

1 DCAEの考え方、適用事例、課題

東京大学 大富浩一

自己紹介(企業での35年9か月)



開発(プロジェクト)

分離機	原子力	宇宙 リニア	PC, 携帯電話, 半導体等	宇宙 (NASA/ISS)	家電 医用機器
-----	-----	-----------	-------------------	------------------	------------

研究

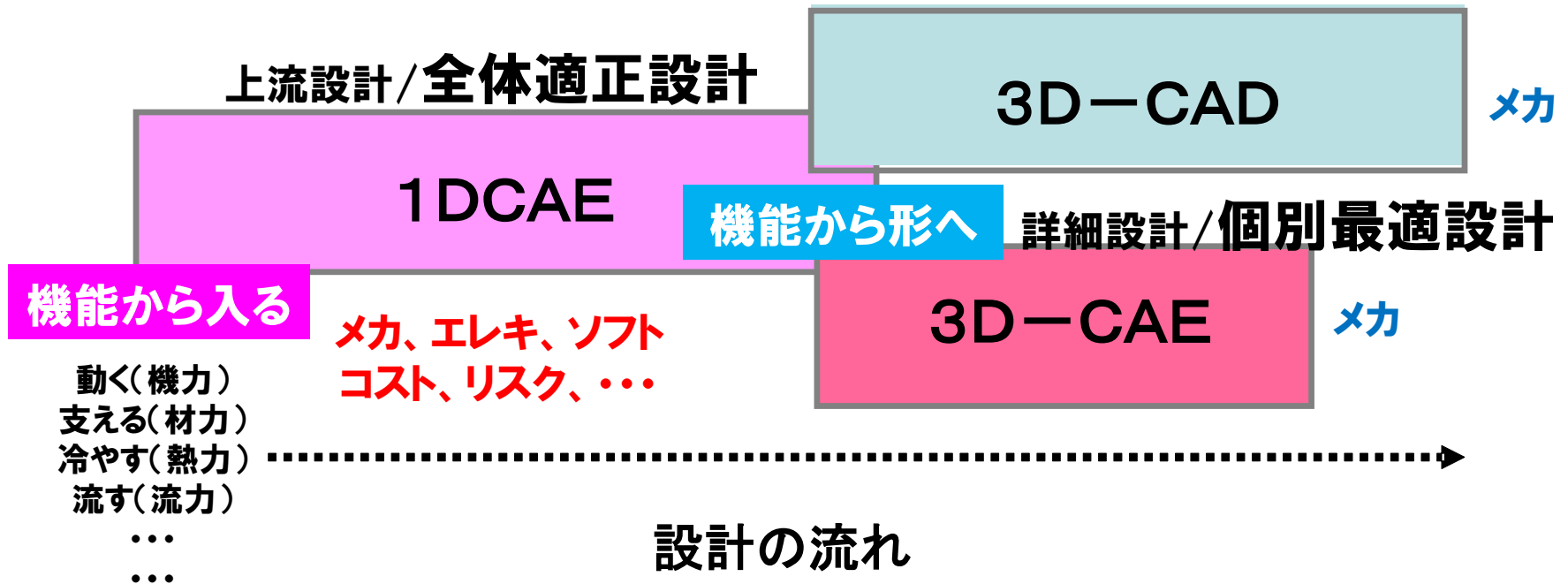
流体関連 振動	VR	設計工学 (全社活動)	音のデザイン 1DCAE
------------	----	----------------	-----------------

管理

1DCAEの提案:2009年

設計情報の次元の推移

0D → 1D → 2D → 3D → 4D



1DCAEとは?!

『1DCAEとは上流段階から適用可能な設計支援の考え方、手法、ツールで、1Dは特に一次元であることを意味しているわけではなく、**物事の本質を的確に捉え、見通しの良い形式でシンプルに表現**することを意味する。1DCAEにより、設計の上流から下流までCAEで評価可能となる。ここで言うCAEはいわゆるシミュレーションだけでなく、**本来のComputer-Aided Engineering** を意味する。1DCAEでは、製品設計を行うに当たって（形を作る前に）機能ベースで対象とする製品（システム）全体を表現し、評価解析可能とすることにより、製品開発上流段階での全体適正設計を可能とする。全体適正設計を受けて（この結果を入力として）個別設計を実施、個別設計の結果を全体適正設計に戻しシステム検証を行う。』

設計の起点



全体を俯瞰

全体適正設計

1DCAE : 機能を考える

仕様 (機能→形)

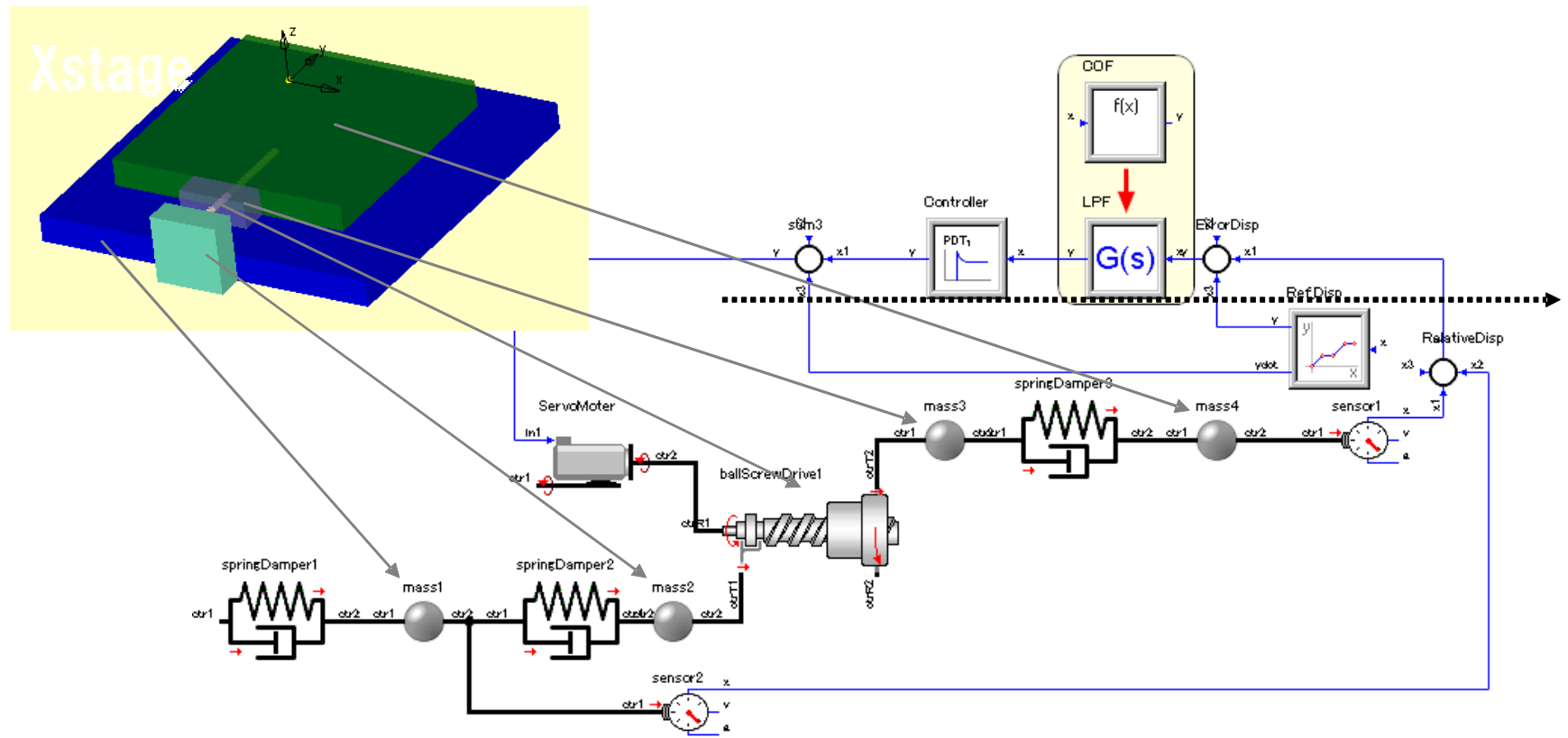
結果 (機能検証)

3D-CAE : 形を考える

個別最適設計

詳細を設計

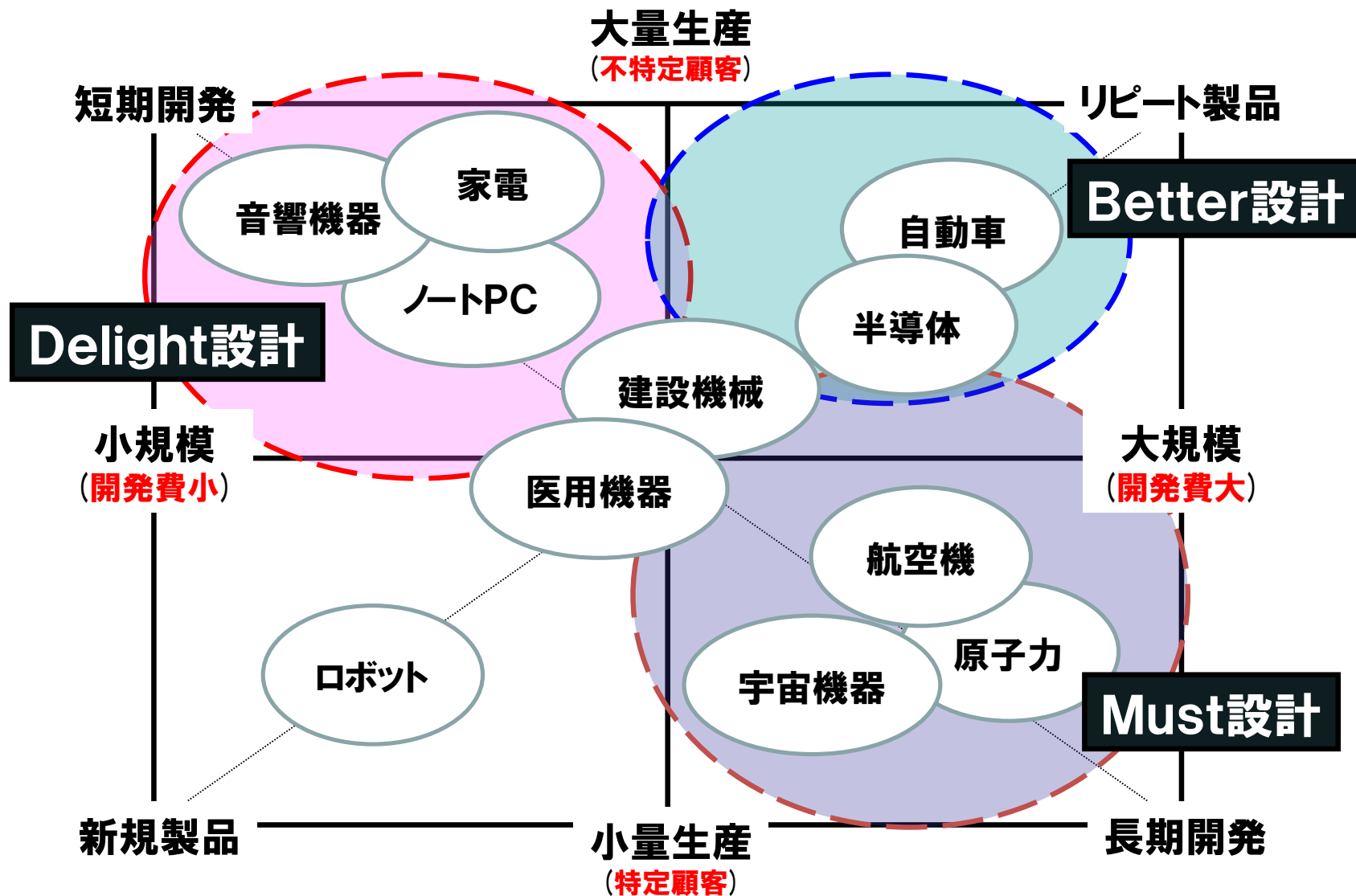
3D : 構造は分かるが機能は見えない

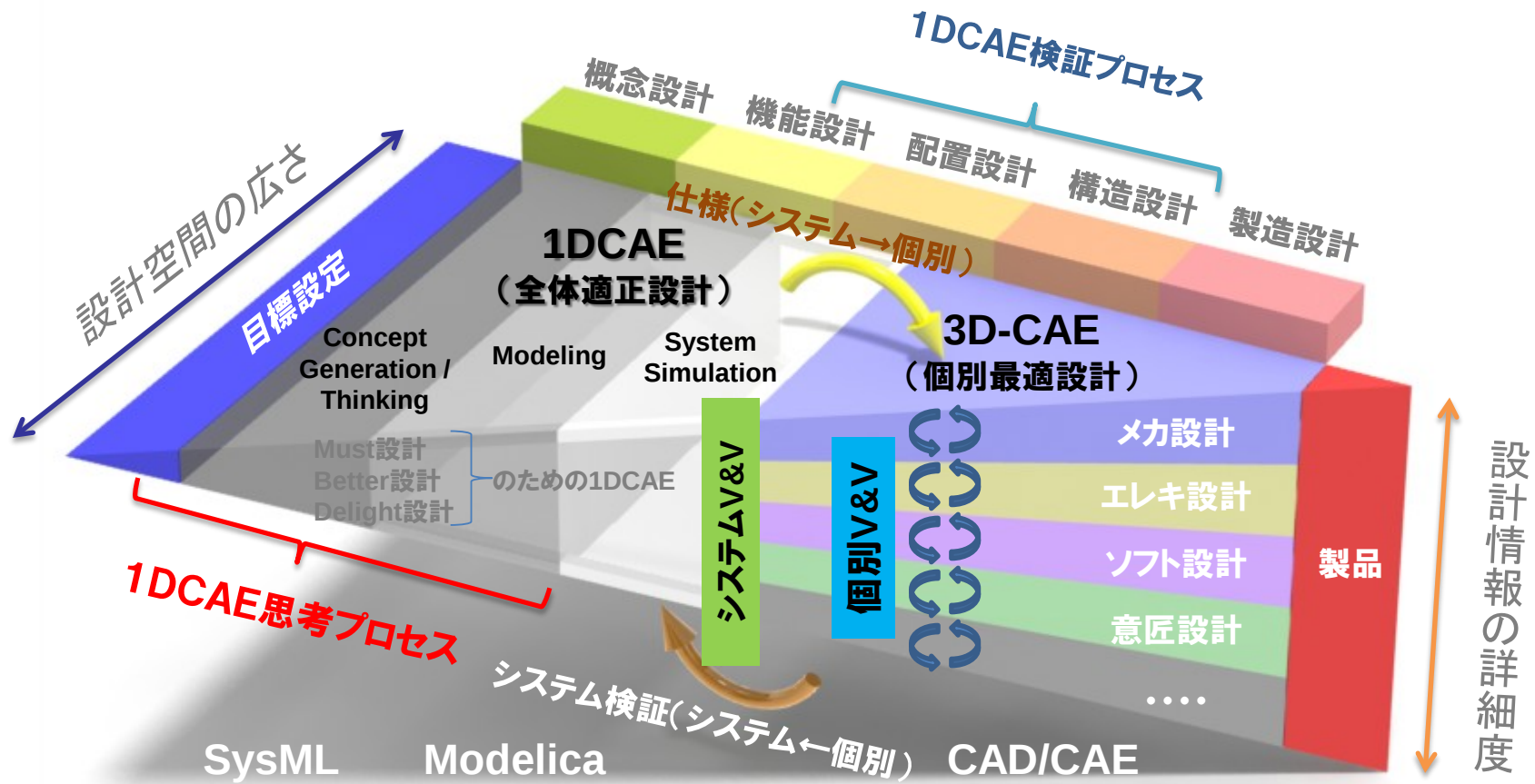


1D : 構造は分からないが機能は見える

1DCAEの効果

- **上流設計の実現**：設計上流段階から適用可能なため、広い設計空間を対象とすることができ、新たな価値の創造につながる。
- **システム全体の可視化**：メカ、エレキ、ソフトといった分野を横断した設計仕様の策定が可能となる。これは分野単独の部分最適から、分野横断の全体最適を可能とし、ムリ、ムダを排除できる。また、システム全体での抜けを防止でき、品質向上につながる。
- **エンジニアの育成**：1DCAEは物理現象をちゃんと理解していることにより最大の効果を発揮し、考えている対象製品イメージを機能に展開する能力が要求される。1DCAEはエンジニアに学習を能動的に働きかける重要な効果がある。





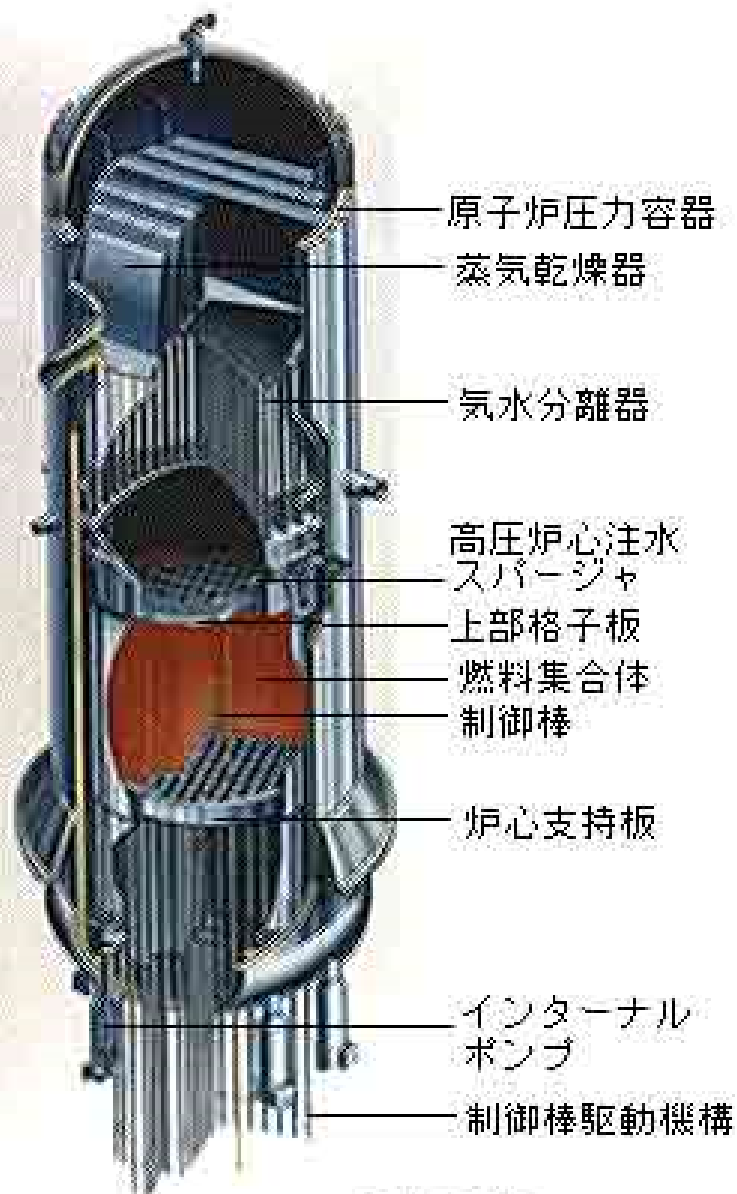
3つの設計とその目的

Must設計: リスク最小化

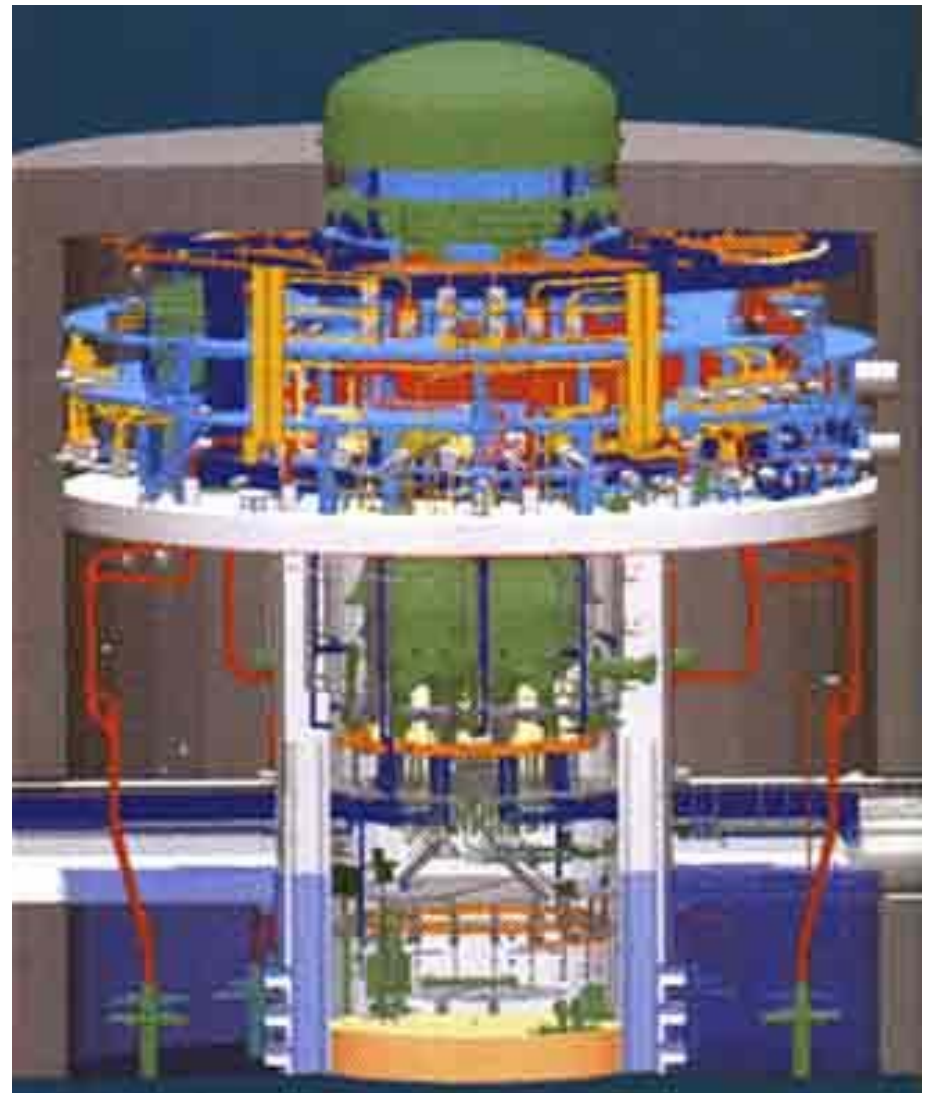
Better設計: コスト最小化、開発期間最短化、性能最大化

Delight設計: 心地よさ最大化

昔の話ではありますが



ABWRの原子炉

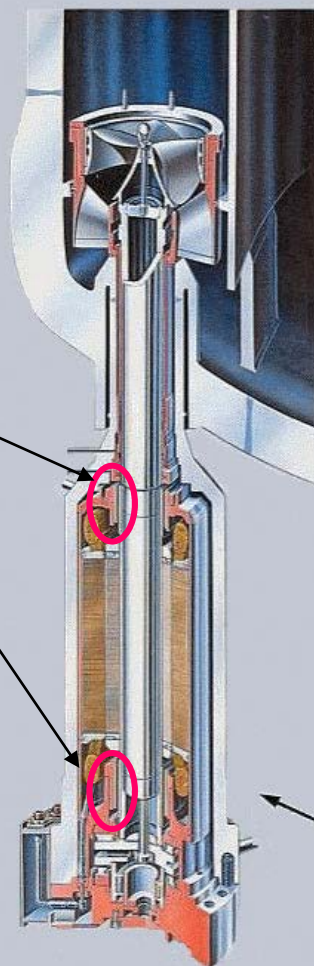


水中軸受け

四円弧軸受け



偏心三円弧軸受け



インターナルポンプ (RIP)

蒸気乾燥器

気水分離器

燃料集合体

炉内構造物の
流体振動

改良型
制御棒駆動機構

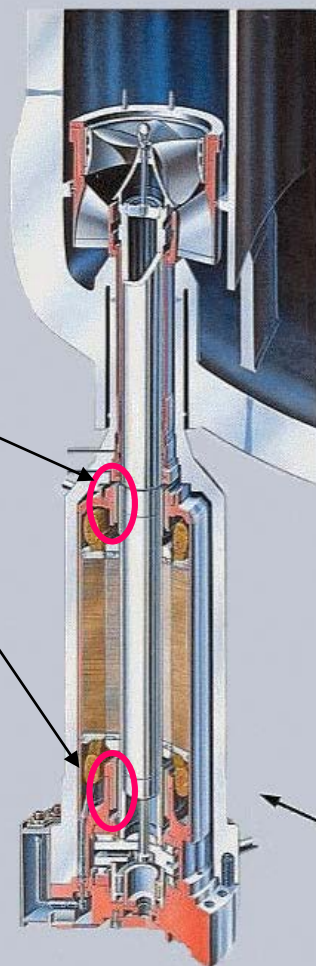
原子炉圧力容器および炉内構造物

水中軸受け

四円弧軸受け



偏心三円弧軸受け



インターナルポンプ (RIP)

気乾燥器

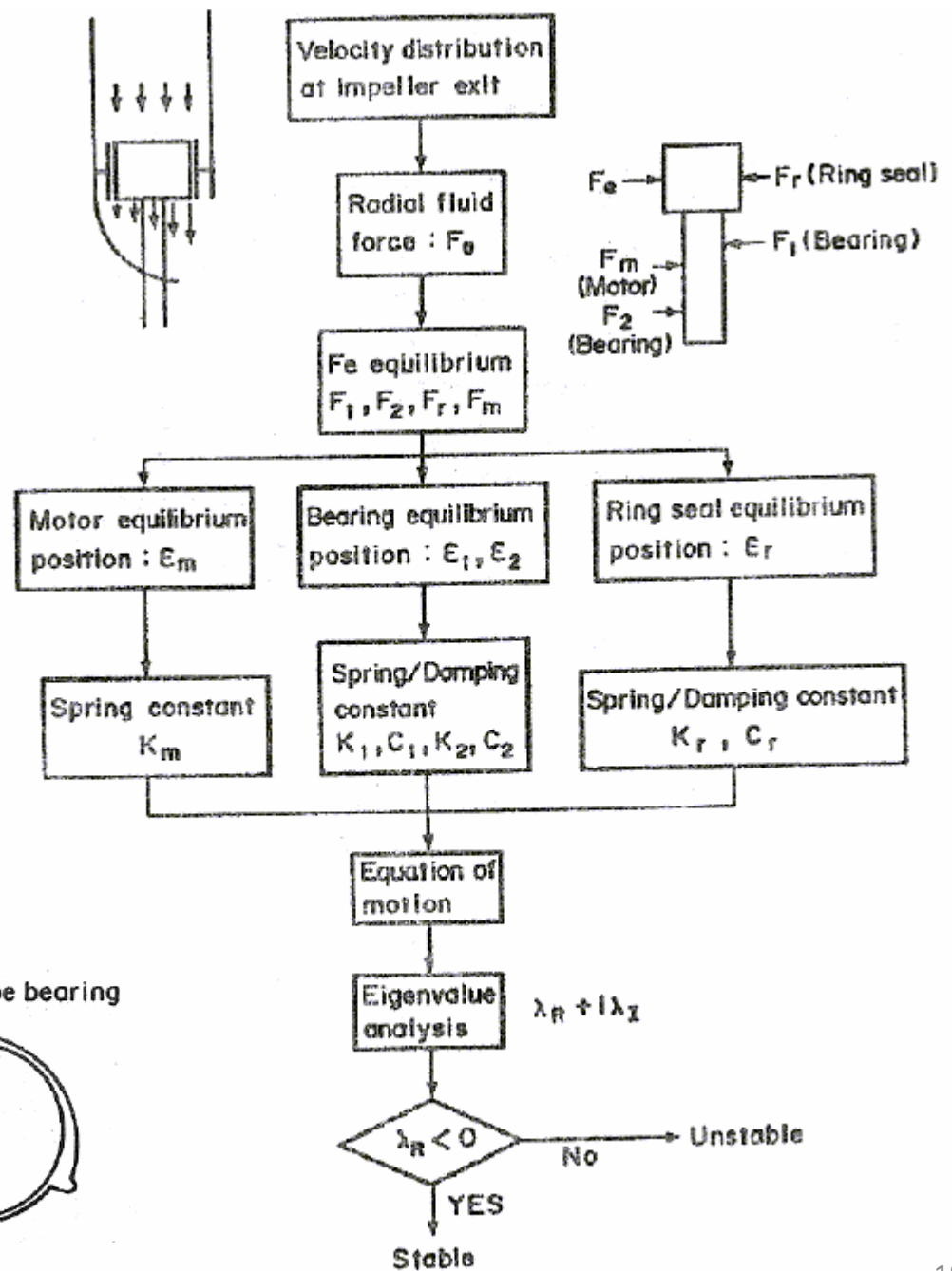
水分離器

燃料集合体

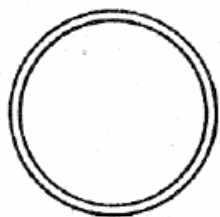
炉内構造物の
流体振動

改良型
制御棒駆動機構

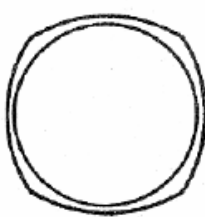
原子炉圧力容器および炉内構造物



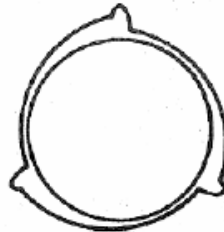
Circular bearing



4-lobe bearing



Offset 3-lobe bearing



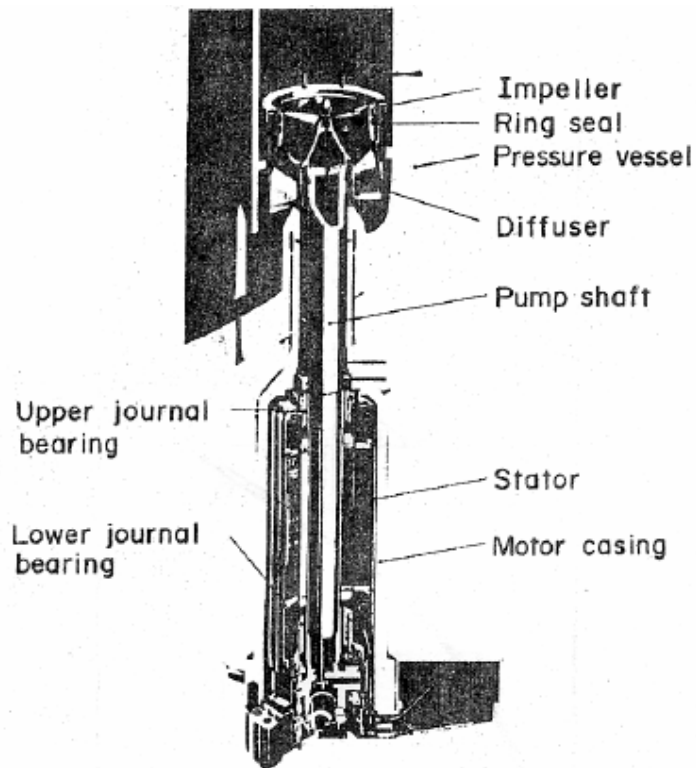


Fig.1 Reactor internal pump

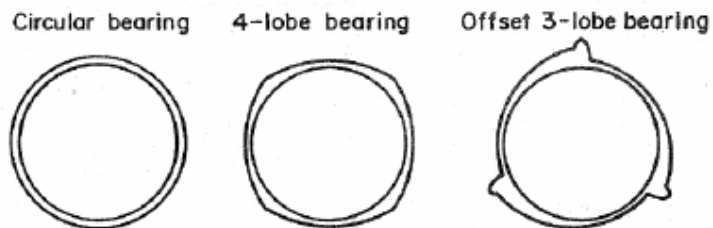


Fig.2 Journal bearing configurations

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(G_x \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(G_z \frac{h^3}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z} \right) = 6U \frac{\partial h}{\partial x} + 12V_0$$

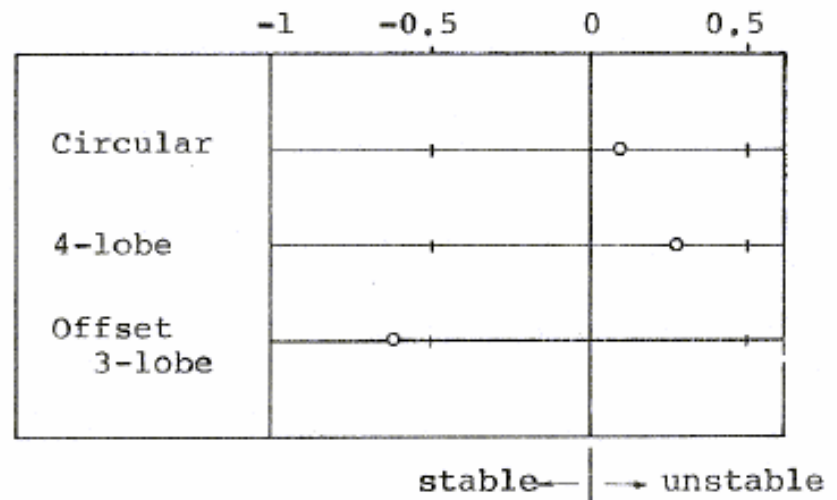


Fig.12 Stability analysis results

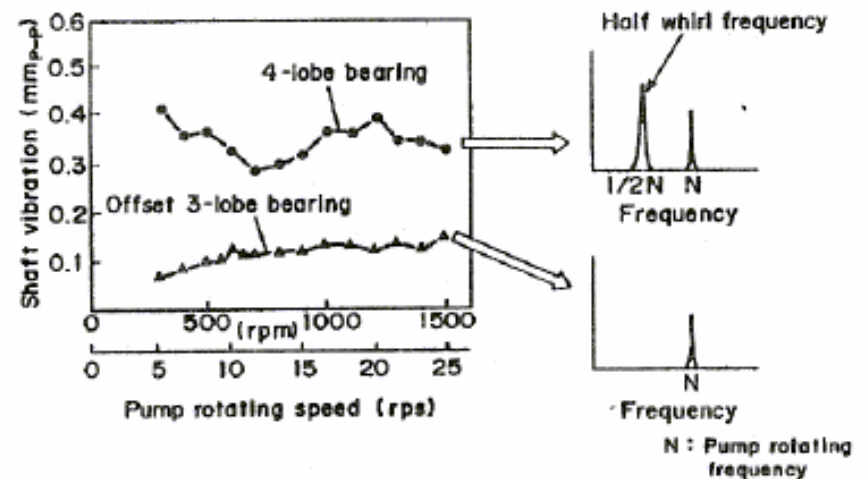


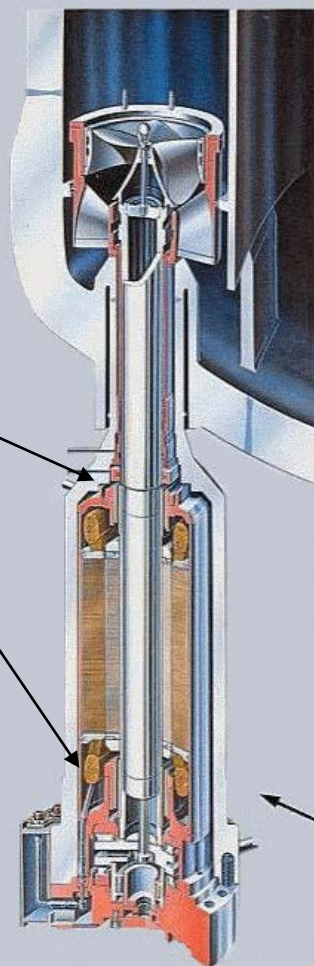
Fig.13 Experimental results

水中軸受け

四円弧軸受け



偏心三円弧軸受け



インターナルポンプ (RIP)

蒸気乾燥器

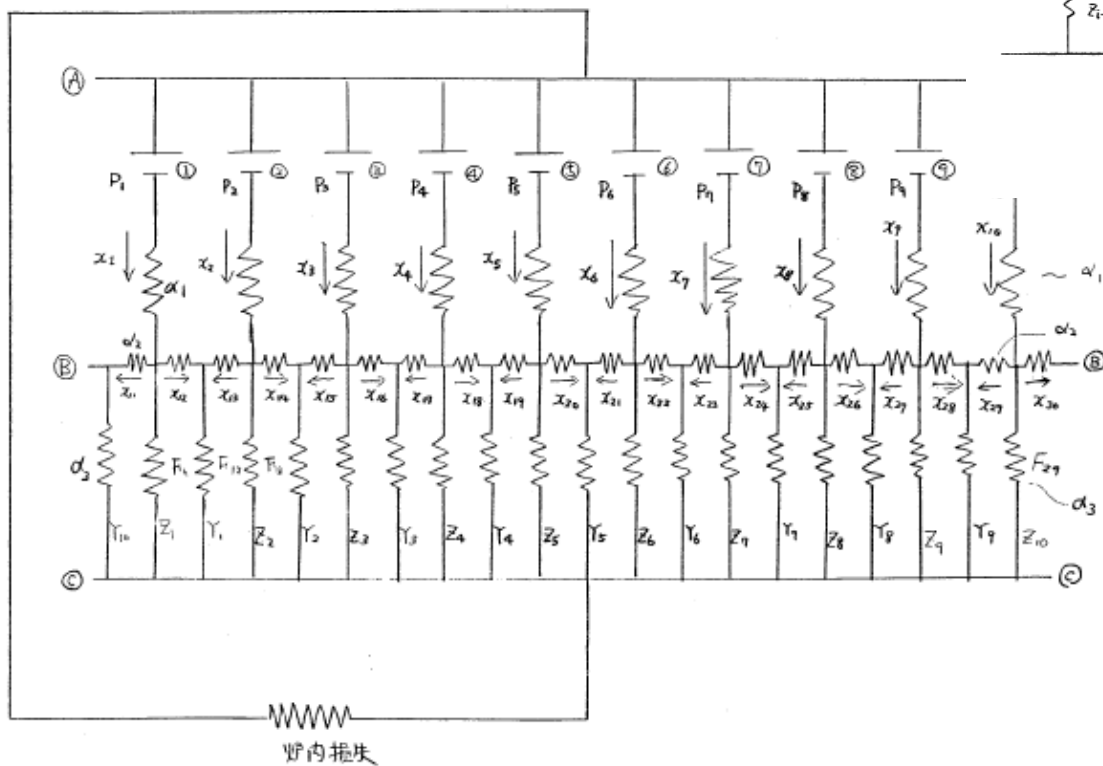
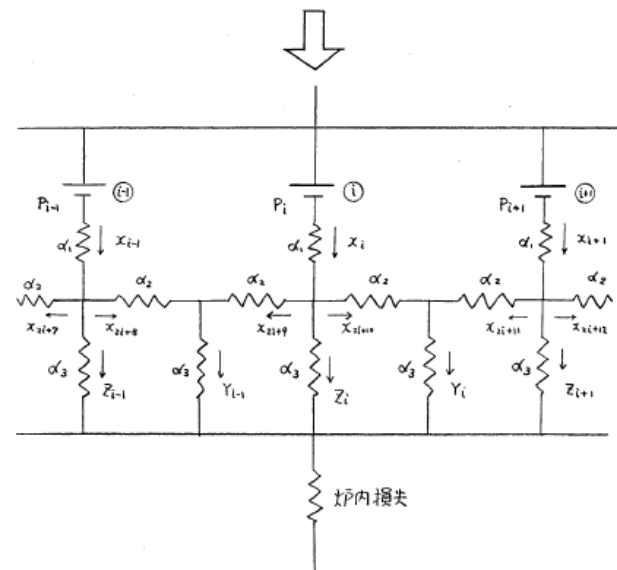
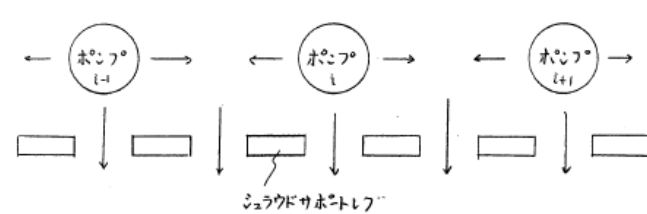
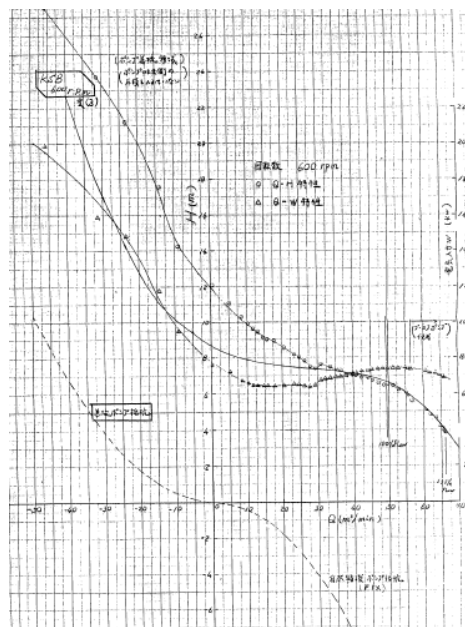
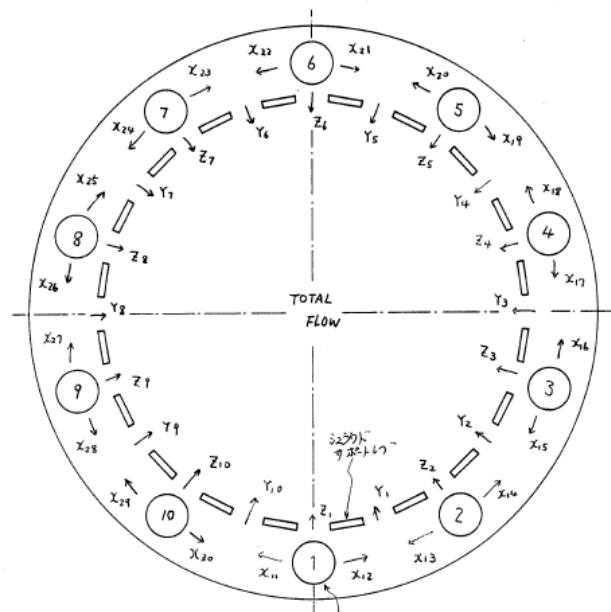
気水分離器

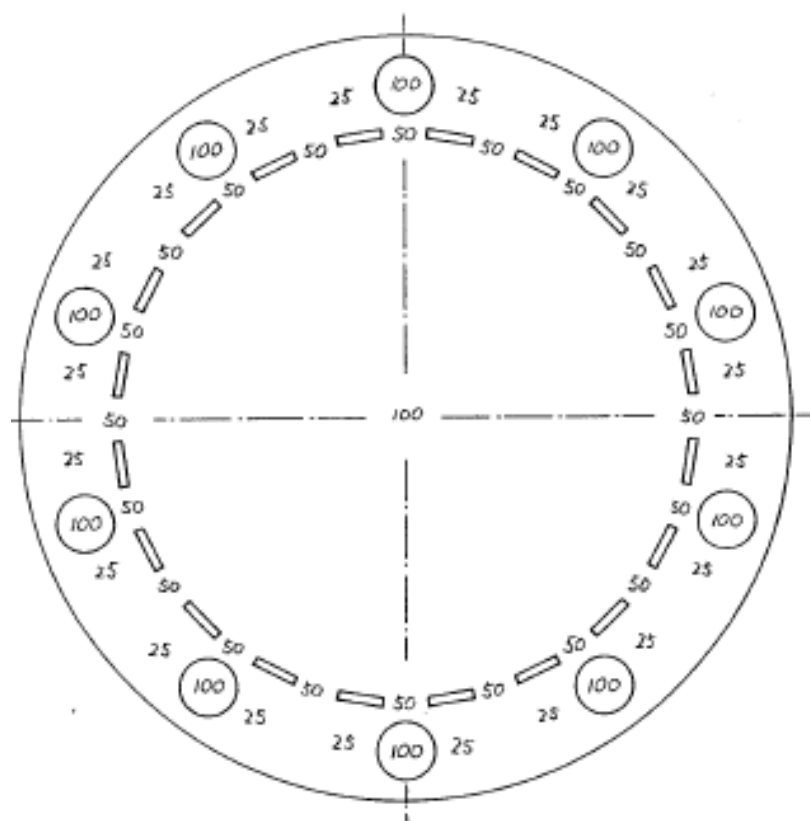
燃料集合体

改良型
制御棒駆動機構

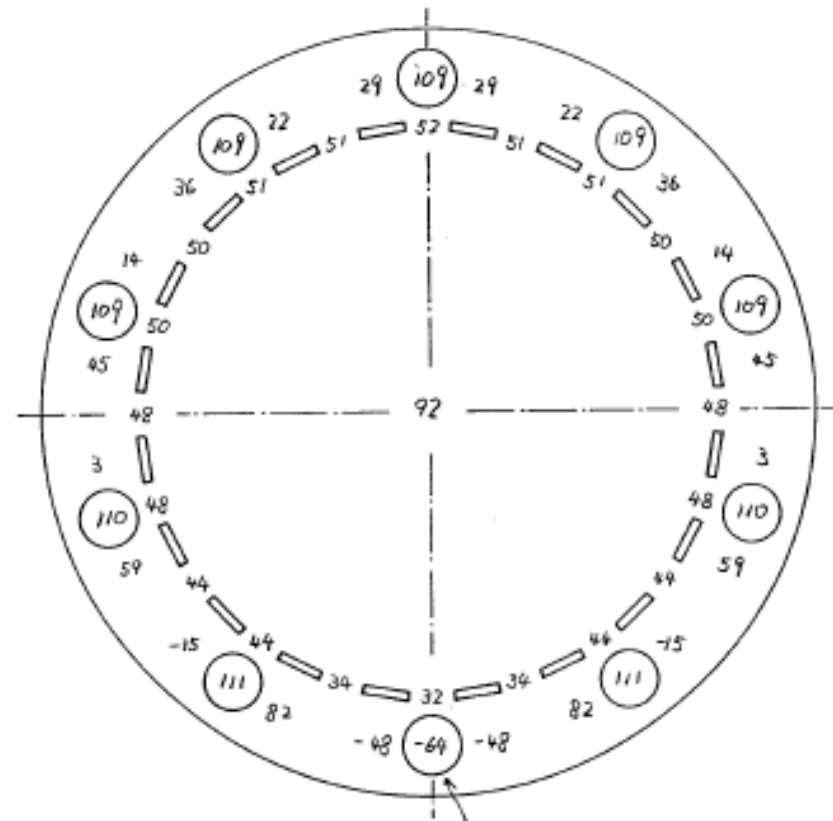
炉内構造物の
流体振動

原子炉圧力容器および炉内構造物





全ポンプ運転



ポンプ停止

最終的には実験で確認 (モデル実験⇒実機大実験)

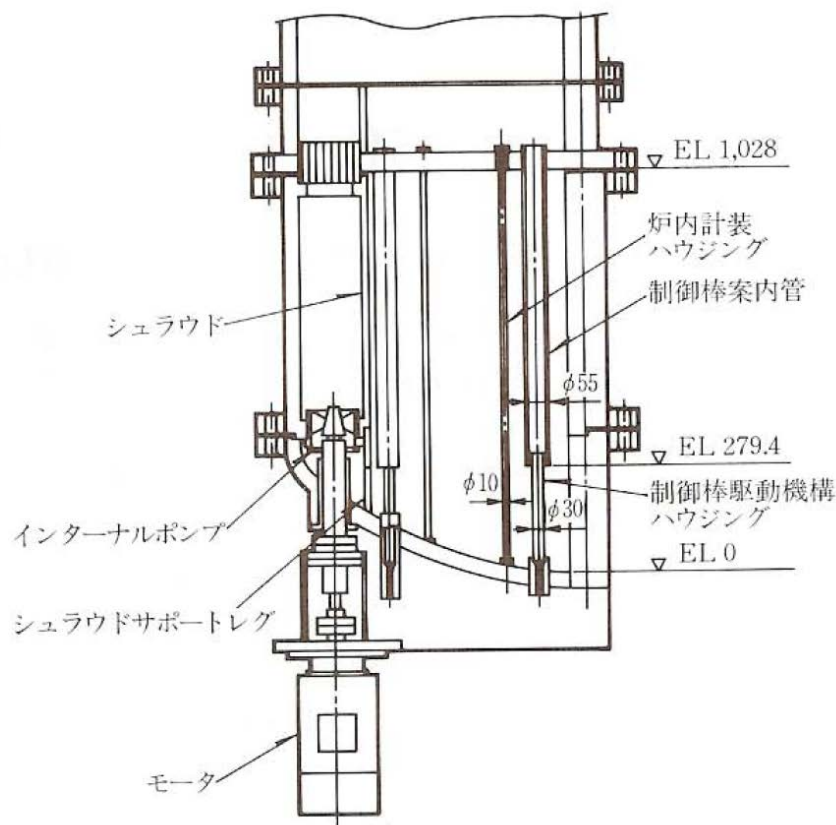


図2. ABWR 1/5 モデル試験装置 ポンプ2台を含む実機のセクタモデルで、かつ、構造物、ポンプを実機と同じ形状でスケールを 1/5 にしてある。

ABWR 1/5-scale model test facility

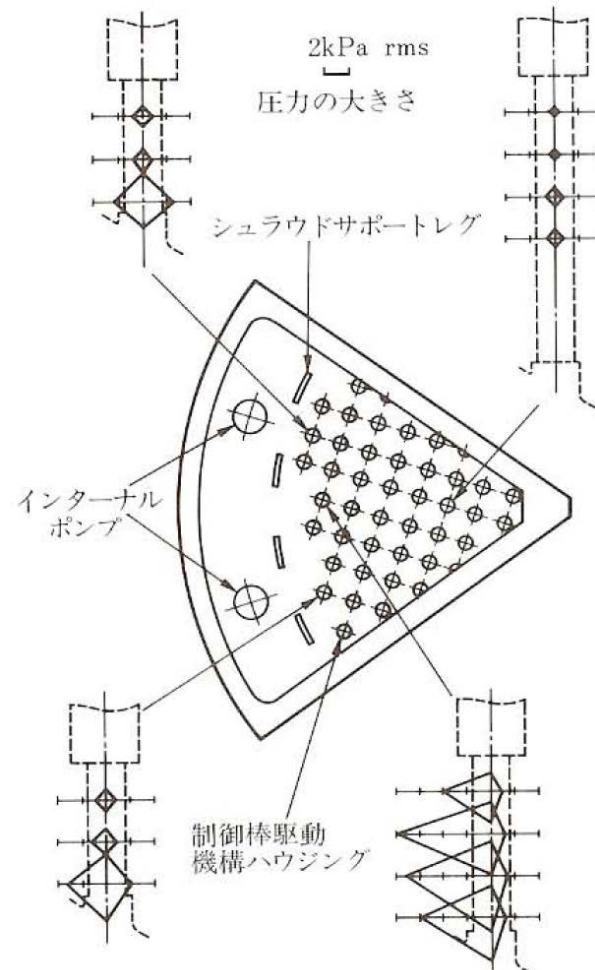


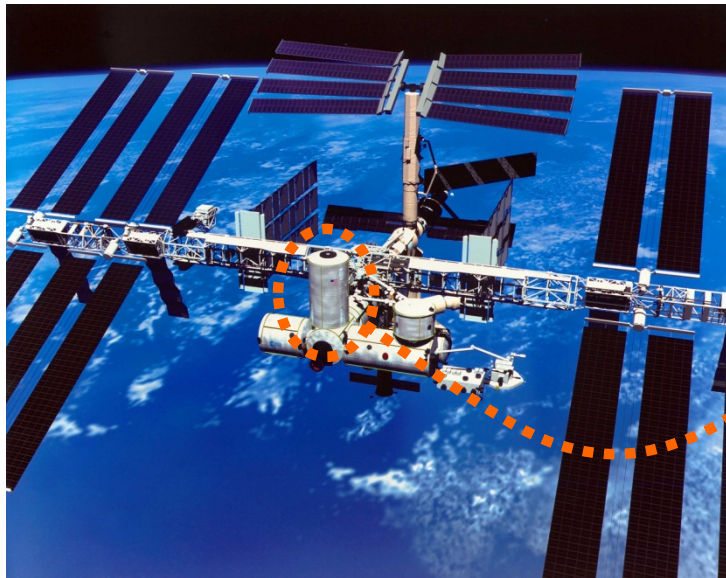
図3. ABWR 1/5 モデル試験結果 ポンプ吐出流を受ける制御棒駆動機構ハウジング表面の変動圧力である。これから流体加振力が評価できる。

ABWR 1/5-scale model test results

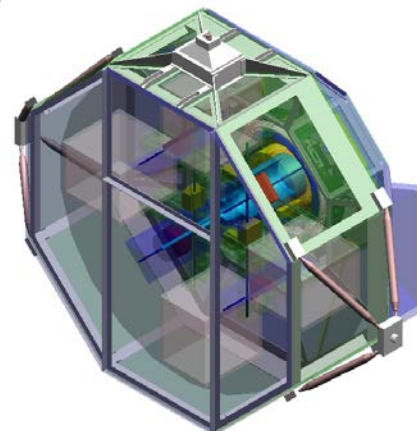
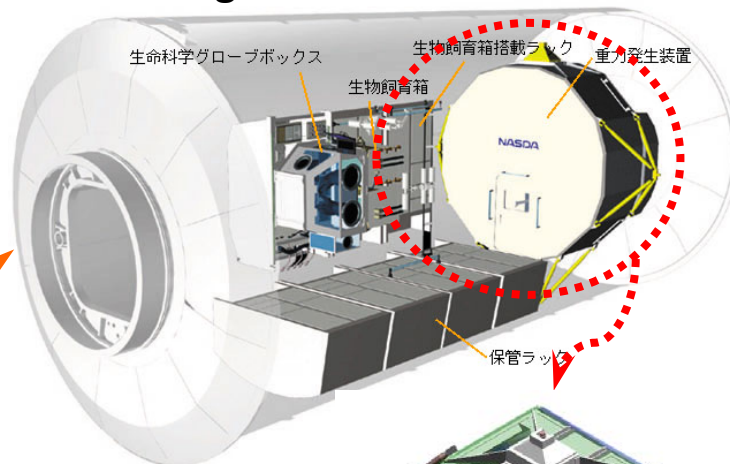
比較的最近の話ですが

セントリフュージ・プロジェクト

重力発生装置搭載モジュール Centrifuge Accommodation Module(CAM)

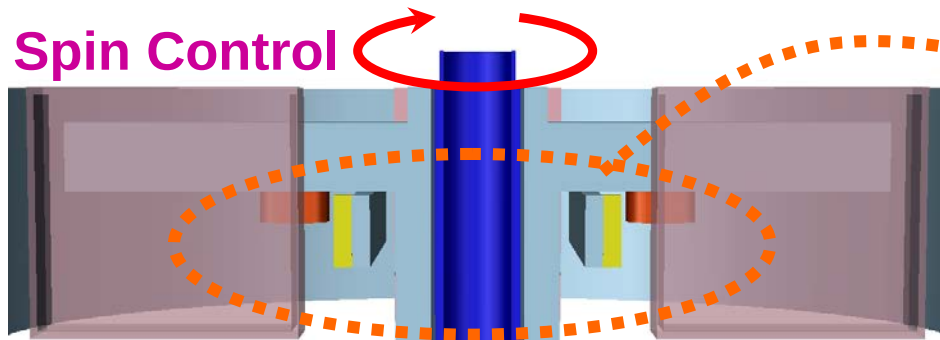


国際宇宙ステーション
International Space Station(ISS)

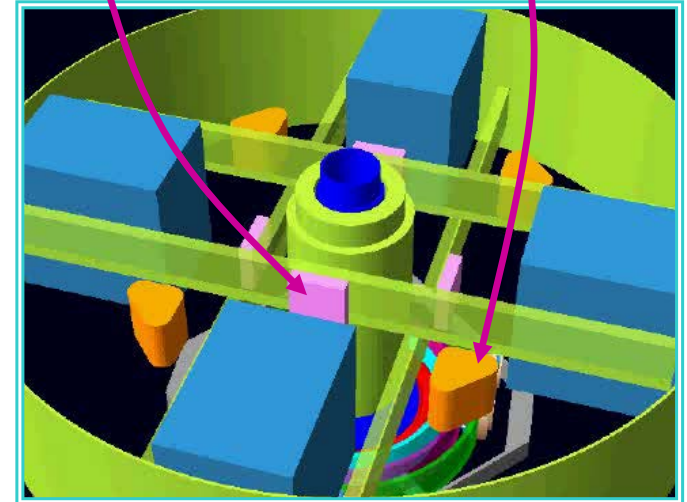


セントリフュージ・ロータ(CR):東芝開発
回転により人工重力を発生(~2G)
重力が生物に与える影響を調査

Structure of CR

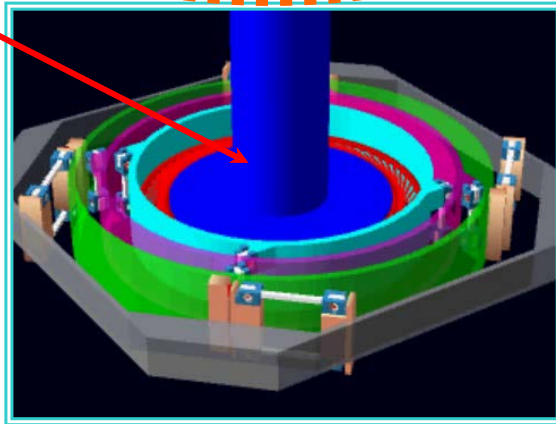


Static balancer Dynamic balancer



Auto-Balance System (ABS)
(**ABS Control**)

Stator



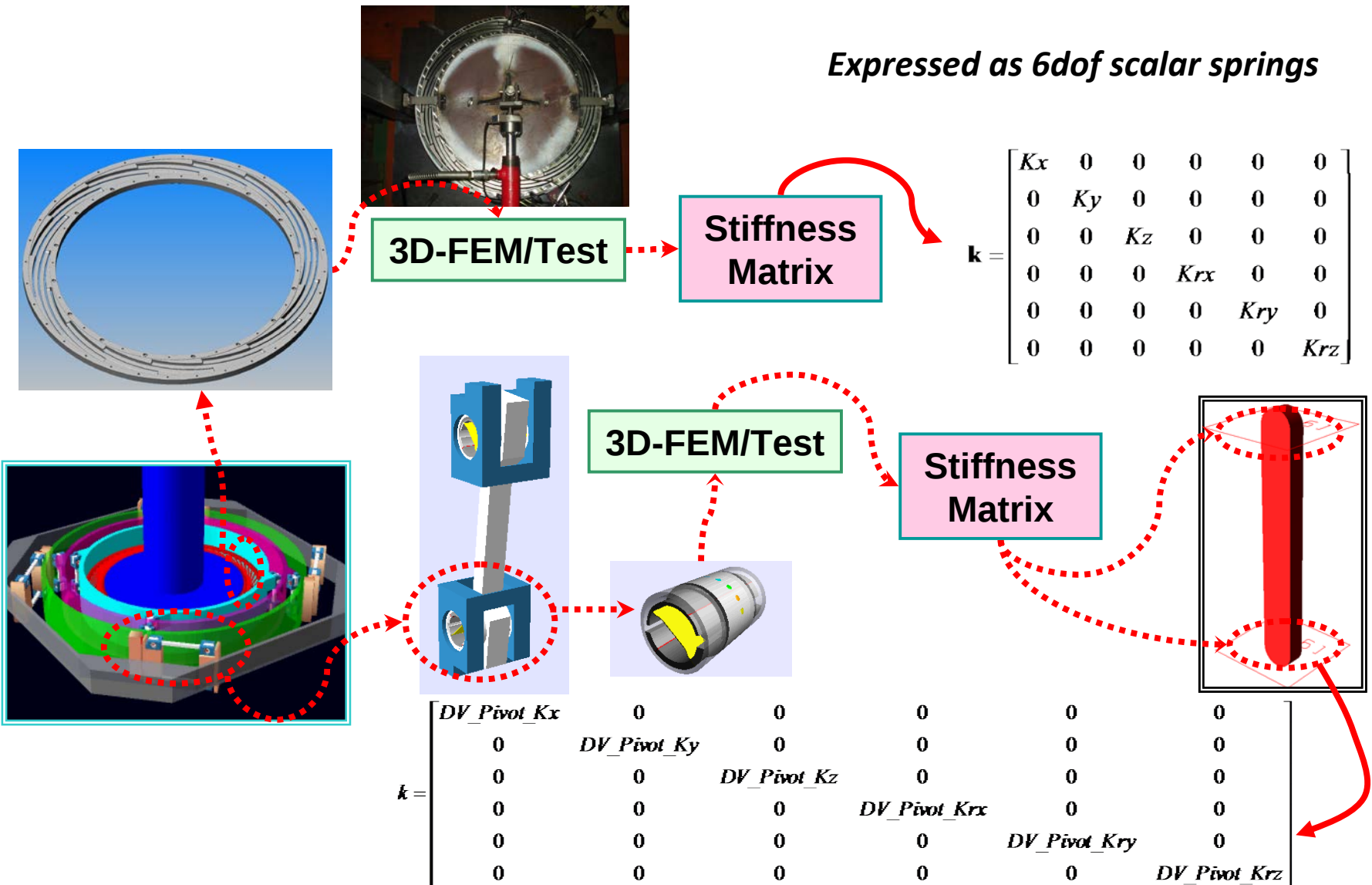
Vibration Isolation Mechanism (VIM)
(**VCM Control: Position & Damping**)





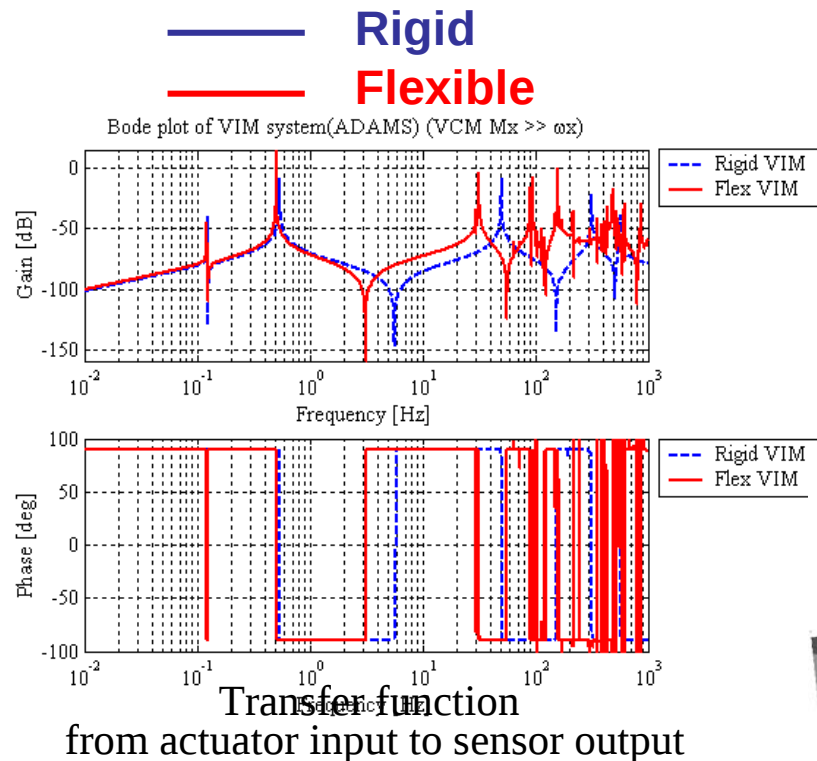
Structure

FEM & Test

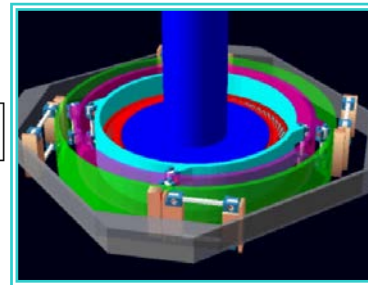


Flexible Structure

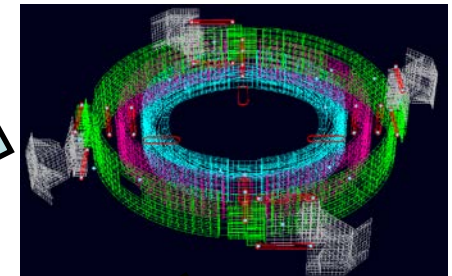
FEM & ADAMS/Flex



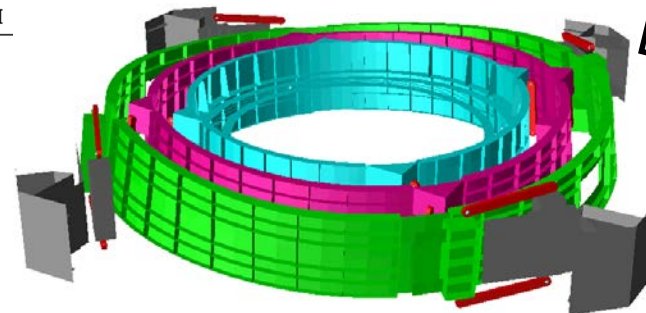
ADAMS Model (Rigid)



3D-FEM
ANSYS, NASTRAN

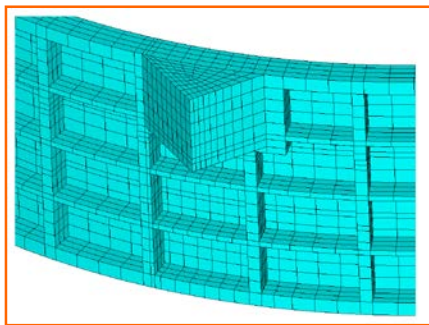


ADAMS/Flex



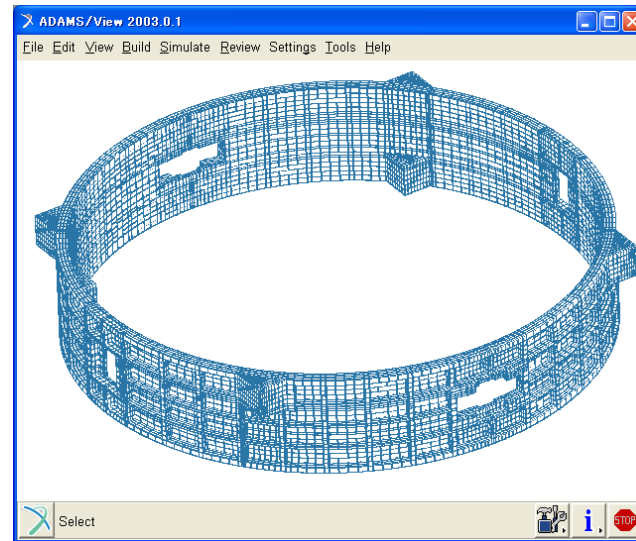
Weight saving is one of the most important issues in space equipment design. Therefore, the structure should be treated as an elastic body. The 3-D FEM analysis is separately done and the result is introduced into the integrated analysis model by using ADAMS/Flex, which is a function of ADAMS.

Stress



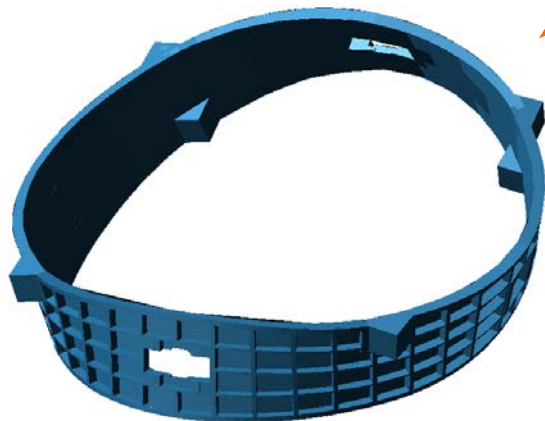
FEM

- FEM Analysis
- ADAMS/Flex



Stress Analysis (FEM)

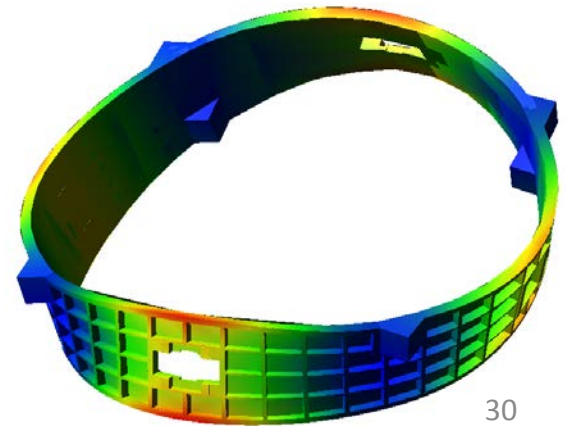
Deformation Data



ADAMS/Solver
(Dynamic Simulation)

ADAMS/Durability

- Direct evaluation





Control

Matlab & ADAMS/Controls

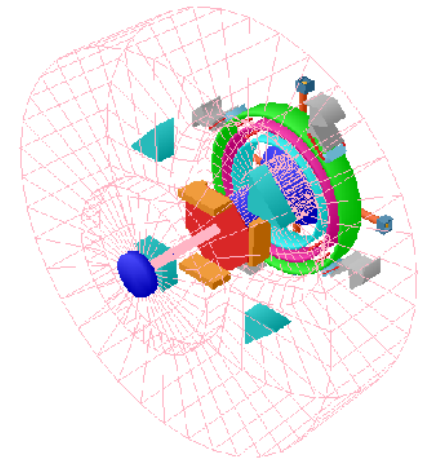
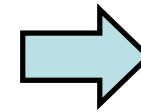
Control design based on **MATLAB**
Simple model of MOE

$$\begin{aligned} M_g \ddot{x}_g + C_{Rtx} \dot{x}_g - C_{Rtx} \dot{x}_1 - C_{Rtx} L \dot{\phi}_{y_g} + K_{Rtx} x_g - K_{Rtx} x_1 - K_{Rtx} L \phi_{y_g} &= d_{x_g} \\ M_1 \ddot{x}_1 - C_{Rtx} \dot{x}_g + (C_{Rtx} + C_{Xtx}) \dot{x}_1 - C_{Xtx} \dot{x}_2 + C_{Rtx} L \dot{\phi}_{y_g} \\ &\quad - K_{Rtx} x_g + (K_{Rtx} + K_{Xtx}) x_1 - K_{Xtx} x_2 + K_{Rtx} L \phi_{y_g} = u_{Xtx} + h_{Xtx} + d_{x_1} \\ M_2 \ddot{x}_2 - C_{Xtx} \dot{x}_1 + (C_{Xtx} + C_{Ytx}) \dot{x}_2 - C_{Ytx} \dot{x}_3 - K_{Xtx} x_2 + (K_{Xtx} + K_{Ytx}) x_2 - K_{Ytx} x_3 &= -u_{Xtx} - h_{Xtx} + h_{Ytx} + d_{x_2} \\ M_3 \ddot{x}_3 - C_{Ytx} \dot{x}_2 + (C_{Ytx} + C_{Ztx}) \dot{x}_3 - K_{Ytx} x_2 + (K_{Ytx} + K_{Ztx}) x_3 &= -h_{Ytx} + d_{x_3} \end{aligned}$$

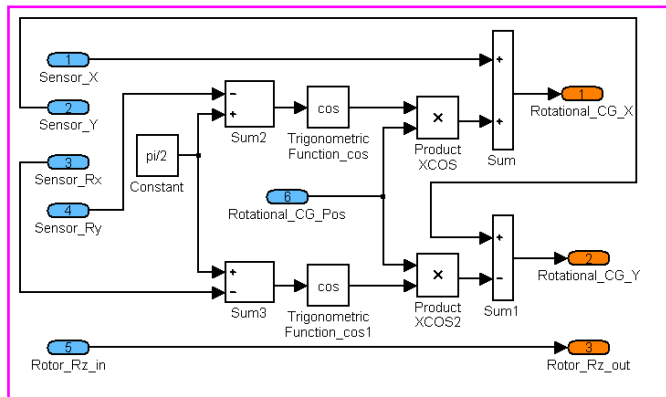
Basic control evaluation

State space expression of controller

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix}$$



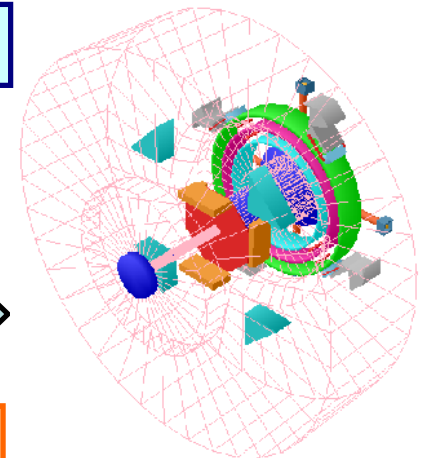
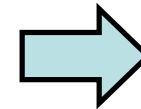
ADAMS Model



Block diagram by **Simulink**

On-orbit controller evaluation

Execution format by **Real-Time Workshop** & import by **ADAMS/Controls**

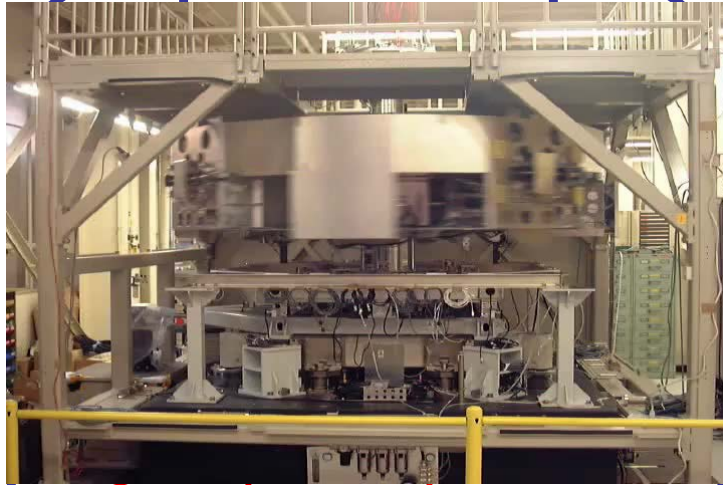


ADAMS Model

Actuator saturation, Controller digitizing, Switching, and etc.

V&V Procedure

Ground Test

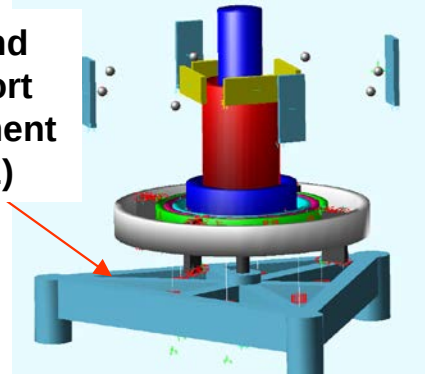


Ground test equipment needs to sufficiently simulate the flight model in space.

Verification
of
Simulation
Model

Simulation model on the ground

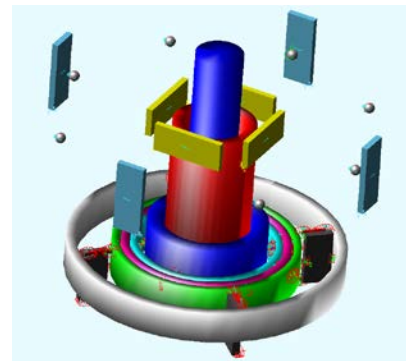
Ground
Support
Equipment
(GSE)



Neglect the effects of
gravity and GSE

Add the effects in
space condition

Simulation model in space



Estimate
Performance in
space condition

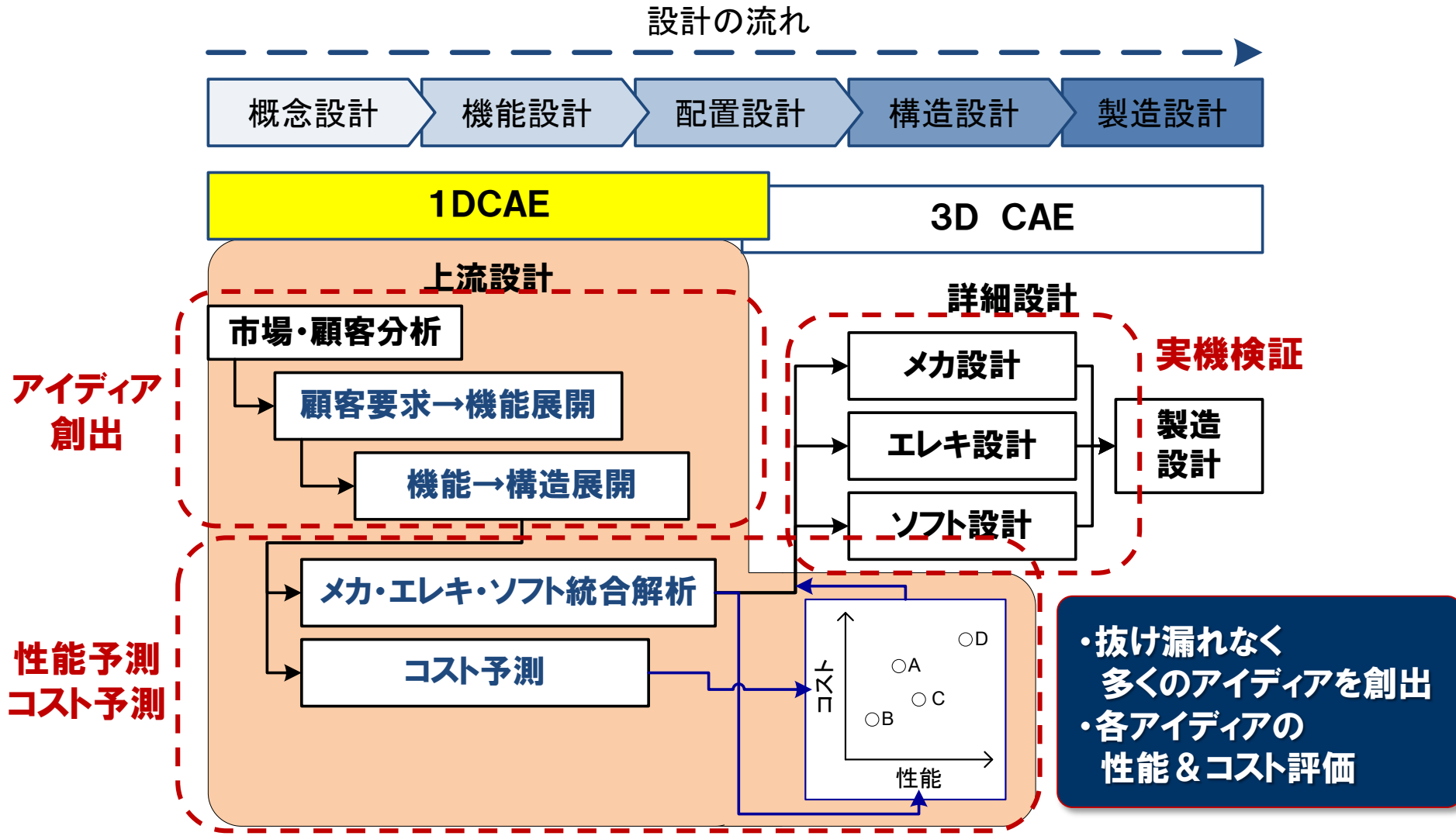
宇宙機器開発にSystems EngineeringとV&Vは必須（当たり前）

1DCAE for Better Design

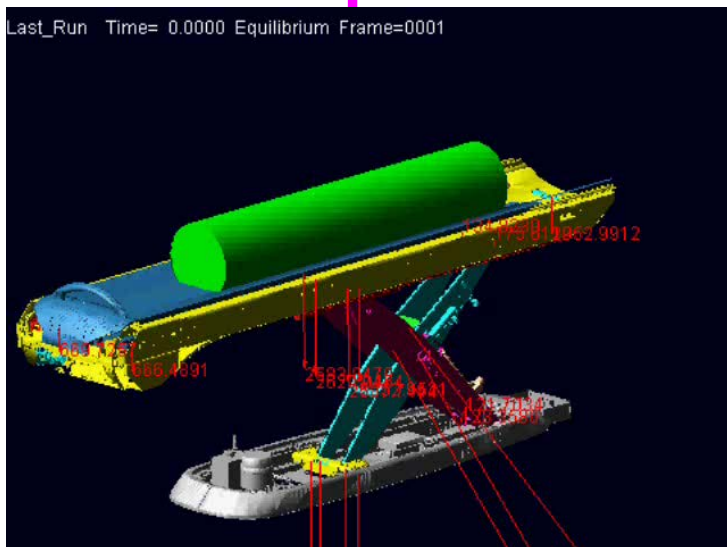
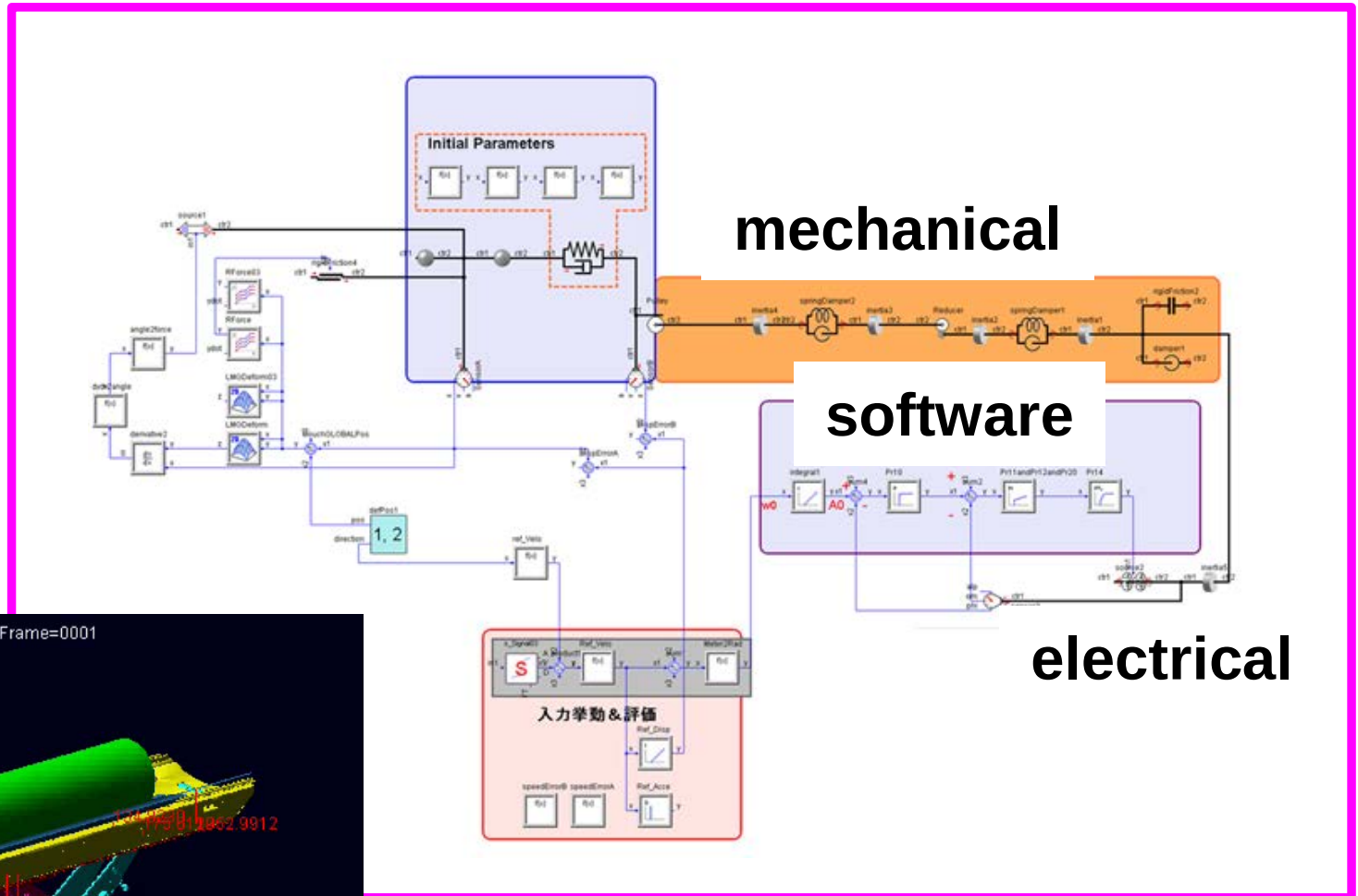


～医用機器のコスト最小化～

1DCAEによる提案手法



メカ・エレキ・ソフト統合解析

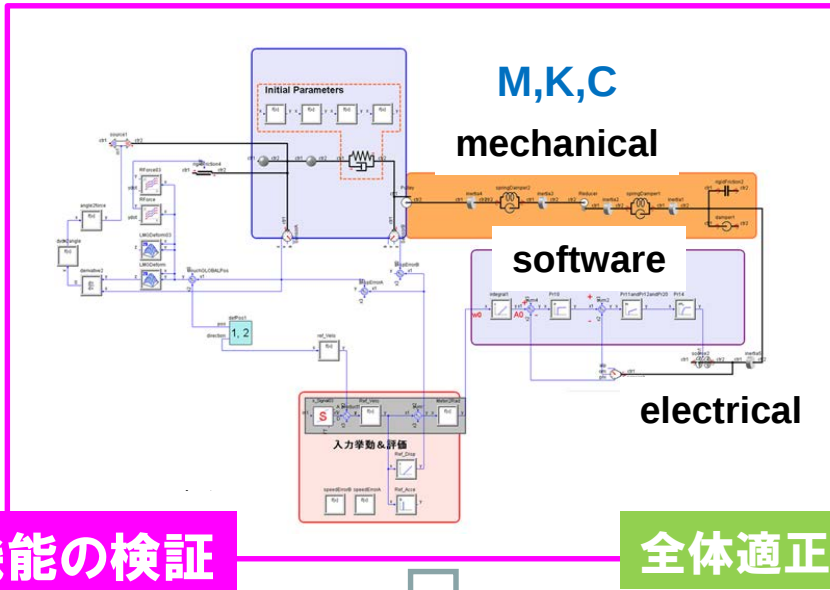


Mech./Elec./Soft. Analysis

物理モデルシミュレーション

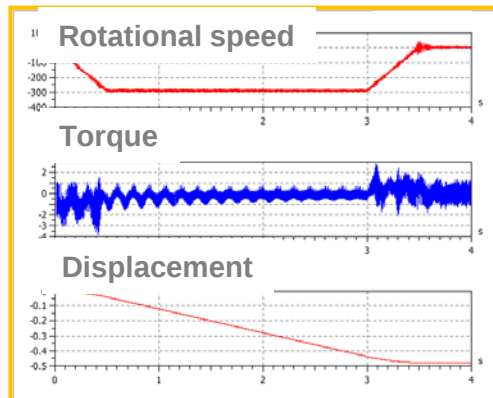
1D⇔3Dのデータの流れ

System simulation



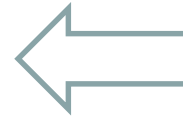
機能の検証

1D

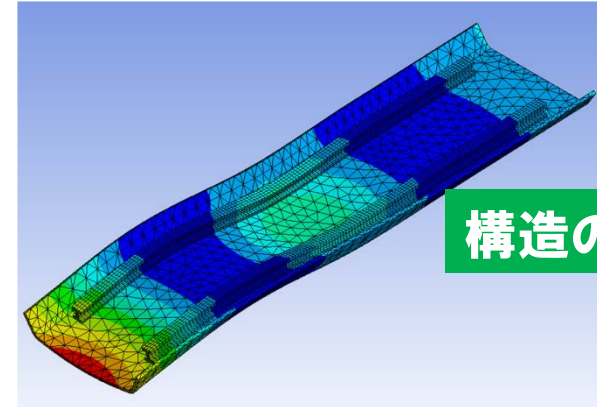


Performance estimation results

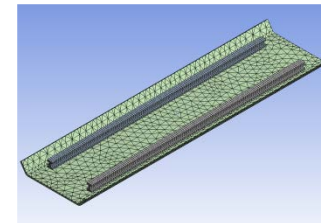
Equivalent
M,K,C



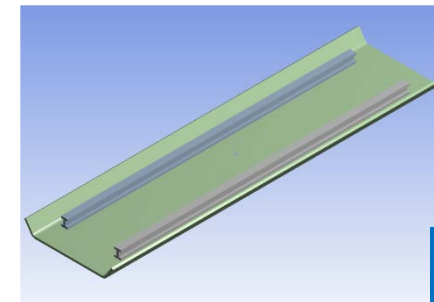
FEM results (displacement, stress)



構造の検証



FEM meshing



3D

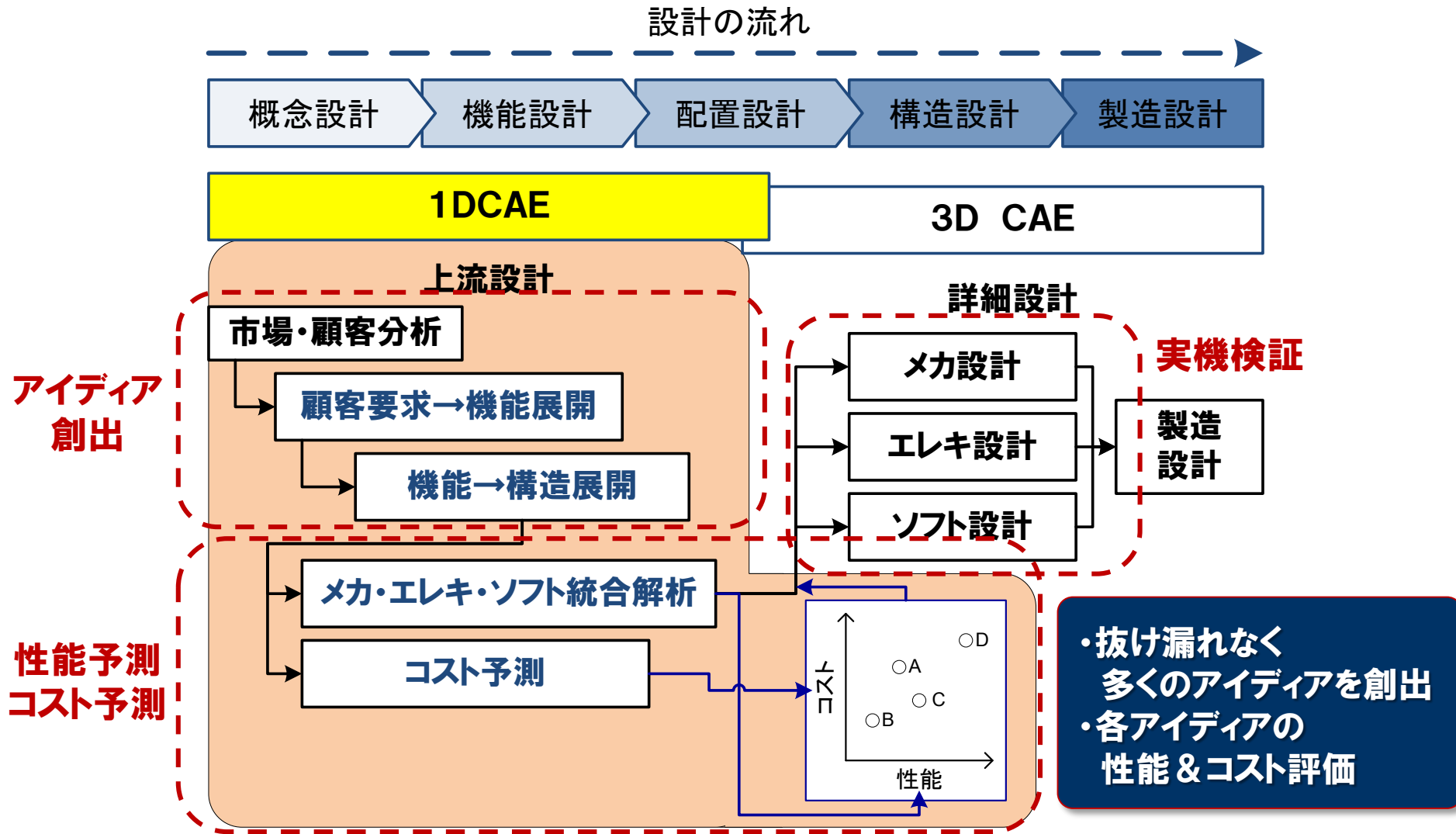
個別最適化

Detailed design by 3D-CAD

Optimized
M,K,C

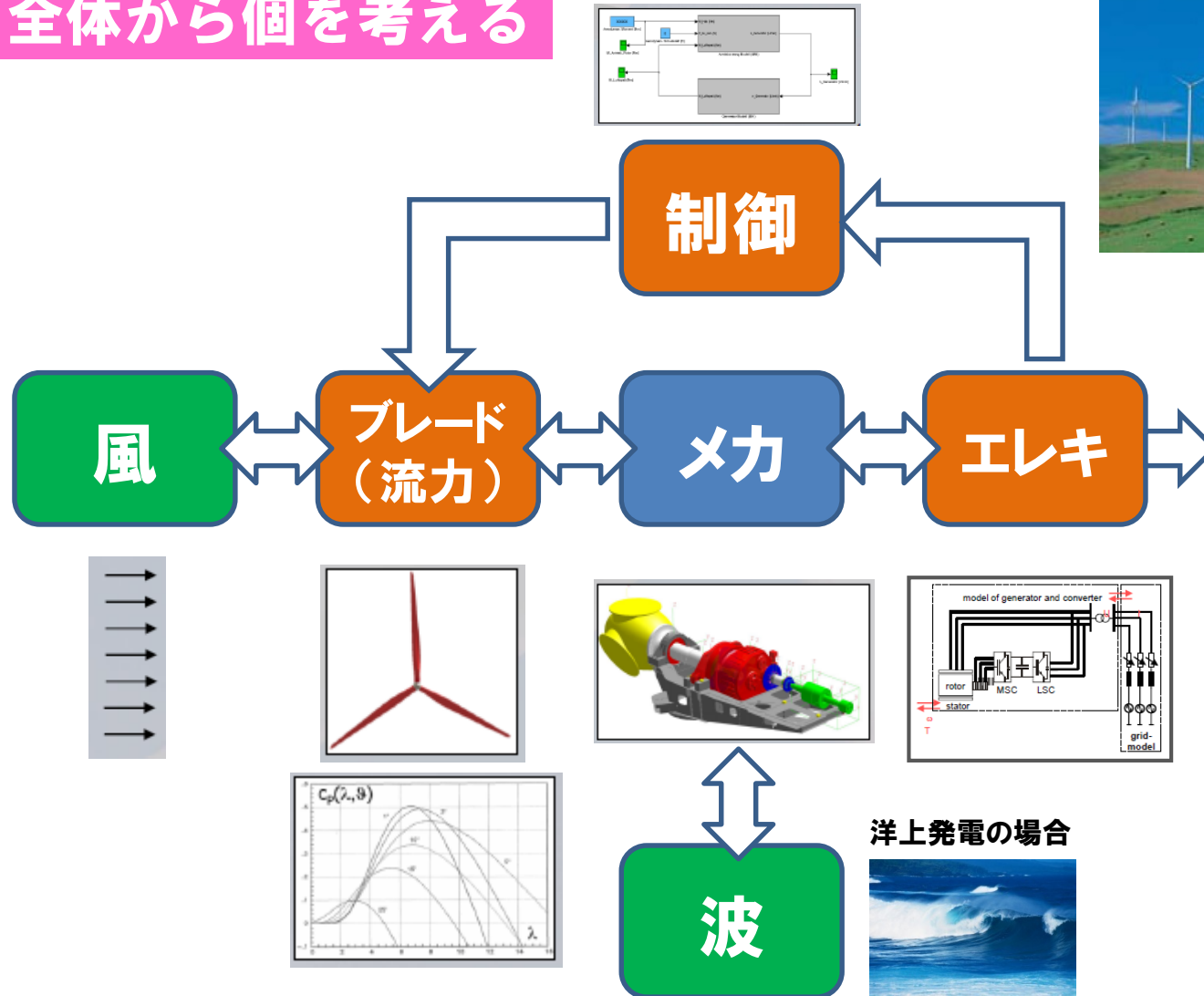


1DCAEによる提案手法

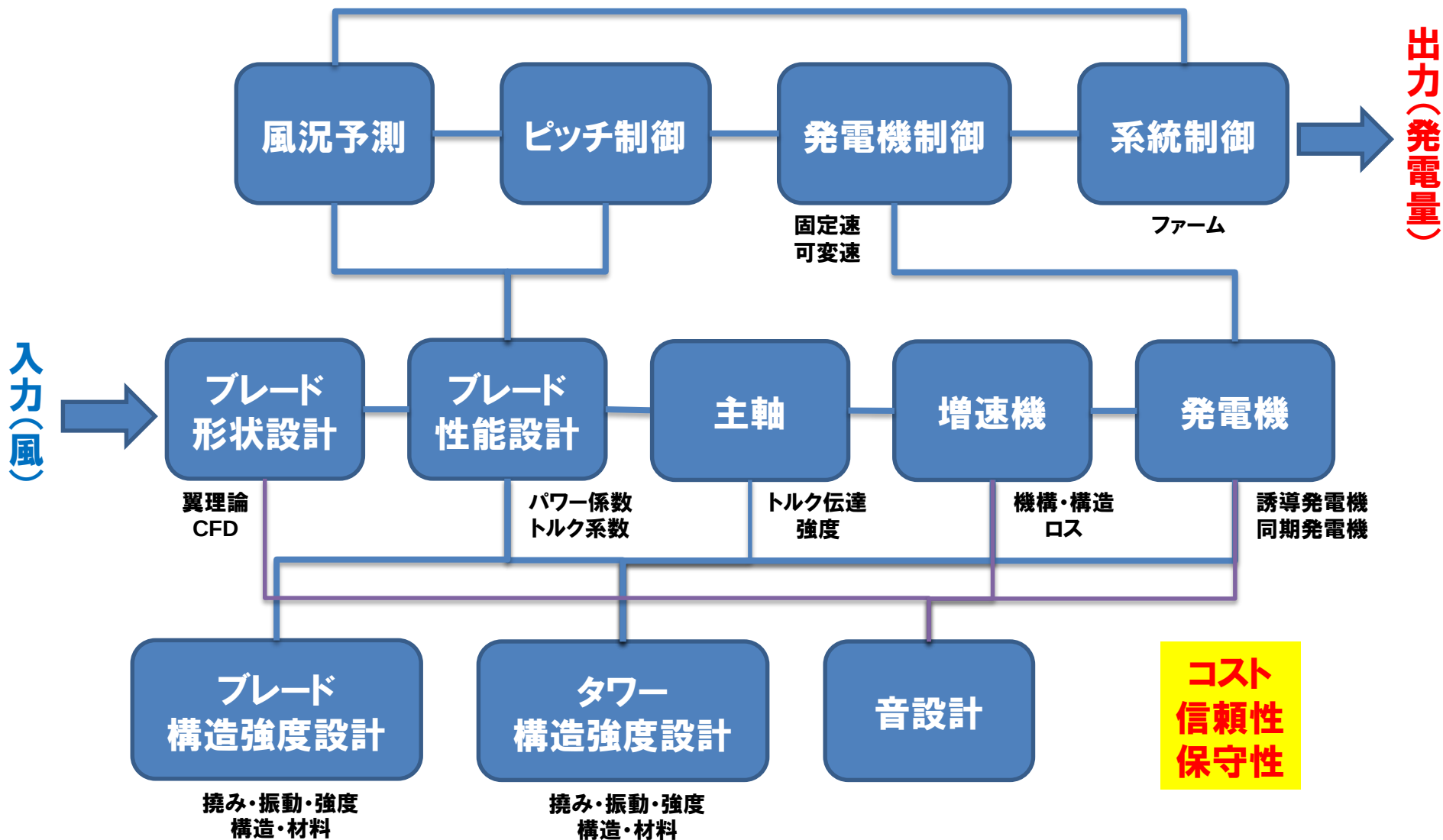


風力発電システムの1DCAE

全体から個を考える



風力発電システムの1DCAEの構成図



WIND ENERGY EXPLAINED

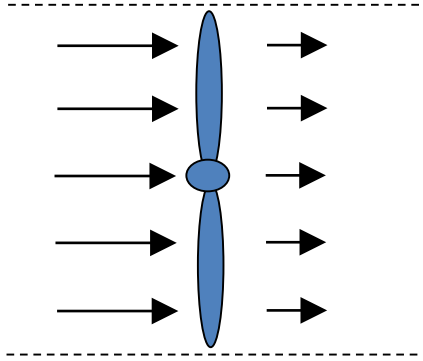
THEORY, DESIGN AND APPLICATION

SECOND EDITION

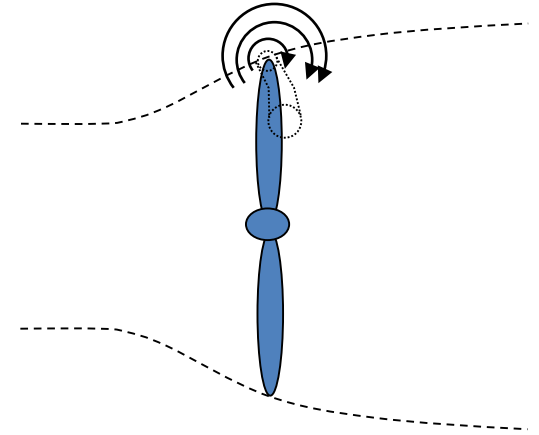
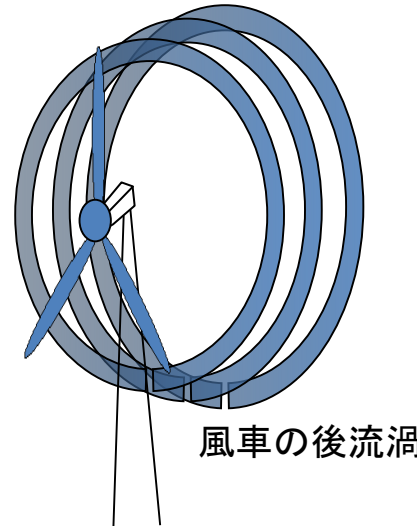


3	Aerodynamics of Wind Turbines	91
3.1	General Overview	91
3.2	One-dimensional Momentum Theory and the Betz Limit	92
3.3	Ideal Horizontal Axis Wind Turbine with Wake Rotation	96
3.4	Airfoils and General Concepts of Aerodynamics	101
3.5	Blade Design for Modern Wind Turbines	115
3.6	Momentum Theory and Blade Element Theory	117
3.7	Blade Shape for Ideal Rotor without Wake Rotation	121
3.8	General Rotor Blade Shape Performance Prediction	124
3.9	Blade Shape for Optimum Rotor with Wake Rotation	131
3.10	Generalized Rotor Design Procedure	133
3.11	Simplified HAWT Rotor Performance Calculation Procedure	138
3.12	Effect of Drag and Blade Number on Optimum Performance	139
3.13	Computational and Aerodynamic Issues in Aerodynamic Design	141
3.14	Aerodynamics of Vertical Axis Wind Turbines	145
	References	153

風の力を効率よく
回転エネルギーに変換したい



翼端での後流渦による損失が大きい



飛行機ではウイングレットを利用



風車では翼端を細くするのが構造的にも有利



最適形状の検討

例えば,,,
↓

高精度LESモデルを用いた乱流非定常解析

～関西地区で初めての開催!! Modelicaの最新訳本付き!!～

「1DCAE概念に基づくものづくり設計教育(第六弾):1DCAEが拓くものづくりの新しい世界」

企画 日本機械学会 設計工学・システム部門

開催日:2015年12月21日(月)、22日(火)

場所:大阪大学 中之島センター 講義室301

<http://www.onc.osaka-u.ac.jp/others/map/>

1日目 12月21日(月)

1. 10:00～12:00 「導入:1DCAEによるものづくりの革新」 東京大学 大富浩一

2. 13:00～15:00 「基礎:1DCAEと機械製品における材料設計」 日立製作所 山崎美稀

3. 15:00～17:00 「基礎:Modelica入門」 ニュートンワークス 広野友英

17:30- 交流会

2日目 12月22日(火)

4. 9:00～12:00 「演習:デライトデザインを例とした1DCAEの実践」

日立製作所 山崎美稀、大阪大学 野間口大、東京大学 大富浩一

5. 13:00～15:00 「基礎:機能(1D)から構造(3D)へ」 京都大学 西脇眞二

6. 15:00～16:00 「応用:1DCAEと設計手法」 大阪大学 野間口大

7. 16:00～17:00 「展望:1DCAEが拓くものづくりの新しい世界」 東京大学 大富浩一