

14. 第4回全日本学生フォーミュラ大会参戦車両の サスペンション試験装置の設計・製作

(代表) 高橋 恭平 (工学部機能機械工学科 3年)

指導教員

榎本 啓士 (自然科学研究科システム創成科学専攻 助教授)

1. 背景と研究目的

金沢大学フォーミュラ研究会は、2003年から全日本学生フォーミュラ大会に出場している。全日本学生フォーミュラ大会は、日本自動車技術会が主催する、工学を学ぶ学生を対象にしたフォーミュラ大会である。審査は、単にタイムを競うだけでなく、大きく分けて静的審査と動的審査に分けられている。静的審査では設計・製作技術、コスト分析力、プレゼンテーション能力が審査され、動的審査では加速性能、旋回性能、燃費、耐久性能が審査される。

昨年の第3回大会では、努力の甲斐あって総合優勝という結果を残すことが出来たが、第4回大会での連覇を達成するには、更なる努力としてサスペンションに注目し、ショックアブソーバ(緩衝装置)の設計・製作が必要だと考えた。従来は自転車用のショックアブソーバを流用していたが、非常に高価であること、市販品であるため内部部品の調整には時間と費用を必要とする、といった問題点があげられる。これらを解決し、車両走行性能を向上させるためには、このFSAE車両に合ったショックアブソーバを設計・製作することが求められる。

本研究では上記問題点を解決するため、ショックアブソーバの設計・製作すると同時に、試験装置を製作し試験することで、安全性の確認及び性能評価を行う。結果として、より短時間で調整と評価を繰り返すことや、全日本学生フォーミュラ大会におけるコスト審査で加点が期待できる低価格なショックアブソーバを実現することを目的にする。

2. 本研究に関する大会の主な規定

全日本学生フォーミュラ大会のシャシーにおける主な規定を以下に記述する。

2.1 地面とのクリアランス

地面とのクリアランスはテストコースでのイベントの間、タイヤを除くどの部分も地面に接触しないよう十分なこと。

2.2 懸架装置

車輛の懸架システムは前後とも、ショックアブソーバ付きで、ドライバーが乗った状態で車輪のストロークは、最低 50.8mm (2inches)、バウンドストロークとして 25.4mm (1inch)、リバウンドストロークとして 25.4mm (1inch) の完全に作動可能なものであること。審査員は作動可能な懸架装置システムを構成するまじめな試みがなされたと認められない車輛や、走行操舵性が安全と思われない車輛については失格とする権利を有している。

上記の規定に留意し、研究を行う。

3. ショックアブソーバの概要

小型で冷却性に対しても利点のあるモノチューブ式ショックアブソーバを設計・製作する。このショックアブソーバは、ガス室とオイル室の間をフリーピストンが仕切っておりガス室は高圧になっている。そのためガス圧によりキャビテーションが発生しにくい。また、オイル室と外気が直接的に接しているので冷却性がよい。オイルが直接ガスと接していないので横置きが可能である。

使用するタイヤやばね定数によってショックアブソーバに求められる減衰力が違うため、その際は内部部品を交換し調整していく。ショックアブソーバの概略図を図1に示す。

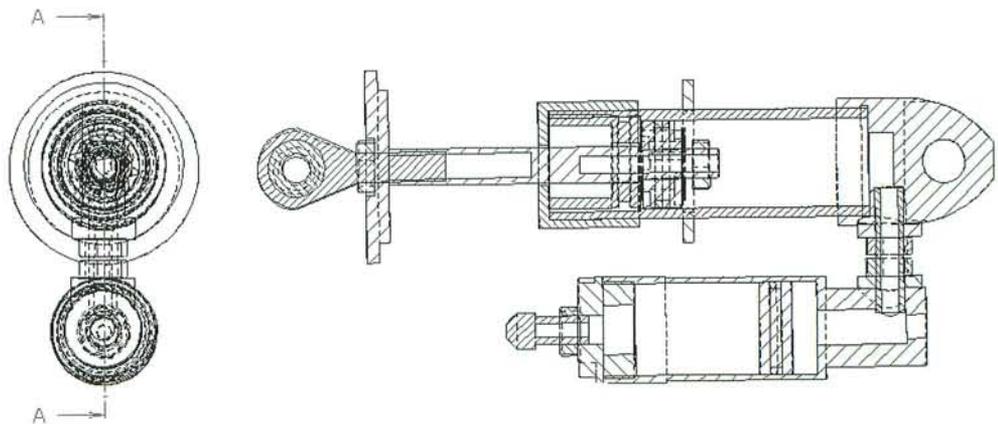


図1 ショックアブソーバ概略図

3.1 各種部品の概要

3.1.1 ピストン

ピストンは、減衰力発生機構を構成する主要部品である。本研究で設計したピストンは伸び時、圧縮時でそれぞれ異なる流路を設ける。直径 2mm と 3mm の穴を 3 個ずつ加工し、バルブの機能を持たせた。ピストン材料は切削性に優れた SUS303 を用いた。シリンダーチューブとの摺動部分には低摩擦かつ耐油性に適した PTFE のリングを旋盤で削りだし、巻きつけた。図 2 に本研究で製作したピストンの形状を示す。



図 2 ピストン

3.1.2 シム

シムは円形の薄板バネで、ピストンに設けられた流露を防ぐようにピストンを挟んで両面に異なる枚数で設置することで伸び側、圧縮側で異なる減衰力を発生させる機能を持っている。減衰力は、このシムの枚数、厚さ、径を変更することで調整が可能になる。材料はバネ材の SK5 を使い、調整しやすくするために厚さを 0.1mm にした。図 3 に本研究で製作したシムの形状を示す。

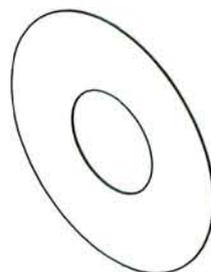


図 3 シム

3.1.3 ロッド

ロッドにはオリフィス流路が設けてあり、バルブとともに減衰力を発生させるための大切な機能を持つ。また、ショックアブソーバ内部で発生する減衰力をベルクランクへ伝える役目もある。取り付け長やストローク量に影響がある部品である。材料は、切削性や傷の付きにくさから SUS303 を用いる。図 4 に本研究で製作したロッドの形状を示す。

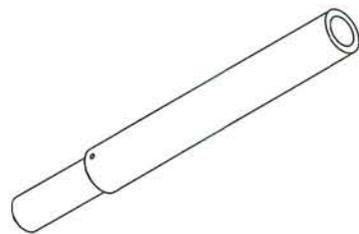


図 4 ロッド

3.1.4 シリンダーチューブ

ガイドやピストン、ロッド、下室蓋等を同心円状に内側に納めているため加工が困難な部品である。他の部品との締結部には部品の軽量化を図るためにメートル並目ねじではなくメートル細目ねじを加工する。そうすることでねじ部の外径が大きくなることを防ぐことが可能である。同時に容器としての機密性を高めることができる。材料として A2024 を用いている。

内部にはショックアブソーバ専用の低価格な石油系の作動油を使用する。自動車用ショックアブソーバの作動油として、適度な粘度と高い粘度指数、良好の酸化安定性、潤滑性、防錆防食性、低い流動性と高い引火点が必要である。

3.1.5 リザーバータンク

リザーバータンク内に高圧ガスを封入する。このガスとオイルが混ざらないために、それらの間にフリーピストンを設ける。本研究で製作したものは、ガス圧を8気圧とする。常にオイルに圧力をかけることでオイルが負圧になることを防ぐとともに、オイルとガスがフリーピストンで完全に分離するので、オイルにガスが混ざることもない。よって、エアレーション、キャビテーションの発生を抑制できる。また、ピストンロッドがシリンダーチューブ内に挿入される体積をガス室によって吸収する。そのときガス室の体積が変化するので、ロッド反発力として抵抗力が加えられる。図5に本研究で製作したリザーバータンクの形状を示す。

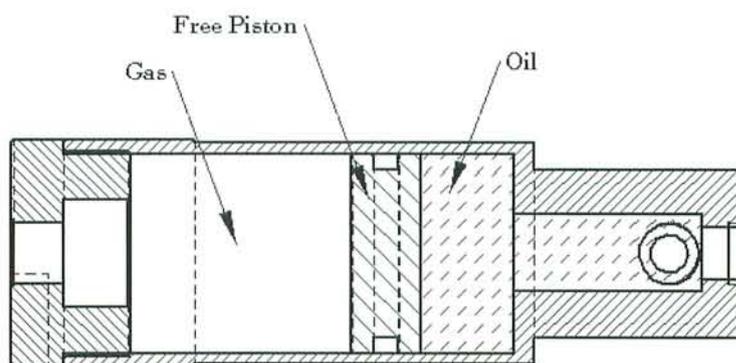


図5 リザーバータンク

3.1.6 ガイド

シリンダーチューブと外部とを仕切るための部品であり、ロッドの直動案内の機能も果している。ショックアブソーバの取り付け長を短くするためにコンパクトに設計しなくてはならない部品である。そのためにシール材の選定が重要視される。

3.1.7 マウント

ショックアブソーバの両端はブラケットとベルクランクに締結される。例年カラーを使って締結しているが摩擦が大きく、ショックアブソーバの減衰力以外の力が発生している。本研究では、片側にはボールジョイントを取り付け、もう一方には取り付け長の問題からカラーを用いることにした。

3.1.8 コイルバネ

コイルバネは、設計に基づき70000N/mのバネレートのを外注した。仕様は、線径7.5mm、中心径45mm、自然長100mm、総巻数7巻、質量300gである。材質は、SWI-200で引張り応力がバネ材の中で最高のもので選択した。このスプリングはたわみ量が40mmの時、推定寿命は100万回である。量産車のような半永久的な過度の耐久性能を求めない学生フォーミュラ大会においては、軽量コンパクトを重視するために適切な寿命と判断した。

3.1.9 シール材

シール用に O リングが全体で 2 箇所、ピストンリング及び V パッキンが 1 箇所必要である。O リングは運動用にあたる JIS B2401 相当品の P 系列を用いる。ピストンリングは、テフロン規格外、V パッキンは JIS B2403 相当品の H 系列を用いる。O リング、V パッキンの寸法、はめあいの加工は JIS 規格に基づく。

3.2 減衰力発生機構の設計

固定オリフィスと減衰力発生バルブの 2 つの減衰力発生機構をピストンに持たせ、この 2 つを組み合わせることで減衰特性を作っていく。減衰力発生バルブは圧力によって流路を塞いでいる積層シムを開き、流量を増加させる効果がある。この機構により発生する減衰特性はピストンスピードの高速域において減衰力が頭打ちになる。これによりタイヤの路面への追従性向上を実現する。図 6 に本研究で製作した機構の分解図を示す。

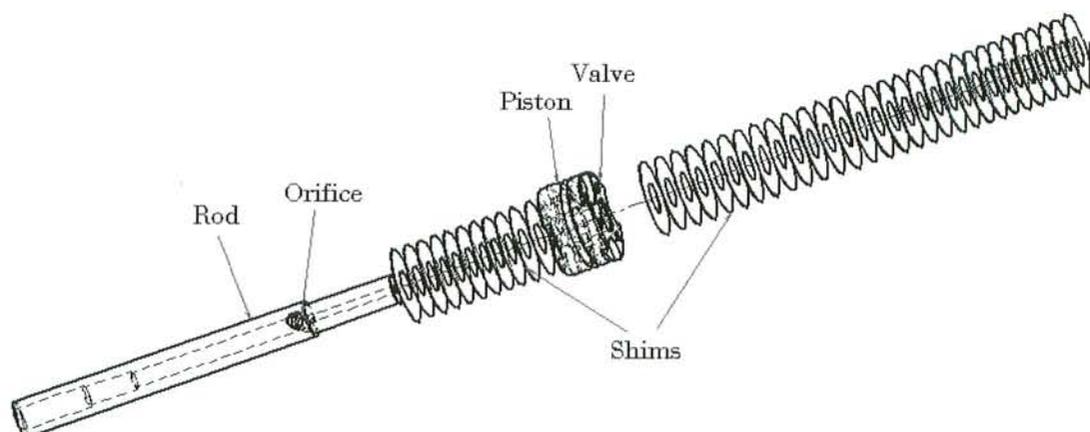


図 6 減衰力発生機構

4. 性能試験

4.1 試験装置概要

試験の目的は、第一にショックアブソーバが壊れないこと、第二に液漏れしないこと、この 2 点の安全確認を行う。それらを満たすものは次に性能試験を行う。その目的は、狙いとしている性能を発揮しているかの確認。それと同時に、性能にばらつきがあるかどうかの確認を行い、調整する。車輛は 4 本のショックアブソーバを搭載するため、性能のばらつきについて評価する必要があるためである。

4.2 試験方法

表 1 に示す仕様の試験機を製作した。計測するショックアブソーバの付いている固定台の上に荷重センサー及びレーザー変位計を設置し、ショックアブソーバの減衰力、変位を計測する。加振変位は、市販の試験機を参考に 40mm になるように設計した。また、車輛はコース状態から最大で 40mm 以上ストロークすることは無い。今後変更がある場合は、プーリーを新たに加工すれば変更することが可能である。試験機の概観を図 7 に示す。

試験機の荷重センサーから得られる値を信号処理し、変位と照らし合わせることで、ショックアブソーバの減衰力と速度特性との関係を得る。

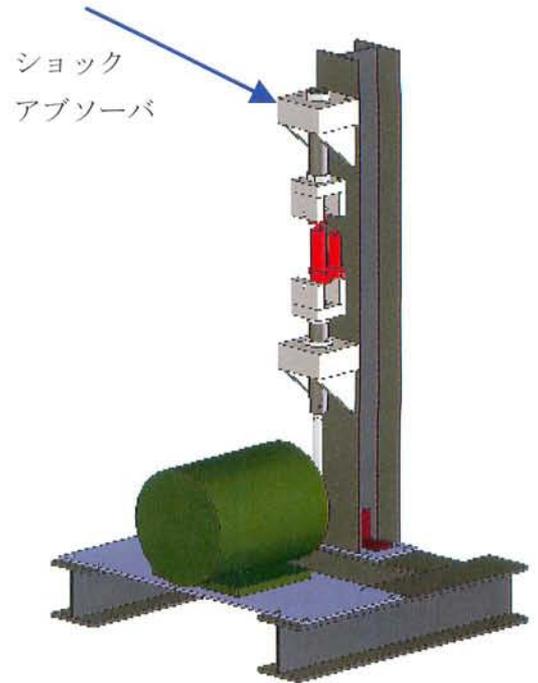


図 7 ショックアブソーバ試験機

表 1 試験機仕様

最大力加振力	3000N (伸び側) / 3000N (縮み側)
計測ストローク	40mm (部品交換により, 切換可能)
ショックアブソーバ 取り付け長さ	175mm~200mm以下 (伸びた状態)
動力	AC200V 0.2kW 三相

2本のショックアブソーバの計測結果を、図 8、図 9 に示す。これらは「減衰力-速度」の関係を表示している。

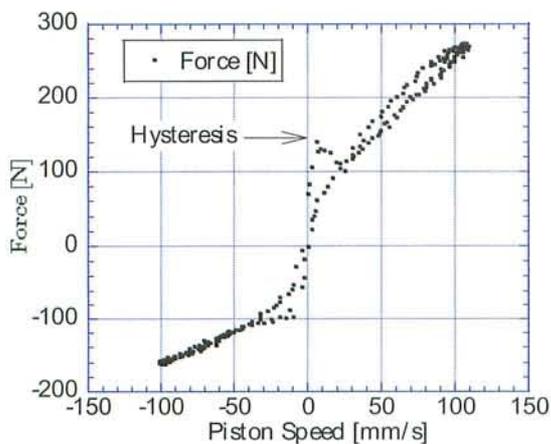


図 8 減衰力-速度の関係 (Sample1)

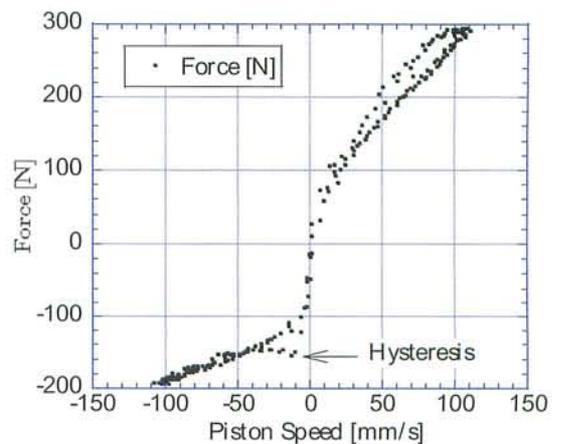


図 9 減衰力-速度の関係 (Sample2)

5. 結果及び考察

計測結果は、図 8, 図 9 に最高速度 100 mm/s で計測した減衰力と速度の関係を示す。同一の図面から製作した 2 本のショックアブソーバにおいて約 20 N 程の性能の個体差が存在した。また、低速時 Sample 1 では伸び側, Sample 2 では圧縮側にヒステリシス (不規則な抵抗力) が存在している。

文献に従って設計した目標値の減衰係数 1340 N・s/m と、実験値の減衰係数 2300 N・s/m を比較すると約 1.7 倍の差が発生した。

6. 結論

6.1 ショックアブソーバに関して

- ・減衰係数が目標値より大きくなった原因として、ピストンリングの加工にばらつきがあったため、摩擦力の差が減衰力の差に影響を与えたこと、シムの設定に問題があったことが考えられる。ピストンリングは加工せず購入することを改善策とし、シムの設定は試験を繰り返すことにより微調整をしていく。

- ・ヒステリシスの原因はシールに使用した V パッキンの摩擦によるものと考えられる。ロッド周りのシール方法を、摩擦の低減できる新たな構造にすることを改善策とする。

- ・目標値の設定方法が文献の参考値を使用していたため、理論的ではなかった。目標値の設定方法として、タイヤを含めた粘性減衰系モデルに従って行う方法を提案する。そして、ショックアブソーバの構造と実際に発生する減衰係数の改善点を反映し、次の設計を行う。

6.2 試験機に関して

- ・市販の試験機で得たデータと自作試験機で得たデータと比較すると減衰力の差は、最高速度付近で約 3% 以内であり、計測誤差と判断する。

参考文献

- [1] 熊野学, サスペンションの仕組みと走行性能, グランプリ出版, 2001
- [2] 宇野高明, 車両運動性能とシャシーメカニズム, グランプリ出版, 2003
- [3] 佐藤秀紀, 岡部左規一, 岩田佳雄, 機械振動学, 工業調査会, 2002
- [4] 米山猛, 機械設計の基礎知識, 日刊工業新聞社, 2003
- [5] 尾田十八, 室津義定, 機械設計工学 1[要素と設計], 培風館, 2002
- [7] SolidWorks Student Edition 2004 SolidWorks Corporation