

熱流体システムレベル解析シミュレーション Flownexの紹介

サイバネットシステム株式会社
デジタルエンジニアリング事業本部

The logo consists of a solid red rectangle. Inside this rectangle, there is a smaller, horizontally-oriented red rectangle. The word "CYBERNET" is written in white, bold, uppercase letters across the bottom of the larger red rectangle.

CYBERNET

- トータルシステムとサブシステムのモデリングソフト
- “熱流体システム”の性能予測および最適化に使用
- 熱伝達、熱慣性、流れの分岐および浮力流れなど考慮したシミュレーション（1Dの連続の式、運動量方程式、エネルギーの式を解く→1D CFD）

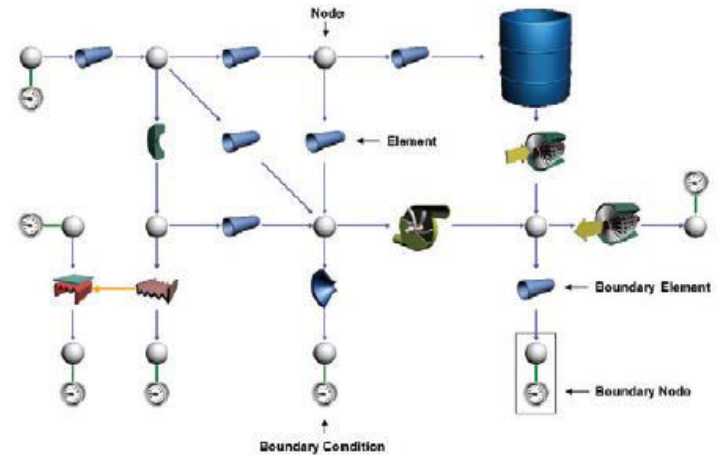
Flownexとは？



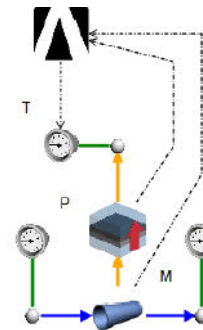
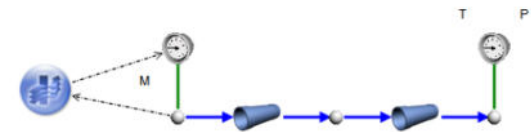
Flownex® Simulation Environment

発電プラントやヒートポンプ、冷凍空調設備等を設計・開発する技術者のための気液二相流ネットワーク解析

1. プラントや空調設備などの大規模なシステムから、ポンプ、タービンやボイラーなどの機器レベルのシステムまで、**熱流体のネットワークを解析**できる。
2. 配管やバルブ、熱交換器、流体機械（ポンプ、タービンなど）、制御機器などのコンポーネントを組み合わせることで、様々な分野のシミュレーションモデルを構築することができる。**熱流体システムの設計**を詳細に、実用的な計算時間で検討でき、複雑な**システムの最適化**や安全性の向上、**省エネルギー**、**ライフサイクルコストの低減**に効果を発揮できる。
3. **3Dと1Dの連携**が可能。**ANSYSとCo-sim**が可能。熱交換器や流体機械などの各コンポーネントの解析を3Dで行い、その性能をFlownexに取り込むことが可能。

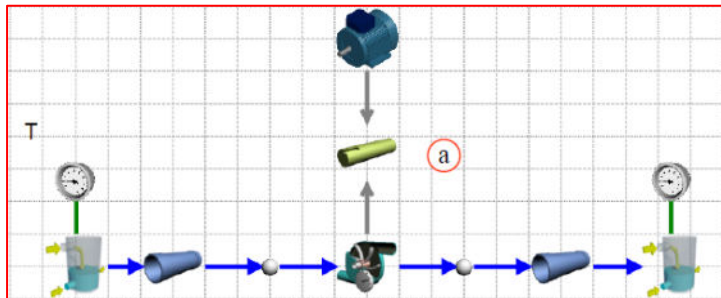


熱流体のシステムレベルシミュレーション

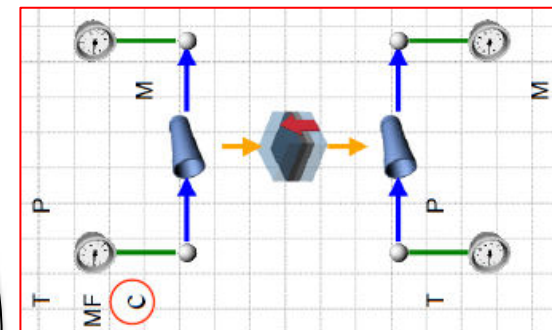


ANSYSとのCo-sim

Flownexとは？



ポンプシステム

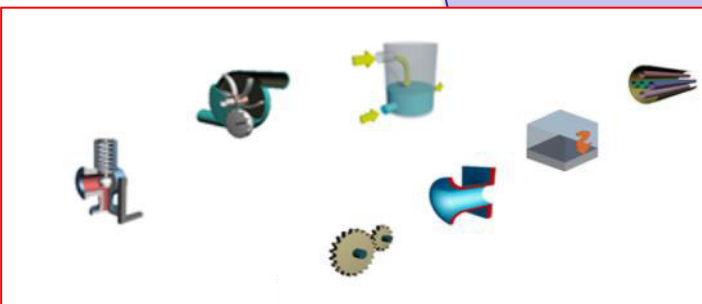


空調システム

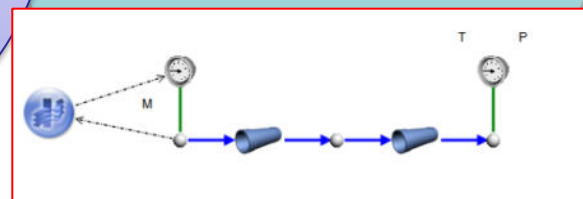
システムレベル
熱流体解析

機能、ライブラリ
(単相、二相、配管、タンク、
ポンプ、タービン、熱交換器
など)

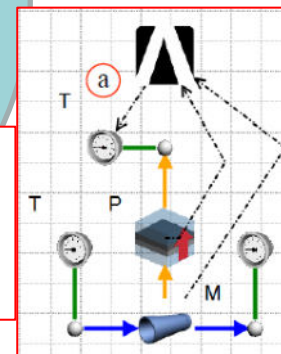
3D との連携
(ポンプ性能曲線、
Co-simなど)



コンポーネント



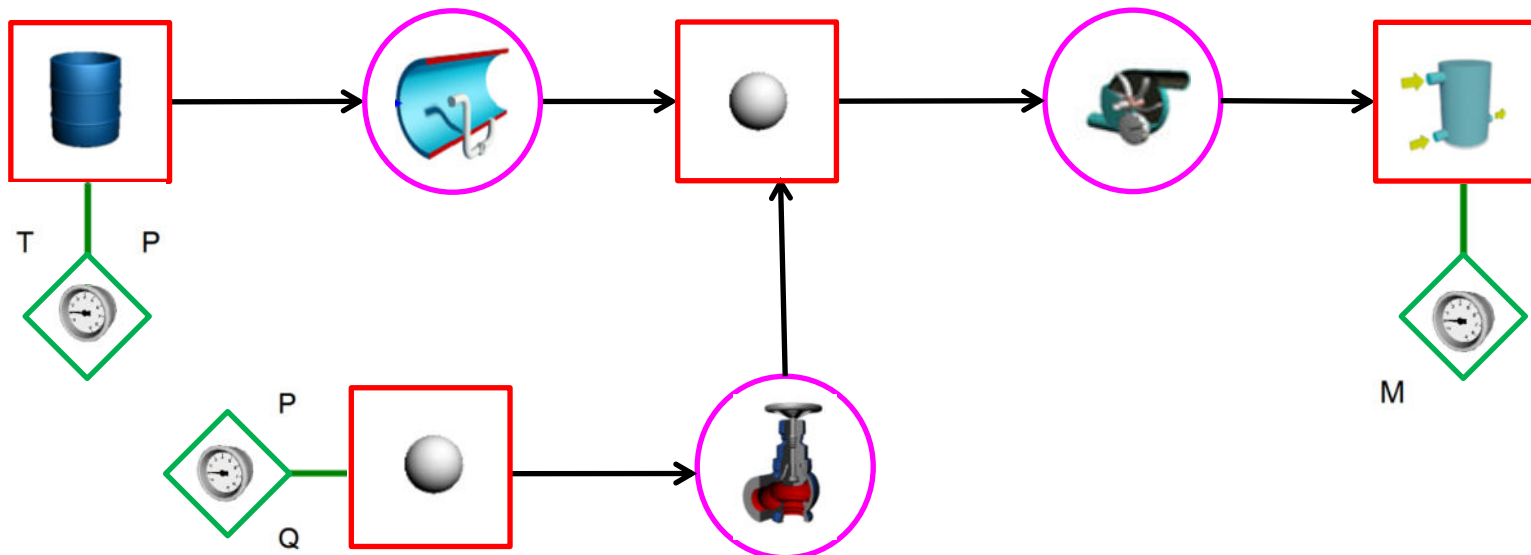
ANSYS CFDとのCo-sim



ANSYSとのCo-sim

Flownex 解析仕様

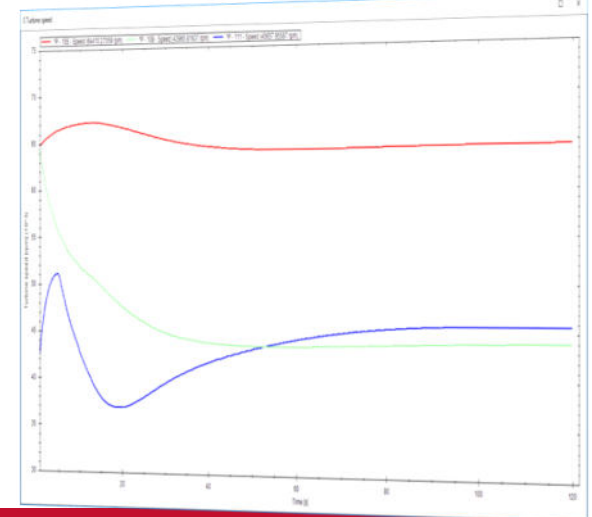
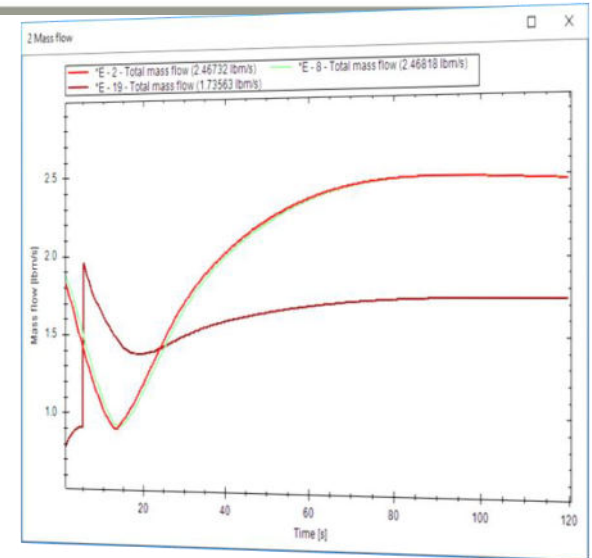
- ノードとエレメントのネットワークを使用
- ノードで連続の式とエネルギーの式を解く。
- エレメントで運動量の式を解く。エレメントにはコンポーネント特性が含まれている。
- 境界条件として (P (圧力), T (温度), \dot{m} (流量), h (熱伝達), x (質量分率))などがノードに適用される。



定常解析および過渡解析

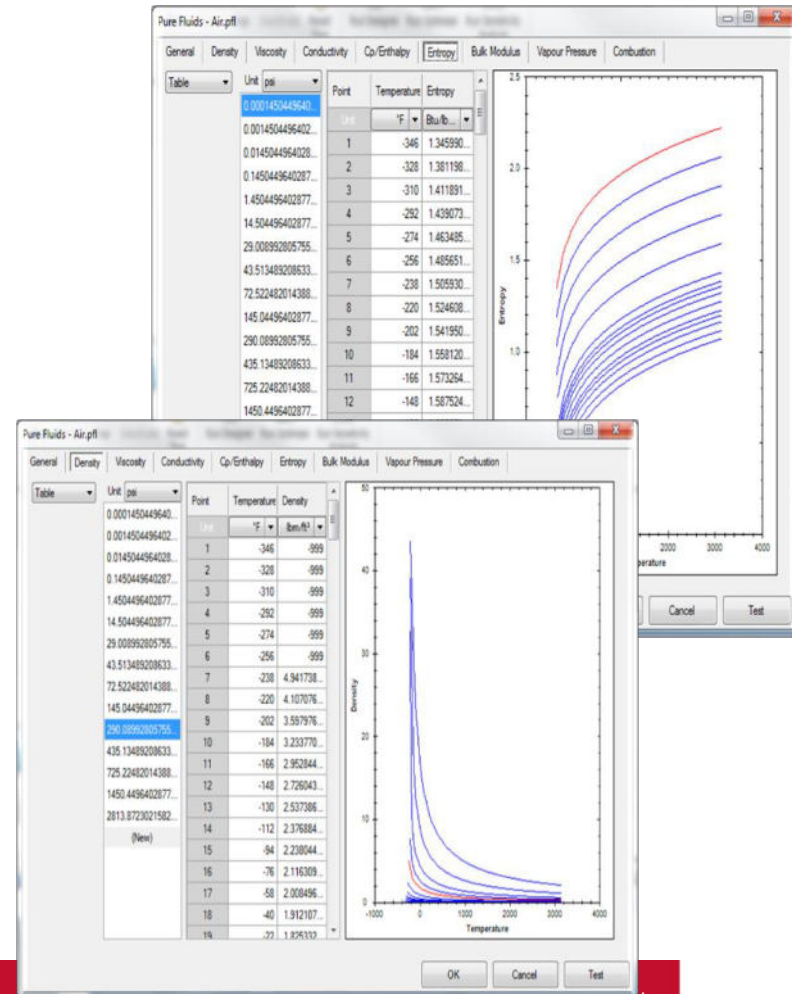
以下の機能が可能

- 定常状態解析
- 高速過渡解析 (ウォーターハンマー)
- 低速過渡解析 (運転状態を模擬)
- **的確:** 運動量、慣性力、熱慣性を考慮できる。
- **使いやすい:** 設定や解析設定が容易
- **効率的:** 可変タイムステップと陰解法
- **多目的:** 過渡解析中に複数のパラメータ値をプロット



流体モデル

- 非圧縮
- 圧縮性
- 液体とガスの混合
- 二相流
- 混合ガス
- 非ニュートン流体
 - － 沈降性および非沈降性スラリー
- 非凝縮混合流体
- 容易な流体のカスタム定義
 - － 定数/式/テーブル特性
 - － *NIST, ASME, DWSIM*



ライブラリ

流体システム

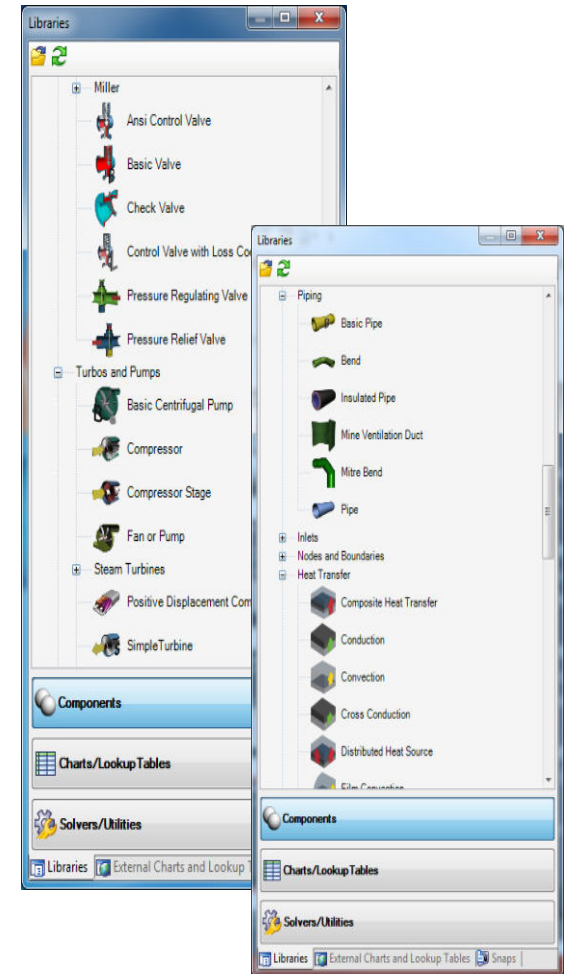
流入、流出、損失、バルブ、回転、ターボ機械、熱交換器など

制御

PID制御およびアナログ/デジタル制御の構築

Electrical systems

機械部品（ギヤボックスやシャフトなど）とモーター、発電機および遮断機との連携



DESIGN & OPTIMIZATION

感度解析

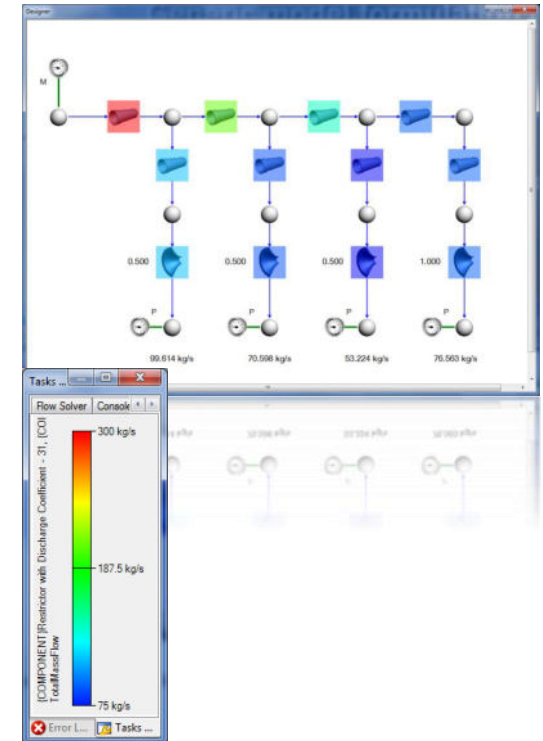
- パラメトリックかモンテカルロ解析で対応
- 入力変数の**順次**変更に対する応答
- パラメータを**ランダム**に変化させて、システム応答への複合的な影響を決定する。

Designer

- 特定のシステム動作条件数に対するコンポーネントのサイズと容量の計算

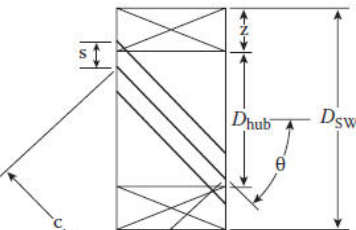
Optimizer

- システムパラメータの最小もしくは最大化
- 最適化手法：
 - 遺伝的アルゴリズム、BOBYQAを使用



ユーザー定義のコンポーネント作成

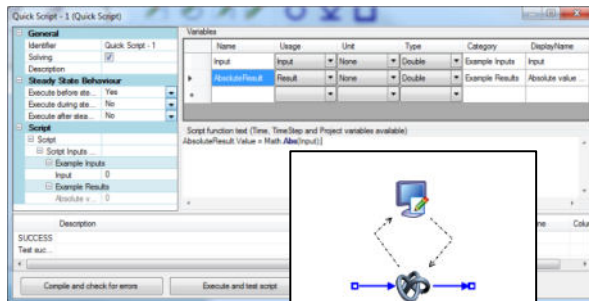
1 - 軸方向スワラーの流体抵抗の定義

$$\dot{m}_{sw} = \left\{ \frac{2\rho_3 \Delta P_{sw}}{K_{sw} \left[(\sec \theta / A_{sw})^2 - 1 / A_L^2 \right]} \right\}^{0.5}$$


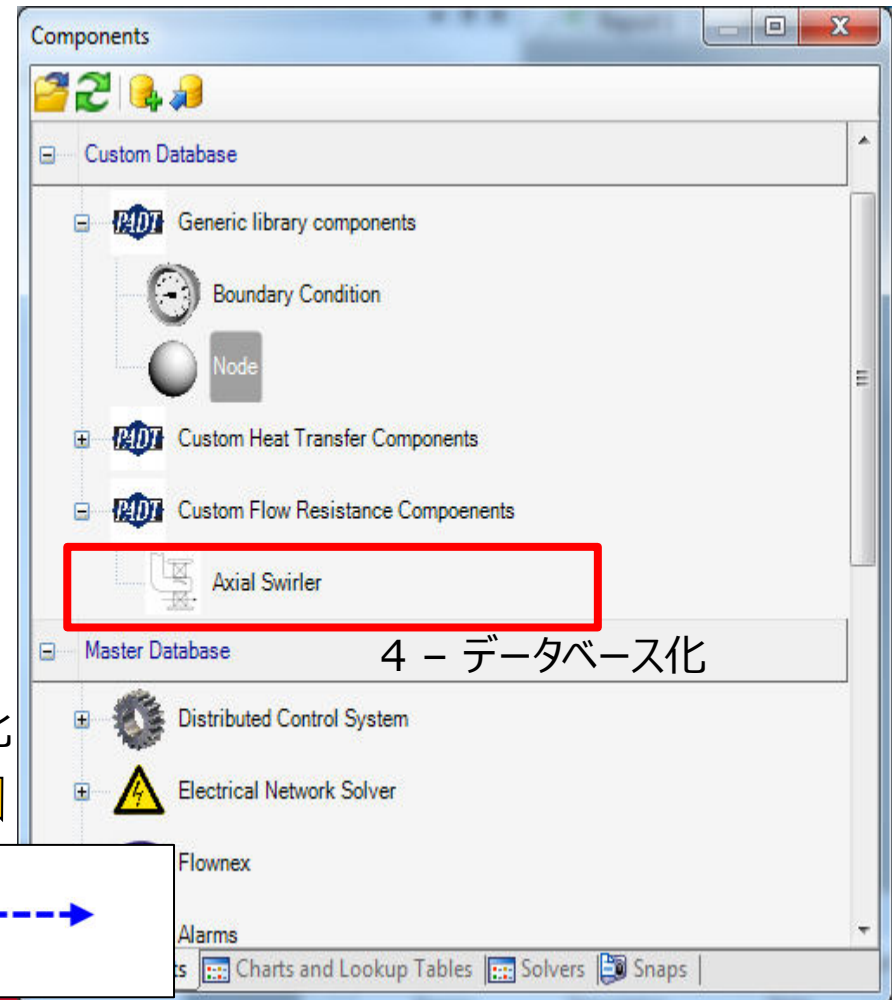
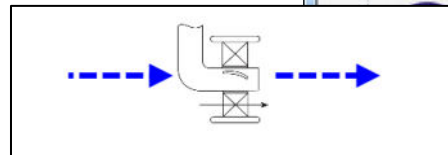
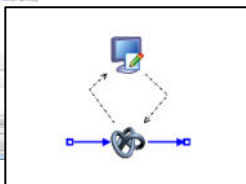
θ Vane outlet angle
 c Chord
 s Space
 z/c Aspect ratio
 s/c Space/chord ratio



2 - Flownex C# のスクリプト



3 - コンポーネント化

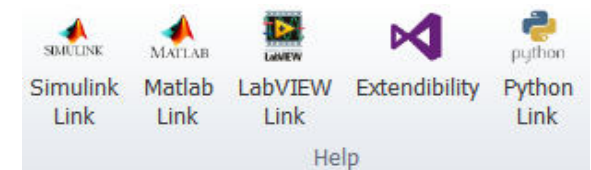
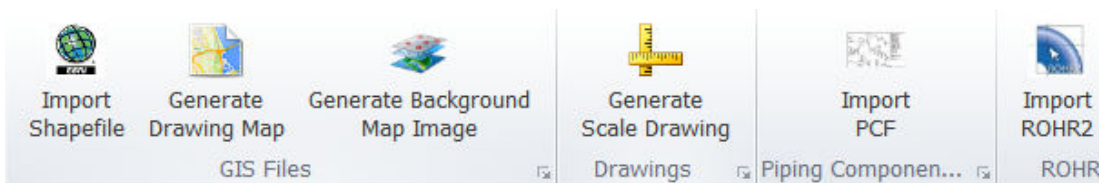
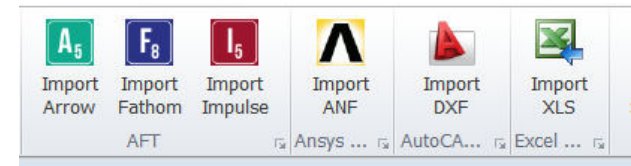


4 - データベース化

他社ソフトの連携

リンクおよびインポート可能なソフト

- **Matlab/Simulink** 連携
- **ANSYS** 連携
- **Excel**

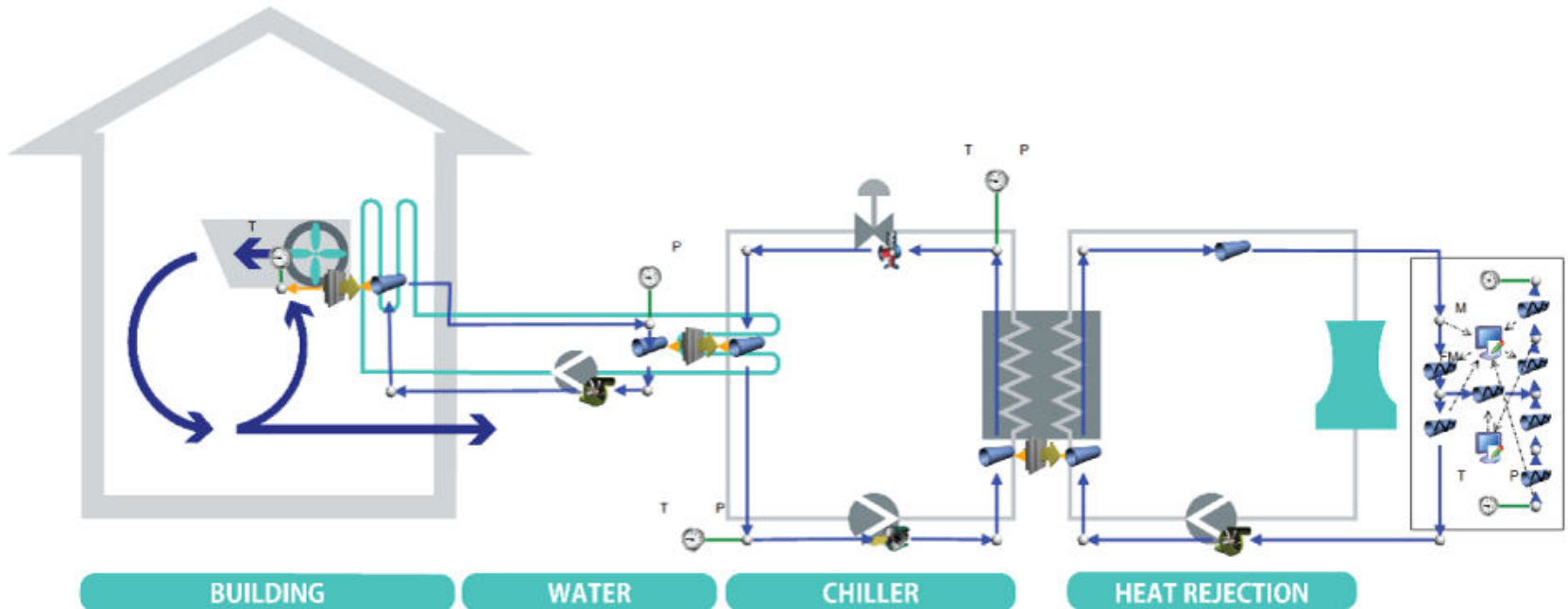


主な適用分野

- 航空機・自動車
 - ガスタービンエンジン
 - 吸排気・燃料・冷却系統
 - エアコンディショナー
 - 給油ステーション
 - 水素ステーション
 - 洗車システム
- 石油・ガスプラント
 - プロセス制御
 - 精製・蒸留プラント
 - 泥水循環システム
 - 採掘井システム
 - 換気システム
 - 冷却水システム
- 発電プラント・熱機関
 - ブレイトンサイクル
 - 微粉炭ボイラー
 - 低圧給水加熱器
 - コージェネレーションシステム
- 冷凍・空気調和設備
 - 蒸気圧縮式冷凍サイクル
 - 空気冷凍サイクル（食品冷蔵倉庫）
 - 全館空調システム
 - HVACシステム
- パイプライン
 - ウォーターハンマー（水撃作用）
 - 都市ガスネットワーク
 - 水道管ネットワーク

主な適用分野

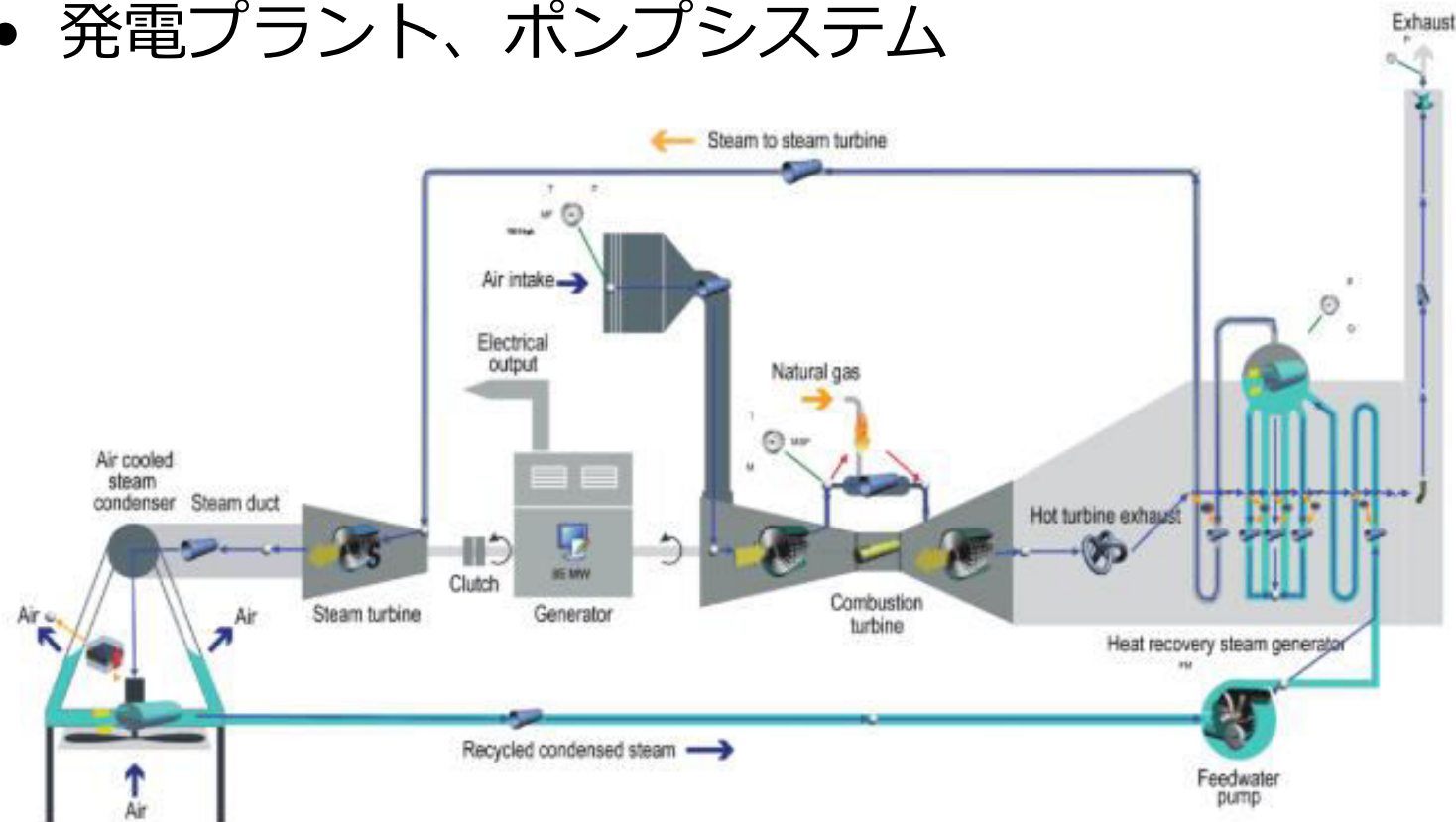
- 空調、HVACシステム



システムの最適化や安全性の向上、省エネルギー、ライフサイクルコストの低減、各コンポーネントの仕様（求められる性能）決めなど

主な適用分野

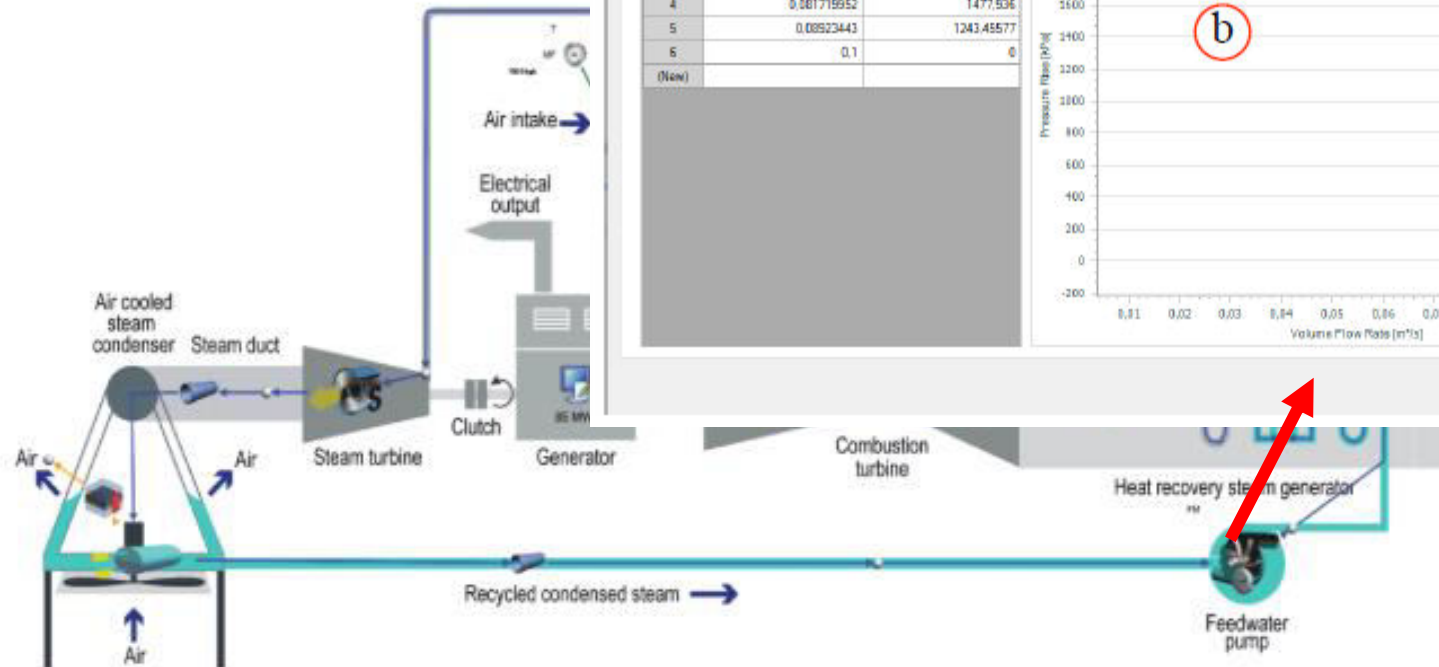
- 発電プラント、ポンプシステム



システムの最適化や安全性の向上、省エネルギー、ライフサイクルコストの低減、各コンポーネントの仕様（求められる性能）決めなど

主な適用

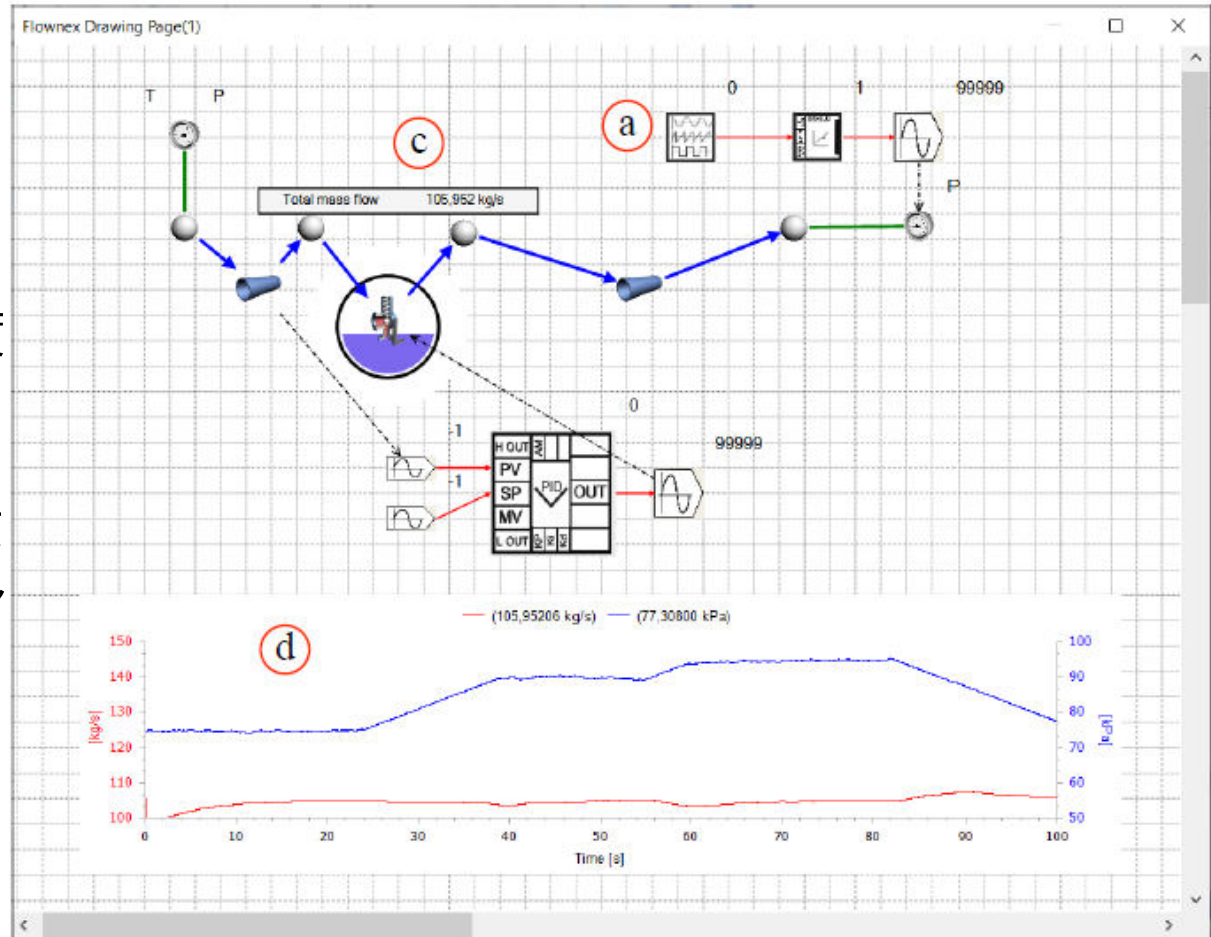
- 発電プラント、ポンプ



システムの最適化や安全性の向上、省エネルギー、ライフサイクルコストの低減、各コンポーネントの仕様（求められる性能）決めなど

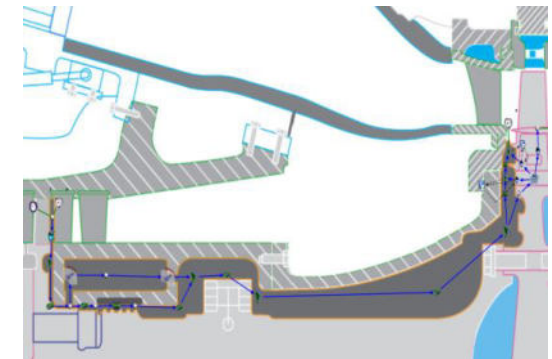
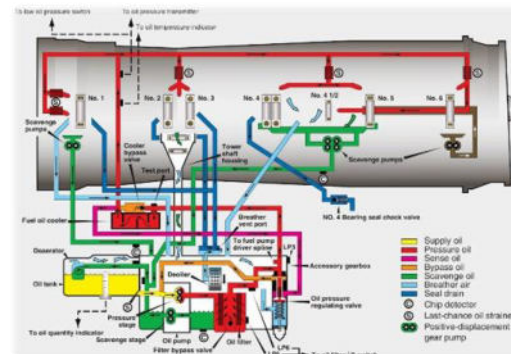
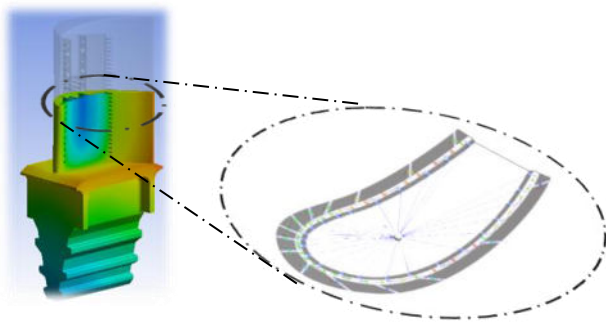
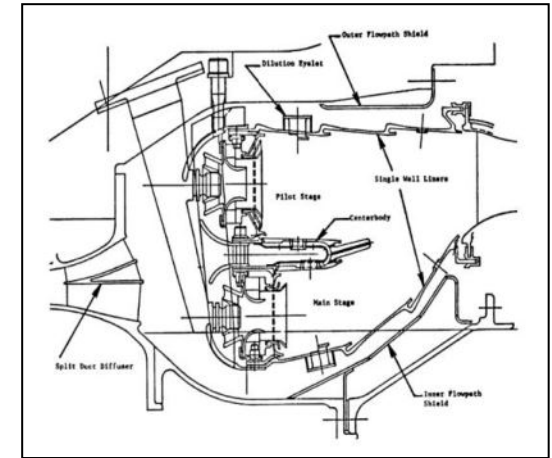
フローコントロール

- パイプライン
（200m）の簡易
モデル
- 下流端に様々な圧
力変動を与えた過渡
解析
- 流量が一定に制御さ
れるようにコントロ
ールバルブのパラメータを
調節



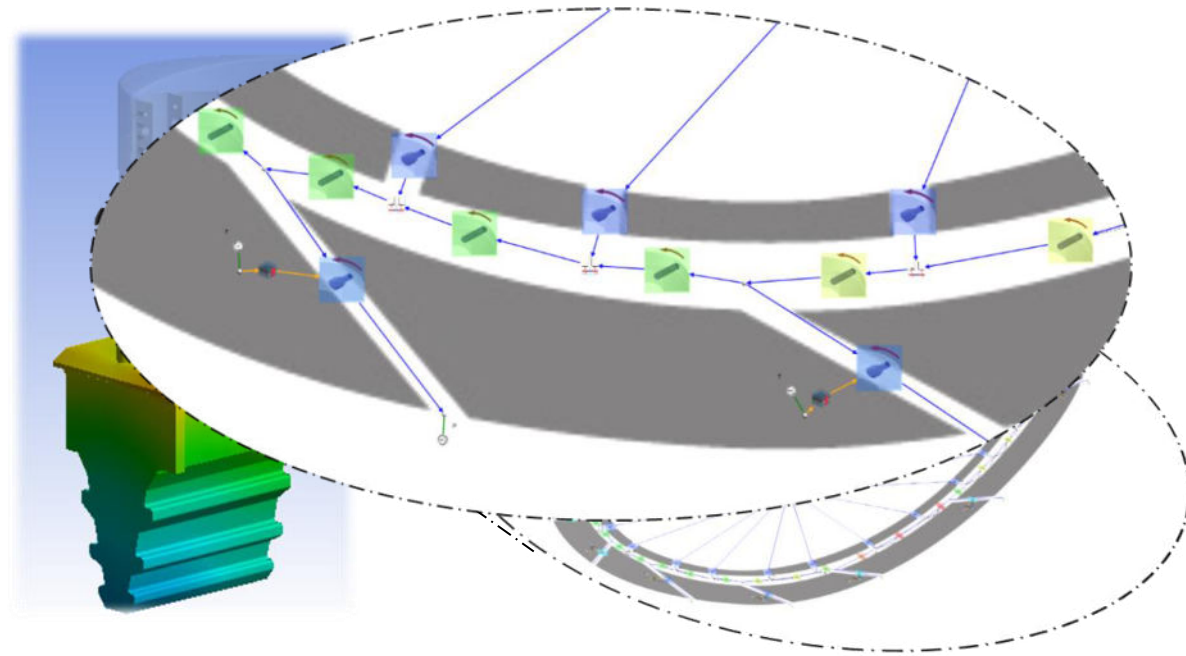
ターボ機械への適用

- 燃焼器の冷却空気流れ
- 二次流れ
- タービンブレードの冷却
- ベアリングの潤滑システム



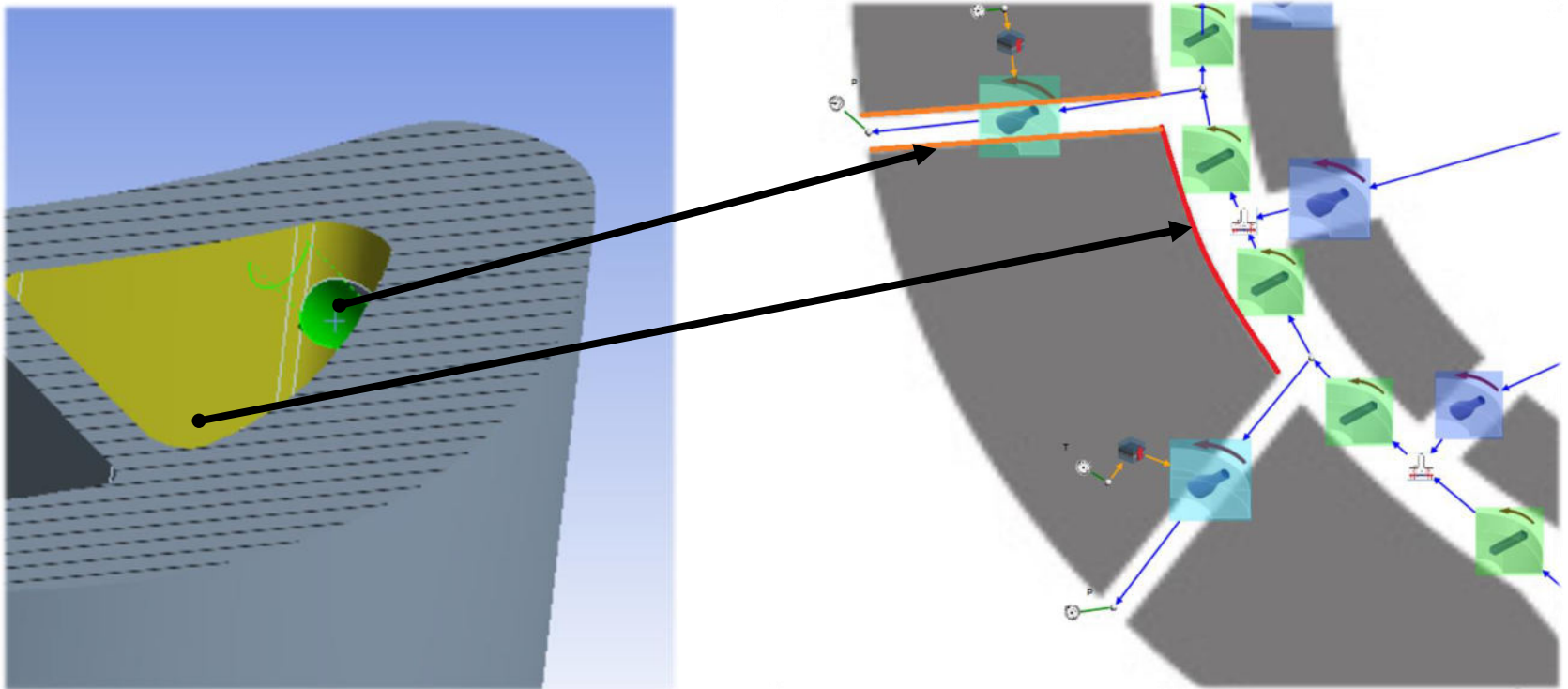
タービンブレードの冷却

- ブレード内の冷却流れは1D解析をFlownexで実施
- 固体の熱伝導はANSYS Mechanicalで実施
- 外部流れはANSYS CFX or Fluentで実施



タービンブレードの冷却

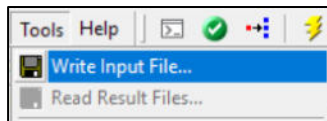
ANSYS Mechanicalとの連携手順



ANSYS Mechanicalとの連携手順

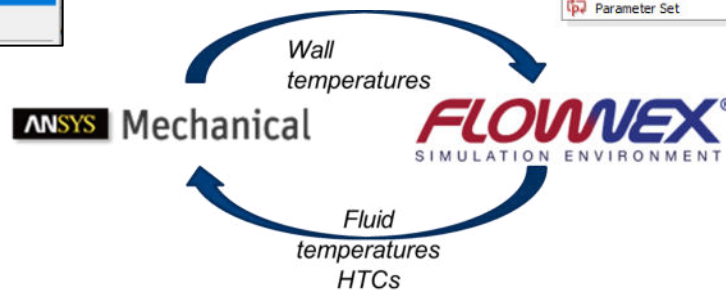
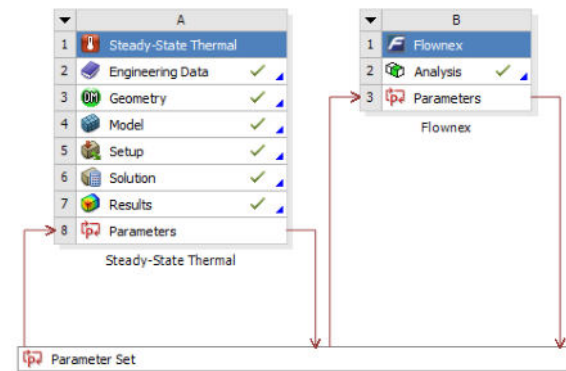
Flownex側

- Flownexは流体温度および熱伝達係数をANSYS Mechanicalのインプットファイル(.dat)に書き込む
- バッチモードでANSYS Mechanicalの実施
- ブレード壁面温度が結果として出力され、Flownexで読み込まれる。

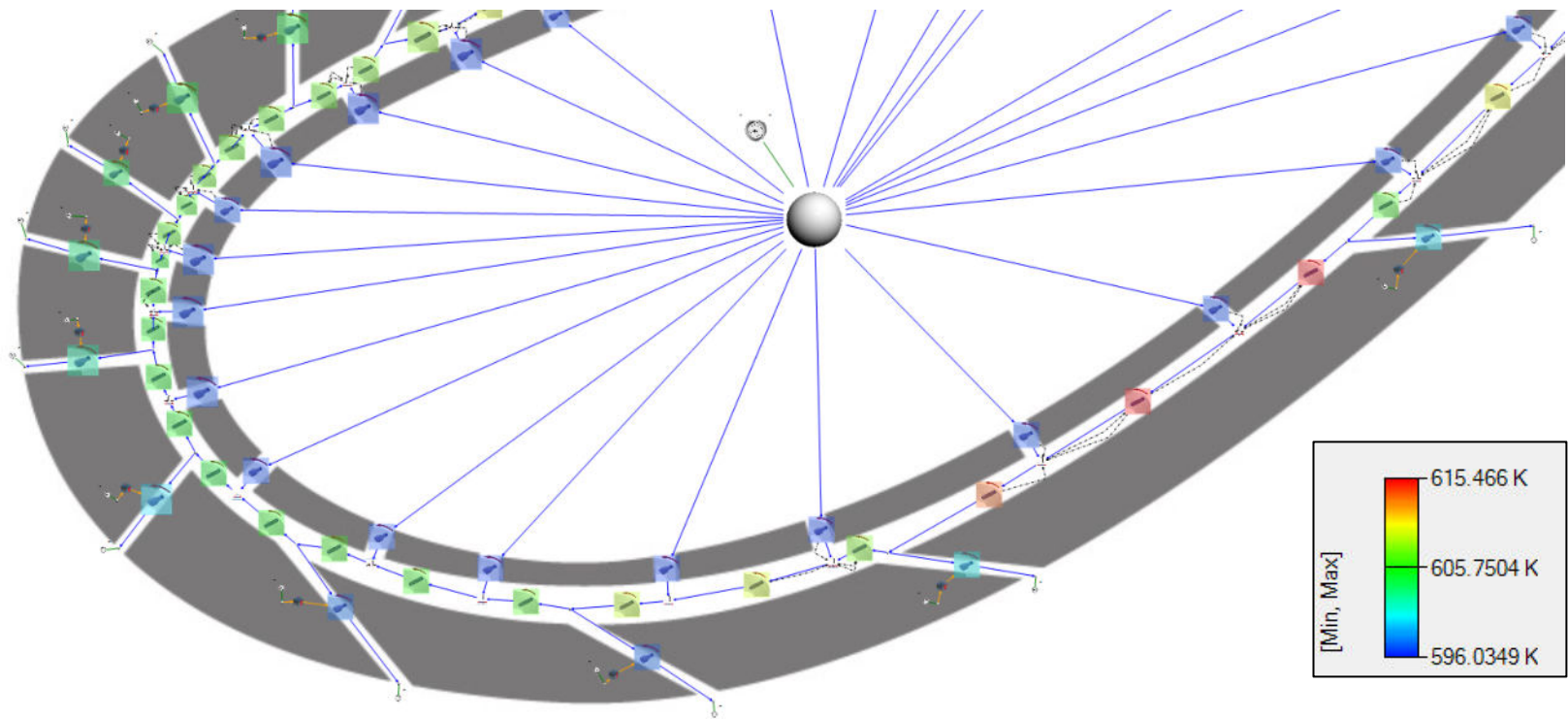


Workbench側

- インプット/アウトプットパラメータの定義と管理

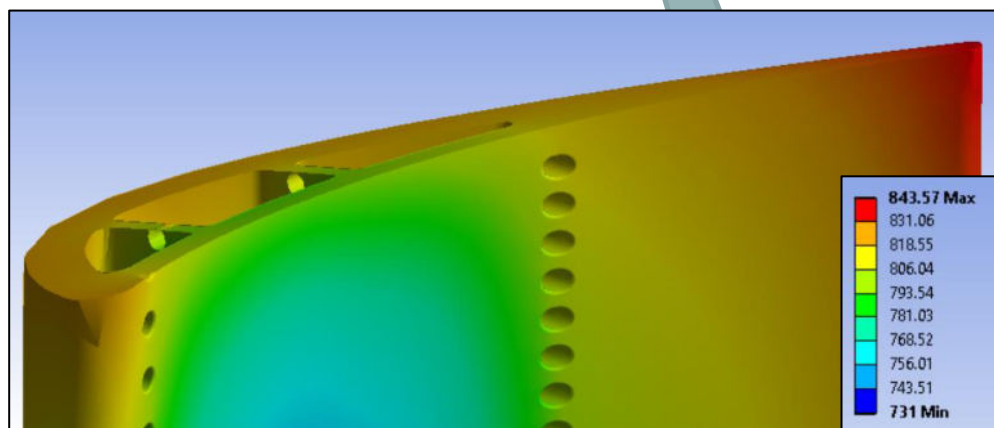
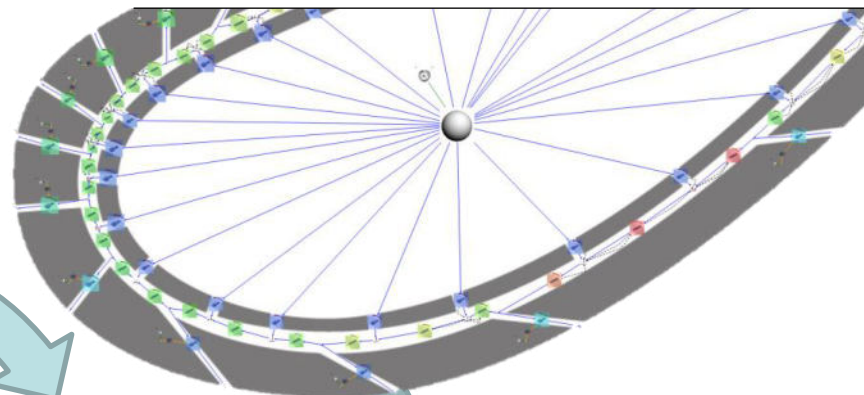


1 D冷却解析結果: Flownex



3D解析結果とデザイン変更

- 内部冷却流路の修正
 - 穴のサイズと間隔の変更
 - リブの追加

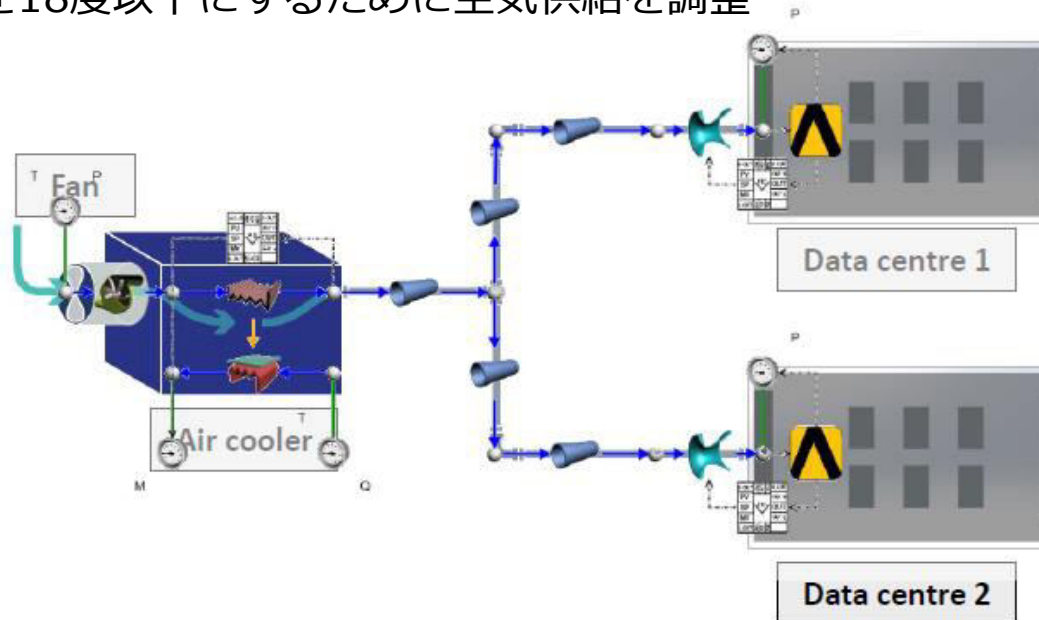


- 固体側の最大温度の変化を確認

ANSYS CFDとの連携

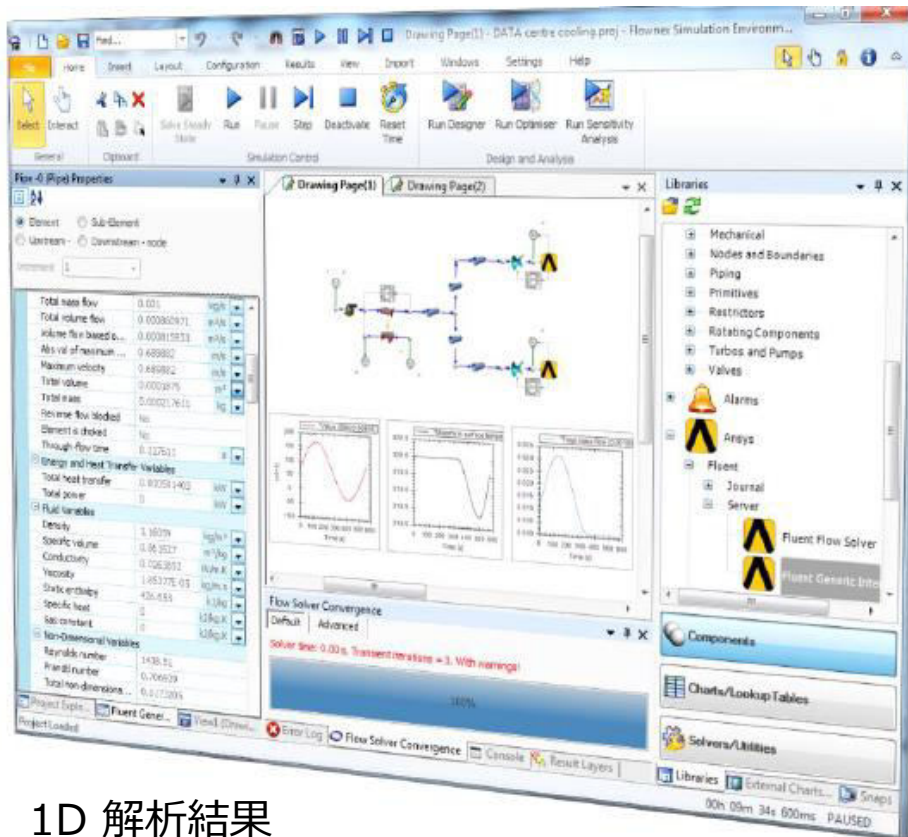
● データセンターの空調制御

- ファンや熱交換器のサイズ決め
- データセンター内を18度以下にするための制御
- パイプシステム内の空気の流れと温度:Flownex
- データセンター内の静圧と電子機器の最大温度の把握:Fluent
- 温度を18度以下にするために空気供給を調整



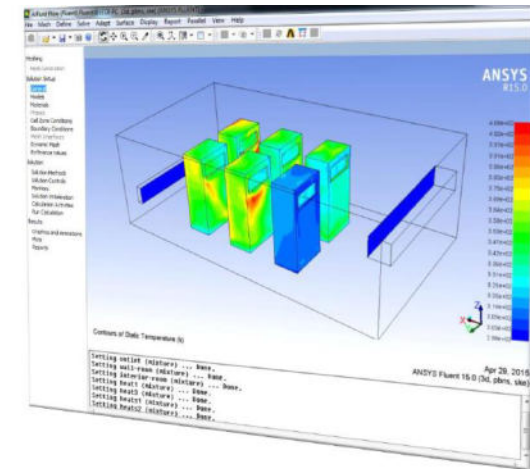
ANSYS CFDとの連携

- データセンターの空調制御

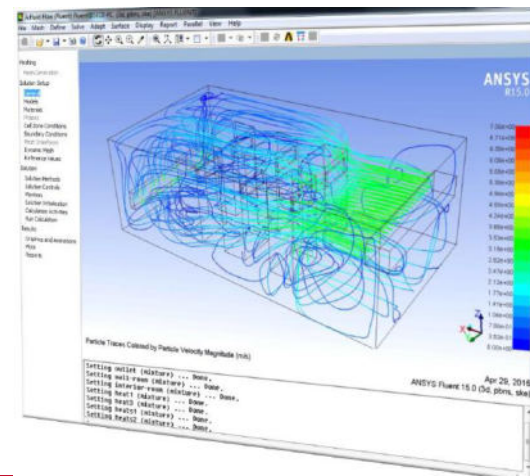


3D CFD解析結果

温度

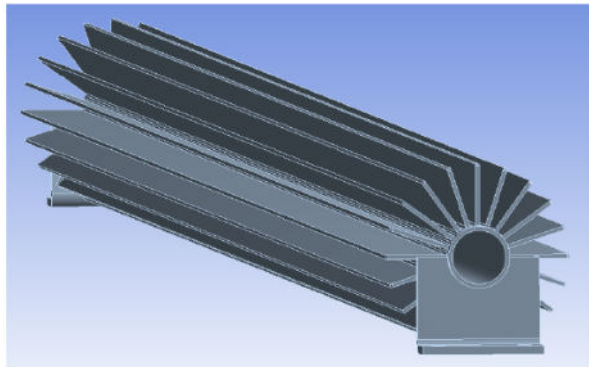


流線

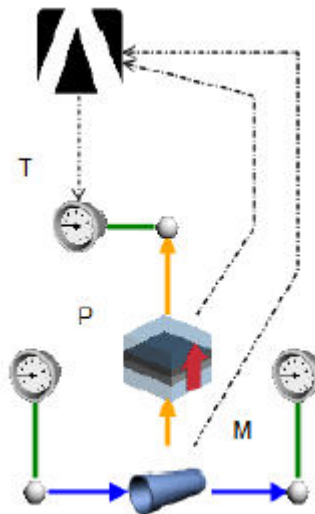


Co-Simulation (オイルクーラー)

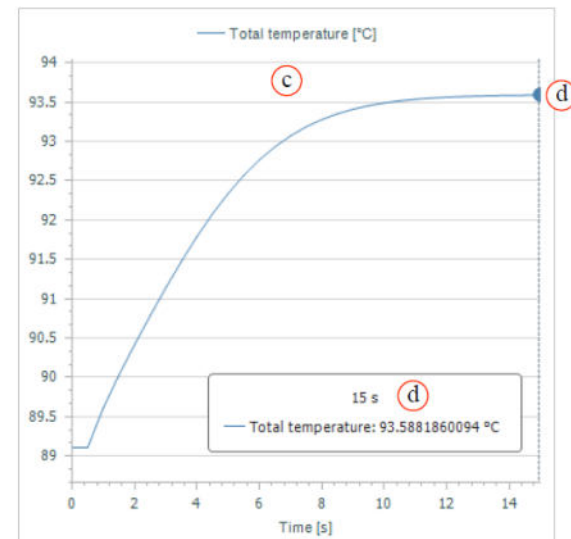
- Flownex および ANSYS Mechanical
 - 3D複雑形状の伝熱解析(Mechanical)
 - パイプ内オイルの対流熱伝達の1Dシミュレーション(Flownex)
 - パイプ内温度と熱伝達係数をFlownexからMechanicalへ転送
 - パイプ内温度をMechanicalからFlownexへ転送



3D 複雑形状



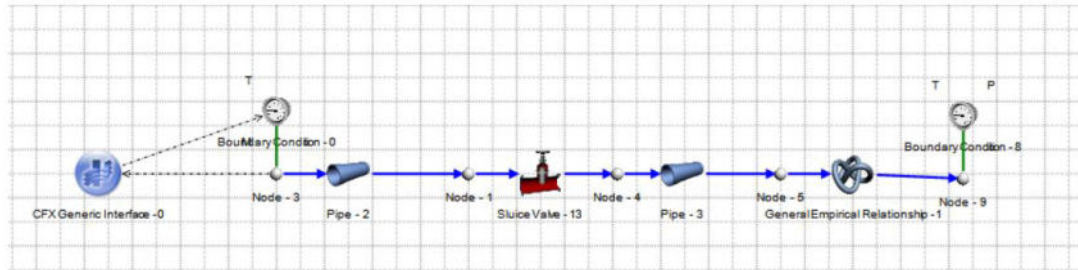
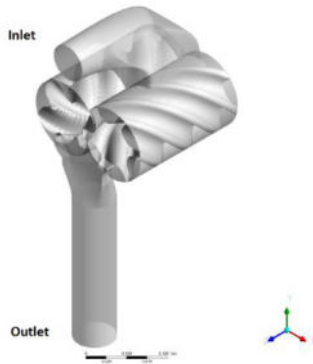
1Dネットワーク



パイプ出口温度

Co-Simulation (コンプレッサー)

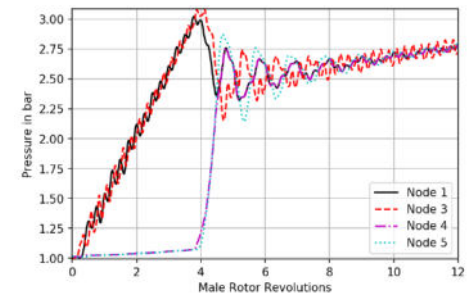
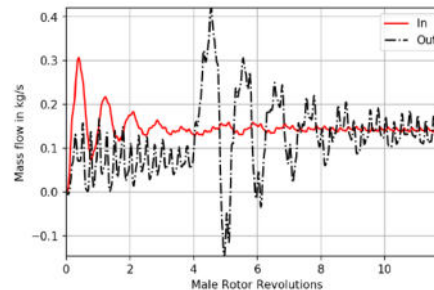
- Flownex および ANSYS CFX
 - Compressor内部の流体解析(CFX)
 - パイプシステムの1Dシミュレーション(Flownex)
 - Compressorの流量をCFXからFlownexへ転送
 - 圧力をFlownexからCFXへ転送



1Dネットワーク

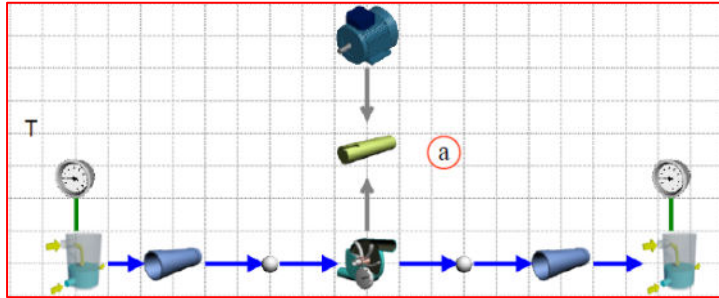
3D CFDモデル
Rotary Compressor

流量(CFX)

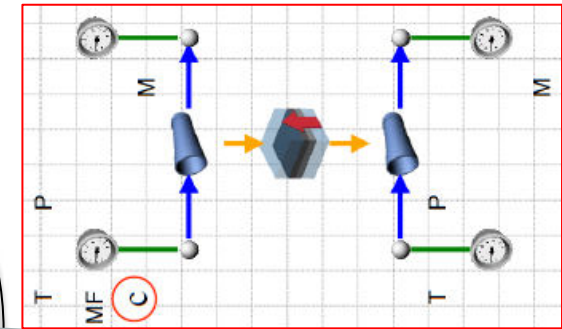


圧力変動(Flownex)

まとめ(Flownexとは？)



ポンプシステム

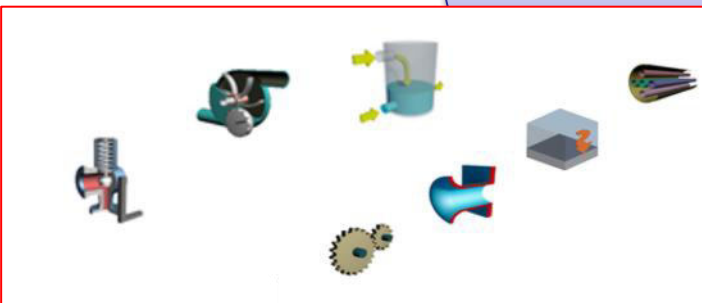


空調システム

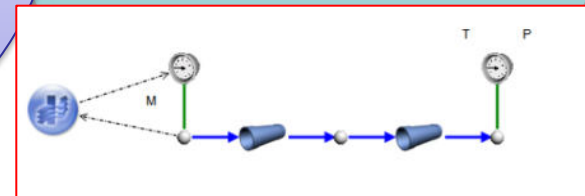
システムレベル
熱流体解析

機能、ライブラリ
(单相、二相、配管、タンク、
ポンプ、タービン、熱交換器
など)

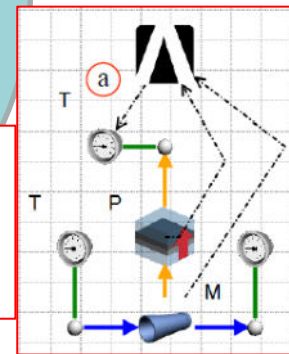
3D との連携
(ポンプ性能曲線、
Co-simなど)



コンポーネント



ANSYS CFDとのCo-sim



ANSYSとのCo-sim

モジュール

1. Basic Thermal Fluid Module

- 基本的な定常解析モジュールです。パイプ、ポンプ、熱交換器などのコンポーネントやグラフ、ゲージ、スライダーなどのビジュアライゼーション機能、データロガー等を備えています。

2. Advanced Thermal Fluid Module

- 上記のBasic Thermal Fluid Module に、二相流や混合ガス、スラリー、燃焼モデリング、スクリプティング、Excelコンポーネントなどの解析機能が追加されます。

3. Design and Analysis Module

- 最適化（ニュートン法、遺伝的アルゴリズム、BOBYQA）と感度分析（モンテカルロ法、パラメトリックスタディ）のモジュールです。

4. Transient Module

- 過渡現象解析（非定常解析）、シナリオ設定などのモジュールです。

5. Control Module

- アナログ（PIDコントローラ、フィルター、スイッチ等）やデジタル（カウンター、ロジック、タイマー等）、コンバータなどの制御系のモジュールです。

モジュール

6. Electrical Module

- 発電機、変圧器、モーター、シンクロナイザー、ブレーカーなどの電気系のモジュールです。

7. API Module

- Word やExcel などのOffice 製品やWindows アプリケーションから Flownex[®] SE を利用するためのAPI を提供します。MathWorks 社のSimulink とのインターフェースを含みます。

8. Extendibility Module

- ユーザー定義のコンポーネントやソルバー、外部アプリケーション等を Flownex[®] SE に追加して、ライブラリとして登録するための機能を提供します。

9. Mathcad Module

- PTC 社のMathcad とFlownex[®] SE との連成シミュレーションを可能にします。

10.EES Module

- F-Chart Software 社のEngineering Equation Solver（伝熱計算に特長を持つ数式処理ソフト）と連成解析を行なうためのモジュールです。

モジュール

- OPC Module
 - Flownex® SE をOPCクライアントとしてOPCサーバーと通信させるためのインターフェースです。
- Nuclear Module
 - ペブルベッド型高温ガス炉（PBMR）を解析するためのモジュールです。
- RELAP Module
 - RELAP（原子炉熱流動解析コード）と連成解析を行なうためのモジュールです。