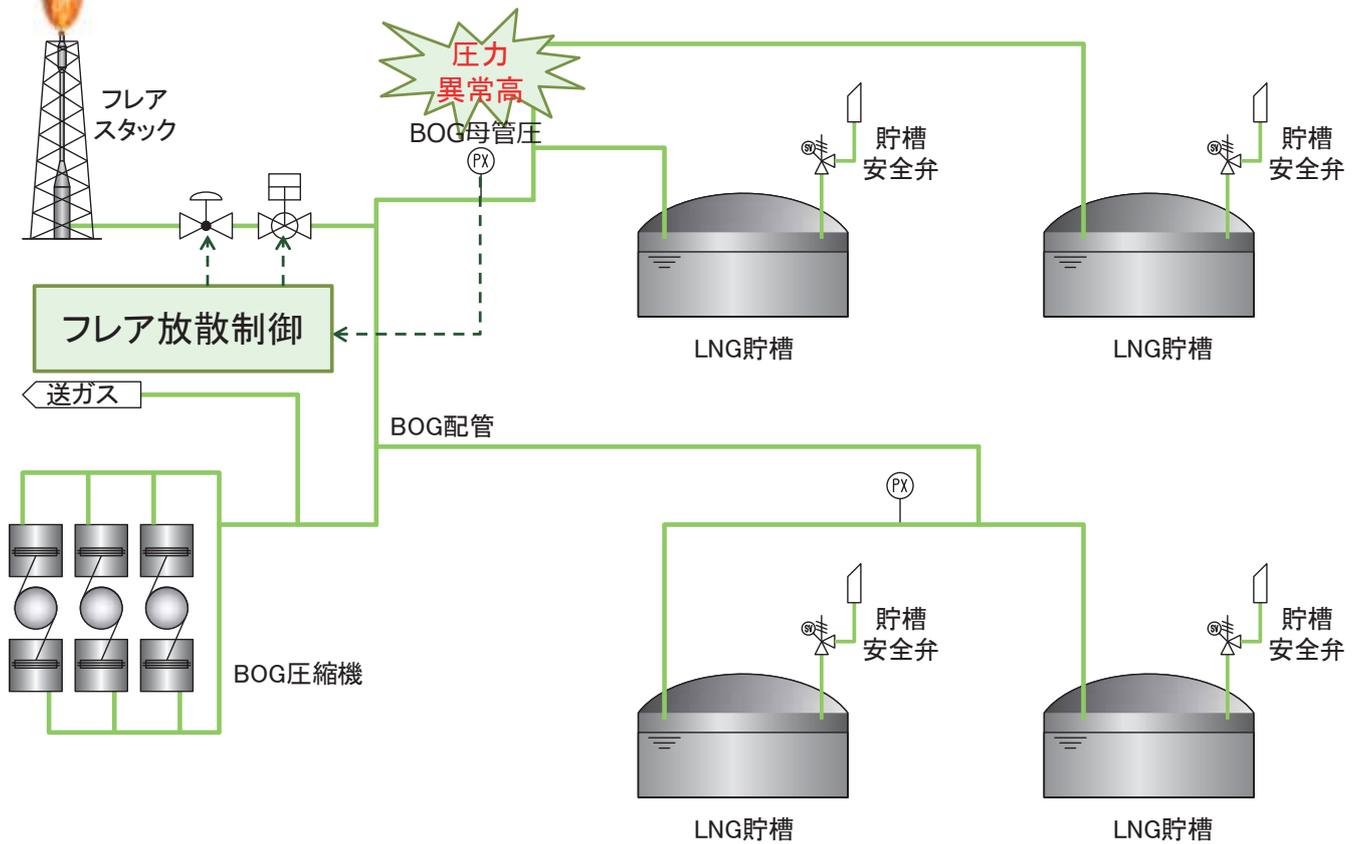


1. 送ガス設備運用シミュレーションモデルの妥当性確認
2. ガス導管緊急遮断の影響評価
3. 発電設備解列による影響評価
4. B O G配管系統シミュレーションモデルの妥当性確認
5. B O G大量発生時の挙動確認

4.1 妥当性検討（概略系統）



4.1 妥当性検討（概略系統）

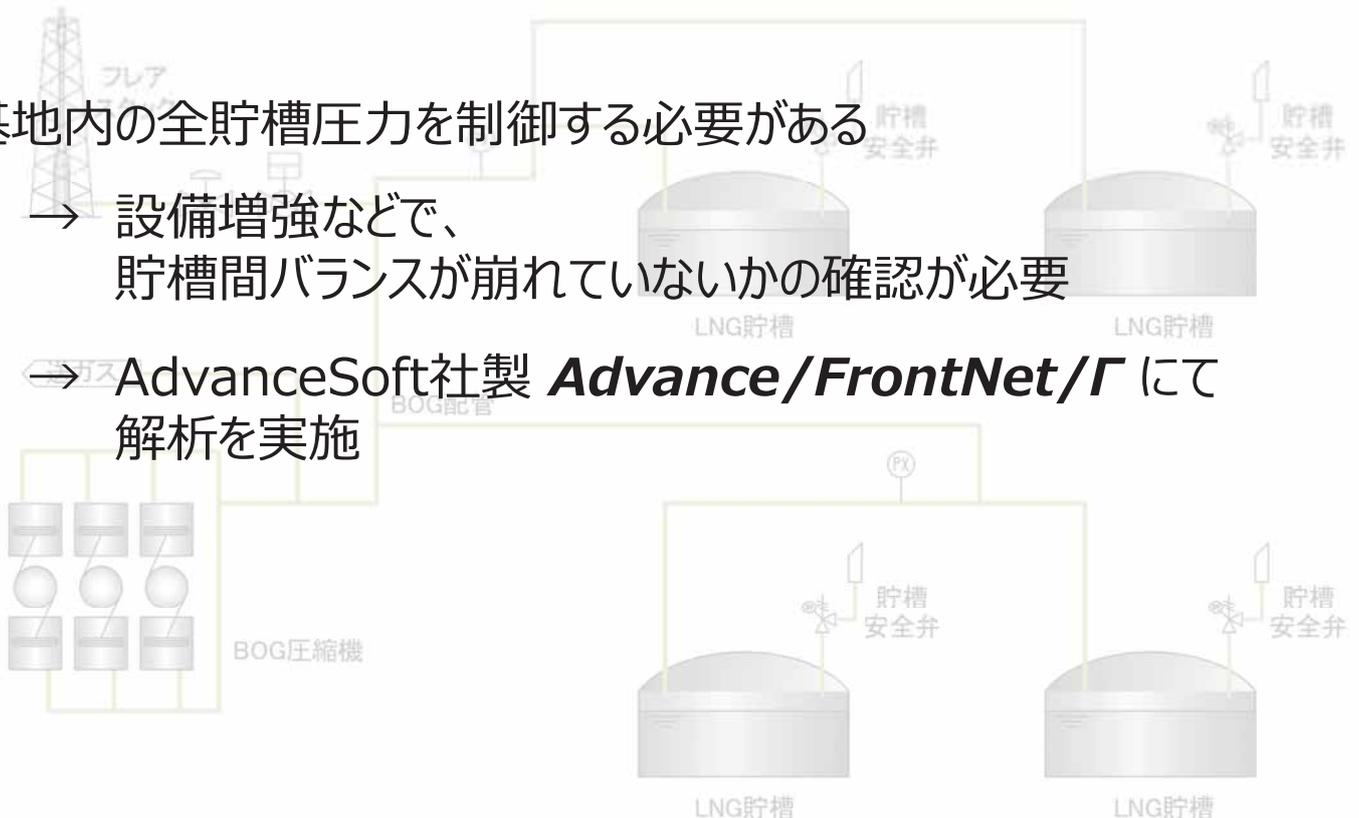


4.2 妥当性検討（目的）

基地内の全貯槽圧力を制御する必要がある

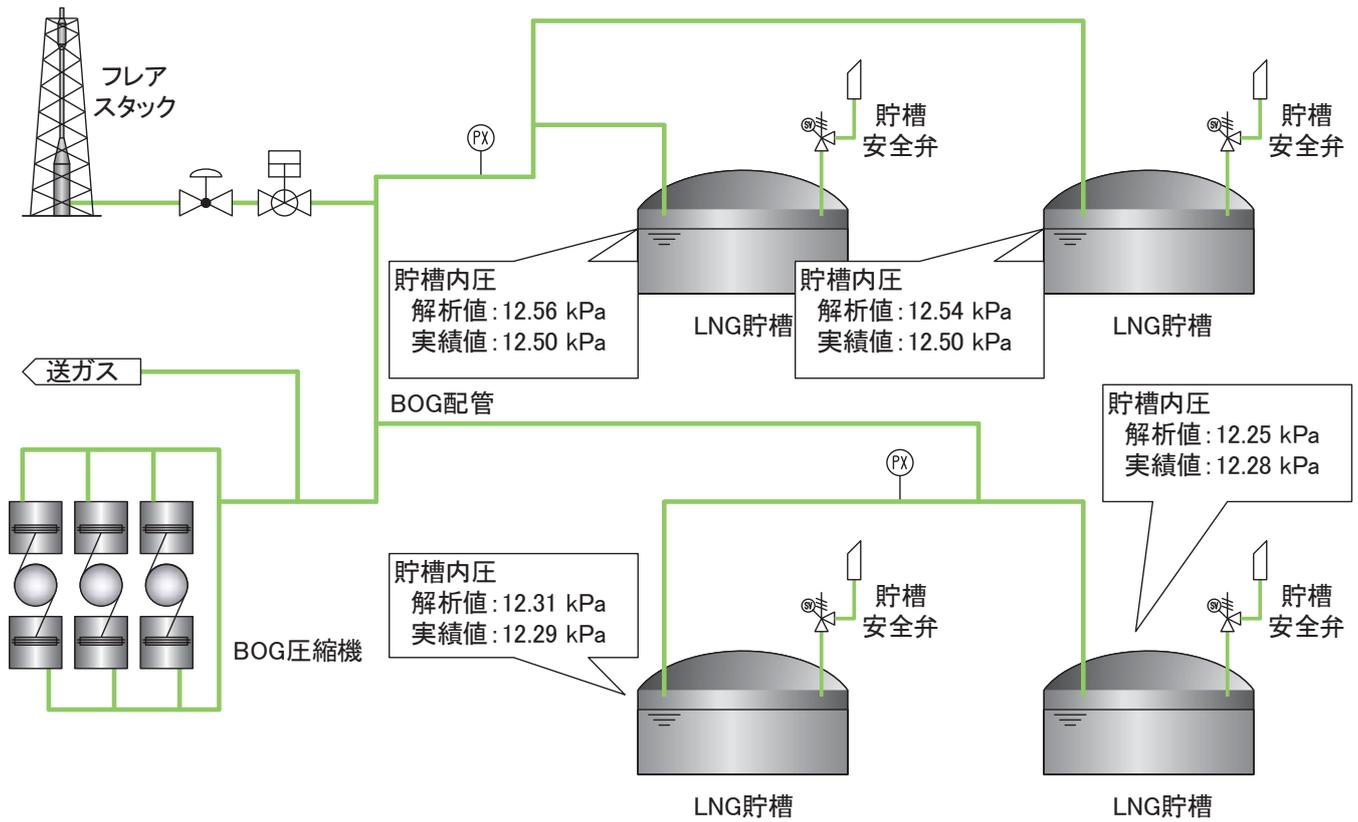
→ 設備増強などで、貯槽間バランスが崩れていないかの確認が必要

→ 送ガス AdvanceSoft社製 **Advance/FrontNet/Γ** にて解析を実施



4.3 妥当性検討（実機データ比較）

Engineering for the NEXT



56

TEPSCO 東電設計株式会社

4.3 妥当性検討（実機データ比較）

Engineering for the NEXT



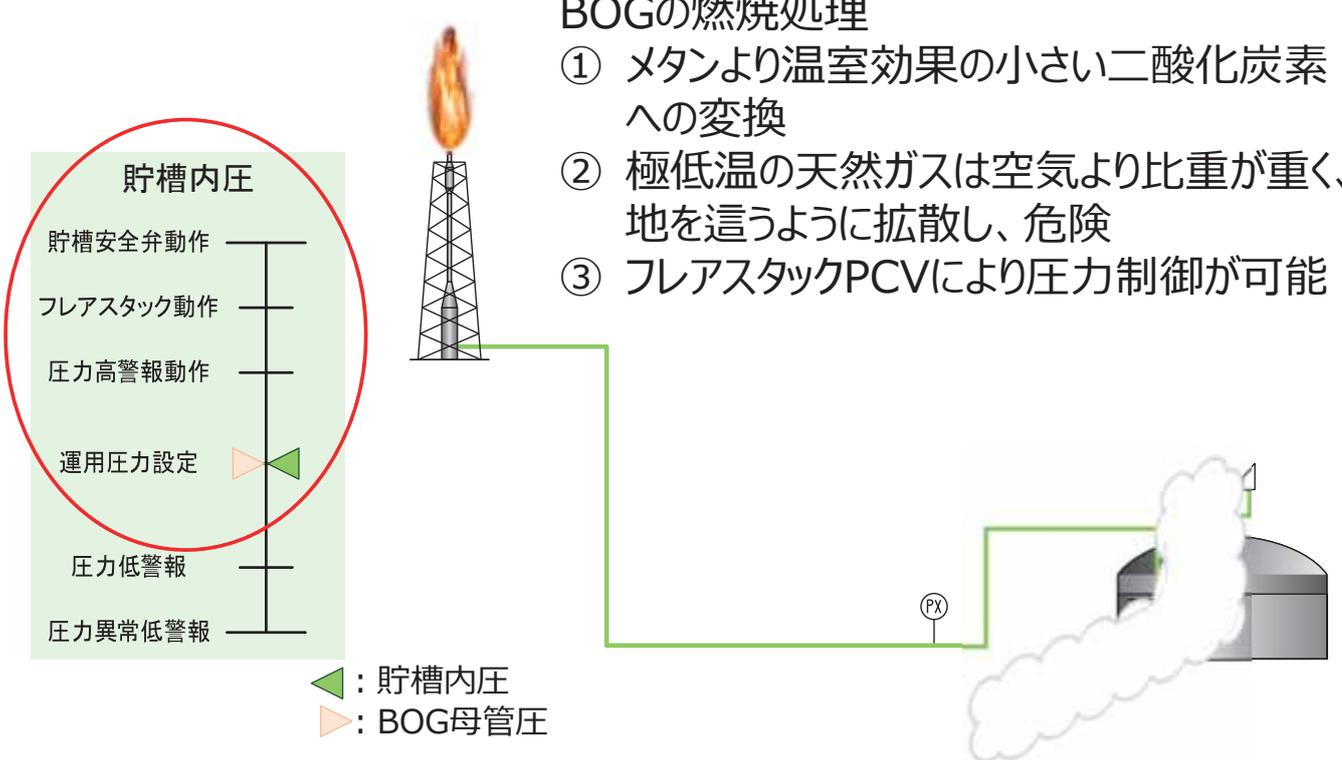
57

TEPSCO 東電設計株式会社

1. 送ガス設備運用シミュレーションモデルの妥当性確認
2. ガス導管緊急遮断の影響評価
3. 発電設備解列による影響評価
4. B O G配管系統シミュレーションモデルの妥当性確認
5. B O G大量発生時の挙動確認

5.1 B O G挙動解析（貯槽内圧力と安全装置①）

意図した動作

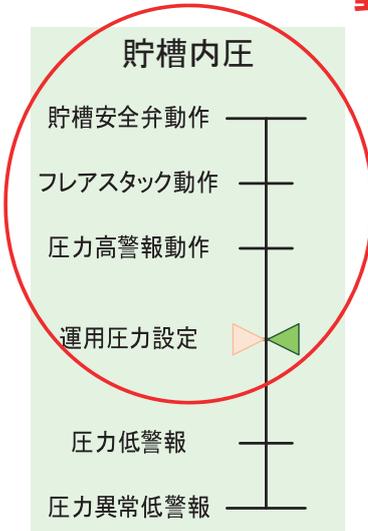


5.2 B O G 挙動解析（貯槽内圧力と安全装置②）

Engineering for the NEXT

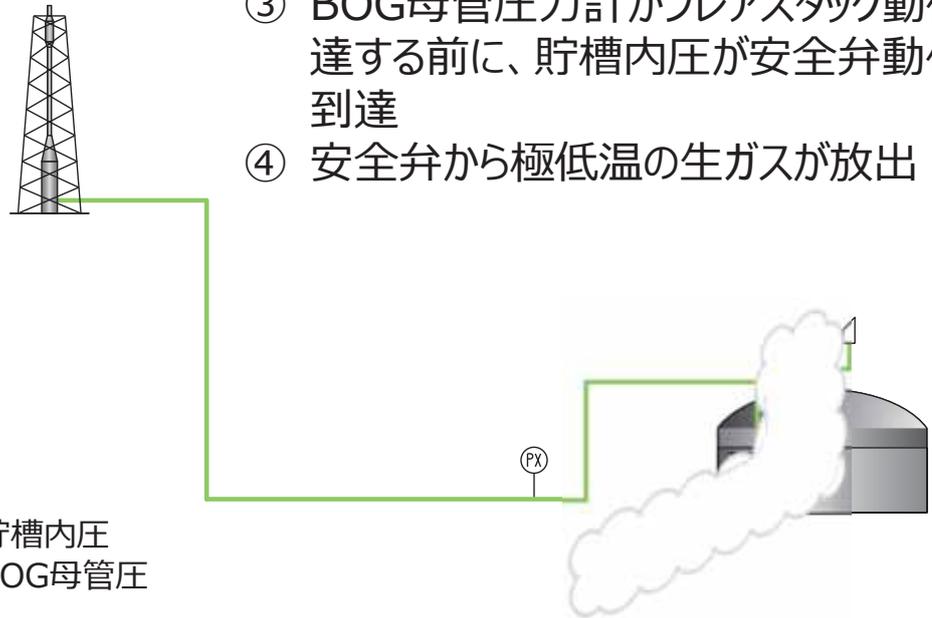
懸念された動作

動作しない



▲: 貯槽内圧
▶: BOG母管圧

- ① 一部貯槽にて大量のBOGの発生
- ② BOG配管での圧力損失が増大
- ③ BOG母管圧力計がフレアスタック動作圧に達する前に、貯槽内圧が安全弁動作圧へ到達
- ④ 安全弁から極低温の生ガスが放出

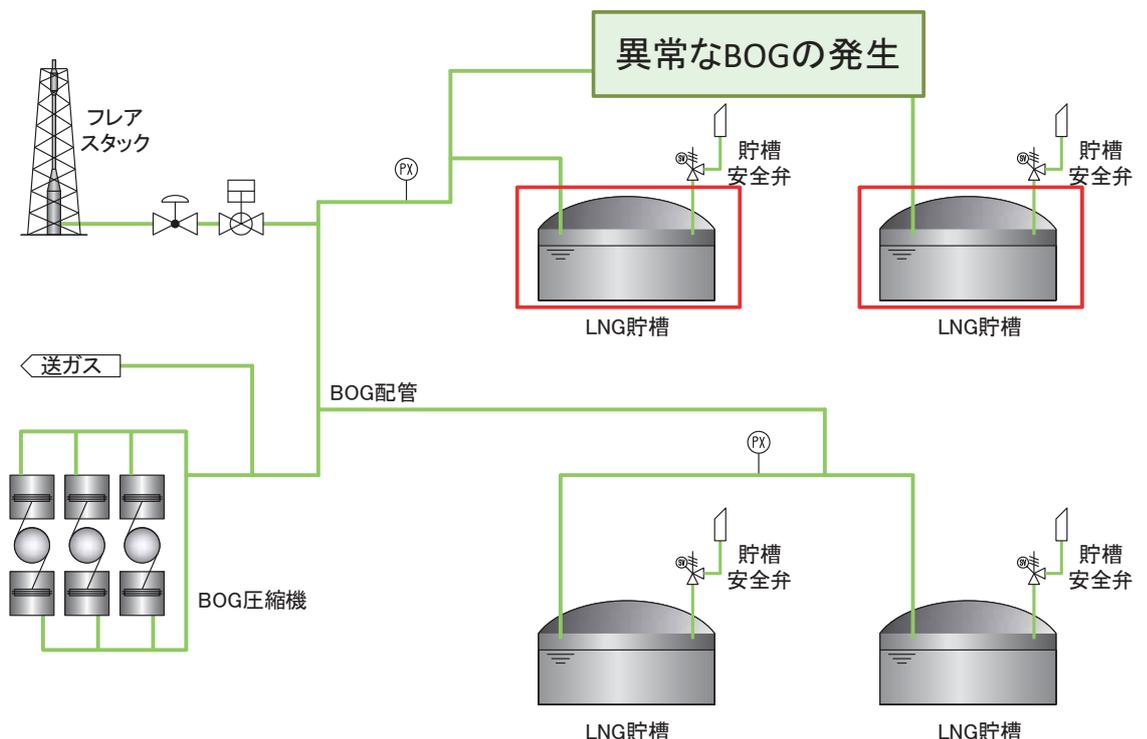


60

TEPSCO 東電設計株式会社

5.3 B O G 挙動解析（解析条件）

Engineering for the NEXT



61

TEPSCO 東電設計株式会社

1. 機能限定版の販売

- ・ 多機能なシミュレーションソフトでは、一部の機能しか使用しない。
ソフトの初期コスト、ランニングコストを削減するために機能限定版の販売を希望。
必要に応じて機能追加オプションにより機能拡張。

2. アウトプットデータ作成の簡略化

- ・ 必要なデータの抽出、編集等のアウトプットデータ取りまとめに手間と時間がかかる。
必要なデータのみ、ユーザが容易に選択が可能で、編集可能なアプリケーションに出力できる機能の追加を希望。

3. オリジナルユニットの作成及び、ユーザ間のコミュニティ形成

- ・ より詳細に事象を模擬するために、ユニットをそのシミュレーション向けに開発する場合がある。
ユニットの開発を容易に可能とする環境と、ユーザが開発したユニットをユーザ間で共有できるコミュニティの場の提供を希望。

おわりに

東日本大震災以降、火力発電所を取り巻く環境は大きく変わった。
電力・ガスの自由化、LNG火力の建設、老朽LNG火力の停止……。
これらに対応するために、

- ・ ガス導管の新設。
- ・ 圧力帯が異なる設備の追加。
- ・ BOG処理設備の追加。

が行われ、プロセス系統が複雑化してきている。

設備の安定供給や安全確保、最経済運用の観点から、

シミュレーションの重要性が高まっており、

シミュレーションモデルの大型化、精度の向上が必要となっている。

シミュレーションソフト開発会社と共に、取り組んでいきたい。

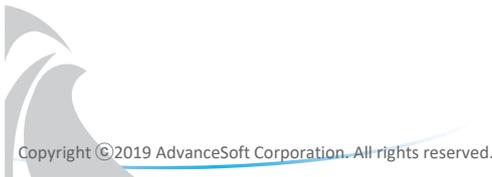


ご清聴ありがとうございました。

ガス管路系解析ソフトウェアの V&Vおよび事例紹介

熱流動エンジニアリングセンター
主任研究員 秋村 友香

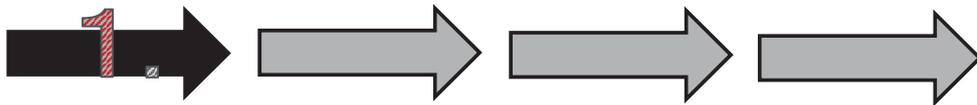
管路系流体シミュレーションによるプラントリスク評価
2019年7月26日（金）
アドバンスソフト株式会社



目次

1. Advance/FrontNet/Γの概要
2. Advance/FrontNet/ΓのV&V
Verification & validation
(検証と妥当性確認)
 - 2-1. 衝撃波管解析
 - 2-2. 圧力波伝播解析
 - 2-3. ガス混合解析
 - 2-4. 充填時間解析
 - 2-5. 制御弁応答解析
3. Advance/FrontNet/Γの事例紹介
 - 3-1. LNG基地におけるBOG流動解析
 - 3-2. 熱量調整系制御弁応答解析
 - 3-3. 水-過熱蒸気系温度制御弁応答解析
4. まとめと今後の課題





1. Advance/FrontNet/Γの概要

2. Advance/FrontNet/ΓのV&V

- 2-1. 衝撃波管解析
- 2-2. 圧力波伝播解析
- 2-3. ガス混合解析
- 2-4. 充填時間解析
- 2-5. 制御弁応答解析

3. Advance/FrontNet/Γの事例紹介

- 3-1. LNG基地におけるBOG流動解析
- 3-2. 熱量調整系制御弁応答解析
- 3-3. 水-過熱蒸気系温度制御弁応答解析

4. まとめと今後の課題

1. Advance/FrontNet/Γの 概要

・主にガス系に実績のあるソフトウェア。
ただし、液体や超臨界の単相に適用可能。

- ・圧縮性を考慮。
- ・多成分ガスの流動解析が可能。
- ・臨界流モデル（チョークモデル）を実装。
- ・流体と制御弁、制御系の連成解析が可能。

・詳細はこのあとの講演
「管路系流体解析ソフトウェアの機能紹介」を参照。



1. Advance/FrontNet/Γの概要

2. Advance/FrontNet/ΓのV&V

- 2-1. 衝撃波管解析
 - 2-2. 圧力波伝播解析
 - 2-3. ガス混合解析
 - 2-4. 充填時間解析
 - 2-5. 制御弁応答解析
- Verification & validation
(検証と妥当性確認)

3. Advance/FrontNet/Γの事例紹介

- 3-1. LNG基地におけるBOG流動解析
- 3-2. 熱量調整系制御弁応答解析
- 3-3. 水-過熱蒸気系温度制御弁応答解析

4. まとめと今後の課題

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-1. 衝撃波管解析

■ 目的

1. 衝撃波、膨張波が正しく伝播するか
2. 4つの基礎方程式（質量保存、運動量保存、エネルギー保存、状態方程式）から求まる物理量（圧力、密度、流速、エネルギー）の精度
3. 過渡解析の精度

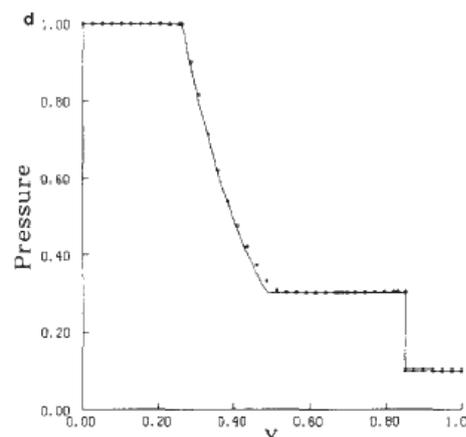
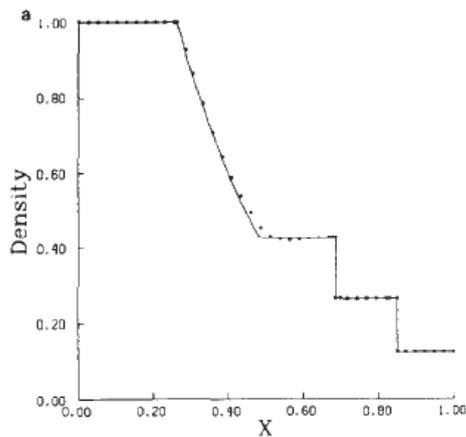
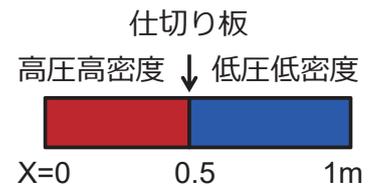
を確認する。

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-1. 衝撃波管解析

■ 解析条件と解析解

仕切り板を瞬時に外したときの圧力変化は解析解が知られている。
 10000+10000メッシュで計算する。
 対流項の差分法は一次風上差分法、時間発展法は陰解法を採用する。



解析解 (出典より)

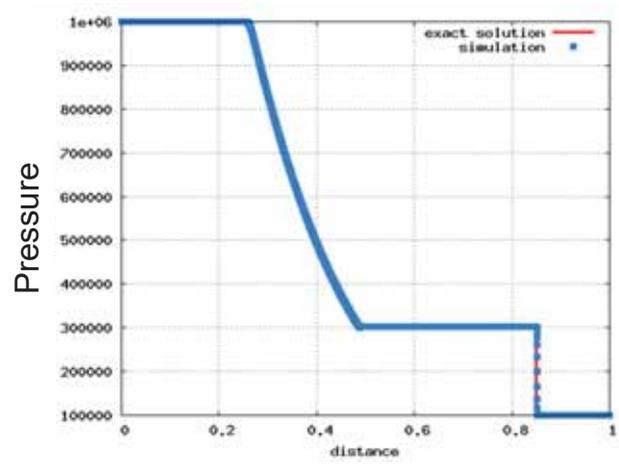
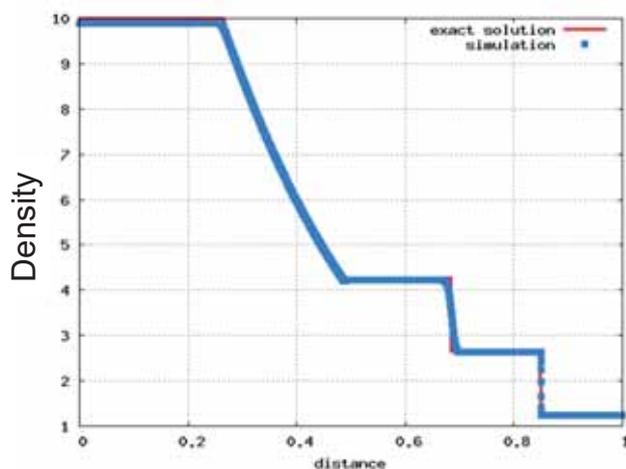
出典 : W. D. Henshaw, "A Scheme for the Numerical Solution of Hyperbolic Systems of Conservation Laws",
 Journal of computational physics 68, 25-47 (1987)

Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-1. 衝撃波管解析

■ 解析結果



Advance/FrontNet/Γによる計算結果

解析解をよく再現できた。特に不連続面をシャープにとらえていることが分かる。

Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-2. 圧力波伝播解析

■ 目的

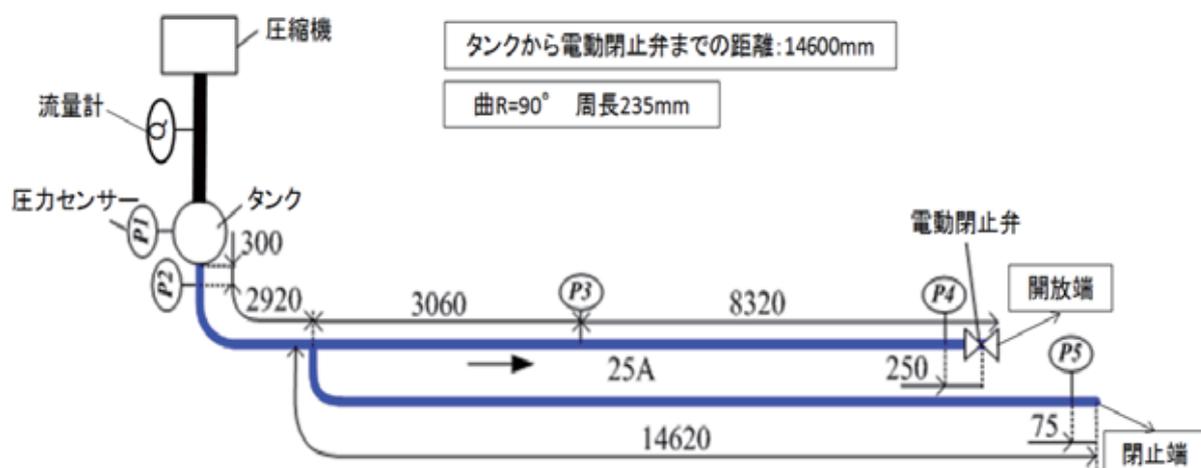
1. 圧力波が音速で伝播するか
2. 陽解法、陰解法の精度と計算時間を確認する。



2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-2. 圧力波伝播解析

■ 試験条件 (重工業メーカー様ご提供)

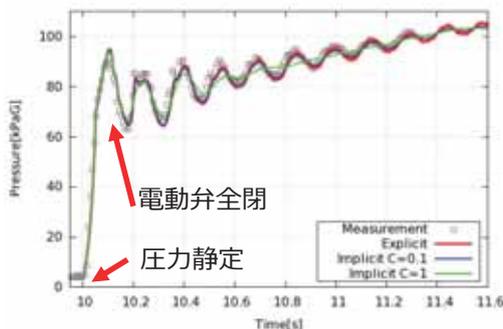


圧縮機で空気を供給し、開放端から空気を噴出させた定常状態後、電動閉止弁を0.05sで急閉止させて、P1～P5での変動圧力を測定した。

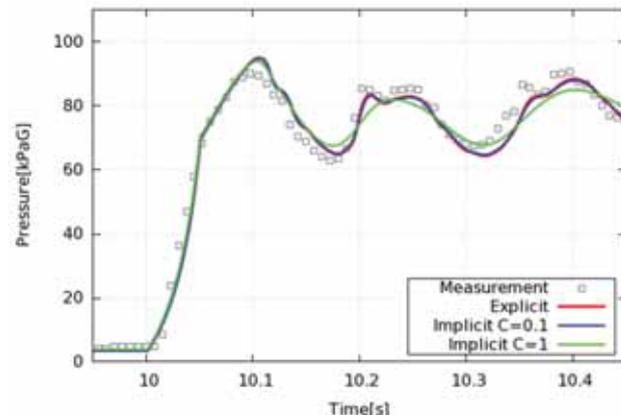
2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-2. 圧力波伝播解析

■ 解析結果 (P4の圧力変化)



→
変動部
拡大図



ケース名	内容	評価	計算時間比率
Explicit	陽解法、Courant数0.99(1)	実測値をよい精度で再現。	1
Imp.C=0.1	陰解法、Courant数0.10(2)	陽解法と同等。	0.5
Imp.C=1.0	陰解法、Courant数1.00(2)	圧力波は第3ピークまで再現、その後鈍る。	0.1

注) (1)音速基準、(2)流速基準

実測と計算はよい精度で一致。精度が欲しいときは陽解法または陰解法のクーラン数を小さくして使用し、速度が要求されるときは陰解法で定常値を素早く求めることができる。

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-3. ガス混合解析

■ 目的

1. 多成分ガスの混合計算の精度
2. 空間差分法の精度
3. 乱流拡散の効き具合

を確認する。

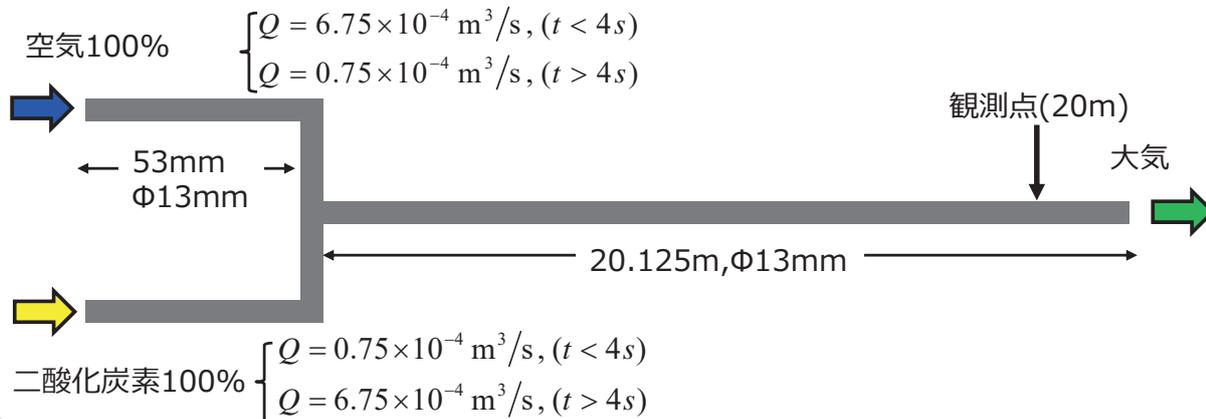


2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-3. ガス混合解析

■ 試験条件

最初、空気と二酸化炭素のモル分率が0.9:0.1で流れており、時刻4sに空気と二酸化炭素のモル分率が0.1:0.9となるような流入条件。

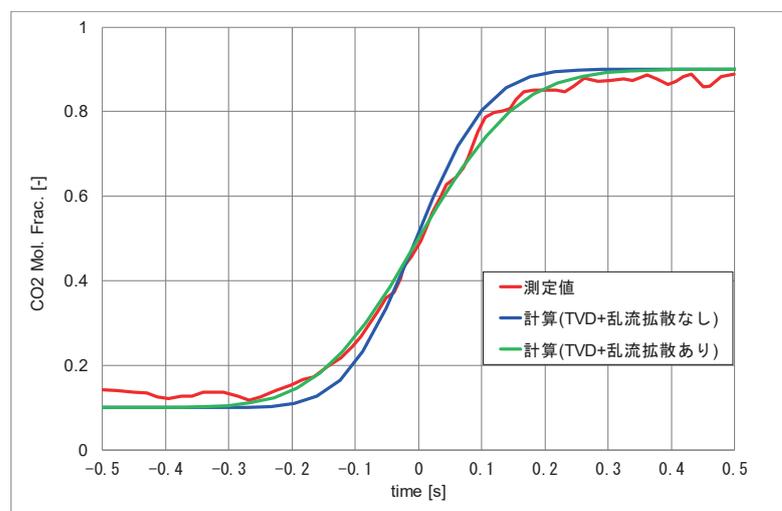


出典：染谷雄史他、"管路内での異種気体混合に関する研究"、日本流体力学学会(2007)

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-3. ガス混合解析

■ 解析結果



試験では流量の切り替え 4 sを含んだ7.5s後に二酸化炭素のモル分率が50%に変化している。図では、二酸化炭素のモル分率が50%になる時間（試験の7.5s）を0sとしている。計算では、対流項の差分スキームとして界面をシャープに捉えるTVD制限リミタ付き差分法を採用。青線は乱流拡散を考慮しない場合、緑線は乱流拡散を考慮した場合の二種類を比較。乱流拡散を考慮した場合の計算が試験をよく再現していることが分かる。

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-4. 充填時間解析

■ 目的

1. 臨界流モデルの精度
2. 過渡解析の「時間軸」の精度

を確認する。

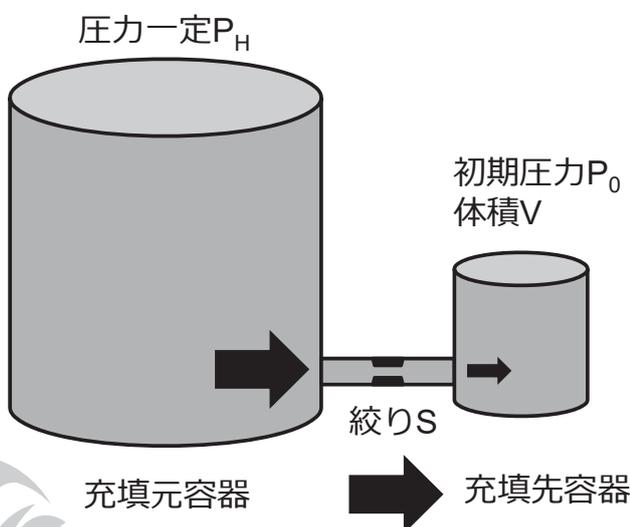


2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-4. 充填時間解析

■ 解析条件

圧力が一定値 P_H に保たれている容器があり、圧縮空気を初期圧力 P_0 、体積 V の容器に充填する。



参考文献より、充填時間は以下の式で求められる。

音速域の充填時間

$$t = \frac{V}{0.185SP_s\gamma} \sqrt{\frac{273}{T} \frac{P - P_0}{P_H}}$$

亜音速域の充填時間

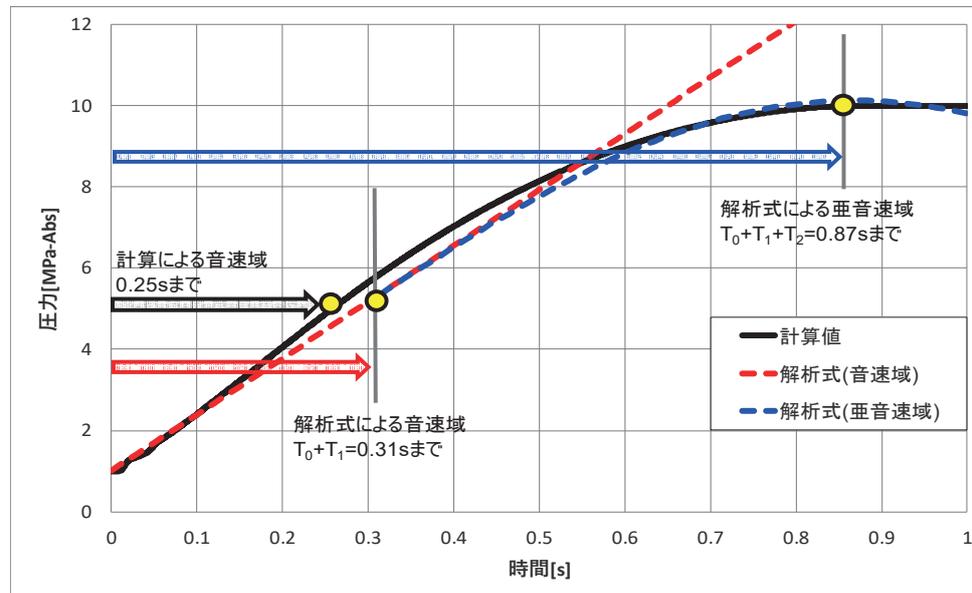
$$t = 0.757 \times \frac{V}{0.185SP_s\gamma} \sqrt{\frac{273}{T}}$$



2. Advance/FrontNet/ Γ の V&V

2-4. 充填時間解析

■ 解析結果



計算では解析式に比べ圧力上昇が僅かに速く、音速状態（臨界流）が0.25sまでとなり、その後、圧力比が臨界圧力比を下回り、亜音速となった。全体的な振る舞いは解析式とよく一致した。

2. Advance/FrontNet/ Γ の V&V

2-5. 制御弁応答解析

■ 目的

1. 弁モデルの流量と圧損（定常状態）
2. 制御系モデル
3. 制御系と流体計算の連成計算の精度

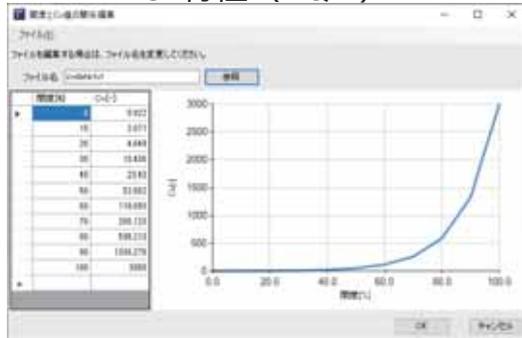
を確認する

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-5. 制御弁応答解析

■ 解析条件①流量と弁開度を指定して圧損を計算する（定常）

Cv特性 (EQ%)



圧力損失 ΔP と抵抗係数 K_V 、流量 W の関係

$$\Delta P = \frac{1}{2} K_V \rho u^2 = \frac{1}{2} K_V \frac{W^2}{\rho A^2}$$

抵抗係数 K_V とCv値の関係

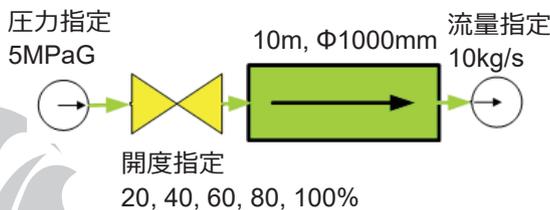
$$K_V = \left(\frac{A}{C_V f_{cv}} \right)^2 \frac{2}{\rho_{H2O60F}}$$

英国単位系からSI単位系への変換係数

$$f_{cv} = 7.598 \times 10^{-7}$$

60°Fにおける水の密度

$$\rho_{H2O60F} = 999.091 \text{ kg/m}^3$$



Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-5. 制御弁応答解析

■ 解析結果①流量と弁開度を指定して圧損を計算する（定常）

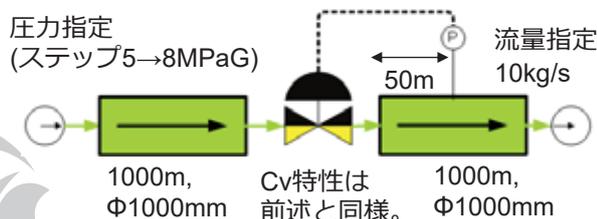
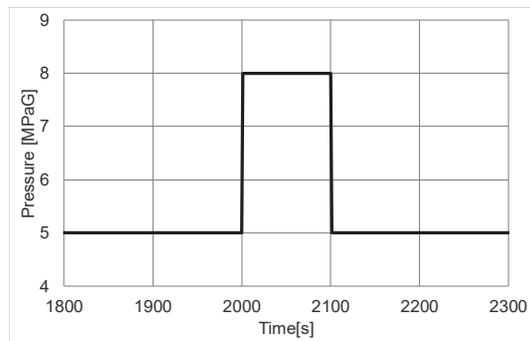
開度 [%]	Cv	圧損 [Pa] (Γ計算)	流路面積 [m ²]	確認計算Kv	確認計算圧損	誤差 [%]
80	595.21	82	0.63	3864.08	81.89	0.13
60	118.09	2080	0.47	55218.22	2080.46	-0.02
40	23.43	52845	0.31	623421.16	52849.54	-0.01
20	4.65	1342255	0.16	3958649.33	1342352.86	-0.01

Advance/FrontNet/Γを使った計算と理論値の誤差は1%以下となった。

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

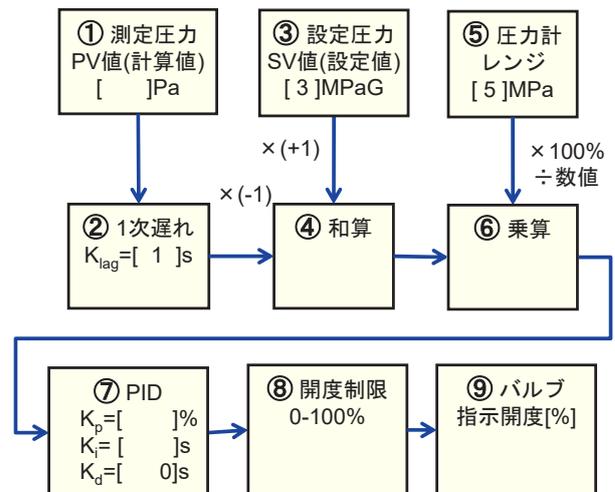
2-5. 制御弁応答解析

■ 解析条件②ステップ応答



Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

制御系モデル(下流圧制御)



1次遅れ制御要素の定義式

$$\frac{dy}{dt} = \frac{1}{K_{lag}}(x - y)$$

PID制御要素の定義式

$$y = K_p \left(x + \frac{1}{K_i} \int x dt + K_d \frac{dx}{dt} \right)$$

K_p は比例帯[%]

21

2. Advance/FrontNet/Γの V&V

2-5. 制御弁応答解析

■ 解析結果②

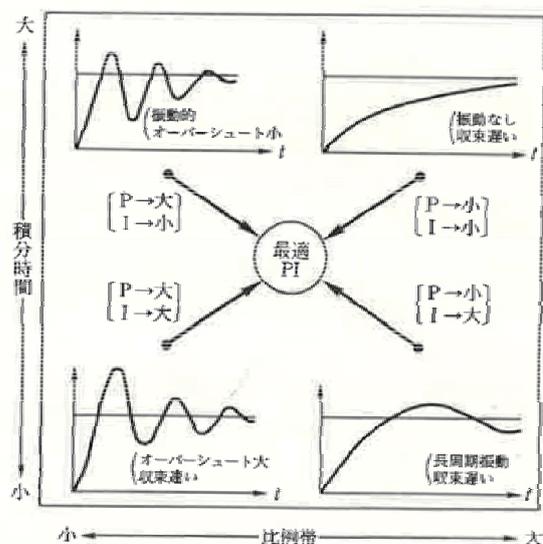
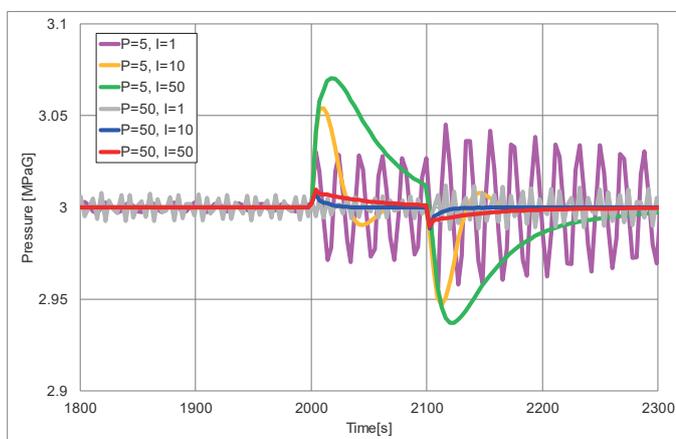


図 2.21 測定値の変動波形による再調整の目安

積分時間が小さい場合（ピンク、グレー）は振動的となった。比例帯が小さく、積分時間が大きい場合（緑）は、収束が遅くなった。比例帯が大きく、積分時間も大きい場合（赤）、収束は速くなった。全体として、教科書的な傾向をよく再現した。

松山裕著、だれでもわかる自動制御財団法人省エネルギーセンターより



1. Advance/FrontNet/Γの概要

2. Advance/FrontNet/ΓのV&V

- 2-1. 衝撃波管解析
- 2-2. 圧力波伝播解析
- 2-3. ガス混合解析
- 2-4. 充填時間解析
- 2-5. 制御弁応答解析

3. Advance/FrontNet/Γの事例紹介

- 3-1. LNG基地におけるBOG流動解析
- 3-2. 熱量調整系制御弁応答解析
- 3-3. 水-過熱蒸気系温度制御弁応答解析

4. まとめと今後の課題

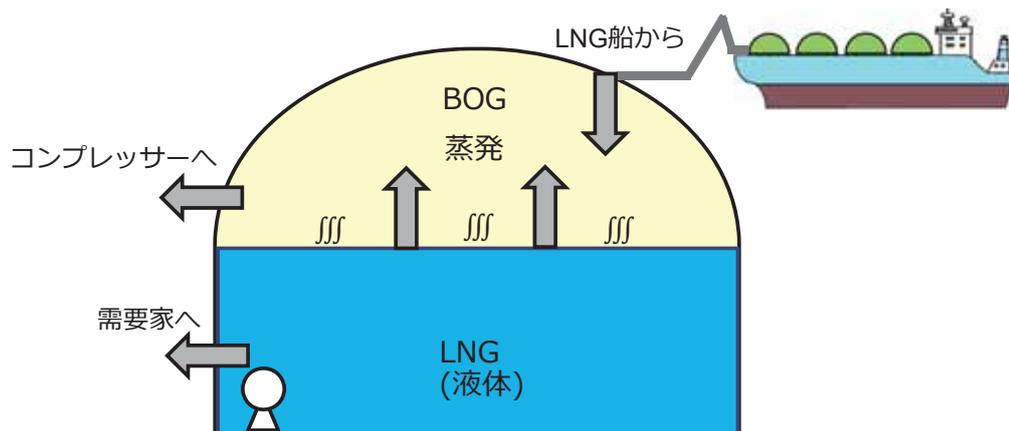
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-1. LNG基地におけるBOG流動解析

■ 解析対象 (BOGとロールオーバー)

LNGは-160℃の低温で貯蔵されている液体であるが、貯蔵圧力が沸点近傍のため、常時ガスが蒸発する。これをBoil off gas(BOG)と呼ぶ。

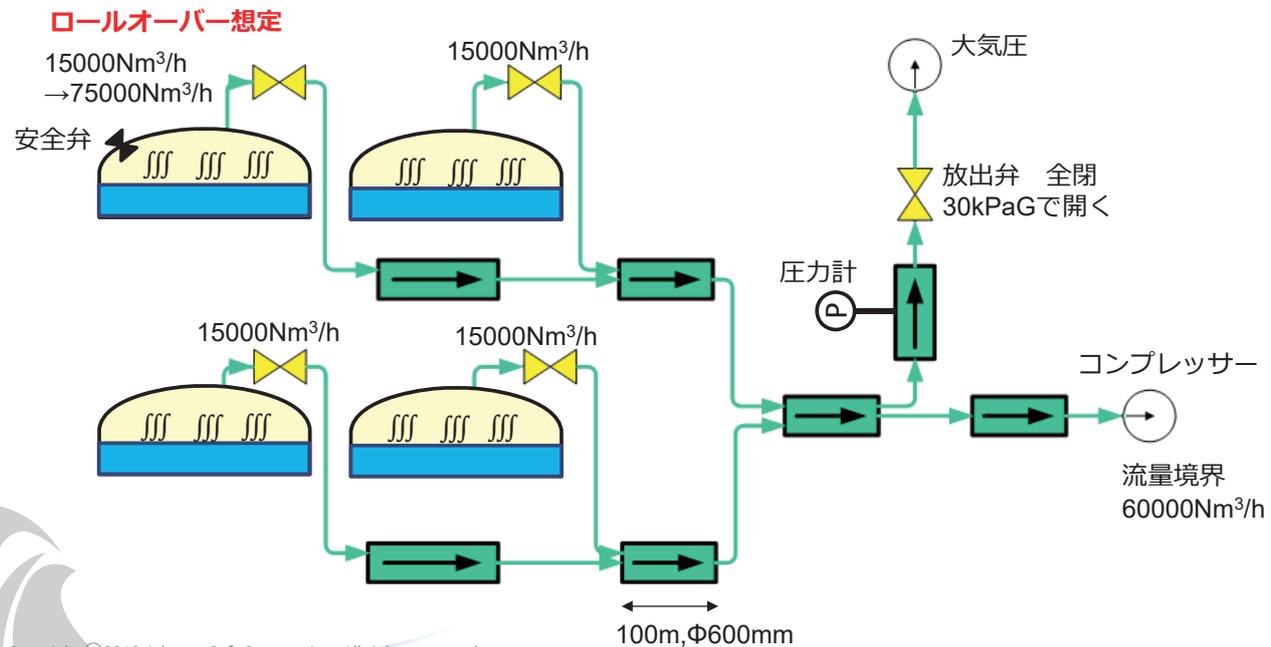
産地の異なるLNGを受け入れていると、重いLNGと軽いLNGの2層化が起こり、あるとき、上下の層が急激に混合すると、BOG蒸発量が急増し、タンク圧が増大する。このような現象はロールオーバー現象と呼ばれている。



3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-1. LNG基地におけるBOG流動解析

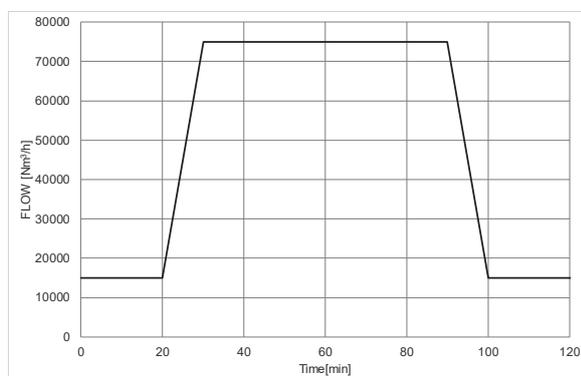
■ 解析モデル



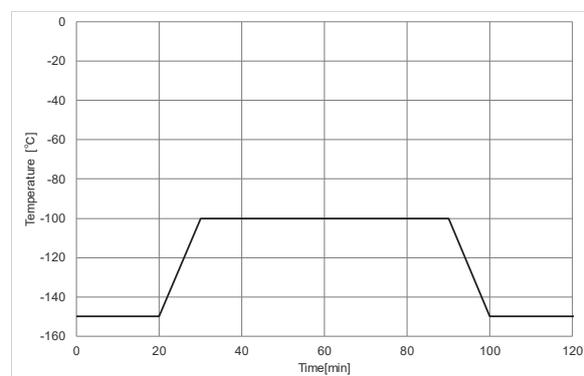
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-1. LNG基地におけるBOG流動解析

■ 解析条件



ロールオーバーによる
BOG流量変化

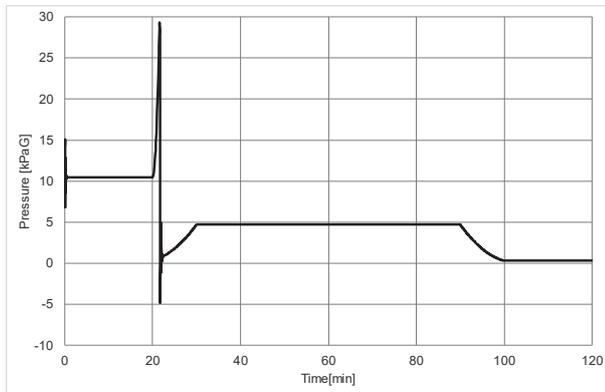


ロールオーバーによる
BOG温度変化
(LNGの圧力上昇に対し、飽和温度を想定)

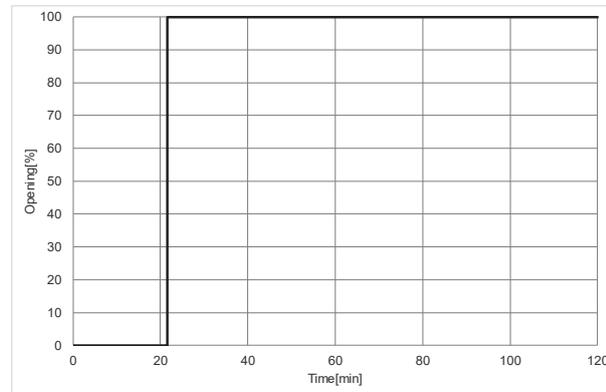
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-1. LNG基地におけるBOG流動解析

■ 解析結果(放出弁が開く場合)



放出弁の上流にある
圧力計の位置の圧力



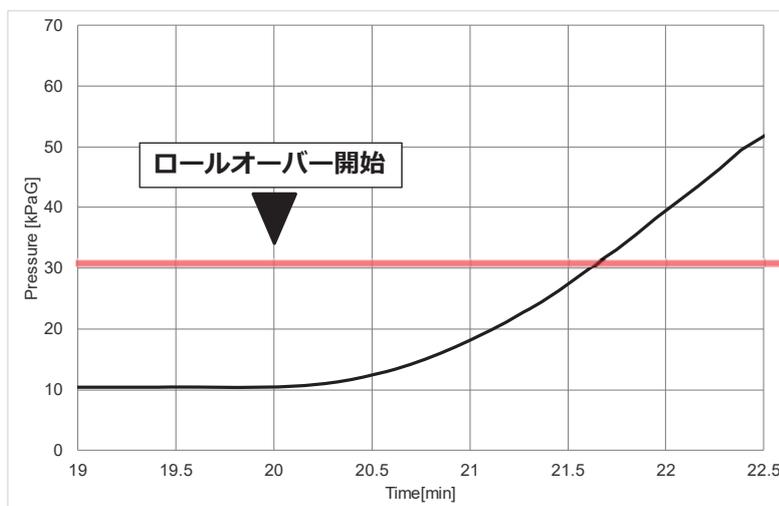
放出弁の時間変化
(21.6minから開き始め)

放出弁が開くことにより、管路系の圧力は30kPaG以下に抑えられた。

3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-1. LNG基地におけるBOG流動解析

■ 解析結果(放出弁が開かなかった場合)



放出弁の上流にある圧力計の位置の圧力

時刻22.5minには管路系の圧力は50kPaGを超え、上昇を続けた。

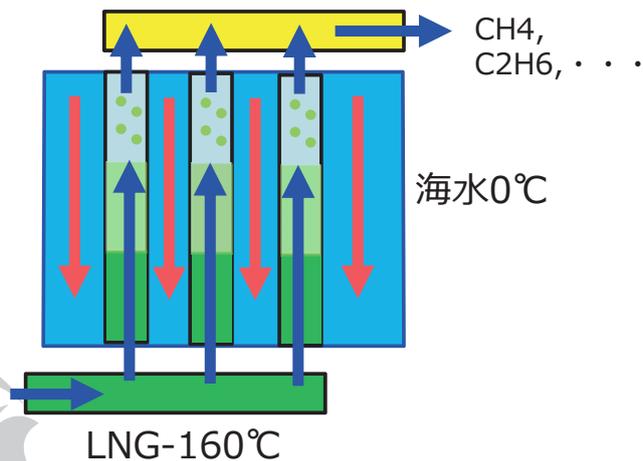
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-2. 熱量調整系制御弁応答解析

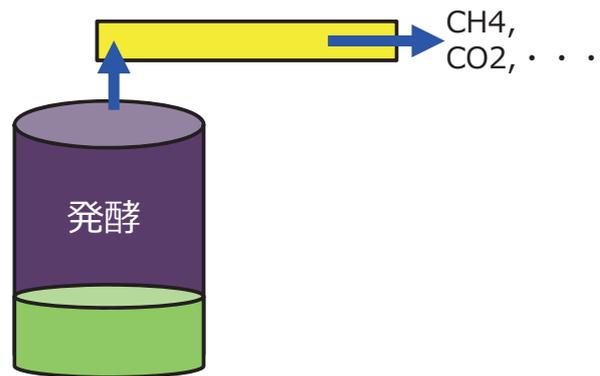
■ 解析対象 (メタンリッチガス)

熱量調整整備では、メタンを主成分とするガスにプロパンを添加し、熱量調整を行っている。ここでは、このメタンリッチガスの熱量が変動したときの解析を行う。

(例) 気化器



(例) バイオガス

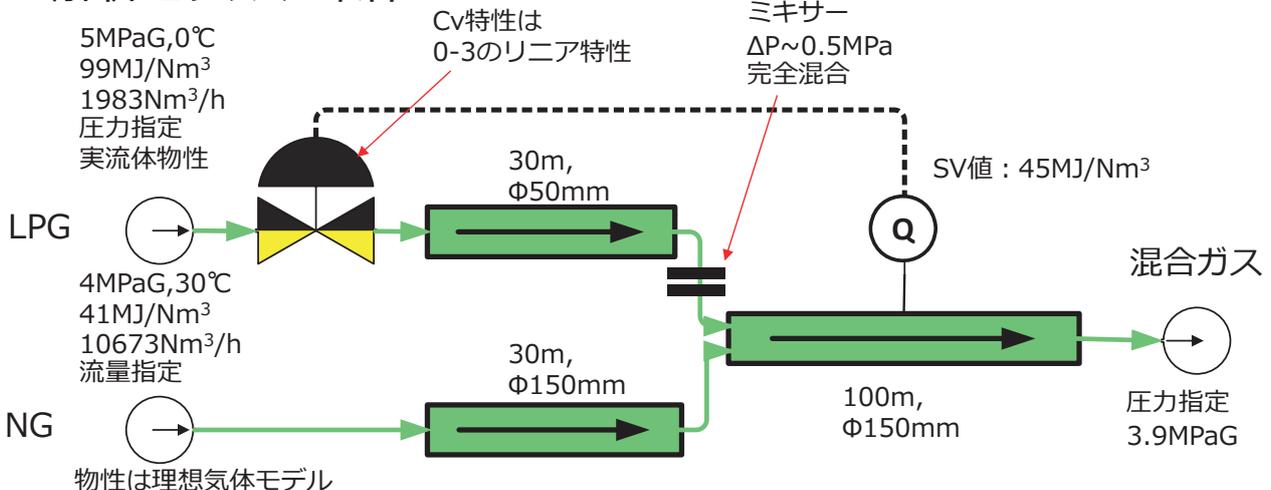


(例) シェールガス . . . etc.

3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-2. 熱量調整系制御弁応答解析

■ 解析モデル、条件

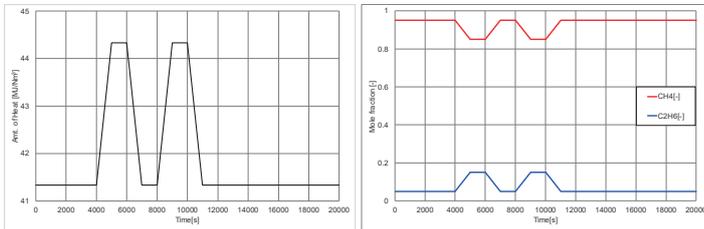


Advance/FrontNet/Γは単相用のソフトウェアであるが、ミキサーの大きな抵抗および完全混合を想定すれば、LPGとNGの圧力が異なるため、超臨界状態のLPGとガスの混合を解くことができる。

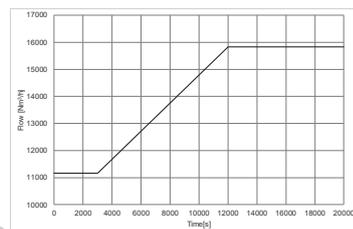
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-2. 熱量調整系制御弁応答解析

■ 解析モデル、条件



NG熱量変化 (ケース1,2) モル分率変化

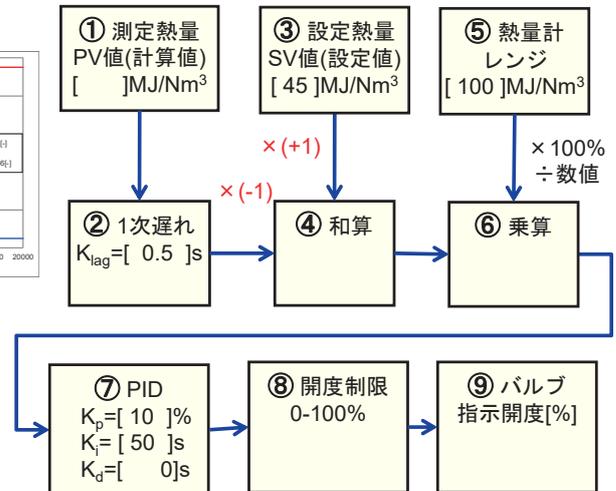


NG流量変化 (ケース2)

組成	熱量 [MJ/Nm³]
CH ₄	39.84
C ₂ H ₆	69.79
C ₃ H ₈	99.22

$$Q = \sum_i X_i q_i$$

制御系モデル

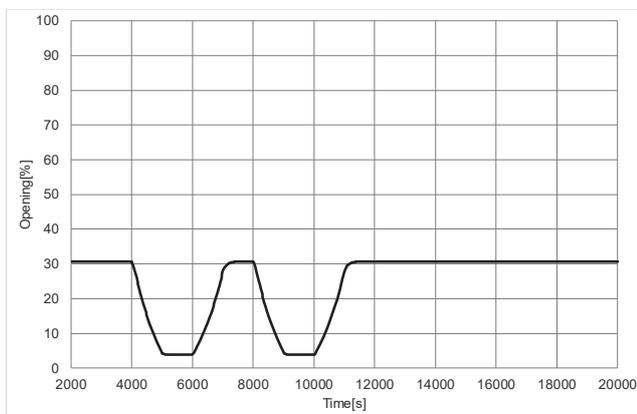


ケース1 : 熱量変化
 ケース2 : 熱量変化+流量変化
 を条件とし、弁の応答を調べた。

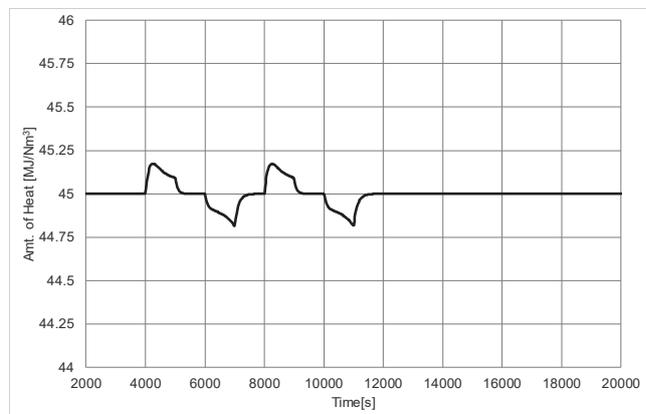
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-2. 熱量調整系制御弁応答解析

■ 解析結果 (ケース1 : 熱量変化)



バルブ開度変化



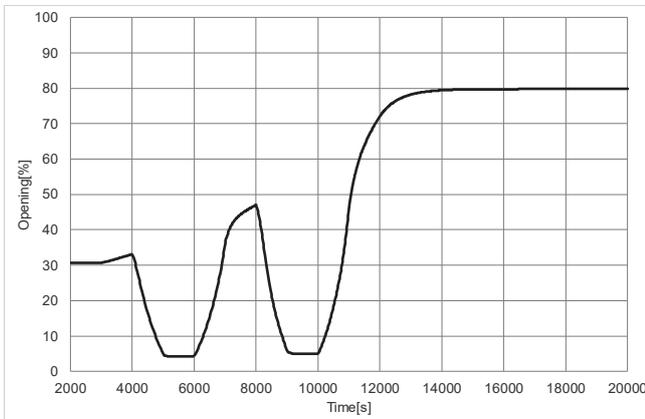
熱量計の位置の混合ガス熱量

NG熱量が変化したときの制御弁の応答を調べた。
 制御により、混合ガス熱量はSV値 (45MJ/Nm³) の±0.25MJ/Nm³以内に収まる結果となった。

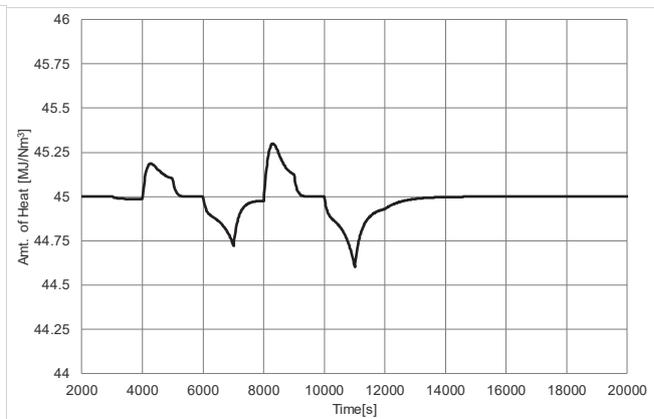
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-2. 熱量調整系制御応答解析

■ 解析結果 (ケース 2 : 熱量変化 + 流量変化)



バルブ開度変化



熱量計の位置の混合ガス熱量

NGの熱量変化と流量変化を同時に考慮した。
 制御により、混合ガス熱量はSV値 (45MJ/Nm³) の±0.5MJ/Nm³以内に収まる結果となった。

3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-3. 水-過熱蒸気系温度制御応答解析

■ 解析対象 (排熱回収ボイラ)

排熱回収ボイラでは、GTガス排ガスの熱で水を蒸発させ、蒸気の熱を二次利用する。
 ここでは、低圧系の出口の過熱蒸気の温度制御を解析対象とする。

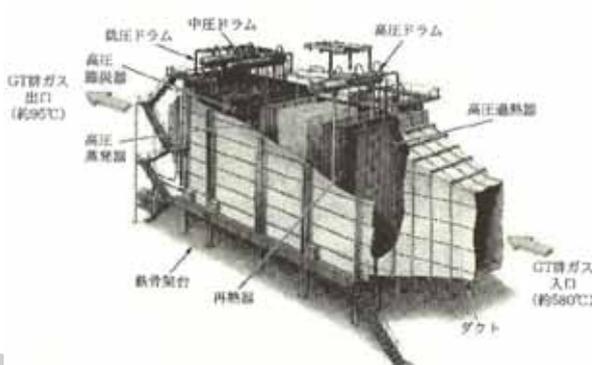


図 4.13 排熱回収ボイラ (1300℃級 GT 対応ボイラの例)

火力発電総論、瀬間徹 電気学会

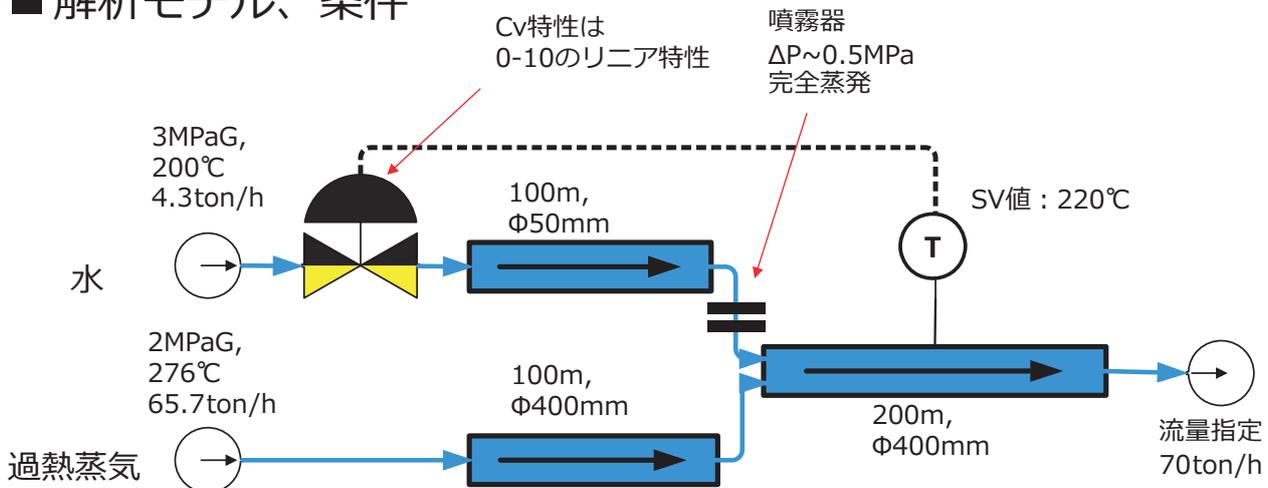
	数量	3台
排熱回収ボイラ	形式	排熱回収三圧再熱自然循環型
	蒸発量	(高圧) 360t/h (中圧) 100t/h (低圧) 70t/h
	出口圧力	(高圧) 13.18MPa (中圧) 4.52MPa (低圧) 0.45MPa
	出口温度	(高圧) 567℃ (中圧) 277℃ (低圧) 276℃

1500℃級ガスタービンコンバインドプラントの設計と試運転実績
 一東京電力(株)川崎火力発電所第1号系列の建設—
 三菱重工技報、Vol. 46 No.2 (2009) 発電技術特集
<https://www.mhi.co.jp/technology/review/pdf/462/462030.pdf>

3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-3. 水-過熱蒸気系温度制御応答解析

■ 解析モデル、条件

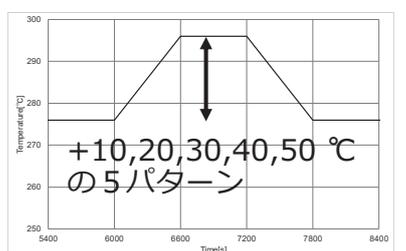


Advance/FrontNet/Γは単相用のソフトウェアであるが、噴霧器の大きな抵抗および完全蒸発を想定すれば、水と過熱蒸気の圧力が大きく異なるため、2つの相を同時に解くことができる。

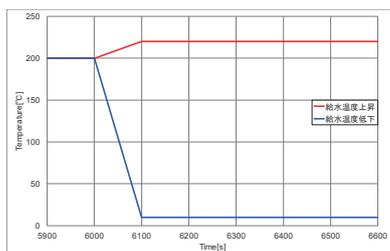
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-3. 水-過熱蒸気系温度制御応答解析

■ 解析モデル、条件

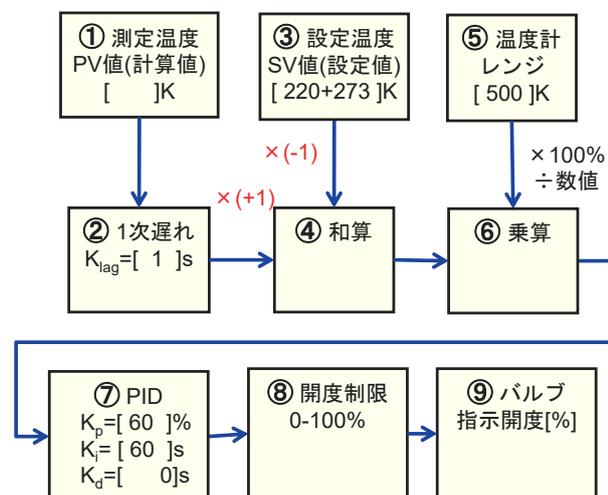


過熱蒸気温度変化 (ケース1条件)



給水温度変化 (ケース2条件)

制御系モデル

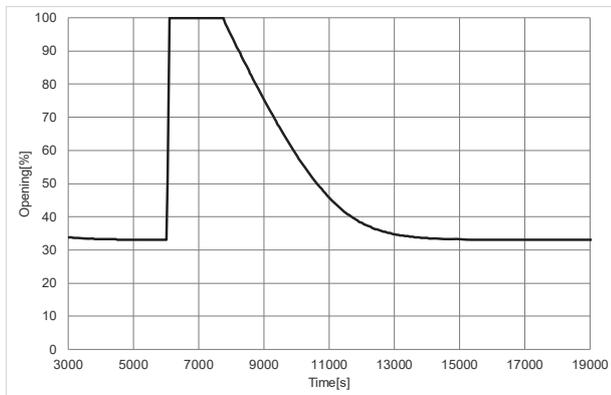


ケース1 : ボイラー追焚異常 (蒸気温度+10,20,30,40,50°C)
 ケース2 : 給水加熱器異常 (給水温度10°C、220°C) を想定し、弁の応答を調べた。

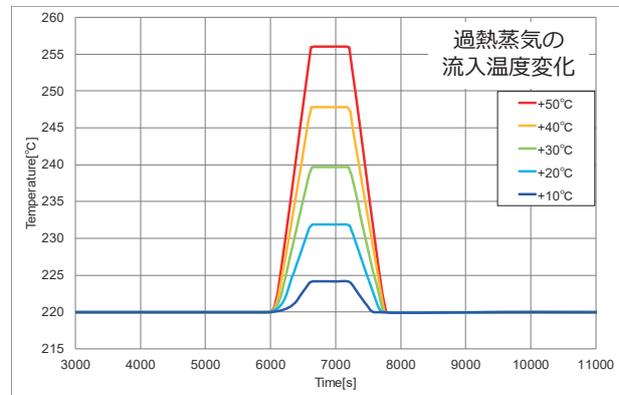
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-3. 水-過熱蒸気系温度制御応答解析

■ 解析結果 (ケース1 : ボイラー追焚異常)



バルブ開度変化



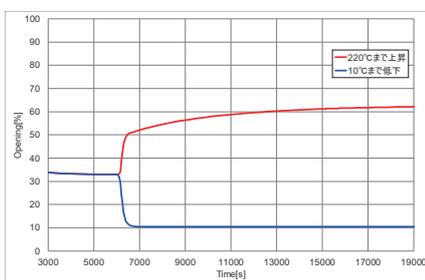
温度計の位置の過熱蒸気温度

制御弁の容量が足りず、開度が100%に張り付く時間帯があった。
それにも関わらず、制御により、
流入温度+10°Cの計算では+4°C、+20°Cでは+12°Cの変化にとどまっている。

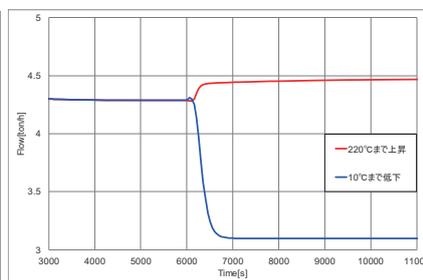
3. Advance/FrontNet/Γの 事例紹介

3-3. 水-過熱蒸気系温度制御応答解析

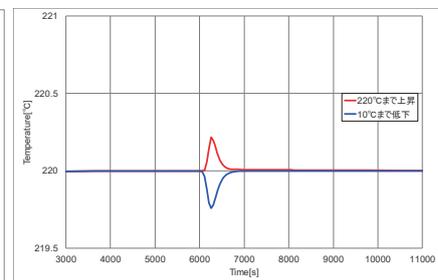
■ 解析結果 (ケース2 : 給水加熱器異常)



バルブ開度変化



給水量



温度計の位置の
過熱蒸気温度

給水温度が常温 (10°C) やSV値と同じ温度(220°C)となっても、
制御によりSV値±0.5°C以内に収まることが確認できた。



1. Advance/FrontNet/Γの概要

2. Advance/FrontNet/ΓのV&V

- 2-1. 衝撃波管解析
- 2-2. 圧力波伝播解析
- 2-3. ガス混合解析
- 2-4. 充填時間解析
- 2-5. 制御弁応答解析

3. Advance/FrontNet/Γの事例紹介

- 3-1. LNG基地におけるBOG流動解析
- 3-2. 熱量調整系制御弁応答解析
- 3-3. 水-過熱蒸気系温度制御弁応答解析

4. まとめと今後の課題

4. まとめと今後の課題

- ・V&Vでは、Advance/FrontNet/Γの基本機能および精度を確認した。
特に、圧力波伝播、ガス混合、臨界流、制御弁について、**過渡解析**の精度を確認した。
- ・事例紹介では、3つの対象について計算を行い、適用性を確認した。
 - ①BOG流動解析では、LNGタンクにおけるロールオーバーを想定した放出弁作動解析を行った。
本解析では、ロールオーバー時でも放出弁の作動により、導管の圧力が規定値以内（30kPaG）に収まることを確認した。
 - ②熱量調整系では、NGの熱量が変動した場合や、さらに流量が増加した場合の熱量調整弁の応答を調べた。流量増加時にNG熱量の変動があっても、制御によってSV値の±0.5MJ/Nm³以内に収まることを確認した。
 - ③水-過熱蒸気系では、異常を想定した温度制御弁の応答を調べた。
ボイラー追焚異常では許容値を+20℃とすれば、過熱蒸気の流入温度変化が+30℃まで許されることを確認した。
給水加熱器異常については、給水温度が常温（10℃）やSV値と同じ温度（220℃）となっても、制御によりSV値±0.5℃以内に収まることを確認できた。

4. まとめと今後の課題

・事例紹介では、3つの対象についていずれも、危険事象を想定した場合の過渡解析であり、圧力、温度、流量、熱量などの瞬時振れ幅を探った。それが許容値以内かを判断することにより、**リスク評価**を行うことができる。

・今後の課題としては、ユーザーのニーズの掘り起こしと、それに沿ったソフトウェア開発、特にGUIでの設定の自由度を高めていくことなどが挙げられる。

ご清聴いただき、ありがとうございました。

thanks



液体管路系解析ソフトウェア V&Vおよび事例紹介

第4事業部 大須賀 直子

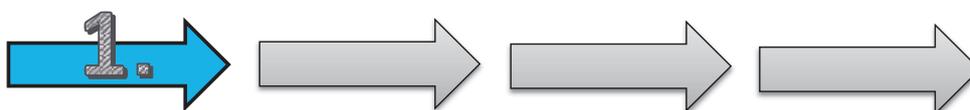
管路系流体シミュレーションによるプラントリスク評価
2019年7月26日（金）
アドバンスソフト株式会社



目次

1. Advance/FrontNet/ Ω の概要
2. Advance/FrontNet/ Ω のV&V
 - 2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較
 - 2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析
 - 2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析
3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介
 - 3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析
 - 3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)
 - 3.3 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)
4. まとめと今後の課題





1. Advance/FrontNet/ Ω の概要

2. Advance/FrontNet/ Ω のV&V

- 2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較
- 2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析
- 2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析

3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介

- 3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析
- 3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)
- 3.3 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)

4. まとめと今後の課題

1. Advance/FrontNet/ Ω の概要

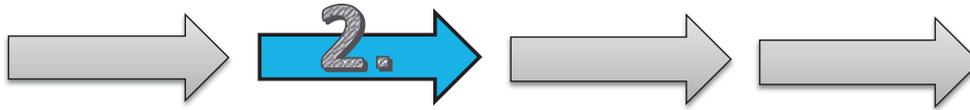
液体パイプラインの過渡解析ソフトウェア
「水撃」「液柱分離」など液体の急激な現象解析に特化

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

詳細はこのあとの講演

「管路系流体解析ソフトウェアの機能紹介」にてご紹介



1. Advance/FrontNet/ Ω の概要

2. Advance/FrontNet/ Ω のV&V

- 2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較
- 2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析
- 2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析

3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介

- 3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析
- 3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)
- 3.3 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)

4. まとめと今後の課題

2. Advance/FrontNet/ Ω のV&V (1/8)

2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較

■ 目的

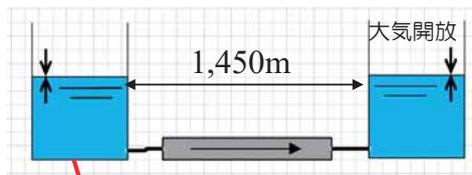
以下の項目を実験結果※¹との比較によって確認する

- ① 設定した境界圧力と管摩擦に対する配管内の定常流量の確認
- ③ 液柱分離と再結合による圧力変化の再現性

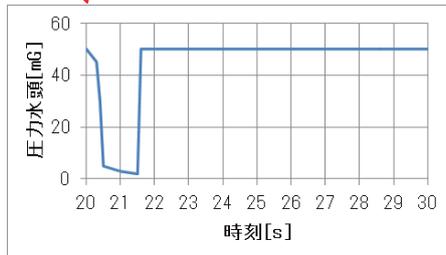
※¹ 参考文献 E. Benjamin Wylie, Victor L. Streeter, "FLUID TRANSIENTS", McGraw-Hill International Book Co (1978).

2. Advance/FrontNet/ΩのV&V (2/8)

2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較



ポンプトリップ時の圧力変化を模擬



ポンプトリップおよび機能回復時の圧力水頭の時間変化を入力で境界条件として与える

入口の圧力変化が反映されて配管内圧力が一時的に減少

条件および実測値は以下を参照した。FLUID TRANSIENTS, E.BENJAMIN WYLIE and VICTOR L.STREETER, McGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY

Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

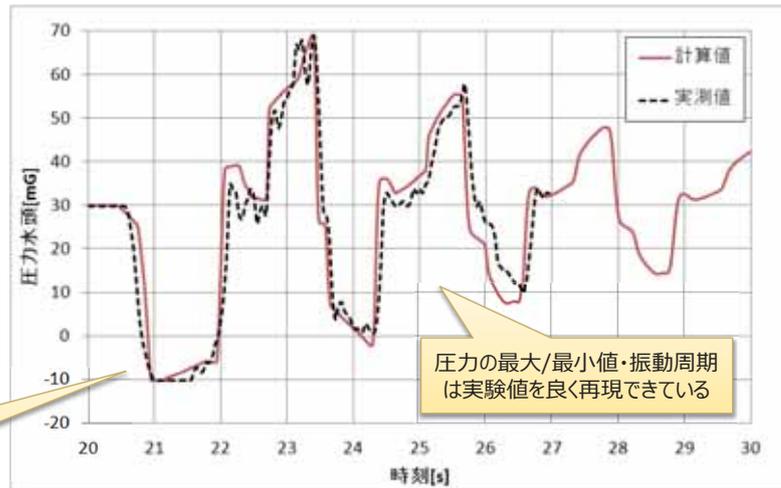
定常流量

参考文献 : 0.0158[m³]

計算値 : 0.0159[m³]

0.6%の誤差で一致

管路の上流から580mの位置での圧力水頭の時間変化



圧力の最大/最小値・振動周期は実験値を良く再現できている

2. Advance/FrontNet/ΩのV&V (3/8)

2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析

■ 目的

LNG輸送システムにおける運転条件変更による水撃検討のため、緊急遮断弁を閉鎖した時の水撃値を実測したデータ※2と計算値を比較し、

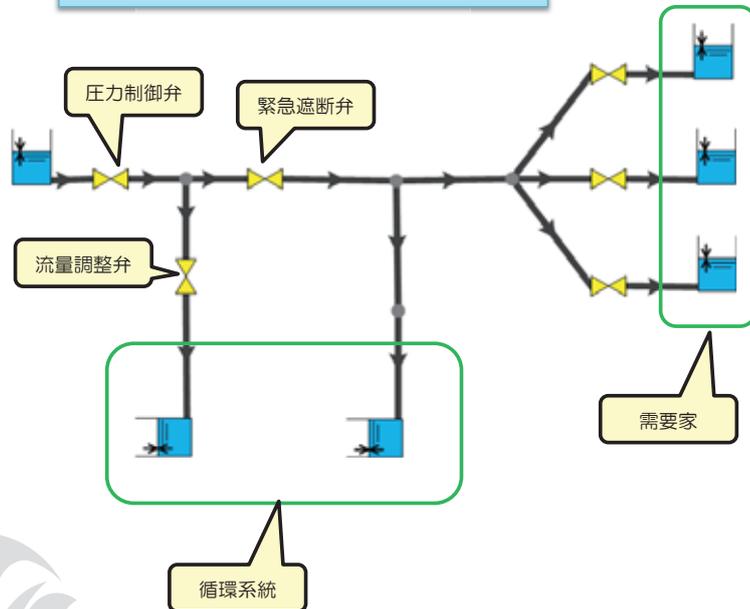
- ① 水撃（液撃）による圧力変化の再現性を確認する

※2 民間企業様ご提供

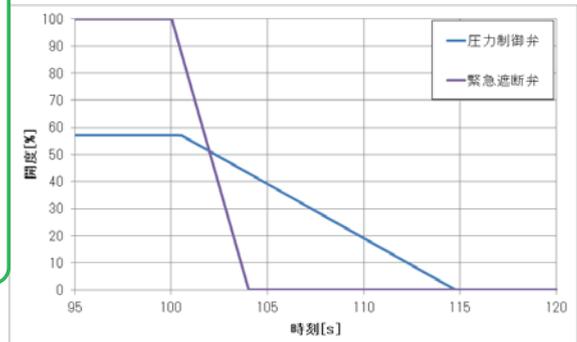
2. Advance/FrontNet/ΩのV&V (4/8)

2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析

LNG輸送システムの概要



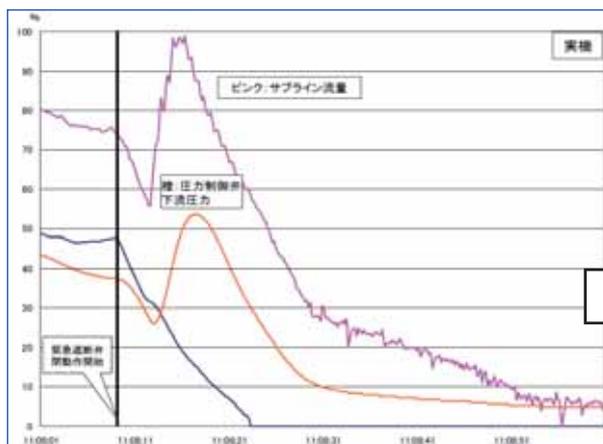
緊急遮断弁・圧力制御弁閉鎖条件



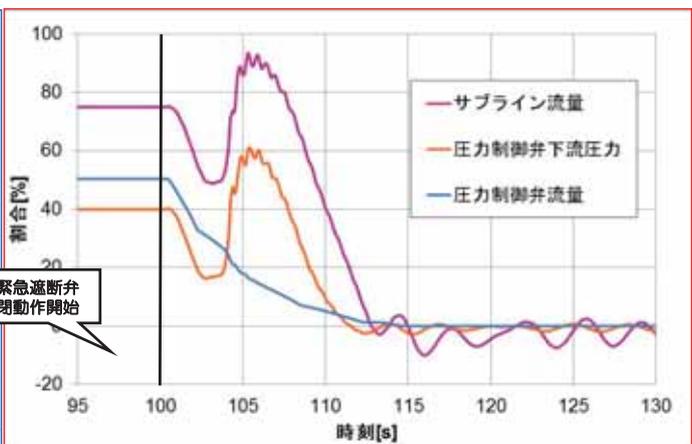
2. Advance/FrontNet/ΩのV&V (5/8)

2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析

実機試験結果



解析結果



解析結果と実機試験結果を比較すると、シミュレーションでは測定のパラメータの振る舞いをよく捉えることができ、圧力ピーク値も+10%程度危険側（安全設計側）に評価

2. Advance/FrontNet/ΩのV&V (6/8)

2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析

■ 目的

以下の項目を実測データ※3との比較によって確認する

- ① ポンプトリップ時の水撃による圧力変化
- ② 空気弁の機能確認（負圧防止）
- ③ 空気弁の管内空気排出時の遅れ水撃の再現性

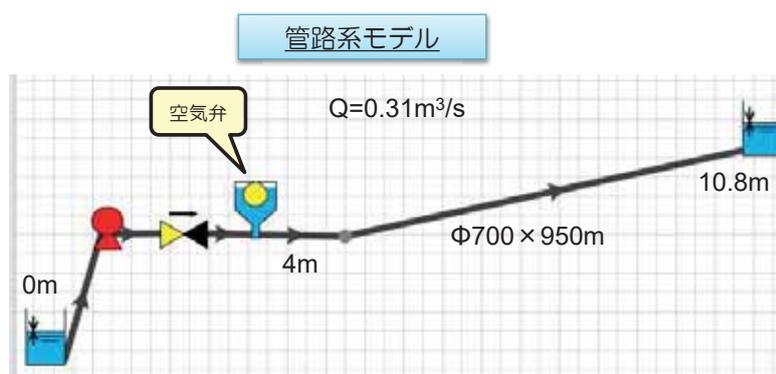
※3 中田 信夫, 三輪 俊夫, 田中 和男, 藤原 実, "空気弁による水撃防止", エハラ時報, 第114号, p39, (1980) .

空気弁の設置位置/サイズによっては、空気排出時の再結合によってかなり大きな圧力上昇が発生する恐れがある
 ポンプ場の送水管路で起きた実際の現象で、空気弁を取り付けた状態で圧力上昇が発生する例を紹介する



2. Advance/FrontNet/ΩのV&V (7/8)

2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析

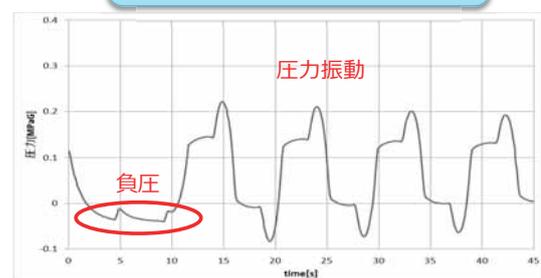
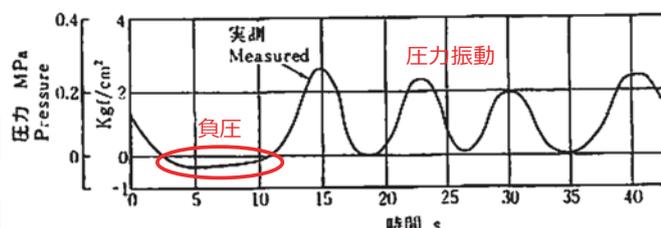


ポンプ諸元は空気弁がない場合の実測値から推定

ポンプトリップによる圧力振動周期、最大値等を再現

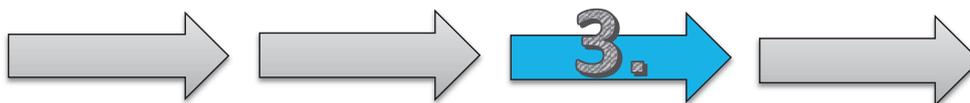
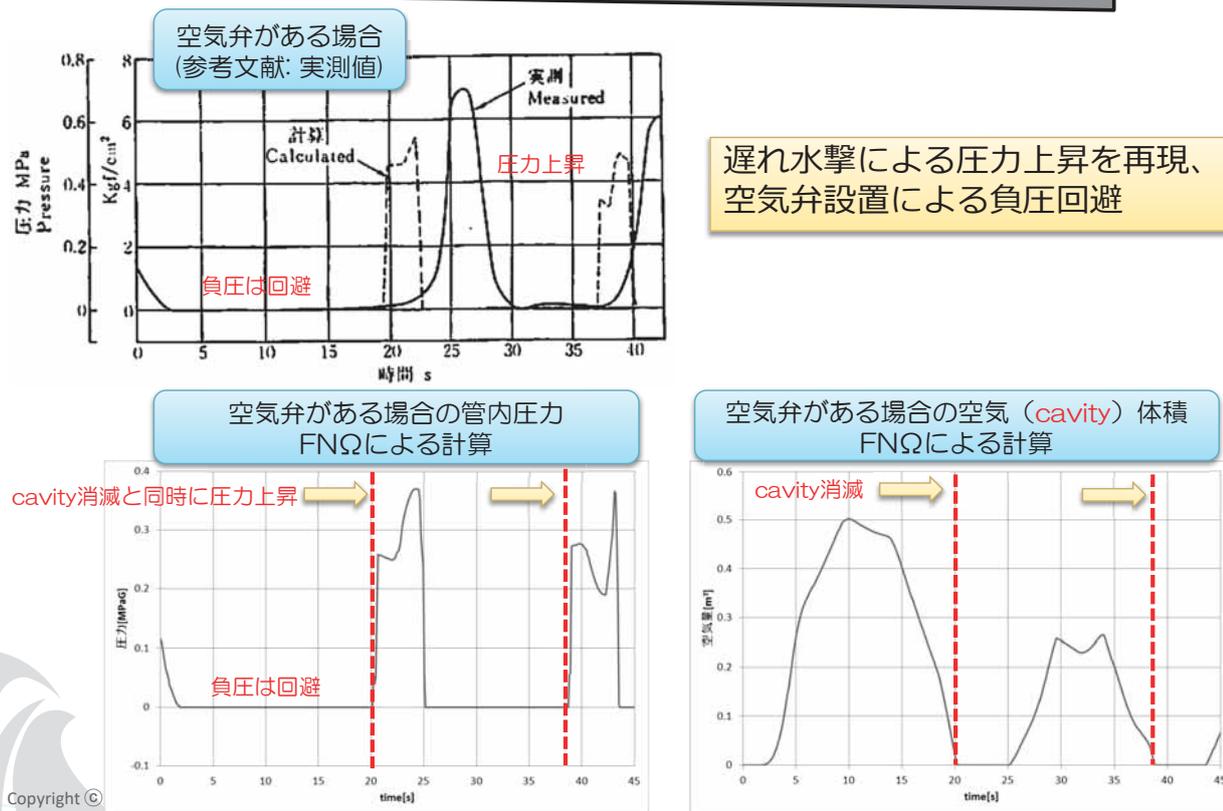
空気弁がない場合
(参考文献：実測値)

空気弁がない場合
(FNΩによる計算)



2. Advance/FrontNet/ Ω のV&V (8/8)

2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析



1. Advance/FrontNet/ Ω の概要

2. Advance/FrontNet/ Ω のV&V

- 2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較
- 2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析
- 2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析

3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介

- 3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析
- 3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)
- 3.3 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)

4. まとめと今後の課題

3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (1/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

- ・ 通常のシミュレーションでは、ポンプの完全特性データがないことが多く、QH特性を用いた解析を行う
(逆流や逆回転領域を考慮しない)
- ・ 逆止弁のない大口徑に接続したポンプでは逆流発生のため**逆流・逆回転領域まで考慮**する必要がある
- ・ ポンプの**完全特性**を考慮したプラント圧力応答解析の事例を紹介する

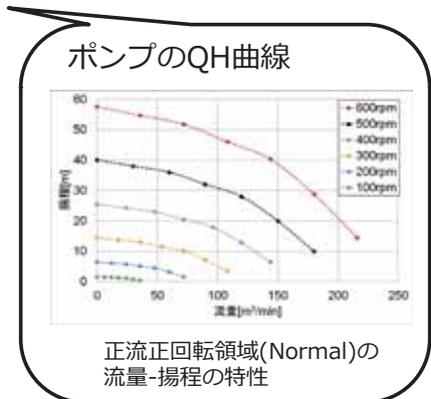
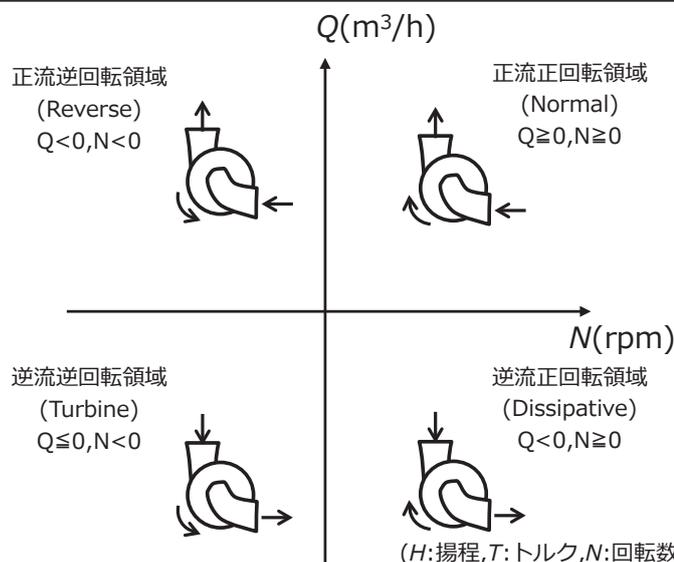


3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (2/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

ポンプの完全特性とは

正回転-逆回転, 正流-逆流状態にあるポンプの運転状態を表すH,T,N,Qの特性



正流正回転領域(Normal)の流量-揚程の特性

通常のポンプの特性は正流正回転の領域で、逆流逆回転を水車領域、逆流正回転を制動領域、正流逆回転を逆転ポンプ領域という
 ※参考文献) Anthony Couzinet, Laurent Gros, and Daniel Pierrat, International Journal of Rotating Machinery Volume 2013 (2013), Article ID 279049

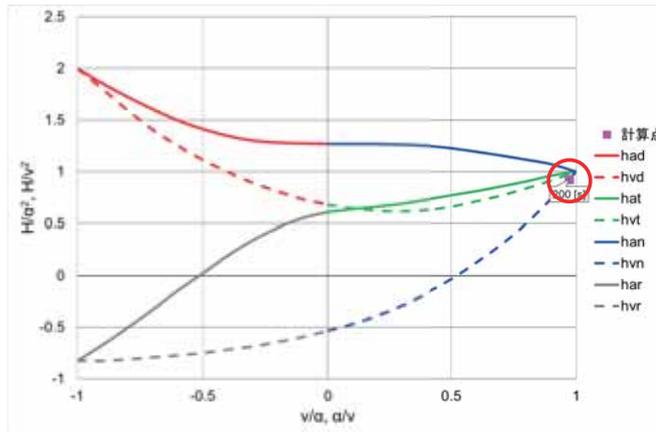
3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (5/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

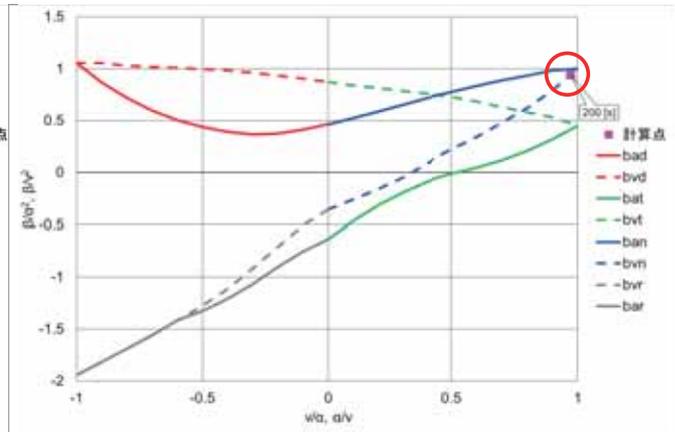
■ 解析結果

ポンプ特性データ (定常解析)

ヘッド曲線



トルク曲線



正流正回転 (HVN-BVN)
領域で整定

定常流量 : 4.62[m³/s]=277[m³/min]
ポンプ揚程 : 205[m]

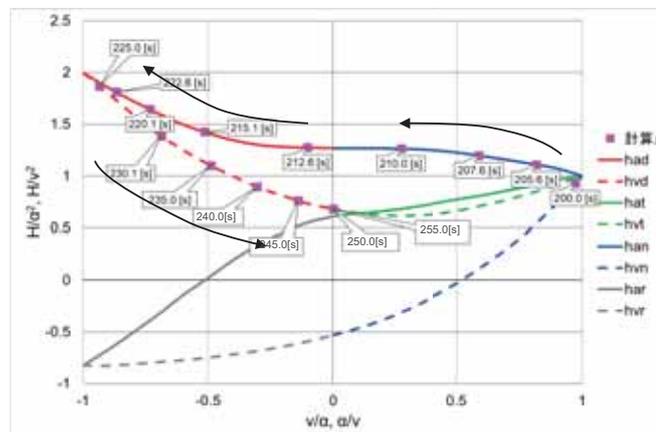
3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (6/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

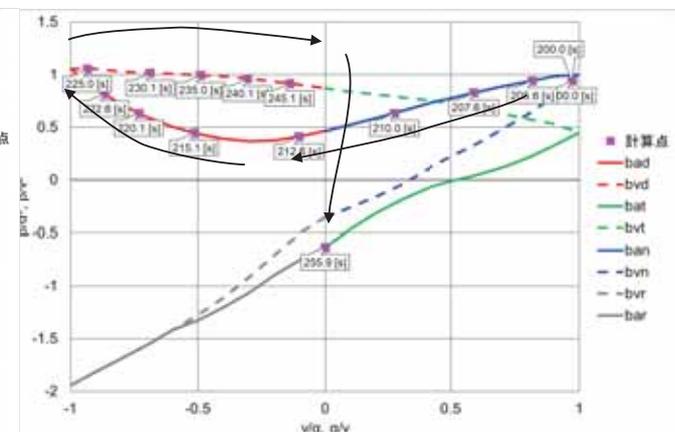
■ 解析結果

ポンプ特性データ (過渡解析)

ヘッド曲線



トルク曲線



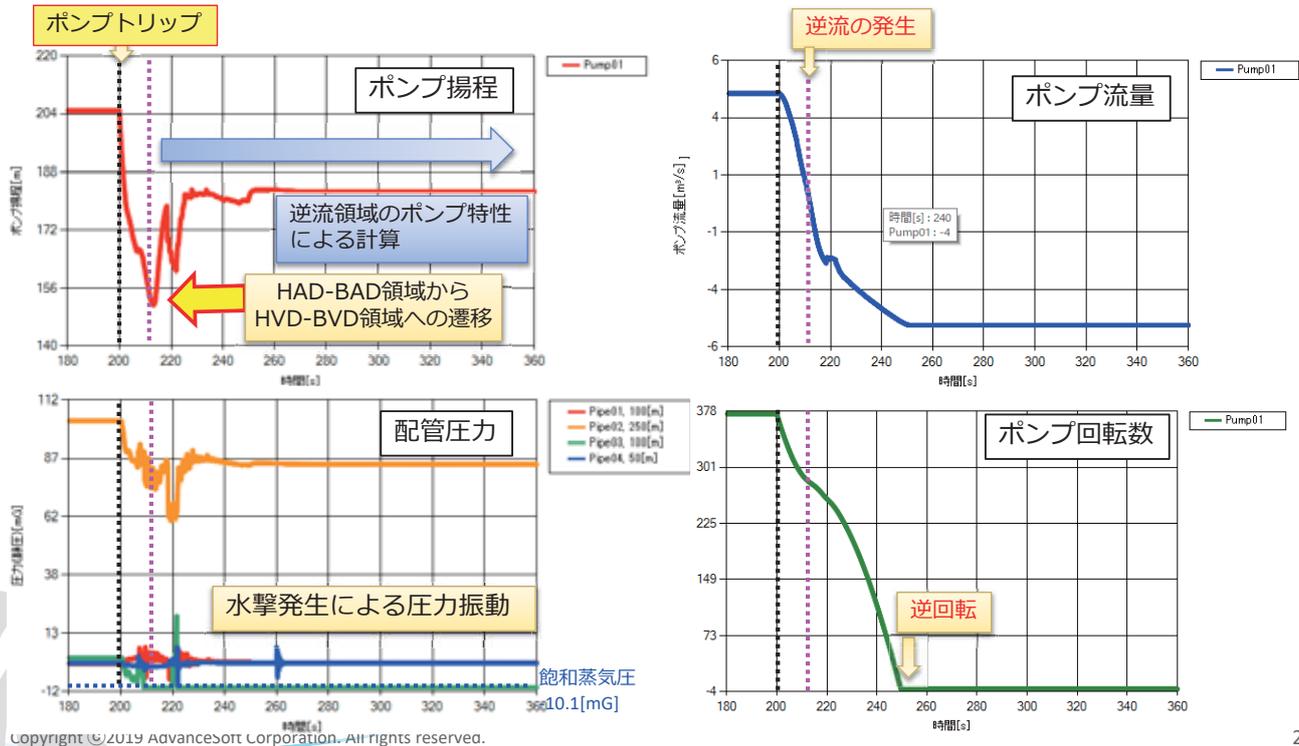
正流正回転(HVN-BVN, HAN-BAN)領域から
逆流正回転(HAD-BAD, HVD-BVD)領域を経て
逆流逆回転領域(HVR-BVR)に到達

3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (7/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

■ 解析結果

時系列データ (過渡解析)

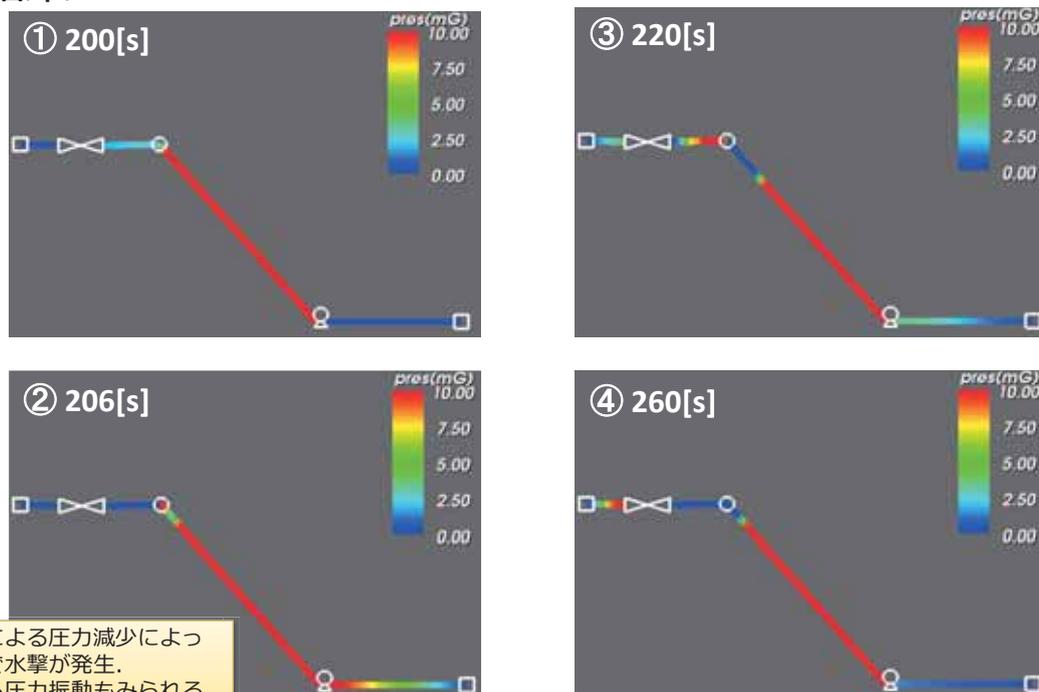


3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (8/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

■ 解析結果

圧力コンター図 (過渡解析)

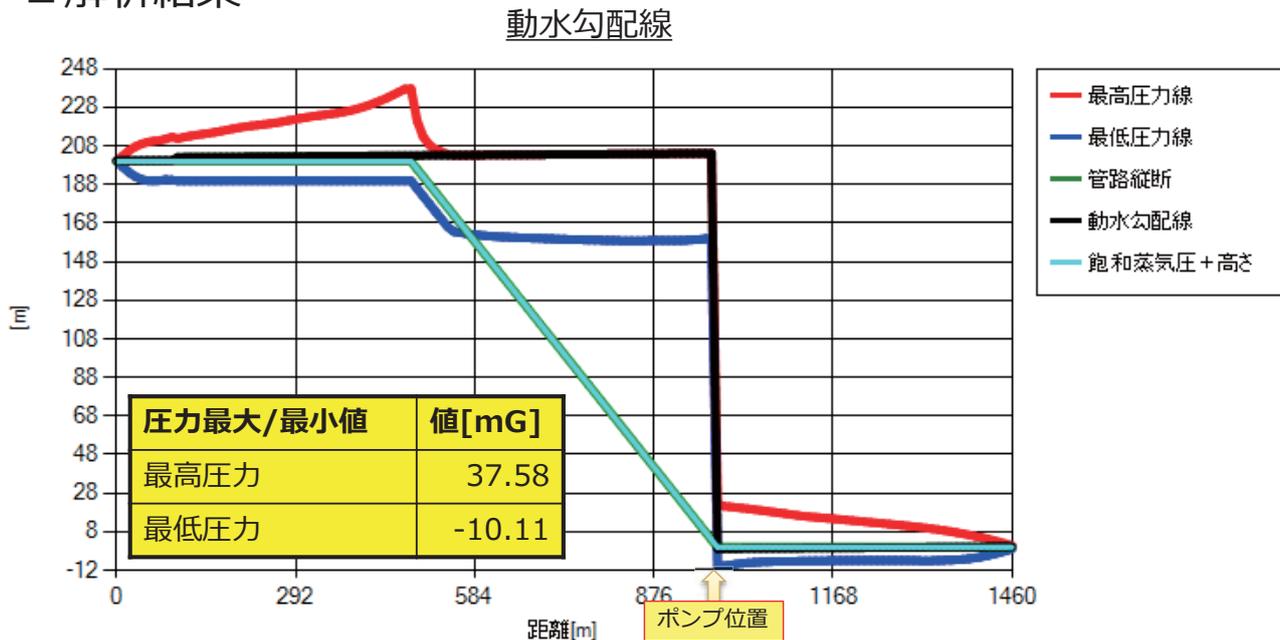


ポンプトリップによる圧力減少によって上り配管頂部で水撃が発生。バルブ遮断による圧力振動もみられる

3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (9/17)

3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析

■ 解析結果

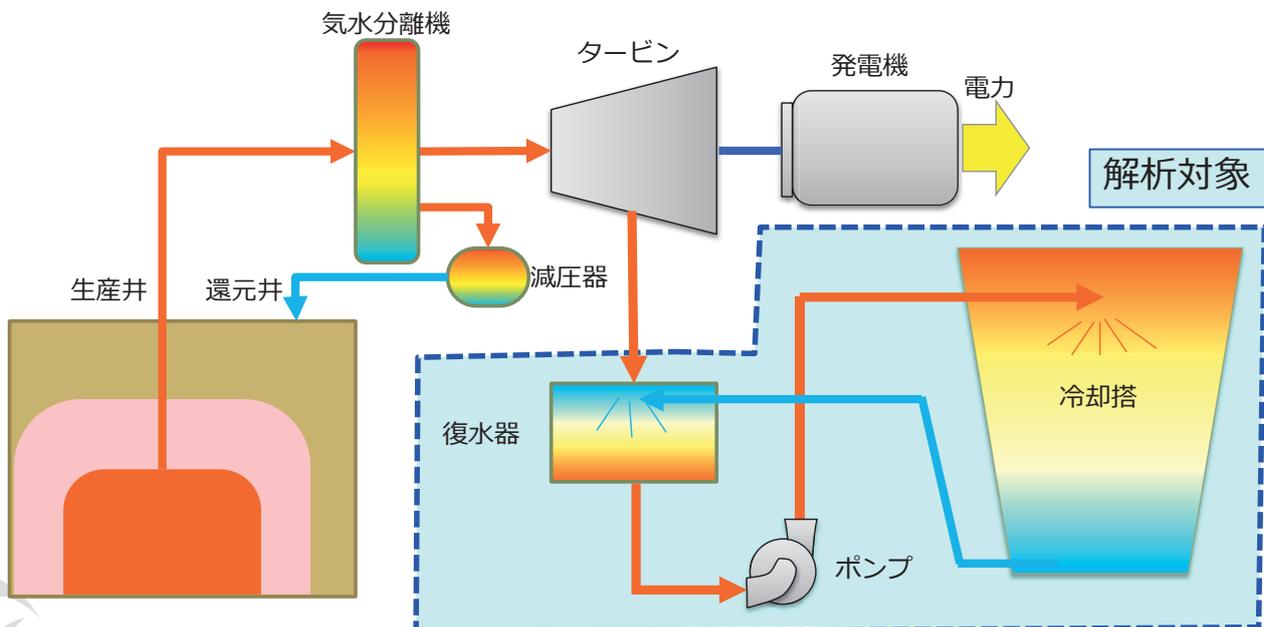


上り配管の頂部付近で圧力上昇がみられる。
水平管では飽和蒸気圧に達している領域が認められる。

3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (10/17)

3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)

地熱発電プラントの冷却系を想定した解析

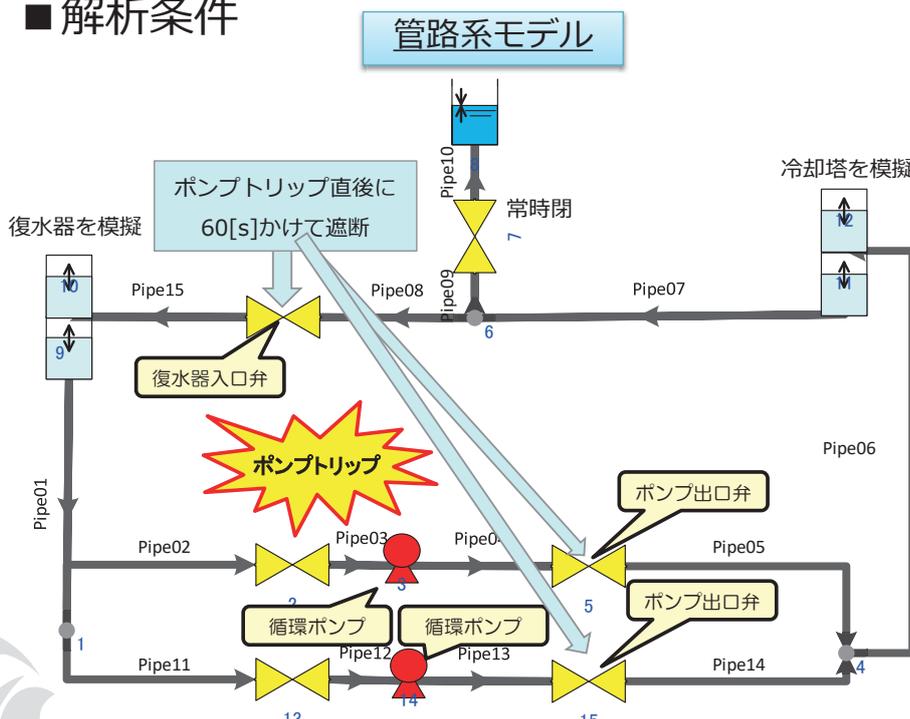


※参考 フリー百科事典『Wikipedia』地熱発電
(<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%9C%B0%E7%86%B1%E7%99%BA%E9%9B%BB>)

3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (11/17)

3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)

■ 解析条件



ポンプ条件：
 定格ヘッド: 12.0[m]
 定格流量: 175.4[m³/min]
 定格回転数: 375[rpm]
 定格効率: 0.855
 慣性: 2300[kgm²]

物性: 水@20℃
 ・管種: 鋼管
 ・管径: 1000~1200A

計算開始後500[s]後に、ポンプ2台同時トリップを想定した解析を行う

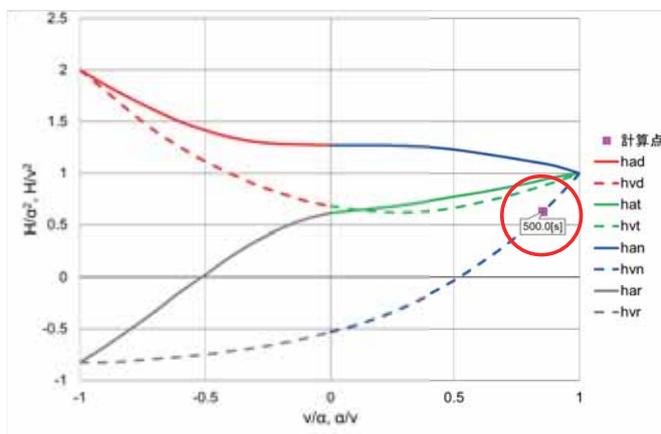
3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (12/17)

3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)

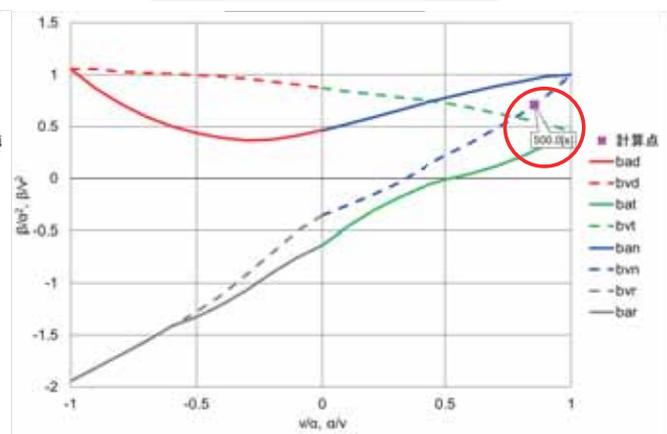
■ 解析結果

ポンプ特性データ (定常解析)

ヘッド曲線



トルク曲線



正流正回転(HVN-BVN)
 領域で整定

定常流量: 7.5[m³/s]=450[m³/min]
 ポンプ揚程: 4.2[m]

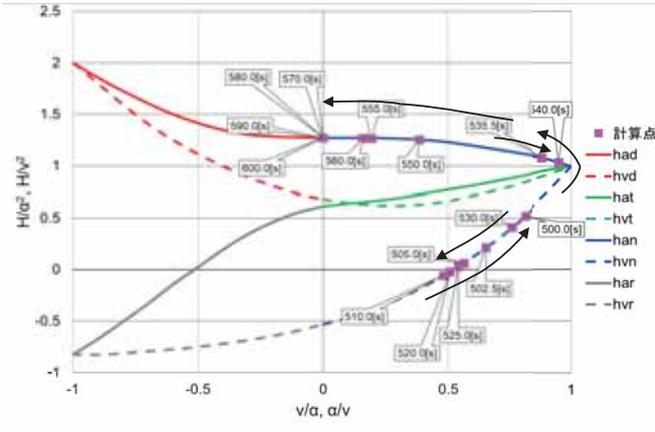
3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (13/17)

3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)

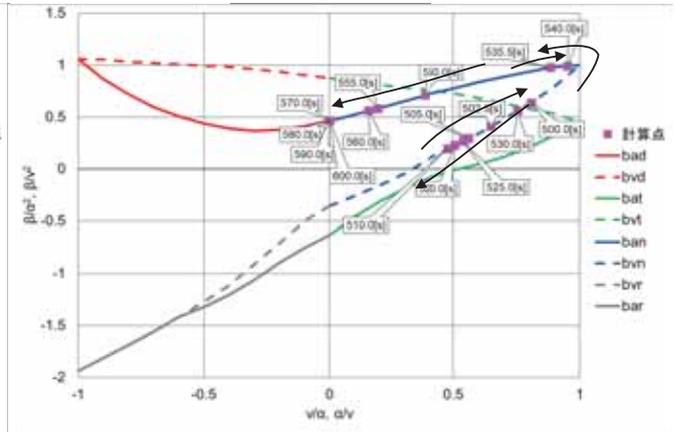
■ 解析結果

ポンプ特性データ (過渡解析)

ヘッド曲線



トルク曲線



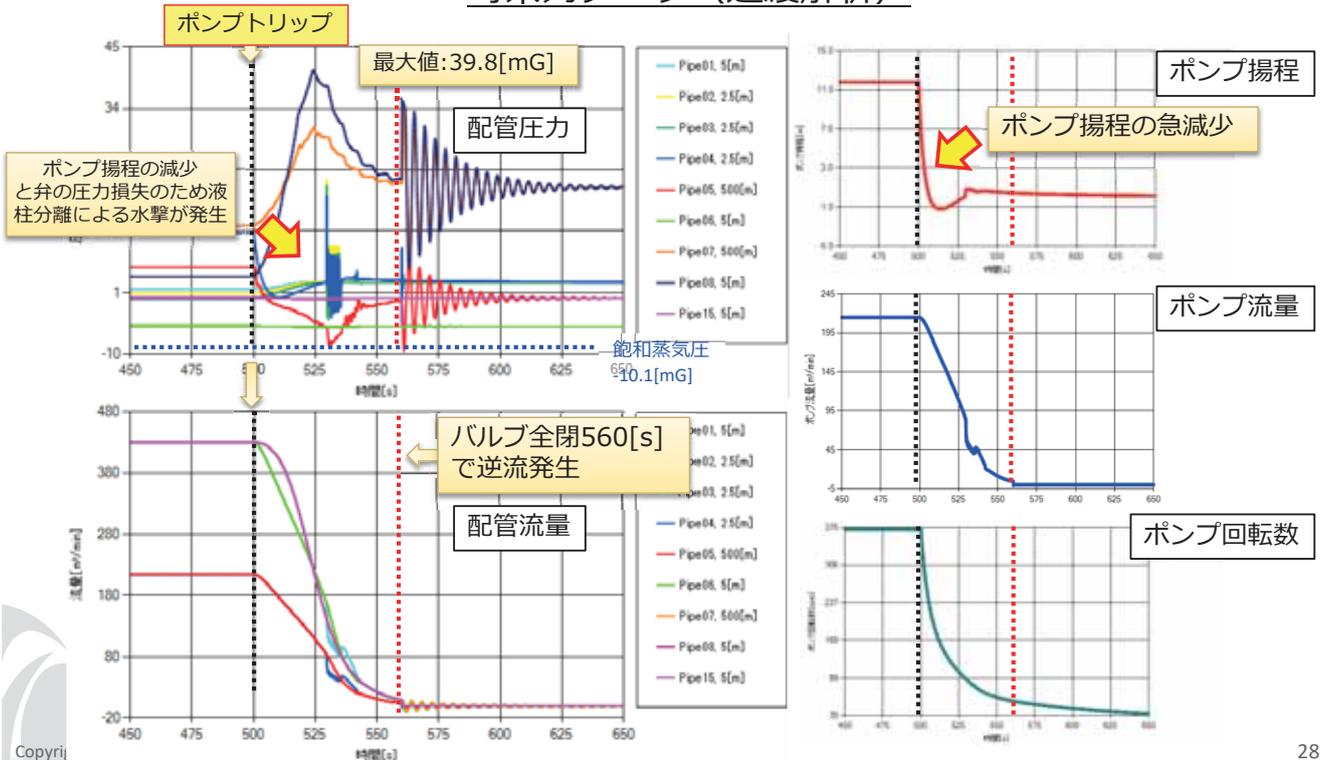
正流正回転(HVN-BVN, HAN-BAN)領域から
 逆流正回転(HAD-BAD)領域を移動

3. Advance/FrontNet/ Ω の事例紹介 (14/17)

3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)

■ 解析結果

時系列データ (過渡解析)



3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (15/17)

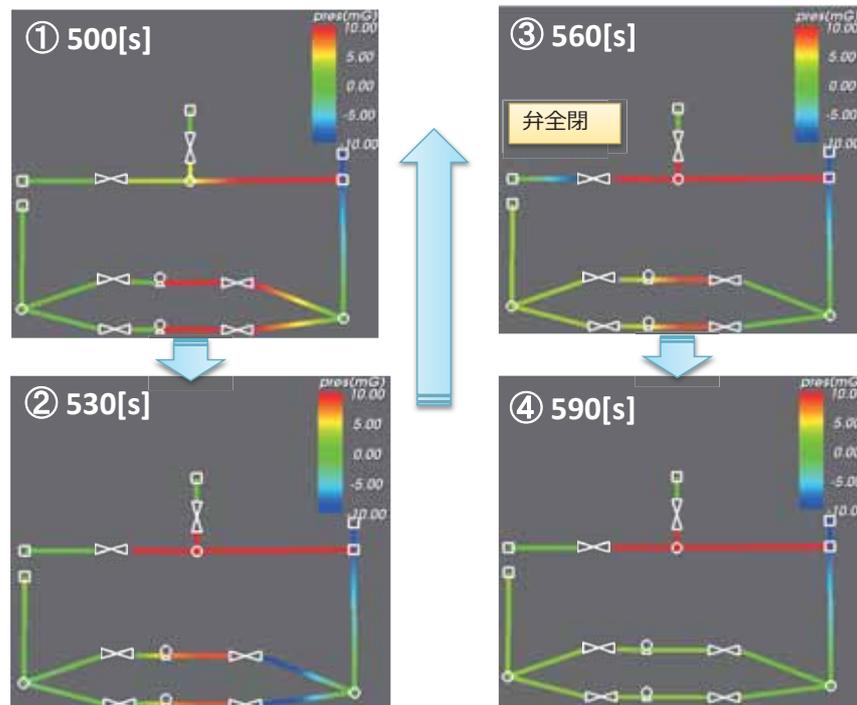
3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)

■ 解析結果

圧力コンター図 (過渡解析)

ポンプトリップによって揚程が急減少し、ポンプ出口弁の下流側で圧力が飽和蒸気圧まで下がって液中分離・再結合が発生。

その後、弁全閉時にも圧力振動がみられる



Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

29

3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (16/17)

3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)

・逆流や逆回転領域を考慮しないポンプトリップ解析の例

ポンプの完全特性データがない場合、Q-H特性曲線を考慮した解析を行う

通常のシミュレーションでは、ポンプの完全特性データがないことが多く、逆流や逆回転領域を考慮しないで解析する

■ 解析条件

管路系モデルやポンプの定格ヘッド、定格流量、定格回転数、定格効率、慣性は前例と同じデータを使用

Copyright ©2019 AdvanceSoft Corporation. All rights reserved.

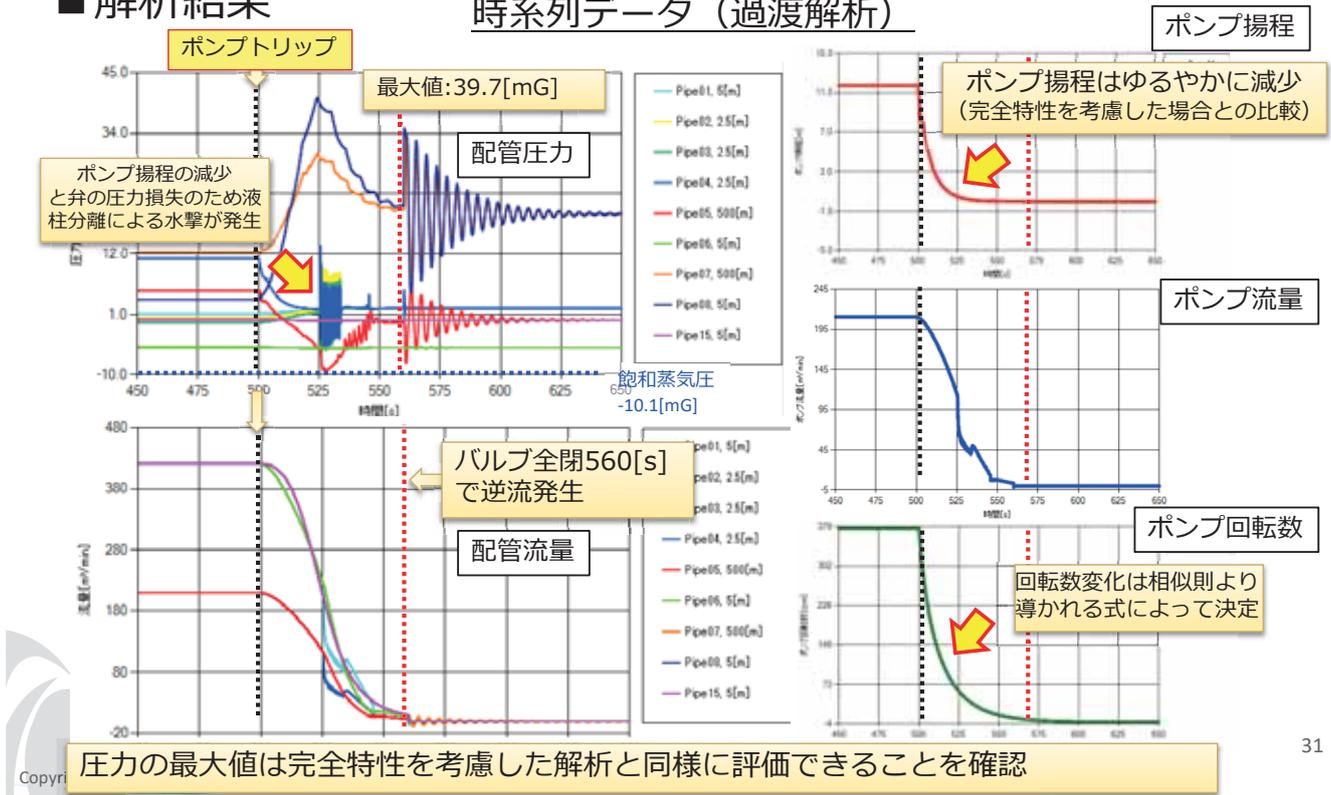
30

3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介 (17/17)

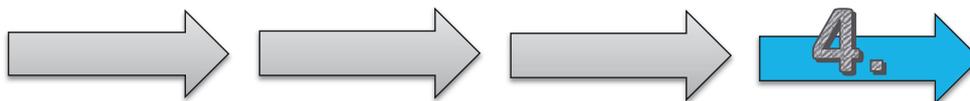
3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)

■ 解析結果

時系列データ (過渡解析)



31



1. Advance/FrontNet/Ωの概要

2. Advance/FrontNet/ΩのV&V

- 2.1 ポンプトリップ圧力変化の試験値との比較
- 2.2 LNG輸送システムの緊急遮断弁閉鎖時の過渡解析
- 2.3 空気弁のある管路系におけるポンプトリップ時の過渡解析

3. Advance/FrontNet/Ωの事例紹介

- 3.1 完全特性を考慮したポンプトリップ解析
- 3.2 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(完全特性あり)
- 3.3 プラント冷却系逆止弁のないポンプのトリップ解析(Q-H特性)

4. まとめと今後の課題

4. まとめと今後の課題

- V&Vでは、Advance/FrontNet/ Ω の圧力、流量の定常値、**過渡解析（水撃）**の精度を確認した。
- 事例紹介では、2つの対象についてポンプの完全特性を考慮した計算を行い、適用性を確認した。
 - ① ポンプの完全特性を考慮した逆流領域の解析が行われていることを確認した。
 - ② 完全特性を考慮しないポンプトリップ解析では、完全特性を考慮した解析とほぼ同等の結果が得られることが分かった。

完全特性を考慮した解析を行うことによって、逆流が顕著に起こるプラントのポンプトリップ解析でより実際に即した**リスク評価**を行うことができる。

- 今後の課題は、ソルバー新機能（エアチャンバーetc..）のGUI対応、データベース追加と計算設定機能の向上など。

管路系流体解析ソフトウェアの 機能紹介

熱流動エンジニアリングセンター 研究員 神長 龍一

管路系流体シミュレーションによるプラントリスク評価
2019年7月26日（金）
アドバンスソフト株式会社



目次

- 1 FrontNetの概要**
弊社が開発を進めている管路系流体ソフトウェアの概要を説明
- 2 FrontNet/Γの機能紹介**
管路系**流体**過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介
- 3 FrontNet/Ωの機能紹介**
管路系**液体**過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介
- 4 今後の開発計画**
2021年までのFrontNetの開発計画を説明



目次

1 FrontNetの概要

弊社が開発を進めている管路系流体ソフトウェアの概要を説明

- 1.1. 管路系流体解析
- 1.2. 解析ソフトウェア
- 1.3. GUI

2 FrontNet/ Γ の機能紹介

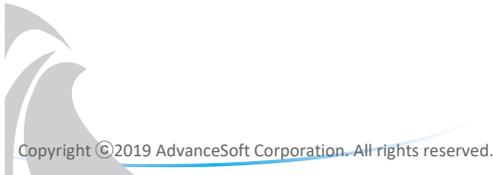
管路系流体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

3 FrontNet/ Ω の機能紹介

管路系液体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

4 今後の開発計画

2022年までのFrontNetの開発計画を説明



1.1. 管路系流体解析

管路系流体解析とは；管路内流体の流れを管路に沿った1次元の流れとして近似し、解析を行うこと



特徴

- 大きな領域（系全体）の解析が可能
- 様々な流体機器に対応



1.2. 解析ソフトウェア

扱う流体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

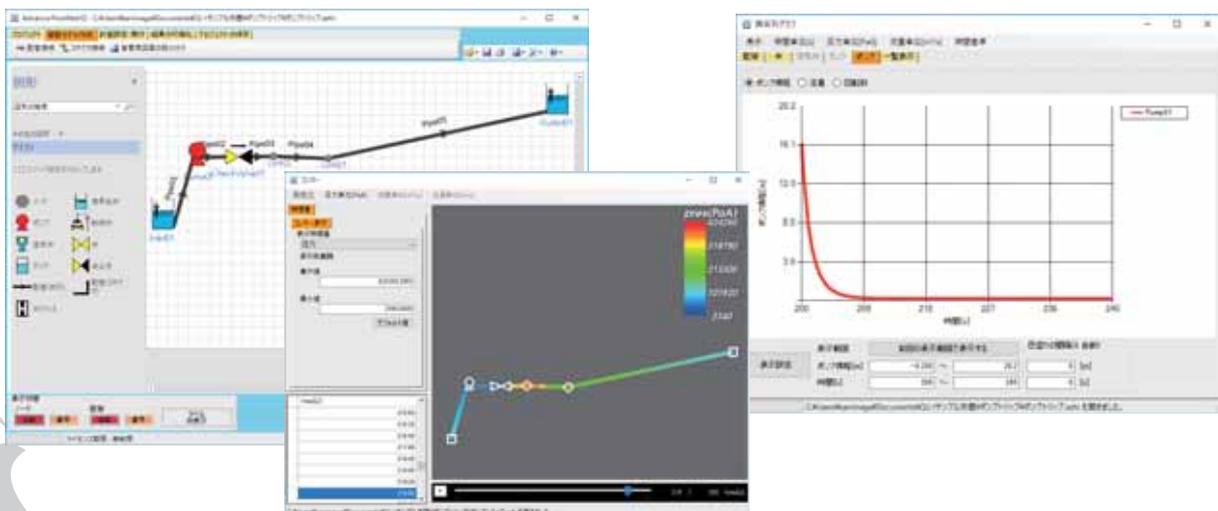
管路系流体解析

【Advance/FrontNet/ Γ 】
ガス・液・超臨界の单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

【Advance/FrontNet/ Ω 】
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

1.3. GUI (Graphical User Interface)

- 大規模な管路網も迷わず設定できるユーザーインターフェース
- 計算設定から計算結果の可視化までサポート
- 計算結果は様々な可視化に対応（解析ソフトウェアによって異なる）。



目次

1 FrontNetの概要

弊社が開発を進めている管路系流体ソフトウェアの概要を説明

2 FrontNet/ Γ の機能紹介

管路系流体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

3 FrontNet/ Ω の機能紹介

管路系液体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

4 今後の開発計画

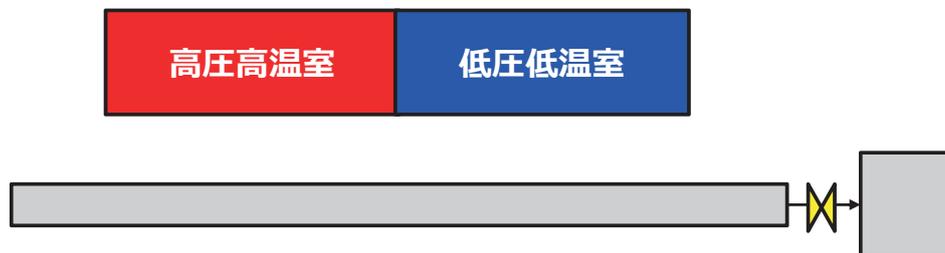
2022年までのFrontNetの開発計画を説明

- 2.1. 適用現象例
- 2.2. 主要実績
- 2.3. 機能概要
- 2.4. 基礎式
- 2.5. 実流体物性
- 2.6. 入出力まとめ
- 2.7. GUI
- 2.8. 紹介デモ
- 2.9. 新機能



2.1. 適用現象例

1 .ガスの圧縮波伝播や衝撃波の解析

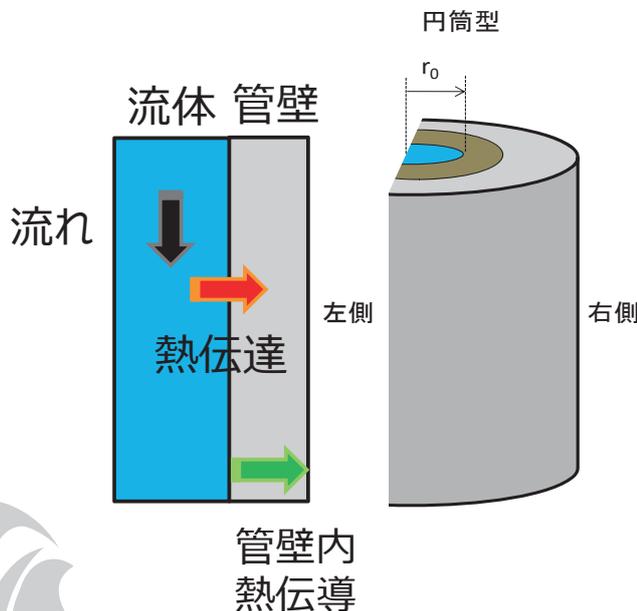


基礎方程式を忠実に解いているため、
圧力波が音速で伝わる現象や
衝撃波（圧縮波、膨張波）が出る計算をすることができます。



2.1. 適用現象例

2. 伝熱解析（熱伝達 + 熱伝導）



プラントやエンジン内にある熱源や熱交換器を模擬するために流れ場だけでなく、流体と構造物との間の熱伝達や構造物内の熱伝導を考慮することができます。構造物間の熱放射も考慮できます。

2.1. 適用現象例

3. 多成分ガス解析（組成変化、パーシ）



異なる物質からなるガスの分布を計算することができます。例えば、パーシ時の組成分布（何時間でパーシ完了か）などを計算できます。

CH₄:C₂H₆=
0.7:0.3→0.9:0.1



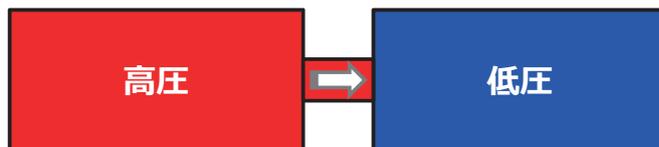
組成変動時の熱量変化を計算できます。

2.1. 適用現象例

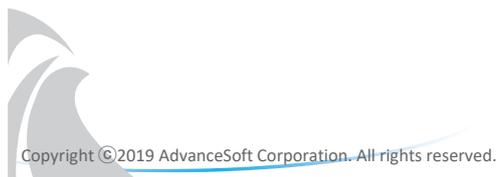
4. 臨界流（チョーク）解析

管内の流速が音速を超えない臨界状態になることを臨界流（チョーク流れ、窒息流れ）という。

FNΓでは臨界流モデルを使ってこれを模擬している。

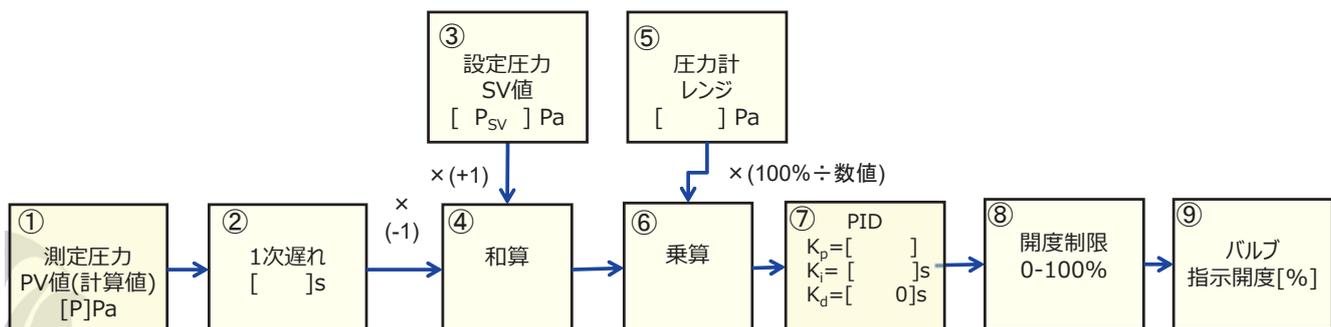
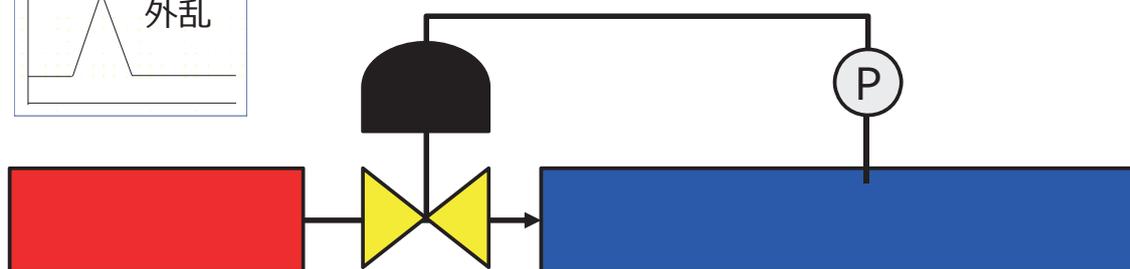
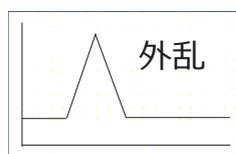


流速は音速相当で制限される。



2.1. 適用現象例

5. 制御系との連成解析



2.2. 主要実績

1. 都市ガス関連

- ・都市ガス低圧管路網地震時の供給停止に伴う圧力振動過渡解析
- ・都市ガス低圧管路網漏洩時の過渡解析
- ・都市ガス中圧導管網のブロック化時の過渡解析
- ・都市ガス高圧導管網の消費量の変動に伴う過渡解析
- ・LNG&LPGガス混合システムの熱量制御解析
- ・配管内にたまった水の蒸発量解析
- ・導管網窒素パーシ解析
- ・中圧導管網ミキシングタンク設置検討解析
- ・都市ガス高圧管路系制御バルブのPID過渡解析
- ・LNG&LPGガス混合システム異常時熱量変動解析
- ・都市ガス管路網真空ポンプ使用時の過渡解析

2. 火力・原子力関連実績

- ・火力発電所バルブ操作時間検討解析
- ・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
- ・火力発電所排熱回収ボイラー制御性解析

3. 宇宙関連実績

- ・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開発
- ・液体燃料エンジンシステム再生冷却部配管閉塞時の過渡解析(3次元熱伝導解析)
- ・液体燃料エンジンシステム定常解析
- ・3次元構造亀裂進展解析シミュレータとの連成解析

4. その他

- ・高速列車のトンネル突入/退出時の圧力波解析
- ・燃料電池圧損解析

2.3. 機能概要 (1/2)

流体	基礎方程式	圧縮性を考慮した、①質量保存式（単成分/混合成分）、②運動量保存式、③エネルギー保存式、④状態方程式（実流体物性/単成分・混合成分の理想気体）
	格子スキーム	ポリウム・ジャンクション法
	時間発展スキーム	Euler予測子修正子（陽解法）、陰解法
	対流項のスキーム	1次精度風上差分、流束制限関数付きTVD法（minmod, superbee）
固体	基礎方程式	1次元非定常熱伝導方程式
	形状	板型または円筒型（中空、中実）
物理モデル		①管摩擦損失モデル、②臨界流モデル、③流体固体間対流熱伝達モデル、④固体間の熱放射熱伝達モデル、⑤乱流効果を考慮した濃度拡散解析モデル、⑥パッシブスカラー輸送モデル
流体機器	配管	直管
	弁	ONOFF弁（任意の開度時間変化に対応）
		圧力制御弁（1次遅れ、PIDを考慮）
	送風機	流量に応じて昇圧
	タービン	流量に応じて減圧、エネルギー降下の考慮
	熱交換器	流路と固体構造物の熱伝達および固体構造物内の熱伝導を考慮
ガスホルダー	体積を考慮	

2.3. 機能概要 (2/2)

入力	形状情報、接続情報、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



2.4. 基礎式

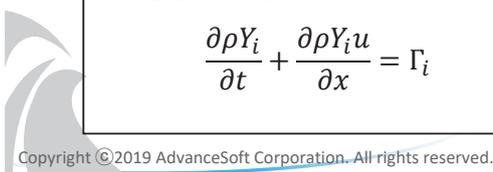
単成分

質量保存式	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0$	ρ : 密度、 u : 速度
運動量保存式	$\frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial \rho u u}{\partial x} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{1}{2L} K \rho u^2 = 0$	E : 全エネルギー(= $\rho e + \frac{\rho u^2}{2}$)、 e : 内部エネルギー、
エネルギー保存式	$\frac{\partial E}{\partial t} + \frac{\partial (E + p)u}{\partial x} = \frac{\lambda A (T_w - T_f)}{V}$	T : 温度、 p : 圧力、 λ : 熱伝達率、 A : 流路断面積、 T_w : 壁面温度、 T_f : 流体温度、 V : 体積、
状態方程式	$p = f(\rho, e), T = g(\rho, e)$	f, g : 状態方程式

多成分

多成分ガスを取り扱う場合、
質量保存式中で各ガス成分の質量分率を考慮

質量保存式	質量分率	平均分子量	モル分率
$\frac{\partial \rho Y_i}{\partial t} + \frac{\partial \rho Y_i u}{\partial x} = \Gamma_i$	$\sum Y_i = 1$	$\bar{M} = \frac{1}{\sum \frac{Y_i}{M_i}}$	$X_i = \bar{M} \frac{Y_i}{M_i}$



2.5. 実流体物性

単相（ガス、液体、超臨界）の物性を取り扱う場合に、状態方程式として、REFPROPベースの実流体物性を使用することができる。

REFPROP

NIST（米国国立標準技術研究所：National Institute of Standards and Technology, USA）で研究・開発されたデータベース。

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を使用している。

URL : <https://www.nist.gov/srd/refprop>



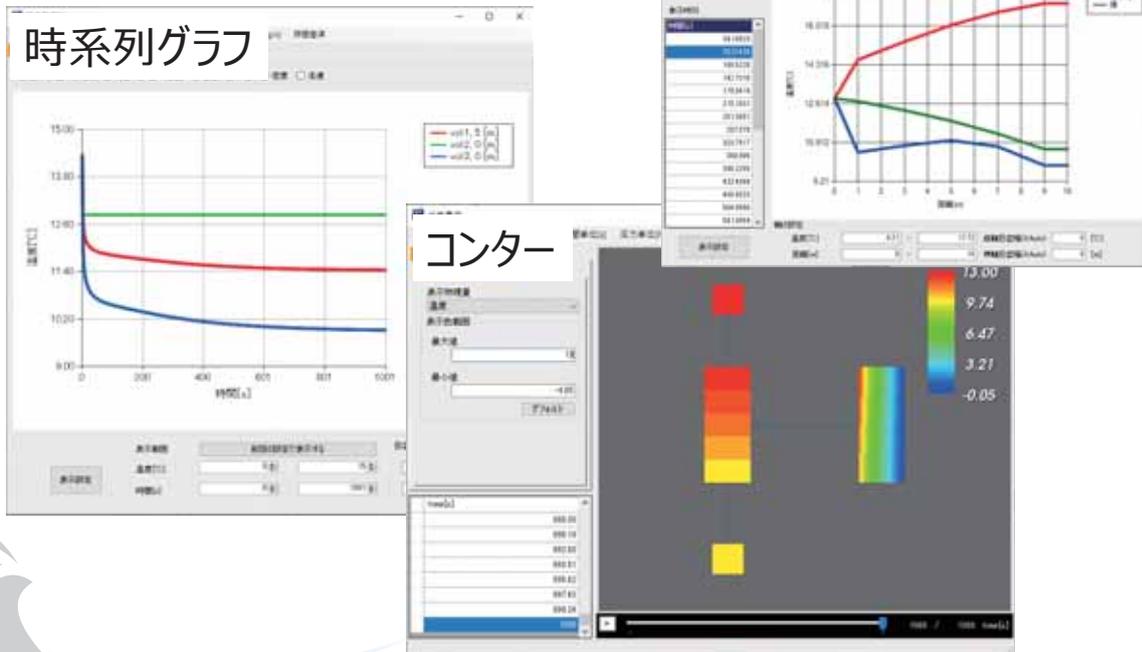
2.6. 入出力まとめ

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"> ・管路形状 ・境界条件 ・流体物性 	<ul style="list-style-type: none"> ・圧力、温度、密度、流量の管路内分布と時系列変化 ・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
②管路系解析 多成分ガス系	<ul style="list-style-type: none"> ・管路形状 ・境界条件 ・多成分ガス物性 	<ul style="list-style-type: none"> ①に加えて ・多成分ガスの組成（モル分率）の管路内分布と時系列変化
③管路系解析 + 伝熱解析	<ul style="list-style-type: none"> ・管路系情報 ・固体形状 ・固体物性 ・固体境界条件 	<ul style="list-style-type: none"> ・固体内温度分布と温度の時系列変化 ・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 ・冷却材の詰まり等で冷却機能を損失した場合の固体温度の時間変化と流量分配変化



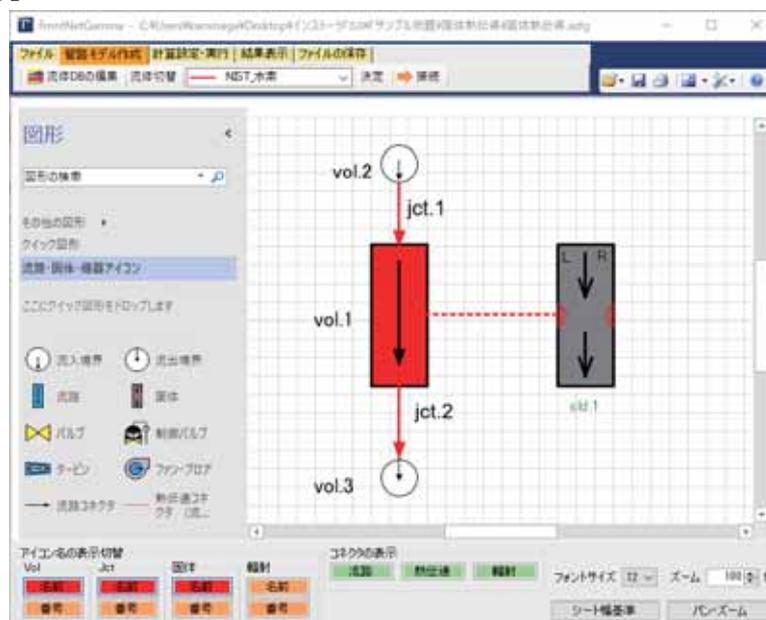
2.7. GUI (Graphical User Interface)

計算結果の様々な可視化に対応



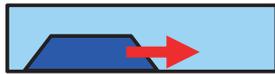
2.8. 紹介デモ

固体熱伝導



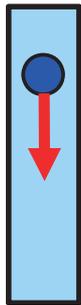
2.9. 新機能

ポラス移動モデル



物体の移動

流路のうち、何%を物体が占めているかを「ポラス値」で表すモデル。ポラス値を移動させることにより、移動物体も考慮できる。



物体の移動
(自由落下)

対象

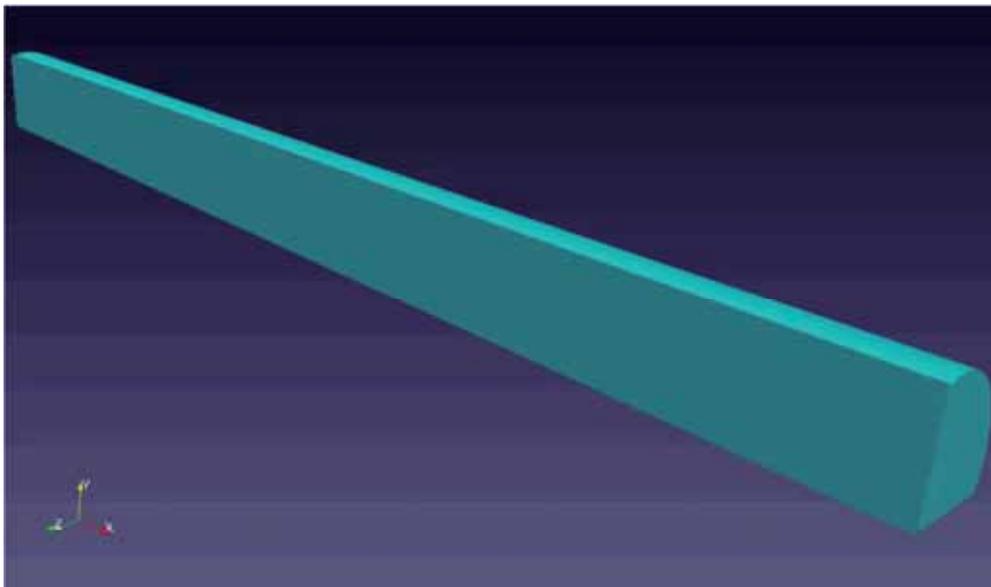
- ・フィルター、多孔質体、細管群
- ・高速列車のトンネル突入
- ・カプセル輸送 など

現在はGUI未対応、今後のバージョンアップで対応予定。

2.9. 新機能

ポラス移動モデル

- 4kmのトンネルに500km/hで新幹線が突入・退出する場合の圧力波伝播解析



2.9. 新機能

化学反応モデル（混合分率モデル）



CH4	a%	H2	c%
H2O	b%	O2	d%
		CO2	e%

機器の出口のモル濃度を指定するモデル。
システム全体の挙動に着目したいとき利用。

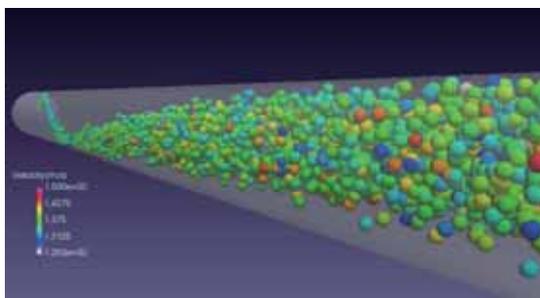
対象

- ・燃焼器
- ・改質器
- ・燃料電池 など

現在はGUI未対応、今後のバージョンアップで対応予定。

2.9. 新機能

粒子追跡モデル



Lagrange粒子のランダムウォークを考慮したモデルであり、管路内の粒子挙動を解析。

固体粒子、液滴、エアロゾル、気泡などの管路内挙動を解くことが可能。

流動場の乱流、流動場との熱交換を考慮。

現在はGUI未対応、今後のバージョンアップで対応予定。

目次

1 FrontNetの概要

弊社が開発を進めている管路系流体ソフトウェアの概要を説明

2 FrontNet/Γの機能紹介

管路系流体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

3 FrontNet/Ωの機能紹介

管路系流体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

4 今後の開発計画

2022年までのFrontNetの開発計画を説明

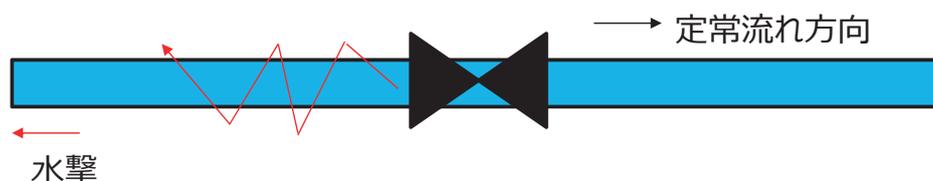
- 3.1. 特徴
- 3.2. 主要実績
- 3.3. 機能概要
- 3.4. 基礎式
- 3.5. 液柱分離モデル
- 3.6. 入出力まとめ
- 3.7. GUI
- 3.8. 紹介デモ
- 3.9. 新機能



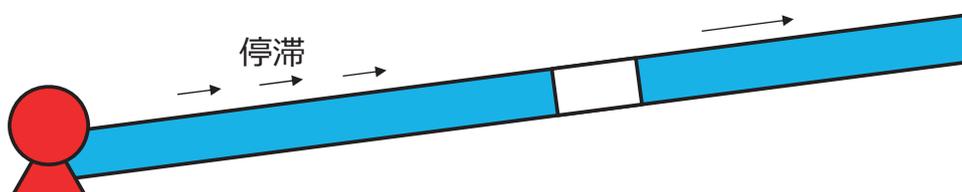
3.1 特徴

「水撃、液注分離」など液体の急激な現象解析に特化

- 水撃とは、バルブ急遮断時などに液体の運動エネルギーが圧力に変換され、大きな圧力上昇を起こす現象のこと



- 液注分離とは、ポンプトリップ時などに管の一部で水の圧力が低下し、飽和蒸気圧に至り水の一部が蒸気となる現象のこと



3.2. 主要実績

1. LNG・LPG関連実績

- ・ LNG輸送システム緊急遮断弁閉鎖時水撃解析
- ・ LNGパイプライン最適制御解析
- ・ LNGパイプラインポンプ始動解析
- ・ LPGローディングライン緊急遮断弁閉鎖時水撃解析

2. 発電・エネルギー関連実績

- ・ 地熱発電所配管網ポンプトリップ解析
- ・ 冷却システムONOFF弁過渡応答解析
- ・ 火力発電所海水冷却系ポンプトリップ解析
- ・ 核融合炉液体リチウムターゲット施設管路網水撃解析

3. 農業用水関連実績

- ・ 農業用パイプラインポンプ停止時水撃解析
- ・ 農業用パイプラインバルブ停止時間検討解析
- ・ 農業用パイプライン水槽形状検討解析
- ・ 農業用樹枝状パイプライン水撃解析

4. 上水道関連実績

- ・ 浄水場配管網ポンプトリップ時過渡解析
- ・ サージタンクがある浄水場配管網過渡解析
- ・ 浄水場配管網流量制御時の流量変動解析
- ・ 空気弁設置検討解析
- ・ エアチャンバー設置検討解析

5. その他実績

- ・ 深海探査用情報伝送システム圧力応答解析
- ・ 大規模建築物の給排水衛生設備配管ポンプトリップ時水撃解析
- ・ 人工衛星管路系の水撃解析
- ・ トンネル消火設備のポンプトリップ解析

3.3. 機能概要

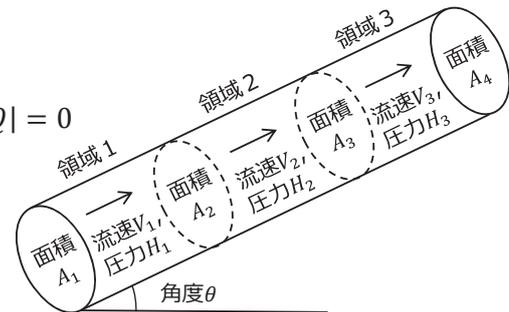
基礎方程式	質量保存式と運動量保存式		
数値解法	特性曲線法		
音速の取り扱い	配管材料から算出（管のたわみを考慮）		
流体機器	管	直管	
		弁	ONOFF弁（任意の開度時間変化に対応）
			圧力制御弁（1次遅れ、PIDを考慮）
			逆止弁
	空気弁		
	ポンプ	トリップモデル	
		始動モデル	
	タンク	通常タンク	
ワンウェイサージタンク			
物理モデル	①液注分離モデル、②管摩擦損失モデル		
入力	形状情報、接続情報、モデルパラメータ、計算パラメータ		
出力	各機器、管の全物理量の時系列データ		

3.4. 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 $\frac{\partial H}{\partial x} + \frac{1}{gA} \left(V \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial Q}{\partial t} \right) + \frac{\lambda Q}{2gDA^2} |Q| = 0$

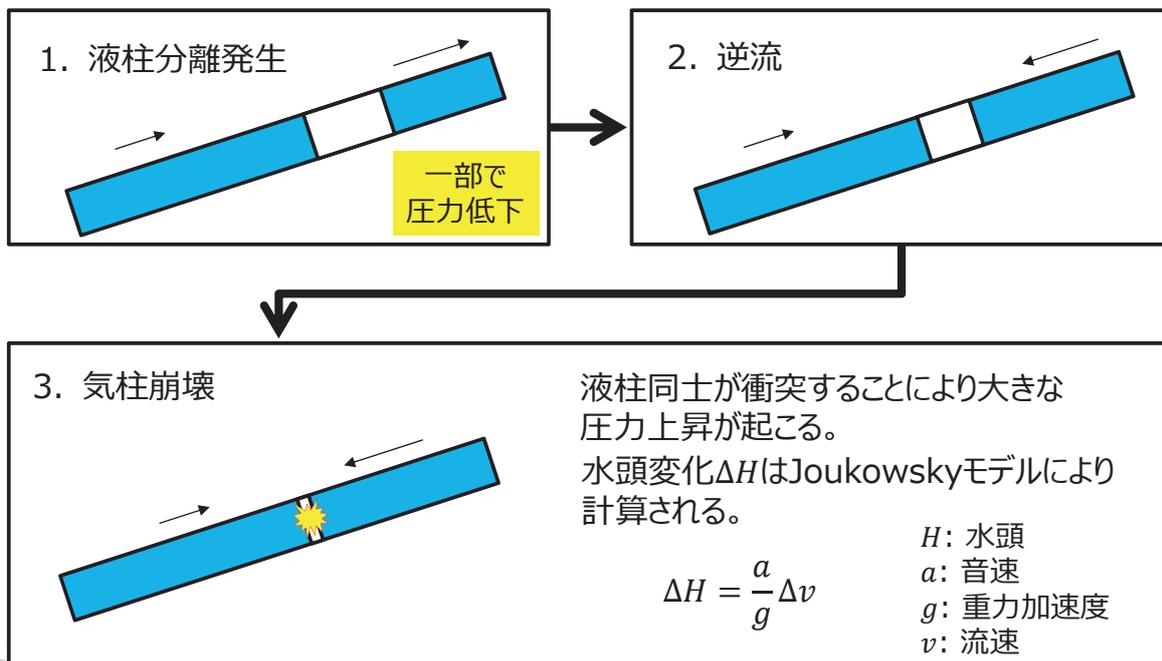
音速の式 $a = \sqrt{\frac{K}{\rho}} / \sqrt{1 + \frac{KD}{Ee}}$



H : Piezo水頭[m]、 V : 流速[m/s]、 A : 流路断面積[m²]、 Q : 体積流量 (= AV) [m³/s]、
 θ : 管勾配[rad]、 g : 重力加速度[m/s²]、 K : 液体の弾性係数[Pa]、 D : 管直径[m]、
 e : 管壁厚さ[m]、 E : 管路構造材のヤング率[Pa]、 λ : 管摩擦係数[-]、 a : 音速[m/s]

→これらの基礎式を「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

3.5. 液柱分離モデル



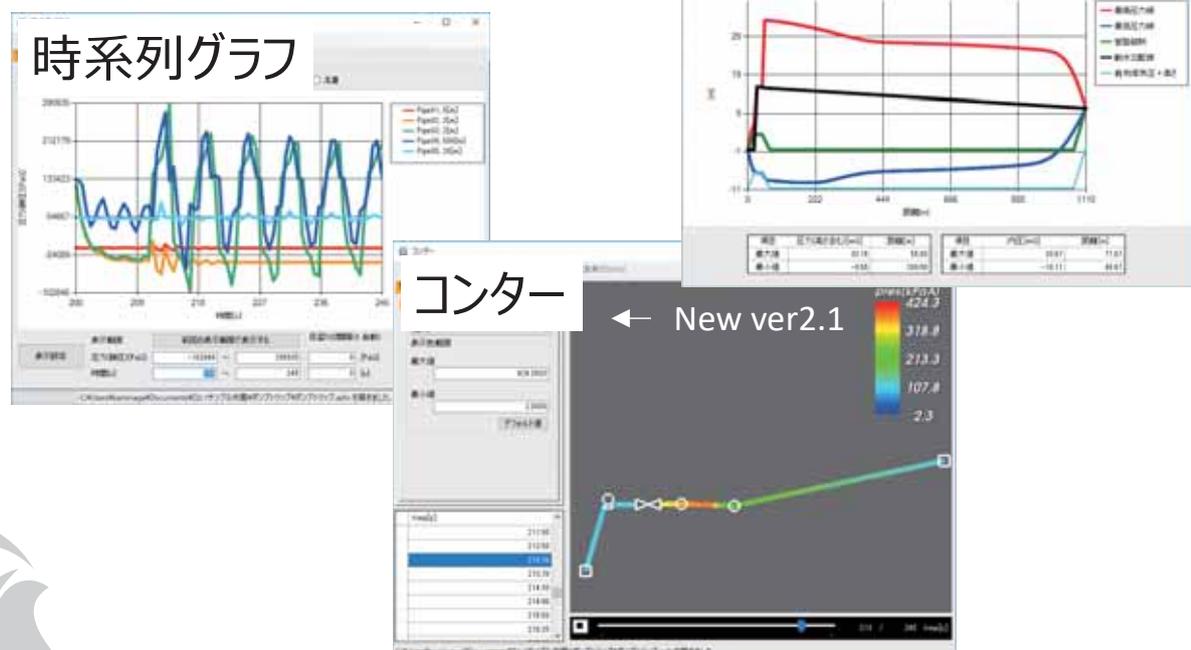
→これらのメカニズムをモデル化し、ソフトウェアに導入している。

3.6. 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、管摩擦損失モデル、液体物性	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
制御弁	1次遅れ、PID（比例ゲイン、積分時間、一次遅れ）、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	トリップ後、液注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、液注分離に効果があるかどうか

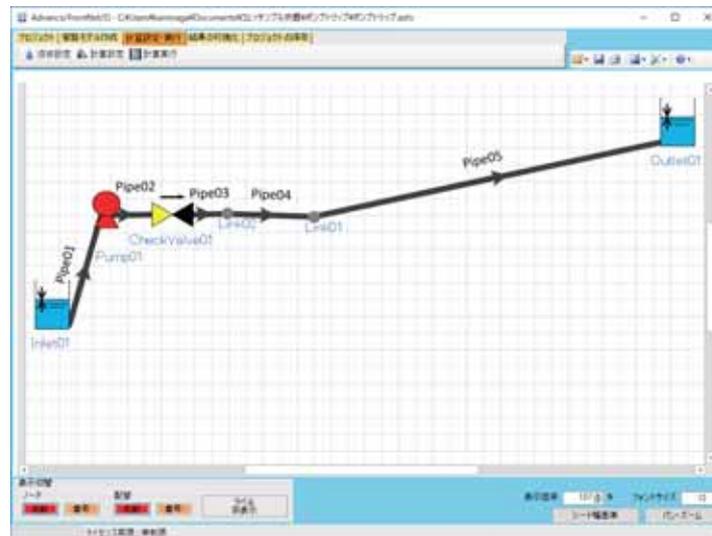
3.7. GUI (Graphical User Interface)

計算結果の様々な可視化に対応



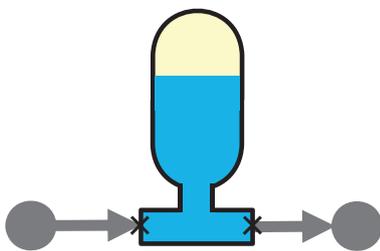
3.8. 紹介デモ

ポンプトリップ



3.9. 新機能

エアチャンバーモデル



空気室内の空気が圧縮・膨張することにより水撃を緩和。
空気だけでなく、窒素などの気体の設定も可。

基礎方程式

気体の状態方程式

$$P_{gas} V_{gas}^{\gamma} = const.$$

空気室内の液体積

$$\frac{dV_{liq}}{dt} = Q_{liq}$$

目次

1 FrontNetの概要
弊社が開発を進めている管路系流体ソフトウェアの概要を説明

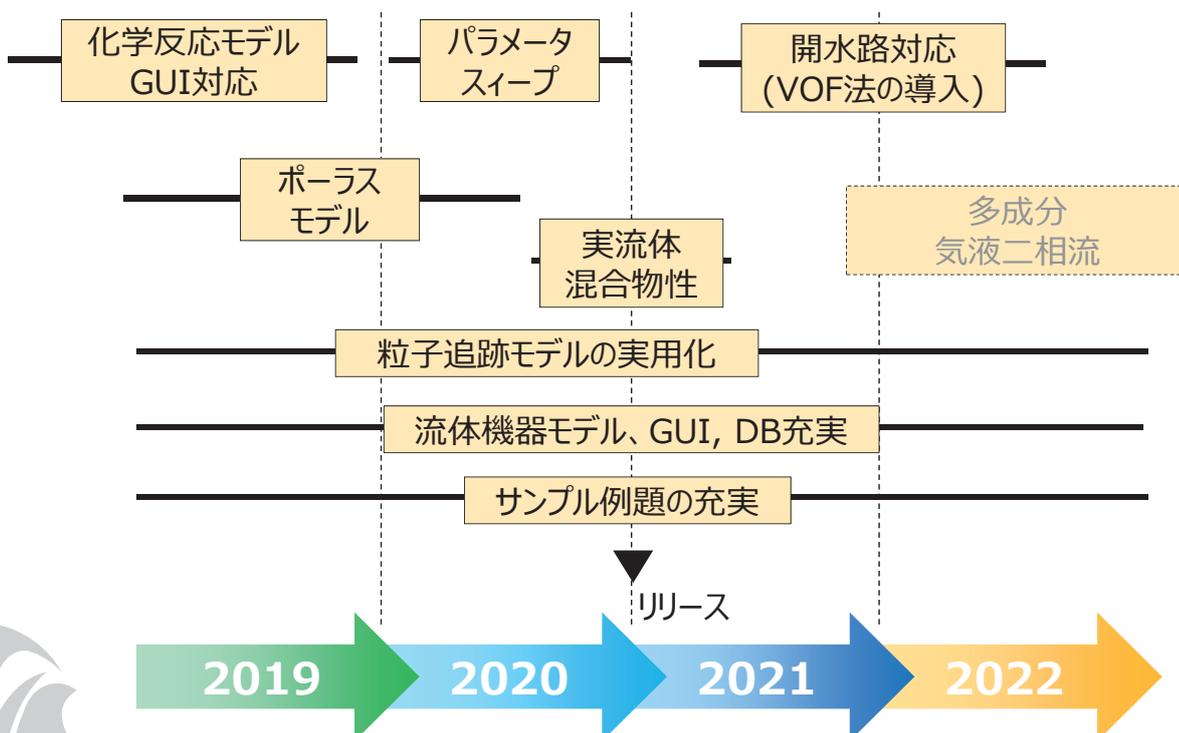
2 FrontNet/ Γ の機能紹介
管路系流体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

3 FrontNet/ Ω の機能紹介
管路系液体過渡解析ソフトウェアの特徴、実績、機能を紹介

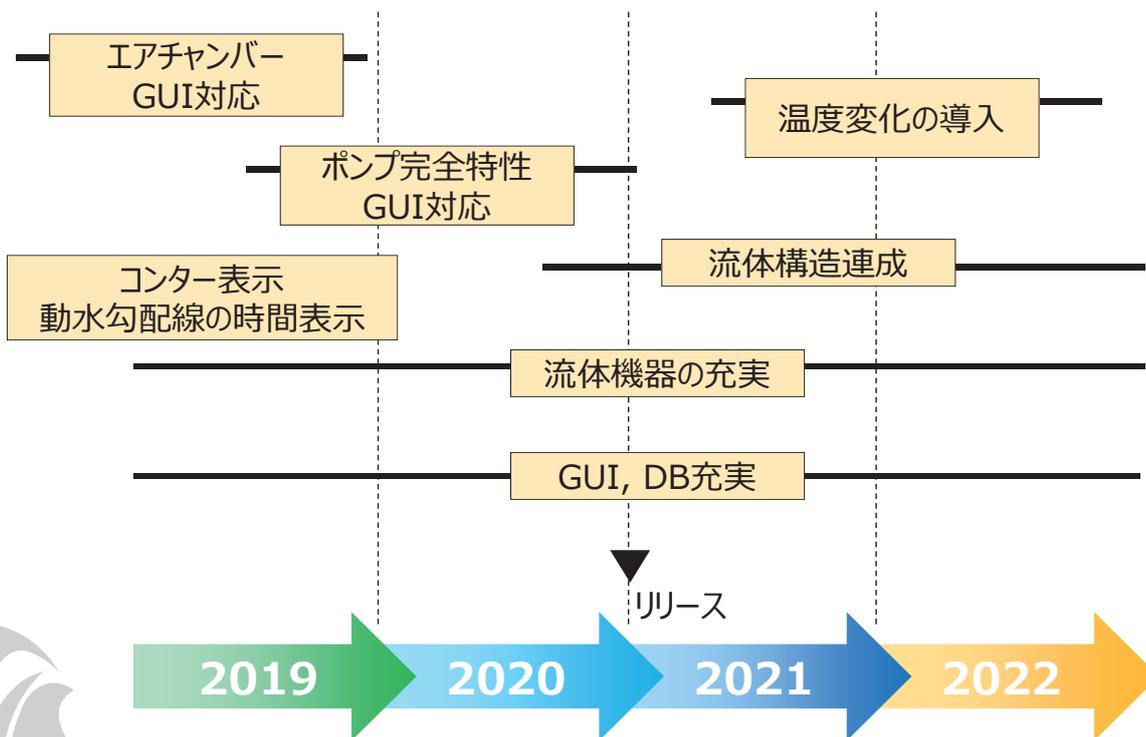
4 今後の開発計画
2022年までのFrontNetの開発計画を説明



4. 今後の開発計画 FrontNet/ Γ



4. 今後の開発計画 FrontNet/Ω

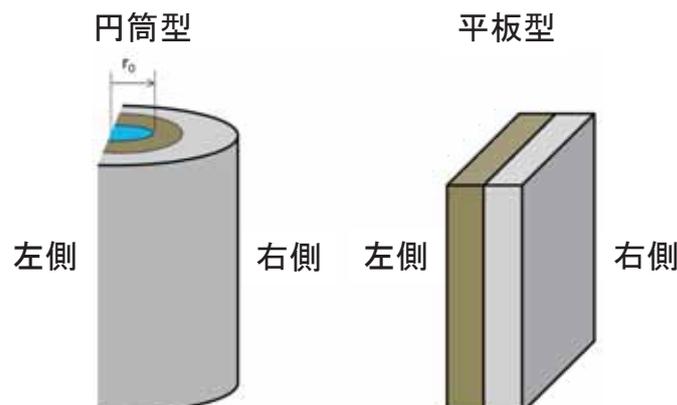


熱伝導

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

ρ : 固体密度、 C : 固体比熱、
 T : 固体温度、 κ : 固体熱伝導率、
 q : 固体の発熱、 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。



摩擦損失モデル

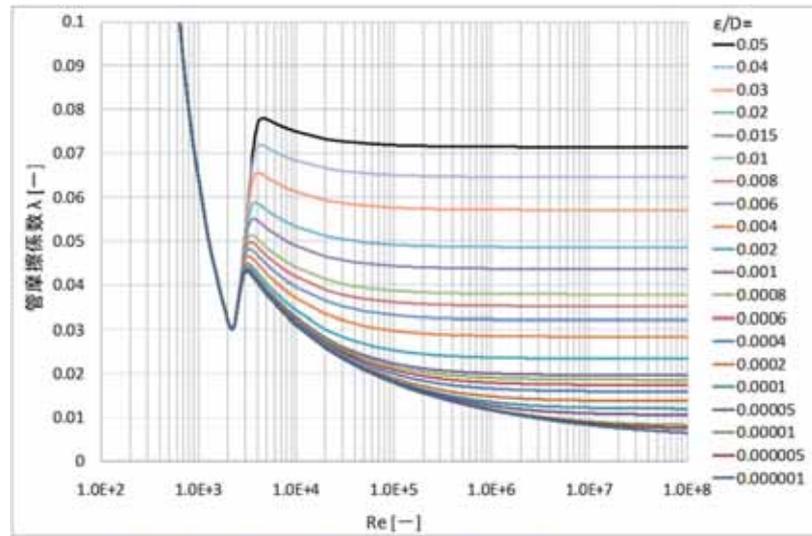
$$\lambda = 8 \left\{ \left(\frac{8}{Re} \right)^{12} + (A + B)^{-1.5} \right\}^{\frac{1}{12}}$$

$$A = (2.457 \log C)^{16}$$

$$B = (3.753 \times 10^4 / Re)^{16}$$

$$C = \frac{1}{(7/Re)^{0.9} + 0.27(\epsilon/D)}$$

$$\Delta P_{wall} = \lambda \frac{L}{D} \frac{1}{2} \rho u^2$$



Churchillの式による管摩擦係数

管路系流体過度解析ソフトウェア Advance/FrontNet/ Γ 動作環境

- 対応OS

Window7, 8.1, 10

- 必要ソフト環境

GUIを動作させるためにMicrosoft Visio2010,2013,2016に対応
(Microsoft VisioはMicrosoft社の製品のため、
別途ご購入いただく必要があります。)

- 推奨ハード環境

CPU 2.0GHz以上、メモリ350MB以上

- 32bit, 64bit対応



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

- 対応OS

Window7, 8.1, 10

- 必要ソフト環境

GUIを動作させるためにMicrosoft Visio2013, 2016が必要
(Microsoft VisioはMicrosoft社の製品のため、
別途ご購入いただく必要があります。)

- 推奨ハード環境

CPU 2.0GHz以上、メモリ350MB以上

- 32bit, 64bit対応



アドバンスソフトの開発・解析サービス <http://www.advancesoft.jp/>

お客さまのご要望に応じて科学技術計算ソフトウェアの
新規開発、機能追加、受託解析等のサービスをおこないます。



1. 流体・構造・ナノ関連など幅広い分野のソフトウェアを開発し、解析経験がある技術者がお客さまのご要望をお伺いいたします。

2. 最適な解析方法をご提案いたします。

3. お客さまのご了解が得られましたら、モデリングを行い、解析を実施いたします。

4. 解析結果を可視化し、解析結果の評価や考察を行なって報告書を作成いたします。



終わりに

ご清聴ありがとうございました。

アドバンスソフトは、高度な技術力、開発力、人材を武器に、最先端理論を応用した解析シミュレーションソフトウェアを開発・販売しています。受託解析、受託開発、パッケージソフトウェア、コンサルティング等多様なソリューションを通じて、お客さまの問題解決に即戦力として貢献します。

お問い合わせ先:ご担当営業まで
TEL:03-6826-3971 FAX:03-5283-6580
E-mail:office@advancesoft.jp



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。