



CAE 特集

## 運動機構解析

**Motion Mechanism Analysis**

木村 哲也 Tetsuya Kimura

●研究開発センター コア技術研究室 ダイナミクスグループ

Motion Mechanism Analysis is a process for determining the movement of mechanical systems. It is often simply called mechanical analysis, or multi-bodied dynamics. It is an analytical process for the movement of objects. Its fundamental principle is Newton's "law of motion." The content is basically obtaining the motion equation for an object. As learned in physics in high school, it is not difficult to determine the motion of a single object. But the conventional mechanical system requires calculations of several related objects. In this case, it suddenly becomes very difficult to obtain the motion equation.

Utilization of motion mechanism analysis became tangible during the development race of space satellites between the United States and the Soviet Union in the 1960s, at which time it is said analytical theory made progress in leaps and bounds. After that period, various fields began utilizing it owing to the dynamic development of computer systems, technological improvements and diffusion of general-purpose motion system analysis software like ADAMS or DADS, which were commercialized in the 1980s.

Motion mechanism analysis is presently widely utilized in a wide variety of applications and is used in all types of mechanical simulations, not only for space structures, but also for automobiles, rolling stock, robots, and construction machines.

### 1 はじめに

運動機構解析とは、機械系システムの運動を扱う解析分野であり、単に機構解析とよばれたり、マルチボディダイナミクス（多体系動力学）とよばれる場合も多い。この解析分野では、物体の運動を対象としており、その基礎原理はニュートンの運動法則であって、物体の運動方程式を導出して、その運動を求めるといった内容が基礎になっている。

これは高校の物理の授業でも行われるように、一つの物体について運動を求める限りにおいては、特別難しいことではない。しかし、通常の機械系システムでは複数の物体が連結されて機構を構成しており、その運動方程式を導出すると、途端に非常に困難となる。

このことは、1960年代に米ソにおいて盛んに行なわれた人工衛星の開発競争によって顕在化し、解析理論の飛躍的な発展が行われたといわれている<sup>1)</sup>。また、その後のコンピュータの大幅な高速化と利用技術の進歩、および1980年代に商用化されたADAMSやDADSといった汎用の運動機構解析ソフトの普及によって、様々な分野で盛んに利用されるようになった。

現在では、宇宙構造物はもちろん、自動車、鉄道車輛、ロボット、建設機械などなどありとあらゆる機械系のシミュレーションに用いられており、その適用範囲は極めて広い。

## 2 当社における運動機構解析

当社において運動機構解析手法を適用した最初の事例として、1989年に発表した二輪車の突起乗り越し挙動シミュレーションが挙げられる<sup>2)</sup>。これは当社の主力商品であるオートバイの悪路走行を想定した台上耐久試験（図1）を、コンピュータシミュレーションで行なったものである。図2のようにオートバイをメインフレームと前後輪および前後サスペンションを連結したものとモデル化し、コンピュータ上で走行させることによって、各パーツに働く力を求め、これを構造解析に利用して、机上での正確な強度検討が行なえるようになった。また、1991年には突起乗り越しシミュレーションの解析モデルを応用した、落下強度シミュレーションを発表している<sup>3)</sup>。

ただ、この当時の解析モデルは発展性にとぼしく、様々な車両形式や試験形態等に対応させるためには、解析対象毎にその都度運動方程式を導出し、計算プログラムを作成するといった非効率な作業が求められた。そこで当社においても、1987年頃からマルチボディダイナミクスの手法を用いた汎用の運動機構解析ソフトの開発に着手し、2次元の運動機構解析ソフトKINE2Dを1991年3月にリリース、また3次元版のKINE3Dを1992年7月にリリースしている<sup>4)</sup>。このシステムは社内開発のCADであるSTAGEと組み合わせられて、GUIによってモデルを作成することができ、運動方程式を全く意識することなく、設計者がプラモデル感覚でモデルを構築できるという画期的なものであった。

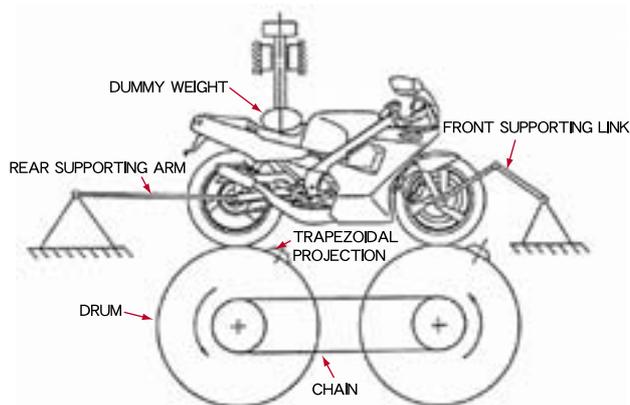


図1 台上耐久試験概要

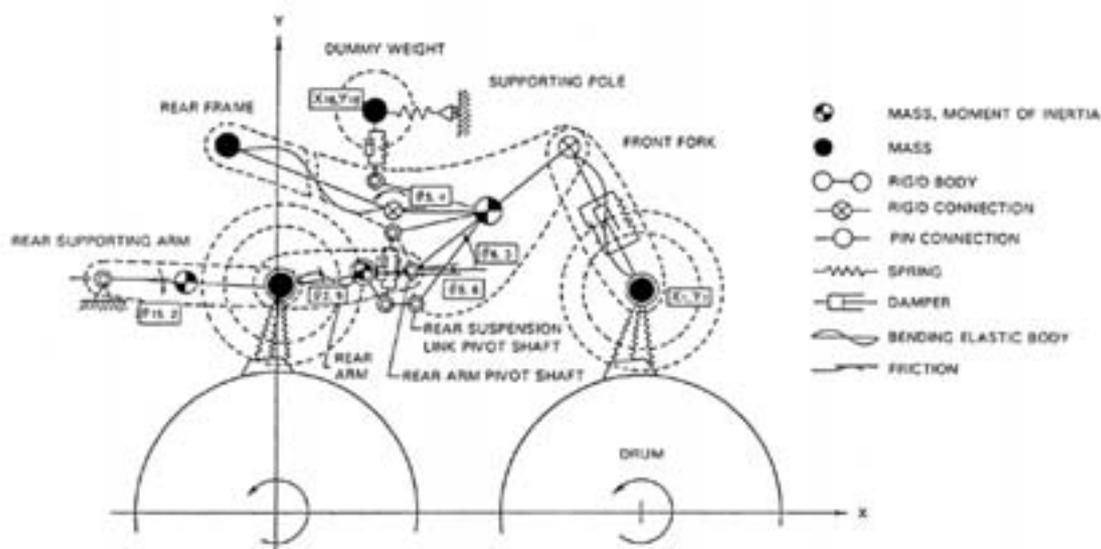


図2 突起乗り越し挙動シミュレーションモデル図

この KINE2D/3D のリリースや、同時期の導入した商用の運動機構解析ソフト DADS の利用によって、運動機構解析の適用分野は大幅に広がり、オートバイのリンク式サスペンションの挙動解析や、ATV や芝刈り機の足回りやステアリング系のアライメント設計、スノーモビルの操縦安定性解析などなど、当社の様々な製品の設計検討に利用されるようになった。

しかし、汎用の運動機構解析ソフトも万能ではなく、必ずしもすべての問題に適用できたわけではない。特にエンジン系の動部品の挙動解析においては、ピストンスカート部や軸受け、カムなどといった摺動部での力の予測が重要であり、狭いクリアランスの中で変形しながら油膜を形成して接触力や摩擦力が発生するといった、複雑な力の算出をおこなう計算モデルの構築が鍵となる。これらの力を一般化して扱うのは困難であり、汎用の運動機構解析では扱いにくい種類の問題である。その一方で注目する部品点数は少ない場合が多く、運動方程式自体はあまり複雑ではないため、こういった問題には運動方程式を導出して専用プログラムを作成するという旧来の手法をとり、ピストン挙動解析プログラム KisPis<sup>5)</sup>( 図3 ) や動弁系挙動解析プログラム KisVas( 図4 ) といったものが作成された。

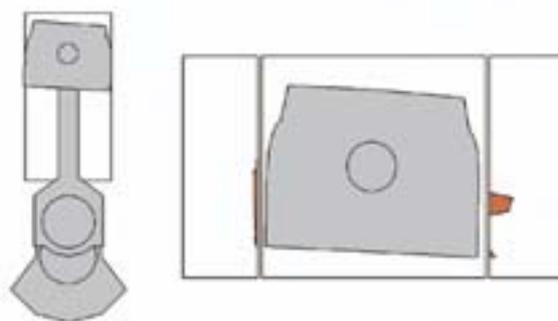


図3 ピストン挙動解析

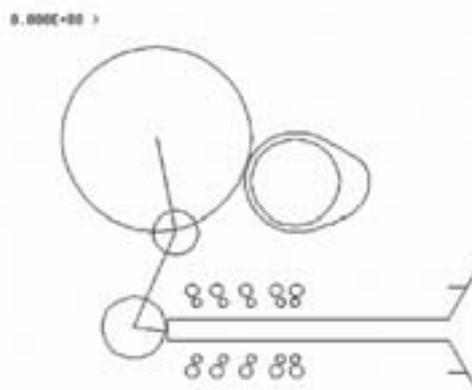


図4 動弁系挙動解析

### 3 近年の運動機構解析の動向

もともと運動機構解析において、物体は剛体（変形しない物体）として定式化されていたため、変形する物体を扱うのは困難であった。しかし、近年の DADS、ADAMS などといった商用の運動機構解析ソフトにおいては、FEM による構造解析の結果を取り込むことによって、物体を弾性体として扱えるようになってきており、物体の変形を考慮した挙動解析が可能となっている。当社ではオートバイのフレームを弾性体とした操縦安定性解析や、クランクとシリンダを弾性体としたクランク挙動解析（図5）などの試みが行われている。

ただ、運動機構解析で弾性体を扱うには、構造解析やモード解析についての詳しい知識も必要とされるなど、かなりのノウハウが必要であり、現状ではこれを適用できる問題は限られている。今後このような解析に対する要求が高まってくると思われるが、実用的に利用できるようになるためにはもう一段階のブレークスルーが必要であるように感じられる。

また、汎用の運動機構解析におけるもう一つの動向として、3次元CADとの統合が挙げられる。

近年の3次元CADの急速な発展に伴い、3次元設計モデルをベースに、構造解析や運動機構解析などの手法を用いて、設計段階で製品の性能を予測し、実験・試作工程を削減するという、いわゆるバーチャルプロトタイピングに活用しようとする動きが盛んである。コンピュータシミュレーションで実験や試作で行なわれていることの全てを代替しようとするソフトウェアメーカー売り込み方には疑問も感じるが、運動機構解析や構造解析がCADの一機能として提供され、図面の作成とともに挙動や強度・振動などの解析が同時に行なえるようになれば、設計者にとって強力なツールとなることは間違いなく、今後の動向が楽しみである。

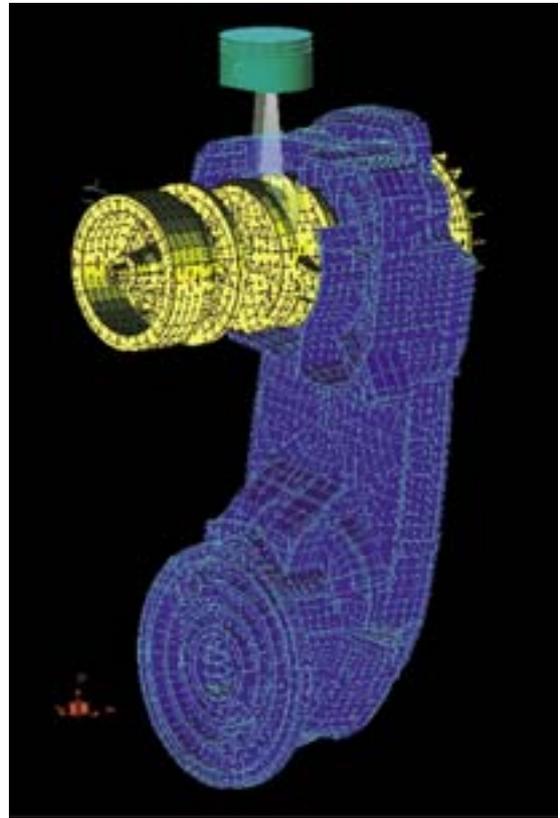


図5 弾性体を含むクランク挙動解析

## 4 おわりに

運動機構解析という解析分野は、機械系の運動を解析することによって各部品に加わる力を求めるという機械設計において基本を成す解析分野であり、当社では早くからCADと統合されて設計ツールとして活用されてきた。近年の3次元CADや構造解析系のソフトウェアの発展と、これらとの統合といった動向を見ると、今後ますます高機能化して様々な場面で活用されることが期待される。

しかし、純粋に理論的に解析できる問題にもある程度の限界があり、過大な期待は禁物である。今でも摩擦や熱伝達といった現象をモデル化するためには、実験計測による裏付けが不可欠であり、実験が困難なものは解析も困難である。今後解析する領域が増大するにつれて実験計測の重要性がますます大きくなるものと考えらる。

### ■参考文献

- 1) 吉村 浩明, “力学の形式と基礎原理の考え方”、コンピューテーショナルダイナミクス講習会資料, 1997年11月
- 2) 杉山 滋, 内藤 重男, “二輪車の突起乗り越し挙動シミュレーションモデル”, 自動車技術, Vol. 44, No.10, 1990
- 3) 内藤 重男, 杉山 滋, “二輪車の落下強度シミュレーションモデル”, 自動車技術会学術講演会前刷集 912 1991-10
- 4) 杉山 滋, 内藤 重男, 戸口 孝則, “運動機構解析システムの開発”, 自動車技術, Vol.47, No.12, 1993
- 5) T.Kimura, K.Takahashi and S. Sugiyama, "Development of a Piston Secondary Motion Analysis Program with Elastically Deformable Piston Skirt", SAE 1999-01-3303/JSAE 9938058

### ●著者



木村 哲也