

静止状態を再現可能な スティック-スリップモデルの 開発と適用事例

株式会社エステック

鹿田 幸治

望月 隆史

日産自動車株式会社

岩間 昭憲

発表内容

- ADAMSにおける一般的な摩擦力定義とその特徴について
- 今回開発したスティック-スリップモデルのコンセプト
- 簡易モデルによる妥当性検証
- 適用事例：プロペラシャフトを有する駆動系で生じるスティック-スリップ
- まとめ

ADAMSにおける 一般的な摩擦力定義

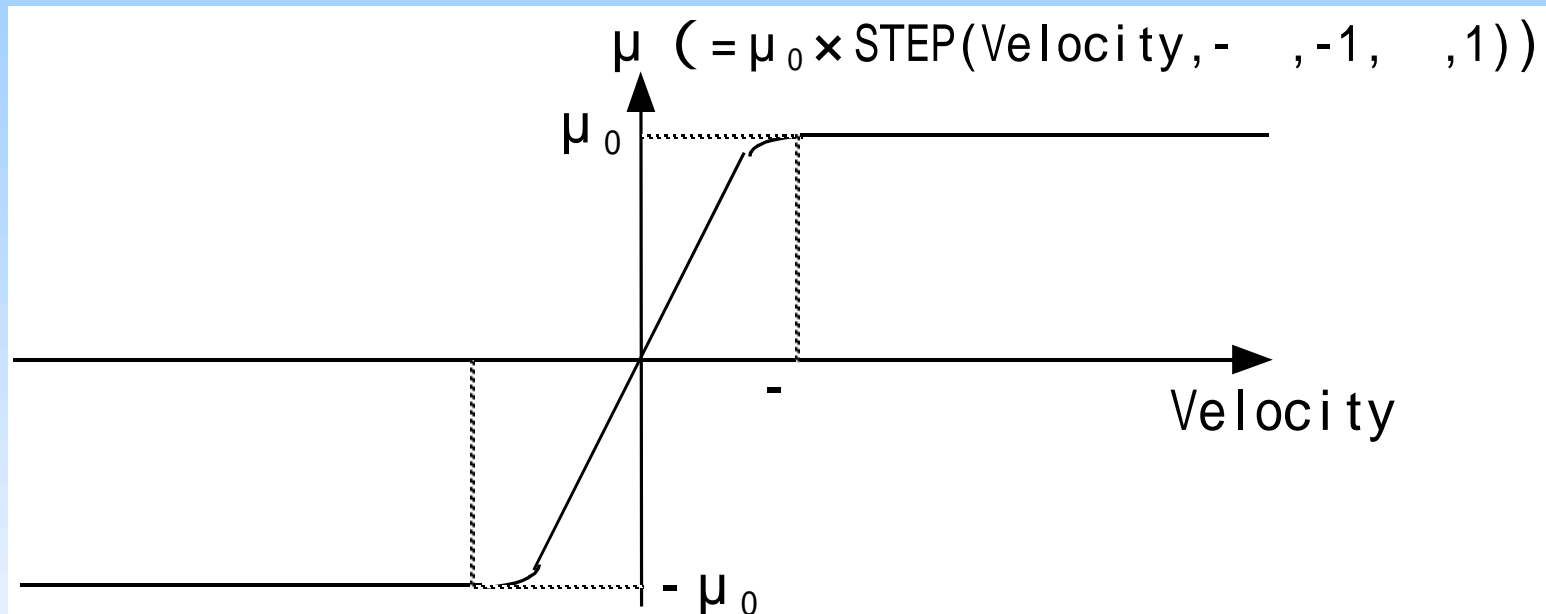


図 一般的な摩擦力（摩擦係数）の定義

- 摩擦力 $F = \mu N$ とし、垂直抗力 N は摩擦面における force や joint などの発生力を使用
- 摩擦係数 μ は速度依存の関数として定義

一般的な摩擦力定義の特徴

- 速度関数とした定義であり、作成が容易
- 摩擦係数関数の不連続性をSTEP関数で回避可能
- 速度依存の動摩擦も定義可能
- STEP関数による不連続性回避のため、完全にスティックできない

スティックできない理由

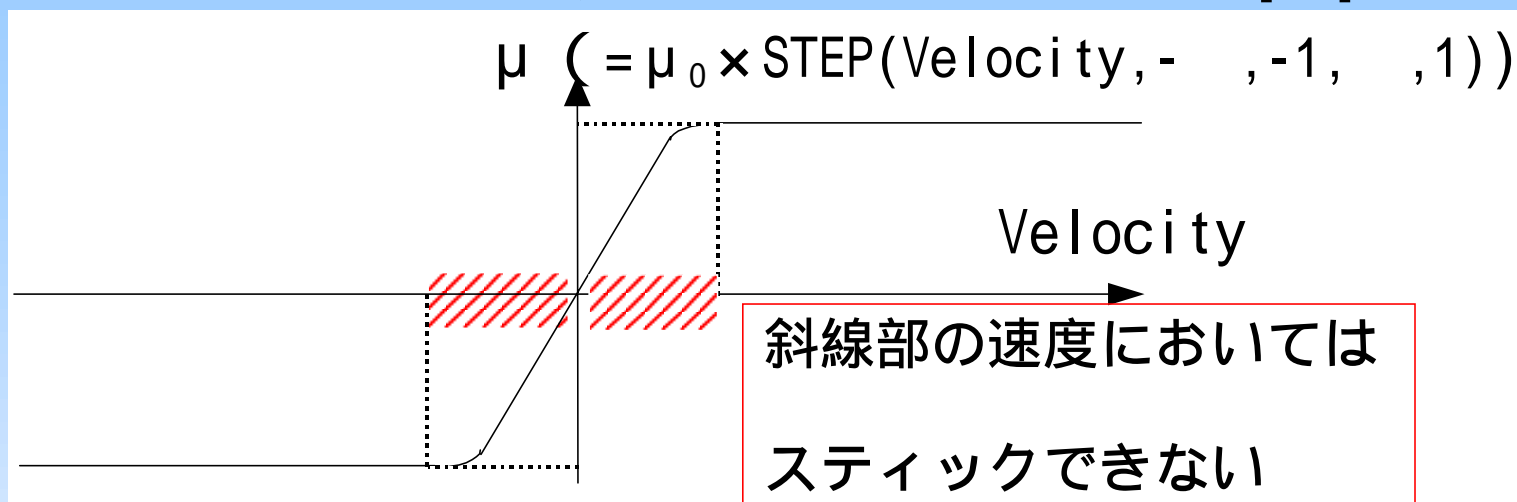


図 スティックできない速度領域

- スティック状態近傍において解析上の釣り合い条件下では相対速度が生じる
- 長時間にわたってスティック状態を保つ系の解析においてはすべりが生じてしまう

簡易モデルによる解析

- 1 自由度バネマス系での検証
- 垂直抗力を徐々に減少（摩擦力を低下させる）

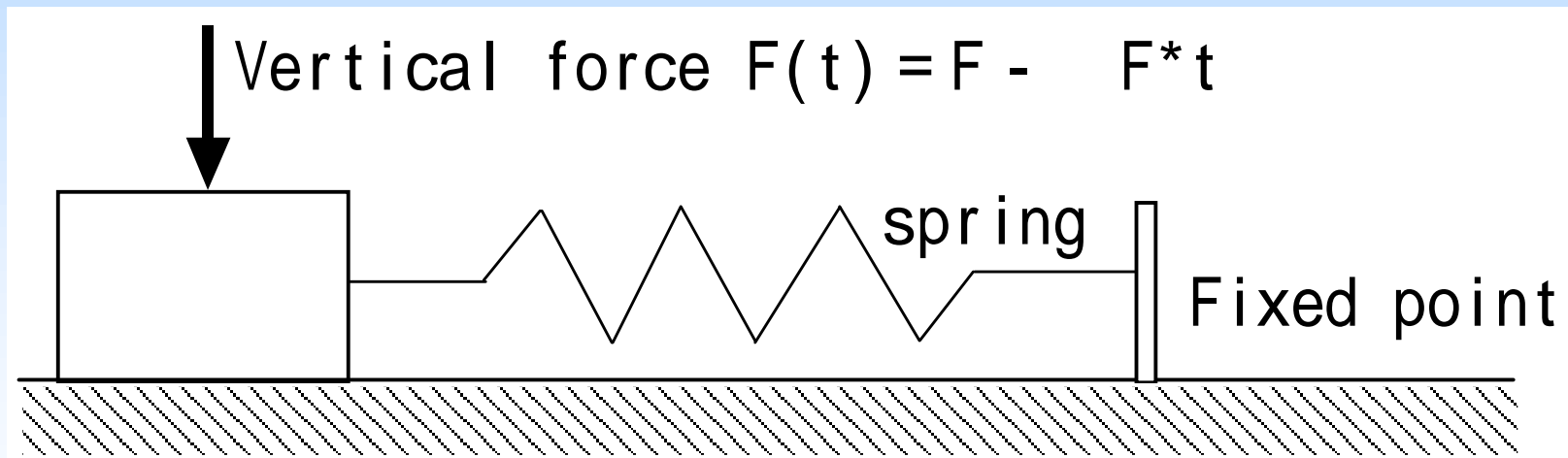
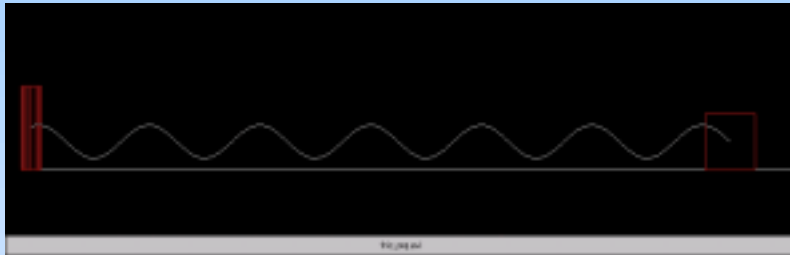


図 簡易モデル略図

解析結果



■ アニメーション

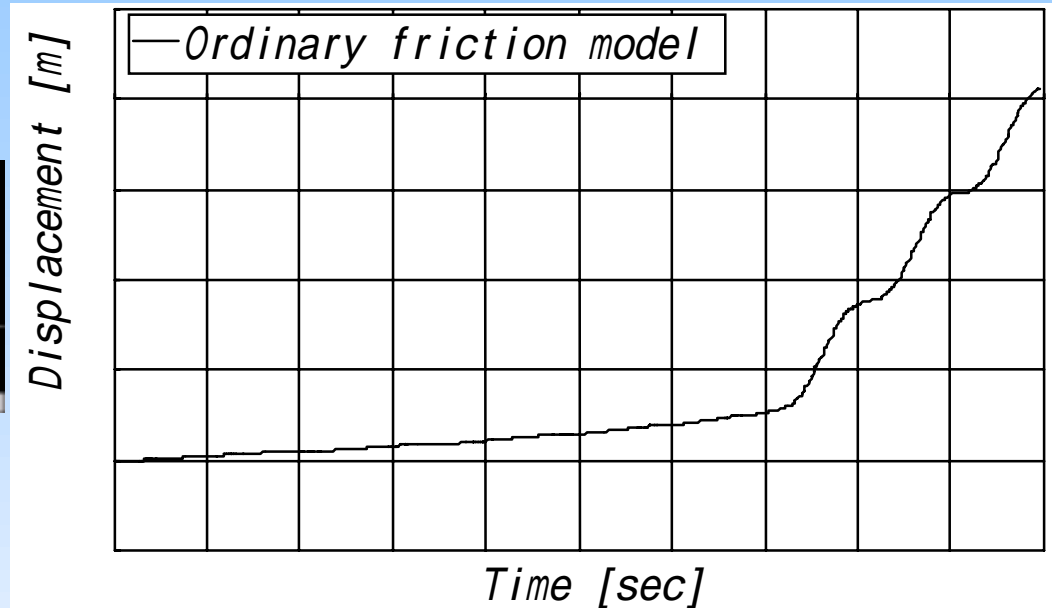


図 簡易モデル解析結果(質点変位)

- スティック-スリップの傾向はつかめている
- マスがどの時刻においても移動している
- 完全なスティック状態は再現できていない

スティック-スリップモデルの コンセプト

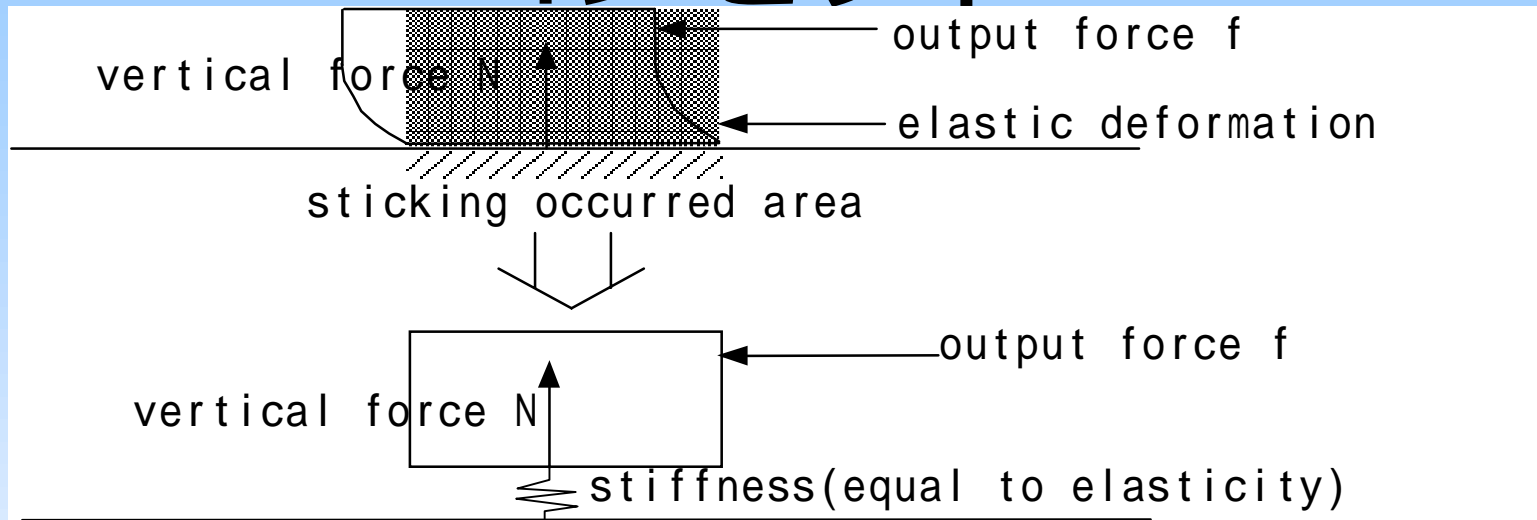
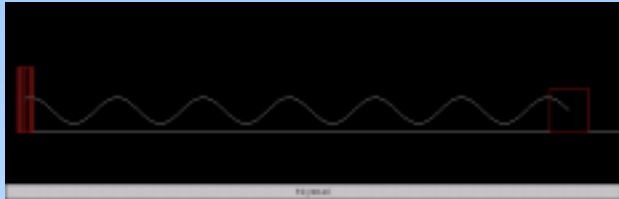


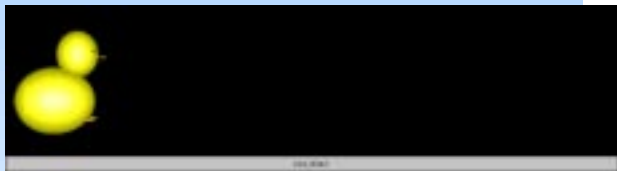
図 モデル化コンセプト（スティック時の状態）

- スティック時には接触面では相対運動しない
- 接触面近傍には摩擦力による変形が生じる
- 最大変形量は弾性特性と最大静摩擦力で規定
- 最大静摩擦力以上では速度依存の摩擦に移行

妥当性検証 (1)



■ アニメーション

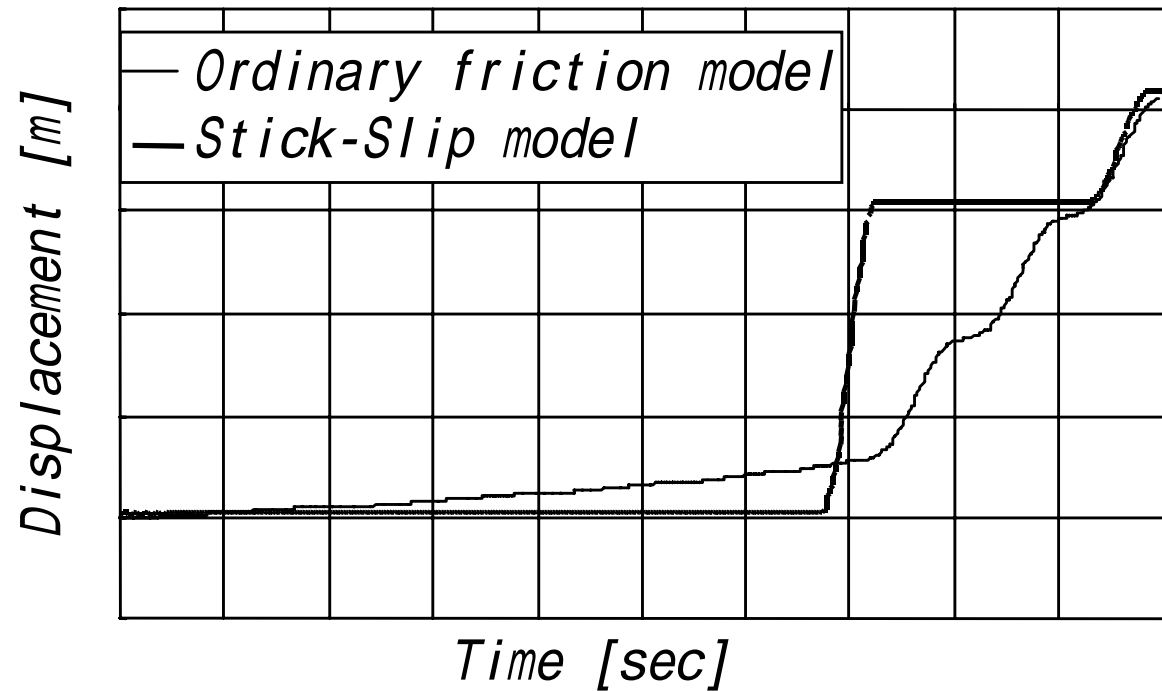


■ アニメーション



■ アニメーション 図 スティック - スリップモデルによる解析結果

- 前述した簡易モデルを使用
- スリップ-スティック-再スリップが再現可能



妥当性検証 (2)

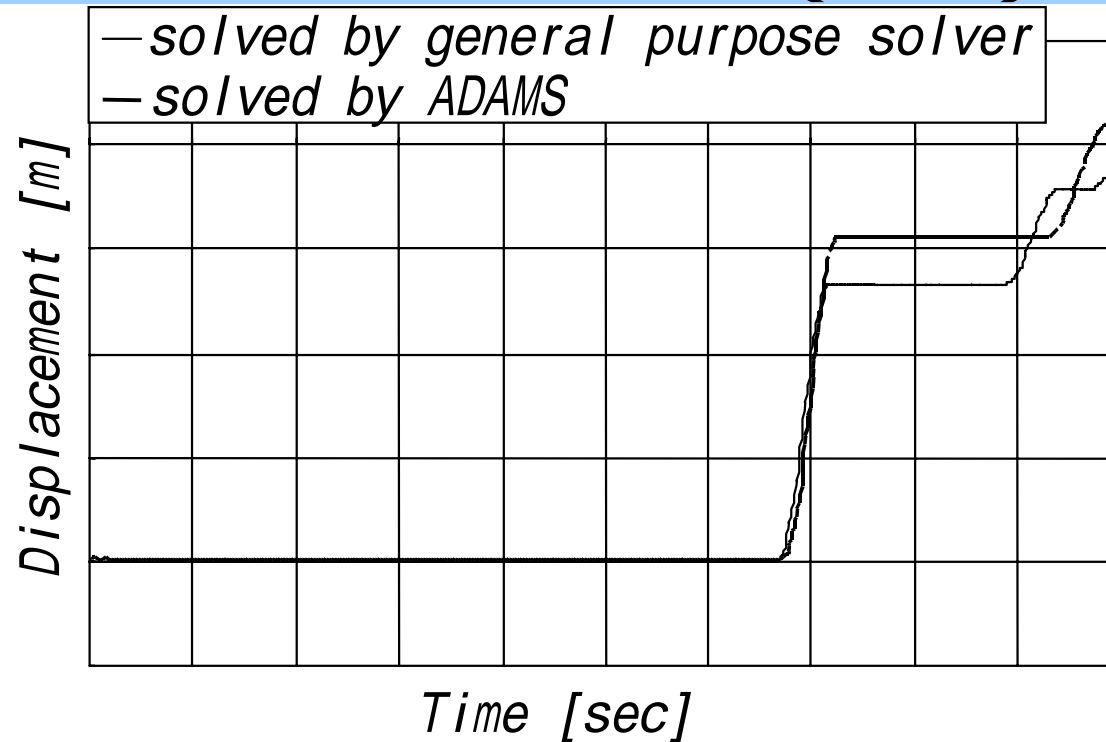


図 ADAMS と汎用プログラムの比較

- 汎用数値解析プログラムと比較
- 若干の差異が確認された

妥当性検証 (3)

- エネルギー収支を計算し、結果を比較
- ADAMS、汎用プログラム共に誤差を含む
- ただし、ADAMSの結果がより精度よく計算されていることが確認できる

表 ADAMS と汎用プログラムのエネルギー収支比較

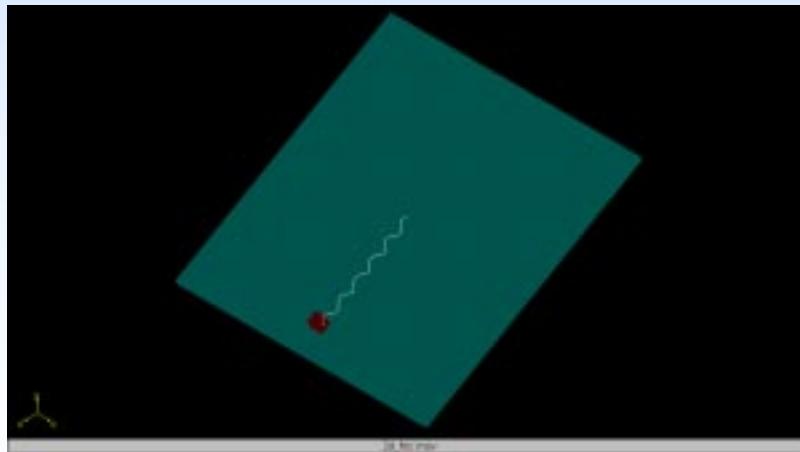
	<i>initial mechanical energy E0</i>	<i>mechanical energy E</i>	<i>E (= E0 - E)</i>	<i>energy loss EI (by friction)</i>	<i>E - EI</i>	<i>E - EI (%)</i>
ADAMS	1.961E-04	9.983E-06	1.861E-04	1.870E-04	8.93E-07	0.48%
general purpose solver	2.000E-04	2.222E-05	1.778E-04	1.646E-04	-1.32E-05	-8.02%

1 自由度バネマス系のエネルギー収支は $\frac{1}{2} \times k \times x_0^2 - \frac{1}{2} \times k \times x^2 = \int_{x_0}^x F dS$ となる。

ただし、 x_0 : 初期位置、 x : 再スティック位置、 k : バネ定数、 F : フリクション、 S : 移動距離

スティック-スリップモデルの 平面問題への拡張

- 本モデルのコンセプトは平面上の問題に拡張可能
- 角度が変化する平面上を運動する、バネでつながれた柔らかい物体の解析結果を以下に示す



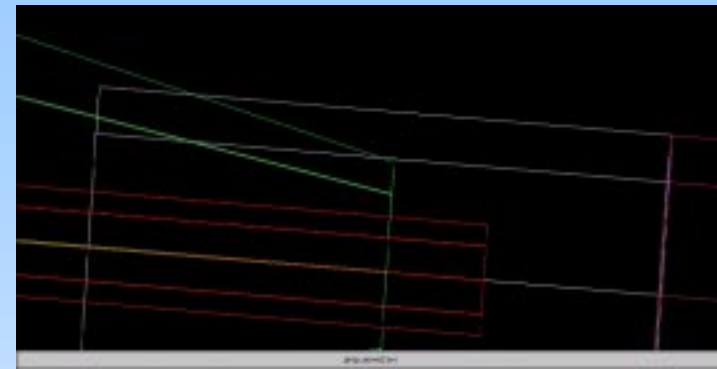
■ アニメーション

適用事例

プロペラシャフトを有する駆動系で生じるスティック-スリップ

- 後輪駆動方式の車両で発生する
- エネルギーの蓄積、解放に伴う現象
- プロペラシャフトに取り付けられている、スリーブにおいて生じる
- スリーブのスティックにより、エネルギーが蓄積され、スリップと共に解放されることで生じる

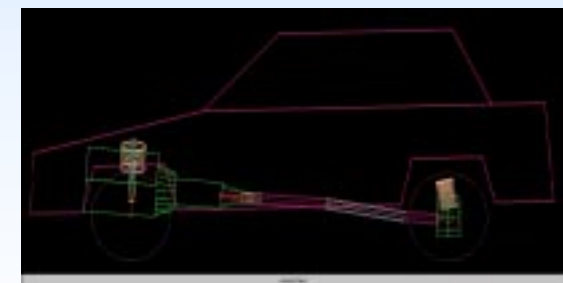
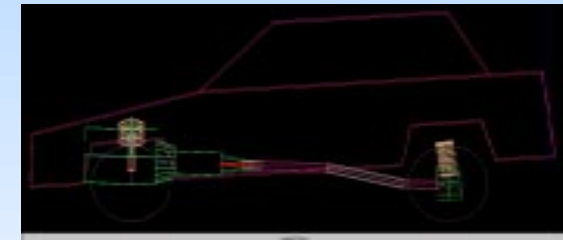
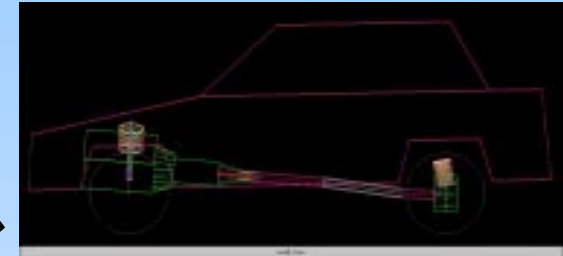
現象について



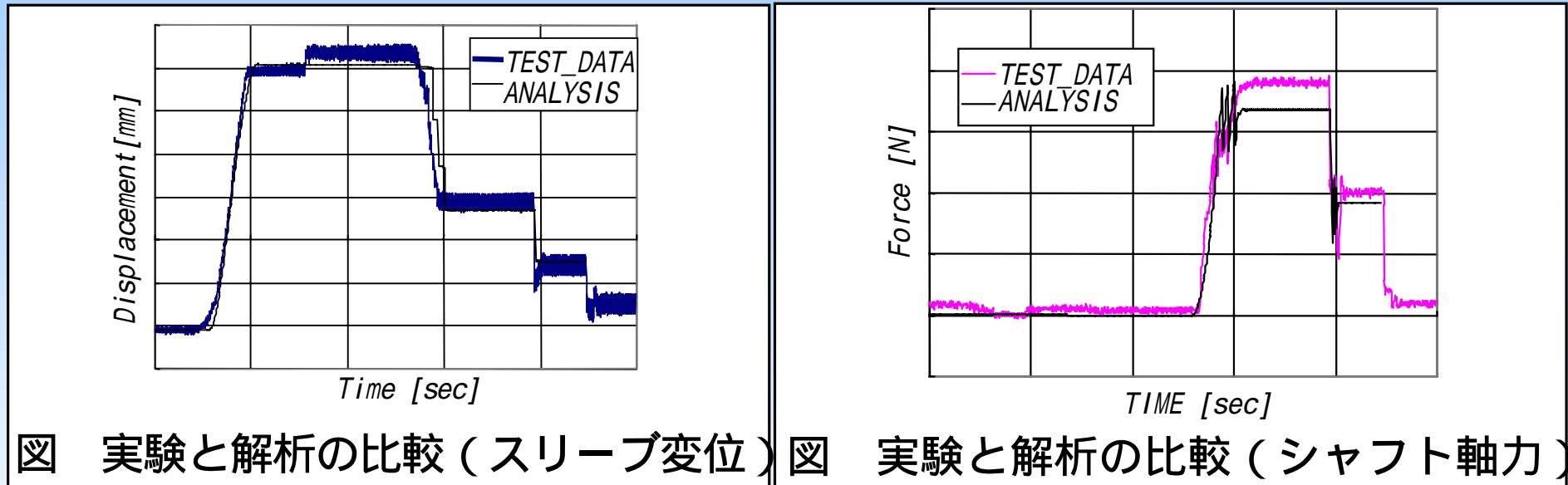
- サスペンション上下動に伴い、プロペラシャフトのジオメトリが変化する
- ジオメトリ変化による影響を避けるため、軸方向にスライド可能なスリーブが取り付けられている
- スリーブに摩擦力 (この場合の法線力はエンジントルクである) が働く場合、スリーブはスムーズにスライドすることができなくなる

解析条件

- ブレーキをかけたまま、車両後方をリフトアップ
- プロペラシャフトにトルクをかけ、摩擦力を発生させる
- 車両をゆっくりと降ろす（摩擦によりスリーブが最後まで戻らない = エネルギーの蓄積）
- ブレーキを解除し、車両を進行させる（プロペラシャフトのトルクが減少 = 摩擦力の減少 = スリーブがスリップ = エネルギーの解放）



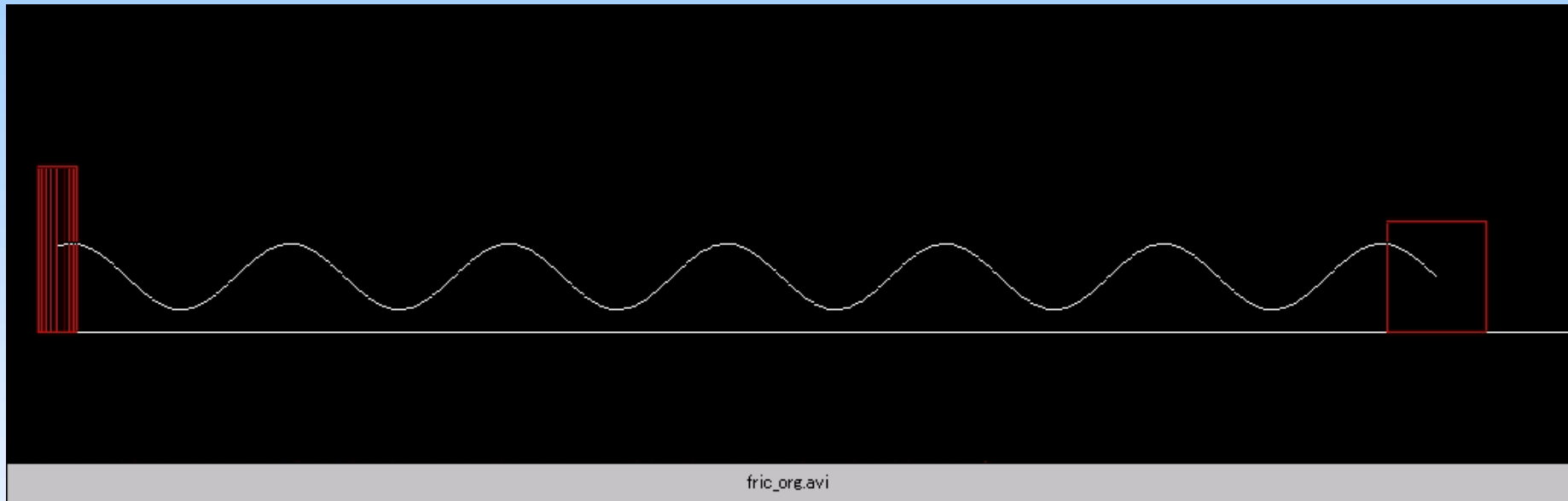
解析結果



- 実験結果とよく一致していることがわかる

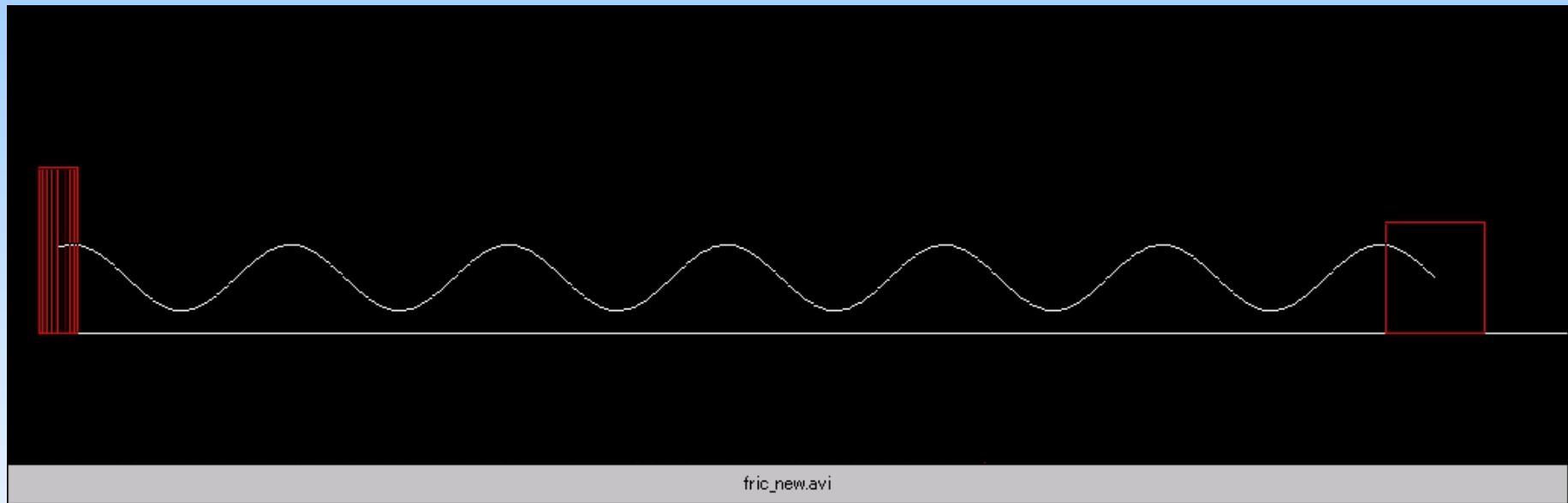
まとめ

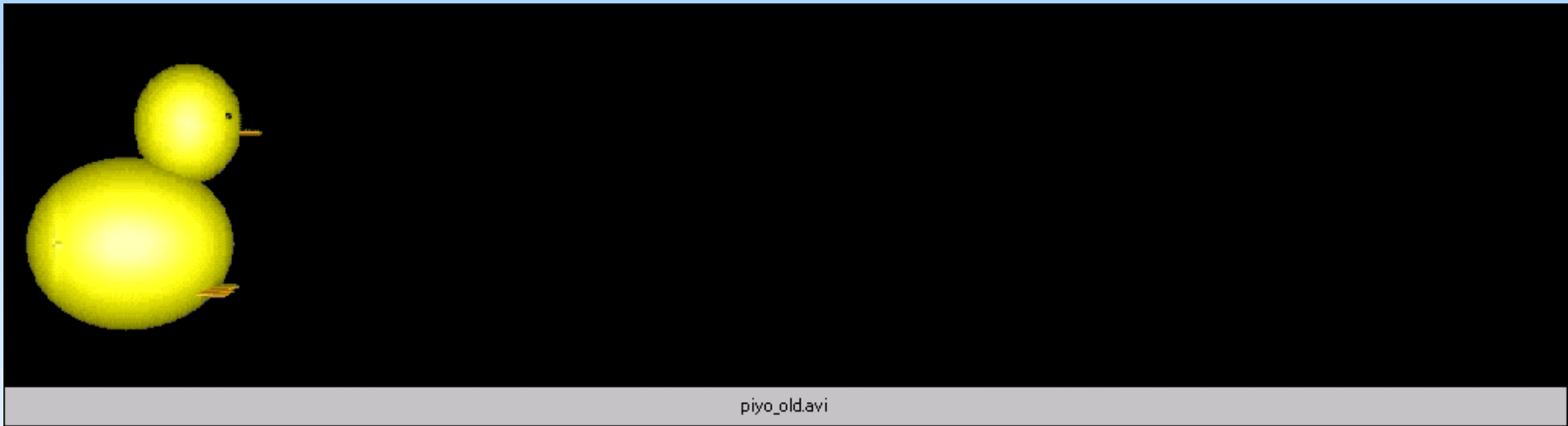
- スリップ状態のみならず、スティック状態も再現可能なスティック-スリップモデルを開発した
- 本モデル化手法が、1次元のみならず2次元平面上でも適用可能であることを確認した
- スティック状態が生じることで蓄積されるエネルギーが原因となる現象を再現できた



1999 ADAM S user conference

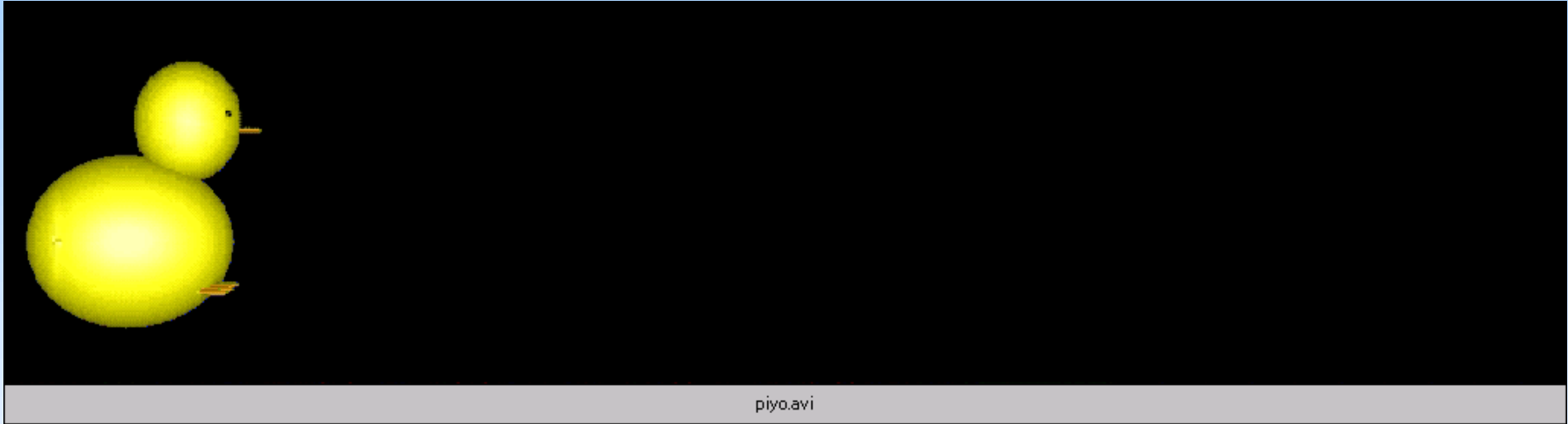






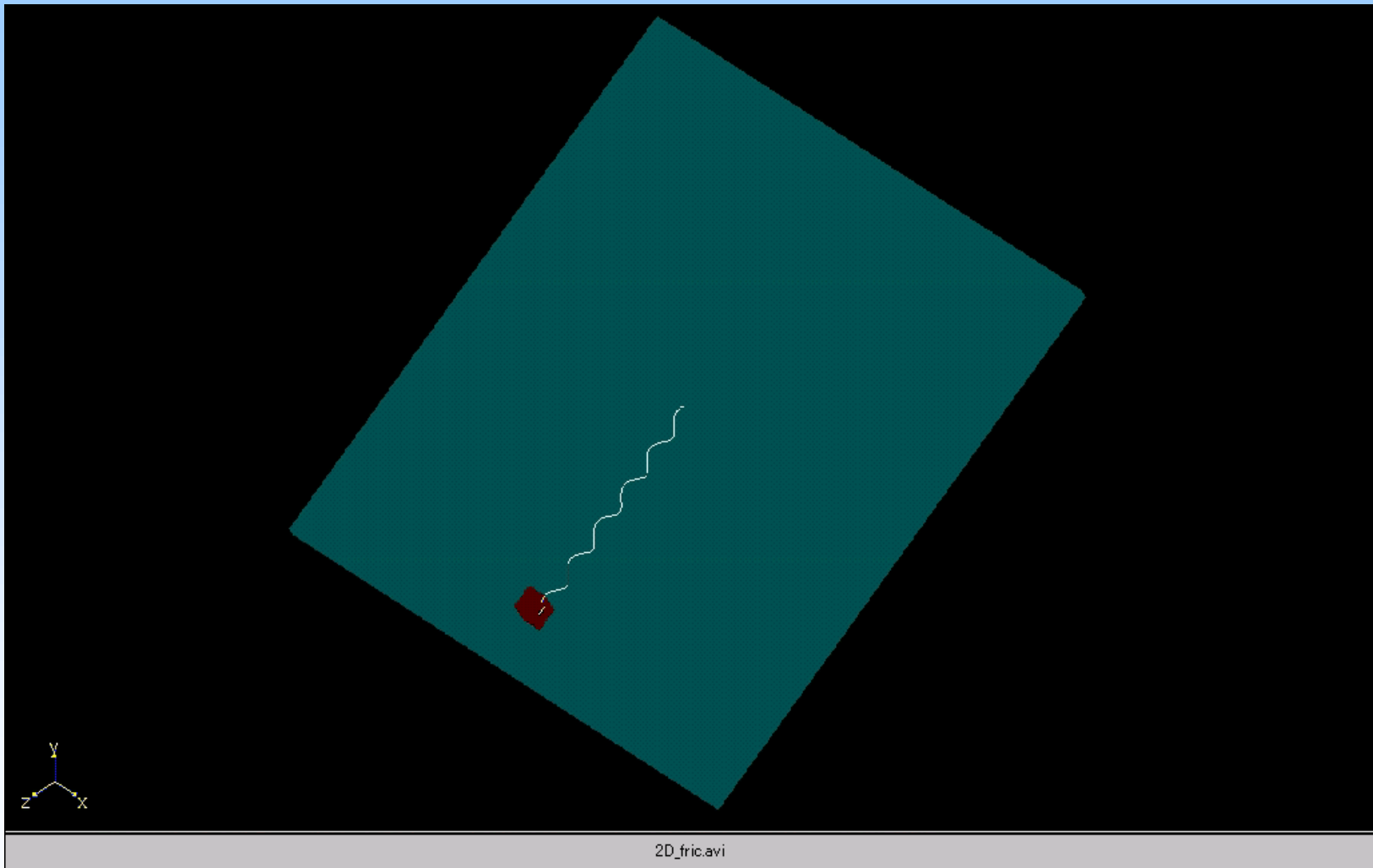
1999 ADAM S user conference





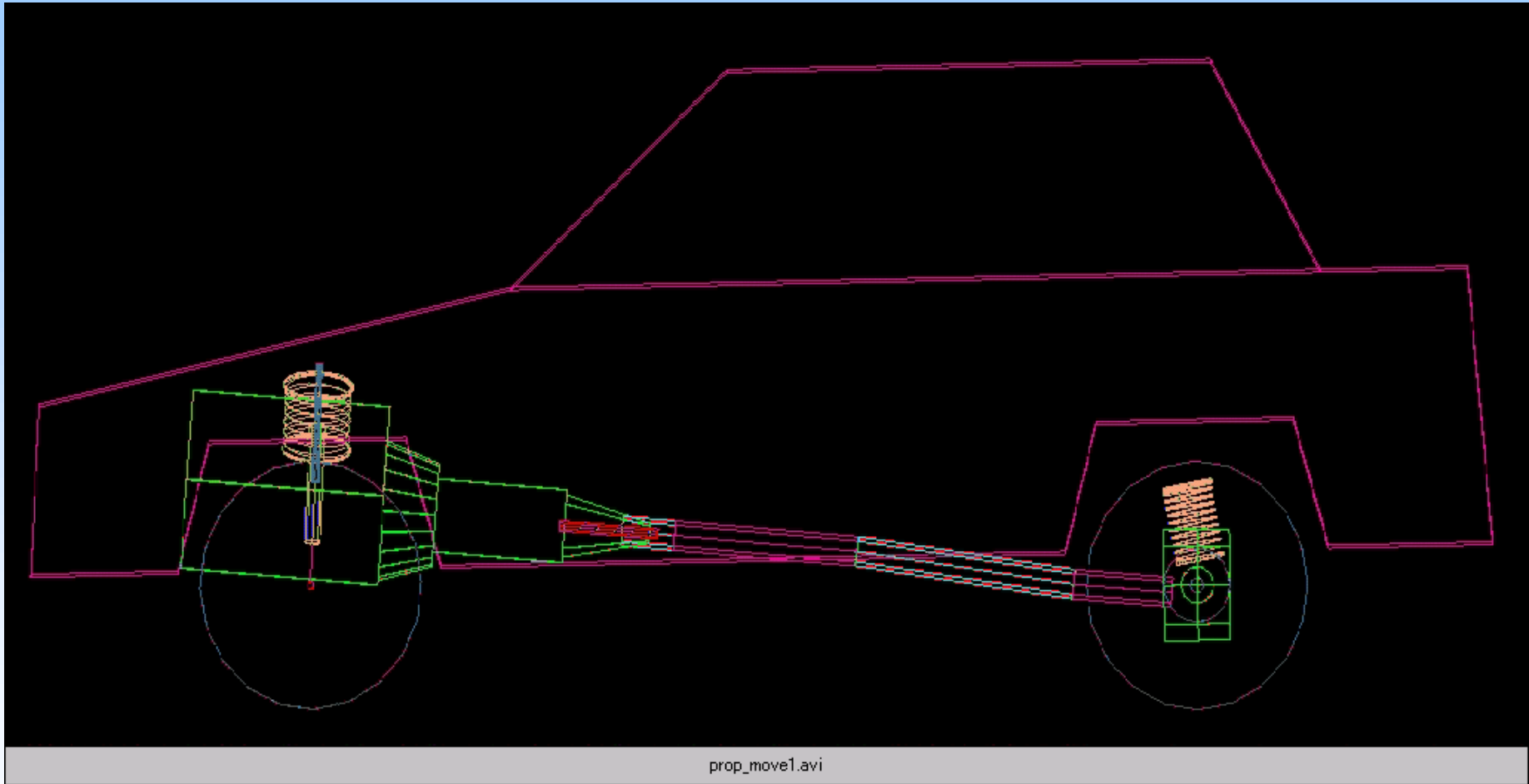
1999 ADAM S user conference





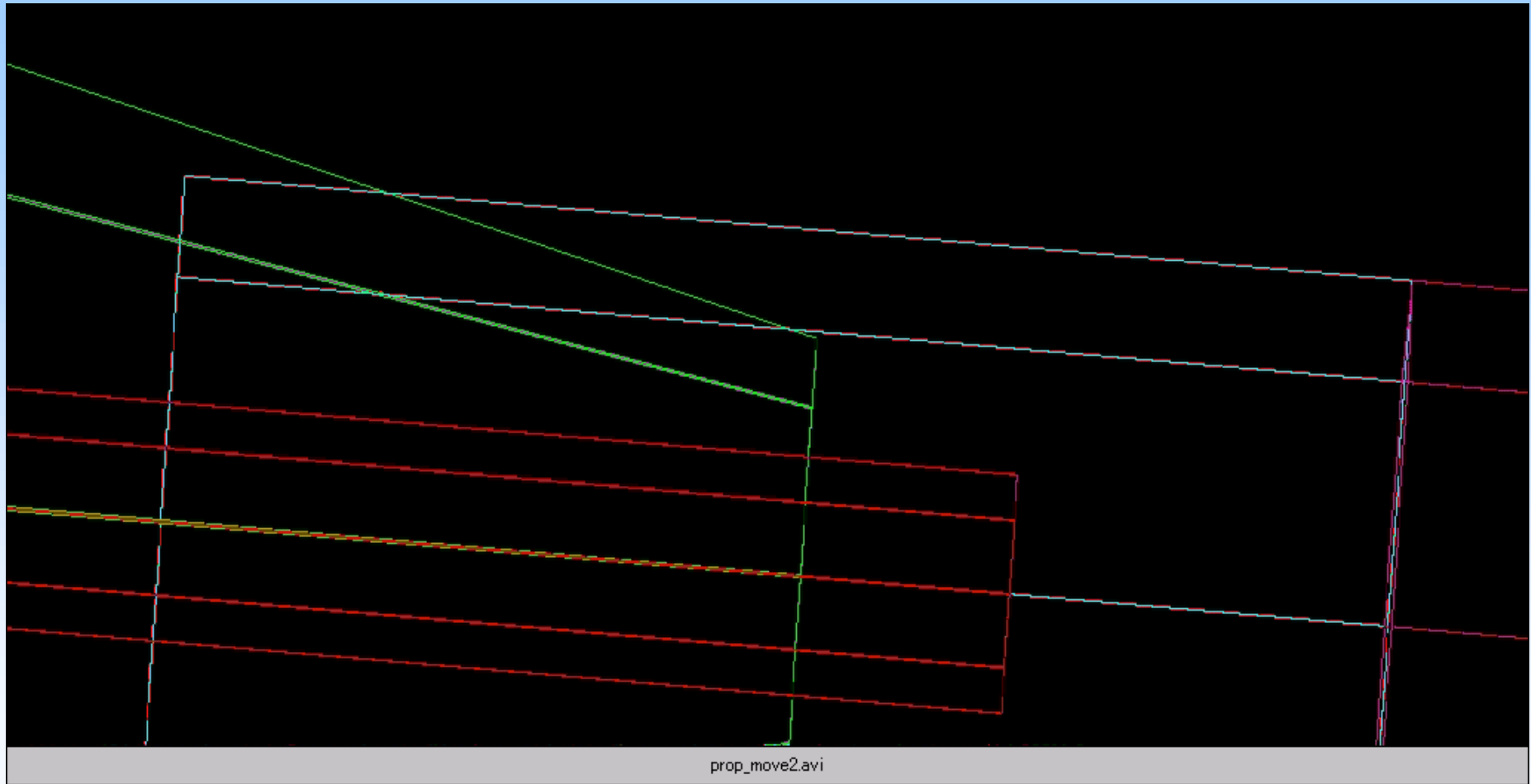
1999 ADAM S user conference





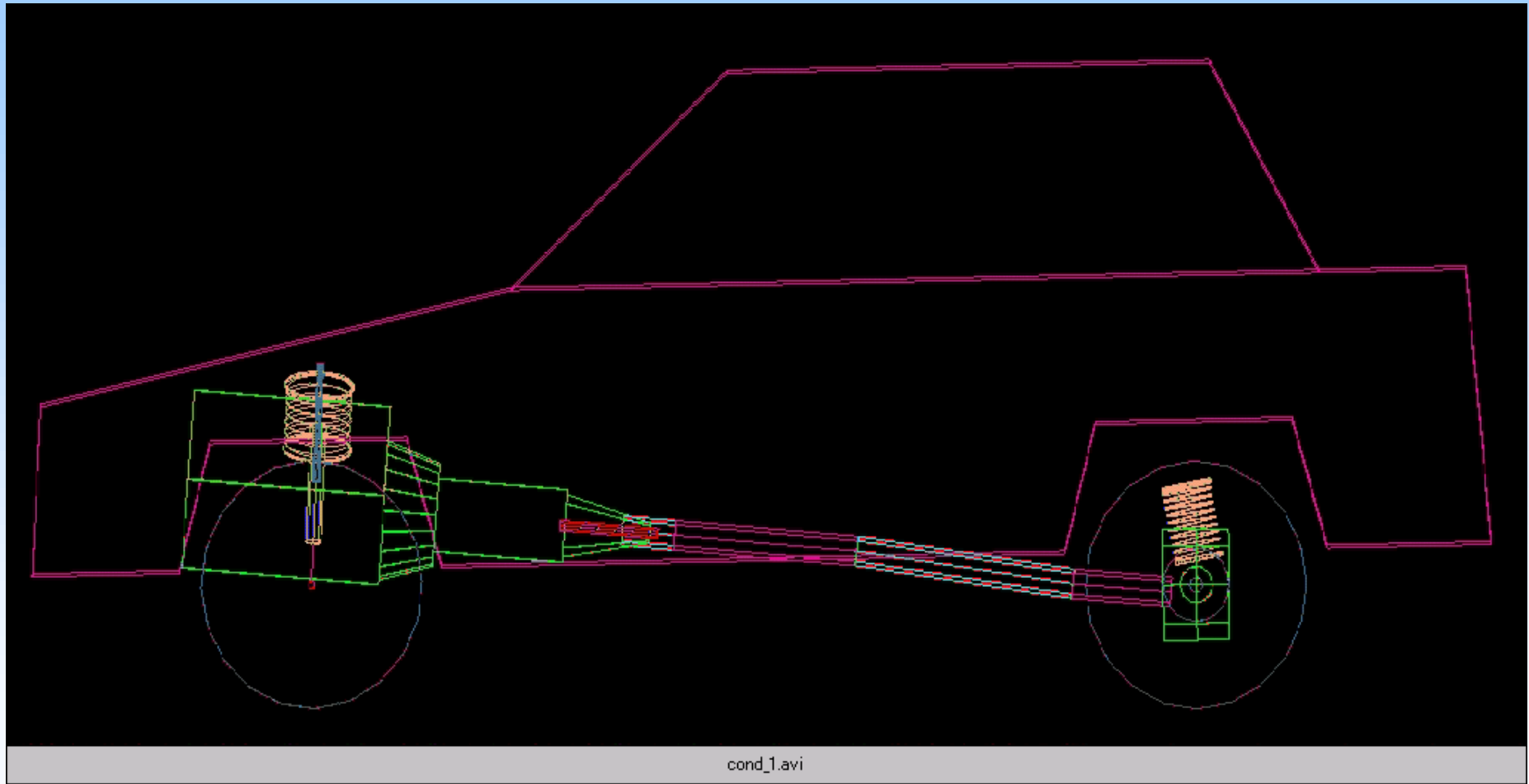
1999 ADAM S user conference





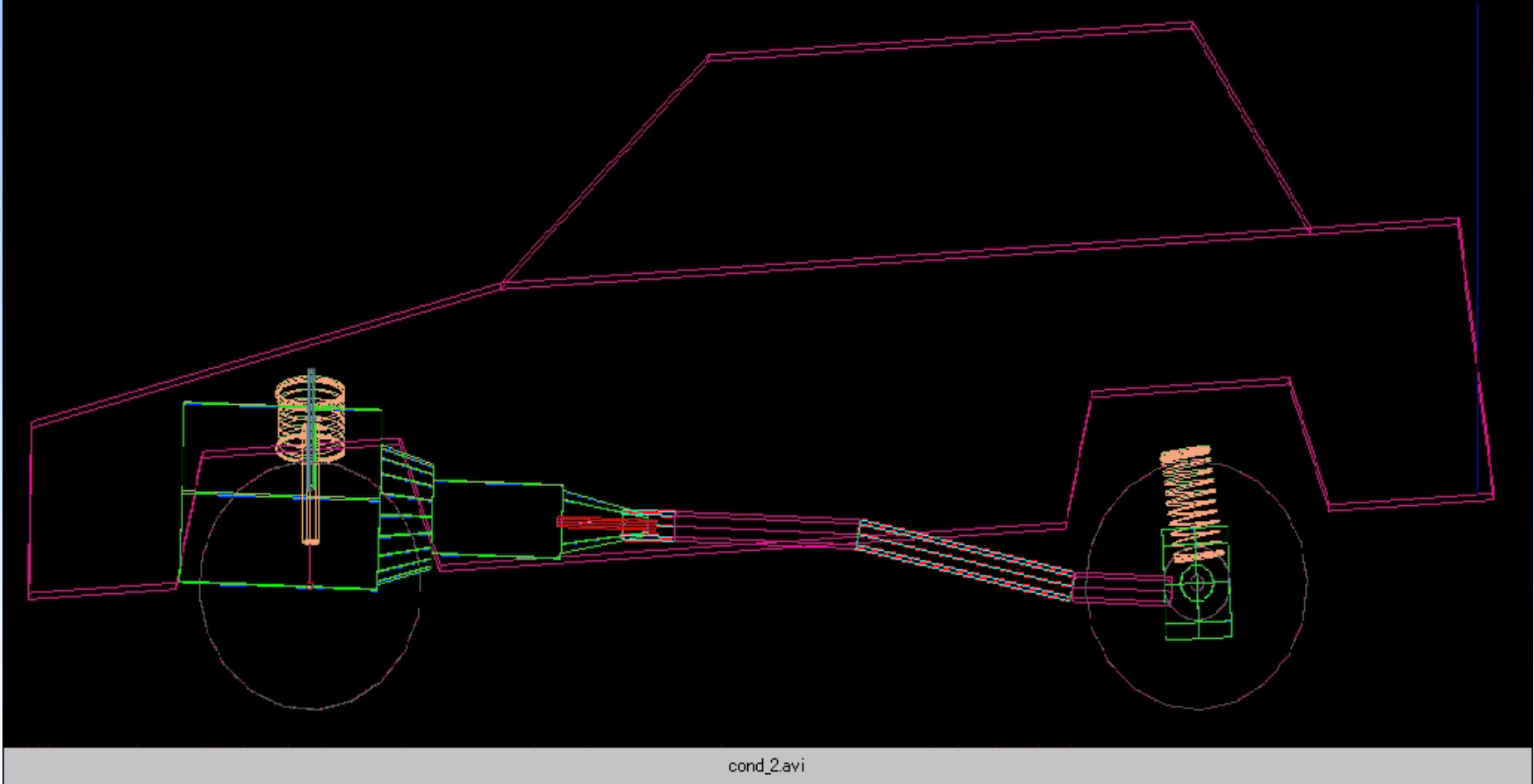
1999 ADAM S user conference





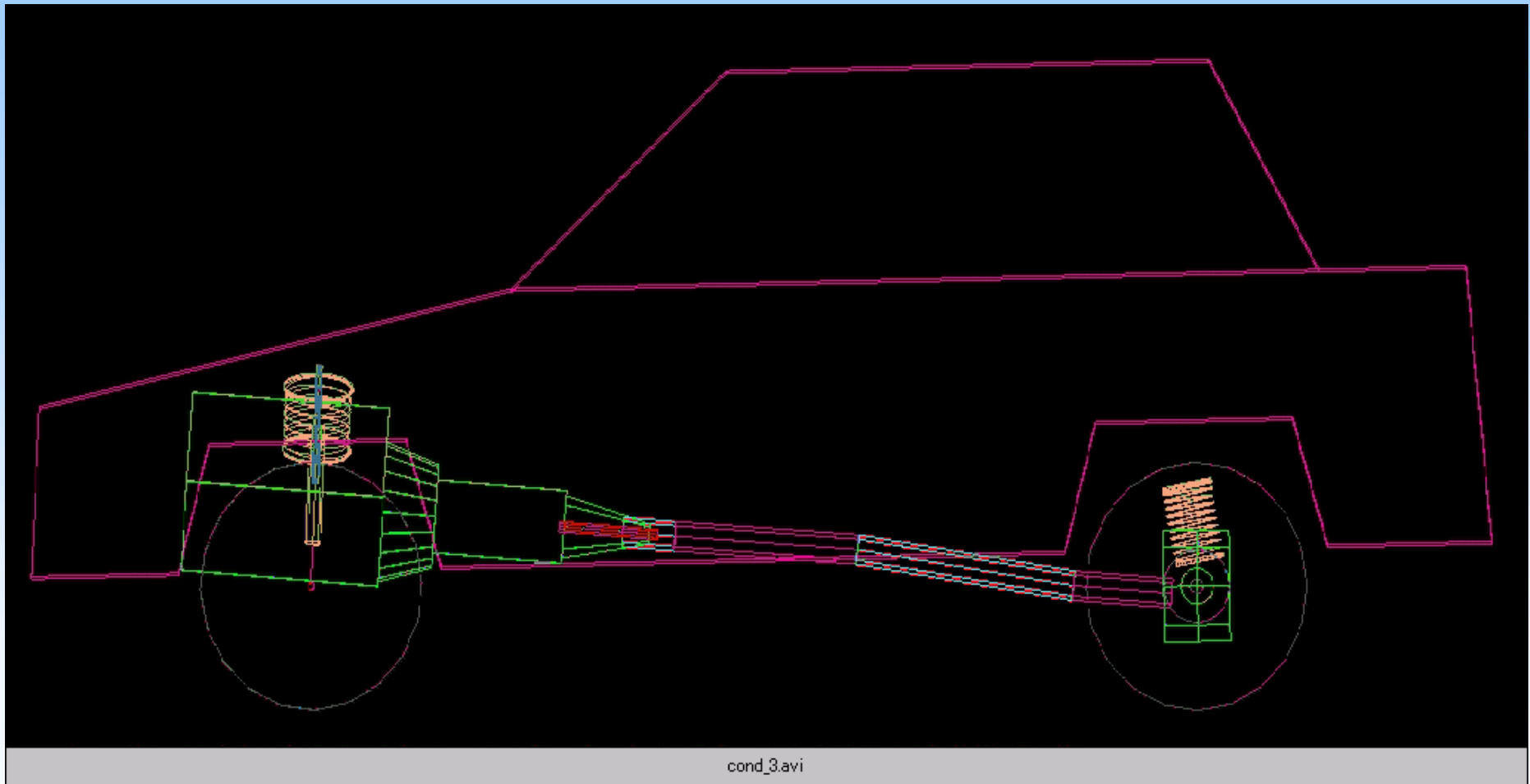
1999 ADAM S user conference





1999 ADAM S user conference





1999 ADAM S user conference

