

<<篠原 主勲（しのはら かずのり） 様>>

（略歴）

・2011年度より、独立行政法人 宇宙航空研究開発機構 情報・計算工学センターに着任。
人工衛星の構造解析全般に従事。

・2008年10月～2011年3月（財）神奈川県科学技術アカデミー常勤研究員

・神奈川県内の産・学・公が一体となって地域課題に取り組む地域産学公結集共同研究事業のプロジェクトの一つである「次世代パワーエレクトロニクス」の研究員として、パワーデバイスの信頼性評価技術の研究に従事する。

・経済産業省 平成21年度戦略的基盤技術高度化支援事業（平成21年度補正予算事業）において、自動車用インバータのモジュール等の温度特性評価用小型熱衝撃試験機の開発に従事する。

・2006年11月～2008年9月 東京大学 IML 研究機関研究員

形状最適化に関する研究：非定常性を有する流れ場でも最適化解析可能な随伴変数法による形状最適化手法を提案した。

・イノベーション普及学についての研究：物理現象のひとつである拡散現象を模倣し、有限要素法によるシミュレーション技術を駆使することで、社会現象のひとつであるイノベーション普及の定量化を試みた。

2006年9月 東京大学 奥田洋司教授のご指導の下、東京大学大学院工学系研究科博士課程を修了し、博士(工学)の授与を受ける。

（研究分野）

・計算力学、数値流体、最適設計、接触・摩擦解析、有限要素法

（所属学会）

日本計算工学学会(正会員)、日本機械学会(正会員)、エレクトロニクス実装学会(正会員)

（受賞）

なし

（著書）

・篠原主勲，流れ場に置かれた構造物の随伴変数法による形状最適化，博工第6375号，2006.

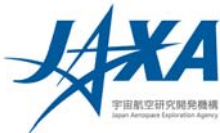
・Kazunori Shinohara, Hiroshi Okuda, Time Dependent Shape Optimization Using Adjoint Variable Method for Reducing Drag, Atmospheric Turbulence, Meteorological Modeling and Aerodynamics, Nova Science Publishers, (2010), pp.343-428（査読有）



【製品説明会】構造解析ソフトウェア
 Advance/FrontSTR、汎用プリポストプロセッサ
 Advance/REVOCAP 最新動向セミナー
 日 時 2012年12月18日(火) 13:30～16:45
 会 場 トスラブ山王(山王健保会館) 2階 会議室

Advance/FrontSTRの 大規模接触解析への適用

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構
 情報・計算工学センター
 篠原主勲



目次



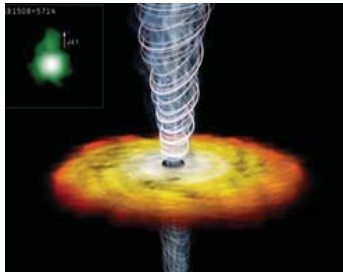
No .1

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!

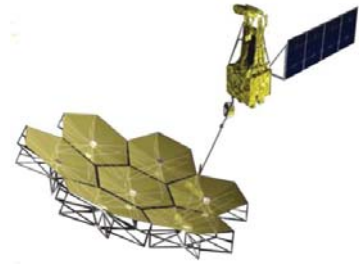
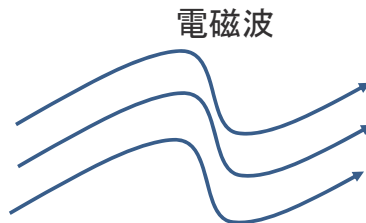


電波天文衛星 (Astro-G開発)の目的: 銀河核(回転する銀河の中心)やブラックホールなどを観測し、その構造や物理現象の解明

観測方法: ブラックホールは電磁波(X線など)を発することがわかっている。この電磁波の観測が宇宙現象解明につながる。



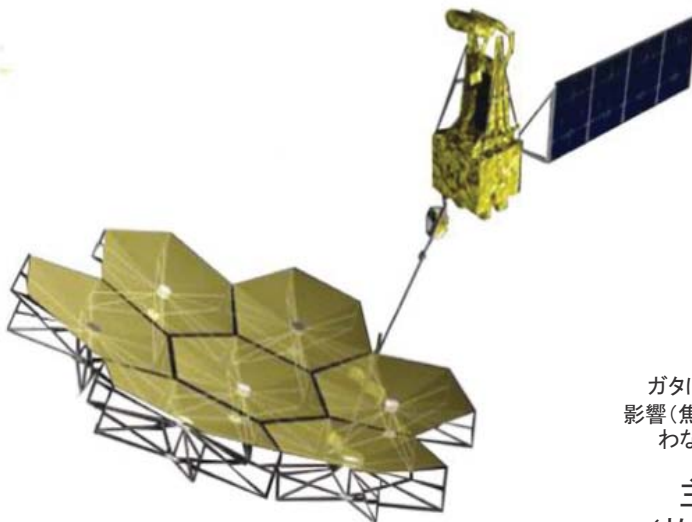
ブラックホール



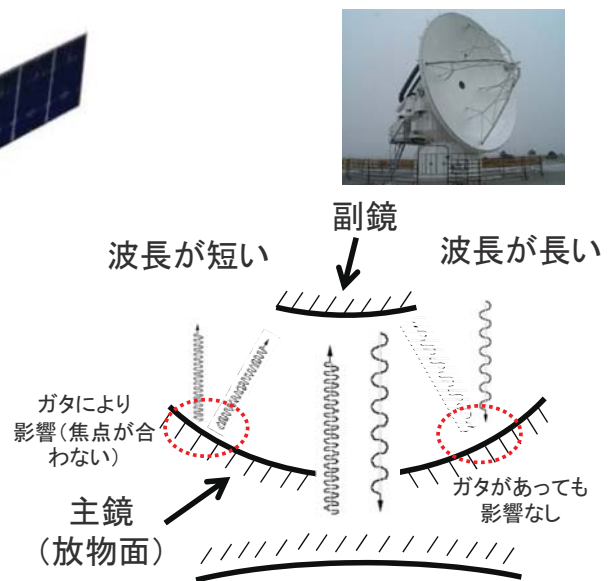
電波天文衛星(Astro-G)

ASTRO-G打ち上げ中止。

高精度展開アンテナの技術課題が明らかになり、科学目的の達成が困難。費用と開発期間の超過が予想。2011年に計画を中止



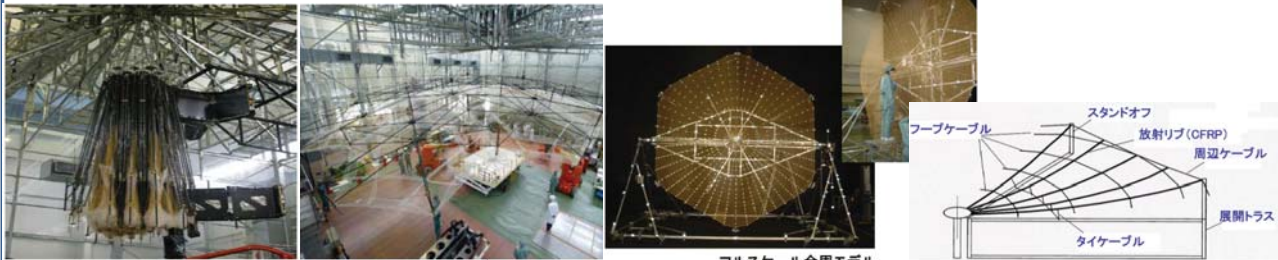
電波天文衛星Astro-G



- ・高周波数領域では、電波の波長が小さいため、微小な鏡面の凹凸の影響で不具合が発生
- ・展開非再現性の影響で、パラボラアンテナの開閉の繰り返して、少しずつガタが助長。

(参考文献) 電波天文衛星 (ASTRO-G) の状況について, 2011, http://www.jaxa.jp/press/2011/08/20110824_sac_astro-g.pdf

- ・地球上から宇宙空間まで衛星を輸送するため、衛星のパラボラアンテナを折りたたみ、ロケット上部のフェアリング内に収納。
- ・宇宙空間でフェアリングから衛星を分離。パラボラアンテナを展開。



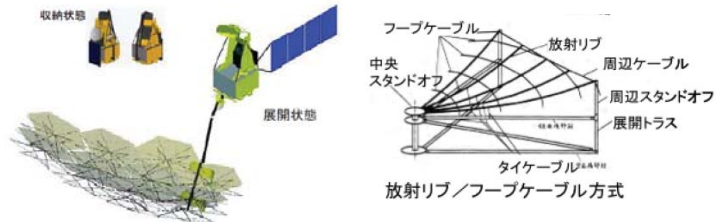
- ・部材間をヒンジやケーブルなどの張力のつり合いでパラボラアンテナ形状を維持する柔軟構造物。そのため結合部やケーブルなどの微小な変化がパラボラ鏡面精度に影響

(参考文献) 電波天文衛星 (ASTRO-G) の状況について, 2011, http://www.jaxa.jp/press/2011/08/20110824_sac_astro-g.pdf

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



非常に柔軟な構造物にもかかわらず、特殊環境下での高精度な計測を必要。



- (1) ガタの計測評価困難: ずれ量(変位量)の絶対値が極めて小さいため、現状では計測が困難。(設計要求:0.4mm rms)(現状では、トラス鏡面を非接触式(V-STARS)、レーザー変位計により、変位計測→精度保障が困難な試験)
- (2) 宇宙環境構築困難: 無重力状態や真空状態を地上で行うことが困難。基本は地上で計測するしかない。



大規模シミュレーション技術を駆使した結合部ガタ評価技術を確立。

(参考文献) 電波天文衛星 (ASTRO-G) の状況について, 2011, http://www.jaxa.jp/press/2011/08/20110824_sac_astro-g.pdf

計算上での問題点: ガタの計算モデル化は、数学的には不連続部分で、もっとも取扱いが困難で、シミュレーションによる計算で不得意。



解決策: 構造物結合部のガタを有限要素法による接触・摩擦解析可能? もし可能だと仮定したら。。。。。。。。

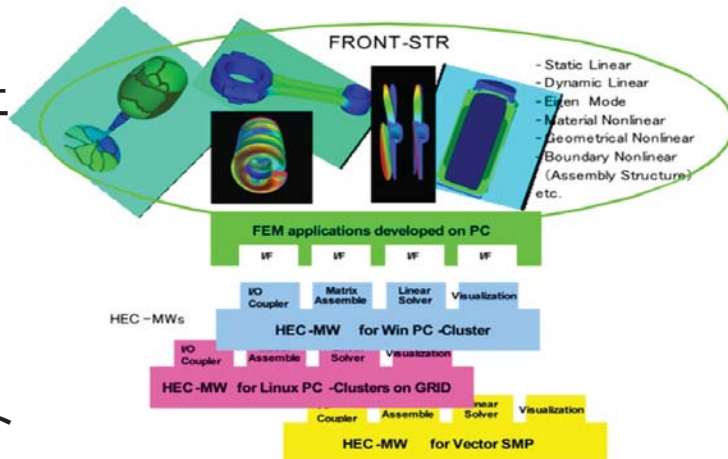


恐らく、大規模メッシュを用いて、高精度に位置を計算する必要があるだろう。でも並列化計算は、オペレーションが煩雑で敷居が高い。もっと簡易に使いたい。どうしよう。。。。。。。。?



構造解析大規模並列化強力支援ツール: ハイエンド計算ミドルウェアHEC-MW (HPC-MW) をベースに開発されたAdvance/FrontSTRを用いれば、すべてが解決!!

Advance/FrontSTRは文部科学省の国家プロジェクトにおいて東京大学 奥田洋司教授とアドバンスソフト株式会社が共同で開発したプログラムを、引き続きアドバンスソフト社が独自に改良整備し販売する汎用構造ソフトウェア



(参考文献) 東京大学奥田研究室
<http://nihonbashi.race.u-tokyo.ac.jp/>

検証事項(目的):

- (1) 接触解析手法により、どの程度の応力分布が再現?
- (2) 接触解析より、展開非再現性で再現可能?
- (3) 接触面(ガタ)が時々刻々変化する動的接触摩擦解析の再現?

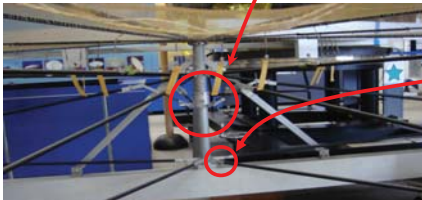
・奥田洋司編者, 並列有限要素法解析 II, 培風館,(2008).

・袁熙, Advance/FrontSTR Ver. 3.0 の非線形解析機能について, アドバンスシミュレーション, 4(2011), pp.6-59.

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advance/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



展開構造物の結合部は、スライドヒンジと回転ヒンジに大別。



展開構造物全体

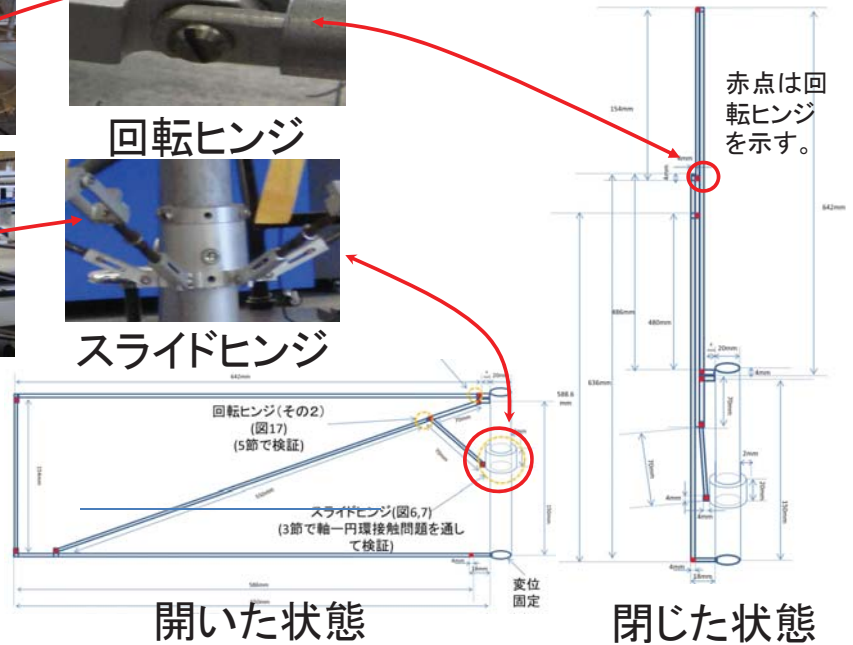
ヒンジの組み
合わせで開閉
機構を構成



回転ヒンジ



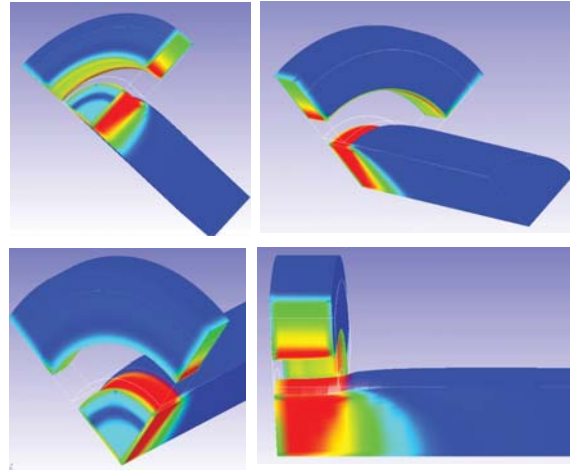
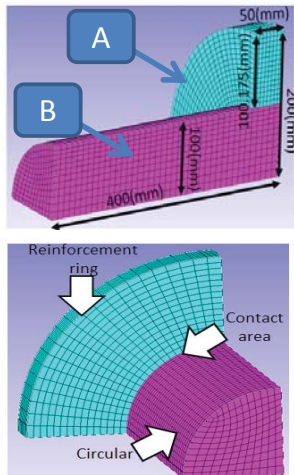
スライドヒンジ



1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



目的: 本報告ではスライドヒンジを対象に、現状の接触解析手法の計算精度を検証するため、従来の文献の接触応力分布と比較。



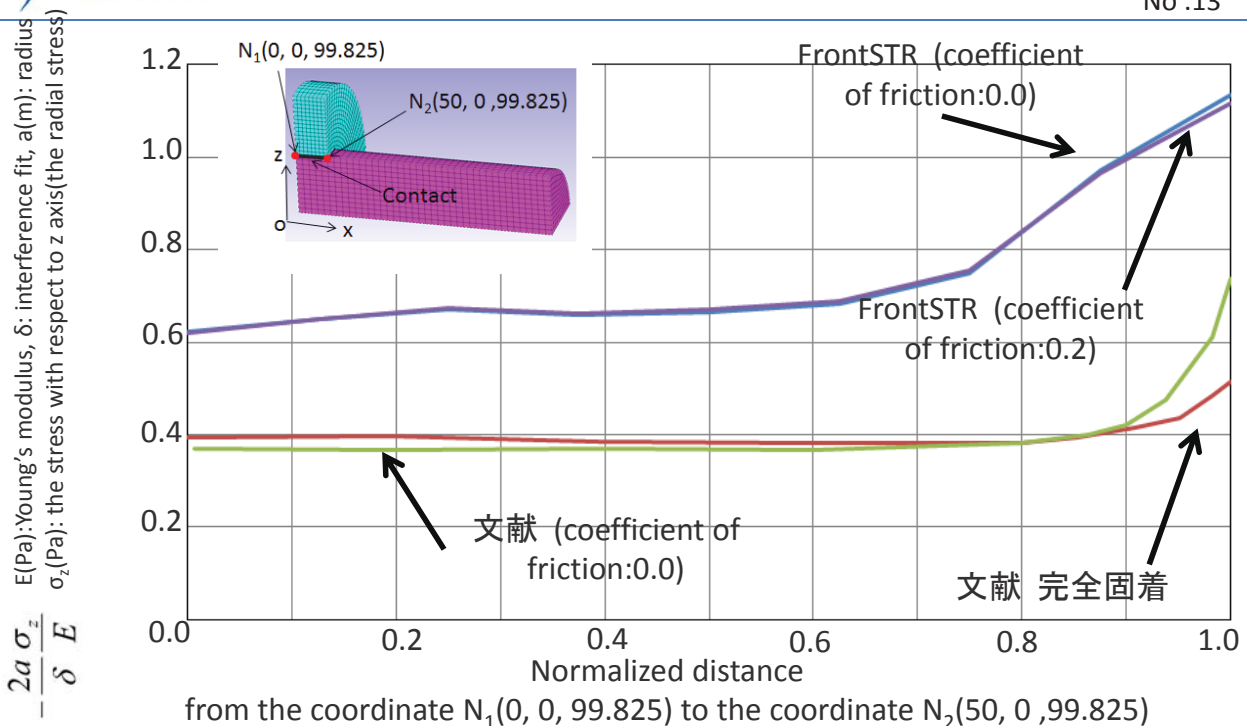
物性値
 ・ヤング率:210.0(Gpa)
 ・ポアソン比:0.3

メッシュデータ
 節点数:10159
 要素数:8360

形状データ
 干渉量:0.175(mm)

図 メッシュ図

図 変形と応力分布



接触中心部で応力分布は等分布で推移、端部で上昇。定性的には一致。

文献 岡本紀明, 大型タービン発電機口の焼ばめ部品における非可逆的挙動の解明, 日本機械学会, 1997.

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



6. 非可逆的挙動の評価

(計算モデルと境界条件)

目的: 摩擦の影響で発生する変位の非可逆的挙動を計算。パラボラアンテナの展開非再現性を再現するときに必要な摩擦現象

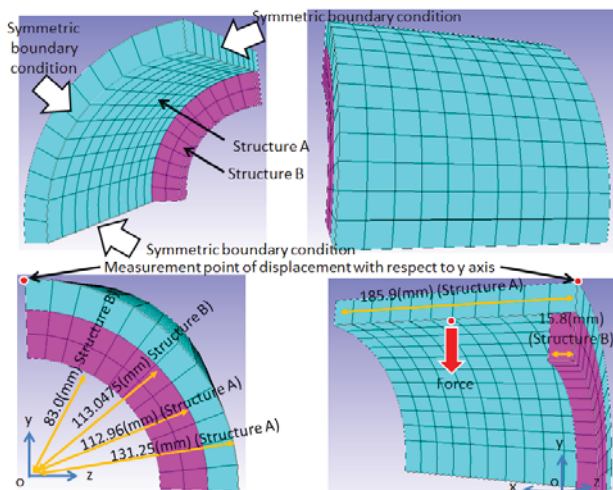


図 メッシュ図

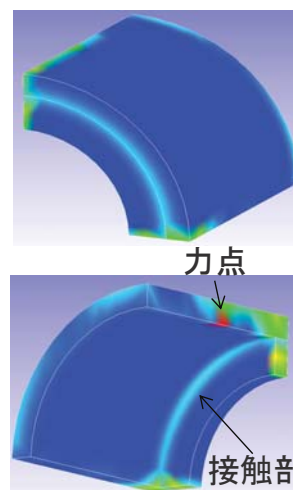


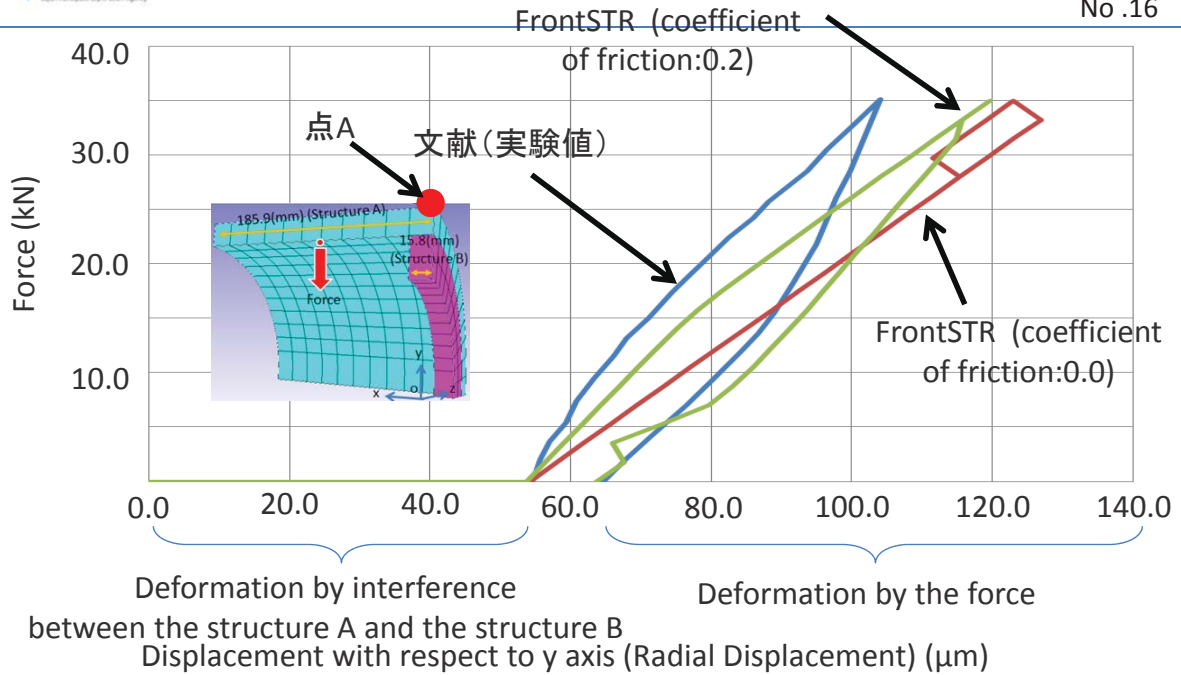
図 変位コンター図

物性値
・ヤング率:210.0(Gpa)
・ポアソン比:0.3

メッシュデータ
節点数:390
要素数:156

形状データ
干渉量:0.0875(mm)

・力を負荷し、その後その力を除荷したときの変位の挙動を解析。接触面の位置のずれ量を計算。



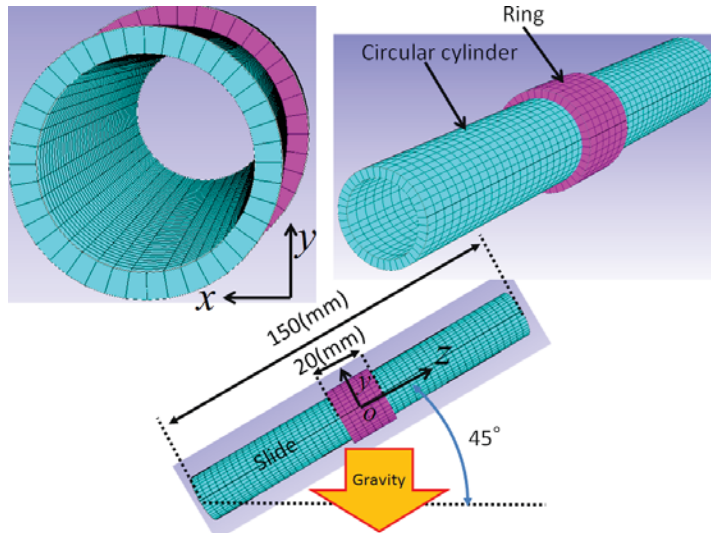
非可逆的な挙動より、パラボラアンテナ開閉で生じる展開非再現性を、計算上で再現可能

・岡本紀明, 大型タービン発電機口の焼ばめ部品における非可逆的挙動の解明, 日本機械学会, 1997.

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. **スライドヒンジ動的接触解析の評価**
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



目的: パラボラアンテナスライドヒンジ(摺動部)をモデル化するため、接触面が時々刻々変化する動的接触解析の評価技術確立



物性値

- ・ヤング率:210.0(GPa)
- ・ポアソン比:0.3

メッシュデータ

- 節点数:4640
- 要素数:2240

外力:重力負荷。

摩擦係数:0.0

・動的な接触各時間ステップで接触面を検知しながら、円環形状がすべり落ちるかどうかを検討

目的: 時間ステップで接触面を検知しながら、円環形状がすべり落ちるかどうかを検討

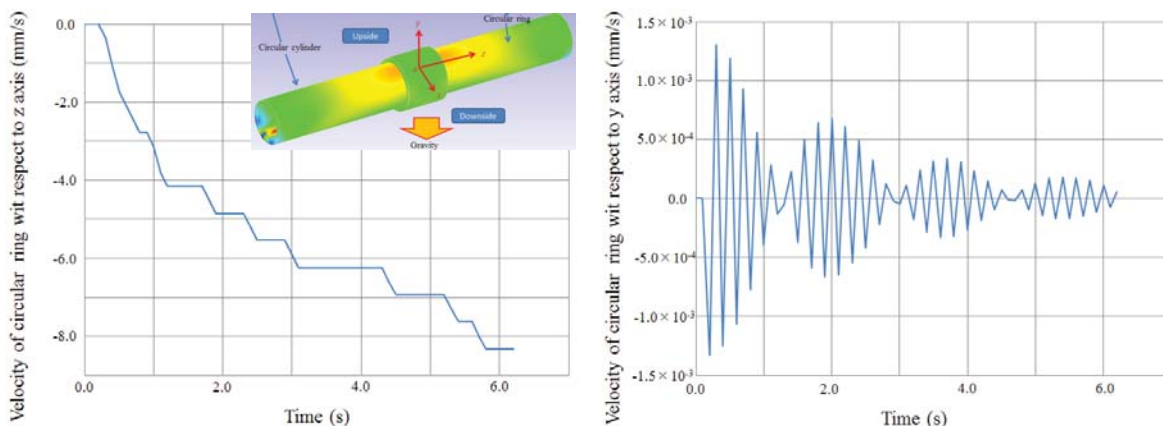


図 すべり速度(z方向速度)

図 上下速度(y方向速度)

- ・時間が経過するにつれて、接触の面圧が上昇
- ・円筒の上下で短い時間ではあるが、片あたりしながら円環がすべり落ちる

動的接触解析によるひずみ分布と比較するため、リングがすべり始める前の静的接触解析を計算

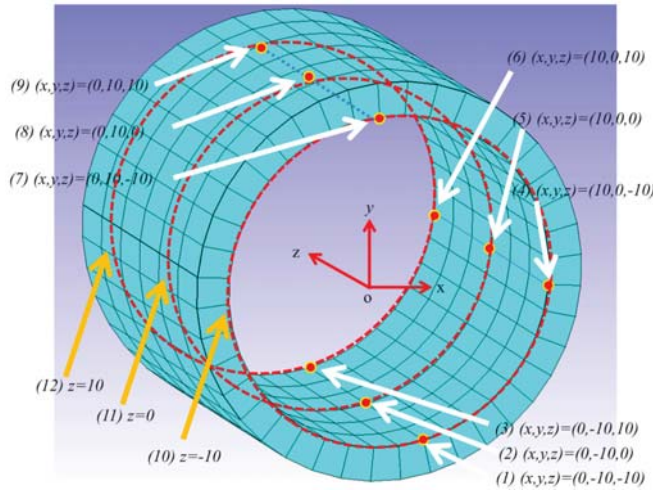


図1 メッシュ図

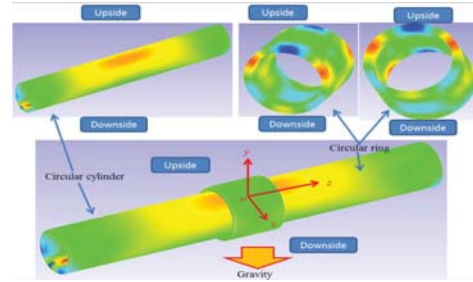


図2 移動前の応力コンター図

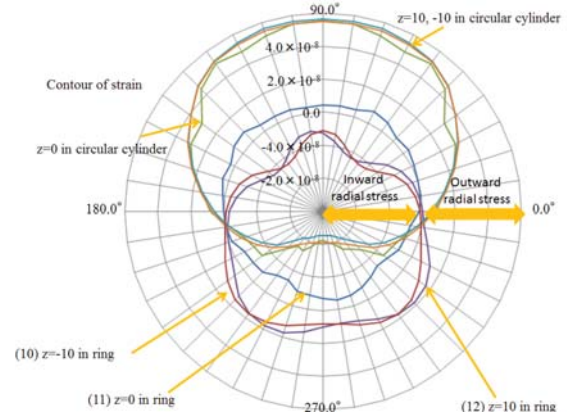


図3 ひずみ分布

リングが円筒に沿って滑っている過程を、接触解析で計算。主に、リングのひずみと比較して、円筒のひずみが多い。そのため、円筒の断面形状が微小に変化

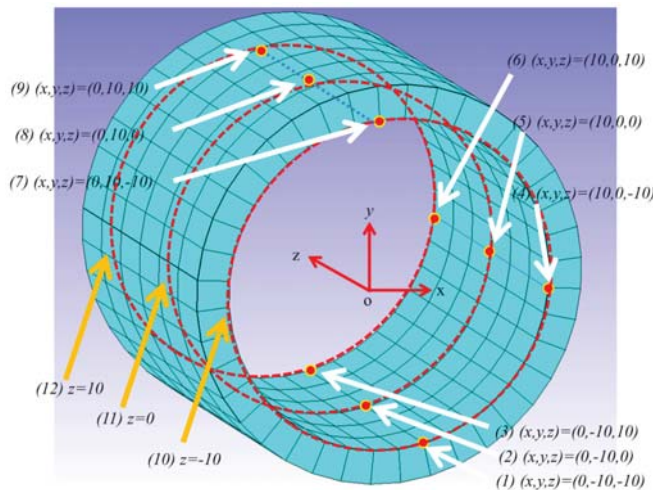


図1 メッシュ図

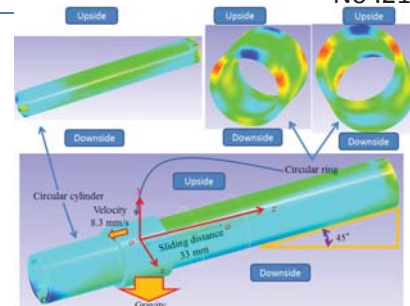


図2 移動後の応力コンター図

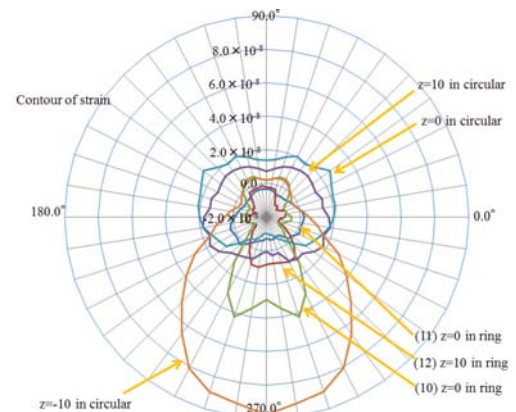


図3 ひずみ分布

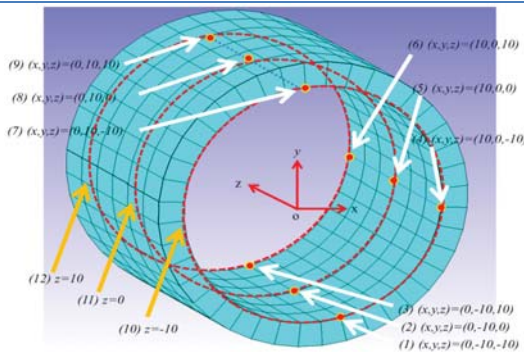


図1 メッシュ図

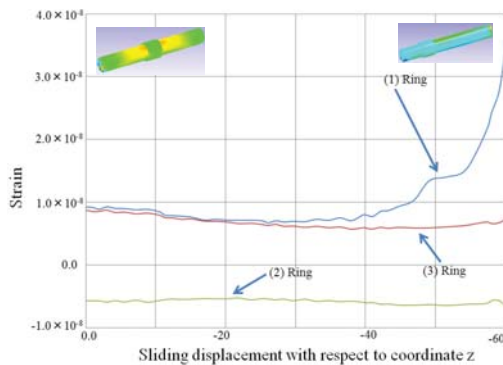


図2 図1(1)-(3)のポイントにおける半径方向ひずみ時刻歴

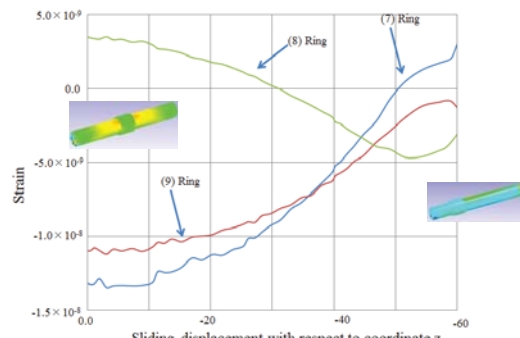


図3 図1(7)-(9)のポイントにおける半径方向のひずみ時刻歴

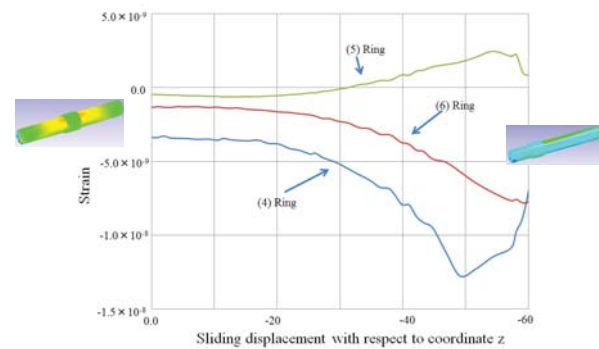


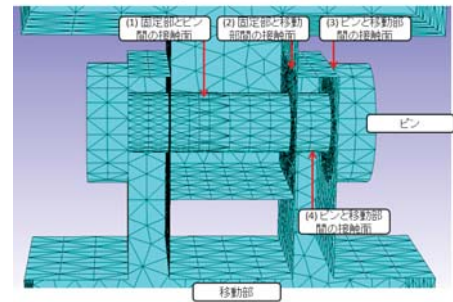
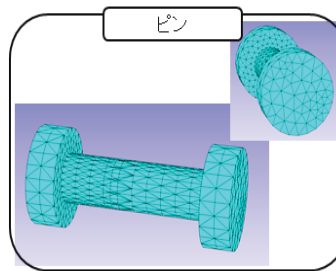
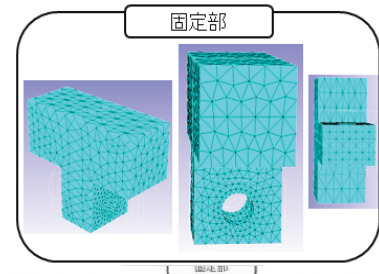
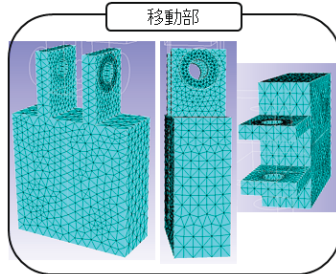
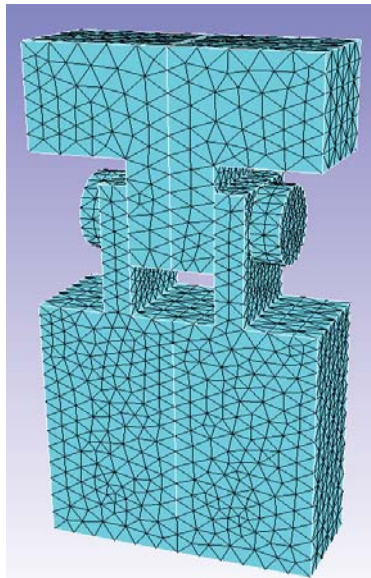
図4 図1(4)-(6)のポイントにおける半径方向ひずみ時刻歴

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



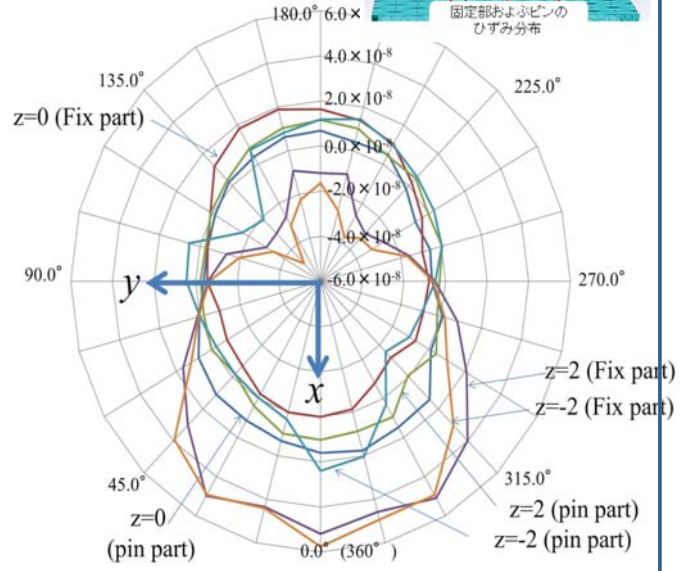
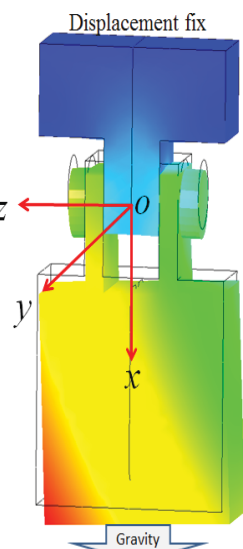
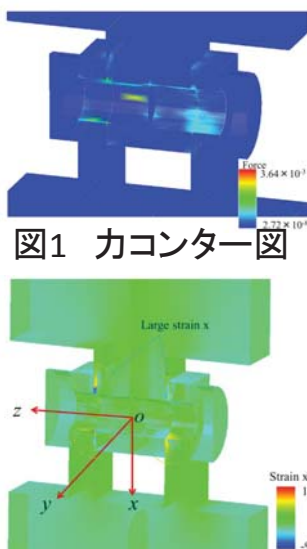
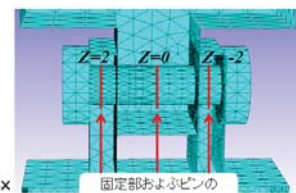
目的: パラボラアンテナ回転ヒンジの接触面が微小に変化する静的接触解析の評価技術を実施

物性値: ヤング率:210.0(GPa), ポアソン比:0.3
メッシュデータ: 節点数:7260, 要素数:31440
外力: 重力負荷, 摩擦係数:0.0



・ピン結合部での接触面を検知しながら、自重解析が実施可能かどうか検討。

重力の方向に対して、図に示すように回転ヒンジを設置する。ピン結合部での接触面を検知しながら、自重解析が実施可能かどうか検討。



重力の方向に対して、図1に示すように回転ヒンジを設置する。ピン結合部での接触面を検知しながら、自重解析が実施可能かどうか検討。

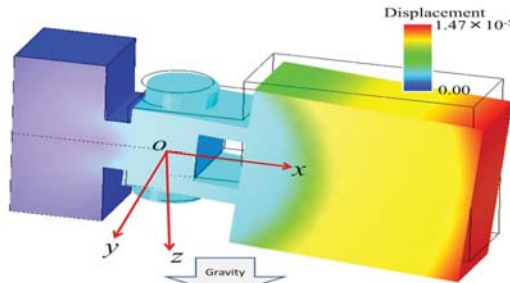


図1 変位コンター図

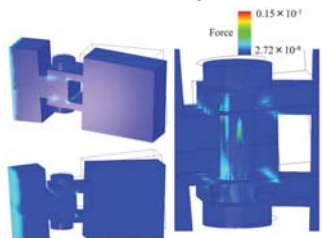


図2 カコンター図

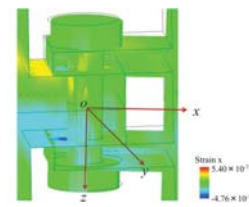


図3 ひずみコンタ(X)

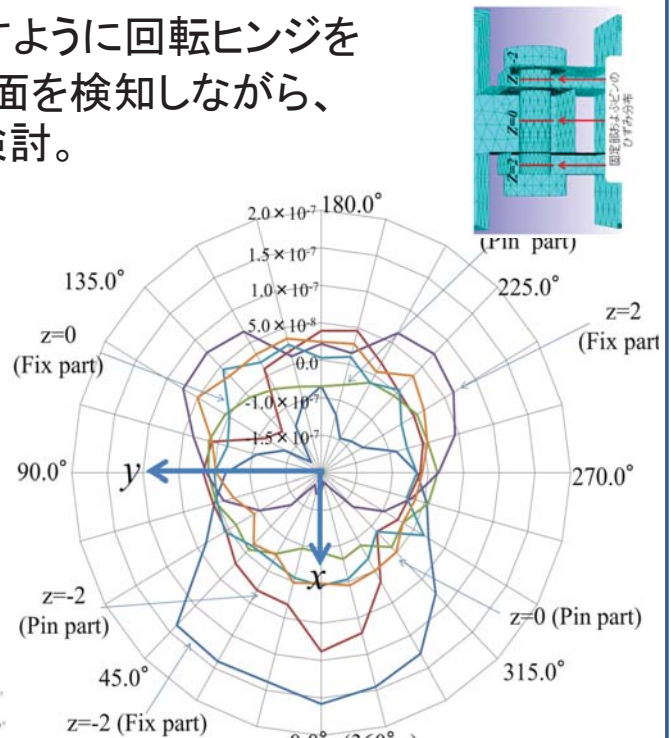


図4 半径方向のひずみ分布

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



Newton-Raphson法

$$u_{n+1} = u_n + \Delta u$$

u:変位, Δu:変位の修正量

$$R_{n+1} = F_{n+1} - Q_{n+1}(u_{n+1})$$

R:残差, F:外力(ここでは、定数) Q:内力

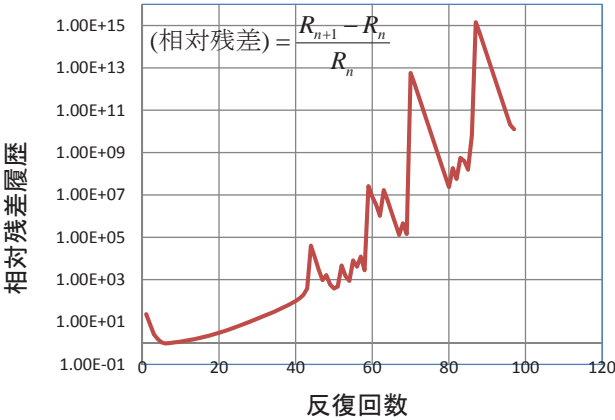
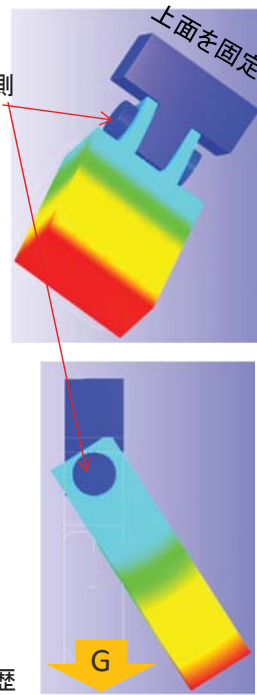


図 Newton-Raphson法におけるFrontSTR相対残差履歴



```

ISOLUTION,TYPE=DYNAMIC
BOUNDARY,GRPID,1
FINI,1,0,0
BOUNDARY,GRPID,2
FINI,1,1,888853
FINI,2,2,6,748819
BOUNDARY,GRPID,3
FINI,1,0,0
BOUNDARY,GRPID,4
FINI,1,0,20295
FINI,2,2,0,74998
ISOLID,GRPID=1,M
ALL,GRAB,9,8,1,0,0,0,0,M
ISOLID,SECTION,EGRP=H2,MATERIAL=MAT1
IMATERIAL,NAME=MAT1
ELASTIC
2,0,0,0,0,0
IDENTITY
7,0,0,0
ISOLID,SECTION,EGRP=E1,MATERIAL=MAT2
IMATERIAL,NAME=MAT2
ELASTIC
2,0,0,0,0,0
IDENTITY
7,0,0,0
/CONTACT,GRPID=1,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=2,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=3,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6,PENALTY=1.0e+6,TPENALTY=1.0e+6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=4,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=5,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=6,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=7,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/CONTACT,GRPID=8,INTERACTION=FSLD, FORKCTOL=0.0, DISTOL=1.0e-6
CPFLD,0
/STEP,ALIGNED=ON,MANITER=1000
BOUNDARY,1
BOUNDARY,2
BOUNDARY,3
BOUNDARY,4
LOADS,1
CONTACT,1
CONTACT,2
CONTACT,3
CONTACT,4
/DYNAMICMETHOD=HHT,ALPHA=0.98
0,0,0
/STEP,ALIGNED=ON,MANITER=1000
BOUNDARY,1
LOADS,1
CONTACT,1
CONTACT,2
CONTACT,3
CONTACT,4
CONTACT,5
CONTACT,6
CONTACT,7
CONTACT,8
/DYNAMICMETHOD=HHT,ALPHA=0.98
0,0,0
/SOLVER,METHOD=CG,PRECIND=3,ITERLDG=YES,TIMELG=NO
3000,0
1.0e-10,1,0
    
```

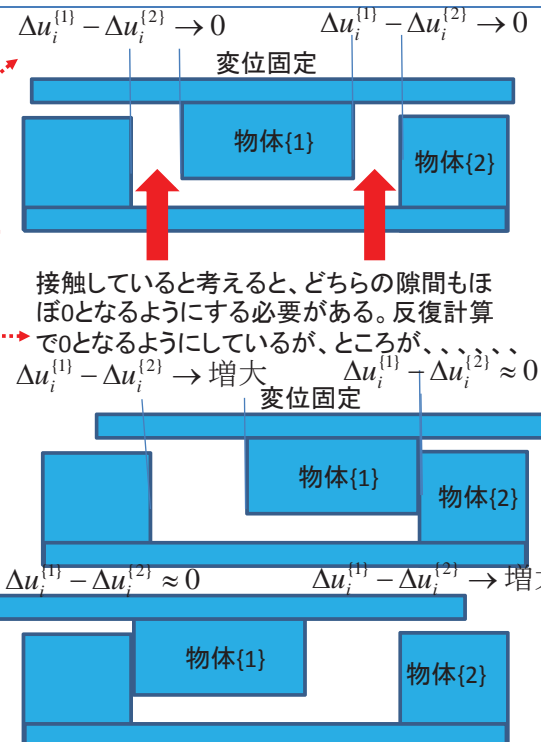
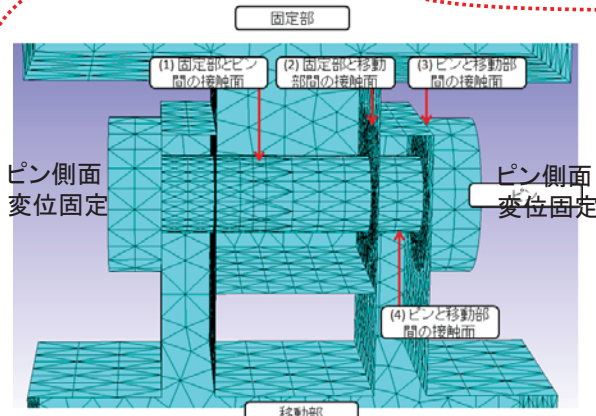
図 FrontSTR制御ファイル(cnt)

接触面が時々刻々変化する解析においては、残差が収束しない。
 ・ソルバーは前処付きCG法を選択。(接触剛性マトリックスは非対称行列だがFrontSTRでは対称化の処理を施す)

重み付き残差方程式 (ただし任意関数u*は仮想変位δuとする)

$$\begin{aligned}
 & - \int_{\Omega} \rho \alpha_i \delta \Delta u_i d\Omega - \int_{\Omega} \rho c_j \frac{\partial v_i}{\partial X_j} \delta \Delta u_i d\Omega + \int_{\Omega} \rho q_i \delta \Delta u_i d\Omega \\
 & + \int_{\Omega} D_{ijkl} \Delta^L E_{kl} \delta \Delta^L E_{ij} d\Omega + \int_{\Omega} S_{ij} \delta \Delta^L E_{ij} d\Omega + \int_{\Omega} S_{ij} \delta \Delta^L E_{ij} d\Omega \\
 & + \int_{\Gamma_B} T_i \delta \Delta u_i d\Gamma_B + \int_{\Gamma_C} T n_i (\delta \Delta u_i^{(1)} - \delta \Delta u_i^{(2)}) d\Gamma_C = 0 = R
 \end{aligned}$$

時間微分項(F) 移流項(F) 重力項(F) 内部応力項(Q) 外力項(F) 接触項(F) 残差



両端の接触間の隙間を0にしようとすると残差Rが0に収束せず。

ピンの両端固定をはずしても、うまくいかず。

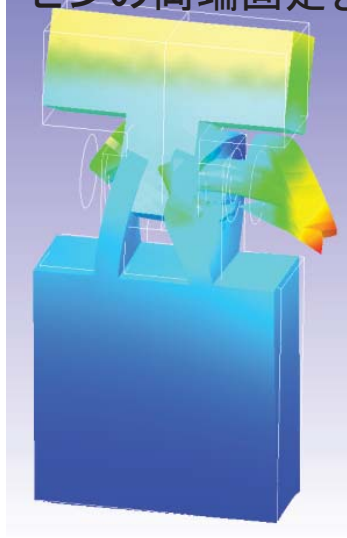


図 十分な収束が得られなかったことが原因と考えられるピンの大変形

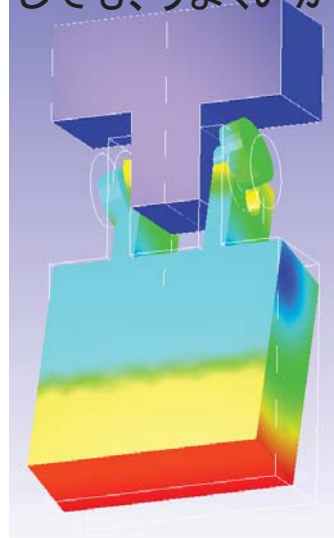


図 ピンがはずれる



図 ピンが吹っ飛ぶ

FrontSTRには、接触から非接触への接触力閾値や接触領域判断閾値、ペナルティ係数、収束閾値など、複数のパラメータを人為的に設定する必要がある。今後は、これらの最適値を探し出し、全自動化する必要があると思われる。

動的接触解析における並列化はソルバーの未収束を発生



図 3領域分割

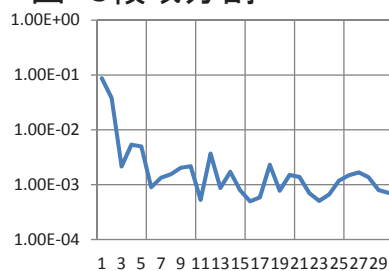


図 相対残差履歴(3CPU)



図 5領域分割

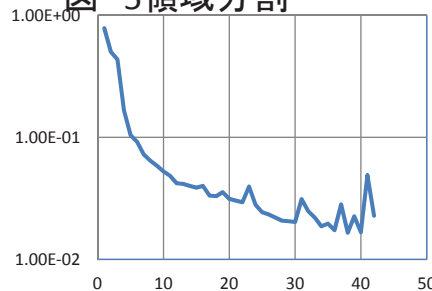


図 相対残差履歴(5CPU)



図 6領域分割

計算できず。。。。

図 相対残差履歴(6CPU)

・ソルバーは前処付きCG法を選択。(接触剛性マトリックスは非対称行列だがFrontSTRでは対称化の処理を施す)
 ・6CPUの場合では、NaNのエラー表示。どこかで0割が発生していると思われる。
 ・並列化しても残差履歴はいっしょのはず。接触面が時々刻々変化するため、接触情報(マスター面の情報とスレーブ節点の情報)のデータ通信に不具合があると思う。

単一CPU、重力方向に対する角度(15度以下)を微小に設定、ピン部の変位を一部拘束、さらに摩擦係数0とすることで、接触面に変化を引き起こさないようにすれば、計算可能。

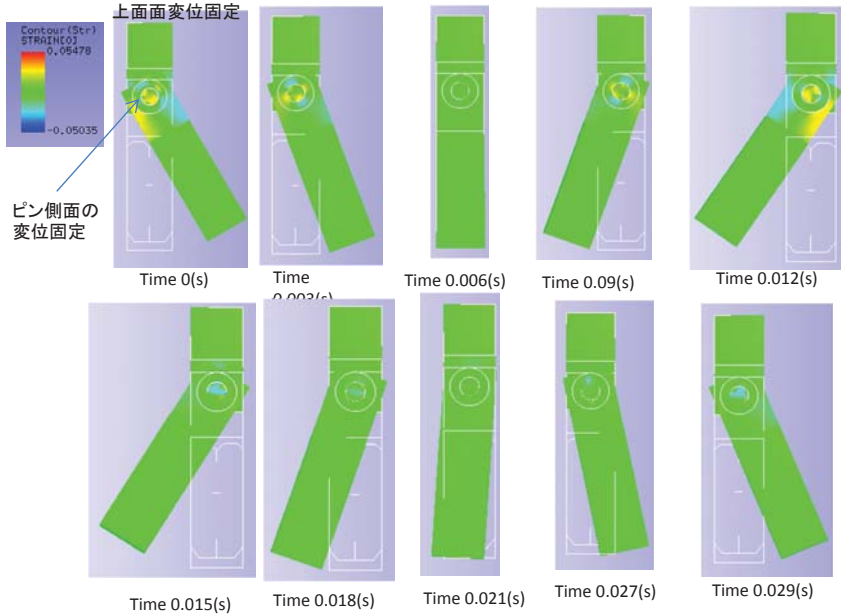


図 自由振り子時のひずみコンター図

```

IVERSON
1
IDAMPING, ALPHA=0.1
ISOLUTION, TYPE=DYNAMIC
BOUNDARY, GRPID = 1
FIX1, 1,3, 0,0
BOUNDARY, GRPID = 2
FIX6, 1,1, -1.80853
FIX6, 2,2, 6.749819
BOUNDARY, GRPID = 3
FIX7, 2,3, 0,0
IDLOAD, GRPID=1=M
ALL, GRAY, 9,8, 1,0, 0,0, 0,0,P,M
ISOLID SECTION, EGRP=ALL, MATERIAL=MAT1
IMATERIAL, NAME=MAT1
IELASTIC
2.09e5, 0.3
IDENTITY
7.85e-6
ICONTACT, GRPID=1, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP1,0.0
ICONTACT, GRPID=2, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP2,0.0
ICONTACT, GRPID=3, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP3,0.0
ICONTACT, GRPID=4, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP4,0.0
ICONTACT, GRPID=5, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP5,0.0
ICONTACT, GRPID=6, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP6,0.0
ICONTACT, GRPID=7, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP7,0.0
ICONTACT, GRPID=8, INTERACTION=SSLID, FORCETOL=1000.0, DISTTOL=0.01
CP8,0.0
ISTEP, NLGEOM=ON
BOUNDARY, 1
BOUNDARY, 2
BOUNDARY, 3
LOAD, 1
CONTACT, 1
CONTACT, 2
CONTACT, 3
CONTACT, 4
IDYNAMIC, METHOD=HHT, ALTHA=0.98
0.1, 0.2
ISTEP, NLGEOM=ON
BOUNDARY, 1
BOUNDARY, 3
LOAD, 1
CONTACT, 1
CONTACT, 2
CONTACT, 3
CONTACT, 4
IDYNAMIC, METHOD=HHT, ALTHA=0.98
0.001, 1.0
ISOLVER, METHOD=CG, PRECOND=3, ITERLOG=YES, TIMELOG=NO
100000.2
1.0e-10, 1.0
/RESTART, FREQUENCY=1, FILENAME=I9restart
/WRITE, LOG
/WRITE, VISUAL, FREQUENCY=1
/SSLM, method=FS
/lsurface_num=1
/lsurface=1
/lsurface_type=COMPLETE, REORDER_AVS
/END
    
```

図 FrontSTR制御ファイル(cnt)

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



問題点 計算時間の低減

・時間積分アルゴリズムの計算時間軽減方法(陽解法、陰解法?)

・陽解法

長所:どのような接触問題に対しても計算可能。

欠点:クーラン条件($C < 1$)により、タイムステップの取り方に制約。

(メッシュ解像度が小さいと、 Δ が小さい。節点数100万規模で極めて小さいタイムステップが必要。例えば、時間刻み幅“ $\Delta t = 10 \times 10^{-10}$ ”で1分間計算したいとすると、 6×10^{10} 回の反復計算→非現実的)

$$C = \frac{c\Delta t}{\Delta} \quad \Delta[\text{m}] \text{は空間格子幅, } \Delta t[\text{sec}] \text{は時間刻み, } c[\text{m/sec}] \text{は速度}$$

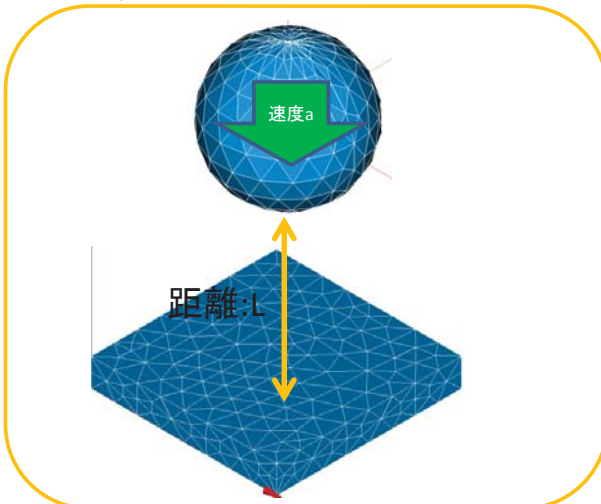
・陰解法

長所:タイムステップを長くとることができる。(計算時間低減)

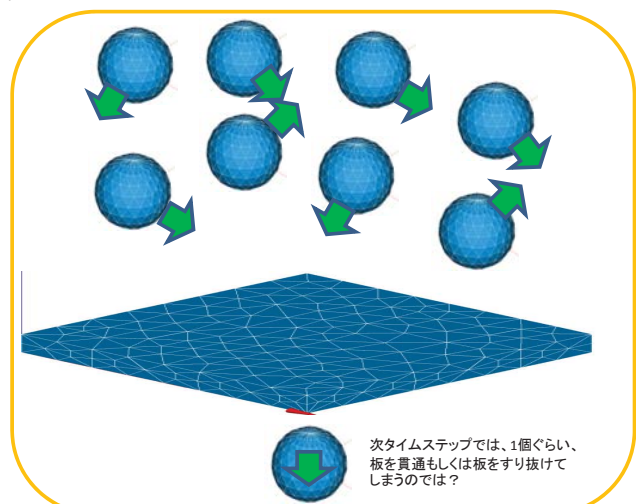
欠点:接触状況によって、行列の条件数が悪化(数値発散)→**解の収束を改善するため、前処理、ソルバーの観点から研究が現在進行中。**

・汎用ソフトでさえも、陰解法によるアプローチならば、接触状況によっては、解が収束しない場合があるため、一般には陽解法を適用

球と板の2つの物体が衝突する場合を考える。



物体と球が衝突(接触)する時間帯がわかるので、それに合わせて、タイムステップを調整することで、陰解法により解を求めることができると思う。



次タイムステップでは、1個ぐらいい、板を貫通もしくは板をすり抜けてしまうのでは?

上記のように複数の物体と球が衝突(接触)する場合、衝突(接触)の時間帯がわからない。この場合に陰解法で大幅なタイムステップを取ることが可能なのだろうか。(貫通、もしくはすり抜けてしまうと思う。)

すり抜けてしまったとしても、すり抜ける前のタイムステップに戻り、陰解法で計算を進めることはできるのだろうか?

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



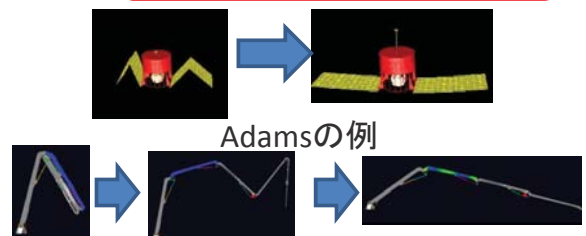
- ・ソフトウェアの比較を行った。どのソフトウェアも大規模並列化を行うと、高コスト!
- ・Advance/FrontSTRに大規模接触摩擦並列化技術が実現すれば優位!

汎用ソフト	価格	拡張性	利便性	機能性(並列化)	展開構造物などの実績
MSC Nastran (構造解析ソフト)	×(年間ライセンス1000万、買取約2000万)→◎(現状では、JAXA保有)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	○(前処理、後処理にPatranが使える。)(Gridgenメッシュ作成可)	△(6CPUまで可)	△(Nastran単体でも展開構造物を解析できる可能性があるが困難を伴う)→○(M450万追加オプション要。MSC Nastran Advanced Nonlinear (SOL400))
MSC Marc (構造解析ソフト)	×(年間ライセンス1000万、買取約2000万)→◎(現状では、JAXA保有)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	◎(接触条件の定義について全自動化)(前処理、後処理にPatranが使える。ただしMarc Mentalが一般的。)(Gridgenメッシュ作成不可)	△(8CPUまで可)	○(Marc単体でも展開構造物を解析できる可能性がある。)
MSC Adams (機構解析ソフト)	×(年間ライセンス1000万、買取約2000万)→◎(現状では、JAXA保有)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	△(前処理、後処理にAdams/View/Pre/Post Processor)(Gridgenメッシュ作成不可)	△(6CPUまで可)	◎(Marc-Adamsの解析で展開機構解析ができる可能性大(下のAdamsの例参照))
SIMULIA Abaqus (構造解析ソフト)	×(年間ライセンス630万、買取約1820万)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	○(Abaqus CAEの機能より、前処理、後処理可能。価格込み)(Gridgenメッシュ作成不可)	△(4CPUまで可)	○(展開構造物の実績あり。ただし、下の絵の折りたたまれた板が開閉するタイプの簡単なもの。)
Ansys (構造解析ソフト)	×→△(年間ライセンス900万、買取約1900万(ただし年間保守費用でさらに+200万)→ただし交換によっては、200万円以内で年間ライセンス購入できる可能性あり)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	○(前処理、後処理可能。価格込み)(Gridgenメッシュ作成不可)	△(8CPUまで可)	△(実績なし。できるかどうかは不透明)
Altair RADIOSS (構造解析ソフト)	○(年間ライセンス140万、買取ライセンス350万、年間保守60万)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	◎(前処理、後処理可能。価格込み)(Gridgenメッシュ作成不可)	△(4CPUまで可)	△(実績なし。できるかどうかは不透明)
Altair MotionSolve (機構解析ソフト)	○(年間ライセンス140万、買取ライセンス350万、年間保守60万)	△(ソース公開はない。ユーザーサブルーチンなどを用いて組み込むことは可)	◎(前処理、後処理可能。価格込み)(Gridgenメッシュ作成不可)	△(4CPUまで可)	○(展開構造物の実績あり。)
Advance/FrontSTR (構造解析ソフト)	◎(年間ライセンス100万、買取300万)	○(ソース公開はない。ただし、国プロ公開バージョンFrontSTRより、おおよそのプログラム内容を把握することが可能。)	×(メッシュ作成にFEMAPが必要)(Gridgenメッシュ作成不可)	×(並列化調整中)→◎(調整後、CPU制限なし)	×(回転ヒンジできず。抜本的な修正要)

改善期待!!

・Nastranについて10年前におなじような展開構造物の解析を行ったが失敗。陽解法で0.001の時間刻み幅で、数分間を計算したいとのニーズがあった。当時のパソコンの性能では困難(並列化の機能もなかった)。(自由度数はおおよそ10万程度。)

・調査結果から、MSC Adamsを除いて、衛星のパドル(展開構造)の開閉ぐらいしか、現状では計算できない。(当時は、NastranやMarcでも、展開機構の解析は困難)→現在でも、展開構造物の具体的な事例はなく、どこのソフトウェアも困難。



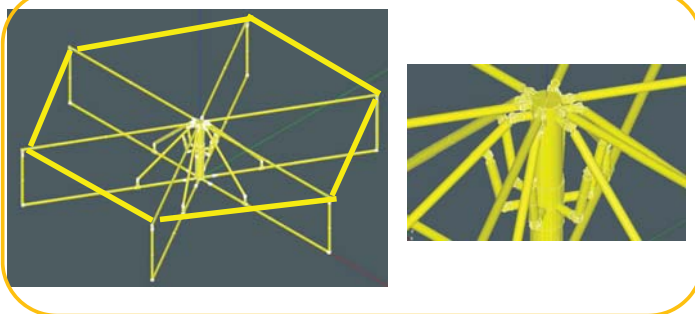
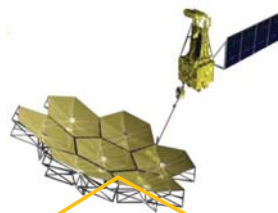
1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か?
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. アドバンスソフトに期待すること!



現状での展開構造物の 試行計算

No.39

現在も展開構造物の解析方法について断続的に研究開発を進めている。



大規模詳細メッシュを用いて、スライドヒンジおよび回転ヒンジの接触部のガタの影響を高精度に予測したいため、将来的、Advance/FrontSTRに期待。

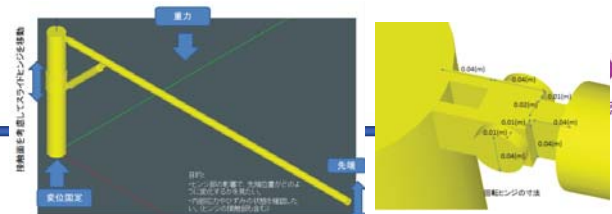


図 サブ試験(step data)

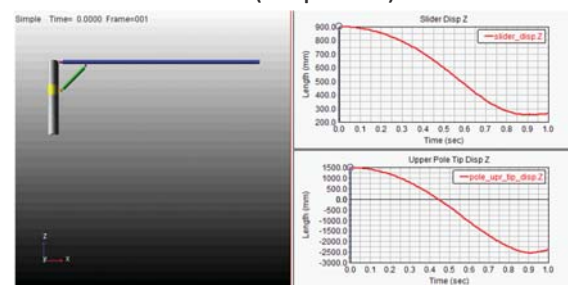


図 サブ試験(摩擦なし)

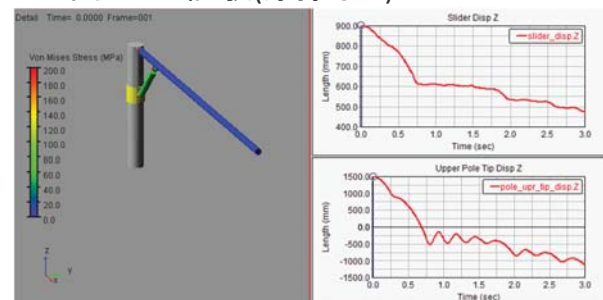


図 サブ試験(摩擦あり。摩擦係数1.0)

1. 背景(物理学者、天文学者の願望)
2. 課題(柔軟構造物の計測評価技術の難しさ)
3. 目的(有限要素解析を用いた柔軟構造物の評価技術の確立)
4. 展開構造物
5. 接触部のひずみ分布の検証(文献との比較を通して)
6. 変位のヒステリシスの再現性(文献との比較を通して)
7. スライドヒンジ動的接触解析の評価
8. 回転ヒンジ静的接触解析の評価
9. Advacen/FrontSTRの現状の問題点(動的接触解析と並列化)
10. 陰解法による大規模接触摩擦解析は実現可能か？
11. Advance/FrontSTRの優位性
12. 現状の展開構造物の開発について
13. **アドバンスソフトに期待すること！**



- ・ロバストに収束可能なソルバーの開発より、動的接触解析を実現してほしい！！(動的接触解析の分野においては、MSC Marcもしくは、SIMULIA Abaqusが先行)
- ・陰解法による大規模並列接触摩擦解析を実現してほしい！！(すべての汎用有限要素法ソフトウェアについて、現状ではこの解析は実現できていない。なにかしらの致命的な問題がある。)
- ・企業に優しい価格コスト体系を実現してほしい！！(特に、CPU×ライセンスなどの価格体系は、困る。)
- ・CAD機能(特にAdvance/REVOCAP)を追加してほしい！！

最後に、このような機会を頂いたことに、アドバンスソフトの皆様(松原聖様、河口洋子様、袁熙様)に感謝を申し上げます。