

EnSight フォーラム

SPMモータ熱解析を中心とした、  
AcuSolveによる熱流体解析事例  
のご紹介

2010/11/05

(株) JSOL

エンジニアリング本部

流体技術部

芝野 真次



変える力を、ともに生み出す。  
MTT DATAグループ

株式会社 JSOL

# はじめに



モータは、電気自動車、ハイブリッド自動車、制御機器、ロボットなどますます、多方面に利用され、高機能化要求もあり、使用される環境は厳しいものとなってきている。

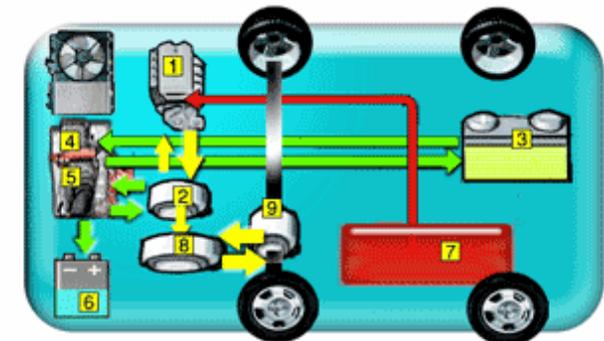
また、部品のコンパクト化に伴い、狭小空間に配置されることも多くなり、モータ周りにも関連部品が配置され、モータから発生した熱の除去法が設計上の重要問題となりつつある。

一方で、本来こうした設計課題を解決するために用いられるCAEソフトは、モータの電磁気性能評価を行う電磁場解析ソフト、伝熱解析を行う伝熱解析ソフト、熱流体解析を行う流体解析ソフトなど、バラバラで、統合できているとは言いがたい。



ハイブリッドカーのモータ  
(出典:トヨタHP)

<http://www.toyota.co.jp/jp/kids/eco/hybrid.html>



- 1 発動機・モーター (ガソリンエンジン)
- 2 電動機 (電気モーター)
- 3 高圧バッテリー (IMA 電池)
- 4 駆動電池用インバータ PCU
- 5 12V 充電用コンバータ
- 6 補機バッテリー
- 7 ガソリンタンク
- 8 CVT
- 9 ディファレンシャルギヤ

→ 力の流れ    → 電気の流れ    → 燃料の流れ

ホンダ・ハイブリッドシステム IMA

(出典:ぷぷキッズどっとコム)

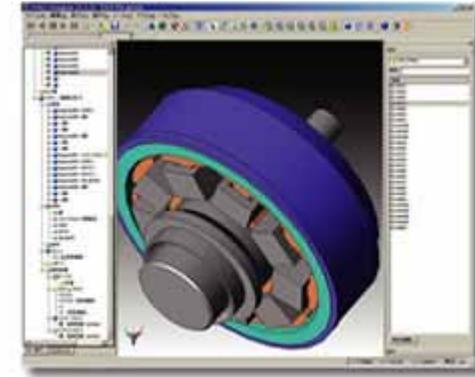
<http://www.pupukids.com/jp/profile/car/prius/hybrid.html>

# はじめに

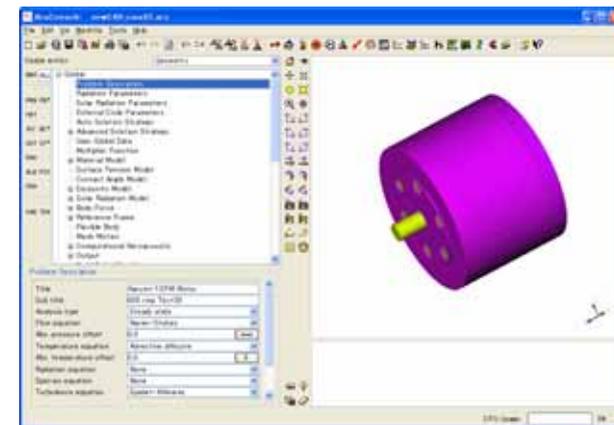


そこで、本提案では上記のCAEソフトの現状を改善し、モータから発生した熱の除去法を設計検討しやすいソフト環境を提供し、以下の設計上の問題点を解決しようとするものである。すなわち、前述の問題に対して、JMAG-AcuSolve連成機能を提供することで、前述問題の解決を目指した。

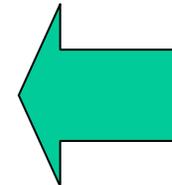
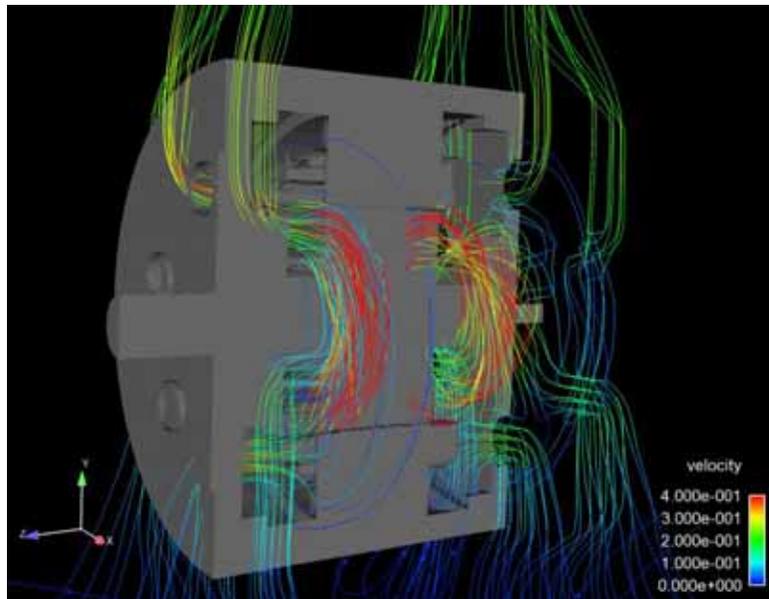
1. JMAGの解析結果をAcuSolveのメッシュ上の発熱量として、取り込める機能を有しているため、2つのソフトは互いに独立なメッシュであっても、ユーザはそれを意識する必要がない。
2. 熱の移動は流体運動を含め、正確に解析されるので、熱伝達係数は必要ない。
3. 熱の流れや空気・油の流れも可視化されるので、現状の熱の移動上の問題点がわかり、対策を検討できる。



(JMAG)



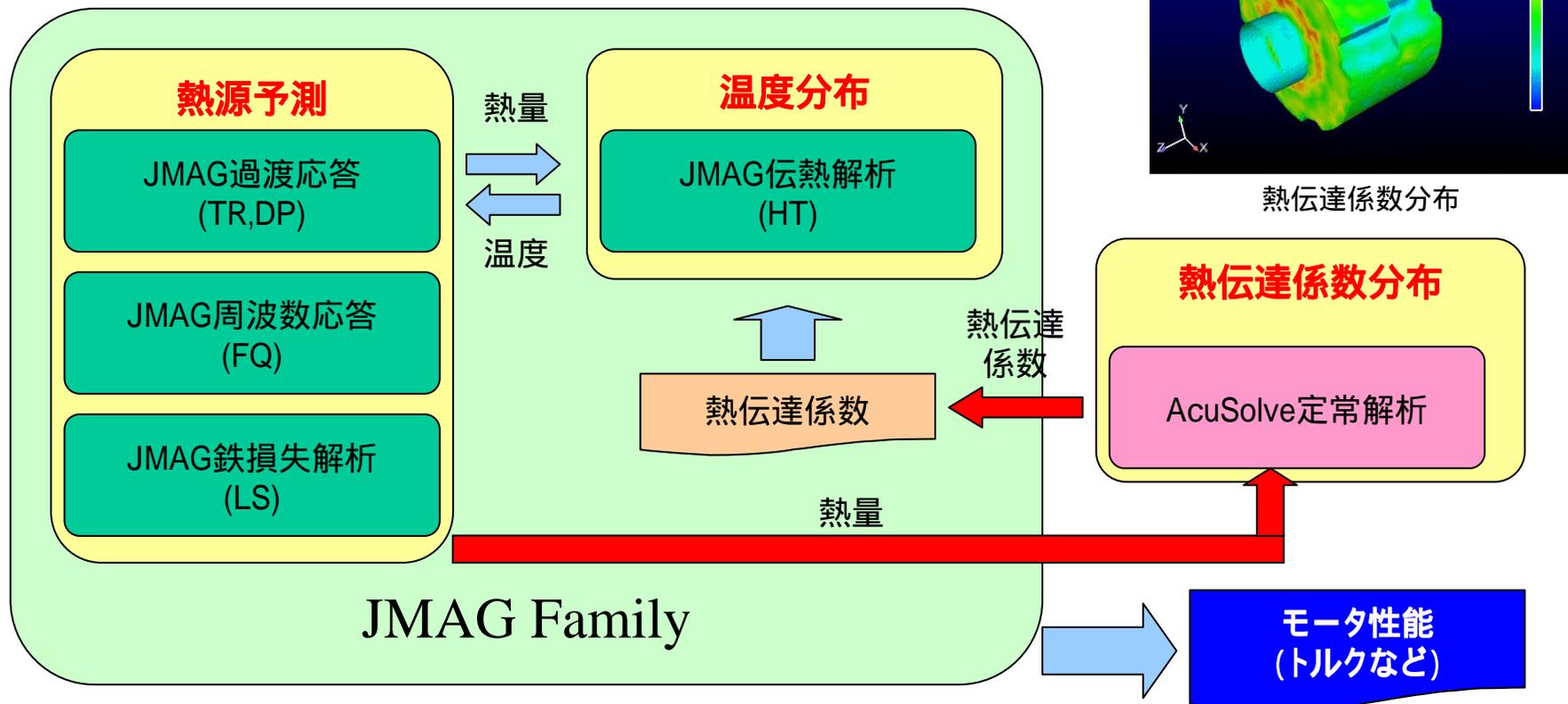
(AcuSolve)



# モータ性能設計とCAE



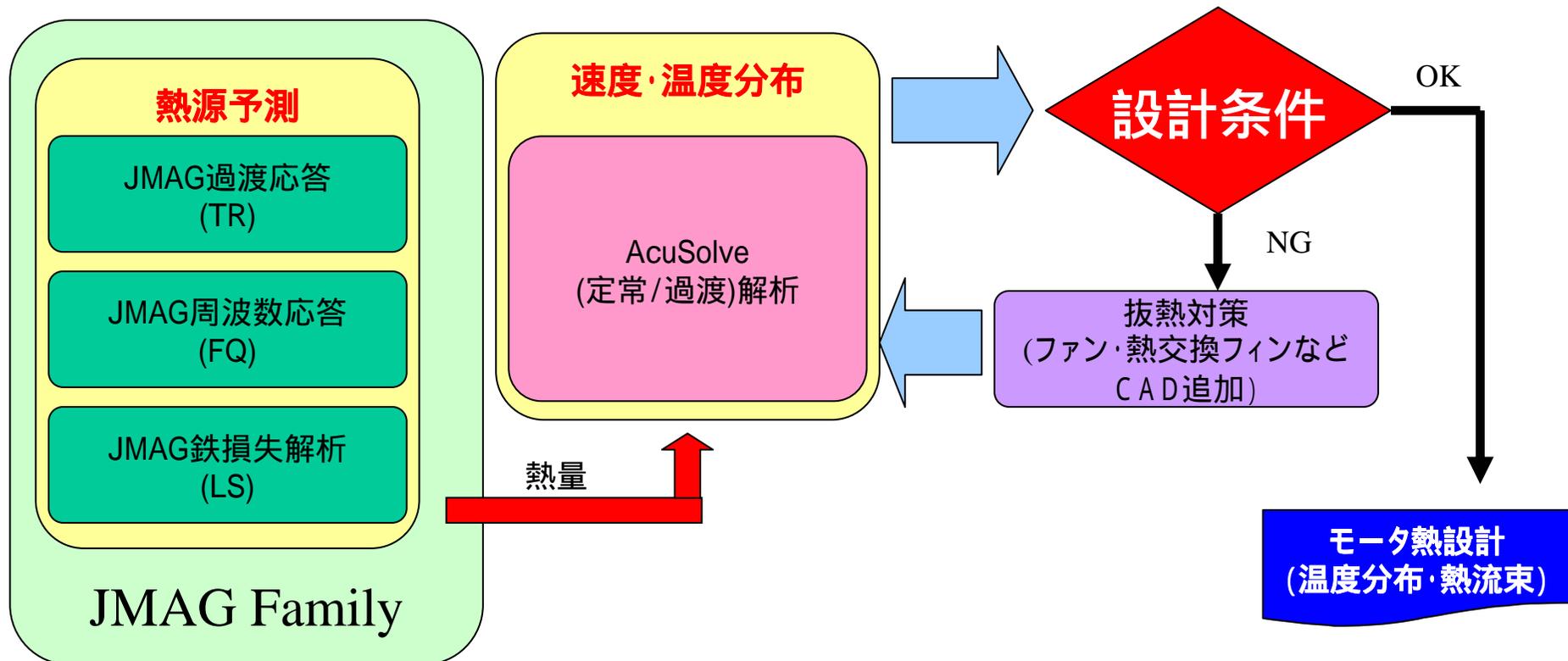
1. JMAG(HT)では、ユーザ入力であり、推定の難しかった“熱伝達係数”を、“AcuSolve”を用いて、正確に予測
2. JMAG(HT)とJMAG(TR)やJMAG(FQ)の1方向連成(磁界解析から熱量を渡し、伝熱解析から温度を返すだけの連成)により、電磁物性の温度依存性、減磁などを考慮したモータ性能設計が可能



# モータ熱設計とCAE



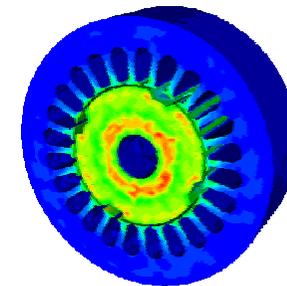
1. JMAG(TR)やJMAG(FQ)などで、わかった熱源をもとに、モータの熱設計を簡便に実施
2. ファン・熱交換フィンなどを設置したときの影響を正確に把握可能
3. 冷媒変更(空気=>水=>油)にも容易に対応可能





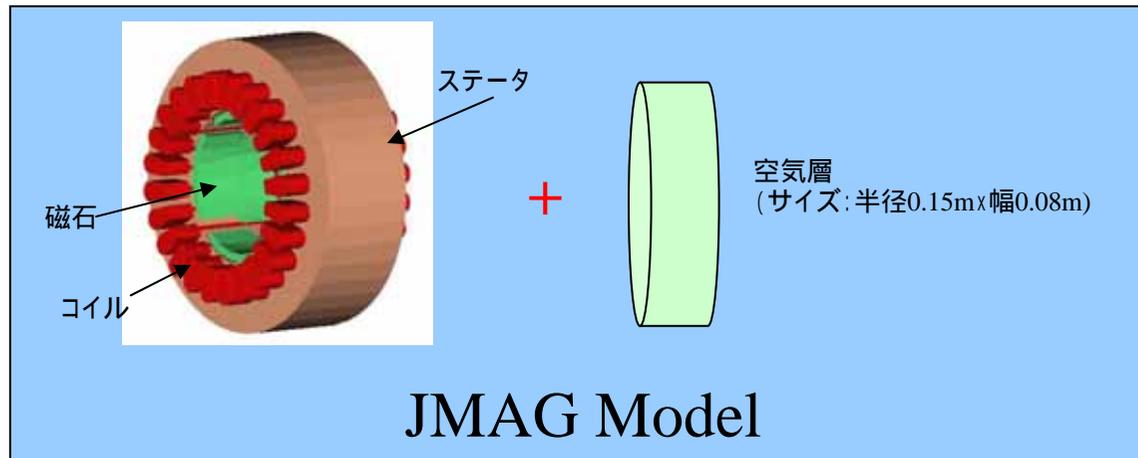
## JMAG/AcuSolve連成によって、得られるメリット

1. “熱伝達係数”を仮定することなく、正確に熱の移動や温度分布が得られる。
2. 電磁場解析ソフト(JMAG)によって得られたジュール損失・渦電流損失・鉄損失などをそのまま正確に反映できる。
3. 熱流体解析ソフト(AcuSolve)と電磁場解析ソフト(JMAG)とも解析領域やメッシュを相手のソフトによって、縛られない。
4. 解析結果から正確な“熱伝達係数”を得ることができる。
5. 2つのソフトを連成させることで、抜熱法の示唆を得られる。
6. 空冷・油冷、強制冷却にも対応
7. 噴霧・部分冷却には非対応



# SPMモータ熱流体解析 (JMAG解析結果を用いて)

# JMAG & AcuSolveモデル



(参考) 計算時間

JMAG (過渡電磁界解析)

要素数 : 107,111

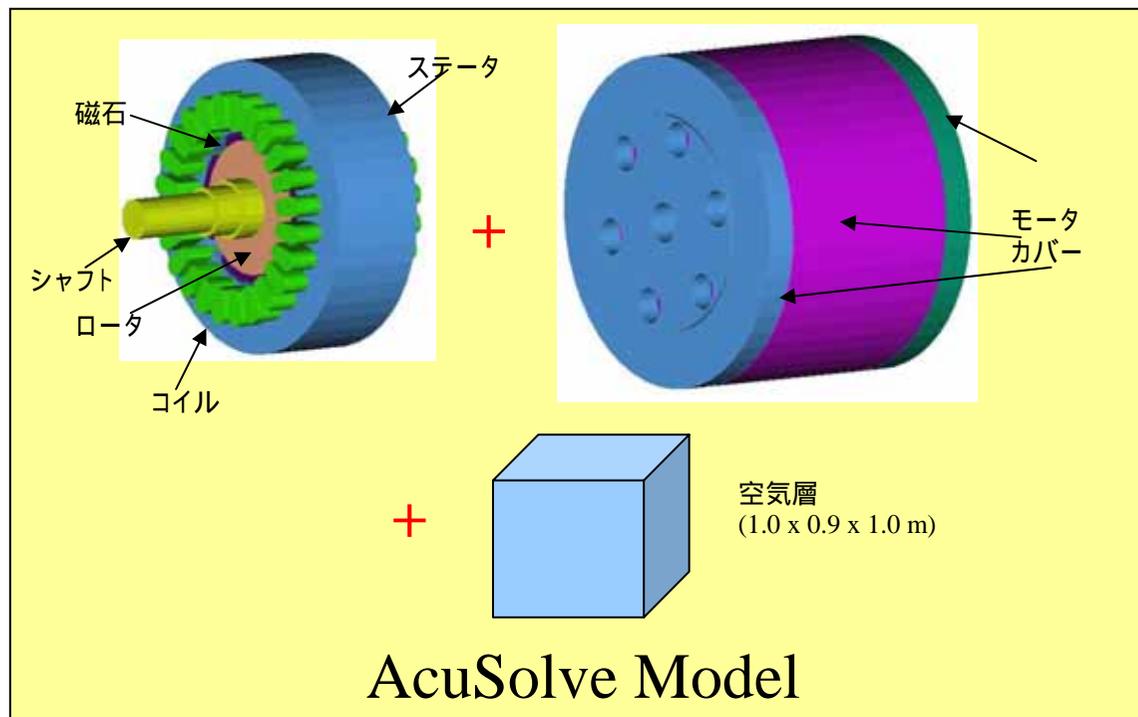
節点数 : 26,529

使用CPU(CORE)数 : 1

使用メモリー : 121.1 [MB]

計算時間 : 04hours 26min 27sec

収束ステップ数 : 97



AcuSolve(定常熱流体解析)

要素数 : 892,972

節点数 : 151,540

使用CPU(CORE)数 : 4

使用メモリー : 519.18 [MB]

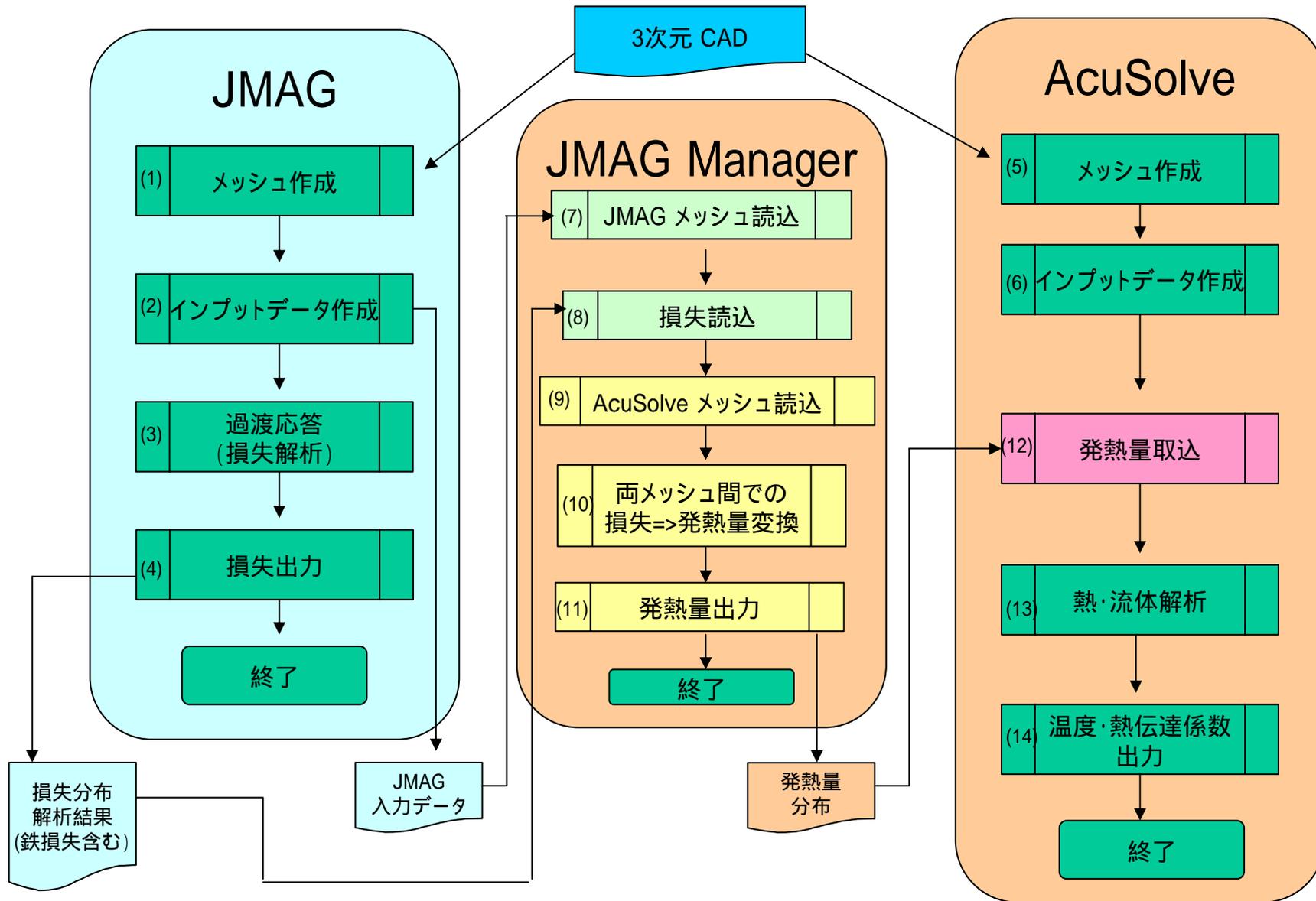
計算時間 : 1.651219e+003 sec (27.5 min.)

収束ステップ数 : 38

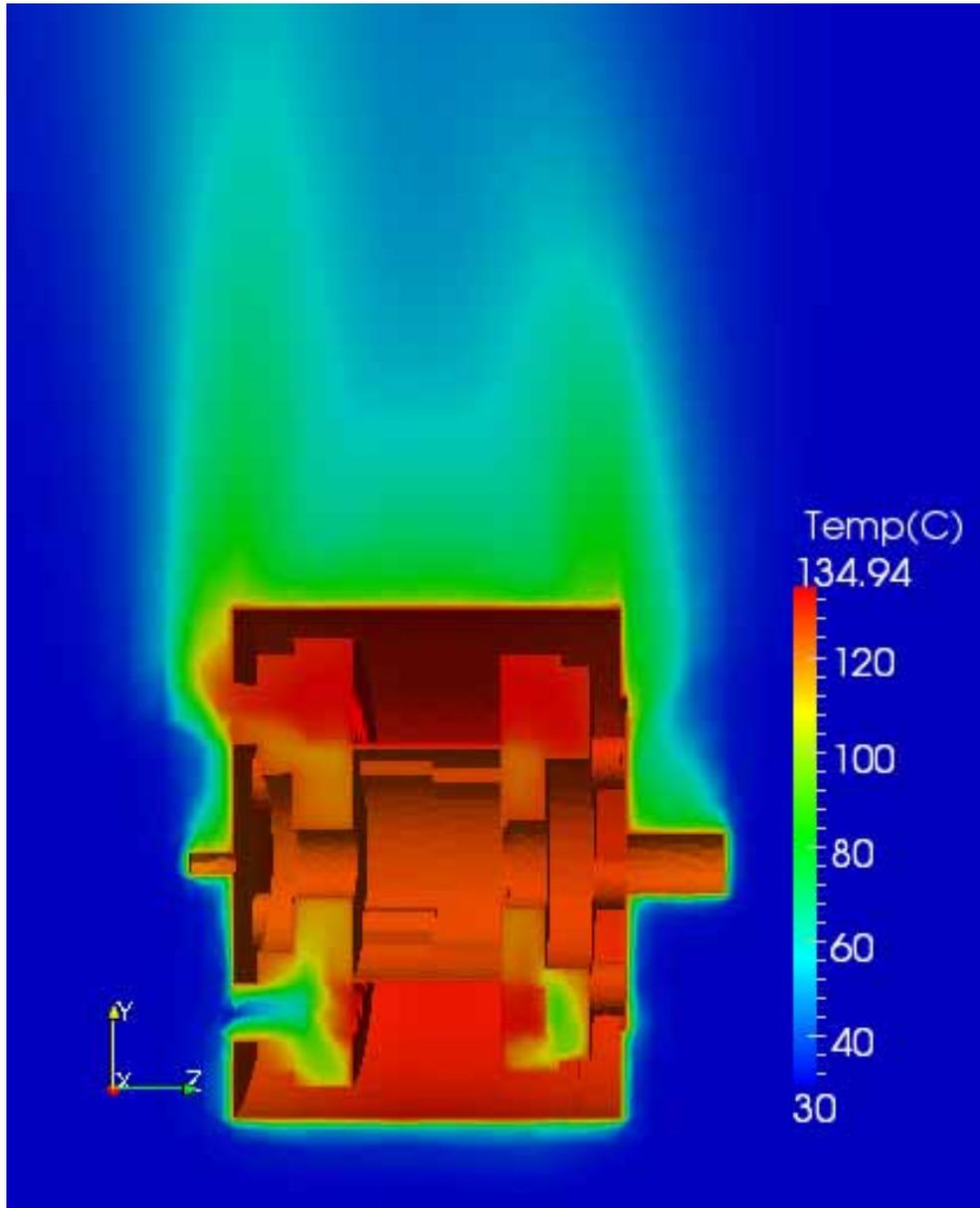
モータサイズ:

外直径: 0.17m、シャフト長: 0.18m

# JMAG/AcuSolve インターフェース詳細



# 温度分布 (定常解析)



空気: ブジネ近似  
(浮力=自然対流考慮)

物性:

コイル: 銅

磁石: マグネット物性

その他の部品: 鉄

境界条件:

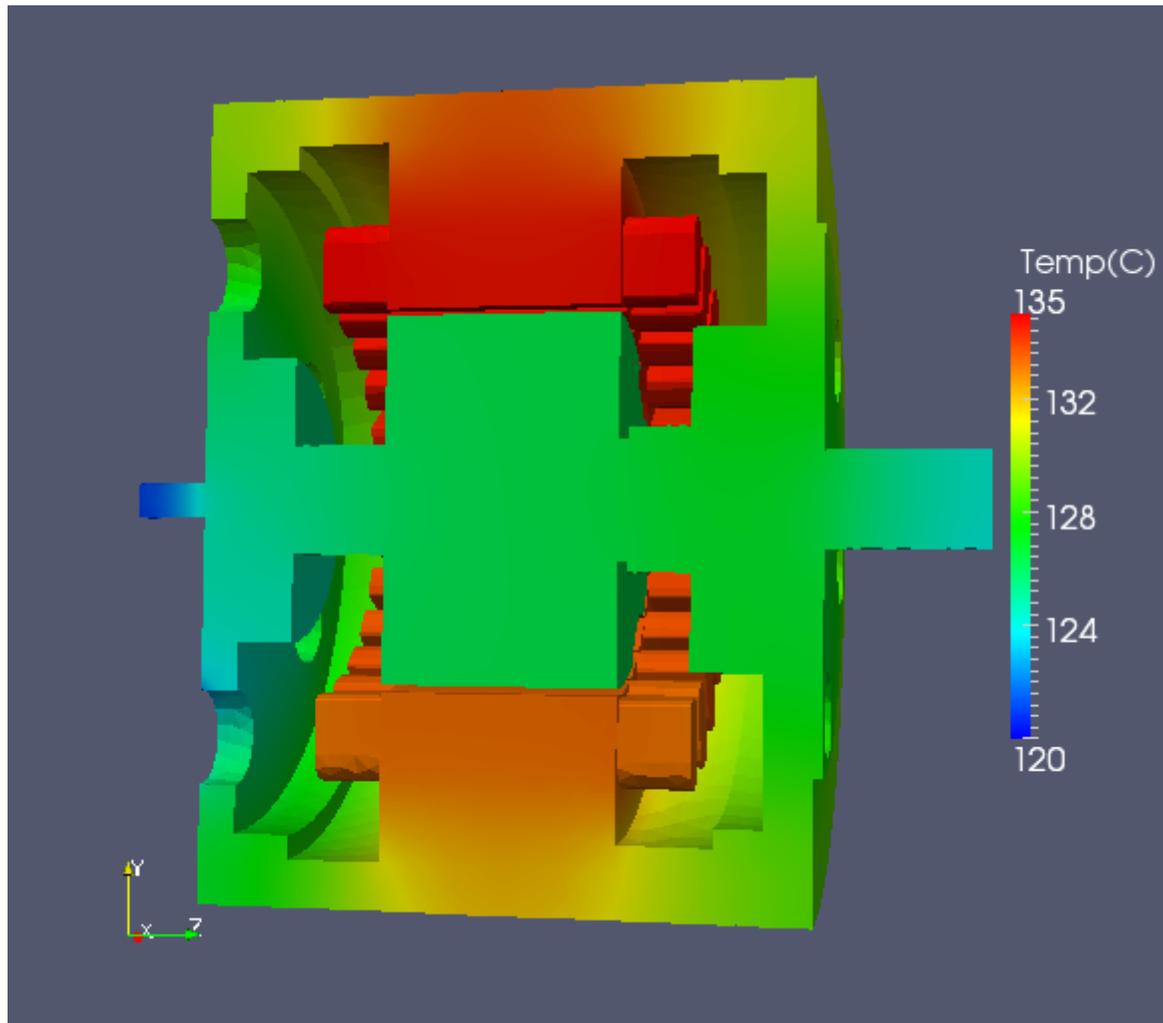
外部境界: 温度固定30

中央断面温度分布  
(外気 & 内部気体)

# 温度分布 (定常解析)

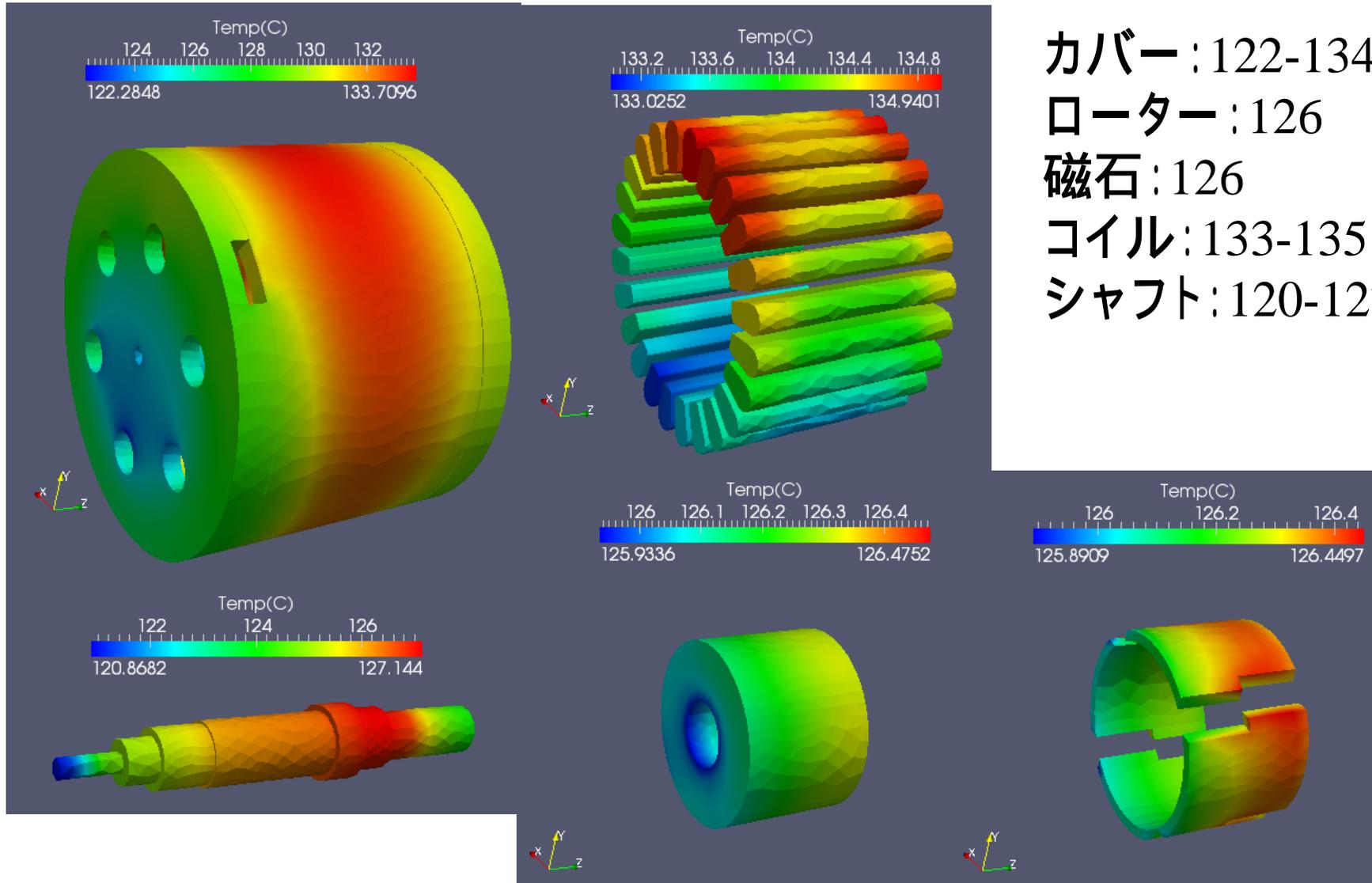


カバー : 122-131  
ローター : 126  
コイル : 133-134.5  
シャフト : 120-127



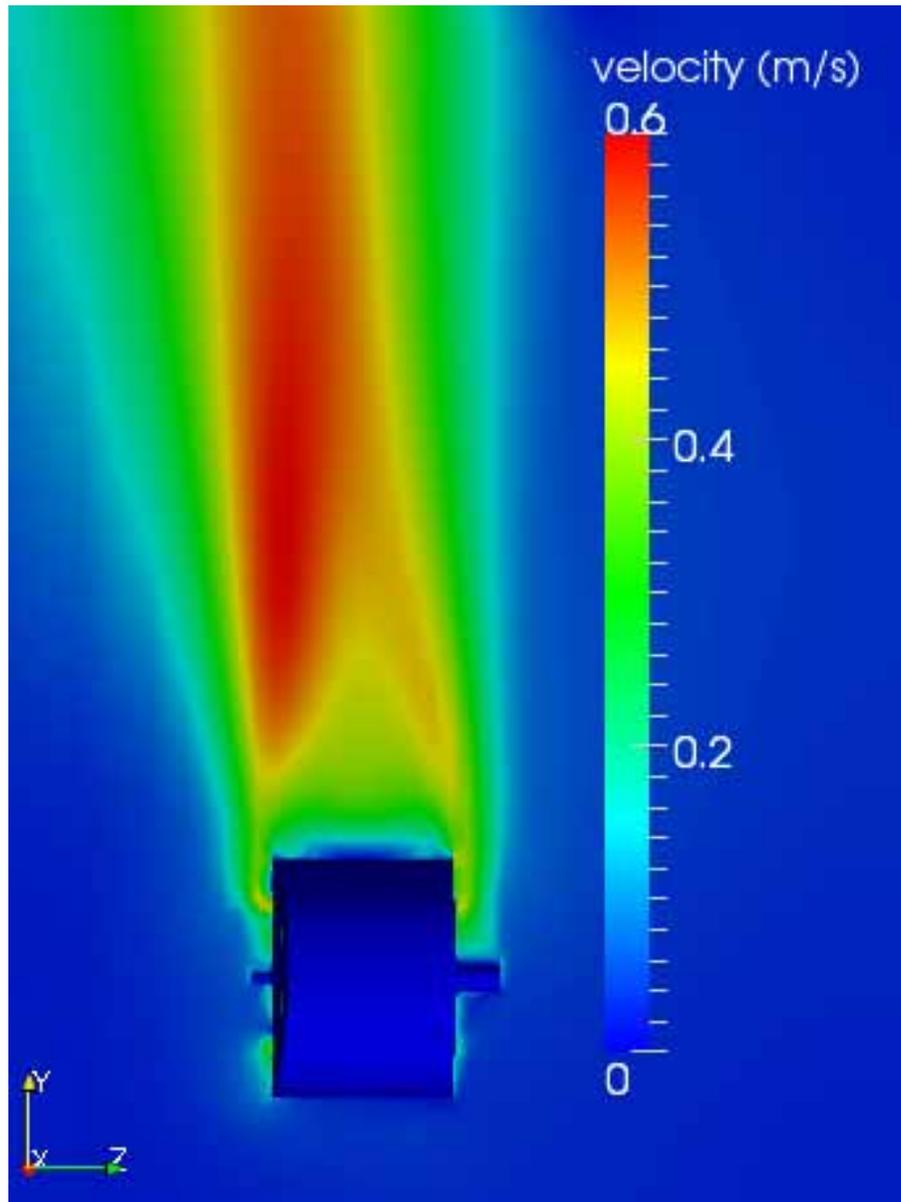
中央断面温度分布  
(部品)

# 温度分布(定常解析)



カバー:122-134  
ローター:126  
磁石:126  
コイル:133-135  
シャフト:120-127

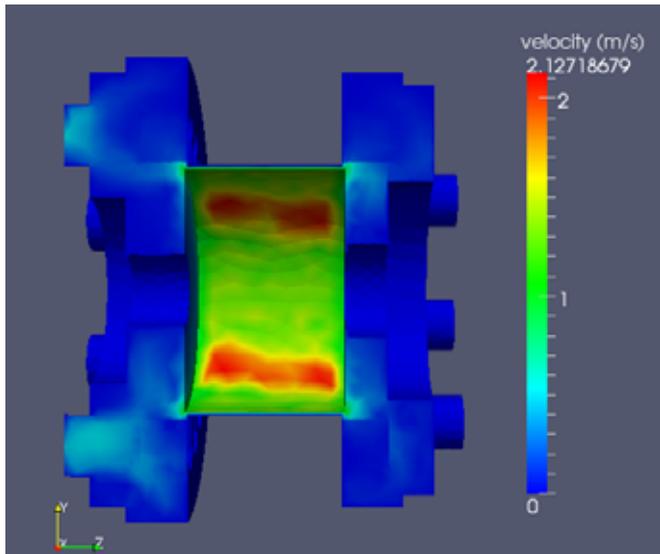
# 速度分布 (定常解析)



外部で自然対流が見られる。  
外部空気自然対流速度は  
最大で、0.6 (m/s)

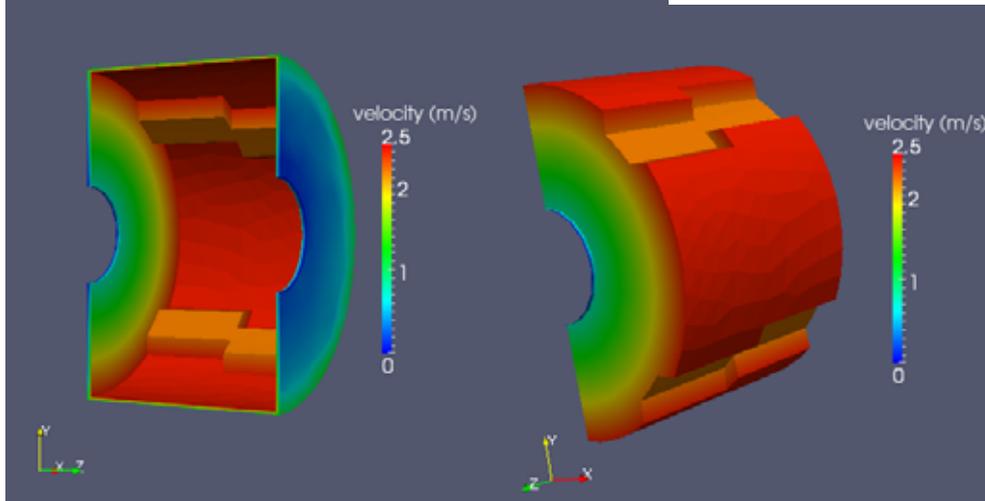
中央断面温度分布  
(外側空気層のみ)

# 速度分布 (定常解析)



ロータとステータの間隙の速度は2.4m/sec程度

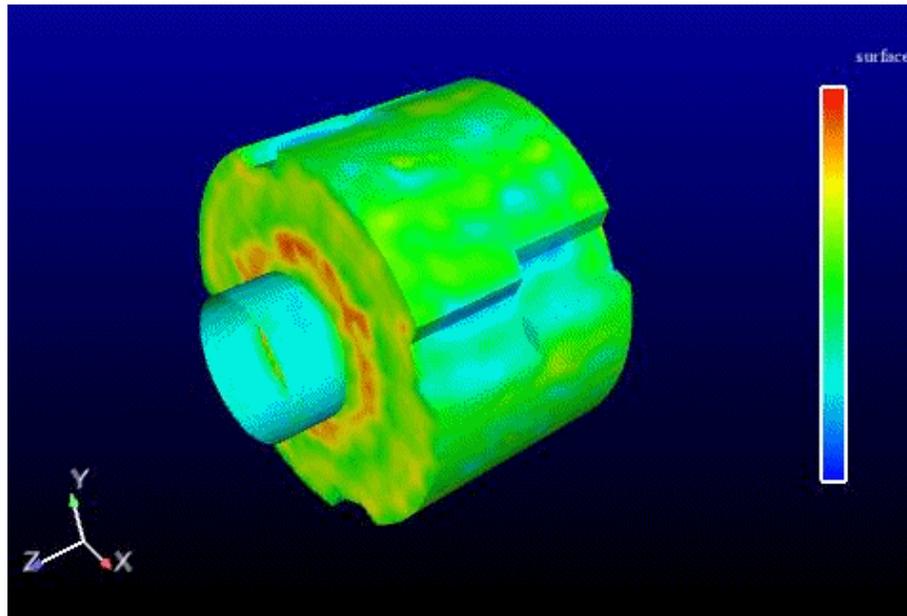
ロータから突き出したコイルに阻まれ、外部に通じる穴にはほぼ流れができない。  
ロータ外の速度は1m/sec程度



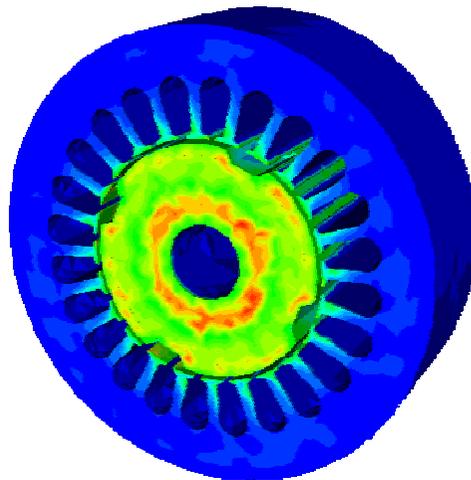
中央断面速度分布  
(内部空気層表面)



# 熱伝達係数分布 (定常解析)



熱伝達係数は  
ロータ・磁石表面で  
8.0(J/m<sup>2</sup>-sec-k)  
エンドリング端で  
12.0-16.0 (J/m<sup>2</sup>-sec-k)  
ステータでは、  
内面部で、12-16(J/m<sup>2</sup>-sec-k)



熱伝達係数分布  
(回転部表面)

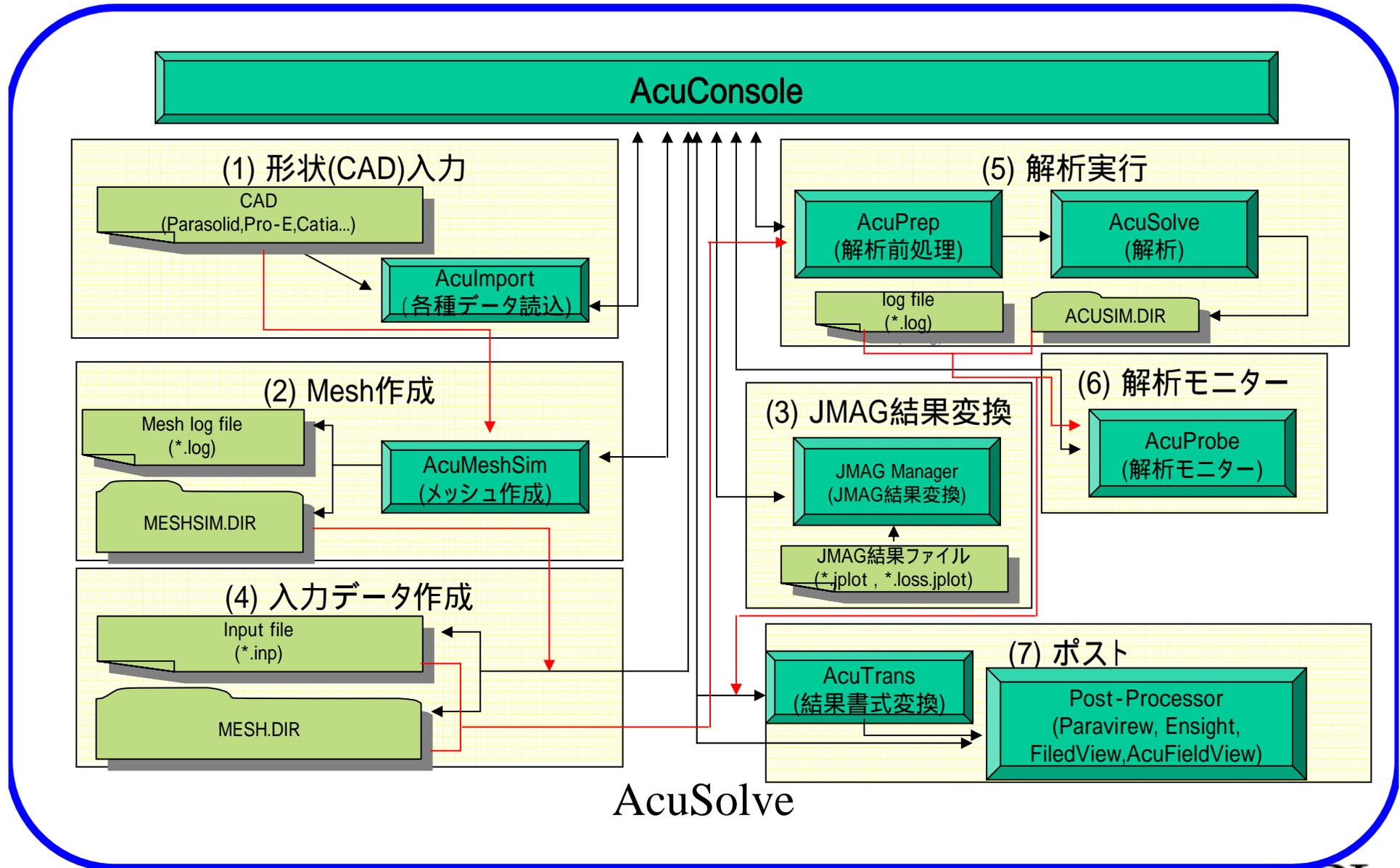
(注) 左図は定常解析の後  
実施した過渡解析の結果

# 付録1 AcuSolve概説



株式会社 JSOL

# AcuSolveのシステム構成



# AcuSolveで解析できる現象



AcuSolveは有限要素法を用いた汎用熱流体解析ソフトで、特に構造物の運動に伴う流れの解析に強いソフトです。

## 解析可能な熱流体现象

単層多成分非圧縮熱流体(層流・乱流)および単層多成分弱圧縮熱流体

- 空気、水などの一般的な熱流体解析
- 自然対流・強制対流を含む熱流体解析
- 輻射・太陽輻射を考慮した熱流体解析
- 多孔質体を含む熱流体解析
- 自由表面運動を含む熱流体解析  
但し、波の巻き込みなど特殊な場合を除く
- 多成分熱流体解析  
多成分高分子流れ、インク流れ
- 構造運動を含む熱流体解析  
構造運動は剛体・線形弾性体(モード法)・非線形弾性体  
» 但し、非線形弾性体はAbaqusとのみ連成可能
- 回転体を含む熱流体解析
- 非Newton流れ
- 音響解析  
但し、音源はAcuSolveで解析、音の伝播はACTRANで解析

## 解析できない熱流体现象

混相流(多成分熱流体は解析可能)=>次期バージョンで対応予定

- 水・油、空気・水などの混合流れ
- キャビテーション

## 超音速熱流体

- 超音速では、圧縮性熱流体の他に衝撃波を解析しなければならないため。

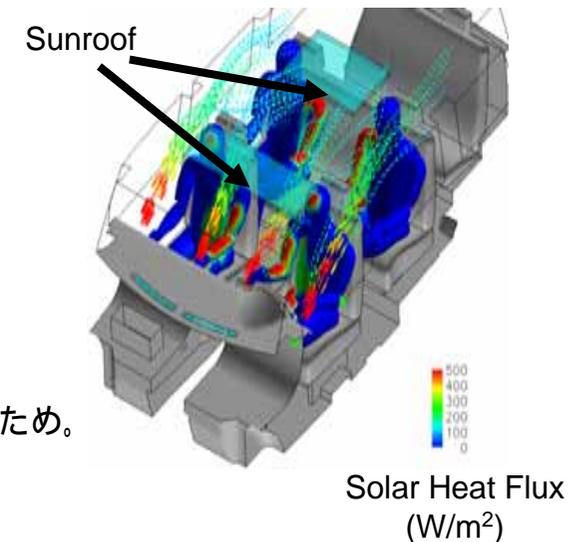
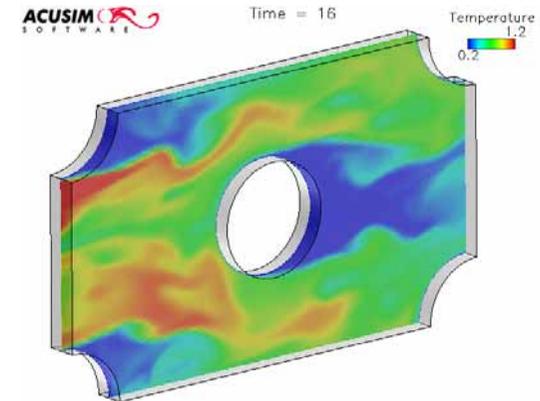
## AcuSolveと連成可能なCAEソフト

Abacus: 線形モード解析結果取込、非線形強連成

NASTRAN, ANSYS: 線形モード解析結果取込

JMAG: ジュール損失、鉄損失取込

ACTRAN: 音響解析連成



(注) 赤字は既存ソフトに比べ、優位、青字はFull版のみの機能

# AcuSolve導入メリット



- AcuSolve導入メリット

- 課題設定時間の軽減

- AcuSolveに内蔵されたオートメッシュにより、境界層を含むすべてのメッシュを自動的に作成でき、メッシュ品質にあまり依存しない解析結果が得られるため、トータルな作業工数を大幅に低減できる

- 短時間で解析

- AcuSolveが非常に高速であり、堅牢・安定であるため、既存の有限体積法ソフトに比べ、短時間に解析結果を得られる。

- コンピュータ資源を有効に活用

- AcuSolveは並列化効率が高く、大規模並列計算でもパフォーマンスの低下がないので、コンピュータリソースを最大限活用できる。

- 現実に即した解析

- AcuSolveは構造運動をありのままに、表した過渡解析が可能なので、計算上の仮定をほとんど設ける必要がなく、現実に即した解析結果を得られる。

- データの活用・再利用

- FLUENT, Star-CDのデータの読込やAcuSolveデータベースを利用して、既存データの流用や展開が可能。