

## 実験屋と計算屋の溝は埋まるのか？

### ーモデリングと最適設計，並列解析を中心としてー

手塚 明

(独)産業技術総合研究所

先進製造プロセス研究部門 副研究部門長

製造プロセス数理解析研究グループ長(兼務)

AIST		本日のお話	先進製造プロセス研究部門
お話の背景となる情報	→	1. 産総研の紹介	
モデリングの方法論	→	2. モデリングとは？	
計算力学の方法論	→	3. モデリングと計算力学	
実験屋と計算屋	→	{ 4. モデリングに対する実験屋と計算屋の発想の違い 5. 数値解析と最適設計に関する実験屋の混乱	
並列解析のエッセンス	→	6. 並列解析とは？(芝刈りを例にとり)	
「難しい」が「簡単に」	→	7. 並列プラットフォーム	
事例とまとめ	→	{ 8. 解析事例 9. まとめ	

## II 講演概要

計算力学（科学）が理論、実験に次ぐ第三の方法と言われて久しい。実験屋と計算屋が共同して研究や開発を進めて行くケースもあるが、一方でシミュレーション嫌いの実験屋、シミュレーションに過度の期待を持ちすぎる実験屋も多い。ここでは、実験屋と計算屋の双方を対象として、モデリングに対する実験屋と計算屋の発想の違い、計算力学の汎用性の意味、数値解析と最適設計に関する実験屋の混乱、並列解析の可能性及び我々が開発した並列書き換えが簡単に出来る並列プラットフォームの紹介について、具体的な問題設定及び有限要素解析事例も適宜添えて、講演する。

# 実験屋と計算屋の溝は埋まるのか？ —モデリングと最適設計，並列解析を中心として—

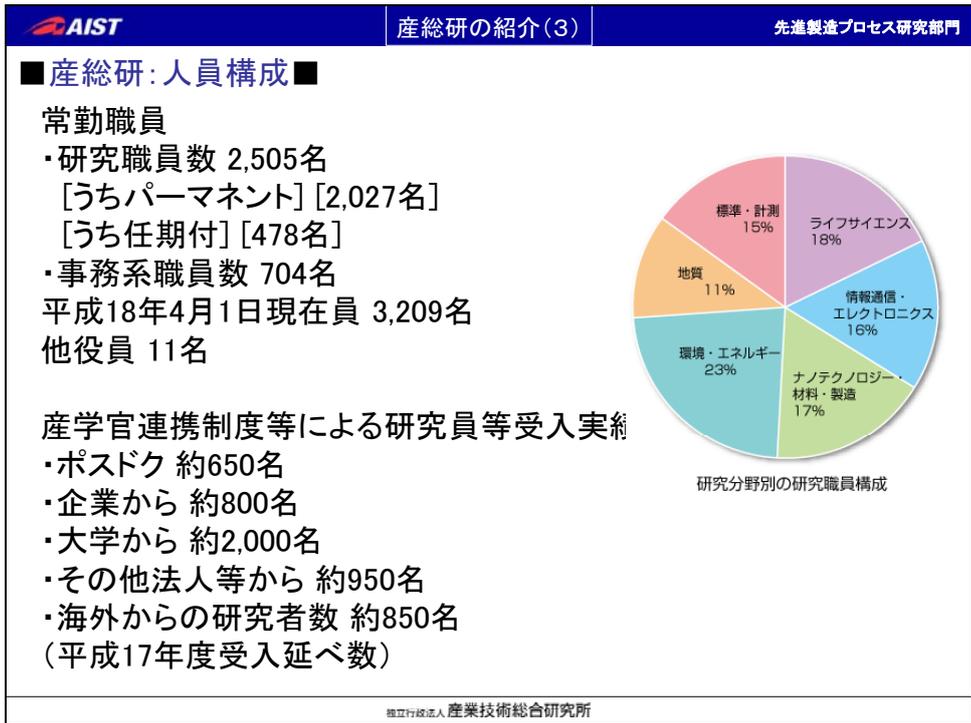
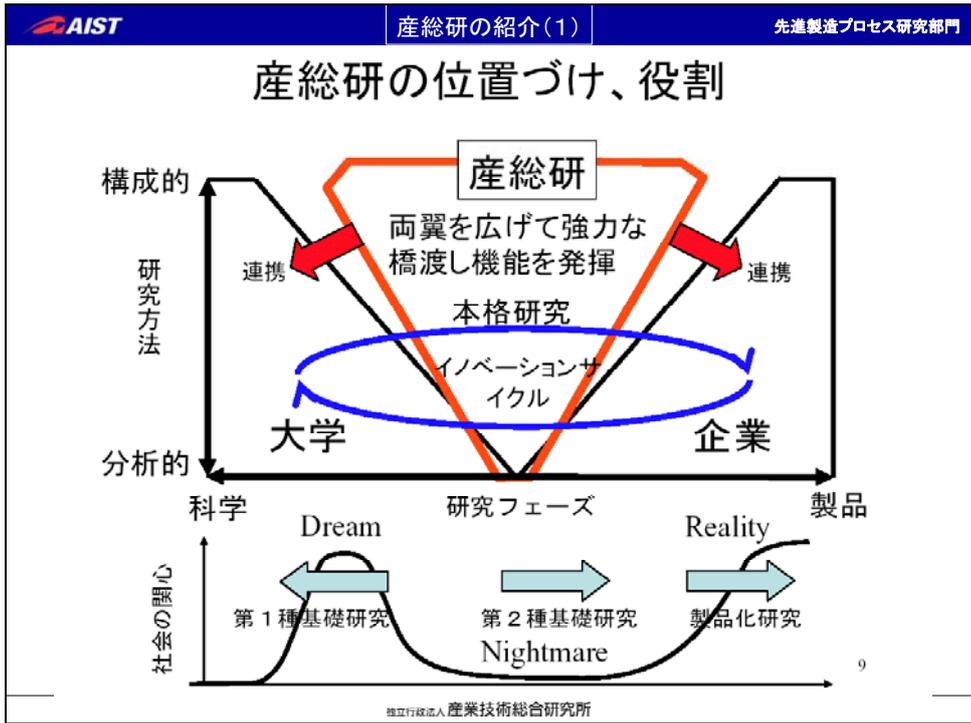
(独) 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門 手塚 明

## 1. はじめに

計算力学（科学）が理論，実験に次ぐ第三の方法と言われて久しい．実験屋と計算屋が共同して研究や開発を進めて行くケースもあるが，一方でシミュレーション嫌いの実験屋，シミュレーションに過度の期待を持ちすぎる実験屋も多い．ここでは，実験屋と計算屋の双方を対象として，モデリングに対する実験屋と計算屋の発想の違い，計算力学の汎用性の意味，数値解析と最適設計に関する実験屋の混乱，並列解析の可能性及び我々が開発した並列書き換えが簡単に出来る並列プラットフォームの紹介について，具体的な問題設定及び有限要素解析事例も適宜添えて，講演する．

## 2. 産総研の紹介

産総研は常勤研究職員 2500 名余り，ライフサイエンス，情報通信・エレクトロニクス，ナノテクノロジー・材料・製造，環境・エネルギー，地質，標準・計測の 6 分野を守備範囲とし，第一種基礎研究と第二種基礎研究の双方を視野に入れた本格研究を推進している日本有数の研究所である．我々の研究ユニットが属するナノテクノロジー・材料・製造分野では第 1 期（2001 年～2004 年）の反省から「材料科学の優位性を活かす融合」が第二期（2005 年～2009 年）のキャッチフレーズの一つとなっている．我々の研究ユニットである先進製造プロセス研究部門は旧機技研の機械工学部隊と旧・名工研のセラミックス部隊との融合からなっている．本講演での実験屋は機械工学及び材料の実験研究者を想定している事を付記する．



### 3. モデリングとは？

多種多様な現実に対し、一種の抽象化作業を施す事で、より扱いを一般化し、容易にする事が出来る。例えば、言葉、分類、数学等がそれである。モデリングとは、現実多様な入出力条件を汎用的に記述する方法と定義出来る。入力例えば原因であり、出力は結果である。

**AIST** | **そもそものお話: 計算力学とは(1)** | **先進製造プロセス研究部門**

■ **モデリングとは?** ■

多種多様な現実→抽象化により扱いが容易に。(例えば, 言葉, 分類, 数学, ...)

**モデリング**←現実多様な入出力条件を汎用的に記述(入力=原因, 出力=結果)

データに語るさせるモデリング→データベース: 論理に語るさせるモデリング→シミュレーション

現実

モデリング

独立行政法人 産業技術総合研究所

モデリングにはデータベースのようにデータに「語るさせる」ものとシミュレーションのように「論理」に語るさせるものの二種類に大別出来る。シミュレーションとは通常、現実を予見、予想するために有効であり、そのためには現実を汎用的に模擬する必要がある。

**AIST** | **そもそものお話: 計算力学とは(2)** | **先進製造プロセス研究部門**

はじめに

■ **シミュレーションとは?** ■

通常、現実を予見、予想するために使用。  
現実を汎用的に模擬する必要。

モデリングのための二つのアプローチ

入力 ↔ 実際の入力

↓

学習による  
パラメータ決定

出力関係が合うまで内部パラメータを調整  
例えばニューラルネット

↓

出力 ↔ 実際の出力

情報学習による方法  
(データに語るさせるモデリング)

入力

↓

場の記述

現実の場を予め記述する  
例えば計算力学

↓

出力

場の記述による方法  
(論理に語るさせるモデリング)

物理モデル

ベンチマーク

↓

数値解析

実現象・実験

実現象実験値

↓

理想的実験値

独立行政法人 産業技術総合研究所

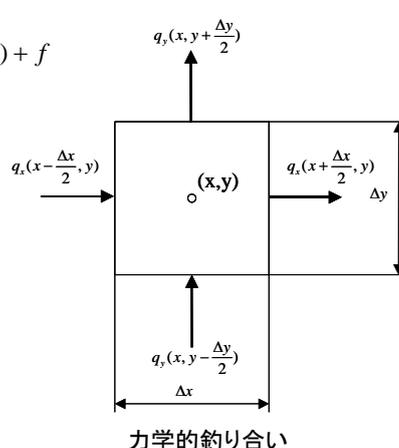
#### 4. モデリングと計算力学

数値計算による力学を計算力学という。計算力学シミュレーションとアニメーションの違いは物理的なモデリングがあるかなしかの違いである。有効な物理的なモデリングのお陰で、携帯電話の落下試験や自動車の衝突試験の代わりに計算力学シミュレーションによる数値実験を用いる事が可能になっている。

物理的なモデリングは通常、偏微分方程式による境界値問題あるいは初期値問題として記述される。力学挙動を表す偏微分方程式は通常、微小部分を対象にした、力学的釣り合い式と実験式から成り立っている[1]。また、二階の偏微分方程式はその係数の条件から楕円型、放物型、双曲型に分類する事が出来、それぞれ特有の性質を持っている。

物理的なモデリングに基づく計算力学シミュレーションを用いる事により、従来の勘と経験では思いも及ばなかったような、縦を押すと横も縮むメゾ構造の設計が可能になる。

さて、今まで述べてきたのは、Navier の線形弾性論に端を発する連続体力学に基づくモデリング及び計算力学シミュレーションだった。18 世紀には、それに対して、Cauchy の分子モデルが提案されていたが、現実の多様性をモデル化するには至らず、Navier の線形弾性論の前に挫折をしたが、近年、計算機の発達により、分子動力学というシミュレーション手法の形で発展しようとしている事を付記する[2]。ここでは、連続体力学に基づくモデリング及び計算力学シミュレーションについて扱う事にする。

	そもそものお話: 計算力学とは(6)	先進製造プロセス研究部門
<b>■ 場の記述: 支配方程式の仕組み(熱伝導方程式) ■</b>		概要
<p><b>熱伝導方程式</b></p> $\rho c_p \dot{u} = \frac{\partial}{\partial x} \left( k_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} + k_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( k_{yx} \frac{\partial u}{\partial x} + k_{yy} \frac{\partial u}{\partial y} \right) + f$		
<p>↓</p>		
<p><b>力学的釣り合い式(力学)</b></p> $\rho c_p \dot{u} = -\frac{\partial q_x}{\partial x} - \frac{\partial q_y}{\partial y} + f$		<p>← 連続体力学</p>
<p>+</p>		
<p><b>実験による材料則(経験)</b></p> $\begin{cases} q_x = -k_{xx} \frac{\partial u}{\partial x} - k_{xy} \frac{\partial u}{\partial y} \\ q_y = -k_{yx} \frac{\partial u}{\partial x} - k_{yy} \frac{\partial u}{\partial y} \end{cases}$		
<p>u: 温度, q: 熱流束, k: 熱伝導係数, f: 熱源, x, y: 座標</p>		
<small>独立行政法人 産業技術総合研究所</small>		

■ 場の記述: 支配方程式の仕組み(弾性方程式) ■

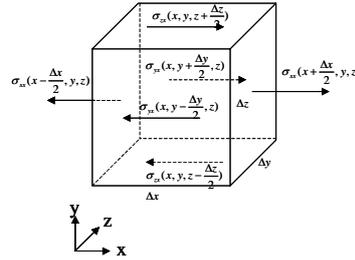
概要

力学的釣り合い式(力学)

$$\frac{\partial \sigma_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zx}}{\partial z} + \rho f_x = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial z} + \rho f_y = 0$$

$$\frac{\partial \sigma_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z} + \rho f_z = 0$$



+ 変位-歪み関係式(定義) + 実験による応力-歪み関係式(経験)

$$\begin{cases} \epsilon_{xx} = \frac{\partial u}{\partial x} \\ \epsilon_{yy} = \frac{\partial v}{\partial y} \\ \epsilon_{zz} = \frac{\partial w}{\partial z} \\ \epsilon_{xy} = \epsilon_{yx} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \\ \epsilon_{yz} = \epsilon_{zy} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \\ \epsilon_{zx} = \epsilon_{xz} = \frac{1}{2} \left( \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \end{cases}$$

$$\begin{cases} \epsilon_{xx} = \frac{1}{E} (\sigma_{xx} - \nu(\sigma_{yy} + \sigma_{zz})) \\ \epsilon_{yy} = \frac{1}{E} (\sigma_{yy} - \nu(\sigma_{zz} + \sigma_{xx})) \\ \epsilon_{zz} = \frac{1}{E} (\sigma_{zz} - \nu(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})) \\ \epsilon_{xy} = \frac{1}{G} \sigma_{xy} \\ \epsilon_{yz} = \frac{1}{G} \sigma_{yz} \\ \epsilon_{zx} = \frac{1}{G} \sigma_{zx} \end{cases}$$

等方性材料の場合

■ 偏微分方程式で表される場の性質 ■

概要

二階の偏微分方程式

$$A \frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + B \frac{\partial^2 \phi}{\partial x \partial t} + C \frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} + D \frac{\partial \phi}{\partial x} + E \frac{\partial \phi}{\partial t} + F \phi + G = 0$$

• 楕円型(Elliptic)  $B^2 - 4AC < 0$

ある点の値は周囲の平均値になる性質. 解の空間的広がりに方向性なし.  
定常場の基礎方程式. 定常熱伝導, 静的弾性

• 放物型(Parabolic)  $B^2 - 4AC = 0$

解の空間的広がりに方向性なし. 時間的変化は領域全体, 瞬時に拡散.  
非定常熱伝導, 非定常拡散.

• 双曲型(Hyperbolic)  $B^2 - 4AC > 0$

解の空間的広がりに方向性あり. 形を保って伝播. 時間的変化は局所的.  
波動問題, 非定常移流問題

流体問題は放物型と双曲型の混合ゆえ, 難しい問題.

AIST
先進製造プロセス研究部門

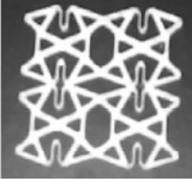
そもそものお話: 計算力学とは(9)
概要

■ 現実と向き合うと面白い事が...
■

A Homogenization Design Method for  
 Topology of Structures and Materials

Poisson's  
Ratio  
- 0.5





縦を押すと横も縮むメゾ構造

Bing-Chung Chen, Emílio C. N. Silva, Noboru Kikuchi, Advances in computational design and optimization with application to MEMS, Int. J. Numerical Methods in Engineering, 52-1-2, (2001), pp.23-62

独立行政法人 産業技術総合研究所

AIST
先進製造プロセス研究部門

そもそものお話: 計算力学とは(10)
概要

■ Navierの線形弾性論とCauchyの分子モデル
■

Navier(1785-1836)の成功とCauchy(1789-1857)の挫折

**Navier:** 離散的な原子・分子から構成される物質内部の挙動を抽象的に連続場として近似する理論を提唱

**Cauchy:** 離散的な原子・分子から構成される物質内部の挙動を分子モデルに固執し記述した考えを提唱



Navier



Cauchy

独立行政法人 産業技術総合研究所

さて、計算力学の汎用性とは何かをもう少し見てみよう。計算力学は以下の2つの意味での汎用性を持つ[3]。

①偏微分方程式記述による汎用性

CAE では、現象は基本的に偏微分方程式で表された現象記述方程式と境界・荷重条件及び初期条件からなる境界値問題あるいは初期値問題として記述される。偏微分方程式記述は、任意の

形状、任意の境界・荷重条件、任意の初期条件に有効であるので、その記述を基とする CAE 手法も任意形状・任意境界・荷重条件、任意初期条件に有効である。(当たり前的事だが、現象記述方程式 (及びその係数)、境界・荷重条件及び初期条件のいずれかが未知の問題にはこの汎用性は担保されない。また、支配方程式が汎用性の肝であり、境界・荷重条件及び初期条件はそれぞれの問題に対する個別条件となる。)

## ②数値解析手法自体の汎用性

有限要素法、差分法、有限体積法、境界要素法、等、CAE 手法の主たるものは、偏微分方程式が異なっても、同一の数値解析アルゴリズムが有効である。

図に CAE の汎用性に関する以上の議論の要約を示す。それぞれ、定常現象に関する境界値問題記述、非定常現象に関する初期値問題記述の例を示した。境界値問題記述では諸条件・諸係数が空間の変数、初期問題記述では空間と時間の関数になることに注意されたい。

AIST	そもそものお話:計算力学とは(11)	先進製造プロセス研究部門
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">境界値問題記述</div> <div style="text-align: center;"> </div> </div>		
<p><b>計算力学</b> =境界値問題を近似的に解く方法</p>		
<p><b>境界値問題</b> =偏微分方程式+境界条件</p>		
<p><b>計算力学の汎用性とはどういうことか？</b></p>		
<p>→構造形状、材料係数(偏微分方程式に関連) 荷重条件、支持条件(境界条件に関連) の設定が自在であること</p>		
<p>→偏微分方程式を変えても数値手法が共通に使えること</p>		
<small>独立行政法人 産業技術総合研究所</small>		

	さまざまのお話:計算力学とは(12)	先進製造プロセス研究部門
<b>一次元熱伝導問題(定常)</b>		
		
境界の温度値(指定値)から、熱伝導率・熱発生率がわかっている内部の温度分布を解く		
<b>境界値問題記述(定常問題)</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支配方程式(偏微分方程式)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>物性係数(熱伝導率) (xの関数or定数) <math>\rightarrow k(x)</math></li> <li>解くべき変数(温度(xの関数)) <math>\rightarrow \frac{\partial^2 T(x)}{\partial x^2}</math></li> <li>荷重項(熱発生率) (xの関数or定数) <math>\rightarrow -f(x)</math></li> </ul> <math display="block">k(x) \frac{\partial^2 T(x)}{\partial x^2} = -f(x)</math> </li> <li>・ 解析領域                             <math display="block">x \in [0., 1.]</math> </li> <li>・ 境界条件                             <math display="block">\frac{\partial T}{\partial x}(0) = b \quad (\frac{\partial T}{\partial x} = b \text{ at } x=0)</math> <math display="block">T(1) = a \quad (u = a \text{ at } x=1)</math> </li> </ul>		
独立行政法人 産業技術総合研究所		

	さまざまのお話:計算力学とは(13)	先進製造プロセス研究部門
<b>一次元熱伝導問題(定常)</b>		
		
初期と境界の温度から熱伝導率・熱発生率が与えられた領域内の非定常温度分布を解く		
<b>初期値問題記述(非定常問題)</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 支配方程式(偏微分方程式)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>物性係数(熱伝導率) <math>\rightarrow k(x, t)</math></li> <li>解くべき変数(温度分布) <math>\rightarrow \frac{\partial T(x, t)}{\partial x^2}</math></li> <li>荷重項(熱発生率) <math>\rightarrow -f(x, t)</math></li> </ul> <math display="block">\frac{\partial T(x, t)}{\partial t} + k(x, t) \frac{\partial^2 T(x, t)}{\partial x^2} = -f(x, t)</math> </li> <li>・ 解析領域                             <math display="block">(x, t) \in ([0., 1.], [0., t_{final}])</math> </li> <li>・ 初期条件                             <math display="block">T(x, 0) = T_0(x)</math> </li> <li>・ 境界条件                             <math display="block">\frac{\partial T}{\partial x}(0, t) = b(t), T(1, t) = a(t)</math> </li> </ul>		
独立行政法人 産業技術総合研究所		

## 5. モデリングに対する実験屋と計算屋の発想の違い

モデリングが現実の抽象化である事を先ほど述べた。実験研究者との融合研究で時に話が通じにくい理由を考えた時に、実験屋と計算屋はモデル化（抽象化）を行う順番が逆なのではないかという疑問を持つように至った。

実験屋は現実（具象）をそのまま実験し、実験データをプロットして考察する事により、現象のモデル化（抽象化）を行う。計算屋と実験屋が完全に分業されていなかった昔であれば、そのまま、実験屋のモデル化（抽象化）に基づき、現実をシミュレートするという事であったかも知れないが、現在では、計算屋と実験屋が完全に専門化されているため、計算屋の独立した作業としては、現実を何かしらモデル化（抽象化）した後、そのモデルに基づき、現実（具象）をシミュレートする、という順番になる。

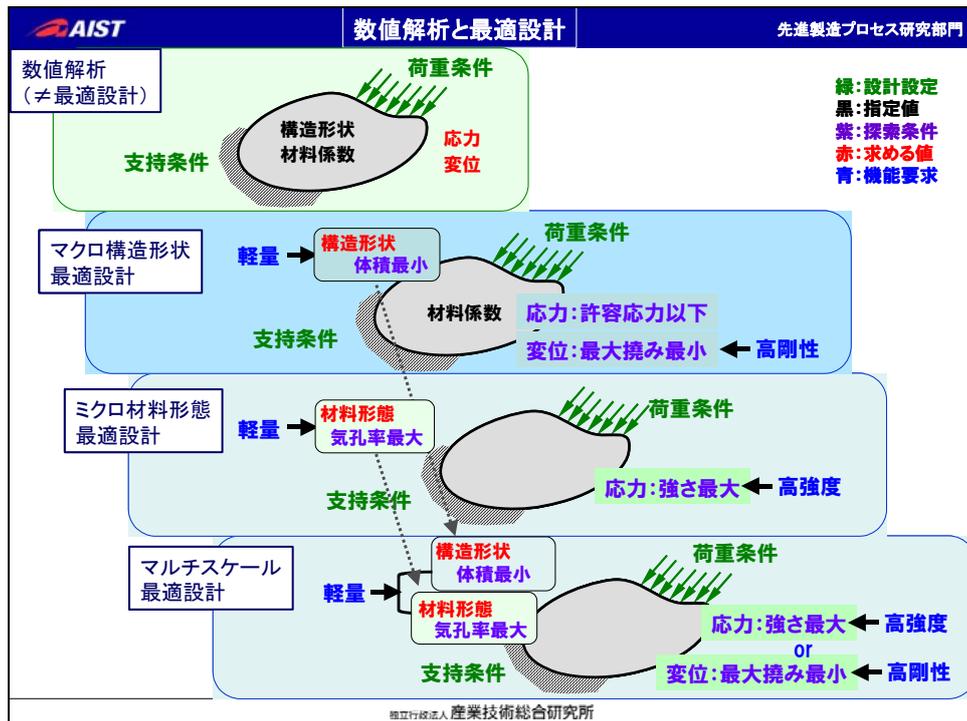
この順序の違いのため、実験屋は往々にして計算屋に対して、「とにかくやってみてから考えよう」と言ってみたり、「いろいろな条件を出して言い訳がましい事を言うのも良いが、出来るのか出来ないのかははっきりしろ」と単純二元論で激怒したりする。計算屋は実験屋に対して、「そんな大雑把な情報や条件ではシミュレーション出来ない」と迫り、実験屋は「何だか面倒臭い奴と話しちゃったなあ」というやりとりになる。これも、実験屋と計算屋はモデル化（抽象化）を行う順番が逆であるという認識を双方が持つことにより、無駄な軋轢や誤解を減らす事が出来るようになった。もし、計算屋と実験屋がうまく融合して仕事が出来ないようであれば、モデリングの発想の違いを共有しては如何だろうか？

AIST	モデリングに対する実験屋と計算屋の発想の違い	先進製造プロセス研究部門
<b>■ モデル化:実験屋と計算屋 ■</b>		
<b>モデル化＝現実の抽象化</b>		
<b>実験屋と計算屋はモデル化(抽象化)を行う順番が逆</b>		
<b>実験屋:現実(具象)をそのまま実験.</b>		
<b>実験データからモデル(抽象)化</b>		
<b>(現実(具象)→モデル(抽象)化)</b>		
<b>計算屋:現実を何かしらモデル(抽象)化.</b>		
<b>モデルにより現実(具象)をシミュレート.</b>		
<b>(モデル(抽象)化→現実(具象))</b>		
<small>独立行政法人 産業技術総合研究所</small>		

## 6. 数値解析と最適設計に関する実験屋の混乱

数値解析は現象の把握をするためのものだが、現象把握（理解）を踏まえて、ではどのように設計を変更すれば性能が向上するか（現象の制御）というのは数値解析そのものではなく、数値解析をベースにした最適設計問題（逆問題）である。構造設計における、数値解析と最適設計の既知変数、未知変数の違いを図示した。最適設計問題（逆問題）では数値解析で事前に指定されたものが変数となり、数値解析結果の変数が探索条件となる。最適設計問題（逆問題）は数値解析に基づく解の探索を基本にしており、難易度は数値解析と比較して格段に高い。しかし、日常会話では、数値解析も最適設計問題解析もシミュレーションと言ってしまうために、実験屋と計算屋のコミュニケーション不全の原因となる事も多い。固定された条件で現象がどうなるかを計算するのは数値解析、性能を向上させるためにはどのように条件を変えたら良いかを計算するのは最適設計であり、別物である。

また、日本語は曖昧な言語であり、何の最小化するために、何の変数を制御して、どのような拘束条件の下で最適化するかを明示しなくても、「最適化を行う」と言っただけでわかったような気になってしまう。上で述べたように、計算屋は始めの段階でモデリングを行う必要があるので、目的語や主語がない「最適化」という単語のみでは仕事を開始出来ない。モデリングの順序の違いと共に、実験屋が認識して欲しい事項の一つである。



さて、ここで、材料屋（部材屋）が陥りやすい誤解について述べたいと思う。材料屋（部材屋）が最適設計と言っている時によく聞いてみると、部材そのもので最適設計が決まるような事を言う人が多い。部材の最適設計を考えるには部材周囲及び部材内部の現象を考慮する必要があり、逆に言うと、部材周囲の条件が異なれば、最適設計案は異なる。

■ 当たり前の事 ■

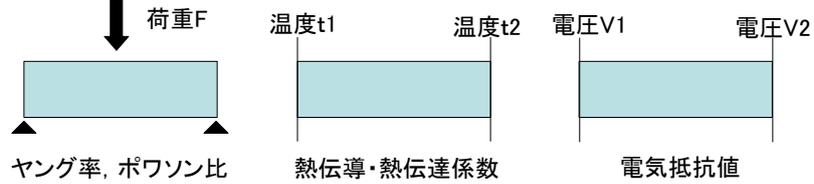
材料(部材)のみで最適設計が決まるわけではない。

材料(部材)の周囲状況の物理を勘案する必要

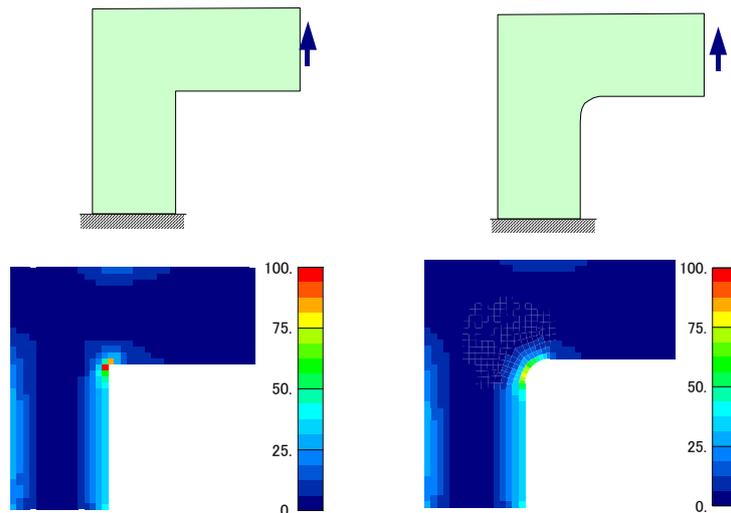
物性値は材料(部材)に張り付けられたもの  
周囲状況の物理の断片が物性値

(例)

鉄:熱伝導・熱伝達係数, ヤング率, ポワソン比, 電気抵抗値

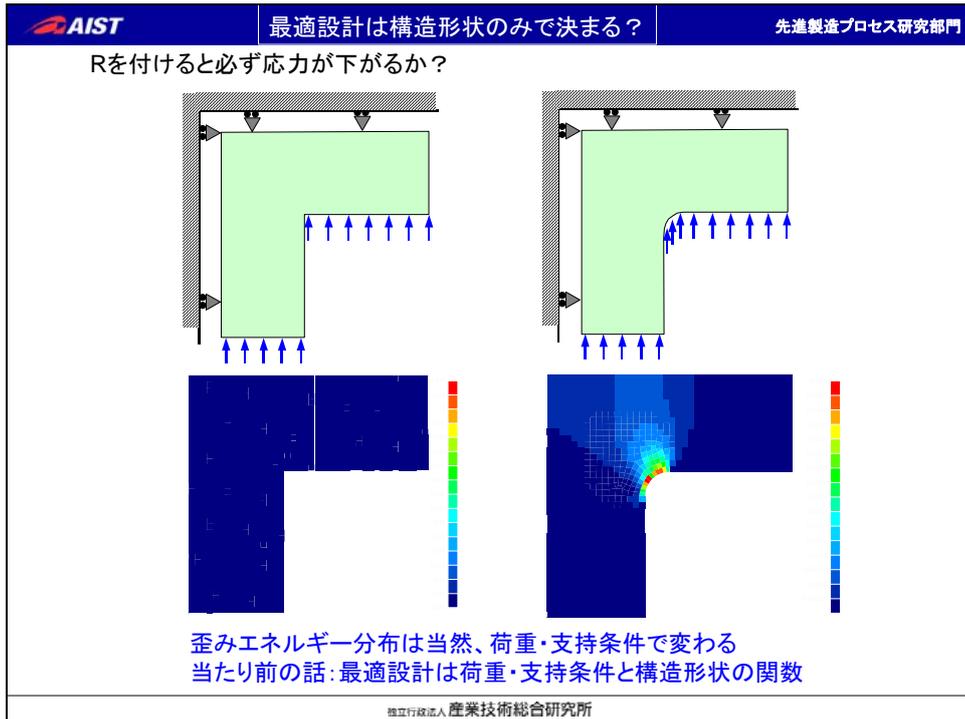


例えば, 通常, 角部に R を付けると応力が下がり, 歪みエネルギー分布がより当配分される事が知られている. では, R を付ければいつもそうであるかと言うと, 境界条件 (荷重条件・支持条件) によっては悪化する事もある. 材料屋 (部材屋) との融合研究で注意すべき点の一つである.



ひずみエネルギーの分布

最適設計→歪みエネルギー分布を等配分するような設計



## 7. 並列解析と並列プラットフォーム

並列解析のエッセンスを芝刈りを例に取り、アニメーション付きのパワーポイントで説明する。また、産総研とみずほ情報総研㈱が共同開発した並列処理用共通ソフトウェアプラットフォーム「Parallel Computing Platform/PCP」について紹介する[4]。

産総研とみずほ情報総研㈱は、並列解析を専門としない計算力学研究者・実務者でも既存の非並列離散化数値解析プログラムを容易に並列化出来るような並列処理用共通ソフトウェアプラットフォーム「Parallel Computing Platform/PCP」を開発し、2002年3月からネット上でソースコード・マニュアルの無償提供を開始している。各種並列マトリックスソルバ及び並列ライブラリ、PETSc[5]、Aztec[6]、GEOFEM[7]、ADVENTURE[8]等との違いは、これらは基本的に並列計算の経験を前提としており、並列書き替え用途に開発されていないのに対して、PCPは付属のデモプログラム・マニュアルを参考に、自作プログラムに、コピー&ペーストで数行のサブルーチンプログラム（subroutine call 文）を書き込むだけで並列化が可能という点にある。GMRES 法（一般化残差最小化法）、Bi-CGSTAB 法（安定化双共勾配法）、バンドマトリックス法の非対称マトリックスソルバの他、拘束条件付加のための Lagrange Multiplier 法のオプション、行列インデックス作成ルーチンも利用可能である。

	並列化ソフトウェアを公開中	先進製造プロセス研究部門
<u>並列計算プラットフォーム」(Parallel Computing Platform/PCP)</u>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>・逐次解析プログラムの並列化には<b>多大な作業時間</b>が必要</li> <li>・PETSc, Aztec, GEOFEM, ADVENTURE等で研究開発された並列ソフトを自らの研究に取り込むには<b>並列計算のプロである必要</b>.</li> </ul>		
<p><u>並列計算プラットフォーム(PCP)</u> 逐次解析プログラムが数時間で並列化可能</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. ユーザから供給すべき情報 <ul style="list-style-type: none"> <li>・有限要素モデルデータ</li> <li>・要素毎の係数マトリックス作成ルーチン</li> </ul> </li> <li>2. 行列計算ルーチン <ul style="list-style-type: none"> <li>GMRES, BiCGSTAB(前処理:ポイントヤコビ法, 加法的シュルツ法), バンド法</li> </ul> </li> <li>3. サブルーチンツール <ul style="list-style-type: none"> <li>並列用行列インデックス作成, 各種境界条件作成</li> <li>必要メモリ量自動設定</li> </ul> </li> <li>4. 並列解析のための領域分割 <ul style="list-style-type: none"> <li>グラフ生成ルーチン+MeTiSを使用</li> </ul> </li> </ol>	<p>約350のダウンロード(01/07現在) 企業, 大学, 個人等, 多様なユーザー</p>	 <p>ユーザ会風景</p>
<small>独立行政法人 産業技術総合研究所</small>		

## 8. むすび

計算力学（科学）が理論，実験に次ぐ第三の方法と言われて久しい．実験屋と計算屋が共同して研究や開発を進めて行くケースもあるが，一方でシミュレーション嫌いの実験屋，シミュレーションに過度の期待を持ちすぎる実験屋も多い．

実験屋と計算屋の双方を対象として，

- ・モデリングに対する実験屋と計算屋の発想の違い
- ・計算力学の汎用性の意味
- ・数値解析と最適設計に関する実験屋の混乱
- ・並列解析の可能性及び
- ・我々が開発した並列書き換えが簡単に出来る並列プラットフォーム

について，具体的な問題設定及び有限要素解析事例も適宜添えて，紹介した．

## 文献

- [1] Akira Tezuka, "Finite Element and Finite Difference Methods (Chap. 19)", Springer Handbook of Materials Measurement Methods, Czichos, Horst; Saito, Tetsuya; Smith, Leslie (Eds.), Springer, ISBN: 3-540-20785-6, 2006, pp.973-1000
- [2] 第一原理分子動力学の入門書は種々あるが，内容がコンパクトに要約されているものとして，例えば，手塚 明，土田 英二，「6.2 量子物理学への応用」，アダプティブ有限要素法，丸善，2003
- [3] 価値創造型ものづくり力強化に資する協調型フロントローディング設計支援技術開発に関する調査研究，機械システム振興協会(2004)
- [4] <http://www.aist.go.jp/infobase/pcp/index-en.html>

[5] <http://www-fp.mcs.anl.gov/petsc/index.html>

[6] <http://www.cs.sandia.gov/CRF/aztec1.html>

[7] [http://geofem.tokyo.rist.or.jp/index\\_jp.html](http://geofem.tokyo.rist.or.jp/index_jp.html)

[8] <http://adventure.q.t.u-tokyo.ac.jp/jp/>