

トルクコンバータのしくみを学習する教具の開発*

山本利一^{*1}, 牧野亮哉^{*2}, 山本富士夫^{*3}Development of a Teaching Tool for Learning the Mechanism
of Hydraulic Torque ConverterToshikazu YAMAMOTO^{*4}, Ryoya MAKINO and Fujio YAMAMOTO^{*4} Faculty of Education, Saitama University,
255 Simo-ookubo, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

Students in mechanical courses at technical high school learn a hydraulic torque converter in the subjects of “motor” or “automobile engineering”. Ordinarily, the hydraulic torque converters are covered with a metallic case and therefore, the impellers and the working fluid in it are invisible. Accordingly, we developed a teaching tool for visually learning the principle of a hydraulic torque converter and investigated its teaching effect by lesson practices. This tool is constructed as follows: two driving and driven impellers are set up in a transparent acryl spherical vessel and it is filled with a distilled water. Therefore, the state of transmissions of driving power by working fluids can be learned visually. As a result of experimental lessons, it was made clear that this teaching tool had the good effects for the students to understand the power transmission mechanism of hydraulic torque converter.

Key Words: Torque Converter, Industrial Education, Educational Equipment, Flow Visualization

1. 緒言

我が国では、国際的に通用する技術者の養成が不可欠であり、日本技術者教育認定機構(JABEE:Japan Accreditation Board for Engineering Education)が設立され、活動をはじめた。質の高い技術者を養成するためには、その基礎となる資質を中学校や高等学校で適切に育成する必要がある、その時期に身につけた感性は、より高い教育を受ける段階で技術者の豊かな発想の原点となる場合が多い。そのためにも、身近な題材や最新の技術をより体験的に習得する学習内容や教材の開発は不可欠である。本研究では、動力伝達装置の

中のトルクコンバータ(以下、T/Cと記す)に焦点を当てて教材開発を行った。

自動車のオートマチックトランスミッション(以下、ATと記す)が作られたのは、1904年にアメリカボストンでStartband(スタートバンド)兄弟により試作された遠心クラッチ付き2速ATがはじめてとされている⁽¹⁾。現在のATの原型として開発され、量産車に搭載されたのは1938年にアメリカであり、クラッチ操作や変速操作を意識することなく、車の運転が容易にできるようになった⁽²⁾。そのため、アメリカではAT車が日本より20年ほど早く普及し始めた。ATが日本で初めて普通自動車に採用されたのは1959年である。日本での普通自動車のマニュアルトランスミッション車とAT車の登録比率は、1981年には、67対33であったのに対して、1985年にその比率がほぼ等しくなり、1999年においては、AT車が89%となっている⁽³⁾。このような社会的情勢を踏まえて、近年工業高等学校でもATについての学習が組込まれるようになってきた⁽⁴⁾。

* 原稿受付 2001年6月20日。

^{*1} 埼玉大学教育学部(☎338-8570 さいたま市下大久保255)。^{*2} 福井大学教育地域科学部(☎910-8507 福井市文京3-9-1)。^{*3} 福井大学工学部(☎910-8507 福井市文京3-9-1)。

E-mail: tyamamot@tech.edu.saitama-u.ac.jp

T/Cに関する学習は、高等学校の工業教育の中で、機械系学科（機械工学科，機械システム科，電子機械科，自動車科など）の「原動機」⁽⁶⁾，「自動車工学」⁽⁹⁾の科目の中で取り扱われている。T/Cは，ポンプ，タービン，ステータの三つの主要部品から構成されており，流体を媒介とする動力の伝達のしくみを利用したものである。エンジンからの動力をポンプが受けて回転し，T/C内の媒介となる流体に流れを起こし（流動動力に変換），その流れをタービンが受けて，出力軸（ギヤ側）へ動力が伝達される。その際，ステータは動力が効率よく伝達されるように，流体の流れを整える役割を果たしている^{(7)~(9)}。図1に工業高等学校の教科書に記載されているT/Cの模式図を示す。

高等学校でのT/Cの授業では，一般に扇風機2台を利用して動力伝達の原理を学習するケースが多い。すなわち，1台の扇風機を回転させて，その送風によってもう1台の扇風機の羽根車を回転させる実験を通して，流体継手を学習するものである⁽¹⁰⁾。その後，流体継手の模式図を通して，流体の動きを紙面上で学習する。この流体継手にステータが取り付けられたT/Cの学習へと進めることが一般的である。しかし，扇風機を利用した学習方法では，風のエネルギーが従動用の扇風機を回転させた後にも残っており，このエネルギーの利用のされ方までは学習ができない。また，風の動きは感覚的に予想できるが，視覚的な学習はなされていない。実際の流体継手やT/Cは金属ケースで覆われていて，通常では内部の流動を見ることはできない。流体継手やT/C内の流体の3次元的な動きを，2次元で表現して学習することは困難である。そのようなことから，教材メーカーよりT/Cの模型が販売されているが，それらは構造が複雑で流体の動きも理解しにくく，しかもかなり高価である⁽¹¹⁾。エンジンに関する教材の研究は様々ななされている^{(12)~(16)}。T/Cに関するものは，主に内部の流体の動きを可視化し，画像処理を加える研究であり^{(17)~(18)}，高等学校での授業で使用するT/Cの教材として適切なものは見当たらない。そこで，流体による動力伝達のしくみを比較的簡便に視覚的に観察・学習できる教具を開発し，実験授業でその学習効果を調べた。

2. 開発した教具

教具の開発目的は，学校現場で入手が容易な材料を用いて，T/Cにおける流体による動力伝達のしくみを視覚的に学習できることとした。本教具の構造は，図2に示すように，直径200mmの透明半球を二つ合

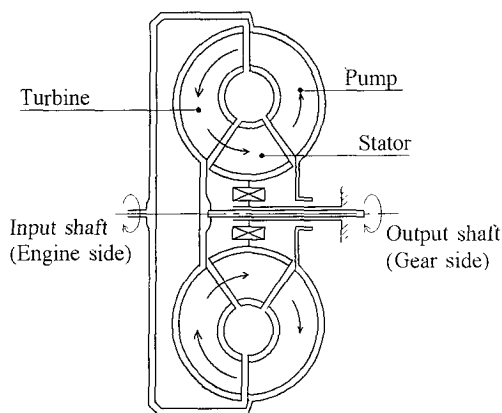


Fig. 1 Schema of torque converter

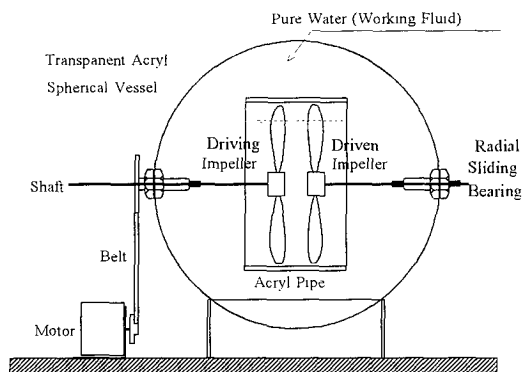


Fig. 2 Schematic view of a teaching tool for torque converter

わせた外殻の中央部に，外径125mm，内径119mm，長さ70mmの亚克力製パイプを三本のボルトで取り付け，その亚克力パイプ内に，駆動用と従動用の二つの羽根車（D社製プロペラA型，羽枚数4枚，直径115mm，以後，駆動用羽根車をポンプ，従動用羽根車をタービンと記す）を取り付けたものである。透明球体容器の両端部に，羽根車の軸受け部を取り付け，ポンプとタービンが亚克力パイプ中央部で向い合うように取り付けられている。透明球体容器の中に蒸留水を注入し，流体による動力の伝達状況を可視化するために，直径500 μ m，比重1.01のポリマー樹脂製粒子（トレーサ粒子）を混入し，その粒子の動きを視覚的に捉えられるようにしてある。混入したポリマー樹脂製粒子は，厳密な速度測定をするためのものではないが，蒸留水との速度の差が無視できるほど小さいも

のであり、T/Cにおける動力伝達を可視化することによって、生徒に定性的に理解させる目的としては十分であると考えられる。図3に、ポンプ、タービン、トレーサ粒子、透明球体容器等から構成される教具の概観を示す。

教具の動作原理は、電動機（モータ）でポンプに回転を与えると、球体容器内の蒸留水に流れが生じ、その流れによってタービンを回転させるしくみである。この流体の動きは、トレーサ粒子の動きによって可視化される。すなわち、この可視化によって生徒は動力伝達のしくみを視覚的に観察・学習するものである。流れの順序を見てみると、アクリルパイプ内にポンプとタービンが取り付けられているので、ポンプから送られた蒸留水は、タービンに回転を与える。その流動水は、アクリルパイプを抜け出し、球体容器の内縁部を回流して、ポンプの後方に戻ってくる動きをする。本教具にはステータに当たる羽根車は取り付けられていないが、アクリルパイプと球体容器内縁部によって、蒸留水は一定の方向に移動する。そのため、タービンを出た後の蒸留水が持つ流動エネルギーが、トルクアップに関与していることについても学習できる。ただし、実際のT/Cについては、より効率良くこの役割を果たすためにステータが取り付けられていることを確認し、指導する必要がある。

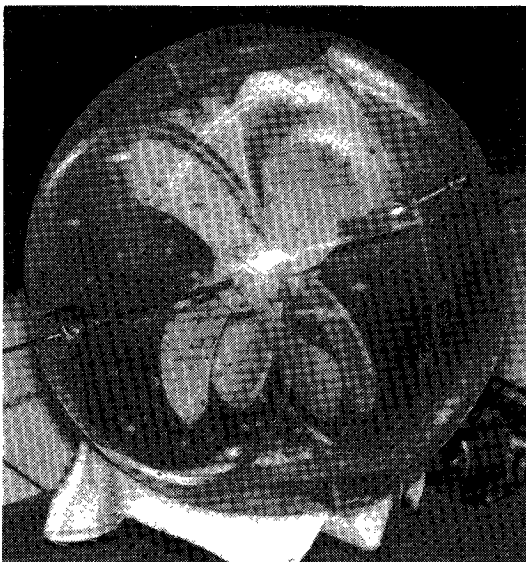


Fig. 3 Overview of a teaching tool for torque converter showing pump, turbine, tracer particles

3. 実験授業

3・1 調査対象および日時

2000年1月に福井県内の県立工業高等学校機械工学科第3学年、男子40名を対象にして、実験授業を行った。高等学校のT/Cの学習では、エンジンの基本的構造を学習した後、動力伝達のしくみの学習の中で、クラッチ、歯車変速装置、T/Cと学習を進めることが一般的である。実験授業に参加した生徒は、エンジンや自動車の基本的な構造については学習しているが、自動車の動力伝達装置としてのT/Cに関しては未履修である。

3・2 学習課題および実験条件

本時の学習課題は「トルクコンバータ（T/C）のしくみを調べよう」とした。学習時間は、「原動機」の1単位時間（50分）を配当し行った。実験授業展開は次の通りである。

まず、展開1：「T/Cの構造の説明」、展開2：「T/Cの原理として、扇風機による実験」、展開3：「模式図を使ったT/Cの原理の説明」、展開4：「市販教具を使った原理の説明」およびこの時点でのT/Cの理解に関する調査、展開5：「開発した教具を使った原理の説明」およびこの時点でのT/Cの理解に関する調査、展開6：「T/Cの特性と応用的な使い方の説明」をそれぞれ設定した。実験授業の様子を図4に示す。



Fig. 4 Aspect of experimental lesson

3・3 調査の手続き

実験授業における学習効果を判定するために、表1に示す質問項目を設定した。授業に先立ち、質問項目1～3を用いて、授業前の動力伝達やT/Cに関する既存知識の事前調査を行った。事前調査終了後、実験

授業を実施した。展開4が終了した段階で、質問項目4～6を用いて、T/Cのしくみに対する理解の程度を調査した。同様に展開5が終了した段階で、質問項目4～7を用いて同様な調査を行った。項目7は、本教具についての感想の記入である。

質問項目1～3においては、回答の度数を求め、既知率もしくは正答率を求めた。調査4～6における結果は、「理解できた」を5点、「だいたい理解できた」を4点、「どちらともいえない」を3点、「あまり理解できなかった」を2点、「理解できなかった」を1点として得点化を行い、統計処理を施した。

4. 実験授業の結果および考察

4・1 事前調査による生徒の実態

授業前に実施した事前調査の結果を表2に示す。この結果から、動力伝達やT/Cに関する知識を有している生徒が少ないことが明らかとなった。調査時期は高等学校3年生の卒業が間近い1月であり、普通自動車の運転免許取得者が約70%であるにもかかわらず、T/Cによる動力伝達についてはほとんど知識がないことが明らかとなった。

このことから、適切な動力伝達の学習をしていない工業高校生は、T/Cという用語を聞いたことがあるものの、これらの用語が意味する科学的な概念についてはほとんど形成されていないことが示唆された。

Table.1 Contents of question before and after the lesson

No	The question items
1.	Have you heard the word of "the torque converter" ?
2.	Do you know the principle of the torque converter ?
3.	It is possible to stop a car, even if the gear is not in neutral position in the case of automatic transmission car. Please write why it is possible.
4.	Have you understood the mechanism of the power transmission by torque converter ?
5.	Have you observed a motion of the fluid in the torque converter (a teaching tool of this experiment) ?
6.	Have you understood the work of the reactor ?
7.	Please write the impression on the teaching tool.

Table. 2 Results of inquiries before the lesson

Item.	1	Yes	Others	Known percentage
		26	14	65%
Item. 2	C. A.	W. A.	P. C. A.	
		3	37	7.5%
Item. 3	C. A.	W. A.	P. C. A.	
		2	38	5%

C. A. Correct answer, W. A. Wrong answer

P. C. A. : A percentage of correct answers

Table. 3 Degree of understandings at each stage of the lesson

Scene	Item. 4		Item. 5		Item. 6	
	4	5	4	5	4	5
\bar{X}	2.9	4.3	2.5	4.5	2.7	4.4
SD	0.92	0.63	0.97	0.55	1.14	0.55
F _(1,78)	59.49 **		118.76 **		72.67 **	

** p<0.01

4・2 実験授業における教具の効果

表3は展開4, 5での各学習内容の理解の程度の平均 \bar{X} と標準偏差SD, F比(F比とは、分散分析において、2群のデータの平均値の有意差検定、すなわち2群のデータの平均値の差が偶然誤差以上かどうかの判定に用いられる統計量であり、 $F = (\text{2群のデータの平均値の差による分散値}) / (\text{偶然誤差による分散値})$ で求められる¹⁹⁾。F比の出現確率、すなわちデータの偶然生起確率pの水準を用いて、有意であるか否かが判定される。)を示したものである。分散分析の結果、全ての項目に対して、両群の平均の差は有意であった(質問項目4 : $F_{(1,78)} = 59.49$, $p < 0.01$, 質問項目5 : $F_{(1,78)} = 118.76$, $p < 0.01$, 質問項目6 : $F_{(1,78)} = 72.67$, $p < 0.01$)。したがって、全ての項目に対して、開発した教具を利用することによって、学習内容の理解の程度が向上することが明らかとなった。開発した教具を使った実験時間は約2分間程度で、また、その説明に要した時間は約3分間と、合計で約5分間と短時間であった。このような短時間で学習内容の理解が著しく向上した原因は、内部構造が単純で分かりやすいとこと、教具内の流体の動きがトレーサ粒子によって可視化されたことによると考えられる。教具についての感想は、「内部が見やすいので分かりやすい」、「ポンプやタービンの動作の様子を確認できた」、「流体の

動きが見える」、「動力の伝達がよく分かった」など、T/Cを視覚的に学習できると言う意見が多く出された。以上のことから、本教具は、市販教具に比べて構造が単純で、T/Cのしくみを視覚的にとらえさせることができ、学習内容の理解と定着を促す効果が大であることが明らかとなった。

4・3 考察

本教具には、ステータに当たるものが取り付けられていない。そのため、簡易的な流体クラッチ（流体継ぎ手）であるともいえる。しかし、授業で「流体クラッチ」や「T/C」などといった似通った用語を多用することは、生徒に混乱を与えることが予想されるとの指摘が複数の教師からあり、今回の実験授業では、本教具をT/Cの原理を学習する教具と位置づけて利用した。

市販模型教具の羽根車は、実際のタービン、ポンプ、ステータを模擬して製作されており、より実際の形状をしている。この方が、動力の伝達効率も良い。しかし、初めてT/Cを学習する生徒にとっては、各製品の形状が複雑であるために、部品と部品の関係を分かりにくいものとしている。また、外見の形状も実物に近く加工されているが、外殻のアクリル材の厚さが均一でないために、見る角度によって羽根車などはゆがんで見え、構造を分かりにくくしている。本教具で用いた羽根車は模型用扇風機のもので、蒸留水などのような流体を媒体とする動力伝達には必ずしも適しているとはいえない。しかし、生徒たちには身近な素材でなじみがあり、感覚的に理解を手助けしていた。

以上のことから、本教具を利用することにより、T/Cのしくみを視覚的に学習できて、生徒の理解の深まりを確実に支援することができたと考えられる。

5. 教師の教具に対する調査

5・1 調査対象および日時

2000年1月から3月において、福井県内の工業高等学校の機械系学科の教員6名に対して、本教具の動作を提示し、その活用について調査した。

5・2 調査の方法および調査項目

調査方法は、フィールドワーク（各学校へ出向き、自由に意見を出し合う形式の調査）の形式をとった。主な調査項目は、1) 現状でのT/Cの指導方法とその課題点、2) 教具の長所・短所、3) 教具の改善点、4) 教具の授業利用の可能性、5) 全般的な感想の5項目である。

5・3 結果および考察

現状のT/Cの指導方法では、導入段階で2台の扇風機を実際に使って動力の伝達を説明している教師が4名、他の2名の教師は扇風機の図を使って説明していた。このことから、全ての教師が扇風機の風による動力伝達を導入で扱っていることが分かる。その理由は、生徒の身近にある素材であり、感覚的に理解しやすいためであるという意見であった。また、扇風機を使った実験は、その実験の模式図が教科書に記載されていることもその要因であると考えられる。次段階の学習は、教科書を使って説明を行うだけで、教材メーカーから販売されている教具が、学校の備品として購入されている学校は1校にすぎなかった。この段階（教科書の指導）で、“生徒はどの程度理解していますか”の問いには、“完全に理解できた生徒はあまり多くないと思われる”という意見が大多数を占めた。また、自動車科のように、各種機関の整備を専門に学習する科においても、ATの理論の説明にかける学習時間は、2単位時間（50分×2）と短いことが分かった。

教具についての意見は、「T/Cのしくみが分かりやすい」（6名）、「トレーサ粒子が中に混入されているので、流体の動きが分かる」（6名）、「透明な外枠なので、ポンプやタービンの動きが良く見える」（5名）、「ポンプやタービンの形状が単純なので、分かりやすい」（4名）、「市販の模型では、流体の流れの構造が分かりにくい」（3名）、「本教具は単純であるので、流れの順序もよく分かる」（3名）、「安価に学校でも作れるので良い」（3名）という意見が出された。

教具の短所や改善点としては、「ポンプの回転数をコントロールできると良い」（3名）、「粒子をもっと大きくすると分かりやすい」（3名）、「教具をもっと大きければ、見やすくて良い」（2名）、「ポンプとタービンの回転数がデジタルで表示できると良い」（1名）、「ポンプとタービンを違う色のプロペラにすると良い」（1名）などの意見が出された。直ぐに対応できるものや、今後検討すべき点などが明らかとなった。

授業での活用については、全ての教師が“使ってみたい”と答えていた。その活用する場面は、“導入の扇風機の説明の後に利用したい”と答えた教師が3名、“導入の扇風機の指導の後、教科書で簡単にT/Cの説明をした後に利用したい”と答えた教師が3名であった。実験授業では、教具の効果を調べるために、市販教具の後に本教具を利用したが、実際の授業では、もっと早い時期に提示する方が良いと考える教師が多かった。

その他の意見としては、製作の方法や各種部品の価

格について質問する教師が3名みられ、学校現場で積極的に使いたいと願っていることがわかった。また、本校で授業をしてもらえないかという前向きな意見も見られた。

全体として、教具に対しては好評であったが、様々な改善点が出されたことについては、前向きに検討していきたい。

6. 結言

本研究はT/Cを視覚的・体験的に学習できる教具を開発し、実験授業でその学習効果を調べた。その結果、T/Cの内部の流体の動きを可視化する教具を利用することは、生徒のT/Cのしくみに対する理解の促進を支援することが明らかとなった。同様に、教師に対する調査からも、T/Cのしくみを学習する授業で本教具を利用したいという意見が多く見られた。

高等学校の実際の授業で本教具を利用する場合には、T/Cの学習に対する導入教具として、そのしくみを学習する時に用いることが望ましいことも明らかとなった。本教具は、生徒・教師の両方から好評であったが、様々な改善についての指摘もあり、今後はより多くの授業実践を行い、本教具の改善と授業での効果的な指導法について研究を進め、発想力豊かな生徒の育成に努めたい。

謝辞

本教具の開発に当たり、アイシン・エイ・ダブリュ工業株式会社の土山幸男常務取締役ならびに同社の矢野正彦総務部長からご助言をいただきました。また、授業実践においては、福井県立科学技術高等学校の女木哲夫教諭からご協力をいただいたことに謝意を表します。

文 献

- (1) 坂本研一：オートマチック・トランスミッション入門，グランプリ出版，1995
- (2) 荒井久治：自動車工学全書 自動車の発達史（上），山海堂，1995
- (3) 日本自動車販売連合会情報システム部：自動車統計ハンドブック1999年版，p. 82，1999
- (4) 高等学校学習指導要領（平成11年3月），文部省，1999
- (5) 橋口盛典：新・AT車がよくわかる本，山海堂，1997
- (6) 安藤常世，他5名：原動機 エネルギー機械，実教出版，1997
- (7) 全国自動車教育研究会：自動車工学2，実教出版，1994
- (8) 橋田卓也：理解するシリーズ 新版・図解クルマのメカニズム，山海堂，1995
- (9) 下田 茂：大学講座機械工学21，自動車工学，共立出版，1975
- (10) 森山龍一，沢田吉苗，内藤 定：流体機械の教材に關する研究（第一報）－扇風機の効率－，日本産業技術教育学会誌，Vol. 19, No. 2, pp. 11-14, 1977
- (11) 島津理化機器：トルクコンバータ模型カタログ，p. 639，1998
- (12) 山崎文雄：爆発燃焼教具の解析(I)，日本産業技術教育学会誌，Vol. 21, No. 2, pp. 73-78, 1980
- (13) 山崎文雄，峯島和彦，小国 毅：「熱－運動」変換原理説明教具について，日本産業技術教育学会誌，Vol. 27, No. 1, pp. 97-106, 1985
- (14) 佐藤泰彦，菊地庄作，笹島 格：爆発実験装置の試作とそれを用いた内燃機関の学習システム，日本産業技術教育学会誌，Vol. 27, No. 4, pp. 35-40, 1985
- (15) 矢野利明，南 孝一，淵脇広智：内燃機関学習用可変圧縮比燃焼容器の試作と熱力学的考察，日本産業技術教育学会誌，Vol. 34, No. 2, pp. 107-114, 1992
- (16) 有川 誠，上里正男，佐分利正美：内燃機関学習における加熱シリンダ内圧力変化とピストンの動きに関する一指導法の検討，日本産業技術教育学会誌，Vol. 36, No. 3, pp. 193-200, 1994
- (17) A. Wada, F. Yamamoto, M. Iguchi, H. Ishihara：Computer Graphics and PTV Measurement of Internal Flow in Torque Converter, The 4th Triennial International Symposium FLUCOME '94, pp. 457-463, 1994
- (18) F. Yamamoto, A. Wada, M. Iguchi, M. Ishikawa：Visualization and Image Processing of Torque Converter Internal Flow, Journal of Flow Visualization and Image Processing, Vol. 3, pp. 51-64, 1996
- (19) 田中 敏，山際勇一郎：新訂ユーザのための教育・心理統計と実験計画法，教育出版，pp. 52~81, 1996