

修士論文

風力発電機開発のためのコラボレーション設計  
Collaboration Design for Development of Wind-Power Generator

高知工科大学大学院基盤工学専攻  
澤田 達郎

# 目 次

## 第 1 章 序章

- 1.1 研究の背景 1
- 1.2 研究の目的 3

## 第 2 章 研究室での設計製作の現状と 従来のコラボレーション状況の調査

- 2.1 研究室内での設計製作の現状 4
  - 2.1.1 電気自動車の設計製作とその問題点
  - 2.1.2 風力発電機の設計製作とその問題点
- 2.2 従来の設計思想 7

## 第 3 章 コラボレーション技術の検討

- 3.1 コラボレーションソフトについて 8
  - 3.1.1 コラボレーションソフトに必要な機能
  - 3.1.2 コラボレーションを行う際の問題点
- 3.2 XVL 形式の概要と評価 10
  - 3.2.1 XVL 形式の概要
  - 3.2.2 XVL 形式ファイルサイズの評価方法
  - 3.2.3 評価に関する環境
  - 3.2.4 結果
  - 3.2.5 XVL 形式の評価

3.3 研究室での利用方法	16
3.3.1 市販コラボレーションソフトの試用	
3.3.2 XVL 形式の活用	
3.3.3 Rapid Prototyping による試作	
3.4 メーカーとのネットワークの構築	19

## 第 4 章 構造解析によるハウジング形状の検討

4.1 発電機の構造	22
4.2 発電機製作の流れ	25
4.3 250mm 発電機ハウジングの構造解析	26
4.3.1 解析の目的	
4.3.2 遠心力による応力解析（解析 1）の方法と解析条件	
4.3.3 磁石間の引き合う力による応力解析（解析 2）の方法と解析条件	
4.3.4 解析 1 の結果	
4.3.5 解析 2 の結果	
4.3.6 考察	
4.4 ネットワークを利用した解析結果の活用	36

## 第 5 章 結章

5.1 本研究でわかったこと	37
5.2 今後の予定	37

## 参考文献

## 謝辞

## 付録

# 第1章

## 序章

### 1.1 研究の背景

近年、環境問題などの高まりから二酸化炭素などを排出しないクリーンエネルギーへの関心が高まってきている。その中に風力発電がある<sup>[1]</sup>。風力発電の場合、資源が広範囲にあり、無尽蔵な純国産エネルギーを作り出すことができる。高知県でも2001年時に3,450kWの設置容量がある。高知県内をはじめ、日本国内で多く普及しているものは、大型のプロペラ型風力発電機である。これは一定方向の強い風が必要である。そして、それらの多くは、主に山岳地帯や海岸沿い等風況のよいところに設置されている。しかし、日本で風力発電を行うためには下記に述べるようにいくつかの問題がある。

- ・日本の風は吹きつづけることがない
- ・山、森、ビルなどが比較的近い地域にあるため、周辺の風況は乱れ成分が多く含まれている
- ・風向きや風速の変化により、安定したエネルギーの供給は困難とされる
- ・日本の面積は他国と比較して狭く、拓けた広大な土地がない
- ・発電機のコストが他国と比較して高い

このため、従来の大型のプロペラ型風力発電機では設置場所に限りがある。そのため、日本の環境に適した風力発電機の開発が望まれている。

それらを踏まえ、現在我々の研究室では、高知県内のメーカーと協力して小型風力発電機的设计製作を実施している。この発電機は風向きに関わらず、低風速から回転するサボニウス型風車と組み合わせたシステムで、「低風速から効率良く発電できる発電機システムを作る」ことを目標に製作している。この取り組みの中で、我々は主に3D-CADによる3次元モデルや図面の作成、磁場解析による最適設計などを行っている。

図.1-1は共同で設計した450mm発電機である。このタイプは最高で1kWの発電量を出すことを目的として製作された。図.1-2は現在販売している自立型街路「Twinkle」である。サボニウス型風力発電機と太陽電池を組み合わせる事によって、災害などが起きた場合でも灯りを供給できるものを製作している。この中には250mmの発電機が内蔵されている。この発電機は300回転で100Wを出すことを目標に製作された。

この設計製作の中で、打ち合わせやデータのやり取りなどは、主に作業の区切りがついた所で直接メー

カーと会う事で実施している．そのため小さい変更点や問題点を迅速に連絡・修正をすることが出来ていない．また，互いの進捗状況がわかり難くスケジュールも調節しなければいけない．さらに解析結果などの設計に必要な情報をリアルタイムに開発に反映することが出来ていない．これでは無駄が多く，情報を共有できていないため，効率の良い開発・設計が行えているとは言えない．そしてこれらの状況は多くの企業でも重要な課題として位置付けられている<sup>[2]</sup>．

特に迅速で確実な作業が望まれる企業の場合では，これらの問題は望まれるプロセスに対して大きな障害となる．これらを克服していくためには，製品に関わるすべての部署，あるいは企業がその枠を超え，互いに協力していく必要がある．

このような問題や課題を解決し効率の良い設計製作を行うために，我々が注目している技術がコラボレーション技術である．

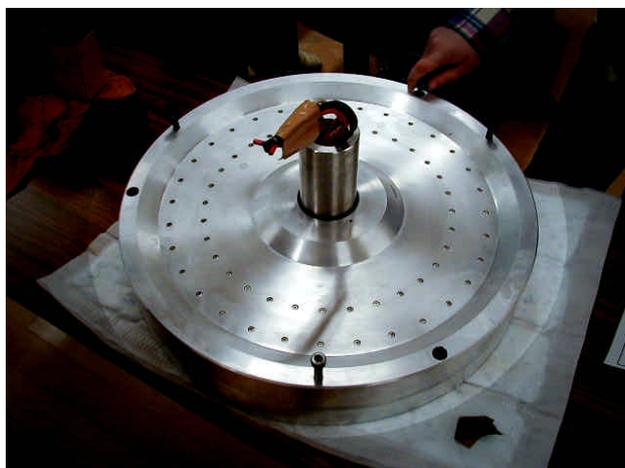


図.1-1 450mm 発電機



図.1-2 自立型街路灯「Twinkle」と内蔵されている 250mm 発電機

## 1.2 本研究の目的

本研究ではひとつのモデルや図面などのデータを元に、複数人で同時に検討を行い、研究室内や研究室企業間での設計効率の向上を目指す。そこでネットワークを利用したコラボレーション技術について検討を行った。そのために必要となる研究室内や実際の企業について現状調査を行い、問題点の列挙や核となる技術の検討を行う。また、これまで行われていなかった発電機のハウジングを構造解析することによって構造の最適化を目指す。

## 第 2 章

### 研究室での設計製作の現状と

### 従来のコラボレーション状況の調査

本章では、我々の研究室内での設計製作の現状や、実際の企業でのこれまでの設計思想などについてまとめる。設計製作という分野に関し、我々の研究室では、現在電気自動車の設計製作と風力発電機の設計製作を行っている。この中には現在いくつかの問題点がある。そして、それらの問題点は実際の企業でも大きな問題として考えられているようである。

#### 2.1 研究室内での設計製作の現状

##### 2.1.1 電気自動車の設計製作とその問題点

電気自動車の設計製作は、研究室内のメインとなる研究の 1 つであり、現在 4 台目の電気自動車を製作中である。現在製作しているものは高齢者などをターゲットとした 1 人乗りの小型電気自動車である。図.2-1 に製作している小型電気自動車の車体の 3D-CAD モデルを示す。図.2-2 に小型電気自動車の設計の流れを示す。電気自動車の製作はパイプや、部品の切断や、その溶接などが主な加工のため、製作した図面などは、直接鉄工所に持っていくことで発注している。もし寸法の不足などの修正点があれば図面を持ち帰り後日再度持込を行う。これまでに下記に述べるような問題がある。

- ・ 部品ごとに担当者が違うため、情報の共有がうまくできていない場合がある
- ・ 修正点があればメーカーと大学を何度も往復しなければいけないため、結果的に製作までの時間が多くかかってしまう
- ・ 細かい寸法などの矛盾点を鉄工所に任せて修正してしまう場合があり、予定と違うものができる場合がある
- ・ 構造解析などを行っていないため、必要な場所に強度がない場合や、逆に強度がありすぎて重くなっている部分がある

これらを解消するためには、少なくとも図面を作る前の段階で情報を密に共有する必要があり、研究室内で対策をとる必要がある。

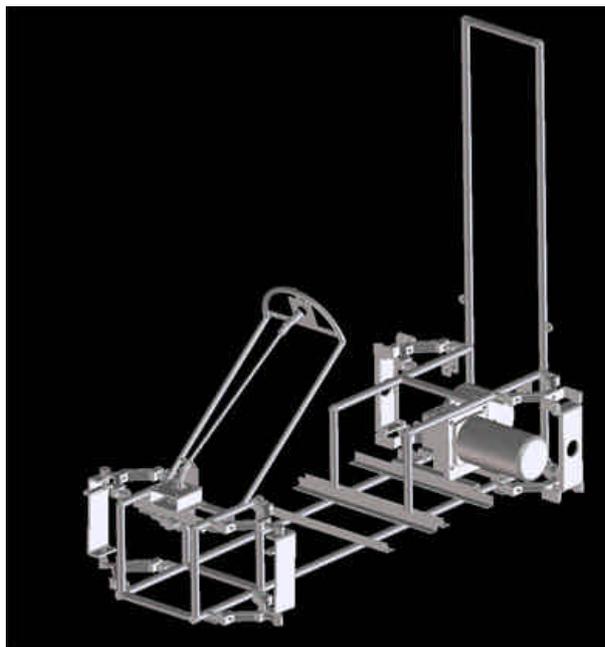


図.2-1 現在製作中の小型電気自動車の 3D-CAD モデル

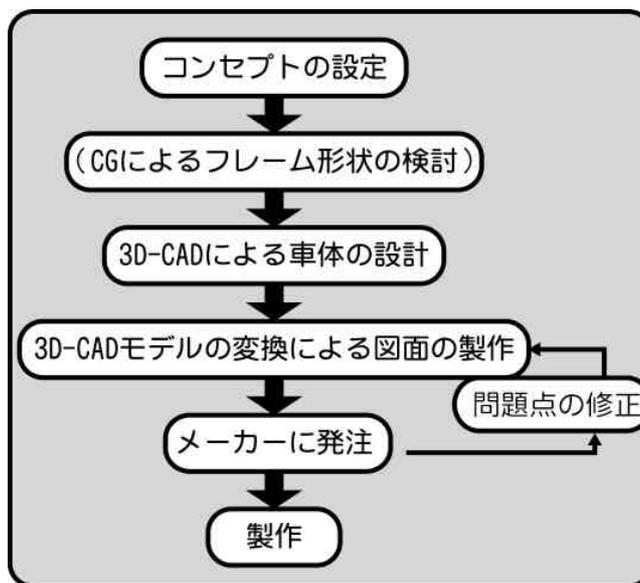


図.2-2 電気自動車の車体設計の流れ

### 2.1.2 風力発電機の設計製作とその問題点

風力発電機の設計製作は高知県内のメーカーと共同で行っているもので、我々は主に 3D-CAD による 3 次元モデルや図面の作成、磁場解析などを行っている。発電機設計製作の流れを図.2-3 に示す。発電機の

構造や製作の流れなどは第4章に記述する。

この設計製作では、これまで打ち合わせやデータのやり取りなどを、作業の区切りがついた所で直接メーカーと会うことで行ってきた。しかし、頻繁に連絡を取っていないため、下記のような問題が発生している。

- ・ 小さい変更点や問題点を迅速に連絡・修正をすることが出来ていない。(特に変更点は、どのような経緯で何の為に変更されたかなどの情報が少ない)
- ・ 変更を一度に言われるため1度製作したモデルを言われるままに始めから再製作する場合がある
- ・ 互いの進捗状況がわかり難く、打ち合わせを行う場合、スケジュールを調節しなければいけない
- ・ 解析結果などの補助的な情報をリアルタイムに開発に反映することが出来ず、試作先行の開発になっている
- ・ 解析結果は実験結果との整合性の確認にとどまり、新しい発電機を設計する補助にはなっていない
- ・ 製品を販売する前の実験が行われていない、または実験結果が反映されていない

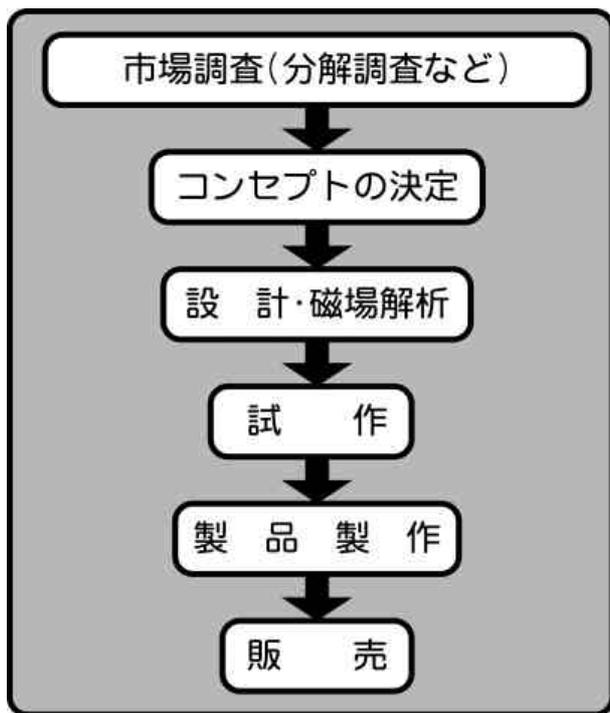


図.2-3 風力発電機製作の流れ

## 2.2 従来の開発設計の状況とコラボレーションの必要性<sup>[2]2-1</sup>

設計が3次元CADに移行しつつある現在、以前と比べてつまらない設計ミスは減少してきたものの、モノづくりの流れを考慮した設計は完全に行われているとは言えないとされている。それは設計者が加工技術や製造技術に通じておらず、実際の製作に必要となる寸法などを考慮せずに設計することなどがあるからである。そのため、せっかく製作したモデルデータの不具合となり、直接加工に使用出来ない場合がある。この場合新たにモデルを製作しなおすなどの手間が増えてしまう。

しかし、その問題を解決しようにも、設計者のみでデータの不具合を発見するには限界がある。これらの問題を解決するには、商品に関わる各部署の人間を含めた複数の人間によるモデルのチェックが必要になってくる。また、チェックによって不具合が発見された場合や、設計の変更があった場合、関係する人間すべてにその情報が迅速に伝わらなければいけない。

風力発電機の設計においては、我々が行っている解析結果などが開発に迅速に反映されるべきであり、常に情報を交換・共有できることが理想である。しかし、現状では情報の共有は1部で、モデルの製作などの作業が一段落したところでしか行えていない。

実際の状況としても、全ての部署が頻繁に打ち合わせを行いながら商品開発し、問題点などの迅速な修正や進行状況の把握、変更箇所の連絡などが出来ている企業は少ないとされている。また、部署・企業間が物理的に離れている場合、打ち合わせの度に1箇所に集合する必要があるためコストや時間などの面で改善すべき問題である。

これらの課題を解決するためには、各人の前にモデルを表示させ、モデル製作者を含む複数の人間がネットワークを介し距離や時間を気にせず参照出来、意見を交換しながら協力し合える技術、環境が必要である。そして、その技術がコラボレーション技術である。

---

<sup>2-1</sup> 元となったレポートを付録1として添付する

## 第 3 章

### コラボレーション技術の検討

本章ではコラボレーション技術について検討した結果を述べる。インターネットを利用したコラボレーションを含め、ファイルの転送ではどの場合でもファイルサイズが 1 つの問題となる。そこでファイルサイズを元の数百分の一に圧縮できる XVL 形式に着目し、いくつかのファイル形式と共にファイルサイズの比較を行った。同時に市販コラボレーションソフトの試用や、XVL 形式ファイルの活用方法なども検討した。風力発電機の共同制作メーカーである「坂本技研」とのコラボレーションについても評価を行う。

#### 3.1 コラボレーションソフト<sup>2-1</sup> について

##### 3.1.1 コラボレーションソフトに必要な機能

コラボレーションソフトとして必要だといわれている機能や特性を下記に挙げる。この他にも作業内容によっては別の機能も必要だと考えられる。

3次元モデル表示機能

高価な CAD システムを導入せずに複数の人間でモデルを参照できる（導入コストの削減）

設計ではない人間（営業など）でも簡単に扱える操作性とインタフェイスの整備（気軽に使用できる）

構造上の問題点を発見するために必要な機能の充実（寸法や断面図の表示機能や干渉チェック機能など）

参加者全員が同じ画面（視点）を表示・共有できる

会話（チャットなど）機能とその内容の保存機能

議事録作成機能

モデル上へのコメント（注記）作成機能

その他状況に応じた機能

これらの機能を持つコラボレーションソフトはすでにいくつか存在する。その多くは図.3-1 のようにサーバー上にモデルを置き、参加者（クライアント）がサーバーにアクセスすることでモデルを表示する。我々が試用していたものもこの形態をしており、アカウントさえあればどこからでもアクセスする事が可能である。また議事録やコメントなどの記録もサーバーに保存される。掲示板のように時間をずらして、

<sup>2-1</sup> 本報告ではネットワークを通じてコラボレーションを行うためのインフラとなり、デザインレビューを行うソフトをこのレポートではコラボレーションソフトと呼ぶ。一般に言われている広い意味でのコラボレーションソフトは、このようなデザインレビュー用の機能を持ったソフトウェア以外にも、スケジュール調整や進捗状況の報告・確認、業務フローの管理機能など、様々な機能を持つソフトウェアも含まれる。

アカウントを持つ複数の人間が閲覧する事が出来る。

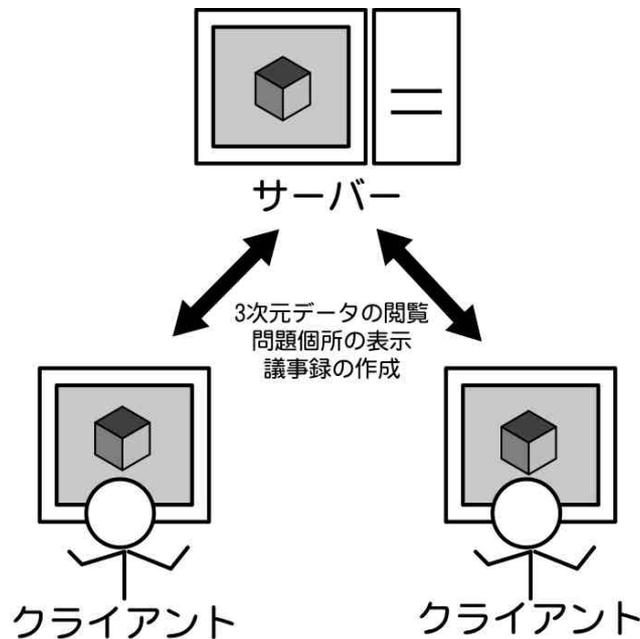


図.3-1 コラボレーションソフトの形態例

### 3.1.2 コラボレーションを行う際の問題点

コラボレーションソフトを使用する際いくつかの問題が挙げられる。それはネットワーク環境の不備やセキュリティーの問題である。ネットワークを介する以上この問題は特に注意を払うべきである。

そして、それら以外にも問題は挙げられる。その中のひとつが、ファイル形式に何をを使うかということである。現在、CAD 間でのデータの交換やコラボレーションソフトでモデルを表示させる場合は、同一の CAD やカーネルシステムでない限り、ほとんどが中間ファイルといわれる汎用形式のファイルを使用して行われる。この中間ファイルには「IGES 形式<sup>2-2</sup>」や「VRML 形式<sup>2-3</sup>」などいくつかの種類が挙げられるが、これらの多くは汎用性を持たせるために CAD システムが持つ独自形式のファイルよりもファイルサイズが大きくなり、信頼性も低いことが多い。大きくなったファイルサイズはネットワークに負担をかけ、コラボレーションソフトの操作性や処理に多大な影響をもたらすことが考えられる。この問題を解決するためには軽量で精度や信頼性が高い汎用ファイル形式が必要である。ただ、あるコラボレーションソフトでは既存のファイル形式（この場合は VRML 形式）を独自のアルゴリズム（必要な部分のみをネットワークで転送する）を用いネットワークにかかる負担を減らしているものもあるため、一概にファイル形式のみを評

<sup>2-2</sup> IGES 形式は CAD ベンダーごとにデータの解釈に違いがあり方言といわれるファイルの扱いの違いが生まれ、CAD 間の互換性が保たれていない。また汎用性を持たせるためにデータ容量も大きくなってしまふ。しかし、現在はかなり優秀に変換することの出来るコンバーターも存在する。

<sup>2-3</sup> VRML 形式はネットワーク上で 3 次元形状を表示させるためのファイル形式であるが、形状をポリゴンで近似させているため精度に問題があり、工業用 CAD での使用には問題がある。

価するわけにはいかない。

また、運用の問題となるがコラボレーションソフトを導入したからと言って何もせずに設計の効率が上がるわけではない。どのようにして開発に利用するかが課題となる。我々は、メーカーとも連携して操作を行うため、互いに使い方などの取り組みを明確に定める必要もある。

## 3.2 XVL 形式の概要と評価

### 3.2.1 XVL 形式の概要

上記のようにネットワークを利用したコラボレーションを行うためには既存の中間ファイルでは問題が残る。これらの問題点を踏まえ、精度と軽量性を実現し、既存の 3 次元データからの自動変換、ネットワーク環境への統合の親和性に注目して開発されたのが XVL (extensible Virtual reality description Language) である。XVL は伝送速度の遅いネットワーク環境に負担をかけず、高速化する演算装置 (CPU) に表示等の処理を行わせている。無償ビューワーの提供や、モデル自体にアニメーションや材質の設定ができるなどさまざまな用途での利用が期待されている。

ここでは他のファイル形式と比較したネットワーク環境での XVL 形式の優位性を確認する。そのためにミドルレンジ 3D-CAD システムである「Solid Designer」で製作したモデルを、XVL 形式をはじめ、いくつかのファイル形式で出力した。それらのファイルサイズを比較する。Solid Designer から XVL 形式で出力するには「XVL Converter Plug-in for Solid Designer」を使用した。

### 3.2.2 XVL 形式ファイルサイズの評価方法

Solid Designer で作成した 6 つのモデル (以下 SD ファイル) を表.3-1 の形式で出力する。モデルは「パート<sup>2-4</sup>」または「アセンブリ<sup>2-4</sup>」の形で存在している。形式によっては「パート」のみしか出力できないが、その場合は省略する。出力後、その状態のファイルサイズを比較する。その後、出力したファイルを「LHA 形式」、「zip 形式」に圧縮し、データサイズの圧縮率を比較する。

なお、XVL 形式での出力許容誤差 (モデルの制度) は全てデフォルト設定値の 0.1mm である。また、他の形式ではデフォルトの設定のまま出力を行った。そのため、実際に利用する場合はファイル容量は大きくなる場合もあると考えられる。

表.3-1 評価に使用するファイル形式

出力形式	出力可能な単位	ファイルの説明
SD形式	すべて	SolidDesignerのオリジナルファイル形式(出力する単位によって拡張子は変わる)
XVL形式	「パート」「アセンブリ」	高い精度と軽量性を持つファイル形式
STL形式	「パート」「アセンブリ」	CAM等で利用される形式
STEP形式	「パート」「アセンブリ」	比較的新しい汎用ファイル形式
IGES形式	「パート」	標準的な汎用の3D-CAD用ファイル形式。さまざまなCADが入出力に対応している
ACIS形式	「パート」「アセンブリ」	MDT等で利用されているソリッドカーネル(基本部分)
VRML形式	「パート」「アセンブリ」	3次元データをweb上で表示させるためのファイル形式
PRO/E形式	「パート」「アセンブリ」	3D-CADシステムであるPro/ENGINEERのファイル形式

評価に使用するSD ファイルは図.3-2～図.3-7までの6つである。

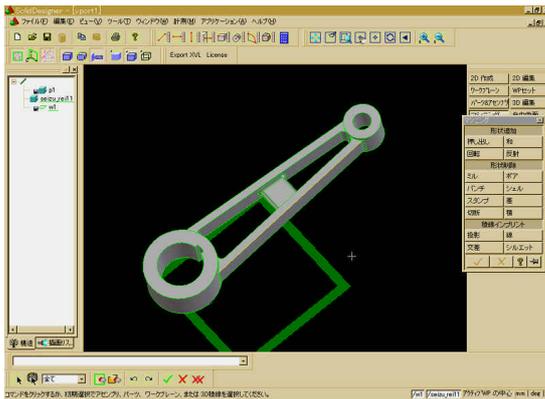


図.3-2 図形1(パート)

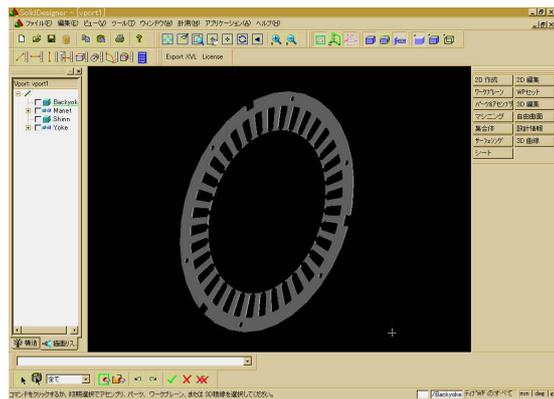


図.3-3 ヨーク(パート)

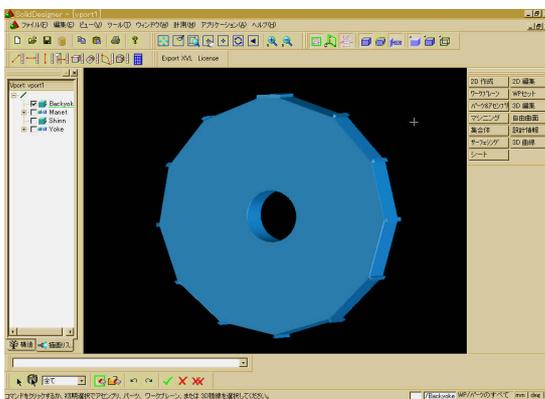


図.3-4 バックヨーク(パート)

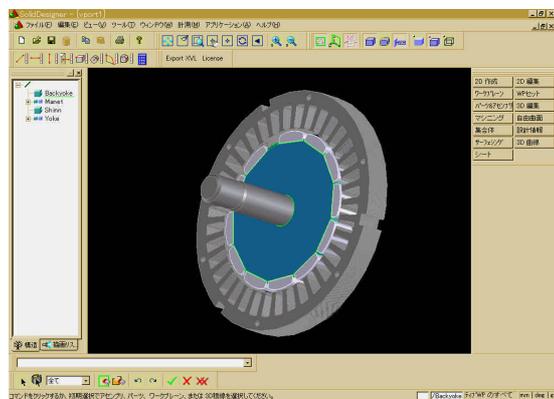


図.3-5 発電機A(アセンブリ)

<sup>2-4</sup> Solid Designer 上では「パート」は部品単体,「アセンブリ」は複数の部品を組み合わせたものとして扱われる。

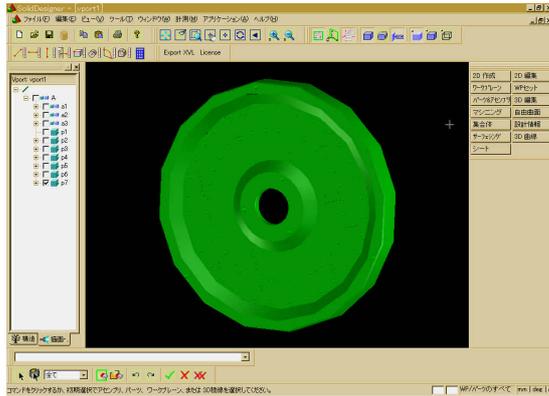


図.3-6 ハウジング (パート)

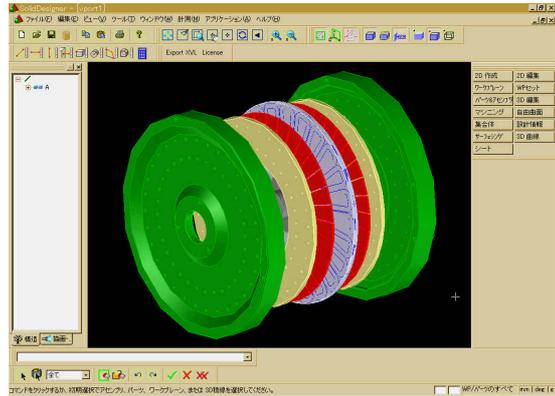


図.3-7 発電機 B (アセンブリ)

### 3.2.3 評価に関する環境

評価に使用した PC は下記のとおりである .

- PC                   DELL Precision330
- CPU                 Intel Pentium     :1.7GHz
- メモリ             512MB
- OS                 Windows NT Workstation 4 ( SP6a)
- 3D アクセラレーション   あり

評価に使用した「XVL Converter Plug-in for Solid Designer 2000+」は Windows NT でのみ動作可能なため、これら PC での評価となった。また、使用する Solid Designer のバージョンは 2000+である。

### 3.2.4 結果

それぞれの結果を表.3-2～表.3-4，図.3-8～図.3-11 に示す。それぞれの表中の空欄は、出力するファイル形式の仕様などで出力できなかったものである。これらの結果で IGES 形式のファイルサイズが他と比較して小さいのは発電機 A・B のような SD 形式でのサイズが大きいアセンブリ形状を含むファイルを扱えないため、結果として平均値が低くなってしまったからである。また、他形式に関しても出力に関する設定の変更（モデル精度や出力目標 CAD の設定）を行った場合、データ容量が変化する事が考えられる。そしてその設定値は受け渡す CAD システムなどによって変化する。そのためこれらの結果はあくまでも目安となる結果にすぎない。

表.3-2 ファイルサイズ比較 (KB)

モデル名	SD 形式	XVL 形式	STL 形式	STEP 形式	IGES 形式	ACIS 形式	VRML 形式	PRO/E 形式
図形 1	138	4	518	198	618	117	109	213
ヨーク	1,553	27	2,010	1,609	6,812	859	440	1,734
バックヨーク	275	4	239	276	1,152	170	54	284
発電機 A	15,302	570	43,276	36,054		18,469	9,432	37,344
ハウジング	391	22	4,591	563	4,226	282	771	1,250
発電機 B	1,189	89	20,623			2,057	3,548	4,750

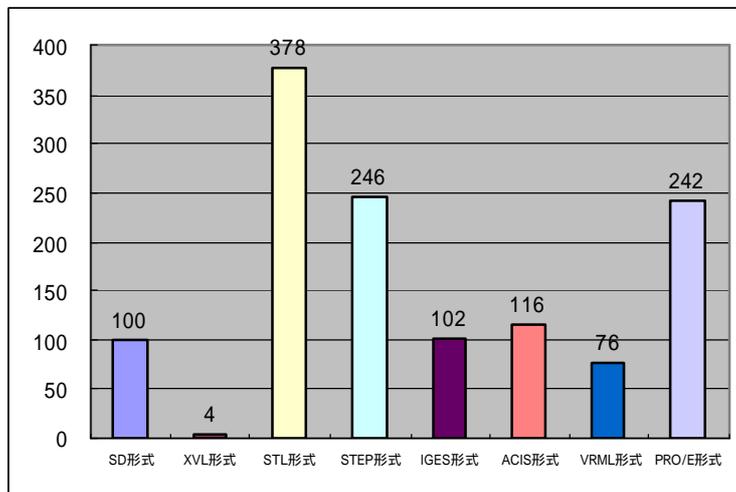


図.3-8 SD ファイルのサイズを 100 とした場合のファイルサイズ比較

表.3-3 LZH 圧縮後のファイルサイズ比較 (KB)

モデル名	SD 形式	XVL 形式	STL 形式	STEP 形式	IGES 形式	ACIS 形式	VRML 形式	PRO/E 形式
図形 1	50	4	47	39	92	28	24	38
ヨーク	563	27	163	305	979	189	82	238
バックヨーク	107	4	24	62	186	44	12	38
発電機 A	14,755	563	3,212	6,604		4,066	1,777	5,088
ハウジング	96	22	320	84	581	52	128	125
発電機 B	1,136	88	1,571			480	706	510
平均圧縮率	54.7	99.6	8.2	18.9	14.8	22.6	19.7	13.2

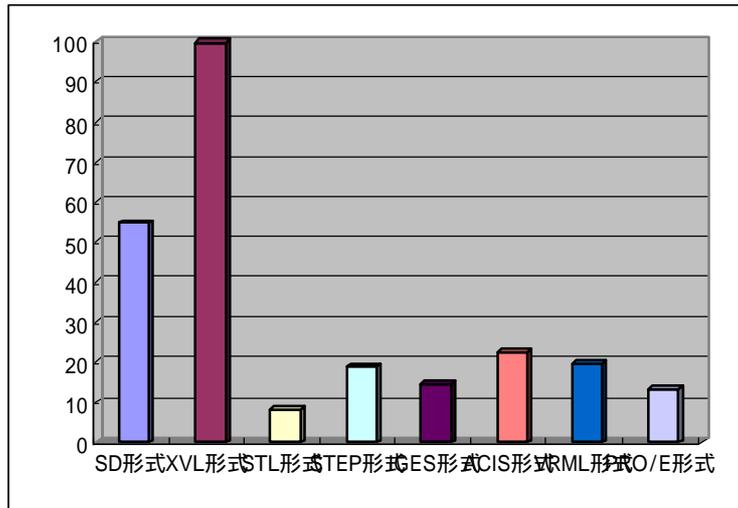


図.3-9 LZH 圧縮の平均圧縮率グラフ (%)

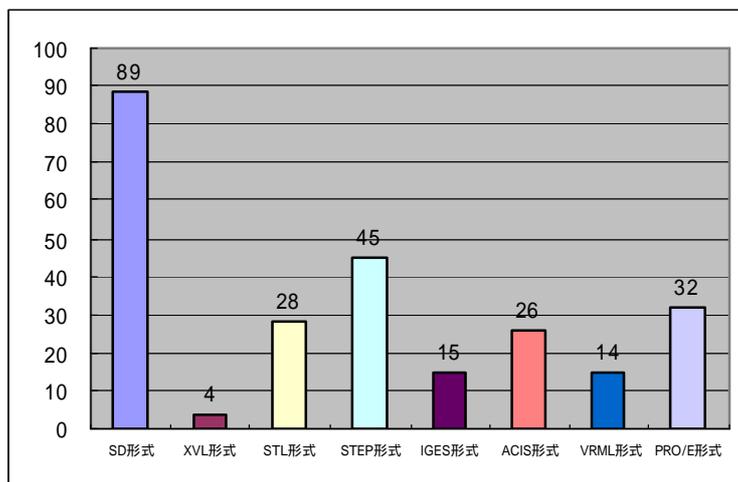


図.3-10 SD ファイルサイズを 100 とした場合の LHA ファイルサイズの比較

表 3-4. Zip 圧縮後のファイルサイズ比較 (KB)

モデル名	SD 形式	XVL 形式	STL 形式	STEP 形式	IGES 形式	ACIS 形式	VRML 形式	PRO/E 形式
図形 1	47	4	43	36	84	26	25	37
ヨーク	501	27	153	292	946	167	82	210
バックヨーク	101	4	20	59	176	40	12	36
発電機 A	14,814	541	3,031	6,309		3,532	1,732	4,427
ハウジング	95	22	291	84	571	53	125	117
発電機 B	1,142	88	1,410			443	688	476
平均圧縮率	53.4	99	7.4	18	14.1	20.8	19.6	12.2

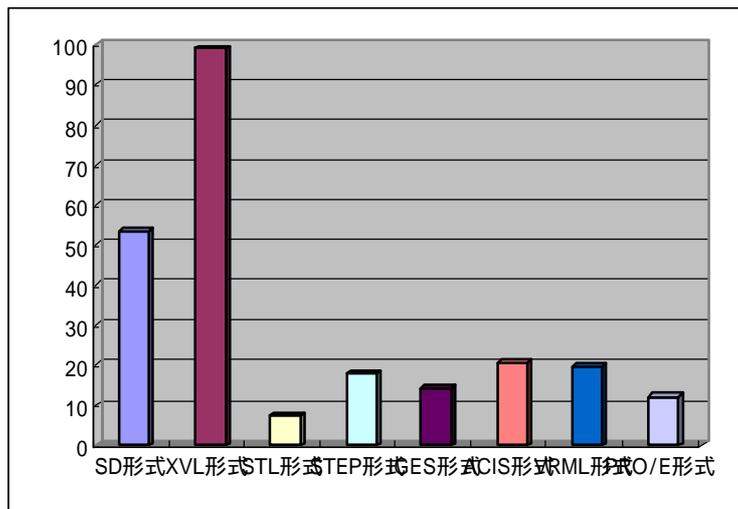


図.3-11 Zip 圧縮の平均圧縮率グラフ (%)

図.3-12 は XVL ファイルを評価機に「XVL Player<sup>2-5</sup> 8」を使用しブラウザで表示させた例である。使用したブラウザは Internet Explorer6.02 , XVL Player Ver3.2 である。

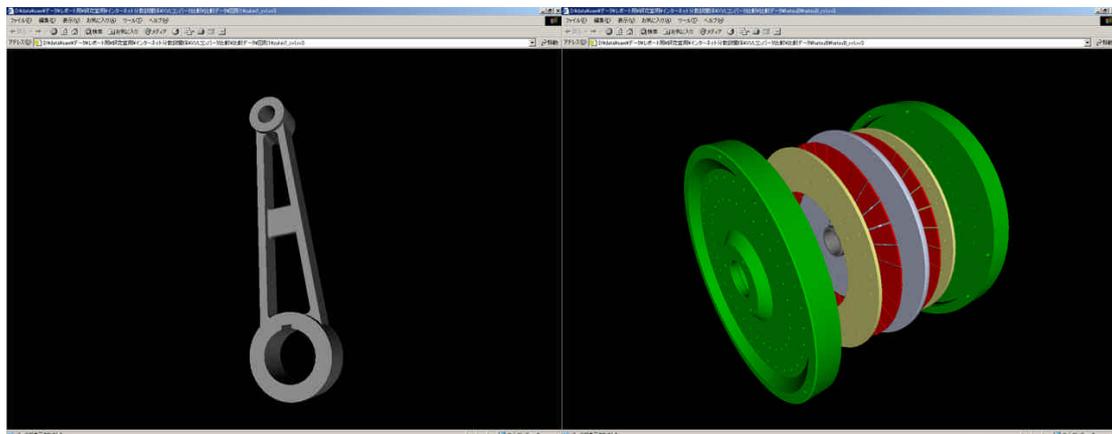


図.3-12 評価機でブラウザ表示させた図形 1 と発電機 B

### 3.2.5 XVL 形式の評価

まず、単純に出力した場合のファイルサイズであるが、XVL 形式は圧倒的に小さい。SD ファイルのサイズが大きいものでない場合、XVL 形式では数 KB に抑えられる。数 KB であればどんなに貧弱なネットワーク環境でも問題なく扱えるだろう。他のファイル形式では SD 形式よりもファイルサイズが大きくなるもの

<sup>2-5</sup> XVL Player は、ネットワークで送られた 3D アニメーションを動かすためのソフトウェアである。XVL テクノロジーを使用することで、複雑な形状と動きをネットワーク転送することが可能となっている。あらかじめ定義しておいた動きだけでなく、ユーザの操作によりダイナミックに変化するインタラクティブなアニメーションを実現することができる。(ラティステクノロジー社紹介文より)

が多い。SD 形式よりも小さくなるものもあるが、XVL 形式と比べると大きい。

風力発電機のモデルでは、元データの容量が大きくなる。そのため XVL 形式に変換すれば大きくても部品単体では数 10 kB となる。これならば、どんなに貧弱なネットワーク環境でも、やり取りに関しては問題無く扱えると考えられる。

ネットワーク上で、ただやり取りをすると言う視点から見れば XVL 形式はとても有効であると考えられる。しかしその特徴のひとつである「伝送速度の低いネットワーク環境に負担をかけず、高速化する演算装置 (CPU) に表示等の処理を行わせている」ことから対応するソフトウェアへの読み込み等の実際のファイルサイズより処理はやや重いと感じた。後述するがその用途に応じた使い方をすべきだと考えられる。

次にファイルを圧縮した場合である。LZH 圧縮、Zip 圧縮共に同じような結果となった。SD 形式は 50% 程度の圧縮率であった。XVL 形式はほとんど圧縮されない。その他の形式では元のサイズの 20% 以下にまで圧縮できる。これは IGES 形式などがテキストベースのフォーマットであり圧縮がかかりやすいことであるからだろう。既存の形式の圧縮率は SD 形式から XVL 形式へ変換した時のもの (この実験での平均 3.8%) と比較すると良いとは言えないがあまり大きいものでなければネットでの受け渡しも可能であると考えられる。IGES 形式などは問題点もあるが長く使われている形式だけにその問題点もわかってきている。性能の良い変換ソフトも存在するので CAD で利用するデータはまだこちらが主流になることが予想される。

ブラウザで表示させた例を見てみる。今回評価に使用したモデルは出力したのみだったのでアニメーションや材質の設定はしていない。どちらの形状も評価機で表示・操作する分には特に問題は内容である。しかし、評価機以外の数世代前の PC で発電機 B を表示させたところ形状に破綻が見られた。ある程度 PC の性能が必要だと感じた。

### 3.3 研究室での利用方法

先に述べた通り、研究室で行っている小型風力発電機の開発・設計では共同作業に関する課題があり、そしてそれらは多くの企業も抱えているようである。研究室でこれらの課題を解決することは、実社会でどのような技術が求められているか知る上でも有用であると考えられる。

#### 3.3.1 市販コラボレーションソフトの試用

現在市販されているコラボレーションソフトの 1 つである Cyber Communication Service (CCS) の試用を行った。CCS は XVL をデータ形式に採用したデザインレビュー型のコラボレーションソフトである。XVL を使用しているためネットワークへの負荷は小さい。またこのレポートで記述した必要と思われる機能はほぼ満たしている。また次バージョンでは 3D モデル以外に 2D の図面も同一画面上に表示できるようである。これによりさらに綿密な打ち合わせが行えるようになる。

図.3-13 は図形 1 を CCS 表示させたもので、このようにファイルサイズが小さいものは特に問題なく利用できた。しかし発電機 A のようなファイルサイズの大きいものを利用した場合、サーバーへのモデルのアップロード・ダウンロード・処理・表示・操作性に支障があった。また、アニユアルを見ずに誰でも気軽に使うようにはいかず、このあたりにまだ問題があるように感じた。この CCS は外部のサーバーに利用

者がクライアントとしてアクセスするという形態を採っているが、我々の研究室のように LAN 内で使用する場合は接続する PC の内 1 台をサーバーとする簡易的なデザインレビューを行えば良いと感じた。

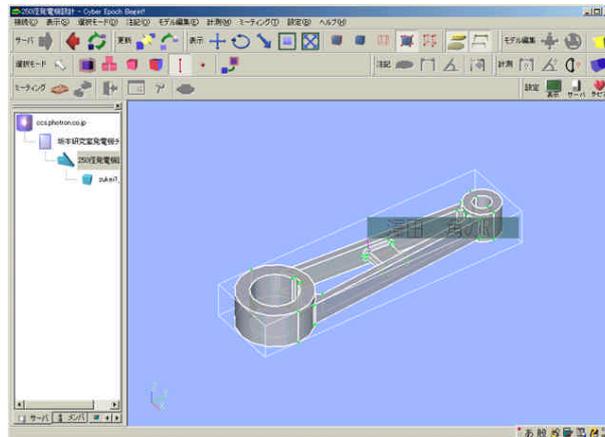


図.3-13 CCS 利用画面

### 3.3.2 XVL 形式の活用

XVL ファイルの利用の幅は広い。現在、研究室にはいくつかの XVL 形式に対応したアプリケーションが存在する。また、XVL ファイルはいくつかのインターネット閲覧ソフトなどでもプラグインを使用することでモデルの表示が出来る。モデルの確認や各自の進捗状況を容易に見る為に、元モデルと共に置いておけば複数の人間がチェックしやすい。XVL 形式には寸法などの情報を付加して保存することもできる。日常的なメーカーとの形状の確認などは最適だと考えている。

3D-CG アプリケーションである「Shade Personal」は XVL 形式の入出力に対応している。「Solid Designer」で製作したモデルをそのまま利用出来るため、図 3-14 のような精密なモデルによる CG やアニメーションの作成が可能である。これは、プレゼンテーションやデモンストレーションに非常にわかりやすい図を製作することができた。

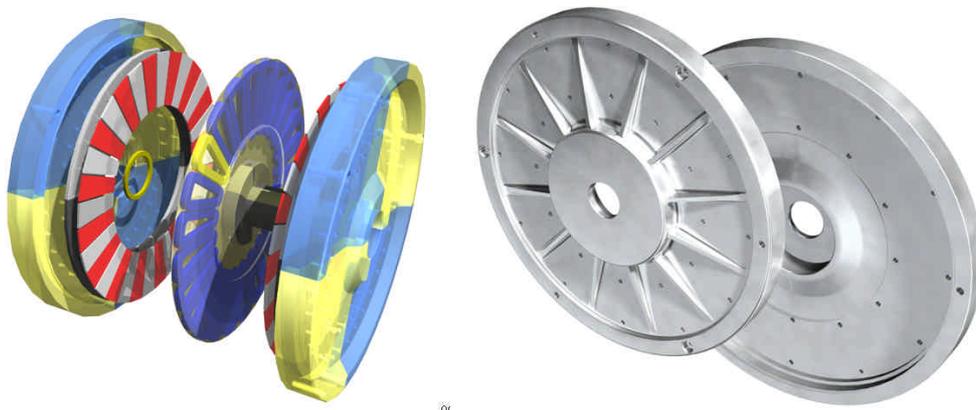


図.3-14 Shade Personal で作成した発電機のCG

### 3.3.3 Rapid Prototyping による試作

3D-CAD で製作したモデルを元に Rapid Prototyping での試作を行った。図.3-15 が Rapid Prototyping 装置の Stratasys 社の「Genisys Xs」である。これは厚さ 0.1mmの樹脂を何層も重ねて立体物を製作することができる。専用のソフトウェアに STL 形式のファイルを入力し、加工に使用するデータに変換する。STL 形式は出力する設定によって部品の精度が大きく変わってしまうためできる限り精度を上げて出力する必要がある。精度を上げるとファイルサイズは大きくなるが、ファイルサイズによってモデルの製作時間に影響が出ることはない。製作するモデルに空間が空く場合は、補助形状となるサポートができ、試作終了後サポートを取り除くことで完成する。試作したモデルを図.3-16 に示す。発電機のような単純な形状であれば精度よく製作できるため、干渉チェックや機構の確認に使用できる。しかし、ハウジングの 3分の1 モデルで半日近く製作に時間がかかることや、1 部品で複雑な形状となる部品ではサポートが多くできうまく取り除けない場合があるなどの課題もある。現段階では簡単な干渉などのチェックや、展示などしか使用していない。今後は企業とのインターネットを利用してデータのやり取りを行い、試作モデルの製作を行っていく予定である。



図.3-15 Rapid Prototyping 装置 Genisys XS



図.3-16 Rapid Prototyping で試作した発電機部品

### 3.4 メーカーとのネットワークの構築

現在，発電機の共同制作企業である(有)坂本技研と我々の研究室は図.3-17 のようなネットワーク環境となっている．高知工科大学内は 100Mbps の光ファイバー網であるが，外に出ると NTT インターネット専用線が 6Mbps，坂本技研が参加する無線 LAN ネットの入り口が 1.5Mbps 無線 LAN 内は 10Mbps の伝送速度である【3】．坂本東男教授宅の ADSL は 1.5Mbps である．高知工科大学から直接外部に接続されず，坂本東男教授宅を経由している．これは，サーバーと接続する際などの設定を容易にするためである．

製作したモデルの検討や打ち合わせなどには Yahoo! メッセンジャーを使用する．チャット機能を用い，会話をログとして保存する．しかし Yahoo! メッセンジャーではデフォルトでは会話ログなどを保存することができないため，手動でログを保存する必要がある．また，ボイスカンファレンス（音声による通信）では文字として表示されないため，何らかの処置を考える必要がある．

図.3-18 は実際に坂本技研と打ち合わせを行ったときのものである．PC カメラを用い互いの表情を見ながら検討することができるため，実際に会って打ち合わせを行うのと同程度の内容で行うことができた．

図.3-19 に研究室で坂本技研とのコラボレーションに使用している PC と PC カメラを示す．OS は Windows2000 を使用している．

図.3-20 に坂本東男教授宅と研究室間を結んでいる無線 LAN 装置を示す．これは ICOM 製のビル間通信用のユニットで，指向性アンテナを使用することで最大 2km まで接続することができる．通信速度は最大で 11Mbps である．

現段階ではサーバーがないためファイルの共有などは行えていないが，今後はモデルや解析結果などをサーバーに保存することにより，これまでの課題となっていた情報の共有不足を解消でき，解析の結果や変更点なども必要なときに利用できると思われる．

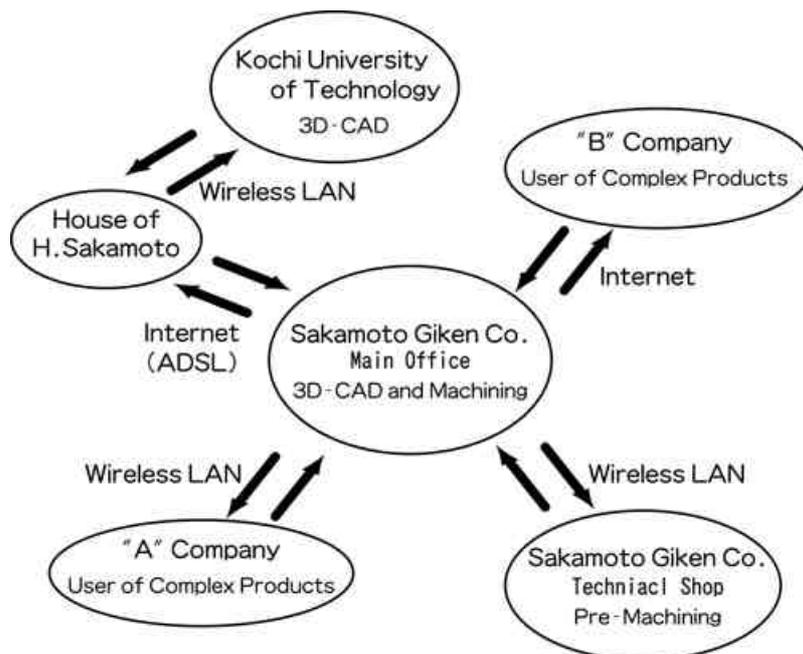


図.3-17 研究室と(有)坂本技研とのネットワーク構成図



図.3-18 コラボレーションの実施風景

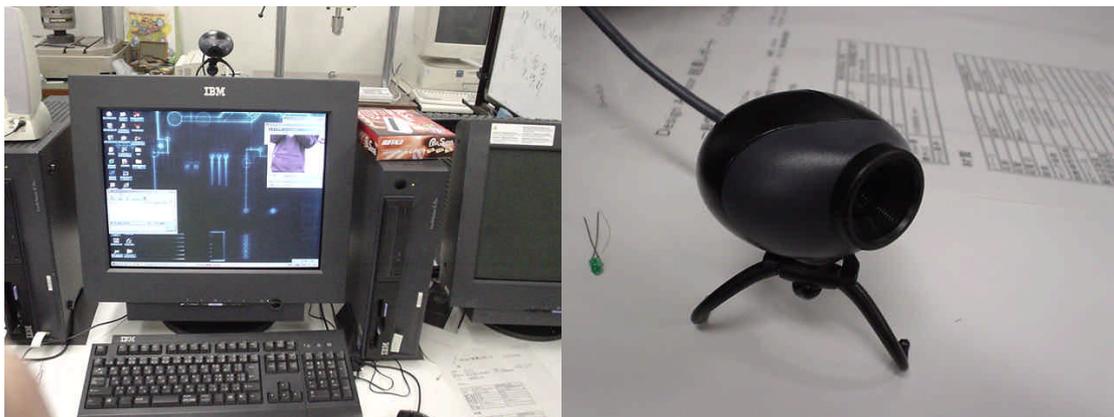


図.3-19 (有)坂本技研とのコラボレーションに使用するPCとPCカメラ



図.3-20 無線 LAN 装置

## 第 4 章

### 構造解析によるハウジング形状の検討

本章では発電機の構造，発電機製作の経緯，ハウジング形状の構造解析などについて述べる．現在主に製作されている 250mm 発電機は，外郭となるハウジングが鋳造アルミニウム（AC4B）で製作されている．しかし設計の段階で構造解析などを行っておらず，構造の最適化が行えていない．また，重量が重くなっていると考えられる．ハウジング自体が回転する構造のためハウジングの重量は発電機の回りやすさに大きくかかわってくる．ハウジング形状を構造解析することによりハウジング形状の検討を行った．また，これらの解析結果をコラボレーション設計に対する 1 つのデータとすることで，設計効率の向上を目指す．

#### 4.1 発電機の構造

我々の研究室で製作している発電機は磁石対向アキシアル型磁石対向コアレス発電機である．現在 450mm，350mm，250mm の 3 タイプの発電機が試作および製作されている．図.4-1 に 450mm 発電機の製作時の写真を示す．図.4-2 は 450mm 発電機の構造を CG で示したものである．アキシアル型とは図のように回転軸方向に磁石やコイルが配置されている形式の発電機である．構造が簡単で製作しやすいなどの特徴がある．コアレスとはコイルの中にコア（鉄心）がないタイプである．コアレスタイプ発電機の特徴として下記の点が挙げられる．

- ・ コアが磁石に引かれるために起こる回転を邪魔する力（コギングトルク）が生じないため，低風速（低トルク）でも回転することができる
- ・ コアありでは，高速回転時に磁束がコアの内部まで入りきらず，コアの表面を流れてしまう現象が起きるが，コアレスではそれが起きない

しかしその反面，コイルの中を磁束が通りにくいいため，コアありと比べ発電量が得にくいという欠点もある．本発電機はその欠点を解消するため，磁場解析を行い，対向する磁石間の距離や配置の最適化を行っている．また，許容されるコギングトルクを考慮し，少量のコアを配置した場合などの発電量の検討も行っている．

発電機は主に下記に示す 4 つのパートで構成されている．径の違いによって磁石やコイルの数などに違いがあるが，大まかな構造に差異はない．

ハウジング： 発電機全体を覆う外殻となり，磁石が固定されたバックヨークがボルトによって固定される部分である．450mm 発電機は切削加工で製作されているが，250mm 発電機では鋳造で形状製作の後，必要な部分のみ切削加工で仕上げることでコストの削減を行

っている。250mmでの材質は鋳造用アルミニウム(AC4B)である。

**バックヨーク：** 磁気回路の形成と磁石固定の役割を持つ部分である。磁気回路とはN極から出た磁束をS極へ効率よく戻し、磁束を有効に使用するための回路である。本発電機では図.4-3のように薄い穴の空いた円盤状になっており、その表面には固定用のねじ穴が空けられている。図左の450mm発電機用では、バックヨークの半径方向の長さが磁石のそれと同じであり、バックヨークのほぼ全面に磁石が固定されている。しかし、250mm発電機用では図右のようにバックヨーク上に溝が彫られており、そこに磁石が固定されている。また、ねじ穴は溝のない場所にある。バックヨークの材質はSS400である。

**磁石：** 図のように希土類磁石(ネオジウム磁石)を軸に対し放射状で、極を交互に配置している。対向する磁石は互いに向い合う極が異なっている。バックヨークには接着剤で固定されている。磁石の大きさは発電機の径によって大きく違うが、磁石とコイルの数の比はどの発電機でも同じである。

**コイル：** コイルとシャフトは一体型になっており、シャフトの中を、コイルを結線した配線が通っている。初期に製作された450mm発電機では、図.4-4のようにコイルやシャフトは全て樹脂で固定されている。しかし、現在主に製作している250mmの発電機では、コストなどの点から図.4-5のようにベークライト製の枠でコイルやシャフトを配置し、必要な個所のみ樹脂で固定する方式に改良されている。

製作している発電機は、メンテナンスフリーを行うために、スリップリングを使用していない。シャフトを固定して、ハウジング自体が回転する構造になっている。



図.4-1 450mm 発電機

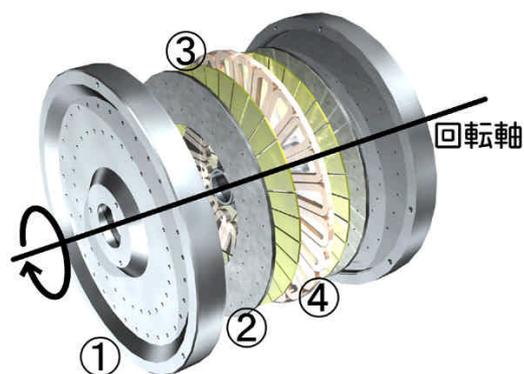


図.4-2 発電機構造

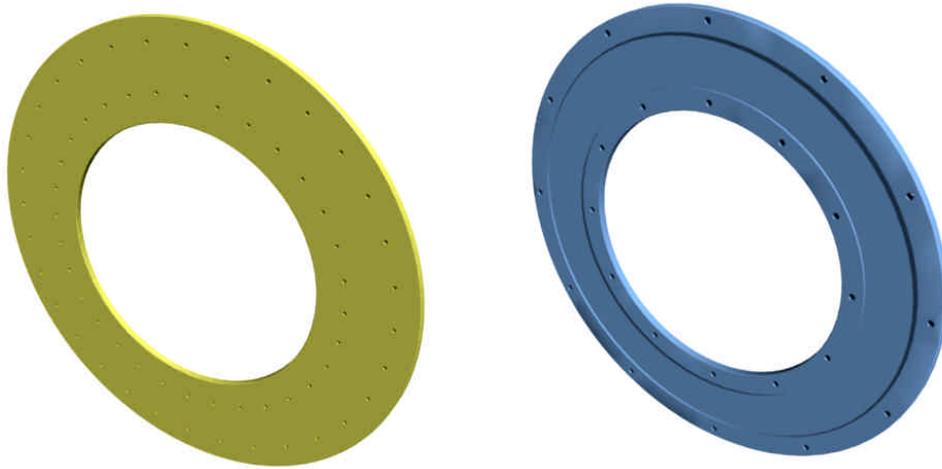


図.4-3 450mm 用発電機バックヨーク(左)と 250mm 発電機用バックヨーク(右)



図.4-4 450mm 発電機のコイル&シャフト

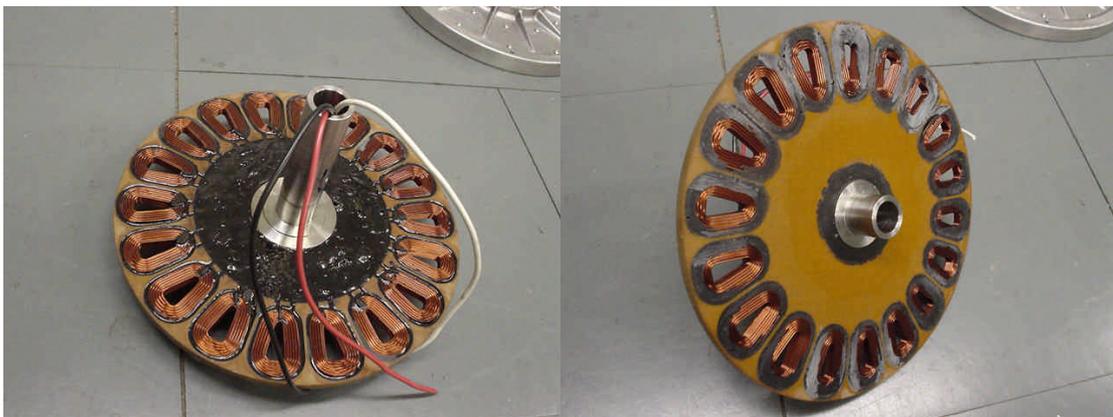


図.4-5 250mm 発電機のコイル&シャフト

## 4.2 発電機製作の流れ

まず、試作機として図.4-6のドラム型コアレス発電機が製作された。製作された発電機は製作が難しい上に発電量が出なかった。しかし、コアレス型だったため回転トルクは小さかった。そこでコアレスで、町工場でも製作しやすい発電機を製作するという流れになった。

事前に調べた数種類の発電機を分解調査の結果、石田製作所製発電機及びイギリス製ウインドチャージャーはコアレスでアキシャル型の発電機であり、構造が簡単であった。これまでの流れを踏まえ、作りやすく、数の少ないアキシャルコアレスの中で独自性を出していくという流れになった。独自色の具体例としては、3相交流による波形の安定、磁石数とコイル数の比の最適化、希土類磁石の対向配置などである。

まず、350mm発電機が試作され、その後450mm発電機、250mm発電機が試作された。図.4-7に新旧の発電機を示す。試作段階の発電機のハウジングは、図左のように全て切削加工によって製作されている。しかし、これではコストや時間がかかるため、現在主に製作されている250mm発電機では図右のように、鋳造で製作した後、必要な部分のみを切削加工で製作している。また、リブを配置することによって軽量化と強度アップを狙っている。

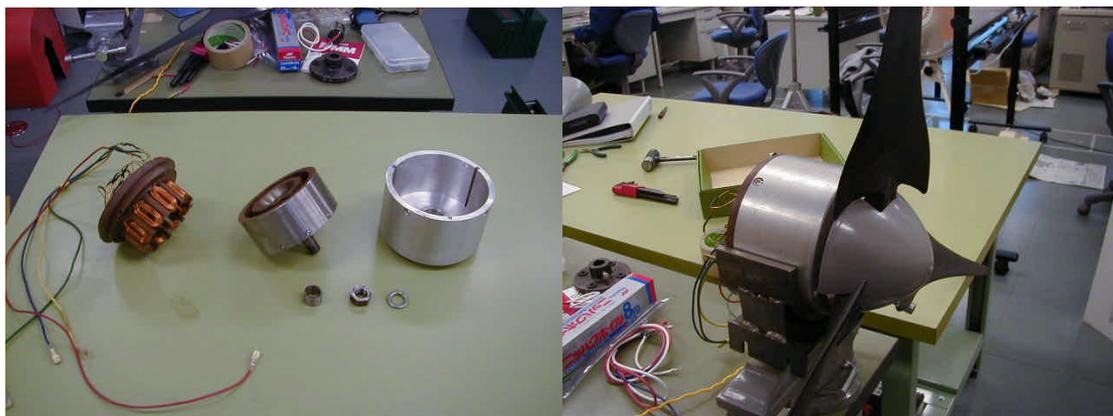


図.4-6 試作されたドラム（ラジアル）型コアレス発電機



図.4-7 新旧 250mm 発電機

### 4.3 250mm 発電機ハウジングの構造解析

#### 4.3.1 解析の目的

発電機の外郭となるハウジングは設計の中で解析による最適設計などが行えていない。そのため、ハウジングの重量化につながるなどの課題があると考えている。そこで、実際の設計の中で使用するために構造解析を行い、その有効性を検証する。

まず、遠心力がハウジングに及ぼす影響を検証する。本発電機はハウジング自体が回転する設計となっており、遠心力がかかっている。そこで、遠心力がハウジングに与える影響を調べる。また、計算結果と解析結果を比較することにより、解析解の有効性を探る。

次に対向する磁石間で引き合う力がハウジングに及ぼす影響を検証する。本発電機に使用されている希土類磁石（ネオジウム磁石）は、磁石表面での磁束密度が、通常使用されるフェライト磁石と比較して高い。そのため、それらを最終的に固定しているハウジングにも大きな力がかかっていると考えた。そこで磁石間の引き合う力を磁場解析で求め、構造解析を行う。その結果、強度的に十分であればリブを省くなどの軽量化が行うことができる。また現在、コイルの厚みの変更や、対向する磁石間距離の変更のため、ハウジングのバックヨークを固定する部分の軸方向の厚みが薄くなっている。そのような場合でも現在の形状で問題がないことを確認する。

本解析は3D-CADアプリケーション「Solid Designer 2001」のモジュールである「Design Advisor」を使用して行った。これはSolid Designerで製作したモデルに直接材質や加重などの条件を設定できるブリポストプロセッサモジュールである。解析ソルバは「MSC.Nastran」である。また、解析に使用した材料特性はデフォルトで用意されているデータベースの中から適当なものを使用した。

#### 4.3.2 遠心力による応力解析（解析1）の方法と解析条件

250mm 発電機は、設計の段階で、回転数 300rpm で 100W の出力が出せることを目標に設計された。そのため、本解析では遠心力を求める際の回転数を 300rpm として行った。しかし、現実には 300rpm も回転することがないため、この回転数で過大な応力がかかっていたら、実際の使用では何の問題もないと考えられる。

まず、ハウジングを一様な厚みを持つ回転円盤として考えた場合の、かかる応力値を割り出す。下記に中心孔が回転円盤の応力について記述する<sup>[4]</sup>。

急変しない厚さが  $t(r)$ 、弾性係数が  $E(r)$  で表せるような回転円盤において温度分布  $T(r)$  による熱応力を加味した応力は、応力のつりあい式

$$\frac{d}{dr}(rt\sigma_r) - t\sigma_\theta + \frac{r}{g}w^2tr^2 = 0$$

と、応力で表した適合の条件式

$$\frac{d}{dr}\left(\frac{s_q}{E}\right) - \frac{d}{dr}\left(\frac{ns_r}{E}\right) - \frac{(1+n)(s_r - s_q)}{Er} + \frac{d}{dr}(aT) = 0$$

とを組み合わせると求められる。温度こう配がなく、かつ  $E$ 、 $n$  が一定で、一様な厚さの場合には、上式は著しく簡単になる。

以上から下記式が求められる。

$$s_r = \frac{w^2}{8g}(3+n)\left(b^2 + a^2 - \frac{b^2 a^2}{r^2} - r^2\right)$$

$$s_q = \frac{w^2}{8g}\left\{(3+n)\left(b^2 + a^2 - \frac{b^2 a^2}{r^2}\right) - (1+3n)r^2\right\}$$

$$s_{r \max} = (s_r)_{r=\sqrt{ba}} = \frac{w^2}{8g}(3+n)(b-a)^2,$$

$$s_{q \max} = (s_q)_{r=a} = \frac{w^2}{4g}\{(3+n)b^2 + (1-n)a^2\}$$

$s_r$  : 半径方向の応力  
 $s_q$  : 円周方向の応力  
 $\rho$  : 材料の密度  
 $w$  : 角速度  
 $g$  : 重力加速度  
 $n$  : ポアソン比  
 $a$  : 孔の半径  
 $b$  : 円盤の半径  
 $r$  : 任意の半径

ここで、 $\rho = 2.77 \times 10^3 \text{ kg/m}^3 = 2.77 \times 9.8 \times 10^3 \text{ N/m}^3$ 、 $w = 31.4$ 、 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ 、 $n = 0.33$ 、 $a = 0.026 \text{ m}$ 、 $b=0.125\text{m}$ である。

上式を解き、半径方向、円周方向の各応力の最大値を求める。図.4-8 に一様厚さの回転円盤の応力分布を示す。

次に「Design Advisor」での解析方法である。当初はモデルに回転数を与えることにより遠心力による

応力を求めるつもりであった。しかし「Design Advisor」では狙った解析が不可能であった。図.4-9に解析用モデルを放射状に12分割(リブ位置を中心に両側に15度の位置で切断)したモデルを示す。また、ハウジングを中心に拘束するために、断面をハウジング中心まで伸ばした別パーツ(拘束用部品)を用意した。「Design Advisor」ではモデルの軸に拘束や荷重などの条件をかけられないため、拘束部品には中心に1mmの穴を与えている。この穴の内面を拘束している。荷重は、ハウジングの最外面に力(： $F=mr^2$ )を最外面の面積で割ったものをハウジングの半径方向に均等にかけた。これを解析し、擬似的な遠心力による応力の解析とした。これは実際の遠心力をかけたものよりも応力は大きくなる。そのため本解析で応力に問題がなければ実際の使用で遠心力がかかっても問題がないと考える。

解析モデルは4タイプで、それぞれ標準リブあり、標準リブなし、薄型リブあり、薄型リブなしである。標準と薄型は、バックヨークが固定されている部分(図のリブのある箇所)の厚みが2mm薄くなっているという違いである。それぞれの条件を表.4-1に示す。

表.4-2に本解析に使用した材料特性を示す。拘束用部品は剛体を使用したが、データベース上になかったため、あるものの中でもっともヤング率の高いものを使用した。

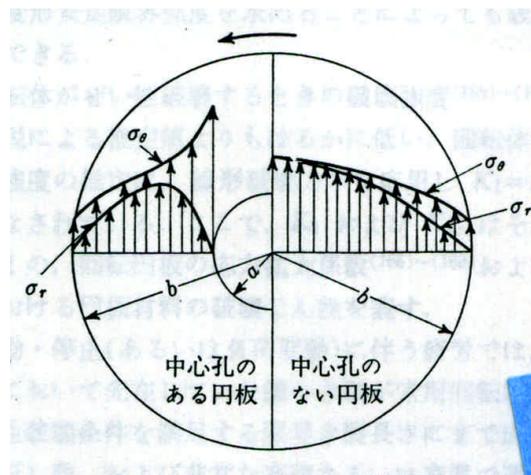


図.4-8 一様厚さの回転円盤の応力分布

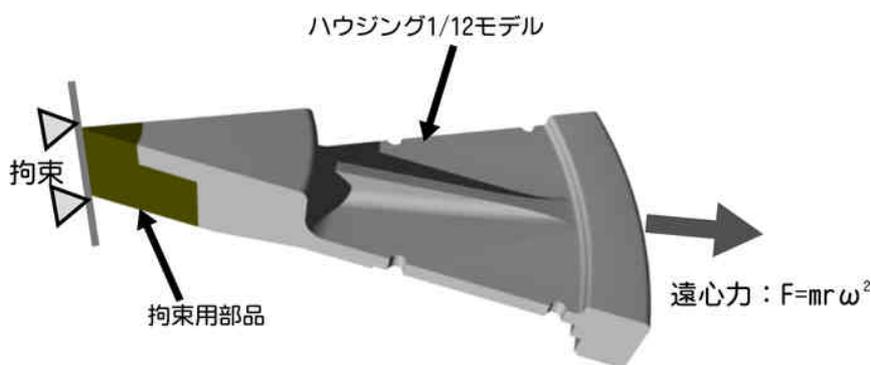


図.4-9 遠心力解析用モデル(12分の1)

表.4-1 解析1解析条件

モデル	標準リブあり	標準リブなし	薄型リブあり	薄型リブなし
重量(kg)	0.10	0.10	0.09	0.08
荷重(MPa)	0.012	0.012	0.011	0.010
体積(mm <sup>3</sup> )	430277.34	421534.93	373593.56	360273.28
厚み(mm)	8.87	8.69	7.70	7.42
全モデル 半径 .125mm 回転数 300rpm 角速度 : =31.4				

表.4-2 解析1での材料特性

パーツ	ハウジング	拘束用部品
材質	Aluminium Alloy	Structural Steel
密度(kg/m <sup>3</sup> )	2770	7850
ヤング率(MPa)	71000	200000
剪断弾性係数(MPa)	26690	76920
ポアソン比	0.33	0.3

#### 4.3.3 磁石間の引き合う力による応力解析(解析2)の方法と解析条件

図.4-10に解析モデルの概略を示す。図はハウジングの断面図である。まず、250mm 発電機での磁石間の引き合う力を磁場解析によって求めた。その結果、磁石間の引き合う力の総力は498 Nであることがわかった。これをボルトの本数(24本)で割り、それぞれを全てのボルトの側面(バックヨークとの接合面)にかけていった。ボルト1本あたりにかかる荷重は20.75 Nである。さらに、拘束条件として、ハウジング同士が触れ合う面および、ベアリングの固定面を拘束した。また、ハウジングとボルトの触れ合う面は相対的に拘束した。

本来ハウジングにはバックヨークがボルトで固定されている。よって磁石間での引き合う力はバックヨーク上の面にかけるべきである。しかし、「Design Advisor」では解析の結果を、モデルごとに非表示の設定ができなかった。そのため必要な部分の応力分布を見ることができなかったため、本モデルを使用することになった。

解析タイプは5タイプで、それぞれ、ノーマルリブ12本、ノーマルリブ4本、ノーマルリブなし、薄型リブ8本、薄型リブなし、である。ノーマルと薄型の違いは解析1のそれと同じである。解析に使用したノーマルタイプのモデルを図.4-11に示す。

解析に使用した材料特性を表.4-3に示す。

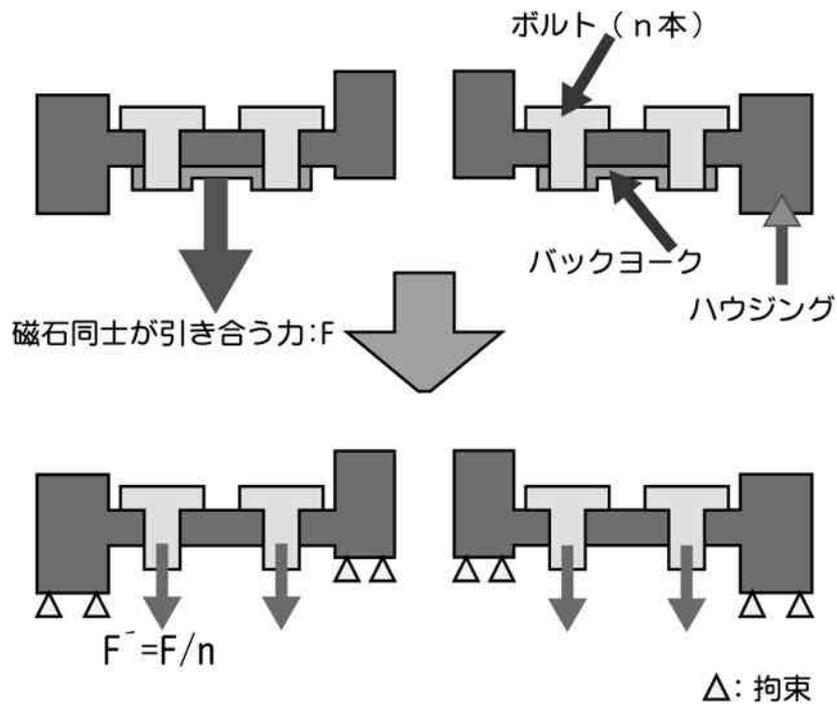


図.4-10 解析方法の概要図



図.4-11 ハウジングモデル (左: リブ12本 中央: リブ4本 右: リブなし)

表.4-3 解析2の材料特性

パーツ	ハウジング	固定用ボルト
材質	Aluminium Alloy	Stainless Steel
密度(kg/m <sup>3</sup> )	2770	7750
ヤング率(MPa)	71000	193000
剪断弾性係数(MPa)	26690	73664
ポアソン比	0.33	0.31
ボルト1本にかかる荷重 20.75 N		

4.3.4 解析1の結果

下記に計算結果を示す．

$$\begin{aligned}
 s_{r \max} &= (s_r)_{r=\sqrt{ba}} = \frac{w^2}{8g} (3+n)(b-a)^2, \\
 &= \frac{2770 \times 31.4^2}{8 \times 9.8} (3+0.33)(0.125-0.026)^2 \\
 &= 10687.236 \text{ N/m}^2 \\
 &= \underline{0.011 \text{ MPa}}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 s_{q \max} &= (s_q)_{r=a} = \frac{w^2}{4g} \{ (3+n)b^2 + (1-n)a^2 \} \\
 &= \frac{2770 \times 31.4^2}{4 \times 9.8} \{ (3+0.33)0.125^2 + (1-0.33)0.026^2 \} \\
 &= 35834.974 \text{ N/m}^2 \\
 &= \underline{0.036 \text{ MPa}}
 \end{aligned}$$

図.4-12～図.4-15 に解析を行った各応力のコンター図を示す．今回使用した解析ソフトではコンター図など、画像のみを保存することができなかったため、PC表示画面のスクリーンショットになっている．<sup>4-2</sup>

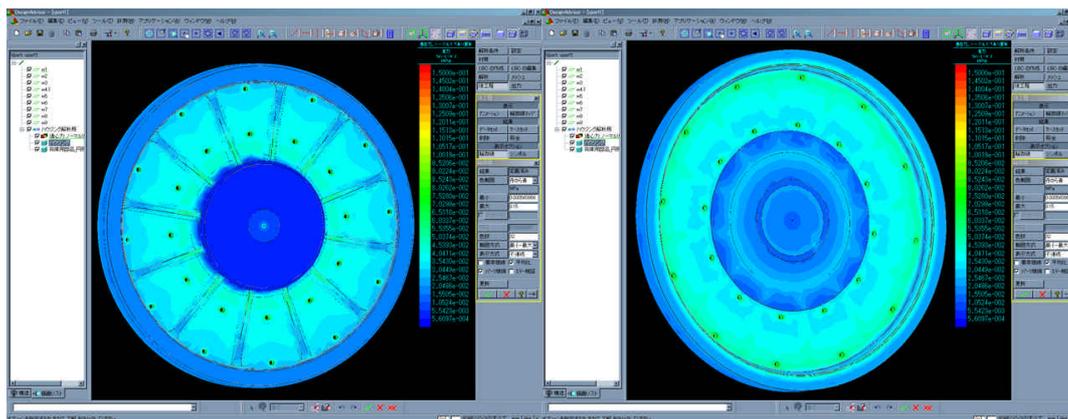


図.4-12 ノーマルリブあり応力コンター図（範囲0～0.15MPa）

<sup>4-2</sup> 遠心力の解析結果レポートを付録1として添付する

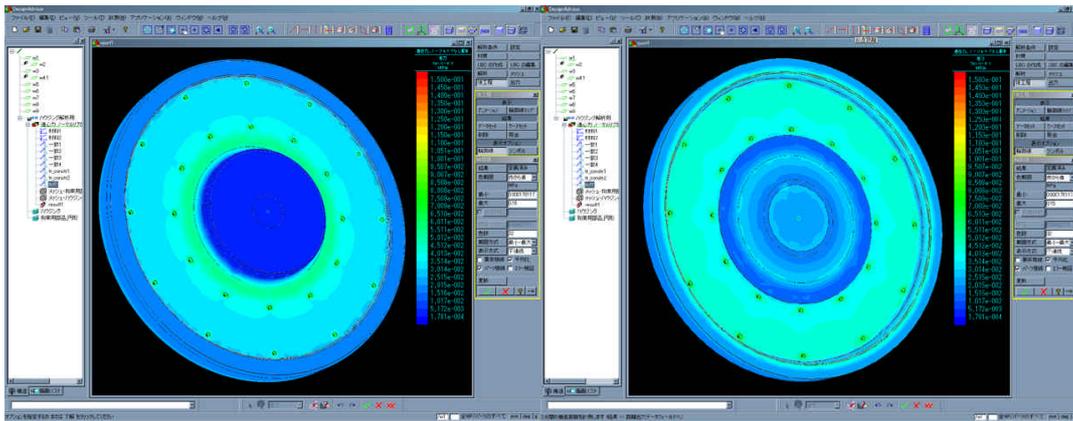


図.4-13 ノーマルリブなし応力コンター図（範囲0~0.15MPa）

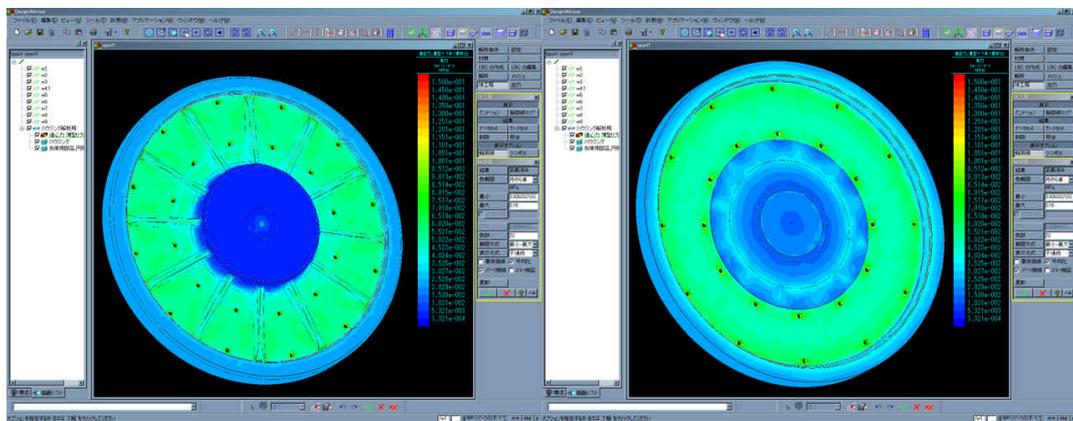


図.4-14 薄型リブあり応力コンター図（範囲0~0.15MPa）

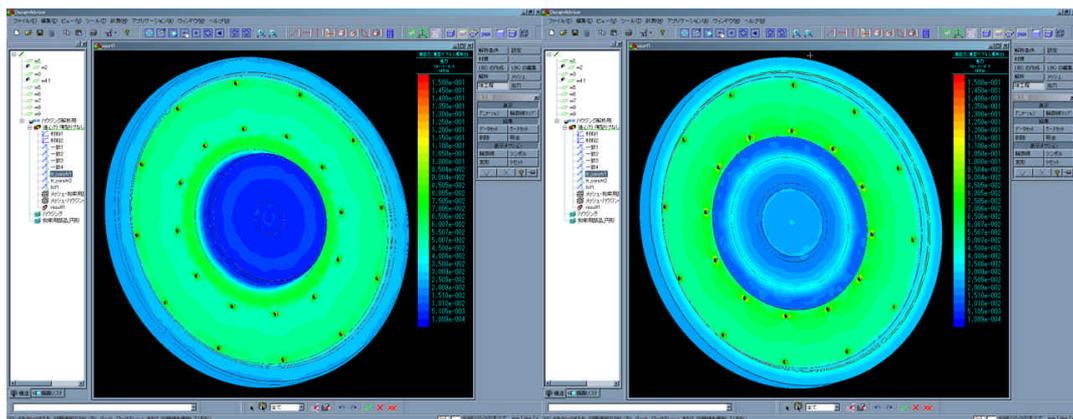


図.4-15 薄型リブあり応力コンター図（範囲0~0.15MPa）

4.3.5 解析 2 の結果

図.4-16 ~ 図.4-25 に解析を行った各モデルの応力カウンター図を示す。遠心力同様、3D-CAD 画面のスクリーンショットとなっている。また、加重や拘束の条件がそのまま残っている。

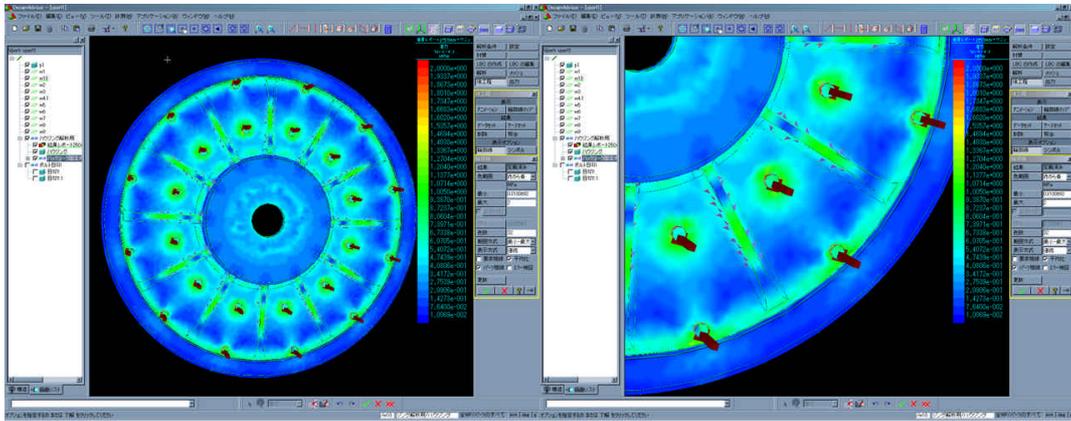


図.4-16 ノーマルリブ 12 本応力カウンター図表(範囲 0 ~ 2MPa)

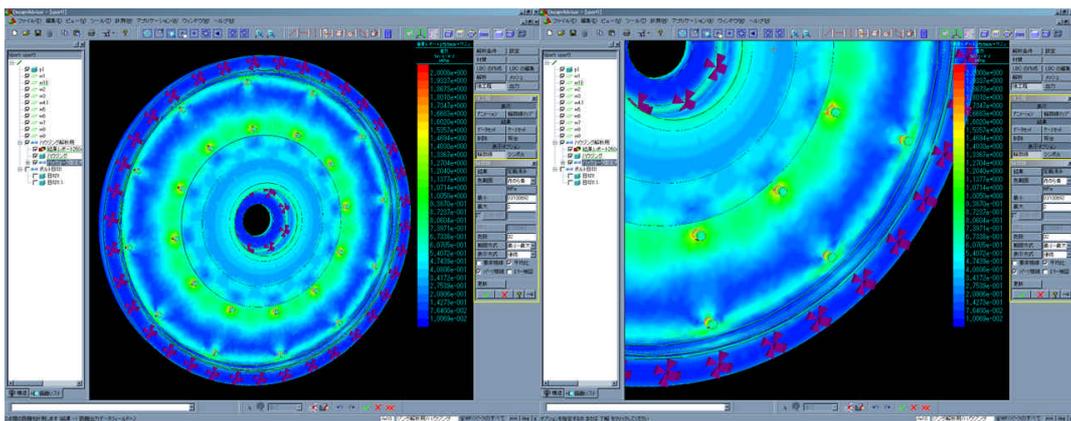


図.4-17 ノーマルリブ 12 本応力カウンター図裏(範囲 0 ~ 2MPa)

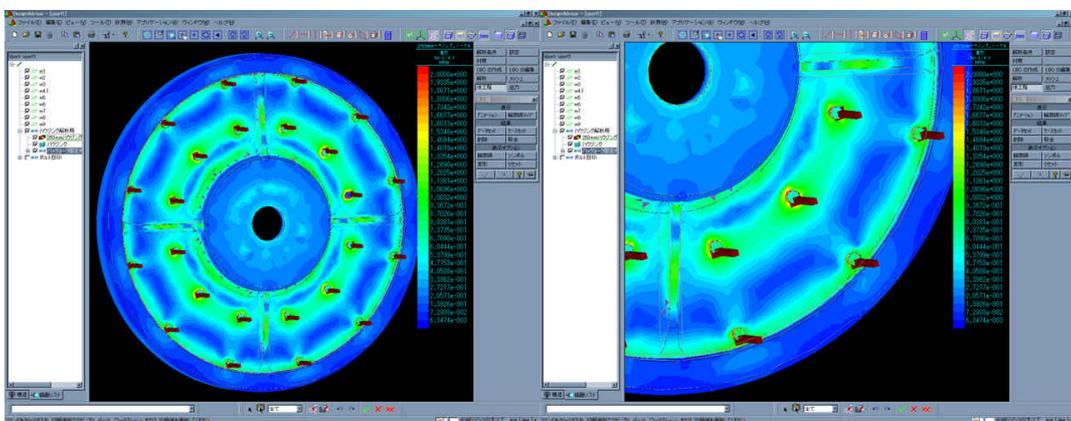


図.4-18 ノーマルリブ 4 本応力カウンター図表(範囲 0 ~ 2MPa)

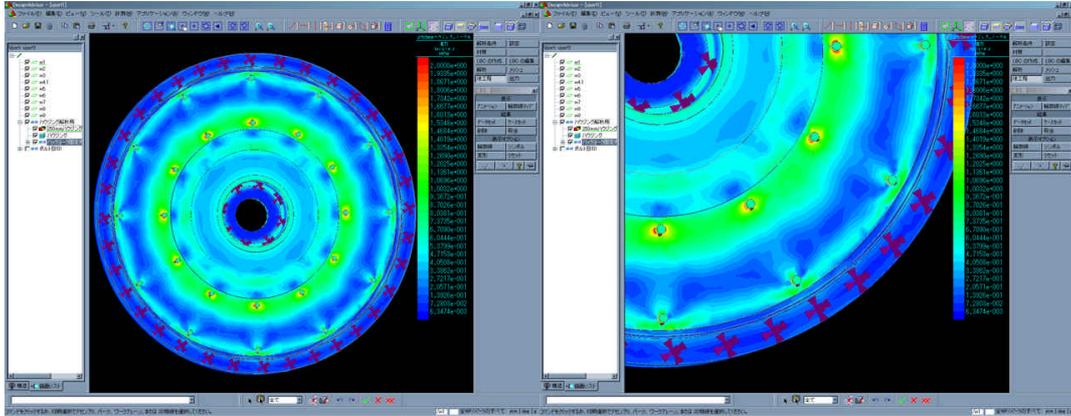


図.4-19 ノーマルリブ4本応力コンター図裏(範囲0~2MPa)

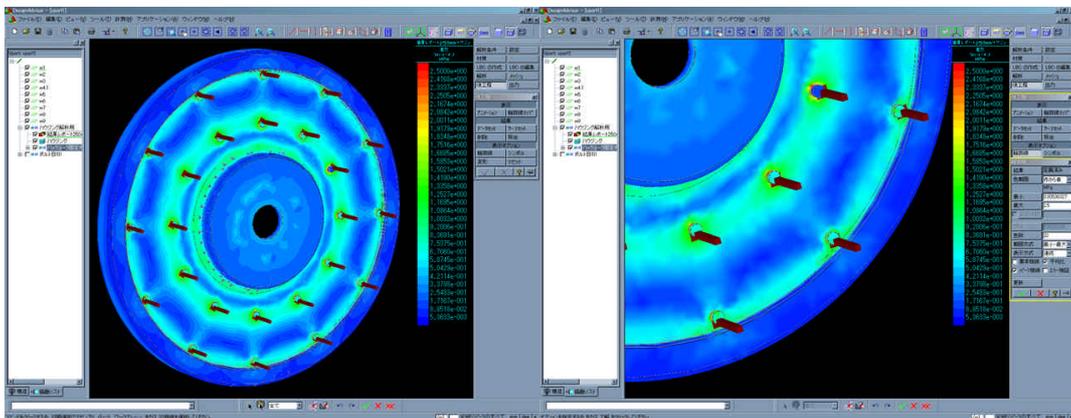


図.4-20 ノーマルリブなし応力コンター図表(範囲0~2.5MPa)

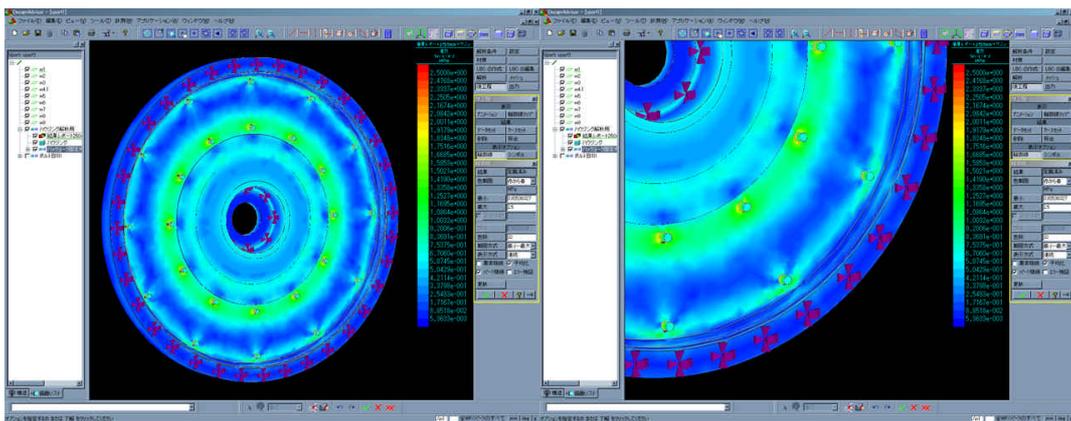


図.4-21 ノーマルリブなし応力コンター図裏(範囲0~2.5MPa)

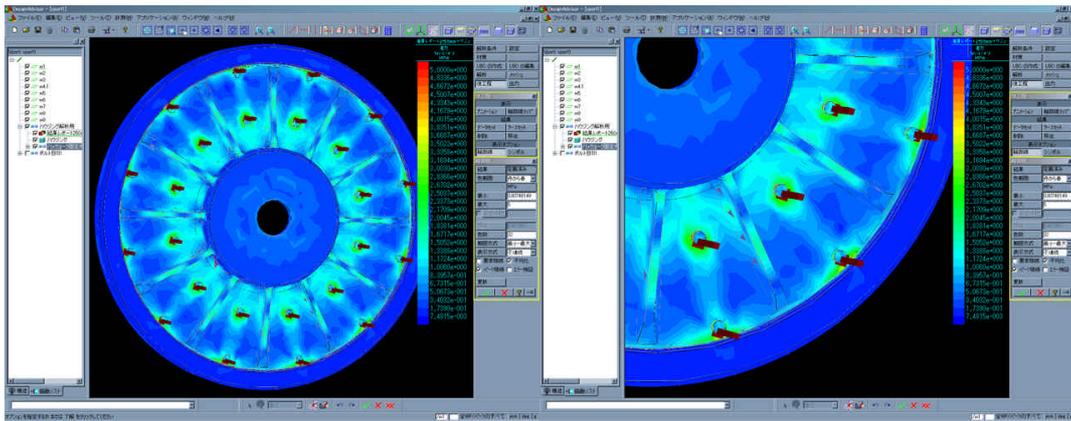


図.4-22 薄型リブ12本応力コンター図表(範囲0~5MPa)

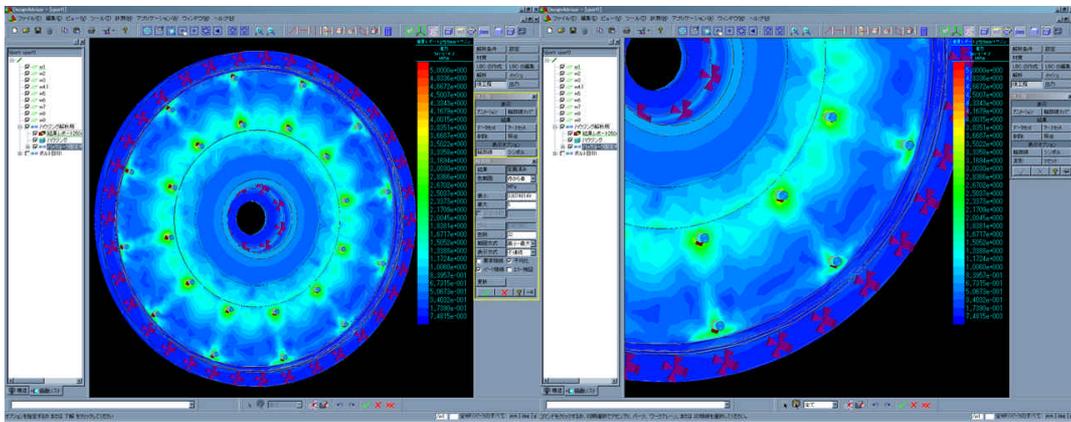


図.4-23 薄型リブ12本応力コンター図裏(範囲0~5MPa)

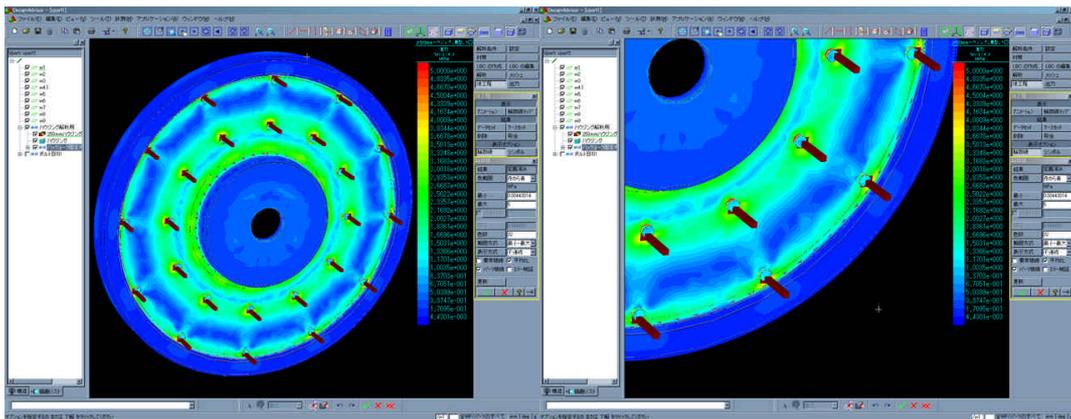


図.4-24 薄型リブなし応力コンター図表(範囲0~5MPa)

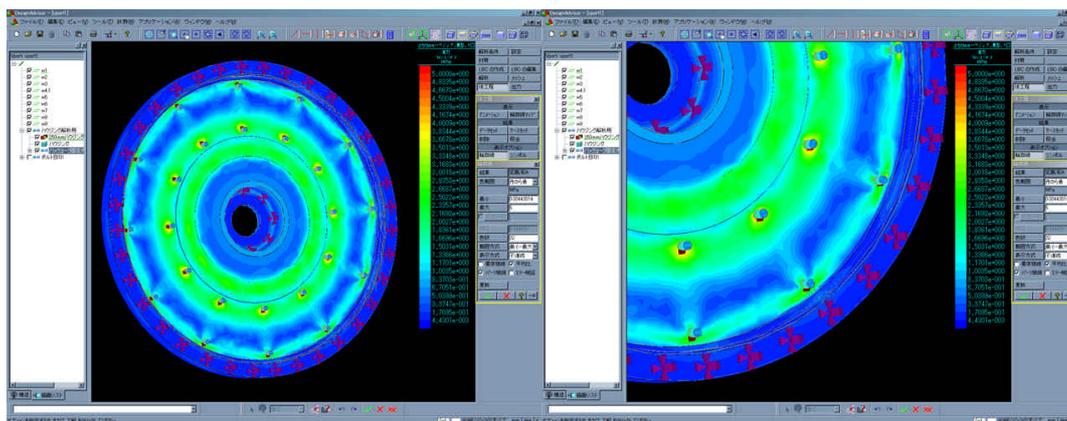


図.4-25 薄型リブなし応力コンター図表(範囲0~5MPa)

#### 4.3.6 考察

ハウジングの素材はAC4Bである。AC4Bの砂型試験片での引っ張り強度は140 MPa以上である<sup>[5]</sup>。このことから本報告では疲労強度は半分の70 MPa程度であると想定する。

まず、計算で求めた遠心力だが想定した疲労強度と比較してはるかに小さい。これは一様厚さの回転円盤として計算したため、実際のハウジングにかかる応力とは異なるが、この程度の応力ならば、ハウジングにはまったく問題がないと考えられる。

次に、解析で求めた遠心力によってハウジングにかかる応力である。しかし、ソフトの使用やモデルの不具合から、半径方向の応力はコンター図でわかるものの、円周方向の応力を求めることができなかった。しかし、求められた結果は最大でも0.2 MPa程度と微々たる物だった。この程度の応力ならばハウジングにはまったく問題がないと考えられる。

本解析で、ハウジングの回転数は300rpmとしたが、実際の使用では最大でも100rpm程度しか回転しない。このことから、遠心力に対してハウジングは十分な強度を持っており、さらに薄くすることも可能であると考える。

解析2に対する考察である。全モデルともボルトの密集している部分では応力の値が高い。しかしその値はノーマルタイプで0.5~1.5MPa程度である。この結果は想定した疲労強度の45分の1~100分の1程度である。そのため、磁石が引き合う力に対しても、ハウジングは十分な強度を持っていると考えられる。また、薄型タイプでも最も応力のかかっている箇所でも1~4MPa程度である。この結果も想定した疲労強度の15分の1~50分の1程度であるため、ハウジングを薄くした場合でも十分な強度を持っていると考えられる。

#### 4.4 ネットワークを利用した解析結果の活用

本章で行った解析結果を2章で述べたネットワークを利用して、解析結果の検討を行った。図.4-26にその模様を示す。現段階では坂本技研との間にサーバー設置されていないため行っていることは限られて

いるが簡単な打ち合わせならば十分行えると感じた。現在は発電機製作後の解析結果だったが、今後は設計の段階から解析結果を活用することで部品としての品質を高めたい。

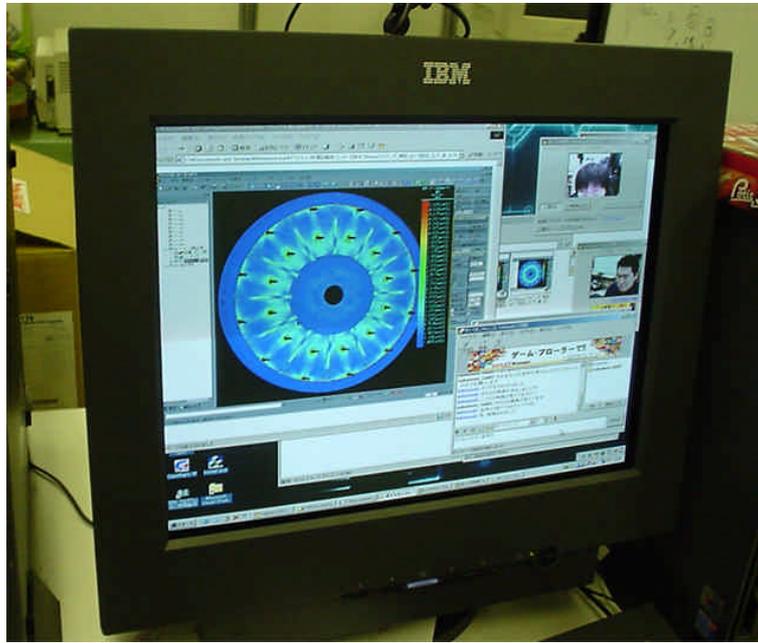


図.4-26 解析結果のコラボレーション画面

## 第 5 章

## 結 章

### 5.1 本研究でわかったこと

本研究ではインターネットを用いたコラボレーションの検討、発電機ハウジングの構造解析を行った。下記に本研究で得られた結果を示す。

- (1) インターネット上でファイルの伝送を行う場合にはファイルサイズが重要であり、その観点からいけば XVL 形式は非常に有効である。しかし使用する状況によっては従来の形式などが有効な場合があるため、状況を見極めることが重要である。
- (2) 発電機共同制作メーカーである坂本技研とのネットワークはまだサーバーがないなど不完全であるが、移動時間の削減や会話の保存などができるため、設計と製造の迅速化が可能であることが確かめられた。特に高知県のような交通の便が悪い地域ではネットワークの活用は大きな価値がある。
- (3) 構造解析の結果、ハウジング形状は強度的に余裕があり今後さらなる軽量化や形状の変更が可能である。
- (4) 解析結果などの情報を、コラボレーション技術を用いて、企業と打ち合わせを行うことで、情報を密に共有でき設計効率の向上が見込める。

インターネットを用いたコラボレーション技術を更に有効活用することで、開発・設計の効率を上げられると考えられる。今後はコラボレーションソフトの複数箇所での使用により、使用者の意識改革や使用方法の確立を行う必要がある。

### 5.2 今後の予定

坂本技研とのネットワークはまだサーバーが不在であり、ファイルの共有などが積極的に行えていない。今後サーバーが設置され次第、解析結果や変更点などの情報の共有についての検証を行う必要がある。また、このように複数の人間が使用する場合、全員の意識をまとめなければいけない。また、企業を含めた利用方法の確立には十分な検討と行動が必要になる。

今回、遠心力と、磁石が引き合う力によってハウジングにかかる応力を求めた。しかし、ハウジングにはこれら以外にも自重や発電による回転トルクの増大などのさまざまな力がかかっている。それらの力の定

量化は難しいため、現時点ではそれらを全て含んだ解析を行うことはできていない。今後はそれらの力を定量化し、設計の中でさらに利用していきたい。

研究室で行っている小型風力発電機の開発はまだ始めたばかりの取り組みである。そのため共同設計方法など解決すべき課題も多い。それらの課題を解決し、製品設計の迅速化やスムーズな共同設計が出来るシステムの確立を目指して努力していきたい。

## 参考文献

- 【1】 汀祥子：小型風力発電機の設計と磁場解析
- 【2】 日経 BP 社：日経デザイン・エンジニアリング 2001年7月号～
- 【3】 松岡純一，坂本東男，汀祥子，吉岡秀高，坂本正興：小型風力発電機のインターネット分散設計
- 【4】 日本機械学会編：機械工学便覧 改訂版第6版 4 材料力学
- 【5】 日本規格協会：JIS ハンドブック 非鉄金属

## 謝 辞

本研究を行うにあたって終始ご指導ご鞭撻下さった、工科大学知能機械システム工学科坂本東男教授に対して深く感謝いたします。

また、風力発電機に関して相談にのっていただいた、高知工科大学知能機械システムコース修士課程の内野喬誌氏、汀祥子氏に深く感謝いたします。

そして、コラボレーションを行う際にご協力くださった(有)坂本技研の坂本正興社長をはじめ、係者各位に深く御礼申し上げます。