

2010年5月26~28日
第15回計算工学講演会
福岡

HQC分科会企画
シミュレーションの品質保証と標準化に向けた取り組み
**流体解析の品質保証の標準化
の取り組み**

東京大学
越塚誠一

目次

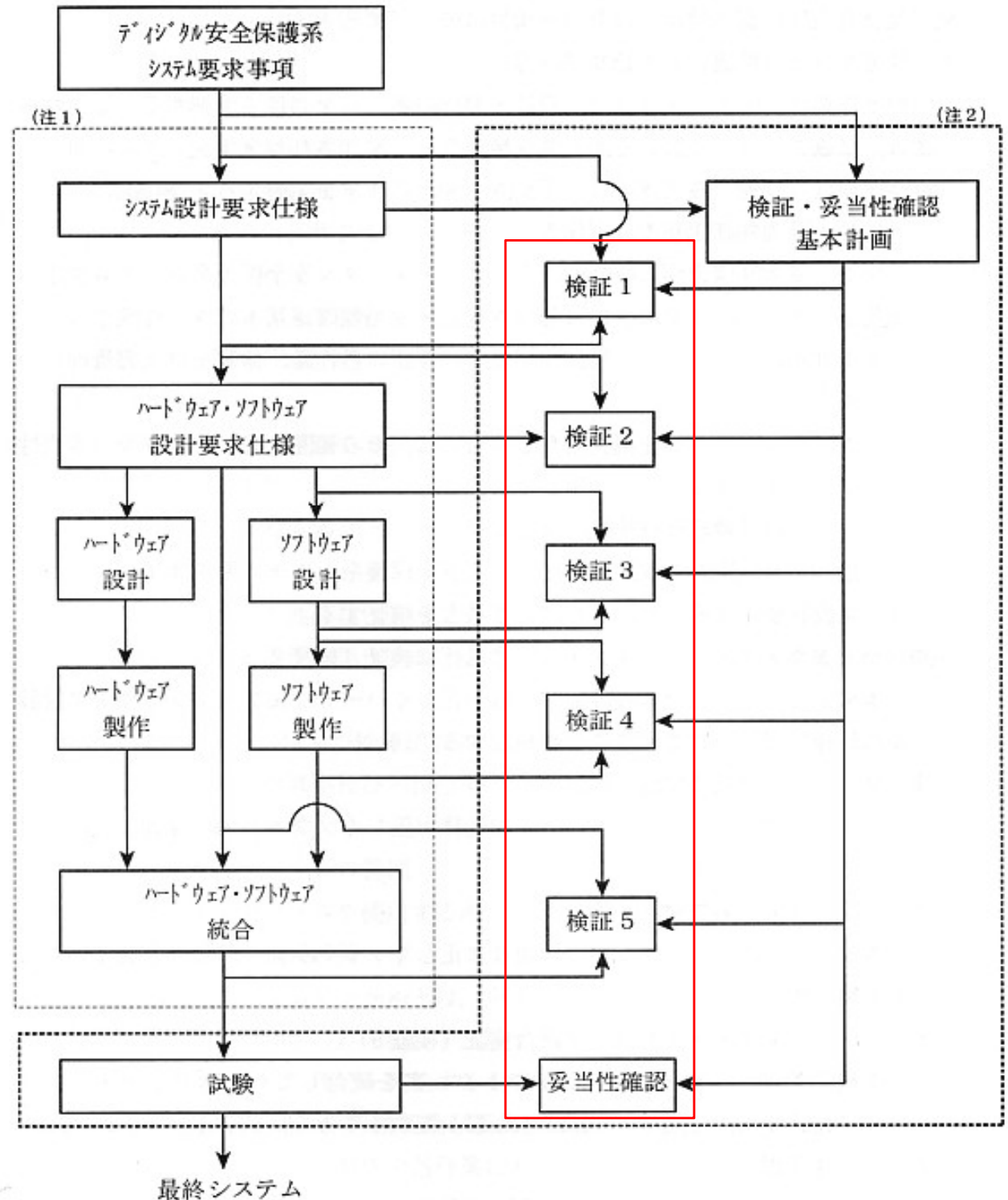
- How to Plan a CFD Analysis (NAFEMS)
- ASME V&Vとの関係

Verification & Validation (ISO 9001)

- verification: 客観的証拠を提示することによって、規定要求事項が満たされていることを確認すること
- validation: 客観的証拠を提示することによって、特定の意図された用途又は適用に関する要求事項が満たされていることを確認すること
- ソフトウェア開発に共通する一般的な考え方
 - 日本電気協会「デジタル安全保護系の**検証**及び**妥当性確認**に関する指針」JEAG 4609-2008
- シミュレーションにおける具体的な適用については、**NAFEMS**の一連の文書がある。

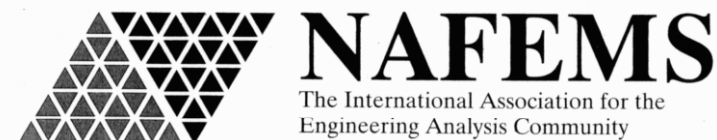
一般的なISO 9001 V&Vの例

日本電気協会「デジタル安全保護系の検証及び妥当性確認に関する指針」
JEAG 4609-2008



How to Plan a CFD Analysis

- NAFEMS Ltd. (英国)
 - ISO9001をCAE業務ではどのように読むか、について様々な報告書を出版。
 - 構造解析のFEMが主であるが、CFDもある。
- How to Plan a CFD Analysis
 - QSS(Quality Management System)の下部規定の1つ
 - Author: A. C. de Souza
 - 2002



How to-

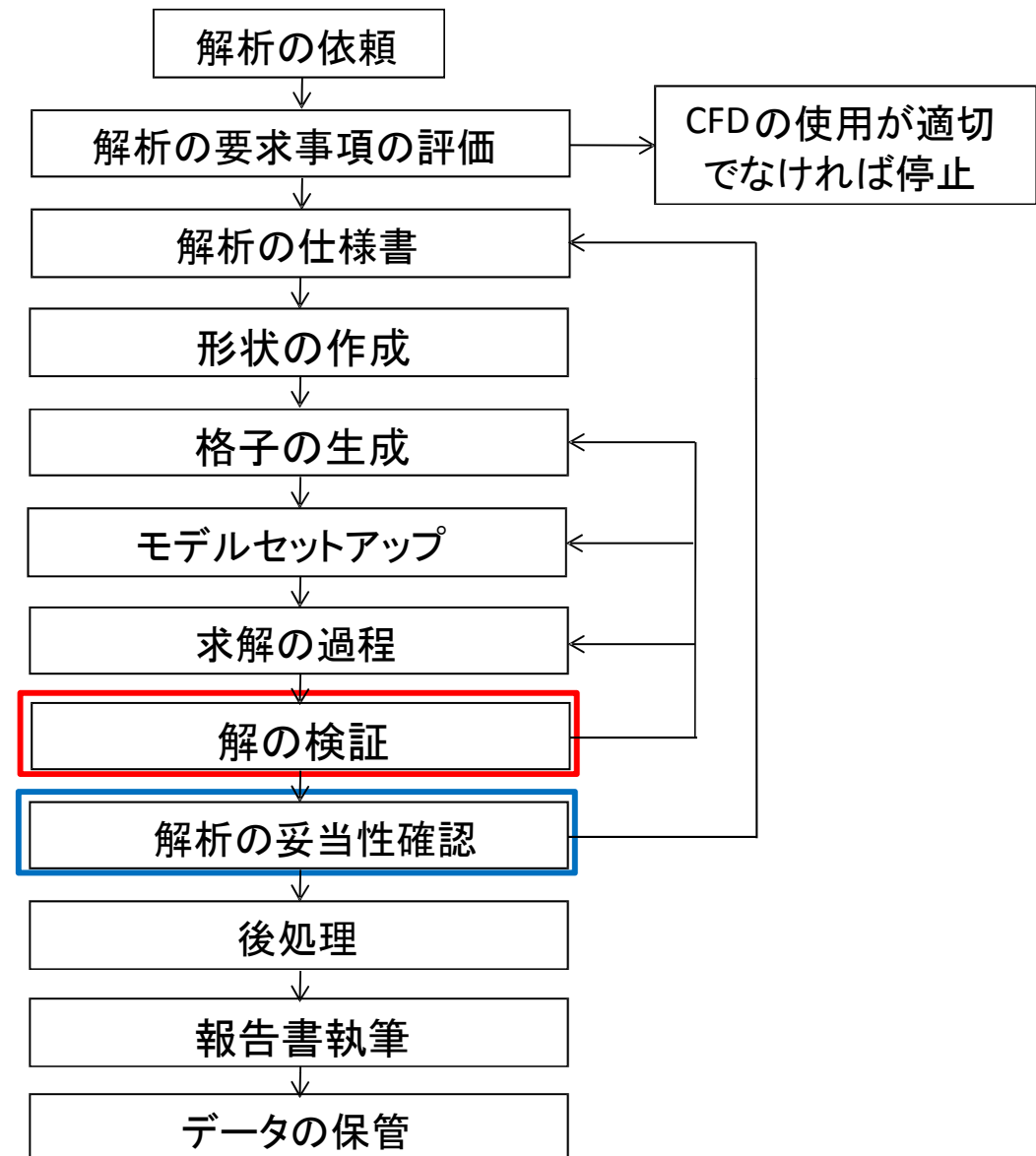
Plan a CFD Analysis

CFD業務の流れ

- 具体的にCFDの業務を書き下し、V&Vを加えたもの。
- ASME V&Vの影響を受けていると思われる。

Verification

Validation



解析の依頼

Analysis Request

- 誰かの解析依頼がトリガーである。
- 基礎的な依頼
 - 一般的な問合せ: 圧力損失、流速分布
 - 段階を踏むように問題を分解するとよい
- 標準的な依頼
 - 依頼者は、体系、境界条件、必要精度などをよく知っている。
- 詳細な依頼
 - specificationまで含めた依頼

解析の依頼のテンプレート

Appendix B: Templates for Alternative CFD Request Sheets

BASIC COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS REQUEST

Part name and number:
 Originator name and department: Date Raised:

Overall
Description of configuration which requires analysis:
Purpose of Analysis:
Output Required
Numerical Results Required (specify locations):
Graphical Results Required (specify locations):
Level of Reporting Required:
Accuracy Goal:
Timescales:
Geometric Data
Geometry source:
Number of geometric configurations and details:
Process and Environmental Conditions:
Material Names and Properties:
Number of flow configurations:
If more than one flow configuration requires simulation give details of all.
Upstream and downstream conditions:
Operating conditions (temperature and pressure):
Details of any special features such as combustion, porous media, moving surfaces, particle trajectories, other?
Data for Comparison (Experimental data / Hand calcs.):
Additional Details

基礎的な依頼

STANDARD COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS REQUEST

Part name and number:
 Originator name and department: Date Raised:

General	
Description of configuration which requires analysis:	
Purpose of analysis:	
Output Required	
Numerical Results Required (specify locations):	
Velocities	Temperatures
Pressures	Other
Graphical Results Required (specify locations):	
Velocities	Turbulence
Pressures	X-Y Plots
Temperatures	Other
Path lines	
Level of Reporting Required:	
Accuracy Goal:	
Timescales:	
Geometric Data	
Source: CAD or Hardcopy drawing	
Number of geometric configurations:	
Surface finish:	
Possible geometric simplifications:	
Areas in the flow which are of particular interest:	
Upstream geometry:	
Downstream geometry:	
Process and Environmental Conditions	
Operating Temperature:	
Operating Pressure:	
Can the flow be assumed to be isothermal?:	
Can the flow be assumed to be incompressible?:	
Is the flow laminar?:	
Any special features such as combustion, porous media, moving surfaces, particle trajectories, other?	
Please give details:	

Material Properties
Material names:
Density (if constant):
Viscosity (if constant):
Other properties:
Boundary Conditions
Number of Flow Configurations:
If more than one flow configuration requires simulation give details of all.
Inlet conditions:
Outlet conditions:
Data for Comparison (Experimental data / Hand calcs.):
Additional Details

標準的な依頼

解析の依頼のテンプレート

DETAILED COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS REQUEST OR COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS ANALYSIS SPECIFICATION			
Part name and number: Originator name and department: Date Raised:			
General			
Description of configuration which requires analysis:			
Purpose of analysis:			
Output Required			
Numerical Results Required (specify locations):			
Velocities	Temperatures		
Pressures	Other		
Graphical Results Required (specify locations):			
Velocities	Turbulence		
Pressures	X-Y Plots		
Temperatures	Other		
Path lines			
Level of Reporting Required:			
Accuracy Goal:			
Timescales and Resource Requirement:			
Geometric Details			
Source: CAD or Hardcopy drawing			
Number and definition of geometric configurations:			
Surface finish:			
Geometric simplifications:			
Dimensional simplifications (2D, 2D-axisymmetric, symmetric, periodic)?			
Areas in the flow which are of particular interest:			
Upstream geometry:			
Downstream geometry:			
Process and Environmental Parameters			
Operating Temperature:			
Operating Pressure:			
Can the flow be assumed to be isothermal?:			
Can the flow be assumed to be incompressible (maximum value of Mach number)?:			
Influence of gravity:			
Is the flow laminar (maximum value of Reynolds number)?:			
Any special features such as combustion, porous media, moving surfaces, particle trajectories, other? Provide full details:			
Material Properties			
Material names:			
Density (if constant):			
Viscosity (if constant):			
Other properties:			
Grid	Approximate number of cells:		
Type of grid:			
Physical domain size:			
Solver	Segregated / Coupled		
Implicit / Explicit			
Steady / Unsteady			
Duration simulated:			
Size of time step:			
Turbulence treatment	Inviscid / Laminar / Turbulence model / LES / DNS		
Turbulence model:			
Near wall treatment:			
Estimation of first cell size at key locations for acceptable y^+ value:			
Boundary Conditions			
Number of Flow Configurations:			
If more than one flow configuration requires simulation give details of all.			
Type	Name	Description	Parameters
Data for Comparison (Experimental data / Hand calcs.):			
Additional Information			

詳細な依頼

解析要求事項の評価

Assessment of Analysis Requirements

- 何が求められているかは、customerとanalystの両者にとって明らかでなければならない。
 - 手計算で十分な場合もある。
 - 手計算や実験が困難な場合にCFDの利点
 - 共通認識が得られなければ仕事を断る
- 目的と要求精度を明らかにする。
 - 必要な仮定や近似が重要
 - 事前に精度を予測することは難しい
 - 精度には数値的な精度とモデルの精度がある
 - outputについて、事前にcustomerと合意する
- 業務のレベル
 - 単純計算 → 設計変数の同定 → 感度解析 → 最適化

解の検証

Solution Verification

- 計算が正しく行われているかどうかの検証
 - 収束評価: 解の収束、質量保存性
 - 格子依存性: 解適合格子、大規模問題では難しい
 - モデル依存性: 乱流モデルなど
 - 境界条件依存性
- solution verificationはsoftware verificationとは違う
 - software verificationはベンダーの仕事、CFD適用前にすべき
- 不適切であれば前の過程に戻る

解析の妥当性確認

Analysis Validation

- 現実の問題に対して、目的にかなった解析が
できているかどうかの妥当性確認
 - 実験、手計算、他の計算との比較
 - 100%正確な計算はない
- 不適切であれば、CFDモデル(乱流モデル)を
変更する。

計算結果のテンプレート

Appendix C: Template for a CFD Solution Sheets

COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS SOLUTION SHEET

Part name and number:
 Analyst: Dates Performed:

Simulation Identifiers		
Path and directory name		
Pre-processor filenames		
Solver filenames		
Post processing filenames		
Pre-processor name and version		
Solver name and version		
Post processor name and version		
Additional files		
Solver Controls		
Discretisation	Pressure:	
	Momentum:	
	Kinetic Energy, k:	
	Dissipation rate, ϵ :	
	Other variables:	
Pressure-Velocity Coupling:		
Under-relaxation	Pressure:	Momentum:
	Kinetic Energy, k:	Dissipation rate, ϵ :
	Viscosity:	Density:
	Body Forces:	Other variables:
Multigrid		
Initialisation	Pressure:	X Velocity:
	Y Velocity:	Z Velocity:
	Kinetic Energy, k:	Dissipation rate, ϵ :
	Other variables:	
Residual Monitors	Pressure:	X Velocity:
	Y Velocity:	Z Velocity:

	Kinetic Energy, k:	Dissipation rate, ϵ :
	Other variables:	
Variable Monitors	Pressure:	X Velocity:
	Y Velocity:	Z Velocity:
	Kinetic Energy, k:	Dissipation rate, ϵ :
	Other variables:	
Solution Stages		
Solution Verification		
Residuals		
Variables		
Mass Flux		
Grid independence		
Other sensitivity checks		
Solution Validation		
Hand Calculations:		
Experimental Data:		
Pre-validated Simulations:		

ASMEのV&VとISO 9001のV&Vの違い

- 何を目標とするのか
 - ASME: real world
 - ISO: customer
- 対象とする範囲
 - ASME: コンピュータシミュレーション
 - ISO: 企業活動->ソフトウェア業務->シミュレーション

問題点

- CFDには様々な種類があり、その解析業務にも様々な形態がある。
 - CFD: 単相流、混相流、熱流動、燃焼など
 - 業務: 安全性確認、最適化、トラブルの原因追及など
 - 解析: システムコード、有限体積法、粒子法
- ISO9001のV&VとASME V&Vとの交錯、不整合
 - Verification: ASME V&V 10では、収束、格子、時間ステップ、プログラムミスや入力ミス
 - Validation: ASME V&Vはreal world、ISO9001では顧客要求

まとめ

- NAFEMSによるHow to Plan a CFD Analysis の内容を解説した。
- ISO9001に準拠してCFD業務の流れをまとめたものであり、通常のCFD業務にV&Vの手順が加わったものになっている。
- CFD業務の一例を取り上げたものであり、まだ試案の段階であると位置づけられる。