

徳島工業短期大学紀要

第 20 刊

目次

研究論文

竹粉を利用した発電用バイオ・ディーゼル・エンジンの研究	廣瀬博文・平野一正	1
あすたむカートの研究開発 (その 2)		
－詳細設計及び製作途中経過－		
島田 清・助道永次		
小笠原史也		5
ソーラカーの製作 (その 6)		
－高校生教育用ソーラカーの製作－		
小笠原史也・島田 清		9
電動スポーツバイクの試作 (その 5)		
－バイクの電動コンバート化についての研究－		
廣瀬博文・平野一正		13
燃料電池を使った電動カートの製作 (その 1)		
東條賢二・廣瀬博文		
平野一正		15
体験教育に関する研究		
四国 EV ラリー 2015		
多田好宏・吉田愛二		
石川誠也・幸内龍二		
星川慎太郎		21
ナノ秒スパーク光源の開発と高速現象の可視化		
－ディーゼル噴霧および水中収束衝撃波の可視化を中心として－		
宮城勢治		
立石 清・森時秀司		23
車両メンテナンスによる燃費への影響について(その 4)		
－タイヤ圧、電気負荷、アイドリングストップにおける燃費－		
吉田愛二・前田 剛		
多田好弘・専攻科学生		27

ドラマ式ブレーキ教材の試作	
—自己倍力作用に関する視覚シミュレータ教材の構成—	
.....	花野 裕二 31
エア・サスペンション実習装置試作（その2）	
.....	村上 和義 37
エンジンのアイドリング不調	
—データ・モニタで検証—	
.....	福栄 堅治
.....	藤園 翔太・又吉 幸太
.....	山口 智正 41
フューエル・ポンプ電子回路故障診断装置の製作について	
—個別異常発生装置による故障診断—	
.....	岩瀬 一裕 45
タイヤゲージの校正（その1）	
—タイヤゲージ校正装置の製作と測定—	
.....	島田 清 49
振動実習装置の製作（その3）	
—振動装置の確認—	
.....	遠藤 春雄 53
日本人ボランティアの参加による留学生に対する日本語教育	
.....	元木 佳江・近藤 孝造 55
MRI試験装置を用いたピンフィン流路の3次元流動測定	
.....	櫛田 直人
.....	武石 賢一郎 61
ピトー管による流速実験装置の製作報告	
—徳島文理大学香川キャンパス TA 実験—	
.....	櫛田 直人 67
円柱熱伝達実験装置の製作報告	
—徳島文理大学香川キャンパス TA 実験—	
.....	櫛田 直人 71
自動車構造材料の軽量化と成形性（その2）	
—高張力鋼板の機械的性質—	
.....	中 哲夫 75
他誌掲載論文抄録	
.....	81

2016年6月

竹粉を利用した発電用バイオ・ディーゼル・エンジンの研究

徳島工業短期大学 廣瀬博文・平野一正

Keywords : バイオ燃料, ディーゼルエンジン, 固体粉

I まえがき

竹は数年で育ち、放置竹林がますます増大して環境問題となっている。この竹を有効活用出来ないかを検討した結果、エネルギーとして新たな活用方法が無いかを模索した。現在、竹はボイラなどの燃料として活用されているが需要が限定的で放置竹林の解消までは至っていない。そこで竹をレシプロエンジンの燃料として活用できいか研究を行うことにした。レシプロエンジンは自動車はもちろん船舶、発電機など様々な分野で活用されている。このレシプロエンジンの燃料として竹を活用できれば需要が増大し放置竹林が解消するだけでなくエネルギー問題の改善へ貢献できるのではないかと考えている。

II 研究の目的

今回、竹をレシプロエンジンの燃料として活用できるかどうかを模索するために研究を行った。すでに竹を液体燃料にしてレシプロエンジンに使用する研究が行われているがコストの面で実用化には至っていない。本研究では竹を碎いて粉末状にして竹粉をレシプロエンジンに投入する方法を採用した。粉末にするだけなら生産しやすくコストを低く抑えることができる。しかし、竹粉をレシプロエンジンに吸入させて燃焼させるにはいくつか問題点がある。まず粉末が大きな体積を持つための吸入効率が悪いこと、発熱量の低さや煤の発生などである。吸入効率が悪いためにシリンダーに大量の竹粉を吸入させることはできない。あまりに竹粉が多くするとエンジンのシリンダー内で粉体が固体圧縮してしまい、最悪の場合エンジンを破壊してしまう恐れがある。また発熱量が低いため現状では竹粉だけの燃料ではエンジンを動かすことができないと思われる。そこで従来の燃料と混合した竹粉混合燃料としてエンジンを動かし、化石燃料の消費量を押さえつつ発電を行える発電機を研究することにした。

III 使用機材 実験内容

発電機のエンジンの種類としてガソリンエンジンとディーゼルエンジンがあるが今回は軽油を燃料とするディーゼルエンジンを使用することにした。理由としてディーゼルエンジンの発火方法が圧縮着火であるからである。まずピストンを用いて圧縮過熱した空気に軽油を噴射することで着火する方法で最初にシリンダに空気を吸い込んでからの着火となる。この方式ならば先に空気と竹粉をシリンダに送り込んでから圧縮、その後に軽油を送り込むため高圧のシリンダに入った軽油はまるで火炎放射器のように竹粉を燃やしてくれると考えたからである。つまり軽油を種火として竹粉を燃やすのである。それに対しガソリンエンジンの場合は電気による火花点火で、先に空気と燃料を混合してシリンダに吸入してからの着火になるため、さらに竹粉を追加することになり湿っている箇所に竹粉が付着して堆積し機械的トラブルを起こす可能性や、スパークプラグに付着して火花の失火の原因になる可能性があるので適切ではないと考えた。

以上のことから今回は YANMAR 社製のディーゼル発電機「YDG350VA-6E」を使用することにした。発電機の外観と仕様については Fig.1 と Table1 に示す。



Fig.1 ディーゼル発電機「YDG350VA-6E」

Table1 「YDG350VA-6E」の仕様

発電機	形式	自励式回転界磁方 单層交流発電機
	周波数(Hz)	60
	定格出力(KVA)	3.4
	定格電圧(V)	100
	定格電流(A)	34
エンジン	機関形式	立方空冷 4 サイクル ディーゼル機関
	燃焼方式	直接噴射方式
	連続定格出力 (kW{PS}/min ⁻¹)	4.5{5.9}/3600

竹粉の生産方法であるが阿南高専内にあるベンチャー企業「株パンプーケミカル研究所」に協力を仰ぐことにした。「株パンプーケミカル研究所」は竹の有効利用の研究を行っておりその研究の一つとして竹粉の製造装置を作成している。従来は農作業用肥料や家畜用飼料、工業用品の材料などが目的であったが今回、レシプロエンジンの燃料として竹粉を利用させていただいた。竹粉の拡大写真と成分表は Fig.1, table1 に示す。

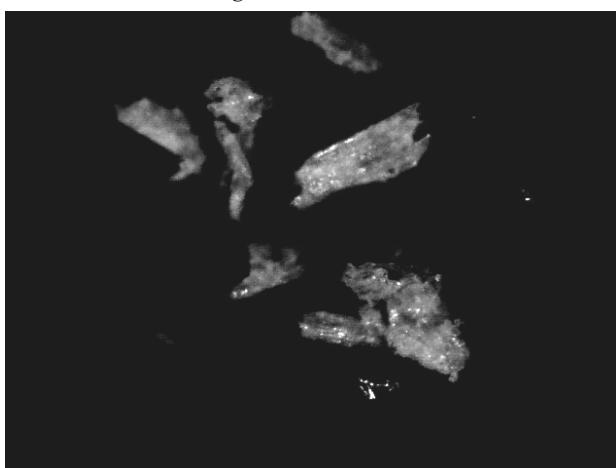


Fig.2 竹粉の拡大写真

Table2 竹粉の成分表

竹の種類	孟宗竹 (モウソウチク)	
成分	リグニン	20~25%
	ヘミセルロース	20~25%
	セルロース	40~50%
大きさ	250μm 以下	

次にレシプロエンジンへの竹粉の供給方法については株式会社セイワ技研製の「スクリューフィーダーミニ」を用いることにした。「スクリューフェーダー」とはホッパー内に投入した粉体原料をらせん型のスクリューを回転させて送る原料切り出し方法で今回の竹粉を供給する方式で今回の実験には最適だろうということで採用した。外観については Fig.3 に示す。



Fig.3 「スクリューフィーダーミニ」

さらに今回は環境への影響を調べるために排ガスの黒煙濃度を調べることにした。測定には株式会社バンザイ社製の「GSM-200R」を使用した。「GSM-200R」の外観と仕様については Fig.4, Table3 に示す。



Fig.4 「GSM-200R」

Table3 「GSM-200R」の諸元

測定原理	排圧分流式光透過式
測定範囲	光吸収係数:0.000~9.998m ⁻¹
表示分解能	0.001m ⁻¹ (光吸収係数)

以上の装置を用いて実験を行う実験方法はまず無負荷で、竹粉無し、竹粉 0.4g/s、竹粉 0.6g/s、竹粉 0.8g/s、竹粉 1.0g/s の 5 つの条件で軽油の消費量と黒煙の濃度を測定し最も軽油の消費量を抑えられた竹粉の投入量と竹粉の投入限界量を探し出す。

次に負荷（合計 3.4kW の電球）を掛けた状態で先ほどの 5 つの条件で軽油の消費量と黒煙の濃度を測定する。また負荷を掛けた状態での電圧電流を測定し熱効率を比較する。

IV 実験結果

実験の様子を Fig.5 に、無負荷での実験結果 Table4 に示す。なお軽油の比重は 0.846 として計算している。



Fig.5 実験の様子

Table4 無負荷での実験結果

竹粉の投入量	エンジン回転数	軽油の消費量	黒煙濃度
0g/s	3791min ⁻¹	0.187g/s	0.012m ⁻¹
0.4g/s	3823min ⁻¹	0.186g/s	1.062m ⁻¹
0.6g/s	3787min ⁻¹	0.188g/s	1.460m ⁻¹
0.8g/s	3785min ⁻¹	0.162g/s	1.528m ⁻¹
1.0g/s	測定不能	測定不能	測定不能

上記の実験結果から竹粉の投入量が 0.4g/s と 0.6g/s では軽油の消費量は 0g/s とほとんど変わらなかつたが 0.8g/s の時点では軽油の消費量が減ることが確認できた。

しかし、竹粉の投入量を 1.0g/s に変えたところエンジンが停止してしまった。おそらく竹粉により不完全燃焼が発生してエンジンを停止させたと思われる。また黒煙濃度については竹粉を投入量が増加とともに上昇している。

次に負荷を掛けた状態での実験結果を Table5 に示す。なお軽油の発熱量は 44.1kJ/g、竹粉の発熱量は 17.9kJ/g として熱効率を計算している。熱効率の計算は以下に示す式を使用した。

$$\text{軽油の熱効率} = \frac{\text{出力}[kW]}{\text{軽油の発熱量}[kJ/g] \times \text{軽油の消費量}[g/s]}$$

$$\text{軽油+竹粉の熱効率} = \frac{\text{出力}[kW]}{\text{軽油の発熱量}[kJ/g] \times \text{軽油の消費量}[g/s] + \text{竹粉の発熱量}[kJ/g] \times \text{竹粉の消費量}[g/s]}$$

Table5 負荷を掛けた状態での実験結果

竹粉	エンジン回転数	軽油の消費量	黒煙濃度	熱効率
0g/s	3735min ⁻¹	0.288g/s	0.080m ⁻¹	22.6%
0.4g/s	3477min ⁻¹	0.395g/s	6.543m ⁻¹	9.8%
0.6g/s	3425min ⁻¹	0.399g/s	9.908m ⁻¹	8.2%
0.8g/s	測定不能	測定不能	測定不能	測定不能
1.0g/s	測定不能	測定不能	測定不能	測定不能

エンジンの回転数が上手くコントロールできなかったため 0g/s では高い回転数となっており参考値として掲載する。Table5 から 0.4g/s と 0.6g/s での軽油の消費量、黒煙濃度、熱効率は悪くなっている。また無負荷の実験でもっとも軽油の消費量が低かった 0.8g/s ではエンジンが停止してしまった。よって 0.8g/s と 1.0g/s は測定不能であった。

V 分析

Table4 から無負荷の状態では 0.8g/s 付近が今回の条件下で最も効率が良い竹粉投入量であることが推測される。また 1.0g/s でエンジンが停止しており 1.0g/s が竹粉投入の限界値と思われる。

しかし、負荷を掛けた場合、無負荷でもっとも効率がよいと思われる量を投入するとエンジンが停止してしまう結果となった。おそらく投入された竹粉が燃えきる前に新たに竹粉が投入され煤が大量に発生して不完全燃焼を起こしたものと考えられる。それを確認するためにエ

ンジンが停止した直後のエンジンを分解してシリンダの状態を確認した。Fig.6に納品直後のシリンダの状態を、Fig.7に竹粉によってエンジンが停止したシリンダの状態を示す。

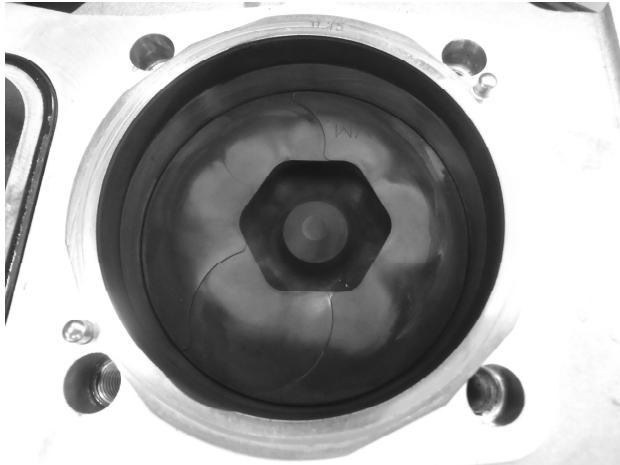


Fig.6 納品直後のシリンダ



Fig.7 エンジンが停止した直後のシリンダ

写真では判りにくいが煤が大量に発生していることが確認された。Table5 の黒煙濃度も 0.6g/s では測定限界値近くになっており多くの煤が発生していることが推測できる。

以上のことより、ほとんど負荷の無い状態では竹粉が燃料として燃えて軽油の消費を抑えることができているが、負荷かが掛かった状態では竹粉が不完全燃焼を起こし、逆に燃焼の邪魔をしてしまっていると考えられる。

VI まとめと今後の予定

今回の実験では市販のディーゼル発電機を利用して実験を行ったがこの市販のディーゼル発電機は軽油を使用したディーゼルエンジンが最も効率が良い回転数に設定

されている。その回転数は 3600min^{-1} に設定されているが、この回転数は竹粉を燃料とするには高すぎるのではないかと思われる。回転数が高いために竹粉が燃えるのに必要な時間が足りず多くの煤が発生しエンジンを停止に追い込む悪循環となっている。そのため今後は竹粉燃料を投入した条件で効率の良い回転数を見つける必要がある。ただ回転数を落とすと発電能力が落ちるので、その回転数に合わせた発電機が必要になってくる。

今後の予定としてエンジンの回転数を任意で変更できるように改良を行う予定である。この改良により竹粉を燃やすのに適した回転数を探し出し、竹粉を燃料として使用するのに適した条件を模索していきたいと思う。

謝意

本研究を行うにあたり平成 27 年度科学研究費助成事業 (JSPS 科学費 15H00340) の研究助成金を賜りましたことを記して、謝意を表します。

あすたむカートの研究開発（その2） －詳細設計及び製作途中経過－

徳島工業短期大学 島田清・助道永次・小笠原史也

Keywords : 短期大学, ソーラーカー, 教育, あすたむらんど

I まえがき

前報においては、徳島県の子供向け体験型科学教育施設である「あすたむらんど」から依頼された園内周遊用の多人数乗りカート（以降あすたむカート）の企画について報告を行った。その後、あすたむらんどと協議を行った結果、受託研究という形で契約を取り交わし、あすたむらんどからの研究予算100万円で製作を行うことになった。しかしながら、契約の取り交わしに予想外に時間がかかってしまい、実際の製作に着手できたのは10月になってからとなり、年度内の完成は不可能となったので、本報告では詳細設計の要点と、製作の途中経過の報告を行うこととする。

II 詳細設計

軽トラックをベースに改造することとしたため、まずは中古の軽トラックを選定した。利用するのはキャビンと足回りのみで、エンジンは不動でよいことを条件に探した結果、ダイハツハイゼット（型式：S200 前期、購入価格45,000円）を入手することができたので、これをベースに詳細設計を行うこととした。

荷台を取り払ってリヤフレームの寸法測定を行ったところ、キックアップ部分の前側のフレーム地上高が、フレーム下面で約360mmであり、企画段階で決定した客室床面高さ320mmに対し約40mm高いことが判明したので、車高を全体として40mm下げたうえで、リヤフレームは全面新規に制作することとした。

新しいリヤフレームは、適度なしなりを出すために角型鋼管ではなくC型鋼を使い、キックアップ部は直線的にレイアウトし、接合部は補強板をあててスポット溶接及びアーク溶接で強固に結合することとした。リヤサスペンションは実車をそのまま使用するため、リーフスプリング取り付けブラケットは、実車のフレームに使われていた部分を切り取って再利用することとした。

客室の床面高さが320mmのため、中間の位置に階段状のサイドステップを取り付ける構造とした。

リヤアクスルの取り付け高さを下げるために、従来リーフスプリングにぶら下げられていたリヤアクスルを、

リーフスプリングの上に持ってくることでリヤフレームの地上高を約100mm低下させることとした。しかしこのままだとリヤディファレンシャルのドライブピニオン軸が略水平にならないため、リヤアクスルの上下を反転し、さらにディファレンシャルが車両後方向きになるようレイアウトを変更した。ディファレンシャルには、取り付けブラケットを介してモータを取り付け、これらがリヤの荷物室に開けられた床の覗き窓から観察できるようしているため、かえって観察しやすくなるというメリットが生まれた。もちろん、リヤアクスルを上下反転しているため、ドレンとブリーダは取り付け直すこととした。

ルーフ上に設置するソーラーパネルは、当初は強化ガラス製を検討していたが、単結晶型で変換効率の高いセミフレキシブル型の価格が下がってきたため、こちらを採用することとした。コスト的には約2倍になるが（100,000円→180,000円）、重量的には8枚（800W）で約50kgの軽量化が図られ、デザイン面でもルーフをなだらかな円筒面にでき見栄えが大幅に向上するため有利と判断した。

リヤアクスルの駆動には、45mm幅の歯付きベルトを使用し、プーリ比は3.0とすることで、時速10km/hの巡航速度時でモータ回転速度は約2,000min⁻¹となるようにした。

床は構造用合板（コンパネ）で板厚は12mmとし、リヤフロア（荷物室）の一部には板厚10mmのアクリル板をはめ込み、リヤアクスルが観察できる覗き窓とした。

リヤに取り付ける灯火類は、LEDランプ式の市販の汎用品を使用することとした、また、後方には音声式バックアラームを、前方にもやはり音声式警報器（電気自動車用音声アラーム）を取り付けることで安全対策を施すこととし、さらに前方には超音波ソナー式車間距離警報器の信号を利用した緊急ブレーキ装置を組み込むこととした。

動力用モータ等は、種々検討した結果、表1に示すものを購入することとした。生産国は中国である。

表 1 モータ等の仕様

名称	モータ	コントローラ
メーカ	Golden Motors	Golden Motors
型式	HPM5000B	VEC300
タイプ	ブラシレス	三相交流
定格出力	DC48V5kW	
定格電流	100A	120A
本体サイズ	φ206×126	190×180×50
重量	11kgf	2.5kgf

また、ソーラーパネル及びチャージコントローラは、表 2 に示すものを購入した。

表 2 ソーラーパネル、コントローラ

名称	ソーラーパネル	コントローラ
メーカ	IEC	Sun Yoba
型式	Semi flexible	MPPT20
タイプ	単結晶	PWM/MPPT
定格出力	100W	24V20A
本体サイズ	1200×540×2.5	143×89×46
重量	2.0kgf	0.3kgf

これらを、日本の業者から購入すると割高になってしまったため、直接輸入することとした。さらに、バッテリは当初 50Ah を計画していたが、ネット通販で思ったより安い価格で表 3 に示す EB バッテリの 65Ah が入手できたのでこちらに変更し、客室前席のシート下に搭載することとした。

表 3 バッテリ仕様

名称	バッテリ
メーカ	古川電池
型式	EB65
タイプ	EB バッテリ
5 時間率	65Ah
本体サイズ	225×171×304
重量	24kgf

キャビンは軽トラックをそのまま流用するが、見栄えを良くするためにフロントおよびサイドは FRP でカバーを作成することとした。

III 製作

フレームに用いる C 型鋼は、図 1 に示すもので、サイズは 120×60×20×t2.3mm とし、所定寸法に切断加工を行い、結合部は SPHC 材の板厚 2.3mm の補強材をスポット溶接の後、周囲をアーキ溶接で仕上げて強度を確保した。

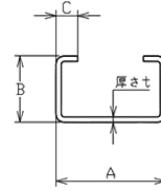


図 1 C 型鋼断面形状

製作したフレームは単体の状態でさび止め塗装を車体専攻科の設備で行った後キャビンと溶接結合した。(写真 1~3) ホイールベースは実車と比べ 1m 延長している。



写真 1 全体写真



写真 2 リヤサスペンション周り

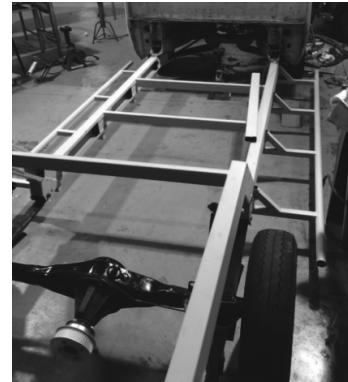


写真 3 サイドステップ形状

後輪ブレーキ配管及び駐車ブレーキのワイヤーなどは、ホイールベース増大に合わせ改造した。詳細は省略する。

フレームとキャビンの結合部には、大きな曲げ応力が発生するので、キャビン下のフレームと新しいリヤフレ

ームの結合には、フレーム同士をアーク溶接した後に、補強版をアーク溶接で取り付け、結合強度を確保した。

出来上がったフレームに床を張り、椅子を並べた状態を写真 4 に示す。車両左側は乗降口であり、ドアが取り付けられるが、現段階ではドアのない状態で、乗降性の確認等を行っている途中であり、側板や屋根は寸法確認のための仮のものである。



写真 4 床と椅子を並べた状態

ステップ高は、約 160mm で小児も容易に乗降できるような高さとし、かつ踏面を確保するため、写真 5 に示すように床板の一部を切り欠いている。



写真 5 乗降口周り

乗降性を確認するため、身長 170cm の学生に試してもらっている様子を写真 6 に示す。ルーフの室内高は約 1350mm で計画しているが、写真で見る通り若干頭を下げる必要はあるが、乗車に支障が出ることはないことが確認できた。



写真 6 大人の乗車時姿勢

着座時の天井までの余裕度合いは、写真 7 に示すようにこぶし二つ分程度が確保されており、十分であると判断できる。



写真 7 着座時の頭上の余裕度合い

着座時の足との余裕の具合を写真 8 に示す。前席下にはバッテリが搭載（実際にはカバーで覆われバッテリは見えないようになる）されるが、十分スペースは確保されていることが確認できる。



写真 8 着座時の足下の余裕度合い

なお、バッテリの点検時には、前席は写真 9 に示すように、ヒンジで前方に傾斜できるようにして、整備性を確保している。



写真 9 バッテリの整備性

降車時の様子を写真 10 に示す。ステップ高 160mm であるため小児でも保護者の介助なしに降車できることと思われる。



写真 10 降車時の様子

車体前面は、きれいな曲面形状を FRP で成形するが、FRP の土台となる面を形作るために、写真 11 に示すものを、コンパネ等を利用して作成した。これは車体に対しはめ込んでいるだけであり、簡単に取り外すことができ造形作業を容易に行うことができる。



写真 11 車体前面の土台

車体の製作はまだ手つかずであるが、全体のイメージをつかむために、ベニヤや厚紙で車体右半分の概略形状を再現した様子を写真 12 に示す。

A black and white photograph of the entire white van, showing its side profile and front view. The van appears to be a prototype or a model under construction.

写真 12 全体イメージ

ドア形状は前面形状からなだらかに続くように膨らませたものとし、タイヤは完全に覆い隠す造形とする。ヘッドライトは実車のものをそのまま流用している。

最後列のシート後方は、乗客の荷物室となるが、写真 13 に示すようにこの部分にアクリルでのぞき窓を作り、

リヤアクスルとモータの様子が観察できるようにしてある。

A black and white photograph of a rectangular acrylic window installed in the floor of the cargo area. It provides a view into the interior of the van, specifically the rear axle and motor assembly.

写真 13 荷物室床面のぞき窓

IV 今後の予定

7 月までに車体を完成させ、塗装を済ませた後で、8 月中の夏の時期に走行実験を行い、所定の性能がどこまで達成できたかを測定した後、9 月末にあすたむらんどに完成車両を引き渡すこととしている。

残された作業量がまだ多いため、4 月以降は、自動車工学専攻科の学生（1 年生）の選択教科である自動車研究 I のテーマとして、学生の協力を得ながら完成を目指すこととする。

V あとがき

これまでいろいろな種類の車両を試作してきたが、毎回作り方を変えてきた。今回はフレーム材料として C 型鋼を使用したが、C 型鋼は素材を切り出すと内部応力の影響で断面形状が変化し、断面形状が直角でなくなることがあり接合の際に形が整わず難儀した。また、補強板の取り付けにスポット溶接を使用したが、標準的な形状の先端チップしかなく、狭い場所でのスポットが行えなかつた場所があった。しかしながら、補強板の取り付けには有効な手法であることが明らかになったので、今後さらに工夫を加えることで、より軽量で効果的なフレーム設計が行えるように工夫をしてゆくことができると考えている。

参考文献

- (1) 福栄堅治, 島田清, 近藤嘉宏, 河井数馬 : 学童教育用ソーラーカーの設計・製作, 自動車技術に関する研究報告誌, 全国自動車短期大学協会, Vol.17, p.13-14 (2013)
- (2) 建築基準法施行令（平成二七年一月二一日政令第一三号）第 3 節階段 第 23 条
- (3) 島田清, あすたむカートの研究開発（その 1）, 徳島工業短期大学紀要 Vol.19 p.35-38 (2015)

8

ソーラカーの製作（その6） —高校生教育用ソーラカーの製作—

徳島工業短期大学 小笠原史也・島田清

Keywords : モビリティビークル, ソーラカー, 位置変形, 変形, 教育

I まえがき

あすたむらんどに寄贈した小学生用ソーラカーは各種イベントで活用され、当初の目的を十分に果たしている⁽¹⁾。本学では、オープンキャンパス等のイベントにおいて試乗体験を行って自動車に対する興味向上を図る取り組みをしている。その一環として今後普及が進むと考えられる小型のコミュニティビークルを保有する必要があると感じた。

オープンキャンパスの主体は高校生であるため、車両サイズや機構についてひと工夫する必要があると考えられる。また、環境問題への意識を高めてもらうために、これまでにもいくつか製作しているソーラカーの製作を行うこととした。ベース車両は、一級専攻科の学生と共に製作したフレームを基にまで高校生に訴求できるものを製作する⁽²⁾⁽³⁾。

今回製作する車両は小型のソーラカーであるため、乗降性と操作性能の両立を図るために、車体形状を変形可能な機構とした。今年度は、ボディを製作し、車両が走行実験可能な状態となったので報告する。



図1 ボディ一体型シート

II ボディ製作

図1に、ボディ一体型シートを示す。ボディとシートは一体成型のFRPで製作され、フレーム全体を囲う形状となっている。シート部はカート用シート形状を基本として運転時のホールディング性向上を目指した。

この一体型シートの製作方法を次に示す。まず、エキスパンドメタルでボディとシート形状をデザインする(図2)。その裏面にガムテープを貼り付ける(図3)。その上からFRPを巻く(図4)。エキスパンドメタルを用いたことにより、かなり複雑な形状のものを製作することができた。このほかに、フロントパネルとステアリングポスト(図5)をエキスパンドメタルでデザインして製作した。



図2 エキスパンドメタルによる成形



図3 ボディ成形



図 4 シートとボディ

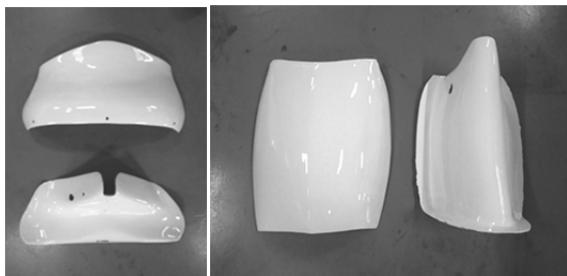
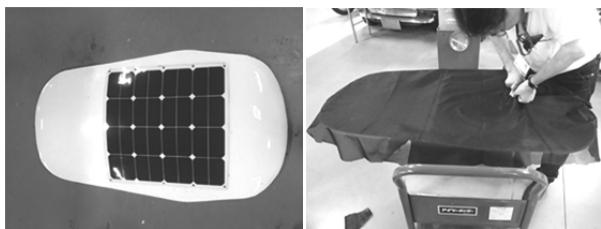


図 5 フロントパネルとステアリングポスト



(a) ルーフ上面 (b)内張り加工
図 6 ソーラパネル付ルーフ

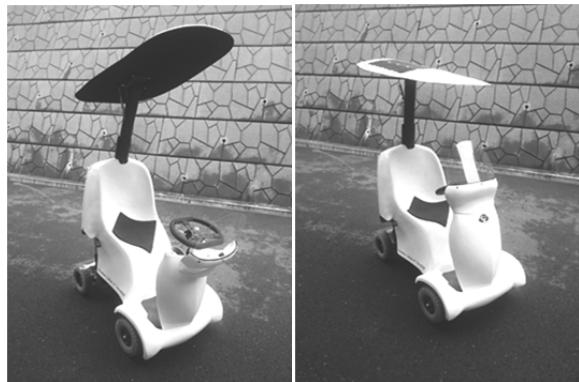


図 7 完成車両

表 1 車両諸元

	乗降モード	走行モード
ホイールベース(mm)	740	820
トレッド前(mm)		620
トレッド後(mm)		485
車両重量(kgf)		94
前輪重量(kgf)	52	41
後輪重量(kgf)	41	53
タイヤ有効半径(mm)		125
フロントキャンバ角(°)	0	0
フロントキャスター角(°)	-10	10
ソーラパネル発電量(W)		50+30
ソーラパネル電圧(V)		12+12

表 2 動力ユニットの諸元

型式		WT-T4G
サイズ (全長×全幅×全高)		1040×550×900 mm
モータ (30 分定格出力)		DC24V 270W
駆動方式		後輪直接駆動方式(デフ付)
制動方式		モータ発電制動および電磁ブレーキ
最高速度	前進	1 – 6 km/h
	後退	1 – 2 km/h

表 3 バッテリの諸元

製造メーカー	台湾 LONG
型式	U1-36NE
サイズ (全長×全幅×全高)	197×131×159 mm
重量	11.3 kg
定格電圧	12 V
定格容量	36 Ah (20 時間率)
最大充電電流	10.8 A
搭載個数	2

図 6(a) にルーフパネルを示す。ルーフパネルをボディ同様 FRP で製作した。太陽光が最も当たる部分であることやルーフ形状が曲面を描いていることから出力 50 W 相当のフレキシブルソーラパネルを取り付けた。ルーフパネルの内側は見栄えを良くするために布を貼り、ルーフ外周はモールで整えられている (図 6 (b))。

図 7 に、完成した車両を示す。フロント部にアクリルで風防を取付けた。ルーフパネル取付ロッドはドライバーの頭部保護のため、スポンジによって覆われている。シ

ート部は真四角のスポンジが配置され、前方への滑りを抑制した。その車両の諸元を表1に、動力ユニットの諸元を、表3にバッテリの諸元を示す。

III 走行時の電力バランス

完成車両の動力性能の検討および試験を行った。完成車両の全開走行に必要な出力Pは、乗員の体重を含めた車両総重量を1500 N、平坦との走行抵抗係数を0.015、車両最高速度を6 km/h = 1.67 m/sとして、次の式で求められる。

$$P = 1500 \times 0.015 \times 1.67 = 37.6 [\text{W}]$$

また、ソーラパネルの出力Psは、ソーラパネルの定格出力80 Wに対して発電量を80 %、ソーラチャージャの変換効率を80 %、動力伝達効率を75 %として、次の式で求められる。

$$Ps = 80 \times 0.8 \times 0.8 \times 0.75 = 38.4 [\text{W}]$$

結論として、晴れた日の平坦路であればソーラパネルの発電だけで走行することができると考えられる。

実際に快晴時の平坦路の走行試験を行った結果、バッテリを消費すること無く走行できることが確認できた。

IV 変形機構の改良

図8に、走行モードから乗降モードへ変形するための新たな変形機構を取り入れた。ドライバは持上ハンドルを上に引き上げることで支点を中心に持上プレートが路面と接触し車体が持ち上がる。図の丸で囲った部分と前輪タイヤのサイクルフェンダに干渉しないように持上ハンドルを伸ばすことや持上プレートを両側に取付けることが課題である。

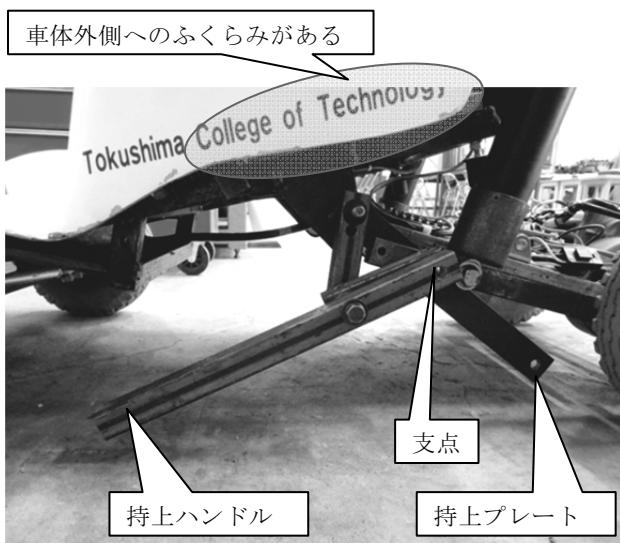


図8 走行モードから乗降モードへの変形機構

V まとめ

今年度、FRPでボディなどを製作し、車両が走行できて乗降性、操作性、車両安定性の実験が可能な状態となった。この状態からフレームの塗装、走行モードから乗降モードへの変形機構の改良を行う予定である。

参考文献

- (1) 福栄堅治、他3名：学童教育用ソーラーカーの設計・製作、自動車整備技術に関する研究報告誌、全国自動車短期大学協会、Vol.41, p.34-39 (2012)
- (2) 島田清、他3名：ソーラーカーの製作（その3）、徳島工業短期大学紀要、Vol. 17, p. 13-14 (2013)
- (3) 小笠原史也、島田清：ソーラーカーの製作（その4）、徳島工業短期大学紀要、Vol.18, p.41-42 (2014)

電動スポーツバイクの試作（その5） －バイクの電動コンバート化についての研究－

徳島工業短期大学 廣瀬博文・平野一正

Keywords : EV, コンバート, モータースポーツ

I まえがき

平成22年に製作した電動バイクを改造し、スポーツバイクとして相応しい運動性能を持つように様々な改造を行っている。今回はその第5報である。

II 研究の目的

今回の研究では電動自転車用のリチウム電池を搭載することにした。狙いは軽量化である。以前からリチウム電池の搭載を検討していたがコストの関係で断念していた。しかし、近年の電動自転車用のリチウム電池は改良重ねられ大容量化してきており、またコストも安くなってきていていることから今回、導入して改良を行うことにした。

III 使用機材

ベース車両は平成25年度製作したYSR50EV-2を使用する(Fig.1)。



Fig.1 電動バイク「YSR50EV-2」

リチウム電池はパナソニック社製の電動自転車用リチウムイオン電池「NKY454B02」を使用する。外観と仕様については Fig.2 と Table1 に示す。このリチウムイオン電池は電動自転車用のため定格出力が 25V であるのでこの電池3個を使い直列に接続して 75V として使用する。



Fig.2 リチウムイオン電池「NKY454B02」

Table1 リチウムイオン電池「NKY454B02」の仕様

幅×奥行き×高さ	90×140×275mm
重量	約 3.7kg
定格容量	17.6Ah
定格電圧	25.2V
充電時間	約 5.5 時間

このリチウムイオン電池をベース車両に搭載して重量の測定や走行実験を行う。

IV 重量の測定結果

今回の改良によるバッテリーの性能や搭載重量の変化をカタログの数値を元に Table2 にまとめた。

Table2 バッテリーの性能や搭載重量の比較

	改良前	改良後
種類	鉛蓄電池	リチウムイオン電池
重量 (1個)	5.4kg	3.7kg
定格容量 (1個)	12.4Ah	17.6Ah
定格電圧 (1個)	12V	25.2V
搭載個数	6個	3個
搭載重量	32.4kg	11.1kg

Table2 から鉛電池合計 32.4kg だったが、今回の改良で 11.1kg となり 21.3kg も軽量化することができることがわかった。仮組みで搭載した状況を Fig.3 に示す。



Fig.3 リチウムイオン電池を搭載した状態

これだけ重量が違えば走行性能に大きな影響を与えることは間違いないと思われた。

しかし、走行実験を行うべき準備をしていたところモーターのコントロール・ユニットが故障していることが判明した。情けない理由ではあるが走行実験は次年度に持ち越しとすることにした。

V 分析

今までの研究における電動スポーツバイクの重量の変化を Table3 まとめる。

Table3 電動スポーツバイクの重量の変化

	YSR50 (改造 前)	YSR50-EV	YSR50-EV2	YSR50-EV2 改
車両重量	87kg	94kg	105kg	84kg (推測値)

このように前回までは改造のたびに重量が増加しており運動性能を著しく低下させてきたと思われる。しかし、リチウムイオン電池を導入することによって改造前のバイクの重量より約 3kg も軽くなる予定となっている。このことからも自動車やバイクを電動化する上でリチウムイオン電池を搭載するのは必要不可欠になりつつあると感じた。

VI まとめ

近年、電動スポーツバイクがコンセプトモデルであるが世の中に出回りつつある。そのためこの研究の意義が失われつつあるが現在考えられるベストな改造を施して研究を一旦終了させたいと考えている。

前回の研究でトランスミッションの搭載を検討していたが更なる重量が予想されるため見送った。トランスミッションの重量の大半は金属製のケースであるため、ケースを何か他のもので代用できないか検討中である。

今回は走行実験ができなかつたが、来年度は走行実験を行いその成果を発表したい。

参考文献

- (1) 廣瀬博文, 平野一正:電動スポーツバイクの試作(その1), 徳島工業短期大学紀要, 第 15 刊, p. 15-18(2011)
- (2) 廣瀬博文, 平野一正:電動スポーツバイクの試作(その2), 徳島工業短期大学紀要, 第 16 刊, p. 43-44(2012)
- (3) 廣瀬博文, 平野一正:電動スポーツバイクの試作(その3), 徳島工業短期大学紀要, 第 17 刊, p. 11-12(2013)
- (4) 廣瀬博文, 平野一正:電動スポーツバイクの試作(そのII), 全国自動車短期大学協会, 第 42 号, p. 5-9(2013)
- (5) 廣瀬博文, 平野一正:電動スポーツバイクの試作(その4), 徳島工業短期大学紀要, 第 18 刊, p. 43-44(2014)

燃料電池を使った電動カートの製作（その1）

徳島工業短期大学 東條賢二・廣瀬博文・平野一正

Keywords : 燃料電池, 水素, 教育

I まえがき

近年、燃料電池車が発売され話題となっており、本学でも実験・実習に関する教育の改革を目的として燃料電池車の研究を行うべきだと考え、今回、燃料電池を使った電動カートの製作を立案した。

II 研究の目的

目的は研究開発というより教育材料としての燃料電池使用の電動カートを作ることにある。また今後、普及するであろう燃料電池車を製作することにより教育はもとより、本学で行うイベント等に活用することにより本学の最先端の教育をアピールすることができる。

まず研究の初期段階として燃料電池システムを購入し実際に動かしてみるとから始めるにした。

III 使用機材

今回の使用した燃料電池は「H-B200 PEM 燃料電池システム」で定格出力は 200W、発電能力は 24V/8.3A である。

外観と仕様については Fig.1 と Table1 に示す。



Fig.1 H-B200 PEM 燃料電池システム

Table1 H-B200 PEM 燃料電池システムの仕様

燃料電池型式	PEM
セル数	48
定格出力	200W
発電能力	24V@8.3A
使用燃料	水素と空気
使用環境	5~30°C
水素圧力	0.45~0.55 Bar
水素消費／最大出力	2.6L/min
スタック重量	2230g
コントローラ重量	400g
寸法	118x183x94mm

水素ボンベは、水素ガス容器 1L、ガス量 0.15m^3 、充填圧力 14.7MPa のものを使用する (Fig.2)。

フレームについては今回、燃料電池システムを実際に動かしてみることが目的であるため既存のシニアカーに燃料電池を搭載することにした。搭載するシニアカーの外観と仕様については Fig.2 と Table2 に示す。



Fig.2 シニアカー「ヤマハ マイメイト」

Table2 シニアカー 車両詳細

寸法 (全長 x 全幅 x 全高)	1195x650x1080mm
本体重量	75kg
バッテリを含む総重量	100kg
駆動方式	後2輪駆動 (デフ付)
モータ (30分定格出力)	24Vx390W
最高速度	前進 2.0~6.0km/h 後進 0.6~2.0

これらを使い、実際に燃料電池で発電を行いシニアカーを走行させて今後の問題点などを洗い出していく。

IV 燃料電池の組み付けと実験走行

シニアカーに燃料電池と水素ガスボンベを取り付け、実験走行を行った。燃料電池と水素ガスボンベを取り付けた状態を Fig.3 に示す。



Fig.3 燃料電池と水素ガスボンベを取り付けた状態

実験走行中に速度が高すぎるとシステムエラーが発生し走行不能となる。シニアカーのメインスイッチを OFF にし、再度 ON にすると走行可能となる。

V 分析

燃料電池の定格出力が不十分であり全力での走行はできないが、2.0~4.0km/h での走行ではシステムエラーは発生せず連続的に動かすことができた。また、今回使用した水素ボンベの水素充填量 0.15m^3 (150L) で約 58 分の発電が可能である。このことより、4.0km/h で約 58 分、走行距離は約 3.9km の走行が可能と推測される。

VI まとめと今後の予定

今回の実験では燃料電池が予定通りのスペックを發揮

することができた。次年度からフレーム製作を行いオリジナルの燃料電池車を製作する予定である。

体験教育に関する研究

徳島工業短期大学 助道永次

Keywords : 体験教育, ハイブリッド自動車,

I はじめに

国内自動車産業では 2020 年東京オリンピックに照準を合わせて様々な新技術の開発が進んでおり、地球環境問題対策として自動車パワートレインの開発をはじめ、最近では自動ブレーキや自動運転といった安全で快適な技術開発までも各自動車メーカーは取り組んでいる。

本学では、このような進化を続ける自動車に対応するべく、今後の自動車業界を担う学生に対して基礎から新技術までの教育を幅広く実践しており、HV（ハイブリッド自動車）が急速に普及してきた時期にはカリキュラムの中に組み込み、時代の流れに遅れることなく新たに実習教材や実習車両を隨時に導入して新技術に対応できる人材を養成して自動車業界へ送っている。

一方で、18 歳人口は平成 4 年以降急速に減少し始め、平成 21 年からほぼ横ばいに転じているが、平成 33 年あたりから再び減少に転じることが予想されている。また、大学への進学率は、平成 21 年までは上昇してきたが、現在は 4 年制大学ではほぼ横ばいであるのに対し、短大への進学率はここ数年低下傾向にある。

自動車は、現代の生活になくてはならない必需品であり、自動車を安全かつ快適に維持管理するための仕事の重要性は増すことはあってもなくなることはない。しかしながら 18 歳人口の減少に伴い、この仕事の担い手である本学などの自動車の技術を教える短大等への入学者が減少することは、何としても避けなければならることと考える。

このようなことから、自動車整備士を養成している本学は小・中・高校生に対して、オープンキャンパスや出張体験授業等を通して自動車への興味を喚起し、今後の自動車業界を担う若い人材を多く発掘して自動車業界へ送り出す使命がある。

II 目的

筆者は本学にて HV に関する講義と実習を担当しております、オープンキャンパスや高校体験授業、学内外イベント等で HV に関する説明を担当しているが、生徒の多くは、「HV は環境に優しい自動車」というイメージは持っているものの、エンジンとモーター性能の違いについて

は理解していない。本学学生に対する授業としては時間をかけて講義と実習にて理解を深めることができているが、体験授業やオープンキャンパスに参加している高校生向けに対して短時間で理解ができるような講義・実習方法については満足できるものではない。多くの高校生へ対して HV システムの理解と自動車業界の地球環境問題の影響について理解してもらうという趣旨であるが、その前にまず、高校生が自動車に興味を持つてもらうような講義や実習を考案する必要があり、自動車に興味や関心が沸くように促した後に、自動車業界の地球環境問題への取り組みとして HV や代替えエネルギーについて講義をすることで理解がより深まると考える。このような流れを短時間で行える講義や実習を検証する。

III 経緯・概要

前述したように、筆者は HV に関する講義をオープンキャンパス等で長らく行っている。約 1 時間弱の体験授業にて HV の大枠を伝えるということである。この高校生向けに行ってきた HV に関する講義をいかに効率よく行えるのかを模索してきた経緯を以下にまとめた。

1. HV 同乗体験

受講高校生に対して、当初はトヨタ・プリウスに同乗してもらい、大学周辺の一般道を走行させてエンジン走行時とモーター走行時の体験やハイブリッド走行時や回生制動走行時などの説明をしながら行っていた。しかし、モーター走行時の力強さ等を体感できているのはアクセルを踏んでいるドライバーが一番よく理解できる。ということは同乗している高校生たちにはこの感覚を伝えることは難しい。

2. HV の構造を教材や実車にて講義

本科実習カリキュラムに HV 実習を取り入れた時期には HV 教材や実習用 HV 等が充実したのを機に、現物を提示した講義を主に行っていた。教授する側からすれば短時間でも十分に理解できると思い遂行していたが、高校生からすればいきなり HV システム・ベンチエンジンや大きな HV バッテリーを見ても性能となると理解は難しいという感じが見受けられた。やはり、体験・体感型講義の方が理解するのに効率がいいことがわかった。

3. 模型（ラジコンカー）を使用した講義

高校生講義向けに、ラジコンカーを使用した講義を行った（図1）。動力源を石油燃料とするラジコンカー（エンジン RC）と動力源をモーターとするラジコンカー（電動 RC）を教材として、各々性能の比較をチェックシート（図2）にて予測した後、高校生自ら操縦して体感することで、HVシステムの概要と有効性について理解するという講義では手ごたえを感じた。

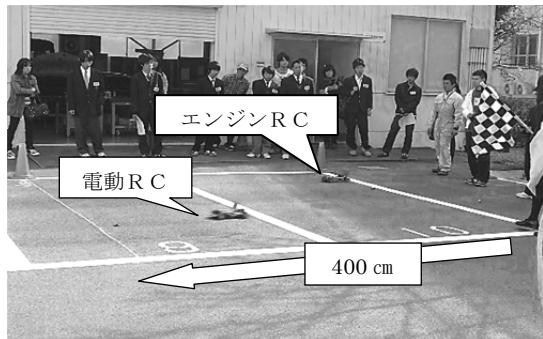


図1 ラジコンカーにて性能評価

徳島工業短期大学		
電動モーターRC VS エンジンRC 勝つのは、どっち？		実験結果
0~400cm 短距離 勝負	モーター	エンジン
0~1000cm 中距離 勝負	モーター	エンジン
牽引走対決 (力 勝負)	モーター	エンジン
うるさくなりのは、 どっち？	モーター	エンジン
エコリリーの データ時間(補充、充電) が早いのは？	モーター	エンジン
実験日 月 日		
氏名		

図2 性能評価チェックシート

このような経緯でHVについての短時間講義を実施してきたが現在でも模索中である。やはり体感型にこだわり次のステップへの講義を考案しなければならない。

本学では自動車部顧問 島田教授の主催で、県内外の工業高校と連携して毎年2回、「電動カート性能評価会」（図3）を行っている。各高校・大学でレーシングカートを電動レーシングカートに改造して持ち寄りその性能を競う。この評価会は今年度で第23回であり毎年恒例の行事として行っているが、高校の統合や高校教員の異動等の要因で参加高校が減少している。しかし、このような要因は学校側の問題であり、高校生には関係がない。「車に興味がある」「機械が好き」「カートに乗りたい」と潜在的に思っている高校生がいるとしたら、そ

の思いを叶えられる環境や仕組みを与えることで、自動車業界を目指す若者が少しでも増えるのではないかと考え悩んでいた。そこで、この電動レーシングカートをオープンキャンパス等で活用して、多くの高校生へ試乗体験してもらうのと同時にエンジンレーシングカートの試乗体験を実施し、自動車に興味を持ってもらうこととエンジンとモーター性能比較検討をすることによりHVシステムへの理解も深まると思った。

「電動カート性能評価会」を行う場所は、県西部にあるサーキットを貸し切って行っている。理由は、閉鎖されたエリアで安全に走行することができることと保険を掛けられるということであるが、サーキットは人里離れた場所に設けられることが多い、このサーキットも例外ではなく山の奥に存在する。そのため、参加していない高校生や保護者や一般の人も含め、見学者を誘致しにくい条件である。この「電動カート性能評価会」実施に関して問題はないが、オープンキャンパス等で多くの高校生へ試乗体験してもらうためには問題である。そこで、本学には広大なグラウンドを所有しており、完全に閉鎖することが可能であり、ダート路面を走行するためのタイヤを装着することでグラウンドの走行が可能となる。グラウンドの中央部のみを走行エリア（図4）とすることにより安全帯を大きく設けることでコースアウトをした場合でも安全である。このような理由から、本学所有の電動レーシングカートとエンジンレーシングカートのタイヤをダート仕様へ変更し、高校生自らアクセルをコントロールすることでエンジンとモーター性能の違いを体感できる。次年度のオープンキャンパスにて多くの高校生に体験試乗ができるように、安全性や走行時間などの課題を見つけるために実証試験を行った。



図3 電動カート性能評価会

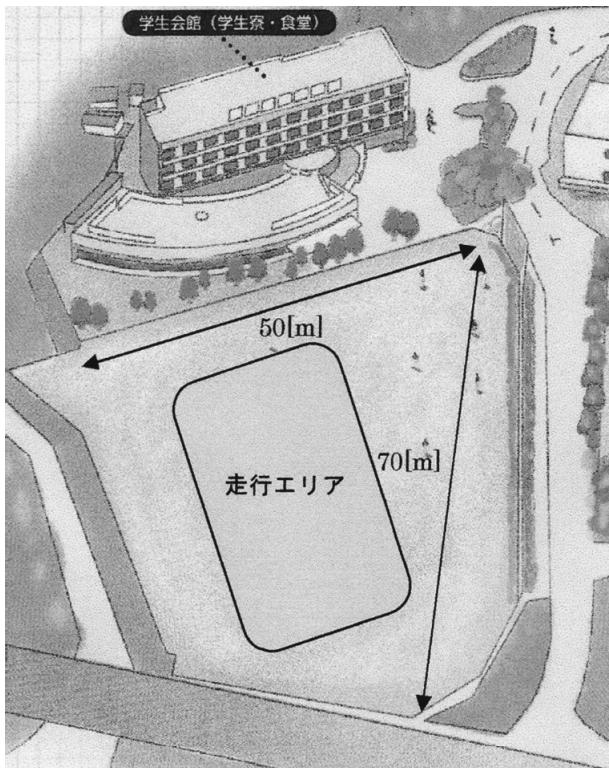


図 4 グラウンド走行エリア

IV 実証試験

本学で実施するダートレーシングカート試乗体験を、初めてレーシングカートに乗る高校生をイメージして実施可能であるか、下記に示す内容について実証試験を行った。

1. 安全性
2. 体感度合
3. 走行時間
4. 耐久性
5. 騒音問題
6. 路面状態・砂埃問題

自動車工学専攻科（一級）1年生の学生に協力してもらい、エンジンダートレーシングカートと電動ダートレーシングカート（図5）のデータを取った。

各レーシングカートの諸元を表1に示す。

コースレイアウトを図6に示す。このコースレイアウトとしたのは、単純に、緩やかなスラロームコースと直線40mコースを繋いだレイアウトであるが、直線40mにて速度が上昇し過ぎた場合、次のコーナーでの侵入速度を誤ってしまうと危険があるので、直線30mのところへパイロンを設けて減速を余儀なくするレイアウトとした。設定コースの全長は約110mである。

この設定したコースをそれぞれのカートを5周周回し

て一旦停止して、電動レーシングカートはバッテリー電圧測定と各部の点検、エンジンレーシングカートは燃料の消費量と各部の点検を行い、路面の状態も確認する。



図 5 エンジン・電動ダートレーシングカート

表 1

	エンジンカート	電動カート
動力	空冷 2 サイクル 排気量 100cc	48V 2.8kW D. C. ブラシモーター
出力	最大 : 5.1–7.3 kW	最大 : 16.8 kW
車重	73 kgf	141 kgf

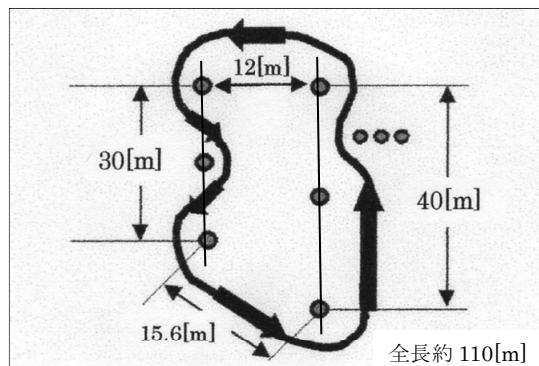


図 6 コースレイアウト

V 実証結果と課題

結果は、高校生が運転できるレベルであることがわかった。しかし、改善や課題が見つかりそれらをクリアしなければならない。実証結果を以下にまとめた。

1. 安全性

(1) 設置したパイロンを誤って踏みつけた場合や巻き込んだ場合に車両のコントロールを失う危険性があるため、危険と予測される個所のパイロンを離して、路面に白線でコースを表示する等の工夫が必要である。

(2) タイヤから巻き上げる砂ぼこりや小石が顔に当たるため、フルフェイス型ヘルメット等が必要であるのと、着衣が汚れるので作業服のような防護服を用意しなければならない。

(3) 電動レーシングカートは、低速からのトルクが大きいため加速度も大きいので、今回のようなタイトなコースレイアウトでもコントロールが難しいため、エンジンレーシングカートにて十分運転に慣れてから運転しないと危険である。

2. 体感度合

電動レーシングカートにてモーターの特性である低速からのトルク感をエンジンレーシングカートと比較することにより十分に体感することができる。

3. 走行時間

(1) 電動レーシングカートのバッテリー満充電での走行可能周回数は、今回設定コースでは約 20 周であり、一回 5 周の体験走行とすれば体験できる人数は 4 名となり少ない。バッテリーをあと 2 セット用意すれば、約 12 名の受け入れが可能となる。

(2) エンジンレーシングカートは外気温度や湿度等によりキャブレターのセッティングが必要である。このセッティングをするために時間を費やしてしまうため準備する側の経験と慣れが必要である。

4. 耐久性

(1) 今回の実証試験を 7 回にわたり実施した。時間にすれば約 20 時間行ったが、エンジンレーシングカートと電動レーシングカートそれぞれ機械的な不具合は生じなかった。

(2) エンジンレーシングカートを連続で使用することを想定した場合、今回実証試験を行ったのは冬季でありエンジンオーバーヒートには至らなかったが、夏季になるとエンジン温度の管理が必要となる。

5. 騒音問題

もちろんエンジンレーシングカートのみの問題であるが、一台ずつの走行に関しては騒音問題ということは感じない。今後、エンジンレーシングカートを増車した場合でも混走することを想定していないので問題は無い。

6. 路面状態・粉塵問題

(1) 電動レーシングカートの重量はエンジンレーシングカートの 2 倍あり、低速からのトルクが大きいため巻き上げる砂埃が問題となる（写真 7）。エンジンレーシングカートも比較すれば少ないと砂埃を発生させてしまう。この問題は想定していたのでグラウンドの状態や大気の状態に応じて、走行コースへ散水することにより解

決できる。

(2) 周回を重ねることで深い轍ができる、その轍でバランスを失い横転することが想定される。今回の実証試験で約 50 周した後に轍を観測したところ、10mm 程であった（写真 8）。そのままの状態で走行を続ければ横転するほどの轍になる恐れがあるため、適時に整地を行わなければならない。



写真 7 電動レーシングカートの砂埃



写真 8 50周走行後の路面状態

VII まとめ

多くの高校生に体験教育を通して、自動車の楽しさや知能化・ネット化という進化を続ける自動車、HV・EV・FCV といった地球規模の環境問題に関わる自動車技術について関心をもってもらい自動車業界に携わることを目指してほしいと願う。

一級 1 年生の協力で今回の実証試験を行い、課題を見つけることが目的でありその目的を果たせた。それと併せて、一級 1 年生への HV 体験教育も兼ねて行っており、今回の実証試験を通して電動モーターの性能とエンジン性能の違いを体感することで HV システムや今後の自動車電動化についての討論を毎回行い、理解を深めることができた。

四国EVラリー2015

徳島工業短期大学 多田好宏・吉田愛二
自動車工学科 石川誠也・幸内龍二
星川慎太郎

Keywords : 電気自動車、教材

I はじめに

世界的には、環境問題について議論されてきたが、ここ数年前から各国及び国内でも電気自動車（EV）や燃料電池車（FCV）の製作が盛んになっている。本学では、HEVやEVの普及を想定し、1997年からホンダ・プレリュード、トヨタ・セリカをベース車両とし高電圧回路が分かりやすく、安全に取り扱いが出来る整備教育用教材としてコンバートEVを作成してきた。その成果実証のため1998年から四国EVラリーに学生と参加している、今回は愛媛県四国中央市での開催に参加したので報告する。

II 四国EVラリーに参加

1. 参加車両及び充電施設の設置

2015年9月21、22日に愛媛県四国中央市にある三共オートサービス（株）で開催されたEVラリーに参加した。前日の昼過ぎに開催地会場に到着し、テントの設営や自チームの充電施設等の準備に取り掛かった。図1に示す。その後設定された各レグ（表1）の視察をしようとしたが、時間の都合出来なかつたので各自どのレグを担当するのかを相談し大会に臨む準備をした。

表1 今回レグおよびポイント

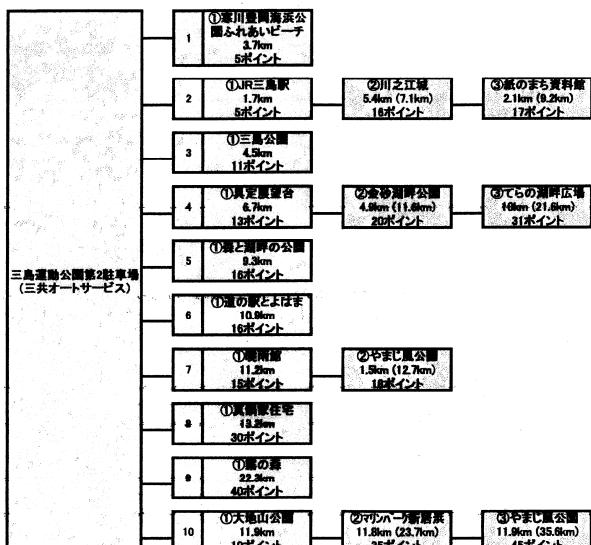


図1 充電施設設営

2. EVラリー 大会本番に臨む

初日受付・車検・注意事項などを行い持ち時間は6時間で、EVラリーロングディスタンス①のスタート（図2）、レグ6の道の駅とよはま（図3）折り返しの16ポイントに挑戦。した。使用した電力および時間は、8.82 Ahで45分であった。その後レグ5の森と湖畔の公園（図4）、レグ3三島公園を回り距離27.6 km、電力13.99 Ah、時間81分で充電を開始90分にてほぼ満タンになった。次に、レグ10：大地山公園（図5）→マリンパーク新居浜→やまじ風公園とレグ1：寒川豊岡海浜公園ふれあいビーチを回り距離63.8 km、時間132分、使用電力27.8 Ahで終了した。ポイントを加算し初日の合計ポイントは98ポイントで次の日ために充電を行った。



図2 EVラリースタート



図3 レグ6 道の駅とよはま



図4 レグ5 森と湖畔の公園



図5 レグ10 大地山公園

2日目ロングディスタンス②の持ち時間は5時間で充電は満タン 42.00 Ah にて、レグ8の真鍋家住宅（図6）に会場から出発した。その後レグ1の寒川豊岡海浜公園ふれあいビーチを回り 35 ポイント獲得した。使用した電力および時間 18.33 Ah で 77 分、走行 33.8 km で 60 分充電を行った。その後レグ9の霧の森（図7）に高速道路を走行して 50 ポイント、44.6 km に挑戦した。使用電力 20.38 Ah、時間 70 分であった。その後 30 分充電し、レグ2のJR三島駅、川之江城回り 106 ポイントで終了した。この2日間で 204 ポイントを獲得することができた。午後から開催の未舗装路走行（図8）にも挑戦し事故もコースの間違いもなく完璧に完走しました。

今年度のEVラリーも大きなトラブルもなく無事終了



図6 レグ8 川之江城

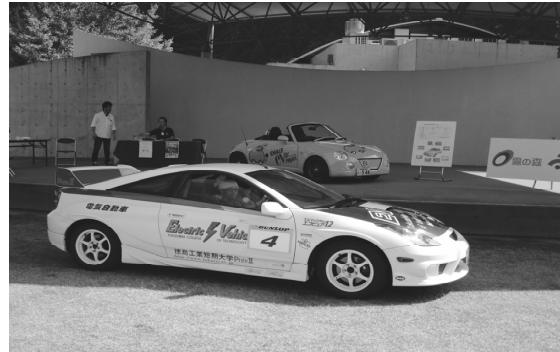


図7 レグ9 霧の森



図8 未舗装路走行

することができ学生も参加者と交流ができた。

III おわりに

昨年は島の中のコースで短距離を走行し電気自動車の運転操作性・性能および充電の仕方について競技する大会であったが、今回は短距離および中距離を走行した。その中で四国中央市の名所など回り参加した学生たちは電気自動車に興味が湧き仲間と力を合わせて物事に接する事の楽しさや、レース・メンテナンスの方法を学んだ。その結果、勝利を得ることの達成感、充実感を学生生活最後の夏休みに体験さす事ができました。

謝辞

今回セリカEVでラリーに参加するに当たり教職員のご協力に感謝いたします。

ナノ秒スパーク光源の開発と高速現象の可視化 —ディーゼル噴霧および水中収束衝撃波の可視化を中心として—

徳島工業短期大学 宮城勢治
阿南工業高等専門学校 立石清・森時秀司

Keywords : スパーク光源, 高速現象, 可視化, ディーゼル噴霧, 衝撃波

I 序論

マッハが超音速流中に置いた物体の先頭にマッハ波という衝撃波が発生することを発見して以来, 透明な気体中の衝撃波等を可視化する光源として多くの短パルス光源が開発してきた¹⁾. 従来のものはパルス半値幅が1~2マイクロセコンドであったものが, 本開発光源ではその1/10以下で, 写真フィルムを充分に感光できる明るい光源が開発できた.

この光源は高速流体力学の研究には不可欠のもので, 新幹線のトンネル出口で発生する衝撃波の解析(九州大学)やスペースシャトルの地球再突入時の先頭における熱発生の解析(アーヘン工科大学)など多くの研究に貢献してきた.

地元徳島に於いては徳島大学でディーゼル噴霧の微視的観察に貢献し, 現在も研究を続けている. 阿南高専に於いてもガン治療などへの衝撃波応用の研究を実施している.

II ナノ秒スパーク光源の原理

本光源は, 図1でサイラトロン5C22が点火することでC₁, C₂, サイラトロンで構成されるLC反転回路で発生した高電圧インパルスを同軸ケーブルで主電極近傍Gで予備電離を起こさせながら, 放電コンデンサーC₃に伝送, コンデンサーを充電し, コンデンサー両端子に同軸で繋がる主電極間の電圧が破壊電圧に達したとき, 短パルスで高輝度高出力の放電発光が生じるスパークギャップである. 予備電離のため, 点火ジッターは極小で, 点火ばらつきが少なく, 容量移行回路により, インダクタンスは同軸放電のため主放電コンデンサーC₂のものだけとなり, 放電電流は従来のものより大きく, 波長も広く白色光光源として卓越したものとなっている.

スパーク光源は多くの研究者により開発されて来たが, 現在本光源のライバルとしては, フィッシュヤーのナノライトがある¹⁾. しかし, この光源は光軸調整などに必要な他の光源(ヘリウムネオンレーザーなど)を発光部に

通すことができなく, またタイムジッターも長く, 発光部がパルスごとに揺らぐ欠点を持っている. 本開発光源はこれらの欠点をすべて解決した実用的で明るい光源になっている.

商標登録したナノスパークにはナノスパーク500, 900, 1400, 4000があり, そのうち1400と4000にはXeガスの封入タイプがある. 後者の二つはカラーシュリレン用である. 標準的なナノスパーク1400と4000は発光パルス半値幅がそれぞれ20~30ns, 50~80nsで現象の速さで使い分けている(表1に性能比較).

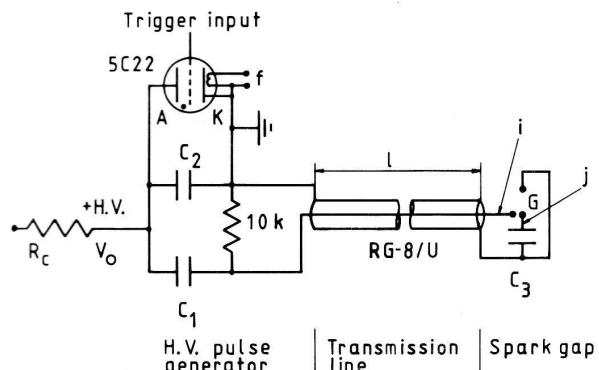


図1 ナノ秒スパーク光源の原理図

表1 ナノ秒スパーク光源の性能

Performances of Nanosparks in air and Xe

Type	NS 1400	NS 4000	NS 4000Xe
Capacity	1400 pF	4000 pF	4000 pF
Stored energy*	200mJ	400mJ	400mJ
Flash duration	15~30ns	50~80ns	300~900ns
Rise time	4ns	12~15ns	40~200ns
Light output**	≥1.5 kW	≥2.7 kW	≥2.7 kW
Light energy**	≥38 μJ	≥190 μJ	≥1600 μJ

* at typical breakdown voltage

** typical values from one window

III ディーゼル噴霧の可視化への応用実験

本光源は現象の速さに応じ, 各種液体の微粒化の可視化

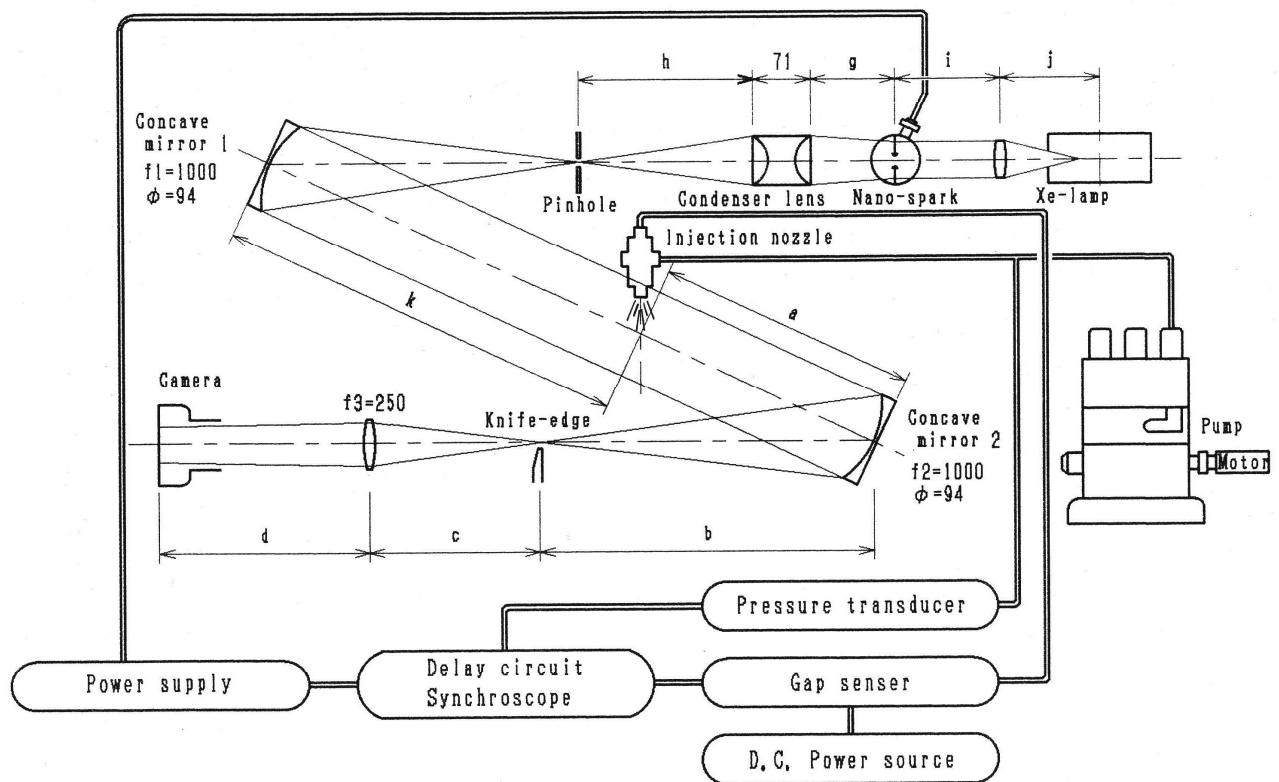


図 2 ディーゼル噴霧観察実験装置系統図

に最適であるが、本論文には未発表のディーゼル噴霧について興味ある写真を掲載する。

1. 実験装置および実験結果

図 2 にディーゼル噴霧の観察に用いた実験装置の概略図を示す。光源には本ナスパークを用い、Φ1.2mm のピンホールで点光源にした光を焦点距離 1000mm、直径 100mm の凹面鏡で平行光線を作成し、噴霧を照射した後、もう一方の凹面鏡で焦点距離の長いカメラレンズ(250mm)でフィルム上に結像させる影写真法とシュリーレン法を用いた。シュリーレン法では第 2 シュリーレン凹面鏡の焦点にナイフエッジを置いて光速の一部を切るようにした。

噴射ポンプにはゼクセル NP-PES3K600410RSIN53 を、噴射ノズルには同 NP-K867SDA (噴霧角 12°)などを使用した。

噴霧の発達状況を時々刻々に撮影するために、噴射圧力を測定し、その立ち上がりからの時間をシンクロスコープを使って遅延し、遅延パルスをスパーク光源のトリガーとして送って撮影した。

図 3 はポンプ回転速度 300min⁻¹ のピントルノズルの噴霧発達過程をナノスパーク 4000 で観測した写真であ

る。下の数字は噴射開始後の時間を示す。

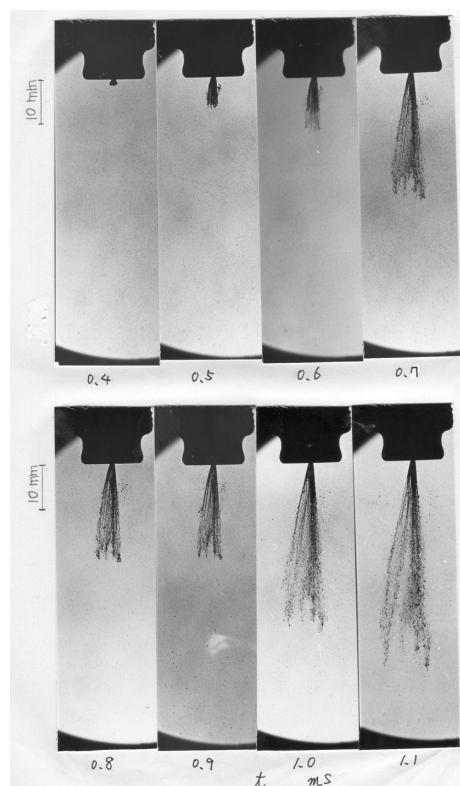


図 3 ピントルノズルの噴霧発達過程

次に発酵時間のさらに短いナノスパーク 1400 で撮影した噴霧角 30° の噴霧写真列を図 4 に示す。

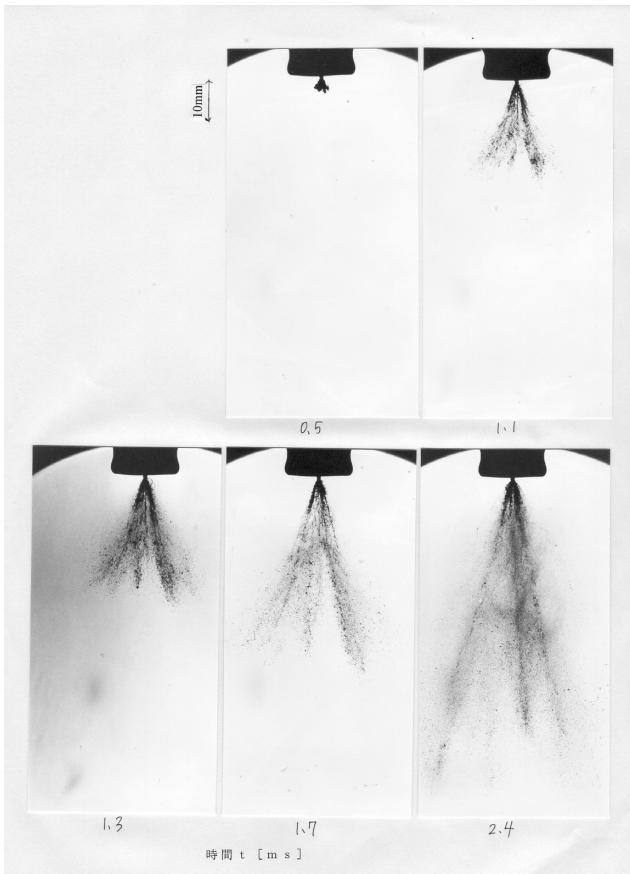


図 4 噴霧発達写真（噴霧角 30°）

図 4 を見ると、噴霧角が広がったため、個々の微粒子の発達過程が見えるようになった。これは光源の発光時間が短くなったことも影響している。

図 5 はこれらの一つを拡大したものである。噴霧微粒子の大きさがこれから測定できる。

最後に示すのはカメラレンズの焦点距離を 500mm にして、フィルム面画像を拡大した写真である。図 6 がこれを焼き付けたものである。これより、噴霧の発達過程と噴霧粒子径が格段に鮮明に観測できることが分かった。

写真より、噴霧初期には筒状の液注ができ、この液注は旋回しており、周辺部、先端部では空気の剪断力によりむしりとられ、細い紐状（リガメント）となり、先端に進むにつれて微粒化が進んでいることが観察できる。

徳島大学では数 10 ミクロンの噴霧粒子系分布や、二つのナノスパークをある時間間隔で発光させ、二重露光することで噴霧粒子の局所的な速度分布を測定して、成果を上げている。ナノスパークの優れた性能を示すものである。

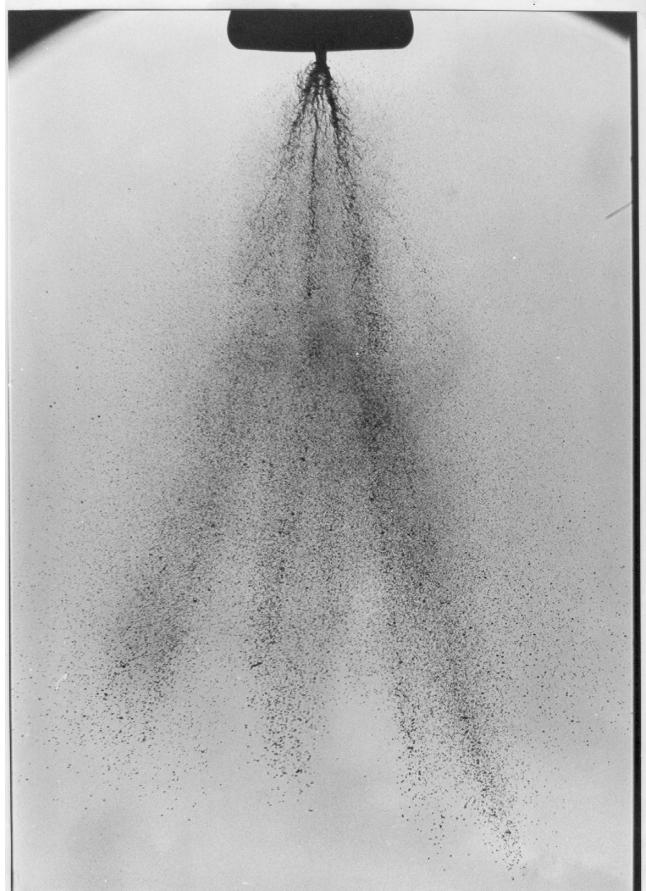


図 5 噴霧拡大写真（噴霧角 30°）

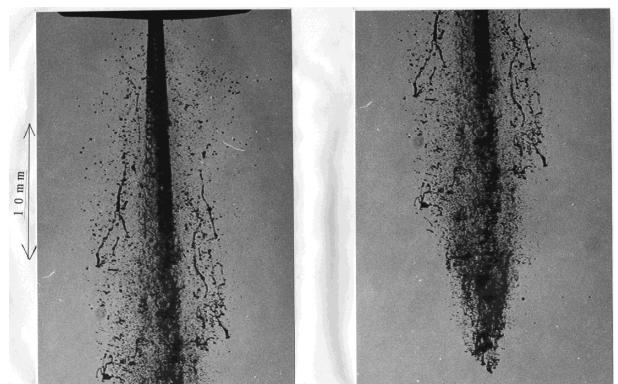


図 6 噴霧拡大写真（噴霧角 12°、左：噴口部、右：噴霧先端部）

IV 水中収束衝撃波の可視化実験

現在、医療分野ではさまざまな研究がなされており、ほとんどの病気は治療可能である。心臓に関わる不整脈も治療が可能であり、カテーテル焼灼術や心臓内へのペースメーカー挿入等が行われる。しかし、長時間の高周波通電は患者への負担が大きいという問題を解決する手

段として、カテーテルの先端部に放電装置を取り付け、高圧力の衝撃波を当てることで心筋細胞を壊死させるという治療方法がある。それは、高圧力の衝撃波を結石に対して繰り返し当てることで、結石を碎いて砂状にするというものと同じ方法である。前回までは、同軸ケーブル先端で放電する短パルス高出力の放電装置を作製し、水中放電における電圧電流特性および発生する圧力変化を実験的に調査した。今回は、作製した装置を改良し、水中での放電特性と衝撃波の収束過程について光学的観測を行うことを目的とした。

1. 実験方法

LC 反転放電回路で発生した高電圧パルスを楕円板（長径 25mm, 短径 20mm, 焦点距離 7.5mm）の焦点に設置したタンクステン電極間で放電させた。電極間隙は 0.2mm である。また、回路の放電コンデンサーの容量を前回の 1/2 の 4000pF×2 個とし、放電時間を短くした。水中での衝撃波の収束過程は最初に述べたナノスパーク光源（ナノスパーク 4000, パルス幅 60 ns）を用いたシリーレン撮影法を用いて写真観測した。

2. 水中衝撃波可視化実験の結果(図 7～11)

図 7 では、電極間に大電流が流れ、強い発光が見られる。この段階では、未だ圧力波、気泡の発生は観測されない。供給電圧は、14kV である。図 8 は図 7 より 3μs 遅れて撮影されたもので、A は放電によって発生した圧縮波を表す（衝撃波になる）。衝撃波は白い線で観測される。

図 9 中の B は楕円面からの反射波（衝撃波）を表す。またこれと連携して回折波 H が見られる。波 C は、反射波 B が、放電により生成される微細な気泡と衝突、反射することにより生じたもので圧縮波である。図 11 は、反射衝撃波の収束を示す。時間が経過するにつれ、衝撃波は第 2 焦点に収束することが分かる（B の部分が狭くなっている）。放電開始後、16～17μs で収束する。前回の実験で収束した衝撃波圧力は 2MPa 以上であることが分かっている。

図 7

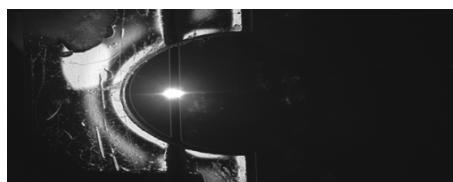


図 8

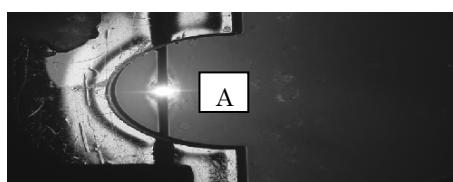


図 9

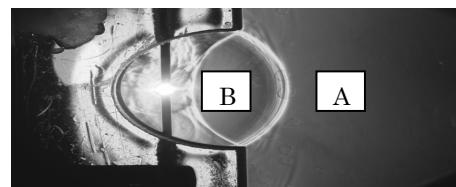


図 10

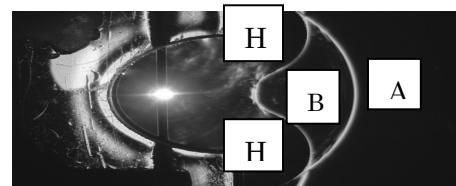
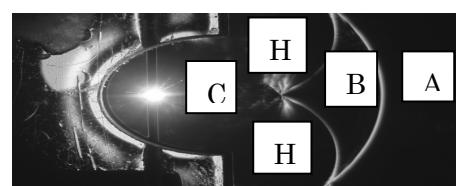


図 11



V. まとめ

本研究で開発されたナノ秒スパーク光源は、高速現象の可視化に最適であり、一般の液体噴霧の研究のみならず、最近のコモンレール式高压燃料噴射の研究や、本文で述べた水中での反射体による衝撃波の収束過程の研究に有効である。水中衝撃波の収束過程は良く観察できることが分かった。本光源が様々な分野で広く使用されることを望む。

おわりに、本スパーク光源の開発に携わった多くの阿南高専卒業生に心からお礼を申しあげる。

参考文献

- (1) F.B.A. Fruengel:High Speed Pulse Technology, Vol.2, pp.24,56,64,69(Academic Press, New York, London) 1965
- (2) M.Nawi, Y.Kidoguchi, M.Nakagiri, N.Uwa, Y.Nada, S.miyashiro:Macro- and Micro-scale Obserbation on Dynamic Behavior of Diesel Spray Affected by Ambient Density and Temperature, SAE Paper, Paper #2014-32-0125(2014)
- (3) 五十鈴川, 堀内:水中衝撃波の収束過程, 平成 2 年度 衝撃波シンポジウム講演論文集, p.475-480 (1990)
- (4) 桶上揚祐:水中放電のための短パルス高出力放電回路の作製と放電特性, 阿南高専専攻科特別研究論文 (2011)
- (5) 三橋愛菜, 岩佐健司, 宮城勢治:水中放電で発生する衝撃波の収束過程の光学的可視化, 平成 25 年度電気関係学会四国支部連合大会講演論文集, N0.7-10

車両メンテナンスによる燃費への影響について（その4） －タイヤ圧、電気負荷、アイドリングストップにおける燃費－

徳島工業短期大学 吉田愛二・前田剛
多田好弘・専攻科学生

Keywords: 燃費 タイヤ、空気圧、電気負荷、アイドリングストップ

I はじめに

一級整備士には高度な、整備技術はもとよりリーダシップ性、協調性、接客マナーなど問われるところが多い。そこで本実験では車両の性能データを取得分析してプレゼンテーションすることにより学生たちの資質向上を目指した。

実験はユーザーが新車時に燃費が悪いという苦情が多いのでその苦情に対する対応が出来るよう実験的に証明して説明ができることを目標とした。



図1 ガソリン価格の推移

II 実験方法

まずシャシ・ダイナモメータを用いタイヤ空気圧を100kPa, 200kPa, 300kPaに変化させた場合の燃料消費量を測定また、電気負荷有無の場合も同様の測定を行った。それに加え今回はアイドリングストップ(JC08 モード使用)の燃料消費量も測定してアイドリングストップが、どの程度効果があるのかについても検証を行い分析することにした。



図2 測定車両

表1 マキシマ 主要スペック

測定車種	日産 マキシマ J30型
ボディタイプ	4ドア セダン
エンジン	V6 3L VG30E
変速機	4AT
駆動方式	FF
全長	4765 mm
全幅	1760 mm
全高	1346 mm
ホイールベース	2649 mm
車両重量	1400 kg
タイヤサイズ	195/65R15



図3 室温計、気圧計

表2 試験装置諸元

シャシ・ダイナモメータ能力、性能	
シャシ・ダイナモメータ	ローラ径 : 636.6 mm 許容軸重 : 1500 kg 最高試験速度 : 200 km/h ローラ慣性相当重量 : 500kg フライホイール数 : 3枚 (500, 250, 125) kg 動力吸収部 : 涡電流式 最大吸収動力 : 170 kw
燃料流量センサー	LS4150 1p/cc

III 測定条件

1. 走行モード

(1) JC08 モード

10-15 モードより更に実際の走行に近付けたモード走行テストとなっている。10-15 モードで出た燃費は実際より高い数値になっている傾向が強い。

JC08 モードでは完全暖機後ではなく冷間時からのスタート、実際の走行と同様細かい速度変化、などの中で走行テストを行っている。

本実験では暖機後の測定を行った。

(2) 定地走行

今回は、時速 60 km/h, 80 km/h での燃料 100cc の消費にかかる時間、距離、燃料消費率の測定を行った。



図 4 測定装置 モニター



図 5 測定状況

2. 測定条件

気温 25°C, 湿度 60%, 気圧 1013 hPa の補正を行った。

表 3 車の測定条件

タイヤ空気圧 kPa	200 (基準値)
	100
	350
電気負荷	ライト類 ON 306 W 曇り止め熱線 316 W ヒーター 267 W 合計 889 W
アイドリングストップ	JC08 モード (停止時間 336sec.)

上記の条件により測定を行い、1項目あたり6回の測定をし、最大値、最小値を除き、近似した3回の平均値を測定結果とした。

IV 実験結果・分析

1. タイヤ空気圧の変化

次に示す表 4 はタイヤ空気圧が基準値(200kPa)のデータ、表 5 はタイヤ空気圧 100kPa のデータ、表 6 はタイヤ空気圧 350kPa、表 7 は電気負荷を加えた場合のデータおよび表 8 はアイドリングストップ状態でのタイヤ圧、電気負荷を変えた場合の JC08 モード走行燃費比較表である。

ただし、燃費の平均値には補正係数をかけている

表 4 タイヤ空気圧 200kPa 基準値

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	1009	1204	8.175	8.102
2	1033	1204	8.153	7.892
3	1003	1204	8.156	8.131
Ave.	1015	1204	8.161	8.057

表 5 タイヤ空気圧 100kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	1043	1204	8.162	7.825
2	1053	1204	8.215	7.801
3	1072	1204	8.193	7.642
Ave.	1056	1204	8.190	7.710

表 6 タイヤ空気圧 350kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	991	1204	8.179	8.253
2	1012	1204	8.183	8.085
3	1021	1204	8.200	8.031
Ave.	1031	1204	8.187	8.077

表 7 電気負荷(空気圧は 200kPa)

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	1040	1204	8.136	7.823
2	1072	1204	8.161	7.612
3	1080	1204	8.231	7.612
Ave.	1064	1204	8.176	7.743

表 8 アイドリングストップ

No.	cc	sec	km	km/ℓ
①	855	1204	8.213	9.605
2	866	1204	8.193	9.460
3	861	1204	8.176	9.495
Ave.	860	1204	8.194	9.405

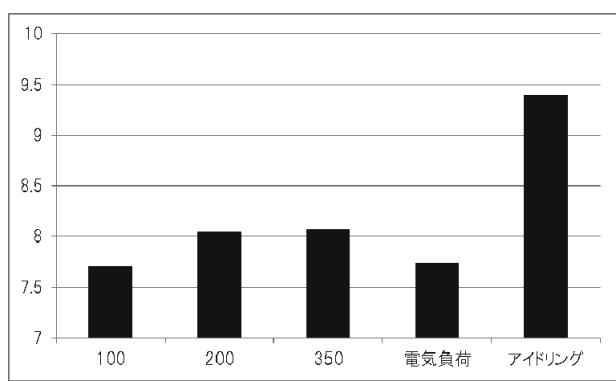


図 6 JC08 モード比較グラフ

図 6 より、まず空気圧の変化でどう燃費に影響するかというところで、JC08 モード走行では加減速があるためか、大きな違いはないが空気圧が高いほうが、燃費が良いことがわかる。

次に電気負荷をかけるとタイヤ圧 100kPa 同様、基準値と比べ約 4.5%の燃費の低下が見られこれも燃費に影響が出ることがわかる。

そしてアイドリングストップが思いのほか燃費の向上が見られ基準値より約 12%高い数値となった。

JC08 モードで約 5 分 30 秒停止の時間があり、エンジン停止させ実験を行った。

燃料消費量も基準値と比べ 114cc 抑えることがわかった。

2. タイヤ空気圧と電気負荷の変化

次の試験は定地走行で速度 60 km/h にてタイヤ圧と電気負荷を変えた場合を行った。表 9 は基準タイヤ圧、表 10 はタイヤ圧が低い場合、表 11 はタイヤ圧が高い場合、表 12 は電気負荷得た場合のデータを示す。

表 9 タイヤ空気圧 200kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	109.7	1.818	18.18
2	100	110.7	1.825	18.25
3	100	110.8	1.835	18.35
Ave.	100	106	1.826	18.35

表 10 タイヤ空気圧 100kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	98.2	1.644	16.44
2	100	98.3	1.646	16.46
3	100	100.9	1.673	16.73
Ave.	100	99.1	1.752	16.44

表 11 タイヤ空気圧 350kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	110.2	1.852	18.52
2	100	111.2	1.868	18.68
3	100	109.9	1.837	18.37
Ave.	100	110.4	1.852	18.47

表 12 電気負荷

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	96.6	1.619	16.19
2	100	96.9	1.627	16.27
3	100	96.3	1.634	16.34
Ave.	100	96.6	1.626	16.42

図 7 に実験結果を比較したグラフを示す。この図より、60 km/h 定地走行では空気圧 350kPa が 18.5km/l と一番良い結果となった。

差は若干ではあるがタイヤに一定の負荷のかかる、定地走行ではやはり空気圧が高いほうが燃費は伸びることがわかる。

100kPa と電気負荷がほぼ同等の 16.4km/l であり、200kPa との差は約 2km/l もあった。

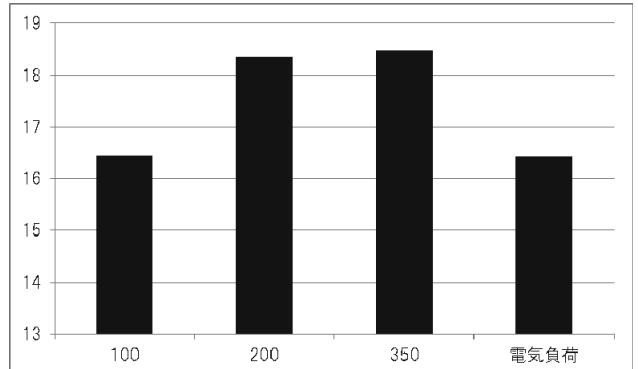


図 7 定地走行 60km/h グラフ

3. タイヤ空気圧、速度と電気負荷の変化

次の試験は定地走行で速度が前の試験より 20km/h 上昇した、80km/h にてタイヤ圧と電気負荷を変えた場合を行った。表 13 は基準タイヤ圧、表 14 はタイヤ圧が低い場合、表 15 はタイヤ圧が高い場合、表 16 は電気負荷得た場合のデータを示す。

表 13 タイヤ空気圧 200kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	75.6	1.669	16.69
2	100	74.2	1.661	16.61
3	100	75.6	1.670	16.70
Ave.	100	75.1	1.666	16.75

表 14 タイヤ空気圧 100kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	68.4	1.536	15.36
2	100	68.6	1.516	15.16
3	100	68.6	1.516	15.16
Ave.	100	68.5	1.522	15.13

表 15 タイヤ空気圧 350kPa

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	98.7	1.734	17.34
2	100	98.7	1.733	17.33
3	100	97.7	1.712	17.12
Ave.	100	98.3	1.726	17.43

表 16 電気負荷

No.	cc	sec	km	km/ℓ
1	100	69.2	1.548	15.48
2	100	70.9	1.566	15.66
3	100	69.4	1.553	15.53
Ave.	100	69.8	1.555	15.71

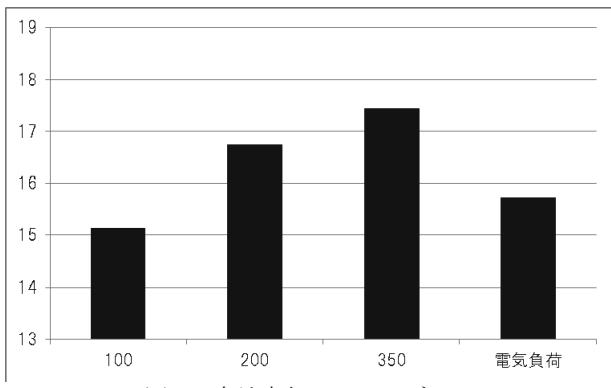


図 8 定地走行 80km/h グラフ

図 8 に実験結果を比較したグラフを示す。この図より、80km/h 定地走行でも 350kPa が 17.4 km/l と一番いい結果となり、60km/h 定地走行と各項目の燃費の差は大きく変わらなかった。

やはり今回も 100kPa と 200kPa の差は約 1.8 km/l と空気圧が少ないだけでかなりのエネルギー損失が窺える。

V まとめ

JC08 モードではタイヤ圧 350kPa 走行の状態が空気圧変化で一番いい結果であった。

加減速のある JC08 モードではタイヤの空気圧によって、あまり大きな差はみられないが、空気圧が高くなるにつれて燃費も向上することがわかった。

タイヤの接地面が燃費に影響していることは明らかなので、こまめに空気圧のチェックをすることで対処することができる。

参考値ではあるがアイドリングストップが基準値より燃費が約 17% 向上と、特に良い結果を残した。

5 分アイドリングしているだけで 100cc 消費されることがこの実験でわかり、最近になりアイドリングストップ車が増えた理由も領ける。

アイドリングストップ機構が付いてない車は駐車している間は短い間と思ってもエンジンを切るなどで燃料削減を心がけることが出来る。

60km/h, 80km/h で定地走行の場合は空気圧が高ければ良い燃費の結果となっていた。

高い場合、燃費は良くなるがグリップが低下しスリップを招く恐れがあり、低い場合はスタンディングウェーブ現象によるバーストといった危険性があり、メーカー基準値が安全性と燃費の効率を考え、最善だということがわかる。

特に長距離運転や高速道路に乗る前に、空気圧のチェック、電気負荷ならヘッドライトは仕方ないにせよ、出来る限りエアコンや熱線の使用を控える。などがあげられる。

今後、このようなデータを参考に自分自身の車のメンテナンスを走行方法も考慮し、ユーザーにもアドバイスしていきたい。

VI 指導教員まとめ

本実験を通して以下の成果が得られたと考える

- 1) 実験方法の理解とシャシ・ダイナモーターなど実験装置の使用方法の理解が深まったこと。
- 2) メンテナンスの必要性をデータ取得により数値的に理解ができたこと。

- 3) 整備士としてデータを基に今後ユーザーに対してもアドバイスができるここと。
- 4) 測定データを分析、発表することにより整備士としての資質が向上したこと。

ドラム式ブレーキ教材の試作

- 自己倍力作用に関する視覚シミュレータ教材の構成 -

徳島工業短期大学 花野裕二

Keywords: ドラム・ブレーキ, ブレーキ力, 自己倍力作用, 視覚教材

I まえがき

自動車は、走行のために必要な装置として、エンジン、駆動システム、ブレーキ、サスペンション、タイヤ・ホイールなど様々な装置により構成され、これらが総合的に巧くバランスされて性能が発揮されるものである。

自動車工学教育を初めて受講する学生側にとって、これら自動車の様々な構成装置について基本から学習を行うことは勿論である。それと同時に各機構についての構成や作動イメージが出来ること、また、関連する専門用語についても理解することなどを含め、総合的な学習方法を効率良く行なうことが最も重要となってくる。

しかし、自動車構成装置によっては、その機構や点検方法、及び作動確認が比較的容易におこなえる箇所もある反面、機構的に密封された構成装置等においては、作動状態を視覚的に確認出来ず、機構動作が分かり難い箇所も数多く存在する。教員側にとって受講学生に対し、これら視覚確認の困難な構成箇所についても、様々な手段を用いて授業組立をおこない、各機構別に基本から応用分野に渡り、全ての分野について手順を追っていかに分かりやすく解説し、受講学生に理解させるかが必要であり大きな課題となる。

以上のことから、本研究では自動車構成装置の中でも機構的に密封された装置の一つであるドラム式ブレーキ装置を取り上げることとした。視覚的に困難である制動時に作用するブレーキ機構の動作や特徴について基礎的な知識を理解させることを目的とした新たなシミュレータ教材について開発を行ったので、その機構について報告を行なう。

II 課題の選択

自動車のブレーキ装置は、機構別に大きく分類するとドラム式ブレーキと、現在主流となっているディスク式ブレーキの二種類が存在する。本研究で取り上げるのは、ドラム式ブレーキ特有の作用となる“セルフ・サーボ効果”である。これは、一般的に、自己倍力作用と呼ばれるものであり、走行状態からのブレーキング時に、タイヤと共に回転するブレーキ・ドラム内面にブレーキ・シューが押しつけられることにより、ブレーキ・シュー自体が自ら食い込む方向に作用し、操作入力以上の仕事（制動）をするものであり、ドラム式ブレーキが構造的に備える制動力倍増機構を示すものである。

しかし、自己倍力作用は、車両静止状態での制動動作では発生せず、あくまでも車両走行状態による制動動作で発生するものとなる。また、ドラム式ブレーキは、その機構上ブレーキ・ドラムと呼ばれる円盤状のカバー内に密封されたブレーキ機構であることから、タイヤの回転力が制動力に応じてドラム内面側にブレーキ・シューが食い込む自己倍力作用について、その機構動作を視覚的に確認することは困難であり、車両走行状態での作用となると全く不可能である。

ドラム式ブレーキの基本的な形状は、一般に“リーディング・トレーリングタイプ”、“ツー・リーディングタイプ”及び“デュオ・サーボタイプ”の三種類となっており、制動時における自己倍力作用の発生も、各種特徴的なものとなる。これらの特徴は、ドラム式ブレーキの各種名称に示されてはいるものの、その名前の由来を含め、作動状態や特徴について視覚的に確認することができれば、学生の理解度も更に確実なものとなり、教員側にとっても効率のよい指導につながることとなる。

本研究課題では、制動操作（車両：停止状態及び走行状態）における各条件について、向かい合った二つのブレーキ・シューがどのような作動状態となり異なった摩擦力の発生をするのかなどについて、その機構・特徴を視覚的に確認できるシミュレータ教材開発を目指すものとする。

III 試作教材の概要と構想

ドラム式ブレーキの基本構造は、走行時に車輪と共に回転するブレーキ・ドラムの内面にブレーキ・ライニングを押し付け摩擦力による運動エネルギーを熱エネルギーに変換させ制動させる内部拡張式システムとなる。

本装置試作にあたっては、その基本的構成を極端に変えることなく本来の機構を、受講学生がイメージしやすいモデルとしなければならない。

機構的に、試作目的の中で最も重要視する部分として挙げるのは、やはり自己倍力作用といったものをいかに視覚化・数値化させるかである。また、演習用教材としての活用も考慮し、試験装置の持ち運びや移動方法が容易にできることが必要となる。従って、自動車に用いられている実際の使用部品による組み合わせではなく、可能な限りの軽量化を図り、材料の選択をおこなうことが大きなテーマとなってくる。

IV 必要機構

ドラム式ブレーキ教材試作にあたっては、実車両において、後輪側に最も多く使用されているリーディング・トレーリング式を基本ベースとし、準備をおこなうこととした。なお、必要な機構については、以下の要素を含むものとした。

- A) シミュレータ教材ではあるが、実際モデルと極端な隔たりを持たせず、作動イメージを持ちやすい形状とする。
- B) ドラム無回転状態での制動動作とブレーキ・シューの動きの視覚化と数値化が容易にできる。
- C) ドラム回転状態での制動動作とブレーキ・シューの動きの視覚化と数値化が容易にできる。
- D) ドラムの作動（回転）方法では、作動状態からブレーキ力によるドラム作動停止までの一連の動きが可能な連動機構とする。
- E) C)に関連し、解説時には作動過程の中で特定した部分での解説も必要と考えられることから、手動によるドラムの作動（回転）操作機構についても備えたものとする。
- F) 試験装置の持ち運び面も考慮し、移動方法が容易におこなえる教材を目指すこととする。
- G) 他種のドラム式ブレーキ機構についても上記 A)～D)の試験が行えるシステムを目指す。

V 構成

前述した構想を踏まえ、必要機構各部の構成をおこなった。

1. ブレーキ・ドラム回転作動機構

制動操作における左右ブレーキ・シューの動きには、ドラム無回転状態による制動操作及びドラム回転状態による制動操作でやや異なるが、何れにせよドラム回転をブレーキ・シュー拡張により静止させる機構である。

ブレーキ・ドラム回転機構としては、やはりモータによる作動となるが、機械的にドラムを回転させようとする動力と、ブレーキ・ドラムを摩擦力により停止させようとする力が発生することから、その両者のバランスにより大きな負荷が生じることとなる。今回の製作にあたっては負荷増大により考えられる作動モータの故障等を考慮し、ブレーキ・ドラムの回転機構として、過負荷で使用しても故障が少ないエア式モータを用いることとする。

2. 手動操作による制動機構

制動過程の中において、特定した部分での作動状態について視覚的に確認するための方法として、手動によるドラム・カバー回転操作が可能な機構とする。この場合ブレーキ・ドラム回転機構として、後部に連結されたモータを、手動操作への切り替える手段が必要であることから、ブレーキ装置裏面にモータ部の切り離し機構を

設けることとし、手動による操作を可能とすることとする。

3. ブレーキ・シリンダの選択

一般的に小型乗用車のブレーキ装置では、油圧式が多く用いられている。しかし、油圧式ではホイール・シリンダ内カップ・シール等の経年劣化による液漏れ、及びその交換作業など様々な整備が必要となることが想定されることから、後の整備メンテナンスを考慮し、本装置では油圧式に代わる作動方式についてホイール・シリンダ部をエア式にすることとする。

4. ブレーキ・ドラム材料の選択

左右ブレーキ・シューのひずみ度合いを視覚化する目的より、ブレーキ・ドラム材料には、透明のアクリル・パイプを使用することとする。

5. ブレーキ・シュー材料の選択

制動時にブレーキ・ドラム内面に押し付けられたときに、左右ブレーキ・シューの歪度合いを視覚的に確認できることを目的とすることから、ブレーキ・シュー部の材料としてスポンジ系ゴム（以後、シュー・ゴムと称す）を使用することとする。また、制動時にはシュー・ゴム面の摩擦力により、ブレーキ・ドラム回転を静止させなければならないことから、その目的に見合ったシュー・ゴムの選択が必要となる。シュー・ゴム選択準備として、以下に示す簡易的な摩擦力試験により選択することとした。図1に簡易的摩擦力試験方法を示す。

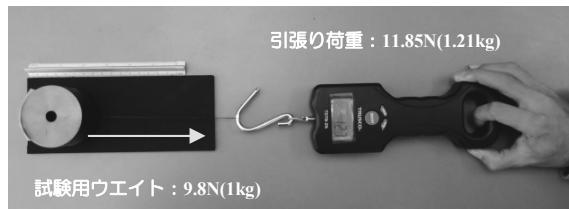


図1 簡易的摩擦力試験

シュー・ゴム用としての選択は、t3×200×100 (mm)に加工した各種スポンジ・ゴム数種類を用いた。

試験方法は、ブレーキ・ドラム材料であるアクリル板をサイズ加工し、その上部に9.8 Nのウェイトを貼り付けた状態とし、デジタルはかりにより横方向に滑らせた時の引っ張り荷重より、摩擦係数(μ)を求めものである。シュー・ゴムの選択では、スポンジ・ゴムについて摩擦係数(μ)の最大値のものを採用することとした。

6. 数値確認方法

一般的にドラム式ブレーキ形状は内部拡張式であることから、ブレーキ・シュー固定端では、下部をピボット式とした形状とし、上部にエア・シリンダを取り付ける機構とする。制動時には、ブレーキ・シューが上部のシリンダ作用により外側に拡張しドラム内面にシューを押し付ける、また、その動作に連携し下部ではピボット部が中心となりブレーキ・シューが回転動作を行なうこ

となる。この一連の動作を利用し、数値確認方法では、下部ピボット部のブレーキ・シュー回転運動を回転角度として捉えることで、制動時での異なった左右ブレーキ・シューの作動状態を数値化することとする。

VI シミュレータ設計

構成をもとにシミュレータ全体設計をおこなった。図2に側面図、図3に正面図を以下に示す。

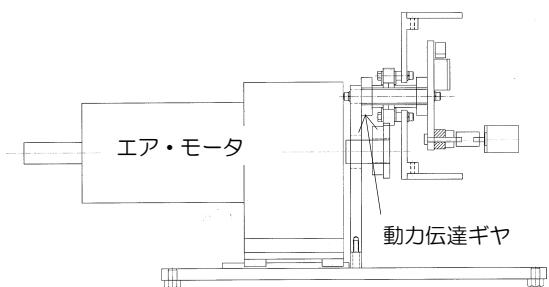


図2 側面図

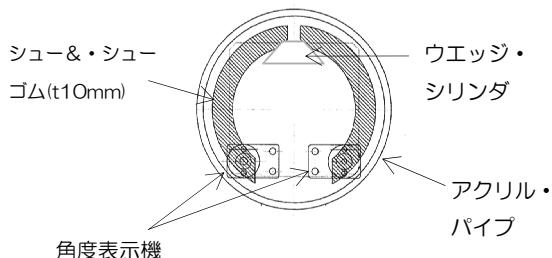


図3 正面図

「IV章 必要機構」に記述したが、ドラム式ブレーキ機構として取り上げるのは、車両後輪に多く採用されているリーディング・トレーリング式を基本モデルとした。ホイール・シリンドラ作動方式はウエッジ・シリンドラを用いた構成とし、ブレーキ・ドラム回転機構とともに動力源をエア式に統一することとした。また、ブレーキ・シューには、ドラム・カバー内径に合わせた厚みのシュー・ゴムを張付けることとした。

制動時によるブレーキ・ドラム無回転時及び回転時に対する左右ブレーキ・シューの動き量を数値確認する方法では、ブレーキ・シュー下部のピボット・アンカ部に角度計を取り付けることとし、制動時におけるピボットを支点とした左右ブレーキ・シューの回転量を回転角度に置き換え数値確認をおこなうものとした。

ドラム・カバー回転機構では、ドラム・ブレーキ後部より、連結ギヤを介しモータに連結した機構とエア・コントロール・バルブにより作動させる機構とした。

VII シミュレータ製作

全体設計図をもとに、フレーム機構の製作から関連した機器類の取り付けをおこない組立をおこなった。シミュ

レータ全体構成図を図4に示す。なお、主要構成品については、その取り付け目的を番号別に分類し以下に示すこととする。

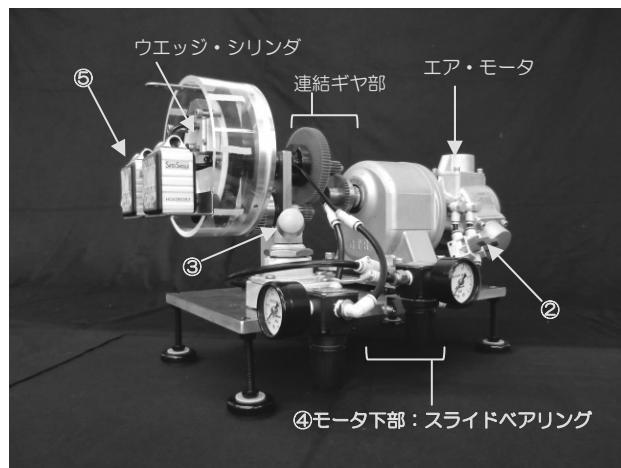


図4 シミュレータ全体構成図

(1) 作動ポンプ

ウェッジ・シリンドラ及びドラム・カバー回転の二つの作動を行なうために、エア動力源として小型エア・ポンプ付きタンク(4ℓ)を使用する。授業時の条件等で試作装置本体の移動を必要とする場合に備え電源なしでの作動を容易にする。図5に作動ポンプ、表1にエア・モータ仕様を示す。



図5 作動ポンプ

表1 エア・モータ仕様

最大出力時(0.5MPa)	
出力(W)	110
トルク(N·m)	5.88
回転数(rpm)	180
空気消費量(L/min)	260

(2) エア・コントロール・バルブ

ドラム回転方向(前進時・後退時)の切り替えをおこなう。また、ドラム回転状態からの制動操作において、シュー・ゴムのひずみ具合など、視覚的な確認を容易にするため、最適な回転数を制御する方法として、エア流量の制御をおこなう。図6にエア・コントロール・バルブを示す。

(3) ウエッジ・シリンドラ作動コントローラ

図7にエア開閉バルブを示す。



図6

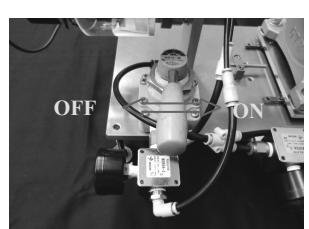


図7

(4) スライド・ペアリング付きジグ

エア動力による作動操作により、ドラム回転の作動停止までの一連の動きが可能な自動化機構に付け加え、特定した部分でのブレーキ・シューの作動状況について静止させる必要性から、エア・モータ本体を連結ギヤより切り離す機構として、エア・モータ本体下部にスライド・ペアリングを設け分離を容易とした。これにより、エア動力を遮断させ、手動によるドラム回転操作を可能とする。図8に連結状態と分離状態を示す

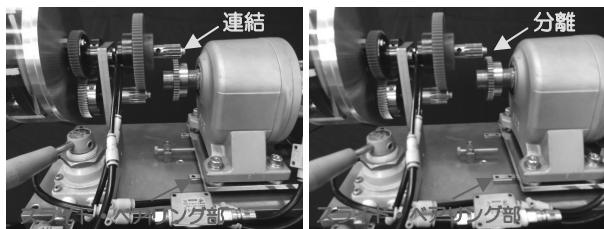


図8 スライド・ペアリング付きジグ

(5) 角度検出表示機

ブレーキ・シューのアンカピボット部に取り付け、制動時における左右ブレーキ・シューの回転角度の動きを数値的に確認する。図9に回転角検出表示機(SATO TECH MJ-1)を示す。



図9 回転角検出表示機

VII 作動確認及び検証

ウエッジ・シリンドラ作動により、ブレーキ・シューとして活用したシュー・ゴムとドラム・カバーとの摩擦力、及び制動時によるシュー・ゴムのひずみ具合がどの程度発揮されているかについて、視覚面及び数値面の両面より検証をおこなった。図9にドラム無回転時のシュー拡張状態、表2にドラム無回転時のシュー左右の数値比較を示す。



図9 ドラム無回転時シュー・ゴムの動き

表2 ドラム無回転状態による制動作用

	シュー	変化回転角度(°)	ひずみ量(mm)
無回転	L	4.1	0.5~1.0
	R	4.2	0.5~1.0

ドラム無回転では、ウエッジ・シリンドラの押し上げにより、左右ブレーキ・シューがほぼ同等な角度を表示していることや、シュー・ゴムの歪量から、左右のブレーキ・シューはバランス状態であることがわかる。

一方、ドラム回転時では、ウエッジ・シリンドラの押し上げに追従し、ドラム回転方向側のブレーキ・シューが摩擦力により押し開く自己倍力作用(シューゴムひずみ部)が確認できた。図10、図11にドラム回転方向別のシュー・ゴムひずみ状態、表3にドラム回転方向別の左右輪数値比較を示す。

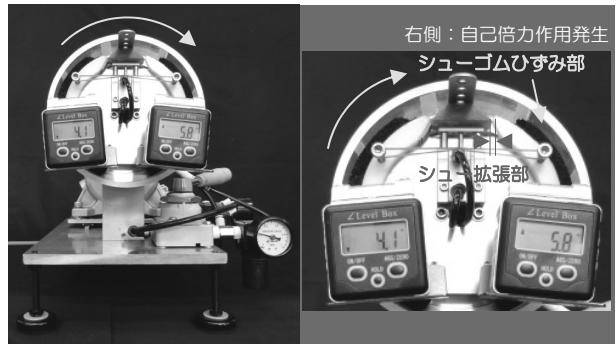


図10 ドラム右回転時シュー・ゴムの動き



図11 ドラム左回転時シュー・ゴムの動き

表3 ドラム回転状態による制動作用

	シュー	回転角度	ひずみ量(mm)
右回転	L	4.1	0.5~1.0
	R	5.8	2.0
左回転	L	5.3	1.5~2.0
	R	4.1	0.5~1.0

IX 今後の改善

装置全体の機構・構成面、作動面及び取り扱い方法について整理を行った。全体構成をコンパクトに仕上げることが出来、持ち運びも可能なサイズに仕上げることができた。また、制動作用時におけるドラム無転時及び回

転時での左右ブレーキ・シューの動き、及びドラム・ブレーキ特有の自己倍力作用の発生について左右ブレーキ・シューの作動比較を行える装置に仕上がり、製作における目的については概ね達成することできた。今後の課題については以下の通りである。

- a 視覚的に更に見やすくすることを踏まえ、ブレーキ・シュー及びドラム部についてのサイズ変更(拡大)を図る。
- b 制動作時にシュー・スポンジとアクリル・パイプ接触部において、制動力が上手く伝わらず滑りを起こす場合があったことより、ドラム内面の材質等の検討を行い摩擦力向上を図る。
- c ウエッジ・シリンドによる制動時、圧縮状態から復帰するシュー・スポンジの変形度合いが影響し、連続使用時では左右差が生じるため、シュー・スポンジ材質について改善を図る。
- d シュー・ゴムの歪測定はスケールにより行ったが、上記 c に関連しブレーキング状態によるシュー・ゴムの圧縮変形は時間と共に変化する傾向があった、視覚的な面では問題はないが、安定した数値確認が行えるようシュー・スポンジ材質について改善を図る。
- e 形状ではリーディング・トレーリングタイプのみの製作となってしまったが、他種のドラム式ブレーキ機構について、検討をおこない改良を図る。

X まとめ

本研究では、機械的に密封された装置の一つであるドラム式ブレーキ装置を取り上げ、ドラム式ブレーキ特有の作用である自己倍力作用に関する視覚シミュレータ教材の試作を行い、その動作確認について報告を行ったものである。ドラム式ブレーキ装置は、その特徴より構造的に密封された機構であることから、制動時における各種構成部品の作動に対して、その全貌が見えず受講学生にとって分かりにくく、教員側にとっても伝え辛い機構の一つであった。

今回、この問題点を解決する手段としての本シミュレータ教材開発をおこない、擬似的ではあるがドラム式ブレーキ特有の自己倍力作用について、視覚面及び数値面からの確認が可能なシミュレータに仕上がった。これにより、演習はもとより実習教育へ連動させることに繋がる教材となり、活用範囲を含め効果は大きいものとなった。

受講学生に対して、ドラム・ブレーキ作動の総合的な学習教材製作としては概ね達成できた。今後も引き続き改良を重ね、装置全体の精度を高めていきたい。

(2) 日本自動車整備振興会：二級ガソリン・ジーゼル自動車シャシ偏、p. 148-149

参考文献

- (1) 日本自動車整備振興会：三級自動車シャシ偏、p. 125-130

エア・サスペンション実習装置試作（その2）

徳島工業短期大学 村上和義

Keyword：大型車両、エア・サスペンション、実習教材

I まえがき

前回、実車両部品を使って大型車両のエア・サスペンション・システム（以下エア・サスと称する）の整備実習をいかにわかりやすく、作業性および視認性も考慮に入れて、必要最小限度の構成で小型化した実習教材（レベリング・バルブ式）の試作について報告した。

さて、今回はハイト・センサ式のエア・サスを製作し報告する。前回同様、本試作装置の役割は、現物の部品を使って製作することで、部品名称はもとより構造・機能を十分理解し、その作動状態の確認をすることである。さらに本試作装置を製作する狙いが、エア・サスの自動式車高調整および手動式車高調整そして脱着作業の実習が簡単にできるようにすることである。

また前回の課題として、座イスのしゅう動部が2柱式のため不安定であったことも含め、試行錯誤しながらではあるが現状を報告する。

II 試作装置の概要

試作装置は、前回製作したレベリング・バルブ式のエア・サス装置を右側に設置し、ハイト・センサ式のエア・サス装置を左側に製作し、一つの実習装置とする。

ここで、ハイト・センサ式エア・サスの構成に必要な主要部品として次の部品を選択した。

- ①エア・スプリング
- ②ハイト・センサ
- ③コントローラ
- ④ソレノイド・バルブ（開閉：供給、排出）
- ⑤5V電源装置
- ⑥切替スイッチ（自動↔手動、上昇↔下降）
- ⑦プレッシャ・レギュレータ
- ⑧座イス

また、現物の部品を使って製作するにあたり、実習教材としての活用（車高調整、部品の脱着整備等）を考慮して、新品を購入することが良いと判断した。また購入する部品は、レベリング・バルブ式エア・サス装置と同様の部品を使用することとした。試作装置のシステムを図1に示す。

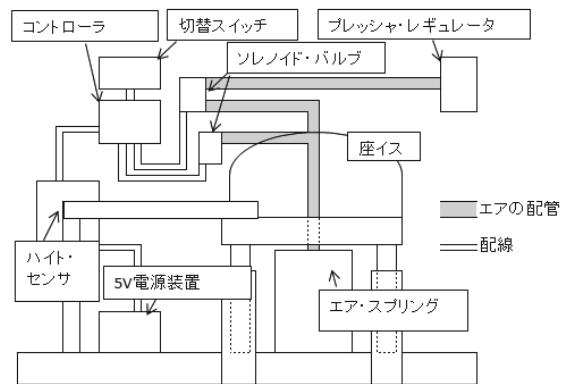


図1 ハイト・センサ式エア・サス

エア・サスの系統図として以前も記載したが、ハイト・センサ式エア・サスシステムを図2に示した。図2では、エアの制御バルブとして、エア・サスECU制御でマグネチック・バルブ（ソレノイド・バルブ）が使われているが、本試作装置では、廉価で機能がわかりやすいソレノイド・バルブを2つ（供給用、排出用）使用することで代用した。

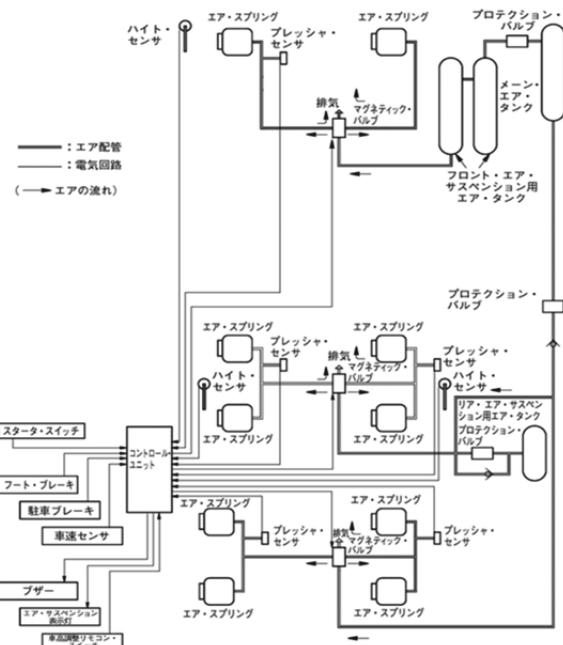


図2 ハイト・センサ式エア・サスの系統図

ハイト・センサ式エア・サスの試作装置を図3に示す。

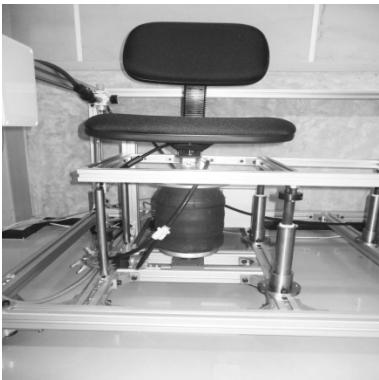


図3 試作装置

試作装置に供給される圧縮空気は、プレッシャ・レギュレータにより圧力を500kPaに限定し、エア・スプリングには安全性を考慮に入れ送管する。(図4参照) エア・スプリングへの荷重により、ハイト・センサ式エア・サスは、ハイト・センサ・レバーの傾きにより信号電圧がコントローラに入力され、ソレノイド・バルブの開閉により、圧縮空気をエア・スプリングへ供給あるいは排出させて、スプリング内のエア圧を制御して座イスの高さを調整する。

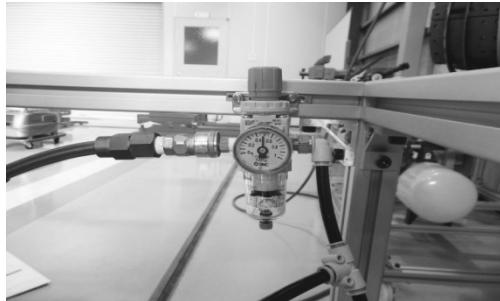


図4 プレッシャ・レギュレータ

III 試作装置の作動

ハイト・センサ式のエア・サスの試作装置の作動確認として、一つ目はハイト・センサとエア・スプリングが連動して作動することを確認することである。二つ目は、高さ調整を自由に調整できることである。したがって、ここでは実際にハイト・センサ式のエア・スプリングに加圧させる(椅子に座る)ことにより確認する。

今回、コントローラ等の不具合により、自動によるエア・サス制御の作動が安定しないこともあり、課題として次回報告することとする。



図5 自動・手動切替及び上昇・下降スイッチ

次に、高さを自由に調整できるか、自動・手動の切替スイッチおよび上昇、下降スイッチにより作動確認を実施した。(図5参照)

高さの制御(調整)幅として、80mm確認することができた。(図6、図7参照)



図6 座イス高(最高高さ380mm)

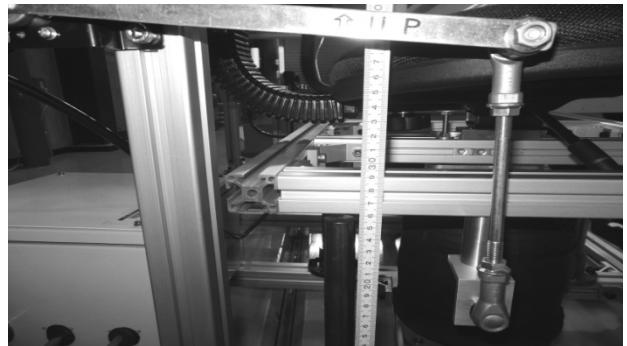


図7 座イス高(最低高さ260mm)

IV あとがき

本試作装置の役割は、現物の部品を使って製作することで、部品名称はもとより構造・機能を十分理解し、作動状態の確認をすることで、それぞれのエア・サスのシステムの違いを理解することである。

今回、コントローラ等の不具合により、自動によるエ

ア・サス制御の作動が確認できなかつたので、次回報告したい。また前回の課題として、座イスのしゅう動部が2柱式のため不安定であったので、両サイドに固定柱(4本)を設け、しゅう動部の柱を中央部に設定し、装置全体が大きく傾かないよう配慮した。(図8参照)今後も取り付け位置や柱の数も考慮に入れて試作装置を活用できるように改善していきたい。



図8 装置全体図

参考文献

- (1) 日本自動車整備振興会連合会：二級ガソリン自動車二級ジーゼル自動車 シャシ編, p. 81

エンジンのアイドリング不調

— データ・モニタで検証 —

徳島工業短期大学 福栄堅治
自動車工学専攻 藤園翔太・又吉幸太・山口智正

Keywords : 外部診断器, 故障診断, データ・モニタ

I はじめに

最近の自動車は、環境への配慮もあって電子制御化が大幅に取り入れられている。電子制御化が進んでも、いつまでも新車のようにはいかない、経年変化とともに故障もやってくる、メンテナンスを怠ったり乱暴に扱ったりすると故障が起きやすくなる。電子制御関連に故障が起きた場合などには、故障原因の探求に自己診断機能により効率的な診断ができるようになっている。とはいっても故障の原因については様々であり、不具合が発生していても自動車の機能の自己診断では検知できないこともある。一級専攻科の学生がそういった不具合の故障診断を行うには少々難しいかもしれない。そこで学生の診断技術力を向上する目的として、エアーの割り込みによるアイドリング不調、排気ガス割り込みによるアイドリング不調等を再現して、それぞれの状態を正常時と比較してエンジン ECU の制御状態を検証することにする。

II 車両と外部診断器

1. 使用する車両

車名	トヨタ Vitz
型式	DBE-E11
エンジン型式	HR15

2. 使用する外部診断器

日立製	
型式	HDM-3000

III 車両の不具合設定

エンジン警告灯は点灯しないことを条件に、アイドリングが異常な状態を 2 例設定する。不具合の原因是それぞれ違うけれども、体感的には現象はよく似た設定にする。

1. ホース穴空きによるアイドリング不調

図 1 に示す、インテーク・マニホールドヘブレーキ・ブースタ間のバキューム・ホースに直径 4mm の穴を開けて、アイドル時のエンジン回転が不安定になるような状態にする。



図 1 バキューム・ホース

2. EGR バルブの着座不良によるアイドリング不調

図 2 に示す内径 22mm 厚さ 7mm の丸い管を、図 3 に示す EGR バルブの中に入れて、バルブの着座不良を起こさせ、アイドル回転がバラツキながらもエンストしない状態にする。



図 2 丸い管



図 3 EGR バルブ

IV それぞれのデータ

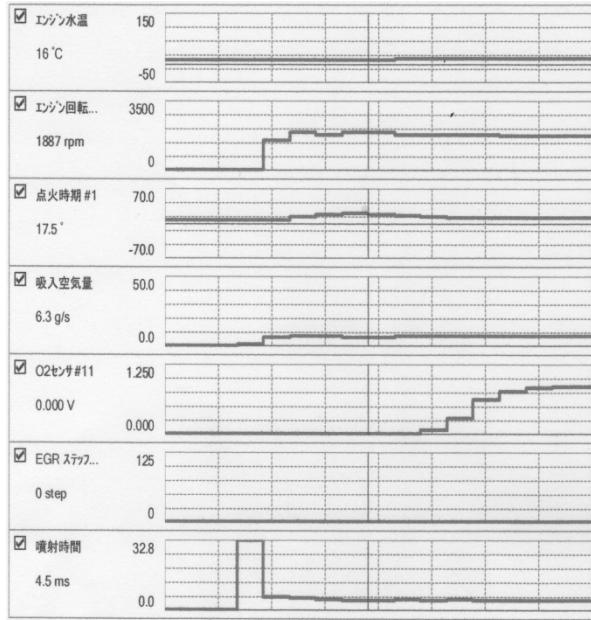
データの項目は必要なものだけにする。サンプリングは冷間時の始動直後のアイドリング状態と完全暖機のアイドリング状態とし、わかりやすく理解するために外部診断器のデータ・モニタをグラフ化した。

1. 始動直後（冷間時）

(1) 正常時

表 1 に示すグラフは、正常時の冷間時におけるエンジン始動直後の状態である。噴射時間が急激に上がりその後エンジン回転も上がり点火時期も変化し、しばらくして O₂ センサの電圧が階段状に変化しているのがわかる。

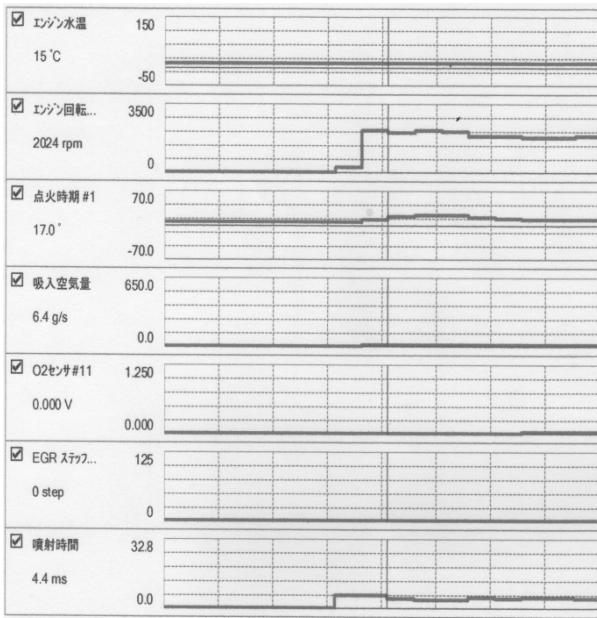
表 1 正常時の始動直後（冷間時）



(2) ホース穴空きの始動直後

表 2 に示すグラフは、バキューム・ホースの穴空きがあるため、エアフロ・センサを通らない吸入空気がある。噴射時間は、正常時のような最初の立ち上がりの折れ線がない。その後は正常時と変わらない 4.5ms となっている。エンジン回転数は 2155min^{-1} と正常時より高くなっているのに、吸入空気量が正常時と変わらない 6.3g/s となっている。

表 2 ホース穴空きの始動直後（冷間時）

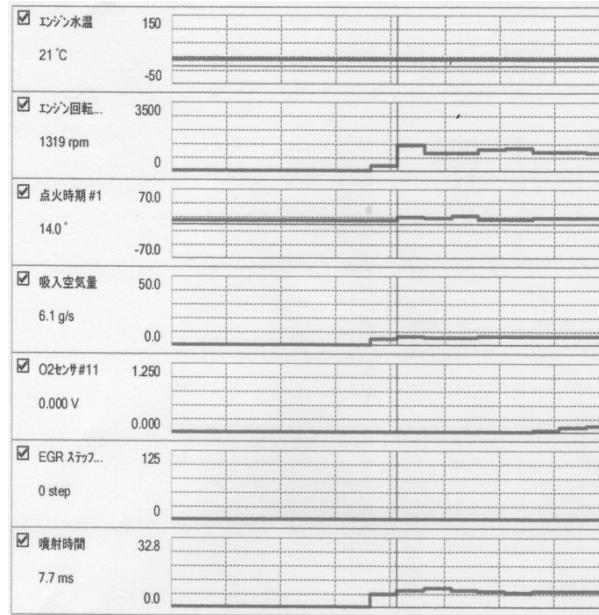


(3) EGR バルブ着座不良の始動直後

表 3 に示すグラフは、EGR バルブの着座不良により

排気ガスが割り込んでいる。そのため、エンジン始動がよくない。噴射時間も正常時のような立ち上がりもなく 7.7ms と高くなっている。エンジン回転も 1046 min^{-1} と低い状態である。

表 3 EGR バルブ着座不良の始動直後（冷間時）

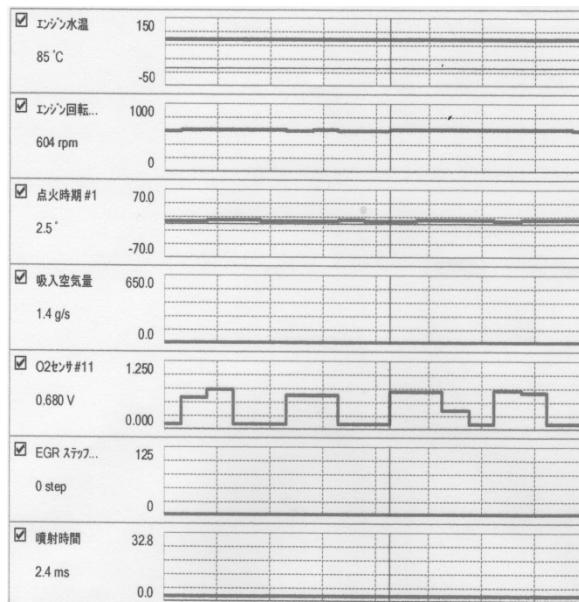


2. 暖機後

(1) 正常時

暖機後は、O₂ センサの出力信号が反転をしていて、エンジン回転数 604 min^{-1} 、噴射時間 2.4ms 、吸入空気量 1.4g/s の状態で制御されている。（表 4）

表 4 正常時（暖機後）

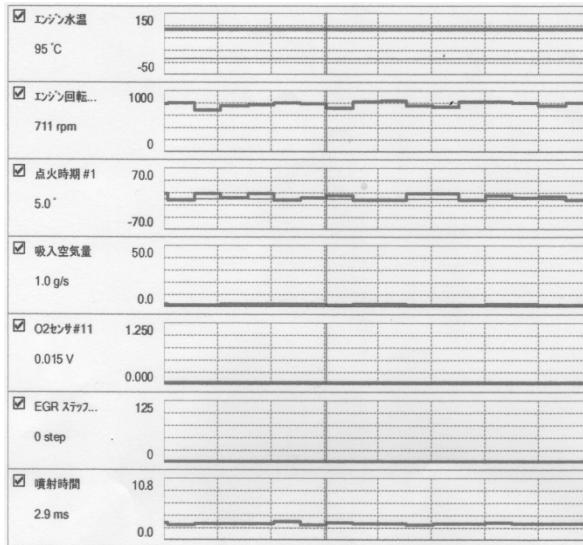


(2) ホース穴空きの暖機後

ホース穴空きの暖機後は、O₂ センサの出力信号はほぼ

一定で 0.015V と低い、エンジン回転は $605\sim819\text{ min}^{-1}$ とばらついている、噴射時間は 2.9ms と正常時より長くなっている、点火時期もエンジン回転数に合わせるように変動している。吸入空気量は 1.0g/s で正常時よりも低い状態となっている。(表 5)

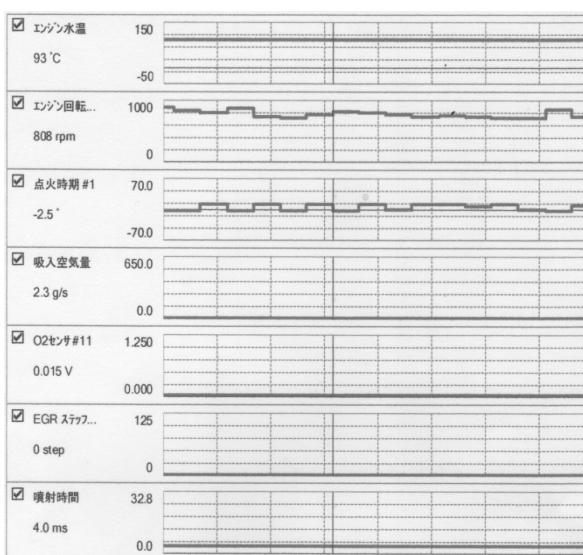
表 5 ホース穴空き（暖機後）



(3) EGR バルブの着座不良の暖機後

着座不良の暖機後は、O₂ センサの出力信号は 0.015V 一定となっていると、エンジン回転は $628\sim852\text{ min}^{-1}$ とばらついている、噴射時間は 4.0ms ともっとも長くなっている、点火時期もエンジン回転数に合わせるように変動している。吸入空気量は 2.3g/s で正常時よりも多い状態となっている。(表 6)

表 6 EGR バルブの着座不良（暖機後）



V 考察

冷間時は、それぞれ不具合現象に違いがある。特に、エンジンのかかり具合では、排気ガスを吸いしている EGR バルブの着座不良の方が悪い。また、エンジン回転数はバキューム・ホース穴空き 2155 min^{-1} に対して、EGR バルブの着座不良の方が 1046 min^{-1} と低くなっている。噴射時間については、正常時は始動直後に急激に立ち上がった折れ線グラフがあるのに対して、バキューム・ホース穴空き、EGR バルブの着座不良とともに無い。始動後は、EGR バルブの着座不良が 7.7ms で、正常時の 4.5ms よりも長くなっている。一方、バキューム・ホース穴空きの噴射時間 4.4ms となっており、バラツキながらも正常時に近い。

暖機後は、正常時の O₂ センサ信号は 0.075V~0.74V と反転をしているのに対して、バキューム・ホース穴空き、EGR バルブの着座不良はとも 0.015V~0.035V の間の範囲で推移している。空燃比が薄い信号状態となっている。噴射時間をみると正常時 2.4ms に対してバキューム・ホース穴空きは 2.9ms、EGR バルブの着座不良は 4.0ms と長く噴射している。エンジン回転数をみると、正常時は 604 min^{-1} に対してバキューム・ホース穴空き、EGR バルブの着座不良とも $640\text{ min}^{-1}\sim810\text{ min}^{-1}$ と基準値より高く不安定な状態で推移していく。点火時期も回転数に連動して変化幅が、正常時よりも大きい。

結果、それぞれ正常時と比較すれば同じアイドリング異常の現象でも、エアーの割り込みも、ガスの割り込みも、データ値に表れていることが検証できた。

VI おわりに

自己診断で検知できない不具合の原因を探る場合、外部診断機のデータ・モニタの活用は強い味方となる。今回のデータの様に正常時との比較により、おかしな数値が出ていたならば、そこから探っていけば不具合の原因を少しでも早く解決できるかもしれない。また、経験を積むことによって推測の領域も深くなる。そうなる事に期待したい。

参考文献

- (1) トヨタ自動車：VitZ 整備要領書
- (2) 日本自動車整備振興会連合会：一級自動車整備士 エンジン電子制御装置 p. 230-243

フューエル・ポンプ電子回路故障診断装置の製作について —個別異常発生装置による故障診断—

徳島工業短期大学 岩瀬一裕

Keywords : 電気・電子回路, 電位測定, アクティブ・テスト, 故障診断, 教材

I まえがき

一級自動車整備士国家試験において、エンジンの故障診断におけるフューエル・ポンプ電子回路が過去に何度か出題されている。出題された問題は、「エンジン警告灯は点灯していない（ダイアグノーシス・コードは正常コードを表示）が、エンジンが始動しない。」という自動車において、外部診断器を使用してアクティブ・テストを行い、フューエル・ポンプを強制駆動させた。このときの各端子の電圧測定結果をもとに、その異常原因を推定させるものである。

このフューエル・ポンプ電子回路は、リレーやトランジスタ等で構成され、また複雑な回路ではないので、正常時あるいは異常時において、回路に流れる電流やリレー等の動作状況は理解しやすい。さらに国家試験では、選択肢の中から解答する問題があるので、異常原因の推定は比較的簡単である。

しかし、各端子の測定電圧値を基に異常原因を推定する場合には、異常事象のパターンが多くあることから、複数の異常原因が推定される場合がある。異常原因を特定するには、アクティブ・テストを実施していないときと実施したときにおける各端子電圧の測定値のほか、フューエル・ポンプやトランジスタなどの動作状況を含めて判断する必要がある。

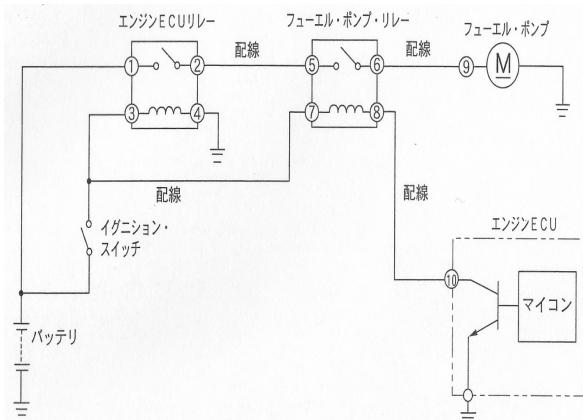


図1 フューエル・ポンプ電子回路図

フューエル・ポンプ電子回路における異常原因を各端子電圧の測定等により特定を可能とする教材を製作したので報告する。併せて、故障診断の測定方法についても報告する。

II 電子回路の構成と動作

1. 電子回路の構成

今回製作した装置は、国家試験に出題された回路である図1を基本にしている。この電子回路は、リレー、SW、モータ、トランジスタで構成されているが、製作した電子回路では、図2のようにランプ等を追加して電子回路の動作状況が視認できるようにしている。

フューエル・ポンプはランプで代用し、動作状況が確認できるようにしている。Tr動作ランプを設置し、トランジスタが動作した状態が分かるようにしている。

また、電子回路のある箇所で短絡が発生したときに、過大電流が流れることがあるので、回路を保護するヒューズを取り付け、断線時にはヒューズ・ランプを点灯するようにしている。

さらに、外部診断器によるアクティブ・テストが行えるようにするために、アクティブ・テスト用SWを設置している。

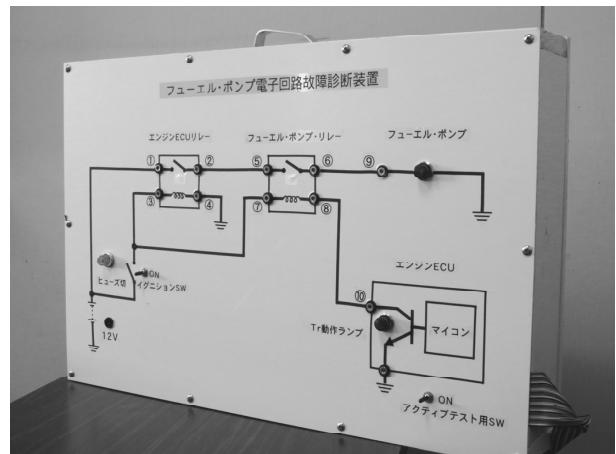


図2 フューエル・ポンプ電子回路故障診断装置の

パネル部



図3 個別異常発生装置のパネル部

次に、電子回路内の配線等に異常状態を発生させる装置が、図3の個別異常発生装置である。異常状態を発生させる14のSWとリセットSW、予備用のSWで構成している。個別異常発生装置は、本体の装置とフラットケーブルで接続している。

2. 電子回路の動作

正常時の動作は、イグニションSWをオンにすると、エンジンECUリレーが作動し接点が閉じる。エンジンECU内のマイコンがエンジンが始動していると判断すると、ECU内のトランジスタをオンにする。この結果、フューエル・ポンプ・リレーが作動し接点が閉じ、フューエル・ポンプが駆動する。

フューエル・ポンプ電子回路内の断線や短絡などの異常状態の発生は、図3の個別異常発生装置のSW操作により可能であり、次の事象1から事象14の異常事象が発生できる。

事象1：バッテリと端子①線間の断線

事象2：エンジンECUリレーの異常

端子①と端子②間の断線または接点不良

端子③と端子④間の断線またはコイル不良

事象3：端子④とアース間の断線またはアース不良

事象4：イグニションSWと端子⑦線間の断線

事象5：端子②と端子⑤線間の断線

事象6：端子②と端子⑤線間での地絡

事象7：端子⑤と端子⑥線間の断線または接点不良

事象8：端子⑦と端子⑧線間の断線またはコイル不良

事象9：端子⑥と端子⑨線間の断線

事象10：端子⑥と端子⑨線間での地絡

事象11：フューエル・ポンプとアース線間の断線

またはアース不良

事象12：端子⑧と端子⑩線間の断線

事象13：端子⑧と端子⑩線間での地絡

事象14：エンジンECU内の断線またはアース不良回路を保護するヒューズは、分岐回路のうち、フューエル・ポンプを動作させる回路に取り付けがあるので、フューエル・ポンプまでの配線で地絡が発生したとき、ヒューズ・ランプが点灯する。

アクティブ・テスト用SWをオンにすると、エンジンECUのトランジスタのベース電流がオンになる。ECUが正常のときには、コレクタ電流が流れ、Tr動作ランプが点灯する。

個別異常発生装置のリセットSWは通常時はオフであるが、回路内に過大電流が流れヒューズが断線し、ヒューズ・ランプが点灯したときは、リセットSWをオンにすると、ヒューズ・ランプは消灯し、ヒューズが保護する回路は断線状態を保持する。再びオフにすると電子回路は初期状態に戻る。

III 故障診断

1. 端子電圧測定

回路計を使用してフューエル・ポンプ電子回路のECUアース側端子と各端子間の電圧測定を、次の測定方法1、測定方法2により行う。ただし、複数箇所の異常は発生しないものとする。

測定方法1

エンジンが始動しない状態で、アクティブ・テストを行わないときの測定である。

フューエル・ポンプ電子回路内の配線に、異常がないときと、事象1から事象14の異常事象が発生したときの端子①から端子⑩の各端子の電位を求める。そのときのヒューズ・ランプ、フューエル・ポンプ、Tr動作ランプの動作状況を調べる。測定電圧値等の結果は、表1のとおりである。

測定方法2

アクティブ・テストを行なったときの測定である。

フューエル・ポンプ電子回路内の配線に、異常がないときと、事象1から事象14の異常事象が発生しているときに、アクティブ・テストを行なったときの端子①から端子⑩の各端子の電位を求める。そのときのヒューズ・ランプ、フューエル・ポンプ、Tr動作ランプの動作状況を調べる。測定電圧値等の結果は、表2のとおりである。

図4は、事象12の⑧-⑩間の断線時における端子⑧とアース間の電圧測定時の状況である。Tr動作ランプは

表 1 エンジンが始動しないとき(ダイアグノーシス・コードは正常コード: エンジン ECU がオフ)

単位 V

事象	異常箇所・内容	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	ヒューズ	ポンプ	Tr
1	B-①間断線	0	0	12	0	0	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
2	①-②間断線	12	0	12	0	0	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
3	④-E間断線	12	0	12	12	0	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
4	IG-⑦間断線	12	12	12	0	12	0	0	0	0	0	*	OFF	OFF
5	②-⑤間断線	12	12	12	0	0	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
6	②-⑤間短絡	0	0	12	0	0	0	12	12	0	12	断	OFF	OFF
7	⑤-⑥間断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
8	⑦-⑧間断線	12	12	12	0	12	0	12	0	0	0	*	OFF	OFF
9	⑥-⑨間断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
10	⑥-⑨間短絡	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
11	M-E間断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
12	⑧-⑩間断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	0	*	OFF	OFF
13	⑧-⑩間短絡	12	12	12	0	12	12	12	0	12	0	*	ON	OFF
14	ECU内断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
15	正常	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF

表 2 アクティブ・テストを行い、フューエル・ポンプを強制駆動させたとき(エンジン ECU がオン)

単位 V

事象	異常箇所・内容	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	ヒューズ	ポンプ	Tr
1	B-①間断線	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0	*	OFF	ON
2	①-②間断線	12	0	12	0	0	0	12	0	0	0	*	OFF	ON
3	④-E間断線	12	0	12	12	0	0	12	0	0	0	*	OFF	ON
4	IG-⑦間断線	12	12	12	0	12	0	0	0	0	0	*	OFF	ON
5	②-⑤間断線	12	12	12	0	0	0	12	0	0	0	*	OFF	ON
6	②-⑤間短絡	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0	断	OFF	ON
7	⑤-⑥間断線	12	12	12	0	12	0	12	0	0	0	*	OFF	ON
8	⑦-⑧間断線	12	12	12	0	12	0	12	0	0	0	*	OFF	ON
9	⑥-⑨間断線	12	12	12	0	12	12	12	0	0	0	*	OFF	ON
10	⑥-⑨間短絡	0	0	12	0	0	0	12	0	0	0	断	OFF	ON
11	M-E間断線	12	12	12	0	12	12	12	0	12	0	*	OFF	ON
12	⑧-⑩間断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	0	*	OFF	ON
13	⑧-⑩間短絡	12	12	12	0	12	12	12	0	12	0	*	ON	ON
14	ECU内断線	12	12	12	0	12	0	12	12	0	12	*	OFF	OFF
15	正常	12	12	12	0	12	12	12	0	12	0	*	ON	ON

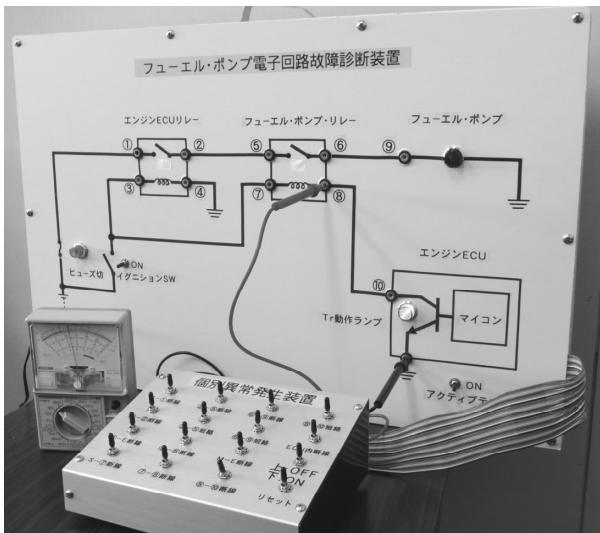


図 4 ⑧-⑩間断線時の端子⑧の電圧測定

点灯, ヒューズ・ランプとフューエル・ポンプ用ランプは消灯, 回路計は 12V を指している

2. 異常原因の特定

測定方法 1 では, 事象 1 による異常発生時と事象 6 による異常発生時における各端子の測定電圧値は全て同じ電圧値になる. また, 同様に事象 7, 事象 9, 事象 10, 事象 11, 事象 14 のそれぞれによる異常発生時と正常時における各端子の測定電圧値は全て同じ電圧値となる. 測定方法 1 による測定電圧値だけでは異常原因は特定できないことになる.

測定方法 2 においても, 事象 7 と事象 8, 事象 1 と事象 6 と事象 10, 事象 11 と事象 13 と正常時における各端子の測定電圧値はそれぞれに同じ電圧値となる. 測定方法 2 による測定電圧値だけでは異常原因の特定はできないことになる.

しかし, 測定方法 1 と測定方法 2 による各端子の測定電圧値と, ランプ等の動作状況を考え併せることにより, 異常原因を事象 1 から事象 14 のなかから確定することが可能となる.

IV あとがき

フューエル・ポンプ電子回路故障診断装置は, これまでに製作した電気回路装置教材のシリーズ 5 作目になる. いずれも自動車整備士国家試験で出題された回路を基本に製作したものである.

今回の装置は, 回路内に 14 種類の異常を発生させることができ, 端子電圧を測定することにより異常原因を推定することができる. 故障診断の入門に適した教材で

ある. しかし, 故障原因を特定するには, アクティブ・テスト時の測定電圧値やランプ等の動作状況を考慮する必要があるが, 困難な作業ではない. 専攻科の学生だけでなく, 本科生の授業にも教材として活用できる装置である. この装置の活用により, 故障原因が論理的思考により特定できることを期待したい.

参考文献

- 1) 自動車整備士一級小型 練習問題集, 自動車公論社

タイヤゲージの校正（その1）

—タイヤゲージ校正装置の製作と測定—

徳島工業短期大学 島田清

Keywords : 短期大学, 実習機材, タイヤゲージ, 圧力計, 校正

I まえがき

本学の実習は、自動車関係が中心であり、タイヤゲージの使用は日常的に行うことのひとつである。また、自動車部で行っているダートトライアル競技など、自動車の走行性能を安定的に発揮するためには、タイヤの圧力調整は非常に重要なことになっている。

ところが、実際にタイヤゲージを用いてタイヤ圧力を調整を行っていると、使用するタイヤゲージによって、ずいぶんと実際の圧力に差があることを感じることがある。これまででは、経験的に精度がよさそうなタイヤゲージを選んで使用していたが、自動車の技術を教育する立場の大学として、タイヤゲージの実際の性能をきちんと評価することが必要であるということに思い当り、タイヤゲージの校正装置を試作し、使用しているタイヤゲージの性能を正確に評価することとした。

II タイヤゲージ校正装置の試作

タイヤへの空気の充填及び圧力測定に用いるタイヤゲージは、使用する空気圧が乗用車系では 200kPa～250kPa 辺りが一般的であり、トラック系になると 300kPa～600kPa 辺りまで増大する。またタイヤバルブから空気を充填するために差し込み口の形状も決められているため、タイヤゲージ校正装置の試作にあたり、これらを考慮し、下記仕様で製作することとした。

- ① 測定空気圧範囲は 0～1MPa とする。
- ② 圧力値は、レギュレータにより容易に調整できるものとする。
- ③ 圧力源としては、実習場で利用できるエア配管を利用する。
- ④ 測定中のわずかなエア漏れの影響を最小化するために、圧力チャンバを備えることとする。
- ⑤ 基準圧力計としては、ブルドン管式の圧力計（当面 CL1.6（精度 1.6%級）とし、さらに精度の高い圧力計が必要になった場合は、後で交換が容易な構造とする。
- ⑥ エア配管接続・脱着時に、基準圧力計に急激な圧力変動が生じないように開閉バルブを設置する。

上述の条件で試作したタイヤゲージ校正装置の外観を、写真 1 に示す。



写真 1 タイヤゲージ校正装置試作機

エア配管は、写真下部のコネクタに接続して使用する。コネクタ上のレバーは、ON-OFF バルブであり、エア配管接続時は OFF の状態で接続し、ゆっくりと ON 側にすることで、基準圧力計に急激な圧力が加わらないようにした。

バルブの上側にあるのがレギュレータで、写真左側の黒いダイヤルを回すことで圧力調整を行える。

写真上部の丸い計器が基準圧力計で、今回は直径 75mm の CL1.6 のものを使用したが、目盛線が 20kPa 刻みであったため、設定圧力も 20kPa 刻みとなる。基準圧力を設定するための圧力計であることから、これで十分と考えた。

写真中央のパイプ状のものは、圧力チャンバであり、中央右端にタイヤバルブを設置した。

III 測定結果

測定に用いたタイヤゲージの仕様を、表 1 にまとめて示す。

表 1 測定タイヤゲージの仕様

No.	メーカー	名称	測定範囲
1	EUDRAINU	WONDER	0-1MPa
2	EUDRAINU	WONDER	0-1MPa
3	PROXMETER	EN12945	20～1200kPa

No1～No.3 の測定結果をそれぞれ図 1～図 4 に示す。測定は 100kPa～800kPa の範囲で行った。

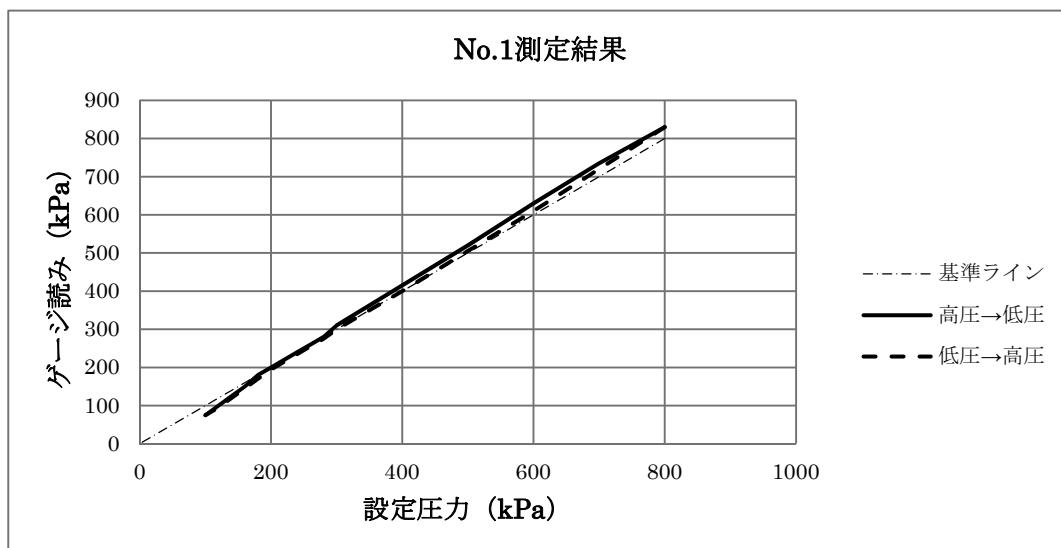


図 1 No.1 測定結果

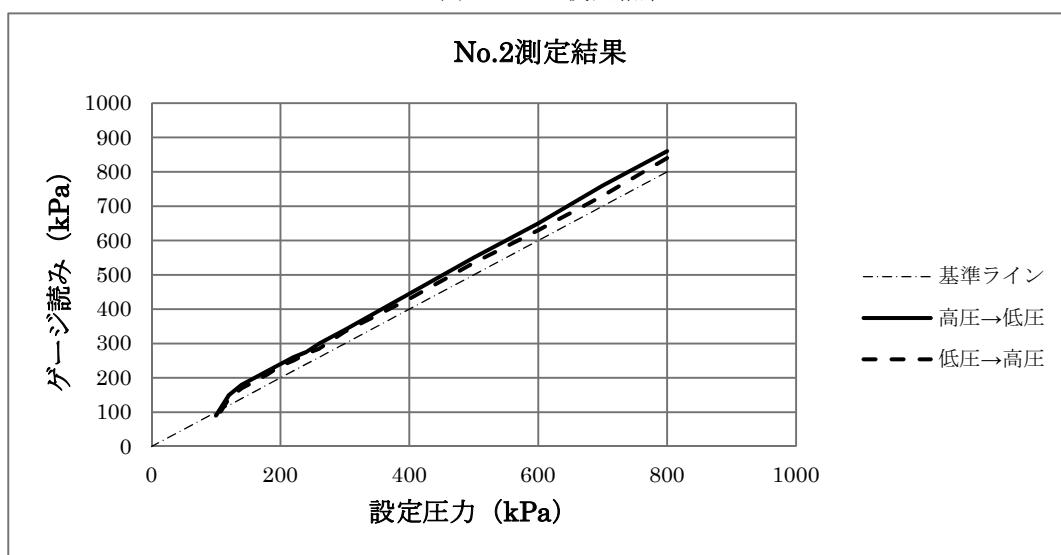


図 2 No.2 測定結果

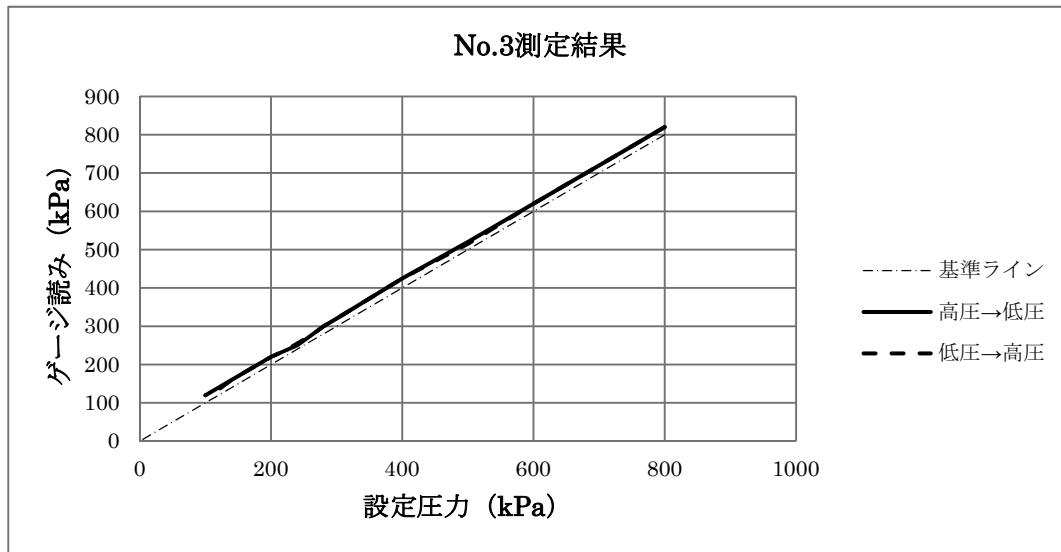


図 3 No.3 測定結果

測定の結果、下記が明らかになった。

- ① No.1 は、ゲージ読み値が設定圧力に比例しておらず、かつ圧力の上げ方の差（低圧→高圧と高圧→低圧）によって、明らかなヒステリシス特性が見られる。ヒステリシスの最大値は、20kPa に達する。ただし、たまたまであろうか、200~280kPa の乗用車で使用する圧力域においては、精度が高く、この範囲での実使用時の問題はない。
- ② No.2 は、ゲージ読み値は設定圧力に比例するが、明らかにゼロ点が狂っており、その値は約 40kPa である。また、400kPa 以上で明らかなヒステリシス特性が見られ、その値は最大 30kPa に達する。さらに、120kPa 以下で精度が大幅に悪化する。
- ③ No.3 は、ヒステリシス特性は小さく、ゲージ読み値も設定圧力に比例するが、ゼロ点が狂っており、その値は約 20kPa である。

IV 結果の分析

ブルドン管式圧力計は、使用過程において劣化が進行し、ゼロ点が狂うことは多く見聞することであり、計器によってはゼロ点を調整できる機構を備えたものも市販されているが、今回用いたタイヤゲージではそのような機構を装備していない。

No.1 のタイヤゲージは、精度も悪くヒステリシスも大きいことから、ブルドン管そのものの特性が劣化したものと考えるのが妥当であると思われ、本来的に廃棄すべきものと考えるが、たまたま乗用車系の圧力範囲においては実用上問題ない精度を有しているので、それを念頭に置いた使用はできるものと考える。ただし、今後さらに劣化が進むことは十分想定できるので、早急に更新すべきものであろう。

No.2 のタイヤゲージは、ゼロ点の狂いとヒステリシスが大きいことから、内部の可動部の機構に大きなフリクションが存在していることが推測される。また、120kPa 以下の低圧において急激に精度が悪くなっていることから、今後さらに劣化が進むことも想定されるため、これも早急に更新すべきものと考える。

No.3 のタイヤゲージは、ゼロ点の狂いさえなければ、精度的には十分だと思われるが、読みにおいてゼロ点補正を行うことで使用に耐えられると考える。そこで、このタイヤゲージについては、写真 2 に示すように補正值を表示することで使用してもらうこととした。



写真 2 補正值を表示したタイヤゲージ

上記の他に、自動車部が使用しているタイヤゲージも測定したところ、全てにおいてゼロ点の狂いまたはヒステリシスが見られた。その中の一台を分解してみたところ、写真 3 に示すようにケースに複数か所のひび割れがあり、かつ金属ケース内面にも錆が見られた。これはつまり複数回の衝撃と雨水が浸入するなど管理の悪さを証明するものであり、計器の精度云々以前の問題であると思われる。



写真 3 ケースのひび割れ個所

V 装置の改良

タイヤゲージの校正作業において、タイヤゲージの先端にロック機構が付いている場合は作業が楽であるが、圧力測定中はタイヤバルブにゲージ先端を常に押し付けなくてはならない構造（このタイプのほうがタイヤゲージとしては一般的）の場合は使い勝手が悪かったのと、基準圧力計の表示が読みづらかったため、装置を一部改良することとした。改良に当たっては、下記を考慮した。

- ① タイヤゲージの先端を押し付けやすいように、バルブの向きを上向きにする。

- ② 基準圧力計の向きを、45度立てる。
- ③ レギュレータに付属していた小型の圧力計は不要のため取りはらう。
- ④ レギュレータのノブを回しやすい上向きに変更する。

上記改良を行った試作改良機を写真4に示す。



写真4 タイヤゲージ校正装置試作改良機

試作改良機の使い勝手は確かに向上したものの、持ち運びには難があることに加え、本来圧力計は垂直にして使用しないと精度が保障されないという情報を入手したので、さらなる改良が必要と考える。

VI 今後の課題

今回、数個のタイヤゲージを測定してみたところ、まともなものが一つもなく、表示精度だけでいえば、写真5に示す安価なゲージとほとんど変わらないという事実は正直ショックでもあった。



写真5 安価なゲージの例

タイヤゲージは数年も使い続ければ、精度が劣化して使えなくなるのが当たり前であるのか、それとも本学での使用実態に何かしらかの問題があるのか早急に確

かめる必要性を感じている。

今後なるべく早い時期に、本学所有の全てのタイヤゲージを詳しく測定し、現状の分析を進めるとともに、精度を維持するための方策についても検討を進めることが課題と考える。

今回精度の悪いタイヤゲージを分解してみたところ、内部機構を自分なりに理解できたことは良かったことであると同時に、どうやらその機構の中に製造時におけるゼロ点調整機構も含まれているらしい点が見受けられた。恐らくリンクの一部を、専用工具を使いわずかに曲げることでゼロ点を調整できるらしい。ゼロ点だけが狂ったタイヤゲージをそのまま廃棄するのは経費の面からも避けたいと考えるので、ゼロ点調整の手法についても課題として今後検討してゆきたい。

併せて、持ち運びに考慮した改良を今後進めてゆきたいと考えている。

参考文献

- (1) 圧力計メーカー各社の公開資料（ホームページ、カタログなど）

振動実習装置の製作（その3）

— 振動装置の確認 —

徳島工業短期大学 遠藤春雄

Keywords : ばね, エア, 振動,

I はじめに

昨年、エアシリンダを使ってエアスプリングの振動装置模型を製作したものを動かしてみた。エアシリンダの動きは、オシロスコープを使って、電圧と時間の波形を測定した。この電圧の変化が、エアの圧力変化と考え、振動波形の代用とした。しかし、実車に取り付けてあるレベリングバルブと圧力調整弁の作動が同じ状況と考え、装置を作動した結果、エアシリンダの電圧波形は、一山の波形で元に戻った。エアが、圧力調整弁から吸排出されたため、ばねの作用をしなかったと考えた。対策は、一案：シリンダ作動時のエアの授受を無くす、二案：エアシリンダの内径を細くする、三案：移動台の重さを変えてエア圧力の変化をみるとした。この3つの案を順次実施することにした。

II 装置の改造と測定

1. 一案の改造

エアシリンダのエアが自由に吸排気されないように、圧力制御弁と電子圧力センサの間にストップ弁を図1に示すように取り付けた。これによりエアシリンダの吸排気を手動でできるようになった。

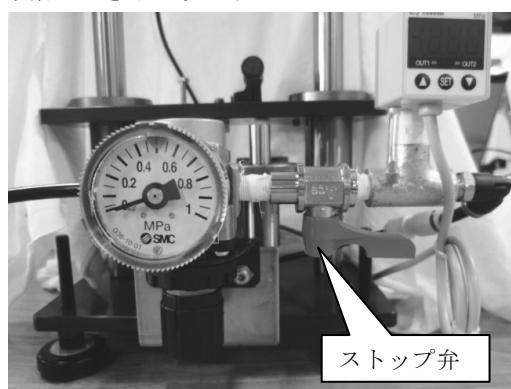


図1 ストップ弁の追加

エアシリンダの自由な吸排気が無くなり、昨年測定できなかった、変位センサと圧力センサの使用で、エアシリンダのたわみと、エア圧の測定でき、エア圧とばね定数の関係を求められた。

2. ばね定数の測定

エア圧は100kPa～400 kPaの範囲で測定を実施した。

エア圧が、100kPaでは錐が持ち上がらなかった。また、300 kPaになると手でシリンダを押さえられなくなった。そこで、測定は、エア圧を130kPa～250kPaの範囲で圧力とたわみの関係のデータを表1～表3のように計測した。

表1 エア圧 130kPa

エア圧力 kPa	シリンダ力 N	シリンダ撓み V	変位量 mm	ばね定数 N/mm
130	40.8	0.032	0.020	—
137	43.0	1.517	0.948	2.37
145	45.5	3.163	1.976	2.40
157	49.3	5.670	3.543	2.40

表2 エア圧 200kPa

エア圧力 kPa	シリンダ力 N	シリンダ撓み V	変位量 mm	ばね定数 N/mm
200	62.8	0.033	0.020	—
222	69.7	3.509	2.193	3.18
231	72.5	4.620	2.887	3.39
238	74.7	5.940	3.712	3.23

表3 エア圧 250kPa

エア圧力 kPa	シリンダ力 N	シリンダ撓み V	変位量 mm	ばね定数 N/mm
252	79.1	0.032	0.020	—
265	83.2	1.943	1.214	3.42
272	85.4	2.754	1.721	3.69
279	87.6	3.750	2.343	3.65

変位量は、マイクロ変位センサの測定範囲4mmと狭いため測定誤差も考えられるが、エアシリンダのたわみが増加すると、エア圧力も増加している。そして、ばね定数は、あまり変わらない。すなわち、エアシリンダ内のエアの授受が無ければ金属ばねと同じ性能となった。また、エアシリンダ内の圧力を負荷と考えるとエアシリンダの圧力が増すとばね定数も増加するエアスプリングの特徴も結果として得られた。

3. 波形の測定

当初、波形は、エアシリンダを中間で停止し、そのまま手を離す自然膨張では、波形をオシロスコープで確認できなかった。そこで、エアシリンダから 5cm 離した位置から錘を落下させることで波形をオシロスコープに表示させた。

ストップ弁を閉じて、錘を落下させた場合の波形は、エア圧が、103kPa, 125kPa, 201kPa, 251kPa についてオシロスコープで波形を計測した。結果は、図 2~5 にそれぞれ示す。

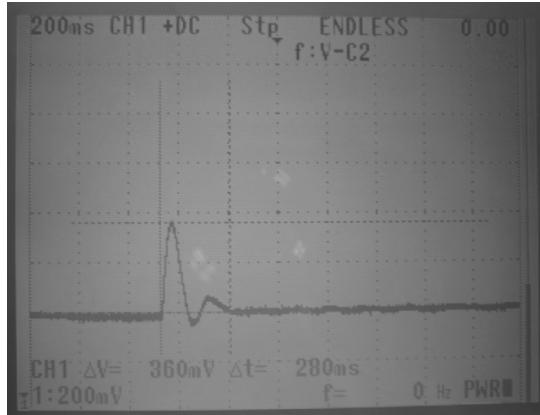


図 2 エア圧 103kPa

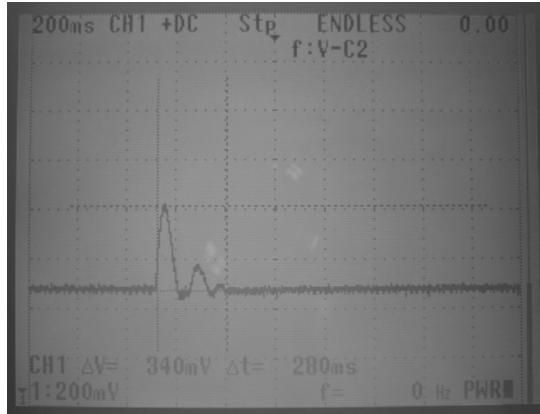


図 3 エア圧 125kPa



図 4 エア圧 201kPa

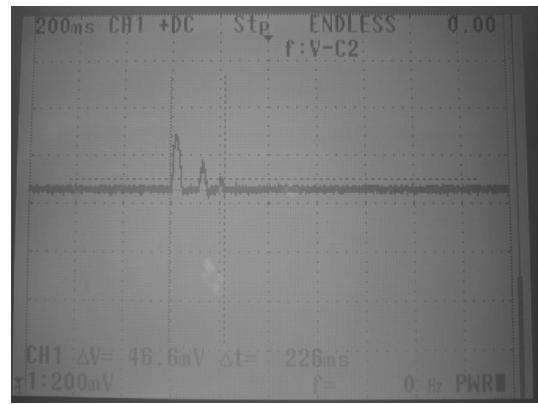


図 5 エア圧 251kPa

図 2 の結果から、ストップ弁の無い場合の波形と異なり、エア圧の変化が顕著に表れた。エア圧 103MPa では、錘をいっぱいまで上昇させないためか、一度の圧縮で元に戻ったと考えられる。この圧力でばね定数の測定ができなかった。

図 3~図 5 の結果から、波形は、3~4 山の電圧変動があり元に戻っている。計測した波形の振幅数値を表 4 に表す。この表から封入エア圧が高くなる程、錘の衝撃に対する圧力変化が少なくなるのを確認できた。

表 4 波形の値

圧力 kPa	最大振幅			3 山目振幅			収束 mS
	mV	増加圧力 kPa	mS	mV	増加圧力 kPa	mS	
103	360	90	46.6	—	—	—	280
125	340	85	33.3	20	5	253	280
201	273	68	33.3	66.6	16	233	313
251	226	56	26.6	46.6	11	213	226

III まとめと今後の計画

一案の対策によって、エアシリンダのエアが逃げなくなったので、エアシリンダのエア圧力とばね定数の関係を知ることができた。また、以前の波形と異なり、3 山の凸になった電圧波形を測定できた。測定時のエア圧力は、最大で 251kPa であり、当初考えていた測定時のエア圧力を 400kPa 程度までにするには、二案及び三案の改造を実施する必要があると考えられる。

参考文献

- (1) 日本自動車整備振興会連合会:二級自動車整備士ガソリン自動車シャシ編, p.64-69
- (2) 遠藤春雄:振動実習装置の製作(その 2), 徳島工業短期大学紀要, Vol. 19, p. 39-40 (2015)

日本人ボランティアの参加による留学生に対する日本語教育

徳島工業短期大学 元木佳江・近藤孝造

Keywords: 留学生日本語教育, 日本語学習サポーター, 対話交流活動

I はじめに

本学では、20年前から中国、台湾、その他のアジア諸国に出向き留学生募集を行って来た。10年ほど前から入学する留学生の日本語能力の低下が目立ち始め、ここ数年はベトナムからの留学生が増加することによりいつそうその傾向が高まって来ている。その結果、本学の卒業時の目標である国家二級自動車整備士への合格率の低下だけではなく、退学、進路変更など生活指導上の問題が発生している。個々の原因を分析すると根底には日本語能力の弱さからの自信喪失と孤立化にあると推測される。

本稿では、以上の問題点を踏まえ留学生のコミュニケーション能力を強化するために、日本人ボランティアの協力のもと行った授業実践と、その取り組みの成果について報告する。また、今後の取り組みにおいて、どのような活動が期待できるかについても触れる。

II 留学生に対する日本語教育の課題

1. 日本語科目と履修状況

留学生の日本語科目は1年次、2年次とも必修科目となっており、日本語能力試験⁽¹⁾N2⁽²⁾合格者対象クラスとN2未到達者対象クラス2つのレベルに分けて開講している。前者は日本語能力試験N1を、後者はN2の合格を目指し科目を設定している（表1）。

表1 日本語科目

	前期	後期
N2 レベルの学習	日本語I	日本語II
N1 レベルの学習	日本語III	日本語IV

N2に合格した留学生は、日本語I、日本語IIの単位を履修したものと認定し、日本語IIIあるいは日本語IVから履修できる。

2. 日本語クラスの現状と解決策

表1の日本語Iと日本語IIのクラスは、日本語能力試験N2に合格していない留学生を対象とする。N2合格を

目指すクラスといつても、限りなくN2に近い留学生と限りなくN3に近い留学生、あるいはN3に達していないと思われる留学生が混在する。

本学における日本語教育の目的は、自動車整備士2級の国家試験に合格するための基礎的日本語力はもとより、将来、日本社会で生活する上で求められる日本語力の育成である。そのためには、少なくとも日本語能力試験N2レベルの日本語力は必要で、将来母国に帰って就職する場合においても日本語能力試験N2合格の認定は有益である。短期大学であるため、専門の授業は入学直後から始まる。こういった点から考えると、できるだけ早い段階でN2レベルの日本語力をつけることが望ましい。

しかし、日本語教育は週1回（45分）であるため、授業の中で語彙や文法などの言語知識を詳細に学習することはできない。授業では何をどのように学習していくかを留学生に示すことが中心となり、合格には個々の自律学習が求められる。

ここで問題となることは、日本語能力試験への合格を目指して取り組む留学生と、そうでない留学生との授業に対する温度差である。授業の目的とニーズが一致しない留学生の場合、単位を取得することだけが目的なり、定期試験の前にだけ学習することにもなりかねない。とはいえ、留学生自身が日本語学習を必要としていないわけではない。日本語の習得は、卒業後日本で就職することを目的としている留学生にとっては必要とされる条件であり、また、いずれ母国に帰り仕事に就きたいと考えている留学生にとっては期待される条件となる。しかし、それ以上に、今、留学生は日本語を使ってやってみたいことがあるはずである。日本語ができれば、自分の考えていることや、やりたいと思っていることが実現できるということをいちばん知っているのは留学生自身である。日本語能力試験に合格することは、留学生にとって分かりやすい目標であるが、教師がそれだけを目標にして一元的に管理された授業を行ったのでは、こういった学習者の思いや気持ちは教室の中で疎外されてしまう。

そこで、新たな取り組みとして、日本語の授業に学外から日本人に参加してもらい、留学生と対話を交わしたり、学習支援を行ってもらったりするという授業を計画した。これは、留学生の日本語力を高めることはもちろんであったが、まずは、日本語で普通に日本人と会話を交わし、その中で人間関係を構築していくことで学習意欲を高めようという意図が含まれていた。授業に参加する日本人は留学生の学習を支援するという位置づけで、「日本語学習サポーター」（以下、サポーター）と呼び、サポーターが参加する日を「サポーターデイ」とした。

三登他（2003）は「見失っていた自分自身の潜在力発見すること」をエンパワメントとして捉え、エンパワメントとしての日本語教育を提案した。エンパワメントとしての日本語教育が目指すところは、「学習者ひとり一人が、より「自分らしく」日本語を使って（場合によっては日本語を使わないことを選択する可能性も含めて）、人的・物的環境と相互作用を行うことができるようになること」（p.214）である。

ほとんどの留学生は放課後や休日にアルバイトをしているが、そこで交わされる日本語は限られている。大学では同じ国の留学生と固まることが多く、休み時間や休日に日本人学生とともに行動することも少ない。こういった状況では、日本人と日本語で関わり合う経験も少ないであろうし、大学の外の社会と繋がる機会も多くは期待できない。これでは、留学生自身が日本語で何かを実現する機会はごく一部の限られた現実の中でしか得られないし、日本語を使う場面で「自分らしく」振る舞う機会も少ないのである。こういった状況を鑑みると、「学習者が自分の現実を認識し、その上で自分なりの「日本」、自分なりの日本語との関わり方を見つけ出すための場となる日本語教室を作ることを目指すべき」（p.211）であるとした三登他（2003）のエンパワメントとしての日本語教育における主張は、留学生日本語教育のサポーターデイ導入の根拠を示すものとして援用できる。

サポーターには、専門的なことは日本語教師に任せて、留学生と日本語で対話することを求めた。岡崎（2003）は「個性ゆたかな人間を作る日本語教育」の中で、「「教える」ということと、こちらの伝えたいことをいかにして相手に分かってもらうかは別のこと」で、「全人格的に分かり合う」は対等性の強い相互作用的なもの」（p.50-51）であると述べている。サポーターと留学生は、この「対等性の強い相互作用的」な関係を築くことができると考えた。

山下（2005）は、学習者は単なる知識の受け手ではなく

く、環境や他者との相互行為に能動的に参加することを通して、積極的に自らの参加のしかたを変えていく存在」（p.26）であるとして、学習が「個人から文脈の中の個人」へと捉え方が変わっている近年の学習観について触れている。矢部（2005）は、対話を基軸とした授業実践の中で、「社会的出来事を構成するような言語交通」⁽³⁾を教室の中で生み出すための対話活動を設計し実践した。ここでいう「対話」とは、リアリティーに根ざして、「誰か具体的な相手に問い合わせたり応答したりし、相手（他者）の声に向かい、そこから新たな意味づけを行っていくこと」（矢部 2005, p.120）であり、日本語教育を「対話力の涵養の場であるべき」としている。

これらの先行研究からも、学習サポートとしての日本人ボランティア授業参加は留学生にとって有効な手段であるといえる。次章では、サポーターが授業の中でどのような役割を担ったのかについて述べる。

III サポーターの役割

1. サポーター参加により期待されること

IIで述べたように、留学生の日本語教育には以下の改善すべき課題があげられている。

- ①日本語力の差を補う工夫
- ②学習意欲を維持し、継続的学習を行わせる工夫
- ③日本人と関わり社会と繋がるきっかけを作る工夫

これらの課題を解決するための一策として、サポーターが授業に参加し留学生の学習支援をするという授業活動を取り入れた。サポーターの授業参加により、上記の課題に対して次のような効果が期待された。まず、サポーターの人数に合わせた小人数のグループでの学習が可能になるため、日本語力に差があっても十分に対応ができる。次に、サポーターと日本語でやり取りする中で、留学生の学習のモチベーションが高まる。そして、授業を通して「知り合った」人として外の社会と関わりを持つことができる。

では、サポーターは授業活動にどのように関わってもらえば、効果的な学習が行えるのであろうか。次に、サポーターの役割について述べる。

2. サポーターの役割

協力を依頼したサポーターは6名で、全員日本語を母語とする日本人である。1名は専門学校で420時間の日本語教師養成課程を修了しているが、他は国際交流協会などで日本語学習ボランティアを行っているメンバーや、その知人で外国人との交流に关心がある日本人であった。

サポーターの参加による授業内容は、大きく二つに分

類される。一つは、定期的に行う確認テストのための学習サポート、一つは対話活動を中心とした交流活動である。両者とも、少人数のグループで学習するためきめ細かい学習が期待されたが、同時に、サポーターとの関わりを通して日本や徳島の文化や生活について理解を深めることも期待できた。サポーターの導入は、学外との交流を図り留学生の視野を外の世界に広げるといった視点からも有効であると考えられた。サポーター参加による日本語教育の概念は、図1のように示すことができる。

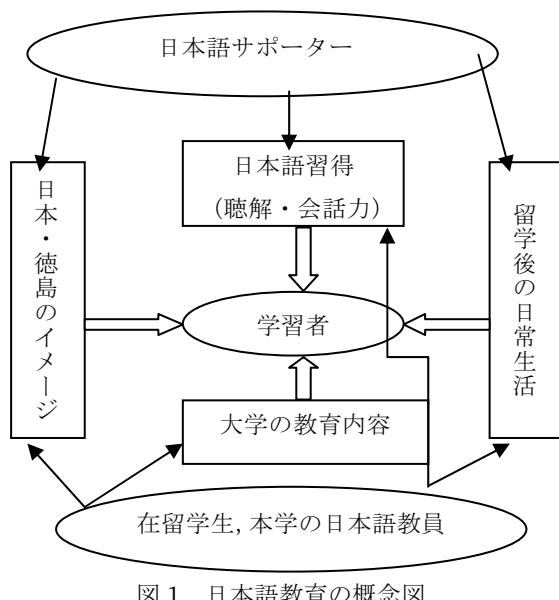


図1 日本語教育の概念図

ここで重要なことは、サポーターには専門的知識は問わず、留学生と日本語でやり取りをすることを求めたといった点である。確認テストのための学習では、日本語の文法や語彙に関する言語知識を教えるのではなく、「わたしはこのように使っている」と「ことば」を伝えることを重視した。交流活動では、学習者の声を聴き、お互いに理解し合い、社会の中で人間関係を築いていくこうとする取り組み(矢部2005、米勢2006)を基本理念とし、意味のあるやり取りを日本語で行うことを重視した。

つまり、サポーターの役割は、表向きには彼らの日本語能力向上のための学習支援であるが、教室活動を通して人として関わる、「教える—教えられる」といった立場を超えて、人として向き合うことから人とのつながりや人の温かさを感じる場として教室を機能させることといえる。

次章では、サポーター参加による日本語教育の授業実践について、どのような活動を組み込み実践したかについて詳述する。

IV 平成27年度の授業実践

学習サポーターが参加する日は2クラス合同授業とし、

5時間目(13:10~13:55)と6時間目(14:00~14:45)の2時間続けて授業を実施した。以下に、前期と後期に分けてサポーターの参加による授業実践を報告する。

1. 前期の授業実践

サポーターデイは、確認テストや期末試験の前週、あるいは前日に設定し、学習項目の復習や交流活動を行った。授業内容は、①テーマを決めた対話活動、②確認テストのための学習、③ゲーム、クイズなど交流活動の3つの学習活動を組み合わせて行った。

(1) 学習者 ベトナム人10名、中国人3名

(2) 実施日とサポーター数

5月29日(5名)、6月26日(4名)、7月29日(4名)

(3) 授業の概要

日本語レベルに分かれて、少人数で学習を行った。各グループには一人ずつサポーターが付き、サポーターは宿題プリントの解答を確認し、留学生からの質問に答えた。特に前期末試験の直前のサポーターデイでは、今まで学習した内容の復習を重点的に行った(図2)。



図2 少人数グループでの学習の様子

対話交流活動には、「自己紹介」「他己紹介」「YES/NOゲーム」「嘘?本当?クイズ」などテーマを決めて取り組むグループ活動や、「フルーツバスケット」ゲームなど全体で行う活動を取り入れた(図3)。



図3 交流活動の様子

(4) 実践の結果

サポーターの参加による小グループ学習は、わからぬところを細かく確認できるといった学習面のだけでなく、活動を通して日本語を話す機会が増え、クラス全体の雰囲気が活気づくといった利点が見られた。特にゲームやクイズを取り入れた活動は、活発に取り組む様子が窺えた。

2. 後期の授業実践

後期のサポーターデイは、サポーターデイの翌週に実施する確認テストの復習を中心に学習する日と、交流活動を中心に行う日と二つの授業形態で実施した。

(1) 学習者 ベトナム人 10 名、中国人 1 名

(2) 実施日とサポーター数

10月9日(4名), 11月13日(3名), 12月18日(3名),
1月15日(3名)

(3) 授業の概要

(1) 復習中心の学習

10月9日と11月13日は、翌週実施の確認テストに向けての復習を中心に学習を行った。前期と同様に少人数のグループに分かれ、サポーターは既習の学習項目の確認や留学生からの質問に答えた。留学生からはサポーターの学習支援のもと熱心に学習に取り組む様子が窺え、確認テストでは100点を採った留学生もいた。

(2) 交流活動中心の学習

12月と1月は交流活動中心の授業を行った。授業参加者は1年生のベトナム人7名と中国人1名であった。サポーターはそれぞれの活動に3名ずつ参加した。

[12月18日の学習活動]

『年忘れ日本語ゲーム大会』と題して交流活動を行った。2チームに分かれて、クイズやゲームでポイントを獲得し、合計点が多いチームが勝ちといったルールで実施した。ゲームやクイズは教員とサポーターが分担して準備した。

クイズ・ゲームの内容 :

漢字・カタカナ・擬音語擬態語クイズ、食材の名前当てクイズ、サイコロトーク、サバイバルゲーム「海で遭難したら」

[1月15日の交流活動]

板野郡内の小学校を訪問し、5年生と6年生の児童に自国の文化や食べ物を紹介したり、ダーカウというベトナムの遊びを紹介したりして交流を図った。



図4 小学校での交流活動

(3) 実践の結果

12月の交流活動では留学生たちが自分たちでお菓子や飲み物を準備しており、交流会を楽しみにしていたことが窺えた。中国人留学生は1人だけであったが、ベトナム人留学生と交わって積極的に活動に参加していた。

「漢字・カタカナ・擬音語擬態語クイズ」は、日本語能力試験の問題集から問題を出した。留学生は学習してきた成果を示そうと熱心に取り組んでいた。「食材の名前当てクイズ」では、実物を見せ黒板に書くというゲームを行った。普段目にしているプロッコリーやマヨネーズなどの食材について、名前は何とか言えるがカタカナで書くことはできなかった。食材などは名前を知らなくても購入できるし、書けなくても生活に支障はない。ゲームを通して言葉を知ることができる活動は、留学生にとって楽しみながら学習ができるといった点で、有効な取り組みであったと思われる。活動を通して、サポーターとの人間関係もより深まったことが窺えた。

1月の小学校訪問では、留学生は自国の文化や食べ物など写真を見ながら話をした。最初は緊張して言葉を詰まらせる様子も見られたが、小学生が企画したフルーツバスケットやゲーム、留学生が紹介したベトナムの遊び「ダーカウ」などで子どもたちといっしょに体を動かすうちにお互いに打ち解けていく様子が見られた。どの留学生も積極的に子どもたちと言葉を交わし、ゲームでは子どもたちに気配りをする様子も見られ、彼らの子どもに対する思いやりや温かい心の一面を捉えることができた。この交流活動でもサポーターが参加したこと、留学生との距離がより一層近づいた様子が窺えた。

V サポーターデイ導入の効果と今後の課題

実践以前は、留学生の日本語力の差、学習意欲、日本人と関わりや社会との繋がりにおいて対処すべき課題があった。その対策としてサポーターデイを導入し、小人

数グループでの学習、日本語でやり取りする中での学習意欲の高まり、外の社会と関わりにおいて効果を期待した。実践の結果、サポーターが参加した日は教室に活気があふれ、日本語で多くのやり取りが行われたことが窺えた。以下に、留学生、サポーターそれぞれから採ったアンケート結果をまとめた。

1. 留学生へのアンケート結果

調査は後期の授業時間内に実施した。

実施日 2015年12月18日

回答者 11名(ベトナム10、中国1)

表2 留学生への質問項目と回答

質問1 日本語サポーターは学習の助けになりましたか。

とてもよかったです (9) よかったです (2)

(理由) いろいろ教えてくれた。雰囲気が良くなつた。

楽しかった。

質問2 日本語サポーターとの学習で印象に残ったことは何ですか。

- ・サポーターはやさしくておもしろい
- ・親切に教えてくれた
- ・親しく話してくれて、熱心に教えてくれた
- ・説明がわかりやすかった

質問3 日本語サポーターはこれからも続けた方がいいですか。 はい (11)

(理由) 授業がおもしろくなる、楽しく勉強できる

質問4 どのくらいの回数サポートに来てもらいたいですか。 毎週 (4) 2週間に1回 (5) 月1回 (2)

質問5 日本語サポーターが来た日は、どのような学習をしたいですか。(複数回答可)

- | | |
|-----------------|-------------|
| 日本や徳島についての話 (7) | 読み解きの学習 (6) |
| 確認テストのための復習 (6) | おしゃべり (4) |
| 日本語のクイズやゲーム (4) | 自分の国のこと (2) |

* () は回答数、記述回答は筆者要約

質問1の「学習の助けになったか」については、留学生全員が「とてもよかったです」「よかったです」のいずれかを選択した。その理由として挙げられた「いろいろ教えてくれた。雰囲気が良くなつた。楽しかった。」からは、わからないことを聞く場合、日本語教師に比べサポーターの方が聞きやすい傾向にあることがわかる。質問2の「印象に残ったこと」については、学習内容ではなくサポーター自身について記述されており、おもしろい、親切、熱心などに加え「説明がわかりやすい」といった評価もあった。サポーターデイの継続は全員の留学生が「はい」と回答し、回数は2週間に1回が最も多く5名、今回実施した月1回と回答した留学生は2名と最も少なかった。このことから、留学生はサポーターの参加を肯定的に受け止めており、サポーターデイに期待度が大きいことがわかる。質問5では、留学生は具体的にどのような内容を望んでいるかについての問い合わせであるが、最も多かったのは「日本や徳島について」で、続いて日本語能力試験に関係する「読み解き」や「確認テストのための復習」となっている。これは、言語知識も必要な学習であると認識しながらも、サポーターが参加したときは日本や徳島に関する文化や観光、情報を得たいという期待があると思われる。「おしゃべり」や「ゲームやクイズ」は4名、「自国の紹介」については2名となっており、留学生は実生活や日本語の学習にすぐに役立つ内容を望んでいることがわかる。

と回答し、回数は2週間に1回が最も多く5名、今回実施した月1回と回答した留学生は2名と最も少なかった。このことから、留学生はサポーターの参加を肯定的に受け止めており、サポーターデイに期待度が大きいことがわかる。質問5では、留学生は具体的にどのような内容を望んでいるかについての問い合わせであるが、最も多かったのは「日本や徳島について」で、続いて日本語能力試験に関係する「読み解き」や「確認テストのための復習」となっている。これは、言語知識も必要な学習であると認識しながらも、サポーターが参加したときは日本や徳島に関する文化や観光、情報を得たいという期待があると思われる。「おしゃべり」や「ゲームやクイズ」は4名、「自国の紹介」については2名となっており、留学生は実生活や日本語の学習にすぐに役立つ内容を望んでいることがわかる。

2. サポーターへのアンケート結果

調査はメールで配信し実施した。質問項目は6問で、回答は自由記述式とした。日本語力については可能な限り個人名を挙げて具体的に書くよう依頼した。

実施日 2016年1月17日～1月21日

回答者 4名

表3 サポーターへの質問項目

質問1 最初に会った時の学生の日本語力について

質問2 最後に会った時の学生の日本語力について

質問3 授業のときに心がけていること

質問4 学生の日本語力で特に弱いと思っているところ

質問5 平成28年度の授業でやってみたいこと、授業のやり方について

質問6 授業外で学生と他の団体、地域の方など国際交流の観点から実施できそうな取り組み案

質問1 「最初に会った時の学生の日本語力について」は、地域の国際交流協会で日本語ボランティアをしているサポーターにとって、初級の学習者を常に相手にしているため、留学生の日本語が上手であると感じたサポーターがほとんどであった。しかし、会話の中では、日本語ができる留学生が理解できていない留学生の通訳をしたり、辞書を使ったりしている状況や、敬語を使おうとして戸惑ってしまった留学生もいたことが報告されている。

質問2の「最後に会った時の学生の日本語力について」は、「最初のころより長い文で話ができるようになっている」、「よく質問してくる」、「コミュニケーションが良く

とれて、生き生きしている」、「カタカナのことばは理解に苦しんでいたが、その他の質問には答えられた」といった報告が挙げられている。

質問3の「心がけていること」の回答は、大きく二つに分類できる。一つは、言語知識そのものの学習支援についてで、事前に学習内容に目を通し、例文を準備したり、説明を考えたりしていると回答している。他方は、「生きた日本語」といった視点からコミュニケーションを重視していることである。留学生と年齢が近いサポーターは、「友達や兄弟のように親しみを持ってもらって、私も学生たちに興味を持って話をするようにしています（原文のまま）」と応えている。授業を通して、人として繋がりを持つことをサポーター自身も期待していることが窺える。

質問4の「学生の日本語力で弱い点」については、「発音」「助詞の使い方」「敬語の使い方」「似たような意味の漢字」「カタカナの言葉」「文法」などが挙げられた。

質問5の「授業のやり方」、質問6の「授業外での取り組み」に関しては次のような提案がなされた。

[授業内での取り組み]

- ・少人数グループでの学習
- ・自分の意見や考えが言える活動 例:ディスカッション
- ・テーマを決めて会話をを行う活動
- ・自国についての紹介をテーマにしたスピーチ
- ・日本語クイズやゲームを取り入れた活動
- ・日本の歌

[授業外での取り組み]

- ・学生や地域の住民との交流活動
- ・自国の料理や文化を紹介する活動
- ・ダーカウで体験交流活動
- ・茶道など日本文化体験

上記の回答を見ると、サポーターは授業内、授業外において留学生自身が意見を述べたり、また、出身国について紹介したりすることを望んでいる。一方、留学生のアンケートからは、留学生は自国の紹介よりもむしろ日本や徳島の情報を得ることを望んでいる。この相違点は、非常に興味深い。次年度の授業では、これらをうまく組み合わせて授業に取り入れることを検討する必要がある。

VI まとめ

サポーターの導入は、少人数のグループでわからない点をきめ細かく学習できるため、学生にとって日本語力を高めるよい機会であると同時に、日本語で話す機会が増え、サポーターとの人間関係を築くことにも繋が

った。留学生とサポーターはfacebookを通じて授業外でも繋がり、地域の交流活動やイベントなどにともに参加するといった関係を築くまでに発展した。

今後の課題としては、アンケートで得られた要望をもとに授業で実現可能な活動を検討し、サポーター参加による日本語学習をより有効なものへと構築することが重要であると考える。

注釈

- (1)日本語能力試験は、国際交流基金と日本国際教育支援協会が主催する日本語を母語としない人の日本語能力を測定し認定する試験として毎年7月と12月に実施されている。 <http://www.jlpt.jp/iNdex.html> (2016年3月12日アクセス)
- (2)日本語能力試験にはN1, N2, N3, N4, N5の5つのレベルがあり、N1が最も難しいレベルとなっている。
- (3)西口（2003）「終章 言語とコミュニケーションを再考する—バフチンとオングの言語論と第二言語教育への示唆—」(p.276), 「社会的行為主体となりえるすべての人間が、本当の社会的出来事を構成するような言語的交通を引き起こしてこそ、言語の本来の形骸がそこにし現出する」

参考文献

- 岡崎洋三・西口光一・山田泉編著『人間主義の日本語教育』(2003) 凡人社
第2章 岡崎洋三「個性豊かな人間を作る日本語教育」
p. 44-67
第9章 三登由利子・新矢麻紀子・中山亜紀子・浜田麻里「エンパワメントとしての日本語教育」
p. 209-226
終章 西口光一「言語とコミュニケーションを再考する—バフチンとオングの言語論と第二言語教育への示唆—」p. 245-281
山下隆史「学習を見直す」西口光一編著『文化と歴史の中の学習と学習者—日本語教育における社会文化的パースペクティブー』(2005) 凡人社
矢部まゆみ「日本人ボランティアとの出会いと対話を基軸とした授業活動の可能性についての考察—早稲田オレゴン夏季日本語プログラムでの実践から—」『講座日本語教育41』(2005) 早稲田大学日本語研究教育センター
米勢治子「『地域日本語教室』の現状と相互学習の可能性—愛知県の活動を通して見えてきたこと—」『名古屋市立大学大学院人間文化研究科人間文化研究6』(2006)

MRI 試験装置を用いたピンフィン流路の 3 次元流動測定

徳島工業短期大学 櫛田直人
徳島文理大学 武石賢一郎

Keywords : MRI, ピンフィン, 三次元流動特性

I 実験の目的

現在航空用・産業用ガスタービンのタービン入り口温度は 1600°C のレベルにまで上昇している。高温ガスに晒される燃焼器あるいはタービン動静翼には高度な冷却手法が駆使され信頼性が確保されている。これらの冷却手法の中で、ピンフィンを用いた冷却は、燃焼壁あるいは衝突噴流で冷却することが出来ないタービン動静翼後縁の冷却手法として多用されている。さらなるガスタービンのタービン入り口温度の上昇に対処して、ピンフィンによる伝熱においてもピン形状の最適化や、流路へのタービュレンスプロモータの併設など伝熱性能の向上に向けた取り組みがなされている^{(1),(2)}。ピンフィン流路の流動状態は非常に複雑で種々の形状を最適化する方法として精度は劣るが数値伝熱解析で最適化する手法が取られている。数値解析の精度を確認するためには実験との比較検証が重要である。しかし、ピンフィン流路では三次元流動場を PIV で把握することはピンフィンが障壁となり困難であった。本研究では、±45 度傾斜したピンフィン流路の三次元流動特性を MRI 用いて測定した結果に付き述べる。

II 実験装置

実験には GE Healthcare 製 BRIVIO355 1.5T 医療用 MRI 装置を用いた。MRI 試験装置を用いたピンフィン流路の 3 次元流動場の測定装置の概要を図 1 に示す。流動媒体として硫酸銅水溶液濃度 0.015mol を用いた。MRI 室には全て非磁性体で製作されたピンフィン流路を模擬した供試体とそれに硫酸銅水溶液を供給・排出するプラスチックス製配管類を置き、MRI 室外に硫酸銅水溶液循環装置および流量、温度測定装置を設置した。硫酸銅水溶液循環装置は約 100L 容量のステンレス製タンク、マグネットポンプ（三相電機製 PMD581B2E 最大流量 35L/min）およびカルマン流量計（SMC 製 PF3W740）から構成されている。

硫酸銅水溶液を保有するステンレス製タンク内にはシーズ熱電対を取り付け、データロガー（オムロン製 ZR-RX25V）を使用して水溶液温度の時間変化を記録し、

±0.1°C の範囲で一定温度となるよう水溶液の温度を調整した。これは MRI 室の室温からの熱流入やポンプ仕事によって硫酸銅水溶液温度が変化することで、MRI撮像誤差への影響を減らすためである。

実験に用いたピンフィン模型の形状を図 2 に、その寸法を表 1 に示す。ピンフィン模型は、流れに 45° 傾斜したピンフィンを有する断面 40×36mm の流路から構成されている。ピンフィンを有する流路の前流部に、多孔質を設置し配管からの噴流を断面一様に流れるように調整すると共に、その後方に塩化ビニール製ハニカム（ハニコーム-V V-3-60 70×50×40mm）からなる整流部を設置した。

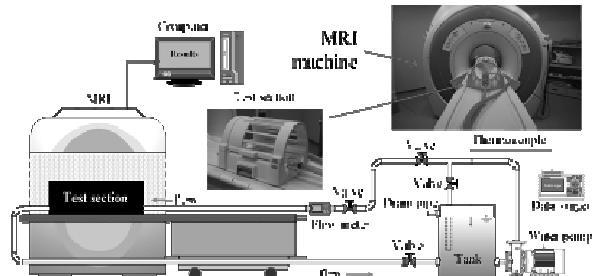


Figure 1 The entire device Overview

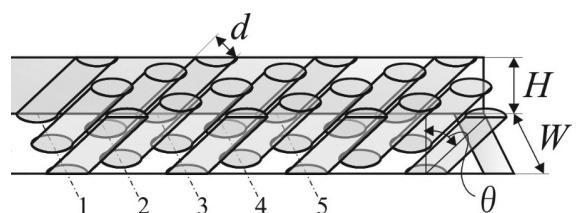


Figure 2 pin fin configuration ⁽²⁾

table 1 Pin Fin Dimensions ⁽²⁾

ピンフィン直径 d [mm]	9.0
アスペクト比 H/d [-]	2.08
流れ直角方向ピッチ P_1/d [-]	1.98
流れ方向ピッチ P_2/d [-]	2.42
流路幅 W/d [-]	3.98
取付け角度 Θ [°]	45
列数 n [-]	7

III 実験条件

MRI 装置で 3 次元の流速を測定する方法として MRI の撮像方法の一つである 3 次元磁気共鳴映像法 (3DPC 法) を用いた⁽³⁾。3DPC 法における測定可能最大流速は 200cm/s である。MRI 試験装置でピンフィン流路の 3 次元流动状況を測定する手法として、33/100 の傾斜磁場を掛け、8 周波数のラジオ波を用いた。撮像範囲は 160 × 80 × 80mm で 1 ピクセルは約 0.5³mm³ を有する。実験は同一レイノルズ数 $Re=5100$ で NEX を変化させ撮像精度の比較を行うと共に、レイノルズ数を 3 条件変化させた計 4 条件の実験が実施された。実験条件を表 2 に示す。表 2 中 NEX とは撮像繰り返し回数であり、設定した撮像回数の平均値をデータとして出力する。

Table 2 Experimental condition

テスト No.	Re	流量 Q [L/min]	液温度 T [°C]	NEX
1	5100	23.6	19.5	5 回
2	5100	23.6	19.8	10 回
3	3000	13.5	19.8	10 回
4	1000	5	19.8	10 回

IV 実験結果および考察

1. ピンフィン周りの速度分布測定結果： 表 2 に示したテスト No.2 の実験条件で MRI 装置を用いてピンフィン流路の測定を実施した。ピンフィン流路の入り口から 4 列目のピンフィン周りの流速分布を図 3 に示す。

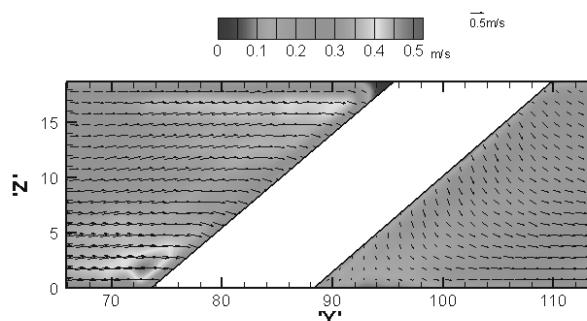


Figure 3 Velocity distribution at row 4 ($Re_4 = 5100$)

図 3において、45 度に傾斜したピン側面の上流側 2mm から 3mm、高さ 2mm 付近に早い流速が観察される。この流れは、傾斜したピンフィン面を図 3 上で左下から右上に流れる流れを形成していることが分かる。しかし、ピンフィン面上の流れのベクトルを観察すると、ピンの

面に直角あるいはピン面に沿って右上から左下方にむかう流れが観察される。ピンフィンが端壁面に直角に置かれた場合、明確に現れる馬蹄渦の流れが 45 度に傾斜したピンフィンでも生じていることが分かる。ピン上面では上流側 10mm から 15mm で他の部分と比べると流速が早くなっている箇所がある。これは 4 列目の上流に千鳥配置されている 3 列目のピンの側面で起こっている吹き降ろし状流れの影響である。この流れは X 方向にスライスした直角断面でのベクトル表示による流れの向きについても表示されている。ピンフィンの上流に設置されているピンフィンの側面を流れる、吹き降ろし状の流れが端壁面に衝突する流れを形成して端壁面の伝熱を促進すると共に、端壁面に沿って流れ、再びピンフィンの 45 度傾斜に沿って上面へ向けられ、その後ピンフィン側面では再び吹き降ろし状の流れとなるという周期的な流れを形成している。

45 度に傾斜したピンフィンの後流部分では、図 3 よりピンフィンから 5mm から 10mm 高さ 5mm の範囲に渡って止水域が発生していることがわかる。図 3 中の速度ベクトル表示では傾斜ピンフィンの後流部分で剥離した流れによる渦の影響で複雑な流速分布を示しているが、傾斜ピンフィンの中心軸を通る Y-Z 面で、ピンフィン側面周囲を流れる吹き下ろし状の流れが、端壁面へ向かう流れとなっていることが明らかである。この端壁面に衝突する流れがピンフィン傾斜角+45 度の端壁上面（端壁面 C）に比べて傾斜角-45 度の端壁下面（端壁面 A）の方が高い平均熱伝達になる原因である。

2. 端壁近傍および中央部の速度分布測定結果： ピンフィン流路の X-Y 面における速度分布測定結果を示し、流动場を考察する。代表的な速度分布として、図 4 に示す A,B,C の断面について MRI 装置によって測定した 3 次元測定データで、入り口から 4 番目のピンフィン列で中央のピンフィン周りの速度分布を図 5～図 7 に示す。45 度傾斜ピンフィンの端壁下面（図 4 中端壁面 B）ではピンフィン上流部に流速が加速されている部分が存在する。この領域は、4.1 で述べたピンフィン側面に沿った吹き下ろし状流れが端壁面 B に沿って流れの方向を変え、さらに 45 度傾斜ピンフィンに沿って流れる流れを形成しているためである。図 6 の中央断面における流速分布は、両側の端壁面の影響を受けない、楕円柱周りの流れになっている。傾斜ピンフィンの上流側には弱い馬蹄渦が発生し、図 6 の紙面で手前から向こう側に流れる流れ

が生じている。また上流に千鳥設置された第3列のピンフィン側面に沿う吹き降ろし状流れとの干渉により複雑な流れを呈している。一方、45度傾斜ピンフィンの後流側の速度分布ではY方向位置で70から80mmでは剥離された流れが、吹き降ろし状流れと干渉して、ここでも流速が速くなっている。

端壁面Cに近い断面Cにおける速度分布を図7に示す。図7より端壁面Cに近い+45度傾斜ピンフィンの側面に発生する吹き降ろし状流れは断面Aに比べて弱くなっていることが観察できる。また図7中の速度ベクトル表示も小さく全体的に流速が低くなっていることが明らかである。

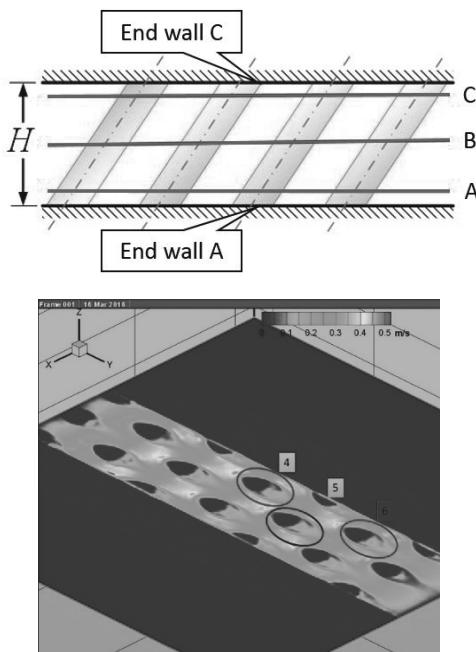


Figure 4 Typical flow visualization sections

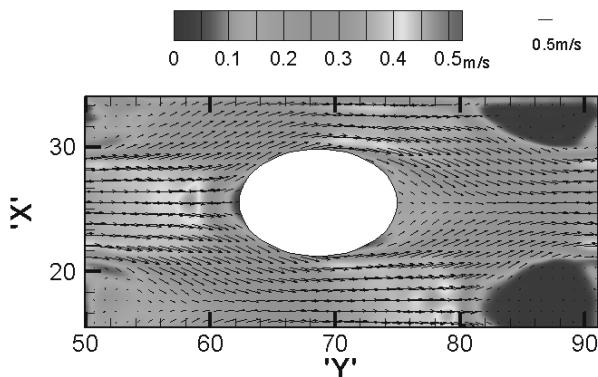


Figure 5 Velocity distribution around row 4 pin fin at near endwall A ($Re_d = 5100$)

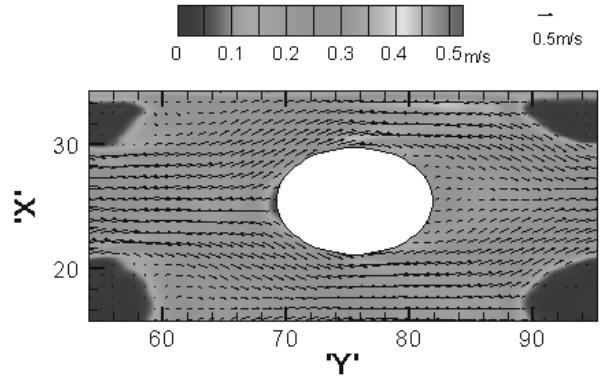


Figure 6 Velocity distribution around row 4 pin fin at middle height ($Re_d = 5100$)

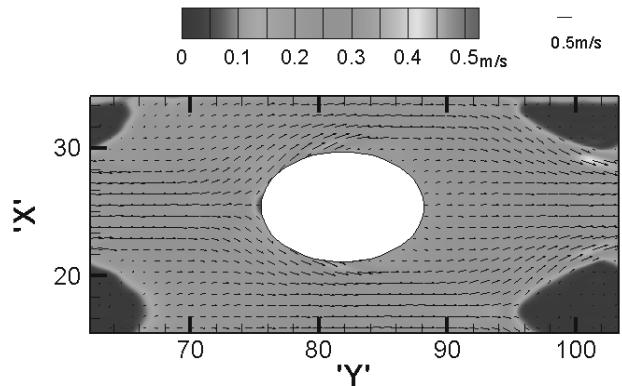


Figure 7 Velocity distribution around row 4 pin fin at near endwall C ($Re_d = 5100$)

3. 熱伝達率分布との比較：端壁面A,Cにおけるナフタレン昇華法で測定した局所熱伝達率⁽²⁾とMRI測定による流速分布の比較を行う。図8の $x/d = 9$ および図9の $Y=70\text{mm}$ に位置するピンフィンが入り口から4列目のピンフィンであり、このピンフィン周りの熱伝達率分布とMRI装置で測定した速度分布を比較検討する。図8と図9、あるいは図10と図11を比較することによって馬蹄渦による影響で局所ヌセルト数 Nu_d が高くなっている箇所についてはMRI測定でも流速が速くなっていることがわかる。ピンフィン下流部についてはピンフィンから少し離れたところで後流による伝熱促進で局所ヌセルト数が上昇している領域がある。

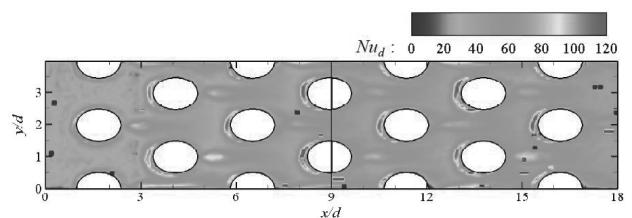


Figure 8 Heat transfer coefficient distribution on endwall A (Red=5000)

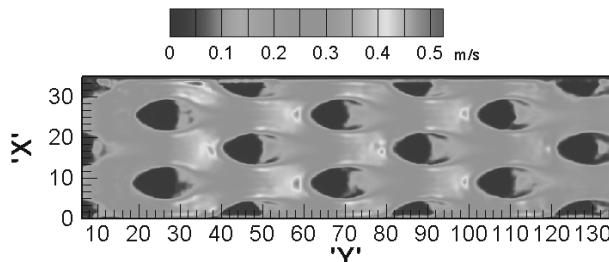


Figure 9 Velocity distribution at section A
($Re=5100$)

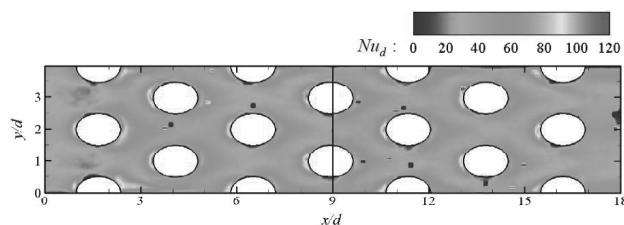


Figure10 Heat transfer coefficient distribution on endwall C ($Re=5000$)

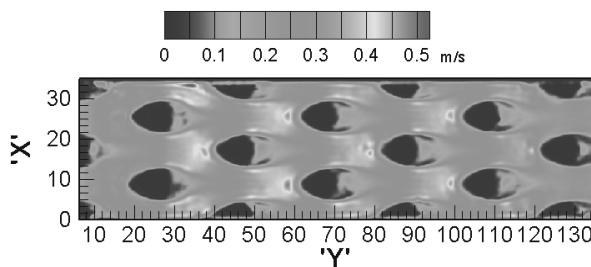


Figure 11 Velocity distribution at section C
($Re=5100$)

MRI 測定の Y 方向 40, 60, 80, 100mm の位置においてピン上流部では流速が促進されている状態が保たれており、また同様にピンフィン側面でも吹き降ろし状流れを繰り返すことで、これらの流れが傾斜ピンフィンの熱伝達率向上に大きく寄与していることが明らかになった。

V 結論

3 元磁気共鳴映像法 (3D-PC 法) を PIV では詳細な流動分布を測定することが困難な 45 度傾斜ピンフィン流路の 3 次元流れ場の測定に適用し、既に実施したナフタレン昇華法による傾斜ピンフィンを有する端壁面上の局部熱伝達率分布と比較することによって、伝熱促進のメカニズムを明らかにした。本実験から以下のことが明らかになった。

1. MRI 装置を用いた 3DPC 法による速度分布測定法の 1 ピクセルは、 0.53mm^3 程度であり、模型の寸法を検討して選べば数値解析結果を検証するに十分な精度の実験が可能である事が明らかになった。硫酸銅水溶液の温度管理を $\pm 0.1^\circ\text{C}$ で行ったが、速度分布画像の鮮明度には問題は無かった。NEX=5 と 10 では、速度分布に大きな違いは無いが、平均量としての滑らかさの点で NEX=10 が優れる。

2. 千鳥配置されたピンフィン各列における 3 次元速度分布（カラーコンター表示）および速度ベクトル表示によって、ピンフィン斜面に沿って流れ後流側で吹き降ろし状流れとなり端壁面に衝突する流れを生じ、端壁面に沿う速い流れとなり、この流れの繰り返しのおよびピンフィン前面に発生する馬蹄渦との干渉、さらにはピンフィン後流との干渉など非常に複雑な流れがピンフィン流路の伝熱促進に寄与していることが明らかになった。この様な複雑な 3 次元流れを全ての格子点における速度成分が測定できることが 3D-PC 法の特徴であり工学的に応用価値があると考える。

3. 3D-PC 法によって複雑な流れのデータベースを整えることによって、数値流体力学の解析精度を検証することが出来、数値流体力学の発展に寄与できると考える。

4. 今後は、フィルム冷却における PIV、LIF で測定できなかったフィルム空気と主流との混合流動場の詳細な現象把握につながる研究に展開していく。

参考文献

- (1) Takeishi, K., Nakae, T., Watanabe, K., and Hirayama, M., "Heat Transfer Characteristics of a Flow Passage with Long Pin Fins and Improving Heat Transfer Coefficient by Adding Turbulence Promoters on an Endwall," Proceeding of ASME Turbo Expo 2001, Paper No. 2001-GT-178, 2001.
- (2) Takeishi, K., Oda, Y., Miyake, Y. and Motoda, Y "Convective Heat Transfer and Pressure Loss in Rectangular Ducts with Inclined Pin-Fin in a 45-deg inclined pin-fin channel Wavy Endwall," Trans. of ASME, J. of Engineering for Gas Turbine and Power, 135, 061902, pp. 1-10, 2013.
- (3) Markl, M., Chan, F. P., Alley, M. T., Wedding, K. L., Draney, M. T., Elkins, C. J., Parker, D. W., Wicker, R., Taylor, C. A., Herfkens R. J. and Pelc, N. J., "Time resolved three dimensional phase contrast MRI

- (4D-Flow),” J. of Magnetic Resonance Imaging, 17, pp.499–506, 2002.
- (4) Oda, Y., Takeishi, K., Motoda, Y., Sugimoto, S., and Miyake, Y., “Heat Transfer Characteristics of Pin-Fin Arrays with Ribs to Cool Combustor Liners,” J. Therm. Sci. Technol., 4(4), pp. 507–517, 2009.
- (5) Benson, M., Elkins, C., Mobley, P., and Eaton, J., “Three-dimensional concentration field measurements in a mixing layer using magnetic resonance imaging”. Exp. Fluids, 49(1), pp. 43–55, 2010.

ピトー管による流速実験装置の製作報告

－徳島文理大学香川キャンパス TA 実験－

徳島工業短期大学 櫛田直人

Keywords : 流体力学, 風速測定, 流体の特性,

I はじめに

この研究報告は徳島文理大学香川キャンパス機械創造工学科3年生の実験に使用する実験器具の製作と要領書の製作報告である。

II 実験の目的

今回実験の目的として、次の項目を学生が習得することとした。

- 流体力学の基礎となるベルヌーイの定理について理解する。
- ピトー管を使用した流体の測定方法の原理を理解する。
- U字マノメータとデジタル微差圧計の比較。
- ダイソン製扇風機の風速はどのような分布をしているのか把握する。また、トラバース（平行移動）をして測定する。

実験・測定を通して、各種測定装置の使い方やデータの取り方を各自で考え、班単位では意見を出し合い実験をすることにより、考える力を養う。

III 工学実験の内容

1. 実験当日の室温から各分子量を元にボイル・シャルルの法則を使用して空気密度を求める。
2. 各風速と動圧についてベルヌーイの式を使用して計算をし、表及びグラフに記入する。
3. U字マノメータの測定原理について学び、計算後、実際に動圧測定をする。
4. マイクロマノメータでの測定を実施し、U字マノメータとの計測方法の比較をする。
5. マイクロマノメータを使用して、ダイソン扇風機の風速分布について測定をする。
6. 測定結果を元にデータ整理、レポート提出。

IV ピトー管による流速の測定原理

この実験で使用するピトー管と風速測定の原理について記述する。流れの中にピトー管を置くと、流れはせき止められ、後方へ流れしていくが、先端は流速が0になる

点が生じる。その点をよどみ点と称し、その点の示す圧力を全圧 (Pt) といい、先端の孔で測定する。またピトー管の側面に孔をあけ圧力を測定すると、流体の静圧 (Ps) を検出する。全圧 Pt と静圧 Ps の差からベルヌーイの定理により動圧 $\frac{1}{2}\rho V^2$ が求まる。

$$\text{差圧 } (\Delta P) = \text{全圧 } (Pt) - \text{静圧 } (Ps) = \frac{1}{2}\rho V^2$$

そして、ベルヌーイの定理によると、流体に粘性がなくて、摩擦の作用を考える必要がなく、また圧縮性もなくて密度が一定の場合には、その流体が持っている運動エネルギーと位置エネルギーと静圧によってなされたエネルギーの総和は、一定である。

V 実験装置（トラバース装置）の製作

実験装置を製作するにあたり、最初に測定機器の選択をおこなった、ピトー管についてはストレート型のピトー管を用意した。風を発生させる装置についてはダイソン製 AM05 のファンヒータを使用した、これは羽式の扇風機やサーチュレーターに比べ、風の脈動が少なく一定の風量が得るためである、またその検証をおこなう目的もある。マノメータについては U字マノメータ 岡野製作所 (Figure 1 U字マノメータ) とデジタルマイクロマノメータ TSI 製 (Figure 2 マイクロマノメータ) を用意した。

次に風速測定をするにあたり、ピトー管を固定し、平行移動させて測定するトラバース装置の製作をした。カメラ三脚を使用し、高さ調整を簡単にできるようにした。そして、マクロスライダーレールを三脚に取り付けてダイヤルを回すことで平行移動できるようにした。ピトー管固定には汎用ステーと配線固定バンドでの固定をおこなった。また移動距離を把握しやすいよう定規を貼り付け、指針も取り付けた。(Figure 3 トラバース装置製作)

ピトー管から U字マノメータやマイクロマノメータへの配管にはシリコンホース $\phi 2\text{mm}$ のホースをメインに使用し測定器の直前で $\phi 6\text{mm}$ のホースに異径ジョイントで接続することで、ホース内での空気量を減らし、測

定値のふらつきを少なくするようにした。



Figure 1 U字マノメータ



Figure 2 マイクロマノメータ

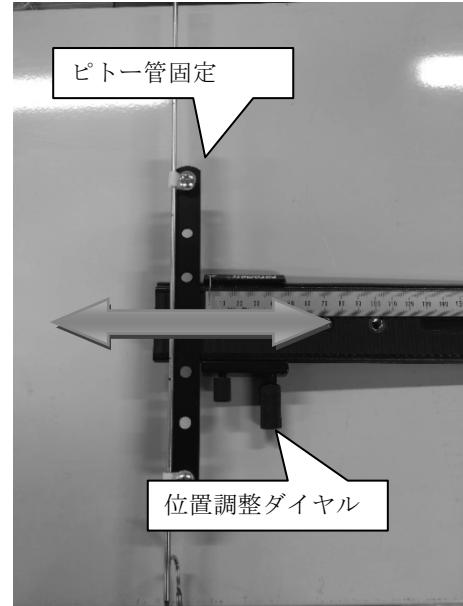


Figure 3 トラバース装置製作

VII 実際の測定方法

トラバース装置、各種測定機器の接続後、実際にダイソン扇風機の前に設置をして測定をおこなった。手順を次に示す。

1. カメラ三脚にトラバース装置およびピトー管取り付け
2. マノメータへホース接続
3. 扇風機の測定高さ・距離の設定（直角定規、メジャー使用）
4. 水平器を使用して、水平な取り付け
5. 任意の風速で測定

測定状態を次に示す。（Figure 4 測定状態）



Figure 4 測定状態

実際に測定してみると、高さや距離の設定時は簡単にできるが、平行に移動させるように設置するのに左右での位置調整が必要であった。またマイクロマノメータでは動圧のふらつき（0.2~1Pa）が出たので本体設定での時定数を5秒に設定して平均値を表示するようにした。

VII 工学実験での測定

2015年11月9日・30日 12月14日・21日に機械創造工学科3年生を対象に工学実験をおこなった。実験概要について説明する。

1. 実験・測定の内容や測定機器使用注意点の説明
2. 気圧・室温の設定条件の説明
3. 要領書の解説、最初に計算を実施
4. U字マノメータとマイクロマノメータの比較
5. 実験・測定実施
6. 測定内容の確認
7. レポート提出の説明

測定条件は室温20°C, 1013hPaとした。ダイソン扇風機の風量は最大。U字管マノメータ測定流体は水。

要領書説明では理解を深める為、最初に計算を実施し、大凡の実験結果の値を導きだしてから実測をおこなった。

今回の測定ではダイソン扇風機の風速測定について、要領書の通り（参考資料参照）では、測定箇所が多すぎて時間内に終了できないことがあったので、高さ30cmでのダイソン扇風機からの距離を変えていくのみとした。

また、トラバース時に極端に風速が変わる場合にはその箇所について、精密な測定をするように指示をした。

VIII 工学実験についての考察

今回の実験では、学生が個人または班で考えて実験、測定をすることに主体を置いて実施した。

前半に実施した班では、実験が始まると多くの学生が要領書をよく読まずに実験に取り掛かってしまい、結果測定方法が分からず質問してくることが多くあった。これについては実験開始時によく読むように指示をすることで改善された。また今回記入式の要領書としたことで、計算順序についても理解ができたのではないかと考える。

測定箇所の過多については、他の実験との時間の関係もあり、今後、ダイソン扇風機（風を起こす装置）の数や、測定機器の数を増やすことで改善できると考える。

また、提出されたレポートについては、エクセルのグラフを使用したり、配布資料を使用して風速分布や流体についてまとめられており、概ね良い実験結果が得られている。

各学生には得意分野、不得意分野があり、お互いに教えあいながら実験測定が出来ており、この部分については概ね満足できるのではないかと感じた。

IX まとめ

熱と流体に関する工学実験の要領書製作から始まり、測定機器の準備、実験実施と担当させて貰った。実際に製作してみると学生への理解を得るために要領書の製作に時間を多く費やした、また最初は私自身の理解度が低く実験を製作している過程で多くの理解を得ることが出来た。

この実習では測定に関して準備をし過ぎて、学生に考える余地が少なかったと反省している、今後は測定についても学生が考え、実験・測定することで流体についてより一層の理解と興味が得られると考える。

円柱熱伝達実験装置の製作報告

—徳島文理大学香川キャンパス TA 実験—

徳島工業短期大学 櫛田直人

Keywords : 熱力学, 流体力学, 熱伝達率, 教材

I はじめに

この研究報告は徳島文理大学香川キャンパス機械創造工学科3年生の実験に使用する実験器具の製作と要領書の製作報告である。

II 実験の目的

実験の目的として、次の項目を学生が取得することとした。

- 円柱まわりの平均熱伝達率と局所熱伝達率について学ぶ。
- 発熱量・熱伝達率・レイノルズ数の計算
- ヌセルト数とレイノルズ数の関係

実験・測定を通して、各種測定装置の使い方やデータの取り方を各自で考え、班単位では意見を出し合い実験をすることにより、考える力を養う。

III 工学実験の内容と使用的する資料

円柱周りの局所熱伝達率について、流れに垂直に置かれた円柱周りの熱伝達率分布について、一様流中に垂直に置かれた無限長の円柱（Figure1）では、レイノルズ数が 3×10^5 程度までは円柱前面の 0~80°程度の領域に層流境界層が形成される。境界層の局所相似を仮定し、局所ヌセルト数を求めることができる。

Spalding が種々の近似解析法の比較を行っておりその結果を Figure2 に示す。Figure 中の実線は Schmidt らの実験値であり、式(1)で近似できる。

$$Nu_d = 1.14 Re_d^{1/2} Pr^{0.4} \left[1 - \left(\frac{\phi}{90} \right)^3 \right]$$

----- (1) (Schmidt の式)

ここで ϕ = 淀み点からの角度

物性値は次の膜温度（または基準温度） T_f の値を用いる。

$$T_f = (T_\infty + T_w)/2 \quad ----- (2)$$

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \rightarrow h = \frac{Nu \cdot k}{D} \dots \text{ヌセルト数}$$

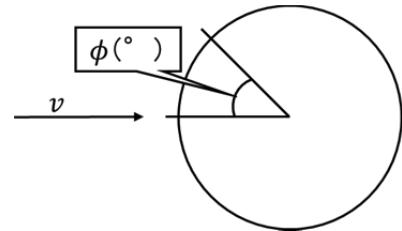


Figure1 円柱周りの局所熱伝達率

実験値は近似解に比べ、よどみ点近傍において 10% 程度大きいが、これは主流乱れの影響と考えられている。

流れの中に置かれた円柱のような物体の背後では、レイノルズ数が大きいと流れがはく離し、乱れが生成されると同時にその影響は主流を通じてはく離点より前方の流れにも現れる。このため熱伝達率は物体の形状、レイノルズ数などにより複雑に変化しこれを理論的に取扱うことは困難で、主に実験的に求められている。一様流の空气中におかれた円柱まわりの局所ヌセルト数分布を Figure3 に示す。レイノルズ数の増加に従い、前面と背面が対称な流れ、双子渦を伴う流れ、周期的渦放出を伴う流れへと変化し、ヌセルト数のレイノルズ数への依存性も変化する。

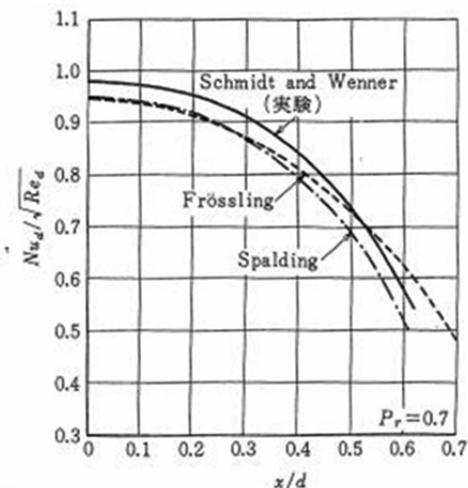


Figure2 円柱前面の局所ヌセルト数分布 (Pr=0.7)

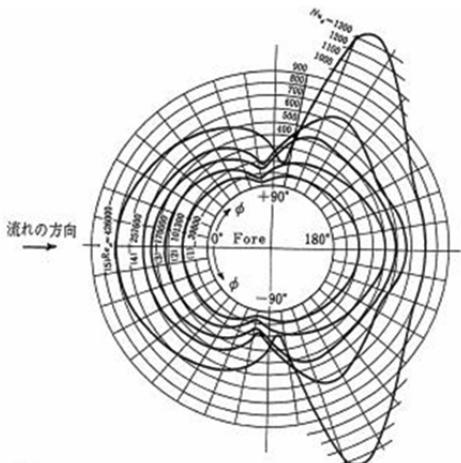


Figure 3 一様流中の円柱周りの局所ヌセルト数分布

円柱周りの平均熱伝達（参考値）

Zukauskas は、円柱の平均ヌセルト数として、

$$Nu_m = C_1 Re^n Pr^{0.37} (Pr/Pr_w)^{0.25} \quad (2)$$

を推奨している。 C_1 および n はレイノルズ数により異なり、Table 1 に示す。添字 w は壁温における物性値を用いることを意味し、添字のない場合は主流温度における値を用いる。

Table 1 レイノルズ数による定数とべき指数の変化

Re	G_I	n
1~40	0.75	0.4
$40\sim 1\times 10^3$	0.51	0.5
$1\times 10^3\sim 2\times 10^5$	0.26	0.6
$2\times 10^5\sim 1\times 10^6$	0.076	0.7

IV 実験装置の製作

実験装置の製作について、円柱部分の製作と熱電対の設置をおこなった。使用する円柱はバークリイト製 直径 50mm 長さ 200mm である。それに設定した角度に溝が切られている。これにアルメル線とクロメル線で製作した熱電対 10 本を埋め込み、パテを使用して固定した。各ターミナルへの接続はフラックス塗布後、ハンダ付けにて接続をおこなった。ターミナルからデータロガーへの接続は補償導線を使用して精度を確保している。

パテの乾燥後円柱面が平滑になるようサンディングし、ヒータとなるニクロム箔 5 ミクロン（竹内金属箔粉工業株式会社製）を貼り付けた。



Figure 4 ベークリイト円柱

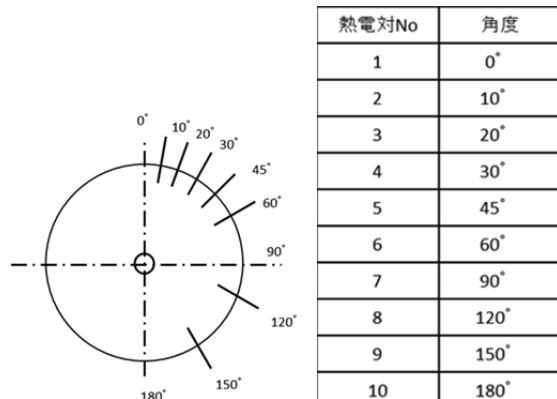


Figure 5 円柱面に埋め込んだ熱電対の位置と
熱電対番号

そしてそのニクロム箔に電気を通電して過熱できるよう、配線を実施した。

また、電源装置には Agilent 製 E3633A を使用して直流電流を流せるようにした。熱電対の計測温度表示にはデータロガー（オムロン製 ZR-RX25）を使用し、時間的な温度変化を本体メモリもしくは USB に記憶し、考察等でデータの使用を展開しやすくした。

実験をするにあたり、強制対流に必要な脈動の無い一様な空気流れが必要となるため、ダイソン製扇風機を使用した。バークリイト支持台の下にも木製スペーサを設置して、より安定した風を得られるようにした。

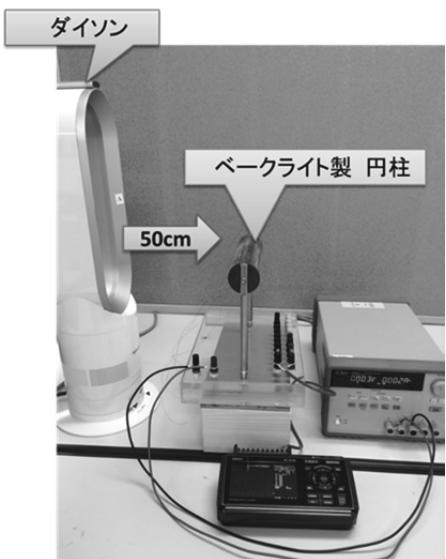


Figure 6 測定状態

V 測定方法

工学実験での実験手順を示す

1. ピト一管と風速測定の実験結果を元に一様流となっているポイントにベークライト円柱を設置する。
2. ニクロム箔に通電加熱 約 60°Cから 70°Cになるようにする。 (3V 15A で 45W 程度)
3. ダイソン扇風機を最大風速で作動 (距離は 40～50cm 風速 3m/s)
4. データロガーの温度変化が一定となったところでのデータをチェックする。

VI 工学実験での測定

2015年11月9日・30日 12月14日・21日に機械創造工学科3年生を対象に工学実験をおこなった。実験概要について説明する。

1. 実験・測定の内容や測定機器使用注意点の説明
2. 気圧・室温の設定条件の説明
3. 要領書の解説、最初に計算を実施
4. 電源装置の取り扱い説明 (電流制御方法の設定)
5. 実験・測定実施
6. 測定内容の確認
7. レポート提出の説明

測定条件は室温 20°C, 1013hPaとした。ダイソン扇風機の風量は最大。

ヒータ加熱時における電流値および加熱時間については各班で設定した。

VII 工学実験についての考察

今回の実験では、学生が個人または班で考えて実験、するようにした。また資料では説明していないが、自然対流の基礎についても、簡略して説明することができた。これはベークライト円柱の熱電対取り付け角度を変えることで、示すことができた。

この実験はピト一管流速測定実験とあわせて実施している、先にピト一管の実験を実施している学生は、理解が早く、実験についてもスムーズに実施できていた。計算方法についても資料に記述式としたことで始めての学生でも、比較的スムーズに進んでいた。しかしながら、あまりスムーズでない班については理解度が低い、もしくは班員同士での意見交換が少なかった。

提出されたレポートについては、データロガーのデータを CSV 形式で持ち帰り、エクセルでの局所熱伝達率の計算を実施後、グラフに表示されておりほとんどの学生で満足できる測定結果であったと考える。考察については内容に個人差が大きく、よどみ点や角度による熱伝達率の変化について理解している学生もいれば、少し理解度の低い学生も見受けられた。

直流電源装置については海外製であり、説明書が英語表記となっていたため、あらかじめ設定する必要があった。熱電対接続部に接触抵抗で測定不良になることがあった、これについてはその場で接続し直した。

VIII まとめ

局所熱伝達工学実験の要領書製作から始まり、測定機器の準備、実験実施と担当させて貰った。実際に製作してみると熱電対の埋め込みやニクロム箔の貼り付け方法、また接触抵抗を減らして、計算値に近づける配線に試行錯誤した。また当日に接触不良が発生することがあったので、熱電対とターミナルとの接続方法について改善が必要である。

そして、学生への理解を得るための要領書の製作に時間を多く費やした、また最初は私自身の理解度が低く実験を製作している過程で多くの理解を得ることが出来た。

この実習では測定に関して準備をし過ぎて、学生に考える余地が少なかったと反省している、今後は測定についても学生が考え、実験・測定することや自然対流での測定と強制対流での測定を比較することで熱伝達についてより一層の理解と興味が得られると考える。

自動車構造材料の軽量化と成形性（その2） —高張力鋼板の機械的性質—

徳島工業短期大学 中 哲夫

Keywords : 高張力鋼板, CO₂削減, 機械的性質, シミュレーション

I はじめに

近年, 地球温暖化対策として温室効果ガスCO₂の排出量削減が求められている。CO₂総排出量に対し, 陸運関係からの排出は約20%を占めており, 種々の排出量削減案が検討されている。その80%~90%が自動車からとなっている。この対策の中で, 自動車の軽量化により燃費を向上させCO₂の排出を抑制するのは効果的である。その一方で, 自動車に対する衝突安全基準は年々強化されており, それらを満たすための高剛性化や衝突エネルギー吸収性の向上は, 車体の重量増加につながっている⁽¹⁾。

今後も燃費効率をさらに向上させれば温室効果ガスの排出量の削減につながる。資源エネルギー庁の2014年12月に示した, ロードマップでは次世代自動車(ハイブリッド自動車, 電気自動車, プラグインハイブリッド自動車, 燃料電池自動車, クリーンディーゼル車, CNG自動車)の新車販売も2030年までに5~7割を目指している⁽¹⁾。これらの車種においても燃費支配要因の40%程度を占める車体構造材料の軽量化技術及び, 材料を適材適所に使う技術開発が燃費向上, CO₂排出量削減に非常に重要と思われる。

燃費にはエンジン性能やころがり抵抗なども関連するが図1に示されるように車体重量の軽量化は燃料消費を大幅に低減するといわれている⁽²⁾。また, 図2の車体重量とCO₂排出量の関係に見られるように軽量化はCO₂排出量にも比例関係があることが理解できる。したがって, 車体の軽量化は世界の自動車製造会社での重要な取り組みとなっている。

車体構成材料には高強度アルミニウム合金, マグネシウム合金, チタン合金, セラミックス, 炭素繊維強化樹脂複合材料(CFRP)なども使用されるようになりつつあるが⁽³⁾, 自動車の場合, 軽量化と衝突安全性の両者を満たさなければならない。それに対応するのは, 自動車の構成材料の70%を占める鉄鋼材料である。また, この鉄鋼材料のうち60%程度は高張力鋼板でその強度も年々増し, 2014年販売のいくつかの車種では1500MPaや1800MPa級の材料も使用されている⁽⁴⁾。しかし, 高強度化を進めると図3に示したように延性が特に低下し

プレス成形性(延性低下に伴う割れやしづの発生)が悪化する傾向がある。

本研究では高張力鋼板の加工性が向上した理由を解明するため, また近年生産業や学術にて多様に使用されている計算力学やシミュレーションにおいても重要な, 高張力鋼板の機械的性質を解明しておくことが必要不可欠である。そこで, ますます拡大する高張力鋼板の適用に対応するため, 単軸引張試験を行うことで, 主題である機械的性質を調査した。試験は, JFEスチール社製の590MPa, 780MPa, 980MPa及び1180MPaの高張力鋼板で比較・検討した。

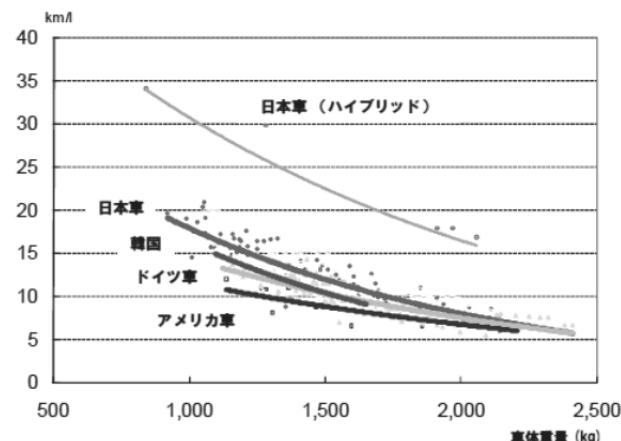


図1 車体重量と燃費の関係⁽¹⁾

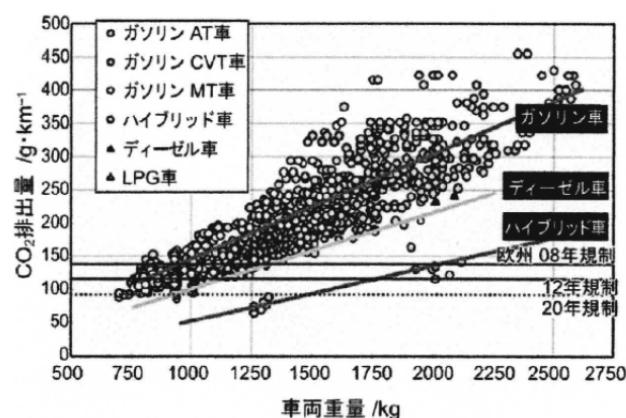


図2 車体重量とCO₂排出量の関係⁽⁴⁾

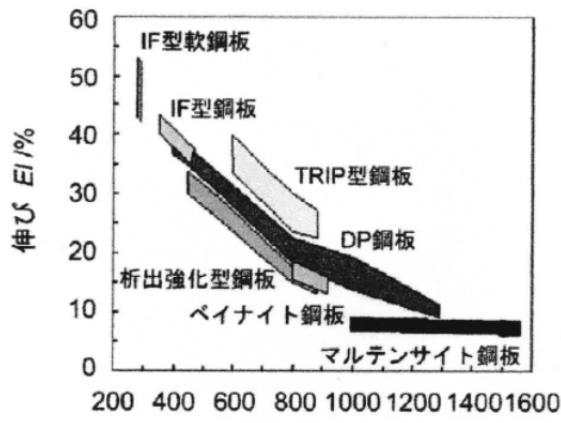


図 3 各種鋼板の引張強度と伸びの関係⁽⁴⁾

II 材料及び実験条件

1. 高張力鋼板の種類

高張力鋼板の種類を図 3 に示す。①固溶体強化(IF 鋼), ②析出強化 (HSLA), ③細粒化強化, ④変態組織強化 (DP: 二相組織鋼板, TRIP: 残留オーステナイト鋼板) と呼ばれる強化機構を組み合わせることで, 目的の強度と加工性に適した材料設計がなされている。

自動車用薄鋼板の従来型としては, IF 鋼などの軟鋼類と, 高強度低合金鋼 (HSLA), マンガン鋼 (CMn) などの高強度鋼がある。これらの鉄鋼のミクロ組織はフェライト単相組織である。これに対して, 先進型強度鋼 AHSS と呼ばれる強度鋼 (TRIP 鋼, DP 鋼, マルテンサイト鋼など) は, 2 種類以上の組織 (複相) で成り立っているものが主である。フェライト, マルテンサイト, ベイナイト, 残留オーステナイトなど, 構成する相の割合により, 機械的性質が異なる。熱延鋼では, 热間圧延時の温度制御により, 冷延鋼・亜鉛メッキ鋼では, 冷延圧延やメッキ処理後の連続焼鈍時の冷却速度制御によって目的とする組織を得ることができる。AHSS の開発が進められ, 車体用材料としての役割が大きくなっている。

DP 鋼は, フェライトを母相とし, 硬い組織であるマルテンサイトを第 2 相として含む。図 3 に示すように各種高張力鋼板は引張強さが大きくなると, 延性が低下し, 全伸びが小さくなるが, DP 鋼は引張強さが大きくなつても他の高張力鋼板と比べて延性が低下せず, 加工硬化指数 (n 値) が高く, 伸びが大きいことが特徴である。延性やプレス成形性は TRIP 鋼に劣るが, 價格が比較的安価なため多く用いられる。

TRIP 鋼は, 母相であるフェライト相と, 通常室温では存在しない残留オーステナイトを熱制御により 5%以上含む高強度鋼である。この残留オーステナイトが変形

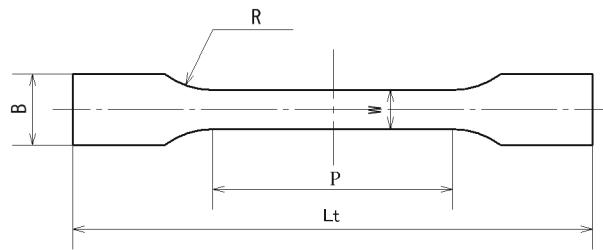


図 4 試験片形状

に伴いマルテンサイトに変態するが, その結果大きな加工硬化が得られ, 伸びも大きくなる。プレス成形性に優れ, 衝突変形時にも高い衝突エネルギー吸収性能を発揮する。

マルテンサイト鋼は, 急冷することによって, ほぼ完全にマルテンサイト変態させた鉄鋼で, 少量のフェライト・ベイナイトを含む。最も高い引張強さを示す高強度鋼で, 1700MPa 級の材料も製造可能である。伸びが小さいが, 焼戻し処理により成形性の改善を図ることができる。

2. 単軸引張試験

実験に供した材料は全て DP 鋼板 (二相鋼板 : Dual Phase Steel), JFE スチール社製の 590MPa, 780MPa, 980MPa 及び 1180MPa の 4 種の強度のハイテンを使用し, 図 4 に示す JIS-13B 試験片 (つかみ部 B:20mm, 肩部半径 R:25mm, 平行部長さ P:60mm, 幅 W:12.5mm) に加工した。4 鋼種とも板厚は 1.2mm のものを使用した。

試験機は図 5 に示す, 250kN 容量のインストロン型万能試験機を用いて単軸引張試験を行った。本研究では縦ひずみと横ひずみを計測するために, 試験片圧延方向と圧延直角方向にひずみゲージを試験片表裏に貼り付けた。ひずみゲージは東京測器研究所の YFLA-2 (15~20%までのひずみが測定可能) の塑性域ゲージを使用した。

試験条件は室温で引張り速度 $5\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$ (ひずみ速度 $1.39 \times 10^{-3}\text{sec}^{-1}$), 圧延方向 0 度にて行った。



図 5 インストロン型万能試験機

III 実験結果と考察

材料強度と降伏応力及び引張強さの関係を図 6 に示す。図 7 には材料強度ごとの公称応力-公称ひずみ曲線を示す。図 8 には材料強度と縦弾性係数（ヤング率）の関係を示す。図 9 には材料強度とポアソン比の関係を示す。図 10 には材料強度と横弾性係数の関係を示す。図 11 には Hollomon 形構成式 ($\sigma = C \varepsilon^n$) における材料強度と硬さ係数 C の関係を示す。図 12 には材料強度と加工硬化指数 n 値の関係を示す。図 13 には真応力-真ひずみ曲線を示す。図 14 には材料強度とランクフォード率 r 値の関係を示す。図 15 には材料強度と伸びの関係を示す。図 16 には材料強度と絞りの関係を示す。

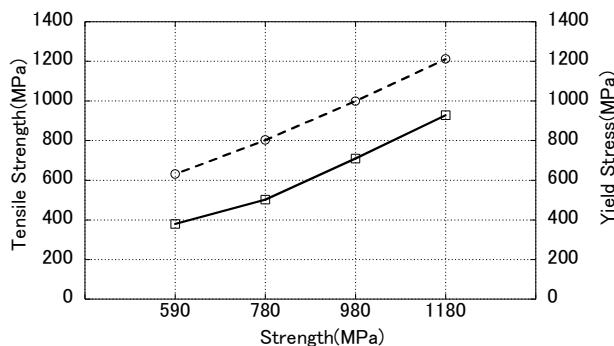


図 6 材料強度と降伏応力、引張強さの関係

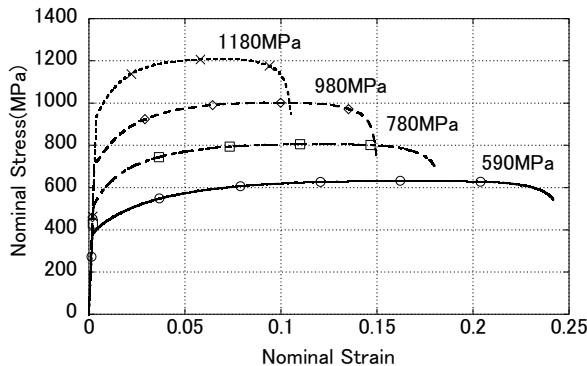


図 7 公称応力-公称ひずみ曲線

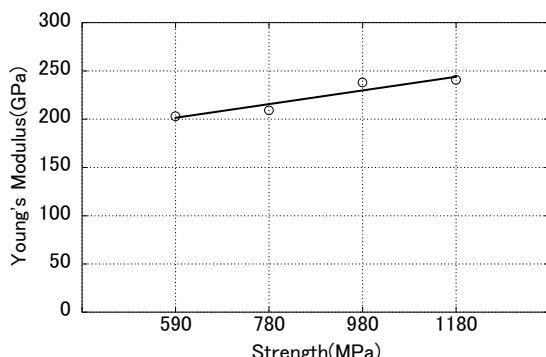


図 8 材料強度と縦弾性係数の関係

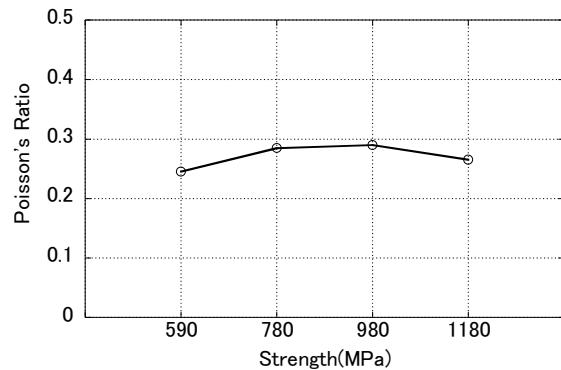


図 9 材料強度とポアソン比の関係

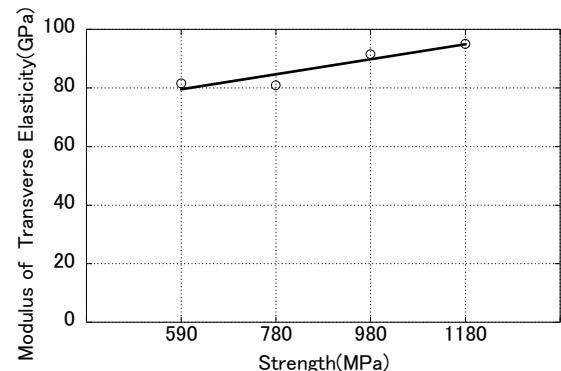


図 10 材料強度と横弾性係数の関係

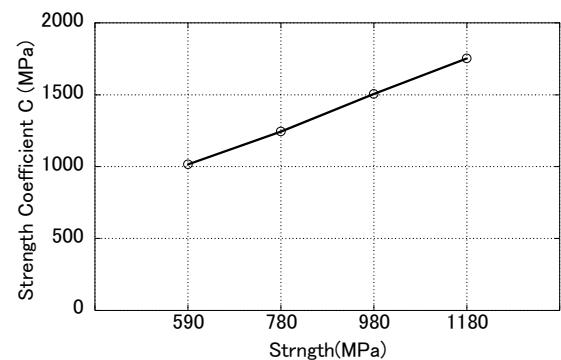


図 11 材料強度と硬さ係数 C の関係

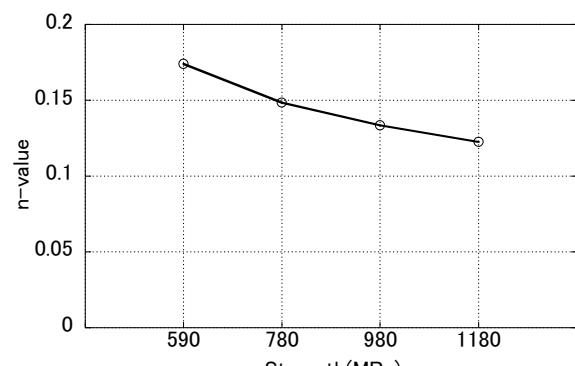


図 12 材料強度と加工硬化指数 n 値の関係

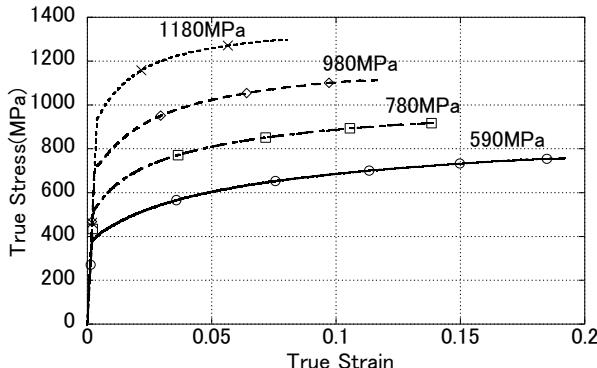


図 13 真応力ー真ひずみ曲線

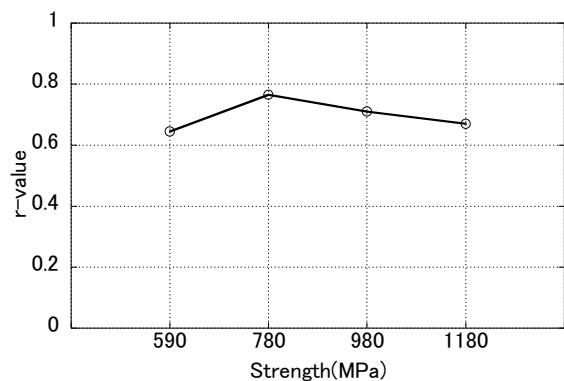


図 14 材料強度とランクフォード率 r 値の関係

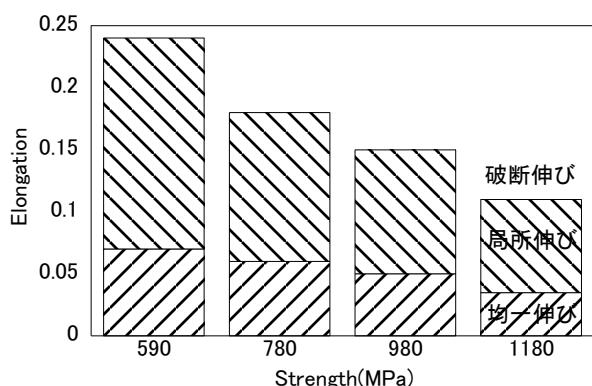


図 15 材料強度と伸びの関係

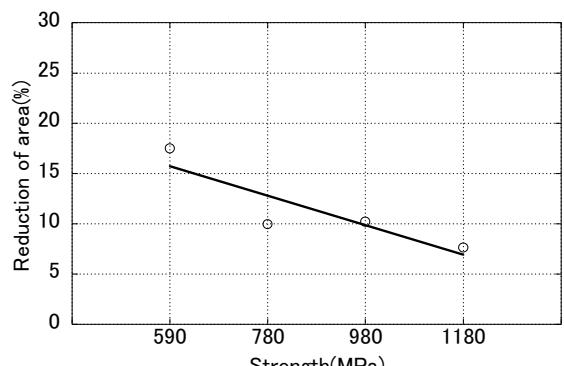


図 16 材料強度と絞りの関係

図 6 の降伏応力はスプリングバック量に影響し、降伏応力が大きくなるとスプリングバックは増加する。スプリングバック量は他にヤング率や ν 値の影響もうける。また、材料の強度が大きくなると増加する。引張強さは、降伏応力と同様強度に比例して増加した。また、鉄鋼では一般的に引張強さは降伏応力の 1.5 倍とされる。実験の結果、590MPa は 1.6 倍、780MPa は 1.5 倍、980MPa は 1.4 倍、1180MPa は 1.3 倍となり、どの強度においても 1.5 倍程度となった。このことから、この降伏応力と引張強さの関係は信頼性の高いものといえる。

図 8 の縦弾性係数（ヤング率）もスプリングバックに影響する。ヤング率が大きくなるとスプリングバックは低下する。従って、アルミニウムなどのヤング率の低いものでは増加している。ヤング率は概ね強度に比例して増加した。ヤング率は弾性変形における応力変化と曲げひずみ変化の比であるから、ヤング率が増加することは応力変化に対するひずみ変化が小さくなることを意味する。従って、強度が大きいほど弾性域内において伸びにくいといえる。本実験結果では、ヤング率は概ね強度に比例して増加していたがその増加率は微小であるため、スプリングバックはヤング率が小さく、強度が大きくなるほど増加するとえる。

図 9 のポアソン比は強度の大きさに関わらず約 0.3 と一定であった。このことから、ポアソン比は強度に依存していないことが示された。なお、鉄鋼のポアソン比は 0.3 であるのでこの値は信頼性の高い数値といえる。また、ポアソン比は縦ひずみと横ひずみの比である。ポアソン比が一定であることから、縦ひずみ、横ひずみは強度が大きくなるに従い減少したがその比率は変わらないことが示された。

図 10 の横弾性係数 G 、ヤング率 E 及びポアソン比 ν には次のような関係がある。

$$G = E / 2(1 + \nu)$$

本研究では、上式を用いて縦弾性係数 G を求めた。横弾性係数は概ね強度に比例して増加した。横弾性係数はせん断応力とせん断ひずみとの比であるから、横弾性係数が大きくなることは、せん断応力に対するせん断ひずみが小さいことを意味する。このことから、強度が大きくなるほどせん断による変形が小さくなるといえる。

また、本研究では、横弾性係数はヤング率とポアソン比から求めた、ポアソン比が一定であったため、ヤング率と同様の傾向が示された。

図 11 の硬さ係数は代表的な構成式（応力ーひずみ関係式）である Hollomon 形構成式 ($\sigma = C \varepsilon^n$) における

る「 C 」を硬さ係数(以下 C 値)といい、 $\varepsilon = 1$ の時の応力値をいう。一般的によく用いられるが、初期降伏点を考慮しないため低ひずみ域での応力ーひずみ関係を精度よく表現することができない欠点を持っている。また、 C 値と同時に加工硬化指数(以下 n 値)を求める。

図 11 より直線近似により求めた C 値の近似式は次のようにになった。(確立は 99.986%)

$$C=273.55+1.253 \times X \quad (\text{MPa})$$

図 12 の加工硬化指数 n 値は図 13 に示す、真応力ー真ひずみ曲線を用いて、最少 2 乗法により算出した。 n 値もスプリングバックに影響し、 n 値が大きくなるとスプリングバックは低下する。 n 値は強度と逆比例して低下した。 n 値が大きい材料では、変形が先行した部分の加工硬化が大きくなるために、ひずみがその部分に集中することはなく周囲へと伝播していくことになる。言い換えると、高 n 値材料はくびれのようなひずみ集中が起こりにくい材料であり、張出し、伸びフランジ、深絞りなどの成形限界が向上するといえる。このことから、強度が大きくなるほど n 値は低下しているので、成形限界は高強度ほど低下することが示された。そのため、スプリングバックは n 値が低下するほど増加するといえる。

また、 n 値は延性と密接に関係している。Hollomon 形構成式による n 値は引張試験の均一伸びに対応する。従って、 n 値が低下すると延性も低下する。

図 12 より累乗近似により求めた n 値の近似式は次のようにになった。(確率は 99.747%)

$$n=4.1017 \times X^{-0.49667} \quad (\text{MPa})$$

図 14 のランクフォード率(以下 r 値)とは塑性ひずみ比ともよばれ、板幅方向と板厚方向との真ひずみの比で、次のように表される。

$r=\varepsilon_w/\varepsilon_t$ =板幅方向の真ひずみ/板厚方向の真ひずみつまり、 r 値は板幅方向と板厚方向における塑性ひずみの違い、すなわち板厚異方性を示す材料特性値である。また、非圧縮性条件 ($\varepsilon_1+\varepsilon_w+\varepsilon_t=0$) の下であると r 値は次のように表すことができる。

$r=-\varepsilon_w/(\varepsilon_1+\varepsilon_t)$ ε_1 =引張方向の真ひずみ
 r 値は強度の大きさに関わらず約 0.7 と一定であった。このことから、 r 値は強度に依存していないことが示された。一般に r 値は引張試験片の採取方向によって異なる、鉄鋼では 45 度が最小になるとされている。

図 15 の延性は公称応力-公称ひずみ曲線から求めた。降伏点から荷重の最大点までを均一の伸び、荷重の最大点から破断までを局所伸び、そして均一伸びと局所伸びを合わせて破断伸びとする。延性は強度が大きくなるに

従って低下した。しかし、破断伸びに占める均一伸びの割合には変化が見られなかった。このことから、延性自体は強度が大きくなれば低下するが、その割合は変化しないことが分かる。また、延性と n 値は密接な関係があり、均一伸びと n 値は対応している。従って、延性が低下すると n 値も低下することが示された。

図 16 の絞りは試験中に発生した断面積の最大変化量で、破断後の断面積 A を初期断面積 A_0 に対して百分率で表したものである。絞りは強度に近似的に逆比例して低下した。絞りが大きいほど、深絞り加工などの成形性が良いとされるため、強度が大きいほどその成形性が低下していくことが示された。

IV おわりに

本研究は近年、自動車の板材プレス成形に多く用いられている高張力鋼板の機械的性質を知ることを目的として、JFE スチール社製、DP 鋼板による 590MPa, 780MPa, 980MPa、及び 1180MPa 級の高張力鋼板 4 鋼種において単軸引張試験を行った。そして、実験的に機械的性質である降伏応力、引張強さ、ヤング率、ポアソン比、横弾性係数、 n 値、 r 値、延性及び絞りについての 9 項目を調べ比較・検討した。また、塑性加工におけるシミュレーションに重要な応力ーひずみ関係を精度よく表現できる Hollomon 形構成式を示した。

以下に本研究で得られた結果を示す。

- a 降伏応力は強度に比例して増加した。このことから、強度が大きくなるほど塑性変形が困難であることが示された。
- b 引張強さは強度に概ね比例して増加した。また、引張強さは降伏応力の約 1.5 倍であることが示された。
- c ヤング率は強度に概ね比例して増加した。このことから、弾性域内において強度が大きいほど伸びににくいことが示された。
- d ポアソン比は強度の大きさに関わらず約 0.3 と一定であった。このことから、ポアソン比は強度に依存しないことが示された。
- e 横弾性係数は強度に概ね比例して増加した。このことから、強度が大きいほどせん断による変形が小さいことが示された。
- f n 値は強度に逆比例して低下した。このことから、強度が大きいほど張出し、伸びフランジ、深絞りなどの成形限界が低下することが示された。
- g r 値は強度の大きさに関わらず約 0.7 と一定であった。このことから、 r 値は強度に依存しないことが示され

た。

- h 延性は強度が大きくなるに従って低下した。しかし、破断伸びに占める均一伸びの割合に変化は見られなかった。従って、延性が低下してもその割合は変化しないことが示された。
- i Hollomon 形構成式による n 値は均一伸びに対応するため、 n 値が低下すると延性も低下することが示された。
- j 紹りは強度に近似的に逆比例した。このことから、強度が大きいほど深紹り加工などの成形性が低下することが示された。

参考文献

- (1) 経済産業省：エネルギー関係技術開発ロードマップ、資源エネルギー庁、(2015)
- (2) 経済産業省：2014 年エネルギー白書、資源エネルギー庁 (2015)
- (3) 東雄一、藤田雅：次世代の自動車を支える材料技術への期待、アルミニウム、第 22 卷第 92 号、9–12、(2015)
- (4) 吉武明英、池田倫生：高張力鋼板を活用した自動車軽量化技術に関する展望、塑性と加工、第 52 卷第 606 号 12–17 (2011)

他誌掲載論文抄録

Flow-field Velocity Measurement of a Circular Jet by Using Magnetic Resonance Imaging

Naoto Kushida, Kaewchoothong Natthaporn, Norihiro Oi, Motofumi Nishimura

Masaki Asahara and Kenichiro Takeishi

2nd International Forum on Advanced Technologies IFAT2016 (2016.3)

Abstract

The main objective of this research is to confirm the accuracy of Magnetic Resonance Imaging (MRI) velocimetry by using a free jet flow (preliminary test). The experiments are based on magnetic resonance velocimetry, which allows the collection of a large three-dimensional volume of three-component velocity measurements in a short period of time. The technique, called 3D magnetic resonance imaging (3D-MRI), is used to measure the mean velocity distribution in fully developed Reynolds number turbulent pipe flow, $Re=15,000$ and $30,000$ are based on hydraulic diameter and bulk mean velocity. 3D MRI is able of completing full-field measurements in three-dimensional volumes with sizes on the order of magnet bore diameter in less than one hour which accuracy of this main result is acceptable.

変形式小型ソーラビークルにおける操作性・乗降性・車両安定性に関する研究

小笠原史也, 島田 清

自動車整備技術に関する研究報告誌：第44号（平成27年度）28-35

要旨

自動車は、個人が利用する自家用自動車から物流の中心的役割を担うトラックおよび公共交通機関であるバスなど、現代の社会生活になくてはならない存在となっている。自動車の将来構想として小型のコミュニティビークルが短距離において使用されることが想定されている。本学においてはオープンキャンパス等において主に高校生に対して試乗体験を通して自動車に対する興味向上を図る取り組みをしている。その一環として、本学でも小型のコミュニティビークルを保有する必要があると感じた。また、自動車と地球温暖化などの問題が密接に関係しており、環境問題に対しても意識を高めてもらうために、これまでにもいくつか製作しているソーラビークルの製作を行うこととした。

本研究では、乗降時と走行時で車両姿勢が変化する変形式小型ソーラビークルを製作し、変形前と変形後の操作性、乗降性、車両安定性能について実験を行い、それぞれの関係性を評価・考察した。評価実験の結果に関しては乗降モードと走行モードで乗降性や車両安定性に相違が見られ、製作当初から予想していた性能となったことを報告した。

主せん断ひずみエネルギーによる成形限界の評価

中 哲夫, 吉村英徳, 堀田博也, 上森 武, 三原 豊

軽金属 研究論文 : (第 65 卷 5 号 2015 年 5 月) 190–195

要旨

自動車等輸送機器の省エネルギー化や携帯電話・パソコン等機器の携帯性向上を目的に、これらの機器には一層の軽量化が要求されている。しかし高張力鋼板やアルミニウム合金等の使用においては、しわや割れといった成形不良の発生が大きな問題となる。これらの問題を解決するにあたり、有限要素法を用いた数値シミュレーションの積極的な活用がなされている。ただし、数値シミュレーションにて成形不良の予測を行うには、成形限界を定量化して判断しなければならない。

本研究では、加工法によらず、複雑なひずみ経路にもそのまま適用可能な延性破壊条件式の確立を目的として、まずは成形限界の予測精度向上を図る。そこで、塑性変形はせん断応力による原子の滑り現象によって生じることに注目し、主せん断ひずみエネルギー値を用いた破壊条件式を提案した。本報では、この成形限界判定式の適用の可能性を調査するために、純アルミニウム A1050-0 を使用し、平頭絞り試験により、比例経路および非比例経路の成形限界を取得して、予測精度を評価し報告した。

主せん断ひずみエネルギーに注目した成形限界予測式 -静水圧応力の影響 第2報-

中 哲夫, 堀田博也, 吉村英徳, 上森 武, 三原 豊

塑性加工春季講演論文集 : (平成 27 年 5 月 29 日) 109–110

要旨

高強度材料は容易に成形できるとは限らず、割れによる成形不良の発生を抑制するには、延性破壊の限界を知る必要がある。実際の加工現場では途中で経路が変わることが多いが、経路が途中で変化する非比例経路において適用可能な予測式はまだ発展途上である。

本研究では、加工法によらず、複雑なひずみ経路もそのまま適用可能な延性破壊条件式の確立を目的として、まずは成形限界における予測精度の向上を目指す。そこで、塑性変形はせん断応力による原子の滑り現象によって生じることに注目し、主せん断ひずみエネルギー値を用いた破壊条件式を提案し、成形限界の予測精度を評価・検討している。本報では、純アルミニウム A1050-0 板材を供試材として、平頭張出し試験および板厚方向圧縮によって得られた板材の単軸引張試験を行い、成形限界の比較を行って静水圧応力の影響を調査したので報告した。

結晶塑性有限要素法を用いたマグネシウム合金板の繰返し変形挙動解析

中 哲夫, 上森 武, 片平卓志, 吉田総仁

日本機械学会<M&M2015材料力学カンファレンス> : (平成 27 年 11 月 21 日) 275–276

要旨

マグネシウム合金は温間成形が有効であり、PCなど一部の電気機器部品成形では積極的にその性質が利用されている。マグネシウム合金の更なる利用拡大のためには、室温から高温まで結晶レベルから変形メカニズムを理解し、それがマクロな変形挙動に与える影響を明らかにするとともに、最適な加工条件で成形することが重要である。

そこで本研究では、結晶塑性理論を用いて室温から高温におけるマグネシウム合金の結晶レベルでの変形メカニズムを解明するとともにメゾスケールでのモデリングをマクロレベルに拡張することを目的とする。本報では、底面集合組織を持つ AZ31 合金板の室温から 200°C における繰返し変形挙動を実験観察ならびに北山らの結晶塑性理論による双晶 - 双晶解消モデルに臨界分解せん断応力に温度依存性を組み込んだモデルでの検証を行い報告した。

主せん断ひずみエネルギーに注目した成形限界予測式 -第3報 高張力鋼板への適用-

中 哲夫, 堀田博也, 吉村英徳, 上森 武, 三原 豊

塑性加工連合講演会講演論文集 : (平成 27 年 10 月 31 日) 71-72

要旨

高張力鋼板は難加工材であり、未だ割れによる成形不良の発生を事前に高精度に予測することが難しく、それを改善する必要がある。また、多工程成形加工を行う実際の加工では反転負荷やひずみ経路が急変することも多く、実際の加工に適用可能な非比例変形に対応した予測式が求められている。

本研究では、加工条件や成形材料を問わず、複雑な変形経路に対応可能な延性破壊条件式の確立を目的とし、成形限界予測式の提案、更なる精度向上を検討している。予測式の構築においては、塑性変形はせん断応力による原子の滑り現象によって生じることに注目し、主せん断ひずみエネルギー値を用いた破壊条件式を提案し、成形限界の予測精度を評価・検討している。本報では、強度レベルの異なる3種類の高張力鋼板について比例・非比例変形における成形限界を調査・検討し、提案予測式の高張力鋼板への適用の可能性について検討したので報告した。

アルミニウム合金のスプリングバックに及ぼすバウシング効果と異方性の影響

中 哲夫, 上森 武, 澄川智史, 麻 寧緒, 吉田総仁

軽金属 研究論文 : (第 65 卷 11 号 2015 年 11 月) 582-587

要旨

自動車業界を中心としたプレス成形の分野において、CAE システムの導入により工程短縮・コスト削減が図られている。プレス成形時に発生するスプリングバックは、作業効率を低下させる主要要因である。アルミニウム合金板は、強度レベルの等しい軟鋼板に比べスプリングバック量は格段に大きいため、そのシミュレーションによる予測は重要課題である。

スプリングバックは主に繰返し硬化特性や応力反転時のバウシング効果に大きく依存することが共通の認識である。しかし、アルミニウム合金は高張力鋼板ではほとんど問題にならなかった塑性異方性により、スプリングバックのメカニズムはさらに複雑化している。

本研究では、高精度なスプリングバック解析の実現を目指し、種々の降伏関数と硬化則を組み合わせた弾塑性構成式を用い、その汎用 FEM への導入を行った。そして、種々の材料試験を行ったアルミニウム合金において、U 曲げおよびハット曲げの 2 種類の曲げ成形解析によりスプリングバック計算を行った。さらに、同条件下での実験形状と比較することで、材料の適切なモデル化の重要性を示すとともに、アルミニウム合金のスプリングバックに及ぼす面内異方性とバウシング効果の影響を検討し、報告した。

AZ31 合金板材の繰返し塑性変形に及ぼす温度の影響

中 哲夫, 片平卓志, 細川翔平, 高津正秀, 足立大樹, 吉田総仁

塑性と加工 研究論文: (第 57 卷 第 661 号 2016 年 2 月) 135–139

要旨

近年, 資源の有効利用や地球環境保全などの観点から, 輸送機器の軽量化や材料のリサイクルが重要視され, 軽くて資源が豊富なマグネシウムが注目されている。この合金は比強度, 比剛性, 制振性などの構造材料として多くの利点を有するが, 展伸材としての需要は, 成形性, 特に冷間成形性が悪いことから伸び悩んでいる。

繰返し塑性変形挙動は, 板材でもプレス成形後のスプリングバック予測などで重要である。バウシンガーエフェクトに加え, 負荷方向で変形機構の異なるマグネシウム合金板では, 室温での薄板に対する報告や種々の温度での薄板に対する報告があるが, 前者は室温での挙動が主題となっており, 後者は集合組織との関連が示されていない。

そこで, 本研究では, マグネシウム合金 AZ31B 板の室温から 200°Cまでの圧縮, 引張の繰返し試験(面内応力反転負荷試験)を行い, 応力–ひずみ応答と集合組織の関係を調べ, 各変形段階で材料内部に生じる現象(双晶の発生・成長と収縮, 結晶回転など)を考察した。その結果, 繰返し変形における応力–ひずみの応答の変化は, すべり変形の強い温度依存性(とくに非底面すべりの臨界分解せん断応力の温度依存性)と温度の鈍感な双晶変形(および双晶収縮)から説明することができた。

発行者 徳島工業短期大学 研究課
〒779-0108
徳島県板野郡板野町犬伏蓮花谷100番地
TEL：088-672-2311
FAX：088-672-2162
URL：<http://www.tokuco.ac.jp>