

ADAMSの宇宙機器への適用事例

(株)東芝 研究開発センター

大富 浩一

片山 寛之

(東京エレクトロニクスシステムズ(株))

宇宙開発事業団

神澤 拓也

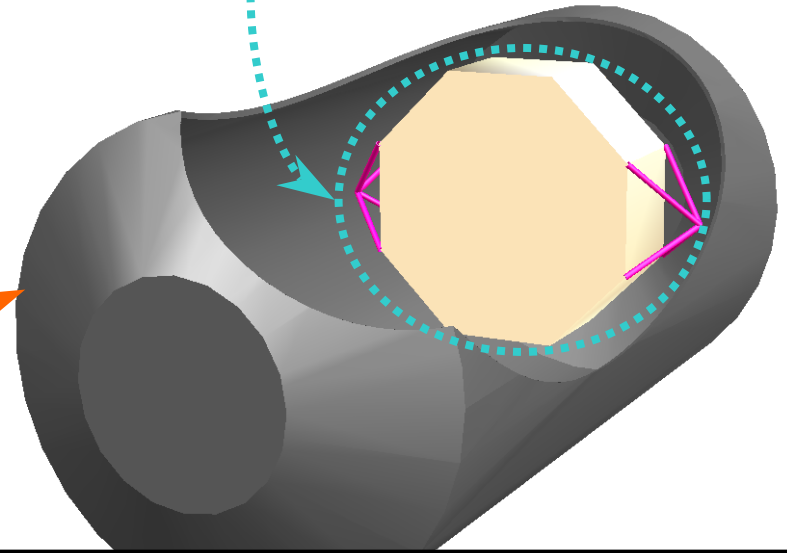
NEC東芝スペースシステム(株) 川本 治

セントリフュージ(生命科学実験施設)



国際宇宙ステーション完成予想図

セントリフュージ・ロータ
[CR:Centrifuge Rotor]



人工重力発生装置搭載モジュール
[CAM:Centrifuge Accommodations Module]

- 現在建設中の国際宇宙ステーションに搭載されるNASDA/NASA連携による新規開発機器
- 重力環境が生物に与える影響について研究を行うためのNASAの実験施設

セントリフュージ・ロータ(人工重力発生装置)

特徴

回転部質量: 約1500kg

回転半径: 約 1.25m

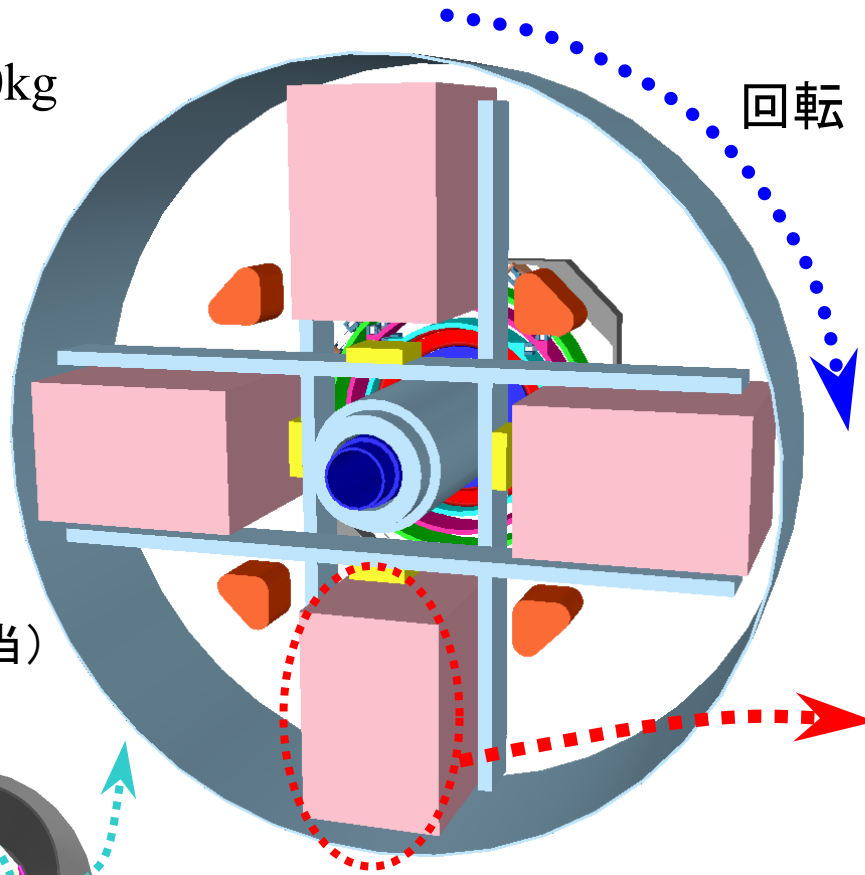
運用期間: 10年

連続運転: 最大90日

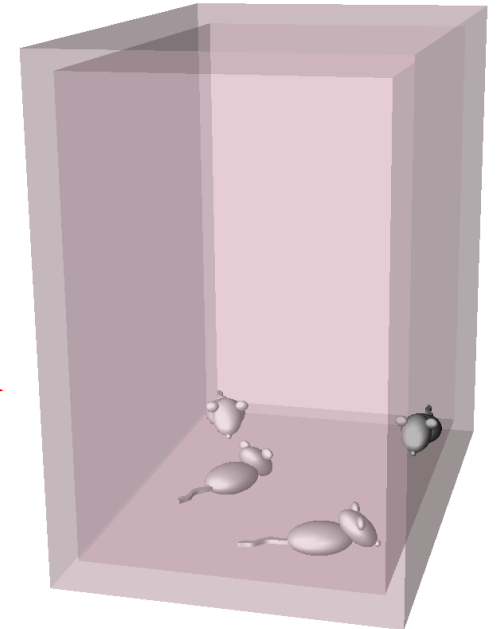
ロータ性能:

最高回転数42rpm

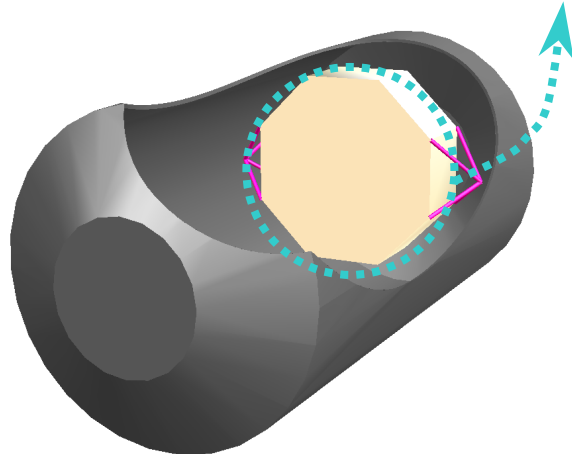
(人工重力2.2gに相当)



生物飼育箱



セントリフュージ・ロータ

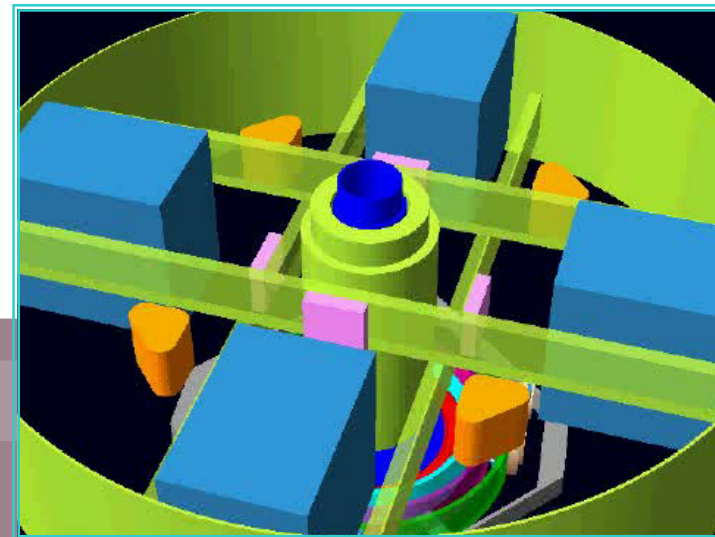


回転の遠心力を人工重力として利用し、
生物飼育箱内の動植物に負荷を与える

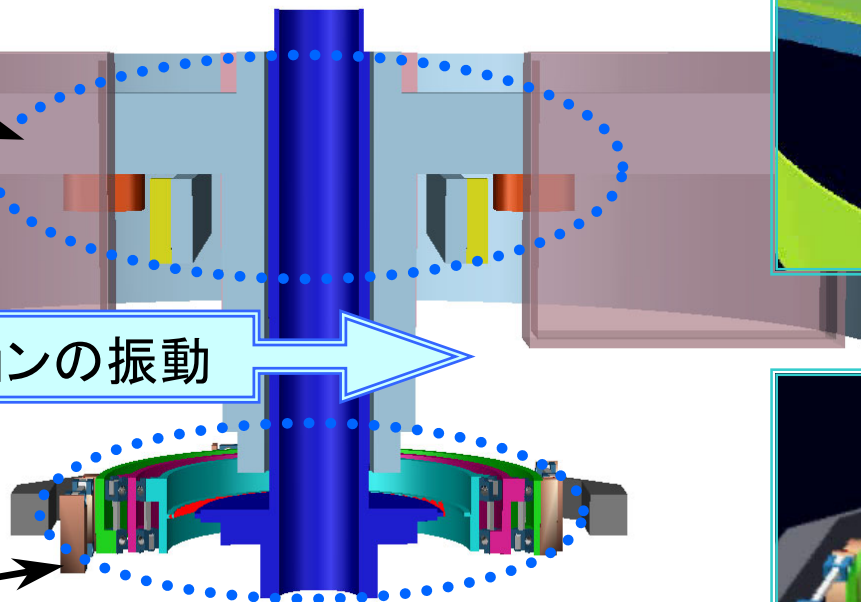
技術的なポイント

回転体⇔宇宙ステーションで振動が互いに伝わらないようにしたい

回転体のアンバランスを解消するための
自動バランシング機構

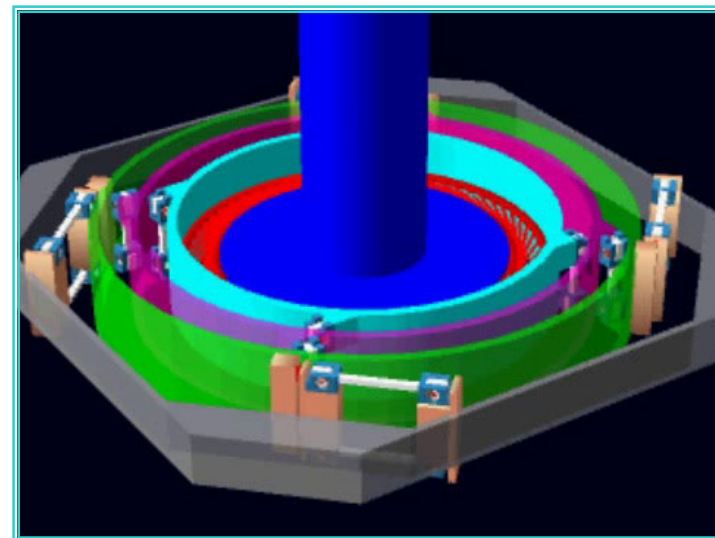


宇宙ステーションの振動



回転体が発生する振動

振動を遮断するための
振動絶縁構造



解析におけるADAMSへの要求

宇宙で使用される新規開発機器であり、非常に多くの事柄が解析に望まれる

振動絶縁系の模擬(ばね、ダンパ)

無重力空間での性能を解析で検証

振動(外乱)に対する応答

厳しく規定されたスペックを満たすことができるか

複雑な機器挙動の可視化

各事象に対してどのような挙動になるかアニメーション表示

各種アクチュエータの特性模擬

スピンモータ、アクチュエータ、自動バランス機構の制御特性、安定性

異常事象時の内外に与える影響

有人環境で運用される装置ゆえに、安全性が非常に重要

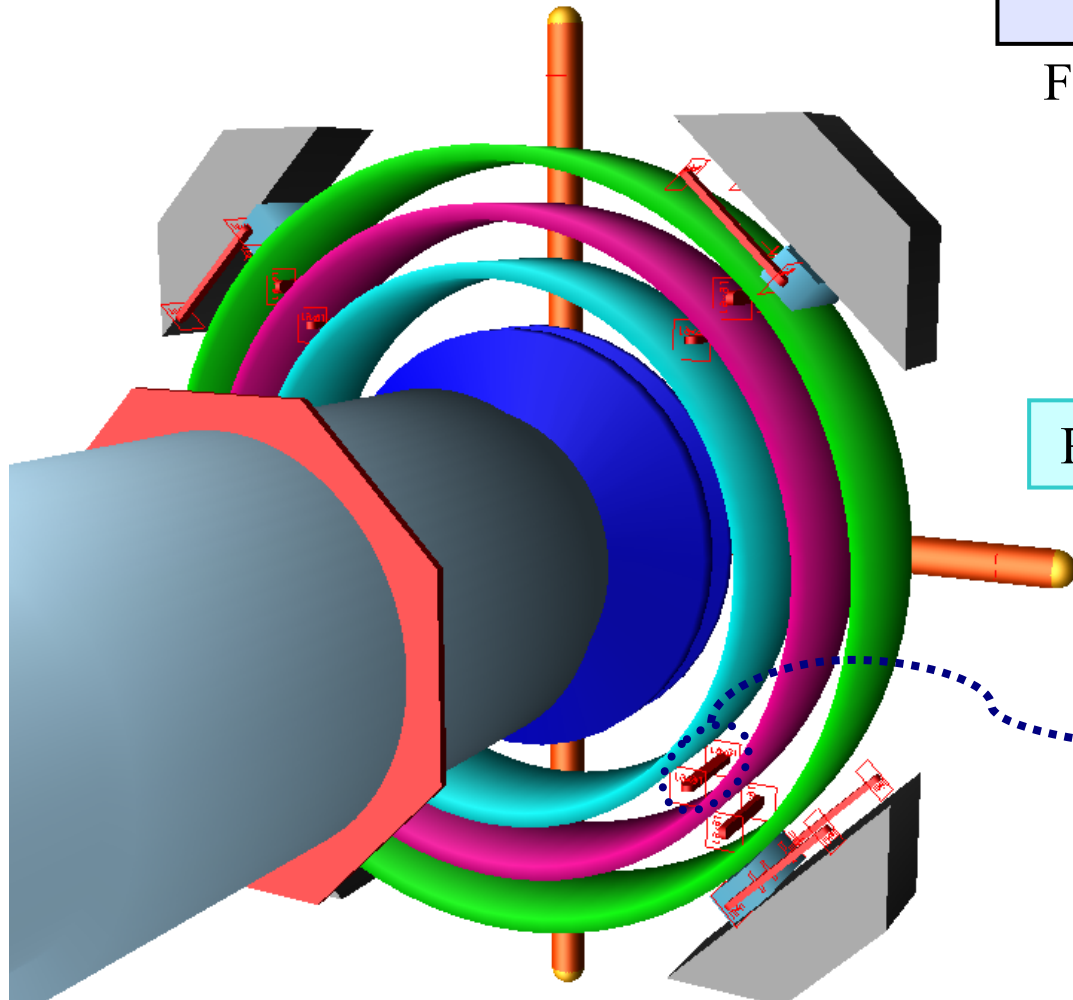
ジャイロの影響を含んだ解析

ロータ回転によってジャイロが発生する

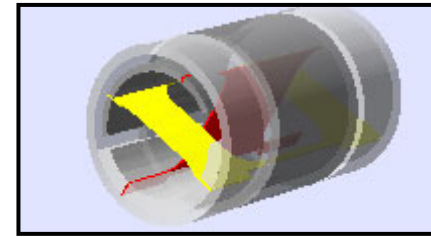
振動絶縁系のモデル化

複雑なばね要素部分のみ簡略化

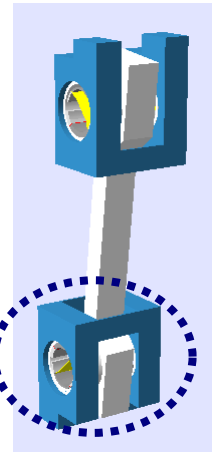
⇒ 複雑な連成系であり、予測で挙動や特性を完全に把握することは厳しい。



解析用基本モデルばね構成



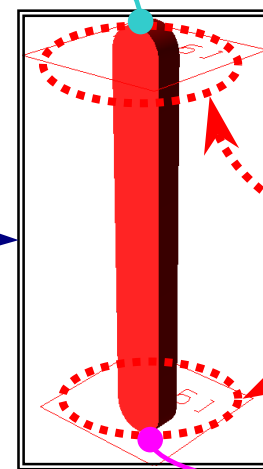
Free-Flex Pivot



ピボットリンク

構造解析/
要素実験

Ring1



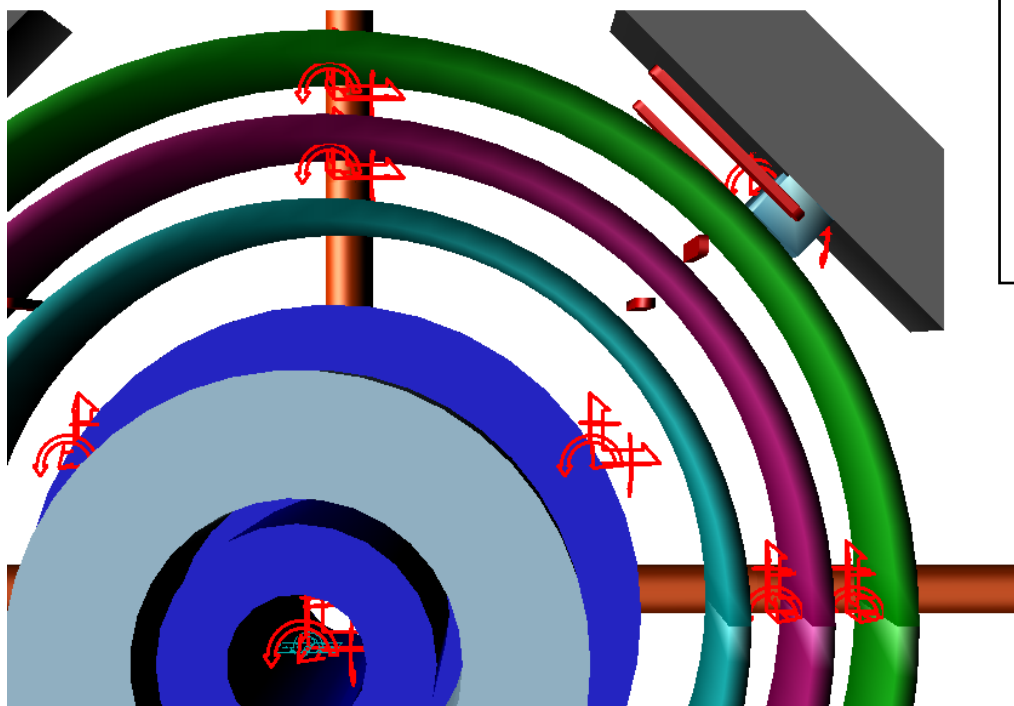
剛性行列

Ring2

アクチュエータ・パッシブダンパのモデル化

各種アクチュエータ、パッシブダンパはGeneral Forceでモデリング...

- アクチュエータ: コントローラを模擬することを前提とした定義
- パッシブダンパ: Transfer FunctionやLinear State Equationで周波数特性を模擬



ADAMSで制御を定義する...

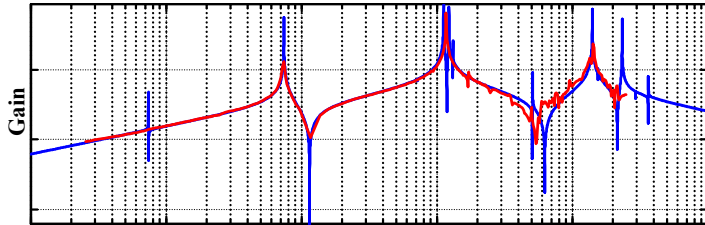
1. System Elementで手動定義
2. Standard Control Blocksで、ブロック的に定義
3. User Subroutinesを作成

どの方法も不利な点がある

ADAMS/Controlsに期待

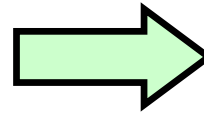
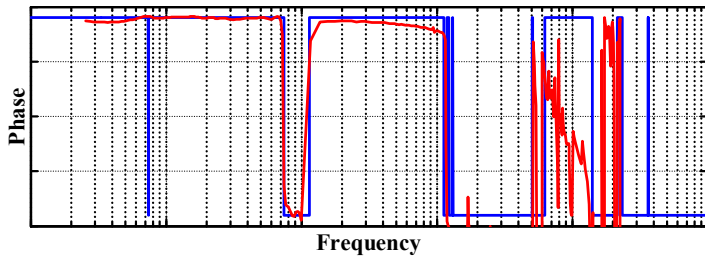
地上試験装置とADAMSモデルの比較(周波数)

- ▶ 地上試験装置とADAMSモデルを線形解析して比較
- ▶ アクチュエータ入力～相対速度出力の周波数応答
- ▶ ダンパ(減衰)がある場合／ない場合の2ケースで比較

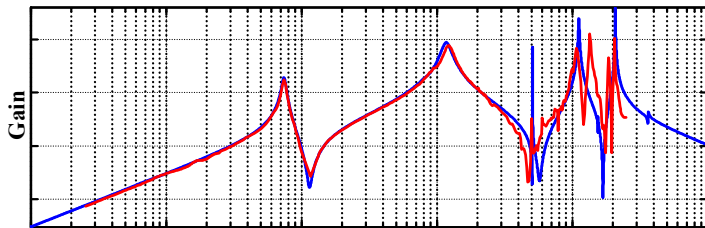


— 解析
— 実験

装置に減衰を働かせない場合の
結果比較

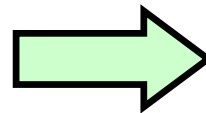
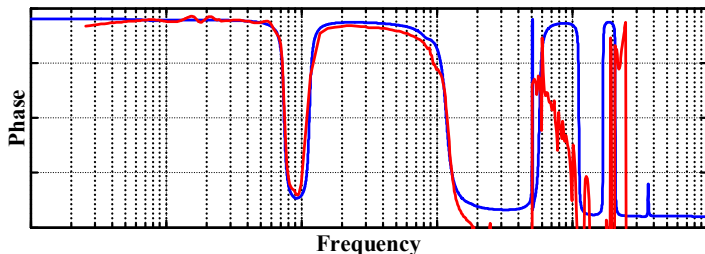


ある程度の帯域までの主要な振
動モードは模擬できている



— 解析
— 実験

装置に減衰を働かせた場合の
結果比較



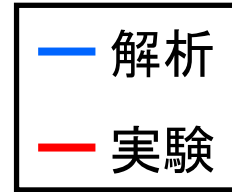
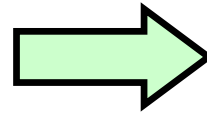
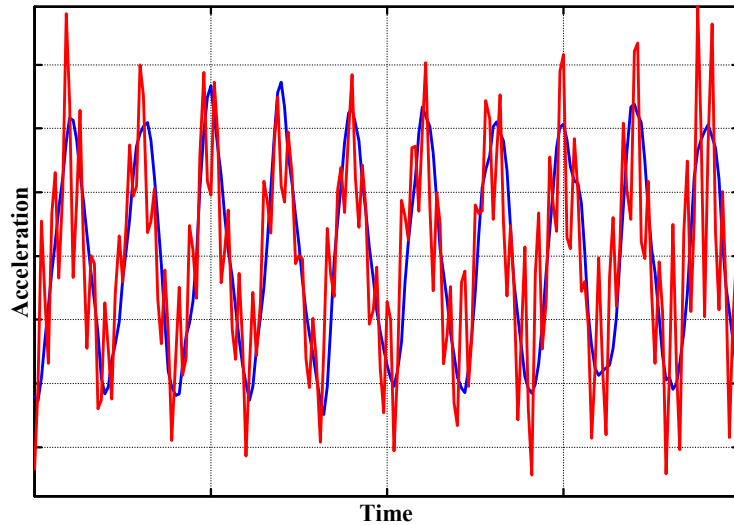
振動数、応答ピークともに、より
一致した結果



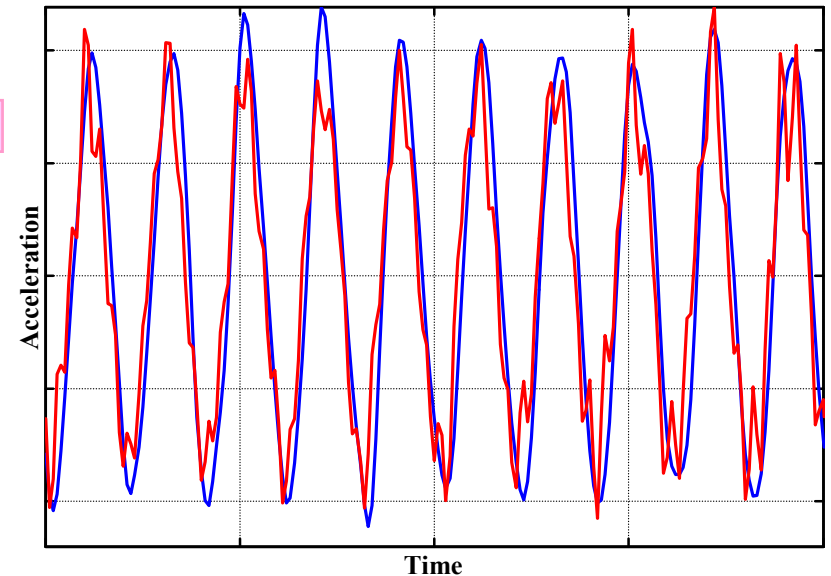
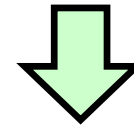
周波数特性の再現性は良好

地上試験装置とADAMSモデルの比較(時刻歴)

- 振動絶縁系を外部より加振、加速度センサ出力と解析結果の比較
- 主に中帯域をターゲットとして、時間領域と加速度の精度検証



モデルに定義していない主要構造物のローカル振動等を、フィルタで除去して比較

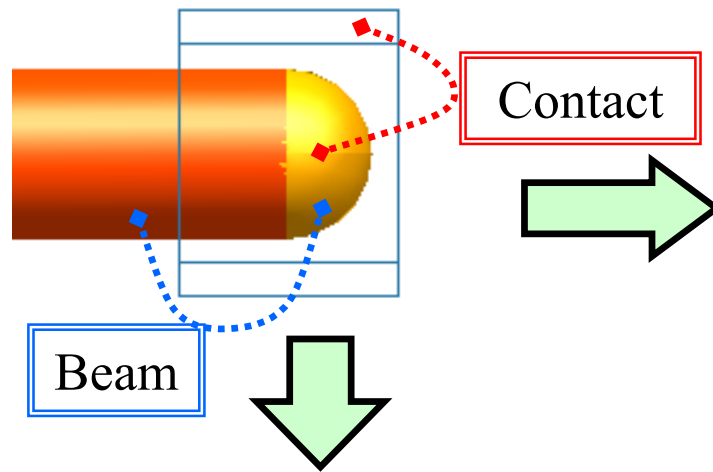


装置の傾向を再現可能

地上の試験装置を模擬しているため、重力補償装置等の影響で、より複雑な機構になっている。その再現性は、ADAMSの評価につながる1つの要因となる

フライトモデル解析に向けて進行中のモデル(1)

- ストッパの接触解析
- 接触するパートが分割弾性リンク上にあり、解析精度として厳しい条件



梁のモードをどこまで考慮するか

ADAMS/Flexを使用する？

- 解析精度は有利
- 解析時間はモデル次第
- アニメーション表示は不利

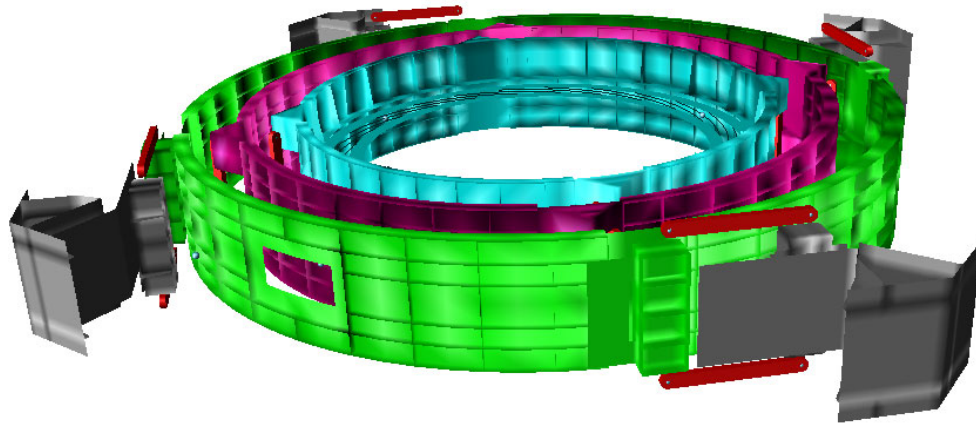
- 接触パラメータの決定方法
 - 理論値を採用した厳しい解析か？
 - 結果に疑問が残る易しい解析か？
- 設定パラメータに対する解の収束
 - 衝突による瞬時の現象なのか？
 - 押し付ける力なのか？
- Impact関数からContact定義への移行
 - 解析時間は減少
 - 解析結果の信号的処理が困難
 - 直感的にわかりにくいアニメーション

さらなる機能強化に期待

フライトモデル解析に向けて進行中のモデル(2)

- 地上試験装置は、基本機能検証用であり、各部材は非常に硬く、軽量化されるフライトモデルにおいては、剛性の低下は避けられない

ADAMS/Flexを使用し、構造部材を弾性体として扱う



- ADAMS/Flexのための構造解析には、構造解析の経験だけでなく、対象物に対する理解が必要
- 周波数領域での精度は良好、考え方によっては、構造解析ソフトだけで線形解析をするよりも総合的に有利



時刻歴解析の評価へつなげる

まとめ

- 地上試験装置を再現できたことで、ADAMSが実機設計ツールの1つとして評価を得た
- 新規開発の複雑な機構挙動を、アニメーション等で表現する効果が非常に高い
- 構造から制御までを、一括したモデル内で扱うことで、分野に偏らない解析が可能に

今後の展望

- セントリフュージ・ロータのみの解析にとどまらず、宇宙ステーション全体を見込んだ軌道上の全体解析環境を整える
- ADAMS/Flexを利用した弾性回転体の時刻歴解析
- ADAMS/Controls等を利用した、制御関連との組み合わせを強化