

自動車シャシ学習教材の製作

サスペンション・リンク機構の基本動作イメージ学習法

徳島工業短期大学 花野 裕二

KEY WORDS: 工学教育, サスペンション, アライメント角変化, イメージ教材, 学習理解度, 有効性, トー・コントロール

1. まえがき

自動車走行時には、速度および進行方向の変化に伴い車体に働く慣性力によって車体姿勢が変化する。また、その変化量はサスペンション形式によっても大きく異なる。

サスペンション形式のなかでもリンク機構を持つ自動車では、ロールにより変位するリンク機構を上手く利用し、アライメント角の変化を含めステアリング特性を向上させたものも多い。これらのアライメント角変化の動作は微妙であり、学習時に説明してもなかなか理解されづらい場所でもある。

上述したサスペンション・リンク機構に最も関連が深いアライメント角変化の中に、トー角変化を意図的に行うことを目的としたトー・コントロール機能がある。しかし、トー・コントロール機能における学習状況を見た場合、その役割については概ね理解できているようであるが、基本的動作を理解できた学生は非常に少ない。

学生にとって、サスペンション機構に関する概念や知識が十分に備わっていないなどの課題はあるにせよ、その動作状態を含めた考察力が不十分なまま、学習自体が簡易に済まされることは技術者教育として問題である。

そこで、理論説明だけでは伝わり難いと考えられるトー・コントロール機構を取り上げ、机上により基本的なリンク機構の基本動作イメージを身につけることを目的とした教材製作をおこなった。

本研究では、学生に対しこの機能に限定した理解度調査を実施し、調査より得られた新たな情報を基に、学習法の改善策として製作した基本動作イメージ教材について、その構成と動作確認および有効性についてここに報告した。

2. 学生の理解度調査

講義によるアライメント学習を終えた本学2年生学生44名を対象に、学習理解度を把握するためアンケート調査を行った。題材としたのは、様々なサスペンション機構の中でも比較的構造がシンプルともいえる平行リンク式(以後、リンク式と称す)を取上げることとした。

アンケート調査内容では、車両の直進時及び旋回時等において、タイヤに働く横力及び前後力とトー角変化の関連性を重視したものとし、学習後における受講学生の理解度と応用力を調査したものである。

なお、アンケート調査時には各設問項目について、学生自

身が“第三者に対し各機構の動作について解説する”といった新たなスキルを踏まえたものとして実施した。

2.1 理解度調査のための設問項目

アンケート設問項目は、下記(1)に示すA~Gの7項目とし、(2)に示す①~⑤の選択肢により集計をおこなった。

なお、設問別集計結果では、「①理解できる」と「②やや理解できる」を肯定回答として捉え考察をおこなった。

(1) アンケート設問項目

- A. 自動車に設定される、各種アライメント角度を示す位置と名前
- B. リンク式サスペンションの構成
- C. リンク配置の目的 (2本リンク設定の目的)
- D. リンク配置変更による動作イメージ
- E. トー・コントロールに至る動作
- F. ロール時におけるトー角変化
- G. 故障時における原因 (推定箇所)

(2) 理解度選択項目

- ①理解できる
- ②やや理解できる
- ③どちらとも言えない
- ④あまり理解できない
- ⑤理解できない

2.2 理解度調査結果と課題

図1にアンケート調査結果を示す。

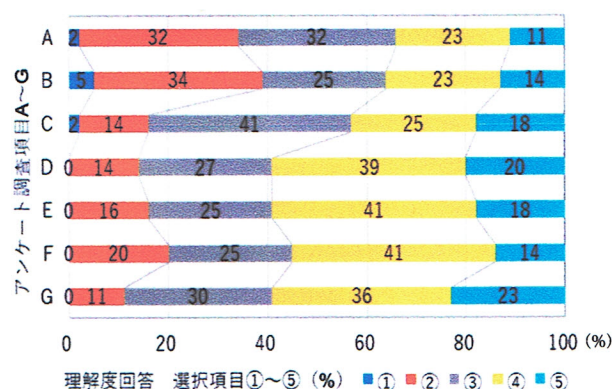


図1 アンケート調査結果

設問項目A及びBについては、静止状態における基本的なアライメント角度名と設定場所についての調査である。

理解度選択肢の肯定回答では項目Aで34%、項目Bでは、リンク式サスペンション図を参照しての回答ではあったが、39%と思いのほか低い回答率であった。

次に、なぜ「2本リンクを取り付けているのか」といった問いかけをしながらの回答となる。設問項目Cでは、肯定回答が16%と減少し、逆に、「どちらとも言えない」が41%と増加、同じく、「あまり理解できない」と「理解できない」が43%と増加している。

設問項目D,E,F,Gは、リンク式についての具体的な動作についての理解度を調査するものであるが、設問項目A,肯定回答率よりさらに低く、その中でも「理解できる」と回答した学生は0%で、動作について全く理解できていないという事実を知った。また、「あまり理解できない」及び「理解できない」と回答した学生が、全体の50%～60%と大幅に増加してきている。調査結果の中でも、設問項目D,E,F,Gの回答で明らかのように、学生にとって走行時および旋回時におけるリンク機構の動作を想定し理解することは、簡単ではないことがわかる。

また、全ての調査項目において、第三者に対して解説することが可能か否かを設問条件としたことから、学生もあらためて自分自身の理解度について、認識できたのではないかと推測する。

3. 理解度向上に向けた教材構想

3.1 製作のねらい

自動車整備学習（講義）において、一般的に言えることではあるが、学習情報として関連図を用いても意味を正しく理解する能力や動作を連想する力が弱い場合には、その構造自体についての理解度が半減することとなる。したがって、基礎的な知識といっても動作が伴わない車両静止状態のみの知識となる傾向が強くなる。いうまでもなく、アライメント教育では関連する機構が走行時にどのような働きをするのかを含め、全体的に応用力を働かすことが必要となる。

教科書による記載内容解説だけで動的状態を想定するようになった場合、経験豊富な整備士はともかく、経験が十分に備わっていない学生側の視点では、当然のことながらその動作全体を連想することは難しい。また、学習時において指導者と学生間では同じ対象物を見た場合でも、経験や知識の相違により両者が異なった捉え方をするなど、上手く伝達できていないことなどが課題となってくる。本教材製作においては、教科書による講義だけでは理解に結び付けることが難しい機構動作を視覚的にイメージさせ講義内容の理解を促進させることを狙いとする。

3.2 教材構想

調査結果で理解度が最も低かったタイヤに働く横力とトー角変化の関連性をテーマとし、これらに関連する基本動作を重点に置いた教材とする。トー・コントロール機構における基本動作については、車両走行時および旋回時といった動的な状況を如何にわかりやすくシミュレートさせるかが重要となる。以上のことから、本構成では本来実車両等

に取り付けられている駆動及び走行装置などの機構は取り除きできる限りシンプルなリンク構成とする。教材構想では以下に示す要素a)～f)を含む機構とした。

- トー・コントロール機構に特化したものとする
- 横力及び前後力により変化するリンク配置とトー角変化の視覚化が可能なものとする
- シンプルで実車両の構造を模したものとする
- 講義時に机上で使用できる
- 3)に関連し小型で持ち運びしやすいサイズとする
- 各作動状態においては、その動作を大きくさせイメージしやすい構成とする

3.3 基本システム概要

トー・コントロールをさせるには、車体側と車輪側を繋ぐリンク機構が不可欠となる。また、車輪側には旋回時に働く横力や駆動及び制動時に働く前後力を想定した動作についての視覚化が可能となる構成でなければならない。図2に基本構想に基づいた本装置の構想図を示す。

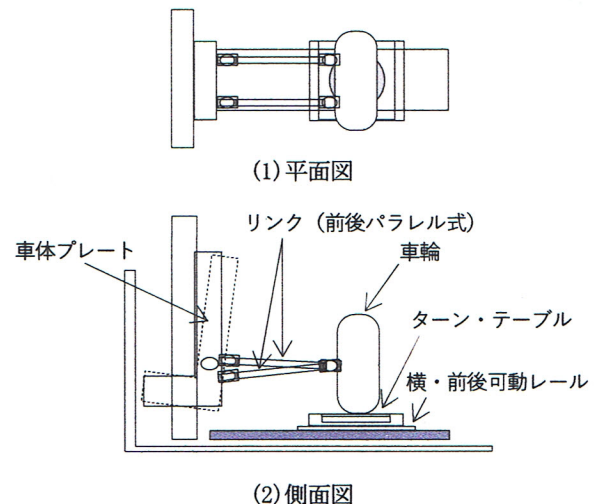


図2 基本構想図

リンクは平行式とし、車体プレートと車輪間に取付ける。車輪下部にはターン・テーブルを設置し、そのターン・テーブルの下部には本装置のベースであるターン・テーブル自体の横方向・前後方向の可動が可能な構成とする。この可動操作によりリンクを動作させ、トー角変化を可視化させることとする。

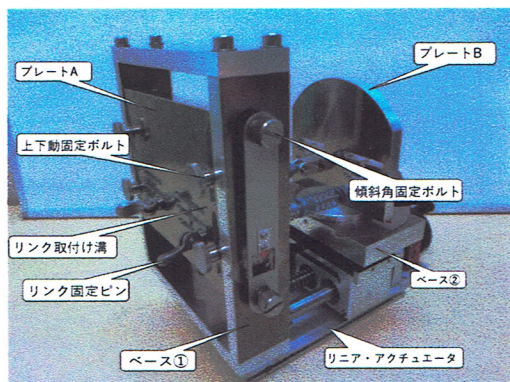
4. 教材製作

4.1 全体構成

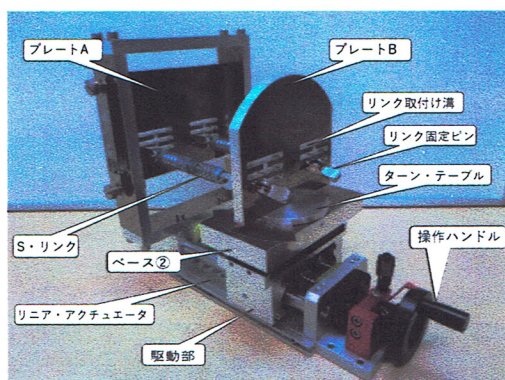
教材構想を基に設計を行い、関連する機器類を取付けた教材の全体構成図を図3示し、各部構成品について記述する。

全体サイズは、持ち運びを考慮し、横幅300mm×縦幅200mm高さ270mmと小型サイズとした。全体構成図3の(1)及び(2)内に示す各プレートは、自動車の車体側（プレートAとする）と車輪側（プレートBとする）を想定したものである。

なお、ターン・テーブル動作においてはタイヤ使用が理想的であるが、両部品間の滑り等を考慮し、プレートBはターン・テーブルに下部を固定させた状態とした。



(1) プレートA側からの構成図



(2) プレートB側からの構成図

図3 全体構成図

4.2 各部構成

4.2.1 可動プレートの製作

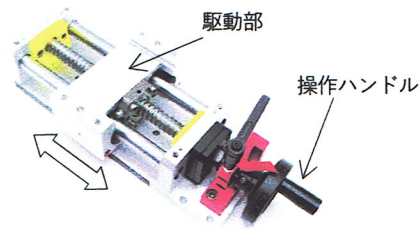
本装置製作において最も重要となるのが、基本構想図に示すターン・テーブル本体の横方向・前後方向の可動手段となる。

1) 横方向の可動

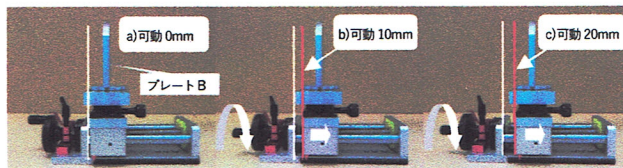
回転時に車輪に働く横力を想定したものである。横方向の可動手段としては、市販の手動式リニア・アクチュエータ(以後、アクチュエータと称す)を使用することとした(図4(1))。可動方法は、アクチュエータに取り付けられた操作ハンドルにより駆動部を操作する方法である(図4(2))。

2) 前後方向の可動

制動時及び駆動時に車輪に働く前後力を想定したものである。前後方向の可動方法では、駆動部とベース②間に前後可動プレートを挟む形で組み込み、前後可動つまみを操作する方法とした(図5(1), (2))。これにより、回転時及び駆動・制動時を想定した、横方向及び前後方向に作用するトー角の動作をプレートBの動きに変換する機構とした。

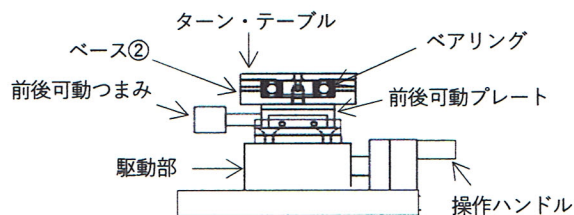


(1) アクチュエータ

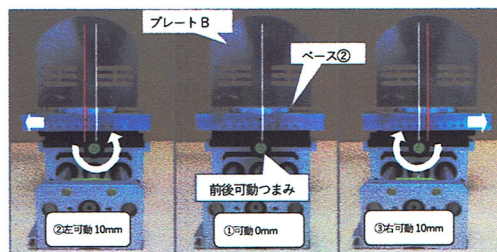


(2) 駆動部及びプレートB横方向可動状態

図4 横方向可動プレート構成



(1) ターン・テーブル下部の構成



(2) ベース②及びプレートB可動状態

図5 前後方向可動プレート構成

4.2.2 車体側(プレートA)及び車輪側(プレートB)製作

対面させたプレートAとプレートB間には、2本のリンクを装着する。

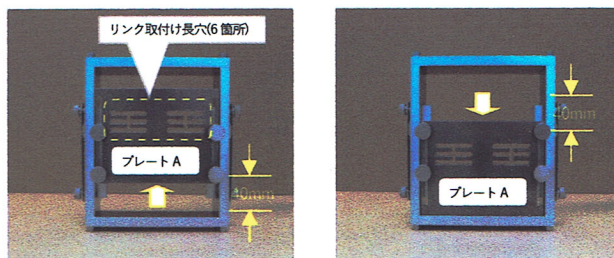


図6 プレートA設定と上下移動機構

各リンク両端は各プレートA,Bに取り付け、自在にリンク取付け位置を変更できる構造が必要であることから、プレートAとプレートBには、6か所の長穴を刻み、その範囲内で自在

にリンク取付け位置を変更できる構造とした。また、車体の上下動や傾きを想定したイメージ動作を目的とし、プレート A については最大 40mm までの上下可動が可能な構成とした(図 6)。

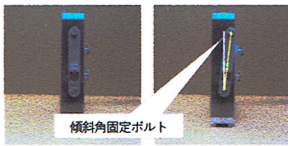


図 7 プレート傾斜機構

自動車の傾きを示すプレート A には、両サイドに傾斜角固定ボルトを取付け、最大 15° までの範囲で傾斜角設定が可能な構成とした(図 7)。

4.2.3 リンク構成

実車両におけるリンク取り付け部は、一般的にゴム・ブッシュを介して車輪側と車体側を連結している。

実車両と同様にゴム・ブッシュの使用が理想的といえるが、可視化を考慮した場合ゴム・ブッシュのわずかな撓みについては、目視しにくいことが懸念される。また、リンク配置によるトー角変化についてもプレート B の動作をより大きく、わかりやすく作動させる必要があった。そこで、リンク押付時の対応策として模型用ショック・アブソーバを教材用リンクとして代用することとした。代用する模型用ショック・アブソーバについては、事前準備としてショック内のオイルは全て取り除き、本来の機能を無くした上で、あくまでもスプリング固定用シャフトとした働きを持たせるものとした。この改良を施した教材用リンクは、以後、S(ショック・リンク)・リンクと称することとする。これにより、本来のゴム・ブッシュによる変形動作を S・リンクの伸縮動作とスプリングの撓みの両面から、大きく作動させわかりやすく目視できる機構とした。

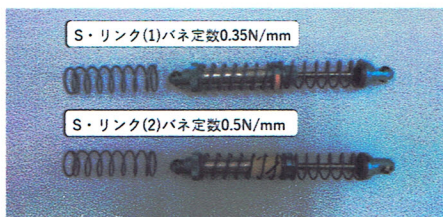


図 8 S・リンクのバネ定数設定

また、前・後に設置した S・リンクで、異なるバネ定数を持つリンク機構の場合では、押付力によりリンクにかかる配分力や動作も異なることとなる。この動作確認方法としては、バネ定数の異なるスプリングを準備し、このスプリングを組込んだ二種類の S・リンクを準備することとした。

S・リンクに取付けたスプリングは、S・リンク (1) はバネ定数 0.5N/mm、S・リンク (2) をバネ定数 0.35N/mm とした二種類の設定とした。図 8 にバネ定数の異なるスプリングを付けた S・リンク (1) 及び (2) を示す。

4.2.4 ターン・テーブル取付け

図 9 にリンク配置と横力の関連図を示す。回転時に働く横力とリンク位置の関連性を示すものであるが、リンク配置が $l_1=l_2$ である場合、横力によりリンクにかかる F1 及び F2 に反

力差はなく、両リンクはバランスされることとなる。

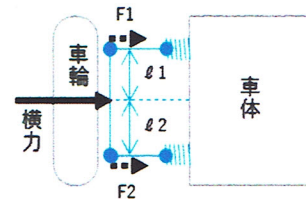


図 9 リンク配置 [$l_1=l_2$] と横力の関連

従って、リンク取付け位置で、 $l_1>l_2$ 又は、 $l_1<l_2$ の場合や、S・リンクの撓み力に違いがある場合に至っては、F1 及び F2 に異なった反力が生じ、結果的にトー角変化を起こすこととなる。

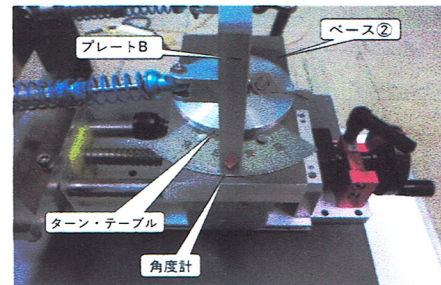


図 10 ターン・テーブル及び角度表示計

このトー角変化を上手く目視させる手段として、ターン・テーブルを設けることとした。取付け箇所はベース②とプレート B の間とし、ベース②の中心部にボール・ベアリングを挿入し、このベアリングを介して上部にターンテーブル及び角度表示計を取付ける。図 10 にターン・テーブル及び角度表示計を示す。

5. 試作教材の動作確認

試作教材の動作確認として、S・リンクの各種配置とそれに伴う作動について以下に示す方法で試験を行った。なお、本試作教材では、あくまでも S・リンク配置とトー角変化についての関連について動作確認を行うものである。

本装置における押付力とは操作ハンドルにより、駆動部を車体側に押付けた時の長さにより変換できるので、動作確認では、押付長さ 8mm 毎 (8mm, 16mm, 24mm, 32mm) について行った。押付長さとは、取付け位置からの移動量である。

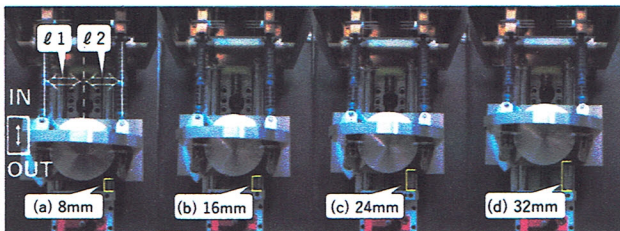
5.1 各部動作確認

備え付けた 2 本の S・リンクのバネ定数を同じとし、ベース②を操作ハンドルにより押し付けた時のプレート B の角度変化確認を行ったものである。S・リンクの配置については、以下の設定 I ~ 設定 III と分類し動作イメージ確認をおこなった。

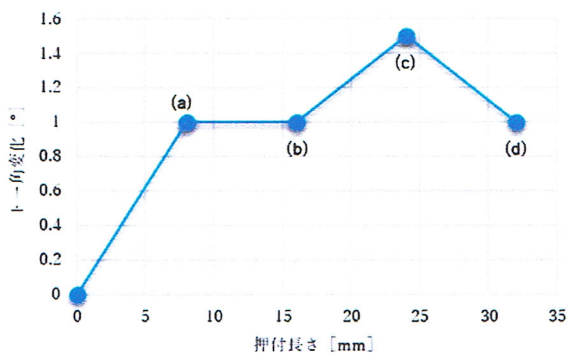
5.1.1 設定 I

設定 I は、プレート B の中心より均等な位置 [$l_1 = l_2$] に S・リンクを配置し、操作ハンドルにより押付長さを変化させたもので、8mm 毎に 32mm までのトー角変化について動作確

認をおこなったものである。(a)8mm から(d)32mm の押付長さに対して、(c)24mm 地点でS・リンクの引っ掛かりが見られ、ターン・テーブルの動きと共に他の地点より 0.5° のわずかな角度差が見られた(図 11(2))。その後、引っ掛かりの問題は発生せず押付長さの変化に対してトー角を変動させず維持していることが分る。図 11(1)に作動図、図 11(2)にトー角の変化を示す。



(1) 作動図 [$l_1(50\text{mm}) > l_2(25\text{mm})$]



(2) トー角の変化 [$l_1 = l_2$]

図 11 設定 I による作動図及びトー角変化

5.1.2 設定 II 及び設定 III

設定 II 及び設定 III は、設定 I の状態から一方の S・リンク取付け位置を変更させ l_1 及び l_2 を非対称長さとなるように配置させた動作確認となる。

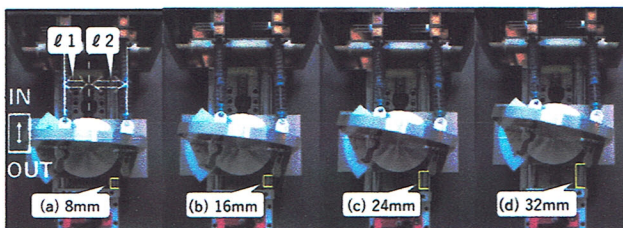


図 12 設定 II トー角作動図 [$l_1(25\text{mm}) < l_2(50\text{mm})$]

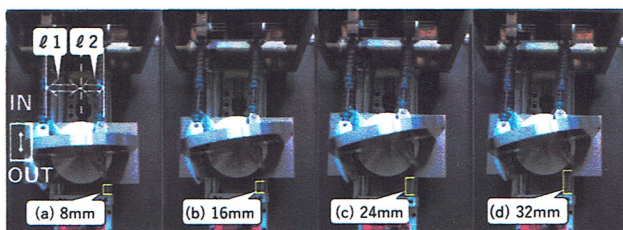


図 13 設定 III トー角作動図 [$l_1(50\text{mm}) > l_2(25\text{mm})$]

設定 II では、S・リンクの取付け位置を [$l_1 < l_2$] とし、設定 III では [$l_1 > l_2$] としたものである。図 12 に設定 II

によるトー角作動図、図 13 に設定 III によるトー角作動図を示す。図 12 及び、図 13 のトー角作動図に示されるように、2 本の S リンクのバネ定数が同じとした場合であっても、中心位置からの取付けオフセットが関係することで、双方の S リンクには分担された反力が発生し、トー角は相反する向きにスムーズに変化する動作を確認することができた。押付長ささとトー角変化状態を図 14 に示す。

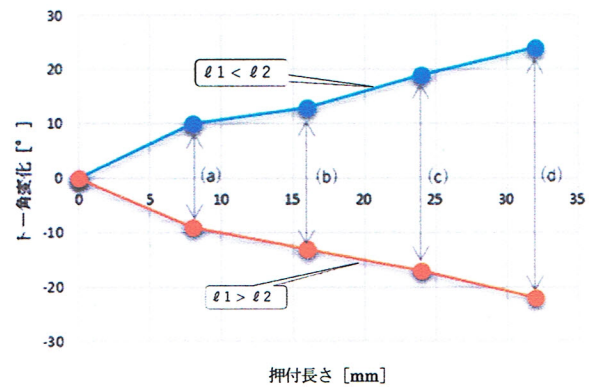


図 14 設定 II, 設定 III による押付長ささとトー角変化

5.1.3 設定 IV

これらは、実車両による設定とは異なるものも含むが、あくまでも S・リンク配置とトー角の動きを考える上で、学生のイメージ力を向上させることを目的に取入れた動作試験の一例である。なお、設定 IV 及び設定 V の各作動図については、操作ハンドルによる操作前と操作後のトー角 (IN, OUT) 作動図のみを示すものとする。

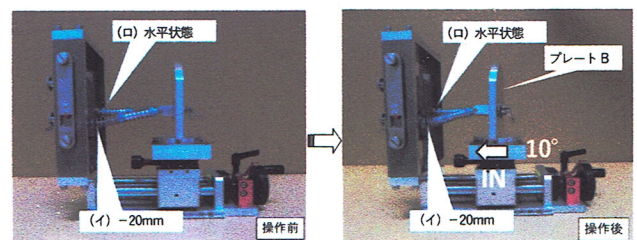


図 15 設定 IV S・リンク取付け位置：(イ)低状態

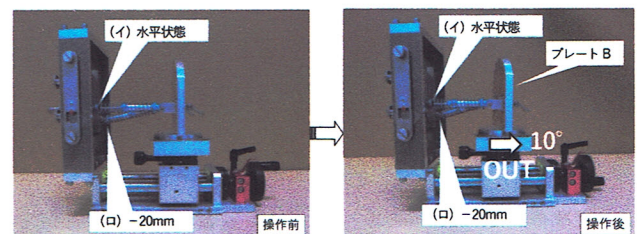


図 16 設定 IV S・リンク取付け位置：(ロ)低状態

表 1 設定 IV S・リンク取付け位置とトー角

設定 IV	押付長さ (mm)	S・リンク位置	動作 IN・OUT	トー角 (度)
図 15	10	(イ)低	IN	10
図 16	10	(ロ)低	OUT	10

設定IVでは、図5に示したプレートAに取り付けた2本のS・リンクをプレートAに設定した取付け高さのみ変更した場合について、プレートBのトー角変化を示したものである。なお、設定Vでは操作ハンドルによる押付長さは10mmとした。図14は、プレートAに取付けたリンク位置[$\varnothing 1 = \varnothing 2$]を示すものであり、手前側リンク取付け位置を(イ)、後側リンク取付け位置を(ロ)とする。図15(1)では、水平状態とした(ロ)側リンクに対し(イ)側リンクを20mm下げた状態を示す。

図14, 図15に示すように、前・後リンク配置を[$\varnothing 1 = \varnothing 2$]と設定した場合においても、それぞれのリンクに高低差がある場合での横力によるトー角変化(IN10°, OUT10°)について基本動作を確認したものである。

5.1.4 設定V

設定Vは、異なるバネ定数を持ったS・リンク設定によるトー角変化を示すものである。プレートAに取り付けたリンク位置は設定IVと同様に $\varnothing 1 = \varnothing 2$ とし、バネ定数のみを変更したものである。なお、2本のS・リンクの取付け高さは共に同じと設定しプレートBのトー角変化について動作確認したものである。操作ハンドルによる押付長さは10mmとし、バネ定数の違いによるトー角変化(IN10°, OUT12°)について動作を確認したものである。図17, 図18にバネ定数の違いによるトー角変化を示す。

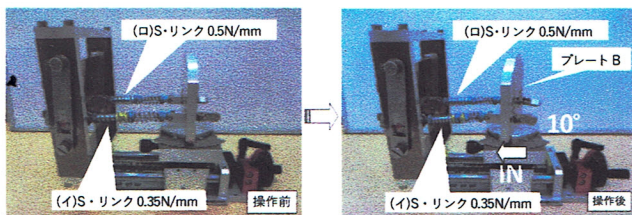


図17 設定V:(イ)S・リンク撓みによるトー角変化

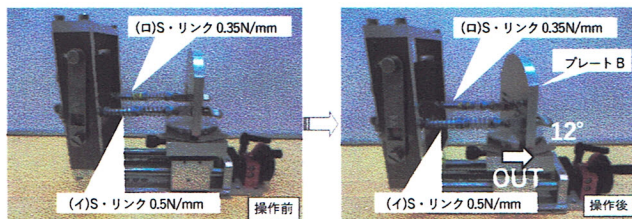


図18 設定V:(ロ)S・リンク撓みによるトー角変化

表2 設定V S・リンク撓みとトー角

設定IV	押付長さ(mm)	S・リンク定数	動作IN・OUT	トー角(°)
図17	10	(イ)0.35N/mm	IN	10
図18	10	(ロ)0.35N/mm	OUT	12

5.1.5 設定VI

プレートBに前後力が作用した場合をイメージしたもので、教材構成は本文4,2,1可動プレートの製作に示す。なお、設定VIでは前後力によるトー角の動作確認となることから、押付力時に使用したS・リンクは使用せず、通常のタイロッド・

リンク(以後、T・リンクと称す)を用いた。2本のT・リンクの取付け位置は、プレートA,Bとも同じ高さに設定し、前後力により作動させたプレートBとトー角変化についての動作確認の一例である。図19, 図20, 図21にT・リンク設定によるトー角変化状態を示す。

プレートB前・後に取付けたT・リンクが等長で、平行に取付けた場合には、前・後力によるトー角変化は発生しない(図19)。また、T・リンク取付け幅が異なる場合では、リンク取付け部の回転軌跡により、トー角変化する基本動作が確認できた(図20, 図21)。

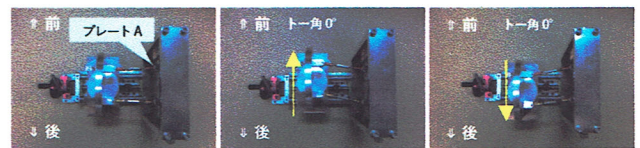


図19 T・リンク取付け幅: プレートA = プレートB

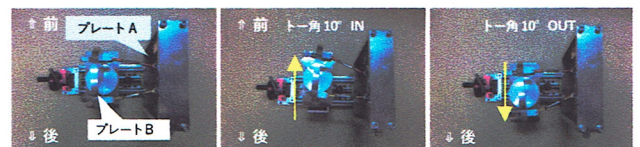


図20 T・リンク取付け幅: プレートA < プレートB

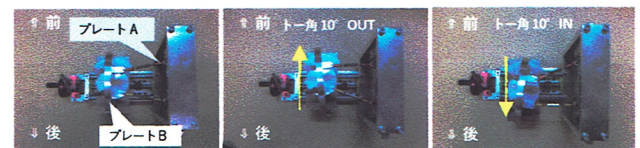


図21 T・リンク取付け幅: プレートA > プレートB

表3 設定VI T・リンク取付け幅とトー角

設定IV	T・リンク取付け幅	前・後動作10(mm)	トー角変化IN・OUT	トー角度(°)
図19	プレートA = プレートB	前	無	0
		後	無	0
図20	プレートA < プレートB	前	IN	10
		後	OUT	10
図21	プレートA > プレートB	前	OUT	10
		後	IN	10

6. 動作試験検証と考察

授業日程の関係より、理解度調査アンケートに参加した学生全員による試験的な検証が困難であったことから、本試作装置の作動確認では、筆者が担当するゼミ学生を対象とし試験的に学習実験をおこなうこととした。

学習実験では、はじめに装置の概要説明をおこない、その後取り扱い操作方法を踏まえ体験学習を実施した。

基本動作設定Iについての検証では、図11に見られる微妙なトー角の変化が比較的多く見られた。

中心軸に対しS・リンクを均等に配置しているものの、操作

ハンドルによる押付長さの変更に伴い、部分的にS・リンクの引掛掛かりがあったことや、ターン・テーブル下部のベアリングが敏感に反応していることが考えられた。しかし、作動状態においては想定通りのトー角変化を確認することができた。図 22 に学習実験状況を示す。



図 22 ゼミ学生操作による学習実験の様子

設定Ⅱ及び設定Ⅲについても、S・リンク定数及び取付け高さの設定により、想定内でスムーズなトー角の動きを確認することができた。なお、車体の傾きをイメージさせる図 7 のプレート傾斜機構では、有意な結果を得られなかった。

今回、教材製作のテーマの一つにコンパクトなサイズを掲げたが、コンパクトなサイズにこだわり構成部品がやや全般的に小さくなったことがあげられる。

▲ 試験的には大きな問題は無かったが、S・リンクの微妙な動作については本装置にカメラを用いる手法も含め、部分的に動画を用いる学習法も効果的であると考えられる。

学習後、動作不良による原因究明を含め、正常な動きについて学生との学習会話が始まったこともあり、新たな教育方法の改善を効率的に進めるための一つの指針を得ることができたことは間違いない。

7. まとめ

本研究では、従来の学習方法に潜在する課題について吟味し、講義だけではイメージが難しい動作について、試験的ではあるが可視化教材を用いた学習方法について提案したものである。本装置による学習実験により、以下のような結論を得ることができた。

- 1) 指導者と学生間で共通の理解のもとでの学習が可能となり、機構の動作確認等で課題であった知識の相違による異なった捉え方の減少が確認できた。
- 2) 試験的ではあったが、効率良く学習できる目途が立ったことや、何よりも定められた講義時間での技能習得が可能となる期待は大きい。
- 3) 各学生が装置自体に興味を持って学習する姿が見て取れた。また学生各人が直接触れることにより、学習内容および目的について認知し、今までとは違う視点により

興味を抱いている様子が見えた。

- 4) 基本的な動作にとらわれない大きく極端な動作を作ることで、より機構全体像を捉えることができ、理解度向上面においては底上げが図れる教材となると考えられる。

8. おわりに

限定的な機構ではあるが、S・リンクの配置とトー角変動の関連性について可視化させることで、動作イメージをすることで学生が興味を持ち前向きに学習する姿が印象深かった。

今後本装置を座学に取り入れることにより、教育効果は高まり効率的な学習態勢を実践できるものと期待できる。

しかしながら、機構的な面では、各部作動状態での数値的な表し方については部分的に改良の余地もあり、更なる工夫が必要となるが、今後の課題としたい。

今後も引き続き受講学生が意欲的に取り組める態勢作りをおこない、如何に意欲・好奇心を引き出させ、効率よく学習指導が行えるのかを課題とした新たな教材構想計画を進めていく必要がある。

参考文献

- 1) 花野裕二：教育用アライメント教材の試作，徳島工業短期大学紀要，Vol.13，p.1-2 (2009)
- 2) 花野裕二：教育用アライメント教材の試作 2，徳島工業短期大学紀要，Vol.14，p.11-12 (2010)
- 3) 花野裕二：教育用アライメント教材の試作 3，徳島工業短期大学紀要，Vol.15，p. 29-31 (2011)
- 4) 花野裕二：自動車ホイール・アライメント・シミュレータの試作 3，4WS の構成と特徴 徳島工業短期大学紀要，Vol.23，p. 3-6 (2018)
- 5) 花野裕二：自動車シャシ学習教材の試作計画 4AS による学習効果と課題整理に基づく新教材の構想 徳島工業短期大学紀要，Vol.24，p. 10-13 (2019)
- 6) 花野裕二：自動車シャシ可視化教材の試作 リンク式サスペンション機構の基本動作学習法 徳島工業短期大学紀要，Vol.25，p. 18-23 (2020)
- 7) 宇野高明：車両運動性能とシャシメカニズム，グランプリ出版 (1994) p.92 -p.96
- 8) 2 級自動車シャシ偏，日本自動車整備振興会 p. 119 -p.127