

# マルチボディダイナミクスによる軸受およびシステムシミュレーション



内川 雅喜

エムエスシーソフトウェア(株) 営業統括部 技術部 マネージャー

## 1. はじめに

近年、ますます多様化する市場要求に対し、各軸受メーカーは経済成長が著しいアジア企業と提携するなどの戦略を取り、各種性能や生産コストの最適化を図っている。

ここで要求される性能は、高速性や高効率、静粛性、高寿命、軽量化など多岐にわたる<sup>1)</sup>。

これらの性能を満足させながら短期間で開発を行うために欠かせないのが、シミュレーション技術である。シミュレーション技術は、ものを作る前に性能を予測し、問題の改善を検討するツールとして扱われる。この技術には、剛性や強度、振動、音、疲労耐久、熱流体など様々な性能を予測する解析があるが、本稿ではマルチボディダイナミクスについて紹介する。

## 2. マルチボディダイナミクス

マルチボディダイナミクスでは複数の機構部品から構成される機械システムの運動を解析し、一般的に測定が難しい部品間に発生する結合力や接触力、システム全体を含めた変位・速度・加速度を求める。

### 【著者問合せ先】

〒160-0023 東京都新宿区西新宿1-23-7  
Tel.03-6911-1218 Fax.03-6911-1211  
E-mail mscj.market@mscsoftware.com

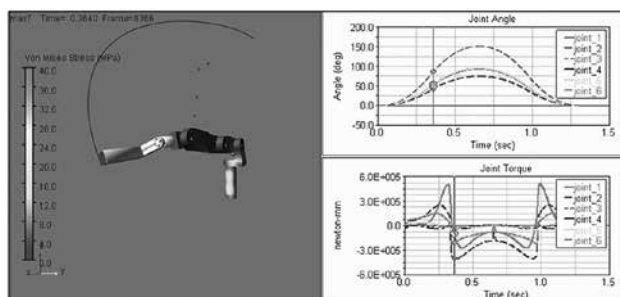


図1 多関節ロボットのシミュレーション例

各構成部品は変形を考慮しない剛体として扱うが、変形挙動がシステム挙動に大きな影響を与える部品に関しては、梁理論や有限要素をベースとした弾性体もしくは弾塑性体で表現するケースが一般的である。

図1は六つの関節で構成されるロボットの解析例である。ある動作を与えたときの各関節動作に必要なトルクの評価と共に、アーム自身の振動成分を含む先端の軌跡や応力・ひずみの評価も同時に行っている。

図2は重量バランスや結合剛性が変化する姿勢違いの振動モードの評価例である。このように同一のモデルにより様々な評価ができるのが特徴である。

## 3. 軸受挙動シミュレーション事例

ここでは軸受内部挙動を評価した事例を挙げる。

図3はラジアル玉軸受を介してギヤケースに結合された軸が、強制力で回転

している例である。対象部品はすべて剛体表現とし、転動体と内外輪間には接触要素を使用する。接触要素は転動体と内外輪間のクリアランスを監視し、干渉したと判定されると、その干渉量や非線形の接触剛性、減衰、摩擦係数などから接触荷重や摩擦力が算出され、時々刻々と変化する転動体毎の接触点や接触荷重ベクトルを評価することができる。

実稼動状況を模擬した耐久試験を行うことで損傷部位の特定は可能であるが、転動体がどのように干渉するかというプロセスを見るのは難しい。しかしシミュレーションでは接触角や滑り速度までも数値化されるため、クリティカルな部位への対策検討が行いやすくなる。

さらには特定部品を有限要素ベースの弾性体表現にすることで強度評価も可能になる。例えば、高強度の軸受鋼で製造される内外輪や転動体は剛体とし、これらに対して強度の劣る保持器のみを弾性体とすることで、振動入力時の軸受内部

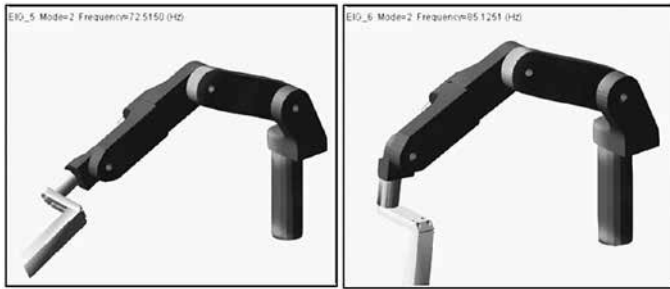


図2 重量バランス違いの振動モード

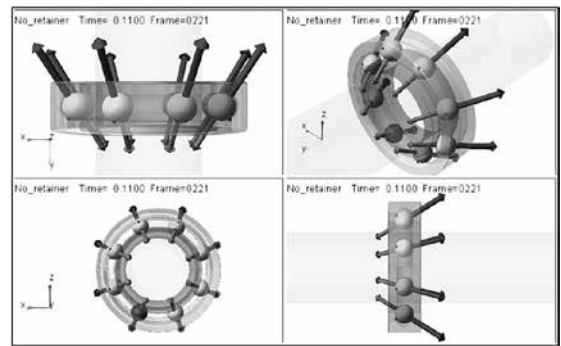


図3 ラジアル玉軸受のシミュレーション例

部品の挙動解析および保持器に発生する応力結果により、疲労強度評価を行っている<sup>2)</sup>。潤滑剤の流体力など、標準的な要素では表現が複雑になる場合には外部プログラムをユーザーサブルーチンとして組み込むことも可能である。

例えば、CFD解析で求めた流体力を、転動体と保持器に作用する力とモーメントの関数として組み込み、転動体の回転速度の低下や転動体と保持器間の接触力の変動など、複雑な運動状態を表現している<sup>3)</sup>。

#### 4. システムシミュレーションにおける軸受の表現

ここでは、主にシステム全体挙動を評価する際の軸受表現手法を紹介する。

例えば、自動車には100を超える非常に多くの軸受が使用されている。システム全体のシミュレーションでは、開発期間に対する計算コストの観点から転動体や内外輪そのものは表現せずに、変位・角度に対する力・モーメントの関係のみを特性線図として定義することが多い。

しかし、許容できる期間内にすべての軸受の特性が揃わない場合は少なくない。そこで、当社のマルチボディダイナミクスソフトウェアであるAdamsでは、この課題を解決するためのツールを用意した。

##### 4-1 Adams Machinery Bearing

当社のパートナーであるスイスのKISSsoft社(現米国グリーンソン社)のライブラリーをAdams Machinery Bearingに実装した。このライブラリーには八つのメーカー、深溝玉軸受やアンギュラ玉

軸受など14種の軸受タイプ、計2万4000種類以上の軸受データが含まれ、外・内径とメーカー名を指定するだけで該当する軸受データが検索され、カタログから選択するような感覚で複雑なコンプライアンス特性を定義することができる。

軸受タイプや支持位置、組付け方向、クリアランス、オフセット誤差、ミスアライメントなどがパラメーターとなっており、これらの違いがシステム挙動にどのような影響を与えるか、軸受が受けているラジアル荷重やスラスト荷重などを評価できる。

また、ISO/TS 16281に基づく寿命予測も可能であり、実稼動状態の動的な軸受荷重やパラメーターとなる潤滑剤と使用温度、故障確率からサービス寿命(時間および回数)を算出する(図4)。なお、ライブラリーには120以上の潤滑剤モデルを用意している。

##### 4-2 Adams Bearing Advanced Technology (Bearing AT)

有限要素解析を用いて軸受のコンプライアンス特性を事前に算出した上でマルチボディシミュレーションを実施するハイブリッドな手法を用いたツールキット

である。

一般に有限要素解析では軸受単体で静的な評価を行うことが多い。またコンピューターリソースが十分に確保されている場合は動的な解析も行われている。

いずれにしてもシステム全体の評価を行うことは実務レベルにおいては現時点で容易ではない場合がほとんどである。

一方、マルチボディダイナミクスはシステム全体の動的な評価を行うことが多い。しかし、一定の簡略化手法を用いているため有限要素解析と比較すると計算時間は格段に短いという利点があるが、場合によっては結果の信頼性が低い場合もある。

軸受を対象に、有限要素解析の精度を確保しながら高速にシステムシミュレーションを行うというのが本ツールのコンセプトである。

図5に軸受特性計算およびシステムシミュレーションプロセスを示す。転動体の数や内外輪寸法などの諸元をGUIに入力するだけで、形状やメッシュモデル(図6)、接触解析条件が作成される。次に、MSC Nastranテクノロジーにより接触角や荷重条件の異なる500ケース以上の静

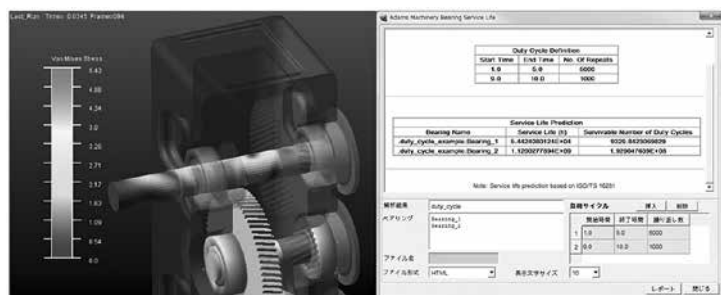


図4 ギヤボックスに含まれる軸受のサービス寿命予測

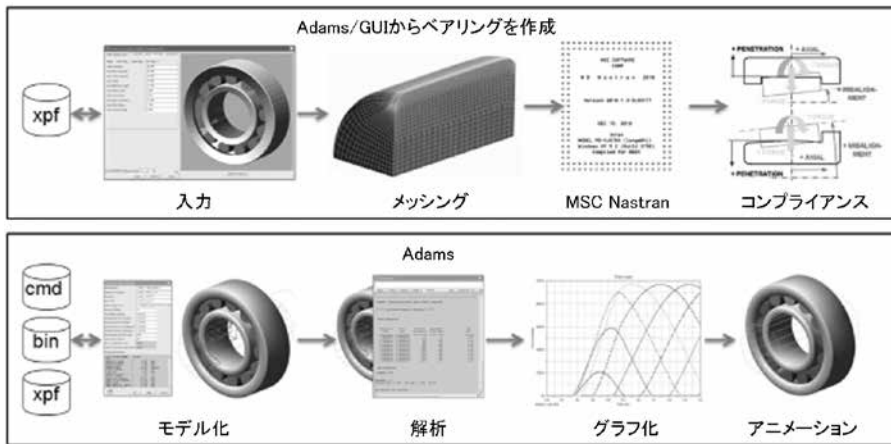


図5 軸受特性計算およびシミュレーションプロセス

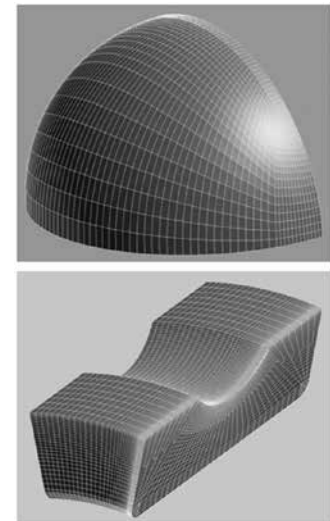


図6 自動生成されるメッシュモデル例

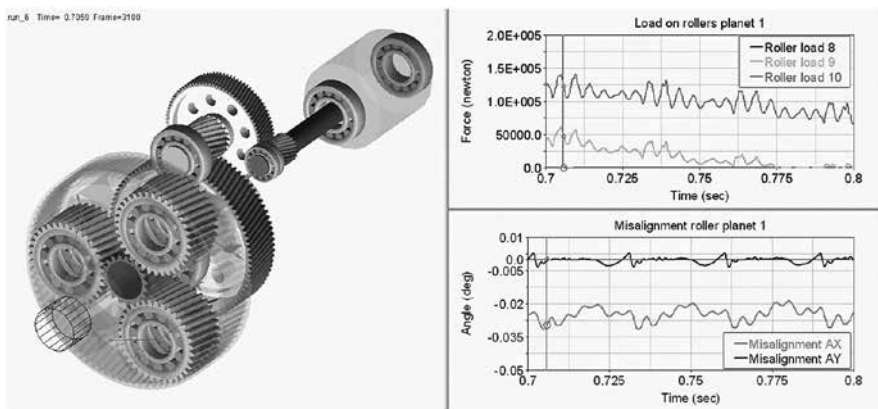


図8 転動体荷重およびミスアライメント評価例

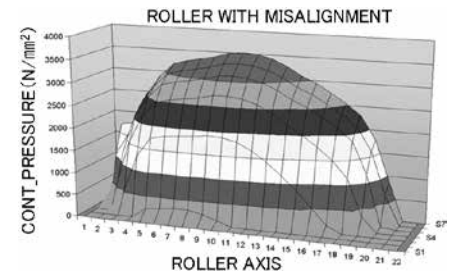


図7 軸受のコンプライアンス特性例

解析を行い、図7に示すコンプライアンス特性を得る。ここまでのプロセスが自動化されているため、一般的なWindowsデスクトップPCでも5～10分程度で完了する。また、メッシュ作成や有限要素の知識がなくとも素性の良い特性が得られるというメリットがある。

ここで得られたコンプライアンス特性を用いて、システム全体のシミュレーションを実施する。本ツールでは転動体は仮要素として定義し、軸受モデルは内・外輪と軸間の接触力の3要素のみとシンプルではあるが高精度かつ高速化を実現している。

また、すべての転動体と内外輪間の接触力はサブルーチンで定義し、ソルバー内部では各要素の挙動を実際に計算しているため、各転動体毎に発生している荷重やミスアライメントなどを評価することが可能である(図8)。

本ツールは、風力発電に用いられるようなカタログにはない大きな軸受の表現に用いられることが多い。

## 5. おわりに

本稿ではマルチボディダイナミクスおよびAdamsを紹介した。

多品種少量生産時代となっている現在においてシミュレーションに求められているのは、現状の高い精度は維持しながらもより高速に解くことと、一層複雑な現象を再現することである。そのためAdamsの最新バージョンではリアルタイムを主眼としたソルバーを実装するなど、より高速に解くための手法開発を進めている。

また、Adams単独では表現しきれない複雑な現象に関しても、他の専門ソフトウェアと連携・統合するための手法開発もますます加速している。

実務レベルで適用可能なシミュレーション領域をさらに拡大させ、ものづくりへの貢献度が高まれば幸いである。

## 参考文献

- 1) 機械工学便覧 デザイン編 β4 機械要素・トライボロジー pp.48-56、日本機械学会、2005.
- 2) 江崎雄也、寺澤英男、和田拓真：円錐ころ軸受の耐振性解析、日本機械学会論文集(C編)78巻789号(2012-5)No.2011-JCT-0970.
- 3) 坂口智也、和泉麻里子、中村智也、木村俊哉、内海政春：液体水素からの力とモーメントを考慮したターボポンプ用玉軸受の動力学解析、J101013、日本機械学会 2013年度年次大会(2013.9.8-11).