

ソーラーカーにおけるフレーム剛性が操縦安定性に及ぼす影響

内山 翔太^{*1}, 瀬戸 雅宏^{*2}, 山部 昌^{*3}

Influence of Frame Stiffness on Handling Stability in Solar Vehicle

Shota UCHIYAMA^{*1} and Masahiro SETO^{*2} and Masashi YAMABE^{*3}

^{*1*2*3}Department of Mechanical Engineering, Kanazawa Institute of Technology
3-1, Yatsukaho, Hakusan-shi, Ishikawa 924-0838, Japann

1. 緒 言

近年の自動車開発において CO₂ 増加による地球環境問題やエネルギー問題の影響から低燃費, また衝突安全性を向上させることを目的に車両の軽量化が求められている. しかし車両軽量化は車体剛性の低下を招く要因になり, 車体剛性の低下が車両安定性や車両運動性能に影響を及ぼすことは良く知られている. しかしながら, 車体剛性と車両安定性や車両運動性能の関係は十分には明らかになっておらず, これらを定量的に評価することが求められている.

車体剛性と車両安定性能, 車両運動性能の関係を定量的に評価するための手法として, 剛性を変化させた車体フレームを試作し, 実験を繰り返して評価を行うと多くの時間や費用を費やしてしまう. そこで, 本研究ではマルチボディダイナミクスと呼ばれる解析手法を用いることでフレーム剛性を変化させた車両運動解析を行うことができ, 高精度のシミュレーションが実現できるようになり, 時間や費用の削減をすることが可能である^①.

本研究では車体変形に伴うアライメント変化の關係に着目し, 車体剛性と車両安定性能, 車両運動性能に及ぼす影響を車両運動シミュレーションにより評価することを行う. 対象車両はソーラーカー用いた. ソーラーカーを対象とした理由は, 課外活動でソーラーカーを自作しており, シミュレーションと実車両を用いた運動試験の結果を検証することでシミュレーションの整合性を図ることが可能である.

本研究では, 車両フレーム剛性を変化させたモデルを 3 種類用意し, マルチボディダイナミクス車両モデルの構築を行う. この車両モデルを用いて定常円旋回解析を行うことでシミュレーションと実車両を用いた運動試験の結果を比較する. 合わせて, シミュレーションによる車両状態量を評価することにより, 車両剛性と安定性能, 車両運動性能の關係について考察を行う. 車体剛性と車両安定性, 運動性能に関する研究としてカートフレームを用いた研究もされている^②. しかしながらカートにはサスペンション機構がついていない. 本研究ではサスペンション機構を有したモデルでの検証を行うことでより一般車に近い状態での考察につなげる.

2. 解析モデル

2・1 フレームモデリング

本研究で題材として扱うソーラーカーはフレーム材料に炭素繊維強化プラスチック (CFRP) でアラミドハニカムコアを挟んだ構造を持つパネルを使用しており, このパネルをバスタブ上に成形したモノコック構造フレームとなっている. このパネルは表面材と心材の弾性係数が異なる. また CFRP とハニカムの材料特性は共に直行異方性であるため, 方向によって材料特性が異なり, 多くの特性を考慮しなければならない. そこで本研究では, このパネルと等しい剛性を持つ単板に置き換えて解析を行った.

^{*1} 金沢工業大学大学院工学研究科 (〒924-0838 石川県白山市八東穂 3-1)

^{*2} 金沢工業大学 (〒924-0838 石川県白山市八東穂 3-1)

^{*3} 正員, 金沢工業大学 (〒924-0838 石川県白山市八東穂 3-1)

E-mail of corresponding author: b6400033@planet.kanazawa-it.ac.jp

本研究では、ソーラーカーの車体剛性と車両安定性、車両運動性能の関係性を考察するため、フレーム剛性を変化させる。まず、図1にフレームモデルを示す。図1(a)を基準モデルとし、(b)は剛性を向上させるためにフレームに天板を取り付けた。(c)はサスペンションブラケット取り付け部の肉厚を増やし、サスペンションブラケット部局部剛性を向上させたものである。この3種類のフレームモデルを用いてマルチボディダイナミクス車両モデルを構築し、車両運動解析を行う。

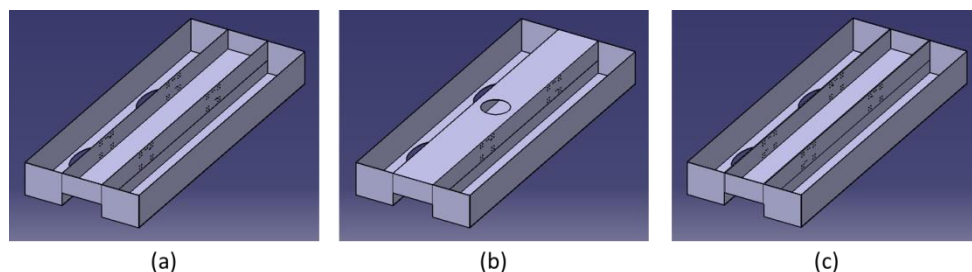
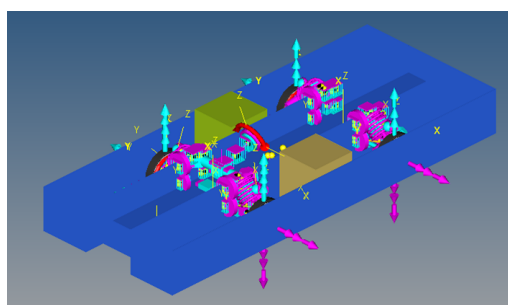


Fig.1 Frame Model

2・2 マルチボディダイナミクス車両モデル

図2に車両運動解析に用いたマルチボディダイナミクス車両モデルとボディ及び拘束条件を示す。このフレームモデルを図1の(a)~(c)までの3種類を用いて車両運動解析を行う。車両モデルを構築している部品の定義及び車両運動解析はアルテアエンジニアリング株式会社製のマルチボディダイナミクス解析ソフトである、HyperWorks13.0を使用した。車両モデルを構築するにあたり、本研究ではフレーム剛性と車両安定性能、車両運動性能の関係を評価することを目的としているため、ドライバーを含めフレーム以外の部品は剛体と定義し、ドライバーの重心移動は考慮しないものとする。この車両モデル、拘束条件を用いて定常円旋回解析、ダブルレーンチェンジ解析を行うことで車体剛性と車両安定性、車両運動性能の関係を考察していく。ここで車両安定性はスタビリティファクタで評価を行い、車両運動性能は車両応答性により評価を行う。



	Element	Number of element
Body	Flexible body	1
	Rigid body	140
Joint	Fixed joint	100
	Spherical joint	12
	Revolute joint	20
	Translational joint	7
	Universal joint	4
	Constant velocity joint	4

Fig.2 Multibody Dynamics Vehicle Model

3. マルチボディダイナミクス車両モデルを用いた車両運動解析

3・1 定常円旋回解析

車両モデルの車両安定性の評価を行うために、定常円旋回解析を行った。速度 60km/h で半径 25m の円を周回する。この条件において、上記した3種類のフレームモデルを用いて解析を行うことでフレーム剛性ごとの車両安定性の評価を行った。図3に解析結果を示す。図3(A)はスタビリティファクタ K を示している。スタビリティファクタとは車両安定性を評価する指標の1つであり、 $K>0$ であればアンダーステア(US)特性、 $K=0$ ならニュートラルステア(NS)特性、 $K<0$ ならオーバーステア(OS)特性となる。OS 特性の車両はある速度を超えると車両が動的に不安定になり、定常円旋回が出来なくなる。NS 特性、US 特性の場合ではどの速度でも安定しており、市販車は全て US 特性になるように設計されており、 $1.5\sim 3.0 \times 10^{-3} \text{s}^2/\text{m}^2$ に程度の車両が多い⁽³⁾⁽⁴⁾。図3(A)より、剛性を高めることで US 特性を強めることが可能である。図3(B)に定常円旋回中の4輪のショックアブソーバストローク量を示す。図3(B)より、フレーム剛性を向上させた(b)(c)のモデルの方がショックアブソーバストローク量が多

いことが分かる。これは、(a)はタイヤからの荷重をショックアブソーバがストロークして吸収するのではなく、フレームが変形することで吸収しているためだと考えられる。このことからフレーム剛性の変化によって車両アライメントが変化し、車両安定性に影響を及ぼしていることが言える。(C)に定常円旋回中の4輪のスリップ角を示す。(C)はフレーム弾性体モデル(a)~(c)の他にフレーム剛体モデルとの比較を示している。(a)は剛体モデルと比較して各輪のスリップ角が減少していることが分かる。進行方向に対して横滑り角を発生したタイヤはコーナリングフォースを発生し、フレームを変形させる。フレームが変形することによってみかけの横滑り角が減少し、さらにみかけのコーナリングフォースが減少する。この結果、スタビリティファクタはOS傾向へと変化すると考えられる。

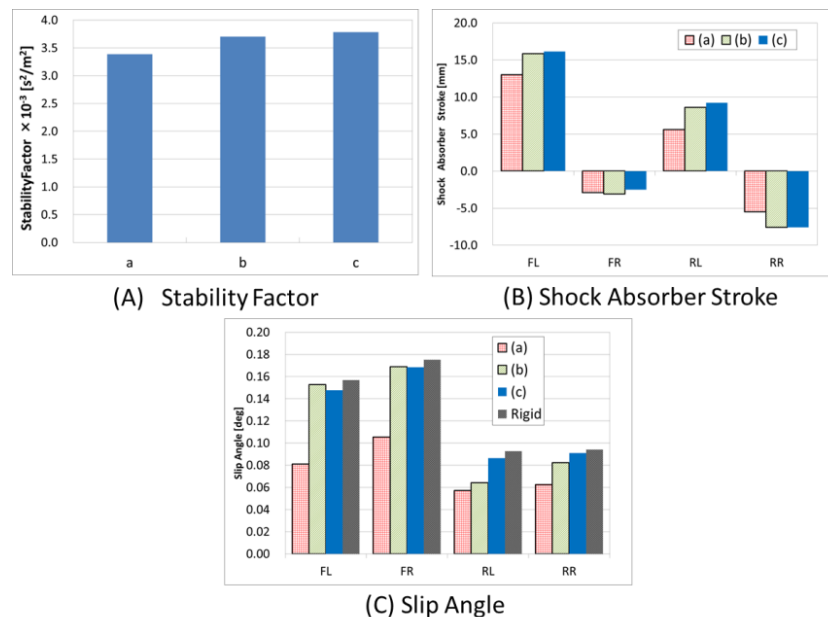


Fig.3 Simulation Result

3・2 車両操舵応答解析

車両モデルの車両応答性評価を行うために、速度 60km/h において操舵応答解析を行った。フレーム剛性と車両運動性能の関係について評価を行うために、本解析では操舵に対する旋回外輪である左前輪のショックアブソーバストローク量、スリップ角に着目をする。図 4 に解析結果を示す。図 4(A)に入力した操舵角、(B)にヨーレート、(C)に左前輪のショックアブソーバストローク量、(D)に左前輪のスリップ角を示す。(B)のヨーレートより、(a)、(c)のモデルはほぼ同じであり、(b)のモデルは小さくなっていることが分かる。(C)のショックアブソーバストローク量を見ると、(a)、(c)はほぼ同じであり、(b)もピークまでの応答性は同じであるが、ピークからの収束性が速いことが分かる。(D)のスリップ角を見るとどのモデルもほとんど同じ波形であることがわかる。これらのことから(b)のモデルは車両運動性能が高いという事であり、車両運動性能を高めるためには、(c)のモデルのようなサスペンションブラケット部の局部剛性を高めるよりも、(b)のモデルのように車両モデル全体の剛性を高めることが有効であると言える。

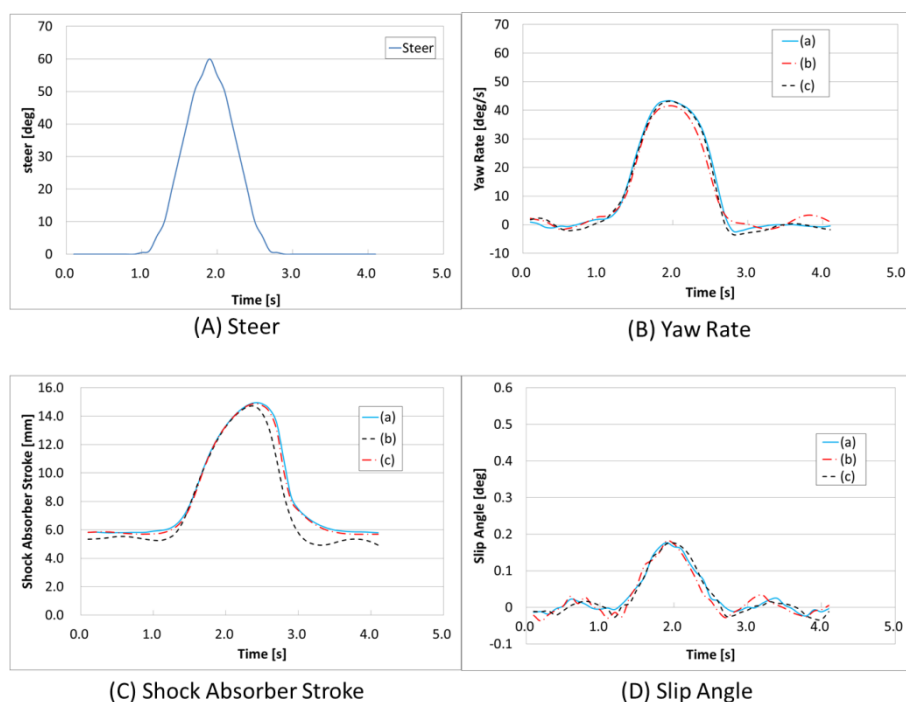


Fig.4 Simulation Result

4. 結論

本研究では、ソーラーカーを対象としてマルチボディダイナミクス車両モデルを構築し、車両安定性を評価するために定常円旋回解析、車両運動性能を評価するために車両応答解析を行うことで車体剛性と車両安定性、車両運動性能の関係性を評価し、以下の結論を得た。

- ・車体剛性を向上させることで車両安定性、車両運動性能を向上させることが出来る。
- ・車体剛性と車両安定性の関係について、旋回中に発生するコーナリングフォースによって車両フレームが弾性変形することで車両アライメントが変化し、車両安定性を低下させている。
- ・車体剛性と車両運動性能の関係について、サスペンションブラケット部の局部剛性を向上させるよりも、車体全体の剛性を向上させる必要がある。

なお、本解析は車体剛性としてフレームを取り上げたが、フレームの他にもサスペンション部品の剛性による車両安定性、車両運動性能への関係も考えられる。そのため、今後は全ての部品を弾性体として解析を行うことでこれら进行评估する必要があると考えられる。

文 献

- (1) 上田貴博, 岩村誠人, “マルチボディダイナミクスによる自動車運動解析と 6 自由度パラレルマニピュレータを用いた走行状態の再現”, 福岡大学工学集報, vol.90 (2013), pp.7-12
- (2) 椎葉太一, 小池亮太, 陳思予, “フレキシブルマルチボディ車両を用いたレーシングカートの運動特性評価”, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.79, No.806(2013), pp.3291-3303
- (3) 社団法人自動車技術会, “自動車工学-基礎-”, 精興社, (2008), pp.128-136
- (4) 鈴木卓馬, “等価コーナリングパワーを用いたソーラーカーの操縦安定性向上に関する研究”, 金沢工業大学修士論文, (2001), pp.42-44

謝 辞

最期に本研究を行うに当たりご指導頂きましたアルテアエンジニアリング株式会社 星野裕昭様に深く感謝いたします。