

実機設計に対するCAEの限界認識 と工学的解決に向けて

(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)

手塚 明

Key Words. : CAE, Innovation, Industry

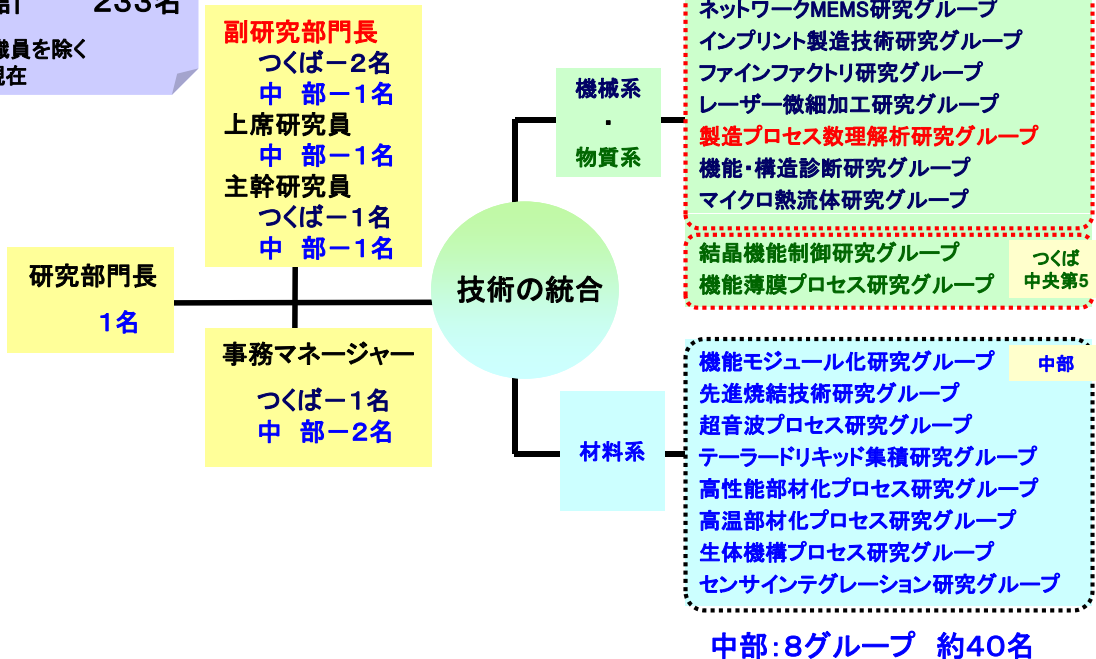
Sep. 18, 2008

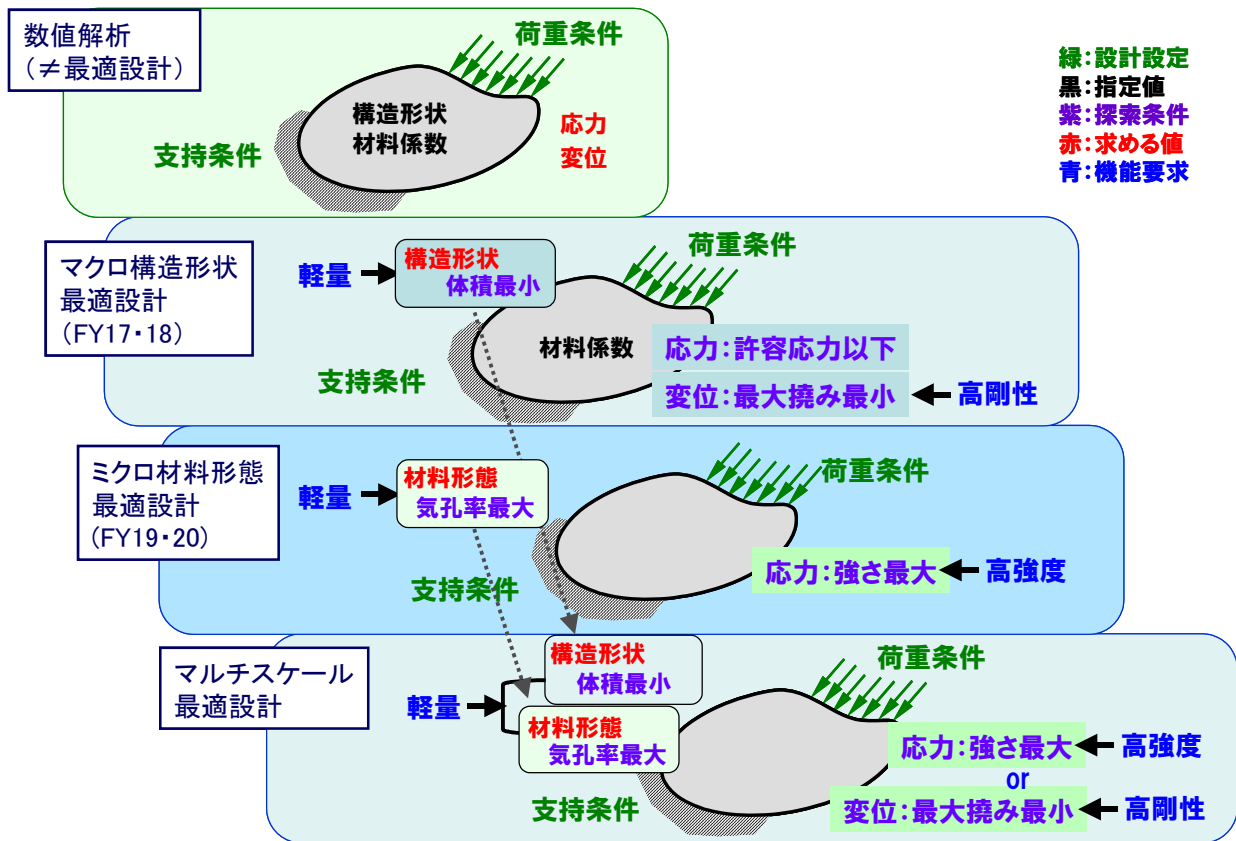
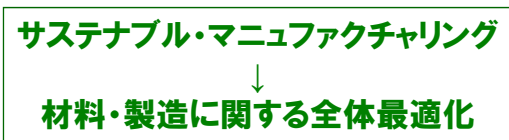
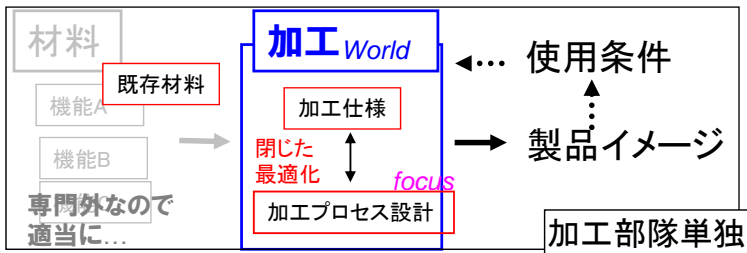
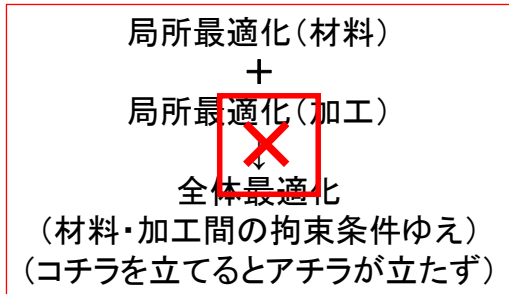
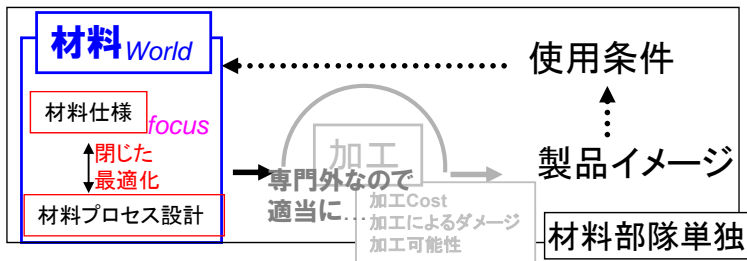
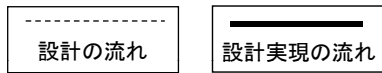
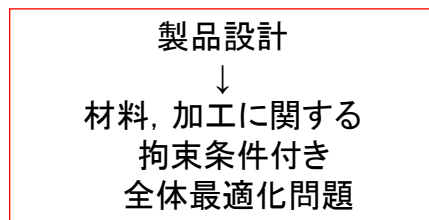
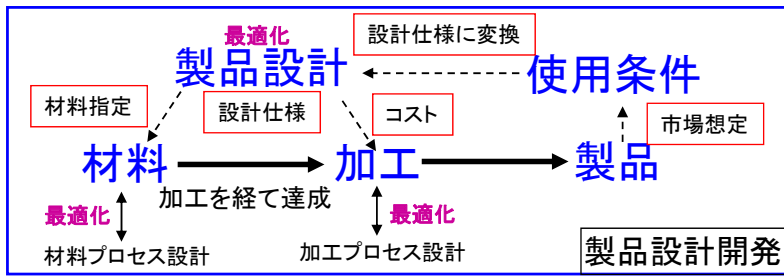
独立行政法人 産業技術総合研究所

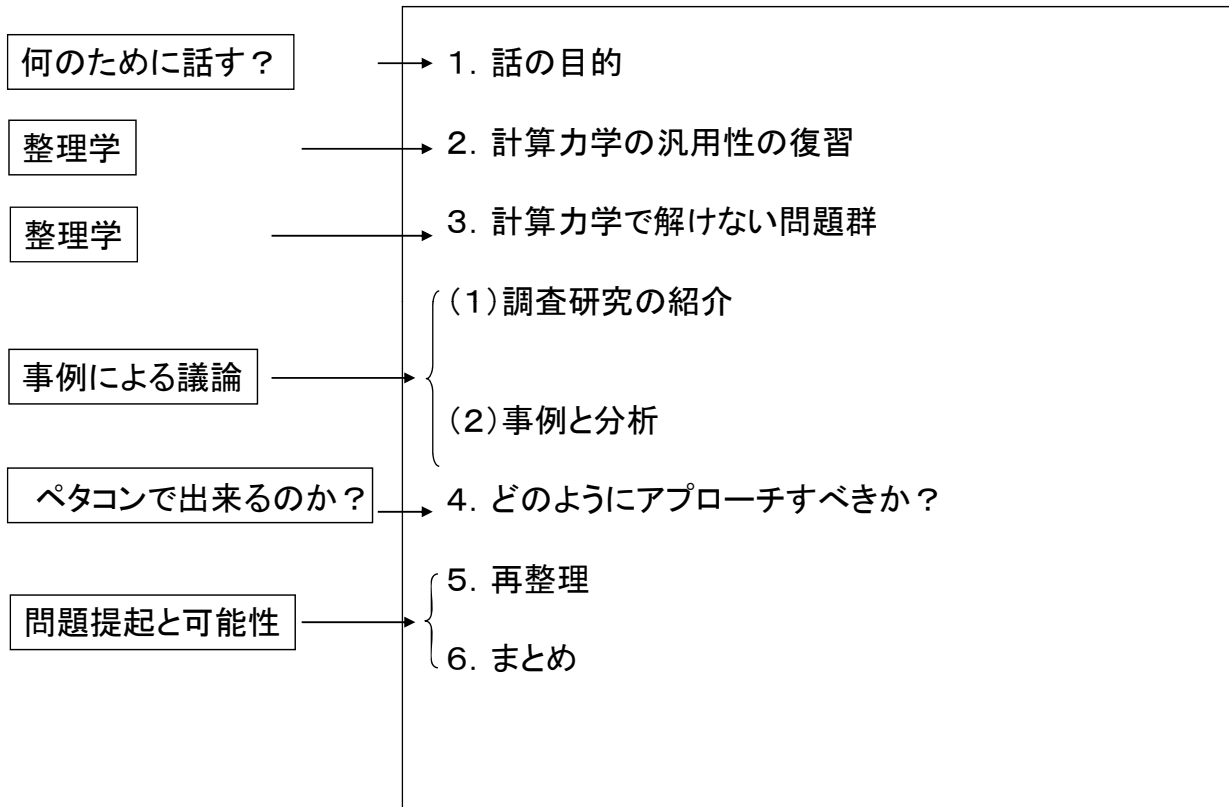
先進製造プロセス研究部門の組織構成

常勤職員 120名
 ポスドク 20名
 契約職員・派遣職員 93名
合計 233名

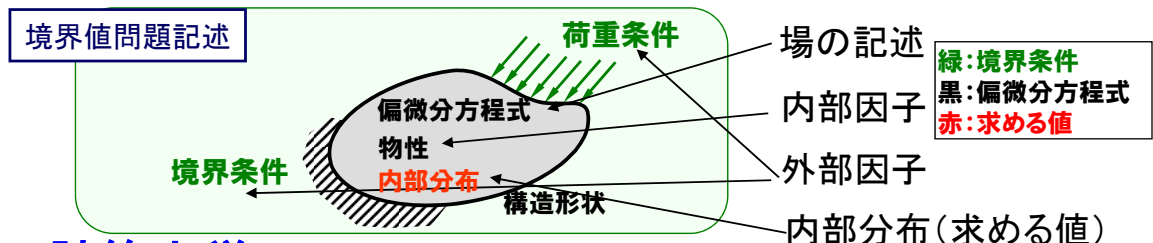
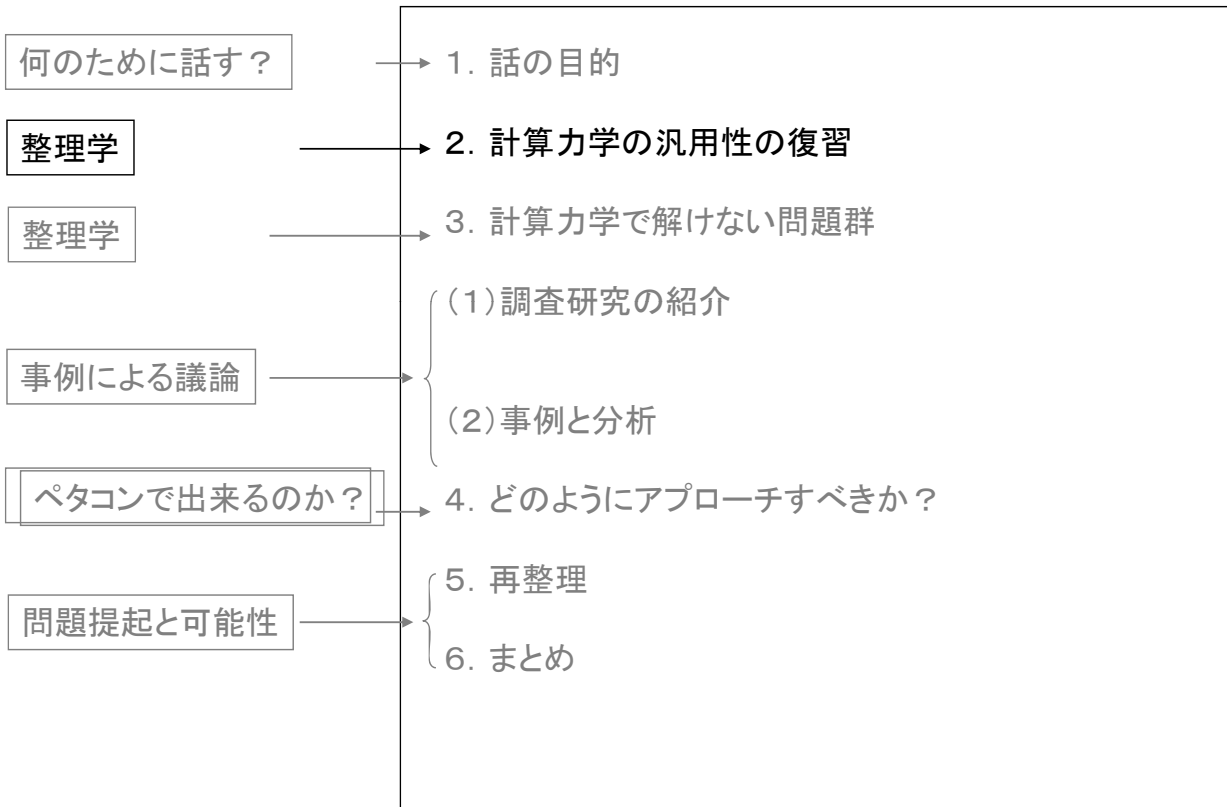
出向・兼務の職員を除く
 H19.10月末現在







- ・整理学である。
(研究発表ではないと怒らないでください。)
- ・経産省系の調査研究の内容のご紹介。
(京速コンピュータと全く違う立場。今CAEで解けないものは拡大鏡(ペタコンピュータ)を持たせても駄目という視点。)
- ・how(どのように解くか?)よりも, what(どのような課題を)why(何で行うべきか?)を主体に整理学の観点から話す。
(産業技術総合研究所の研究スタイル。)
- ・抽象論ではなく, 具体的な問題を示して, 整理学をする。
(調査研究の都合上, 蒸気タービンの最終段でCAEで解けていない現象で議論)



計算力学

= 境界値問題を近似的に解く方法

境界値問題

= 偏微分方程式 + 境界条件

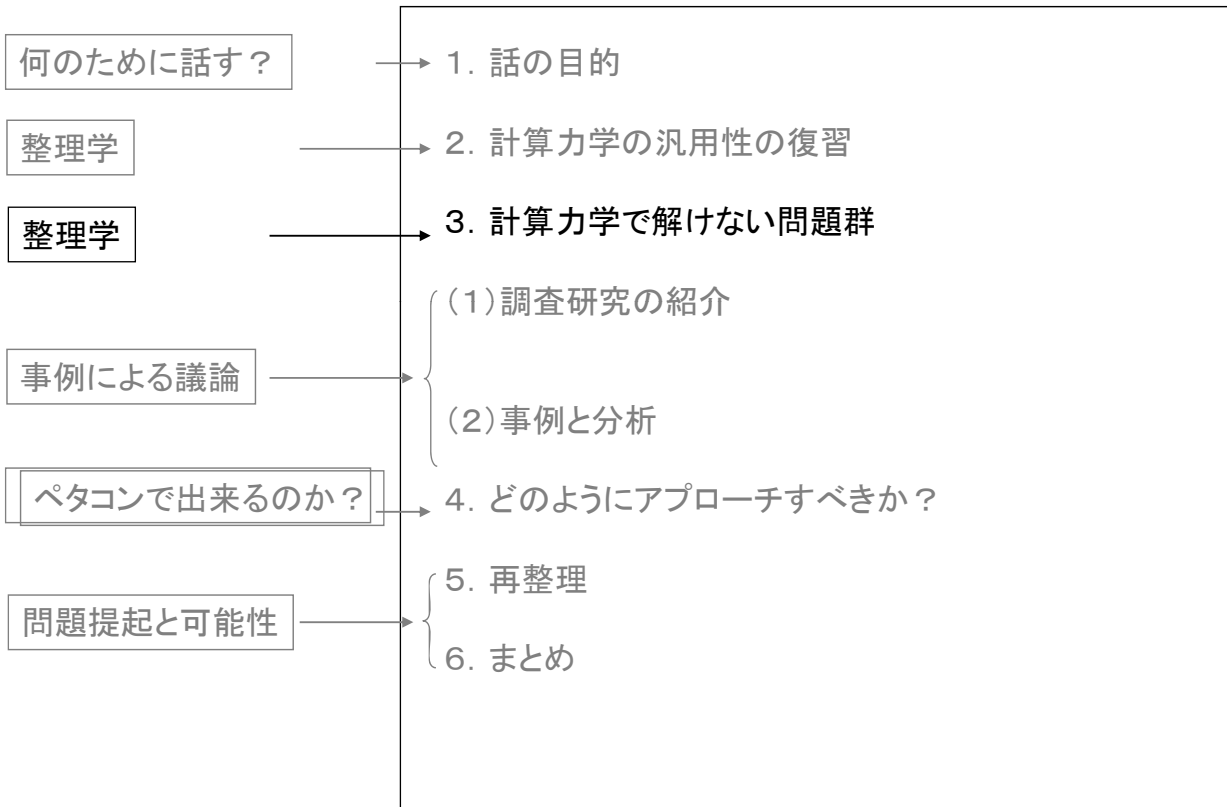
計算力学の汎用性とはどういうことか?

→ 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

→ 偏微分方程式を変えても数値手法が共通に使えること



CAEの守備範囲拡大が求められている問題

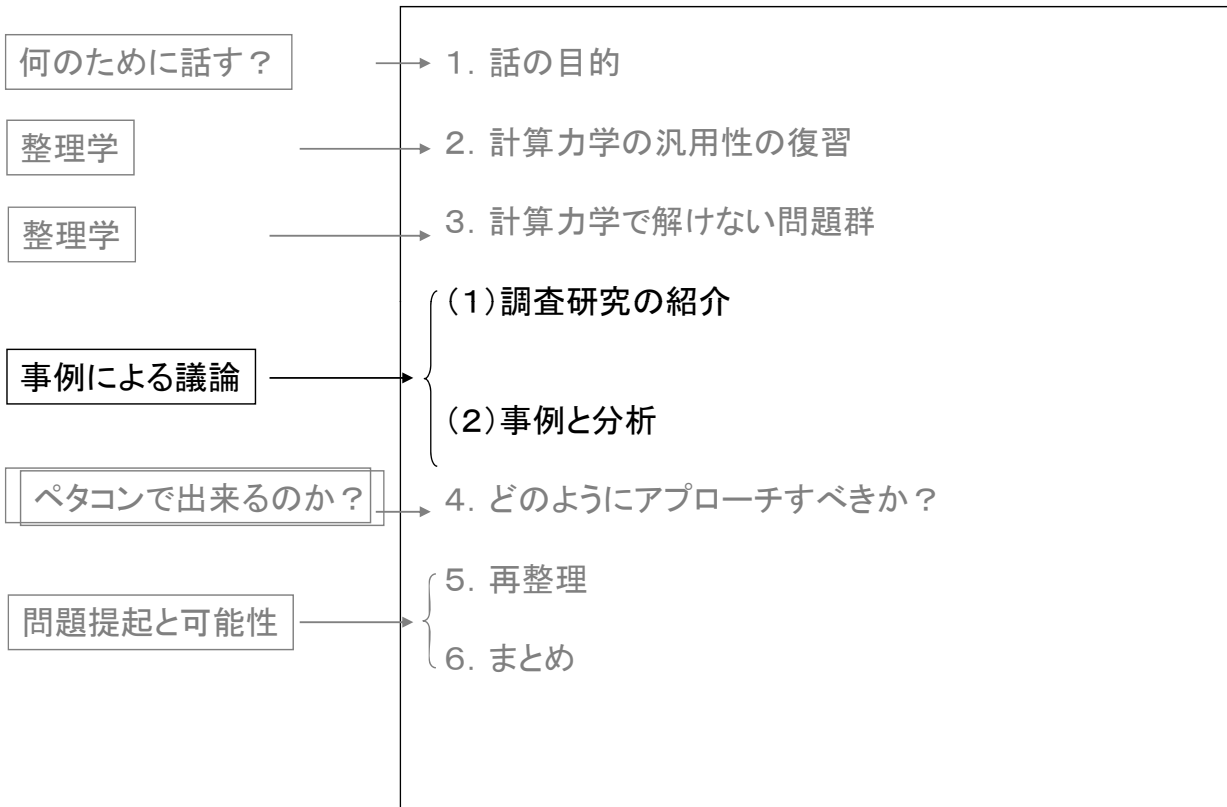
- ・複数の現象が連成している問題
- ・複数の空間スケールの現象が連成している問題

連成の形態

- ① 支配方程式が連成する場合 (複数の支配方程式で変数を共有する場合)
- ② 境界・荷重条件を通して連成する場合
- ③ 物性への影響を通して連成する場合

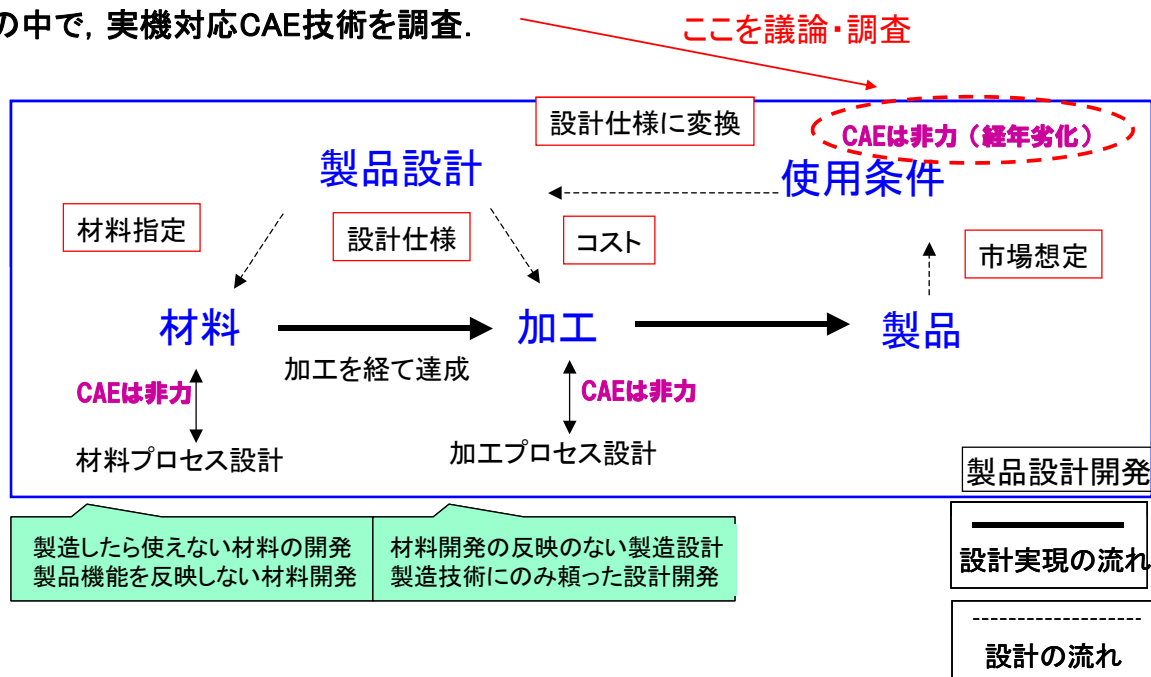
連成形式の例

	複数の現象の連成	複数の空間スケールの連成
支配方程式の連成	流体の支配方程式と移流の支配方程式が連成した二相流解析	
境界・荷重条件を介しての連成	熱応力を考慮した構造解析	ミクロスケールとマクロスケール間で均質化係数を介して数値的 material試験を行う均質化法
物性を介しての連成	粘性の温度依存がある流れの熱流体解析	



「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」(2006年) (www.jsim.or.jp/pdf/frontloading.pdf)
(財団法人 機械システム振興協会)

その中で、実機対応CAE技術を調査。

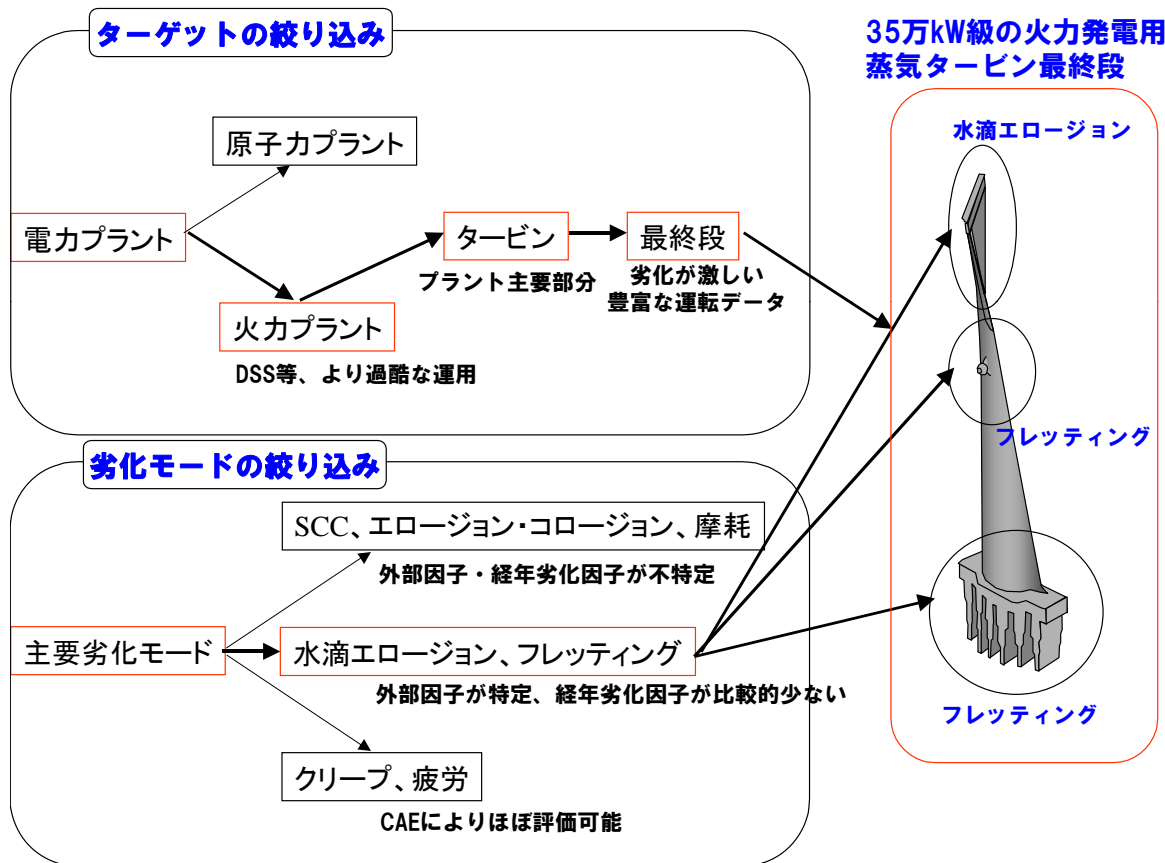


- ・第1回実機対応CAE技術分科会（平成18年9月19日（火）15:45～16:45）
自己紹介、分科会の議論範囲の確認
- ・第2回実機対応CAE技術分科会（平成18年9月19日（火）15:45～16:45）
議論ターゲット及び劣化モードの絞り込み、関連詳細議論
- ・第3回実機対応CAE技術分科会（平成18年10月3日（火）14:30～16:00）
話題提供「スチール製40”、48”最終段翼シリーズの開発と実機適用」
及び「熱応力解析への形状最適化手法の応用」（東芝）、関連詳細議論
- ・第4回実機対応CAE技術分科会（平成18年10月31日（火）15:00～16:30）
話題提供「湿り蒸気流れと水滴エロージョン」「湿り蒸気流れ解析の計測法」「翼後流中のエロージョン特性に対する水滴状況の影響」
（日立）、関連詳細議論
- ・第5回実機対応CAE技術分科会（平成18年12月19日（火）14:50～16:00）
これまでの議論の俯瞰的なまとめ、分析、関連議論
- ・第6回実機対応CAE技術分科会（平成19年1月23日（火）15:40～17:00）
報告書目次案の検討
- ・第7回実機対応CAE技術分科会（平成19年2月2日（金）13:50～14:30）
報告書骨子に関する議論、調整

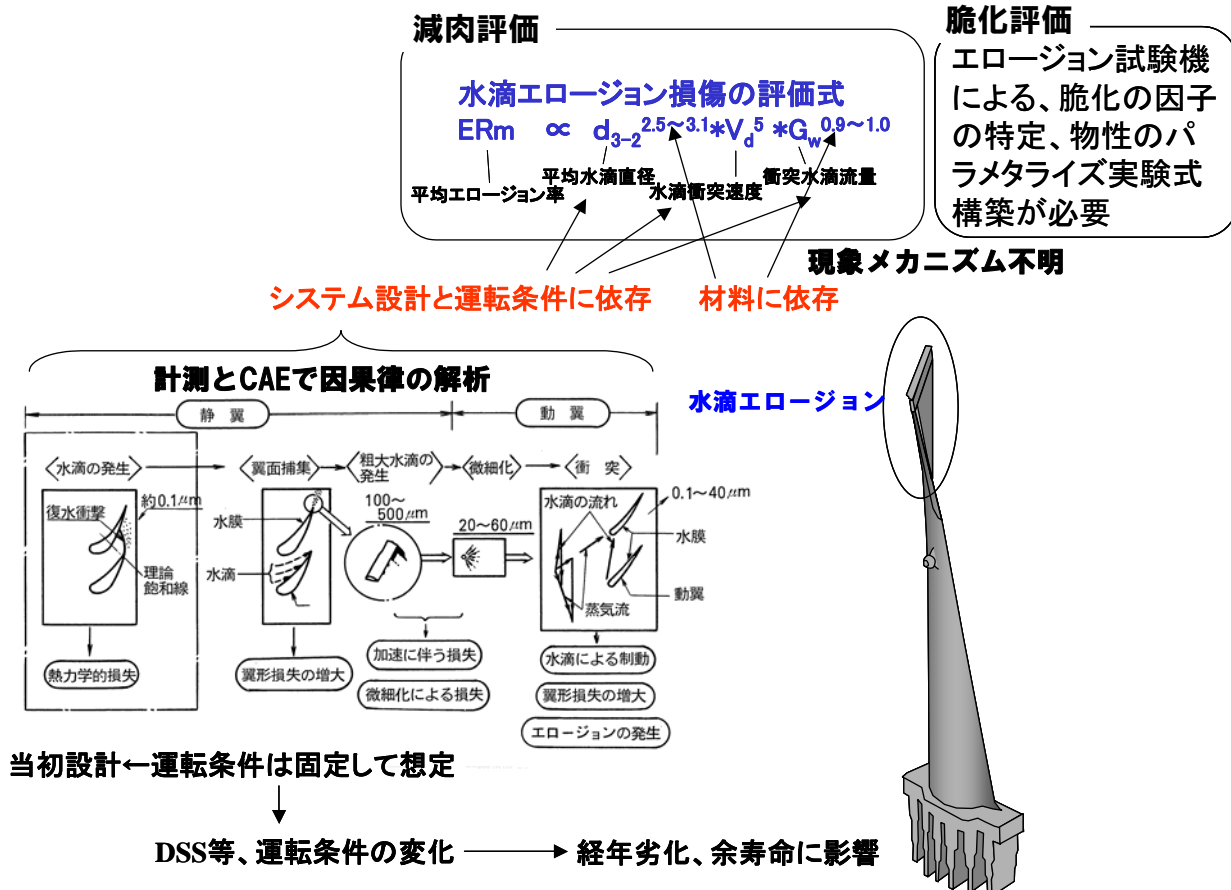
独立行政法人 産業技術総合研究所

部位	機能	現象	現象の主な評価手段	CAE/実験のタイプ	評価パラメータ	評価手法	他の機能・現象との干渉関係	備考
タービン最終段	ロータ軸と翼の結合部（植込み部）	フレTTィング疲労	・CAE & 実験	（CAEの場合） 市販CAE（接触解析） （実験の場合） 標準試験／モックアップ	・接触端部の応力 ・相対すべり量	・流体振動を考慮した構造解析 ・縮小モデルモックアップ	・環境（温度、湿度、腐食成分） ・翼振動 ・遠心力	
		腐食	・実験	・標準試験	・腐食深さ ・SCC有無	・浸漬試験 ・板曲げ試験（CBB）	・表面処理 ・翼振動	
		構造強度	・CAE	・市販CAE	・許容応力比	・遠心場における応力評価	・振動 ・環境 ・加工公差	
	翼有効部	翼性能	・CAE & 実験	（CAEの場合） 市販CAE／自社製CAE （実験の場合） モックアップ	・流力特性	・流体・構造連成解析 ・縮小モデルモックアップ	・上流側、下流側の各種構造	
		水滴エロージョン	・CAE & 実験	（CAEの場合） 市販CAE／自社製CAE （実験の場合） 噴霧試験、スピニング	・衝突速度角度 ・水滴量 ・減肉量	・水滴の経路解析 ・衝突解析 ・エロージョンシールド材との関係	・上流ノズルとの距離 ・湿り度 ・蒸気環境	
		振動	・CAE主体 ・実験 ・最終的に実サイズ回転試験	（CAEの場合） 市販CAE （実験の場合） 単翼および群翼モックアップ	・共振周波数 ・振動モード ・減衰量	・定格回転数での離調 ・過渡時の振動特性 ・制振構造（タイワイヤ、シュラウド等）	・蒸気特性 ・上流ノズル構造 ・植込み部構造	
		構造強度	・CAE	・市販CAE	・許容応力比	・遠心場における応力評価	・振動 ・環境 ・加工公差	

独立行政法人 産業技術総合研究所



独立行政法人 産業技術総合研究所



独立行政法人 産業技術総合研究所

CAEによる評価

境界条件(接触端の形状、相対すべり量、接触面圧)、荷重条件(応力振幅)、物性(材料の下限界応力拡大係数範囲)を与えてCAE(亀裂進展解析)で評価可能

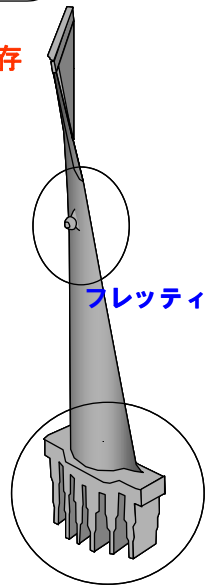
システム設計と運転条件に依存

材料に依存

計測とCAEで因果律の解析が必要

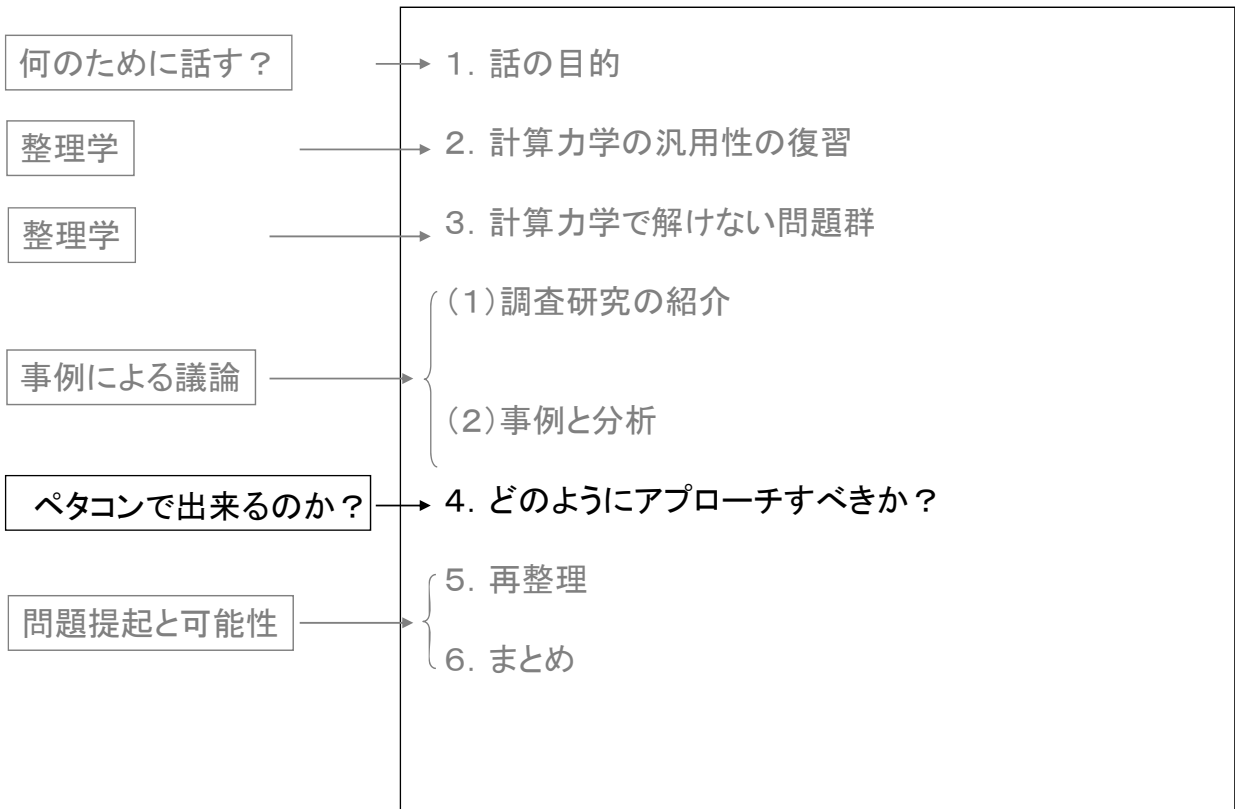
境界条件・荷重条件の実機測定は不可能
境界条件・荷重条件のパラメトリック関係式が必要。

例えば、
モデル試験と実機との対応による設計因子と運用条件(例えばDSS条件)をパラメータとする境界条件・荷重条件の関係式構築が必要あるいは、
接触箇所を実機測定で追い込んだ後、境界条件・荷重条件を導出するために、ギャップを有する構造物の非線形振動解析手法(CAE)の開発が必要



当初設計 ← 運転条件は固定して想定

DSS等、運転条件の変化 → 経年劣化、余寿命に影響



現象評価：現象因子から構成される関係式あるいは現象因子を入力とするCAE

例えば、

・水滴エロージョン：

平均エロージョン率＝平均水滴直径、水滴衝突速度、衝突水流量を因子とする関係式)

・フレットイング：

亀裂進展解析＝境界条件(接触端の形状、相対すべり量、接触面圧)、荷重条件(応力振幅)、物性(材料の下限界応力拡大係数範囲)を入力因子としてCAE解析

設計・運転条件因子：現象因子は設計変数・運転条件因子と因果律で結びつく

例えば、

・水滴エロージョン：

水滴衝突速度＝羽根形状、湿り度、運用温度、DSS方式等を因子とする関係式

・フレットイング：

応力振幅＝構造及びDSS方式等を因子とする関係式

現象評価式＝現象因子の関数(関係式)

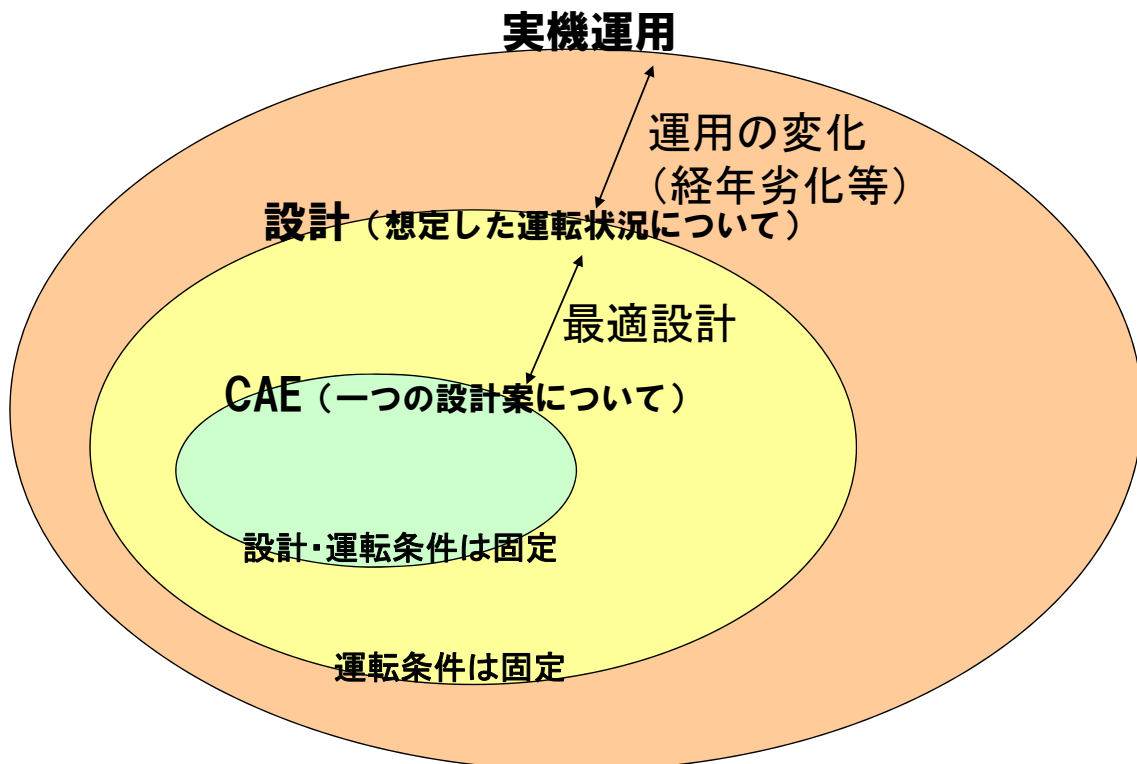


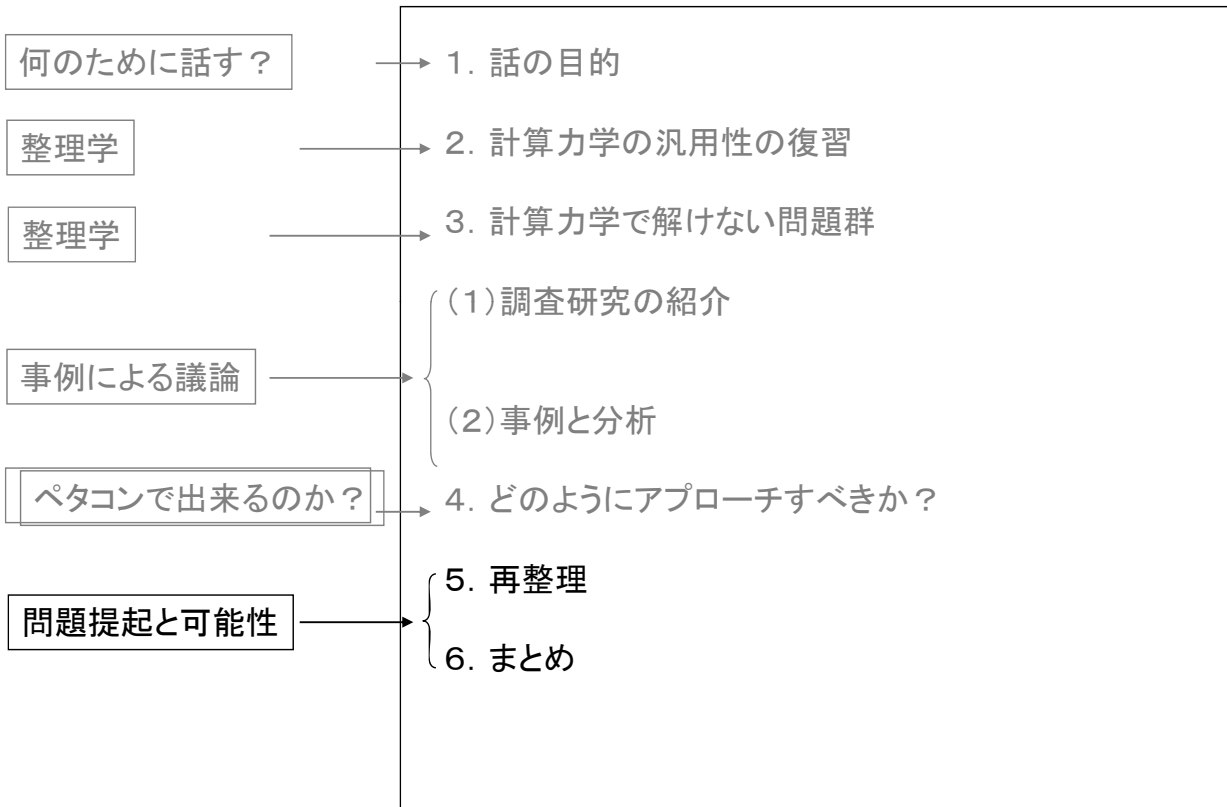
現象因子＝設計変数・運転条件因子の関数(関係式)



劣化・余寿命評価には時間項も必要。

計測, CAEとも応答曲面に落とし込んでしまえば, 設計に使える。





CAEの守備範囲拡大が求められている問題

- ・複数の現象が連成している問題
- ・複数の空間スケールの現象が連成している問題

連成の形態

- ① 支配方程式が連成する場合 (複数の支配方程式で変数を共有する場合)
- ② 境界・荷重条件を通して連成する場合 ← **実はこれがヤバイ**
- ③ 物性への影響を通して連成する場合

連成形式の例

	複数の現象の連成	複数の空間スケールの連成
支配方程式の連成	流体の支配方程式と移流の支配方程式が連成した二相流解析	
境界・荷重条件を介しての連成	熱応力を考慮した構造解析	ミクロスケールとマクロスケール間で均質化係数を介して数値的 material試験を行う均質化法
物性を介しての連成	粘性の温度依存がある流れの熱流体解析	

■ 「シミュレーション先にありき」ではない活動 ■

- ・設計のためのモデリング及び計算力学
(絶対値を合わせるのではなく、設計因子を振ったときの傾向があればOK)
- ・「複雑現象の因子抽出のためのモデリング」という考え方
- ・「問題設定」→「仮説-モデル-検証」の流れを意識して研究
- ・問題解決のためのマイルストーンをグループで徹底的に議論
- ・現象のモデリングがおいしい部分という共通認識
- ・場合によっては、現場技術者の勤を拡大する(CAEを用いた)コンサルを。

■ グループとしての活動 ■

- ・個人町医者ではなく、総合病院の医学教室のようなグループ活動
- ・{「問題設定」→「仮説-モデル」}はまずブツを見て全員で議論。
(「検証」(インプリ)は個人主体だが、「検証」議論は全員で。)
- ・午後一杯使った隔週グループミーティングでの徹底的な議論
- ・論文執筆の共同作業化
- ・モノに限定されない技術の強み
(CAEの敷居を低くするための啓蒙活動、CAEは問題解決のための手段という考え、どこにでも興味を示す雑食的な態度、等々)

■ モデル化:実験屋と計算屋 ■

モデル化 = 現実の抽象化

実験屋と計算屋はモデル化(抽象化)を行う順番が逆

実験屋: 現実(具象)をそのまま実験.

実験データからモデル(抽象)化
(現実(具象) → モデル(抽象)化)

計算屋: 現実を何かしらモデル(抽象)化.

モデルにより現実(具象)をシミュレート.
(モデル(抽象)化 → 現実(具象))

ミーティングの目的

- ・産総研と* * *様の役割分担及び産総研担当分の「CAE」と「可視化」の守備範囲を議論し、明確化すること。以下、CAE部分についての記述を行う。
- ・主語も目的語も形容詞も条件文もない「検証」「精度」「出来る出来ない」という曖昧な表現に、「誰が」「何を」「何のために」「どのような問題で」「どのように」「どのような手順で」等々、工程イメージを共有出来る具体的な議論レベルにまで持って行くこと。

例えば、

実際の問題の主要なエッセンスを含んだ基本検証問題の議論。CAEのどの物理量の結果との比較による検証か？
どの物理量のどのぐらいの精度が必要か？精度は絶対精度か条件変化時の挙動精度か？
CAEでしかわからない事は何？
* * *さんでどこまで追い込んで何が出来ないかの再度の確認。それに対して、何をどの程度出来たら「出来た」と言えるのか？

- ・各課題について、絶対に外せない目的・目標は何か、目的・目標が複数ある場合には優先順位の確認議論

産総研CAE部隊の意味する「出来た・出来ない」

- ・あくまでも問題解決して「出来た」と言える。Best effortsを積み上げただけでは、出来ない。(Best effortsをやったので、結果が出てこなければ諦めろ、あるいは、バイナリー供給(別料金)するので、うまく使いこなせ、というような事はしたくない。)
- ・往々にして、相手が「出来た・出来ない」の判断基準、整理が出来ていないケースが多い。
- ・一番不幸なケースは、途中結果を見て、要求基準が極端に変更される事。これは相互の不信感につながる。
- ・ゆえに、相手が欲しいのは「結果」だけだとしても、「結果」に至るまでのマイルストーン課題と検証方法の確認をしたい。
- ・次のスライドから、なぜ、Best effortsを積み上げただけで、相手の望む結果が出てこないかを説明します。...

材料力学部門へコメント

1. コラボについて

- ・計算力学部門ではCAEは研究ネタ(目的)、材料特性情報はツール(手段)
- ・材料力学部門では材料特性情報は研究ネタ(目的)、CAEはツール。
- ・例えば、材料と加工との関係、設計と材料・CAEの関係を考えれば明確
- ・しかし、CAEでも材力でも現状守備範囲外の問題がある。
- ・コラボの目的は何か？要するに既存の枠で議論出来なくなったからコラボ
- ・コラボにはターゲットが必要。また、コラボに即効性は期待できない。
- ・コラボでは、各分野での先端研究の組み合わせは×。先端+非先端の組み合わせは有効。しかしwin-winとならない。

2. 材料+力学

材料の網羅的テキストはない。材料にフォーカシングしていく方向。

1. 整理学の観点から、計算力学の汎用性、マルチフィジックスの中身、現象の計算力学の弱点、調査研究から事例紹介と分析、を行った。
2. 特に境界・荷重条件を通して連成するタイプの問題はペタコンピューティングによるCAEを持ってしても無理(モデル・定式化の問題)との問題意識を持っている。(経年劣化系はほとんどこのパターン。)
3. 現象因子からなる関係式、設計因子・運用因子からなる現象因子の関係式は(多次元多因子の)応答曲面(Response surface methodology)で記述されていれば設計には使える。
4. CAEの汎用性を保ちつつ、計測も動員して、まずは応答曲面記述により、現象把握をし、モデル化に持って行くのが先決か？
(多次元多因子の応答曲面の構築・修正にコンピュータパワーが必要になるかも知れない。)
5. CAEでも材力でも現状守備範囲外の問題をコラボ題材にしてはどうか？